

УДК 519.67 + 681.5

И.В. Рубан, К.С. Смеляков, О.В. Шитова

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

**СЕГМЕНТАЦИЯ ГРАНИЦ В УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ КОНТРАСТНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*В работе рассматривается построение адаптивного граничного детектора для решения актуальной проблемы сегментации границ слабоконтрастных изображений, в условиях, сравнимых по порядку величины уровней контрастности и зашумления.*

*сегментация, граница, граничный детектор, маска*

**Постановка проблемы**

В условиях вариаций яркостных свойств изображений в настоящее время для целей сегментации в качестве основного применяется подход, основанный на выделении пикселей границы изображения по контрастности [1]. Этому вопросу посвящено немало обширных обзоров и отдельных работ [2 – 5]. Выделение контуров уже долгие годы является основой методов сегментации [1, 5, 6]. В развитие этого подхода разработано большое количество методов построения границ и граничных детекторов. Развита методика обнаружения линий и малоразмерных изображений [3, 5, 7]. При этом для обеспечения устойчивости сегментации в условиях зашумления разработан широкий спектр фильтров. Вместе с тем до настоящего времени решены не все проблемы, связанные с адекватной сегментацией пикселей границы в условиях слабой контрастности.

Одна из таких проблем связана с сегментацией пикселей границы в условиях, когда уровень зашумления по порядку величины сравним с контрастностью граничных пикселей изображений. В работе [8] для решения этой проблемы было предложено сглаженное контрастирование (рис. 1); однако вместе с ростом контрастности применение такого подхода приводит к сжатию и размытию границ; кроме того, в ряде случаев он не приемлем из-за чрезмерного сглаживания малоразмерных изображений и линий.

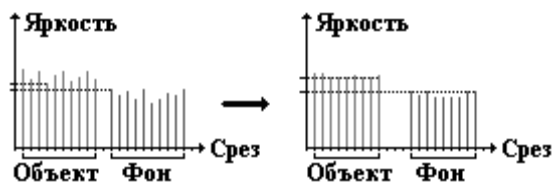


Рис. 1. Рост контраста границы после сглаживания с 3 до 7 [8]

Для решения описанной проблемы требуется разработать детектор пикселей границы изображения, адаптируемый к уровню контрастности и зашумления (АКЗ детектор). Далее в работе решение этой задачи будет рассмотрено на основе модификации детектора, предложенного в [8], а также будет рассмотрено использование детектора на основе использо-

вания гистограммного подхода [5]. Кроме этого, будут рассмотрены критерии объединения сегментированных пикселей в связную компоненту границы на основе анализа направлений перепадов яркости.

**1. Построение АКЗ детектора**

Начальная фаза развития моделей и методов сегментации границ по контрастности была связана с рассмотрением граничных детекторов на основе применения масок (Roberts, Laplacian, Prewitt, Sobel, Kirsch, Robinson и др.) [3, 4]. Этот подход к сегментации границ во многом используется и в настоящее время. Однако применение существующих детекторов на основе масок в матричной форме имеет ряд недостатков. Адекватность их применения в литературе [3] показана для идеальных профилей границ (рис. 2). Однако при поиске пикселей границы следует ориентироваться не столько на модельные профили границы, сколько на реальные зашумленные профили, с учетом влияния тени изображения – области, сформированной при оцифровке излучением объекта и фона и расположенной между ними [9].

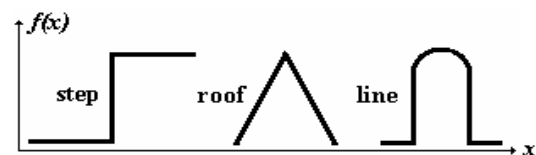


Рис. 2. Профили границы изображения (step) и линии (roof, line) [3]

Оценка контрастности пикселей границы изображения относительно пикселей тени, а не фона (особенно при использовании масок размерности  $3 \times 3$ ) приводит к получению заниженных оценок контрастности. При этом свертка является интегральной мерой контрастности пикселя относительно пикселей его окрестности (принадлежащих изображению, тени, фону), что приводит к резким вариациям контрастности на границе и неустойчивости сегментации границы.

