

УДК 681.518:004.93.1'

І. В. ШЕЛЕХОВ, Д. В. ПРИЛЕПА

Сумський державний університет, Україна

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ НАВЧАННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕМОЦІЙНО-ПСИХІЧНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ

*Розглядається метод розпізнавання емоційно-психічного стану людини за зображенням обличчя у рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології аналізу та синтезу здатних навчатися систем підтримки прийняття рішень. Запропоновано здійснювати формування вхідного математичного опису системи розпізнавання шляхом аналізу лівопівкульних та правопівкульних зображень обличчя людини. Для стабільного емоційно-психічного стану особи попередньо формується навчальна матриця яскравості зображення всього обличчя, яке поділяється на дві половини, що розглядаються як еталонні зображення. При цьому задача діагностування емоційно-психічного стану людини зводиться до реалізації інформаційно-екстремального алгоритму компараторного розпізнавання.*

**Ключові слова:** інформаційно-екстремальна інтелектуальна технологія, психодіагностування, навчальна матриця, алгоритм навчання, критерій функціональної ефективності, обличчя людини.

### Вступ

В теперішній час увагу спеціалістів-психологів привертає технологія відео-комп'ютерного психодіагностування та корекції, заснована на визначенні функціональної асиметрії двох півкуль головного мозку шляхом аналізу асиметрії зображення обличчя людини, яке вводиться в комп'ютер за допомогою відеокамери [1]. При цьому задача комп'ютерної психодіагностики зводиться до розпізнавання зображень лівої та правої половин обличчя людини і встановлення їх асиметричних відмінностей. Встановлено, що функціональна ефективність комп'ютерного психодіагностування за зображенням обличчя пацієнта суттєво залежить від достовірності методу розпізнавання. Відомі методи розпізнавання зображень [2-4] носять в основному модельний характер, оскільки не враховують перетин класів розпізнавання, що характеризують різні психічні стани пацієнта, і довільні початкові умови формування зображень. Тому основним шляхом підвищення функціональної ефективності системи психодіагностування за зображеннями обличчя пацієнта є надання їй властивості адаптивності на основі машинного навчання (самонавчання). Одним із перспективних підходів до вирішення цієї проблеми є застосування ідей і методів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технології), яка основана на максимізації інформаційної спроможності системи підтримки прийняття рішень в процесі її навчання [5,6].

У статті розглядається інформаційно-екстремальний алгоритм навчання комп'ютеризованої системи діагностування (КСД) емоційно-психічного стану людини за зображенням її обличчя.

### 1. Постановка задачі

Розглянемо формалізовану постановку задачі інформаційного синтезу КСД, основною складовою якої є здатна навчатися система підтримки прийняття рішень (СППР) для розпізнавання емоційно-психічного стану людини за зображенням її обличчя. Нехай дано алфавіт  $\{X_m^0 \mid m = \overline{1, M}\}$  класів розпізнавання, які характеризують різні психологічні стани пацієнта, і навчальну матрицю яскравості зображення обличчя пацієнта

$$\|y_{m,i}^{(j)}\|, \quad i = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, n},$$

де –  $N, n$  кількість ознак розпізнавання та векторів-реалізацій (далі реалізації) класів розпізнавання відповідно. При цьому строчка матриці  $\{y_{m,i}^{(j)} \mid i = \overline{1, N}\}$

визначає  $j$ -у реалізацію, а стовпчик  $\{y_{m,i}^{(j)} \mid j = \overline{1, n}\}$  – навчальну вибірку значень  $i$ -ї ознаки. Відомий структурований вектор параметрів навчання КСД  $g = \langle x_m, d_m \rangle$ , де  $x_m$  – еталонна реалізація, яка визначає геометричний центр контейнера класу  $X_m^0$ ;  $d_m$  – радіус контейнера класу  $X_m^0$ . Необхідно на етапі навчання КСД оптимізувати координати вектора  $g$  шляхом пошуку глобального максимуму усередненого за алфавітом класів розпізнавання інформаційного критерію функціональної ефективності (КФЕ) навчання системи контрольних допусків (СКД)

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

де  $E_m$  – інформаційний КФЕ навчання системи розпізнавати реалізації класу  $X_m^0$ ;

$G_E$  – робоча (допустима) область визначення функції КФЕ.

