

УДК 681.518:004.93'1



А.С. Довбиш<sup>1</sup>, А.М. Романюк<sup>2</sup>, М.С. Руденко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Сумський державний університет, м. Суми, Україна, kras@id.sumdu.edu.ua

<sup>2</sup> Сумський державний університет, м. Суми, Україна, info@pathomorph.sumdu.edu.ua

<sup>3</sup> Сумський державний університет, м. Суми, Україна, makrudenko@yandex.ru

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ КАДРІВ В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ МЕДИЧНИХ І БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Розглянута задача розпізнавання у рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології аналізу і синтезу систем розпізнавання, що навчаються, морфологічних зображень тканин пацієнтів при діагностуванні онкологічних захворювань шляхом порівняння кадрів зображень з еталонами. Досліджено вплив системи контрольних допусків для ознак розпізнавання на функціональну ефективність навчання комп'ютеризованої системи діагностування.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ КАДРІВ, ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ, ЕТАЛОННЕ ЗОБРАЖЕННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ, НАВЧАННЯ, ІНФОРМАЦІЙНИЙ КРИТЕРІЙ

### Вступ

Розпізнавання морфологічних зображень тканин, отриманих за методом біопсії, при діагностуванні онкопатологій на практиці здійснюється за довільних початкових умов формування зображень, що обумовлює апріорну невизначеність. Тому основним шляхом підвищення функціональної ефективності комп'ютеризованої системи діагностування (КСД), яка виконує функції системи підтримки прийняття рішень (СППР) для лікаря-онколога, є надання їй властивості адаптивності на основі машинного навчання та розпізнавання образів [1, 2]. Більшість відомих методів розпізнавання носять модельний характер, оскільки вони не враховують перетин класів розпізнавання, що має місце в практичних задачах діагностування [3, 4]. У цих випадках виникає необхідність попередньої нормалізації образів з метою їх наближення до еталонних. Одним із перспективних напрямів аналізу і синтезу КСД, що функціонують за умов апріорної невизначеності, є використання ідей і методів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технологія), яка ґрунтується на максимізації одержаної в процесі навчання системи розпізнавання кількості інформації шляхом введення додаткових інформаційних обмежень [5, 6]. У праці [7] запропоновано інформаційно-екстремальний алгоритм навчання КСД онкологічних захворювань молочної залози, але авторам не вдалося побудувати безпомилкові за навчальною матрицею вирішальні правила через суттєвий вплив фону зображень на достовірність розпізнавання. Це пояснюється тим, що на рецепторному полі зображень існують однакові для всіх захворювань фонові ділянки, які вносять додаткові завади в навчальну матрицю.

З метою підвищення функціональної ефективності КСД у статті задача розпізнавання морфологічних зображень тканин пацієнтів з онкологічними захворюваннями розглядається як

задача ідентифікації кадрів загального зображення, розв'язок якої дозволяє безпосередньо виявляти локалізації конгломератів онкологічних клітин.

### 1. Постановка задачі

Нехай задано алфавіт класів розпізнавання  $\{X_m^o | m = 1, M\}$ , елементи якого характеризують різні патології молочної залози. Існує розбиття рецепторного поля зображення на  $K$  кадрів певного розміру, і для кожного  $k$ -го кадру сформовано навчальну матрицю яскравості  $\|y_{k,i}^{(j)} | i = \overline{1, N}; j = \overline{1, n}\|$ , де  $N, n$  – кількість ознак розпізнавання і векторів-реалізацій образу відповідно. Для кожного класу  $X_m^o$ , які приймаються за еталони, сформовано навчальні матриці яскравості аналогічної розмірності.

Необхідно в процесі ідентифікації  $k$ -го кадру рецепторного поля, який характеризується класом  $X_k^o$ , побудувати вирішальні правила шляхом відновлення у радіальному базисі простору ознак контейнерів для кожної пари «кадр – еталон» і обчислити критерій схожості.

$$C_{k,m} = 1 - E_{k,m}^* \quad (1)$$

де  $E_{k,m}^*$  – глобальний максимум нормованого інформаційного критерію функціональної ефективності (КФЕ) системи діагностування, що обчислюється в робочій допустимій області визначення його функції.

Необхідно за максимальним значенням критерію схожості (1) прийняти рішення про належність ідентифікованого кадру відповідному класу із заданого алфавіту  $\{X_m^o\}$ .

