Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Petr Štěpánek
Čtvrtá spojená mezinárodní konference o umělém intelektu

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 22 (1977), No. 1, 28--39

Persistent URL: http://dml.cz/dmlcz/137668

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1977

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

Čtvrtá spojená mezinárodní konference o umělém intelektu*)

Petr Štěpánek, Praha

Výzkum umělého intelektu je jednou z disciplín, jejichž vznik byl podmíněn existencí samočinných počítačů. Čtenáři Pokroků měli možnost se seznámit s článkem [22], který se zabýval některými otázkami koncepce umělého intelektu. Od prvních začátků v padesátých letech prochází tato diciplína obdobím prudkého rozvoje. V současné době je výzkum soustředěn ve Spojených státech, Sovětském svazu, Velké Británii a Japonsku. Zájem o tento nový obor je ovšem možno pozorovat i v řadě dalších zemí.

Již několik let vychází specializovaný časopis Artificial Intelligence, každoročně sborník Machine Intelligence a mnoho článků se objevuje i v dalších časopisech. Hlavním a mnohem početnějším zdrojem informací jsou výzkumné zprávy a preprinty, z nichž mnohé však nejsou volně dostupné. Přednášky o umělém intelektu jsou zařazovány na vysokých školách univerzitního i technického směru a bylo vydáno i několik monografií [1], [2], [3] a další se připravují. Od roku 1969 se pravidelně každé dva roky konají mezinárodní konference International Joint Conference on Artificial Intelligence, čtvrtá se konala ve dnech 3.–8. září 1975 ve Tbilisi v Gruzínské SSR. Konferenci pořádal International Joint Council for Artificial Intelligence ve spolupráci s vědeckým kolegiem pro komplexní úkol Kybernetika Akademie věd SSSR; uspořádáním konference byl pověřen Institut kybernetiky Akademie věd Gruzínské SSR ve Tbilisi. Pokusíme se shrnout dojmy z jednání konference a přiblížit současný stav výzkumu v hlavních oblastech umělého intelektu. V referativním článku jednoho ze zakladatelů oboru N. J. Nilssona [4], který je doplněn velkým počtem citací, najde čtenář shrnutí hlavních výsledků dosažených v této disciplíně do roku 1974. Příští, pátá konference se bude konat v srpnu 1977 v Cambridge ve státě Massachusetts v USA.

Řešení úloh nepochybně patří k tématům, která motivovala rozvoj výzkumu umělého intelektu a která dodnes tvoří jednu z jeho hlavních součástí. Úlohou nebo problémem zde rozumíme rozdíl mezi dvěma stavy „světa", počátečním a tím, do něhož bychom chtěli dospět – stavem cílovým. Řešením úlohy je posloupnost operací, po jejichž postupném provedení se stav počáteční změní na cílový.

V metodách řešení úloh postupně vykrystalizovaly dva různé přístupy, heuristický, který je starší a je znám jako heuristické řešení úloh (heuristic problem-solving) a deduktivní, který vytvořil samostatnou disciplínu dokazování vět (theorem proving). Metody heuristického řešení úloh dovedně těží z různých možných reprezentací dané úlohy. Typickou a často používanou reprezentací je tak zvaný stavový prostor. Jde o uspořádanou dvojici $\langle S, O \rangle$, kde S je nejvýše spočetná množina stavů světa a O je konečná množina operátorů, které zobrazují množinu stavů do sebe. Operátory mohou být jen

*) Tbilisi 3.–8. září 1975.

částečná zobrazení, nemusí být použitelné v každém stavu. Odpovídají myšleným akcím, pomocí nichž může řešící entita zasahovat do řešení úlohy.

Elementární postup řešení úlohy $\langle s', s'' \rangle$, kde s' a s'' jsou dva stavy světa, počáteční a cílový, můžeme popsat takto:

pro libovolnou množinu stavů S', $S' \subseteq S$ označme výrazem $O(S')$ množinu stavů

$$O(S') = \{s;\ s = o(t) \quad \text{pro jisté} \quad o \in O,\ t \in S'\}\,.$$

Postupně vytváříme množiny S_n pro přirozená čísla n, kde

$$S_0 = \{s'\}$$
$$S_{n+1} = O(S_n) \quad \text{pro každé přirozené } n.$$

Úloha $\langle s'\ s'' \rangle$ je řešitelná, pokud existuje přirozené číslo n takové, že $s'' \in S_n$. Při konstrukci řešení, tedy posloupnosti operací $o_1, \ldots, o_n$, se využívá faktu, že stavový prostor lze reprezentovat orientovaným grafem, jehož hrany odpovídají přechodům mezi stavy za pomoci operátorů.

Metodu, která konstruuje postupně celé množiny $S_1, S_2, \ldots$ lze nazvat „hledáním do šířky" (breadth-first method). Tato jednoduchá metoda může být účinná jen při malém počtu operátorů. Protipólem této metody je „hledání do hloubky" (depth-first method), kdy dáváme přednost rozvíjení posloupnosti operátorů (a tedy i stavů) do délky v určitém směru, aniž bychom vyčerpávali celé množiny S_n. Tato metoda není tak citlivá na počet operátorů, avšak má-li být účinná, výběr operátorů musí být řízen nějakými heuristickými pravidly, která by vymezovala směr nadějného hledání. Dnes je znám velký počet heuristických metod hledání, které lze zařadit na rozhraní mezi obě popsané metody. Obohatí-li se struktura stavového prostoru dalšími relacemi, například ohodnocením nákladnosti jednotlivých akcí, vznikají další otázky po optimálním řešení z různých hledisek. V tomto směru výzkum pokračuje. Na konferenci bylo předneseno několik referátů, z nichž vybíráme [20], [6].