При функціонуванні СКД в режимі екзамену, тобто безпосереднього діагностування, необхідно прийняти рішення про належність реалізації, що розпізнається, до одного із класів заданого алфавіту.

### 2. Математична модель

Оскільки процес психодіагностування є слабо формалізованим, то математичну категорійну модель здатної навчатися системи психодіагностування розглянемо у вигляді діаграми відображення відповідними операторами множин, що застосовуються в процесі навчання [7]. При цьому вхідний математичний опис КСД подамо у вигляді структури множин

$$\Delta_B = \langle G, T, \Omega, Z, Y, \Phi \rangle,$$

де  $G$  – простір вхідних сигналів (факторів);

$T$  – множина моментів часу зняття інформації;

$\Omega$  – простір ознак розпізнавання;

$Z$  – простір можливих емоційно-психологічних станів людини;

$Y$  – множина сигналів після первинної обробки інформації;

$\Phi : G \times T \times \Omega \rightarrow Z$  – оператор переходів, що відбиває механізм зміни емоційно-психологічних станів людини;

$\Phi : G \times T \times \Omega \times Z \rightarrow Y$  – оператор оброблення зображення (формування вибіркової множини  $Y$  на вході КСД). Як універсум випробувань  $W$  розглядається декартовий добуток:  $W = G \times T \times \Omega \times Z$ .

У загальному випадку математичну модель КСД, яка розв'язує задачу інформаційного синтезу класифікатора емоційно-психологічного стану людини, подамо у вигляді структурної діаграми відображення операторами множин, що застосовуються в процесі навчання, в рамках ІЕІ-технології має вигляд, показаний на рис. 1 [5]

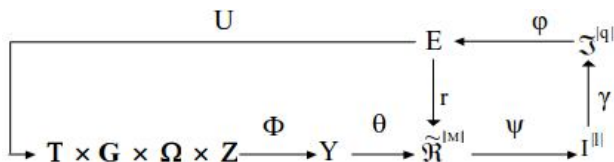


Рис. 1. Категорійна модель навчання КСД

На діаграмі (рис. 1) показано такі множини:  $\mathfrak{R}^{|M|}$  – розбиття простору ознак розпізнавання;  $I^{|l|}$  – множина допустимих гіпотез;  $\mathfrak{S}^{|q|}$  – множина точніших характеристик;  $E$  – інформаційний КФЕ на-

вчання КСД. Показані на рис. 1 оператори мають такі призначення: оператор  $\theta$  будує розбиття  $\mathfrak{R}^{|M|}$  простору ознак на класи розпізнавання; оператор  $\psi$  перевіряє основну статистичну гіпотезу про належність реалізації образу; оператор  $\gamma$  формує множину точніших характеристик; оператор  $\phi$  обчислює множину значень інформаційного КФЕ; оператор  $r$  реалізує ітераційний процес оптимізації геометричних параметрів розбиття  $\mathfrak{R}^{|M|}$ ; оператор  $U$  регламентує процес навчання і дозволяє оптимізувати параметри його плану. При цьому правий контур операторів безпосередньо оптимізує геометричні параметри розбиття  $\mathfrak{R}^{|M|}$  при заданій системі контрольних допусків на ознаки розпізнавання.

### 3. Алгоритм навчання КСД

Інформаційно-екстремальне навчання КСД у загальному випадку здійснюється за багатоциклічною ітераційною процедурою пошуку глобального максимуму інформаційного КФЕ в робочій (допустимій) області визначення його функції, яка у загальному випадку має вигляд

$$g_{\xi}^* = \arg \max_{G_{\xi}} \{ \max_{G_{\xi-1}} \{ \dots \{ \max_{G_E \cap G_1} \bar{E} \} \dots \} \}, \quad (2)$$

де  $\bar{E}$  – усереднене, для ієрархічної структури класів розпізнавання, значення інформаційного КФЕ навчання КСД;

$G_{\xi}$  – допустима область значень  $\xi$ -ї ознаки;

$G_E$  – допустима область значень КФЕ.

Внутрішній цикл алгоритму (2) реалізує базовий алгоритм навчання, в якому параметром функціонування, що оптимізується, є радіус гіперсферичного класифікатора:

$$d_m^* = \arg \max_{G_E \cap \{d\}} E_m, \quad (3)$$

де  $\{d\}$  – множина значень радіусів контейнера класу  $X_m^0$ , що відновлюється в радіальному базисі простору ознак розпізнавання.

Розглянемо етапи реалізації алгоритму навчання КСД:

1. Формування бінарної навчальної матриці  $\|x_{m,i}^{(j)}\|$ , яке здійснюється за правилом

$$x_{m,i}^{(j)} = \begin{cases} 1, & \text{if } y_{1,i} - \delta \leq y_{1,i}^{(j)} \leq y_{1,i} + \delta, \\ 0, & \text{if else.} \end{cases} \quad (4)$$

де  $\delta$  – параметр поля контрольних допусків на діагностичні ознаки.

2. Формування масиву еталонних двійкових векторів-реалізацій  $\{x_{m,i} \mid m = \overline{1, M}, i = \overline{1, N}\}$ , елементи яких визначаються за правилом

$$x_{m,i} = \begin{cases} 1, & \text{if } \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{m,i}^{(j)} > \rho_m; \\ 0, & \text{if else,} \end{cases} \quad (5)$$

де  $\rho_m$  – рівень селекції координат вектора  $x_m \in X_m^0$ , який за замовчанням дорівнює  $\rho_m = 0,5$ .

3. Розбиття множини еталонних векторів на пари найближчих "сусідів":  $\mathcal{R}_m^{[2]} = \langle x_m, x_1 \rangle$ , де  $x_1$  – еталонний вектор сусіднього класу  $X_1^0$ . При цьому сусіднім еталонним вектором вважається такий, кодова відстань до якого є мінімальною. За наявності декількох однакових мінімальних елементів вибирається з них будь-який, оскільки вони є рівноправними. Сформується структурована множина елементів попарного розбиття  $\{\mathcal{R}_m^{[2]} \mid m = \overline{1, M}\}$ , яка задає план навчання.

4. Оптимізація кодової відстані  $d_m$  відбувається за рекурентною процедурою

$$d_m(k) = [d_m(k-1) + h \mid d_m(k) \in G_m^d].$$

При цьому береться  $E_m(0) = 0$ .

5. Процедура закінчується при знаходженні максимуму КФЕ в робочій області його визначення:

$$E_m^* = \max_{\{d\}} E_m,$$

де  $\{d\} = \{d_1, \dots, d_k, \dots, d_{\max}\} \in [0; d(x_m \oplus x_1) - 1]$  – множина радіусів концентрованих гіперсфер, центр яких визначається вершиною еталонного вектора  $x_m \in X_m^0$ . При цьому множина  $\{d\}$  є так само множиною кроків навчання КСД.

Як КФЕ навчання в ІЕІ-технології використовуються дві інформаційні міри: нормована ентропійна міра Шеннона

$$E_m^{(k)} = 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\alpha^{(k)}}{\alpha^{(k)} + D_2^{(k)}} \log_2 \frac{\alpha^{(k)}}{\alpha^{(k)} + D_2^{(k)}} + \frac{\beta^{(k)}}{D_1^{(k)} + \beta^{(k)}} \log_2 \frac{\beta^{(k)}}{D_1^{(k)} + \beta^{(k)}} + \frac{D_1^{(k)}}{D_1^{(k)} + \beta^{(k)}} * \right. \\ \left. * \log_2 \frac{D_1^{(k)}}{D_1^{(k)} + \beta^{(k)}} + \frac{D_2^{(k)}}{\alpha^{(k)} + D_2^{(k)}} \log_2 \frac{D_2^{(k)}}{\alpha^{(k)} + D_2^{(k)}} \right), \quad (6)$$

і міра Кульбака

$$E_m^{(k)} = 0,5 \log_2 \left( \frac{D_1^{(k)} + D_2^{(k)} + 10^{-r}}{\alpha^{(k)} + \beta^{(k)} + 10^{-r}} \right) * \\ * \left[ \left( D_1^{(k)} + D_2^{(k)} \right) - \left( \alpha^{(k)} + \beta^{(k)} \right) \right], \quad (7)$$

де  $D_1^{(k)}$ ,  $D_2^{(k)}$  – перша та друга достовірності, обчислені на  $k$ -му кроці навчання;

$\alpha^{(k)}$ ,  $\beta^{(k)}$  – помилка першого та другого роду;

$10^{-r}$  – достатньо мале число для уникнення поділу на нуль.

