

способна обслуживать и локальных, и удаленных пользователей с помощью интернет-протокола (TCP/IP). СУБД MySQL позволяет реализовать работу

различных групп пользователей с различными правами доступа как к таблицам, так и к отдельным полям таблицы (чтение, изменение, добавление, удаление).

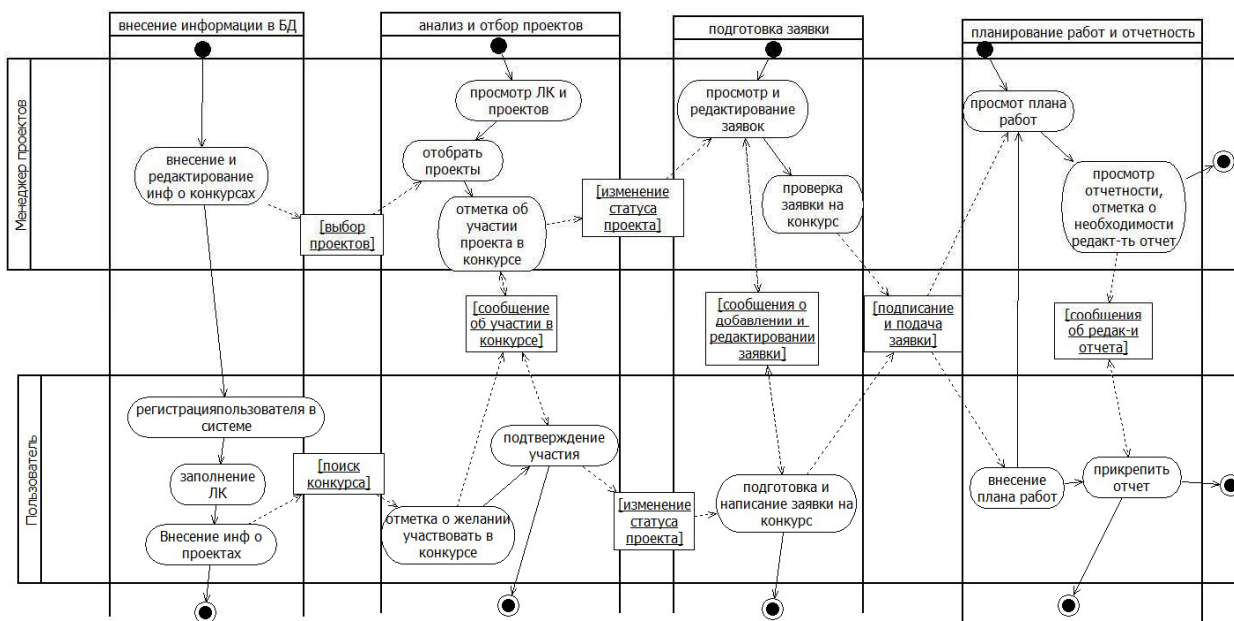


Рис. 2. Обмен объектами при работе с системой

Разрабатываемая информационно-аналитическая система, состоящая из системы проблемно-ориентированных библиографических баз данных по всем имеющимся научным и инновационным проектам и актуальным конкурсам ведущих фондов поддерж-

ки науки РФ, сможет обеспечивать исследователей и специалистов по работе с научными проектами в необходимом объеме всей исчерпывающей и обновляемой информацией.

Получено 14.09.2015

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  
**Д. А. Юферев**, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## ПОСТРОЕНИЕ КОНТУРОВ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

### Введение

Контурные объектов на изображениях играют важную роль в решении задач анализа и распознавания изображений [1, 2, 3, 4, 5]. Обычно выделение контуров выполняется в два этапа [6]. На первом этапе по изображению строится контурный препарат, определяющий перепады яркостей. На втором этапе путем применения различных методов сравнения контурного препарата с порогом образуются контурные линии. Многие методы построения контурных препаратов основаны на по-

строении градиента  $\nabla f$  изображения  $f$  с последующим вычислением модуля градиента. Градиент изображения  $f$  в точке  $(x, y)$  определяется как вектор  $\nabla = \left[ \frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]$  [7]. Для повышения эффективности выделения контура в некоторых методах кроме информации о модуле градиента также учитывается направление вектора градиента [8].

Так как дифференцирование цифрового изображения не представляется возможным, производные

заменяются первыми разностями. По этой причине все существующие методы вычисления градиента основаны на свертке изображения с различными матрицами и дают лишь аппроксимацию функции градиента цифрового изображения. Множество методов построения контуров объектов на изображениях, например, описанных в [9], свидетельствует об отсутствии универсальных и надежных контурных детекторов и о необходимости проведения исследований в этой области.

