

**Eötvös Loránd Tudományegyetem
Könyvtártudományi - Informatikai Tanszék**

Fülöp Géza

Az információ

2. bővített és átdolgozott kiadás

Lektorálta: Bakonyi Géza

Budapest, 1996.

TARTALOM

ELŐSZÓ a 2., átdolgozott kiadáshoz

ELŐSZÓ

AZ INFORMÁCIÓ FELFEDEZÉSE

INFORMÁCIÓ, VALÓSZÍNŰSÉG, BIZONYTALANSÁG

A SHANNONI INFORMÁCIÓELMÉLET

SZEMANTIKAI INFORMÁCIÓELMÉLET

CSATORNÁK

KÓDOK

INFORMÁCIÓ ÉS ENTRÓPIA

INFORMÁCIÓ ÉS FILOZÓFIA

Információ és ontológia

Információ és ismeretelmélet

A KIBERNETIKA

INFORMÁCIÓ ÉS ÉLET

A SEJT

A sejt szerkezete

A sejt élete

INFORMÁCIÓS FOLYAMATOK AZ ÉLŐ SZERVEZETEK BEN

A GENETIKAI INFORMÁCIÓ

A DNS és RNS

A fehérjék

A genetikai információ

Replikáció

Átírás, átfordítás

A gének

A génműködés szabályozása

A mutációk

INFORMÁCIÓS FOLYAMATOK A SEJT BEN

INFORMÁCIÓÁRAMLÁS A SEJTEK KÖZÖTT

Az endokrin rendszer

Az idegrendszer és az agy

Tanulás és memória

Pszichológiai modellek

INFORMÁCIÓ ÉS KOMMUNIKÁCIÓ

JELEK, JELRENDSZEREK

A jelformák kialakulása

A jeltudomány története

Mi a jel?

Jeltypológia

A szemiozisz dimenziói

A társadalom jelrendszerei

A NYELV

Egy kis történelem

Beszéd és nyelv

Az írás

A nyelv mint jelrendszer

A KOMMUNIKÁCIÓ

Mi a kommunikáció?

A kommunikációs folyamatok osztályozása

Az intraperszonális kommunikáció

Az interperszonális, személyközi kommunikáció

A kis csoporton belüli kommunikáció

A tömegkommunikáció

A kommunikáció csatornái

Kommunikációs zavarok

A művészet, mint kommunikáció

AZ ÁLLATI KOMMUNIKÁCIÓ

AZ INFORMÁCIÓS TÁRSADALOM

AZ INFORMÁCIÓ FORRADALMA

Az elektronika fejlődése

A számítógép

A távközlés

A mesterséges intelligencia

AZ INFORMÁCIÓS TÁRSADALOM

Információgazdaság

Infrastruktúra

Változások - remények és félelmek

IRODALOM

ÁBRÁK JEGYZÉKE

ELŐSZÓ

a 2., átdolgozott kiadáshoz

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kara Könyvtártudományi-Informatikai Tanszékének három éves (1990/91-1992/93) TEMPUS (Trans European Mobility Scheme of University Studies) programja keretében - az Európai Közösség támogatásával és együttműködve a hannoveri és a deventeri szakfőiskola könyvtárügyi, dokumentációs és informatikai szakrészlegével - módja volt többek közt új, korszerű oktatási program és tanterv kidolgozására, s ennek realizálása végett új egyetemi jegyzetek és oktatási segédkönyvek készítésére, készíttetésére is. Mivel a tanszék e tekintetben elsősorban informatikai tárgyú segédletekben és felkészült informatikus-szakemberekben szenvedett hiányt, Fülöp Géza (szül. Kolozsváron, 1930. november 23-án) Marosvásárhelyen élő és működő jeles kémiai és informatikai szakíróhoz fordult, aki Romániában több e tárgyba vágó magyar nyelvű szakmunkát adott közre (Ember és információ. 1973., Az információ nyomában. 1978., Az információ. 1990.). Arra adott neki megbízást, illetve arra kérte, hogy „Az információ” című alapvető és alapos összefoglaló munkáját, - amelyben eredetileg a romániai viszonyokat figyelembe véve, s megállapításait romániai konkrét példákkal illusztrálva fejtette ki mondanivalóját, - dolgozza át magyarországi igények szerint a magyarországi olvasók, köztük a magyar felsőoktatásban résztvevő egyetemi és főiskolai könyvtáros- és informatikus-szakos hallgatók, valamint a könyvtárügy és a szakirodalmi információs tevékenység különböző területein működő szakemberek számára, továbbá az első kiadás szövegét egészítse ki a szakkutatás és a gazdag szakirodalom újabb, lényeges eredményeivel és megállapításaival.

Köszönet illeti Fülöp Gézát, hogy vállalkozott e nem könnyű feladat teljesítésére, arra hogy a látványos és szinte naponként jelentkező, új elektronikai, kommunikációs és informatikai, de gyorsan változó, elavuló, hamar érvényüket veszítő eredmények közül megpróbálta számbavenni és megfogalmazni a maradandó, a hosszabb távon érvényes, s gyakran matematikai formulákba is önthető igazságokat, törvényszerűségeket. Átdolgozott és bővített munkáját, amely mind alapelveiben, mind felépítésében lényegében azonos az első kiadással, minden érdeklődő magyarországi olvasó szíves figyelmébe ajánljuk.

Budapest, 1994. június

Dr. Fülöp Géza
az ELTE Könyvtártudományi-
Informatikai Tanszékének vezetője

ELŐSZÓ

Az emberiség az információs társadalom küszöbén áll. (Talán már át is lépte ezt a küszöböt.) A távközlési és adatátviteli vonalak s az integrált digitális csatornák - a társadalom idegpályái - egyre sűrűbben hálózák be a Földet, s a híradástechnikai műholdak nemsokára szoros gyűrűvé tömörülnek az égi pályákon. Az információ-feldolgozó és -tároló eszközök és berendezések teljesítménye - hála a mikroelektronika gyors fejlődésének - néhány évenként nagyságrendekkel nő, s ára szinte ugyanilyen arányban csökken. Az információs ipar, a gazdasági élet legdinamikusabban fejlődő ága egyre több embernek biztosítja a kenyerét, s dinamizáló hatással van más iparágak fejlődésére is. Az információs szektorban foglalkoztatott munkaerő aránya a fejlett országokban már a nyolcvanas évek elején meghaladta a „klasszikus” iparágakban foglalkoztatottakét, s a más területeken dolgozók munkájában is egyre nagyobb helyet foglalnak el az információs jellegű tevékenységek. Ma már általánosan elfogadottá vált az a felismerés, hogy az információ az ipari termelés „ki nem merülő tartaléka”. Az olcsó nyersanyag- és energiahordozó készletek felélése után a gazdasági növekedést csak az információs tevékenységek termelékenységének növelése és a szellemi erőforrások felhasználásának magas színvonala biztosíthatja. Merész képzetű tudósok - negentropikus jellegére alapozva - az információ intenzív, a jelenlegit természetesen sok nagyságrenddel meghaladó felhasználásától várják az emberiség energiagondjainak végleges megoldását.

Az információs technológia térhódítása döntő - következményeiben még nem is sejthető - módon változtatja meg munkánkat, tanulásunkat, szórakozásainkat, egész életformánkat, s talán az emberi faj további fejlődését is.

Az elmúlt évtizedek nagy felismerése, hogy az élet szintén információs folyamat. A génekben örökölt információk a környezetből szünet nélkül érkezőkkel együttműködve vagy össze-ütközve szabályozzák és vezérlik az élőlények fennmaradását, növekedését és szaporodását. A génebbészet s a genetikai ipar, amely az információtárolás és -átadás eme legsajátosabb formájának befolyásolását célozza, információs problémaként is felfogható.

A kutatások az évek során egyre gazdagabbá tették az információ fogalmát, s helyét is kijelölték alapvető fogalmaink között. Az általánosítás legmagasabb fokán harmadik „princípium”-ként az anyag és energia mellett jelölték ki a helyét, az élőlények létfenntartásában a táplálékkal és a levegővel egyenrangú tényezőnek ismerték el, a gazdasági életben a nyersanyag, energia és munkaerő mellé, sőt fölé helyezték.

Mindezek mellett az információról még mindig keveset tudunk. Magát a fogalmat sem értelmezik egységesen, s az információtudomány megszületése is várta magára.

E könyv megírásával az volt a célom, hogy összegyűjtssem, s amennyire lehetséges, egységes keretben bemutassam mindazokat az eredményeket, amelyek az információról a különböző szakterületeken felhalmozódtak.

Számot adni egy olyan tudományról, amelynek tárgya az ezerarcú információ, amely bonyolult kölcsönhatásban, mellé- alá- és fölérendeltségi viszonyban van számos társadalom- és természettudományi diszciplínával, egy olyan tudományról, amely tulajdonképpen még nem is létezik, vakmerő vállalkozás. Bár igyekeztem hiteles képet adni a témával kapcsolatban álló tudományágakról, s alapvető „klasszikus” művek mellett a lehetőségekhez képest a legfrissebb forrásokból merítettem, tisztában vagyok azzal, hogy a célt csak részben értem el. Könyvem hiányos, sok fontos kérdést nem, vagy csak felületesen sikerült bemutatnom, s a különböző szakterületek specialistái jogosan illethetnek a sokat markolás és a kontárkodás vádjával. Mégis vállalom, abban a reményben, hogy így is hasznára lehetek az olvasónak.

Köszönöm Müller Ádámnak, hogy vállalta a kézirat elolvasását és észrevételeivel, tanácsaival segített abban, hogy sok részlet világosabbá, érthetőbbé váljék, s nem egy hibát kiküszöböljek.

Hasonlóképpen köszönöm dr. Bedő Károly és dr. László József professzoroknak, hogy az Információ és az élet című fejezethez fűzött megjegyzéseikkel segítségemre voltak.

Köszönet illeti Patrubány Miklós mérnököt az Információs társadalom című fejezethez fűzött észrevételeiért.

És köszönet illeti Barabássy Erzsébetet azért, hogy időt és fáradságot nem kímélve segített a kézirat végső formába öntésében.

AZ INFORMÁCIÓ FELFEDEZÉSE

Ezerkilencszáznegyvennyolc jelentős évszám a tudomány történetében. Egy könyv és egy tanulmány jelent meg abban az esztendőben, két új tudomány születési bizonyítványa. A könyv: **Norbert Wiener** Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine című könyve (Wiener, 1948), a tanulmány pedig **Claude Shannon** műve: A Mathematical Theory of Communication (Shannon, 1948). Megszületett a kibernetika és a matematikai információelmélet, a majdani információtudomány első fejezete. Az emberiség „felfedezte” az információt. (Idekívánkozik egy megjegyzés: Shannon nem az információ, hanem a kommunikáció szót használta).

Történelme folyamán az ember mindig megteremtette azokat a kommunikációs eszközöket és viszonyokat, amelyekre fejlettsége adott szintjén szüksége volt. Az állati létből való kiemelkedésének bizonyítékeként „kidolgozta” az információkódolás legbonyolultabb módját, a beszédet, s rendre felfedezte a szervezetén kívüli, exoszomatikus információtárolás egyre tökéletesebb eszközeit: a rajzot, az írást, a nyomtatást, a mágneses buborékot és a digitális videolemezt. Az emberi civilizáció fejlődését előmozdító nagy találmányok vagy az energia átalakításával, vagy az információátvitellel kapcsolatosak.

A társadalmi haladás és az információátvitel - kommunikáció - fejlődése a történelem folyamán mindig szorosan összefüggött egymással. Hogy csak néhány példát említsünk, a könyvnyomtatás feltalálása hozta létre a polgári átalakulást, a polgári forradalmak leghatásosabb eszközét, a röplapot, az újságot. A polgári forradalom Franciaországában a hatalom centralizálásának lehetőségét Chappe optikai távírója teremtette meg. Az Egyesült Államok egységbe kovácsolásának fontos eszköze volt Morse távírója.

Miért kellett mégis évezredeknek eltelniük, amíg az ember eljutott magának az információhoz a felfedezéséhez? Az ok elsősorban abban rejlik, hogy a fejlődés alacsonyabb szintjein azokban az időkben, amikor az emberiség sokkal kevesebb információt termelt és használt fel, az információcsere és -feldolgozás eszközei és módszerei természeti adottságként jelentkeztek, s a különböző társadalmi célok megvalósításának segédeszközeiként mintegy egybemosódtak más, könnyebben megragadható emberi cselekvésekkel. Az információs kapcsolatokat elfedték a kézzelfoghatóbbak: az ember és természet, az ember és munkaeszköz, az ember és ember alá- és fölérendeltségi kapcsolatai.

Természetesen a tudás, az információ birtoklása mindig előnyt, sőt hatalmat biztosított azoknak, akik hozzáférhettek. „Ha kimondom az Információ szót, mi a második szó, amire azonnal asszociálok? Ez a szó a hatalom.” (Ágoston, 1989). Az egyiptomi papok például annak köszönhették hatalmi pozíciójukat, hogy csak ők rendelkeztek pontos információkkal a Nílus áradásairól. Vagy egy újkori példa: a londoni Rotschild bankár „különtudósítója” révén elsőnek értesült a waterlooi csata kimeneteléről, s ezt az információt a tőzsdén hatalmas vagyonná alakította át. A tétel fordítva is igaz: az anyagi hatalom birtoklása a tudás birtoklását, az információhoz való hozzájutás eszközeinek a birtoklását nagyon megkönnyítette.

A társadalom a huszadik században jutott el a fejlettségének és a bonyolultságának arra a fokára, amelyen az információs kapcsolatok a társadalom „tudatalattijából” a felszínre törtek. Megnőtt és megváltozott az információ szerepe, robbanásszerűen megnőtt az információ termelése és felhasználása, s nyilván ennek következményeként fejlődésnek indult az információtovábbítás, a hírközlés technikája. A föld felszínén, a tengerek mélyén kigyózó, világrészeket összekötő telefon- és távíróvezetékek, a szikratávíró, majd a rádió ésszerű, gazdaságos kihasználásának igénye napirendre tűzte a híráttvitellel kapcsolatos jelenségek alaposabb

tanulmányozását, a műszaki alkalmazások elméleti megalapozását. S azt se felejtsük el, hogy a negyvenes évek elején a világ több pontján kezdetét vette a számítógépek intenzív fejlesztése.

A legfontosabb kérdés - nagyon leegyszerűsítve - így hangzott: hogyan lehet egy üzenetet egy csatornán a leggazdaságosabban és a legmegbízhatóbban továbbítani? Válaszként - részeredményeket hozó kutatások után - megszületett a shannoni információelmélet. S mint nagyon sokszor a tudomány történetében, most is kiderült, hogy az elmélet sokkal átfogóbb, mint ahogy első látásra tűnne, és egymástól távol eső jelenségekre is alkalmazható.

Paul Constantinescu szerint az információ objektív vonásának felismerése a század legnagyobb felfedezése (Constantinescu, 1982).

Hogy mennyire megérett az emberiség erre a felfedezésre azt bizonyítja az a - mondhatnánk - mohóság, amellyel a legkülönbözőbb tudományágak kutatói rávetették magukat az információelméletre. A távközlési szakemberek mellett matematikusok, statisztikusok, nyelvészek, biológusok, pszichológusok számoltak be közleményeikben az elmélet továbbfejlesztéséről, újabb és újabb alkalmazásáról. 1950-ben, Londonban megrendezték az első szimpóziumot, s alig fél évtized leforgása alatt a közlemények száma elérte az ezres nagyságrendet. 1953-ban megjelent az új tudományág első folyóirata: The Transactions of Information Theory, majd 1958-ban a második: IRE Information and Control. A lelkesedésnek ez a fellángolása, amely sokszor a shannoni elmélet félreértéséből fakadt, s kellően meg nem alapozott tételek, elméletek felállításához is vezetett, készítette Shannont arra, hogy The Bandwagon című cikkében (Shannon, 1956) figyelmeztessen: elméletét kezeljék nagyobb körütekintéssel. [A bandwagon szóról az angol-magyar szótár a következőket írja: zenekari kocsi (felvonulásokon); jump on the bandwagon = (opportunistá módon) csatlakozik a diadalmaskodó mozgalomhoz].

A nagy lelkesedést, mint ahogy lenni szokott, a kiábrándulás korszaka követte. Amikor kiderült, hogy a matematikai információelmélet (vagy az információ matematikai elmélete) nem az a kaptafa, amelyre rá lehet húzni minden információs-kommunikációs jelenséget, sokan átestek a ló túlsó oldalára, arra a - szintén helytelen - következtetésre jutottak, hogy Shannon elmélete kizárólag csak a híradástechnikában érvényes, következésképpen méltatlanul viseli az információelmélet címkét. Ma már világos, hogy Shannon munkássága korszakalkotó volt, s hogy elmélete, amelyhez hasonló jelentőségű Abraham Moles szerint minden évszázadban csak néhány születik, egyike lévén azoknak a nagy elméleteknek, amelyek a világ látszólagos sokféleségét néhány alapentitásra akarják redukálni (Moles, 1975), általános érvényű, de csak rész, része a még ki nem dolgozott teljes, átfogó információelméletnek, amely nem mellette, hanem rá alapozva fog kifejlődni.

Az évek során a matematikai információelmélet döntő befolyást gyakorolt új diszciplínák kialakulására (kódoláselmélet, játékelmélet, automaták elmélete, rendszerelmélet stb.), s ugyanakkor egyre több szaktudomány képviselői tették magukévá az információs szemléletet. Ez lehetőséget teremtett régi kérdések újszerű megközelítésére. Különösen termékenyítően hatott az információelmélet - s ez természetes - azokra a területekre, amelyek közvetlenül az információ különböző formáival foglalkoznak: a kommunikációelméletre, nyelvészetre, szemiotikára, informatikára.

Az információt sok szempontból lehet vizsgálni, sokféleképpen lehet megközelíteni. Kiindulhatunk például - a szemiotika mintájára - abból a felfogásból, hogy minden információt három aspektusból értékelhetünk, s ezek egyben az általánosítás különböző fokozatait is jelentik:

- szintaktikai szempontból vizsgálva teljesen eltekintünk az információ tartalmától, jelentésétől, s csak, mint továbbítandó illetve feldolgozandó jelsorozatot tanulmányozzuk, a matematika eszközeivel;
- szemantikai aspektusból vizsgálva az információ tartalmát, valósághoz való viszonyát tesszük a kutatás tárgyává;
- pragmatikai szempontból pedig azt vizsgálhatjuk, milyen hatással van az információ a befogadóra, hogyan változtatja meg magatartását, viselkedését.

Weaver a kommunikáció (= információátvitel) három szintjét különbözteti meg:

A./ technikai szint: hogyan lehet a jeleket a zaj ellenére hibátlanul továbbítani;

B./ szemantikai szint: hogyan lehet biztosítani, hogy a bemenőjelek jelentése megegyezzen a kimenőjelek jelentésével;

C./ pragmatikai szint: hogyan lehet biztosítani az üzenet hatékonyságát.

A három szint között szoros összefüggés van. Nemcsak az A szint határozza meg a B-t és C-t (a jelek megfelelő átvitele nélkül a tartalmat sem lehet átvinni, s hatékonyságról sem lehet szó), hanem a B és a C is visszahat az A-ra (a tartalom és cél befolyásolja az átvitel eszközeit és módját) (Weaver 1977).

Egyelőre csak a szintaktikai megközelítés vezetett jól kikristályosodott, egyetemesen elfogadott elméleti konstrukcióhoz, a shannoni alapon kifejlesztett elmélet formájában. Bár más területen is születtek részeredmények, az általános információtudomány még a jövő méhében formálódik, s a kutatók még az információ egyértelmű, pontos meghatározásával is adósak. Az információkutatás olyan helyzetben van, mint a múlt század közepén az energia kutatása: nagyon sok ismeretet sikerült már összegyűjteni a különböző energiafajtákról, de az energia fogalmát még nem tudták megragadni.

Másrészt parafrázálhatnánk Saussure-nek a szemiotikával kapcsolatos kijelentését: mivel az információtudomány még nem létezik, nem tudjuk megmondani, hogy milyen lesz; de van létjogosultsága, s helye előre meg van határozva; olyan interdiszciplináris tudomány lesz, amely az információ tulajdonságait, „viselkedését”, az információáramlást és -felhasználást tanulmányozza mindenfajta rendszerben. K. Otten és A. Debons metatudománynak nevezi, s mint a metatudományoknak általában, a következő célkitűzéseit jelöli meg:

- az adott tudományok (jelen esetben az információorientált diszciplínák és technológiák) közös alapjainak leírása az absztrakció magasabb szintjén;
- a közös nyelv és módszertan kidolgozása;
- eszközök és lehetőségek megteremtése az ismeretek átadására, hídépítés az absztrakt és az empirikus elméletek közé.

Az információtudománynak - amit informatológiának neveznek - szerintük két fókuszpontja az információ jelensége és az ember kapcsolata ezzel a jelenséggel (Otten-Debons, 1970).

Ám egyelőre be kell érünk az egész helyett a részletekkel.

INFORMÁCIÓ, VALÓSZÍNŰSÉG, BIZONYTALANSÁG

A SHANNONI INFORMÁCIÓELMÉLET

Bár Shannont tekintjük - teljes joggal - a matematikai információelmélet atyjának, a tudomány általános fejlődéstörvénye az ő elméletére is érvényes: nem előzmények nélkül született. A kérdést, amelyre majd a legáltalánosabb érvényű választ ő fogja megadni, R. V. L. Hartley tette fel: hogyan lehetne mérni a távközlési rendszerekben továbbított információt? Válaszát 1927-ben egy nemzetközi konferencián bemutatott dolgozatában adta meg (Hartley, 1928).

Döntő felismerése az volt - s ez a felismerés szolgált a shannoni elmélet alapjául is -, hogy az információról, ahhoz hogy mérni lehessen, le kell hámozni mindent, ami szubjektív, s ami végeredményben egy üzenetet az ember számára értékesé tesz: a jelentést s csak fizikai formáját kell vizsgálni. A közlési folyamat lényege - ezt is Hartley fogalmazta meg elsőként -, hogy az adó a rendelkezésére álló jelkészletből rendre jeleket választ ki, s azokból sorozatokat, „üzeneteket” állít össze. (Ha a jelkészletben a jelek között bizonyos sorrendet definiálunk, ábécéről beszélünk. Ezt a megkülönböztetést a gyakorlatban ritkán szokták figyelembe venni, s az ábécét a jelkészlet szinonimájaként alkalmazzák. Mint ahogy nagyon gyakran minden jelkészletet nyelvnek neveznek.)

Az összeállítható üzenetek száma a jelkészlet nagyságától és az üzenetek hosszától függ. Egy három jelből álló készletből a kombinatorika szabályai szerint $3^2 = 9$ kétjelű üzenetet állíthatunk össze:

<i>AA</i>	<i>BA</i>	<i>CA</i>
<i>AB</i>	<i>BB</i>	<i>CB</i>
<i>AC</i>	<i>BC</i>	<i>CC</i>

Ha a jelkészlet jeleinek száma N és az üzenetek n jelből állnak, ebből N^n számú különböző üzenet állítható össze. A megkülönböztethető üzenetek száma tehát hosszukkal exponenciálisan nő.

Vajon az N^n szám alkalmas-e az információ mérésére?

Hartley szellemes megjegyzése szerint az életben előfordulhatnak olyan kommunikációs helyzetek, amelyekben egy közlés információtartalmát egy újabb jel hozzáadásával exponenciálisan növelni lehet - például egy heves vita végén hirtelen odavágott igen vagy nem - de ez csak az emberek között fordulhat elő. A hírközlő rendszerekben az információmennyiség lineárisan nő. Ezért az előbbi kifejezés közvetlenül nem használható az információ mérésére. Közvetve azonban igen.

Tételezzük fel, hogy az információmennyiség, amelyet az üzenet tartalmaz, arányos az üzenet hosszával (az üzenetet alkotó jelek n számával), s válasszunk egy olyan arányossági tényezőt, amely a különböző jelkészleteket felhasználó, azonos hosszúságú üzenetek információtartalmát összehasonlíthatóvá teszi, feltéve, hogy egy-egy készleten belül a jelek egyenrangúaknak tekinthetők:

$$H = K \cdot n \quad (1)$$

H = információmennyiség

K = a jelkészlet jeleinek számától függő arányossági tényező

n = a jelek száma az üzenetben.

Vegyünk két jelkészletet, amelyekben a jelek száma N_1 és N_2 válasszuk meg a K_1 és K_2 állandót úgy, hogy amikor a lehetséges megkülönböztethető üzenetek száma a két rendszerben azonos, azaz

$$N_1^{n_1} = N_2^{n_2} \quad (2)$$

az üzenetben foglalt információmennyiség is azonos legyen:

$$H = K_1 n_1 = K_2 n_2$$

Innen

$$\frac{K_1}{K_2} \approx \frac{n_2}{n_1} \quad (3)$$

a (2)-ből kapjuk, hogy

$$\begin{aligned} n_1 \log N_1 &= n_2 \log N_2, \\ \frac{n_1}{n_2} &= \frac{\log N_2}{\log N_1} \end{aligned} \quad (4)$$

Ezt a (3)-ba helyettesítve:

$$\frac{K_1}{\log N_1} = \frac{K_2}{\log N_2}, \quad (5)$$

Az arány csak akkor érvényes minden N -re, ha

$$K = K_0 \log N, \quad (6)$$

Ahol K_0 minden rendszerben azonos. S mivel K_0 -t tetszőlegesen választhatjuk meg, megfelelő alapú logaritmussal dolgozva el is hagyhatjuk, s a K -t az (1)-be behelyettesítve az információmennyiségre a következő értéket kapjuk:

$$H = n \log N = \log N^n. \quad (7)$$

Ha tízes alapú logaritmust használunk, mint ahogy Hartley tette, az információmennyiséget hartleyben kapjuk meg.

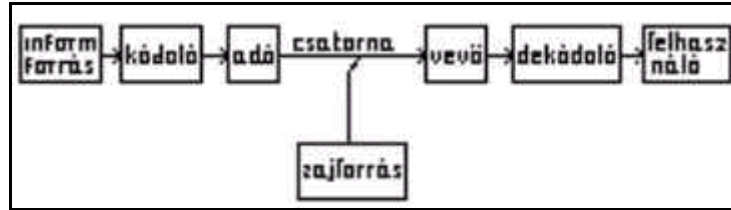
(Hartley az üzenetben foglalt információmennyiség jelölésére a H betűt alkalmazta, Shannon - mint látni fogjuk - a H -t más jelentéssel használta.)

Hartley nagyon helyesen fogalmazta meg az információmérés problémájának lényegét: ahhoz, hogy mérni lehessen az információt, figyelmen kívül kell hagyni a jelentését. Levezetése azonban a hírközlésnek csak egy speciális esetére érvényes. A problémát általános érvénnyel Shannon oldotta meg 20 évvel később. Ezért teljesen jogos a matematikai információelmélet megteremtését az ő nevéhez kapcsolni.

Claude E. Shannon 1916-ban született a Michigan állambeli Petoskeyben. A Michigan Egyetemen, majd a híres Massachusetts Institute of Technologyban végezte tanulmányait. Az információ mérésének kérdésével a 40-es évek elején kezdett foglalkozni, amikor mint kutató

Princetonban, majd a Bell Telephon Laboratories keretében dolgozott. Később tevékenységét a MIT-en folytatta, mint meghívott előadó.

Shannon továbblépett az elvonatkoztatásnak, az absztrakciónak az útján, amelyen Hartley elindult. Megállapította, hogy minden kommunikációs folyamat leírható egy absztrakt modellel. Ez a modell később a kommunikáció jelképévé vált.



1. ábra A hírközlési rendszerek információelméleti modellje

Amint az 1. ábráról leolvasható, a kommunikációs rendszer egyik oldalán található az információforrás, a kódoló és az adóberendezés, a másik oldalon található a vevőberendezés, a dekódoló és a felhasználó. A két oldalt a jeleket továbbító csatorna köti össze. A csatornában haladó jelekre sajnos mindig hatnak zajok, amelyek megnehezítik, vagy akár lehetetlenné tehetik az információátvitelt.

Az információ fogalmát Shannon egységes matematikai elmélet keretében összekapcsolta a valószínűség fogalmával. Megállapította, hogy minden hírközlés statisztikus jellegű, s az információ kérdései a valószínűségszámítás módszereivel tárgyalhatók. Valamilyen hír, üzenet közlését a szó valószínűségszámítási értelmében vett eseményként tárgyalhatjuk, s minden esemény üzenetet, információt hordoz. A forrás vagy adó a véletlen kísérlet eseményterével analóg fogalom, azaz a hírforrás - a vevő szempontjából - egy véletlen kimenetelű kísérlet eseményteréhez tartozó lehetséges események összessége. A kísérlet minden egyes kimenetele megfelel a forrás egy elemi kimenetelének, amit jelnek nevezünk.

Mi határozza meg egy esemény, egy hír információtartalmát?

Saját tapasztalatunkból tudjuk - s ebben az esetben a szubjektív tapasztalat tökéletesen megegyezik az objektív törvényekkel -, hogy minél váratlanabb egy esemény, annál több információt hordoz. A váratlanság pedig a valószínűséggel fordítottan arányos. Ha egy esemény bekövetkezése biztos, tehát valószínűsége $p=1$, semmiféle információt nem szolgáltat. Kisebbs valószínűségű esemény bekövetkezése több információt nyújt. Matematikai formában felírva:

$$\text{Ha } p_1(x_1) \gg p_2(x_2), \text{ akkor } I(x_1) \gg I(x_2).$$

Az x jel által hordozott információ tehát x előfordulásának valószínűségétől függ:

$$I(x) = -\int [p(x)] \log_2 p(x) dx. \quad (8)$$

Ahhoz, hogy ennek a függvénynek a konkrét alakját megkapjuk, figyelembe kell vennünk az információ néhány természetes tulajdonságát. Ha két, egymástól független esemény bekövetkezését figyeljük meg, az általuk nyújtott információk összeadódnak. Az információnak ezt a tulajdonságát additivitásnak nevezzük:

$$I(x, y) = I(x) + I(y).$$

A valószínűségszámításból tudjuk azonban, hogy két független esemény bekövetkezésének valószínűsége egyenlő valószínűségeik szorzatával:

$$p(x, y) = p(x) \cdot p(y).$$

Az $f[p(x)]$ függvénynek ahhoz, hogy az additivitás követelményének eleget tegyen, logaritmusfüggvénynek kell lennie. A logaritmusfüggvény ugyanis két szám szorzatához logaritmusaik összegét rendeli:

$$\log(x \cdot y) = \log(x) + \log(y).$$

Ha az információmennyiség egységét úgy választjuk meg, hogy akkor nyerjünk egységnyi információt, amikor mindössze két egyformán valószínű esemény valamelyikére számíthatunk, és ezek közül az egyik bekövetkezik, például a klasszikus fej vagy írás játékban egy dobáskor, azaz az egyszerű alternatíva esetén:

$$\log(x) = 1 \text{ amikor } p(x) = \frac{1}{2},$$

akkor a logaritmusfüggvényben kettesalapú logaritmust kell választanunk. Az információmennyiségnek ezt az egységét nevezzük Tukey javaslatára bitnek, a binary digit unit rövidítéséből.

A fentiekből következik, hogy a (8) függvény konkrét alakja az x jel megjelenésekor kapott információmennyiség kifejezése:

$$I(x) = \log_2 \frac{1}{p(x)}$$

vagy

$$I(x) = -\log_2 p(x), \quad (9)$$

mivel pedig a matematikai információelméletben majdnem mindig a kettesalapú logaritmust használjuk, ezentúl \log_2 helyett csak \log -ot fogunk írni.

Kiválasztásakor úgy tűnt, hogy a kettesalapú logaritmusnak elméleti szempontból nincs kitüntetett szerepe, s csupán gyakorlati megfontolások tették „kitüntetetté”. (Hartley, mint láttuk, a tízes alapú logaritmust választotta.) Később azonban kiderült - erre majd még többször fogunk a megfelelő helyeken utalni - hogy a természetben nagyon sok jelenségnek bináris jellege van, s így a kettes alap választása nagyon szerencsés volt.

Az esemény, amint láttuk, annál több információt szolgáltat, minél kisebb a valószínűsége. Ebből logikusan az következik, hogy amint a valószínűség közeledik a 0-hoz, az információmennyiség közeledik a végtelenhez, s a 0 valószínűségű eseménynek az információtartalma végtelen nagy. Ez természetesen értelmetlenség. Egy esemény, amely nem következik be, nem szolgáltat információt. Ezért megegyezés szerint

$$I(1) = I(0) = 0.$$

A kommunikációs folyamatokban nem egyedi események zajlanak le. Olyan csatornán, amelynek csak egyetlen lehetséges állapota van, nem lehetne információt továbbítani. Minimálisan két állapot szükséges: az egyiket jelnek tekintjük, a másikat a jel hiányaként fogjuk fel. A hírközlés lényege ugyanis, hogy az adó a jelkészletből jeleket választ ki, s azokból állítja össze különböző hosszúságú üzeneteit. Úgy is fogalmazhatnánk, hogy a jeleket sorokba rendezi. A jelek egymásutánja, az elrendezés, a konfiguráció, a rendezettség reprezentálja az információt. Az elrendezés lehet időbeli, például a beszédhangok, de lehet térbeli is, például az írás betűi.

A készletben előforduló jeleket az előbbieken egy teljes eseménytér „atomjaival” (elemi események) azonosítottuk, amelyekben az $x_k = \{x_k\}$ elemi események halmazára meg a $p_k = p(X_k)$ valószínűségekre teljesül az alábbi két egyenlőség:

$$\bigcup_{k=1}^N X_k = \Omega \text{ és } \sum_{k=1}^N p_k = 1, \quad (10)$$

ahol Ω a biztos esemény, vagyis az összes lehetséges kimenetel (jel) halmaza.

Mivel Shannon elméletét véges, diszkrét, teljes eloszlásra dolgozta ki, N csak jól meghatározott (1-nél nagyobb) természetes szám lehet.

Az információmennyiség, amelyet az üzenet (= elemi események sorozata) szolgáltat, az egyes jelek által hordozott információmennyiségek összegéből adódik. A hírközlésben nem úgy járnak el, hogy összeadják az egyes jelek információtartalmát, hanem kiszámítják az egész jelrendszerre a jelenként közepes információmennyiséget, s ezzel az átlaggal számolnak. Mivel a jelek általában különböző valószínűséggel fordulnak elő, az átlag kiszámításánál súlyozni kell:

$$p_1 \log \frac{1}{p_1} + p_2 \log \frac{1}{p_2} + \dots + p_N \log \frac{1}{p_N}.$$

Az üzenet soron következő jelének várható (átlagos) hozzájárulása az üzenet információ-tartalmához:

$$H = \sum_{k=1}^N p_k \log \frac{1}{p_k} = - \sum_{k=1}^N p_k \log p_k. \quad (11)$$

Ezt az értéket nevezte el Shannon formai analógia alapján - Neumann János javaslatára - a $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ valószínűségeloszlás entrópiájának. Erről egyelőre csak annyit, hogy az entrópia tulajdonképpen úgy fogható fel, mint a bizonytalanság mértéke, amelyet azzal az információval mérünk, amely szükséges a megszüntetéséhez.

Vegyük szemügyre az entrópiafüggvény néhány tulajdonságát.

1. H az elemi $\int p_i = -p_i \log p_i$ függvények összege; ezek csak a p_i változótól függenek és folytonosak.

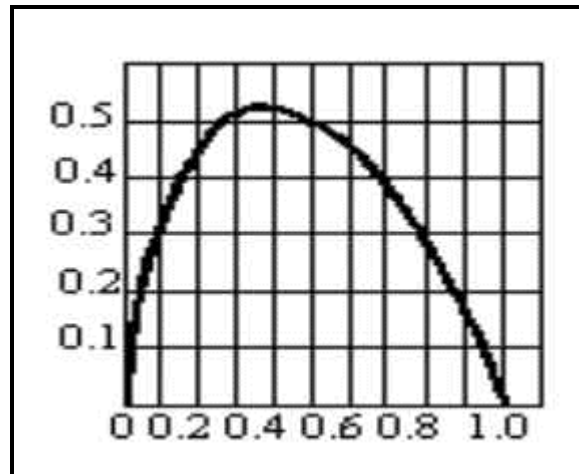
2. Az $\int (p_i)$ értékének változását a p_i függvényében a 2. ábra mutatja. Láthatjuk, hogy amikor a $p_i \rightarrow 0$ vagy $p_i \rightarrow 1$, akkor a függvény értéke 0-hoz tart. Ez azt jelenti, hogy a be nem következett események (valószínűségük 0) és a biztosan bekövetkező események (valószínűségük 1) nem szolgáltatnak információt.

3. Ha az egyes jelek valószínűsége egyenlő, $\left(p_1 = p_2 = \dots p_n = \frac{1}{N} \right)$ akkor az entrópia képlete a következőképpen alakul:

$$\sum_{k=1}^N \left(\frac{1}{N} \log \frac{1}{\frac{1}{N}} \right)_k = \log N, \text{ ugyanis } \sum_{k=1}^N \frac{1}{N} = 1. \quad (12)$$

Azonnal észre vesszük, hogy ez nem más, mint Hartley képlete, amely ilyenformán az általános shannoni egyenlet sajátos esete.

(11 és 12) összevetésével kimutatható, hogy az adott jelkészlet entrópiája (valamint a továbbítható rögzített hosszúságú üzenetek információtartalma) akkor maximális, ha a jelek mind egyenlő valószínűséggel fordulnak elő. Ha nem, az entrópia ennél az értéknél kisebb.



2. ábra. Az $f(p)$ értékének változása p függvényében

4. Ha két vagy több szimbólumot vagy elemi eseményt összevonunk és egy szimbólumnak vagy eseménynek tekintjük, a hozzájuk tartozó információfüggvény értéke egyenlő vagy kisebb lesz, mint a külön-külön vett függvények értékének összege:

$$I(p_1 + p_2) \leq I(p_1) + I(p_2), \quad (13)$$

ahol p_1 és p_2 az x_1 és x_2 esemény bekövetkezésének valószínűsége.

Ennek a tulajdonságnak a jelentősége majd az információelméleti és termodinamikai entrópia összefüggéseinek tárgyalásakor fog kiderülni.

Egy hírforrás jellemzésekor különbséget kell tenni a maximális és tényleges entrópia között. Az előbbi az az érték, amely a forrást jellemezné, ha a jelek egyenlő valószínűséggel fordulnak elő. A valószínű hírforrásokban azonban a jelek mindig eltérő valószínűséggel rendelkeznek, s emiatt a tényleges entrópia kisebb a maximálisnál. A kettő aránya a relatív entrópia. Különbségük pedig a rendszer belső entrópiája, az az információ, amellyel - az egyes jelek eltérő valószínűsége miatt - a priori rendelkezünk:

$$H(X)_{\max} - H(X) = H(X)_{\text{int}}.$$

A belső entrópia hatása a rendszer teljesítőképességére olyan, mintha a jelek bizonyos hányada nem hordana információt. Ennek a hányadnak és a közvetített jelek teljes számának aránya, amely egyúttal a belső entrópia és az N jelt használó rendszer maximális entrópiájának (H_{\max}) aránya, az üzenet egyik fontos jellemzője: a redundancia (magyarul terjengősségnek is szokták nevezni):

$$\frac{H_{\max} - H}{H_{\max}} = 1 - \frac{H}{H_{\max}} = R.$$

Az információelmélet igen fontos fogalma ez. Az üzenet, ha redundáns, kevesebb információt tartalmaz, mint amennyit a jelek száma alapján tartalmazhatna. A jelenség egyik oka, amint fentebb láttuk, hogy a jelek előfordulási valószínűsége nem egyenlő. Akkor is csökken az üzenet információtartalma, ha közöttük valamilyen összefüggés van. Ha egy jel bekövetkezése függ az előző jeltől vagy jelektől, vagy ha a rendszernek valamely időpontban észlelt állapota függ a rendszernek a megelőző időszakokban észlelt állapotától, akkor a jel bekövetkezésére

vonatközölag már rendelkezünk bizonyos mennyiségű információval, megjelenése kevésbé váratlan, a rendszer redundanciája nagyobb lesz.

A magyar nyelvben például a szó eleji mássalhangzó után nagyobb a valószínűsége annak, hogy magánhangzó következik, és fordítva: a magánhangzó után nagyobb valószínűséggel következik mássalhangzó. A természetes nyelvek redundanciáját nagymértékben növelik a nyelvtani szabályok is.

A redundancia - majd látni fogjuk a csatornákról és a kódolásról szóló fejezetben - nagyon gyakran hasznos és szükséges.

A jelsorozatokkal kapcsolatban még két fogalommal találkozunk, a Markov-lánc és a stacionárius folyamat fogalmával.

Ha a rendszer állapotát bármely időpontban egy (vagy több) valószínűségi változó pillanatnyi értékével jellemezzük, és ha a rendszernek az előző állapotoktól való függése csak a közvetlenül megelőző észlelés eredményén keresztül érezteti hatását, azt mondjuk, hogy a valószínűségi változók sorozata Markov-láncot alkot.

Stacionáriusnak nevezzük azt a folyamatot, amelynek tulajdonságai nem függenek az időskála kezdőpontjának megválasztásától, azaz a folyamat szerkezete az időtől független.

Az előzőkben csak azzal az esetben foglalkoztunk, amelyben az információátvitel diszkrét jelekkel történik. Számos gyakorlati esetben azonban az információt folytonos jelekkel, pl. folytonos feszültség hullámokkal továbbítják, azaz a továbbított jel az idő folytonos függvénye egy véges intervallumban. Ebben az esetben a H függvény a következő alakot veszi fel:

$$H = \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) [\log p(x)] dx,$$

ahol $p(x)$ az x értékek valószínűségi eloszlásának a sűrűségfüggvénye (az eloszlás sűrűsége).

Egymástól különböző, de azonos szórású σ -jú eloszlási sűrűségek közül a Gauss-féle sűrűségfüggvény, vagyis a

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \exp\left(-x^2 / 2\sigma^2\right)$$

biztosítja a maximális értéket.

A H függvény alaptulajdonságai ugyanolyan jellegűek, mint a diszkrét forrás entrópiafüggvényeinél említették.

Shannon dolgozata nyomán nagyon sok matematikus érdeklődését felkeltette az információ, s a következő években, évtizedekben a matematikai információelmélet tovább bővült, fejlődött.

A. Ja. Hincsin, D. A. Fagyejev, A. N. Kolmogorov, B. Forte továbbfejlesztette, matematikailag kifogástalan alakra hozta Shannon levezetéseit. (Hincsin, 1953, 1956, Fagyejev, 1956, Kolmogorov, 1959, 1968, Forte, 1969).

Többen kidolgozták az információmennyiség más mértékeit. Rényi Alfréd például kidolgozta az α -rendű információmértéket, amelynek sajátos esete Shannon elsőrendű információmértéke (Rényi, 1959, 1960). Ugyancsak Rényi számította ki a nem teljes eloszláshoz tartozó információmennyiséget. Ebben az esetben:

$$I = \frac{\sum_{k=1}^n p_k \log \frac{1}{p_k}}{\sum_{k=1}^n p_k}. \quad (\text{Rényi 1961})$$

Az α -rendű entrópia mértékét - Rényitől eltérő módon - M. Behara és P. Nath is meghatározta (Behara - Nath, 1973).

Shannon a valószínűség felől közelítette meg, s abból vezette le az információmennyiség mértékszámát. Több kutató azonban, abból a megfontolásból kiindulva, hogy a gyakorlatban sokszor jutunk különböző információkhoz valamely aleatorikus kísérletből, anélkül, hogy ismernénk valószínűségi eloszlását, megfordította a sorrendet: a valószínűség fogalmának kizárásával határozta meg az információt, s azután az információ felől közelítette meg a valószínűség fogalmát. R.S. Ingarden és K. Urbanik, majd J. Kampé de Fériet és B. Forte határozta meg valamely A esemény bekövetkezése által szolgáltatott információ mértékét Shannonnál általánosabban (Ingarden - Urbanik, 1962, Kampé de Fériet - Forte, 1967). Kolgomorov az információ algoritmikus elméletét, Rashewsky, Carreman és Picar a topologikus információelméletet dolgozta ki (Kolmogorov, 1968, Rashewsky, 1955).

A fentiekben csupán ízelítőt adtunk az információelmélet fejlődéséről. Az érdeklődő olvasó nagyon jó áttekintést talál Aczél J. és Daróczi Z. könyvében (Aczél - Daróczi, 1975).

Mindezek az eredmények természetesen fontosak, értékesek, de ahogy Rényi Alfréd megállapította: „A Shannon-féle információmérték az információ legtermészetesebb mértékszám... a Shannon-féle információmennyiség nemcsak hogy nem önkényes, hanem az információmennyiségnek minden tekintetben adekvát mértéke” (Rényi, 1960).

Az információ és a bizonytalanság között - mint láttuk - összefüggés van. Ezt a mindennapi tapasztalatot az információelmélet matematikai eszközökkel bizonyítja. Hangsúlyoznunk kell azonban, hogy ez a bizonytalanság nem a mi tudatunkban jelentkező szubjektív bizonytalanság. Egy véletlen jelenség megfigyeléséből nyerhető információmennyiség objektív számadat, amely kizárólag a véletlen jelenség objektív körülményeitől függ, és független attól, hogy ezt az információt bárki, vagy bármi (ember, műszer) regisztrálja vagy felhasználja-e. A bizonytalanság tehát a jelenség véletlenszerűségéből következő objektív bizonytalanság. S ebben a tényben rejlik az információelméleti és termodinamikai entrópia közötti összefüggés alapja, lényege.

Kis lazítás céljából vegyük szemügyre az előbb tárgyalt fogalmak és tételek egy játékos alkalmazását.

Sokan ismerik és kedvelik a Bar Kochbáról elnevezett játékot. A játékosnak ki kell találnia a többiek által feltett fogalmat, oly módon, hogy játékosársai a kérdéseire csak igennel vagy nemmel válaszolnak. Minden kérdés-felelet pár - információelméleti ismereteink alapján tudjuk - egy bit információt szolgáltat. (Az egyszerű alternatíva esete.) Ezt tudva kidolgozhatunk egy optimális stratégiát a játék lefolytatására. Természetesen a stratégia csak akkor lesz valóban optimális - azaz csak akkor tudjuk a fogalmat a legkevesebb kérdéssel kitalálni -, ha előre meghatározzuk a kigondolható fogalmak körét. Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy a magyar kártya 32 lapjának valamelyikére lehet gondolni. Mivel egyik lap sem „kitüntetett”, játékosársaink egyforma valószínűséggel gondolhatnak bármelyikre. Hány kérdéssel találhatjuk ki a kártyát? Hány bit információra van szükségünk? Erre az esetre alkalmazhatjuk Shannon képletének redukált formáját:

$$H = \log n = \log 32 = 5 \text{ bit.}$$

Ha tehát helyesen kérdezőnk, minden kérdéssel egy bit információt nyerve, öt kérdésre lesz szükségünk hozzá. Ez úgy valósítható meg, ha a kérdésekre adott válaszok a lehetőségek számát megfelelően megkezesítik. Természetesen, ha rosszul kérdezőnk, nem lesz elég öt kérdés. Vagy azért, mert kérdéseinkre 1 bitnél kevesebb információt kapunk, vagy azért mert a válasz egy része már benne volt egy előző kérdésre adott válaszban. A válasz ebben az esetben redundáns, s végeredményben akkor is kevesebb, mint 1 bit információt tartalmaz. A kezdő játékosoknak azért van szükségük néha nagyon sok kérdésre, mert nem használják fel mindazt az információt, amit előzőleg kaptak, s kérdéseikben sok az átfedés. (Az is igaz, hogy rossz stratégiával, de szerencsével a szükségesnél jóval kevesebb kérdéssel is eljuthatunk a helyes válaszhoz).

SZEMANTIKAI INFORMÁCIÓELMÉLET

Az információ matematikai-statisztikai elmélete - mint láttuk - teljesen elvonatkoztat a jelentéstől. Csak a legkevesebbet foglalkozik, amit egy eseményről megtudhatunk, azzal, hogy bekövetkezhet. Ez jelentős korlátja az elméletnek. Amint ahogy Henri Allan megállapítja: láthatólag ez volt az ár, amit az információ szélesebb, de bizonytalan, elmosódó jelentésének kvantitatív meghatározásáért fizetni kellett (Allan, 1973).

Az általános információelméletnek viszont az információ szemantikai és pragmatikai vonatkozásával is kell foglalkoznia. Ezek pedig nem választhatók el a jelek jelentésétől. Banczerowski Janusz a következőképpen fogalmazta meg a problémát: „Ha a jelet az információfogalom segítségével interpretálni lehet, akkor világos, hogy attribútumával, azaz jelentésével is hasonló módon járhatunk el. Éppen ezért a jel információelméleti interpretációja alapja lehet a jelentés információs koncepciójának.” (Banczerowski, 1979).

A kérdés két részre osztható: az egyik a szemantikai információ fogalmának meghatározása, interpretálása, másik a mértékének kidolgozása. Amióta Shannon dolgozata megjelent, ezek a kérdések is napirenden szerepelnek. A kutatók komoly erőfeszítéseket tesznek megválaszolásukra. Bar-Hillel már 1955-ben ezt írta: „Az egzakt kapcsolat a jel-továbbítás statisztikai elmélete és a szemantikai információ elmélete között nagyon érdekes és sürgős probléma. De addig nem lehet tárgyalni, amíg nincs szemantikai információelmélet. A két elméletet nem lehet egyszerűen összeolvasztani.” (Bar-Hillel, 1955).

A baj már ott kezdődik, hogy nincs egységes vélemény az információ és jelentés kapcsolatáról. Egyes szerzőknek az a véleménye, hogy a két fogalom elválaszthatatlan egymástól (Kirschenmann, 1969), mások szerint léteznek olyan információfajták is, főleg az élettelen természetben, amelyek nem rendelkeznek jelentéssel. Gluskov úgy véli hogy a kibernetikában az információfogalom nem okvetlenül függ össze a jelentéssel (Gluskov, 1964). Mindenesetre szemantikai információról csak a jelentéssel bíró információ esetében beszélhetünk.

A fogalom tartalmát és a szemantikai információ mennyiség mértékét sokan próbálták meghatározni, de eddig még egyik meghatározás sem tökéletes. (Sajnos hasonló a helyzet a legtöbb fogalommal, amely az információval kapcsolatban van.) Az alábbiakban röviden, vázlatosan bemutatunk néhány elméletet, vagy inkább elképzelést.

Alig néhány évvel a shannoni elmélet megszületése után D.M. MacKay kidolgozta a tudományos információ elméletét. Eszerint az ember ismereteit képzetek - absztrakt vagy valós struktúrák, képek, sémák, modellek - formájában tárolja. Képzeteit a befogadó az információk segítségével alakítja ki vagy módosítja. Kétféleképpen juthatnak információhoz: fizikai

megfigyelés és mérés útján, vagy kommunikációs folyamatban. Előbbi új képességeket hoz létre, utóbbi során reprodukáljuk azokat a képzeteket, amelyekkel az adó már előzőleg rendelkezett (MacKay, 1952).

Az induktív logika felől közelíti meg a szemantikai információ mennyiségét Y. Bar-Hillel és L. Carnap. Elméletük „tulajdonképpen a Shannon-féle elméletnek pontos logikai képe”. Egy állítás információtartalmának mérésére bevezetik a tartalmi mértéket. (content measure = cont). Ha egy i állítás logikai valószínűsége (pl. a hipotézis megerősítésének foka)

$$m_i, \text{ akkor } cont\ i = l-m_i$$

„A szemantikai információ fogalma hasonlít az ideális gázok fogalmához, amely nagyon fontos a fizikában, annak ellenére, hogy ilyen gáz a valóságban nem létezik” - írja Bar-Hillel és megjegyzi: „A nyelvi rendszerek, amelyekre információelméletünket kidolgoztuk, nagyon egyszerűek”. Ebben a kijelentésben implicite már benne van elméletük kritikája is. Egy másik hiányosságuk, hogy az információt teljesen elvonatkoztatják az információs folyamattól. „A szemantikai információnak lényegéből következően semmi köze a kommunikációhoz”, majd egy másik helyen: „Mi azt az információt vizsgáljuk, amelyet egy mondat hordoz, önmagában vagy más mondatokhoz viszonyítva, de nem foglalkozunk azzal az információval, amelyet a feladó szándékozott küldeni egy bizonyos üzenet továbbításával, vagy amit a vevő kapott az üzenetből.” (Bar-Hillel-Carnap, 1956, Bar-Hillel, 1955, 1964).

Márpedig ahogy V. A. Poluskin írja: „A szemantikai információ mennyiségét csak a konkrét vevő viszonylatában lehet meghatározni.” (Poluskin, 1967).

Ju. A. Srejder elméletében, amely az előbbivel szemben figyelembe veszi az információ és a szubjektum között megvalósuló relációt, azaz az információ pragmatikus aspektusát is, a teaurusz fogalma játssza a főszerepet. Ez azoknak a jelentéssel bíró elemeknek (szavaknak, szó szerkezeteknek stb.) a halmaza, amelyek az adott jelentésrelációkkal rendelkező nyelvhez tartoznak. Ilyen teauruszt alkotnak az információátvivőnek az objektív valósággal kapcsolatos ismeretei és az a képessége, hogy a közléseket percipiálni tudja. A teaurusz nyitott rendszer, amely változhat az objektív valóság hatására. A szemantikai információ mértékéül az a változás szolgálhat, amely az információ hatására a vevő teauruszában végbemegy.

Vannak olyan közlemények, amelyek nem vonatkoztathatók valamely teauruszra (például egy ismeretlen nyelvű szöveg), s nem idéznek elő benne változást, információtartalmuk tehát zéró. Ugyancsak zéró az információtartalma annak a hírnek, amelyet már ismerünk. Az előzetes ismeretek azonban növelhetik is egy hír információs értékét. Ha valaki foglalkozott már valamilyen témával, több információt kap egy speciális közleményből, mint az, aki számára a kérdés teljesen ismeretlen. Ezt Srejder úgy értelmezi, hogy egy összetettebb teauruszban nagyobb változások történhetnek valamely hír hatására, mint egy egyszerűbben (Srejder, 1965, 1967).

A Srejderéhez közel álló felfogást képvisel K. Nordenstreng. Szerinte egy üzenetnek az egyén számára annál több az információtartalma, minél több olyan evidenciát közvetít az objektív valóságról, amely az arra vonatkozó korábbi nézeteiből hiányzott. Az információ mennyisége az objektív valóság és a szubjektív világkép közötti kapcsolattól függ: minél távolabb van az utóbbi a valóságtól vagy minél hiányosabb, elvileg annál több információt lehet az egyénnek közvetíteni (Nordenstreng, 1979).

Nagyon érdekes az a mértékrendszer, amelyet Robert N. Hayes dolgozott ki, s amelyet a shannoni információmérték továbbfejlesztéseként is felfoghatunk. Ő az információt az adatfeldolgozás függvényében értelmezi, s úgy definiálja, mint az adatoknak azon tulajdonságát,

amely a feldolgozás hatását, következményeit fejezi ki. Négy feldolgozási szintet különböztet meg, s mindegyikhez hozzárendel egy mértéket, amely az előző szint mértékének általánosítása, s az információk növekvő komplexitását tükrözi.

A legelső szint az adatátvitel - a műszaki értelemben vett kommunikáció - szintje. Az információ mértéke ezen a szinten az egyetlen általánosan elfogadott és elismert shannoni mérték.

A második a válogatás, a szelekció szintje (pl. rekordok válogatása egy adatbázisból). Ezen a szinten a shannoni mérték már nem elegendő, hiszen semmit sem mond az információ értékéről, fontosságáról. Az információt ezen a szinten a súlyozott entrópia méri. Úgy kapjuk, hogy minden jelhez hozzárendelünk az a priori valószínűség mellett egy értéket, ami a fontosságát, jelentőségét méri, s amely azonosítható az információvisszakereső rendszerekben alkalmazott relevancia értékkel. Ha minden jel egyenlően fontos - szükséges feltétel egy távközlési rendszer megtervezésénél - a súlyozott entrópia mértéke a shannonira redukálódik, ha pedig mindegyik egyenlő valószínűségű - a relevancia mértékével lesz egyenlő.

A harmadik szinten az adatok elemzése és strukturálása történik. Célja: az adatokat olyan struktúrákba szervezni, amelyek lehetővé teszik a kiválasztásukhoz szükséges döntések számának csökkentését. Ha például az adatokat egy $N \cdot M$ méretű mátrixba rendezzük csak $N + M$ adattal kell dolgoznunk $N \cdot M$ helyett. Az információ mérésére ezen a szinten Hayes bevezeti a „szemantikai információ” és a „szintaktikai információ” fogalmát. Az előbbi - amelynek tulajdonképpen semmi köze a szemantikához a szó megszokott értelmében - jelek által szolgáltatott információt, az utóbbi a szerkezet által hordozott információt jelenti.

A negyedik szint az adatredukció, amelyet különböző matematikai eljárásokkal (pl. vektoranalízissel, faktoranalízissel) lehet végrehajtani. A szerző újabb változók bevezetésével meghatározza, hogyan oszlik meg a közvetített információ az ún. redukív, szintaktikus és szemantikus információk között. Határesetben mindegyik szint mértéke a shannoni mértékre redukálódik (Hayes, 1991).

Érdekes Hayes elképzelése, de kérdés, hogy közelebb visz-e az egységes információ-elmélethez?

Az információ értékét próbálja megadni A. D. Harkevics: Az információ annyiban értékes, amennyiben lehetővé teszi egy kitűzött cél megvalósítását. Mértékét az a különbség adja meg, amely fennáll a cél magvalósításának az információ megszerzése előtti és utáni valószínűsége között (Harkevics, 1960).

Az érték azonban - ahogy Afanaszjev rámutat - minőségi meghatározottság, amelyet nehéz vagy lehetetlen formalizálni, s ugyanakkor szubjektív is. Bár természetesen az információnak van saját objektív értéke is, amelyet igazságtartalma szab meg (Afanaszjev, 1975).

A fentiekén kívül még nagyon sokan dolgoztak ki szemantikai-pragmatikai információ-elméletet (Kemény, 1953, Wells, 1961, Harrah, 1963, Vojsvillo, 1966), az egységes, minden szempontból kielégítő átfogó elmélet kidolgozása azonban még várat magára.

Találkozunk azonban olyan véleménnyel is, amely tagadja ennek szükségességét. Erik Hollnagel például azt állítja, hogy az információtudományban, amely az emberi információfelhasználás tanulmányozásával foglalkozik, s mint ilyen a humán tudományok közé tartozik, nincs szükség sem nagyon pontos definíciókra, se matematikai formulákra, mert a szakemberek enélkül is tudják miről beszélnek és megértik egymást (Hollnagel, 1980).

CSATORNÁK

A közlemény, amint azt a hírközlés általános modelljéből leolvashatjuk, valamilyen csatornán jut el a címzethez. A hírközlési csatorna olyan berendezés, amely képes a bemenetelnél információt felvenni és a kimenetelnél leadni. Fizikai valójukban a csatornák nagyon sokfélék lehetnek: a levegő, a telefonvezeték, az optikai üvegszál, az élőlények idegszálai, a könyv, a videolemez stb. Osztályozni is több szempontból lehet őket. A térbeli csatornák a tér valamelyik pontjából egy vagy több másik pontjába, az időbeli csatornák a T időponttól a $(T + t)$ időpontba szállítják az információkat. Előbbiekre példa a telefonvezeték, utóbbiakra a videolemez. Természetesen ez a megkülönböztetés csak a lényegi jegyekre vonatkozik, mivel az információnak a térbeli csatornában is időre van szüksége, hogy célba jusson, a szóbeli csatornákon is lehet térben szállítani az információt.

A tér- és időbeli csatornákat szokás késleltetés nélkül és késleltetéssel működő csatornáknak is nevezni. Előbbiek meghatározott sebességgel, s ahogy nevük is mutatja, késleltetés nélkül szállítják az üzeneteket, utóbbiak pedig tetszőleges ideig tárolják, azaz késleltetik az üzenet továbbadását. Más szempontból beszélhetünk természetes és mesterséges csatornákról (idegrost és telefonkábel), analóg és digitális csatornákról (a hanghullámokat hordozó levegő, illetve a számítógép adatátvivő csatornái).

Az volna az eszményi, ha a csatorna kimeneteli oldalán mindig azt az információt kapnánk meg, amely a másik oldalán belépett, azaz a belépő x_i jelnek a kimenetelnél mindig y_j jel felelne meg, amely - bizonyos egyszerű esetekben - az x_i -től csak egy konstans szorzóval és időeltolással különbözik (a konstans a jel csillapodásából származik). Az ilyen - csak elméletben létező- ideális csatorna neve zajmentes csatorna. Sajnos a reális csatornák mindig zajosak, zaj minden olyan jelenség, amely a hírközlő csatornában „megtámadja” a hasznos információt, megcsönkítja, elnyomja, eltorzítja, legrosszabb esetben meg is semmisíti. Másképpen fogalmazva: zajos csatornánál a kilépő jel nem felel meg mindig a belépő jelnek, hamis jelek keverednek az igaziak közé. Zaj például az az elektromágneses rezgés, amely zavarja a rádióvételt, az utca zaja, amely elnyomja a beszélgetőtársunk hangját, a sajtóhiba. A zajokat két csoportra oszthatjuk. A rendszerteremtés azonos jel esetén mindig azonos, és elvileg teljesen kiküszöbölhető. A csatorna- vagy csőzaj független a jeltől, rendszeretlen, statisztikus jellege van, és teljesen sohasem szüntethető meg. (Tulajdonképpen a zaj is információ, csak éppen nem az, amire szükségünk van, s nagyon sokszor a kódját sem ismerjük. Az is előfordulhat, hogy valamely jelenség zaj egy szempontból, s értékes információ egy másiktól. Például a légköri elektromos jelenségek a rádióhallgató és a légkör fizikáját kutató tudós szempontjából.)

A zaj tehát bizonytalanná teszi a csatorna működését. A vevő sohasem lehet teljesen biztos benne, hogy jól értette-e az üzenetet, a vett jel megfelel-e a leadott jelelnek. Bizonyosság helyett az információtovábbításban is csak valószínűségekkkel számolhatunk.

Jelöljük a forrás jelkészletét, a jelek (x_1, x_2, \dots, x_n) halmazát X -szel. Ebből a készletből állítja össze az üzenetet az adó, amelyben az x_i jel előfordulási valószínűsége p_i . A leadott jelsorozat jelenkénti átlagos információját, a forrás entrópiáját jelöljük $H(X)$ -szel.

A csatornából kilépő jelek (y_1, y_2, \dots, y_n) halmaza legyen Y , a kilépő jelsorozat entrópiája pedig $H(Y)$. A csatornán átjutó információt pedig jelöljük $T(X, Y)$ -nal.

A kérdés így tevődik fel: ha a belépő jelek X halmazának valamely x_i eleme lép be a csatornába, mekkora lesz a valószínűsége annak, hogy a csatorna végén az Y halmaz y_i eleme fog megjelenni?

Ha a csatorna zajmentes, a csatorna másik végén mindig a belépő x_i jelnek megfelelő y_i fog megjelenni.

Ha a csatorna a legelterjedtebb egyszerű típushoz tartozik, amelyben a bemeneti jelsorozat jelei kölcsönösen egyértelmű megfeleltetésben vannak a kimeneti jelsorozat jeleivel, az átvitt információ, a belépő és a kilépő információ egyenlő egymással:

$$T(X,Y) = H(X) = H(Y).$$

Ha a csatorna zajos, az átvitt információ kevesebb lesz. A $T(X,Y)$ csökkentését a hibák előfordulásának valószínűségével mérhetjük. A hiba azt jelenti, hogy a kimenő jelsorozatban nem a belépő x_i -nek megfelelő y_i -t találjuk. Ha $p(y_j|x_i)$ -vel jelöljük annak valószínűségét, hogy a kimenetelnél y_j lép ki a csatornából, amikor a belépőjel x_i volt /feltételes valószínűség), felírhatjuk a következő egyenlőséget:

$$H(Y|X) = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N^{\circ}} p(x_i) p(y_j|x_i) \log p(y_j|x_i)$$

Ez a kifejezés a kilépőjelek halmazának feltételes entrópiáját jelöli abban az esetben, ha a belépő jelekről rendelkezünk információval.

A belépő jelek halmazának, a forrásnak a feltételes entrópiáját pedig a kilépő jelek ismeretében a következő kifejezés adja meg:

$$H(Y|X) = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N^{\circ}} p(y_i) \cdot p(x_i|y_i) \cdot \log p(x_i|y_i)$$

Más szavakkal a $H(Y|X)$ a kilépő jelek bizonytalanságának mértéke a belépő jelek ismeretében, a $H(X|Y)$ a belépő jelek átlagos bizonytalanságának mértéke a kilépő jelek ismeretében.

Ha a csatorna zajmentes, biztos, hogy amikor a csatornába x_i lép be, akkor a csatorna másik végén y_j lép ki, tehát $p(y_j|x_i) = 1$ és

$$H(Y|X) = H(X|Y) = 0.$$

Ha pedig nincs információátvitel (a zaj teljesen megsemmisíti a hasznos jeleket), az x_i ismerete semmilyen információt nem nyújt az y_j -re vonatkozólag, és fordítva:

$$p(y_j|x_i) = p(y_j),$$

$$p(x_i|y_j) = p(x_i).$$

Ebben az esetben

$$H(Y|X) = H(Y)$$

$$H(X|Y) = H(X)$$

Zajos csatornán átvitt információ mennyiségét az alábbi képlet adja meg:

$$T(X,Y) = H(Y) - H(Y|X)$$

vagy

$$T(X,Y) = H(X) - H(X|Y).$$

A két kifejezés egyenértékű. Bizonyítását mellőzzük. Az érdeklődő olvasó megtalálja ezt többek között Reza „Bevezetés az információelméletbe” című könyvének harmadik fejezetében (Reza, 1966).

Ha tökéletes az átvitel, $H(X|Y) = 0$, akkor

$$T(X, Y) = H(Y) = H(X),$$

ha pedig a csatornán nem jut át az információ,

$$H(YX) = H(Y), \text{ illetve } H(X|Y) = H(X)$$

és

$$T(X, Y) = 0.$$

A $H(Y|X)$ és a $H(X|Y)$ függvény tehát az információátvitel tökéletlenségének, az információveszteségnek a mértéke. Előbbi (angolul ambiguitynek nevezik) a csatornában levő zajra, hibára utal, utóbbi pedig (angolul equivocation) a többértelműség mértékét jelenti, vagyis hogy milyen pontosan tudjuk meghatározni az információ tartalmát a kimenet ismeretében.

A $p(y_j|x_i)$ feltételes valószínűségek $P(Y|X)$ mátrixát, amely azt mutatja meg, mekkora valószínűséggel számíthatunk a kimenetelnél y_j jelentkezésére, ha a bemenetelnél x_i lép be, a csatorna zajkarakterisztikájának nevezzük. Ezt a mátrixot szokták megadni a csatorna jellemzésére. A zajkarakterisztika tulajdonképpen az átmenet valószínűségének a mátrixa.

A hírközlés gazdaságossága szempontjából nagyon fontos kérdés, hogy az információ milyen sebességgel halad át a csatornán. Ha a zajmentes csatornában valamely x_i jel továbbításához t_i időre van szükség, akkor az átvitel sebessége

$$V = \frac{H(X)}{t_{\text{átl}}} = \frac{\sum p(x_i) \log \frac{1}{p(x_i)}}{\sum p(x_i) t_i} \text{ bit / s.}$$

Ez a kifejezés tulajdonképpen az adás sebességét adja meg. Zajmentes csatorna esetén (amikor is a $P(Y|X)$ mátrix négyzetes, azaz $N = N'$ és csak a főátló menti elemei különböznek 0-tól) V egyenlő az átvitel sebességével is.

A maximális átviteli sebességet a csatorna kapacitásának nevezzük:

$$C = V_{\text{max}} = \frac{H(X_{\text{max}})}{t_{\text{átl}}} = \frac{\log N}{t_{\text{átl}}} \text{ bit / s.}$$

A zajos csatorna kapacitása pedig:

$$C = \frac{T(X, Y)_{\text{max}}}{t_{\text{átl}}} = \frac{H(X)_{\text{max}} - H(X|Y)}{t_{\text{átl}}} \text{ bit / s.}$$

A csatornán átjutó információmennyiség rendszerint nem éri el a maximumot, s így a csatorna kapacitásának egy része kihasználatlan marad. A kapacitás és a ténylegesen átvitt információ különbségének az arányát a csatorna redundanciájának nevezzük. (A csatorna redundanciája nem pusztán műszaki jellemzője a csatornának. Amint a következő fejezetben látni fogjuk, függ a kódolástól is).

A hírközlési csatornákkal kapcsolatban ismerkedjünk meg még két fogalommal. A sáv-szélesség az a frekvenciasáv (rezgésszám tartomány), amelyen belül a csatorna a rezgéseket lényeges torzítás nélkül átviszi. A jel/zaj viszony, vagy zajnívó a hasznos jel és a zaj teljesítményének az aránya. Minél nagyobb a hasznos jelek energiája, annál biztosabb a vétel. Ha nagy utcazajban kis energiával suttogunk, nagy lesz az információveszteség.

Az elektrotechnikai hírtovábbító csatorna kapacitását ezeknek a mennyiségeknek a függvényében is kifejezhetjük. Ahhoz, hogy a csatorna kapacitása C legyen, az alábbi feltételeket kell biztosítani:

$$C = 2WT \ln\left(1 - \frac{P}{N}\right)$$

A képletben W a csatorna sávszélessége, P a hasznos jel teljesítménye, N a zaj teljesítménye, T az átviteli idő. Láthatjuk, hogy a zajos csatorna kapacitása, az átvihető információmennyiség a zaj mértékétől függ.

A távközlésnek, adatátvitelnek - talán úgy mondhatnánk - soha el nem érhető ideálja: maximális sebességgel, maximális pontossággal, megbízhatósággal maximális mennyiségű információt átvinni. A műszaki fejlődés egyre közelebb visz ehhez a célhoz, de a végeredményben egymással ellentétes követelményeket csak kompromisszumokkal lehet összeegyeztetni, s be kell érünk azzal, hogy a vett információ alapján a leadott információt egy előre meghatározott biztonsági tényezővel rekonstruálni tudjuk. Erről a kérdéstről a következő fejezetben lesz szó.

KÓDOK

Az információ ezer alakban jelenhet meg, ám minden csatorna csak jól meghatározott típusú, a csatornára nézve specifikus információkat tud továbbítani. Az üzenetet azért mindig olyan jelekké kell átalakítanunk, amelyek a rendelkezésünkre álló csatornán átvihetők. (Természetesen ha van rá lehetőség, fordítva is eljárhatunk, közleményünkhöz kiválasztjuk a megfelelő csatornát). Ez az azonban ritkábban fordul elő. A jelek átalakítását kódolásnak nevezzük. Ha egészen pontosak akarunk lenni, azt kell mondanunk, hogy a kommunikációban mindig átkódolást végzünk, sőt legtöbbször az üzenetet két-háromszor is át- és visszaalakítjuk. Ha például az információ forrása az ember, az első átkódolás akkor zajlik le, amikor a gondolatainkat, amelyek az agynak nevezett információfeldolgozó és -tároló berendezésben valamilyen formában el vannak raktározva, szabályos nyelvi formába öntjük. A második akkor, amikor beszédhanggá alakítjuk. Adott kommunikációs szituációban legtöbbször a kommunikációs láncnak csak egy szakaszát vizsgáljuk, s így teljes joggal beszélhetünk az illető szakaszra vonatkozó kódolásról.

Az információt a tároláshoz is át kell alakítani. (Végül is a tárolás azt jelenti, hogy az információt nem térbeli, hanem időbeli csatornára bízunk). Nemcsak a csatorna, sokszor a címzett adottságai teszik szükségessé az üzenet átkódolását, főleg az ember - ember kommunikációban.

Kódolással az információátvitelben még két, egymással ellentétes célkitűzést lehet megvalósítani: a redundancia csökkentésével növelni lehet az átvitel sebességét, vagy éppen ellenkezőleg, a redundancia növelésével javítani lehet az átviteli biztonságot.

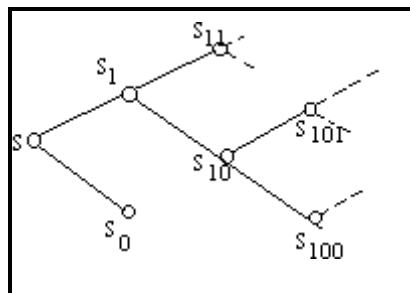
A csatornáról szólván, már beszéltünk a zajról, amely az üzenetet fenyegeti. A kódolásnál és dekódolásnál is fellép a zaj, becúszó hibák az üzenetek érthetőségét veszélyeztetik. Ha például a kártya- vagy szalaglyukasztó gép hibásan perforálja egy betű kódját, az ember hibás jelet üt le, beszéd közben szót téveszt, az üzenet eltorzul. Vagy amikor egy szöveget egyik nyelvről egy másik nyelvre fordítunk, nagyon könnyen becúszzhat egy-egy leiterjakab. (Lásd Karinthy Herz-féle szalámiját). Ezek a hibák a rendszertorzítás kategóriájába tartoznak, s elméletileg teljesen kiküszöbölhetők.

Ezen a bajon Morse úgy segített, hogy a betűk közé szünetet iktatott be. Az egyértelműséget azzal fizette meg, hogy hosszabbá tette az üzenetet. Baudot más megoldást választott: minden betűnek azonos hosszúságú kódjelet feleltetett meg. Így az üzenetet egyértelműen tagolni lehet, viszont ezzel a módszerrel is hosszabbá is válik.

A változó kódhossz sokkal gazdaságosabb, mivel lehetőség van arra, hogy figyelembe vegyük a forrásábécé jeleinek gyakoriságát, s a gyakrabban előforduló jeleket rövidebb, a ritkábban előfordulókat hosszabb kódjelekkel kódoljuk. Ezt tette Morse is: az angol nyelv betűgyakorisága alapján állította össze ábécéjét. A gazdaságosságnak van még egy feltétele: az, hogy a betűk minden elválasztás nélkül egyértelműen dekódolhatók legyenek. Ez a feltétel csak akkor teljesül, ha úgynevezett prefix tulajdonságú, irreducibilis kódot alkalmazunk. Ilyen az a kód, amelyben a kódszók mind különböznek, s egyiket sem kaphatjuk meg a másiktól kódjelek utánairásával, azaz egyik kódszó sem folytatása a másiknak: az állandó kódhosszúságú kódok mindig irreducibilisek, ha a kódszavak különböznek.

Változó hosszúságú irreducibilis kódot legkönnyebben úgynevezett kódfa segítségével szerkeszthetünk. Fának nevezzük az olyan irányított gráfot, melynek egy kitüntetett szögpontjából, a kezdőpontból ágak indulnak ki. Ezek a későbbi szögpontokban ismét elágazhatnak, de újra nem találkozhatnak. Azokat a szögpontokat, amelyekből már nem indulnak ki élek, végpontoknak nevezzük. A kezdőpontot a végponttal összekötő ágak hosszát az őket alkotó élek száma adja meg.

Bináris prefix tulajdonságú kódot egy olyan fával szerkeszthetünk, amelynek kezdőpontjából és minden szögpontjából - amely nem végpont -, két ág indul ki. Az alsó ághoz rendeljük mindig a 0-t, a felsőhöz az 1-et. Osszuk a forrás jelkészletét két részhalmazra, az egyiket rendeljük a 0 ághoz, a másikat az 1 ághoz, s az eljárást folytassuk mindaddig, amíg a részhalmazok már csak egy-egy elemet tartalmaznak. Így minden végpont egy-egy kódszónak felel meg, s pontosan annyi végpontunk lesz, ahány kódszóra szükségünk lesz, azaz ahány jeltől áll a forrásábécé. Minden kódfa prefix tulajdonságú kódot ábrázol, ha csak a végpontokhoz rendelünk kódszót.



3. ábra Bináris kód fadiagrammja

Legyen a forrásjelek halmaza $S = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$.

A kódfat a 3. ábrán láthatjuk. (Ha a szögpontokból nem két, hanem három, vagy több ágat indítunk ki, három stb. elemű kódot állíthatunk elő).

A forrásábécét sokféleképpen oszthatjuk részhalmazokra. Például úgy is, ahogy fent tettük, hogy rendre egy-egy jelet választunk le. Minden elméleti megfontolás nélkül észrevevessük, hogy így a kódfa rendkívül aszimmetrikus. S ez az aszimmetria összefüggésben van a kód hatásfokával. Ha például a fenti esetekben a négy forrásjel előfordulási valószínűsége egyenlő

$$p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = \frac{1}{4}, \text{ a forrás entrópiája } H = \log n = 2 \text{ bit.}$$

A kódolt üzenet átlagos jelhossza pedig:

$$L = 1 \cdot \frac{1}{4} + 2 \cdot \frac{1}{4} + 3 \cdot \frac{1}{4} + 4 \cdot \frac{1}{4} = \frac{9}{4} \text{ bit.}$$

Mivel lineáris kódról van szó, a jelek száma egyenlő a bitek számával.

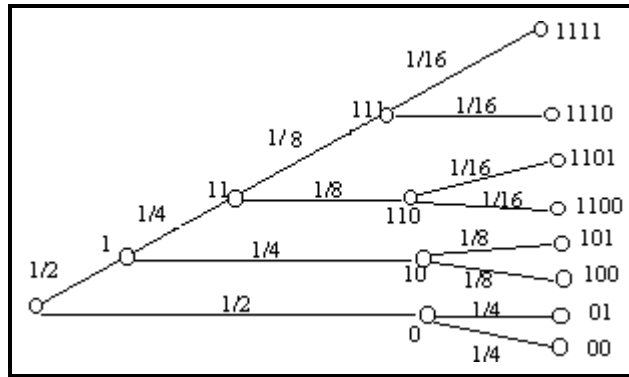
A cél az, hogy a közleményt minél kevesebb jellel továbbítsuk, azaz minden jel a lehető legtöbb információt hordozza. Tudjuk, hogy az egy jelre jutó átlagos információ akkor a legnagyobb, ha a jelek valószínűsége egyenlő. Ezen a megfontoláson alapulnak a különböző kódolási eljárások. Az alábbiakban a Shannon-Fano féle kódolási eljárást ismertetjük.

Legyen X a forrásábécé jeleinek halmaza és P a jelekhez tartozó valószínűségeké:

$X=$	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
$P=$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$

Írjuk fel a forrásjeleket valószínűségük csökkenő sorrendjében, és osszuk fel két, lehetőleg egyenlő részhalmazra. Az egyik részhalmazhoz rendeljük hozzá a 0-t, a másikhoz az 1-et, majd a felosztást folytassuk mindaddig, amíg mindegyik részhalmaz csak egy-egy elemet tartalmaz. A részhalmazokhoz természetesen minden felosztásnál hozzárendeljük a 0-t és az 1-et. Az eljárást az alábbi táblázat és kódfa szemlélteti.

Jel	Valószínűség		
x_1	$\frac{1}{4}$	x_1	00
			0
x_2	$\frac{1}{4}$	x_2	01
x_3	$\frac{1}{8}$	x_3	<u>x_3 100</u>
			10
x_4	$\frac{1}{8}$	<u>x_4</u>	<u>x_4 101</u>
x_5	$\frac{1}{16}$	x_5	<u>x_5 1100</u>
			110
x_6	$\frac{1}{16}$	x_6	<u>x_6</u>
			11
x_7	$\frac{1}{16}$	x_7	<u>x_7 1110</u>
			111
x_8	$\frac{1}{16}$	x_8	x_8 1111



4. ábra A Shannon - Fano-féle eljárással készített kód kódfája.

Lássuk milyen lesz ebben az esetben a kódolás hatásfoka?

A forrás entrópiája:

$$H = -\left(\frac{1}{2} \log \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \log \frac{1}{8} + \frac{1}{4} \log \frac{1}{16}\right) = 2\frac{3}{4} \text{ bit.}$$

A kódolt forrásjelek átlagos hossza (az egy jelre jutó jegyek átlagos száma)::

$$\bar{L} = P(x_i)L_i = \frac{1}{2} \cdot 2 + \frac{1}{4} \cdot 3 + \frac{1}{4} \cdot 4 = 2\frac{2}{3}$$

Mínt hogy a fenti példában a forrásjeleket sikerült úgy csoportosítani, hogy a részhalmazok valószínűségei rendre egyenlők legyenek $\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$ a kódolt közlemény jelenkénti entrópiája 1 bit, s a kódolás hatásfoka 100% lett. Ha a forrásjeleket nem lehet egyenlő valószínűségű részhalmazokra osztani, a Shannon - Fano-eljárással nem érhető el a 100%-os hatásfok, de jól megközelíthető.

A kódolásnál nagyon fontos szempont a gazdaságosság. A távközlő berendezések üzemeltetése pénzbe kerül, s teljesítőképességük is korlátozott. A cél tehát az optimális kódolás. Az üzenet annyi és csak annyi jelet tartalmazzon, amennyi szükséges. Minden felesleges jel többletköltséget jelent. A kódszavak hosszát a lehető legkisebbre kell csökkenteni. Ennek azonban határt szab az egyértelmű dekódolhatóság igénye, hiszen amint a példaként adott kódfáról leolvasható, ha egy betűt 0-val kódolunk, a többinek a kódja már csak egy 1-gyel kezdődhet stb. S a másik baj, hogy az optimálisan kódolt üzenet, amelyben minden jel maximális információt hordoz, teljesen védtelenül ki van szolgáltatva a zajnak. Zajos csatornában - márpedig tudjuk, hogy a valóságban minden csatorna zajos - az átviteli biztonságot csak a redundancia növelésével lehet biztosítani.

A redundancianövelés azt jelenti, hogy olyan jeleket adunk az üzenetben, amelyek nem tartalmaznak új információt, vagy amelyek nem az üzenet tartalmára vonatkozó információkat hordoznak, de lehetővé teszik a hibák felismerését és kijavítását. Másképp fogalmazva: mivel a zaj csökkenti a csatorna kapacitását, a redundáns jelek hozzáadásával az időegységenként átvitt jelek hasznos információtartalmát annyira csökkentjük, amennyit a csatornán a zaj mellett át lehet vinni.

A legegyszerűbb, de legkevésbé gazdaságos megoldás, ha az egész üzenetet, vagyis minden jelet megismételnek. Ebben az esetben a redundancia 50%-os.

A redundancia növelésének másik módszere, hogy a jelentéshordozó jelekhez ellenőrző jeleket adnak. Ha például az üzenet jeleit négyjegyű kódszavakkal kódolják, a négy jegyhez még három ellenőrző jegyet kapcsolnak, mégpedig úgy, hogy a hét bináris jel összege, ha az átvitel hibátlan volt, mindig páros legyen. Ha az eredmény páratlan, nemcsak az derül ki, hogy a kódszó hibás, hanem az is, hogy melyik jel volt a ludas. Példaként ismertetjük H. W. Hamming amerikai matematikus hibajavító kódját. A tíz decimális számjegy bináris kódolásához négy jelre van szükség ($2^3=8$; $2^4=16$). A négy információt hordozó jelhez három ellenőrző - úgynevezett paritás-ellenőrző - jegyet adnak, mégpedig a következőképpen:

- ha az első három helyértéken az egyesek száma páratlan, az E helyértékre 1-es kerül;
- ha az első, második és negyedik helyen páratlan az egyesek száma, az F helyértékre kerül 1-es;
- ha az első, harmadik és negyedik helyen páratlan az egyesek száma, akkor a G helyértékre kerül 1-es.

decimális jegy	A	B	C	D	E	F	G
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1	1
2	0	0	1	0	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	0
4	0	1	0	0	1	1	0
5	0	1	0	1	1	0	1
6	0	1	1	0	0	1	1
7	0	1	1	1	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	0

A hiba felderítése a következőképpen történik: egy ellenőrző áramkör minden kódszó vétele után három összeget határoz meg:

$$A + B + C + E = S_1$$

$$A + B + D + F = S_2$$

$$A + C + D + G = S_3$$

Ha az átvitelben nincs hiba, mindhárom összeg páros. Ha csak az egyik összeg hibás (páratlan), a hiba az ellenőrző helyértékben van. Ha két összeg hibás, a hiba abban a helyértékben van, amelyik a két összegben szerepel, de a harmadikban nem.

A fenti példák természetesen csak ízelítőt adhattak a kódolás elméletéből és gyakorlatából, hiszen az elmúlt évtizedekben a kódoláselmélet igen gyorsan fejlődő önálló diszciplínává vált. Az információátvitel biztonságát a berendezés szerkezetének és működésének bonyolításával is lehet növelni (visszacsatolással stb.) Végeredményben így is, úgy is a redundanciát növeljük. S ez természetesen növeli az átvitel költségét. Hogy meddig kifizetődő a redundancia növelése, az mindig attól függ, mekkora pontosságra van szükség. Az úrhajózásban például nyilván sokkal nagyobb redundanciát kell alkalmazni, mint a városi telefonbeszélgetésben. Hogy milyen nagy mértékben sikerült növelni az információátvitel biztonságát, azt az úrkutatási eredmények bizonyítják (Laeser et al., 1987).

INFORMÁCIÓ ÉS ENTRÓPIA

1961-ben Shannon elmesélte Myron Tribusnak, hogy amikor azóta híressé vált egyenletét levezette, komoly gondot okozott neki, milyen nevet adjon a „gyermeknek”. „Először információnak akartam nevezni, de ez a szó túlságosan meg volt terhelve. Így elhatároztam, hogy „bizonytalanságnak” fogom nevezni. Amikor a kérdést megvitattam Neumann Jánossal, jobb ötlete volt. „Nevezze entrópiának - mondta. Két okból. Először is az ön bizonytalansági függvénye a statisztikus mechanikában ezen a néven szerepel, így hát van már neve. Másrészt, s ez a fontosabb, senki sem tudja, hogy igazából mi is az entrópia, s így, ha vitára kerül sor, ön mindig előnyben lesz.” (Tribus - McIrvine, 1971). (Más források helytelenül Wienernek tulajdonítják a keresztapaságot).

Hogy mennyi az igazság Neumann János ironikus megjegyzésében, arra még visszatérünk. (Most csak annyit, hogy az entrópia már csak azért is titokzatos mennyiség, mert nincs róla közvetlen tapasztalatunk, mindennapi életünkben csak rejtett szerepe van, közvetlenül nem mérhető és az energiával ellentétben nem megmaradó mennyiség.) Először azonban vizsgáljuk meg, vajon a termodinamikai és információelméleti entrópia között a formai azonosságon kívül van-e mélyebb összefüggés.

Hogy a kérdést megválaszolhassuk, elevenítsük fel az entrópiával kapcsolatos ismereteinket.

En = -ban, -ben, -ba, belé; troposz = fordulat, irány, helyzet; antroposz = önmagába fordulás.

A szót Clausius alkotta annak az állapotjelzőnek a megnevezésére, amelynek segítségével sikerült a termodinamika második főtételét matematikai formába öntenie.

A második főtétel triviálisnak mondható tapasztalati tényeket emel törvényerőre. Azt, hogy hidegebb testről melegebbre hő önként megy át. És azt, hogy - Kelvin megfogalmazásában - minden önként végbemenő folyamatnál bizonyos munka kárba vész, termikus energiává alakulva szétszóródik, disszipálódik. Ezért van az, hogy a természetben önként végbemenő folyamatok egyirányúak, megfordíthatatlanok, irreverzibilisek. Míg munka vagy bármilyen energiatípus teljes egészében hővé alakítható, a hő átalakítása más energiatípussá csak részben lehetséges. A hőt ugyanis a többi energiatípussal szemben a rendezetlenség jellemzi. (Szokás éppen ezért az energiatípusokat rangsorolni: a mechanikai és elektromos energia magasrendű, a hő alacsonyrendű energia.)

Clausius az entrópia bevezetésével egzakt matematikai formát adott a második főtételnek. Egy rendszer entrópiájának változását a következő képlet adja:

$$dS = \frac{dQ}{T},$$

ahol a dS = entrópiaváltozás; dQ = felvett hőmennyiség; T = abszolút hőmérséklet.

A második főtétel azt mondja ki, hogy magára hagyott zárt rendszerben az entrópia vagy nő - ameddig a rendszer az egyensúlyi állapotot eléri -, vagy állandó marad - ha a rendszer egyensúlyi állapotban van -, de csökkenni sohasem csökkenhet. A természetes folyamatok mindig az entrópiánövekedés irányába mennek végbe.

Schrödinger így fogalmazta meg az entrópia mibenlétét: „Mi az entrópia? Először is hangsúlyozni szeretném, hogy nem ködös fogalomról vagy elgondolásról, hanem ugyanolyan mérhető fizikai mennyiségről van szó, mint... adott kristály olvadáshője vagy bármely adott test fajhője. Az abszolút zérus fok hőmérsékletén minden anyag entrópiája zérus. Ha a kérdéses anyagot lassú, megfordítható kicsiny lépésekben bármilyen más állapotba visszük, az

entrópia olyan mennyiséggel nő, amelynek nagysága úgy számítható ki, ha a kérdéses folyamat során a testnek szolgáltatott kis hőmennyiségeket osztjuk azzal az abszolút hőmérséklettel, amelyben a hőátadás történt, s az így kapott kis tagokat összegezzük.” (Schrödinger, 1945).

Az entrópia és a rendezetlenség összefüggése a statikus termodinamikában tudatosult. Ennek a tárgykörnek egyik alapfogalmát, a termodinamikai valószínűséget Boltzmann vezette be és kapcsolta össze az entrópiával.

Az érzékszervek számára összefüggőnek tűnő anyag mikrorendszerek sokaságából áll. Ezek állapota határozza meg az anyag, az objektum mikroállapotát. Több különböző mikroállapot eredményezheti ugyanazt a makroállapotot. Az adott makroállapotot megvalósító különböző mikroállapotok száma arányos (egyenlő) az illető makroállapot termodinamikai valószínűségével. Szemléltetésül álljon itt egy egyszerű példa:

Egy zárt edényt, amelyben négy különböző természetű gázmolekula található, osszunk három egyforma cellára. A négy molekula különbözőképpen oszolhat meg a cellák között. A rendszer makroviselkedése szempontjából mindegy, melyik molekula melyik cellában van, csak az a fontos, hogyan oszlanak meg. Példánkban a rendszer 15 makroállapotban létezhet, s ezekhez különböző számú mikroállapot tartozhat. Nevezzük a molekulákat a, b, c, d-nek.

A 4, 0, 0 megoszlás csak háromféleképpen valósulhat meg: mind a négy molekula a három cella valamelyikében van, s mindegyik makroállapothoz csak egy mikroállapot tartozik:

I.	II.	III.
abcd	0	0
0	abcd	0
0	0	abcd

A 3,1,0 megoszlás hat mikroállapot-típust jellemez, s ezek egyenként négy-négy mikroállapot révén valósulnak meg:

I.	II.	III.
abc	d	0
abd	c	0
acd	b	0
bcd	a	0

A 2, 2, 0 megoszlásnak három makroállapot felel meg, s ezekhez egyenként hat mikroállapot tartozik:

I.	II.	III.
ab	cd	0
ac	bd	0
ad	bc	0
bc	ad	0
bd	ac	0
cd	ab	0

A 2, 1, 1 megoszlás révén létrejövő makroállapotok száma szintén három, de ezeket külön-külön tizenkét mikroállapot valósíthatja meg:

I.	II.	III.	I.
II.	III.		
ab	c	d	bc
a	d		
ab	d	c	bc
d	a		
ac	b	d	bd
a	c		
ac	d	b	bd
c	a		
ad	b	c	cd
a	b		
ad	c	b	cd
b	a		

Az egyes mikroállapot-típusok előfordulási valószínűségeinek aránya tehát 1:4:6:12. A 2, 1, 1, megoszlás tehát tizenkétszer gyakrabban fog előfordulni, mint a 4, 0, 0 megoszlás. Az előbbi a legvalószínűbb, mert a legegyszerűsebb és a legrendezetlenebb. A molekulák számának növekedésével a termodinamikai valószínűségek közötti különbség rohamosan nő. Kilenc molekula esetén a 9, 0, 0 és a 3, 3, 3 megoszlások gyakorisága már úgy aránylik egymáshoz, mint 1 az 1680-hoz.

Ha háromcellás rendszerünk 100 molekulát tartalmazna, a lehetséges mikroállapotok száma kb. $14 \cdot 10^{27}$ lenne. Ha elfogadjuk, hogy minden mikroállapot egyenlő valószínűségű, a rendszer végigmegy minden mikroállapoton, amelyek időtartama legyen 10^{-9} mp, akkor is 300 milliárd év telik el, ameddig mindegyik sorra kerül. (Egy köbcéntiméter gázban nem száz, hanem kb. $3 \cdot 10^{19}$ molekula van!) S mivel az egyszerűsebb, rendezetlenebb megoszláshoz sok-sok nagyságrenddel több mikroállapot tartozik, mint a lényegesen rendezettebb állapotokhoz, könnyen belátható, hogy rendszerünk, ha békében hagyjuk, nagyon hamar ilyen állapotba kerül, s nagyon ritkán és nagyon rövid időre távolodhat el észrevehető mértékben az ilyen állapotoktól.

A valóságban a dolgok természetesen nem ilyen egyszerűek. A részecskéket nemcsak térbeli helyzetük, hanem energiájuk stb. is jellemzi. A termodinamikai valószínűség meghatározása sokkal bonyolultabb. A lényegét azonban a fenti leegyszerűsített modell is jól tükrözi.

A magára hagyott rendszerben végbemenő makrováltozások a nagyobb termodinamikai valószínűségű állapotok felé vezetnek. A fenomenologikus termodinamika fogalmaival kifejezve a magára hagyott rendszer entrópiája egy maximális érték felé közeledik. Az S entrópia és a W termodinamikai valószínűség közötti összefüggést Boltzmann képlete adja meg (ezt a képletet a síremlékére is felvésték):

$$S = k \cdot \ln w,$$

ahol S = entrópia k = Boltzmann-féle állandó; w = termodinamikai valószínűség, vagy másképpen:

$$S = -k \cdot \ln p \quad p = \frac{1}{w}$$

A mikroállapotok megvalósulásának valószínűségei csak akkor egyenlők, ha energiaállapotuk egyenlő. Energiára nyitott rendszerekre Gibbs írta fel az általánosabb egyenletet:

$$S = -k \sum p_i \ln p_i,$$

ahol p_i az i -edik mikroállapot energiafüggő valószínűsége. Zárt rendszerekben Gibbs képlete Boltzmann képletére egyszerűsödik. (Szinte magától kínálkozik a párhuzam a Hartley - Shannon összefüggéssel).

Az entrópia tehát a termodinamikai valószínűségeken keresztül a rendezetlenséghez kapcsolódik, s annak mértékeként fogható fel. S ha mármost a „termodinamikai valószínűség” kifejezést az „anyagi rendszer állapotának valószínűsége” kifejezéssel helyettesítjük, egy általánosabb entrópiafogalomhoz jutunk, amely alkalmas bármely tömegjelenség jellemzésére.

Az információ - mint láttuk - szoros kapcsolatban van a bizonytalansággal és a választással. Ahogy A. I. Akcsurin megfogalmazta: „Mindenütt, ahol különböző lehetőségek léteznek, amelyek közül csak egy realizálódik, van értelme információról beszélni, információról, amit a megvalósult lehetőség hoz magával”. (Akcsurin, 1965).

„Az entrópia a rendszer rendetlenségi fokának mértéke, míg az információ szervezettségének mértéke”, mondotta Norbert Wiener. Az információ, amikor a bizonytalanságot megszünteti vagy csökkenti, „rendet terem”, növeli a rendezettséget, szervezettséget. S minél nagyobb egy rendszer rendezettsége, annál több információt szolgáltat.

Azt, hogy az entrópiánövekedés információvesztéssel jár, szemléletesen tehetjük egy egyszerű példával. Egy gáztartályt válaszfal oszt ketté. A tartály egyik felében gáz van, a másikban vákuumot létesítünk. A kísérlet kezdetén tudjuk, hogy a gázmolekulák a tartály melyik felében vannak. Ha a válaszfalat eltávolítjuk, a molekulák az egész belső teret bejárhatják, s most már nem tudunk válaszolni arra a kérdésre, hogy hol vannak, a tartály jobb vagy bal felében. Ugyanez történik akkor is, amikor két gázt keverünk össze. A fal eltávolítása előtt tudtuk, hogy az A gáz molekulái a tartály jobb, a B gáz molekulái a bal felében vannak. Miután a válaszfalat eltávolítottuk, s a gázok összekeveredtek, csak azt tudjuk, hogy a tartály mindkét felében találunk mindkét gáz molekuláiból. A rendszerben entrópiánövekedés és információcsökkenés ment végbe, s csökkent ennek következtében a rendszerről megszerezhető információ. Az is világos, hogy a hőközlés, miközben növeli a rendszer entrópiáját, információvesztést okoz, mivel a hőmozgás növekedésével csökken a rendszerbeli információ, s így a rendszerről megszerezhető információ is.

A két entrópia - a termodinamikai és shannoni információelméleti entrópia - azonossága ilyenformán plauzibilisnek tűnik. Ahogy L. Gatlin megfogalmazta: „Shannon egyenlete kiemelte az entrópia fogalmát a termodinamika szűk keretéből, amelyben létrejött, és az általános valószínűségi eloszlások világába emelte.” (Gatlin, 1972). De vajon ez az összefüggés kifejezhető-e kvantitatíve, egzakt matematikai formában?

A kérdés gyökerei visszanyúlnak Maxvell „hírhedt” démonáig. A nagy fizikus The Theory of Heat című könyvében a következő gondolati kísérletét írta le:

„... ha elképzelünk egy olyan tökéletes képességekkel bíró lényt, amely minden egyes molekula pályáját követni tudja, akkor ez a mienkhez hasonló véges tulajdonságokkal rendelkező lény képes lesz arra is, ami jelenleg számunkra megvalósíthatatlan. Azt ugyanis tudjuk, hogy egy egyenletes hőmérsékletű levegővel teli edényben a molekulák korántsem azonos sebességgel mozognak... Tételezzük fel, hogy egy ilyen, két - A -val és B -vel jelölt - részre

osztott edény válaszfalán kis lyuk van, melyet az egyes molekulákat érzékelni képes lény oly módon nyit és zár, hogy A -ból B -be csak a gyorsabban mozgó molekulákat engedi át, míg B -ből A -ba csak a lassúbbakat. Ezáltal, ellentmondásban a termodinamika második főtételével, munkabefektetés nélkül megnöveli B és lecsökkenti A hőmérsékletét”. A lényt a fizikusok csakhamar Maxwell „démonának” keresztelték el, mivel tevékenységével alaposan felforgatta a természet rendjét. Ha létezne, ha létezhetne egy ilyen lény, az emberiségnek nem lenne szüksége energiaforrásokra.

Sok fizikus viaskodott a „démonnal”, s próbálta bebizonyítani, miért nem képes a „démon” a Maxwell által leírt módon működni. Bizonyításaik azonban rendre mind tévesnek bizonyultak.

Szilárd Leó is „felvette a kesztyűt”. Tanulmányában ő mutatott rá először, hogy a démonnak (= értelmes lénynek) a molekulák szétválasztásához mérést kell végeznie, s bár a mérés valóban csökkenti a rendszer entrópiáját, ezt a csökkenést a mérés végrehajtását kísérő entrópiánövekedés kompenzálja. Minden elemi mérés, amely egy elemi alternatívára adott válasznak felel meg, $k \cdot \ln 2$ entrópiaváltozást eredményez (Szilárd, 1929).

Szilárd Leó dolgozata közzétételekor visszhangtalan maradt. Az információ még nem került az érdeklődés homlokterébe. Shannon tanulmányának megjelenése után azonban az entrópia és információ közötti összefüggés vizsgálata időszerűvé vált. A legalaposabban Léon Brillouin francia fizikus és az Angliában élt Nobel-díjas Gábor Dénes foglalkozott a kérdéssel. Kimutatták, hogy a démonnak ahhoz, hogy megfigyelhesse a molekulákat, fényforrásra van szüksége. Olyan fényforrásra, amelynek hőmérséklete magasabb, mint a gázé (másképp nem észlelhetné a molekulákon szóródó fotonokat). A fény gerjesztése viszont entrópiánövelő folyamat, s így a gáz entrópiacsökkenése csak a környezet entrópiánövelésével valósítható meg. Brillouin a problémát általánosítva megállapította, hogy minden mérés, kísérlet révén nyert információ csökkenti a megfigyelt rendszerben a bizonytalanságot, határozatlanságot, tehát az entrópiát. Ezt az entrópiacsökkentést (a nyert információt) negentrópiának (negatív entrópia) nevezte el. (Az információ negentropikus elve). A negentrópiáért azonban negentrópiával kell fizetni. Amennyivel csökken a rendszer entrópiája, legalább annyival, de inkább többel nő a környezeté (Brillouin, 1954, 1962).

Idézzük magát Brillouin-t: „Számos kísérlet eredményeit vitattuk meg, és egy általános következtetésre jutottunk: az információ negentropikus elvéhez, amely szerint a fizikai megfigyelés útján nyert információért mindig az entrópia laboratóriumi növekedésével fizetünk. Az entrópia általános növekedése nagyobb, mint az ugyanazon egység által befogadott információ mennyiség”.

Valamely rendszer megfigyelésekor a megfigyelő kölcsönhatásba lép a rendszerrel, s ez megváltoztatja a rendszer energiáját. Ez a kérdés azonban nem módosítja az előbb mondottakat.

És amikor már úgy tűnt, hogy végleg sikerült elkergetni a démont, s világossá vált az információs entrópia és termodinamikai entrópia közötti összefüggés, új bonyodalmak támadtak. A számítógépes adatfeldolgozás termodinamikai vonatkozásainak tanulmányozása arra a meglepő eredményre vezetett, hogy nem az információ átírása (ez a lépés felel meg a Szilárd-féle mérésnek vagy a démon által végzett megfigyelésnek), hanem a tár kiürítése az irreverzibilis folyamat. Idézzünk Charles H. Bennet cikkéből a Scientific Americanból: „Landauer bizonyítását a következő tétellel kezdi: a számítógép különböző logikai állapotait a gép hardverjének különböző fizikai állapotai kell, hogy megvalósítsák. Így például a számítógéptár minden lehetséges állapotát más fizikai elrendezés képviseli (azaz más áramfeszültség- és mezőértékek és így tovább).

Tegyük fel, hogy kitörlünk egy n bites tárregisztert, vagyis más szavakkal: a tár minden egyes helyének értékét, függetlenül korábbi értékétől nullára állítjuk be. A művelet megkezdése előtt a tár egésze 2^n darab állapot valamelyikében lehetett. A művelet elvégzése után a tár csak egyetlen állapotban lehet. A művelet tehát a sok logikai állapotot egygé sűrítette össze, hasonlóan ahhoz, ahogy a dugattyú sűríti a gázt.

Landauer kiindulópontja szerint a számítógép logikai állapotának sűrítéséhez fizikai állapotát is sűríteni kell, vagyis csökkenteni kell hardverjének entrópiáját. A második főtétel szerint a hardver entrópiájának csökkentése csak úgy hajtható végre, hogy egyidejűleg megfelelő mértékben növeljük a számítógép környezetének entrópiáját. Ennélfogva nem törölhetünk ki egy tárregisztert anélkül, hogy eközben ne keltenénk hőt, és azt ne adnánk hozzá a környezet entrópiájához. A tár törlése termodinamikailag irreverzibilis” (Bennet, 1987).

A démonnak tehát nem egy új molekula megfigyeléséhez, hanem a régi eredmény elfelejtéséhez van szüksége termodinamikai befektetésre (feltételezve, hogy a démon memóriája véges kapacitású). A logikus következtetés: az információnak negatív értéke is lehet. A kérdést részletesebben Bennet egy korábbi írásában tárgyalja (Bennet, 1982).

Az információ tehát nem más, mint negentrópia, az entrópia pedig negatív információ, információhiány, a rendszer tényleges állapotára vonatkozó információ hiánya.

Az információ és az entrópia közötti számszerű összefüggést a $-\frac{1}{k \ln 2}$ szorzótényező adja meg:

$$H = -\frac{1}{k \ln 2} S \quad \text{és} \quad S = -Hk \ln 2.$$

Az információ-entrópiaegyenértékét a következőképpen adhatjuk meg: a legegyszerűbb termodinamikai rendszer, melyre a shannoni egyenletet alkalmazhatjuk, egyetlen molekulát tartalmaz, amely két egyforma rekesz valamelyikében tartózkodhat, s mindkét rekeszben azonos valószínűséggel fordulhat elő: $p_1 = p_2 = \frac{1}{2}$. Ennek a rendszernek az entrópiája:

$$S = -k \ln 2 \text{ joule/kelvin} = 10^{-23} \text{ joule/kelvin}$$

Mivel egy ilyen bizonytalanság feloldásához 1 bit információ szükséges, következik, hogy 1 bit információhoz 10^{-23} joule/kelvin entrópiaváltozást lehet társítani.

Természetesen ezt a számot csak határértéknek tekinthetjük, hiszen minden konkrét esetben a körülmények döntenek el, hogy ma az információnyereségért mennyi negentrópiával kell fizetnünk. (Rendszerint az egyenértéknél többet).

Hogy az információelméleti és termodinamikai entrópia közötti viszonyt kézzelfoghatóbbá, világosabbá tegyük, hívjuk segítségül az információfüggvények a 13-as képletben kifejezett tulajdonságát:

$$I(p_1 + p_2) \leq I(p_1) + I(p_2).$$

A statisztikus termodinamika a rendszert felépítő elemi összetevőkkel számol, amikor viszont a rendszert információelméleti szempontból vizsgáljuk, az elemeket tetszőleges, tőlünk függő szinten határozzuk meg (lehetnek többé-kevésbé összetett részrendszerek, nagyszámú termodinamikai „jel” halmazai), s így az előbbi összefüggés értelmében a rendszer entrópiája kisebb lehet, mint az elemi összetevőkből álló rendszeré. Ezzel magyarázhatjuk, hogy egy írott szöveg entrópiája sokkal kisebb, mint a tintáé, amely a betűket hordozza (Atlan, 1975). A DNS molekulát alkotó nukleotidok (l. A genetikai információ c. alfejezetben) információ-

tartalma jóval kisebb (2 bit nagyságrendű), mint a termodinamikai entrópiája, mivel előbbit a 4 nukleotid szintjén számítjuk, utóbbit az energetikai mikroállapotok szintjén.

A két entrópia közötti összefüggés lehetővé teszi, hogy az információt a fizikai mennyiség státusával ruházzuk fel. S az a tény, hogy híres fizikai paradoxonokat sikerült a segítségével megoldani (Maxvell démonja, Szilárd jól sikerült hőgépe), bizonyítja, hogy az összefüggés nemcsak formai. Végül is mind a két elmélet elemi részekből álló rendszerek valószínűségi leírásával foglalkozik. És az S függvényt úgy is felfoghatjuk, mint a H függvény sajátos esetét.

