

MODELAREA INCERTITUDINII ÎNTR-UN SISTEM EXPERT

dr. ing. Mihaela M. Oprea

Universitatea Petrol-Gaze Ploiești

Rezumat: Majoritatea aplicațiilor care necesită dezvoltarea unui sistem expert implică rezolvarea problemei incertitudinii specifice domeniului de expertiză. Funcționarea corectă a sistemului expert depinde, în bună măsură, și de soluția adoptată pentru rezolvarea acestei probleme. În lucrare, vom analiza principalele surse de incertitudine, specifice unui sistem expert, și vom detalia două dintre soluțiile care s-au impus în domeniul ingineriei sistemelor expert, modelul coeficienților de certitudine și modelul fuzzy. Exemplele prezentate sunt preluate din două sisteme expert, DIAGNOZA_TEHNICA, sistem expert cu caracter didactic și EXPERT_AT sistem expert dezvoltat în cadrul grantului CNCIS A_T 221/2001.

Curvinte cheie: cunoștințe incerte, raționament incert, incertitudine lingvistică, mulțimi fuzzy, sistem expert.

1. Introducere

În cadrul procesului de dezvoltare a unui sistem expert, un rol important îl ocupă crearea bazei de cunoștințe, respectiv, achiziționarea cunoștințelor din domeniul de expertiză. De modul în care se realizează această etapă depinde funcționarea corectă a viitorului sistem expert. Deseori, procesul de achiziție a cunoștințelor este imprecis [1], [2]. Este foarte probabil ca informațiile achiziționate (cunoașterea din domeniul de expertiză) să nu capteze exact cunoașterea expertului uman, întrucât acesta nu este mereu conștient de metodele pe care le utilizează în procesul de raționare. De asemenea, limbajul de reprezentare a cunoașterii și informațiile incomplete vor introduce și ele o anumită incertitudine în sistemul expert. Un alt tip de incertitudine apare la achiziționarea cunoașterii din diverse surse, din literatura de specialitate, de la experții în domeniu etc. În astfel de cazuri pot apărea cunoștințe redundante, incomplete sau conflictuale. Ținând cont de toate aceste surse de incertitudine, sistemul expert trebuie să fie suficient de robust pentru a putea rezolva corect diversele probleme din domeniul său de expertiză.

Una dintre soluțiile posibile pentru rezolvarea problemei incertitudinii o constituie tehnicile de raționament fuzzy, care pot furniza baza reprezentării impreciziei incluse în cunoașterea expertului uman [3], [4]. Ele pot fi utilizate împreună cu teoria probabilității și teoria Dempster-Shafer. Dacă situația este una probabilistică, atunci se va utiliza o metodă non-fuzzy. O altă soluție simplă, dar foarte eficientă în multe cazuri, este cea a introducerii unor coeficienți de certitudine asociați pieselor de cunoaștere din baza de cunoștințe [1], [5], [6].

Structurarea lucrării este următoarea. În secțiunea a 2a, vom analiza principalele surse de incertitudine dintr-un sistem expert, urmând ca, în secțiunea a 3a, să prezentăm două modele de reprezentare a incertitudinii, care s-au impus în ingineria sistemelor expert, modelul coeficienților de certitudine și modelul fuzzy. Două exemple vor fi discutate în secțiunea a 4a, sistemul expert cu caracter didactic, DIAGNOZA_TEHNICA și sistemul expert EXPERT_AT, destinat autoacordării optimale a buclelor de reglare. În ultima secțiune, vom desprinde câteva concluzii.

2. Surse de incertitudine într-un sistem expert

Cunoștințele dintr-un anumit domeniu de expertiză pot avea diferite surse de incertitudine. În continuare, prezentăm succint principalele surse de incertitudine într-un sistem expert, urmând ca în finalul acestei secțiuni să prezentăm câteva exemple de cunoștințe incerte.

Incetitudinea se poate datora raționamentului imprecis al expertului uman. Uneori, cunoștințele nu captează exact cunoașterea expertului uman, putând să conțină ele însele incertitudine.

În general, este foarte dificil de extras toată informația de la utilizatori, astfel că se pot genera informații incomplete, care adaugă incertitudine în sistem.

