

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Sergei Lvovich Sobolew; A. A. Ljapunov
Kybernetika a přírodověda

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 4 (1959), No. 2, 214--227

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138694>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1959

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>

DISKUSE

KYBERNETIKA A PŘÍRODOVĚDA¹⁾

Ak. S. L. SOBOLEV, A. A. LJAPUNOV

Předmět kybernetiky

V literatuře najdeme mnoho definic předmětu kybernetiky. Nejčastěji se setkáme s těmito definicemi:

1. Kybernetika je věda, která zkoumá matematickými metodami řídicí soustavy a procesy řízení;

2. kybernetika je věda o procesech řízení a kontroly, jež probíhají ve strojích, živých organismech a v lidské společnosti;

3. kybernetika je věda o přenosu, zpracovávání a uchovávání informací;

4. kybernetika je věda, která zkoumá způsoby tvoření, strukturu a identické transformace algoritmů, popisujících řídicí děje, jež probíhají ve skutečnosti.

Vnější rozdíly v těchto definicích činí dojem, že v kybernetice je zmatek. Připočteme-li k tomu, že kybernetika se někdy popularizuje tendenčně a s nádechem sensacechtivosti, pochopíme, že se čtenář, který neví nic o vědeckém obsahu kybernetiky, stane nedůvěřivým. Touto skutečností lze snad také vysvětlit odmítavou kritiku, které byla kybernetika zpočátku podrobována v sovětském tisku.

Budeme-li však sledovat ve vědecké literatuře více obsah kybernetiky než její formální definice, poznáme, že kybernetika je určitá, dosti ucelená vědecká disciplína, která vznikla v posledních letech. Různé definice s jejich nevyhnutelnou jednostranností odrážejí jen různé stránky předmětu samého. Nebudeme proto mluvit v tomto článku o definicích, nýbrž pokusíme se podat souvislý obraz obsahu kybernetiky.

Popud k vypracování kybernetiky jako vědy vyšel od matematika Norberta Wienera.

V poslední době velmi vzrostl význam studia řídicích procesů. Snaha co nejvíce automatisovat řízení výrobních pochodů, nutnost automatisovat vojenskou techniku, někdy i vojenské operace, automatizace v národohospodářském plánování, vše to vyvolává nutnost budovat obecnou teorii řídicích procesů a jejich automatizace. První kroky učinila kybernetika právě v této souvislosti.

Současně byl vybudován mohutný aparát strojové matematiky, těsně spjatý s procesy řízení. Moderní technika potřebuje výpočty nesmírných měřítek. To vedlo ke konstrukci elektronických matematických strojů. Mimořádná rychlost, se kterou tyto stroje pracují, si vynutila, že matematikové hledali speciální metody pro řízení těchto strojů tak, aby bylo zajištěno jejich plné využití.

¹⁾ Ak. С. Л. Соболев, А. А. Ляпунов, Кибернетика и естествознание, *Вопросы философии*, č. 5, 1958.

V jádře šlo o to nejen automatizovat matematické úkony, ale také dosáhnout toho, aby stroj samočinně vypracovával jejich sled a aby je řídil; jinak není možné řídit obrovské množství operací, které matematický stroj provede za vteřinu.

Ukázalo se při tom, že možnosti elektronických matematických strojů se nevyčerpávají výpočtovými pracemi. Matematické stroje jsou schopny řešit i úlohy logické povahy, přesněji řečeno, matematické stroje mohou být pomocnými přístroji lidského intelektu. V mnohých případech mohou převzít funkce, které jinak jsou složkou duševní práce. Zejména došly matematické stroje uplatnění v řízení výroby.

Podrobnější studium principů, podle kterých matematické stroje pracují, ukazuje mnoho společného s činnostmi nervové soustavy vyšších organismů a člověka. Zde i tam jsou orgány, které plní jisté specifické funkce, orgány, které tyto funkce řídí a spoje mezi všemi těmito orgány.

Tyto spoje bývají dvojího druhu:

1. Přímá vazba, která spojuje řídicí orgán s orgánem výkonným. Touto spojí se předávají signály z řídicího ústrojí, které určují, jak má pracovat výkonný orgán;

2. zpětná vazba, kterou se zprostředkují signály od výkonného orgánu k orgánu řídicímu a informují jej o stavu a dějích, které byly provedeny. Na podkladě těchto signálů vypracovává řídicí ústrojí další příkazy.

Souhrn sdělení, jež lze při řízení přenášet, dostal název informace. Rozlišují se informace přímé a informace zpětné.

V matematických strojích jsou informace přenášeny pomocí elektrických impulsů. V nervové soustavě živého organismu dochází k přenášení informací nervovými vzruchy, jež jdou nervovými vlákny. Děje, které takto probíhají v živých organismech a matematických strojích, mají mnoho společného.

Řídicí ústrojí zpracuje informaci tak, že se postupně provede jistá serie elementárních aktů, z nichž každý sestává z přijetí jistých signálů a vyslání signálů jiných. Ve většině případů se každý elementární akt realizuje určitým specifickým orgánem, neboli vyžaduje zapojení určitého orgánu.

Často závisí sled určitých operací při řešení nějaké úlohy na výsledcích předcházejících operací. Tak může informace, získaná strojem samým, určit sled dalších operací — tzv. zpracování informace. Každá aritmetická operace představuje takové zpracování. Je-li známo číslo a , a máme-li určit řekněme číslo a^n , provede se za tím účelem jistá posloupnost aritmetických a logických operací. Tuto posloupnost operací nazýváme algoritmem. Vysvětleme věc na příkladě umocnění čísla a na 2^n , řekněme na 2^7 . Máme tedy určit číslo $A = a^{2^7}$. Při výpočtu tohoto čísla je třeba provést postupně sedm dvojmocí: $a^2, a^4, a^8, a^{16}, a^{32}$. Algoritmus řešení této úlohy musí sestávat z těchto postupných dvojmocí a ze zjištění, kolikrát byly provedeny. Po sedmém kroku je třeba operaci zastavit. V praxi se ovšem setkáváme s mnohem složitějšími algoritmy, obsahujícími velmi mnoho aritmetických a logických operací. Jejich struktura je však v podstatě analogická struktuře uvedeného příkladu.

