

Generatoare de Sisteme Expert: Modele Neurale

Gheorghe Căpăţână
 Universitatea de Stat din Moldova
gh_capatana@yahoo.com

Abstract — In this work were described four models of expert systems' generators, inspired by some phenomena of information processing that occur in the nervous system.

Index Terms — the models of expert systems' generators, the expert system for classification, the neural systems.

I. INTRODUCERE

Sistemele inteligente, atât cele naturale cât și cele artificiale, operează cu *clase de obiecte* - mulțimi de obiecte cu însușiri comune sau asemănătoare. O parte distinctă a sistemelor inteligente o constituie *sistemele expert pentru clasificare*.

În lucrare sunt expuse modele de generatoare de sisteme expert pentru clasificare, inspirate de unele fenomene de procesare care au loc în *sistemul nervos*.

II. SRTUCTURA DOMENIULUI DE APLICAȚIE

Componente a unui domeniu de aplicație sunt mulțimea lui de obiecte și relațiile existente între aceste obiecte.

Fie: O - mulțimea obiectelor domeniului de aplicație,

$L = \{L_1, \dots, L_m\}$ - mulțimea *variabilelor lingvistice* (a se vedea [1]);

U_k - universul variabilei lingvistice L_k ,

$U_k = [u_{\min}^{(k)}, u_{\max}^{(k)}]$, $k = \overline{1, m}$;

T_k - mulțimea valorilor (termilor) variabilei lingvistice

L_k , $T_k = \{T_{k,1}, \dots, T_{k,n_k}\}$;

$U_{k,j}$ - mulțimea de referință a termenului $T_{k,j}$, $j = \overline{1, n_k}$.

În aplicațiile realizate pe computer, în scopul elaborării mulțimilor de referință corespunzătoare fiecărui term, universul variabilei L_k , $k = \overline{1, m}$ este partiționat în n_k intervale. Apoi sunt elaborate submulțimile de referință $U_{k,1}, \dots, U_{k,n_k}$. Reuniunea acestor mulțimi este mulțimea U_k

$$U_k = U_{k,1} \cup \dots \cup U_{k,n_k}.$$

Mulțimea termenilor este construită în așa mod ca să respecte *relația de ordine* $T_{k,1} < T_{k,2} < \dots < T_{k,n_k}$. Această exigență poate fi asigurată în mai multe moduri.

De exemplu, universul U_k poate fi segmentat

$$u_{\min}^{(k)} = u_{k,1} < u_{k,2} < \dots < u_{k,n_k} < u_{k,n_k+1} = u_{\max}^{(k)}.$$

Apoi sunt elaborate mulțimile de referință

$$U_{k,1} = [u_{k,1}, u_{k,2}); U_{k,2} = [u_{k,2}, u_{k,3}), \dots,$$

$$U_{k,n_k-1} = [u_{k,n_k-1}, u_{k,n_k}), U_{k,n_k} = [u_{k,n_k}, u_{k,n_k+1}].$$

Mulțimile de referință a termenilor de asemenea vor respecta relația de ordine

$$[u_{k,1}, u_{k,2}) < [u_{k,2}, u_{k,3}) < \dots < [u_{k,n_k-1}, u_{k,n_k}) < [u_{k,n_k}, u_{k,n_k+1}].$$

III. CLASIFICAREA OBIECTELOR

Operația de clasificare presupune analiza, comparația obiectelor și abstracție de la deosebirile lor individuale. *A clasifica* o mulțime de obiecte înseamnă a introduce relații de tipul „*clasă-subclasă*” în mulțimea obiectelor din domeniul de activitate (cercetare) după unul sau mai multe criterii.

În urma clasificării, mulțimii obiectelor acestui domeniu i se asociază o *ierarhie de clase* - sistem de subordonare consecutivă a claselor inferioare față de clasele superioare.

Fie $O = \{o_i\}$, $i = \overline{1, n}$ - mulțime de obiecte, grupată în c submulțimi după caractere esențiale comune. Operația de grupare este numită *clasificare*. Submulțimile de obiecte obținute în rezultatul clasificării sunt numite *clase de obiecte*. Mulțimea claselor de obiecte reprezintă o *partiție* P_O a mulțimii O .

