

УДК 681.518:004.93.1'



ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛАНУ НАВЧАННЯ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ МАГНІТОКАРДІОГРАМ

А.С. Довбиш¹, С.С. Мартиненко²

¹СумДУ, м. Суми, Україна, kras@id.sumdu.edu.ua

²СумДУ, м. Суми, Україна, smart@unesco.sumdu.edu.ua

У рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології розглядається оптимізація кроку зміни кута кола зчитування яскравості магнітокардіограми у полярній системі координат у процесі навчання системи розпізнавання. Ефективність запропонованого алгоритму досліджено на прикладі розпізнавання магнітокардіограм, одержаних за довільних початкових умов.

СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ, МАГНІТОКАРДІОГРАМА, ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНА ІНТЕЛЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ, ПОЛЯРНІ КООРДИНАТИ

Вступ

Одним із сучасних перспективних методів дослідження стану серцево-судинної системи є магнітокардіографія, яка має вищу діагностичну інформативність у порівнянні з електрокардіографічними зображеннями [1, 2]. Але розпізнавання магнітокардіограм вимагає від лікаря-кардіолога високого професійного рівня та тривалого практичного досвіду. Тому актуальною є задача автоматизації розпізнавання магнітокардіограм. На жаль, відомі результати, наведені, наприклад, у працях [3, 4], не дозволяють одержати необхідну для практичного застосування достовірність розпізнавання. Основними причинами такого стану є:

- відсутність ефективних алгоритмів розпізнавання, що обумовлено довільними початковими умовами формування зображень;
- застосування неоптимальних в інформаційно-розумінні параметрів стиснення та оброблення магнітокардіограм, які суттєво впливають на функціональну ефективність системи розпізнавання.

Одним із перспективних напрямів аналізу і синтезу систем розпізнавання, що навчаються, є використання ідей і методів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технологія), що ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності системи шляхом введення в процесі її навчання додаткових інформаційних обмежень [5-8]. При цьому важливим етапом розпізнавання магнітокардіограм, від якого залежить достовірність розпізнавання, у рамках ІЕІ-технології є формування багатовимірної апріорної у загальному випадку нечіткої навчальної матриці шляхом стиснення та оброблення відеоінформації. Функціональні параметри системи розпізнавання, що формують навчальну матрицю, відносяться до групи параметрів плану навчання, оскільки вони впливають як на структуру алгоритму навчання, так і на функціональну ефективність навчання системи [9, 10]

Одним із підходів до формування навчальної матриці є використання полярної системи коор-

динат [11, 12], яка забезпечує інваріантність алгоритму розпізнавання до геометричних деформацій образу.

У статті запропоновано інформаційно-екстремальний алгоритм оптимізації кроку квантування кута кола зчитування яскравості в пікселях рецепторного поля магнітокардіограм.

1. Постановка задачі

Нехай дано магнітокардіограми, які характеризують різні функціональні стани серцево-судинної системи пацієнта і утворюють алфавіт класів розпізнавання $X_m^o, m = \overline{1, M}$. Відомий вектор-кортеж параметрів функціонування $g_m = \langle x_m, \delta, \Delta_\phi \rangle$, де x_m – еталонний вектор-реалізація, який визначає геометричний центр контейнера класу X_m^o , побудованого в радіальному базисі простору ознак розпізнавання; δ – параметр поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання; Δ_ϕ – крок квантування кута кола зчитування яскравості у відповідних пікселях рецепторного поля магнітокардіограми. При цьому у рамках ІЕІ-технології задано такі обмеження $x_m \in [0; d(x_m \oplus x_c) - 1]$, де x_c – еталонний вектор-реалізація класу X_c^o , який є найближчим до класу X_m^o , $\delta \in [0; \delta_H / 2]$, де δ – нормоване (експлуатаційне) поле допусків на ознаки розпізнавання

На етапі навчання системи розпізнавання необхідно знайти оптимальні значення координат вектора параметрів функціонування g_m , які забезпечують максимальне значення інформаційного критерію функціональної ефективності (КФЕ) навчання системи розпізнавання

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

де E_m – КФЕ навчання системи розпізнавати реалізацію класу X_m^o ; G – область допустимих значень параметрів функціонування.

