

отклика, размер которой зависит от степени размытия и может составлять величины  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$  и более. После сглаживания вычисляется градиент, например, методом Собела. Таким образом, вычислительная сложность метода Канни существенно выше всех протестированных в данной работе, включая предлагаемый метод вычисления контурного препарата по МНК.

### Заключение

Предложенный в данной работе метод построения контурного препарата изображения на основе МНК обеспечивает устойчивость к шумам и помехам на изображении не хуже известных методов. Вычислительная сложность предлагаемого метода формирования контурного препарата изображения в 2 раза ниже сложности детекторов Собела и Превитта и существенно ниже метода Кэнни. Разработанный двунаправленный алгоритм обхода контурного препарата гарантирует построение контурной линии толщиной 1 пиксел, не требует тщательной настройки пороговой величины, сопоставим по качеству контура с одним из лучших контурных детекторов – методом Канни.

### Библиографические ссылки

1. Комаров Д. В., Визильтер Ю. В., Выголов О. В. Разработка алгоритма автоматического обнаружения взлетно-

Получено 17.09.2015

посадочной полосы на видеоизображениях // Механика, управление и информатика. – 2012. – № 8 – С. 189–194.

2. Визильтер Ю. В., Желтов С. Ю. Проблемы технического зрения в современных авиационных системах // Техническое зрение в системах управления мобильными объектами – 2010 : Тр. науч.-техн. конф.-семинара. – Вып. 4 / под ред. Р. Р. Назирова. – М. : КДУ, 2011. – С. 11–44.

3. Нгуен К. М., Колочкин В. Я. Алгоритм контурной сегментации и распознавания образов объектов систем технического зрения // Наука и образование. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2013. – № 4 – С. 187–200.

4. Архипов И. О., Еланцев М. О. Поиск структурных элементов графического изображения на примере кластеризации государственного номера автотранспортного средства // Вестник ИжГТУ. – 2014. – № 2(62) – С. 146–149.

5. Архипов И. О., Еланцев М. О. Алгоритм выделения рамки государственного номера автотранспортного средства // Приволжский научный вестник. – 2013. – № 12-1(28). – С. 30–33.

6. Прэнт У. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. – М. : Мир, 1982. – Кн. 2 – 480 с.

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

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. Гонсалес Р., Вудс Р. Указ. соч.

10. Там же.

11. Там же.

УДК 004.932.2

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

А. И. Мурынов, доктор технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## АНАЛИЗ ГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ МНОГОМАСШТАБНОЙ ЦЕНТРОИДНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Графические изображения (ГИ) являются отдельным классом изображений, отличительными особенностями которых являются пространственная и графическая определенность. Среди ГИ можно выделить карты, схемы, чертежи, дорожные знаки и т. д. Объекты на ГИ образуют совокупность взаимосвязанных структурных элементов (СЭ). Метод центроидной фильтрации [1, 2, 3] позволяет эффективно решать задачи обнаружения и распознавания СЭ на ГИ. Центроидную фильтрацию можно выполнить путем вычисления пространственно-хроматических параметров (ПХП) [4, 5, 6, 7]. ПХП основаны на вычислении функций моментов  $W_i$  поперечного сечения  $f(n)$  СЭ и позволяют оценить координаты, размер и яркость объекта на размытом ГИ. Для центроидной фильтрации важны первые два ПХП – масса и центроид. Масса  $M = W_0$  определяет общую массу СЭ, а центроид  $C = W_1/M$  указывает

на его «центр масс». ПХП вычисляются в инверсной шкале яркостей (нулем кодируется белый фон).

В работах [8, 9] центроидная фильтрация выполняется следующим образом. Создается «пустой» массив центроидного образа  $Z(n) = 0$ , где  $n = 0, 1, \dots, K-1$ . Длина центроидного образа  $K$  соответствует длине анализируемого поперечного сечения. Окно анализа длиной  $N$  пробегает вдоль поперечного сечения СЭ. Для каждого варианта расположения окна анализа вычисляются масса и центроид. Если  $M(n) > 0$ , массив  $Z$  модифицируется следующим образом:

$$Z[n + C(n)] = Z[n + C(n)] + 1. \quad (1)$$

На рис. 1, а показаны поперечное сечение двух СЭ  $f(n)$  шириной 5 и 3 пиксела, а также их центроидный образ  $Z(n)$  (расстояние между структурными

элементами равно 8 пикселям, ширина окна анализа  $N = 7$ ). Хорошо прослеживается кумулятивное свойство центроидной фильтрации, выражающееся в накоплении центроида в центрах масс СЭ. Дальнейшая пороговая обработка с порогом  $p > 1$  позволяет обнаружить СЭ на ГИ.