Řešení takových úloh rovněž souvisí s kybernetikou. Výše uvedená vymezení kybernetiky se proto týkají různých stránek této vědy, aniž jsou vzájemně ve sporu.

Obor kybernetiky je velmi rozsáhlý. Při studiu řídicích procesů a při konstrukci řídicích soustav vzniká řada jednotlivých disciplín, z nichž každá se stává postupně samostatným vědním oborem. Komplexní využití výsledků

těchto disciplin pak umožňuje řešit nejrozmanitější problémy praxe, souvisejí s řídicími soustavami.

Tyto jednotlivé discipliny jsou na různém stupni vývoje. Některé se již staly velmi dobře vybudovanými matematickými disciplinami, jiné teprve vymezují a zpřesňují svoji problematiku, některé jsou teprve v počátcích svého vývoje. Již dnes však lze říci, že mají dobré vyhlídky jako složky souborné vědy.

Pokusíme se dále o stručný nástin obsahu jednotlivých disciplin kybernetiky a jejich komplexního využití při studiu řídicích procesů.

Informace a jejich přenos

Složkami každého řídicího procesu jsou přenos, zpracování a uchování informací. Je proto přirozené, že první kapitolou kybernetiky je teorie informací, jejímž úkolem je studium dějů spojených s přenosem informací.

Při každém přenosu se informace kódují pomocí určitých signálů fyzikálního charakteru. Signál se předává jistým kanálem, odpovídajícím této fyzikální povaze. Úlohou je každé sdělení, předávané tímto kanálem; vyjádřit souborem určitých takových signálů. Např. při písemném sdělení se text vyjádří pomocí písmen, která v tomto případě mají úlohu jednotlivých signálů. Telegrafické sdělení se realizuje Morseovými značkami, složenými z čárek, teček a mezer. Nervový vzruch, přenášený nervovým vláknem, sestává ze sledu změn stavu tohoto vlákna. Týchž signálů lze rozmanitě použít k přenosu týchž sdělení. Na příklad telegrafní linkou lze předávat telegram v libovolném jazyku; stačí k tomu vypracovat příslušnou Morseovu abecedu. Avšak kapacita kanálů, jimiž se sdělení přenáší, bude různá podle toho, jak se ta která sdělení vyjádří v elementárních signálech.

Jednou z úloh teorie informací je hledat takové způsoby kódování informací, při nichž kapacita sdělovacích kanálů je optimální.

Zde vyvstává zvláštní úloha. Aby bylo možno srovnávat kapacitu sdělovacích kanálů, pracujících v různých režimech, musí být možno vyjádřit kvantitativně množství informací, přenášených za toho nebo onoho pracovního režimu. Je přirozené, že míra tohoto množství informací nesmí záviset na způsobu kódování v signálech sdělovacího kanálu, nýbrž že smí záviset jen na struktuře základní informace, která se přenáší; jinak by byla nevhodná pro posuzování různých způsobů kódování.

Míra množství informací

Takovou míru množství informací zavedl Shannon. Podrobně studovali míru množství informací, neboli — jak se také nazývá — entropii informace sovětsí vědci A. Ja. Činčín a A. N. Kolmogorov.

Pojem entropie informace vychází z pravděpodobnostních úvah. K obsahu jednotlivých sdělení se nepřihlíží, uvažuje se jen, s jakou pravděpodobností se může objevit ta nebo jiná varianta možných sdělení.

V případech, kdy variant je velmi mnoho a pravděpodobnost realizace mnohých z nich je stejně velká, pokládá se entropie informace za velkou. V případech, kdy je různých variant málo, nebo kdy se s danou pravděpodobností objeví jen jedno z nevelké zásoby možných sdělení, a kdy všechna ostatní sdělení mají veelku jen malou pravděpodobnost realizace, pokládá se entropie informace za malou.

V případě, kdy počet možných sdělení je konečný a, kdy P_i je pravděpodobnost i -ho sdělení, vyjadřuje se množství informací Shannonovou formulí:

$$H = - \sum_{i=1}^k P_i \lg P_i.$$

Aby se zvětšila kapacita sdělovacího kanálu, je třeba volit takové kódy, aby přenos sdělení, majících velkou pravděpodobnost realizace, vyžadoval krátké doby. Jen málo pravděpodobná sdělení se kódují tak, že jejich přenos vyžaduje značné doby.

Zachovávají-li se tyto zásady kódování, může být předána za jednotku času informace velké entropie. Propustnost kanálu lze definovat jako entropii informace, která se tímto kanálem přeneše za jednotku času.

Chyba při přenosu informací

Přenos informací jakýmkoli kanálem bývá provázen chybami, jež jsou způsobovány různými poruchami. Příkladem jsou šумы a praskání v rádiových přijímačích, poruchy v televizních obrazech, chyby v telegramech.

Každému je známo, že není-li v telegramu chyb mnoho, lze mu dobře porozumět ze smyslu textu. To je spojeno s jistými zvláštnostmi kódování jazyka pomocí písmen.

