

## ВИЗНАЧЕННЯ БАЗОВОГО КЛАСУ ДЛЯ УНІМОДАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА

*О.В. Лищинський, аспірант;  
В.О. Востоцький, аспірант,  
Сумський державний університет, м. Суми*

*Розглядається у рамках інформаційно-екстремального алгоритму навчання визначення базового класу розпізнавання із заданого алфавіту. При цьому всі класи мають загальний центр розсіювання реалізацій образу і відрізняються тільки їх дисперсіями.*

**Ключові слова:** базовий клас розпізнавання, навчання, оптимізація, інформаційно-екстремальний алгоритм, унімодальний класифікатор.

*Рассматривается в рамках информационно-экстремального алгоритма обучения определение базового класса распознавания из заданного алфавита. При этом все классы имеют общий центр рассеивания реализаций образа и отличаются только их дисперсиями.*

**Ключевые слова:** базовый класс распознавания, обучение, оптимизация, информационно-экстремальный алгоритм, унимодальный классификатор.

### ВСТУП

Підвищення функціональної ефективності автоматизованих систем керування (АСК) складними технологічними процесами, що функціонують за умови апіорної невизначеності, на практиці досягається шляхом надання їм властивості адаптивності на основі машинного навчання та розпізнавання образів [1-3]. Одним із перспективних підходів до аналізу і синтезу інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (СППР), яка є обов'язковою складовою адаптивної АСК, є використання ідей і методів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технологія), що ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності СППР шляхом введення в процесі навчання додаткових інформаційних обмежень [4,5].

У працях [6,7] розглядалося питання оптимізації у рамках ІЕІ-технології просторово-часових параметрів функціонування, які впливають на функціональну ефективність СППР, для мультимодального класифікатора, що характеризується наявністю декількох центрів розсіювання реалізацій класів із заданого алфавіту. При цьому не розглядалася задача вибору базового класу розпізнавання, від якого залежить функціональна ефективність навчання СППР. Особливо актуальною є така задача для унімодального класифікатора, який має один загальний центр розсіювання для реалізацій усіх класів розпізнавання. Такий класифікатор доцільно використовувати, наприклад, в задачах керування із трьохальтернативною системою оцінок типу «Норма», «Менше норми» і «Більше норми».

У статті досліджується вплив вибору базового класу розпізнавання на функціональну ефективність навчання СППР, яка буде унімодальні вирішальні правила для заданого впорядкованого алфавіту. При цьому реалізації всіх класи розпізнавання мають загальний центр розсіювання і відрізняються тільки їх дисперсіями.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Нехай для структурованого алфавіту нечітких класів розпізнавання  $\langle \{X_m^o \mid m = \overline{1, M}\} \rangle$ , які характеризують  $M$  допустимих функціональних станів складного організаційно-технічного комплексу, сформовано

апріорно класифіковану нечітку навчальну матрицю типу «об'єкт-властивість»  $\langle \|y_{m,i}^{(j)}\| \rangle, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n}$ , де  $N, n$  – кількість ознак розпізнавання і випробувань відповідно. Крім того, дано структурований вектор параметрів функціонування СППР  $g = \langle x_m, d_m, \delta \rangle$ , де  $x_m$  – еталонний вектор-реалізація класу  $X_m^o$ , який визначає геометричний центр розсіювання векторів-реалізацій класу  $X_m^o$ ;  $d_m$  – радіус контейнера класу  $X_m^o$ , що відновлюється в радіальному базисі простору ознак розпізнавання, відповідно;  $\delta$  – параметр поля контрольних допусків. При цьому задано такі обмеження:  $x_m \in \Omega$ , де  $\Omega$  – бінарний простір ознак розпізнавання (Хеммінга);  $d_m < [0; d(x_m \oplus x_c) - 1]$ , де  $d(x_m \oplus x_c)$  – кодова відстань центра класу  $X_m^o$  від центра найближчого (сусіднього) до нього класу  $X_c^o$  і параметр  $\delta \in [0; \delta_H / 2]$ , де  $\delta_H$  – нормоване (експлуатаційне) поле допусків для відносної шкали вимірювання ознак, яке є областю значень для параметра контрольного поля допусків  $\delta$ . На етапі навчання необхідно визначити для заданого алфавіту  $\{X_m^o\}$  базовий клас розпізнавання, відносно еталонного вектора-реалізації якого формується система контрольних допусків на ознаки розпізнавання, за умови максимізації усередненого інформаційного критерію функціональної ефективності (КФЕ) навчання СППР:

$$\bar{E} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M E_m^*, \quad (1)$$

де  $E_m^*$  – глобальний максимум інформаційного КФЕ навчання СППР розпізнавати реалізації класу  $X_m^o$ , що шукається в робочій області визначення його функції.

#### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

Категорійну модель визначення базового класу розпізнавання із заданого структурованого алфавіту подамо у вигляді діаграми відображень множин, яка містить оператор формування вхідного математичного опису

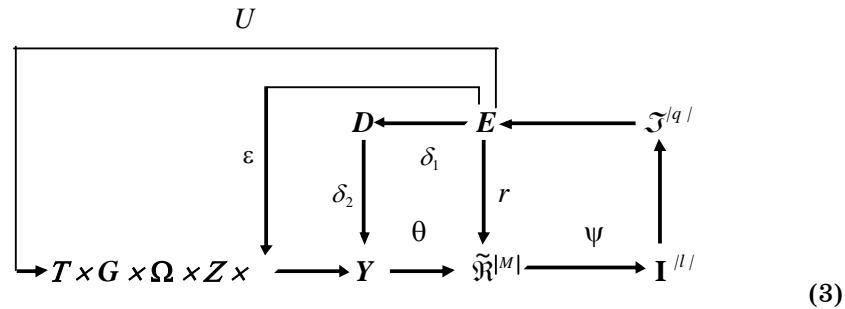
$$F : G \times T \times \Omega \times Z \times A \rightarrow Y, \quad (2)$$

де  $G$  – простір вхідних сигналів (факторів), які діють на СППР;  $T$  – множина моментів часу зняття інформації;  $\Omega$  – простір ознак розпізнавання;  $Z$  – простір можливих функціональних і технічних станів СППР;  $A$  – алфавіт класів розпізнавання;  $Y$  – вибіркова множина значень рецепторів (вхідна багатовимірна навчальна матриця типу «об'єкт-властивість»).

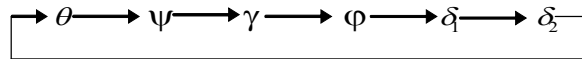
Введемо оператор побудови у загальному випадку нечіткого розбиття  $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$  простору ознак на класи розпізнавання  $\theta : Y \rightarrow \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$  і оператор класифікації  $\psi : \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|} \rightarrow I^{|M|}$ , який перевіряє основну статистичну гіпотезу

про належність вектора-реалізації образу  $\{x_m^{(j)} | j = \overline{1, n}\}$  нечіткому класу  $X_m^o$ . Тут  $l$  – кількість статистичних гіпотез. Оператор  $\gamma: I^{|l|} \rightarrow \mathcal{F}^{|q|}$  шляхом оцінки статистичних гіпотез формує множину точнісних характеристик  $\mathcal{F}^{|q|}$ , де  $q=l^2$  – кількість точнісних характеристик. Оператор  $\varphi: \mathcal{F}^{|q|} \rightarrow E$  обчислює множину значень інформаційного КФЕ, який є функціоналом точнісних характеристик. Контур оптимізації геометричних параметрів нечіткого розбиття  $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$  шляхом пошуку максимуму КФЕ навчання розпізнавання реалізацій класу  $X_m^o$  замикається оператором  $r: E \rightarrow \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$ .

Діаграма відображення множин у процесі визначення базового класу з урахуванням виразу (2) має вигляд



У діаграмі (3) терм-множина  $D$  складається із допустимих значень СКД, а контур операторів



безпосередньо оптимізує контрольні допуски на ознаки розпізнавання. При цьому оператор  $\varepsilon: E \rightarrow A$  здійснює перебір класів розпізнавання для заданого алфавіту, а оператор  $U: E \rightarrow G \times T \times \Omega \times Z \times A$  регламентує процес навчання.

### АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ БАЗОВОГО КЛАСУ РОЗПІЗНАВАННЯ

У продукційній формі алгоритм визначення базового класу  $X_B^o$  із заданого алфавіту має вигляд

$$(\forall X_m^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}) [If \bar{E} = \max_{\{m\}} \bar{E} \text{ then } X_m^o \leftrightarrow X_B^o].$$

У рамках ІЕІ-технології вхідною інформацією для визначення базового класу  $X_B^o$  в процесі навчання СППР є алфавіт  $\{X_m^o\}$ , в якому класи розпізнавання мають загальний центр розсіювання їх векторів-реалізацій, дійсний у загальному випадку структурований масив реалізацій образу  $\{y_m^{(j)} | m = \overline{1, M}; j = \overline{1, n}\}$ ; система полів контрольних допусків  $\{\delta_{k,i}\}$  на ознаки розпізнавання і рівні селекції  $\{\rho_m\}$  координат еталонних векторів-

реалізацій образів, які за замовчуванням дорівнюють 0,5 для всіх класів розпізнавання.

