

УДК 681.3

В. П. КОЖЕМ'ЯКО, Р. М. НОВИЦЬКИЙ, К. В. КОЖЕМ'ЯКО

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

АНАЛІЗ ПАРАЛЕЛЬНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ ОБРОБКИ ТА ПОРІВНЯННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Анотація. В статті проведено аналітичний огляд сучасних паралельних методів та засобів порівняння зображень з використанням оптико-електронних систем око-процесорного типу. Розглянуто класифікаційний аналіз ознак зображень в процесах паралельного порівняння образної інформації та переваги застосування методу KVP-перетворення для задач паралельної око-процесорної обробки та порівняння зображень.

Ключові слова: методи порівняння зображень, ознаки зображень, KVP-перетворення, око-процесор.

Аннотация. В статье проведен аналитический обзор современных параллельных методов и средств сравнения изображений с использованием оптико-электронных систем глаз-процессорного типа. Рассмотрены классификационный анализ признаков изображений в процессах параллельного сравнения образной информации и преимущества применения метода KVP-преобразования для задач параллельной глаз-процессорной обработки и сравнения изображений.

Ключевые слова: методы сравнения изображений, признаки изображений, KVP-преобразования, глаз-процессор.

Abstract. In the article the analytical review of modern methods and means of parallel comparison of images using optical-electronic eye-type processor. We consider the classification analysis of images features in a parallel comparison of imagery data and the advantages of the method KVP-transformations for eye problems in parallel-processor data processing and image comparison.

Key words: methods of image comparison, image attributes, KVP-transformations, eye-processor.

Вступ

Порівняння як основна операція обробки образної інформації входить до складних процедур розпізнавання і обробки майже на всіх етапах оброблення візуальної інформації у сучасних комп'ютерних засобах, системах технічного зору, а також у спеціалізованих око-процесорних структурах.

Задачі порівняння зображень носять неявно виражений комплексний характер та включають ряд основних етапів [1]: сприйняття візуального поля; попереднє оброблення вхідної інформації; сегментацію вхідної інформації; нормалізацію виділених об'єктів; центрування вхідного зображення по відношенню до еталону; безпосередній опис та класифікацію зображення.

Такий обов'язковий етап, як інтерпретація зображення включається частково в етап сегментації і остаточно зважається на етапі порівняння. Важливим етапом при порівнянні є попереднє оброблення [1-3] та зокрема центрування [4], що значно впливає на загальну ефективність порівняння: на час оброблення та на достовірність кінцевого результату.

Основною проблемою завдання порівняння зображень є прийняття рішення про те, чи відносяться вхідні елементи вхідного зображення до класу, що належить еталонному зображенню і являє собою певний еталон або патерн. При порівнянні зображення з еталонами [1] виникає ряд специфічних проблем при створенні систем порівняння: зображення порівнюються на складному фоні; зображення еталона і вхідних зображень відрізняються положенням у полі зору; вхідні зображення не збігаються з еталонами через випадкові завади; відмінності вхідних й еталонних зображень виникають за рахунок зміни освітленості, підсвічування, локальних завод; еталони й зображення можуть відрізнити геометричні перетворення, включаючи афінні та проєктивні [1,3,4].

Для розв'язання задачі порівняння застосовуються різні методи сегментації, нормалізації та розпізнавання зображень. У цій сфері розвиваються все більше нових ідей та методів.

Структурний метод [1] виконує обробку та пов'язане з нею порівняння виходячи з припущення про аналогію між структурою зображення і синтаксисом описової мови, яка дозволяє перенести методи теорії формальних структурних граматики для опису зображень при їх порівнянні.

Недоліки структурного методу проявляються в тому, що деякі засоби з мовної лінгвістики не пристосовані належним чином до вирішення задач розпізнавання та порівняння образної інформації.

Алгебраїчний метод виконує детермінований підхід до вирішення задач порівняння зображень. В основі алгебраїчного методу [5] лежить ідея індуктивного прояву математичних об'єктів шляхом узагальненого індуктивного визначення. В цьому методі реалізуються основні моделі і виконуються операції над ними, які дозволяють послідовно логічним шляхом та математичними визначеннями утворювати нові моделі.

Однак алгебраїчний метод має недоліки ймовірносних моделей. Проте алгебраїчні моделі мають значно менші обмеження в підвищенні точності розділення класів об'єктів і фонів та адаптивності до часткових спотворень опису об'єктів за умови збереження основних їх частин.

Кореляційний метод [1,6] ґрунтується на визначенні коефіцієнтів кореляції між попередньо сформованими еталонами (патернами) і зображеннями об'єктів, що аналізуються; на основі попередньої статистичної обробки зображень з обчисленням координат автокореляційних функцій [1]. В процесі

попередньої обробки кореляційного методу здійснюється власне порівняння зображень (кореляція) з еталоном. Кореляційна функція при цьому визначається [1]:

$$R(\xi, \eta) = \int_{\Omega'} B(x, y) B_e(x - \xi, y - \eta) dx dy \quad (1)$$

де $B_e(x, y)$ – двомірна функція розподілу яскравості еталона; Ω' – область визначення функцій $B(x, y)$ і $B_e(x, y)$.

Даний метод порівняння зображень, незважаючи на оригінальність, має свої недоліки. В першу чергу, для поділу ознак на класи необхідно проводити сканування зображення, при цьому виникає помилка процесу оброблення. Крім того потрібно здійснювати поворот вхідного зображення по відношенню до еталона. Для визначення світлового центру зображення і переносу початку координат потрібна велика кількість обчислень, що неминуче призводить до збільшення обчислювальних операцій обробки, значного ускладнення технічної реалізації та в кінцевому варіанті до збільшення часу процесу порівняння.