Nagyon kicsi szám ez a 10^{23} . Azt gondolhatnánk, hogy gyakorlatilag el is hanyagolható. Valamikor így is volt. Amikor a társadalom információs csatornáin kevés hír áramlott, s az is lassan, nem volt érdekes, mibe kerül. Napjainkban azonban, s még inkább holnap, az információs társadalomban, amikor minden pillanatban a bitek trilliói áramlanak a világ egyik sarkából a másikba, s amikor a klasszikus nyersanyag- és energiaigényes technológiákat mindinkább az információigényes technológiák váltják fel, ez a kis szám is nagyon fontossá válik. (A tömeg-energia ekvivalencia is csak akkor vált gyakorlatilag fontossá, amikor az atommag energiájának felszabadítása napirendre került.)

S Brillouin és Atlan azt is bebizonyította, hogy mikroszkopikus biológiai rendszerekben, amelyekben igen nagy mennyiségű információ közlekedik, ez az egyenérték nem elhanyagolható a rendszerek energiamérlegében (Brillouin, 1954, Atlan, 1975).

Az entrópia-információ átválthatóságának lehetősége egyes szerzőket merész, már-már a tudományos-fantasztikus irodalom területére kívánczó hipotézisek felállítására készítette. M. M. Tribus és E. C. McIrvine kiszámította, hogy az elektromágneses sugárzás, amelyet a Nap juttat a Földre, a két égitest hőmérséklet-különbsége alapján negentrópiába átszámítva másodpercenként 10^{38} bit információ gerjesztését tenné lehetővé. Ha ezt a mérhetetlen tömegű információt az emberi tevékenységben hasznosítanánk, megoldódnának az emberiség anyagi gondjai (Tribus - McIrvine, 1971).

Ha jobban belegondolunk, nem is olyan fantasztikus a hipotézis. Hiszen tény, hogy Földünkön a Nap által biztosított negentrópia-fluxus egyre jobb hatásokkal hasznosul. Az élet, majd a tudat megjelenésével kicsi világunk a szervezetségnek, a rendezettségnek egyre magasabb fokára jutott. Az ember minden új alkotása, minden új ismeret a rendet növeli. A kutató megfigyelések, mérések útján információkat gyűjt valamilyen jelenségről. Ezeket az információkat feldolgozza, kapcsolatot, megfeleléseket állapít meg közöttük, s addig ismeretlen természeti törvényt határoz meg. A törvény alapján a mérnök új gépet konstruál, ami eddig nem létezett, s amit a természet soha nem hozott volna létre, mivel termodinamikailag instabil. Főleg az elmúlt száz évben gyorsult fel az ismeretek nagyfokú felhalmozódásával a negentrópia-növekedés. Természetesen a mérleg másik serpenyőjében ott találjuk a másik folyamatot az entrópia-növekedést. Azt a paradoxonnak tűnő megállapítást kockáztatjuk meg, hogy Földünk „emberszférájának” mint rendszernek az entrópiája csökken, de a részrendszereiben fellépő entrópia-növekedések ezt a csökkenést állandóan veszélyeztetik. Ilyen szemzőből vizsgálva világossá válik az emberi tevékenység Janus-arcúsága. Míg egyik oldalon növeli a rendet, a negentrópiát, a másik oldalon a nyersanyag- és energiakészletek felélésével, a környezet megfordíthatatlan károsításával, a háborús pusztításokkal az entrópiát növeli. Az emberiségnek mind nagyobb árat kell fizetnie azért, hogy ne a részrendszerek entrópiánövelő tendenciái kerüljenek túlsúlyba. S itt kap óriási szerepet az információ. Az információs technológiák széles körű alkalmazásával lehetővé válik a társadalmi folyamatok ésszerűbb negentropikus irányítása. Ha Tribusék sok nagyságrenddel tévedtek, még akkor is van bőven, információ-tartalék.

Az igazság kedvéért azonban azt is meg kell mondanunk, hogy nem mindenki ért egyet a termodinamikai és információelméleti entrópia azonosításával. K. Denbigh véleménye szerint Neumann János nagyon rosszul tette, hogy Shannonnak az entrópia elnevezést javasolta. A tudomány ennek csak kárát látta (Denbigh, 1982).

Collin Cherry szerint az entrópia matematikai fogalom, alkalmazásának szabályai pontosan meg vannak határozva. Csak leíró módon a rendetlenség mértéke, s ugyanúgy leíró módon az információ az ellentéte, rendet visz a rendetlenségbe. Olyan, „mint” a negatív entrópia. De minden hasonlóság csak a képletek között van. És ami a kutatást illeti, a mikroszkópba néző tudós nem hasonlít a telefonon beszélgető emberhez. A Természet Anya nem jelek vagy nyelv segítségével kommunikál velünk (Cherry, 1966).

Jeffrey S. Wicken úgy véli, hogy bár mind a shannoni, mind a boltzmanni egyenlet a bizonytalanságot fejezi ki, a kétféle bizonytalanság gyökeresen különbözik egymástól. Míg a statisztikus termodinamikában a bizonytalanság a rendszer alapvető sajátossága, sohasem tudhatjuk, hogy éppen melyik mikroállapotban van, mivel sztochasztikusan fluktuál a lehetséges mikroállapotok között, addig az információelméletben a bizonytalanság nem ilyen értelemben játszik szerepet. Azt fejezi ki, hogy egy adott üzenet egy a lehetséges üzenetek közül, amelyeket a jelrendszer elemeiből össze lehet állítani. Miután az üzenet összeállt, a bizonytalanság megszűnik. A termodinamikában a makroállapot a mérhető realitás, a mikroállapot nem mérhető elméleti konstrukció, az információelméletben - amelyben egyébként nem létezik a makroállapot - mikroállapot dichotómia - a mikroállapotnak megfelelő üzenet a mérhető konkrétum, s az elképzelhető üzenetek összessége az elméleti konstrukció. Az entrópiának csak a termodinamikában van értelme, jelentése. Shannon képlete nem ezt, hanem a struktúra kapcsolatainak komplexitását méri. Wicken véleménye szerint az olyan kifejezések, mint „rendezetlenség”, „szervezetlenség”, csak elködösítik az entrópia fogalmának tisztaságát (Wicken, 1987).

Ezek a vélemények ugyanakkor igazolni látszanak Neumann Jánost: az entrópia nem is olyan világos fogalom.

A információfüggvény időbeli változásával, az információ és idő összefüggésével is sok szerző foglalkozott. Brandon például a nem egyensúlyi termodinamika fogalmait alkalmazta az információelméletben. Brillouin negentrópia elvére alapozva, az entrópia-termelés sebességét, mint az információ-termelés sebességét fejezte ki. Ez utóbbi pozitív, amikor az alábbi negatív. Ezen az alapon sikerült meghatározni az információtermelés sebességét egy élő membránban:

$$\frac{dH}{dt} = k \frac{dN}{dt} \ln \frac{C_0}{C_1} + Nk \frac{d}{dt} \ln \frac{C_0}{C_1},$$

ahol a C^0 , C^1 = az áramlás által fenntartott stacionárius állapot alacsonyabb és magasabb koncentrációja.

Atlan javasolta, hogy az információtermelés becslését használják fel a biológiai idő mérésére egy szervezeten belül, környezetének fizikai idejéhez viszonyítva. (Atlan, 1975).

INFORMÁCIÓ ÉS FILOZÓFIA

Az információ, ez a sokdimenziós és még nem egy szempontból ismeretlen jelenség akkor került a filozófia érdeklődési körébe, amikor átlépve a matematikai információelmélet kereteit, mind több tudományágban „tűnt fel”, s mennyiségi vonatkozásai mellett fontossá kezdtek válni minőségi aspektusai is.

Ahogy Jiří Zeman megfogalmazta: az információ nem csak matematikai, hanem filozófiai fogalom is, nemcsak mennyiség, hanem minőség is (Zeman, 1975). J. Koblitz pedig továbbmegy, az információ szerinte tágabb értelemben filozófiai kategória (Koblitz, 1979).

A filozófiát - mint más tudományágak esetében is - két kérdéskör érdekli:

- az információ ontológiai meghatározása: mibenléte, jellege, eredete, helye a világban;
- az információ ismeretelméleti kapcsolatai: információ és megismerés, információ és tudat viszonya.

A kérdésekre nincs egységes válasz. A filozófusok, az információ kutatói nem jutottak még közös nevezőre egyik kérdésben sem. S a vita nemcsak a különböző világnézetek képviselői között folyik - ez a filozófiában természetes lenne -, hanem a táborokon belül is.

Információ és ontológia

Előjáróban idézzünk egy 1975-ös megállapítást; „Az információ problémájával kapcsolatban a mai tudományban az a helyzet, hogy nincs alapvető egyetértés a tekintetben, mi alkotja az információ általános fogalmát. Ha eltekintünk a szerzők szándékától, azt mondhatjuk, hogy az információ egyetlen értelmezése sem képes valamennyire is egységbe foglalni az információ sokféle megjelenését” (Urszul, 1975). Sajnos ez a megállapítás ma is érvényes (A bevezetőben már utaltunk a hasonlóságra, amely az energia múlt századi és az információ mai helyzete között fennáll.)

Lássunk néhány véleményt az információ mibenlétéről.

Elsőként álljon itt Shannon társszerzőjének, W. Weavernek, a jeles matematikusnak a megfogalmazása:

„Ebben az elméletben az információ szót speciális értelemben használjuk és ezt nem szabad összekeverni a szó szokványos értelmével. Különösen ügyelni kell arra, hogy az információ nem tévesztendő össze a jelentéssel.

Valójában két üzenet, melyek közül az egyiknek nagy a jelentéstartalma, míg a másik merő képtelenség, ebből a szempontból, az információt tekintve, teljesen egyenértékű lehet. Ez kétségtelenül ugyanazt jelenti, mint amit Shannon a következőképpen fogalmazott meg: „A hírköz-lés szemantikai vonatkozásai műszaki szempontból teljesen közömbösek.” Ez azonban nem jelenti azt, hogy a műszaki vonatkozások szükségképpen közömbösek a szemantika szemszögéből.

Fontos tisztázni, hogy az információ szó a hírközléselelméletben nem annyira arra vonatkozik, amit mondunk, hanem inkább arra, amit mondhatunk, azaz az információ egy üzenet kiválasztásában rejlő szabad választásunk mértékét jelöli” (Weaver, 1975).

Akcsurin a következőket írja: „Az információ fogalma a lehetőség és a valóság filozófiai kategóriáival kapcsolatos. Mindenhol, ahol különböző lehetőségek léteznek, amelyek közül csak egy realizálódik, van értelme beszélni információról, amelyet ez a megvalósult lehetőség hoz magával” (Akcsurin, 1965).

Wiener véleménye: „Az információ az információ, nem anyag és nem energia” (Wiener, 1948). Emellett természetesen adott pontosabb meghatározást is: „Információ az a tartalom, amelyet a környezettel alkalmazkodásunk folyamatában kicserélünk” (Wiener, 1954).

Ashby, a kibernetika másik nagy klasszikusa az információt a sokféleség mértékéként határozza meg: „Ha a sokféleséget a logaritmikus formájában mérjük, egysége a bit.” (Ashby, 1970).

Zeman és Morozov ezen az alapon állítja, hogy az információ a sokféleség visszatükrözése (Zeman, 1962, Morozov, 1967)

Ugyanakkor Zeman az információt úgy értelmezi, mint az anyagi valóságnak azt a tulajdonságát, hogy önszerveződésű, szervezethez hasonló megőrzésre és növelésre is képes. A rendszereket véleménye szerint az információsűrűséggel lehet jellemezni. Minél szervezettebb egy rendszer, annál nagyobb az információ sűrűsége.

Guscsin véleménye szerint az információ negatív entrópiás rendszer, amely más rendszerekre hatást gyakorol. Ennek következtében az utóbbiak szerkezeti elemei közé kerül az előbbi hasonló eleme (Guscsin, 1956).

Kalmár László meghatározása így szól: „Az információ nem más, mint anyagi rendszerek állapotának vagy a bennük végbemenő folyamatoknak többé-kevésbé teljes tükrözése egy másik anyagi rendszerben, (amely speciális esetben lehet része is az előzőnek)” (Kalmár, 1963).

Rigó Jácson szintetikus meghatározása: „Az információ az anyagi rendszereknek az a potenciális tulajdonsága, hogy más anyagi rendszerekkel aktív kölcsönhatásba lépve önmaguk strukturális adottságainak és a másik rendszer hasonló adottságainak megfelelő visszatükrözési folyamatot hoznak létre. Ennek során a rendszerek kölcsönösen átveszik (beépítik) egymás funkcióinak elemeit, amellyel gazdagítják saját struktúrájukat és funkcionális „gazdagodást” nyernek”. Majd tovább: „A rendszerek egymásra gyakorolt hatásának az a része információ, amely a felvevő rendszerben rendezettséget hoz létre vagy azt fenntartja, tehát a szervező hatás. Ez nem valamely anyagfajta vagy energia. Mibenléte hasonlítható a tudatéhoz, amennyiben a tudat sem azonosítható az aggyal, hanem annak működési eredménye. Az információ a bonyolult rendszerek vagy részrendszerek egymásra gyakorolt hatásának - mint „működésük” - eredménye” (Rigó, 1983).

Paisley a hétköznapi értelmezést formalizálva az információt részlegesen azonosítja a gondolkodás struktúrájában bekövetkező változással: „Információ minden inger, amely a befogadó kognitív struktúráját megváltoztatja. Amit a befogadó már tud, az nem változtatja meg a kognitív struktúrát, az nem információ” (Paisley, 1980).

Hayes, mint láttuk, az információt az adatfeldolgozás függvényében értelmezi: „Az információ az adatoknak (rögzített szimbólumoknak) az a tulajdonsága, amely feldolgozásuk hatását reprezentálja” (Hayes, 1991).

Még néhány meghatározás-kísérlet:

„Információn értünk minden olyan jelekben kifejezett állítást, amely a közlő és a felvevő számára egyaránt értelmezhető”.

„Az információ valamely szövegnek olyan struktúrája, amely alkalmas arra, hogy változást idézzen elő a befogadó képstruktúrájában.”

„Az információ olyan közvetlen tapasztalat, megfigyelés vagy olyan közvetett, mások által már felfedezett tapasztalat megértésén alapuló ismeret, amely hozzájárul a gondolatoknak valamely alkotóelv szerinti rendezéséhez, problémák megoldásához, csökkenti a döntések bizonytalanságát, kockázatának mértékét, általában az entrópiát”.

„Az információ kölcsönösen egymásra ható objektumok kommunikációjának objektív tartalma, amely ezen objektumok állapotának megváltoztatásában nyilvánul meg”.

Bőven van tehát meghatározás (Schrader a fogalomnak 134 értelmezését említi (Schrader, 1986), de sajnos hiányzik a meghatározás.

K. W. Otten véleménye szerint a meghatározásokat az jellemzi, hogy az információnak csak egy-egy aspektusát tükrözik, s azok a kísérletek, amelyek szélesebb, átfogóbb definíciót igyekeztek kidolgozni, nagyrészt semmitmondó általánosságokba fulladnak (Otten, 1975).

Mi az oka ennek a zűrzavarnak?

Elsősorban és főleg az, hogy az információ szavunk nagyon sok, egymástól első látásra nagyon távol eső jelenséget jelöl, s jelentésszintjeit filozófiai, köznapi és egyéb értelmezések, értékelések bonyolítják. A statisztikai-matematikai információ, a társadalmi információ különböző formái, az élettelen természetben fellelhető (?) információ annyira különböznek egymástól, hogy egyes szkeptikus vélemények szerint elvileg sem lehet kivonni belőlük egy általános információfogalom jegyeit (Goffmann, 1970).

A már idézett Erik Hollnagel szerint nincs is szükség nagyon pontos meghatározásokra ahhoz, hogy tudományos szinten tudjunk foglalkozni az információtudomány körébe tartozó jelenségekkel. Ilyenekre - véleménye szerint - csak a természettudósoknak van szüksége (Hollnagel, 1980).

S hogy mégis létezik, léteznie kell egy ilyen általános fogalomnak, hogy az információ az objektív valóság eleme, arra bizonyíték a különböző fajtájú információk egymásba való átalakíthatósága, átkódolhatósága, invarianciája a csatornával szemben.

Az eltérő meghatározások, értelmezések mögött természetesen a szerzőknek az információ eredetére, mibenlétére vonatkozó eltérő nézetei rejlenek. Véleményük, felfogásuk alapján az információtudomány képviselőit nagyjából négy csoportba sorolhatjuk. Az elsőbe tartoznak azok, akik az információt - a köznapi értelmezéshez közelállóan - az ismerettel, esetenként a dokumentumokban rögzített, „kódolt” adattal vagy közleménnyel azonosítják. A második csoportot azok alkotják, akik a fogalmat a matematikai információelmélettel kötik össze, s ilyen értelemben beszélnek hírről, közlésről. Rényi Alfréd ezen az alapon megkülönbözteti a szűkebb és tágabb értelemben vett információelméletet (Rényi, 1964). A harmadik csoportba sorolhatjuk azokat a filozófusokat, információtudósokat, akik az információt önálló léttel bíró szubsztanciaként határozzák meg. S végül a negyedik csoport: azok a filozófusok, akik az információ lényegét az emberi lét dimenzióiban, az emberi kapcsolatokban keresik.

Fejezetcímünk értelmében az utóbbi két csoportot kell figyelembe vennünk.

Az információtudomány sok képviselője azt a nézetet képviseli, hogy az információ anyagi természetű, s az élettelen természetben is létezik. Egyesek szerint mint az anyag attribútuma, akár az idő, a tér, a mozgás. Mások az anyagi rendszerek kölcsönhatásából származtatják. Paul Constantinescu energia-információ dualizmusról beszél, amely az anyag két elválasztha-

atlan attribútumát tükrözi, a mozgást és a szervezethez. Az energiát úgy értelmezhetjük, mint a mozgáshoz, az információt mint a szervezethez rendelhető mértéket (Constantinescu, 1982).

Ha elfogadjuk azt a koncepciót, hogy az információ az élettelen természetben is létezik, szembe kell néznünk azzal a ténnyel, hogy a szervetlen anyagok birodalmában nem találkozunk az információ néhány meghatározó attribútumával, mivel nincs célt feltételező irányítás-vezérlés, az információ nem nyilvánul meg, mint fentebb láttuk, nincsenek szemantikai-pragmatikai vonatkozásai, jelentése, nincs önmagában haszna, csak valamely magasabb rendű megfigyelő szempontjából, nincs információfeldolgozás, kódolás, csak információátvitel van. Urszul úgy oldja fel ezt a dilemmát, hogy az információ többféle megjelenési formáját feltételezi. Az élettelen természetben az információ legelemibb formájával, a nem kibernetikus információval találkozunk. Mivel a szervetlen anyagi rendszerekben a tulajdonságok, attribútumok nem válnak ki a kölcsönhatásból, s hiányoznak a sajátos információs terhet hordozó szerkezetek, ezek a rendszerek az információt szerkezetükben hordják, abban halmozódnak fel, s ez mint szervezethez, összetettség jelentkezik. A szerkezeti információ felhalmozódásával, a szervezethez növekedésével megjelennek az önszervező rendszerek (már a szervetlen anyag szintjén), majd az irányítási, vezérlési folyamatok s a kibernetikai információ. Az emberi társadalom kialakulásával pedig az információnak egy új formája jelenik meg: az ideális információ. Ez az anyagi információ tükröződése az emberi gondolkodásban, reális, de nem anyagi (Urszul, 1975).

Más vélemények szerint az információ az élő anyag attribútuma. Balogh István ezt írja: „A jel és információ az anyag egyik attribútumának, a mozgásnak sajátos, az élő világban kialakuló, külön anyagi formát öltő megnyilvánulása” (Balogh, 1979).

Az információtudósok másik csoportja az információ fogalmát kizárólag az emberi szférára vonatkoztatja, s visszautasítja azokat az elképzeléseket, amelyek a fogalmat a valóság minden területére kiterjesztik. Természetesen itt is számos irányzatot, áramlatot találunk.

B. C. Brookes az információt a popperi „három világ” elképzelés keretében értelmezi. (1. a fizikai tárgyak és helyzetek világa, 2. a tudat és szubjektív ismeretek világa, 3. az emberi gondolkodás és tevékenység által teremtett kultúra és az objektív ismeretek világa, mindazok a „műtárgyak” (artefacts), amiket az ember a művészetben, tudományban, technikában létrehozott). Az információ a 2. világban keletkezik, de objektív formában a 3. világban ölt testet. Az információ és a tudás nem fizikai, hanem fizikán kívüli entitás - véli Brookes -, amely csupán a kognitív (mentális vagy információs) térben létezik. Brookes munkája az információtudomány kognitív megalapozásaként tekinthető (Brookes, 1980). A kognitív szemlélet az információ intrinszc összekapcsolódik az emberi tudás struktúrájával (Belkin, 1990).

Az egzisztencialista megalapozású információtudomány arra a tételre épül, hogy alapvetően nyitottak vagyunk, a kommunikáció, mint a közös világ megosztása, sajátos vonása világban való létezésünknek. Az információ az egzisztencialista hermeneutika értelmében a közös világ tematikai és szituációs megosztását jelenti. Ilyenformán nem a reprezentációs folyamat végterméke, vagy valami, ami egyik agyból a másikba szállítódik, hanem a világban másokkal együttlétezésünk egzisztenciális dimenziója (Capurro, 1991).

Ezek lennének tehát - nagyon vázlatosan - a különböző vélemények az információ ontológiai aspektusáról.

Információ és ismeretelmélet

Az természetes, hogy az információnak vannak ismeretelméleti vonatkozásai, hiszen a megismerés, az ismeretszerzés információs folyamat, információ fel- és átvételéből és feldolgozásából áll.

Az információelmélet mondanivalója az ismeretelmélet számára Rigó megfogalmazásában: „Az anyagi rendszereknek megvan az az objektív tulajdonságuk, hogy kölcsönhatás során képesek önmaguk állapotáról információt továbbítani más rendszerek számára. Ez a tulajdonság ismeretelméletileg úgy értékelendő, hogy az embernek lehetősége van az objektív valóság jelenségeiről információkat szerezni” (Rigó, 1983).

Az ismeretelmélet és az információtudomány különösen az elmúlt évtizedekben került igen szoros kapcsolatba egymással. A mesterséges intelligencia kutatása, s ezzel kapcsolatban az ún. ismerettechnológia (knowledge engineering), a kognitív tudomány kialakulása, az agy- és idegrendszer kutatásának új irányjai az ismeretelmélet számára is fontos kérdéseket vizsgálnak és oldanak meg.

A KIBERNETIKA

A kibernetika a matematikai információelmélet ikertestvére. Ikertestvére, mert egy időben születtek, s azért is, mert mindkettőjük „lelke” az információ.

Hogy továbbra is az antropomorf metaforánál maradjunk, a kibernetika is többéves kihordás után született. A harmincas évek végén a Harvard Egyetemen a jeles kutató orvos, A. Rosenblueth körül informális, baráti csoport alakult különböző szakterületek fiatal kutatóiból. Összejöveteleiken a kutatás módszertani kérdései mellett - az akkor már csírázni kezdett interdiszciplináris szemlélet jegyében - a szaktudományok közötti határterületek kérdéseiről vitatkoztak. Felismerve, hogy a matematika az a közös nyelv, amely kapcsolatot teremthet a szaktudományok között, meghívták társaságukba Norbert Wienert, az akkor már nagy hírű matematikust. Megbeszéléseik egyik eredménye az volt, hogy intenzív kutatómunkába kezdtek az élettani folyamatok fizikai és matematikai modellezése terén. A kutatások meggyőzően bizonyították, hogy sok idegéletti folyamat, az élő szervezet idegi szabályozása nagy hasonlóságot mutat a műszaki berendezésekben alkalmazott szabályozókörök működésével.

Ezekkel a kutatásokkal párhuzamosan Wiener részt vett annak a kutatócsoportnak a munkájában, amely a hadsereg megbízásából - javában folyt a második világháború - nagyteljesítményű számítógép szerkesztésén dolgozott (a cél a légvédelmi ágyúk automatikus vezérlése volt). Vizsgálódásainak eredményeképpen kidolgozta a számítógépek felépítésének elméleti alapjait, és tisztázta az önszabályozás elvi kérdéseit.

A társadalomtudományokban is mind többen ismerték fel ebben az időben a különböző emberi és állati társadalmi képződmények rendszerjellegét, a kommunikációs kapcsolatok alapvető szerepét és a hasonlóságot az automaták vezérlési-szabályozási folyamataival.

A három irányzat végül találkozott. A tudós megbeszélések mind szélesebb körben folytak, mind több tudományág képviselői csatlakoztak az új irányzathoz: matematikusok, fizikusok, fiziológusok, pszichológusok, antropológusok, mérnökök. S lassan körvonalazódtak egy új tudomány - az élő és élettelen önműködő rendszerek működésének, vezérlésének közös sajátosságait vizsgáló tudomány - alapjai. 1947-ben az új diszciplína nevet is kapott.

„Elhatároztuk, hogy az önműködő vezérlésnek, illetve a hírközlés elméletének az egész területét, akár gépről, akár emberről van szó, a kibernetika névvel fogjuk jelölni, amelyet a görög kibernetész, vagyis kormányos szóból képeztünk. E kifejezés választásával azt is szeretnénk elismerni, hogy a visszacsatolási mechanizmusról szóló első jelentős tanulmány az a regulátorok-ról szóló dolgozat, amelyet Clark Maxwell 1868-ban publikált, az eredeti angol címben szereplő governor kifejezés tulajdonképpen a kibernetész szónak egy latinosított módoszata. Szeretnénk utalni arra a tényre is, hogy a hajó kormány szerkezete valóban a visszacsatolási mechanizmusok egyik legkorábbi s legjobban kifejlesztett formája” - írta később Wiener (Wiener, 1948).

(Megjegyezzük, hogy a szót átvitt értelemben először Ampère használta a tudományok osztályozásában, annak a tudománynak a megjelölésére, amely az államvezetéssel, az állam kormányzásával foglalkozik.)

Bár sokan bábáskodtak a kibernetika születésénél, világrajötte vitathatatlanul és egyértelműen Wienernek köszönhető. Ő dolgozta ki elvi alapjait, módszertanát, jelölte ki helyét a tudományok között s művében, a Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine-ban ő mutatta be a széles körű tudományos közönségnek. A könyv nagy feltűnést keltett, s eszméi gyorsan terjedtek az egész világon.

Mi a kibernetika?

Wiener szerint „az élő szervezetben és a gépben történő kommunikációnak és vezérlésnek az elmélete”. Ezt a meghatározást Robert Trappl a következőképpen bővítette ki: „A kibernetika a gépekben, élőlényekben és szervezetekben végbemenő kommunikáció, számítás (computation) és vezérlés tudománya, technikája és művészete” (Trappl, 1983).

Egy másik sommás meghatározás szerint a kibernetika a hatékony szervezés tudománya.

Más oldalról nézve azt mondhatjuk: a kibernetika tárgya a legszélesebb értelemben vett információfeldolgozás, a funkcionális modellezést alkalmazza mint fő kutatási módszert, és az elektronikus számítógépre támaszkodik mint fő kutatási eszközre.

Természetesen egyetlen tudomány lényegét sem lehet egy mondatban kifejezni. Talán jobban meg tudjuk közelíteni oly módon, hogy számba vesszük a legfontosabb alapfogalmakat, amelyekkel operál.

A legfontosabb a rendszer. Ennek a fogalomnak is számos meghatározása ismeretes. Az egyik a sok közül: egymással együttműködő elemek (alkotórészek) olyan együttese, amelyben minden elem kapcsolatban van legalább egy másikkal, s ezek a kapcsolatok a fő meghatározói a rendszer viselkedésének. A struktúra - szerkezet - az a mód, ahogyan az elemek összekapcsolódnak. Amikor ez utóbbit az előbbi szinonimájaként használják, azt jelzi, hogy a vizsgálat tárgya a rendszer felépítése. A kibernetika a rendszereknek csak egy bizonyos kategóriájával, a dinamikus, önszabályozó, automata rendszerekkel foglalkozik, s ezeknek sem konkrét anyagi megvalósulásával, szerkezeti elemei milyenségével, hanem működési módjával. (Ezért magát a rendszert sokszor „fekete dobozként” kezeli.)

Három rendszertípus van, amely a kibernetikust különösen érdekli: a biológiai rendszerek (főleg az idegrendszer és az agy), a társadalmi és gazdasági rendszerek, és a vegyes, gépekből és emberekből álló rendszerek.

Azáltal, hogy a kibernetika a rendszerek általános tulajdonságait, működési módját, organizációs elveit tanulmányozza, megteremti számos szakterület közös terminológiáját, a közös nyelvet, s a közös elemek feltárásával új lendületet ad az egyes szaktudományok fejlődésének.

A társadalmi-gazdasági-műszaki fejlődés mai szintjén az egyszerű különálló rendszerek helyett egyre inkább a sok alrendszerből összeszerveződött rendszerek és szuperrendszerek tanulmányozása kerül előtérbe. A probléma abból adódik, hogy ma már általánossá vált a felismerés: a rendszerek bizonyos méreten felül irányíthatatlanná válnak. Az összefüggések kiszámításánál fellép a számíthatósági robbanás. Vámos Tibor szerint ezt négy tényező határozza meg.

Az első a kombinatorikai robbanás: minden új elem belépésével a számítási szükséglet az elem sorszámával nő.

A második összetevő abból adódik, hogy a rendszerek olyan új tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyekkel elemeik nem rendelkeztek. Néhány tucat hangból vagy betűből a szavak százait lehet összeállítani, amelyek jelentése, értelme a különálló hangok vagy betűk jelentéséből és egymásaitól is különbözik, a szavakból mondatok megszámlálhatatlan sokaságát lehet összeállítani, a mondatokból pedig végtelen sok szöveget, s ezek mind mást jelentenek, mint elemeik.

A harmadik összetevő a rendszerek időbeli viselkedése. Nagyon sok olyan rendszer van, amely nem determinisztikus s még csak nem is ergodikus, várható állapotait és/vagy azok valószínűségeit csak a közeli jövőre lehet előre látni.

A negyedik összetevő a jelenségekben, a rendszerek viselkedésében nagyon gyakran fellépő nemlinearitás: a válasz nem arányos a hatással. Emberek, embercsoportok, de fizikai rendszerek is egy darabig lineárisan viselkednek, vagy ha nem is lineárisan, de - egy viszonylag egyszerű modell szerint - kiszámíthatóan, ám egy határon túl már egészen kis hatás is váratlan viselkedésmódosulást válthat ki („az utolsó csepp a pohárban”).

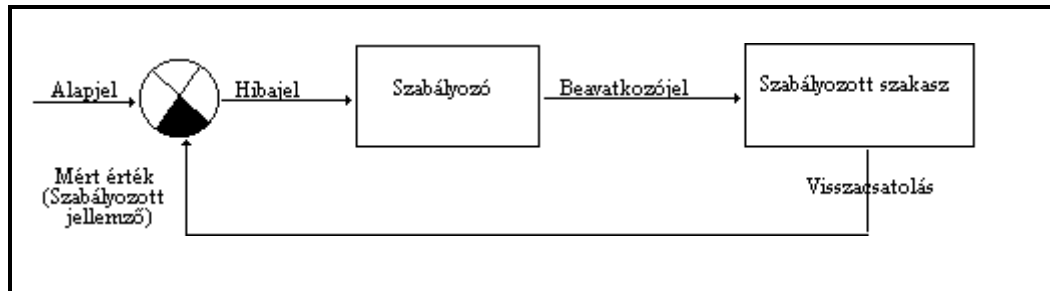
Ezek az összetevők együttesen azt eredményezik, hogy a rendszerek irányíthatatlanná válnak, s ez kaotikus helyzetet teremthet (Vámos, 1983).

A természetes rendszerek némelyikét csak jelentéktelen mértékben tudjuk megváltoztatni (vagy csak jelentéktelen mértékben szabad befolyásolnunk), ezeket csupán tanulmányozni tudjuk. De a műszaki, gazdasági, társadalmi rendszereket már lehet módosítani. Az eddigi tapasztalatok, kutatási eredmények azt mutatják, hogy nem a közvetlen irányítású centralizált rendszerek s nem is a hierarchikus felépítésű rendszerek jelentik a megoldást, hanem a hálózatszerűen összekapcsolódó kooperatív rendszerek. Az elemek között információs kapcsolatok működnek, s ezt az információtechnológia fejlődése a legmesszebbmenően lehetővé teszi. A rendszer szervezésének ez a módja fogja jellemezni az információs társadalmat. A kibernetika feladata egyre inkább az ilyen típusú rendszeregyütteseknek a tanulmányozása lesz, tervezésük, kiépítésük lehetőségei, módszerei - hogy csak néhányat említsünk a felmerülő kérdésekből -, működésük, stabilitásuk, irányíthatóságuk feltételei.

De térjünk vissza az alapfogalmakhoz.

A kibernetika a vezérlés és szabályozás tudománya. A vezérlés a rendszer vagy folyamat irányításának az a módszere, amely figyelmen kívül hagyja az eredmény ellenőrzését. Úgy is szokták mondani, hogy a vezérlés a rendszerre mereven hat. Csak akkor alkalmazható, ha nincs semmilyen zavaró tényező, s a működési paraméterek a kívánt határok között maradnak. Ellenkező esetben szabályozásra van szükség. Ennek legfontosabb eleme a visszacsatolás: a rendszer működésére vonatkozó információkat visszavezetik a szabályozó szervbe, amely összehasonlítja az előírányzott értékkel, s eltérés esetén beavatkozik, módosítja a rendszer működését.

Negatív visszacsatolásról beszélünk akkor, ha a módosítás az eltérés csökkentését célozza, pozitív visszacsatolásról pedig akkor, amikor a beavatkozás a különbség növekedését idézi elő. Az előbbi a rendszer stabilitását biztosítja. A természetben, technikában, társadalomban többnyire a szabályozásnak ezzel a formájával találkozunk. Ilyen például a melegvérű állatok szervezetének hőszabályozása, ilyen volt Watt gőzgépének szabályozása, a gazdasági életben ilyen a piac árszabályozó mechanizmusa. A pozitív visszacsatolás előbb-utóbb a rendszer megsemmisüléséhez vagy átalakulásához vezet. (Új faj, új társadalmi rendszer jön létre).



5. ábra Szabályozási kör

Bár a visszacsatolást a gyakorlatban évszázadok óta alkalmazták, Wieneré az érdem, hogy felismerte jelentőségét és egyetemes voltát az élő és élettelen rendszerekben.

A kibernetika fő kutatási módszere a modellalkotás. „Mindenki állandóan modelleket használ. Az embert körülvevő világ mentális képe, amit a fejében hord, modell. A kérdés az, hogyan válasszunk az alternatív modellek között” - írja J. Forrester (Forrester, 1968).

A modellezés elve azt jelenti, hogy egy folyamatot vagy egy rendszer működését más léptékben és más eszközökkel is meg lehet valósítani, mint amilyenek az eredeti rendszerben szerepelnek, feltéve, hogy a modellt alkotó elemek egymással ugyanolyan (vagy eléggé hasonló) funkcionális kapcsolatban vannak, mint az eredeti rendszer megfelelő elemei. Az ilyen modellt azután fel lehet használni a rendszer viselkedésének tanulmányozására. Amikor kommunikálunk például, a mentális modellt a nyelv segítségével szimbolikus formává alakítjuk át, s a beszédben az implicit modellt - az éppen megkívánt pontossággal - egy explicit modellel fejezzük ki.

A rendszerelemzésben gyakran alkalmaznak matematikai modelleket, amelyekben a változók és egyenletek írják le a rendszert. Ezek a modellek természetesen a céltól függően leegyszerűsítik és szelektíven ábrázolják a valóságot. Használhatóságuknak az a feltétele, hogy a kiválasztott változókkal homomorfok legyenek. A modellek lehetővé teszik bonyolult, komplex biológiai, műszaki, gazdasági, társadalmi rendszerek tanulmányozását, működésük megértését, előre látását. A modelleken vizsgálni lehet, milyen következményekkel járnak egyes változók módosításai stb. Az elektronikus számítógépek elterjedése óriási lehetőségeket nyitott meg ezen a téren. Olyan bonyolultsági fokú modellkísérleteket lehet most már elvégezni, amilyeneket emberi erővel a világ végéig sem lehetett volna.

A modelltechnikát azonban csak kellő óvatossággal lehet alkalmazni. A modell a valóságnak mindig csak nagyon leegyszerűsített ábrázolása. Nagyon gondosan kell kiválasztani azokat az elemeket, amelyeket figyelembe vesznek, s még inkább azokat az elemeket, amelyeket elhanyagolnak, s az eredmény kiértékelésekor, amikor a modelltől visszatérnek a valósághoz, szintén nagy óvatosságra van szükség. A rendszerek fent említett viselkedésbeli tulajdonságai miatt a modellek tulajdonképpen csak viszonylag egyszerű rendszerek tanulmányozására alkalmasak. Bonyolultabb rendszereknél csak feltételesen, nagyon erős kritikával fogadhatók

el. Ahogy Neumann János feltételezte a látás mechanizmusával kapcsolatban: nem írható le egyszerűbb modellel, mint ahogy az a természetben megvalósult.

Az információ és kommunikáció a kibernetika másik két alapfogalma. Wiener megfogalmazása szerint a kommunikáció és vezérlés virtuálisan szinonimák, hiszen mindkettőnek a lényege az információcsere, információátadás. A pragmatika szintjén nézve minden információközlésnek az a célja, hogy valamilyen változást idézzon elő a címzettben. A kibernetikát azonban nem csak ez köti össze az információelmélettel, hanem az is, hogy mindkettő olyan eseményekkel foglalkozik, amelyeknek számos kimenetele s valószínűségi jellege van. A vezérlés, szabályozás mindig választást jelent különböző lehetőségek között. Kiinduló adatai és eredményei is egy sokaságra, halmazra vonatkoznak, nem a halmaz valamely konkrét elemére. A már idézett Ross Ashby, akinek a könyvét (Bevezetés a kibernetikába) sok szakember még ma is a legjobb szakkönyvnek tartja, az információt a változatossággal azonosítja, s teszi a kibernetika központi fogalmává (Ashby, 1970).

A kibernetika úgy született, mint a rendszerek szabályozásának általános elmélete, és alaptételei közé tartozott, hogy nincs tekintettel a rendszerek konkrét megvalósulási formájára. Ennek ellenére az általános kibernetika mellett nagyon hamar kialakultak a különböző szakkibernetikák: biokibernetika, neurokibernetika, műszaki, gazdasági stb. kibernetika, s „árnyékában” új diszciplínák sarjadtak: szervezéstudomány, döntésemélet.

Hogy csak néhány példát adjunk a kibernetika konkrét kutatási témáiból, a neurokibernetika az idegsejt és a neuronhálózatok modellezésében olyan eredményeket ért el, amelyeket mind a neurobiológia, mind a számítógép-tudomány hasznosítani tudott. Bár az az elképzelés, hogy ilyen alapon meg lehet magyarázni a magasabbrendű idegtevékenységet és a tudat mibenlétét, naivnak bizonyult, mint ahogy az is, hogy belátható időn belül a számítógépet az emberi agy szintjére lehet emelni.

A gazdasági kibernetika a gazdálkodó szervezetek, rendszerek működésének tanulmányozásában, az irányítás módszereinek tökéletesítésében ért el eredményeket. Itt viszont a rendszerek irányíthatósága és a modellek korlátaira vonatkozó - már említett - felismerések jelentik a legfontosabb eredményt.

A vegyes, ember-gép rendszerek vizsgálata az a terület, amelyen a kibernetikai szemlélet egyértelműen pozitív eredményekkel jár. Az alapprobléma: hogyan lehet ezeket a rendszereket úgy megszervezni, a feladatokat úgy elosztani ember és gép között, hogy a rendszer működése optimális legyen.

Itt is, mint ma már szinte minden tudományágban, az átfedéseknek, a „határsértéseknek” se szeri, se száma (Vámos Tibor idézett cikkében azt írja a kibernetikáról: „elég rosszul meghatározott tudományterület”). Egyes vélemények szerint az információelmélet a kibernetika fejezete, mások szerint éppen fordítva, nagyon bizonytalan a határ a kibernetika és a rendszerelmélet, kibernetika és a számítógép-tudomány között stb. Végeredményben mindez másodlagos jelentőségű. A lényeg az, hogy a kibernetika a maga sajátos eszközeivel és módszereivel tud olyasmint mondani kutatása tárgyáról, amit más tudományágak nem tudnak.

INFORMÁCIÓ ÉS ÉLET

Az élő szervezetek biológiai rendszerek, vagyis sajátos termodinamikai, kibernetikai rendszerek, amelyeket a következő tulajdonságok jellemeznek:

- nyílt rendszerek: környezetükkel állandó energia-, anyag- és információcserét folytatnak;
- munkavégzésre képes rendszerek: a felvett energiát képesek szabályozott módon más energiatípusra alakítani;
- negentropikus, disszipatív rendszerek: azáltal, hogy a környezetükből felvett energiát és energiahordozó anyagokat szervezetük állandó megújítására használják fel, és a „hulladékot”, a keletkező entrópiát környezetükbe szétoszorják (disszipálják), csökkenteni tudják saját entrópiájukat (negentrópiát termelnek), s növelik struktúrájuk szervezetszintjét, belső rendezettségét, komplexitását;
- lágy rendszerek: a felvett energia átalakítása nem szilárd fázisban történik;
- szabályozott és vezérelt rendszerek: a munkavégzés irányításában mind a visszacsatolással történő szabályozásnak, mind a belső (genetikai) program által történő vezérlésnek szerepe van;
- önreprodukáló rendszerek.

Az évmilliárdok folyamán az anyag egyre komplexebb, bonyolultabb formákba szerveződött, a szervetlen molekuláktól a szerves molekulákon, a protobiontákon a soksejtű élőlényekig, s az evolúció mind magasabb fokára emelkedve eljutott az emberig.

Ebben a folyamatban, már a lépcső első fokain az információ játssza az egyik főszerepet. A szó eredeti jelentéséhez visszanyúlva: az információ adott formát a szerveződő anyagnak. A fejlődés további szakaszaiban az információs folyamatok is mind sokrétűbbé, bonyolultabbá váltak. Ez természetes is, magának az életnek a leglényegéből következik, hogy az élő szervezetek sui generis információs rendszerek.

A SEJT

Az élő szervezetek szerveződésének legalsó fokán a sejteket találjuk.

Valamennyi élettani és fiziko-kémiai átalakulás a sejt molekuláris szintjén zajlik le. Ez a megállapítás érvényes az információs folyamatokra is. Ahhoz, hogy ezeket tárgyalhassuk, fel kell elevenítenünk a sejtekkel kapcsolatos ismereteinket.

A sejt az élőlények legkisebb önálló, életképes szerkezeti és működési egysége. Minden mai élőlény sejtes felépítésű. A vírusok ugyan kivételt képeznek, de mégsem igazi kivételek, hiszen ahhoz, hogy bizonyos élettevékenységeket folytassanak, be kell kerülniük egy élő sejtbe.

Salvador E. Luria a következőket mondta: „A sejt... körülhatárolt tér, amelyben az életfolyamatok a különféle mechanizmusok kombinációja révén állandóan az optimálisához közeli kémiai környezetben mennek végbe. A különféle vegyületek szintézisét a gének és az enzimek működése pontosan szabályozza; a különféle anyagok be- és kiáramlását pedig a sejtmembránnak és fehérjéinek tulajdonságai irányítják. Ebben az értelemben szabályozott kémiai

környezetben a sejtanyagok felépítése és a sejt egyéb funkciói olyan határfokkal mennek végbe, amely gyakran meghaladja a leggondosabban megtervezett gépét is.

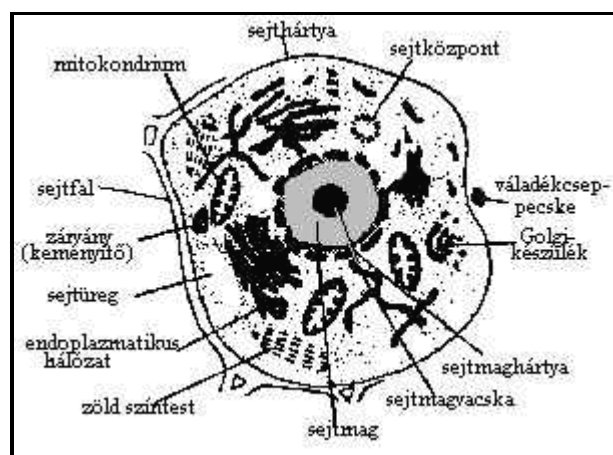
Nyilván a sejtes szerveződés által lehetővé vált nagyszerű hatások tette elavulttá az élet összes precelluláris (sejt előtti) formáit: nem várható ugyanis el, hogy egy kisebb határfokú rendszer fennmaradjon egy fejlettebb rendszerrel való versenyben” (Luria, 1973).

A ma élő szervezetekben a sejtek két fő típusát találjuk. A kék algák, egyes baktériumok, gombák sejtjei viszonylag egyszerűek, sejtmaggal nem rendelkeznek, a genetikai információt hordozó DNS-molekula közvetlenül a citoplazmában található. Anyagcseréjük rendszerint anaerob, közvetlen sejtosztódással szaporodnak, nem mutatnak szöveti differenciálódást. A szerveződésnek ez a formája az ősi, az alacsonyabb szintű, mivel azonban abban az élettérben, abban a közegben, amelyben ezek az élőlények élnek, igen jól bevált, fennmaradt, a fejlődés nem küszöbölte ki.

A legtöbb egy- és minden többsejtű élőlény a fejlődés szintjét képviselő, sokkal bonyolultabb szerkezetű eukarióta sejtéből épül fel.

A sejt szerkezete

A sejtet a külvilágtól a sejtmembrán határolja el. De nem csak elválasztja, hanem össze is kapcsolja. Aktív része a sejtnek, biztosítja és szabályozza az anyagok és információk ki- és beáramlását, szerepet játszik a sejt mozgásaiban, s egyes vélemények szerint a rákos sejtburjánzásban is. Membrán burkolja a sejtet belül a különböző sejtszervecskéket, organelumokat s a sejtmagot is.



6. ábra. A sejt szerkezete.

A sejtmembrán alapja egy lipidmolekulából álló kettős réteg. A lipidmolekulák legjellemzőbb s a membránalkotás szempontjából igen fontos tulajdonsága, hogy egyik végük vízben oldódó, hidrofil, a másik végük zsírszerű, vízben nem oldódó, hidrofób. A membránlipidek túlnyomó többsége foszfolipid. Vizes közegbe kerülve a foszfolipidmolekulák spontán kettős réteggé rendeződnek, olyanformán, hogy a külső oldalon a víz felé néznek a hidrofil fejek, és befelé, a kettős réteg belseje felé a hidrofób farkok, amelyek kiszorítják onnan a vizet. A kialakuló membránok a vízben gömb alakot vesznek fel, vezikulákat alkotnak. Ennek a jelenségnek energetikai oka van: ez az elrendezés biztosítja a legalacsonyabb szabad energia szintet. A membránokat biológiai szempontból két tulajdonságuk teszi nagyon fontosá: mivel belsejük hidrofób szénhidrogén, átjárhatatlanok a biológiai molekulák - aminosavak, nukleinsavak, fehérjék, cukrok - és ionok számára. Ezért működhetnek válaszfalként. A másik nagyon fontos tulajdonságuk, hogy lágyak, rugalmasak, viszkozitásuk az olajéhoz hasonló. Tulajdon-

képpen kétdimenziós folyadékok. „Ha merevek lennének, akkor pl. az emberi nyakban futó idegsejtek minden bólintásnál megrepednének” (Bretscher, 1985). (Jaj lenne a bólogató Jánosoknak!)

A foszfolipid kettős réteg ellátja a hártya elválasztó funkcióját, az elhatárolás feladatát. A közlekedést a membránon keresztül s a többi funkciót a lipidrétegbe ágyazódott fehérjemolekulák biztosítják. Ezek adják meg a különböző membránoknak a sajátos megkülönböztető jegyeket, s hajtják végre speciális feladatait. Mintegy szivattyúként működnek, s a sejt szükségleteinek megfelelően, a kívülről és belülről kapott információk alapján, nyitják és zárják a csatornákat, és biztosítják az anyagok ki- és bevándorlását.

A sejt belsejét, a plazmamembrán által határolt teret a citoplazma tölti ki. Ebben találjuk a sejtmagot, a különböző sejtszervecskéket s a citoskeletonnak nevezett, erősen strukturált fonalas fehérjevázat, amely a sejtmag és a sejtmembrán belső felülete között húzódik. A citoskeleton három elkülönülő fonalrendszer alkotja: az átlagosan 6 nanométer átmérőjű mikrofilamentumok, a 22 nanométer átmérőjű mikrotubulusok és a 7-11 nanométer átmérőjű közbenső filamentumok. A mikrofilamentumok alkotó fehérjéje az aktin, a mikrotubulusoké a tubulin, a közbenső filamentumoké sejttípusonként változik. A mikrofilamentum-hálózatnak a sejt mozgásában van szerepe, s a sejthártya stabilitását biztosítja. A mikrotubulusok meghatározzák a sejten belüli térbeli elrendeződést, és irányítópályát biztosítanak a sejtszervecskéik mozgásának. A közbenső filamentumok szerepéről még keveset tudunk, de nagyon valószínű, hogy szerkezeti jelentőségük van.

Mind a növényi, mind az állati sejtekben előforduló szervecskéik a lizozómák. Lipoprotein membránból és mátrixnak nevezett belső állományból épülnek fel. Funkciójuk a sejt saját anyagainak lebontása és átalakítása, a sejt által bekebelezett anyagok emésztése és a keletkező reziduális anyagok eltávolítása.

A riboszómák a fehérjeszintézis központjai. Egy nagyobb és egy kisebb egységből tevődnek össze, 50%-ban fehérjékből, főleg enzimfehérjékből és 50%-ban RNS-ből felépülő - ribonukleoprotein - gömböcskék.

A sejt energiatermelő és -átalakító szervecskéik a mitokondriumok. Szerves molekulákból energiát szabadítanak fel, s azt az adozin-trifoszfát (ATP) foszfátkötéseiben tárolják. Az ATP-molekulák azután eljutnak azokra a helyekre, ahol energiára van szükség (izom-összehúzódás, bioszintézisek, ingerület-átvitel stb.), s ott az egyik foszfátkötés felszakadásával felszabadul a szükséges energia.

Az endoplazmás retikulum csövecskékből és hólyagocskákból álló keringési rendszer, amelynek két formája van. A sima felszínű ER részt vesz különböző anyagok szintézisében, glikogén, zsírok anyagcseréjében, a makromolekulák szállításában. Jelentős szerepe van a sejtre mérgező anyagok lebontásában. A szemcsés ER-fehérjéket szintetizál, főleg azokat a fehérjéket, amelyek azután kikerülnek a sejtől („export fehérjék”).

A Golgi-apparátus, Golgi-komplex sajátos szerkezetű és funkciójú, állandó átalakulásban levő, dinamikus lipoprotein membránok által határolt szervecske. Főleg a mirigysejtekben fejlett. Funkciója a váladékok kondenzálása, membránba csomagolása. Részt vesz a bonyolult makromolekulák szintézisében, a membránképzésben, a sejten belüli folyamatok szabályozásában, az információ átvitelében.

A sejt geometriai központjában található a sejtközpont (citocentrum, centriólum). A sejt mozgásjelenségeinek és osztódásának irányításában játszik szerepet.

A sejt biológiai értékének, működésnek meghatározója, a genetikai információ „adatbankja” a sejtmag. A mag szerkezete és alakja szoros összefüggésben van a sejt életciklusával. A sejt-osztódások közötti (interfázisos) szerkezet különbözik az osztódás folyamán megfigyelhető szerkezettől.

- A magburok komplex membrán- és pórusrendszer, amely körülveszi a magot, elválasztja a magállományt a citoplazmától, de ugyanakkor biztosítja a magfázis és a citoplazmafázis közötti szelektív anyagcserét.

- A nukleoplazma vagy magnedv tartalmazza mindazokat az enzimeket, amelyek a DNS és RNS szintézisét, valamint a transzportfolyamatokat katalizálják, a nukleotidokat, az RNS és DNS építőköveit, valamint azokat az ionokat, amelyek a mag működéséhez szükségesek. A magnedv foglalja magába a kromatint és a magvacskát.

- A magvacska vagy nukleolusz kis mennyiségű DNS mellett RNS-t és fehérjéket tartalmaz (riboszomális fehérjéket, enzimfehérjéket). A magvacskában jelenlévő DNS meghatározza a riboszomális RNS szintézisét, s ez a fehérjékhez kapcsolódva létrehozza a riboszóma kis és nagy egységeit, amelyek a maghártya pórusain keresztül kivándorolnak a citoplazmába. Itt szintetizálódnak a riboszomális fehérjék s a szintézishez szükséges enzimek.

A sejtmag legfontosabb alkotórésze a kromatinállomány. A kromatin fő komponensei a DNS, különböző fehérjék - hiszton és nemhiszton fehérjék - és kis mennyiségben kis molekulású RNS. A fehérjék a kromatinstruktúra kialakításában és a génaktivitás szabályozásában vesznek részt.

A két osztódás közötti interfázisban a kromatin két alaptípusát lehet megkülönböztetni: az erősen kondenzált, felcsavarodott állapotban levő inaktív heterokromatint és a sejtmag különböző területein szétszórtan megtalálható, laza szerkezetű vékony szálakból álló diffúz vagy aktív eukromatint. A két eltérő megjelenésű formának eltérő funkció felel meg. Az aktív eukromatin környezetében intenzív RNS-szintézis folyik, az átírást ugyanis csak a laza szerkezet teszi lehetővé. A két forma egymásba átalakulhat.

A kromatin szerkezetéről a vizsgálatok azt állapították meg, hogy a kromatinszálak mintegy 200 bázispárt és 8 hiszton molekulát tartalmazó alapegységekből, nukleoszómból állnak, amelyeket spirálisan felcsavarodott rövidebb DNS-szakaszok kapcsolnak össze. Az így létrejövő 10-11 nm vastag kromatinszál, amely az eukromatinnak felel meg, DNS-szuperhélixnek is nevezik, utalással arra, hogy a DNS már eleve spirális állapotban van jelen.

A kromatinszál hengerpalástnak megfelelő feltekeredésével jön létre a 20 nm átmérőjű kromatinfonal, a heterokromatin.

A sejtosztódás során, a profázis végén, a metafázis elején a kromatinszálak további spiralizálódásával, kondenzálódásával az „ultravastag” kromatinrostokból (kb. 200 nm) kialakulnak a metafázisos kromoszómák. A metafázisos kromoszómák ebben az „összecsomagolt” szerveződési formában (a kromoszóma transzportformája) biztosítják a genetikai információ hiánymentes, mennyiségi és minőségi szempontból egyenlő szétosztását az utódsejtek között. A metafázisos kromoszóma kromatidjának vastagsága a maximális tömörülés révén eléri a 700-1200 nm-t.

A genetikai információt hordozó DNS „összecsomagolása” bonyolult, komplex folyamat. Ismereteink szerint egy sejtmagban annyi DNS molekula van, amennyi az illető fajra jellemző kromoszómaszám, azaz egy kromoszóma egy DNS molekulát tartalmaz. Ember esetében egy diploid sejt tartalma kb. 5,6 pikogram, ami 1,7-2 méter hosszú kettős spirálnak felel meg. Ezzel szemben a maximálisan tömörült metafázisos kromoszómák összhossza csupán 200 mikrométer. Ezt a nagymértékű összecsomagolást (kb. 1/10 000-hez) csak a fentiekben ismertetett szerveződés teszi lehetővé (Sebe, 1986).

A kromoszóma tehát az élő szervezet információtárának, adatbankjának az a sajátos formája, amely a sejtosztódás szakaszában jelenik meg, s biztosítja az információk átadását sejtől sejtire, nemzedékről nemzedékre. A kromoszómát két, alkatilag és összetételében teljesen azonos kromatida, kromatinszál (DNS molekula) alkotja. A kromoszómák száma fajonként igen eltérő, de a fajon belül állandó és jellemző a fajra. Az alábbi táblázat néhány faj kromoszómaszámát mutatja (Berend, 1980):

Növények		Állatok	
káposzta	18	éti csiga	54
reték	18	selyemhernyó	56
len	30,32	házi légy	12
görögdinnye	22	ecetmuslica	8
uborka	14	spanyollepke	
gyapot	52	(Lysandra nivescens)	380
cseresznye	32	háziméh	32,16
körte	34,51	varangyos béka	22
szilva	48	egér	40
alma	34,51	nyúl	44
kávé	44	vándorpatkány	42
napraforgó	34	kutya	78
burgonya	48	macska	38
paradicsom	24	háziló	64
dohány	48	szamár	66
kerti borsó	14	házisertés	38
bab	22	vaddisznó	36
nyári búza	28	házijuh	54
kenyérbúza	42	szarvasmarha	60
zab	42	kecske	60
kukorica	20	gorilla	48
árpa	14	csimpánz	48
rozs	14	orangután	48
rizs	24	ember	46

Megfigyelhetjük, hogy a kromoszómaszám nem függ sem az élőlény nagyságától, sem filogenetikai fejlettségétől. A közeli, rokon fajok kromoszómaszáma egyező vagy majdnem egyező, de ez sem abszolút törvényszerű.

A fajra jellemző kromoszómák összességét kromoszómagarnitúrának vagy genomnak nevezük. Az ivarosán szaporodó élőlények ivarsejtjében a kromoszómagarnitúrának csak a felét, a kromoszóma-szortimentumot találjuk, ez a haploid kromoszómaszám (n). A szortimentum $n-1$ szomatikus kromoszómát és egy ivari vagy szex-kromoszómát tartalmaz. Megtermékenyítéskor a létrejövő zigótában a két ivarsejt kromoszómainak száma összeadódik, és kialakul a fajra jellemző diploid kromoszómaszám.

A sejt élete

A sejt élete - már azoké a sejteké, amelyek osztódásra képesek - az egyik sejtosztódás végétől a következő sejtosztódás végéig tart. A sejtciklus - így nevezik ezt a folyamatot - két fő szakaszból áll: az interfázisból és a tulajdonképpeni sejtosztódásból.

Az interfázisban a kromoszómákban levő gének aktívak, intenzív szintetizáló tevékenység folyik, s ebben a szakaszban a legélénkebb a sejt anyagcseréje.

Az interfázisnak három szakasza különböztethető meg.

A G_1 szakaszban a kromoszómák egy kromatidából (egy DNS-molekulából) állnak, szerkezetük laza, despiralizált, azaz aktív formában vannak. Ez teszi lehetővé a gének működését. Ebben a szakaszban igen aktív a különböző RNS-fajták, a sejt sajátos funkcióinak ellátásához szükséges anyagok szintézise, s ekkor mennek végbe a sejtre jellemző anyagcsere-folyamatok.

Az S szakaszban megy végbe a DNS megkettőződése, replikációja, s ez biztosítja, hogy osztódáskor mindkét utódsejt rendelkezzen a teljes génállománnyal.

A G_2 szakaszban a sejtosztódás előkészítése folyik. A kromoszómák kondenzálódnak, s rendkívül tömör szerkezetet vesznek fel.

Az élőlények szaporodását, növekedését, szöveteik, szerveik regenerálódását a sejtosztódás biztosítja. Az ivarosán szaporodó élőlények szomatikus (test) sejtjeinek osztódását mitózisnak, számtartó sejtosztódásnak nevezzük. A 2-2 kromatidát tartalmazó kromoszómák úgy oszlanak meg a két új sejt között, hogy mindkettő azonos kromoszómaszerelvénnyel jut. Így alakul ki egyetlen zigótából 10^{14} - 10^{15} sejtet tartalmazó felnőtt emberi szervezet.

A meiózis - számfelező sejtosztódás - az ivarsejtek szaporodási formája. Sokkal bonyolultabb, mint a szomatikus sejtek osztódása, s lényege, hogy az egymást követő két osztódás során a keletkező négy utódsejtben a kromoszómák száma a felére csökken, diploid sejtekből haploid sejtek jönnek létre. Az ivarsejtek egyesülése, a megtermékenyülés után visszaáll a fajra jellemző kromoszómaszám, s a gének rekombinációja révén az örökletes tulajdonságokat meghatározó információk újszerű kombinációi jönnek létre.

A meiózis biztosítja a fajok állandóságát azáltal, hogy a kromoszómaredukció révén az ivarsejtek egyesüléséből létrejövő zigóta diploid sejt lesz és nem tetraploid, másrészt lehetővé teszi az egyedek rendkívüli változatosságát.

„Szegény a forgandó, tündér szerencse, hogy e csodát újólá megteremtse” - írja Kosztolányi a Halotti beszédben. S hogy ez mennyire igaz, gondoljuk el: a haploid sejtek kialakulásakor $2^{23}=8\ 388\ 608$ féle változat kialakulására van lehetőség. Megtermékenyítéskor $8\ 388\ 608$ hím ivarsejt találkozhat ugyanennyi női ivarsejttel. Ez $7 \cdot 10^{13}$ variációt eredményez. Ha ehhez a számhoz, amely a ma élő emberiségnek szinte húszezerszerese, hozzávesszük a rekombináció, az átkereszteződés (crossing over) okozta változatokat s az esetleges mutációs változásokat, csak azt mondhatjuk, amit a költő:

*Ilyen az ember. Egyedüli példány.
Nem élt belőle több és most sem él,
S mint fán se nő egyforma két levél,
A nagy idő se lesz hozzá hasonló!*

Ez tehát a színtér, amelyben az életfolyamatok zajlanak.

INFORMÁCIÓS FOLYAMATOK AZ ÉLŐ SZERVEZETEKBEN

A bennünket érdeklő információs folyamatokat több szempontból osztályozhatjuk.

Az információhordozók szerint megkülönböztethetjük a genetikai információs folyamatokat, amelyeket a DNS-ben tárolt információk vezérelnek, s az RNS-molekulák hajtanak végre, a hormonok által vezérelt folyamatokat és az idegrendszer irányítása alatt végbemenő folyamatokat.

Aszerint, hogy hol zajlanak le, beszélhetünk sejten belüli és sejtek között zajló folyamatokról.

Az osztályozás alapjául szolgálhat az információ eredete is: vannak a szervezet belső információi által vezérelt és külső, a külvilágból származó információk irányította folyamatok.

A következőkben az első két szempont szerint vesszük szemügyre az információ mozgását az élő szervezetekben.

A GENETIKAI INFORMÁCIÓ

A DNS és RNS

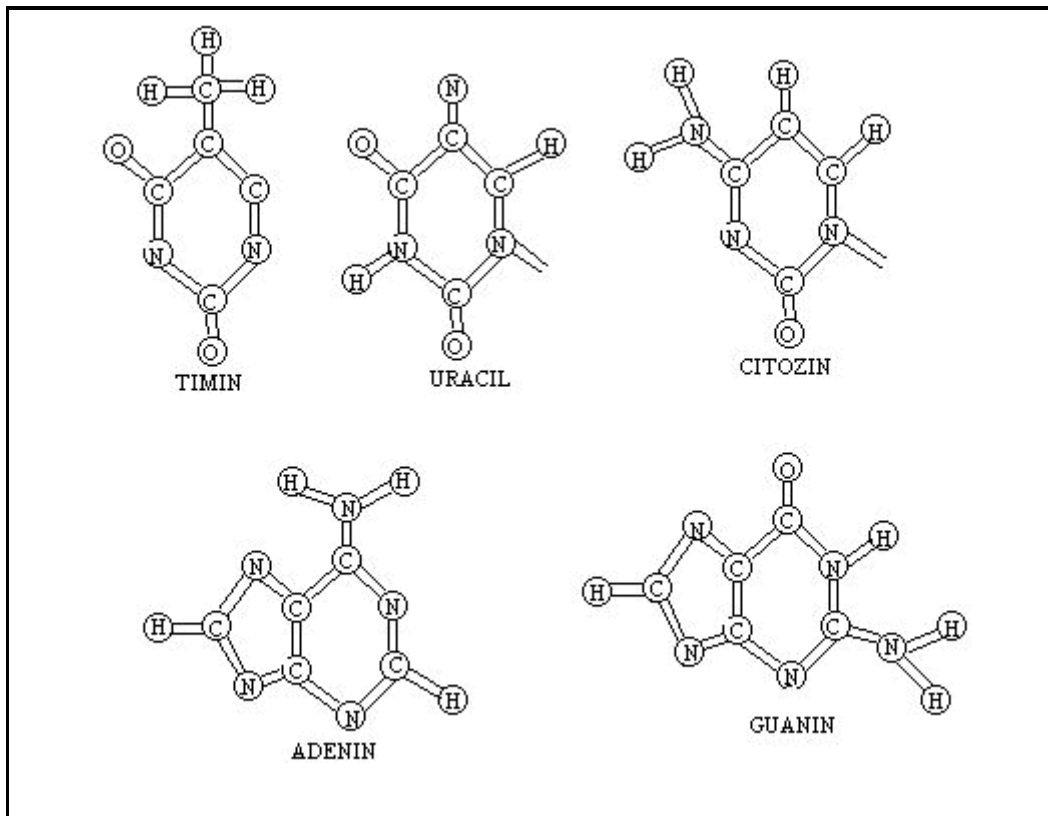
Az élőlények kialakulásának, fennmaradásának, szaporodásának bonyolult folyamatait alapvetően a génekben tárolt információk szabályozzák. Csányi Vilmos szavaival: „Az élő világ, mint egész maga egy genetikai szabályozó rendszer” (Csányi, 1978).

A genetikai szabályozó rendszer főszereplői a nukleinsavak és a fehérjék. A nukleinsavak feladata az örökletes információk tárolása, átadása, a fehérjék szintézisének vezérlése. A fehérjék feladata pedig az élőlény struktúrájának biztosítása, s azoknak a kémiai folyamatoknak az irányítása, amelyeken az élő szervezet működése alapszik, amelyek meghatározzák tulajdonságait, viselkedését.

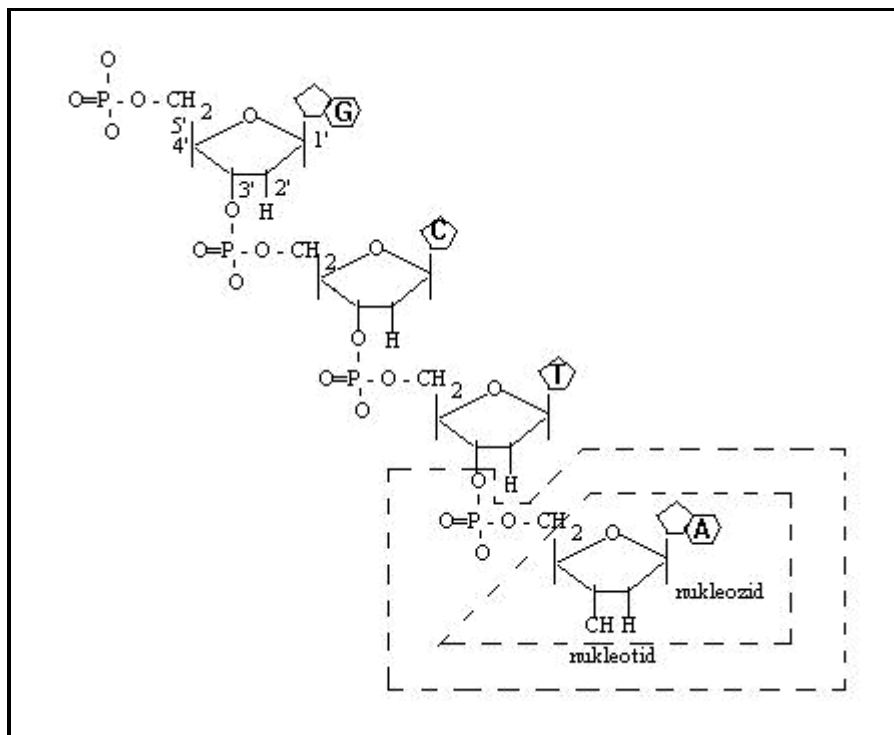
A nukleinsavak egyik képviselője a dezoxiribonukleinsav, a DNS, amely az információk tárolására, őrzésére szolgál, és a másik a ribonukleinsav, az RNS, amelynek három változata a fehérjeszintézist „intézi”.

„Habár nem tudjuk, hogy a DNS miként szabályozza a fejlődés folyamatát, elegendően biztosak lehetünk abban, hogy szinte az összes olyan információt hordozza, amelyeket a szelekció az ősökben valaha is létrehozott, és amely a fejlődés szabályozásához szükséges” (Maynard Smith, 1986).

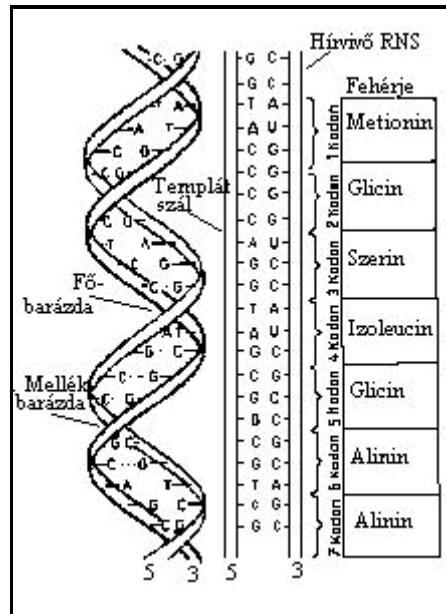
A nukleinsavak három alkotórészből épülnek fel: foszforsavból, egy öt szénatomos cukorból és nitrogénbázisból. A cukor és a bázis alkotja a nukleozidot, míg a három együtt nukleotidot. A nukleinsavak tehát polinukleotidok. Felépítésükben kétféle cukor vesz részt. A DNS cukorkomponense a dezoxiribóz, az RNS-é a ribóz. A kettő között az a különbség, hogy az előbbiben egy hidroxilgyökkel kevesebb van. Erre utal a dezoxi előtag. Az öt bázis: adenin, guanin, citozin, timin és uracil. Az első kettő purin származék, a többi pirimidinszármazék. A DNS-ben adenin, guanin, citozin és timin található, az RNS-ben timin helyett uracil szerepel.



7. ábra A nukleotidok felépítésében részt vevő nitrogén bázisok.



8. ábra Polinukleotid lánc



9. ábra A DNS szerkezete és a genetikai információ átadásának menete.
(Forrás: Felsenfeld 1985)

A polinukleotid lánc gerincét az egymáshoz észterkötéssel kapcsolódó cukor- és foszfor-komponensek alkotják. Az észterkötés kovalens kötés - az atomokat közös elektronpárok tartják össze -, nagyon erős és stabil. A bázisok a pentózegységeken keresztül oldalláncként kapcsolódnak a molekulavázhoz. Sorrendjük, szekvenciájuk a különböző polinukleotidokban természetesen eltérő. A lánc a kapcsolódó bázisokkal alkotja a polinukleotid molekula elsődleges, primer szerkezetét.

A DNS és az RNS primer szerkezete az előbb említett két különbségtől eltekintve azonos. Nagy különbség van azonban a másodlagos, a térszerkezetben. A DNS térszerkezetét J. D. Watson és F. B. C. Crick derítette fel. A modell, amelyet kidolgoztak, a kettős hélix (kettős spirál, duplex) elnevezést kapta. Eszerint a molekula vázát két spirálisan jobbra csavarodott lánc alkotja. A két szálnak „polaritása” van, egymással párhuzamosan, de ellentétes irányban futnak, két egyforma, közös tengelyű csavarvonal mentén. A kettős spirál külső oldalát a foszforsav-cukor lánc alkotja, míg a bázisok befelé fordulnak, úgynevezett hidrogénkötésekkel kapcsolódnak egymáshoz. Ezek a hidrogénhidak gyengék, de a sok híd együtt mégis erős kapcsolatot alakít ki a két lánc között, a spirálisok közötti tér lehetőségei, a bázisok szerkezete és energetikai feltételek miatt a bázisok nem akárhogy kapcsolódhatnak össze: a kisebb térfogatú pirimidinbázis mindig nagyobb térfogatú purinbázishoz kapcsolódik, mégpedig adenin timinhez, citozin guaninhoz. Ilyenformán a két lánc komplementer, az egyik bázissorrendje meghatározza a másikat.

Watson és Crick modellje helyesnek bizonyult, a későbbi kísérletek nem cáfolták meg elképzelésüket. Sajnos azonban ebben az esetben is kiderült, hogy a valóság mindig bonyolultabb, mint ahogy képzeljük. Már Watsonék felfedezése idején rájöttek, hogy a DNS-nek legalább még egy formája van. A B-alak mellett - ez a Watson-féle modell - létezik egy A-alak is, amelyben a bázispároknak más a hajlásszöge, és kifelé el vannak mozdulva. Arra is fény derült, hogy a duplexen, mindkét alakjában, a nukleotid sorrend függvényében jellegzetes hajlatok lehetnek. Ezek alapján egyes DNS-szakaszok kívülről is felismerhetők.

A kutatók más változatot is felfedeztek: olyan spirált, amely a jobbmenetes B-alakkal szemben balmenetes, s amelyben a foszfátcsoportok nem ívben, hanem cikcakkosan helyezkednek el. Ezt az 1979-ben ismertetett változatot az angol zigzag szó kezdőbetűjéről Z-DNS-nek nevezték el. Ebben a kettős spirálban nem egy, hanem két bázispár alkot egy-egységet, s az atomcsoportok többsége a molekula felszínén található. Ennek a szerkezetnek a segítségével könnyebben értelmezhetőek bizonyos jelenségek például a mutációk bizonyos fajtái (mivel a felszínen elhelyezkedő bázisok könnyebben hozzáférhetőek a mutagén anyagok számára). A DNS különböző alakjai átalakulhatnak egymásba.

A további kutatások a DNS molekula egyéb furcsaságaira is fényt derítettek. Megfigyelték, hogy vannak olyan láncrészek, amelyekben adott bázissorrendű szakaszt ugyanazon a szálon a kiegészítő bázisokból álló, fordított sorrendű szakasz követ. Ha a kettős spirál szálai elválnak egymástól, a helyileg kialakult bázispárok mindkét szálon hajtűszerű szerkezetet alakítanak ki, s az egész lánc mintegy kereszt alakúvá válik.

A kromoszómákkal kapcsolatban már volt szó a szuperhélixről. Az eddigi vizsgálatok alapján úgy tűnik, hogy a szuperhelicitás a DNS természetes alakja. Ha a két szál a végek összekapcsolódása előtt kissé szétválik, a molekulában fellépő feszültségek az egész láncot elcsavarják, s úgynevezett negatív szuperhelikális szerkezet jön létre. Ezt a folyamatot baktériumokban a DNS-giráz enzim katalizálja. A szuperhelicitás a DNS kifejeződésében, átírásában játszik szerepet.

Az emberi DNS-molekulák hossza 1,4 és 7,3 cm között változik, s az egy sejtben - szomatikus diploid sejtben - található DNS összhossza kb. 2 m.

A DNS-láncnak három „kitüntetett” szakasza van: a két végén található telomérák, végszakaszok, amelyek megakadályozzák a lánc lebomlását; a centroméra, amelyhez a sejtosztódáskor az orsófonalak hozzátapadnak, s amely általában a szál közepén található, és a kezdőpontok (iniciációs zónák), amelyeken megkezdődik a másolás.

A nukleinsavak másik formája az RNS. A vegyi összetételükben meglevő eltérések mellett az különbözteti meg a DNS-től, hogy nem alkot kettős spirált, egyszálú. A ribózbán levő aktív hidroxilgyök miatt kémiaileg sokkal kevésbé stabil. Valószínűleg ezért alakult ki a „munkamegosztás”: a DNS tárolja, az RNS átírja, átkódolja, szállítja az információt.

Aszerint, hogy milyen szerepet töltenek be az információátvitel folyamatában, a ribonukleinsavaknak három csoportját különböztethetjük meg. Ezek a hírvivő, messenger mRNS, a szállító, transfer tRNS és a riboszomális rRNS (amely a riboszóma szerkezeti elemeihez tartozik). Természetesen szerepüknek megfelelően mind összetételükben, mind szerkezetükben különböznek egymástól. Részletesebben majd a fehérjésszintézis tárgyalásakor foglalkozunk velük.

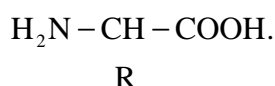
A fehérjék

A genetikai információs folyamatok másik főszereplője a fehérjék. A genetikai üzenet „jelentései”, ahogy Russel F. Doolittle a Kaliforniai Egyetem biokémia-professzora megállapította: „Ha a DNS az élet tervrajza, akkor ehhez a fehérjék a téglák és a habarcsok. De valójában ők jelentik a sejt vagy az élő szervezet összeszerelését az állványt és a szerszámokat, sőt ők maguk azok a munkások is, akik a kivitelezést végzik. A gének szolgáltatják az információt, de mi magunk a fehérjéink vagyunk” (Doolittle, 1985).

Minden élőlényben a fehérjék roppant változatosságával találkozunk, nincs két élőlény, amelynek a fehérjéi megegyeznének egymással (kivéve az egypetűjű ikreket). Ez a szinte elképzelhetetlen változatosság annak köszönhető, hogy felépítésükben húszféle aminosav vesz részt. Egy-egy fehérjemolekula több száz, sőt nemegyszer több ezer aminosavból áll, s ha

sorrendjük csak egy helyen különbözik, a fehérje már nem ugyanaz. R. L. M. Synge érdekes számítást végzett. Ha csak 12-féle aminosavból építenénk fel háromszáz tagú láncokat, több mint 10^{300} különböző sorrendet tudnánk megvalósítani. S ha minden láncból csak egyet készítenénk, összes súlyuk 10^{280} g lenne (a Földé mindössze $6 \cdot 10^{27}$ g).

A fehérjék a nukleinsavakhoz hasonlóan lineáris polimerek. Alapegységeik, építőköveik az aminosavak. Általános képletük:



Az R szénhidrogén oldalláncot jelöl.

A természetben húszféle aminosav fordul elő.

Fehérjékben előforduló aminosavak és rövidítésük

Aminosav	Hárombetűs rövidítés	Egybetűs rövidítés
Alanin	Ala	A
Arginin	Arg	R
Aszparaginsav	Asp	D
Aszparagin	Asn	N
Cisztein	Cys	C
Fenil-alanin	Phe	F
Glicin	Gly	G
Glutaminsav	Glu	E
Glutamin	Gln	Q
Hisztidin	His	H
Izo-leucin	Ile	I
Leucin	Leu	L
Lizin	Lys	K
Metionin	Met	M
Prolin	Pro	P
Szerin	Ser	S
Tirozin	Tyr	Y
Treonin	Thr	T
Triptofan	Trp	W
Valin	Val	V

A fehérjemolekulában az aminosavak úgynevezett peptidkötéssel kapcsolódnak egymáshoz. (A peptidkötés az észterkötéshez hasonló erős, stabil kötés.)

Az egyik aminosav aminocsoportja vízkilépés mellett összekapcsolódik a másik aminosav karboxilcsoportjával. Az aminosavak sorrendje, az aminosav-szekvencia - amely természetesen fehérjénként változik - jelenti a fehérje elsődleges, primer szerkezetét. S ez szabja meg a fehérjék minden lényeges tulajdonságát meghatározó másodlagos, harmadlagos szerkezetet.

A fehérjemolekulákban is létrejönnek hidrogénkötések, mégpedig az egyik peptidegység NH-csoportja és a másik peptidegység CO-csoportja között, és spirális szerkezetet alakítanak ki. Ezt a szerkezetet felfedezőjük, Linus Pauling alfa-hélixnek nevezte el. Pauling állapította meg azt is, hogy a hidrogénkötések más szerkezetet is kialakíthatnak. Egyes fehérjékben láncszakaszok fekszenek egymás mellett párhuzamosan, s ezeket a szakaszokat kötik össze a hidrogénhidak. Ezt a struktúrát béta-lemeznek nevezte el. A kétfajta struktúra alkotja a

fehérjék másodlagos, szekunder szerkezetét. Ennek kialakításában az oldalláncok nem vesznek részt, s a szükséges információk az aminosav szekvenciában adóttak.

A harmadlagos, terciér szerkezet úgy jön létre, hogy a fehérjemolekulák szabad energiájuk minimalizálása érdekében tovább gyűrődnek, hajtogatódnak. Ebben a folyamatban már az oldalláncok is részt vesznek, köztük alakulnak ki hidrogénkötések s a kénatomot tartalmazó aminosavak kénatomjai között diszulfidkötések.

Az utóbbi években felfedezték a fehérjék térbeli szerkezetének egy köztes szintjét is. Sok fehérjében egy alfa-hélix szakasz két béta-szálat kapcsol össze. Az így létrejött egységet, mely rendszerint 30-150 aminosavat foglal magában doménnek neveztek el. Ha két domén egymás mellett fekszik, a közöttük létrejövő rés más molekulák kötőhelyeként szolgálhat.

Sok fehérjében önálló polipeptidláncok kapcsolódnak egymáshoz egy magasabb szerveződési szintet hozva létre. Ezt a szintet negyedleges, kvaterner szerkezetnek nevezzük.

Minden fehérje következetesen egyetlen meghatározott - csak arra a fehérjére jellemző - térbeli elrendezést vesz fel. Olyat, amely az atomcsoportok közötti vonzásokat maximalizálja, a taszításokat minimalizálja.

Miért foglalkozunk ilyen részletesen a fehérjék szerkezetével? Mert kémiai és fizikai sajátosságai, a szervezetben betöltött funkciójuk - s így a szervezetnek az általuk meghatározott tulajdonságai, szerkezeti és működésbeli sajátosságai - térbeli szerkezetüktől függenek. A fehérjék működésének közös vonása, hogy szelektív módon hozzákötődnek más molekulákhoz. Ez a kötődés pedig térbeli szerkezetük függvénye. Szerkezet és funkció elválaszthatatlan egymástól.

A fehérjék a szervezetben sokféle szerepet töltenek be. A szerkezeti vagy struktúrafehérjék feladata a szervezet vázának kialakítása. E célból rostokat, rétegeket, csöveket alkotnak. Más fehérjék hírvivőként, jelfogóként (receptorként), ismét mások szabályozóként szerepelnek. Legfontosabb feladatuk azonban a szervezetben lejátszódó kémiai reakciók katalizálása. Ezt a feladatot az enzimek végzik. Ám sokszor azok a fehérjék is részt vállalnak enzimátikus folyamatokban, amelyek „fő állásban” más funkciókat látnak el.

„Általánosan elfogadott tétel, hogy az egyes élőlények különböző tulajdonságai - forma, szerkezet, egyes anyagok termelésének képessége, az állatok jellegzetes viselkedési formái - mind visszavezethetők a szervezetben zajló kémiai reakciókra, vagy reakciósorozatokra. A kémiai reakciók fehérjék irányítása alatt zajlanak le. Csak olyan kémiai reakció megy végbe az élő szervezetben, amelynek végbemeneteléhez szükséges fehérjék ott megtalálhatók” (Csányi, 1978). Ezért állíthatjuk, hogy a szervezetben zajló információs folyamatok legfontosabb, alapvető osztályát azok a folyamatok képezik, amelyek fehérjék szintézisét vezérlik és irányítják.

A fehérjeszintézishez szükséges információkat minden szervezetben - a vírusokat kivéve - a DNS őrzi, s az RNS molekulák írják át, fordítják le.

A genetikai információ

A genetikai információ tárolására a négy nukleotidból, helyesebben N-bázisból álló négybetűs kód szolgál. „A kód absztrakt volta teszi lehetővé, hogy az információ tárolása, felhasználása, megőrzése, megváltoztatástól való védelme az egész élővilágban azonos elveken működő szabályozó folyamatok révén valósuljon meg” (Csányi, 1978).

Négy betűből áll tehát az ábécé: A, G, C, T a DNS-ben, A, G, C, U az RNS-ben, s ezekből állítja össze a Természet a szervezetünket, tulajdonságainkat leíró „szöveget”. Mennyi információt tartalmaz ez a „leírás”? Egy-egy bázis 2 bit információnak felel meg (négy lehetőség). A *Drosophila muslica* öröklött információját egy $L=1,2$ cm hosszú DNS molekulában található. A 2 bitet tartalmazó egység hossza $l = 1,2 \cdot 10^{-7}$ m. A muslica öröklött információját tehát: $n = 2 \frac{L}{l} = 2 \cdot 10^7$ bit.

Az emberé 10^9 bit. Egy vírusé mindössze $2 \cdot 10^4$ bit. Szabvány oldalt számolva (2000 betű oldalanként) a vírus információját elfér két oldalon, az ember „örökségének” leírásához 100 000 oldalra van szükség (Sextl et al., 1982).

Mivel a természetes fehérjékben húszféle aminosav fordul elő, kódolásukhoz hárombetűs szavakra van szükség. (Mint tudjuk, egybetűs szavakkal mindössze négy, kétbetűs szavakkal tizenhat lehetőség adódna.) Ezeket a hárombetűs szavakat, azaz a három nukleotidból álló egységeket a DNS molekulában tripleteknek, az RNS-ben kodonoknak nevezzük. A kutatóknak ötévi kitaró munkával sikerült megfejteniük a genetikai ábécét, s összeállítani a kódszótárt. (Izgalmasabb volt ez a munka, mint a hieroglifák megfejtése.)

Kódszótár

A bázis hármask első betűje	A bázishármask második betűje				A bázis hármask harmadik betűje
	U	C	A	G	
U	fenil-alanin	szerin	tirozin	cisztein	U
U	fenil-alanin	szerin	tirozin	cisztein	C
U	leucin	szerin	záró	záró	A
U	leucin	szerin	záró	triptofán	G
C	leucin	prolin	hisztidin	arginin	U
C	leucin	prolin	hisztidin	arginin	C
C	leucin	prolin	glutamin	arginin	A
C	leucin	prolin	glutamin	arginin	G
A	izo-leucin	treonin	aszparagin	szerin	U
A	izo-leucin	treonin	aszparagin	szerin	C
A	izo-leucin	treonin	lizin	arginin	A
A	metionin+indító	treonin	lizin	arginin	G
G	valin	alanin	aszparaginsav	glicin	U
G	valin	alanin	aszparaginsav	glicin	C
G	valin	alanin	glutaminsav	glicin	A
G	valin+indító	alanin	glutaminsav	glicin	G

Jelmagyarázat: U = uracil, C = citozin, A = adenin, G = guanin.

Néhány fontos megállapítás. A 64 lehetséges kombinációból 61 triplet kódolja az aminosavakat, a fennmaradó három a stopkodon, az a szerepe, hogy leállítsa a fehérjeszintézist. A szintézis megindítására nincs külön jel, az AUG triplet, a metion kódja szolgál indító kódként. Ezért kezdődik minden fehérjeszintézis a metioninnal, illetve baktériumokban a formil-metioninnal.

Mivel csak húsz aminosav van, egyet-egy több triplet is kódolhat. Egyeseket kettő, másokat négy-öt, sőt hat is. Ezt a redundanciát a genetikusok a kód degeneráltságának nevezik. A

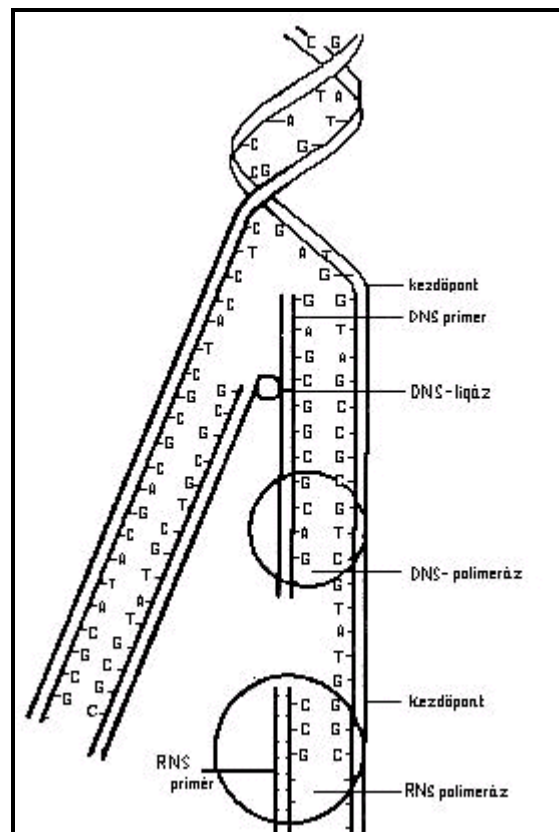
jelenség biológiai jelentőségét még nem sikerült tisztázni, de feltételezhető, hogy a mutációk káros következményeinek csökkentésében van jelentős szerepe. Ezt a véleményt támasztja alá az a tény is, hogy a degeneráltság, a redundancia a triplet harmadik tagjánál jelentkezik. (Az első két bázisnak van nagyobb jelentősége az aminosav meghatározásában.) Ha tehát a mutáció a harmadik bázist érinti, az cserélődik ki, legtöbb esetben nem manifesztálódik, nem nyilvánul meg, nem jár káros következményekkel.

A kód legfőbb jellemzője - mint arra már fentebb utaltunk - egyetemessége. Bármely triplet ugyanazt az aminosavat kódolja minden élőlényben, a fejlődésnek minden fokán, évmilliók óta. Úgy látszik, ez kód olyan jól bevált, hogy sok százmillió éve nem volt szükség tökéletesítésére.

Replikáció

A DNS-nek, mint a genetikai információ tárolójának, kettős feladata van: biztosítani kell az információk átadását az utódoknak, s biztosítani kell a sejt fehérjetermelésének zavartalanságát. Az első feladatot a replikáció, megkettőződés útján látja el.

A megkettőződés, replikáció, az interfázis S szakaszában megy végbe, a következőképpen: egy fehérjemolekula, az úgynevezett relaxációs fehérje a kettős spirál egyik láncát az iniciációs régióban - kezdőpontban (ez egy specifikus nukleotidszekvencia) - szétbontja. Az eukarióta sejtek DNS-ében - mivel a lánc nagyon hosszú, és túl sok időbe telne a másolás, ha csak egy helyen indulna el - sok iniciációs régió, kezdőpont található. A szabaddá vált végek mindkét irányban kezdenek lecsavarodni a komplementer szárról, s replikációs villákat hoznak létre. A szétvált láncok mintaként, templátként szolgálnak az új komplementer szál elkészítéséhez. A szintézist a DNS-polimeráz katalizálja, végzi dezoxiribonukleozid-trifoszfátokból. A szükséges energiát a felszakadó foszfátkötés biztosítja.



10. ábra Replikáció.

Mivel a DNS-polimeráz nem tudja új lánc szintézisét megkezdeni, először az RNS-polimeráz enzim egy rövid RNS-szegmentet (primert) szintetizál, s a DNS-polimeráz ehhez kapcsolja a soron következő molekulákat. A szintézis minden irányban folytatódik, s első lépésben nem összefüggő DNS-lánc, hanem mintegy ezer nukleotidból álló szakaszok keletkeznek, amelyeket azután a DNS-ligáz kapcsol össze. Az RNS-primert a DNS-polimeráz bontja le, s tölti be a helyét a megfelelő dezoxiribonukleotidokkal.

Az új láncok, a replikák, a régiakkal, a templátokkal az eredetivel teljesen megegyező kettős spirálokat hoznak létre. Mivel az egyik lánc az eredeti DNS-ből származik, az önmegkettőződésnek ezt a formáját szemikonzervatív replikációnak nevezzük.

A két testvér kromatidát az osztódási szakaszban a sejt átellenes pólusából szertefutó vékony orsófonalak a centromérának nevezett szakaszhoz kapcsolódva szétválasztják.

Átírás, átfordítás

A DNS másik feladatának, a fehérjeszintézishez szükséges információk leadásának az interfázis kezdő szakaszában a G_1 fázisban tesz eleget. Mint már mondtuk, az információk átírását, átfordítását RNS molekulák végzik. A folyamat két szakaszban megy végbe.

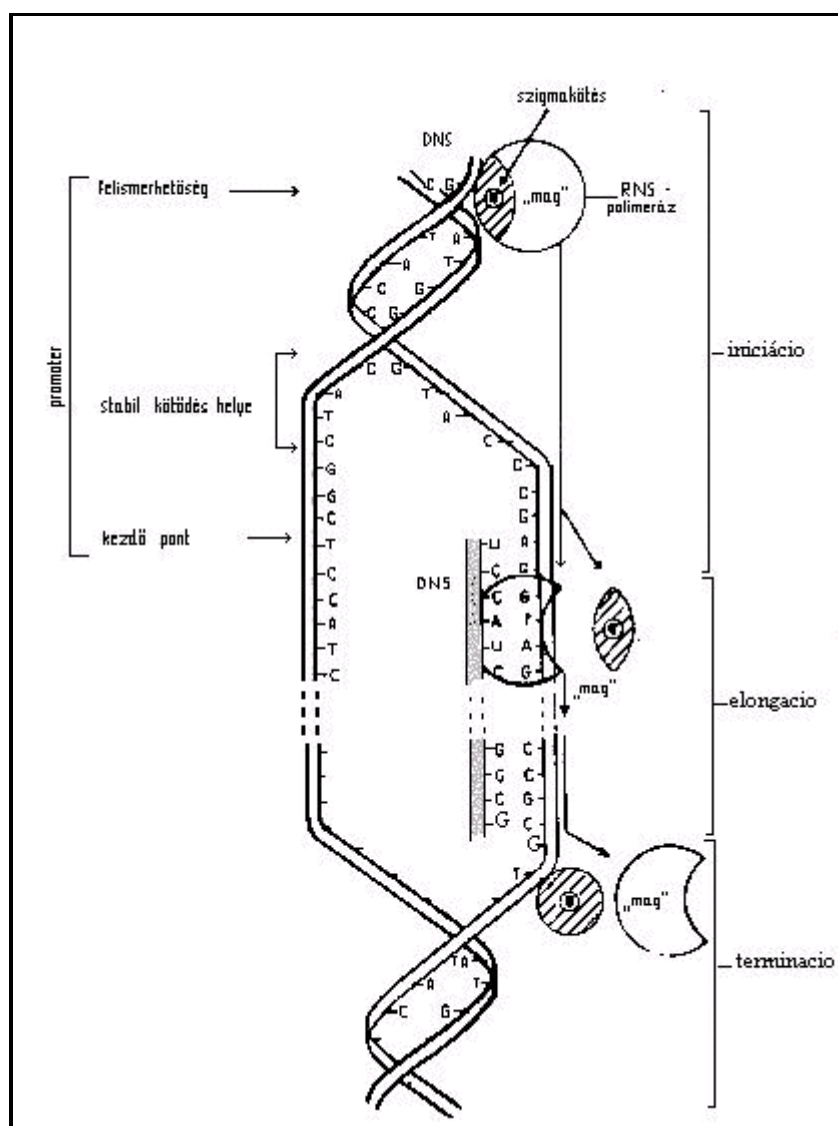
Az első szakasz az átírás, transzkripció. Ebben a szakaszban szintetizálódik a hírvivő, messenger mRNS, amely a DNS-ről leolvasott információt a szintézis helyére viszi.

Az átírás azzal kezdődik, hogy az RNS-polimeráz szigma faktor nevű alkatrésze, felismerve a DNS egyik kitüntetett, sajátos szekvenciájú szakaszát, a promotert, vele preiniciációs komplexet alkot, s ha nem kerül akadály az útjába - erről alább -, addig csúszik a DNS-láncon, amíg eljut egy TA TA szekvenciát tartalmazó szakaszhoz. Ezen a szakaszon a DNS könnyen despiralizálódik, felnyílik. Ettől kb. 20-30 nukleotidnyi távolságra az enzim rábukkan a starttripletre, s megkezdi a szintézist. A DNS egyik szála átíródik. Ahogy a polimeráz halad a szálon, a DNS-nukleotidok bázisainak kiegészítő bázisait tartalmazó RNS építőkövei kapcsolódnak a növekvő lánchoz. Az RNS építőkövei szintén nukleotidtrifoszfátok, csak timin helyett uracil áll. Az elkészült mRNS a DNS komplementere.

A szintézis megkezdése után kb. 1 másodperccel, amikor a lánc mintegy 30 nukleotid hosszúságot ért el, fejére kémiai védelmet nyújtó sapka kerül. Ezután tovább folyik a szintézis, másodpercenként 30-50 nukleotid sebességgel. A keletkezett átírat elérheti a 200.000 nukleotid hosszúságot. Az emberi sejtekben az átlagérték 5.000 nukleotid.

A szintézis akkor fejeződik be, amikor az enzim egy ún. terminátor szekvenciához ér. Feltételezik, hogy ez a szekvencia G-C-ben gazdag, nehezen denaturálható, s rajta az enzim nem tud továbbhaladni. A szintézis befejezésekor az elkészült átírat leválik a DNS-ről, s az ismét felveszi kettős spirál szerkezetét.

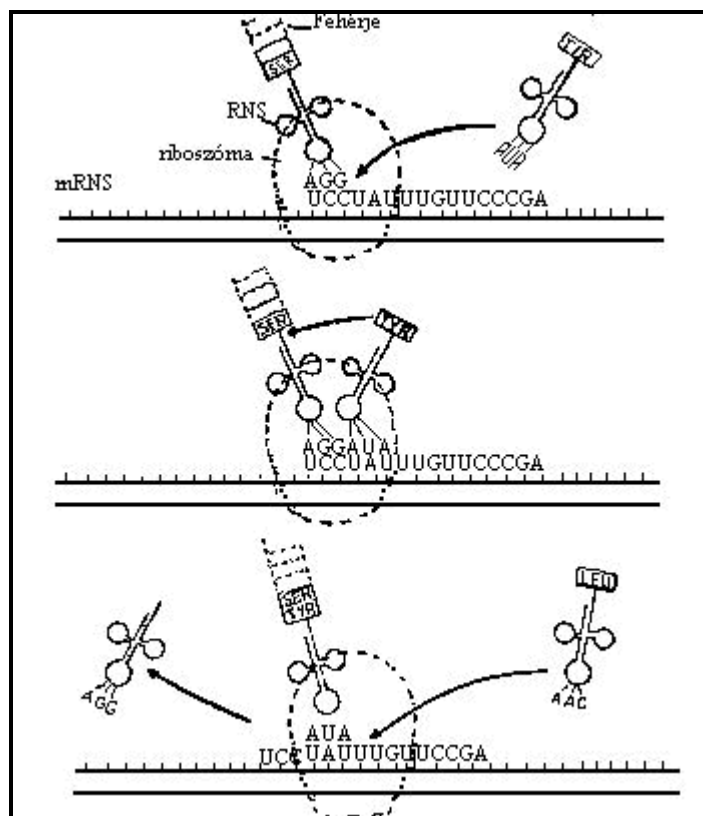
Ez az elsődleges átírat azonban még nem a kész mRNS. A lánc először „érési folyamaton” megy keresztül. Az utófeldolgozás azzal kezdődik, hogy a lánc végéhez farok kapcsolódik. Majd a láncból kihasadnak egyes szakaszok, és a végek újra összekapcsolódnak. Kiderült ugyanis, hogy az eukarióta sejtek génjeiben a fehérjéket kódoló szakaszok olyan szakaszokkal váltakoznak, amelyeknek nincs „értelmük” (a gének darabokban, szétszórtan helyezkednek el a láncban). Előbbieket extronoknak, utóbbiakat intronoknak nevezték el. Az intronok, az „üres” szakaszok, sokszor hosszabbak, mint az extronok. Hogy ennek a diszkontinuitásnak mi a szerepe, azon még vitatkoznak a tudósok. Valószínű, hogy szerepe van az evolúcióban, s az is előfordulhat, hogy egy DNS-szakasz extron lehet az egyik és intron egy másik funkció szempontjából.



11. ábra Az információ átírása (transzkripció).

Az mRNA utófeldolgozásában, újraszerkesztésében fontos szerepe van egy kisméretű ribonukleoproteinnek (small nuclear RNP, snRNP), amely egy uracilban gazdag rövid RNS molekulából és különböző fehérjemolekulákból áll. Ez a molekula vesz részt az intronok kijelölésében és kihalásában. A kész mRNA-t egy fehérjemolekula a „hátára veszi”, s kiviszi a sejtmagból a citoplazmába, a fehérjeszintézis színhelyére.

A nukleoluszban szintetizálódó riboszomális rRNS különböző fehérjékkel, főleg enzimfehérjékkel kapcsolódva alkotja a riboszómát, s biztosítja annak barázdált szerkezetét. Ennek köszönhető, hogy a riboszóma egyidőben képes befogadni egy mRNA-t és a képződő peptidláncot.



12. ábra. Az információ átfordítása (transzláció).

A kis, 70-80 nukleotid hosszúságú tRNS szerepe - ahogy a neve is mutatja -, hogy az aminosavakat a fehérjeszintézis helyére szállítsa és beillesse a kialakuló polipeptidláncba. Bár sokféle eltérő szekvenciájú tRNS létezik - eukariota sejtekben mintegy 100-110 másodlagos szerkezetük nagyon hasonlít egymáshoz. Ezt a szerkezetet a „lóhere modellel” ábrázolják. Eszerint a molekula három hurkot tartalmaz. Az egyik az enzim felismerőhely, ide kapcsolódik az aminosavat a tRNS-hez kötő enzim. A másik az átellenes oldalon az antikodonot tartalmazza, azt a hármas nukleotidszekvenciát, amely az mRNA valamelyik kodonjának a kiegészítője, s hozzá tud kapcsolódni - ettől függ a készülő lánc aminosav sorrendje -, a harmadik hurok pedig a tRNS-nek a riboszómához való kötődésére szolgál.

A fehérjeszintézis, a genetikai kód átfordítása, a transzláció a citoplazmában folyik.

A folyamat az aminosavak aktiválásával indul. Az aminoacilszintetáz nevű enzim, a transzláció kulcsenzime, felismeri és aktiválja a neki megfelelő aminosavat, s hozzákötí az aminosavra specifikus tRNS-hez. A polipeptidlánc szintézise úgy kezdődik, hogy a riboszóma kisebbik alegységéhez egy fehérjefaktor, iniciációs fehérje segítségével hozzákapcsolódik az mRNA-nek az a szakasza, amelyik az AUG iniciációs kodont tartalmazza. Ehhez kötődik UAC antikodonjával az iniciáló aminosavat, a metionint, illetve baktériumoknál a formilmetionint szállító tRNS. A lánchosszabbodás, elongáció megértéséhez tudnunk kell, hogy a riboszómán, amikor a két alegység összekapcsolódik, két bemélyedés alakul ki, s ezek biztosítják a megfelelő térvizonyokat a tRNS-molekulák megkötésére s a peptidkötés kialakítására. Miután a tRNS az A kötőhelyen megkötődött, átvándorol a P kötőhelyre. Az A kötőhely felszabadul, s a riboszóma egy tripletnyit elmozdul az mRNA-en. Ezt a folyamatot transzlokációnak nevezzük. Ezután a szabad A kötőhelyre belép a következő aminosavat szállító tRNS, majd a két aminosav között, a peptidiltranszferáz enzim segítségével kialakul a kötés. Az első tRNS leszakad a dipeptidről, s alkalmassá válik újabb transzportra, a második pedig a dipeptiddel átköltözik a P kötőhelyre. A riboszóma egy tripletnyit elmozdul, jön a

következő tRNS, és a folyamat mindaddig tart, amíg be nem következik a szintézis vége, a termináció. Mint már említettük, a kódszótárban három „értelmetlen” (nonsense) kodon is található, amelyek nem kódolnak aminosavat. Ha ezek közül valamelyik az A kötőhellyel szembe kerül, a tRNS nem tud hozzákapcsolódni, s a peptidszintézis megszakad. A „felszabadító faktornak” nevezett fehérje, amely a riboszómához kötődik, észleli a stopkodont, és az utolsó aminosavmolekula beépülése után a polipeptidláncot leválasztja az utolsó tRNS-ről.

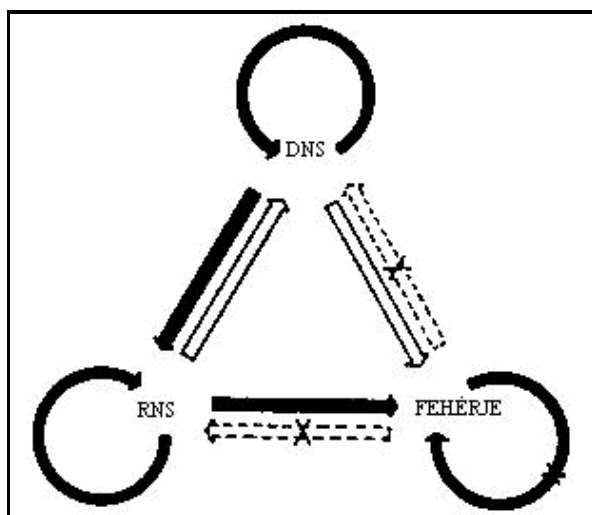
Egy mRNS több riboszómához is kötődhet, a riboszómák mintegy végigcsúsznak az mRNS-molekulán, s így egyszerre párhuzamosan több példányban is szintetizálódhat ugyanaz a fehérje.

A polipeptidláncon már a szintézis folyamán megindul a másodlagos és harmadlagos szerkezet kialakulása, és a szintézis befejezése után a legtöbb fehérjemolekula még jelentős változásokon megy keresztül. Majd a kész fehérjemolekula a szintézis helyéről „munkahelyére” távozik vagy a sejt belsejébe, vagy a membránba, vagy a sejten kívüli világba. Hosszú ideig - persze ez a hosszú idő viszonylagos, hiszen a molekuláris genetika egész története alig néhány évtizedet fog át - a genetikusoknak az volt a véleménye, hogy a genetikai információáramlás csak a fent ismertetett módon, egy irányban megy végbe: DNS→RNS→fehérje, esetleg RNS→fehérje azokban a vírusokban, amelyek genetikai örökségüket nem DNS-ben, hanem RNS-ben őrzik. Ez a felfogás módosult. 1970-ben ugyanis felfedezték, hogy egyes vírusok, az úgynevezett retrovírusok RNS-ben kódolt információikat át tudják írni DNS-be. Amikor egy sejtet megfertőznek, először létrehozzák RNS-állományuk DNS-másolatát egy reverz transzkriptáz nevű enzim közreműködésével, ez beépül a gazdasejt DNS-ébe, és megkezdődik az új vírusrészcskék szintézisének irányítását. A retrovírusok csoportjába tartozik az AIDS-vírus is. A későbbiekben az is kiderült, hogy a fordított átírás nincs vírusokhoz kötve, nélkülük is végbemegy; élesztő-, rovar-, emlőssejtekben egyaránt. A gének sajátosságainak vizsgálata arra a megállapításra vezetett, hogy egyetlen genetikai állományon belül is százával vagy ezrével fordulnak elő olyan szekvenciák, amelyek a fordított átírás révén jönnek létre. Az ilyen szekvenciák az ember genetikai állományának akár 10%-át is kitehetik. A fordított átírással kapcsolatban még nagyon sok a megválaszolatlan kérdés. Például az, hogy miért szerepel ez a folyamat a sejtek működési programjában.

