

## About Formal Theory of the Intelligent Systems

Prof.dr. Ioan I. ANDONE

Catedra de Informatică Economică, Universitatea „AL.I.Cuza” Iași

*Intelligent systems have received much more attention of scientists since the second half of 20th century. Nevertheless, the concept of intelligent system is not fully understood, and this affects interpretation of the existing research results as well as the choice of new research directions in all fields of science. In this paper the subject is considered from the multidisciplinary point of view, and the phenomenon of intelligence is demonstrated as a computational one. It emerges as a result of the joint functioning of several operators: grouping, focusing of attention (filtering), searching, and formation of combinations. We assume that, when information is processed by these operators, multi resolution systems of knowledge develop, and nested loop of knowledge processing emerge. This conceptual structure permits the explanation of most processes characteristic of intelligent systems, and the researchers in economy can utilize these artifacts for developing effective information systems based on intelligent agents.*

**Keywords:** *intelligence, intelligent systems, multi resolution systems, computational phenomenon.*

### **1** Introducere

O teorie formală a sistemelor inteligente este din ce în ce mai acută. Pentru prima dată o asemenea teorie este configurată în lucrările profesorilor Alexander M. Meystel și James S. Albus. De exemplu, încă din anul 1991, James S. Albus arată că inteligența poate fi definită prin ceva care produce comportamente (acțiuni) de succes și se presupune că reprezintă, în cazul speciilor, rezultatul selecției naturale; oricând poate fi propus un model integrativ rezultat din cercetarea sistemelor naturale și sistemelor artificiale. Desigur, această teorie a fost dezvoltată și este acum disponibilă tuturor cercetătorilor interesați. Ea a fost posibilă ca urmare a progresului cercetărilor în neuroștiințe (neurofiziologia, neuropsihologia, neuroanatomia, neurofarmacologia, psihofizica, psihologia comportamentală, cibernetica biologică), biomecanică, inteligența artificială, teoria controlului, management, informatică și matematici aplicate, respectiv robotică, mecatronică și controlul automat. Implicațiile sale pe plan științific, economic, militar și social au fost sesizate în timp util, fapt care a deschis calea spre crearea unei noi specii – artefactele (sistemele) inteligente. Pentru cercetătorii în informatica economică și mai ales pentru pro-

iectanții și dezvoltătorii de sisteme informaționale nu mai pot fi neglijate rezultatele obținute în acest domeniu. De fapt, atenția trebuie să cadă pe rolul agenților inteligenți în configurarea noilor arhitecturi de mașini inteligente și sisteme informaționale ale viitorului, atât de utile economiei moderne. Noi ne-am propus o sinteză a acestor realizări observate din literatură.

### **2. Inteligența, instrument fundamental în evoluție**

S-a demonstrat științific faptul că omul este rezultatul evoluției dar și factorul suprem în proiectarea propriei deveniri, desigur pe baza percepțiilor asupra mediului și materializării ideilor sale cu privire la modelarea viitorului. În condițiile în care mediul nu-i afectează grav sănătatea fizică și mentală, omul nu poate supraviețui fără inteligență și atitudine pro-activă, transformatoare, fără un scop bine stabilit și așteptări că va fi satisfăcut. Creierul său îl ajută să elaboreze proiecte noi (gânduri, planuri și proiecte, invenții, inovații, arte vizuale, muzică, poezie etc.). Ca specie, este vizibil că inteligența l-a ajutat să supraviețuiască în situațiile așteptate sau neașteptate ale vieții. De altfel ideea de situații așteptate/ neașteptate sugerează că speciile dotate

cu inteligență urmăresc realizarea unui **scop**, se așteaptă la obținerea unor **beneficii/ avantaje** sau a unui **succes**. Așa devine foarte evidentă legătura cu inteligența. În acest mod putem observa că **evoluția și inteligența** au ceva foarte important în comun și ambele au un impact determinant asupra vieții umane. Desigur, nu vorbim despre harul cu care l-a dotat pe om atotputernicul. Inteligența și experiența câpătate ca urmare a implicării active în transformarea mediului, reprezintă cerințe esențiale și în materie de sisteme create de om sau artefacte. Pe acest plan al ideilor, să reținem că evoluția este interpretată adesea ca un mecanism pentru proiectarea artefactelor dotate cu inteligență. Nu este greu de constatat că **evoluția și inteligența folosesc aceleași tehnici**: 1) ambele transformă experiențele și percepțiile reale în reprezentări simbolice și păstrează mesajele bine organizate într-o formă adecvată; 2) folosesc apoi aceste mesaje memorate în scopul căutării grupurilor de informații similare și procedează la generalizare; 3) repetă generalizarea în manieră recursivă în așa fel încât să poată fi obținută o organizare mai eficientă a informației; 4) crește eficiența informației prin concentrarea atenției numai pe anumite componente; 5) folosește procese de căutare pentru combinarea componentelor informației și organizarea lor în mesaje care n-ar putea fi obținute din experiențe. Creierul uman, în toată complexitatea sa, realizează procese de decizie foarte subtile și dispune de capacitate de cunoaștere. Așa este motivată apariția unui domeniu fabulos - **sistemele inteligente**, care pot lucra mult mai bine și mai rapid în folosul omului, inclusiv pentru accelerarea evoluției sale, și mult mai eficient decât ar fi făcut-o alte instrumente create de om. Evoluția, până astăzi un domeniu propriu numai organismelor vii, devine posibilă și pentru artefacte: roboți, vehicule autonome, mașini cibernetice de toate tipurile, creiere artificiale, și alte instrumente pe care nici nu le bănuim dotate cu **limbaj și capacitate de gândire multirezolutivă**. Sistemele inteligente materializează tocmai această viziune ultramodernă: realizarea proceselor decizionale și soluționarea problemelor cu ajutorul arhitectu-

rilor informaționale multirezolutive și colaborative, inspirate din realizările cercetărilor în tehnologia cunoașterii. Cititorul va putea aprofunda aceste idei din: (Gould, 1977), (Adeli, 1990), (Albus, 1991), (Gardner, 1993), (Liebowitz, 1995), (Hoffmeyer, 1996), (Fogel, 1999), (Andone, ș.a., 2001), (Meystel și Albus, 2002) ș.a.

