

# A kibernetika fő problémái

TARJÁN REZSŐ a műszaki tudományok doktora

## Bevezető megjegyzések

A kibernetikával kapcsolatosan az utóbbi években széleskörű vita folyt. A burzsoázia egyes ideológusai eltúlozva a jelentőségét, a kibernetikát univerzális tudománynak igyekeztek feltüntetni. Ennek ellenhatásaként sokan mások figyelmen kívül hagyva a kibernetika tényleges tudományos tartalmát, az *egész* kibernetikát egyszerűen áltudománynak minősítették. A Szovjetunióban a közelmúltban lefolytatott vita [1] a kérdést elvileg tisztázta, és megmutatta a kibernetika objektív jelentőségét. A következőkben áttekintjük a kibernetika fő problémáit.

A második világháború után megjelent komplex géprendszerek, nem utolsósorban az elektronikus számológépek egy sor minőségileg is új problémát vetettek fel: a gépek együttműködésének, géprendszerek szervezésének a problémáit. Ez a — végső soron a termelésből fakadó — szükséglet új tudományágat hívott életre: a kibernetikát.

Norbert Wiener, az ismert amerikai matematikus — akitől a „kibernetika”<sup>\*</sup> elnevezés származik — hasonló című könyvében [2] a kibernetikát mint az állatban és a gépben történő vezérlés és kommunikáció elméletét határozza meg. A fejlődés ma már túlment ezen a meghatározáson; a mai állapotnak talán a legjobban az felel meg, ha azt mondjuk, hogy: *a kibernetika olyan komplex tudományág, amely a természettudományok exakt módszereivel: matematikai elemzéssel, modellkísérletekkel, mérésekkel stb. anyagi megvalósulási formájuktól elvonatkoztatva bonyolult rendszerek működési elveit tanulmányozza.*

A kibernetika módszertanára jellemző a matematikusok, filozófusok, mérnökök és fiziológusok szoros együttműködése. A tapasztalat ugyanis azt bizonyítja, hogy a komplex automatikus rendszerek viselkedése sok tekintetben hasonló a legmagasabban szervezett rendszer: az élő szervezet viselkedéséhez. Ezért az automatikus rendszerek tanulmányozása hasznos analógiákkal szolgál az élő szervezet egyes funkcióinak megértéséhez, sőt sok esetben kiderült, hogy *az élő szervezet egyes funkcióiban és az automatikus rendszerek működésében azonos alapelvek nyilvánulnak meg* (ami persze nem jelenti azt, hogy az élő szervezet *egészét* akármilyen bonyolult automatikus rendszerrel is azonosítani lehetne).

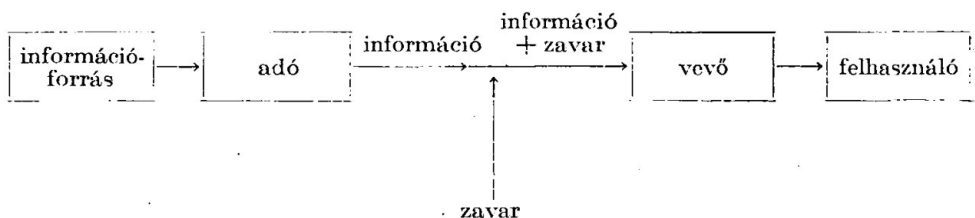
\* *Κυβερνήτης*: hajókormányos.

A különböző szakterületek tudósainak együttműködése rendkívül hasznos. Egyrészt minden automatikus géprendszer legjobb mintája : az élő szervezet, másrészt viszont az automatikus rendszerek jól használhatók olyan funkciók reprodukálható kísérleti feltételek között történő tanulmányozására, amelyek élő szervezeten egyébként nem volnának vizsgálhatók. Ami talán még ennél is fontosabb : a különböző szakterületek tudósainak alkotó együttműködése kölcsönösen rendkívül termékenyítőleg hat a gondolkodásukra.. A túlságba vitt szakosítás sokszor fékezni tudja egy tudományág fejlődését. A kölcsönös tájékozódás viszont új, hasznos módszerek és szempontok egész sorozatát veti fel, amelyek döntő jelentőségűek a tudomány egészének fejlődése szempontjából.

A komplex rendszerek egyik jellegzetessége a rendszer egyes elemei között fennálló bonyolult kölcsönhatás. Itt nem egyszerűen csak arról van szó, hogy az egyes elemek között valamilyen formában energia cserélődik ki, hanem elsősorban arról, hogy az egyik elemtől a másikig jelzés, információ halad ; a rendszer helyes működése nagymértékben attól függ, hogy az egyes elemekhez mennyi és milyen információ érkezik. Ezzel foglalkozik a matematikának egy nemrégiben kifejlődött új ága : az információelmélet. Az elmélet eredetileg a híradástechnika egy részeként és annak szükségleteiből — mint a távközlési rendszerek elmélete — fejlődött ki, rövidesen azonban a komplex automatikus rendszerek elméletének is fontos részévé vált.

### 1. Az információ-elmélet alapjai

Hogy az információelmélet fő mondanivalóját megértsük, tekintsük át a távközlési rendszerek Shannon-féle általános funkcionális vázlatát, amelyet az 1. sz. ábra szemléltet [3].



1. ábra. Távközlési átvivő rendszer funkcionális vázlata

Mint látható, a rendszer az információforrásból, az adókészülekből, a kettőt összekötő átviteli közegből, az ún. „csatornából”, a vevőkészülekből és a felhasználóból áll. A csatornára az adóból érkező és az információt tartalmazó jeleken kívül a szó általános értelmében vett „zavarok” (pl. légköri zavarok, szándékos zavarás stb.) hatnak, amelyek az információt — az „üzenetet” — eltorzítják. A cél az átvitt információ teljes értékű, vagy legalábbis olyan mértékű átvitele, hogy a leadott információ adott hibahatáron belül rekonstruálható legyen. Az információelméletben tehát az információ jelentésétől elvonatkoztatnak.

Egy példa : Ha két ember az autókészítéson beszélget, az információforrás az az ember, aki beszél, az adókészülék a beszélő ember beszélőszervei, az át-

vívó csatorna a levegő (a hangrezgések terjedési közege), a vevőkészülék a hallgató ember füle, a felhasználó pedig az ember, aki a beszédet hallgatja. A zavarforrás az autóbusz motorja, amely ugyancsak a beszédet átvívó levegőre (a csatornára) hat és az érthetőséget csökkenti.

Egy másik példa a táviró. Itt az információforrás a kézirat, a felhasználó a címzett. Az adókészülék a kéziratot a csatornán történő átvitelre alkalmas jelsorozattá transzformálja, a vevőkészülék ennek az inverz műveletét végzi el. Az összekötő csatorna: a vezeték, amelyen a táviratot továbbítják, végül a zavar az ún. vezetékzúgás. Ez a példa az előzőtől abban tér el, hogy itt már az is fontos, hogy az adott csatornán meghatározott idő alatt mennyi információt, üzenetet tudunk átvinni, vagyis *mekkora a csatorna kapacitása*.

Az információelmélet alapvető fogalma az információ mennyisége. Ezt a fogalmat Hartley-nek még 1928-ból származó vizsgálatait továbbfejlesztve Shannon amerikai matematikus vezette be [3], a szükséges matematikai szigorúsággal pedig Hincsin szovjet matematikus [4] határozta meg. Az információmennyiség fogalmához a következő megfontolással jutunk el:

Minden közlés valamiféle *jelek* segítségével történik. A beszélt nyelveknél ezek a jelek a hangok, az írott nyelvnél az ABC betűi, a távirónál a szóképes kódjelek, a televíziónál a képpontok stb. Bármely információ úgy fejeződik ki, hogy viszonylag kisszámú jelek — pl. az ABC betűi — valamilyen módon kombinálódnak, valamilyen *elrendezésben* fordulnak elő. Az elrendezés legtöbbször *időbeli* egymásután-következés, ún. idősorozat (pl. egymás után következő beszédhangok, távirójelek stb.), de lehet *térbeli*, egymás melletti elrendezés (pl. az írott szöveg, kép) is.

Tapasztalati tény, hogy az egyes nyelvekben felhasznált jelek vagy szimbólumok (fonémák, írásjelek) meghatározott és az illető nyelvre jellemző statisztika szerint fordulnak elő. Így pl. a magyar nyelvben a leggyakrabban előforduló hang az *e*, a legritkább pedig a *zs*. A szimbólumok *nem akármilyen* kombinációban fordulhatnak elő. A magyar nyelvben pl. egy szón belül nem következhet kétszer egymás után az *a* hang. Másrészt az egyes hangok előfordulása sem független egymástól. A már előfordult hang bizonyos mértékben meghatározza azt is, hogy közvetlenül utána milyen hang fog következni: a kettős, hármas stb. hangkombinációk előfordulási gyakoriságai szintén jellegzetesek az illető nyelvre. Röviden szólva: minden nyelvnek meghatározott, sajátos statisztikai szerkezete van, amelyben bizonyos tiltott kombinációk is előfordulnak.

Az információelmélet alapvető *feltevése* az, hogy a közlésnél használt *jelkészlet olyan statisztikai változók halmaza, amelyek elemei, illetve ezek kombinációi meghatározott valószínűséggel fordulnak elő, és bizonyos megkötéseknek vannak alávetve*. A vétehi oldalon nem lehet elvileg előre tudni, hogy milyen jelkombináció érkezik; ha ezt előre tudnók, a beérkező jelek nem mondanának semmi újat, *nem tartalmazzának információt*.

