

Харківський національний університет радіоелектроніки

Карпенко Анжела Петрівна

УДК 004.932.2.001.36:616.12-073.7

**ОЦІНКИ РОЗХОДЖЕННЯ МІЖ ЗОБРАЖЕННЯМИ
ТА МЕТОДИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ЗАДАЧАХ
РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ**

05.13.23 — системи та засоби штучного інтелекту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків 2003

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Сумському державному університеті, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент Авраменко Віктор Васильович, Сумський державний університет, доцент кафедри інформатики.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор Фоменко Олег Миколайович, Харківський військовий університет, професор кафедри керування та зв'язку;
- кандидат технічних наук Шостак Ігор Володимирович, Національний аерокосмічний університет ім. М.С.Жуковського „Харківський авіаційний інститут”, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем.

Провідна установа:

Донецький державний інститут штучного інтелекту, відділ розпізнавання зорових образів, Національна академія наук України та Міністерство освіти і науки України.

Захист відбудеться 22 жовтня 2003 р. о 15-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.01 в Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою:

61166, м. Харків, пр. Леніна, 14, тел. (0572) 702-14-51.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки (61166, м. Харків, пр. Леніна, 14).

Автореферат розісланий “19” вересня 2003 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

В.І. Саєнко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розпізнавання та аналіз зображень є важливим напрямком штучного інтелекту. Різноманітність і постійне ускладнення практичних задач вимагають розроблення нових і удосконалення існуючих методів. В основу багатьох існуючих методів покладені числові характеристики, що являють собою міру схожості або розходження між зображеннями. Найчастіше використовуються кореляційні оцінки, різні види відстаней - евклідова, Хемінга, Махаланобіса, тангенціальна, визначення косинуса кута між векторами, що відповідають зображенням, міри Кульбака, Колмогорова, Бхачатарія та ін. На основі цих характеристик здійснюються класифікація, ідентифікація і дослідження об'єктів.

Значний внесок у розвиток систем та засобів штучного інтелекту зробили вітчизняні та зарубешні вчені: М.Ф. Бондаренко, В.І. Васильєв, Т.К. Вінцюк, В.В. Грицик, М.В. Завалішин, О.Г. Івахненко, І.Б. Мучнік, Є.П. Путятін, О.Г. Руденко, Б.П. Русін, І.Б. Сіроджа, Ю.П. Шабанов-Кушнарєнко, М.І. Шлезингер, Н. Bunke, R. Duda, U. Grenander, R. Gonzales, P. Hart, V. Horn, M. Hu, I. Richardson, S. Watanabe та ін.

Зображення об'єктів розпізнавання та аналізу можуть мати складну структуру і являти собою результат перетворень еталонних зображень або їх фрагментів: перетворень повороту, зсуву, розтягнення, інверсії, накладення та ін. Для того щоб встановити, які саме фрагменти еталонів наявні в зображеннях, що аналізуються, необхідні методи, які водночас дозволяють проводити локальний аналіз та спрямовані на перехід до системи ознак, інваріантних до зазначених перетворень.

Зображення досить широкого класу об'єктів розпізнавання можуть бути представлені числовими функціями однієї змінної. Серед них виділяється клас зображень, що породжені в результаті поліноміального, а як окремий випадок, лінійного, степенєвого чи пропорційного перетворень деяких еталонних зображень. Параметри цих перетворень у загальному випадку апріорно невідомі. До таких задач відносять, наприклад, аналіз електрокардіограм в умовах неможливості вимірювання характеристик провідного середовища, розпізнавання зорових і слухових образів, що являють собою накладені один на інший фрагменти еталонних зображень з невідомими ваговими коефіцієнтами, інтерпретацію сигналів, що спотворені при проходженні через нелінійні об'єкти, наприклад, канали телеметрії, підсилювачі, перетворювачі, параметри яких невідомі та ін. Становить науковий і практичний інтерес можливість локального аналізу та розпізнавання без необхідності визначення параметрів перетворень, що розширює можливості розпізнавання та значно скорочує обсяг обчислень.

Існує ще один клас зображень, представлених числовими функціями, а саме законами розподілу однієї чи системи випадкових величин. Наприклад, за допомогою законів розподілу описуються контрольовані випадкові параметри технологічного процесу, біомедичні параметри та ін. Для кількісного опису таких зображень з метою встановлення належності заданим образам, дослідження ста-

тистичного взаємозв'язку між законами розподілу, що змінюються в часі, та іншими контрольованими параметрами, необхідні інтегральні числові характеристики, що кількісно описували б такі зображення і були б чутливі до будь-яких змін законів розподілу.

За один з об'єктів дослідження обраний кардіосигнал, який можна описувати як за допомогою детермінованої числової функції однієї змінної - часу, так і за допомогою функцій щільності розподілу контрольованих випадкових параметрів ЕКГ - тривалості усього серцевого циклу, окремих його фаз, величини відхилення деяких сегментів від ізолінії та ін., поведінка яких може змінюватися з часом. Використання розроблених в дисертаційній роботі методів аналізу та розпізнавання зображень при аналізі ЕКГ дозволяє виявляти та кількісно описувати порушення в міокарді та досліджувати динаміку їх змін, що сприяє розширенню діагностичних можливостей методу електрокардіографії.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до плану науково-дослідних робіт СумДУ в рамках держбюджетної теми "Вивчення стану здоров'я дитячого і дорослого населення Сумської області в умовах впливу несприятливих соціальних, економічних і екологічних факторів" (№0101U002098, виконавець).

Мета та задачі дослідження. *Метою роботи* є розроблення нових числових характеристик, що дозволяють оцінювати величину розходження між зображеннями, представленими числовими функціями одного параметра та законами розподілу випадкових величин, і методів їх використання при розв'язанні практичних задач, зокрема аналізі ЕКГ.

Відповідно до зазначеної мети визначені *задачі дослідження*:

1. На основі характеристик непропорційності числових функцій одного параметра розробити методи локального оцінювання величини розходження між зображеннями, що отримані в результаті поліноміального перетворення еталонних зображень. Для цього:

— розробити теоретичні основи класифікації зображень на образи за допомогою характеристик непропорційності;

— провести математичний аналіз властивостей інваріантності характеристик непропорційності до коефіцієнтів поліноміального перетворення та його окремих випадків;

— на основі характеристик непропорційностей розробити алгоритми структурно-інваріантного аналізу складних зображень з метою виділення в ньому фрагментів еталонних зображень.

