

УДК 519.67 + 681.5

И.В. Рубан, кандидат технических наук, доцент;

К.С. Смеляков, кандидат технических наук;

С.В. Осиевский, кандидат технических наук

## СЕГМЕНТАЦИЯ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НЕРЕГУЛЯРНОГО ВИДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

*В работе рассматривается применение аппарата регрессионного анализа для целей разрешения основных проблем, возникающих при сегментации изображений нерегулярного вида в условиях их низкой контрастности относительно фона.*

*изображение, граница, контрастность, яркость, регрессия*

### Постановка проблемы

Сегментация изображений, не являющихся тривиальными, представляет собой одну из самых сложных задач обработки изображений [1]. При этом успех последующих процедур идентификации и прикладного анализа объектов по их изображениям в первую очередь определяется качеством сегментации. В задачах технического контроля, например, возможно управлять условиями съемки. В других задачах, например, в автономных системах наведения, разработчик не может контролировать окружающие условия, поэтому обычный подход состоит в выборе сенсоров, усиливающих сигнал от интересующих объектов и одновременно ослабляющих влияние различных деталей. Хорошим примером такого подхода служит съемка в инфракрасном диапазоне, используемая в военных целях для обнаружения объектов, например, боевой техники, по их тепловому излучению. По этим причинам для получения адекватных результатов сегментации большое внимание должно уделяться обеспечению устойчивости методов сегментации на основе настройки и адаптации параметров моделей и критериев к условиям получения и особенностям изображений.

Сегментация изображений основывается на одном из двух базовых свойств распределения яркости изображения: разрывности и/или однородности. Первая категория методов ориентирована на выделение границ изображений объектов по резким перепадам контрастности. Вторая категория методов (пороговая обработка, наращивание, слияние и разбиение областей) основана на выделении изображений, однородных в смысле заранее выбранных критериев. Хотя метод сегментации по яркости (вторая категория) и характеризуется высоким быстродей-

ствием, с целью устойчивой сегментации изображений в ситуации значимых вариаций яркостных свойств объектов поля зрения в настоящее время в качестве основного применяется подход, основанный на сегментации границы изображения по контрастности [1 – 3]. Поэтому выделение контуров долгие годы является основой методов сегментации. В развитие этого подхода разработано большое количество граничных детекторов [4], а также методов построения границ [5], включая методы устранения разрывов, утоньшения и сглаживания границ [1 – 4, 6 – 8]. При этом для обеспечения устойчивости сегментации в условиях зашумления разработан широкий спектр фильтров [2, 3, 9 – 11].

Однако вместе с присущими им достоинствами существующие методы сегментации, ориентированные на построение границ изображений, обладают рядом недостатков. Основная из них состоит в том, что в ситуации значимого снижения уровня контрастности рассматриваемых объектов поля зрения относительно фона, даже если такой эффект наблюдается лишь для некоторых фрагментов границы, применение существующих граничных детекторов (в зависимости от их настроек) приводит к значимому росту ложной или частичной сегментации [13, 14]. В первом случае возникает необходимость применения методов утоньшения границы, удаления большого числа ложных петель и ветвей границы, а во втором – устранения разрывов границы [2]. Хотя эти методы и дают приемлемые с практической точки зрения результаты для локальных искажений, например, для устранения локальных разрывов границы в один пиксель, значимые искажения результатов сегментации адекватно исправляются крайне редко, так как все эти методы для объектов нерегулярного вида носят преимущественно эвристиче-

ский характер. Кроме этого, существует и ряд иных проблем, связанных с сегментацией изображений объектов нерегулярного вида в условиях слабой контрастности. Основные из них будут рассмотрены далее в работе.

Таким образом, в ряде систем технического зрения (СТЗ), например, в системах, ориентированных на обнаружение и анализ объектов на местности, остро стоит проблема адекватной и устойчивой сегментации границ слабоконтрастных изображений рассматриваемых объектов поля зрения. А поскольку успех процедур идентификации и прикладного анализа объектов по их изображениям определяется успехом решения задачи сегментации [1], проблемы сегментации накладывают значимые ограничения на возможности по созданию и применению СТЗ, ориентированных на обработку слабоконтрастных изображений нерегулярного вида.

