

Телевизионные системы, передача и обработка изображений

УДК 004.932

МОДИФИКАЦИЯ ПОРОГОВОГО МЕТОДА СЕГМЕНТАЦИИ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Абдулракеб Атеф Рохан Абдулсамиа

аспирант кафедры биомедицинских и электронных средств и технологий
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет

имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: atef_alsanawy@mail.ru.

Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87

Аннотация: В настоящее время методы цифровой обработки изображений находят всё более широкое применение в медицине, так как способствуют повышению эффективности решения различных задач диагностики и лечения. Одним из основных этапов цифровой обработки медицинских изображений является сегментация, качество реализации которой определяет конечный результат решения медицинской задачи. В данной статье предлагается модификация порогового метода, обеспечивающая устранение зависимости результата сегментации от выбора порога. В качестве тестовых изображений выбраны изображения опухоли головного мозга, полученные на основе магнитно-резонансной томографии (МРТ). Для исследования сформированы две базы данных реальных МРТ изображений головного мозга, описанных радиологами. Количественная оценка результатов сегментации проведена с помощью широко применяемых критериев: коэффициент Дайса, индекс Жаккара, чувствительность и специфичность. Сопоставительный анализ результатов исследования показал высокую эффективность разработанного алгоритма автоматизированного выбора порога сегментации опухоли головного мозга по сравнению с типовым пороговым методом и методом наращивания областей.

Ключевые слова: опухоль головного мозга, МРТ изображения, пороговый метод, метод наращивания областей, коэффициент Дайса, индекс Жаккара, чувствительность и специфичность.

Введение

Качество распознавания изображения существенно зависит от выбора метода сегментации, обеспечивающего отделение искомого объекта на изображении от других объектов и от фона.

В данной работе предлагается модификация порогового метода сегментации, часто используемого в задачах обработки изображений. В качестве тестовых рассматривались изображения, полученные с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ), широко применяемой для диагностики патологических изменений в головном мозге, в том числе опухолей головного мозга (ОГМ) [1]. Специфика анализа МРТ-изображения после его получения заключается в том, что радиологи, в основном, вручную осуществляют поиск и распознавание объектов интереса, нахождение

границ и определение размеров опухоли, что является трудоемкой, сложной задачей, требующей высокого профессионализма.

Применение методов цифровой обработки изображений и, в частности, автоматизация процедуры сегментации, способствует повышению эффективности решения этой задачи.

Таким образом, сегментация, как один из наиболее важных этапов обработки изображения, определяет результат анализа изображения в целом, т.к. измерения характеристик объектов изображения и другие этапы его обработки основываются на том, что получено в результате выполнения этапа сегментации. В связи с этим, задача совершенствования методов обработки МРТ изображений и необходимость разработки вспомогательных инструментальных средств анализа, позволяющих повысить точность сегментации (выделения)

Таблица 1. Краткая характеристика исследуемых методов сегментации

Наименование метода	Суть метода	Достоинства	Недостатки
Пороговый	Изображение сегментируется путем разбиения всех пикселей на две группы: группе пикселей с яркостью выше установленного порога присваивается значение 1. А группе пикселей с яркостью ниже этого порога присваивается значение 0.	1.Простота реализации; 2.Большая скорость.	1.Зависимость результатов сегментации от выбранной величины порога; 2.Повышенная чувствительность к шуму и неоднородностям в интенсивности самих опухолей.
Наращивания областей	Группировка пикселей или подобластей в более крупные области осуществляется по заранее заданным критериям. Для этого берется множество точек, играющих роль центров кристаллизации [7]. Затем на них наращиваются области путём присоединения к каждому центру тех пикселей из числа соседей, которые по своим свойствам (яркость или цвет) близки к центру кристаллизации.	1.Очень эффективные при оконтуривании маленьких и простых структур.	1.Высокая чувствительность к шуму, неравномерности освещённости и неоднородности интенсивности самих опухолей; 2.Неустойчивость по отношению к вариациям входных данных.

области патологии путём автоматизации данного процесса является актуальной.