Definiția 1, adaptată după [2]. Fie O - mulțime finită de obiecte. O mulțime de submulțimi ale lui P_O va fi numită o *partiție* a lui O

$$P_O = \{O_1, \dots, O_c\}$$

dacă cele două condiții de mai jos sunt satisfăcute:

(i) Două mulțimi O_i, O_j diferite ($i \neq j$) sunt disjuncte:

$$O_i \cap O_j = \emptyset, (i \neq j).$$

(ii) Reuniunea mulțimilor O_1, \dots, O_c este O :

$$O_1 \cup \dots \cup O_c = O.$$

Elaborăm familia de aplicații:

$$\bar{\alpha} = \{\alpha_j : O(L_1, \dots, L_m) \rightarrow O_j(L_1, \dots, L_m)\}, j = \overline{1, c}.$$

În rezultatul aplicațiilor mulțimea obiectelor O este partiționată în c clase $O = O_1 \cup \dots \cup O_c$.

Beneficiarul asociază fiecărei clase de obiecte obținute o *noțiune* (de exemplu: $Clasa_1, \dots, Clasa_s$) și un *nume* (de exemplu: $Nume_clasă_1, \dots, Nume_clasă_s$).

În caz, dacă o submulțime de obiecte, la rândul ei, constă din subclase, operația de clasificare se aplică asupra obiectelor acestei submulțimi.

Rezolvarea unei probleme cu asistența unui sistem expert de clasificare constă în a identifica clasa de obiecte la care se referă obiectul supus expertizei.

Fie $o \in O$ un oarecare obiect. Problema identificării clasei, la care aparține acest obiect, poate fi reprezentată cu ajutorul a c predicate

$$\text{aparține}_j(o(L_1, \dots, L_m), O_j(L_1, \dots, L_m)) = \text{true}, \quad j = \overline{1, c}.$$

Exemplu: Scopul unei expertize medicale este diagnosticarea unui pacient fiind cunoscute simptomele acestuia. Rezultatul diagnosticului este maladia (maladiile) care corespund simptomelor specificate.

În funcție de rezultatul expertizei pacientului i se stabilește un program adecvat de tratament.

IV. NEURONII

Clasificarea obiectelor este o facultate realizată în sistemele biologice. La vertebrate se observă, că o parte din funcțiile senzitivo-senzoriale, de analiză și procesare primară a informațiilor sunt realizate în zone ale sistemului nervos, care pot fi considerate că au o structură *rigidă*. Aceste funcții țin de o specializare anume și sunt transmise ereditar din generație în generație. Componentele sistemului nervos, care realizează aceste funcții, practic sunt identice cu ale părinților. Funcționarea acestor componente este de asemenea identică la diferite generații.

O altă parte din funcțiile de procesare a informațiilor în sistemul nervos sunt realizate *flexibil*. Flexibil putem considera, că sunt realizate funcțiile creierului, dezvoltate în procesul de instruire, antrenare și educație. Aceste realizări ale funcțiilor demonstrează dinamism, adaptivitate, îi asigură omului un comportament inteligent în condițiile unui mediu, care evoluează spectaculos.

Activitatea cotidiană a omului poate fi tratată ca un proces de rezolvare continuă a diverselor probleme legate de existența acestuia. În procesul de rezolvare a problemelor omul utilizează abilitățile sale în funcție și măsură de contextul problemei și complexitatea acesteia.

Sistemul nervos constă din neuroni. După modul de organizare internă neuronii pot fi clasificați în:

- *neuroni multipolari*, cu un număr mare de prelungiri;
- *neuroni bipolari* cu două ramificații la extremități;
- *neuroni unipolari* cu o singură prelungire axonică;
- *neuroni pseudounipolari* cu o prelungire în formă de T;
- *interneuroni* [3-5].

Luchian E. Marin observă, că „deși mulți *neuroni senzitivi* se termină și mulți *neuroni motori* au originea în creier, majoritatea neuronilor cerebrali sunt *interneuroni* care au funcția de a filtra, analiza și stoca informațiile” [6].