**Построение контурного препарата**

В данной работе предлагается иной метод аппроксимации функции модуля градиента изображения. Изображение представляется в виде объемной поверхности (рис. 1), где ось  $z$  имеет смысл яркости изображения. В этом случае каждый пиксел изображения является вершиной объемной поверхности, как показано точками на рис. 1. Для каждого пиксела с координатами  $(x_i, y_i)$  изображения строится плоскость  $\alpha_i$ , минимально уклоняющаяся от девяти пикселов из окрестности  $3 \times 3$  (рис. 1). В областях изображения с постоянной яркостью аппроксимирующая плоскость  $\alpha_i$  будет параллельна плоскости, образованной осями  $x$  и  $y$ . На участках перепадов яркости плоскость  $\alpha_i$  приобретет некоторый наклон относительно оси  $z$ , причем чем выше скорость перепада яркости в окрестности данной точки изображения, тем больше значение модуля нормального вектора  $\vec{n}_i$  плоскости  $\alpha_i$ . Таким образом, модуль нормального вектора позволяет аппроксимировать модуль градиента в данной точке.

Задача аппроксимации окрестности  $3 \times 3$  минимально уклоняющейся плоскостью может быть решена методом наименьших квадратов (МНК). Аппроксимирующую плоскость удобно задать общим уравнением вида  $ax + by - z + d = 0$ . В этом случае модуль нормального вектора имеет вид  $|\vec{n}| = \sqrt{a^2 + b^2 + 1}$ , а задача аппроксимации сводится к решению системы уравнений

$$\begin{cases} a \sum_{k=1}^9 x_k^2 + b \sum_{k=1}^9 x_k y_k + d \sum_{k=1}^9 x_k = \sum_{k=1}^9 x_k z_k, \\ a \sum_{k=1}^9 x_k y_k + b \sum_{k=1}^9 y_k^2 + d \sum_{k=1}^9 y_k = \sum_{k=1}^9 y_k z_k, \\ a \sum_{k=1}^9 x_k + b \sum_{k=1}^9 y_k + 9d = \sum_{k=1}^9 z_k, \end{cases} \quad (1)$$

где  $k$  – индекс пиксела в матрице  $3 \times 3$  в окрестности текущего пиксела;  $x_k, y_k, z_k$  – координаты пиксела в окрестности  $3 \times 3$ .

Учитывая, что координаты пикселов в окрестности  $3 \times 3$  можно закодировать в соответствии с рис. 2, система (1) упрощается до выражений

$$a = \frac{1}{6} \sum_{k=1}^9 x_k z_k; \quad b = \frac{1}{6} \sum_{k=1}^9 y_k z_k; \quad d = \frac{1}{9} \sum_{k=1}^9 z_k. \quad (2)$$

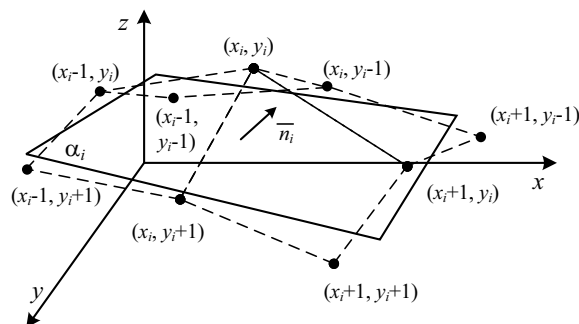


Рис. 1. Аппроксимация области точек размером  $3 \times 3$  минимально уклоняющейся плоскостью

-1, -1	0, -1	1, -1
-1, 0	0, 0	1, 0
-1, 1	0, 1	1, 1

Рис. 2. Окрестность  $3 \times 3$  и координаты пикселов

На рис. 3 показан фрагмент топографической карты, отсканированной с разрешением 600dpi, и его модуль градиента, аппроксимированный по МНК. На рис. 3, б видно, что предлагаемый способ аппроксимации градиента на участках постоянства яркости дает значения близкие к нулю, а в контурных областях показывает максимальные величины. Белый фон исходного изображения содержит весьма заметные артефакты, появившиеся на этапе сканирования. Однако на градиенте, полученном по МНК, артефакты исходного изображения практически не заметны, что говорит о хорошей устойчивости к шумам предлагаемого способа аппроксимации градиента. Таким образом, результат аппроксимации модуля градиента изображения по МНК может быть использован в качестве контурного препарата для дальнейшего построения контурной линии.

