

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

**ПОЛЯКОВА ТЕТЯНА ВІКТОРІВНА**

УДК 004.932.2:004.93'1

**КЛАСИФІКАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ОЗНАКОВИХ  
ПРОСТОРОВИХ СТРУКТУР**

05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Гороховатський Володимир Олексійович,**  
Харківський інститут банківської справи  
університету банківської справи Національного  
банку України, завідувач кафедри  
інформаційних технологій

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Воробель Роман Антонович,**  
Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН  
України, завідувач відділу обчислювальних методів і  
систем перетворення інформації, м. Львів;

кандидат технічних наук, доцент  
**Тітова Олена Вітольдівна,**  
Харківська державна академія культури, доцент  
кафедри інформаційно-документних систем.

Захист відбудеться «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 р. о \_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.01 в Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

О. А. Винокурова

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Якісний перехід на нові технології розпізнавання став причиною розвитку і досягнень зокрема в галузі штучного інтелекту при аналізі візуальної інформації. У той же час можливості автоматизованого інтелектуального аналізу зображень в системах комп'ютерного зору поки не мають достатньої гнучкості при вирішенні задач, пов'язаних з поглибленою обробкою і розпізнаванням.

Вирішення задачі розпізнавання зображень значно ускладнюється змінами об'єкта під впливом зовнішнього середовища у вигляді фону та завад, а також в умовах дії геометричних перетворень. Такий вплив може призвести до спотворень фрагментів аналізованого об'єкта, а також сформувати помилкові об'єкти з близькими характеристиками.

Ефективність методів інтелектуального аналізу візуальних об'єктів в значній мірі залежить від характеру відображення будови описів множин їх елементів. У випадках, коли опис подається як множина розрізнених елементів, важко розраховувати на створення високоефективних методів синтезу або класифікації об'єктів. Раціональність методів аналізу описів підвищується, якщо відома структура множини, яка встановлює певні відношення між елементами опису.

Структурні методи, які засновані на аналізі особливостей зображення в окремих точках, дозволяють отримати із зображення осмислену і структуровану інформацію. Це зумовлює різноманітність досліджень у плані зіставлення великої кількості візуальних об'єктів з метою розробки нових ефективних та стійких методів структурного аналізу зображень в умовах геометричних перетворень і завад. Аналіз існуючих моделей і методів, що використовуються в системах технічного зору на основі структур даних візуальних об'єктів, показав, що основну обчислювальну складність має процес зіставлення описів у створеному ознаковому просторі, а також процедура встановлення еквівалентності об'єкта з множиною еталонів. Перспективу мають дослідження методів аналізу і формування множини структурних елементів описів, а також підходи до скорочення числа характерних ознак з метою підвищення оперативності та вірогідності.

Аналіз властивостей кінцевого числа характерних ознак дозволяє значно спростити вирішення практичних завдань. Особливу цінність для задач інваріантного розпізнавання зображень має геометрична інформація, що міститься в координатах характерних ознак. На основі координат можна побудувати ознакові структури більш складного рівня, до яких відносяться геометричні інваріантні ознаки, побудовані на обчисленні афінних інваріантів. Геометричні інваріантні ознаки можна вважати окремим випадком більш загальних представлень у вигляді ознакових просторових структур, де геометричні властивості інтегруються з властивостями детекторів характерних ознак. Побудовані ознакові структури відображають геометричну форму об'єкта, мають властивість інваріантності до афінних перетворень на площині.

У рамках запропонованої тематики дисертаційного дослідження передбачається розроблення нових моделей і методів на основі синтезу просторових

структур на множині характерних ознак, що дасть можливість підвищити ефективність вирішення прикладних задач.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертація виконана на кафедрі інформатики у відповідності до плану науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки в межах держбюджетних тем №ДР 0107U003029 «Дослідження та розробка методів і моделей інтерпретації даних в системах комп'ютерного зору», №ДР 0110U002636 «Моделі і методи грануляції та інтерпретації багатовимірних даних». Матеріали дослідження впроваджені в роботі науково-дослідного центру службово-бойової діяльності Академії внутрішніх військ МВС України в межах держбюджетної теми №ДР 0112U000527 «Розроблення методики синтезу просторових даних для геоінформаційного забезпечення службово-бойового застосування частин внутрішніх військ МВС України».

**Мета дисертаційної роботи** – розвиток та експериментальне дослідження методів інтерпретації зображень на основі структур просторових інваріантних ознак для вирішення задачі розпізнавання під впливом геометричних перетворень і завад.

Для досягнення поставленої мети у дисертації сформульовані такі основні задачі:

– проаналізувати існуючі методи та підходи до класифікації зображень на основі зіставлення їх структурних описів в умовах геометричних перетворень та розробити метод зіставлення структурних описів на основі ознакових просторових структур, що відображають просторові властивості опису та інваріантні до геометричних перетворень;

– дослідити та вдосконалити модель визначення подібності описів з використанням критерію оптимальної сумарної відстані між елементами описів, для яких встановлені відповідності;

– синтезувати моделі зіставлення описів з використанням набору різнотипних ознак;

– розробити моделі формування та обробки ознакових описів з використанням процедур групування і стиснення множини їх елементів для підвищення достовірності та зменшення обчислювальної складності процесу класифікації;

– дослідити специфіку використання розроблених методу та моделей для зіставлення описів на основі ознакових просторових структур, створити і впровадити дослідницькі та спеціалізовані програмні засоби.

*Об'єкт дослідження* – процеси сприйняття, перетворення і інтерпретації відеоінформації в інтелектуальних системах комп'ютерного зору.

*Предмет дослідження* – методи аналізу та розпізнавання зображень з використанням ознакових описів у вигляді просторових структур.

*Методи дослідження.* Вивчення принципів формування та застосування просторових структур ознак здійснено на основі положень теорії реєстрації, обробки і аналізу зображень, елементів теорії множин та математичної логіки; при синтезі методів зіставлення структурних описів застосовано апарат розпізнавання образів, кластеризації, теорії метричних просторів. Для перевірки теоретичних положень і

оцінки ефективності запропонованих методів для баз реальних зображень застосовано імітаційне моделювання.

### **Наукова новизна результатів дисертаційної роботи:**

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-прикладна задача класифікації зображень візуальних об'єктів в умовах геометричних перетворень і перешкод зовнішнього середовища на основі застосування розробленого методу з використанням моделей просторових структур інваріантних ознак. У результаті досліджень отримані такі нові наукові результати:

1. Вперше синтезовано метод зіставлення структурних описів зображень на основі побудови моделей інваріантних ознакових структур, що підвищує достовірність класифікації за рахунок урахування контексту і просторових властивостей елементів опису.

2. Вперше запропоновано модель побудови опису візуальних об'єктів, яка заснована на формуванні просторових структур, згрупованих навколо координат характерних ознак або афінних базисів, з подальшим стисненням множини структур, що забезпечує достовірність класифікації і високу швидкодію за рахунок управління вибором і розміром структур.

3. Удосконалено гібридні моделі класифікації зображень на основі аналізу структурних різнотипних ознак, які відрізняються поєднанням у єдиній мірі подібностей значень дескрипторів та просторових ознак, що покращує достовірність класифікації за рахунок багатостороннього та поглибленого аналізу складу описів.

4. Набула подальшого розвитку модель обчислення подібності описів на основі принципу формування оптимальних групових відповідностей їх елементів, що дає можливість підвищити достовірність шляхом встановлення максимального паросполучення між елементами описів, яка відрізняється від відомих моделей голосування принципом взаємно-однозначних відповідностей ознак і забезпечує мінімум критерію сумарної відстані між множинами елементів об'єкта і еталону.