При цьому з метою побудови на етапі навчання безпомилкових вирішальних правил за оптималь-

ним параметром Δ_ϕ^* сформувати вхідну навчальну матрицю $\|y_{m,i}^{(j)}\|, i=1, \overline{N}, j=1, \overline{n}$, де N, n – кількість ознак розпізнавання в словнику і реалізацій класу X_m^o відповідно.

На етапі екзамени треба прийняти рішення про належність реалізацій, що розпізнаються, до одного із класів заданого алфавіту.

2. Алгоритм оптимізації кроку квантування Δ_ϕ

Як параметр плану навчання системи розпізнавання будемо розглядати крок квантування RGB-складових зображень за кутом кола зчитування яскравості в пікселях рецепторного поля квантування. При цьому оброблення зображень в полярних координатах здійснюється за формулою

$$\Theta_j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \theta_i, \quad (2)$$

де Θ_j – усереднене значення яскравості пікселів, що входять у коло зчитування j -го радіусу, $j = \overline{0, R}$; θ_i – значення яскравості кольорової складової в i -му пікселі; N_j – загальна кількість пікселів в j -му колі зчитування; R – радіус кола зчитування.

Координати пікселя зчитування одержують за формулами $x = r \cos(\phi + \Delta_\phi)$ і $y = r \sin(\phi + \Delta_\phi)$, де ϕ – кут кола зчитування. Аналіз формули (2) показує, що як параметр плану навчання можна обрати крок квантування кола зчитування.

На рис. 1 показано розподіл пікселів на рецепторному полі магнітокардіограм, значення яких зчитувалося у випадках, коли зміна кута зчитування дорівнювала $\Delta_\phi = 1^\circ$ (0,017 рад), $\Delta_\phi = 5^\circ$ (0,087 рад.), $\Delta_\phi = 10^\circ$ (0,174 рад.) і $\Delta_\phi = 15^\circ$ (0,261) відповідно.

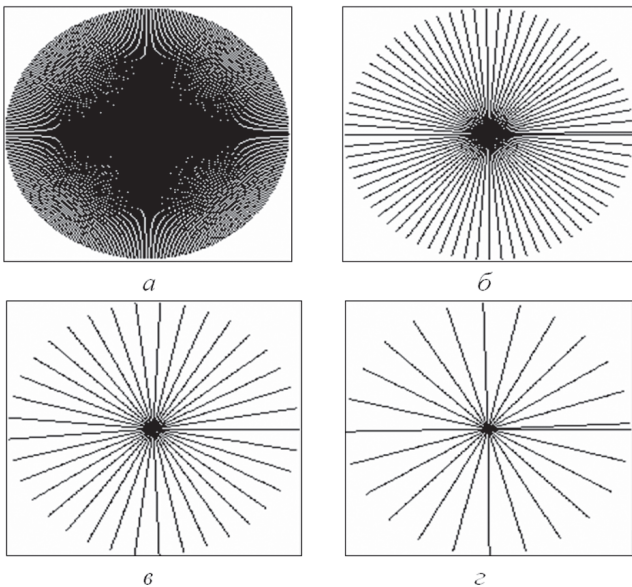


Рис. 1. Розподіл пікселів зображень при обробленні в полярних координатах при різних кроках кутів зчитування:

$a - \Delta_\phi = 1^\circ$, $b - \Delta_\phi = 5^\circ$, $v - \Delta_\phi = 10^\circ$, $z - \Delta_\phi = 15^\circ$

Аналіз рис. 1 показує, що щільність пікселів, з яких зчитується інформація, є нерівномірною. Найбільшою вона є в центрі зображення при $\Delta_\phi = 1^\circ$. Таким чином, відкидання розташованих на периферії рецепторного поля пікселів може зменшити достовірність розпізнавання. З іншого боку, пікселі, які зчитуються при мінімальному кроці квантування кута кола зчитування, можуть давати неінформативні або заважаючі ознаки, що так само знижує достовірність розпізнавання. Тобто маємо задачу параметричної оптимізації.

