

## METODE DE AGREGARE A CUNOȘTINȚELOR AMBIGUE ÎN SISTEMELE MULTI-EXPERT

mat. Rolanda Predescu

Instituul de Cercetări în Informatică

### Rezumat

Efectuarea proceselor deductive în cadrul sistemelor expert care dispun de mai multe surse de cunoștințe, ridică în genere, două probleme de fond:

- modul de selectare a celor mai relevante surse, în raport cu obiectivul propus;
- modul de agregare a cunoștințelor oferite de sursele selectate.

Obiectivul urmărit în lucrare constă în definirea unui nucleu de rezolvare cooperantă, care permite selectarea și agregarea de cunoștințe provenite din mai multe surse și care, în plus, sînt de natură ambiguă, deci imprecise semantic și incerte, ca valoare de adevăr.

Soluția finală se obține printr-un proces de evaluare graduală și integrare pe bază de consens, a elementelor cu grad maxim de relevanță, rezultate din explorarea surselor de cunoștințe disponibile.

Metodele utilizate efectiv în procesul de evaluare, au la bază modelul de agregare a opiniilor de natură ambiguă, definit în /14/ și implementat efectiv în cadrul sistemului DECAM.

Sistemul DECAM, în prezent în curs de realizare, este scris în GC-Lisp, pe calculatoare compatibile IBM-PC/AT și este dedicat rezolvării de probleme, în condițiile existenței mai multor surse de cunoștințe ambigue.

### 1. Introducere

Realizarea de sisteme expert cu mai multe surse de cunoștințe reprezintă una din direcțiile majore în dezvoltarea actuală a inteligenței artificiale.

Remarcăm în mod deosebit interesul în a realiza medii inteligente complexe și flexibile, în care capacitățile sofisticate de planificare și cooperare între sursele de cunoștințe permit în același timp extinderea competenței, dar și mărirea performanței în procesele de rezolvare /2,3,5,16/.

Preocupările proprii în această arie de interes s-au concretizat prin elaborarea unor modele de conlucrare între sursele de cunoștințe, pe baza consultării și coordonării reciproce, în vederea eliminării conflictelor și măririi eficienței /11,12/.

Efectuarea proceselor deductive în condițiile existenței mai multor surse de cunoștințe ridică două probleme de fond:

- (i) - modul de selectare a celor mai relevante surse, în raport cu obiectivul propus;
- (ii) - modul de agregare a cunoștințelor oferite de sursele selectate.

Tratarea acestor probleme capătă particularități deosebite în cazul în care cunoștințele explorate sînt imprecise (de natură ambiguă) și incerte. În această situație, modelul formal folosit în procesul deductiv

este cel de raționament aproximativ, numit și modus ponens generalizat, care a fost introdus de Zadeh /20/. Acest model permite operarea cu concepte imprecise și incerte, deci care au atît o semantică ambiguă, cît și un nivel de credibilitate variabil. Procesul de raționament aproximativ se aplică în mod selectiv, asupra surselor de cunoștințe cu imprecizie și incertitudine minime, deci cu relevanță maximă.

Determinarea relevanței unei surse de cunoștințe (problema (i)) presupune în consecință aprecierea nivelului de similaritate (apropiere semantică) dintre obiectiv și sursa respectivă, precum și aprecierea credibilității (certitudinii) ei.

În particular, stabilirea surselor cu grad maxim de relevanță poate fi abordată ca un proces decizional multi-criterial în condiții de ambiguitate /22/ (cap. 1.1). Evident, aceste criterii referitoare strict la relevanță, nu exclud posibilitatea unei "meta"-aprecieri pe baza unui supra-criteriu de tip preferință, care poate interveni în etapa de agregare a cunoștințelor preluate din sursele relevante /6/ (cap.1.2).

Procesul de agregare, prin care se determină practic soluția finală (problema (ii)), presupune obținerea unui consens între sursele selectate, sub forma unei funcții unice. Procedura de obținere a consensului, între diverse aprecieri poate fi de înglobare, prin operatori adecvați /8b, 18/ sau de "votare" /6/.

Realizarea acestui consens permite definirea semanticii soluției finale. Procesul de agregare poate fi stopat, în cazul apariției conflictelor semantice, întrucît acestea pot conduce la o soluție inconsistentă.