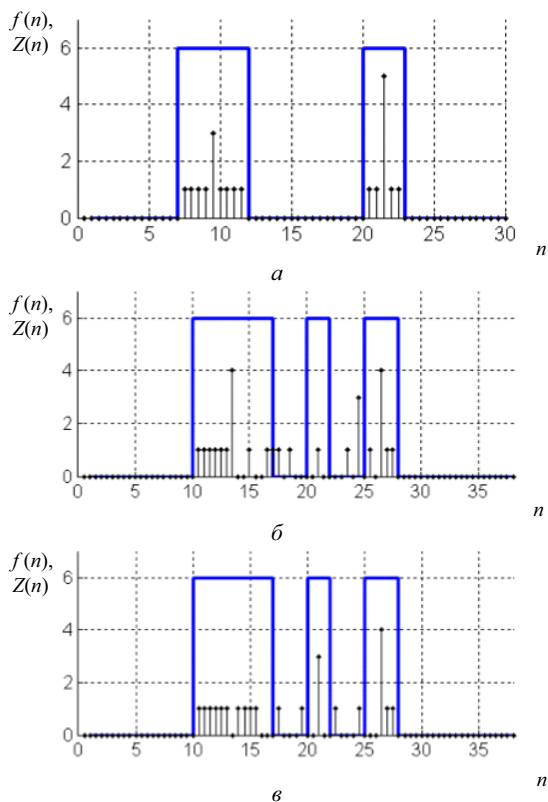


Рис. 1. Поперечное сечение  $f(n)$  и его центроидный образ  $Z(n)$ : *а* – удаленные структурные элементы; *б* – кучное расположение структурных элементов ( $N = 10$ ); *в* – кучное расположение структурных элементов ( $N = 6$ )

Однако как показывают эксперименты, центроидная фильтрация не всегда позволяет надежно локализовать СЭ. На рис. 1, *б* приведен случай кучного расположения СЭ, когда расстояние между ними равно 3 пикселям, а ширина окна анализа  $N = 10$ . При этом наблюдается эффект «оттягивания» центроида второго СЭ близко расположенным третьим СЭ. Эффект «оттягивания» центроида проявляется, когда окно анализа «накрывает» соседние близко расположенные СЭ и снижает вероятность правильного обнаружения СЭ на ГИ. Минимизировать взаимное влияние соседних СЭ можно сократив ширину окна анализа, что, в свою очередь, может привести к пропуску крупных СЭ (рис. 1, *в*).

В работах [10, 11] участки с «оттягиванием» центроида или пропуском СЭ предлагается помечать как неопределенные с последующим изменением размера окна анализа и повторной обработкой областей неопределенности, однако указанные работы не дают ответ на следующие важные вопросы:

1. Каков критерий пометки области неопределенности?

2. Как выбрать размер окна анализа для повторной обработки области неопределенности?

В данной работе предложена многопроходная модификация центроидной фильтрации с расширением окна анализа на каждой итерации обработки. При этом автоматически отпадают вопросы, обозначенные выше. Первый проход выполняется с окном анализа шириной  $N = 2$ . На каждой следующей итерации обработки окно расширяется на 1 пиксел до некоторого максимального значения  $N_{\max}$ . При этом на каждом шаге соответствующие значения центроидного образа  $Z$  увеличиваются по правилу (1). В результате центроидный образ накапливает информацию о расположении центров масс объектов изображения, вычисленных в разных масштабах окна анализа, в чем и проявляется многомасштабный характер обработки. При выполнении многомасштабной центроидной фильтрации пороговое правило формулируется следующим образом:

$$p > N_{\max} - 1. \quad (2)$$

На рис. 2 показаны результаты многомасштабной центроидной фильтрации при разных максимальных масштабах анализа. Малые значения максимального масштаба анализа не обеспечивают выделение первого СЭ (рис. 2, *а, б*). Однако при максимальном масштабе анализа  $N_{\max} = 10$  (рис. 2, *в*) появляется возможность выделения всех СЭ, попавших в разрез, чего не удавалось сделать при любом размере окна анализа с использованием первоначальной схемы выполнения центроидной фильтрации.