### 2. Математична модель

Вхідний математичний опис системи компараторного розпізнавання кадрів подамо у вигляді структури

$$\Delta = \langle G \times T \times \Omega \times Z \times K, Y^{[2]}, X^{[2]}; \Phi_1, \Phi_2 \rangle,$$

де  $G$  – множина вхідних сигналів (факторів), які впливають на КСД;  $T$  – множина моментів часу

зняття інформації;  $\Omega$  – простір ознак розпізнавання;  $Z$  – простір можливих функціональних станів КСД;  $K$  – множина кадрів для ідентифікації;  $Y^{[2]}$  – навчальна матриця для двох класів;  $X^{[2]}$  – бінарна навчальна матриця;  $\Phi_1 : G \times T \times \Omega \times Z \rightarrow Y^{[2]}$  – оператор формування вхідної навчальної матриці;  $\Phi_2 : Y^{[2]} \rightarrow X^{[2]}$  – оператор формування бінарної навчальної матриці  $X^{[2]}$ .

Розглянемо категорійну модель розпізнавання образів у рамках ІЕІ-технології, показану на рис. 1. Оператор  $\theta : X^{[2]} \rightarrow \mathfrak{R}^{[2]}$  будує розбиття простору ознак на два класи розпізнавання, яке є апріорно нечітким. Оператор класифікації  $\psi$  перевіряє основну статистичну гіпотезу про належність реалізацій  $\{x_m^{(j)} \mid j = \overline{1, n}\}$  класу  $X_m^o$ . Оператор  $\gamma : I^{[l]} \rightarrow \mathfrak{S}^{[q]}$  шляхом оцінки статистичних гіпотез формує множину точнісних характеристик, де  $l$  – кількість статистичних гіпотез;  $q = l^2$  – кількість точнісних характеристик. Оператор  $\phi$  формує терм-множину  $E$ , яка складається із значень інформаційного критерію функціональної ефективності (КФЕ). Контур оптимізації геометричних параметрів розбиття  $\mathfrak{R}^{[2]}$  замикається оператором  $d$ , а контур оптимізації системи контрольних допусків (СКД), яка утворює множину  $D$ , замикається послідовно оператором  $\delta_1 : E \rightarrow D$  і оператором  $\delta_2 : D \rightarrow Y$ , який змінює реалізацію образу в процесі навчання. Оператор  $U : E \rightarrow G \times T \times \Omega \times Z \times K$  – регламентує процес навчання КСД.

Подання слабо формалізованого процесу навчання КСД у вигляді категорійної моделі суттєво спрощує розроблення структурної схеми алгоритму навчання.

### 3. Алгоритм ідентифікації кадрів

Згідно з постановкою задачі алгоритм ідентифікації кадрів полягає в обчисленні для кожного поточного кадру критерію схожості (1) з відповідними еталонами із алфавіту  $\{X_m^o\}$ . Обчислення максимального значення інформаційного КФЕ  $E_{k,m}^*$  здійснюється в процесі інформаційно-екстремального навчання КСД за ітераційною двоциклічною процедурою

$$E_{k,m}^* = \max_{G_\delta} \max_{G_E \cap G_d} E_{k,m}, \quad (2)$$

де  $E_{k,m}$  – значення КФЕ навчання системи розпізнавати реалізації поточного  $k$ -го кадру і  $m$ -го еталону, що обчислюється в робочій допустимій області визначення його функції;  $G_\delta, G_E, G_d$  – області допустимих значень параметра  $\delta$  поля контрольних допусків, значень КФЕ і радіусів гіперсферичних контейнерів класів компараторного розпізнавання, що відновлюються в радіальному базисі простору ознак  $\Omega$  відповідно.

Таким чином зовнішній цикл оптимізує параметр  $\delta$  поля контрольних допусків, за допомогою якого обчислюються нижні  $A_{H,k}$  і верхні  $A_{B,k}$  контрольні допуски

$$A_{H,k} = y_k - \delta; \quad A_{B,k} = y_k + \delta, \quad (3)$$

де  $y_k$  – еталонний (усереднений) вектор-реалізація навчальної матриці  $Y^{[2]}$  для  $k$ -го кадру.

З метою підвищення оперативності алгоритму навчання розглянемо паралельну оптимізацію СКД на ознаки розпізнавання, за якою контрольні допуски на кожному кроці навчання змінюються за формулою (3) для всіх ознак одночасно.