Zdaleka ne všechny skupiny písmen mají smysl; množství telegramových textů, které by dávaly smysl, je ve srovnání se všemi možnými kombinacemi písmen nevelké. Důsledkem je, že převažují-li chyby, vzniká nesmyslné nakupení písmen.

Příjemce takového telegramu přemýšlí, jak text předělat, aby dával smysl. Předpokládá při tom obvykle, že chyb není mnoho. Kdyby nyní libovolnou volbou písmen při záměně jen dvou nebo tří vznikal vždy srozumitelný text, byla by oprava telegramu obtížná, vznikla by nejednoznačnost. Ve skutečnosti tomu tak není. Za reálných podmínek se srozumitelný text liší od chybného jen v malém počtu znaků a různé srozumitelné telegramy se vzájemně podstatně liší. Příjemce telegramu proto zpravidla může telegram opravit zcela bezpečně.

Tento příklad ilustruje princip kódování informací: kódování nutno zvolit takové, aby podle pravděpodobnosti chyb při přenosu se dva srozumitelné kódy dostatečně vzájemně lišily a aby při jakýchkoli pravděpodobných chybách v jednom z nich zůstaly odlišné.

Požadavky dostatečné kapacity sdělovacích kanálů a malé poruchovosti při přenášení informací jsou protichůdné. Je proto nutné volit řešení, která oba požadavky splňují optimálně.

Teorie informací dochází velkého uplatnění v teorii sdělování, ve fyziologii, v genetice a v jiných biologických oborech, dále v organizaci využití matematických strojů a v teorii automatické regulace.

Zpracování informací

Ve všech úlohách kybernetické povahy se setkáváme kromě s přenosem informací také s otázkou jejich zpracování. Tato otázka se klade dvojím způsobem:

1. V jedné úloze jde o strukturu algoritmu, kterým se realizuje určité zpracování informace. To je úloha analýzy algoritmu. S takovou úlohou se setkává na příklad fyziolog, zabývající se studiem nervové činnosti, který má

vysvětlit, v čem spočívá zpracovávání informací nervové soustavy, na jejichž podkladě je řízena životní činnost organismu; setká se s ní genetik, zkoumající přenos, uchovávání a získávání dědičných informací a zkoumající také funkci těchto informací v procesu individuálního vývoje organismu; setká se s ní velitel na bojišti, který hledá algoritmus, jímž by bylo možno popsat postup nepřítele tak, aby bylo možno učinit náležitá protipatření. V tomto posledním případě vystupuje otázka ještě ostřeji, jde-li o boj s použitím automatických zbraní, řízených matematickými stroji.

2. V jiných úlohách jde o to vytvořit orgány, které realizují předem dané zpracování informací. To je úloha synthesy algoritmů, úloha v různých kybernetických disciplínách velmi častá. Vyzáduje popis algoritmu, podle kterého se má informace zpracovat, tj. vydělení elementárních úkonů a logických podmínek a dále jejich sepětí v jednu soustavu, jež pak řeší úlohu požadovaného zpracování informace.

Pak je nutno zkonstruovat zařízení, které daný algoritmus realizuje a zajistit, aby mu informace, jež má být zpracována, byla předána. K řešení této úlohy je nezbytné využít nejprve poznatků, z té oblasti, v níž úloha vznikla. Jde-li na příklad o automatizaci sváření oceli, je nutno umět reprodukovat pochody myšlení zkušených svářečů, studovat jejich reakce na různé ukazatele procesu sváření, vyjádřit vše ve formě algoritmu a vložit do stroje. Jen tak lze vydělit elementární úkony a logické podmínky, jež pak tvoří algoritmus.

Dále máme otázku vhodné formy algoritmu. Zde vznikají různé úlohy: vypracovat způsoby totožných formálních transformací algoritmu, odhadnout účinnost algoritmu atd. V tomto směru se dnes intenzivně pracuje a problémy zde řešené je nutno počítat k nejdůležitějším problémům kybernetiky.

Stroje na zpracovávání informací

Další kategorii úloh tvoří úlohy z daných prvků, na příklad stykačů, relé, elektronek, polovodičových prvků atd. zkonstruovat agregát, který by realizoval zvolený algoritmus.

Zde je nutno přihlížet k fyzikálním principům, podle nichž pracují tyto prvky a k specifickým logickým principům, které umožňují popsat práci celé soustavy, je-li známo, jak pracují její jednotlivé elementy.

V tomto směru jsou základními práce Shannonovy, Neumannovy, V. I. Šestakovy, M. A. Gavrilova, S. V. Jablonského aj.

Velmi zajímavý je cyklus prací o teorii automatů, v nichž se z tohoto hlediska studuje práce agregátů typu nervové soustavy. Tyto práce se konaly pod vedením Shannona, Neumanna a Mac Lanea.

Teorie her

Často vznikají úlohy spojené s bojem, zápasem, soutěžením dvou řídicích soustav. Jde o úlohy z vojenství, z ekonomie a také o analýsu různých her. Oddíl kybernetiky, který se zabývá těmito otázkami, se nazývá „teorie her“. Jejím cílem je vypracování algoritmů taktických kroků účastníků hry, jsou-li známa pravidla hry a některé údaje o situaci partie. Tato kybernetická disciplína byla založena již ve dvacátých letech pracemi Borela a Neumanna, její hlavní rozvoj však spadá teprve do let padesátých.

V teorii her se jednak zkoumají v přesných termínech principy strategie, jednak se zkoumá, jak ty nebo ony strategické principy realizovat elektronickými matematickými stroji nebo speciálními automaty.

