УДК 681.14

Ф. Гече[1], В. Коцовський[1], С. Ковальов[1], А. Батюк[2]
[1]Ужгородський національний університет,
[2]Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизованих систем управління

БУЛЬОВІ НЕЙРОФУНКЦІЇ І СИНТЕЗ РОЗПІЗНАВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ У НЕЙРОБАЗИСІ

Вивчаються достатні умови зображення множин бульових векторів матрицями толерантності. На основі цього доводяться теореми, що є достатніми умовами належності бульових функцій до класу нейрофункцій.

In this paper we have investigated sufficient conditions of representing sets of the Boolean vectors with help of the tolerancy matrixes.

1. Вступ

Для розв’язання різних задач у галузях біології, медицини, теорії інформації та інших технічних наук успішно використовуються елементи нейротехнологій. Широкого застосування набувають нейромережі і нейрофункції, за допомогою яких досліджується багато різних природних явищ. Особливого значення ці технології набувають під час обробки та розпізнавання дискретних сигналів і зображень.

Центральною задачею під час побудови нейромереж є синтез одного нейроелемента (НЕ) з вибраною функцією активації, що реалізує відповідну нейрофункцію [1–6]. Як відомо [7], застосування методів синтезу НЕ з пороговою функцією активації, що базується на спектральному аналізу функцій алгебри логіки, на методах апроксимації, а також на ітераційних методах, практично, є не придатними даже при невеликих розмірностей.

У статті наводяться достатні умови реалізованості бульових функцій одним нейроелементом з пороговою функцією активації і ефективний метод синтезу розпізнавального пристрою у нейробазисі за великих і надвеликих розмірностей.

2. Достатні умови реалізованості бульових функцій одним НЕ

Визначення належності бульових функцій до класу нейрофункцій на основі дослідження властивостей їхнього ядра [1, 2] є особливо актуальним завданням. Тому важливим є вивчення зображення ядер бульових нейрофункцій матрицями толерантності, що дає можливість синтезу нейроелементів [1–3].

Нехай $Z_2 = \{0,1\}$ і Z_2^n–*n*-а декартова степінь множини Z_2.Нехай $f\colon Z_2^n \to Z_2$ – бульова функція і

$$f^{-1}(1) = \{x \in Z_2^n \mid f(x) = 1\},\quad f^{-1}(0) = \{x \in Z_2^n \mid f(x) = 0\}.$$

Кажуть, що НЕ з вектором структури $[w = (w_1,..., w_n); \omega_0]$; ($w$ − *n*-вимірний дійсний вектор, що називається ваговим,; ω_0 – дійсне число – поріг) реалізує бульову функцію $f(x_1,.., x_n)$, якщо для кожного $x \in Z_2^n$ виконується умова $x \in f^{-1}(0) \Leftrightarrow x \cdot w^T < \omega_0$, де T і $\cdot$ відповідно символи транспонування матриць і матричного множення.

Бульова функція, яка реалізується хоча б на одному нейронному елементі, називається нейрофункцією.

Нехай $A = \{a_1,.., a_n\}$ довільна підмножина множини Z_2^n і $A' = Z_2^n \setminus A$. Із елементів множини A побудуємо матрицю $M(A)$: першим рядком матриці $M(A)$ буде вектор $a_1 = (a_{11},.., a_{1n})$ із A, другим рядком матриці $M(A)$ буде вектор $a_2=(a_{21},..,a_{2n})$ і т.д. Через S_q позначимо симетричну групу і $A_\xi=(a_{\xi(1)},..,a_{\xi(q)})$, де $\xi(i)$ – дія підстановки $\xi\in S_q$ на i.

Нехай Ω_n – множина всіх n – вимірних дійсних векторів $w=(w_1,..,w_n)$ таких, що для різних $x_1,x_2\in Z_2^n$, числа $x\cdot w_1^T, x\cdot w_2^T$ різні.

Нехай $c_1>c_2>..>c_{2^n}$ розташовані в порядку спадання зважені суми $x\cdot w^T$ при фіксованому $w\in\Omega_n$ для всіх $x\in Z_2^n$ і $c_w=(c_1,c_2,..,c_{2^n})$.