При расчете свертки усредняется контрастность пикселей, расположенных на разных расстояниях от центра; кроме того, контрастность пикселя зависит от суммы шумов в пикселях окрестности, которая может значительно варьироваться и обуславли-

вать неустойчивость сегментации пикселей границы. В таких условиях с ростом размерности маски становится невозможным найти пиксели границы с небольшим числом пикселей фона в окрестности. Кроме этого параметризация существующих масок и детекторов не всегда позволяет обеспечивать требуемую полноту их настройки на особенности изображений; поэтому они пригодны для сегментации границ лишь высоко контрастных изображений.

В работах [8, 9] было показано, что предпочтительнее перейти к детектору с отдельным описанием маски, модели контрастирования и критериев сегментации границы. При этом маска, для возможности настройки ее структуры и параметров на топологический тип (граница или линия) и метрические параметры изображения, рассматривается не в виде матрицы, а строится на основе рассмотрения образа окружности на дискретном поле цифрового снимка (рис. 3).

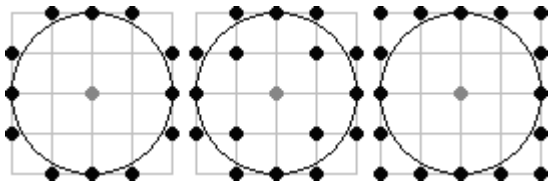


Рис. 3. Маски, построенные на основе образа окружности радиуса 2 [8]

Для сегментации пикселей границы используются пороговый и индикаторный критерий; суть второго из них состоит в том, чтобы:

- разметить разности яркости анализируемого (серого) пикселя с (черными) пикселями, определяемыми маской: 0 – если разность яркости не превышает порогового значения; 1 (-1) – если разность яркости положительная (отрицательная) и превышает пороговое значение;

- в качестве граничного выбирать лишь те контрастные пиксели (отобранные с использованием порогового критерия), спектр которых состоит из разностей яркости типа:  $S^1 = \{-1, 0\}$ ,  $S^2 = \{0, 1\}$ .

Индикаторный критерий введен для фильтрации ложных контрастных пикселей вблизи границы изображения, когда после контрастирования, кроме контрастных пикселей границы изображения с фоном, также сегментируются контрастные пиксели границы фона с изображением, и эти две границы, как берега реки, идут параллельно друг другу (рис. 4).

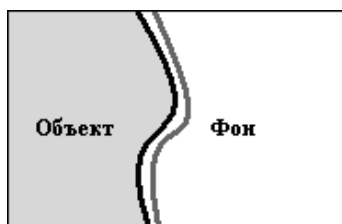


Рис. 4. Параллельные границы объекта и фона [8]

Предложенный подход позволяет отдельно настраивать маску и критерии сегментации с учетом тополого-геометрических свойств рассматриваемого изображения, его контрастности и контекста.

Однако сегментация пикселей границы в условиях слабой контрастности, когда уровень зашумления по порядку величины сравним с контрастностью пикселей границы (рис. 1), все еще представляет актуальную проблему. Для ее решения предлагается следующий подход.

После определения положения маски, для оценки контрастности рассматриваемого пикселя строится отрезок, длиной  $3 \cdot r$ , где  $r$  – радиус маски (рис. 5, а). Затем этот отрезок вращается и для каждого его положения оценивается контрастность между усредненными яркостями серой и черной его частей (рис. 5, б); средняя часть отрезка не рассматривается для исключения из рассмотрения пикселей тени изображения. После этого выбирается максимальная оценка контрастности пикселя.

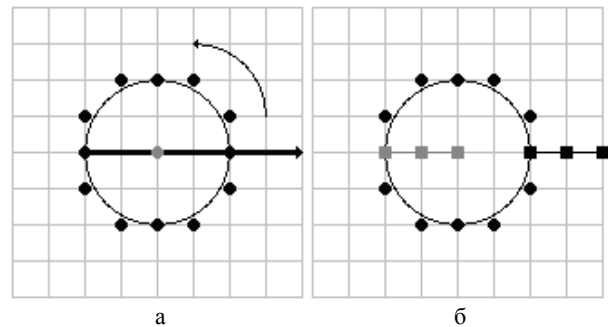


Рис. 5. Оценка контрастности на основе кругового сканирования раздробленным отрезком

В условиях принадлежности отрезков объекту и фону (и исключения из рассмотрения пикселей тени изображения) такой подход позволяет выравнивать слабоконтрастные переходы на границе объект-фон; так, на рис. 6 (слева) минимальная контрастность между объектом и фоном составляет 3 единицы, а после применения предложенного подхода – 8 единиц.