Deduktivní metody řešení úloh užívají k popisu situací formule některého logického systému, například teorií I. řádu. Existence řešení úlohy je pak ekvivalentní dokazatelnosti formule, která popisuje cílovou situaci z hypotéz, které odpovídají výchozímu stavu. Předpokládejme, že výchozí stav je popsán konečnou množinou axiómů

$$A = \{A_1, \ldots, A_k\}\,, \tag{1}$$

ze které se logické důsledky odvozují pomocí formálních pravidel z nějaké množiny F. Označíme-li výrazem $F(A)$ množinu všech formulí, které lze odvodit z formulí množiny A jedním použitím některého odvozovacího pravidla a tvoříme-li postupně množiny S_n, kde

$$S_0 = A$$
$$S_{n+1} = F(S_n) \quad \text{pro každé přirozené číslo } n,$$

potom formule B je dokazatelná z axiómů A, právě když $\neg B$ leží v některé množině S_n. To znamená, že metoda vytváření stavů ve stavovém prostoru může být nahrazena dokazováním vět v nějakém formálním logickém systému.

J. A. ROBINSON ve své klasické práci [25] ukázal, že na základě Herbrandovy věty o dokazatelnosti formulí v predikátovém počtu je možno vytvořit metodu, která dovoluje jednoduchý způsob manipulace s formulemi a strojového odvozování vět. Jím navržená rezoluční metoda dokazování vět má četné výhody a od svého vzniku prakticky do dnešní doby zaujímá dominující postavení v dokazování vět. V nejjednodušším případě (základní rezoluce) stačí jediné odvozovací pravidlo, pravidlo řezu

$$\text{z formulí } B \vee C,\ \neg B \vee D \quad \text{odvoď formuli } C \vee D\,.$$

Reprezentujeme-li disjunkci $B \vee C_1 \vee \ldots \vee C_k$ výrazem $(B, C_1, \ldots, C_k)$, který můžeme nazývat disjunktem, můžeme vyjádřit pravidlo řezu takto:

$$(B, C_1, \ldots, C_k)\,,\quad (\neg B, D_1, \ldots, D_1) \Rightarrow (C_1, \ldots, C_k,\ D_1, \ldots, D_1)\,.$$

Výraz na pravé straně nazýváme rezolventou výrazů na levé straně.

Zkoumáme-li dokazatelnost nějaké formule B z předpokladů (1), můžeme postupovat například sporem: rozšíříme množinu předpokladů o negaci dokazované formule, tedy položíme

$$A' = A \cup \{\neg B\}$$

a ukážeme, že množina A' je sporná. Lze ukázat, že A' je sporná, právě když z ní lze konečným počtem rezolvent odvodit prázdný disjunkt ( ). Dokazatelnost formule B z předpokladů (1) je potom ekvivalentní odvoditelnosti prázdného disjunktu z množiny A'. Základní rezoluce má proti heuristickému hledání několik výhod. Používá jediného odvozovacího pravidla a při řešení vyhledává stále stejnou formuli, prázdný disjunkt. Základní rezoluce může pracovat jen s formulemi, které neobsahují volné proměnné. V obecném případě je třeba odvozovací pravidlo — pravidlo řezu — doplnit o možnost unifikace dvou disjunktů vhodnou substitucí za volné proměnné. Ve své práci [25] Robinson navrhl algoritmus pro volbu substitucí vhodných k unifikaci, a ukázal, že rezoluční metoda je úplná v tomto smyslu: formule B je dokazatelná z axiómů (1), právě když po konečném počtu rezolvencí a unifikací odvodíme z množiny A' prázdný disjunkt.

Rezoluční procedury strojového dokazování vět jsou dnes běžnou součástí mnoha systémů umělého intelektu; používají se v robotice, při automatickém programování a podobně. Matematika sama nabízí možnosti k měření schopností strojových metod dokazování vět. Různé metody strojového dokazování byly použity k dokazování vět v některých matematických teoriích, byly dokázány základní věty v Principia Mathematica, zajímavých výsledků se dosáhlo v teorii grup.

Praktické užití rezoluční metody ukázalo, že se při dokazování vytváří velký počet nepotřebných rezolvent. Velké úsilí bylo vynaloženo na vypracování strategií, které by vedly příměji k cíli, produkovaly co nejméně nepoužitelných rezolvent tak, aby byla

zachována úplnost metody. V tomto úsilí se dosáhlo mnoha pozoruhodných výsledků, řada otevřených otázek dosud zůstává při dokazování v teoriích s rovností a funkcemi. Na konferenci bylo několik příspěvků zaměřeno tímto směrem. Dosažené výsledky shrnul ve své přednášce W. W. BLEDSOE [36]. Konstatoval, že rezoluční metoda byla rozvíjena především jako univerzální metoda dokazování vět. Důraz byl položen na syntaktickou stránku odvozování s malým ohledem na specifiku jednotlivých oborů, v nichž by se měla tato metoda používat. Tento trend, který přinesl řadu povzbudivých výsledků, ukázal také na příklady jednoduchých tvrzení, jejichž rezoluční důkazy byly neúměrně komplikované. Následující tvrzení z teorie množin může posloužit jako ilustrace