**Двухнаправленный алгоритм обхода контурного препарата**

Построение контуров объектов на изображении по функции градиента выполняется в несколько этапов.

1. Из числа пикселов контурного препарата, еще не исследованных на предыдущих итерациях алгоритма, выбирается пиксел  $|\nabla(x, y)|$ , значение которого превышает пороговую величину  $|\nabla|_p$ .

2. Из окрестности  $3 \times 3$  текущего пиксела  $|\nabla(x, y)|$  выбирается соседний пиксел с наибольшим значением модуля градиента. Данный пиксел принимается в качестве текущего, и п. 2 повторяется. Поиск прекращается, когда значение модуля градиента текущего пиксела  $|\nabla(x, y)|_{\max}$  не окажется максимальным в окрестности  $3 \times 3$ . Если найденный пиксел модуля градиента  $|\nabla(x, y)|_{\max}$  ранее не был идентифицирован как контурный, то он является начальным пикселом

линии контура. Если данный пиксел на предыдущих итерациях уже был объявлен контурным, то поиск нового контура повторяется с п. 1.

3. Процесс построения контура показан на рис. 4. Числовые значения в ячейках сетки на рис. 4 являются значениями модуля градиента соответствующего пиксела. Построение контура начинается с найденного локального максимума модуля градиента  $|\nabla(5,2)|_{\max}$ , который помечается как контурный. Далее из окрестности  $3 \times 3$  выбираются два пиксела с наибольшими значениями модуля градиента  $|\nabla_1(6,3)|$  и  $|\nabla_2(4,1)|$ . Найденные пиксела помечаются как контурные.

4. Обход линии контура начинается с пикселей  $|\nabla_1(6,3)|$  и  $|\nabla_2(4,1)|$  по двум направлениям. Следующим пикселем по каждому направлению является соседний из окрестности  $3 \times 3$  с максимальным значением модуля градиента, ранее не объявленный контурным (рис. 4). Таким образом, осуществляется

рост линии контура в обоих направлениях до момента блокировки ее роста. Рост контурной линии по данному направлению считается заблокированным, если в окрестности  $3 \times 3$  текущего контурного пиксела более двух пикселей уже являются контурными. На рис. 4 контурная линия блокируется в пикселах  $|\nabla(9,2)|$  и  $|\nabla(1,0)|$ . Пиксел, в котором рост контурной линии блокировался, не принадлежит контуру. Условие блокировки контурной линии обеспечивает построение контура толщиной 1 пиксел, что является важным требованием к контурному детектору. После блокировки каждого луча начинается поиск следующей контурной линии с п. 1.

Поиск пикселей в окрестности  $3 \times 3$  на этапах 2 и 4 предлагаемого алгоритма обеспечивает целенаправленность обхода контура, что существенно снижает вычислительную сложность алгоритма. Двухнаправленный поиск контура также позволяет снизить время обработки, если запрограммировать ход каждого луча в отдельных потоках программы.

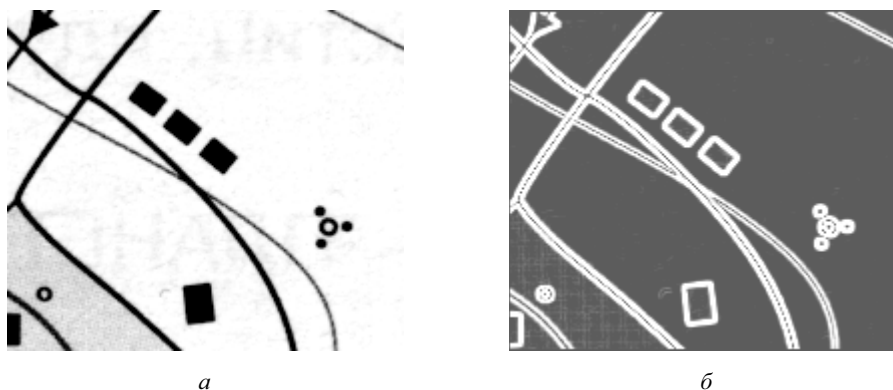


Рис. 3. Изображение (а) и его модуль градиента, аппроксимированный по МНК (б)

