

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ НАВЧАННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ
КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ**

*А. С. Довбиш, д-р техн. наук, професор;
В. О. Боровик, канд. техн. наук, доцент;
Н. І. Андрієнко, аспірант,
Сумський державний університет, Суми*

Розглядається алгоритм оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання в рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології аналізу й синтезу систем підтримки прийняття рішень, що ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності системи в процесі її навчання.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, навчання, оптимізація, система контрольних допусків, інформаційний критерій.

ВСТУП

Оскільки функціонування автоматизованих систем керування (АСК) складними технологічними процесами відбувається за довільних початкових умов, то актуальним є завдання надання таким системам властивості адаптивності на основі машинного навчання та розпізнавання образів. Відомі методи машинного навчання та розпізнавання образів характеризуються модельністю, оскільки не враховують апріорну невизначеність технологічного процесу [1-3]. Одним із перспективних напрямів підвищення функціональної ефективності АСК шляхом надання їй властивості адаптивності є використання ідей і принципів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технології) аналізу і синтезу системи підтримки прийняття рішень (СППР), що навчаються [4-6]. У праці [7] розроблено алгоритм навчання СППР з оптимізацією системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання за паралельним алгоритмом, в якому контрольні допуски змінюються для всіх ознак одночасно. Але одержана в цій роботі достовірність розпізнавання образів не досягала свого максимального асимптотичного значення. Оскільки згідно з принципом відкладених рішень оптимізація параметрів навчання у рамках ІЕІ-технології здійснюється до того часу, поки не буде побудовано безпомилкові за навчальною матрицею вирішальні правила, то доцільне проведення оптимізації інших параметрів навчання.

У статті з метою підвищення достовірності розпізнавання функціональних станів технологічного процесу виробництва композитних матеріалів розглядається інформаційно-екстремальний алгоритм паралельно-последовної оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Нехай дано вхідний математичний опис класифікатора у вигляді навчальної матриці яскравості зображень подрібнених вуглецевих волокон, одержаних у технологічному процесі виробництва композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену, $\|y_{m,i}^{(j)}\|$, $m = \overline{1, M}$, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, n}$, де M , N , n – кількість класів розпізнавання (зображень), ознак розпізнавання та реалізацій образу відповідно. Відомі

алфавіт класів розпізнавання $\{X_m^o\}$, що характеризують геометричні параметри волокон, одержаних у дробарці в поточний час, і вектор параметрів навчання $g = \langle x_m, d_m, \delta, \{\delta_{K,i}\} \rangle$, де x_m – еталонний вектор-реалізація класу X_m^o ; d_m – радіус контейнера класу X_m^o , що відновлюється в радіальному базисі простору ознак розпізнавання; δ – параметр поля контрольних допусків і $\{\delta_{K,i}\}$ – множина контрольних допусків на ознаки розпізнавання відповідно. При цьому задано такі обмеження: x_m – вектор, вершина якого визначає геометричний центр контейнера класу X_m^o ; $d_m \in [0; d(x_m \oplus x_c) - 1]$, де $d(x_m \oplus x_c)$ – кодова відстань центру класу X_m^o від центру найближчого (сусіднього) до нього класу X_c ; $\delta \in [0; \delta_H / 2]$, де δ_H – нормоване (експлуатаційне) поле допусків і $|\delta_{K,i}| < |\delta_{H,i}|$.

На етапі навчання необхідно оптимізувати параметри навчання за усередненим інформаційним критерієм функціональної ефективності (КФЕ):

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

де E_m – інформаційний КФЕ навчання СППР розпізнавати реалізації класу X_m^o ; $\{k\}$ – множина кроків навчання СППР.

На етапі екзамену, тобто безпосереднього прийняття рішень, необхідно прийняти високодостовірне рішення про належність реалізації образу, що розпізнається, до деякого класу із заданого алфавіту $\{X_m^o\}$.

ОПИС АЛГОРИТМУ НАВЧАННЯ СППР

Оскільки контрольні допуски на значення ознак розпізнавання прямо впливають на геометричні параметри контейнерів класів розпізнавання, а таким чином і на асимптотичні точнісні характеристики рішень, то питання оптимізації системи контрольних допусків (СКД) у методах ІЕІ-технології набуває важливого значення при розробленні інформаційного забезпечення ІС, що навчається. На рис. 1 показано симетричне (двобічне) поле допусків на значення i -ї ознаки $y_{m,i}^{(j)}$, $i = \overline{1, N}$.