Геометричний метод [1] розглядає концепцію образу та відповідних йому ознак. Об'єктивними характеристиками образів є їх ознаки. Принцип порівняння полягає в тому, що системі висувається реалізація окремих класів (навчаюча послідовність). Після цього система сама генерує правило кінцевого вирішення, обираючи його з деякого класу правил, закладених в неї при створенні та навчанні.

Основним недоліком такого підходу є значні похибки при визначенні мір (шаблонів) близькості компактних множин в периферійному створюємому просторі. При повороті на 15 градусів, або аксіальному зміщенні ймовірність точного порівняння значно зменшується (5-10%). Це потребує попередньої операції центрування.

Спектральний метод [7] базується на тому, що у якості ознак об'єктів при порівнянні або розпізнаванні зображень використовують просторово-часовий спектр $S(\omega_x, \omega_y)$, або перетворення Фур'є F функції яскравості $B(x, y)$ (2) виду [7]:

$$S(\omega_x, \omega_y) = F\{B(x, y)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} B(x, y) e^{-j(\omega_x x + \omega_y y)} dx dy \quad (2)$$

Хоча порівняння і обробка зображень спектральними методами здійснюється в оптичному діапазоні, вони становлять інтерес при побудові цифрових фільтруючих, кореляційних та розпізнавальних пристроїв при виборі інформативних ознак.

До недоліків, які притаманні цьому методу можна віднести: чутливість до зсуву вхідного зображення відносно узгодженого фільтра, що призводить до зміщення функції кореляції на виході операції обробки зображення; чутливість до повороту зображення відносно еталону, що потребує необхідності проведення операції обертання зображення, а це значно збільшує кількість операцій та відповідно машинний час; неінваріантність до масштабування вхідного зображення [1]. Це також потребує попереднього оброблення, а саме операції точного центрування зображення, що аналізується по відношенню до еталонного.

У методі на базі теорії нечітких множин [8] ключовим визначенням є нечіткі ознаки. Кінцеве рішення про відповідність зображення до визначеного класу приймається за максимальним значенням коефіцієнта відповідності, що припадає на цей клас. Достовірність обробки та порівняння забезпечується коректним застосуванням операцій максимізації – max та мінімізації – min за допомогою нечіткої логіки, що працює з експертною матрицею знань [1,8]. Як правило в якості нечіткої логіки використовується нейронні мережі або нейронні елементи. До недоліків слід віднести великий коефіцієнт похибки та необхідність до тривалого навчання нейронної експертної системи.

Метод суміщення з еталонами [1] – історично перший метод розпізнавання, основний принцип якого полягає в порівнянні зображення з наперед сформованим набором ідеальних еталонів. Системи порівняння, побудовані на цьому методі, можна розділити на: системи із зберіганням еталонних наборів; системи на базі фотографічних масок; системи, що використовують електричні параметри.

Метод просторово-зв'язаних процесів [1] застосовується при структурному аналізі зображень. Він представляє собою багатокрокову структуру, що досліджує часткові зв'язки між структурними компонентами зображення. З метою зниження чутливості до спотворень та шумів протягом формування зображення застосовується метод представлення зображення з узагальненим просторовим W-зв'язаним спектром.

Перевагою цього методу порівняння зображень [1] є незначне збільшення відношення сигнал/шум, що забезпечується відповідним порівнянням W-зв'язаного спектра зображень з їх Q-спектрами.

В теперішній час існує величезна кількість принципів, методів та алгоритмів порівняння зображень. Серед основних можна виділити статистичні, лінгвістичні або нечіткі підходи [1,9]; детерміновані та неперервно-групові підходи [10]. Методи порівняння зображень класифікують в залежності від типу інформативних ознак або від типу операцій обробки інформації (алгебраїчні, структурні, геометричні, кореляційні, спектральні, обробка на базі нечітких множин) [10]. В залежності від подання вхідного зображення виділяють також кореляційні, ознакові та синтаксичні методи [1]. Є також спеціалізовані методи порівняння зображень, які не є настільки гнучкими та універсальними, однак вже тривалий час використовуються для вирішення конкретних практичних задач.

Метод зондів використовується для порівняння літер і цифр. Він базується на аналізі деяких ознак, істотних для даного зображення, і дає можливість класифікувати рукописні знаки, написані з деякими розбіжностями в розмірі та стилі написання [10]. На зображення, яке порівнюється, накладається спеціально підібрана система електронзондів, які розглядаються як координати в просторі ознак.

Метод маркування зображень [1] полягає в тому, що зображенню штучно надаються ознаки, які визначають його в процесі порівняння. Суть методу полягає в тому, що кожне зображення до самого порівняння має пройти спеціальну обробку в пристрої маркування.

Квазітопологічний метод. Зображення типу букв алфавіту, можна трактувати як плоскі графи, а різне написання однієї і тої ж букви розглядається як гомеоморфні перетворення деякого ідеального знаку. Цей метод порівняння може бути реалізований з використанням графів за допомогою слідкуючої розгортки, що здійснює обхід зображення по зовнішньому контуру. Даний метод не може забезпечити якісного порівняння у випадку поганої якості надрукованих знаків і має не високу швидкість процесу порівняння.

Метод потенціальних функцій [1] використовує подання зображень у вигляді векторів в просторі вхідних сигналів. Алгоритм цього методу базується на основній гіпотезі про характер функцій, що розділяють відповідні образам множини.

Метод стохастичної апроксимації [1] використовує поняття функцій регресії та їх коренів. Ідея застосування цього методу для вирішення задач порівняння пов'язана з вибором функції втрат такою, щоб вона дозволяла організувати рекурентну процедуру.

Метод мінімізації емпіричного ризику, який прямо залежить від існування рівномірної збіжності частот до ймовірностей за класами подій. Алгоритми даного методу можуть бути використані, якщо сміність класу правил алгоритму невелика.