$$P(A) \cap P(B) = P(A \cap B), \tag{2}$$

kde $P(X) = \{x;\ x \subseteq X\}$ označuje množinu všech podmnožin množiny X. Běžný důkaz tvrzení (2) pracuje pouze s definicemi a nezabere více než pět řádků, zatímco důkaz téhož tvrzení rezoluční metodou si vyžádal vždy alespoň čtrnáct rezolvent, a to i v případech, kdy se použila některá ze silných strategií ke snížení počtu vytvářených rezolvent. Samotný fakt, že počítač při dokazování téhož tvrzení postupuje jinak než matematik, nevadí. Úplnost rezoluční metody zaručuje, že oba dojdou k cíli, je-li tvrzení dokazatelné. Příklady komplikovaných rezolučních důkazů jsou argumentem proti donedávna přijímanému tvrzení, že dalším zlepšováním strategií bude možno sestrojit rezoluční důkazy obtížných vět. Zdá se, že použití jiných syntaktických metod matematické logiky, například systémů Gentzenova typu, nepovede samo k výrazně lepším výsledkům, pokud tyto systémy nebudou rozšířeny. Matematik při dokazování využívá vedle syntaxe i sémantiky pojmů, s nimiž pracuje, používá analogií a především specifických znalostí o oboru, ve kterém pracuje (a to je víc než jenom znalost axiomatiky). Skupina, kterou vede W. W. Bledsoe, vychází z názoru, že je třeba rozvíjet u strojových systémů dokazování vedle syntaktických metod i další způsoby, kterými pracuje matematik. Jimi sestrojené systémy dokazování vět jsou „experty" v disciplíně, pro kterou jsou určeny, jsou vybaveny obsažnými znalostmi a jejich autoři vynakládají úsilí, aby dokazování vět bylo účelně orientováno i sémantickou stránkou problému. W. W. Bledsoe shrnul dosavadní výsledky v nerezolučních metodách dokazování vět a vyslovil názor, že je třeba studovat specifičnost strojového dokazování v hlavních matematických disciplínách, v algebře, analýze, geometrii, topologii a v teorii množin a rozvíjet i interaktivní systémy dokazování vět typu „člověk – stroj". Nakonec uvedl příklady vět, jejichž strojový důkaz by bylo možno považovat za doklad výrazného zlepšení dosavadních metod. Uvedeme některé z nich v kontrastu s větami, jejichž strojové důkazy již byly sestrojeny.

	již dokázané věty	problémy
algebra	(teorie grup) $x + (x + x) = 0 \rightarrow$ $a + b + (-a) + b + a + (-b) +$ $+ (-a) + (-b) = 0$	(teorie okruhů) je-li $x^3 = 1$ pro každé nenulové x, potom $a \,.\, b = b \,.\, a$

analýza	základní věty o limitách; stejnoměrná spojitost funkce, která je spojitá na kompaktní množině (užitím nestandardní analýzy)	Rolleova věta; existence primitivní funkce ke spojité funkci; věta Hahnova-Banachova
geometrie	GELERNTNER [8]	Pythagorova věta
topologie	jednoduché věty o otevřených množinách	věta o součinu kompaktních prostorů; normální prostor se spočetnou otevřenou bází je metrizovatelný
teorie množin	jednoduché věty o množinových operacích; $\omega = \omega \cap P(\omega)$	Cantorova-Bernsteinova věta

V naznačeném směru bylo předneseno několik referátů o interaktivním dokazování vět a prověřování důkazů, o strojovém dokazování ve speciálních matematických disciplínách a o psychologických aspektech práce matematiků. U nás se problémy strojového dokazování vět a řešení úloh zabývají některá pracoviště v Akademii a na vysokých školách a již se dosáhlo významných výsledků (KRAMOSIL [15], ŠTĚPÁNKOVÁ, HAVEL [30]).

Reprezentace znalostí je nyní jedním z centrálních problémů, které jsou v umělém intelektu studovány. Řešení některých typů úloh a dokazování vět v některých teoriích se může úspěšně provést, aniž je třeba vybavit počítač rozsáhlými vědomostmi. Jsou-li správně zvolena základní fakta o prostředí a povaze úlohy, je možno v mnoha případech výchozí předpoklady formulovat jednoduše a tak, aby manipulace s nimi byla snadná. I zde se ukazuje, že právě způsob reprezentace znalostí významně ovlivňuje schopnost systému řešit úlohy. Tento fakt ještě více vystupuje do popředí, přejdeme-li k praktickým otázkám řešení jednoduchých úloh robotem, který ovlivňuje vnější prostředí, nebo do oblasti „běžného" usuzování (common-sense reasoning), jehož prostředkem je živý jazyk místo jazyka formálního.

Příspěvky, které byly těmto otázkám věnovány, je možno rozdělit do dvou skupin, na ty, které studují reprezentace se zřetelem k formálnímu odvozování, a na ty, které studují reprezentace vhodné pro oba účely, pro odvozování i „běžné" usuzování, a jsou orientovány na práci se živým jazykem.

K první skupině patří příspěvek V. LOZOVSKÉHO [18], který popisuje organizaci dat s využitím predikátového počtu. Jeho systém je dvouúrovňový, může využívat výhod sémantických sítí, které usnadňují cílovou orientaci a ve vhodné fázi řešení systém dovoluje přechod k soustavě formulí, která může být zpracována rezoluční metodou dokazování vět. ERMANN, LESSER [11] budují víceúrovňový systém organizace dat, který může aktivovat několik nezávislých zdrojů informace. Jejich systém může tvořit a prověřovat hypotézy a počítá s tím, že informace získané od zdrojů mohou být neúplné nebo zkreslené. Systém BEING ([16]) dělí znalosti do nezávislých modulů, které

spolupracují při řešení úlohy jako experti určité specializace. Každý modul je realizován nevelkým blokem programu, který má k dispozici soubor faktů a strategií odpovídajících jeho specializaci. Má schopnost rozpoznat situaci, ve které může zasáhnout; je schopen klást otázky a odpovídat jiným blokům – expertům a podílet se na řešení úlohy ovlivňováním způsobu řešení (podobně jako to dělá člověk-specialista). Tento systém byl vyzkoušen při automatické syntéze programů. Zajímavým příkladem organizace znalostí je systém DABA ([26]), který je založen na tom, že popis struktury dat je sám součástí báze dat.