У [1] показано: якщо $w\in\Omega_n$ і R_w матриця над Z_2 розмірності $2^n\times n$, яка задовольняє умову $R_w\cdot w^T=c_w^T$, то R_w має такий вигляд $R_w=\begin{pmatrix}L_w\\ L_w^*\end{pmatrix}$, де $L_w=(a_{ij})$ $(i=1,2,..,2^{n-1}; j=1,2,..,n)$ матриця толерантності і $L_w^*=(a_{sj})$, де $s=2^{n-1}-i+1, a_{sj}=\overline{a}_{ij}$ (риска над a_{ij} означає операцію інвертування).

Нехай $E_n=\bigcup\limits_{w\in\Omega_n}L_w$. Матрицю N, побудовану із перших r рядків матриці толерантності $L\in E_n$, називають передматрицею толерантності і записують у вигляді: $N\lhd L$ або $N=L(r)$.

Кажуть, що множина $A\subseteq Z_2^n$ допускає зображення матрицями толерантності із E_n, якщо існує такий елемент $\xi\in S_q(q=|A|)$ і матриця толерантності $L\in E_n$, якщо існує одна із умов:

1. $M(A_\xi)\lhd L$, якщо $q\le 2^{n-1}$;
2. $M(A'_\xi)\lhd L$, якщо $q>2^{n-1}$.

У [1] показано, що бульова функція $f(x_1,..,x_n)$ є нейрофункцією тоді і тільки тоді, коли її ядро $K(f)$ допускає зображення матрицями толерантності із E_n.

Отже, задача щодо перевірки реалізованості бульової функції на одному нейроелементі зводиться до перевірки зображення ядра цієї бульової функції матрицями толерантності [3].

Нехай $a=(\alpha_1,..,\alpha_j,..,\alpha_{j+s},..,\alpha_n)$ довільний вектор множини $Z_2^n, s\in\{0,1,..,n-j\}$ і $j\in\{2,..,n\}$. На множині координат $(\alpha_1,..,\alpha_n)$ вектора $a\in Z_2^n$ для фіксованих s та j визначимо функцію ε_j^k

$$\forall k\in\{0,1,..,s\} \qquad \varepsilon_j^k(\alpha_i)=\begin{cases}\alpha_i, & \text{якщо } i\le j-1;\\ \alpha_i(j-r_k), & \text{якщо } i=j+k;\\ \alpha_i j, & \text{якщо } i>j+s;\end{cases} \tag{1}$$

де $r_0,r_1,..,r_s\in\{1,2,..,j-1\}$.

За означенням очевидно, що функція ε_j^k залежить від r_k,α_i, і j.

Через функції $\varepsilon_j^k(k\in\{0,1..,s\}$ при фіксованих $s\in\{0,..,n-j\}$ та j так задаємо відображення $\varepsilon_s^j: Z_2^n\to Z_j^n(2\le j\le n)$:

$$\varepsilon_j^s(a)=(\varepsilon_j^s(\alpha_1),..,\varepsilon_j^s(\alpha_{j-1}),\varepsilon_j^0(\alpha_j),\varepsilon_j^1(\alpha_{j+1}),..,\varepsilon_j^s(\alpha_{j+s}),\varepsilon_j^s(\alpha_{j+s+1}),..,\varepsilon_j^s(\alpha_n))$$

і визначимо функціонал υ_j^s на множині Z_2^n за формулою

$$\forall a\in Z_2^n \qquad \upsilon_j^s(a)=\sum_{i\in I_s(j)}\varepsilon_j^s(\alpha_i)+\sum_{i=0}^{s}\varepsilon_j^i(\alpha_{j+i}), \tag{2}$$

де $I_s(j) = \{1,2,..,n\} \setminus \{j, j+1,.., j+s\}$. За допомогою функціонала υ_j^s для кожного $k \in \{0,1,..,s\}$ формуємо множину бульових векторів $F_{j+k}^{(r_k,s)}$ так: $F_{j+k}^{(r_k,s)} = \{a \in m(L_{j+k}^* 0...0) \mid \upsilon_j^s(a) \le j-1\}$,

де $m(L_{j+k}^* 0...0)$ – множина бульових векторів, що побудована з рядків матриці $(L_{j+k}^* 0...0)$, а $r_0,..., r_s \in \{1,.., j-1\}$.

