

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Sergei Lvovich Sobolew; A. I. Kitov; A. A. Ljapunov  
Základní rysy kybernetiky

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 1 (1956), No. 1, 89--100

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137267>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1956

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

(Akademik S. L. SOBOLEV, A. I. KITOV, A. A. LJAPUNOV

## ZÁKLADNÍ RYSY KYBERNETIKY<sup>1)</sup>

### ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ КИБЕРНЕТИКИ

(*Voprosy filosofii*, 1955, č. 4, str. 136—148.)

#### 1. Obecný význam kybernetiky

Kybernetikou se nazývá soubor teorií a hypothes, jejichž obsahem je bádání o zákonitostech řízení a sdělování v automatických strojích a v živých organismech. Kybernetika je dnes teprve v počátcích svého vývoje; zahrnuje tři základní disciplíny:

1. Teorii informací, která je v podstatě statistickou teorií zpracovávání a sdělování informací;

2. teorii samostatně se organisujících, lidskému myšlení podobných logických procesů v automatických matematických strojích;

3. teorii soustav automatického řízení, zejména teorii zpětné vazby, která zahrnuje studium činnosti nervové soustavy, čidel a jiných orgánů živého organismu s funkcionálního hlediska.

Matematický aparát kybernetiky je velmi rozsáhlý. Využívá na př. teorie pravděpodobnosti, zejména teorie stochastických procesů, funkcionální analýsy, teorie funkcí, matematické logiky a j. Velký význam má v kybernetice nauka o informacích. Informací se rozumí zpráva o jakékoli události, která dříve nebyla známa. Podstatné je při tom, že faktická data každé informace jsou vždy prvky z určitého počtu možných variant sdělení.

Pojem informace chápe kybernetika velmi široce. Zahrnuje do něho jakákoli vnější data, jež mohou být přijata nebo sdělena jakoukoli soustavou, a také údaje vnitřní, jejichž pramenem je soustava sama. Informací je na př. působení vnějšího prostředí na živý organismus, poznatky, jichž člověk získává výchovou a výukou, data potřebná k přenosu jakýmkoli zařízením, výchozí, pomocné a výsledné údaje u matematických strojů a pod.

Ke kybernetice jako k novému směru vědeckého bádání se došlo nedávno na podkladě studia procesů v automatických orgánech. To není náhodné. Automatická zařízení jsou natolik jednoduchá, že je možno dobrat se množstvím jejich detailů podstaty jejich funkcí; na druhé straně pak charakter těchto funkcí vyžaduje nového přístupu k jejich studiu. Energetická stránka věci — i když je samozřejmě sama o sobě velmi důležitá — tu nepřichází v úvahu pro pochopení

<sup>1)</sup> V článku se přihlíží k diskusi k referátům, které autoři přednesli v Energetickém institutu AN SSSR, v semináři matematických strojů mechanicko-matematické fakulty a na biologické fakultě Moskevské university, v matematickém ústavě V. A. Stěklova, v Institutu přesné mechaniky a výpočtové techniky AN SSSR. Přihlíží se dále k poznámkám prof. S. A. Janovské, prof. A. A. Feldbauma, S. A. Jablonského, M. M. Bachmetjeva, I. A. Poletajeva, M. G. Gaaze-Rapoporta, L. V. Krušinského, O. B. Lupanova a jiných. Autoři používají této příležitosti, aby všem účastníkům diskuse vyjádřili svůj dík.

podstaty práce těchto mechanismů, k tomu je nutno vyjít především z pojmu informace (zprávy, údaje) o pohybu objektů — rozumí se o pohybu v širším slova smyslu. Situace je tu podobná situaci, která vznikla zavedením pojmu energie do fyziky. Tento pojem umožnil skoncovat se všemi flogistony, teploty atd. a podívat se na přírodu s jednoho jednotličího hlediska. Stejně dává zavedení pojmu informace, zavedení jediné míry zpráv společnou základnu pro studium nejrozmanitějších vzájemných působení v přírodě.

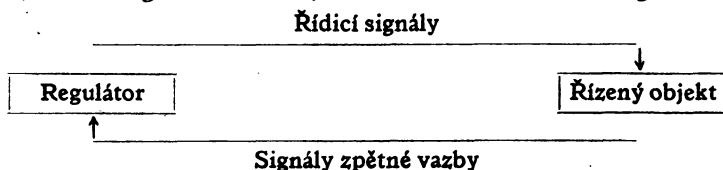
Charakter informace závisí i na působení, jímž se informace dodává, i na přijímajícím tělese, na něž se působí. Působení mezi zdrojem informace a tělesem není zpravidla přímé, nýbrž je ovlivněno řadou dílčích působení jiných. Informace se při tom každým novým působením zpracovává. Soubor prostředí, jimiž se informace dodává přijímajícímu tělesu, se nazývá stručně spojovacím pásmem nebo spojovací cestou.

Společný znak všech informací je okolnost, že každá zpráva nebo údaj mají vždy formu nějaké časové posloupnosti, to jest jsou funkcí času.

Objem předávaných informací ani jejich efekt v přijímajícím tělese nejsou určeny množstvím energie, potřebné pro předání informace. Tak na př. je možno telefonickým příkazem zastavit chod továrny, uvést v činnost požární pohotovost a pod. Nervové impulsy, jdoucí od čidel do mozku, mohou s sebou nést počítky tepla, chladu, nebezpečí atd.