Reprezentace znalostí, které se mají využít v procesu běžného usuzování, například v systémech odpovídání na otázky, musí brát v úvahu specifičnost živého jazyka. To je problematika, která se již dlouho studuje z různých hledisek a která úzce souvisí také s možnostmi strojového překládání. V poslední době převažuje názor, že strojové zpracování živého jazyka se může podařit jen do té míry, do jaké budeme schopni porozumět a specifikovat naše znalosti o světě. Prvních výsledků se dosáhlo za cenu radikálního zjednodušení „světa". WINOGRAD [33] sestrojil systém, který rozumí a odpovídá na otázky ze „světa kostek" jednoho z robotů na massachusettském institutu technologie. Ukázalo se, že je velmi obtížné takový systém dále rozšiřovat. Pojmy, vztahy a události ve vnějším světě mohou být pochopeny jen ve vzájemném vztahu a zařazeny k určitým vyšším celkům. MINSKY [19] je nazývá „rámce" (frame-systems) a na jejich základě rozvinul obecnou teorii organizace vědomostí vhodné pro aktivní použití paměti. Řada příspěvků ukazovala, že tato metoda je vhodná k řešení základních otázek umělého intelektu.

CH. RIEGER v přednášce [23] vyslovil názor, že porozumění jazyku a řešení úloh jsou jenom dva různé způsoby, kterými využíváme paměťových procesů a organizace paměti. Formuloval teoretická východiska modelu paměti, který již byl realizován a který vyhovuje oběma cílům. Rozpracování Minského koncepce byly věnovány i další příspěvky [24], [28], které se zaměřily především na otázku kontextu.

Vedle obecných otázek týkajících se jazyka a intelektu přináší rostoucí objem vědeckých informací a pronikání výpočetní techniky i další speciální problémy: je možné sestrojit jazyk, který by byl vhodný k ukládání vědeckých informací a přitom by byl blízký živému jazyku tak, aby mohl sloužit i neškolenému uživateli? Bude možný dialog mezi člověkem a počítačem v angličtině nebo v češtině?

V některých příspěvcích bylo ukázáno, že na bázi jazyků třetí generace, které byly vytvořeny pro potřeby umělého intelektu (PLANNER, CONNIVER, QA4), lze sestrojit umělý jazyk blízký angličtině, který je vhodný k ukládání a vyhledávání vědeckých informací například v biologii a který nevyžaduje speciální zaškolení uživatele. GLUŠKOV [9] popisuje formální jazyk určený k zápisu matematických výsledků, který je blízký ruštině a dovoluje snadný překlad výsledků do formulí predikátového počtu. Dialogu člověk-stroj byly věnovány příspěvky SGALL, HAJIČOVÁ [27], JERŠOV [14].

Až dosud šlo spíše o psanou formu jazyka. Rozpoznávání mluvené řeči patří do oblasti senzorů, která tvoří samostatnou partii umělého intelektu.

Vnímání. Rozvíjení metod, kterými se získávají informace o vnějším prostředí, patří v poslední době mezi nejaktivnější oblasti výzkumu. Zmínili jsme se již o rozpoznávání

mluvené řeči, které můžeme označit jako sluch umělého intelektu. Nejde o to naučit se rozeznávat výslovnost určité osoby (zařízení pro identifikaci osob podle výslovnosti se již komerčně vyrábějí), jde o rozpoznávání řeči, ať ji mluví kdokoli. Současný stav dovoluje spolehlivé rozpoznávání jednotlivých hlásek a také určitého počtu odděleně vyslovovaných slov. Zařízení, která rozeznávají 10–20 slov, jsou již v prodeji, na trhu jsou i syntetizátory řeči, které vyslovují souvislé anglické věty. Výzkum se nyní soustřeďuje na segmentaci souvisle mluvené řeči do úseků, které by byly vhodné k rozpoznávání slov a smyslu věty.

Z dalších smyslů se intenzívně zkoumá zrak a hmat. Zrak patří k nejvydatnějším zdrojům informace. Metody zpracování obrazu počítačem byly rozvíjeny již od konce padesátých let (zpracování leteckých snímků, televizního záznamu, strojové čtení). Zpracovávaly se většinou černobílé obrazy, v poslední době se pracuje i s barevnými. Typickými úlohami zpracování obrazů jsou úpravy (zahlazení šumu, zvýraznění nebo potlačení detailní kresby, změna gradace) a také zhuštění obrazové informace například redukcí na hrany nebo oblasti, kódováním apod. Tyto metody tvoří dnes samostatnou disciplínu tzv. zpracování obrazů (picture processing), která se uplatňuje v nejrůznějších oborech. Je přirozené, že mnohé její metody využívají právě dvourozměrnosti zpracovávaného obrazu, nezávisle na tom, zda předloha byla dvourozměrná nebo třírozměrná. Ostatně některé úlohy (strojové čtení, zpracování mikroskopických snímků) dvourozměrnost předlohy přímo předpokládaly.

S rozvojem umělého intelektu se těžiště zájmu přesouvá směrem ke zpracování obrazů prostorových konfigurací – scén.

