

PROGRAME INTELIGENTE PENTRU ASISTAREA ÎNVĂȚĂRII

ing. Ștefan Trăușan-Matu

Universitatea "Politehnica" București

Centrul de Cercetări Avansate în Învățare Automată,
Prelucarea Limbajului Natural și Modelare
Conceptuală al Academiei Române

Rezumat: lucrarea propune câteva idei de plecare în construirea unor sisteme inteligente pentru asistarea cu calculatorul a proceselor de instruire. Aceste idei sunt rezultatul, atât al unui studiu asupra teoriilor învățării din perspective filosofică, psihologică și a inteligenței artificiale, cât și al analizei evoluției sistemelor informatizate de asistare a învățării.

Cuvinte cheie: învățare, inteligență artificială, sisteme bazate pe cunoștințe, sisteme de asistare cu calculatorul a proceselor de învățământ.

1. Introducere

Un domeniu al activității umane, deosebit de important și cu multiple implicații în toate domeniile vieții culturale, economice și sociale, este învățământul. Caracterul deosebit de complex al acestuia și necesitatea sporirii eficienței și a calității sale, pe de o parte, și progresele informaticii, pe de alta parte, au condus la preocupări intense de a dezvolta și de a integra în procesele de învățământ sisteme de instruire care folosesc calculatorul. Complexitatea problemelor pe care le ridică însă realizarea de sisteme suficient de flexibile pentru instruirea asistată de calculator a dus la ideea integrării unor tehnici specifice inteligenței artificiale.

Domeniul inteligenței artificiale își propune realizarea de sisteme informatice performante în rezolvarea de probleme în domenii care de obicei necesită activitatea unor specialiști umani. Cercetările în inteligența artificială au drept rezultat, nu numai extinderea remarcabilă a posibilităților de aplicare a calculatoarelor, ci și sporirea cunoașterii noastre despre înseși procesele cognitive umane. De aceea, cercetările efectuate în inteligența artificială sunt de două ori importante.

Cercetările prezentate în lucrarea de față urmăresc mai multe obiective aflate în interdependență, după cum urmează. În primul rând, se scontează găsirea unor modalități originale de integrare a diverselor tipuri de cunoștințe implicate în procesul de instruire (cunoștințele referitoare la domeniul în care se face instruirea, cunoștințele presupuse ale celui instruit și cunoștințe generale referitoare la activitățile de instruire). De asemenea, se va încerca găsirea unor modalități cât mai eficiente de

rafinare a bazelor de cunoștințe implicate și de achiziție de noi cunoștințe.

În al doilea rând, din punct de vedere cognitiv, rezultatele care se vor obține pot aduce elemente noi în înțelegerea proceselor de asimilare de noi concepte și de rafinare a celor existente în activitățile de instruire, în particular, și în activitatea intelectuală umană, în general.

În ultimul rând, dar nu în cele din urmă, se preconizează obținerea unor rezultate practice, materializate în sisteme informatice de asistare a instruirii în diverse domenii.

Considerăm că se impun câteva remarci legate de terminologie. Se va folosi cuvântul "student" într-un sens mai larg pentru a denumi generic o persoană aflată într-un proces de instruire. O discuție deschisă unor sugestii viitoare are drept obiect traducerea cuvântului "tutoring" prin "instruire". Poate o traducere mai adecvată decât cea adoptată ar fi fost prin cuvântul "meditație". Din motive subiective, legate și de acceptarea acestui cuvânt la noi în țară, s-a preferat traducerea prin "instruire". Această traducere însă scapă accentul pus în "tutoring" pe legătura personală între student și "meditator". De aceea, în viitor s-ar putea să se decidă alegerea unei alte traduceri.

Următorul capitol al lucrării este dedicat unui studiu asupra proceselor cognitive implicate în învățare, precum și asupra abordărilor existente în reprezentarea acestora. În analiza teoriilor existente asupra învățării au fost considerate trei perspective: filosofică, psihologică și conform inteligenței artificiale. În studiul abordărilor existente asupra reprezentării mecanismelor de reprezentare a proceselor cognitive, s-a plecat de la rezultatele obținute în inteligența artificială și, în special, a învățării automate. Concluziile acestui studiu sunt foarte importante pentru fundamentarea abordării cognitive, propusă de autor, necesare dezvoltării unui sistem inteligent de instruire, unul din scopurile principale ale cercetărilor desfășurate.

Al treilea capitol prezintă evoluția sistemelor informatizate de asistare a învățării și propune câteva idei de plecare în construirea unui sistem inteligent de instruire cu calculatorul.

2. Procesele cognitive implicate în învățare și reprezentarea acestora

Problematika mecanismelor proceselor de învățare a constituit un subiect de analiză și dispută timp de milenii. Putem exemplifica această vechime prin existența unei teorii a învățării încă la Platon, teorie expusă în dialogul "Menon". Conform acestei teorii, cunoștințele noastre sunt înnăscute, procesul învățării constituind, de fapt,

un proces de reamintire. De-a lungul mileniilor, problematica proceselor de învățare a stat în atenția mai multor discipline, acest subiect fiind larg dezbătut în special în cadrul filosofiei, el fiind legat de problema mai generală a surselor cunoașterii umane. Învățarea este și unul din domeniile de mare interes al psihologiei. Pedagogia, pe de altă parte, este știința care își propune să găsească cele mai adecvate căi de a desfășura un proces de instruire. În sfârșit (dar nu în cele din urmă), domeniul învățării automate din inteligența artificială are drept scop realizarea de sisteme artificiale care învață, realizarea acestui scop necesitând înțelegerea mecanismelor învățării umane.

În continuare, vor fi analizate teoriile existente, referitoare la învățare, vor fi prezentate câteva idei ale modelelor de reprezentare a proceselor cognitive, folosite în învățarea automată și vor fi trase niște concluzii asupra celor mai adecvate modalități de a concepe un sistem inteligent de instruire.