Узагальнена схема алгоритму визначення базового класу із заданого алфавіту  $\{X_m^o\}$  згідно з діаграмою (3) така:

- 1) для заданого алфавіту формується двовимірний масив можливих перестановок класів розпізнавання;
- 2) обнулюється лічильник перестановок класів розпізнавання для заданого алфавіту:  $l := 0$ ;
- 3)  $l := l + 1$ ;
- 4) реалізується ітераційний інформаційно-екстремальний алгоритм оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання, який описано у праці [5]:

$$\delta^* = \arg \max_{G_\delta} \{ \max_{G_d \in G_E} E \},$$

де  $G_\delta, G_d, G_E$  – допустимі області значень параметра поля допусків  $\delta$ , радіусів контейнерів класів розпізнавання й інформаційного КФЕ (1) відповідно;

- 5) обчислюється в робочій області визначення функції (1) максимальне значення критерію  $\bar{E}^*[l]$ ;

6) якщо має місце  $\bar{E}^*[l] \leq \underset{\{l\}}{\text{extr max}} \bar{E}$ , де  $\underset{\{l\}}{\text{extr max}} \bar{E}$  – граничний максимум усередненого за алфавітом класів розпізнавання інформаційного критерію (1), то виконується пункт 7, інакше – пункт 8 ( $\bar{E}[0] = 0$ );

- 7) якщо  $l \leq m!$ , то виконується пункт 3, інакше – пункт 8;

$$8) \bar{E}^*[l] := \max_{\{l\}} \bar{E}^*[l];$$

- 9) визначення оптимальної перестановки  $l^* = \arg \bar{E}^*[l]$ ;

10)  $X_B^o \leftrightarrow X_{(1)}^o[l^*]$ , тобто за базовий клас приймається перший порядковий клас  $l^*$ -ї перестановки класів у заданому алфавіт;

- 11) ЗУПИН.

Як КФЕ навчання СППР може розглядатися будь-яка статистична інформаційна міра. На практиці в ІЕІ-технології найбільш поширеними є модифікації ентропійного критерію (за Шенноном) і критерію Кульбака [6]. При цьому модифікація критерію Кульбака може мати, наприклад, такий вигляд:

$$E_m^{(k)} = \log_2 \left( \frac{2 - (\alpha_m^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d))}{\alpha_m^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} \right) * [1 - (\alpha_m^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d))], \quad (4)$$

де  $\alpha_m^{(k)}(d), \beta_m^{(k)}(d)$  – точнісні характеристики: похибки першого та другого родів відповідно, що обчислюються на  $k$ -му кроці навчання;  $d$  – дистанційна міра, що визначає радіуси контейнерів, побудованих у радіальному базисі простору ознак розпізнавання.

Оцінками похибок першого та другого родів при прийнятті рішень у процесі навчання є емпіричні частоти

$$\tilde{a}_m^{(k)}(d) = \frac{K_{1,m}^{(k)}}{n_{min}}; \quad \tilde{b}_m^{(k)}(d) = \frac{K_{2,m}^{(k)}}{n_{min}},$$

де  $K_{1,m}^{(k)}$  – кількість подій, що визначають неналежність реалізацій образу контейнеру класу  $X_m^o$ , якщо насправді вони є реалізаціями цього класу;  $K_{2,m}^{(k)}$  – кількість подій, що визначають належність реалізацій образу контейнеру класу  $X_m^o$ , якщо насправді вони належать іншому класу;  $n_{\min}$  – мінімальний обсяг репрезентативної навчальної вибірки [1].

Таким чином, задача визначення базового класу із заданого алфавіту, в якому класи розпізнавання мають унімодальний центр розсіювання їх векторів-реалізацій при різних дисперсіях, полягає в пошуку оптимальної перестановки класів, яка забезпечує максимальне значення інформаційного критерію (1) в області визначення його функції.