Після формування вхідної навчальної матриці для заданого алфавіту класів розпізнавання $\{X_m^o | m = \overline{1, M}\}$ запускається інформаційно-екстремальний алгоритм навчання системи розпізнавання з оптимізацією параметра плану навчання Δ_ϕ за такою ітераційною структурованою процедурою

$$\Delta_\phi^* = \arg \min_{G_\phi} \max_{G_\delta} \max_{G_E} \{E\}, \quad (3)$$

де G_ϕ, G_δ, G_E – області допустимих значень крока квантування Δ_ϕ , параметра поля контрольних допусків δ і робоча область визначення функції КФЕ (1).

Ентропійний (за Шенноном) нормований КФЕ навчання системи розпізнавання, наприклад, реалізацій класу X_m^o , може мати вигляд [5]:

$$E_m^{(k)} = 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_m^{(k)}(d)}{\alpha_m^{(k)}(d) + D_{2,m}^{(k)}(d)} \log_2 \frac{\alpha_m^{(k)}(d)}{\alpha_m^{(k)}(d) + D_{2,m}^{(k)}(d)} + \frac{\beta_m^{(k)}(d)}{D_{1,m}^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} \log_2 \frac{\beta_m^{(k)}(d)}{D_{1,m}^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} + \frac{D_{1,m}^{(k)}(d)}{D_{1,m}^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} \log_2 \frac{D_{1,m}^{(k)}(d)}{D_{1,m}^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} + \frac{D_{2,m}^{(k)}(d)}{\alpha_m^{(k)}(d) + D_{2,m}^{(k)}(d)} \log_2 \frac{D_{2,m}^{(k)}(d)}{\alpha_m^{(k)}(d) + D_{2,m}^{(k)}(d)} \right), \quad (4)$$

де $\alpha_m^{(k)}(d)$ – помилка першого роду прийняття рішення на k -му кроці навчання; $\beta_m^{(k)}(d)$ – помилка другого роду; $D_{1,m}^{(k)}(d)$ – перша достовірність; $D_{2,m}^{(k)}(d)$ – друга достовірність; d – дистанційна міра, яка визначає радіуси гіперсферичних контейнерів, побудованих в радіальному базисі простору ознак розпізнавання.

3. Приклад розпізнавання магнітокардіограм

Як вхідні зображення розглядалися магнітокардіограми трьох класів (рис. 2), які характеризували нормальний стан серцево-судинної системи пацієнта, ішемічну хворобу та шуми в серці.

Оброблення магнітокардіограм цих класів здійснювалося в полярних координатах за формулою (2), що забезпечує інваріантність алгоритму розпізнавання до зсуву, повороту та зміни масштабу зображень. У результаті було одержано спектри

яскравості для трьох RGB-складових кольорових зображень магнітокардіограм. На рис. 3 показано спектри яскравості RGB-складових, одержані при обробленні магнітокардіограми класу X_2^o , що характеризує ішемічну хворобу серця.