2. Розробити методи розпізнавання образів, які засновані на інтегральному оцінюванні величини розходження між зображеннями, представленими законами розподілу випадкових величин. Для цього:

— розробити нові числові характеристики, що дозволяють кількісно описувати як зміну вигляду кривої щільності розподілу (форми графіка), так і її положення на числовій осі, тобто які узагальнюють властивості ентропії і математичного очікування; провести математичний аналіз властивостей цих характеристик;

— на базі узагальнених числових характеристик розробити оцінки розходження законів розподілу випадкової величини; провести дослідження цих характеристик;

— розробити методики використання узагальнених числових характеристик і оцінок розходження законів розподілу при розв'язанні діагностичних задач.

3. Створити методики і програмні засоби, призначені для аналізу ЕКГ за допомогою нових розроблених числових характеристик.

Об'єкт дослідження – процес аналізу та розпізнавання візуальних зображень, акустичних, електрокардіографічних, радіо- і телеметричних сигналів та технологічних процесів.

Предмет дослідження – оцінки розходження між зображеннями та методи їх використання при локальному та інтегральному аналізі та розпізнаванні зображень, представлених числовими функціями.

Методи дослідження - статистичні (дослідження кореляційних взаємозв'язків), чисельні методи (обчислення похідних і інтегралів), нові методи, розроблені на основі запропонованих в дисертації оцінок (оцінювання величини розходження між зображеннями), імітаційне моделювання (аналіз властивостей розроблених оцінок, моделювання роботи технічних об'єктів).

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше запропоновані структурно-інваріантні методи локального аналізу і розпізнавання складних зображень, які розроблені на основі характеристик непропорційності. Ці характеристики є локальними та інваріантними до значень невідомих коефіцієнтів пропорційного, лінійного, степеневого або в загальному випадку поліноміального перетворень, що дозволяє визначати, які фрагменти еталонних зображень і за яких значень аргументу можуть мати місце в аналізованому зображенні.

2. Вперше запропоновані нові числові характеристики - інтегральні непропорційності, обчислені на поточному інтервалі. Ці характеристики дозволяють подібно до непропорційностей оцінювати величину розходження залежності між двома числовими функціями одного параметра від пропорційної і не мають обмежень у використанні, які мають місце для непропорційностей.

3. Вперше розроблена та досліджена нова оцінка - інформаційна узагальнена числова характеристика випадкової величини (GI). Ця характеристика є інтегральною, має інформаційну розмірність, а її значення змінюється за будь-яких змін закону розподілу. На її основі отримана абсолютна узагальнена числова характеристика (GA), що має розмірність випадкової величини. Використання цих характеристик дозволяє кількісно оцінювати розходження між законами розподілу випадкових величин.

Практичне значення отриманих результатів. На основі запропонованих методів використання характеристик непропорційностей та інтегральних характеристик непропорційностей розроблені алгоритми структурного розпізнавання складних зображень. Розглянуті випадки, коли зображення складаються з фрагментів еталонів, що зазнають лінійного або нелінійного перетворення,

коефіцієнти яких невідомі. Розпізнавання дозволяє виділити фрагменти еталонів в аналізованому складному зображенні і не потребує визначення невідомих коефіцієнтів. Зокрема, інваріантність запропонованих методів дозволяє обробляти ЕКГ, зняті при різних коефіцієнтах підсилення електрокардіографа, а можливість здійснювати локальний аналіз ЕКГ є особливо важливою, тому що кожній точці кривої ЕКГ відповідає певна фаза фізіологічного процесу в серці.

Використання інформаційної та абсолютної узагальнених характеристик випадкової величини дозволяє перейти від двовимірної функції $f(x, t)$ до одновимірної $GI(t)$ або $GA(t)$, що суттєво спрощує дослідження статистичного взаємозв'язку між щільностями розподілу випадкових величин, які змінюються в часі.

Використання абсолютної узагальненої характеристики та її модифікованого варіанта при аналізі ЕКГ дозволяє виявляти і кількісно оцінювати ступінь виразності ознак субендокардіальної і субепікардіальної ішемії, виявляти порушення в тривалості електричної систоли, визначати взаємозв'язок з іншими параметрами, наприклад, рівнем фізичного навантаження, дозою введених ліків, досліджувати динаміку виявлених порушень та ін.

Розроблено дослідницький пакет програм, призначених для аналізу ЕКГ на основі характеристик непропорційності. На базі розроблених методів використання узагальненої числової характеристики створене програмне забезпечення "*STart*", що являє собою додатковий компонент до програми автоматичного аналізу ЕКГ "*Iкар*". Програма "*STart*" дозволяє одержувати додаткову інформацію про поведінку сегмента *ST*, застосовану для діагностики ішемії міокарда. Ці програми використовуються кардіологами лінійної поліклініки ст. Суми (акт від 15.03.2002) і на кафедрі терапії медичного факультету СумДУ (акт від 9.10.2002).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана самостійно. У спільних публікаціях авторові належить розроблення нового методу локального аналізу та розпізнавання зображень на основі застосування характеристик непропорційностей та інтегральних характеристик непропорційностей, а саме: дослідження інваріантних властивостей характеристик непропорційностей та внутрішньокласових і міжкласових відношень між елементами [16]; розроблення та програмна реалізація алгоритмів структурно-інваріантного розпізнавання складних зображень [4, 8, 13]. У роботах [1, 2, 3, 14] відображенні основні результати роботи автора над розробленням, аналізом, дослідженням властивостей і застосуванням у технічній діагностиці нових оцінок - інформаційної та абсолютної узагальнених числових характеристик випадкової величини. У [7, 11, 15] розроблені методики використання абсолютної узагальненої характеристики випадкової величини та інтегральних характеристик при аналізі ЕКГ [10].

Апробація результатів дисертації. Результати дисертації викладено, обговорено та схвалено на 3-му та 5-му Міжнародних форумах "Радіоелектроніка і молодь у XXI ст." (Харків, 1999, 2001); II Міжнародній науково-практичній конференції "Информационные технологии в моделировании и

управлении" (С.-Петербург, 2000); 6-й Міжнародній конференції "Теория и техника передачи, приема и обработки информации", (Харків, ХТУРЕ, 2000); Науково-технічних конференціях викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фізико-технічного факультету СумДУ (Суми, 1997, 2000, 2001).

Публікації. Матеріали дисертації опубліковані в 16 наукових працях: 9 статей (у тому числі 6 в наукових фахових виданнях згідно з переліком ВАК України) і 7 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та семи додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 175 сторінок, у тому числі 27 окремих сторінок займають рисунки та таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, основні задачі і наукову новизну отриманих результатів. Розглянуто практичне значення та впровадження результатів дисертації, наведено відомості про публікації та апробацію роботи.