2.1. Teorii ale învățării

Nu există, în prezent, o teorie unanim acceptată asupra învățării [15]. Pentru a avea o imagine nuanțată asupra problematicii învățării, vom considera trei perspective: perspectiva filosofică asupra surselor cunoașterii, perspectiva psihologică asupra mecanismelor de învățare și, într-o secțiune ulterioară, perspectiva inteligenței artificiale asupra modelării proceselor de învățare.

2.1.1. Problema surselor cunoașterii

Unul din domeniile esențiale ale studiului filosofic este teoria cunoașterii. Spre deosebire de psihologia empirică (aceasta cercetează facultățile și activitățile mintale ce intervin în constituirea cunoștințelor), teoria cunoașterii consideră cunoștințele ca fiind date și se întreabă cum sunt ele posibile [12]. În cadrul teoriei cunoașterii, o atenție deosebită s-a acordat, de-a lungul timpului, relevării surselor cunoașterii. În acest sens, diversele sisteme filosofice pot fi încadrate în două mari abordări posibile: sisteme care pleacă de la ideea că, de la naștere există un bagaj de cunoștințe în mintea umană și sisteme care consideră cunoașterea ca fiind dobândită empiric, prin procese de învățare din experiența de-a lungul vieții [12]. Controversa "înnăscut sau dobândit" încă nu s-a soluționat, ea constituind subiect de discuție, nu numai în filosofie, ci și în alte științe printre care și inteligența artificială.

Din punctul de vedere al cercetărilor prezentate în lucrare, răspunsul dat la controversa "înnăscut sau dobândit" este foarte

important, deoarece el este punctul de plecare al abordărilor în înțelegerea mecanismelor învățării. De exemplu, abordările conecționiste din inteligența artificială se încadrează clar în cea de-a doua abordare pe când sistemele bazate pe cunoștințe pleacă de la prima. În cadrul lucrării de față, se face o opțiune clară către prima abordare. În acest sens, este foarte sugestivă părerea filosofului M. Flonta: "Așadar, pentru a înțelege activități mentale complexe, va trebui să studiem mai întâi fiecare subsistem în parte, particularitățile sale. Analogia dintre dezvoltarea biologică și dezvoltarea mintală conduce la punctul de vedere că mintea este organizată în facultăți cognitive distincte, cu structuri specifice. Acest punct de vedere este opus principiului empirist, potrivit căruia cunoașterea ia naștere din datele simțurilor prin exercitarea unor mecanisme elementare și uniforme ale învățării." [12].

2.1.2. Teorii ale învățării în psihologie

În psihologie, învățarea este una din principalele activități umane studiate. Perspectiva din care este privită învățarea este dată de prin prisma teoriei psihologice ("behavioristă" sau cognitivă) luată în considerare.

Teoria psihologiei comportamentale ("behavioristă") susține că, pentru a satisface pretenția de a considera psihologia o știință, nu trebuie luate în considerare abordările introspecționiste, prin esență subiective, existente până la începutul acestui secol. În locul acestei abordări, se propune cea care ia în considerare exclusiv niște elemente care pot fi măsurate, elemente care sunt specifice comportamentului [18],[19].

În sens comportamental, învățarea constă într-o modificare persistentă a comportamentului persoanei care învață. Această teorie poate fi încadrată în abordarea empirică asupra surselor cunoașterii, abordare conform căreia învățarea constă în stabilirea unor relații între stimuli exteriori și reacții (comportări) ale celui care învață. În psihologie, acest mod de învățare (care a dominat prima parte a acestui secol) este denumită învățare asociativă sau învățare prin condiționare [15],[18],[19]. Sunt celebre în acest sens experiențele lui Pavlov sau experiențele prin care se analizează comportamentul unor șoareci plasați într-un labirint. Învățarea este în aceste teorii legată de niște condiționări care permit stabilirea de asocieri între servirea hranei și diverși alți stimuli cum ar fi semnale vizuale sau auditive.

Esența acestei teorii este contiguitatea spațială sau temporală a stimulilor care se autocondiționează. Această contiguitate care determină asociații stă la baza și a implementării pe

calculator a sistemelor de învățare automată. De exemplu, învățarea folosind rețele neuronale pleacă tocmai de la ideea stabilirii unor legături fizice cu o pondere mare între stimuli și efecte. De asemenea, abordările bazate pe rețele semantice în reprezentarea cunoștințelor și pe învățarea automată pleacă tot de la ideea stabilirii unor relații mijlocite între stimuli și efecte.

Din nefericire, teoria învățării condiționate nu poate explica toate procesele de învățare. Ea permite explicarea unor fenomene cum ar fi generalizările (reacții similare la stimuli similari) și diferențierea reacțiilor între stimuli similari, dar deosebiți esențial [18],[19]. Această teorie permite explicarea multor comportamente, dar este o simplificare care nu are în vedere procesele cognitive, specifice gândirii. Limitarea ei este datorată faptului că ea evită cu obstinație considerarea acestor procese. După cum remarca J.R. Anderson [3], greșeala este că behaviorismul a fost inițiat ca o metodă de studiu psihologic și a sfârșit prin a deveni o teorie psihologică, sarcină care însă îl depășește. Perspectiva din lucrarea de față se aliniază părerii lui K.Lorenz [12] de a considera că această primă abordare reduce gândirea umană la niște reflexe condiționate sau nu, fără a considera bogăția universului psihic uman, prin aceasta dezumanizând-o.

O reacție la psihologia comportamentală este psihologia cognitivă. Abordarea cognitivă acordă o atenție deosebită structurilor care stau la baza reprezentării și prelucrării cunoștințelor în cadrul psihicului uman. Această teorie este fundamentată din mai multe puncte de vedere. Pot fi aici aduse drept argumente experiențele care au relevat existența unei așa numite învățări latente și a învățării bazată pe observație.

