

literă. Deși simplă, această metodă are un dezavantaj esențial. O schimbare minoră în condițiile de realizare a sarcinii (de exemplu modificarea poziției unui obiect) face imposibilă îndeplinirea acesteia de către robot.

O alternativă la acest mod de instruire o constituie programarea textuală, care constă în a furniza robotului instrucțiunile de efectuare a sarcinii într-o formă simbolică, similară cu programul unui calculator electronic. Instrucțiunile programului descriu mișcările pe care trebuie să le efectueze robotul. De exemplu, programul care comandă robotul să ia în mână placa din figura 1:

- deschide mina
- apropie-te de placă
- incetinește viteza
- mergi la placă
- inchide mina (1)

În general este mai dificil de programat acest fel de robot. Se pot însă programa operații mai complexe și totodată acest mod de abordare deschide calea realizării unor roboți inteligenți. De exemplu, în memoria robotului se pot introduce informații permanente privind diversele obiecte pe care le poate manipula. Robotul ar putea avea cunoștințe despre forma plăcilor pentru a le recunoaște din mai multe obiecte. De asemenea ar ști de unde să apuce o placă, ce forță de prindere trebuie să exercite pentru a nu o scăpa etc. Totodată, robotul ar ști ce mișcări trebuie să efectueze pentru a realiza operații tehnologice elementare. Pentru apucarea unui obiect, el ar ști că va trebui să deschidă mina, să se apropie de obiect, să cuprindă mina la obiect și să o închidă. În consecință, ar fi suficient să i se spună robotului: apucă placa, deoarece el știe că pentru aceasta are de realizat mișcările din programul (1). Prin asocierea mișcărilor robotului la operațiile tehnologice elementare se modelează acțiunile reflexive ale oamenilor.

Trebuie subliniat că un astfel de robot realizează un salt important pe

scara evoluției roboților. Spre deosebire de robotul anterior, căruia i se indică mișcările de efectuat, acestui robot i se indică operații tehnologice, rămânând la latitudinea sa să aleagă mișcările cele mai potrivite pentru realizarea operațiilor. Sarcina de a fixa placa pe grindă i s-ar comunica unui astfel de robot sub forma:

- apucă placa
- apucă placa pe grindă cu orificiul peste filetul grinzii
- apucă șurubul
- introduce șurubul în orificiul plăcii
- înșurubează (2)
- Unui robot și mai inteligent i se poate pur și simplu comanda:
- prinde placa de grindă prin șurub (3)

Pentru a înțelege și realiza o astfel de sarcină, robotul necesită cunoștințe încă mai complexe despre lumea înconjurătoare, cunoștințe pe baza cărora să poată găsi o modalitate de îndeplinire a sarcinii primite, practic, o succesiune de operații tehnologice elementare de genul celor din programul (2). În esență, cunoștințele necesare se referă la posibilitățile de descompunere ale unei sarcini complexe în sarcini mai simple. Robotul realizează un proces similar cu rezolvarea problemelor de către oameni.

În cazul exemplului dat, robotul descompune succesiv sarcina primită în sarcini mai simple, după cum se indică în figura 2. În acest fel, robotul și-a făcut un plan pentru îndeplinirea sarcinii din programul (3), plan care este chiar programul (2).

O alternativă la a-i da robotului comanda: prinde placa de grindă prin șurub, este aceea de a-i indica rezultatul dorit: placa atașată rigid de grindă (4).

Urmează ca robotul să stabilească operațiile de executat pentru atingerea acestui rezultat.

Deoarece un robot inteligent necesită o mare putere de calcul, activitatea sa

(Continuare în pag. 23)

## Comunicarea în limbaj natural cu calculatorul

DAN TUFIȘ

**PROBLEMATICA** prelucrării limbajului natural este una dintre cele mai vechi în scurta istorie a inteligenței artificiale. Inițial s-a pornit de la ideea că mașinile electronice ar putea fi programate ușor pentru a realiza traducerea unui text dintr-o limbă în alta. Ideea se sprijinea pe o premisă falsă, și anume că procesul de traducere poate fi privit ca o secvență de operații de tipul următor:

1. Citește un cuvânt din textul scris în limba L1.
2. Caută în dicționarul limbii L1 adresa cuvintului corespunzător din dicționarul limbii L2 și memorează cuvântul găsit la adresa respectivă.
3. Dacă mai sînt cuvinte în text, mergi la punctul 1, altfel mergi la punctul 4.
4. Aranjează cuvintele memorate (aparținind limbii L2) respectînd topica limbii L2 și tipărește traducerea astfel obținută.