În cazul în care sistemul expert primește date de la dispozitive senzoriale din mediul de lucru sau de la alte echipamente, poate apărea problema zgomotului care introduce imprecizie în cunoștințele acumulate, datele măsurate nefiind exacte.

O altă sursă de incertitudine este dată de translatarea cunoștințelor din format extern (limbaj natural), în format intern sistemului expert, format ce utilizează un anumit limbaj de reprezentare a cunoștințelor.

Incetitudinea poate apărea în baza de cunoștințe unde avem *implicații slabe* sub forma relațiilor de implicație cu certitudini la mijlocul intervalului de valori. Translatarea cunoștințelor expert într-o implicație poate conduce la

pierderea înțelesului real al acestora. Sistemul expert trebuie să fie capabil să accepte și să utilizeze implicații slabe, împreună cu alte surse de informație, pentru a ajunge la o concluzie a problemei ce trebuie rezolvată.

Un alt tip de incertitudine apare în colecțiile de cunoștințe preluate din diverse surse, de la diferiți experți, din literatura de specialitate etc. Pot exista piese de cunoaștere conflictuale, redundante, lipsă sau care sunt incluse în alte piese de cunoaștere. În sistemele bazate pe reguli, acest tip de incertitudine a condus la compilarea regulilor într-o rețea în care pot fi examinate regulile din baza de cunoștințe astfel încât să se detecteze și remedieze astfel de probleme. Piese de cunoaștere lipsă apar pe măsură ce sistemul expert este testat, în timp ce piesele de cunoaștere care sunt incluse în alte piese de cunoaștere pot fi găsite de către inginerul de cunoștințe sau prin trasări succesive ale lanțului de raționamente efectuate în timpul consultării sistemului expert.

Prezentăm, în continuare, câteva tipuri de cunoștințe imprecise.

1. O persoană nu este sigură de o anumită piesă de cunoaștere de tip cauzală.

Regula 1: dacă P (0.8) atunci Q. (0.95)

Fapta 1: P. (0.9)

În acest exemplu, valorile date între paranteze reprezintă valorile certitudinii (încrederii în cunoștința respectivă) care sunt asociate atât faptelor, cât și regulilor. Astfel, soluția cea mai naturală pentru rezolvarea problemei incertitudinii este dată de modelul coeficienților de certitudine.

2. Imprecizia dintr-o expresie lingvistică în care limitele nu sunt clar definite.

Regula 2: dacă temperatura este ridicată și nivelul apei este coborât
atunci presiunea este mare.

Termenii imprecizi sunt **ridicăta**, **coborât** și **mare**. În contextul teoriei mulțimilor fuzzy, sunt numiți *termeni fuzzy*. Informațiile de acest tip sunt cel mai bine modelate de mulțimile fuzzy lingvistice [7]. O altă soluție o reprezintă teoria Dempster-Shafer. Totuși, mulțimile fuzzy furnizează o metodă mult mai intuitivă și va conduce la obținerea unor răspunsuri precise.

3. În unele cunoștințe, pot exista atât incertitudinea, cât și imprecizia.

Regula 3: dacă concurența este slabă și costul unitar este mare
atunci prețul de vânzare este mare. (0.95)

Termenii fuzzy sunt **slabă** și **mare**, iar incertitudinea este dată sub forma coeficientului de certitudine asociat regulii. Se poate întâmpla ca și incertitudinea să fie de tip fuzzy. De exemplu, dacă considerăm următoarea faptă:

Fapta 2: Silvan este un programator *abil*. (0.8 ÷ 0.9)

putem considera că 0.85 (mijlocul intervalului de valori) este valoarea incertitudinii asociate.

Tehnicile de raționament fuzzy furnizează baza pentru reprezentarea impreciziei inclusă în cunoștințele expert. Pot fi utilizate în conjuncție cu teoria probabilităților și teoria Dempster-Shafer. În situațiile în care incertitudinea este de natură probabilistică, teoriile bazate pe probabilități vor furniza modelele cele mai bune.

3. Modele de reprezentare a incertitudinii

Principalele modele dedicate reprezentării cunoștințelor incerte sunt: modelul probabilistic Bayesian, modelul coeficienților de certitudine, teoria Dempster-Shafer, modelul rețelelor Bayesiene, modelul fuzzy. Dintre acestea, cele mai de succes modele utilizate în sistemele expert sunt modelul coeficienților de certitudine și modelul fuzzy, despre care vom discuta, pe scurt, în continuare.