Из множества методов сегментации патологических изменений в головном мозге наиболее часто используемыми методами являются [2-9]:

- пороговый метод, основанный на выделении по порогу однородных по яркости областей на исследуемом изображении;

- метод наращивания областей, суть которого заключается в присоединении ближайших по яркости областей друг к другу.

В таблице 1 приведена краткая характеристика исследуемых методов сегментации: порогового и наращивания областей.

В данной работе на основе проведённых исследований проводится сопоставительный анализ применения предложенного варианта модификации порогового метода сегментации с пороговым методом и методом наращивания областей, краткая характеристика которых приведена в таблице 1.

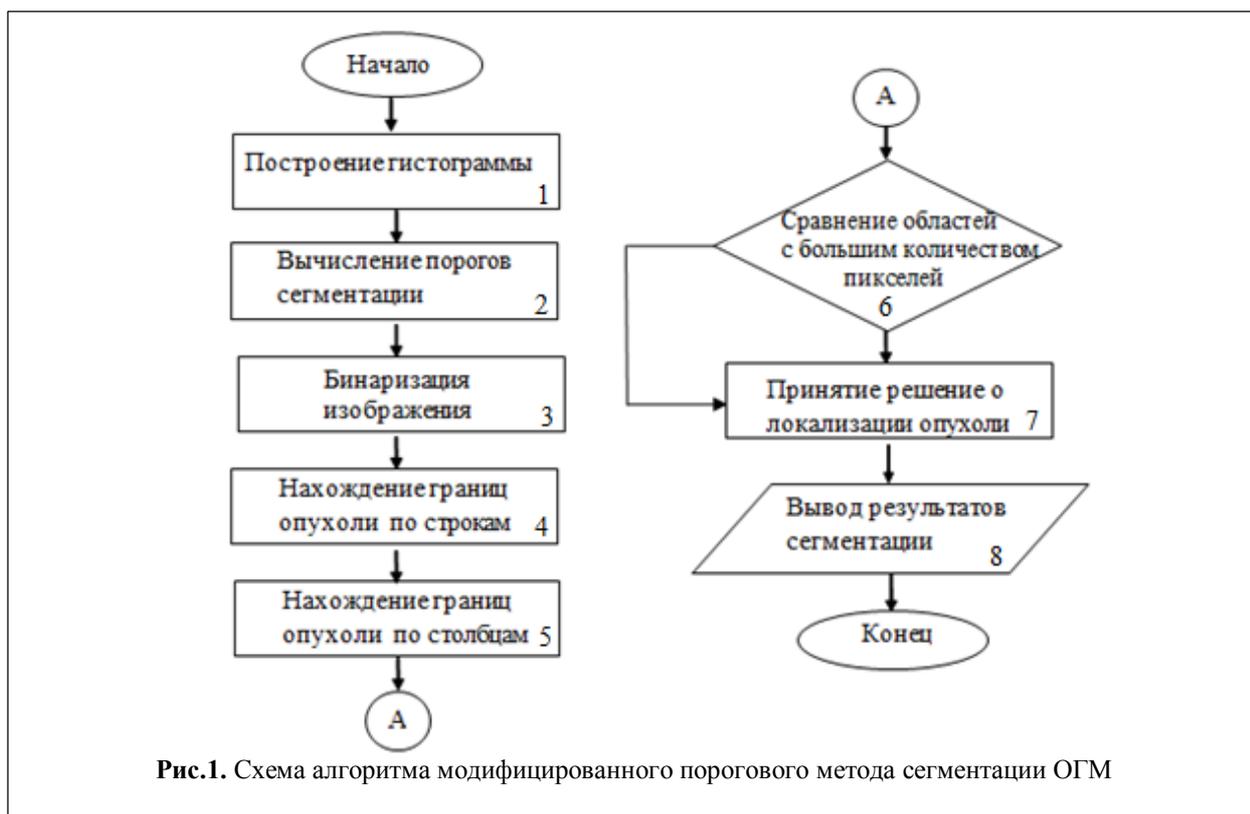
Материалы и методы

Для устранения зависимости результатов сегментации от выбора величины порога, в предложенном методе разработан алгоритм автоматизации определения его величины на основе

гистограммы яркости изображения. При этом автоматически определяется максимальное и минимальное значение порога яркости, в пределах которого предполагается нахождение искомой опухоли. Далее на основе автоматически выбранных порогов яркости осуществляется бинаризация изображения.

