

7. Jyotismita Talukdar Detection of Breast Cancer using Data Mining Tool (WEKA) / Jyotismita Talukdar, Dr. Sanjib Kr. Kalita // International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 11, November-2015, p. 1124-1128.
8. Дюк В.А. Data Mining: учебный курс / В.А. Дюк, А.П. Самойленко // СПб.: Питер, 2001. - 368 с.
9. Кречетов Н. Продукты для интеллектуального анализа данных / Н. Кречетов // Рынок программных средств, N14-15_97, с. 32-39.
10. Data Mining, Web Mining, Text Mining, and Knowledge Discovery (<http://www.kdnuggets.com>).
11. Березький О.М. База даних цитологічних та гістологічних зображень ауто- та ксеногенних тканин / О.М. Березький, Г.М. Мельник, С.О. Вербовий, Т.В. Дацко // Науковий вісник національного лісотехнічного університету України: збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.10. – С.338-345.
12. Вербовий С.О. Методи пошуку асоціативних правил в базі даних біомедичних зображень / С.О. Вербовий, В.С. Зубко // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали VI Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ'2016, 20-21 травня, 2016р.: матеріали. – Тернопіль: ТНЕУ, 2016. - С.61-63.

Поступила 10.10.2016р.

УДК 004.4

Ю.М. Батько, м.Тернопіль

АНАЛІЗ КОНТУРНИХ ОЗНАК МІКРООБ'ЄКТІВ НА ЦИФРОВИХ КОЛЬОРОВИХ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

Abstract. The analysis of contour features of objects in biomedical images. We proposed criteria for assessing the importance of features based on its use in image processing systems. The estimation of contour and selected the most used features.

Актуальність

Зі стрімким розвитком інформаційних технологій та шкідливістю умов роботи все найбільшого більшої ваги набуває медична електронна апаратура діагностичного, терапевтичного та дослідницького призначення [1-2]. Все частіше при постановці діагнозу застосовуються сучасні медичних технології: електро-, магніто-, рентгенівська, ультразвукова, комп'ютерна томографія тощо. При проведенні комплексного дослідження медичного препарату в першу чергу проводиться дослідження його форми [3-5], що базується на аналізі його контурних ознак. Множина контурних ознак використовується для подальшої класифікації виділених мікрооб'єктів та визначення додаткових ознак мікрооб'єктів наприклад на основі аналізу за допомогою апарату нечітких множин. Медичні програмно-апаратні комплекси дозволяють перетворити рутинну технологію мікроскопічного

дослідження в сучасну smart-технологію візуального аналізу біомедичних зображень. Серед сучасних фірм, які присутні на світовому ринку проектування та розробки програмно-апаратних комплексів для проведення цитологічних та гістологічних мікропрепаратів слід відмітити: (GT Vision, Великобританія) Leica Qwin (Leica Microsystems, Німеччина), AT 600 (ООО "ВОЛЬФРАМ-ЛАБ", Україна), (БГУ, Білорусь), (БиоВиртум, Росія) тощо.

Постановка задачі

Для збільшення швидкості обробки вхідних біомедичних зображень в системах автоматизованої мікроскопії необхідно зменшити кількість ознак, які подаються для аналізу. Тому необхідно провести їх ранжування з метою виділення мінімальної підмножини, яка забезпечувала можливість проведення процедури класифікації мікрооб'єктів.

Вимоги до вхідних зображень

Під час контурного аналізу виконуються ряд операцій (Рисунок 1). При проведенні контурного аналізу на зображення будемо накладати ряд вимог та обмежень, які безпосередньо впливають на отримані результати:

- інформація, яка закодована в контурі, є достатньою для визначення та опису форми мікрооб'єктів;
- під час контурного дослідження всі точки, що належать мікрооб'єкту, але не входять в його контур – ігноруються;
- накладання/дотикання мікрооб'єктів на зображенні спотворює результати контурного аналізу, а отримані контурні ознаки можуть бути прийнятні для подальшого дослідження лише після додаткової обробки. Наприклад, видалення деяких мікрооб'єктів на зображенні, проведення штучної лінії розмежування між сусідніми мікрооб'єктами, штучне встановлення контурної лінії на основі множини шаблонів тощо.
- на вхідних зображеннях повинні бути відсутні шуми або їх присутність повинна бути мінімальною, при необхідності використовуються алгоритми попередньої обробки зображень;
- яскравість та кольорова гама фону та мікрооб'єктів повинні відрізнятися, при недотриманні даної вимоги виділення мікрооб'єктів може не відбутись.

Перехід від аналізу цілого зображення до аналізу множини контурів мікрооб'єктів дозволяє істотно знизити складність алгоритмів зменшити обсяг пам'яті, необхідної для зберігання опису зображення та збільшити швидкість обробки зображень.

До недоліків контурного аналізу слід віднести слабку стійкість до шумів. Будь-який перетин або лише часткова видимість контуру мікрооб'єктів призводить або до неможливості детектування, або до спотворення результатів. Проте простота та швидкодія контурного аналізу, дозволяють цілком успішно застосовувати даний підхід при проведенні цитологічних та гістологічних досліджень.

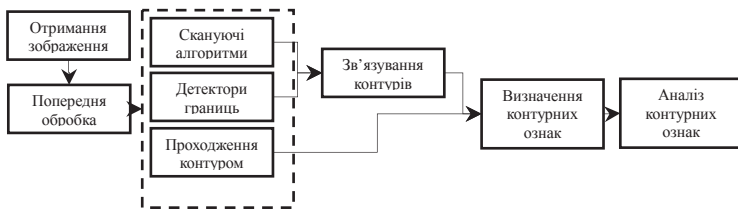


Рис. 1. Основні етапи контурного аналізу зображення

Класифікація характерних ознак контуру

При аналізі даних отриманих в результаті кодування контурної функції мікрооб'єктів виділяються характерні ознаки контуру (Рисунок 2) [8-10].

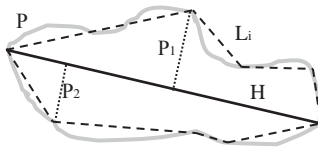


Рис. 2. Приклад об'єкта та його контурних ознак

Дані ознаки можна розділити на дві групи: характерні ознаки першого та другого порядків. До характерних ознак першого порядку будемо відносити ознаки, які обчислюються безпосереднім аналізом контурної функції:

1) Периметр (Perimetr) $P = \sum I_j(x, y)$, де (x, y) - координати контурних точок j -го мікрооб'єкту на зображенні I . Довжина контурної функції. Залежить від типу зв'язності, що використовується під час опису контуру (восьми або чотирьох зв'язність).

2) Площа (Area) $A = \sum I_j(x, y)$, де (x, y) - координати точок j -го мікрооб'єктів на зображенні I . Площа об'єкта – це частина зображення яку обмежує контурна функція.

3) Головні вісь (Main Axe) (H) – відрізок, що з'єднує дві максимально віддалені точки контуру та проходить через центр мікрооб'єкту.

4) Моменти – середньозважені інтенсивності пікселів або функції від них. Найбільш поширеними є геометричні моменти, центральні моменти та нормовані центральні моменти, момент інваріанти, моменти Церніке та моменти Лежандра [2,6]. В загальному випадку геометричні моменти можна визначити за формулою:

$$m_{pq} = \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y x^p y^q f(x, y),$$

де, $f(x, y)$ - значення інтенсивності в точці з координатами x та y .

До ознак другого порядку відносяться ознаки, що отримуються шляхом додаткової обробки або поєднання ознак першого порядку.

5) Співвідношення сторін (Aspect Ratio) $ar = \frac{P_1 + P_2}{H}$. Характеристика,

що вказує на протяжність мікрооб'єктів.

6) Колоподібність (Circularity) $cir = \frac{4A}{P^2}$ (Рисунок 3,а). Характеристика

вказує на скільки форма мікрооб'єктів наближається до форми кола.

7) Зміна кута між сусідніми сегментами контуру (Discontinuity Angle Irregularity) $dar = \sqrt{\frac{\sum |\theta_i - \theta_{i+1}|}{2\pi(n-2)}}$. Нормалізоване значення кута абсолютної

різниці між кутами сторін багатокутника, що описує контур або його частину.

8) Довжина нерівномірності (Length Irregularity) $lr = \frac{\sum |L_i - L_{i+1}|}{K}$, де

$K = 2P$ якщо $n > 3$ або $K = P$ якщо $n = 3$. Нормалізоване значення середньої абсолютної зміни довжини апроксимованого контуру (сегменту) та його первинного представлення.

9) Кількість відрізків/кривих n , необхідних для апроксимації контурної функції мікрооб'єкту. Значення залежить від точності та алгоритмів апроксимації.

10) Складність (Complexity) $com = 10^{\frac{-3}{n}}$. Кількість сегментів у апроксимованому контурі, зміна яких призведе до зміни форми з більшим ефектом в умовах низької складності форми, ніж при високій складності.

11) Прямокутність (Right-Angleness) $RA = \frac{r}{n}$, де r - кількість кутів

$\alpha = 90^\circ$ між сусідніми лініями, що описують форму мікрооб'єктів. Характеристика яка визначає подібність форми мікрооб'єкту до прямокутника.

12) Різкість (Sharpness) $sh = \sum \frac{\max(0.1 - (\frac{2|\theta - \pi|}{\pi})^2)}{n}$. Міра різких стрибків зміни контурної функції (понад 90°).

13) Спрямованість (Directedness) $dir = \frac{\sum Paralel(L_i)}{\sum L_i}$, де $Paralel(L_i)$ -

сегменти контуру які є паралельні до великої осі.

14) Зовнішній багатокутник. Описує контур у вигляді опуклого багатогранника (Рисунок 3,б).

15) Зовнішній квадрат (Рисунок 3,в). Уявний прямокутник, що описує мікрооб'єкт. Серед вторинних ознак які впливають з даної характеристики

можна виділити: прямокутник зі сторонами паралельними до осей OX та OY ; мінімальний прямокутник що описує об'єкт; координати вершин та центру описаних прямокутників; площі, периметри та довжини сторін прямокутників тощо.

16) Зовнішній овал (Рисунок 3,г). Уявний овал, що описує мікрооб'єкт. Серед вторинних ознак які впливають з даної характеристики : координати центру овалу; площа, периметр овалу тощо.

17) Зовнішнє коло (Рисунок 3,д). Уявне коло, що описує мікрооб'єкт. На основі даної характеристики можна виділити: радіус кола; координати вершин та центру описаного кола; площа, периметр та радіус кола тощо.

18) Максимальний перпендикуляр $Maxep = \max(p_1, p_2)$. Визначає довжину максимального перпендикуляра, опущеного з контуру мікрооб'єкту на велику вісь.

19) Напрямок об'єкта. Кут між великою віссю та віссю OX , але при цьому враховується максимальний перпендикуляр.

20) Апроксимація контуру $Contour = \sum L_i$. Апроксимована контурна функція, відповідає кусково-лінійній апроксимації при кодуванні контуру.

21) Ключові точки. Точки контурної функції в яких відбувається знак приросту функції або кут приросту перевищує деяке порогове значення δ .

22) Відстань між піками контурної функції. Відстань між ключовими точками, які відповідають максимальним значенням.

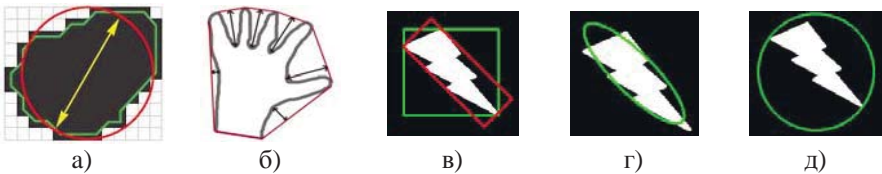


Рис. 3. Приклади визначення контурних ознак: колоподібність (а), зовнішній багатокутник (б), квадрат (в), овал(г), коло(д).

Для проведення ранжування контурних ознак запропоновано коефіцієнт використання в сучасних системах автоматизованої мікроскопії. Даний коефіцієнт обчислюється за формулою:

$$NU_i = (1 - \frac{NS - IFeat_i}{NS}) * 100\% ,$$

де, NU - коефіцієнт використання;

NS - кількість аналізованих програмних систем;

$IFeat_i$ - кількість програмних систем в яких використовується i -та контурна ознака при проведенні опису та аналізу мікрооб'єкта.

Результати порівняння контурних характеристик наведено в таблиці 1.

Порівняння контурних ознак на основі коефіцієнта використання

Назва ознаки	Leica Qwin	HistoLab Image Analysis	XPOMOCOMA	Histo Viewer	ImageJ	Коефіцієнт використання
Периметр	+	+	+	+	+	100
Площа	+	+	+	+	+	100
Гол. вісь	+	-	+	+	+	80
Моменти	-	-	-	+	+	40
Співвідношення сторін	-	+	+	-	+	60
Колоподібність	+	+	+	+	+	100
Зміна кута	-	-	-	-	+	20
Складність	+	-	+	+	+	80
Прямокутність	+	-	-	-	+	40
Спрямованість	-	-	+	+	+	60
Зовнішній овал	-	-	-	-	+	20
Максимальний перпендикуляр	+	+	+	+	+	100
Ключові точки	+	+	+	+	+	100

Висновки

Використання характерних ознак контурної функції має ряд переваг: зменшення обсягів пам'яті для зберігання даних, збільшення швидкості аналізу зображень, можливість автоматизації процесу обробки, зменшення вартості програмно апаратних комплексів аналізу цифрових фото та відео даних.