Метод допустимих перетворень дозволяє одночасно з оцінкою шуканого параметра знайти і оцінку параметра перетворення, тим самим для кожного зображення можна вказати еталон максимальної схожості, а також показати, чим зображення відрізняється від початкового еталону. Крім того метод є інваріантним до припустимих перетворень.

Методи порівняння зображень для чисельних задач використовуються в основному при програмній реалізації систем пошуку і порівняння схожих зображень (image retrieval systems). До них відносяться: метод збільшення яскравості; метод текстурної фільтрації; метод детектора границь на базі оператора Собеля; метод порівняння за допомогою гістограм. Розглянемо коротко дані методи.

Метод збільшення яскравості полягає в тому, що при порівнянні зображень, значення яскравостей їх елементів (пікселів) в сумі може бути збільшена або зменшена, що дозволяє фіксувати різницю. Чим ця різниця менша, тим яскравіший елемент зображення. По сумарній різниці яскравостей, або різниці кольорів (при порівнянні яскравостей кольорових зображень) приймається рішення про відповідність, або не відповідність вхідного зображення еталону. До недоліків цього методу можна віднести велике розходження при порівнянні зображень різної роздільної здатності, а також за умов різної фонові освітленості, що вносить значну похибку порівняння.

Метод текстурної фільтрації; передбачає фільтрацію на базі пошуку характерних ознак певної області (сегмента) в зображенні, що порівнюється. Такими областями можуть бути структури, що повторюються або структури з певними геометричними формами. Недоліки методу текстурної фільтрації такі ж як і в методі сегментації, оскільки в цих методах передбачена деяка ступінь подібності між собою.

Метод детектора границь на базі оператора Собеля передбачає використання детектора границь на основі оператора Собеля, який виконує вимірювання двовимірного просторового градієнта на зображенні і виявляє області з великим значенням цього параметра. Ці області і відповідають краям зображення. Це метод використовується для оцінки модуля градієнта в кожній точці чорно-білого зображення. Порівняння зображень в такий спосіб є достатньо точним, але даний метод має вагомий недолік – високу чутливість до зміни роздільної здатності та чіткого розміщення центрів зображень.

Метод порівняння за допомогою гістограм проводить порівняння частоти розташування ліній градацій відтінків кольору або градацій відтінків сірого в напівтонових зображеннях. Розходження і

оцінка порівняння базується при використанні різних характеристик роздільної здатності і градацій, наприклад ущільненні ліній в областях від 0 до 255. Порівняння гістограм дозволяє виявляти розходження не помітні людському оку, що робить цей метод досить високоточним, але разом з тим і повільним при реалізації на послідовних алгоритмах і апаратних архітектурах.

Основні труднощі практичної реалізації цих методів полягають у складності опису конкретного зображення і великому об’ємі обчислювальних операцій над їх параметрами. Для цих спеціалізованих методів необхідно наперед визначити лімітовані критерії порівняння, які мають дуже вузьку галузь застосування.

Узагальнюючі результати аналізу відомих методів порівняння представлені у вигляді удосконаленої класифікації на рис. 1, в якій враховано обов’язкові операції попередньої обробки зображення перед порівнянням: фільтрацію та центрування.

На основі аналізу існуючих методів порівняння встановлено, що ефективність та достовірність кінцевого результату більшості з них значно залежить від розташування вхідного зображення по відношенню до еталона. Це потребує попереднього оброблення у вигляді центрування зображень.

Узагальнена класифікація методів порівняння зображень (рис.1) об’єднує методи за 4-ма підходами до розв’язання задачі порівняння: кореляційні, ознакові, синтаксичні та на основі нейромереж.

Одними з новітніх методів оброблення є методи з використанням трьох основних паралельних перетворень зображень, що розроблені учнями наукової школи проф. Кожем’яко В.П. До них належать: KVP [11-14], Q[2,16-19] та П [16-19] – перетворення. Ці три методи обробки зображень дозволяють усунути більшість недоліків, що притаманні вище приведеним методам оброблення зображень. Але ефективність та достовірність їх результатів також залежить від точності розташування вхідного та еталонного зображень, що потребує попереднього центрування цих зображень. Слід розглянути їх більш детально.

Подальший розвиток структур обробки зображень око-процесорного типу привів до створення Q-перетворення [2,16,17,19] та способу око-процесорної обробки зображень на основі нього[2].

Метод KVP-перетворення [11-14] базується на представленні і перетворенні вхідної інформації зображення у вигляді логіко-часових функцій (ЛЧФ), які несуть інформацію у вигляді тривалостей груп часових інтервалів [11-14]. Апарат ЛЧФ є подальшим розвитком апарату векторно-перемікаючих функції проф. З. Л. Рабиновича.

Q-перетворення образної інформації [2,18] використовується в процесі око-процесорного оброблення (рис. 1) та базується на методі узагальненого контурного препарування зображень [13].

