

УДК 519.248.6

**В.Ф. Ємець, І.В. Мороз**Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра “Електронні обчислювальні машини”**АЛГОРИТМ ВІДОКРЕМЛЕННЯ КРАЇВ НА РАСТРОВИХ  
ЗОБРАЖЕННЯХ ТРИВИМІРНИХ ОБ’ЄКТІВ**

© Ємець В. Ф., Мороз І. В., 2003

**Запропоновано алгоритм розв’язування проблеми автоматичного генерування в аналітичній формі (у векторній графіці) країв фізичних об’єктів на растрових зображеннях, які отримано за допомогою неконтактних засобів вимірювання дальності.**

**Algorithm of detecting the edges of physical objects in an analytical form from the raster images is offered.**

**1. Постановка проблеми**

В останні роки спостерігається значне зростання уваги до розв’язання задач побудови моделей аналітичного описання тривимірних об’єктів на растрових зображеннях [1–3]. Розв’язання таких задач зустрічається у багатьох галузях, зокрема в таких, як планування населених пунктів, міська архітектура, дослідження мікроклімату, розміщення джерел телекомунікації тощо. Першим кроком при дослідженні розглядуваної проблеми є детектування країв об’єктів на горизонтальній площині [4–6], ґрунтуючись на заданому растровому зображенні певної сцени. Ця на перший погляд проста задача вимірювання стрибків дальності (освітленості) на зображенні насправді є складною. Зрозуміло, що виділення країв означає не просто знаходження границь на зображенні, але й визначення похідних дальності. Алгоритми, що ґрунтуються на бінарних ознаках, а саме на присутності або відсутності країв, повністю збігаються або аналогічні алгоритмам, в яких безпосередньо використовуються неперервні значення похідних. З цієї точки зору задача нижнього рівня називається виділенням країв [6] та складається з: а) вибору диференціального оператора; б) обчислення коректних та стійких похідних.

З використанням теорії регуляризації некоректно поставлених задач можна вказати оптимальні шляхи для отримання відповідних числових похідних, але не можна вибрати найкращий диференціальний оператор, що приводить до замкнених контурів об’єктів. Вибір диференціального оператора залежить від геометричних та топологічних властивостей досліджуваних границь. Наступним кроком, після виділення країв об’єктів, є їх відокремлення та аналітичне описання. У статті запропоновано загальний підхід до автоматичного генерування в аналітичній формі (у векторній графіці) країв фізичних об’єктів на растрових зображеннях, які отримано за допомогою неконтактних засобів вимірювання дальності. Алгоритм розв’язування задачі розділено на дві фази. У першій фазі алгоритму детектуються контури всіх об’єктів, присутніх на зображенні у горизонтальній площині. Друга фаза характеризується процедурами замикання та відокремлення окремих контурів з подальшим їх аналітичним описанням. При цьому, порівняно з відомими підходами [1, 3], жодної апріорної інформації про топологію об’єкта та його структуру не використовується та запропоновано диференціальний оператор з автоматичним вибором порогу детектування.

## 2. Розв'язання проблеми

Оскільки задача виділення країв передбачає диференціювання даних, що містять шум, то з метою обчислення похідних використовуємо операцію згортки функції Гаусса-Вейерштраса із вихідним зображенням, з подальшим застосуванням операції фільтрування:

$$\max_{\mathbf{x}} \psi(\mathbf{x}), \quad \psi(\mathbf{x}) = c |\text{grad}[\Phi(\mathbf{x})]|, \quad (1)$$

$$\Phi(\mathbf{x}) = \frac{1}{2\pi\alpha^2} \int_D \phi(\xi_1, \xi_2) \exp\left(-\frac{|\mathbf{x}-\xi|^2}{2\alpha^2}\right) d\xi_1 d\xi_2, \quad (2)$$

$$\frac{1}{2\pi\alpha^2} \exp\left(-\frac{|\mathbf{x}|^2}{2\alpha^2}\right) \xrightarrow{\alpha \rightarrow 0} \delta(\mathbf{x}), \quad c = \frac{\alpha\sqrt{2\pi}}{2},$$

де  $c$  – постійна, що визначає однаковий порядок значень функцій  $\Phi(\mathbf{x})$  і  $\psi(\mathbf{x})$ ,  $D$  – площа зображення,  $\phi$  – функція значень висот,  $\delta(\cdot)$  – дельта-функція.

Зауважимо, що із співвідношення (2) легко отримати похідні функції  $\Phi(\mathbf{x})$  в аналітичній формі.

Нехай  $s_r$  означає необхідну роздільну здатність реконструкції зображення в горизонтальній площині,  $h_r$  – відповідна роздільна здатність за висотою,  $s_m$ ,  $h_m$  – об'ємні розміри мінімального об'єкта, а  $\beta_m$  – мінімальний кут нахилу до горизонтальної площини, що підлягають детектуванню. Тоді апертура згладжувального фільтра (параметр  $\alpha$  у рівнянні (1)) визначається так:

$$\alpha = \frac{1}{3} \frac{s_m}{s_r}. \quad (3)$$

Пороги фільтра (1) для країв у формі “стрибка” та “складки” відповідно набувають значення:

$$h_j = \frac{h_m}{h_r} \frac{c}{\alpha\sqrt{2\pi}}, \quad h_c = \frac{s_r}{h_r} \psi_c(2\alpha),$$

$$\psi_c(x) = k \frac{c}{2} \left[ 1 + \text{erf}\left(\frac{x}{\alpha\sqrt{2}}\right) \right], \quad k = \text{tg}(\beta_m), \quad \text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt.$$

Піксели, що пройшли через поріг фільтра (1), характеризують шукані контури об'єктів на зображенні. З метою розділення контурів, що належать окремим об'єктам, застосовуються такі процедури: а) потоншення товщини контурів до одного пікселя в отриманому після фільтрації бінарному зображенні; б) відкидання з розгляду контурів довжиною до трьох пікселів; в) замикання відкритих контурів.

З метою замикання конкретного контуру обчислюється градієнт в околі три на три піксели для кінцевої точки відрізка контуру, що розглядається. Напрямок замикання визначається за допомогою гострого кута між перпендикуляром до напрямку градієнта та прямою, що з'єднує попередню та кінцеву точки даного контуру, як показано на рис. 1.

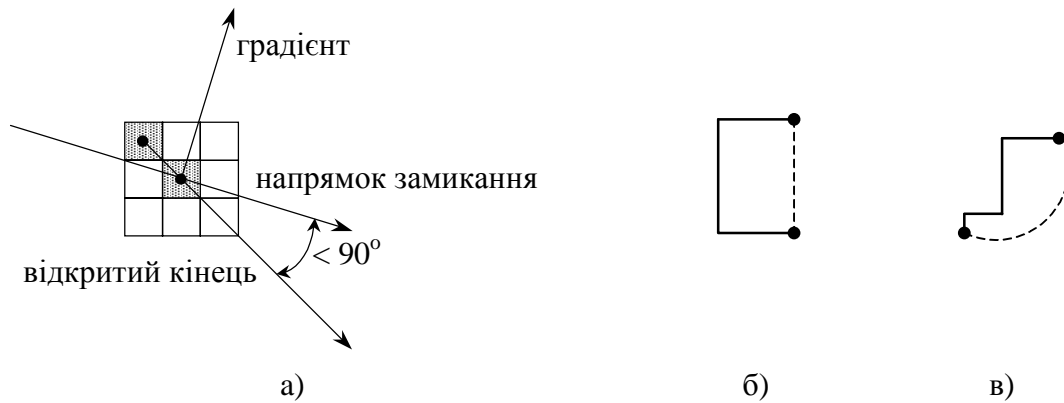


Рис. 1. Закриття відкритих контурів:  
 а) вибір напрямку замикання; б), в) варіанти відкритих контурів

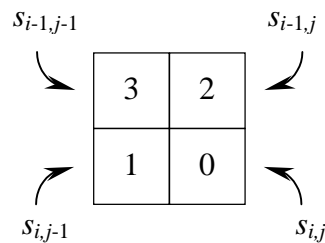


Рис. 2. Маска 2x2 елементи

Отримані на попередньому кроці контури розділяються. Для цього використовується маска два на два піксели, ґрунтуючись на обчисленні значень величини  $A_0$ :

$$A_0 = \sum_{k=0}^3 s_{i,k} 2^{3-k},$$

де піксели пронумеровано від 0 до 3, а нуль відповідає біжучому пікселю, як показано на рис. 2. Застосовуючи цю маску до всього бінарного зображення, на основі значень  $A_0$  отримуємо упорядковані послідовності точок, що описують контури відокремлених об'єктів (на рис. 3 об'єкти позначені римськими цифрами). Зауважимо, що  $A_0$  може набувати 16 різних значень, деякі з них та відповідні ділянки контуру наведено на рис. 3.

Кінцевим етапом запропонованого алгоритму є формування аналітичного опису країв конкретного об'єкта. Для цього використовується метод Лава [7, 8]. Нехай крива, що визначає контур, містить  $N$  точок та означена як  $\gamma = \{(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, N\}$ . Для аналітичного описання сегмента лінії використовується нормальне рівняння прямої  $x \cos \alpha + y \sin \alpha - p = 0$ , де через  $\alpha$  позначено кут, який утворює пряма з віссю абсцис. Віддаль  $d$  від точки  $(x_i, y_i)$  на кривій до прямої визначається співвідношенням  $d = x_i \cos \alpha + y_i \sin \alpha - p$ . На рис. 4а показано криву, її апроксимацію відрізками та точки максимального відхилення січних від кривої. На рис. 4б показано інтерпретаційне дерево. Як випливає з рис. 4, крива може бути із заданою точністю апроксимована відрізками  $defg$ .

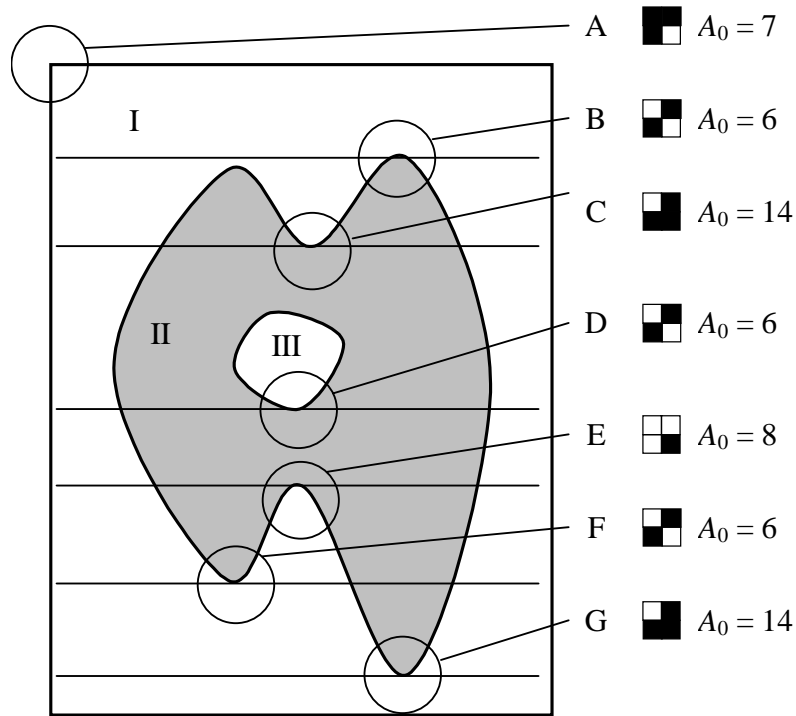


Рис. 3. Відокремлені об'єкти та деякі значення  $A_0$

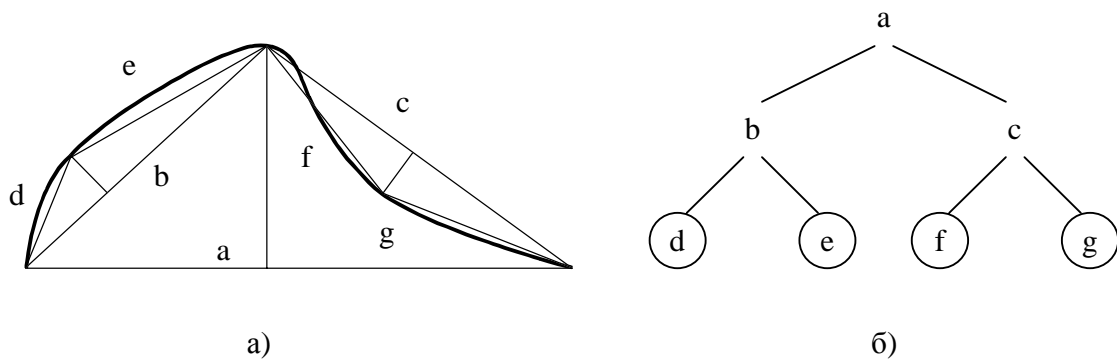


Рис. 4. Сегментація кривої прямими: а) відрізки прямих; б) інтерпретаційне дерево

### 3. Числовий приклад

Приклад реалізації запропонованого методу наведено на рис. 5–6. На рис. 5 показано тривимірні об'єкти. Рис. 6а відповідає їх растровому зображенню. Ілюстрація роботи реалізації алгоритмів порогового детектування країв, замикання відкритих контурів та їх аналітичного описання показано на рис. 6б – 6г.

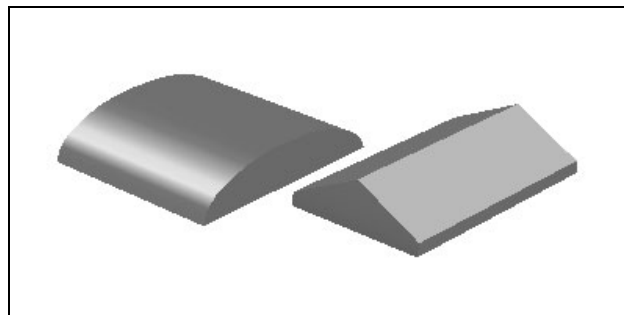


Рис. 5. Тривимірні об'єкти

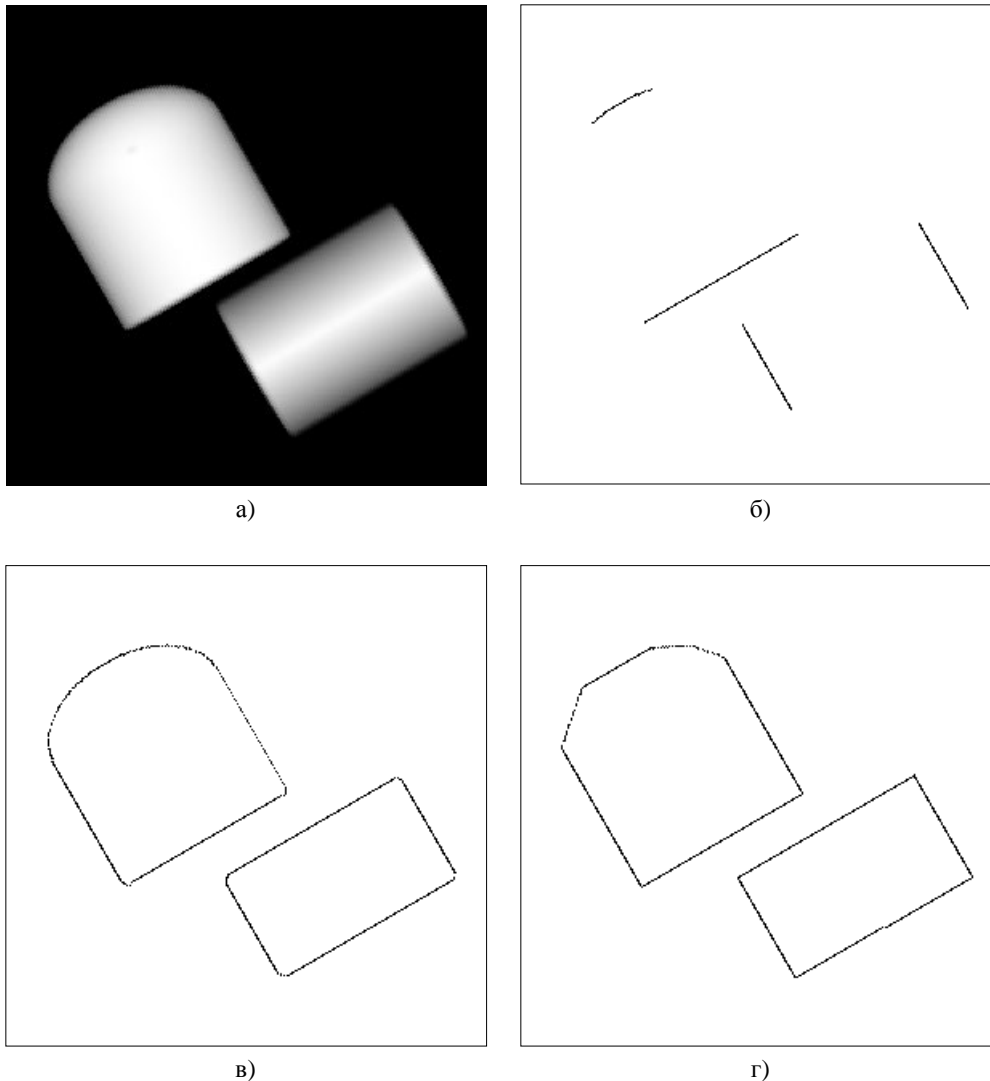


Рис. 6. Аналітичне описання країв об'єктів:  
 а) растрове зображення; б) точки на зображенні, що пройшли фільтр (1);  
 в) замикання контурів; г) аналітичний опис контурів