Перший розділ дисертації присвячено огляду відомих методів розпізнавання образів, в основу яких покладенні числові характеристики, що дозволяють оцінювати ступінь схожості чи розходження аналізованого зображення та еталонного. На основі аналізу виділені два підходи. Перший заснований на впізнаванні зображення в цілому. У цьому випадку використовуються оцінки, що обчислюються на основі інтегрального сприйняття інформації про зображення. Але існує ряд задач розпізнавання образів, в яких відмінність між об'єктами локалізується в окремих частинах, деталях, інформативних фрагментах об'єктів. У цьому випадку застосовується другий підхід, що ґрунтується на виділенні локальних характерних ознак. Зроблено огляд методів, спрямованих на створення інваріантних описів вхідних зображень, а також методів структурного та синтаксичного аналізу складних зображень.

У роботі *розглянуто два види зображень*: зображення, описані детермінованими функціями одного параметра виду $x(t)$ і щільностями розподілу випадкових величин. Наведено приклади, коли аналізоване зображення, представлене функцією виду $x(t)$, не можна однозначно віднести до жодного з еталонів, тому що окремі області цього зображення можуть відповідати фрагментам різних еталонів (рис. 1). Крім того, фрагменти зображення можуть знаходитися у певній функціональній залежності з відповідними фрагментами еталонів: відрізнятися на невідомий масштабний множник, являти собою суму чи огинаючу фрагментів еталонів з невідомими ваговими коефіцієнтами, знаходитися в поліноміальній залежності, коефіцієнти якої невідомі та ін. Це характерно при аналізі і розпізнаванні зображень, що являють собою фрагменти кардіосигналів, розпізнаванні зорових чи слухових образів,

розпізнаванні недоступних для контролю вхідних сигналів по доступних вихідних сигналах пристроїв з лінійною або нелінійною характеристикою вхід-вихід та ін.

Рис.1 Приклад зображення $x(t)$, що представлено в полярній системі координат, окремі області якого схожі с різними еталонами $x_{em1}(t)$ и $x_{em2}(t)$

Існують практичні задачі, для розв'язання яких необхідно інтегральне оцінювання величини розходження між зображеннями, що подані щільностями розподілу контрольованих параметрів. Це необхідно, наприклад, при встановленні, чи відповідає поточний стан технологічного процесу еталонному стану або на скільки медичні показники обстежуваного відхиляються від норми. На основі проведеного аналізу сформульовані вимоги до оцінки розходження між законами розподілу: вона водночас повинна бути інтегральною, чутливою до будь-яких змін законів розподілу (як змін форми графіка, так і положення на числовій осі) та мати інформаційну розмірність. Серед існуючих оцінок розходження така знайдена не була.

Таким чином, в дисертації визначено *два напрями досліджень*:

- розроблення структурно-інваріантного методу локального оцінювання величини розходження між зображеннями, представленими функціями одного параметра;
- розроблення методу інтегрального оцінювання величини розходження між зображеннями, поданими законами розподілу випадкової величини.

У другому розділі, відповідно до *першого напрямку* досліджень, за критерії схожості (розходження) зображень використані непропорційності при параметричному представленні функцій (непропорційності n -го порядку за похідною (1), за значенням (2), відносна (3), m -непроційність за похідною n -го порядку (4)):

$$@ d_{x(t)}^{(n)} y(t) = \frac{y(t)}{x^n(t)} - \frac{1}{n!} \frac{y_t^{(n)}(t)}{x_t^{(n)}(t)}, \quad (1)$$

$$@ v_{x(t)}^{(n)} y(t) = y(t) - \frac{x^n(t)}{n!} \frac{y_t^{(n)}(t)}{x_t^{(n)}(t)}, \quad (2)$$

$$@ N_{x(t)}^{(n)} y(t) = 1 - \frac{x^n(t)}{n! y(t)} \frac{y_t^{(n)}(t)}{x_t^{(n)}(t)}, \quad (3)$$

$$@ (m) @ d_{x(t)}^{(n)} y(t) = \underbrace{@ d_{x(t)}^{(n)} \dots @ d_{x(t)}^{(n)}}_{m \text{ раз}} y(t), \quad (4)$$

де $n \in N$. Оцінки (1-3) дорівнюють нулю для тих значень параметра t , для яких залежність має вигляд $y(t) = kx^n(t)$, а оцінка (4) набуває нульового значення при поліноміальній залежності між функціями $y(t)$ і $x(t)$ вигляду $y(t) = \sum_{i=1}^n k_i x^i(t)$ за будь-яких значень коефіцієнтів цих залежностей. Ці характеристики

дозволяють локально (для заданого значення параметра t) оцінювати ступінь схожості чи розходження двох зображень, представлених числовими функціями $y(t)$ і $x(t)$.

У результаті теоретичного аналізу виділено три види інваріантності локального критерію схожості (розходження) зображень $x_1(t)$ та $x_2(t)$ (рис.2). Критерій $\Phi(x_1(t), x_2(t)) \in$:

– *інваріантним*, якщо $\Phi(x(t), x_{em}(t)) = 0 \Leftrightarrow x(t) \in A$, де A - клас (образ), який визначає еталон $x_{em}(t)$;

– *інваріантним 1-го роду*, якщо: $\Phi(x_1(t), x_2(t)) = 0 \Leftrightarrow x_1(t), x_2(t) \in A$; та

$\forall x_1(t) \in A, \forall x_2(t) \in B, A \neq B \Rightarrow \Phi(x_1(t), x_2(t)) = \Phi(x_{em1}(t), x_{em2}(t)) = c(t) \neq 0$;

– *інваріантним 2-го роду*, якщо: $\Phi(x_1(t), x_2(t)) = 0 \Leftrightarrow x_1(t), x_2(t) \in A$; та

$\forall x_2(t) \in B$ та визначено $x_1(t) \in A, A \neq B \Rightarrow \Phi(x_1(t), x_2(t)) = c(t)$.

Рис. 2. Взаємозв'язок між видами інваріантності критерію схожості зображень

На базі оцінок (1-4) розроблені інтегральні характеристики непропорційності числових функцій (за похідною (5), за значенням (6) та відносна (7)):

$$@ d_{I_x(t_0,t)}^{(1)} I_y(t_0,t) = \frac{I_y(t_0,t)}{I_x(t_0,t)} - \frac{y(t)}{x(t)}, \quad (5)$$

$$@ v_{I_x(t_0,t)}^{(1)} I_y(t_0,t) = I_y(t_0,t) - I_x(t_0,t) \frac{y(t)}{x(t)}, \quad (6)$$

$$@ N_{I_x(t_0,t)}^{(1)} I_y(t_0,t) = 1 - \frac{I_x(t_0,t)}{I_y(t_0,t)} \cdot \frac{y(t)}{x(t)}. \quad (7)$$

$I_x(t_0,t)$ та $I_y(t_0,t)$ - інтеграли від функцій $x(t)$ і $y(t)$, що обчислені на поточному інтервалі (t_0,t) . Характеристики (5 - 7) дозволяють оцінювати відмінність залежності між числовими функціями від пропорційної на поточному інтервалі (t_0,t) і не мають обмежень у використанні, які притаманні характеристикам (1 - 3) у зв'язку з тим, що похідні не завжди існують або їх значення можуть наближатися до нуля. Досліджено властивості оцінок (5 - 7), описано спосіб їх практичного обчислення.