Analýza scény vyžaduje mnoha speciálních operací, které jsou prováděny speciálními bloky programu. Může být rozdělena na tři hlavní fáze: zhuštění informace spojené se zvýrazněním relevantních znaků, rozdělení (segmentace) obrazu na oblasti, které odpovídají skutečným nebo předpokládaným tělesům a interpretace, tj. určení jednotlivých těles na scéně a stanovení jejich vzájemných prostorových vztahů. První fáze patří spíše do oblasti zpracování obrazů a většinou nepředpokládá žádné znalosti o povaze scény. Ve druhé a ve třetí fázi se již uplatňují znalosti, které má program k dispozici. Úspěch interpretace obrazu je do značné míry závislý na tom, co o povaze scény program ví. V počátcích výzkumu byly analyzovány především umělé scény, vytvořené z kostek, které tvořily svět prvních robotů typu „oko–ruka". Ukázalo se, že správnost určení jednotlivých těles na scéně byla pozitivně ovlivněna například tím, že program znal typy základních stavebních prvků (kvádr, hranol, klín). Obrazy umělých scén obsahují mnoho přímých kontur, jejich analýza proto vychází většinou z obrazu redukovaného na kontury hran. Během let se zvyšovala schopnost správně analyzovat umělé scény složené z geometrických těles omezených rovinnými plochami, a to i při méně příznivém osvětlení (dlouhé stíny). V současné době se studují možnosti analýzy scén z těles s křivými povrchy. Na konferenci bylo předneseno několik příspěvků věnovaných průmyslovým aplikacím. Yoda a kol. [36] vypracovali systém analýzy scény se zřetelem ke skladové manipulaci. Jejich systém rozeznává kvádry různých rozměrů a nápisy na jejich stěnách normalizuje tak, aby odpovídaly čelnímu pohledu, který je vhodný pro strojové čtení. Jiný systém [32] rozeznává 20–30 různých součástek při montáži

na pásu a umí určit i polohu jejich zakrytých detailů. Přímo na pracovišti může být přeučen na nové typy součástek, které mu jsou předváděny spolu s vysvětlujícím dialogem.

Většina programů pro analýzu scén pracuje jen s jedním obrazem scény. Binokulární vidění, které využívá výhod stereoskopické dvojice obrazů, dává více informace k posouzení hloubky a objemu těles. Při strojovém zpracování je dosud velkým problémem identifikace odpovídajících si párových bodů v obou obrazech. LEVAŠOV [17] referoval o novém způsobu identifikace odpovídajících si hran v párových obrazech.

Nověji byly rozvíjeny metody analýzy reálných scén, exteriérů i interiérů. Tyto scény jsou charakteristické množstvím polotónů a pozvolných přechodů mezi nimi. Zejména obrazy exteriérů obsahují jen malý počet přímých kontur. K analýze reálných scén se proto lépe hodí metoda segmentace na oblasti, která rozděluje obraz do homogenních oblastí tak, aby každá z nich mohla být přiřazena jedinému tělesu. Kritériem homogennosti může být intenzita odraženého světla, barva, textura, tedy drobná kresba na povrchu těles, nebo stejný vektor rychlosti pohybu. Lidské oko využívá všech těchto charakteristik současně a patrně i některých dalších. Na konferenci bylo několik příspěvků věnováno využití jednotlivých charakteristik k segmentaci obrazu, bylo referováno i o komplexních systémech analýzy scén. YAKIMOVSKI a FELDMAN [35] popisují hierarchickou metodu analýzy reálných scén, která kombinuje metody umělého intelektu a metody rozpoznávání obrazců. TENENBAUM [31] referoval o interaktivním systému analýzy exteriérových scén. Experimenty byly prováděny se scénami, které pozoruje řidič automobilu při jízdě po silnici. Zapojením jednoduchých faktů o sémantice tohoto druhu scén (např. „vozovka je šedá", „automobily jsou na vozovce", „nebe je modré a je nahoře" atd.) bylo možno snížit počet oblastí, na něž byl obraz rozdělen v prvních fázích analýzy, z několika set na několik desítek, kterým bylo možno dát odpovídající interpretaci. Tento systém byl použit i k analýze interiérových scén; zde se ukázaly velmi užitečné znalosti o poměrné výšce předmětů (stůl, skříň, židle apod.). Zatím patří tento systém k nejrozvinutějším.

Studium hmatových čidel je motivováno především aplikacemi v průmyslu. Jde o to, aby manipulátor nepoškodil křehké součásti při jejich uchopení, ale zkoumají se i možnosti rozpoznávání různých součástí hmatem. Konstrukcí hmatových čidel a schopností rozeznat různé součásti při jediném uchopení nebo při aktivním ohmatání se zabýval příspěvek [10].

Robotika. S rozvojem automatizace se v průmyslu zavádí řada různých průmyslových manipulátorů. Jde o víceúčelová zařízení, která je možno jednoduše programovat tak, aby prováděla některé výrobní úkony v těžkých provozech, při práci u pásu apod. Manipulátory mohou ovládat jednoduché nástroje; po zaučení jsou schopny imitovat předvedené pohyby lidské ruky například při lakování stříkací pistolí. Jejich lehká přizpůsobivost dovoluje využít je k automatizaci výroby i malých sérií. Zatím se konstrukce průmyslových manipulátorů vyvíjela nezávisle na výzkumu umělého intelektu. Je zřejmé, že efektivnost těchto zařízení by se zvýšila, kdyby byla doplněna o některé prvky umělého intelektu. Podstatně by se rozšířil i obor jejich použitelnosti. Zmínili jsme se již o pokusech využít metod analýzy scény při konstrukci průmyslových manipulátorů nové generace. Vedle senzorů se zkoumají možnosti dát těmto zařízením

schopnost řešit úlohy, která by mohla být využita ke korekci chyb ve výrobě a k jejich předcházení.