**Практичне значення отриманих результатів.** Основні теоретичні результати дисертаційного дослідження були використані при автоматизації вирішення прикладних задач визначення архітектурного стилю, а також у технологіях пошуку та обробки синтезованих зображень. Синтезований метод зіставлення структурних описів візуальних об'єктів на основі геометричних інваріантних ознак для ключових точок зображень використаний при ідентифікації архітектурного стилю будівлі або ескізу і впроваджений в ТОВ «БК ГОТІКА» (акт впровадження від 16.04.2012 р.). Пошук у базі даних еталонних об'єктів шляхом використання методу зіставлення на основі ознакових просторових структур дозволив підвищити достовірність та швидкодію класифікації зображень технічних засобів при виконанні наукових досліджень науково-дослідного центру Академії внутрішніх військ МВС України (акт від 09.11.2012 р.). Наукові положення дисертації використані також у навчальному процесі Харківського національного університету радіоелектроніки в рамках дисциплін «Основи комп'ютерної графіки», «Структурні методи інтелектуальної обробки відеоданих», «Аналіз даних» для студентів напрямку «Інформатика» (акт впровадження від 08.02.2013 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Всі положення, що виносяться на захист, основні результати теоретичних та експериментальних досліджень отримані

здобувачем особисто. Внесок автора у публікаціях, написаних у співавторстві: в [1] досліджені та удосконалені гібридні моделі мір подібності; в [2] проаналізована і вдосконалена модель обчислення подібності описів на основі принципу формування оптимальних групових відповідностей; в [4] обґрунтовані принципи грануляції опису на основі координат характерних ознак та афінних базисів з подальшим стисненням отриманої множини структур; в [5] синтезований метод зіставлення структурних описів зображень на базі побудови моделей структур інваріантних ознак; в [6] викладені критерії та моделі структурної класифікації на основі аналізу різнотипних ознак; в [7] формалізована і досліджена модель опису візуальних об'єктів шляхом застосування просторових структур; в [9] досліджено процедури стиснення структурних описів з метою підвищення швидкодії класифікації; в [10] запропонована модель класифікації структурних описів на основі множин різнотипних ознак з послідовним принципом прийняття рішення; в [11] розвинено процедури скорочення множини ознак опису у вигляді просторових структур; в [13] досліджено ефективність застосування моделей побудови структурних описів на основі групування множини ознак; в [14] виконано аналіз достовірності моделі зіставлення описів на основі побудови оптимальних відповідностей.

**Апробація результатів дисертаційної роботи.** Основні результати роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на 13-му міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка і молодь в XXI ст.» (Харків, 30 березня – 1 квітня 2009 р.); 4-й міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерні науки та інформаційні технології (CSIT2009)» (Львів, 15–17 жовтня 2009 р.); 7-й, 10-й міжнародних науково-практичних конференціях «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (Дніпропетровськ, 25–27 листопада 2009 р., 21–23 листопада 2012 р.); Міжнародних наукових конференціях «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту» (Євпаторія, 16–20 травня 2011 р., 29–31 травня 2012 р.); Науково-практичному семінарі «Актуальні проблеми технічного забезпечення внутрішніх військ МВС України» науково-дослідного центру Академії внутрішніх військ МВС України (Харків, 25 квітня 2012 р.).

**Публікації.** Основні наукові положення дисертації надруковано у 14 наукових працях, серед яких 6 статей у виданнях, які входять до переліків наукових фахових видань України з технічних наук, 1 стаття опублікована за кордоном (з них 1 одноосібно, 2 у виданнях, які входять до наукометричних баз), 6 публікацій у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій, 1 публікація у матеріалах науково-практичного семінару.

**Структура і обсяг дисертаційної роботи.** Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 133 найменувань, розташованого на 13-ти сторінках, та 1 додатку. Повний обсяг дисертації складає 133 сторінки друкарського тексту, з них 112 сторінок основного тексту, містить 32 рисунки і 3 таблиці.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано вибір та актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання дослідження, наведено відомості про зв'язок

обраного напрямку досліджень із планами організації, де виконана робота. Надано загальну характеристику роботи, сформульовано основні положення, які винесено автором на захист, визначено їх практичне значення.

**У першому розділі** проведено аналіз сучасного стану проблеми класифікації зображень на основі зіставлення структурних описів об'єктів в умовах геометричних перетворень та завад, виявлено необхідність розроблення нових ефективних методів структурного аналізу, а також практичну необхідність зниження обчислювальної складності процедур зіставлення у багатовимірному просторі параметрів.

Прикладний інтерес при зіставленні структурних описів мають геометричні ознаки, які здатні відображати як загальну будову форми, так і локальні властивості об'єкта. Перспективним напрямком є розвиток теорії використання інваріантних просторових ознак, що в цілому зумовлює зниження складності класифікації.

Найбільш ефективними на даний час моделями встановлення еквівалентності описів є метод базових локальних ознак, кластеризація за розташуванням, геометричне хешування і моделі на основі голосування, які використовуються для роботи з базами зображень. Моделі голосування доцільно розвивати в плані створення ефективних процедур формування гіпотези про належність об'єкта з використанням просторових геометричних конструкцій, побудованих на координатних співвідношеннях характерних ознак опису.

Важливим фактором для системи класифікації на основі характерних ознак є оптимальне співвідношення обсягу збережених даних, витрат часу на обробку та рівня достовірності класифікації. Сучасні засоби формування характерних ознак (технології SIFT, SURF, ASIFT) засновані на принципах локальної обробки, дають надійні результати при вирішенні прикладних завдань і можуть бути з успіхом використані як основа при побудові нових підходів до синтезу просторових структур ознак.

У результаті проведеного аналізу сформульовано основні задачі дисертаційних досліджень, які пов'язані з формуванням ознакових просторів на основі побудови та застосування просторових ознакових структур.

**У другому розділі** проведено обґрунтування щодо формування описів об'єктів при вирішенні задач розпізнавання зорових образів у вигляді ознакових просторових структур (ОПС), побудова яких спирається на систему сформованих просторових зв'язків між окремими характерними ознаками (ХО), що дає можливість інтегрованого використання цілісних властивостей образу. Запропоновано метод зіставлення структурних описів зображень на основі аналізу структур просторових ознак із застосуванням голосування.

Під ознаковою просторовою структурою маємо на увазі об'єднання розрізнених структурних елементів опису об'єкта у вигляді просторових поєднань ознак на основі формування між структурними елементами відношень, які відображають геометричні властивості об'єкта

У якості вихідних даних для побудови ОПС використано множину координат ХО, що відображають геометричні властивості опису. Відомо, що за допомогою лінійної комбінації трьох неколінеарних точок на площині  $u_0, u_1, u_2 \in U$  можна сформувати афінну систему координат і охарактеризувати довільну точку  $u_i \in U$  у цій системі (рис. 1).

Ознаку  $u_i$  можна подати у вигляді:  $u_i = \gamma u_0 + \zeta u_1 + \eta u_2$ . Значення параметрів  $\gamma, \zeta, \eta$  однозначно визначають розташування ХО  $u_i$  відносно базису  $u_0, u_1, u_2$ , якщо виконується умова  $\gamma + \zeta + \eta = 1$ .

