

УДК 621.391

ВСТРЕЧНОЕ ВОЛНОВОЕ ВЫРАЩИВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ ЛОКАЛЬНЫХ ЭКСТРЕМУМОВ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.Т. НГУЕН, В.Ю. ЦВЕТКОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 11 марта 2019

Аннотация. Предложен алгоритм сегментации полутоновых изображений на основе встречного волнового выращивания областей локальных экстремумов (минимумов и максимумов). В отличие от известных алгоритмов сегментации предложенный алгоритм позволяет разделять области с плавными перепадами яркости, адаптироваться к ограниченному времени сегментации и контролировать количество сегментов.

Ключевые слова: локальный экстремум, сегментация, волновое выращивание областей.

Введение

Сегментация изображений часто используется в обработке видеoinформации. В некоторых случаях время сегментации может быть ограничено, либо необходимо контролировать количество сегментов изображения. Сегментация на основе квантования по гистограмме не обеспечивает точное разделение областей из-за присвоения одинаковых номеров сегментам с одинаковой яркостью. Кроме того, известные методы сегментации, основанные на формировании областей с использованием водораздела [1–4], квантовании по гистограмме [5], разделении и слиянии областей с использованием квадрата-дерева [6–8], выращивании областей [9–12], не эффективны для разделения областей с плавными перепадами яркости. Все рассмотренные методы не обеспечивают адаптацию к ограничениям на время сегментации и не позволяют контролировать количество сегментов. В этой связи актуальна задача разработки метода сегментации изображений, учитывающего перечисленные недостатки.

Целью работы являлось создание метода сегментации изображений, позволяющего разделять области с плавными перепадами яркости, адаптироваться к ограничениям на время сегментации и контролировать количество сегментов.

Описание алгоритма волнового выращивания областей на основе поиска экстремумов

Предлагается алгоритм сегментации полутоновых изображений на основе встречного волнового выращивания областей локальных экстремумов (минимумов и максимумов). Сущность алгоритма состоит в выделении на изображении локальных экстремумов, постепенном присоединении к ним новых элементов с учетом их местоположения вокруг экстремумов и значения порога, изменяемого от значения экстремума в противоположном направлении. Процесс волнового выращивания продолжается до тех пор, пока все области не будут выделены. Отличие предложенного алгоритма от известного алгоритма выращивания областей заключается во встречном квазипараллельном увеличении размеров выделенных областей вокруг максимумов и минимумов, что позволяет повысить точность сегментации изображений с плавными перепадами яркости. Предложенный алгоритм отличается от алгоритма волнового выращивания областей [13, 14] и регрессивного волнового выращивания областей [15, 16] выбором начальных точек роста областей в результате поиска локальных экстремумов изображения, и увеличением областей за счет постепенного присоединения к ним соседних элементов с учетом значений порогов, изменяемых постепенно на интервале между смежными локальными экстремумами противоположных знаков. Это позволяет повысить

точность и устойчивость сегментации, а также контролировать количество сегментов изображений с плавными перепадами яркости.

Исходными данными для алгоритма являются матрица изображения $I(Y, X)$, матрицы блокировки максимумов $BH(Y, X)$ и минимумов $BL(Y, X)$, сканирующая маска для поиска экстремумов (рис. 1).

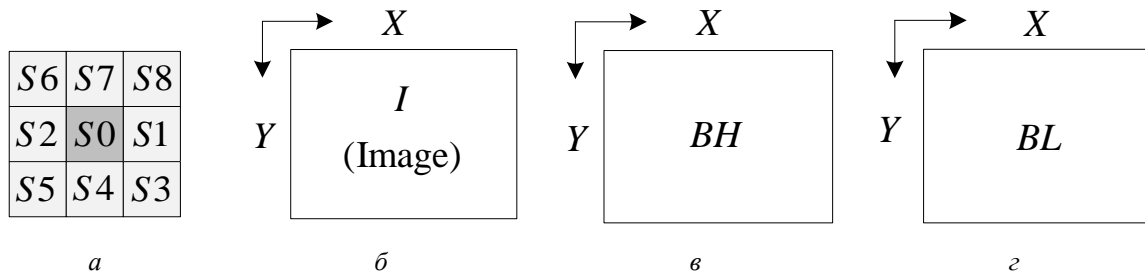


Рис. 1. Сканирующая маска и матрицы обработки: а – сканирующая маска; б – матрица изображения; в – матрица блокировки максимумов; з – матрица блокировки минимумов

Алгоритм сегментации изображений на основе встречного волнового выращивания областей локальных экстремумов состоит из следующих шагов.