Проведено математичний аналіз властивостей інваріантності оцінок (1 - 7) до коефіцієнтів перетворень. Встановлена інваріантність оцінок (1 - 3) відносно до степеневого, оцінки (4) - відносно поліноміального, а оцінок (5 - 7) - відносно пропорційного перетворення. Крім того, виявлені властивості інваріантності 2-го роду оцінок (2) та (6) та інваріантності 1-го роду у (3) та (7) щодо пропорційного перетворення. За допомогою характеристик непропорційності досліджений взаємозв'язок як між елементами одного образу, так і між елементами різних образів. Математично доведено 10 тверджень, що встановлюють ці взаємозв'язки. За допомогою характеристик непропорційності (1 - 4) показано, що пропорційне, степеневе та поліноміальне відображення зображень задають на множині

числових функцій відношення, що розбивають цю множину на неперетинані один одного класи еквівалентності.

Розроблені усереднені абсолютні непропорційності: $\frac{1}{T} \int |\Phi(x(t), y(t))| dt$, де $\Phi(x(t), y(t))$ - будь-яка з оцінок (1-7). Ці оцінки дозволяють оцінювати величину розбіжності зображень на деякому інтервалі T та мають інваріантність покладених у їхню основу відповідних локальних характеристик.

Відповідно до другого напрямку, розроблені нові оцінки - інформаційна і абсолютна узагальнені числові характеристики випадкової величини:

$$GI[x, t] = \int_{f(x,t) > \lambda} \frac{1}{|x|} \log \frac{f(x,t)}{\lambda} dx, \quad GA[x, t] = \frac{\int_{f(x,t) > \lambda} \log \frac{f(x,t)}{\lambda} dx}{\int_{f(x,t) > \lambda} \frac{1}{|x|} \log \frac{f(x,t)}{\lambda} dx},$$

де λ - похибка виміру щільності розподілу $f(x, t)$. Характеристики GI (generalized information) і GA (generalized absolute) узагальнюють деякі властивості ентропії і математичного очікування. Вони інтегральні, перша вимірюється в одиницях виміру кількості інформації, друга - в одиницях виміру випадкової величини. Проведено дослідження поведінки GI та GA на прикладах рівномірного, нормального, симетричного одномодального законів та β -розподілу при зміні параметрів цих законів. Значення цих оцінок змінюються за будь-яких змін графіків щільності розподілу. Встановлен тісний статистичний взаємозв'язок ($r \approx 0.98$) між значеннями узагальнених характеристик та іншими оцінками - математичним очікуванням, дисперсією, асиметрією та ін.

Інформаційна розмірність характеристики GI дозволяє використовувати її для системи випадкових величин, що описуються щільностями розподілу. Для системи двох залежних випадкових величин

$$GI[X, Y] = \int_{f(x) > \lambda_x} \frac{1}{|x|} \log \frac{f(x)}{\lambda_x} dx + \int_{f(y/x) > \lambda_y} \frac{1}{|y|} \log \frac{f(y/x)}{\lambda_y} dy,$$

тут $f(y/x)$ - умовна щільність розподілу; λ_y має той самий зміст для $f(y/x)$, що λ_x для $f(x)$. Для системи незалежних випадкових величин X_1, X_2, \dots, X_n $GI[X_1, X_2, \dots, X_n] = \sum_{j=1}^n GI[X_j]$.

Запропоновані оцінки величини розходження між зображеннями, що представлені законами розподілу випадкової величини: інформаційна $Iv[f_1(x, t_1), f_2(x, t_2), \lambda] = |GI[f_2(x, t_2), \lambda] - GI[f_1(x, t_1), \lambda]|$, та абсолютна $Av[f_1(x, t_1), f_2(x, t_2), \lambda] = |GA[f_2(x, t_2), \lambda] - GA[f_1(x, t_1), \lambda]|$. Перевірено та встановлено, що для оцінок Iv та Av виконуються усі вимоги до відстані (невід'ємність; правило трикутника; якщо $f_1(x) = f_2(x)$, то $Iv[f_1(x), f_2(x), \lambda] = 0$ і $Av[f_1(x), f_2(x), \lambda] = 0$), окрім одного, - можливий випадок, коли $Iv[f_1(x), f_2(x), \lambda] = 0$ або $Av[f_1(x), f_2(x), \lambda] = 0$, але $f_1(x) \neq f_2(x)$. Таким чином, Iv та Av не є в строго математичному розумінні мірою, але можуть бути інформативними оцінками розходження між двома законами розподілу. Проведено дослідження поведінки оцінок Iv та Av на прикладі нормального закону.

У третьому розділі, відповідно до першого напрямку дослідження, наведені приклади розв'язання задач розпізнавання образів, що використовують як характеристики непропорційності, так і інтегральні характеристики непропорційності.

Розглянуто приклад, що демонструє переваги використання інтегральних непропорційностей, зокрема оцінки (7), при порівнянні зображень, представлених числовими функціями. Порівнюються пари зображень: *Фігура1* та *Фігура2*, а також *Фігура1* та *Фігура3* (рис. 3а).

Рис. 3. Приклад, що ілюструє використання інтегральної непропорційності при аналізі зображень

Ці зображення описані в полярних координатах: $\rho(\theta)$, $\rho_1(\theta)$, $\rho_2(\theta)$. На рис. 3б відображено перехід до декартових координат. Кореляційні методи і методи, засновані на обчисленні косинуса кута між векторами, що відповідають зображенням, дають однакові значення для цих пар ($r=0,96$; $u=0,99$), тому вони не дозволяють виявити різниці між цими парами зображень. Застосування оцінки (7) (рис.3в та рис.3г) дозволило визначати, *при яких саме значеннях аргументу θ зображення не мають розходження (інтегральна непропорційність дорівнює нулю), а де розходяться і на скільки*. Отримані результати не залежать від масштабу зображень.

