

О. С. КУЦЕНКО, Л. Б. КАЩЕЄВ, М. І. МИРОНЕНКО

## ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ІДЕНТИФІКАЦІЇ КАДРІВ ПРИ РЕКОНСТРУЮВАННІ МІСЦЕВОСТІ

Запропоновано алгоритм ідентифікації кадрів зображення місцевості, отриманого в процесі аерофотозйомки. Машинне навчання геоінформаційної системи здійснювалося за інформаційно-екстремальним алгоритмом. Як критерій оптимізації параметрів машинного навчання використовувався модифікований ентропійний критерій Шеннона, а як параметри навчання розглядалися контрольні допуски на ознаки розпізнавання та геометричні параметри гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання. Крім того, розроблено алгоритм функціонування геоінформаційної системи в режимі ідентифікації кадрів, який дозволяє за сформованими на етапі машинного навчання вирішальними правилами побудувати електронну карту місцевості із позначеними на ній зонами інтересу.

**Ключові слова:** геоінформаційна система, ідентифікація, машинне навчання, інформаційний критерій, вирішальні правила, зображення, електронна карта місцевості.

Предложен алгоритм идентификации кадров полученного в процессе аерофотосъемки изображения местности. Машинное обучение геоинформационной системы осуществлялось по информационно-экстремальному алгоритму. В качестве критерия оптимизации параметров машинного обучения использовался модифицированный энтропийный критерий Шеннона, а в качестве параметров обучения рассматривались контрольные допуски на признаки распознавания и геометрические параметры гиперсферических контейнеров классов распознавания. Предложенный алгоритм функционирования геоинформационной системы в режиме идентификации кадров позволил по сформированным на этапе машинного обучения решающим правилам построить электронную карту местности с обозначенными на ней зонами интереса.

**Ключевые слова:** геоинформационная система, идентификация, машинное обучение, информационный критерий, решающее правило, изображение, электронная карта местности.

Obtained in the process of aerial photography, the identification algorithm of the area frames is proposed. The machine learning of geo-informational system was accomplished by information-extreme algorithm. The modified entropy Shannon's criterion was used as a criterion for parameter optimization of machine learning and the control accesses for signs of recognition and geometrical parameters of hyperspherical containers classes of recognition were considered as the parameters of learning. In addition, the algorithm of geo-informational functioning system in frames identification mode, that allows generating the electronic map with areas of interest on it, is developed

**Keywords:** geo-informational system, identification, machine learning, information criterion, decision rule, image, electronic map of the area.

**Вступ.** Широке використання бортових геоінформаційних систем (ГІС) літальних апаратів за спостереженням поверхні Землі дозволяє розв'язувати багато важливих задач для соціально-економічної сфери суспільства [1]. Наприклад, такими задачами є спостереження за впливом техногенних факторів на екологічні та кліматичні зміни як всієї планети, так і окремих регіонів, визначення стану агрокультур, пошук транспортних засобів тощо. При цьому важливим етапом розв'язання більшості геоінформаційних задач є сегментація місцевості з метою побудови її електронної карти з позначеними зонами інтересу, в яких очікується знаходження об'єкту дослідження. Як перспективний шлях інформаційного синтезу таких систем є застосування ідей і методів машинного навчання та розпізнавання образів [2, 3]. Проте науково-методологічні питання створення таких систем все ще залишаються недостатньо дослідженими через багатofакторність і довільні початкові умови формування зображень та вплив неконтрольованих факторів на процес створення електронної карти місцевості з позначеними зонами інтересу. Одним із шляхів подолання вказаних вище ускладнень науково-методологічного характеру є застосування ідей і методів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технології) аналізу даних, яка ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності системи в процесі її машинного навчання [4]. На відміну від методів, побудованих на дистанційних мірах, перевага ІЕІ-технології полягає в застосуванні як міри схожості інформаційного критерію оптимізації параметрів ма-

шинного навчання. Крім того, відмінність інформаційно-екстремального машинного навчання від інших методів полягає в трансформації вхідної навчальної матриці в робочу бінарну матрицю, що дозволяє шляхом її цілеспрямованої зміни адаптувати вхідний математичний опис системи до високостовірних вирішальних правил.

В статті розглядається задача інформаційно-екстремального машинного навчання бортової ГІС, яка здійснює ідентифікацію кадрів зображення місцевості з метою побудови електронної карти місцевості із позначеними на ній зонами інтересу.

