### Висновки

Алгоритми локальної оптимізації дають змогу істотно зменшити час розв'язування задачі комівояжера, що особливо важливо у випадку їхньої великої розмірності. Стратегія ESA1-LR демонструє покращення якості обчислень в порівнянні з базовим алгоритмом і приблизно 3% оптимізацію порівняно з початковим розв'язком та приблизно в 100 разів менший час обчислень для задачі розмірністю 10000 точок. Ця стратегія, за якою кожен кластер сканують двічі, забезпечує вибір кращого маршруту всередині кластера.

*1. Fredman M.L., Johnson D.S., McGeoch L.A., Ostheimer G. Data Structures for Traveling Salesmen // J. ALGORITHMS 18. – 1995. – P. 432–479. 2. Johnson D.S., McGeoch L.A. Experimental analysis of heuristics for the STSP. – 2002. 3. Helsgaun K. An effective implementation of the Lin-Kernighan Traveling Salesman Heuristic. – 2002.*

**УДК 621.397.3**

**О. Березький, Ю. Батько**
Тернопільський державний економічний університет

# АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ВИДІЛЕННЯ КОНТУРІВ ЗОБРАЖЕНЬ

*© Березький О., Батько Ю., 2006*

**Досліджено алгоритми виділення контурів зображень, запропоновано та проаналізовано алгоритм визначення зовнішнього контуру зображень, а також наведено приклад програмної реалізації запропонованого алгоритму та результати його роботи.**

**Algorithms of selection of contours of images are explored, algorithm of determination of external contour of images is offered and analyzed, and also an example of program realization of offered algorithm and results of its work is introduced.**

### Вступ

Одним із актуальних напрямків розвитку сучасної прикладної науки є широке впровадження комп'ютерних засобів у медицину. Зокрема комп'ютерні технології з набором спеціалізованих програмних засобів використовують для діагностики пацієнтів, швидкого оброблення інформації та обміну даними, навчання майбутніх спеціалістів тощо [1]. На сучасному етапі поєднання прогресивних інформаційних технологій, нових методів та алгоритмів оброблення, аналізу та синтезу зображень і медицини привели до народження нової області – телемедицини, що передбачає встановлення діагнозу на відстані на основі аналізу та оброблення зображень клітин органів людини. Як відомо [2, 3], кожен тип клітин має свої ознаки: відповідну геометричну форму та характерне комбіноване забарвлення. Виділення цих ознак в автоматичному режимі є одним з основних завдань, які мають вирішити розробники алгоритмічного та програмного забезпечення у цій галузі.

Завданням статті є аналіз алгоритмів проходження зовнішнього контуру зображення, а також розроблення алгоритму виділення контурів зображень пухлинних клітин.

### Огляд літературних джерел

Одним із важливих етапів аналізу зображення є коректне та швидке виділення та проходження контуру зображення. Проаналізуємо відомі алгоритми визначення зовнішнього контуру зображення. Перевагами алгоритму "Square Tracing" [6] є простота реалізації та швидкодія, недоліками – неефективне опрацювання зображень із діагональними сторонами і зображень, які



Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

мають “відгалуження” завтовшки 1 піксель. Цей алгоритм, незважаючи на свою простоту та швидкодію, не можна ефективно використовувати для визначення контуру складної фігури.

Удосконаленням алгоритму “Square Tracing” є алгоритм „Moore-Neighbor Tracing”, який, на відміну від попереднього, ефективніший у разі проходження зображень з довільними сторонами. Більшої ефективності досягають за рахунок збільшення кількості сусідніх точок, що проходять процес перевірки. Перевагами цього алгоритму є збільшення точності оброблення та можливість опрацювання складніших зображень, недоліками – збільшення обчислювальної складності та зменшення швидкодії, а також можливість некоректного завершення роботи.