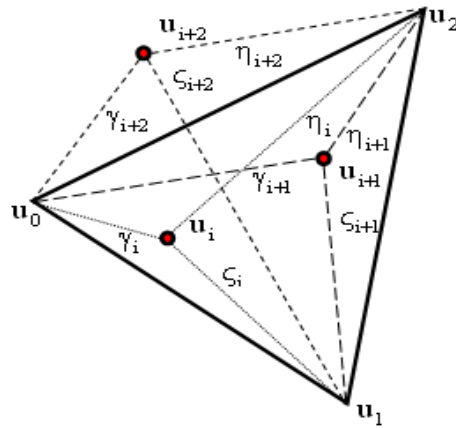


Рисунок 1 – Геометрична інтерпретація параметрів  $\gamma, \zeta, \eta$  для множини точок відносно афінного базису  $(u_0, u_1, u_2)$

Значення  $\gamma, \zeta, \eta$  не залежать від впливу афінних перетворень і можуть бути використані як геометричні інваріантні ознаки (ГІО) для зіставлення описів в умовах дії довільних афінних перетворень.

У результаті побудови ГІО структура елемента опису має вигляд:

$$z_i = \langle x_i, y_i, \{\alpha_{q_i}\}_{q=1}^{m_i} \rangle, \quad (1)$$

де  $\alpha_{q_i} = (\zeta_{q_i}, \eta_{q_i}, \gamma_{q_i})$  – трійка ГІО для  $q$ -го афінного базису (АБ),  $i = \overline{1, n}$ ,  $m_i$  – кількість ГІО для  $z_i$ -тої ХО. Тоді опис об'єкта у вигляді сукупності елементів має вигляд  $Z = \{z_i\}_{i=1}^n$ . Елементи  $\alpha_{q_i}$  формуються шляхом перебору усіх трійок ХО, координати яких не належать одній прямій. Для кожного АБ обчислюються  $(n - 3)$  значення ГІО. Максимально можливе число базисів із трьох неколінеарних точок дорівнює числу комбінацій  $C_n^3$ . Кількість ГІО для числа ХО  $n$  досягає величини

$$m = nC_{n-1}^3 = (n - 3)C_n^3. \quad (2)$$

Методи з використанням ХО дають можливість аналізувати опис об'єкта на предмет відповідності еталону окремих частин зображення. Множина ГІО і її підмножини спираються на систему зв'язків між окремими ХО, що дає можливість детального вивчення цілісних властивостей образу. Опис об'єкта у вигляді множини просторових ГІО дає можливість побудувати і узгоджено ідентифікувати апріорно задану структуру аналізованого об'єкта.

Запропоновано метод зіставлення структурних описів візуальних об'єктів на основі аналізу структур просторових ознак із застосуванням голосування, який полягає в реалізації наступних основних етапів: 1) виділення на зображенні множини ХО і формування масивів  $u_i$  із координатами  $x_i, y_i$ ; 2) побудова множини



ОПС  $z_i$  у вигляді структури (1) на основі  $u_i$ ; 3) цілеспрямоване оброблення множини ОПС з метою зменшення надлишковості і скорочення необхідного обсягу обчислень; 4) обчислення значення міри подібності між описами ОПС шляхом голосування компонентів описів. В результаті приймається рішення про клас зображення на основі значення обчисленого критерію подібності.

Будемо розглядати класифікацію як відображення структурних компонентів об'єкта у вигляді опису  $U$  на компоненти множини еталонних описів  $\{U(j)\}_{j=1}^J$ . Реалізуємо це відображення шляхом вирішення задачі оптимізації

$$j^* = \arg \max_{j \in J} \mathfrak{D}(U, U(j)), \quad (3)$$

де  $J$  – множина номерів класів ( $j^*, j \in J$ ),  $U, U(j)$  – відповідно описи у вигляді множин ОПС об'єкта і  $j$ -го еталона,  $\mathfrak{D}$  – міра подібності для множин. Максимальне значення  $\mathfrak{D}(U, U(j))$  означає, що об'єкт найкраще відповідає еталону.

Обчислення  $\mathfrak{D}(U, U(j))$  зводиться до підрахунку кількості голосів, відданих елементами множини базисів опису об'єкта за еталон з номером  $j$ , представлений у вигляді ОПС. Можливе число голосів з урахуванням нормування залежить від використовуваного методу голосування.

Метод зіставлення структурних описів зображень на основі ОПС за рахунок введення і використання у процесі обчислення подібності нових інформаційних зв'язків у вигляді відповідностей структур об'єктів вдосконалює процедуру класифікації і забезпечує більш високий рівень достовірності.

Є два найбільш поширених підходи до побудови моделей голосування з використанням ОПС – однозначне і множинне голосування. Дослідження цих моделей показало, що застосування однозначного голосування більш завадостійке, ніж множинного.

Сутність однозначного голосування полягає у тому, що кожна ознака із множини одного опису може знайти собі лише одну відповідність на всій множині другого опису. Нехай мінімальна відстань від трійки  $\alpha_q$ , як ознаки об'єкта, до елементів множини  $\{\alpha_p\}_j$   $j$ -го еталона визначається, як

$$\rho(\alpha_q, \{\alpha_p\}_j) = \min_p \rho(\alpha_q, \alpha_{pj}), \quad (4)$$

де  $\rho(\alpha_q, \alpha_{pj})$  – деяка метрика на множині ГІО.

В якості метрики при зіставленні двох векторів ГІО можливе використання наприклад, манхеттенської відстані  $\rho(\alpha_q, \alpha_{pj}) = |\zeta_q - \zeta_{pj}| + |\eta_q - \eta_{pj}| + |\gamma_q - \gamma_{pj}|$  або евклідової метрики  $\rho(\alpha_q, \alpha_{pj}) = \sqrt{(\zeta_q - \zeta_{pj})^2 + (\eta_q - \eta_{pj})^2 + (\gamma_q - \gamma_{pj})^2}$ . При застосуванні манхеттенської відстані порівняно з евклідовою вплив окремих значних різниць (викидів) ознак дещо менше.

Далі необхідно оцінити значимість величини  $\rho(\alpha_q, \{\alpha_p\}_j)$ , отриманої при визначенні (4) шляхом порівняння з деяким порогом  $\varepsilon$  для метрики. Якщо виконується умова  $\rho(\alpha_q, \{\alpha_p\}_j) < \varepsilon$ , то кількість голосів за  $j$ -й еталон збільшується на одиницю, тобто вважається, що ознака  $\alpha_q$  знайшла відповідність в описі еталона  $j$ . Тут кожна трійка  $\alpha_q$  інваріантів еталона може сформулювати тільки один або не сформулювати голос за множину  $\{\alpha_p\}_j$  ознак еталону. Максимальне число голосів у такій схемі дорівнює числу ознак об'єкта.

Формально функція обчислення голосу має вигляд:

$$h(\alpha_q, j) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } \min_p \rho(\alpha_q, \alpha_{pj}) < \varepsilon, \\ 0, \text{ в інших випадках.} \end{cases} \quad (5)$$

Усі відомі підходи до побудови міри подібності між описами  $Z_1, Z_2$ , використовують в якості базової інформації матрицю відстаней

$$P = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \dots & \rho_{1n_1} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \dots & \rho_{2n_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{n_2 1} & \rho_{n_2 2} & \dots & \rho_{n_2 n_1} \end{bmatrix}$$

між усіма можливими парами елементів  $z_i \in Z_1, z_j \in Z_2$ , де  $n_1, n_2$  – потужності скінчених множин  $Z_1, Z_2$ .