Для точной локализации ОГМ и нахождения её границ рассчитывается среднее значение пикселей с максимальной яркостью по строкам и столбцам, так как объект интереса - опухолевая область - характеризуется максимальной яркостью по строкам и столбцам. Структурная схема предлагаемого алгоритма сегментации представлена на рис. 1.

Реализация предложенного алгоритма автоматизации процедуры сегментации разбивается на два этапа. На первом этапе осуществляется автоматический выбор порога сегментации, который заключается в построении гистограммы яркости изображения (рис.1, блок 1) и нахождении на этой гистограмме точек, соответствующих максимальному и минимальному значению интенсивности яркости, в пределах которых находится область опухоли (рис.1, блок 2). Результатом данного этапа является бинарное изображение (рис.1, блок 3), как показано на рис. 2в. Здесь показаны этапы

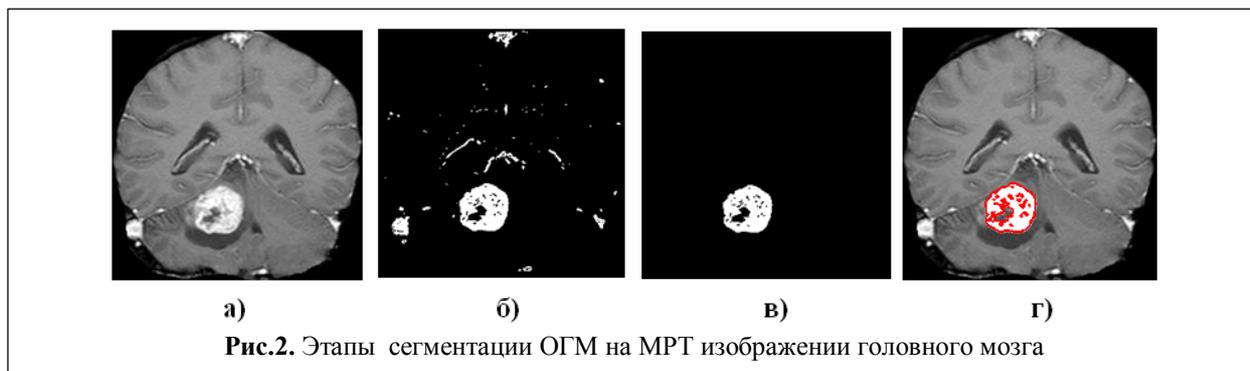


сегментации: исходное МРТ изображение коронального среза (а); бинарное изображение с интенсивностью яркости между верхним и нижним пределом порога яркости (б); результат сегментации ОГМ (в); результат оконтуривания ОГМ на исходном изображении (г).

Второй этап заключается в пространственной локализации опухоли и определении её точных границ в соответствии с разработанным алгоритмом, суть которого заключается в нахождении границ опухоли по горизонтали и вертикали. На основе предположения, что строки и столбцы, где локализована опухоль, имеют наибольшее значение пикселей с мак-

симальной яркостью, рассчитывается среднее значение пикселей с максимальной яркостью в каждой строке (рис. 1, блок 4) и столбце (рис. 1, блок 5) матрицы изображения. В результате устанавливаются границы опухоли по горизонтали и вертикали, после чего всем точкам, находящимся за пределами опухоли, присваивается нулевое значение яркости. Результат сегментации с помощью предложенного модифицированного порогового метода показан на рис.2г.

Специфической особенностью МРТ изображений является ситуация, когда введённый контраст всасывается и сосудами. Это приво-



дит к тому, что сосуд на изображении имеет также более высокую интенсивность яркости по сравнению с другими тканями, как и опухоль. В результате, в процессе сегментации опухолевой области сегментируется и кровеносный сосуд. Для исключения подобной ошибки в предлагаемом алгоритме реализации модифицированного порогового метода введена процедура сравнения всех областей с наибольшим распределением количества пикселей с максимальной интенсивностью яркости и выбирается область с большим количеством пикселей (рис. 1, блок 6), поскольку опухоль, как правило, характеризуется большим количеством пикселей, чем сосуд.