1. Поиск экстремумов полутоновых изображений.

1.1. Если $BH(y, x) \leftarrow 0$ – пропуск $S0(y, x)$, пропуск поиска максимума. Если $BL(y, x) \leftarrow 0$ – пропуск $S0(y, x)$, пропуск поиска минимума.

1.2. Если $BH(y, x) \leftarrow 1$ – проверка $S0$ на максимум относительно $S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8$.

Если $S0 > Si, i = \overline{1, 8}$, то $S0$ – максимум (однопиксельный), тогда $BL(y, x) \leftarrow 0$ и

$$\begin{cases} BH(S1) \leftarrow 0, \\ BH(S3) \leftarrow 0, \\ BH(S4) \leftarrow 0, \\ BH(S5) \leftarrow 0. \end{cases} \quad (1)$$

Иначе, если $(S0 = S1) \vee (S0 = S3) \vee (S0 = S4) \vee (S0 = S5)$, то осуществляется проверка области на максимум с использованием выращивания [9–12] и уточнения областей.

Иначе, $BH(y, x) \leftarrow 0$ и

$$\begin{cases} BL(S1) \leftarrow 0, \\ BL(S3) \leftarrow 0, \\ BL(S4) \leftarrow 0, \\ BL(S5) \leftarrow 0. \end{cases} \quad (2)$$

1.3. Иначе, если $BL(y, x) \leftarrow 1$ – проверка $S0$ на минимум относительно $S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8$.

Если $S0 < Si, i = \overline{1, 8}$, то $S0$ – минимум (однопиксельный), тогда $BH(y, x) \leftarrow 0$ и

$$\begin{cases} BL(S1) \leftarrow 0, \\ BL(S3) \leftarrow 0, \\ BL(S4) \leftarrow 0, \\ BL(S5) \leftarrow 0. \end{cases} \quad (3)$$

Иначе, если $(S0 = S1) \vee (S0 = S3) \vee (S0 = S4) \vee (S0 = S5)$, то осуществляется проверка области на минимум с использованием выраживания [9–12] и уточнения областей.

Иначе, $BL(y, x) \leftarrow 0$ и

$$\begin{cases} BH(S1) \leftarrow 0, \\ BH(S3) \leftarrow 0, \\ BH(S4) \leftarrow 0, \\ BH(S5) \leftarrow 0. \end{cases} \quad (4)$$

В результате выполнения пункта 1 формируется матрица $EM = \|em(y, x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ экстремумов, значение каждого элемента которой указывает на номер экстремума или его отсутствие. Эти данные используются для встречного волнового выраживания областей.

2. Сегментация на основе встречного волнового выраживания областей.

2.1. Формирование матрицы $MT = \|mt(y, x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ поиска 4-связных соседей, элементы которой определяются с помощью выражения $mt(y, x) \leftarrow 0$ при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$.

2.2. Инициализация стеков $SY = \|sy(k)\|_{(k=0, \overline{K-1})}$ и $SX = \|sx(k)\|_{(k=0, \overline{K-1})}$ для временного хранения координат соседей, элементы которых определяются с помощью выражения $sy(k) \leftarrow 0$ и $sx(k) \leftarrow 0$. Указатель стеков устанавливается в 0: $k \leftarrow 0$.

Указатель флага $Flag$ для остановки цикла сегментации устанавливается в единицу: $Flag \leftarrow 1$.

2.3. Начало цикла сегментации.

2.3.1. В окрестности экстремумов осуществляется поиск 4-связных соседей, координаты которых заносятся в стеки SY и SX . Присвоение соответственных номеров элементам матрицы MT описывается с помощью выражения

$$\begin{aligned} \exists(Flag = 1) &\Rightarrow Flag \leftarrow 0, K \leftarrow 0, \exists(EM(y, x) \neq 0) \Rightarrow \\ &\Rightarrow \exists(EM(y + j, x + i) = 0, MT(y + j, x + i) = 0, j = \overline{-1, 1}, i = \overline{-1, 1}) \Rightarrow \\ &\Rightarrow \begin{cases} MT(y + j, x + i) = EM(y, x) \\ K \leftarrow K + 1, SY(K) \leftarrow y + j, SX(K) \leftarrow x + i \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$.