Нехай $a \in Z_2^n$, $\sigma \in S_n$, визначимо $a^\sigma = (\alpha_{\sigma(1)},...,\alpha_{\sigma(n)})$, $A^\sigma = (a_{\sigma(1)},..., a_{\sigma(n)})$, де $\sigma(i)$ – дія підстановки σ на i, a_i –i-й стовпець матриці A.

Теорема 1. *Якщо в множині* $A \subset Z_2^n(|A| \le 2^{n-1})$, *групі* S_n *відповідно існують такі елементи* a, σ *і такі цілі числа* $r_0 \ge r_1 \ge ...r_s \ge 0 (r_0 \le j-1)$, *що*

$$a^\sigma A^\sigma = m(L_j \underbrace{0...0}) \cup (\bigcup_{i=0}^{s} F_{j+i}^{(r_i,s)}), \tag{3}$$

тоді множина A *допускає зображення матрицями толерантності з* E_n.

Доведення. Визначимо n-вимірний вектор $w = (\omega_1,.., \omega_n)$ так $\omega_1 = ... = \omega_{j-1} = -1,\ \omega_j = r_0 - j,\ \omega_{j+1} = r_1 - j,..., \omega_{j+s} = r_s - j,\ \omega_{j+s+1} = ... = \omega_n = -j$. За побудовою вектора w маємо

$$\min\{x \cdot w^T \mid x \in m(L_j 0...0)\} = 1 - j,$$

$$\forall k \in \{0,1,..., s\}\ \min\{x \cdot w^T \mid x \in F_{j+k}^{(r_k,k)}\} = j - 1 > \max\{x \cdot w^T \mid x \in m(L_{j+k}^* 0...0) \setminus F_{j+k}^{(r_k,k)}\} = -j,$$

$$\forall t \in \{s+1,..., n\}\ \max\{x \cdot w^T \mid x \in m(L_t 0...0)\} = -j.$$

Тоді з (3) безпосередньо випливає

$$\forall t \in a^\sigma A^\sigma, \forall y \in Z_2^n \notin a^\sigma A^\sigma \quad x \cdot w^T > y \cdot w^T \tag{4}$$

Отже, як показано в [4], існує такий вектор $v \in \Omega_n$, який також задовольняє умову (4). Це означає, що існує такий елемент $\xi \in S_q (q = |A|)$, що $a^\sigma (A_\xi)^\sigma = L_v(q)$. Тоді з елементів множини А можна побудувати передматрицю толерантності $L_1(q)$ $(L_1 = aL_v^{\sigma^{-1}})$ – і теорема доведена. З теореми 1 безпосередньо випливає:

Теорема 2. *Бульова функція* $f(x_1,.., x_n)$ *з ядром* $K(f)$ *є нейрофункцією, якщо в* $K(f)$ *і групі* S_n *відповідно існують такі елементи* g, σ *і такі цілі числа* $r_0 \ge r_1 \ge ...r_s \ge 0 (r_0 \le j-1)$, *що*

$$g^\sigma K(f)^\sigma = m(L_j \underbrace{0...0}) \cup (\bigcup_{i=0}^{s} F_{j+i}^{(r_i,s)}).$$

Розглянемо узагальнення функцій ε_j^k і функціоналу υ_j^s.

