

С.С. САДЫКОВ, Ю.А. БУЛАНОВА,  
Е.А. ЗАХАРОВА, В.С. ЯШКОВ

**Исследование маркерного  
водораздела для выделения  
области рака молочной железы**

УДК 004.932

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
г.Муром  
НУЗ «Отделенческая  
больница на станции  
Муром», ОАО «РЖД»,  
г. Муром

*В статье анализируется алгоритм текстурной сегментации – маркерный водораздел для его применимости в алгоритме выделения области новообразования типа «Рак молочной железы», выявляются особенности данного алгоритма.*

*Исследуется возможность и особенности применения операций эрозии и дилатации для выделения областей интереса.*

Неоспоримым фактом является утверждение: рак молочной железы (далее по тексту РМЖ) – самое серьезное и широко распространенное онкологическое заболевание у женщин, по статистике Ассоциации онкологов России каждая 5 женщина страдает от РМЖ, от которого умирает в среднем 16000 человек ежегодно [1, 2].

Использование информационных технологий представляет возможность цифровой обработки аналоговых маммографических снимков с целью выявления областей, содержащих рак молочной железы.

Целью настоящей статьи является анализ и исследование алгоритма текстурной сегментации – маркерного водораздела для его применимости в алгоритме выделения области новообразования типа «Рак молочной железы», выявление особенностей данного алгоритма.

**Основная концепция маркерного водораздела**

Понятие водораздела основано на представлении изображения как трехмерной поверхности, заданной двумя пространственными координатами и уровнем яркости в качестве высоты поверхности

(рельефа). В такой «топографической» интерпретации рассматриваются точки трех видов: (а) точки локального минимума; (б) точки, находящиеся на склоне, т.е. с которых вода скатывается в один и тот же локальный минимум; и (в) точки, находящиеся на гребне или пике, т.е. с которых вода с равной вероятностью скатывается более чем в один такой минимум. Применительно к конкретному локальному минимуму, набор точек, удовлетворяющих условию (б), называется бассейном (или водосбором) этого минимума. Множества точек, удовлетворяющих условию (в), образуют линии гребней на поверхности рельефа и называются линиями водораздела.

Одним из важнейших применений сегментации по водоразделам является выделение на фоне изображения однородных по яркости объектов (в виде пятен). Области, характеризующиеся малыми вариациями яркости, имеют малые значения градиента. Поэтому на практике часто встречается ситуация, когда метод сегментации по водоразделам применяется не к самому изображению, а к градиенту этого изображения. В такой постановке локальные минимумы бассейнов хорошо согласуются с малыми значениями градиента, что обычно соответствует интересующим объектам.

### **Построение перегородок**

Начальные сведения о построении перегородок с помощью дилатации иллюстрирует Рис. 1. На Рис. 1(а) показаны участки двух бассейнов на  $(n-1)$ -ом шаге заполнения, а на Рис. 1(б) те же участки на следующем,  $n$ -ом шаге. Происходит слияние этих двух бассейнов, и, следовательно, должна быть построена перегородка, препятствующая данному событию. Для согласования с системой обозначений, которая будет принята далее, обозначим через  $M_1$  и  $M_2$  множества точек, соответствующие локальным минимумам двух рассматриваемых бассейнов. Через  $S_{n-1}(M_1)$  и  $S_{n-1}(M_2)$  обозначим множества точек, покрытых водой в этих бассейнах на  $(n-1)$ -ом шаге заполнения. Эти два множества показаны черным цветом на Рис. 1(а) [3].