V teoretických výzkumech je třeba jistým způsobem klasifikovat hry: na hry, v nichž má úlohu náhoda a na hry nenáhodné, na hry, v nichž hráči mají úplnou informaci o stavu partie (např. šachy) a na hry, v nichž stav v daném stadiu partie není úplně známý (např. domino), na hry, v nichž lze teoreticky přehlédnout všechny možnosti a na hry, v nichž to prakticky možné není (např. šachy).

V teorii her se dokazuje existence nejlepší strategie pro jakoukoli hru s konečným počtem možností. K stanovení této nejlepší strategie je však nutné přehlédnout všechny možnosti. Zdaleka není proto možno vždy takovou nejlepší strategii realizovat. Dostí často je v takové strategii nutná náhodná volba s určitým rozložením pravděpodobností, i když pravidla hry náhodný prvek neobsahují.

Zajímavé je z tohoto hlediska naučit matematický stroj hře (na příklad řešit šachové úlohy). Experimentální partie, v nichž se účastní matematický stroj, poskytují velmi cenný materiál pro vypracovávání obecných principů taktických algoritmů. Tyto experimenty jsou nutné k tomu, aby bylo možno naučit se racionálně využít stroj pro řízení výroby, pro plánování, řízení vojenských operací ap.

Přibližná algoritmizace

Někdy se informace zpracovávají zkušeným velitelem nebo zkušeným vedoucím výroby. Ne vždy se podaří ihned vypracovat formální algoritmus, který by zpracovával informace přesně tak, jako zkušený člověk. Často je třeba použít tzv. přibližné algoritmizace.

Zvláště velký význam má přibližná algoritmizace při strojovém překládání z jednoho jazyka do jiného. Zkušený překladatel využívá při překládání jazykových znalostí a toho, že rozumí překládanému textu. Stroj využívá při překládání speciálního slovníku, formálních stránek překládaného textu a speciálních gramatických informací o slovech ve slovníku obsažených.

Strojové překládání se děje takto: na podkladě porovnávání různých výchozích textů a jejich překladů a pomocí gramatiky obou jazyků se formulují — analogicky práci zkušeného překladatele — speciální pravidla, která říkají, jaká stavba věty v jednom jazyku odpovídá té či oné stavbě věty v jazyku jiném.

Tato pravidla nejsou absolutní, podobně jako nejsou absolutními gramatická pravidla. Avšak souhrn těchto pravidel musí být natolik úplný, aby převážnou většinu textů, z nichž se pravidla sestavují, bylo možno pomocí nich a pomocí slovníku přeložit dostatečně přesně a správně.

Takové soustavy pravidel pro překládání byly sestaveny pro mnoho jazyků. Američané realizovali strojové překládání z ruštiny, francouzštiny, němčiny, a italštiny do anglického jazyka. Nejedna takový překlad vyšel tiskem. V některých sovětských ústavech se dělají pokusy s překládáním z-anglického, německého, čínského a japonského jazyka do ruštiny. V Matematické ústavě Akademie věd SSSR byl proveden zkušební překlad z francouzštiny do ruštiny aj.

Všechny tyto pokusné překlady se poněkud liší od překladů, pořízených kvalifikovaným překladatelem, avšak texty, vypracované stroji, jsou zcela přijatelné a použitelné. Bylo by ovšem obtížné předpokládat, že by stroj mohl pracovat jako kvalifikovaný překladatel, neboť i každý překladatel pracuje více méně s individuálním pojetím úkolu, po svém, a překlady téhož textu, pořízené různými překladateli, nejsou zdaleka totožné.

Individualita člověka se projevuje i při řízení výroby nebo při řízení vojenských operací. Práce stroje nebude totožná s prací člověka; bude-li však algoritmus, podle něhož stroj pracuje, dobře vypracován, nemusí hodnota práce stroje zůstat za kvalitou práce zkušeného člověka.

Analýsa operací

Než se nějaký algoritmus doporučí pro praxi, musí být vyzkoušen srovnáním s prací zkušeného člověka nebo kolektivu pracovníků. Tak vzniká kategorie otázek, zvaná analýsa operací, jež se týká kvality algoritmů.

Nejlepší kritérium v tomto směru je kritérium praxe. Máme-li takové kritérium, provedeme s algoritmem řadu zkoušek, zhodnotíme kvalitu algoritmu podle tohoto kritéria a porovnáme výsledek s výsledkem analogické práce vykonané člověkem. Ukáže-li se, že kvalita algoritmu zůstává přitom v průměru za kvalitou práce člověka, nutno algoritmus zlepšit. Teprve, když se ukáže vyhovnanost, je možno algoritmus zavést do praxe.

Všechny zkoušky, srovnávání a hodnocení se musí samozřejmě konat s přihlédnutím ke všem zkušenostem. Vypracování takových kritérií a způsobů jejich aplikace je předmětem analýsy operací. Je zajímavé, že metoda analýsy operací dosáhla velkého rozvoje v americké armádě za poslední války.

Speciální a universální stroje

Aby stroj zpracoval informaci žadáním způsobem, to jest aby pracoval podle daného algoritmu, musí být k tomu odpovídajícím způsobem nařízen. V tomto směru jsou dvě možnosti.

Jedna z nich spočívá v tom, že se stroj postaví speciálně pro zcela určitou, úzce vymezenou funkci. Tak na příklad Wattův regulátor pouze udržuje pravidelnost chodu parního stroje. Přijímá informace o pohybech hřídele a zpracovává je v příkaz, který mění polohu záklopky, již se reguluje přívod páry. Jinou informaci nemůže Wattův regulátor zpracovat.

Druhá možnost je konstruovat universální stroj. Universální stroj může zpracovat nejrozmanitější informace; aby však tu či onu informaci zpracoval, musí se do něj vložit program, podle kterého má pracovat. Tímto programem je soupis všech elementárních aktů, které má stroj provést, a stanovení jejich sledu.