2.3.2. Осуществляется присоединение полученных соседей к областям экстремумов с помощью выражения

$$\exists(K > 0) \Rightarrow \begin{cases} Flag \leftarrow 1 \\ EM[SY(k), SX(k)] = MT[SY(k), SX(k)] \\ k = \overline{1, K} \end{cases} \quad (6)$$

2.4. Окончание цикла сегментации. Алгоритм выполняется до тех пор, пока не будет найден последний сосед. Если указатель флага $Flag$ после пункта 2.3.2 отличается от нуля, то осуществляется переход в пункт 2.3.1. Иначе, осуществляется выход из алгоритма.

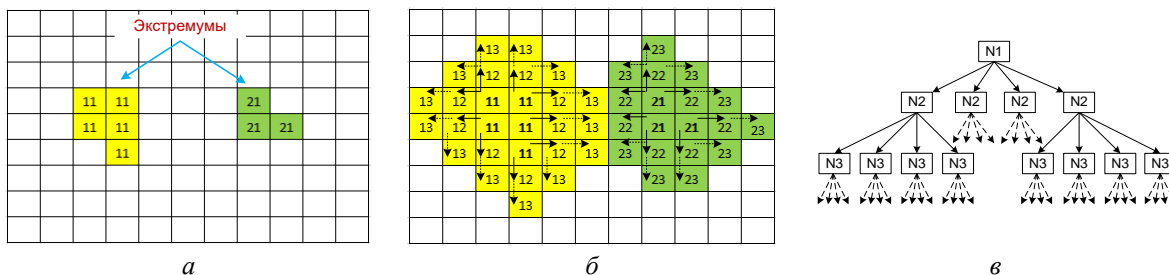


Рис. 2. Работа алгоритма сегментации: *а* – экстремумы изображения; *б* – добавление пикселей к экстремумам после трех итераций; *в* – дерево выращивания 4-связных пикселей *N*-го экстремума

В результате выполнения данного алгоритма формируется матрица сегментации, значение каждого элемента которой указывает на номер сегмента, которому принадлежит пиксель сегментируемого изображения с соответствующими координатами. С каждым циклом размеры сегментов постепенно увеличиваются, в чем проявляется прогрессивный характер сегментации. Число полученных сегментов совпадает с числом локальных экстремумов изображения, что позволяет контролировать это число, а также местоположение и размеры сегментов.

Блок-схема предлагаемого алгоритма представлена на рис. 3.

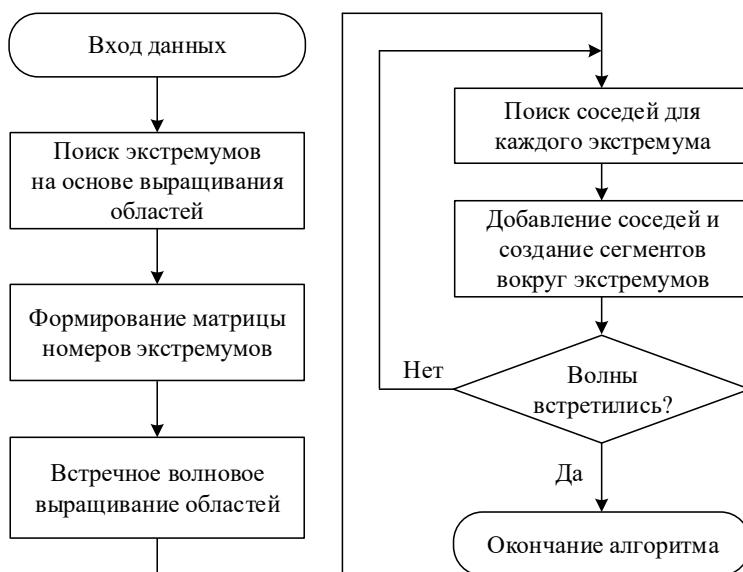


Рис. 3. Блок-схема алгоритма встречного волнового выращивания областей локальных экстремумов

Оценка эффективности алгоритмов сегментации

Выполнена оценка эффективности предложенного алгоритма встречного волнового выращивания областей локальных экстремумов и известного алгоритма выращивания областей. В качестве показателей эффективности алгоритмов использованы время сегментации, возможность выделения объектов, параметризации и компактного описания сегментов.

В табл. 1 приведена визуальная оценка возможности выделения объектов с помощью рассматриваемых алгоритмов сегментации в зависимости от видов экстремумов. Число экстремальных областей экспериментально установлено для тестовых полутонных изображений, полученных для алгоритма выращивания областей и предложенного алгоритма.