На основі характеристик непропорційності розроблено алгоритми структурного розпізнавання: потрібно визначити, фрагменти яких еталонних сигналів і коли надходять на недоступний для контролю вхід об'єкта. Кожен з вхідних сигналів в окремі моменти часу t може бути фрагментом одного з еталонних сигналів $f_i(t-\tau_i)$ ($t \in [0; T_i]$, $i \in N$, $i=1,2,\dots,n$, τ_i - зміщення i -го еталона відносно поточного часу t). Розглянуто випадки:

1) на вхід об'єкта надходять n сигналів. Кожний з цих сигналів підсилюється в k_i раз ($i=1 \div n$), а потім вони підсумовуються. На виході об'єкта реєструється сигнал: $f(t) = \sum_{i=1}^n k_i f_i(t-\tau_i)$. Значення коефіцієнтів k_i та τ_i невідомі;

2) на вхід об'єкта надходять n сигналів, вони піддаються підсумовування, а потім сумарний сигнал стискується в a раз і посилюється в k раз: $f(t) = \sum_{i=1}^n k f_i(at-\tau_i)$. Значення коефіцієнтів a , k , τ_i невідомі;

3) на вхід об'єкта надходить сигнал $x(t)$, який може являти собою в окремі моменти часу фрагмент одного з еталонів $f_i(t-\tau_i)$. Залежність між входом і виходом має поліноміальний вид: $f(t) = \sum_{j=0}^m k_j f_i^j(t-\tau_i)$. Значення i , k_j та τ_i невідомі.

Розроблені алгоритми дозволяють тільки за вихідним сигналом і набором еталонних сигналів здійснити локальне розпізнавання для кожного значення параметра t . При цьому непотрібно знати чи

визначати значення невідомих коефіцієнтів, тобто розпізнавання інваріантне до цих коефіцієнтів. Проте за необхідності ці коефіцієнти можуть бути обчислені за результатами, що отримані при локальному розпізнаванні.

Запропоновано використовувати характеристики непропорційності в технічній діагностиці. Наприклад, використання оцінки (3) дозволяє кількісно оцінювати спотворення вихідного сигналу відносно сигналу на вході для різних підсилювальних пристроїв незалежно від поточних значень коефіцієнтів підсилення безпосередньо під час їх нормальної роботи.

Згідно з другим напрямом наведені приклади використання узагальнених числових характеристик для кількісного опису зображень, що представлені законами розподілу. Наведено приклади розв'язання таких задач:

1. Задача діагностики системи з двох стохастичних квазістаціонарних об'єктів. Використання інформаційної узагальненої числової характеристики GI дозволило виявити наявність загального для двох об'єктів неконтрольованого параметричного впливу. Такий підхід скорочує обсяг обчислень, тому що дозволяє досліджувати тільки один статистичний взаємозв'язок (між значеннями оцінки GI для вихідних сигналів обох об'єктів) замість чотирьох (між можливими парами з математичних очікувань і значень ентропії).

2. Задача діагностики роботи апарата хімічного виробництва - віброгранулятора. Досліджено статистичний взаємозв'язок між значеннями оцінки GI , що обчислені для законів розподілу контрольованих параметрів - вагової продуктивності гранулятора, діаметра гранул вихідного продукту та щільності гранул. Це дозволило виявити причину нестабільності закону розподілу діаметра гранул, що дозволяє покращити якість продукції.

Запропоновано використовувати інформаційну узагальнену числову характеристику GI для кількісного оцінювання досконалості вимірювальних приладів. Ця характеристика являє собою інтегральну відносну невизначеність, яка залишається після вимірювання. Її значення тим менше, чим більш досконалий прилад використовується.

У розділі 4 наведені приклади використання інтегральних непропорційностей і узагальнених числових характеристик у кардіографії.

Обґрунтовано використання непропорційностей першого порядку та інтегральних непропорційностей при аналізі ЕКГ. Реальне значення ЕРС серця недоступне для безпосереднього вимірювання. На значення ЕРС, що вимірюється на поверхні тіла, впливають багато факторів: стан провідного середовища (потовиділення, щільність прилягання електродів, волосяний покрив шкіри, електродна паста та ін.), дихання, розміщення електродів та ін. Це приводить до того, що зареєстровані значення відрізняються від реальної ЕРС серця на коефіцієнт передачі, значення якого невідомо і може повільно змінюватися з часом. Тому у медицині, звичайно, аналізується форма імпульсів ЕРГ, а не їхня величина. При цьому результати аналізу мають якісний характер. Оцінки (1-7) дозволяють кількісно

описувати для кожного значення параметра t (де t - час) відхилення зображень, поданих фрагментами ЕКГ поза залежністю від величини невідомого коефіцієнта передачі від серця до електрокардіографа. На рис. 4а наведені

Рис. 4. а - криві $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$, $y_4(t)$ відповідають різним спотворенням зубця Р відносно неспотвореного $x(t)$ з невідомими коефіцієнтами передачі від серця до електрокардіографа; б - графіки оцінки (6), що обчислені для функції $x(t)$, за функціями:

$$1 - y_1(t), \quad 2 - y_2(t), \quad 3 - y_3(t), \quad 4 - y_4(t).$$

прикладі електрографічних змін у формі Р-зубця (поява двогорбості різного ступеня), що можуть виникати при гіпертрофії передсердь. По осі абсцис відкладено нормований час, а по осі ординат - значення ЕРС, що реєструється при невідомих і різних значеннях коефіцієнта передачі. Використання оцінки (6) (рис. 4б) дало можливість виявити розбіжність між спотвореним та ідеальним імпульсами, оцінити ступінь виразності спотворень, що мають місце в конкретній фазі скорочення передсердь інваріантно до значень невідомих коефіцієнтів передачі.

Проведено дослідження впливу дихання на зміни ЕКГ. Отримано граничне значення оцінки (3), яке можна використовувати для оцінювання стану обстежуваного. Воно складає 0.004 при частоті реєстрації ЕКГ 250 замірювань у секунду.

На основі інтегральних непропорційностей проведено аналіз електрокардіографічних змін зубця Т, що відбувалися у двох обстежуваних. Перший - здорова молода людина, а другий - хворий. Мета аналізу - дослідити зміни, які виникають під дією фізичного навантаження при проведенні функціональної проби на велоергометрі. За початковий для кожного з обстежуваних було взято фрагмент ЕКГ, що відповідає зубцю Т до дії навантаження. Обчислювалися значення відносної інтегральної непропорційності кожного наступного зубця за початковим після попереднього нормування за часом. Отримані значення кількісно оцінюють відхилення Т-зубців ЕКГ від початкового інваріантно до невідомого значення коефіцієнта передачі від серця до кардіографа для кожного значення нормованого часу, що дає можливість визначити, в якій саме фазі деполяризації шлуночків мають місце порушення. В результаті аналізу встановлено, що для першого обстежуваного значення відносної інтегральної непропорційності за абсолютною величиною не перевищили граничні, що пов'язано лише з впливом дихання. У другого обстежуваного виявлені значні порушення, що виявилися в зміні форми Т-зубця. Для отриманих відносних інтегральних непропорційностей для кожного із зубців були обчислені значення абсолютної усередненої інтегральної непропорційності. Ці значення тісно корелюють з навантаженням для другого обстежуваного, що характеризує низьку толерантність до фізичного навантаження.