Maga az információ azáltal jön létre, hogy a jelkészletből az információforrás különböző elemekből álló sorozatot választ ki. A helyzet tehát elvileg ugyanaz, mint a valószínűségszámítás ismert urna-sémájánál, ahol az urnában levő különböző színű golyókból húzással különböző hosszúságú sorozatot választunk. Az információelmélet tehát tulajdonképpen a valószínűségszámítás egy különleges alkalmazási területe. Magát az információt a kiválasztott konfiguráció, a jelek elrendezése reprezentálja. *Az információ tehát végső fokon rendezettséget jelent*.

Egy adott információt — ugyanannak a jelkészletnek a segítségével — többféleképpen is ki lehet fejezni, szaknyelven szólva : kódolni. Ennek egyik példája a távirati cím, amely *egy* szóval reprezentálja a címzett vállalat nevét, telephelyét, az utcát, házszámot stb. Egy másik példa a távirónál használt ún. ötös kód, amelynél az ABC betűit legfeljebb öt lyukból álló kombinációval jelölik. A gyakorlatban a felhasznált jelkészletek általában jelentékenyen nagyobb számú jelet használnak, mint amennyire feltétlenül szükség van, tehát nagymértékű *redundanciával*, túlhatározottsággal rendelkeznek. A redundanciának a közlésnél fontos szerepe van : csökkenteni a hibás átvitel lehetőségét, növeli az információátvitel biztonságát. Másrészt azonban a feltétlenül szükséges minimumnál, az optimális kódnál több jel átvitele tovább tart, tehát felesleges csatornakapacitást köt le. Ezért alkalmas kódolással igyekeznek a redundanciát a biztonságos átvitel engedte határokon belül a lehető legkisebbre csökkenteni.

Hincsin már hivatkozott munkájában matematikailag szabatosan bebizonyította, hogy az információ mennyiségnek egyetlen olyan mértéke van, amely a szükséges követelményeket kielégíti : a

$$H = -K \sum_1^n p_i \log p_i$$

összefüggés, ahol  $p_i$  a jelkészlet egyes jeleinek előfordulási valószínűségét,  $n$  a sorozatban levő jelek számát,  $K$  pedig egy önkényesen megválasztható arányossági tényezőt jelent. Ez a kifejezés az arányossági tényező dimenziójától eltekintve pontosan megegyezik a termodinamikába Boltzmann által bevezetett entrópia kifejezésével ; ezért ezt az összefüggést — amely tulajdonképpen az *átlagos* információ mennyiségét fejezi ki — az információforrás entrópiájának szokás nevezni, és Boltzmann után  $H$  betűvel jelölik.

A szűkebb értelemben vett információelmélet gyakorlatilag legfontosabb eredménye, hogy pontos mennyiségi összefüggést ad valamely adott csatornán átvihető információ mennyisége, az átvitelhez szükséges frekvencia-sáv, átviteli idő, illetve az átvitt jelek és a zavaró jelek energiája között. Kimutatja, hogy meghatározott sávszélesség, adóenergia és zavaróenergia mellett az átvitel biztonságát a redundancia növelésével (pl. hosszabb jelsorozatok adásával, vagy ismétlések árán) növelni lehet. Ezzel lehetővé vált a különböző távközlési és komplex automatikus rendszerek minőségének, hatásfokának objektív megítélése.

Az információelméletnek a gyakorlat részére rendkívül fontos kérdése a zavarokkal fertőzött információknak adott hibahatárokon belül történő rekonstruálása. Ez utóbbi kérdés csoporttal az információ interpolációjának és extrapolációjának elmélete foglalkozik, amelynek alapjait a második világháború alatt egymástól függetlenül Kolmogorov szovjet [5] és Wiener amerikai [6] matematikusok vetették meg.

Tekintsük a következő távirat szövegét :

„Ma este veze...gi ülést tart...”

A helyesen érkezett többi betű alapján a szöveget rekonstruálni tudjuk :

„Ma este vezetőségi ülést tartunk.”

A harmadik szónál a középen hiányzó betűket rekonstruáltuk azáltal, hogy „interpoláltunk” a szó eleje és vége között. Az utolsó szónál a szó végén

hiányzó négy betűt egészítettük ki, a szó elején levő betűk alapján „extrapoláltunk.” Mindkét eljárás azért volt lehetséges, mert a szöveg elegendő redundanciával rendelkezett. Az ezzel kapcsolatos matematikai részletek sokkal bonyolultabbak, semhogy itt kitérhetnénk rá. A legfontosabb rekonstrukciós módszer alap gondolata azon a felismerésen alapszik, hogy a zavaró impulzusok egymástól statisztikai értelemben véve független, *rendezetlen*, egymás után következő lökésekből állanak, viszont az információt tartalmazó jelsorozatban bizonyos *rendezettség* van. Ezt kihasználva szerkesztettek olyan rádióvevőkészülékeket, amelyekkel a vétel még akkor is lehetséges, amikor a rendes vevőkészülékek a nagy zavarnívó miatt már felmondják a szolgálatot.

Az információ matematikai elmélete fejlődésének még csak a kezdetén áll. Az ismertetett modell és az egész elmélet lényegében véve csak egydimenziós, tehát *egyetlen csatornán*, időbeli egymásutánban történő átvittel foglalkozik. Az információ azonban — mint már utaltunk rá — lehet másféle típusú is. Példa erre a képtávíró vagy a televízió, ahol síkbeli, tehát *kétdimenziós* információ átviteléről van szó. A jelenlegi műszaki megoldás a probléma lényegét megkerüli: a televíziónál a síkban egymás mellett egyidejűleg jelenlévő képpontokat a képletapogatási eljárással (scanning) igen gyors időbeli egymásutánban — tehát egydimenziós idősor alakjában — továbbítják. A kézenfekvő párhuzam az emberi látás mechanizmusának az instrumentálása volna: ez azonban még fiziológiaiilag sem tisztázott kérdés.

Annak ellenére, hogy az információelmélet eredetileg a híradástechnika szükségleteiből fejlődött ki és ennek megfelelő fogalmakkal dolgozik, egyre nagyobb jelentőségre tesz szert más tudományágak számára is. Az információelmélet matematikai szigorúsággal definiált fogalmai és az egyes tudományágak sajátos természetének megfelelően kialakult fogalmak között természetesen sokszor igen nehéz egyértelmű kapcsolatot teremteni; ezek a nehézségek azonban áthidalhatók. Anélkül, hogy a teljességre igényt tartanánk, szeretnénk néhány példát említeni.

Az a körülmény, hogy az átlagos információmennyiség és a termodinamikai entrópia matematikai kifejezése az előjeltől és az arányossági tényező dimenziójától eltekintve azonosak, — nem véletlen. Szilárd Leó, az ismert magyar származású fizikus a Maxwell-démon problémáját elemezve már 1925-ben rámutatott arra, hogy a gázmolekulák sebességének mérési folyamata az entrópiát csökkenti [7]. L. Brillouin egy sor dolgozatot szentel ennek a kérdésnek [8], amelyekben kimutatja, hogy az információmennyiség valóban negatív entrópiát jelent; ebből következik, hogy a klasszikus entrópia-tétel csak az információforrásból és a felhasználóból álló *együttes* rendszerre igaz (ez felel meg a Boltzmann-féle zárt rendszernek), de következik az a rendkívül fontos körülmény is, hogy *a részrendszer entrópiája lokálisan és átmenetileg csökkenhet*. Wiener szerint [9] az élő szervezet is ilyen részrendszer, amely életfunkciói során (táplálkozás, fejlődés) a környezetéből energiát von el és azt a saját szükségletének megfelelően magasabb szintre szervezi. Minthogy az entrópia lényegében véve a *rendezetlenség* mértéke, az életfolyamatok az entrópia csökkentésével ekvivalensek.

*A nyelvészek részére* új lehetőséget nyújt az írott, illetve a beszélt nyelvnek mint információátviteli jelzőrendszernek a tanulmányozása. Érthetőségi vizsgálatoknál például információelméleti módszerekkel — legalábbis elvben — meg lehet adni az érthetőség kvantitatív határát. A nehézség itt az információelméleti jel fogalma és a nyelvészetben használt jel-fogalmak (elsősorban a

fonéma) közötti egyértelmű kapcsolat megteremtésében van. Bizonyos, hogy abban a körülményben, hogy a beszélt nyelv még meglehetősen zajos helyiségekben is jól érthető, jelentős szerepe van a beszéd közben használt hangok redundanciájának.

Fontos terület az egyes nyelvek statisztikai szerkezetének vizsgálata. Kézenfekvő a feltevés, hogy a nyelvrokonságoknak a nyelv statisztikai szerkezetében is meg kell nyilvánulniuk. A statisztikai szerkezetek kapcsolata viszont a matematikai statisztika bevált módszereivel kvantitatíve is meghatározható. A magyar nyelv statisztikai szerkezetéről újabban Vértés Editnek vannak figyelemreméltó eredményei [10].