**Постановка задачі.** Розглянемо формалізовану постановку задачі інформаційного синтезу здатної навчатися ГІС ідентифікації кадрів на зображенні місцевості з гіперсферичними вирішальними правилами. Нехай зображення місцевості, одержане за попередніми результатами аерофотозйомки, розбито на  $K$  кадрів, серед яких сформовано алфавіт  $\{X_m^o \mid m = \overline{1, M}\}$  класів розпізнавання із  $M$  різних кадрів, що представляють зони інтересу.

Для заданого алфавіту шляхом оброблення кадрів зображення місцевості сформовано навчальну матрицю  $\|y_{m,i}^{(j)}\|$  яскравості пікселів рецепторного поля кадрів. В навчальній матриці рядок  $\{y_{m,i}^{(j)} \mid i = \overline{1, N}\}$ , де  $N$  – кількість ознак розпізнавання, є вектором-реалізацією (далі в тексті просто реалізація)  $m$ -го кадру зображення, а стовпчик матриці – випадкова навчальна вибірка  $\{y_{m,k,i}^{(j)} \mid j = \overline{1, n}\}$  з обсягом  $n$ . Крім того, для

кожного класу розпізнавання  $X_m^o$  задано структурований вектор параметрів навчання

$$g_m = \langle \delta; d_m, x_m \rangle \quad (1)$$

де  $\delta$  – параметр симетричного поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання, величина якого дорівнює його половині;

$d_m$  – радіус гіперсферичного контейнера класу розпізнавання, який відновлюється в радіальному базисі простору ознак;

$x_m$  – еталонна (усереднена) реалізація образу.

На області значень параметрів навчання накладаються відповідні обмеження:

- область значень параметра  $\delta$  задається нерівністю  $\delta < \delta_H / 2$ , де  $\delta_H$  – нормоване поле допусків для ознак розпізнавання;
- область значень яскравості пікселів рецепторного поля зображення кадру знаходиться в інтервалі  $[0; 255]$  градацій яскравості;
- область значень радіуса гіперсферичного контейнера класу розпізнавання  $d_m$ , який в процесі машинного навчання відновлюється в радіальному базисі бінарного простору ознак задається нерівністю

$$d_m < d(x_m \oplus x_c),$$

де  $d(x_m \oplus x_c)$  – міжцентрова відстань між еталонною реалізацією  $x_m$  класу  $X_m^o$  і еталонною реалізацією  $x_c$  найближчого до нього сусіднього класу  $X_c^o$ ;

$\oplus$  – символ логічної операції нерівнозначності (додавання за модулем 2).

Необхідно в процесі машинного навчання ГПС оптимізувати координати вектора (1), які забезпечують максимальне значення інформаційного критерію функціональної ефективності (КФЕ) в робочій (допустимій) області визначення його функції:

$$E^* = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \max_{G_E \cap \{k\}} E_m^{(k)}, \quad (2)$$

де  $E_m^{(k)}$  – значення інформаційного КФЕ машинного навчання системи розпізнавати реалізації класу  $X_m^o$ , обчислене на  $k$ -му кроці навчання;

$G_E$  – область допустимих значень функції інформаційного КФЕ навчання системи;

$\{k\}$  – впорядкована множина кроків навчання.

При функціонуванні геоінформаційної системи в режимі екзамену необхідно ідентифікувати кадри зображення місцевості з метою побудови її електронної карти з позначеними зонами інтересу.

Таким чином, задача інформаційного синтезу здатної навчатися системи ідентифікації кадрів полягає в оптимізації параметрів її машинного навчання шляхом наближення глобального максимуму інформаційного критерію (2) до його максимального граничного значення.

**Категорійні моделі ідентифікації кадрів.** Ідентифікацію кадрів зображення місцевості ГПС здійснює в два етапи:

на етапі машинного навчання для заданого алфавіту кадрів за оптимальними геометричними параметрами контейнерів класів розпізнавання, які відновлюються в радіальному базисі простору ознак, будуються вирішальні правила;

на другому етапі безпосередньої ідентифікації кадрів за побудованими на етапі машинного навчання вирішальними правилами визначається належність поточного кадру зображення місцевості до відповідної зони інтересу

Категорійну модель машинного навчання ГПС розглянемо у вигляді орієнтованого графу, в якому множини відображаються одна на одну відповідними операторами перетворення інформації, що застосовуються в процесі навчання.