Контрольовані параметри ЕКГ, такі, як тривалість усього серцевого циклу чи його окремих фаз, величина відхилення тих чи інших сегментів ЕКГ від ізолінії та інше являють собою випадкові величини, поведінка яких може змінюватися з часом. Для кількісного опису мінливості деяких параметрів ЕКГ та оцінювання величини розходження їх законів розподілу в роботі запропоновано використовувати абсолютну узагальнену числову характеристику випадкової величини GA . Проведено дослідження змін, що відбувалися з тривалістю електричної систоли у часі у двох обстежуваних під дією фізичного навантаження. З літератури відомі взаємозв'язки, які мають бути між тривалістю усього серцевого циклу QQ та його окремими фазами. Для тривалості електричної систоли QT : $QT = 0.38 \cdot QQ + 0.095$. Ця залежність дає можливість визначити закон розподілу QT , який має бути для зареєстрованих значень QQ . Цей закон розподілу має розходження з реально отриманим законом для QT . Абсолютна узагальнена характеристика дозволила дослідити порушення у фазовій структурі серцевого циклу - виявити та кількісно оцінити розходження законів розподілу, описати динаміку їх змін під дією навантаження.

Як модифікований варіант оцінки GA отримані числові характеристики

$$GA_x^-(t) = - \frac{\int_{\substack{f(x,t) > \lambda_x \\ x < x_{kr1}}} \log \frac{f(x,t)}{\lambda_x} dx}{\int_{\substack{f(x,t) > \lambda_x \\ x < x_{kr1}}} \frac{1}{|x|} \log \frac{f(x,t)}{\lambda_x} dx} \quad \text{та} \quad GA_x^+(t) = \frac{\int_{\substack{f(x,t) > \lambda_x \\ x > x_{kr2}}} \log \frac{f(x,t)}{\lambda_x} dx}{\int_{\substack{f(x,t) > \lambda_x \\ x > x_{kr2}}} \frac{1}{|x|} \log \frac{f(x,t)}{\lambda_x} dx},$$

що дозволяють досліджувати зміни законів розподілу окремо в області значень, менших за нижню границю норми x_{kr1} , та окремо в області значень, більших за верхню границю норми x_{kr2} . Значення цих оцінок тим більше за абсолютною величиною, чим більше відхилення від норми і чим частіше вони трапляються. Розроблена методика використання оцінок (8) та (9) під час діагностики ішемії міокарда реалізована у програмному забезпеченні "STart" (впроваджено в лінійній поліклініці ст. Суми), що дозволяє кількісно оцінювати ступінь виразності відхилень сегмента ST від ізолінії у зону патологічних значень, робити висновок про перевагу ознак того чи іншого типу і простежувати динаміку їхньої зміни. Крім того, оцінки (9) дозволяють одержувати кількісні характеристики ступеня виразності патологічних змін у тривалості електричної систоли з урахуванням одночасно величин цих відхилень, знака і частоти появи. Це дозволяє одержувати додаткову інформацію про стан обстежуваного, котра була недоступна при аналізі тільки середніх значень контрольованих величин.

У додатках наведені доведення тверджень, дослідження поведінки запропонованих оцінок, приклади використання та акти впровадження результатів досліджень.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено нове вирішення наукової задачі, що полягає в розробці нових числових оцінок розходження між зображеннями, представленими числовими функціями одного параметра та законами розподілу випадкової величини. Отримані методи застосування нових оцінок при аналізі, розпізнаванні та дослідженні зображень. В основу першого виду оцінок покладені характеристики непропорційності числових функцій одного параметру, а в основу другого - узагальнені числові характеристики випадкової величини. При проведенні дисертаційних досліджень одержані такі принципово нові результати.

1. Проведено аналіз основних методів визначення величини розходження між зображеннями. Встановлена необхідність розроблення нових оцінок.

2. Розроблено новий метод розпізнавання образів на основі характеристик непропорційності числових функцій, що дозволяють здійснювати локальне розпізнавання та аналіз, інваріантний до значень коефіцієнтів функції породження зображень - поліноміальної залежності та її окремих випадків (пропорційної, лінійної або степеневі залежності). У рамках цього методу визначені нові властивості інваріантності локального критерію схожості зображень - інваріантність, інваріантність першого роду, інваріантність другого роду. Досліджені властивості інваріантності характеристик непропорційності (непропорційності за похідною, за значенням, відносної непропорційності та m -непропорційності) до значень невідомих коефіцієнтів функцій породження зображень. На основі характеристик непропорційності проведено математичне дослідження внутрішньокласових і міжкласових відношень між елементами.

3. На основі характеристик непропорційності отримані та досліджені нові числові характеристики - інтегральні непропорційності, які оцінюють відхилення залежності між числовими функціями від пропорційної на поточному інтервалі. Ці характеристики інваріантні до коефіцієнта пропорційного перетворення і позбавлені обмежень у використанні, які властиві непропорційностям.

4. Запропоновані абсолютні усереднені непропорційності, що дозволяють оцінювати відхилення залежності між числовими функціями від пропорційної на інтервалі і мають властивості інваріантності характеристик непропорційностей та інтегральних характеристик непропорційностей, що покладені в їх основу.

5. Розроблені алгоритми структурного розпізнавання складних зображень, що представлені числовими функціями параметра t . Розглянуті випадки, коли аналізоване зображення являє собою: суму довільних фрагментів еталонів з невідомими ваговими коефіцієнтами; сигнал, що являє собою суму фрагментів еталонів з подальшим підсиленням та стисканням; сигнал, що складається з послідовності фрагментів еталонів, спотворений нелінійним (поліноміальним) перетворенням. Основна відмінність від відомих методів розпізнавання полягає в тому, що розпізнавання здійснюється локально при за-

даному значенні параметра t , інваріантно до значень коефіцієнтів, що наявні у функціональних залежностях, за допомогою яких з фрагментів заданих еталонів формується аналізоване зображення.

6. Розроблено нову оцінку - інформаційну узагальнену числову характеристику випадкової величини, яка дозволяє інтегрально описувати будь-які зміни зображень, представлених функціями щільності розподілу. Ця характеристика узагальнює деякі властивості ентропії і математичного очікування, тобто вона одночасно чутлива як до зміни форми графіка щільності розподілу випадкової величини, так і до його положення на числовій осі, що дозволяє використовувати її для кількісного опису поведінки випадкової величини в інформаційних одиницях. На основі інформаційної узагальненої числової характеристики отримана абсолютна узагальнена числова характеристика, що має розмірність випадкової величини. Проведено дослідження властивостей цих характеристик на прикладі деяких законів розподілу.