Simplitatea algoritmului a stîrnit un deosebit entuziasm și, în consecință, au fost alocate pentru realizarea unor programe de traducere mari fonduri de resurse umane și materiale. De pildă, în S.U.A. a fost alocat un buget de 20 000 000 de dolari pentru cercetări în domeniul traducerii automate.

Rezultatele au fost sub așteptări și în 1966 raportul ALPAC prezentat în fața Consiliului Național al Cercetării din S.U.A. arăta că, deși s-au depus eforturi uriașe, nu s-a putut realiza nici un sistem de traducere automată a textelor generale care să ofere traduceri de calitate. Eșecul se datora, evident, ignorării unor aspecte esențiale ale limbii: semantica și pragmatica. Limbajele diferă structural. Majoritatea cuvintelor au mai mult decît un singur sens.

O traducere mot à mot nu poate da nici o indicație asupra sensului corespunzător; acesta trebuie determinat din context. Mai mult, mulțimea sensurilor unui cuvînt într-o limbă poate să nu fie aceeași cu mulțimea sensurilor pentru cuvîntul corespunzător în altă limbă. Cel mai cunoscut exemplu de eșec în traducerea cu calculatorul, eșec determinat de ignorarea polisemiei cuvintelor, este furnizat de rezultatul obținut prin conversa din engleză în rusă și înapoi în engleză a aforismului: „The spirit is willing but the flesh is weak”, care, în traducere liberă, ar însemna: „Sufletul este puternic, dar trupul e slab”. Unul din rezultate a fost: „The wine is agreeable, but the meat has spoiled”, care, tradus, ar corespunde frazelor: „Vinul este agreeabil, dar carnea s-a stricat”.

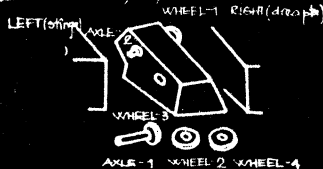
Ceea ce s-a învățat din experiența primelor încercări de prelucrare automată a limbajului natural a fost că acest lucru poate fi făcut în mod inteligent, dar este necesar ca mașina să fie capabilă să descopere sensul cuvintelor, propozițiilor, frazelor și textelor prelucrate. Înțelegerea unui text implică aproape întotdeauna procese deductive și asociații de idei pe care omul cu greu și le poate conștientiza.

Pentru ca o mașină să poată înțelege un text în limbaj natural, mecanismele înțelegerii trebuie modelate și implementate sub forma unor programe. În-

### (INITIAL STATE OF THE WORLD)

- (HAND-IS-FREE)
- (HAND-IS-AT-NEST)
- (AXLE-2-IS-THRU-HOLE-1)
- (WHEEL-1-IS-ATTACHED-TO-RIGHT-END-OF-AXLE-2)
- (LEFT-END-OF-AXLE-2-IS-FREE)
- (HOLE-2-IS-FREE)
- (WHEEL-3-IS-ATTACHED-TO-RIGHT-END-OF-AXLE-1)
- (LEFT-END-OF-AXLE-1-IS-FREE)
- (CENTER-OF-AXLE-1-IS-FREE)
- (CENTER-OF-WHEEL-2-IS-FREE)
- (CENTER-OF-WHEEL-4-IS-FREE)
- (CARBODY-IS-UNBLOCKED-TO-RIGHT)
- (CARBODY-IS-UNBLOCKED-TO-LEFT)

Situația în care robotul și se cere să asambleze mașinuta



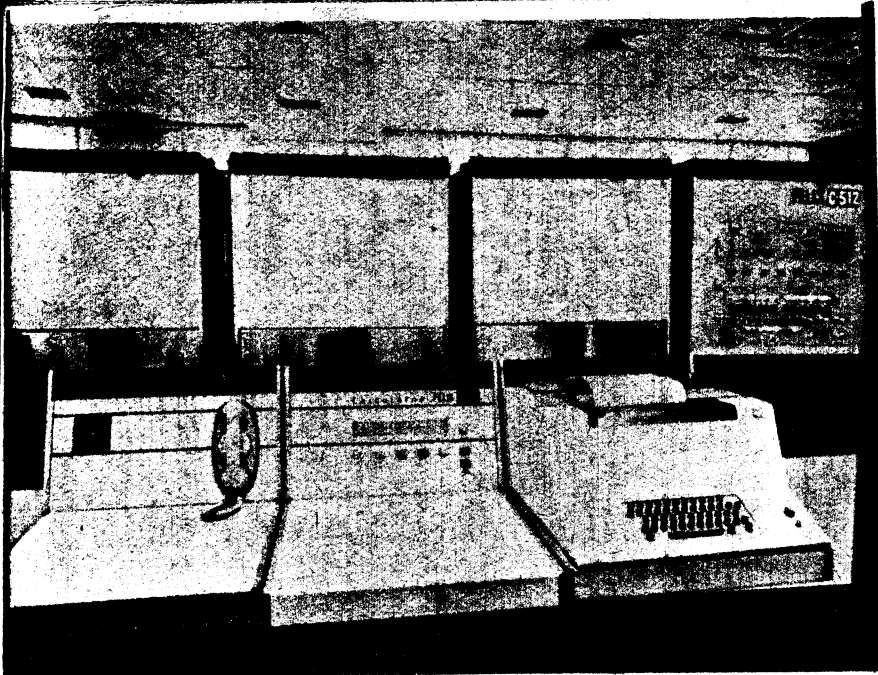
### 3 Exemple de specificare a unei sarcini de asamblare pentru un robot inteligent