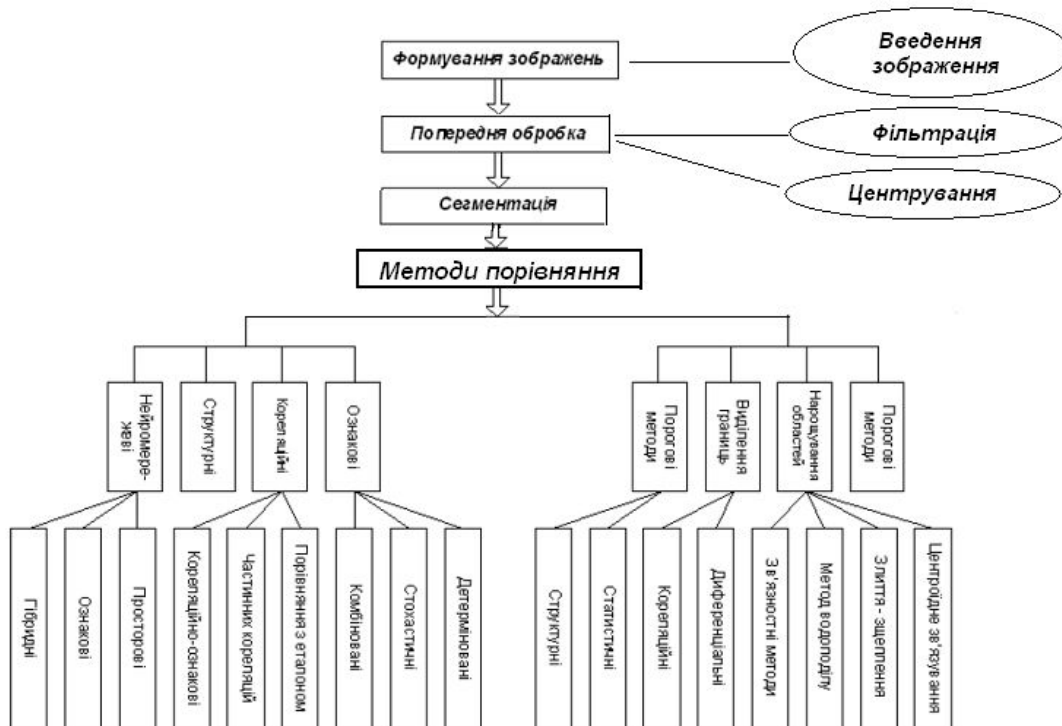


Рисунок 1 – Узагальнена класифікація відомих методів порівняння зображень

Суть Q-перетворення зображень полягає у формуванні сукупності узагальнених контурних препаратів [2] зображення та знаходженні часткових сум qr, k – коефіцієнтів одиничних відліків зображення у вікнах розміром r, k при $k=1 \dots (rt-1)$ [2,18,19]. Причому r та k обирають кратними степеню 2 [2,13,19].

Якщо значення просторових сум $q(t,k)$ розмістити у центрах відповідних їм вікон, то в результаті формується нове зображення, яке можна розглядати як Q-спектр зображення [2,13]. Таким чином, основна відмінність застосування Q-перетворення для порівняння зображень від кореляційних методів полягає в тому, що немає необхідності суміщати зображення, що порівнюються, і підраховувати кількість одиничних відліків, які збіглися, та потім порівнювати отримані суми. При використанні Q-перетворення суми одиничних відліків (q-коефіцієнти) формують для кожного із зображень [2].

Метод ПП-перетворення (паралельно-ієрархічне перетворення) при око-процесорному обробленні (рис. 1) передбачає узагальнене просторово-зв'язане препарування зображень [2,16,18,19]. Його суть полягає в одночасному використанні послідовності масивів інформації, які утворюють множини інформаційних полів на різноманітних рівнях ієрархії, рекурсивному формуванні нових послідовностей інформаційних потоків на різноманітних рівнях ієрархії, що дозволяє реалізувати стратегію багаторівневої взаємодії: «від загального до часткового» [2,18]. В результаті прямого мережного ПП-перетворення утворюється одновимірна матриця $\varphi(t, p)$ [2,18]:

$$\varphi(t, p) = \Phi(j, i, t, p) \sum_{j=1}^S \sum_{i=1}^{n_s} \mu(i, j), \quad (3)$$

де $\Phi(j, i, t, p)$ – ядро нелінійного прямого ПП-перетворення над елементами $\mu(i, j)$ вхідного зображення з розмірністю $S \times n_s$.

Базовим для ПП-перетворення є метод узагальненого просторово-зв'язаного препарування (УПЗП) [1], суть якого полягає у перетворенні багатоградацийних за інтенсивністю зображення у двоградацийні за допомогою формування просторово-зв'язаних узагальнених контурів [2].

На відміну від узагальненого Q-перетворення, що включає виділення образів за допомогою функції маски послідовні УПЗП образи формують сукупності функцій додатних, від'ємних та нульових УПЗП препаратів. ПП перетворення є мережним перетворенням з формуванням узагальнених мережних контурних препаратів і їх попарним ранговим порівнянням [2].

Метод ПП-перетворення зображень при порівнянні не тільки зручний для оброблення методами «картинної» логіки [2], але й дозволяє обчислювати кореляційні функції з підвищеною точністю, швидкістю, завадостійкістю, зокрема, до повороту зображень. При порівнянні з іншими методами перетворення зображень з розкладанням у визначеній системі базисних функцій, ПП-перетворення використовує розкладання за адаптивною системою базисних мережних функцій у вигляді рядів, формування яких залежить від структури самого зображення. Це і спрощує процедуру перетворення, знижує середньоквадратичну помилку, але збільшує кількість і ресурс машинного часу, що є основним недоліком ПП-перетворення. Тому область застосування ПП-перетворення обмежується паралельними оптико-електронними системами око-процесорного типу [2].

У табл. 1 наведено основні показники ефективності відомих методів порівняння зображень.