Itt kell megemlíteni azt is, hogy az élő szervezetnek általában az egyik alapvető jellegzetessége, hogy igen nagy redundanciával dolgozik. Ugyanarról a dologról egyszerre sokféle módon veszünk tudomást. Azt például, hogy egy tárgyat felemelünk, egyidejűleg többféleképpen is érzékeljük: tapintjuk a felületét, érezzük a súlyát, a hőmérsékletét stb., főként pedig látjuk, mégpedig nemcsak önmagában a tárgy alakját, hanem egyszermind környezetének egy részeként is. A redundáns befutó ingerek teszik lehetővé azt, hogy a tárgyat akkor is biztonságosan felismerjük, ha egyik vagy másik információs csatorna (vakoknál például a látás, süketeknél a hallás) nem funkcionál. Ez az egyik alapja az élő szervezet hihetetlenül biztonságos működésének és alkalmazkodási képességének.

*A fiziológusok részére* fontos kérdés az idegrendszernek mint információs csatornának az átviteli kapacitása. A fiziológiai vizsgálatok ugyanis kiderítették, hogy az ingerek az idegpályák mentén elektromos impulzusok formájában terjednek, az impulzusokat az egyes neuronok a szinapszison keresztül adják át egymásnak. Az inger erősségét nem az impulzus amplitudója, hanem az impulzusok frekvenciája, tehát a másodpercenkénti impulzusok száma jellemzi: a külső inger az impulzusok frekvenciáját modulálja. Az egyes neuronoknak gyakorlatilag kétféle lehetséges állapotuk van: a nyugalmi helyzet és az ingerelt állapot. A kettő között az átmenet ugrásszerű. Másrészt azonban az idegpályát alkotó egyes neuronoknak meghatározott tartalmú refrakter-periódusai vannak: ha egyszer impulzust kaptak, reakciókészségüket csak egy meghatározott idő után nyerik vissza (szinaptikus késés.). Mc Kay [11] elméletileg is kimutatta, hogy a neuronális hálózatban a refrakter-periódusok miatt éppen a ténylegesen fellépő frekvencia-moduláció biztosítja a maximális átviteli kapacitást, tehát azt, hogy a szervezet a környezetből maximális információmennyiséget kaphat.

*A pszichológusok részére* rendkívül fontosak a síkbeli és térbeli információ-átvitel kérdései, mert ezen az úton lehet közelebb kerülni az alakfelismerés problémájának megoldásához. E kérdésben döntő szerepe van a memóriának is: az alakfelismerés ugyanis — legalábbis logikailag — lényegében véve azáltal válik lehetővé, hogy az ember az alakról kapott síkbeli vagy térbeli (optikai, akusztikus stb.) információt összehasonlítsa a korábbi érzékletekből származó és a memóriában tárolt valamilyen eddig még fel nem derített módon „szabványosított” információval. A szabványosított tárolás szorosan kapcsolódik az absztrakció mechanizmusához. Információ-elméleti szempontból az absztrakció minimális redundanciával rendelkező kódolásnak felel meg. Ez a kérdés persze még távolról sincsen tisztázva, sőt még a pontos megfogalmazásáról is alig lehet beszélni.

A neurofiziológusok, pszichológusok, matematikusok és mérnökök

együttműködése itt rendkívül fontos és érdekes új eredményekre, gyakorlatilag is felhasználható új gépek megalkotására vezethet. Szerkesztettek már olyan gépet, amely nyomtatott vagy gépírt betűket olvas és alkalmas elektronikus impulzus-kombinációvá alakít át; ezeket ezután a szükséghez képest más célokra lehet felhasználni. Az érdekes az, hogy a nyomtatott vagy gépírt betűtípusok egymástól nagyságban lényegesen is különbözhetnek, a gép azonban mégis „felismeri”, hogy ugyanarról a betűről van szó és a helyes impulzus-kombinációt állítja elő.

A néhány kiragadott és bőségesen szaporítható példa után — melyek az információelmélet jelentőségét és lehetőségeit vannak hivatva illusztrálni — térjünk át az automatikus rendszerek kérdéseire.

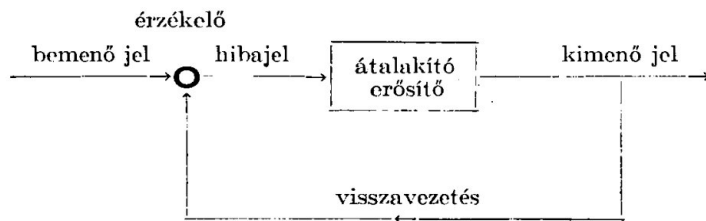
## 2. Automatikus rendszerek és az élő szervezet

Automatikus rendszereken a továbbiakban olyan műszaki berendezést, gépet vagy több gépből álló rendszert fogunk érteni, amely meghatározott műveletsorozatot önműködően végez el. Az automatizmus abban áll, hogy ha a rendszer *tényleges* működése a *helyes* működéstől bármilyen oknál fogva eltér, a rendszer ember közbejötté nélkül önmagát korigálja.

Példaként tekintsük egy emelődaru kormányzását. Itt a feladat az, hogy a darut a szükséges irányba elfordítsuk. Ez azáltal történik meg, hogy a kormányos a kormánykereket a szükséges mértékben elfordítja. Egy alkalmas műszer érzékeli, hogy a daru *tényleges* helyzete és a kormánykerék helyzete nem egyezik meg. Ekkor a műszer egy úgynevezett hibajelet ad, amelynek nagysága és előjele arányos az eltérés nagyságával és irányával. A hibajelet egy erősítő a szükséges mértékre felerősíti. A felerősített hibajel bekapcsolja a forgató motort és addig forgatja, amíg a daru a szükséges helyzetbe nem áll. Ekkor a hibajel eltűnik és a motor kikapcsol. A darunak azonban jelentős tehetetlen tömege is van. Ennek következtében a mozgásba jött daru nem áll meg a kívánt helyzetben, hanem azon túlleng. Erre az érzékelő műszer ellenkező értelmű hibajelet ad, mire a motor a darut ellenkező irányba fordítja el. A daru tehát — legalábbis elvileg — nem folyamatosan áll be a kívánt helyzetbe, hanem — tehetetlensége miatt — előbb túlleng rajta, azután visszatér és az ellenkező irányba leng ki, most már azonban kisebb mértékben, míg végül is nyugalomba nem jön, stabilizálódik. A gyakorlatban ezt a folyamatot nem lehet szemmel látni, hiszen megfelelő szerkezeteknek a rendszerbe való beiktatásával gondoskodnak a szükséges fékezésről, — műszeresen azonban mindig kimutatható. Hasonló elven működnek a többi automatikusan szabályozó vagy vezérlő rendszerek is, például a közismert laboratóriumi termosztát, vagy a kazánok hőmérsékletét, illetve vízszintjét szabályozó automaták is. A rendszer funkcionális vázlatát a 2. sz. ábra szemlélteti.

Az automatikus rendszer működésére két mozzanat jellemző: az egyik az *összehasonlítás és hibajelképzés* funkciója, amelyet az érzékelő szerv (általában valamilyen alkalmas műszer) végez; a másik lényeges momentum az, hogy az összehasonlításnál mindig a *tényleges* működést hasonlítják össze a *kívánt* működéssel. Ezt úgy érik el, hogy a rendszer kimenetén jelentkező és a *tényleges* működést reprezentáló kimenő jelet (a daru helyzete) visszavezetik a rendszer bemenetén levő érzékelőbe, amelyre a kívánt működést

reprezentáló ún. referencia-jel, vagy bemenő-jel (a kormánykerék helyzete) is hat. A visszavezetés ténye miatt a rendszerben *zárt lánc* áll elő. A visszavezetés olyan értelmű, hogy a kimenő jel a referencia-jelhez képest mindig negatív, tehát abból kivonódik. Szaknyelven ezt *negatív visszacsatolásnak* hívják. Ez a két mozzanat együttesen teszi tulajdonképpen lehetővé, hogy a rendszer valóban automatikusan, emberi közbelépés nélkül önmagát korrigálja.



2. ábra. Automatikus rendszer funkcionális vázlata

Amint a példából látható, az automatikus rendszer viselkedése egy sor fontos és érdekes kérdést vet fel: a működési sebesség, pontosság, főként pedig a stabilitás kérdését. Mit értünk az automatikus rendszer stabilitásán?

Mint láttuk, a daru — tehetetlensége miatt — nem áll be símán a kívánt helyzetbe, hanem azt egyre kisebbé váló lengéseken keresztül fokozatosan közelíti meg. A rendszert akkor nevezzük stabilnak, ha ezek a kis lengések az idő során lecsillapodnak, és a rendszer többé-kevésbé rövid idő alatt fokozatosan nyugalomba jön. A tapasztalat azonban azt mutatja (és ezt elméleti számításokkal is követni lehet), hogy ha a rendszerben levő erősítés egy kritikus értéket meghalad, a lengések nem csillapodnak, hanem ellenkezőleg: egyre nagyobbak lesznek mindaddig, amíg a rendszer tönkre nem megy.

Úgy hisszük, az automatikus rendszerek elméletének jelentőségét a műszaki gyakorlat és az új technika szempontjából nem kell külön aláhúzni. A kibernetika részére rendkívül fontos az a körülmény, hogy az automatikus rendszerek és az élő szervezet egyes funkciói között szoros analógia áll fenn.