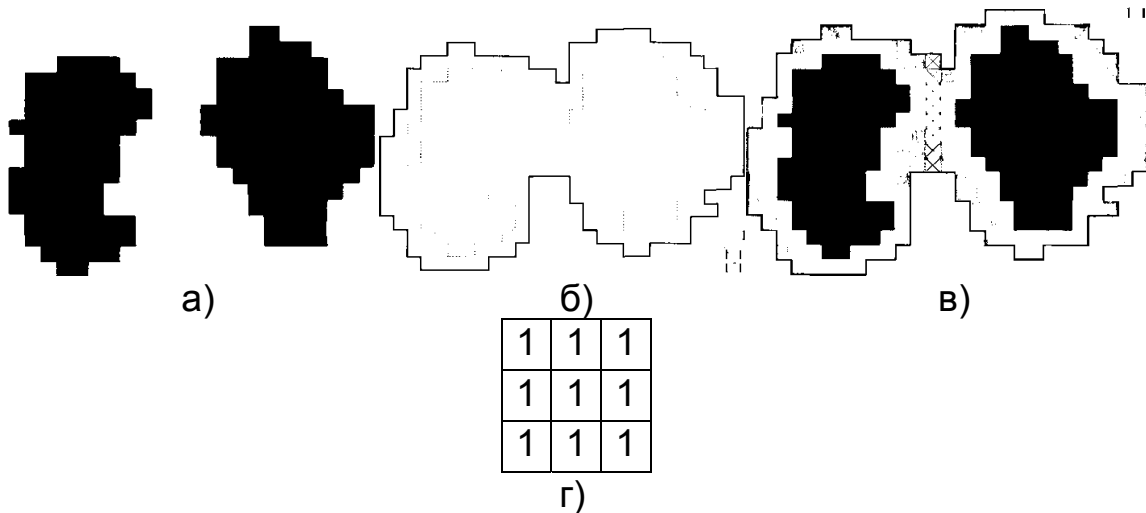


Рис. 1. (а) Два частично заполненных бассейна на  $(n - 1)$ -ом шаге заполнения; (б)  $n$ -ый шаг заполнения, при котором два бассейна сливаются вместе (для наглядности залитая водой область показана белым цветом, а не черным); (в) Результаты дилатации и построения перегородки; (г) Примитив, используемый в операции дилатации

Пусть  $M_1, M_2, \dots, M_R$  — множества точек координатной плоскости, соответствующие локальным минимумам поверхности  $g(x, y)$ ;  $g(x, y)$  обычно является градиентным изображением. Обозначим через  $S(M_i)$  множество точек бассейна, отвечающего локальному минимуму  $M_i$  (напомним, что точки любого бассейна образуют компоненту связности). Обозначения  $\min$  и  $\max$  будем использовать для указания наименьшего и наибольшего значений изображения  $g(x, y)$ . Наконец, запись  $T[n]$  означает множество точек  $(s, t)$ , для которых  $g(s, t) < n$ , т.е.

$$T[n] = \{(s, t) \mid g(s, t) < n\}$$

С геометрической точки зрения,  $T[n]$  есть множество точек, в которых поверхность  $g(x, y)$  лежит ниже плоскости  $g(x, y) = n$ .

При заполнении рельефа водой уровень поднимается в виде целочисленных дискретных приращений от  $n = \min + 1$  до  $n = \max + 1$ . В процессе подъема воды на любом шаге  $n$  алгоритму необходимо знать число точек, лежащих ниже уровня воды. Вообразим, что все точки множества  $T[n]$  (т.е. которые лежат ниже плоскости  $g(x, y) = n$ ) отмечены черным цветом, а все остальные — белым. Тогда при произвольном  $(n$ -ом) шаге подъема уровня воды, рассматриваемая трехмерная поверхность в проекции на плоскость  $XY$  может быть представлена двоичным изображением, в котором черные точки со-

ответствуют точкам исходной функции, лежащим ниже плоскости  $g(x, y) = n$ . Такая интерпретация весьма полезна для понимания последующего изложения.

Пусть  $C_n(M_i)$  обозначает множество точек бассейна с локальным минимумом  $M_i$ , которые оказались залитыми водой на шаге  $n$ . С учетом вышесказанного,  $C_n(M_i)$  можно рассматривать как двоичное изображение, задаваемое соотношением.

$$C_n(M_i) = C(M_i) \cap T[n]$$

Пусть теперь  $C[n]$  — объединение залитых водой частей всех бассейнов на шаге  $n$ :

$$C[n] = \bigcup_{i=1}^R C_n(M_i)$$

Тогда  $C[\max+1]$  есть объединение всех имеющихся бассейнов:

$$C[\max+1] = \bigcup_{i=1}^R C(M_i)$$

Можно показать, что при работе алгоритма никогда не происходит удаления элементов из множеств  $C_n(M_i)$  и  $T[n]$ ; таким образом, при увеличении  $n$  число элементов этих множеств либо возрастает, либо остается неизменным. Следовательно,  $C[n-1]$  является подмножеством  $C[n]$ .  $C[n]$  также является подмножеством  $T[n]$ , а значит,  $C[n-1]$  также есть подмножество  $T[n]$ . Отсюда следует важный результат: каждая компонента связности множества  $C[n-1]$  содержится ровно в одной связной компоненте множества  $T[n]$ .

