

**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ: СЕТИ И ТЕХНОЛОГИИ,
АЛГЕБРАИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДАННЫХ**

УДК 539.216:546.824-31

**ДЕТЕКТИРОВАНИЕ УГЛОВ КОНТУРНЫХ ЛИНИЙ НА ИЗОБРАЖЕНИИ С
ПОМОЩЬЮ РАСШИРЯЮЩИХСЯ МАСОК**

О.Г. ШЕВЧУК, А.В. КОСТУСЕВ, Е.Г. МАКЕЙЧИК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 1 декабря 2015*

Предложен метод детектирования углов контурных линий на основе расширяющихся масок для аэрокосмических изображений. Проведен анализ разработанного метода при изменении яркости, контраста и при повороте изображения. Показано, что метод устойчив к изменению яркости и повороту.

Ключевые слова: угловой детектор, аэрокосмические изображения, масочный анализ.

Введение

Нахождение ключевых точек на изображении является важной задачей в различных областях, таких как видеонаблюдение, параметризация и идентификация объектов, сшивка изображений и др. Ключевые точки должны быть [1]:

- 1) уникально определяемыми в некоторой окрестности и изображении в целом;
- 2) инвариантными к аффинным преобразованиям;
- 3) стабильными относительно шумов;
- 4) эффективными для параметризации и идентификации объектов в совокупности анализируемых изображений.

Самыми распространенными детекторами ключевых точек являются SIFT [2] и SURF [3]. Эти методы основаны на вычислении градиента яркости точки и ее окрестности, что позволяет детектировать области, края и углы.

Методы SIFT [2] и SURF [3] инвариантны к повороту, шумам и изменению позиции наблюдения. Однако данные методы неприменимы при сшивке аэрокосмических изображений, которые имеют фрактальную или себе подобную структуру (море, пустыня, горы), а также в условиях резкой смены освещения (день и ночь).

Для устранения данных недостатков необходимо в качестве ключевых точек использовать углы и линии. Цель работы – разработка метода детектирования углов контурных линий на основе расширяющихся масок для аэрокосмических изображений.

Теоритические сведения

В таких задачах, как разбиение контуров на отдельные прямые линии и сшивка изображений, в качестве ключевых точек используются углы.

Углы можно классифицировать следующим образом [4] (рис. 1):

- 1) L-образные (с различной величиной угла);
- 2) Y-образные (с различной величиной угла), частным случаем являются T-образные углы;
- 3) X-образные (с различной величиной углов).



Рис. 1. Виды углов на изображении

Существует ряд методов поиска углов на изображении: Харриса [5], Shi-Tomasi [6], FAST [7] и др. Угловые детекторы чаще всего работают с яркостной составляющей значения пикселя.

На вход такого детектора, работающего с яркостной составляющей, подается черно-белое изображение, в результате чего на выходе формируется список возможных углов со степенью подобия. Точки со степенью подобия больше порога определяются как углы, а меньше порога – отбрасываются.

Недостатком использования таких детекторов в приведенных выше задачах является то, что они обнаруживают область, в которой находится угловая точка, но не всегда точно определяют ее координаты, т.е. угловая точка в результате работы данных алгоритмов может находиться вне линии. Поэтому после применения таких детекторов необходимо уточнять местоположение каждого угла, например, с помощью маски.

Обнаружение углов с помощью масочного детектора осуществляется путем наложения заданной маски, шаблона, на бинарное изображение. Данный метод зависит от выбранной маски и чаще всего не эффективен при толщине линии в 2 и более пикселя. Размер использованной маски, чем толще линия – тем больше размер маски, влияет на вычислительную сложность детектора, а следовательно на время работы алгоритмов.

Для устранения существующих недостатков был предложен метод детектирования углов контурных линий на основе расширяющихся масок для аэрокосмического изображения с предварительной нормализацией контурных линии по толщине. Метод применяется только для выделенных контуров, не являющихся прямой линией. Свойства контура определяется по количеству концевых точек k , если $k = 2$ решение принимается на основе форм-фактора [8].

Метод масочного детектирования углов на изображении

Предложенный метод основан на последовательном наложении маски 3×3 пикселя на каждый пиксель выделенного контура, не являющегося прямой линией, кроме концевых точек контура. При неоднозначном решении для пикселя осуществляется дополнительная его проверка путем расширения маски до размера 5×5 пикселей.