Нехай $a = (\alpha_1,..., \alpha_j,..., \alpha_{j+s},..., \alpha_n) \in Z_2^n$, $s \in \{0,1,..., n-j\}$ $(j \ge 2)$. Для фіксованих $j \in \{2,3,..., n\}$ *і* $t \in \{1,2, j-1\}$ будуємо множину векторів $u_j(t)$:

$$u_j(t) = \{(u_1,..., u_n) \mid u_1 + ... + u_t = j-1,\ u_1,..., u_t \in \{1,2,..., j-t\}\}$$

і визначимо $U_j = \bigcup_{t=1}^{j-1} u_j(t)$. Нехай $u = (u_1,..., u_{l_u}) \in U_j$ (l_u – розмірність вектора u) і $\forall k \in \{0,1,.., s\}$

$$\varepsilon_j^{(u,k)}(\alpha_i)=\begin{cases}\alpha_i, & i\le u_1,\\ \alpha_i 2^{r-1}, & \sum_{p=1}^{r-1}u_p < i < \sum_{p=1}^{r}u_p\ ,\\ \alpha_i(\sum_{p=1}^{l_u}u_p 2^{p-1}-r_k+1), & i=j+k\ ,\\ \alpha_i(\sum_{p=1}^{l_u}u_p 2^{p-1}+1), & j>j+s\ .\end{cases}$$

Для фіксованих $j\in\{2,3,..,n\}$, $s\in\{0,1,...,n-j\}$ і $u=(u_1,...,u_n)\in U_j$ задаємо відображення $\varepsilon_j^{(u,s)}:Z_2^n\to Z_k^n$ $(k=\sum_{p=1}^{l_u}u_p 2^{p-1})$ так:

$$\varepsilon_j^{(u,s)}(a)=(\varepsilon_j^{(u,s)}(\alpha_1),...,\varepsilon_j^{(u,s)}(\alpha_{j-1}),\varepsilon_j^{(u,0)}(\alpha_j),\varepsilon_j^{(u,l)}(\alpha_{j+1}),...,$$
$$\varepsilon_j^{(u,s)}(\alpha_{j+s}),\varepsilon_j^{(u,s)}(\alpha_{j+s+1}),...,\varepsilon_j^{(u,s)}(\alpha_n))$$

і визначимо функціонал $\upsilon_j^{(u,s)}$ на множині Z_2^n за допомогою формули

$$\forall a\in Z_2^n,\ \upsilon_j^{(u,s)}(a)=\sum_{i\in I_s(j)}\varepsilon_j^{(u,s)}(\alpha_i)+\sum_{i=0}^{s}\varepsilon_j^{(u,i)}(\alpha_{j+i}),\text{ де } I_s(j)=\{1,2,...,n\}\setminus\{j,j+1,...,j+s\}.$$

Через функціонал $\upsilon_j^{(u,s)}$ задаємо множину бульових векторів $F_{j+k}^{(u,r_k,s)}$:

$$F_{j+k}^{(u,r_k,s)}=\left\{a\in m(L_{j+k}^{*}0...0)\,|\,\upsilon_j^{(u,s)}(a)\le\sum_{p=1}^{l_u}u_p 2^{p-1}\right\},$$

де $r_0,r_1,...,r_s\in\left\{0,1,...,\sum_{p=1}^{l_u}u_p 2^{p-1}\right\}$, $k\in\{1,2,...,s\}$

Теорема 3. *Якщо в множині* $A\subset Z_2^n$ $(|A|\le 2^{n-1})$, *групі* S_n, *множині векторів* U_j *відповідно існують такі елементи* a,σ,u *і такі цілі числа* $r_0\ge r_1\ge...\ge r_s\ge 0$ $(r_0\le\sum_{p=1}^{l_u}u_p 2^{p-1})$, *що*

$$a^{\sigma}A^{\sigma}=m(L_j\underbrace{0...0})\cup(\bigcup_{i=0}^{s}F_{j+s}^{(u,r_i,s)}),\tag{5}$$

тоді множина A допускає зображення матрицями толерантності з E_n.