Od počátku výzkumu umělého intelektu byla robotika chápána jako důležitá disciplína, která přináší nové podněty a využívá principů umělého intelektu. Mezi první typy robotů s prvky umělého intelektu patří systémy „oko–ruka", které vznikly spojením manipulátoru – ruky – s okem televizní kamery a s počítačem. V těchto systémech je vnější svět tvořen pracovním stolem, který je snímán televizní kamerou a na kterém manipulátor staví různé konstrukce z kostek. Tato konfigurace má v podstatě pevnou perspektivu záběru a je vhodná ke studiu analýzy scény i k modelování zpětné vazby mezi kamerou a manipulátorem. Tomuto typu robotů bylo věnováno jen poměrně málo příspěvků. CHIEN a JONES [13] referovali o metodě sledování a rozpoznávání pohybujících se předmětů v reálném čase. Tato metoda se ukázala výhodná při zpětné vazbě a bere v úvahu i změnu obrazu, ke které dojde při uchopení předmětu manipulátorem.

Zájem byl soustředěn ke studiu mobilních robotů. Hlavním problémem systémů tohoto typu je orientace a identifikace předmětů ve vnějším prostředí, jehož perspektiva se pohybem může výrazně měnit. Zde vystupuje do popředí potřeba takové organizace znalostí, která by orientaci umožňovala a mohla by být podle změn situace snadno modifikována. Jeden z prvních mobilních robotů byl použit k modelování úlohy „opice a banán" (podrobnosti lze najít také v článku [22]). Při projektu nového mobilního robota, který je pokračováním stanfordského projektu [21], vycházeli jeho tvůrci z názoru, že úlohy řešené robotem je třeba více připodobnit reálným situacím: řešení úlohy „opice a banán" vyžaduje jen dva kroky, to znamená, že dosažení cíle předpokládá jen jeden úkon, který ze zadání úlohy přímo nevyplývá. Řešení jednoduchých praktických úloh předpokládá zpravidla více takových mezikroků, navíc by každé řešení mělo přihlížet i k nákladnosti jednotlivých operací.

Nově konstruovaný robot JASON ([29]) se pohybuje na kolech v prostředí umělého interiéru podobně jako jeho předchůdce. Je vybaven televizní kamerou, dálkoměry a laserovým hledáčkem. Na rozdíl od svého předchůdce blok řešení úloh využívá sémantických sítí místo deduktivního postupu. Tato úprava přinesla velké úspory času potřebného k řešení a umožňuje, aby robot řešil úlohy, které vyžadují čtyři i více mezikroků. Použití každé operace je oceněno určitým počtem jednotek a hledají se jen taková řešení, jejichž náklady nepřevýší stanovený limit. Autoři projektu předpokládají, že v krátké době bude možné přizpůsobit projekt tak, aby byl robot schopen pohybovat se v běžném prostředí interiérů velkých budov (úřadů a továren), kde by mohl sloužit k ovládání úklidových strojů. V projektu je proto kladen velký důraz na systém zabezpečení, který má zabránit tomu, aby robot neohrozil osoby, které se vyskytnou v jeho blízkosti nebo aby nezpůsobil škody na zařízení.

Skupina sovětských odborníků vedená N. M. AMOSOVEM [7] sestrojila mobilní robot, který se pohybuje v reálném exteriéru. Jejich robot podobně jako systémy Minského využívá aktivních sémantických sítí. Řídicí systém robota tvoří síť, která je rozdělena do několika oblastí (rozpoznávání situace, hodnocení, řešení úloh a řízení manévrů). Robot je schopen orientace, umí rozpoznat překážky na cestě k cíli (zeď, nebezpečný sklon terénu apod.) a vytváří strategie k jejich překonání. Projekt předpokládá, že

v budoucnu bude robot doplněn manipulátorem. Dosud jsme mluvili o robotech, které se pohybují na kolech. Pro pohyb v prostředí se složitým reliéfem, jaký je například v lomech, nebo se může naskytnout při kosmickém výzkumu, by lépe vyhovoval robot, který se přemisťuje pomocí nohou. Tento způsob lokomoce se intenzívně studuje; bylo referováno o projektech dvounohého, čtyřnohého i šestinohého robota a o problémech, které přináší mechanika takových systémů a strategie pohybu v nebezpečném terénu.

Současný rozvoj robotiky naléhavě klade otázku po obecné teorii integrovaných systémů robotů. O základech takové teorie referoval M. WEINSTEIN [34]. Autor zvolil pro svou teorii název strukturovaná robotika jako výstižnou analogii ke strukturovanému programování. Perspektivám rozvoje a využití robotiky byla věnována přednáška E. FREDKINA. Vyslovil názor, že příznivý cenový vývoj na trhu hardwaru pro potřeby robotiky, který i při citelné inflaci je ve znamení stability nebo i snižování cen, dává předpoklady k rozsáhlému využití výsledků robotiky v blízké budoucnosti. Konstrukce integrovaných robotů s mnohostranným použitím bude důležitým, ale ne jediným směrem vývoje. Většina dnes používaných strojů a zařízení vyžaduje odborný dohled a údržbu vysoké technické úrovně. Profesor Fredkin vyslovil názor, že je třeba, aby strojům bylo dáno vědomí sebe samých: „Strojům je třeba dát schopnost cítit bolest a měly by znát i pocit hladu a žízně". Navíc by stroje měly být schopny komunikovat živým jazykem. Již dnes je možné doplnit moderní stroje o vhodná čidla a využít schopnosti řešení úloh k tomu, aby stroje samy mohly posoudit jejich údaje. Tím by bylo možno vyloučit případy, kdy při práci v nevhodném režimu dojde k poškození zařízení nebo výrobků. Uvedl i příklady dialogů, ke kterým by v takových případech mohlo dojít mezi strojem a obsluhou. Uplatnění této tendence lze očekávat v nejbližších letech. Další směr aplikací naznačují pokusy využít integrované systémy robotiky při zaučování nových pracovníků do výroby. Zatím se experimentovalo se zaučením do montáže a demontáže výrobků, robot-mistr kontroluje stav montáže televizní kamerou a je schopen najít chybu v postupu a poradit způsob, jak ji odstranit.