*Постановка задачи.* Для преодоления описанной проблемы сегментации слабоконтрастных изображений нерегулярного вида предлагается рассмотреть следующий комплекс задач.

*Задача 1.* Описать применение основных в настоящее время подходов и методов сегментации изображений по яркости и контрастности на взаимодополняющей основе и представить это описание в виде концептуальной схемы решения задачи сегментации слабоконтрастных изображений нерегулярного вида.

*Задача 2.* Дополнить эту схему описанием методов сегментации на основе применения регрессионного анализа (РА), привести анализ актуальности и эффективности использования аппарата РА в отношении основных проблем сегментации изображений рассматриваемого вида с целью его дальнейшего применения для решения практических задач.

В рамках данной работы решение этих задач приводится в первом и втором разделах на содержательном уровне. Задачи пред- и постобработки в работе не рассматриваются. В качестве исходных данных рассматривается полутоновое входное изображение некоторой совокупности объектов поля зрения. При этом считается, что распределение яркости объектов аппроксимационно линейное или унимодальное.

## 1. Концептуальная схема решения задачи сегментации слабоконтрастных изображений нерегулярного вида

Основная идея предлагаемой схемы состоит в том, чтобы применять методы сегментации каскадным образом, начиная с простейших по своим воз-

можностям; при этом результат применения предыдущего метода воспринимается далее в качестве исходных данных для последующего. Оптимизация общей трудоемкости применения такой схемы обеспечивается каскадностью. Используемые на начальных этапах методы сегментации с невысокими возможностями позволяют исключить из рассмотрения явно не интересующие фрагменты входного изображения и характеризуются при этом относительно низкой трудоемкостью. Используемые после этого более совершенные (и трудоемкие) методы применяются над значительно суженной областью входного изображения. Рассмотрим этапы предлагаемой схемы подробнее.

Этап 1. Локализация с использованием носителя. Использование информации о расположении объекта (рис. 1) позволяет задать носитель его изображения в рамках входного изображения и использовать этот носитель для сужения зоны поиска изображения на начальном этапе сегментации (рис. 2).

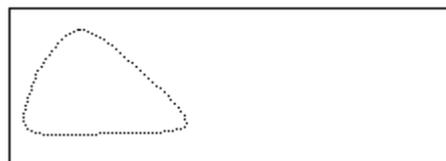


Рис. 1. Расположение объекта в поле зрения

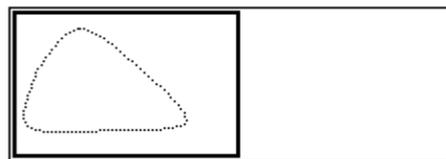


Рис. 2. Локализация изображения объекта с использованием носителя прямоугольной формы

Локализация изображения приводит к исключению из рассмотрения изображений, не интересующих нас объектов и к снижению общей трудоемкости применения последующих методов сегментации и распознавания.

Этап 2. Сегментация по яркости. Пороговые методы сегментации по яркости, а также методы наращивания, слияния и разбиения [1], для изображений рассматриваемого типа самостоятельного применения не находят. Однако в большинстве практически значимых случаев применение этих методов позволяет исключить из рассмотрения фрагменты входного изображения, которые заведомо не принадлежат изображению рассматриваемого объекта. Так как пороговая сегментация по яркости в разы, а иногда на порядок и более быстрее, чем пороговая сегментация по контрастности (в зависимости от применяемых ма-

сок и граничных детекторов), применение пороговой сегментации по яркости позволяет быстро сузить зону поиска изображения и снизить трудоемкость последующих этапов сегментации (рис. 3).

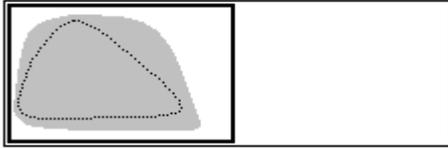


Рис. 3. Пороговая сегментация по яркости, где серым отмечены сегментированные по яркости пиксели изображения

Важнейшие условия первых двух этапов – не потерять пикселей изображения объекта.

Этап 3. Сегментация по контрастности. После выполнения предыдущего этапа производится сегментация пикселей границы изображения по контрастности [2 – 4] с условием минимизации ложной сегментации [19, 20]. Такая постановка задачи в общем случае может приводить к появлению разрывов границы (рис. 4).

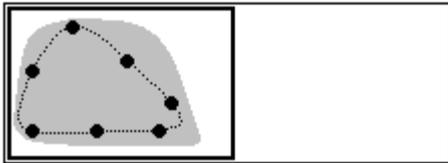


Рис. 4. Пороговая сегментация пикселей границы изображения по контрастности, где • – сегментированные по контрастности пиксели границы изображения

Этап 4. Локализация по границе. После нахождения пикселей границы изображения строится огибающая границы (на рис. 5 – ломаная). Для изображения с линейным распределением яркости оценивается положение его центра, а для изображения с унимодальным распределением яркости – положение экстремума.

Описанные четыре этапа являются подготовительными для последующей сегментации изображения объекта на основе применения РА в выделенной подобласти входного изображения.

Этап 5. Сегментация на основе применения РА. Первая фаза сегментации состоит в том, чтобы в ограниченной подобласти входного изображения (рис. 5) относительно ее центра (или экстремума) оценить параметры регрессии на основе заданного класса функций и, на основе сравнения полученной ошибки с заданной величиной, принять решение о нахождении или ненахождении искомого изображения (рис. 6, а). Вторая фаза – уточнение границы изображения на основе полученного уравнения регрессии (рис. 6, б).

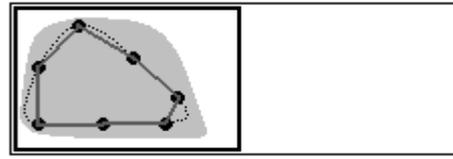


Рис. 5. Локализация изображения по его границе, после грубой аппроксимации границы ломаной (—)



Рис. 6. Сегментация изображения на основе использования регрессионного анализа (а) с последующим уточнением (б)

Этап 6. Построение границ. По полученным результатам, с использованием известных методов трассировки и сглаживания [1, 2] строятся компоненты границы изображения (на рис. 7 представлен объект с одной внешней границей), так как для целей последующего анализа наибольшую ценность представляют именно компоненты границы изображения.

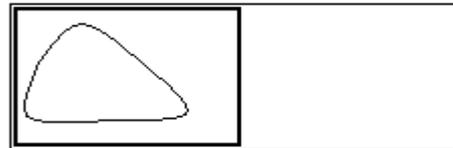


Рис. 7. Нахождение границы изображения

## 2. Анализ актуальности и эффективности применения РА для целей сегментации слабоконтрастных изображений нерегулярного вида

*Анализ актуальности.* Анализ сцен человеком основан на выделении областей однородности (по яркости и/или цветности с последующим нахождением определенных их значимых признаков, например, экстремумов яркости) и построении границ этих областей с целью последующего рассмотрения отдельных областей и их композиций для целей идентификации.

Аппараты теории аппроксимации и РА, в частности, как раз и являются теми инструментами, которые позволяют описывать и выделять области однородности в смысле подчинения их распределения яркости (цветности) определенному закону. Поэтому с этих позиций применение аппарата РА для решения задач сегментации является совершенно естественным. Кроме того, также важен фактор информативности: методы сегментации по яркости и контрастности работают либо с отдельным пикселем, либо с его локальной окрестностью; методы РА ориентированы на совместное рассмотрение степени

согласованности большой группы пикселей изображения. Таким образом, во втором случае анализ производится более объективно.

При этом возможности качественного решения задач сегментации слабоконтрастных изображений на основе широко применяемых (в основном пороговых) методов на основе анализа яркости и контрастности себя практически исчерпали. В этом отношении актуальность рассмотрения РА обуславливается необходимостью возобновления прогресса в плане повышения возможностей качественного решения задач сегментации изображений рассматриваемого класса.

*Анализ адекватности и устойчивости.* При выполнении определенных требований к размерам анализируемых изображений, их уровню контрастности и зашумления, методы РА позволяют адаптироваться к получаемому распределению яркости на основе использования формальной регрессионной модели распределения яркости изображения. Использование формальной модели РА является очень важным для достижения устойчивости сегментации, т.к. многие из существующих методов построения связных границ для изображений нерегулярного вида в условиях наличия ложных петель, ветвей и разрывов границ носят эвристический характер [1 – 3]; поэтому, что будет получено с их использованием, заранее неизвестно. Кроме того, использование РА при анализе сложных сцен позволяет не выделять объекты, не подчиняющиеся заданному распределению (которые были бы выделены с использованием пороговых методов сегментации). В итоге облегчается решение задач идентификации и фильтрации ложных объектов.

*Анализ трудоемкости.* В условиях низкой контрастности изображений трудоемкость описанного в работе подхода по порядку величины сравнима с трудоемкостью применяемых в настоящее время методов сглаживания, устранения ложных петель, ветвей и разрывов границ [1-3]. При этом трудоемкость предложенного в работе подхода снижается в разы и даже на порядки в сравнении с методами построения границ комбинаторного характера.

*Анализ преимуществ в задачах сегментации, распознавания и прикладного анализа.* Если яркость изображения объекта в направлении границы медленно сходится к уровню яркости фона и по контрастности граница не сегментируется (рис. 8), то на основе использования уравнения регрессии для распределения яркости изображения граница может быть найдена.



Рис. 8. Нахождение границы изображения в зоне ее низкой контрастности на основе использования РА, где: ● – пиксели объекта, а ○ – пиксели фона

Самая проблемная ситуация анализа слабоконтрастного изображения заключается в сращении распределений яркости объекта и фона на границе (рис. 9), когда два распределения сливаются на границе в одно. В таких зонах сращения методы сегментации по контрастности дают разрывы границы. Однако если для объекта в такой ситуации известна динамика изменения линий уровня (ЛУ) его распределения яркости, тогда по полученным в ходе сегментации ЛУ для внутренней части объекта могут быть скорректированы и ЛУ в зонах пониженной контрастности вблизи границы для устранения их искажений (рис. 10) с целью построения связной неискаженной границы. И такой подход является формализуемым.

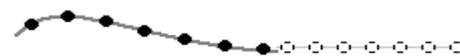


Рис. 9. Сращение распределений яркости объекта и фона, где: ● – пиксели объекта, а ○ – пиксели фона

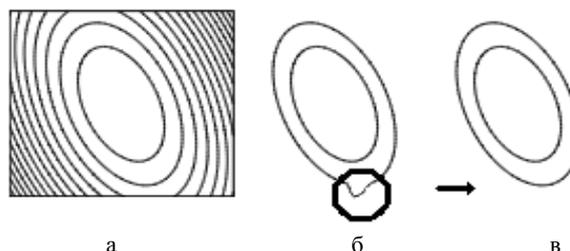


Рис. 10. Восстановление хода ЛУ на границе слабоконтрастного изображения (в) по ЛУ его внутренности (б) на основе модели динамики хода ЛУ (а)

Использование аппарата регрессионного анализа позволяет (после сегментации) однозначно получать и классифицировать компоненты границы неодносвязного изображения, определять его топологическую структуру, производить корректное рассмотрение несвязных изображений как единого целого.

Кроме сегментации, полученное уравнение регрессии распределения яркости изображения и его топологическая структура могут использоваться для целей идентификации; если при этом получена и аппроксимация границы изображения, решение задачи идентификации упрощается многократно: для большинства приложений класса и параметров регрессии и контурной аппроксимации с учетом топологии вполне достаточно для идентификации изо-

бражения без привлечения трудоемких методов нормализации.

Получение уравнения регрессии распределения яркости изображения (топологической структуры, контурной аппроксимации и геометрических параметров) позволяет детальнейшим образом изучать свойства объекта-оригинала с использованием как численных, так и аналитических методов.

Например, в неразрушающем контроле аппроксимация распределения яркости дает возможность глубокого анализа теплового поля объектов, причем для очень широкого круга приложений: от анализа теплопотерь зданий и теплотрасс до обнаружения дефектов и поломок авиационной и космической техники [14].

Пожалуй, единственный явный недостаток методов на основе регрессионного анализа – невозможность адекватной сегментации отдельных мало-размерных изображений.