Доведення. Дано, що відносно елементів $a\in A,\sigma\in S_n$, і $u=(u_1,...,u_{l_u})$ справджується рівність (5). Покажемо, що можна побудувати вектор $w=(\omega_1,...,\omega_n)$, який задовольняє умову

$$\forall x\in a^{\sigma}A^{\sigma},\ \forall y\in Z_2^n\setminus a^{\sigma}A^{\sigma}\ .\qquad x\cdot w^T>y\cdot w^T\tag{6}$$

Визначимо координати ω_i вектора w так:

$$\omega_1=...=\omega_{u_1}=-1,\ \omega_{u_1+1}=...=\omega_{u_1+u_2}=-2,\ \omega_{u_1+u_2+1}=...=\omega_{u_1+u_2+u_3}==-2^2,\ \dots,$$

$$\omega_{u_1+u_2+...+u_{l_u-1}+1}=\omega_{u_1+u_2+...+u_{l_u}}=-2^{l_u-1},\ \omega_j=r_0-(\sum_{p=1}^{l_u}u_p 2^{p-1}+1),\ \omega_{j+1}=r_1-(\sum_{p=1}^{l_u}u_p 2^{p-1}+1),...,$$

$$\omega_{j+s}=r_s-(\sum_{p=1}^{l_u}u_p 2^{p-1}+1),\ \omega_{j+s+1}=...=\omega_n=-\sum_{p=1}^{l_u}u_p 2^{p-1}-1.$$

З побудови вектора w випливає $\min\left\{x, w^T \mid x \in m(L_j 0...0)\right\} = \sum_{p=1}^{l_u} u_p 2^{p-1}$,

$$\forall k \in \{0,1,...,s\} \;\; \min\left\{x \cdot w^T \mid \;\; x \in F_{j+k}^{(u,r_k,k)}\right\} = -\sum_{p=1}^{l_u} u_p 2^{p-1} >$$

$$-\sum_{p=1}^{l_u} u_p 2^{p-1} - 1 = \max\left\{x \cdot w^T \mid x \in m(L_{j+k}^{*} 0...0) \setminus F_{j+k}^{(u,r_k,k)}\right\},$$

$$\forall t \in \{s+1,...,n\} \;\max\left\{x \cdot w^T \mid x \in m(L_t^{*} 0...0)\right\} = -\sum_{p=1}^{l_u} u_p 2^{p-1} - 1.$$

Тоді з (5) безпосередньо випливає (6) і аналогічно тому, як в теоремі 1 можна показати існування такої матриці толерантності $L_1 \in E_n$, перші q рядки $(q = |A|)$ якої можуть бути побудовані з елементів множини А, тобто існує такий елемент $\xi \in S_q$, що $A_\xi = L_1(q)$. Отже, множина А допускає зображення матрицею толерантності $L_1 \in E_n$ і теорема доведена. З теореми 3 безпосередньо випливає:

Теорема 4. *Бульова функція* $f(x_1,..,x_n)$ *з ядром* $K(f)$ *є нейрофункцією, якщо в* $K(f)$*, групі* S_n*, множині векторів* U_j *відповідно існують такі елементи* g, σ, u *і такі цілі числа* $r_0 \ge r_1 \ge ... \ge r_s \ge 0$ $(r_0 \le \sum_{p=1}^{l_u} u_p 2^{p-1})$*, що* $g^{\sigma} K(f)^{\sigma} = m(L_j \underbrace{0...0}) \cup (\bigcup_{i=0}^{s} F_{j+s}^{(u,r_i,s)})$.

Теорема 5. *Бульова функція* $f(x_1,..,x_n)$ *з ядром* $K(f)$ *є нейрофункцією, якщо в* $K(f)$ *і групі* S_n *відповідно існують такі елементи* g, σ *і такі цілі числа* $q_0 \ge q_1 \ge ...q_t > 0 (q_0 \le j)$*, що*

$$g^{\sigma} K(f)^{\sigma} = m(L_j \underbrace{0...0}) \cup (\bigcup_{i=0}^{s} F_{j+i}^{(r_i,s)}) \;\; \textit{або} \;\; g^{\sigma} K(f)^{\sigma} = L_j \cup L_j^{*}(q_0) \cup L_{j+1}^{*}(q_1) \cup ... \cup L_{j+t}^{*}(q_t),$$

Доведення теореми 5 випливає із теореми 1 і теореми 4.7[2].

Нехай $K_1, K_2, ..., K_t$ навчальна вибірка для класів об'єктів $K_1', K_2', ..., K_t'$. Класи $K_i', K_j' (i \ne j)$, зокрема і підмножини $K_i \subset K_i'$ і $K_j \subset K_j'$ можуть перетинатися.