#### ПРИКЛАД ВИЗНАЧЕННЯ БАЗОВОГО КЛАСУ РОЗПІЗНАВАННЯ

Реалізацію вищенаведеного алгоритму розглянемо на прикладі СППР для керування технологічним процесом виробництва фосфорної кислоти у ВАТ «Сумихімпром» (м. Суми). При цьому клас  $X_1^o$  характеризує зміст  $P_2O_5$  у фосфорній кислоті «У нормі», клас  $X_2^o$  – «Менше норми» і клас  $X_3^o$  – «Більше норми». Як КФЕ навчання СППР розглядалася модифікація критерію Кульбака (4).

На рис.1 показано графік КФЕ, одержаний при побудові вирішальних правил у процесі навчання СППР з паралельною оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання для структури алфавіту класів  $\langle X_3^o, X_1^o, X_2^o \rangle$ , в якій за базовий прийнято клас  $X_3^o$  – «Більше норми». Як параметр оптимізації тут розглядається параметр поля контрольних допусків  $\delta$  (delta), який у процесі навчання СППР послідовно змінюється одночасно для всіх ознак розпізнавання.

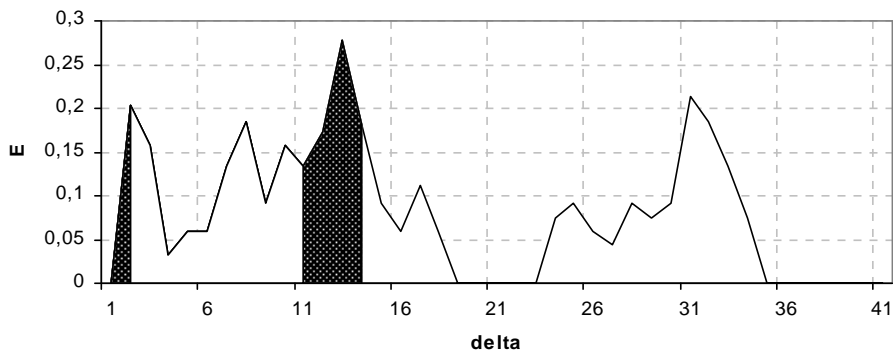


Рисунок 1–Графік залежності КФЕ навчання СППР від параметра поля контрольних допусків для структури алфавіту  $\langle X_3^o, X_1^o, X_2^o \rangle$

На рис.1 темними ділянками позначено робочі (допустимі) області визначення функції критерію (4), в яких перша і друга достовірності перевершують відповідно помилки першого та другого родив. Аналіз рис.1 показує, що максимальне значення КФЕ в робочій області дорівнює  $\bar{E}^* = 0,28$  при оптимальному значенні параметра поля допусків  $\delta^* = 13$  (у відносних одиницях).

На рис. 2 і рис. 3 показано аналогічні графіки для структур  $\langle X_2^o, X_1^o, X_3^o \rangle$  і  $\langle X_1^o, X_3^o, X_2^o \rangle$  відповідно.

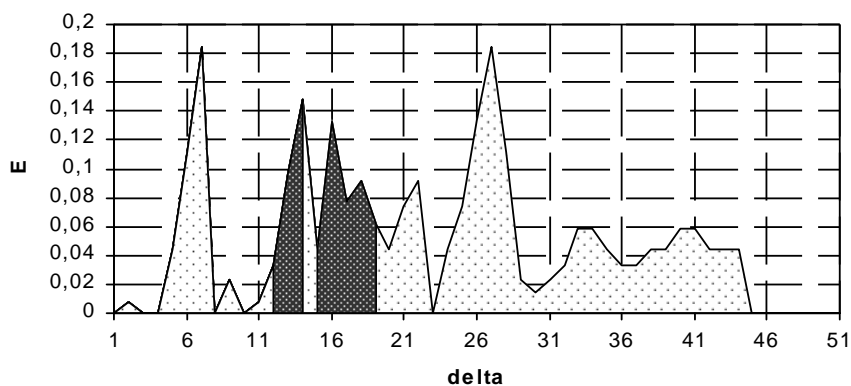


Рисунок 2– Графік залежності КФЕ навчання СППР від параметра поля контрольних допусків для структури  $\langle X_2^o, X_1^o, X_3^o \rangle$