Таблица 2. Время сегментации тестовых изображений, с

Алгоритмы сегментации	Тестовые изображения			
	Lena 128×128	Barbara 256×256	France 512×512	Man 1024×1024
Предложенный	0,054706	0,240360	0,657972	4,973419
Выращивания областей	0,137427	0,541161	2,161375	8,739986

Из табл. 2 следует, что предложенный алгоритм выигрывает до 2,5 раз в скорости сегментации по сравнению с алгоритмом выращивания областей при размере изображения 128×128 пикселей, до 2,3 раз при размере изображений 256×256, до 3,3 раз при размере изображений 512×512 и до 1,8 раз при размере изображений 1024×1024 пикселей.

Заключение

Для сегментации изображений предложен алгоритм на основе встречного волнового выращивания областей локальных экстремумов. Сущность алгоритма заключается во встречном квазипараллельном выращивании областей вокруг локальных минимумов и максимумов, выбранных в качестве начальных точек роста. Это обеспечивает автоматическое разделение областей с плавным перепадом яркости, которые известные алгоритмы сегментируют с ошибками. Показано, что предложенный алгоритм позволяет четко выделять сегменты и контролировать их количество по сравнению с алгоритмом выращивания областей. Установлено, что предложенный алгоритм выигрывает в скорости сегментации до 2,5, 2,3, 3,3 и 1,8 раз по сравнению с алгоритмом выращивания областей при размерах изображений 128×128, 256×256, 512×512 и 1024×1024 пикселей соответственно.

COUNTER-WAVE GROWING OF LOCAL EXTREME REGIONS OF GRAYSCALE IMAGES

NGUYEN ANH TUAN, V.Yu. TSVIATKOU

Abstract. An algorithm for segmentation of halftone images based on counter-wave growth of local extremum regions (minima and maxima) is proposed. In contrast to the known segmentation algorithms, the proposed algorithm allows to separate regions with smooth brightness variations, adapt to a limited segmentation time, and control the number of segments.

Keywords: local extrema, segmentation, wave region growing.

Список литературы

- Lalitha M., Kiruthiga M., Loganathan C. // J. of Science and Research (IJSR). 2013. Vol. 2. № 2. P. 348–358.
- Gauch J.M. // IEEE transactions on image processing. 1999. Vol. 8. № 1. P. 69–79.
- Khiyal M.S.H., Khan A., Bibi A. // Informing Science and Information Technology. 2009. Vol. 6. P. 876–886.
- Arindrajit S., Arunava D., Prasad S. // International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT). 2015. Vol. 6. № 3. P. 2295–2297.
- Chang J.H., Fan K.Ch., Chang Y.L. // Image and Vision Computing. 2002. Vol. 20. P. 203–216.
- Muhsin Z.F., [et. al.] // The Imaging Science Journal. 2014. Vol. 62. № 1. P. 56–62.
- Xiaolin Wu. // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 1993. Vol. 15. № 8. P. 808–815.
- Dass R., Priyanka, Devi S. // Int. J. of Electronics & Communication Technology (IJECT). 2012. Vol. 3. Iss. 1. P. 66–70.
- Singh K.K., Singh A. // Int. J. of Computer Science Issues. 2010. Vol. 7. № 5. P. 414–417.
- Shih F.Y., Cheng S. // Image and Vision Computing. 2005. № 23. P. 877–886.
- Sharma R., Sharma R. // Inter. J. of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. 2014. Vol. 2. Iss. 9. P. 5686–5692.
- Mohd Saad N., [et. al.] // Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. Hong Kong, 14–16 March 2012. P. 674–677.
- Альмияхи О.М., Конопелько В.К. // Матер. междунар. науч.-техн. семинара «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных». Минск, БГУИР. 2015, С. 61–67.

14. Альмияхи О.М., Цветков В.Ю., Конопелько В.К. // Докл. БГУИР. 2016. № 3 (97). С. 24–30.
15. Рабцевич В.В., Цветков В.Ю., Ловецкий М. Ю. // Сб. матер. междунар. научн.-техн. конф. «Мониторинг техногенных и природных объектов» Минск, БГУИР, 2017. С. 77–84.
16. Рабцевич В.В., Нгуен А.Т., Цветков В.Ю. // Collection of materials of the fourth international scientific and practical conference «BIG DATA Advanced Analytics». Minsk, BSUIR, 2018. P. 373–377.