O analiză amplă a principiilor de agregare a cunoștințelor imprecise și incerte este expusă în /8a/.

Dacă modelele de raționament utilizate se constituie ca o notă relativ unitară, în schimb, modelele de selectare și agregare a surselor de cunoștințe reprezintă o notă de diferențiere între sistemele dedicate prelucrării cunoștințelor ambigue și incerte, operaționale pe plan mondial /1,9,23/.

Obiectivul urmărit în lucrare constă în definirea unui nucleu de rezolvare cooperantă, dedicat sistemelor multi-expert bazate pe cunoștințe ambigue și incerte. Modelul realizat oferă posibilități eficiente de interacțiune între mai multe surse de cunoștințe ambigue și incerte, exprimate sub formă de reguli.

Problemele propuse spre rezolvare sistemului au statutul de ipoteze, care urmează a fi evaluate, în vederea determinării ambiguității conținutului și nivelului de incertitudine.

Ambiguitatea este determinată sub forma unei mulțimi vagi asociate respectivei ipoteze, iar incertitudinea este cuantificată prin nivelele de credibilitate și plauzibilitate, care corespund ipotezei.

Procesul de evaluare se desfășoară în mod gradual, prin integrarea pe baza de consens a elementelor cu grad maxim de relevanță, rezultate prin explorarea surselor de cunoștințe disponibile.

Metodele utilizate efectiv în procesul de evaluare au la bază modelul de agregare graduală a opiniilor ambigue

și incerte, definit în /14/. În lucrarea menționată, gradualitatea în aprecierea statutului unei ipoteze este introdusă printr-o abordare particulară a teoriei Dempster-Shafer a credibilității /4,15/ și a teoriei spațiilor de opinii /10/.

Sînt introduse trei categorii de ipoteze (cap.2.1.):

- complet suportate: ipoteze al căror suport este format din fapte considerate evidente, în sensul cunoașterii nivelului lor de imprecizie și incertitudine;
- parțial ipotetice: ipoteze cu suport eterogen, alcătuit din fapte atît evidente, cît și ipotetice (cu nivele de imprecizie și incertitudine necunoscute);
- complet ipotetice: ipoteze al căror suport este vid.

Pentru fiecare categorie sînt definite metode specifice, de determinare a gradelor de credibilitate și plauzibilitate.

În primele două cazuri, acestea rezultă prin propagare, pornind de la suport. În al treilea caz, ele vor rezulta prin transfer de la fapte evidente sau ipotetice similare, credibile și plauzibile în cel mai înalt grad. Selectarea acestui "suport prin similitudine" se realizează printr-un proces decizional dedicat (cap.2.1.).

Pentru toate cele trei categorii de ipoteze se introduc metode unitare de evaluare a conținutului. Ambiguitatea acestuia se exprimă prin mulțimi vagi și distribuții de posibilități.

În procesul de evaluare graduală a conținutului ipotezelor sînt folosite forme adaptate ale metodelor de realizare a consensului, în sens posibilist sau pe bază de vot (cap.2.2.).

Agregarea graduală prin consens are în vedere eliminarea conflictelor semantice și stabilizarea rezultatului final.

## 2. Noțiuni preliminare

### 2.1. Procese de decizie multicriterială în condiții de ambiguitate

Prin situație de decizie multicriterială în condiții de ambiguitate se înțelege o pereche  $\langle X, P \rangle$ , unde  $X$  reprezintă o mulțime de alternative competitive, iar  $P$  reprezintă un vector de criterii de selecție (preferințe) ambigue  $P = \{P_1, \dots, P_m\}$ .

Preferințele  $P_i$  diferă între ele și definesc peste  $X$  relații de dominare vagi, redate prin funcțiile de apartenență  $VA-i: X \times X \rightarrow [0,1]$ . Fiecărei relații  $VA-i$  îi corespunde o relație (în sens strict)  $R_i$ , definită prin:

$$R_i = \{(x,y) \mid \text{dif-}P_i(x,y) = VA-i(x,y) - VA-i(y,x) \geq 0\}$$

Mulțimea  $X-ND$  a alternativelor optime, deci nedominante, indiferent de criteriu, se construiește pe baza relației de dominare Pareto  $R-P = \bigwedge_j R_j$ .

