



УДК 681.62:655

© 2009

В. В. Грицик

Обробка складних зображень та їх розпізнавання в інформаційно-аналітичних системах комп'ютерного зору

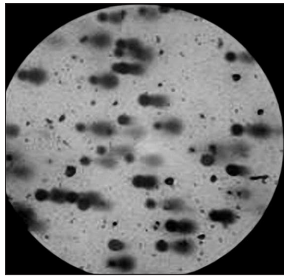
(Представлено членом-кореспондентом НАН України В. В. Грициком)

Проаналізовано сучасний стан проблеми обробки складних зображень в інформаційно-аналітичних системах комп'ютерного зору. Розглядається розв'язок проблеми автоматизованої обробки зображень в ІАС комп'ютерного зору для складних умов представлення ракових клітин людини (апоптозу — смерті клітин та руйнації). При цьому здійснюється попередня обробка зображень в умовах впливу хімічних та фізичних чинників розпізнавання та класифікації, проведення статистичних оцінок даних.

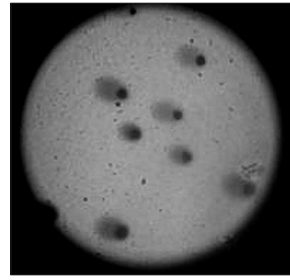
Обробка складних зображень є однією з важливих і актуальних задач у найрізноманітніших галузях науки та прикладного застосування складних зображень в автоматизованому процесі обробки даних. Особливо важливою є реалізація в інформаційно-аналітичних системах (ІАС) для різних предметних областей знань, наприклад в мікробіології та в технічних розробках, на основі комп'ютерного зору в реальному часі [1–3].

Нижче розглядається вирішення проблеми автоматизованої обробки зображень в ІАС комп'ютерного зору для складних умов представлення ракових клітин людини (апоптозу — смерті клітин та руйнації). При цьому здійснюється попередня обробка зображень в умовах впливу хімічних та фізичних чинників розпізнавання та класифікації, проведення статистичних оцінок даних.

Опис об'єктів зображень та мета дослідження. Об'єктом дослідження є ракові клітини людини. Мета дослідження — пошук методів, алгоритмів реалізації ІАС на основі комп'ютерного зору впливу клітини ракових новоутворень людини для їх руйнації і апоптозу — смерті ракових клітин. В основі ІАС є обробка, розпізнавання та класифікація і прийняття рішень на базі комп'ютерного зору. Біологічний матеріал піддається впливу хімічних, фізичних та природних чинників різного роду [4]. Після цього клітини обробляють і здійснюють розпізнавання, класифікацію і аналіз, що полягає у виконанні певної статистичної руйнації ДНК клітин (комети). Ступінь руйнації ДНК клітини визначається ступенем витягування її хвоста (комети).



а



б

Рис. 1. Різновиди комет

Основні функціональні задачі ІАС комп'ютерного зору полягають у наступному.

1. Розробка та реалізація алгоритмів пошуку об'єктів (клітин) на полі уваги.
2. Розпізнавання певних класів зображень об'єктів.
3. Класифікація та автоматизація аналізу, прийняття рішень та звітності прийняття рішень і керування у звітності.

Попередня обробка зображень клітин. Існують різні методики зображень та обробки клітин перед подальшим аналізом, через це і різновидів зображень комет є кілька (див. рис. 1, а, б). Двома основними є чорно-білі, та так звані червоні зображення комет [4].

Щоб визначити ступінь впливу зовнішнього чинника на комети (медичний препарат, методика лікування тощо), необхідно порівняти площі ядра комети і її хвоста. Оскільки досі дослідження комет проводилося виключно вручну, то класифікаційними параметрами, якими користувалися на практиці, були не площі відомих частин комети (площу складно визначити), а радіус її ядра і довжина хвоста. Тобто класифікація полягала у зіставленні цих величин.

Класи образів клітин. Згідно із ступенем руйнації ДНК клітини, комети було поділено [4] на шість класифікаційних угруповань, тобто класів, за такими критеріями.

Клас 0. Містить у собі ті з клітин, ступінь дії препарату на які найменший. Клітина практично не реагує на подразник і руйнація її ДНК не відбувається. Хвіст клітини невеликий або взагалі відсутній.