Реалізація принципу однозначного голосування елементів  $z_i$  пов'язана з аналізом окремих рядків матриці  $P$  на предмет формування голосу, рівного 0 або 1. Згідно отриманого набору відповістей (голосів) можна обчислити значення критерію подібності двох описів у вигляді суми

$$L(j) = \sum_{q=1}^{n_1} h(\alpha_q, j), \quad (6)$$

де  $n_1$  – загальне число ознак об'єкта. Більш практичним є порівняння описів, коли здійснюється пошук відповістей ознак еталона на множині ознак невідомого об'єкта. Максимальне число голосів у цій ситуації дорівнює числу ознак еталона.

При застосуванні множинного голосування голос за еталон  $j$  віддається кожен раз у випадку, якщо виконується умова  $\rho(\alpha_q, \alpha_{pj}) \leq \varepsilon$ . Максимальне число голосів у цьому методі дорівнює добутку кількостей ознак об'єкта та еталона. Формально функцію отримання голосу можна представити у вигляді:

$$h(\alpha_q, j) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } \rho(\alpha_q, \alpha_{pj}) < \varepsilon, \\ 0, \text{ в інших випадках,} \end{cases} \quad (7)$$

де  $\rho(\alpha_q, \alpha_{pj})$  – відстань між парою ознак  $\alpha_q, \alpha_{pj}$  об'єкта та еталона  $j$ -го класу відповідно,  $j \in J$ ,  $\varepsilon$  – поріг значимості.

Підсумкова функція для класу-кандидата з номером  $j$  у разі множинного і однозначного голосування визначена виразом (6). Отримане значення критерію подібності ділиться на максимально можливе число голосів, в результаті маємо нормоване значення  $L(j) \in [0,1]$ , за яким приймається рішення відповідно із максимальною часткою голосів. Кінцевий результат застосування методів зіставлення безпосередньо залежить від порога  $\varepsilon$ . Крім того, прийняття рішення при множинному голосуванні завжди спирається на більшу кількість голосів, ніж при однозначному, що вимагає додаткового нормування.

Використання структурних просторових відношень елементів опису шляхом переходу до простору ОПС, побудований на основі координат ХО, дає можливість удосконалення структурної класифікації шляхом введення нових ресурсів, які мають інформаційні властивості високорівневої системи ознак.

**У третьому розділі** розроблено моделі групування елементів ОПС, застосування яких забезпечує підвищення показників достовірності за рахунок домінування при прийнятті рішень групою зв'язаних ознак над стандартними рішеннями, які приймаються окремими кандидатами на множині незалежних ознак. Удосконалено гібридні моделі побудови мір подібності при зіставленні описів на основі об'єднання структурних ознак із різних просторів в одній мірі.

Розглянемо два основних варіанти групування, аналізу та обробки структурного опису у вигляді множини  $A$ , отриманої шляхом обчислення ГІО на основі множини ХО  $U = \{u_i\}_{i=1}^n$ .

Сформуємо структурний опис у вигляді об'єднання  $A = \bigcup_k \{\alpha\}_k$ , де  $k = \overline{1, C_n^3}$ ,  $\{\alpha\}_k \in A$  – підмножина значень ГІО, побудована на основі координат  $k$ -го базиса із трьох довільних неколінеарних точок опису  $U$ . Підмножина  $\{\alpha\}_k$  є набором векторів – трійок ГІО для всіх ХО у системі координат одного АБ. Модель опису  $\{\alpha\}_k$  має вигляд:

$$\{\alpha\}_k = \langle e_k, \{\alpha_q^k\}_{q=1}^{n-3} \rangle, \quad (8)$$

де  $e_k$  – базис, на основі якого здійснюється групування.

Розглянемо тепер другий варіант опису у форматі об'єднання  $A = \bigcup_q \{\alpha\}_q$ , де  $\{\alpha\}_q$  – підмножина ГІО для однієї ХО із  $U$  під номером  $q$ ,  $q = \overline{1, n}$ . Підмножина  $\{\alpha\}_q$  містить сукупність тих  $\alpha$ , які пов'язують одну ХО на множині усіх існуючих АБ. Структура елемента опису набуває вигляду кортежа:

$$\{\alpha\}_q = \langle x_q, y_q, \{\alpha_k\}_{k=1}^n \rangle. \quad (10)$$

Кожна із розроблених моделей групування елементів ОПС демонструє отримання опису у вигляді груп ознак із своєю структурою, яка має окремі властивості, потрібні для здійснення ефективною класифікації для конкретних задач.

Для підвищення оперативності процедури класифікації структурних описів раціональним є застосування процедур стиснення множин елементів еталона та об'єкта при достатньому рівні достовірності.

Спільне використання структурного групування і фільтрації множин ознак призводить до значного скорочення обсягу опису та обчислювальної складності зіставлення при необхідному для прикладних задач рівні ймовірності класифікації. У зв'язку з обговорюваними варіантами представлення структурного опису розглянемо тепер шляхи та конкретні процедури стиснення опису з метою удосконалення процесу зіставлення з точки зору критерію швидкодії. З метою скорочення обсягу структурного опису у першому варіанті групування (8) на основі окремих АБ введемо процедуру  $F_1: A \rightarrow A_1$  фільтрації на множині базисів. У результаті отримаємо стиснений опис  $A_1 = \bigcup_{k=1, \dots, s} \{\alpha\}_k$ , де  $k = \overline{1, s}$ ,  $s$  – число елементів у стисненому описі. Коефіцієнт стиснення дорівнює  $C_n^3 / s$ , що призводить до відповідного скорочення часу зіставлення.

Одним із прикладів  $F_1$  може бути процедурне формування  $A_1$  на принципах участі кожної еталонної ХО хоча б в одному із базисів, що використовуються при зіставленні з метою класифікації. Розглянемо в якості практичного прикладу один із принципів формування зв'язків. Суть принципу полягає в створенні мережі АБ відповідно до випадкової нумерації ХО. Наприклад, перший базис  $e_1$  містить ХО з номерами 1, 2, 3. Другий АБ  $e_2$  формуємо на основі 2, 3 та 4-ї ХО. Процедура  $F_1$  продовжується до тих пір, поки закінчиться можливість побудови АБ з трійок ХО. У загальному випадку  $k$ -ий базис  $e_k$  містить ХО з номерами  $\{u_i, u_{i+1}, u_{i+2}\}$ , а  $e_{k+1} = \{u_{i+1}, u_{i+2}, u_{i+3}\}$ , де  $\{u_i\}_{i=1}^n \in U$ . Число базисів  $k$  в стисненому описі досягає значення  $n - 2$ , що на порядок менше, ніж у повному описі.

Варіантом процедури  $F_2$  стиснення та фільтрації, пов'язаним з другим способом групування (10), є перевірка точок опису  $U$  при формуванні АБ, на виконання умови колінеарності  $F_2: U \rightarrow U_2$ . Якщо встановлено, що три точки належать одній прямій, то одна із точок, наприклад 3-я, не бере участь у формуванні ОПС. Зв'яжемо процедуру відбору точок з порогом точності  $\varepsilon_k$ . Із збільшенням порогу число ХО, а з ним і число аналізованих АБ скорочується. Як результат, скорочується і множина елементів опису у вигляді ОПС  $A_2 = \bigcup_{k=1, \dots, s} \{\alpha\}_k$ . Число елементів  $s$  у стисненому описі залежить від бази зображень, яка аналізується.