Pentru o singură relație de preferință  $P_j$  (un singur criteriu)  $VA-j$ , mulțimea alternativelor nedominante

este dată de:

$$X-ND(j) = \{x \mid VA-j-ND(x) = 1\}$$

unde

$$VA-j-ND(x) = 1 - \max_{y \in X} VA-S(y,x)$$

iar

$$VA-S(x,y) = \begin{cases} \text{dif}(x,y) = VA-j(x,y) - VA-j(y,x), & \text{dif}(x,y) \geq 0 \\ 0, & \text{dacă } \text{dif}(x,y) < 0 \end{cases}$$

În cazul unei colecții  $P$  de preferințe vagi, elementele din  $X-ND$  sînt obținute pe baza așa-numitei convoluții a lui  $P$ .

O convoluție de preferințe vagi se definește printr-o relație de preferință globală peste  $X$ ,  $M = [X \times X, VA-M(x,y)]$ , cu  $X-ND(VA-M) \neq \emptyset$

Funcția  $VA-M$  este dată de:

$$VA-M(x,y) = f(VA-1(x,y), \dots, VA-m(x,y))$$

Procedura de selecție, prin care se concretizează procesul de decizie, se numește efectivă, dacă produce cel puțin o alternativă din  $X-ND(VA-M)$ .

Convoluția definită prin:

$$VA-L(x,y) = \sum_{j \in L} l_j \times VA-j(x,y),$$

unde  $l = \{l_1, \dots, l_m\}$ ,  $l \in L$  și  $L = \{l \mid l_j \geq 0; \sum_j l_j = 1\}$  este efectivă /22/.

Relația asociată lui  $VA-L$  este dată de:

$$F(VA-L; 1) = \{(x,y) \mid \sum_j l_j \times \text{dif-}j(x,y) \geq 0\}$$

cu  $l_j$  definit ca mai sus. Conform /22/, efectivitatea convoluției  $VA-L$  se bazează pe incluziunea

$$X-ND(VA-L, l) \subset X-ND, \text{ pentru orice } l \in L.$$

Pentru procesele de decizie multicriterială este preferabilă o reprezentare a criteriilor în formă vagă (ambiguă), întrucît numărul de alternative eligibile se reduce și deci, acestea devin mai ușor vizibile pentru decident. Singura condiție care se pune este de a se păstra concordanța între cele două reprezentări, deci ordinea în relația de dominare. Conform /22/, cele două reprezentări rămîn concordante, dacă ambiguitatea este introdusă astfel:

$$VA-i(x,y) = [K_i(x) - K_i(y)] / 2 \times d_i + 1/2$$

cu  $d_i = \max_{x,y} [K_i(x) - K_i(y)]$ , reprezentînd maximul diferenței de apreciere după criteriul  $K_i$ .

În /22/ se arată că  $XX_i = X-ND(i)$ , unde

$$XX_i = \{x \mid K_i(x) = \max_y K_i(y)\}$$

### 2.2. Procese de agregare prin consens a cunoștințelor imprecise și incerte

#### a) Consensul în sens posibilist

Se consideră o mulțime finită  $V$  și o funcție Pos:  $\text{Part}(V) \rightarrow [0,1]$ , unde  $\text{Part}$  reprezintă mulțimea părților. Conform /21/ Pos este o măsură a posibilității dacă și numai dacă:

$$\text{Pos}(\emptyset) = 0; \text{Pos}(V) = 1$$

$$\text{Pos}(A \cup B) = \max(\text{Pos}(A), \text{Pos}(B))$$

Măsura de posibilitate Pos se sprijină pe o distribuție de posibilități  $PX$ , peste  $V$ , în sensul că pentru orice  $v$  din  $V$ ,

$$\text{Pos}(\{v\}) = PX(v), \text{ iar pentru orice } A \text{ inclus în } V,$$

$$\text{Pos}(A) = \max_{v \in A} PX(v).$$

Dacă se consideră că  $V$  reprezintă o mulțime de decizii potențiale,  $PX(v)$  evaluează cât de rezonabilă pare decizia  $v$  pentru un individ, respectiv în ce măsură acesta o va agra.

Pentru un set de decizii  $A$  inclus în  $V$ ,  $Pos(A)$  evaluează cât de mult conține  $A$  cel puțin o decizie potențială acceptabilă.

Să luăm în considerare o mulțime finită  $I$ , ca reprezentând o mulțime de indivizi  $i, i=1, n$  și  $(Pos-i)$  colecția de măsuri de posibilitate reflectând opiniile indivizilor din  $I$ .

Prin funcție de consens, în sens posibilist /8b/, se înțelege o funcție care asociază măsurilor de posibilitate  $Pos-i$ , o altă măsură de posibilitate  $Pos$ , care înglobează opinia grupului și care îndeplinește următoarele condiții:

A1) pentru orice  $A$  inclus în  $V$  și orice colecție  $(Pos-i)_i$ , există o funcție  $C-A: [0,1]^n \rightarrow [0,1]$ , astfel încât

$Pos(A) = C-A(Pos-1(A), \dots, Pos-n(A))$

A2) pentru orice  $A$  inclus în  $V$ , dacă

$Pos-1(A) = \dots = Pos-n(A) = C$ , atunci  $Pos(A) = C$ .

Axioma A1 se interpretează în sensul irelevanței alternativelor decizionale ( $Pos(A)$  nu depinde decât de evenimentele din  $A$ ).

Axioma A2 reflectă unanimitatea de opinii exprimată printr-o valoare comună  $C$  a posibilităților  $Pos-i$ .

Funcțiile de consens posibilist sînt toate de forma:

$C(p_1, \dots, p_n) = \max(f_1(p_1), \dots, f_n(p_n))$ ,

unde  $f_1, \dots, f_n$  sînt funcții de la  $[0,1]$  la  $[0,1]$ , a.f. pentru orice  $i, f_i(0)=0$ , iar  $f_i(1)=1$ , pentru cel puțin un indice  $i$  /8b/.

Conform formulei de reprezentare introduse de Zadeh /19/, o mulțime vagă  $A$  poate fi redată prin colecția de a-nivele  $\{A_{ai}\}_i$ , asociate. Un a-nivel corespunde mulțimii de elemente pentru care valoarea funcției de apartenență este cel puțin egală cu  $a$ .

Astfel, pentru elementele  $v$  dintr-un univers  $V$ , avem:

$VA-A(v) = \max_i \min(VA-A_{ai}(v), a_i)$

Printr-o extensie a formulei de reprezentare anterioare, se poate obține o formă de consens posibilist cumulativ /8b/, exprimat prin măsura de posibilitate  $Pos$  următoare:

$Pos(A) = \max_i \min(Pos-i(A), a_i)$

unde  $Pos-i(A)$  este măsura de posibilitate asociată distribuției de posibilități de pe nivelul  $a_i$ ,  $Pos-i(A) = \max_{v \in A} PX-i(v)$ , cu  $PX-i(v) = VA-A_{ai}(v)$ , iar  $a_i$  reprezintă ponderea opțiunii  $i$  în realizarea consensului.

b) Consensul ca rezultat al unei proceduri de vot

Tratarea cosensului ca rezultat al aprobării unui set de alternative de către un grup de indivizi, cu ponderi diferite privind dreptul lor de apreciere, impune necesitatea modelării lui ca procedură de votare. O regulă rezonabilă, folosită ca procedură de votare, este cea a unanimității slabe, introdusă în /6/. Ea reflectă principiul următor: se alege alternativa aprobată de cei mai mulți dintre cei care participă la vot.

În acest caz, pentru o mulțime de alternative  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$  se construiește o funcție de agregare  $agreg: [0,1]^n \times [0,1]^n \rightarrow [0,1]$  a.f. o opțiune privind alternativele  $(v_i)_i$  este privită ca o mulțime vagă  $F$ , definită pe  $V$ , prin funcția de apartenență  $VA-F$ , astfel:

$VA-F(v_i) = agreg(x_i, w)$

unde  $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{in})$  reprezintă preferințele  $x_{ij}$  ale celor  $n$  indivizi pentru alternativa  $v_i$ , iar  $w = (w_1, \dots, w_n)$  reprezintă ponderea asociată fiecărei opțiuni individuale. Ponderile  $w_i$  corespund principiului mediei ponderate ordonate /18/, adică sînt asociate în mod dinamic, valorile depinzînd de cât de puternice sînt preferințele  $x_{ij}$ . Se presupune că preferințele  $x_{ij}$  sînt ordonate, adică există o permutare per a mulțimii  $\{1, \dots, n\}$  a.f.