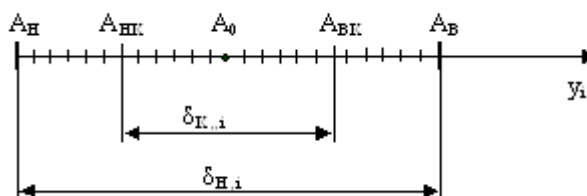


Рисунок 1 – Симетричне поле допусків

На рис. 1 прийнято такі позначення: $y_{1,i}$ – усереднене значення i -ї ознаки вектора-реалізації класу X_1^o ; A_{H_i} , A_{B_i} – нижній і верхній нормовані допуски відповідно; A_{HK} , A_{BK} – нижній і верхній контрольні

допуски відповідно; $\delta_{H,i}$ – нормоване поле допусків; $\delta_{K,i}$ – контрольне поле допусків; δ_i – параметр поля контрольних допусків

Оптимізацію контрольних допусків на ознаки розпізнавання будемо здійснювати за паралельно-послідовним алгоритмом. При цьому визначені за паралельним алгоритмом квазіоптимальні контрольні допуски беруться як стартові для алгоритму послідовної оптимізації. Алгоритм паралельної оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання здійснюється за ітераційною процедурою пошуку глобального значення інформаційного КФЕ в робочій (допустимій) області визначення його функції [8]:

$$\{\delta_{K,i}^* \mid i = \overline{1, N}\} = \arg \max_{G_\delta} \max_{G_E \cap G_d} \bar{E}, \quad (2)$$

де G_δ , G_E , G_d – області допустимих значень контрольних допусків, інформаційного КФЕ і радіусів гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання, що відновлюються у процесі навчання в радіальному базисі простору ознак відповідно.

Алгоритм послідовної оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання будемо здійснювати за ітераційною процедурою

$$\{\delta_{K,i}^*\} = \left\langle \arg \left\{ \max_{G_{\delta_i}} \left[\bigotimes_{l=1}^L \max_{G_E} \left[\max_{G_d} \bar{E}^{(l)} \right] \right] \right\} \right\rangle, \quad i = \overline{1, N}, \quad (3)$$

де L – кількість прогонів ітераційної процедури.

Розглянемо алгоритм паралельної оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання за процедурою (2). Вхідні дані: масив реалізацій образу $\{y_m^{(j)} \mid m = \overline{1, M}; j = \overline{1, n}\}$ і система нормованих допусків $\{\delta_{H,i}\}$, яка визначає область значень відповідних контрольних допусків. За область значень параметра δ береться інтервал $[1; \delta_H/2]$, де δ_H – ширина нормованого поля допусків. Попередньо для кожної ознаки визначається ціна градації Δ_i , на яку змінюється i -та ознака.

Розглянемо кроки реалізації паралельного алгоритму:

1) обнуляється лічильник кроків зміни параметра δ : $l := 0$;

2) запускається лічильник $l := l + 1$ і обчислюються нижні та верхні контрольні допуски для всіх ознак: $\{A_{HK,i}[l] := y_{1,i} - \delta[l]\}$ і $\{A_{BK,i}[l] = y_{1,i} + \delta[l]\}$, $i = \overline{1, N}$ відповідно, де $y_{1,i}$ – вибіркове середнє значення i -ї ознаки для векторів-реалізацій класу X_1^o , який є найбільш бажаним для особи, що приймає рішення;

3) реалізується у внутрішньому циклі процедури (2) базовий алгоритм навчання [4], задачами якого є обчислення на кожному кроці навчання значення інформаційного КФЕ і пошук у робочій області визначення його функції її глобального значення. Як КФЕ навчання СППР розглянемо модифіковану інформаційну міру Кульбака

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

де $\alpha_m^{(k)}(d)$ – помилка першого роду прийняття рішення на k -му кроці навчання; $\beta_m^{(k)}(d)$ – помилка другого роду;

- 4) якщо $E_1^*[l] \geq E_1^*[l-1]$, то виконується пункт 5, інакше – пункт 6;
 - 5) якщо $\delta \leq \delta_H / 2$, то виконується пункт 2, інакше – пункт 6;
 - 6) $\{A_{HK,i}^* := A_{HK,i}[l-1]\}; \{A_{BK,i}^* := A_{BK,i}[l-1]\}, i = \overline{1, N};$
- $E_1^* := E_1^*[l-1];$
7) ЗУПИН.

Визначені на етапі паралельної оптимізації контрольні допуски на ознаки розпізнавання є квазіоптимальними, які доцільно використати як стартові на етапі послідовної оптимізації.

Реалізація алгоритму послідовної оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання (3) здійснюється за такою схемою:

- 1) обнулення лічильника прогонів процедури оптимізації параметрів навчання $l:=0$;
- 2) для стартової системи допусків обчислюється за базовим алгоритмом навчання, значення функції $E_{\max,1}^{(l)}$;
- 3) формування лічильника прогонів $l: l+1$;
- 4) обнулення лічильника ознак розпізнавання $i:=0$;
- 5) формування лічильника ознак розпізнавання $i: i+1$;
- 6) визначення екстремального значення параметра $\delta_{K,i}^{(l)}$ за процедурою, в якій внутрішній цикл оптимізації реалізує базовий алгоритм навчання;
- 7) $\delta_{K,i}^{(l)} := \max_{\delta_{K,i} \in \delta_{H,i}} \delta_{K,i}^{(l)}$;
- 8) якщо $i \leq N$, то виконується пункт 5, інакше – пункт 9;
- 9) якщо $|E_{\max,1}^{(l-1)} - E_{\max,1}^{(l)}| \leq \varepsilon$, де ε – будь-яке мале додатне число, то виконується пункт 10, інакше – пункт 3;
- 10) $\{\delta_{K,i}^*\} := \{\delta_{K,i}^{(l)}\}$;
- 11) ЗУПИН.

Таким чином, оптимізація системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання полягає в ітераційному наближенні глобального максимуму інформаційного КФЕ (4) до його граничного значення.

ПРИКЛАД РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМУ РОЗПІЗНАВАННЯ

Реалізація вищевказаного алгоритму навчання СППР здійснювалася на прикладі розпізнавання розміру вуглецевих волокон, одержаних при подрібненні вуглецевої тканини в дробарці в технологічному процесі виготовлення композитних матеріалів [9]. З цією метою в процесі подрібнення за допомогою мікроскопа отримувалися зображення подрібнених волокон, які класифікувалися за одержаними на етапі навчання СППР вирішальними правилами. При цьому зображення вуглецевих волокон, які відповідали технологічному режиму, належали до класу X_1^o , які мали розмір менше норми – до класу X_2^o і які мали розмір більше норми – до класу X_3^o .

Результати паралельно-послідовної оптимізації системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання показано на рис. 2.

Аналіз рис. 2 показує, що оптимальний радіус контейнера класу X_1^o дорівнює $d_1 = 48$ (в кодових одиницях), класу $X_2^o - d_2 = 45$ і класу $X_3^o - d_3 = 47$. Усереднене значення КФЕ при цьому дорівнює $E_{сер}^* = 1,32$.

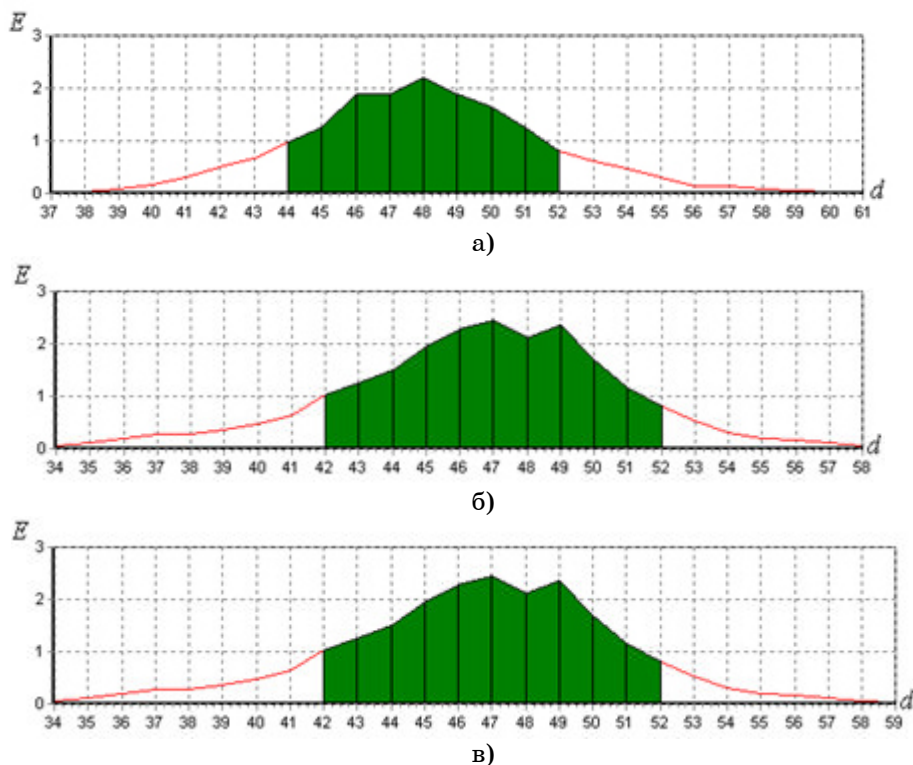


Рисунок 2 – Графік залежності КФЕ від радіусів контейнерів:
а) клас X_1^o ; б) клас X_2^o ; в) клас X_3^o