Категорійна модель включає вхідний математичний опис системи ідентифікації кадрів, який подано у вигляді структури

$$\Delta_B = \langle T, G, \Omega, Z, K, Y, X; \Phi_1, \Phi_2 \rangle,$$

де  $T$  – множина моментів часу формування реалізацій відповідних кадрів;

$G$  – простір факторів, що впливають на зображення місцевості;

$\Omega$  – простір ознак розпізнавання;

$Z$  – простір станів системи, який визначає алфавіт класів розпізнавання;

$K$  – множина кадрів зображення;

$Y$  – вибіркова множина, яка утворює вхідну багатовимірну навчальну матрицю для заданого алфавіту  $\{X_m^o\}$  класів розпізнавання;

$X$  – бінарна навчальна матриця;

$\Phi_1 : G \times T \times \Omega \times Z \times K \rightarrow Y$  – оператор формування вхідної навчальної матриці  $Y$ ;

$\Phi_2 : Y \rightarrow X$  – оператор трансформації вхідної навчальної матриці  $Y$  в бінарну матрицю  $X$ .

На рис. 1 показано категорійну модель інформаційно-екстремального навчання з оптимізацією геометричних параметрів контейнерів класів розпізнавання і системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання.

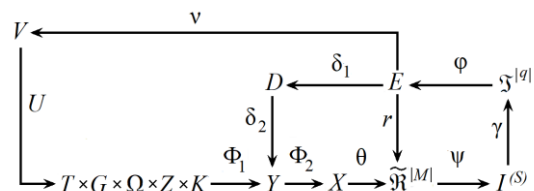


Рис. 1 – Категорійна модель машинного навчання

На рис. 1 оператор  $\theta : X \rightarrow \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$  буде в загальному випадку нечітке розбиття  $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$  бінарного простору ознак на класи розпізнавання, а оператор класифікації  $\Psi$  перевіряє основну статистичну гіпотезу про належність навчальної реалізації класу  $X_m^o$  і, таким

чином, формує множину гіпотез  $I^{|L|}$ , де  $L$  – кількість статистичних гіпотез. Оператор  $\gamma$  шляхом оцінки прийнятих гіпотез формує множину точнісних характеристик  $\mathfrak{Z}^{|q|}$ , де  $q=L^2$ , а оператор  $\phi$  обчислює множину значень інформаційного критерію  $E$ , який є функціоналом від точнісних характеристик. Контур моделі, який замикається оператором  $r$ , реалізує ітераційний процес оптимізації геометричних параметрів розбиття  $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$  шляхом пошуку глобального максимуму КФЕ в робочій області визначення його функції. Контур оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання замикається через множину  $D$  – систему контрольних допусків на ознаки розпізнавання і дозволяє в процесі навчання змінювати значення робочої бінарної навчальної матриці  $X$ , адаптуючи її до максимальної функціональної ефективності класифікатора.

Показана на рис. 1 категорійна модель передбачає згідно з принципом відкладених рішень перехід до інших типів радіально-базисних вирішальних правил. З цієї метою її зовнішній контур містить множину  $V$  типів вирішальних правил, які будуються із застосуванням більш складних радіально-базисних роздільних функцій. Процес навчання регламентується оператором  $U: V \rightarrow G \times T \times \Omega \times Z \times K$ .

Категорійну модель у вигляді відображень множин, що застосовуються при функціонуванні ГІС в режимі екзамену, тобто безпосередньо ідентифікації кадрів, показано на рис. 2.

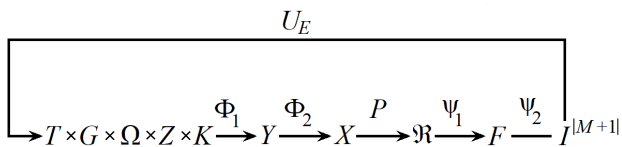


Рис. 2 – Категорійна модель функціонування системи в режимі ідентифікації кадрів

У категорійній моделі (рис. 2) оператор  $\Phi_1$  відображає універсум випробувань  $G \times T \times \Omega \times Z \times K$  на вибіркву множину  $Y$ , яка утворює екзаменаційну матрицю  $\|y_i^{(j)}\|$ , аналогічну за структурою навчальній матриці. Оператор  $\Phi_2$  за отриманими на етапі навчання оптимальними контрольними допусками на ознаки розпізнавання формує бінарну екзаменаційну матрицю  $X$ , а оператор  $P$  відображає вектор-реалізацію кадру, що ідентифікується, на побудоване на етапі навчання оптимальне розбиття  $\mathfrak{R}^*$  класів розпізнавання. Оператор  $\Psi_1$  для кожного вектора-реалізації обчислює значення побудованих на етапі навчання вирішальних правил і формує термножину  $F$ , а оператор  $\Psi_2$  за максимальним значенням вирішального правила відносить кадр, що ідентифікується, до одного із класів заданого алфавіту  $\{X_m^o\}$ . Призначенням оператора  $U_E$  є регламентація екзамену.