Клас 1. Об'єднує клітини, в яких радіус хвоста менший — дорівнює двом радіусам ядра. Такі клітини слабо реагують на зовнішній фактор, дія якого досліджується.

Клас 2. Це комети, які відреагували на подразник сильніше, ніж попередні класи клітин, проте вплив на них недостатній.

Класи 3 і 4. Клітини-комети, вплив подразника на які досить вагомий, проте повної руйнації ДНК не відбувається.

Клас 5. Рідко зустрічається на практиці. Маса клітини п'ятого класу повністю перейшла у хвіст, а отже зовнішній фактор впливу призвів до повної руйнації її ДНК.

Математичний опис класових співвідношень комет наведений в табл. 1.

Модель та алгоритми пошуку об'єктів на полі уваги і фільтрація попередніх образів. *Моделі, функціональні завдання та розробка алгоритмів.* В межах поставлених проблем розглянуто моделі та досліджено основні етапи розробки алгоритмів пошуку зображень на полі уваги, розпізнавання об'єктів та їх класифікація, автоматизація аналізу та звітності, прийняття рішення паралельного контролю та зворотний інформаційний зв'язок.

Алгоритм пошуку об'єктів на полі уваги. У цій основній задачі алгоритму є пошук в межах поля уваги завантаженого користувачем зображення об'єктів. При цьому необхідно розв'язати таку задачу: відокремлення зображення об'єктів та зображення фону у полі уваги. Таким чином здійснити певну фільтрацію зображень у полі уваги.

Розпізнавання та класифікація об'єктів на полі уваги. На цьому етапі ІАС запропонована модель розпізнавання та класифікації складних зображень, які містять у собі три складові зображень (див. рис. 1, *а, б*): ядра комет, хвоста і фон. Для розв'язання задач запропоновано такий підхід: створення масиву відтворення ядра комет; масиву відтворення комет загалом. Цей підхід і запропонований метод дають можливість здійснювати під час розпізнавання і класифікації аналіз складових компонентів клітин — об'єктів класифікації.

Алгоритм пошуку об'єктів на полі уваги. *Самонавчальна система фільтрації і відокремлення зображень в рамках ІАС.* Для побудови масивів (робочі масиви, навчальні системи) розроблено навчальну систему (програмну систему), яка визначає із певної кількості пікселів зображення ті, що належать об'єктам зображень (ядрам в одному випадку і кометам — в іншому). Цю задачу розв'язано на основі алгоритму фільтрації.

Система оптимізації обсягів інформаційної обробки даних зображення. На цьому етапі здійснюється аналіз зображення з метою вибору типу зразків, які використовуються для подальшого опрацювання інформації, на основі властивості чорно-білих і складових кольорових зображень. Цей підхід дає можливість зменшити обсяги інформаційної обробки даних і опрацювання робочих зображень (рис. 1, *б*) та оптимізувати.

Алгоритм фільтрації та відбору даних зображення. Залежно від значення яскравості даних зображення, що відображає ядра комет зображення, запропоновано такий алгоритм:

$$A_{ij} = \begin{cases} 1, & 0 \leq a_{ij} \leq l, \\ 0, & l \leq a_{ij} \leq 255, \end{cases} \quad (1)$$

$$B_{ij} = \begin{cases} 1, & 0 \leq a_{ij} \leq L, \\ 0, & L \leq a_{ij} \leq 255, \end{cases} \quad (2)$$

де A — масив, що відображає ядра комет на зображенні; l — верхня межа допустимої яскравості даних (пікселів), що належать ядрам комет; a_{ij} — яскравість поточних даних зображень; B — масив, що відтворює комети, розташовані на зображенні; L — верхня допустима межа яскравості даних (пікселів) зображення, властивих кометам зразка; i, j — координати поточних даних (пікселя) зображення. Як результат фільтрації отримано масиви даних A і B : цей алгоритм реалізує виконання і формування вихідних масивів, де визначає дані в межах зображення, виділення зображення на основі фільтрації зображення та отримано

Таблиця 1

Клас	Співвідношення
0	$R \leq r$
1	$R < 2 * r$
2	$R = 2 * r$
3	$2 * r < R < 3 * r$
4	$3 * r < R$
5	$3 * r < R$ (без ядра, клітина повністю перейшла у хвіст)