Sok kutató azt is feltételezi, hogy az RNS volt az első biopolimer „információs ősmolekula”. J. E. Darnell a következőket írja erről: „Eltérően a DNS-től vagy a fehérjéktől, rövid RNS-láncok maguktól létrejönnek a Föld kezdeti korszakának megfelelő környezeti feltételek között. Továbbá tudjuk, hogy a RNS-lánc hasítása és újraösszekapcsolása adott helyeken bizonyos esetekben azon fehérjék (enzimek) hiányában is végbemegy, amelyek a mai sejtekben megkönnyítik a folyamatok lejátszódását (tiszán termodinamikai úton). Ez arra utal, hogy az RNS újraserkesztése nem újonnan kialakult bonyodalom. Már a sejtek kialakulása előtt szolgálhatta jelenlegi célját, elkülönült hasznos információdarabok egyesítését. Sok más kutatóval együtt magam is valószínűnek tartom, hogy az RNS újraserkesztésének szerepe volt az első sikeres gének által irányított fehérjeszintézisben. Az RNS csak ezt követően hozta létre, talán a visszafelé történő (reverz) átírás segítségével a DNS-t, amely azután a genetikai információ biztonságos tárházává vált” (Darnell, 1985).

Ezt a feltevést látszik igazolni az RNS sokoldalúsága: ugyanúgy képes tárolni és átmásolni az információt, mint a DNS, de közvetlenül is képes irányítani a fehérjeszintézist, amire a DNS nem képes, sőt enzimeként is viselkedhet.

Az információátadás lehetséges útjait a következő ábra szemlélteti (Sebe, 1986):



13. ábra. A genetikai információátadás irányai.
(Forrás: Sebe, 1986)

A gének

A DNS és RNS tripletjei, kodonjai alkotják a genetikai ábécé betűit; ezekből állnak össze az értelmes szavak, üzenetek, a gének.

A gén fogalma nagyon sokat módosult, finomodott, amióta 1909-ben W. L. Johannsen dán genetikus a mendeli öröklődési tényezővel analóg, egyenértékű fogalomként bevezette.

A mai felfogás szerint a gén a tulajdonságok öröklődésének anyagi egysége, a DNS-molekulának az a szakasza, amely meghatározott tulajdonságot létrehozó fehérjemolekulák szintézisét irányítja. A gének funkcionális egysége az a szakasz, amely egyetlen polipeptidlánc szintéziséért felelős, ez a cisztron tehát a legegyszerűbb gén. A gének hosszúsága arányos az általuk kódolt fehérje hosszúságával. A baktériumokban például a fehérjék átlagos hossza 300-500 aminosav-maradék; a gének átlagos hossza ennek megfelelően 900-1500 nukleotid (egy aminosav = három nukleotid).

A gének száma természetesen a szervezet komplexitásától függ. A vírusokban néhány gén elegendő a genetikai program tárolására, a baktériumokban már 2-3000 génre van szükség, az emlősök genetikai állományát, programját több tízezer gén őrzi. Az ember génjeinek számát 30-50000-re (egyes kutatók 100000-re), s a DNS-számban található bázispárok számát 100 millióra becsülik.

A legújabb kutatások eredményei azt mutatják, hogy a par excellence emberi tulajdonságokat mindössze 500 gén hordozza. Az eukarióta sejtekben - mint arról már volt szó - a DNS-molekulák a kromoszómákba rendezve, a sejtmagban találhatóak, minden kromoszómában egy hosszú DNS-molekula van.

A kromoszómán azt a helyet, ahol egy bizonyos gén elhelyezkedik, lokusznak nevezzük.

Az ivarosán szaporodó élőlények sejtjeiben az apai és anyai kromoszómák párokat alkotnak, s így hozzák létre a génállományt, amelyet - illetve az általa meghatározott genetikai információk összességét - genotípusnak nevezzük. A sejtekben minden génből két példány található - az apai és az anyai örökség. Azokat a géneket, amelyek azonos tulajdonságokat határoznak meg, s a homológ kromoszómák azonos lokuszain helyezkednek el, alléloknak nevezik. Az allélpár tagjai lehetnek teljesen azonosak, de lehetnek ugyanazon gén különböző változatai is (a bázissorrend nem teljesen azonos). A gén megnyilvánulása a fén (bélyeg, tulajdonság, jelleg), s a genotípus érvényre jutó része a fenotípus. A genotípus a kódolt információ, a fenotípus mindaz, ami ebből érvényre jut. S ebben a környezeti tényezőknek is szerepük van.

Ha egy gén két alléja azonos, az egyed az illető tulajdonságra nézve homozigóta. (A két gén egyértelműen határozza meg a tulajdonságot. A fenotípus híven tükrözi a genotípust.) A homozigóta-jelleg természetesen vonatkozhat több vagy akár minden génre is. Ha két allél különböző, a szervezet heterozigóta. Ebben az esetben a tulajdonság többféleképpen nyilvánulhat meg, a fenotípus kialakulására több lehetőség van. Ha az allélpár egyik tagja teljesen elnyomja a másikat, akkor teljes egészében az általa meghatározott jelleg, tulajdonság fog érvényre jutni. Ebben az esetben teljes dominanciáról beszélünk. Inkomplett dominanciáról van szó, ha bizonyos mértékig a másik allél is „szóhoz jut”, s kodominanciáról; ha két allél egyenlő mértékben érvényesíti hatását.

Vannak olyan tulajdonságok, amelyeket egyetlen lokusz génjei határoznak meg. Ezeknél monolokuszos vagy monogénes öröklődésről beszélünk. Nagyon sok tulajdonság kialakulásához azonban több - 4, 8, 10, vagy még több - gén alléljainak együttes jelenlétére van szükség. Ezek a poligénes jellegek (pl. állatoknál a tejhozam). Ilyen esetben a fenotípus kialakulásának a lehetőségei sokkal bonyolultabbak.

Előfordulhat, bár ritkábban, hogy egy gén több tulajdonságot is meghatároz.

Két eset lehetséges. Az egyikre az mRNS átszerkesztésének tanulmányozása során jöttek rá a kutatók. Az elsődleges átiratból, amelyben több exon van, újraszzerkesztés során különböző hosszúságú mRNS-ek állíthatók össze; aszerint, hogy hány exont tartalmaznak. Az ilyen géneket összetett átirási egységeknek nevezték el. A másik esetben - ezt a jelenséget pleiotrópiának nevezik - a gén által kódolt termék, enzim több anyagcsere-folyamatban is részt vesz. Az egy kromoszómán található gének úgynevezett kapcsolódási csoportot alkotnak, s az általuk meghatározott tulajdonságok - bár egymástól lényegében függetlenek - együtt öröklődnek.

A gének egymás mellett lineárisan helyezkednek el, követik egymást, és nincs köztük átfedés. Bonyolult kísérletekkel sikerült „feltérképezni” egyszerű élőlények, például az *ecetmuslica* kromoszómáit. A kromoszómaterképen azt tüntetik fel, hogy az egyes tulajdonságokat meghatározó, kódoló gének milyen sorrendben helyezkednek el a kromoszómákon, illetve a DNS-molekulában. Az emberi kromoszóma feltérképezésének is nekiláttak, s a mai napig sikerült néhány száz gén helyét meghatározni. Természetesen a teljes emberi kromoszómaterkép elkészítéséhez még rengeteg munkára van szükség.

A génműködés szabályozása

A gének irányítják - a fehérjeszintézisen keresztül - a szervezet működését. De mi szabályozza és hogyan a gének működését? Hiszen amint láttuk, a szervezet minden sejtje kromoszómáiban a teljes génkészletét tartalmazza, s a sejtek mégsem egyformán működnek. Vannak sejtek, például az agy sejtjei, amelyek egyáltalán nem szaporodnak, más sejtek különböző funkciók ellátására, különböző termékek előállítására szakosodnak. Másrésztől külső és belső körülményektől függően ugyanazon termékből hol többre, hol kevesebbre van szükség. Létezniük kell tehát különböző rendszereknek, amelyek a génműködést szabályozzák.

A többsejtű élőlények életének első szakasza az egyedfejlődés. Lényege, hogy egy sejtből - a megtermékenyített petesejtből, a zigótából - sok különböző, egymással összefüggő, együttműködő sejt jön létre. Az egysejtű lény egyetlen sejtje maga látja el az élethez szükséges összes funkciókat, az anyagcserét, mozgást, szaporodást stb. A többsejtűekben különböző specializálódott sejtek vagy sejtcsoportok, szövetek szolgálnak a különböző funkciók ellátására. Az egyedfejlődés során tehát a sejtek differenciálódnak.

Hogyan mennek végbe a fejlődés egyes lépései, hogyan rendeződnek el a térben a szakosodott sejtek, hogy létrehozzák a szöveteket, s mindez a megfelelő időben és sorrendben?

A petesejt megtermékenyülésékor génállománya felszabadul minden gátlás, represszió alól, totipotenssé válik: teljes fejlődési kapacitással rendelkezik, képes a szervezet minden sejtjének létrehozására. A totipotencia már a csíralemezek kialakulásakor beszűkül: pluripotenciává alakul. A csíralemezek már csak meghatározott típusú sejteket képesek létrehozni. A fejlődés folyamán a potenciák fokozatosan tovább szűkülnek, egészen a szakosított sejtek unipotenciájáig. A petesejt totipotenciája azt jelenti, hogy a génjeiben tárolt információkból, a genomjából bármi megvalósulhat, a specializálódott sejtek unipotenciája pedig azt, hogy minden le van zárva, kivéve a sajátos funkciókat. „A potenciák beszűkülése tehát a genom bizonyos - túlnyomó - részének repressziója; amely természetesen mindenfajta sejtben más és más” (Csaba, 1978).

Hogy az egyedfejlődés során hogyan történik a gének szabályozása, hogyan jön létre a géneknek a sejtajtáknak megfelelő repressziója, nagyon izgalmas kérdés, s a mai napig nem sikerült kidolgozni egy olyan modellt, amely minden részletkérdésre elfogadható, helyes választ adna. Az bizonyos, hogy a szabályozás több szinten zajlik: a sejtmagban, a citoplazmában s a sejten kívül, a sejtek között. Valószínű, hogy a magasabb rendű élőlényekben - figyelembe véve a gének nagy számát - egy olyan rendszer működik, amely géncsoportokat s nem külön-külön egyes géneket szabályoz.

A génműködés szabályozásában először is maga a DNS vesz részt, a fentebb leírt szuperhélix-képződés kedvez a duplex széttekeredésnek, s amellet választ ad arra a kérdésre: „hogyan képesek a lineáris DNS-ben az egymástól szükségszerűen távol, szétszórta elhelyezkedő szabályozó elemek magával a génnel kommunikálni” (Felsenfeld, 1985).

Amerikai kutatóknak a nyolcvanas évek elején sikerült azonosítaniuk az ecetmuslicában néhány egyedfejlődést irányító gént. Azt is megállapították a molekuláris biológia új módszereivel, hogy a legtöbb vezérlőgénben található egy közös DNS-szakasz, amelyet homeoboxnak neveztek el. A gének, amelyek ezt a szakaszt tartalmazzák, képessé válnak más gének szabályozására. „Amikor a homeoboxot tartalmazó gén lefordítódik fehérjévé, maga a homeobox egy olyan aminosavláncot állít elő, amely feltehetőleg a DNS kettős hélixéhez kötődik. Adott gének DNS-éhez kötődve, ez a fehérje ki- vagy bekapcsolhatja azokat.

A homeobox azonban a *Drosophila*-nál túlmenő jelentőségű. Ilyen közös nukleotidsort már számos szervezetben találtak, a férgekétől az emberig. Lehet, hogy a homeobox az a kulcs, amely feltárhatja a magasabb rendű élőlények egyedfejlődésének mechanizmusait” (Gehring, 1985).

Minden valószínűség szerint az egyedfejlődésnek is van egy genetikai programja, amely ezekbe a homeoboxokba van bezárva.

A sejtmagban a hisztonok és a nemhiszton fehérjék szabályozzák a génműködést. A hisztonok azzal, hogy hozzákötődnek a génekhez, gátolják működésüket, a nemhiszton fehérjék pedig a hisztonok inaktiválásával felszabadítják a megfelelő géneket a gátlás alól. A génaktivitás gátlásában szerepe van a citozin metilezésének is. A vizsgálatok, kísérletek bebizonyították, hogy a gének néhány fajlagos helyének metilezése megszünteti a génaktivitást.

Mint minden fehérje, a hisztonok és nemhiszton fehérjék is a citoplazmában szintetizálódnak. Feltételezik, hogy a citoplazmában működik egy olyan önfenntartó rendszer, amely - a DNS-től kapott információk alapján összeállított stabil mRNS-ek segítségével - irányítja a sejt működését.

Valószínű, hogy a maghártya is részt vesz a sejt differenciálódás és a sejt működés szabályozásában, azáltal, hogy „beleszól” abba, mi kerüljön ki a sejt magból, és mi kerüljön be oda.

Sejten kívüli tényezők is szerepet játszanak ebben a folyamatban. Az induktorok és gátló anyagok receptorok közvetítésével fejtik ki hatásukat. Ha a receptor a sejtmembránban van - membránreceptor - az induktor vagy gátló anyag hatására egy reakciósort indít meg a sejtben, amelynek termékei befolyásolják a differenciálódási folyamatot. A citoszol receptorok, amelyek főleg a szteroid hormonok megkötésében játszanak szerepet, a megkötött hormonnal vagy induktossal bejutnak a sejt magba, s ott közvetlenül fejtik ki hatásukat a DNS-re. Ilyenszerű mechanizmussal magyarázható mindazoknak az anyagoknak, gyógyszereknek, vegyszereknek, hormonoknak stb. a hatása, amelyek kapcsolódni tudnak a DNS-hez vagy a represszor anyagokhoz.

A sejtek közötti kapcsolatoknak is szerepük van a sejt működés szabályozásában. A különálló egyedi sejt másképp viselkedik, mint a közösségben, szöveti vagy szervkötelékben lévő.

A vizsgálatok azt mutatják, hogy a sejt-sejt kapcsolatnak indukciós és gátló hatása van, s ez különösen a differenciált állapot fenntartásában fontos.

A géntevékenység leírására számos modellt dolgoztak ki, s ezek egyre jobb megközelítésben magyarázzák a bonyolult szabályozási mechanizmusok működését. Az alábbiakban vázlatosan bemutatjuk az F. Jacob és J. Monod által 1961-ben kidolgozott - ma már klasszikusnak számító - operonmodellt. A modell a baktériumokban folyó génkifejeződés mechanizmusát írja le, de alapvetően a magasabbrendűeknél is elfogadható.

A funkcionális egységekként felfogott géneknek a következő formái vannak:

- Strukturális gén (S): a strukturális vagy enzimfehérjék szintéziséhez szükséges információkat tárolja; rendszerint több strukturális gén található a DNS-láncban egymás mellett.

- Operátor gén (O): közvetlenül a strukturális gén előtt helyezkedik el, „vegyi kapcsolóként” működik, beindítja vagy sem a strukturális gén működését; képes a represszornak nevezett szabályozó fehérje megkötésére.

Az operátor gén és a hozzátartozó strukturális gének együtt alkotják az operonnak nevezett funkcionális egységet. Egy operon - a benne található strukturális gének számától függően - egy több polipeptidláncból álló óriásmolekula szintézisét vagy akár egy egész anyagcsere-folyamatot szabályozhat, a benne részt vevő enzimek szintézisének szabályozásával.

- Regulátor gén (R): tartalmazza a represszor szintéziséhez szükséges információkat. Ez a fehérje az operátorgénekhez kapcsolódva meggátolja a hozzá tartozó strukturális gének működését. A regulátor gén a DNS-lánc távolabbi szakaszán is elhelyezkedhet.

- A promotor gén vagy régió (P): a DNS-nek az a több száz nukleotidból álló szakasza, amely az operátor gén előtt található. Ehhez a szakaszhoz kötődik az RNS-polimeráz enzim, s végigcsúszik a DNS-láncon, anélkül hogy megindítaná az RNS-szintézist. Ha az operátor gén szabad utat enged az enzimnek, az eljut a strukturális gén start tripléttjéhez, és megindul a szintézis.

A rendszer működéséhez szükség van még két, közös néven effektornak nevezett kis-molekulájú anyagra, az induktorra, illetve korepresszorra.

S még két feltételnek kell teljesülnie: a regulátor génen állandóan kell folynia az mRNS szintézisnek, hogy a represszor mindig biztosítva legyen, másrészt az mRNS-nek instabillnak kell lennie, hogy képzésének hiányában a fehérjeszintézis nagyon hamar leálljon.

Hogyan működik az operonszabályozás?

Indukálható rendszerben a represszor, amelynek szintézise a regulátor gén irányítása alatt állandóan folyik, induktor távollétében az operátor génhez kapcsolódik, s gátolja a promotorhoz kötődő RNS-polimeráz továbbjutását. Így a strukturális gének nem léphetnek működésbe. Gátlás lép fel.

Ha induktor jelenik meg a rendszerben, a represszor kapcsolódik vele, s a keletkezett komplex már nem tud kötődni az operátor génhez, az RNS-polimeráz szabad utat kap, megindul a strukturális géneken az RNS szintézise.

Represszáható rendszerben korepresszor hiányában a represszor nem képes az operátor génhez kapcsolódni, s így a strukturális gének működnek. Ha a rendszerben megjelenik a korepresszor, a represszorral olyan komplexet alkot, amely kapcsolódik az operátor génhez, s az RNS-polimerázt meggátolja abban, hogy a strukturális génhez jusson.

Ilyenformán működik az ún. végtermékgátlás egyik formája. A sejtben az anyagcsere-folyamat felhalmozódott végterméke lép fel korepresszorként, s gátolja a folyamathoz szükséges enzim szintézisét.

A DNS-láncban a kutatók olyan szakaszokat is találtak, amelyek az átírás sebességét szabályozzák. Ezeket a nukleotidszakaszokat erősítőnek, enhancernek nevezték el. Működése még nem teljesen tisztázott, de valószínű, hogy szerepet játszik benne valamilyen fehérjének a megkötése.

Az előbb említett végtermékgátlás a szabályozásnak egy másik lehetőségére utal: az enzim-tevékenység révén történő szabályozásra. Az enzimek segítségével az anyagcsere-folyamatok és a géntevékenység szabályozása kétféleképpen történhet: vagy az enzim mennyiségének, vagy az enzim aktivitásának változtatásával.

A sejtosztódás szabályozásának felderítésében is sok eredmény született az elmúlt két évtizedben, s ezek alapján különböző modelleket dolgoztak ki. Ismertetésük azonban nem fér be könyvünk kereteibe.

A mutációk

Az elmúlt évtizedekben mind a kutatók, mind a nagyközönség részéről egyre élénkebb érdeklődés nyilvánult meg a génmutációk iránt. Ennek két oka van. Egyrészt tudatosodott bennünk, hogy olyan környezetben élünk, amelyben egyre szaporodnak a génjeinket potenciálisan vagy ténylegesen károsító tényezők (vegyi anyagok, radioaktív sugarak, nagyfrekvenciás rezgések). Másrészt a géntechnológia, a génsébeszet, genetikai ipar kialakulása, fejlődése hátborzongató, ijesztő távlatokat nyitott meg a szemünk előtt.

Mit nevezünk mutációnak?

Azt a folyamatot, amelynek során egy génfunkcióért felelős nukleinsav-részletben egy bázis kicserélődik (pontmutáció), vagy a nukleotid sorrendje megváltozik. A mutáció lehet spontán vagy indukált (ha a környezet mutagén tényezői váltják ki).

A bázisváltozások típusai a következők:

<i>bázissorrend</i>			
eredeti	a b c	d e f	g h i
addíció	a m b	c d e	f g h
deléció	a c d	e f g	h i j
csere	a r c	d e f	g h i
transzpozíció	a c d	e b f	g h i
inverzió	a b d	c e f	g h i

(Csányi 1978)

A fenti táblázatból láthatjuk, hogy a bázisváltozás hatása korlátozódhat egy, esetleg két tripletre, de kiterjedhet az egész DNS-re is azáltal, hogy a triplex határok eltolódnak. A spontán mutáció a DNS anyagcseréje folyamán törvényszerűen lép fel (a nyomtatott szöveg sajtóhibáihoz hasonlóan, de törvényszerűbben).

Ennek sokféle oka, mechanizmusa lehet (például a bázis elektronszerkezetében fellépő változások, a bázisok tautomer formáinak megjelenése stb.). Mindezek hibás kapcsolódást eredményeznek, vagy teljesen lehetetlenné teszik azt. A guanin egyik oxigénjéhez például metilgyök kapcsolódik, s megakadályozza az egyik hidrogénkötés kialakulását. Olyan gyök is kapcsolódhat egy bázishoz, amely méreteinél fogva teszi lehetetlenné a kapcsolódást stb. (Drake et al. 1983).

Bizonyos mértékű mutációra feltétlenül szükség van. Ha a DNS nemzedékről nemzedékre abszolút pontosan, minden változás nélkül adná át az információt, az élő szervezetek nem volnának képesek alkalmazkodni a változó életkörülményekhez, s már réges-régen, valamikor az élet hajnalán, a fejlődés egészen kezdeti szakaszában vége is szakadt volna a földi életnek. „A genetikai információ tartalma csak abban a környezetben „értelmes”, amelyben kialakult, ha egy adott időpontban befagyasztjuk, míg a környezete tovább változik, az információ lassan értelmét veszti” (Csányi, 1978).

Az ivarosán szaporodó élőlényeknél a tulajdonságok változékonyságát s így az alkalmazkodóképességet elsősorban nem a mutáció, hanem az egyedek közötti információ-kicserélődés biztosítja. Megtermékenyítéskor az apai és az anyai gének keverednek az utód genetikai állományában, s így új kombinációk jönnek létre. A természet sok más „trükköt” is alkalmaz abból a célból, hogy az élőlényeknek, fajoknak a túl-, helyesebben a továbbélési esélyeit növelje. Ilyen az átteresztződésnek - crossing-overnek - nevezett jelenség. A sejtsztódás során a kromoszómapár megegyező, homológ szakaszai kicserélődhetnek egymással. Mivel az allélpár tagjai között különbségek lehetnek, s viszonyuk is különbözhet (dominancia, regresszió), az így módosult kapcsolódási csoportok változásokat hozhatnak létre a tulajdonság együttesekben. A későbbi kutatások kiderítették, hogy ugyanazon a láncon is végbemehet a crossing-over.

Mivel csak nagyon kevés mutáció jelent evolúciós előnyt, érthető, hogy a szervezet védekezésül olyan mechanizmusokat fejlesztett ki, amelyek csökkentik a számukat. A vizsgálatok azt mutatták, hogy a nukleotidok hibás beépülésének aránya in vitro („kémcsőben”) végzett kísérletben az elméletileg várhatónál négy nagyságrenddel kisebb volt. Minden tízezredik helyett csak minden százmilliomodiknál fordult elő.

A mutációk kiküszöbölésére a sejt leghatásosabb eszköze a DNS-polimeráz. Mutáció révén módosított polimerázok hatásának vizsgálata bizonyította ezt. Egyesek a normális szint fölé emelték a mutációk arányát, mások viszont csökkentették.

A DNS-polimerázok nagy, kb. 1000 aminosavból felépülő, bonyolult szerkezetű fehérjék, amelyek szorosan együttműködnek más, a DNS anyagcseréjében szerepet játszó fehérjékkel.

Kettős feladatot látnak el: polimerázként felépítik a DNS-t, s exonukleázként le tudják bontani. Nyomdai hasonlattal élve ez azt jelenti, hogy szedőként és korrektorként is dolgoznak. Kétszeresen is ellenőrzik a beépülő bázisokat. Először, amikor beépítik, utána korrektorként elolvassák a „kiszedett” szöveget, s kivágják a hibás betűket. Ez a rendszer közvetlenül a replikáció folyamán működik, vannak azonban olyanok is, amelyek mintegy ellenőrző utat végeznek a kész DNS-lánc mentén, és kijavítják az észlelt hibákat (lehasítják a hibásan, tévedésből odakerült atomcsoportokat, mint például a fent említett metilcsoportot, kivágják a hibás részeket).

Természetesen a hibajavító rendszerek nem tudnak minden hibát kijavítani, másképp soha nem fordulna elő mutáció. Nem tartozik a tulajdonképpeni mutációk sorába, mégis itt említjük meg, mert egyes szerzők szerint a változékonyság alapvető forrása a génduplikáció. Lényege, hogy egy-egy gén valamilyen hatás következtében megduplázódik. Az egyik példány továbbra is ellátja eredeti feladatát, a másik pedig sorozatos mutációk révén új funkciót vesz fel, s így növeli a szervezet adaptációs képességét, lehetőségeit, gazdagítja a szervezet információkészletét.

A mutációnak van egy nagyobb méretekben végbemenő változata, amely a kromoszóma szintjén idéz elő módosulásokat. A struktúramutáció során a kromoszómában a DNS-láncnak egész szakaszai vesznek el (deléción), kettőződnek meg (duplikáció), fordulnak el (inverzió), helyeződnek át (transzlokáció).

Még súlyosabb - katasztrofális - következményekkel jár a kromoszómaszám megváltozása. A sejtosztódás során a kromoszómák megoszlásában kétféle hiba következhet be. Az egyik esetben a kromatinszál nem másolódik le, vagy az egyik testvér kromatin tönkremegy. Az egyik utódalany normális lesz, a másiktól hiányozni fog a megfelelő kromoszóma (1:0 megoszlás). A másik esetben mindkét kromatid ugyanabba a sejtbe kerül, mert átalakulásakor a két kromoszóma nem vált el egymástól (2:0 megoszlás). A megoszlási hibák rendszerint a sejtek pusztulását okozzák, vagy súlyos abnormalitáshoz vezetnek.

A többsejtű élőlények esetében a genetikai információ átadása nem csak egyik nemzedékről a másikkra történik, hanem a szaporodó sejteknél egyik sejt nemzedékről a másikkra is. Az öröklődő információ ezen a szinten is változásokat szenvedhet, s így előfordulhat, hogy valamely szövet vagy szerv sejtjei nem azonos információkat hordoznak. Ilyenkor genetikai mozaikról beszélünk. Azokat a mutációkat, amelyek a testi sejtekben következnek be, szomatikus mutációknak nevezzük. Ezek természetesen csak mutáns sejtől származó sejtklónra terjednek ki, s az utódok nem öröklik.

INFORMÁCIÓS FOLYAMATOK A SEJT BEN

A sejt - nagyon régi ez a hasonlat - miniatürizált vegyi kombinát. A szünet nélkül folyó szintézisek és lebontások - az anyagcsere-folyamatok - bonyolult rendszerének összehangolása és szabályozása a sejt nyersanyag- és energiaigényeihez igazítása, hasonlóan bonyolult információs rendszert feltételez. A gén működésével kapcsolatban már volt szó a sejten belüli szabályozó folyamatokról. Ezekben a végtermékgátlás mellett - ami az egyik legfontosabb negatív visszacsatoláson alapuló önszabályozó mechanizmus - igen nagy szerepet játszanak az úgynevezett szignálpeptidek, olyan fehérjék vagy fehérjékbe beépült aminosav-szekvenciák, amelyek fokozzák vagy fékezik az enzimfehérjék működését. Termelésüket a DNS irányítja, amit viszont az anyagcsere-folyamatokból származó információk serkentenek vagy gátolnak.

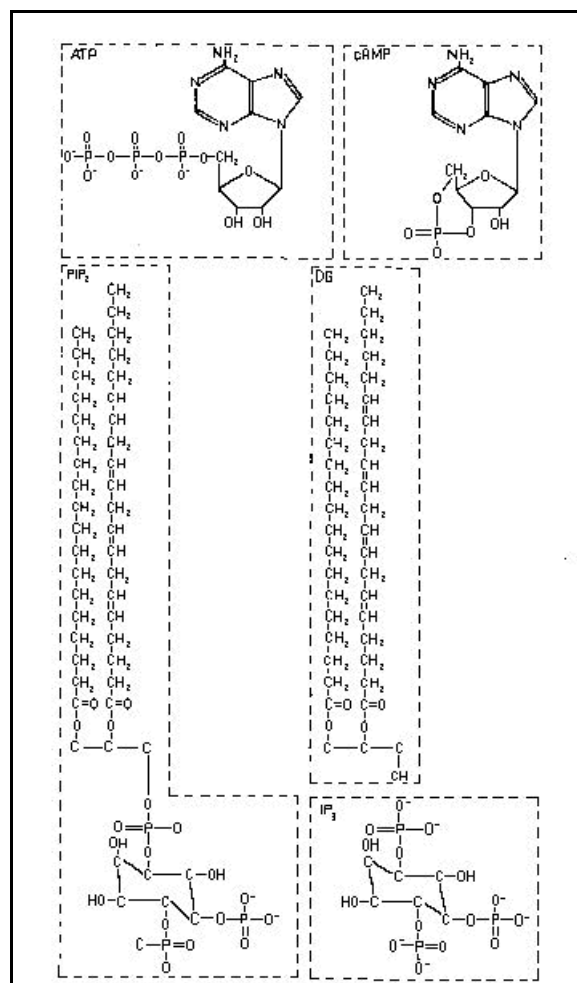
A szervezet információs rendszerei is állandó kapcsolatban vannak a sejtekkel, s üzeneteiket kémiai jelek közvetítik. A hírnökmolekulák az esetek többségében nem jutnak be a sejtbe. A sejtmembrán megállítja őket, az információkat fajlagos receptorok veszik át (a sejt felszínén

nagyon sok jelfogó, receptor található), bejuttatják a sejtbe, átadják a másodlagos hírvivőknek, s azok viszik el végül rendeltetési helyükre. A sejt elemei azután a megfelelő reakcióval válaszolnak, izom-összehúzódást, az anyagcsere megváltozását, a kiválasztás fokozását vagy csökkenését idézik elő.

A plazmamembrán, mint láttuk, lipidmolekulákból álló kettős réteg. Ez alkotja az alapot, mátrixot, amelybe a membránra jellemző sajátos fehérjék ágyazódnak („fehérjekészülék”). Ezek biztosítják a membrán fajlagos működését. Kettős feladatot látnak el: egyrészt gondoskodnak a tápanyagoknak a be-, a salakanyagoknak, valamint a sejt saját termékeinek a kijutásáról és az energiacseréről, másrészt lebonyolítják az információ-közvetítést. Az előbbi feladatuknak úgy tesznek eleget, hogy csatornákat hoznak létre az ionok és molekulák részére, s az elektronokat, protonokat „átszivattyúzzák” a membránon. Az információátvitelt pedig úgy hajtják végre, hogy megváltoztatják saját struktúrájukat, térbeli elrendezésüket, ami egyben működésbeli változást is jelent, a változásokat átadják a velük kapcsolatban levő fehérjéknek, s azok továbbítják a másodlagos hírvivőknek.

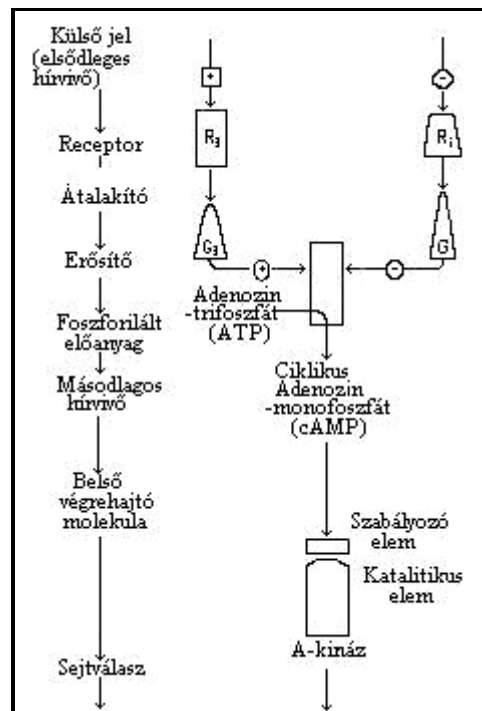
A másodlagos hírvivők kis molekulák vagy ionok, amelyek könnyen és gyorsan mozognak a sejt belsejében, s így az információkat gyorsan eljuttatják a „címzettekhez”.

Az eddigi ismeretek szerint - bár a szabályozott folyamatok száma nagy - csak néhány fajta másodlagos hírvivő létezik: ciklikus adenzin-monofoszfát (cAMP), inozitol-trifoszfát (IP₃), diacil-glicerol (DG) és a legfontosabb, a kalciumion. Képletüket a 14. ábrán láthatjuk.



14. ábra. A sejt másodlagos hírvivői.

A sejtben az információs csatornák két fő típusát ismerjük. Az egyikben a cAMP a másodlagos hírvívő. A külső jel, pl. az adrenalin, a receptor molekulájának adja át az információt (hozzákötődve bizonyos szerkezeti módosulásokat idéz elő rajta), s ez a maga részéről a membránban található úgynevezett G-fehérje módosításával juttatja be a sejt belsejébe. (Azokat a fehérjéket nevezik G-fehérjéknek, G-proteineknek, amelyek csak akkor fejtik ki hatásukat, ha guanozin-trifoszfát (GTP) kötődik hozzájuk.)



15. ábra. Információforrás a sejtben. (Forrás: Berridge, 1985)

A G-protein aktivizálja a sejtmembrán belső falához kötődő enzimet (adenilátcikláz). Az enzim az adenosin-trifoszfátból cAMP-ot állít elő, a cAMP egy A-kináz - proteinkináz - nevű enzimet fog munkába, az foszforizál egy speciális fehérjét (pl. a lipáz nevű másikat, amely a lipidekben megindítja az energia felszabadítását). Itt is, mint minden információs folyamatban, kis energia-befektetés nagy hatást vált ki. Az információs folyamat akkor áll meg, amikor a GTPáz enzim elbontja a G-fehérje GTP-vel alkotott komplexét. Az információs láncba hiba is csúszhat. A kolerabacillus toxinja például gátolja a GTPáz működését, a komplex nem bomlik el, s így a sejt akkor is termeli a cAMP-ot, amikor nincs rá külső utasítás. A következmény: a cAMP a belsejtekben folyamatosan aktiválja a folyadék kiválasztását, s ez okozza a kolerás betegek súlyos hasmenését.

Sok esetben a cAMP nem közvetlenül fejt ki hatását, hanem a kalciumionon keresztül. A kalciumion aktiválásával a másik információs csatorna lép működésbe.

Ebben a csatornában a következő folyamatok mennek végbe: a receptor az információt, amelyet egy külső jel (pl. az acetil-kolin) közvetít, szintén egy G-proteinnek adja át, de az most egy más enzimet, a foszfo-dieszterázt aktiválja. Az enzim egy nagyon bonyolult nevű vegyületből, a foszfatidil-inozitol-4,5-bifoszfátból IP₃-at és DG-t állít elő. Az IP₃ kalciumionokat „mozgósít”, s azok olyan fehérjéket aktiválnak, amelyek izom-összehúzódást váltanak ki. A folyamat az izomsejtekben megy végbe.

A fentiekben vázlatosan ismertetett információs csatornákon olyan jelek, információk is közlekednek, amelyek a DNS szintézisét befolyásolják, s ezáltal szabályozzák a növekedést és a fejlődést. A tudósok komolyan fontolgatják annak a lehetőségét - s erre már közvetett bizonyítékok is vannak -, hogy az információs csatornákból beálló zavarok, hibák - azáltal, hogy megzavarják a sejtszaporodás normális szabályozását - okai lehetnek a rák kialakulásának (Berridge, 1985).

Nem minden jelhordozó áll meg a sejtmembrán előtt. A szteroid típusú hormonok és a pajzsmirigy hormonjai bejutnak a sejtbe és a citoplazmában található citoszol receptorokhoz kötődve a sejtmagba is, s ott fejtik ki hatásukat a kromatinra.

INFORMÁCIÓÁRAMLÁS A SEJTEK KÖZÖTT

Az élő szervezet részei közötti együttműködést, a szövetek, szervek s az őket alkotó sejtek működésének összehangolását, környezethez való alkalmazkodását a sejtközi információs rendszer biztosítja. A rendszer két, viszonylag autonóm alrendszerből áll - valamikor külön rendszernek is tekintették őket - az idegrendszerből és a hormonális rendszerből. Az egészet neuro-endokrin rendszernek nevezzük.

A két rendszer közötti hasonlóságokat és különbségeket röviden és vázlatosan a következőkben foglalhatjuk össze:

- mindkét rendszerben a hírvivők, az információ hordozói kémiai vegyületek, s nem egy esetben ugyanazok;
- a hírvivők mindkét rendszerben a sejtek receptorain keresztül hatnak s változtatják meg, irányítják működésüket;
- lényeges különbség a két rendszer között, hogy az egyik - az idegrendszer - elsősorban sejtről sejtire közvetlenül, egyenesen a címzett szervhez juttatja el az üzenetet. A másik - a hormonális rendszer - a hírvivőket bejuttatja a véráramba, s onnan választódnak ki a célsejteken;
- az előbbi különbséggel függ össze, hogy az idegrendszer elsősorban a gyors üzenetek közvetítésére alkalmas, míg az endokrin rendszerben az üzenetek sokkal lassabban, néha több óra alatt jutnak el a címzetthez.

A két rendszer nem választható el egymástól: a hormonok befolyásolják az idegrendszert, ez utóbbi pedig részt vesz a hormontermelés szabályozásában, sőt magában a hormontermelésben is. (Az előző két mondatban ezért szerepel az „elsősorban” szó.) Erről majd az idegrendszerrel még teszünk említést.

Az endokrin rendszer

Az endokrin rendszer a hormonkiválasztó belső elválasztású mirigyekből és szabályozó központokból áll. A legfontosabbak a hipofízis, az epifízis, a pajzsmirigy, mellékpajzsmirigy, timusz, a mellékvesék, a hasnyálmirigy, a petefészek és a herék. Ezek mellett endokrin, hormontermelő sejtek találhatók még a bélcsőben, a májban, a vesében.

A hormonokat kémiai szempontból három csoportba osztjuk:

- aminosav-származékok, pl. adrenalin, tiroxin;
- peptidek, polipeptidek, fehérjék, pl. a hipofízis hormonjai;
- koleszterolból származtatható szteroidok, pl. a mellékvesekéreg, petefészek, herék hormonjai.

A polipeptid típusú hormonok fajspecifikusak, a szteroidok viszont nem.

Hatásuk szerint a hormonokat három csoportra oszthatjuk: egyes hormonok ingerlő vagy gátló hatással vannak az effektor sejtekre, szervekre, pl. a hipofízis trophormonjai. Ezeket kinetikus hormonoknak nevezzük. Mások az anyagcserét, a víz- és sóháztartást szabályozzák, pl. a tiroxin az alpanyagcserét. Ezek a metabolikus hormonok. S végül a morfogenetikus hormonok a növekedést és a szervdifferenciálódást szabályozzák.

Egyes hormonok rövid életűek (pl. az ACTH felezési ideje kb. 10 perc), vagy hamar távoznak a szervezetből, mások lassan bomlanak el (pl. a tiroxin felezési ideje 5-7 nap), vagy elraktározódnak a sejtekben, szövetekben. A gyorsan bomló hormonok szabályozó hatása nyilván operatívabb, a lassabban bomlóké tartósabb.

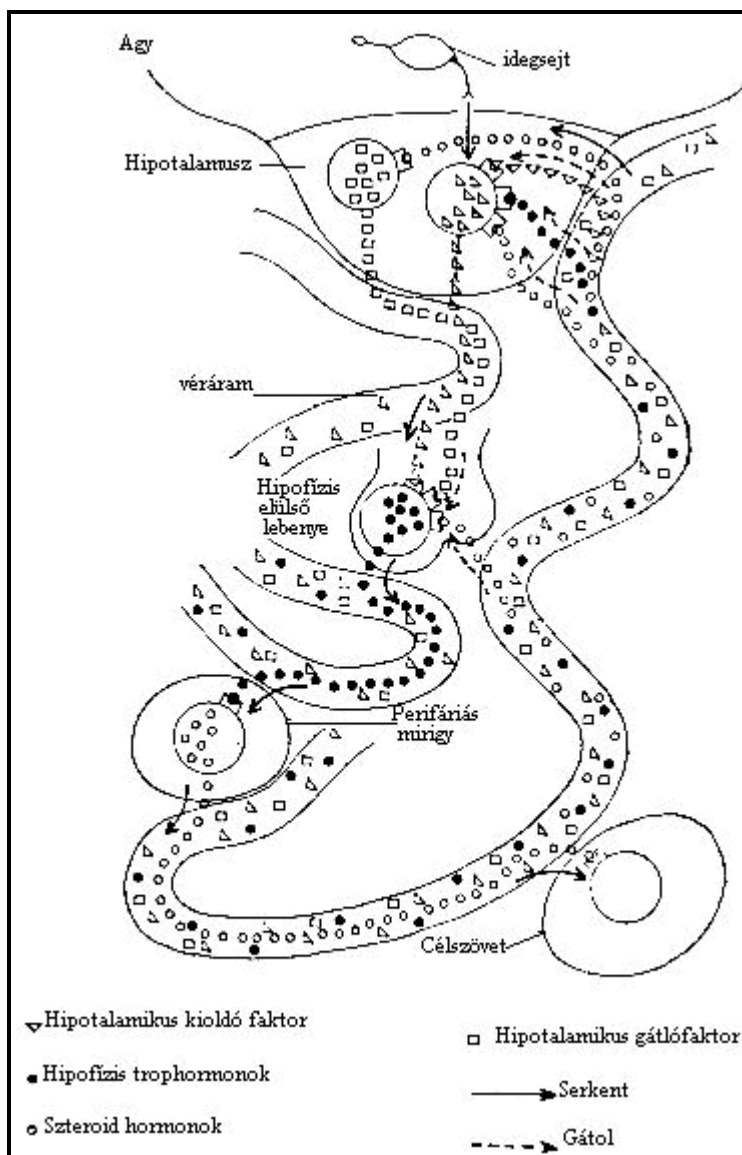
A szteroid hormonok közé tartoznak a kortizol és kortikoszteron, amelyek a glükózlebontást és más anyagcsere folyamatokat szabályoznak, az aldoszteron, amely a sóháztartást irányítja, a nemi hormonok, progeszteron, tesztoszteron és az ösztrogén hormonok.

A peptidhormonok közül a legfontosabbak egyike az inzulin, amely a sejtek glükózfelvevő képességének fokozásával csökkenti a vér cukorkoncentrációját, de hatással van a zsíryanycserére is. A gasztrin a gyomorsav kiválasztását szabályozza.

A hormonok egy része csak néhány szervre gyakorol hatást (pl. a nemi hormonok, ösztrogén hormonok), mások viszont a test majdnem mindegyik szövetére vagy sejtjére hatnak (pl. az inzulin vagy a kortizol).

Hogyan működik a hormonális rendszer szabályozó mechanizmusa?

A belső elválasztású mirigyek központi irányító szerve az agyalapi mirigy - a hipofízis. Ez termeli azokat a trophormonokat, serkentő hormonokat, amelyek azután a különböző mirigyekbe jutva kiváltják azok hormontermelését. Az agyalapi mirigy a központi idegrendszer a hipotalamuszon keresztül szabályozza. A hipotalamusz olyan anyagokat termel, amelyek a hipofízis tevékenységét serkentik vagy gátolják. Lássuk most ezt a folyamatot egy konkrét példán: Solomon H. Snydernek, a John Hopkins University School of Medicine neurológia professzorának cikke alapján a szteroid hormonok szabályozó körét mutatjuk be (Snyder, 1985).



16. ábra. A szteroid hormonok szabályozási köre. (Forrás: Snyder, 1985)

Az agyból jövő inger hatására a hipotalamusz úgynevezett kioldási faktort választ ki a vérbe. A kioldási faktor molekulái eljutnak az agyalapi mirigyhez (erre szakított sejtjei a felszínükön levő receptorok révén kivonják a vérből), s arra készítetik, hogy serkentő trophormonokat termeljen és válasszon ki. A véráram a trophormont eljuttatja a megfelelő perifériális mirigyhez, s abban megindítja a szteroid hormon termelését. A hormon a vérbe kerül, s eljut ahhoz a szövethez, amely az információ címzettje. A vérben a hormon megfelelő koncentrációját több visszacsatolási hurok szabályozza. A végtermék hormon visszahat az agyalapi mirigyre és a hipotalamuszra, s gátolja a serkentő hormon, illetve kioldási faktor szintézisét. Az agyalapi serkentő hormon szintén hat a hipotalamuszra, s ugyancsak gátló hatást vált ki. A végtermék hormon ráadásul a hipotalamuszban gátló faktor termelését is megindítja, amely aztán visszahat az agyalapi mirigyre.

Az endokrin rendszer és az idegrendszer közötti együttműködés három szinten valósul meg:

- az idegsejt által termelt, ún. neurohormonok - ezekről majd az idegsejtek tárgyalásánál ejtünk néhány szót - közvetlen hormonhatást fejtenek ki;
- a neurohormonok szabályozzák a belső elválasztású mirigyek működését azáltal, hogy serkentik a hormontermelést, illetve serkentik vagy gátolják a hormon kiürülését (leasing, illetve release inhibiting hatás);
- a hipotalamusz neurohormonjai a hipofízisen keresztül befolyásolják az endokrin mirigyek működését.

A hormonok, mint mondtuk, a vérbe kerülnek, s az érrendszeren keresztül jutnak el a test minden részébe. A különböző szövetek és sejtek receptoraik segítségével ismerik fel a nekik szóló üzenetet hozó hírvivőket. A szteroid típusú hormonok és a pajzsmirigy hormonjai átjutnak a sejthártyán, és a citoplazmában a citoszol receptorokhoz kötődve bekerülnek a sejt-magba, s ott fejtik ki hatásukat a kromatinra. A többiek - a peptidhormonok - a sejtmembrán receptorain keresztül az előző fejezetben ismertetett módon juttatják el információikat a „címzettekhez”. Az újabb kutatások kimutatták, hogy a szteroid hormonok is megkötődnek a sejthártyán, tehát hatásmechanizmusuk többféle lehet.

Az idegrendszer és az agy

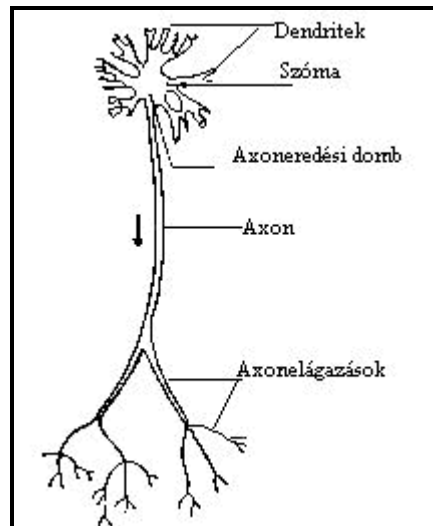
Génjeinktől alapvetően meghatározottan, de mégis viszonylag önállóan, a környezet információit, hatásait magába építve működik szervezetünk másik nagy - azt is mondhatnánk, legemberibb - információs rendszere: az idegrendszer.

Legfontosabb feladata, hogy felvegye, feldolgozza, tárolja a külvilágból és a szervezet különböző részeiből jövő információkat, kidolgozza az adekvát, megfelelő válaszokat, s ezek által vezérelje és szabályozza a szervezet működését, biztosítsa alkalmazkodását az állandóan változó környezethez úgy, hogy közben megőrizze önmagát.

Már a legősibb, legprimitívebb egysejtűeknél megtalálható - hiszen az élet egyik fontos ismérve - az ingerlékenység. Természetesen ez is információs folyamat - információfelvétel és -feldolgozás -, de még nem idegi tevékenység. A többsejtű élőlények kialakulásával létrejönnek a különböző feladatokra specializált sejtek, s közöttük az idegsejtek is, az érző, majd a kizárólag ingerátadásra szakosodott motoros idegsejtek. Érdekes, hogy a Természet sokszor már a fejlődés valamely kezdeti szakaszában „megtalálja” egy-egy kérdésre a legmegfelelőbb megoldást, amelyet azután évmilliók során sem változtat meg. Ilyen a genetikai ábécé, s ilyen a kb. 700 millió éve kialakult idegsejt szerkezete is. A hidrának, ennek a primitív soksejtű állatnak az idegsejtje általános jellegzetességeiben nem különbözik az emberétől.

A neuron

Az idegsejtek, a neuronok nagyjából ugyanazokból az alkotórészekből épülnek fel, mint a test többi sejtje. A sejttestben, a szómában megtaláljuk a sejtmagot, a mitokondriumokat, a Golgi-apparátust, az endoplazmás retikulumot, a mikrotubulusokat.



17. ábra. Az idegsejt

Formailag az különbözteti meg őket más sejtektől, hogy a sejttestből vékonyabb és vastagabb nyúlványok ágaznak ki. A vékonyabb és rövidebb nyúlványok - a dendritek -, amelyek rendszerint a citoplazma folytatásai (plazmanyúlványok). A vastagabb és hosszabb nyúlványok neve axon. A dendritek hossza 0,01- 0,4 mm, az axonoké néhány mm-től több méterig terjedhet. (Az ember idegnyúlványainak összhossza a Föld-Hold távolság kétszerese.) Az axonok alkothatnak tömör kötegeket (pályákat) vagy ritkább, laza összeköttetéseket. Számos neuron axonja nem nyúlik ki távolabbi területekre, nem alkot pályákat, ezek a lokális, intrinsec neuronok.

A sejttestnek azt a részét, ahonnan az axonok elágaznak, axoneredési dombnak nevezik. A benne található membrán, amely az axont elválasztja a citoplazmától, az információátvitelben szűrőként viselkedik, magas ingerlési küszöbértékénél fogva kiszűri, megállítja a véletlen vagy téves információkat.

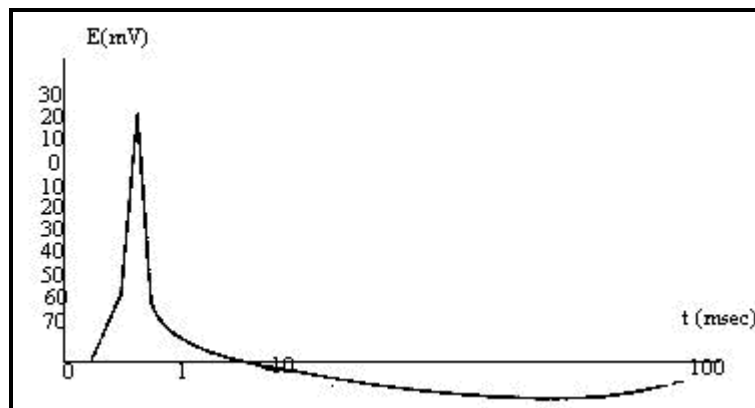
Az axonok többszörösen is elágazhatnak, több száz vagy több ezer kollaterálissal is rendelkezhetnek. Egy részüket, azokat, amelyek a sürgős információkat szállítják - izomreceptorok, mozgatóidegek axonjai - velőshüvely (mielin) veszi körül; ez szigeteli az axon-”kábelt” a környezetétől, s nagyon meggyorsítja az ingerületvezetést.

Egy-egy idegsejten, illetve dendritjein nagyon sok, 1000-10000 más idegsejt nyúlványa is végződhet, s az axon is nagyon sok más idegsejthez kapcsolódhat. A kapcsolat az idegsejtek között nem közvetlen érintkezés útján valósul meg, hanem a szinapszisokon keresztül. Sherrington angol tudós nevezte így el az idegvégződések és a köztük levő 10-20 nm szélességű keskeny rés által alkotott ingerület-átviteli kapcsolatot. A klasszikus elképzelés szerint - s ez az esetek többségében helyes - a szinapszisban az axon végződése az ingerátadó (preszinapszis), és a szomszédos sejt dendritje vagy sejtteste az ingerátvevő (posztzinapszis) elem. Az utóbbi években azonban kiderült, hogy az axodendrikus szinapszis mellett léteznek dendrodendrikus, axoaxonális szinapszisok is, sőt az is előfordul, hogy két dendrit külön szinapszisokon egymásnak küldjön - két irányba - üzenetet. Vagy akár egy axon küldjön két dendritnek, amelyek egymás között is kommunikálnak. A kapcsolódási formáknak ez a változatossága is hozzájárul - sok más tényező mellett - ahhoz, hogy a magasabb rendű élőlényeknek s főleg az embernek az idegrendszerében olyan rendkívül bonyolult struktúrák alakulnak ki és működnek.

Hogyan közlekednek az információk az idegrendszerben?

A sejteket burkoló sejtmembrán külső és belső felülete között ioneloszlási különbségek vannak, s emiatt potenciálkülönbség jelentkezik a sejt belseje és külső környezete között. Ez a potenciálkülönbség különösen nagy az idegsejtek membránján - nyugalmi állapotban kb. - 70 mV. A nyugalmi potenciál ingerek hatására - s ezek lehetnek mechanikai, hő-, vegyi és elektromos ingerek - nagyon könnyen megváltozik: csökken (depolarizáció) vagy megnő (hiperpolarizáció). Megváltozik ugyanis a membrán áteresztőképessége, s ennek következtében megváltozik az ioneloszlás: K-ionok lépnek ki, illetve Na-ionok lépnek be a sejtbe.

Ha a potenciál bizonyos érték - a küszöbérték - alá csökken, a depolarizáció mértéke ugrászerűen megnő, ún. működési vagy akciós potenciál jön létre. A potenciálcsúcs néhány ezredmásodpercig tart, s átadódik a membrán szomszédos területeire. A kisülés, vagy ahogy az angol fireing szóból újabban fordítják, tüzelés, független az inger természetétől és intenzitásától (ha elérte a küszöbértéket). Az idegsejt tehát a minden vagy semmi törvényének megfelelően viselkedik, csak két állapotot „ismer”. (A matematikai információelméletéről szóló fejezetben utaltunk arra, hogy az információs univerzumban a bináris jelleg az uralkodó, s ezért a gyakorlati megfontolásokon túl mélyebb jelentősége van a kettesalapú logaritmus használatának. Íme az első példa.) Ez a működési elv teszi lehetővé a neuronok és neuronhálózatok matematikai-logikai és fizikai modellezését. Az első matematikai modellt McCullach és Pilts készítette 1943-ban. Ezek a modellek nagyon hasznosak az idegrendszer- és agykutatásban, de még hasznosabbak az automaták absztrakt általános logikai elméletének kidolgozásában. Minden döntési problémát meg lehet oldani egy elég nagy számú neuront tartalmazó mesterséges neuronhálózat segítségével - elméletileg. Ezzel szemben gyakorlatilag még az egyszerűbb problémák megoldásához is túl nagy gép kellene.



18. ábra. A potenciál változása az idegsejtben.

A neuron viselkedésével kapcsolatban még három észrevételt kell tennünk.

Egy kisülés - tüzelés - után, amely néhány ezredmásodpercig tart, a neuron kb. 0,5 ezredmásodperc elteltéig nem ingerelhető, akármilyen nagy is legyen az inger intenzitása (abszolút refrakter periódus), majd egy kb. 0,1 mp-ig tartó időszak következik, amelyben nagyon erős ingerek már kisütik (relatív refrakter periódus).

Ha a küszöbértéknél kisebb ingerek érik az idegsejtet gyors egymásutánban, nagyon rövid időn belül, az idegsejt képes azokat összegezni, és ha elérték a küszöböt, létrejön a kisülés.

Az impulzus az axon mentén csökkenés nélkül halad végig, s az axonelágazásban, a szomszédos idegsejtekben szintén impulzust vált ki. A jelek terjedési sebessége az axonok mentén 0,5 és 120 m/s között változik.

A szinaptikus résen az impulzus nem tud átugrani (kivéve az alacsonyabbrendűek idegrendszerében előforduló 2 nm-es rést). Az információt tehát át kell kódolni. Az idegimpulzus az idegvégződésben kémiai jelhordozókat szabadít fel, s ezek kilépnek a szinaptikus részbe. A fogadó sejt - idegsejt vagy célsejt - membránjában található receptorok felismerik az ingerület átvivőt, transzmittert, időleges komplexet alkotnak vele, alakváltozás jön létre mind a receptor fehérjében, mind a vele kapcsolódó membrán fehérjében, s ennek az lesz a következménye, hogy megváltozik az ionszűrő állapot, egyesek kinyílnak, mások bezárulnak, létrejön a potenciálváltozás. A szinapszis típusától függően a fogadó sejt vagy depolarizálódik, s az információ impulzusként terjed tovább a sejtmembránban (serkentő szinapszis), vagy hiperpolarizálódik (sokszor még 100 mV fölé is), s meggátolja az impulzusok továbbterjedését. A gátló szinapszisok, helyesebben a gátló idegsejtek, amelyek gátló ingerületátvivő anyagokat termelnek (a legfontosabb a gamma-aminovajsav, GABA), s a belőlük felépülő gátló idegi hálózatok nagyon fontos szerepet töltenek be az idegrendszer működésének szabályozásában. Egyrészt fékező hatást fejtenek ki az egész idegrendszerre, nem engedik az idegsejtek tüzelését megszaladni, másrészt segítenek behangolni a serkentő ideghálózatok válaszkészségét. Nemcsak a szinapszisokban, hanem a neuron különböző pontjain, a dendrit-elágazásoknál, az axoneredési domb közelében is léphetnek fel gátlások, és megállíthatják a lényegtelen, hamis vagy káros információk terjedését.

Az ingerületátvivő anyagok a neuron endoplazmás retikulumában szintetizálódnak, a Golgi-apparátus vezikulákba „csomagolja” őket, s így kerülnek az ún. axonális áramlással a preszinaptikus végződésbe, az axon bunkószerű kidudorodásába. Ott raktározódnak, s a megfelelő inger hatására felszabadulnak.

Sokáig azt hitték, hogy az ingerületátvivő anyagok csak „ki-be” üzeneteket továbbítanak (ebben az esetben elegendő lenne egyetlen serkentő és egyetlen gátló hatású anyag), s hogy minden sejt csak egyféle, rá jellemző hírvivőt képes kibocsátani. Az elmúlt másfél évtized kutatásai azonban megváltoztatták ezt a véleményt. Kiderült, hogy nagyon sok ingerületátvivő létezik: aminosavak, aminoszármazékok, peptidek (neuropeptidek). A legismertebbek az acetilkolin, noradrenalin, glicin, glutaminsav, adrenalin, dopamin, enkefalin. (Egy részük hormonként is működik.) Az is kiderült, hogy a legtöbb neuron két-három ingerületátvivőt képes szintetizálni. Az együtt ható ingerületátvivők valószínűleg hozzájárulnak az átvitt információk finomításához.

Hogy milyen bonyolult folyamatok játszódnak le a szinapszisokban, annak szemléltetésére álljon itt egy rövid idézet Solomon H. Snyder írásából: „Gondos elektrofiziológiai vizsgálatokkal sikerült kimutatni, hogy a különböző ingerületátvivők sokféle hatást gyakorolhatnak a szinapszisokra. A fogadó idegsejt hártáján többfajta pórus vagy csatorna található. Az egy-egy ingerületátvivő molekula által kinyitható vagy elzárható csatornák képesek a klorid-, a nátrium-, a kálium- és a kalciumionok átérésztésére. A vizsgálatok azt mutatták, hogy minden ionhoz több csatornafajta tartozik, és a különböző csatornák eltérő típusú elektromos információt szállítanak. Az ingerületátvivők a csatornákat különféleképpen befolyásolják. Sőt: egyetlen ingerületátvivő is különböző hatásokat válthat ki az érintett szinapszis típusától függően” (Snyder, 1985). (A csatornatípusok száma a mai felfogás szerint 50 és 100 között van.)

Az ingerületátvivők természetesen csak rövid életű komplexeket alkotnak a receptor molekulákkal. Ha nem így lenne, nem impulzusok, hanem folyamatos ionáram jönne létre a fogadó molekula membránján. A transzmitterek vagy nagyon hamar elbomlanak, vagy az ún. molekuláris pumpák eltüntetik ezeket a szinapsziszból. Érthető, hogy az idegsejtekben és körülöttük rendkívül intenzív szintetizáló tevékenység folyik. Erre egyébként azért is szükség van, mert a membránfehérjék a rendkívüli igénybevétel miatt állandó utánpótlásra szorulnak.

„Egy idegsejt sejt körüli régiója 1 nap alatt a teljes térfogatában kimutatható fehérjét húszszoros mennyiségben gyártja le. Ehhez persze rengeteg energiát is igényelnek az idegsejtek: a másfél kilónyi agyszövet egy 70 kiló súlyú ember teljes oxigénellátásának 20%-át használja fel az energiát felszabadító cukor elégetéséhez” (Hámori, 1982).

Az idegsejtek „termékei” között, mint már említettük, hormonhatású vegyületek is vannak. Ezek a vegyületek több aminosavból peptidkötéssel létrejött molekulák, peptidek, s mivel az idegsejtben szintetizálódnak, neuropeptideknek nevezik őket. Élettani szerepük kétféle lehet. Ha a neuropeptid bejut a keringésbe, és hatását a neurontól távol fejt ki, hatása hormonális, és mivel idegsejt termeli, neurohormonnak nevezzük. Ha a neuropeptid az idegvégződésből a szinaptikus membránon át szabadul fel, és egy másik idegsejtre hat, akkor az adott peptid neurotranszmitternek tekinthető. A két hatás nem választható el egymástól. Ugyanazon sejtben termelődő ugyanazon neuropeptid lehet hormon is, neurotranszmitter is. A ma ismert neuropeptidek száma meghaladja a harmincat. Bár a legnagyobb koncentrációban a hipotalamuszban és hipofízisben találhatók, jelen vannak a központi idegrendszer, sőt a perifériás idegrendszer sok más területén is. Feladatuk eddigi ismereteink szerint, mint arról már szó volt, az endokrin rendszer működésének szabályozása (Palkovits, 1986).

Különösen nagy jelentőségük van az ingerületátvivőknek és a neurohormonoknak az agyműködésben. Sok idegrendszeri és pszichés megbetegedés oka a rosszul működő neurokémiai rendszerben rejlik. Az utóbbi években a folyamatok felderítése nyomán sikerült olyan gyógyszereket előállítani, amelyek az ingerületátvivők serkentése vagy gátlása útján, illetve a neuropeptidek szintézisének, kiválasztásának, receptorhatásának befolyásolásával ezeket a betegségeket kezelhetővé tették.

Az ingerületátvivőkkel kapcsolatban még csak annyit: feltételezhető, hogy ezek az anyagok nem csak az ingerületek átvitelére szakosodtak, hanem az úgynevezett szinaptikus, rövidtávú emlékezésben is szerepük van.

A neuron az idegrendszer funkcionális egysége, s fő funkciója az idegimpulzusok továbbítása. De a neuronok nem csak szállítják az impulzusokat, hanem már ezen a szinten megkezdődik az információk feldolgozása, elsősorban a dendrikus-szomatikus régióban, de az axon mentén is. Az eredmény az impulzusok frekvenciamodulációjában nyilvánul meg. Emellett a neuronok a legritkább esetben működnek önálló egyedekként. Legtöbbször az idegimpulzusok szekvenciája sok ezer neuron együttműködésének eredménye.

(Meg kell jegyeznünk, hogy a magasabb rendű élőlények idegrendszere a neuronok mellett ún. gliasejteket is tartalmaz. Számuk nagyobb, mint a neuronoké, s feladatuk amazok megtámasztása és táplálása.)

A központi idegrendszer

A hidra idegrendszere roppant egyszerű: néhány, a testfelszínben elszórtan található idegsejtből s a köztük kiépülő kapcsolatokból áll. A fejlődés következő lépcsőfokán, az örvényférgenél az idegsejtek dúcokba tömörülnek, s a test belsejébe költöznek. Aztán kialakulnak a páros dúcokból álló dúcláncok, majd a kezdetben egyenrangú dúcokból egyesek kiemelkednek, létrejönnek a feji dúcok s a rovaroknál a hasi és torszelvények dúcai.

A gerincesek színre lépésével az idegrendszer fejlődésében jelentős változások következnek be. A központi idegrendszer a gerincoszlop és a koponya védelme alá kerül. Megjelenik a velőshüvely (mielinhüvely). Elszaporodnak az érző és mozgató idegsejtek közé iktatódott interneuronok (az ember idegsejtjeinek 99%-a), amelyek szerepe nem korlátozódik pusztán az információ közvetítésére, az információtárolásban és -feldolgozásban is fontos feladatai vannak.

Az első gerinceseknél a központi idegrendszer a szegmentált gerincvelőből és a vele egységet alkotó fejletlen agyból áll.

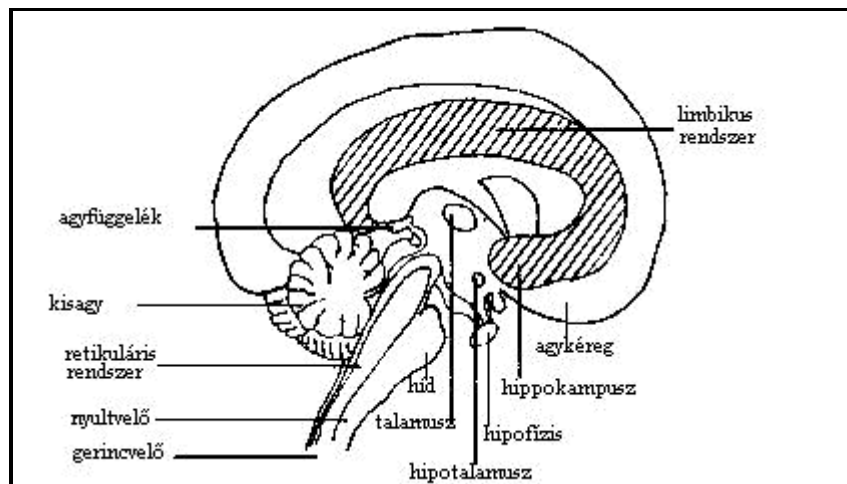
Az idegműködést ezen a szinten jórészt a gerincvelői reflexek uralják. A „primitív” agy, amely az agytörzsből és a középagyból áll, még nem nagyon szól bele a vezetésbe.

A fejlődés során a gerincvelő szerepe csökkent, de megmaradt a zsigeri - vegetatív - idegrendszer központjának. S itt van a központja a reflexes tevékenységeknek. Önállósága azonban csak viszonylagos, mert állandó összeköttetésben van az idegrendszer magasabb szintjeivel (a gerincvelő fehér állományának nagy részét az agyba felmenő afferens és a leszálló afferens idegrostok alkotják), s azoktól kapja az irányítást.

Az emlősök megjelenésével az agy újabb területekkel gazdagodik. Kialakul a régi „emlős-agy”, az úgynevezett limbikus rendszer; majd a magasabb rendű emlősöknél az új „emlős-agy”: a két féltékére osztható neokortex, amely az embernél éri el a legnagyobb fejlettséget.

Az agy felépítése

A gerincvelőt az aggyal a nyúltagyból és a hídból álló agytörzs köti össze. Itt van a székhelye a légzést, a szív működését és a vérnyomást szabályozó reflexeknek.



19. ábra. Az agy szerkezete.

Az agytörzs mellett található a kisagy. Feladatai nagyon sokrétűek. Elsősorban a test és a testrészek helyzetéről beérkező információkat dolgozza fel és küldi tovább a mozgási központoknak, de minden szenzoros információ keresztülmegy rajta, s itt történik az izomműködés finom összehangolása. Az embernél a beszéd megértésének és kivitelezésének finomításában is szerepe van. A legújabb kutatási eredmények azt látszanak igazolni, hogy a kisagy a székhelye a rövid idejű emlékezetnek, és a diszkrét adaptív tanulásnak és megőrzésnek. De erről később még lesz szó.

Az agytörzs utáni agyszakaszban, a középagyban vannak a látás és a hallás alközpontjai.

Ebben a zónában találjuk, a nyúltagy szintjétől a talamuszig, a hálózatos állományt, a formatio reticularist, amely különböző méretű és típusú idegsejtekből és diffúzan szétágazó hálózatos rostokból áll. A hetvenes évek kutatásai derítették ki, hogy milyen fontos szerepe van ennek az idegműködésben. Idézzük David T. Lykkt: „Mélyen az agy magvában van tehát egy olyan belső kommunikációs központ, amely minden bejövő szenzoros információt ellenőriz, és utasításokat küld az információkat hordozó perifériás pályákhoz, és amely gazdag összeköttetésben áll magasabb rendű agyi struktúrákkal és magával a kéreggel. Ez a központ olyan

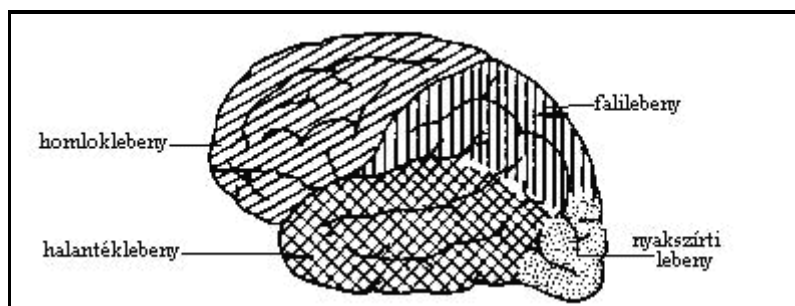
rendszereket is magában foglal, amelyek az alvást és az ébrenlétet, az egész kéreg tónusos aktivációját, valamint a lokalizált kérgi areák fázisos fluktuációját kontrollálják. Úgy tűnik, itt helyezkedik el a figyelem mechanizmusa, a szenzoros inputok szűrésének apparátusa, amely durvább perceptuális analízisre épül. Az FR a (nem feltétlenül aktivált) kéreggel együttműködve képes lehet komplex mintafelismerésre is, és feltehetően elsődlegesen meghatározza, mely információk mehetnek tovább a magasabb végrehajtó rendszerekhez.” (Lykken, 1968).

Az agynak ezt az ősi magvát a régi „emlősagy”, a limbikus rendszer (más néven viscerális agy) szegélyezi (limbus = szegély). Fő alkotóelemei a talamusz, hipotalamusz, hippokampusz, amigdala, girus cinguli, és szoros kapcsolatban van vele a szaglólebehy is.

A limbikus rendszer számos testi funkciót ellenőriz. A talamuszban, mely kizárólag inter-neuronokból áll, található az érző információk (látás, hallás, testérzékelés, fájdalom) kiválogató, átalakító, átkapcsoló központjai. A talamuszban az információfeldolgozás folyamatában (főleg a látási információkéban) nagy szerepük van a gátló idegsejteknek, amelyek szabályozzák a serkentő idegsejtek működését. A hipotalamusz - az autonóm idegrendszer, a vegetatív agy „központja” - a helye a hőmérséklet-szabályozó központoknak, a jóllakottság-, éhség- és szomjúságérzet központjának, innen történik - a hipofízisen keresztül - a belső elválasztású mirigyek működésének szabályozása, s a homeosztázis fenntartásában is szerepe van. A limbikus rendszer az érzelmek, a késztetések (drive), a jutalmazás központja. Bizonyos területek ingerlése az állatoknál jutalom értékű: a patkányok új válaszokat tanulnak meg, régi válaszokat fáradhatatlanul ismételnék, ha megerősítésképpen ezt a területet ingerlik. Az embernél kapcsolatot fedeztek fel a kábítószer-fogyasztás és a jutalmazási zóna ingerlése között. A limbikus rendszer szerepéről Hebb a következőket mondja: „R. W. Doty észrevette, hogy az agykéregnek vagy más érző, illetve mozgató működést szolgáló struktúráknak a sérülése csökkentheti az intelligenciát, percepció zavarokat és bénulást is okozhat, de máskülönben a személy „ugyanaz” marad, aki volt. A limbikus rendszer sérülése ezzel szemben magát a személyiséget változtatja meg. Az sérül tehát, ami az emberi természet lényege” (Hebb, 1983).

S végül elérkeztünk az agy legkülső rétegéhez, az új „emlősagyhoz”, a két féltekére tagolódó neokortexhez, amely a középagyból ered, s azt fölül, körül és alul begyűrődve veszi körül. Itt van a tanulás, a problémamegoldás, a nyelvi funkciók, a gondolkodás központja. Azt is mondhatnánk, a neokortex az ember ember voltának „szubsztrátuma”. Ezt igazolja a következő adat is: míg az ember agyának súlya a gorilláénak csak négyszerese, neokortexe hat-hétszer nagyobb. „Ez az erősen barázdált, néhány mm vastagságú, sejtekből álló kéregréteg rejti a legnagyobb titkot, amellyel a világegyetemnek számunkra ismert részében találkozunk” - idézi Eino Kailát Nordenstreng. Az anatómusok évszázadokkal ezelőtt „lebehyek”-re osztották az agykérget, s ma is ezt a felosztást használják, bár sem élettanilag, sem funkcionálisan nem igazán megalapozott.

Az eddigi általánosan elfogadott felfogás szerint a neokortexben a betöltött funkciók függvényében érző, motoros és asszociációs kérget különböztetünk meg. Az első kettőt primer vagy projekciós centrumoknak is nevezett központok alkotják.



20. ábra. Az agykéreg felosztása

Az érző kéreg az agykéreg hátsó, fali és halántéki lebenyében található. Az ingerek a receptorokból az afferens idegpályákon a talamuszban levő átkapcsoló „állomásokra”, a relésejtekbe, majd innen az elsődleges érzőközpontba jutnak. Itt történik az információk elsődleges analízise. Innen átkerülnek a másodlagos, majd a harmadlagos központokba, amelyekben a primer érzéki formációk komplex feldolgozása, szintézise folyik. Ezek a központok már az asszociációs kéreghez tartoznak, és átfedésben vannak egymással. V. D. Nyebülicin megfogalmazásában: „A kéregnek ebben a részében jelenlevő idegi aktivitás szintézise képezi a percepciónak, a fogalmaknak, emlényomoknak és a lelki élet mindazon elemeinek és aspektusainak idegéletteni bázisát, amelyek végső soron a szenzoros mechanizmusok működésének függvényében állnak elő” (Nyebülicin, 1972).

A motoros és premotoros kéreg a frontális lebeny precentrális területét foglalja el. Előbbi a piramidális rendszerrel az egyes izomcsoportok mozgását irányítja, s pontosan lokalizálható; utóbbi az extrapiramidális rendszerrel a mozgásokat integrált akciókká szervezi, biztosítja gördülékenységüket, flexibilitásukat és a megfelelő idői szekvenciájukat, szabályozza a testtartást, az emóciókat kísérő testmozgásokat.

Ám a frontális kéreg - az agy filogenetikailag legújabb s strukturálisan legfejlettebb része - szerteágazó, kiterjedt kapcsolatai révén részt vesz, talán uralkodó szerepet tölt be az élő szervezet gyakorlatilag minden lényeges funkciójában.

A frontális lebeny biztosítja a hipotalamusszal és a hipofízissel együttműködve a neurohumorális-hormonális szabályozás egységét. A hipotalamuszból és a limbikus rendszerből jövő impulzusok hatására alakul ki a frontális lebenyben az elsődleges készletéből a célszerű motívum, a szándék. A tudatos cselekvés, viselkedés programozása és szabályozása szintén a frontális lebenyben történik. A frontális lebeny a főszerep az intellektuális tevékenységben, a probléma megértésében, a megoldás megtervezésében, a lényeges elemek emlékezeti megőrzésében, az eredmények értékelésében. Idézzük megint Nyebülicint: „A másik fontos agyi apparátustól, a perceptuális rendszertől eltérően - amely a maga gnosztikus funkcióját, az afferens szignálok elemzését és produktumainak a valóság képeivé való szintetizálását végzi - az agy kontrollrendszere (a frontális kéreg a vele kapcsolatos, kéreg alatti részekkel) a fiziológiai és mentális funkciók általános szabályozásának funkcióját látja el, beleértve a vitális aktivitás legfőbb aspektusait, az elemi szükségletekkel kapcsolatos motivációtól a komplex intellektuális programok kidolgozásáig. E sajátos szabályozó rendszer elsőrendű funkciója az előre tervezett és kivitelezése során folytonosan korrigált cselekvés kontrollja, amely mindenkor összefüggésben van a személyiséggel és a helyzettel is, amely az emberi viselkedés magasabb rendű formáinak döntő komponense. Jóllehet az érzékszervek által észlelt információ alapján működik, a kontrollrendszer a maga aktivitását a szenzoros mechanizmusoktól részben függetlenül fejt ki, abban az értelemben, hogy úgy tűnik, nem vesz közvetlenül részt a külső környezetből érkező szignálok dekódolásában és elemzésében.”

Hebb szerint az asszociációs és az érző kéreg aránya (az A/S arány) szignifikáns: magas A/S magas intellektuális potenciálra utal. Ahogy az evolúciós létrán felfelé haladunk, ez az arány mind magasabb lesz, s az embernél éri el a legnagyobb értéket (Hebb, 1949).

Az A/S arány mennyiségi növekedése minőségi változásokat okoz a viselkedés komplexitásában, s ennek tulajdonítható, hogy az ember magatartására nagyobb hatással vannak a belső folyamatok, mint a közvetlen ingerek.

A neokortex minden emlősállatnál két féltekére tagolódik, s érdekes módon a szenzoros információk be-, és a motoros utasítások kifelé menet az idegrendszer alsóbb szintjén utat változtatnak: a jobb-oldalról jövők a bal s a baloldaltól jövők a jobb féltekébe mennek. Ám a két félteke egyedül az embernél aszimmetrikus.

„Az ember két agyféltekéje különböző kognitív funkciókra specializálódott, és sebészeti úton különválasztva mindkettő tudatosnak tűnik; azaz egy fejben két elkülönült tudatos elme lakozik. Ezek nemcsak hogy elkülönült elmék, hanem éppen specializációjuk folytán különbözőek, tehát nem megkettőzött funkciók” (Galín, 1974). A bal félteke a domináns, a fejlettebb. Ebben székelnek - az emberek 95%-ánál, függetlenül attól, hogy jobb- vagy balkezesek - az időbeli felbontó készségek központjai, köztük a beszédközpont, ezért a nyelvileg kifejezhető tudatosság jellemzi.

Itt folyik az új információk elemző feldolgozása, s a matematikából az algebra, az erős oldala. A jobb a „csendes” félteke, a képi információk feldolgozásában, az alakfelismerésben, a térbeli tájékozódásban, a geometriában, a melódiák felismerésében s az intuícióban jeleskedik. A két féltekét a rostos test, a corpus callosum köti össze, s ezen keresztül integrálódik egész emberré. Bár ezzel az integrálódással, a két félteke közötti kommunikációval néha bajok is vannak. Például amikor a két félteke - éppen szakosodása folytán - ugyanabból a forrásból egymásnak ellentmondó információkat kap. „Képzeld el, milyen hatással van a gyerekre, ha az anyja verbálisan egészen más üzenetet közvetít, mint az arckifejezésével és a testi nyelvével. »Azért teszek így, mert szeretlek, drágám« - mondják a szavai, az arca viszont azt mondja, hogy »gyűlöllek és tönkreteszlek«. Mindkét félteke ugyanannak a szenzoros inputnak van kitéve, de mivel egymáshoz képest specializáltak, mindkettő csak az egyik üzenetet hangsúlyozza” - írja Galín. Ezeket a megállapításokat támasztják alá azok a vizsgálatok, amelyeket az elmúlt másfél évtizedben a pozitronemissziós tomográffal végeztek (Komjátszegi, 1986).

Az emberek között természetesen különbségek vannak a két félteke „képességeinek” fejlettségében. Az egyiknek a logikus gondolkodás az erőssége, a másikkal az intuíció, van, akinek a nyelvi fantáziája fejlettebb, van, akinek a képi stb.

És ezzel eljutunk az agykutatás legfontosabb, legizgalmasabb kérdéséhez. Az ember idegrendszere 20-30 milliárd idegsejtből áll, a kéregsejtek száma 10 milliárd. (Más források szerint az agyat felépítő idegsejtek száma kb. 100 milliárd.) Hogyan és milyen struktúrákba rendeződik szinapszisai segítségével ez a rengeteg sejt?

Hosszú időn keresztül az volt a vélemény, hogy az idegsejtek szinaptikus kapcsolatai - az agy „huzalozása” - genetikailag szigorúan meghatározottak. Az elmúlt húsz évben azonban megváltozott a neurobiológusok véleménye. Deborah M. Barnes idézi Jean-Pierre Changeux-nek, a párizsi Pasteur Intézet kutatójának megállapítását: „Az emberi agy minden valószínűség szerint több, mint 10^{14} szinapszist tartalmaz, és egyszerűen nincs elég gén, hogy ezt a komplexitást „fedezze” (Barnes, 1986). A huzalozás nagyrészt a külső ingerek hatására jön létre, a neuronhálózatok önszervező képessége folytán. Agyunk dinamikus rendszer, amelyben az információk szüntelenül új és új kapcsolatokat alakítanak ki. A kapcsolatokat azután a

gyakorlat „igazítja vissza”. Azok, amelyek nem válnak be, felbomlanak, s a használaton kívül helyezett idegsejtek el is pusztulnak. Éppen ez a nagyfokú plaszticitás, a genetikai programok nyitottsága az, amely életünk végéig lehetővé teszi a tanulást, különböztet meg bennünket az élővilág többi tagjától.

A struktúrák mikéntjére vonatkozólag számos hipotézis született. Szentágothai János kutatásai arra az eredményre vezettek, hogy az agykéreg moduláris szerkezetű. „Ma már tudjuk, hogy az agykéreg lényegében hat rétegen áthaladó függőleges oszlopszerű - mintegy 200-300 mikron átmérőjű (emberben kb. 2,5 mm magas) - egységek (ún. modulok) mozaikja. Ilyen mérvű működési egységek átlagban 5000 sejtet tartalmaznak, amelyek belső összeköttetési rendszere a benne előforduló jellemző alakú és elágazású izgalmi és gátló idegsejtek folytán örökletesen determinált. Hasonlóan örökletesen meghatározott minden állatfajban a kéreg különböző moduljai között, valamint az alacsonyabb központokkal való „huzalozás” is... A furcsa az, hogy az emlősökben a kéreg eme működési egységeinek elvi felépítése, sőt nagysága és sejtszáma is azonos... az ember és az egér közötti különbség a modulok számában és ennek folytán összeköttetések gazdagságában van. Az embernek 10 milliárd kéregsejtje, ezért a legóvatosabb becsléssel kétmillió ilyen működési egysége van, alacsonyabb rendű állatnak pár ezer” (Szentágothai, 1979); (Szentágothai agyelméletéről lásd még Szentágothai, 1980, 1982).

Az érzékelés

Az idegrendszer első feladata - fejlődéstanilag is - az információk felvétele. Ám ez nem csak feladat, hanem szükséglet is. Az agynak az oxigén és a táplálék mellett információkra is szüksége van. A fejlődés szakaszaiban azért, hogy normálisan fejlődjék, később pedig, hogy működőképes állapotban maradjon. A változó környezetből jövő információk nélkül a személyiség összeomlik, az agyi struktúrák elsorvadnak.

Az érzékelés, mint az idegrendszer funkciója, s az érzékszervek természetesen magával az idegrendszerrel párhuzamosan, szoros kapcsolatban fejlődtek ki. S bizonyos tekintetben az embernél érték el a legmagasabb fokot. Ez utóbbi mondatnak az az értelme - s erre még részletesen visszatérünk -, hogy egyes állatfajok valamelyik érzékszerve lehet tökéletesebb, mint az emberé (a kutyák szaglása, a madarak színlátása, a denevérek ultrahang-érezése, hogy csak néhány közismert példát soroljunk fel), ám az emberi érzékelés minőségileg más. A nem tudatos érzékelés mellett megjelenik az észlelés-érezés, és az egész szorosan kapcsolódik az asszociációs tevékenységhez, emlékezéshez, gondolkodáshoz, s egyik összetevője annak a bonyolult, komplex valaminek, amit az ember mentális, pszichés tevékenységként fogunk fel. (Nem tudatos szinten másodpercenként 10^9 bit, tudatos szinten 10^2 bit információt dolgozunk fel [Kulcsár, 1986]).

A klasszikusok szerint az embernek öt érzéke van: látás, hallás, ízézés, szaglás és tapintás. (Amikor a hatodik érzékünkről beszélünk, valamiféle parapszichológiai jelenségre, „megérzésre” gondolunk.) A valóságban azonban sokkal több érzékünk van. Érzékeljük a fájdalmat, a hideget, a meleget, testünk helyzetét, az izmok, inak, ízületek állapotát, idegrendszerünk információkat kap - ha rendszerint nem is válik tudatossá - a vérnyomásról, a tüdő feszülési állapotáról stb. Egyes alacsonyabb rendű állatfajtaik más jelenségeket is érzékelnek, a halak például vízáramlást, elektromos áramot, a sáskák a szélsőséget, bizonyos kígyók az infravörös sugárzást stb. Az állatok környezetérzékeléséről és térbeli tájékozódásáról Székly Pál tanulmányai nyújtanak alapos tájékoztatást (Székly, 1977, 1978, 1979).

Az érzékeket két csoportra oszthatjuk: a külvilág információit felvevő és a szervezet belsejéből származó ingereket felfogó érzékekre. Az előbbiek ismét tovább oszthatók: távoli érzékekre (látás, hallás, szaglás) és közeliekre, amelyek csak a testünkre közvetlenül ható ingerekre reagálnak (íz, hő, fájdalom, nyomás). A külvilágról a legtöbb információt a látás útján kapjuk, az információknak kb. 83%-át, hallás útján 11%-át, s mindössze 3,5%-át szaglás, 1,5%-át tapintás és 1%-át ízlelés útján. (Ezek az adatok megközelítő átlagértékeket jelentenek, de az arányok a valós helyzetet tükrözik.)

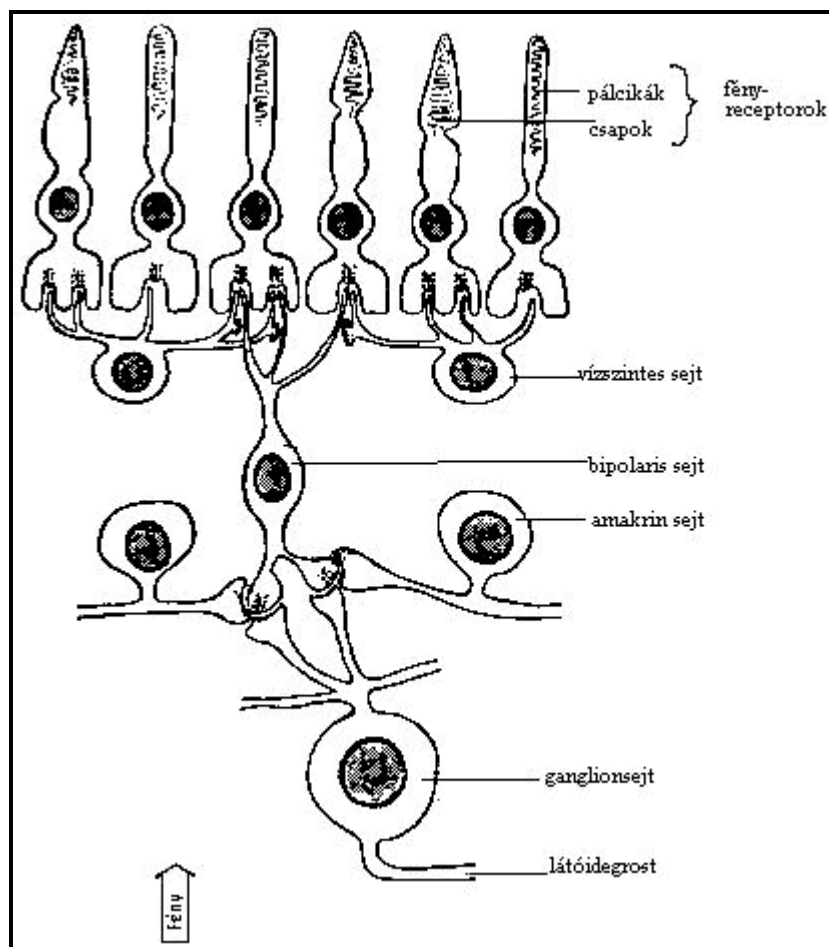
A látás

Fényérzékeny, fotoreceptor sejtek már a primitív gerinctelen állatok testfalában is találhatóak. Látásra, fényérzékelésre szakosodott szervet, szemet azonban csak az ízeltlábúaknál találunk. A fejlett rovarok szeme 5000-50 000 fényérzékeny egységből összetett mozaikszem, amely jól érzékeli a részleteket és a mozgásokat, s más élőlényektől eltérően érzékeli a polarizált fényt (e képességüknek nagy szerepe van a tájékozódásban, és óráként is szolgál, a beeső polarizált fényintenzitás ugyanis a Nap állásától függ). A rovarok tájékozódása a látótérben megdöbbentően pontos, és hihetetlenül gyorsan tanulnak meg bizonyos dolgokat. A méhek például a virágok illatát, színét, alakját (az illat a legfontosabb, mert az a legállandóbb). De csak azt tudják megtanulni, amire programozva vannak. A légy vagy darázs, vagy akármilyen rovar ezerszer nekirepül az ablaküvegnek, akár néhány centiméterre a nyitott ablakszárnytól. Ennek oka a rovar idegrendszerének merevsége, teljes mértékű genetikusan meghatározottsága. A „huzalozás” a legapróbb részletekig meghatározott. A tanulékonyág ilyen nagymérvű korlátozottsága persze óriási hátrány, de van egy nagy előnye: a rovaroknak rövid életükből nagyon kevés időt kell tanulással tölteniük. Ahogy „kibújtak a tojásból”, kész „felnőttek”. A hátrányt pedig ellensúlyozza - a faj szempontjából - nagyfokú szaporodásukból következő mutációs változékonyságuk.

A gerincesek szemének, ennek a kis optikai műszernek a legfontosabb része a szem belső felszínét borító vékony idegszöveti réteg, a retina. Öt fő típusba tartozó idegsejtek építik fel: a fényérzékelő sejtek, a bipoláris, a horizontális és amakrin („nem hosszú rostú”, axon nélküli) sejtek, valamint a ganglionsejtek.

A legtöbb gerinces szemében kétféle fényérzékelő sejt található, amelyeket alakjuk szerint pálcikáknak és csapoknak nevezünk. A pálcikák gyenge fényben működnek. Annyira érzékenyek, hogy normális nappali megvilágításnál túlterhelődnek és működésképtelenné válnak, ám megfelelő körülmények között (például éjjel vagy esti homályban) egyetlen foton elnyelődését is képesek jelezni. A nappali intenzív fényben a csapok „teljesítenek szolgálatot”. Mivel a válaszuk négyszer gyorsabb, mint a pálcikáké, tökéletesebben tudják észlelni a gyorsan változó vizuális ingereket, a tárgyak képeinek gyors változásait, illetve a gyors mozgásokat. Az általuk szolgáltatott kép tér- és időbeli részletekben gazdagabb.

Mindkét sejt típusban nagy kiterjedésű fényérzékeny membránrendszert találunk, amely fényelnyelő látópigment-molekulákkal van tele. A pálcikák egyetlen látópigmentet tartalmaznak, a rodopszint. Az emberi retinában található háromféle csapsejt háromféle hullámhosszra - a kék, zöld és piros színű fényre - érzékeny pigmentet tartalmaz. Ennek köszönhető a színlátás. A látórendszer ugyanis érzékeli a háromféle csap ingerületi állapotának arányát, és ezáltal képes a színek érzékelésére.



21. ábra. A majom retijának sejt kapcsolatai. (Forrás: Gregory - Gombich [szerk.] 1982)

Hogyan látunk?

A szaruhártya és a szemlencse rávetíti a külvilág képét a fényérzékelő sejtekre. A beeső fotonok energiája elbontja a látópigment egy-egy molekuláját. A vegyi reakcióból úgy lesz idegimpulzus, hogy a keletkező termékek módosítják a membránfehérjék szerkezetét, ezáltal megváltozik a membrán ionáteresztő képessége, s megváltozik a potenciálja. Az impulzus (a jelentést hordozó idegi impulzussorozat) a bipoláris sejteken keresztül eljut a ganglionsejtekbe, amelyek axonja - a látóideg - az agyba vezet. A horizontális és amakrin sejtek módosítják és ellenőrzik az agyba induló üzenetet. Nekik köszönhető, hogy szemünk, s általában a gerincesek szeme, olyan pontos megkülönböztető képességgel rendelkezik. Ilyen rendkívüli tulajdonság például az érzékenység beállítása (átkapcsolás a csapokról a pálcikákra). A legtöbb emlős a fényintenzitás tízmilliárdszoros különbségeinél, napfényben is és a csillagok fényénél is egyformán jól lát.

A retina roppant bonyolult, összetett rendszer, igen kis helyen összezsúfolva. Richard H. Masland véleménye szerint a retina a miniaturizálás diadala. Ennek a nagyfokú tömörítésnek két oka is van: a látásélesség maximalizálása érdekében a retina sejtjeinek nagyon közel kell lenniük egymáshoz, magának a retinának pedig nagyon vékonyknak kell lennie ahhoz, hogy a fény eljusson a csapokhoz és pálcikákhoz (Masland, 1987).

Az emberi szemben körülbelül 130 millió receptorsejt és egymillió ganglionsejt található, egy-egy ganglionsejthez tehát 130 receptorsejt szállítja az impulzusokat. A ganglionsejtek állandó „izgalmi állapotban” vannak, s amikor receptorsejtekből a bipoláris sejtek közvetítésével

impulzust kapnak, vagy fokozott izgalomba jönnek, vagy eredeti potenciáljuk is kialszik, a bekapcsoló idegsejteket mindig kikapcsoló sejtek veszik körül és fordítva. Ez az elrendezés a fényinformációk bizonyos elsődleges osztályozását teszi lehetővé. (Pl. a kontrasztok alapján a kontúrok osztályozása.) Az információ feldolgozása tehát már a retinában megkezdődik, sőt az alacsonyabb rendű állatoknál a feldolgozás jórészt itt zajlik le. A magasabb rendűeknél viszont a látókéregre hárul a munka nagy része.

A látóideg - a ganglionsejtek agyba futó axonjaiból kialakult rost - a szemből a talamusz egy speciális központjába, a corpus geniculatum laterálisba (COL) vezet, a relésejtekhez, ahol a rostok egy része kereszteződik (átkapcsoló állomás). A relésejtek az impulzus hatására ugyanúgy viselkednek, mint a ganglionsejtek, de az ingerületeket tovább finomítják. Növelik a kontrasztot, megkülönböztetik a lassan vagy gyorsan mozgó, illetve az álló pontokat, felismerik az események, vizuális ingerek szinkron vagy aszinkron jellegét, és időbeli jellegzetességeik alapján osztályozzák azokat. A COL-ból tehát már egy más fokon szervezett mintázat kerül tovább az elsődleges látókéregbe. Ez a nyakszirti kéregben - a tarkólebeny belső oldalán - található, s mint az egész kéreg, moduláris szerkezetű. Állatokon végzett kísérletekkel megállapították, hogy a különböző irányú vonalak, szögek, képelemek hatására különböző modulok válnak aktívvá, s az azonos érzékenyséű modulok bizonyos szabályszerűséggel ismétlődnek. Az „elemi” moduloktól némi távolságra olyan komplex modulok találhatóak, amelyek az összetettebb alakzatokra érzékenyek, s ezek mellett olyan hiperkomplex modulok, amelyek összerakják az eredeti képet. Ezzel azonban még nem fejeződött be a látás folyamata. Most lép működésbe a másodlagos (majd egyesek szerint a harmadlagos) látókéreg. Az agykéregnek ez a része az elsődleges látókéreg előtt, a fali és részben a halántéki kéregben van, s az asszociatív kéreghez tartozik. Ebben a kéregrészben vannak elraktározva - ki tudja, milyen formában - a látási emlékeink, minden kép, amit életünkben láttunk. Mint már szó volt róla, az embernek az asszociatív kéreg jóval nagyobb, mint minden más élőlényé, s így a másodlagos-harmadlagos kéregrész is, 15-20-szor nagyobb a legfejlettebb majmokénál is, ezért látja másképp a világot. Az emlékképekkel való összevetésből alakul ki a komplex látásélmény. S az élmény azáltal is gazdagodik, hogy az asszociatív látásmező átfedésben és kapcsolatban van más érzékszervek s a beszéd asszociatív mezőivel. Az állat csak néhány tárgyat, személyt tud felismerni, mert kevés az emlékképe (nincs hol elraktároznia), a többi csak pillanatnyi benyomás, mozgó forma.

Az elsődleges látómezőben megy végbe a színek elemzése is. A retinában megkezdett színelemzést - amely sokkal durvább, mint pl. a madaraknál - a finomabb színárnyalatokra érzékeny modulok folytatják, s működésük eredménye az a 160 színárnyalat, amelyet az ember érzékelni tud. (A polinéziai bennszülöttek állítólag 3000 színárnyalatot tudnak megkülönböztetni. Ebből arra lehet következtetni, hogy a civilizáció fejlődése károsan hatott érzékszerveinkre.)

A látás - mint a szervezet minden működése - a fejlődés különböző fokán álló élőlényeknél a programozottság, illetve plasztikusság különböző mértékét mutatja. A rovaroknál, mint láttuk, szinte teljesen programozott, a magasabb rendű gerinceseknél pedig mind plasztikusabbá válik. Ez magyaráz az azt jelenti, hogy a látást is meg kell tanulni.

Állatkísérletek és embereken végzett megfigyelések azt mutatják, hogy a különböző agyi zónák, a szinaptikus kapcsolatok kialakulása a magzati létben genetikai program alapján kezdődik, de a születés utáni időszakban a külső behatások „véglegesítik”. A környezeti tényezők hatása az élet korai szakaszában a legnagyobb, ám felnőttkorban sem szűnik meg. (Lásd a tanulásról szóló fejezetet.) A szinapszisok kialakulása nagymértékben függ az idegrendszer aktivitásától. Hogy egy neuron milyen típusú szinapszisokat alakít ki és milyen

transzmittereket bocsát ki, az a kortexben elfoglalt helyétől függ. De azt, hogy miként kerül a maga helyére, a nemneuronális sejtekkel való érintkezés szabja meg. „A látókérgi neuronok a magzati élet 2-3 hónapos szakaszában alakulnak ki - idézi Deborah M. Barnes Bakičot -, de nem magában a kortexben. Az agykamrák körülötte területekről vándorolnak a helyükre rövid életű radiális gliának nevezett nemneuronális sejtekből álló oszlopok mentén.” Ha a sejtek nem a kellő időben és kellő helyre vándorolnak, a szinaptikus szervezésben zavarok állnak be (Barnes, 1986).

A látás „tanulása” a születés utáni kritikus periódusban megy végbe. Ekkor alakulnak ki és/vagy szilárdulnak meg a genetikailag megszabott keretek között a szinaptikus kapcsolatok a látórendszer minden szintjén, s elsősorban a kortexben, az elsődleges és másodlagos látómezőben. A kritikus periódus időtartama és időbeli elhelyezkedése fajonként változik, s ez is, mint a tanulás minden fajtája, összefüggésben van az asszociatív kortex nagyságával (a macskáknál 4-6 hetes korukban, a majmokban 0-6 hónapos korukban). Az ember kritikus tanulási periódusa 4-5 éves koráig tart, de a komplex látási percepciók 14-16 éves korig alakulnak ki. A látástanulás nagymértékben függ a környezettől, a társadalmi tapasztalatoktól, igényektől, elvárásoktól. S ahogy genetikai örökségünk sem azonos embertársainkéval, még a testvéreinkével sem, úgy látásunk, képi gondolkodásunk, vizuális kultúránk is nagyon különböző. Hámori József érdekes példát ad erre: „Az afrikai nomád vadászok térlátása - a neveltetés hatására - rendkívül következetlen: a lehetséges vadászszákmányt jóval kisebbnek látják (s ábrázolják), mint a semleges tárgyakat, például a fákat vagy a házakat. S bár ennek pszichés okai vannak (önbátorítás), a korai gyermekkorától tanult furcsa térlátás egy egész életre „objektívizálódik”, rögzítődik. Még különösebb az, hogy az európaiak a három-dimenziós térben a tárgyakat veszik észre elsősorban, a japánok és más kelet-ázsiai népek a tárgyakat és a köztük levő teret legalábbis egyformán érzékelik, ami egyébként festészetükben is jól nyomon követhető” (Hámori, 1982).

Látásunk kitüntetett helyet foglal el érzékszerveink között. Nem csak azért, mert szemünk gyűjti össze a legtöbb információt a külvilágból, hanem azért is, mert a beszéd mellett a legtöbbet járul hozzá gondolkodásunk, egész személyiségünk kialakulásához. Erről egyébként a továbbiakban még lesz szó.

A hallás

A második legfontosabb „hírcsatornánk” a fülünk. A mechanoreceptorokból a hallószerv a fejlődés teljesen eltérő lépcsőjén alakult ki. A gerinctelenek közül csak a rákok, rovarok és pókok hallanak, a puhatestűek és az alacsonyabb fokozaton álló, a legprimitívebb gerincesek nem. Az elkülönített hallószerv - a halak oldalszervéből - a hullókben, a madarakban és emlősökben fejlődött ki. A hallás szerve a belső fülben elhelyezkedő hallócsiga - cochlea. (Ugyanitt van az egyensúly érzékelésére szolgáló vesztibulum). Míg a szemet a miniaturizálás csúcsának neveztük, a fülről azt mondhatjuk, hogy a maga több mint egy millió mozgó alkatrészével a test legkomplexebb apparátusa. A hang útját a belső fülön, majd a keletkezett elektromos impulzusokét a hallóidegen keresztül az agyig, már hosszú ideje sikerült tisztázni, ám a belső fül ijesztő bonyolultsága miatt csak az elmúlt években derült fény arra - s még máig sem teljesen -, hogy ebben a borsószemnyi szervben hogyan lesz a legfinomabban elemzett s összetevőire bontott hangokból elektromos impulzus.

A hangregisztrerek receptorai a szőrsejtek. Az alaphártyára támaszkodva réteget alkotnak, s szorosan egymáshoz kapcsolódnak. Bár nincsenek axonjaik és dendritjeik, szinaptikus kapcsolatokat képeznek az afferens és efferens idegsejtekkel.

A szőrsejtek csúcsában nyúlványok vannak, ezeket aktív filamentumokból álló kötegek - sztereocilliumok - alkotják. Az emberi fülben kb. egymillió ilyen receptorszervecske található, s különböző hosszúságuk és vastagságuk folytán különböző frekvenciákra vannak hangolva. Ez teszi képessé fülünket a hangingerek megdöbbenően finom analizisére.

A levegő mozgása - a hanghullám - rezgésbe hozza a dobhártyát, s ez a rezgéseket a hallócsontocskákon keresztül átadja a cochleát betöltő folyadéknak. A folyadék mozgásba hozza a sztereocilliumokat, amelyek az őket összekötő finom szálak megfeszülése, illetve lazulása révén változtatják a szőrsejtek membránjaiban az ioncsatornák áteresztőképességét. Így alakulnak át a mechanikai ingerek elektromos impulzusokká. Míg látásunk érzékenységének alsó határát a fény kvantumtermészete határozza meg, hallásunkét a molekulák hőmozgása (Hudspeth, 1985).

Az idegi impulzusokká alakított ingerületet a bipoláris érzősejtek az agytörzsbe szállítják, ahonnan átkapcsolása után a középagy colliculus inferior /alsó ikertest) nevű részébe kerül, amelynek sejtjei „feldolgozzák” a hang irányát, a frekvenciaváltozásokat stb. A colliculus inferior dolgozza ki a reflex válaszokat a hangingerekre, amelyek egy része azután nem is kerül tovább. A következő állomás a talamusz, a corpus geniculatum mediale (COM). Innen már frekvencia szerint osztályozva kerülnek a hanginformációk az elsődleges hallókéreg oszlopaiba, amelyek a halántéklebény felső tekervényeiben foglalnak helyet. A modulok sejtjei rendkívül specializáltak a frekvenciákra, a frekvenciaváltozásokra (felfelé vagy lefelé) stb. A hangforrás térbeli helyzetét a két fülből érkező azonos hangok által aktivált neuronok határozzák meg. Az elsődleges hallókéreg azután együttműködik a másodlagossal a hanginformációk azonosításában, feldolgozásában.

A hallókéreg szoros kapcsolatban van a limbikus rendszerrel, s ez magyarázza a hanginformációk érzelmi színezetét (zene).

Az embert érő hangingerek között különleges helyet foglal el az élőbeszéd. A beszédhangok, mint minden hanginger, először az elsődleges hallóközpontba jutnak, s innen kerülnek át a beszédérző Wernicke-mezőbe. Itt lesz a hallott hangból megértett beszéd.

A Wernicke-mező - a bal halántéklebényben - sokkal több, mint egyszerű hallóközpont. Itt alakul ki a hallott és olvasott beszéd megértése (a látómezőből az írott szöveg képe a gyrus angularisba kerül, amely átalakítja a jeleket az auditív ingerekre érzékeny Wernicke-mező számára), és itt történik a beszéd elsődleges megformálása. Innen kerül át az íves kötegen a motoros beszédközpontba, a Broca-mezőbe - a bal oldali homloklebény hátsó részébe -, majd konkrét utasítások formájában a nyelvet, ajkat, géget, arcizmokat mozgató motoros kéregbe. A Wernicke-mező központi szerepét igazolja, hogy sérülés esetén a teljes beszédtevékenység károsul vagy válik teljesen lehetetlenné, míg a Broca-mező sérülése csak a beszédkésztséget csökkenti (a kimondott szöveget nyelvtanilag is, tartalmilag is hibássá teszi) vagy szünteti meg teljesen, de a beszéd megértését nem. A gyrus angularis sérülése pedig az írott szöveg megértését teszi lehetetlenné.

Érdekes, hogy míg a motoros és az érzőközpontok az agy két féltekéjében szimmetrikusan helyezkednek el, a beszédközpont csak az egyik, az emberek 95%-ánál a bal féltekében, a halántéki és frontális kéregben található (függetlenül attól, hogy jobb- vagy balkezes-e valaki).

A beszéd-, vagy helyesebben a nyelvi központot rendkívül gazdag kapcsolatrendszer köti össze az asszociációs kéreg minden területével. Itt történik meg minden emberi tapasztalatnak, szándéknak a nyelvi gondolkodásba való átkódolása.