V. GENERATOR DE SISTEME EXPERT RIGIDE

Un *sistem expert de clasificare* rezolvă problemele de expertiză utilizând cunoașterea domeniului de activitate umană.

Scopul expertizei este de a determina clasa de obiecte la care aparține obiectul supus expertizei.

Definiția 2. *Generator de sisteme expert rigide* este construcția

$$G_I = (O, L, U, T, G, M, \Sigma, \text{syn}, \text{out})$$

unde:

O - alfabetul construcției $O = O_1 \cup O_2 \cup O_3$;

O_1, O_2 și O_3 - respectiv, mulțimile obiectelor de intrare, intermediare și de ieșire ale sistemului expert;

$L = \{L_k\}$ - mulțimea variabilelor lingvistice folosită în calitate de criterii de clasificare a mulțimii obiectelor O_I ;

$U = \{U_k\}$ - mulțimea universurilor discursului asociate variabilelor lingvistice L_k ;

$T = \{T_k(X)\}$ - mulțimea numelor (valorilor lingvistice) a variabilelor lingvistice L_k ,

$$T_k(X) = \{T_{k,1}, \dots, T_{k,n_k}\};$$

G - gramatică, care descrie regulile de generare a elementelor $T_k(X)$.

M - mulțime de reguli semantice, care atașează fiecărei variabile X semnificația sa $M_k(X)$ în forma unei mulțimi peste universul corespunzător U_k , $M_k : X \rightarrow U_k$, numită *mulțime de referință*. Această mulțime codifică variabila lingvistică corespunzătoare L_k .

$\Sigma = \{\sigma_i \mid i = \overline{1, m}\}$ - mulțimea neuronilor;

fiecare neuron σ_i are o intrare și una sau două ieșiri $\sigma_i = (h_i, h_{i,1}, [h_{i,2}])$ unde: a) $h_i, h_i \in O_1$ este hieroglifă admisă la intrarea neuronului; b) $h_{i,1}, h_{i,2} \in O_2 \cup O_3$ sunt hieroglifele generate la prima și, respectiv, la a doua ieșire a neuronului; c) fiecare hieroglifă reprezintă un fapt și are forma (*atribut, valoare*), unde rolul de *atribut* îl îndeplinește variabila lingvistică L_k iar rolul de *valoare* - termenul $T_{k,s}$, $s \in \overline{1, s_k}$ ori *mulțimea de referință* corespunzătoare acestui termen; c) [] sunt meta-simboluri, care semnifică că ieșirea a doua a neuronului nu este obligatorie.

Funcționarea neuronului σ_i se supune regulii: dacă hieroglifă de intrare este h_i neuronul generează hieroglifă $h_{i,1}$, în caz contrar - $h_{i,2}$;

syn - mulțimea *sinapselor*

$$\text{syn}_i \subseteq \{0, 1, 2, \dots, m - 1\} \times \{1, 2, \dots, m\},$$

$$(j, j) \notin \text{syn}_i, \quad 1 \leq j \leq m - 1, \quad 1 \leq i \leq 2.$$

out $\subseteq \{1, 2, \dots, m\}$ - neuronul de ieșire.

VI. GENERATOR DE SISTEME EXPERT PE ASOCIAȚII DE NEURONI

Axonii sunt principalele linii de transmitere a semnalelor nervoase. În sistemul nervos un fascicul de axoni de regulă este acoperit cu o *teacă de mielină* [7]. Teaca permite transmiterea semnalelor nervoase cu o conductanță mai bună. Fluxul de axoni permite comunicarea dintre zone plasate la distanțe semnificative, raportate la dimensiunile sistemului nervos.

Modelul discutat exploatează fenomenul de neuroni asociaţi în zone. Legăturile sunt organizate în formă de teacă şi stabilite între zone. O zonă este de ieşire.