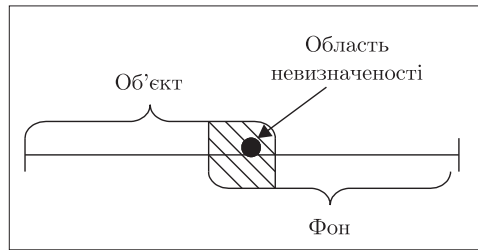


Рис. 2. Критична область невизначеності



Рис. 3. Відображення та обробка зображень: *a* — наглядне відображення; *б* — оброблене відображення

певний обсяг даних зображення разом з об'єктами на фоні (фонових даних), де створюється певна критична область невизначеності (невпевненості) (див. рис. 2).

Завади на зображенні. Як правило, в реальних умовах представлення зображення клітин у полі уваги маємо вплив завади названих ореол [4] — результат стороннього впливу, який проявляється у вигляді шумового оточення об'єктів або зображення (рис. 3, *a, б*).

Відзначимо трудність представлення складних зображень, яка полягає в тому, що елементи зображення ореолу мають ту ж інтенсивність, що й комети. У зв'язку з цим для обробки зображення запропоновано алгоритм виділення об'єктів, який об'єднує такі етапи:

1) формування робочих масивів A і B , які відтворюють завантажено для обробки зображення;

2) подальші етапи виділення зображень здійснюються на основі їх обробок. Це має ряд переваг, основою яких є проведення певної кількості ітерацій, що реалізують обробку даних із масивами, а не із зображеннями, тому час виконання програми істотно знизиться. Робочі масиви містять відтворені зображення n об'єктів класифікації. Тому для цього необхідно виконати їх почерговий перебір. Оскільки об'єкти на зображенні розміщені хаотично, то наперед їх кількість не визначена, що ускладнює реалізацію перебору;

3) на цьому етапі здійснюється алгоритм доцільного спрямування обробки, яка полягає у відокремленні (вирізанні) пікселів поточного об'єкта у масив — буфер, де класифікується, а після цього виділяється.

Така модель реалізації етапів запропонована для того, щоб проводити послідовну класифікацію об'єктів — клітин.

Наступний алгоритм виділення об'єктів зображень полягає у здійсненні та реалізації алгоритму перебору об'єктів для класифікації, що функціонує таким чином:

1) методом перебору пікселів зображення (елементів робочого масиву) по рядках знаходиться перший нефоновий піксель (елемент масиву дорівнює 1);

2) відносно вибраного пікселя здійснюється вирізання (знімання) усіх одиничних пікселів, розташованих з лівого та правого боків відносно поточного пікселя. Знімання полягає в обнулінні пікселів робочого масиву і їх відтворенні у буфері з тими ж координатами;

3) знімання першого ряду пікселів об'єкта; виконується пошук одиничного пікселя, розташованого на один ряд нижче і дотичного до виділених пікселів даного ряду. Відносно знайденого пікселя повторно виконується операція 2;

4) ознакою завершення виділення об'єкта є відсутність у новому рядку дотичних до поточного одиничних пікселів;

5) при вирізанні (знятті) об'єкта у буфер здійснюється завершення його обробки. Після нового його виклику все повторюється. Ознакою завершення класифікації є відсутність у робочому масиві об'єктів (робочий масив порожній).

Фільтрація. Важливим у розпізнаванні складних зображень клітин є здійснення фільтрації, тобто відсіювання сторонніх об'єктів і конгломератів [3], які не можуть бути адекватно прокласифіковані алгоритмом класифікації, оскільки, по-перше, наперед вони йому не відомі, а по-друге, наслідком злиття комет є неможливість визначення їх класифікаційних ознак.

Алгоритм відсіювання сторонніх об'єктів реалізовано за їх габаритами (величиною, розмірами). В алгоритмі (програмі) закладено діапазон допустимих розмірів комет. Всі об'єкти, розміри яких лежать у цьому проміжку, визначаються як потенційні комети. Ті з об'єктів-перешкод, за габаритами яких не реалізовано алгоритм фільтрації та які мають розміри, менші за мінімально допустимі, усуваються без передачі у буфер класифікації. Що ж до конгломератів, то вони визначаються недопустимо великими розмірами. Після внесення конгломерату до статистичного блоку (статистики) він також видаляється.