#### 4. Висновки

Наведено новий підхід до розв'язування проблеми автоматичного генерування в аналітичній формі (у векторній графіці) країв фізичних об'єктів на растрових зображеннях. Запропонований фільтр згортки, процедури замикання контурів та їх відокремлення дозволяють реконструювати краї об'єктів на зображенні. Числові приклади підтверджують ефективність запропонованого методу.

1. Stilla U., Jurkiewicz K. Automatic reconstruction of roofs from maps and elevation data // *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 32, Pt. 7-4-3 W6, Valladolid, Spain, 3-4 June, 1999, 5 p. 2. Melnyk A., Emets V., Moroz I., Marchywka V., Reconstruction of 3-D objects from raster altimeter data // *The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics / Proceedings of the VII International conference. CADSM 2003*, 18-22 February 2003, Lviv, pp. 280-283. 3. Haala N. and Brener C. "Interpretation of urban surface models using 2D building information", In: Gruen A., Baltsavias E.P. and Henricsson O. (Eds.)

Automatic extraction of man-made objects from aerial and space images (II), *Birkhäuser Verlag, Basel, 1998, pp. 213-222.* 4. *Canny J. F.*, Finding edges and lines in images, *Artificial Intelligence Laboratory Tech. Rep. 720, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1983;* 5. *Torre V., Poggio T.* On edges detection // *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. Vol.8, pp. 147-163, 1986* 6. *Бертеро М., Поджо Т. А., Топпе А.* Некорректные задачи в предварительной обработке визуальной информации // *ТИИЭР, 1988. – Т.76, №8. С. 17-39.* 7. *Lowe D. G.*, Three-dimensional object recognition from single two-dimensional images // *Artificial Intelligence, Vol.31, pp. 366-395, 1987.* 8. *Rosin P. L. and West G. A. W.* Non-parametric Segmentation of Curves into Various Representations // *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 17, №. 12, Dec. 1995, pp. 1140-1153.*

УДК 004.424.43

**Л.С. Квурт, Н.Г. Даниленко**  
Національний університет “Львівська політехніка”  
кафедра “Електронні обчислювальні машини”

## ЗВОРОТНІ ФАЙЛИ ПОШУКОВИХ СИСТЕМ ІЗ ПРІОРИТЕТОМ СЛІВ

© Квурт Л.С., Даниленко Н.Г., 2003

**Описано метод пошуку інформації за зворотними файлами з призначенням та використанням пріоритетів слів, наводяться рекомендації щодо визначення тривалості часу обслуговування слів заданого пріоритету.**

**Method of information retrieval by backup files with assigning and usage of priority of words here is described and guidelines on definition of duration of a service time of words on given priority are resulted.**

**Вступ.** Питання створення автоматизованих систем навчання, пошук методів інформаційного забезпечення таких систем, визначення шляхів підвищення продуктивності роботи з кожним днем стають все актуальнішими. Одним із методів прискорення пошуку інформації в автоматизованих системах є використання пріоритетності слів за деякими загальними ознаками.

**Пошук інформації за пріоритетами слів.** Серед найсуттєвіших вимог, які автоматизована система навчання (АСН) висуває до пошукових систем, є зменшення часу обслуговування замовлень. Одним із методів вирішення подібних вимог є організація пошуку з використанням пріоритетності відображення слів. При цьому система може розглядатись як система обслуговувань із відносними пріоритетами замовлень (переривань в обслуговуванні не відбувається). Робота учнів в автоматизованих системах навчання базується на запитах, які надходять під час роботи від них в АСН. Забезпечення ефективної роботи при цьому пов'язується із зменшенням реакції системи на запити.

Вважається [1], що затримка в АСН на введений запит, більша за три секунди, збиває темп роботи учня в системі, викликає втрату корисного часу учня, зменшує інтенсивність