Таблиця 1 – Основні характеристики відомих методів порівняння зображень

Назва методу порівняння	Середні характеристики ефективності методу				
	Достовірність результату порівняння, %	Сер. кількість машинних тактів (зобр. з розмір. $N \times N$ *)	Можливість паралелізму операцій	Середня вартість опер., грн.	Допуст. зміщення зобр., град.
1	2	3	4	5	6
Структурний	80	$N \times N \log 2N$	Ні	$1.8 \cdot 10^{-8}$	<10
Алгебраїчний	70	$N \times N \log 2N$	Ні	$0.7 \cdot 10^{-8}$	<8
Кореляційний	85	$N \log 2N$	Так	÷	<15
Геометричний	80-85	$N \log 2N$	Так	÷	<15
Спектральний	60	$N \log 2N$	Так	÷	<10
Метод на базі теорії нечітких множин	40-50	$2N \log 2N$	Так	$0.7 \cdot 10^{-4}$	<15
Суміщення з еталонами	75-80	$N \times N$	Ні	$0.6-1.3 \cdot 10^{-8}$	<5
Просторово-зв'язаних процесів	55	$2N \log 2N$	–	–	<7

продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6
Метод зондів	–	$N \log_2 N \times N$	Ні	–	–
Маркування зображень	45	N^2	Ні	$1.7 \cdot 10^{-6}$	–
Потенціальних функцій	40	$\sim N^2$	Так	$0.7 \cdot 10^{-4}$	< 10
Стохастичної апроксимації	50-65	$N \log_2 N \times N$	Ні	$0.7 \cdot 1 \cdot 10^{-8}$	< 8
Мінімізації емпіричного ризику	–	$N \times N \log_2 N \times N$	Ні	÷	< 10
Допустимих перетворень	60-70	$N \times N \log_2 N$	Так	÷	–
Метод збільшення яскравості	65-70	$1/2 \log_2 N$	Так	÷	< 9
Текстурна фільтрація	60-70	$N \times N \log_2 N$	Ні	÷	< 10
Детектор границь на базі оператора Собеля	80-85	$1/2 N^2 \log_2 N$	Ні	÷	< 7
Метод гістограм	80-85	$N \times N$	Так	÷	< 12
KVP-перетвор.	80-85	$\log_2 N$	Так	$0.5 \cdot 1 \cdot 10^{-2}$	< 15
Q-перетвор.	70-80	–	Так	$0.5 \cdot 1 \cdot 10^{-3}$	< 15
III-перетвор.	70-85	–	Так	$1 \cdot 10^{-3}$	–

* Значення приведені за умов розмірності квадратних зображень $N \times N$ при реалізації моделей методів на послідовній апаратній платформі, окрім паралельних методів KVP-, Q- та III-перетворень із середньою продуктивністю обчислень $2 \cdot 10^{10} - 1.5 \cdot 10^{12}$ оп/с.

На практиці різноманітність розв’язуваних задач за допомогою розглянутих методів обробки і порівняння зображень завжди перевищує можливість цих методів і засобів їх апаратної обробки. Тому створення вузько спеціалізованих систем менш ефективне, ніж створення універсального методу і універсальних засобів апаратної обробки з підвищеною адаптацією до інформаційної задачі або до варіації завдосигнальних обставин.

Аналіз результатів досліджень відомих методів порівняння показує, що в усіх існуючих методах необхідним є забезпечення чіткого і точного позиціонування вхідного та еталонного зображень, що передбачає обов’язкове їх центрування [20], з метою виключення аксіальних та радіальних зміщень, які значно впливають на достовірність рішення.

Крім того дуже важливим є виконання операцій попереднього аналізу, з метою виключення за допомогою фільтрації негативних факторів. Забезпечення цих операцій попереднього оброблення дозволить значно скоротити обчислювальні ресурси на виконання складних обчислень в процесі порівняння зображень та підвищити достовірність сучасних методів порівняння зображень.

Типи оптоелектронних засобів для паралельного порівняння візуальної інформації

Існуючі оптоелектронні пристрої [5] для паралельного порівняння зображень, виконують функцію порівняння зображень без застосування процесу сканування й тому мають два паралельних оптичних входи, на які подаються порівнювані зображення А та В, і оптичний вихід, на якому формується вихідне зображення С. Завдяки відсутності процесу сканування, порівняння зображення виконується за один такт, тобто час порівняння не залежить від розмірності зображення, а залежить тільки від швидкодії обраної оптоелектронної елементної бази.

Залежно від виду вхідного зображення пристрої для паралельного порівняння зображень діляться на 3 види: компаратори зображень; пристрої для порівняння-віднімання зображень [5]; пристрої порівняння зображення з порогом (граничні пристрої).

Компаратори зображень є аналого-цифровими пристроями, що видають на виході цифровий сигнал – бінарне зображення, яке пов’язане із вхідними аналоговими сигналами (напівтоновими зображеннями) нелінійною залежністю типу [5]:

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } a_{ij} \geq b_{ij}, \\ 0, \text{ якщо } a_{ij} < b_{ij}. \end{cases} \quad (4)$$

де $A = \{ a_{ij} \}$ – перше вхідне напівтонове (багатоградаційне) зображення; $B = \{ b_{ij} \}$ – друге вхідне напівтонове зображення; $C = \{ c_{ij} \}$ – вихідне бінарне зображення.

Пристрої для порівняння-віднімання зображень відрізняються від компараторів тим, що виконують аналогову нелінійну операцію «обмежена різниця», яка описується виразом [5]:

$$c_{ij} = \begin{cases} a_{ij} - b_{ij}, & \text{якщо } a_{ij} \geq b_{ij}, \\ 0, & \text{якщо } a_{ij} < b_{ij}. \end{cases} \quad (5)$$

Пристрої порівняння-віднімання зображень більш функціонально гнучкі, ніж компаратори зображень, оскільки дозволяють не тільки зрівняти два зображення, але й оцінити і визначити ступінь різниці між ними.

Пристрої для визначення ступеня збігу зображень призначені для використання в оптоелектронних кореляторах, системах розпізнавання зображень та системах технічного зору.

Основний недолік електронних кореляторів полягає в сильній залежності часу обчислення кореляційної функції від розмірів зображення, що порівнюється та еталонного зображень, що значно ускладнює реалізацію порівняння в режимі реального часу.