A hallás kialakulásában - éppúgy, mint a látásban, s végeredményben minden ideg- és motoros tevékenységünk kialakulásában - az öröklött képességeket tanulással kell kibontani, fejleszteni. A hallást az teszi számunkra, emberek számára különösen fontossá, hogy a legemberibb, a legfontosabb kommunikációs eszköznek, a beszédnek egyik összetevője. Ezért van az, hogy a gyerekek hallása, hallókérgének kialakulása a beszédével némileg párhuzamos - bár azt egy lépéssel megelőzi -, s ezért a látásnál lassabban alakul ki. A hallás kritikus periódusa a beszédre vonatkoztatva három éves korig tart. Az ének és zene tanulásában - ezek is sajátos, kizárólagos emberi tevékenységek - egy kicsit tovább, ám ezt is csak akkor lehet megtanítani - de akkor minden „botfűlű” gyereknek meg lehet, Kodály bizonyította be, - ha kisgyermekkorban kezdik.

A hallás beszéddel kapcsolatos vonatkozásairól a Beszéd és nyelv című fejezetben foglalkozunk.

Szag és ízérzékelés

Ami a szagokat és ízeket illeti, ezeknek nincs másodlagos központjuk, nem tudjuk őket úgy felidézni, mint a hangokat vagy képeket, csak rájuk tudunk ismerni. Pedig a legősibb receptor-működések közé tartoznak, s tudjuk, hogy az állatvilágban milyen fontos szerepet töltenek be, mint a tájékozódás, és mint a kommunikáció eszközei. (Ha egy patkányt megvakítanak, még meg tud élni, de ha szaglását veszíti el, éhen hal). Egyes vélemények szerint az ember életében is nagyobb szerepet játszanak, mint általában gondolnánk. Bár a szaglólebeny az embernél jelentősen csökkent, megőrizte közvetlen kapcsolatát a limbikus lebennyel s így az endokrin rendszerrel, az éhségérzettel, a szexuális vonzalommal, az érzelmekkel, emlékekkel. Az irodalomban sok utalást találunk a szagok, illatok jelentőségére. Franklin mondta: „A hálnak és vendégnek három nap alatt szaga lesz”. Shakespeare szerint: „Valami bűzlik Dániában”. Kipling pedig ezt írta: „Smells are surers than sounds or sights. To make your heart-strings crack” (Gibbons, 1986).

Az ember szaglószerve az orrüreg felső hátsó részében foglal helyet. A regio olfaktoriának nevezett területet borító szaglóhámban található szaglősejteket a levegővel kevert gáz halmazállapotú anyagok molekulái ingerlik, s az ingerek a szaglóideg útján jutnak el a szaglólebenybe.

Az ízlelés a nyelv felszínén elhelyezkedő ízlelőbimbókban levő specifikus érzősejtek segítségével történik. Az ízek, amelyeket meg tudunk különböztetni: édes, sós, keserű, savanyú és fűszeres.

A testérzékelés

A testérzékelés a mechanorecepciónak, a hőérzékelésnek, a fájdalomérzékelésnek az összefoglaló neve. Közös vonásuk, hogy nem fejlődött ki külön érzékszerv ezeknek az ingereknek az érzékelésére, hanem a bőrben, a testfalban, izmokban, ízületekben található idegvégződések szolgálnak receptoraikként. Az ingerületek az idegsejtek centrális nyúlványain a gerincvelő szürkeállományába jutnak, s legtöbbször ezen a szinten váltanak ki válaszreflexeket. Ezek a reflexek a kéregtől függetlenül alakulnak ki, de az esetek többségében némi késéssel, a felszálló pályákon, a talamuszban levő relésejtek közvetítésével feljutnak az agykéreg érzőmezőihez.

Az exteroceptorokból - a külső ingereket felvevő receptorokból az ingerek pontos testrész szerinti elosztásban a hátsó központi tekervénybe, az interoceptív ingerek pedig az ezekkel összefüggésben levő mélyebb agyi rétegekbe jutnak.

A legfontosabb mechanoreceptor a szőr, illetve a szórtüsző (az ember bőrét kb. egymillió szórtüsző borítja); a hőmérsékletre szabad idegvégződések reagálnak (nagyon valószínű, hogy a hőérzéket a gerincvelőben alakul ki, és nincsenek külön hideg- és melegérző idegek); arról pedig, hogy a fájdalom hogyan alakul ki, eltérnek a vélemények. Az egyik vélemény szerint a fájdalomért vékony csupasz axonok szállítják a gerincvelőbe, a másik vélemény szerint a fájdalomérzékelés a gerincvelőben alakul ki, a tapintás, hő- és vibrációérzékelés integrálásából.

A fájdalomnak különös jelentősége van: mind az állatoknak, mind az embernek a magatartását az érző mechanizmusok közül ez befolyásolja a legnagyobb mértékben, mivel kiterjedésre hajlamos és erősségétől függően az egész vegetatív idegrendszerre kihat. A fájdalomnak két szakasza van: az első szakaszban a gerincvelő hátulsó érzőszarvában az érzőideg-rostok bonyolult szinapszisokon keresztül gyors vagy lassú választ váltanak ki. A gyors, általában nem tudatosuló reflex (végtagok elrántása), a lassú, néhány perc alatt lejátszódó válasz már bizonyos tanulási folyamatokat is kiválthat.

A második szakaszban a fájdalomérzet, ha meghalad bizonyos erősséget, felszáll a talamuszba, s onnan a kéreg testérző részébe, főleg a frontális kéregbe jut.

A fájdalomérzékeléssel kapcsolatban annyit kell megjegyeznünk, hogy az nagymértékben tanulás, tapasztalat és társadalmi-kulturális hatások eredménye. A csecsemő és a kisgyerek csak akkor társítja a fájdalomérzékeléshez a sírást, ordítást, amikor rájön annak figyelemfelkeltő hatására. Akinek pedig alkalmá volt különböző népek, népcsoportok, társadalmi rétegek tagjainak a fájdalommal szembeni magatartását tapasztalni, egyetért a fenti kijelentéssel.

Az interocepcio

Belső szerveink, szervezetünk működéséről az információkat, a szervezetet behálózó belső receptorok, az interoceptorok veszik fel, s juttatják el a vegetatív idegrendszer alközpontjába, a gerincvelőbe, s onnan kerülnek tovább a hipotalamuszba, amely a hormonális rendszeren keresztül az anyagcserét, a homeosztatikuss működést, s általában a vegetatív tevékenységet szabályozza. Ezek az információk nem jutnak el a tudat szintjéig, csak akkor, ha valami nagy baj van.

Érzékszerveink, a bőr receptorai, az interoceptorok és proprioceptorok minden pillanatban az információk hatalmas tömegét fogják fel és indítják útnak az idegpályákon az idegrendszer különböző központjai felé.

Az alábbi adatokból képet alkothatunk érzékszerveink csatornkapacitásáról:

Látás	$7 \cdot 10^8$	bit/s
Hallás (a frekvenciától függően)	$3 \cdot 8 \cdot 10^5$	"
Tapintás, nyomás	$2 \cdot 10^5$	"
Hideg, meleg érzékelése	$2 \cdot 10^3$	"
Szag	50	"
Íz	10	"
Fájdalom	100	"
Beszéd	22-55	"
Olvasás	18-45	"

Sajnos ezek az adatok nem „holtbiztosak”, más forrásokban a fentiekől eltérő adatokat találunk.

Az információk egy része eleve már csak az alacsonyabb központokig jut el, a helyi ideg-gócokig, a gerincvelő megfelelő góciáig. Többségük azonban tovább jut az agyig, s az agynak kell valamilyen formában kiválogatnia a fontos és a nem fontos, vagy kevésbé fontos információkat.

És itt megint rá kell mutatnunk nyelvhasználatunk pontatlanságára. Információelméleti szempontból helytelen minden érzékelés által kapott üzenetet információnak nevezni. Naponta elmegyek ugyanazok mellett a házak mellett, lakásomban ugyanazokat a berendezési tárgyakat látom. Információhoz csak akkor jutok, ha valami változás következik be. S a válogatás folyamán éppen ez történik: a változatlan alap és a jelentéssel bíró új (valódi információ) elválasztása.

Mint láttuk, a retikuláris rendszer a maga mindenfelé szétágazó kapcsolataival (minden relé-állomáshoz s magukhoz a receptorokhoz is küld efferenseket, s hasonlóképpen az agykéreg szinte minden területére) egyike a szűrőállomásoknak, s lehet, hogy a legfontosabb.

A legújabb kutatások eredményei, úgy tűnik, sok területen a hagyományos felfogás módosítására készítetik a kutatókat. A szenzorok és a motoros működések központjainak elkülönítése valószínűleg nem felel meg a valóságnak. Az agykéreg bizonyos területeinek izgatása egyformán hatással van a percepció és motoros tevékenységre. A beszédtevékenység két oldalát, a beszédmegértést és a beszédprodukciónak sem lehet az agy két, egymástól független területéhez kapcsolni, ahogyan azt Broca és Wernicke tette (Ojemann, 1983).

Tanulás és memória

A tanulás és „következménye”, a memória, az agy legsajátosabb tulajdonsága. Az információ-tárolás szoros összefüggésben van a szinapszisok és agyi struktúrák kialakulásával és módosulásával. Az észlelés és az emlékezet együtt biztosítják a döntésekhez - és az embernél a gondolkodáshoz - szükséges információt. Hogy egy élőlénynek mennyi tanulásra van szüksége és lehetősége, az összefüggésben van az A/I aránnyal. A patkánynak nincs sok tudásra szüksége, hogy az életben „boldoguljon”, de nem is tud sokat tanulni, mert asszociációs kerge kicsi, s ezt a „raktárt” rövid idő alatt megtölti. A csimpánznak már hosszabb időre van szüksége, az embernek pedig kb. 20 év kell ahhoz, hogy mindent elsajátítson, amire egy teljes értékű felnőttnek szüksége van, s még azután is, egész életében képes a tanulásra.

A legújabb eredmények alapján feltételezhető, hogy a tanulás során a szinapszisok mennyiségi és minőségi változásokon mennek keresztül. Új szinapszisok alakulnak ki, ezáltal új sejt-együttesek, új hálózatok, új struktúrák jönnek létre, s ugyanakkor a szinapszisokban minőségi változások is lejátszódnak, megváltozik az ingerület-átvitelre szolgáló felszín, változások mennek végbe a szinaptikus résben található cukorfehérjékben.

Egyelőre még kevés a konkrét kísérleti adat, s ezek is csak a legegyszerűbb formákkal kapcsolatosak. Ezek közül Arhem ismerteti Kandel kísérleteit. Ő egy tengeri kígyó kopolyú-visszahúzási reflexét tanulmányozta, s megállapította, hogy a habituáció és a szenzibilizáció alapja a szinaptikus kapcsolatokban bekövetkező változás: a K-csatornák módosulása előidézi a Ca-ionok áramlásának megváltozását, s ezáltal a sejtek ingerlékenységét (Arhem, 1987). (Habituáció = a tanulás, tapasztalatrögzítés egyik, állatoknál gyakran kimutatható típusa: kellemetlen vagy hirtelen ható inger többszöri ismétlődés után elveszti hatását. Szenzibilizáció = érzékennyé tétel).

Az emlékezettel kapcsolatban ismereteink még bizonytalanabbak. A rövid idejű vagy rövid távú memóriának, amely tulajdonképpen a közvetlen múlt tudatossága, feltehetően a szinapszisokban van a székhelye. Ezek az emléknymok nem jutnak be a sejt belsejébe, s a fehérjeszintézist gátló anyagokkal nem befolyásolhatók. Valószínűleg a szinaptikus érintkezés szintjén történik valamiféle kódolás, a sejtmembránhoz kötött cukorfehérjék alakja, mennyisége változhat meg. Biztos, hogy az emberi agy szinapszisaiban naponta rövid távú emléknymok milliói vagy milliárdjai rögződnek ideiglenesen és tűnnek el.

A hosszú távú, tartós emléknymok tárolása - éppen tartósságuk miatt - nem alapulhat fizikai jelenségeken. Valószínű, hogy bizonyos kémiai folyamatokkal, anyagcsere- folyamatokkal, a fehérjeszintézisben bekövetkező változásokkal összefüggésben neuron-hálózatok alakulnak ki, módosulnak, új tulajdonságokra tesznek szert. Adott neuronhálózaton belül a kialakuló egy-tízmillió szinapszis szinte korlátlan lehetőséget ad aktivitás mintázatok kialakulására. Így egy-egy idegsejt elpusztulása nem okoz nagy kárt az emlékezetben.

A kéreg különböző területeinek izgatásával azt is sikerült megállapítani, hogy az emléknymokat lokalizálni lehet. De feltételezik, hogy ugyanaz az emlék párhuzamosan sok helyen tárolódik (redundancia!), s így biztonságosan megőrizhető. Az elsődleges érzőkérgék ingerlése csak összefüggéstelen elemi nyomokat hoz felszínre (színeket, zörejeket, mozgásokat), az asszociatív kéreg ingerlése viszont már összefüggő történéseket, emlékláncokat. Az eredmények alapján feltételezik, hogy a bal halántéklebeny a közelmúlt, a jobb a távoli múlt emlékeinek raktára. Bár valamilyen formában az egész agy szerepet játszik az emlékezésben, az emlékek elraktározásában a hippokampusznak döntő szerepe van, ha megsérül, a beteg semmit sem képes memorizálni. De az emlékek felidézésében már nincs szerepe. Érdekes az a hipotézis, amellyel az öregkor sajátos visszaemlékezését magyarázzák: mivel a gátló idegsejtek gyorsabban pusztulnak, az addig gátolt kapcsolatok felszabadulnak a gátlás alól, s könnyebben kerülnek felszínre.

Richard F. Thompson, a Stanford Egyetem lélektan professzora a tanulásról és emlékezéstről szóló cikkében azt írja, hogy az emlékek megőrzését biztosító helyi változások új szinapszisok kialakulását, neuronok és szinapszisok kémiai módosulását, a membrántulajdonságok megváltozását foglalják magukban. Nagyon valószínű, hogy az emlékezetnyomok a memóriában kémiai változásokhoz kapcsolódnak, s ezek a DNS-molekulákat is érintik (Thompson, 1986).

Az emberi emlékezet jellegzetes tulajdonsága asszociatív jellege. „Emlékezetünkben a hasznos és haszontalan, kellemes és kellemetlen emlékek, szándékosan megtanult vagy akaratlanul megjegyzett dolgok óriási sokasága, mint megannyi csapda várja, hogy - legalábbis egy kis időre - foglyul ejtse gondolatainkat, ha gondolkodásunk - közvetlen külső hatásra vagy anélkül - valamelyikük közelébe téved. A közelítő gondolatokból asszociálunk a pontos emlékre: gondolkodásunk besétál a hajdani tanulás kialakította csapdák egyikébe” (Geszt, 1987). Ezek a csapdák Hebb véleménye szerint az éppen tüzelő és nem tüzelő neuronokból, „kielégített” és „kielégítetlen” szinapszisokból kialakult metastabil állapotban levő hálózatok.

Egy más felfogást ismertet László József. E szerint az információk az agyban nagyszámú neuron egyidejű vagy egymás utáni működését idézik elő, s háromdimenziós, térbeli működési mintázatokat hoznak létre. Ezekben a szinapszisok által összekapcsolt neuron-hálózatokban az impulzusok egyszer vagy többször végigfutnak. A pillanatnyi nyomhagyás (1-100 milsec) egy-kétszeri átfutást jelent, s ha nincs megerősítés, ismétlés, a működés leáll, a nyom eltűnik. A rövid idejű emlékezés úgy jön létre, hogy az emléknym, helyesebben az információ által kiváltott impulzussorozat többször végighalad a neuronhálózaton, s egy önfenntartó körfolyamat (reverberáció) alakul ki. Az emléknym addig marad meg, amíg a

reverberációs folyamat működik. Ha a körfolyamat valamilyen okból megszakad, az emléknym elvész (László, 1986).

A hosszú idejű memória a sejten belüli változásokhoz kötődik. A megismétlődő inger hatására a sejtben fokozódik annak a fehérjének a szintézise (a megfelelő RNS-molekula aktiválása útján), amelyik a folyamatban részt vevő szinapszis működését fokozza, s a reverberációs kör újra bekapcsolását megkönnyíti.

A tartós emlékezetben már a DNS is szerepet játszik. Az aktivált RNS visszahat valamelyik DNS-molekulára, derepresszáló hatást vált ki, amely azután a fehérjeszintézis fokozásában nyilvánul meg. Ha ez a visszacsatolás egyszer működött, bármikor reaktiválható a megfelelő szinaptikus ingerület segítségével. A fehérjeszintézis serkentése révén a hormonok, s főleg a szteroid hormonok pozitív hatással vannak az emléknym képzésére.

Az emléknymot őrző aktivitási minta (pattern) az agy különböző részeiben található neuronokat foglal magában, de a tudatosuló emlékképet a kérgi neuronokból felépülő struktúrában kialakuló reverberációs kör hozza létre. Az emlékezetnek az előbb említett asszociatív jellege annak tulajdonítható, hogy az emléknymokat őrző neuronhálózatok egymással is bonyolult kapcsolatban vannak, s elég egy kis rész aktiválása ahhoz, hogy különböző reverberációs körök működésbe lépjenek.

A hetvenes években Karl Pribram kidolgozta az emlékezet holografikus elméletét, de hipotézisét kísérleti adatokkal egyelőre nem sikerült alátámasztani.

Visszatérve a tanulásra, ez a folyamat minden élőlénynél, így az embernél is az agy fejlődésével van összefüggésben. Valamely képességet, tulajdonságot csak akkor lehet elsajátítani, ha az agy adott régiójában a funkcióhoz szükséges neuronhálózat olyan szintre fejlődött, hogy már csak a megfelelő inger kell a kapcsolatok, a hálózat stabilizálásához. Ekkor kezdődik a kritikus periódus, amely különböző élőlényeknél és különböző tulajdonságoknál eltérő ideig tart.

Az állatoknál a kritikus periódus nagyon rövid, a legtöbb tulajdonság genetikai meghatározottsága merev, nagyon szűkek a határok, amelyek között bizonyos viselkedési formákat meg tudnak tanulni. Tanulási képességük is programozva van.

Természetesen az állatok is képesek egész életük folyamán a tanulásra, mind a klasszikus pavlovi kondicionálás, mind az operáns kondicionálás révén, sőt bizonyos mértékben a kognitív (megismerő) tanulásra is. A különbség az állati és emberi tanulás között a legújabb kutatások fényében kisebb, mint ahogy azt régebben feltételezték, de lényeges.

Az emberi agy anatómiai fejlődése húszéves korig tart, s így sokkal hosszabb ideig nyitott a formáló hatások számára. A gyermek tanulása nem imprinting, nem egyszeri történés, hanem asszociatív, társítási tanulás.

Az ember genetikai programja sokkal plasztikusabb, a tanulás folyamán lehetőség van korrekciókra, próbálkozásokra, s az érzékeny periódus, az agy virtuális fejlődésének befejezése után is folytatható. Az ember a genetikai potenciálját csak tanulás útján tudja kibontakoztatni. Fejlődése nem egyszerű biológiai fejlődés, hanem társadalmi fejlődés is.

Vözl, aki Drischel nyomán háromfajta emlékezetéről beszél, érdekes táblázatot közöl:

Az emberi emlékezet adatokban

Információforrás	15 bit/s Jelen idejű memória	0,5 bit/s Rövid idejű memória	0,05 bit/s Hosszú idejű memória
Tárolókapacitás (bit)	150	1500	10^6 - 10^8
Hozam bit/s	15	0,5	0,05
Veszteség a jelenidejű emlékezethez viszonyítva	1	30:1	300:1
A feltöltődés ideje	10 sec	50 perc	egész élet
Az információ megőrzési ideje	néhány perctől 45 percig	perctől órákig	évek, évtizedek
A tárolás lehetséges módja	szinapszisok	membrán struktúra (?)	fehérje struktúra (?)

Mennyi információ fér el az agyunkban?

Évmilliárdokkal ezelőtt, az élet hajnalán a primitív élőlények információkészletüket a génjeikben őrizték. A kétéltűek, majd a hüllők kialakulásával, kb. 150 millió éve érte el az agy tárolókapacitása a génekét, kb. 10^9 bitet. Az emberi agy már a kezdet kezdetén megközelítőleg 10^{13} bit tárolására volt alkalmas, s azóta nem nőtt sokat (ez kb. ezerszerese a génjeinkben tárolt információnak. Más források ettől eltérő értékeket adnak meg (10^9 - 10^{15} között).

A földi élet $3 \cdot 10^{13}$ bit információt halmozott fel a génekben, s 10^{-6} - 10^{-10} bit/s „sebességgel” fejlődik.

A fenti adatok természetesen csak becslések és nem mért értékek. Sok kutató kétségbe is vonja valószínűségüket.

Barlow angol kutató ezeknek a számításoknak a realitásával és jelentőségével kapcsolatban azt hangsúlyozta, hogy az érzékszerveinken keresztül kapott információk feldolgozása során fellépő veszteségeket nem tudjuk reálisan felbecsülni. Nem beszélve arról, hogy a tanulás-emlékezés egyik feltétele a felejtés, s azt, hogy mennyit felejtünk, mennyiségileg, bitben kifejezni lehetetlenség.

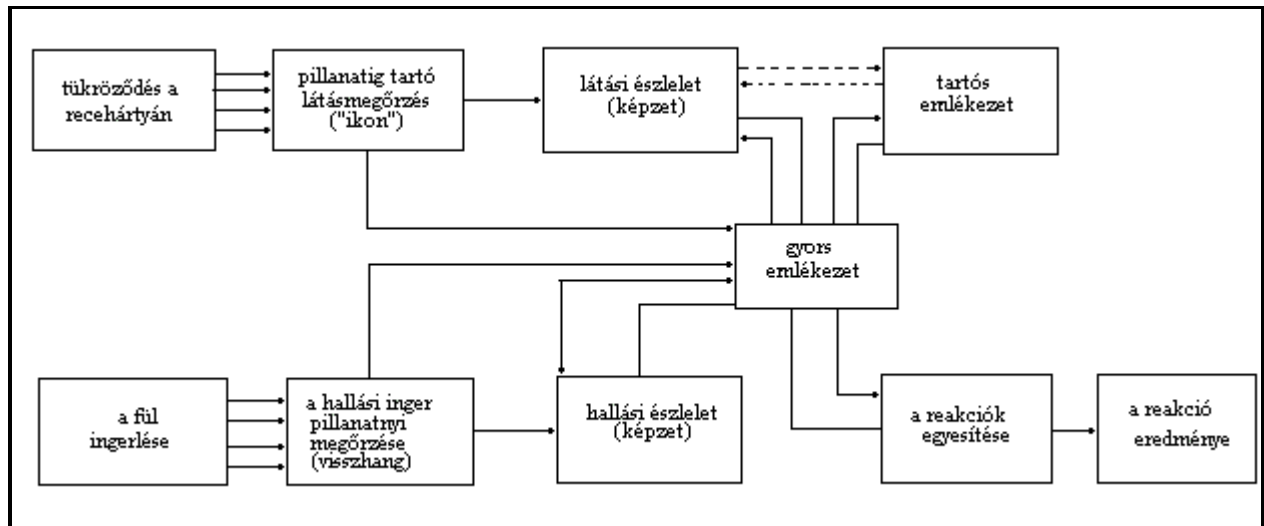
Az elmúlt években elért eredmények alapján a kutatók abban reménykednek, hogy rövidesen sikerül majd felderíteni az emlékezet fizikai alapjait.

Pszichológiai modellek

Az előbbieken az emberi idegrendszer információs tevékenységét mintegy alulról felfelé vettük szemügyre, az idegsejtől elindulva jutottunk el az agyi tevékenységig. Ezt az utat követi a neurobiológia - összefoglaló neve az ideganatómiának, idegélettanak, neurokémia-nak, neurofizikának. Az elmúlt évtizedekben - elsősorban a kísérleti technika fejlődésének köszönhetően - sikerült felderíteni az idegelemekben zajló folyamatokat, az idegelemek közötti kapcsolatok fizikai-kémiai alapjait, sikerült betekintést nyerni az érzékszerveink által felvett információk feldolgozási folyamataiba. Egyszóval: sokat tudunk az idegrendszer és az agy működéséről.

A másik oldalról a pszichológia, s újabban elsősorban a kognitív pszichológia - az információ-tudomány, számítástechnika, mesterséges intelligencia-kutatás eredményeit felhasználó s azokra visszaható irányzat, amely elsősorban a megismerési folyamatokat tanulmányozza - szintén nagyon jelentős eredményeket ért el az emberi értelem jelenségeinek vizsgálatában.

A kialakult magatartásformákból, a lelki tevékenységekből, a gondolkodás felismerhető szabályaiból, a komplex működések tapasztalati megfigyeléséből kiindulva a kutatók számos hipotézist állítottak fel.



22. ábra. Az ember pszichológiai információ-feldolgozó rendszere.
(Forrás: Nordenstreng, 1975)

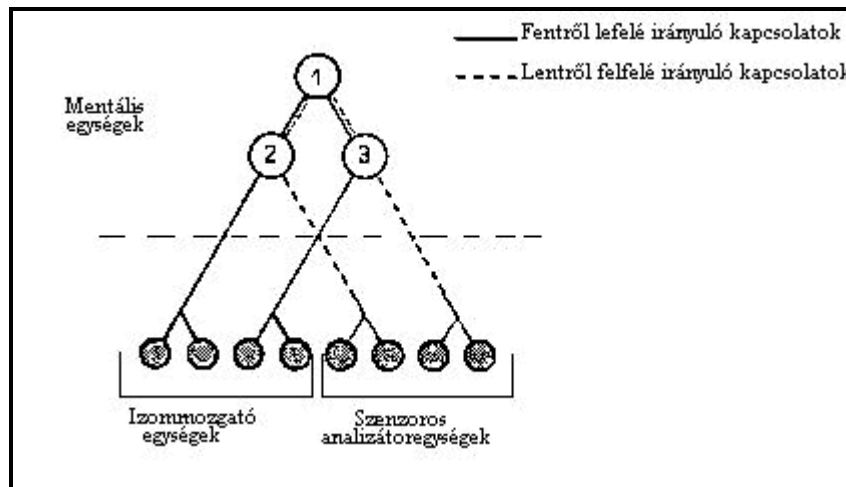
Nordenstreng ismerteti Haber és Fried pszichológiai információ-feldolgozási modelljét, látási és hallási ingerekre alkalmazva.

Az ingerek először nagyon rövid időre egy tartósító vagy gyűjtő „regiszterbe” kerülnek, amelynek feladata minden érzéki információt pontosan regisztrálni. Innen az ingerek töredéke jut a következő szakaszba, ahol kialakulnak a szintetizált észleletek. A tárolás ideje ebben a szakaszban is nagyon rövid. Az észleleteknek a nyelvi jelekkel vagy más jelképekkel, fogalmakkal való egyesítése a gyors emlékezetben történik; amelynek tárolási ideje 10-20 mp, kapacitása korlátozott (egyidejűleg kb. 7 észleleti egység). Az észleleti anyag és a hozzá kapcsolódó nyelvi-fogalmi jelek a gyors emlékezetből - ha a szervezet is úgy „akarja” - a tartós vagy hosszú távú emlékezetbe kerülnek, amelynek működési ideje és kapacitása szinte korlátlan. A nem automatikus parancsok nagy részét is a gyors emlékezet közvetíti. Szublimális észlelés is előfordulhat: az emberben nem válik tudatossá a tartós emlékezetbe surrant információ, csak később, valamilyen szituációban bukkan elő. Általában a gyors emlékezet dönti el, mi jusson tovább a tartós memóriába.

Érdekes hipotézis (bár kidolgozásában a legújabb kutatási eredményekre támaszkodott) Donald MacKay elmélete is, amelyet a percepció és cselekvés nodális struktúrája elméletének (The nodal structure theory of perception and action) nevez.

Az elmélet lényege, hogy az észlelés és cselekvés idegrendszeri alapjait egy dinamikus egységekből (idegsejt-egyettesekből) álló struktúra alkotja. A sejtegyüttesek egy része, a mentális egységek (mental nodes) nem az észleletek reprezentációi, sem az izommozgások mintái, hanem magasabb rendű komponensek, személyek egyformán szerepet játszanak az észlelésben, a cselekvésben és a kognitív folyamatokban (pl. belső beszéd). Az egységek más része, alacsonyabb szinten vagy csak szenzoros, vagy csak motorikus feladatokat lát el. A

sejtegyüttesek dinamikus tulajdonságai hasonlítanak bizonyos mértékben az idegsejtek tulajdonságaihoz. Aktiválhatók, serkenthetők, telítődhetnek, az aktiválás után rövid időre öngátlás lép fel, s a köztük levő kapcsolatok erőssége függ az aktiválások számától.



23. ábra. Az idegrendszer struktúrája.

A mentális egységek három csoportra oszlanak: a tartalmi egységek a percepció vagy a cselekvés tartalmának reprezentációi, a szekvenciális egységek a tartalmi egységek aktiválásának sorrendjét határozzák meg, és az időzítő egységek, amelyek a szekvenciális egységek aktiválásának idejét szabályozzák.

Az egységek, sejtegyüttesek modalitásokat alkotnak, az aktiválási láncnak megfelelően. Például a nyelvi modalitás magában foglalja a beszédértés és a beszédprodukciónak egységeit, s ezek a nyelv felépítésének megfelelően hierarchiába rendeződnek. A rendszerek több modalitásba is tartozhatnak.

Az egy szekvenciális egységhez tartozó tartalmi egységek összessége a domén. Ilyen domén például a színeket jelző melléknevek csoportja. A domének nem egymástól elkülönülő agyi zónák. Ugyanaz a tartalmi egység több doménhez is tartozhat, s így a domének átfedik egymást.

A beszédprodukciónak úgy megy végbe, hogy a legfelsőbb, a fogalmi szinten létrejövő gondolat (pl. „a hó fehér”) serkenti alsóbb szinten a megfelelő tartalmi egységeket, amelyek azután továbbadják a serkentést azoknak a szekvenciális egységeknek, amelyeknek a doménjéhez tartoznak. Ezek visszahatnak a tartalmi egységekre, és a megfelelő sorrendben aktiválják őket. A hatás továbbadódik a fonológiai egységekre, s azoktól az izommozgató egységekre, amelyek azután mozgásba hozzák a megfelelő izmokat.

A nyelvi rendszerben (mind a beszédprodukciónak, mind a megértésben) MacKay három alrendszert különböztet meg: a szentenciális, a fonológiai és az izommozgató rendszert.

Az elmélet jól magyaráz számos - főleg nyelvi - jelenséget, amely más elméletekkel nem magyarázható, de ez is nélkülözi az anatómiai vagy neurofiziológiai megalapozást.

MacKay véleménye szerint a mai eszközökkel, technikákkal a közeljövőben nem is sikerül majd felfedezni olyan idegrendszeri struktúrákat, amelyek megfelelnek ennek az elméleti konstrukciónak (MacKay, 1987).

A kognitív pszichológia másik képviselője, J. F. Sowa a következőképpen írja le, hogyan mennek végbe a megismerési folyamatok, hogyan alakul ki és őrződik meg, majd szükség esetén hogyan válik aktívvá egy emlékkép (Sowa, 1984).

Az érzékelés folyamán az agy az érzékszervek inputjáról rövid ideig tartó képet alkot. Ezt a képet, amelyet Neisser ikonnak nevezett, az agy látási ingerek esetében 250 század mp-ig, hallási ingerek esetében 8, kinezetikus ingerek esetében 20 mp-ig őrzi. Az ikon nem teljes kép. Mivel a szem állandóan ugrál egyik pontról a másikra, az ikon csak egy-egy részletet „ábrázol”. Ahhoz, hogy az ember a teljes képet vagy jelenetet lássa, az ikonokból fel kell építenie a képnek a modelljét. Az elme először egy szkémát alkot, amely „tervrajzként” szolgál a tapasztalatból származó észleleti elemek (perceptek) modellbe rendezéséhez. Hogy az új érzéketek értelmezése mennyire függ az előző tapasztalatoktól, arra néhány példa.

Boring összehasonlította a sejtmagról a kromoszóma felfedezése előtt és után készített rajzokat. A kromoszómák csak az utóbbi rajzokon tűntek fel. A kutatók a mikroszkópban mindaddig nem látták a kromoszómát, amíg valaki fel nem fedezte.

Az optikai csalódások, amelyek nem a szem fiziológiai tulajdonságain alapulnak, igen nagymértékben függenek a tapasztalatoktól, és pedig fordított arányban. Az afrikai bennszülöttek, akik kerek kunyhókban laknak, kevésbé „esnek áldozatul” az egyenes vonalakkal és szögekkel kapcsolatos illúzióknak, mint az európaiak, akiknek a környezetét az egyenes vonalak, derékszögek alkotják. A perspektívával kapcsolatos illúziókra kevésbé érzékenyek azok a zulusok, akik sűrű erdőben laknak, mint azok, akik fátlan síkságokon élnek.

A percepció, a kísérletek és megfigyelések tanúsága szerint az egésztől halad a részletek felé. Ha egy emberrel találkozunk, először, mint egészet észleljük, s csak azután figyeljük meg a részleteket; ha egy ismeretlen városban járunk, forgalmas utcát látunk, embereket, házakat, nem pedig vonalakat, színeket, szögeket; ha olvasunk, nem a betűket látjuk, hanem a szavakat; ha beszélgetünk, nem a fonémákat halljuk, hanem a mondatokat, a szöveget.

Amikor az agyba egy új ikon érkezik, kutatást végez a memóriában, hogy olyan észleleti elemeket találjon, amelyek hozzáillenek az ikonhoz. A kereső mechanizmust asszociatív komparátornak nevezik.

Az emlékképek nincsenek lokalizálva az agy valamely konkrét helyére, a kéregnek bármely területe megsérülhet anélkül, hogy az emlékek kitörlődnének. Mint ahogy a hologram minden része őríz valamilyen információt az egészről, s belőle az egész rekonstruálható, az agy is valószínűleg hasonlóan működik. (Ezt a felfogást a legújabb eredmények cáfolni látszanak.)

Az észlelés másik mechanizmusa az assembler. Ez állítja össze az észleleti egységeket. A kettő egymástól függetlenül működik. Van olyan agysérült beteg, aki felismeri a szavakat, de nem tudja betűkből összerakni. A motorikus mechanizmus segít az összeállításban, például a szem mozgása pontosítja a részleteket. Az észleleti elemekből munkamodell áll össze, amely megegyezik az érzéki ikonnal. A kisebb észleleti elemekből nagyobb egységek épülnek fel, s kódolás után bekerülnek a memóriába, az asszociatív kéregbe.

A kódolásnak négy formáját különböztetjük meg.

A szinesztézia a kódolásnak az a ritka formája, amelyet a legtöbb ember nem tapasztal. Valamely elsődleges zónába bekerülő érzéklet a másikat serkenti, pl. a hang fényhatást vált ki.

A mentális kép a kódolás általános formája, de az emberek különböznek abban, hogy milyen élénken tudják átélni a képeket. Sowa Nikola Teslát, a világhírű horvát elektromérnököt és feltalálót említi példának, akinek olyan élénk volt a képzelete, hogy fel tudta idézni egy motor alkatrészeit, összerakta, működtette, majd szétszedte, és megállapította, hogy mennyi koptak. Mindezt képzeletben.

A nyelv a legaprólékosabban kidolgozott kód a külső kommunikációra. Mivel olyan sokoldalú, egyes pszichológusok azonosítják a gondolkodást a belső beszéddel, s ignorálják a kódolás más lehetőségeit.

A konceptek, konceptuális struktúrák elvontabbak a nyelvénél. A konceptuális gondolkodás nem függ sem a szavaktól, sem a képektől.

A beszéd és a logikus gondolkodás két, egymástól független képesség, noha általában kapcsolódnak egymáshoz. Piaget megfigyelte, hogy süketnéma gyermekekben is kifejlődik a logikus gondolkodás képessége, csak valamivel lassabban, mint a normális gyermekekben. Vak gyermekeknél a lemaradás nagyobb.

A koncepteket össze lehet társítani szavakkal vagy képekkel, de amazoknál sokkal elvontabbak, absztraktabbak. Az ember egy látványt, egy vizuális érzékletet beépít egy konceptuális gráfba, és azután bármilyen más kódban kifejezheti.

A konceptuális gráfok egyetemes, nyelvtől független struktúrák.

A konceptek és perceptek a mentális modellek építőkövei, de ahhoz, hogy ezekből nagyobb struktúrákat építsünk, szabályokra, mintákra (patternekre) van szükség. Kant vezette be a szkéma elnevezést arra a szabályra, amely percepcióinkat egységes egészzé szervezi.

A szkéma egy konceptuális háló, amely mintegy anticipált vázlata valamely probléma megoldásának. Minden komplex cselekvésnek, viselkedésnek szüksége van egy olyan szkémára, amely az elemi egységeket nagyobb mintákba rendezi. A stratégiai játékok - sakk, bridzs - kiválóan alkalmasak az ilyen minták illusztrálására. De a beszéd is - vagy elsősorban a beszéd -, hiszen nem mindenki sakkozik. Saussure írja: „A játék mesterséges megvalósítása annak, amit a nyelv természetes formában tesz elénk”.

Az emlékezetről Sowa a következőket mondja:

A rövid távú memória nincs kapcsolatban egyik érzékszervvel sem, hanem az érző központok együttműködése jellemzi.

A hosszú távú, tartós emlékezet székhelye a cortex, de szoros kapcsolatban van más agyi területekkel is, főleg a hippokampuszal. Azoknak a betegeknek, akiknek a hippokampuszuk megsérült, rövid idejű memóriájuk tökéletesen működött, de a sérülés utáni eseményeket nem tudták megjegyezni.

Sowa idézi Broadbent amerikai pszichológus véleményét, amely szerint a rövid idejű memória úgy működik, mint a számítógépek címregisztere. Nem adatok vannak benne tárolva, hanem az a cím, amelyen az adat a memóriában megtalálható. Az információk a cortexben inaktív, latens formában vannak tárolva, s a rövid idejű memória regiszterei aktiválják azokat.

Az emlékezettel kapcsolatban felmerül a felismerés és a visszaidézés kérdése. A felismerőképességünk sokkal pontosabb és szinte korlátlan. Valószínű, hogy a visszaidézés nem egyszerűen egy kép előkeresése az emlékezetből, hanem inkább rekonstrukció, amely nagymértékben függ az információ-struktúráktól és az asszociációs kapcsolatoktól. Ezt támasztják alá az amnéziás betegeknek megfigyelt tünetek. Nem egyes emlékeket veszítenek el, hanem emlékstruktúrákat.

A konceptuális gráfok statikus struktúrák. Ahhoz, hogy belőlük folyamatos cselekvés, pl. beszéd alakuljon ki, egy olyan központra van szükség, amely az izolált struktúrákat szervezett szekvenciákba rendezi. Ez a központ - a számítógép struktúrájának analógiájára - a központi vezérlőegység, amely a frontális lebenyben található. Ha ez megsérül, a cselekvés felbomlik

elszigetelt cselekedetekre. Az állat pl. nem tud visszatérni megszakítás után a cselekvés következő szekvenciájára.

A konceptek és a konceptuális folyamatok kívül esnek a tudatosság szféráján. (Sowa, mint előbb láttuk, a koncept szót nem az általunk megszokott értelemben használja. Olyan elvont fogalom előtti képződményt ért rajta, amely nincs sem képekben, sem hangokban, sem nyelvben „kódolva”.)

Az is valószínű vagy biztos, hogy a komplex perceptuális feldolgozás nagy része a tudatos szférán kívül zajlik le. A tudatelőtes analizátor igen magas szinten elemzi az információkat. S valahol ezen a szinten az egyes érzékszervek által szolgáltatott információk egységes „világképpé” integrálódnak. A tér érzékelése, pl. a látási, hallási, tapintási, proprioceptív információk összesítésének az eredménye, s a térben való mozgásunk által éljük át és ellenőrizzük.

A tudatosság jól korrelálható a cortex mérhető aktivitásával. Az optimális excitáció a cortex egyes területeire összpontosítja az aktivitást, és másokat árnyékban hagy. Ami nincs a központban, az kifakul. Az ember egyszerre csak egy komplex cselekvést s két-három rutincselekvést tud végezni. Amikor valamely rutincselekvés a figyelme központjába kerül, az előbbi háttérbe szorul. Pl. autóvezetés közben egyenes, kis forgalmi úton a sofőr figyelni tud a beszélgetésre (rövid idejű memóriáját a beszélgetés foglalja le), de ahogy valami zavaró tényező jelenik meg, abbahagyja a beszédet (Sowa, 1984).

Az idegrendszer és főleg az agy kutatása az elmúlt évtizedekben mindkét irányból nagyon nagy lendülettel folyt és folyik. Ahogy Casti megállapította, az agy korszakában élünk. Míg századunk harmadik-negyedik évtizede a fizika aranykora volt, majd az elkövetkező kettő a mikrobiológiáé, a 70-es, 80-as évek a neurotudományoké. Az agy titkait kutatják a neurobiológusok, pszichológusok, pszichiáterek, farmakológusok, etológusok, matematikusok, számítógép-tudósok, elektronikusok, s új tudomány is született, a kognitív tudomány. Nagyon sok „titokra” sikerült fényt deríteni, de az eredmények még nem álltak össze egységes, az egésztest megmagyarázó elméletté. Casti szerint az agykutatás területén már sok Tycho Brahe tevékenykedik, de még nem jelent meg Kepler (Casti, 1987).

Mit tudunk?

Tudjuk például, hogy az emberi agy kb. 20 milliárd idegsejtből áll, ezek modulrendszerbe vannak elrendeződve, közöttük billiónyi szinapszis teremt kapcsolatot, s így különböző bonyolultságú hálózatok, szuper és szuper-szuper hálózatok alakulnak ki. A szinapszisok az ingerületátvivő anyagok függvényében rendkívül sokfélék és rendkívül specifikusak lehetnek.

Tudjuk, hogy az információk milyen utat tesznek meg az érzékszervektől a különböző alközpontokig s fel egészen az agykéregig, és kezdjük megismerni a változásokat, amelyeket kiváltanak. Azt is tudjuk, hogy az utasítás-információk hogyan jutnak el a központokból a végrehajtó szervekig.

Tudjuk, hogy milyen funkciókat töltenek be a limbikus rendszer elemei. Hol van az éhség, a szomjúság, a félelem, a harag, a szexualitás, az örömezés központja.

Arról is van már fogalmunk, hogyan tanulunk, és hogyan őrizzük meg az emléknymokat.

Tudjuk, miben különbözik két agyféltekénk, hogy melyek a feladatai a jobb és a bal féltekének. Melyik felünkkel beszélünk, s melyikkel élvezzük a zenét, melyik felünk a logikus gondolkodó, és melyik a művész.

Azt is tudjuk, hogy az ember nem egyszerű információ-feldolgozó gép. Már az információ felvételekor, de főleg az információ feldolgozása folyamán hozzáadja saját magát, a genetikai örökségéből származó jegyeket, élete során szerzett tapasztalatait, emlékeit, érzéseit, elfogultságait, előítéleteit, s mindezek az objektív és szubjektív jegyek határozzák meg, színezik, módosítják azokat az információkat, amelyekkel visszahat környezetére.

Csak azt nem tudjuk, hol van az ember. Hol áll össze ebből a sok részletből az ön- és éntudattal rendelkező, az idő dimenzióiban élő, tervező és álmodozó, szenvedő és örvendező, boldog és boldogtalan, a logikusan gondolkodó és intuícióval ráérző ember?

Hol fészkel a tudat, hol van a gondolkodás, a csak emberre jellemző lelki tevékenységek, a személyiségjegyek, magatartásformák központja?

Azon az általános megállapításon kívül, hogy mindezen tulajdonságok hordozója az agy, mást, konkrétabbat még nem sikerült kideríteni.

Ahogy Luigi M. Ricciardi írja: „Szembe kell néznünk a ténnyel: hiányzik még az agyelmélet és - amint azzal a terület minden kutatója valószínűleg egyetért - a közeljövőben nem is fog létrejönni. Hacsak valamilyen forradalmi új ötlet nem születik” (Ricciardi, 1983).

A fejezet végére érve, feltehetjük a kérdést: milyen mértékben alkalmazható a matematikai információelmélet az élő szervezet információs folyamataira?

A biológusok az információelmélet és kibernetika megszületése után hamar felismerték az információ központi szerepét a biológiai rendszerekben. Történtek is kísérletek az elmélet alkalmazására. Ám elég kevés sikerrel. Bizonyos idegrendszeri és genetikai folyamatok mennyiségi leírásán kívül más folyamatok kvantifikálása nem nagyon sikerült.

A biológiai, idegrendszeri információs jelenségek a maguk teljességében nem fejezhetők ki bitekben. Éspedig azért nem, mert mindezekben a jelenségekben keverednek a diszkrét és folyamatos, a digitális és analóg folyamatok, egy részükre nem alkalmazhatók valószínűségi kritériumok.

René Thom kidolgozott egy új, a funkcionálanalízis körébe tartozó topológiai elméletet (Thom, 1972), ez azonban - azonkívül, hogy nagyon nehéz és nehézkes - szintén csak a biológiai folyamatok kis hányadára érvényes.

Csányi Vilmos evolúciós elméletében három új fogalom bevezetésével jellemzi az evolúciós folyamatokban szereplő információt.

„Ha egy óriásmolekulát szintetizáló rendszerben a keletkezett molekulák nem befolyásolják az utánuk létrejövők keletkezési valószínűségét, akkor a kialakuló struktúrák szerkezetét, pl. a monomerek sorrendjét kizárólag a rendszer paraméterei: hőmérséklet, energiaviszonyok, katalizátorok stb. szabják meg. A szintetizáló rendszerben ilyen körülmények között keletkező struktúrák információtartalmát nevezzük paraméteres információnak.”

„A szerkezetformálásban megnyilvánuló hatást nevezzük a struktúrák funkciójának ... A funkcióval rendelkező struktúra információtartalmát (szerkezeti elrendeződését) nevezzük funkcionális információnak.”

„Egy molekulákat szintetizáló rendszerben replikatív információnak tekintjük a molekulák azon belső strukturális elrendeződését, amely a rendszerben növeli ugyanennek a struktúrának a keletkezési valószínűségét” (Csányi, 1986).

Egyelőre tehát az élő szervezetekben végbemenő információs folyamatok nagy részénél csak kvalitatív leírásra van lehetőség.

Befejezésül idézzük Dobzhanskyt:

„Az ember genetikai hozománya az, ami lehetővé teszi számára, hogy jelképek, elvonatkoztatások, szimbólumok, absztrakciók, és általánosítások révén gondolkozzék: A kulturális evolúció lehetősége, amely szigorúan csak emberi lehetőség, az emberi génállomány evolúciója során alakult ki. De a génállomány nem határozza meg annak a kultúrának a tartalmát, amelyet az egyén befogad. Hogy egy hasonlattel éljünk: a gének megadják az embernek a lehetőséget, hogy beszéljen, de nem határozzák meg azt, hogy adandó alkalommal mit fog mondani (Dobzhansky, 1973).

INFORMÁCIÓ ÉS KOMMUNIKÁCIÓ

JELEK, JELRENDSZEREK

A jelformák kialakulása

Információ és jel, jel és információ elválaszthatatlan egymástól. Az információ jelekben ölt testet, s valamely tárgy, jelenség, történet, esemény csak akkor és annyiban válik jellé, tölt be jelfunkciót, amikor és amennyiben információt hordoz.

Világunkat a jelformák gazdag változatossága jellemzi. („A világ jelentését számunkra a jelek, jelrendszerek hordozzák, közvetítik” [Kulcsár, 1986]). Ezek a formák fokozatosan, egymásra épülve alakultak ki, az élet formáinak gazdagodásával. Azt, hogy az élő természet hogyan fedezte fel az információt, illetve a jeleket, amelyek az információt hordozzák, Kardos Lajos a következőképpen magyarázza (Kardos, 1976):

Az élő szervezetet háromféle hatás éri: biológiailag releváns hatások, amelyek a szervezet állapotában lényeges változásokat idéznek elő, s lehetnek kedvezők vagy kedvezőtlenek, szükségesek vagy letálisak; biológiailag irreleváns hatások, amelyek okozhatnak ugyan változásokat, de ezek az optimális határok között maradnak, és adiafor (közömbös) hatások, amelyek nem érik el a változások kiváltásához szükséges szintet. A környezet minden pontjáról érkeznek a szervezethez adiafor hatások, s minden vagy majdnem minden biológiailag releváns eseményt kísérnek olyan, a fő eseménnyel közös kauzál-kondicionális eredet folytán kapcsolódó jelenségek, amelyek adiafor hatást idéznek elő. Amikor az adiafor hatás, amely egy biológiailag releváns esemény antecedense, kiváltja azt a cselekvést, amelyet addig csak maga az esemény váltott ki, ez jelzi az esemény bekövetkezését, jelt ad a cselekvésre vagy valamilyen reakcióra, azaz jellé válik. Ahhoz, hogy ez bekövetkezzék, két feltételnek kell teljesülnie: az adiafor hatásnak meg kell előznie a fő történetet és a kettőnek közös kauzál-kondicionális eredetűnek kell lennie.

Ezek a hatások a törzsfajlás folyamán kialakuló érzékeny sejtnyúlványok, végkészülékek közvetítésével érvényesülnek. A fejlődés a továbbiakban az egyre bonyolultabb idegrendszer kialakulásához vezet. Az adiafor hatásokhoz, azaz a környezet eseményeihez, amelyek ezeket kiváltják, hozzárendelődik egy meghatározott reprezentatív idegrendszeri történet, majd a közvetlen reakció, cselekvés információfeldolgozássá, információátvitellé, az információ alapuló döntéssé alakul át.

A természetes jeleknek ezt a formáját, amely a környezet tárgyaihoz, jelenségeihez kapcsolódik, indexnek nevezzük.

Amikor a fejlődés magasabb fokán az élőlények látóterébe - ahogy Balogh László megfogalmazza - egy másik élőlény kerül, amikor már nem csak élettelen tárgyakról érkeznek jelzések, hanem - ugyancsak a környezet részét alkotó - élőlényekről is, megjelenik az indexformának egy különös alakja, a szimptóma. A jel forrása most már nem valami holt tárgy, hanem tevékenység, egy élőlény tevékenysége. Az egymást érzékelő élőlények tevékenysége a szimptómán keresztül összekapcsolódik.

Az ember fellépése a világtörténelem színpadán új jelformák megjelenését hozza magával. Míg az állatvilágban az index és a szimptóma, illetve ezek kombinációja elegendő az egyed és a faj fennmaradásának biztosításához, az ember esetében az eszközhasználat általánossá válásával ezek a jelformák már nem bizonyulhatnak elégségesnek. Vagy talán fordítva: ezek a jelformák nem teszik lehetővé az eszközhasználat általánossá válását, a munkára, a közös, szervezett tevékenységre alapuló emberi társadalom kialakulását. Az emberre - és csakis az emberre - jellemző jelformák, az úgynevezett valódi jelek kialakulása egymással összefonódva, egymással párhuzamosan ment végbe, bár bizonyos sorrendet fel lehet állítani. Egyes szerzők véleménye szerint az ember fejlődésében létezett egy szakasz, amelyben a primitív emberi kommunikáció és gondolkodás eszközét a szimptómából kialakult jelzés vagy szignál, az indexből kialakult ikon és a munkafolyamatban betöltött konkrét szerepüket elvesztett, abból kiemelkedő, jellé alakult tárgyak, a szimbólumok alkották. (Az előbbi kettő, a jelzés és ikon - a zoosemiotikusok szerint - már az állati kommunikációban megjelenik.) Ezekkel szoros kölcsönhatásban alakult ki azután az a jelforma, amely úgymond teljessé tette az emberré válást: az emberi beszéd. A jelformák kölcsönhatása a továbbiakban úgy alakult, hogy a nyelv „mint legáltalánosabb jelforma maga válik az összes tőle különböző jelformák működésének és fennmaradásának, továbbfejlődésének alapjává” (Balogh, 1979).

A társadalom, a kultúra fejlődésével újabb és újabb jelrendszerek alakultak ki. Az információ szerepének növekedésével nyilvánvalóan nőtt a jelek fontossága is. A társadalom szemiotizálódott.

A jeltudomány története

A jelek a legősibb időktől fogva foglalkoztatták az ember képzeletét. A természeti jelenségeket jelekként értelmezve sok hasznos, ma is érvényes ismeret birtokába jutott. Sokszor persze a jelek „megfejtése” babonák, tévhitek alapja lett. (Sajnos, ez ma sem ritka dolog, és nem csak a primitív társadalmakban.) Mint jelalkotó és jelhasználó pedig már nagyon korán magyarázatot keresett a jelek természetére, a jelek és a jelzett dolgok, azaz a valóság összefüggéseire. A görög bölcselek közül elsősorban Platón és Arisztotelész foglalkozott a név, a tárgy és a róla alkotott fogalom közti kapcsolatokkal.

A középkori skolasztikusok logikai és ismeretelméleti munkáiban, a reneszánsz filozófusok műveiben nagyon sok érdekes eszmefuttatást találunk a jelekről, jelműködésről. Megállapításaik közül sok ma is érvényes.

Az első olyan mű, amelyben felfedezhetjük a modern jeltudomány csíráit, Locke Értekezés az emberi értelemről című munkája.

Locke a tudományokat három csoportra osztotta. Az első a fűsziké (természetfilozófia), a második a praktiké (az emberi cselekvés, a hasznos és jó célok elérésének módszertana, aminek legfőbb része az etika), a harmadik a szemiotiké, amelyről a következőt mondja: „A harmadik: ezt az ágazatot szemiotikének vagy a jelek tudományának lehetne nevezni, amelyek között a legszokottabbak a szavak, de elég alkalmas volna logiké, logika néven emlegetni. Ennek a feladata megvizsgálni azoknak a jeleknek a természetét, amelyeket az elme használ a dolgok megértésére vagy tudásának másokkal való közlésére. Mert mivel ama dolgok közül, amelyeket az elme szemlél, magát az elmét kivéve, egyik sincs jelen az értelemben, szükséges, hogy valami más, a vizsgált dolgok valami jele vagy ábrázolása legyen ott, és ezek az ideák. És minthogy az ideáknak az a színtere, amely az ember gondolatait alkotja, nem tehető egy másik elme közvetlen látása elé, sem el nem tehető másutt, mint az emlékezetben, ebben a nem nagyon biztonságos raktárban, tehát mind gondolataink egymással való közlése,

mind a magunk használatára való rögzítése kedvéért ideáinknak jelekre is van szüksége. Az emberek a tagolt hangokat találták a legkényelmesebbnek, és erre a célra ezeket használják a legáltalánosabban. Az ideáknak és a szavaknak, mint a tudás hatalmas eszközeinek meggondolása tehát nem megvetendő része azok szemlélődéseinek, akik az emberi tudást egész terjedelmében kívánják áttekinteni. És ha mindezt pontosan mérlegelnénk, és kellően megfontolnánk, talán másféle logika és kritika származnék belőle, mint az, amelyet eddig ismerünk” (Locke, 1979).

Locke munkájában sokat foglalkozik nyelvészeti kérdésekkel. Helyesen ismerte fel a nyelv jelrendszer-jellegét, a jel- és nyelvelmélet szoros kapcsolatát, a jelhasználat társadalmi és kulturális vonatkozásait. Kis túlzással azt is mondhatnánk talán, hogy Locke megfogalmazta a jel-, a kommunikáció- és az információtudomány alapelveit.

A következő századok filozófusainak műveiben is találkozunk a jelekre, jelhasználatra vonatkozó gondolatokkal (Lambert, Kant, a francia felvilágosodás gondolkodói, Hegel, Marx, Lenin). Mindez azonban a jeltudomány előtörténete. A szemiotika mint önálló diszciplína századunk szülötte (bár még ma is vannak, akik kétségbe vonják létjogosultságát). A jelekkel foglalkozó tudomány szükségességét - egymástól függetlenül - a századforduló két nagy tudósa ismerte fel.

Ferdinand de Saussure (1857-1913), svájci nyelvész, a korszerű nyelvtudomány megalapítója véleménye szerint a nyelv, mivel „a gondolatokat kifejező jelek rendszere, összehasonlítható az írással, a süketnéma-ábécével, a szimbolikus szertartásokkal, az udvariassági formákkal, a katonai jelzésekkel stb.”. Majd a továbbiakban ezt írja: „Elképzelhetünk tehát egy olyan tudományt, amely a jelek életét tanulmányozza a társadalmi életen belül, ez a társaslélektan és következésképpen az általános lélektan része lenne, amelyet mi (a görög szemeion - jel - szó alapján) szemiológiának nevezünk. Ez arra hivatott megtanítani bennünket, miben állnak a jelek, s milyen törvények igazgatják őket. Mivel a szemiológia még nem létezik, nem tudjuk megmondani, hogy milyen lesz, de van létjogosultsága, s helye előre meg van határozva. A nyelv-tudomány csupán egy része ennek az általános tudománynak; a törvények, amelyeket a szemiológia majd feltár, alkalmazhatók lesznek a nyelvtudományban is, ez utóbbi ily módon egy jól meg-határozott területhez kapcsolódik majd az emberi jelenségek összességén belül” (Saussure, 1967).

Bár nem mindenben volt igaza - a szemiotika nem a pszichológia része, mint ahogy a nyelvtudomány sem rendelhető alá a jeltudománynak -, s a szemiotikával kapcsolatos nézeteit nem fejtette ki részletesebben, a lényegét nagyon tisztán látta. Elsősorban azt, hogy a nyelv jelrendszer, méghozzá a legfontosabb társadalmi jelrendszer, hogy a jelrendszerek önállóságuk ellenére összefüggenek egymással, hogy a jelek társadalmi jelenségek.

A szemiotika nagy klasszikusa, az első „professzionista” szemiológus, aki lerakta a tudomány alapjait, s elsősorban a jeltipológia terén alkotott maradandót, Charles Sanders Peirce (1839-1914) amerikai filozófus volt. Életében csak, mint matematikust és csillagászt ismerték el, holott ő volt az első igazán jelentős amerikai filozófus, a pragmatika egyik kidolgozója. Míg Saussure a nyelvtudomány felől jutott el az általános jeltudomány gondolatáig, Peirce a logikából indult el, sőt a szemiotikát azonosította a logikával. (Ebben természetesen tévedett.) A jelviszonnal, a jelfolyamattal, a jelek osztályozásával kapcsolatos gondolatait, megállapításait a későbbiekben fogjuk bemutatni.

Munkásságát önmaga így jellemezte: „Őserdőirtó vagyok annak a tudománynak a megtisztításában és feltárásában, amelyet én szemiotikának nevezek, azaz a lehetséges jelműködések alapvető változatairól és lényegi természetéről szóló tanításnak.”

A klasszikusok között kell megemlítenünk Gottlob Frege (1848-1925) német matematikust és filozófust, a modern matematikai logika egyik kidolgozóját, aki a jelviszonyok kérdését tanulmányozta (Frege, 1892).

A szemiotika „hőskorából” még egy nevet kell megemlítenünk, az amerikai Charles Morrisét. A szemiotika egyik legeredetibb gondolkodója sok tekintetben Peirce eszméit fejlesztette tovább, de nagyon sok új gondolattal gazdagította a jel tudomány ismeretanyagát. Többek közt tőle származik a jelhelyzet elemei közötti viszonyoknak, a jelhelyzet dimenzióinak - ahogy Morris nevezte - a meghatározása. S ő volt az első kimondottan szemiotikai tárgyú könyv, az 1938-ban megjelent Foundations of the Theory of Sign szerzője (Morris, 1938). A következő évtizedekben a legkülönbözőbb tudományterületek kutatói fejtették ki szemiotikai nézeteiket. Csak példaként: filozófusok, mint a lengyel Adam Schaff, a német Georg Klaus, nyelvészek, mint L. Hjelmslev vagy Roman Jakobson, pszichológusok, mint a francia H. Wallon, irodalomtudósok, mint J. Greimas, esztéták, mint az olasz Umberto Eco, közelítették meg saját szakterületük felől a szemiotikát, kijelölve egyszersmind annak kutatási területeit (Schaff, 1960, Klaus, 1973, Hjelmslev, 1953, Jakobson, 1969, Wallon, 1971, Greimas, 1976a, 1976b, Eco 1975).

1962-ben megtartották az első szemiotikainak nevezhető nemzetközi kongresszust, majd 1969-ben megindult a Semiotica című folyóirat. A jel tudomány nagykorúvá vált.

Mindezek ellenére nagyon sok még a vitatott kérdés a szemiotika illetőségét és illetékességét, hovatartozását illetően. Társadalomtudomány-e a szemiotika? Sok kutató nemmel válaszol erre a kérdésre, s a szemiotikát a kibernetikához hasonlóan elkülöníti a társadalomtudományoktól. Mások ellenkezőleg, társadalomtudománynak tekintik, s ennek megfelelően csak az emberi társadalom jeleivel, jelrendszereivel foglalkoznak.

Nincs egyetértés abban sem, hogy hol kell meghúzni a határt a szemiotika és az egyes jelrendszereket önmagukban tanulmányozó tudományok, például a nyelvtudomány, irodalomtudomány, valamint a kommunikációelmélet, információelmélet között. Az sincs tisztázva, mi a viszony ezek között a tudományok között: Saussure, mint láttuk, a szemiotikát a pszichológia alá rendelte, a nyelvtudományt pedig a szemiotika rész tudományává „degradálta”. Követői, a francia szemiológusok, éppen fordítva, a szemiológiát rendelik a nyelvtudomány alá. Mások a kommunikációelmélet segédtudományának tartják, és így tovább.

Ezek a problémák egyébként minden olyan tudománnyal kapcsolatban felmerülnek, amelyik ilyen vagy olyan formában az információval, az információcserével, -tárolással, -rögzítéssel, -feldolgozással foglalkozik. Ezt természetesnek is fogjuk tartani, mihelyt elfogadjuk azt az álláspontot, hogy ezek a tudományok valójában mind az információ különböző megjelenési formáit, funkcióit tanulmányozzák, s megismételjük a Saussure-parafrazist: „elképzelünk egy olyan tudományt, amely az információ életét tanulmányozza”, s tovább: „mivel az információ tudomány még nem létezik, nem tudjuk megmondani, hogy milyen lesz, de van létjogosultsága”. Így értelmezve a dolgokat, azt mondhatjuk, hogy a különböző tudományok az információs jelenség különböző szelvényeit, metszeteit tanulmányozzák, keresztmetszet-tudományok (ahogy Szépe György a szemiotikát jellemezte [Szépe, 1971]), s mindegyik játszhat főszerepet vagy mellékszerepet aszerint, hogy a jelenségnek milyen aspektusát vizsgáljuk. (Természetesen szó sincs arról, hogy az egyes tudományok elvesztenék viszonylagos önállóságukat.)

Mi a jel?

Visszatérve most már a jelekhez, helyénvaló volna megadni a jel meghatározását. Sajnos itt is ugyanolyan nehézségbe ütközünk, mint az információ, a kommunikáció meghatározásánál. A jelre vonatkozóan sem sikerült még megfogalmazni egy olyan általánosan elfogadott definíciót, amely egyesítené a fogalom teljes tartalmát. Az ok nyilván az, hogy a jelek világa - akár az információé - egymástól nagyon eltérő jelenségeket foglal magában. A méhek táncától, a fecskesiviteléstől, a hangyák formon „nyelvétől” az ember alkotta természetes és mesterséges nyelvekig, a homlokráncolástól a kutya farkcsóválásáig, az indiánok füstjeleitől a tévéadás jeleiig, az étkezési szokásoktól az öltözködés nyelvéig a jelrendszerek sokasága alkotja a jelek univerzumát.

Idézzünk mégis néhány meghatározást.

Saussure szerint „jelen azt az egészet értjük, amely egy jelölőnek egy jelölttel való asszociációjából jön létre”.

Peirce meghatározása: „A jel vagy helyettesítő (representamen) az, ami valamit valaki számára valamely tekintetben vagy minőségben helyettesít.”

V. Smetacek véleménye szerint a jelformák az intelligens rendszerekben a valóságról kialakított modellek objektiválására és más rendszerekbe való átvitelére szolgálnak (Smetacek, 1979).

Morris nagyon általánosan a következő meghatározást adja: „... a jel valami egyebet reprezentál vagy helyettesít, mint önmaga.”

Schaff a fogalmat a következőképpen határozza meg: „Minden anyagi tárgy, vagy annak tulajdonsága, vagy valami anyagi esemény jellé válik, mihelyt a kommunikálás folyamatában a beszélgetők által elfogadott nyelv keretein belül a kommunikációban résztvevő számára arra szolgál, hogy közvetítse valamely gondolatát a valóságról, vagyis a külvilágról, vagy pedig belső (emocionális, esztétikai, akarati stb.) élményeiről.”

Georg Klaus megfogalmazásában: „A jel jelzés, valamely információ hordozója. A jel mindig egy üzenetet, információt vagy információ alkatrészét tartalmazza. A jel valami magától különbözőre, vagyis egy tárgyra, viszonyra stb. utal, amelyet megjelöl. Ez a tárgy stb. a jel jelentésének forrása.”

L. O. Reznyikov szerint: „A jel egy anyagi, gondolatilag felfogott tárgy (jelenség, hatás), amely a megismerés és a kommunikáció folyamataiban egy más tárgyat (illetve más tárgyakat) képvisel, és az erre vonatkozó információ képzésére, tárolására, átalakítására és továbbítására használják” (Reznyikov, 1968).

Kelemen János véleménye szerint: „Jel minden olyan anyagi tárgy, tulajdonság, jelenség, amely egy rendszer keretei között az egymással érintkező emberek számára arra szolgál, hogy a külső világra vagy a belső élményekre vonatkozó gondolati-érzelmi tartalmakat az egyik fél a másiknak átadja” (Kelemen, 1971).

S végül fejezzük be a felsorolást V. V. Martinov szellemes megállapításával: „Minden jelnek van jelentése, és ez az egyetlen olyan következtetés a jelről, amely vitathatatlan” (idézi Banczerowski, 1979).

A fenti meghatározásokból leszűrhetünk néhány általános érvényű megállapítást. Ezek - akárcsak a meghatározások - túlnyomórészt az emberi társadalomban működő jelekre vonatkoznak.

A jel mindig helyettesít valamit, s ezt a valamit - dolgot vagy dolgok osztályát - a jel tárgyának, jeltárgynak, jelöltnek nevezzük. Ezt a helyettesítést, vagyis azt a folyamatot, amelyben egy dolog jellé válik, jelként funkcionál, és jelként fogják fel, Morris nyomán szemiozisznak nevezzük. Voigt meghatározása szerint: „Azt a folyamatot, amelynek során egy bonyolultabb jelenséghez vagy szervezethez azzal bizonyos speciális szempontok alapján azonosított egyszerűbb jelenséget kapcsolunk, jelölésnek, jelfolyamatnak, szemiozisznak nevezzük” (Voigt, 1977).

A jel tehát - még a legbonyolultabb is - mindig egyszerűbb, mint a dolog, amit jelöl. Voigt Tolsztoj Háború és béke című monumentális regényével példázza ezt. Bármilyen bonyolult, sokrétű Tolsztoj műve, mennyivel egyszerűbb, mint a történelem, amit ábrázol.

Bár a fenti definíciók a jelet anyagi tárgyként határozzák meg, ezt a meghatározást pontosítanunk kell. A jelet ugyanis úgy kell felfognunk, mint azoknak a tulajdonságoknak az együttesét, amelyek a maguk összességében helyettesítik a jelöltet. Annak a konkrét anyagi tárgynak, ami ezeknek a tulajdonságoknak a hordozója, s amit mindennapi szóhasználatunk pontatlanságával, felületességével jelnek nevezünk, jelpéldány a pontos megnevezése. A jelek száma egy jelrendszerben általában véges, a jelpéldányok száma potenciálisan végtelen. Vannak ugyan olyan jelek is, amelyeknek csak egy jelpéldányuk van. Ilyenek elsősorban a műalkotások (Peirce ezeket egyszeri jeleknek nevezi). Ugyanazt a tárgyat vagy eseményt több művész is megörökítheti, ezek mégsem ugyanannak a jelnek a jelpéldányai, mert más és más minőségben helyettesítik az eseményt vagy tárgyat. S hasonlóképpen, a műalkotásról készült reprodukciók sem azonosak - szemiotikai szempontból sem! - az eredetivel, mert nem az ábrázolt tárgynak, hanem a műalkotást helyettesítő jelnek a jelpéldányai.

Jeltypológia

A jelek osztályozása, a jeltypológia a szemiotika egyik központi problémája. Az első máig ható jelosztályozás Peirce műve. Már 1867-ben felállított egy rendszert, amelyet azután az évek során állandóan bővített és tökéletesített. Három szempont alapján osztályozta a jeleket, s így három hármas csoportot, úgynevezett trichotómiát kapott.

Az első szempont: a jelek minősége önmagukban. A jel lehet tiszta minőség (Qualisign = quality+sign), egyedi létező (Sinsign = singular+sign) vagy egy általános törvény (Legisign = legi [lex]+sign).

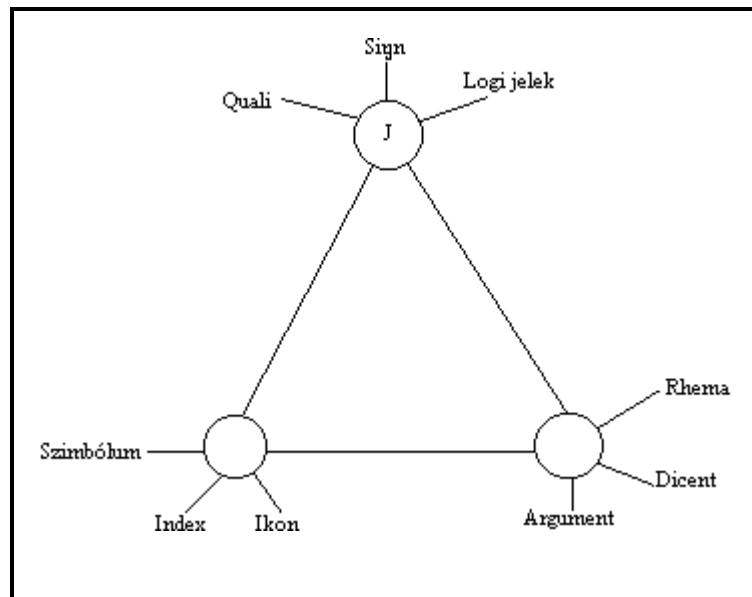
A második szempont: a jelek viszonya tárgyukhoz. A jel képviselheti a tárgyat a hasonlóság alapján (ikon), a tér- és időbeli érintkezés alapján (index), vagy egy önkényes szabály alapján (szimbólum).

A harmadik szempont: a jelek viszonya az interpretánshoz. Ebből a szempontból a jelek jelölhetnek egy lehetőséget (Rheme = olyan kijelentés, közlés, amely általános, nem asszertorikus [asszertorikus = a logikában vitathatatlan ténymegállapítás]), egy tényt (Dicisign = a latin dicentum - megállapításból), vagy egy törvényt (Argument = érv, érvelés).

Az egyes jeltípusok kölcsönös kapcsolatai alapján Peirce a jelek tíz osztályát határozta meg. Rendszerében kitüntetett szerepe van a második triádnak. („Az ikonok, indexek és szimbólumok szerinti jelfelosztás a legalapvetőbb” Kelemen, 1971). A később mások által kidolgozott jeltypológiában is megtaláljuk, mint kristályosodási magot, ezt a triádot.

A három alapkategóriát Peirce a következőképpen határozta meg: „Az index olyan jel, amely elvesztheti azt a jellegzetességét, amely jellé teszi, amennyiben az általa jelölt tárgy nincs jelen, de nem veszti el ezt a tulajdonságát (amely jellé teszi), ha az interpretátor nincs jelen.”

Az index „annál fogva vonatkozik az objektumára, amelyet jelöl, hogy magán viseli objektumának valóságos hatását”, azaz közvetlen kapcsolat van a jel és a jelölt között. Az index vagy a megjelölt tárgy tulajdonsága, produktuma, vagy olyan tárgy, amely térben és/vagy időben érintkezik vele. Például a füst és tűz, vagy a szín és virág.



24. ábra. Peirce jelosztályozása.

Ikonról beszélünk akkor, ha a jel és a jelölt között valamilyen minőség azonos, amikor hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek. „Az ikon olyan jel, amely az általa jelölt tárgyra csupán önmaga sajátosságainál fogva vonatkozik ... akár jelen van ez a tárgy aktuálisan, akár nincs.”

Peirce az ikonokat két csoportra osztja: képekre, amelyek a megjelölt tárgy tulajdonságait is ábrázolják (például festmények, szobrok, fényképek), és ábrákra, amelyek a jelölt tárgy részei közötti arányokat, viszonyokat ábrázolják (például térképek, diagrammák). Más szerzők az ikonoknak egy harmadik típusáról is beszélnek, a metaforákról, amelyeknél a hasonlóság bonyolult formán, a jelképiségen alapul.

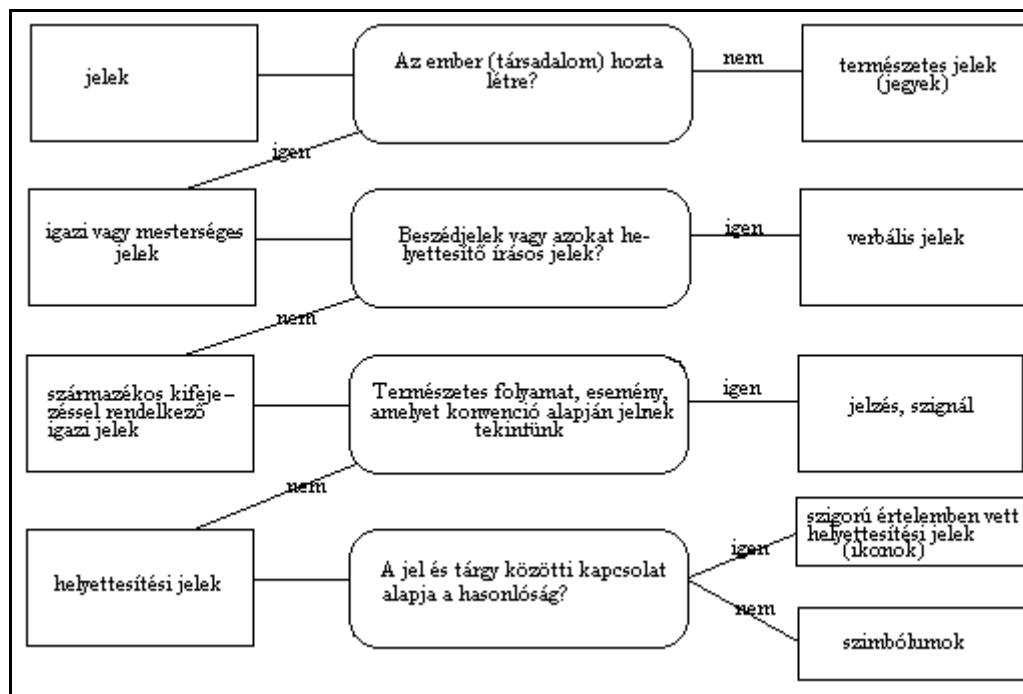
Szimbólumnak nevezzük a jelet, ha közte és a jelölt közt egy önkényes konvenció létesít kapcsolatot, azaz a viszony hozzárendelés jellegű. „A szimbólum a jelölt tárgyat egy törvénynél fogva jelöli, rendszerint egy általános ideával való asszociáció révén, s eközben a törvény teszi a szimbólumot olyanná, hogy megfelelhessen a jelölt objektumnak” - írja Peirce. Szimbolikus természetű jelrendszer a nyelv, minden nyelven alapuló rendszer. A szimbólumok világa roppant gazdag. „Szimbólumok erdején visz az ember útja” - idézi Kelemen János.

Peirce osztályozásának nagy előnyeként tartják számon azt a jellegzetességét - amelyet önmaga is hangsúlyozott -, hogy nincs merev válaszfal sem a trichotómiákon belül, sem a trichotómiák között. „Peirce szemiotikai osztályozásának egyik leglényegesebb vonása az éles elméjű meglátás, hogy a jelek három alaposztálya közötti különbség csak a viszonylagos hierarchia különbsége” - írja Jakobson.

A jelek osztályozásában a Peirce-től eltérő úton jár Schaff. Eldöntendő kérdések segítségével egy diszjunkt osztályozási sémát állít fel. Ezt a sémát később sok szerző átvette.

Induljunk el mi is Schaff nyomán.

A természetes jeleket - mint azt a fejezet elején láttuk - két osztályba sorolhatjuk: az indexek és a szimptómák osztályába. Ez a két jelforma alkotja az információközvetítés legősibb eszközét. Az indexről már bővebben volt szó, a szimptómáról azonban még kell néhány megjegyzést tennünk. Nagyon sok szemiotikus ezt a jelformát nem tekinti önállóan, és vagy az indexszel vagy a szignállal azonosítja. létjogosultságát Balogh mégis azzal indokolja, hogy bevezetésével kiküszöbölhetők azok a nehézségek, amelyek az állati kommunikáció, az állati „beszéd” magyarázatában fellépnek. A szimptóma úgy jelenik meg, mint az index-forma különös alakja, de a fejlődés folyamán átalakul. A jel formája nem valami holt tárgy lesz, hanem egy élőlény tevékenysége. Ebből következik, hogy míg az index tárgyhoz van rögzítve, s létezik akkor is, ha nincs élőlény, amelyik észlelné, a szimptóma csak akkor jelenik meg, ha az élőlény tevékenysége egy másik élőlény tevékenységével összekapcsolódik, de eltűnik, mielőtt a tevékenység lezajlott, s csak, mint az élőlény adottsága marad meg. A szimptómának, mint különálló jelformának - kifejezett jelformának - a bevezetése lehetővé teszi az állati kommunikációnak az értelmezését anélkül, hogy azt „antropomorfizálnánk”. A szimptóma az organizmus pillanatnyi állapotát fejezi ki.



25. ábra. A jelek Schaff szerinti osztályozása.

A mesterséges vagy igazi jeleket két csoportra osztjuk. Az egyik csoportba tartozik a nyelv, a verbális jelek rendszere, a másik csoportba az összes többi jelforma. A nyelv ugyanis különleges szerepet tölt be az emberi társadalomban, s hozzá viszonyítva minden más mesterséges jel származékos. (A nyelvet a következő fejezetben tárgyaljuk majd részletesebben.)

A származékos jeleket tovább osztva a szignálokhoz vagy jelzésekhez jutunk. Tulajdonképpen a szignál is természetes jel, amely azonban mesterséges jelként funkcionál. „... olyan jelekkel van dolgunk - írja Schaff -, amelyek fő célja az, hogy kiváltson, megváltoztasson vagy visszartartson valamely tevékenységet. Ezek tehát tipikusan valamire szolgáló jelek, olyan jelek, amelyek hivatva vannak egy bizonyos, a kommunikálást célzó meghatározott tevékenységnek a kiváltására ... Ezek tehát az anyagi világ jelenségei, amelyeket sajátosan azért hoznak létre, hogy ... előre megállapított és összehangolt reakciót váltsanak ki az emberi tevékenység meghatározott megnyilvánulási formáiban.” A szignálok „öseinek” részben a szimptómák tekinthetők - amikor is a hang, a mozdulat, a gesztus, az arckifejezés kiszabadul a genetikai

meghatározottság, az ösztönök uralma alól és tudatossá, szándékossá válik, - részben az indexek - amikor valamilyen természeti jelenség valamely tulajdonságát kiemeljük, elkülönítjük és jelzésként használjuk fel. Társadalmunk informatizálódásának folyamatában lépten-nyomon találkozunk a szignalizáció jelenségével. Természetes eredetük ellenére a szignálok egyezményes jelek, hiszen konvenció kérdése, hogy éppen a víz fagyáspontját tekintjük hőmérsékleti skálánk kiindulópontjának, vagy a közlekedési lámpában a zöld szín jelenti a szabad utat.

A helyettesítő jelek két csoportjáról, az ikonokról és a szimbólumokról már beszéltünk Peirce jeltipológiája kapcsán.

A jelek osztályozását más szempontok alapján is el lehet végezni.

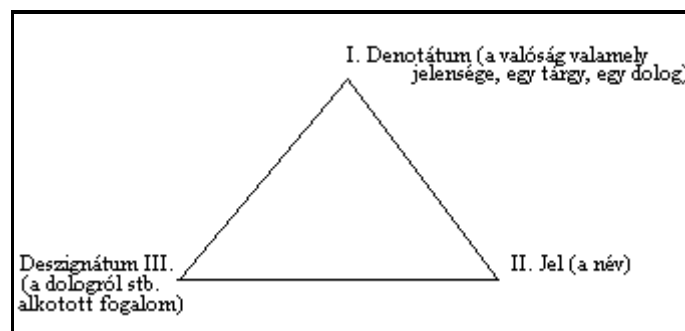
Ilyen szempont lehet például a mesterséges jelek eredete. Megkülönböztetjük egymástól azokat a jelformákat, amelyeket az ember azért hozott létre, hogy információ közlésére használja - ezek közül legfontosabbak a természetes nyelvek -, és azokat, amelyek eredeti tárgyi mivoltukban más célt szolgálnak, valamilyen anyagi szükségletet elégítenek ki, de „menet közben” kommunikatív funkciót is öltöttek magukra. Szolgáljon például az öltözködés. Tulajdonképpen itt is két esetről beszélhetünk. Vannak olyan tárgyak, amelyek eredeti funkciójuk megőrzése mellett válnak jellé, s vannak olyanok, melyek az idők során elvesztették eredeti funkciójukat, s csak, mint jelek léteznek.

Osztályozási szempont lehet az is, hogy a jelek térbeli és időbeli szerveződésük. Az első csoportba tartozik a vizuális jelek egy része, utóbbiba a hangjelek. A befogadás folyamatában van ennek jelentősége.

A szemiozisz dimenziói

A fogalmat Charles Morris vezette be, s a jelfolyamat elemei közötti kapcsolatot értette rajta. (Természetesen a szót nem fizikai értelemben kell értenünk.) Ezt a kapcsolatot már Frege tanulmányozta. A jelfolyamatnak három résztvevőjét különböztette meg: a jelet, a jelölt dolgot és a jel értelmét. A köztük levő viszonyt háromszöggel ábrázolta. (Az ábrázolásnak ez a módja azután általánossá vált a szemiotikában.)

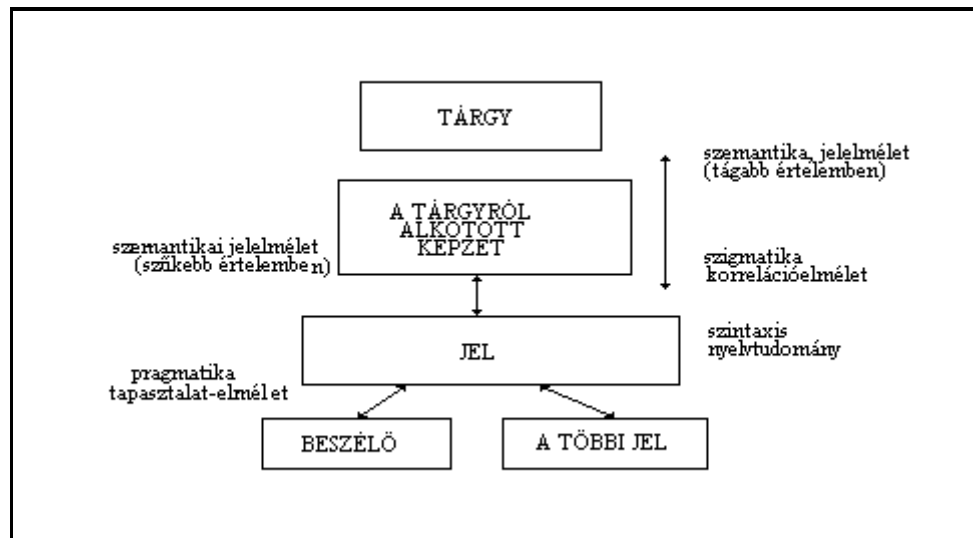
Az I-II. viszony a jelnek a tárgyhoz, a denotátumhoz való viszonya, a jelölő viszony. A II-III. viszony a jelnek a fogalomhoz, deszignátumhoz való viszonya, a kifejező, deszignáló viszony. Az I-III. viszonynak nincs külön neve (Frege, 1892).



26. ábra A jelfolyamat résztvevői közötti viszony (Frege háromszöge)

Újabban a szemiotikusok a jelhelyzet négy elemét veszik figyelembe: 1. a jelt, 2. a jelölt dolgot (a tárgyat), 3. a tudati képmást, reprezentációt, képzetet és 4. az embert. Közöttük a következő viszonyok alakulnak ki: a jel és a tudati képmás közötti viszony a szemantikai dimenzió, a jel és a jelölt objektum közötti viszony a szigmatikai, a jel és az ember közötti

viszony a pragmatikai, s végül a jelek egymás közötti viszonya a szintaktikai dimenzió. Általában a szemantikát és a szigmatikát nem szokták elkülöníteni egymástól, s Morris is csak három dimenzióról beszélt. A szigmatikai dimenziót Klaus vezette be, hogy világosabbá, könnyebbé tegye bizonyos jelenségek tárgyalását és megértését.



27. ábra. A jelelmélet felosztása Klaus szerint. (Forrás: Nordenstreg, 1975)

A négy dimenzió vizsgálatával a szemiotika négy részterülete foglalkozik: a szemantika, a szigmatika, a pragmatika és a szintaxis. A négy részterület egymáshoz való viszonya még nincs kellőképpen tisztázva. Általában a szintaxisból kiindulva építik fel a szemiotika rendszerét: szintaxis → szemantika, szigmatika → pragmatika. Az emberi gyakorlat felől megközelítve a sorrend éppen a fordított kellene, hogy legyen, de ilyen tárgyalásra még nincs példa.

A szintaxis a jelek egymáshoz való viszonyát, egymás közötti kapcsolatait kutatja. A valódi jelek általában nem elszigetelten fordulnak elő, rendszert alkotnak. A jelhasználat során sem különálló jelekkel találkozunk, hanem bizonyos szabályok szerint rendezett jelsorozatokkal, csoportokkal. Ezek szerkezetét, az összetétel szabályait vizsgálja a szintaxis. Ugyanakkor szintaxisnak nevezzük a szabályoknak az összességét is.

A szigmatika a jel és a jelölt objektum viszonyát, a jelölő viszonyt tanulmányozza. A jel jelölhet egy konkrét tárgyat vagy a tárgyak osztályát. Előbbi esetben a jel referenséről vagy denotátumáról, utóbbiban a jel deszignátumáról beszélünk.

Ha egy osztálynak több tagja van - ez a helyzet általában a szimbólumok vagy a nyelvben a közös főnevek esetében -, a deszignátum és a referens nem fedi egymást. A „szék” jelnek a deszignátuma minden ülőalkalmatosság, amely bizonyos tulajdonságokkal rendelkezik, az egyes konkrét székek a referensei. De csak potenciálisan. Ahhoz, hogy egy konkrét szék valóban a referense legyen a „szék” jelnek, valamilyen kiegészítésre, megfelelő kontextusra, mutató névmásra van szükség (például „az a szék, amelyen ülök”).

Ha az osztálynak csak egy tagja van, a referens és a deszignátum egybeesik. A tulajdonnevek mind ilyen jelek.

Előfordul, hogy a jel által jelölt osztály üres halmaz, azaz nincs egyetlen tagja sem. Ebben az esetben van deszignátuma, de nincs referense. A képzeletbeli lények nevei tartoznak ebbe a csoportba, a nimfák, faunok, kentaurók, illetve a „nimfa”, „faun”, „kentaur” szó.

Deszignátuma minden jelnek van, referense nem mindegyiknek. A jelölő viszonyban tehát a deszignáció tekinthető elsődlegesnek.

A szemantika a jelnek és a jelölt tárgy tudati képmásának viszonyával foglalkozik, s központi kategóriája a jelentés. Ez a terület a szemiotikának talán a „legingoványosabb” területe. Arra a kérdésre, hogy mi a jelentés, annyira nem könnyű választ adni, hogy C. K. Ogden és C. K. Richards jelentéstani könyvében a „jelentés” fogalomra 64 - további alcsoportokra osztható - meghatározást találunk (Ogden - Richards, 1966). A kérdés egyébként érthető módon nemcsak a szemiotikusokat érdekli, a filozófia, a logika, a nyelvtudomány egyaránt feladatának tartja, hogy keresse rá a választ. A jelentés fogalma ugyanis nagyon bonyolult viszonyhálózatot takar: a jel, a jelölt, annak fogalma, tudati képmása közötti viszonyok összességét. A szigmatika is a szemantikának alárendelt viszony, hiszen a jel jelentése révén tölti be jelölő funkcióját. Megkülönböztetésük azonban lehetővé teszi annak hangsúlyozását, hogy a „jelenteni” és a „jelölni” nem ugyanazt jelenti.

Hogy mégse maradjunk meghatározás nélkül, idézzük Kelemen Jánost: „az a tudati kép-más, amely egy jellel elválaszthatatlan kapcsolatban van, az illető jel jelentése” (Kelemen, 1971).

A jelentés fogalmának tisztázását három további körülmény bonyolítja.

A jelviszony rendszerint nem egyszerű, hanem többszörös, többszintű. Egy esemény, egy jelenség, egy történés vagy közlemény több reláción is értelmezhető, sőt értelmezendő. Frege különbséget tesz a jel jelentése, mondhatjuk így is, tárgyi jelentése (Bedeutung), és értelme, értelmi jelentése (Sinn) között. S emellett beszél a jelhez kapcsolódó képzetéről is. „Ha a jel jelentése érzékileg észlelhető tárgy, akkor a róla kialakult képzet az egykori érzéki benyomásokra, belső vagy külső cselekvésekre való emlékezésből létrejött belső kép ... A képzet ... szubjektív, az egyik ember képzete nem egyezik a másik ember képzetével” (Frege, 1892).

A jelentés kettősségét emeli ki Balogh István is, és azt írja: „A jelentés kettőssége valójában nem a konkrét jelentés és az absztrakt jelentés közömbös egymásmellettségével egyértelmű, hanem a jelentésnek ezek az oldalai kölcsönösen közvetítik egymást” (Balogh, 1979).

Louis Hjelmslev dán nyelvész, aki a nyelvi rendszereket mint szemantikai rendszereket tanulmányozta, bevezette a denotáció és konnotáció fogalmát. Első a jel tulajdonképpeni, elsődleges alapjelentése, utóbbi a jel másodlagos jelentése, a másodlagos jelentések együttese. A konnotáció, akár a frege-i értelemben vett képzet, többé-kevésbé szubjektív és érzelmi színezetű. A nyelvben szinte minden szónak van másodlagos jelentése. A különböző jelrendszerekben a denotáció és konnotáció aránya különböző. A matematika vagy a különböző programnyelvek par excellence denotatív jelrendszerek, az egyes jelek jelentése teljesen egyértelmű, nincs másodjelentésük. Ezzel szemben a műalkotások olyan összetett jelrendszerek, amelyek értelmezésében a denotáció és a konnotáció megkülönböztetésének döntő jelentősége van.

Bonyodalom forrása az is, hogy a jelek nem önálló individuumok. Rendszert alkotnak, s a jelrendszerek mintegy modellálják a valóságot. A jeleket tehát csak, mint a rendszer elemeit lehet értelmezni. Ugyanakkor azonban a jelek konkrét megjelenésük során nem a rendszer elemeiként, hanem egy „szöveg” tagjaiként jelennek meg, s csak így, szöveggörnyezetükben elemezhetők.

Végül bonyodalmat jelent az is, hogy a jeleknek társadalmi meghatározottságuk is van, csak az adott társadalom viszonylatában értelmezhetők. A jelviszonyok egyben társadalmi viszonyok. Valamely kultúrában honos jeleket egy más kultúrában egész más jelentéssel használnak, vagy nem is ismernek. Nagyon jól példázza ezt az öltözködésnek, mint jelrendszernek a funkcionalitása. Falvainkban szigorú szabályok írták elő a nők kendőviselési szokásait. Ezek a szabályok azonban nem minden vidéken voltak azonosak, s ezért a jelek értelmezése zavart

okozhatott, nem beszélve arról, hogy egy városi ember számára sem jelentettek semmit (hacsak nem ismerte az adott vidék szokásait).

Ez a kérdés átvezet bennünket a szemiotika negyedik dimenziójához, a pragmatikai dimenzióhoz. A pragmatika jel és a jelhasználó viszonyát vizsgálja. Ez a meghatározás azonban így túlságosan leszűkítené a pragmatika szféráját. A jelet ugyanis itt - szinte azt mondhatnánk - átvitt értelemben kell értelmeznünk, jelentésével, minden konnotációjával - a pragmatika itt kapcsolódik vissza a szemantikához -, a jelhasználót pedig szintén széles értelemben, mint a társadalom tagját vagy akár magát a társadalmat. Hogyan határozza meg a társadalmi hovatartozás az egyes tagok jelhasználatát, hogyan lesznek bizonyos jelek, jelvények, szimbólumok a társadalmi manipuláció eszközei - ilyen, s ehhez hasonló kérdéseket vizsgál a pragmatika. Már a kérdésekből is látható, hogy a pragmatikának nagyon szoros kapcsolatai vannak a kommunikációelmélettel, szociológiával, pszichológiával.

A társadalom jelrendszerei

Az ember jelalkotó lény, az egyetlen jelalkotó lény. Azért lett zoon politikon, mert zoon szemiotikon volt, létre tudta hozni azokat a jelképeket és -rendszereket, amelyek a társadalom megszervezéséhez, működtetéséhez, fejlődéséhez szükségesek voltak. S ahogy a társadalom fejlődött, s mind bonyolultabbá vált, az információ szerepének növekedésével nőtt a jelrendszerek sokasága, mind nagyobb lett a jelentőségük, szerepük a társadalmi életben. Különösen megfigyelhető ez a jelenség századunkban. (Ennek a folyamatnak az eredménye egyébként a szemiotika tudománnyá válása. Napjainkban különösen a szimbólumok és ikonok, illetve a szimbólum- és ikonjellegű vizuális jelrendszerek „elburjánzásának” lehetünk tanúi. A munkafolyamatok irányításában, a munkavédelemben felhasznált jelrendszerek, a közlekedési jelek rendszere, a katonai jelzések (fegyvernem, rendfokozat, kitüntetések stb.), a szállítás képi nyelve (Vigyázat, törékeny!), a használati utasítások „képesítése” (nem vasalható), a reklám jelbeszéde napról napra gyarapítja készletünket. A színek szerepéről sem szabad megfeledkeznünk: a piros, mint a veszély, a tiltás, a zöld a biztonság, a szabad átmenet, a bíbor a méltóság, a fekete a gyász jele, az iparban a csővezetékek színe a szállított folyadékot jelöli stb.)”

Az ikonikus jelek, képek, rajzok, vázlatok, diagramok használatának nagyon sok előnye van. Kis felületen, tömören sok információt közölnek. Mivel az ember először globálisan, szintetikusán fogja fel ezeket, lehetővé válik a lényeg gyors felismerése. A grafikus ábrázolás nagyfokú absztrakciót tesz lehetővé, s így megtakarítást eredményez a gondolkodásban.

Információelméleti szempontból vizsgálva megkülönböztethetünk kis entrópiájú és nagy entrópiájú társadalmakat. Az előbbieket az jellemzi, hogy a használt jelrendszerek kevés jelből állnak, az egyes jelek felhasználási gyakorisága között nagy a különbség, a szintaktikai szabályok pedig nagyon szigorúak. Ebből kifolyólag a jelrendszerek redundanciája nagyon nagy, az információ tárolásának és továbbításának hatékonysága nagyon kicsi. A kódok nagyrészt intézményesített kódok, amelyeket mindenki ismer, s így a kommunikáció majdnem zajmentes. Ezek a vonások a primitív, archaikus társadalmakra jellemzők.

A nagy entrópiájú társadalmakat az jellemzi, hogy jelrendszereik jelekben nagyon gazdagok, a jelek használati gyakoriságában nincsenek nagy eltérések, a szabályok lazábbak, a redundancia ebből kifolyólag kicsi. A kódok többsége úgynevezett intim kód, s ezeket a társadalomnak csak szűkebb körei ismerik. Az információtovábbítás gyakran zajos, ám az információ-megőrzés, mivel rögzített, tárgyiasult, nagyon hatékony. (A primitív társadalmakban azért van

szükség nagy redundanciára, mert csak így biztosítható az információk tartós megőrzése a társadalom emlékezetében - Andor, 1980).

A társadalomban működő jelrendszereket felsorolni szinte lehetetlen, hiszen a kultúrának minden eleme tölthet be jelfunkciót, s így a jelrendszereknek se szeri, se száma. A kommunikációról szóló fejezetben működésükben mutatjuk majd be a legfontosabb jelrendszereket. Itt most csupán néhány általános megjegyzést teszünk.

A jelrendszerek osztályozásában a kutatók számos szempontot érvényesítettek.

A felosztás egyik lehetséges módját már a jelek osztályozásánál említettük. Egyik oldalon állnak azok a jelrendszerek, amelyeket a társadalom eleve a kommunikáció, az információátadás céljára alkotott (legfontosabb a természetes nyelv), másik oldalon azok, amelyek valamilyen anyagi szükséglet kielégítését szolgálják, de az idők során jelfunkciót is magukra öltöttek (öltözködés, étkezés stb.).

Eredetük, történelmi fejlődésük szerint is osztályozhatjuk a társadalmi jelrendszereket.

„A társadalomban működő különböző jelformák rendszerét, ezek összefüggéseit tehát a következőképpen írhatjuk le:

- A nem társadalmi eredetű jelformák rendszere, amelynek működése, funkciója bővülő mértékben telítődik társadalmi tartalommal, s ennek megfelelően módosulnak az egyes formák is (pl. az érzelmek kifejezése).
- A nyelv kialakulása előtt a társadalomban keletkezett jelformák, melyek szerepet játszottak a nyelv kialakulásában, de amelyek rendszerét, működését, társadalmi funkcióját a nyelv kialakulása és működése a későbbiekben döntő mértékben meghatározza (szimbólum, jelzés, ikon).
- A nyelv, amely, mint láttuk, az általános jelforma meghatározó szerepe mellett és alapján maga is különböző jelformák kölcsönviszonyaként jellemezhető rendszer.
- A nyelvből kialakuló jelrendszerek, melyek legjellemzőbb vonása az egyneműség, a különböző jelformák együttlétének, „összekeveredésének” megszüntetése, s ezáltal a különböző jel-összefüggések meghatározott irányú egyoldalú továbbfejlesztése” (Balogh, 1979).

További osztályozási szempont az összetettség foka. Ilyen szempontból megkülönböztetünk elsődleges vagy egyszerű és másodlagos vagy összetett jelrendszereket. Az elsőre példa a nyelv, a másodikra az irodalom. A jelrendszerek néhány általános sajátossága bemutatásához olyan fogalmakat kell igénybe vennünk, amelyekkel a nyelv leírásánál találkozunk, mivel ezeket a jellegzetességeket először a nyelv tanulmányozása során fedezték fel.

Elsősorban a Saussure-féle langue-parole megkülönböztetésről van szó. (Bár Saussure-nek a maga korában szinte forradalmi tanait az utókor sok mindenben módosította, gondolatainak java ma is érvényes.) A langue (nyelv) a természetes nyelv társadalmilag intézményesített oldala (információelméleti nyelvhasználatban kódnak neveznénk), a parole (beszéd) ennek egyéni megvalósítása a beszédaktus során (az üzenet). Ez a megkülönböztetés más jelrendszerekre is alkalmazható, s azt mondhatjuk, hogy általános szemiotikai érvénye van. Az öltözködésben például a divattervező rajza vagy a divatlap ábrája a langue, az elkészített és viselt ruha (az egyéni megvalósulás, amely például lehet a viselőjére nem illő vagy „slampos”) a parole.

A másik fogalompár, amely szintén a nyelvtudományból származik, a szintagma és paradigma. „A legtöbb jelrendszerben (minden időben szervezett és sok „látható” jel esetében) megvan a szintagma és paradigma tengelye. A szintagma a jelek lineáris és megfordíthatatlan kombinációja révén jön létre, míg a paradigma azoknak a jeleknek a rendszere, amelyek a

lineáris sor egy helyének kitöltésére rendelkezésünkre állnak” - írja Kelemen János (Kelemen, 1971). Hogy most egy másik jelrendszerként is működő rendszerből vegyünk példát, egy menüben a fogások egymásutánja a szintagma (leves+sült+desszert), az egyes fogások választéka a paradigma (húsleves, vagy zöldségleves, vagy krumpplileves). A szintagmának az „és” kapcsolat felel meg (konjunkció), a paradigmának a „vagy” (diszjunkció).

Mint már említettük, a kultúrának bármelyik jelensége szolgálhat - adott viszonylatban - jelként, ezért valamennyi vizsgálható szemiotikai szempontból is. Ennek megfelelően a szemiotika számos ága alakult ki: művészetpszemiotika, irodalompszemiotika, etnoszemiotika stb. Az állatvilág jelviszonyaival foglalkozik a zooszemiotika. A másik oldalról pedig: a szemiotika számos diszciplínának vált segédtudományává.

A NYELV

A legfontosabb, a legáltalánosabb - és a legbonyolultabb - jelrendszer, az emberi kommunikáció elsődleges eszköze a természetes nyelv. Érthető, hogy ősidőktől magára vonta a gondolkodók érdeklődését. A nyelvtudomány gyökerei Platónig nyúlnak vissza, s nem véletlen, hogy a modern szemiotika egyik „alapkő-letevője” a nyelvész Saussure volt. Századunkban, s főleg az utóbbi néhány évtizedben, a nyelv, mindenekelőtt a beszélt nyelv jelentősége nagyon megnőtt. A társadalom információs csatornáiban közlekedő információk mennyiségének rohamos növekedése, az információcsere felgyorsításának igénye, a műszaki eszközök tökéletesedése (hangrögzítés, hangtovábbítás) szükségessé és lehetővé tette a beszélt nyelv előnyeinek (közvetlenség, gyorsaság, azonnali válasz lehetősége) jobb kihasználását. Másrészt a telematika (telekommunikáció+informatika) térhódítása, elterjedése szükségessé tette az ember-gép és a gép-gép párbeszéd kérdéseinek alapos tanulmányozását, egyre jobb megoldások keresését (mesterséges nyelvek, gépi fordítás, gépi hangfelismerés, beszéd szintetizálás stb.). Ez a társadalmi megrendelés új rangot adott a nyelvtudománynak, s megerősítette, felgyorsította a fejlődési folyamatot, amely már a század első évtizedeiben megindult.

Egy kis történelem

Mikor kezdett az ember beszélni?

A nyelv társadalmi jelrendszer. Természetes, hogy kialakulásának társadalmi feltételei voltak. Ugyanakkor biológiai jelenség is, s így az is természetes, hogy létrejötté biológiai-anatómiai adottságokhoz kötött. A torok felépítése, s elsősorban a gége elhelyezkedése az az anatómiai tényező, amely meghatározza, hogyan lélegzik, nyel és ad hangot egy élőlény. Az emlősök világában két változat fordul elő. Az első változat jellemző minden emlősre, kivéve az embert. A gége magasan helyezkedik el a torokban, az első-harmadik csigolyával szemben. Ez az elhelyezkedés lehetővé teszi, hogy az állatok egy időben tudjanak nyelni és lélegzeni, de a hangképzés lehetőségét nagyon korlátozza. A garatüreg ugyanis nagyon kicsi, s így a hangszalagok által képzett alaphangokat csak kis mértékben tudja módosítani. A másik változat, amely egyedül az embernél található meg: a gége jóval alacsonyabban, a negyedik-hatodik nyakcsigolya szintjén van. A garatüreg lényegesen megnő, s a gégéből kijövő hangok módosítására sokkal nagyobbak a lehetőségek. A garatüregnek ez a kitágulása a kulcsa a tagolt beszédre való képességünknek. A gége helyzete összefüggésben van a koponya alap alakjával, s ez lehetőséget ad arra, hogy a beszéd kialakulásának kutatásához a paleontológia segítségét is igénybe lehessen venni. A leletek elemzéséből kiderült, hogy az átalakulás a

homo erectusnál indult meg. Kb. egymillió évvel ezelőtt a koponyaalap enyhén ívelté vált. Távoli ősünknek a hangképző képessége valahol a majomé és a mai emberé között lehetett. A ránk jellemző koponyaalapi hajlat a homo sapiensnél jelent meg kb. 300-400 ezer évvel ezelőtt. Nagy valószínűséggel akkortól számíthatjuk a beszédnek, mint jelrendszernek a kialakulását (Laitman, 1984).

Ha mármost a kérdés társadalmi-szemiotikai oldalát vizsgáljuk, megállapíthatjuk, hogy a szerszámhasználat általánossá válása együtt járt - kölcsönösen feltételezve egymást - a két ősi állati jelforma, az index és a szimptóma továbbfejlődésével, átalakulásával. Bár az eszközhasználat az állatvilágban is gyakori - sokkal gyakoribb, mint azt régebben feltételezték -, még a legmagasabb rendű emlősök, a majmok eszközhasználatát sem kíséri olyan különálló absztrakt mozzanat, amely szükségessé tenné egy újabb jelforma kialakulását. Az emberős akkor emelkedett az állatvilág fölé, amikor a szerszámhasználat mind gyakoribbá, majd általánossá válásával („az ember a munkaeszközeibe egyre több információt raktározott el” - Nordenstreng, 1978) az egyedek közötti kapcsolatok gyökeresen átrendeződtek, magasabb szintre emelkedtek, s lehetővé tették az eszközhasználat tapasztalatainak átadását, átörökítését.

Nagyon valószínű, hogy már a legrégebb Hominidák, az Australopithecinák túlléptek a többi emlős jelhasználatának szűk körén. Az indexek és szimptómák egyre bővülő készlete mellett szimbólum és szignálszerű jeleket is kezdtek használni. A történelem ködében lassan emberi formát öltő homo erectus feltehetően már használt szimbólumokat is, és rendelkezett a nyelv előtti gondolkodás, az instrumentális gondolkodás képességével.

A fejlődésnek ebben a szakaszában az emberős jelhasználata látszatra nem sokban különbözhetett a fejlett emlősökétől: grimaszkodott, hadonászott, artikulálatlan hangokat adott ki, de a jelek már más információkat hordoztak: a primitív tudat szintjén ugyan, de tudatos üzeneteket. A koponyaalapnak és a toroknak a már említett átalakulásával párhuzamosan azután ebből a komplex jelegyüttesből kiemelkedtek a hangjelzések.

A hang, mint szimptóma már az állatoknál kitüntetett szerepet játszik. Ennek több oka van: a rezgéseket továbbító közeg, a levegő mindenütt jelen van, a jeladás nem foglal le más cselekvésre alkalmas testrészt, energiaigénye kisebb, mint a más testrészekkel leadott jeleké, sötétben is, nagyobb távolságban is észlelhető, már állati fokon is több variációs lehetőséget biztosít, kiegészíthető más kifejezőeszközökkel.