Pro rozvoj robotiky jsou dobré přepoklady i u nás. První konference o aplikované robotice [5] se konala loni v Českém Krumlově a podobná konference se bude konat v září 1977 v Karlových Varech. V materiálech těchto konferencí lze získat přehled o stavu výzkumu u nás.

Závěr. Výzkum umělého intelektu dnes tvoří rozvinutou a samostatnou disciplínu vědy o počítačích. Řešení základních otázek umělého intelektu má i svou psychologickou stránku, která může přispět k prohloubení našeho chápání lidské inteligence. Rozvoj umělého intelektu přinesl i řadu aplikací nového druhu. Dosti podrobně jsme se zmínili o možnostech využití prvků umělého intelektu v průmyslu. Principy umělého intelektu však nacházejí zajímavé uplatnění i ve vědě. Využívá se jich v některých systémech strojového stanovení diagnóz, v automatickém programování, typickou ukázkou aplikací tohoto druhu je i projekt DENDRAL ([38]), který se uplatnil v chemii i dalších přírodních vědách. V těchto aplikacích zaujímá důležitou roli tzv. formování hypotéz (teorií) na základě příkladů nebo experimentálních údajů. V tomto směru aplikací se u nás dosáhlo významných výsledků v teorii automatizovaného výzkumu

[12]. Jiným zajímavým polem pro využití principů umělého intelektu je i využití počítačů ve výuce (computer-aided instruction).

V diskusích na konferenci se častokrát zdůrazňovalo, že metody umělého intelektu vycházejí ze zdravých matematických základů a významně stimulují výzkum v moderních partiích matematiky. Nemůže být pochyb o tom, že umělý intelekt je novou a perspektivní oblastí aplikací matematiky.

Literatura

4 IJCAI = 4th International Joint Conference on Artificial Intelligence, sborník konference byl vydán ve dvou verzích, rusky a anglicky. Citace se odvolávají na ruskou verzi *Trudy IV. méždunarodnoj objedinënnoj konferencii po iskusstvënom intélektu* (11 + 1 svazek). Anglickou verzi *Advance papers of the 4th International Joint Conference on Artificial Intelligence* (2 svazky) je možno objednat na adrese AI Laboratory, Publication Department, 545 Technology Square, Cambridge, Massachusetts 02139, USA.

[1] E. B. HUNT, *Artificial Intelligence,* Academic Press 1975.
[2] P. C. JACKSON, *Introduction to Artificial Intelligence,* Masson & Lipscomb, New York 1974.
[3] N. J. NILSSON, *Problem-Solving Methods in Artificial Intelligence,* McGraw-Hill Book Comp. New York 1971 (vyšlo v ruském překladu Mir, Moskva 1973).
[4] N. J. NILSSON, *Artificial Intelligence,* ve sborníku Information Processing 74, North Holland Publishing Company, 1974.
[5] *Aplikovaná robotika,* materiály konference vydal Dům techniky ČSVTS České Budějovice, 1975.
[6] G. M. ADEL'SON-VELSKIJ, V. L. ARLAZAROV, M. V. DONSKOJ, *O stroenii važnovo klassa perebornych zadač i putjach sokraščenija perebora v nich,* 4 IJCAI 1975 sv 3, 1—10.
[7] N. M. AMOSOV, E. M. KUSSUL, V. D. FOMENKO, *Transportnyj robot s setěvoj sistěmoj upravlenija,* 4 IJCAI 1975, sv. 9, 1—20.
[8] H. GELERNTNER, *Realisation of a geometry theorem-proving machine,* Proc. Int. Conf. Information Processing 1959, Paris Unesco House, 273—282.
[9] V. M. GLUŠKOV, K. P. VĚRŠININ, J. V. KAPITONOVA, A. A. LETNIČEVSKIJ, N. P. MALEVANYJ, V. F. KOSTRYKO, *O formal'nom jazyke dlja zapisi matěmatičeskich těkstov,* 4 IJCAI 1975, sv. 1, 101—111.
[10] V. S. GURFINKEL, A. J. ŠNEJDĚR, E. V. GURFINKEL, *Někotorije voprosy očuvstvlenija robotov i manipuljatorov,* 4 IJCAI 1975, sv. 9, 67—75.
[11] L. D. ERMAN, V. R. LESSER, *Mnogourovnëvaja organizacija dlja rešenija zadač s ispol'zovanijem něskol'kich, različnych i vzaimodějstvujuščich istočnikov znanija,* 4 IJCAI 1975, sv. 3, 227—246.
[12] P. HÁJEK, *On generation of Inductive Hypotheses,* preprint.
[13] R. T. CHIEN, V. C. JONES, *Vosprijatije dvižuščichsja objektov i koordinaty ruka — glaz,* 4 IJCAI 1975, sv. 9, 156—172.
[14] A. P. JERŠOV, I. A. MEL'ČUK, A. S. NARIŇANI, *RITA — experimental'naja sistěma vzaimodějstvija s EVM na jestěstvěnnom jazyke,* 4 IJCAI 1975, sv. 6, 11—19.
[15] I. KRAMOSIL, *A Note on Deduction Rules with Negative Premises,* 4 IJCAI 1975.
[16] D. B. LENAT, *Knowledge as interfacing experts,* 4 IJCAI 1975, sv. 2, 63—97.
[17] O. LEVAŠOV, *O vozmožnom mechanizme binokul'jarnovo slijanija,* 4 IJCAI 1975, sv. 11, 41—46.
[18] V. S. LOZOVSKIJ, *Ob odnom podchodě k organizacii informacionnoj bazi celenapravlennych sistěm,* 4 IJCAI 1975, sv. 7, 18—27.
[19] M. MINSKY, *Frame-systems, AI-Memo.* Massachusetts Institute of Technology (1974).
[20] A. MARTELLI, U. MONTANARI, *Algoritm poiska puti minimal'noj stoimosti v funkcional'no vzvěščenom grafě, osnovannyj na mětodě dinamičeskogo programirovanija,* 4 IJCAI 1975, sv. 1, 144—157.

