

## РОЗПІЗНАВАННЯ КОНТУРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

к.т.н. Ю.В. Паржин, К.В. Кувшинов, В.В. Кірвас  
(подав д.т.н., проф. А.В. Корольов)

*Проводиться аналіз методів розпізнавання зображень, які знайшли найбільше практичне застосування, щодо спроможності розпізнавання у реальному часі. Визначаються принципи побудови методів розпізнавання контурних зображень, здатних обробляти інформацію і вирішувати задачі розпізнавання у реальному часі.*

**Постановка проблеми.** Найбільше практичне використання серед методів, що застосовуються для розпізнавання зображень об'єктів, знайшли спектральні та синтаксичні методи. Але багато практичних задач, пов'язаних з процесами оперативного управління та контролю, вимагають вирішення проблеми розпізнавання у реальному часі. Контури об'єктів, що розпізнаються, є найбільш простою для використання та найбільш інформативною складовою цих зображень. **Метою даної статті** є аналіз найбільш перспективних методів розпізнавання з точки зору можливості їх застосування для вирішення поставленої проблеми та визначення принципів побудови методів розпізнавання контурних зображень у реальному часі, що розробляються. Виходячи з **аналізу літератури** [1 – 4] та проведених досліджень, можна зробити наступні висновки.

У спектральних методах у якості ознак для розпізнавання зображень об'єктів  $z$  використовують просторово-часовий спектр  $S(\omega_x, \omega_y)$ , тобто перетворення Фур'є  $F$  функції  $B(x, y)$ :

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

Поділ досліджуваних об'єктів на класи засновано на визначенні кореляції між спектрами об'єкта й еталона, що за теоремою про згортку [5] дорівнює зворотному перетворенню Фур'є  $F^{-1}$  від

$$R(x, y) = F^{-1} \{S(\omega_x, \omega_y) S_e(\omega_x, \omega_y)\},$$

де  $S_e(\omega_x, \omega_y)$  – спектр еталона об'єкта.

Застосування спектральної або автокореляційної функції зображень як ознаки засноване на тому, що вони зв'язані між собою перетворенням Фур'є. Для практичного розпізнавання контурних зображень особливо важливо

те, що обробка зображень спектральними методами відбувається в оптичному діапазоні. Ці методи також становлять інтерес при побудові цифрових пристроїв, що розпізнають, з погляду вибору інформативних ознак.

Спектр об'єкта можна одержати за допомогою Фур'є-оптики в некогерентному і когерентному світлі. Для розпізнавання складних об'єктів використовується і метод опису зображення за допомогою спектральних характеристик сигналу, отриманих при рядково-кадровому скануванні [6]. При цьому зображення описується або коефіцієнтами ряду Фур'є, або ординатами спектральної щільності. Даним методом при періоді обертання зображення 2 – 3 хв досить точно у вигляді спектрів представляються прості геометричні однотипні фігури типу трикутників, квадратів, прямокутників та ін. Для розрізнення класів зазначених фігур досить таких простих ознак, як число переходів спектральної щільності через нуль, число позитивних або негативних імпульсів.

Одним з недоліків методів розпізнавання, заснованих на дослідженні спектрів, отриманих некогерентною Фур'є-оптикою і рядково-кадровим розгорненням, є необхідність здійснення трудомісткої як у часі, так і в апаратурному відношенні операції обертання зображень, тобто їм також властива залежність від афінних перетворень.

У багатьох роботах одержали розвиток методи автоматичного розпізнавання складних образів, що базуються на використанні когерентної Фур'є-оптики, тобто голографії [7, 8]. Ознакою, за якою аналізуються зображення, і в цьому випадку служить просторовий спектр об'єкта, отриманий за допомогою когерентної оптики. Мірою подібності між зображенням, що розпізнається, і набором еталонів є коефіцієнт кореляції  $R(x, y)$ . Відмінна риса формування еталонів полягає в тому, що їхня просторово-частотна характеристика  $S_e(\omega_x, \omega_y)$  комплексно сполучена зі спектром вихідного зображення об'єкта

$$S_e(\omega_x, \omega_y) = S^*(\omega_x, \omega_y) / N(\omega_x, \omega_y),$$

де  $N(\omega_x, \omega_y)$  – спектр фону (перешкоди).

Практичним способом зменшення обсягу інформації є дискретизація спектра, тобто перетворення розподілу світлової енергії визначеної частоти на число. Для цього використовують дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) та дискретне косинусне перетворення (ДКП), що є різновидністю перетворення Фур'є. Отриманий у результаті набір чисел і утворює дискретизаційний знак, що обробляється комп'ютером при розпізнаванні.

Останнім часом проводяться дослідження щодо використання вейвлет-перетворень для розпізнавання зображень [9]. Суть спектральних методів з використанням вейвлет-перетворень подібна до спектральних методів з ви-

користанням ДПФ. При використанні вейвлет-перетворень для розпізнавання контуру зображення необхідно порівняти його з базою даних еталонів зображень (контурів). База даних еталонів зображень (контурів) представлена у вигляді коефіцієнтів, отриманих у ході двовимірного вейвлет-перетворення.