Învățarea latentă pleacă de la unul din experimentele foarte mult utilizate de behavioriști: învățarea unui labirint de către niște șoareci. Pentru a învăța labirintul, șoarecii erau condiționați de plasarea de hrană într-un anumit punct (de exemplu, la ieșire). S-a constatat ulterior însă [18],[19] că, un lot de șoareci poate învăța configurația unui labirint chiar și în absența hranei. Astfel, se consideră trei loturi de șoareci plasați în labirinturi, unul care este condiționat de prezența hranei într-un punct al labirintului, și celalte două necondiționate de prezența hranei. Conform teoriei învățării condiționate, primul lot, condiționat, învață configurația labirintului. Dacă însă, după un număr de zile, unuia din cele două loturi necondiționate i se plasează hrana în labirint, s-a observat că el învață mult mai repede configurația labirintului decât primul lot. Acest lucru a fost explicat prin faptul că acest al doilea lot a învățat latent labirintul, chiar în absența condiționării. Edward Tolman [18],[19] explică acest mecanism de învățare prin faptul că acest al

doilea lot și-a format niște așa numite hărți cognitive ("cognitive maps") ale mediului în care au fost plasați. De asemenea, tot Tolman releva faptul că, în plus, se învață ceea ce se aștepta; așteptările sau anticipațiile fiind fenomene centrale în procesul învățării [18].

În final, trebuie precizat că, tot în acest context poate fi încadrată și un alt tip de învățare, așa numita învățare prin observație. Aceasta este efectuată, de exemplu, de copiii care învață să se comporte prin observarea comportamentului părinților.

O altă teorie remarcabilă în psihologie este gestaltismul. Conform teoriei gestaltiste, învățarea nu este rezultatul unei îmbinări dintre elemente separate ale mediului (excitații) și elemente comportamentale (reacții), ci este producerea unui sistem unitar al comportamentului, structurilor proceselor psihice și al personalității sub acțiunea unei situații unitare [15]. În acest context, un rol deosebit este acordat procesului de înțelegere. Astfel, învățarea se consideră ca se desfășoară prin "înțelegerea unității relaționale a formei și a conținutului, a mijloacelor și a scopurilor, a cauzelor și a efectelor, a părților și întregului, a cazurilor unice și a legilor (...) Înțelegerea apare atunci când structura unei probleme a devenit transparentă. (...) Cel ce învață trebuie să aibă o privire de ansamblu a stării de fapt, să o ordoneze din punct de vedere intelectual și să o pătrundă în mod activ." [15].

Pentru a încheia aceste considerații asupra teoriilor învățării trebuie amintită și o ultimă abordare remarcabilă din perspectiva cercetărilor din lucrarea de față. Aceasta este psihologia topologică (vectorială) a lui Lewin care consideră învățarea ca o schimbare a cunoștințelor, a valențelor și a valorilor [15].

2.2 Învățarea din perspectiva inteligenței artificiale; reprezentarea proceselor cognitive, implicate în învățare

În inteligența artificială problema învățării a fost considerată din două direcții aflate în strânsă interdependență. În primul rând, s-au căutat modele care să explice procesele de învățare umană. În al doilea rând, au fost elaborate sisteme de învățare automată, care caută să imite mecanismele cognitive umane. Aceste două direcții reflectă, de fapt, două scopuri esențiale ale inteligenței artificiale: înțelegerea proceselor mintale și simularea lor pe calculator.

Una din teoriile cele mai cunoscute asupra învățării, folosită în inteligența artificială este cea propusă de Anderson pe baza "arhitecturilor cognitive" ACT, ACT* și PUPS [3]. La baza

acestora stă un sistem de reguli de producție care include:

- o memorie de lucru în care sunt introduse fapte din lumea exterioară și în care iau naștere acțiunile către exterior;
- o memorie declarativă a cunoștințelor pe care sistemul le folosește și în care se pot memora cunoștințe declarative învățate;
- o memorie procedurală (de reguli de producție) pentru cunoștințele procedurale învățate și folosite în raționamente.

Teoria și arhitectura lui Anderson a fost imaginată și validată plecând de la teoria psihologică cognitivă asupra învățării. Ea a fost folosită în mai multe sisteme inteligente de instruire în programare, în geometrie și în algebră [1]. În această teorie, se consideră următoarele tipuri de învățare:

- înregistrarea declarativă de fapte din mediu în memoria de lucru și apoi în memoriile declarativă sau procedurală (de lungă durată);
- întărirea încrederii în cunoștințele memorate ori de câte ori ele sunt folosite;
- "compilarea cunoștințelor" prin proceduralizarea și compunerea mai multor reguli într-o nouă regulă;
- generalizarea și diferențierea cunoștințelor.

Cele patru tipuri de învățare de mai sus sunt folosite în ACT*. În PUPS, la acestea se adaugă și învățarea prin analogie.

Aportul domeniului învățării automate din inteligența artificială este deosebit de important deoarece a contribuit considerabil la înțelegerea unor mecanisme ale învățării precum și la modelarea proceselor cognitive implicate. După cum releva R. Michalski [16]: "În învățarea automată, învățarea este văzută ca un proces de automodificare a cunoașterii curente a celui care învață printr-o interacțiune cu niște surse de informații."

Tot Michalski scoate în evidență rolul esențial al explicațiilor în procesele de învățare: "este foarte dificil de a învăța ceva fără să înțelegi acel ceva. Înțelegerea este, la rândul ei, rezultatul autocreării sau a primirii unei explicații satisfăcătoare" [Mic94]. Explicațiile pot fi derivaționale (sau deductive) și ipotetice (sau inductive). Primei clase îi corespund metode de învățare analitică, implicând procese de

restructurare sau întărire a cunoștințelor existente. Celei de a doua clase îi corespund considerarea unei ipoteze în conjuncție cu cunoștințele existente pentru a genera noi cunoștințe.