Definiția 3. Generator de sisteme expert pe asociații de neuroni este construcția

$$H_2 = (O, L, U, T, G, M, \mu, Z, teacă, Z_{out}),$$

unde:

O, L, U, T, G, M - păstrează semnificațiile din modelul precedent;

μ - structură zonală [8, 9] de gradul n ;

zonele sunt marcate cu elemente dintr-un oarecare alfabet $A = \{1, 2, \dots, n\}$;

$Z = \{Z_i \mid i = \overline{1, n}\}$ - mulțime de zone, fiecare zonă Z_i asociază un număr finit de interneuroni

$$Z_i = \{\sigma_{i,1}, \sigma_{i,2}, \dots, \sigma_{i,m_i}\};$$

fiecare interneuron $\sigma_{i,j}$, $1 \leq i \leq n$; $1 \leq j \leq m_i$ are o intrare și una sau două ieșiri

$$\sigma_i = (h_i, h_{i,1}, [h_{i,2}]), \quad 1 \leq i \leq n,$$

unde: a) h_i este hieroglifa admisă la intrarea neuronului σ_i , $h_i \in O_1$; b) $h_{i,1}, h_{i,2} \in O_2 \cup O_3$ - hieroglifele generate la prima și, respectiv, la a doua ieșire a neuronului σ_i ;

teacă - mulțimea legăturilor dintre zone, unde: $teacă \subseteq \{0, 1, 2, \dots, n-1\} \times \{1, 2, \dots, n\}$,

$$(j, j) \notin teacă, \quad 1 \leq j \leq n, \quad 1 \leq i \leq 2;$$

Z_{out} - zona de ieșire, $Z_{out} \in \{1, 2, \dots, n\}$.

VII. GENERATOR DE SISTEME EXPERT CU CALCUL PARALEL

Modelul acestui generator de sisteme expert se bazează pe fenomenul, că transmiterea, modularea și amplificarea impulsurilor nervoase între neuroni se face prin substanțe chimice, numite *mediatori chimici* [10].

În acest model fiecare premisă este asociată cu o substanță chimică difuzată în spațiul dintre neuroni. Eventualele rezultate ale procesării neurale - concluziile - sunt de asemenea mediatori chimici difuzați în acest spațiu. Toți neuronii funcționează în paralel și sunt sincronizați de un *ceasornic universal* [8]. Timpul evoluează discret.

Definiția 4. Generator de sisteme expert cu calcul paralel este construcția

$$G_1 = (O, L, U, T, G, M, \Sigma, out),$$

unde:

O, L, U, T, G, M, Σ - păstrează semnificațiile din primul model;

$out \subseteq \{1, 2, \dots, m\}$ - neuronul de ieșire.

VIII. GENERATOR DE SISTEME EXPERT NUANȚATE

Modelele sistemelor expert expuse mai sus operează cu clase de obiecte partiționate. Cunoștințele unui expert uman sunt formulate în limbaj natural. Noțiunile limbajului natural deseori au o semnificație vagă (incertă). În

sistemele expert aceste cunoștințe pot fi folosite aplicând *mulțimile nuanțate* și *logica raționamentului nuanțat*. Mulțimile nuanțate au fost introduse de Zadeh [11].

Modelul discutat al generatorului de sisteme expert este o dezvoltare a modelului precedent adaptat să opereze cu mulțimi de referință și raționamente nuanțate.

Definiția 5. Fie U - univers. Mulțime (submulțime) nuanțată A peste universul U este numită mulțimea de perechi $A = \{(u, \mu_A(u)) \mid u \in U\}$, unde, $\mu_A(u)$ este gradul de apartenență a elementului u la mulțimea nuanțată A , $\mu_A: E \rightarrow [0, 1]$.

Remarcă. Dacă funcția $\mu_A: E \rightarrow [0, 1]$ este înlocuită cu funcția $\mu_A: E \rightarrow \{0, 1\}$, atunci mulțimea nuanțată A se transformă într-o mulțime convențională, cu semnificația definită de Cantor.

Autorul a elaborat un algoritm de transformare a mulțimilor convenționale de referință în mulțimi nuanțate de referință.