Як показано в [7], спектральні методи розпізнавання дають позитивні практичні результати в умовах невеликих змін усіх параметрів геометричних перетворень об'єктів або в умовах досить великої афінної зміни одного з параметрів при незмінності інших, що в практиці зустрічається рідко.

Але при обробці інформаційних кадрів доводиться мати справу з великою кількістю інформації. Це стосується як кількості інформаційних кадрів, що обробляються, так і кількості інформації, що міститься у цих кадрах.

Виконання складних процедур виділення об'єктів, що розпізнаються (наприклад, оптимальна фільтрація з використанням перетворення Фур'є) призводить до збільшення часу обробки інформації кадру. Так, для вирішення задач розпізнавання об'єкта з використанням алгоритмів спектрального перетворення Фур'є на інформаційному кадрі розміром  $1408 \times 1640$  елементів здатності розрізнення потрібно декілька годин роботи сучасної ПЕОМ. Якщо враховувати, що розміри об'єкта та їх орієнтація різні, то на вирішення цієї задачі потрібно ще більше часу. Тому неможливо застосовувати спектральні методи для розпізнавання об'єктів у реальному часі.

Отже спектральним методам властивий ряд недоліків, серед яких найбільш суттєвими є такі:

- 1) чутливість до зрушення вхідного зображення щодо погодженого фільтра призводить до зрушення кореляційної функції у вихідній площині;
- 2) чутливість до повороту або неузгодженості по куті між зображенням об'єкта й еталоном передбачає необхідність застосування в системі пристрою, що виконує операцію обертання;
- 3) неінваріантність до масштабу зображення;
- 4) неінваріантність до будь-яких переключень зображення;
- 5) великий час обробки та розпізнавання зображень.

На даний час все більш широке застосування знаходить синтаксичний підхід до розпізнавання зображень, який з використанням принципу спільності властивостей застосовується для побудови автоматичних систем розпізнавання в тому випадку, якщо опис зображень здійснюється за допомогою непоміжних елементів і їх відносин. Образ можна описати за допомогою ієрархічної структури підобразів, аналогічній синтаксичній структурі мови. Це дозволяє застосовувати при рішенні задач розпізнавання зображень апарат математичної лінгвістики (теорію формальних граматики). Це особливо корисно при роботі з зображеннями, що або не можуть бути описані числовими вимірами, або настільки складні, що їхні локальні ознаки ідентифікувати не

вдається і доводиться звертатися до глобальних властивостей об'єктів.

Найбільш перспективними методами, що відображають синтаксичний підхід до розпізнавання зображень, є структурно-лінгвістичні методи. З математичної точки зору ці методи засновані на ідеї опису зображення об'єкта граматиною Н. Хомського. Даною граматиною  $G$  є четвірка

$$G = \langle V_N, V_T, P_G, S \rangle,$$

де  $V_N$  – множина нетермінальних символів;  $V_T$  – множина термінальних символів;  $P_G$  – правило висновку, що позначає кінцеву множину підстановок  $\alpha \rightarrow \beta$  ( $\alpha$  і  $\beta$  ланцюжки символів з  $V_N$  і  $V_T$ );  $S$  – початковий символ,  $S \in V_N$ .

Одним із основних моментів синтаксичного підходу є формування словника ознак  $V$ , у якості яких вибираються локальні властивості зображень, тобто непохідні елементи  $a$ . Тому що переважна більшість об'єктів має внутрішню структуру, то їхній аналіз пов'язаний з необхідністю виділення фрагментів, що несуть окремі одиниці інформації про досліджуваний об'єкт і залежних від нього характерних рис.

Незважаючи на успіхи цього підходу, існують певні обмеження застосування структурно-лінгвістичних методів, що знижують ефективність розпізнавання зображень:

- 1) отримані в результаті представлення зображень об'єктів структуриязикового типу виходять громіздкими, що ускладнює процедуру відновлення по них грамастик або грамастичний розбір, тобто синтаксичний аналіз;
- 2) структурні фрази залежать від місця розташування зображення об'єкта щодо кодової сітки;
- 3) неможливість створення граматики, що породжує всі образи одного класу;
- 4) чутливість до наявності шумів (перекручень), що є присутніми у досліджуваних об'єктах.

Перераховані недоліки значно ускладнюють програмно-апаратну реалізацію синтаксичних автоматів, збільшують витрати часу на розпізнавання, визначають низьку ефективність методу при розпізнаванні зображень, що містять велику кількість перекручень. Однак, синтаксичні методи дозволяють здійснювати процес розпізнавання зображень у режимі реального часу [1], що робить перспективним їх застосування.

Перспективні дослідження в області розпізнавання зображень проводяться при створенні методів, які моделюють нейронні мережі і процеси, що відбуваються в зоровій корі головного мозку людини при розпізнаванні [10 – 12]. Дані дослідження поєднують результати робіт в області нейрофізіології, психології, інформаційної теорії зору, класичної теорії розпізнавання образів. Однією з перших спроб створення подібних методів був перцептронний підхід, запропонований Розенблаттом, у якому сформульовані основні представ-

лення про закономірності формування зв'язків і динаміку нейронних мереж. Були розроблені багатoshарові перцептрони, у яких обробка інформації здійснюється декількома шарами нейронів з численними прямими і зворотними зв'язками. Відомі й інші моделі нейронних мереж, процес розпізнавання в яких заснований на використанні кусочного перетворення Фур'є, просторово-частотної фільтрації, Лі-алгебри, лапласіана гаусівського розподілу. Остання модель відома також, як метод 2,5-мірного ескізу Марра.

