

УДК 004.932.2

И. О. Архипов, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
 А. А. Хатмуллин, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## ПОСТРОЕНИЕ КОНТУРА СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ХРОМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Графическим называется изображение, созданное искусственно по определенным правилам и несущее информацию об объектах, изображенных на нем [1]. К графическим изображениям (ГИ) относятся чертежи, картографические изображения, рисунки, схемы, диаграммы и т. д. К настоящему времени накоплен колоссальный объем картографических данных на бумажном носителе, а одним из способов создания современных цифровых карт является технология сканирования и распознавания бумажных картографических данных [2].

Успех решения многих задач распознавания, в том числе и распознавания картографической информации, во многом зависит от качества выделения контуров объектов ГИ. Задача построения контурной линии объекта осложняется размытием отсканированного изображения. Размытие контуров объектов отсканированного изображения затрудняет вычисление истинных поперечных размеров объектов и определение их формы. Как правило, для построения контурной линии объекта вычисляют функцию градиента изображения с использованием того или иного приближения операции дифференцирования цифрового изображения [3].

При автоматическом распознавании картографической информации определенные трудности возникают при анализе малоразмерных объектов, поперечные размеры которых соизмеримы с диаметром апертуры размывающего воздействия. При этом, как показано в работе [4], применение производных (как первых, так и вторых) для анализа ширины поперечного сечения малоразмерных объектов изображения приводит к завышению оцениваемой величины. На рис. 1, а показан профиль поперечного сечения  $f(n)$  тонкой линии шириной 3 пиксела и профиль  $f_g(n)$  той же линии размытой по Гауссу с параметром  $\sigma = 3$ . На рис. 1, б изображен график первой производной размытого поперечного сечения, на котором видно, что экстремумы первой производной не совпадают с границами неразмытого малоразмерного поперечного сечения  $f(n)$  на рис. 1, а. Таким образом, для размытых малоразмерных СЭ экстремум первой производной не совпадает с контурной линией СЭ. В случае картографической информации к малоразмерным можно отнести минимально тонкие линии толщиной от 0,08 мм. Вместе с тем в той же работе показано, что реальную толщину размытых малоразмерных структурных элементов (СЭ) можно вычислить с пиксельной точностью с использованием пространственно-хроматических параметров (ПХП).

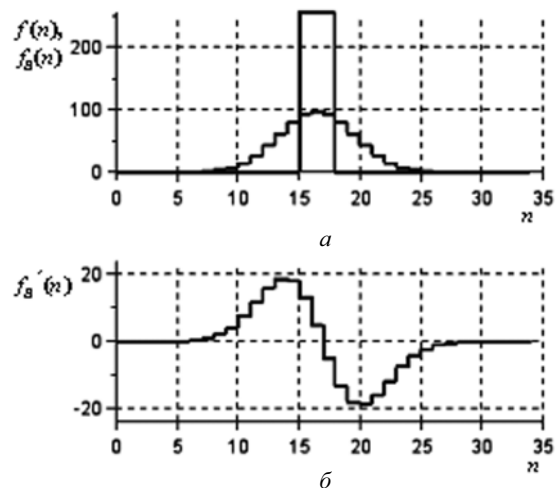


Рис. 1. Определение ширины поперечного сечения размытого малоразмерного СЭ на основе дифференцирования: а – поперечное сечение СЭ и его функция размытия по Гауссу; б – первая производная поперечного сечения

ПХП описаны в работах [5, 6] и вычисляются по поперечному сечению размытого линейного СЭ. Из всех ПХП важными для дальнейших рассуждений являются:

- С – центронт (координата центра тяжести поперечного сечения СЭ с субпиксельной точностью);
- D – диссипация (степень локализации массы поперечного сечения вокруг его центра тяжести);
- E – экстент (ширина исходного неразмытого СЭ).

ПХП вычисляются по функциям моментов  $W_i$  одномерной функции поперечного сечения СЭ:

$$C = W_1/W_0, \quad (1)$$

$$D = (W_2/W_0) - C^2, \quad (2)$$

$$E = 2\sqrt{3D}. \quad (3)$$

Оценка ширины поперечного сечения исходного неразмытого СЭ по ПХП выполняется по следующему алгоритму.

1. Вычисляется диссипация  $D$ , поперечного сечения размытого СЭ.

2. Вычисляется диссипация  $D_i$  поперечного сечения функции рассеяния линии размывающего воздействия. Процесс вычисления величины  $D_i$  описан в работе [7]. На изображении необходимо найти любой черный объект на белом фоне. Форма поперечного сечения выбранного объекта в окрестности его

края должна соответствовать функции скачка Хевисайда. Данный объект выполняет роль пограничного теста. Поперечное сечение размытого пограничного теста соответствует одномерной модели пограничной кривой, а производная поперечного сечения размытого пограничного теста является одномерной моделью функции рассеяния линии.

3. Диссипация исходного неразмытого СЭ определяется по выражению

$$D_f = D_r - D_i + \frac{1}{12}, \quad (4)$$

а ширина неразмытого СЭ соответствует величине экстенга

$$E_f = 2\sqrt{3D_f}. \quad (5)$$

Таким образом, пространственно-хроматическая модель СЭ позволяет определить координату центра и ширину поперечного сечения малоразмерного СЭ с учетом влияния на ГИ размывающего воздействия.

В данной работе предлагается метод построения контура линейного объекта по ПХП. На рис. 2 показан фрагмент СЭ и его градиентное изображение. Модуль градиента показан размытой линией, направление градиента – векторами. Вычисление градиента ГИ может выполняться любым способом, например, по [8] или [9].

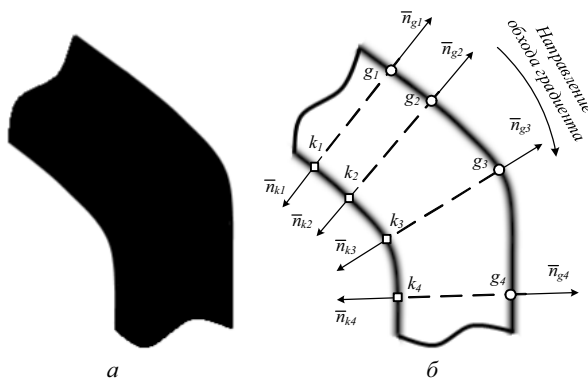


Рис. 2. Фрагмент структурного элемента (а) и его градиентное изображение (б)

Выполняется обход градиентного изображения вдоль линии максимума модуля градиента. На рис. 2, б модуль градиента показан размытой линией, плотность черного которой соответствует величине модуля градиента. На рис. 2, б точки обхода  $g_i$  показаны круглыми маркерами, а соответствующие им векторы градиента получили обозначения  $\vec{n}_{gi}$ . Начиная с точки  $g_i$ , вдоль вектора  $\vec{n}_{gi}$  строим поперечное сечение СЭ. При этом на «противоположной стороне» СЭ образуется вторая точка  $k_i$ , соответствующая максимальному значению модуля градиента (на рис. 2, б обозначены квадратными маркерами). Назовем точки  $g_i$  и  $k_i$  точками входа и точками выхода соответственно. Таким образом, между точкой входа

$g_i$  и соответствующей ей точкой выхода  $k_i$  строится  $i$ -е поперечное сечение СЭ.

Процесс построения контура и осевой линии СЭ показан на рис. 3. Вдоль каждого  $i$ -го поперечного сечения по формулам (1)–(5) вычисляются значения центраида  $C_i$  и экстенга  $E_i$ . Центраиды  $C_i$  (треугольные маркеры на рис. 3) указывают на центр масс соответствующих поперечных сечений СЭ и формируют осевую линию СЭ. Вдоль линии поперечного сечения на расстоянии  $0,5E_i$  по обе стороны от центраида отмечаются точки  $e_{i1}$  и  $e_{i2}$  (круглые черные маркеры на рис. 3). Пары точек  $e_{i1}$  и  $e_{i2}$  формируют контурную линию исходного неразмытого СЭ. Стоит отметить, что на рис. 3 изображен размытый малоразмерный объект, для которого максимум величины градиента не совпадает с его контурной линией (см. рис. 1).

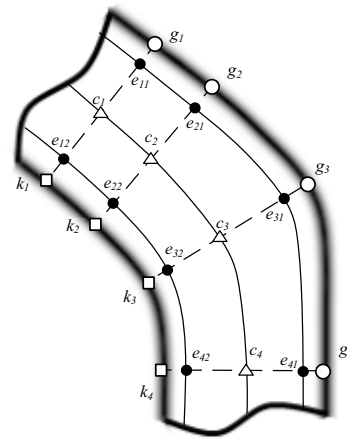


Рис. 3. Формирование контурной и осевой линий по ПХП

При обходе градиентного изображения не каждое сечение СЭ является поперечным. На рис. 4 приведен пример градиентного изображения СЭ с указанием точек входа  $g_1$  и  $g_2$  и соответствующих им точек выхода  $k_1$  и  $k_2$ . Указанные пары точек формируют сечения СЭ  $g_1k_1$  и  $g_2k_2$ . При этом только сечение  $g_2k_2$  является поперечным, так как направления векторов градиента в точках  $g_2$  и  $k_2$  соответствуют условию

