

blood flow and vascular tone, that is, the athletes have improved microcirculation conditions. A number of athletes observed aftereffect (maintaining high performance functional state) after the main course. In appointing WBGC procedures to achieve their highest efficiency it is necessary to take into account the personality traits of patients. WBGC improves fitness, endurance, and can be recommended in the recovery, and preparatory periods of athletes' year training cycle to enhance the overall physical performance and for preventing overstrain and injury.

Keywords: cryotherapy, hemodynamics, general and biochemical blood composition, physical performance.

Список литературы

1. *Портнов В.В.* Общая и локальная воздушная криотерапия. М., 2007.
2. *Marino F.E.* // British Journal of Sports Medicine. 2002. № 36 (1). P. 89–94.
3. *Uckert S. Joch W.* // Osterreichisches Journal fur Sportmedizin. 2003. № 33 (2). P. 14–20.
4. *Драгун В.Л., Левин М.Л., Лосицкий Е.А., Ярошевич О.А., Крючок В.Г., Малькевич Л.А., Рысевец Е.В.* Способ повышения физической работоспособности спортсмена / Евразийский патент № 017993.

УДК 539.216:546.824-31

ПОИСК ИЗЛОМОВ КОНТУРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ РАСШИРЯЕМЫХ МАСОК

О.Г. ШЕВЧУК, В.Ю. ЦВЕТКОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 22 ноября 2016

Предложен метод поиска изломов контуров на основе расширяемых бинарных масок. Проведено сравнение разработанного метода по критериям быстродействия и стабильности локализации изломов (углов) в сравнении с методом Харриса при изменении яркости, контраста и повороте изображения. Показано, что метод превосходит метод Харриса по быстродействию и почти не уступает в качестве обработки изображений.

Ключевые слова: точки излома, детектор углов, масочный анализ, метод Харриса.

Введение

В настоящее время в медицине все чаще используются различные методы и алгоритмы обработки изображений для решения задач поиска аномалий на медицинских изображениях, классификации рентгеновских снимков, технического обеспечения анализов и др. Перспективным направлением является выделение и анализ формы контуров медицинских снимков (например, при планировании операций). Важнейшими характеристиками контура является количество концевых точек и плавность его формы. Плавность может определяться числом изломов (углов). Изломом контура является точка резкого изменения его направления. Методы и алгоритмы поиска изломов контуров в литературе часто называются детекторами углов. Существует ряд методов поиска углов на изображении: Харриса [1], Shi-Tomasi [2], FAST [3] и др. Детекторы углов чаще всего работают с яркостной составляющей значения пиксела. На вход такого детектора подается черно-белое изображение, 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 точка излома, но не всегда точно определяют ее координаты (т.е. точка излома в результате работы данных алгоритмов может находиться вне линии). Поэтому после применения таких детекторов необходимо уточнять местоположение каждого излома, например, с помощью маски. Цель работы – разработка метода поиска точных положений точек излома контура на основе масок.

Метод поиска изломов контуров на основе расширяемых масок

Предлагается метод поиска изломов контуров на основе расширяемых масок (*Detection Of Angle On The Image By Mask – DAIM*). Сущность метода заключается в исключении прямых контурных линий с помощью форм-фактора [4], последовательном применении бинарной маски 3×3 пиксела к каждому пикселу контура, кроме концевых точек, и присоединении к маске единичных элементов (наращивании) в окрестности пиксела, для которого невозможно определить наличие излома с помощью маски 3×3 пиксела. В качестве исходных данных метод использует изображение $I = \|i(y, x)\|_{(y=0..Y-1, x=0..X-1)}$, где $i(y, x) = 0..255$ – яркостное значение пиксела на изображении, Y, X – размеры изображения по вертикали и горизонтали, а также бинарные маски $M_j = \|m_j(y, x)\|_{(y=0..2, x=0..2)}$, элементы которых определяются с помощью выражений

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

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

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

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

где $j = \overline{1, 16}$ – порядковый номер матрицы.

Алгоритм поиска изломов контуров на основе наращиваемых масок состоит из следующих шагов.

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 Сэнну [5], где $i_B(y, x) = 1$ для пиксела, принадлежащего контуру, $i_B(y, x) = 0$ для фонового пиксела.