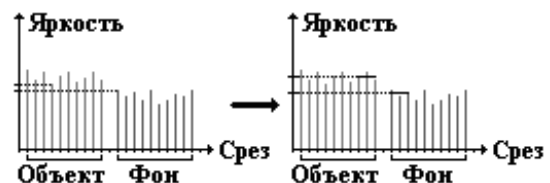


Рис. 6. Рост контрастности границы после оценивания контрастности с использованием метода кругового сканирования отрезком

При этом в сравнении со сглаженным контрастированием [8] (рис. 1) метод кругового сканирования (рис. 6) позволяет повысить контрастность перехода объект-фон и при этом не приводит к деформации (сжатию) и размытию границы изображения.

## 2. Использование граничного детектора на основе гистограммного подхода

В работе [5] описана идея применения гистограммного подхода к сегментации пикселей границы изображения, суть которой состоит в том, чтобы выявлять искомые перепады яркости путем построения и анализа гистограммы яркости на границе изображения (рис. 7).

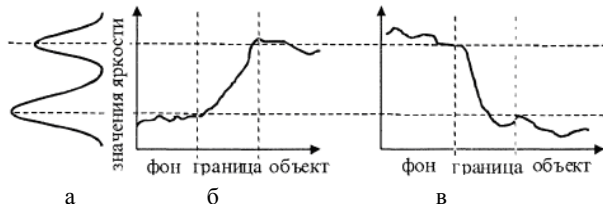


Рис. 7. Гистограмма яркости (а) для типовых перепадов яркости (б, в) на границе объекта и фона [5]

Если адаптировать эту идею на дискретное поле цифрового изображения, ее практическая реализация состоит в следующем.

Пусть определен некоторый пиксель  $d$  входного изображения и задан отрезок  $l$  с центром в пикселе  $d$ . Реализуется процедура кругового сканирования окрестности пикселя  $d$  с использованием отрезка  $l$  (отрезок строится по двум пикселям: центру  $d$  и пикселю маски).

**Этап 1.** Для каждого положения отрезка  $l$ :

- определяются минимальная и максимальная яркости его пикселей;
- полученный интервал разбивается на три части, после чего строится трехстолбцовая гистограмма яркостей пикселей отрезка  $l$ ;
- на основе анализа полученной гистограммы (пороговым методом) по характерному минимуму среднего столбца гистограммы оценивается наличие границы изображения (рис. 8).

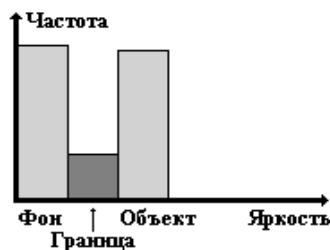


Рис. 8. Гистограмма яркости на границе объект-фон

**Этап 2.** Если граница найдена, положение границы оценивается по средней яркости центральной зоны гистограммы яркостей.

Вместе с тем, для слабо контрастных границ гистограммный подход может применяться лишь частично.

Так, если с применением иного детектора рассматриваемый пиксель однозначно к границе отнести невозможно, гистограммный подход может быть

применен для дополнительного анализа одного или нескольких направлений с наиболее значимыми перепадами яркости.

Кроме недостатка в отношении высокой трудоемкости, гистограммный подход в условиях низкой контрастности чувствителен к уровню шума: если он высок, то в центральную часть гистограммы будут попадать значимо искаженные яркости пикселей объекта и фона, затрудняя тем самым определение порога и нахождение положения границы. Для устранения этого недостатка требуется применить сглаживание (рис. 9, исходные данные – рис. 1).

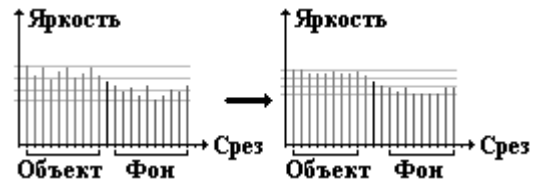


Рис. 9. Гистограмма яркостей до (частоты 8:7:6) и после (частоты 10:1:10) сглаживания

## 3. Построение критерия объединения пикселей в связную компоненту границы

После сегментации пикселей границы изображения из них необходимо составить связную компоненту границы.