З іншого боку, одержані в праці [7] результати оптимізації контрольних допусків за паралельним алгоритмом свідчать, що максимальне усереднене значення КФЕ, обчислене за формулою (4), дорівнює $E_{сер}^* = 0,94$, що суттєво менше одержаного значення за паралельно-послідовним алгоритмом.

Таким чином, оптимізація системи контрольних допусків за паралельно-послідовним алгоритмом дозволяє підвищити функціональну ефективність навчання СППР порівняно з оптимізацією за паралельним алгоритмом.

ВИСНОВКИ

1. Оптимізація контрольних допусків за паралельно-послідовним алгоритмом дозволила збільшити асимптотичну достовірність СППР, але не забезпечила побудову безпомилкових вирішальних правил, що свідчить про необхідність проведення оптимізації інших параметрів навчання.

2. У загальному випадку згідно з принципом відкладених рішень для побудови безпомилкових за навчальною матрицею вирішальних правил методи ІЕІ-технології потребують оптимізації інших просторово-часових

параметрів функціонування СППР, що прямо впливають на функціональну ефективність навчання системи.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*А. С. Довбиш, В. А. Боровик, Н. И. Андриенко,
Сумский государственный университет, Сумы*

Рассматривается алгоритм оптимизации контрольных допусков на признаки распознавания в рамках информационно-экстремальной интеллектуальной технологии анализа и синтеза систем поддержки принятия решений, который основан на максимизации информационной способности системы в процессе её обучения.

***Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, обучение, оптимизация, система контрольных допусков, информационный критерий.*

OPTIMIZATION OF STUDY PARAMETERS OF DECISION SUPPORT SYSTEM FOR COMPOSITE MATERIALS MANUFACTURING MANAGEMENT

*A. S. Dovbysh, V. A. Borovik, N. I. Andriienko,
Sumy State University, Sumy*

An algorithm for optimizing the control tolerances for recognition signs is considered in the information-extreme intellectual technology of decision support systems analysis and synthesis, which is based on maximizing the ability of information systems in the learning process.

***Key words:** decision support system, training, optimization, system control tolerances, information criterion.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Васильев В. И. Распознающие системы. справочник / 2-е изд., перераб. и доп.– Киев: Наукова думка, 1983.– 422 с.
2. Люггер Джордж Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем / Джордж Ф. Люггер. – Москва, Санкт-Петербург, Киев, 2003.
3. Анисимов Б. В. Распознавание и цифровая обработка изображений / Б. В. Анисимов, В. Д. Курганов, В. К. Злобин.– М.: Высшая школа, 1983.–256 с.
4. Довбиш А. С. Основи проектування інтелектуальних систем: навчальний посібник / А. С. Довбиш.– Суми: Видавництво СумДУ, 2009.– 171 с.
5. Dovbysh A.S. Information-extreme algorithm for recognizing current distribution maps in magnetocardiography / A. S. Dovbysh, S. S. Martynenko, A. S. Kovalenko, N. N. Budnyk // Journal of Automation and Information Sciences .– 2011.– V. 43.– № 2.–Р. 63-70.
6. Довбиш А. С. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень для керування вирощуванням монокристалів / А. С. Довбиш, В. С. Суздаль, В.В Москаленко // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. – 2011. – №2. – С. 39-47.
7. Довбиш А. С. Класифікація подрібнених вуглецевих волокон за розміром при виробництві композиційних матеріалів / А. С. Довбиш, А. Ф. Будник, Н. І. Андриенко // Журнал нано-та електронної фізики. – 2010. – Т. 2, №3.– С. 96-102.
8. Довбиш А. С. Оптимізація контрольних допусків на ознаки розпізнавання в інформаційно-екстремальних методах автоматичної класифікації / А. С. Довбиш, М. В. Козинець, С.М. Котенко // Вісник Сумського державного університету. Серія Техніка, 2007 – №1.– С. 169-178.
9. Будник А. Ф. Вплив та місце технологічних процесів підготовки наповнювачів і композиції у технології виробництва композитів на основі фторопласту-4 / А. Ф. Будник, О. А. Будник, М. В. Бурмістр // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. – 2007. – №1. – С. 64-71.

Надійшла до редакції 3 жовтня 2012 р.