В данной работе также исследуются пороговый метод и метод наращивания областей, и проводится сопоставительный анализ эффективности их применения в задаче сегментации ОГМ.

В качестве критериев оценки эффективности сегментации ОГМ по сравнению с результатами «золотого стандарта» использовались широко применяемые критерии эффективности: индекс Жаккара (Jaccardindex, J_{ind}), коэффициент Дайса (Dicescore, D), чувствитель-

ность (Sens) и специфичность (Spec) [10-12]. В таблице 2 приведена краткая характеристика используемых критериев.

Значения коэффициента Дайса и индекса Жаккара более 0,5 обычно считаются показателем сходства, а менее 0,5 – показателем различия [10].

Результаты экспериментальных исследований

В качестве исходных данных для исследования и тестирования описанных выше методов были использованы две базы данных МРТ изображений аксиального, сагиттального и коронального срезов, полученных с использованием режима T1+Contrast в процессе диагностических исследований пациентов специализированных клинических учреждений (таблица 3).

Для сопоставительного анализа экспериментальных результатов применения модифицированного порогового метода, а также порогового метода и метода наращивания областей используется эталон или «золотой стандарт» [10], представляющий собой решение задачи сегментации опытным врачом (экспертом) с использованием системы MATLAB[12].

Таблица 2. Краткая характеристика критериев оценки эффективности

Критерия	Определение	Аналитическое выражение
J_{ind}	Отношение числа совпадающих пикселей к общему количеству совпадающих и несовпадающих пикселей [10].	$J_{ind} = A(G \cap R) / A(G \cup R)$, где G –золотой стандарт, R- результат метода сегментации, A(.) операция подсчета количества.
D	Отношение числа совпадающих пикселей, умноженной на два, на сумму результата используемого метода сегментации и "золотой стандарт".	$D = 2A(G \cap R) / A(G) + A(R)$, где G –золотой стандарт, R- результат метода сегментации, A(.) операция подсчета количества.
Sens	Доля (в процентах) пикселей опухолевой ткани, которые правильно (истинно) сегментировались как опухоль [11].	$Sens = ИП / (ИП + ЛО)$, где ИП - истинно-положительные пиксели, которые правильно сегментировались как опухоль; ЛО - ложно-отрицательные пиксели, которые неправильно сегментировались как не опухоль.
Spec	Доля (в процентах) пикселей нормальных тканей, которые правильно (истинно) сегментировались как нормальные (неопухолевые) [11].	$Spec = ИО / (ИО + ЛП)$, где ИО - истинно-отрицательные пиксели, которые правильно сегментировались как не опухоль; ЛП - ложно-положительные пиксели, которые неправильно сегментировались как опухоль.

Таблица 3. Характеристика сформированных БД МРТ изображений

№	Источник исходных данных, МРТ изображений	Количество	Тип МРТ оборудования
1	Владимир, Россия	60	PhilipsInterac индукций магнитного поля 1,5 Т
2	Эр-Рияд, Саудовская Аравия	260	GESignac индукций магнитного поля 1,5 Т

Исходя из визуального анализа гистограмм яркости для сегментации исходным пороговым методом в первой базе данных был выбран порог 178.5, а для второй базы данных порог равен 102, так как максимальная яркость гистограммы яркости была ниже 200. Таким же способом для сегментации методом наращивания областей в первой базе данных был выбран порог нахождения центров кристаллизации 220 и порог наращивания 60, а для второй базы данных 150 и 50 соответственно. На рис.3. показаны результаты сегментации двух аксиальных и двух сагиттальных срезов.

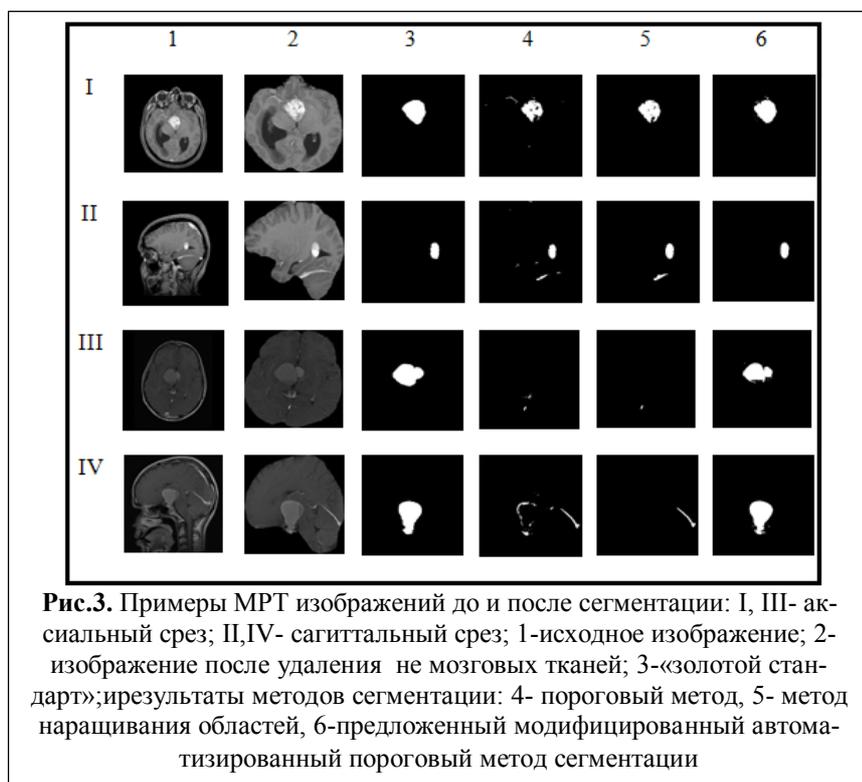


Рис.3. Примеры МРТ изображений до и после сегментации: I, III- аксиальный срез; II,IV- сагиттальный срез; 1-исходное изображение; 2- изображение после удаления не мозговых тканей; 3-«золотой стандарт»; и результаты методов сегментации: 4- пороговый метод, 5- метод наращивания областей, 6-предложенный модифицированный автоматизированный пороговый метод сегментации

ных и двух сагиттальных срезов.

Рис. 3 (столбец 6) показывает, что предложенный модифицированный автоматизированный пороговый метод имеет результаты сегментации, схожие с золотым стандартом (столбец 3) на изображениях с высокой (I и II) и низкой (III и IV) интенсивностью яркости, в то время как пороговый метод и метод наращивания областей (столбцы 4, 5) имеют существенно отличающиеся результаты на изображениях с низкой интенсивностью яркости.

В таблице 4 приведены полученные значения (M - среднее, Δ - межквартильный диапазон полученный методом whisker [11]) используемых критериев эффективности рассмотренных методов сегментации для двух баз (БД) данных МРТ изображений: 1 - Владимир, Россия; 2 - Эр-Рияд, Саудовская Аравия.

Анализ результатов, приведенных в таблице 4, свидетельствует о достаточно высокой эффективности предложенного алгоритма автоматизации процедуры сегментации опухоли головного мозга на примере как первой, так и второй баз данных (БД).

Для большей наглядности полученных результатов на рис. 4 и 5

приведены диаграммы размаха (box plot) коэффициента Дайса, индекса Жаккара, чувствительности и специфичности для первой и второй баз данных (БД) [13].

Анализ приведённых диаграмм размаха значений критериев эффективности рассмотренных методов (рис.4 и рис.5) показывает, что их значения для предложенного метода практически полностью сгруппировались в диапазонах Δ, приведённых в таблице 4, что свидетельствует о хорошем сходстве с «золотым стандартом» для первой и