Структурну схему алгоритму паралельної оптимізації СКД на ознаки розпізнавання показано на рис. 2. Вхідними даними є масив навчальних вибірок  $Y[kl][realization][j]$ , де  $kl$  – номер навчальної матриці класу розпізнавання,  $realization$  – номер реалізації в навчальній матриці і  $j$  – номер ознаки розпізнавання в реалізації образу. Розглянемо коротко призначення функціональних блоків у структурній схемі алгоритму навчання КСД з паралельною оптимізацією СКД на ознаки розпізнавання:

Блок 3. Занулюється значення тимчасової змінної  $e_{optim\_sred}$ , яка використовується для прямого пошуку глобального максимуму усередненого значення КФЕ ідентифікації кадрів.

Блок 4. Ініціалізується лічильник циклу параметра  $\delta$  ( $delta$ ) поля контрольних допусків.

Блок 5. Формуються на кожному кроці навчання за формулою (3) масиви поточних верхніх та нижніх контрольних допусків на ознаки розпізнавання.

Блок 6. Виконується базовий інформаційно-екстремальний алгоритм навчання [5], який реалізує внутрішній цикл процедури (2).

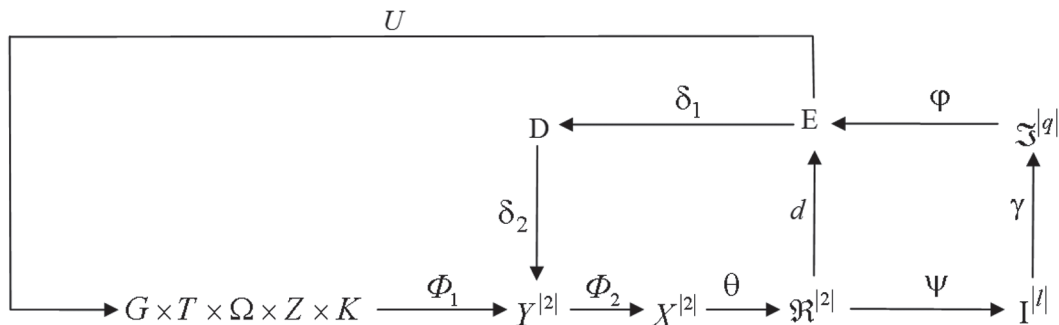


Рис. 1. Категорійна модель навчання системи

Функціями базового інформаційно-екстремального алгоритму навчання системи розпізнавання для ідентифікації кадрів є:

- обчислення на кожному кроці ідентифікації кадрів інформаційного КФЕ;
- пошук глобального максимуму КФЕ в робочій (допустимій) області визначення його функції.

Оскільки критерій  $E_{k,m}^*$  є функціоналом від точнісних характеристик ідентифікації кадрів, то за робочу приймається область визначення його функції, в якій ймовірності правильних рішень перебільшують відповідні ймовірності помилкових рішень, що складають однакові групи подій.

Як КФЕ навчання при компаративному розпізнаванні можна використовувати будь-яку статистичну інформаційну характеристику, що є мірою різноманітності двох класів розпізнавання. Наприклад, при двох альтернативних рішеннях і рівноймовірних гіпотезах модифікація нормованого ентропійного критерію (за Шенноном) [6] при компаративному розпізнаванні буде мати вигляд:

$$E_{k,m} = 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\alpha_{k,m}(d_k)}{\alpha_{k,m}(d_k) + D_{2k,m}(d_k)} \log_2 \frac{\alpha_{k,m}(d_k)}{\alpha_{k,m}(d_k) + D_{2k,m}(d_k)} + \frac{D_{1k,m}(d_k)}{D_{1k,m}(d_k) + \beta_{k,m}(d_k)} \log_2 \frac{D_{1k,m}(d_k)}{D_{1k,m}(d_k) + \beta_{k,m}(d_k)} + \frac{\beta_{k,m}(d_k)}{D_{1k,m} + \beta_{k,m}(d_k)} \log_2 \frac{\beta_{k,m}(d_k)}{D_{1k,m} + \beta_{k,m}(d_k)} + \frac{D_{2k,m}(d_k)}{\alpha_{k,m}(d_k) + D_{2k,m}(d_k)} \log_2 \frac{D_{2k,m}(d_k)}{\alpha_{k,m}(d_k) + D_{2k,m}(d_k)} \right), (4)$$