Princip řízení záleží v tom, že působení velkých mass nebo přenos a přeměna velkých energií se řídí a kontroluje malými massami a malými energiemi, které nesou informaci. Tento princip je jádrem organizace a funkce jakýchkoli řídicích ústrojí ve strojích i v živých organismech. Je proto teorie informací, která zkoumá zákonitosti přenosu a transformace informací (signálů) základem kybernetiky, a to s ohledem na automatické řídicí zařízení i na živé organismy.

Každá automatická řídicí soustava má dvě základní části: řízený objekt a řídicí soustavu — regulátor — s uzavřeným obvodem přenosu informací (viz schema). Informace jde od regulátoru k objektu ve formě řídicích signálů. V objektu



se působením signálů přeměňují velké energie (ve srovnání s energií signálů) v práci. Obvod uzavírají signály zpětné vazby, které jdou od objektu k regulátoru a jež udávají stav objektu. Význam kteréhokoli regulátoru je v tom, že tyto signály zpětné vazby přeměňují informaci charakterisující skutečný stav objektu v informaci řídicí, t. j. v informaci, která určuje budoucí chování objektu. Regulátor je tedy ústrojím pro transformace informací. Zákony těchto transformací jsou dány principy práce regulátoru a jeho konstrukcí.

V nejjednodušším případě může být regulátor prostým lineárním transformátorem, v němž se signál zpětné vazby, ukazující odchylku objektu od předepsaného stavu (výchytku, chybu), lineárně transformuje v řídicí signál. Příkladem složitějších řídicích soustav jsou nervové systémy zvířat a člověka. Zpětná vazba má v těchto systémech rozhodující význam. Při jakémkoli úkonu se řídicí signály předávají z mozku do periferních orgánů a na konec vedou vždy k nějakému smrštění svalů. Zpětnou vazbu představují signály z čidel, na př. kinestetické signály ze svalů do mozku, které charakterisují skutečný stav těchto orgánů.

Bylo zjištěno<sup>3)</sup>, že děje, k nimž dochází v uzavřených obvodech zpětné vazby u živých organismů, lze matematicky popsat, a že tyto děje jsou svými charakteristikami podobné dějům ve složitých nelineárních soustavách automatické regulace mechanických zařízení.

V živých organismech je kromě mnoha složitých uzavřených obvodů, určených pro řízení organismu vzhledem k vnějšímu světu, mnoho rozmanitých a nesmírně složitých obvodů, určených k udržování normálních životních podmínek v organismu samém (regulace teploty, regulace chemického složení, krevního tlaku a pod.). Soustava této vnitřní regulace se nazývá homeostaze.

Základní charakteristikou jakéhokoli regulátoru jako ústrojí pro zpracovávání informací je zákon, podle něhož se v regulátoru informace transformuje. Tento zákon může být v různých regulátorech různý, od lineární transformace v nejjednodušších mechanických soustavách po složité zákony lidského myšlení.

Jednou z hlavních úloh kybernetiky je studium konstrukčních a pracovních principů různých regulátorů a vypracování obecné teorie řízení, t. j. obecné teorie transformace signálů v regulátorech. Matematickou základnou, theoretickou i methodickou, je v tomto směru matematická logika. Dílčí aplikace této disciplíny v různých soustavách zpracovávání informací, na př. teorie reléové konstantních schemat, syntheses elektronických výpočtových a řídicích schemat, teorie programování pro elektronické matematické stroje atd., jsou dnes ve stadiu pronikavého vývoje.

Základní úloha při vypracovávání schemat pro zpracování informací je tato: Je dán určitý soubor možných vstupních informací a závislost mezi informací vstupní a výstupní, t. j. je dán objem informací určených k zpracování a zákon tohoto zpracování. Má se sestavit optimální schema pro zpracování daného objemu informací.

Je myslitelné takové řešení, že každá varianta informace se předá zvláštním schematem. To je sice nejjednodušší, ale také nejnevýhodnější řešení. Úlohou je kombinací takových samostatných obvodů předat daný objem informací pomocí minimálního počtu fyzikálních prvků a při tom dosáhnout v systému spolehlivého chodu bez poruch.

Prakticky nelze tuto úlohu realizovat plně ve všech uvedených směrech. Je totiž nutno brát v úvahu, že je nejvýš účelné konstruovat stroje s jistým počtem standardních uzlů a součástí a ve variantách různých schemat nevybočovat příliš z optimálních konstrukčních hranic.

Vzniká proto otázka, jak najít střední cestu mezi uspokojením maximálních požadavků a praktickými možnostmi, dále otázka, jak posuzovat vhodnost a schopnost standardních součástí a uzlů s hlediska daných požadavků.

Analogická situace je při programování matematických úloh pro matematické stroje. Sestavit program úlohy znamená stanovit sled operací, které má stroj provést. Podrobněji bude o tom řeč dále. Ani zde se nespěluje beze zbytku požadavek maximálního efektu s minimální prací stroje, nýbrž používá se programových variant, které nezůstávají mnoho za požadovaným efektem, které však lze realizovat více méně standardními známými pomůckami.

Uvedené úlohy jsou částí obecného problému nejlepšího přenosu a transformace informací. Teorie informací umožňuje reprezentovat jediným způsobem jakoukoli informaci, bez ohledu na její fyzikální povahu (také informaci popsanou

<sup>3)</sup> Viz na př. P. Guljajev, *Čto takové biofyzika* (Co je to biofyzika), Nauka i žizň, 1955, č. 1.

spojitými funkcemi), a to ve formě souboru t. zv. kvantů informace. Tyto kvanty jsou elementy, jež mohou nabývat jen dvou významů: buď „ano“ nebo „ne“.