Таким чином, показані на рис. 1 і рис. 2 категорійні моделі, можна розглядати як узагальнені структурні схеми відповідних алгоритмів функціонування здатної навчатися системи ідентифікації кадрів.

**Інформаційно-екстремальний алгоритм ідентифікації кадрів.** Згідно з категорійною моделлю (рис.1) алгоритм оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання в процесі інформаційно-екстремального машинного навчання полягає в реалізації двоциклічної ітераційної процедури оптимізації параметра  $\delta$  поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання шляхом пошуку глобального максимуму інформаційного КФЕ (2) в робочій області визначення його функції [5]:

$$\delta^* = \arg \max \{ \max_{G_E \cap \{s\}} \bar{E}^{(s)} \}, \quad (3)$$

де  $\bar{E}^{(s)}$  – значення усередненого за алфавітом класів розпізнавання інформаційного КФЕ, обчисленого на  $s$ -му кроці навчання;

$G_\delta$  – область допустимих значень параметра поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання;  
 $\{s\}$  – множина кроків навчання.

Розглянемо схему алгоритму інформаційно-екстремального машинного навчання системи ідентифікації кадрів за процедурою (3) з паралельною оптимізацією системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання, за якою параметр  $\delta$  поля контрольних допусків змінюється одночасно для всіх ознак. При цьому вхідними даними є: тривимірний масив вхідної навчальної матриці  $\{y[m, j, i]\}, m = \overline{1, M}, j = \overline{1, n}, i = \overline{1, N}$  для заданого алфавіту  $\{X[m]\}$  класів розпізнавання, які характеризують відповідні зони інтересу на місцевості; нормоване поле  $\delta_H$  допусків на ознаки розпізнавання, яке визначає область значень системи контрольних допусків.

Основними етапами інформаційно-екстремального алгоритму машинного навчання є:

- визначення базового класу розпізнавання  $X_1^o$ , для якого відносно ознак розпізнавання його усередненого вектора-реалізації  $y_1$ , на кожному кроці навчання задаються нижні та верхні контрольні допуски;
- оптимізація системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання за двоциклічною процедурою (3).

Алгоритм визначення базового класу реалізує внутрішній цикл процедури (3) при заданому параметрі поля контрольних допусків  $\delta < \delta_H / 2$  за такою схемою:

- 1) обнуляється лічильник базових класів розпізнавання:  $b = 0$ ;
- 2) ініціалізується лічильник базових класів розпізнавання:  $b = b + 1$ ;
- 3) обнуляється лічильник класів розпізнавання:  $m = 0$ ;

4)  $m = m + 1$ ;  
5) обнуляється лічильник кроків зміни радіусів контейнерів класів розпізнавання:  $d[m, s] = 0$ ;

6) визначається для масиву  $\{y[m, j, i]\}$  усереднений вектор  $y[m]$ ;

7) якщо  $b = b + 1$  і  $m = m + 1$ , то  $y[m] = y[b]$ , тобто вектор  $y[m]$  приймається за базовий, і виконується пункт 8, інакше – пункт 9;

8) обчислюються для кожної  $i$ -ї ознаки вектора  $y[b]$  нижній  $A_{HK,i}[b]$  і верхній  $A_{BK,i}[b]$  контрольні допуски за формулами

$$A_{HK,i}[b] = y[b]_i - \delta; A_{BK,i}[b] = y[b]_i + \delta, \quad (4)$$

де  $y[b]_i$  – значення  $i$ -ї ознаки розпізнавання усередненого вектора  $y[b]_i$  класу  $X[m]$ ;

9) формується тривимірний масив бінарної навчальної матриці  $\{x[m, j, i]\}$ , елементи якої обчислюються за правилом

$$x[m, j, i] = \begin{cases} 1, & \text{якщо } A_{HK,i}[b] < y_{m,i}^j < A_{BK,i}[b]; \\ 0, & \text{якщо інакше;} \end{cases}$$

10) для масиву  $\{x[m, j, i]\}$  визначається усереднений двійковий вектор  $x[m]$ ;

11) якщо  $m \leq M$ , то виконується пункт 5, інакше – пункт 12;

12) для множини пари найближчих сусідів, для яких відновлюються гіперсферичні контейнери;

13) ініціалізується лічильник класів розпізнавання:  $m = m + 1$ ;

14) ініціалізується лічильник кроків зміни радіусів контейнерів класів розпізнавання:  $d[m, s] = d[m, s] + 1$ ;

15) за навчальними матрицями класу  $X[m]$  і його найближчого сусіда обчислюється інформаційний КФЕ  $E[m, s]$ , наприклад, ентропійний критерій Шеннона [6], який подано у такому модифікованому вигляді:

$$E[m, s] = 1 + 0,5 \times \left\{ \frac{D1[m, s]}{D1[m, s] + \beta[m, s]} \log_2 \frac{D1[m, s]}{D1[m, s] + \beta[m, s]} + \frac{\alpha[m, s]}{\alpha[m, s] + D2[m, s]} \log_2 \frac{\alpha[m, s]}{\alpha[m, s] + D2[m, s]} + \frac{\beta[m, s]}{D1[m, s] + \beta[m, s]} \log_2 \frac{\beta[m, s]}{D1[m, s] + \beta[m, s]} + \frac{\alpha[m, s]}{\alpha[m, s] + D2[m, s]} \log_2 \frac{\alpha[m, s]}{\alpha[m, s] + D2[m, s]} \right\}, \quad (5)$$

де  $D1[m, s]$  – перша достовірність, обчислена на  $s$ -му кроці навчання системи розпізнавати вектори-реалізації класу  $X[m]$ ;

$\beta[m, s]$  – помилка другого роду;

$\alpha[m, s]$  – помилка першого роду;

$D2[m, s]$  – друга достовірність;

16) якщо  $d[m, s] < N$ , то виконується пункт 14, інакше – пункт 17;

17) в робочій області  $G_E$  визначається максимальне значення  $E^*[m, s]$  інформаційного критерію [5];

18) якщо  $b \leq M$ , то виконується пункт 2, інакше – пункт 19;

19) згідно з формулою (2) обчислюється усереднене максимальне значення  $\bar{E}^*$  критерію (5);

20) за базовий приймається клас розпізнавання, для якого значення  $\bar{E}^*$  критерію (5) є максимальним; 21) ЗУПИН.

Після визначення базового класу запускається процедура (3) машинного навчання системи ідентифікації кадрів з оптимізацією системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання. При цьому основними функціями внутрішнього циклу процедури (3) є:

- обчислення на кожному кроці відновлення в радіальному просторі ознак розпізнавання контейнерів класів розпізнавання інформаційного критерію (5) при заданому зовнішнім циклом значенні параметра  $\delta$  поля контрольних допусків;
- пошук глобального максимуму інформаційного КФЕ навчання системи ідентифікації в робочій (допустимій) області визначення його функції;
- визначення оптимальних в інформаційному розумінні геометричних параметрів класів розпізнавання.

Процес машинного навчання згідно з умовою (2) закінчується знаходженням оптимальних значень параметра  $\delta^+$  поля контрольних допусків і геометричних параметрів контейнерів класів розпізнавання – векторів розпізнавання  $\{x_m^*\}$ , вершини яких в просторі ознак розпізнавання визначають геометричні центри відповідних гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання, і радіусів  $\{d_m^*\}$  цих контейнерів. За отриманими в процесі машинного навчання оптимальними геометричними правилами будуються вирішальні правила, які для гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання мають, наприклад, вигляд [5]

$$\mu_m = 1 - \frac{d(x_m^* \oplus x^{(j)})}{d_m^*}, \quad (6)$$

де  $x^{(j)}$  –  $j$ -та реалізація кадру, що розпізнається;

$d(x_m^* \oplus x^{(j)})$  – кодова відстань реалізації кадру,

що розпізнається, від центру класу  $X_m^o$ .

Алгоритм екзамену, на якому здійснюється безпосередньо ідентифікація кадрів на зображенні місцевості, має такі входні дані:

- $\{x_m^* | m = \overline{1, M}\}$  – масив еталонних двійкових векторів-реалізацій образу, які визначають геометричні центри оптимальних контейнерів класів розпізнавання, побудованих на етапі навчання;
- $\{d_m^*\}$  – масив оптимальних радіусів контейнерів класів розпізнавання;
- $\{x_k^{(j)} | k = \overline{1, K}; j = \overline{1, n}\}$  – масив двійкових векторів-реалізацій кадрів, що ідентифікуються, де  $K$  – кількість кадрів зображення місцевості, що реконструюється.

Алгоритм ідентифікації кадрів ґрунтується на аналізі значень сформованих на етапі навчання вирішальних правил (6) і реалізується за такою схемою:

- 1) обнуління лічильника числа кадрів:  $k = 0$ ;
- 2) ініціалізація лічильника числа кадрів:  $k = k + 1$ ;
- 3) обнуління лічильника класів розпізнавання:  $m = 0$ ;
- 4)  $m = m + 1$ ;
- 5) обнуління лічильника числа реалізацій кадра:  $j = 0$ ;
- 6)  $j = j + 1$ ;
- 7) обчислення вирішального правила (6);
- 8) порівняння: якщо  $j \leq n$ , то виконується пункт 6, інакше – пункт 9;
- 9) обчислення вирішального правила (6)

$$\bar{\mu}_m = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mu_{m,j}; \quad (7)$$

- 10) порівняння: якщо  $m \leq M$ , то виконується пункт 4, інакше – пункт 11;
- 11) визначення максимального значення функції (7)

$$\bar{\mu}_m^* = \max_{\{m\}} \bar{\mu}_m; \quad (8)$$

- 12) визначення класу кадру за максимальним значенням функції (8);
- 13) якщо для всіх класів розпізнавання максимальні значення функції (8) від'ємні, то кадр не ідентифікується;
- 14) порівняння: якщо  $k \leq K$ , то виконується пункт 2, інакше – пункт 15;
- 15) ЗУПИН.

Таким чином, ідентифікація кадрів зображення місцевості в рамках ІЕІ-технології полягає у побудові на етапі машинного навчання вирішальних правил, за якими в режимі екзамену.

**Приклад реалізації алгоритму машинного навчання.** Реалізацію запропонованого алгоритму розглянемо на прикладі ідентифікації кадрів зображення місцевості, одержаного за результатами аерофотозйомки [7]. Для формування навчальної матриці зображення місцевості розбивалося на кадри розміром  $50 \times 50$  пікселів. Як зони інтересу на зображенні було обрано автомагістраль – клас розпізнавання  $X_1^o$ , ліс – клас  $X_2^o$ , поле – клас  $X_3^o$  і

луки – клас  $X_4^o$ . На рис. 3 показано зображення чотирьох кадрів, які можуть бути зонами інтересу.



Рис. 3. Зображення кадрів зон інтересу:  
а – автомагістраль (клас  $X_1^o$ ); б – ліс (клас  $X_2^o$ );  
в – поле (клас  $X_3^o$ ); з – луки (клас  $X_4^o$ )

Формування вхідної навчальної матриці здійснювалося шляхом зчитування значень яскравості в пікселях рецепторного поля кожного кадру.

Машинне навчання ГІС ідентифікації кадрів здійснювалося за алгоритмом (3) з паралельною оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання. В процесі навчання системи попередньо за наведеним вище алгоритмом було визначено як базовий клас  $X_4^o$  – луки, відносно усередненого вектора-реалізації якого задавалася система контрольних допусків на ознаки розпізнавання.

На рис. 4 показано графік залежності нормованого інформаційного КФЕ (5) від параметра  $\delta$  поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання, одержаний в процесі інформаційно-екстремального машинного навчання.

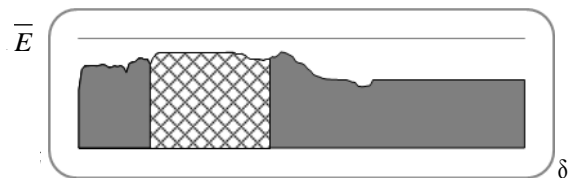


Рис. 4 – Графік залежності КФЕ від параметра поля контрольних допусків

На рис. 4 штрихована ділянка графіку позначає робочу область визначення функції інформаційного критерію (5), в якій виконуються умови:  $D_{1,m} > 0,5$  і  $D_{2,m} > 0,5$ , тобто перша і друга достовірності перевершують відповідно помилки першого і другого роду. Крім того, права межа робочої області визначається за умови

$$d_m < d(x_m \oplus x_c).$$

Аналіз рис. 4 показує, що через наявність в робочій області графіку ділянки типу “плато” визначення максимального усередненого значення інформаційного критерію (5) не є однозначним. Оскільки вибір параметра  $\delta$  поля контрольних допусків суттєво впливає на ступінь перетину класів розпізнавання, то для його визначення у цьому випадку слід скористатися запропонованим в праці [5] так званим коефіцієнтом нечіткої компактності, який має вигляд



$$l_{m,c} = \frac{d_m}{d(x_m \oplus x_c)}. \quad (9)$$

За умови мінімального значення коефіцієнта (9) оптимальний параметр поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання дорівнює  $\delta^* = \pm 28$  градацій яскравості пікселів рецепторного поля кадрів зображень. При цьому максимальне значення усередненого КФЕ дорівнює  $\bar{E}^* = 0,88$ .

На рис. 5 показано результати оптимізації радіусів контейнерів класів розпізнавання при оптимальній системі контрольних допусків.

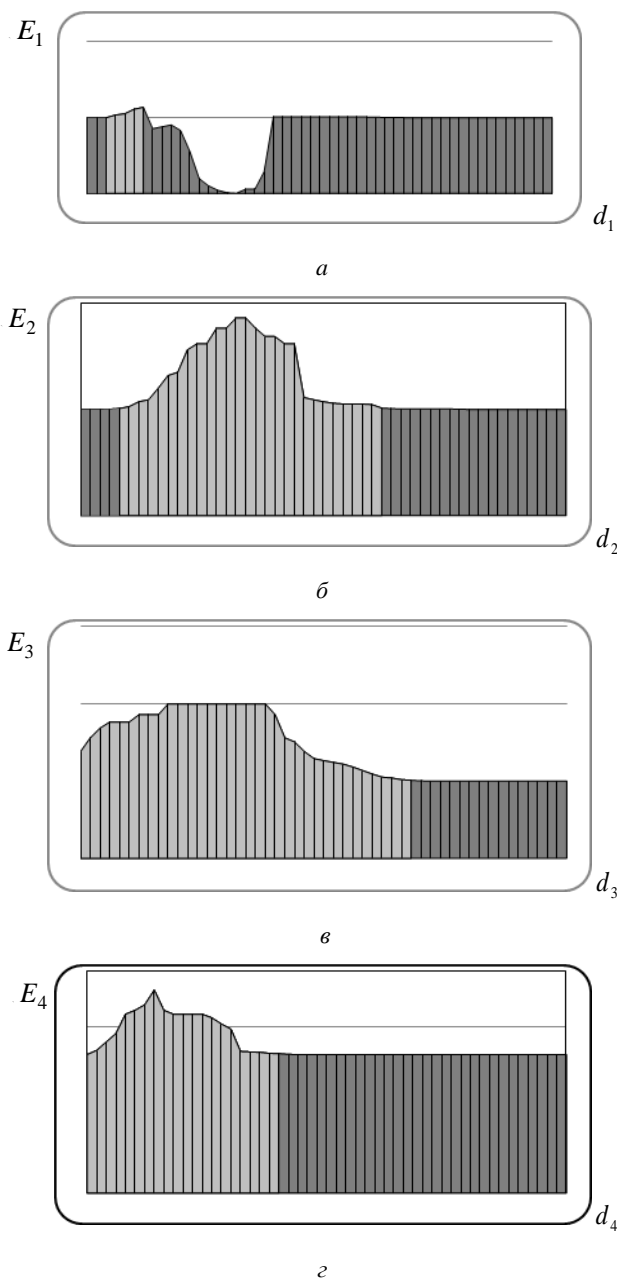


Рис. 5 – Графіки залежності критерію Кульбака від радіусів контейнерів класів розпізнавання: а – клас  $X_1^o$ ; б – клас  $X_2^o$ ; в – клас  $X_3^o$ ; г – клас  $X_4^o$ .

Аналіз рис. 5 показує, що оптимальні радіуси в кодових одиницях контейнерів класів розпізнавання дорівнюють: для класу  $X_1^o$  –  $d_1^* = 7$ , для класу  $X_2^o$  –  $d_2^* = 17$ , для класу  $X_3^o$  –  $d_3^* = 10$ , для класу  $X_4^o$  –  $d_4^* = 8$ .

Оптимальним параметрам контейнерів класів розпізнавання відповідають такі значення КФЕ і точнісних характеристик рішень, що приймаються: для класу  $X_1^o$  –  $E_1^* = 0,58$  (перша достовірність  $D_1^* = 0,82$ , помилка другого роду  $\beta^* = 0,09$ ), для класу  $X_2^o$  –  $E_2^* = 0,92$  ( $D_1^* = 0,96$ ;  $\beta^* = 0,02$ ), для класу  $X_3^o$  –  $E_3^* = 1,00$  ( $D_1^* = 1,00$ ;  $\beta^* = 0$ ) і для класу  $X_4^o$  –  $E_4^* = 0,73$  ( $D_1^* = 0,86$ ;  $\beta^* = 0,03$ ).

В режимі екзамену, тобто безпосередньої ідентифікації кадрів зображення місцевості, було застосовано побудовані на етапі машинного навчання вирішальні правила (6). На рис. 6 показано сформовану в процесі ідентифікації кадрів електронну карту місцевості з позначеними зонами інтересу, де кадри пронумеровано таким чином: 1 – автомагістраль; 2 – ліс; 3 – поле; 4 – луки.