2. Сегментация контуров. Сегментация осуществляется методом выращивания областей (Region Growing – RG) [6]. Каждому контурному пикселу $i_B(y, x) = 1$ 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 $X(n) = \|x(n, l)\|_{(l=0..L-1)}$, $Y(n) = \|y(n, l)\|_{(l=0..L-1)}$, $k(n)$ – количество концевых точек для n -го контура, N – количество найденных контуров, L – количество пикселей в n -м контуре.

3. Нормализация выделенных контуров по толщине. Нормализация контуров осуществляется с помощью метода нормализации контуров по толщине [7, 8]. В процессе нормализации из матриц координат контуров $X(n), Y(n)$ удаляются пиксели, которые

визуально и физически делают контур толще. В результате формируются контуры $s(n)$ толщиной в один пиксел.

4. Исключение прямых контурных линий. Сперва производится анализ концевых точек контуров $k(n)$. Если $k(n)=2$ – принимается решение, что контур $s(n)$ является линией и осуществляется расчет форм-фактора f [4] для проверки наличия кривизны контура $s(n)$. Если $f = [0.8, 1.2]$ – принимается решение, что контур $s(n)$ является прямой или близкой к прямой (плавной) линией, следовательно, не имеет изломов. Поэтому данный контур удаляется из матрицы S .

5. Поиск точки излома контура $s(n)$ осуществляется по значению свертки $C(j, n, y, x)$ бинарной маски M_j с окрестностью обрабатываемого l -го пиксела с координатами $y(n, l), x(n, l)$ матриц с помощью выражения $C(j, n, y, x) = \sum_{y'=-1}^1 \sum_{x'=-1}^1 m_j(y', x') \times p(y + y', x + x')$, где $j = \overline{1, 16}$ – порядковый номер бинарной матрицы, $p(y, x)$ – значение пиксела.

Если значение свертки $C(j, n, y, x) = 3$ при $j = \overline{1, 8}$, то обнаружен излом контура, соответствующий j -й бинарной маске и осуществляется переход на пункт 5.2. Если значение свертки $C(j, n, y, x) = 3$ при $j = \overline{9, 16}$, то обнаружена неоднозначность наличия излома и осуществляется переход на пункт 5.1. Если значение свертки $C(j, n, y, x) < 3$ при $j = \overline{1, 16}$, то пиксель не является точкой излома и осуществляется выбор следующего пиксела контура $s(n)$.

5.1 Расширение маски (устранение неоднозначности локализации излома). Для контурного пиксела с координатами $y(n, l), x(n, l)$, значение свертки которых $C(j, n, y, x) = 3$ при $j = \overline{9, 16}$, осуществляется расширения бинарной маски путем присоединения единичных элементов в окрестности обрабатываемого пиксела, как показано на рис. 1, для устранения неоднозначности локализации излома. Если окрестность l -го пиксела с координатами $y(n, l), x(n, l)$ соответствует расширенной матрице (проверяется присутствие минимум одной контурной точки с каждой стороны в области, указанной серым цветом на рис. 1), то обнаружен излом контура и осуществляется переход на пункт 5.2. В противном случае, принимается решение, что точка не является изломом и осуществляется выбор следующего пиксела контура $s(n)$.

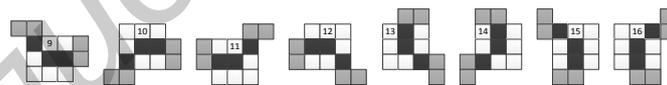


Рис. 1. Базовые и расширенные бинарные маски поиска точки излома контура

5.2 Формирование результирующих матриц Y_A, X_A координат точек изломов контуров. Координаты пиксела $y(n, l), x(n, l)$, определенные как точка излома, заносятся в матрицы Y_A, X_A соответственно.

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

Оценка эффективности метода поиска на основе расширяющихся масок

Предложенный метод реализован на языке программирования C++ с использованием библиотеки OpenCV. Для сравнительной оценки метода реализован известный метод поиска углов – метод Харриса [1]. 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. Оценка эффективности методов произведена по критериям быстродействия и

стабильности локализации изломов при изменении яркости, контраста и повороте изображения. Тестовые полутоновые изображения разделены на 5 классов по характеру распределения значений гистограммы яркости. Для тестирования взяты по одному изображению из каждого класса. Гистограммы тестовых изображений приведены на рис. 2.

Для количественной оценки стабильности S произведено сопоставление числа обнаруженных изломов после изменения яркости, контраста и поворота изображения с числом изломов, найденных на исходном тестовом изображении. Результаты оценки стабильности приведены на рис. 3 (1 – метод DAIM, 2 – метод Харриса).