A kezdetben tagolatlan hangjelzésekből az év-százvezredek folyamán tagolt jelek, fonémák, majd - magasabb szinten - fonémaegyüttesek, fonémasorok alakultak ki. Ezek azután különböző funkciókat kaptak, megszületett a mondat. Valószínű, hogy eleinte az ember csak egyszavas mondatokat használt - ez még nem nyelv! - s az intonációt, hanglejtést vette igénybe mondandójának pontosítására. Így születhettek meg a mondatfajok. Később kialakult a tagolt mondatszerkezet, megjelentek a mondatrészek, s a mondatok magasabb rendű egységekké, szöveggé szerveződtek.

Ez a több százezer éves időszak - a világmindenség sok milliárd éves történetében alig észrevehető, de a mi emberi léptékünkkel mérve hihetetlenül hosszú periódus - elegendő volt arra, hogy a beszédkészség génjeinkbe is beiródjon. Amint azt az idegrendszerrel kapcsolatban említettük, a homo sapiens már genetikailag programozva van a beszéd elsajátítására és használatára („Az emberi idegrendszer előhangolt a nyelv elsajátítására” - Pléh, 1984). A madarak énektanulásához, a méhek „virágismeret”-tanulásához hasonlóan az emberfióka beszédtanulását is öröklött program vezérli. A csecsemő számára a beszéd mássalhangzói kulcsingerek, ösztönösen felismeri őket. A külvilág számtalan hangingere közül, mely

állandóan éri, ki tudja választani a beszédhangokat, s csak azokra összpontosítva, megtanulja megkülönböztetni a jelentésárnyalatokat, melyeket a bonyolult beszédhangok hordoznak. A program ugyanakkor - az emlékezetében rögzített, memorizált hangminták segítségével - belső viszonyítási rendszert biztosít a beszédhangok megformálásához. A csecsemő a gügyögés időszakában, amely a madarak próbaénekléséhez hasonlítható s a „próba - szerencse” tanulási módszer segítségével megtanulja kimondani a nyelv mássalhangzóit. S nem is akármilyen sorrendben. Először a nazális és orális, majd a labiális és dentális hangok oppozícióját sajátítja el (p-t, m-n). A továbbiakban a fonológiai rendszer rétegzett struktúrájának megfelelően, a megfordíthatatlan szolidaritás” törvényét követve (Jakobson, 1969), a többi fonéma megformálását is megtanulja. Ez a szakasz a programban előírt időpontban kezdődik és ér véget, még a süket gyermekeknél is. Ezután következik az az időszak - a tanuláshoz szükséges magas szintű belső készítés időszaka -, amelyben a kisgyermek az agyában tárolt - részben öröklött, részben hallás útján megjegyzett - beszédet tanulja meg. A legújabb kutatások alapján feltételezhető, hogy a szavak és mondatok ritmusa, a nyelvtan bizonyos alapelemei (pl. a szófajok elkülönítése) szintén az öröklött jellegzetességek közé tartozik. A beszédkézség programozottságának elméletét támasztja alá a nyelvi univerzálák létezése, - bizonyos hangtani, grammatikai jellegzetességek minden nyelvben azonosak vagy nagyon hasonlóak - s az a tény, hogy a beszédet sokkal gyorsabban sajátítjuk el, mint sok más annál jóval egyszerűbb műveletet (pl. az írást vagy a számtani alpműveleteket). S a nyelv gyors elsajátítása nem magyarázható meg a más területeken érvényes tanulási elméletekkel.

A beszéd fejlődésével párhuzamosan, azzal szoros kölcsönhatásban, az instrumentális gondolkozás lassan átalakul fogalmi gondolkodássá. Az elvont fogalmak, kategóriák létrehozásának, megalkotásának képessége - amelynek nyomai a legújabb kutatások szerint már az állatoknál is megtalálhatók - fontos szerepet játszik a beszédtanulásban. A gyermek az új szavak megtanulásához fogalmi kategóriákat alkot, s osztályozza a szavakat. A szintaxis elsajátításában a szemantikát használja vezérfonalként, azaz a tapasztalt jelentésekre támaszkodik. Valószínű, hogy agyunkban a „szótár” kategóriákba rendezve van tárolva. Erre lehet következtetni például abból, hogy kisebb agyterületek elpusztulásakor a betegek sokszor szavak kategóriáit felejtik el (például a virágok neveit). Az anyanyelvi készségek fejlődése 18-20 éves korban lelassul, nyugvópontonra jut.

Hogy a megismerési folyamat, a gondolkozás milyen szorosan kötődik a nyelvhez, „a megismerési folyamat fő munkaeszközé”-hez, azt jól mutatja többek között az is, hogy valamely dolgról szerzett tapasztalataink, ismereteink akkor válnak teljessé, ha nevén tudjuk nevezni őket. A természetben gyönyörködve például zavarja élvezetünket, hogy nem ismerjük a fák, virágok neveit. S világképünket is nagymértékben a nyelv határozza meg.

Ennek ellenére nem szabad a nyelv szerepét abszolutizálnunk. A fogalmi gondolkodás nem azonos a belső beszéddel, legjobb példa erre a matematikusok gondolkodása.

Sowa idézi Einsteint: „Konvencionális szavakat vagy más jeleket a második szakaszban kell fáradtságosan keresni, amikor az asszociációs „játék” már eléggé megszilárdult, s tetszés szerint felidézhető” (Sowa, 1984).

Piaget megfigyelései is azt igazolják, hogy a megismerés fejlődésének vezető szerepe van a gyermeknyelv korai szakaszában, s hogy a nyelv nem abszolút szükséges a komplex gondolkodáshoz.

A gyermek logikus gondolkodásának fejlődése sokkal inkább függ a tapasztalattól, mint a beszédétől. Süketnéma gyermek is képessé válik logikai műveletek elvégzésére, igaz, lassabban, mint normális társai.

Ám a ló túlsó oldalára se essünk át! A szavak nélküli gondolatok nehezen megfoghatók, s könnyen elfelejtjük őket. „A gondolatok szimbólumok nélkül elrepülnek a szélben” (Paul Keller).

Nem lennének információként közvetíthető gondolataink, ha előbb nem formálnánk meg őket - írja Nordenstreng.

Ma a világon több mint 5000 nyelvet beszélnek (Völz, 1983). Pontos számot azért nem lehet megadni, mert nagyon sok esetben még eldöntetlen, hogy egy-egy embercsoport nyelve önálló nyelv-e vagy csak nyelvjárás, s az is lehetséges, hogy még léteznek eddig fel nem fedezett nyelvek.

Vajon ez a sok nyelv egy közös ősnyelvből származik, vagy a Föld különböző pontjain egymástól függetlenül alakult ki több ősnyelv? A kérdés egyelőre megválaszolatlan. Ha azonban figyelembe vesszük az ember kialakulását magyarázó legújabb elméleteket, amelyek szerint a homo sapiens őse Afrika keleti részében alakult ki, s onnan indult világhódító útjára, elképzelhető, hogy amikor vándorútra kelt, hogy Kis-Ázsián keresztül benépesítse a Földet, poggyászában már magával vitte a beszéd valamilyen kezdetleges formáját. Ez az elképzelés jól magyarázná a már említett nyelvi univerzáliák létezését, s érthetővé tenné, hogy az emberek a világ minden részén nagyjából egyformán vannak programozva a beszéd elsajátítására és gyakorlására. A nyelvi jelek halmaza ugyan nyelvenként különböző, de a gondolatalkotás és nyelvhasználat képessége minden népnél azonos, s a hangképzésben, a mondat-szerkesztés szabályaiban nagyon sok a közös elem. A szókészlet viszont már az elkülönült, önálló fejlődés eredménye, és nagyon érzékeny mutatója egy nép kultúrájának. „Valamely nyelv teljes szókészlete felfogható mindama eszmék, érdekek és foglalkozások leltárának, melyek az illető nyelv beszélőit jellemzik” - írja Sapir (Sapir, 1971).

Néhány érdekes példát közöl Völz arra vonatkozólag, hogy különböző népeknek hány szavuk van bizonyos fogalmak meghatározására. A maorik például 3000 színárnyalatot tudnak megkülönböztetni, a lappoknak 21 szavuk van a hó-, 20 a jégfajták, és 11 a hideg különböző fokozatainak megnevezésére. Ezzel szemben nincs szavuk a hó, a jég, a hideg fogalmára.

Bizonyos körökben szokás primitív nyelvekről beszélni. Ilyen azonban nincs. Hogy megint Sapirt idézzük: „Akármilyen fogyatkozásai legyenek is a kultúra szempontjából valamely primitív társadalomnak, a társadalom nyelve mégis szükségszerűen éppolyan pontos, tökéletes, s potenciálisan fejlődőképes apparátusa az utaló szimbólumoknak, mint a legfejlettebb kultúrákat hordozó nyelvek”.

Gondolatainkat formálva a nyelv egész egyéniségünket, jellemünket is formálja. És itt utalhatunk az információ egyik gyökerére: informare = formát adni, formálni. Műveltségünket, közösségi mivoltunkat, egy nyelvközösséghez (= néphez) való tartozásunkat a közös nyelv, az anyanyelv határozza meg és biztosítja. Anyanyelvünk tehát nem csupán a kommunikáció eszköze, hanem gondolkodásunk belső közege, amely tapasztalatainkat formába önti.

A nyelvnek a megismerésben játszott szerepével kapcsolatban azonban a Sapiréval ellentétes nézetekkel is találkozunk. Darab Tamás idézi Roscht, aki a színek észlelésével kapcsolatos megfigyelés alapján a következő tanulságot vonta le: „A színskálán nem a nyelvnek a gondolkodásra gyakorolt hatása szemléltethető, hanem az is, hogy az észlelés és a megismerés alapegységei szabják meg a nyelvi fogalmak formáját és tartalmát” (Darab, 1991).

Beszéd és nyelv

Beszéd és nyelv - mit takar ez a két fogalom?

Amint erre a jelekkel kapcsolatban már utaltunk, Saussure volt az első, aki ezt a két fogalmat élesen és pontosan megkülönböztette egymástól. Szerinte a nyelv (langue) valamely „természetes nyelv” társadalmilag intézményesített oldala, a beszéd (parole) ennek egyéni megvalósulása, a használat. Deme László így határozza meg nyelvet: „A nyelv a társadalomban élő emberek beszédtevékenységét szolgáló eszközöknek rendszert alkotó állománya, amely a valóság tükröződésére alkalmas konvencionális jelekből áll” (Deme, 1978).

A nyelv a beszédből alakult ki, s a beszéd a létformája. Ám az idők során önálló és saját törvényekkel rendelkező rendszerré fejlődött, s a kettő között kölcsönös függőség alakult ki. Emberi beszéd nyelv nélkül ma már elképzelhetetlen. A legprimitívebb népeknél sem találkozunk a beszéd nyelv előtti formájával. A nyelv a beszéd nyersanyaga, de nem csak lehetőség, hanem kötöttség és kényszer is.

A nyelv - ezt már többször hangsúlyoztuk - a legbonyolultabb jelrendszer, amelyet az ember valaha is „kitalált”. Nevezhetnénk szuperrendszernek is, amelyet hierarchikusan egymásra épülő rendszerek alkotnak. Minden alrendszer magában teljes rendszer, saját elemeivel és kombinációs szabályaival, és elég gazdag és komplex ahhoz, hogy önálló tudomány tárgya legyen. Alulról felfelé haladva, ezek a rendszerek egyre bonyolultabb, összetettebb nyelvi jelekből - nyelvelemekből, szimbólumokból -, s a közöttük levő viszonyok sokaságából állanak. A viszonyrendszert, a jeleket összekapcsoló szabályok rendszerét nyelvtannak, grammatikának nevezzük. Ahogy K. Nordenstreng megállapította: „A puszta jel-objektum/képzet kapcsolások még nem teszik a nyelvet a gondolkodás és kommunikáció számára alkalmas eszközzé. Ehhez kellene a jeleket összekapcsoló szabályok ... Lenneberg neurofiziológus véleménye szerint, „... a nyelv nem egyszerű jelkészlet, hanem cselekvési, alkalmazási mód (mode of operation)”. Ha ismernék négyezer szó jelentését külön-külön, még nem lenne nyelv, ha nem értenék a mondatok alapelveit” (Nordenstreng, 1978).

Sapir a nyelvtant a következőképpen határozta meg: „A nyelvtan ama formális ökonomikus szabályok összessége, amelyekhez egy nyelv használói ösztönösen alkalmazkodnak ... minden nyelv nyelvtanát a kötöttségeknek ugyanaz a foka jellemzi.”

A nyelv legalsó rétege a ritmus. Bár a nyelvészek rendszerint elhanyagolják, nagyon fontos eleme a nyelvnek. A csecsemők, mielőtt még szavakat ejtenek, gügyögésükben a felnőttek beszédritmusát és hanglejtését utánozzák. A ritmus nem külső díszítőeleme a nyelvnek, hanem minta, amelybe a többi elem belerendeződik. A bal talamusz 6/mp frekvenciájú ritmust generál, amely - úgy tűnik - „pacemakerként” szolgál a beszéd és más kommunikációs folyamatok ritmusához.

A hierarchia következő szintjén - mondhatnánk a nyelv atomi szintjén - a fonémák rendszere helyezkedik el. Sapir megfogalmazásában: „A nyelvek nem csupán hangzanak, hanem fonémikus jellegük van. Nincs olyan nyelv, amelynek ne volna meg a maga jól körülhatárolt fonémarendszere.”

A fonémát Oettinger a következőképpen határozza meg: „az elemi hangok olyan absztrakt osztálya, amelynek tagjai bár beszélőnként, kontextusonként és az időben változnak, eléggé hasonlítanak egymáshoz, és különböznek más fonémaosztály tagjaitól ahhoz, hogy azonosítani lehessen őket” (Oettinger, 1972).

A fonémák a nyelv alapegységei, beszédbeli megfelelői a beszédhangok. Érdekes, hogy bár az ember fizikai hangok végtelen sorát tudja kibocsátani, az emberiség fonéma-, illetve beszédhangkészlete mindössze 80-90, s ebből a készletből meríti minden ismert nyelv a maga 30-40 fonémáját. Ennek oka az, hogy a beszédhangok nem tiszta fizikai hangok, hanem a beszéd szubatomikus elemeinek, a hangtulajdonságoknak, fonológiai megkülönböztető jegyeknek bináris oppozíciói formájában fordulnak elő (zöngés-zöngétlen stb.), s minden megkülönböztető jegy egy elemi választást jelent. (Még egy példa arra, hogy az információs univerzumban a bináris jelleg az uralkodó.)

Egy nyelv fonémái strukturált, összefüggő, egymást meghatározó rendszert alkotnak. Két különböző nyelvet, két dialektust vagy akár két ember nyelvét, kiejtését nem egy-egy fonéma különbözteti meg egymástól, hanem egész fonémarendszerük különbözik. S ha egy nyelvben egy fonéma megváltozik, módosul az egész fonémarendszer.

A fonémák a szavakhoz hasonlóan családokat, bokrokat alkotnak. Egy fonémának aszerint, hogy milyen más fonémák mellett fordul elő, különböző változatai vannak.

A beszédhangok különleges és különlegesen hatékony kódjai a fonémikus struktúráknak. Nem „egy az egyben” kódolják, hanem tulajdonképpen átstrukturálják a fonémasorokat. A hangszegmensek nem pontos megfelelői a fonémaszegmenseknek, ez nem is lenne lehetséges a sebesség miatt. A beszédben megszokott a 15 fonéma/s, s a 30 fonéma/s sem ritka, márpedig ennyi különálló hangot nem tudnánk megkülönböztetni. A szukcesszív fonémák akusztikai jelei egymásba hatolnak, komplex hangfolyam alakul ki (Lieberman et al., 1972).

A beszédhangok képzése nagyon bonyolult folyamat. Azzal kezdődik, hogy a tüdőből kiáramló levegőt a légcsőben elhelyezkedő hangszalagok rezgésbe hozzák. A keletkező hang az alaprezgés, alapzöngé, a beszéd nyersanyaga, akusztikai szempontból egyszerű szabályos hang. Az alaphang betölti a beszédcsatorna egymás után következő szakaszait, s ezek alakjuknak s méreteiknek megfelelően létrehozzák az alaprezgés különböző felharmonikusait, amelyek hozzáadódnak az alaphanghoz. Így alakul ki a beszédhang, amit hallunk. Miközben beszélünk, beszédszerveink alakja, helyzete, működési módja és működésének intenzitása szüntelenül változik. Bár a beszédhangok egyes összetevőinek kialakításában egyik vagy másik beszéd szervünknek döntő szerepe lehet, a beszédképzésben - különböző mértékben ugyan - mindegyik állandóan részt vesz.

A fonéma és beszédhang viszonya a norma és a konkrét egyedi megvalósulás viszonya. Minden fonémának van egy szórási sávja, s a beszédhangok - fonémaváltozatok - ebben a sávban helyezkednek el. Halló szervünk, helyesebben agyunk különleges beállítottságának köszönhető, hogy a beszédhangokat a sokszor igen jelentős eltérések ellenére is azonosítani tudjuk. (A beszéd-szintetizátor által kiadott hangok igazán nem hasonlítanak az emberi fonémákhoz, mégis megértjük.)

A hangot el lehet torzítani - pl. a frekvenciasáv leszűkítésével, egyes formások kiszűrésével vagy felerősítésével -, a beszéd meglepő módon mégis érthető marad, bár esztétikai értékéből sokat veszít.

A beszédet csak az ember tudja „lefordítani kapásból”, felbontani önálló szabályos fonémákra, vagy másképp fogalmazva, a fonémák diszkrét és invariáns jellege eltűnik, ha nincs emberi megfigyelő. (Oettinger az észlelés invarianciájáról beszél.) A gépet azért olyan nehéz „megtanítani” az emberi beszéd megértésére, mert a fonémák, illetve a nekik megfelelő hangok variábilisak és beszédünk nem diszkrét fonémák, illetve hangok sora, hanem egybefolyik, a fonéma-, szó-, mondathatárok viszonylag egyszerű gépi programok segítségével nem érzékelhetők.

A fonémát sok nyelvész nem tekinti önálló jelnek, mivel a jelentéshez nincs közvetlen köze. A jelentés, amelyet a hierarchia magasabb fokán található jeltest hordoz, nem osztható fel a fonémák között. Jakobson szerint: „Egy fonéma szemiotikai funkciója annak megjelölése egy magasabb nyelvi egységen belül, hogy az egységnek más a jelentése, mint egy egyenértékű egységnek, amely minden egyezés mellett más fonémát tartalmaz ugyanazon a helyen.”

Más felfogás szerint a beszédszervek által létrehozott beszédhangok jelzések, szignálok, amelyek a beszéd jeleit, a nyelvi jeleket hordozzák. (Itt utalnunk kell arra a terminológiai bizonytalanságra, egyet nem értésre, amely az információtudomány s a vele kapcsolatos diszciplínák kialakulatlanóságából következik. A szemiotikában a szignálokat, mint meghatározott jelfajtát soroltuk fel, a nyelvtudományban pedig sokan a szignál fogalmát a jelhordozó fogalmával azonosítják.)

A jel és jelzés közötti megfelelés konvencionális. „Ha a jel nem mesterséges volna, nem lenne lehetséges, hogy a jelzések a jel viselésén kívül egyéb funkciót is ellássanak. Ha a jel mintegy szervesen következne a jelhordozó (=jelzés) fizikai konzisztenciájából, akkor lehetetlen lenne, hogy a hangos beszéd elemei, mint jelhordozók a nyelvi jeleken kívül egyéb információkat is továbbítsanak” (Szende, 1976). Ez a megállapítás általános érvényű, minden nyelvi jelre alkalmazható, függetlenül attól, hogy a nyelv elemeit milyen szinten tekintjük jelnek.

A jelzésnek azokat az elemeit - hangszínt, hanglejtést, nyomatékot, időtartamot, intenzitást -, amelyek a beszélő egyéni tulajdonságairól és a beszédhelyzet körülményeiről informálják a hallgatót, ektoszemantikai tényezőnek nevezzük.

Mivel nem diszkrét, hanem folyamatosak (analógok), s nem szegmentálhatók, szupraszegmentális tényezőnek is szokták őket nevezni.

Miről informálnak az ektoszemantikai tényezők? A beszélő neméről, koráról, bizonyos pszichofizikai tulajdonságairól, hangulatáról. Az ember hangja annyira sajátos, egyedi, hogy hangjukról azonosítani tudjuk ismerőseinket. S hogy megint hallószervünk tökéletességét dicsérjük, közeli ismerőseink hangját akkor is felismerjük, ha a csatorna (pl. a telefonvezeték) nagyon torzít.

A hangalakból - abból, hogy mennyire tér el a normától -, az ektoszemantikai jellegzetességekből a fentiekén kívül arra is következtethetünk, hogy a beszélő milyen vidékről származik, milyen környezetben él, mennyire iskolázott (lásd Higgins professzort Bernard Shaw Pygmalionjában).

A hang mindezek mellett szimbólumjellegét is ölthet magára. A gügyögés például a gyermekséget, játékosságot szimbolizálhatja (s a felnőttek hibás felfogását arról, hogyan kell a kisgyermekkel beszélni), a raccsolás a régi világban az előkelő származást vagy annak majmolását jelezte.

A statisztikai információelmélet szempontjából a fonémák is „teljes jogú” jelek, s alkalmasak a beszéd folyamat statisztikai elemzésére.

Erről kicsit később még beszélünk. A fonémák a nyelvben, illetve a beszédhangok a beszédben sorokká rendeződnek. A fonémásorok természetesen nem alakatlan, egybeeső hangfolyamok. Tagolt szerkezetük van, szegmentálhatók. A tagolást vagy az egyes beszédhangok közötti szünet, vagy a hangok jellemzőinek, a megkülönböztető jegyeknek a megváltozása hozza létre, biztosítja. Beszédünkben az a pontos központi irányítás a legcsodálatosabb, amely az egyes szervek működését összehangolja. Hangképző szerveink egymástól függetlenek, külön idegpályák mozgatják őket, s így egyrészt nagyon sok kombinációs lehetőség adódik - ezeknek az szab határt, hogy a kisebb elmozdulásokat nem tudjuk programálni és

észlelni -, másrészt az elmozdulások nem azonos idejűek, s így hangképző szerveink nem egyszerre változnak. A vezérlés azonban olyan - olyannak kell lennie! -, úgy irányítja a változásokat, hogy az egyes szegmentumok különbözzenek egymástól, de azonosak legyenek önmagukkal!

Itt azonban álljunk meg egy pillanatra. Amikor a műszaki fejlődés napirendre tűzte a beszéd gépi felismerését és szintetizálását, kiderült, hogy ez a szegmentálás csak az ember számára tűnik olyan egyszerűnek, és csak abban a nyelvben, amelyet ismer. A gép számára a beszédhangok elkülönítése és azonosítása nem olyan egyszerű dolog. Hallásunk és agyunk beszédfelismerő képessége azonban éppen beszédhangképzésünk sajátosságaihoz van „szabva”.

A fonémasorban elkülöníthető legkisebb egység a szótag. „A szótag csak neve szerint függ össze a szóval, nem jelentéstani (értelmi) egység, hanem akusztikai, hangzásbeli. Olyan hangcsoportot jelent, amelyet egyszeri szájnyitással, szájmozdulattal mondunk ki” (Nagy, 1970).

Azt a minimális fonémasort, amely már saját jelentéssel rendelkezik, morfémának nevezzük. Nyelvészeti szempontból a morféma a tulajdonképpeni nyelvi jel, s mint minden jelnek, két aspektusa van, az érzékelhető hangalak, a jelölő (signans) és az érthető jelölt (signatum), illetve jelentés. Mindkettő társadalmilag determinált. Funkciójuk szerint a morfémák lehetnek fogalomjelölők és viszonyjelölők, alakjuk szerint lexémák (szavak) és toldalékok.

A morféma jelentése - mint erről a jelekről szóló fejezetben már szó volt - nem a valóság valamilyen eleme, hanem a róla alkotott fogalom. A beszédben ez a jelentés rendszerint konkretizálódik, a denotátumról a deszignátumra utal. Ezért mondhatjuk, hogy a szóbeli jel jelentése szűkebb, mint a nyelvi jelé, szegényebb, de konkrétabb. A konkretizálás, az utalás legtöbbször határozott névelővel, valamilyen jelzővel, mutató névmással történik.

A lexéma az a nyelvi elem, amelyet köznapi nyelven szónak nevezünk.

A glosszéma beszédbeli egység, amely morfémákból van szerkesztve, hogy alkalmassá váljék a mondatépítésre, arra, hogy mondatrészként szerepeljen. Olyan morfémakomplexum, amely saját jelentésén kívül mondatbeli viszonyt is kifejez. Magyarán szólva olyan szó, amely adott esetben már raggal, jellel van ellátva, aszerint, hogy mi a mondatbeli szerepe.

A hierarchia következő fokán a szintagmát találjuk. „A szintagma két glosszémának alárendelő kapcsolata, amelyek közül legfeljebb az egyik állhat mondat szinten” (Deme, 1978).

És ezzel eljutottunk a legmagasabb szintű részrendszerhez, a mondathoz. A mondat a beszéd alapegysége, egyes nyelvészek szerint a tulajdonképpeni nyelvi jel. Olyan egység, amelynek önálló funkciója van, amellyel közlünk valamit. Szerkezetileg a mondat két fő részből áll: a névszói és az igei részből. A többi alkotóelem e két rész köré csoportosul. Minden nyelvben megtaláljuk azokat a mondatformákat, amelyekbe az összes elképzelhető mondatot besorolhatjuk: a kérdő, felszólító, kijelentő formát.

A mondat mind szintaktikai, mind szemantikai szempontból egységet alkot. De tulajdonképpeni szemantikai jelentésén túl olyan jelentéselemeket is hordozhat, amelyek használatából adódnak. Funkcióiról, mivel azok a kommunikációban betöltött szerepével függenek össze, az emberi kommunikációról szóló fejezetben beszélünk.

A mondat tehát „alulnézetben” önálló funkcionális egység, „felülnézetben” viszont a legkisebb egység, amely a nyelvi kommunikáció folyamatában csak a beszédben, a szöveg szerkezeti keretében nyer igazi értelmet, töltheti be feladatát.

A szöveg olyan szóbeli vagy írásbeli közlés, amely mondatokból áll. Bár szélsőséges esetben találkozhatunk olyan szöveggel, amely csak egy mondatból, s olyan mondattal, amely csak egyetlen szóból, sőt csak egy fonémából áll - például az Ó! felkiáltás.

„Ez a nagyságrend - a szöveg - a kommunikáció valódi közege: gondolatainknak társadalmilag érvényes formába öntött és mások számára érzékelhetővé tett közvetlen valósága” - írja Deme László.

Mint ahogy a morféma nem a fonémák szabálytalan egymásutánja, s a mondat sem szabálytalan, összefüggéstelen szósor - és jelentése is több, mint az egyes szavak jelentéseinek összege -, a szöveg sem találomra összehordott mondatok halmaza. Az egymást követő mondatok között szintaktikai kapcsolatnak kell lennie. Ezt a kapcsolatot az előremutatás és a visszautalás különböző eszközeivel - mutató névmással, ismétléssel, határozószókkal stb. - lehet megvalósítani. A szintaktikai kapcsolat önmagában még nem teszi koherenssé, összefüggővé a szöveget. A mondatoknak szemantikailag is kapcsolódniuk kell egymáshoz. A szemantikai kapcsolat a téma azonosságától függ. Az eszközök, amelyekkel ez megvalósítható: az ismétlés (nevek, névszók ismétlése), a helyettesítés (tulajdonnevek helyettesítése köznevekkel, szinonimák alkalmazása stb.) Végül a mondatok között pragmatikai összefüggésnek is kell lennie. Ez a kérdés azonban már átvezet a kommunikációban kialakuló beszédhelyzet vizsgálatához, s erről majd ott fogunk beszélni.

A nyelvi rendszer szerkezetével kapcsolatban még egy megjegyzés. Ahogy ebben a hierarchikus rendszerben mind magasabb szintre emelkedünk, a csoportok mind gazdagabbak, a rendszer mind bonyolultabb lesz. A legelső szinten, a beszédhangok szubatomikus szintjén, a megkülönböztetésüket szolgáló jegyeket találjuk. Ezeknek az oppozíciós viszonyban álló jegyeknek a száma tíz (zöngéesség, nazalitás stb.), s könnyen kódolhatók binárisan: van-nincs. A következő szinten, a fonémák szintjén, az elemek száma már nagyobb, de egyetlen nyelvben sem éri el a százas nagyságrendet, s számuk könnyen és egyértelműen meghatározható. A morféma - törmorféma és szavak - száma, mivel a fonémák minden nyelvben jól meghatározott szabályok szerint kapcsolódhatnak, csak véges számú lehet. Igaz, hogy már a köznap beszédben is elérheti a több tízezres nagyságrendet, de a legnagyobb szókincsűnek tekintett angol nyelvben sem haladja meg az egy-két milliót. (Itt azonban már jelentkeznek bizonyos nehézségek: egy nyelv szavainak számát nem lehet pontosan megadni.) A szerkeszthető mondatok halmaza már végtelen, a beszédművek, szövegek halmaza pedig ennél is gazdagabb.

A nyelv egyes szintjeinek - alrendszerének - tanulmányozásával a nyelvtudomány különböző ágai foglalkoznak: a fonológia, morfológia, szintaktika, a prozódia (amelyet ma már inkább csak a költészet segédtudományaként ismernek) és a szemantika. A szöveg nyelvészeti vizsgálata ma még csak „gyermekcipőben” jár, sőt vannak nyelvészek, akik azt állítják, hogy a szöveg nem nyelvészeti fogalom, tanulmányozása nem a nyelvtudomány hatáskörébe tartozik. Szövegtani kutatások mégis folynak, „századunk hetvenes éveiben pedig a nyelvtudománynak külön új és egyre izmosodó ágaként kezdett kibontakozni a szövegnyelvészet” (Balázs, 1985).

Amit eddig elmondtunk, az tulajdonképpen a hagyományos nyelvtudomány vázlata. A század elejétől azonban a lingvisztikában is egyre erőteljesebben jelentkeztek az új gondolatok, új elméletek. A fejlődés vonala Saussure-től a strukturalizmus irányzatain, a szemantikai nyelvészet, a generatív grammatika iskoláin keresztül a számítógépes nyelvészetig, s a kognitív tudomány nyelvészeti vizsgálatáig átíveli az egész huszadik századot.

A fejlődés két forrásból táplálkozott. Az egyik a nyelvészeknek az a törekvése - s ebben osztoztak szinte minden humán tudomány képviselőivel -, hogy tudományukat az egzakt kvantitatív matematikai módszerek alkalmazásával a természettudományokkal „egyenrangúsítsák”. A nyelv számszerűsíthető, mérhető, formalizálható aspektusainak a vizsgálatához az eszközöket és módszereket a matematikában kibontakozó új irányzatok, elsősorban a halmazelmélet, a matematikai logika, majd később az információelmélet s az ebből vagy ezzel párhuzamosan kialakult kibernetika, kommunikációelmélet, rendszerelmélet, számítógéptudomány biztosította. (A számítógép ma már nélkülözhetetlen „szerszám” a nyelvészek kezében, nyelvstatisztikai vizsgálatok, nyelvi modellek készítése szinte lehetetlen számítógép nélkül.) Ez utóbbi ugyanakkor „megbízóként” is jelentkezett - s ez a fejlődés második forrása. A számítógép megjelenésével napirendre került a gépi fordítás, az ember-gép kommunikáció, a szótárkészítés, a tudományos tájékoztatás, a gépi szövegfeldolgozás kérdéseinek megoldása is.

A matematikai nyelvészet - ha szabad ezt a fogalmat tágan értelmezve az új irányzatok összefoglalására használnunk - legfontosabb célkitűzései között a nyelv relációs és szerkezeti mozzanatainak, a szintaktikai-paradigmatikai rendszertani tényezőknek a tisztázása szerepelt. A generatív nyelvelmélet - amelynek Chomsky amerikai nyelvész volt a megteremtője - alaptétele: bármely természetes nyelv grammatikájában vannak rekurzív jellegű szabályok, azaz olyanok, amelyek ciklikusan akárhányszor alkalmazhatók, s ezáltal egy véges számú szabálygyűjtemény segítségével lehetővé válik, hogy a mondatok végtelen sokaságát nyerjük. Ezzel magyarázható az embernek az a képessége, hogy megért olyan mondatokat is, amelyeket még sohasem hallott. S ugyanúgy az is, hogy új mondatokat tud létrehozni. A grammatikai szabályok összessége alkotja a beszélő nyelvismeretét, amelyet Chomsky kompetenciának nevezett el. (A kompetencia, amely bizonyos vonatkozásban, bizonyos mértékig megfelel a saussure-i langue fogalmának, tulajdonképpen az ideális beszélő nyelvismeretét jelöli, s úgy is felfoghatjuk, mint a beszéd algoritmusát.) A kompetencia aktuális megnyilvánulása a performancia. A grammatikák egész sorát lehet létrehozni a bennük alkalmazott rekurzivitás jellegétől függően.

A transzformációs generatív grammatika a beszédfolyamatot a következőképpen írja le.

Elménkben a velünk született, genetikailag adott nyelvismeret, kompetencia segítségével létrehozunk mondanivalónk mélyszerkezetét. Az elmélet szerint a nyelvre jellemző lényeges sajátosságot, mondataink szerkezetét az emberi értelem veleszületett sajátosságai határozzák meg. „A nyelvi kompetencia ... algoritmus-jellegű, és az emberi agy veleszületett képességeire alapozódik” (Marcus, 1967). Ugyanakkor azonban „A kompetencia nem csak genetikai és biológiai, hanem társadalmi és művelődési szempontból is meghatározottnak tekinthető” (Schweiger, 1982.) Ez tulajdonképpen elvont struktúra, amely az alapmondatok szemantikai tartalmát és logikai struktúráját írja le.

A mélyszerkezetből transzformációk segítségével alakítjuk ki a felszíni szerkezetet. Még ez sem a konkrét tényleges mondat, de már tartalmaz minden olyan sajátosságot, amely lehetővé teszi a hangalakra való átalakítást. A transzformációk pontos újraírási szabályok, amelyeknek biztosítaniuk kell a következő feltételeket: lehetővé kell tenniük az adott nyelv minden mondatának generálását, de csakis azokat, amelyek ahhoz a nyelvhez tartoznak, a mondatoknak grammatikailag szabályosaknak, értelmeseknek és elfogadhatóknak - a társadalmi normáknak megfelelőeknek - kell lenniük (Chomsky, 1957, 1965).

A generatív nyelvtudomány és általában a matematikai nyelvészet nagyon sok értékes eredménnyel gazdagította a nyelvről való ismereteinket. De a korlátai is felszínre kerültek. Már eleve korlátozta ezeknek a vizsgálatoknak az érvényességét, hogy csak a nyelvet

tanulmányozták. „A beszéd- (parole) jelenségek már természetüknél fogva olyan jellegűek, hogy tanulmányozásukban nem célravezető a matematikai struktúrák alkalmazása” (Marcus, 1967). Chomsky elméletének érvényességét korlátozza az is, hogy a szintaxist tette központi fogalommá, és a szintaktikai szabályok helyes alkalmazása garantálja a mondatok generálásának helyességét.

Még nyilvánvalóbbá váltak ezek a korlátok a gépi fordítás kutatásának „hőskorában”. Hogy miként látták és közelítették meg a hatvanas években a feladatot a matematikai nyelvészek, az világosan kiderül Solomon Marcusnak, a román matematikai nyelvészeti iskola nemzetközi tekintélyű képviselőjének alábbi szavaiból: „Vajon lehetséges-e, hogy egy gép megértsen egy nyelvi közleményt, és feldolgozza különböző szempontok szerint? Ma már tudjuk, hogy erre a kérdésre csak igenlő választ adhatunk, de ez attól a programtól függ, melyet az ember betáplál a gépbe. Nyilvánvaló az is, hogy ennek a programnak a megvalósítása nem a közleményt alkotó szavak jelentésén, hanem az őket összekapcsoló formális viszonyokon alapul, minthogy csupán az utóbbiak írhatók le olyan fokú pontossággal, amelyet a gép megkövetel. Éppen ennek a programnak a megvalósítása során alkalmazhatók a strukturális és a matematikai nyelvészet szorgalmazta leírások, s ugyanakkor a gép számára készített nyelvi elemzés, az a mód, ahogyan a gép megérti ezt az elemzést, irányítja a strukturális és a matematikai nyelvi elemzés előrehaladását, sarkallja a fejlődésnek azt az útját, mely legjobban megfelel a formalizálás követelményeinek. Valamely nyelvi leírás formális jellegének pedig a leggyakorlatibb ismerve az, hogy a gép megértse a leírást” (Marcus, 1967).

Kiderült azonban, hogy bizony nem elég, ha a gép formálisan érti a nyelvet. A szavak, sőt a mondatok jelentését is értenie kell. Bármilyen értékesek is a generatív grammatika s más matematikai irányzatok eredményei, a nyelv nem redukálható a formális viszonyokra, kapcsolatokra, szerkezetekre. S a szemantika, amelyet egyes nyelvészek száműztek a nyelvtudományból, visszakerült az őt megillető helyre. Ahogy Schank írja: „Nincs létjogosultsága annak a nyelvi modellnek, amely figyelmen kívül hagyja a meggyőződéseket, a célokat, a szándékokat és a világra vonatkozó tudást” (Schank, 1980). Erre a kérdésre majd még visszatérünk a mesterséges intelligenciáról szóló fejezetben.

Milyen folyamatok játszódnak le bennünk, amikor beszélünk?

Az idegrendszer működésével kapcsolatban már ismertettünk egy elképzelést a beszédaktus megvalósulásáról (MacKay elmélete), most nézzük meg a kérdést egy kicsit más felfogásban.

A képzeletben nagyjából megtervezett szöveget először a fogalmi gondolkodás szintjéről a belső beszéd szintjére transzformáljuk, megfoghatóvá tesszük. Ez azonban még nem azonos a hangzó beszéddel. Tagolatlanabb, formátlanabb, elmosódottabb, talán azt is mondhatnánk, pongyolább, noha a beszédtervezés kezdeti szakaszában vagy egy-egy nehezebb beszéd-szituációban, amikor bonyolultabb gondolatokat akarunk kifejezni, vagy nagyon fontosnak tartjuk, hogy mondandónkat nehogy félreértsék, tetten érhető a belső artikuláció. Ugyanakkor a belső beszédből szinte teljesen hiányzik a redundancia, mivel a beszéd elemei között létesülő kapcsolatok főként tartalmiak, s többé-kevésbé mentesek a formalizmustól.

A beszédtevékenység második szakasza az elgondolt szövegnek, mondanivalónak az egyezményes beszélt nyelv formájába való öntése, kódolása. Meg kell szerveznünk a közlés-egységeket, mondatokra kell tagolnunk, ki kell választanunk a legmegfelelőbb szavakat, hozzájuk ragokat, jeleket s végül a kimondásukhoz szükséges fonémákat. Hogy honnan, agyunknak milyen rekeszeiből szedjük elő a beszéd felépítéséhez szükséges elemeket, hogyan vannak ezek emlékezetünkben tárolva, erre egyelőre csak hipotézisek vannak. Néhány részletkérdés azonban már tisztázottnak látszik. Említettük azt a feltevést, amely szerint az

agyunkban található szótárban a szavak fogalmi kategóriák szerint vannak elrendezve. Nyelvbontások tanulmányozásából M. T. Motley és munkatársai arra következtettek, hogy a szavak agyunkban nyelvtani kategóriák szerint is rendeződnek. A hibáknak egy másik típusa azt mutatja, hogy a végződéses, ragos, képzős szavak nem a szavak részeként tárolódnak, hanem a beszédképzés során adódnak a szavakhoz. Ugyancsak ezek a kísérletek bizonyítják, hogy a nyelvbontások során gyakrabban jönnek létre értelmes szavak, mint értelmetlenek, ritkák a nyelvtanilag hibás szerkezetek, s hangtanilag hibás szóalakok szinte sohasem jönnek létre. Mindezek a megfigyelések megerősítik, alátámasztják azt a véleményt, hogy beszédképességünk alapjai agyunkban „huzalozva” vannak, genetikailag adottak (Motley, 1985). Azt is fel kell tételeznünk, hogy beszéd közben működik egy ellenőrző mechanizmus, amely megvédi bennünket a túlságosan súlyos hibáktól. Ezt szolgálja egy negatív visszacsatolási folyamat is, beszéd közben halljuk saját hangunkat, s látjuk a vevő reakcióit. Ilyen módon lehetőségünk van arra, hogy a már elkövetett hibákat észleljük és kiküszöböljük. Mondanivalónk megfogalmazása után következik a második kódolás, a beszédprodukciónak megvalósítása. Először kidolgozzuk az artikulációs programot, s ennek alapján működésbe lép a komplex vezérlési mechanizmus. Az utasítások az idegpályákon lefutnak az izmokat mozgató idegvégződésekhez, s az izmok elvégzik a kijelölt mozgásokat.

Amíg beszélünk, a kódolás szünet nélkül folyik, méghozzá mind a két szinten. Beszéd közben a legritkábban fogalmazzuk meg előre teljes egészében mondatainkat, azok általában menet közben alakulnak ki, sokszor módosulnak, változnak a beszédhelyzetnek megfelelően. S közben a kódolási folyamatokkal párhuzamosan folyik a végrehajtás is. Olyan gyorsan követik egymást a döntések és cselekedetek, minden pillanatba annyi esemény zsúfolódik, hogy elképzelhetetlen a folyamat tudatos irányítása. (Természetesen a beszédhelyzetnek vannak tudatos szakaszai is, az üzenet megformálása, és sokszor a szavak kiválasztása, főleg amikor választékosan akarjuk kifejezni magunkat vagy valamilyen nehezebb témáról beszélünk.) Ugyanakkor beszédünk nem lehet pusztán reflexív tevékenység sem, hiszen legtöbbször olyan eredeti mondatokat formálunk, amelyeket sohasem hallottunk, mondtunk. Ezt a dilemmát csak a legújabb kutatások eredményei oldották fel, beszédtevékenységünk alapfunkciói - amint arra már fentebb utaltunk - genetikai örökségünkhöz tartoznak, s a konkrét beszédhelyzetben működésbe lépnek, és vezérik mondanivalónk megformálását és kiejtését.

Mi történik a kommunikációs lánc másik végén? Milyen folyamatok játszódnak le bennünk, amikor beszédet hallunk? Az akusztikai jelekből, a hangingerekből fülünkben idegimpulzusok lesznek, s agyunkban végrehajtjuk megfordított sorrendben - a dekódolást. Megértjük az üzenetet.

A megértési folyamat magyarázatára ma három uralkodó elképzelés van. Az első szerint a felismerés a három nyelvi szinten (a fonetikai, szintaktikai és szemantikai szinten) alulról felfelé megy végbe.

A második elképzelés hívei azt állítják, hogy a megértést egymástól függetlenül működő modulok valósítják meg, amelyek ugyan vehetnek fel egymástól információt, de egymással párhuzamosan, egy időben is működhetnek.

A legvalószínűbb a harmadik elképzelés: a különböző szintű elemzések egymással párhuzamosan, de nem zárt modulokban, hanem egymással állandó kölcsönhatásban folynak. A megértésben minden rendelkezésre álló információforrást felhasználunk, s ezektől függően a sorrend akár meg is fordulhat. A megértés mindenképpen aktív folyamat.

Van olyan elképzelés is, hogy először a nagyobb beszédegységeket, mondatokat, szövegrészeket értjük meg, s azután bontjuk fel, ismerjük fel a szintaktikai struktúrát, azonosítjuk a fonémikus komponenseket.

A beszéd felismeréssel kapcsolatban még két mozzanatról kell szót ejtenünk.

Az egyik a már ismert és az új információ elválasztása-összekapcsolása (a mondat ebből a szempontból két részre tagolódik: a téma a már ismert, a réma az új kifejezése) részben a szórend, részben a hangsúly segítségével.

Ez a folyamat feltételezhetően úgy megy végbe, hogy az operatív emlékezetben a szövegben már elhangzott vagy az általánosan ismert információk „csomópontokat” alkotnak, s ezekhez rendeljük hozzá a rájuk vonatkozó új információkat.

A másik mozzanat a cselekvésérték szempontjából történő feldolgozás. Erről majd a kommunikációról szóló fejezetben lesz szó.

Az írás

A beszédet információelméleti szempontból úgy foghatjuk fel, mint kódot, amellyel a mondanivalónkat a választott csatormán - a levegőben - továbbítható formába ültetjük át. A beszéd azonban nem az egyetlen nyelvi kód. Az az írás is. (Csak zárójelben jegyezzük meg, hogy a beszéd közvetlenül is átkódolható vizuális kódba, a szonogram láthatóvá tett kétdimenziós beszéd. Némi gyakorlattal szemmel lehet „hallani”.) Az embernek ősrégi törekvése, hogy az információkat az agyánál megbízhatóbb, tartósabb, időálló formába, szervezetén kívül, attól függetlenül rögzítse.

Ez az igény akkor vált parancsoló szükségszerűséggé, amikor a társadalmi fejlődés során nagyobb települések alakultak ki.

Az új termelési és elosztási viszonyok, a szervezés, irányítás új módszerei jelentősen növelték a rendszerben keletkező információk mennyiségét. Az emberi agy információ-feldolgozó és -tároló képessége ilyen körülmények között elégtelennek bizonyult. Új eljárást kellett kidolgozni, főleg a numerikus adatok nyilvántartására. Az eddig feltárt legősibb írásos emlékek a babilóniai Uruk város romjai között talált agyagtáblák. Az időszámításunk előtt körülbelül 3000-ben írt feljegyzések - a mintegy 700 jel megfejtése után kiderült - gazdasági jellegűek: gazdasági ügyletek nyilvántartása, állatok, állati termékek jegyzékei, számadatok. „És bár az írás az emberiség egyik legnagyobb alkotása, szükségszerű volt, hogy gazdasági segédeszközként szülessen meg” - olvassuk Peter Damerownak és kutatótársainak cikkében (Damerow et al., 1988). Az első jelek az i.e. 3000-et megelőző századokból még képszerűek, de a néhány évszázaddal későbbiek már a fonetizálás jegyeit mutatják. A fonetikus jelleg akkor erősödik meg, amikor eltérő szerkezetű nyelveket beszélő népek kezdték használni. Nagyjából ugyanabban az időben jelentek meg, talán a babilóniai ötlet hatására, más nyelvű népeknél más írásrendszerek. (Pl. az egyiptomi hieroglifák.)

Végül különböző népek próbálkozásai után az i.e. XIII. században a föníciaiak rátaláltak arra a formára, amely a legmegfelelőbbnek bizonyult: a betűírásra. Hogy a beszéd rögzítésének valóban ez a legmegfelelőbb módszere, azt bizonyítja az a tény, hogy fejlődőképes volt, s alapjául szolgálhatott - a görögön keresztül - a ma legelterjedtebb, a latin betűs írásnak, oldalágon pedig a héber, arab, cirill írásnak. (A kínai és a japán írás - hiába használja egymilliárdnál több ember, s hiába áll s áll nagyon fejlett, magasabb rendű kultúrák szolgálatában - a fejlődésnek egy alacsonyabb szintjét jelenti.)

Az írás előnyei a beszéddel szemben: maradandó, tárolható, bármikor változatlan formában visszaidézhető („verba volant, scripta manent”), bármilyen távolságra eljuttatható. Ezek az előnyök az utóbbi évtizedekben sokat veszítettek jelentőségükből. A hangrögzítés és -továbbítás eszközeinek tökéletesedése sokszor szükségtelenné teszi az írásban való rögzítést. Levélírás helyett telefonálunk, vagy szóbeli üzenetünket hangszalagon küldjük el, akár a világ végére is, egy-egy tárgyalás, megbeszélés anyagát hangszalagra rögzíthetjük.

Az írásnak azonban vannak olyan előnyei is, amelyek nem vesztek jelentőségükből, sőt! Írás közben, mivel több időnk van gondolkodni, mondanivalónkat tudatosabban formáljuk meg, pontosabban, csiszoltabban fejezzük ki. Ennek okán az írás, ami eredetileg csak a rögzítés célját szolgálta, némileg függetlenedett a beszédtől, s a nyelvi közlés önálló formájává vált.

Mindezek mellett az írásbeli közlésnek súlyos hátrányai is vannak, nem minden tekintetben tudja pótolni az élőbeszédet. Mivel ektoszemantikai, szupraszegmentális jellegzetességei - mint amilyen a beszédben a hangsúly, hanglejtés, hangszín, hangerő - nincsenek, az információkat, amelyeket ezek a jellegzetességek hordoznak, írásban nem tudjuk kifejezni. Elvesznek azok az információk is, amelyeket az arcjáték, a taglejtések fejeznek ki. Ezeket a hátrányokat az írásjelekkel, központoszással, aláhúzással, nyomtatásban különböző betűtípusok alkalmazásával, tartalmilag a mondat szerkezet megfelelő kialakításával, különböző egyéb stiláris eszközökkel lehet valamelyest ellensúlyozni.

Az írott, illetve nyomtatott szónak a tömegtájékoztatásban betöltött szerepéről majd még beszélünk. Itt most csak annyit, hogy a személyi számítógépek szövegszerkesztő programjaikkal, úgy tűnik, visszaadták az írás rangját. Az úgynevezett Desktop Publishing (íróasztali kiadványszerkesztő) rendszerek bárkinek lehetőséget adnak arra, hogy írásművek szerzője, grafikus, gépírója, szedője, montírozója legyen, s ki is nyomtassa.

A nyelv mint jelrendszer

A nyelv - amint láttuk - szemiotikai szempontból szimbolikus természetű jelrendszer. Ez azt jelenti, hogy a nyelvi jelek konvenció, megegyezés alapján jelölik a dolgokat. Saussure szögezte le: „A jelölőt a jelölttel egyesítő kötelék önkényes.” Ez a megállapítás azonban csak részben helytálló. Igaz, hogy a szó alakja és jelentése között a kapcsolat konvenció eredménye, de miután létrejött, elveszti önkényes jellegét, kötelező érvényű az azonos nyelvet beszélő embercsoport minden tagja számára. Másrészt, amint azt Peirce megállapította, a jelrendszerek sohasem „tisztá” képződmények, s így a nyelv sem tisztán szimbólumrendszer, hanem ikon- és indexjellege is van. Roman Jakobson erről a következőket írja: „Peirce határozottan úgy látta, hogy a szavak mondaton belüli elrendezésének például ikonként kell szolgálnia ahhoz, hogy megérthessük a mondatot. Nemcsak a szavak szintaktikai csoportokba való rendeződése, hanem a morfémák szavakká rendeződése is világos ábraszerű jelleget mutat” (Jakobson, 1969). Más szavakkal ez azt jelenti, hogy mondataink, közleményeink szerkezete - a mondatrészek elhelyezkedése a mondatban, a mondatok sorrendje - mintegy ábrázolja az általuk jelölt valóság szerkezetét.

Balogh István pedig, aki a nyelvet, mint általános jelformát tárgyalja, amely a korábban kifejlődött jelformákból vezethető le, a következőket állapítja meg: „A nyelv nem maga az általános jelforma, hanem több ennél: magán hordja az összes korábbi jelformák nyomait is, amelyek mint a nyelv különböző oldalai, jegyei, funkciói jelennek meg.” Majd később: „A nyelv éppen azért mutathat a konkrét használat során ikonszerű és indexjellegű sajátosságokat mind a szavak mondatokká rendeződése során, mind a morfémák sorrendjében és a szavak

elsajátításának különböző fázisaiban, mert alapvető meghatározottsága az általános jelformában foglalt jelviszony mindenoldalúsága” (Balogh, 1979).

Kelemen János erről a kérdéstről a következőt mondja: „A verbális jelek fontos tulajdonsága az, hogy bár nem azonosak a származékos jelek egyik típusával sem, esetenként betölthetik bármelyiknek a szerepét. (Az index-, ikonszerűség és a szimbolikus funkció mellett a szignál jellemzőit is felvehetik: „rajt!”, „halt”, „állj, ki vagy” stb.) (Kelemen, 1971).

A nyelv funkcióiról a következő fejezetben részletesebben beszélünk majd, itt most csak annyit jegyzünk meg, hogy a nyelv Bühler meghatározta három funkciójának a nyelvi jel három arculata felel meg. Ábrázoló funkciójában szimbólumként jelentkezik, kifejező funkciója okán szimptóma, felhívó funkciója révén jelzés (szignál) (Bühler, 1934).

A nyelvet alávethetjük statisztikai információelméleti vizsgálatnak, mert eleget tesz a két alapvető feltételnek: véges számú jeltől áll, s alkalmazása, a beszéd folyamat nem más, mint választás ezek közül az elemek közül.

Sajnos az ilyen jellegű vizsgálatok hasonló korlátokba ütköznek, mint a matematikai nyelvészeti kutatások. Mindaddig, amíg nem sikerül kidolgozni a szemantikai és pragmatikai információ tartalom meghatározásának és mérésének módszereit, a nyelvet csak a weaveri értelemben vett szintaktikai szinten lehet tanulmányozni.

A beszélt nyelv vizsgálata a jelek bonyolult, összetett volta miatt elég nehéz. A fonémák halmazára alkalmazhatjuk a shannoni képletet, s kiszámíthatjuk valamely fonémasor információ tartalmát, hírértékét, ismerve elemeinek előfordulási valószínűségét, - amelyet a nyelvészek megterheltségi sűrűségnek neveznek - s a relatív gyakoriságot, a megterheltséget. Relatív és abszolút redundanciát is számíthatunk. Ám itt már némi nehézségbe ütközünk. A redundancia ugyanis a fonémák összetettsége miatt nem könnyen határozható meg. A megkülönböztető jegyek különböző fokú tehetetlensége miatt nem egyszerre, egy időben, hanem bizonyos eltolódással változnak, s emiatt bizonyos redundanciátöbblet jelentkezik. Ennek a nagyfokú redundanciának köszönhető, hogy a beszédhangokat akkor is felismerjük, ha nagymértékben torzulnak vagy eltérnek a normálistól. (Érdekes, hogy a zene, a másik akusztikai jelrendszer sokkal érzékenyebb a csatorna minőségére, s olyan fokú torzulásnál, amelynél a beszédet még felismerjük, a zenei információ már elvész.) A beszéd tanulásnál szó volt arról, hogy a csecsemők először a mássalhangzókat tanulják meg. Ez is alátámasztja azokat a vizsgálati eredményeket, amelyek kimutatták: az információ hordozói elsősorban a mássalhangzók. A betűírás is úgy alakult ki, hogy jó ideig csak a mássalhangzónak volt jele. A héber és arab írás mind a mai napig megőrizte ezt a „szokást”.

Az írott szöveg információelméleti vizsgálata, mivel egyszerűbb és információban szegényebb, könnyebben megvalósítható. Az alapot a nyelvstatisztika szolgáltatja. Megfelelő hosszúságú szövegből ki lehet számítani egy nyelv betűgyakoriságait, s ennek alapján azt az információ mennyiséget, amelyet az egyes betűk és betűsorok hordoznak. (Az első betűgyakoriság-számítást a milánói Sicco Simonetta végezte 1380-ban, természetesen nem az információ továbbítás, hanem a titkosírás „optimalizálása” céljából. Morse is a betűk gyakorisága alapján dolgozta ki ábécéjét.)

Az angol nyelv információelméleti vizsgálatát először Shannon végezte el (Shannon, 1951).

A magyar nyelv betűgyakoriságait és a betűk hordozta információ mennyiségeket az alábbi táblázat mutatja be (Andor, 1980):

A magyar nyelv betűgyakoriságai és a betűk információtartalma
10.000 betűs újságszöveg alapján

	Kis ábécé szóköz nélkül	Kis ábécé szóközzel	Ékezetes szóköz nélkül	Információ bitben
A	11,55	10,07	9,35	3,43
Á	-	-	3,72	4,77
B	2,38	2,12	1,72	5,87
C	0,63	0,54	0,60	7,40
D	1,79	1,42	1,71	5,90
E	14,26	11,86	9,71	3,37
É	-	-	3,87	4,71
F	0,94	0,83	0,88	6,87
G	3,22	2,87	3,55	4,83
H	1,68	1,37	1,23	6,37
I	5,48	4,84	4,39	4,53
J	1,05	0,90	1,21	6,39
K	5,84	5,26	5,35	4,24
L	6,23	5,44	6,30	4,00
M	3,65	3,29	3,92	4,69
N	5,47	4,69	5,47	4,21
O	6,87	6,04	4,47	4,50
Ö	-	-	2,14	5,57
P	1,09	0,88	1,04	6,61
Q	0,00	0,00	0,00	?
R	3,76	3,23	4,22	4,58
S	5,89	5,10	6,57	3,94
T	7,35	6,12	7,87	3,68
U	2,47	2,24	1,29	6,30
Ü	-	-	0,93	6,77
V	1,66	1,42	1,81	5,81
W	0,00	0,00	0,00	?
X	0,02	0,01	0,01	13,33
Y	1,92	1,64	2,21	5,52
Z	4,79	4,14	4,46	4,50
Szóköz	-	13,70	-	-

Természetesen ezek az értékek csak abban az esetben lennének érvényesek, ha az egyes jelek között nem lenne kapcsolat, azaz a betűk (jelek) függetlenek lennének egymástól. Mivel a természetes nyelvekben nagyon is szoros összefüggés van a betűk között, pontosabb értékek elérése érdekében nyelvész-statisztikusok kiszámították betűkettősök, sőt betűhármások információtartalmát is.

Ezekből az értékekből azután kiszámíthatjuk a szövegben rejlő információmennyiséget. S természetesen kiszámíthatjuk az egy betűre jutó átlagos információmennyiséget, a nyelvnek mint jelrendszernek az entrópiáját. A magyar nyelvben ez 4,44 bit. Az orosz nyelv entrópiája 4,35 bit, a német nyelv különböző szerzőknél 4,03 és 4,12 bit között változik, az angolé pedig 4,22 bit (Völz, 1983). A hierarchia második fokán, a szavak szintjén a helyzet még bonyolultabbá válik. A szavak ugyanis nem egyszerűen fonémasorok, hanem különböző terjedelmű, sajátos szervezettségű önálló egységek. A statisztikai összefüggéseket az erre a szintre jellemző összefüggések gazdagítják, módosítják. Ezen a szinten már beleütközünk abba az akadályba, amelyet szemantikai falnak nevezünk.

A nyelvstatisztika fejlődésében jelentős szerepet játszott G. K. Zipf, aki a szógyakorisággal kapcsolatban két fontos törvényt állapított meg.

Az első törvény azt mondja ki, hogy a bizonyos gyakorisággal előforduló szavak számának (b) és az abszolút gyakoriság (F) négyzetének szorzata állandó:

$$b \cdot F^2 = C$$

A második törvény a szó rangja (gyakoriságának megfelelő helye a szavak sorában) és gyakorisága között állapít meg összefüggést. Egy kellően hosszú szövegben a szó relatív gyakorisága (f) is, abszolút gyakorisága (F) is fordítottan arányos a rangjával (r):

$$r \cdot f = C' \quad \text{és} \quad r \cdot F = K$$

Ezek a törvények nem fejeznek ki szigorú egyenlőséget, s a jobb oldalon szereplő állandó értéke is változik attól a szövegtől (nyelvtől) függően, amelyből a gyakorisági listát összeállítják. Az összefüggések azonban léteznek.

Mandelbrot szilárd matematikai alapokra helyezte és továbbfejlesztette Zipf törvényeit. Összefüggést állapított meg például a szavak hosszúsága és rangja között. A rövidebb szavak minden nyelvben sokkal nagyobb gyakorisággal fordulnak elő, mint a hosszabbak (rangjuk a hosszal fordítottan arányos), és ha a történelmi fejlődés során egy szó gyakorisága megnő, rendszerint meg is rövidül. Nyelvünk legősibb rétegét (pl. a testrészek neveit) szinte kivétel nélkül egytagú, két-három fonémából álló szavak alkotják.

A betűk információtartalmát a betűgyakoriság, a szavakét a szógyakoriság alapján lehet - lehetne - kiszámítani. Nyilván ez utóbbi sokkal nehezebb, és az eredmények is sokkal bizonytalanabbak, hiszen nem könnyű meghatározni a kritériumokat, amelyek alapján kiválaszthatók reprezentatív szövegek.

Ahhoz, hogy egy szöveg kielégítő módon reprezentáljon, valamely nyelvet nagyon sok, egymástól különböző forrásból kellene összeállítani: mindennapi szövegekből, tudományos, szépirodalmi, újságcikk-szemelvényekből stb. ezeket a vizsgálatokat nagyon gyakran meg kellene ismételni, hiszen a nyelvnek éppen a szókészlete az, amely legtöbbet változik. (Ilyen vizsgálatokat főleg az irodalomtudományban szoktak végezni egy-egy költő, író nyelvének, stílusának leírására, jellemzésére.) Völz közöl egy táblázatot a német és az angol nyelv 30 leggyakrabban előforduló szavának a gyakoriságáról és a két nyelv entrópiájáról. A szavak túlnyomórészt egyszótagúak, névelők, elöljárók, segédigék, névmások. Az entrópia - az egy szóra jutó átlagos információmennyiség - mindkét nyelvben 2,26 bit.

A kérdést másképp is meg lehet közelíteni: a szó információtartalmát kiszámíthatjuk úgy is, hogy összeadjuk a betűk információmennyiségét. Természetesen a két megközelítés nem ad azonos eredményt, hiszen a szót alkotó betűk gyakorisága és a szó gyakorisága között alig van összefüggés.

A nyelvek redundanciája a másik információelméleti kérdés, amellyel behatóan foglalkoznak. A vizsgálatok megállapították, hogy a természetes nyelvek nagyon redundánsak. Különböző módszerekkel - szövegek részleges eltakarásával, hangelnémítással - megállapították, hogy egy nyelvi közlemény érthető marad akkor is, ha a fogadóhoz alig a fele jut el. A redundancia tehát meghaladja az 50%-ot. Ennek több oka van: a jelek (hangok, betűk) előfordulási valószínűsége különböző, nem függetlenek egymástól (egy hang vagy betű után nem egyforma valószínűséggel következik bármelyik másik: a francia nyelvben nagyon kis valószínűséggel következik a q után u -tól eltérő betű, a magyarban a magánhangzó után sokkal nagyobb a valószínűsége egy mássalhangzónak, mint egy magánhangzónak stb.).

A nyelv Markov-lánc jellegét Shannon és Küpfmüller érdekes kísérletei is igazolják. Előbbi angol, utóbbi német szövegeket generált a következő módon: először olyan betűsort hoztak létre, amelyben a betűk előfordulási valószínűsége teljesen azonos volt. A következő lépésben figyelembe vették az előfordulási gyakoriságokat, majd a betűkettősök, betűhármások stb. előfordulási valószínűségét. Az alábbiakban Küpfmüller betűsorait mutatjuk be:

- 1) I T V W D G A K N S J T S Q O S R M O L
- 2) E M E G K N E E T E R S T I T B L V T Z E N
- 3) A U S Z K E I N U W O N D I N G L I N D U F R N
- 4) P L A N Z E U N D G E S P H I N I N E U N D E N
- 5) I C H F O L G E M A S Z I G B I S S T E H E N D I S P O N I N ...

Jól látható a betűsorok „értelmesedése” kizárólag csak a betűvalószínűségek figyelembevételének hatására (Shannon, 1951, Küpfmüller, 1954). A számítógép, amikor verset „ír”, sok más szabályt is figyelembe vesz. Később idézünk majd két ilyen verset.

A hangtani, szótani, mondattani szabályok tovább korlátozzák, csökkentik a szabad választás lehetőségeit, s növelik ezáltal a redundanciát.

Ezeknek a kötöttségeknek az a következménye, hogy a nyelvi közlemények információtartalma nem oszlik el egyenletesen. Egy hosszú szóban például az első hangok sok információt tartalmaznak, az utolsók keveset vagy semmit, s ugyanez érvényes a mondatokra, a több mondatból álló szövegekre. A nagy redundanciának köszönhető, hogy sokszor a legmostohább körülmények között is tudunk kommunikálni, megértjük egymást. (Korunk kommunikációs zavarai nem a környezet fizikai tényezőinek tulajdoníthatók!) A természet mindig nagy redundanciával dolgozik. Jelszava: fő a biztonság. A lehetőségek ilyen nagymérvű „pazarlása” sem korlátozza azonban a nyelv kifejezőképességét. (Legalábbis emberi mértékkel észrevehetetlen.) Az angol nyelv nagyszótára $5 \cdot 10^5$ szót tartalmaz, Goethe szókincse 10^5 szóból állt. Ennyi szóból gyakorlatilag végtelen számú mondatot lehet összeállítani. Mindössze 10 000 szóból - ha a mondatok hossza 50 szóig terjedhet - $10^{50} = 10^{200}$ mondatot lehet képezni. Ha egy mondat kiejtése 10 mp-ig tartana, az összes mondat kimondásához - szünetet sem tartva - $3 \cdot 10^{114}$ évre lenne szükség. De ha csupán 200 szóból állítunk össze négyszavas mondatokat, akkor is egy évig kellene megállás nélkül beszélnünk, hogy mindegyiket elmondjuk (Völz, 1983).

Ha az összes mondatoknak csak 1%-a értelmes, az emberi nyelv akkor is lehetőséget ad minden eddig elgondolt s ezután elgondolandó gondolat kifejezésére.

Elméletileg egy szöveg információtartalmát is ki lehet számítani a szavak hordozta információmennyiségből, ahogy a szóét a betűkéből). Készíthető olyan statisztika, amely elfogadható pontossággal megadja az egyes szavak előfordulási gyakoriságát, s ezekből az értékekből ki lehetne számítani az információmennyiséget, amelyet valamely tetszőleges szöveg hordoz. Ez a számítás azonban amilyen nehéz, éppolyan semmitmondó lenne. A szövegek ugyanis ilyen alapon nem hasonlíthatók össze egymással. Számítsuk ki, például egy olyan magánlevél információtartalmát, amely arról értesít valakit, hogy rég nem látott barátja meglátogatja, és egy felsőbb matematikai szövegét. A szógyakoriság alapján természetesen a második szöveg információtartalma lesz nagyobb. De ennek gyakorlatilag semmi jelentősége nincs. A címzettnek - hacsak nem matematikus, és a közleményből nem értesül valami korszakalkotó felfedezésről - nyilván a levél tartalmaz több információt. Itt is beleütközünk tehát a szemantikai falba.

Végeredményben a fentiekből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a matematikai információelmélet alkalmazása a nyelvészetben is hozott új eredményeket, hozzájárult a kérdések újszerű megfogalmazásához és újszerű kérdések felvetéséhez, tágította a horizontot, és természetesen itt is nyilvánvalóvá vált, hogy a jelenségeknek csak bizonyos aspektusait tudja adekvát módon magyarázni. Fejlettebb matematikai eszközök alkalmazásával lehet érvényeségi körét szélesíteni (a „szemantikai falat” kissé arrább tolni), ám az is világossá vált, hogy a jelenségek teljességének értelmezését csak az általános információelmélettől várhatjuk, amelynek a shannoni fogantatású elmélet speciális fejezetét fogja alkotni.

A KOMMUNIKÁCIÓ

Mi a kommunikáció?

Sajnos ezt a fejezetet is a már többször leírt, szinte sztereotip mondattal kell kezdenünk: a kommunikáció fogalmának meghatározását illetően nincs egyetértés a szakemberek között. (F. E. X. Dance és C. E. Larson 126 meghatározást sorolnak fel [Dance - Larson, 1976]).

Kommunikációnak kell-e tartanunk minden rendszerek közötti információcserét - s akkor a fogalom köre kiterjed a sejten belüli folyamatoktól a televíziós közvetítésig, a fecskék csivitelésétől a számítógépek közötti adatátvitelig az összes olyan jelenségre, amelyben információk mozognak -, vagy pedig - hangsúlyozva azt a minőségi ugrást, amely az ember megjelenésével az élővilág információs folyamataiban végbement - leszűkítjük a kört, s kommunikáción kizárólag csak az emberi-társadalmi információcserét értjük? „Ilyen értelemben a kommunikáció társadalmi-történelmi jelenség, olyan információátvitel, amely emberi relációkat, viszonyulásokat, társadalmi viszonyokat kísér, tükröz, fejez ki” (Szecskó, 1971).

Ebben a fejezetben ez utóbbi felfogás szerint fogjuk körüljárni a témát.

A kommunikációs jelenség tárgyalása a fogalom ilyen leszűkítése mellett sem egyszerű feladat, hiszen az egyik legfontosabb emberi életjelenségről van szó, amely minden emberközi-társadalmi folyamatban szerepet játszik, s ilyenformán a kommunikációelmélet - hasonlóan az információtudomány többi fejezetéhez - szorosan kapcsolódik a pszichológiához, szociológiához, antropológiához, pedagógiához, nyelv- és irodalomtudományhoz, művészetelmélethez, esztétikához, kibernetikához, s műszaki feltételeit illetően a híradástechnikához.

A kommunikáció, akár csak legfőbb eszköze, a nyelv, az emberi társadalommal egyidős. De akár fordítva is mondhatnánk: az emberi társadalom egyidős a kommunikációval. Ahogy Levada írja: „Az emberi társadalom princípiumát nem abban a mozzanatban kell keresnünk, amikor elődje botot ragad, hanem a kommunikáció kifejlődésében és az információtovábbítás genetikán kívüli szociális rendszerének kialakulásában (Levada, 1969).

Amikor az ember az egységes létből kiemelkedve ráébredt önmagára, amikor felismerte a különbséget önmaga és a külvilág között, amikor viselkedése többé-kevésbé céltudatos cselekvéssé vált, s cselekvése más emberekkel közösen végzett munkává szerveződött, ebben a folyamatban született meg az emberi tudat, a nyelv, a társadalom, a kommunikáció és a kultúra. A tapasztalatok, a megszerzett tudás átadása most már nem csak és nem elsősorban genetikai úton, hanem kommunikáció, a nemzedékek közötti kommunikáció útján valósul meg.

Amit az információról mondtunk - az anyagi világ „szervezője” -, az kiterjeszthető, sőt kiterjesztendő a kommunikációra is (hiszen itt is információról van szó!): a társadalmat alkotó elemeket a kommunikáció, a társadalmi tevékenységek vezérlő mechanizmusa szervezi és tartja össze. Ahogy Wiener mondta: „A kommunikáció az a cement, amely a társadalmat egybeforrasztja” (Wiener, 1954).

A kommunikáció eszközei, formái, a társadalom kommunikációs rendszere együtt fejlődött állandó kölcsönhatásban a mindennapi tevékenységgel, a társadalmi viszonyokkal, a társadalom szerkezetével, szervezeteivel. A társadalom fejlődése maga után vonta a kommunikáció fejlődését (adekvát, az adott fejlődési szintnek megfelelő kommunikáció nélkül a társadalom működésében zavarok lépnek fel), s a kommunikációs eszközök technikai fejlődése visszahatott amarra, gyorsítva a társadalmi haladást.

A kommunikáció történetében négy forradalomról beszélhetünk:

- a beszéd forradalma, amelyet tulajdonképpen az emberré válás forradalmának is nevezhetnénk;
- az írás forradalma, melynek kulminációs pontja a fonetikus írás megjelenése volt;
- a könyvnyomtatás forradalma, amely bizonyos szempontból előkészítője volt a polgári forradalomnak;
- az elektromos hírközlő eszközök - távíró, telefon, rádió, televízió - forradalma, amely napjainkban egybefonódik az elektronikus számítógépes információ-feldolgozás forradalmával.

A kommunikációs technika rányomja bélyegét a társadalom többi rendszerére, s mint mondtuk, visszahat annak fejlődésére. Ezt a visszahatást abszolutizálta H. A. Innis kanadai történész és híres-hírheft tanítványa, McLuhan. Médiium-centrikus történelemszemléletükre az jellemző, hogy a társadalom fejlődését teljes egészében a kommunikációs csatornák s eszközök fejlődésére vezették vissza. A történelem során egymást váltották a tartós és a rövid életű médiumok korszakai. A tartós médiumok korszakaiban az idő dimenziója az uralkodó, a társadalom szerkezetére a decentralizáció és a hierarchikus intézmények kialakulása a jellemző, a művészetekben pedig a „hosszú életű” művészetek uralkodnak: a szobrászat és az építészet. A rövid életű médiumok korszakaiban a tér dimenziója érvényesül, centralizált, de kevésbé hierarchikus szervezetek alakulnak ki, a társadalomban terjednek a különböző adminisztrációs formák, és virágzik a kereskedelem. McLuhan véleménye szerint az emberi tevékenység minden tárgyiasult eredménye médium: írás, könyv, lakóház stb., s „minden médium valamely - fizikai vagy pszichikai - emberi képesség kiterjesztése”.

A kommunikációkutatás története a görögökig nyúlik vissza. Arisztotelész Rethoricája ma is haszonnal forgatható szakmunka. A korszerű értelemben vett kommunikációkutatás az első világháború után indult meg. Hogy napjainkban ez a terület az érdeklődés homlokterébe került, s a kutatómunka egyre nagyobb lendülettel folyik, annak okait Szecső Tamás a következőkkel magyarázza:

- A termelés folyamatában az erőátvitelt mind gyakrabban helyettesíti az információátvitel, s emiatt a kommunikációs vonalak a technológiai folyamat létfontosságú alkatelemeivé válnak.
- A társadalmi termelőtevékenység egyre szélesebb köre kapcsolódik az információk gyűjtéséhez, tárolásához, átadásához, feldolgozásához, valamint a tervezéshez, ami megint nem más, mint a jövőre vonatkozó információk kidolgozása.
- A termelőfolyamatban létrehozott új használati értékek mind nagyobb hányada kapcsolatos a kommunikációs folyamatokkal.
- Az információelmélet, kibernetika és általános rendszerelmélet - mindhárman információközpontú tudományok - majd minden természettudományi és társadalomtudományi ágba benyomultak.
- A tudományok gyors differenciálódása szinte megoldhatatlan gondná teszi a tudományágak egymás közötti információcseréjét, de még az egyes tudományágakon belüli kommunikációt és információfeldolgozást is.
- Növekszik a szabad idő, s ugyanakkor egyre nagyobb hányada kerül a tömegkommunikációs eszközök hatása alá. Másrészt a tömegkommunikációs eszközök gyors fejlődése a tudományos-technikai forradalom eredménye” (Szecső, 1971).

Mindehhez még hozzá kell tennünk, hogy a civilizáció fejlődésével, amint az ember mesterséges világa mind nagyobb mértékben élődik közénk és a természet közé, ismereteinknek egyre nagyobb hányadát szerezzük közvetett megismerés útján, a kommunikációs csatornákon keresztül (társadalmi és technikai közvetítettség). Biztonságos tájékozódásunkhoz az szükséges, hogy a csatornákon érvényes információk közlekedjenek zavartalanul.

A mind szélesebb körű kutatómunka ellenére sem vált még a kommunikációtudomány egységes, jól körülhatárolt egzakt fogalmakkal operáló diszciplínává. Ez tükröződik a már említett 126-féle meghatározásban, s mint látni fogjuk, abban a „zürzavarban” is, amely a kommunikációs folyamatok osztályozásában mutatkozik.

Lássunk először néhány meghatározást. Ezek természetesen kifejezik szerzőjük alapállását, azt, hogy milyen oldalról, milyen diszciplína - szociálpszichológia, nyelvészet, információelmélet - felől közelítik meg a jelenségét.

C. H. Cooley: „Kommunikáción azokat a mechanizmusokat értjük, amelyeken keresztül az emberi viszonyok léteznek és fejlődnek.”

G. A. Lundberg et al.: „A kommunikációt úgy határozhatjuk meg, mint jelentések átvitelét szimbólumok segítségével. Amikor az emberek szimbólumokkal hatnak egymásra, kommunikációt folytatnak.”

G. A. Miller: „Kommunikációról akkor beszélünk, ha egy üzenetforrás jeleket továbbít egy csatornán át a rendeltetési helyén levő felvevőhöz.”

G. Gerbner: „A kommunikáció üzenetek segítségével történő interakció. Az üzenetek: formálisan kódolt szimbolikus vagy reprezentatív események, amelyek jelentését többen

osztják egy kultúrában, s amelyeket épp azért hoznak létre, hogy ezt a jelentést hordozzák. Az ilyen „üzenet-események” segítségével történő interakció az ember humanizációs folyamata. Az emberi faj tagjai számára ennek a bölcsőtől a koporsóig, vagy a teljes elszigetelődésig tartó interakciónak a feltételei szabják meg az emberi állapot (human condition) realitását és lehetőségét.”

Kovács Máté: „A közlési folyamat lényege, hogy a közlő tudattartalmának bizonyos értékei tárgyiasult formájukon keresztül az átvevő számára érzékelhetőkké válnak, s tudatvilágának részeivé szerveződhetnek. Tudatbeli értékek keletkeznek.”

C. I. Hovland: „Olyan folyamat, amelyben az egyén (a kommunikátor) ingereket továbbít (rendszerint verbális szimbólumokba foglalva) abból a célból, hogy más egyének (a címzettek) viselkedését módosítsa.”

Ch. Osgood: „Kommunikációra akkor kerül sor, amikor az egyik rendszer - a forrás - egy másik rendszer - a befogadó - állapotát vagy tevékenységét olyan alternatív jelzések között eszközölt választással befolyásolja, amelyek közlési csatornán továbbíthatók.”

K. Nordenstreng: „A kommunikáció társadalmi-szemantikai információk kicserélése az emberi tudatok között a nyelv által formált jelrendszer segítségével.”

Mindezek közül Gerbner meghatározása tűnik a legrokonszenvesebbnek, azzal a megjegyzéssel, hogy itt az üzenetet nem információelméleti értelemben kell felfognunk (üzenet \neq információ). Mint látni fogjuk, az üzenetek újdonságértéke vagy igazságtartalma sokszor lehet zéró.

A kommunikációs folyamatok osztályozása

A kommunikációs folyamatok osztályozása sem megoldott kérdés. Sok osztályozási rendszer létezik. A legáltalánosabban elfogadott skéma szerint megkülönböztetünk:

1. a kommunikációban részt vevő személyek száma szerint intrapersonális, interperszonális, csoport- és tömegkommunikációt;
2. az alkalmazott jelrendszer függvényében verbális és nem verbális kommunikációt;
3. a közlő szándéka szerint szándékos és nem szándékos kommunikációt;
4. a közölt információ természetét és a befogadóra tett hatását illetően kognitív és affektív-emocionális, vagy egy másik felosztás szerint praktikus (gyakorlati), irányító és szórakoztató kommunikációt.

Ezek a kategóriák nem választhatók el élesen egymástól, s nem is zárják ki egymást. A szándékos verbális kommunikáció mindig együtt jár nem szándékos, nem verbális „felhangokkal”, a szórakoztató kommunikáció révén átadott információ lehet irányító, sőt praktikus is, s a par excellence kognitív kommunikáció, a tudományos közlés is tartalmaz affektív elemeket.

Mialetzki a következő osztályokat különbözteti meg:

1. közvetlen („szemtől szemben”) és közvetett (a kommunikáló felek térben és/vagy időben távol vannak egymástól);
2. egyoldalú és kölcsönös;
3. magán és nyilvános kommunikáció.

Egy másik felfogás szerint az osztályozás alapja a felek közti kapcsolat jellege és a szervezettség foka. Eszerint a kommunikáció lehet:

1. személyes - tömegkommunikáció;
2. intézményes - nem intézményes.

Kombinációjukból a következő három csoport képezhető:

1. személyes-intézményes: búcsúztató beszéd;
2. személyes-nem intézményes: köznapi beszélgetés;
3. tömegkommunikáció (ez csak intézményes lehet).

Szecső Tamás a kommunikáció technikai jellege, a visszatükrözés formái és a szerkezeti jellegből fakadó funkciók alapján állított fel nagyon finom osztályozási skémát. Technikai jellege szerint megkülönböztet technikai (az anyagi termelésre vonatkozó) és nem technikai jellegű (a társadalmi viszonyokra vonatkozó) kommunikációt; a visszatükrözés formája alapján mindennapi, tudományos és esztétikai; szerkezeti jellegéből következően makro- és mikro-, szinkron és diakron, valamint statikus és dinamikus kommunikációt.

G. R. Miller osztályozásában nemcsak a kommunikációban résztvevők számát veszi figyelembe, hanem a fizikai proximitás fokát, az érzékszervi csatornák szerepét és a visszacsatolás közvetlenségét is. Ezen az alapon öt osztályt különböztet meg: intraperszonális, interperszonális, kis csoporton belüli, nyilvános és tömegkommunikációt. Ha ezt az osztályozást úgy fogjuk fel, mint egy skála mentén elhelyezkedő osztályokat, megállapíthatjuk, hogy amilyen mértékben nő a résztvevők száma, olyan mértékben csökken a proximitás, nő a mesterséges csatornák szerepe és csökken, illetve teljesen meg is szűnik a visszacsatolás lehetősége.

A fentebbi kommunikációs formákat vagy osztályokat úgy is fel lehet fogni, mint a társadalom kommunikációs rendszerének alrendszerét. Az utóbbi időben ugyanis számos kísérlet történt a társadalmi kommunikáció rendszerelméleti megközelítésére. Itt sem találkozunk azonban egységes felfogással. A két szélső álláspontot talán Claude Lévi-Strauss és Pavel Câmpeanu képviseli.

Lévi-Straussnál, az antropológiai strukturalizmus képviselőjénél, az egész társadalmi szerkezet mindent átfogó kommunikációs rendszerre válik. Elmélete szerint a társadalomban három szinten folyik kommunikáció: nők (az összeházasodás a társadalom nagyobb egységei között teremti meg a kommunikáció lehetőségét), áruk és szolgáltatások, valamint üzenetek kommunikálódnak (Lévi-Strauss, 1958).

Pavel Câmpeanu pedig csak a tömegkommunikációt fogja fel a társadalmi kommunikáció önálló rendszereként. „Stabil struktúra, differenciált elemek, kikristályosodott normák hiányában, szétporladva a globális társadalmi főrendszerben, a személyközi kommunikáció inkább a főrendszer közvetlen funkcióját képezi, semmint viszonylag független alrendszert” (Câmpeanu, 1974).

Szecső Tamás, aki az emberi-társadalmi információtranszfer három alapformáját különbözteti meg: az egyén és közösség, az egyén és természet, valamint a közösség és természet közötti információtranszfert, az első formát utalja a társadalom kommunikációs rendszere keretébe. Ez a rendszer magában foglalja az egyénnek a társadalom minden egyedével, minden szerkezeti elemével, minden szervezetével folytatott információcseréjét a belső monológtól (az egyén és a társadalom beszélgetése) a tömegkommunikációig, a családi neveléstől az állami rendeletekig és a művészetekig.

A társadalom kommunikációs rendszerét nem sorolhatjuk a „klasszikus” rendszerek közé, amelyeket Georg Klaus véleménye szerint az jellemez, hogy

- a paraméterek teljes számát át lehet fogni és ellenőrizni;
- a rendszerek homogének, az összetevő elemek között lényegbeli rokonság van;
- az ezen elemek közötti interakció kis számú kapcsolatban merül ki;
- a rendszerek kizárják a véletlent, ennek jelenléte csupán zavaró elemként jelentkezik (Klaus, 1966).

A fenti ismérvek közül tulajdonképpen egyik sem alkalmazható a társadalom kommunikációs rendszerére. A nagyszámú paraméternek csak nagyon kis hányadát lehet átfogni és ellenőrizni, a rendszer heterogén, elemei között a kapcsolatok száma roppant nagy, részrendszerei hol diszjunktok, hol fedik egymást, nem határolhatók jól el egymástól. De hát általában a társadalmi rendszerek nem préselhetők be a klasszikus rendszereket leíró elméletbe.

A további tárgyalás alapjául fogadjuk el azt az osztályozást, amely a résztvevők számát veszi alapul. Az így definiált osztályokat a társadalom kommunikációs rendszerének alrendszereiként értelmezhetjük.

Az intraperszonális kommunikáció

Sok szerző a kommunikációnak ezt a formáját nem sorolja a kommunikációs folyamatok közé. Úgy foghatjuk fel, mint a monodramát, amelyben a szereplő a képzeletében élő társadalommal beszélget. Ebben a hiányosnak nevezhető közlési szituációban az adó, a közlő konkrét személy, de a vevő, a címzett fiktív lény, információcseréről, a tudattartalmak cseréjéről nem beszélhetünk, legfeljebb megformálásukról, átrendezésükről, átértékelésükről. A csatorna rövide van zárva, s így természetesen visszacsatolás sincs. Végeredményben hiányoznak a kommunikáció ismérvei, s egyet kell értenünk azokkal a szakemberekkel, akik a belső monológot nem tartják kommunikációs folyamatnak.

Az interperszonális, személyközi kommunikáció

Az emberek közötti információcsere legősibb, s ma is egyik legfontosabb formája. (Ha a szót a szoros értelmében vesszük, „a legtisztább kommunikációs forma.) Mind onto-, mind filogenetikailag az ember ön- és éntudata, személyisége, viszonyulása a másik emberhez, a társadalomhoz, az interperszonális kommunikáció révén alakul ki. Legjellemzőbb vonása a csere: az információk - szempontok, gondolatok, értékek - cseréje, ami a szerepek cseréjén keresztül valósul meg. A feladóból vevő, a vevőből feladó lesz. A szereplők egyenértékűek, a szituációt aszimmetriákon keresztül megvalósuló szimmetria jellemzi (rezgő mozgás az egyensúlyi helyzet körül).

Ez azonban nem mindig van így. A partnerek által alkotott rendszer nem független a társadalomtól, amelyben élnek. A kapcsolat csak akkor teljesen szimmetrikus, ha azonos helyet foglalnak el a társadalmi hierarchiában, és ha az adott kommunikációs helyzetben érvényesülő viszonyok sem bontják meg a szimmetriát. A főnök és beosztottja, a tanár és diákja, a nyomozótiszt és a gyanúsított vagy az úr és szolga közötti kommunikáció általában aszimmetrikus, sőt nagyon sokszor egyirányúvá válik. S az aszimmetria nem csak a formában nyilvánul meg, hanem a közlés tartalmában is. Jelentősen, sokszor döntően befolyásolja a kommunikációt a szerep, amelyet a partnerek tudatosan vagy öntudatlanul játszanak, s a társadalomban uralkodó normák.

Ahhoz, hogy a kommunikáció sikeres legyen, néhány feltételnek kell teljesülnie. Elsősorban szükség van egy közös kódra, olyan jelentéssel bíró szimbólumrendszerre, mely ingerként hatva a vevőre, benne a feladóéval azonos képzeteket kelt. Szükség van egy csatornára, amely a kommunikáló feleket összeköti, s alkalmas a kódolt üzenet továbbítására. Az üzenetnek olyasmiről kell szólnia, amit a címzett megért, s olyan pszichológiai kapcsolatnak kell kialakulnia, amely lehetővé teszi a kommunikáció létrejöttét és fennmaradását.

A közös kód a mindkét résztvevő által ismert természetes nyelv, vagy a nyelven alapuló valamilyen jelrendszer (a süketnémák jelbeszéde stb.). A későbbiekben látni fogjuk, hogy más jelrendszerek is szerepet játszanak a kommunikációban, a főszereplő azonban mindig a nyelv. A személyközi kommunikáció túlnyomóan verbális.

A nyelv azért a legmegfelelőbb eszköze a kommunikációnak (végül is erre a célra „készült”!), mert alkalmas különböző funkciók betöltésére. Karl Bühler a nyelvnek csak három funkcióját különböztette meg: a kifejezést, a leírást és a felhívást (Bühler, 1934). Roman Jakobson finomította az elemzést, és a következő hat funkciót határozta meg (Jakobson, 1969):

- a referenciális funkció a kontextusra irányul, a megismeréssel kapcsolatos, számos üzenetben ez az uralkodó, mivel a kommunikáció célja az ismeretátadás;
- az emotív vagy expresszív funkció a feladóra, illetve az üzenet tárgyára utal, kifejezi a eladónak a magatartását azzal kapcsolatosan, amiről beszél;
- a konatív funkció a címzetre irányul, felszólítást, parancsot hordoz;
- a fatikus funkció a kontaktusra irányul, célja a kommunikáció létrehozása, fenntartása, a csatorna működésének ellenőrzése;
- a metanyelvi vagy magyarázó funkció feladata a kód ellenőrzése, annak ellenőrzése, hogy a felek értik-e egymást;
- a poetikai funkció magára a közleményre irányul, a kifejezésre (Jakobson, 1969).

Nincs olyan közlés, amelyben a nyelvnek csupán egy funkciója nyilvánulna meg. Talán csak az indulatszavak töltenek be kizárólag emotív funkciót, s a kisgyermeknekél találkozunk a csupán fatikus funkciót betöltő beszélgetéssel, amikor a gyermek azért beszél, hogy fenntartsa a kapcsolatot a környezetében levő személlyel. (A felnőtteknél is előfordul, hogy beszélgetésüknek fő célja a kontaktus fenntartása, de azért a legtartalmatlanabb csevegésnek is szokott lenni referenciális vagy emotív funkciója is. Nagyon jó példa erre Karinthy sakkozóinak párbeszéde.)

A közleményekben tehát a nyelvnek több funkciója is szerepet játszik, s az különbözteti meg őket egymástól, hogy melyik az uralkodó. Amikor a verbális kommunikáció információ-tartalmát vizsgáljuk, természetesen nem korlátozódhatunk csupán az uralkodó funkcióra. A másodlagos, járulékos funkciók is hordoznak információkat. A „szöveget” - amint azt a nyelvről szóló fejezetben láttuk - mindig kísérik szupraszegmentális jelek. Az általuk hordozott információ kiegészíti a „szöveges” információt. És ezzel már át is tértünk a nemverbális kommunikáció területére. Mielőtt azonban ezt tennénk, meg kell említenünk a verbális kommunikációnak egy sajátos esetét - az anyag-antianyag ellentétpár mintájára talán így is mondhatnánk -, az antiverbális kommunikációt: a hallgatást. Sokszor a hallgatás nem a kommunikáció hiányát jelenti, hanem fontos, súlyos információkat hordozhat. Hogy a hallgatás, a csend mennyi mindent közölhet, azt Maeterlinck szép esszéjéből tudhatjuk meg (Maeterlinck, 1913).

Az interperszonális kommunikációban a verbális és nemverbális elem szétválasztása jóformán csak módszertani szempontból fontos és lehetséges. Külön-külön „vegytisztá” formában jóformán sohasem fordulnak elő. A kommunikáció mindig több jelrendszer segítségével történik. Az ember mindig teljes lényével, egész környezetével részt vesz a kommunikációban. „Az élet teljességéből kiemelve a mindennapok kommunikációs szituációi értelmezhetetlenek” (Szecskő, 1971).

Bármilyen csodálatos alkotása az emberi szellemnek a nyelv, sokszor mégis kiegészítésre szorul. „Ha a nyelv a kommunikáció tökéletes eszköze volna, akkor fölösleges lenne, hogy a kommunikációnak egyéb formái is létezzenek, illetve: ha a kommunikációnak volna tökéletes formája, és ez egyben nem a nyelv lenne, akkor a nyelv bizonyára fölösleges volna” (Szende, 1976). Márpedig ilyen jelekre szükség van. Ezt bizonyítja azoknak a jelrendszereknek a sokasága, amelyeket a szavaink mellett vagy helyett használunk. Ezért azonban nem csak a nyelv a felelős. Mi is, akik a mindennapi kommunikációban nem tudjuk kihasználni a benne rejlő lehetőségeket. „A köznapi kommunikációban a szöveg laza, esetleges, az egyéni gyakorlat rövidebb távú tapasztalatra támaszkodó, tehát önmagában - a mögöttes szöveg és a környezet támasza nélkül - még nem tud értelmet vinni a mindennapok kommunikációs szituációjába” (Szecskő, 1971).

A nemverbális kommunikációról beszélve bizonyos terminológiai problémákba ütközünk. A szóbeli és nem szóbeli közlés taglalásakor Szecskő Tamás szövegről és mögöttes szövegről beszél. Ez utóbbi magában foglalja a beszédnek azokat az elemeit, amelyeket szuprasegmentális elemekként határoztunk meg, valamint a nemverbális közlésnek azokat az elemeit, amelyek beszédünket kísérik. Bateson viszont azt állapítja meg, hogy az interperszonális kommunikáció mindig két szinten zajlik egy időben. Az egyik szint a megszokott, a nagyfokú tudatossággal kivitelezett úgynevezett direkt kommunikáció. Ez lehet nyelvi, verbális, de lehet egyezményes jelekkel zajló nemverbális. Ezzel párhuzamosan létezik, funkcionál egy olyan közlési szint, amely a közlés direkt szintjét minősíti. Ezt a szintet nevezzük metakommunikációnak.

Mögöttes szöveg, metakommunikáció, nemverbális kommunikáció - a három fogalom nem fedí egymást tökéletesen, de számos közös elemet tartalmaz. Mi a továbbiakban nemverbális kommunikációról fogunk beszélni, azokat a formákat utaljuk a fogalom körébe, amelyeket M. L. Knapp az alábbi hét osztályba sorol (Knapp, 1972):

1. Testmozgás vagy kinezikus viselkedés

Renneker megállapítása szerint „az ember minden külső mozgásos megnyilvánulása felfogható, mint pszichofiziológiai állapotát kifejező információforrás”. Természetesen ez nem azt jelenti, hogy minden mozdulatunknak kommunikatív jelentősége, jelentése van. „A kinezikai megnyilvánulások nagyobb részét a személyiség azért nem regisztrálja, azért nem reagálja le, mert az ezeket az interakciókat strukturáló szociális rendszer nem emelte közös jelrendszer rangjára” (Buda, 1969).

A jelzések, amelyek ebbe a csoportba tartoznak - gesztusok, a fej, a végtagok mozdulatai, arc-kifejezések, a szem viselkedése, testtartás -, lehetnek egyediek vagy általánosak, s a következő csoportokra oszthatók:

- **Emblémák:** olyan aktusok, amelyek jelentése közvetlen verbális fordításban megadható. Például a száj elé tett mutatóujj jelentése: Hallgass! Légy csendben! Az emblémák gyakran helyettesítik a verbális jeleket, amikor azok valamilyen okból nem használhatók. A nagy zajban nem lehet érteni a beszédet (pl. zajos gépteremben), nagy a távolság a partnerek között, valamilyen okból nem szabad beszélni (rádiófelvétel közben).

- Szemléltetők: a beszédet kísérik, s céljuk a mondanivaló szemléltetése, például rámutatás egy tárgyra, a távolság szemléltetése stb. Szándékosan használjuk őket, de nem előre kiterelve, nem egyezményesen.
- Érzelemmutatók: olyan arckifejezések, amelyek érzelmeket fejeznek ki, lehetnek tudatosak, de megjelenhetnek minden tudatosság nélkül is, megerősíthetik kijelentéseinket, vagy éppen cáfolhatják.
- Szabályozók: szerepük a beszéd-hallgatás váltakozásának szabályozása. A beszélő ezekből a jelekből állapítja meg, hogy folytassa-e a beszédet, vagy adja át a szót a másik félnek, beszéljen-e gyorsabban, ismétlje-e meg szavait stb. Ezeknek a tudatosság határán álló aktusoknak társadalmi meghatározottságuk van (kulturális és osztálykülönbségek), legfontosabb a fejbólintás és a szemmozgás.
- Alkalmazkodók: nem tudatos megnyilvánulások, amelyek a gyermekkorban alakulnak ki az alkalmazkodás elsajátítása során, az agresszív, a bizalmas, a szexuális viselkedés töredékes megnyilvánulásai, pl. a láb mozgásai, kézmozdulatok. Gyakran árulnak el olyan személyiségjegyeket, amelyeket a verbális megnyilvánulások elfednek.

2. Testi jellemzők

Olyan nemverbális jelzések tartoznak ebbe az osztályba, amelyeket talán nem is kellene a kommunikáció körébe sorolni - testalkat, megjelenés, súly, haj- és bőrszín, test- és leheletszag stb. -, bár szerepük a kommunikáció kialakulásában, lefolyásában néha döntő jelentőségű.

3. Érintkezési viselkedés

A taktilis érintkezés, amely szorosan összefügg a bőrnek, mint érzékszervnek a működésével, a kommunikációnak igen sajátos, kifejezőerőben igen gazdag formája, típusa. A kézfogás, a simogatás, pofoncsapás sokat kifejező jelzések.

4. Paranyelv

A nemverbális vokális jelzések alkotják ezt az osztályt. Részben már említettük ezeket a beszéddel kapcsolatban. Tragers nyomán Knapp a paranyelvet a következő alkotóelemekre bontja:

- a) hangtulajdonságok;
- b) a hangkiadás tulajdonságai:
 - hangbeli jellemzők: nevetés, sírás, sóhajtás, ásítás, nyafogás stb.;
 - hangbeli módosítók: intenzitás, hangmagasság, kiterjedés;
 - hangbeli különállók: „hm”, „aha” stb.

5. Proxemika

A kommunikációval kapcsolatban a proxemika azt vizsgálja, hogyan alakul és mit fejez ki a társalgási távolság. A beszélgető partnerek közötti távolságot általában automatikusan szabályozzák a köztük levő társadalmi és személyes viszonyok („Három lépés távolság”), de a szabályok kultúránként is változnak. A proxemika kérdéseit Hall tanulmányozta (Hall, 1964).

6. Készítmények

A személyeken levő tárgyak, kozmetikumok (rúzs, parfüm) önmagukban is hordoznak üzenetet, de ha nincs is önálló jel értékük, hatással lehetnek a kommunikációra.

7. Környezeti tényezők

A kommunikáció mindig valamilyen környezetben zajlik le, a környezetet alkotó tényezők - bútor, díszítés, színek, zajok, háttérzene - nagy hatással lehetnek a kommunikációra. Egy rendetlen szoba például elveheti az ember kedvét a barátságos csevegéstől.

A kommunikáció nemverbális összetevői nehezebben megfogalmazható közléseket hordoznak, mint a szavaink, s a résztvevők viszonyára, a kommunikációs szituációra vonatkoznak, a közölt tartalmakat minősítik. A társadalmi normák nagymértékben szabályozzák ezeket a jeleket. A szóbeli közléshez való viszonyukban sokféle szerepet játszanak.

A nemverbális jelekkel megismételhetjük azt az információt, amelyet szavainkkal közöltünk - ismétlés. Amikor például útbaigazítunk valakit, tulajdonképpen megismételjük szavainkat, ha kezünkkel is mutatjuk az irányt.

Nagyon gyakran hanghordozásunk, arckifejezésünk, gesztusunk cáfolja szavainkat - ellentmondás. „Egyáltalán nem félek” - mondom szomszédomnak a fogorvosi várószobában, miközben reszket a kezem. Pszichológusok megállapítása szerint ilyen ellentmondásos szituációban a kisgyermek a szóbeli közlést „hiszik el”, míg a felnőttek inkább a nemverbális jeleket.

Előfordul, hogy nemverbális jelekkel helyettesítjük szavainkat - helyettesítés. A fájdalomtól eltorzult arc, egy barátságos tekintet „minden Démoszthenésznél szebben beszél”.

Kéz- és fejmozdulatunkkal, homlokráncolásunkkal nyomatékot adhatunk szavainknak - hangsúlyozás.

A nemverbális jeleknek, mint láttuk, szabályozó funkciójuk is lehet - szabályozás. Fejbólintással, szemmozgással, helyzetváltoztatással jelezheti a vevő, hogy át akarja venni a beszédet, vagy azt akarja, hogy az adó folytassa. De sokkal finomabb szabályozás is előfordulhat: az unalom, az értetlenség, a közömbösség, a harag vagy éppen az érdeklődés, a figyelem apró vagy feltűnő nemverbális jelei arra készíthetik a beszélőt, hogy módosítsa mondanivalóját vagy egészen más tárgyra térjen át.

A kommunikáció nemverbális összetevőit a tudatosság különböző szintjein használjuk. Vannak jelek, amelyeket szándékosan alkalmazunk, s vannak olyanok is, amelyek úgy jelennek meg, hogy nem is tudunk róluk.

Hogy miként sajátítjuk el a különböző nemverbális jelkészletek ismeretét, arra vonatkozóan a szakemberek véleménye megoszlik. A legvalószínűbb Ekman és Friesen elmélete, amely szerint egyes jelek „ismeretét” örököljük (genetikailag programozva vagyunk), más részét utánzással sajátítjuk el, s vannak jelek - az emblémák -, amelyekre megtanítanak bennünket. Ahogy a nyelvben találunk egyetemes érvényű jelenségeket, univerzálisokat, ugyanúgy a nemverbális közlésnek is vannak olyan eszközei, amelyek minden népnél azonosak: a félelem, a düh, az undor, a boldogság kifejezésére minden ember ugyanazokat a jeleket használja, csupán abban van különbség a kultúrák között, hogy milyen ingerre milyen mértékben mutathatók ki ezek az érzelmek (Ekman - Friesen, 1969).

A nemverbális jelrendszerek sajátos csoportját alkotják az előbbieken készítményeknek és környezeti tényezőknek nevezett jelosztályok. Mint arról már beszéltünk, bármilyen tárgy funkcionálhat jelként, ha akként használjuk, és akként fogjuk fel, s ha jel, akkor alkalmas kommunikációs funkció betöltésére is. Főleg a hagyományos társadalmakban a tárgyi jeleknek nagy szerepük volt. Az öltözködés például nagyon sok információ közlésére volt alkalmas. A női viseletben szigorú szabályok írták elő, hogy milyen fejkendőt köthet és hogyan a fiatal lány, a fiatalasszony, az öregasszony, s ezek a tárgyak ilyenformán kommunikatív funkciókat is elláttak. A fiatalok kapcsolatainak alakulását is ilyen jelekkel illet kommunikálni. Ha például egy legénynek kitették a szűrét (a szó igazi értelmében), megértette, hogy nincs mit keresnie többé a lányos háznál.

Az interperszonális kommunikáció csatornája - mivel az legtöbbször közvetlen, s akusztikai és vizuális jelek segítségével bonyolódik le - a levegő. A párbeszéd résztvevői azonban lehetnek térben és/vagy időben távol egymástól. Ilyenkor a kommunikáció közvetetté válik, s lebonyolításához mesterséges csatornákra van szükség. A telefonbeszélgetés, a levélváltás, a rövidhullámú rádiókapcsolat szolgálhatnak például.

A sikeres kommunikáció feltétele, hogy a beszélgetés témája mindkét fél számára ismert legyen. Egy futballrajongó nem tud sikeresen kommunikálni kedvenc témájáról egy olyan emberrel, aki életében nem látott labdarúgó-mérkőzést. Ha viszont a téma ismert, gyakran előfordul olyan szituáció, amelyet - elnézést a szociológusoktól, kommunikációkutatóktól! - jéghegy-szituációnak neveznek. A párbeszédnek csak kis hányada észlelhető a kívülálló számára. Az ilyen párbeszédben a redundancia a minimálisra csökken. A köznyelvben ezt úgy mondják: „kevés szóból megértik egymást”. Ehhez nemcsak a téma ismeretére van szükség, hanem arra is, hogy a partnerek ismerjék az aktuális beszélgetés „előtörténetét”, mindazt, amit valamikor megbeszéltek, a körülményeket stb.

Ahhoz, hogy a párbeszéd zökkenőmentesen, kölcsönös megalégedésre folyjon le, arra is szükség van, hogy a résztvevők együttműködjenek, társalgásuk közös stratégián alapuljon. A mindennapi életben hányszor fullad kudarcba egy-egy kommunikációs kísérlet amiatt, hogy egyik fél nem akarja megérteni a másikat.

A személyközi kommunikáció általában nemformális. Vannak azonban helyzetek, amelyekben az ilyen típusú kommunikációt is szigorú szabályok teszik formálissá. Rendszerint a bizonyos intézményekhez tartozó személyek között zajló párbeszédnek vannak szigorú szabályokhoz kötve. Például a hadseregben a magasabb és alacsonyabb rangú katonák közötti kommunikáció.

Az „intelligens” számítógépes rendszerek kifejlesztésének és hatékony alkalmazásának egyik alapfeltétele az ember-gép párbeszéd tökéletesítése. Ehhez nagy segítséget jelent az emberek közötti dialógus természetének jobb megértése. Gordon Pask kidolgozott egy kibernetikai elméletet, amelyet beszélgetéseméletnek nevezett el. Ennek az elméletnek a vázlatos ismertetése megtalálható Markusz Zsuzsanna tanulmányában (Markusz, 1982).

A kis csoporton belüli kommunikáció

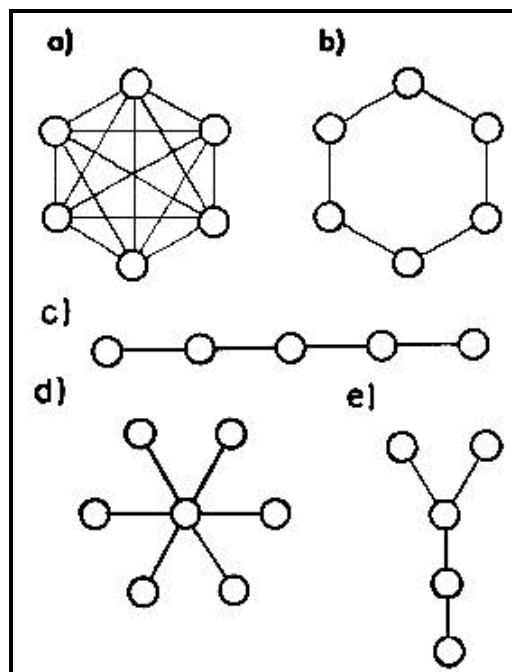
Mielőtt a kommunikációnak erről a formájáról beszélünk, először meg kell határoznunk a csoport fogalmát. A csoport - Janousek meghatározása szerint - olyan társadalmi struktúra, amely valamilyen tevékenység közös elvégzésére egyesíti tagjait, akár munkateljesítmény, akár valamilyen szükséglet kielégítése a cél (Janousek, 1972). (Ez a szükséglet lehet akár szórakozás is.) Csoport jöhet létre azonban teljesen spontán módon is. Például csoportot alkothat egy autóbusz utazóközönsége, az orvosra váró betegek a várószobában. (Forgatókönyvírók kedvelt témája valamilyen járműben együtt utazó spontán csoport életveszélybe kerülése.)