$$\alpha_{gi} = \alpha_{ki} \pm \pi. \quad (6)$$

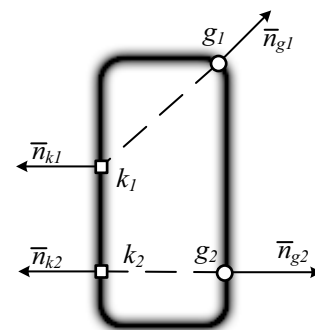


Рис. 4. Селекция сечений СЭ

Сечения СЭ, не удовлетворяющие условию (6), не участвуют в построении контура (сечение  $g_1k_1$  на рис. 4). Для реальных цифровых изображений из-за эффектов дискретизации [10] строгое соблюдение условия (6) маловероятно. Поэтому на этапе селекции сечений СЭ достаточно соблюдать выражение (6) с некоторым допуском.

Результатом обхода градиентного изображения объекта являются точки контура и точки осевой линии. На рис. 5, *а* показан замкнутый объект, ограниченный внешним и внутренним контурами. В процессе анализа выполняется обход градиентного изображения и вдоль каждого поперечного сечения (направления поперечных сечений показаны прямыми линиями на рис. 5, *б*) вычисляются ПХП. Центроиды поперечных сечений формируют множество точек осевой линии, а значения экстенгов –

множества точек внешнего и внутреннего контуров (рис. 5, *в*).

На рис. 6 показан пример анализа размытого прямолинейного объекта. На этом примере видно (рис. 6, *б*), что не каждое сечение является поперечным, так как не выполняется условие (6) для векторов градиента, соответствующих угловым точкам объекта. Сечения, не удовлетворяющие условию (6), оставляют разрывы в углах объектов, что, с одной стороны, является недостатком, а с другой – может использоваться как признак угла. Центроиды поперечных сечений, построенные вдоль длинной стороны объекта на рис. 6, *а*, дают продольную осевую линию, в то время как от центроидов поперечных сечений, проложенных вдоль короткой стороны объекта, остается характерный короткий след, пересекающий осевую линию по ее середине.

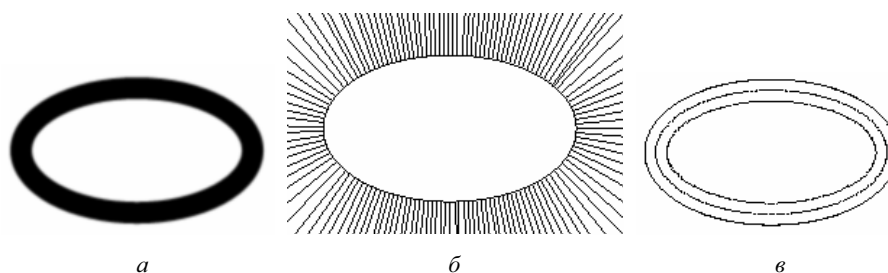


Рис. 5. Построение контура замкнутого объекта:

*а* – размытое изображение; *б* – векторы градиента; *в* – контуры и осевая линия объекта

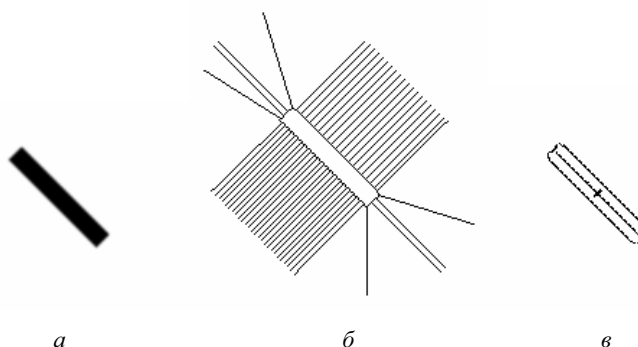


Рис. 6. Построение контура линии: *а* – размытое изображение; *б* – векторы градиента; *в* – контуры и осевая линия объекта

Результат анализа двумерной пространственной структуры, состоящей из пересекающихся прямых линий, показан на рис. 7.