Theorie informací zkoumá dvě základní otázky:

- a) otázku měření objemu informací,
- b) otázku kvality informace neboli její hodnověrnosti.

První otázka souvisí s provozní výkonností a kapacitou různých soustav, které informace zpracovávají; druhá otázka souvisí se spolehlivostí a s poruchovostí těchto soustav.

Objem informací, dodávaných libovolným zdrojem nebo přenášených za určitou dobu jakoukoli spojí, se měří logaritmem celkového počtu ( $n$ ) možných, stejně pravděpodobných variant informace z daného zdroje nebo po spoji za určitou dobu:

$$I = \log_a n. \quad (1)$$

Logaritmická míra tohoto měření byla přijata vzhledem k podmínkám, jež jsou nutné k zabezpečení úměrnosti mezi objemem informací, jež lze předat za jakýkoli časový interval, a velikostí tohoto intervalu, a mezi objemem informací, jež lze uložit v jakékoli soustavě, a počtem fyzikálních prvků (na př. relé) nutných pro konstrukci této soustavy. Logaritmický základ se volí podle jednotky, jíž se měří objem informací. Číslo 2 se bere za základ, je-li jednotkou objemu informací nejjednodušší elementární údaj o výsledku volby jedné ze dvou stejně pravděpodobných možností „ano“ nebo „ne“. Tato jednotka se označuje termínem „bid“ (podle anglického *binary digit* = cifra čísla vyjádřeného v dvojkové soustavě).

Nejjednodušším zvláštním případem při měření objemu informací je případ, kdy jednotlivé varianty mají stejnou pravděpodobnost.

Vzhledem k hromadnému charakteru informací se uvažuje jejich statistická struktura. Na př. jednotlivé varianty možných údajů, jednotlivé zprávy v teorii sdělování se neberou jako dané funkce času, nýbrž jako soubory různých možných variant, určených spolu s pravděpodobnostmi jejich realizace. V obecném případě mají jednotlivé varianty údajů různé pravděpodobnosti a objem informací závisí na rozdělení těchto pravděpodobností. Pojem objemu informací se pak matematicky definuje takto:

V teorii pravděpodobnosti se označuje jako úplný systém událostí množina jevů  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , jež mají tu vlastnost, že při každém pokusu se realizuje jedna a jen jedna z nich. Na př. při vrhání kostkou padne určitě jedno a jen jedno z čísel 1 až 6. Konečným schematem se nazývá úplný systém  $A_1, A_2 \dots A_n$  zadaný spolu s pravděpodobnostmi  $P_1, P_2 \dots P_n$  realizace těchto jevů ( $P_i$  je pravděpodobnost realizace jevu  $A_i$ ):

$$A = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & \dots & A_n \\ P_1 & P_2 & \dots & P_n \end{pmatrix}, \quad (2)$$

kde  $\sum_{k=1}^n P_k = 1, P_k \geq 0$ .

Konečné schema má tedy jistou neurčitost v tom smyslu, že jsou sice známy pravděpodobnosti jevů, není však známo, který jev konkrétně nastane. Theorie

informací pak zavádí tuto charakteristiku pro odhad stupně neurčitosti libovolného konečného schématu:

$$H(P_1 P_2 \dots P_n) = - \sum_{k=1}^n P_k \cdot \log P_k, \quad (3)$$

kde logaritmičeský základ je libovolný, avšak pro všechna  $k$  stejný, a kde při  $P_k = 0$  se definitoricky klade  $P_k \cdot \log P_k = 0$ . Veličina  $H$  se nazývá entropií daného konečného schématu<sup>3)</sup>. Entropie má tyto vlastnosti:

1.  $H$  je spojitou funkcí vzhledem k  $P_k$  ( $k = 1, 2 \dots n$ );
2.  $H = 0$  tehdy a jen tehdy, je-li některé z čísel  $P_k$  rovno 1 a všechna ostatní rovna 0, t. j. entropie je nulová, není-li ve schématu neurčitosti;
3.  $H$  nabývá maxima, když všechna  $P_k$  jsou stejná, t. j. když konečné schéma má největší neurčitost. Pak

$$H(P_1 P_2 \dots P_n) = - \sum_{k=1}^n P_k \cdot \log_a P_k = \log_a n; \quad (4)$$

4. entropie  $H$  je aditivní funkcí konečného schématu, t. j. entropie dvou nezávislých konečných schémat je rovna součtu entropií jednotlivých schémat.

Uvedené vlastnosti ukazují, že neurčitost konečného schématu je veličinou  $H$  charakterisována zcela uspokojivě. V teorii informací se dále dokazuje, že forma (1) pro entropii je jedinou, která vyhovuje vyjmenovaným čtyřem požadavkům.

Údaje o výsledcích pokusu, jehož možné výsledky vymezuje konečné schéma  $A$ , představují jistou informaci, která odstraňuje neurčitost, jež byla před pokusem. Přitom pochopitelně dostaneme pokusem tím více informací, čím větší byla neurčitost konečného schématu. Je proto účelné měřit toto množství informací stejně, jako se měří neurčitost konečného schématu, t. j. entropií tohoto schématu. V obecném případě je tedy objem informací jakékoli soustavy s různými pravděpodobnostmi jevů určen entropií konečného schématu, které charakterisuje chování soustavy. Vezme-li se za jednotku objemu informací údaj o výsledku volby mezi dvěma stejně pravděpodobnými variantami — což je nejjednodušší — vezme se za základ logaritmů číslo 2.