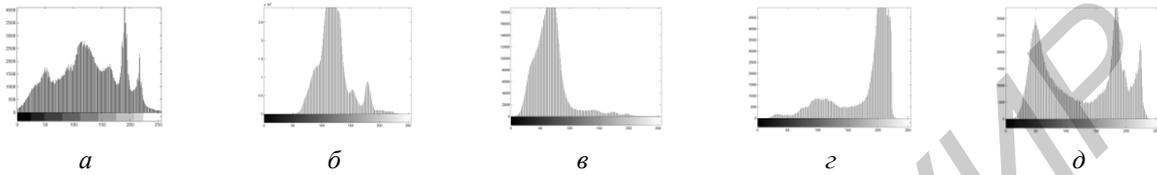


Рис. 2. Гистограммы тестовых изображений различных классов: a – 1, $б$ – 2, $в$ – 3, $г$ – 4, $д$ – 5

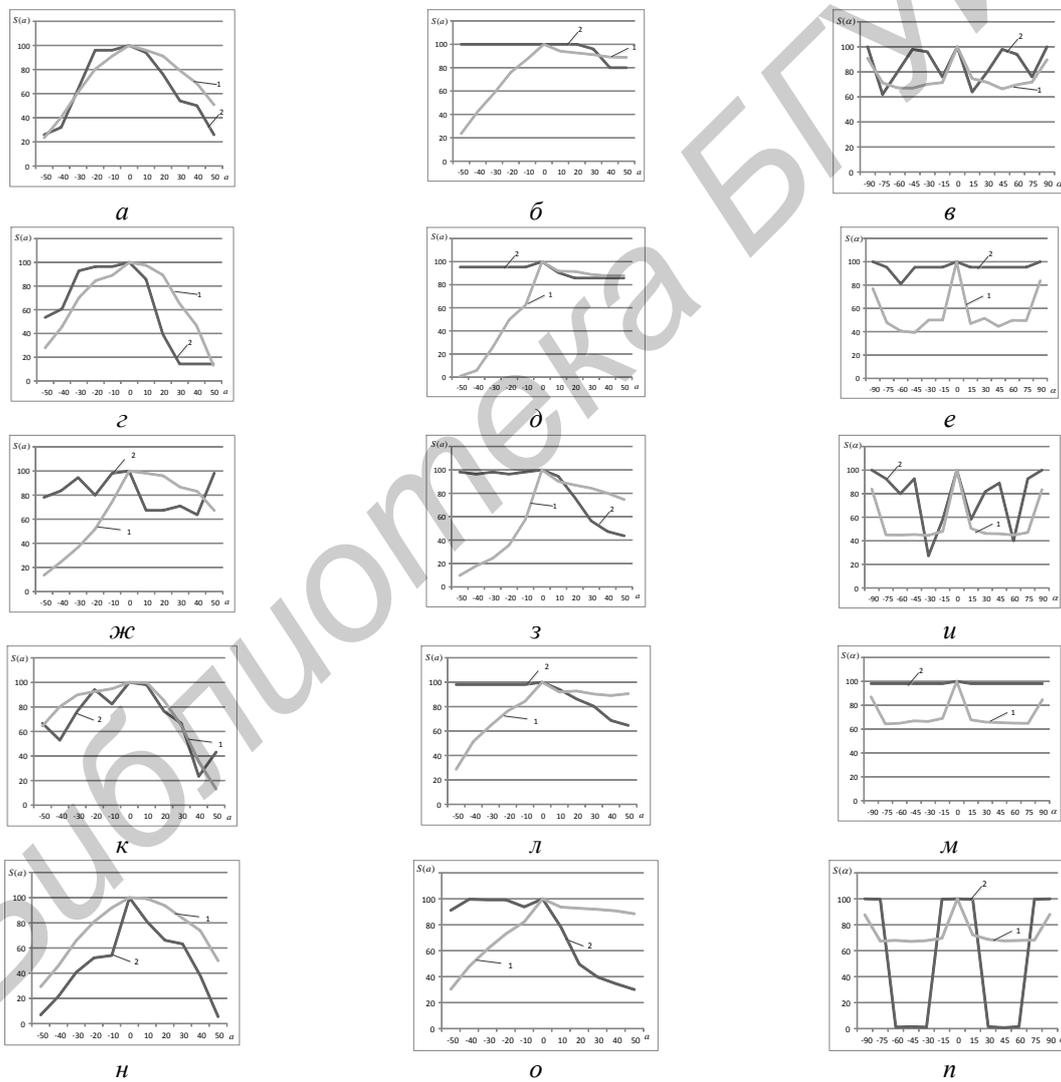


Рис. 3. Графики оценки стабильности S методов поиска изломов для различных классов и параметров изменения изображения: a – класс 1, изменение яркости; $б$ – класс 1, изменение контраста; $в$ – класс 1, поворот; $г$ – класс 2, изменение яркости; $д$ – класс 2, изменение контраста; $е$ – класс 2, поворот; $ж$ – класс 3, изменение яркости; $з$ – класс 3, изменение контраста; $и$ – класс 3, поворот; $к$ – класс 4, изменение яркости; $л$ – класс 4, изменение контраста; $м$ – класс 4, поворот; $н$ – класс 5, изменение яркости; $о$ – класс 5, изменение контраста; $п$ – класс 5, поворот

Из рис. 3 следует, что разработанный метод стабильнее в 1,3 раза метода Харриса при изменении яркости для 5 класса изображений (рис. 3, *н*), от 1,1 до 3 раз при повороте изображений 1 (рис. 3, *в*), 3 (рис. 3, *и*) и 5 (рис. 3, *п*) классов. Показано, что представленный метод уступает в стабильности до 6,9 раз по сравнению с методом Харриса при изменении контраста для 1–4 классов изображений и до 3,1 и 18,2 раза при повороте 2 и 4 классов изображений, однако выигрывает при увеличении контраста от +10 до +50 до 2,9 раза.

Среднее время поиска изломов контуров с помощью рассматриваемых методов для изображений различных классов приведено в таблице.

Среднее время работы исследуемых методов

Название метода	Время работы, с				
	Изображение 1	Изображение 2	Изображение 3	Изображение 4	Изображение 5
DAIM	1,3	1,2	1,3	0,5	0,6
Метод Харриса	3,3	16	9,8	2,4	2,4

Из таблицы следует, что предложенный метод выигрывает в быстродействии по сравнению с методом Харриса в 2,5–13 раз.

Заключение