Алгоритм нахождения линий водораздела начинается с инициализации  $C[\min+1] = T[\min+1]$ . После этого алгоритм выполняется рекуррентно, предполагая на  $n$ -ом шаге множество  $C[n-1]$  уже построенным. Для получения множества  $C[n]$  из множества  $C[n-1]$  применяется следующая процедура. Пусть  $Q[n]$  — множество компонент связности множества  $T[n]$ . Тогда для каждой связной компоненты  $q \in Q[n]$  есть три возможности:

- $q \cap C[n-1]$  — пустое множество;
- $q \cap C[n-1]$  содержит единственную компоненту связности множества  $C[n-1]$ ;
- $q \cap C[n-1]$  содержит более одной компоненты связности множества  $C[n-1]$ .

Способ построения  $C[n]$  по  $C[n-1]$  зависит от того, какое из этих трех условий имеет место.

Условие (а) означает, что встретился новый локальный минимум (начинается наполнение нового бассейна); в этом случае для построения множества  $C[n]$  компонента  $q$  добавляется к  $C[n-1]$ .

Условие (б) имеет место, когда  $q$  лежит внутри бассейна некоторого локального минимума; в этом случае для построения множества  $C[n]$  компонента  $q$  также добавляется к  $C[n-1]$ .

Условие (в) возникает, когда встретились точки гребня, разделяющего два или более бассейна. В этом случае дальнейший подъем воды привел бы к слиянию этих бассейнов, поэтому внутри связанной компоненты  $q$  должна быть построена перегородка (или перегородки, если объединяется более двух бассейнов), не позволяющая бассейнам слиться вместе. Как объяснялось в предыдущем разделе, перегородку толщиной в один пиксель при необходимости можно построить, применяя к множеству  $q \cap C[n-1]$  операцию дилатации по примитиву  $3 \times 3$ , заполненному единицами, и затем ограничивая результат дилатации точками множества  $q$ .

Эффективность описанного алгоритма можно повысить, используя только те значения  $n$ , которые соответствуют уровням яркости, встречающимся в изображении  $g(x, y)$ , эти значения, как и величины  $\min$  и  $\max$ , можно определить по гистограмме изображения  $g(x, y)$  [4].

### **Применение маркерного водораздела к маммограммам**

Непосредственное применение алгоритма сегментации по водоразделам обычно приводит к избыточной сегментации, вызванной шумом и другими локальными неровностями на градиентном изображении. Избыточная сегментация может быть настолько значительной, что сделает результат практически бесполезным. В данном случае это означает огромное число областей, выделенных при сегментации. Практическое решение этой проблемы состоит в том, чтобы ограничить допустимое число областей путем включения в состав процедуры шага предварительной обработки, служащего для привнесения добавочных знаний в процедуру сегментации.

Подход, применяемый для управления избыточной сегментацией, основан на идее маркеров. Маркер представляет собой связную компоненту, принадлежащую изображению. Будем различать внутренние маркеры, относящиеся к интересующим объектам, и внешние маркеры, соответствующие фону. Процедура выбора маркера

обычно состоит из двух главных шагов: (1) предобработка, и (2) выработка критериев, которым должны удовлетворять маркеры.

Пусть внутренний маркер определяется как область, (1) окруженная точками с большей «высотой»; (2) такая, что ее точки образуют компоненту связности; и (3) все точки которой имеют одинаковые значения яркости. Внутренние маркеры, найденные на сглаженном изображении согласно такому определению, показаны в виде светло-серых пятен. Затем к сглаженному изображению применяется вышеописанный алгоритм сегментации по водоразделам, с тем ограничением, что в качестве локальных минимумов рассматриваются только внутренние маркеры.