Таблица 4. Результаты оценки критериев эффективности методов сегментации

Методы сегментации	БД	D		J _{ind}		Sens		Spec	
		M	Δ	M	Δ	M	Δ	M	Δ
Пороговый	1	0,61	0,41 - 0,75	0,46	0,32 - 0,59	0,58	0,41 - 0,73	0,98	0,97-0,99
	2	0,62	0,47- 0,82	0,50	0,31- 0,60	0,63	0,45- 0,86	0,98	0,95-0,98
Нарращивание областей	1	0,69	0,63 - 0,81	0,56	0,46 - 0,67	0,68	0,57 - 0,82	0,98	0,97-0,99
	2	0,58	0,30- 0,85	0,48	0,45- 0,68	0,55	0,30- 0,75	0,98	0,97-0,99
Модифицированный пороговый метод	1	0,85	0,81 - 0,92	0,75	0,63-0,84	0,81	0,74- 0,85	0,99	0,99-1
	2	0,89	0,84 - 0,96	0,81	0,67 - 0,82	0,89	0,85- 0,96	0,99	0,98-1

второй баз данных. При этом нижняя граница «коробки» (дно), практически для всех критериев больше 0,5. Важно отметить, что медианное значение всех критериев оценки эффективности предложенного метода сегментации находится в верхнем квартиле. Значком + помечены значения критериев, вышедшие за пределы диапазона, ограниченного «коробкой». Как видно, их количество незначительно.

щественно зависит от реализации процедуры сегментации, обеспечивающей отделение объектов интереса на изображении от фона и других объектов. В данной работе предложена модификация известного порогового метода сегментации, позволяющая повысить эффективность выделения и локализации объекта интереса на изображении и, как следствие, результативность его последующего анализа. В качестве тестовых изображений рассматривались изображения головного мозга, полученные с помощью магнитно-резонансной томо-

