



УКРАЇНА

(19) UA (11) 32886 (13) U  
(51) МПК (2006)  
G06K 09/64

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) СПОСІБ ІЗОТРОПНОГО ВИДІЛЕННЯ КОНТУРУ ЗОБРАЖЕННЯ

1

2

(21) u200713462

(22) 03.12.2007

(46) 10.06.2008, Бюл. № 11, 2008 р.

(72) БІЛИНСЬКИЙ ЙОСИП ЙОСИПОВИЧ, UA,  
ЮКИШ СЕРГІЙ ВАСИЛЬОВИЧ, UA, РАТУШНИЙ  
ПАВЛО МИКОЛАЙОВИЧ, UA

(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ, UA

(57) Спосіб виділення контуру, який включає операцію згладжування вхідного зображення за допомогою згортки з гауссіаном, обчислення градієнта

вхідного зображення в вертикальному та горизонтальному напрямках за допомогою одного із операторів першої похідної, який **відрізняється** тим, що після першого згладжування виконують повторне згладжування зображення з наступним виділенням точок перетину приміжових кривих вхідного зображення та зображення, отриманого в результаті повторного згладжування, після чого обчислюють градієнт в знайдених точках перетину, встановлюють його величину та отримують стоншений контур зображення.

Корисна модель відноситься до області цифрової обробки зображень, зокрема, виділення перепадів яскравості і може бути використана в системах розпізнавання зображень, системах технічного зору, а також для точного визначення координат виділеного контуру.

Відомий спосіб виділення та субпіксельного визначення контурів [А.с. США №6690842, клас G06L09/32, опубл. 10.02.2004р.] полягає у оцінці величини і напрямку градієнта у множині рівномірно розподілених точок зображення для отримання множини оцінок величини і напрямку градієнта, кожна така оцінка зв'язана з відповідною точкою градієнта рівномірно розподіленої сітки градієнта; використанні напрямку градієнта зв'язаного з кожною точкою градієнта для вибору відповідної множини сусідніх точок градієнта; порівнянні величини градієнта в кожній точці градієнта з величиною градієнта відповідної множини сусідніх величин градієнта для визначення локального максимуму величини градієнта у приблизному напрямку градієнта; використовуючи локальний максимум величини градієнта і множини сусідніх величин градієнта визначити інтерпольоване положення контуру вздовж одномірного профілю величини градієнта.

Недоліком вказаного способу є можливі втрати контуру у випадку малоконтрастного зображення, а також низька точність визначення положення перепадів яскравості при високому рівні шуму і розмитих межах зображення.

Найбільш близьким до способу, що заявляється є спосіб виділення контуру Канні [Canny J.F.

Finding edges and lines in images / Master's thesis, MIT, Cambridge, USA, 1983], який включає такі кроки: вхідне зображення, яке представлено у виді функції  $I(x,y)$ , піддається операції згладжування за допомогою згортки з гауссіаном; обчислюється градієнт зображення в вертикальному і горизонтальному напрямках за допомогою одного із операторів першої похідної; далі виконується операція non-maximal suppression, тобто алгоритм уточнює знайдені на попередньому кроці контури шляхом обнулення значень градієнта, що відповідає тим елементам зображення, які не знаходяться на вершині градієнта, операція виконується з використанням двох порогів  $T_1$  і  $T_2$ , де  $T_1 > T_2$ , аналіз починається в точці на вершині «гребня», що відповідає значенню градієнта, який більше, ніж  $T_1$ , і продовжується до тих пір, поки висота «гребня» стане менше порога  $T_2$ .

Недоліками способу виділення контуру Канні є недостатня достовірність його визначення за рахунок можливої втрати контурів дрібних елементів і згладжування кутових точок на зображенні, а також зміни координат контурних ліній, яка може досягати від одного до десяти пікселів, що не дозволяє використовувати спосіб для точного визначення координат контуру.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення способу виділення контуру зображення, в якому за рахунок введення нових операцій та їх послідовності досягається можливість отримати стоншений контур, який зберігає контури дрібних

(13) U

(11) 32886

(19) UA

елементів і кутових точок зображення та підвищити точність визначення координат контуру.

Поставлена задача вирішується тим, що в запропонованому способі ізотропного виділення контуру, який включає операцію згладжування вхідного зображення за допомогою згортки з гауссіаном, обчислення градієнта зображення в вертикальному та горизонтальному напрямках за допомогою одного із операторів першої похідної, після першого згладжування виконується повторне згладжування зображення з наступним виділенням точок перетину примежових кривих вхідного зображення та зображення, отриманого в результаті повторного згладжування, після чого обчислюють градієнт в знайдених точках перетину, встановлюють його величину та отримують стоншений контур зображення.

На Фіг.1 наведені результати виділення контуру синтезованого зображення: а) змодельоване зображення; б) зображення з 100% гауссовим шумом; в) розмите зображення з накладеним 100% гауссовим шумом; г), д), е) контури зображень детектора Канні; є), ж), з) контури зображень ізотропного детектора. На Фіг.2, а) і 2, б) наведені зображення поелементного виконання логічних операцій над контурами, отриманими оптимальним детектором Канні та ізотропним детектором, відповідно.

Згладжувальні фільтри застосовуються для розфокусування зображення та приглушення шуму. Для виконання згладжування зваженим середнім використовується, як правило, згортка з гауссіаном.

Важливою особливістю примежової кривої контуру згладженого зображення є те, що дана крива має єдину спільну точку з примежовою кривою вхідного зображення. Ця спільна точка є крайовою, а набір усіх крайових точок утворює контур зображення. Таким чином, для виділення контуру необхідно визначити спільні точки примежових кривих вхідного та згладженого зображень  $g(x,y)$ . Зображення спільних точок можна отримати в результаті поелементного перетворення:

$$h(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{при } g(x,y) = j(x,y) \\ 0 & \text{при } g(x,y) \neq j(x,y) \end{cases}, \quad (2)$$

де  $f(x)$  - вхідне зображення;

$g(x)$  - розмите зображення.

Спільна точка примежових кривих до та після згладжування, як правило, знаходиться в області міжпикселного простору, тобто, в області, що знаходиться між двома сусідніми пікселами. Таким чином, задача знаходження координати границі об'єкта на примежовій кривій зводиться до визначення координати даної точки в області міжпикселного простору примежової кривої вхідного та згладженого зображення. Для цього необхідно виконання таких умов:  $I_N < I_{N+1}^1$ ,  $I_{N+1} > I_{N+1}^1$ , де  $I_N < I_N^1$  і  $I_{N+1} > I_{N+1}^1$  - рівні яскравості N-го та N+1 піксела до та після фільтрації, відповідно. N-й та N+1 - номери пікселів між якими знаходиться спільна точка.

В результаті такого перетворення окрім контуру об'єкта зображення має велику кількість, так званих, несправжніх контурів, які породжуються

нестационарністю фону та об'єкта. Для того, щоб максимально зменшити кількість цих контурів необхідно підібрати фільтр з оптимальним розміром маски або виконати повторне згладжування. Для остаточного усунення несправжніх контурів запропоновано використовувати значення градієнта в шуканих точках перетину примежової кривої вхідного та згладженого зображення, який визначається [5]:

$$\nabla f = |\nabla F| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}. \quad (5)$$

Ця величина дорівнює максимальній швидкості зміни функції  $f$  у точці  $(x,y)$ , при цьому максимум досягається в напрямку вектора  $\nabla F$ .

Подальше перетворення кожної точки перетину вхідного зображення  $f(x,y)$  у вихідне  $g(x,y)$  виконується згідно з формулою:

$$g(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{при } \nabla f \geq f_0 \\ 0, & \text{при } \nabla f < f_0 \end{cases}, \quad (6)$$

де  $f_0$  - величина порогу, що задається. Результатом виконання даної

процедури і є шукане зображення з виділеним контуром.

Спосіб ізотропного виділення контуру зображення здійснюється в такій послідовності:

- виконують низькочастотну просторову фільтрацію;
- повторно виконують низькочастотну фільтрацію (розміри фільтра задаються);
- отримують зображення точок перетину примежових кривих вхідного та зображення, отриманого в результаті повторної фільтрації;
- визначають градієнт у спільних точках фільтрованих зображень;
- усувають несправжні контури шляхом порогової обробки.

Для підтвердження ефективності роботи методу реалізований детектор виділення контуру, який носить назву ізотропного детектора. Детектор протестований на спеціально змодельованих зображеннях. Синтезоване зображення (Фіг.1, а)) складається з декількох областей різної яскравості та містить краї різного перепаду яскравості. На дане зображення накладався гауссовий стовідсотковий шум (Фіг.1, б)), а також зображення піддавалося сімдесятих п'ятивідсотковому гауссовому розмиттю з подальшим стовідсотковим накладанням гауссового шуму (Фіг.1, в)). Виконувалося виділення контурів таких зображень детектором Канні (Фіг.1, г), д), е)), та запропонованим детектором (Фіг.1, є), ж), з)).

В результаті порівняння даних зображень можна зробити такі висновки. Зображення, отримане детектором Канні з використанням порогів  $T_1=10$ ,  $T_2=15$  (Фіг.1, г)), має змінні контури кутових точок, що не спостерігається в детекторі низькочастотної фільтрації (Фіг.1, є)). Крім цього в точці, в якій утворюється Y-подібний контур спостерігається розрив. Такий розрив відсутній на зображенні, виконаному запропонованим детектором. Виділені контури зашумлених зображень (Фіг.1, є), ж), з)), отримані методом низькочастотної фільтрації, тільки при невеликому значенні перепаду яскравості

сті мають розриви в місцях Y-подібного контуру та викривлення на прямолінійних ділянках контуру.

Наявність великої кількості детекторів ставить питання про порівняння їх характеристик і вибір найкращого. Для визначення ефективності роботи детекторів був використаний критерій пікового співвідношення сигнал/шум PSNR (peak signal-to-noise ratio). Даний критерій може бути використаний для встановлення ефективності детекторів виділення контуру при порівнянні контурів вхідного зображення з контуром зображення, що містить шум. Відповідно до критерію, чим більше значення PSNR, тим вищою вважається якість роботи детектора.

Критерій PSNR визначається формулою:

$$\text{PSNR}(x, y) = 20 \lg \frac{255}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d(x_i, y_i)^2}}, \quad (7)$$

де  $x_i, y_i$  - піксели двох порівнюваних зображень,  $N$  - загальне число пікселів на кожному зображенні;

$d(x_i, y_i)$  - різниця між кольорами відповідних пікселів (для відтінків сірого це просто різниця значень пікселів, а для кольорових зображень - евклідова відстань між пікселями в тривимірному колірному просторі).

Крім цього результат виділення контуру оцінювався за допомогою критерію похибки фільтрації RMSE:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j (x(i, j) - y(i, j))^2}{N}}, \quad (8)$$

де  $x(i, j)$  - початкове зображення;

$y(i, j)$  - виділене зображення;

$N$  - кількість оброблюваних пікселів.

Для даного критерію, чим нижче значення цієї похибки, тим вища якість роботи детектора.

В таблиці 1 наведені результати ефективності детекторів з використанням вищенаведених критеріїв.

Таблиця 1

Порівняння ефективності роботи детекторів

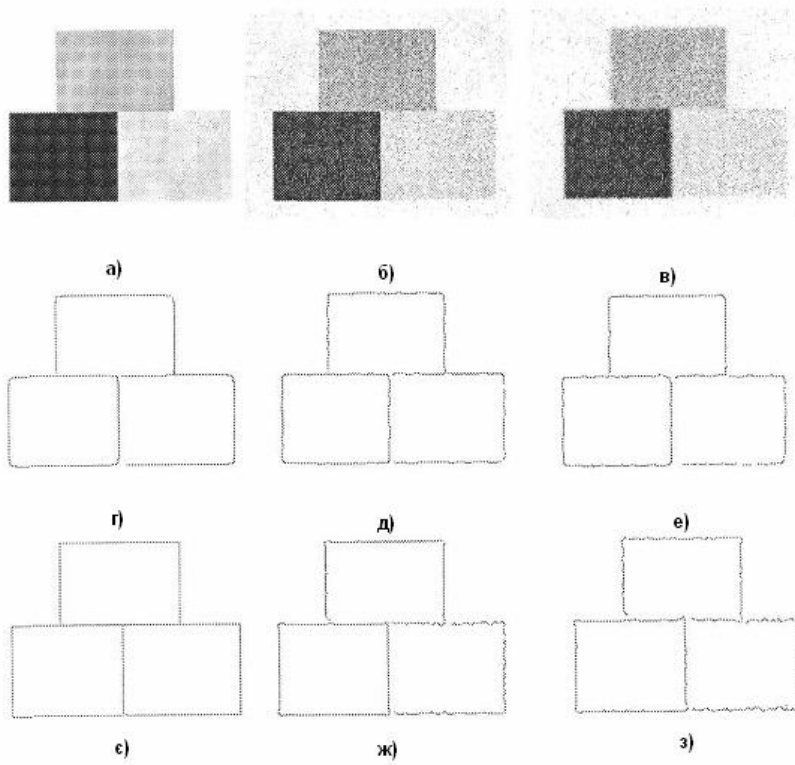
Типи зображень	PSNR		RMSE	
	Канні	Ізотропний детектор	Канні	Ізотропний детектор
змодельоване зображення	17,992	18,774	96,12	88,09
з 100% шумом	17,984	18,823	96,49	87,59
розмите з 100% шумом	18,032	19,06	95,95	85,24

Окрім використаних критеріїв для візуального порівняння були отримані зображення в результаті виконання над контурами зашумленими та незашумленими логічних операцій, що відповідають процедурі поелементного віднімання Фіг.2. Більш ефективним вважається той детектор, який дає в результаті виконання цієї процедури менше число світлих пікселів. На Фіг.2, а) і 2, б) наведені зображення поелементного виконання логічних операцій над контурами, отриманими оптимальним детектором Канні та ізотропним детектором, відповідно,

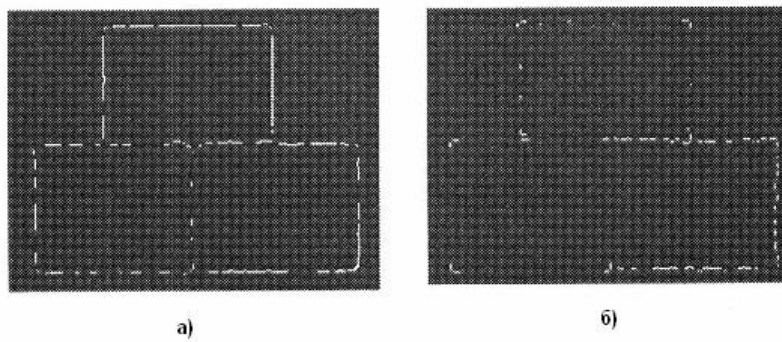
які свідчать про краще зберігання координат перепадів в контурі, отриманим детектором на основі запропонованого методу. В результаті проведених досліджень можна зробити такі висновки:

- параметри PSNR детектора на основі запропонованого методу вищі, ніж у детектора Канні, а похибка фільтрації RMSE менша;

- ізотропний детектор на основі низькочастотної фільтрації краще зберігає координати перепадів та кутові точки на зашумлених зображеннях.



Фіг. 1



Фіг. 2