Învățarea sintetică poate fi din exemple (date de altcineva) sau prin observații (făcute de cel care învață). Din altă perspectivă, învățarea sintetică poate fi empirică (cunoștințele existente sunt puțin folosite) sau constructivă (esențial bazate pe cunoștințele existente). Exemple de învățare empirică în inteligența artificială sunt rețelele neuronale sau algoritmi genetici, învățarea bazată pe explicații fiind o învățare constructivă [16].

Învățarea analitică poate fi, la rândul ei, bazată pe explicații sau pe specificații.

După cum precizează Michalski, mecanismele esențiale, implicate în învățare pot fi grupate în trei categorii: deducție/inducție, generalizare/specializare și abstractizare/concretizare [16]. Toate aceste mecanisme au fost utilizate în diversele sisteme de învățare automată, în prezent încercându-se integrarea lor în așa numita învățare multistrategică.

3. Sisteme informatice inteligente de instruire

3.1 Istoric

Ideea de a utiliza calculatorul în procesul de învățământ nu este nouă. Inițial, se preconiza că profesorul va fi în viitor total înlocuit de calculator. Această previziune nu s-a îndeplinit și, după unele opinii, se pare că nici nu se va îndeplini vreodată. Argumentele aduse în sprijinul acestei idei (rezultate și în urma experienței în utilizarea de sisteme informatice în instruire) sunt, în special, legate de faptul că, în procesul de învățământ sunt implicați factori umani care nu pot fi înlocuiți de un calculator: Între profesor și studenți există canale de comunicare care nu pot fi realizate de o mașină. De asemenea, un calculator nu poate înțelege complexitatea naturii umane în scopul adaptării procesului de învățământ conform specificului unei anumite colectivități de studenți. Aceste observații se înscriu de fapt în orientarea generală, prezentă astăzi, nu numai în sistemele de instruire, ci și în alte domenii ale informaticii, de luare în considerare a factorilor umani în sistemele dezvoltate [14],[22].

În istoria sistemelor care utilizează calculatorul pentru a sprijini procesele de învățământ se pot delimita câteva etape. Această etapizare reflectă, pe de o parte, evoluția concepțiilor asupra posibilităților de utilizare a calculatoarelor și, pe de altă parte, necesitatea

considerării factorilor umani în dezvoltarea unui astfel de sistem.

Într-o prima fază, programele de calculator dezvoltate în scopuri didactice se caracterizau printr-o secvență fixă de pași pe care studentul trebuia să-i parcurgă. Fiecare pas prezenta anumite informații care trebuiau asimilate, trecerea la următorul pas fiind făcută în urma răspunsurilor satisfăcătoare la un număr de întrebări. Aceste sisteme aveau un caracter mult prea rigid, neindividualizat și insensibil la capacitatea de asimilare și la doleanțele celui instruit.

În anii 60, au apărut programe care permiteau ramificări în secvențele de pași în instruire. Aceste ramificări puteau fi făcute, atât de studenți, în funcție de ce decideau că ar trebui să învețe, cât și de sistem. În această categorie de sisteme se pot include și sistemele interactive de îndrumare ("help"), existente în multe produse informatice actuale (de exemplu, MS-Windows). De asemenea, sistemele hiper-text actuale, destinate informării sau instruirii se încadrează tot în această categorie.

Următoarea etapă în evoluția sistemelor de instruire, bazată pe calculator, a fost apariția sistemelor care puteau genera automat material didactic. Aceste sisteme analizau răspunsurile studenților, le comparau cu răspunsurile corecte și generau comentarii în urma acestor analize. De exemplu, la mijlocul anilor 60 au fost implementate primele sisteme de instruire asistată de calculator cu caracteristici adaptive, care puteau genera probleme de aritmetică în funcție de nivelul elevului. Se poate spune că ele foloseau un rudiment de model al elevului, construit plecând de la niște parametri calculați în urma analizării performanțelor acestuia [20]. Un impediment major al acestor sisteme este că nu puteau răspunde la întrebări de genul "De ce?" sau "Cum?", puse de student în urma comentariilor sistemului. Acest impediment este datorat inexistenței unor cunoștințe explicite asupra domeniului de instruire în sistem. Se poate spune că, distanța între procesele cognitive ale studentului și procesele interne ale programului este prea mare [21].

În prezent, cele mai evaluate sisteme bazate pe calculator, destinate sprijinirii procesului de învățământ sunt așa numitele sisteme inteligente de instruire ("Intelligent Tutoring Systems" - ITS).. Aceste sisteme caută să depășească caracteristicile prea rigide ale sistemelor anterioare de asistare a instruirii prin reprezentarea explicită a cunoștințelor domeniului de instruire și prin luarea în considerare a factorului uman al studentului implicat în procesul de instruire. Cunoștințele domeniului, reprezentate explicit, permit unui astfel de sistem să furnizeze niște explicații nuanțate și poate răspunde la întrebări de

genul "De ce?" sau "Cum?", puse de studenți. De asemenea, sistemul are posibilitatea de a-și adapta funcționarea în conformitate cu stadiul cunoștințelor celui instruit. În acest scop, pe lângă componentele care realizează efectiv instruirea, sistemul va încerca să construiască și să actualizeze permanent un model (bazat pe cunoștințe) al celui instruit. De asemenea, se poate include un modul dedicat alegerii celor mai adecvate strategii pedagogice în funcție de modelul studentului. În sfârșit, un rol important îl are modulul destinat interfațării cât mai prietenoase între sistem și student.

3.2 Categoriile de cunoștințe ale unui sistem inteligent de instruire

Dorința de a conferi sistemelor realizate cât mai multă adaptabilitate la caracteristicile și la evoluția celui instruit s-a simțit nevoia utilizării unor tehnici specifice inteligenței artificiale. Plecând de la ideea rezultată în urma cercetărilor în inteligența artificială conform căreia un sistem inteligent este un sistem care are un bagaj important de cunoștințe, una din cele mai importante probleme de care trebuie ținut cont este delimitarea categoriilor de cunoștințe care trebuie avute în vedere precum și modalitățile cele mai adecvate de reprezentare și de prelucrare ale acestora.