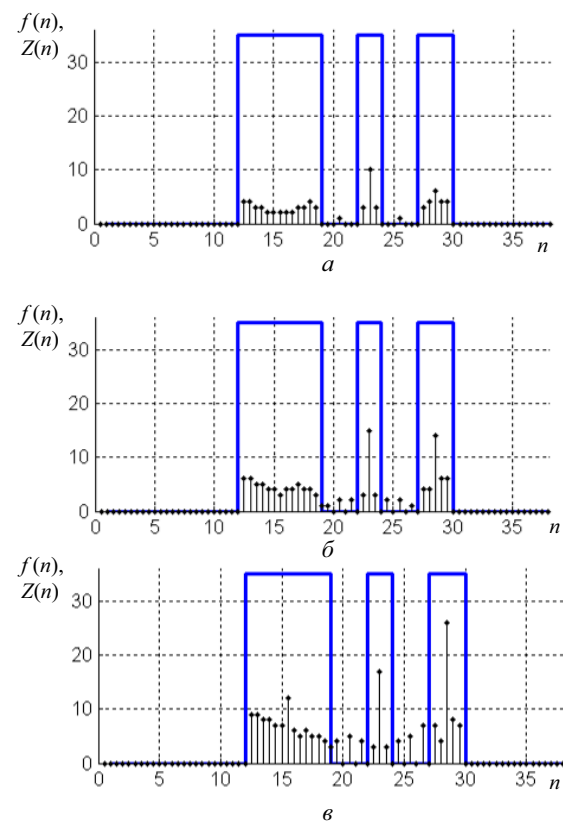


Рис. 2. Поперечное сечение и его многомасштабный центроидный образ: *а* –  $N_{\max} = 5$ ; *б* –  $N_{\max} = 7$ ; *в* –  $N_{\max} = 10$

На рис. 3 приведены результаты обработки реального ГИ – отсканированного фрагмента топографической карты. Фильтрация выполнялась отдельно в каждой строке и в каждом столбце исходного изображения.

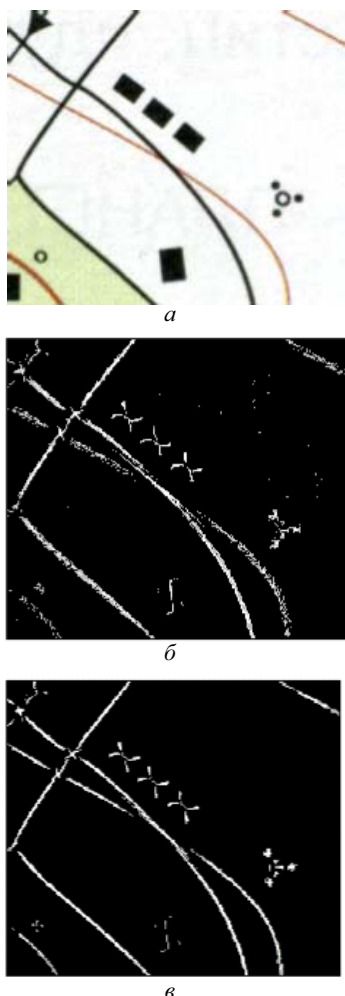


Рис. 3. Фрагмент топографической карты (а); центроидный образ (б); многомасштабный центроидный образ (в)

Центроидный образ ( $N = 15$ ,  $p > 1$ ) на рис. 3, б вычислен по первоначальной схеме и содержит большое количество шумов и разрывов линий. В многомасштабном центроидном образе ( $N = 20$ ,  $p > 19$ ) на рис. 3, в шумы практически отсутствуют, а линии отображены более отчетливо.

Получено 24.09.2015

Предложенный в данной работе метод многомасштабной центроидной фильтрации по сравнению с обработкой в единственном масштабе окна анализа обладает повышенной помехоустойчивостью, позволяет получать более целостные образы СЭ на ГИ и снимает ряд недостатков метода центроидной фильтрации в первоначальной формулировке. Однако из-за многомасштабного характера центроидной фильтрации существенно повышается вычислительная сложность обработки.

#### Библиографические ссылки

1. *Левицкая Л. Н.* Моделирование и анализ пространственной структуры графических изображений на основе дискретно-планиметрической модели гиперрастра : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18, 05.13.01 / Левицкая Людмила Николаевна; науч. рук. В. Е. Лялин; ИжГТУ. – Ижевск, 2006. – 169 с.
2. *Мурынов А. И.* Математические модели и методы анализа пространственных структур для экспертных геоинформационных систем : дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 05.13.18 / Мурынов Андрей Ильич; науч. рук. В. Е. Лялин; ИжГТУ. – Ижевск, 2002. – 307 с.
3. *Мурынов А. И., Вдовин А. М., Лялин В. Е.* Оценка геометрико-топологических параметров деталей изображения на основе метода центроидной фильтрации // Химическая физика и мезоскопия. – 2002. – Т. 4. – № 2. – С. 161–177.
4. *Архипов И. О.* Моделирование и анализ линейных малоразмерных структурных элементов графических изображений на основе использования пространственно-хроматических параметров // Вестник ИжГТУ. – 2014. – № 2(62) – С. 149–152.
5. *Архипов И. О., Еланцев М. О.* Поиск структурных элементов графического изображения на примере кластеризации государственного номера автотранспортного средства // Вестник ИжГТУ. – 2014. – № 2(62) – С. 146–149.
6. *Архипов И. О.* Повышение точности оценки пространственно-хроматических параметров малоразмерных структурных элементов графического изображения // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 7(35). – С. 18–21.
7. *Архипов И. О.* Анализ размытия графического изображения для оценивания пространственно-хроматических параметров // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 7(35). – С. 14–17.
8. *Левицкая Л. Н.* Указ. соч.
9. *Мурынов А. И.* Указ. соч.
10. *Левицкая Л. Н.* Указ. соч.
11. *Мурынов А. И.* Указ. соч.