Дані пристрої порівняння, як компаратори й пристрої для порівняння-віднімання зображень, мають два оптичних картинних входи, але вихід у них один – електричний, на якому видається аналоговий сигнал, пропорційний ступеню збігу двох зображень, у якості якого може використовуватися одна з наступних величин [5]: скалярний добуток векторів (кожен вектор – набір пікселів зображення); евклідова відстань у багатовимірному просторі пікселів 2-х зображень; манхетенська відстань у багатовимірному просторі 2-х зображень.

Серед основних сфер застосування операції порівняння зображень можна назвати: оптоелектронні паралельні аналогово-цифрові процесори; оптоелектронні корелятори для систем технічного зору; оптоелектронні штучні нейронні мережі.

В оптичних голографічних кореляторах час обробки мало залежить від складності та розмірності зображень (за рахунок паралельності обробки) і визначається часом введення й виведення зображень у корелятор. Однак цей тип кореляторів має досить вагомий недолік – складність та дороговизна реалізації.

Прикладом пристрою для порівняння зображень може бути пристрій на основі паралельних багатофункціональних оптоелектронних схем (ПБОЕС) [5], який включає оптичний операційний підсилювач. Пристрої для порівняння зображень на ПБОЕС характеризуються високою роздільною здатністю (до 300 ліній/мм), але низькою швидкістю (одиниці-десятки мілісекунд) і поганою рівномірністю характеристик по апертурі (розкид 10-15%), що обмежує точність порівняння. На ПБОЕС можна будувати пристрої для порівняння зображень всіх трьох типів (рис. 2) [5].

Пристрої для порівняння зображень на основі ПБОЕС можуть профункціонувати як компаратори зображень. Основними з них є такі:

- 1) на основі оптоелектронних ІС, що представляють собою безшовні набори планарних лінійок інтегральних мікросхем, що сполучають фотоприймачі й інтегральні електронні компаратори;
- 2) на основі матриць світловипромінювальних фототиристорів;
- 3) на основі SEED-приладів (self-electrooptic effect device) [4].



Рисунок 2 – Паралельні оптоелектронні пристрої для порівняння зображень

Недоліком пристроїв порівняння зображень на основі фотодіодів й інтегральних схем є: мала кількість пікселів у матриці, великий розмір одного пікселя, технологічний розкид параметрів фотодетекторів, що знижує точність порівняння. Недоліком пристроїв порівняння зображень на основі світловопромінювальних фототиристорів є мала кількість пікселів у матриці, великий розмір одного пікселя, досить великий споживаний струм (5...10 мА на кожен в фототиристор), відносно велика енергія перемикавання, необхідність подачі негативної імпульсної напруги живлення для скидання інформації в матрицю, труднощі при технологічному виготовленні.

Найбільш поширеними є методи та засоби порівняння, які базуються на виділенні ознак зображень. Вони дозволяють з великою достовірністю виконувати порівняння об’єктів, причому достовірність порівняння прямо пропорційна кількості присутніх ознак [17].

Ознаки – найбільш стійкі характеристики образу, які зберігають свої значення при різних просторово-часових трансформаціях образу, таких як зсуви, повороти, зміни масштабу, а також при зашумленні образу. Стійкість ознак дозволяє людині впевнено орієнтуватися в навколишньому середовищі, а їх об’єктивний характер відкриває шлях до моделювання процесів порівняння зображень [1,2].

Серед задач, що розв’язуються за допомогою теорії розпізнавання образів, є задачі автоматичного порівняння і розпізнавання в реальному часі зображень у видимому, інфрачервоному та інших діапазонах, тобто двовимірних полів.

Виділяються дві основні проблеми [1], без вирішення яких немислимий процес порівняння: попередня обробка вхідної інформації; конструювання системи ознак.

Основою процесу порівняння є вибір оптимального набору ознак [1,4]. Без його задовільного розв’язання ніяке ускладнення вирішальних правил не може дати необхідного ефекту. Від вдалого вибору залежить алгоритм порівняння та складність апаратної реалізації.

Авторами вдосконалено відому класифікацію ознак [1], у якій визначено нові типи вторинних геометричних ознак (рис. 3.) Розглянемо детальніше кожен з типів ознак.



Рисунок 3 – Загальна класифікація ознак об’єктів

Первинні ознаки використовуються для виділення в загальних полях зображень тих областей, які відповідають об’єктам. При цьому виділення областей (сегментація зображень) може здійснюватися на основі деяких інтегральних, диференціальних, або локальних інформативних характеристик аналізованого зображення [7].

До числа найпоширеніших інтегральних ознак, що використовуються для сегментації, відносяться гістограми елементів зображень або елементів їх контурів, що реалізуються на основі таких параметрів, як яскравість, колір, контраст, або похідних від них параметрів.

До диференціальних ознак відносяться градієнти, вищі похідні яскравостей пікселів, що реалізуються через відповідні диференціальні оператори.

Вторинні ознаки відрізняються від первинних тим, що аналізована інформація для вторинних ознак повинна включати не лише відповідні параметри сегментованих областей об’єктів, але й правила перетворення первинних ознак у форми, що будуть використовуватися при подальшому порівнянні об’єктів [7]. При цьому ефективність реалізації вторинної ознаки залежить одночасно від повноти і надлишковості представленої інформації. Особливий інтерес з погляду підвищення ефективності порівняння представляють саме такі вторинні геометричні ознаки як: центр зв’язності, центр мас та вісь

орієнтації зображення, оскільки дозволяють найбільш точно забезпечити умови збіги вхідного та еталонного зображень при використанні структур компараторів.