[21] N. J. NILSSON, *Mobile Automaton,* Proc 1 IJCAI 1969, 509—520.
[22] Z. RENC, *Myšlení a umělá inteligence,* Pokroky matematiky, fyziky a astronomie *21* (1976), 212—219.
[23] CH. RIEGER, *One System for Two Tasks: A Commonsense Algorithm Memory that Solves Problems and Comprehends Language,* Tech. Rep. 435 Computer Science Series, University of Maryland (1976).
[24] CH. RIEGER, *Semantičeskije naloženija, mechanizm interpretacii značenija predloženija v kontěkstě,* 4 IJCAI 1975, sv. 6, 138—153.
[25] J. A. ROBINSON, *A machine oriented logic based on the resolution principle,* Journal ACM *12* (1965), 23—41.
[26] E. SANDEWALL, *Predstavlenija o rabotě s bazami dannych na LISPě,* 4 IJCAI 1975, sv. 4, 149—175.
[27] P. SGALL, E. HAJIČOVÁ, *Otricanije i rema v dialoge čelověk-mašina,* 4 IJCAI 1975, sv. 7, 122—133.
[28] R. SCHANK, R. ABELSON, *Scenarii, plany i znanije,* 4 IJCAI 1975, sv. 6, 208—220.
[29] M. H. SMITH, L. STEPHEN COLES, A. M. ROBB, P. L. SINCLAIR, R. P. SOBEK, *The System Design of Jason: A Computer-Controlled Mobile Robot,* Proc. 1975 Int. Conference on Cybernetics and Society, San Francisco, California.
[30] O. ŠTĚPÁNKOVÁ, I. M. HAVEL, *A Logical Theory of Robot Problem Solving,* Artificial Intelligence *7* (1976), 129—161.
[31] J. M. TENENBAUM, S. WEYL, *Podsistěma analyza oblastěj dlja intěraktivnovo analiza scen,* 4 IJCAI 1975, sv. 8, 153—165.
[32] S. TSUJI, A. NAKAMURA, *Raspoznavanije objekta v nabore promyšlennych dětalej,* 4 IJCAI 1975, sv. 8, 166—181.
[33] T. WINOGRAD, *Procedures as a representation for data in a computer program for understanding natural language,* Ph. D. Thesis, MIT, MAC-TR-84 (1971).
[34] M. WEINSTEIN, *Structured Robotics,* 4 IJCAI 1975, sv. 9, 42—55.
[35] Y. YAKIMOVSKI, S. FELDMAN, *Scene Analysis Using Semantic Region Growing,* 4 IJCAI 1975, sv. 8, 246—262.
[36] H. YODA, J. MOTOIKE, M. EJIRI, *Metod kodirovanija napravlenij i jego primeněnije dlja analiza izobraženij,* 4 IJCAI 1975 sv. 8, 29—47.
[37] W. W. BLEDSOE, *Non-resolution Theorem-proving,* preprint Dept. Mathematics and Comp. Science, ATP — 29 (1975), University of Texas, Austin.
[38] B. G. BUCHANAN, J. LEDERBERG, *Heuristic DENDRAL: A Program for Generating Explanatory Hypotheses in Organic Chemistry,* Machine Intelligence *4* (1969), 209—254.

Zrodí se velmistrovský šachový stroj?

Jméno M. M. BOTVINNIKA je jistě dobře známo i těm čtenářům Pokroků, kteří nehrají šachy a nečtou šachovou literaturu. Mistr světa v šachu z let 1948—57, 1958—9 a 1961, je inženýr-energetikem a dosáhl titulu doktor technických věd. Již asi 10 let se intenzívně zabývá konstrukcí programu šachové hry pro počítače. V r. 1968 vydal knížku *Algoritmus hry v šachy,* ve které vyložil svůj přístup k řešení tohoto úkolu; práci na něm zahájil v r. 1972 po své šedesátce. V minulém roce vyšla druhá knížka M. M. Botvinnika *O kybernetickém cíli hry* s obsáhlou předmluvou N. A. KRINICKÉHO, ve které se ohlašuje brzké splnění úkolu.

Seznamme se aspoň s částí informací obsažených v této předmluvě, které jsou zajímavé i pro širší veřejnost. Hlubší zájemci o problematiku jistě sáhnou po citované knížce v ruském originálu (má 84 stran malého formátu, cena 2,30 Kčs).

Již v r. 1949 vyslovil americký matematik C. SHANNON své představy o možnosti strojové hry v šachy. Předpokládal, že se pro každou