Разработан метод поиска изломов контура на основе расширяемых масок. Показано, что разработанный метод превосходит метод Харриса до 13 раз по быстродействию и до 3 раз по стабильности локализации изломов при увеличении контраста. К недостаткам предложенного метода по сравнению с методом Харриса следует отнести уменьшение стабильности локализации изломов до 7 раз при изменении контраста изображения классов 14 и до 18 раз при повороте изображений классов 2 и 4.

DETECTION OF FRACTURE A CONTOURS ON THE IMAGE USING EXPANDING MASKS

O.G. SHEVCHUK, V.Yu. TSVIATKOU

Abstract

The method of detection of fracture a contours based on extensible binary masks is proposed. A comparison of the method developed for performance and stability criteria for localizing the breakpoints (corners) in comparison with the method of Harris when changing the brightness, contrast, and image rotation is held. It is shown that the method is superior to the method of Harris on speed and almost equal in quality of image processing.

Keywords: fracture point, angle detection, mask analysis, Harris method.

Список литературы

1. *Harris, C., Stephens M.* // Proceedings 4th Alvey Vision Conference. Alvey, UK, 31 August – 2 September 1988. P. 147–151.
2. *Shi J., Tomasi C.* // Proceedings 9th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Seattle, Washington, USA, June 21 – 23 1994. P. 593–600.
3. *Rosten E., Drummond T.* // Proceedings 9th Euproean Conference on Computer Vision. Graz, Austria, May 7–13 2006. P. 430–443.
4. *Бородина О.Г., Цветков В.Ю.* // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 1. С. 41–45.
5. *Canny J. A.* // Ieee Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence. 1986, Vol. 8, P. 679–698.
6. *F.Y. Shih, S. Cheng* // Image and Vision Computing. Newark. 2005. № 23. P. 877–886.
7. *Шевчук О.Г., Цветков В.Ю.* // Информатика. 2016. № 51. С. 14–24
8. *Шевчук О.Г., Кириллюк Д.И., Макейчик Е.Г. и др.* // Докл. БГУИР. 2015. № 7(93). С. 51–57.