### 3. Principiul multirezoluției și sistemele inteligente

Reprezentarea multirezolutivă reprezintă o descoperire umană formidabilă, în intenția de a se proiecta noi mijloace de realizare a evoluției. De mai bine de un secol s-a constatat că mintea umană folosește imagini diverse ca mărime, conținut, reprezentare și apropiere, atunci când ia decizii. Ca urmare, oamenii utilizează reprezentări diferite și iau decizii diferite ca efect și corectitudine, tocmai datorită soluțiilor diferite aflate pentru problemele/ întrebările cu care se confruntă. În rândul informaticienilor se observă comunități diferite care folosesc abordări diferite și tehnologii diferite, de regulă cele în care sunt mai bine specializați. De exemplu, cei care se ocupă cu fractali au înțeles că această tehnologie oferă un mecanism de reprezentare a informației cu care pot fi reconstituite obiectele din natură; cei care se ocupă cu tehnologiile Web, se pricep la proiectarea portalurilor și întreprinderilor virtuale; cei care se ocupă cu tehnologiile cunoașterii (sistemele expert, sistemele fuzzy, sistemele conexiuniste, etc.) sunt capabili să proiecteze arhitecturi informaționale foarte complexe, inclusiv hibride, în care principiul multirezoluției este cel mai evident. Prin combinarea acestor tehnologii se pot realiza soluții inteligente de mare anvergură și utilitate pentru toate tipurile de organizații sau pentru scopuri private. Principiul multirezoluției (Rosenfeld, 1984) este o descoperire excepțională despre arhitectura minții umane, în sensul că problemele cheie ale „proiectului minții” pot fi soluționate numai prin reconstituirea structurii acestuia în manieră multirezolutivă. Desigur, nu putem observa structura minții noastre, dar o putem restaura/reconstitui din înregistrările privind funcționarea sa multidimensională și

diversificată. Acest proces al reconstituirii descendente și ascendente a funcționării minții umane este posibil în contextul științei cognitive (Dennett, 1998), în conformitate cu cerințele ingineriei reconstitutive (*reverse engineering*). Trebuie să recunoaștem că reconstituirea funcționării creierului sub forma unui model multirezolutiv este un domeniu captivant pentru cercetătorii care doresc să aprofundeze înțelegerea și simularea proceselor cognitive, care pot fi implementate în sistemele inteligente. După mulți ani de cercetare în domeniile care au contribuit la fundamentarea inteligenței artificiale ca știință și tehnologie, modelele multirezolutive pot fi acum folosite cu succes la construirea și exploatarea tuturor tipurilor de mașini, sisteme și organizații artefacte, calificate simplu cu termenul de sisteme inteligente.

Trebuie știut că *sistemele inteligente emulează capacitățile umane de percepție a realităților din mediul în care acționează, de colectare și organizare a cunoașterii percepute, de proiectare a lucrurilor (obiectelor, situațiilor, evenimentelor, proceselor), planurilor și programelor de utilizare a lor, și de a executa și controla aceste planuri și programe conform celor mai eficiente decizii*. Funcționarea acestor sisteme trebuie să asigure evoluția și bunăstarea omenirii.

#### 4. Inteligența sistemelor artificiale

*Inteligența este abilitatea unui sistem de a acționa adecvat într-un mediu incert și/imprescis astfel încât să-și realizeze cu șanse cât mai mari de succes scopul pentru care a fost creat*. În această definiție, prin **acțiune adecvată** se înțelege acțiunea prin care cresc șansele obținerii succesului, iar realizarea **scopului** este posibilă prin realizarea tuturor **subscopurilor** pe care se sprijină scopul final al sistemului<sup>1</sup>. Criteriul succesului cât și criteriul scopului final se definesc din exteriorul sistemului. În cazul sistemelor inteligente, aceste criterii sunt definite de către dezvoltători (cognoscienți), proiectanți, programatori și chiar operatori. În cazul ființelor biologice,

scopul final este propagat pe cale genetică, iar criteriile succesului sunt definite pe calea selecției naturale.

Oricum trebuie reținut că o inteligență minimă a unui sistem necesită abilitatea de a percepe mediul, de a percepe și a interpreta o situație, de a lua decizii și de a controla acțiunile proprii. Niveluri mai înalte ale inteligenței includ abilitatea de a recunoaște obiecte și evenimente din mediul de acțiune, de a reprezenta cunoașterea sub forma unui model adecvat lumii reale, de a planifica acțiunile și de a raționa cu privire la viitor.

Ca urmare, *un sistem inteligent*, în formele sale mai avansate, *trebuie să ofere capacitatea de a percepe și a înțelege, capacitatea de a alege pe baza raționamentelor efectuate, capacitatea de a acționa cu succes în condițiile unei multitudini de circumstanțe astfel încât să supraviețuiască, să prospere și să-și asigure reproducerea într-un mediu oricât de complex și ostil*.

Se înțelege că, în astfel de condiții, definiția inteligenței trebuie să încorporeze numeroase reprezentări din biologie, psihologie, matematică, informatică, teoria controlului, lingvistică, management și inginerie; toate aceste domenii pot da definiții proprii inteligenței. De exemplu, din perspectiva psihologiei și biologiei, inteligența este strategia comportamentală prin care individul își procură mijloacele de maximizare a șanselor de supraviețuire prin propagarea propriilor gene. *Inteligența este integrarea percepției, raționamentului, emoțiilor și comportamentului într-un sistem care simte, percepe, cunoaște, ia atitudine, realizează planuri și acționează în conformitate cu ele*. Inteligența, din perspectiva teoriei controlului, este un fenomen obținut prin integrarea cunoașterii și retroacțiunii într-un sistem sensibil la acțiunile mediului și de control orientat pe un anumit scop.

#### 5. Niveluri de inteligență

Din cercetări aprofundate a rezultat existența diferitelor niveluri sau grade de inteligență determinate de caracteristicile unui sistem inteligent astfel:

1. Puterea de calcul și inferențiere a sistemului;

<sup>1</sup> Meystel, A.M., Albus, J.S., *Intelligent Systems Architecture, Design, and Control*, John Wiley, 2002, p.3

2. Complexitatea algoritmilor și mecanismelor inferențiale utilizate în procesele senzoriale, de modelare a lumii reale, de generare a comportamentului, de judecare a valorilor și de comunicare globală;
3. Datele, informațiile și piesele de cunoaștere stocate în memoria sistemului;
4. Complexitatea proceselor de funcționare a sistemului.

Asemenea niveluri de inteligență pot fi observate prin măsurarea cu ajutorul unor criterii de performanță bine stabilite (costuri, timp, acuratețe, etc.) a succesului realizării scopurilor și/ deciziilor sistemului inteligent. Inteligența poate fi observată cum evoluează, prin creșteri ale puterii de calcul și de inferențiere, de decizie și de percepție, de acțiune în medii din ce în ce mai complexe și mai nesigure, aflate în continuă schimbare. Dezvoltătorii, proiectanții și programatorii au un mare cuvânt de spus în materie de creștere a puterii de calcul și inferențiere a sistemelor inteligente. Ei pot realiza *adaptarea și creș-*

*terea inteligenței sistemului* prin accelerarea învățării. *Învățarea* este mecanismul care permite rafinarea cunoașterii despre domeniu sau lumea reală, despre îmbunătățirea raționamentelor și deprinderilor de acțiune ale sistemului.

## 6. Fenomenul de calcul și inferențiere

Este obișnuită în teorie tratarea inteligenței ca pe un fenomen de calcul și inferențiere bazat pe funcționarea unitară, într-un ciclu închis, a **patru procese fundamentale**: 1) generarea comportamentului, 2) modelarea lumii reale (domeniului), 3) procesarea senzorială și 4) judecarea valorii (vezi figura 1.1). Aceste procese pot lucra în deplină cooperare în scopul prelucrării informației recepționate de la senzorii instalați în mediu, construirea, întreținerea și utilizarea bazei de cunoștințe, selectarea scopurilor, reacționarea la semnalele senzorilor, execuția sarcinilor și acțiuni de control.