Інваріанти моментів являють собою спеціальні функції від центральних нормованих моментів областей зображень об'єктів і забезпечують інваріантність значень даних ознак до ортогональних перетворень областей об'єктів в площині зображень: переносу, симетрії, повороту, зміни масштабу.

Морфологічні ознаки мають кращу, ніж інваріанти моментів, селективність – за рахунок великої орієнтації на детальність опису форм об'єктів, що представляються булевою алгеброю.

Структурні ознаки являють собою вторинні образи, які називаються непохідними елементами або примітивами, а також співвідношення між ними, що характеризують структуру образу.

Текстурні ознаки перевершують структурні морфологічні ознаки і рівносильні інваріантам моментів або стохастичним інваріантам. В основі цих ознак лежить поняття текстури – найважливішої характеристики зорових моделей зображень.

Логічні ознаки об'єктів, які потрібно порівняти, розглядаються як елементарні висловлювання, що приймають два значення істинності з повною точністю відповідно до наявності або відсутності деяких властивостей чи елементів у об'єктах порівняння.

Детерміновані ознаки приймають конкретні числові значення, які можуть розглядатися як координати точки в ознаковому просторі, що відповідає даному об'єкту. Найчастіше під час порівняння великомасштабних зображень використовують такі системи детермінованих ознак, як топологічний опис об'єкта, спектральний та інтегральний опис зображень.

Імовірнісні ознаки – ознаки, випадкові значення яких розподілені по всіх класах об'єктів.

Найпоширеніші методи виділення ознак зображень: метод центрування зображень [1,2,4]; методи виділення центральних моментів [4].

Переваги застосування методу KVP-перетворення для задач паралельного око-процесорного порівняння зображень

Одним із якісно нових підходів у системі методології сучасних інтелектуальних структур є наукові дослідження, які здійснюються в напрямі створення образного комп'ютера, що відповідають пріоритетним напрямкам розвитку науки в Україні.

Створення пристроїв око-процесорного типу [1-4,16] базується на оригінальному способі перетворення інформації, який максимально наближений до природного паралельного введення і оброблення, за рахунок відокремлення одночасно деякої кількості визначників різних типів [1].

Метод KVP-перетворення базується на використанні: принципу квантування часу будь-якого типу сигналу на часові інтервали, тобто перехід до ЛЧФ (4), в яких інформація представляється у вигляді тривалостей імпульсів; універсальної ЛЧФ – «ключ-функції», яка дозволяє повністю описувати вхідну інформацію; паралельному обробленні вхідних масивів інформації у вигляді тривалостей часових інтервалів; простих операцій (додавання, віднімання, множення) за допомогою тривалостей часових інтервалів (перехід до багатозначної логіки); забезпечення внутрішньої класифікації ЛЧФ способом формування та відокремлення окремих інтервалів ЛЧФ та формування первинних ознак (визначників) вхідних даних з подальшим визначенням їх якісних та кількісних характеристик.

KVP-перетворення складається з чотирьох етапів [2,15]: прийом інформації; перетворення сигналів на ЛЧФ; виділення визначників об'єкта аналізу; якісний розподіл визначників. За методом оброблення даних у процесі KVP-перетворення поділяють на: паралельне оброблення та оброблення зі зв'язністю [2].

Перевагою KVP-перетворення є застосування квантових перетворень сигналів на ЛЧФ. При цьому, усі сигнали вхідного образу є функціями єдиного типу, що обумовлює відсутність помилок при переході від обробки сигналів одного типу до іншого. Також, універсальний сигнал дозволяє підвищити точність результату та уникнути методичної помилки при обробці вхідних інформаційних паралельних сигналів від зображення.

ЛЧФ [1,2] – це послідовність часових виразів, які правильні тільки на визначених проміжках. ЛЧФ наближені до апарату векторно-часових перемикаючих функцій, а наявність їх часових тотожностей дозволяє виражати часові функції, які не можна описати за допомогою звичайних перемикаючих функцій. Він може бути представлений для опису та проектування систем обробки інформації на рівні операцій над безперервними процесами у вигляді

$$f(t, t_i, a_i) = \begin{cases} t - t_i, t_i \leq t \leq t_i + a_i, \\ 0, t_i > t > t_i + a_i. \end{cases} \quad (6)$$

де t , t_i – поточне та початкове значення часового аргументу; a_i – період існування, еквівалент вхідної інформації у вигляді суми значень елементів дискретизації відрізка існування часового аргументу

ЛЧФ мають мінімальний часовий інтервал з однаковою амплітудою [1,2]. Найпростіша ЛЧФ – це функція квантована за рівнем зі значимістю 2 – приймає значення "0" або "1". Виходячи з цього можна сказати, що за основу математичного опису ЛЧФ можна взяти математичний опис функцій Хаара або Уолша [1, 2]. У системах око-процесорного типу ЛЧФ отримується шляхом квантування світла часом. У вказаному способі око-процесорного розпізнавання зображень з виділенням ознак паралельно проектується зображення та перетворення.

Висновки

1. В статті проведено аналітичний огляд сучасних паралельних методів та засобів порівняння зображень з використанням оптико-електронних систем око-процесорного типу. Це дозволило визначити їх переваги та недоліки, а також оцінити базові характеристики.

2. Вдосконалено загальну класифікацію ознак об'єктів, що дозволило включити спеціалізовані ознаки: центр мас, вісь орієнтації та центр зв'язності, які роблять можливим суттєве підвищення достовірності порівняння зображень шляхом виконання якісної попередньої обробки.

3. Встановлено: орієнтовані на операцію порівняння зображень методи потребують попереднього оброблення у вигляді центрування вхідного та еталонного зображень; для реалізації швидкісного порівняння зображень в режимі реального часу на оптоелектронній елементній базі оптимальним є метод КВР-перетворення з орієнтацією його на операцію центрування зображень; існуючі моделі КВР-перетворення потребують вдосконалення, з орієнтацією на більший паралелізм і більшу кількість ознак, які впливають на точність кінцевого результату.