$x_i-per(1) \geq \dots \geq x_i-per(n)$ . Ponderile  $w_i$  sînt desemnate în ordinea preferințelor.

Regula unanimității slabe este exprimată prin următoarea definiție dată lui agreg și deci lui  $VA-F$ :

$VA-F(v_i) = agreg(x_i, w) = \min_j \max(w_j, x_i-per(j))$

Măsura în care o alternativă  $v_i$  este aprobată de majoritate, se reflectă la nivelul fiecărui individ, printr-o mulțime vagă "major", care determină un grad de apartenență  $VA-major(j) = w_j$ .

### 3. Evaluarea ipotezelor

#### 3.1. Credibilitate și plauzibilitate

Un spațiu de opinii, în sensul din /10/, este alcătuit dintr-un așa-numit context  $C = \{H_1, \dots, H_n\}$  de fapte considerate cunoscute și din mulțimea faptelor care pot fi derivate din  $C$ .

Elementele folosite efectiv în derivarea unui fapt poartă numele de set de origine (SO) al aceluia fapt. Conform /10/, un fapt este considerat suportat, dacă setul său de origine este conținut în  $C$  ( $SO \in Part(C)$ , unde  $Part$  reprezintă mulțimea părților).

În abordarea de față, seturile de reguli folosite în cadrul unui sistem expert sînt considerate rezultate ale unei aplicații multivalente  $HE: HB \rightarrow Part(HB)$ , ceea ce permite ca unui fapt să i se asocieze mai multe seturi de origine (SO $_i$ )  $i$ .

Considerăm în acest context, că faptele pot fi clasificate în trei categorii:

- (a) - complet suportate, dacă  $HE(F)$  inclus în  $Part(C)$ ;
- (b) - parțial ipotetice, dacă  $HE(F)$ , inclus în  $Part(HB)$ ;
- (c) - complet ipotetice, dacă  $HE(F) = \emptyset$ .

Extinzînd în continuare cadrul din /10/, acceptăm existența mai multor spații  $H_{Bi}$ , cu (SO $_j$ )  $j$  localizate în  $U_i Part(H_{Bi})$ .

De asemenea, considerăm  $C = H \cup E$ , unde  $h \in H$  au asociate perechi (Cr, Pl), de grade de credibilitate și plauzibilitate, iar  $e \in E$  au asociată o singură valoare de probabilitate  $p$ .

Printr-o particularizare a cadrului teoriei Dempster-Shafer a credibilității, admitem existența a

două distribuții de posibilități peste C:

- o distribuție de posibilități inferioară cred:  $C \rightarrow [0,1]$ , unde cred(c) este fie  $Cr(c)$ , pentru  $c \in H$ , fie  $p(c)$ , pentru  $c \in E$ ;
- o distribuție de posibilități superioară plaus:  $C \rightarrow [0,1]$ , unde plaus(c) este fie  $Pl(c)$ , pentru  $c \in H$ , fie  $p(c)$ , pentru  $c \in E$ .

În consecință, pentru faptele complet suportate din HB, definim două distribuții de masă:

- o distribuție de masă inferioară  $lm: Part(HB) \rightarrow [0,1]$ , unde:

$$lm(A) = \max_{SO} \sum_{c \in SO} cred(c)$$

- o distribuție de masă superioară  $hm: Part(HB) \rightarrow [0,1]$ , unde:

$$hm(A) = \max_{SO} \sum_{c \in SO} plaus(c)$$

Credibilitatea și plauzibilitatea se definesc, la nivelul unui singur set de origine SO, prin:

$$CR-S(F) = [\sum_{Ai \in SO} cr(Ai) \times dc-i \times Nec(F/Ai)] \times s$$

$$PL-S(F) = [\sum_{Ai \in SO} pl(Ai) \times dc-i \times Pos(F/Ai)] \times s$$

unde  $Nec(F/Ai)$  și  $Pos(F/Ai)$  reprezintă necesitatea și posibilitatea lui F condiționat de Ai, dc-i este gradul de contribuție al lui Ai în deducerea lui F, iar s este gradul de certitudine atașat lui F, pe baza setului SO. Pentru elementele Ai din setul SO, valorile  $cr(Ai)$  și  $pl(Ai)$  se definesc prin:

$$cr(Ai) = \begin{cases} lm(Ai), & \text{dacă } Ai \text{ este complet suportat} \\ CR-C(Ai), & \text{dacă } Ai \text{ este parțial ipotetic} \\ CR(Ai), & \text{dacă } Ai \text{ este complet ipotetic} \end{cases}$$

$$pl(Ai) = \begin{cases} hm(Ai), & \text{dacă } Ai \text{ este parțial ipotetic} \\ PL-C(Ai), & \text{dacă } Ai \text{ este parțial ipotetic} \\ PL(Ai), & \text{dacă } Ai \text{ este complet ipotetic} \end{cases}$$

La nivelul întregului spațiu HB, definim credibilitatea și plauzibilitatea faptului F, prin:

$$CR-C(F) = \min_{Soj \in HE(F)} CR-Si(F)$$

$$PL-C(F) = \max_{Soj \in HE(F)} PL-Si(F)$$

Perechea (CR, PL), pentru faptele F complet ipotetice, se preia de la acele fapte din HB care sînt cele mai similare cu F și, de asemenea, credibile și plauzibile în cel mai înalt grad.

Măsura similarității se stabilește printr-un proces de comparare în condiții de ambiguitate, bazat pe principiile prezentate în /9/:

$$S(F, SF) = \begin{cases} \max_{v \in V} \min(VA-F(v), VA-SF(v)), & \text{dacă } Nec(B/SF) > 0.5 \\ Nec(B/SF) + 0.5 \times Pos(B/SF), & \text{în rest} \end{cases}$$

unde  $VA-F(v)$  este funcția de apartenență a mulțimii vagi, determinată peste V, de conceptul (evenimentul) reprezentat de F.

Setul MSF, al faptelor celor mai similare cu F, este dat de:

$$MSF = \{MS \in HB / S(F, MS) = \max_{SF \in HB} S(F, SF)\}$$

Un proces decizional în condiții de ambiguitate /22/, bazat pe convoluția a două criterii, respectiv credibilitate și plauzibilitate, va permite selectarea din MSF a celor mai bune alternative de evaluare a lui F. Convoluția se definește prin:

$$CONV(F1, F2) =$$

$$= I1 \times VA-CR(F1, F2) + I2 \times VA-PL(F1, F2)$$

unde  $I1=I2=1/2$ , iar

$$VA-CR(F1, F2) = Delta-CR(F1, F2) / 2 \times dc-CR + 1/2$$

cu  $Delta-CR = CR-C(F1) - CR-C(F2)$

$$\text{și } dc-CR = \max_{F1, F2 \in MSF} Delta-CR(F1, F2)$$

$VA-PL$  se definește similar cu  $VA-CR$ . Relațiile vagi  $VA-CR$  și  $VA-PL$  respectă ordinea de dominare indusă de relațiile stricte bazate pe  $Delta-CR$  și  $Delta-PL$ , iar convoluția CONV este prin construcție efectivă, în sensul de a produce cele mai bune alternative.

Astfel, subsetul F-CP din MSF, al faptelor celor mai similare cu F, care sînt în același timp credibile și plauzibile în cel mai înalt grad, este definit prin:

$$F-CP = \{FX \mid \max_{FY \in MSF} CONV(FY, FX) - CONV(FX, FY) = 0\}$$

O tehnică de selectare similară (bazată, evident, pe criterii diferite) a fost utilizată pentru definirea unei tehnici de anticipare, dedicată mecanismelor de inferență nuanțată /13/.

### 3.2. Agregare și consens la nivelul unuia sau mai multor spații de opinii

Semantica unui fapt F, care urmează a fi evaluat și anume funcția de apartenență  $VA-F$ , precum și distribuția de posibilități asociată  $PX$ , cu  $PX(v) = VA-F(v)$ , rezultă prin agregarea faptelor  $Fi$ , din care derivă F.