A csoport tagjai között különböző kapcsolatok alakulnak ki: alá-, mellé- és fölérendeltségi viszony, rokon- és ellenszenv, érdekkapcsolatok, különböző lehet a szerepük, státusuk. Ezek a viszonyok természetesen mind tükröződnek a csoporton belüli kommunikációban. Általános szabályként megállapíthatjuk, hogy a kis csoporton belüli kommunikációra jellemző a közvetlenség és a kölcsönösség. Emellett persze igen nagy eltérések lehetnek a különböző struktúrájú csoportok között.

A kialakuló kommunikációs kapcsolatokat modellekkel lehet ábrázolni. A hálózatok öt fő típusát különböztetjük meg: „mindenki kommunikál mindenkivel”, kör, lánc, csillag és villa. Ezek a modellek, illetve az általuk ábrázolt valóságos szerkezetek kétféleképpen lehetnek: viszonylag centrális és viszonylag periférikus jellegűek. Természetesen a közös kód használata elsőrendű követelmény. Nagyon gyakori, hogy a csoport tagjai között kialakul egy olyan sajátos nyelvi kód, amelyet más csoportok tagjai nehezen vagy egyáltalán nem értenek meg. Ennek sokszor éppen az is a célja, hogy a tagok elkülönítsék magukat a társadalom többi tagjától.

Ez a jelenség gyakran megfigyelhető a csoportokon belül is. Az intimitás - így nevezzük - a kommunikációban azt jelenti: az üzenetet úgy kódoljuk, hogy a vevőknek csak szűk csoportja értse meg. Az intimitásra való törekvés - és egy szűkebb közösséghez való tartozás kifejezésének az igénye - az oka a különböző réteg- és sportnyelvek kialakulásának. (Ez az alvilágban a biztonság egyik feltétele.) Az intimitás létrehozásának, illetve növelésének különböző módjai vannak: a többség számára ismeretlen kód alkalmazása, ugyanabban az üzenetben több, különbözőképpen kódolt üzenet elrejtése (például egyes szavak a beavatottak számára mást jelentenek, mint közönségesen), hozzáférhetetlenné tehetjük magát a közleményt (társaságban félrehívunk valakit, a szomszédunk fülébe súgjuk az üzenetet).

Ezt a jelenséget társadalmi méretekben is megfogalmazhatjuk: amennyire összeköti az alkalmazott kód az azt ismerőket, ugyanúgy el is választja őket a társadalom azon részétől, amelyik nem ismeri. A szó szoros értelmében vett egyetemes jelrendszer nincs. Még a már említett genetikailag adott nemverbális kódok alkalmazásában is jelentős szerepet játszanak a hagyományok, szokások. Vannak azután egészen szűk körben ismert jelrendszerek, például a szaktudományok nyelve, az argó stb. Ez is egyik oka napjaink kommunikációs zavarainak.



28. ábra. A kicsopotton belüli kommunikáció fő típusai:
a) „Mindenki kommunikál mindenkivel”; b) Kör; c) Lánc; d) Csillag; e) Villa.

Minél nyitottabb egy társadalom, minél magasabb tagjainak kulturális szintje, annál több jelrendszert sajátítanak el (idegennyelvtudás, idegenforgalomban, kereskedelemben, közlekedésben alkalmazott jelrendszerek).

A csoportkommunikáció sajátos esete a szervezeten belüli kommunikáció. Itt különbséget kell tennünk információs és kommunikációs rendszer között. Az információs rendszer formális, jól szabályozott (feltéve, hogy a szervezet normálisan működik), meghatározott csatornákon meghatározott információk áramlanak meghatározott irányokba. A kommunikáció viszont - eltekintve a már említett társadalmi kötöttségektől (hierarchia, szerep stb.) - informális, kötetlen, spontán, legtöbbször közvetlen, s a csatornákon az információk gazdag választéka közlekedik.

A mindennapi életben a személyközi és csoportkommunikációs szituációk száma és típusa annyi, amennyi az emberi szituációké, s mindegyiknek megvannak a sajátos jegyei. Hogy csak néhányat említsünk: kommunikáció a családban, az utcán, az autóban, autóbuszban, orvos-beteg kommunikáció stb.

A tömegkommunikáció

A társadalom kommunikációs rendszerében különleges és egyre fontosabb szerepet játszik a tömegkommunikáció. A „tömegnek” itt kettős értelme, jelentése van: egyrészt arra utal, hogy a kommunikációnak ez a formája nagyszámú emberhez, tömeghez juttat el üzeneteket, másrészt azt fejezi ki, hogy a szétsugárzott üzenetek, napjaink fogyasztási cikkeihez hasonlóan, tömegcikk jellegűek, a tudatipar termékei.

A szó elsődleges értelmében már az ókorban is létezett tömegkommunikáció, hiszen Démoszthenész is a tömegekhez szólt, s ezt tették a hírvivők, a próféták, a prédikátorok is. A jelenségről azonban a maga teljességében csak az első ipari forradalmat követően beszélhetünk. A lehetőséget a tudati szférában az teremtette meg, hogy a dolgozóknak relatíve megnőtt a szabad ideje, a könyvnyomtatás feltalálása, és elterjedése nyomán jelentősen emelkedett az írni-olvasni tudók száma, s ennek következtében az általános műveltségi színvonal. Az emberek többet kezdtek gondolkodni olyasmiről is, ami túllépte közvetlen - elsősorban a munkavégzéssel kapcsolatos - tapasztalataik körét. A műszaki alapot a nyomdaipar fejlődése, s különösen a rotációs nyomdagép feltalálása biztosította. A szószék szerepét a napilapok vezércikke vette át. A kedvező feltételeket felismerték mind a haladás, mind a reakció erői. Egyik oldalról a nyomtatott szót is harcba indították a haladásért, a másik oldalon pedig igyekeztek a közvéleményt, a társadalmi tudatot a „helyes irányba” terelni. Mintegy száz éven át a sajtó, a mind nagyobb példányszámban megjelenő országos és világlapok - a maguk jóval szűkebb körében a helyi lapok - jelentették a tömegkommunikációt. Századunk első évtizedeiben azután megjelent a rádió, majd húsz év múlva a televízió, s kialakult a modern társadalom tömegkommunikációs, s rendszere. Olyan rendszer jött létre, amely minőségileg különbözik a megelőzőktől. (Mindaz, amit a kommunikációról mondtunk és mondunk, a ma társadalmában érvényes. Az információs társadalomban egészen mások lesznek a „játékszabályok”.)

A tömegközlés sajátos jegyeit a következőkben foglalhatjuk össze:

- a közlemények áramlása egyirányú, a közlő és a befogadó a közlés során sohasem cserél szerepet (ha van is visszajelzés, az a rendszeren kívül megy végbe);
- a közlemények továbbítása a modern hírközlő eszközök útján történik;
- közlő és befogadó között térbeli és vagy időbeli távolság van;

- valamely adott információ sugárzása viszonylag egységesen történik (ellentétben a személyközi kommunikációval, amelynek során a hírek gyakran eltorzulnak, szóbeszéddé, rémhírré fajulnak);
- a szétsugárzott közlemények elsősorban társadalmi jelentőségű eseményeket tartalmaznak (a személyközi kommunikációban túlsúlyban vannak a személyes érdekű hírek);
- jellemző a tömeges jelleg, a szó mindkét fentebb említett értelmében.

Jaromir Janousek a tömegkommunikációnak még egy - szerinte döntő - sajátosságát emeli ki: a folyamatban társadalmi struktúrák érintkeznek egyes konkrét emberek közvetítésével. Az ő meghatározása szerint: „Tömegkommunikáció az egyének közvetítésével megvalósuló információmozgás az egyes társadalmi struktúrák között, amelyben a közlemény adója, legyen bár egyén vagy intézmény; tartósan a beszélő szerepét tölti be a befogadók halmazához képest, akik időbelileg és/vagy térbelileg távol vannak tőle” (Janousek, 1972). (Csak zárójelben jegyezzük meg, hogy a befogadók halmaza üres halmaz is lehet, például senki sem hallgatja a rádióműsort.)

Egy rendszerrel kapcsolatban a következő kérdéseket kell feltennünk: milyen a felépítése, szerkezete, melyek az alkotóelemei, melyek a funkciói, s hogyan tölti be azokat, azaz hogyan működik, hogyan történik a vezérlése; információs rendszerről lévén szó, milyen információk közlekednek a rendszerben; hogyan kapcsolódik más rendszerekhez.

A tömegkommunikációs rendszer funkciója alapvonalaiban megegyezik minden kommunikációs rendszerével: az információk áramlásának biztosítása a társadalom szervezetében. E funkció megvalósítását három alrendszer biztosítja: az információgyűjtő, a feldolgozó és a kisugárzó alrendszer.

Vizsgáljuk meg külön-külön ezek működését.

A gyűjtőrendszer feladata az információk összegyűjtése a társadalomban végbemenő eseményekről.

A társadalomban az események hatalmas tömege zajlik szüntelenül. Ezeket három csoportra oszthatjuk: társadalmi érdekű események (ide sorolhatjuk a társadalom számára fontos természeti eseményeket is), csoportjellegű, -érdekű események és személyes érdekű események. Természetesen a három csoport nem választható el élesen egymástól, hiszen bármely személyi érdekű eseménynek lehetnek fontos társadalmi kihatásai, fordítva meg szinte biztos, hogy a társadalmi érdekű események hatást gyakorolnak az egyéni szférában. (Mint láttuk, a tömegkommunikáció nyersanyagát elsősorban, s túlnyomórészt a társadalmi érdekű események szolgáltatják.) A társadalmi jelleg természetesen függ attól, hogy a rendszer milyen társadalmi közegben működik: kisvárosi vagy regionális tömegkommunikációban (napilapban, rádióban) főleg olyan eseményekről számolnak be, amelyek országos szinten kevésbé jelentősek vagy jelentéktelenek.

Az adatgyűjtést a korszerű tömegkommunikációs rendszerben nagyrészt a külön rendszert alkotó hírügynökségek végzik.

Az első hírügynökség az 1835-ben alapított - 1940-ben megszüntetett - Agence Havas volt, a legrégebb ma is működő hírügynökség a Reuter iroda, amelyet 1851-ben hoztak létre. Ezek mellett természetesen a hírközlő szervek rendelkeznek saját információgyűjtő gárdával (riporterek, helyi tudósítók), s vannak önkéntes tudósítók is, akik saját kezdeményezésből informálják a médiumokat. A világban végbemenő számtalan eseményről képtelenség begyűjteni minden információt. Ezért már ezen a szinten igen alapos válogatásra van szükség.

(Hogy a válogatás milyen kritériumok alapján történik, s milyen következményekkel járhat, arról majd később lesz szó).

Az összegyűjtött nyers információk a korszerű átviteli csatornákon (távíró, telex, rádió, műhold) a feldolgozó részrendszerekbe kerülnek, a szerkesztőségekbe, stúdiókba. Itt alakulnak át az információk közleményekké. (Természetesen nem csak nyers információk jutnak ide. A tudósítók és riporterek riportjai, a helyszíni közvetítések anyagai kész üzenetként jutnak az adó részrendszerekbe.) A feldolgozás folyamán további szelekcióra kerül sor. Felmérések szerint a hírügynökségek által szolgáltatott anyagnak csak néhány százaléka megy innen tovább, s ebben a válogatásban lényeges szerepet játszik a befolyásolási szándék.

Itt most álljunk meg egy pillanatra. Az előbbieken információról és közleményről beszélünk. És nem csak a stílus változatossága kedvéért. A megkülönböztetésnek alapos oka van. A rendszerbe bemenő jelek információk, amelyek a világban végbemenő eseményekről szólnak. A kimenő jelek, a közlemények viszont a szó valódi értelmében -, s az általunk elfogadott értelemben - nem mind információk. Sok közleményt többször ismételnék. Hogy a legeklátásabb példát említsük, az egymás után több napon át közölt reklám már nem tartalmaz új információt, nem is az a célja, hanem a rögzítés. A közleményekben tehát sok a redundancia, néha nincs is bennük új információ.

A feldolgozó részrendszerekben a hírek legtöbbször módosulnak. Ennek több oka lehet. Az egység, a szervezet nagyobb társadalmi jelentőséget tulajdonít az eseménynek, mint amekkora a valóságban (ez például abban nyilvánul meg, hogy az újság címdalán, nagybetűs címmel közlik, hosszabb cikket írnak róla, részletesebben ismertetik), vagy éppen fordítva, csökkentik a jelentőségét (eldugott helyen, néhány szavas hír formájában ismertetik), negatív vagy pozitív „előjellel” mutatják be, vagy teljesen elhallgatják. A módosulás, torzulás a közvetlen adásoknál is bekövetkezhet. A rádióriporter úgy kommentálja az eseményt, olyan kérdéseket tesz fel a riportalanyának, az operatőr úgy fényképezi, hogy mi is az ő, illetve az intézmény szemszögéből lássuk.

A harmadik részrendszer a kisugárzó, az adó: az újság technikai szerkesztősége, a nyomda, az expedíció, a rádió- és tévéstúdió, az adóállomás. Ebben a részegységben kódolják a csatornának megfelelően a közleményeket. Itt már nem módosulnak az üzenetek, legfeljebb a zaj okozhat zavart (sajtóhiba, nyelvbtlás, műszaki hiba stb.).

Milyen közlemények alkotják a tömegkommunikációs rendszer kimenő jeleit?

Tartalmuk szerint a közleményeket három csoportra oszthatjuk: politikai jellegű közlemények (hírek, hírmagyarázatok, kommentárok stb.), ismeretterjesztő és szórakoztató műsorok. A piaccgazzdálkodást folytató országokban nagy helyet foglalnak el a műsorokban, a lapok hasábjain a reklámok (a nem társadalmi tulajdonban levő médiumoknak ez a legfontosabb jövedelmi forrása). Célokát illetően a közlemények irányulhatnak a befogadó közvetlen befolyásolására, s lehetnek „semlegesek”. Természetesen kisebb vagy nagyobb mértékben nyíltan vagy burkoltan, bevallottan vagy titokban minden műsor részt vesz a befogadó világlképének formálásában, a társadalmi tudat, a közvélemény alakításában.

Milyen képet adnak a világról a médiumok?

Ez a kérdés főleg azóta került az érdeklődés homlokterébe, amióta a televízió vált uralkodóvá, az emberek szabad idejük egyre nagyobb hányadát töltik a képernyő előtt, s így a világról alkotott képüket főleg a tévéműsorok alakítják ki.

A kép, amelyet a tömegközlelési eszközök a világról nyújtanak, minden szándéktól függetlenül, az eszközök természetéből következően torz. A médiumok közénk, befogadók és az események közé ékelődnek. Ismereteinket nem közvetlen észlelés útján szerezzük, hanem mintegy „másodkézből”, professzionista közvetítők révén. (Kapuőröknek - gate keeper - is szokták őket nevezni.) Ilyenformán óhatatlanul nem azt látjuk, amit saját szemünkkel észlelnénk. Először is, amit a közvetlen tapasztalás egészésként, folyamatként észlel, az darabokra törik, eseményekre redukálódik. (Érdekes ezzel kapcsolatban egy futballszurkoló véleménye: a mérkőzést csak a lelátóról szabad nézni, mert onnan az egész pályát látja az ember, a tévében pedig csak azt a részletet, amelyre az operatőr a kamerát irányította.) Abraham Moles szembeállítja a régi, szervesen bővülő arisztotelészi kultúrát a mai modern ismerethalmaz mozaikszerű kultúrájával (Moles, 1967). Azt is el kell azonban ismernünk, hogy a televízió által közvetített nagy mennyiségű - néha túlságosan nagy mennyiségű - friss, korszerű, árnyaltabb információhalmaz növeli az érdeklődést, szélesíti a látókört, kifejlesztheti az empátiát más emberek, más népek, más kultúrák iránt. A fejlődő országok ezzel kapcsolatban éppen azt hányják a fejlett világ pénzügyi és politikai vezetőköréi által irányított tömeg-tájékoztatás szemére, hogy szenzációhajhászás - és sokszor ellenséges érzület - okán olyan képet adnak ezekről az országokról, amely nem szimpátiát, hanem lenézést, ellenszenvet vált ki a nézőkből. Idézzük Varga nyomán David Stewartot „Az empátia nemcsak annyit jelent, hogy úgy érzünk, gondolkodunk és cselekszünk, mint más ember, hanem azt is, hogy megtanuljuk, mennyire különbözünk attól a másik embertől ... Ha nem is értünk egyet azzal, akivel kommunikációs viszonyban állunk, lehet hatékony beleérzésünk, ha állandóan törekszünk közös alapokra” (Varga, 1973).

A tömegközlelés veszélyeként tartják számon azt is, hogy - differenciálatlan jellegéből következően - a hallgatókat, nézőket túlterhelik számukra érdektelen információkkal, aminek következtében gátló reflexek alakulnak ki, s ez felületességhez vezet. (Ahogy a csatornák száma nő, ez a megállapítás - mármint a differenciálatlanság - érvényét veszíti.)

A közvetett megismerés, ismeretszerzés már említett súlya pedig passzivitásra tesz hajlamosá.

Világképünk torzulását fokozza a szelekció, amelyről már volt szó. Ez részben elkerülhetetlen objektív jelenség. Semmilyen hírközlő eszköz sem képes a világ minden eseményéről tájékoztatni. Másrészt viszont a szelekció a tömegkommunikációs rendszernek a társadalmi rendszerben elfoglalt helyéből, szerepéből adódik. A kérdés szorososan összefügg a rendszer vezérlésének kérdésével, ez viszont a társadalmi renddel és politikai rendszerrel. És nyilván országonként változik. A laptulajdonos sajtótörzst egy politikai párt, a rádió- vagy tévéállomás tulajdonosa, állami tulajdon esetén az illetékes kormányzatszervek, a cenzúra alkotják a rendszer vezérlő berendezését. Természetesen egy országon belül a különböző eszközök irányítói képviselhetnek ellentétes érdekeket is. A vezérlés szabja meg azokat a kritériumokat, amelyek a tevékenység alapjául szolgálnak. A kapuőrök ezek szerint döntenek el, mi kerüljön, mi kerülhet az olvasó, a hallgató szeme elé, fülébe. A kritériumok bonyolult társadalmi, gazdasági, politikai összefüggéseket tükröznek, s alkalmazásuk nem lehet túlságosan merev. A rendszer ugyanis csak akkor működik kielégítően, ha irányítottan is, de lehetőleg a valóságnak megfelelően tükrözi a világ eseményeit és kielégíti a befogadók igényeit. Ha a vezérlő mechanizmus túl merev, a rendszert a diszfunkcionalitás állapotába viheti. Idézzük Pavel Câmpeanut: „Az ilyen helyzetekben a rendszer önszabályozó képessége csökken vagy megsemmisül. Kívülre helyezve az önszabályozás szabályozássá válik. A rendszerjelleg jelentősen szegényedik. A kommunikálókat az egyszerű végrehajtók szintjére csökkentik le, ami végül is az egész rendszer meghamisítását eredményezi. Az informálás, a dezinformálás és a nem informálás egyre gyakrabban vegyülnek egymással, a rendszer a valóságban elveszíti

leglényegesebb funkcióját, amely már nem a társadalmi események informálássá történő átalakítása, hanem az informálások meggátolása, vagyis a társadalom félrevezetése” (Câmpeanu, 1972).

A kommunikációtudomány legalaposabban tanulmányozott, legjobban kidolgozott fejezete - főleg az amerikai kutatók munkájának köszönhetően - a tömegközli eszközök hatásával foglalkozó fejezet. Ennek sok oka van. Minden kommunikációs médium egyben üzleti-gazdasági vállalkozás is, mégpedig igen jelentős álló- és forgóeszközöket igénylő vállalkozás. Csak akkor tud fennmaradni, ha termékeit el tudja adni. (Ha - mint már fentebb említettük - elsősorban reklámból él, akkor is az eladhatóság a cél. A hirdető az olyan eszközöket veszik igénybe, amelyet sokan olvasnak, néznek.) Emellett a politikusok is igen hamar felismerték a médiumokban rejlő lehetőségeket, és igyekeztek ezeket kiaknázni. Roosevelt elnök vezette be azt a szokást, hogy hetente egy este a kandalló mellől kötetlenül szolt az amerikai néphez. Szokatlan népszerűségét annak is köszönhetette, hogy nagyon kellemes rádióhangja volt. Mint ahogy a közelmúltban - immár a televízió korában - Reagen elnöknek is nagy előnyt biztosított vetélytársaival szemben színészmúltjából adódó fesztelen viselkedése a kamerák előtt.

Természetesen a tömegkommunikáció és hatása, mint társadalmi-pszichológiai jelenség tudományos szempontból is felébresztette a szociológusok és pszichológusok érdeklődését. A kommunikációnak ennél a formájánál közvetlen visszacsatolás nincs. A visszajelzés - ha van - a kommunikációs folyamaton kívül, más csatornákon, időben és térben elválasztva közlekedik. (Bár az utóbbi időben egyre gyakrabban találkozunk olyan rádió- és tévéadásokkal, amelyekben a hallgató, a néző az adás ideje alatt közvetlenül telefonon vagy adatátviteli hálózaton keresztül kapcsolatba léphet az adás vezetőjével.) Ezért sajátos kutatási módszereket kell kidolgozni, hogy a hatást érzékelni, mérni lehessen (hatásvizsgálat, közvéleménykutatás).

A sajtó, a rádió, majd a televízió hatására vonatkozóan sok elmélet, magyarázat született. Hosszú időn át az volt az elképzelés, hogy ezek a médiumok a tömegek manipulálásának szinte mindenható eszközei. A fasiszta propaganda hatása, a híres-hírheft „Világok háborúja” rádióközvetítés által kiváltott országos méretű pánik, a háború idején Kate Smith újságíró által a hadviselés anyagi támogatására vezetett gyűjtési kampány sikere - mind ezt a feltevést látszottak igazolni. A háborút követően azután, a béke körülményei között, kiderült, hogy a tömegkommunikáció nem is olyan nagyhatalom, mint ahogy hitték, s hogy az emberek nincsenek olyan védtelenül kiszolgáltatva a manipulációnak. A meglepő, megdöbbenő hatások azért következtek be, mert egybeestek más társadalmi hatásokkal. Ha a propagált eszme nem nyer más úton is megerősítést, a sajtó, a rádió, a tévé önmagában nem elég erős. Az is kiderült, hogy a tömegközli teljesen hatástalan vagy legalábbis minimális hatású, ha a közvetített információk ellentétben állnak a befogadó korábbi tapasztalataiból leszűrt véleménnyel és attitűdjével. Ilyenkor háromféleképpen reagálhat: félreérti, félremagyarázza az információt, nem jegyzi meg (az egyik fülén be, a másikon ki), vagy elutasítja a forrást (válogató észlelés). Ezért olyan nehéz például az előítéletek ellen harcolni.

Az ötvenes években dolgozta ki kétlépcsős kommunikációs elméletét Elihu Katz (Katz, 1957). Eszerint a tömegkommunikációs eszközök hatása nem közvetlenül érvényesül. Először egy szűkebb csoportra hat, azokra, akik nyitottabbak embertársaiknál, fogékonyabbak az új iránt, ők, a véleményvezérek alkotják az összekötő kapcsot a hírforrások és a befogadók széles köre között. Ha nem töltik be szerepüket, a közlemények hatása minimálisra csökken.

A későbbi kutatások kiderítették, hogy a kétlépcsős modell eredeti formájában túlságosan leegyszerűsíti a valóságot. Nem téves, csak igen-igen részleges érvényű.

A kommunikációkutatók elsősorban azt állapították meg, hogy az adó és a vevő között nem csak egy lépcső van. Úgy is mondhatnánk, hogy a véleményvezérek egész hierarchiája ékelődik a két végpont közé. Vannak olyan közvetítő láncszemek, amelyek a véleményvezérek különböző szintjeit kapcsolják össze.

Másrészt az is kiderült, hogy amikor nem történik semmi rendkívüli, amikor az élet a normális medrében folyik, az emberek nem lépnek ki saját körükből, s a híreket, újdonságokat csak saját szintjükön, saját környezetükben vitatják meg. A véleményvezérek szerepe akkor kerül előtérbe, mikor szokatlan dolgok történnek, amikor az élet intézményesített rendje, keretei meglazulnak. Ugyanakkor az is kiderült, hogy a tömegközlő eszközök közvetítők nélkül is alkalmasak az informálásra, de cselekvésre készíteni csak személyes hatások képesek. „A cselekvéshez, de már ennek elhatárolásához is olyan plusz motiváció kell, amit a tömegkommunikáció nem tud nyújtani. A fáradtságos cselekvések (pl. a tanulás) motivációja csak személyi kapcsolatból eredhet” - állapítja meg Varga (Varga, 1973).

A tömegkommunikációs eszközök hatékonysága természetesen igen nagy mértékben függ attól, mennyire ismeri az adó a befogadót. A közvetlen visszajelzés hiánya arra kényszeríti a tömegközlés irányítóit, hogy állandó felmérésekkel, közvélemény-kutatással kövessék nyomon műsoraik fogadtatását, s az eredmények függvényében módosítsák műsorpolitikájukat. Ha ugyanis a forrás nincs tisztában a befogadó elvárásaival, befogadóképességével, azzal, hogy miként reagál az üzenetekre, vagy azért, mert csak saját elképzeléseire hagyatkozik, vagy voluntarista módon erőlteti a meggyőzés, befolyásolás stratégiáját, az adó és vevő között értetlenségi szakadék támad, a médium teljesen elveszti hatását.

A kommunikáció csatornái

A csatornákról beszélve, ismét beleütközünk a terminológiai többértelműségbe és bizonytalanságba. Műszaki szempontból a csatorna fogalma viszonylag pontosan definiálható (erről már beszéltünk a Csatornák című fejezetben, és még lesz szó róluk a későbbiekben), a kommunikációval foglalkozó szakirodalomban viszont gyakran keveredik egymással a csatorna, médium, eszköz információhordozó fogalma. Az volna talán a leghelyesebb, ha az információ útját keletkezése helyétől végső céljáig, az emberi elméig csatornának tekintenénk, amelyen különböző szakaszokat, s a szakaszok között „átkódoló állomásokat” különböztetnénk meg.

Az ember nagyon sok csatornát vesz igénybe, amikor kommunikál. Legtöbbször egyszerre, egy időben több csatornán küldi ugyanazt az üzenetet, vagy különböző üzeneteket párhuzamosan továbbít. A személyközi kommunikáció általában természetes akusztikai és optikai csatornán zajlik: a beszédet halljuk, a kísérő nemverbális jeleket látjuk. A múlt századtól igénybe vehetjük erre a célra a telefont, s újabban a rövidhullámú, illetve ultrarövid-hullámú adást. A távolság legyőzésére alkalmas régi csatorna a levél és a szóbeli üzenet. Ugyanezek a csatornák szolgálnak a kis csoporton belüli kommunikációra is. A szervezett csoportkommunikáció legújabb kori típusa a telekonferencia, amely igénybe veszi a televíziót, sőt újabban a számítógép és az adatátviteli hálózatok, műholdak segítségét is. A konferencia résztvevőit akár tengerek, óceánok választhatják el, a műszaki csatornákon mégis tudnak egymással információkat cserélni. (Az információs társadalom kommunikációs csatornáiról egy későbbi fejezetben lesz szó.)

A tömegkommunikáció csatornái - bár, mint láttuk, a közlésnek ez a típusa is mélyen ágyazódik az emberiség múltjába, s valamikor igénybe vett kevésbé technicizált csatornákat is -: a sajtó, a rádió és a televízió, ideértve természetesen ezek minden korszerű szolgáltatását. A

televízió elterjedése előtt a film is ide tartozott (filmhíradó), de ma már szinte kizárólag az esztétikai és kisebb részben a tudományos kommunikáció csatornájaként szolgál.

Szinte másfél évszázadon keresztül a sajtó volt az egyetlen médium. A néhány száz vagy néhány ezer példányban megjelenő helyi újságoktól a sokmilliós világlapokig terjed a skála. Hogy milyen fontos eszköze volt a tájékoztatásnak, a közvélemény-alakításnak, a propagandának, azt bizonyítja az a tény, hogy minden új politikai párt, társadalmi mozgalom egyik legelső teendője volt a lapalapítás. Hatásosak voltak a fennálló társadalmi rend védelmében éppen úgy, mint a forradalmi gondolatok terjesztésében. A cenzúra intézményének a létrehozása, a lapbetiltások, sajtóperek jelzik a sajtó társadalmi szerepének fel- és elismerését. A történelemből számtalan példát idézhetünk annak bizonyítására, hogy egy-egy vezércikk milyen mozgósító hatással volt a kortársakra (Kossuth vezércikkei, Zola írása a Dreyfus-ügyben stb.). A sajtó szerepét nem annyira csökkentette, mint inkább megváltoztatta az új médiumok, a rádió és a televízió megjelenése. A versenytársak egyrészt arra kényszerítették, hogy igyekezzenek gyorsaságban, frissességben felzárkózni; ezt különböző műszaki újításokkal érte el (számítógépes szerkesztés, fényszedés, a szállítás okozta késedelem kiküszöbölése az újság anyagának különböző csatornákon való továbbításával, és a rendeltetési helyen való nyomtatásával).

Másrészt bizonyos „szerkezeti” változtatásokat is bevezettek, hogy olyan anyagot és olyan formában nyújtsanak az olvasónak, amelyet versenytársai nem tudnak adni. Az újságnak egyébként két előnye van mind a rádióval, mind a tévével szemben: zsebünkben, táskánkban magunkkal vihetjük, utcán, autóbuszon, vonaton olvashatjuk, másrészt lehetőséget ad arra, hogy az információkat alaposabban „megrágjuk”, újraolvassuk, meg-megálljunk olvasás közben, s elgondolkozzunk az olvasottakon. A távközléstechnika rohamos fejlődésével azonban az újságok monopolhelyzete ezen a téren is megszűnőben van. A televízió által nyújtott új szolgáltatások (teletex, képújság, az egyre kisebb méretű, zsebben vagy akár karon hordozható tévékészülékek terjedése eléggé bizonytalanná teszi a sajtó jövőjét. Ez azonban még nem jelenti a Gutenberg-galaxis végét. (Már ha ezen az írásbeliséget értjük.) A telex ugyanúgy írásban közli az információkat, mint a klasszikus újság, csak korszerűbb eszközökkel. (S a már említett „desk top” kiadványszerkesztés népszerűsége is, az írásbeliség sikeres ellentámadását jelzi.)

A rádió - Marconi és Popov találmánya - mint tömegközlelési eszköz az első világháború után lépett színre. Mint minden csatorna esetében, az adottságok, a lehetőségek nála is megszabták, milyen üzenetet milyen formában tud továbbítani. A rádió csak akusztikai jeleket sugároz, s nyilván csak olyan üzeneteket, amelyeket akusztikailag lehet kódolni. Ezek a beszéd, a zene és adott esetben (helyszíni közvetítés, hangjáték) információs értékkel bíró zajok. Ez kötöttséget, hátrányt jelent a rádióműsorok összeállítóinak, de ugyanakkor előnyt is biztosít mind a sajtóval, mind a televízióval szemben. Minthogy a rádió csak a fülünkhöz szól, akkor is hallgathatjuk, amikor más tevékenységet folytatunk, fizikai munkavégzés, autóvezetés közben, sőt háttérzajként akár olvasás, beszélgetés közben is. Éppen ezeknek a tulajdonságainak köszönhető, hogy a vizuális hírközlő eszközök sohasem fogják teljesen kiszorítani.

A televízió, mint audiovizuális eszköz sokkal szélesebb skálán kommunikálhat: minden képi és hanginformáció továbbítására alkalmas. Ugyanakkor kizárólagosságra tart igényt. Nem engedi meg, hogy mellette mással is foglalkozzunk. A távközléstechnika fejlődése, a különböző hálózatok - hírközlés, számítástechnika, adatátvitel - összekapcsolása, a képi információk tartós rögzítésének megoldása (képmagnó) rendkívüli lehetőségeket teremt az audiovizuális információk átvitelére. De erről majd később.

A shannoni matematikai információelmélet csak kis területen van fedésben a kommunikációelmélettel. (Magát az információ fogalmát sem azonos értelemben használják a két területen.) Egyetemes jellegéből következik azonban, hogy az emberi-társadalmi kommunikációban is megvan a helye. Az alapfogalmak - csatorna, zaj, redundancia kódolás stb. - a kommunikáció minden területén értelmezhetők, ha sok esetben nem egészen egybevágó jelentéssel is. Ami pedig a műszaki vonatkozásokat illeti, a modern kommunikáció olyannyira technicizálódott, hogy nem is nélkülözheti a matematikai információelmélet segítségét.

Kommunikációs zavarok

Manapság, amikor a kommunikáció társadalmi szerepe és jelentősége úgy megnőtt, érthető, hogy a pszichológusok, szociológusok, nyelvészek, kommunikációs szakemberek egyre többet foglalkoznak azokkal a jelenségekkel, amelyek rontják a kommunikáció hatékonyságát. A zavarok származhatnak az egyén pszichikai adottságaiból, képességeiből, tudáskészletének hiányosságaiból. Hasonlóképpen a vágyak, repulziók, előítéletek, tévhitek stb. előidézhetik az információk deformálódását, részleges vagy teljes visszautasítását. (Erről már beszéltünk a tömegkommunikációval kapcsolatban.)

A zavarok jelentős részét a kód helytelen használata vagy hiányos ismerete okozza. Triviális megállapítás: a partnereknek ismerniük kell azt a nyelvet, amelyen kommunikálni akarnak. Triviális, de napjainkban különös jelentőséget nyer. A megnövekedett társadalmi mobilitás, a tudományos-műszaki forradalom következményei nagyon gyakran teremtenek olyan helyzeteket, amikor az egymással kapcsolatba kerülő embereknek nincs közös nyelvük.

Gyakran - sajnos mind gyakrabban - fordul elő, hogy nem ismerjük eléggé a nyelvet, amelyet használunk (és itt most nem a hiányos idegennyelv-tudásra gondolunk, hanem anyanyelvünk hiányos ismeretére). A kiejtésbeli, szintaktikai, s egyéb nyelvi hibák, a kifejezésbeli pongyolaság, a nyelvi szegénység vagy mondanivalónk túlbonyolítása, mind oka lehet a meg nem értésnek vagy félreértésnek (sokszor ezek mögött a jelenségek mögött gondolataink tisztázatlansága, zavarossága rejlik).

A köznapi kommunikációban a zavarok másik oka a nyelv természetéből adódik. A szavak többértelműsége, az, hogy elsődleges szótári értelmük mellett mindig van a kontextustól, helyzettől, társadalmi környezettől függő másodjelentésük, nagyon gyakran vezet félreértéshez. Ez azért veszélyesebb a meg nem értésnél, mert azt az illúziót keltheti, hogy megértettük az üzenetet.

Súlyos akadályt jelent az emberek közötti megértés útjában a tudományágak, szakmák egyre növekvő differenciálódása. Lassan már ugyanazon a tudományon belül sem értik meg egymást a szakemberek.

Más természetű, de ugyancsak kommunikációs zavarok forrása a nemzetközi kapcsolatok bővülése. A turizmus fellendülése, a világszerte mind nagyobb számban megrendezett nemzetközi konferenciák, tanácskozások, a nemzetközi szervezetek szaporodása, amelyeknek költségvetésében jelentős hányadot tesznek ki a tolmácsolás, fordítás költségei, egyelőre meg nem oldott problémát okoznak az emberek közötti jobb megértés útjában. Immár több mint 100 éve, hogy Zamenhof kidolgozta az eszperantó nyelvet, a legéletképesebb, legelterjedtebb mesterséges nyelvet. Ám hiába minden jó szándék, minden igyekezet, a néhány millió eszperantista a világ ötmilliárdos népességének fél százalékát sem teszi ki. És nagyon-nagyon kicsi annak a valószínűsége, hogy belátható időn belül az emberiség közös nyelvéné váljon. (Ezen a gondon remélhetőleg a fordítás gépesítése fog segíteni.)

A művészet, mint kommunikáció

A művészet, beleértve a szépirodalmat is, az emberi-társadalmi kommunikáció legbonyolultabb rendszere.

A kommunikációs lánc egyik végén ott áll az adó posztján a művész, aki egy, a maga egyéniségének és szándékainak megfelelően kialakított (fő vonalaiban készen kapott, de módosított) kód szabályai szerint szóban, képben, hangban, formákban, vonalakban, színekben kifejez valamit a saját tudattartalmából, létrehozza a műalkotást, amely jelekből áll. Jelek időbeli vagy térbeli sorozata, de önmagában is jel (=szuperjel), üzenet és csatorna is egyben, s elküldi, anélkül, hogy volna konkrét címzettje („nem mondhatom el senkinek, elmondom hát mindenkinek”); anélkül hogy tudná, lesz-e egyáltalán befogadója az üzenetnek. A lánc másik végén ott van - ha ott van - a vevő, aki dekódolja (vagy megpróbálja dekódolni) a maga számára az üzenetet, kihámozni belőle azt, amit, úgy gondolja, a művész neki üzent.

S az egész folyamat egy társadalmi közegben, egy „ekoszisztémában”, erőterben zajlik, amelyben a legkülönbözőbb üzenetek, információk, zajok lépnek be a csatornába, tapadnak, csapódnak hozzá az eredeti üzenethez (ezek részben már a befogadó tudatában vannak tárolva, emlékek, ítéletek, előítéletek, ismeretek, álismeretek, hitek és tévhitek formájában), gazdagítják vagy szegényítik, módosítják, esetleg teljesen meghamisítják az eredeti üzenetet.

Nem csoda, hogy a műalkotások, a művészet értelmezésében, értékelésében olyan sok irányzat alakult ki.

Az elmúlt évtizedekben, a művészetelméletben, esztétikában, a többi humán tudományhoz hasonlóan, nagy forrongás indult meg. A cél: az információs tudományok (szemiotika, strukturalizmus, matematikai nyelvészet stb.) szemléletét, módszereit alkalmazva, pontosabbá, objektívebbé tenni ezeket a diszciplínákat is. Az alábbiakban az információs esztétika eddigelé nem túlságosan bőséges és talán nem is mindig eléggé meggyőző eredményeiből próbálunk ízelítőt adni.

Miért van szükségünk művészetre? Mi a szerepe, mi a feladata?

A természetnek nincs céltudata, de a l'art pour l'art „szemlélet” is idegen tőle. Az élőlényekben csak az a képességek fejlődnek ki, amelyek a túléléshez szükségesek. Mi az a biológiailag jelentéssel bíró viselkedési mód, amely a művészet mögött áll? A kérdésre az egyik lehetséges választ D. Berlyne amerikai pszichológus adta. Elmélete szerint az embert nem csak az ingerlési szükséglet jellemzi (ha hosszabb ideig megvonják az ingereket, pszichés károsodások léphetnek fel), hanem az aktív észlelési és megismerési kíváncsiság is. A művészet hátterében az embernek ez az explorációs viselkedése áll. A műalkotás serkentés, ösztönzés, kihívás az érzéki konfrontációra, és irreleváns, hogy az információ felvétele látás, hallás útján vagy másképpen megy végbe (bár olyan komplex struktúrák befogadására, mint a műalkotások, csak a szemünk és a fülünk képes) (Berlyne, 1963).

Más magyarázatot találunk a művészet szerepére az információs esztétika három jeles képviselője, Helmar Frank, H. W. Franke és Rul Gunzenhäuser munkáiban. A műalkotás véleményük szerint is kihívás érzékelő- és feldolgozó-képességünk számára, de értelme és célja az, hogy a civilizáció fejlődésével „elsatnyult” (csökkent megkülönböztető képességű) érzékszerveinket gyakoroltassa. (A polinéziaiak 3000 színárnyalatot képesek megkülönböztetni.) Ezért hasonlít a művészet a játékhoz (Frank, 1959, 1969, Franke, 1985, Gunzenhäuser, 1962).

Akár így van, akár másképp - hiszen ahogy Varga Jenő László írja: „Viszonylag keveset tudunk az esztétikai szükségletek eredetéről, idegéletteni alapjairól, az azonban tudományosan igazolt tény, hogy a zenehallgatás vagy a képzőművészeti alkotások szemlélése megnyugtatólag hat és normalizálja a szervezet fiziológiai paramétereit” (Varga, 1986) -, a műalkotásnak ahhoz, hogy feladatát sikeresen lássa el, az ember információ-feldolgozó képességéhez kell igazodnia. Pszichológiai vizsgálatok megállapították, hogy időben változó alakzatok, minták (pattern) esetén az optimális információhozam 16 bit/mp. Ilyen sebesség mellett vagyunk képesek tudatosan észlelni az információkat. Statikus kép, ábra komplexitása nem haladhatja meg egy megfigyelési síkban a 160 bitet. Ellenkező esetben az érzékelési folyamat nem végződik a kívánt eredménnyel, a sikert követő örömezés-növekedéssel. Az optimálisnál észrevehetően kevesebb információ negatív emócióhoz, unalomhoz vezet. A túl sok információt pedig az ember nem tudja befogadni, elkedvetlenedik, elveszti az érdeklődését. (Ezeknek a megállapításoknak nagy jelentőségük van az oktatásban is: ha a tananyag információ-szegény, nem éri el a tanuló teljesítőképességét, az óra unalomba fullad, ha meghaladja azt, a tanulót kudarcok érik.)

A feladat most már „csak” a műalkotások információtartalmának meghatározása.

Az egzaktásra, a mérhetőségre, az objektív törvények megállapítására irányuló törekvések, az igény azoknak a paramétereknek a felfedezésére, amelyek az alkotásban objektíven (a befogadó szubjektivitásától függetlenül) meghatározzák az esztétikai értéket, az esztétikában is megelőzték az információelmélet megszületését. Az irodalomban, a zenében, s - kisebb mértékben ugyan - a képzőművészetben is alkalmazni kezdték a statisztikai módszereket. A jellegzetességek, szabályszerűségek statisztikai elemzése, feldolgozása természetesen még nem esztétikai elmélet, de nagy segítséget nyújthat egy egzakt elmélet kidolgozásához.

Az esztétikai hatás mértékét elsőként George D. Birkhoff amerikai matematikus határozta meg, a rendezettség, s a komplexitás viszonyaként (Birkhoff, 1950):

$$M = \frac{O}{C} = \frac{V + E + R + HV + F}{C}.$$

Az O rendezettség a következő alapmennyiségekből tevődik össze:

V = a függőlegeshez viszonyított szimmetria;

E = egyensúly, a súlypont elhelyezkedése az alapfelületen;

R = forgási szimmetria;

HV = a vízszintes és függőleges vonalak aránya;

F = a forma tetszetőssége (a központból kiinduló sugarak csak egyszer metszik a határvonalat).

Nagyon kétséges, hogy egy ilyen mértéknek van-e egyáltalán létjogosultsága. Túl kevesen próbálták ki a gyakorlatban. (Hankiss Elemér szerint „még jóakarattal is legfeljebb naivnak mondható” - Hankiss, 1969.) Annyi haszna mégis volt, hogy alapul szolgált a további kutatásokhoz. Max Bense, az egzakt esztétika legjelesebb képviselője, Frieder Nake német matematikus és Rul Gunzenhäuser, a számítógépes művészet teoretikusai próbálták meg Birkhoff intuitív elképzeléseit a valósághoz közelíteni, az információelmélet segítségével általános érvényre emelni (Bense, 1965, Nake, 1974, Gunzenhäuser, 1962). A képletbe a rendezettség helyére a szubjektív információ, illetve a redundancia, a komplexitás helyére pedig a shannoni entrópia került:

$$\text{Esztétikai információ} = \frac{\text{Redundancia}}{\text{Információmennyiség}}$$

Helmar Frank a jelek meglepetésértékét (Überraschung) és különösségértékét (Auffälligkeit) határozta meg:

$$\ddot{u}_j = \frac{-\log p_j}{-\sum p_i \log p_i}$$

$$a_j = \frac{-p_j \log p_j}{-\sum p_i \log p_i}.$$

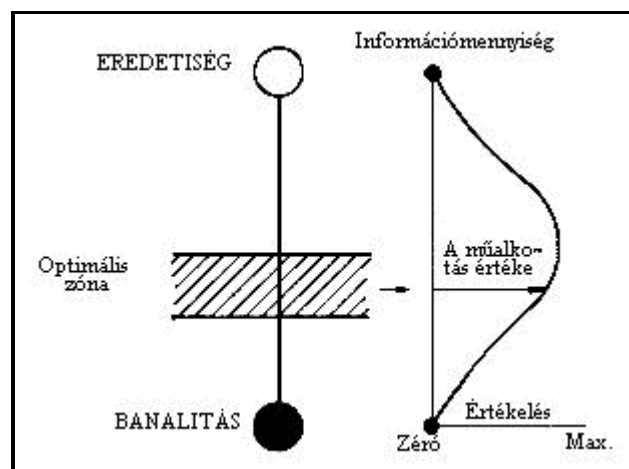
A meglepetésérték monoton nő, ahogy a jel előfordulási valószínűsége csökken, a különösségértéknek viszont maximuma van, amikor $\frac{1}{2}(3 - \sqrt{5}) \approx 0,382$. Meglepő az egyezés az arany-metszés értékével. $a_j = \frac{1}{e} \approx 0,368$. S valóban, műtárgyak elemzéséből megállapították, hogy a művészek, ha alkotásuk valamelyik jegyét hangsúlyozni akarják, az összes jelek mintegy 35-40%-át fordítják erre a célra (például valamely szín egy festményen, egy hang a versben, szinkópa a zenében stb. (Frank, 1959)

Völz Poe egyik versét idézi, amelyben az *e* hang előfordulása 37%, Anselm Feuerbach egyik festményét, amelyen a fehér szín aránya kb. ugyanennyi stb. (Völz, 1983)

Abraham Moles-t vizsgálataira arra a megállapításra vezették, hogy a műalkotásban egyensúlyt kell tartani eredetiség - új információ - és banalitás - redundancia - között. Ahogy Moles mondja, a redundancia és az információ a banális és eredeti dialektikájával áll szemben (Moles, 1958).

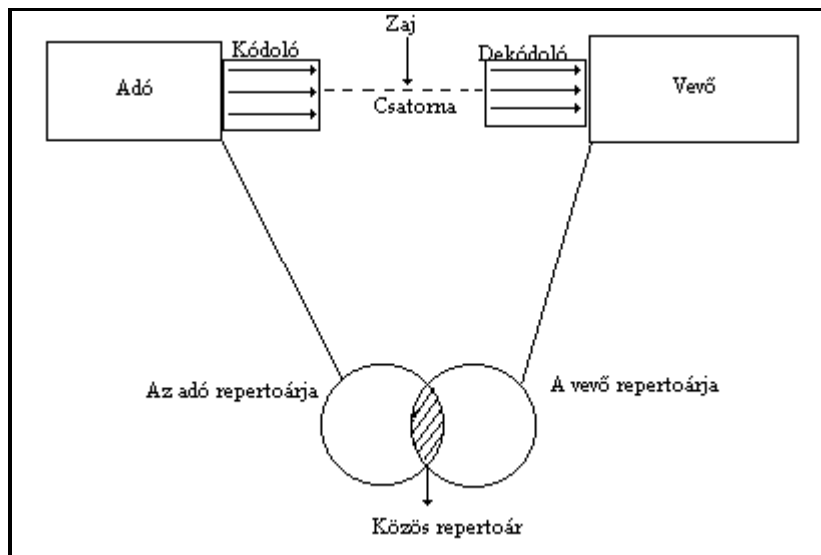
Moles, aki főleg a zenét tanulmányozta, a műalkotás által hordozott információt felosztja szemantikai és esztétikai információra. Ezek úgy jönnek létre, hogy ugyanabban az üzenethordozó közegben több, egymástól elkülöníthető jelsorozat rakódik egymásra, amelyek ugyanazon elemek különböző csoportosításából származnak.

A kettő aránya műfajonként változik. A szemantikai információt az jellemzi, hogy szigorúan praktikus és logikus természetű, a cselekvéshez kapcsolódik, normalizált - mindenki által elfogadott - kódban fejezik ki, pontosan lefordítható, áttehető egyik csatornáról a másikra. Az esztétikai információ lefordíthatatlan más nyelvre, specifikusan jellemző a csatornára, amely hordozza, más csatornára átültetve nagymértékben megváltozik.



29. ábra. A műalkotásban egyensúlyt kell tartani az új információ (eredetiség) és a redundancia (banalitás) között. (Forrás: Masek[szerk.], 1972)

Nem célja a döntés-előkészítés, belső állapotokat határoz meg. Egy egyéni változatokat tartalmazó üzenet, amely független a közlés általános szemantikai tartalmától. Az esztétikai információ emellett ugyanazoknak az általános törvényeknek engedelmeskedik, mint az információ bármely más formája, s megfelelő egységekkel mérhető. Az esztétikai információban is van redundancia (stílusjegyek, színárnyalat stb.).



30. ábra Az esztétikai információ befogadásának feltétele az adó és vevő „repertoárjának” minél nagyobb fokú egybeesése. (Forrás: Masek [szerk.], 1972)

Az esztétikai üzenet - esztétikai információ - befogadása sok tényezőtől függ. Az első feltétel, hogy az alkotó és a befogadó jelkészlete - repertoárja - minél nagyobb mértékben fedésben legyen.

Hasonló a véleménye Max Bense-nek is (Masek, 1972). A második, hogy az információhozam - mint arról már szó volt - ne haladja meg túlságosan a befogadó felfogási küszöbét. Moles három esetet különböztet meg. Ha az információtöménység görbéje mindig a befogadó felfogási küszöbe felett van, az üzenet túl gazdag, az alkotás nem köti le, lemond a befogadásáról. Ha alatta van, akkor banálisnak tűnik. A legjobb, ha az információhozam a felfogási küszöb körül, inkább kissé felette ingadozik, mert akkor a befogadó első (vagy akár többszöri) hallásra vagy látásra nem meríti ki az alkotás minden részletét, s az mindig mond valami újat.

A felfogási küszöb, az optimális információhozam nagymértékben függ az egyén neveltetésétől, társadalmi-kulturális környezetétől. (Ezért van nagy szükség az esztétikai nevelésre!)

Az információs esztétika képviselői szerint mind az alkotásnak, mind a befogadásnak három fázisa van. Az első a szelekciós fázis: szabad választás a jelek halmazából - a repertoárból. A második a szintézis: a kiválasztott jelek összeállítás, strukturálása, az alakzatok, szuperjelek felépítése. A harmadik az analízis: az előbbi fordítottja, az alakzatok, szuperjelek felbontása a hierarchia alacsonyabb fokán állókra:



Ezek a folyamatok az alkotás, de főleg a befogadás folyamán sokszor ismétlődhetnek.

A szuperjel egyébként egyik központi fogalma az információs esztétikának (a strukturalizmus rétegekről, síkokról beszélt).

A szuperjelek a műalkotásban hierarchikusan egymásra épülnek, s a befogadó is úgy birkózik meg az alkotás információbőségével, hogy először a szuperjelek szintjén fogadja be az üzenetet, s fokozatosan bontja le alacsonyabb szintekre. Az igazán nagy alkotások azért olyan gazdagok esztétikai információkban, mert ez a lebontás - redukció - nagyon sokféleképpen történhet, s ezért akárhányszor nézzük vagy hallgatjuk meg a művet, mindannyiszor újabb és újabb információkat kapunk (új és új szépségeket fedezünk fel bennük).

Az alkotónak úgy kell felépítenie művét, hogy a hierarchia minden szintjén az eredetiség és a redundancia aránya a megfelelő értéken legyen. Ahogy Moles mondja: „a műalkotás ontológiai célja, hogy a befogadót - kelleténél kicsivel több - információval, egy kicsit túl sok eredetiséggel halmozza el”.

Egészen a közelmúltig a művészetelmélet, az esztétika nélkülözötte azt a lehetőséget, hogy hipotéziseit kipróbálja. A számítógép alkalmazásával azonban a kísérleti tudományok sorába lépett. Megfelelő programok segítségével mód nyílt arra, hogy a műalkotások bármelyik paraméterét - akárhány fokozatban - változtassák (a számítógép sebessége ezt megengedi), növeljék vagy csökkentsék a komplexitás fokát, nagy alkotók műveinek jellemző vonásait, stílusjegyeit különböző kombinációkban alkalmazzák a hatásvizsgálatokban. Bizonyos, hogy ezek a vizsgálatok esztéták és pszichológusok együttműködése révén el fognak vezetni egy jól megalapozott esztétikai információelmélet vagy információs esztétika kidolgozásához.

A művészet, mint kommunikációs folyamat olyan szempontból is különleges, hogy benne a visszacsatolás - hogy úgy mondjuk - nagyon felemás. A művész azért hozza létre alkotását, mert mondani akar valamit a világról, önmagáról, amit feltételezése szerint csak ő tud. Az üzenet eljut vagy nem jut el a címzettekhez, a társadalom tagjaihoz, s azok befogadják, vagy nem fogadják be, esetleg visszautasítják. A művésznek rendszerint az a célja, hogy üzenete minél több emberhez eljusson, minél többen megértsék. A mindennapi életben az olyan üzenet, amelyet nem fogadnak be, nem értenek meg, céltalan, értelmetlen, felesleges. Az üzenet küldője vagy módosítja az üzenetét, vagy elhallgat. Az igazi művész nem így tesz. Továbbra is küldi az üzeneteket (palackba zárt SOS-jeleket), abban a reményben, hogy egyszer majd lesz, aki meghallja. Természetesen ez nem azt jelenti, hogy a művésznek - ha hatni akar korára - nem kell figyelembe vennie a közönség apperceptiós kapacitását.

Végül idézzük E. K. Gombrich-ot (aki egy karikatúrát mutat be: egy kis balerina táncával egy virágról kommunikál, a nézők képzeletében viszont a repülőgéptől a halig, a vitorlás hajótól a macskáig a legfurcsább tárgyak jelennek meg) és Arany Jánost (aki egy méltatójának írása mellé azt írta: „Gondolta a fene!”). Nem is olyan egyszerű a művészi kommunikáció lényegét megragadni. „A művészi kommunikációban a közlő és a befogadó nyelve nem teljesen azonos. De valaminek célba kell érnie abból, amit a művész útjára bocsátott, azaz a befogadó tudatába, mert másképp sem művészetről, sem kommunikációról nem beszélhetünk” (Nordenstreng, 1978).

Szóljunk még néhány szót a számítógép és a műalkotás kapcsolatáról. Ma már a művészetnek minden ágában találkozunk a számítógéppel: zenében, grafikában, szobrászatban, filmművészetben, irodalomban. Legkorábban, a zenében tűnt fel a számítógép. Az első kísérletet zeneszerzésre információelméleti alapon Shannonnak a felesége végezte Pierce-szel 1949-ben, s az első nagyobb lélegzetű zeneművet az ILLIAC szvit vonószenekarra című művet 1956-ban alkotta L. A. Hiller és L. M. Isacson az Illinois Egyetemen. Érthető, hogy a zenész társadalom hamar elfogadta „társzerzőként” a számítógépet (az Egyesült Államokban már a zeneakadémiákon oktatják a számítógépes zeneszerzést), hiszen a zenében már kezdettől fogva különböző bonyolult eszközöket - hangszereket - használtak. (Az orgona például, igaz, hogy nem a legősbibbi hangszer, de igazán bonyolult szerkezet.). S már a XVII. században

kísérleteztek a zeneszerzés automatizálásával. (Egy Kircher nevű zeneszerző 1660-ban leírt egy komponálógépet.) Mozart 1793-ban írta Anleitung zum Komponieren von Walzern mittels zweier Würfel (KV Anhang 2944) című művét, s többek között Haydn és Beethoven is komponált Flötenuhrra. (Ez egy fuvolaregiszterekkel ellátott, levegővel működő zenélőóra.) Ilyenformán az elektronikus eszközökre való áttérés csak egy újabb lépés volt a fejlődésben. Amellett a zene a maga szigorú formai szerkezetével, az összhangzat és ellenpont absztrakt szabályaival szinte kínálja magát az algoritmizálásra és programozásra. Mivel a zene tipikusan analóg folyamat, kezdetben analóg számítógépeket használtak, s szinuszgörbe-generátorokat, szintetizátorokat. Ma már analóg-digitális és digitális-analóg átalakítókkal dolgoznak. Sokféleképpen lehet számítógéppel zenét szerezni. A legizgalmasabb a számítógép által előállított hangokat a hagyományos hangszerekével egyesítő zene. Ilyen módszert írt le Pierre Boulez francia zeneszerző és Andrew Gerzso. A számítógép „bent ül” a zenekarban, és „élőben” szintetizálja vagy alakítja át a hangokat, amelyeket azután a hagyományos hangszerek hangjaival kombinálnak (Boulez - Gerzso, 1988).

A képzőművészetben a számítógépnek eddig még nem sikerült „egyenjogúsíttatnia” magát. Bár az első nemzetközi kiállítást már 1968-ban megrendezték Londonban, s egyre népesebb a számítógépes grafikusok tábora, a legtöbb hivatásos képzőművész ma is tagadja, hogy bármiféle kapcsolat lenne a művészet és a számítógép között. Könnyen lehetséges, hogy a fényképezéshez hasonlóan, ez az új médium is a képzőművészetek mellett fog a saját útján továbbfejlődni. Pedig a művészet és a matematika közötti kapcsolat nagyon régi. A görögök a műalkotások arányait matematikai formában fejezték ki. Leonardo, Dürer, Mondrian, Vasarely, a konstruktivisták, kis túlzással szólva, előfutárai voltak az egzakt esztétikának. A matematikai egyenletek, függvények ábrázolása sem új ötlet. A konstruktivista elképzeléseket - a személyes elem kiiktatása, kristálytisza objektív ábrázolás, maximális pontosság - a számítógép jobban meg tudja valósítani, mint a művész körzővel és vonalzóval, s bonyolultabb, magasabb rendű görbéket is tud ábrázolni.

A számítógépes grafika sok célt szolgál, amelyek között a műalkotás nem is a legfontosabb. Ezek: számítógépes tervezés (CAD), design, oktatási segédeszköz, tudományos és gazdasági folyamatok megjelenítése stb. Nem is lehet éles határt vonni a tudományos vagy műszaki rajz és a művészi alkotás között. A Boeing gyár egyik tervezője pilótafülkét tervezett egy új gép számára, s olyan programot készített, amely kirajzolta a pilótát a legkülönbözőbb helyzetekben és perspektívában. Rajzsorozata, amelyet kimondottan műszaki célból készített, díjat nyert képzőművészeti kiállításokon.

Bár a számítógépet használó grafikusok többsége még ma is konstruktivista képeket készít, már vannak figurális alkotások is, például Csuri és Shaffer műve, az Átalakulás (Transformation) című sorozat, egy fiatal lányarc fokozatos átalakulása öregasszonyarcá.

A legújabb irányzatok képviselői a videotechnika és a számítógép összekapcsolásával, a paraméterek és változók módosításával dinamikus képeket alkotnak. Kísérletek folynak komplex műalkotások létrehozására is (zene, fény, kép).

A szobrászatban a művész számítógépen megtervezheti és számítógép vezérelte szerszámgepeken meg is valósíthatja alkotását. Új lehetőségeket jelent a háromdimenziós kép és a holográfia alkalmazása. Mivel a mű fizikai megvalósítását a gép végzi, a művésznak nem lesz szüksége manuális adottságokra. Az alkotás folyamata a tudati szférában, az agyban koncentrálódik. Ennek többek közt az lesz az eredménye, hogy a művészi alkotás azok számára is lehetővé válik, akik „csak” alkotó fantáziával rendelkeznek, kézügyesség nélkül.

A képzőművészeti kommunikáció hagyományos helyszínei, a múzeum és a kiállítási terem, elvesztik kizárólagos szerepüket. Egyrészt azért, mert a csatornákon - a zenéhez hasonlóan - bármely alkotás képe eljuttatható a „fogyasztóhoz”, másrészt mert az új vizuális alkotások a dinamikus művészet bemutatására nem is alkalmasak. Új központokat kell majd létrehozni, amelyek fel legyenek szerelve a kép- és hangtechnika eszközeivel. Távlatilag a kiépülő integrált hálózatok révén a multimédia-alkotások korlátlanul közlekedhetnek az alkotók és befogadók között. A műalkotásnak teljesen új formái fognak kialakulni, s az embernek, minden embernek, lehetősége lesz kibontakoztatni a benne szunnyadó „homo aestheticust” és „homo ludenst”.

A művészetek közül a szépirodalom az, amelyik a legkevésbé alkalmas „számítógépesítésre”. Ennek oka nyilván kódjának, a nyelvnek roppant bonyolultsága. A gépi fordítás a tudományos szövegek és köznapri információk átültetésében is alig érte el az elfogadható szintet, nemhogy esztétikai értékű műfordításról beszélhetnénk. Számítógépes líra ennek ellenére már létezik. Igaz, a versíró programok még nagyon egyszerűek, mégis van jelentőségük, mutatják a fejlődés egyik lehetséges irányát. A versírásához szükség van szótárra (a „költő számítógép” szókincse egyelőre még szerény, de a szavak tematikailag összefüggnek, és asszociációk keltésére is alkalmasak), a nyelv szintaxisára (egyelőre még ez is nagyon egyszerű) és szabályrendszerére, amely előírja, hogy a szavakat hogyan lehet és kell használni. A versírás úgy történik, hogy a gép először egy véletlen számsorozatot generál, s ezt használja fel a szósorozat összeállítására.

A szövegek hosszát és a mondatok sorrendjét szintén a számgenerátor állapítja meg. A programot nyilván nem érdekli a szöveg jelentése (nem is érti). Franke idézi Paul Gunzenhäuser Weihnacht című, számítógépen írt versét 1963-ból. Néhány sort hadd idézzünk mi is:

*Der Schnee ist kalt
und jeder Friede ist tief
und kein Christbaum ist weiss
oder ein Friede ist kalt
oder nicht jede Kerze ist rein
und ein Engel ist rein ...*

Az elképzelhető, sőt egészen biztos, hogy a szabályrendszer tökéletesítésével a generált szövegek mindjobban fognak hasonlítani az értelmes szövegekhez. Az eddig írt versek a konkrét költészet termékeit „modellálják”. Azokhoz hasonlóan a nyelvi elemek leszűkítése, a kapcsolatok felbontása, töredékek szembeállításja jellemzi őket. 1967-ben Manfred Krause és Götz F. Schaudt néhány tucat költeményt adott ki egy kötetben. Íme két részlet:

*Because late tears
And distant sings resemble fleetingly
But blades of grass heights forewarning
Because high sparks are glittering receding
Since rays murmuring weave sounds ...*

Egy vers Schiller stílusában:

*Wie heisst der Hirt, wo wagt sich hier
die falsche Dogge treu herfür?
Spricht Thodus hinter Mutes Flamman?
Es stachelt sich im Bauch zusammen,
und einen Bissen, tief im Hirn,
ergreif ich aus der Heldenstirn ...*

A számítógépes irodalomból érdemes és érdekes megemlíteni - már csak terjedelme miatt is - az osztrák Heidulf Gerngross vállalkozását. A nyersanyagot újságkivágások, detektívregény-, népmese-, sci-fi-részletek népdalok és mitológiai történetek részletei szolgáltatják. Mindebből meghatározott és beprogramozott válogatási és összeállítási kritériumok alapján a számítógép egy 1280 oldalas irodalmi művet állított össze. Az eredmény sok eredetiséget és humort tartalmazó mű, kiállja az összehasonlítást az abszurd irodalom nem egy termékével. Érdekes lehetőségeket villant fel a színház terén is Franke. A számítógépes játékokhoz hasonlóan, amelyekben a játékosnak kell választania bizonyos lehetőségek között, olyan programok fognak készülni, amelyek lehetővé teszik a nézők számára, hogy passzív befogadóból aktív résztvevővé váljanak, a különböző cselekményszekvenciákból ők maguk állítsák össze a darabot, s ezekbe, a drámai szimulációs játékokba randomgenerátort is beépítenek. Olyan cselekménysorozatok jöhetnek létre, amelyeket senki, még a szerző sem lát előre.

A mai számítógépes művészetben a számítógép „alkotóképessége” még távolról sincs kihasználva, sem a sebessége, sem az a képessége, hogy komplex rendszereket tud irányítani. Ahogy a folyamatirányító számítógép a műveleti adatok alapján hengerműveket, vegyi üzemeket, energetikai rendszereket vezérel, képes lesz arra is, hogy harmóniák, ritmusok, frekvenciák, grafikus és térbeli ábrák elemzése alapján olyan multimédia-programokat állítson össze és kreáljon, amelyekben egységbe olvadnak a grafikus elemek, a dallam, a szín, a ritmus, a fény, s ez lesz a jövő számítógépes művészete.

AZ ÁLLATI KOMMUNIKÁCIÓ

Népmeséinkben gyakran találkozunk olyan hőssel, aki jótette jutalmául képessé válik az állatok beszédének megértésére. Ez a motívum azt bizonyítja, hogy az ember fantáziáját réges-régóta - talán már az őskortól - izgatja, vajon mit közölnek egymással a csivitelő, nyávogó, égető, bőgő szárnyasok és négylábúak. Türelmes zoológusok, etológusok kitartó munkájának köszönhetően, ma már sokuknak a „nyelvét” megértjük.

Miről is beszélnek hát az állatok?

A természet az élőlények bonyolult, szövevényes kölcsönhatási rendszere, amelyet a különböző fajok közötti, főleg táplálkozási, s az azonos fajokon belüli lazább-szorosabb együttélési kapcsolatok jellemeznék. Mint minden kibernetikus rendszerben, a természet nagy rendszerében és számos alrendszerében - az állati környezetben - az információ a szervező erő; amely a kommunikációban, a kommunikáció által fejti ki hatását. Az állati kommunikáció tudománya a zooszemiotika (Th. A. Sebeok volt a „keresztapa” 1963-ban).

A különböző fajok együttélési kapcsolatai nagyon tág határok között változnak, a rovarok nagy létszámú, jól szervezett társadalmától a magányos ragadozóknak kizárólag a párosodás és ivadékgondozás időtartamára korlátozódó együttélésig. Természetes, hogy kommunikációs szokásaik is nagy változatosságot mutatnak.

Melyek az állati kommunikáció főbb funkciói?

A reproduktív fajfenntartás, a szaporodás megszervezése, „törvényeknek” megfelelő lebonyolítása a kommunikáció egyik legfontosabb és legáltalánosabb funkciója. (A magányosan élő állatfajok egyedei csak a párválasztás és ivadékgondozás időszakában „állnak szóba” egymással.) A párosodás periódusában általában a hímek játsszák a főszerepet (bár

vannak fajok, főleg a rovarok között, amelyeknél a nőstény adja le a hívójeleket). Agresszívekké válnak, vetélytársaikkal folytatott kommunikációjuk arra irányul, hogy kihívják, elijesszék őket, ezért üzeneteiket harcias pózokká kódolják.

A megfelelő hangjelek és magatartásformák (felborzolt tollazat, támadó póz, fogcsikorgatás, szárnyverdesés stb.) legtöbbször elegendők a vetélytársak elriasztására, s ritkán kerül sor komoly harcra. Ám legtöbb esetben a harc sem végzetes kimenetelű. A vesztes pontosan megszabott mozdulatokkal hozza a győztes tudomására, hogy beismeri vereségét. Ez rendszerint abból áll, hogy valamely védtelen testrészét fordítja ellenfele felé. A „lovagias” állatok - a legtöbb emberrel ellentétben - nem élnek vissza a helyzettel, hanem békét hagynak a legyőzöttnek.

A nőstények megnyerésére hódító pózokat vesznek fel, változatosabbnál változatosabb násztáncot lejtnek, nászajándékkal kedveskednek. A nőstény, ha elfogadja az udvarlást, megfelelő jelzésekkel válaszol. A párválasztási kommunikációban a szövegkönyv nagyon pontosan elő van írva, a mozdulatok, szagok, színek szigorúan meghatározottak, az adott fajtára jellemzőek. Nagyon fontos ugyanis, hogy az egy fajtához tartozó állatok felismerjék egymást, meg tudják különböztetni egymást még a rokon fajok egyedeitől is, hogy elkerüljék a fajkeveredéssel járó hátrányokat. (Azoknál az állatoknál, amelyeknél a hím és a nőstény hasonlít egymáshoz, az is fontos, hogy a hím felismerje, vetélytársa került-e eléje, vagy párosodásra kész nőstény.)

Az ivadék gondozás periódusában - az olyan fajoknál, amelyeknek kicsinyei gondozásra szorulnak - fontos funkciót tölt be a kommunikáció a szülő-gyermek kapcsolatban. A madaraknál például a csőr tátogatása váltja ki a szülőből az etetési reflexet.

A fajfenntartással kapcsolatos kommunikációs funkció a vadászterület, territórium, revir kijelölése, határainak tiszteletben tartatása is. (Vannak állatok, amelyek csak a szaporodás idejére foglalnak területet.) Az énekesmadarak énekükkel - néha mozgásszekvenciákból álló vizuális jelekkel is -, a négylábúak szagjelzésekkel jelölik meg birodalmuk határait. A fajfenntartás szempontjából fontos, hogy adott területen az egy fajhoz tartozó állatok száma ne haladja meg a terület eltartóképességét, mert a táplálékhiány a faj pusztulásához vezet.

Fontos funkciója az állati kommunikációnak a fajtársak felismerése, a kapcsolattartás, amit az emberi kommunikációban fatikus funkciónak nevezünk. A csoporttal, a társakkal a kapcsolatot hívójelek, vizuális jelek (a tollazat, a bőr sajátos színezete, mintázata), a fajra, az egyedre jellemző szagok biztosítják. Míg a társadalomban élő rovarok csak arra képesek, hogy a közös szagról kolóniájuk tagjait azonosítsák, a magasabb rendű állatok fajtájuk egyedeit is képesek azonosítani, s úgymond interperszonális kapcsolatokat is ki tudnak építeni. A madarak hangjukról ismerik fel egymást - a közös dallamot egyéni cifrázásokkal látják el -, az emlősök főleg specifikus szaganyagaikról.

A csoporton belüli kommunikáció teszi lehetővé a hatalmi pozíciók, a hierarchia kialakítását, a tagok szerepének kijelölését, a közös akciók - vadászat, zsákmányelosztás, védekezés - megszervezését.

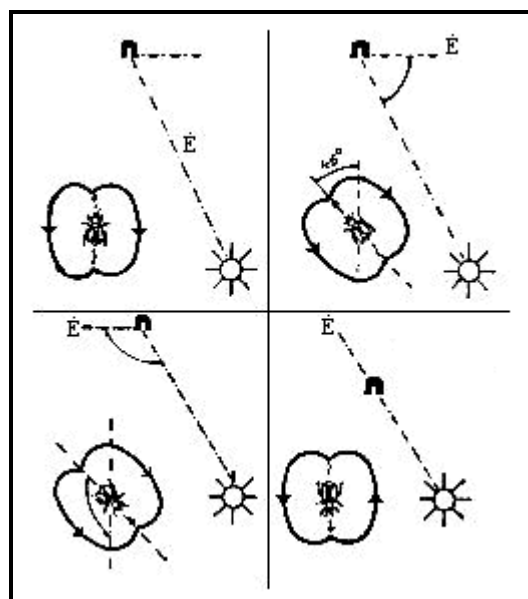
A veszedelem „közhírré tétele” szintén nagyon fontos, „életbevágó” funkció. A jelzések általában egyszerűek, információban szegények és sokszor nem is fajspecifikusak. Az énekesmadarak, amikor ragadozót pillantanak meg, éles, magas, fémes csengésű „szilit” kiáltást hallatnak. A fejlődés folyamán valószínűleg azért vált általánossá ez a jel, mert a ragadozó madár az ilyen hangot nehezen tudja lokalizálni. (A két fülben keltett hangérzet intenzitás-különbsége igen kicsi.) A közelgő veszély jelzésére vizuális, sőt tapintási jelzések is

alkalmasak. A tőkésréce például szaggatott fejbólogatással figyelmezteti társait, a hangyák pedig a szagjelzések mellett társuk fejének ütögetésével hívják fel a figyelmet a veszélyre.

A vészjelzések általában nem közölnek pontosabb információt a veszély természetéről. Van azonban kivétel is. A fehér barkójú cercófmajomnak nagyon érdekes vészkiáltása van. P. J. B. Slater a következőképpen írja le, hogyan viselkednek veszélyhelyzetben. „Ezeknek az állatoknak néhány különböző vészkiáltásuk van, és ezek közül három, a kígyó, a leopárd és a sas kiáltása jellemző a ragadozó fajtájára. Az információ ezekben a kiáltásokban nagyon fontos: a kiáltó állat mintha egészen pontosan azt kiáltaná: „kígyó”, „sas”, „leopárd”, és mintha a hallgatói képesek lennének ezeket a szavakat úgy megérteni, ahogy mi.

Mit csinál a csoport, amikor meghall egy ilyen kiáltást? Másképpen fogalmazva, mi a jelentése a kiáltásnak, van-e rájuk ugyanilyen pontosan megfogalmazott válasz? Az állatok a „leopárd” kiáltást hallva felrohannak a fákra, a „sas” kiáltást követően leugrálnak a földre, és elrejtőznek a bozótban, a „kígyó” kiáltást hallva közelítenek, és lefelé néznek. Nem tudjuk megmondani, hogy van-e valamilyen mentális képük a szóban forgó ragadozóról, de viselkedésük olyan, mintha tudomásuk lenne arról, hogy adott esetben éppen mi fenyegeti őket” (Slater, 1985).

Egyes állatfajoknál - főleg a társadalomban élőkénél - a kommunikáció fontos funkciója a táplálékforrások jelzése. A legérdekesebb rendszerük a méheknek van. Karl von Frisch német kutatónak 1945-ben sikerült pontosan megfejtene a már száz éve megfigyelt jelbeszédet. Szakmai körökben sokáig hitetlenkedéssel fogadták a magyarázatát, de a további megfigyelések megerősítették azt, s munkájáért 1972-ben Konrad Lorenz és Nako Tinbergen etológussal megosztva Nobel-díjat kapott.



31. ábra. A méhek irányjelzése. (Forrás: Kis Bitay, 1974)

A méh a táplálékforrásra vonatkozó információkat sajátos mozgásban, rezgő „táncban” és hangjelzésekben kódolja, s szaginformációkat is szolgáltat társainak. Amikor egy dolgozó méh új táplálékforrás felfedezése után visszatér a kaptárba, részletes beszámolót tart. Ha a lelőhely a kaptárhoz közel van - száz méteren belül -, gyors, izgatott körtáncot lejt, s közben zümmögő hangot hallat. Társai megértik az üzenetet, körbeveszik, megtapogatják, megszagolják, megkóstolják a hozott nektárt vagy virágport, izgalmi állapotba jönnek, s rövidesen kirepülnek, hogy illata alapján megkeressék a forrást. Ha a táplálék messzebb van, a méh a távolságot és az irányt is közli társaival. Tánc közben nem kört, hanem nyolcast ír le. A

nyolcas közepe egyenes szakasz, amelyet a méh úgy fut be, hogy közben a potrohát sebesen rezegteti és zümmögő hangot hallat. Ez a szakasz a tánc legtöbb információt hordozó eleme, tulajdonképpen a forráshoz vezető út kicsinyített modellje. Az egyenes iránya a forrásnak a Nap állásához viszonyított irányát jelzi. Ha a táncot a dolgozó a kaptáron kívül járja, a forrásirány és a Nap iránya közötti szög megegyezik az egyenes és a kaptár bejáratától, s a Naphoz húzott egyenes közti szöggel. A kaptáron belül a Nap irányát a gravitáció iránya helyettesíti. A távolságot potrohának rezegtetésével és a tánc élénkségével jelzi. Tulajdonképpen nem is a távolságot, hanem az út megtételéhez szükséges erő kifejtését érzékelteti. Ha például ellenszélben kell repülni, a tánc lassúbb lesz. A táplálék minőségéről úgy tájékozódnak, hogy megkóstolják és megszagolják a méh potrohához tapadt virágport. A zümmögés, dongás szintén a távolság jelzésére szolgál, s a társak ugyancsak zümmögéssel jelzik, ha a közlést megértették. A táplálék mennyiségéről a méh izgatottsága és a tánc időtartama ad tájékoztatást.

Kiss Bitay Éva ismerteti Lindauer megfigyelését, amely szerint a méhek nem csak a méhlegelő, hanem rajzaskor a kiszemelt fészekhely irányát is így hozzák társaik tudomására. Megfigyelte, hogy a kiküldött felderítő több órán át táncolt rajzásra készülő társai előtt, és közben a Nap vándorútjának megfelelően változtatta a Naphoz viszonyított szöveget. Rajzás előtt több méh indul felderítőútra, és táncuk alapján választják ki a méhek a legmegfelelőbb fészekhelyet, amelynek irányába aztán az egész raj felkerekedik (Kiss Bitay, 1974). Lindauer tanulmányozta a különböző méhfajták viselkedésében mutatkozó eltéréseket is (a különböző „méhnyelveket”).

A méhek rezgő táncának információtartalmára vonatkozó számítások azt mutatják, hogy a távolság közlése 4 bit információval egyenlő (mintha egy nyolc beosztású skálát használnának). Mivel a méh gyűjtőköre kb. kétezer méter sugarú, ezzel a 4 bittel 50-60 méteres pontossággal lehet megadni a távolságot. Az irányt szintén 4 bit információ közli. Mintha a méhek olyan iránytűt használnának, amelyen a fő- és mellékégtájak között még egy beosztás van. A mennyiség jelzésében négy fokozatot különböztetnek meg: nagyon sok, sok, elegendő, kevés. Ez 2 bitnyi információt jelent. A legtöbb információt, 8 bitet, a minőség jelzése hordozza. A méhek nyelvén tehát kb. 18-20 bit információt lehet közölni. A többi állat nyelve sokkal szegényesebb. Alig néhány bitnyi információ közlésére alkalmas (Wilson, 1972). Természetesen a méhek „társalgása” nem korlátozódik kizárólag a táplálékszerzésre, de más témájú beszélgetéseik információban szegényebbek.

Kommunikáció a különböző fajok közt ritkán fordul elő a természetben, s funkciója rendszerint a félrevezetés. Vagy a zsákmányállat próbálja félrevezetni a ragadozót, vagy a ragadozó a kiszemelt áldozatát. Slater könyvében néhány érdekes példát említ: „Amikor egy lile a szárnyát a földön vonszolva sérültnek tette magát és elcsalja a rókát a fészke közeléből, ez kommunikáció a rókával, de az átadott információ hamis. Valójában nem törött a szárnya, és ha már elég messzire elcsalta a rókát a fiókáitól, s azok biztonságban vannak, gyorsan el fog repülni.

Hasonló az éjjeli pávaszem viselkedése, amikor széttárja szárnyait és felfedi a rajtuk levő egy-egy nagy szemfoltot. Ezzel becsapja a madarat, amelyik meg akarta enni, mert egy olyan nagyobb állatot utánoz, amelynek távol ülő szeme van.

A ragadozók is képesek azonban olyan jelzéseket adni, amelyekkel megtévesztik zsákmányukat. Nyilvánvaló példa erre a Photuris szentjánosbogár-faj viselkedése. A hím szentjánosbogár fényvillanásokkal jelez, amelyeknek az időbeli mintázata a fajra jellemző, a nőstények egy másik fénymintázattal válaszolnak, ami szintén a fajra jellemző, ezzel veszik rá a hímeket a közeledésre, a párzásra. A Photuris nőstény azonban ragadozó, és mikor egy

másik fajhoz tartozó hím fényjeleit észreveszi, annak a fajnak a nőstényéhez hasonló fényváltozattal válaszol. A szerencsétlen hím párzásra készen odasiet, és ez a végét jelenti” (Slater, 1985).

Hogy miként szabályozzák a kommunikációs funkciók egy állattársulás életét, azt Sasvári Lajos cikkéből vett idézettel illusztráljuk. Az idézet a széncinegéről szól.

„Az első nagy társas átalakulás a fészkelés kezdetével esik egybe. Az egyedközi viselkedés hirtelen megváltozik, és a kölcsönös közelségtűrés nagyon alacsony lesz. Az agresszívvá vált egyedek az akusztikus jelzések hatására megkeresik egymást azért, hogy összecsapjanak és tisztázzák az erőviszonyokat. A téli, többé-kevésbé szoros együttélés egyik napról a másikra széttöredezik (tavaszi diszruptív kommunikáció). Amikor az életkörülmények (az ökológiai viszonyok) állandósulnak, az egyedek kölcsönös taszító törekvése még mindig erőteljes, és folytatódik a társulás átrendeződése (antagonizáló kommunikáció). A társulás szerkezetét és elosztását átalakító egyedek közti összeütközések akkor szűnnek meg, amikor a fészkelőkörzetek végleges határai kialakulnak és a párok véglegesen beosztották egymás között az élőhelyeket. Ezután a hím egyedek fészkelőkörzetük védelmét ismétlődő akusztikus jelzésükkel, énekükkel biztosítják elsősorban, és ezzel egy időben hosszantartó nyugalmi szakasz áll be a társulás életében. (Ezalatt, vagyis az integrációs kommunikáció idején, 0,3-2,8 hektár nagyságú fészkelőkörzetben a cinegék főképp csak akusztikus úton tartják egymással a kapcsolatot.) ...

A legjobb élőhely teljes benépesítését elősegítő stabilizáló kommunikáció működését a következőképp bizonyítottuk.

Amikorra kialakultak a territórium határok és a tojók már fészkeket építették, a legjobb körzetből kifogtunk több szén- és kékcinkét. Néhány napig csend volt a megüresedett helyeken, a rosszabb, periferikus körzetben már megtelepedett szomszédos cinegék csak futólagosan hatoltak be ide, és akkor is némák maradtak. Egyre gyakrabban látogatták azonban a csendes területeket, és mivel ismételt látogatásuk során sem hallották a tulajdonosokat, énekelni kezdtek. Miután agresszív választ nem kaptak, a hímek egy része éneklőhelyét is áttette a megüresedett territóriumokba, és mert a szegényesebb területen megkezdett fészkek még úgyszemint fejlődtek be, a tojók - követve párjukat - új fészket kezdtek rakni az újonnan lefoglalt jobb körzetben. Lényegében akusztikus közvetítéssel működött a fenti autoreguláció, mely egy koncentrálódási folyamat végeredményeként a legjobb terület kihasználását tette lehetővé a populáció számára” (Sasvári, 1979).

Milyen „nyelven” beszélnek az állatok?

Az állati kommunikációban általában három jeltípussal találkozunk: vizuális, auditív és olfaktikus jelekkel. Ritkábban szerepet játszik a kommunikációban a tapintás, ízlelés, egyes halaknál az elektromos erőter változása is.

A vizuális jelzések - színek, testtartások, mozdulatok - nem a legalkalmasabbak a kommunikációra. Csak nappal és csak egyenes irányban továbbíthatók, észlelésük függ a terepviszonyoktól, s az állatok nagysága korlátozza a távolságot, ameddig használhatók. Emellett kiszolgáltatja az állatot az éles szemű ellenségnek.

Ami a színeket illeti, az állatok, amikor nem kommunikálnak, általában elrejtik színeiket, s vannak olyanok is, amelyek csak akkor válnak színessé, amikor erre a kommunikáció céljából - a párosodás idején - szükségük van. (Nászruhát öltenek.) A színfoltoknak szerepük van a közösségben élő állatok összetartásában. Az őzek, szarvasok „tükre” (fehér folt a farkuk tövében), a majmok csupasz, s vörös ülepe arra szolgál, hogy összetartsa az erdőben menekülő

csapatot. Már említettük a madárfiókák csórtátogatásának szerepét. Nagyon sok madárfaj fiókájának toroka, csőre zuga színes vagy fényvisszaverő (például a szövőpintyé), s ezek a jelzések igen erőteljes ingerként hatnak a madárszülőkre.

A színjelek mellett egyes rovarok és halak fényjelzéseket is használnak. Mindenesetre érdekes, hogy a legélénkebb, legfeltűnőbb színeket a halakon, madarakon és rovarokon találjuk, azokon az állatokon, amelyek három dimenzióban tudnak mozogni, s így nagyobb esélyük van a megmenekülésre.

A vizuális jelzések másik fajtáját a mozdulatok, testtartások alkotják. A mozgásos jelzéseknek általában két funkciójuk van: a vetélytárs, ellenfél elriasztása és a partner figyelmének felkeltése, meghódítása. Nagyon sok esetben ezek a mozgásformák, pózok hajdani cselekvések jelzésekké „finomult” változatai. A hím farkas, amikor szembekerül hatalmi pozíciójára törő társával, a fogát vicsorítja. Ez a mozdulat a harapás egyik eleme. Ebben a szituációban viszont csak jelzés. Azt az evolúciós folyamatot, amelynek során egy viselkedési minta, anatómiai tulajdonság vagy fiziológiai vonás elsődleges funkciója mellett jelző funkcióra is szert tesz, s ebben a minőségében mind hatékonyabbá válik, miközben kisebb vagy nagyobb mértékben meg is változik: pózzá válik, Julian Huxley javaslatára ritualizációnak nevezik. A változás néha olyan jelentős, hogy eredetét nagyon nehéz vagy lehetetlen pontosan megállapítani.

A folyamatot Kusztoz Sz. Endre a következőképpen írja le: „A sikeres mozgásforma ezután a hozzátartozó lényeges jegyekkel együtt tanulás útján rögzül a memóriában. Hasonlóképpen, az állat regisztrálja és megőrzi a fajtársak, az üzenetvevők körében létrejött hatást. Végül is az agyban létrejött emléknym egyrészt a sikeres mozgásformák (viselkedésmód) rögzítéséből létrejött, másrészt az ezek által a fajtárs(ak) körében létrehozott látható hatások lenyomatainak összege. Ezután az állat hasonló helyzetekben hasonlóan reagál. Jól bevált mozgáskombinációit újra alkalmazza. Utóbb az adott viselkedési mód, mely a partner magatartását adaptívan megváltoztatta, kezd jelentésre szert tenni. Megvalósul a magatartási jel szemantizációja. A jelentésátvitel csak abban az esetben lehetséges, ha a közlemény a partner(ek) memóriájában tárolódott. A motorikus magatartásegység fokozatosan kiválik az ösztönökből, és jelként kezd működni. A környezet releváns ingerei - a kommunikációs jelek - az állat agyában egy kognitív modellszerű emlékezeti tartalmat hoznak létre, mely oda-visszacsatolás révén működik. A viselkedési minta egyes részei elhanyagolódnak, míg a hatásosak kihangsúlyozódnak, generációk folyamán differenciálódnak, finomodnak. A kommunikációs jel mindinkább eltér a viselkedés eredeti egységétől, és elnyeri jelkarakterét. A hatás fokozásáért, optimalizálásáért az állat hangsúlyozottan, eltúlozva hajtja végre az egyes viselkedési elemeket, melyek így stilizálódnak” (Kusztoz, 1988).

Ezek az eredeti funkciójukat veszített mozgásminták hasonlítanak az ember nemverbális kommunikációban használt jeleihez. Két különbséggel: a pózok megjelenési formája egyszerű, egyértelmű és nagyon szigorúan szabályozott, állandó, másrészt az állati pózok (s ez, mint látni fogjuk, minden állati jelzésre érvényes) a kiváltó okkal arányosan folyamatosan változnak, analóg mennyiségek. Az ember nagyon sokféleképpen tud mosolyogni: halványan, szélesen, fanyarul stb., az állat csak egyféleképpen pózol, s egy adott póz mindig ugyanazt az állapotot jelzi. Ahogy a törzsfajlás létráján feljebb haladunk, mind közelebb kerülünk az ember nemverbális jelrendszeréhez. A főemlősök kommunikációjában már nagy szerepük van a gesztusoknak, taglejtéseknek, a mimikának. A csimpánzok például tizenkétféle arckifejezést képesek produkálni, egymás bundáját tisztogatják, üdvözlésként átkarolják egymást, kezüket egymás combjára helyezik.

Az etológusok véleménye szerint a gerinces állatok 10-30 üzenetet tudnak kifejezni magatartásukkal. Az alábbi táblázat néhány állatfaj magatartásjeleinek számát mutatja be (Csányi, 1980):

Állatfaj	A magatartással kifejezhető üzenetek száma
guppi	15
tüskés piko	11
szájköltő tilápia	21
veréb	15
sirály	28
kacsa	19
prérikutya (apró rágcsáló)	18
görény	25
rhesusmajom	37
ember	150-200 (a nyelvet nem számítva)

A hang előnye a látvánnyal szemben, hogy bármikor, éjjel-nappal, bárhol, akármilyen akadályokkal megtűzdelt terepen alkalmazható, minden irányban terjed, viszonylag messzire eljut, s rövid idő alatt sok információ továbbítására alkalmas, mert frekvenciája sokkal gyorsabban változtatható, mint a mozgásformák, s kisebb energia-befektetést igényel.

Az akusztikus jelzések igazi mesterei az énekesmadarak. Dallamaik annyira egyediek, sajátosak - nincs két azonos módon éneklő madár -, hogy a közölni kívánt információval egyúttal mindig „be is mutatkoznak”, s az egymástól távol élő populációk sokszor nem is értik egymást.

A hangjelzéseknek, mint láttuk, különböző funkcióik vannak. A madaragnál a területvédelem, a vetélytársak elriasztása, a nőtények csalogatása, kapcsolattartás, vészjelzés, az emlősöknél a kapcsolattartás, vészjelzés, az élelem jelzése.

Sok állat az emberi hallás határán kívül eső ultrahangok kiadására és felfogására alkalmas szervekkel rendelkezik. A legismertebb példa a denevér és a delfin, de más állatok is érzékelik az ultrahangot.

A delfinek ultrahangon folytatott beszélgetése régóta foglalkoztatja a kutatókat. Megállapították, hogy a delfinek nagyon sokat beszélnek („fecsegnek”), de még csak néhány „szavukat” sikerült megfejteni.

A szagok nyelve nagyon elterjedt az állatvilágban. Igen sok rovar és emlősállat rendelkezik éles szaglóérzéssel, s megfelelő illatanyag-termelő miriggyel. Ezeket az anyagokat, feromonokat fel is használja a kommunikációra. A feromonok sok rovar-, lepkefaj életében ugyanazt a funkciót töltik be, mint a madaragnál a párkereső ének, azzal a különbséggel, hogy ebben az esetben a nőtények adják le a hívójelet. A fajokra jellemző feromonok, mivel kis molekulájúak, gyorsan és nagy távolságra eljutnak, s odacsalogatják a hímekeket. A hímekek olyan érzékenyek, hogy köbcentiméterenként néhány molekula elég ahhoz, hogy érzékeljék, s ezért kilométeres távolságból is megérik a nőtény jelenlétét. A szaganyagok nagyon fajspecifikusak, minden faj csak a saját nőtényének illatára reagál - a rokon fajokéra nem -, s így nem fordulhat elő a nemkívánatos fajkeveredés.

A szaganyagok néhány gerinces állat szerelmi életében is szerepet játszanak. Az őzsuta patájának két csülke közötti mirigye például párzás idején erős illatú anyagot termel, s ezzel szagosítja meg az útját legelés közben. A bak ezt követve talál rá a sutára.

Azok az állatok, amelyek saját vadászterületet tartanak fenn, illatanyagokkal jelzik birtokuk határait. Az őzbak homlokmirigyének váladékával keni be a birodalmát határoló fákat, bokrokat. Más állatok a vizeletükben, székletükben levő anyagokat használják erre a célra. A szaganyagok mindig fajspecifikusak, de sokszor az egyedre is jellemzők, s így az állatok úgymond személyes kapcsolatba léphetnek egymással.

A szag különösen fontos eszköze a kommunikációnak a rovartársadalmakban. Wilson szerint a szagok a következő információkat hordozzák: izgalom, figyelemfelkeltés, mozgósítás, udvarlás, táplálékkérés, segítségkérés, a család tagjainak felismerése, ivadékgondozás. A méhek például azzal is segítik felismerni a táplálékforrást, hogy illatmirigyük váladékával jelölik meg, s az útvonalon is itt-ott nyomot hagynak. A feromonnak fontos szerepe van a méhek családi életének szabályozásában is. A királynő által termelt feromon - amely rendre bejut minden fiatal dolgozó szervezetébe - megakadályozza petefészük kifejlődését, s az anyabölcsők építését.

A különböző szaganyagok különböző időtartamra közvetítik az üzeneteket. A hangyák feromonjai például csak néhány percig hatnak, másképp az egymást keresztező szagösvények zűrzavart okoznának a közlekedésben, a lepkék nemi feromonjai viszont olyan tartósak, hogy a doboz, amelyben nőtény lepkét tartottak, még egy év múlva is odacsalogatja a hímeket.

Ami a szagok viszonylagos erősségét illeti - vagy az állatok érzékenységét -, sokszor molekulányi mennyiségek is elegendők a társak tájékoztatására. A már többször idézett Wilson szerint, aki egyébként a Harvard Egyetem biológusa, a leaf cutting hangya feromonjának egy milligrammja elég lenne ahhoz, hogy egy hangyaosztaggal háromszor megkerültesse a Földet.

A szagok a halak életében is szerepet játszanak, nem annyira a kommunikációjukban, mint inkább a tájékozódásukban. A megsérült állatok testéből például riasztó szaganyagok kerülnek a vízbe, menekülésre készítetik a társakat és támadásra a ragadozókat. Az állatok jelhasználata természetesen nem korlátozódik egyetlen jelzésfajta. A legtöbb állat két-, három-, sőt többfajta jelzést is használ: a hang, mozgás, szín, szag különböző mértékben és különböző funkcióban a legtöbb állat kommunikációjában szerepet kap.

A fentiekben nagyon vázlatosan bemutattuk a kommunikáció szerepét és eszközeit az állatvilágban. Próbáljunk most választ adni arra a kérdésre, miben különbözik egymástól az emberi és állati kommunikáció.

Formai szempontból elsősorban abban, hogy az „állati nyelvek” sokkal kevesebb jelből állnak.

A megfigyelések azt mutatják, hogy a legfejlettebb közösségekben élő emlősöknél, s a velük ilyen szempontból „egyenrangú” társas rovaroknál sem találkozunk 30-35 jelnél többel. A jelkészlet szűkösségéből következik, hogy az üzenetek nem tartalmazhatnak túl sok információt, nem terjedhetnek ki finom részletekre.

Az üzenetek mindig egyértelműek, nélkülözik az emberre jellemző többértelműséget, többsíkúságot, s ugyanígy a válaszreakciók is mindig pontosan meghatározottak - a párbeszéd sztereotip. (A dolgozó méh, amikor hírhozó társának üzenetét tudomásul vette, nem vonhat vállat, hogy „most nincs időm, majd holnap esetleg elnézek arrafelé.”)

Vannak azonban - ha ritkán is - többértékű jelek (parszimon vagy kontextuális jelek), amelyek jelentése a szituációtól függ. (Ez sem azonos az emberi beszéd többértelműségével.)

És ezzel már a lényegi különbségekhez értünk. A legfontosabb, hogy az állati kommunikáció különböző típusai sokkal nagyobb mértékben vagy sokszor teljesen programozottak, genetikailag meghatározottak, változatlan és szigorú genetikai kontroll alatt állnak. Ez különösen érvényes a párosodással kapcsolatos kommunikációs formákra. Nagyon pontosan be kell tartani a „játékszabályokat” ahhoz, hogy a fajtárs felismerje - és csak a fajtárs ismerje fel. A legújabb kutatások (főleg a madárénekekkel kapcsolatos vizsgálatok) tisztázták, hogy a különböző viselkedésminták, így a kommunikációs viselkedések kialakulásában is a géneknek és a környezetnek egyaránt szerepe van. Ha nincsenek gének, nincs viselkedés, de ha nincs környezet, akkor sincs. A két tényező aránya fajonként változik. A genetikai program, amelyik ezt szabályozza, többé vagy kevésbé nyitott. A tanulási idő, az érzékeny időszak, szenzitív periódus azonban, amely a fiókák, kölykök rendelkezésére áll, bár szintén fajonként változik, meglehetősen rövid. A fiatal hím pinty például, ha életének első néhány hetében nem tanulta meg a felnőttektől a fajtára jellemző dallamot - annak ellenére, hogy ő maga csak 8 hónapos kora után kezd énekelni -, csak olyan éneket tud produkálni, amelynek hossza és frekvencia-tartománya megegyezik a többiekével, de nincs rendezett struktúrája és dallamszegény. A tanulásnak ezt a folyamatát imprintingnek, bevésésnek nevezik az etológusok. Vannak olyan fajok is, amelyek egész életükben képesek tanulni, ilyen például a kanári. A hím évről évre változtathatja repertoárját.

Akár így, akár úgy, az állatnak a fajára jellemző „nyelvet” kell megtanulnia, és a legtöbbször csak ezt tudja megtanulni. Bár vannak olyan madarak is, amelyek hangutánzó képessége csodálatos. Az énekes nádiposzáta hímje 76 faj énekét tudja utánozni.

További különbség: az állati kommunikációban a jelzések egyértelműek, intenzitásuk szigorúan arányos a közlendő tény, érzelem, állapot nagyságával, intenzitásával. Az emberi kommunikáció több- vagy sokértelmű tartalmát és intenzitását illetően is.

Mindezek a különbségek abból a különbségből fakadnak, amely az embert az élővilág többi tagjaitól elválasztja.

A jelekről szóló fejezetben már szó volt arról, hogy az állatok által használt jelek, a szimp-tómák az indexből fejlődtek ki, amikor az élőlény környezetében egy másik élőlény megjelent, s az állat tevékenysége a másik élőlény szempontjából mozgásként, valaminek a jelzéseként jelentkezett. A mozgás azután függetlenné vált a tevékenységtől. Ezt a folyamatot - mint láttuk, igaz, csak bizonyos mozgásformákra szűkített értelemben - ritualizációnak nevezik.

Az állati jelek megőrizték indexjellegüket, illetve bizonyos esetekben ikonjellegűekké váltak. Egyes szerzők a méhtánc szimbolikus jellegéről beszélnek, de ha jobban megnézzük, itt is - nagyon ügyesen kidolgozott - ikonikus jelekről van szó, a legelőkhöz vezető út modelljéről. Az állati nyelv tulajdonképpen az állat magatartásának jelentést hordozó elemeiből áll össze. Információátviteli tevékenységük során az állatok saját fiziológiai állapotukat kódolják jelekké, s ezeket a jeleket továbbítják. A hím pinty nem azért kezd énekelni, mert énekelni akar vagy énekelni támadt kedve, s nem is azért, mert a nősténynek akar örömet szerezni, hanem azért, mert a mirigyei által előállított tesztoszteron ezt a magatartást váltja ki. A vevő állatra az „üzenet” ingerként hat, s kiváltja a megfelelő magatartást, cselekvést. Ez most már az adóra hat ingerként, visszjelet vált ki, ami lehet újabb jelzés vagy cselekvés.

Az állatok nem csak azért nem beszélnek, mert nincs az emberhez hasonló hangképző szervük - bár ez is igaz -, hanem azért, mert nincs az emberéhez hasonló tudatuk. Az állatban, még a legfejlettebbekben, a csimpánzokban sem különül el egymástól a cselekvés célja, eszköze, s a cselekvő lény. Mindez egységes rendszert alkot.

Az elmúlt évtizedekben pszichofiziológusok, etológusok érdekes kísérleteket végeztek csimpánzokkal. A süketnémák jelbeszédére és különböző geometriai formákból álló nyelvekre tanították meg őket. A legközismertebb Allen és Beatrix Gardner kísérlete egy Washoe nevű nőstény csimpánzzal, „akit” az amerikai süketnémák jelbeszédére tanítottak meg. Washoe a jeleket mindig a helyzetnek megfelelően használta, képes volt újszerű kapcsolatokat létrehozni. A *Science et Vie* című francia folyóirat részletesen beszámolt ezekről a kísérletekről. (Magyarul megjelent az *Élet és Tudomány* 1987-es kalendáriumában.) Sőt a ketrecébe betett kis csimpánzt is - „akit gyermekévé fogadott” - megtanította a jelekre. Matsuzawa japán kutató pedig számolni tanított meg egy nőstény csimpánzt (ötig sikerült eljutnia vele).

Ezek a kísérletek sok vitát váltottak, s váltanak ki. Érvek és ellenérvek csapnak össze afelett, hogy a betanított csimpánzok teljesítményét hasonlíthatjuk-e vagy éppen egyenértékűnek vehetjük az emberi kommunikációval. Slater véleménye a következő: „Először is, akár akarja az ember a nyelvet címkével ellátni, akár nem, az a kommunikációs készség, amelyet az olyan csimpánzok, mint Washoe elértek, nyilvánvalóan figyelemre méltó. Másodszor: nagyon valószínűtlen, hogy noha a csimpánzok birtokában vannak ilyen képességeknek, ezek mégis kihasználatlanul maradnának. A természetben a csimpánzok társas állatok, laza csoportokban élnek. Lehet, hogy a hangok, taglejtések és arckifejezések, amelyeket használnak nem tűnnek számunkra bonyolultnak, előfordulhat azonban, hogy ezeknek igen gazdag jelentésvilága van, amit csak akkor fejthetünk meg, ha ugyanannyi erőfeszítést teszünk az ő nyelvük megértésére, mint amennyit már arra áldoztunk, hogy megpróbáljuk őket megtanítani a mi nyelvünkön beszélni” (Slater, 1987).

Bármennyire tanulékonyak is a csimpánzok, eddig még egyetlen csimpánzkölyök sem mutatott normális embergyerekre jellemző nyelvi kísérletezőképességet és -kedvet (Wilson, 1972).

S azt sem szabad elfelejtenünk, amit Balogh István hangsúlyoz: „A csimpánz azonban nem az emberré válás útján megállt tökéletlen élőlény, amelyet tovább lehetne lendíteni ezen az úton, hanem a zoológiai lépcsőnek azt a fokát képviseli, amelyben az index és a szimptóma kölcsönös egymásra hatása kialakult és nagyfokú tökéletességgel működik” (Balogh, 1979).

AZ INFORMÁCIÓS TÁRSADALOM

AZ INFORMÁCIÓ FORRADALMA

Az emberi társadalom - mint arra a bevezető fejezetben már utaltunk - a huszadik században ért el a fejlődésnek arra a fokára, amelyen az információ szerepe tudatosult. Úgy is mondhatnánk, a társadalom információtudatosává vált. A gazdasági tevékenység, az államigazgatás, a kultúra, a tudomány, egészségügy, oktatás, általában minden társadalmi tevékenység és szervezet rendkívül bonyolulttá vált, működése során egyre több információt termel, a vezérléshez, szabályozáshoz, egyáltalán kielégítő működéséhez egyre több információt igényel. Századunk közepére a mind súlyosabb információs gondokat a hagyományos eszközökkel és módszerekkel már nem lehetett leküzdeni. A tudomány ez alkalommal is eleget tett a társadalmi rendelésnek: létrehozta az elektronikus számítógépet. (Legyünk rosszmájúak? A társadalmi rendelést a hadsereg adta fel.) Az információfeldolgozás, -tárolás, -szállítás technikája, az információtechnika - a mikroelektronika példa nélkül álló felfutására támaszkodva - néhány év alatt robbanásszerű, gyors fejlődésen ment keresztül, behatolt az emberi tevékenység minden területére, s gyökeres változások hajtóerejévé vált. Ezt a folyamatot nevezzük az információ forradalmának.

Hogy mikor tört ki az információs forradalom?

A kérdéssel foglalkozó szakemberek egy része úgy véli, hogy az 1956-57-es évet tekinthetjük a fordulópontnak. Mint a későbbiekben látni fogjuk, 1956-ban jelentek meg a második generációs számítógépek, amelyekben a tranzisztor alkalmazása óriási minőségi ugrást jelentett a korábbi elektroncsöves berendezésekkel szemben, a Szovjetunióban 1957-ben lőtték fel a Szputnyikot, amely a műholdas távközlés hajnalát jelentette, s ebben az évben haladta meg az Egyesült Államokban az információs dolgozók száma a fizikai dolgozókéét. (Nem az informatikusokét! Lásd a továbbiakban.)

A hajdani ipari forradalom és a mai információs forradalom összehasonlítása nagyon érdekes és lényeges különbségeket hoz felszínre.

A klasszikus ipari forradalom energiaközpontú volt (hajtóerő-forradalom”). Az ember fizikai erejét pótolta, egészítette ki, sokszorozta meg, illetve helyettesítette a gépek erejével, s ehhez kezdetben a gőz energiáját, majd más energiafajtákat - a villamos energiát, a kőolajban rejlő energiát, az atomenergiát - állította szolgálatába. A gépesítés forradalmának kezdetét Wyatt fonógépe jelezte. A gépek nem csak az ember erejét, hanem bizonyos mértékig kezűgyességét is helyettesítették.

Napjaink forradalma információközpontú, s az alakuló társadalomban az információfeldolgozó gép, az információs rendszer válik tipikussá. Ez nem az ember fizikai erejét növeli, hanem szellemi munkavégző, ismeret-feldolgozó képességét.

Az ipari forradalom fő erőforrásai az energia (energiahordozók) és a nyersanyagok voltak. Napjainkban az információ válik a legfontosabb stratégiai erőforrássá. A gazdasági életben a kitermelés, a feldolgozás és a szolgáltatás mellett megjelenik a negyedik, az információs szektor, mellyel a gazdaságtan új ága, az információ-gazdaságtan foglalkozik.

Az információ, mint erőforrás és mint áru - mert az is - gyökeresen különbözik az energiától és a nyersanyagoktól, illetve más hagyományos áruktól. Az ipari termékekkel ellentétben, az információ a felhasználással nem fogy el, sőt gyarapodik, s ha a felhalmozódott információhoz újat adunk, az egész készlet minősége javul. Ha eladják, nem megy át a szó megszokott értelmében a vevő tulajdonába, illetve átmegy, de az eladó tulajdonában is marad (Bernard Shaw-t parafrázálva: ha neked is van egy információd, s nekem is van egy, és kicseréljük őket, akkor mindkettőnknek két információja lesz.) A használattal sem mennyisége, sem értéke nem csökken. Csökken viszont az idő függvényében. Ezért az információs kereskedelemben megváltozik az idő szerepe, s nem csak azért, mert az információ időérzékeny, hanem azért is, mert a szállításhoz szükséges idő a hagyományos árukéhoz viszonyítva elhanyagolható. (Természetesen nem a tartósan rögzített, például könyvekbe zárt információkra gondolunk.)

Az információ időérzékenységeinek illusztrálására szolgáljon a következő adat: a Reuter hírügynökség bevételeinek 89%-át monitor service nevű szolgáltatásának köszönheti, amely percre kész tőzsdei információkkal látja el 35 ezer előfizetőjét.