На вход метода подается изображение $I = \|i(y, x)\|_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)}$, где $i(y, x) = 0..255$ – яркостное значение пикселя на изображении, Y, X – размеры изображения по вертикали и горизонтали. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 2.

Алгоритм работы метода состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Формирование матрицы бинарных образов $I_B = \|i_B(y, x)\|_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)}$ для входного изображения I с помощью алгоритма контурной фильтрации Canny [9], где $i_B(y, x) = 1$ для пикселя, принадлежащего контуру, $i_B(y, x) = 0$ для фонового пикселя.

Шаг 2. Сегментация контурных линий. Каждому контурному пикселю $i_B(y, x) = 1$ присваивается номер контура, к которому он принадлежит. В результате формируется матрица контуров $S = \|s(n)\|_{n=1, N}$ и матрица количества концевых точек в каждом контуре $K = \|k(n)\|_{n=0, N}$, где $s(n)$ – координаты контурных пикселей n -го контура, представленных в виде матриц $X(n) = \|x(n, c)\|_{(c=0, C-1)}$, $Y(n) = \|y(n, c)\|_{(c=0, C-1)}$, $k(n)$ – количество концевых точек для n -го контура, N – количество найденных контуров, C – количество пикселей в n -м контуре.



Рис. 2. Блок-схема углового масочного детектора

Шаг 3. Нормализация выделенных контуров по толщине. Нормализация контуров осуществляется с помощью метода нормализации контурных линий по толщине [10]. В процессе нормализации из матриц координат контуров $X(n)$, $Y(n)$ удаляются пиксели, которые визуально и физически делают линию толще. В результате формируются контуры $s(n)$ толщиной в один пиксель.

Шаг 4. Анализ контуров. Сперва производится анализ конечных точек контуров $k(n)$. Если $k(n)=2$ – принимается решение, что контур $s(n)$ является линией и осуществляется расчет форм-фактора f [8] для проверки наличия кривизны контура $s(n)$.

Если $f=[0.8,1.2]$ – принимается решение, что контур $s(n)$ является прямой линией, следовательно, не имеет углов. Поэтому данный контур удаляется из матрицы S .

Шаг 5. Поиск угловых точек. В результате выполнения алгоритма формируются угловые матрицы $X_A = \|x(g,n)\|_{g=0..G}$, $Y_A = \|y(g,n)\|_{g=0..G}$, где $x(g,n)$, $y(g,n)$ – координаты угловой точки, g – порядковый номер координаты, G – количество найденных угловых точек, n – номер контура, к которому относится угловая точка.

5.1 Формирование маски $M_j = \|m_j(y,x)\|_{(y=0..2, x=0..2)}$ (рис. 3), где $j = \overline{1,16}$ – порядковый

$$\begin{aligned}
 \text{номер матрицы, } m_j(0,0) &= \begin{cases} 1, & \text{для } j = \{1,2,9\}, \\ 0, & \text{для } j = \{3..8,10..16\}, \end{cases} & m_j(0,1) &= \begin{cases} 1, & \text{для } j = \{5,6,13,14\}, \\ 0, & \text{для } j = \{1..4,7..12,15,16\}, \end{cases} \\
 m_j(0,2) &= \begin{cases} 1, & \text{для } j = \{1,4,11,16\}, \\ 0, & \text{для } j = \{2,3,5..10,12..15\}, \end{cases} & m_j(1,0) &= \begin{cases} 1, & \text{для } j = \{6,7,11,12\}, \\ 0, & \text{для } j = \{1..5,8..10,13..16\}, \end{cases} & m_j(1,1) &= 1, \\
 m_j(1,2) &= \begin{cases} 1, & \text{для } j = \{5,8..10\}, \\ 0, & \text{для } j = \{1..4,6,7,11..16\}, \end{cases} & m_j(2,0) &= \begin{cases} 1, & \text{для } j = \{2,3,10,14\}, \\ 0, & \text{для } j = \{1,4..9,11..13,15,16\}, \end{cases} \\
 m_j(2,1) &= \begin{cases} 1, & \text{для } j = \{7,8,15,16\}, \\ 0, & \text{для } j = \{1..6,9..14\}, \end{cases} & m_j(2,1) &= \begin{cases} 1, & \text{для } j = \{3,4,12,13\}, \\ 0, & \text{для } j = \{1,2,5..11,14..16\}. \end{cases}
 \end{aligned}$$

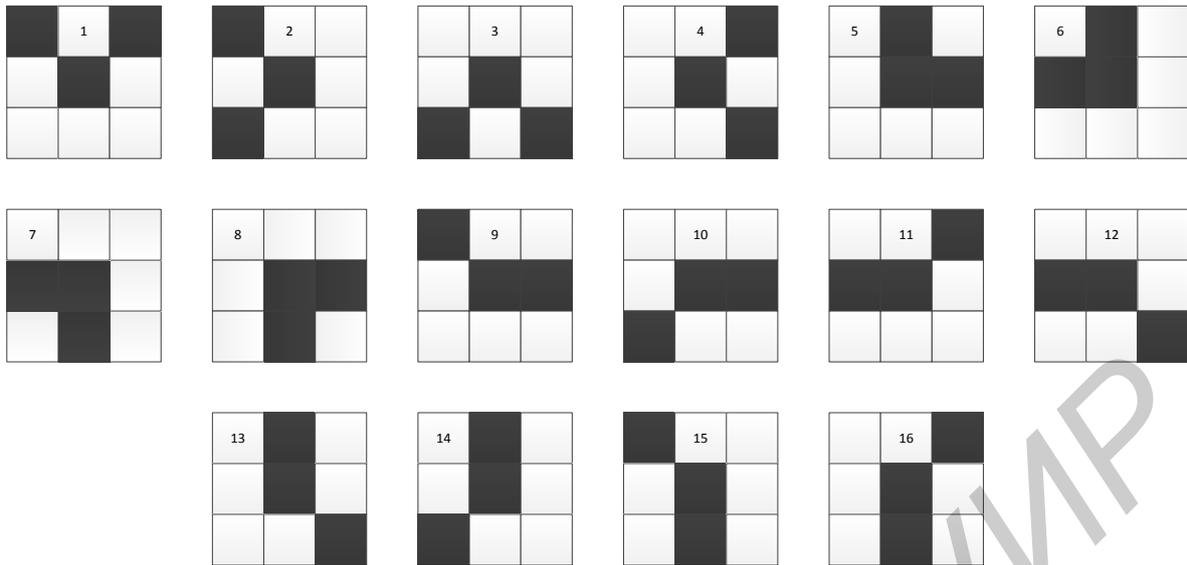


Рис. 3. Маски поиска угловых точек в контурах

5.2 Формирование угловых матриц Y_A, X_A . Окружность каждого c -го пикселя контура $s(n)$ с координатами $y(n,c), x(n,c)$ матриц $Y(n), X(n)$ проверяется на соответствие одной из 16 угловых масок M_j .

Если окрестность пикселя с координатами $y(n,c), x(n,c)$ соответствует маскам $M_1..M_8$ – осуществляется переход на пункт 5.4. Если окрестность пикселя с координатами $y(n,c), x(n,c)$ соответствует маскам $M_9..M_{16}$ – осуществляется переход на пункт 5.3.

5.3 Уточнение. Для контурного пикселя с координатами $y(n,c), x(n,c)$, окрестность которых соответствует матрицам $M_9..M_{16}$, осуществляется уточнение путем расширения матриц до размера 5×5 пикселей, как показано на рис. 4. Если окрестность c -го пикселя с координатами $y(n,c), x(n,c)$ соответствует расширенной матрице (проверяется присутствие минимум одной контурной точки с каждой стороны в области, указанной серым цветом на рис. 4). Осуществляется переход на пункт 5.4.

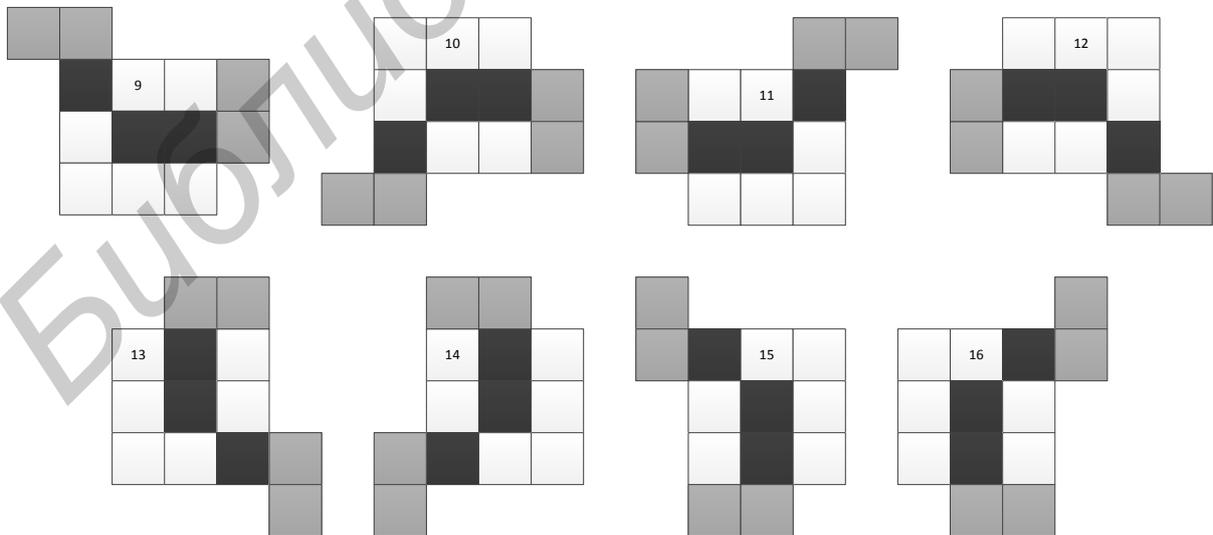


Рис. 4. Расширенные маски поиска угловых точек в контурах

5.4 Координаты пикселя $y(n,c), x(n,c)$, определенные как угловая точка, заносятся в матрицы Y_A, X_A соответственно.

В результате работы метода формируются матрицы координат Y_A, X_A , содержащие координаты угловых точек, которые в дальнейшем могут быть использованы для шивки изображений.

Оценка эффективности детектора линий на основе расширяющихся масок

Разработанный метод реализован на языке программирования C++ с использованием библиотеки OpenCV. Эксперимент проведен на ЭВМ со следующими техническими характеристиками: процессор – Intel(R) Core(TM) i5-2320 CPU 3,0 ГГц; ОЗУ – 4 Гб; тип системы – 64-разрядная операционная система, процессор x64; операционная система – Windows 7. Для анализа использовалось аэрокосмическое изображение размером 720×720 пикселей (рис. 5).

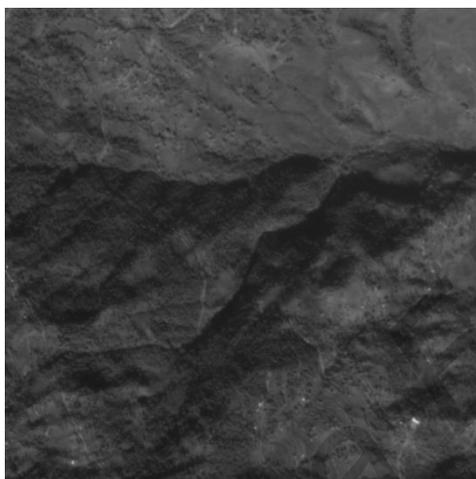


Рис. 5. Тестовое аэрокосмическое изображение

Для количественной оценки устойчивости произведено сопоставление числа детектированных углов, сохранивших свое местоположение после изменения яркости, контраста и поворота изображения, с числом углов, детектированных на исходном тестовом изображении. Результаты оценки приведены на рис. 6.

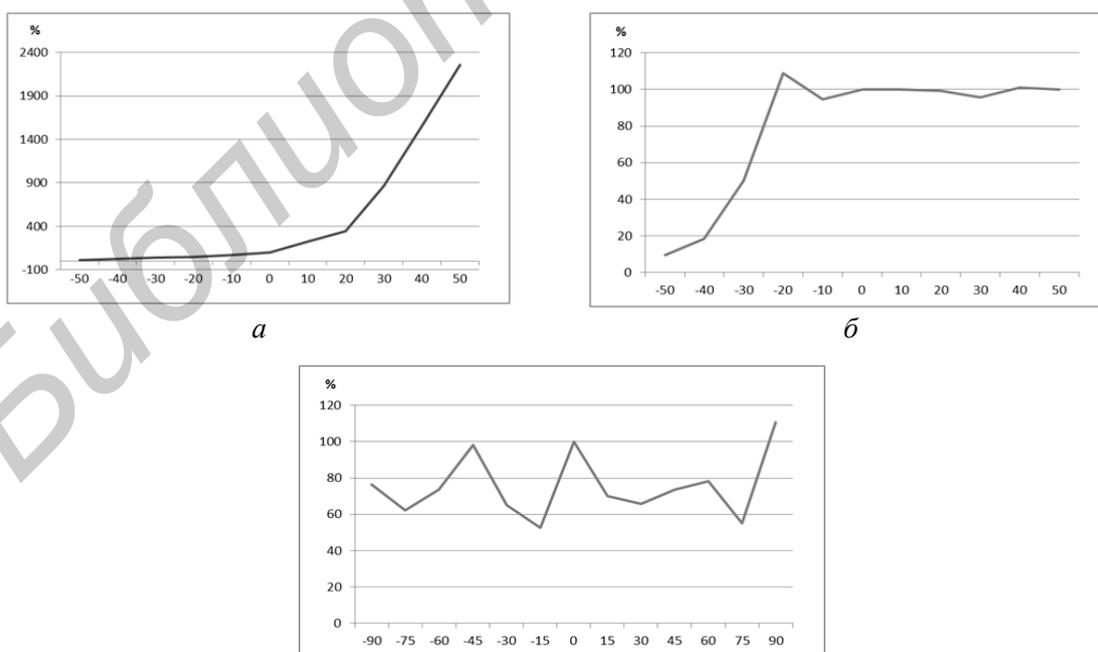


Рис. 6. График оценки устойчивости метода детектирования углов на основе масок: *а* – при изменении контраста изображения, *б* – при изменении яркости изображения, *в* – при повороте изображения

Из рис. 6 видно, что метод стабилен при изменении яркости от -20% до 50% относительно тестового изображения, однако теряет устойчивость при изменении яркости от -50% до -30% и при изменении контраста. При повороте изображения на угол $\alpha = -90 \dots 90$ градусов количество детектированных углов изменяется от 60% до 110% .

Заключение

Разработан метод детектирования углов на основе расширяющихся масок для аэрокосмических изображений. Показано, что метод стабилен при изменении яркости от -20% до 50% относительно тестового изображения, а при повороте изображения на угол $\alpha = -90 \dots 90$ градусов количество детектированных углов изменяется от 60% до 110% . К недостаткам метода относится потеря устойчивости при изменении контраста.

DETECTION OF ANGLES CONTOUR LINES ON THE IMAGE USING EXPANDING MASKS

O.G. SHEVCHUK, A.V. KOSTUSEU, E.G. MAKEICHIK

Abstract

Method for detecting the angle of the contour lines on the basis of expanding masks for aerospace images is proposed. Analysis of this method when the brightness, contrast and image route are changed is held. It is shown that the method is resistant to changes in brightness and route.

Список литературы

1. Rodehorst V., Koschan A. // Proc. of 5th International Symposium Turkish-German Joint Geodetic Days TGJGD'06. 2006. P. 8.
2. Lowe D. // International Journal of Computer Vision. 2004. Vol. 60. №2. P. 91-110.
3. Bay H. // Proc. of 9th European Conference on Computer Vision. 2006. P. 404-410.
4. Xia G., Delon J., Gousseau Ya. // International Journal of Computer Vision January. 2014. Vol. 106. P. 31-56
5. Harris C., Stephens M. // Proc. of 4th Alvey Vision Conference. 1988. P. 147-151.
6. Shi J., Tomasi C. // Proc. of 9th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1994. P. 593-600.
7. Rosten E., Drummond T. // Proc. of 9th European Conference on Computer Vision. 2006. P. 430-443.
8. Бородина О.Г., Цветков В.Ю. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. №1. С. 41-45.
9. Canny J.A. // IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence. 1986. Vol. 8. P. 679-698.
10. Шевчук О.Г., Кирилюк Д.И., Макейчик Е.Г. и др. // Докл. БГУИР. 2015. №7(93). С. 51-57.