V praxi se používá speciálních i universálních strojů. Speciální stroje jsou vhodné, jde-li o to konat jedinou zcela určitou práci. Je-li nutno zpracovávat různé druhy informací, nebo je-li algoritmus složitý a obsahuje-li mnoho různých prvků, je mnohem výhodnější universální stroj.

Dnešní universální číslicové matematické stroje jsou konstruovány tak, že podle programu do nich vloženého mohou přepočítat profil křídla letadla, profil trysky reaktivního motoru, průběh nukleární reakce v atomovém reaktoru, tabulky drah dělostřeleckých nábojů; mohou překládat z jednoho jazyka do jiného, řešit rozmanité logické úlohy, hrát domino nebo jiné hry, řídit vlakovou nebo leteckou dopravu. Universální matematický stroj je výhodnější dokonce i tehdy, když jde o řešení jen některé z uvedených úloh.

Programování

Pro každou úlohu, kterou má matematický stroj řešit, musí být sestaven odpovídající program. Vypracování těchto programů se nazývá programování. Je to důležitá disciplína současné aplikované matematiky. Úkolem programování je dát algoritmům pro zpracování informací formu vhodnou pro

stroj. Dnes provádí programování částečně stroj sám. Úkolem matematika, který sestavuje program, je popsat speciálním logickým jazykem strukturu algoritmu, který má danou úlohu řešit. Příslušný zápis se vloží do stroje. Dále se vloží do stroje zvláštní program, který, vypracován jednou pro vždy, přijme zmíněnou informaci a transformuje ji v pracovní program stroje.

V metodice programování je mnoho otázek dosud nerozřešených. Jde přitom o disciplínu, která má v kybernetice základní význam.

Možnosti universálních číslicových matematických strojů jsou tak velké, že jich lze použít jako universálních prostředků pro kontrolu a zkoušení jakýchkoli algoritmů pro zpracovávání informací. Pomocí takového matematického stroje je možno modelovat i daný proces, i algoritmus pro řízení tohoto procesu. Místo v reálných podmínkách je možno algoritmus zkoušet v matematickém stroji a řídit model daného procesu, vložený do stroje pomocí programu. Často je tento způsob zkoušení levnější a rychlejší. Modelování práce řídicího algoritmu má na příklad velký význam ve studiu automatisace řízení obráběcích strojů.

Kybernetika a biologie

Velký význam má kybernetika v biologii. Fysiologie nervové činnosti má stále co činit se zkoumáním oběhu informací v nervové soustavě. Příjem vnějších informací receptory, zpracovávání těchto informací v nervové vzruchy, přenos nervových vzruchů nervovými vlákny do nervových center, zpracovávání těchto informací v nervových centrech a vypracování odpovídajících reakcí, vše to jsou otázky, které jsou těsně spjaty s kybernetikou.

Velmi významné je na příklad výčlenění toků informací v nervové soustavě a vysvětlení jejich funkcí. Studium různých patologických případů může ukázat, že funkce nervové soustavy se mohou projevit velmi rozmanitě. Tak je na příklad znám případ, kdy nervově nemocný si zachovává schopnost orientace v pojmech, schopnost správně slovy vyjadřovat svoje myšlenky, není však schopen chápat, co říká jiný člověk. Vyjadřuje-li se však tento člověk písemně, nemocný rozumí.

V jiných případech rozumí pacient dobře slovnímu a písemnému vyjadřování jiných lidí, sám však není schopen se vyjádřit slovně, naproti tomu písemně ano. Jindy zase je zachována schopnost správně mluvit a psát a také rozumět řeči, mizí však schopnost rozumět napsanému textu. Zvláště podivné patologické případy se vyskytují mezi polygloty. Stává se, že polyglot jeden jazyk, dokonce i mateřský, zapomene, jiné nikoli. Nebo se stává, že se zachová znalost všech jazyků kromě jednoho, u něhož buď mizí schopnost rozumět mluvenému slovu, nebo vztahům mezi slovy a pojmy, nebo se zapomene gramatická stavba řeči. Vše to svědčí o tom, že hovor odpovídá řada různých toků informací v mozku, jež jdou rozličnými cestami, takže nemocí mohou být zachváceny tu jedny cesty, tu jiné. Funkce nervové soustavy se tak jeví jako diferencované.

Srovnávání poznatků z pozorování normálních a patologických případů umožňuje katalogisaci toků informací, což zase značně přispívá k chápání dějů, jež probíhají v nervové soustavě.

Modelování biologických dějů

Velmi zajímavé by bylo modelovat biologické děje alespoň částečně v matematických strojích. První kroky se v tomto směru již činí. Pomocí matematic-

kých strojů lze již modelovat na příklad vznik a útlum podmíněných reflexů. To je ovšem možné i mnohem jednoduššími zařízeními. Jsou známy tak zvané elektronické želvy, jimiž lze demonstrovat možnost technicky napodobit nejjednodušší chování živočichů.

Modelování biologických dějů ve stroji je důležité proto, že umožňuje prověřit stupeň úplnosti popisu zkoumaného jevu. Je-li takový popis správný, a je-li jako algoritmus programován a vložen do stroje, máme možnost vysvětlit pokusně na matematickém stroji, jak se musí chovat živočich v těch nebo jiných podmínkách.

Srovnání pokusu se strojem s činností živočicha umožňuje stanovit, které prvky z chování živočicha jsou v našem popisu zachyceny a které vycházejí za hranice daného popisu.

Kybernetika a genetika

Jiná biologická disciplína, která je těsně spjata s kybernetikou, je genetika — nauka o dědičnosti.