Teorie informací poskytuje velmi obecnou metodu pro odhad kvality informace, pro její hodnověrnost. Jakákoli informace se uvažuje jako výsledek dvou dějů: děje, jímž se má informace přenést, a náhodného děje vyvolaného poruchou. Tak lze odhadovat kvalitu činnosti různých soustav v řadě vědních oborů, v radiotechnice, v teorii automatické regulace, v teorii sdělování, v teorii matematických strojů a j. Teorie informací odhaduje kvalitu informace nikoli podle zřetelnosti signálu vzhledem k poruše, nýbrž statisticky — pravděpodobností, že dostaneme informaci správnou. Teorie informací zkoumá vztahy mezi objemem a kvalitou informací, studuje metody transformace informací s hlediska nejvyššího efektu různých soustav pro zpracovávání informací a osvětluje optimální zásady pro konstrukci takových soustav. Velký význam má na př. poučka, že kvalitu informací lze zvýšit jen na úkor jejich objemu a obráceně.

<sup>3)</sup> Viz A. Ja. Činčín, *Ponjatije entropii v teorii věrojatnostěj* (Pojem entropie v teorii pravděpodobnosti), „Uspechi mat. nauk“, sv. VIII (1953), č. 3, česky v „SV—matematika, fysika, astronomie“, sv. IV (1954), č. 1; K. Shannon, *Matematiceskaja teorija svjazi* (Matematická teorie sdělování), sborník překladů „Peredača električeskich signalov pri naličii pomech“ (Přenos elektrických signálů s výskytem poruch), Moskva 1953.

Kromě toho ukazuje teorie informací praktické cesty k dalšímu zdokonalování sdělovací techniky. Mimořádný význam mají na př. dnes vypracovávané metody příjmu slabých signálů při poruchách, jejichž intenzita značně převyšuje intenzitu přijímaných signálů. Velmi slibnou s hlediska zvýšení efektivity a spolehlivosti sdělovacích zařízení se ukazuje cesta přijímat a analyzovat místo jednotlivých individuálních signálů celé jejich soubory, a dokonce i celá sdělení naráz. Zde se však naráží ještě na velké praktické obtíže, spojené zejména s tím, že je tu třeba sdělovacích zařízení s dostatečně velkou kapacitou a s rychle pracujícími paměťovými orgány.

V nauce o informacích zahrnuje kybernetika obecné prvky různých vědních oborů: teorie sdělování, teorie filtrů, teorie sledovacích soustav, teorie automatické regulace se zpětnou vazbou, teorie elektronických matematických strojů, fyziologie a j. Kybernetika tu zkoumá různé objekty těchto věd s jednoho hlediska jako soustavy pro zpracovávání a přenos informací.

Je nepochybné, že vybudování obecné teorie automatických řídicích soustav a dějů, která sjednocuje dílčí výsledky a osvětluje obecné zákonitosti řízení a sdělování v různých soustavách, i v živých organismech, má prvořadý význam pro další rozvoj celého komplexu vědních oborů. V tom je hlavní význam kybernetiky. Tento nový směr vědeckého bádání vznikl na podkladě pronikavého rozvoje shora uvedených věd. Je nutno vyzvednout velký metodologický význam základního problému kybernetiky, t. j. zobecnění a sjednocení výsledků různých bádání, jež se dosud konala vzájemně izolovaně, na př. bádání ve fyziologii a v automaticce, v teorii sdělování a statistické mechanice. Dosavadní izolovanost těchto bádání, způsobená především rozdílností objektů těch kterých vědeckých disciplín, vedla v jisté míře k tomu, že se mezi různými vědními obory vytvořily umělé přehrady, což je ovšem na škodu věci a což je nutno likvidovat.

Vyskytují se názory, že nová teorie se má omezit na oblast teorie sdělování, že široké zobecnění může vést dnes k nežádoucím zmatkům. Takové názory nelze pokládat za správné. Již dnes se vytvořila řada pojmů — do značné míry také zásluhou kybernetiky — obecného theoretického významu. Na prvním místě je tu třeba uvést princip zpětné vazby, který má základní úlohu v teorii automatické regulace a v teorii kmitů, a který má také velký význam ve fyziologii. Obecný theoretický význam má také studium statistického charakteru vzájemného působení informace a soustavy. Na př. pojem entropie v teorii pravděpodobnosti má obecný theoretický význam a aplikuje se jak ve statistické termodynamice, tak v teorii sdělování, a je aplikovatelný pravděpodobně i v jiných vědních oblastech. Takové obecné zákonitosti jsou objektivní a nelze je přehlížet.

Zatím byly učiněny v tomto novém směru bádání teprve první krůčky. Není ještě ani vymezen rámec nové teorie. Neustále se dochází k novým poznatkům. Význam vznikající teorie je však již patrný právě v možnosti zobecňování dosažených vědeckých výsledků a ve vypracovávání nových principů a method.

## 2. Elektronické matematické stroje a nervová soustava

Kybernetika se vedle studia a fysikálního modelování dějů, k nimž dochází v živých organismech, zabývá též vytvářením velmi složitých a dokonalých automatů, které v nejjednodušších formách vyplňují funkce, jež jinak přísluší lidskému myšlení.

Methoda modelování, t. j. studium pomocí analogií, není nová. Používalo se jí a používá se jí soustavně v biologii i v exaktních vědách a v technice. Další vě-

decký a technický rozvoj umožňuje ještě šířeji ji použít, lépe zkoumat pomocí složitých elektronických strojů a přístrojů zákony, jimiž se řídí činnost nervové soustavy člověka, a obráceně, využít principů a zákonitostí činnosti živých organismů k vytváření dokonalejších automatických zařízení.