Алгоритм проходження контуром “Radial Sweep” ґрунтується на використанні алгоритму “Moore-Neighbor Tracing”, але має удосконалення, які полягають в тому, що кожна наступна точка контуру прив’язується до попередньої. Крім цього, додано ще один критерій зупинки алгоритму – у разі потрапляння на точку, яка вже належить до контуру. Перевагами алгоритму є додатковий критерій зупинки, за яким можна ефективніше уникати зациклення роботи алгоритму та коректно завершувати свою роботу, а також можливість працювати з фігурами із складною контурною лінією; недоліками є збільшення обчислювальної складності, а також не повністю коректне завершення роботи алгоритму.

Ще одним алгоритмом проходження контуру зображення є алгоритм “Theo Pavlidi’s Algorithm” [5]. Перевагами цього алгоритму є висока якість роботи з зображеннями, які не мають складної контурної лінії, можливість використання як стартової точки будь-якої точки контуру та висока швидкодія, недоліками – складність реалізації, проблеми з обробленням зображень з виступами контуру (завтовшки в один піксель), а також недосконалі критерії завершення алгоритму.

Важливе значення для ефективності та працездатності алгоритмів проходження контуром зображення мають критерії зупинки роботи алгоритму. Серед відомих критеріїв зупинки можна виділити такі [6]:

- зупинка, коли алгоритм відвідав стартову точку *n*-разів. Цей критерій є ефективним за наперед відомої кількості повернення алгоритму до стартової точки;
- критерій зупинки після відвідування алгоритмом стартової точки два рази (критерій зупинки Джакобса). Цей критерій є частковим випадком попереднього. До переваг цього алгоритму належить висока ефективність під час роботи з простими контурами фігур та простота реалізації, недоліком – вибір стартової точки.
- критерій зупинки під час потрапляння на точку, яку вже було визнано точкою контуру. Перевагою цього критерію є довільний вибір стартової точки, недоліками – необхідність маркування пройдених контурних точок, неефективність визначення виступів на контурі (завтовшки в один піксель).

## Алгоритм виділення контурів зображень

Для визначення зовнішньої границі зображення використано метод, за яким ділянки зображення не аналізують, якщо їхній колір ідентичний або наближений до кольору зображення з деякою похибкою Δ [4]. За цим підходом визначають пікселі фону. Колір точки (пікселя) передається в просторі RGB. Для визнання точки частиною фону значення її RGB компонент має відповідати таким умовам (1):

$$\begin{aligned} \Delta R &\geq \left|R_{fon} - R\right|, \\ \Delta G &\geq \left|G_{fon} - G\right|, \\ \Delta B &\geq \left|B_{fon} - B\right|, \end{aligned} \qquad (1)$$

де ΔR, ΔG, ΔB – значення можливого відхилення компонент RGB від заданих значень фону;$R_{fon}$, $G_{fon}$, $B_{fon}$ – значення кольору фону в базисі RGB; R, G, B – значення кольору пікселя в базисі RGB;

Для покращання результатів роботи алгоритму запропоновано використовувати динамічне значення кольору фону. Значення динамічного фону визначають за такими правилами (2):



Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$R_{fon} = \begin{cases} \left|\frac{R_{fon} + R}{2}\right|; R_{fon} \neq R, \Delta R \geq \left|R_{fon} - R\right| \\ R_{fon}; R_{fon} = R \end{cases},$$

$$G_{fon} = \begin{cases} \left|\frac{G_{fon} + G}{2}\right|; G_{fon} \neq G, \Delta G \geq \left|G_{fon} - G\right| \\ G_{fon}; G_{fon} = G \end{cases}, \quad (2)$$

$$B_{fon} = \begin{cases} \left|\frac{B_{fon} + B}{2}\right|; B_{fon} \neq B, \Delta B \geq \left|B_{fon} - B\right| \\ B_{fon}; B_{fon} = B \end{cases},$$

де ΔR, ΔG, ΔB – значення можливого відхилення компонент RGB від заданих значень фону; $R_{fon}$, $G_{fon}$, $B_{fon}$ – значення кольору фону в базисі RGB; R, G, B – значення кольору пікселя в базисі RGB.