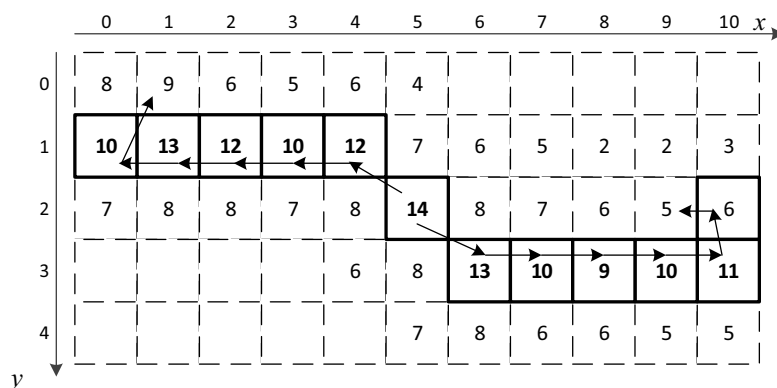


Рис. 4. Двухнаправленный поиск контурной линии

На рис. 5 изображен результат работы предлагаемого контурного детектора. Детальный анализ полученного контура позволяет сделать следующий вывод. Все объекты изображения выделены контурными линиями толщиной 1 пиксел, контурные линии соответствуют контурам объектов исходного изображения, ложные контуры отсутствуют, контуры близко расположенных объектов не сливаются, имеется очень незначительное количество разрывов контура величиной 1-2 пиксела.

Экспериментально установлено, что пороговое значение  $|\nabla|_p$ , используемое на этапе поиска начала контура, для данного типа изображения (отсканированные топографические карты) может принимать значения из очень широкого диапазона – от 40 до 120, что подтверждает высокую устойчивость предлагаемого контурного детектора к шумам на изображении.

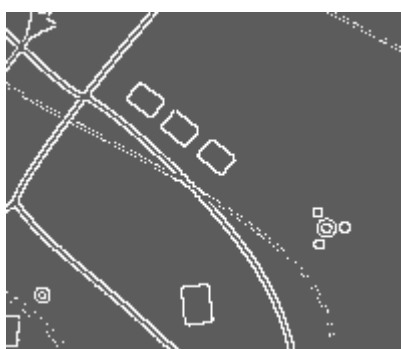


Рис. 5. Контуры, найденные предлагаемым алгоритмом поиска

### Сравнительный анализ предлагаемого метода

Проведено сравнение результатов работы предлагаемого контурного детектора с известными метода-

ми построения контуров, описанными в [10] и реализованными в пакете математического моделирования Octave. На рис. 6 показаны контуры объектов исходного изображения, построенные по методам Робертса (рис. 6, а), Превитта (рис. 6, б), Собела (рис. 6, в) и Канны (рис. 6, г). Для контурных детекторов Робертса, Превитта и Собела характерно большое количество контурных разрывов (особенно для детектора Робертса). Изменение порогов данных детекторов позволяет избавиться от большинства разрывов контуров, но при этом появляются в большом количестве ложные контуры. Наилучшие результаты из стандартных методов на данном изображении показал контурный детектор Канны, что согласуется с экспериментами других исследователей [11]. Тем не менее стоит отметить небольшое количество разрывов контурных линий, полученных детектором Канны.



а



б



в



г

Рис. 6. Результаты стандартных контурных детекторов: а – Робертса; б – Превитта; в – Собела; г – Канны

При сравнении результатов работы детектора Канны и предлагаемого метода сложно выделить лучший из них. На данном изображении методы Канны и предлагаемый позволили получить контуры близкого качества (толщина контуров равна 1 пикселу, минимум разрывов в контурных линиях, отсутствие ложных контуров, формы и расположение контуров соответствуют объектам на исходном изображении).

Вычислительная сложность большинства контурных детекторов, включая предлагаемый и протестированные выше, в основном определяется этапом построения контурного препарата. Последующий этап поиска контурной линии в препарате требует существенно меньшего количества операций. По-

этому сложность реализации контурных детекторов далее будем оценивать по этапу построения контурного препарата.

Вычислительная сложность аппроксимации градиента по МНК составляет величину  $O(n^2)$ , где  $n = 3$ . Для сравнения вычислительная сложность методов Собела и Превитта определяется величиной  $O(2n^2)$ , где  $n = 3$ , а множитель 2 обусловлен двумя свертками изображения с масками размером  $3 \times 3$ , ориентированных по горизонтали и вертикали. В методе Канны для вычисления контурного препарата сначала выполняется сглаживание изображения путем свертки изображения с матрицей импульсного

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