У загальному випадку побудовані за формулами (6) та (7) графіки функцій  $E = f(D_1, D_2)$  та  $J = f(D_1, D_2)$  є поверхнями в тривимірному просторі, показано на рис. 2.

Аналіз рис. 2 показує, що функції (6) та (7) є взаємно-неоднозначними. На практиці цей недолік усувається шляхом введення робочої (допустимої) області визначення функцій, в якій перша та друга достовірності становляться більше відповідних помилок першого та другого роду, тобто  $D_1 \geq 0,5$  та  $D_2 \geq 0,5$ . Робочі області на рис. 2 показано на відповідних графіках темним кольором. Аналіз цих графіків показує, що при збільшенні у робочій області як першої, так і другої достовірностей кількість

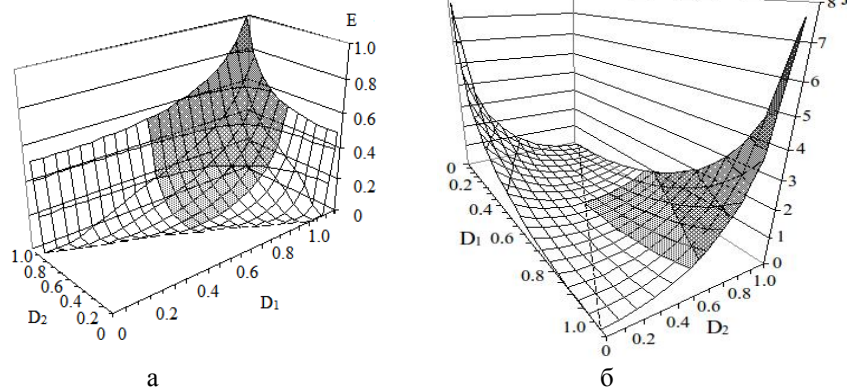


Рис. 2. Графіки залежності КФЕ від точнісних характеристик при двоальтернативних рішеннях: а – ентропійний критерій (6); б – критерій Кульбака (7)

інформації теж збільшується, що знаходиться у відповідності з другим принципом адитивності інформації.

Одержані оптимальні параметри навчання КСД за базовим алгоритмом – кодові відстані  $\{d_m^*\}$  і еталонні вектори-реалізації  $\{x_m^*\}$  для заданого алфавіту  $\{X_m^0\}$  є вхідними даними для функціонування КСД в режимі екзамену, тобто безпосереднього прийняття рішень.

Таким чином, основною функцією базового алгоритму навчання у рамках ІЕІ-технології є обчислення на кожному кроці навчання інформаційного КФЕ, організація пошуку його глобального максимуму в робочій області визначення функції критерію і визначення оптимальних геометричних параметрів розбиття простору ознак на класи розпізнавання.

#### 4. Результати моделювання

Формування навчальної матриці здійснювалося згідно з відомою технологією відео-комп'ютерної психодіагностики та корекції, що застосовується в Центрі Екології Людини НИКАР при Інституті Проблем Керування Російської Академії Наук шляхом її інтеграції з ІЕІ-технології. Ця технологія базується на порівнянні лівопівкульного та правопівкульного портретів для оцінки психологічного стану людини.

Вхідний математичний опис було скориговано за графічними даними наведеними в роботі [1]. Для формування таких портретів фотографія людини розділяється на дві половини праву та ліву, кожна з цих половин відображається дзеркально по лінії

розділу та поєднується зі своєю немодифікованою копією (рис. 3).

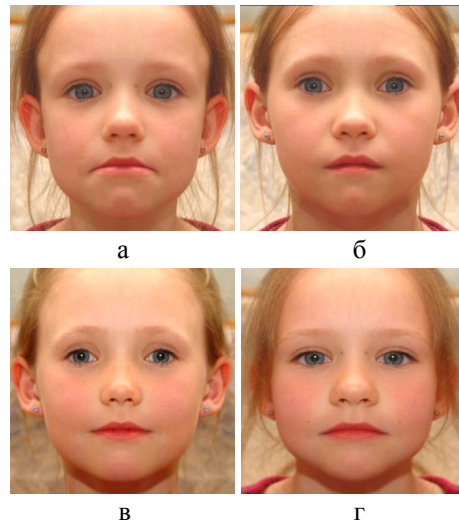


Рис. 3. Портрети, які використано при психодіагностиці: а, б – правопівкульний та лівопівкульний портрети відповідно при нестабільному емоційно-психологічному стані особи; в, г – правопівкульний та лівопівкульний портрети відповідно при стабільному емоційно-психологічному стані особи

Результат оптимізації геометричних параметрів контейнерів класу розпізнавання з використанням як КФЕ інформаційної міри Шеннона (6) для особи з нестабільним станом-  $X_0^0$  - лівопівкульний (а) і  $X_1^0$  - правопівкульний (б) портрети та стабільним емоційно-психологічним станом -  $X_2^0$  - лівопівкульний (в) і  $X_3^0$  - правопівкульний (г) портрети показано на рис. 4.

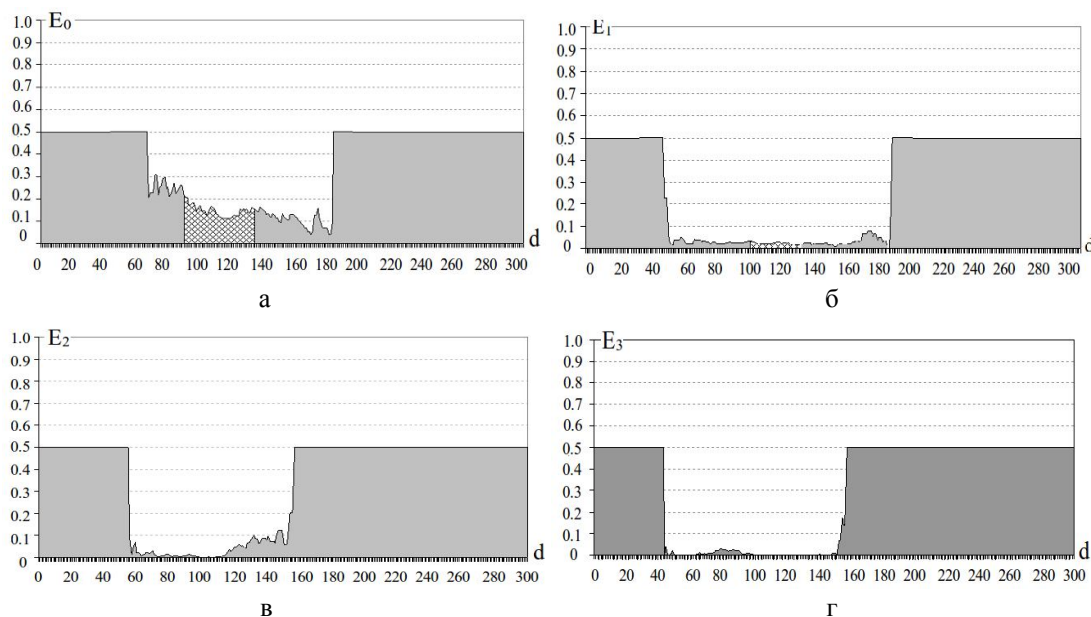


Рис. 4. Динаміка зміни КФЕ при оптимізації контейнерів з використанням інформаційної міри Шеннона: а – клас  $X_0^0$ ; б – клас  $X_1^0$ ; в – клас  $X_2^0$ ; г – клас  $X_3^0$

На рис. 4 робочі області позначено подвійною штриховкою. При цьому незначні максимальні значення КФЕ пояснюються тим, що право- і лівопівкульний портрети сформовано з двох частин одного зображення, але наявність робочих областей вказує на певну відмінність цих портретів.

Таким чином, для особи зі стабільним емоційно-психологічним станом різноманітність між право- і лівопівкульними портретами зменшилася, на що вказує зниження максимальних значень КФЕ при формуванні геометричних параметрів класів.

Результат оптимізації геометричних параметрів контейнерів класу розпізнавання з використанням як КФЕ інформаційної міри Кульбака [7] для особи з нестабільним станом-  $X_0^0$  - лівопівкульний (рис.3а) і  $X_1^0$  - правопівкульний портрети (рис. 3б) та стабільним емоційно-психологічним станом-  $X_2^0$  - лівопівкульний (рис. 3в) і  $X_3^0$  - правопівкульний (рис. 3г) портрети показано на рис. 5.

Аналіз рис. 5а і рис. 5б, одержаних за ліво- та правопівкульним портретами особи з нестабільним емоційно-психологічним станом, вказує на можливість створення вирішальних правил, перша та друга достовірності яких перевищують 0,5. Результати навчання для особи зі стабільним емоційно-психологічним станом за аналогічними алгоритмами, які подано на рис. 5в і рис. 5г, показують неможливість

формування релевантних вирішальних правил, оскільки значення КФЕ є близькими до нуля, що свідчить про високий ступінь схожості ліво- та правопівкульних портретів.

Таким чином, запропонований алгоритм навчання дозволяє будувати вирішальні правила, здатні визначати різноманітність між право- і лівопівкульними портретами обличчя.

## Висновки

1. Запропоновано в рамках ІЕІ-технології модифікацію відомого методу відео-комп'ютерної психодіагностики за ліво- та правопівкульними портретами обличчя особи. Розроблено інформаційно-екстремальний алгоритм навчання системи психодіагностування, який дозволив побудувати вирішальні правила, здатні визначати різноманітність ліво- та правопівкульних портретів обличчя особи, що діагностується. Крім того, проведено оцінку ефекту психокорекції шляхом порівняння інформаційних мір між портретами особи до та після її проведення.

2. Шляхом фізичного моделювання доведено рівноцінність застосування в системах комп'ютерної психодіагностики інформаційних критеріїв за Шенноном і Кульбаком і для цих критеріїв побудовано вирішальні правила за навчальними матрицями, сформованими на базі право- та лівопівкульних портретів особи, що діагностується.

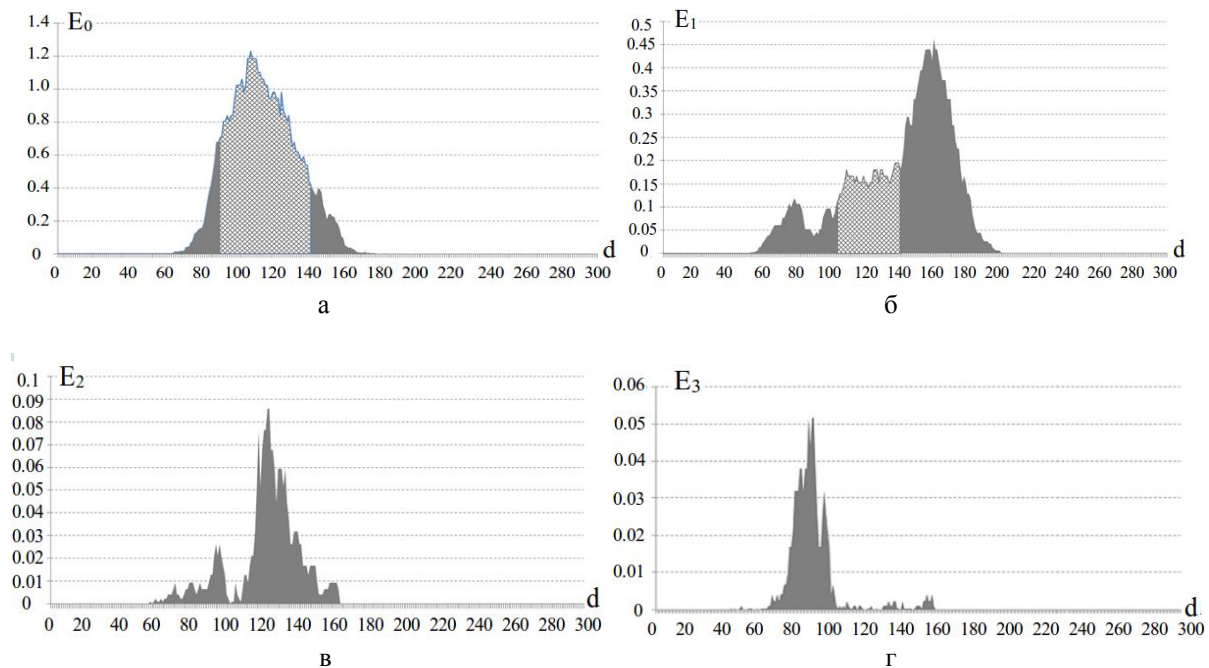


Рис. 5. Динаміка зміни КФЕ при формуванні контейнера з використанням інформаційної міри Кульбака:

а – для класу  $X_0^0$ ; б – для класу  $X_1^0$ ; в – для класу  $X_2^0$ ; г – для класу  $X_3^0$

## Література

1. Ануашвили, А. Н. *Объективная психология на основе волновой модели мозга [Текст]* / А. Н. Ануашвили. – М. : Экон-Информ, 2008. – 292 с.
2. Анисимов, Б. В. *Распознавание и цифровая обработка изображений [Текст]* / Б. В. Анисимов, В. Д. Курганов, В. К. Злобин. – М. : Высшая школа, 1983. – 256 с.
3. Загоруйко, Н. Г. *Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей [Текст]* / Н. Г. Загоруйко, В. Н. Елкина, Г. С. Лбов ; ред. В. А. Скоробогатов ; АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т математики. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1985. – 110 с.
4. Люггер, Дж. Ф. *Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем [Текст]* / Дж. Ф. Люггер. – Москва, Санкт-Петербург, Киев : Издательство «Вильямс», 2003. – 864 с.
5. Красноясовський, А. С. *Інформаційний синтез інтелектуальних систем керування: Підхід, що ґрунтується на методі функціонально-статистичних випробувань [Текст]* / А. С. Красноясовський. – Суми : Видавництво СумДУ, 2004. – 261 с.
6. Довбиш, А. С. *Основи проектування інтелектуальних систем [Текст] : навч. посібник* / А. С. Довбиш. – Суми : Вид-во СумДУ, 2009. – 171 с.
7. Дмитриев, А. К. *Основы теории построения и контроля сложных систем [Текст]* / А. К. Дмитриев, П. А. Мальцев. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.

Надійшла до редакції 22.01.2014, розглянута на редколегії 12.02.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., завідувач каф. авіаційних приладів та вимірювань М. Д. Кошовий, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБУЧЕНИЯ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЭМОЦИОНАЛЬНО-ПСИХИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

*И. В. Шелехов, Д. В. Прилепа*

Рассматривается метод распознавания эмоционально-психического состояния человека по изображению лица в рамках информационно-экстремальной интеллектуальной технологии анализа и синтеза обучающихся систем поддержки принятия решений. Предложено осуществлять формирование входного математического описания системы распознавания путем анализа левополушарных и правополушарных изображений лица человека. Для стабильного эмоционально-психического состояния человека предварительно формируется учебная матрица яркости изображения всего лица, которое разделяется на две половины, рассматриваемые как эталонные изображения. При этом задача диагностирования эмоционально-психического состояния человека сводится к реализации информационно-экстремального алгоритма компараторного распознавания.

**Ключевые слова:** информационно-экстремальная интеллектуальная технология, психодиагностика, учебная матрица, алгоритм обучения, критерий функциональной эффективности, лицо человека.

## OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF LEARNING COMPUTERIZED DIAGNOSTIC SYSTEMS EMOTIONAL-MENTAL STATE OF THE PERSON

*I. V. Shelehov, D. V. Prylepa*

A method for recognition of emotional and mental state of the person by the image of the face within the framework of information-extreme intelligent technology analysis and synthesis of machine learning decision support systems is considered. A forming algorithm of the input mathematical description of pattern recognition system by analyzing the left hemisphere and right hemisphere images of the human face is proposed. Training matrix of image brightness of the whole face, which is divided into two halves, is preformed for a stable emotional and mental state of the person and considered as reference images. Thus the problem of diagnosing emotional and mental state of a person comes to the implementation of information and extreme algorithm comparator recognition.

**Key words:** information-extreme intelligent technology, psychodiagnostics, educational matrix, learning algorithm, the criterion of the functional efficiency, a human face.

**Шелехов Ігор Володимирович** – канд. техн. наук, старший викладач каф. комп'ютерних наук, Сумський державний університет, Суми, Україна.

**Прилепа Дмитро Вікторович** – аспірант каф. комп'ютерних наук, Сумський державний університет, Суми, Україна, e-mail: prilepa.dmitrij@meta.ua.