Mulțimile de referință nuanțate elaborate de algoritm satisfac următoarele condiții:

$$(i) \mu_{U_{k,1}}(u_{k,1}) = 1;$$

$$(ii) \mu_{U_{k,1}}(u_{k,2}) = \mu_{U_{k,2}}(u_{k,2}) = \dots$$

$$\dots = \mu_{U_{k,n_k-1}}(u_{k,n_k}) = \mu_{U_{k,n_k}}(u_{k,n_k}) = 0.5;$$

$$(iii) \mu_{U_{k,n_k}}(u_{k,n_k+1}) = 1;$$

$$(iv) \forall u \in U_k: \sum_{j=1}^{n_k} \mu_{U_{k,j}}(u) = 1.$$

În sistemul expert mulțimile de referință sunt prezentate parametric cu ajutorul unor funcții lineare. De aceea, utilizatorul final, eventual, ar putea de sine stătător utiliza acești parametri în scopul ajustării mulțimilor nuanțate de referință utilizate în sistemul expert comandat.

Sisteme expert nuanțate realizează logica raționamentului nuanțat [12].

Rezultatele expertizei sunt obiecte nuanțate.

IX. CONCLUZII

Au fost elaborate patru modele de generatoare de sisteme expert pentru clasificarea obiectelor. Primele trei modele operează cu mulțimi convenționale de obiecte. Modelul al patrulea operează cu mulțimi și logică nuanțată.

Mecanismele de funcționare ale sistemelor expert, discutate în lucrare, sunt inspirate de unele fenomene care au loc în procesele de prelucrare a informațiilor în sistemul nervos.

Modelele de generatoare de sisteme expert discutate au fost validate reconstruind cu ajutorul acestor modele unele sisteme expert de diagnostic financiar, elaborate de profesorul Dinu Airinei [13].

În calitate de mediu instrumental pentru elaborarea generatorului de sisteme expert neural nuanţat şi simularea cu ajutorul acestuia a calculului paralel a fost folosit sistemul de calcul simbolic MAPLE [14]

REFERINŢE

- [1] Zadeh L.A. The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning. – In *Information Sciences*, 8:199-249, 1975.
- [2] Moisil Gr. G. Lecţii despre logica raţionamentului nuanţat. - Bucureşti: Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, 1975. – 179 p.
- [3] Olteanu, A., Lupu, V. Neurofiziologia sistemelor senzitivo-senzoriale. - Cluj-Napoca: Presa Universitară Clujeană, 2000.
- [4] Miu, A. C., Olteanu, A. I. Neuroştiinţe. De la mecanisme moleculare şi celulare la comportament şi evoluţie. Vol. I: Dezvoltarea sistemului nervos. - Cluj-Napoca: Dacia, 2003.
- [5] Ascoli, G.A., Alonso-Nanclares, L., Anderson, S.A., Barrionuevo, G., et al. Petilla Terminology: Nomenclature of features of GABAergic interneurons of the cerebral cortex. - *Nature Reviews Neuroscience* (2008) 9: 557-568. DOI:10.1038/nrn2402. PMID 18568015.
- [6] Lucian E. Marin. Sistemul nervos central. <http://lucianmarin.com/anatomie/pagina/nervos-central/> (Citat 30.08.2009).
- [7] <http://ro.wikipedia.org/wiki/Axon> (Citat 30.08.2009).
- [8] Păun Gh. *Computing with Membranes*. *Journal of Computer and Systems Science* 61, (2000), pp. 108 – 143.
- [9] Alhazov A., Margenstern M., Rogozhin V., Rogozhin Yu., Verlan S. *Communicative P Systems with Minimal Cooperation*. In *Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin / Heidelberg*, Volume 3365/2005, Membrane Computing, 2005, 161-177.
- [10] Otto Loewi. *Über humorale Übertragbarkeit der Herznervenwirkung*. I. *Pflügers Archiv*, 189, pp. 239-242, 1921. doi:10.1007/BF01731235
- [11] Zadeh, L.A.. *Fuzzy sets*, In *Information and Control*. 8 (3): 338–353, 1965.
- [12] Zadeh, L. A. et al. 1996 *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Fuzzy Systems*, World Scientific Press, ISBN 9810224214
- [13] Airinei Dinu - *Sisteme expert în activitatea financiar-contabilă* – Iaşi: Editura Tiparul, 1997. - 254 p.
- [14] <http://www.maplesoft.com/Products/Maple/>

Notă: Cercetarea este realizată în cadrul Proiectului nr. 4032, codul instituţional I1313, grupul de cercetare al Centrului Ştiinţific şi Tehnologic din or. Kiev, Ucraina.