Заклучение

Эффективное распознавание изображений су-

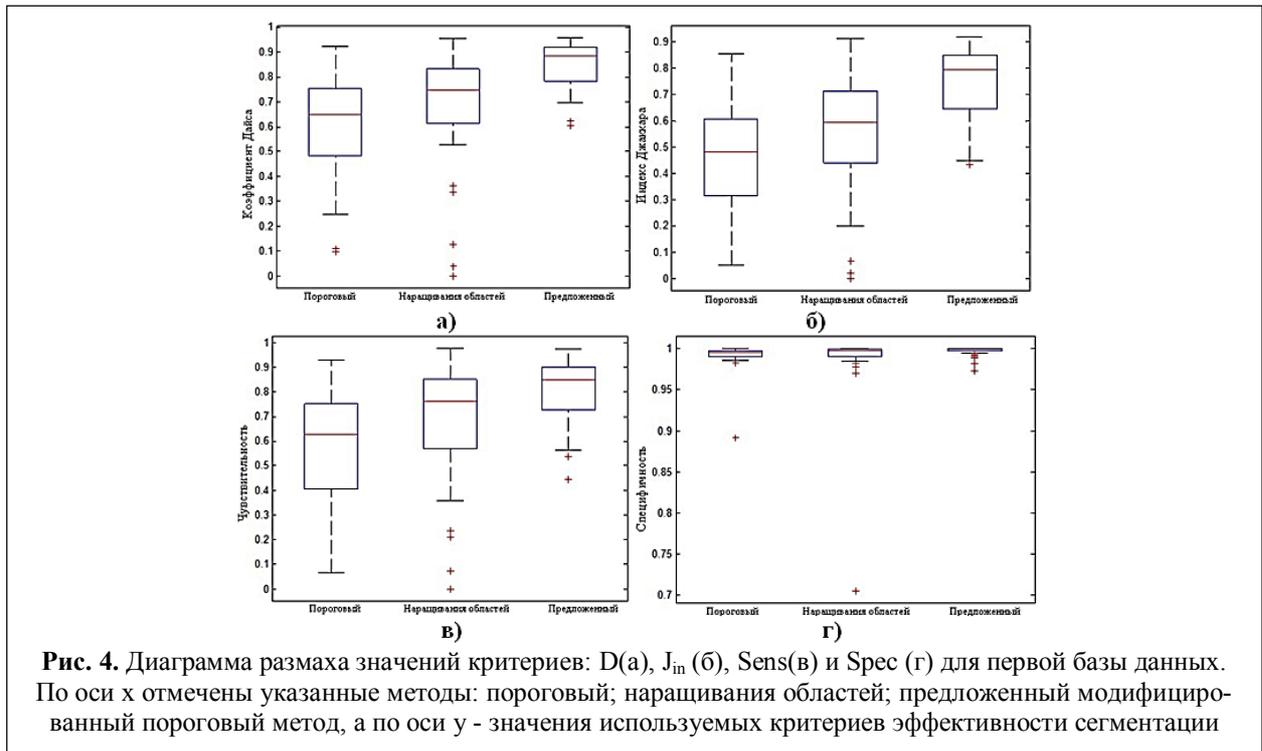


Рис. 4. Диаграмма размаха значений критериев: D(а), J_{in} (б), Sens(в) и Spec (г) для первой базы данных. По оси x отмечены указанные методы: пороговый; наращивания областей; предложенный модифицированный пороговый метод, а по оси у - значения используемых критериев эффективности сегментации

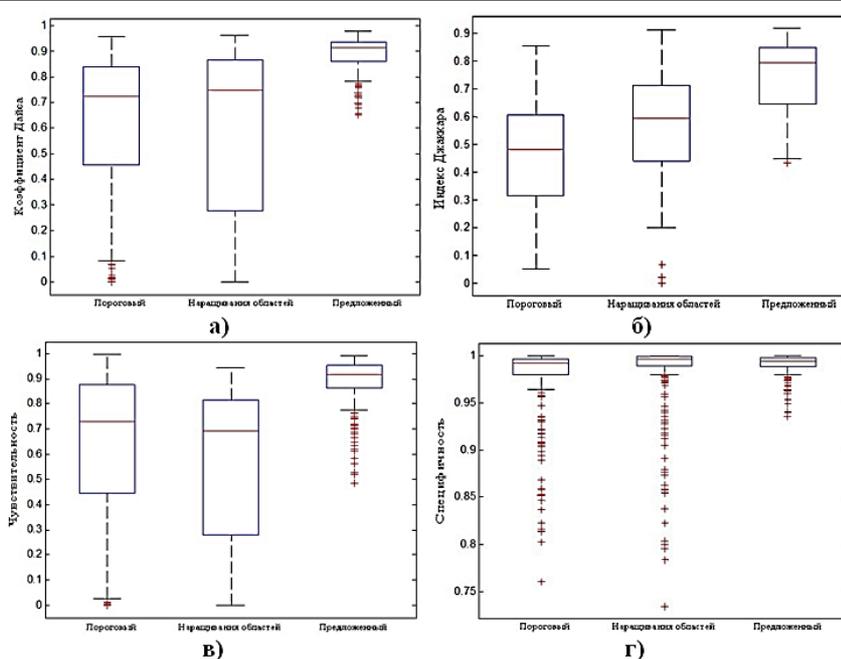


Рис. 5. Диаграмма размаха значений критериев: D(a), J_{in} (б), Sens(v) и Spec (г) для второй базы данных. По оси x отмечены наименования методов: пороговый; наращивания областей; предложенный, а по оси y - значения критериев

графии, которая, как известно, является мощным методом диагностики патологий мозга на ранних стадиях заболевания, в том числе опухолей головного мозга [14, 15].

Предложенный метод сегментации, представляющий собой модификацию порогового метода, позволяет автоматизировать процесс выявления области патологии, проведения её качественного и количественного анализа (локализация, измерение точного размера и объёма), повысить диагностическую значимость МРТ изображения для врача и, как следствие, эффективность лечения.

Результаты проведённых исследований показали достаточно высокую эффективность предложенного модифицированного автоматизированного порогового метода сегментации по сравнению с другими исследуемыми методами, о чём свидетельствуют высокие значения известных общепризнанных критериев: коэффициент Дайса, индекс Жаккара, чувствительность и специфичность. В частности, обеспечивается чувствительность более 80%, а специфичность порядка 99%.