Ukazuje se, že děděním se předává dědičná informace. Úloha genetiky je zkoumat strukturu této informace, způsoby jak ji kódovat, studovat formy, v nichž se projevuje v novém organismu za jeho individuálního vývoje.

Nedocňování významu oběhu dědičné informace vede nečistě k podivným závěrům. Tak na příklad má v biologických kruzích jistý příznivý ohlas these o tak zvané přizpůsobitelné dědičnosti (prispособitelnaja nasledstvennost), to jest tvrzení, že se dědí převážně příznivé znaky. K zdůvodnění tohoto tvrzení je nutná existence jistého toku dědičné informace. Existence takového toku informace je však problematičtá. S přihlédnutím k této okolnosti by žádný vědec nemluvil o přizpůsobitelnosti dědičnosti neboli usměrněného vývoje, nezávislého na výběru.

S uvedeným tvrzením je ekvivalentní tvrzení o existenci toku informací o struktuře organismu jako celku nebo o struktuře jednotlivých ústrojí k zárodečným buňkám. Takový tok není znám a žádný lamarkista otázku jeho zjištění nepoložil. Klasické poznatky genetiky jsou naproti tomu v plném souhlase s představami, vypracovanými kybernetikou.

Diskrétní charakter genetické informace

Klasická genetika věnuje velkou pozornost vyhledávání toků informací, které vyvolávají ten nebo onen děj a zkoumání jejich struktury. Tak na příklad byla zjištěna diskrétní povaha dědičné informace, která se kóduje určitými strukturami molekul kyseliny nukleínové, přesně dávkované chromosomy.

Dědičná informace funguje v organismu tak, že stavba molekul kyseliny nukleínové určuje stavbu bílkovinných látek, jež se tvoří v buňce obsahující tyto molekuly. Při vývoji organismu dochází k reduplikaci molekul kyseliny nukleínové, které přecházejí do všech nově vznikajících buněk organismu. Tak se dědičná informace, obsažená v oplodněné zárodečné buňce předává celému organismu a působí na jeho chemické vlastnosti, a tím ovšem i na všechny makroskopické vlastnosti celého organismu.

V tom se projevuje tak zvaný princip zesilovače, který působí uvnitř organismu a který transformuje individuální vlastnosti ultramikroskopických útvarů molekulárních měřítek v makroskopické vlastnosti organismu.

Je pozoruhodné, jak obrovské je množství informací, obsažených v jedné molekule. Toto množství informací lze srovnat s množstvím informací, obsa-

žených v tlustém knižním svazku, Způsoby kódování dědičné informace, vypracované samou přírodou v jejím vývoji, jsou mimořádně ekonomické. Jsou neporovnatelně ekonomičtější, než způsoby kódování, jichž se používá v technice. Podrobné studium biologických dějů je proto z hlediska kybernetiky pro techniku velmi svůdné. Lze očekávat, že časem dovede toto studium k možnosti mnohem kompaktnějšího kódování informací v technických zařízeních.

Konstrukce řídicích strojů

Z hlediska technického využití principů kybernetiky je všeobecně velmi důležité mít k dispozici soubor rozmanitých elementů, jejichž funkce je známa a které lze snadno zhotovit.

Racionální kombinování těchto elementů umožňuje sestavovat různé složité řídicí soustavy, jimiž je možno realizovat jakékoli algoritmy. Tyto otázky dovedly výzkumníky k řadě speciálních úloh, jež je možno řešit různým způsobem. Jedním z nich jsou originální vynálezy v každém jednotlivém případě. Je-li nutno vymyslet určitou speciální konstrukci, která dojde později velkého užití, je tato cesta na místě. Druhá cesta spočívá v tom, vyhledávat racionální konstrukční principy celých tříd konstrukcí standardními metodami. Přitom je stavba libovolné soustavy z té které třídy snadná. Hlavní požadavek je tu optimální konstrukce, i když nelze v některých případech vyloučit konstrukce, opírající se o jiné principy. Docházíme tak k jisté klasifikaci řídicích soustav, která z jedné strany shrnuje dostatečné množství prakticky důležitých soustav, z druhé strany připouští použití jeden způsob konstrukce, který lze snadno realizovat.

Kybernetika a matematická logika

V této oblasti vzniká specifická problematika a speciální matematický aparát — aparát matematické logiky s jistým zobecněním, zvaným vícehodnotové logiky.

Dnes dochází v konstrukcích složitých logických zařízeních k velkému uplatnění logické metody. Promluvíme o některých problémech matematické logiky, které souvisí s kybernetikou.

Jednou z nejdůležitějších otázek každé vědecké disciplíny je otázka hranic její aplikability. Takovou otázkou je také, jaké problémy lze řešit matematickými stroji. Ukazuje se, že třída těchto problémů je dosti velká. Aby bylo možno na matematickém stroji řešit nějakou úlohu, spojenou se zpracováním informací, stačí způsob zpracování popsat nějakým algoritmem, vhodným pro stroj. Je-li úloha dána tak, že obecně nepřipouští algoritmického řešení, je matematický stroj bezmocný.

Algoritmicky neřešitelné úlohy logiky

Do nedávna se mělo za to, že vypracování algoritmu pro to či ono zpracování informací je otázkou matematického důvtípu, a jen tohoto důvtípu. Ještě před několika desetiletími byl obecně rozšířen názor, že existují-li matematické úlohy, jejichž řešení je neznámé, je to jen svědectvím nedostatečného umění matematiků.