Використанням динамічного значення фону можна знизити вплив шумів та спотворень, спричинених давачами фотокамер. Недоліком цього підходу є зменшення ефективності роботи за недостатньої якості зображень (шуми та спотворення перекривають зображення клітин або протягом значного проміжку мають схожий з кольором клітини відтінок), тому перед початком роботи програми за необхідності зображення потребує додаткового оброблення.

Для відсікання малоінформативних точок, а також для подолання деяких недоліків, які виникають під час фотографування (одинокі точки (пікселі), які відрізняються від фону, але не є частинами клітин) використовують перевірку сусідніх пікселів на належність до фону. Для цієї перевірки вводять зображення рисунка із значеннями 0 та 1, де 0 – точка належить, а 1 – не належить фону. Алгоритм фільтрації зображення виконують за такими правилами (3):

$$f(i,j) = \begin{cases} 0; \left(\sum_{k=-1}^{1}\sum_{l=-1}^{1} x_{i+k,j+l}\right) < p \\ 1; \left(\sum_{k=-1}^{1}\sum_{l=-1}^{1} x_{i+k,j+l}\right) \geq p \end{cases}, \quad (3)$$

$$i = \overline{1, n-1};\ j = \overline{1, m-1};\ k = l \neq 0;\ i, j, k, l, p \in Z$$

де $f(i,j)$ – це логічна функція, яка визначає наявність зв'язків із сусідніми пікселями; $x_{i,j}$ – значення маски для $i$-го, $j$-го пікселя; $n$ – ширина зображення в пікселях; $m$ – висота зображення в пікселях; $p$ – мінімальна кількість сусідніх точок, необхідних для присвоєння точці значення належності фону.

Число $p$ = 6 було визначено експериментальним шляхом як найбільш оптимальне за критерієм якість/швидкодія. Причому, із збільшенням значення параметра $p$ якість оброблення зображення зростає із зниженням швидкості роботи програми, але за великих значень параметра $p$ відкидаються точки, які можуть мати інформативну цінність. Приклад визначення параметра $p$ наведено на рис. 1.

Для точки M (x,y) перевіряти сусідні точки необхідно від точки $P_8(x-1, y)$ (оскільки попередня точка контуру була $P_6$), потім за годинниковою стрілкою $P_1(x-1, y+1)$, $P_2(x, y+1)$, $P_3(x+1, y+1)$, $P_4(x+1, y)$, $P_5(x+1, y-1)$, $P_6(x, y-1)$, після цього перевірку за правилом (3) можна закінчувати, адже $p$=6. Як видно з рис. 1, значення $p$=6 цілком достатньо для визнання точки інформативною.

Для визначення точок зовнішньої границі (контуру) зображення використовують такий алгоритм:

1) вибирають стартову точку;
2) рухаючись за годинниковою стрілкою, вибирають наступний (сусідній) піксель, що не належить фону, але межує з ним;



Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

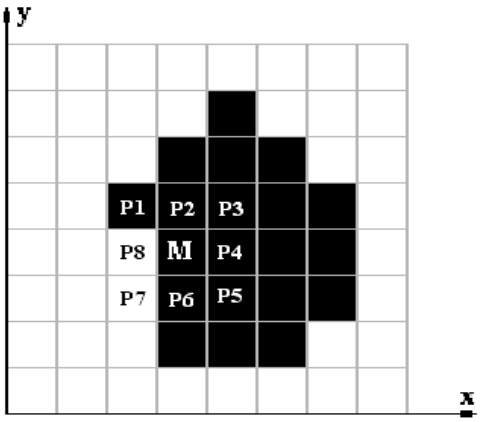


*Рис. 1. Визначення параметра p*

3) перевіряють на наявність наступної (сусідньої) точки, що задовольняє умови належності точки до контуру. Якщо ні, то переходять до пункту 5);
4) у разі позитивного результату пункту 3 (координати активної точки не зазнали змін) здійснюють "відкат". Точці присвоюють статус фону, активною обирають попередню точку і переходять до пункту 2;
5) перевіряють на завершення визначення (замкнення) контуру, коли активна точка повертається у початковий стан з використанням критерію Джакобса. Якщо умова не виконується, то переходять до пункту 2);
6) після отримання замкненого контуру (програма успішно виділила деяку цілісну область зображення, відмінну від фону) присвоюють ідентифікатор клітини кожній точці зображення, обмеженої контуром, для уникнення повторного опрацювання цих пікселів, а також для полегшення подальшої роботи над зображенням та виділеною областю. Після завершення присвоєння – перехід до пункту 1).