де  $\alpha_{k,m}(d_k)$ ,  $\beta_{k,m}(d_k)$ ,  $D_{1k,m}(d_k)$ ,  $D_{2k,m}(d_k)$  – значення точнісних характеристик, отриманих в процесі ідентифікації  $k$ -го кадру з  $m$ -м еталоном: помилки першого і другого родів, перша і друга достовірності відповідно;  $d_k$  – радіус гіперсферичного класифікатора, що відновлюється на кожному кроці ідентифікації в радіальному просторі ознак розпізнавання.

Блоки 7, 8. В масиві  $E_{optim}$  виконується безпосередній пошук оптимального параметра поля контрольних допусків ( $delta$ ) для ознак розпізнавання шляхом пошуку максимального усередненого значення КФЕ, отриманого в блоках 5,6, який знаходиться в робочій області для двох класів розпізнавання.

Після проведення навчання обчислюється критерій схожості (1) між кадром та еталоном зображення і приймається рішення про належність ідентифікованого кадру  $m$ -му еталону. Чим вищий критерій схожості, тим вище достовірність правильного діагностування захворювання, оскільки значення інформаційного КФЕ, який є мірою

різноманітності, стає досить малим, що свідчить про відсутність суттєвих відмінностей між кадром, що ідентифікується, і еталоном зображенням.

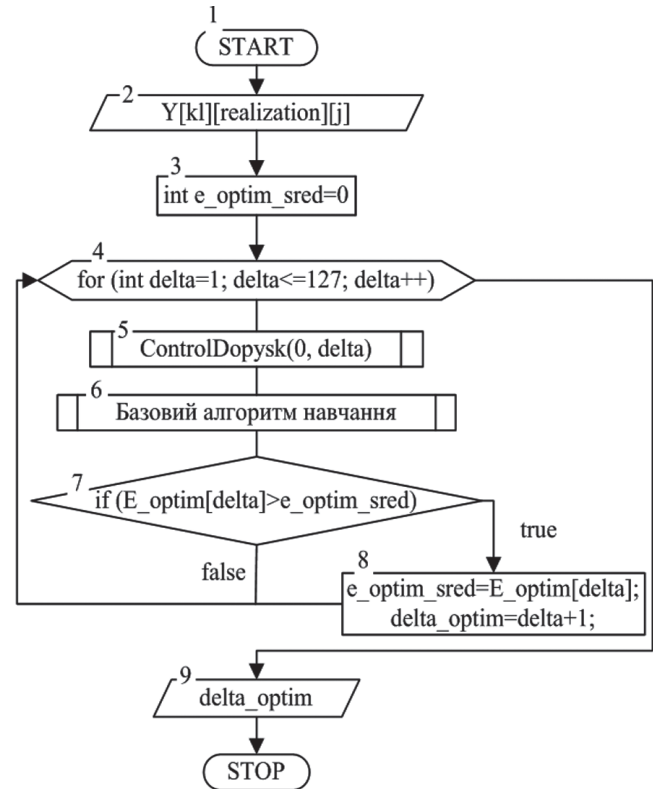


Рис. 2. Структурна схема алгоритму ідентифікації кадрів з оптимізацією СКД

#### 4. Результати фізичного моделювання

Реалізацію вищенаведеного алгоритму ідентифікації кадрів розглянемо на прикладі розпізнавання морфологічних зображень тканин пацієнтів, одержаних за методом біопсії. Зображення формуються за допомогою вбудованого в мікроскоп цифрового фотоапарата, з'єданого з ЕОМ, і відображається на екрані монітора.

Як етальони розглядалися зображення трьох онкологічних захворювань молочної залози (мастопатія, рак і фіброаденома) розміром  $200 \times 200$  пікселів. При цьому загальне зображення тканини пацієнта розміром  $1280 \times 1024$ , яка мала конгломерати онкологічних клітин, розбивалося на кадри, що ідентифікувалися, розмір яких дорівнював еталоном зображенням.

Ідентифікація кадрів здійснювалася за вищенаведеним алгоритмом, концепцію якого схематично показано на рис. 3. Тут прийнято такі позначення: М – мастопатія; Р – рак молочної залози; Ф – фіброаденома і К – кадр, що ідентифікується.