Situace se změnila ve třicátých letech, když Post, Church, Turing a jiní podali přesnou definici algoritmu a sestrojili příklady logické povahy, jež nepřipouštěly algoritmického řešení. Před tím, než byl pojem algoritmu

přesně definován, nebyly takové výsledky dosažitelné. Zpočátku však měly algoritmicky neřešitelné úlohy, spojené s analysou a zpracováním informací, dosti vyumělkovaný charakter. Šlo o úlohy, v nichž se studovaly speciální logické pojmy. Tvrdilo se dokonce, že v reálné matematice není takových úloh. Nedávno však dokázal P. S. Novikov, že klasická úloha o totožnosti slov v teorii grup je algoritmicky neřešitelná. Ukazuje se tedy, že v reálné matematice je třeba počítat s existencí úloh, jež nelze algoritmicky, tedy ani pomocí matematických strojů řešit.

Vědci často kladou otázku o možnostech lidského mozku a matematických strojů. Vycházejíce z apriorních úvah, zdůrazňují někdy, že mezi lidským mozkem a matematickým strojem musí být zásadní rozdíl. Dnes pravděpodobně ještě nelze rozhodnout, je-li takového zásadního rozdílu nebo jde-li jen o rozdíl kvantitativní, není-li mozek jen z kvantitativního hlediska orgánem mocnějším, než je řídicí mechanismus, vytvořený člověkem.

To, že lidský intelekt dovede mezi úlohami algoritmicky obecně neřešitelnými najít speciální případy řešitelné, neznamená ještě principiální rozdíl, neboť to může dokázat zkusmo i mohutný matematický stroj. Ještě se k otázce vrátíme.

Trochu jsme vyšli z rámce našeho tematu. Problematika obecné teorie algoritmů přesahuje rámec kybernetiky. Kybernetiku totiž zajímají jen algoritmy, s konečným počtem operací, kdežto teorie algoritmů počet operací neomezuje. Často však zákonitosti, týkající se algoritmů s nekonečným počtem operací, mají zvláštní odraz v algoritmech s konečným počtem operací.

Kybernetika a matematický stroj

Z ostatních matematických disciplin, na jejichž rozvoj měla vliv kybernetika, je třeba se zmínit na prvním místě o numerické analýze v užším smyslu. Teorie informací umožnila přiblížit se k odhadům algoritmů, používaných v numerické matematice, z hlediska kvality, množství operací, jichž je třeba k dosažení výsledku, z hlediska charakteristik strojů, kterých je potřeba k výpočtům s nezbytnou přesností atd.

Řídicí stroje s vyhledáváním řešení

Již jsme mluvili o tom, že se činí pokusy konstruovat řídicí stroje tak, aby samy vyhledávaly nejlepší řešení dané úlohy. Je to jeden z nejdůležitějších směrů bádání v kybernetice, o němž stojí za to trochu pohovořit. Jedním z prvních kroků v tomto bádání je stroj, zkonstruovaný psychologem Ashbym a nazývaný homeostat.

Homeostat pracuje na tomto principu:

Podle podmínek, v nichž se právě nachází, projevuje tendenci zaujmout stav stabilní vůči vnějším působením. Řídicí orgán stroje je přitom zpočátku zapnut určitým způsobem. Ukáže-li se, že při tomto zapojení stroj nemůže dosáhnout stabilního stavu, sám přepne řídicí orgán zcela náhodně, načež začne znovu hledání stability. Možnosti stroje se ukazují postačujícími k tomu, aby ve většině případů vnějších působení a přepnutí řídicího orgánu stroj dospěl po jisté době do stabilního stavu.

Možnost náhodných přepínání řídicího orgánu a následující registrace práce umožňuje stroji hledat takové schéma vlastní práce, která konstruktérem nebyla předvídána a která mu dokonce předem nebyla vůbec známa.

Tento princip může po propracování dojít rozmanitého užití. Zatím se v tomto směru činí první kroky. V USA na příklad se elektronických matematických strojů používá k řízení práce u vysokých pecí. Stroj se zapojuje na vysokou pec, která je obsluhována kvalifikovaným osazenstvem. Do stroje je vložen jistý program, pomocí něhož stroj sleduje práci i vysoké pece i osazenstva. Zejména sleduje stroj informace o všech procesech, probíhajících v peci, to jest informace o všech poruchách, a dále sleduje všechnu činnost osazenstva. Kromě toho jsou ve stroji připraveny programy, pomocí nichž by mohl řídit činnost pece, kdyby byly úplné. V těchto programech však chybí některé parametry. Stroj sledováním činnosti osazenstva určuje sám tyto parametry a sám je zavede do připravených programů. Po několika měsících pak přejímá stroj všechny funkce a řídí vysokou pec sám bez osazenstva.

Zdá se, že tato cesta automatizace je velmi slibná. Lze tu dosáhnout toho, že algoritmus, pomocí něhož bude stroj řídit výrobu, bude vypracován ve značné míře v soulase se zkušenostmi lidí. Není obtížné propracovat takové varianty této metody, v nichž stroj může vmontovat do programů v něm uložených zkušenosti i více kolektivů. Je myslitelné, že stroj v takovém případě dokáže vypracovat dokonalejší způsoby řízení, než by byly způsoby založené na sledování kolektivu jen jednoho.

Co je to kybernetika

Všechno co jsme vyložili, umožňuje snad podat celkový obraz vědecké problematiky kybernetiky, která se vždy nějak seakupuje kolem otázky přenosu a zpracování informací a otázky, jak pomocí tohoto přenosu a zpracování informací realizovat řízení. Jde o okruh otázek, které obvykle řeší myslící člověk nebo které se řeší prací nervové soustavy živého tvora.

Je přirozené, že filosofie tu má za úkol studovat tyto otázky, vysvětlit, co je v nich obzvláště důležité z filosofického hlediska a také vysvětlit, jakých oblastí lidské činnosti se tato nová problematika může dotknout.