3.1 Modelul coeficienților de certitudine

Tehnica cea mai uzuală de exprimare a incertitudinii constă în atribuirea de coeficienți (factori) de certitudine, cunoștințelor incerte din baza de cunoștințe (fapte și reguli). Acești coeficienți indică gradul de încredere în cunoștințele respective.

Modelul coeficienților de certitudine a fost dezvoltat în cadrul sistemului expert MYCIN, destinat stabilirii diagnosticului și tratamentului în cazul infecțiilor bacteriene ale sângelui. Un coeficient de certitudine, notat cu CNF, este o expresie a nivelului de încredere în fapte (inițiale sau deduse în urma raționamentelor realizate) și în reguli. Nu este o probabilitate statistică. Atribuirea de valori coeficienților de certitudine se bazează pe criterii obiective sau pe

intuiție, operația respectivă fiind realizată de experții în domeniu. Valorile posibile ale unui coeficient de certitudine se încadrează în intervalul $[0, 1]$ sau $[0, 100]$, pentru valori procentuale. De obicei, se impune și o limită a certitudinii, o valoare sub aceasta corespunzând neadevărului cunoștinței respective. În cele ce urmează, vom presupune că intervalul de valori pentru coeficienții de certitudine este $[0, 1]$.

În general, combinarea coeficienților de certitudine se realizează în conformitate cu următoarele reguli:

$$(1). \text{CNF}(P_1 \wedge P_2 \wedge \dots \wedge P_n) = \min(\text{CNF}(P_i)), i = 1, n$$

$$(1). \text{CNF}(\neg P) = 1 - \text{CNF}(P)$$

$$(1). \text{CNF}_{12}(P_1 \vee P_2) = \text{CNF}_1 + \text{CNF}_2 - \text{CNF}_1 * \text{CNF}_2$$

$$(1). \text{CNF}(\text{concluzie}) = \text{CNF}(\text{premisă}) \times \text{CNF}(\text{regulă})$$

unde, forma generală a unei reguli este următoarea: **dacă** premisă, **atunci** concluzie.

Modelul coeficienților de certitudine presupune că ipotezele susținute de probe (adică, faptele) sunt independente.

3.2 Modelul fuzzy

Cunoștințele incerte pot fi exprimate sub forma unor termeni fuzzy lingvistici, care sunt definiți de anumite funcții de apartenență. Teoria mulțimilor fuzzy furnizează o metodă naturală pentru lucrul cu termeni lingvistici, termeni utilizați de experți, pentru a descrie un domeniu [7], [8], [9].

Considerăm următoarea regulă:

Regula 4: **dacă** temperatura este *mare* și **not** (nivelul apei este *coborât*)
 atunci presiunea este *mare*.

În teoria mulțimilor valorile *mare*, *medie*, *mică* ale variabilei *temperatura* au asociate valori mutual exclusive (exemplu, figura 1).

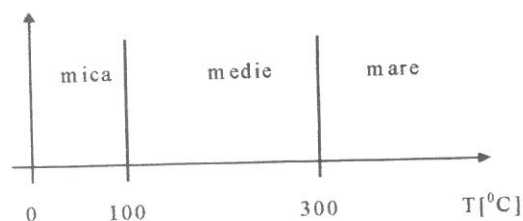


Figura. 1 Valori mutual exclusive ale variabilei temperatură

Problema care poate apare cu astfel de valori mutual exclusive este aceea că o diferență mică de temperatură poate schimba complet activarea unei reguli, lucru nedorit. Astfel, rolul mulțimilor fuzzy este acela de netezire a limitelor stricte dintre categorii. Practic, se vor introduce suprapuneri între zone vecine, ceea ce va îmbunătăți semnificativ capacitatea de generalizare a regulilor lingvistice.

Teoria mulțimilor fuzzy exprimă imprecizia cantitativ, prin introducerea funcțiilor de apartenență, care presupun valori între 0 și 1, corespunzător gradelor de apartenență de la "nu e membru" până la "este membru în totalitate".

Dacă F este o mulțime fuzzy, atunci funcția de apartenență $\mu_F(x)$ măsoară gradul în care x aparține lui F . Acest grad de apartenență reprezintă posibilitatea ca x să fie descris de F .

Considerăm propoziția imprecisă "temperatura este mică". Dacă T_{mica} este mulțimea fuzzy a temperaturilor scăzute (mici), atunci putem defini funcția de apartenență $\mu_{T_{\text{mica}}}(x)$ ca în figura 2. Similar pentru celelalte trei valori fuzzy, *medie* și *mare*.

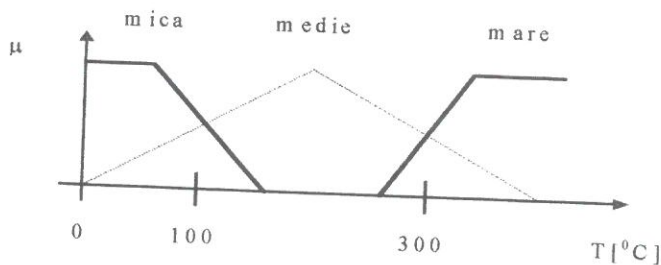


Figura 2. Valori fuzzy ale variabilei temperatură

Fiecare funcție de apartenență, specifică unui anumit termen fuzzy, este reprezentată de patru parametri $T_i = (a_i, b_i, c_i, d_i)$, corespunzător intervalului ponderat din figura 3.

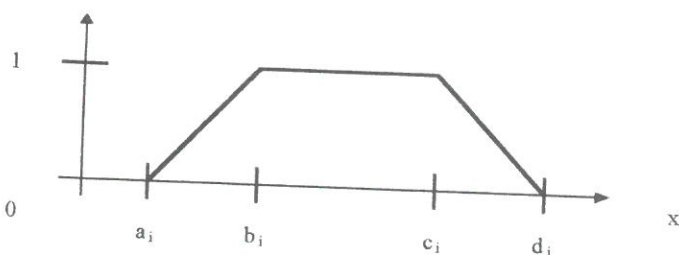


Figura 3. Reprezentarea parametrică a funcției de apartenență

Cea mai potrivită formă a funcției de apartenență depinde de aplicația particulară. Combinarea diferitelor funcții de apartenență se realizează utilizând diferiți operatori (de reuniune și intersecție) care sunt definiți în literatura de specialitate, cei mai cunoscuți fiind operatorii Zadeh.

4. Exemple

Pentru a ilustra modul de implementare a celor două modele, prezentăm două exemple de sisteme expert, sistemul DIAGNOZA_TEHNICA și sistemul EXPERT_AT.

4.1 Sistemul expert DIAGNOZA_TEHNICA

DIAGNOZA_TEHNICA este un sistem expert (prezentat în [10]), cu caracter didactic, destinat monitorizării stării unui boiler care produce abur pentru o turbină. Rolul sistemului este de a controla permanent starea boilerului prin intermediul unor senzori și, în cazul apariției unei defecțiuni, va trebui să furnizeze o soluție de remediere a acesteia. Baza de cunoștințe cuprinde o serie de reguli referitoare la parametrii monitorizați, precum și la principalele componente funcționale ale tipului de boiler ales. Parametrii monitorizați sunt temperatura aburului, tensiunea, starea valvei de control a presiunii, fluxul apei prin valva de control și nivelul apei din boiler.

Regulile incluse în baza de cunoștințe cuprind o serie de termeni fuzzy lingvistici, termeni a căror semnificație este dată de experții în domeniu. Concluziile unora dintre reguli determină realizarea anumitor acțiuni. Prezentăm câteva reguli specifice sistemului expert.

Regula 1_1: dacă nivelul apei este scăzut

atunci deschide valva de control.

Regula 1_2: dacă temperatura este mare și nivelul apei este scăzut

atunci deschide valva de control și închide tuburile boilerului.