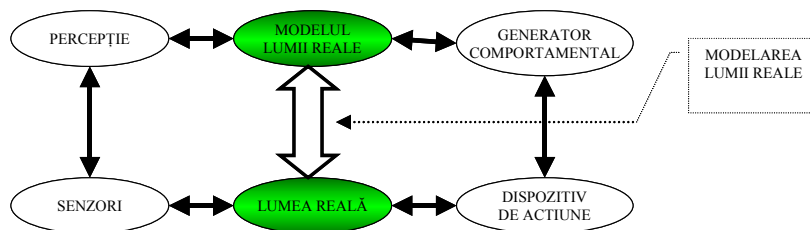


Fig.1.1. Relația funcțională a elementelor inteligenței (Meystel și Albus, p.11)

*Procesarea senzorială* realizează funcții de stabilirea atenției, detectarea și gruparea evenimentelor, calculul atributelor, compararea observațiilor cu așteptările, recunoașterea obiectelor și evenimentelor, respectiv analiza situațiilor. *Modelarea lumii* construiește și stochează reprezentarea internă a entităților, evenimentelor, relațiilor și situațiilor, după care generează/ inferează predicții, așteptări, credințe și estimează rezultatele probabile ale acțiunilor viitoare. *Judecarea valorii* calculează costul, beneficiul, riscul și cheltuielile așteptate cu planurile, atribuie o valoare obiectelor, evenimentelor și situațiilor, în conformitate cu care decide ce este important sau neînsemnat, ce este rentabil și ce constituie o problemă, ce grad de încredere poate fi atribuit intrărilor în modelul lumii reale. *Genera-*

*torul comportamental* selectează scopuri, descompune sarcini, generează planuri, coordonează activitățile și controlează acțiunea. Aceste patru procese fundamentale sunt interconectate printr-un **calcul de control cíclic cu retroacțiune**. Acest control se află în interiorul sistemului inteligent și se realizează de la procesarea senzorială prin modelarea lumii reale și judecarea valorii către generatorul comportamental. În figura nr.1.1 puteți observa cum un sistem (agent) inteligent este format din subsisteme (senzori și dispozitive de acțiune). Ciclul este închis din afara sistemului ca urmare a unei acțiuni, exercitată, asupra lumii reale, prin senzori. În interiorul ciclului rezultatele sesizate sunt comparate cu scopurile dorite. După ce planurile sunt formulate se exercită controlul asupra lumii re-

ale pentru a se constata dacă rezultatele sunt cele stabilite prin planuri. Terminarea acestui ciclu constituie o condiție pentru orice sistem inteligent. Se înțelege că sistemul va opera numai asupra unei părți din lumea reală, și ca urmare condiția de finitudine a funcționării este obligatorie. Existența unei legături interne între modelul lumii reale și procesarea senzorială generează predicții care pot fi comparate cu observațiile senzorialilor. Cu ajutorul său poate fi închis ciclul din interiorul sistemului, care poate fi folosit la estimarea recursivă, la filtrarea predictivă sau ca o cerere de stocare a evenimentelor în memoria pe termen scurt. Să sesizăm și existența unei legături interne între generatorul comportamental, modelarea lumii reale și judecarea valorii, care închide ciclul planificării interne atunci când o varietate de planuri este simulată și evaluată înainte de selecția unuia pentru execuție. Unii autori (Meystel și Albus, p.12) arată că modelul din figura nr.1.1 poartă denumirea de **agent inteligent primitiv** sau ciclu fundamental de funcționare a sistemului inteligent.

Asemenea cicluri computaționale - de la percepție la acțiune, de la modelarea lumii la procesarea senzorială și de la generarea comportamentală la modelarea lumii, judecarea valorii și iar înapoi - se repetă în cadrul unui sistem inteligent la diferite niveluri, așa cum sunt subsistemele agregate în entități, evenimente și situații conform cu descompunerea scopurilor în subscopuri în funcție de care sunt generate comenzile. În cadrul fiecărui ciclu, modelarea lumii menține o bază de cunoștințe cu o anumită capacitate rezolutivă. La fiecare nivel, planurile sunt elaborate și actualizate pentru diferite orizonturi de timp, iar memoria pe termen scurt stochează percepțiile senzorialilor la anumite intervale de timp, după care retroacțiunea își schimbă caracteristicile. *Acest model cu ierarhie multirezolutivă a ciclurilor computaționale oferă o putere mai mare de pătrundere în fenomenele comportamentale, de percepție, cognitive, emoționale, de soluționare a problemelor și de învățare.* Până în prezent, acest model este singurul care suportă o teorie formală a sistemelor inteligente.

## 7. Cum distingem sistemele inteligente de sistemele neinteligente ?

Răspunsul cercetătorilor la această întrebare se materializează în rezultatul obținut cu așa numitele teste considerate obiective: testul Turing, camera chineză, testele Zadeh, respectiv testele de complexitate și raționalitate. La ele se adaugă o serie întreagă de considerații referitoare la proprietățile inteligenței, punctele de vedere pragmatice și răspunsurile științei cognitive (cognitica).

*Testul Turing* este propus de savantul britanic Alan Turing în anul 1950. Un expert dialoghează cu un program prin intermediul unei interfețe. Dacă programul poate răspunde astfel încât să se creadă că răspunsul provine de la un om și nu de la un calculator, atunci programul este considerat inteligent. Se înțelege că acest test nu consideră inteligența ca fenomen, ci abilitatea de a dovedi inteligență. În prezent, specialiștii consideră naive asemenea abordări.

*Camera chineză* este o abordare mai veche despre unele teste mentale. Unei persoane, care nu cunoaște limba chineză, aflată într-o cameră izolată, i se dă un set de reguli formale pentru manipularea simbolurilor acestei limbi. Persoana poate doar recunoaște vizual aceste simboluri și respectă regulile. Regulile stabilesc că, dacă persoana privește un simbol cu o anumită formă, atunci ea trebuie să-l reproducă întocmai pe hârtie. Regulile stabilesc și cum se formează diferitele grupuri de simboluri. Ca urmare, atunci când primește un set de simboluri, persoana trebuie să aplice regulile cunoscute și să scrie rezultatul pe care-l transmite unui observator cunoscător de chineză aflat în afara camerei. Observatorul va stabili dacă rezultatul este corect din punct de vedere gramatical pentru o conversație în limba chineză. Concluzia: dacă persoana izolată face exact ceea ce face și un calculator în aceleași condiții, atunci ea este competentă în manipularea simbolurilor. Acest test mental a determinat următoarele concluzii: 1) programele pentru calculator sunt formale și manipulează simboluri; 2) creierul uman are un conținut mental și manipulează semnificații; 3) sintaxa nu este translatată în semantici; ca urmare manipula-

rea simbolurilor nu presupune nici-o înțelegere a semnificației lor. Desigur, J. Searle, cel care a propus acest test mental, a dorit să demonstreze că implementarea unui algoritm, izomorfic din punct de vedere formal față de procesele umane de raționament, nu este suficient pentru reproducerea proceselor de gândire. Argumentele lui Searle proclamă faptul că „manipularea simbolurilor” și „manipularea semnificațiilor” diferă prin natura lor. Ca urmare, au apărut imediat două întrebări esențiale: 1) putem manipula orice numai cu ajutorul simbolurilor ? 2) reușim chiar dacă „semnificația” nu este reprezentată în simboluri ?