#### (INSTANTIATED GOAL)

- (AXLE-2-IS-THRU-HOLE-1)
- (AXLE-1-IS-THRU-HOLE-2)
- (WHEEL-2-IS-ATTACHED-TO-LEFT-END-OF-AXLE-2)
- (WHEEL-4-IS-ATTACHED-TO-LEFT-END-OF-AXLE-1)
- (WHEEL-1-IS-ATTACHED-TO-RIGHT-END-OF-AXLE-2)
- (WHEEL-3-IS-ATTACHED-TO-RIGHT-END-OF-AXLE-1)

Sarcina robotului este mașinuta asamblată





## Sisteme expert

IOAN GEORGESCU, ANCA HOTĂRAN

SISTEMELE expert sînt programe aplicative de inteligență artificială bazate pe cunoaștere de înaltă specializare, capabile să ofere modalitățile de raționament și intuiție, similare celor pe care experții umani le folosesc atunci cînd aplică cunoașterea lor pentru rezolvarea de probleme într-un domeniu de specialitate, pe care îl vom denumi în continuare domeniu de expertiză.

### EXPERTI UMANI ȘI SISTEME EXPERT

Prin expert uman se înțelege, de obicei, un specialist într-un domeniu de expertiză specific care-și folosește competența profesională dînd utilizatorilor consultanță de specialitate, în vederea aplicării unor metode și tehnici, sau pentru a înțelege fapte și fenomene din domeniul respectiv. Competența sa constă în capacitatea de a înțelege problemele utilizatorilor, de a recunoaște din întrebările acestora cum poate ajuta la rezolvarea problemelor aplicarea cunoașterii experte, de a putea transforma problemele în modele pe care le poate interpreta cu cunoștințele de care dispune și cu capacitățile sale de a raționa, de a rezolva efectiv probleme, de a da explicații asupra procesului de raționament și de rezolvare pe care le-a folosit la o problemă dată, de a comunica rezultatele într-o formă inteligibilă, de a aplica și combina corect soluțiile.

Aceleași caracteristici și capacități sînt cerute și sistemelor expert artificiale. Istoria sistemelor expert începe în 1964 cu programul DENDRAL, elaborat la Universitatea Stanford, S.U.A., conceput pentru a sprijini pe cercetătorii chimiști la generarea, enumerarea și notarea moleculelor de substanțe organice cu structuri arborescente și ciclice. Îmbunătățit și dezvoltat ani la rînd de către autorii săi, programul DENDRAL a servit drept prim exemplu referitor la puterea pe care metodele inteligenței artificiale o demonstrează în cazul aplicațiilor de mare complexitate.

În raport cu aplicațiile ale calculatoarelor avînd obiective asemănătoare, dar care au fost realizate cu ajutorul tehnicilor de programare tradiționale, avantajele sistemelor expert rezidă în puterea de a rezolva probleme pe baza unui mare număr de cunoștințe specifice domeniului, în posibilitatea de a reprezenta piese de cunoaștere complexe, în capacitatea de a învăța, precum și în flexibilitatea arătată prin modul de planificare și strategiile de rezolvare a problemelor.

În ultimul deceniu, sistemele expert au trecut granița laboratoarelor, intrînd în activitatea cotidiană, mai cu seamă datorită faptului că utilizatorii sistemelor de prelucrare automată a datelor au devenit conștienți de limitele aplicațiilor programate prin metodele convenționale. Sfera de interes s-a diversificat rapid și acoperă acum principalele domenii ale științei și tehnicii, precum și ale activităților economice și sociale. Iată, în continuare, o prezentare succintă a citorva sisteme expert reprezentative.

● În domeniul chimiei, sistemul DENDRAL menționat mai înainte generează combinații aciclice și ciclice de structuri, pornind de la spectre de masă sau formule cantitative de compusi organici, cu restricții impuse privind existența unor substructuri particulare, elaborînd totodată noi reguli referitoare la

trucit mecanismele înțelegerii umane a limbajului nu sînt desușite, este evident că performanța și competența lingvistică ale unui calculator dotat cu un model computațional al înțelegerii limbajului vor depinde de apropierea acestui model de fenomenul pe care încearcă să-l modeleze.