Но для этих целей существует ряд иных эффективных методов [2, 15]; кроме того, такие изображения часто легко сегментируются путем снятия фона.

### Выводы

В ходе проведенного в работе анализа на содержательном уровне описаны пути решения основных проблем сегментации слабоконтрастных изображений нерегулярного вида.

Во-первых, описана концептуальная схема решения задачи сегментации слабоконтрастных изображений нерегулярного вида на основе применения основных в настоящее время подходов и методов сегментации изображений по яркости и контрастности на взаимодополняющей основе.

Во-вторых, в рамках этой схемы, обоснована актуальность и описаны пути применения методов сегментации на основе аппарата регрессионного анализа и приведен достаточно подробный анализ эффективности использования регрессионного анализа в отношении основных проблемных ситуаций сегментации изображений рассматриваемого вида с целью их дальнейшего применения для решения практических задач.

В результате сформулирован системный подход для решения проблемных задач сегментации слабоконтрастных изображений нерегулярного вида, основанный на каскадном применении известных методов и аппарата регрессионного анализа на взаимодополняющей основе.

### Список литературы

1. Gonzalez R., Woods R. *Digital Image Processing. Second Edition.* – Prentice Hall, 2002. – 793 p.
2. Sonka M., Hlavak V., Boyle R. *Image processing, analysis, and machine vision.* – California (USA): Cole Publishing Company, 1999. – 770 p.
3. 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.
4. Семенов С.И. Теория неадаптивных масок для обработки изображений // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2002. – № 12. – С. 33-40.
5. Прудникова А.М., Разин И.В., Эмдин В.С. Адаптивный анизотропный фильтр для определения элементов пересечения контурным сигналом нулевого уровня // Автометрия. – 2006. – Т. 42, № 1. – С. 23-31.
6. Полякова М.В., Крылов В.Н. Контурная сегментация изображений корреляционно-экстремальным методом в пространстве репагулярного вейвлет-преобразования // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 1. – С. 26-34.
7. Кожем'яко В.П., Клімкіна Д.І., Кожем'яко А.В. Спосіб око-процесорного розпізнавання зображень на базі структурного контурного аналізу // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 1. – С. 63-69.
8. Aubert G., Barlaud M., Faugeras O., Jehan-Besson S. *Image segmentation using active contours: calculus of variations of shape gradients? Research Report № 4483, INRIA, 2002.*
9. Куричук В.С., Косых В.П., Курманбек уулу Т. Адаптивная фильтрация с субпиксельным оцениванием координат точечных объектов // Автометрия. – 2006. – Т. 42, № 1. – С. 3-12.
10. Самойлин Е.А. Нелинейные алгоритмы фильтрации импульсного шума на изображениях // Автометрия. – 2005. – Т. 41, № 5. – С. 27-32.
11. Гальченко В.Я., Гинь Н.Ю. Подавление шумов в изображениях с помощью комбинированного вейвлет-фильтра и фильтра Калмана // Информационные технологии. – 2005. – № 6. – С. 59-63.
12. Ruban I.V., Smelyakov K.S., Smelyakova A.S., Tymochko A.I. *Low Contrast Images Edge Detector // EWDTW 06. – Kharkov: Kharkov National University of Radioelectronics (Sohci, Russia, September 15-19, 2006), 2006. – P. 390-396.*
13. Смеляков К.С. Модели и методы сегментации границ изображений нерегулярного вида на основе адаптивных масок: Дис. ... канд. техн. наук: 09.03.05. – Х., 2005. – 162 с.
14. Маслова В.А., Стороженко В.А. Термография в диагностике и неразрушающем контроле. – Х.: СМІТ, 2004. – 160 с.
15. Smelyakov K.S., Ruban I.V., Smelyakov S.V., Tymochko A.I. *Segmentation of Small-sized Irregular Images // EWDTW 06. – Kharkov: Kharkov National University of Radioelectronics (Odessa, Ukraine, September 15-19, 2005), 2005. – P. 235-241.*

Поступила в редколлегию 16.01.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.Л. Баранов, Центральный НИИ навигации и управления, Киев.