În cadrul unui ITS, categoriile de cunoștințe care se pot delimita natural sunt:

- cunoștințe generale asupra domeniului în care este făcută instruirea;
- cunoștințele asupra celui instruit, la un moment dat al procesului de instruire (modelul studentului);
- cunoștințe pedagogice referitoare la strategii, tactici și euristici de conducere a procesului de instruire.

Toate aceste categorii de cunoștințe sunt prelucrate în vederea obținerii unor regimuri flexibile, individualizate pe fiecare student în vederea obținerii în final a unei instruirii optime. Aceste cunoștințe vor fi înmagazinate în baze de cunoștințe dedicate fiecărei categorii. Bineînțeles ca între aceste baze și, mai ales, între cele pentru ultimele două categorii de cunoștințe, vor exista interconexiuni complexe. Un aspect, considerat în viziunea autorului ca deosebit de important, este restructurarea, rafinarea și evoluția permanentă a acestor baze de cunoștințe. În aceasta evoluție, vor fi integrate mecanisme de achiziție a cunoștințelor și de învățare automată. De asemenea, un rol foarte important va fi acordat considerării sistemelor ITS, dezvoltate ca fiind baza unor experimente destinate formării și

extinderii unor idei și teorii asupra proceselor cognitive care intervin în procesul de instruire.

Pentru reprezentarea cunoștințelor există deja mai multe paradigme cum ar fi obiectele structurate ("frame"), regulile de producție, programarea logică etc. De asemenea, sunt curenți folosiți mai multe tehnici de prelucrare a acestora. În continuare, vor fi considerate pe rând cele trei principale categorii de cunoștințe care sunt implicate într-un sistem inteligent de instruire.

3.3 Baza de cunoștințe ale domeniului

Unul din rezultatele obținute în urma cercetărilor în inteligența artificială a fost faptul că, pentru a avea o comportare inteligentă, un sistem trebuie să posede un bagaj semnificativ de cunoștințe. O ilustrare a importanței acestui rezultat este faptul că, cele mai semnificative aplicații practice ale inteligenței artificiale sunt așa numitele sistemele experte. Aceste sisteme se încadrează în clasa, mai largă, a sistemelor bazate pe cunoștințe caracterizate prin faptul că se face o separare netă între cunoștințele pe care le deține sistemul și între mecanismele de prelucrare a acestor cunoștințe.

Din punct de vedere operațional, sistemele expert sunt caracterizate de o comportare similară cu cea a unui expert uman într-un anumit domeniu. Precizarea asupra faptului că se delimitează un anumit domeniu este esențială, acest fapt fiind datorat tocmai complexității reprezentării și a prelucrării cunoștințelor precum și a volumului imens de cunoștințe, complexitate care face (deocamdată?) imposibilă realizarea de sisteme inteligente cu caracter general. De fapt, acest lucru este valabil și pentru gândirea umană, în prezent fiind imposibil să se poată concepe un om care să fie expert, în general, în orice domeniu.

În concluzie, ca urmare a celor de mai sus, dar din perspectiva ITS, pentru a putea obține sisteme inteligente de instruire vor trebui realizate sisteme care să reprezinte explicit și să prelucreze cunoștințele implicate în procesul de instruire. Pentru aceasta vor trebui considerate categoriile de cunoștințe implicate în instruire, precizate în capitoul anterior. Se poate spune că, un ITS va trebui să fie un triplu sistem expert: în domeniul pentru care se face instruirea, în analiza și în conturarea cunoștințelor pe care studentul le posedă de-a lungul instruirii și în domeniul pedagogiei.

Rolul cunoștințelor domeniului este crucial în cadrul celor trei categorii de cunoștințe precizate. După cum se relevă în mai multe cercetări asupra ITS [20], alegerea unei reprezentări adecvate a cunoștințelor domeniului poate avea un rol decisiv în simplificarea pre-

lucrărilor necesare în instruire. Acest fapt era cunoscut și din cercetările în dezvoltarea de sisteme expert: o bună reprezentare a cunoștințelor simplifică procesul de regăsire a cunoștințelor necesare în raționamente, rezolvă aproape triviale problemele de explicare a raționamentelor și ușurează achiziția cunoștințelor.

În contextul ITS, reprezentarea cunoștințelor domeniului trebuie făcută având în vedere și celelalte categorii de cunoștințe. Astfel, după cum se va vedea și din secțiunea următoare, baza de cunoștințe asupra studentului este în strânsă conexiune cu baza de cunoștințe a domeniului, în unele abordări, prima fiind chiar un subset a celei de-a doua.

Un aspect foarte important al sistemelor expert, în particular, și al sistemelor bazate pe cunoștințe, în general, este caracterul cunoștințelor reprezentate. Se pot distinge, astfel, două tipuri de cunoștințe: de suprafață și de adâncime. Conform acestor două tipuri de cunoștințe au fost delimitate chiar și două generații de sisteme expert, în funcție de cunoștințele pe care le folosesc.

Cunoștințele de suprafață (sau compilate) sunt euristici, reguli, rețete folosite de un expert în rezolvarea rapidă a unei probleme. Inconvenientul acestui tip de cunoștințe este faptul că, dacă este necesară rezolvarea unei probleme care necesită cunoștințe chiar foarte puțin diferite de cele existente în baza sistemului expert, acesta nu va putea rezolva problema. O soluție la acest inconvenient este considerarea cunoștințelor de adâncime.

Sistemele expert care folosesc cunoștințe de adâncime pot rezolva potențial o gamă mult mai extinsă de probleme. Cunoștințele de adâncime se constituie, de fapt, într-o teorie, într-un model al domeniului considerat, ceea ce conferă posibilitatea rezolvării teoretic a oricărei probleme (dacă modelul este complet). Un dezavantaj al sistemelor care folosesc sisteme bazate pe modele de adâncime este că, în general, sunt mai lente. De asemenea, de foarte multe ori este foarte greu să se poată construi un astfel de model.