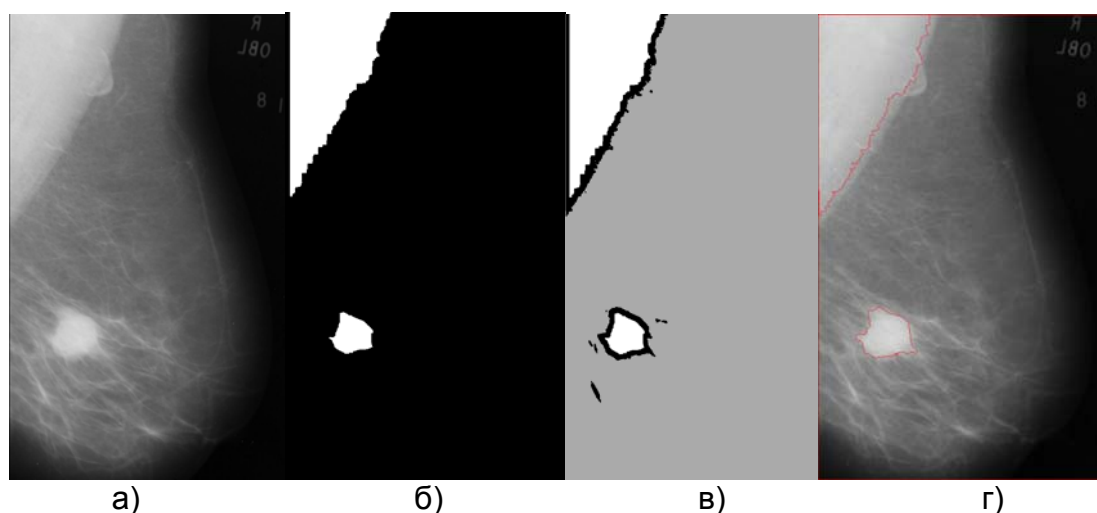


Рис. 2. Результат сегментации и наложение контуров водораздела  
а) Исходная маммограмма, б) маркеры объектов переднего плана, в) текстурная сегментация, г) наложение контуров на исходное изображение



Рис. 3. Результат изоляции контуров

В ходе исследования алгоритма водораздела был обнаружен его основной недостаток: непосредственное применение алгоритма сегментации по водоразделам обычно приводит к избыточной сегментации, вызванной шумом и другими локальными неровностями на градиентном изображении (Рис. 4).

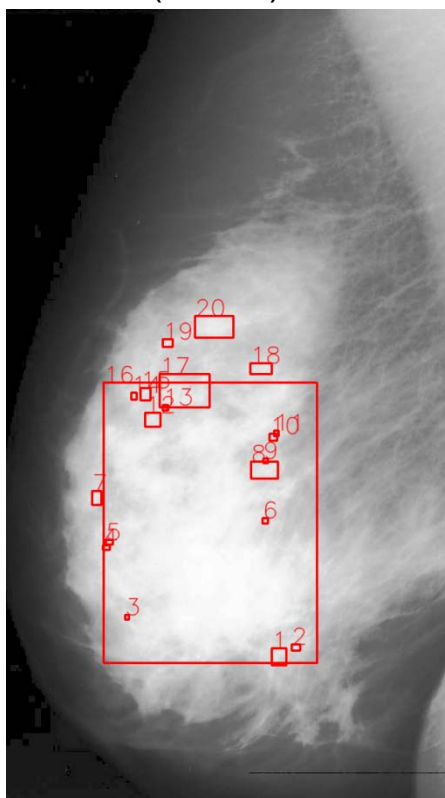


Рис. 4. Пример избыточной сегментации

Для предотвращения излишней сегментации были реализованы два метода: сужение и расширение найденных областей. При применении операции сужения изображение формируется из локальных минимумов — т.е. будут увеличиваться тёмные области, а при расширении изображение формируется из локальных максимумов — т.е. будут увеличиваться светлые области [4].

Количество итераций для каждого из методов устанавливается в зависимости от базового результата сегментирования и устанавливается вручную.