Az automatikus rendszer lengéseinek vizuális képe erősen hasonlít ahhoz, amit bizonyos típusú idegrendszeri megbetegedésben szenvedő embernél mint remegést, a végtagok reszketését láthatunk. A mérnök ilyenkor akaratlanul is azt mondja: az automata „ideges” lett. Ez az analógia vezette a fiziológusokat is arra a gondolatra, hogy a negatív visszacsatolás elve az élő szervezet egyes funkcióiban is érvényesül: *valamilyen formában ott is ilyen visszavezetések, önmagukban zárt rendszereket kell feltételezni.*

Az eddigi vizsgálatok szerint ez sok esetben valóban így is van. Ha például az asztalon levő pohár után nyúlunk, akkor szemünkkel érzékeljük egyrészt azt, hogy hol van a pohár, másrészt pedig hogy milyen távol van tőle a kéz. A látott kép alapján az agykéregben hibajel képződik, amely a megfelelő idegpályák útján a kéz izmait mozgásba hozza: a kéz a pohár után nyúl. Ahogy a kéz és a pohár térbeli távolsága csökken, csökken a kar és a kéz izmait mozgató idegen végigfutó motoros inger is, de csak akkor szűnik meg teljesen, amikor a térbeli különbség teljesen eltűnik és a kéz megfogja a poharat, amiről a tapintóérzék a megfelelő idegpályák útján „informálja” az agykérget.

Ha ezt a folyamatot összehasonlítjuk az automatikus rendszer általános funkcionális vázlatával, azt látjuk, hogy — minőségileg más megnyilvánulási formában — itt is ugyanaz a működési alapelv érvényesül. Persze ez a rendszer lényegesen bonyolultabb, mint a daru egyszerű automatikája. Új mozzanat is fellép: azt, hogy a kívánt működés a tényleges működéssel megegyezik, nemcsak a hibajel eltűnése jelzi, hanem egy ettől független, redundáns jelzés is, ami a biztonságot szolgálja, — a tapintószervek működése. Hasonló zárt rendszerekkel találkozunk az élő szervezet más funkcióinál is. Ugyanilyen típusú szabályozási mechanizmus érvényesül például a test hőmérsékletének, nedvességtartalmának, a vérnyomásnak stb. a szabályozásában is.

Annak a felismerése, hogy az élő szervezet egyes funkcióinál ugyanaz a működési alapelv nyilvánul meg, mint az automatikus rendszerekben, a fiziológusok és pszichológusok részére rendkívül fontos. A modern automatika ugyanis megadja a lehetőséget, hogy az élő szervezet egyes funkcióit izolált, reprodukálható feltételek között, elektromechanikus szerkezetek útján modelláljuk.

Az irányhallás elve például a következő: az embernek két füle van. Mind a kettő hallja a hangforrásból érkező légrézgéket: a hangokat. A két fülhöz a hanghullámok akkor érkeznek be egyidejűleg, ha — egyébként egyforma körülmények között — a dobhártyák távolsága a hangforrástól egyforma. Az ember tehát addig fordítja a fejét, míg a dobhártyához érkező hangok egyforma erősen nem hallatszanak.

Ezt az elvet a kísérleti modellek építésére sokan hasznosítják. Wiener például [9] egy olyan „állatot” szerkesztett, amelyben a két szemet két fotocella, a lábakat pedig három kerék helyettesítette, amely kerekek egyike — a tricikli mintájára — elforgatható volt. A két kereket két kis villanymotor hajtotta, amelyeket alkalmas elektronikus erősítők útján a fotocellák vezéreltek. Ha egy villanylámpát gyújtottak meg és a szerkezet véletlenül nem a lámpa felé állt, akkor a két fotocella árama eltért egymástól. A különbség nagysága és előjele jelezte az elfordulást és az erősítők keresztül úgy forgatta a kormánymotort, hogy a különbség eltűnjék. Ezzel a szerkezettel a fényforrás irányába állt be, a hajtómotor pedig odavitte a lámpához (fototropizmus).

Grey Walter, az ismert fiziológus, ezen az elven egy olyan „teknősbékát” szerkesztett [12], amelynél a szemeknek egy fotocella felelt meg, és a fedőlapon megfelelően elhelyezett érintkezők záródása révén a modell az érintésre is reagált. Ilyen módon a teknősbékának már nemcsak „szeme”, hanem „tapintóérzéke” is volt. Ezáltal el tudta érní, hogy ha a teknősbéka útjába akadályt tett, amit a teknősbéka tapintóérzéke (az érintkezők záródása) jelzett, a teknősbéka az akadályt megkerülte. Szerkesztettek olyan modellt is, amelynél — természetesen egy mikrofon segítségével — a hallást is instrumentálták. Végeredményben tehát az ilyen modellek bizonyos korlátozott, de eléggé változatos viszonyok között egy állat viselkedését utánozzák. Az érdekes az egészben az, hogy ha az erősítés mértékét egy kritikus értéken túl fokozzák, akkor az egész rendszer lengésbe jön, „ideges lesz” és hasonló tétova mozgásokat produkál, mint az ember, egyes idegrendszeri megbetegedések esetén.

Nyomatékosan hangsúlyozni kell, hogy ezeknél a szerkezeteknél csak a működési alapelv az, ami közös: *nem azonosságról, hanem csak analógiáról, modelltől van szó.* Ez azonban — megfelelő óvatossággal kezelve — az orvos

részére rendkívül hasznos lehet, mert lehetővé teszi az élő szervezet viselkedési mechanizmusának részletesebb, jobb megértését.

Az automatikus rendszerek viselkedése — noha sok hasznos analógiával szolgál — mégis egy sor döntő pontban *eltér* az élő szervezet viselkedésétől. Minthogy az irodalomban sokszor a szenvedélyességig menő viták folynak az élő szervezet és a mechanizmusok hasonlóságának vagy azonosságának kérdéséről, fontos és tanulságos is, hogy az analógiák korlátait világosan lássuk. Anélkül, hogy teljességre törekednénk, meg kell elégednünk csak a legfontosabb eltérések megemlítésével.

Az egyik a következő: a modern automatikus rendszerek — bármennyire bonyolultak is — végeredményben csak *elektromechanikus eszközökkel működnek*. Az élő szervezetben viszont döntő jelentősége van a *kémiai folyamatoknak*. Itt nem egyszerűen csak arról van szó, hogy az élő szervezet táplálkozásában, fejlődésében stb. a kémiai folyamatok alapvető jelentőségűek — ez triviális —, hanem arról is, hogy az élő szervezetben a kémiai folyamatoknak *funkcionális* szerepük is van. Így például az élő szervezetben keringő nedvek (például a hormonok) bizonyos esetekben és bizonyos körülmények között *hatásokat, információkat is közvetítenek*, tehát lényegében az idegpályák funkcióját is ellátják. Hazánkban Lissák Kálmánnak és munkatársainak vannak ezen a téren fontos eredményei. Ezek azonban még korántsem tisztázott folyamatok, és részletes tárgyalásuk túlságosan messzire vezetne.

Egy másik döntő funkcionális jellegű eltérés az, hogy az élő szervezet *emlékezőképességgel*, memóriával rendelkezik. A memória kérdésével az elektronikus számológépeknél még részletesen foglalkozni fogunk. Ebben az összefüggésben azt kell kiemelni, hogy az automatikus géprendszereknél a rendszer viselkedését a környezetből *pillanatnyilag befutó ingerek* (például a daru és a kormánykerék helyzete közötti eltérés) határozza meg. A memória jelenléte az élő szervezetben viszont azt jelenti, hogy a szervezet viselkedését *pillanatnyilag befutó és a memóriában tárolt korábbi ingerek* („tapasztalatok”) együtt határozzák meg. Éppen ez teszi lehetővé, hogy az élő szervezet reflexeket fejlesszen ki, és ezáltal rendkívül változatos környezetekhez tudjon *alkalmazkodni*.

Az utóbbi időben próbálkoznak olyan modellek szerkesztésével is, amelyekbe bizonyos mértékű információtároló készséget, memóriát építenek be. Így például Grey Walter legújabb modellje, a „*Machina docilis*” nemcsak fényre és hangra reagál, hanem memóriája is van. A modellel Pavlov klasszikus reflex-kísérletei reprodukálhatók, a következő módon: A modell a fény hatására — a korábbi modellhez hasonlóan — fototropizmust produkál: odamegy a fényhez. Ha a fényjellel egyidejűleg valamilyen hangjelet is adunk — például egy sípba fújunk —, akkor az elektronikus áramkör a két ingerből származó feszültségeket ugyanúgy summálja, mint az idegrendszer. Az ingerek bizonyos számú együttes ismétlése után el lehet érni, hogy a modell egyedül a sípjelre is a megfelelő irányba fog haladni, akkor is, ha a fényforrást nem gyújtjuk ki.

A memória céljaira egy kondenzátor feltöltése szolgál, mely a töltését csak egy meghatározott ideig tudja tárolni. Ha ezután a sípjelet ritkábban adjuk, a kondenzátor töltése fokozatosan kisül, a gép tehát mintegy „elfelejti” a megtanult reflexet, és megint csak egyedül a fototropizmus jelentkezik.

Hazánkban a Budapesti Élettani Intézetben Ángyán András foglalkozik

hasonló kísérletekkel. Ez a terület jóformán még teljesen feltáratlan, és mind fiziológiai, mint műszaki vonalon rendkívül érdekes és fontos új eredményeket várhatunk.

Az élő szervezet és az automatikus rendszer között további döntő különbséget jelent a komplexitás foka is. Itt nem egyszerűen csak mennyiségi különbségről van szó, hanem arról az önként felmerülő kérdésről is, hogy *mi az összefüggés az élő szervezet önreprodukáló, önmagát továbbfejlesztő képessége és a szervezet bonyolultsági foka között.* A kérdés exakt megválaszolásának legnagyobb nehézsége abban áll, hogy olyan alapvető fontosságú fogalmak, mint a *bonyolultság* és a *szervezettség* fogalma, illetőleg ezek mértékei nincsenek a szükséges szigorúsággal definiálva. Világos, hogy ezeknek a fogalmaknak a meghatározásánál az információelméletnek fontos szerepe lesz.

Eddig egyetlen olyan kísérlet történt, amely — ha nem is matematikailag, de legalábbis teljes logikai szigorúsággal — vizsgálja azt a kérdést, hogy mi a feltétele annak, hogy egy géprendszer önmagát reprodukálja, vagy éppen továbbfejlessze. Szerzője Neumann János, az ismert magyar származású matematikus [14].

Hogy a kérdés egyáltalán tárgyalható legyen, természetesen messzemenő egyszerűsítésekkel kénytelen élni. Feltételezi, hogy a vizsgálandó önreprodukáló gép *kész alkatrészeket szerel össze*, amelyek elegendő mennyiségben eleve rendelkezésre állanak. A rendkívül érdekes elmélet részleteit illetően az eredeti publikációra kell utalnunk. Legfontosabb eredménye az, hogy logikailag kifogástalan módon bebizonyítja a következőket: mindaddig, amíg az anyarendszer bonyolultsági foka egy kritikus színvonal *alatt* marad, az általa előállított újabb gép — az „utód” — mindig „egyszerűbb” lesz, mint az anyarendszer. A géprendszerek ilyen módon történő „fejlődésénél” tehát szükségképpen *degeneratív tendencia* érvényesül. Ha azonban az anyarendszer bonyolultsági foka egy kritikus színvonal *főlé* emelkedik, a rendszer elvileg képes arra, hogy önmagánál bonyolultabb rendszereket is elő tudjon állítani, más szóval: a *degeneratív tendencia fejlődési tendenciába csap át.*

A rendkívül érdekes elmélet korlátaira és továbbfejlesztésének lehetőségeire más alkalommal még visszatérünk. A szerző maga is hangsúlyozza, hogy nem kidolgozott elméletet, hanem csak az elmélet körvonalait adja. Ennek ellenére elvi szempontból rendkívül figyelemreméltó, mert ez az első kísérlet arra, hogy a fejlődési folyamatot konkrét részleteiben, teljes logikai szigorúsággal gondolja végig. Ezzel legalábbis megjelöli azt az utat, amelyen — ha a szükséges matematikai apparátust egyszer kidolgozták — megadható lesz az a határ, amelynek átlépésével a degeneráció fejlődésbe, a mennyiség minőségbe csap át.

### 3. Elektronikus számológépek

Eddig a legbonyolultabb automatikus géprendszer az elektronikus digitális számológép. A digitális számológép a számításban előforduló mennyiségeket diszkrét értékekkel, számjegyekkel reprezentálja. Innen a neve is: a latin digitus szó a kéznek az ujjait jelenti, amelyeket a számolásnál felhasználnak.

Az elektronikus digitális számológép olyan berendezés, amelynél a számítási műveleteket nem mechanikusan mozgó alkatrészek, hanem elektron-

csövek és más hasonló híradástechnikai alkatrészek végzik; ezért alapvető tulajdonságaikban is eltérnek a közismert asztali számológépektől.

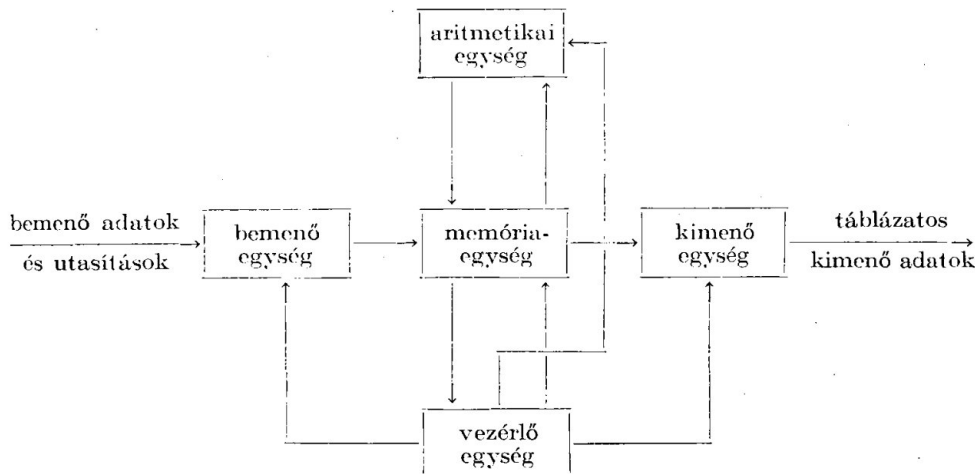
Az elektronikus gépeknél nem célszerű a tízes számrendszert használni, hanem olyat, amely a gépben használt szerkezeti elemek (elektroncsövek, esetleg jelfogók) jellegének legjobban megfelel. A gép szerkezeti elemeinek csak kétféle állapotuk lehetséges: vagy vezetnek, vagy nem. Ennek megfelelően az impulzus vagy jelen van, vagy nincs jelen. E szerkezeti elemeknek legjobban megfelelő számrendszer a *kettes számrendszer*, amely — mint ismeretes — csak kétféle számjegyet ismer: a „0”-t és az „1”-est. A gépben az impulzus-hiány a 0-t, a jelenlevő impulzust pedig az 1-est reprezentálja. Minden más számot ennek a két számjegynek a különböző elrendezésével állítanak elő. A tényleges felhasználó részére az a körülmény, hogy a gép a kettes számrendszerben dolgozik, nem jelent komplikációt, mert a szükséges oda-vissza történő átalakításokat a gép automatikusan hajtja végre, viszont az aritmetikai műveletek lényegesen leegyszerűsödnek. Meg kell jegyezni, hogy a kettes számrendszer alkalmazása a gépnek a felhasznált szerkezeti elemeivel összefüggő egyik érdekessége, de *nem alapvető jellegzetessége*. Vannak olyan elektronikus digitális számológépek is, amelyek más számrendszerben, például a 8-as alapú, vagy az ún. kódolt decimális számrendszerben dolgoznak.

A gép hallatlanul gyors működése abból következik, hogy a gépben az impulzusok másodpercenként 100 000—1 000 000-ig, sőt néha ennél nagyobb sűrűséggel is következnek egymás után. A nagy sebességnek az a következménye, hogy a gép működését teljes mértékben automatizálni kell. Ez két újabb problémát is felvet: egyrészt előre ki kell dolgozni azt, hogy a gép milyen műveleteket milyen sorrendben végezzen el, más szóval: ki kell dolgozni az elvégzendő számítások programját. Ezt a programozó matematikus végzi. Másrészt pedig gondoskodni kell egy olyan berendezésről, amely a programot, valamint a számítás kiinduló adatait, a közbelső- és végeredményeket a számítások egész tartama alatt oly módon tudja tárolni, hogy amikor kell, azonnal rendelkezésre álljanak. Más szóval szükség van egy olyan berendezésre, amely lényegében véve funkciókat lát el, mint az ember emlékezőképessége: a memória. Ennek hiányában a gép igen gyors működését egyszerűen nem tudnók kihasználni.

Az elektronikus számológép logikai struktúráját a 3. sz. ábra mutatja. A programban szereplő műveleti utasításokat, valamint a kiinduló numerikus adatokat a számítás előtt ugyanolyan kódjelekkel, mint a postai távirónál, távirószalagra perforálják. A műveleti utasításokat és a kiinduló numerikus adatokat tartalmazó szalag bekerül a gép bemenő egységébe. Ez tulajdonképpen egy elektromos érzékelő-rendszer, amely a szalagra perforált lyukakat érzékeli és a gép belső berendezésének megfelelő villamcs impulzus-kombinációkká alakítja át. Az impulzus-kombinációk a bemenő érzékelőből a gép memóriaegységébe kerülnek, amely azokat a gép működése során tárolja, „emlékszik rájuk.” A programimpulzusok a gép vezérlőegységébe, a tulajdonképpeni számok pedig a gép aritmetikai egységébe kerülnek. A vezérlőegység a programnak megfelelően működteti a gép összes szerveit: a tulajdonképpeni számításokat az aritmetikai egység végzi el. A művelet elvégzése után az eredmény visszakerül a memóriába, majd innen a kimenő egységbe jut, amely vagy egy elektromos írógép, vagy pedig — nagyobb méretű berendezések esetén — lyukkártya-rendszerű perforátor, amely az eredménye-

ket lyukkártyákban rögzíti. Ezeket az eredményeket így később tabellálni lehet.

A gép működése négy fázisra oszlik : az első fázisban a memóriaegység kibocsátja a soronkövetkező utasítást a programvezérlő egységbe. A második fázisban — már a programvezérlőből kapott impulzusok hatására — a műveletben szereplő számok a memóriaegységből az aritmetikai egységbe jutnak. A harmadik fázisban az aritmetikai egység végrehajtja a kijelölt műveletet, majd a negyedik fázisban az eredmény visszakerül a memóriába. Ezután az egész ciklus ismétlődik.



3. ábra. Digitális számológép funkcionális vázlata

A digitális számológépek méretei a támasztott követelményektől függenek. A legelső ilyen gép, az ENIAC, amely 1946-ban készült el, még 18 000 rádiócsövet tartalmazott és 60 kW áramot fogyasztott. A viharos ütemű technikai fejlődés ma már oda vezetett, hogy a kisebb kapacitású gépek kevesebb mint 500 elektroncsövet, néhány ezer kristálydiódát, valamint egyéb szabványos híradástechnikai alkatrészeket tartalmaznak. Az előforduló áramköröket annyira tipizálták, hogy az egész gép mindössze néhányféle típusáramkör megfelelő kombinációjából tevődik össze. Ma már a legtöbb fejlettebb technikával rendelkező országban legalább egy ilyen elektronikus számológép van. A népi demokráciák közül a Német Demokratikus Köztársaságban és a Lengyel Népköztársaságban a gépek építése a befejezés előtt áll, a Szovjetunióban — mint erről Lebegyev akadémikus az elmúlt év őszén Darmstadt-ban tartott nemzetközi számológép-konferencián beszámolt [15] — már 1951 óta működik a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának BESzM jelzésű számológépe, amely ez idő szerint Európában a legnagyobb teljesítményű ilyen számológép. A gépben 5000 rádiócső van és másodpercenként 7000—8000 elemi műveletet (összeadás, kivonás stb.) hajt végre. Ez teszi érthetővé az elektronikus számológépek minden eddigit felülmúló, szinte hihetetlenül nagy sebességét. Így például egy különleges nem lineáris differenciálegyenlet megoldására egy kalkulátornak — a szokásos asztali számológép felhasználásával — 60 munkaórára van szüksége. Ugyanezt

a problémát a géppel 2 perc 20 másodperc alatt oldották meg. Egy másik példa : egy húszismeretlenű lineáris egyenletrendszer megoldásához mind-össze 3 és  $\frac{1}{2}$  percre van szükség.

A digitális számológépeket a korábban tárgyalt automatikus géprendszerektől funkcionálisan két lényeges tulajdonság különbözteti meg. Az egyik az, hogy tárolókészséggel, memóriával rendelkeznek, a második pedig, hogy működésüket megfelelő utasítás-sorozat : a program szabályozza. Ez az utóbbi körülmény biztosítja a korábban tárgyalt — lényegében véve egycélú — automatákkal szemben a gép univerzális felhasználhatóságát. Ha megváltozik a megoldandó probléma, nem a gépet, hanem csak a gép programját kell megváltoztatni.

A memóriaegység gyakorlati megoldási módszereit elvileg két csoportba lehet osztani.

Az egyik a statikus *térbeli* tárolás módszere, amelynél a tárolás, például egy kondenzátor feltöltésén, vagy az anyag valamely fizikai tulajdonságának (legtöbbször mágneses telítési állapot) tartós, de reverzibilis megváltoztatásán alapszik. Az ilyen módon történő tárolásnál az egyes „cellákat” négyzetes matrix alakjában helyezik el ; a memóriában tehát egy-egy adatnak (impulzusnak) a helyét *két térbeli koordináta* határozza meg.

A másik tárolási módszer a *dinamikus*, amelynél a tárolás lényegében véve *időben* történik. A műszaki megvalósítás alapelve az, hogy egy erre alkalmas közegben az egyik végén impulzusszerű rugalmas alakváltozást keltünk. Ez az impulzus végighalad a közegen és a másik végén egy, az adófejhez hasonlóan kiképzett vevőfejen megfelelő feszültség-impulzust kelt. Az impulzust egy elektronikus erősítő segítségével visszatápláljuk a késleltető közeg bemenetére, tehát zárt láncot állítunk elő. A láncba egyszer bejuttatott impulzus mindaddig keringeni fog, amíg — alkalmas kapcsolószerkezet segítségével — onnan ki nem bocsátjuk. Énnél a módszernél a tárolt információ nem áll bármikor rendelkezésre, hanem meg kell várni, amíg a kívánt impulzusok a kimenő kapcsolónál megjelennek. Az átlagos várakozási idő 1—3 msec. szokott lenni. Egy adott hosszúságú késleltető művonalban azonban csak korlátozott számú impulzust lehet elhelyezni : ezért a teljes memória legtöbbször 32, vagy 64 ilyen egységből áll. A dinamikus tárolási módszernél a memóriában tárolt adat helyét szintén két tényező határozza meg : az egyik a késleltető művonalnak a *sorszám*a (térkoordináta), a másik pedig az az *időpont*, amikor a kivenni kívánt impulzus a vevőfejen megjelenik, tehát az időkoordináta. Innen az időben történő tárolás elnevezés.

A műszaki megvalósításnál késleltető közegként kezdetben higanyt használtak, ami egy sor műszaki hátránnyal járt. Korszerű konstrukciónál a magnetrostrikció jelenségét használják fel ; késleltető közegként nikkelcsövet vagy drótot alkalmaznak. A műszaki részleteket illetően az irodalomra kell utalni [16].

Mint korábban láttuk, a program lényegében véve műveleti utasítások sorozata, amelyre a gép gyors működésén kívül azért is van szükség, mert a gépbe általában csak három alapműveletet (az összeadást, kivonást és a szorzást) szokás eleve beépíteni, minden egyéb műveletet, amelyre a probléma feldolgozása során szükség van, ezen műveletek egymásutánjára kell lebontani.

A szűkebb értelemben vett aritmetikai műveleteken kívül a gépbe bizonyos logikai műveleteket is beépítenek. Ezek közül a legfontosabb a kom-

paráció. Ez azt jelenti, hogy a gép két számot hasonlít össze egymással, amelyik egyike, vagy mind a kettő a memóriában van tárolva; a gép azt érzékeli, hogy ezek a számok megegyeznek-e vagy nem. Ez azért fontos, mert bonyolult, hosszadalmas számításokat igénylő problémák megoldásánál gyakran áll elő olyan helyzet, hogy a további számítások menete elágazik, és a következő művelet sor attól függ, hogy mi volt a korábbi számítás eredménye. Ennek jellegzetes példája a fokozatos közelítéssel történő négyzetgyökvonás. Ilyen esetekben a gép elkezd számítani az egyes közelítő értékeket; a mindenkori eredményt összehasonlítja a memóriában tárolt előző eredménnyel. Ha a komparáció eredménye egyezést mutat, a gép abbahagyja a közelítő számítást és visszatér a főműveletre. — ellenkező esetben folytatja a közelítést.

Erre a működési módra szokták képletesen azt mondani, hogy a gép „maga dönti el”, hogy mit csináljon, a gép „választ.” Ehhez járul még a számológépek és az idegsejtek, neuronok között fennálló analógia: a neuronok lényegében véve ugyanúgy kétállapotú elemeknek tekinthetők, mint az elektronikus számológépekben legtöbbször használt billenő egységek. Ezért az elektronikus számológépek működését sokszor összehasonlítják az idegrendszer működésével. A szinte hihetetlenül nagy működési sebesség, valamint a most leírt diszkriminációs készség arra indította a burzsoá ideológia egyes képviselőit — főként pedig a reklámhajtás tudományos zsurnalisztákat — hogy komoly formában állítsák azt, hogy a gép gondolkodik.

A gépbe beépített diszkriminációhoz hasonló „értelmes” műveleteket naponta milliós számra végez a megszokott automatikus telefonközpont is, amely megvizsgálja a hívott előfizető állomását és „elönti”, hogy mit csináljon: kapcsolja az állomást, ha a vonal szabad, vagy foglaltsági jelet adjon, ha a hívott állomás foglalt. Jelen esetben ha nem is egyszerű, de mindenképpen érthető, és bizonyos, hogy rendkívül érdekes automatákról van csupán szó.

A technikai fejlődés során az emberek az izommunkát a gépek erejével helyettesítették, de még senkinek nem jutott eszébe, hogy az esztergapadra azt mondja, hogy esztergályos. Eddig hozzá voltunk szokva ahhoz, hogy bizonyos műveleteket csak az agyvelő segítségével tudtunk elvégezni, amely az embernek a szellemi munka elvégzésére is szolgáló szerve (nem kizárólag az). A technika fejlődése és a szellemi munkafolyamatok részletesebb vizsgálata azonban megmutatta, hogy bizonyos típusú szellemi műveleteket gépekkel is el lehet végeztetni. Ez azonban még nem jelenti azt, hogy ezek a gépek „gondolkodnak.” Egyszerűen az derült ki, hogy *bizonyos tipikus és gyakran előforduló szellemi műveleteknek megvan a mechanikai analógiája.* Pontosabban: bizonyos szellemi műveletek mechanikai, vagy elektromos szerkezetek működésére — megfordíthatólag egyértelmű módon — leképezhetők.

Határozottan le kell tehát szögeznünk, hogy *sohasem a gép gondolkodik, hanem mindig a tervező, vagy a felhasználó ember.* A gép egyszerűen működik. Végrehajtja mindazokat az utasításokat, amelyekre a beépített szerkezeti elemek és ezek organizációja alkalmassá teszi, — de semmi mást. Arra vonatkozóan, hogy *mikor kell választani* — hogy a különböző alternatívák esetén *mi legyen a következő művelet* —, a gépet mindig *előre utasítani kell.* Más szóval a gép azt, és csak azt tudja, amire a tervezője, vagy a felhasználó matematikus — a mechanikai lehetőségek határain belül — meg tudja tanítani.

A helyes kérdésfelvetés tehát nem az, hogy *gondolkodik-e a gép*, hanem az, hogy *milyen műveletekre lehet a gépet programozni*, mire lehet megtanítani? Ez a döntő. Ha viszont így tesszük fel a kérdést, akkor arra a meglepő eredményre jutunk, hogy a *gépet* — az adott technikai korlátokon belül — *minden olyan műveletre programozni lehet, amely egyértelmű szabályokba foglalható*. Itt csak utalni lehet arra a fontos logikai és ismeretelméleti kérdésre, hogy mit lehet egyértelmű szabályokba foglalni. Az ezirányú vizsgálatok legfontosabb eredménye a Mc Culloch—Pitts-féle tétel [17], amely a számológépek vonatkozásában úgy fogalmazható meg, hogy minden olyan eljárás, amit szavakkal teljesen és egyértelműen ki lehet fejezni, véges számú szerkezeti elemek alkalmas kombinációjával realizálható is.

Bizonyos, hogy egy sor érdekes és sokszor meghökkentő alkalmazási lehetőség adódik, elsősorban abból, hogy a gépet *nem numerikus műveletek* elvégzésére is lehet használni. Ez az, ami az embereket — ha a gép működési alapelveivel nincsenek tisztában — könnyen hajlamossá teszi arra, hogy gondolkodó gépekről beszéljenek.

Lássunk ezekre is példákat.

A gép a számítási műveletek során meghatározott impulzus-kombinációkat „termel”, amelyek — normális körülmények között — az írószerkezetet működtetik. Erre az utóbbi fázisra azonban nincsen feltétlenül szükség. Az impulzus-kombinációkat lehet úgy átalakítani, hogy közvetlenül megfelelő szerszámgepeket vezéreljenek. Ennek alapján az egyik nagy repülőgépgyárban kísérletképpen komplikált légszavar- és más aerodinamikai profilokat úgy munkáltak meg [18], hogy a számológép megoldotta a profil differenciál-egyenleteit, de az eredményt nem írta le, hanem közvetlenül egy profilmaró gépet vezérelt. Ezáltal a számítások manuális elvégzésén kívül a komplikált profil megrajzolása és a költséges mesterdarab egyedi elkészítése is feleslegessé vált: így a termelékenység ugrásszerűen megnőtt. Minthogy a számológép aránytalanul gyorsabb, mint a megmunkálási folyamat, egy számológép egy egész megmunkáló gépparkot tud vezérelni. A módszer továbbfejlesztése teljes üzemek ilyen módon történő automatizálása felé kézenfekvő és — legalábbis elvileg — megoldott feladatnak tekinthető.

Egy másik rendkívül fontos felhasználási terület a hivatali, vállalati adminisztráció, magasabb szinten pedig a népgazdasági tervezés. Ez a terület annál is fontosabb, mert míg az *üzemi munka* termelékenységét a modern gépesítés és automatizálás az utóbbi években megsokszorozta, az *irodai munka* gépesítése lényegében véve még mindig az 1930-as évek színvonalán mozog. A hivatalokban, irodákban még ma is főként írógépet, számológépet, telefont és kisebb mértékben könyvelőgépeket használnak, csakúgy, mint az 1930-as években; még a lyukkártyás gépek is csak a legnagyobb üzemekben terjedtek el. A fejlett termelő- és az elmaradt technikájú irodai munka közötti ellentét annál is élesebb, mert az átlagos üzemnagyság fejlődésével az irodai tömegmunkák (könyvelés, bérszámfejtés, statisztikák stb.) rendkívül gyors ütemben szaporodnak. Ezeknek a munkáknak az a jellegzetessége, hogy a viszonylag egyszerű műveleteket igen nagy tömegben kell elvégezni. Az elektronikus számológépnek tehát — ilyen felhasználásban — rendkívül nagy memóriakapacitással kell rendelkeznie, ami komoly műszaki problémákat is vet fel. Jelenleg széleskörű alkalmazási kísérletek folynak ilyen irányban. Egy ilyen gépkísérletnél [19] 8000 munkás teljes bérszámfejtését a géppel 24 perc alatt végeztették el.

Kísérleteznek nagyüzemek raktárkészleteinek folyamatosan pontos nyilvántartásával is. Ha egy anyagot kiadnak a raktárból, a raktáros egy billentyűzeten az anyagnak megfelelő kulcsszámokat lebillentyűzi. Az így keletkezett impulzusok megfelelő vezetéken befutnak a számológépbe, amely a kiadott anyagmennyiséget kivonja a memóriában tárolt korábbi anyagmennyiségből, az eredményt összehasonlítja az ugyancsak a memóriában tárolt minimális készlettel és ha szükséges, automatikusan jelzést ad az anyagbeszerzésnek a szükséges készletek pótlására. Hangsúlyozni kell, hogy az ilyen természetű problémák elvileg megoldottaknak tekinthetők ugyan, a gyakorlati bevezetéshez azonban még széleskörű kísérletekre és a nyilvántartási módszereknek a géphez történő alkalmazására van szükség.

A digitális számológépeknek az a tulajdonsága, hogy a kettes számrendszerben dolgoznak, alkalmassá teszi őket arra, hogy velük *logikai műveleteket* is elvégeztessünk. Ha ugyanis a kettes számrendszer kétféle számjegyét a logikai alternatíva „igaz—hamis” eseteinek feleltetjük meg, akkor minden olyan műveletet, amely az egyszerű logikai alternatívára visszavezethető, a géppel is el lehet végeztetni. A matematikai logikában azt bizonyítják, hogy bármely bonyolult logikai kifejezést vissza lehet vezetni a logikai konjunkció („és”), a logikai diszjunkció („vagy”) és a logikai negáció („nem”) véges számú kombinációjára. Mármost, mint említettük, a számológép nagyszámú típusáramkörből tevődik össze. Ezek a típusáramkörök éppen ilyen elemi logikai műveleteket és ezek kombinációit realizálják. Ezen elv alapján kívánják ezeket az egységeket úgy kombinálni, hogy az eredmény ne számokat, hanem bonyolult logikai kifejezések végeredményét, tehát igaz vagy nem igaz voltát jelentsék.

Az utóbbi időben egy sor olyan gépet készítettek, amelyek főfeladata az, hogy a matematikai logikában fellépő bonyolult logikai kifejezések igaz vagy nem igaz voltát megállapítsa. Kétféle módszer is kialakult. Az egyik esetben a gép szisztematikusan végigpróbálja az összes lehetséges változatokat, és megáll a logikai változóknak azoknál az értékeinél, amelyek a függvényt kielégítik. A másik módszer a korábban már tárgyalt korrektív jellegű negatív visszacsatolást alkalmazza: kiindul a logikai változóknak valamilyen értékéből és érzékeli azt, hogy a szóban forgó logikai reláció kielégült-e, vagy sem. Azok a változók, amelyek nem elégítik ki a logikai kifejezést, kétféle lehetséges értékük között oszcillálnak, míg azok, amelyek csak kielégült relációkban szerepelnek, állandóak maradnak. Ha egyszer valamennyi reláció egyidejűleg kielégül, a gép ennél a partikuláris megoldásnál megáll. Ha nem *valamennyi*, hanem csak *egy lehetséges* megoldásra van szükségünk, ez a módszer sokkal gyorsabban vezet eredményre [20].

A jelenlegi logikai gépek tulajdonképpen még csak gyakorlásszámba menő előkísérleteknek tekintendők. A továbbfejlesztési kísérletek elsősorban a szillogizmusok instrumentálására irányulnak. A szillogizmusban ugyanis a következtetés akkor helyes, ha a két premiszát összehasonlítva meg tudjuk állapítani, hogy bizonyos ismérv (ti. a középső terminus) mindkét premiszában előfordul. A döntő mozzanat tehát itt is a komparáció és a koincidencia értékelése. Ez azonban instrumentálható. Hazánkban Nemes Tihamér foglalkozik ezzel a kérdéssel [21].

Egy másik terület, ahol — kevésszámú kivételtől eltekintve — egyértelmű szabályokkal van dolgunk: a nyelvtan. Ez a körülmény teszi lehetővé, hogy a digitális számológépet mechanikus fordítások elkészítésére használjuk

fel. A módszer lényege azon alapszik, hogy amikor az ember fordít, a következő műveleteket hatja végre :

az idegen nyelvű szöveg egyes szavait kikeresi a szótárból (a szótár lehet a fordító memóriája is),

a keresésnél felhasználja az idegen nyelv alaktanát (tehát a szót előbb a szótó szerint kikeresi, majd a végső jelentést a grammatikai alak alapján adja meg).

végül a mondatképzés szabályai szerint összerakja a mondatot.

Ezeknek az alapelveknek az alapján részletesen kidolgozták a mechanikus fordítás programját is. A nehézséget itt is a korlátozott memóriakapacitás jelenti, mert egy-egy szakterület szókészlete 3000—5000 szóra rúg, úgyhogy a teljes kétnyelvű szótár és a szükséges nyelvtani szabályok elhelyezése a jelenlegi memóriaegységek kapacitását messze túlhaladja. A jelenlegi kísérleteknél 200—300 szavas szótárt és 8—10 nyelvtani szabályt használnak. A nyelvészek bevonásával széleskörű kísérletek folynak a program egyszerűsítése végett. A Szovjetunióban működő géppel már sikerült orosz—angol fordítást végrehajtani, a manchesteri egyetem gépén pedig kínai szöveget próbálnak angolra fordítani. A gép persze csak nyers fordítást tud végezni.

Vannak olyan problémák is, amelyeknek gépi megoldása a gép diszkriminációs képességének újszerű felhasználása révén válik lehetségessé. Ilyenek a különböző játékok, melyeknek klasszikus problémája a sakkjáték. A sakkjátéknál az egyik döntő követelmény, hogy a játékosnak egy adott szituációt kell érzékelni, hogy ennek alapján a következő lépését meg tudja választani. A legnagyobb nehézség a sakkjáték taktikájában és stratégiájában van : az egyik a legközelebbi néhány lépés végiggondolását, a másik pedig a játszma egész menetének áttekintését követeli meg. A sakkjáték szabályaira a gépet alkalmas jelkulcs segítségével meg lehet tanítani azáltal, hogy a játék szabályait beviszik a memóriába. A helyzet felismerésének és értékelésének problémáját Shannon [22] úgy oldja meg, hogy az egyes figuráknak bizonyos pontszámú értéket tulajdonít és — ugyancsak megfelelően súlyozott pontszámokkal — értékeli a szabad, illetve lekötött vonalakat. Amikor a gép egy szituációt érzékel, a megadott pontszámok alapján tulajdonképpen kiszámítja a saját helyzetének és az ellenfél helyzetének az értékét ; ezután végigpróbálja mindazokat a lépéseket, amelyek az adott esetben megengedettek, ideértve az ellenfél lépéseit is, majd az eredményeket összehasonlítja egymással. A tényleges lépés azután az lesz, amely ezekből a végiggondolt változók közül az optimális pontszámmal rendelkezik. A korlátozott memóriakapacitás miatt azonban a gép csak kisszámú lépést tud végigszámolni. Így a stratégiára eddig a gépet még nem sikerült megtanítani. A játék a gyakorlatban úgy folyik le, hogy a géppel alkalmas billentyűzet segítségével közlik az emberi partner lépését, amire a gép — megfelelő „gondolkodás” után — az írógépen jelzi a válaszlépést. A kísérletek szerint a gép eléggé gyenge játékosnak bizonyult.

A gép diszkriminációs képességének kihasználásával el lehet érni azt, hogy a gép előre megadott kritériumok vagy külső ingerek alapján módosítsa a saját programját.

Ennek egyik fontos gyakorlati felhasználási területe az, hogy a programozó matematikus nem a teljes programot dolgozza ki, hanem annak csak a vázát, míg a részletes programot — a kapott általános utasítások alapján — maga a gép számítja ki.

A másik rendkívül érdekes felhasználási terület az ún. tanulási programok kidolgozása, amely a feltételes reflexek modellezésére is használható. A. E. Oettinger [23] két ilyen programot is kidolgozott.

A „bevásárlási” programnál a memóriaegység bizonyos helyei üzleteket, a benne tárolt számok pedig árucikkeket reprezentáltak. A feladat annak a megállapítása volt, hogy bizonyos árucikkeket melyik üzletben lehetett kapni. A gép taláalomra kezdett keresni a memóriájában, és ha megtalálta azt az üzletet, amelyben a keresett árucikk volt, megjegyezte magának és legközelebb már egyenesen oda fordult. A programba bizonyos „kíváncsiságot” is felvettek. Ha a gép a keresett  $k$  árucikket megtalálta, azt is megjegyezte, hogy lehetett-e kapni az üzletben  $k - 1$  és  $k + 1$  típusú árukat is.

A második tanulási program a tulajdonképpeni feltételes reflexek kialakulását modellezi. A géppel alkalmas billentyűzet segítségével különböző intenzitású fokozatokban helytelenítést, helyeslést, vagy közömbösséget kifejező ingereket lehet közölni. Az ingereket természetesen számok reprezentálták. Válaszként a gép bizonyos számokat nyomtat ki, amelyek kezdetben véletlen eloszlásúak. Az ingereket ismételve a gép megjegyzi magának, hogy milyen számokra kapott helyeslést kifejező válaszokat és el lehet érni azt, hogy a gép akkor is helyes számot nyomtasson le, ha a helyeslést kifejező inger minimális intenzitású. Ha a helyeslést a későbbiekben más, válaszként lenyomtatott számokra kapja, a gép fokozatosan „elfelejti” a korábbi válaszait és „megtanulja” az új számot.

Természetesen itt sem arról van szó, hogy a gépben valódi feltételes reflex alakul ki, de bizonyos, hogy ilyen programok kidolgozása és a gép tényleges viselkedésén való ellenőrzése révén jobban meg tudjuk közelíteni az élő szervezetben mutatkozó feltételes reflexek kialakulási mechanizmusát. Az ilyen irányú kísérleteknek tehát elsősorban nagy metodikai jelentőségük van és további területeken való alkalmazási lehetőségeket eredményezhetnek.

#### 4. Összefoglalás

A kibernetika olyan *tudományos irányzat*, amely komplex rendszerek — automatikus géprendszerek és az élő szervezet — működési alapelveit szigorúan tudományos módszerekkel tanulmányozza. Jellegzetes módszere a tudományosan megalapozott analógiák kiterjedt használata: az élő szervezet egyes jelenségeihez a *konstruktor mérnök szemléletével* közeledik. A modell helyes működése *gyakorlati próbája* annak, hogy a kutató az élő szervezetben végbemenő történéseket és azok összefüggéseit mennyire helyesen, vagy helytelenül értette meg.

A burzsoázia ideológusai egy részében az utóbbi időben egy új, sajátos — látszólag antiidealista — „objektív” irányzat kezd elterjedni. Míg korábban azt hirdették, hogy minden tekintetben elsődleges a szellem, most a másik végletbe csapnak át: a tudat és vele az ember, a maga szükségleteivel eltűnik, és helyét a „gondolkodó gép” foglalja el, amely előbb vagy utóbb — és itt látszik ki a lóláb — nemcsak a *tudományos*, hanem a *társadalmi* problémákat is meg fogja oldani. Egészen nyíltan beszélnek arról a veszélyről, hogy a gépek a fizikai munkások után fokozatosan feleslegessé teszik a szellemi munkásokat is; nem véletlenül beszélnek arról sem, hogy a munkások és a

munkáltatók közötti viták eldöntését is ilyen „gondolkodó gépekre” kellene bízni. mert ezen gépeknek a döntése biztosan „objektív” lesz.

A dialektikus materializmustól ez a mondvacsinált filozófia éppen olyan mélységesen idegen, mint a burzsoá ideológia többi nyílt, vagy burkolt irányzata. A szocialista társadalomban a gép az embernek nem *ura*, hanem *eszköze*. Azonban — a kibernetikus filozófiát elvetve és cáfolva — nem szabad elvetnünk a kibernetika tudományos tartalmát is. Amikor a kibernetikus szakember valamely idegrendszeri funkció egy lehetséges modelljét építi meg, végig tudatában van annak, hogy nem azonosságról, hanem modellről — és nem is csak az egyetlen lehetséges modellről — van szó ; mint ahogy a modern fizika is a modellek és hipotézisek sorozatán keresztül jut el az anyag objektív szerkezetének, az objektív igazságnak egyre mélyebb és teljesebb megismeréséhez. Ha a burzsoá túlzásoktól megtisztítjuk, a kibernetikát olyan új tudományágnak lehet és kell tekinteni, amelynek megszületése, módszerei és már első eredményei is a dolgozó embernek nyújtanak jelentős segítséget.

### Irodalom

1. SZ. L. SZOBOLJEV, A. I. KITOV, A. A. LJAPUNOV : A kibernetika fő vonásai. (Vopr. Fil., 1955. 4.)
2. WIENER : Cybernetics, Wiley, 1949.
3. SHANNON — WEAWER : Mathematical Theory of Communication.
4. A. J. HINGSIN : Uszpjehi Mat. Nauk. 1953. No. 3.
5. KOLMOGOROV : Interpolation und Extrapolation von stationären zufälligen Folgen. (Bull. Acad. Sc. U. S. S. R., Sec. Mat. 5. 3—14. [1941]).
6. N. WIENER : Interpolation and Extrapolation of Stationary Timeseries.
7. L. SZILÁRD : Über die Entropieverminderung beim Eingriff. stb. Zs. f. Phys. 1925.
8. BRILLOUIN : Jour. Appl. Phys. 1952—54. évfolyamok.
9. N. WIENER : The Human Use of Human Beings.
10. E. VÉRTES : Acta Linguistica 3, No. 1—2, 1953. Ibid. No. 3—4, 1953. Ibid. No. 4, 1954.
11. P. M. MC KAY : The Effect of Relaxation Time on the rel. Efficiency of Binary PCH, PIM and PPM. (Jackson : Symp. on Inform. Theory, 1953).
12. GREY WALTER : An imitation of Life. Scient. American, 1951. jun.
13. GREY WALTER : Scient. American, 1951. aug.
14. J. v. NEUMANN : The General and Logical Theory of Automata. (Symp. on Cerebral Mechanisms in Behaviour, Wiley, 1951.)
15. Pravda, 1955. XII. 4.
16. OLA. A. D. BOOTH : Automatic Digital Calculators, Butterworth Ed., 1953.
17. MC CULLOCH — PITTS : A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. Bull. of Math. Biophysics, Vol. V., 1943.
18. W PEASE : An aut. Machine Tool. Scient. American, 1952, Sept.
19. Computers and Automation, 1954. Sept.
20. MC CALLUM — SMITH : Mechanized Reasoning. Electronic Eng., 1951. April.
21. NEMES TIHAMÉR : Logikai gépek. Mérnöki Továbbképző Intézeti előadás, 1955.
22. CL. SHANNON : Programming a Computer for Playing Chess. Phil. Mag., Vol. 7. No. 41.
23. A. G. OETTINGER : Programming a Digital Computer to Learn. Phil. Mag, Vol. 7. No. 43.