Apare astfel justificat interesul manifestat de specialiștii din domenii distincte ale cunoașterii umane — lingvistică, psihologie, filozofie, sociologie, logică, matematică, inginerie etc. — pentru acest domeniu de cercetare a inteligenței artificiale.

O altă dimensiune a cercetărilor în domeniul prelucrării limbajelor naturale este cea pur pragmatică avînd drept scop declarat „democratizarea” accesului la uriașa putere de calcul și memorare a calculatoarelor electronice. Deși nu se poate spune că s-a reușit obținerea unui model satisfăcător al procesului de înțelegere umană a limbajului natural, rezultatele actuale în domeniul prelucrării automate a limbajului natural sînt extrem de încurajatoare și de utilitate practică indiscutabilă. Fără îndoială, domeniul cel mai fertil aplicațiilor de comunicare în limbaj natural cu calculatoarele este cel al bazelor de date private, dar mai ales publice. Pînă la apariția sistemelor de înțelegere și prelucrare a limbajului natural accesul la informațiile unei baze de date era condiționat de cunoașterea unui anumit limbaj de programare și a structurii informației codificate în baza de date.

Sistemul TRAVELER (realizat de W. Woods) permite unui utilizator nespecialist în calculatoare să afle informații referitoare la traficul aerian în S.U.A. Astfel el poate întreba un calculator:

„Which flight from Boston to Chicago leaves Boston at 8:00?” (Ce cursă de la Boston la Chicago pleacă din Boston la 8:00?)

Aflarea aceleiași informații s-ar putea face codificînd întrebarea într-un limbaj formal ca mai jos:

(FOR THE XI/  
FLIGHT: CONNECT (XI, BOSTON, CHICAGO)  
AND DEPART (XI, BOSTON) AND EQUAL (DTIME  
(XI, BOSTON, 8:00)); LIST (XI)).

Este evident că acest din urmă mod de acces la informația deținută de calculator este posibil doar pentru specialiști.

Un alt sistem impresionant de acces în limbaj natural la informațiile deținute de un calculator este sistemul LUNAR (realizat de W. Woods, S. Kaplan și N. Webber), ce răspunde la întrebări pri-

vind analizele chimice ale rocilor lunare și compoziția solului selenar, obținute de misiunea spațială APOLLO-11.

Din aceeași clasă de sisteme de dialog în limbaj natural mai pot fi citate: INTELLECT (Harris), PLANES (Waltz), RENDEZVOUS (Codd), LIFER (Hendrix) etc.

Actualmente, în întreaga lume se fac cercetări privind utilizarea limbajului natural pentru proiectarea asistată de calculator și instruirea și comanda roboților industriali. Se apreciază că în curînd așa-numitele calculatoare personale vor putea fi utilizate prin intermediul limbajului colocvial.

Și în informatica românească, deși foarte tînără, problematica prelucrării limbajelor naturale a fost abordată de specialiști din diferite centre de cercetare: București, Iași, Galați, Timișoara. În prezent sînt implementate două sisteme de prelucrare a textelor în limba română cu calculatoare realizate în țara noastră.

Sistemul SIRLIN (realizat de L. Milea), implementat la Centrul teritorial de calcul Galați pe calculatoarele din familia FELIX, permite utilizatorilor să afle, întrebînd în limba română, date despre personalul unei întreprinderi.

Un sistem de dialog mai evoluat este SDLR (autori: D. Tufiş, D. Cristea și S. Mănduțianu) care a fost implementat la Institutul Central pentru Conducere și Informatică București pe minicalculatoarele din familiile CORAL și INDEPENDENT.

SDLR permite instruirea calculatorului în limbaj natural și obținerea de răspunsuri deductive la întrebări. Sistemul este general și poate fi particularizat la diferite aplicații. O primă aplicație reală o constituie utilizarea sa pentru informarea abonaților la Biblioteca națională de programe.

Deși nivelul actual al rezultatelor obținute în întreaga lume în domeniul înțelegerii de către calculatoare a limbajelor naturale este foarte departe de performanța și competența lingvistică a mașinilor umanoide din literatura și filmul de anticipație, progresele înregistrate în ultimii 10 ani în acest domeniu au creat, cu precădere în rîndul nespecialiștilor, convingerea că problematica înțelegerii limbajului, cel puțin conceptual, este rezolvată sau aproape rezolvată. Mașina electronică ce ar înțelege limbajul natural în întreaga sa expresivitate a devenit o imagine credibilă, dar rămîne încă o ficțiune.