Таким чином, на основі такого алгоритму у цьому етапі програма усуває об'єкти зображення, які не варто класифікувати.

Алгоритм виділення об'єктів добре себе зарекомендував: під час його випробування і проведення експериментальних та імітаційних, обчислювальних досліджень отримано високу достовірність розв'язку задач в умовах опуклих об'єктів; у випадку неопуклих об'єктів потрібно розділити об'єкт на частини і здійснити опрацювання їх по черзі. Особливо ефективним є алгоритм у застосуванні випадку, коли комети є опуклими клітинами.

Алгоритм обробки даних для мінімізації у полі уваги рецепторного поля. Нижче досліджено та розроблено підхід і запропоновано алгоритм для розробки і реалізації мінімізації у полі уваги рецепторного поля обробки даних. Необхідність реалізації зумовлена тим, що об'єкти для класифікації надаються по черзі у спеціально виділений буфер пам'яті, де формується у вигляді масиву, що за розмірами дорівнює робочим масивам. Об'єкти класифікації відображаються згідно з їх розміщенням на зображенні поля уваги.

Мета ідеї мінімізації площі масиву — буфера, що обробляється під час процесу обробки даних для класифікації, дозволить істотно зменшити витрати часу на класифікацію. Через те, що об'єкти мають довільну форму і певний образ (зображення), природно запропонувати простий окіл поля уваги як площу описаного навколо об'єкта прямокутника.

Оскільки в масиві присутній лише один об'єкт, то алгоритм його виділення досить простий. Здійснюється пошук чотирьох крайніх точок об'єкта, закладеного у буфер шляхом почергового перебору елементів буфера за рядками і за стовпцями. Таким чином, визначено крайні точки, які позначимо через A , B , C , D (рис. 4).

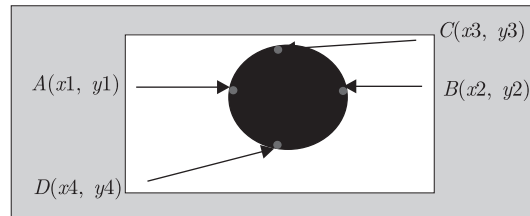


Рис. 4. Визначення крайніх точок об'єкта

$$\begin{aligned}
 &A(x_1, y_1), & B(x_2, y_2), \\
 &C(x_3, y_3), & D(x_4, y_4).
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Алгоритм класифікації зображень комет. В основу алгоритму класифікації зображень комет покладено підхід до визначення радіуса ядра комети r і довжини хвоста R . Ці величини визначаються як пошук максимально виділеного від центра об'єкта (комети, ядра) пікселя. Відстань обчислюється таким чином:

$$l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}.
 \tag{4}$$

Отже, алгоритм визначається як належність до того чи іншого класу комет за співвідношеннями величин r і R .

На основі класифікації зображень формуються основні статистичні дані та співвідношення: параметри r і R (r/R). Ці показники є базою АІАС для проведення досліджень зображень, їх відтворення, розпізнавання та прийняття рішень у керуванні.

1. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение: современный подход. – Москва; Санкт-Петербург; Киев: Вильямс, 2004. – 908 с.
2. Грицик В. В., Влах М. А. Технічні та програмні засоби розпізнавання та аналізу зображень складних біологічних об'єктів // Інформаційні технології і системи. – 2005. – 8, № 1. – С. 17–28.
3. Грицик В. В. Інформаційно-аналітична система обробки та розпізнавання і управління складними зображеннями в заданому полі уваги. Системні технології // Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем. – 2006. – № 47. – С. 96–101.
4. Ключівська О. Ю., Стойка Р. С. Вплив флюорохромних барвників на апоптоз // Інформаційні технології і системи. – 2005. – 8, № 1. – С. 89–102.

Державний науково-дослідний інститут
інформаційної інфраструктури НАН України, Львів

Надійшло до редакції 01.12.2008

V. V. Hrytsyk

Sophisticated image processing and its recognition within information-analytic systems of computer vision

The current state of image processing problems within information-analytic systems of computer vision has been analyzed. Solving the problem of automatic image processing under complex conditions of a representation of human cancer cells (apoptosis, programmed cell death) is considered. The previous image processing under conditions of the influence of chemical and physical factors of the processing and the classification is realized, and the statistical estimation of data is performed.