Reamintim că prin suport al unei variabile X peste un univers V, se înțelege mulțimea  $S(X) = \{v \in V \mid PX(v) > 0\}$  /7/.

Faptele  $Fi$ , care îl susțin pe F sînt, fie concluzii derivate prin raționament aproximativ, din seturile de origine  $SOi$ , atașate la F prin HE (pentru F complet suportat sau parțial ipotetic), fie fapte credibile și plauzibile, similare cu F, conținute în F-CP (pentru F complet ipotetic). Faptele  $Fi$  au asociate funcțiile  $VA-Fi$ ,  $PXi$  precum și perechile ( $cr_i$ ,  $pl_i$ ) corespunzătoare.

Agregarea faptelor  $Fi$  este operată într-o manieră care respectă principiile consensului, în sens posibilist (cap.2.2.).

Astfel, F se consideră egal cu  $F' = F \setminus n$ , unde  $F \setminus i$  se definește prin  $VA-F \setminus i(v) = \max_{j=1,1} \min(PXj(v), plj)$  cu  $plj$  reprezentînd plauzibilitatea lui  $Fj$ . Corespunzător, obținem distribuția de posibilități  $PX-F(v) = VA-F(v)$  și măsura de posibilitate  $Pos-F(A) = \max_{v \in A} VA-F(v)$ ,  $v \in A$ .

Stabilitatea rezultatului agregării depinde în mod direct de numărul de puncte v, în care  $PX-F(v)$  este maximă. În acest scop, se aplică normalizarea lui  $PX-F$ , după metoda descrisă în /1/.

Procesul de agregare se oprește la apariția unui conflict semantic între faptele  $Fi$ . Acesta se produce în momentul în care intersecția dintre  $S \setminus i$  și  $Si+1$  este vidă, unde  $Si+1$  este suportul lui  $Fi+1$ , iar  $S \setminus i = S1 \wedge \dots \wedge Si /1/$ . Să considerăm acum existența mai multor spații de opinii  $\{HB-i\}$  i, ca entități separate, cu evaluări diferite (F-i) i asupra lui F și avînd asociate ponderi P-i,

justificate de propriile evaluări F-i.

Vom nota prin Pos-i, măsura min Pos-F(A), după A din HB-i.

Consensul referitor la F se obține prin regula "unanimității slabe"(cap.2.2.), alegându-se alternativa agreeată de majoritate.

Această se concretizează prin următorul mod de construcție a funcției de apartenență asociate lui F:

$VA-F(v) = \min_i \max(w_i, xv\text{-per}(i))$ , unde  $xv = (x_1, \dots, x_n)$  reprezintă preferințele individuale pentru alternativa v, iar  $w = (w_1, \dots, w_n)$  sînt ponderile asignate fiecărei opțiuni individuale. Permutarea per dictează ordinea opțiunilor xv, iar  $(w_i)_i$  respectă această ordine. Conceptul vag de "majoritate" se definește prin funcția de apartenență VA-major  $(i) = w_i$ .

În mod corespunzător, definim acest concept în raport cu spațiile HB-i, prin: VA-major (HB-i) = Pos-i.

Evaluarea finală pentru F este dată de următoarea formă a funcției de apartenență, conformă cu modelul din cap.2.2.:

$VA-F(v) = \min_i \max(VA\text{-major}(HB-i), VA-F-i(v))$

#### 4. Concluzii

Modelul definit în lucrare corespunde necesităților de construire a unui mecanism eficient de selectare a surselor de cunoștințe relevante și agregare a acestora, dedicat sistemelor multi-expert, bazate pe cunoștințe imprecise și incerte.

În modelarea rezultatului final al procesului de agregare, s-a acordat un interes deosebit particularităților datorate caracteristicilor de ambiguitate și incertitudine ale cunoștințelor explorate.

Programele care implementează modelul, scrise în GC-Lisp, pentru calculatoare compatibile IBM-PC/AT, constituie componente ale sistemului DECAM, dedicat rezolvării de probleme în condiții de ambiguitate.