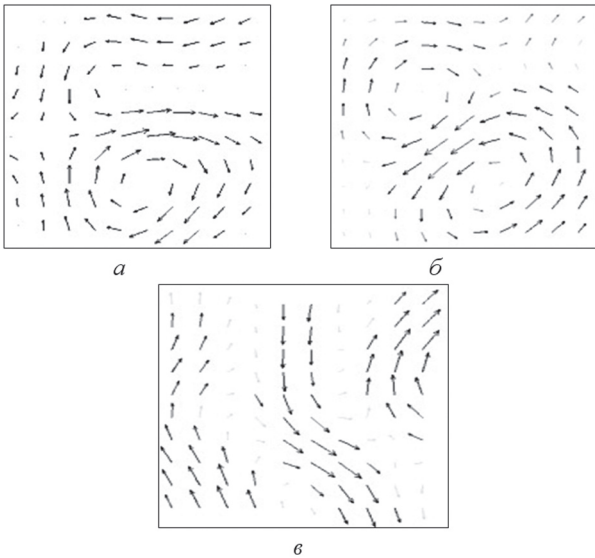


Рис. 2. Зображення магнітокардіограм: *a* — нормальний стан (клас X_1^o); *b* — ішемія (клас X_2^o); *c* — шуми в серці (клас X_3^o)

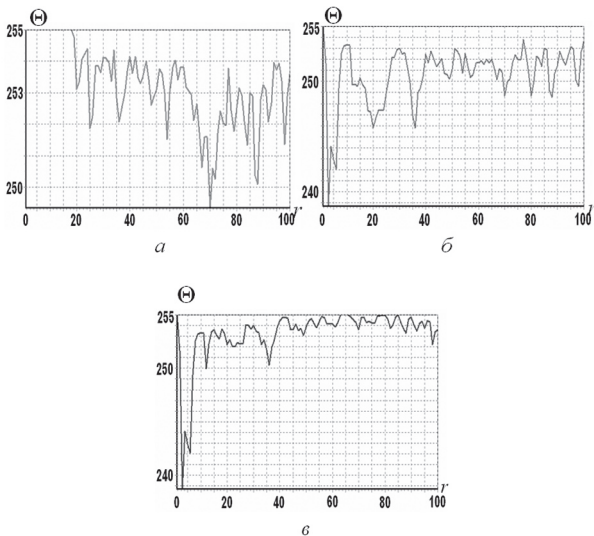


Рис. 3. Спектри яскравості для класу X_2^o : *a* — червона складова; *b* — зелена складова; *c* — синя складова

Дискретні спектри RGB-складових магнітокардіограм формують структурований вектор-реалізацію відповідного класу. Після формування навчальної матриці $\|y_{m,i}^{(j)}\|$, рядками якої є вектори-реалізації класу X_m^o , а стовпчиками — навчальна вибірка випадкових значень *i*-ої ознаки, було реалізовано алгоритм навчання (3) для значень кроку квантування кута зчитування, наведених на рис. 1. На рис. 4 подано динаміку зміни значення усеред-

неного критерію функціональної ефективності від параметру плану навчання — кроку квантування кута зчитування.

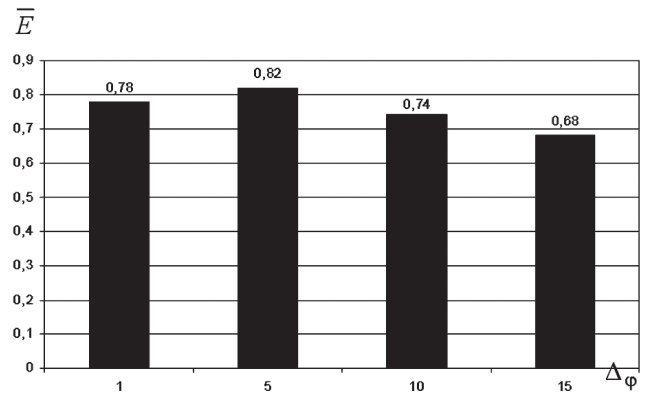


Рис. 4. Графік зміни усередненого КФЕ від значення кроку квантування кута зчитування

Аналіз рис. 4 показує, що усереднений критерій функціональної ефективності досягає свого максимуму при значенні кроку квантування $\Delta\varphi = 5^\circ$. При цьому усереднене значення КФЕ дорівнює $\bar{E}^* = 0,82$. На рис. 5 показано графіки залежності КФЕ від радіусу контейнера для кожного з класів при оптимальному параметрі плану навчання $\Delta\varphi = 5^\circ$.