**Результати експериментальних досліджень**

Для перевірки якості роботи алгоритму як тестове зображення було використано фотографію пухлинних клітин (рис. 2). Результат оброблення зображення наведено на рис. 3.

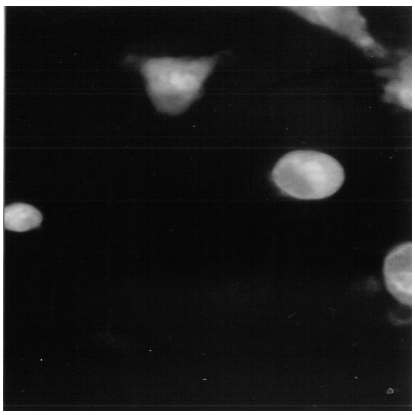

*Рис. 2. Фотографія, призначена для оброблення*

*Рис. 3. Опрацьована фотографія (з виділеними контурами)*

На основі запропонованих алгоритмів розроблено програмну систему мовою програмування Delphi 6.0 [7]. Програма виділяє зовнішні контури клітин та проводить ряд досліджень, зокрема форму клітини. Форму клітини визначають за коефіцієнтом відношення відрізка, що сполучає дві



Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

найбільш віддалені між собою точки контуру $A(x_n, y_n)$ та $B(x_{n+m}, y_{n+m})$, та перпендикуляра, що проходить через середину відрізка АВ точку $M(x_c, y_c)$ та точку контуру $C(x_g, y_g)$.

Також програма як результат своєї роботи розраховує геометричні параметри клітини для подальшого аналізу . Приклад вихідної інформації наведено в таблиці.

**Результати роботи програми**

| | |
|---|---|
| № клітини | 3 |
| Периметр, нм | 89,7 |
| Площа, нм$^2$ | 402 |
| Довжина найбільшої хорди, нм | 29,7 |

## Висновки

Проаналізовано алгоритми виділення контурів зображень і запропоновано алгоритм визначення зовнішнього контуру (границі) зображення, а також наведено результати роботи програмної системи. Цей алгоритм можна використати для розпізнавання зображень (зовнішнього контуру зображення) в системах розпізнавання зображень.

Для подальшого розвитку та збільшення ефективності процесу проходження контурів необхідно розробити критерії коректної зупинки роботи алгоритмів, а також способи більш чіткого опрацювання виступів зображень (завтовшки один піксель).

*1. Дарченко А.О., Романов И.П., Креницкий А.П. и др. Автоматизация и компютеризация цитологических исследований в гематологии // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2003. – № 2. – С. 55–61. 2. Мельник А.Н. Цитоморфологическая диагностика опухолей. – К.: Здоров'я, 1983. – 240 с. 3. Фильченков А.А., Стойка Р.С. Апоптоз и рак. – К.: Морион, 1999. – 189 с. 4. Попова Г.М., Степанов В.Н. Анализ и обработка изображений медико-биологических объектов // Автоматика и телемеханика. – 2004. – № 1. – С. 131–142. 5. Theo Pavlidis, Algorithms for Graphics and Image Processing. – 1982, chapter 7, section 5. 6. Contour Tracing Algorithms http://www.cs.mcgill.ca/~aghnei/alg.html. 7. Березький О.М., Оданець О.С. Фрактальний підхід до аналізу та синтезу пухлинних клітин // Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій: Матеріали наук.-практ. конф. – Херсон, 2005. – Т. 3. – С. 31–33.*



Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua