

УДК 004.932.2

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

## ДВУНАПРАВЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОБХОДА КОНТУРНОГО ПРЕПАРАТА

**В** задачах описания снимков местности и других изображений большого разрешения возникает проблема переизбытка малозначимой информации во входном сигнале, который заметно снижает эффективность системы анализа. Решением этой проблемы является использование в дальнейшей обработке лишь областей с высокой концентрацией информации. Такими областями являются линии контуров объектов [1]. Для описания снимка местности моделью на основе дифференцированных цепных кодов, предложенной в работе [2], линия контура объектов должна обладать следующими свойствами:

– единичная ширина (однопикселность), т. е. каждая точка контура должна иметь не более двух соседних точек контура;

– отсутствие перегибов вдоль горизонтального, вертикального направлений, а также на углах, т. е. линия контура за каждый шаг должна менять свое направление не более чем на  $45^\circ$ . Подобные перегибы создают ситуацию с неоднозначной трактовкой

при построении дифференцированного цепного кода, как показано на рис. 1 и 2;

– отсутствие разрывов в контуре одного объекта: разрывы приводят к описанию одного объекта как нескольких разных;

– положение выделенной линии контура должно соответствовать границе реального объекта;

– контуры близко расположенных объектов не должны сливаться.

Классический алгоритм выделения контурных линий на исходном изображении состоит из последовательности следующих шагов.

1. Построение градиента изображения [3]. Градиент в каждой точке изображения характеризуется двумя значениями: интенсивностью и направлением.

2. Получение бинарного изображения на основе градиента, используя глобальные или локальные методы бинаризации [4].

3. Утончение контура с помощью операций математической морфологии [5].

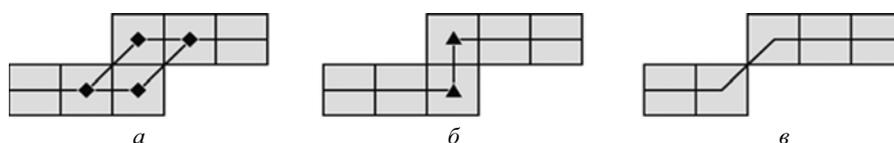


Рис. 1. Варианты описания горизонтальной линии контура с перегибом:  
 а – четыре узла ветвления; б – два узла перегиба; в – без неоднозначности

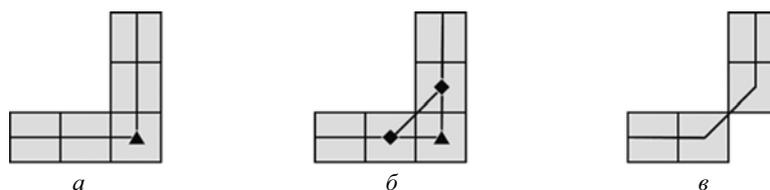


Рис. 2. Варианты описания линии контура в окрестности углов объектов:  
 а – один узел перегиба; б – узел перегиба и два узла ветвления; в – без неоднозначности

Основными недостатками классического алгоритма являются: большое число разрывов из-за потери информации о слабых контурах на этапе бинаризации и получение неверного положения линии контура. Линия контура должна проходить вдоль линии максимума градиента, что не гарантируется на этапе морфологического утончения. Указанные недостатки приводят к неоднозначной интерпретации снимка местности с помощью топологической модели [6], что показано на рис 1, 2, и поэтому классический алгоритм не может быть использован.

В работе [7] был предложен метод построения контурного препарата и последующий двунаправ-

ленный его обход для получения контурной линии. Построение контурного препарата основывается на представлении изображения в виде объемной поверхности, где осью  $z$  является значение яркости изображения. Для каждой окрестности  $3 \times 3$  с помощью метода наименьших квадратов вычисляются коэффициенты аппроксимирующей поверхности. Модуль нормального вектора этой поверхности будет соответствовать модулю градиента в данной точке.

Построение контура основывается на идее обхода гребня градиента изображения. Первым шагом алгоритма является поиск начальной точки обхода. Изображение сканируется и выбирается точка, превы-

шающая заданный порог. От выбранной точки начинается движение в направлении наискорейшего роста значения модуля градиента. Движение останавливается, когда будет найден локальный экстремум – это будет первая точка обхода гребня либо точка уже выделенного контура. В последнем случае шаг повторяется со следующей точки. От первой выбранной точки начинается двунаправленный обход вдоль линии гребня. Среди соседей текущей точки выбирается следующая точка, в которой достигается наибольшее значение модуля градиента. Обход завершается, когда в окрестности оказывается больше двух пикселей, отмеченных как контур.

Описанный алгоритм позволяет выделять однопиксельные линии контура, которые соответствуют истинным контурам объектов. Однако при его использовании на реальных снимках возникают следующие проблемы: наличие перегибов в линии контура, неверный обход контура на границе снимка и вблизи границ соседних объектов. Основным источником перечисленных проблем является отсутствие слежения за направлением вектора градиента в текущей точке контура.

В данной работе предлагается усовершенствованный алгоритм обхода контурного препарата, решающего перечисленные проблемы. Входной информацией является контурный препарат с информацией об интенсивности и направлении градиента в каждой точке исходного изображения. Направление градиента дискретизируется до восьми кодов направлений, как показано на рис. 3 [8].

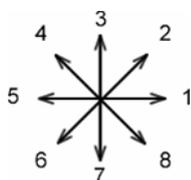


Рис. 3. Коды направлений градиентов

Основным изменением в усовершенствованном алгоритме двунаправленного обхода является учет направления градиента. Во время обхода запоминается направление, по которому осуществлялось движение к текущей точке. Следующая точка контура не должна противоречить правилу выбора направления обхода. Допустимые изменения направления показаны в табл. 1 и пояснены на рис. 4, а и рис. 4, б.

Таблица 1. Правило выбора направления обхода

Текущее направление	1	2	3	4	5	6	7	8
1	X	X	-	-	-	-	-	X
2	X	X	X	X	-	-	-	X
3	-	X	X	X	-	-	-	-
4	-	X	X	X	X	X	-	-
5	-	-	-	X	X	X	-	-
6	-	-	-	X	X	X	X	X
7	-	-	-	-	-	X	X	X
8	X	X	-	-	-	X	X	X

Примечание: допустимые переходы отмечены X

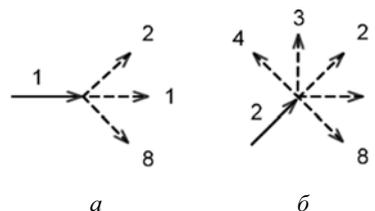


Рис. 4. Правило выбора направления обхода: а – для горизонтальных и вертикальных направлений; б – для диагональных направлений

Направления обхода контура не должно противоречить направлению вектора градиента в данной точке. В идеальном случае направление обхода и направление градиента должны быть перпендикулярными. Однако из-за дискретности изображения [9] и дискретности кодов направлений противоречием считается совпадение кодов направлений либо когда они противоположны, как показано в табл. 2.

Таблица 2. Соответствие текущего направления обхода и направления градиента в точке

Текущее направление контура	Направление градиента							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	X	X	X	-	X	X	X
2	X	-	X	X	X	-	X	X
3	X	X	-	X	X	X	-	X
4	X	X	X	-	X	X	X	-
5	-	X	X	X	-	X	X	X
6	X	-	X	X	X	-	X	X
7	X	X	-	X	X	X	-	X
8	X	X	X	-	X	X	X	-

Примечание: допустимые сочетания отмечены X

Обход контура в усовершенствованном алгоритме заканчивается, если:

- отсутствует следующая точка контура, соответствующая текущему направлению обхода и не противоречащая направлению градиента в текущей точке;
- найдено больше двух точек контура в окрестности текущей точки.

Для проверки качества результата предложенного алгоритма были построены линии контуров базовым и усовершенствованным алгоритмами на множестве снимков местности. На рис. 5, а представлен фрагмент аэрофотоснимка местности с границей леса и дорогой. На изображении линий контуров базового алгоритма (рис. 5, б) граница леса частично была утеряна, и линия дороги в нижней части изображения оказалась разорванной, что не происходит при использовании усовершенствованного алгоритма (рис. 5, в). Кроме того, как показано на укрупненных участках рис. 6, линии контуров базового алгоритма содержат перегибы и углы, создающие ситуации с неоднозначной трактовкой топологической модели на основе дифференциальных цепных кодов (см. рис. 1 и 2). Усовершенствованный алгоритм позволяет построить более корректное описание контуров тех же объектов местности без перегибов и углов (рис. 6, в).