Запропоновано гібридні моделі побудови мір подібності на основі об'єднання структурних ознак із різних просторів в одній мірі при зіставленні описів, що підвищує достовірність класифікації за рахунок більш гнучкого, точного і багатостороннього аналізу властивостей описів. Суть гібридних систем полягає у формуванні деякої сукупності ознак з різних компонентів, об'єднаних в інтересах досягнення поставлених цілей. Основним завданням гібридизації є подолання недоліків окремих алгоритмів, і прагнення не втратити переваг кожного з окремо взятих алгоритмів. Один із способів комплексування для задачі класифікації – це спільне використання при голосуванні атрибутивних (наприклад, значення ХО відповідно з детектором) і просторових (значення ГЮ) характеристик ХО. При

цьому ГІО із структурного опису об'єкта використовуються при пошуку відповідних їм ГІО еталона незалежно від атрибутів ХО, а при формуванні голосу в цілях поліпшення достовірності додатково перевіряється величина подібності відповідних детекторів ХО.

Структуру опису візуального об'єкта  $S = \{s_i\}_{i=1}^n$  (1) доповнимо  $k$ -мірним числовим вектором атрибутивних ознак  $d_i \in \mathbb{R}^k$ , інваріантним до геометричних перетворень із групи подібності, який відображає властивості зображення в локальному околі ХО  $(x_i, y_i)$  і отриманий, наприклад, відповідно до методу SIFT або SURF:

$$s_i = \langle x_i, y_i, \{\alpha_q\}_{q=1}^{m_i}, d_i \rangle. \quad (11)$$

У загальному випадку  $\{d_i\}$ ,  $\{\alpha_q\}$  є скінченними мультимножинами.

Одним із підходів до гібридизації є використання одного способу для пошуку перспективних областей у просторі рішень, інший здійснює серед них локальний пошук для подальшого знаходження глобального оптимуму або, іншими словами, виконується ієрархічна стратегія оптимізації, при якій локальний компонент пошуку уточнює «грубі» рішення, отримані в результаті глобального пошуку партнерським алгоритмом. Ефективним засобом усунення впливу хибних або змінених під впливом перешкод елементів структурного опису є логічна обробка значень міри подібності, наприклад, у вигляді предиката

$$L_V(\rho_V, \varepsilon_V, a, b) = \begin{cases} 1, & \rho_V(a, b) \leq \varepsilon_V, \\ 0, & \rho_V(a, b) > \varepsilon_V, \end{cases} \quad (12)$$

де  $a, b \in V$  – ознаки або множини ознак з деякого простору  $V$ ,  $\varepsilon_V$  – поріг для значення метрики, який задає еквівалентність  $a$  та  $b$ .

Застосовуючи бінарну обробку  $L_V(\cdot)$  у відповідних просторах ознак спільно з логічною операцією  $\Theta$ , побудовано міри подібності у вигляді функції:

$$\mathfrak{D}(s_i, s_j) = \varphi[\rho_\alpha, \rho_d, \Theta[L_\alpha(\cdot), L_d(\cdot)]], \quad (13)$$

де  $\Theta$  задає логічний зв'язок між ознаками із різних просторів,  $\rho_\alpha, \rho_d$  – метрики, а  $\varepsilon_\alpha, \varepsilon_d$  – пороги в предикатах  $L_\alpha, L_d$  для відповідних типів ознак. Якщо, наприклад, в (13) вибрати в якості  $\Theta$  кон'юнкцію, то маємо міру на базі перевірки істинності обох предикатів. Якщо  $\Theta$  – диз'юнкція, то маємо міру на основі істинності одного з предикатів. Логічна модель (12) більше підходить для встановлення відповідності описів у вигляді множин. Один з варіантів: якщо мінімум по  $\{d\}$  і мінімум пов'язаного з ним  $\{\alpha\}$  визначаються всередині одного і того ж еталона, то зараховується голос за цей еталон. Більш практичним є застосування кон'юнкції, інші варіанти призводять до послідовної моделі.

Правило визначення голосу  $h(s_i, j)$  за елемент  $s_i$  при обчисленні (13) на основі  $\Theta$  як кон'юнкції набуває вигляду

$$h(s_i, j) = \begin{cases} 1, [\theta(\alpha_i, j) \neq \emptyset] \& [\theta(d_i, j) \neq \emptyset], \\ 0, \text{в інших випадках,} \end{cases} \quad (14)$$

де  $\theta(d, j) = \{d \in \Lambda(j) \mid L_d\}$ ,  $\theta_j(\alpha, j) = \{\alpha \in \{\alpha\}_j \mid L_\alpha\}$  – множини відповідностей атрибута  $d$  і ГІО  $\alpha$  в компоненті  $j$ -го еталона, а символ  $\&$  означає одночасне виконання умов. Голос (14) зараховується, якщо множини відповідностей кожного з типів ознак в еталонній множині не порожні.

Якщо в (13) вважати  $\phi$  способом комплексування, то цей вираз набуває загального характеру з урахуванням довільного типу спільної обробки просторів ознак. Вираз (13) і його конкретизацію можна охарактеризувати як міри на просторово-атрибутивних відношеннях елементів  $\alpha$ ,  $d$ , тому що саме відношення елементів виступають в якості апарата при побудові таких мір.

Застосування мір (13) в задачі класифікації зводиться до підрахунку та оптимізації кількості голосів  $h(s_i, j)$ , відданих за еталон класу. Результатом голосування є значення функції  $L(j) \in [0, 1]$ , визначеної в (6).

Другим варіантом гібридизації є послідовна модель зіставлення, суть якої полягає в тому, що один із типів ознак (атрибути чи геометрія) використовується в якості основного при прийнятті рішення, а другий грає роль контролю або підтвердження. Обчислимо в просторі геометричних ознак  $\{\alpha\}$  відстань

$$\rho(\alpha_{iA}, \{\alpha_p\}_B) = \min_p \rho_\alpha(\alpha_{iA}, \alpha_{pB}) \quad (15)$$

від ХО з номером  $i$  еталона  $A$  до множини  $\{\alpha_p\}_B$  ХО об'єкта. Зафіксуємо номер  $1$  елемента з  $B$ , для якого досягається мінімум (15). Далі перевіряємо умову на значимість подібності (14) за допомогою предиката  $L_\alpha(\cdot)$ . При виконанні  $L_A(\cdot) = 1$  голос  $h(s_i, j)$  елемента  $\alpha_{iA}$  зараховуємо ( $h(s_i, j) = 1$ ), якщо додатково виконується також істинність предиката  $L_d(\cdot)$  для атрибутивних ознак. В іншому випадку приймаємо  $h(s_i, j) = 0$ .

Ще одним варіантом гібридизації є асоціативна модель зіставлення, в якій фігурує спільне використання в одній мірі просторово-атрибутивних ознак, що реалізується у вигляді міри для  $s_{iA} \in A$ ,  $s_{qB} \in B$ :

$$\rho(s_{iA}, s_{qB}) = \frac{1}{2} [\rho_\alpha(\alpha_{iA}, \alpha_{qB}) + \rho_d(d_{iA}, d_{qB})], \quad (16)$$

яка є метрикою як лінійна комбінація метрик. Застосування асоціативної моделі передбачає, що для всіх ГІО, побудованих для одної ХО, використовується одне і теж значення її дескриптора. Мінімум (16) визначається на всій множині еталонних описів з подальшою перевіркою на перевищення порогу  $\varepsilon_u$  для асоціативної метрики. Значення метрик в (16) зазвичай нормуються до відрізка  $[0, 1]$  для виключення переваги однієї з них. Асоціативна міра (16) враховує значення ознак з

різних просторів рівноцінним чином, тут можливе застосування також зважених характеристик.

Спільне використання у гібридних моделях голосування ознак з геометричних і атрибутивних просторів, які властиві системам комп'ютерного зору, показує переважні характеристики класифікації в умовах адитивних і просторових перешкод у порівнянні з відомими методами, що говорить про доцільність їх застосування на практиці.

У четвертому розділі набула подальшого розвитку модель обчислення подібності описів на основі принципу формування оптимальних групових відповідностей їх елементів для визначення максимальної кількості пар ознак об'єкт-еталон у вигляді ОПС на основі Угорського методу (УМ), що підвищує достовірність розпізнавання за рахунок однозначного і більш точного врахування подібності підмножин описів і забезпечує мінімум критерію сумарної відстані між елементами описів. Виконано експериментальні дослідження з оцінки ефективності розроблених методу і моделей зіставлення описів, наведено результати впровадження матеріалів дисертації в задачах ідентифікації зображень архітектурних стилів, а також у технологіях пошуку і класифікації зображень технічних засобів внутрішніх військ.

Застосуємо УМ для оптимального встановлення величини відповідності між двома структурними описами з урахуванням можливої дії просторових перешкод, що призводять до спотворень окремих елементів. Результатом виконання УМ є формування максимального паросполучення для елементів двох множин з мінімізацією загальної вартості (ваг) у вигляді суми відстаней між парами елементів в порівнюваних описах. Зіставлення  $Z_1, Z_2$  на основі УМ формально зведено до вирішення оптимізаційної задачі:

$$R(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \rho(z_i, z_j) x_{ij} \rightarrow \min, \quad (17)$$

де  $z_i \in Z_1, z_j \in Z_2$ ,  $m$  і  $n$  – потужності множин в описах  $Z_1, Z_2$ ,  $x_{ij}$  – бінарна ознака,  $x_{ij} \in \{0,1\}$ , що відображає відповідність  $i$ -го і  $j$ -го елементів з  $Z_1, Z_2$ . Рішення задачі (17) при обмеженні на однозначність відповідності ознак при зіставленні множин

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i = \overline{1, m}, \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall j = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (18)$$

мінімізує відстань між  $Z_1, Z_2$ .

Як оптимальний, так і заснований на голосуванні підходи використовують в якості базової інформації матрицю відстаней  $P$  між можливими парами елементів  $z_i \in Z_1, z_j \in Z_2$ . Реалізація УМ передбачає цілеспрямований вибір такої

послідовності з  $\{\rho_{ij}\}$ , сума значень якої  $S_2 = \sum \rho_{ij}$  буде мінімальна на множині можливих відповідностей елементів описів, і при цьому з кожного рядка і стовпця матриці  $P$  буде обраний тільки один елемент, що в результаті забезпечує вибір оптимального за критерієм  $S_2$  однозначного паросполучення між елементами двох описів. Реалізація УМ здійснюється шляхом цілеспрямованого еквівалентного перетворення матриці  $P$  з послідовним аналізом її рядків і стовпців для отримання матриці з невід'ємними елементами і системою  $m$  незалежних нулів, з яких ніякі два не належать одному і тому ж рядку і стовпцю. При досягненні ситуації з  $m$  незалежними нулями проблема вибору вважається вирішеною, оптимальний варіант призначень визначається позиціями нулів у перетвореній матриці. Приклад паросполучення зображений на рис. 2.

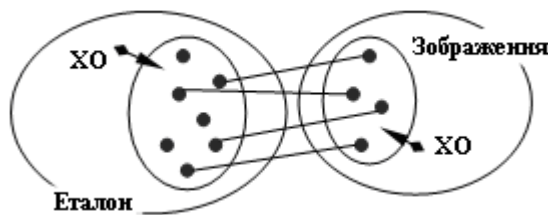


Рисунок 2 – Паросполучення для множин ХО

Застосування розглянутої моделі дозволяє вирішити задачу встановлення величини подібності структурних описів об'єктів в умовах невідповідності порядку їх слідування або порушення цілісності опису через перешкоди.

Синтезована модель зіставлення описів на основі оптимальних групових відповідностей знайшла найбільше застосування для ОПС у вигляді структури (8) об'єднання підмножин ГІО  $\{\alpha\}_k$ , де  $k = \overline{1, C_n^3}$ . Оскільки підмножини ознак у даному контексті містять переважно невелику кількість елементів у порівнянні із структурою (10), то обчислювальна складність процедури пошуку оптимального паросполучення між цими підмножинами значно зменшується. Рішення про збіг об'єкта з еталоном приймається на основі максимального числа встановлених відповідностей між підмножинами ОПС або на основі мінімуму  $S_2$ .

В якості критерію, що характеризує достовірність класифікації, використано величину  $\theta = h_1 / h_2$ , де  $h_2$  – максимальне число набраних голосів,  $h_1$  – найближчий до нього максимум. Значення критерію  $\theta \in [0,1]$  показує, наскільки впевнено здійснюється прийняття рішення на основі обчисленого максимуму голосів, відданих за конкретний еталон. Чим менше значення (ближче до 0), тим більше глобальне рішення має перевагу над локальним, що відповідає найбільш близькому з інших (можливо, помилкових) класів.

Проведені експериментальні дослідження показують переважні характеристики розпізнавання для оптимального методу, де величина критерію  $\theta$  для правильно розпізнаного класу щодо інших еталонів не перевищує 0,16, у той час як для традиційного методу вона досягає 0,8, що говорить про доцільність розвитку та застосування оптимальних методів зіставлення множин ОПС в задачах



комп'ютерного зору. Достовірність розпізнавання для оптимального методу істотно краща, тому що рішення про клас приймається більш надійно.

Проведено також експериментальні дослідження аналізу ефективності класифікації на основі запропонованих моделей побудови опису зображень шляхом застосування просторових структур і процедур фільтрації з існуючими моделями на базі повної множини незалежних ознак, що показало їх значну перевагу в плані достовірності і швидкодії. Експерименти підтвердили надійність впевненого прийняття рішень для представлених моделей з використанням процедур стиснення (рис. 3), рівень подібності для помилкових класів не перевищує значення 0,02 у порівнянні з правильним класом за рахунок взаємного розташування і пошуку правильних відповідностей між елементами підмножин об'єкта й еталона. Зниження числа елементів на 20% підвищує оперативність виконання процедури в 6 разів.

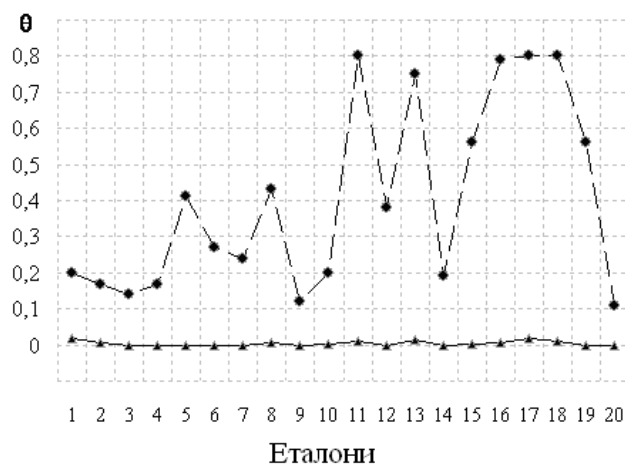


Рисунок 3 – Ефективність класифікації для моделей побудови опису:

- — на базі повної множини незалежних ознак;
- ▲— — із застосуванням ознакових просторових структур.

Проведені експериментальні дослідження щодо застосування при класифікації гібридних моделей мір подібності на основі об'єднання структурних ознак із різних просторів показали, що за рахунок більш різностороннього аналізу властивостей аналізованих об'єктів забезпечується більш висока достовірність розпізнавання в порівнянні з традиційними підходами. Проведені експерименти оцінки ефективності розроблених у дисертації методів підтвердили достатньо високу їх завадозахищеність, яка не поступається відомим методам. Ймовірність розпізнавання на основі просторових ознак при множинному голосуванні знижується до 0,67, у той час як методи комплексування ознак зберігають досить високу ймовірність 0,89 і 0,95 при цих же перетвореннях. Найбільш висока ймовірність класифікації зберігається в діапазоні 0,99–0,95 при застосуванні асоціативної міри подібності, яка враховує ознаки з різних просторів рівноцінно.

Використання результатів дисертації у задачах ідентифікації зображень архітектурних стилів, що визначаються складовими конструкціями, а також у технологіях пошуку і класифікації зображень технічних засобів внутрішніх військ підтверджує практичну цінність проведених досліджень.

**У додатку** наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено результати, які відповідно до мети дослідження є розв'язанням актуальної науково-практичної задачі підвищення ефективності класифікації зображень за рахунок використання розроблених методу зіставлення структурних описів на основі моделей просторових ознакових структур, гібридних моделей класифікації та моделі обчислення подібності описів шляхом формування оптимальних групових відповідностей їх елементів. Автором одержано такі наукові та практичні результати.

1. Синтезований новий метод зіставлення структурних описів зображень на основі побудови моделей інваріантних ознакових структур із застосуванням голосування, який за рахунок використання у процесі обчислення подібності нових інформаційних зв'язків у вигляді відповідності структур об'єктів вдосконалює процедуру класифікації і забезпечує більш високий рівень достовірності.

2. Розроблена нова модель побудови опису зображень шляхом застосування ознакових просторових структур, згрупованих навколо координат характерних ознак або афінних базисів, з подальшим стисненням отриманої множини структур, що забезпечує підвищення показників достовірності за рахунок домінування при прийнятті рішень групою зв'язаних ознак над стандартними рішеннями, які приймаються за окремими елементами на множині незалежних ознак. У результаті класифікації із застосуванням групування елементів у вигляді ознакових просторових структур ступінь подібності для неправильно класифікованих еталонів не перевищує 2%, в той час як для традиційних методів він досягає 80%. Спільне використання структурного групування і фільтрації множини ознак призводить до значного скорочення обсягу опису та обчислювальної складності зіставлення при необхідному для прикладних задач рівні ймовірності класифікації. У розглянутих практичних прикладах обсяг опису зменшився в 1,4 рази.

3. Удосконалено гібридні моделі класифікації зображень на основі аналізу структурних різнотипних ознак, що покращує достовірність класифікації за рахунок багатостороннього та поглибленого аналізу складу описів. Ймовірність розпізнавання на основі просторових ознак при множинному голосуванні при збільшенні рівня дії перешкод знижується до 0,67, у той час як гібридні моделі класифікації зберігають високу ймовірність 0,89 і 0,95 при цих же спотвореннях. Найбільш висока ймовірність класифікації зберігається в діапазоні 0,99-0,95 при застосуванні асоціативної міри подібності, яка враховує ознаки з різних просторів рівноцінним чином.

4. Набула подальшого розвитку модель обчислення подібності описів на основі принципу формування оптимальних групових відповідностей для визначення максимальної кількості пар ознак об'єкт-еталон у вигляді інваріантних просторових структур на основі Угорського методу, що сприяє підвищенню достовірності розпізнавання за рахунок однозначного і більш точного врахування подібності підмножин описів і забезпечує мінімум критерію сумарної відстані між описами об'єкта й еталона. Експериментальні дослідження показують переважні характеристики розпізнавання для оптимального методу, де ступінь подібності об'єкта із всіма можливими еталонами не перевищує 16%, у той час як для

традиційного методу він досягає 80%, що говорить про доцільність застосування оптимальних методів зіставлення множин у вигляді ознакових просторових структур в задачах комп'ютерного зору.

5. Результати дисертаційної роботи знайшли застосування в НДЦ Академії ВВ МВС України у технологіях пошуку шляхом зіставлення та обробки описів синтезованих зображень технічних засобів на основі ознакових просторових структур та в ТОВ «БК ГОТІКА» при автоматизації вирішення прикладних задач визначення архітектурного стилю будівлі або ескізу шляхом зіставлення описів, побудованих на основі структур геометричних інваріантних ознак ключових точок зображень. Результати дисертації використані у навчальному процесі Харківського національного університету радіоелектроніки в рамках дисциплін «Основи комп'ютерної графіки», «Структурні методи інтелектуальної обробки відеоданих», «Аналіз даних» для студентів напрямку «Інформатика»

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Гороховатский В.А. Модели комплексированных мер подобия структурных описаний изображений / В.А. Гороховатский, Т.В. Полякова, Е.П. Путятин // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2011. – Т. 13. – № 1. – С. 71–76.

2. Гороховатский В.А. Оптимальные методы сопоставления структурных описаний видеообъектов / В.А. Гороховатский, Т.В. Полякова // Бионика интеллекта. – 2011. – № 3 (77). – С. 85–88.

3. Полякова Т.В. Анализ и сжатие структурных описаний на основе геометрических инвариантных признаков / Т.В. Полякова // Прикладная радиоэлектроника. – 2012. – Т. 11. – № 3. – С. 417–420.

4. Gorokhovatskiy V.A. Geometrical Invariant Features Peculiar for the Methods of Structural Classification of Images / V.A. Gorokhovatskiy, T.V. Poliakova // Telecommunications and Radio Engineering. – 2012. – № 71 (17). – P. 1557–1564. (Входить до міжнародних наукометричних баз INSPEC та EBSCO)

5. Гороховатский В.А. Повышение быстродействия метода аффинных инвариантов при сопоставлении структурных описаний визуальных объектов / В.А. Гороховатский, Т.В. Полякова // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. праць. – Київ, 2009. – № 2 (10). – С. 81–83.

6. Гороховатский В.А. Критерии и модели структурной классификации с применением принципа голосования / В.А. Гороховатский, Т.В. Полякова // Системи обробки інформації: зб. наук. праць. – Харків: ХУПС, 2011. – № 2 (92). – С. 12–16.

7. Полякова Т.В. Классификация изображений на основе признаков пространственных структур / Т.В. Полякова, Ю.А. Куликов, В.А. Гороховатский // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – № 2 (976). – С. 101–109. – Серія «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». (Входить до міжнародних наукометричних баз INSPEC та EBSCO)

8. Полякова Т. В. Исследование методов сопоставления структурных объектов / Т. В. Полякова // Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.: 13-й міжнародний

молодіжний форум, Харків, 30 березня – 1 квітня 2009 р.: збірник матеріалів форуму. – Харків: ХНУРЕ, 2009. – С. 337.

9. Гороховатський В. Стиснення описів при застосуванні структурно-ієрархічних методів розпізнавання зображень / В. Гороховатський, Р. Гребінник, Т. Полякова // Комп'ютерні науки та інформаційні технології (CSIT2009): IV міжнародна науково-технічна конференція, Львів, 15–17 жовтня 2009 р.: матеріали конференції. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2009. – С. 79–81.

10. Гороховатський В.А. Метод структурного розпізнавання зображень з використанням різномісних ознак / В.А. Гороховатський, Т.В. Полякова // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS–2009): VII міжнародна науково-практична конференція, Дніпропетровськ, 25–27 листопада 2009 р.: тези доповідей. – Дніпр-ськ: ДНУ, 2009. – С. 71–72.