На рис. 4 наведено приклади трьох етальонних зображень онкологічних захворювань відібраних експертом.

Результати реалізації базового алгоритму ідентифікації 11-го кадру загального зображення показано на рис. 5, де наведено графіки залежності

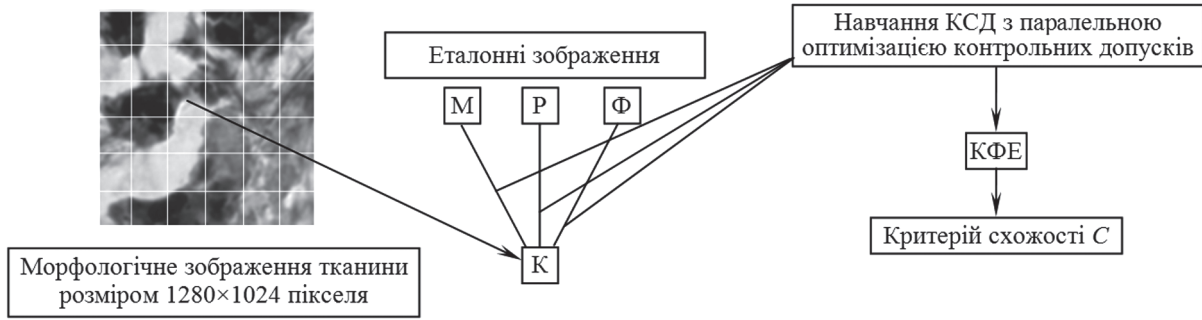
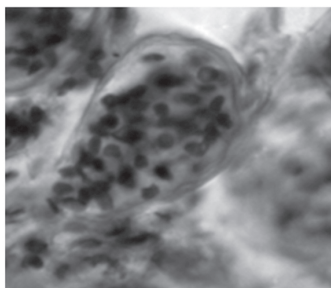
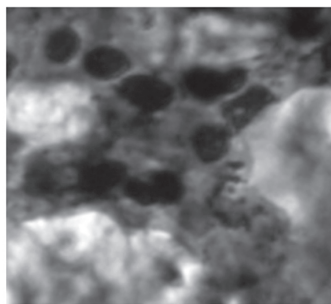


Рис. 3. Процес ідентифікації кадрів

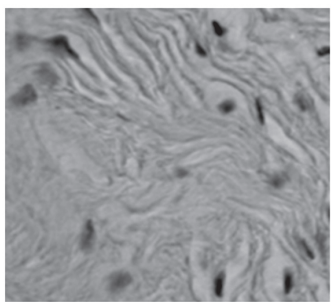
критеріїв оптимізації від радіусу  $d_{11}$  контейнера зображення кадру, який послідовно відновлюється в процесі ідентифікації з трьома еталонами (рис. 4).



а



б

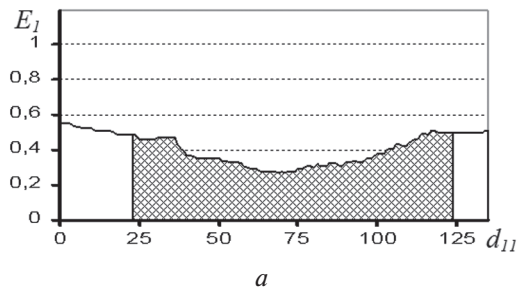


в

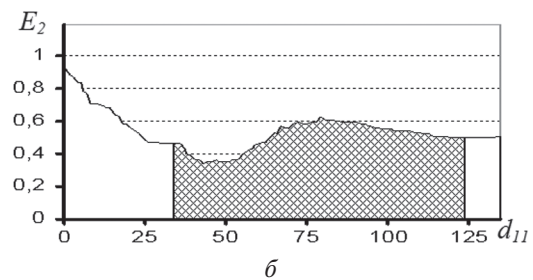
Рис. 4. Еталонні зображення трьох онкологічних захворювань розміром  $200 \times 200$  11-го кадру (а – мастопатія, б – рак, в – фіброаденома)

На рис. 5 заштрихована ділянка визначає роботу (допустиму) область визначення КФЕ навчання системи ідентифікації кадрів, в якій перша та друга достовірності більше 0,5, тобто помилки першого і другого роду будуть менше відповідних достовірностей. Аналіз графіків показують, що КФЕ не досягає свого максимального граничного значення