Напрямки подальших досліджень:

- градація контурних ознак за: часом обчислення, складністю обчислень, цінністю ознаки при використанні її в системі;
- дослідження можливості виділення контурних ознак шляхом поєднання уже відомих;
- виділити множину пріоритетних ознак для опису мікрооб'єктів на біомедичних зображеннях.

1. Tomoki T. C. T. Morphometric image analysis of pancreatic disease by ThinPrep liquid-based cytology / T.C.T. Tomoki, A. Kawahara, Ph.D., T. Yamaguchi C.T., H. Abe C.T., Yu. I. M.D., Y. Okabe M.D., Y. Naito M.D., Ph.D., H. Yano M.D., Ph.D., M. Kage M.D., Ph.D.// Diagnostic Cytopathology - volume 40, Issue 11 - November 2012 – pp. 970–975.
2. Khotanzad A. "Rotation invariant pattern recognition using Zernike moments," /A. Khotanzad // Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition. - 1988. - pp. 326–328.

3. *Pal U.* Automatic cell segmentation in cyto- and histometry using dominant contour feature points / U. Pal, K. Rodenacker, B.B. Chaudhuri // *Analytical Cellular Pathology.* – IOS Press - 17 – 1998 – pp.243–250.
4. *Nixon Mark S.* Feature Extraction & Image Processing for Computer Vision / Mark S. Nixon and Alberto S. Aguado // *Academic Press.* – 2012 – 632 P.
5. *Chora's Ryszard S.* Image Feature Extraction Techniques and Their Applications for CBIR and Biometrics Systems / Ryszard S. Chora's // *International Journal of Biology And Biomedical Engineering.* - Issue 1, - Vol. 1, - 2007 – pp. 6-16.
6. *Mukundan R.* A new class of rotational invariants using discrete orthogonal moments. / R. Mukundan // *Proceedings of the 6th IASTED Conference on Signal and Image Processing,* - 2004. - pp. 80–84.
7. *Chou Yi-Hong* Stepwise logistic regression analysis of tumor contour features for breast ultrasound diagnosis / Yi-Hong Chou, Chui-Mei Tiu, Guo-Shian Hung, Shiao-Chi Wu, Tiffany Y Chang, Huihua Kenny Chiang // *Ultrasound in Medicine & Biology* Volume 27, Issue 11, November 2001, - pp.1493–1498.
8. *Cheng J.Z.* Computer-aided US diagnosis of breast lesions by using cell-based contour grouping. / Cheng J.Z., Chou Y.H., Huang C.S., Chang Y.C., Tiu C.M., Chen K.W., Chen C.M. // *Radiology.* – 2010. – Jun - 255(3) – pp. 746-54.
9. *Pedronette D.* Shape Retrieval using Contour Features and Distance Optimization./ Daniel Carlos Guimarães Pedronette, Ricardo da Silva Torres// *Proceedings of the Fifth International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP 2010), Angers,* - France. - May 17-21,- Volume 2, - 2010.
10. *Ersoy Ilker* Multi-Feature Contour Evolution for Automatic Live Cell Segmentation in Time Lapse Imagery / Ilker Ersoy, Kannappan Palaniappan // *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* - 2008; - №1. – pp. 371–374.

Поступила 6.10.2016р.

УДК 004.032.24

І.Г. Цмоць, д.т.н., проф., В.Я. Антонів, аспірант
 Національний університет «Львівська політехніка»

В.Г. Рабик, к.т.н., доц., Львівський національний університет ім. І. Франка

МЕТОД ВЕРТИКАЛЬНО-ПАРАЛЕЛЬНОГО ОБЧИСЛЕННЯ МАКСИМАЛЬНИХ І МІНІМАЛЬНИХ ЧИСЕЛ У МАСИВАХ

Анотація. Розроблено метод вертикально-паралельного обчислення максимального і мінімального чисел у одновимірному та двовимірному масивах. Відображено алгоритми вертикально-паралельного обчислення максимального і мінімального чисел у вигляді потокових графів.

Ключові слова: метод, вертикально-паралельне обчислення, максимальне, мінімальне, масив, потоковий граф.