Takové úkoly si klade kybernetika, a to je nepochybně klad. Kybernetika přitom vyzvedává obecnou analogii principů, podle nichž pracují nervová soustava a automatické matematické stroje, principů, jejichž společným znakem je autoorganisační výpočet a logické myšlení.

Základní principy, podle nichž pracují elektronické matematické stroje, jsou tyto:

Stroj může provádět určité elementární operace: základní početní úkony s čísly, srovnávat čísla podle velikosti nebo podle jiných kritérií, a některé jiné operace. Každou takovou operaci provede stroj podle jednoho určitého příkazu, který určuje, jakou operaci má stroj provést, se kterým číslem jí má provést a kam dopravit výsledek.

Sled takových příkazů představuje pracovní program stroje. Program musí sestavit člověk předem, stroj ho po zařazení pak provede automaticky bez účasti člověka. Zařazení programu se provede t. zv. kodováním příkazů pomocí čísel. Stroj kody sám dešifruje a provede původní příkazy.

Automatický matematický stroj je schopen uchovat — „zapamatovat si“ — velké množství (statisíce) čísel, za chodu čísla vybírat a znovu zapisovat výsledky operací. Číselné kody, určující program, se uchovávají ve stroji v týchž „pamětech“ jako ostatní čísla.

Velmi důležité jsou dvě okolnosti:

1. Stroj může automaticky měnit postup výpočtu podle průběžných dílčích výsledků. Stroj vyplňuje příkazy zpravidla v tom pořádku, jaký určuje program. Často je však třeba změnit postup práce podle výsledku, který se dostane až během výpočtu. Stroj provádí takový výběr pomocí speciálních přechodových operací.

2. Vzhledem k tomu, že program (číselné kody) se uchovává v týchž pamětech jako obyčejná čísla, může stroj operovat nejen s těmito čísly, ale i s číselnými kody, jež představují program práce. To umožňuje transformovat a mnohokrát opakovat celý program nebo jeho části, čímž se značně sníží objem programu, který je nutno stroji dát na počátku, a tedy také obtíže s vypracováním takového programu.

Tyto dvě specifické vlastnosti umožňují, že stroj může sám hodnotit výsledky podle jistých kritérií a sám si vypracovávat další program práce, a to na podkladě jen některých obecných výchozích zásad vymezených v původním programu. Jsou to nejpozoruhodnější vlastnosti dnešních elektronických matematických strojů. Dá se jich využít pro řešení logických úloh, pro konstrukci různých pravděpodobnostních dějů a j. Hranice těchto možností jsou dnes ještě nedohledné.

Hlavním elementem v konstrukci automatického matematického stroje je tedy jisté autoorganisační ústrojí, jehož stavba a funkce jsou podmíněny jednak výchozími údaji a pracovními zásadami původního pracovního programu, jednak logickými prvky v konstrukci stroje samého. A právě teorií takových autoorganisačních dějů, zejména těch, jež se opírají o formální logiku, se zabývá kybernetika. V tomto smyslu pak mluví kybernetika o analogii mezi prací matematického stroje a prací lidského mozku při řešení logických úloh.

Kybernetika si však nevšímá jen analogií, spočívajících v autoorganisačních dějů, ale také analogií v mechanismech těchto dějů ve stroji a v nervové soustavě.



Celá práce stroje při řešení matematické nebo logické úlohy je v podstatě obrovské množství po sobě jdoucích „dvojkových“ voleb (t. j. voleb z alternativ „ano“ nebo „ne“), při čemž každá následující volba je určena volbou předcházející. Jde tu tedy o realizaci nepřetržitého logického řetězu, jehož každý článek má jen dva významy: „ano“ nebo „ne“.

Zvláště názorná je tato stránka práce u matematických strojů, pracujících na podkladě dvojkové soustavy. Základem desítkové soustavy (naší soustavy v praxi, v níž běžně počítáme) je číslo deset. Každé číslo se v této soustavě vyjadřuje jako součet mocnin desíti, při čemž mocnitel je dán místem, na kterém stojí příslušná cifra čísla, počítáno od prava a počínaje místem „nulovým“. Tak na př. 2358 znamená  $2 \cdot 10^3 + 3 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 8 \cdot 10^0$ . V zápisu čísla jsou pak jen cifry 2, 3, 5, 8, ovšem na příslušných místech, což je podstatné. V soustavě dvojkové je základem nikoli číslo deset, nýbrž číslo dvě. V této soustavě se proto vystačí se dvěma ciframi 0 a 1. Např. číslo dvacetpět (v desítkové soustavě zapisované znakem 25) lze zapsat takto:  $1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$ , což lze zapsat stručněji — analogicky jako zapisujeme čísla v desítkové soustavě — znakem 11001. Všechny úkony v dvojkové soustavě lze tedy redukovat na dvojkové volby (t. j. na volby jedné z cifer 0 a 1). Dostat výsledek v dvojkové soustavě znamená tedy vyhodnotit numericky několik funkcí, nabývajících jen dvou hodnot 0 a 1, proměnné nebo proměnných, které rovněž nabývají jen dvou hodnot. Matematická theorie tu dokazuje, že jakoukoli takovou funkci lze vyjádřit jako polynom v těchto argumentech. Násobení takových čísel je zřejmé. Sčítání nutno brát s postulátem  $1 + 1 = 0$ . Toto sčítání je možno nazvat aritmetickým. Je však možné zavést také t. zv. „logické sčítání“ postulátem  $1 + 1 = 1$ . Zase se dá ukázat, že jakoukoli t. zv. logickou funkci více proměnných lze dostat kombinací jen dvou operací.

To umožňuje sestavit jakékoli schema logického stroje pomocí dvou jednoduchých schemat — sčítání a odčítání, tedy z elementů nabývajících jen dva stavy. Jinými slovy: ústrojí mechanismu je soubor relé se dvěma možnými stavy, „zapnuto“ a „vypnuto“. V každém stadiu zaujímá každé relé určitý stav, určený předcházejícím stavem buď všech relé nebo nějaké jejich skupiny.

Stadia operací mohou být „synchronisována“ ústředním synchronisátorem, neboli zapojení každého relé lze zadržet dotud, dokud všechna relé, která měla intervenovat dříve, neprošla příslušnými stavy. S fyzikálního hlediska mohou být relé velmi rozmanitá: mechanická, elektromechanická, elektrická, elektronická a pod.

Je známo, že v nervové soustavě živých organismů jsou prvky, které svou funkcí odpovídají činnosti relé. Jsou to t. zv. nervové buňky neboli neurony. Přesto, že jejich stavba je dosti složitá, jejich činnost za normálního fyziologického stavu odpovídá principu „ano“ nebo „ne“. Neurony jsou buď v klidu, nebo jsou excitovány, při čemž v tomto posledním stavu procházejí řadou stadií takřka nezávislých na povaze a na intenzitě buďícího podnětu. První fáze, aktivní, se přenáší s jednoho neuronu na druhý s určitou rychlostí. Pak následuje refrakterní fáze, po kterou je neuron ne podráždivý. Po této fázi zůstává neuron neaktivní, může však být znovu excitován. Neuron lze tedy přirovnat k relé se dvěma možnými stavy aktivity.

S výjimkou neuronů, které jsou excitovány na koncích nervů, je každý neuron excitován jinými neurony v bodech styku, t. zv. synapsích. Těchto styčných bodů je různý počet, od několika málo do několika set (rozumí se na jednom neuronu).

Přechod neuronu do excitovaného stavu závisí na vstupních impulsích excitace a na stavu, v němž byl neuron dříve. Není-li neuron excitován, nebo je-li v refrakterní fázi, a překročí-li počet signálů od sousedních neuronů za určitou velmi krátkou dobu jistou hranici, t. zv. práh, bude daný neuron excitován po jistém synapčním zpoždění. To je ovšem jen velmi schematický popis tohoto děje.

Práh nemusí záviset jen na počtu impulsů; může záviset také na jejich frekvenci a na jejich geometrickém rozložení. Kromě toho existují synapse různé povahy, na př. t. zv. synapse tlumivé, které buď vůbec zamezí excitaci daného neuronu nebo zvyšují práh této excitace.

Je však jasné, že určité kombinace impulsů ze sousedních neuronů, které jsou v excitovaném stavu a které jsou synapčně spjaty s daným neuronem, tento neuron excitují, jiné kombinace naproti tomu nebudou mít vliv na jeho stav.

Velmi důležitou funkcí nervové soustavy i matematických strojů je paměť. V matematických strojích je několik druhů „paměti“. Operativní paměť rychle uchovává a vydává údaje potřebné během výpočtu. Taková paměťová ústrojí se konstruuje z elektronických spouštěvacích elementů, katodových trubic, elektroakustických zádržek a jiných elektronických a magnetických přístrojů. Kromě toho je v matematickém stroji trvalá „paměť“, která uchovává trvale všechny údaje, jichž je třeba pro budoucí výpočty. Příslušné ústrojí se konstruuje pomocí magnetických snímků na pás, buben nebo vlákno, pomocí perforovaných pásek, karet, fotografií a pod.

Lidský mozek ovšem není pokud jde o paměť plnou analogií matematického stroje. Stroj totiž může každou úlohu začít s pamětí úplně čistou, kdežto v lidském mozku se vždy (za normálních podmínek) uchovává více nebo méně dřívějších informací.

Práce nervové soustavy sestává z nesmírného množství elementárních aktů jednotlivých neuronů. Každá elementární reakce neuronu je podobná elementárnímu aktu v matematickém stroji, který může v každém jednotlivém případě volit jen mezi dvěma alternativami.

Lidské myšlení se od myšlení ostatních živočichů liší kvalitativně t. zv. druhou signální soustavou, podmíněnou rozvojem řeči. Člověk přijímá v rozsáhlé míře slova jako podněty. Pomocí slov se uskutečňují takové děje, jako je analýza, syntéza a abstraktní myšlení vůbec.

Elektronické matematické stroje mají jakousi velmi primitivní analogii jazyka — je to soustava příkazů, kodových čísel, soustava adres paměti a soustava různých signálů, které realizují různé podmíněné nebo nepodmíněné přechody v programu, a které řídí práci stroje. Pomocí takovéto „řeči“ lze strojově provádět i některé logické úkony, charakteristické pro lidské myšlení.

Všeobecně zkoumá kybernetika elektronické matematické stroje jako systémy pro zpracovávání informací, při čemž bere v úvahu — ať jde o jakoukoli stránku stroje — statistický charakter informací, jež do stroje vcházejí, úloh, které stroj řeší, method řešení, výchozích dat a výsledků. To je analogické principům práce nervové soustavy (mozku) živočichů a člověka, která zprostředkovává vzájemné působení s okolním prostředím pomocí podmíněných reflexů a učení, což konec konců je statistické reagování na vnější působení.