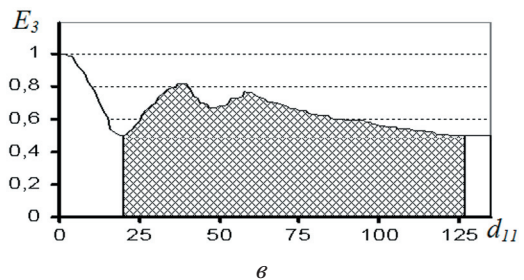
( $E_{\text{гран}}^* = 1$ ) в процесі ідентифікації кадру з заданими еталонами. При цьому максимальне значення КФЕ для класу «мастопатія» дорівнює  $E_1^* = 0,51$ , а оптимальний радіус –  $d_{11}^* = 119$  (тут і далі у кодових одиницях); для класу «рак» відповідно –  $E_2^* = 0,62$  і  $d_{11}^* = 80$ ; для класу «фіброаденома» –  $E_3^* = 0,81$  і  $d_{11}^* = 38$ . При цьому критерії схожості відповідно дорівнюють  $C_1 = 0,49$ ,  $C_2 = 0,38$  і  $C_3 = 0,19$ . Тобто одержані результати не дозволяють з високою достовірністю визначити належність поточного кадру до одного із захворювань. Тому доцільним є проведення навчання КСД з паралельною оптимізацією СКД. На рис. 6 показано результати оптимізації СКД в процесі ідентифікації 11-го кадру загально-го зображення.



а



б



в

Рис. 5. Графіки залежності КФЕ від радіусів контейнера зображення кадру, що ідентифікується (а – мастопатія, б – рак, в – фіброаденома)

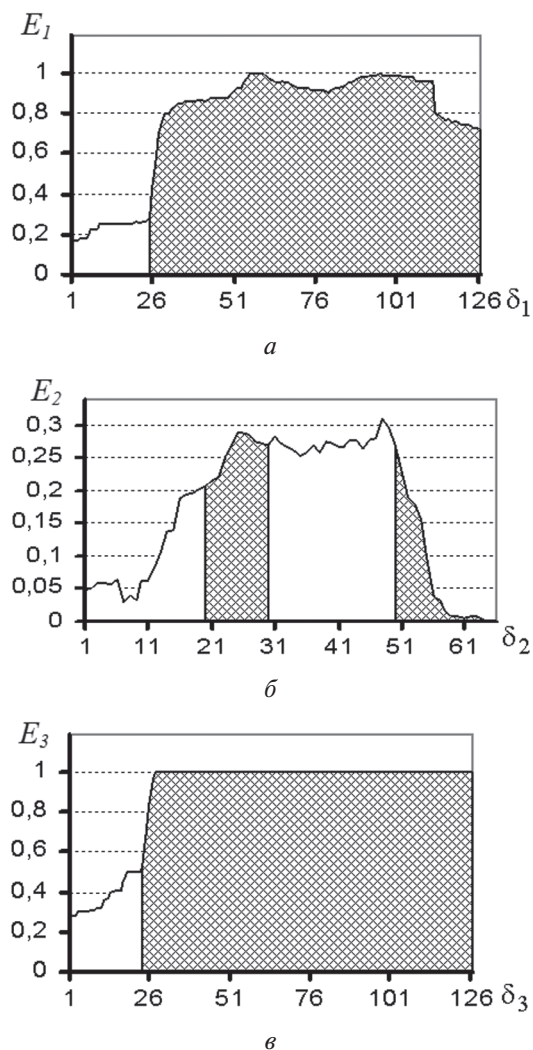


Рис. 6. Графіки залежності КФЕ від параметру поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання (а – мастопатія, б – рак, в – фіброаденома)

Аналіз рис. 6 показує, що для мастопатії (рис. 6а) і для фіброаденоми (рис. 6в) значення КФЕ навчання КСД дорівнюють максимальному граничному ( $E_1^* = E_3^* = 1$ ). Оскільки відповідні критерії схожості згідно з формулою (1) дорівнюють нулю, то можна зробити висновок, що гіпотези про належність кадру, що ідентифікується, до класів «мастопатія» та «фіброаденома» відкидаються. При цьому аналіз рис. 6б показує, що максимальне значення КФЕ дорівнює  $E_2^* = 0,31$  при відповідному значенні критерію схожості  $C_{11,2} = 0,79$ . Таким чином, має місце висока достовірність ідентифікації кадру з класом «рак молочної залози».

В табл. 1 наведено результати ідентифікації всіх 30 кадрів загального зображення тканини пацієнта.

Аналіз табл. 1 показує, що після проведення процесу ідентифікації кадрів морфологічного зображення тканини пацієнта було виявлено 5 кадрів з критерієм схожості на рак більше 0,9 та 12 кадрів з критерієм схожості на рак більше 0,8. При цьому середнє значення критерію схожості на рак для всіх кадрів зображення дорівнює 0,75, що дозволяє

зробити з високою достовірністю діагностичний висновок про наявність раку молочної залози.

Таблиця 1

Результати процесу ідентифікації кадрів

№ кадру	Критерій схожості на мастопатію, C	Критерій схожості на рак, C	Критерій схожості на фіброаденому, C
1	0,36	0,75	0
2	0	0,78	0
3	0	0,82	0,12
4	0,1	0,69	0
5	0,28	0,71	0
6	0	0,89	0
7	0	0,85	0
8	0	0,83	0
9	0	0,92	0
10	0,08	0,63	0,37
11	0	0,95	0
12	0	0,83	0
13	0,39	0,49	0
14	0	0,91	0
15	0	0,32	0,15
16	0	0,85	0
17	0	0,88	0
18	0	0,73	0
19	0,23	0,5	0
20	0	0,63	0
21	0	0,89	0
22	0	0,86	0,34
23	0	0,93	0
24	0,4	0,69	0
25	0	0,25	0,06
26	0	0,89	0
27	0	0,84	0
28	0	0,91	0
29	0	0,81	0
30	0,02	0,54	0

Особливістю системи компараторного розпізнавання, що здійснює ідентифікацію кадрів, полягає у відсутності етапу екзамену. Тому задачею навчання такої системи є не побудова вирішальних правил, як це має місце для традиційних задач розпізнавання образів, а обчислення в процесі ідентифікації кадрів максимального значення нормованого інформаційного критерію оптимізації параметрів навчання. З іншого боку, досягнення глобального максимуму критерію (4) в робочій області визначення його функції можливо за оптимальних в інформаційному розумінні параметрів навчання. Наприклад, аналіз рис. 5 показує, що оптимальними параметрами контрольних полів допусків на ознаки розпізнавання є для класу «мастопатія»  $\delta_1^* = 56$  (тут і далі в градаціях яскравості пікселів рецепторного поля зображень), для класу «рак молочної залози»  $\delta_2^* = 25$  і для класу «фіброаденома»  $\delta_3^* = 29$ .

Оптимальні параметри контейнерів, що відновлюються в процесі ідентифікації 11-го кадру, визначаються за показаними на рис. 7 графіками залежності КФЕ від радіуса  $d_{11}$  контейнерів зображення цього кадру в процесі паралельної оптимізації СКД.

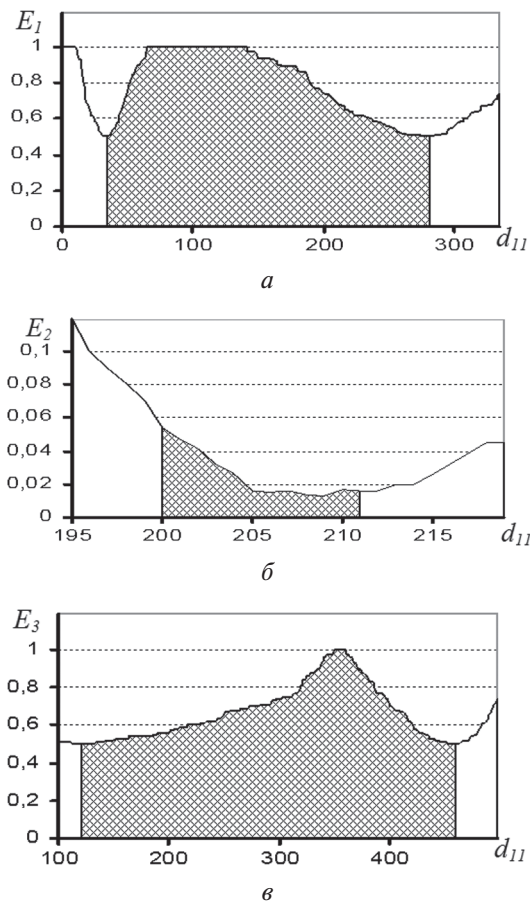


Рис. 7. Графіки залежності КФЕ від радіуса контейнерів для еталонних зображень (а – мастопатія, б – рак, в – фіброаденома)