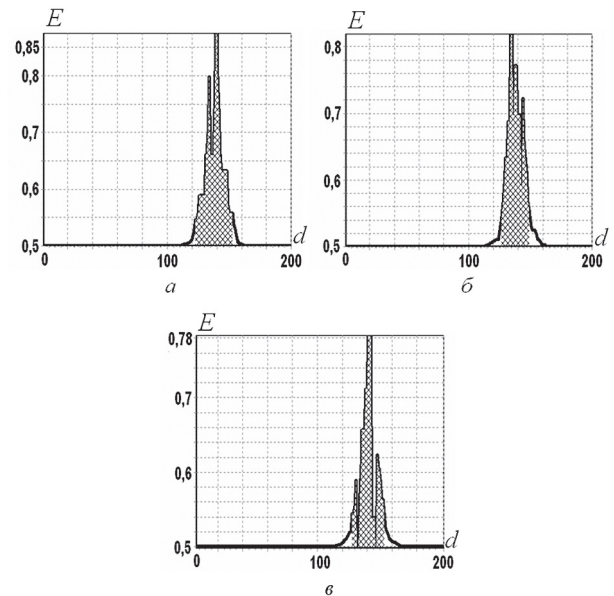


Рис. 5. Графік залежності КФЕ від радіусів контейнерів класів: а) клас X_1^o ; б) клас X_2^o ; в) клас X_3^o

У цьому випадку оптимальними геометричними параметрами контейнерів класів розпізнавання при визначених в процесі оптимізації еталонних векторах-реалізаціях відповідних класів є: для класу X_1^o оптимальний радіус контейнера дорівнює $d^* = 143$ ($E_1^* = 0,86$); для класу X_2^o — $d^* = 126$ ($E_2^* = 0,82$) і для класу X_3^o — $d^* = 132$ ($E_3^* = 0,78$).

Після побудови на етапі навчання оптимальних вирішальних правил було реалізовано алгоритм

екзамену, який полягав у обчисленні функцій належності реалізації образу, що розпізнається, до класів із заданого алфавіту [6]. Віднесення реалізації, що розпізнається, до відповідного класу здійснювалося за максимальним значенням функції належності. Априорно було відомо, що реалізація, що розпізнавалася на екзамені, належала класу X_1^o (рис. 6) і відрізнялася від аналогічної реалізації, показаної на рис. 2.

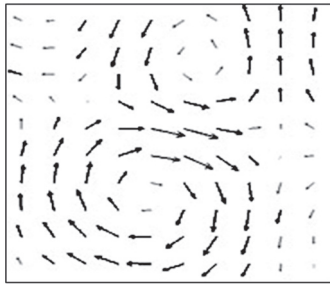


Рис. 6. Зображення класу X_1^o

У результаті було встановлено, що зображення, проказане на рис. 6, дійсно належить до класу X_1^o , оскільки функція належності для цього класу є додальною і більшою, ніж для інших класів

$$\bar{\mu}_1^* = \max_{\{m=1,2,3\}} \bar{\mu}_m = \max \left\{ \begin{matrix} 39,22; & -41,57; & -22,90 \\ x_1^o & x_2^o & x_3^o \end{matrix} \right\}.$$

Таким чином, оптимізація параметрів плану навчання у рамках ІЕІ-технології дозволяє суттєво підвищити достовірність розпізнавання зображень.

Висновки

1. Розроблено та досліджено алгоритм оптимізації кроку квантування кута кола зчитування яскравості у пікселях рецепторного поля, що дозволило підвищити асимптотичну достовірність розпізнавання магнітокардіограм.

2. Оброблення вхідних зображень у полярній системі координат на етапі формування вхідної вибірки дозволяє забезпечити інваріантність алгоритму розпізнавання до зсуву, повороту та зміни масштабу зображень.