Regula 1_3: dacă valva de control este blocată

- atunci supapa de evacuare a aburului este *blocată*.
- Regula 1_4:** dacă supapa de evacuare a aburului este *blocată*
atunci înlocuiește conducta de evacuare.
- Regula 1_5:** dacă presiunea este *mare* și valva de control este *închisă*
atunci valva de control este *blocată*.
- Regula 1_6:** dacă sunt scăpări ale aburului
atunci supapa de evacuare a aburului este *blocată*.
- Regula 1_7:** dacă temperatura este *mare* și not (nivelul apei este *coborât*)
atunci presiunea este *mare*.
- Regula 1_8:** dacă tensiunea este *mică*
atunci nivelul apei este *coborât*.
- Regula 1_9:** dacă valva de control este *deschisă* și fluxul apei este *ridicat*
atunci sunt scăpări ale aburului.
- Regula 1_10:** dacă fluxul apei este *scăzut*
atunci valva de control este *închisă*.

Observăm că unele reguli au aceeași concluzie. Un exemplu este dat de regulile 1_3 și 1_6, a căror concluzie este aceeași, "supapa de evacuare a aburului este *blocată*". Majoritatea concluziilor din reguli sunt recomandări care, într-un sistem automat, s-ar materializa în comenzi executate de sistem.

Incertitudinea inclusă în sistem se datorează termenilor lingvistici, asociați parametrilor monitorizați, precum și datelor inexacte măsurate. Modelarea aleasă este de tip fuzzy, în funcție de configurația particulară a boilerului alegându-se intervalele de valori ale termenilor fuzzy.

Sistemul DIAGNOZA_TEHNICA este implementat în VP-Expert, un generator de sisteme expert, care are motorul de inferență inclus și care permite gestionarea cunoștințelor incerte sub forma coeficienților de certitudine, asociați faptelor și regulilor.

4.2. Sistemul expert EXPERT_AT

Sistemul EXPERT_AT prezentat în [11] și [12] este un sistem expert destinat autoacordării optimale a buclelor de reglare automate. Rolul sistemului este de a propune modificarea parametrilor de acordare, K_p , T_i , T_d , astfel încât calitatea procesului de reglare automată să fie îmbunătățită. Procesul ales este cel al reglării temperaturii la ieșirea unui cuptor tubular.

Baza de cunoștințe include reguli care permit modificarea parametrilor de acordare în funcție de valorile mărimilor măsurate: eroarea staționară (ES), eroarea dinamică maximă (EDM), durata regimului tranzitoriu (TS), oscilațiile (care determină gradul de stabilitate a sistemului - S) și timpul mort al procesului (TM). Fiecare regulă are un coeficient de certitudine asociat. În cazul în care există mai multe soluții de modificare a valorii unui parametru de acord, se va alege soluția care are coeficientul de certitudine maxim asociat. Valorile simbolice, asociate celor cinci mărimi măsurate sunt termeni fuzzy, care au fiecare asociat un interval de valori, conform unor funcții similare celor date în figura 2. Prezentăm un exemplu de funcție de apartenență asociată erorii dinamice maxime (EDM), în figura 4, precum și două exemple de reguli care determină modificarea parametrilor de acordare (VS_EDM reprezintă valoarea simbolică a erorii dinamice maxime).

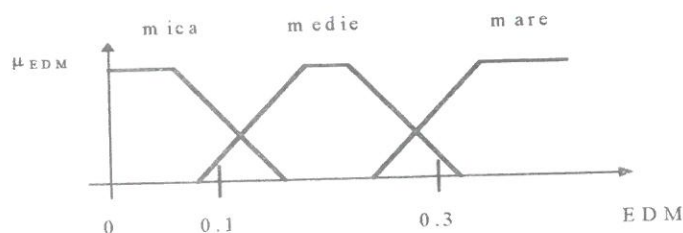


Figura 4. Funcția de apartenență asociată variabilei EDM

Numerele fuzzy, asociate variabilei fuzzy VS_EDM sunt

- mare = (0.25, 0.34, 0.5, 1)
- medie = (0.09, 0.18, 0.24, 0.31)
- mică = (0, 0, 0.06, 0.16)

Valorile parametrilor (a_i , b_i , c_i , d_i) au fost determinate experimental.