Аналіз рис. 7б показує, що максимальне значення інформаційного КФЕ ідентифікації кадру щодо еталонного зображення дорівнює  $E_2^* = 0,05$ , що свідчить про погану роздільність поточного кадру з еталонним. При цьому критерій схожості (1) дорівнює  $C = 0,95$ . При порівнянні кадру, що ідентифікується, з кадрами-еталонами класів «мастопатія» і «фіброаденома» (рис. 7а і рис. 7в відповідно) КФЕ навпаки досягає максимального значення, що свідчить про відмінність поточного кадру від еталонних зображень цих класів. Таким чином, можна зробити остаточний висновок, що текстура даного кадру належить до раку молочної залози.

### Висновки

1. Запропоновано новий інформаційно-екстремальний метод ідентифікації кадрів, в основу якого покладено принцип максимізації кількості інформації між поточним кадром, що ідентифікується, і кадром-еталоном класу відповідної онкопатології.
2. З метою підвищення достовірності ідентифікації при збільшенні потужності алфавіту класів

розпізнавання перспективним розвитком запропонованого методу є побудова ієрархічної структури інформаційно-екстремального алгоритму ідентифікації, що дозволить вирішити в певних межах проблему багатовимірності.

**Список літератури:** 1. Ивахненко, А.Г. О принципах построения обучающихся систем управления сложными процессами [Текст] / А.Г. Ивахненко. – М.: Наука, 1970. – 252 с. 2. Цыпкин, Я.З. Основы информационной теории идентификации [Текст] / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1984. – 320 с. 3. Васильев, В.И. Распознающие системы. Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / В.И. Васильев. – Киев: Наукова думка, 1983. – 422 с. 4. Путятин, Е.П. Обработка изображений в робототехнике [Текст] / Е.П. Путятин, С.И. Аверин. – М: Машиностроение, 1990. – 320 с. 5. Краснополюсовский, А.С. Информационный синтез интеллектуальных систем керування: Підхід, що ґрунтується на методі функціонально-статистичних випробувань [Текст] / А.С. Краснополюсовский – Суми: Видавництво СумДУ, 2004. – 261 с. 6. Довбиш, А.С. Основы проектирования интеллектуальных систем: Навчальний посібник [Текст] / А.С. Довбиш. – Суми: Видавництво СумДУ, 2009. – 171 с. 7. Довбиш, А.С. Оптимізація параметрів навчання СППР для діагностування онкопатологій [Текст] / А.С. Довбиш., М.С. Руденко // Вісник СумДУ. Серія: Технічні науки. – 2010. – №2. – С. 48-55.

Надійшла до редколегії 29.12.2011

УДК 681.518:004.93'1

**Идентификация кадров в задачах распознавания изображений медицинских и биологических объектов** / А.С. Довбиш, А.М. Романюк, М.С. Руденко // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – 2012 – № 1 (78). – С. 53-58.

Предложен информационно-экстремальный метод компараторного распознавания, который заключается в идентификации кадров морфологических изображений тканей пациентов с целью диагностирования онкопатологий. В качестве критерия схожести кадра, который идентифицируется, рассматривается модифицированный энтропийный критерий Шеннона. Максимизация количества информации совершается путем оптимизации параметров функционирования в рамках информационно-экстремальной интеллектуальной технологии.

Табл. 1. Ил. 7. Библиогр.: 7 назв.

UDC 681.518:004.93'1

**Identification frames in tasks of recognition image of oncological and medical objects** / A.S. Dovbish, A.M. Romanyuk, M.S. Rudenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2012. – № 1 (78). – P. 53-58.

Proposed information-extremely method of comparative recognition, which consists of identification frames of the morphological image tissue of patients with the aim of diagnosing cancer pathology. As a criterion for the similarity of the frame, which is identified, considered the modified entropy Shannon's criterion. Maximizing the number of information is accomplished by optimizing the parameters of the operation within of the information-extremely intellectual technologies.

Tab. 1. Fig.: 7. Ref.: 7 items.