В работах [8, 9] был сделан акцент на необходимости рассмотрения критериев для этих целей в качестве отдельной темы, поскольку в реальных условиях одной связности для этого недостаточно. Так, для целей объединения связанных пикселей границы было предложено использовать индикаторный критерий (рис. 4).

Для преодоления локальных разрывов границы предложено использовать пороговый критерий, определяющий возможность объединения двух фрагментов границы, если они взаимно не контрастны.

Идеи и предложения по использованию направлений перепадов яркости (в виде вектора в плоскости изображения, отвечающего направлению наиболее контрастного перепада яркости в пикселе) были высказаны еще при конструировании первых направленных масок [3].

Оценивание направления перепада яркости является естественным для предложенных выше масок и детекторов и производится после кругового сканирования путем усреднения направлений связанных однотипных (+1 или -1) контрастных перепадов яркости. Направление перепада яркости является инвариантом к знаку перепада яркости (+1 или -1, определяемого индикаторной функцией) и ориентировано изнутри наружу. Благодаря этому возможно адекватное связывание пикселей границы в условиях: связности с пикселями тени и фона; различных знаков перепадов яркости; разрывов границы (не будет циклического обхода одного и того же фрагмента).

мента границы, могут быть связаны адекватно разрывные фрагменты одной границы со сходными направлениями).

### Выводы

Для целей сегментации границ слабо контрастных изображений в условиях, когда уровень зашумления по порядку величины сравним с контрастностью пикселей границы (рис. 1), на основе работ [5, 8, 9] предложены детекторы пикселей границы изображения, адаптируемые к уровням яркости, контрастности и зашумления. Кроме этого, на основе результатов работ [3, 8, 9] описана система критериев для целей адекватного объединения пикселей в связную компоненту границы изображения.

С практической точки зрения предложенная в работе система детекторов и критериев является основой для построения устойчивых СТЗ, работа которых связана с необходимостью анализа слабоконтрастных изображений в условиях, когда уровень зашумления по порядку величины сравним с контрастностью пикселей границы изображения.

### Список литературы

1. Gonzalez R., Woods R. *Digital Image Processing. Second Edition.* – Prentice Hall, 2002. – 793 p.

2. Chen C.H., Pau L.F., Wang P.S.P. *Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision.* – London (UK): World Scientific Publishing Company, 1993. – 984 p.

3. M. Sonka, V. Hlavak, R. Boyle *Image processing, analysis, and machine vision.* – California (USA): Cole Publishing Company, 1999. – 770 p.

4. Семенов С.И. Теория неадаптивных масок для обработки изображений // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2002. – № 12. – С. 33-40.

5. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А. Фурман, А.В. Кревецкий, А.К. Передреев, А.А. Роженцов, Р.Г. Хафизов, И.Л. Егوشيца, А.Н. Леухин. – М.: Физматлит, 2003. – 592 с.

6. Д. Форсайт, Ж. Понс *Компьютерное зрение. Современный подход: Пер. с англ.* – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.

7. K.S. Smelyakov, I.V. Ruban, S.V. Smelyakov, A.I. Tymochko *Segmentation of Small-sized Irregular Images // EWDTW 06.* – Kharkov: Kharkov National University of Radioelectronics (Odessa, Ukraine, September 15-19, 2005), 2005. – P. 235-241.

8. I.V. Ruban, K.S. Smelyakov, A.S. Smelyakova, A.I. Tymochko *Low Contrast Images Edge Detector // EWDTW 06.* – Kharkov: Kharkov National University of Radioelectronics (Sohci, Russia, September 15-19, 2006), 2006. – P. 390-396.

9. Смеляков К.С. *Модели и методы сегментации границ изображений нерегулярного вида на основе адаптивных масок: Дис. ... канд. техн. наук: 09.03.05.* – Х.: ХТУРЭ, 2005. – 162 с.

Поступила в редакцию 11.12.2006

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, проф. С.В. Смеляков, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.