Regula 21: dacă VS_EDM = mare

atunci $Kp_EDM = Kp - Kp * 50/100$

$Ti_EDM = Ti + Ti * 5/100$

$Td_EDM = 0$. (CNF 0.95)

Regula 22: dacă VS_EDM = medie

atunci $Kp_EDM = Kp - Kp * 30/100$

$Ti_EDM = Ti$

$Td_EDM = Td - Td * 10/100$. (CNF 0.98)

Versiunea actuală a motorului de inferențe al sistemului EXPERT_AT (implementat în limbajul Prolog) înlănțuie regulile înapoi, după sistemul *backward chaining* și gestionează coeficienții de certitudine, asociați faptelor și regulilor după setul de reguli prezentat în secțiunea 3.

5. Concluzii

Lucrarea a prezentat o analiză succintă a două metode de rezolvare a problemei reprezentării cunoștințelor incerte în sistemele expert, metoda coeficienților de certitudine și metoda fuzzy, metode care s-au dovedit eficiente în funcționarea corectă a sistemelor expert.

Dacă domeniul de expertiză generează cunoștințe incerte, soluția cea mai simplă și eficientă este dată de modelul coeficienților de certitudine. În cazul în care cunoștințele sunt și imprecise, soluția indicată este dată de modelul fuzzy, model care transpune într-un mod natural, cunoașterea expert în termeni fuzzy. În cazul în care incertitudinea este de natură probabilistică, se vor utiliza modele bazate pe teoria probabilităților. În cazurile mai complicate, se pot combina diferite modele.

Bibliografie

1. KRUSE, R., E. SCHWECKE, J. HEINSOHN: Uncertainty and Vagueness in Knowledge Based Systems, Springer-Verlag, 1991.
2. CASTRO, J.L., E. TRILLAS: The Management of the Inconsistency in Expert Systems, Fuzzy Sets and Systems, 58, 1993, pp. 51-57.
3. NEGOIȚĂ, C.V.: Expert Systems and Fuzzy Systems, Benjamin Cummings Publishing Company Inc., 1985.
4. HIROTA, K.: Industrial Applications of Fuzzy Technology, Springer-Verlag, 1993.
5. SÂMBOTIN, C.: Sisteme expert cu Prolog, Editura Tehnică, București, 1997.
6. CÎRSTOIU, D. I.: Sisteme expert, Editura All, București, 1994.
7. ZADEH, L.: The Role of Fuzzy Logic in the Management of Uncertainty in Expert Systems, Fuzzy Sets and Systems, 11, 199, 1983.
8. PEDRYCZ, W (Ed.): Fuzzy modelling. Paradigms and practice, Kluwer Academic Press, 1996.
9. GODO, L., R. LOPEZ DE MANTARAS, C. SIERRA: MILORD: The Architecture and the Management of Linguistically Expressed Uncertainty, International Journal of Intelligent Systems, vol. 4, 1989, pp. 471-501.
10. OPREA, M.: Programarea logică și Sisteme expert, Ed. Universității Petrol-Gaze Ploiești, 1999.
11. ANDREI, M., M. OPREA: Sistem expert pentru autoacordarea optimă a buclelor de reglare automate, Revista Română de Informatică și Automatică, vol. 12, nr. 2, 2002, pp. 5-12.
12. OPREA, M., M. ANDREI: Dezvoltarea unui sistem bazat pe cunoștințe pentru acordarea optimă a buclelor de reglare, Raport de Cercetare - anul I - Grant CNCISIS A_T cod: 221/2001, contract nr. 69/2001, Universitatea Petrol-Gaze Ploiești, Catedra de Informatică, Ploiești, 2001.

SERVER QNX/CORBA DE SUPERVIZARE A UNUI MODUL DE ÎNTRERINDERE VIRTUALĂ

conf. dr. ing. Daniela Saru
ing. Adrian Petcu
ș.l. dr. ing. Daniel Merezeanu

Universitatea "Politehnica" București
saru@aii.pub.ro, pady@ss.pub.ro

Rezumat: Lucrarea prezintă problemele legate de proiectarea și implementarea unui server cu dublu rol - supervisor și de integrare software - pentru un modul funcțional al unei întreprinderi virtuale. Tehnologia software utilizată a avut în vedere caracteristicile de funcționare specifice, de timp real, ale modulului supervizat și necesitatea colaborării acestuia cu alte module ale întreprinderii virtuale, situate în locații fizice distribuite geografic și reprezentând, din punct de vedere software, aplicații eterogene. Serverul a fost realizat în limbaj C++, sub sistem de operare QNX, folosind o implementare *middleware* [3] orientată obiect performantă, de tip CORBA. El poate fi utilizat prin intermediul oricărei rețele de comunicație ce folosește protocol TCP/IP de către module client ce se execută sub sistem de operare Windows, QNX etc., cu condiția ca aceste module client să cunoască interfața IDL OMG ce descrie funcționalitatea serverului. Un astfel de modul client, cu rol de panou de comandă ce include o interfață utilizator ergonomică a fost descris în [9].

Cuvinte cheie: întreprindere virtuală, celulă flexibilă de fabricație, arhitectură client/server, sisteme distribuite eterogene, EIA (Enterprise Application Integration), timp real, QNX, middleware, CORBA, ORBACUS/E.

1. Introducere

Integrarea aplicațiilor software în cadrul unei întreprinderi sau între mai multe întreprinderi care colaborează este un subiect de mare actualitate. Denumită în limbajul de specialitate EIA (*Enterprise Application Integration*), integrarea aplicațiilor software de întreprindere permite coordonarea și sincronizarea mai multor aplicații eterogene atât în interiorul, cât și în afara întreprinderilor. Conceptele de B2B (*Bussines to Bussines* - schimb comercial prin Internet), CRM (*Customer Relationship Management* - gestionarea relațiilor cu clienții) și Internet, necesită acest liant [10].

EAI reprezintă, de fapt, noul stil de lucru în domeniul software. Întreprinderile au din ce în ce mai puțini informaticieni care concep și scriu aplicații și din ce în ce mai mulți care integrează aplicații. Entitatea ce trebuie integrată nu mai este un obiect sau o componentă software, ci este o aplicație software. Prin EAI, sistemele informatice ale întreprinderilor se mulează din ce în ce mai bine pe structura procesului de afaceri. Complexitatea problemelor legate de infrastructura informatică crește și mai mult în cazul unei întreprinderi virtuale, formată din module (secții, departamente, birouri etc.) cu funcționalitate extrem de diversă și grad de dispersie geografică oricât de mare. Granularitatea modulelor se poate situa pe o scară foarte cuprinzătoare, depinzând în mare măsură atât de specificul domeniului de activitate, cât și de posibilitățile de organizare ale întreprinderii respective.

Tehnologiile care permit realizarea integrării aplicațiilor în cadrul unei întreprinderi constituie ceea ce se numește în limbajul de specialitate *middleware* [3]. Acest cuvânt american a fost creat pentru a desemna un nivel software intermediar situat între sistemul de operare al calculatorului și programele de aplicații. Deși este un termen utilizat pentru a desemna mai multe subcategorii de tehnologii, în prezent, pentru realizarea unei aplicații formate din mai multe componente distribuite se utilizează cu precădere fie tehnologiile obiect reprezentate în standardele CORBA sau DCOM, fie tehnologia Java și conceptul de componentă Java Bean. Cu ajutorul acestor tehnologii se realizează cele mai multe servere de aplicații din categoria *mission-critical* (ce trebuie să satisfacă cerințe severe de performanță și disponibilitate etc.) [10].

Folosirea tehnologiilor *middleware* în cadrul EAI este posibilă datorită existenței următoarelor două elemente:

- **Conceptul de interfață** care caracterizează fiecare componentă conectată la magistrala *middleware* - permite descrierea ansamblului de servicii oferite de către infrastructură; în cadrul EAI, interfețele sunt construite la nivelul adaptoarelor asociate aplicațiilor;
- **Metodologia orientată obiect** - permite construirea unui model de interfețe, care să răspundă necesităților utilizatorilor: prin aceasta, contribuie la reducerea nivelului de complexitate necesar creării și gestionării sistemelor distribuite [8].

Toate aceste caracteristici ne-au determinat ca, în proiectarea soluției software de supervizare și de integrare a modulului de întreprindere virtuală ales să folosim tehnologia CORBA, prin intermediul unui produs special conceput pentru aplicații de timp real și sisteme încapsulate (*embedded systems*) - ORBACUS/E [4]. Modulul inclus în întreprinderea virtuală este o celulă flexibilă de fabricație de tip educațional, DEGEM 2000 [2], folosită ca un prim pas în vederea valorificării ulterioare a experienței astfel dobândite în cadrul unui sistem industrial.