*Testul Zadeh* se referă la o „intelență puternică” și anume: Se prezintă un articol unui calculator, căruia i se cere să ofere un rezumat. Calitatea rezumatului va fi judecată pe baza abilității calculatorului de a extrage „esențialul” articolului într-o formă cât mai concisă. Fără îndoială că orice sistem capabil de asemenea acțiune va fi considerat inteligent. Acest test, în cazul unei „intelențe mai slabe” pare foarte simplu. Dar ce ne facem dacă calculatorul nu reușește acest lucru, dar poate face alte lucruri considerate inteligente ?

*Testele de complexitate și raționalitate* se adresează diferitelor niveluri ale cunoașterii, deprinderi de raționament și grade de complexitate. De exemplu, putem cere unui calculator să analizeze fotografiile a trei sau patru artiști, apoi să analizeze opera fiecăruia după care să facă raționamente cu privire la cine este autorul fiecărei opere de artă. Se știe că oamenii care colindă simezele artiștilor plastici pot oferi răspunsuri perfecte pe baza celor citite de ei în cărțile despre pictori și opera lor. Dar poate fi acesta un test corect pentru intelența umană ?

Meystel și Albus consideră că pot fi propuse și alte teste mult mai realiste și mai practice de evaluare a complexității și raționalității în cazul sistemelor inteligente. De exemplu, putem controla capacitatea unui program inteligent de generare a alternativelor decizionale pentru o situație managerială bine particularizată și de selecție a alternativei adecvate; putem controla posibilitățile de analiză inte-

ligentă a datelor obținute printr-o cercetare experimentală într-un anumit domeniu; ș.a.m.d. Desigur cazurile de testare a sistemelor inteligente pot fi particularizate în funcție de domeniu și realitatea aplicațiilor. De ele răspund membrii echipelor de dezvoltare-cognoscienii.

Toate asemenea teste sunt mai productive dacă se cunosc **proprietățile intelenței** în general. În literatură aceste proprietăți sunt sistematizate astfel:

1. să recunoască și să dea sens unei situații (peisaj, obiect, fenomen, eveniment);
2. să înțeleagă o sentință (un verdict, o decizie);
3. să construiască un răspuns concret din situația percepută;
4. să alcătuiască o situație inteligibilă, corespunzătoare semnificației răspunsului selectat;
5. să reprezinte în interiorul său situația percepută;
6. să execute sarcini de descoperire a cunoașterii relevante pentru situația în cauză.

Aceste proprietăți sunt formulate nu neapărat pentru ființele umane, ci pentru toate ființele vii dotate cu intelență, dar și pentru artefacte.

*Definiția pragmatică a intelenței* prezintă și ea importanță pentru scopul lucrării noastre. Importante grupuri specializate în sisteme inteligente oferă tot mai des asemenea definiții; ei vor ca pe baza acestora să identifice aspectele formale ale sistemelor inteligente. De exemplu, gradul de intelență al unei mașini inteligente este dat de complexitatea intrărilor și de dificultatea problemelor abordate în timpul funcționării sale cu succes. Alt exemplu, dacă un sistem informațional utilizează mai multe module de tip sistem expert, tehnologia fuzzy și un sistem conexionist, atunci el este considerat inteligent (desigur din perspectiva dezvoltatorilor săi). *Evoluția intelenței* a fost percepută ca niște mecanisme de supraviețuire asociate construcției unui model despre lume și instrumentelor necesare pentru înțelegerea realității înconjurătoare. Asemenea viziune este rezultată din metoda de lucru a savanților. De exemplu, J.S. Albus (1981) oferă câteva definiții pentru intelență și face aluzie la rolul integrator al unui sis-

tem capabil să ia decizii, să reprezinte cunoașterea, să perceapă, să-și propage caracteristicile, etc. A. Newell (1990) leagă inteligența de cogniție și cogniția de cunoaștere. Potrivit acestui autor, un sistem este inteligent în măsura în care dovedește un anumit nivel de cunoaștere și dacă sistemul folosește toate nivelurile de cunoaștere, atunci el este perfect inteligent (p.90). McFarland și Bosser (1993,p.308) arată că „o problemă a folosirii inteligenței umane ca bază pentru inteligența artificială constă în tendința de a confunda inteligența cu cogniția”. Se pare că abordarea cognitivistă este cea mai corectă în materie de sisteme inteligente. Ea este utilizată de către cei mai mulți autori în domeniu.

### 8. Aserțiuni cu privire la inteligență ca produs și instrument al comportamentului și comunicării

#### Comportament avantajos

La ființele vii, creierul este primul și cel mai important sistem de control. Funcția sa primordială este de a produce un comportament bazat pe scop pentru căutarea hranei, evitarea pericolelor, lupta pentru teritoriu ș.a.m.d. Oricare creier, inclusiv al celor mai mici insecte, generează și controlează comportamente. De aceea cercetătorii aserțiază că *în fiecare sistem inteligent (natural sau artifact), inteligența reprezintă mecanismul capabil să genereze cel mai avantajos comportament*. Inteligența îmbunătățește abilitatea individului de a acționa eficient și de a alege cea mai bună dintre alternativele comportamentale. Niveluri foarte mari de inteligență permit unui sistem să-și imagineze evenimente și să aleagă cel mai bun raționament pe baza căruia să intuiască rezultatele acțiunilor de întreprins. Asemenea abilități oferă individului inteligent un avantaj competitiv asupra celor mai puțini inteligenți, implicați în același proces de supraviețuire și propagare a genelor. Capacitatea intelectuală și deprinderile comportamentale care produc succese în activitățile curente sunt transmise generațiilor următoare de indivizi. Astfel, competiția dintre indivizi devine competiția dintre inteligențe și acest mecanism determi-

nă evoluția inteligenței din cadrul fiecărei specii.

#### Incursiune în inteligența multiagent

Inteligența biologică este produsul unei competiții continue în strădaniile pentru supraviețuire și propagare a genelor, care s-a desfășurat pe parcursul a milioane de ani și a implicat milioane și milioane de creiere. Rezultatele acestor strădani pentru supraviețuire au fost determinate în cea mai mare măsură de inteligența competitorilor. Care este aserțiunea cercetătorilor în acest context ? *Pentru grupurile de indivizi (agenți), inteligența oferă un mecanism de grup ( o structură multiagent) de generare colaborativă a comportamentului cel mai avantajos*. Inteligența sistemelor artifacte ar trebui să fie proiectată astfel încât proprietăți similare inteligențelor biologice să fie încorporate în sistemele inteligente.

#### Reprezentarea realității, comunicarea și limbajul

Abilitatea de a transforma „realitatea” într-o „reprezentare eficientă a realității” este considerată cea mai importantă aserțiune legată de inteligență. Într-adevăr reprezentarea realității poate fi realizată cu ajutorul semnelor sau simbolurilor, iar dacă este necesar acestea pot fi memorate și/ comunicate, astfel încât pe baza lor să poată fi declanșate comportamente. **Semnele** (simbolurile) conțin date, informații și cunoaștere care reflectă diferitele niveluri de reprezentare; vezi piramida abstractizării în (Andone, 1999, p.103). Desigur, această aserțiune are la bază **conceptul de „relație”** dintre două entități individuale (agenți, obiecte, sisteme, fenomene, etc.) care este înțeles în contextul consecințelor sale. **Comunicarea**, la rândul său, este un concept asociat relației, care a evoluat în scopul realizării unei legături între agenți. De aceea cercetătorii prezintă comunicarea ca pe o transmisie a datelor, informației și cunoașterii între sistemele inteligente sau între subsistemele unui sistem inteligent.

**Limbajul** este mijlocul simbolic prin care datele, informațiile și cunoașterea sunt codificate în scopul memorării și comunicării. Fiecare limbaj dispune de trei componente de bază: vocabularul, sintaxa (gramatica) și se-

mantica. Vocabularul este setul de cuvinte folosit de un limbaj, fiecare cuvânt fiind reprezentat cu simboluri; sintaxa este setul de reguli pe baza cărora pot fi alcătuite șiruri de simboluri care alcătuiesc fraze; semantica este corespondența dintre construcțiile limbajului și semnificația lor. Semantica permite codificarea informației în structuri cu semnificație (înțeles) sau mesaje. **Mesajele** sunt fraze care exprimă utilitatea informației. Comunicarea impune ca datele, informațiile și cunoașterea să fie: 1) codificate, 2) transmise, 3) recepționate, 4) decodificate, 5) interpretate și 6) înțelese. Înțelegerea cere ca informația din mesaj decodificată corect să fie încorporată într-un model al receptorului astfel încât problemele să fie explicate ușor. Înțelegerea problemelor presupune o căutare a soluției eficiente și generarea acțiunilor corespunzătoare. Fiecare asemenea pas contribuie la extragerea semnificației mesajului comunicat.

În funcție de complexitatea sa, un limbaj poate fi capabil de comunicarea celor mai complexe mesaje sau numai a unor mesaje simple. Indivizii cei mai inteligenți dispun de un vocabular cuprinzător și de o sintaxă de mare complexitate, putând înțelege și acționa rapid pe baza semnificației mesajelor primite. Aceste contexte teoretice favorizează aserțiunea potrivit căreia *în orice sistem inteligent, limbajul evoluează sau este proiectat astfel încât să echilibreze balanța dintre conținutul adecvat și complexitatea mesajelor care pot fi generate.*

De exemplu, pentru un individ receptor, beneficiul sau valoarea comunicației este direct proporțională cu produsul dintre: cantitatea de informație conținută în mesaj \* abilitatea receptorului de a înțelege și acționa pe baza acelei informații \* importanța acțiunii de a supraviețui și a propaga genele sale. Această aserțiune poate fi extinsă atunci când creșterea valorii pe unitatea de informație (semn, simbol sau etichetă) poate servi ca o măsură a creșterii nivelului cunoașterii și/ acțiunii rezultate din succesul funcționării sistemului. Desigur, pot fi realizate evaluări similare pe baza altor parametri ale unor situații care folosesc premise similare. Întotdeauna o inteligență mai mare amplifică abilitatea indivizilor

(agenților) sau grupului de indivizi în analiza mediului, codificarea și transmiterea informației despre mediu, detectarea mesajelor, recunoașterea semnificației lor și acționarea eficientă pe baza informației receptate. În cazul speciilor sociale, comunicarea oferă bazele organizării societale.

### **Agentul inteligent primitiv**

Am văzut mai sus că inteligența în sistemele artefacte poate fi creată prin definirea unei arhitecturi care reglementează funcționarea împreună a unor componente neinteligente. Această arhitectură, în concepția lui Meystel și Albus, trebuie să poată procesa semne și simboluri și să se caracterizeze prin următoarele proprietăți fundamentale:

- Finitudine funcțională;
  - Construirea unei reprezentări a mediului;
  - Să posede algoritmi de învățare prin generalizare capabili să producă proprietățile multirezolutive în sistem;
  - Să dispună de algoritmi de autoreferențiere.
- Agentul inteligent primitiv organizează toate elementele inteligenței în așa fel încât creează relațiile funcționale și fluxurile informaționale prezentate în figura nr.1.1, de mai sus. Potrivit autorilor săi, aceasta este o arhitectură care combină un aranjament general pentru funcționarea prin cooperare a unor subsisteme, în așa fel încât orice sistem inteligent să poată exista, să-și execute funcțiile și să-și perpetueze existența. În viziunea acestor autori, pot fi imaginate și alte versiuni mult mai complexe pentru sistemele inteligente multirezolutive. În toate cazurile, esența lor este determinată de capacitățile funcționale care conțin elemente de automatism (în înțeles psihologic).

### **9. Învățarea și automatismele. De la reflexe și reguli la programe, de la programe la autoorganizare**

Automatismul este abilitatea unui agent inteligent primitiv de a genera simboluri elementare (șiruri de informații și/ acțiuni sau inițiative comportamentale) cu ajutorul comenziilor de ieșire memorate în răspunsul la intrările pregătite în prealabil cu caracter stimulator. În aceste cazuri, existența automatismelor poate fi asociată cu o tabelă de căutare



proprie a regulilor de acțiune. Termenul de automatism este introdus în știință cu înțeles de stare sau acțiune automată. De exemplu, în medicină automatismul este funcționarea involuntară a unui organ care nu se află sub controlul conștient. Aplicațiile practice ale acestui termen sunt importante în cele mai diferite domenii științifice, inclusiv în tehnologia sistemelor inteligente, mai ales pe linia teoriei controlului învățării sau controlul învățării automate. Se știe că dezvoltarea evolutivă a sistemului nervos central la organisme vii este echivalentă cu dezvoltarea învățării pentru a acționa. Învățarea pentru a acționa eficient constituie leitmotivul formării simbolurilor. Așa cum rezultă din cercetările neurofiziologice și neuropsihologice, acest concept este unul fundamental în ierarhia de cicluri fundamentale existente în sistemul nervos central și reprezintă un mijloc de a demonstra utilizarea aceluiași principii funcționale la toate nivelurile ierarhice ale sistemului nervos. Automatismele, explicate de științele comportamentului, sunt de diferite categorii:

- răspunsuri neorganizate sau slab organizate la anumiți stimuli;
- mișcări reflexe (independente de voință) ale unui organ ca rezultat al existenței unui stimul nervos;
- activitate reflexă a întregului organism;
- instinctele.

S-a dovedit științific faptul că învățarea, în formele sale elementare, este o dezvoltare a automatismelor, iar învățarea în sens larg poate fi considerată ca o evoluție a automatismelor care compun sistemul nervos. În timpul învățării au loc procese de achiziție a experiențelor și de transformare a lor în reguli de acțiune, dacă există un **sistem automat de învățare**. Un asemenea sistem funcționează în următorii pași:

1. înregistrarea experiențelor sub formă de asocieri dintre patru componente: *stare*, *acțiune*, *schimbarea stării* și *valoare*. Sistemul de memorare permite gruparea (clusterizarea) acestor asocieri pe baza similarității fiecărui element de asociere;
2. clusterelor sunt generalizate sub formă de *ipoteze* ale viitoarelor reguli;

3. elementele regulilor sunt organizate sub formă de *concepte*;

4. pe măsură ce experiențele ulterioare confirmă ipotezele, li se atribuie o *valoare de preferință* mai mare;

5. pe măsură ce numărul regulilor crește, aceeași procedură de grupare se aplică și lor. Astfel se obțin *metareguli* din care se extrag *metaconcepte*. Mai adăugăm că pe măsură ce procesul de învățare a fost declanșat, el nu poate fi oprit deoarece noile reguli generează experiențe noi. Experiențele noi oferă bazele pentru noi generalizări și astfel se ajunge la niveluri noi de generalizare (de abstracție, detaliere/granularitate sau rezoluție). Pe măsură ce apare un nou nivel de generalizare, procesul de învățare este declanșat automat la acest nivel. Fiecare nivel de generalizare are propriul vocabular legat de automatismul respectivului nivel;

6. repetarea cât mai frecventă a pașilor de la 1 la 5 determină formarea unei ierarhii de reguli, metareguli și metaconcepte.

Până în prezent au fost experimentați numeroși algoritmi de învățare automată și au fost implementați sub formă de programe pe diferite tipuri de platforme hardware, cu deosebire din acelea care favorizează lucrul eficient cu sisteme conexioniste (rețele neuronale artificiale).

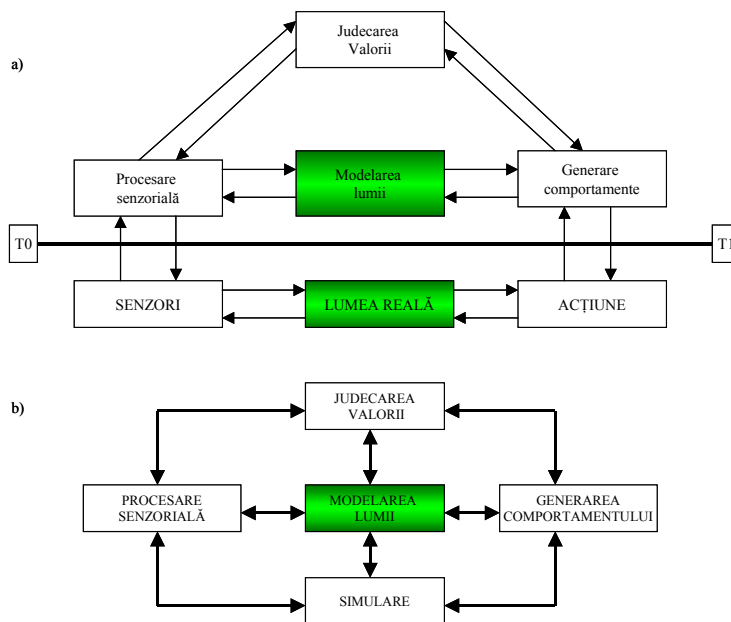
### 10. Conceptul de agent și locul său în cercetarea actuală

Conceptul de agent, s-a dovedit deja, reprezintă o temă fructuoasă în domeniul sistemelor inteligente. El permite profesioniștilor din cele mai variate domenii să identifice activitățile intelectuale proprii cu ajutorul unui set redus și elegant de idei, așa cum se sugerează în figura nr.1.1. Sistemele inteligente pot opera cu tot felul de agenți. Arhitectura lor este constituită din adevărate comunități de agenți aflați în interconexiune. Termenul de agent este acum omniprezent în literatura de ingineria programării, cu deosebire în sistemele multiagent, sistemele mari și complexe din automatizări și calculatoare, respectiv robotică. Există în prezent trei grupuri dominante de agenți tratate preferențial în literatură: agenții raționali, agenții autonomi și agen-

ții mobili. Agenții raționali au fost introduși formal la disciplina de inteligență artificială, iar conceptul de raționalitate este asociat cu legile gândirii, legi bazate pe logică. Astfel, „un agent rațional este agentul care poate gândi corect” (Russel și Norvig, 1995). Evident, definiția face aluzie la conceptul de succes și ideea de măsură a performanței într-o activitate specifică. Conform lui Meystel și Albus (2002), agentul este un sistem care poate fi încorporat într-un anumit mediu de lucru, poate percepe intrări și realizează acțiuni prin ieșirile sale. Deși un agent este similar celui din figura 1.1, el poate fi reconfigurat ca în figura 1.2, separat pentru agentul inserat în mediul de lucru și separat pentru agentul software în general. Din figură se poate observa că agentul presupune ceva mai

mult decât o suprapunere a secvențelor de intrări-percepții pe secvențele de ieșiri-acțiuni. Arhitectura din figura 1.2.a) oferă pentru viitoarele dezvoltări un model al lumii reale și îmbunătățește procesele de generare a comportamentului ca urmare a informației nou receptate de senzori, între două intervale de timp.

Russel și Norvig (1995) disting patru tipuri de agenți: 1) agenți cu automatisme (cu reflexe simple), 2) agenți care urmăresc schimbarea lumii reale, 3) agenți bazați pe scop, și 4) agenți bazați pe utilitate. Scopul este unul încorporat în modelul agentului, iar utilitatea se referă la posibilitatea alegerii unei acțiuni-ieșire mai convenabile. Agenții raționali se prezintă ca niște mașini automate sau roboți preprogramați.



**Fig.1.2.** Arhitectura unui agent inteligent: a) în mediul de lucru, b) imaginar

Ei pot fi echipați cu dispozitive care pot selecta o soluție preplanificată, dispun de o reprezentare a lumii destul de rudimentară și au capacitate de învățare simplă (recunoaștere de imagini sau șiruri de simboluri). Desigur că inteligența lor este limitată, în funcție de domeniul aplicativ. În multe domenii, ei se numesc chiar dispozitive automate sau sisteme automate.

*Agenții autonomi* lucrează independent de intervenția agenților umani; autonomia lor este limitată deoarece se știe dinainte ceea ce ar

urma să se întâmple dacă în mediul lor de lucru se produc anumite schimbări. Termenul autonom se justifică atunci când situațiile viitoare ale mediului de acțiune nu sunt preprogramate și agentul are libertatea de decizie totală cu privire la ce, când și cum trebuie să procedeze. La Conferința Internațională dedicată agenților autonomi din 1998, s-a clarificat acest concept în următorul mod: „agenții autonomi sunt sisteme capabile de acțiuni independente pe măsura evoluției dinamice a mediilor impredictibile în care operează”.

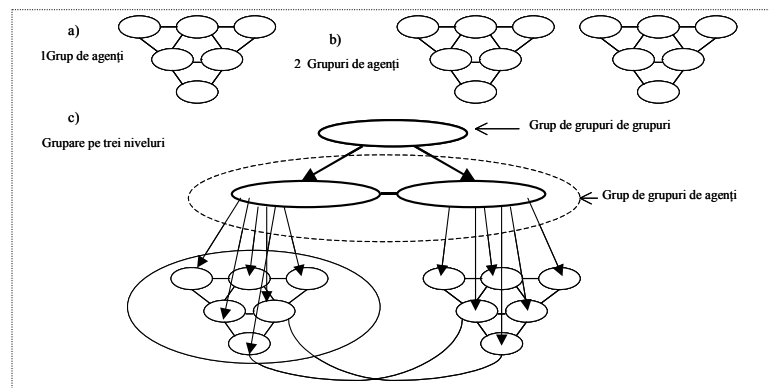
Franklin și Graesser (1996) au și ei definiții pertinente asupra agenților autonomi; îi consideră sisteme situate într-un mediu de lucru, care percep mediul și acționează asupra sa, urmărindu-și îndeplinirea agendei proprii.

Hayes-Roth (1995) are o definiție interesantă despre agenții inteligenți: ”agenții inteligenți realizează în mod continuu trei funcții- perceperea condițiilor dinamice de mediu, acțiunea pentru influențarea condițiilor de mediu și raționamentul pentru interpretarea percepțiilor, soluționarea problemelor, realizarea inferențelor și determinarea acțiunilor”. Credem că cea mai realistă definiție a agenților inteligenți aparține cercetătorilor Wooldrige și Jennings (1995): *Agenții mobili* sunt agenți care se pot deplasa fizic printr-o rețea în scopul efectuării unor sarcini pe calculatoarele care dispun de capacitatea de găzduire a acestora. Ei permit migrarea proceselor de la un calculator la altul pentru execuția proceselor care le solicită intervenția, după care revin la locul lor de origine. Spre deosebire de apelurile de proceduri, în care un proces invocă execuția acestora pe un calculator gazdă, agenții mobili permit migrarea unui cod executabil care interacționează cu bazele de date, cu alte fișiere ale sistemelor instalate, cu servicii informaționale și alți agenți.

*Grupurile de agenți* se comportă și ele ca agenții inteligenți. De fapt, cercetătorii arată că există posibilitatea grupării agenților în ierarhii și se poate proceda la generalizarea agenților ca în figura 1.3, unde fiecare oval

reprezintă un agent, iar conexiunile dintre agenți demonstrează relațiile care se pot stabili în această ierarhie, până se ajunge la adevărate societăți de agenți sau agenții.

După cum se observă din această figură, o arhitectură reprezintă o formație specifică de agenți. A. Newell propune termenul de „arhitecturi cognitive” pe care îl interpretează ca pe un fragment al unui sistem inteligent care deține și gestionează resursele unui agent. Arhitecturile cognitive, în opinia lui A. Newell, definesc mediul informațional și fizic în care acționează grupurile de agenți, cu ajutorul unui sistem simbolic de control. Pornind de la asemenea considerente, se înțelege că și conceptul de sistem inteligent nu a ajuns încă la conturarea sa completă, definitivă. Mai este încă nevoie de eforturi de cercetare intense. De altfel, agenții cognitivi și arhitecturile lor au diferite caracteristici și proprietăți. Unii utilizează o reprezentare uniformă a cunoașterii, alții folosesc o reprezentare eterogenă, după cum alții nu utilizează nici-o reprezentare explicită. Alegerea unei caracteristici este determinată de aspectele metodologice folosite în domeniul aplicativ real. Mulți cercetători ignoră pur și simplu cadrul conceptual oferit de științele cognitive. Alții sunt interesați în dezvoltarea agenților inteligenți care să populeze și să transforme eficient un mediu aplicativ real. În astfel de cazuri, interacțiunile dintre arhitectură și mediu prezintă un interes aparte.



**Fig.1.3. Ierarhii de agenți**

După cum se observă, nu există încă unitate deplină în privința abordărilor teoretice în domeniul tehnologiei sistemelor inteligente.

Meystel și Albus (2002, p.30) arată că percepțiile greșite asupra problematicii sistemelor inteligente s-au transformat în adevărate

*paradigme* cu titlu provizoriu, în realitate mituri create de către diferiți cercetători și plasate artificial în contextul unor teorii. Iată trei asemenea mituri generate de teoria arhitecturilor cognitive:

1. Dacă toate subsistemele sunt construite din rețele neuronale artificiale, sistemul inteligent nu va avea de ales; el va deveni inteligent cât mai curând posibil, desigur după executarea proceselor de învățare specifică; O surpriză neașteptată în realitate: echiparea unui sistem cu o rețea neuronală artificială este o soluție de sistem inteligent.

2. O activitate a unui sistem foarte complex bazat pe o arhitectură cognitivă ierarhică poate fi înlocuită cu un grup de automatisme echipat cu „intelligență reactivă” care funcționează pe principiul ”stimul-răspuns”. Astfel de agenți oferă oportunitatea negocierii libere și discutarea situației lor locale. Surpriza: dacă toate funcțiile unui sistem sunt repartizate unor agenți inteligenți echipați cu reguli de tipul stimul-răspuns, fiecare fiind capabil să rezolve o problemă particulară prin generarea unui comportament elementar, atunci sistemul în întregul său devine sistem inteligent.

3. Enigma reprezentării (Brooks,1991): pot exista sisteme inteligente care nu dispun de o reprezentare a cunoașterii. Datorită viziunii lor diferite asupra modelelor conștiinței și gândirii, în abordările lor cercetătorii occidentali arată că inteligența poate fi demonstrată prin descompunerea și analiza pe părți/entități, a unui sistem continuu (discretization of the continuum into entities), pe când unii cercetători din estul Europei arată că inteligența este rezultatul proceselor meditative/reflexive intense, singurele care oferă șansa dezvoltării unor soluții inteligente și creativității adevărate. Desigur, aceasta din urmă este o abordare filosofică care nu ține seama de realizările științei cognitive.

Cititorul trebuie să știe că numeroasele taxonomii realizate în literatură pentru agenții inteligenți clarifică aspectele deosebite legate de arhitectură, filogenie, caracteristici minimale, mediul computațional, etc. Modelarea bazată pe agenți se potrivește cel mai bine analizei proceselor dinamice complexe deoarece permite o reprezentare mai completă a

caracteristicilor și acțiunilor agenților, care nu sunt suportate de către formalismele și rigurozitatea algoritmilor clasici. Cele mai studiate sisteme dinamice sunt cele din economie, ecologie și mediul social în general, unde reprezentarea componentelor sistemului cu agenți autonomi este mai naturală. În studiul unor asemenea sisteme complexe neliniare este mai potrivită folosirea modelului global de evoluție pentru un anumit interval de timp; în astfel de cazuri găsirea unui model matematic evolutiv este deosebit de dificilă.

### Concluzii

După cum se vede, teoria sistemelor inteligente constituie o preocupare extrem de importantă pe care cercetătorii în sisteme informaționale economice n-o pot ignora dacă vor să fie în cunoștință de cauză în noile lor dezvoltări. Noi am prezentat ultimele abordări în materie, în speranța că toți cei interesați vor analiza cu atenție acest domeniu și-l vor apropria și mai mult folosindu-l cu rezultate cât mai fructuoase în munca lor. Se observă că inteligența poate fi sesizată în egală măsură atât la sistemele biologice cât și la artefacte, iar fundamentele teoretice ale sistemelor inteligente trebuie să facă obiectul preocupărilor de cercetare în toate laboratoarele avansate, alături de reprezentarea cunoașterii, arhitecturile cognitive și învățarea, dar și metodologiile caracteristice dezvoltării de soluții inteligente pentru multitudinea de probleme economice și de management de pe raza de activitate a întreprinderii, toate de un real interes în analiza și proiectarea noilor sisteme informaționale inteligente. În final iată *un exercițiu important pentru cititor*: desenați structura unui sistem multiagent pentru domeniul economic folosind forma celui prezentat în figurile nr.1.1 și 1.2, și analizați conceptul de complexitate, așa cum ar rezulta el din complexitatea calculelor și inferențelor specifice fiecărui subsistem. Proiectați o ierarhie de sistem ca aceea din figura nr.1.3, posibilă pentru această structură, în cazul folosirii mai multor grupuri de agenți inteligenți. E greu, e ușor ? Nu uitați că așa vor sta lucrurile într-un timp din ce în ce mai scurt. Considerați că v-ați pregătit suficient pentru

această tehnologie ? Ce-ar fi dacă ați fi puși să gândiți în maniera specifică pentru o aplicație reală din management, contabilitate, finanțe-bănci, asigurări, sau marketing și vânzări?