11. Гороховатський В.А. Моделі ознакових просторів в структурних методах розпізнавання зображень / В.А. Гороховатський, Ю.А. Куликов, Т.В. Полякова // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI'11): міжнародна наукова конференція, Євпаторія, 16-20 травня 2011 р.: матеріали конференції. – Херсон: ХНТУ, 2011. – С. 226–230.

12. Полякова Т.В. Структурна обробка множин інваріантних геометричних ознак при розпізнаванні відео-об'єктів / Т.В. Полякова // Актуальні проблеми технічного забезпечення внутрішніх військ МВС України: науково-практичний семінар, Харків, 25 квітня 2012 р.: матеріали семінару. – Харків: АВВ МВС України, 2012. – С. 44 – 48.

13. Полякова Т.В. Групові представлення і аналіз описів відео-об'єктів в формі множин структурних геометричних ознак / Т.В. Полякова, В.А. Гороховатський // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI'2012): міжнародна наукова конференція, Євпаторія, 27–31 травня 2012 р.: матеріали конференції. – Херсон: ХНТУ, 2012. – С. 398–400.

14. Полякова Т.В. Оптимальні заходи подоби структурних описів зображень / Т.В. Полякова, В.А. Гороховатський // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS–2012): X ювілейна міжнародна науково-практична конференція, Дніпропетровськ, 21-23 листопада 2012 р.: тези доповідей. – Дніпр-ськ: ДНУ, 2012. – С. 244–245.

## АНОТАЦІЯ

Полякова Т.В. Класифікація зображень на основі ознакових просторових структур. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2013.

Дисертацію присвячено розробленню та дослідженню методів класифікації зображень на основі описів у вигляді множин характерних ознак в умовах дії геометричних перетворень і просторових перешкод.

Синтезовано метод зіставлення описів зображень на основі побудови моделей інваріантних ознакових структур із застосуванням принципу голосування. Розроблено модель побудови опису об'єктів шляхом застосування просторових структур з урахуванням контексту і просторових властивостей елементів опису та подальшим стисненням отриманої множини структур.

Набули подальшого розвитку гібридні моделі класифікації зображень із застосуванням багатостороннього аналізу структурних різнотипних ознак у вигляді множини значень дескрипторів та інваріантних ознак, побудованих на основі їх координат. Удосконалено модель обчислення подібності описів з використанням принципу формування оптимальних групових відповідностей їх елементів шляхом встановлення максимального паросполучення між елементами описів, яка відрізняється від відомих моделей принципом встановлення взаємно-однозначних відповідностей ознак і забезпечує мінімум критерію сумарної відстані між множинами елементів опису об'єкта і еталону.

Ключові слова: класифікація зображень, структурний опис, геометричні інваріантні ознаки, ознакові просторові структури, геометричні перетворення, принцип голосування, критерій класифікації, модель подібності, достовірність класифікації.

## АННОТАЦІЯ

Полякова Т. В. Классификация изображений на основе признаков пространственных структур. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.23 – системы и средства искусственного интеллекта. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2013.

Диссертация посвящена разработке и исследованию методов классификации изображений с использованием описаний в виде множеств характерных признаков в условиях действия геометрических преобразований и пространственных помех.

Синтезирован метод сопоставления описаний изображений на основе построения моделей инвариантных признаков структур с применением принципа голосования, который за счет использования в процессе вычисления сходства новых информационных связей в виде соответствия структур объектов усовершенствует процедуру классификации и обеспечивает более высокий уровень достоверности. Результаты практической реализации предложенного метода позволили определить и устранить дублирование близких структурных описаний образцов и предотвратить генерацию избыточных описаний при автоматизации процесса поиска в базе изображений.

Разработана модель построения описания объектов путем применения пространственных структур, основанных на системе связей между элементами, с учетом контекста и пространственных свойств элементов описания и последующим

сжатием полученного множества структур. Построение описаний изображений в виде пространственных структур инвариантных признаков обеспечивает возможность сжатия множества признаков на этапе построения описания и непосредственного управления геометрическими конструкциями, построенными на координатных соотношениях характерных признаков внутри синтезированного описания для осуществления эффективной классификации. Применение описанной модели обеспечивает повышение показателей достоверности за счет доминирования при принятии решений группой связанных признаков над стандартными решениями, которые принимаются по отдельным элементам на множестве независимых признаков. Совместное использование структурной группировки и процедур сжатия множества признаков приводит к значительному сокращению объема описания и снижению вычислительной сложности сопоставления при необходимом для прикладных задач уровне вероятности классификации.

Получили дальнейшее развитие гибридные модели классификации изображений с применением многостороннего анализа структурных разнотипных признаков в виде множества значений дескрипторов и инвариантных признаков, построенных на основе их координат. Эффективность совместного использования признаков из различных пространств определяется степенью преодоления недостатков применяемых множеств признаков и стремлением сохранить преимущества каждого из отдельно взятых компонентов гибридного пространства.

Усовершенствована модель вычисления подобия описаний в виде признаковых пространственных структур на основе венгерского метода с использованием принципа формирования оптимальных групповых соответствий их элементов путем установления максимального паросочетания между элементами описаний. Она отличается от известных моделей принципом установления взаимно-однозначных соответствий признаков, обеспечивает минимум критерия суммарного расстояния между парами признаков из описаний объекта и эталона, при этом повышается достоверность классификации за счет однозначного и более точного учета сходства элементов описаний.

Теоретические результаты исследований внедрены в прикладных системах распознавания синтезированных и реальных изображений, а также в учебном процессе в рамках дисциплин «Основы компьютерной графики», «Структурные методы интеллектуальной обработки видеоданных», «Анализ данных».

Ключевые слова: классификация изображений, структурное описание, геометрические инвариантные признаки, признаковые пространственные структуры, геометрические преобразования, принцип голосования, критерий классификации, модель сходства, достоверность классификации.

## ABSTRACT

Poliakova T. V. Image classification based on feature spatial structures. – Manuscript.

The thesis for the candidate degree in technical sciences on the specialty 05.13.23 – Systems and means of artificial intelligence. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2013.

Dissertation is devoted to research and development of methods for image classification based on descriptions in the form of a set of characteristic features in times of geometric transformations and spatial interference.

Synthesized by the method of comparing the descriptions of images based on modeling the feature invariant structures using the principle of voting. Was developed a model for the description of the construction of objects through the use of spatial structures, taking into account the context and the spatial properties of the elements of description and the subsequent contraction of the resulting set of structures.

Further developed a hybrid model of image classification using a comprehensive analysis of different types of structural features in the form of a set of values of descriptors and invariant attributes that are based on their coordinates. Was improved a model of computing similarities of descriptions using the principle of the optimal group matches of their elements by setting the maximum matching between the elements of description that is different from the known models of the principle of establishing a one-to-one correspondences features and provides a minimum criterion of the total distance between the sets of elements of the description of the object and a reference.

Keywords: image classification, structural description, geometrical invariant features, feature spatial structures, geometric transformations, voting, criterion of classification, model of similarity, reliability of classification.

Підп. до друку 20.12.13.      Формат 60x84 1/16.    Спосіб друку – ризографія.  
Умов. друк. арк. 0,9.      Облік. вид. арк. 1,2.    Тираж 100 прим.  
Зам. №                              Ціна договірна.

---

ХНУРЕ, 61166, Харків, просп. Леніна, 14

---

Віддруковано в навчально-науковому  
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ  
61166, Харків, просп. Леніна, 14