Рис. 6 – Електронна карта місцевості

Аналіз рис. 6 показує, що з найбільшою достовірністю були ідентифіковані кадри «поле» – 0,94 і «луки» – 0,92, а достовірність ідентифікації кадрів «ліс» і «автомагістраль» дорівнює 0,86 і 0,84 відповідно. Основним шляхом підвищення точності ідентифікації кадрів слід розглядати застосування «глибокого» навчання, яке полягає в оптимізації параметрів оброблення зображень.

**Висновки.** На базі інформаційно-екстремального класифікатора розроблено метод інформаційного синтезу ГІС, який дозволяє на етапі машинного навчання побудувати вирішальні правила і на етапі екзамену створити в реальному темпі часу електронну карту місцевості з позначеними зонами інтересу.

Побудовані вирішальні правила не є безпомилковими за навчальною матрицею і для підвищення функціональної ефективності машинного навчання інформаційно-аналітичної системи необхідна оптимі-

зація додаткових параметрів функціонування геоінформаційної системи, включаючи параметри оброблення зображень місцевості.

HZPPBZcQsAQIGw&dpr=1#imgrc=lztQ1BHim75MsM%3A –  
Дата звернення : 14 травня 2017.

## References (transliterated)

- Список літератури**
1. Куссуль Н. Оценка состояния растительности и прогнозирование урожайности озимых культур Украины по спутниковым данным [Текст] / Н. Куссуль, Н. Ильин, С. Скакун, А. Лавренко. – К. : Институт космических исследований НАНУ-НКАУ, 2005. – 25с.
  2. Duda R. O. Pattern Classification : second ed. / R. O. Duda, P. E. Hart, D. G. Stork. – New York : John Wiley & Sons, 2001. – 738 p.
  3. Довбиш А. С. Основи проектування інтелектуальних систем : навч. посіб. / А. С. Довбиш. – Суми : Видавництво СумДУ, 2009. – 171 с.
  4. Довбиш А. С. Інтелектуальні інформаційні технології в електронному навчанні [Текст] / А. С. Довбиш. – Суми : Видавництво СумДУ, 2013. – 172 с.
  5. Изображение аэрофотосъемки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.com.ua/search?q=%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5+%D0%B0%D1%8D%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%81%D1%8A%D0%B5%D0%BC%D0%BA%D0%B8&espv=2&biw=1366&bih=662&tbm=isch&bo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwit8Y7g9TQAhVCDZoKHZPPBZcQsAQIGw&dpr=1#imgrc=lztQ1BHim75MsM%3A> (accessed 14.05.2017).

Надійшла (received) 17.05.20

## Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Геоінформаційна система ідентифікації кадрів при реконструюванні місцевості / О. С. Куценко, Л. Б. Кашцев, М. І. Мироненко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 34–40. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.**

**Геоинформационная система идентификации кадров при реконструировании местности / А. С. Куценко, Л. Б. Кашцев, Н. И. Мироненко // Вестник НТУ «ХПИ». Серія: Системный анализ, управление и информационные технологии. – Харків : НТУ «ХПИ», 2017. – № 28 (1250). – С. 34–40. – Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2079 0023.**

**Geo-informational system of identification the frames for area reconstruction // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology / О. S. Куценко, L. B. Kascheev, M. I. Myronenko // – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 28 (1250). – P. 34–40. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0023.**

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Куценко Олександр Сергійович** – др. техн. наук, професор, завідувач каф. системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua.

**Куценко Александр Сергеевич** – др. техн. наук, професор, заведуючий каф. системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua.

**Kuzenko Oleksandr Sergijovych** – head of computer science department, National Technical University «Kharkiv Politechnic Institute», Kharkiv, Ukraine. e-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua.

**Кашцев Леонід Борисович** – доцент каф. системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: leoborka@rambler.ru.

**Кашцев Леонид Борисович** – доцент каф. системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: leoborka@rambler.ru.

**Kascheev Leonid Borisovych** – assisted of professors of computer science department, National Technical University «Kharkiv Politechnic Institute», Kharkiv, Ukraine. e-mail: leoborka@rambler.ru.

**Мироненко Микита Ігорович** – студент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: nikitam1996@ukr.net.

**Мироненко Никита Игоревич** – студент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: nikitam1996@ukr.net.

**Myronenko Mykyta Igorovych** – student of National Technical University «Kharkiv Politechnic Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: nikitam1996@ukr.net.