3. Синтез розпізнавального пристрою

Розглянемо задачу синтезу логічного пристрою з нейронних елементів, який випадковий об'єкт v із $\bigcup_{i=1}^{t} K_i'$ віднесе до одного із класів об'єктів K_i', якщо елементи класів $K_1', K_2', ..., K_t'$ закодовані бульовими векторами розмірності n, тобто:

$$K_1 = \{(\alpha_{11}^{(1)},...,\alpha_{1n}^{(1)}), (\alpha_{21}^{(1)},...,\alpha_{2n}^{(1)}),...,(\alpha_{k_i 1}^{(1)},...,\alpha_{k_i n}^{(1)})\},$$

....,

$$K_t = \{(\alpha_{11}^{(t)},...,\alpha_{1n}^{(t)}), (\alpha_{21}^{(t)},...,\alpha_{2n}^{(t)}),...,(\alpha_{k_i 1}^{(t)},...,\alpha_{k_i n}^{(t)})\}.$$

Для розв'язання поставленої задачі виберемо наступну конфігурацію тришарової нейромережі, де на вхід наступного шару потрапляють вихідні значення з попереднього:

1. Перший шар з t груп нейроелементів, де кожна група складається з певної кількості елементів, у кожного з яких є n входів, на які надходить код $(x_1,...,x_n)$ випадкового об'єкта v із $\bigcup_{i=1}^{t} K_i'$.

2. Другий шар з t нейроелементів з векторами структури $[(1,1,...,1);1]$, які відповідно формують значення $f_1,..., f_t$, бульових нейрофункцій.

3. Третій шар складається з одного нейроелемента і формує на виході значення $f_1 + f_2 2^1 + ... + f_t 2^{t-1}$.

Нейроелементи першого і другого шару мають порогову функцію активації і якщо на вхід подати бульовий набір $\overline{a} = (\alpha_1,...,\alpha_n) \in K_i'$, то значення вихідного сигналу і-го блоку буде 1, тобто $f_i = 1$.

Максимальну підмножину $p(aA)$ множини aA [2], що задовольняє умову

$$p(aA)_{\xi}^{\sigma} = (L_j 0_j ... 0_j) \square (\underset{i=0}{\overset{n-j}{\square}} (L_{j+1}^{*}(q) \underbrace{0...0}_{n-(j+i)}))$$

назвемо p – множиною A відносно $\overline{a}$ з індексом j.

Будь-яку множину A_s [2] бульових наборів можна записати через p - множини так:

$$A_s = a_1^s p(a_1^s A_s) \cup a_2^s p(a_2^s A_s) \cup ... \cup a_{r_s}^s p(a_{r_s}^s A_s). \quad (7)$$

Рівність (7) задає p -розклад множини A_s відносно точок розкладу $a_1^s,..., a_{r_s}^s$.

Для кожної p -множини $a_k^s p(a_k^s A_s)$ в [2] розроблено ефективний алгоритм знаходження такого вектора $w_{ks} = (w_1,..., w_{j_k}, w_{j_{k+1}},..., w_n)$, що задовольнятиме умову $\forall x \in a_k^s p(a_k^s A_s), \forall y \in Z_2^n \setminus a_k^s p(a_k^s A_s)^{\sigma_k}$ $x \cdot w_{ks}^T > y \cdot w_{ks}^T$. Вектор w_{ks}^T буде ваговим вектором НЕ, що реалізує характеристичну функцію множини $a_k^s p(a_k^s A_s)$.

Алгоритм синтезу розпізнавального пристрою, що базується на р-розкладі множин бульових векторів запишеться так:

Крок 1. Нехай $K_1, K_2,..., K_t$ навчальна вибірка, $s = 1$, переходимо до кроку 2.