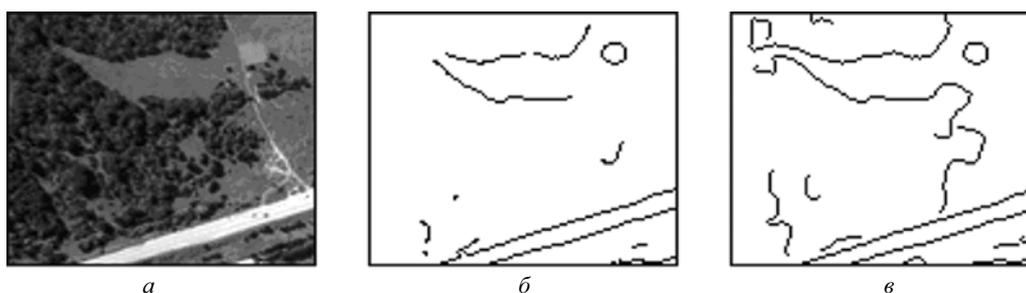


Рис. 5. Выделение контуров на изображении леса и дороги:  
*a* – оригинальное изображение; *б* – базовый алгоритм; *в* – усовершенствованный алгоритм

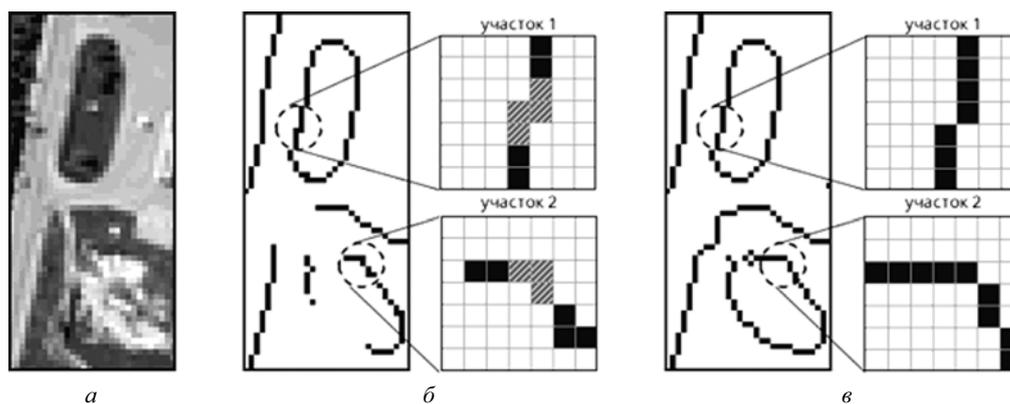


Рис. 6. Результат выделения контуров: *a* – оригинальное изображение; *б* – базовый алгоритм (штриховкой отмечены области с неоднозначной трактовкой контура топологической моделью на основе дифференциальных цепных кодов); *в* – усовершенствованный алгоритм

Таким образом, предложенный усовершенствованный двунаправленный алгоритм обхода контура наиболее точно описывает контуры объектов на снимке местности. Полученные с его помощью контурные линии полностью соответствуют требованиям для построения топологической модели и могут быть описаны цепными кодами без неоднозначной трактовки.

#### Библиографические ссылки

1. Введение в контурный анализ: приложения к обработке изображений и сигналов / Я. А. Фурман, А. В. Кревецкий, А. К. Передреев [и др.]; под ред. Я. А. Фурмана. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. – 592 с.
2. Мурынов А. И., Архипов И. О., Еланцев М. О. Топологическая модель линейчатых изображений на основе дифференциальных цепных кодов // Приволжский научный вестник. – 2015. – № 11(51). – С. 42–46.

3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. / под ред. П. А. Чочиа. – 3-е изд. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.

4. Там же.

5. Там же.

6. Мурынов А. И., Архипов И. О., Еланцев М. О. Указ. соч.

7. Архипов 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.

8. Freeman H. On the encoding of arbitrary geometric configurations // IEEE Trans. Electron. Comput. – 1961. – Vol. 10, No. 2. – Pp. 260–268.

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

Получено 06.05.2016