7. На базі інформаційної та абсолютної узагальнених числових характеристик запропоновані оцінки розбіжності законів розподілу. Ці характеристики дозволяють кількісно описувати відхилення аналізованого закону розподілу від еталонного, виявляти причину нестабільності контрольованих випадкових параметрів, досліджуючи статистичний, наприклад кореляційний зв'язок відхилень законів розподілу з іншими параметрами. Розмірність інформаційної оцінки дозволяє використовувати її для кількісного опису величини розбіжності двох зображень, які описані системою щільностей розподілу випадкових величин, що вимірюються в різних фізичних одиницях.

8. Показана ефективність застосування узагальнених числових характеристик випадкової величини у технічній діагностиці при дослідженні статистичних взаємозв'язків. Конкретно, на основі використання інформаційної узагальненої числової характеристики, установлений факт загального параметричного впливу в системі стохастичних об'єктів, зокрема у багатоканальній системі телеметрії; установлені причини нестабільності контрольованого параметра (діаметра гранул, вироблених віброгранулятором), який описується щільністю розподілу випадкової величини.

9. Створені методики використання інтегральних характеристик непропорційності для кількісного аналізу форми зубців і сегментів ЕКГ інваріантно до невідомого коефіцієнта передачі від серця до електрокардіографа. Розроблені методики використання абсолютної узагальненої інтегральної характеристики та її модифікованого варіанта для виявлення та кількісного опису відхилень законів розподілу контрольованих параметрів ЕКГ в зону патологічних значень та вивчення динаміки їх змін. Розроблено комплект комп'ютерних програм, призначених для дослідження змін, які відбуваються з Т-зубцем ЕКГ у обстежуваних під дією фізичного навантаження, аналізу тривалості електричної систоли та величини відхилення сегмента ST від ізолінії. Ці програми використовуються фахівцями-кардіологами лінійної поліклініки ст. Суми і на кафедрі терапії медичного факультету СумДУ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Авраменко В.В., Карпенко А.П. Интегральная оценка плотности распределения случайной величины // Современные технологии машиностроения. Прогрессивные технологии в вузе: Темат. сб. научн. статей. – Сумы: СумГУ, 1997. — Вып.1. — С. 241-245.
2. Карпенко А.П., Авраменко В.В. Использование интегральной оценки плотности распределения случайной величины в технической диагностике // Вісник Сумського держ. ун-ту. — 1997. — № 2(8). — С. 109-112.
3. Авраменко В.В., Карпенко А.П. Обобщенные числовые характеристики случайных величин // Радиоэлектроника и информатика. – 1998. — №3(04). — С. 136-139.
4. Авраменко В.В., Карпенко А.П. Решение задач технической диагностики и сравнения образов с помощью оценки отличия зависимости между двумя функциями от пропорциональной // Вісник Сумського держ. ун-ту. — 1999. — №2(13). — С. 103-107.
5. Карпенко А.П. Оценивание расхождения законов распределения с помощью информационной обобщенной числовой характеристики // Вест. Харьковского гос. политехн. ун-та. — 2000. — Вып. №77. — С. 15-17.
6. Карпенко А.П. Интегральные характеристики непропорциональности числовых функций и их применение в диагностике // Вісник Сумського держ. ун-ту. — 2000. — №16. — С. 20-25.
7. Карпенко А.П., Прилуцкая Г.В., Смянов В.А. Применение абсолютной обобщенной числовой характеристики случайной величины при диагностике ишемии миокарда // Вісник Сумського держ. ун-ту. — 2000. — №18. — С. 66-72.
8. Авраменко В.В., Карпенко А.П. Распознавание фрагментов заданных эталонов в сигнале, искаженном нелинейным объектом // Вісник Національного технічного ун-ту „ХПІ”. — 2001. — Вып. №14. — С. 43-50.
9. Карпенко А.П. Классификация множества изображений на образы в точке или на интервале с помощью характеристик непропорциональности числовых функций // Вісник Сумського держ. ун-ту. — 2002. — №1(34). — С. 101-106.
10. Карпенко А.П., Авраменко В.В. Анализ электрокардиограмм с помощью характеристик непропорциональности числовых функций // 3-й Міжн. молодіжн. форум “Радіоелектроніка і молодь у ХХІ ст.”: Доповіді. – Харків: ХТУРЕ, 1999. – Ч. 2.– С. 295-298.
11. Карпенко А.П. Использование абсолютной обобщенной числовой характеристики случайной величины при выявлении и оценивании отклонений от нормы в длительности электрической систолы во время физической нагрузки // Информационные технологии в моделировании и управлении: Труды II Международной научно-практической конференции. — С.-Петербург: Изд-во СПбГТУ, 2000. — С. 167-169.

12. Карпенко А.П. Использование характеристик непропорциональности числовых функций при распознавании образов // 6-я Международная конференция “Теория и техника передачи, приема и обработки информации” (“Новые информационные технологии”): Сб. научн. трудов. – Харьков: ХТУРЕ, 2000. — С. 288-290.

13. Карпенко А.П., Авраменко В.В. Распознавание заданных эталонных по искаженному сигналу // 5-й Международный молодежный форум “Радиоэлектроника и молодежь в XXI в.”: Сб. научн. трудов – Харьков: ХТУРЕ, 2001. — Ч. 2. — С. 172-173.

14. Авраменко В.В., Карпенко А.П. Использование интегральной оценки плотности распределения случайной величины в статистическом моделировании // Научно-техническая конференция преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов механико-математ. факультета СумГУ. — Сумы: СумГУ, 1997. — С. 16.

15. Карпенко А.П., Авраменко В.В. Использование абсолютной обобщенной числовой характеристики случайной величины в медицинской диагностике // Научно-техническая конференция преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов механико-математ. факультета СумГУ. — Сумы: СумГУ, 2000. — С. 92-94.

16. Карпенко А.П., Авраменко В.В. Исследование взаимосвязи между элементами, принадлежащими разным классам эквивалентности, и характеристиками непропорциональности числовых функций при решении задач распознавания образов // Научно-техническая конференция преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов механико-математ. факультета СумГУ. — Сумы: СумГУ, 2001. — С. 92-94.

АНОТАЦІЯ

Карпенко А.П. Оцінки розходження між зображеннями та методи їх застосування в задачах розпізнавання образів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 - системи та засоби штучного інтелекту. - Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2003.