Az információ gyökeres változást hoz a másik két erőforrás, az energia és a nyersanyag felhasználásában. A számítógépes tervezés, folyamat- és gyártásirányítás, a közlekedés, szállítás, fűtés, világítás stb. stb. szabályozása nagyfokú optimalizálást tesz lehetővé. A szükséges számításokat, amelyeket az ember valós idő alatt képtelen elvégezni, pillanatok alatt és maximális pontossággal elvégzi. (Pl. egy alkatrész, gép- vagy épületelem tervezésénél pontos szilárdságtani számítások alapján lehet megállapítani a szükséges méreteket a minimális tűrési határokkal, vagy egy vegyipari folyamatban a paramétereket a legszűkebb határok közé lehet szorítani stb.) Mindez együttesen az energia- és nyersanyag-megtakarítás mellett a termelékenység nagyfokú növekedéséhez, a minőség javulásához vezet. Magukban az információs folyamatokban, mivel az energiát szimbólumok, nem pedig fizikai tárgyak feldolgozására, mozgatására használják, a jelhordozók megfelelő redukálásával az anyag- és energiafogyasztás a fizikai törvények szabta határokig csökkenthető. Az entrópiáról szóló fejezetben pedig szó volt arról, hogy az információ negentrópia termelésére használható.

Parker amerikai kommunikációkutató véleménye szerint mindez azt jelenti, hogy az információs korban elméletileg lehetséges a korlátlan gazdasági növekedés, még ha az anyag és energia viszonylatában a nullnövekedés helyzetét érnék is el.

Azért nem mindenki értékeli ilyen nagyra az információt. B. Cronin például ezt írja: „Az információ hozzájárulása a sikeres gazdasági működéshez nem lehet kérdéses, de ez nem jelenti még azt, hogy az információ a fejlett gazdaságok elsődleges terméke lett. Az információn alapuló gazdaságok felé tart a világ, de messze van attól, hogy a gazdasági jólét teljes mértékben az információs áruk és szolgáltatások termelésétől, értékesítésétől, külkereskedelmétől függjön. Végtére is az ember nem élhet meg pusztán információból” (Cronin, 1986).

Az ipari forradalmat követő iparosítás és a klasszikus automatizálás létrehozta a tömegtermelést. A termékek ára jelentősen csökkent, de ezért az uniformizálódással kellett fizetni. Ugyanakkor a termelési folyamat az embert alárendelte saját szükségleteinek (a gépek ritmusa, futószalag, szigorúan megszabott műszakváltás stb.). Az ipari forradalom kis túlzással az embert is gépesítette.

Az információs forradalom az individualizálódás ma még fel sem becsülhető lehetőségeit bontakoztatja ki. A számítógéppel segített tervezés és termelés integrálásával olyan rugalmas rendszerek alakíthatók ki, amelyek egyedi darabokat állíthatnak elő tömegcikkáron, s nem csak a termelésben, a szolgáltatásokban is - tájékoztatás, oktatás, szórakozás - az interaktív, sokcsatornás rendszerek a választék széles skáláját teszik elérhetővé, az egyéni és tömegkommunikáció közötti határok elmosódnak, a passzív befogadástól az aktív részvételhez vezetnek. A szolgáltatások automatizálása létrehozza az „önkiszolgáló” társadalmat. „A naiv felhasználó és egy összetett eljárás közé egy darab hardvert és szoftvert csúsztatnak, amely mindenki számára lehetővé teszi, hogy olyan dolgokat tegyen, melyeket tulajdonképpen képzettsége alapján nem tudna” (Haefner, 1990)

Igen lényeges különbség az ipari és az információs forradalom között, hogy előbbi az iparban, a termelőszférában zajlott le, és csak áttételesen, közvetve, s nagy „átfutási idővel” befolyásolta a társadalmi élet más területeit. Az információs forradalom ezzel szemben mindenütt zajlik, a gyárakban, az iskolákban, kórházakban, családi otthonokban, s közvetlenül és azonnal kihat az élet minden területére, mindenütt mélyreható, teljesen még át sem látható változásokat idéz elő.

S végül óriási különbség van a két forradalom kibontakozásának „időparamétereiben” is. Az információs társadalomról szóló könyvében Yoneji Masuda érdekes összehasonlító táblázatot közöl (Masuda, 1980).

Ha esetleg nem is értünk mindenben egyet Masuda kritérium választásaival, azt mindenképpen elfogadhatjuk, hogy az információs forradalom 3-6-szor gyorsabban zajlott le, mint az ipari forradalom. Masuda az adatok összevetéséből arra a következtetésre jut, hogy az információs társadalom legfelső foka Japánban kb. a XXI. század első évtizedének végére fog megvalósulni. Az Egyesült Államokban ez a folyamat a jövő század második évtizedében zárul le. Az információs forradalom három „főszereplője” az elektronikus számítógép, a távközléstechnika, s a mindkettő fejlődését döntően meghatározó mikroelektronika.

Vessünk egy pillantást a három terület fejlődésére.

Az elektronika fejlődése

Az információs társadalmat műszaki szempontból joggal nevezhetjük az elektronika, illetve a mikroelektronika társadalmának, hiszen az információ-feldolgozás, -szállítás, -tárolás terén elért eredmények elsősorban az elektronika fejlődésének köszönhetőek. A gyökerek még az elektroncső-korszakba nyúlnak vissza: az elektronikus számítógépek első nemzedékének fő alkotóeleme az elektroncső volt.

A hajtóerő-forradalom és az információs forradalom ütemének összehasonlítása

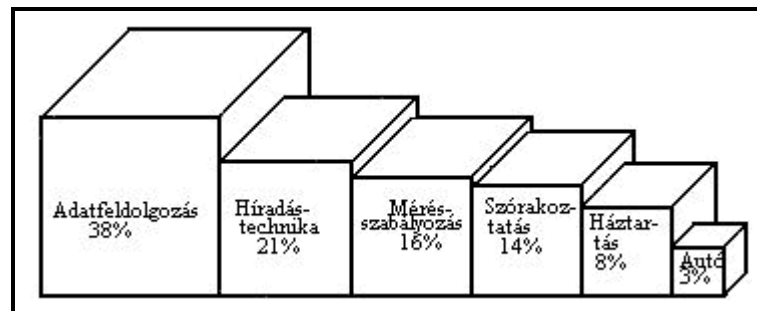
A	Hajtóerő-forradalom		B	Információs forradalom			Arány
A technika fejlődése	Newcomen féle gép	1708	229 év	Első generációs számítógép	1946	36 év	6,4:1
	Gőzgép	1775		Második generációs számítógép	1965		
	Vasút	1829		Harmadik generációs számítógép	1965		
	Gépkocsi	1909		Negyedik generációs számítógép	1982		
	Sugárhajtású repülőgép	1937					
A kulcsfontosságú gépek és rendszerek elterjedése	1500 gőzgép	1708 1800	92 év	30.000 számítógép	1946 1966	20 év	4,6:1
	1000 gépi szövőszék	1784 1833	49 év	Automatikus adatfeldolgozás	1946 1955	9 év	5,4:1
Ipari fejlődés	Az amerikai transzkontinentális vasút megépítése	1828 1869	41 év	Egy országos információs hálózat kialakítása Amerikában	1965 1972	7 év	6,0:1
	A gyáripar „vezető iparággá válása” [*]	1708 1909	201 év	Az információs iparok vezető iparággá válása	1946 1990	44 év	4,6:1

A mikroelektronika kialakulásának első állomása a tranzisztor feltalálása volt. W. Shockley, W. H. Brattain és J. Bardeen a félvezetők kutatása során jutott el 1948-ban a korszaknyitó találmányhoz, amelyért azután 1976-ban Nobel-díjat kaptak. Hosszú - elméletileg korlátlan - élettartamával, kis méretével és kis fogyasztásával a tranzisztor rövid idő alatt elavulttá tette az elektroncsövet. Megjelent az elemmel működő hordozható készülék, s a számítógépek második nemzedéke.

A tranzisztor feltalálása tette lehetővé a nyomtatott áramkörök kialakítását. (Az első nyomtatott áramkör. 1958-ban készült.) A hordozólemezre erősített építőelemeket - tranzisztorokat, ellenállásokat, kondenzátorokat - a nyomtatott huzalozás köti össze. Ez a megoldás kiküszöböli az időigényes, meghibásodásra mindig hajlamos légforrasztást, s a hibás összekötéseket.

^{*} Masuda az autóipar megteremtésétől számítja.

A fejlődés következő állomása az integrált áramkör megjelenése volt. Az elnevezés azt jelenti, hogy a hordozó szilíciumlemezen egyetlen gyártási folyamatban állítják elő a kapcsolási elemeket - mikroalkatrészeket - és az összekötő vezetópályákat.



32. ábra. A mikroelektronika alkalmazása különböző területeken.

Szakemberek az integrált áramkör feltalálását a könyvnyomtatáséhoz hasonlítják, olyan ugrásnak tekintik, mint az áttérést a kódexmásolásról a sajtóra. Sőt még nagyobbak, mert rövid idő alatt az egész társadalmat megrázta. A tetszés szerinti darabszámban, több nagyságrenddel olcsóbban és nagyságrendekkel megbízhatóbb minőségben előállítható elemek az élet minden területén nagy változásokat idéztek elő. Kezdetben - az első integrált áramkört 1959-ben készítették, de kereskedelmi forgalomba 1962-ben került - a néhány négyzetmilliméteres szilíciumlapkán alig egy-két építőelem fért el. Néhány év múlva azután megjelentek a nagymértékben integrált áramkörök (large scale integrated = LSI 1968), majd a nagyon nagy mértékben integrált (very large scale integrated = VLSI) áramkörök. A néhány elemből néhány száz, majd néhány ezer elem lett, s ma már ott tartanak a miniatürizálásban, hogy egy szilíciumlapkára (chipse) több mint 10 millió áramköri elemet tudnak felvinni. Gábor Dénes a nagy integráltsági fokú technológiát századunk legfontosabb találmányai között említi. Az integráció előnyei egy mondatban: nagy teljesítőképesség, nagy megbízhatóság, kis méret és alacsony ár. Természetesen az integráltság fokának növekedését az újabb és újabb gyártási eljárások, technológiák tették lehetővé.

Az integrált áramkörök fejlődése nagy hatással volt minden olyan terület fejlődésére, amelyen ún. gyengeáramú köröket alkalmaznak - pl. videó- és hangtechnikai berendezések, mérés-technikai eszközök stb., de a legnagyobb befolyást a számítástechnika fejlődésére gyakorolta.

A számítógép

Amint az első ipari forradalomnak a gőzgép, úgy korunk információs, kibernetikai és mikroelektronikai forradalmának az elektronikus számítógép vált a jelképévé, s ez természetes is, hiszen - hogy a szóképet továbbvigyük - ez volt a fegyver, amellyel a társadalom a forradalmat végrehajtotta.

Hogy a számokkal végzett alpműveletek nem jelentenek igazi szellemi tevékenységet, s könnyen „gépesíthetők”, azt már az ókori görögök és rómaiak tudták, s fel is találták az abacus (görögül abax) nevű „számítógépet”, amelyet sok országban (pl. Oroszországban) napjainkig használtak, használnak az aritmetikai alpműveletek elvégzésére az elemi oktatásban és a kereskedelemben.

Az első mechanikus számítógépet, amely a négy alpművelet elvégzésére volt alkalmas, W. Schickhard, a tübingeni egyetem tanára találta fel 1623-ban, majd két évtizeddel később, mit sem tudva róla, a húszéves Blaise Pascal készítette el összeadó gépét. Ebben a fogaskerekek elmozdulása felelt meg a számoknak. A pascali alapelveket továbbfejlesztve szerkesztette meg

1673-ban a maga szorzógépét Leibniz. Az informatika történetének ő az első nagy alakja, akit Wiener nem véletlenül választott a kibernetika védőszentjének. Ő fedezte fel a kettősalapú számrendszert, lerakta az alapjait a szimbolikus logikának, s elképzelte az ismeret-feldolgozó gépet. A szorzást ismételt összeadással megvalósító Leibniz-kerék volt a „processzora” C. X. Thomas Arithmometerének (1820), s a még ma is használatos elektromechanikus asztali számítógépnek.

A korszerű értelemben vett számítástechnika nagy úttörői között előkelő hely illeti meg Charles Babbage-t. Ő álmodta és tervezte meg a múlt század közepén az automatikus, programozható, tárolóval rendelkező számítógépet. Tervét azonban nem tudta megvalósítani, kora technikai színvonala nem tette ezt lehetővé. (Száz évvel később az ő álmai valósultak meg Stibitz elektromechanikai elemekből, relékéből felépített számítógépében, de késve - elkésve, mert már készülöben volt az elektroncsöves ENIAC.)

1945 decemberében megszületett az ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator), az első teljesen elektronikus számítógép.

Az emberiség új korszak küszöbére érkezett. (A számítógép-történelem „őstörténetének” rövid összefoglalása megtalálható számos szakkönyvben, többek között lásd Adorján 1977.)

Ahhoz, hogy érzékelnünk tudjuk a fejlődést, idézzük fel az ENIAC adatait. 18 000 elektroncsövet, 70 000 ellenállást, 10 000 kondenzátort, 6000 kapcsolót tartalmazott, hossza 100, magassága 10 láb volt, 30 tonnát nyomott, teljesítményfelvétele 140 kW-ra rúgott, félmillió dollárba került, s másodpercenként 5000 műveletet tudott elvégezni.

Ebben az időben dolgozta ki Neumann János a számítógépek struktúrájára vonatkozó alapelveket. Ezek szerint a gépnek 5 alapvető funkcionális egységből kell állnia: bemenőegység, memória, aritmetikai egység, vezérlőegység, kimenőegység, s ami lényegesebb, mert döntően meghatározta a következő évtizedekre a számítógépek logikai struktúráját, a gép működését, a „tárolt program” elvére kell alapozni. Ez azt jelenti, hogy a gép a program utasításait az adatokkal együtt a központi memóriában bináris ábrázolásban tárolja, s a műveleteket - a Boole algebra műveleteit - ezek sorrendjében hajtja végre. A számítógépek az elmúlt negyven-egynéhány évben páratlan fejlődésen mentek keresztül, de elvi felépítésük nem változott. Csak napjainkban kezdenek megjelenni a nem-Neumann-elvű gépek.

Az alábbiakban tekintsük át röviden a számítógépek és a számítástechnika történetét 1945-től napjainkig. (A számítógép-generációk korszakai között nem lehet éles határt vonni, ezért a különböző forrásokban kisebb-nagyobb eltérésekkel találkozunk.)

1945-től 1956-ig tartott az első generációs számítógépek kora. Ezek az ENIAC-hoz hasonló elektroncsöves digitális gépek voltak. Felépítésükre jellemző az öt funkcionális egység szintézise. Rendszertechnikailag processzor centrikusak, a tárolás eszközei a késleltető művonal (késleltető vonalas tár), a mágnesdob és az elektroncső. Természetesen egyre tökéletesebbé váltak, tárcapacitásuk elérte a 2 kilobájt-ot, műveleti sebességük a 10.000 műveletet másodpercenként (10 KIPS=kiloinstructions per secundum). A programozás még főleg gépi kódban, majd az Assembly gépi nyelven történik, s ezért igen nehézkes, fárasztó és időigényes. Főbb alkalmazási területük a katonai és tudományos-műszaki számítások. A magas költségek és a nehézkes kezelhetőség miatt ezek a gépek csak nagyon lassan terjedtek. A legnagyobb gondot az elektroncsövek gyakori meghibásodása jelentette. A sok-sokezer elektroncső között - mivel élettartamuk korlátozott - mindegyre akadt néhány, amelyik „beadta a kulcsot”.

1957-től 1963-ig számítjuk a második generációs gépek korszakát. Az elektroncsöveket felváltják a tranzisztorok, megjelennek a ferritgyűrűs belső táruk, háttértárként közvetlen elérésű mágneslemezeket kezdenek használni. A belső tár kapacitása 32 kilobájtra nő, a műveleti sebesség pedig eléri a 200.000 műveletet másodpercenként (200 KIPS). A nagyobb tárkapacitás lehetővé teszi ún. fordítóprogramok tárolását - ezek kódolják a magasabb szintű nyelveken írt programokat gépi kódba -, lehetővé válik az emberhez közelebb álló, problémaorientált nyelvek kidolgozása és széles körű elterjedése. Az első ilyen nyelvek a FORTRAN (FORmula TRANslator), ALGOL (ALGOrithmic Oriented Language), COBOL (COmmon Business Oriented Language). Az alkalmazási területek a gazdasági számításokkal bővülnek, a számítógép betör a gazdasági életbe, s ez igen jótékony hatással van a további fejlődés ütemére.

1964-től 1981-ig tart a harmadik generáció uralma. A tranzisztorokat kiszorítják az integrált - egyelőre az alacsony és közepes integráltsági fokú - áramkörök. Megváltozik a gépek struktúrája, átalakulnak funkcionális egységei, kialakul a fejlett, egységes csatornarendszer, amely közvetlen kommunikációs kapcsolatot biztosít az egységek között. Rendszertechnikailag ezek a gépek memóriacentrikusak, a funkcionális egységek, perifériák közvetlenül - a központi egységtől, a processzortól függetlenül - igénybe vehetik a központi memóriát. A perifériális eszközök széles skálája alakul ki. A perifériák és a központi egység sebessége közötti különbség kiegyenlítésére kidolgozzák a multiprogramozás módszerét és az időosztásos rendszert. Előbbi azt jelenti, hogy ha a központi egységnek valamilyen okból szünetelnie kell valamelyik program futtatását, akkor rátér egy másik programra, utóbbi pedig azt, hogy a gépbe beépített óra segítségével osztja szét kapacitását a különböző feladatok között. A harmadik generációs gépek belső tárkapacitása 2 megabájt, műveleti sebessége 5 MIPS. Jellemző vonásuk az univerzalitás és a többfelhasználós párbeszédű üzem mód. A felhasználási területek tovább bővülnek, megjelennek az információs rendszerek, a technológiai, folyamatirányítási, gazdasági-vezetési rendszerek, a számítógépes tervezés csirái stb.

A számítógépek rövid történetében az 1971-es esztendő jelentette az igazi nagy áttörést. Az Intel cég piacra dobta az első mikroprocesszorokat. Egyetlen szilíciumlapkára sikerült összehúzóítani a számítógép központi egységét, a számtani és logikai műveleteket végrehajtó processzort. Az évtized közepére egy lapkán már egy egész számítógépet helyeztek el: a mikroprocesszort, a vezérlőelemeket, az információk őrzésére alkalmas tárukat, s a ki- és beáramlásukat irányító áramköröket egyaránt.

A mikroprocesszorokkal együtt jelentek meg a szilíciumlapkákra sűrített központi tárelemek. A hetvenes évek elején még csak egy kilobyte-os lapkákat gyártottak (1 kb=1024 byte=1024 betű vagy tízes számrendszerű számjegy), az évtized végére a tárkapacitás elérte a 64 kb-t, majd 1983-ban megjelentek a 256 kb-s táruk.

Ma már a tárelemek kapacitását Megabytokban mérik.

Három fő típusuk ismeretes: a RAM, a ROM és az EPROM.

A RAM a Random Access Memory rövidítése, jelentése: közvetlen elérésű tár, a felhasználó úgy dolgozhat vele, mint a mágneslemezzel, tárcsával, kiolvashatja, beírhatja, törölheti az információkat, csak az információhoz való hozzáférés ideje sokkal rövidebb és egyforma minden sejt esetében. A ROM (=Read Only Memory) csak olvasásra alkalmas, azaz a bevitt információk egyszer, s mindenkorra beíródnak, s a felhasználó csak ezekkel tud dolgozni. Az EPROM (=Eraseable Programable Read Only Memory) azt jelenti, hogy a beírt információkat ki lehet törölni, s újakkal helyettesíteni, de csak különleges módszerekkel, s nem felhasználás közben.

A miniaturizálás eredményeként jelentek meg, s terjedtek el hihetetlen gyorsasággal a mikroszámítógépek, a személyi számítógépek és az egyre több műveletre képes zsebszámítógépek. (A személyi számítógépek elterjedését az írni-olvasni tudásnak a könyvnyomtatás felfedezése utáni, robbanásszerű elterjedéséhez hasonlítják.) A nyolcvanas évek számítógépei háromszáz-ezerszer kisebbek, tízezerszer gyorsabbak, mint első generációs „őseik”, megbízhatóságuk, a tárolókapacitásuk 6-10 nagyságrenddel nőtt. A költségsökkentést is nagyságrendekben lehet kifejezni. (Csupán 1992-ben egyharmaddal zuhantak a számítógépárak az amerikai piacon.)

A mikroprocesszorok megjelenése nem csak a számítógépipart forradalmasította. Azt mondhatnánk, hogy tulajdonképpen velük indult meg a társadalom informatizálása. A mikroprocesszoros vezérlés és szabályozás mind szélesebb körben terjed, jelentősen növeli a gépek, berendezések, eszközök hatékonyságát, csökkenti az energiafogyasztást, hozzájárul környezetünk védelméhez.

A hardver rohamos fejlődésével párhuzamosan súlyponteltolódás is bekövetkezett. A számítástechnika fogalma kibővült, új célkitűzések jelentek meg, azt kezdték kutatni, hol és hogy lehetne minél nagyobb hatékonysággal alkalmazni a számítástechnikai eszközöket az intellektuális tevékenységek végzésében. Ez már a szoftver területe.

A programozási nyelvek tovább tökéletesednek. Olyan magas szintű nyelvek jelennek meg, mint a PASCAL, a LISP stb. Megindul a mesterséges intelligencia kutatása, kidolgozzák az első szakértő rendszereket.

1982-től beszélünk a negyedik generációról. Jellemző vonása a nagyon magas integráltsági fokú áramkörök felhasználása. Mindazok a tendenciák, amelyek már a harmadik generációnál jelentkeztek, kibontakoznak, megerősödnek. Új típusú táruk jelennek meg: a mágneses buborék, az optikai lemez. A tárkapacitás eléri a több megabájtot, s a feldolgozási sebesség a 30 MIPS-et. A mini- és mikroszámítógépek széles körben elterjednek (személyi számítógépek), behatolnak a munkahelyekre, családi otthonokba. A párbeszédés üzemmód uralkodóvá válik. Bár a munka nagy hányadát még mindig a numerikus információk feldolgozása jelenti, feltűnnek a szimbolikus információkat feldolgozó rendszerek, a grafikus információ be/kiviteli berendezések, szövegszerkesztők. A szoftverkutatás és -fejlesztés egyre nagyobb hangsúlyt kap, a leggyorsabban fejlődő kutatási terület a mesterséges intelligencia és a vele kapcsolatos kérdések (alakfelismerés, beszédfelismerés stb.). Megjelennek és mind szélesebb körben terjednek a számítógépes hálózatok. Az iparban teret hódítanak a számítógépes tervező és gyártásirányító rendszerek (CAD/CAM - Computer Aided Design, Computer Aided Manufacturing). Különböző információs szolgáltatások születnek (teletex, telefax stb.). Kezdetét veszi az informatika és a távközlés integrálódása. A számítógép struktúráját illetően a leglényegesebb változás, hogy az egyprocesszoros Neumann-elvű gépek mellett megjelennek az új elvi alapon felépülő többprocesszoros gépek.

A Neumann-elvű számítógépek - mint már említettük - programvezérlésűek. Ez azt jelenti, hogy a program pontosan és abszolút módon megszabja munkájuk menetét.

A többprocesszoros, párhuzamos struktúrájú számítógépek új vezérlési módokat tesznek lehetővé, sőt igényelnek. Eddig két lehetőséggel folynak kísérletek. Az egyik az adatáramlásos rendszer. Lényege, hogy a gép szerkezetét egy irányított gráf írja le, amelyben a csomópontok a feldolgozó egységek, az ívek pedig az egységeket összekötő fizikai kapcsolatok, csatornák. A processzorok nem a program által előre meghatározott sorrend szerint működnek. Addig várnak, amíg a működésükhöz szükséges összes adatot meg nem kapják, akkor végrehajtják a feladatukat, s az eredményt továbbadják a következő csomópontban levő egységnek. Az igényvezérelt gépek működése abban különbözik az előbbiektől, hogy a csomópontokban a

feldolgozó egységek akkor hajtják végre a műveleteket, amikor egy másik csomópontnak szüksége van a kimenetükre.

Az elmúlt negyvenöt év fejlődését a következőkben foglalhatjuk össze:

- a számítógépek teljesítménye, kapacitása, műveleti sebessége, megbízhatósága nemzedékről nemzedékre több nagyságrenddel nőtt;
- a mikroelektronika, a miniatürizálás fejlődése következményeként a méretek jelentősen csökkentek;
- a számítógépek ára, a teljesítménnyel fordított arányban, nemzedékről nemzedékre rohamosan csökkent;
- a számítógép „képességeinek” fejlődésével a szoftver egyre sokoldalúbbá, rugalmasabbá, s ugyanakkor egyre „barátságosabbá” vált;
- az alkalmazások területe rohamosan bővül, a lehetőségek új és új igényeket szülnék, s ezek visszahatnak a műszaki fejlesztésre.

A fejlődésnek új szakaszát jelzi az ötödik generáció megjelenése. A japánok hirdették meg 1982-ben az Ötödik Generációs Számítógéprendszer Tervét (angolul: FGCS = Fifth Generation Computer System Project). Ez a monumentális, grandiózus terv egyben az információs társadalom megvalósításának terve. Míg az előző generációk számítógépei az elvi alapokat illetően nem különböztek egymástól (csupán a negyedik generáció gépeinél találkozunk új kulturális elképzelésekkel), az ötödik generáció tagjai elvi alapjaikban különböznek elődeiktől. A japánok nem is számítógépről, hanem ismeret- (tudás-) feldolgozó rendszerekről (KIPS = Knowledge Information Processing System) beszélnek. Mi a lényege ennek a megkülönböztetésnek? Eddig a számítógépek az adatok viszonylag durva, elsődleges feldolgozását végezték, aritmetikai-logikai módszerekkel. Az új nemzedék az ismeretek, a tudás intelligens feldolgozását fogja végezni az emberi gondolkodásmóddhoz, érzékelésmóddhoz közel álló mesterséges intelligencia módszereivel. A számítási eljárások helyét a logikus következtetés veszi át.

Ami a hardver alapelemeit illeti, az ötödik generáció nem jelent forradalmat, nem hoz olyan gyökeresen új megoldást, mint amilyent a második vagy a harmadik generáció jelentett (áttérés az elektroncsőről a tranzistorra, illetve az integrált áramkörre). Tovább nő az elemek, az áramkörök integráltsági foka, s előbb-utóbb eléri a felső határt. A gépek feldolgozási sebessége ezerszer, tárcapacitása tízezerszer lesz nagyobb a jelenleginél. A szilíciumlapkák azonban nem csak az áramköri elemek száma lesz nagyobb, hanem struktúrájuk is bonyolultabbá, komplexebbé válik. Különböző feladatokra specializált logikai áramköröket fejlesztenek ki. Olyan tárolórendszereket alakítanak ki, amelyekben a logikai és memória-funkciókat egyesítik, s egyes feladatokat közvetlenül a tárolón belül végeznek el. Valószínű, hogy már az ötödik generáció gépeiben megjelennek, egyelőre csak néhány eszközben, a szilícium alapú félvezetők helyett a galliumarzenid alapú és a Josephson-effektuson alapuló alkatrészek. Egyébként, ami az ötödik generációs gépeket gyökeresen megkülönbözteti az előzőktől, az éppen a felépítés, a struktúra. Általánossá válnak a sokprocesszoros, hierarchikus felépítésű számítógépek (az egyik japán konstrukcióban például 876 processzort kapcsolnak össze), melyek elsősorban adatáramlásos vezérléssel fognak működni, s ugyanúgy, ahogy a számítógép belsejét bonyolult hálózat alkotja, a gépek maguk is bonyolult hálózatokká kapcsolódnak majd össze. A rendszer fogalma kitágul, most már nem a számítógépet, hanem a hálózatot tekintik rendszernek.

A japán projekt a hardver- és szoftverfejlesztést egységes egésznek tekinti, s célkitűzéseiben, a megvalósítandó rendszerekben a kettő szervesen összefügg egymással.

Milyen témák szerepelnek a nagy tervben?

Az alábbiakban csupán ízelítőül sorolunk fel néhány témát:

- gépi fordítás: olyan rendszer kialakítása, amely szótárában legalább 100.000 szót tartalmaz, 90%-os pontossággal dolgozik, elvégzi a kisegítő tevékenységeket (szövegszerkesztés, kinyomtatás stb.) és 70%-kal olcsóbb, mint az emberi fordítás;
- szakértői rendszerek és ilyeneket előállító rendszerek;
- alak- és színfelismerés: olyan adatbázis kiépítése, mely legalább 100.000 visszakereshető alak- és képelemet tartalmaz; a rendszer képes legyen néhány másodperc alatt memorizálni egy alak vagy kép elemeit, és kb. 100 mp alatt visszakeresni egy alakot vagy képet;
- beszédfelismerés: olyan rendszer felépítése, amely több száz - nyilván különböző hangú - ember beszédét „megérti”;
- beszélő, beszédre fennhangon válaszoló gép: a kérdés megértése, válasz összetett, komplex struktúrák alakjában, beszélgetés természetes nyelven.

Hogy milyen igényeket támasztanak a géppel szemben ezek a feladatok, annak illusztrálására elegendő két adat: egy problémamegoldó rendszer 100-1000 MLIPS teljesítő-képességű gépet kíván (1 MLIPS=1 Mega Logical Inference per Second = egymillió logikai következtetés másodpercenként). A mai szuperszámítógépek műveleti sebessége 10^3 - 10^5 LIPS.

Az ötödik generációs számítógépekről és a japán tervről részletes leírás található Doi, Furukawa és Fudri, valamint Shugeru Sato és Masakitsu Sugimoto cikkében (Doi et al., 1987, Sato - Sugimoto, 1986).

A hardverrel együtt alakultak a programozási nyelvek is. A ma használt nyelveket a következő osztályokba sorolhatjuk:

- parancsnyelvek: a parancsokat utasításlista formájában írják, a számítógép a programozó által előírt sorrendben hajtja őket végre. A jelenleg használt nyelvek többsége parancsnyelv. Ezek: a Basic, Pascal, Forth, PL1 és C (a C és a Pascal tudásbázist is kezelni tudó strukturált nyelv). Ezeket a nyelveket azokban az alkalmazásokban, amelyekben ugyanazt a műveletet sokszor kell elvégezni, továbbra is használni fogják;

- kijelentőnyelvek: nem utasítások sorozata. Információgyűjtéssel hozzuk létre. A kijelentőnyelv megengedi, hogy állításokat alkossunk a világról, majd kezeljük és vizsgáljuk ezeket. Két csoportjuk van:

- funkcionális nyelvek: bizonyos funkciókat kezelnek. Legfontosabb közöttük a LISP (LIST Processing), amely egyedi tulajdonságok listáját kezeli. A tulajdonságok a program részei. Előnye, hogy könnyen lehet hozzáadni, törölni, rendezni és újrarendezni a tételeket.

- logikai nyelvek: a logika szabályaival meghatározhatjuk az érvek érvényességét és a létező tényekből új tényeket határozhatunk meg („modus ponendo ponens”). A logika kifejezhető predicate calculus formájában. (A tárgyak az argumentumok, a köztük lévő viszony az állítás). Ilyen felépítésű a Prolog nyelv. (PRogramming in LOGic).

A szoftver előállítás napjainkban különösen dinamikusán fejlődő iparággá vált.

Ami a gazdasági vonatkozásokat illeti, az elektronikai ipar - beleértve természetesen a számítógépipart is - az elmúlt évtizedekben töretlenül fejlődött, növekedett, érintetlenül hagyták a válságok, recessziók, s ma már egyenrangú az acéliparral és az autóiparral.

A távközlés

Az információs forradalom harmadik szereplőjének története a legősibb korba nyúlik vissza. Már a legprimitívebb emberi közösségekben szükség volt arra, hogy az információkat nagyobb távolságra tudják eljuttatni. Erre a célra hosszú évezredekig két eszköz, két információhordozó állt az emberiség rendelkezésére: a hang és a fény. Az utóbbi gyorsabban és messzebb terjed, az előbbit viszont kevésbé állítják meg az útjába kerülő akadályok. Az őserdőben például bajosan lehetne fényjelekkel nagyobb távolságra üzenni, dobszóval annál inkább. Fátlan síkságokon, hegycsúcsok között viszont a fényjelek váltak be jobban.

Hogy a távközlés jelentőségét mennyire megértették már az ókori görögök, azt jelzi, hogy Hermes személyében külön istent is képzeltek el a hírvivők képviselőjére. Az ókor nagy birodalmait nem is lehetett volna kormányozni jól kiépített távközlési hálózat nélkül.

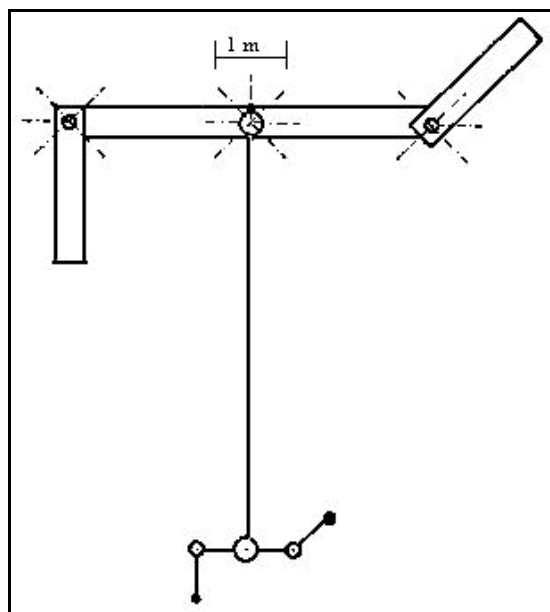
A fényjelek használatáról Homérosz ezt írja az Iliász 18. énekében:

*Mint amikor füstfelleg száll föl a légbe a várból,
messze szigetről, melyet az ellenség bekerített
s ők az egész nap a gyűlölt Árészsal civakodnak,
várukból ki-ki törve; de végül napnyugováskor
fáklyatüzek gyúlnak ki sűrűn, s felszökken a fényük
messze magasba, hogy észrevegyék, kik körbe lakoznak
hátha segíteni jönnek, a vést tovaűzni hajókkal ...*

Devecseri Gábor fordítása.

Agamemnón fáklyapostájáról pedig Aiszkhülosz Agamemnón című tragédiájában olvashatunk.

A tizenkilencedik század elejéig a távközlés főleg az optikai jelek továbbításán alapult. Különböző jelrendszereket és kódokat találtak ki ismert és kevésbé ismert emberek. Francis Bacon nevét kell megemlítenünk, aki az első bináris kódot kidolgozta. Két betűből, az a-ból és a b-ből ötjegyű szavakat képezett, s ezekkel kódolta az egész ábécét. Például: a=aaaaa, b=aaaab, s=baaab, z=babbb. A sok elképzelés, kísérlet, javaslat közül az egyetlen, amelyet gyakorlatban alkalmaztak és segítségével egy ország - Franciaország - távközlési hálózatát kiépítették, Claude Chappe (1762-1805) optikai távközlő rendszere volt. Ezt nevezték a világon először telegraphnak.

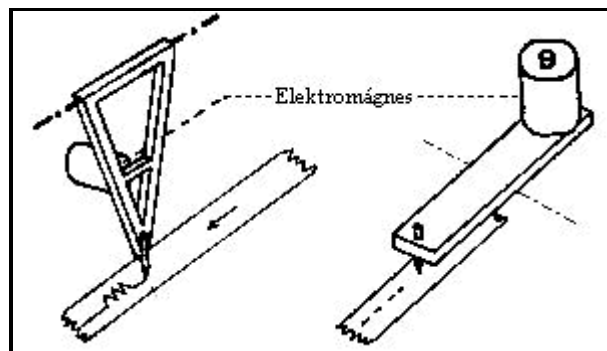


33. ábra. Chappe optikai telegraphja.

A karok mozgatásával 196 különböző mértani alakzatot lehet kialakítani. Az állomások a domborzati viszonyoktól függően 4-15 km távolságra voltak egymástól, s egy harminc szavas üzenet Lille-ből Párizsba egy óra alatt jutott. Egy jel néhány perc alatt futotta be ezt az utat. A rendszer az 1840-es évek közepéig volt szolgálatban. Hasonló rendszerű telegráf működött Poroszországban 1832-1849 között és Angliában 1827-től szintén a negyvenes évek közepéig.

Alig néhány évvel Galvani felfedezése után megszületett az első elektromos telegráf ötlete (Salva y Campillo). A következő években az elektromossággal foglalkozó fizikusok közül sokan dolgoztak ki valamilyen, az áram hatásán alapuló távközlési rendszert, különösen az áram mágneses hatásának felismerése után. Hogy csak néhány nevet említsünk: Ampère, Gauss, Cooke, Wheatstone. Ezek azonban mind csak technikátörténeti érdekességek.

Korszerű elektromos távközlésről, információátvitelről attól a pillanattól beszélhetünk, hogy Morse zseniálisan egyszerű és gyakorlatias táviróján leadta első pontokból és vonásokból álló üzenetét. A bemutató 1837. szeptember 4-én a New York-i egyetemen volt, 1838. április 6-án a Committee of Commerce nagyon kedvezően véleményezte a találmányt. 1843 márciusában a Kongresszus megszavazta a megfelelő alapot, s 1844. május 24-én Washington és Baltimore között megtörtént az első üzenetváltás. A hálózat a vasúttal párhuzamosan épült ki, s kezdetben főleg a közlekedés biztonságát szolgálta. Az Egyesült Államokban 1849-ben már 18.000 km volt a táviróvonalak hossza.



34. ábra. Morse első távirója.

Hogy akkor mennyire ismert volt már az elektromágneses telegráf és Morse neve, azt bizonyítja Cooper Tengeri oroszánok című, 1849-ben írt regénye, amelyben ezt olvashatjuk: „Ha Morse harminc évvel hamarabb elkészítette volna nagy találmányát...”

Az üzenetek továbbításának lehetősége új vállalkozások megjelenéséhez vezetett. A hír árujellegét és értékét felismerő vállalkozók egymás után alapították a hírügynökségeket; 1835 Párizs: Agence Havas (már a táviró feltalálása előtt működött, a külföldi lapok jelentéseiről tájékoztatta a francia sajtót, később távirati hírszolgálattal bővült, 1848 New York: Associated Press; 1849 Berlin: Wolff's Telegraphenbüro (WTB); 1851 London: Reuter's Telegram Company.

A következő állomás Bell telefonja volt 1876-ban. (Közben 1866-ban lefektették Európa és Amerika - London és New York - között az első interkontinentális tengeralatti távirókábel.) A század elején a távközlés - a szikratáviró, majd a rádió feltalálásával - függetlenítette magát a vezetéktől. A hanginformációk után a század harmincas éveiben a képi információt is sikerült az „éter hullámaira” bízni. Hatalmas lépést jelentett a távolság legyőzésében az első hírközlő műhold pályára állítása 1958-ban. (Ma már több mint kétszáz polgári célokat szolgáló műhold „ragyog” az égen.)

Az első műholdak még nagyon kis teljesítménnyel (5-40 W) sugározták vissza a kapott jeleket, s ún. periodikus pályán keringtek (a műhold és a Föld egymáshoz viszonyítottan eltérő

szögsebességgel mozog). Ezért a vételhez nagyméretű (12-30 m-es) parabolaantennákra volt szükség, amelyeknek folyamatosan követniük kellett a láthatáron periodikusan fel- és eltűnő műholdat. A hetvenes évek második felében jelentek meg az ún. geostacionárius műholdak. Ezek szinkronpályán mozognak, azaz együtt keringenek a Föld valamelyik pontjával (keringési idejük pontosan 24 óra), állni látszanak, s így az antennát hold irányában rögzíteni lehet. Egy szinkron műhold akár 10 millió km² területet besugározhat. A stacioner helyzet azonban csak akkor biztosítható, ha a műhold az egyenlítő síkjában van. Ezért a Sarkok közelében periodikus pályán keringő műholdakra is szükség van. Teljes idejű távközlés ezekkel csak úgy biztosítható, ha több műhold mindig egymáshoz képest meghatározott távolságra van.

Az évek során a műholdak teljesítménye mind nagyobb lett (csatornánként 250-500 W), s így ma már kisméretű antennákkal is vehetővé vált. A műholdak közelebb hozzák az országokat, földrészeket. Jelentőségüket növeli, hogy a műsorszórás mellett a szolgáltatások egész sorát teszik nemzetközivé, sőt világméretűvé (telefon, távíró, távmásolás, távkonferencia).

A távközlés az elmúlt évszázadban mind minőségileg (pontosság, megbízhatóság, gyorsaság), mind mennyiségileg (a csatornák kapacitásának növekedése, újabb és újabb csatornák felhasználása - a rádió esetében például a hosszú-, majd a középhullám után a rövid- és az ultrarövidhullámok és újabban a GHz-es mikrohullámok felhasználása) mérhetetlen fejlődésen ment keresztül, eleget téve az emberiség rohamosan növekvő kommunikációs igényének. Új médiumok, új kommunikációs technikák jelentek meg, amelyek egyre inkább részévé válnak az egyén, a társadalom hétköznapjainak. Fejlesztésük a legkomplexebb tevékenységek egyike, a társadalmi élet számos területén alkalmazhatók a távközlés különböző formáitól a képernyős szolgáltatásokon keresztül a számítógép és videotechnika használatáig.

A fejlődés az utóbbi években érdekes módon visszavezetett - természetesen jóval magasabb szinten - a „drótos” távközléshez. Napjainkban tanúi lehetünk a kábeles információtovábbítás térhódításának. Hogy miért tértek vissza a hírközlésben a kábelben történő átvitelre, annak több oka van. Egyik oldalról a műsorszóró adók számának szaporodása és teljesítményük növekedése miatt a közép- és rövidhullámon a tér telítődött, s állandóan nemzetközi egyeztetésekre van szükség a zavartalan vétel biztosítására. A legkisebb eltérés a megállapodásoktól vagy különlegesebb légköri változások elkerülhetetlenül zavarokhoz vezetnek. Az ultrarövidhullámú átvitel pedig - amely ugyanakkor alkalmas összetettebb, bonyolultabb kommunikációk sugárzására (minőségi hangátvitel, képátvitel) - a terjedés sajátosságai miatt vet fel megoldhatatlan problémákat. Ugyanakkor az egyre növekvő számú villamos berendezés - ipari, közlekedési, háztartási készülék - a zavaró jelek olyan mennyiségét bocsátja ki, amelynek a teljes kiküszöbölése lehetetlen. Másik oldalról a tömegkommunikációval szemben támasztott igények egyre inkább individualizálódnak, s ezek kielégítésére a sugárzó információs források alkalmatlanok. A kábeles hálózaton való információtovábbítás - ha majd elterjedése a tömeges kommunikáció feltételeit biztosítja - az egyéni érdekek és igények kielégítésére is alkalmas lesz.

Különösen nagy lendületet adott a kábeles hírközlés terjedésének a száloptika fejlődése.

Bár a fényt az emberiség ősidőktől fogva felhasználta kommunikációs célokra, az információs társadalom megalapozásában fontos szerepet játszó alkalmazása 1970-ben kezdődött, kis veszteségű kvarcüvegből készült fényvezető szálak előállításával (Corning Glass Works) a GaAlAs/GaAs félvezető lézerdiójával (Bell Laboratorium), amely alacsony hőmérsékleten folyamatosan bocsátja ki a szükséges homogén, koherens, modulálható fénysugárnyalábot.

Az információátvitelre általában kétféle hullámhosszat alkalmaznak: a 0,7-0,9-es rövid- és az 1,2-1,6 m-es hosszúhullámot. A műanyag burkolatú üvegszálak -, s újabban a különleges műanyag szálak - olyan tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyek folytán belátható időn belül

ki fogják szorítani a fémkábeleket. Az elérhető sávszélesség a fény magas frekvenciája miatt sokszorosa (10-20-szorosa) a fémkábeleken elérhetőnek, az átviteli sebesség, s így az átvehető információmennyiség ennek megfelelően nő. Az átvitelt külső hatások nem zavarják, tehát nem is zavarható, nem lehet „lehallgatni”. A csillapítás, a veszteség nagyon kicsi (az 1,5 m hullámhossznál például 0,3-0,6 dB/km), s így nagy sebességű digitális jelátvitelnél 40-50 km-t is át lehet hidalni erősítés nélkül. Az üvegszál rendkívül könnyű és vékony, tehát nagyon sok szálat lehet egy kábelbe összefogni. A korrózió nem támadja meg, ezért hosszabb életű, ritkábban hibásodik meg, s kell kicserélni.

A száloptikai átvivőrendszer működéséhez természetesen nagyon sok építőelemet kellett kialakítani (érzékelők, detektorok, csatlakozók, elosztók stb.). Ma már ezek olyan szinten vannak, hogy tökéletes átvitelt tudnak biztosítani, s világszerte megindult a fénykábeles hálózatok kiépítése. A helyi hálózatok mellett kiépülnek a távvezetékek is. 1985-ben például Anglia és Belgium között tengeralatti kábelt fektettek le, s az Egyesült Államokban New York és Los Angeles között 1987 elején üzembe helyezték az első transzkontinentális kábelt, amelyen át bonyolítják le a hang- és képátvitelt.

(Bár még az optikai szál is újdonságnak számít, s jóformán csak most kezdi pályafutását, a láthatáron már feltűnt a „konkurencia”. Laboratóriumi kísérletekkel megállapították, hogy a szupravezetőkből készült huzalokon az információk százszor gyorsabban továbbíthatók, s 10^{15} bit/s adatátviteli sebesség is elérhető. Ez azt jelenti, hogy ugyanazon a vezetéken 15 millió telefonbeszélgetés folytatható egy időben, s mivel a fénykábelektől eltérően, az elektromos impulzusokat nem kell át- és visszaalakítani, az átvitel veszteségmentes. A gyakorlati hasznosításig természetesen még sok kérdést kell megoldani.)

Korunk hírközléstechnikájának másik jellemző vonása a digitális hírközlés térhódítása, jóllehet a hálózatok egy részét - a telefonvonalakat például - közvetlenül az ember használja, az ember pedig analóg jelek kibocsátására és vételére van „programozva” (beszédünk a legtipikusabb analóg jelfolyam). Kétszeres átkódolásra van tehát szükség, de megéri, mivel a digitális rendszer gyakorlatilag érzéketlen az átviteli csatorna torzításaival, zajaival szemben. A digitális jeleknek kevés jellemzőjük van, s így a vételi oldalon könnyen rekonstruálhatók. Emellett a félvezető eszközök ideálisan alkalmazhatók kétállapotú üzemmódban.

A digitális technika elterjedése -, s minden valószínűség szerint majdani egyeduralma - lehetővé teszi mindenfajta információ közös nevezőre hozását, a legkülönbözőbb rendszerek összekapcsolását.

Végeredményben az elmúlt évtizedekben a távközlésben ez a három megvalósítás teremtette meg a feltételeket az információs társadalomba való átmenethez: a távközlési műholdak, az optikai kábelek és a digitális technika. (A híradástechnika történetét legújabbban Aschoff dolgozta fel [Aschoff, 1987].)

A mesterséges intelligencia

A számítógép-tudomány egyik legdinamikusabban fejlődő, legizgalmasabb ága a mesterséges intelligencia kutatása.

Idézzük, mintegy mottójaként ennek a fejezetnek, Jean-Louis Laurière-nek, a Marie Curie Egyetem tanárának szavait: „Ugyanakkor a MI Kopernikusz és Darwin alapvető forradalma után magával hozza az ember természetben elfoglalt helyének újraértékelését. Valóban nem kevesebb, mint az intelligencia monopóliuma az, amit most elvitatnak.” (Laurière, 1987).

A kopernikuszi hasonlattal él Klaus Haefner is: „Az információ műszaki feldolgozásának feltalálásával és egyre szélesebb körű alkalmazásával az információtechnika az emberi agy mellé lép. A folyamat második kopernikuszi fordulatot valósít meg: míg az első fordulat során az emberi szellem felismerte, hogy a Föld nem a világmindenség középpontja, hanem - mai tudásunk szerint - egyetlen bolygó naprendszerek milliárdjainak egyikében. Addig a második kopernikuszi fordulatban az emberi agy belátja, hogy az agy, mint információk feldolgozója, sok más lehetséges ilyen mellett csak az egyik struktúrát jelenti, hasonló teljesítményeket - legalábbis számos részterületen - technikai rendszerek is képesek nyújtani. Az agy elveszti monopóliumát az információfeldolgozás területén, technikai struktúrákkal lép versenybe” (Haefner, 1990).

Az elektronikus számítógépet megalkotói már eleve arra szánták, hogy olyan műveleteket végezzen el, amelyeket az ember a fejével végez, ám életének első 20-25 évében csak arra volt képes, hogy a rutinszerű, könnyen algoritmizálható feladatokat végrehajtsa.

A legjobb szakemberek már kezdettől fogva arra törekedtek, hogy komolyabb munkára fogják a „buta óriást”. Warren Weaver 1946-ban felvetette a lehetőségét annak, hogy a számítógépet fordításra használják. Ő és Donald Booth olyan módszerre gondolt, mint amilyennel a titkosításokat fejtik meg. A betűk és szavak gyakorisága alapján, tehát pusztán formális alapon akarták megoldani a feladatot (Bonnet, 1984). Shannon pedig 1949-ben javasolt egy módszert sakkozó program kidolgozására.

A mesterséges intelligencia kutatása önálló diszciplínaként 1956-ban jelentkezett, akkor tartották Dartmouthban az első konferenciát. Megindultak az első intenzív kutatások a kognitív magatartásformák számítógépes „tározására”, és sikerült is valamelyes - a befektetett munkához képest igen csekély - eredményeket elérni. (Az első sakkozóprogram 1957-ben látott napvilágot, s fordítóprogramokat is dolgoztak ki, kis túlzással szólva Karinty Herzszalámijának szintjén.) 1958-ban a Nobel-díjas Herbert Simon azt jósolta, hogy hat éven belül számítógép lesz a sakkvilágbajnok, és tíz éven belül megjelennek a kiváló fordítóprogramok. Harmincöt év telt el azóta, de még egyik célt sem sikerült elérni.

A hatvanas évekre az érdeklődés ezek iránt a problémák iránt alaposan megcsappant. Kiderült ugyanis, hogy a számítógépből nehéz zseniális sakkozót „nevelni”, de a leghétköznapiabb helyzetek megoldására még nehezebb „megtanítani”.

Csak mintegy tíz év múlva indultak meg újra, a határtudományokban - lélektanban, nyelvészetben, neurobiológiában - elért eredményekre támaszkodva, most már egyre nagyobb intenzitással a kutatások azokon a területeken, amelyeket a mesterséges intelligencia fogalmkörébe sorolunk. Különösen a kognitív pszichológiában elért eredmények vitték előre a mesterséges intelligencia-kutatást, ahogy Darab Tamás írja: „a mesterséges intelligencia kutatása és a kognitív pszichológia szemmel láthatóan egymással kölcsönhatásban fejlődnek. Míg az utóbbi tudomány művelői a számítógép működéséről szerzett újabb ismeretek figyelembevételével dolgozzák ki elméleteiket, addig a mesterséges intelligencia kutatói pontosan ezen elméletekből kiindulva minél inkább intelligens módon működő számítógépeket próbálnak létrehozni” (Darab, 1991).

A mesterséges intelligencia tudósai közül meg kell említenünk Herbert A. Simont és Allen Newellt (Simon, 1982, Newell - Simon, 1982).

A mesterséges intelligencia kutatása sok pászmán halad. A két legfontosabb irányzat: az egyik az emberi gondolkodás lényegét a szimbólumok manipulálásában véli felfedezni, és a gondolkodás szigorú logikán alapuló szisztematikus vonásait igyekszik „utánozni”. A másik irányzat pedig az idegrendszer működéséből indul ki, és mesterséges neuronhálózatok

segítségével próbálja azt szimulálni. Mindkét irányzat értékes eredményekhez vezetett, ám egyelőre egyiknek sem sikerült a maga elé tűzött feladatokat, az intelligens emberi viselkedés „gépesítését” megoldani.

Mit értünk mesterséges intelligencián?

A kérdésre azért is nehéz válaszolni, mert a természetes emberi intelligenciának, „a lélektan egyik legvitatottabb fogalmának” (Kulcsár - Szamosközi, 1988) sincs még pontos meghatározása. A köznapi életben nagyfokú egyetértéssel állapítjuk meg valakiről, hogy intelligens, sőt össze is tudjuk mérni másokkal, s közben - kis túlzással - fogalmunk sincs róla, hogy miről beszélünk. Legfeljebb néhány összetevőjét tudjuk felsorolni, olyan tulajdonságokat, amelyekről feltételezzük: szükségesek ahhoz, hogy az emberi magatartást, viselkedést intelligensnek mondhassuk. (Az intelligencia bizonyos mennyiségű tudást már eleve feltételez. Ilyenek: a problémamegoldó képesség, az absztrahálás és általánosítás képessége, az analógiák felismerése különböző szituációkban, az alakfelismerés, a nyelv megértése és helyes használata, az alkalmazkodás váratlan új helyzetekhez, a tanulás képessége, saját hibáink felismerése és kijavítása. (Utóbbiról írta Alain Bonnet, hogy ha ezt a kritériumot nagyon szigorúan vennénk, igen kevés emberre mondhatnánk, hogy intelligens.)

Ezek után hogyan határoznánk meg a mesterséges intelligencia fogalmát és kapcsolatát a természetes intelligenciával?

Elsősorban szögezzük le, hogy a mesterséges intelligencia (MI) lényegében a számítógéptudomány viszonylag új alkalmazási területe. Ahogy Mihaela és Mircea Malita fogalmazott: „Az ismeretek és technikák összessége, amelyek segítségével a számítógépet alkalmassá tesszük olyan műveletek elvégzésére, amelyeket az emberre vonatkoztatva intelligensnek nevezünk” (Malita - Malita, 1987).

Ha mármost figyelembe vesszük azt, hogy az algoritmizálható szellemi tevékenységek a számítógép konvencionális rutinfadatai, akkor a mesterséges intelligenciára a következő meghatározást adhatjuk: olyan fejlett szoftverkészlet (programrendszer), amely nem-determinisztikus problémák osztályára alkalmazható. Azok a problémák tartoznak ide, amelyekre nem dolgozható ki algoritmus, vagy ha igen, a lépések száma túllépi a kombinatorikai robbanás határát, továbbá azok, amelyek megoldásához hiányos, esetleg pontatlan információkkal rendelkezünk. (Hogy csak két „játékos feladatot” említsünk, egy átlagos sakkjátékban a lehetséges állások száma 10^{120} , a bridzsben pedig nem ismerjük a többi játékos lapját.)

Ami pedig a természetes és mesterséges intelligencia közötti kapcsolatot illeti, a szakemberek, pszichológusok, fiziológusok, informatikusok még nem tudták eldönteni a kérdést, hogy van-e valamilyen egyezés a számítógépben lezajló folyamatok és az ember kognitív folyamatai között.

Az a tény, hogy bizonyos mentális funkciókat géppel tudunk elvégeztetni, azt jelzi, hogy az emberi agy és az MI néhány funkcionális paramétere között alapvető hasonlóság van, de nem bizonyíték a természetes és mesterséges intelligencia azonosságára (Meyer, 1987).

Egyáltalán, mikor mondhatjuk azt, hogy egy gép intelligensen cselekszik? Ennek a kérdésnek az eldöntésére Allan Turing angol matematikus dolgozott ki egy tesztet. Lényege: egy gép akkor cselekszik intelligensen, ha az emberi felhasználót - aki terminálon keresztül beszélget vele - meg tudja győzni, hogy partnere nem gép. A számítógép nem azzal győz meg „intelligenciájáról”, hogy megnyer egy sakkjátszmát (erre viszonylag könnyű megtanítani), hanem azzal, hogy meggyőző módon tud veszíteni (Bryant, 1988).

Egyébként is, ahogy Rafael Capurro hangsúlyozza, az intelligens rendszerek kidolgozásánál nem arra kell törekedni, hogy az emberhez hasonlítsanak, mivel az „emberi elme” fogalma sokkal gazdagabb és szélesebb, és nem redukálható az intelligencia fogalmára (Capurro, 1985).

Don Thomasson véleménye szerint az intelligencia egy fontos, alapvető sajátossága, hogy váratlan helyzetekre megfelelő, hasznos válaszokat ad. Ilyen értelemben a szakértői rendszereknek nincs intelligenciájuk. Nem valószínű, hogy sikerül eredeti gondolkozású MI-rendszert létrehozni. A számítógépnek nincs véleménye, nincsenek érzelmei. Lehet arra programozni, hogy tanuljon, de az ember akar tanulni (Thomasson, 1988).

Searle pedig megállapította, hogy csak az „Én” képes gondolkodni, a számítógépnek azonban nincs „Én”-je, ezért csak szimulálhatja a gondolkodást (Searle, 1983).

Vagy ahogy Mérő László írja: „Ha a mesterséges intelligencia 30 éves történetének tanulságait akarjuk összefoglalni, azt mondhatjuk, hogy az értelem az eddig kidolgozott rendszerek egyetlen szintjén, egyetlen komponensében sem érhető tetten ... Minden esetben a felhasználó az, aki az értelmet belevetíti a mesterséges intelligencia termékeibe” (Mérő, 1990).

S talán P. Arnhem véleményét sem hagyhatjuk figyelmen kívül: a biológiai intelligencia a fejlődés terméke szorosan kapcsolódik a szervezethez, amelyet szolgál. Az élet, úgy tűnik, előfeltétele az intelligens elmének, s három és fél milliárd évre volt szükség a kialakulásához (Arnhem, 1987).

Az ismeretek mai állása mellett tehát azt mondhatjuk, „hogy a mesterséges intelligencia szimulálja - több-kevesebb sikerrel - a természetes intelligenciát, anélkül hogy modellje lenne. Másrészt a mesterséges neuron és neuronhálózat-modellek csak korlátozottan alkalmasak az idegfolyamatok szimulálására. A szimulálás és modellálás fogalmát illetően a szakemberek körében eltérők a vélemények. Rosen szerint a szimulálás fogalma elszakíthatatlanul össze van kötve az eredetivel idegen, eltérő gép, eszköz, berendezés igényével, amely megvalósítja azt, s aminek nincs megfelelője a szimulálandó rendszerben. A szimulálással tulajdonképpen a szoftvert utánozzuk, a hardvert nem. A modellben viszont a hardver is tükröződik (Rosen, 1987).

Le kell szögeznünk azt is, hogy a MI-rendszerek nem univerzálisan intelligensek, csak bizonyos feladatokra nézve.

Ugyanakkor megállapíthatjuk, hogy amint az erőgépek túlhaladták az embert sok (nagy-mértékben specializált) fizikai tevékenységben, hasonlóképpen az információs gépek is túl fogják haladni sok (nagy-mértékben specializált) intellektuális tevékenységben.

A MI-kutatás a számítógép-tudomány (computer science) viszonylag önállósult interdiszciplináris területe, amely határtudományaival, lélektannal, filozófiával, nyelvtudománnyal, elektronikával, számítástudománnyal (computing science) szoros kapcsolatban fejlődött és fejlődik. A lélektanból a kognitív pszichológia, a pszicholingvisztika, a filozófiából a logika, a nyelvfilozófia, a gondolkodás filozófiája, a nyelvészetből a számítógépes nyelvészet, a pszicho- és szociolingvisztika, az elektronikából a robotika, a képfeldolgozás, a számítógéptudományból többek között az adaptív rendszerek elmélete az a terület, amellyel az MI „metszetet” alkot.

Az intelligens rendszerek jellemző vonásai:

- elsősorban és főleg nem numerikus szimbólumokkal operálnak;
- a feladatokat nem pontos algoritmus alapján oldják meg, hanem heurisztikusan;

(A heurisztikáról ezt írja Pásztor Zoltán és Sántáné: „A heurisztika kifejezés hosszú idő óta kulcsszónak számít a mesterséges intelligencia területén. Jelentése azonban a különböző szerzőknél és különböző időpontokban más és más.” S a következő definíciót adják: „Tapasztalaton alapuló módszer, pl. egyszerűsítő feltevés vagy más hasonló eszköz, amely korlátozza vagy egyszerűsíti a megoldás keresését bonyolult, nagyméretű, illetve kevésbé megértett problémák feladatterében. Az algoritmusoktól eltérően a heurisztikák nem biztosítják az általuk szolgáltatott megoldás hibátlanságát” [Pásztor - Sántáné, 1987].)

- olyan tudáskészlettel rendelkeznek - a valóság adott szeletének modelljével -, amely az ember számára érthető, a tudásalap világosan el van választva a tudást felhasználó mechanizmustól;
- a rendszer képes megoldást találni olyan esetekben is, amikor nem állnak rendelkezésre a feladat megoldásához szükséges összes adatok (ez a feladat természetéből is következhet); ilyenkor a megoldás, a következtetés nem lesz teljesen biztos, sőt téves is lehet;
- a rendszer képes megoldani olyan feladatokat is, amelyekben az adatok egymásnak ellentmondók; ilyenkor az emberhez hasonlóan, azt a megoldást választja, amely leginkább összhangban van az ismereteivel;
- a rendszernek ha igényt tart az intelligens jelzőre - rendelkeznie kell a tanulás képességével is; erről, mivel a MI-kutatás egyik fontos témája, a későbbiekben bővebben beszélünk.

A MI-rendszerekben tehát a tudás- vagy ismeretbázis játssza a főszerepet. Abban különbözik a számítástechnika más területein alkalmazott konvencionális adatbázisoktól, hogy különböző típusú ismeretekből tevődik össze: a tárgyakra, az eljárásokra, a folyamatokra vonatkozó ismeretekből, az úgynevezett mindennapi (commonsense) tudásanyagból, a célokra, szándékokra, motivációkra, okozati összefüggésekre vonatkozó információkból. Az ismeretek ilyen széles skálájának megragadása, ábrázolása, strukturálása úgy, hogy minél pontosabb megfelelés legyen a való világ és az ismeretbázis között, és alkalmas legyen a szükséges műveletek elvégzésére, bonyolult feladat. (Hogy a megfelelő forma milyen fontos, azt a tudománytörténet bizonyítja. A rómaiak számírásuk miatt nem váltak jó matematikussá.), s a bázishoz hozzá kell rendelni egy olyan szabályrendszert, amelynek segítségével az explicit tudásanyagból következtetések útján ki lehet bontani a benne rejlő implicit tudást.

Egy ilyen kijelentő mondat például, hogy „János falura utazott”, ebben a formában a számítógép számára csak jelsorozat, amelyből nem tud következtetéseket levonni, választ adni olyan kérdésre, hogy ki utazott el? hová utazott? A mondatot valamilyen formában fel kell bontani. Például így:

Cselekvés:	utazás
Cselekvő:	János
Cél:	falu
Idő:	múlt

Az elmúlt húsz évben nagyon intenzív kutatómunka folyt az ismeretábrázolás területén, sok érdekes eredmény született, és még több a megoldásra váró probléma. Bár Allen Newell és Herbert Simon kidolgozta az Általános Problémamegoldó Programot (G. P. S.), amely matematikai tételeket bizonyított, sakkozott, stb. bebizonyosodott, hogy az általános célú intelligens rendszert nem lehet kiépíteni. A világ túl bonyolult ahhoz, hogy egy véges terjedelmű rendszerbe minden részletét be lehessen gyömöszölni, s ha valaki mégis megpróbálna vele, a rendszer akkor is csak triviális kérdések megválaszolására lenne alkalmas,

mert ahogy kissé bonyolultabbá válna, bekövetkezne a kombinatorikai robbanás. Az intelligens rendszerek tehát csak az élet egy szűkebb területét tudják átfogni. Az ismeretalappal kapcsolatban azonban még a legszűkebb területet tekintve is nehezen megválaszolható kérdések merülnek fel. (Nem beszélve arról, hogy a „tudás” fogalomkörének meghatározása is problematikus.)

A nehézségek elsősorban abból adódnak, hogy az emberi tudás túlnyomórészt nem a logika törvényeinek megfelelően helyezkedik el a memóriánkban, hanem heurisztikusan, az ismeretek sokszor bizonytalanok, nem teljeseek, és belső ellentmondásokat is tartalmazhatnak. Részben ebből következően, részben abból, hogy egyetlen területnek sem lehet az ismeretanyagát pontosan körülhatárolni, s egyéb okokból is, a nem teljesség, az inkonzisztens jelleg, a pontatlanság, megbízhatatlanság nehezen vagy egyáltalán nem kiküszöbölhető tulajdonsága a bármely területről kialakított ismeretalapnak (Delgrande - Mylopoulos, 1986).

A tudásbázis felépítésének, a tudás reprezentálásának a kérdéseit, az ismeretalapú rendszerek alkalmazását tanulmányozza az ismerettechnológia (knowledge engineering).

Az utóbbi években sok eljárást, formalizmust dolgoztak ki az ismeretanyag leírására.

Az elsőrendű predikátumkalkuluson alapuló leírás függvények és relációk (predikátumok) alkalmazásával írja le egyedek, „entitások” kapcsolatait.

Hátrányai: a valódi, reális szituációk leírásához rengeteg predikátumra lenne szükség; a való világ dinamikus jellege a predikátumgyűjteményt nagyon hamar elavulttá teszi, s a tudásbázis „frissen tartását az is megnehezíti, hogy nem lehet egykönnyen elválasztani azt, ami állandó, a változóktól. Két olyan terület van, ahol a klasszikus predikátumkalkulussal egyáltalán nem lehet boldogulni: ott, ahol az ismereteink hiányosak vagy gyorsan változnak, s ott, ahol az állítások nem szigorúan igazak vagy hamisak. Az elsővel a nem monoton logika egyik osztálya, a default logika, a másikkal a fuzzy logika próbál megbirkózni.

Mindennapi ismereteink tele vannak bizonytalansággal, határozatlansággal, „fuzzy” jellegűek. Míg a hagyományos logika csak határozott ítéleteket ismer - vagy igaz valami, vagy hamis -, mindennapi „ítéleteink” a bizonytalanság különböző fokain állanak. Például: „Ha vasárnap elég meleg lesz, és nem fúj nagyon a szél, és nem lesz túlságosan beborulva, nagyot fogok sétálni.” Csupa bizonytalan predikátum. Ezekre az esetekre dolgozta ki L. A. Zadeh a fuzzy logikát (Zadeh, 1983, 1987). A nem monoton logika szabályai szerint pedig így következtünk: egy állítás nem igaz, ha nem tudjuk, hogy igaz, és eleget tudunk ahhoz, hogy azt állítsuk, ha igaz volna, tudnánk.

A szemantikus háló gráfokból épül fel. A fogalmakat a csomópontok, a köztük fennálló relációkat az élek képviselik. Ezzel az ábrázolási módszerrel a fogalmak közötti távolságot is ki lehet fejezni. A szemantikus háló kísérlet arra, hogy modellezze az emberi gondolkodás asszociatív képességét, amelyet az ember oly sikeresen alkalmaz, amikor analógiákban gondolkodik, metaforákban beszél vagy megoldja az anaforikus hivatkozásokat. A szemantikus hálóban létre lehet hozni ilyen asszociatív kapcsolatokat a fogalmak közvetlen összekapcsolásával, vagy legalábbis közeli elhelyezésével.

A szabály alapú leírás, amely HA feltétel (X) és feltétel (Y), AKKOR szabály (Z) szabályrendszerre épül, nagyon jól alkalmazható szakértői rendszerek felépítésére. Az ismeretek könnyen „kiszedhetők” a szakemberekből, könnyen kódolhatók és könnyen módosíthatók.

A keret alapú rendszerekben a fogalmakat és az azokat jellemző attribútumokat nagyobb tömbökben tárolják, a kapcsolatok nem annyira strukturálisak, mint inkább funkcionálisak. A rendszer hierarchikus felépítésű.

A **produkciós rendszerekben** úgynevezett **produkciós szabályok** - minta-akció párok - hajtják végre a műveleteket a fogalmakon.

Mindegyik leírási módnak megvannak az előnyei és hátrányai; annak eldöntése, hogy melyiket alkalmazzák, a megoldandó feladattól függ. A legújabb irányzatok a különböző formalizmusok szintézisét célozzák.

A programozás nyelve az MI-rendszerekben - a LISP, a PROLOG stb. - mind nagyon magas szintű funkcionális, a tudás formalizmusán alapuló nyelv.

A LISP (LIST Processing) a hagyományos elvektől sokban eltérő, a matematikai logika eszköztárára épülő nyelv. Nem számokon, hanem szimbolikus kifejezéseken végez műveleteket, a formulákat és egyéb információkat a gép memóriájában listaszerkezettel ábrázolja, feltételes kifejezéseket és függvényeket használ, a logikai műveletek teljes arzenálját alkalmazza.

A PROLOG (PRogramming in LOGic) szintén logikai alapú nyelv. A LISP-nél „barátságosabb”, mert a programozónak csak a megoldandó feladatot kell leírnia - természetesen a matematikai logika eszközeivel, olyan formában, amely kimondja, hogy létezik egy, a kívánt feltételeknek eleget tevő fogalom -, a megoldás menetét nem kell megadnia.

Maga a program a feladathoz tartozó axiómarendszernek felel meg, az utasításokat eldöntendő állítások reprezentálják. (A japánok ötödik generációs számítógép-projektjükből ezt jelölték ki alapnyelvül.)

A mesterséges intelligencia fogalmát úgy is megközelíthetjük, hogy számba vesszük főbb kutatási területeit. Ezek: a természetes nyelv megértése, kép- és alakfelismerés, szakértői rendszerek, dedukciós rendszerek, tanuló rendszerek, robotika.

A természetes nyelv megértése

Az információs társadalom egyik kulcskérdése: hogyan kezeli a számítógép a természetes nyelvet - az írottat és a beszéltet egyaránt. Több oka van ennek. Elsősorban az, hogy az információs technológia fejlődésével mind több ember, lassan az egész társadalom kapcsolatba kerül a számítógéppel - a munkahelyén, otthon, a könyvtárban stb. -, s érthető az igény: mind közvetlenebbé, mind emberibbé tenni az ember-gép kommunikációt. Hogy ne az embernek kelljen megtanulnia a gép nyelvét, hanem a gép tanulja meg az emberét. Ez az igény ma már odáig terjed, hogy a számítógéptől, s a számítógép vezérelte berendezésektől, robotoktól, írógéptől elvárjuk, hogy megértsék az élőbeszédet.

Másodsorban egyre égetőbb szükség van arra, hogy a számítógép, az írott szövegek értelmezésének képességével felruházva, segítségére legyen az embernek kivonatok készítésében, szövegek indexelésében - erre főleg a szakirodalom feldolgozásánál, a szakirodalmi adatbázisok felépítésénél van nagy szükség, integrálni tudjon szöveges információkat más információkkal.

Harmadsorban mind sürgetőbbé válik a fordítás gépesítésének megoldása. Ahogy „zsugorodik” a világ, ahogy fejlődnek, bővülnek az emberek, szervezetek, országok közötti politikai, gazdasági, kulturális, tudományos, turisztikai kapcsolatok, ahogy szaporodnak a nemzetközi szervezetek, nő a nemzetközi értekezletek, konferenciák száma, duzzad a szakirodalom, mind nehezebbé válik a fordítás, tolmácsolás megoldása. (1986-ban Nyugat-Európában több mint 100 millió szövegoldalt fordítottak le más nyelvekre, s világviszonylatban a fordításokra költött összeg mintegy 25 milliárd dollárt tett ki. Az évi növekedést 15%-ra becsülik.) Bár az évszázadok során sokan kísérleteztek nemzetközi nyelv szerkesztésével, eddig azonban nem

sikerült, s valószínűleg a jövőben sem fog sikerülni valamely mesterséges, vagy természetes nyelvet egyetemes világnyelvként elfogadtatni. (Az eszperantó érte el eddig a legnagyobb sikert és népszerűséget, s vannak olyan elképzelések, hogy legalább a számítástechnikában tegyék egyetemessé. Am az eddigi eredmények nem túlságosan biztatók.)

Negyedsorban a szövegszerkesztő programok tökélesítése is megkívánja a számítógéptől, hogy minél jobban ismerje a nyelvet, bár nincs szüksége hozzá olyan alapos nyelvtudásra, mint az első két feladat megoldásához.

A számítógép és a nyelv természetesen eleinte csak a megfelelő információhordozón, majd később billentyűzet útján betáplált szöveg - találkozására nagyon hamar sor került. A programozható számítógép megszületésével egy időben megfogalmazódott az a követelmény, hogy a nehéz gépi nyelv helyett könnyebben kezelhető nyelven lehessen megírni a programokat. Így dolgozták ki az egyre fejlettebb, magasabb szintű programozói nyelveket: az ALGOL-t, FORTRAN-t, a COBOL-t. A ma legelterjedtebb, a személyi számítógépeken legjobban alkalmazható nyelv, a BASIC, már szinte minden informatikai ismeret nélkül elsajátítható. A párbeszédés üzemmódban működő programok pedig lehetővé teszik, hogy a felhasználó emberi nyelven társalogjon a géppel. Lekérdezheti a különböző szakterületek adatbázisait, a szakértői rendszereket.

A kivonatok készítése, szövegek indexelése szintén elfogadható módon meg van oldva.

Ami a fordítást illeti, mint említettük, már 1946-ban felmerült az ötlet, hogy a számítógépet használják fel erre a célra. Mintegy másfél évtizeden keresztül folytak a kísérletek, rész-eredmények is születtek (az első fordítást egy IBM 701-es számítógépen készítették 1954. január 7-én, oroszról angolra), de bizonyos szintet nem sikerült meghaladni. A fordítások alig érték el az érthetőség határát, és sokszor vicclapokba illő „ferdítések” kerültek ki a számítógépből. A hatvanas években emiatt a gépi fordítás iránti érdeklődés megcsappant. Ugyanígy a kutatásokra fordított pénz is. Mi volt ennek az oka?

Az informatikusok, s a kérdéssel foglalkozó nyelvészek azt hitték, hogy a nyelvet le lehet redukálni szókészletre és szintaxisra (ezt tette Chomsky és a matematikai nyelvészet), és a számítógépnek elég betáplálni a két nyelv szótárát, morfológiai és szintaktikai szabályait. (Utaljunk megint Robert Rosenre, s véleményére a „szintaxis koráról”.)

Hogy miért olyan nehéz megtanítani a gépet az emberi nyelvre, annak oka elsősorban a sokértelműség, amely még az egyszerű mondatot is jellemzi. Az angol nyelvű szakirodalomban előszeretettel idézik a következő példamondatot: Time flies like an arrow. Minden normális ember csak egyféleképpen értelmezi ezt: az idő úgy repül, mint egy nyílveendő. A számítógépes elemzés azonban ezen kívül még háromféle értelmet „magyaráz bele”:

- az időlegyek (lásd gyümölcslegyek) szeretik a nyilat;
- mérd az idejét (=time) azoknak a legyeknek, amelyek olyanok, mint egy nyíl;
- úgy mérd az idejét a legyeknek, mint egy nyíl.

A kudarcból a szakemberek rájöttek arra, hogy a számítógép csak akkor tud jó fordítást készíteni, ha „érti” is a nyelvet, azaz a fordításhoz szemantikai, sőt pragmatikai ismeretekre is szükség van. A következő évek kutatásaiban a nyelvészek vették át a vezető szerepet, s a kutatás súlypontja az elméleti kérdésekre helyeződött át. Megszületett egy új tudományos diszciplína is, a számítógépes nyelvészet. Ez nem a számítógép-tudomány és a nyelvészet kereszteződése, hanem alkalmazott nyelvtudomány. A nyelv mélyebb, alaposabb megismerése, a számítástechnika rohamos fejlődése, s újabban a mesterséges intelligencia kutatásában elért eredmények jelentős haladást eredményeztek. Olyan fordítórendszereket sikerült

létrehozni, amelyek most már szemantikai és szövegkörnyezeti tényezőket, körülményeket, oksági összefüggéseket is figyelembe tudnak venni. Egyelőre ezek a magas szintű fordítórendszerek csak a kutatóintézetekben léteznek, de már a kereskedelmi forgalomba került rendszerek is sokat tudnak. Példaként említsük meg a LOGOS rendszert. Tudásbázisa két részből áll: szótári részből és szabályrendszerből. Az angolból németre fordító változat szótára 125.000 szót, szabályrendszere 23.000 szabályt tartalmaz. A program a szabályok alapján minden szónál eldönti, hogy - a szövegkörnyezet függvényében - a szótárból milyen szót vagy kifejezést válasszon ki, s milyen nyelvtani formát adjon neki. A fordított szöveg még emberi utánszerkesztésre szorul, de így is jelentősen növeli a fordítói munka termelékenységét. (Egy jó fordító napi 8 óra alatt 6-8 oldalt tud lefordítani, a LOGOS 18-40 oldalt.)

Szakszövegek, főleg gépek, berendezések dokumentációjának fordítására szolgál a Siemens cég által forgalomba hozott METAL (Machine Evaluation and Translation of Natural Language) rendszer. Nem szavakat, hanem egész kifejezéseket elemez, s a lehetséges értelmezési változatok összehasonlítása után dönti el, melyik mondatértelmezést választja. Természetesen itt is szükség van emberi segítségre, főleg igényesebb szövegeknél, de a haszon így is óriási, a rendszer teljesítménye nyolcórás munkanaponként 200 oldal.

Japánban olyan fordítórendszer kifejlesztésén dolgoznak, amely több nyelvből és nyelvre tud majd fordítani. Az ATLAS II nevet viselő rendszert - amely egyelőre japánból angolra fordít - az jellemzi, hogy a forrásszöveg elemzését elválasztották a cél-szöveg generálásától, ismeretanyaga szemantikus hálók alakjában ábrázolt konceptuális struktúrákból épül fel. Ezek a struktúrák nyelvtől függetlenek. A fordítás három szakaszból áll: az elemzés során két modul elvégzi a morfológiai, szintaktikai és szemantikai elemzést, s az eredmény a forrásmondat fogalmi struktúrája. Az átalakítás szakaszában a modul ezt a fogalmi struktúrát alakítja át a célnyelv gondolkodásmódjának megfelelő struktúrává. Tehát nem is szavakat és a nyelvtant hasonlítja össze, hanem mélyebb elemzést végez. A harmadik fázisban a fogalmi struktúrát szósorrá alakítja. A generálási szabályok úgy vannak összeállítva, hogy egy időben végzik el a morfológiai és szintaktikai strukturálást.

Természetesen ez a rendszer sem tud az emberével egyenértékű fordítást produkálni. A gép mondatról mondatra fordít, s így kevesebb információval rendelkezik, mint az ember, aki az egész szöveget látja. Emellett a gép ismeretanyaga, amely a szótár anyagából és a betáplált általános ismeretanyagból tevődik össze, bármilyen nagy legyen is, elmarad az ember ismereteitől, aki ebből kifolyólag olyan összefüggéseket, értelmezéseket vesz észre, amelyekre a gép képtelen. Ezért ma még a legtökéletesebb gépi fordításnak is szüksége van emberi utószervezésre. Eme gyengeségek ellenére, vagy mellett, a fordító számítógép nagyon nagy segítséget jelent az embernek (Sato - Sugimoto, 1986).

Az írott szöveg megértésénél sokkal nehezebb feladatot jelent a beszélt nyelv megértése, helyesebben értelmezése. Ennek sok oka van. Többek között:

- a hangjel sok olyan elemet tartalmaz, amelynek nincs információtartalma, azaz zajjellegű;
- a beszélők kiejtése nem egyforma, sokszor hibás, és nem felel meg egy szabványkiejtésnek;
- ugyanannak az embernek a kiejtése is változik fizikai állapotától, idegállapotától függően;
- a fonémák kiejtése függ a környezetüktől;
- a beszédben a szavakat ritkán választják el szünetek, sőt sokszor a szavakon belül tartunk szünetet;
- a homonimák értelmezése a szövegkörnyezet nélkül lehetetlen.

A rendszer bemenőjelként a fentiekből következően a fonetikai elemek rácsszerkezetét kapja, sok hibával, a normától való eltéréssel. A ma elterjedt rendszerek alapja a minta-összehasonlítás (pattern matching). Első lépésként kiválasztják a bemenő beszédminták lényeges mérhető paramétereit (ezt a folyamatot lényegkiemelésnek nevezik), s ezeket a paramétereket osztályokba sorolják. Használatkor a rendszer a beszédet összehasonlítja a tárolt mintákkal. Mivel kiejtésbeli különbségekből adódóan a hangminták hossza nem esik egybe, a rendszernek időillesztést is végre kell hajtania. A rendszereket aszerint osztályozzák, hogy szavakat vagy folyamatos beszédet tudnak felismerni, s hogy személyfüggők vagy személyfüggetlenek. A legtöbb ma forgalomban levő rendszer személyfüggő szófelismerő, azaz csak annak az embernek a beszédét érti meg -, s azt is csak néhány száz izolált szó formájában - akiére megtanították. A kérdést nagyon jól összefoglalja Vicsi Klára tanulmánya (Vicsi, 1986). A kutatás és a fejlesztés természetesen az elmúlt három évben is mind tökéletesebb rendszerek kidolgozásához vezetett, bár a működési elvekben lényeges változás nem történt. Az IBM, pl. olyan személyi számítógéppel összekapcsolt beszédértő írógépet fejlesztett ki, amely húszezer szót „ért meg”. Az igazi „szóból értő rendszerek” (számítógépek, robotok, automaták stb.) elterjedése rendkívüli módon megnöveli majd a termelékenységet, s az sem mellékes körülmény, hogy a vakok, mozgásképtelenek számára is lehetővé teszi a társadalomba való fokozottabb, teljesebb beilleszkedést, s a tevékeny életet.

Alakzat-felismerés

Az alakzat-felismerés - ha a fogalmat szélesebb értelemben vesszük, magában foglalja az élőbeszéd, és az írás, a síkbani képek, rajzok, térbeli alakzatok felismerését. Az elsőről a nyelv megértésével kapcsolatban volt már szó, így itt csak a vizuális alakzat-felismerésről beszélünk.

A kép- és alakzat-felismerés egyike azoknak a területeknek, amelyeken az ember sokkal tökéletesebb, mint a gép. Nekünk egy szempillantás és néha nagyon kevés információ elég ahhoz, hogy felismerjük embertársunkat, egy tájat, utcarészletet. Még nem is látjuk tisztán sem az arcát, sem az alakját, csupán a körvonalait, a járását, egy jellegzetes mozdulatát, s máris felismerjük barátunkat, kollégánkat vagy akárkit, akit néhányszor láttunk, még akkor is, ha bizonyos jellegzetességeik megváltoztak (szemüveges lett, megfestette a haját, arca eltorzul a fájdalomtól vagy nevetéstől stb.). A gépnek ehhez rendkívül sok információra van szüksége: az alak pontjainak egymáshoz viszonyított helyzetére, viszonyára a környezetéhez, térbeli elhelyezkedésére. Mindezek leírásához rengeteg pont koordinátáit kell megadni, s a színek, árnyalatok, a megvilágítási értékek jellemzésére az adatok további tömege szükséges.

A kérdésnek három területen van nagy fontossága: a robotikában, az írás felismerésében és az űrkutatásban.

Az elmúlt években az alakzat-felismerés területén is - látásról lévén szó, stílszerűen azt mondhatjuk - káprázatos volt a fejlődés.

Ennek ellenére a számítógép „látása” még messze elmarad az emberétől. A kutatásban két tendencia érvényesül, amelyek némileg ellentmondanak egymásnak: egy-egy konkrét feladat minél gyorsabb megoldása az egyik oldalon, az emberi látás tanulmányozása alapján egy általános metodológia kidolgozása a másikon. A baj ott van, hogy sok gyakorlati megoldás nem általánosítható, s az elméleti tanulmányok nagy részét nem alkalmazzák a gyakorlatban.

A legnagyobb nehézséget az okozza, hogy még a legerősebb számítógépnek is nagyon sok időre - néha 100 mp-re - van szüksége ahhoz, hogy egyetlen statikus képet interpretáljon. Márpedig ez túl hosszú idő, főleg a robotok vezérlésében, amikor egy-egy szekvencia feldolgozására 20 ezredmp áll rendelkezésre. A konvencionális Neumann-féle számítógépek képtelenek erre a teljesítményre. Ezért szerkesztettek a valós idejű képfeldolgozás igényeihez szabott kép-preprocesszort. Abból a tényből indultak ki, hogy a mozgás vezérléséhez nincs szükség az egész képre, csak azokra a rendszerint kis részletekre, amelyek a mozgás szempontjából relevánsak. Ezeknek a feldolgozását pedig meg lehet oldani egymástól független, párhuzamosan dolgozó alprocesszorokkal. Az új típusú nem-Neumann-elvű, párhuzamos struktúrájú számítógépek valószínűleg megbirkóznak majd ezzel a feladattal is. (A robotok látásáról később majd még beszélünk.)

Az írásjelek optikai felismerése ennek főleg a gazdasági, pénzügyi életben van jelentősége - más problémákat vet fel. A számítógépnek egy nem ideális analóg képet kell ideális digitális képpé alakítania. Az eredeti dokumentum, amelyről le kell olvasni az írásjeleket, néha piszkos, sokszinű, az írásjelek íródhatnak a legkülönbözőbb eszközökkel (toll, ceruza, golyóstoll, írógép stb.), lehetnek vékonyak, halványak vagy vastagok, összefolyók stb., alakjuk nagyon eltérhet a szabványtól. A feladat itt abból áll, hogy a gépnek el kell különítenie az egyes jeleket, végigpásztázva a felületet pontról pontra el kell döntenie, hogy az írásjelhez tartoznak-e vagy sem. (A letapogatás egy szabványos amerikai csekk méretnél kb. 1 millió képpontot eredményez.) Az eredményt azután egybe kell vetni azokkal az a priori információkkal, amelyeket a számítógép memóriájában tároltak az írásjelekről. A feladat megoldására ma már jobbnál jobb módszerek, eljárások, algoritmusok állnak rendelkezésre. Természetesen ez nem jelenti azt, hogy ezen a területen már nincs tennivaló.

Ismét más problémákkal találkozunk az űrfényképezésben. Itt nem a számítógépnek kell - valós időben - értékelni a képet, és döntést hozni, ezt a földi megfigyelőállomás szakemberei elvégzik. A feladat az optikai berendezés által készített kép pontjainak bináris kódba való átírása és továbbítása a Földre. Példaként idézzük a Voyager-2 űrszonda ez irányú tevékenységéről szóló beszámolót.

„Egy Voyager-kép 800 sorból, s minden sor 800 képelemből áll, azaz a teljes képet összesen 640.000 képelem alkotja. Az egyes képelemek fényessége 256-féle (ez éppen 2^8), a feketétől a fehérig terjedő értéket vehet fel. Ennek a fényességtartománynak az átviteléhez bináris kódban egy nyolcjegyű számra van szükség. Ennélfogva egyetlen kép továbbításához, nem számítva a külön hibakereső és -javító biteket, 5.120.000 ($800 \cdot 800 \cdot 8$) bit kell.

A képátvitelhez szükséges bitek száma több mint a felével csökkenthető, ha kihasználjuk azt a tényt, hogy az egymással szomszédos képelemek általában közel azonos fényességűek. Ez különösen azokra a pontokra igaz, amelyek nem az egyes tárgyakat határoló körvonalak mentén helyezkednek el. Ha a Voyager-2 képes lenne az összes képelem valódi fényessége helyett csupán a szomszédos képelemek fényességkülönbségét továbbítani, akkor szemben a korábbi nyolccal, képelemenként három bit is elég lenne. (Nyilvánvaló, hogy kiindulópontként ekkor is meg kell adni az egyes sorok első képelemének abszolút fényességét.)

Ezt a változtatást a gyakorlatban is végrehajtották. A második FDS-számítógép tartalék szerepét feláldozták, így a gépet átprogramozhatták az adattömörítő algoritmusokkal. A képtömörítő rendszer azonban meglehetősen sebezhető, mivel minden egyes képpont fényességértéke (az elsőket kivéve) a megelőző pont fényességétől függ. Így egyetlen bit hibája tönkretelheti a tömörített kép egész sorát, szemben a tömörítetlen kép egyetlen elemével” (Laeser, 1987).

Szakértő rendszerek

A hatvanas évek elején Edward Feigenbaum azt a kérdést kezdte tanulmányozni, hogyan lehetne az emberi induktív és heurisztikus gondolkodás, következtetés mechanizmusát számítógépen szimulálni. Kutatócsoportot alakított, amelynek tagja lett egy vegyész is (Joshua Lederberg), ezért kísérletük tárgyául egy kémiai problémát választottak: szerves vegyületek szerkezetének számítógépes meghatározását a tömegspektográf által szolgáltatott adatok elemzése alapján. Így született meg az első szakértő rendszernek nevezhető program, a DENDRAL (amelyet azóta természetesen állandóan továbbfejlesztnek), s indult meg a tapasztalatok alapján a szakértő rendszerek kifejlesztése.

Mit nevezünk szakértő rendszernek?

Olyan mesterséges intelligencián alapuló szoftverkészletet - specializált, komplex programcsomagot -, melynek tudásbázisát jól körülhatárolt, viszonylag szűk szakterület ismeretanyaga alkotja (adatok, tények, szabályok, összefüggések, általános és különleges esetek stb.), s amely a felhasználó által szolgáltatott adatok alapján képes viszonylag bonyolult problémákat megoldani, döntéseket hozni, tanácsot adni, válaszolni a felhasználó kérdéseire. Ismeret-alapjukat az esetek többségében a szabályalapú leírások képezik.

A szakértő rendszerek párbeszédés üzemmódban működnek: kérdéseket tesznek fel, amelyekre a felhasználó a szükséges információkkal válaszol. A párbeszéd mindaddig tart, amíg a rendszer elegendő információ birtokába jut, „levonja” a következtetéseket, s közli véleményét.

Például egy hibadetektáló szakértő rendszer tudásbázisában a következő szabály található:

HA AZ AUTÓ MOTORJA NEM INDUL BE

és

A DUDA NEM SZÓL

és

A LÁMPÁK HALVÁNYAN ÉGNEK

akkor

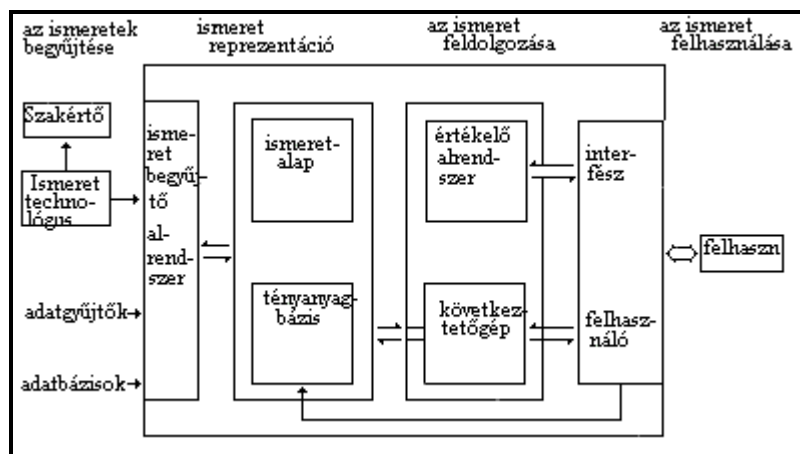
AZ AKKUMULÁTOR KI VAN MERÜLVE - 90% VALÓSZÍNŰSÉGGEL.

Ha a felhasználó közli a rendszerrel, hogy a motor nem indul be, a rendszer megkérdi: „A DUDA SZÓL?” Nemleges válaszra jön az újabb kérdés: „A LÁMPÁK HALVÁNYAN ÉGNEK?” Ha erre igenlő választ kap, közli a diagnózist.

A szakértő rendszerek döntéseiket is, a feltett kérdéseket is meg tudják indokolni. Ezzel megkönnyítik saját hibáik felderítését, s növelik egyúttal a felhasználók bizalmát döntéseik iránt.

A hagyományos programcsomagok és a szakértő rendszerek közötti különbséget Nigel Bryant a következőkben látja: míg a hagyományos programcsomag adatot kezel, algoritmust alkalmaz, ismétlődő eljárásokon halad keresztül, nagy adatbázisokra épül, addig a szakértőrendszer tudást kezel, heurisztikát vagy szabályokat alkalmaz, következtetett eljárásokon halad keresztül, tudásbázisokra épül (Bryan, 1989).

A szakértő rendszer három összetevőből áll: tudásbázisból, következtető gépből (inference engine) és felhasználói adatokat tároló rövid távú memóriából. Általános vázlatukat a 35. ábra mutatja (Roman, 1988).



35. ábra. Szakértő rendszer felépítésének vázlatja. (Forrás: Roman, 1988)

A rendszer hasznossága, használhatósága, teljesítménye a tudásalap teljességétől, megbízhatóságától függ. Mint minden ismeret alapú rendszerben, az ismeretanyag itt is explicit, elkülönített és könnyen hozzáférhető formában van megszervezve, s két csoportra osztható: tényekre vonatkozó konkrét ismeretekre és szabályokra (általánosabb összefüggésekre). Egy demonstrációs rendszer mintegy 50 szabályból állhat. Egy működő rendszernek mintegy 1000 szabálya lehet. Egy nagy rendszer hozzávetőleg 10.000 szabályt, egy ember becslések szerint hozzávetőleg 100.000 szabályt vagy heurisztikát birtokolhat. Már egy 50 szabályból álló rendszer is igen hasznos lehet (Bryant, 1989). A hagyományos adatbázisoktól eltérően, az ismeretbázisok gyakran tartalmaznak feltételezéseket, bizonytalan ismereteket is (megfelelő minősítéssel). A szaktudás összegyűjtése és az ismeretbázis kiépítése a rendszer kidolgozásának legnehezebb szakasza. Az ismerettechnológus (tudásmérnök = knowledge engineer) olyan személy, aki ismeretalapú rendszereket tervez és fejleszt. Általában magasan képzett számítástechnikai szakember, aki járatos a mesterséges intelligencia módszereinek alkalmazásában is (Pásztor, 1987). Különböző forrásokból - tankönyvekből, kézikönyvekből, adatbázisokból, esettanulmányokból, de elsősorban a tárgykör egy (esetleg több) nagy tapasztalatú, jó ítélőképességű, kiváló szakértőjével együttműködve állítja össze a tudásanyagot. Ez a munka hónapokig tart. Az ismerettechnológus konkrét, valódi problémák megoldására kéri meg a szakembert, és megfigyeli, s elemzi a tevékenységét. A feladatot az „ismerettechnológiai paradoxon” néven ismert jelenség teszi nehezzé: „Minél kompetensebb egy szakértő az adott tárgykörben, annál kevésbé képes elmagyarázni azt, hogy milyen tudást használ a feldolgozásban” (Pásztor - Sántáné, 1987).

A szakértő rendszerek nagy része ún. szabályalapú rendszer. Mivel azonban a tudás szabályokba foglalása nagy nehézségekbe ütközik (nincs erre kialakult módszer), olyan szakértő rendszereket is hoztak létre, amelyek az összegyűjtött adatállományból önmaguk alkotják meg a szabályokat. Ezek az ún. szabálylétrehozó rendszerek. A felhasználó szempontjából a két rendszer között nincs lényeges különbség. Kiinduló pontjuk azonban különböző. Míg a szabályalapú rendszer létrehozásához nagytudású szakemberekre van szükség, addig a szabálylétrehozó rendszerek adatbázist igényelnek, s ebből határozzák meg a szabályokat.

Mivel a világ és a világról alkotott ismereteink állandóan változnak, a szakértő rendszerek tudásbázisa is változtatásra szorul.

A rendszer másik alapegysége a feladatmegoldásra vonatkozó általános ismereteket tartalmazó következtető gép. A feladat megoldása úgy történik, hogy a következtető gép a felhasználó által szolgáltatott adatokhoz megkeresi a tudásbázis releváns, megfelelő tudáselemeit,

tényeket, szabályokat, s elvégzi rajtuk a következtetési műveleteket. Ezek lehetnek szigorú logikai következtetések, heurisztikus jellegű vagy „fuzzy” következtetések. Kétféle stratégiát szoktak alkalmazni. Az előrehaladó vagy adatvezérelt, alulról felfelé építkező stratégia lényege, hogy a rendszer kezdeti adatokból a szabályok alkalmazásával következtetéseket von le, s ezekre - ha szükséges - újabb szabályokat alkalmaz mindaddig, amíg végleges eredményre nem jut, el nem éri a kitűzött célt. A visszafelé haladó következtetés vagy célvezérelt, felülről lefelé építkező stratégia a cél felől indul el. Azonosítja a végcélt, s olyan részcélokra bontja le, amelyeket könnyebb megoldani. A lebontás mindaddig folytatódik, ameddig mindegyik rész cél olyan egyszerűvé nem válik, hogy már közvetlenül megoldható. (Az ember legtöbbször ez utóbbi stratégiát alkalmazza.)

Előre következtetés például:

HA (esik), AKKOR (vigyen esernyőt)

Visszakövetkeztetés:

HA (az ég felhős és az út nedves), AKKOR (esik).

A visszakövetkeztetés akkor hatékony, ha a lehetséges válaszok száma ismert és kicsi, ha viszont a lehetséges válaszok száma nagy, akkor az előre következtetést célszerű alkalmazni.

A szakértő rendszerek feladatait, hasznát a következőkben foglalhatjuk össze:

- segítenek a nem szakembereknek különleges szakismereteket igénylő döntésekben (pl. az általános orvosnak olyan esetekben, amelyek szakorvosi tudást igényelnek);
- mivel a rendszer kiváló, nagy tudású szakember(ek) ismereteit, problémamegoldó szakértelmét tartalmazza, s „minden eszébe jut”, amit a kérdésről tud, segítséget nyújthat a specialistának is (nem kell utána néznie az adatoknak, ismereteknek különböző forrásokban);
- segítséget nyújthat a szakemberképzésben és -továbbképzésben;
- mivel sok példányban forgalmazható, bizonyos területeken és bizonyos szinten pótolhatja a szakembereket;
- lehetőséget ad arra, hogy kiváló szakemberek tudását, tapasztalatát megőrizték, átadják az utódoknak.

Ma már nagyon sok területen és nagyon sokféle feladat megoldására készítenek szakértő rendszereket. Elektronikában, fizikában, geológiában, orvostudományban, matematikában stb., diagnózis készítésére, előrejelzésre, hibaelhárításra, szabályozásra, oktatásra stb. Egyre nagyobb szerepük van a döntés-előkészítő és vezetési szakértő rendszereknek.

A szakértő rendszerek ma még nem pótolhatják az embert, s valószínűleg a következő évtizedekben sem fogják. Hiszen csak olyan feladatok megoldására alkalmazhatók, amelyek nem túl bonyolultak (ha meg túl egyszerűek, nem érdemes szakértő rendszert alkalmazni), a területnek pontosan körülhatárolhatónak és elég szűknek kell lennie, hogy az ismerettechnológia mai szintjén kezelhető maradjon, és nem igényeljen széles körű, jelentős mennyiségű általános ismeretet (ismeretbázisuk csak az adott szakterületre korlátozódik). („A szakértő rendszerek egyes esetekben felülmúlják a specialisták intelligenciáját, de egy hároméves gyermekét nem tudják szimulálni” Fenyő, 1986.)

A szakértő rendszerek speciális csoportját alkotják -, s ezért külön említést érdemelnek - a gyártmánytervezést és gyártásirányítást segítő rendszerek.

A számítógépes tervezés (CAD=Computer Aided Design) szűkebb értelemben azt jelenti, hogy a tervező nem a rajzlapon dolgozza ki ceruzával, vonalzóval és radírral az objektum tervrajzát, hanem a számítógépre bízta, hogy a közölt adatokból, paramétereiből számítsa ki a

matematikai modellt, s jelenítse meg a képernyőn, két dimenzióban az alaprajzokat, metszeteket, három dimenzióban a térbeli viszonyokat, arányokat, alakzatokat. A tervező a paraméterek változtatásával rövid idő alatt tetszés szerint számtalanszor módosíthatja, javíthatja elképzelését. A 3 D (háromdimenziós) megjelenítés fölöslegessé teszi modellek, prototípusok készítését, s alkalmas folyamatok szimulálására is. Tágabb értelemben a rajzi megjelenítés mellett a számítógép elvégzi az összes statisztikai és egyéb számításokat, kiszámítja az anyagszükségletet, kidolgozza a teljes költségvetést. (A kész terv adatait azután az adatátviteli csatornán át lehet küldeni a szerszámgépeket vezérlő számítógépnek.)

Egy ilyen rendszer nagyon megkönnyíti a tervezők feladatát. Átvállalja a rutinjellegű részfeladatok megoldását, pontosabbá, megbízhatóbbá teszi munkájukat. Ugyanakkor jóval nagyobb koncentrációt, gyorsabb munkaritmust követel. (Ezért történt meg annak idején a CAD bevezetésekor egy angol repülőgépgyárban, hogy a tervezők sztrájkba léptek. A gép ugyanis nem vette figyelembe, hogy az ember nincs mindig „ihletett állapotban”, az ötletei nem jönnek olyan gyorsan, mint ahogy azt a számítógép kidolgozza - és elveti.)

A számítógéppel segített gyártásszervezés (CAM= Computer Aided Manufacturing) célja a rendelkezésre álló emberi, tárgyi és számítástechnikai erőforrások optimális hasznosítása, az anyag- és információfeldolgozási folyamatok integrálása. A következő részterületeket foglalja magába:

- gyártástervezés, amely tovább bontható gyártóeszköz- (szerszám, eszköz) és gyártórendszer-tervezésre, az alap- és segédanyag-felhasználás és a munka normázására;
- számítógéppel segített gyártás a következő részterületekkel: a gyártó berendezések számjegyes vagy számítógépes vezérlése, termelésirányítás, készletgazdálkodás, robotizált anyagmozgatás és számítógéppel segített minőségellenőrzés. (Az automatizált minőségellenőrző rendszerek bevezetésével lehetővé válik, hogy a statisztikus mintavételt felváltsák a minden termékre kiterjedő ellenőrzéssel.)

A további fejlődést az integrált vállalati termelési rendszer (CIM=Computer Integrated Manufacturing) jelenti. Ebben a rendszerben az anyag-, energia- és információ-feldolgozó folyamatok szerves kapcsolatba kerülnek egymással a vállalati hierarchikus hálózat keretében. A három részterület - a konstrukciós és technológiai tervezés, a gyártás és kivitelezés, valamint az ügyvitel - tevékenységét irányító mikro- vagy miniszámítógépek információit saját gazdaszámítógépek összegzik, s küldik tovább a vállalati nagyszámítógéphez, amelytől a kívánt adatok minden időpontban, minden részlegen rendelkezésre állnak.

A CIM bevezetése jelenti majd az első lépést a jövő, ember nélküli automatizált gyárai felé.

Dedukciós rendszerek

Olyan MI-rendszerek, amelyek a logika szabályai szerint a logikai műveletek (implikáció, negáció, diszjunkció, konjunkció) alkalmazásával egy állításból újabbakat vezetnek le. Elsősorban matematikai tételek igazolására szolgálnak. Nem hoznak létre új matematikai ismereteket, csak segítenek az ember által felállított tételek igazolásában.

Tanuló rendszerek

A tanulás rendszerelméleti, kibernetikai szempontból azt jelenti, hogy a rendszer képes működését és tulajdonságait javítani az idő függvényében.

S akár az emberi tanulásnak, az MI-rendszer tanulásának is különböző formái vannak.

Az ismeretek mennyiségi növelése. A „magolás” egyszerű programozási feladat, amely nem kíván semmiféle különlegesebb logikai műveletet.

Az új ismeretek elsajátítása „oktatás” útján. Ebben az esetben már nem egyszerű mennyiségi növekedésről van szó. A rendszernek olyan módon kell asszimilálnia az új ismereteket, hogy ezáltal megjavítsa teljesítményét, következtetései pontosabbak, megbízhatóbbak legyenek.

Tanulás analógiák révén. A rendszernek fel kell ismernie a hasonlóságot meglévő tudáselemei és új ismeretek, tények között, alkalmazkodnia kell az olyan új szituációkhoz, amelyek analógiát mutatnak már előfordult helyzetekkel.

Tanulás példák révén. A rendszernek egyedi esetekből, amelyeket bemutatnak neki, általános szabályokat kell levonnia. Például bemutatnak a rendszernek néhány lovat és nem lovat, s meg kell állapítani a ló általános tulajdonságait, hogy legközelebb, amikor lovat lát, felismerje.

Tanulás „gondolkodás” útján. A rendszer saját tudásanyagát vizsgálva felismeri a szabályszerűségeket, s ezekből új szabályokat, törvényeket állapít meg, új tényekre következtet. A tanulásnak ez a formája kívánja meg a legmagasabb rendű logikai tevékenységet.

Érdekes módon a tanulás, a tanuló rendszerek kérdése - eltekintve néhány kivételtől - csak a nyolcvanas években keltette fel az MI-kutatók figyelmét, s bár az utóbbi időben egyre többen dolgoznak ezen a területen, még kevés az általánosítható eredmény. Azt azonban az eddigiekből is meg lehet állapítani, hogy a tanulás elsősorban a struktúrák kezelését jelenti.

Robotika

A robottechnika és az MI viszonyáról Michael Brady ezt írja: „A robottechnika kihívást jelent az MI számára azáltal, hogy arra készíti, a reális világ reális tárgyaival foglalkozzék” (Brady et al., 1984). Ez a kihívás akkor jelentkezett, amikor a robotok odáig fejlődtek, hogy „észre” volt szükségük.

Az első szabadalmat robotnak nevezhető készülékre George Devel amerikai mérnök kapta 1956-ban. Az első robotot 1961-ben alkalmazták a General Motors autógyár öntödéjében, s 1969-ben már húsz robotsor végezte a ponthegeztést. Ezek a robotok helyhez kötött, nehézkes berendezések voltak, egy karral, egy manipulátorral, két-három diszkrét szabadságfokkal, s csak néhány egyszerű műveletet - festékszórás, ponthegeztést, formaöntést, rakodást - tudtak végezni. A mai harmadik, negyedik nemzedék tagjai könnyű, önálló, gyors mozgású „munkatársai” az embernek, sok karral, flexibilis ízületekkel, univerzális - vagy automatikus - cserélhető „kezekkel”, sok és folyamatos szabadságfokkal. A világban érzékelőik segítségével tájékozódnak, s mesterséges intelligencia vezérli őket. Ennél fogva nagyon sok műveletet tudnak elvégezni.

A robotok három fő része a műveleteket végrehajtó manipulátor, amely magában foglalja a rendszerint forgó vagy csúszó tengelyeket és a végeffektorokat, a robot „kezeit”, a pneumatikus, hidraulikus vagy elektromos meghajtó berendezést és a vezérlő berendezést. A robotnak ez a „szerve” fejlődött a leglátványosabban az elmúlt tíz évben.

A programozható robotok kifejlesztésében az első lépést az úgynevezett Lead Through módszer jelentette. Az emberi operátor végigvezeti a robotot a munkatérben a kívánt lépéseken. A vezérlő berendezés - másodpercenkénti többszörös mintavétellel - feljegyzi a lépéseket, a karok helyzetét. A módszer hátránya, hogy a program nagyon merev, nem tesz lehetővé módosítást, nem alkalmas feltételes utasítások beillesztésére. Hiba vagy változások esetén az egész programot újra kell tanítani.