Крок 2. Побудуємо множину $A_s = K_s \cup \left(Z_2^n \setminus \bigcup_{i=1,\, i \neq s}^{t} K_i \right)$

Знаходимо p - розклад множини K_i в A_i і для кожної p – множини знаходимо ваговий вектор w_{ks} і поріг τ_{ks} відповідного НЕ. Система векторів $\{[w_{1s};\tau_{1s}],...,[w_{rs};\tau_{rs}]\}$ задає вектори структури нейроелементів 1-го шару блока s.

Крок 3. Якщо $s < t$, то $s = s + 1$ і переходимо до кроку 2, а в протилежному випадку синтез мережі завершено.

Клас K_j, до якого належить об'єкт $v \in \bigcup_{i=1}^{t} K_i'$, визначається за значенням виразу $f_1 + f_2 2^1 + ... + f_t 2^{t-1}$.

Висновки

Наведені достатні умови реалізованості функцій алгебри логіки одним НЕ дозволяють синтезувати цілочислові нейронні елементи, практично, без обмеження на числа їхніх входів.

Розроблений алгоритм розпізнавального пристрою в нейробазисі працює у реальному часі і може бути застосований для розпізнавального будь-яких класів об'єктів, закодованих бульовими векторами при великих і надвеликих розмірностей.

1. Айзенберг Н.Н., Бовди А.А., Герго Э.Й., Гече Ф.Э. Некоторые алгебраические аспекты пороговой логики // Кибернетика. – К., 1980. – №2. – С. 26–30. 2. Параллельная обработка информации / /Проблемно-ориентированые средства обработки информации в 5-ти т. / Под ред. Б.Н. Малиновского. – К.:Наук. думка, 1990. – Т.5.–502 с. 3. Гече Ф.Э., Поливко В.П., Роботишин В.А. Реализация функций алгебры и логики на ПЭ // Кибернетика. – 1983. – №6. – С.62–67. 4. Яджима С., Ибараки Т. Нижняя оценка числа пороговых функций // Кибернетический сборник. – М.: Мир, 1969. – Вып. 6. – С.71–81. 5. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника. – М: Мир, 1992. 6. Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомпьютеры. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 7. Дертоузос М.. Пороговая логика. – М.: Мир, 1967.

УДК 004.832.34

Є. Гнатчук
Хмельницький національний університет

ОПРАЦЮВАННЯ НЕЧІТКОЇ ЕКСПЕРТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ У ПРОЦЕСІ ДІАГНОСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ

Наведено групування діагностичної інформації, приклад ролі нечіткої діагностичної інформації у підвищенні достовірності процесу діагностування комп'ютерних засобів.

Grouping of unclear diagnostic information depending on that describes is offered in the article. The example of role of such information for construction of the diagnosing process of computer devices is resulted.

Постановка проблеми

Сьогодні компоненти штучного інтелекту, зокрема експертні системи діагностування, широко використовуються в технічній діагностиці. Це зумовлено можливістю вирішення цими системами неформалізованих та важкоформалізованих задач.

Ефективність роботи експертної системи діагностування (ЕСД) визначається якістю та кількістю наявних в ній знань, особливо експертних, та стратегією їх використання. Треба зауважити, що знання експертів є індивідуальними, залежать від рівня кваліфікації експерта та часто подаються у нечіткій формі. Діагностування комп'ютерних засобів, які надалі розглядатимуться як об'єкт діагностування (ОД), також потребує врахування нечітких експертних знань про типові несправності та їхні ознаки. Врахування такої інформації дає змогу підвищити достовірність діагностування, оскільки використовується більш повний опис таких комп'ютерних засобів (КЗ), як ОД.

Задачу врахування нечіткої експертної інформації при реалізації процесу діагностування розв'язують створенням нечітких експертних систем діагностування (НЕСД).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомі сьогодні інструментарії побудови ЕСД або експертних оболонок використовують різні підходи для оперування з нечіткістю знань та даних, але вони вирішують проблеми представлення нечіткої інформації тільки для вузькоспеціалізованих проблемних галузей. Такі експертні системи, як Cadiag-2, Fault, FLOPS, FRIL, SYSTEMZ-II, FLIPS та інші підтримують елементи нечітких міркувань, але вони створені для однієї предметної галузі [1–3].