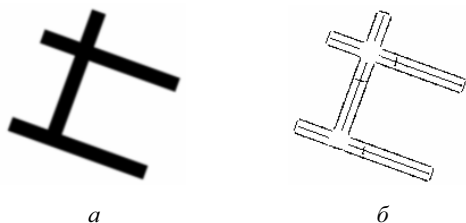


Рис. 7. Построение контура структуры, состоящей из пересечения линий: *а* – размытое изображение; *б* – контуры и осевая линия объекта

Хорошо видны разрывы контурной линии во внешних и внутренних углах структуры, обуслов-

ленные невыполнением условия (6). В местах пересечений и примыканий прямых образуются разрывы осевой линии, связанные также с условием (6). Разрывы осевой линии соответствуют узловым точкам пространственной структуры и делят ее на отдельные СЭ.

Предложенный метод анализа пространственных структур с использованием ПХП позволяет выполнять построение контура и осевой линии размытых малоразмерных объектов ГИ и предоставляет несколько новых признаков сегментации линейных пространственных структур:

1. Разрывы контурной линии соответствуют угловым точкам пространственных структур.

2. Разрывы осевой линии обозначают узловые точки пересечения и примыкания СЭ в пространственной структуре.

## Библиографические ссылки

1. *Левуцкая Л. Н.* Моделирование и анализ пространственной структуры графических изображений на основе дискретно-планиметрической модели гиперрастра : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2006. – 169 с.

2. *Bessaid A., Bechar H., Fellaoui M. K.* Image analysis and pattern recognition as tools in map interpretation. *Electronic Journal "Technical Acoustics"*. – URL: <http://www.ejta.org>, 2003, 15.

3. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.

4. *Архитов И. О.* Особенности применения производных для определения ширины размытых малоразмерных структурных элементов графического изображения // Информационные технологии. Проблемы и решения : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Т. 2 / редкол.: Ф. У. Еникеев [и др.]. – Уфа : Восточная печать, 2015. – С. 247–252.

5. *Архитов И. О.* Моделирование и анализ линейных малоразмерных структурных элементов графических изображений на основе использования пространственно-

хроматических параметров // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2014. – № 2(62). – С. 149–152.

6. *Архитов И. О.* Повышение точности оценки пространственно-хроматических параметров малоразмерных структурных элементов графического изображения // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 7(35). – С. 18–21.

7. *Архитов И. О.* Анализ размытия графического изображения для оценивания пространственно-хроматических параметров // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 7(35). – С. 14–17.

8. *Canny J.* A Computational Approach to Edge Detection // *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 1986. – Vol. PAMI-8, No. 6. – Pp. 679–698.

9. *Архитов И. О., Мурынов А. И., Юферев Д. А.* Построение контуров структурных элементов графического изображения на основе метода наименьших квадратов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2015. – № 4(68). – С. 60–64.

10. *Левуцкая Л. Н.* Точечные операторы формирования растровых представлений пространственной структуры изображений и эффекты дискретизации // Вестник ИжГТУ. – 2006. – № 1 – С. 10–17.

Получено 06.05.2016

УДК 652.172

Н. В. Корепанова, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## ИЕРАРХИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ДОРОГАХ

**Н**ормальное функционирование крупных городов и мегаполисов определяется множеством факторов, один из которых – состояние транспортной инфраструктуры. Одной из важных задач здесь является непрерывный мониторинг и своевременное решение возникающих проблем, которые могут быть, например, связаны со снижением скорости автомобилей при пересечении перегруженных транспортных узлов или

с растущей интенсивностью движения автотранспорта.

Интенсивность движения автотранспорта зависит от сложного взаимодействия целой группы факторов [1, 2, 3]. При решении задачи оценки группы факторов (табл. 1) был использован метод анализа иерархий (МАИ), который позволил оценить и определить значимость этих факторов в определении интенсивности движения [4, 5].

Таблица 1. Факторы, оказывающие влияние на интенсивность движения автотранспорта [6]

Интенсивность движения автотранспорта			
Психофизиологические характеристики водителя (ПХВ)	Дорожные условия (ДУ)	Архитектурное планирование (АП)	Погодно-климатические условия (ПКУ)
Следование за лидером, адаптация зрения, время реакции и др.	Вид и состояние дорожного покрытия. Наличие наземных пешеходных переходов. Геометрические параметры улиц: • количество полос • наличие дорожной разметки • ограничение скоростного режима • наличие пробок и др.	Схема планировки УДС. Соотношение общественного и индивидуального транспорта. Класс городской улицы, ширина и характер. Численность населения города и др.	Время суток. Погода (туман, снег, дождь, яркое солнце) и др.