Magasabb szintet jelent a Teach-Box segítségével való programozás. Az operátor billentyűzet, kapcsolók, vagy botkormány segítségével vezeti végig a robotot a művelet fázisain, s így generálja a programot, amely meghatározza a tengelyek és manipulátorok egymás után következő helyzetzeit. A programozónak arra is lehetősége van, hogy bármely ponthoz hozzárendeljen egy várakozási jelet, utasítást, s így lehetőséget teremtsen más berendezésekkel való kapcsolódásra.

A következő szinten megjelennek az intelligens robotok. A „robotintelligencia” első feltétele, hogy a robot érzékelje a környezetét, tájékozódni tudjon benne. Ehhez „érzékszervekre” van szüksége. Mind ez idáig a látás, tapintás és újabban a hallás képességével ruházták fel a robotokat. És itt kapcsolódik a robotika az MI-kutatáshoz.

A látásról már volt szó, arról is, hogy milyen nehézségekbe ütközik a vizuális információk feldolgozása. Mindamellet ma már sikerült a robotok „látását” annyira tökéletesíteni, hogy helytől, helyzetűl, megvilágítástól függetlenül képesek felismerni különféle, nem túl egyszerű tárgyakat, az összevissza dobált munkadarabok közül ki tudják választani a hibás méretű vagy alakú darabokat.

A vizuális érzékelés viszonylagos lassúsága miatt - 30 ezredmásodperc a kép letapogatása, több tizedmásodperc a feldolgozás - gyors közeledéskor, a tárgyak megragadásakor a proximitás érzékelése más, gyorsabb érzékelőket igényel. Erre a célra infravörös sugarakat, örvényáram-detektorokat, légnyomás-detektorokat alkalmaznak.

A taktilis szenzorok érzékelik az érintkezést, a nyomást, az erőt, a forgatónyomatékat. A befogásnál a fellépő erő érzékelése nagyon fontos, mert csak így kerülhető el a túl nagy erő okozta kár vagy a túl kis erő esetén fellépő csúszás.

A hang érzékelése nem tévesztendő össze a beszéd érzékelésével - elsősorban a távolság megállapítására szolgál. Gyakran alkalmaznak erre a célra ultrahangos érzékelőt.

A magas intelligenciájú robotot az jellemzi, hogy kommunikálni tud a „munkaadóival”, utasításokat fogad el - élőszóban is -, a környezetéről szerzett információk segítségével a memóriájában tárolt modell alapján megfogalmazza feladatait, tervet készít, végre is hajtja, miközben állandóan ellenőrzi önmagát.

A korszerű robotok vezérlését, az érzékelőktől nyert információk feldolgozásával, több mikroprocesszorból álló, hierarchikus felépítésű vezérlőberendezések végzik. Feladatuk többek közt az érzékelőkből természetüknél fogva időkülönbséggel érkező adatok összeillesztése, a műveletek időzítése, szinkronizálása. A vezérlés felső szintjén történik - koordináta-transzformációk és egyéb műveletek segítségével - a robot „durva” beállítása, és az egész tevékenység koordinálása. Alsóbb szinten a pontosabb beállítás, a pályagörbék, az erő és a sebesség meghatározása, a legalsó szinten az elemi műveletek irányítása. Az érzékelők információi a hierarchia különböző szintjein lépnek be, s úgy módosítják az utasításokat, hogy az előre nem látható körülmények, perturbációk ne akadályozzák a feladat végrehajtását.

A robotok nagy szolgálatot tesznek az embernek azzal, hogy elvégzik a veszélyes, piszkos, fárasztó munkát. Emellett sok „jó tulajdonsággal” is rendelkeznek: megszakítás nélkül tudnak dolgozni napi 24 órát (csak a karbantartásuk igényel némi időt), nem lesznek betegek, nem fáradnak el, nincs szükségük ebéd- és cigarettaszünetre, nem sztrájkolnak, nem követelnek fizetésemelést. De ne legyünk rosszmájúak. Az intelligens robotok bámulatra méltó munkafolyamatok elvégzésére képesek akár egy üzemben, akár a Földön kívül, akár az óceánok mélyén.

A robotok alkalmazásának legmagasabb szintjét az integrált automatizált üzemek jelentik, amelyekben a robotok a számítógép-vezérlésű szerszámgépek, az automatizált szállítóberendezések, raktári rendszerek, minőség-ellenőrző automaták egységes termelési rendszerré kapcsolódnak össze. Hogy ez a fejlődés milyen társadalmi gondokat hoz majd magával, arról az információs társadalomról szóló fejezetben lesz szó.

A robotok száma világszerte rohamosan nő. Japánban, az Egyesült Államokban sok tízezer üzemel. Alkalmazásukkal jelentősen lehet csökkenteni az önköltséget, növelni a termelékenységet -, s a munkanélküliek számát.

Érdekes E. Filemon fejtegetése erről a kérdéstről. A robotizálás üzemi szinten létszámcsökkenéshez, s így a munkanélküliség növekedéséhez vezet. Főleg az alacsonyabb képzettségű dolgozók, az idősebbek és a nők esnek áldozatul. De ha egy üzemet nem modernizálnak, az éles gazdasági versenyben lemarad, csődbe jut, s akkor az alkalmazottak százai-ezrei maradnak munka nélkül.

Japánban a robotizálást minden szinten támogatták, a kormánytól a munkásokig. A robotok szaporodása növelte a termelékenységet, fokozta a japán ipar versenyképességét a világpiacon, nőtt az export, a foglalkoztatottság nem csökkent.

Nyugat-Európában az ipar bekerült egy ördögi körbe. A munkások tiltakoztak a robotizálás ellen, mert félték a munkanélküliségtől. Így a termelékenység növekedése nem tartott lépést a japán iparéval, s csökkent a versenyképesség a világpiacon. Emiatt redukálni kellett a munkaerőt: jött a munkanélküliség, amiért a munkások még élesebben tiltakoztak az automatizálás ellen, ezért tovább csökkent a termelékenység, és a ciklus így ismétlődik (Filemon, 1987).

Szóljunk néhány szót a háztartási robotokról is. A harmadik nemzedék - mert már ők is ott tartanak - ultrahang és infravörös érzékelővel van felszerelve, megismeri gazdája hangját, betörés vagy tűz esetén beépített telefonján értesíti a rendőrséget, tűzoltóságot, fel és le tudja kapcsolni a villanyt, ajtót nyit, kezeli a porszívót, beépített televíziós készüléke, rádiója, magnetofonja alkalmassá teszi gazdája szórakoztatására stb. Egy ilyen „háztartási alkalmazott” 1985-ben 30.000 dollárba került de az előrejelzések szerint 1990-re már 3.000 dollárért lesz kapható.

Befejezésül annyit, hogy az MI jelenleg a számítástechnika legnagyobb kihívása mind a hardver, mind a szoftver tekintetében”.

AZ INFORMÁCIÓS TÁRSADALOM

Információgazdaság

Az információs társadalom fogalmát a hetvenes évek elején vezették be az amerikai szociológusok a posztindusztriális társadalom jellemzésére (Bell, 1973), de az információ növekvő gazdasági-társadalmi szerepére Fritz Machlup már 1962-ben felhívta a figyelmet (Machlup, 1962). A munkaerő-foglalkoztatási adatok elemzéséből kiindulva megállapította, hogy az információ előállításával, feldolgozásával, gyűjtésével, tárolásával, elosztásával és terjesztésével foglalkozó szektorok részaránya az amerikai gazdaságban egyre nagyobb. Az információ gazdasági jelentőségéről Pesti Lajos a következőket írja: „Az Egyesült Államok, Japán, Nyugat-Európa nem lehetnének a világ gazdasági hatalmai pénzintézeteik, tudományos és oktatási, igazgatási információs központjaik nélkül. Az anyagi szférában felhalmozott

óriási kapacitások holt tőkévé válnának az információs szektorból szüntelenül áramló információk nélkül (Pesti, 1989). Porat pedig az információs tevékenységeket kiemelve a kitermelő, feldolgozó és szolgáltató szektorból, kidolgozta a társadalom négysektoros modelljét, s első művelőjévé vált az információ-gazdaságtannak (Porat, 1977).

Talán nem árt, ha megismerkedünk néhány fogalommal az információgazdaság köréből.

Az információs ipar az informatikai és távközlési berendezések, eszközök, alkatrészek előállítását végzi, s az elmúlt évtizedekben a legdinamikusabban, leggyorsabban fejlődő iparággá vált.

Információs terméknek nevezünk minden olyan terméket, amely tartósan és rendeltetésszerűen jelet hordoz. Ide tartoznak - történeti sorrendben - a nyomdaipari termékek, hanglemezek, filmek, hangszalagok, videoszalagok, szoftvertermékek és számítástechnikai adattermékek.

Információs tevékenységen értjük mindazokat a tevékenységeket, amelyeknek célja információs termékek előállítása, információs szolgáltatások biztosítása.

Információs szolgáltatások az információ-előállító résztevékenységek, a nem tartós jelek előállítása, az információtovábbítás.

Az információs ágazatok az információs tevékenységet folytató ágazatok: a kutatás-fejlesztés, az oktatás, távközlés, nyomdaipar, kultúra, az adatfeldolgozás, a pénzügyintézetek, részben az egészségügy, államigazgatás.

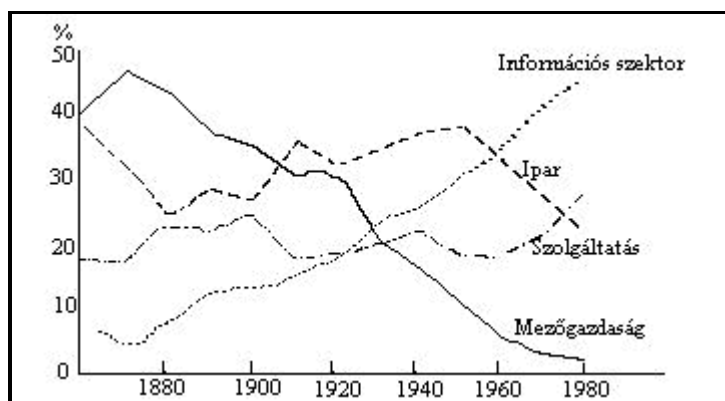
Az információs foglalkozásúak az OECD osztályozása szerint - az információ-előállítók (műszaki-tudományos dolgozók, adatgyűjtők stb.), az információ-feldolgozók (vállalati és állami vezetők, termelésirányítók, folyamatirányítók, ügyviteli dolgozók, ügyintézők), az információ-elosztók vagy - továbbítók (az oktatók, a tömegkommunikáció dolgozói) és az információs infrastruktúra dolgozói (információs gépközelők, karbantartók, a posta és a távközlés dolgozói).

Az informatika az információ áramlásának különböző módozataival, feldolgozásának és hasznosításának módszereivel, a termelékenységre és hatékonyságra gyakorolt hatásaival, megfigyelési és ellenőrzési célokra való felhasználásával és végezetül a társadalmi-gazdasági fejlődést és a társadalmat alakító szerepével foglalkozik. (Az UNIDO egyik kiadványában adott meghatározás.)

Más megfogalmazásban az informatika az a tudományos diszciplína, amely az elektronikus információs rendszerek alaptulajdonságait, az információs környezetet, az információs technológiákat, folyamatokat tanulmányozza, s biztosítja a társadalom informatizálásának elméleti alapjait.

Az információs társadalom kialakulásának egyik jele tehát, hogy először a legfejlettebb országokban (Egyesült Államok, Japán), azután a többiben is gyors fejlődésnek indul az információs szektor, s az információs foglalkozásúak száma eléri, majd meghaladja az iparban és a szolgáltatási szektorokban dolgozók számát. (1988-ban az Egyesült Államokban a munkavállalók 45%-a, Angliában 40%-a dolgozott az információgazdaságban.) A bruttó hazai termék mintegy 30-50%-a vezethető vissza információs tevékenységekre. Bár a fentiekkel kapcsolatban azt is meg kell jegyeznünk, hogy sok szakember véleménye szerint az információs szektor és az információs dolgozók fogalma túl általános, nincs pontosan definiálva, a szolgáltatási szektor és az információs szektor közötti határvonalat nem objektív ismérvek, hanem egyedi preferenciák húzzák meg. Szigorúbb, specifikusabb meghatározást alkalmazva, az információs dolgozók részaránya jóval kisebbnek adódik (Debons et al., 1981).

Ami az információ gazdasági szerepét és jelentőségét illeti, vannak különvélemények is. Theodore Roszak amerikai szociológus, aki az *Információ kultusza* című könyvében, igen kemény, talán előítéletektől sem mentes, elfogult bírálatnak veti alá az információs szemléletet, ezt írja: „Gazdasági életünket „információs gazdaságnak” minősíteni merő zszurnalista dagály” (Roszak, 1986).



36. ábra. A munkaerő szektoronkénti megoszlásának változása az Egyesült Államokban 1860 és 1980 között. (Forrás: Magy. Tud., 27, 887)

Infrastruktúra

A műszaki alapok felől nézve a számítástechnika, a távközlés és a mikroelektronika rohamos fejlődése és összeolvadása ismérve az új társadalomnak. A szakértők véleménye szerint az információs társadalom megvalósulásáról akkor beszélhetünk majd, amikor létrejön a globális, egységes információs-kommunikációs hálózat (Masuda információs közműnek nevezi [Masuda, 1980]).

Vagy ahogy Cawkell fogalmazta: az információs társadalom egyik előfeltétele a telekommunikációs bázisú információs infrastruktúra (Cawkell, 1986).

Az információs infrastruktúra fokozatosan - de egyre gyorsuló ütemben - alakul ki. A távközlés és az informatika integrálódása talán ott kezdődött, amikor a telefonvonalakat kezdték igénybe venni a táv-adatfeldolgozás céljára. A vállalatok, intézmények adat-előkészítő és -beviteli állomásai telefonhálózaton keresztül kapcsolódtak a számítóközpontok nagykapacitású számítógépeihez.

A számítástechnikai termékek, főleg a számítógépek választékának szélesedésével és az árak csökkenésével azután kialakulnak a vállalati-intézményi belső lokális hálózatok, s ezek most már magasabb szinten kapcsolódnak az országos vagy nemzetközi információs hálózatokba.

A fejlődés másik vonalán megjelennek a különböző telematikai szolgáltatások.

A távközlési eszközök összekapcsolása különböző adatbankokkal létrehozta a televíziós videó-adatszolgáltatások különböző formáit.

A teletext a tévéadással együtt a sorközüket kihasználva szöveges információkat, híreket, sporthíreket, időjárás-jelentést, kulturális programokat stb. közvetít.

A videotex a telefonhálózaton keresztül megfelelő végkészülékkel kétoldalú kapcsolatot biztosít a tévékészülék, személyi számítógép vagy videoterminál és különböző adatbankok között. (Franciaországban üzemel a világ legfejlettebb videotex rendszere: 1988-ban több

mint 4 millió videotex terminált használtak, míg a világ többi országában összesen nem érték el a félmilliót. Igaz, a rendszeren 7.900 szolgáltatás, illetve szolgáltató érhető el, az elektronikus telefonkönyvtől a házi bankszolgáltatásokig, jogi tanácsadásig, helyfoglalásig.)

Az online elérhető adatbázisok a tudományos, műszaki, gazdasági, pénzügyi információk (bibliográfiai adatok, tényadatok, teljes cikk-, tanulmányszövegek) millióit teszik hozzáférhetővé.

Az elektronikus posta az üzeneteket a számítógép memóriájában tárolja a címzett számára. A távkonferencia-rendszerek akár világkongresszusok megrendezését is lehetővé teszik úgy, hogy minden résztvevő otthon maradjon.

Ma még a legfejlettebb országokban is önálló, egymástól többé-kevésbé független csatornákon áramlanak a különböző információk. A rádió, a televízió, valamint a távbeszélő-, távíró- és adathálózatok gondoskodnak az egyéni és intézményi, vállalati információs igények kielégítéséről. A gyors fejlődés azonban lehetővé teszi, hogy a hagyományos hírközlő hálózatok alkalmassá váljanak a különböző szolgáltatások integrálására, illetve újabb szolgáltatások bevezetésére. A távbeszélő-hálózat például a digitalizálás és a nagyobb sáv szélességű csatornák kialakítása révén alkalmassá válik a teletex vagy a telefax szolgáltatás ellátására. A kábeltelevíziós hálózat pedig roppant nagy sáv szélességével a legkülönbözőbb szolgáltatásokat tudja biztosítani.

A jövő társadalmának információs hálózata az Integrált Szolgáltatások Digitális Hálózata lesz (Integrated Services Digital Network = ISDN). A hetvenes évek közepe táján került napirendre egy ilyen hálózat kiépítésének kérdése különböző nemzetközi fórumokon, s a Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique (CCITT) a következő években ajánlásokat dolgozott ki abból a célból, hogy majd az egyes országokban kiépülő rendszerek összekapcsolhatók legyenek egymással. A széles sávú ISDN-hez nélkülözhetetlen az üvegszál, amely a videoátvitel mellett nagyon nagy sebességű, 500 Mbps (Megabájt per secundum) adatátvitelt tesz lehetővé 20-30 km-es körben. Már több országban megkezdték az ISDN-hálózatok kiépítését (Bocker, 1987).

Japánban a már említett nagyszabású terv keretében folyik a hálózat kiépítése, s elképzelhető, hogy az ezredfordulóra Európát, az Egyesült Államokat és Japánt közös hálózat fogja összekapcsolni.

Az elmúlt 150 évben a világot átszöttek a hagyományos hírközlő hálózatok, amelyek egyre magasabb szinten elégítik ki a maguk sávjában az igényeket. Természetesen irreális elképzelés lenne most egyből kicserélni minden telefon-, távíró- és újabban kiépült adathálózatot az ún. integrált hálózattal. Az ISDN mindenütt a világon fokozatosan fog kiépülni, és jó darabig párhuzamosan fog működni a már létező hálózatokkal.

Első lépésként a számítástechnika és hírközlés „C&C” (Computers and Communications) rendszerré, informatikai hálózattá integrálódott, s ez már jelentős előrehaladást jelentett azon az úton, amely az információs társadalom kommunikációs környezetének kiépítéséhez vezet (Shimasaki, 1987).

A teljes ISDN kiépítése Japánban Ishihara véleménye szerint 15-20 évet fog igénybe venni (Ishihara, 1987).

Shimasaki a korszerű kommunikációs rendszerben három réteget különböztet meg:

- a nyilvános (public) kommunikációs hálózat szintje: pl. a távbeszélő;
- az üzleti jellegű, üzleti vállalkozásként működő hálózatok, amelyek vagy saját vonalakkal rendelkeznek, vagy nyilvános vonalakat bérelnek;
- a rádió- és tévéhálózat, amelynek fő jellegzetessége az egyirányúság, ez különbözteti meg az előző kettőtől.

Az ISDN sokszintű és sokdimenziós rendszer lesz. A hálózathoz a felhasználók új típusú integrált hang- és adatterminálok segítségével fognak kapcsolódni (Integrated Voice Data Terminal = IVDT). Olyan terminálok ezek, amelyek egyesítik a telefont és a személyi számítógépet, s egyaránt alkalmasak hang, írott szöveg, kép továbbítására. Ehhez csatlakoznak a faksimile-berendezések és a videoterminálok (pl. a videotelefon) (Ishizaki, 1987).

Az ISDN-rendszer két alrendszerből áll: a kommunikációs kezelő-feldolgozó és az információkezelő-feldolgozó rendszerből. Előbbi a közleményeket minden átalakítás nélkül továbbítja - természetesen a műszaki átalakításoktól eltekintve -, utóbbi viszont tartalmi átalakítást, feldolgozást végez, az információkat a felhasználó igényeinek megfelelően dolgozza fel (Ito, 1987).

Az integrált szolgáltatások hálózata -, s ez természetes - a szolgáltatások széles skáláját fogja biztosítani az állampolgároknak a szórakoztató műsortól a táv-adatfeldolgozásig és a betörésjelzésig, a távtanulástól a bankügyletek lebonyolításáig (Bárdos, 1983).

Változások - remények és félelmek

Mint már többször említettük, az információs forradalom gyökeresen megváltoztatja egész életünket. Ennek az életmód- és szemléletváltozásnak a méreteit és az új médiumok társadalmi súlyának növekedését mutatja, hogy az előrejelzések szerint az ezredfordulóra a fejlett országok lakosságának havi kiadásából mintegy 30%-ot a telekommunikációs költségek teszik majd ki.

Ezeket a változásokat természetesen még korántsem lehet teljes terjedelmükben, minden következményükben felmérni. Ahogy Cawkell némi malíciával írta: „Aki ma az információs társadalomról beszél, az jövőkutatási gyakorlatot végez.”

Próbáljuk most mégis röviden áttekinteni a várható következményeket.

Az iparban az automatizálás, robotizálás, a CAM-, majd a CAP-rendszerek elterjedése, az irodai munka automatizálása (bürotika), a szakértő, vezetési rendszerek, a vállalaton belüli információs hálózatok (LAN = Local Area Network) kiépülése stb., egyszóval az informatizálás lényegesen javítja a termelés szervezettségét. Növeli a technológiai fegyelmet, a gazdálkodás eredményességét (készletek csökkenése, átfutási idők rövidülése stb.), s mindezzel párhuzamosan lehetővé teszi, sőt megköveteli a szervezési koncepció megváltoztatását. A hierarchikus rendszerek helyét átveszik az általában önállóan is működőképes részrendszerekből felépülő kooperatív rendszerek, amelyek tetszés szerint bővíthetők. Az ilyen rendszerek jó működésének feltétele természetesen a részek közötti megbízható, gyors információforgalom.

A viszonylagos önállósággal együtt jár az alacsonyabb szintű döntések felértékelődése, s ez pozitívan hat a szervezet működésére. Ezt a véleményt a szociológusok, jövőkutatók a japán példával támasztják alá. Tudjuk, ez az ország jár az élen a társadalom informatizálásában. A japán munkások kiváló teljesítménye - egy autó összeszerelését például harmadannyi idő alatt végzik el, mint amerikai társaik - nem csak közismert szorgalmuknak és fegyelmezett-

ségüknek tulajdonítható, hanem annak is, hogy üzemeikben sokkal nagyobb a „döntési szférájuk”. Ez pedig pozitív motivációt jelent, fokozza a kreativitást, növeli a termelékenységet.

Más vélemények szerint viszont az információs technológia térhódítása lehetőséget teremt a fokozottabb központi ellenőrzésre. A patron szeme állandóan figyelemmel kísérheti a dolgozó minden lépését, minden mozdulatát, s így az még kiszolgáltatottabbá válik.

Az automatizálás, robotizálás teljesen ki fogja küszöbölni a nehéz, veszélyes, egészségre káros munkát. Ám az is igaz, legalábbis az információs technika mai szintjén, hogy a készülékek alaposan igénybe veszik az ember szemét, idegrendszerét, jóval nagyobb koncentrációt, munkaritmust követelnek. Neuropszichológusok azt állapították meg, hogy az információs rendszereket olyan emberekre tervezik, akik biopszichológiai szempontból teljesen „normálisan működnek”. Sajnos, az embereknek mindössze fele tartozik ebbe a kategóriába. (Ezért fejlesztettek ki a japánok olyan számítógépet, amely össze van kötve az agy működését ellenőrző EEG-szerű berendezéssel, s amikor az fáradtságot jelez, a képernyőn megjelenik a felírás „Tessék tíz percre abbahagyni a munkát és sétálni egyet!”)

A számítógép közvetlen hatását illetően a pszichológusok még két potenciális fenyegetésre hívják fel a figyelmet. A géppel kommunikáló embert az a veszély fenyegeti, hogy átveszi a gép stílusát. Saját emberi problémáit: is úgy fogalmazza meg, leegyszerűsítve, nyelvileg szegényesen, s nem humán struktúrákban kezd gondolkodni. A gépek képernyője előtt ülő emberek között a valódi kommunikáció egyre jobban beszűkül, s mivel otthon is hasonló tevékenységet folytatnak (tévénézés, számítógépes játékok), mindez az emberi kötelékek felbomlásához vezet.

A másik jelenség: a számítógép absztraháló gondolkodást igényel, s térhódításával felértékelődik az elvonatkoztató, befelé forduló, a gyakorlati problémáktól idegenkedő embertípus, s ha ilyen emberek kerülnek kulcspozíciókba, ez a magatartásforma - amelynek előnyei is, de hátrányai is vannak - egész szervezetekre nyomhatja rá a bélyegét.

A szakértő rendszerek elterjedése sem teljesen „veszélytelen”. Néhány azok közül a lélektani hatások közül, amelyekkel számolnunk kell: a munkahely bizonytalanná válása tudatos vagy öntudatlan ellenállást, ellenszegülést vált ki; a rendszer nagyobb tudása gátlást, az önbizalom megrendülését eredményezheti; számolni kell a rendszer dehumanizáló hatásával (aszociálissá válás, a kommunikációs képesség csökkenése), a tudásmegszerzést gátló hatásával (ha a gép mindent tud, mi értelme van a tanulásnak?) (Dominics, 1988).

Az úgynevezett irodai munka - beleértve a vezetői tevékenységet - szintén gyökeresen megváltozik. A könyvelési, pénzügyi, termelési nyilvántartások, s általában mindenfajta nyilvántartási munka, a titkári teendők számítógépesítése egyre gyorsabb ütemben halad, szervesen beleilleszkedik a vállalat egységes információs rendszerébe. Az irodák megszokott berendezési tárgyai mellé beköltöznek a terminálok, személyi számítógépek, telefax stb., hogy biztosítsák a sokoldalú kommunikációt a vállalaton belül és a külvilággal, s lehetővé tegyék a hozzáférést azokhoz az információkhoz, amelyekre a legkülönbözőbb szintű döntéshozóknak szükségük van (elektronikus iroda). A vezetői munka informatizálása különben is korparancs. A gyors változások korában a vezetőknek szinte percenként kell - lehetőleg jól megalapozott - döntést hozniuk. Ehhez már nem elég a rátermettség, a szakértelem, sok és gyors információra van szükség. A vállalatok vezetésében különben is a fokozottan információigényes tevékenységek irányába toódik el a hangsúly, a közvetlen termelő tevékenységről a kutatás-fejlesztésre és a marketing tevékenységre. A versenyben az a vállalat marad talpon, amelyik hamarabb jut hozzá a piaci (árak, kereslet, kínálat, új piacok, a vásárlók igényei stb.) és a konkurens cégek tevékenységére vonatkozó információkhoz.

A döntéshozóknak tehát szinte korlátlan mennyiségben állnak rendelkezésre a legfrissebb információk. Ám az ember befogadó- és feldolgozó-képessége korlátozott, s ha az információk mennyisége bizonyos kritikus értéket meghalad, egyáltalán nem biztos, hogy a kínálatból (esetleg túlkínálatból) éppen a legfontosabbakat választja ki, sőt az is lehet, hogy idegrendszere visszautasítja az információözönt, s döntései teljesen megalapozatlanok, önkényesek lesznek. De talán ezen a bajon fognak segíteni a döntés-előkészítő szakértő rendszerek.

Az informatizálás következményeként jelentősen emelkedik minden területen a termelékenység, s igen-igen nagymértékben csökken a termelőfolyamatok nyersanyag- és energiafogyasztása. (Utaljunk vissza Parker megállapítására a növekedéssel kapcsolatban.)

A termékek minősége, megbízhatósága lényegesen javul. Elsősorban azért, mert a számítógépes tervezés, gyártás sokkal pontosabb munkát tesz lehetővé, másrészt lehetővé válik a termékek darabonkénti ellenőrzése (a mai statisztikus ellenőrzés helyett).

Maguknak a termékeknek az energiafogyasztása is csökken a mikroprocesszoros szabályozás eredményeként. (Pl. optimalizálni lehet a járművek üzemanyag-fogyasztását, a háztartási eszközök energia-felvételét stb.)

Feleslegessé válik, s eltűnik sok olyan gyártási eljárás, amely manapság a levegőt, s a vizet szennyezi, másoknál pedig a paraméterek optimalizálása, számítógépes ellenőrzése minimálisra csökkenti a káros hatásokat. Az információs technológia elterjedése ilyenformán segít megoldani az emberiség néhány globális problémáját.

Súlyos gondot okoz viszont - főleg az átmeneti korszakban - a munkaerő-foglalkoztatás. Az informatizálás ugyanis lényegesen módosítja a munkaerő-struktúrát, mind vertikálisan, mind horizontálisan.

Függőleges tagozódásban érdekes ellentmondásos folyamat játszódik le. Az automatizálás fokozatosan kiküszöböli a hagyományos értelemben vett szakképzetlen munkát, és megnöveli a keresletet a magas képzettségű szakemberek iránt. Ugyanakkor létrehozza a szakképzést nem igénylő munka új típusát, és sok munkahelyen - informatikusan kifejezve - redundánssá teszi a szaktudást (műszerek leolvasása, gombok nyomogatása stb.).

Vízszintes tagolódásban a szerkezetváltás, legalábbis az első szakaszban, a munkanélküliség növekedéséhez vezethet. A dinamikusan fejlődő információs ipar, az infrastruktúra különböző területei, a szolgáltatások felveszik ugyan a hagyományos iparágakban felszabaduló munkaerő egy részét, de nem biztos, hogy a munkahelyek számának növekedése az egyik oldalon lépést tart a csökkenéssel a másikon. Másrészt a mai középkorú vagy még idősebb dolgozók számára ez nem jelent megoldást. Egy negyven-ötven éves öntőmunkás bajosan tud elhelyezkedni a mikroelektronikai iparban. Természetesen mindez csak az átmeneti időszakra vonatkozik.

A kérdés végleges megoldását a munkaidő lényeges csökkentése fogja jelenteni, s ezt a termelékenység növekedése lehetővé is teszi. A munkavégzésnek egy új lehetőségét teremt meg az irodai munka számítógépesítése az adatátviteli hálózatok építése után: a távmunkavégzést. Ha a dolgozónak a számítógéppel kell kommunikálnia, ehhez nem kell az irodában levő terminál előtt ülnie. Ülhet az otthoni személyi számítógépe előtt is (amely hálózaton keresztül a vállalat nagy számítógépéhez csatlakozik). Nem a dolgozó megy be a munkahelyére, hanem a munka megy haza a dolgozóhoz. Az amerikaiak a munkaszervezésnek ezt a formáját telecommutingnak nevezték el (a commuting többek között ingázást jelent). Mivel az adatátvitel költségei egyre csökkennek, míg a városi közlekedés egyre nehezebb és drágább, a távingázás a vállalatnak is, a dolgozónak is gazdaságos, időnyereséges. Emellett hozzájárulhat a családi élet, kapcsolatok megerősítéséhez, a gyermeknevelési gondok csökkentéséhez, s

olyan szociális problémák megoldását is lehetővé teszi, mint a beteggondozás, a mozgásukban korlátozottak foglalkoztatása.

Az informatizálásnak ezt a következményét sem tekinti azonban mindenki egyértelműen áldásnak. Bár haszna kétségtelen, sokan attól tartanak, hogy az emberek elszigetelődéséhez, közösségből való kiszakadásához, a társadalom atomizálódásához fog vezetni. (Az ipari forradalom az ember és természet kapcsolatát bontotta meg, az automatizálás, robotizálás az ember-ember kapcsolat megbontásával fenyeget.) Olyan elképzelés is van - ezeknek a kedvezőtlen jelenségeknek az elkerülésére -, hogy a lakónegyedekben terminálokkal felszerelt kis központokat hoznának létre, s az egy környéken lakó dolgozók onnan lépnének kapcsolatba vállalatukkal. Így a lakóhelyi közösségek megerősödése kárpótolna a munkahelyi közösségek felbomlásáért.

Nagy változásokra számíthatunk a világgazdaság szerkezetében, a nemzetközi kapcsolatokban is. Az információs technológia fejlődése, a távközlési hálózatok kiépülése hatalmas faluvá zsugorítja a Földet. A világ csatornáin áramló információk mindenkihez eljuthatnak, s hozzájárulhatnak az országok, nemzetek közötti kapcsolatok szélesedéséhez, mélyüléséhez, a fejlődésbeli különbségek eltűnéséhez. De ... a trendek azt mutatják, hogy az úgynevezett manufaktúra-termékeknek mind nagyobb hányadát a harmadik világ országaiban állítják elő, s a fejlett országokban a „gyárkérményes” iparágak helyét a jóval kevesebb nyersanyagot és energiát, de annál több szakértelmet és magas színvonalú infrastruktúrát igénylő információs iparágak veszik át, s ez tovább szélesíti a szakadékot a „világok” között.

Mint ahogy az is, hogy a tudományos-műszaki-gazdasági információk java része - és java! - a fejlett országokban keletkezik, s halmozódik fel, és itt működik azoknak a szervezeteknek a nagy része, amelyek az információkat forgalmazzák. Ma már több tucat adatszolgáltató vállalat árulja sok ezer adatbázis sok-sokmillió tudományos-gazdasági-műszaki információját (76% Észak-Amerikában, 21% Nyugat-Európában működik). A harmadik világ országai ilyenformán információs függésbe kerülnek az első világ országaitól. Nemzetgazdaságuk ezen a téren is kiszolgáltatottá válik, konfliktushelyzetekben a szállítók elzárhatják a csatornákat.

A multinacionális vállalatok - amelyeknek központja szintén a fejlett országokban van - ugyancsak a veszély a forrásaivá válhatnak. Olyan információkat juttathatnak egyik országból a másikba, amelyeket azután fel lehet használni a forrásország ellen.

A fejlődő országok számára az információs forradalom új problémákat vet fel. Súlyos anyagi nehézségekbe ütközik a berendezések beszerzése, felszerelése, működtetése. Nincs pénz, nincs képzett munkaerő, hiányzik az infrastruktúra, sok országban az éghajlati viszonyok is nehezítik a berendezések üzemeltetését (a trópusokon pl.), nyelvi problémák, adminisztratív, pszichológiai korlátok akadályozzák ezekben az országokban a társadalom informatizálását. Ezeket a bajokat csak tudományosan megalapozott nemzetközi együttműködéssel lehet segíteni (Gömbös, 1985).

Az információs társadalom születése tehát nemzetközi vonatkozásban sem ígérkezik problémamentesnek. Az optimista augurok szerint ez a különbség az információgazdag és információszegény országok között el fog tűnni, mihelyest az egész emberiség az információs társadalomban él. De valószínű, hogy ez nem fog magától menni, és sokat kell még tenni az új információs-kommunikációs világrendért (Mac Bride, 1982, Gömbös, 1984).

Nem csak az iparban, a gazdasági élet más területein is, a kereskedelemben, a pénzügyben, mindenfajta adminisztrációban, s általában mindenütt, ahol adatok játszanak szerepet, sok újdonságra számíthatunk. Hogy csak néhány példát említsünk: a kereskedelemben az áruforgalom, az árukészletek nyilvántartása, az áruszállítás megszervezése nyilván a számítógép

feladata lesz. De mikroprocesszor vezérli az árkijelzős mérlegeket is (amelyekkel nem lehet becsapni a vásárlót), az elektronikus pénztárgépeket. EPROM típusú szilíciumlapka a „szíve” a világszerte rohamosan terjedő aktív memóriás kártyáknak, amelyek végül is a készpénz teljes (vagy szinte teljes) kiküszöböléséhez fognak vezetni. Ezeket egyébként nagy tárolókapacitásuknál fogva személyes adatbázisoknak is lehet tekinteni, mivel a folyószámla mellett a tulajdonos személyazonossági, egészségügyi adatait is tartalmazhatja, zsebnaptárként, telefonkönyvként, belépésre jogosító igazolványként is szolgálhat.

Az oktatásban - a jövő társadalom egyik legfontosabb szektorában, s az emberiség szempontjából talán döntő fontosságú szektorában - is gyökeres változások fognak bekövetkezni. Súlyos kérdések várnak válaszra. Milyen képzettségre, milyen műveltségre lesz szüksége az információs társadalom emberének, hogy harmonikusan tudjon beilleszkedni az új információs technika és a médiumok alkotta környezetbe, értő felhasználója, ne rabszolgája legyen a technikának, s elkerülhesse azokat a csapdákat, amelyeket a Ianus-arcú haladás állít a társadalomnak? Hogyan lehet a fiatalokat tudatos és értő médiumhasználókká nevelni? Hogyan kell az egész oktatási és képzési rendszert - tananyagot, módszertant stb. - úgy átalakítani, hogy az új eszközök kínálta lehetőségek optimális kihasználásával megfeleljen mindezeknek az elvárásoknak?

Az új korszaknak még csak a kezdetén vagyunk. Nem gyűlt össze elég tapasztalat egy adekvát oktatás- és művelődéspolitikai kialakításához. A célok és feladatok azonban már körvonalazódnak.

Az alapvető feladat, ahogy azt Klaus Haefner megfogalmazta: az emberi intelligenciát és a technikai információfeldolgozást, mint egymást kiegészítőket egy mederbe tereljük. Az emberi és a műszaki információfeldolgozás egyértelmű együttműködésére van szükség. Az embernek a fejlődés új fokát kell elérnie: homo sapiens informaticus-sá kell válnia. Konkrétabban: a társadalom minden egyes tagjának információtechnikai képzésben kell részesülnie, értenie kell az információtechnológiai eszközök kezeléséhez, olyan mértékben, hogy autonóm ura legyen ezeknek, hogy mindent, ami a gépre bízható, a sok rutinmunkát, a „kognitív rabszolgamunkát” a gépekre bízva, s emberi képességeit, intelligenciáját emberhez méltó feladatokra fordítsa (Haefner, 1990), Norbert Wienernek, a kibernetika atyjának szavaival: „Human use of human beings”.

A fentiekkel szoros összefüggésben meg kell szabadulni attól a hibás - sőt káros - elképzeléstől, hogy a jövő század emberének csak szaktudásra, információtechnológiai ismeretekre van szüksége. Legyenek bármilyen „okosak” az eljövendő számítógép-generációk, az információk értelmezésére, értékelésére, tudássá integrálására és ilyenként való alkotó felhasználására csak az ember képes, élettapasztalatával, háttértudásával, orientációs képességével, műveltségével. „A ma és holnap információs robbanásával az elektronikus adatfeldolgozás és kommunikációs hálózatok viszonyai közepette is csak művelt fők birkózhatnak meg. Az információs technológia tökéletes kezelése nem látszik lehetségesnek a kulturális örökség értő átvétele nélkül” (Nyíri, 1990). A feladat tehát: meg kell határozni azokat a tartalmi követelményeket, amelyekre az információs társadalomban szükség lesz, s ezeket be kell építeni az oktatás rendszerébe.

Ugyanakkor fel kell készülni azoknak a veszélyeknek az elhárítására, amelyek kisebb-nagyobb mértékben már napjainkban is jelentkeznek.

Az egyik nagy veszély az új médiumok térhódításához kapcsolódik. Ezek ugyanis a felkészületlen, felkészítetlen társadalomban szinte több kárt okoznak, mint hasznot. Bruno Lussato az alábbi, egyáltalán nem szívderrítő képet rajzolja erről a kérdésről.

„Minél többet nézik az emberek - s főleg a gyermekek - a televíziót, annál kevesebbet olvasnak. Minél kevesebbet olvasnak, annál több nehézséget okoz nekik az olvasás. Tehát minél több nehézséget okoz az olvasás, annál kevesebbet olvasnak, és annál többet nézik a televíziót. Ugyanakkor minél többet nézik a televíziót, annál jobban szeretik nézni. És így tovább. Az Egyesült Államokban a videolemez egyik első nagy piaca a katonai kiképzés volt. Miért? Mert az újoncok olvasási szintje szüntelenül csökkent. Felesleges mondani, hogy amikor alkalmazása általánossá válik, az olvasási szint még alacsonyabbra süllyed. Kumulatív hatás ez, amely csak akkor áll meg, amikor az emberek már nem tudnak olvasni.

Talán majd lesznek írnokok, írástudókból álló maroknyi elit. Előnyben lesz-e majd ez az elit, vagy hátrányban? Mindkettő lehetséges. Aldous Huxley Szép új világában nagyon hátrányos a helyzetük: ezeket a furcsa embereket, akik még egy kicsit tudnak írni és olvasni, időnként felkeresik, ahogyan ma az indián rezervátumokat látogatják” (Lussato, 1981).

A másik nagy veszélyt a munkaidő előbb-utóbb bekövetkező csökkenése hordozza magában. Mit fog kezdeni a jövő század embere megnövekedett szabadidejével? Tudjuk, hogy az értelmes, hasznos munka lehetőségétől megfosztott ember fizikai, szellemi, morális degradálódásnak van kitéve. Ha a társadalom nem készül fel ennek a problémának a kezelésére, néhány évtized múltán, főleg a fiatalok körében frusztráció, a céltalanság érzése, az erőszak, a bűnözés, az alkoholizmus, a kábítószer-fogyasztás és más társadalmi bajok elharapódzásához fog vezetni. A társadalomnak reális alternatívát kell nyújtania. Új célokat kell kitűzni, amelyek értelmet adnak a létnek, lehetőséget teremtenek az önmegvalósításra. Mindezt egyénileg nem lehet megoldani. A szociológusok úgy fogalmazzák: a termelő-fogyasztó társadalmat tevékeny társadalommá kell alakítani. Úgy kell nevelni a jövő nemzedékét, úgy kell alakítani a társadalmi tudatot, hogy felértékelődjön minden olyan tevékenység, amely a közösség érdekeit, céljait szolgálja. A ranglistán jelentőségének megfelelő helyre kell kerülnie a permanens tanulásnak (s nem csak azért, mert - ha igaz - a tudás értéke megnő, hanem azért is, mert a műveltség, a világ dolgaiban való tájékozódás az értelmes élet egyik kritériuma), a kulturális, művészi tevékenységnek, a sportnak (aktív sportnak), a turisztikának, az értelmes játékoknak, a gyermeknevelésnek, a szociális gondozásnak, a közösségi ügyekben való aktív részvételnek, a környezetvédelemnek.

A nagy kihívás ott van, hogy sokkal könnyebb a műszaki ismeretek, készségek kialakítása, átadása, a számítógép bevezetése az oktatásba, mint azoknak az emberi képességeknek a kifejlesztése, amelyekre az új társadalomban szükség van. A kreativitás, az áttekintőképesség, a tanulási készség, az hatékonyság, a szolidaritás, a felelősségtudat csak néhány a legfontosabbak közül. Az új pedagógia, az új oktatási- képzési- nevelési rendszer kialakítása még a kezdet kezdetén van. Első lépésként az iskola megnyitotta kapuit az információtechnika előtt. Jelentős lépés ez, hiszen a számítógép és a különböző audiovizuális eszközök eddig elképzelhetetlen lehetőségeket teremtenek az egyéni képességekhez igazodó ismeretátadásra. A személyi számítógépek elterjedésével mind nagyobb szerephez jutnak a tanítóprogramok. Eddig négy típusuk alakult ki.

A gyakorlóprogramok a már megtanult ismeretek begyakorlására, rögzítésére szolgálnak. A számítógép nem csak a kérdésekre adott válasz helyességét értékeli, hanem az időt is, s így jól nyomon követhető a tanulók haladása.

Az oktatóprogramok új ismereteket közölnek a legkülönbözőbb formákban (szöveg, kép, diagram stb.), s kérdésekkel ellenőrzik, hogy a tanuló megértette-e a közölt információt. Ha nem, új megközelítésben mutatják be az anyagot.

A valóság, a fizikai, kémiai, biológiai, társadalmi folyamatok jobb megértését teszik lehetővé a szimuláló- és modellezőprogramok. Olyan jelenségeket lehet a maguk dinamikus mivoltában szemléltetni, amelyek bemutatására eddig gondolni sem lehetett (bolygók mozgása, molekulák viselkedése zárt térben stb.), s a paraméterek változtatásával „kísérletezni” is lehet ezekkel a jelenségekkel.

A didaktikai játékprogramok hatékonyan fejlesztik a tanulók gondolkodását, logikai képességét.

Az új korszak új fogalma a távoktatás. A távközlési és adatátviteli hálózatok, illetve a különböző adathordozók (lemezek, szalagok) lehetőséget teremtenek arra, hogy a tanár az osztályterem falait úgy kitágítsa, hogy akár egy egész ország lakossága beleférjen. (A távoktatás az az oktatási forma, amelyben a tananyagot a tanár és a diák között gép vagy adathordozó közvetíti.) Igen fontos ez egy olyan korban, amelyben az emberek millióit kell állandóan át- és továbbképezni. Csak így lehet a tömeges igénynek elfogadható időn belül és elviselhető áron megfelelni. A távoktatás érdekes rendszerét valósították meg Angliában. A nyílt egyetemen nincs korhatár, nincs felvételi vizsga, az oktatási rendszer moduláris szerkezetű. A hallgatók a tantárgyak hierarchikusan felépített moduláris rendszeréből önmaguk választják ki azokat a tantárgyakat, amelyeket el akarnak sajátítani. A tanulás bármely szinten elkezdhető, s bármikor lehetséges pályamódosítás. Az egyetem biztosítja a lehetőségeket (multimédia-oktatás: tankönyv, hangszalag, videoszalag, rádió, televízió, számítógépprogram, konzultációk), de rendkívül szigorú követelményeket is támaszt. Egy-egy tantárgyból félévenként háromszor kell vizsgázni (helyesebben beszámolni), s a vizsgát háromszor lehet megisméltetni. A bukási arány igen magas. A rendszer nagyon alkalmas a teljes életpálya alatti önképzésre, pályamódosításra, „diplomafényesítésre”.

Az utóbbi években a távoktatás és a Nyitott Egyetem mind több országban válik az oktatási rendszer szerves részévé.

(A távoktatás páratlan lehetőséget jelent a fejlődő országokban, az elmaradott írástudatlan tömegek oktatásában. Ezeknek az országoknak ugyanis sok egyéb bajuk mellett azzal a nehézséggel is meg kell küzdeniük, hogy nincs elég pedagógusuk.)

Az egészségügyben is fontos szerep vár a számítógépre, elsősorban azokon a területeken, amelyek elképzelhetetlenek jól működő információs rendszer nélkül (járványügy, baleseti, onkológiai ellátás stb.). A számítógép alkalmazása nem csak azt jelenti, hogy az egészségügyi dolgozók mentesülnek sok fárasztó rutinmunkától, hanem lehetővé válik az adatok gyors, megbízható feldolgozása és értékelése is.

Hasonló terület a szervátültetési adatszolgáltatás. Heidelbergben működik például a nemzetközi vese adatbank, amellyel több, mint harminc ország van kapcsolatban. Innen pillanatok alatt meg lehet tudni, hol áll rendelkezésre az a vese, amelyre valahol egy betegnek szüksége van. A rendszer üzembe helyezése óta a sikeres műtétek aránya 45%-ról 80%-ra emelkedett.

Az orvos munkáját nagyon megkönnyítik a szakértő rendszerek.

A számítógép képességei új diagnosztikai eljárások kidolgozását is lehetővé teszik. A legjelentősebbek közé tartozik a számítógépes rétegvizsgálat, a computer tomography (CT), amelynek kidolgozója, G. H. Hounsfield 1979-ben megkapta az orvosi Nobel-díjat. Az eljárás lényege, hogy a vizsgált testrésze különböző irányokból röntgensugarat bocsátanak, s mérik az elnyelés mértékét. A kapott adathalmazból a számítógép kiszámítja a testrész (pl. a koponya) minden pontjának elnyelési értékét, s rekonstruálja térbeli képét, amelyen jól láthatók a különböző elnyelésű zónák, daganatok, vérömlenyek stb.

Fontos szerep vár a számítógépre a mozgássérültek, a mozgásukban korlátozottak, világtalanok rehabilitációjában, munkaképességétélésben vagy súlyosabb esetekben mozgási és kapcsolatteremtési lehetőségeik kiszélesítésében. A beszédfelismerő rendszerek segítségével például teljesen mozgásképtelen emberek is kapcsolatot teremthetnek a világgal, s az információnak az a tulajdonsága, hogy kis energiával nagy erőket tud mozgásba hozni, bonyolult folyamatokat tud előidézni, a testi fogyatékosok előtt is megnyit olyan munkaterületeket, amelyek eddig elérhetetlenek voltak számukra.

Ehhez hasonló az a szerep, amelyet a számítógép és az információs hálózat az egyedülálló és idős betegek életében betölthet. A beteg bármikor kapcsolatba léphet az „orvos-számítógéppel”, tanácsot, segítséget, felvilágosítást kérhet, és fordítva, az orvos bármikor ellenőrizheti a betegét (pl. a lázmérő, vérnyomásmérő, EKG adatait).

Míg az egészségügyben és az oktatásban egyértelműen pozitív hatások várhatók, sokat vitatott kérdés, milyen következményekkel jár majd az információs technológia elterjedése a társadalomnak, mint rendszernek a működésére, milyen lesz az információs társadalom szerkezete.

Minden lehetőség biztosítva lesz arra, hogy a döntések a társadalom minden szintjén jobban megalapozottak legyenek. A döntéshozóknak nem csak sokkal több információ fog rendelkezésre állni, hanem a számítógép segítségével bonyolult modelleket dolgozhatnak ki, „társadalmi kísérleteket” végezhetnek. Ily módon döntéseik közvetett hatásait is tanulmányozhatják, s figyelembe vehetik. Ez pedig olyan világban, amelyet a kölcsönös összefüggések szinte áttekinthetetlen szálai szönek át, nagyon fontos. (Sokszor a közvetett és figyelembe nem vett hatások miatt a legjobb döntéseknek is lehetnek káros, sőt katasztrofális következményeik.)

Az egészen biztos, hogy a jövő társadalmá jobban szervezett lesz, hiszen az informatika a szervezettség katalizátora. De hogy ez a szervezettség megmarad-e az optimális szinten, vagy az ember „besegít” az informatikának, és egy agyonszabályozott, túlszervezett, maximálisan centralizált, bürokratikus társadalmat hoz létre, ez még a jövő titka.

Az optimista vélemények szerint mind a gazdasági, mind a társadalmi hálózatoknak a decentralizált, elosztott, kooperatív rendszerek válnak fő modelljeivé. Ezek az együttműködő rendszerek autonóm módon megoldják mindazokat a problémákat, amelyeket az adott egységen belül meg lehet oldani. Saját adataikat maguk tárolják, maguk dolgozzák fel, s jól meghatározott szabályok szerint működnek együtt mindazokkal a rendszerekkel, amelyekre valamely feladat megoldásához szükség van. A decentralizált rendszerekben egy elembe beálló üzemzavar nem befolyásolja az egész rendszer működését, míg a túlságosan nagyfokú centralizáltság, az egész társadalom részletekre is kiterjedő központi irányítása olyan rendszert eredményez, amely rendkívül érzékeny bármilyen meghibásodásra és az egyensúly megbomlására.

A matematikai-rendszerelméleti kutatások eredményei bizonyítják: a komplexitás egy bizonyos fokon túl nem kiszámítható, s így a hagyományos központosított hierarchikus rendszerekkel nem kezelhető. A tervgazdaságon alapuló hierarchikus-központosított, merev rendszerek összeomlása annak köszönhető, hogy hiányzik belőlük a modern komplexitáshoz való alkalmazkodás képessége. A modern értelemben vett együttműködésre épülő demokrácia az a rendszer, amely alkalmas ennek a komplexitásnak a kezelésére.

A decentralizálást műszakilag lehetővé teszi a különböző kapacitású - szuper, nagy, közepes, mini, mikro, személyi - számítógépek és más számítástechnikai eszközök gyors terjedése, a helyi, regionális, országos, nemzetközi hálózatok kiépülése.

A társadalmi kommunikáció vonatkozásában ezt a véleményt erősíti meg az a jelenség, amely világszerte megfigyelhető: egyre jobban szaporodnak a lokális, körzeti kommunikációs rendszerek (vezetékes televízió, CB-rádió), az interaktív hálózatok, amelyek tájékoztatják a kisebb közösségek tagjait a helyi gondokról-bajokról, s biztosítják aktív részvételüket az ügyek intézésében. A helyi és körzeti médiumok aktív részeseivé válnak a politikai életnek. A lakóhely, a szűkebb környezet iránt megnövekedett érdeklődés megteremti az igényt (növeli a politikai és kulturális érzékenységet) a kábeltévé pedig a lehetőséget a demokrácia helyi erőinek a közvetlen részvételre a közügyek intézésében. „Az új technológia és az új demokrácia egy és ugyanazon dolog különböző megjelenési formái” (Vámos, 1990).

Természetesen ebben a kérdésben is vannak pesszimista vélemények. Ezek szerint a jövő társadalmában a központilag irányított, erősen hierarchikus felépítésű információs rendszerek a személytelen - mert számítógép által képviselt - hatalomnak eddig elképzelhetetlen lehetőséget biztosítanak a társadalom minden tagjának ellenőrzésére. Ahogy a számítógép átveszi az uralmat, a bürokrácia távolivá és megkerülhetlenné válik. Súlyosbítja a helyzetet az a jelenség, amelyre Hans Poser hívja fel a figyelmet: mivel a felhasználóknak rendszerint nincs lehetősége az igazság-kritériumok ellenőrzésére, a hitnek egy új fajtája jön létre, amely a számítógépes rendszerként számoltartott anonim autoritásra esküszik, s mivel az információs csatornák végül áttekinthetetlen és ellenőrizhetetlen hálózatokká kapcsolódnak, az ember teljesen elveszíti az ellenőrzését az általa létrehozott eszközök fölött. Az egyes ember annál inkább ellenőrizhetővé válik, s megvalósítható a totálisan ellenőrzött állam (Poser, 1990).

A társadalmi következmények között kell megemlítenünk a nemzedékek szerepcseréjét. A felgyorsult iramú műszaki változások korában nem a fiatalok tanulnak az idősebbektől, hanem fordítva, az öregeknek kell tanulniuk az új iránt fogékonyabb fiataloktól. Ez így önmagában nem lenne baj. De azzal a következménnyel járhat, hogy a fiatalok megkérdőjeleznek, elutasítanak még jól használható, időálló értékeket, csupán amiatt, hogy az idősebbektől származnak. Ez a magatartás pedig könnyen a társadalom destabilizálásához vezethet.

A jövő társadalmában a tudás, a műveltség felértékelődik - vélik a jövőkutatók. (Daniel Bell véleménye szerint a munkaérték-elmélet helyébe a tudásérték-elméletet kell állítani.) De vajon tényleg így lesz-e? Az anyagi javak termelésének növekedése az egyes darabok értékének csökkenéséhez vezet. Vajon nem ugyanez fog történni a szellemi értékekkel is? A tudás, a kultúra minden területén olyan nagy lesz a kínálat, hogy az emberek szemében elvész az értéke. Eltűnik az emberek megbecsülése az információ elsajátításáért kifejtett erőfeszítés iránt.

Az információözön másik potenciális veszélye paradox módon a tájékozódás nehézségében rejlik. Míg a természetes körülmények között élő élőlények biztosan tájékozódnak az őket érő hang-, fény-, szagingerék között, s el tudják dönteni, mi jó és mi rossz számukra, az információs társadalom embere a maga teremtette mesterséges környezetében sokszor tanács-talanul áll a hírek, információk rengetegében, elszédül, majd elfásul, feladja a küzdelmet, becsukja a szemét, fülét.

Ezzel a jelenséggel függ össze némiképpen a társadalom új típusú tagozódásának a veszélye. Könnyen kialakulhat az információgazdagok rétege, az olyan embereké, akik társadalmi helyzetük és képességük révén uralni tudják az információs technológiát, hozzáférhetnek az újdonságokhoz, azokat asszimilálni is tudják - részben ennek köszönhetik társadalmi helyzetüket -, ellenőrzésük alá vonják a csatornákat, s uralmuk alatt tartják az információszegényeket. Ezeknek a veszélyeknek az elhárítása és az információs társadalom jó működésének biztosítása az információs politika feladata. Ennek két alappillére: az információk szabad áramlása és az információhoz való jog. Mindkettő emberi jog, a szabadság és demokrácia záloga.

Az új társadalomban a bűnözés új formája is kialakul. A sajtó, a rádió már ma mind gyakrabban ad hírt „információs” bűncselekményekről: adatlopásokról, adatok megsemmisítéséről, meghamisításáról. Vannak már információs huligánok is, akik személyi számítógépüket a távközlési hálózatra kapcsolva garázdálkodnak. A számítógépes bűnözés legrafináltabb formája a „vírusokkal” való fertőzés. Lényege, hogy valamely szoftvertermékbe (operációs vagy más programba) készítője olyan szakaszt ír be, amely a futtatások során átíródik más programokba, s az előre meghatározott időpontban tönkreteszi a tárolt adatállományokat. Az információs társadalomban tehát az anyagi javak védelme mellett gondoskodni kell az információ védelméről is.

A tolvajok, az illetéktelen felhasználók elleni védelem alapján véve műszaki kérdés, a szokásos versenyfutás a betörő és a zár között. (A védekezés technikájával párhuzamosan fejlődik az alvilág technikája is.) Sokkal nehezebb az adatok védelme az „illetékesek” ellen, azok ellen, akik csalafintaság nélkül hozzáférhetnek az adattárakban, adatbankokban összegyűjtött információkhoz.

Mit jelent ez a kicsit paradox ízü megállapítás? A társadalom különböző szervezeteinek feladataik ellátásához szükségük van a polgárokra vonatkozó ilyen-olyan adatokra, nyilvántartásokra. Már a babiloni agyagtáblák egy része is ilyenszerű adatbank volt. Ha az üzemi vagy körzeti rendelőben nem léteznének fejlapok, a betegnek minden alkalommal újból és újból el kellene mondani minden betegsége történetét. Ha a rendőrség nem tartaná nyilván a bűnözőket, nehezebbé válna a bűnüldözés. Minél szervezettebb egy társadalom, annál több adatgyűjtemény készül az állampolgárokról. A korszerű információ- és kommunikáció-technika, az adatátviteli csatornák, hálózatok kiépülése korlátlan lehetőségeket teremt ezeknek az adatbázisoknak az összekapcsolására, az adatok tetszés szerinti kombinálására, csoportosítására, lehívására bármilyen adatállományon. Ilyen körülmények között az adatok sorsa - ha egyszer bekerültek a hálózatba - követhetlenné válik, s bármikor fennáll a veszélye annak, hogy valakik ártó céllal, rosszhiszeműen használják fel. Szükség van tehát az adatok, különösképpen a személyre vonatkozó adatok jogi védelmére. Átfogó hatékony adatvédelmi törvény kidolgozása azért nehéz, mert egyrészt összhangba kell hozni a társadalom normális működéséhez nélkülözhetetlen információforgalom biztosítását (az információ szabadsága) a személyi adatok titkosságának védelmével, másrészt úgy kell megfogalmazni, hogy betartását ellenőrizni lehessen.

Az első adatvédelmi törvényt az NSZK Hessen tartományában dolgozták ki 1970-ben. Ma már húsz fölött van azoknak az országoknak a száma, amelyekben törvényt hoztak az információ védelmére. Ezekben a törvényekben természetesen sok a közös elem. Abból az alapelvből kiindulva, hogy minden ember szuverén joga, hogy saját adatai fölött rendelkezék, előírják, hogy milyen szervek, szervezetek milyen adatokat milyen célra gyűjthetnek, hogy az adatoknak pontosnak kell lenniük, hogy az állampolgárnak joga van ellenőrizni a rá vonatkozó adatok pontosságát, felhasználásának módját, tilos a különböző célokra gyűjtött adatok egyesítése összefüggő nagy adattárakba. Az adatok tárolóinak megfelelő technikai és szervezeti intézkedésekkel védeniük kell az adatokat a visszaélésekkel, károkkal szemben. Ugyanakkor a társadalom semmilyen szerve sem rendelkezhet az információk monopóliumával. A törvényben meg kell határozni azoknak az adatoknak a körét, amelyek titkosak, s biztosítani kell az állampolgárok képviselőinek (pl. egy parlamenti bizottságnak), hogy ezeket ellenőrizhesse.

Az elmúlt években nagyon sok tanulmány jelent meg az információs társadalomról (Nora - Minc, 1978; Masuda, 1982; Friedrichs - Schaff, 1982, Lussato, 1981).

A legtöbb szerző azonban egyetért abban, hogy még túl kevés tapasztalattal rendelkezünk, bár viszonylag megbízható prognózis készítéséhez. Cawkell már idézett cikkében ezt írja: „Még az információs technika fejlődésére vonatkozó előrejelzések sem pontosak, így az általa előidézett bonyolult társadalmi változások kivetítése is csak hozzávetőleges lehet.” A múlt század első felében olyan kiválóság, mint Arago, a híres francia fizikus - aki ráadásul haladó szellemű politikus is volt - emelte fel szavát a vasút ellen, szörnyű katasztrófákkal (mozdonyok felrobbanása, alagútomlások stb.) fenyegetve az emberiséget. Szerencsére nem neki lett igaza. Az első autók megjelenése az országutakon hasonló reakciót váltott ki, és senki sem tudta volna megjósolni a motoros közlekedés elterjedésének összes társadalmi következményét. Hogyan lehetne hát megjósolni egy ilyen, az emberiség történetében példátlan mérvű, és ütemű változás hatásait?

Ami biztos: az információs társadalom - a társadalom teljes informatizálása - törvényszerű következménye a fejlődésnek. Megakadályozni nem lehet, lassítani, fékezni súlyos hiba. Akármilyen veszélyeket rejt is magában, az egyetlen ésszerű magatartás: elébe menni a fejlődésnek. Természetesen a társadalomnak az a kötelessége, hogy számba vegye az előre látható káros hatásokat, s olyan stratégiát dolgozzon ki, amely ezeket minimalizálja, s a hasznot, az előnyöket maximalizálja.

A legfontosabb feladat a nevelőkre vár. Fel kell készíteni az új nemzedéket arra, hogy megrázkódtatás nélkül nőjenek bele az új társadalomba. Nem szabad elfelejteni, hogy számukra az informatikai ismeretek éppen olyan fontosak lesznek, mint az írni-olvasni tudás, s a számítógéppel olyan baráti viszonyban kell élniük, mint a hajdani mesterembereknek kezükhöz idomult szerszámaikkal. Azt sem szabad azonban figyelmen kívül hagyni, hogy az új társadalomban a műveltségre nagyobb szükség van, mint bármikor az emberiség történetében. Hiszen mint láttuk, a számítógép soha nem lesz képes helyettesíteni az embert mindabban, ami igazán emberi, hogy emberek lehessünk, ehhez - a komputer-korszakban is - folyamatos önképzésben magvalósuló műveltségre van szükség (Poser, 1990).

Úgy tűnik, az információs forradalom soha nem volt távlatokat nyit meg az emberiség előtt. A feltételek adottak egy szép új világ felépítésére - a kifejezést nem a huxley-i értelemben véve -, de arra is, hogy az emberi faj dicstelenül fejezze be földi pályafutását. (Ebben természetesen nem az informatika lesz a főbűnös.) Mindenesetre az optimista Masuda azoknak ajánlotta könyvét, akik hisznek az Emberiség bölcsességében, jóakaratóban és jövőjében.

IRODALOM

ACZÉL J. - DARÓCZI Z.

1976 On Measures of Information and Their Characterizations. New York, Academic Press

ADORJÁN BENCE

1977 Számítástechnika tegnap, ma, holnap. Budapest, Műszaki Könyvkiadó

AFANASZJEV, V.

1975 Szocialjnaja informacija i upravljenje. Moskva, Nauka.
Magyarul: Társadalmi információ és társadalomirányítás.
Budapest, Kossuth Kiadó, 1976

ÁGOSTON MIHÁLY

1989 Információpolitika-információgazdaság. = NAGY-SZABÓ (szerk.) 1989

AKCSURIN, I. A.

1965 Razvitie kibernetiki i dialektika. Vopr.filoz., 7,28

ANDOR CSABA

1980 Jel - kultúra - kommunikáció. Budapest, Gondolat

ARHEM, P.

1987 On Artificial Intelligence and Neurophysiology. The Necessary Questions.
= CASTI - KARLQVIST 1987

ASCHOFF, V.

1987 Geschichte der Nachrichtentechnik. Band I-II. Berlin etc., Springer Verlag

ASHBY, W. ROSS

1970 An Introduction to Cybernetics. New York, Chapman and Hall.
Magyarul: Bevezetés a kibernetikába. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1972

ATLAN, H.

1972 L'organisation biologique et la théorie de l'information. Paris, Hermann
1975 Organisation en niveaux hierarchique et information dans les system vivants.
Paris, CNSTA

BALÁZS JÁNOS

1985 A szöveg. Budapest, Gondolat

BALOGH ISTVÁN

1979 A társadalmi információ. Budapest, Gondolat

BANCZEROWSKI, JANUSZ

1979 A nyelvi kommunikáció és az információ néhány kérdése. Budapest,
Akadémiai Kiadó

BÁRDOS SÁNDOR

1983 Kábeltelevízió, videokommunikáció. Budapest, Műszaki Könyvkiadó

BAR-HILLEL, Y.

1955 An Examination of Information Theory. Phil. of Science, 22, 86-105
1964 Language and Information. Selected Essays on Their Theory and Applications.
Reading, Mass., Addison-Wesley

- BAR-HILLEL, Y - CARNAP, R.
1953 Semantic Information. The Brit. J. for Phil. of Science, 4, 14
- BARNA GYULA
1986 Információgazdagság és gazdasági növekedés. = SZABÓ (szerk.) 1986
- BARNES, D. M.
1986 Brain Architecture: Beyond Genes. Science, 233, 155-156
- BEHARA, M. - NATH, P.
1973 Additive and Non-additive Entropies of Finite Measurable Partitions.
= Probability and Information Theory II. Lectures Notes in Math., 296, 102-138
- BELKIN, N. J.
1990 The cognitive viewpoint in information science. J. of Inf. Sci., 16, 11-15
- BELL, D.
1973 The Coming of the Post-Industrial Society. New York, Basis Books
- BENNET, CH. H.
1982 The Thermodynamics of Computation. Internat. J. of Theoretical Physics, 21,
905-940.
Idézi: BENNET 1987
1987 Demons, Engines and the Second Law. Sci.Am., 257, 5, 108-116,
Magyarul: Démonok, gépek és a második főtétel. Tudomány, 3, 1
- BENSE, M.
1965 Aesthetics I-IV. Baden-Baden, Agis Verlag.
Idézi: VÖLZ 1983, FRANKE 1985
- BEREND MIHÁLY
1980 Genetikai ábécé. Budapest, Gondolat
- BERLYNE, D.
1963 Motivational Problems Raised by Exploratory and Epistemic Behavior.
= Psychology: A Study of a Science (ed. by S. Koch) New York, McGraw Hill
- BERRIDGE, M. J.
1985 The Molecular Basis of Communication within the Cell. Sci. Am., 253, 4,
142-152.
Magyarul: A sejten belüli információtovábbítás. Tudomány, 1, 4, 102-112
- BIBEL, W. - JORRAND, PH. (szerk.)
1986 Fundamentals of Artificial Intelligence. Berlin etc., Springer Verlag
- BIRKHOFF G. D.
1950 Collected Mathematical Papers. New York, Dover.
Idézi: VÖLZ 1983
- BOCKER, P.
1987 ISDN Das dienstintegrierende digitale Nachrichtennetz. Berlin etc.,
Springer Verlag
- BONNET, A.
1984 L'intelligence artificielle: promesses et réalité. Paris, Inter Édition.

- BOULEZ, P. - GERZSO, Á.
 1988 Computers is Music. Sci.Am., 258, 4.
 Magyarul: Számítógépek a zenében. Tudomány, 4, 6, 10-16
- BRADY, M. et al. (szerk.)
 1984 Robotics and Artificial Intelligence. Berlin etc., Springer Verlag
- BRETSCHER, M. S.
 1985 The Molecules of the Cell Membrane. Sci. Am., 253, 4, 100-108.
 Magyarul: A sejtmembrán molekulái. Tudomány, 1, 4, 62-69
- BRILLOUIN, L.
 1954 Scientific Uncertainty and Observation. New York, Academic Press
 1962 Science and Information Theory. 2nd ed. New York, Academic Press
- BROOKES, B. C.
 1980 The Foundations of Information Science I-IV. J. of Inf. Sci., 2, 125-133,
 209-221, 269-275, 3, 3-12
- BRYANT, N.
 1988 Managing Export systems. New York, John Wiley et sons
 1989 Magyarul: Szakértői rendszer felépítése. Bp. Novotrade Rt., 1989
- BUDA BÉLA
 1969 A kommunikáció pszichológiai aspektusai. = SZECSKŐ - SZÉPE (szerk.)
 1969
- BÜHLER, K.
 1934 Sprachtheorie. Jena, Gustav Fischer.
 Idézi: FODOR 1983
- CÂMPEANU, P.
 1972 Radio, televiziune, public. Bucuresti, Editura stiintifica.
 Magyarul: Rádió, televízió, közönség. Az MRT Tömegkommunikációs
 Kutatóközpont kiadása, Budapest, 1974
- CAPURRO, R.
 1985 Epistemology And Information Science. Rept. TRITA-LIB., nr. 6023, 1-37.
 Ism.: Informatics Abstracts 88. 9. 44.
 1991 What is Information Science for? = Papers presented at the International
 Conference on Conception of Library and Information Science. Tampere
- CASTI, J. L.
 1987 Behaviorism to Cognition: A System-Theoretic Inquiry into Brains.
 Monds and Mechanisms. = CASTI - KARLQUIST (szerk.) 1987
- CASTI, J. L - KARLQUIST, N. (szerk.)
 1987 Real Brains, Artificial Minds. New York etc., North-Holland
- CAWKELL, A. E.
 1986 The Real Information Society: Present Situation And Some Forcasts.
 J. of Inf. Sci., 12, 3, 87-95
- CERCONE, N. - McCALLA, G. (szerk.)
 1987 The Knowledge Frontier. Essays in the Representation of Knowledge.
 New York etc., Springer Verlag.

- CHERRY, C.
 1966 On Human Communication. A Review, a Survey and a Criticism. 2nd ed.
 New York-London, Wiley-ChapmanHall
- CHOMSKY, N.
 1957 Syntactic Structures. The HagueParis, Mouton.
 1965 Aspects of the Theory of Syntax. Cambridge, Mass.
- CONSTANTINESCU, P.
 1982 Dualismul miscare-organizare, energie-informatie reflectat in formarea
 sistemelor clasice. Forum, 24, I, 60-72
- CRONIN, B.
 1986 Towards Information-based Economics. J. of Inf. Sci., 12, 3, 129-137
- CSABA GYÖRGY
 1978 Az egyedfejlődés szabályozása = CSABA (szerk.) 1978
- CSABA GYÖRGY (szerk.)
 1978 A biológiai szabályozás. Budapest, Medicina Könyvkiadó
- CSÁNYI VILMOS
 1978 Genetikai szabályozás = CSABA (szerk.) 1978
 1986 Az evolúció általános elmélete. Bukarest, Kriterion könyvkiadó
- CSÁNYI VILMOS (szerk.)
 1980 Kis etológia. Budapest, Gondolat
- DAMEROV, P. et al.
 1988 The Origin of Writing. Sci. Am., 258, 2.
 Magyarul: Az írás eredete. Tudomány, 4, 4, 52-58.
- DANCE, F.E.X. - LARSON C.E.
 1976 The Functions of Human Communications. A Theoretical Approach.
 New York, Holt, Rinehart and Winston.
- DARAB TAMÁS
 1991 A gépesített értelem. Áron
- DARNELL J. A.
 1985 RNA. Sci. Am. 253, 4, 68-78.
 Magyarul: Az RNS. Tudomány 1, 4, 34-45
- DAVID, E. E. - DENES, P. B. (szerk.)
 1972 Human Communications: A Unified View. New York, McGraw Hill
- DEBONS, A. et al.
 1981 The Information Professional: Survey of an Emerging Field. New York
- DEBONS, A. - CAMERON, W. J. (szerk.)
 1975 Perspectives in Information Science. Leyden, Noordhoff
- DELGRANDE, J. P. - MYLOPOULS, J.
 1986 Knowledge Representation: Features of Knowledge. = BIBEL - JORRAND
 (szerk.) 1986
- DEME LÁSZLÓ
 1978 A beszéd és a nyelv. Budapest, Tankönyvkiadó

- DENBIGH, K.
1973 How Subjective Is Entropy? *Chemistry In Britain*, 17, 168-183.
Idézi: WICKEN 1987
- DOBZHANSKY, TH.
1973 *Genetic Diversity and Human Equality. The Facts and Fallacies in the Explosive Genetics and Education Controversy.* New York, Basic Books.
Magyarul: Örökletes változatosság és emberi egyenlőség. Tények és tévhitek az öröklődés és a nevelés vitájában. Bukarest, Kriterion Könyvkiadó, 1985
- DOI, N.
1987 *Fifth Generation Computer Systems and Their Impact on Society.*
Impact of Sci. on Soc., 146, 161-170
- DOMINICS SÁNDOR
1988 A szakértői rendszerek lélektani hatásáról. *Korunk*, 47, 117-118
- DOOLITTLE, R. F.
1985 *Proteins. Sci. Am.*, 253, 4, 88-99
Magyarul: A fehérjék. *Tudomány*, 1, 4, 52-61
- DRAKE, J. W. et al.
1983 *Updating the Theory of Mutation. Am. Sci.*, 71, 621-630
- ECO, U.
1975 *Trattato di semiotica generale.* Milano
- EKMAN, P. - FRIESEN, W. V.
1969 *The Repertoire of Nonverbal Behavior. Semiotica*, 1, 49-98
Idézi: KNAPP 1972
- FAGYEJEV, D. K.
1956 K ponyatiju entropii konecsnoj verojatnosztej szkemii. *Uszpehi matem. nauk*, 11, 227-231
- FELSENFELD, G.
1985 *DNA. Sci. Am.*, 253, 4, 58-67
Magyarul: A DNS. *Tudomány*, 1, 4, 24-33
- FENYŐ ISTVÁN
1986 *Mesterséges intelligencia. Term. Világa*, 117, 543
- FILEMON, E.
1987 *Robots: Their Present-day Use and Prospects for the Future.*
Impact of Sci. on Soc., 146, 149-160
- FODOR KATALIN
1983 *Tudat és jelentés. Történeti áttekintés.* Bukarest, Tudományos és Enciklopédiai Könyvkiadó
- FORRESTER, J.
1968 *Principles of Systems.* Cambridge, Mass., Wright-Allen.
Idézi: McLEAN, 1983
- FORTE, B.
1969 *Measures of Information: The General Axiomatic Theory. Rev. Franc. Inform. Recherche Oper.*, 3, ser. R-2, 63-88

- FRANK, HELMAR
 1959 Grundlagenprobleme der Informationsästhetik und erste Anwendung auf die mime pure. Dissertation. Stuttgart, Techn. Hochschule
 Idézi: FRANKE 1985
 1969 Kybernetik und Philosophie. Berlin
 Idézi: VÖLZ 1983
- FRANKE, H. W.
 1985 Computer Graphics - Computer Art. 2nd ed. Berlin etc., Springer Verlag
- FREGE, G.
 1892 Über Sinn und Bedeutung. Z. für Philosophie u. philos. Kritik, 100, 26
 Idézi: FODOR 1983
- FRIEDRICH, G. - SCHAFF. A.
 1982 Microelectronics and Society. For Better or for Worse (A report to the Club of Rome), New York etc., Pergamon Press
 Magyarul: Mikroelektronika és társadalom. Áldás vagy átok. Jelentés a Római klub számára. Budapest, Statisztikai Kiadóvállalat, 1984
- GALIN, D.
 1974 Implication for Psychiatry of Left and Right Cerebral Specialization. Arch. Gen. Psychiatry, 31, 572-583
 Magyarul: KULCSÁR - SZÉKÁCS (szerk.) 1982
- GATLIN, L.
 1972 Information Theory and the Living System. New York, Columbia Univ. Press
 Idézi: WICKEN 1987
- GEHRING, W. J.
 1985 The Molecular Basis of Development. Sci. Am., 253, 4, 153-162
 Magyarul: Az egyedfejlődés molekuláris alapjai. Tudomány, 1, 4, 114-124
- GESZTI TAMÁS
 1987 Hogyan tanul az agy és a spinüveg? Fiz. Szle, 37, 2, 47
- GIBBONS, B.
 1986 The Intimate Sense of Smell. National Geogr. Mag., 170, 3, 324-360
- GLUSKOV V. M.
 1964 Vvedenie v kibernetiku. Kiev, Izd. AN Ukrain, SSR
 Idézi: BANCZEROWSKI 1979
- GOFMANN, W.
 1970 Information Science. Discipline or Disappearance? Aslib Proc., 22, 589-595
- GÖMBÖS ERVIN
 1984 Informatika és hatalom. Budapest, Statisztikai Kiadóvállalat
 1985 Az új információs és kommunikációs világrend és gazdasági vonatkozásai. Közg. Szle., 32, 4, 467-476
- GOMBRICH, E. H.
 1972 The Visual Image. Sci. Am., 227, 3, 82-96
 Magyarul: HORÁNYI (szerk.) 1978

- GOODFELLOW, P. N.
1992 Variation is now the theme. *Nature* 359, 777-778
- GOTTLIEB, D. I.
1988 GABAergic Neurons. *Sci. Am.*, 258, 2, 82-84
Magyarul: Gátló idegsejtek. *Tudomány*, 4, 4, 30-37
- GREGORY, R. L. - GOMBRICH, E. H. (szerk.)
1982 Illúzió a természetben és a művészetben. Budapest, Gondolat
- GREIMAS, A. J.
1976a Sémantique structurale. Paris, Larousse
1976b Sémiotique et sciences sociales. Paris, Seuil
- GUNZENHAUSER, R.
1962 Ästhetisches Mass und ästhetische Information. Quickborn, Verlag Schnelle
Idézi: VÖLZ 1983
- GUSCSIN, A.
1965 K voproszu o priroda informacii. *Vopr. Filoz. i psihol. Sbornyik. Leningrad*
Idézi: RIGÓ 1983
- HAEFNER, K.
1990 Művelődés és kultúra a „Komputer-korszakban” - hagyomány és távlatok.
= NYÍRI Kristóf (szerk.) 1990
- HALL, E. T.
1964 The Silent Language. Greenwich. Conn., Fawcett Publ
- HÁMORI JÓZSEF
1982 Az idegsejttől a gondolatig. Budapest, Kozmosz könyvek
- HANKISS ELEMÉR
1969 A népdaltól az abszurd drámáig. Budapest, Magvető
Idézi: SZABÓ 1977
- HARKEVICS, A. A.
1960 O cennoszti informacii. *Problemu kibernetiki. Vüp. 4. Moszkva*
Idézi: BANCZEROWSZKI 1979
- HARRAH, D.
1963 Communication: A Logical Model. Cambridge, Mass., MIT Press
Idézi: BANCZEROWSKI 1979
- HARTLEY, R. L. V.
1928 Transmission of Information. *Bell Syst. Techn. J.*, 7, 535-563.
- HAYES, M. R.
1991 Measurement of Information = Papers Presented at the International
Conference on Conceptions of Library and Information Science. Tampere
- HEBB, D. O.
1949 Organization of Behavior. New York, Wiley & Sons
Idézi: SOWA 1984
1983 A pszichológia alapkérdései. Budapest, Gondolat

- HINCSIN, A. Ja.
 1953 Ponjatie entropii v teorii verojatnosztoj. Uszp. matem. nauk., 8, 3-20
 Magyarul: JAGLOM et al. 1959
 1956 Ob osznovnüh teoremah teorii informacii. Uszp. matem. nauk., 11, 17-75
- HJELMSLEV, L.
 1953 Prolegomena to a Theory of Language. Bloomington
- HOLLNAGEL, E.
 1980 Is information science an anomalous state of knowledge? J. of Inf. Sci., 2, 183-187
- HORÁNYI ÖZSÉB (szerk.)
 1978 Kommunikáció 2. Válogatott tanulmányok. Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó
- HORÁNYI ÖZSÉB - SZÉPE GYÖRGY (szerk.)
 1975 A jel tudománya. Budapest, Gondolat
- HUDSPETH, A. J.
 1985 The Cellular Basis of Hearing: The Biophysics of Hair Cells. Science, 230, 4727, 745-752
- INGARDEN, R. S. - URBANIK, K.
 1962 Information without Probability. Coll. Math., 9, 281-304
- ISHIHARA, O. et al.
 1987 A Study on the Social Impacts of ISDN. NEC Res. & Dev. Spec. Issue on „ISDN” 166-184
- ISHIZAKI, Y. et al.
 1987 ISDN Terminals. NEC Res. & Dev. Spec. Issue on „ISDN”, 19-37
- ITO, N. et al.
 1987 Communication Processing and Information Processing. Centers for ISDN Applications. NEC Res. & Dev. Spec. Issue on „ISDN” 3844
- JAGLOM, A. M. et al.
 1959 Az információelmélet matematikai alapjai. Budapest, Műszaki Könyvkiadó
- JAKOBSON, R.
 1969 Hang - jel - vers. Budapest, Gondolat
- JANOUSEK, J.
 1972 A társadalmi kommunikáció. Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó
- KALMÁR LÁSZLÓ
 1963 A kvalitatív információelmélet problémái. MTA III. Osztályának Közleményei, 12, 293-294
- KALMÁR LÁSZLÓ - TELEGDI ZSIGMOND (szerk.)
 1964 Általános nyelvészeti tanulmányok II. A matematikai nyelvészet és a gépi fordítás problémái. Budapest, Akadémiai Kiadó
- KAMPE DE FERIET, J. - FORTE, B.
 1967 Information et probabilité. C. R. Acad. Sci., Paris, 265, Serie A, 110-114, 142-146, 350-353

- KARDOS LAJOS
 1976 A neuropszichikus információ eredete. Budapest, Akadémiai Kiadó
- KATZ, E.
 1957 The Two Step Flow of Communication. Publ. Opinion Quart., 21
 Idézi: VARGA 1973
- KELEMEN JÁNOS
 1971 Mi a jeltudomány? Valóság, 15, 10, 16-29
- KEMÉNY, J. G.
 1953 A Logical Measure Functions. J. of Symbol. Logic, 18
 Idézi: BANCZEROWSKI 1979
- KIRSCHENMANN, P.
 1969 Kibernetik, Information, Wiederspielung. München u. Salzburg
 Idézi: BANCZEROWSKI 1979
- KISS BITAY ÉVA
 1974 Tájékozódás és hírközlés az állatvilágban. Bukarest, Tudományos Könyvkiadó
- KLAUS, G.
 1965 Kybernetik und Gesellschaft. Berlin, Deutscher Verlag der Wissenschaften
 Magyarul: Kibernetika és társadalom. Budapest, Kossuth Könyvkiadó, 1966
 1973 Semiotik und Erkenntnistheorie, 4. Aufl. München-Salzburg, Fink
- KNAPP, M. L.
 1972 Nonverbal Communication in Human Interaction. New York,
 Holt-Rinehardt-Winston
 Magyarul: HORÁNYI (szerk.) 1978
- KOBLITZ, J.
 1979 The Essential Features of Information and Documentation Science.
 = MIKHAILOV 1979
- KOLMOGOROV, A. N.
 1959 Teoria transmisiei informatiei. Analele ro.- sov. Seria mat. - fiz., 1, 533
 1968 Logical Basis for Information Theory and Probability Theory IEEE Trans.
 Inf. Theory, IT14, 5, 662-664
- KOMJÁTSZEGI SÁNDOR
 1986 Tudat és valóság. Bukarest, Kriterion Könyvkiadó
- KUBAT, L. - ZEMAN, J. (szerk.)
 1975 Entropy and Information in Science and Philosophy. Amsterdam etc., Elsevier
- KULCSÁR TIBOR
 1986 Tudat, éntudat, énkép I-II-III., Korunk, 45, 618623, 700-705, 936942
- KULCSÁR TIBOR - SZAMOSKÖZI ISTVÁN
 1988 Az intelligencia pszichológiája. Korunk, 47, 536-541
- KULCSÁR ZSUZSANNA - SZÉKÁCS FERENC (szerk.)
 1982 A differenciális pszichofiziológia alapjai. Szöveggyűjtemény. Budapest,
 Tankönyvkiadó

- KÜPFMÜLLER, K.
1954 Die Entropie der deutschen Sprache. Fernmeldetechn. Zeitschr. 7, 265-272
Idézi: VÖLZ 1983
- KUSZTOS SZ. ENDRE
1988 Az állati kommunikáció jelei. Korunk, 47, 140
- LAESER, R. P. et al.
1986 Engineering Voyager 2's Encounter with Uranus. Sci. Am., 255 5, 36-45
Magyarul: Találkozás az Uranusszal: egy mérnöki bravúr története.
Tudomány, 3, 1, 14-23
- LAITMAN, J. T.
1984 The Anatomy of Human Speech. Natural History, 93, 8, 20-27
Magyarul: Univerzum, 1986, 11
- LÁSZLÓ JÓZSEF
1986 A memória. Tett, 4, 9-12
- LAURIÉRE, J. L.
1987 Intelligence artificielle. Resolution de problèmes par l'homme et la machine.
2-ième ed. Paris, Eyrolles
- LEVADA
1965 Szocialnaja priroda religii. Moszkva, Nauka.
Magyarul: A vallás társadalmi természete. Budapest, 1964
Idézi: SZECKSKŐ 1971
- LÉVI-STRAUSS, C.
1958 Anthropologie structurelle. Paris, Libr. Plon.
- LIBERMANN, A. M. et al.
1972 Perception of the Speech Code. = DAVID - DENES (szerk.) 1972
- LOCKE, J.
1979 Értekezés az emberi értelemről. 2. kiadás. Budapest, Akadémiai Kiadó
- LURIA, S. E.
1973 Life - The Unfinished Experiment. New York, Charles Scribner's Sons
Magyarul: Az élet: befejezetlen kísérlet. Budapest, Natura, 1976
- LUSSATO, B.
1981 Le défi informatique. Paris, Librairie Arthème Fayard
Magyarul: Az informatika kihívás. Budapest, OMIKK, 1989
- LYKKEN, D. T.
1968 Neuropsychology and Psychophysiology in Personality Research. = Borgatta,
E. F. and Lambard, W. W. (eds.) : Handbook of Personality Theory and
Research. New York, Rand Mc Nally
Magyarul: KULCSÁR - SZÉKÁCS (szerk.) 1982
- MACBRIDE, S. (coord.)
1980 Many Voices, One World - Report by the International Commission for
the Study of Communication Problems. Kogan, Page - UNESCO.

- MACHLUP, F.
 1962 The Production and Distribution of Knowledge in the United States. Princeton, NJ, Princeton Univ. Press
 Idézi: BARNA 1986
- MACKAY, D. M.
 1952 In Search of Basic Symbols: Cybernetics. New York
 Idézi: BANCZEROWSKI 1979
 1987 The Organisation of Perception and Action. A Theory for Language and Other Cognitive Skills. New York, etc., Springer Verlag
- MAETERLINCK, M.
 1913 A szegények kincse. Ford. Bölöni György. Budapest, Révai
- MALIȚA, M. - MALIȚA, M.
 1987 Bazele inteligenței artificiale. Bucuresti, Edit. Tehnică
- MARCUS, S.
 1967 Din dezvoltarea recentă a lingvisticii matematice. Progresele științei, 3, 241-249
 Magyarul: A nyelvi szépség matematikája. Budapest, Gondolat Könyvkiadó 1977
- MARKUSZ ZSUZSANNA
 1982 A kommunikáció és a megértés egy formális elmélete. Inform.-Elektron., 17, 252-258
- MASEK, V. E. (szerk.)
 1972 Estetică, informație, programare. București, Editura științifică.
- MASLAND, R. H.
 1986 The Functional Architecture of the Retina. Sci. Am., 255 6, 102-111
- MASUDA, Y.
 1980 The Information Society. Tokyo, Inst. for the Information Society.
 Magyarul: Az információs társadalom. Budapest, OMIKK, 1988
- MAYNARD SMITH, J.
 1986 The Problems of Biology. Oxford University Press.
 Magyarul: Kulcskérdések a biológiában. Budapest. Gondolat, 1990
- McLEAN, M. J.
 1983 Methods of Systems Analysis and Modell Building. = TRAPPL (szerk.) 1983
- MÉRŐ LÁSZLÓ
 1990 Az intelligencia fogalmának változása a számítástechnika eredményeinek fényében. = NYÍRI KRISTÓF (szerk.) 1990
- MEYER, H.
 1987 Das Selbstverständnis des Menschen und die Künstliche Intelligenz, Dok. Inf., 70, 205-212
- MIKHAILOV, A. I. (szerk.)
 1979 Theoretical Problems of Informatics. Moscow.

- MOLES, A. A.
 1958 Théorie de l'information et perception esthétique. Paris, Flammarion.
 Magyarul: Információelmélet és esztétikai élmény. Budapest, Gondolat, 1973
 1967 Sociodynamique de la culture. Paris, Mouton.
 Idézi: VARGA 1973
 1975 Préface. = WEAVER - SHANNON 1975
 1972 Informacie si redundantna. = MASEK (szerk.) 1972
- MOROZOV, K. W.
 1967 Az információelmélet filozófiai problémái. Moszkva.
 Idézi: BALOGH 1979
- MORRIS, CH.
 1938 Foundations of the Theory of Signs. Chicago, University Press.
 Idézi: VOIGT 1977
- MOTLEY, M. T.
 1985 Slips of the Tongue. Sci. Am., 253, 3
 Magyarul: Nyelvbtlások. Tudomány, 1, 3, 88-93
- NAGY FERENC - SZABÓ JÓZSEF
 1989 Tanulmányok az információ-gazdaságról II. Budapest, OMIKK-KSH
- NAGY KÁLMÁN
 1970 Kis magyar nyelvtankönyv különös tekintettel a nyelvhelyesség mindennapi kérdéseire. Bukarest, Kriterion Könyvkiadó.
- NAKE, F.
 1974 Ästhetik als Informationsverarbeitung. Wien, etc., Springer Verlag.
 Idézi: VÖLZ 1983
- NEWELL, S. - SIMON, H.
 1982 A tapasztalati számítógép-tudomány - szimbólumok és keresés. In.
 Rendszerelmélet mint társadalmi igény. Budapest, Akadémiai Kiadó.
- NORA, S. - MINC, A.
 1978 L'informatisation de la société. Paris, La Documentation Française.
 Magyarul: A számítógépesített társadalom. Budapest, Statisztikai
 Kiadóvállalat, 1979
- NORDENSTRENG, K.
 1975 Tiedotuisoppi -. Johdates Yhteiskunnalisten Vietintäprosessien tutkimukseen.
 Otava, Helsinki.
 Magyarul: Közlélmélet: bevezetés a társadalmi kommunikációfolyamatok
 tanulmányozásába. Budapest, Tömegkommunikációs Kutatóközpont, 1978
- NYEBÜLICIN, V. D.
 1972 The Problem of General and Partial Properties of the Nervous System.
 = Nyebülicin, V. D. and Gray, J. A. (eds.): Biological Bases of Individual
 Behavior. New York, Academic Press.
 Magyarul: KULCSÁR - SZÉKÁCS 1982
- NYÍRI KRISTÓF
 1990 Történeti tudat az információ korában. NYÍRI (szerk.) 1990

- NYÍRI KRISTÓF (szerk.)
 1990 Műveltség és kultúra a számítógépkorszakban. Informatika történetfilozófiai szempontból. A Magyar Filozófiai Társaság és a Budapesti Goethe Intézet által 1990. március 22-23-án rendezett szimpózium anyaga. Budapest.
- OETTINGER, A. G.
 1972 The Semantic Wall. = DAVID - DENES 1972
- OGDEN C. K. - RICHARDS, C. K.
 1966 The Meaning of Meaning. London, Routledge & Kegan Paul Ltd.
- OJEMANN, G. A.
 1983 Brain Organisation for Language from the Perspective of Electrical Stimulation Mapping. The Behav. and Brain Sci., 2, 189-230
 Idézi: MACKAY 1987
- OTTEN, K. W.
 1975 Information and Communication. = DEBONS - CAMERON (szerk.) 1975
- OTTEN, K. W - DEBONS, A.
 1970 Toward a Metascience of Information. J.A.S.I.S., 21, 89-94
- PALKOVITS MIKLÓS
 1986 Neuropeptidok a központi idegrendszerben. Budapest, Medicina Könyvkiadó.
- PÁSZTOR ZOLTÁN - SÁNTÁNÉ TÓTH EDIT
 1987 Számítógépes szakértő rendszerek alkalmazásának és tervezésének kérdései. Inform. Elektron., 22, 153-182
- PAISLEY, W.
 1980 Information and Work.
 Idézi: HAYES 1991
- PEIRCE, CH. S. 1931-1935 Collected Papers I-V. Cambridge (Mass), Univ. Press.
 Idézi: VOIGT 1977
- PESTI LAJOS
 1989 Megnyitóbeszéd a II. Információgazdasági Konferencián = NAGY-SZABÓ (szerk.)
- PLÉH CSABA
 1980 A pszicholingvisztika horizontja. Budapest, Akadémiai Kiadó.
 1986 A pszicholingvisztika tegnap és ma. Magyar Nyelvőr, 110, 320-332
- POLUSKIN, V. A.
 1967 K voproszu ob opredelenii informacii. = Jazii i müslenic. Moszkva.
 Idézi: BANCZEROWSKI 1979
- PORAT, M. U.
 1977 The Information Economy: Definition and Measurement. Washington,
 Idézi: BARNA 1986
- POSER, H.
 1990 Homo compensator? Műveltség a komputer korában. = NYÍRI (szerk.) 1990
- RASHEWSKY, N.
 1955 Life, Information Theory and Topology. Bull. Math. Biophys., 17, 229-235

RÉNYI ALFRÉD

- 1959 On the Dimension and Entropy of Probability Distributions. Acta Math. Acad. Sci. Hung., 10, 193-215
1960 Az információelmélet néhány alapvető kérdése. MTA Mat. Fiz. Tud. Oszt. Közl., 10, 254-281
1961 On the Measures of Information and Entropy. Proc. 4th Berkeley Symp. Math. Statist. Probability, I. 547-561
1964 Információelmélet és nyelvészet. - KALMÁR - TELEGDI (szerk.) 1964

RESNIKOW, L. O.

- 1968 Erkenntnistheoretische Fragen der Semiotik. Berlin.
Idézi: VOIGT 1977, VÖLZ 1983

REZA, F. M.

- 1961 An Introduction to Information Theory. New York, McGraw-Hill.
Magyarul: Bevezetés az információelméletbe. Budapest, Műszaki Könyvkiadó. 1966

RICCIARDI, L. M.

- 1983 Cybernetics and Biology: Classic attempts at Neuronal Modelling.
= TRAPPL (szerk.) 1983

RIGÓ JÁZON

- 1983 Az információ filozófiai kérdéseiről. Kézirat.

ROSEN, R.

- 1987 On the Scope of Syntactics in Mathematics and Science: The Machine Metaphor. = CASTI - KARLQVIST (szerk.) 1987

ROSZAK, TH.

- 1986 The Cult of Information - The Folklore of Computers and the True Art of Thinking. New York, Pantheon Books.
Magyarul: Az információ kultusza. Budapest, Európa Könyvkiadó, 1990

SAPIR, E.

- 1971 Az ember és a nyelv. Budapest.

SASVÁRI LAJOS

- 1979 Interindividuális viselkedés mint társas-dinamikai tényező a madárpopulációban. Magy. Pszichol. Szle. 36, 238-250

SATO, S. - SUGIMOTO, M.

- 1986 Artificial Intelligence. Fujitsu Sci. Techn. J., 22, 139-181

SAUSSURE, F.

- 1961 Cours de linguistique général. Paris, Payot.
Magyarul: Bevezetés az általános nyelvészetbe, Budapest, Gondolat, 1967

SCHAFF, A.

- 1960 Wstep do semantyki. Warszawa, Panst. Wys. Nauk.
Magyarul: Bevezetés a szemantikába. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1967

SCHANK, R.

- 1980 An Artificial Intelligence Perspective on Chomsky's View of Language. The Behavioral and Brain Sciences 3
Idézi: DARAB 1991

- SCHRADER, A. M.
 1986 The domain of information science: problems in conceptualization and consensus-building. *Inf. Serv. Use.* 6, 169-205
- SCHRÖDINGER, E.
 1945 What is Life? Cambridge, NY, Univ. Press.
 Magyarul: Mi az élet? Válogatott tanulmányok. Budapest, Gondolat, 1970
- SEARLE, J.
 1981 Minds, Brains, Programs. In. John Hangeland (ed.) *Mind Design: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence* London, Cambridge. MA: The MIT Press.
- SEBE BÉLA
 1986 Biológia - genetika. Jegyzet egyetemi hallgatók részére. Marosvásárhely.
- SEXL, R. U. et al.
 1982 Entrópia és információ. *Fiz. Szle*, 32, 342-350
- SHANNON, C. E.
 1948 A Mathematical Theory of Communication. *Bell Syst. Techn. J.*, 27, 379-423, 623-656
 Magyarul: SHANNON, C. E. - WEAVER W. 1972
 1951 Prediction and Entropy of Printed English. *Bell Syst. Techn. J.*, 30, 50-64
 1956 The Bandwagon. *IEEE Trans. Inf. Theory*, 2, 3, 3
- SHANNON, C. E - WEAVER, W.
 1972 The Mathematical Theory of Communication. 5. ed. University of Illinois Press.
 Magyarul: A kommunikáció matematikai elmélete. Az információelmélet születése és távlatai. Budapest, OMIKK, 1986.
- SHIMASAKI, N. et al.
 1987 An Overviev of ISDN - Toward „Modern Communication”. *NEC Res.&Dev. Spec. Issue on „ISDN”*, 3-18
- SIMON, H. A.
 1982 Korlátozott racionalitás. Válogatott tanulmányok. Budapest, Közgazdasági és Jogi Kiadó.
- SLATER, P. J. B.
 1985 An Introduction to Ethology. Cambridge, Syndicate of the Press of the Univ. of Cambridge, England.
 Magyarul: Bevezetés az etológiába. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó, 1987
- SMETACEK, V.
 1979 Information and Communication. *Inf. Proc. Manag.*, 15, 173-177
- SNYDER, S. H.
 1985 The Molecular Basis of Communication between Cells. *Sci. Am.*, 253, 4, 132-141.
 Magyarul: A sejtek közötti információcsere molekuláris alapjai. *Tudomány*, 1, 3, 92-101
- SOWA, J. F.
 1984 Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine. Reading, Mass., Addison-Wesley.

- SREJDER, JU. A.
 1965 Ob odnoi modeli szemanticseszkij teorii informacii. In. Problemü Kibernetiki. Moszkva.
 Idézi: BANCZEROWSKI 1979
 1967 O szemanticseszkih szpektrah teorii informacii. = Informacija i kibernetika. Moszkva.
 Idézi: BANCZEROWSKI 1979
- SZABÓ JÓZSEF (szerk.)
 1986 Tanulmányok az információgazdaságról. Budapest, OMIKK-KSH.
- SZABÓ ZOLTÁN (szerk.)
 1982 A szövegvizsgálat új útjai. Bukarest, Kriterion Könyvkiadó.
- SZECSKÓ TAMÁS
 1971 Kommunikációs rendszer - köznapi kommunikáció. Budapest, Akadémiai Könyvkiadó.
- SZECSKÓ TAMÁS - SZÉPE GYÖRGY (szerk.)
 1969 Nyelv és kommunikáció. Budapest, Az MRT Tömegkomm. Kutatóközp. kiadása.
- SZÉKY Pál
 1977 Térbeli orientáció az állatvilágban. = A Biológia Aktuális Problémái 10. Budapest, Medicina Könyvkiadó.
 1978 Térbeli orientáció az állatvilágban. = A Biológia Aktuális Problémái 12. Budapest, Medicina Könyvkiadó.
 1979 A gerinces állatok térbeli orientációja. = A Biológia Aktuális Problémái 17. Budapest, Medicina Könyvkiadó.
- SZENDE TAMÁS
 1976 A beszéd folyamat alaptényezői. Budapest, Akadémiai Kiadó.
- SZENTÁGOTHAJ JÁNOS
 1979 Egységes agyelmélet: utópia vagy realitás? Magy. Tud., 24, 601-606
 1980 A tudat (egy egységes agyelmélet vázlata). Fiz. Szle, 30, 361-367
 1982 Elmélkedés egy általános agyelmületről. Valóság, 25, 9, 1-9
- SZÉPE GYÖRGY
 1971 Hozzászólás az 1971. májusi szemiotikai szimpozionon.
 Idézi: K. E. Szemiotikai szimpozion. Valóság, 15, 10, 30-33
- SZILÁRD LEÓ
 1929 Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen. Z. für Physik. 53, 840-856
 Magyarul: Fiz. Szle. 29, 1979, 58-64
- THOM, R.
 1972 Stabilité structurelle et morphogenese. Paris, Benjamin.
 Idézi: VEKERDI 1978
- THOMASSON, D.
 1988 Artificial Intelligence. Comput. Techn., 3, 69-70.
 Ism.: Informatics Abstracts, 88. 9. 72

- THOMPSON, R. F.
1986 The Neurobiology of Learning and Memory. Science, 233, 941-946
- TRAPPL, R.
1983 Préface. = TRAPPL (szerk.) 1983
- TRAPPL, R. (szerk.)
1983 Cybernetics. Theory and Applications. Washington, etc., Hemisphere Publ. Corp.
- TRIBUS, M. - McIRVINE, E.
1971 Energy and Information. Sci. Am., 225, 179-188
- URSZUL, A. D. .
1975a Problema informacii v szovremennoj nauke. Moszkva, Nauka.
1975b The Problems of the Objectivity of Information. = KUBAT - ZEMAN (szerk.)
1975
- VÁMOS TIBOR
1983 Kooperatív rendszerek, új fejlődési távlatok. Valóság, 26, 4, 12-25
1990 Számítástudomány és demokrácia = NYÍRI (szerk.) 1990
- VARGA KÁROLY
1973 Modernizálódás és tömegkommunikáció. Budapest, Az MRT Tömegkomm.
Kutatóközp. kiadása.
- VARGHA JENŐ LÁSZLÓ
1986 Értékrendszer és lelki egészség. Korunk, 45, 756-760
- VEKERDI LÁSZLÓ
1978 A szabályozás alapelvei. = CSABA (szerk.) 1978
- VICSI KLÁRA
1986 A gépi beszéd felismerők általános működési elvei, típusai. Inform. Elektron.,
21, 26-37
- VOIGT VILMOS
1977 Bevezetés a szemiotikába. Budapest, Gondolat.
- VOJSVILLO, E. K.
1966 Popütka szemanticeszközj interpretacii sztatiszticeszközih ponjatij informacii i entropii. = Kibernetika na szluzsbu kommunizma. T. 3.
Idézi: BANCZEROWSKI 1979
- VÖLZ, H.
1983 Information. Vielfalt und Einheit der Information I-II. Berlin, Akademie Verlag.
- WALLON, H.
1971 Válogatott tanulmányok. Budapest, Gondolat.
- WEAVER, W.
1972 Recent Contributions to the Mathematical Theory of Communication
= SHANNON - WEAVER 1972
Magyarul: Újabb adalékok a hírközlés matematikai elméletéhez.
- WEAVER, W. - SHANNON, C.
1975 Théorie mathématique de la communication. Paris, Retz-CEPL.

- WELLS, R.
 1961 A Measure of Subjective Information. - Structure of Language and Its Mathematical Aspects. Proc. of Symp. in Appl. Mathematics, vol. XII. Idézi: BANCZEROWSKI 1979
- WICKEN, J. S.
 1987 Entropy and Information: Suggestions for Common Language. Phil. Sci., 54, 176-193
- WIENER, N.
 1948 Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine. Cambridge, Mass., M.I.T., Technology Press.
 1954 The Human Use of Human Beings. London.
- WILSON, E. O.
 1972 Animal Communication. Sci. Am., 227, 3, 52-60
 Magyarul: HORÁNYI (szerk.) 1972
- ZADEH, L. A.
 1983 Fuzzy Logic as a Basis for the Management of Uncertainty in Expert Systems. Fuzzy Sets and Systems, 11, 199-227
 1987 Commonsense and Fuzzy Logic. = CERCONE - McCALLA (szerk.) 1987
- ZEMAN, J.
 1962 Poznani a informace. Praha, NCSAV.
 Idézi: BALOGH 1979
 1975 Information, Knowledge and Time. - KUBAT - ZEMAN (szerk.) 1975

ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra A hírközlési rendszerek információelméleti modellje.
2. ábra Az f/p értékének változása p függvényében.
3. ábra Bináris kód diagrammja.
4. ábra A Shannon-Fano-féle eljárással készített kód kódfája.
5. ábra Szabályozási kör.
6. ábra A sejt szerkezete.
7. ábra A nukleotidok felépítésében résztvevő nitrogénbázisok.
8. ábra Polinukleotid lánc.
9. ábra A DNS szerkezete és a genetikai információ átadásának menete. (Forrás: Felsenfield 1985).
10. ábra Replikáció.
11. ábra Az információ átírása. (transzkripció).
12. ábra Az információ átfordítása. (transzláció).
13. ábra A genetikai információátadás irányai. (Forrás: Sebe 1986).
14. ábra A sejt másodlagos hírvivői.
15. ábra Információátadás a sejtben. (Forrás: Berridge 1985).
16. ábra A szteroid hormonok szabályozási köre. (Forrás: Snyder 1985).
17. ábra Az idegsejt.
18. ábra A potenciál változása a sejtben.
19. ábra Az agy szerkezete.
20. ábra Az agykéreg felosztása
21. ábra A majom retinájának sejt kapcsolatai. (Forrás: Gregory - Gomblich szerk. 1982).
22. ábra Az ember pszichológiai információfeldolgozó rendszere. (Forrás: Nordenstreng 1975).
23. ábra Az idegrendszer modális struktúrája.
24. ábra Pierce jelosztályozása.
25. ábra A jelek Schaff szerinti osztályozása.
26. ábra A jelfolyamat résztvevői közötti viszony. (Frege háromszöge).
27. ábra A jelelmélet felosztása Klaus szerint. (Forrás: Nordenstreng 1975).
28. ábra A kis csoporton belüli kommunikációk főbb típusai:
29. ábra A műalkotásban egyensúlyt kell tartani az új információ /eredetiség/ és a redundancia /manalitás/ között. (Forrás: Masek szerk. 1972).
30. ábra Az esztétikai információ befogadásának feltétele az adó és vevő „repertoárjának” minél nagyobb fokú egybeesése. (Forrás: Masek szerk. 1972).
31. ábra A méhek irányjelzése.
32. ábra A mikroelektronika alkalmazása különböző területeken.
33. ábra Chaeppe optikai tengelye.
34. ábra Morse első távirója.
35. ábra Szakértő rendszer felépítésének vázlata.
36. ábra A munkaerő szektoronkénti megoszlásának változása az Egyesült Államokban 1860-1980 között. (Forrás: Magyar Tud., 27, 887).