Pracovní principy elektronických matematických strojů umožňují realizovat v těchto strojích děje podobné vypracovávání podmíněných reflexů u živočichů a u člověka. Lze sestavit takový program, na který stroj odpovídá určitým způsobem, bude-li dán určitý signál, při čemž spolehlivost odpovědi bude záviset

na tom, jak často bude tento signál dán. Nepotrvá-li signál jistou dobu, může stroj odpověď „zapomenout“.

Matematické stroje v chodu představují tedy něco více než prostý souhrn vzájemně spjatých relé a jiných elementů. Stroj tu přijímá i jejich obsah, který se při výpočtu nikdy plně nestírá.

Zajímavý je v této souvislosti výrok Winerův: „*Mechanický mozek nevylučuje myšlenku jako játra vylučují žluč, jak se dřívě psilo; nevydává ji ani ve formě energie, jako vydávají energii svaly. Informace není ani látka ani energie. Nemůže být dnes materialismu, který by toto nepřipouštěl*“. Winer tu zdůrazňuje, že „schopnosti myšlení“ matematického stroje nejsou vlastností spjatou organicky se strojem samým, nýbrž jsou určeny informací, zvláště pak programem, který stroji dává člověk.

Je nutno zřetelně vidět základní kvalitativní rozdíl mezi myšlením člověka a prací matematického stroje. Vzhledem k obrovskému počtu nervových buněk má lidský mozek velké množství různých elementárních spojů podmíněně i nepodmíněně reflexních, které vytvářejí nové a nové formy tvoření a abstraktního myšlení, které vytvářejí obsahem a hloubkou nevyčerpatelné bohatství variant. I. P. Pavlov psal, že lidský mozek má takové množství elementárních spojů, že z nich využije za svůj život sotva polovinu.

Ve speciálních funkcích však, pro které je stavěn, má stroj proti lidskému mozku jisté přednosti. Pracuje bez chyb, neúchylně sleduje dané principy práce a základní logické principy úloh, které má řešit. Elektronické matematické stroje mohou provádět jen jednotlivé, velmi úzce vymezené úkony lidského myšlení. Stroj nemůže nikdy nahradit funkčně lidský mozek, stejně jako lopata nebo exkavátor nemohou nikdy nahradit funkčně lidské ruce. Elektronický matematický stroj je nástroj lidského myšlení, rozšiřuje jeho možnosti a koná za ně primitivní úkony jednoho typu. S tohoto hlediska mají matematické stroje neomezené vývojové perspektivy; není však vůbec myslitelné, že by lidský mozek mohl plně nahradit.

Také strukturou se lidský mozek a matematický stroj vzájemně kvalitativně liší. V lidském mozku se může při obecně přísne organizaci a specializaci funkcí jednotlivých mozkových částí měnit v každé této části počet neuronů, zapojených do příslušné funkce, i jejich vzájemné rozložení, a to do jisté míry náhodně. To je u elektronických matematických strojů úplně vyloučeno.

S tím souvisí i podstatný rozdíl ve spolehlivosti činnosti stroje a lidského mozku. Mozek je mimořádně spolehlivě fungující orgán. Vyřazení některých nervových buněk se v mozkové činnosti vůbec nemusí projevit. Vyřazení třeba i jen jedné součástky v matematickém stroji může jeho chod vůbec znemožnit.

Lidský mozek se dále proti matematickému stroji vyznačuje schopností neustálého vlastního zdokonalování. U stroje nelze nikdy dosáhnout tvořivé práce stroji vlastní. Lidský mozek je tvůrcem nejsložitějších a nejdokonalejších strojů, které však přesto jsou jen nástroje, usnadňující lidskou práci — fyzickou i duševní.

Elektronické matematické stroje mohou tedy představovat jen nejhrubší a nejjednodušší schemata myšlení, a to bez prvků vlastní tvořivé činnosti.

Přes všechny uvedené podstatné rozdíly mezi matematickými stroji a mozkiem mají elektronické matematické stroje pro modelování procesů vyšší nervové činnosti velký význam. Do poslední doby se mohl mozek studovat jen přímo na jeho činnosti samé. Dnes lze konat pokusy a vytvářet modely myšlenkových procesů, i když velmi hrubých. To znamená další rozvoj objektivních method

studia vyšší nervové činnosti. Kybernetika tak novým způsobem formuluje otázku společného a rozdílného v živém organismu a ve stroji.

V tisku se objevily zprávy, že již byly zkonstruovány elektronické fyziologické modely, na př. model srdeční činnosti a jeho chorob, elektronický stroj umožňující slepým číst normální tištěný text, který čte písmena a mění je v tóny různého druhu a zabarvení a j. Je zajímavé, že základní schéma tohoto stroje připomíná do jisté míry soubor spojů v té části lidského mozku, kde je zrakové centrum. Methody elektronického modelování se takto začínají uplatňovat ve fyziologii. Je třeba zkoumat hranice přípustnosti tohoto modelování a v těchto hranicích hledat nejlepší aplikace elektronických metod výzkumu a modelování stále zdokonalovat. Je třeba přitom skoncovat s řečmi o „pseudovědeckosti“ kybernetiky, za nimiž se často skrývá obyčejná nevědomost.