Список використаних джерел

1. Квантові перетворювачі на оптоелектронних логіко-часових середовищах для око-процесорної обробки зображень: [Монографія] / В.П. Кожем'яко, Т.Б. Мартинюк, О.І. Суприган, Д.І. Клімкіна. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 126 с. – ISBN 978-966-641-219-8 .

2. Образний відеокомп'ютер око-процесорного типу : [Монографія] / В.П. Кожем'яко, Г.Л. Лисенко, А.А. Яровий, А.В. Кожем'яко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 215с. – ISBN 978-966-641-261-7.

3. Кожем'яко В.П. Погляд на природу штучного інтелекту / В. П. Кожем'яко // Вісник Вінницького політехнічного інституту.– 1997. – №1. – С.26-30. – ISSN 1997-9266.

4. Кожем'яко В. П. Око-процесорна обробка та розпізнавання образної інформації за геометричними ознаками : [Монографія] / С.І. Кормановський, В.П. Кожем'яко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 160С. – ISBN 978-966-641-240-2 .

5. Колесницкий О.К. Области применения операции параллельного сравнения изображений и устройства для ее осуществления (обзор) / О.К. Колесницкий, В.П. Кожемяко, Сами Важих Хейреддин // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. –№2(12). – с.15-25.

6. Горелик Л. А. Методы распознавания / Л.А. Горелик В. А. Скрипкин. – М.: Высшая школа, 1989. – 230 с.

7. Кожем'яко В. П., Ліщинська Л. Б., Понура О. І. Особливості формування систем ознак при розпізнаванні зображень в системах технічного зору / В.П. Кожем'яко, Л.Б. Ліщинська, О.І. Понура // Вісник ВПІ. – 1998. – № 1. – С.47–56.

8. Кориков А. М. Корреляционные зрительные системы роботов / А. М. Кориков, В.И. Сырякин.– Томск: Радио и связь, 1990. – 184 с.

9. Гупал А.М. Оптимальные процедуры распознавания / А.М. Гупал, И.В. Сергиенко // Кибернетика и системный анализ. – 2003. – №1. – С.21 – 29.

10. Меденников П.А., Павлов Н.И. Адаптивный алгоритм и система признакового распознавания / П.А. Меденников, Н.И. Павлов // Оптический журнал. – 2000. – №1. С. 46–51.

11. Кожемяко В.П. Квазиимпульсно-потенциальные оптоэлектронные элементы и устройства логико-временного типа / С.В. Свечников, В.П. Кожемяко, Л.И. Тимченко. – Киев: Наукова Думка, 1987. – 256 с.

12. Кожемяко В.П. Оптоэлектронные логико-временные информационно-вычислительные среды / В.П. Кожемяко. – Тбилиси: Ганатлеба, 1984. – 357 с.

13. Кожемяко В.П. Организация оптоэлектронных некогерентных процессоров ЦВМ / В.П. Кожемяко, О.Г.Натрошвили, Д.О.Санкидзе. – Тбилиси: Ганатлеба, 1989. – 345 с.

14. Сачанюк-Кавецька Н.В. Елементи око-процесорної обробки зображень у логіко-часовому середовищі / Н.В. Сачанюк-Кавецька // Вісник ВПІ. – 2004. – № 6. – С. 58-63.

15. Кожемяко В.П., Мартинюк Т.Б., Кожем'яко А.В. Класифікаційна модель створення прототипу образного комп'ютера // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології: – 2006. – №2(12). – С. 129-141.

16. Кожем'яко В.П. Паралельно-ієрархічні мережі як структурно-функціональний базис для побудови спеціалізованих моделей образного комп'ютера : [Монографія] / В.П. Кожем'яко, Л.І. Тимченко, А.А. Яровий. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2005. – 160 с.

17. Методологічні аспекти принципів паралельності та ієрархічності в нейронній обробці інформації / В.П. Кожем'яко, Л.І. Тимченко, А.А. Яровий, Р.М. Новицький // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 2(12). – С. 98-109.

18. Паралельно-ієрархічне перетворення і Q-обробка інформації для систем реального часу : [Монографія] / М.О. Ковзель, Л.І. Тимченко, Ю.Ф. Кутаєв та ін. – Київ: „КУЕТТ”, 2006. – 492 с.

19. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель оптико-електронних засобів штучного інтелекту : [Монографія] / В.П. Кожем'яко, Ю.Ф. Кутаєв, С.В. Свечніков, Л.І. Тимченко, А.А. Яровий. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 324 с.

20. Око-процесорне розпізнавання образів за ознакою осі орієнтації для геоінформаційно-енергетичної системи / В.П. Кожем'яко, Р.М. Новицький, В.І. Маліновський, Я.М. Бондарчук // Штучний інтелект. – 2009. – №3. – С.556-563.

Відомості про авторів

Кожем'яко Володимир Прокопович – академік АІНУ, д.т.н., професор, завідуючий кафедрою лазерної і оптоелектронної техніки Вінницького національного технічного університету, Хмельницьке шосе 95, м Вінниця, 21021, e-mail: oeipt@ukr.net.

Новицький Руслан Михайлович – пошукач кафедри лазерної і оптоелектронної техніки, Вінницького національного технічного університету, Хмельницьке шосе 95, м Вінниця, 21021, e-mail: miha-lych_13@mail.ru.

Кожем'яко Костянтин Володимирович – пошукач кафедри лазерної і оптоелектронної техніки Вінницького національного технічного університету, Хмельницьке шосе 95, м Вінниця, 21021.