### Bibliografie

- Adami, Ch., *Introduction to Artificial Life*, Springer Verlag, 1998;
- Adeli, H., *Knowledge Engineering*, Vol.I+II, McGraw Hill, New York, 1990;
- Albus, J.S., *Brains, Behavior, and Robotics*, Byte Books, McGraw Hill, 1981;
- Albus, J.S., *Outline for a theory of intelligence*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 21, No.3, May/June 1991, p.473-509;
- Anderson, J.R., *Rules of the Mind*, Erlbaum, Hillsdale, 1993;
- Andone, I., Mockler, R.J., Dologite, D.G., Țugui, Al., *Dezvoltarea sistemelor inteligente în economie. Metodologie și studii de caz*, Ed. Economică, București, 2001;
- Andone, I., *Sisteme inteligente hibride. Teorie, studii de caz pentru aplicații economice și ghidul dezvoltatorului*, Ed. Economică, București, 2002;
- Brooks, R.A., *Intelligence without Representation*, Artificial Intelligence, No.47, p.139-159, 1991;
- Buraga, S.C., *Tipuri de agenți software. Interfețe utilizator inteligente și adaptabile, sisteme multiagent*, NET Report, August, <http://thor.info.uaic.ro/~busaco/publications/articles/agenti3.pdf>
- Chomsky, N., *Language and Thought*, Moyer Bell, Wakefield, 1993;
- Churchland, P.S., Sejnowski, *The Computational Brain*, MIT Press, Cambridge, 1992;
- Ciampolini, A., Lamma, E., Mello, P., Stefanelli, C., Torroni, P., *An Implementation for Abductive Logic Agents*, Lecture Notes in Computer Science, 1999, <http://citeseer.ist.psu.edu/ciampolini99implementation.html>
- Dennett, D., *Cognitive science as reverse engineering*, in Brainchildren, Essays on Designing Minds, MIT Press, Penguin Books, 1998;
- Drăgănescu, M., *Societatea informațională și a cunoașterii. Vectorii societății cunoașterii*, Academia Română, Secția de Știința și Tehnologie Informației, <http://www.racai.ro/~dragam>;
- Dreyfus, H.L., Dreyfus, S.E., *Mind Over Machine. The Power of the Human Intuition and Expertise in the End of the Computer*, Simon & Schuster, 2000;
- Fogel, L.J., *Intelligence Through Simulated Evolution*, John Wiley & Sons, New York, 1999;
- Franklin, S., Graesser, A., *Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents*, <http://www.mscl.memphis.edu/~franklin/AgentProg.html>, 1996;
- Gardner, H., *Multiple Intelligences: The Theory in Practice*, Basic Books, New York, 1993;
- Gould, S.J., *Ever Since Darwin: Reflections in Natural History*, Norton & Co., New York, 1997;
- Hayes-Roth, B., *An Architecture for Adaptive Intelligent Systems*, Artificial Intelligence: Special Issue on Agents and Interactivity, No.72/1995, p.329-365;
- Hoffmeyer, J., *Signs of the Meaning in the Universe*, Indiana University Press, Bloomington, 1996;
- Jackendorff, R., *Languages of the Mind: Essays on Mental Representation*, MIT Press, Cambridge, 1993;
- Johnson-Laird, P.N., *Mental Models*, Harvard University Press, Cambridge, 1983;
- Kohonen, T., *Self-Organization and Associative Memory*, Springer-Verlag, Berlin, 1984;
- Kossiakoff, A., Sweet, A.N., *Systems Engineering Principles and Practices*, Wiley-Interscience, 2002;
- Kowalski, R., Sadri, F., *An Agent Architecture that Unifies Rationality with Reactivity*, <http://citeseer.nj.nec.com/kowalski97agent.html> 1997;
- Kowalski, R., *From Logic Programming to Multi-agent systems*, <http://citeseer.ist.psu.edu/kowalski98from.html>, 1998;
- Leon, F., *Stadiul actual al cercetărilor în domeniul agenților inteligenți*, Referat de doctorat, 2002, <http://eureka.cs.tuiasi.ro/~fleon/phd/Referat1/Referat1.pdf>;
- Margolis, H., *Patterns, Thinking, and Cognition: A Theory of Judgement*, University of Chicago Press, 1987;
- McFarland, D., Bossert, T., *Intelligent Behavior in Animals and Robots*, MIT Press, Cambridge, 1993;
- Mesarovich, M., Macko, D., Takahara, Y., *Theory of Hierarchical Multilevel Systems*, Academic Press, New York, 1970;
- Albus, J.S., *Engineering of Mind: An Introduction to Science of Intelligent*, Wiley-Interscience, 2001;
- Meystel, A.I., Albus, J.S., *Intelligent Systems. Architecture, Design, and Control*, John Wiley & Sons, 2002;
- Newell, A., *Unified Theories of Cognition*, Harvard University Press, Cambridge, 1990;
- Pitt, J., *Open Agent Societies: Normative Specifications in Multi-Agent Systems*, John Wiley & Sons, London, 2002;
- Reitman, W., *Cognition and Thought: An Information Processing Approach*, Wiley, New York, 1965;
- Rosenfeld, A., (ed), *Multiresolutional Image Processing and Analysis*, Springer-Verlag, Berlin, 1984;
- Russell, S., Norvig, P., *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice Hall, 1995;
- Searle, J., *Minds, Brains, and Programs*, in Behavioral and Brain Sciences., Nr.3, 1980, p.417-424;
- Sternberg, R.J., *Metaphors of Mind: Conceptions of the Nature of Intelligence*, Cambridge University Press, UK, 1990;
- Thagard, P., *Computational Philosophy of Science*, MIT Press, Cambridge, 1988;
- Turing, A., *Computing Machinery and Intelligence*, in Mind, 1950, p.434-460;
- Wagman, M., *Cognitive Science & Concepts of Mind: Toward a General Theory of Human & Artificial Intelligence*, Praeger Publishers, 1991;
- Weiß, G., Sen. S., (eds.), *Adaptation and Learning in Multi-agent Systems*, Springer-Verlag, Berlin, 1996;
- Weiß, G., (ed.), *Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, MIT Press, Cambridge, 2000;
- White, J.E., *Mobile Agents*, AAAI Press, MIT Press, Menlo Park, 1996;
- Wilson, B., *Systems: Concepts, Methodologies, & Applications*, Wiley, 1990;
- Wooldridge, M., Jennings, N.R., (eds.), *Intelligent Agents*, Springer-Verlag, Berlin, 1995;
- <http://www.gesmer.com/publications/softcopy/22.php> , reverse engineering, 13.05.'04
- <http://www.mscl.memphis.edu/~franklin/AgentProg.html> Taxonomy of Autonomous Agents, 3.05.'04
- <http://www.agentbuilder.com> An Integrated Toolkit for Constructing Intelligent Software Agents, Reticular Systems, Inc., Copyright 2001, 15.05.'04