Однак дані методи моделювання нейромереж ще далекі від практичного застосування, хоча і відкривають перспективний напрямок у теорії розпізнавання образів. До основних недоліків методів моделювання нейронних мереж слід віднести:

- 1) тривалий час роботи алгоритму розпізнавання в результаті його повільної збіжності;
- 2) тривалий час та велика кількість настроювання і навчання нейронної мережі;
- 3) відчутний вплив непередбачених переключень та перетворень зображень на якість їх розпізнавання.

Наявність цих недоліків робить непридатним використання цього підходу для вирішення задач розпізнавання неформалізованих (не заданих апріорно) зображень у реальному часі.

**Висновки.** Виходячи з результатів проведених досліджень, можна визначити наступні принципи побудови методів розпізнавання контурних зображень, що здатні обробляти інформацію та вирішувати задачі розпізнавання у реальному часі.

1. Найбільш перспективним напрямком в області розпізнавання зображень є розробка методу розпізнавання, заснованого на використанні принципу спільності властивостей образів, що розпізнаються, який володіє перевагами структурно-лінгвістичних методів розпізнавання і відображає особливості інформаційної моделі зору. Цей підхід забезпечує найвищу швидкість розпізнавання.

2. Ознаки розпізнавання повинні бути інваріантні до афінних перетворень та інших переключень контуру зображення і дозволяти проведення процедури відновлення контуру зображення. Ця вимога може бути досягнута при використанні первинних структурних ознак, що підлягають узагальненню та абстрагуванню.

3. Для досягнення високої якості розпізнавання, сукупність ознак розпізнавання повинна відображати повну денотативну структуру контуру зображення.

4. Узагальнення денотативної структури контуру зображення повинно здійснюватись на основі застосування правил породження абстра-

гованих похідних елементів та їх параметричного базису.

5. Для виконання процедури формування узагальнених ознак розпізнавання доцільно використовувати підходи подібні тим, які застосовуються у методах моделювання нейронних мереж.

6. Прийняття рішення щодо результату процесу розпізнавання повинно здійснюватись на основі порівняння структури узагальнених ознак розпізнавання вищого рівня – концепту зображення, що розпізнається, з концептом зображень, які оброблялися в процесі навчання системи розпізнавання.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Русын Б.П. Структурно-лингвистические методы распознавания изображений в реальном времени. – К.: Наук. думка, 1986. – 126 с.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, Кн. 1 – 2, 1982.
3. Введение в контурный анализ и его приложения к обработке изображений и сигналов / Под редакцией Я.А. Фурмана. – М.: Физматлит, 2002. – 592 с.
4. Дедус Ф.Ф. Спектральные методы в задачах обработки информации. // Доклады XI-й НТК "Матметоды распознавания образов". – М.: ВЦ РАН, 2003. – 511 с.
5. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. – М.: Мир, 1976. – 511 с.
6. Васильев В.И. Распознающие системы. – К.: Наукова думка, 1983. – 422 с.
7. Василенко Г.И. Голографическое опознавание образов. – М.: Сов. радио, 1977. – 328 с.
8. Здор С.Е., Шираков В.Б. Оптический поиск и распознавание. – М.: Наука, 1973. – 237 с.
9. Путьтин Е.П., Кобылин О.А. Использование вейвлет-преобразований для описания контура изображений // Системы обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 1. – С. 51 – 54.
10. Fukumi M., Omatu S., Takeda F. Rotation – invariant neural pattern recognition system with application to coin recognition, // IEEE Trans. – 1992. – V. 3, No. 2. – P. 272 – 278.
11. Сосулин Ю.Г., Фан Чунг Зунг. Нейросетевое распознавание изображений с использованием моментов Зернике и псевдо Зернике // Труды международной конференции РОАИ-6. – Великий Новгород. – 2002. – Т. 2. – С. 529 – 533.
12. Тимофеев А.В. Эволюция нейроинформатики: от перцептронов к квантовым нейрокомпьютерам // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. – 2002. – № 5, 6. – С. 107 – 115.

Надійшла 12.02.2004

**ПАРЖИН Юрій Володимирович**, канд. техн. наук, ст. наук. співр., начальник НДЛ ХВУ. Закінчив у 1982 році ХВВКІУ. Область наукових інтересів – розпізнавання образів.

**КУВШИНОВ Костянтин Володимирович**, ст. наук. співр. НДЛ ХВУ. У 1972 році закінчив Куйбишевський авіаційний інститут. Область наукових інтересів – розпізнавання образів.

**КІРВАС Валерія Вікторівна**, інженер-програміст ІОЦ ХВУ. У 1980 р. закінчила ХІРЕ. Область наукових інтересів – інформаційні технології.