Nejsme filosofové, nemůžeme si proto činit nárok na to, že dovedeme odpovědět na všechny otázky v tomto směru, pokládáme však za nutné zmínit se o zákonitosti toho, že tyto otázky vůbec vyvstávají.

Až do nedávné doby se jen nejprimitivnější otázky tohoto druhu rozhodovaly technickými zařízeními.

Celý vývoj kybernetiky v poslední době sledoval jako hlavní cíl přenášet technickými prostředky nejrozmanitější aplikace informací a stavět technická zařízení, jež by byla schopna provádět s informacemi nejrůznější manipulace. Stručněji řečeno, před dnešní vědou a technikou vyvstala otázka možnosti předat řadu funkcí lidského intelektu strojům.

Tím se stalo nutným vysvětlit, co je společné činnostem živých organismů a strojů. Cestou, po níž lze dojít odpovědi na tuto otázku, je algoritmický popis těchto činností.

Mozek a řídicí stroj

Otázka, jaké jsou rozdíly v činnosti matematického stroje a mozku a v čem se shodují, není podle našeho názoru ani tak otázka filosofická jako kybernetická, a její řešení vyžaduje dalších poznatků a dat v této vědě. Pohovoříme o tom.

Jsme zcela vzdáleni myšlenky klást rovnítko mezi činností vědomí a činností stroje. To však neznamená, že je možno vést ostrou hranici mezi oblastí

intelektuální činnosti, kterou může konat stroj a oblastí intelektuální činnosti „specificky lidské“, stroji principiálně nedostupné. Dnes takovou mez stanovit nelze. Lze vyslovit předpoklad, že vztah mezi možnostmi lidského myšlení a možnostmi stroje je analogický vztahu mezi přímkou a úsečkou. Ať vezmeme na přímce kterýkoli bod, vždy můžeme na přímce vymezit úsečku, která má počáteční bod v počátku (přímka je zde myšlena jako číselná osa — pozn. překl.) a která zvolený bod obsahuje; není však úsečky, která by obsahovala celou přímku (všechny její body).

Stejně lze každý konkrétní akt, provedený vědomím, přenést na stroj, sotva však lze postavit stroj, který by převzal všechny funkce vědomí člověka.

Z druhé strany stroje lidské vědomí v některých směrech překonávají. Tak na příklad rychlost stroje o mnoho převyšuje rychlost lidského mozku. Možnost uchovat informaci, spojenou s řešením dané úlohy, možnost dokonale zapomenout informaci nepotřebnou, možnost probírky velkého počtu logických variant, potřebné pro nalezení varianty žádané, jsou u stroje mnohem větší než u člověka.

Avšak přizpůsobivost, schopnost formulovat nové pojmy, schopnost objevovat nové nečekaně zákonitosti, jsou dnes u lidského vědomí výše než u stroje. Každý krok na cestě zdokonalování řídicích strojů je spojen s pokud možno nejúplnější formalisací práce lidského intelektu. To pomáhá osvětlit, co je třeba vkládat do budoucích strojů, aby mohly nahradit lidský intelekt ve stále větší oblasti a stále dokonaleji. V každém případě je vyjasňování reálných možností a pokusy využít jich daleko plodnější, než nezdůvodněné snahy stanovit hranice pro aplikabilitu strojů.

Nezřídka se setkáváme s názorem, že kybernetika je svou podstatou mechanistická, neboť prý klade znaménko rovnosti mezi stroj a vědomí. Tento názor je podle našeho mínění neodůvodněný. Kybernetika nikdy a nikde nekladla rovnítko mezi mozek a stroj; otázka takto položená nemá sama vůbec smyslu.

Kybernetika zkoumá jevy, k nimž dochází v řídicích soustavách. Abstrahuje přitom někdy od fyzikální povahy těchto soustav, zkoumá, co je v nich obecné z jistého zcela určitého hlediska, to jest z hlediska toků informací, jež procházejí řídicí soustavou, algoritmů, které informace zpracovávají a z hlediska obecných charakteristik struktury řídicích soustav, pokud jsou podstatné pro přenos a zpracování informací.

Tento velký okruh vědeckých problémů vyvstal z praktické lidské činnosti. Dnešní dílčí výsledky, jichž kybernetika dosáhla, se úspěšně uplatňují v praxi. To samo o sobě dosvědčuje, že ve vědeckých základech kybernetiky není žádných vadných filosofických koncepcí.

Závěr

Kybernetika má své vymezené místo mezi ostatními vědami. Má mnoho styčných bodů s nimi, jednou využívajíc jejich výsledků, podruhé dávajíc jim podněty pro jejich další rozvoj. Tato souvislost je stejná jako u kterékoli jiné vědy.

Novost základní problematiky v kybernetice a nedostatečná informovanost v kruzích vědecké a technické inteligence vedou však ke komplikacím. Není uspokojivé literatury o kybernetice. Zvlášt velkým nedostatkem je okolnost, že většina našich filosofů nebyla s kybernetikou obeznámena až do nejposlednější doby.

Myslíme, že rozvoj kybernetiky je obzvláště důležitý v podmínkách socialistické společnosti, jejímž hlavním úkolem je osvobodit člověka od dřiny ve prospěch tvůrčí práce. Kybernetika je povolána, aby v tomto směru osvobodila od „dřiny“ lidský mozek. Z druhé strany se kybernetice otevírají v socialistické společnosti obrovské perspektivy v řízení různých odvětví národního hospodářství, průmyslu, plánování atd.

Není pochyb, že v těchto oborech se kybernetika může a musí stát mocným pomocníkem člověka. V tom je záruka jejich dalších úspěchů.

Přeložil dr Josef Veselka