Список літератури: 1. В. Hailer, P. Van Leeuwen, S. Lange, I. Chaikovsky, D. Gronemeyer. Magnetocardiography in hypertensive and coronary artery disease. International Congress Series 2007; 1300 : 488-451. 2. Embrechts M., Szymanski B., Sternickel K., Naenna T., Bragaspathi R. Use of machine learning for classification of magnetocardiograms. Proc. IEEE Conference on System, Man and Cybernetics; Washington DC, October 2003. p. 1400-5. 3. Fenici R., Brisinda D., Meloni AM. Effects of Filtering on Computer-Aided Analysis for Detection of Chronic Ischemic Heart Disease with Unshielded Rest Magnetocardiographic Mapping. Neurology and Clinical Neurophysiology (November 30, 2004) 2004:7. 4. Tantimongcolwat T., Naenna T., Isarankura-Na-

Ayudhya C., Embrechts M.J., Prachayasittikul V. Identification of ischemic heart disease via machine learning analysis on magnetocardiograms, Computers in Biology and Medicine, 38 (7), 2008, pp. 817-825. 5. Краснопоясовський, А.С. Інформаційний синтез інтелектуальних систем керування, що навчаються: Підхід, що ґрунтується на методі функціонально-статистичних випробувань [Текст] / А.С. Краснопоясовський. – Суми: Видавництво СумДУ. – 2003. – 257 с. 6. Довбиш, А.С. Основи проектування інтелектуальних систем: Навчальний посібник [Текст] / А.С. Довбиш. – Суми: Видавництво Сум ДУ, 2009. – 171 с. 7. Довбиш, А.С. Інформаційно-екстремальний метод розпізнавання електрограм [Текст] / А.С. Довбиш, С.С. Мартиненко // Вісник СумДУ. Технічні науки. – 2009. – №2. – С. 85-92. 8. Довбиш, А.С. Інтелектуальна система діагностування онкопатологій [Текст] / А.С. Довбиш, О.П. Чекалов, С.С. Мартиненко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків «ХАІ» 2009. – №3. – С. 78-83. 9. Дмитриев, А. К. Основы теории построения и контроля сложных систем [Текст] / А.К. Дмитриев, П.А. Мальцев. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 192 с. 10. Краснопоясовський, А.С. Оптимізація кроку дискретизації реалізації образу в інтелектуальних системах [Текст] / А.С. Краснопоясовський, С.О. Заговора, М.В. Козинець // Управляющие системы и машины. – 2003. – № 1. – С. 42-47. 11. Анисимов, Б.В. Распознавание и цифровая обработка изображений [Текст] / Б.В. Анисимов, В.Д. Курганов, В.К. Злобин. – М.: Высшая школа, 1983. – 256 с. 12. Довбиш, А.С. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень для діагностування онкопатологій [Текст] / А.С. Довбиш, В.О. Жаловага // Вісник СумДУ. Серія: Технічні науки. – 2009. – № 3. – С. 5-12.

Надійшла до редколегії 10.09.2010.

УДК 681.518:004.93.1'

Оптимизация параметров плана обучения системы распознавания магнитокардиограмм / А.С. Довбыш, С.С. Мартиненко // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – 2010. – № 3 (74). – С. 129–132.

Рассматривается в рамках информационно-экстремальной интеллектуальной технологии оптимизация шага изменения угла окружности считывания яркости магнитокардиограммы в полярной системе координат в процессе обучения системы распознавания. Эффективность предложенного алгоритма исследована на примере распознавания магнитокардиограмм, полученных при произвольных начальных условиях.

Ил. 6. Библиогр.: 6 назв.

UDC 681.518:004.93.1'

Optimization of parameters of learning plan of magnetocardiograms recognition system / A.S. Dovbysh, S.S. Martynenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2010. – № 3 (74). – P. 129–132.

Article presents results of optimization of parameter of angle changing of brightness scanning circle of magnetocardiogram in polar coordinates in process of recognition system learning in bounds of information-extreme intellectual technology. Efficiency of algorithm is researched on example of magnetocardiograms recognition, gained in random starting conditions.

Fig. 6. Ref.: 6 items.