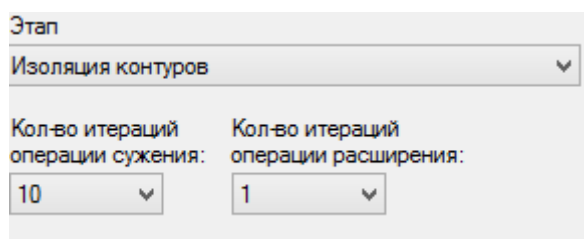


Рис. 5. Применение операции сужения

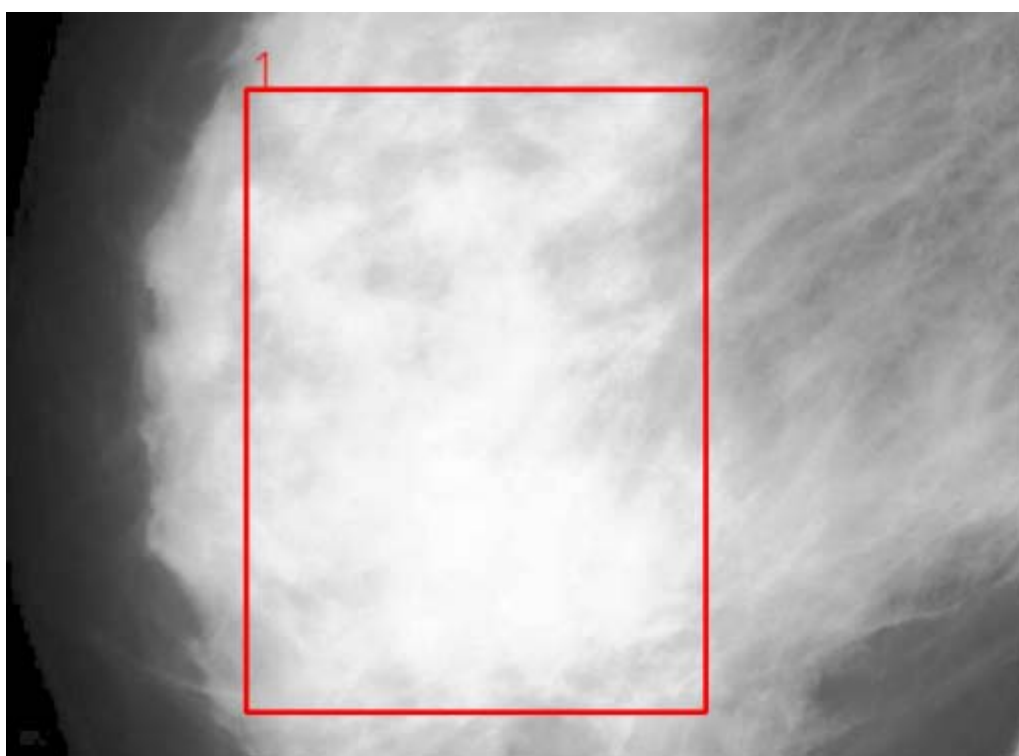


Рис. 6. Результат операции сужения. Мелкие объекты были удалены.  
Количество итераций – 10



## Заключение

Анализируя все вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. было проанализировано 40 маммограмм, которые содержали области рака молочной железы;
2. применение маркерного водораздела для текстурной сегментации маммографических снимков дало требуемый результат на 70% маммограммах;
3. применение данного вида текстурной сегментации к снимкам с мастопатией дает избыточную сегментацию на 30% снимках, однако применение операций дилатации и эрозии позволяет избежать данного рода проблем;
4. использование данного алгоритма текстурной сегментации позволяет с достаточной точностью разграничить области на маммографическом снимке (фон, грудная мышца, новообразования типа РМЖ, вся область молочной железы). В дальнейшем полученные результаты можно применить для расчета текстурных признаков для формирования вектора-признаков.

## Литература

1. С.С. Садыков, Ю.А. Буланова, Е.А. Захарова Методика выявления рака молочной железы // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2012. № 19. С. 168-178
2. Состояние онкологической помощи населению России в 2011 году. Под ред. В.И. Чиссова, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. – М.: ФГБУ «МНИОИ им. П.А. Герцена» Минздравсоцразвития России, 2012. илл. - 240 с. ISBN 978-5-85502-170-7
3. У.К. Прэнтт Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. Т.1.-2. 792 с.
4. Nguyen et al.: Watersnakes: Energy-Driven Watershed Segmentation, IEEE Transactions on Pattern Analysis And Machine Intelligence, VOL. 25, No. 3, March 2003, pp.330 - 342

БУЛАНОВА Ю.А.  
E-MAIL: [YULIYABULANOVA@YANDEX.RU](mailto:YULIYABULANOVA@YANDEX.RU)

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:  
Д.Т.Н., ПРОФЕССОР САДЫКОВ С.С.

НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ:  
ЗАХАРОВА Е.А.