### 3. Praktický význam kybernetiky

Dnes se theoretickým a praktickým výzkumům v kybernetice věnuje za hranicemi velká pozornost. Staví se složité automaty pro různé logické funkce, zejména automaty schopné „pamatovat“ si svou činnost. Stavbu takových automatů umožnily elektronické matematické stroje s programovým řízením. Použití těchto strojů v automatickém řízení a v automatické regulaci znamená novou etapu v rozvoji automatiky.

Zatím se stavěly automaty, často velmi složité, pro práci v předem daných podmínkách. Tyto stroje mají konstantní parametry a pracují podle pevných pravidel. Elektronické matematické stroje umožňují v automaticce t. zv. optimální řízení nebo regulování s předcházejícím odhadem možností. Elektronický stroj probírá v souhlase se vstupujícími údaji, které charakterisují běžný stav soustavy a okolních podmínek, možné varianty budoucího chování soustavy při různých způsobech regulování, přihlíží k budoucím změnám vnějších podmínek, jež zjišťuje extrapolací, a po analýse podle nějakého kritéria (na př. s ohledem na minimální dobu regulování) volí optimální variantu s ohledem na minulé chování soustavy. V případě nutnosti může takový regulační systém i měnit parametry, aby se zajistil optimální chod. Takové automaty mají velký hospodářský a vojenský význam.

Zvláště velký význam mají automatické stroje, které splňují různé funkce lidské práce. Zde je nutnou podmínkou matematický popis a matematické zpracování procesu, nebo vypracování příslušného logického algoritmu. Není pochyb, že nepřeborné možnosti použití automatických matematických strojů otvírají velké perspektivy pro vědecké poznání a pro vybavení člověka dokonalými pracovními prostředky.

Uvedme několik příkladů kybernetické techniky: automatické překládání z jednoho jazyka do jiného<sup>4)</sup>, sestavování programů matematických výpočtů matematickými stroji samými, projektování složitých přepínacích a řídicích schémat, úplné automatisování výroby v továrnách, plánování a řízení železniční a vzdušné dopravy, četba pro slepce a j.

V poslední době se v sovětské populární literatuře objevily články, které nesprávně hodnotí kybernetiku, přehlížejí pozitivní výsledky v tomto odvětví bádání a označují kybernetiku za idealistickou pavědu. To je nesprávné. Je třeba naopak zdůraznit, že myšlenka zkoumat a modelovat procesy v nervové soustavě člověka

<sup>4)</sup> Viz o tom článek *Elektronické překládání* v tomto čísle (*Pozn. překl.*).

pomocí automatických elektronických soustav sama je hluboce materialistická a že výsledky v tomto ohledu mohou jen potvrdit správnost materialistického světového názoru na podkladě nejnovějších výsledků moderní techniky.

Někteří naši filosofové se dopustili vážné chyby. Nedali si práci, aby pronikli do podstaty věci, dali se strhnout sensacektivostí některých žurnalistů na západě a záměrně falšovanými interpretacemi, jimiž se některé kruhy v západních zemích snažily využít nového směru vědeckého bádání vysloveně k podpoře buržoasních třídních zájmů, a kybernetiku paušálně odmítli jako produkt reakční ideologie. Nelze ani vyloučit, že na západě šlo o promyšlený záměr desorientovat sovětské vědce a inženýry a zabrzdit tak rozvoj nového důležitého vědního oboru v SSSR.

Je třeba vytknout, že autorů kybernetiky H. Winerovi se připisovaly v našem tisku bez podkladů výroky o antagonismu mezi automatikou a člověkem, o nutnosti nahradit pracující stroji a poučky kybernetiky přenést i do oblasti společenských věd.

Ve skutečnosti píše H. Winer ve své knize „Cybernetics“ (Kybernetika, New York 1948) o tom, že v podmínkách kapitalistické společnosti, kde se vše hodnotí penězi a kde vládne princip koupě-prodeje, mohou stroje přinést člověku jen bědu. Winer dále píše, že v podmínkách chaotického kapitalistického trhu povede rozvoj automatiky k nové průmyslové revoluci, která učiní zbytečnými lidi se středními duševními schopnostmi, jež odsoudí k vyměnění. I zde píše Winer, že východiskem je vytvoření nového společenského řádu, kde by se lidský život oceňoval sám o sobě a nikoli jako objekt koupě a prodeje.

Winer konečně velmi opatrně hovoří o aplikacích kybernetiky ve studiu společenských jevů. Tvrdí, že i když mnoho společenských jevů lze osvětlit s hlediska teorie informací, jsou ve společnosti kromě statistických faktorů i jiné síly, které nelze matematicky analyzovat, a že období, v nichž relativně stálé podmínky umožňují statistický výzkum, jsou příliš krátká a řídká, aby bylo možno očekávat úspěchy od aplikace matematických method při studiu vývojových zákonitostí společnosti. Ve Winerově knize „Cybernetics“ je ostrá kritika kapitalistické společnosti, i když autor neukazuje východisko, neuznává socialistickou revoluci.

Zahraniční reakční filosofové se snaží — jak již bylo řečeno — využít kybernetiky pro buržoasní třídní zájmy. Nám přísluší rozhodně potírat všechny projevy nepřátelských ideologií. Automatika v socialistické společnosti slouží člověku, usnadňuje jeho práci a zvyšuje jeho pracovní produktivitu.

Je ovšem také třeba bojovat s vulgarisováním, odmítat mechanistické chápání kybernetiky, pečlivě zkoumat hranice aplikability a dosah elektronických a mechanických modelů a schemat v bádání o procesech myšlení.

*Volně přeložil Josef Veselka.*