Розроблені два види нових числових оцінок розходження між зображеннями та методи їх застосування. В основу першого виду покладені нові оцінки - непропорційності числових функцій. На їх основі розроблені алгоритми локального структурного розпізнавання складних зображень, що складаються з фрагментів еталонів, які зазнають лінійного або нелінійного перетворень, коефіцієнти яких невідомі. Розпізнавання дозволяє виділити фрагменти еталонів в аналізованому зображенні та є інваріантним до коефіцієнтів перетворень.

В основу другого виду оцінок покладені узагальнені числові характеристики випадкової величини, що дозволяють інтегрально описувати будь-які зміни зображень, представлених функціями щільності розподілу випадкової величини. Показана ефективність застосування цих характеристик у технічній діагностиці при дослідженні статистичних взаємозв'язків.

Створені методики використання нових оцінок розходження між зображеннями при аналізі ЕКГ.

Ключові слова: розпізнавання образів, оцінка розходження зображень, локальний аналіз, інваріантність, закон розподілу випадкової величини, ЕКГ.

АННОТАЦІЯ

Карпенко А.П. Оценки расхождения между изображениями и методы их использования в задачах распознавания образов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.23 - системы и средства искусственного интеллекта. - Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2003.

Диссертационная работа посвящена разработке двух видов новых числовых оценок расхождения между изображениями и методов их использования при анализе и распознавании изображений. В основу первого вида легли новые оценки - характеристики непропорциональности числовых функций (непропорциональности n -го порядка по производной, по значению, относительная и n -непропорциональность по производной l -го порядка). Проведен математический анализ свойств этих характеристик, изучены свойства инвариантности к полиномиальному преобразованию и его частным случаям: линейному, пропорциональному и степенному преобразованиям. Разработаны теоретические основы классификации изображений на образы с помощью характеристик непропорциональности: показано, что пропорциональное, степенное и полиномиальное отображения изображений задают на множестве числовых функций отношение, разбивающее это множество на непересекающиеся классы эквивалентности, проведено математическое исследование внутриклассовых и межклассовых отношений между элементами.

На основе непропорциональностей разработаны алгоритмы локального структурного распознавания сложных изображений, состоящих из фрагментов эталонов, подвергнутых линейным или нелинейным преобразованиям, коэффициенты которых неизвестны. Особенность разработанных алгоритмов - возможность выделения фрагментов эталонов в анализируемом изображении и инвариантность к коэффициентам преобразований, посредством которых формируются анализируемые изображения. Необходимость такого анализа возникает, например, при распознавании зрительных и слуховых образов, которые представляют собой наложенные один на другой фрагменты эталонных

изображений с неизвестными весовыми коэффициентами, анализе электрокардиограмм в условиях невозможности измерения характеристик проводящей среды, интерпретации сигналов, которые искажены при прохождении сквозь нелинейные объекты, например, каналы телеметрии, усилители, преобразователи, параметры которых неизвестны и др.

Анализ ограничений использования характеристик непропорциональностей выдвинул необходимость разработки на их основе новых оценок - интегральных характеристик непропорциональностей, которые позволяют оценивать отклонение зависимости между числовыми функциями от пропорциональной на текущем интервале и обладают инвариантностью к значению коэффициента пропорционального преобразования.

В основу второго вида оценок расхождения изображений легли новые числовые характеристики случайной величины - информационная и абсолютная обобщенные числовые характеристики. Установлено, что эти характеристики чувствительны к любым изменениям плотности распределения случайной величины - как к изменению формы графика, так и к его положению на числовой оси, что позволяет использовать их для количественного описания поведения случайной величины в информационных единицах или единицах измерения случайной величины. На базе этих характеристик предложены оценки расхождения законов распределения, позволяющие количественно описывать отклонение анализируемого закона распределения от эталонного. Размерность информационной обобщенной числовой характеристики позволяет использовать ее для количественного описания величины расхождения двух изображений, которые описаны системой плотностей распределения случайных величин, имеющих разные физические единицы измерения.

Показана эффективность применения информационной и абсолютной обобщенных числовых характеристик в технической диагностике. Их использование позволяет перейти от двумерной функции $f(x,t)$ к одномерной $GI(t)$ или $GA(t)$, что существенно упрощает исследование статистических взаимосвязей между плотностями распределения случайных величин, которые изменяются во времени. Использование информационной обобщенной числовой характеристики позволило установить факт появления общего параметрического воздействия на систему стохастических объектов многоканальной телеметрической системы, установлены причины нестабильности контролируемого параметра - диаметра гранул, производимых виброгранулятором.

Рассмотрено применение интегральных характеристик непропорциональностей при анализе ЭКГ. Эти характеристики позволяют осуществлять количественный анализ формы зубцов и сегментов ЭКГ инвариантно к неизвестному коэффициенту передачи от сердца к электрокардиографу. Проведено исследование изменений, которые происходят с Т-зубцом ЭКГ в обследуемых под действием физической нагрузки. Продемонстрировано использование абсолютной обобщенной характеристики для выявления признаков ишемии миокарда и нарушений в длительности электрической систолы. Это позволило выявить отклонения законов распределения контролируемых величин в зону пато-

логических значений, количественно оценить степень выраженности этих отклонений, сделать вывод о преобладании признаков того или иного типа, проследить динамику их изменения. Использование разработанных числовых характеристик позволяет получить дополнительную информацию о состоянии обследуемого, что расширяет диагностические возможности метода электрокардиографии.

Ключевые слова: распознавание образов, оценка расхождения изображений, локальный анализ, инвариантность, закон распределения случайной величины, ЭКГ.

ABSTRACT

Karpenko A.P. The estimations of the divergence between the images and methods of their application in image recognition tasks. - Manuscript.

Thesis for the candidate degree of the technical sciences by speciality 05.13.23 - systems and tools of artificial intelligence. - Kharkov National University of Radio Electronics, Kharkov, 2003.

Two kinds of new numerical estimations of the divergence between the images and methods of their application have been developed. Disproportions of numerical functions made the foundation of the first kind of estimations. On the basis of these estimations the algorithms of local structural recognition of the compound images have been developed. The images which consist of fragments of the patterns subjected to linear or nonlinear transformations with unknown factors have been considered. The recognition which allowed the extraction of fragments of patterns in the analyzed images was also invariant to the transformation coefficients.

Generalized numerical characteristics of random value were at the heart of the second kind of estimations. They allowed describing any changes of the images represented by functions of density of random value distribution. The efficiency of application of these characteristics in technical diagnostics for statistical interrelations research has been shown.

The methods of application of new estimations of divergence between the images for the EKG analysis have been created.

Key words: image recognition, divergence estimation of the images, local analysis, invariance, distribution law, EKG.