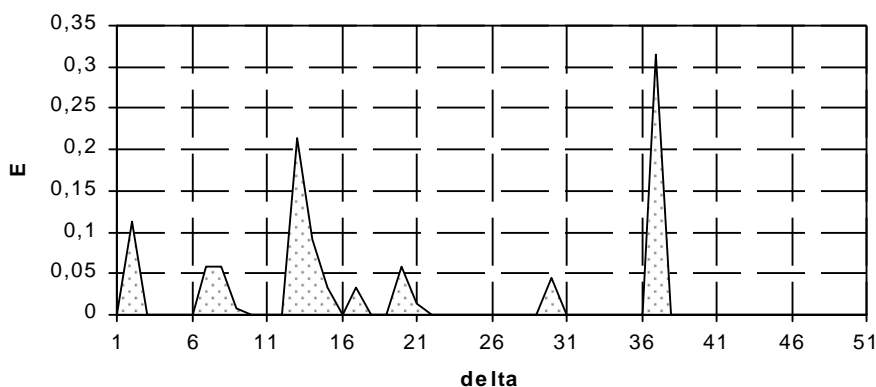


Рисунок 3– Графік залежності КФЕ навчання СППР від параметра поля контрольних допусків для структури  $\langle X_1^o, X_3^o, X_2^o \rangle$

Аналіз рис. 2 і рис. 3 показує, що для структури алфавіту класів розпізнавання  $\langle X_2^o, X_1^o, X_3^o \rangle$ , в якій за базовий брався клас  $X_2^o$  – «Менше норми», максимальне значення КФЕ навчання СППР дорівнює  $\bar{E}^* = 0,15$ , а для структури  $\langle X_1^o, X_3^o, X_2^o \rangle$ , в якій за базовий приймався клас  $X_1^o$  – «Норма», взагалі відсутня робоча область, тобто  $\bar{E}^* = 0$ .

Для інших структурних перестановок алфавіту класів розпізнавання одержано значення КФЕ навчання СППР менше у порівнянні зі структурою  $\langle X_3^o, X_1^o, X_2^o \rangle$ .

Таким чином, структура алфавіту класів розпізнавання  $\langle X_3^o, X_1^o, X_2^o \rangle$ , в якій базовим є клас  $X_3^o$  – «Більше норми», забезпечує максимальну функціональну ефективність навчання СППР.

## ВИСНОВКИ

1. За результатами фізичного моделювання інформаційно-екстремального алгоритму навчання СППР доведено, що функціональна ефективність навчання залежить від вибору базового класу розпізнавання, стосовно ознак якого формується система контрольних допусків.

2. При побудові унімодального класифікатора для впорядкованого алфавіту класів розпізнавання потрібно визначити оптимальну за інформаційним критерієм функціональної ефективності навчання СППР перестановку структури алфавіту, перший клас якої беруть як базовий.

## SUMMARY

### DEFINITIONS BASE CLASS FOR UNIMODAL CLASSIFIERS

*O.V Lischinskiy, V.O. Vostotskiy,  
Sumy State University, Sumy*

*Determinations of base class of recognition from the set alphabet within the framework informatively-extreme algorithm of studies are examined. Thus all classes have a general centre of scattering of realization of pattern and differ only in their dispersions by their variances.*

*Key words: base class of recognition, learning, optimization, informatively-extreme algorithm, unimodal qualifier.*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Васильев В. И. Распознающие системы: справочник. 2-е изд., перераб. и доп. / Васильев В. И. – Киев: Наукова думка, 1983.– 422 с.
2. Advances in Learning Theory: Methods, Models and Application / J.A.K. Suykens, G. Horvath, S. Basu, C. Micchelli, J. Vandewalle // IOS Press NATO-ASI Series in Computer and Systems Sciences. – Amsterdam: The Nether-Lands, 2003. – 432 p.
3. Vapnik V. Statistical Learning Theory. - New York: John Wiley&Sons, 1998. – 732 p.
4. Краснопоясовський А.С. Інформаційний синтез інтелектуальних систем керування: Підхід, що ґрунтується на методі функціонально-статистичних випробувань / А.С. Краснопоясовський.– Суми: Видавництво СумДУ, 2004.–261 с.
5. Довбиш А.С. Основи проектування інтелектуальних систем: навчальний посібник/ А.С. Довбиш.– Суми: Видавництво СумДУ, 2009.– 171 с.
6. Довбиш А.С. Інформаційно-екстремальний метод розпізнавання електронограм / А.С. Довбиш, С.С. Мартиненко // Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки».– 2009.–№2.– С. 85-91.
7. Довбиш А.С. Інтелектуальна система діагностування онкопатологій/ А.С. Довбиш, О.П. Чекалов, С.С. Мартиненко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи.– 2009.– №3(37).–С.92-96.

*Надійшла до редакції 16 листопада 2010 р.*