O soluție care elimină dezavantajele celor două tipuri de cunoștințe este utilizarea în cadrul aceluiași sistem și a cunoștințelor de suprafață și a cunoștințelor de adâncime. În mod normal, sistemul va face apel la cunoștințele de suprafață. Dacă însă în rezolvarea unei probleme cunoștințele de suprafață nu sunt suficiente, sistemul va apela la cunoștințele de adâncime. În paralel cu rezolvarea problemei, folosind cunoștințele de adâncime se pot eventual compila cunoștințe de suprafață, utile în viitoare sesiuni ale sistemului. Se poate considera, de fapt, că toate cunoștințele de suprafață sunt compilări ale cunoștințelor de adâncime. Această soluție are

un corespondent și în modalitatea umană de rezolvare de probleme: în momentul când trebuie rezolvată o problemă se încearcă aplicarea unor rețete care au dat anterior rezultate. Dacă nu se poate găsi o astfel de rețetă, se încearcă găsirea unei rezolvări folosind teoria domeniului respectiv. Această rezolvare poate duce la învățarea unei noi rețete.

Revenind acum la ITS, remarcile făcute mai sus rămân valabile. Se poate considera că, baza de cunoștințe a domeniului este specifică unui expert în domeniul pentru care se face instruirea, expert care poate fi asimilat profesorului. Necesitatea unor modele de adâncime este justificată cu atât mai mult cu cât trebuie să existe posibilitatea răspunderii la întrebări "De ce?" și "Cum?" puse de student. Un alt argument este furnizat de cerința de a putea compara cunoștințele domeniului cu cunoștințele studentului: Dacă s-ar folosi numai cunoștințe de suprafață, s-ar putea să nu se poată demonstra ușor echivalența a două cunoștințe.

Un alt aspect foarte important rezultat în urma cercetărilor în inteligența artificială a fost existența unui bagaj mare de cunoștințe tacite, de bun simț pe care omul le folosește în raționamentele pe care le face. Reprezentarea și utilizarea acestui tip de cunoștințe este încă un subiect de cercetare fundamentală și rezolvarea ei va fi benefică și pentru ITS.

3.4. Baza de cunoștințe referitoare la student

În multe ITS existente [13], baza de cunoștințe referitoare la student este construită în conexiune cu baza de cunoștințe referitoare la domeniul considerat. Scopul ITS ar fi, în această perspectivă, apropierea cât mai mare a cunoștințelor studentului de cunoștințele domeniului. Bineînțeles, trebuie avut permanent în vedere faptul că, modelul studentului este numai o aproximare a cunoștințelor acestuia precum și faptul că studentul ar putea avea și alte reprezentări (de ce nu, chiar mai corecte!) asupra cunoștințelor domeniului.

În funcționarea unui ITS, în ideea realizării unei apropieri între modelul studentului și a cunoștințelor domeniului (modelul unui expert în domeniu) sunt posibile mai multe abordări [13]:

a) Abordarea bazată pe premisa subsetului de cunoștințe: se consideră că, baza de cunoștințe a studentului este un subset al cunoștințelor din baza de cunoștințe a domeniului. Aceasta abordare este cea mai simplă de implementat. Ea funcționează bine atunci când (ca în cazul sistemului WOSUR-II):

- scopul sistemului de instruire este de a împărtăși studentului cu-

noștințele domeniului; cunoștințele domeniului sunt exhaustive;

- cunoștințele domeniului sunt suficient de simple astfel încât studentul să poată, cu timpul, să le dobândească.

Aceasta abordare are mai multe dezavantaje. Unul din ele este faptul că nu pot considera cunoștințe sau supoziții ale studentului care nu sunt conforme cu cele din baza de cunoștințe ale domeniului. De exemplu, studentul s-ar putea să folosească un alt model, bazat pe alte cunoștințe, care să fie, de asemenea, corect. În aceasta situație, sistemul nu va recunoaște corectitudinea cunoștințelor studentului și va căuta cu obstinație să îl determine pe student să se conformeze cunoștințelor sale.

Un alt dezavantaj al acestei abordări apare atunci când sunt necesare cunoștințe de adâncime în vederea determinării cunoștințelor care sunt împărtășite, atât de student, cât și de expert [13].

b) Abordarea diferențială: aceasta este o variantă a primei abordări. În loc de a se compara cunoștințele studentului cu cele din baza de cunoștințe a domeniului, se face o comparație a performanțelor studentului cu cele ale expertului. Cunoștințele sistemului sunt împărțite în două clase: cunoștințe pe care studentul ar trebui să le aibă (dacă se comportă ca expertul) și cunoștințe care se presupune că studentul nu le are. Spre deosebire de abordarea anterioară, cunoștințele din baza de cunoștințe ale domeniului care nu sunt în modelul studentului sunt împărțite în două clase: cunoștințe pe care studentul nu le are și cunoștințe pe care studentul le-ar putea avea.

Această soluție rafinează abordarea anterioară, dar suferă, în principal, de aceleași cauze referitoare la presupunerea că modelul studentului este un subset al bazei de cunoștințe a domeniului [13].

c) Abordarea întemeiată pe un model bazat pe perturbații. Aceasta abordare pleacă de la ideea că, baza de cunoștințe a studentului ar putea avea și cunoștințe care nu sunt cuprinse în baza de cunoștințe a domeniului. Aceasta abordare complică procesul de construire a modelului unui student deoarece introduce mai multe căi de modelarea comportării studentului. De exemplu, o comportare eronată a studentului poate fi datorată lipsei unei cunoștințe (ca în abordările anterioare), dar poate fi determinată și de utilizarea unor cunoștințe neadecvate sau eronate. Aceasta abordare extinde foarte mult spațiul cunoștințelor modelate pentru student, care trebuie explorat.