În perspectivă, sistemul DECAM va face obiectul unor prezentări detaliate în cadrul revistei.

#### Bibliografie

1. BUISSON, J.C., FARRENY, H., PRADE, H.: *Dealing with Imprecision and Uncertainty in the Expert System DLABETO-III*, Marseille, 1986.
2. CAMMARATA, S., MCARTHUR, D., STEEB R.: *Strategies of Cooperation in Distributed Problem Solving*. In: Proc. 8-th IJCAI, Karlsruhe, 1983.
3. DAVIS, R., SMITH, R.G.: *Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving*. In: *Artificial Intelligence*, nr. 20, 1983.
4. DEMPSTER, A.P.: *Upper and Lower Probabilities Induced by a Multi-valued Mapping*. In: *Annals Math.* nr. 38, 1967.
5. DORAN, J.E. & al.: *Meta-Planning and Communications in TEAMWORK* Cognitive Studies Centre, Essex University, 1984.
6. DUBOIS, D., KONING, J.L.: *Social Choice Axioms for Fuzzy Set Aggregation*, va apare în *Fuzzy Sets and Systems*, Special Issue on "Aggregation and Best Choice with Imprecise Opinions".
7. DUBOIS, D., MARTIN-CLOUAIRE, R., PRADE, H.: *Practical Computing in Fuzzy Logic*, in *Fuzzy Computing*, North-Holland, 1988.
- 8a. DUBOIS, D., PRADE, H.: *On the Combination of Evidence in Various Mathematical Frameworks*. In: Proc. NATO Advanced Research Workshop on Knowledge-Based Robot Control, Bonas, France, oct. 1988.
- 8b. DUBOIS, D., PRADE, H.: *Aggregation of Possibility Measures*, va apare în "Multiperson Decision Making Using Fuzzy Sets and Possibility Theory", Kluwer.
9. LEUNG K.S., LAU, W.: *Fuzzy Concepts in Expert Systems*. In: *Computer*, sept. 1988.
10. MARTINS, J.P., SHAPIRO, S.C.: *A Model for Belief Revision*. In: *J. of Artificial Intelligence*, nr. 35, 1988, pp.25-79.
11. PREDESCU, R.: *Knowledge Interference Models*. In: *Artificial Intelligence and Information-Control Systems for Robots-87*, North-Holland, 1987.
12. PREDESCU, R.: *Cooperation: An Approach to Pluralistic Knowledge Processing*. In: *Studies and Researches in Informatics*, nr. 2, 1990.
13. PREDESCU, R., HOTARAN, A.: *Lookahead Technique for a Fuzzy Inference Mechanism in a Multiple Expert System Environment*, BUSEFAL, nr. 43, 1990.
14. PREDESCU, R., HOTARAN, A.: *Gradual Aggregation of Hypotheses within Imprecise and Uncertain Environments*. In: Proc. of The 4-th World Congress of Int. Fuzzy Systems Assoc., IFSA'91, Brussels, 1991.
15. SHAFER, G.: *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton University Press, Princeton 1976.
16. SMITH, R.G.: *The Contract Net Protocol - High Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver*. In: *IEEE Trans. on Computers*, v.C-29, nr.12, dec.1980
17. YAGER, R.R.: *An Approach to Inference in Approximate Reasoning*. In: *Int. J. of Man-Machine Studies*, 1980.
18. YAGER, R.R.: *An Ordered Weighted Averaging Operators in Multicriteria Decision Making*. In: *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, nr. 18, 1988, pp. 183-190.
19. ZADEH, L.A.: *Similarity Relations and Fuzzy Orderings*. In: *Information Science*, nr. 3, 1971.
20. ZADEH, L.A.: *A Theory of Approximate Reasoning*. In: *Machine Intelligence*, nr. 9, 1977, pp. 149-194.
21. ZADEH L.A.: *Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility*. In: *Fuzzy Sets and Systems*, nr. 1, 1978.
22. ZHUKOVIN & al.: *A Decision Making Model with Vector Fuzzy Preference Relation*. In: *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 22, 1987, nr. 1/2.
23. ZIMMERMANN, H.J.: *Fuzzy Sets Decision Making and Expert Systems*, Kluwer, 1987.