Abordarea de față presupune că studentul și expertul sunt suficient de apropiați pentru a putea fi comparați. Acest fapt (utilizat pe scară mai

largă și în abordările precedente), are și o conotație psihologică: oamenii, în general, când comunică cu ceilalți, presupun un bagaj comun de cunoștințe. Dacă acest bagaj n-ar exista sau ar fi foarte mic, comunicarea n-ar putea avea loc. Pe de altă parte, în procesele educaționale, dacă profesorul ajunge la concluzia că, studentul nu înțelege despre ce vorbește, își schimbă modelul asupra acestuia și revine în încercarea de a reuși totuși să realizeze comunicarea [13].

După cum reiese din analiza făcută în [13], cea de-a treia abordare este cea mai complexă și mai apropiată de realitate. Bineînțeles, în cazuri particulare, mai simple, și celelalte două abordări pot da rezultate satisfăcătoare.

Din analiza deficiențelor mai multor ITS existente (BUGGY, LMS, GUIDON și WUSOR [13]) au rezultat mai multe idei:

- este necesară considerarea unor modele de adâncime, care să includă cunoștințe de psihologia studentului pentru a avea ITS performant[13]. Se preconizează să se introducă în modelul studentului și cunoștințe care să individualizeze profilul acestuia, cunoștințe care vor fi folosite împreună cu cunoștințele pedagogice în scopul găsirii celor mai adecvate regimuri de instruire;
- este necesară integrarea regimurilor de funcționare normală a unui ITS cu regimuri de achiziție a cunoștințelor și de învățare automată, care să permită dezvoltarea bazelor de cunoștințe implicate. De exemplu, un model inițial al unui student ar putea fi construit prin tehnici specifice achiziției cunoștințelor. Analiza succeselor și a eșecurilor unor sesiuni ar putea declanșa mecanisme de învățare automată în vederea rafinării sau a îmbogățirii bazei de cunoștințe de pedagogie;
- este necesară investigarea unor tehnici de integrare a reprezentării de adâncime a cunoștințelor care să permită realizarea comunicărilor necesare, atât în compararea modelului studentului cu expertul, cât și realizarea unei interfațări cât mai prietenoase, a unui limbaj (în sens larg), comun între student și sistem (aspect căruia i s-a dat o mai mică importanță

în această lucrare, dar care este esențial).

În viziunea autorului, în realizarea de ITS performante, trebuie pus un accent pe o viziune și pe o abordare integratoare asupra categoriilor de cunoștințe implicate care să plece de la un bagaj de cunoștințe fundamentale, de adâncime, de psihologie și de pedagogie.

3.5. Baza de cunoștințe pedagogice

Pedagogia poate fi definită, în sens larg, ca fiind "știința care studiază fenomenul educațional cu toate implicațiile sale asupra formării personalității umane în vederea integrării sale active în viața socială" [17]. Ea are legături strânse cu alte științe cum ar fi psihologia, sociologia, filozofia etc.

Se pot delimita mai multe obiective educaționale, conform a trei grupe care corespund unor domenii de performanță umană [17]:

- în domeniul cognitiv: cunoaștere, înțelegere, aplicare, analiză, sinteză, evaluare;
- în domeniul afectiv:receptarea, răspuns(reacție),valorizare(apreciere), organizare, caracterizare printr-un sistem de valori;
- în domeniul psihomotor.

Din punctul de vedere al ITS, prima grupă de obiective este cea care va fi considerată prioritar, dar, după viziunea autorului, sunt importante și obiectivele din a doua grupă. De fapt, realizarea unui canal de comunicație cât mai prietenoasă între student și sistem precum și o organizare cât mai atractivă a procesului de instruire pot avea efecte remarcabile în cooperarea studentului în instruire.

Derularea procesului educațional se va desfășura în conexiune cu obiectivele urmărite. În acest sens, se face o așa numită proiectare educațională, aceasta incumbând trei parametri fundamentali [17]:

- precizarea finalităților ce vor fi urmărite;
- elaborarea tehnologiei de realizare a obiectivelor stabilite;
- stabilirea instrumentelor de evaluare a eficienței învățării.

În contextul ITS, procesul educațional poate fi privit ca un proces de proiectare, cunoștințele pedagogice jucând rolul unor cunoștințe de control. Procesul de proiectare educațională (termen consacrat în pedagogie [17]), din punct de vedere al tehnicilor de prelucrare a cunoștințelor, va fi implementat printr-un proces de rezolvare de probleme, ierarhic și oportunist folosind eventual o arhitectură de tip "blackboard"

[10]. În acest mod, vor putea fi reprezentate și utilizate strategii de instruire, scenari, taxonomii de concepte și reguli. Aceste cunoștințe vor fi folosite în conexiune cu celelalte baze de cunoștințe din sistem.

4. Concluzii

În urma studiului efectuat asupra problematicii proceselor de învățare, s-a conturat necesitatea considerării tuturor teoriilor (asociaționistă, cognitivistă și gestaltistă) asupra învățării în contextul sistemelor inteligente de instruire. În acest sens, se consideră că:

- un sistem inteligent de instruire trebuie să antreneze studentul în vederea formării de asociații referitoare la deprinderile utile domeniului considerat (învățare sociativă);
- trebuie avută în vedere prezentarea noilor cunoștințe sub o formă apropiată de structurile ("hărțile") cognitive ale studentului, acest fapt având drept implicație necesitatea construirii unei baze de cunoștințe ale domeniului de învățat, structurată conceptual cât mai "intuitiv";
- studentul trebuie atras în procese de deducție/inducție de noi cunoștințe, de generalizare/specializare și abstractizare/concretizare a cunoștințelor pe care le posedă;
- un rol deosebit revine înțelegerii și, în acest context, furnizării unor explicații cât mai adecvate, care iau în considerare structurile cognitive preexistente în mintea studentului.

În cadrul lucrării s-au precizat, de asemenea, mai multe argumente în favoarea unei abordări bazate pe cunoștințe, s-au delimitat trei mari categorii de cunoștințe implicate: cunoștințe ale domeniului, modelul studentului și cunoștințe pedagogice.

Intrând mai în detaliu, concluziile cele mai importante, referitoare la ITS, care se preconizează a fi realizate sunt:

- este necesară considerarea unor modele de adâncime, care să includă cunoștințe de psihologie ale studentului pentru a avea ITS performante [13];
- este necesară integrarea regimurilor de funcționare normală a unui ITS cu regimuri de achiziție a cunoștințelor și

învățare automată, care să permită dezvoltarea bazelor de cunoștințe implicate. De exemplu, un model inițial al unui student ar putea fi construit prin tehnici specifice achiziției cunoștințelor (de exemplu, metoda construcțiilor personalizate). Analiza succeselor și a eșecurilor unor sesiuni ar putea declanșa mecanisme de învățare automată în vederea rafinării sau îmbogățirii bazei de cunoștințe de pedagogie;

- este necesară investigarea unor tehnici de integrare a reprezentării de adâncime a cunoștințelor care să permită realizarea comunicărilor necesare, atât în compararea modelului studentului cu expertul cât și în realizarea unei interfațări cât mai prietenoase, a unui limbaj (în sens larg), comun între student și sistem (aspect căruia i s-a dat o mai mică importanță în această lucrare, dar care este esențial);
- se va acorda o atenție deosebită cunoștințelor pedagogice; în acest sens se consideră utilă realizarea unui sistem ierarhic de rezolvare de probleme, oportunist, care să folosească mecanisme de tip "blackboard".

Bibliografie

1. ANDERSON, J.R., BOYLE, C.F., ORBETT, A.T., LEWIS, M.W.: Cognitive Modelling and Intelligent Tutoring. În: Artificial Intelligence, Nr.42, 1990, pp. 7-50.
2. ADAM, A., LAURENT, J. P., LAURA, A.: System to Debug Student Programs. În: Artificial Intelligence, Nr. 15, nov.1980, pp. 75-122.
3. ANDERSON, J.R.: A Theory of the Origins of Human Knowledge. În: Artificial Intelligence, Nr.40, 1989, pp. 313-35.
4. BARR, A., FEIGENBAUM, E.A.(editori): The Handbook of Artificial Intelligence, vol.1, Kaufman, Palo Alto, 1981.
5. BARR, A., FEIGENBAUM, E.A.(editori): The Handbook of Artificial Intelligence, vol.2, Kaufman, Palo Alto, 1982.
6. BARBUCEANU, M., TRĂUȘAN-MATU, Șt., XRL: An Evolutionary Multi-Paradigm Environment for AI Programming,

- in Ph. JORRAND și V. SGUREV (eds.), Artificial Intelligence II: Methodologies, Systems, and Applications, North Holland, Amsterdam 1987, pp. 197-205.
7. BĂRBUCEANU, M., TRĂUȘAN-MATU, Șt.: Integrating Declarative Knowledge Programming Styles and Tools in a Structured Object Environment. În: J. McDermott (ed.), Proceedings of 10-th International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI'87, Milano, Italia, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1987.
 8. BĂRBUCEANU, M., TRĂUȘAN-MATU, Șt.: XRL2- manual, ITCI București, 1988.
 9. BĂRBUCEANU, M., TRĂUȘAN-MATU, Șt.: XRL: A Layered Knowledge Processing Architecture Able to Enhance itself. În: Studies and Researches in computers and Informatics, vol.1, nr.1, Bucuresti, pp.76-106.
 10. BĂRBUCEANU, M., TRĂUȘAN-MATU, Șt., MOLNAR, B.: Concurrent Refinement: A Model and Shell for Hierarchical Problem Solving, in J.C. Rault (ed.). În: Proceedings of 10-th Workshop on Expert Systems and Their Applications, Avignon, Franța, 1990.
 11. BĂRBUCEANU, M., TRĂUȘAN-MATU, Șt.: MODELS: Towards a Language Construction Approach to Expert System Design and Enhancement. În: Studies and Researches in Computers and Informatics, vol.1, no. 2, iunie 1990, Bucuresti, pp. 57-76.
 12. FLONTA, M.: Cognitio, o introducere critică în teoria cunoașterii, ed. ALL, Bucuresti, 1994.
 13. KASS, R.: Student Modelling in Intelligent Tutoring Systems - Implications for User Modeling. În: Kobsa, A., Wahlster, W. (eds.), User Models in Dialog Systems, Springer Verlag, 1989, pp. 386-431.
 14. KOBASA, A., WAHLSTER, W. (eds.): User Models in Dialog Systems, Springer Verlag, 1989.
 15. LOWE, H.: Introducere în psihologia învățării la adulți, Ed. Didactică și pedagogică, București, 1978.
 16. MICHALSKI, R.: Toward a Unified Theory of Learning: Multistrategy Task-Adapted Learning. În: B. Buchanan, D. Wilkins, (eds.), Readings in Knowledge Acquisition and Machine Learning, Morgan Kaufmann, 1993, pp. 7-38.
 17. NICOLA, I.: Pedagogie, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1994.
 18. SDOROW, L.: Psychology, Brown Publishers, 1990.
 19. SEAMON, J.G., KENRICK, D.: Psychology, Prentice Hall, 1992.
 20. SLEEMAN, D., BROWN, J.S.: Intelligent Tutoring Systems, Academic Press, 1982.
 21. SOKOLNOKI, T.: Towards Knowledge-Based Tutors: A Survey and Appraisal of Intelligent Tutoring Systems. În: The Knowledge Engineering Review, vol 6:2, 1991, pp. 59-95.
 22. TRĂUȘAN-MATU, Șt.: Proiectarea asistată de calculator a programelor. Reutilizarea programelor prin inginerie inversă. Teză de doctorat, Universitatea "Politehnica" București, 1994.