Литература

1. Колесникова Н.О., Хубезов Д.А. Эффективность МРТ для определения местного и лимфогенного распространения ректального рака. // ГУЗ Рязанская областная клиническая больница. 2009.
2. Абдулракеб А.Р., Сушкова Л.Т., Лозовская Н.А. Обзор методов сегментации опухолей на МРТ-изображениях головного мозга // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – №1. – С. 192-208.
3. Jin Liu. A Survey of MRI-Based Brain Tumor Segmentation Methods //Tsinghua Science And Technology.2014. – V. 19. –№ 6. – P.578-595.
4. Bjoern H. Menze. A generative probabilistic model and discriminative extensions for brain lesion segmentation – with application to tumor and stroke // IEEE Transactions on Medical Imaging. – 2015. – Vol.35. – Issue 8.– P. 933-946.
5. E. Ben George, G. Jeba Rosline, D. Gnana Rajesh Brain Tumor Segmentation using Cuckoo Search Optimization for Magnetic Resonance Images // Proceedings of the 8th IEEE GCC Conference and Exhibition. – 2015. –P. 240-246.
6. Yash Sharma, Megha Chhabra. An Improved Automatic Brain Tumor Detection System, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. – 2015. – Vol.5. – Issue 4.– pp. 11-15. P. 933-946.
7. Гонсалес Р.С., Вуд Р.Э. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера.– 2005.– 1072 с.

8. M. Kass, A. Witkin, D. Terzopoulos Snakes: Active contour models // International Journal of Computer Vision.– 1988. – Vol.1. –Issue 4.–pp. 321-331.
9. Чернухин Н.А., Комбинированный метод детектирования границ на рентгенографических медицинских изображениях, использующий методику активных контуров // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – №88.
10. Ran Shi, King Ngi Ngan, Songnan L.I. Jaccard index compensation for object segmentation evaluation, IEEE ICIP. – 2014. – pp. 4457 – 4461.
11. Betty R.K., Jonathan A.C., Essential Medical Statistics, Blackwell publishing, 2nd ed. – 2009. – pp.33-41.
12. MATLAB. режим доступа: <http://www.mathworks.com/> дата обращения 17.11.2016.
13. Priyanka, Balwinder Singh. A review on Brain Tumor detection using Segmentation// IJCSMC.– 2013.– Vol.2. –Issue 7.–pp. 48-54.
14. Anam Mustaqeem, Ali Javed, Tehseen Fatima An Efficient Brain Tumor Detection Algorithm Using Watershed & Thresholding Based Segmentation// I.J. Image, Graphics and Signal Processing.– 2012. – Vol.34. –Issue 10.
15. Bjoern H. Menze and others. The Multimodal Brain Tumor Image Segmentation Benchmark //IEEE Transactions on Medical Imaging. – 2015.

Поступила 23 декабря 2016 г.

English

Modification of thresholding based segmentation for half-tone images

Abdulrakeb Atef Rokhan Abdulsamia – Graduate Student Department of Electronics And Medical Equipment/Engineering “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

E-mail: atef_alsanawy@mail.ru.

Address: 600000, Vladimir, st. of Gorky, 87

Abstract: Effective image recognition significantly depends on implementation of the segmentation procedure that ensures separation of objects of interest in the image from the background and other objects. One of the application fields of the segmentation is medicine (oncology). The article proposes the modification of the known thresholding based segmentation enabling to increase the efficiency of selection and localization of the object of interest in the image and, as a result, the efficiency of its subsequent analysis. Brain images were considered as test images and the images were obtained via magnetic and resonant tomography, which, as we know, is a powerful brain pathology diagnostic method at early disease stages, including brain tumors. The modification core consists in automation of choosing brightness threshold proceeding from the brightness bar graph analysis and the subsequent tumor spatial localization and definition of its exact borders through the average brightness calculation in horizontal and vertical directions. As it is supposed that lines and columns where the tumor is localized, have the greatest pixel numbers with the maximum brightness. The article compares the suggested segmentation method of brain tumor in MRI images with the threshold method and region growing method. The widely known criteria as Dyce coefficient, Jacquard index, sensitivity and peculiarity were used for the quantitative assessment of segmentation results in the research work. The comparison result analysis marked high performance of the suggested brain tumor segmentation method compared to the threshold method and region growing method. The author-developed modification of the brain tumor segmentation method enables to automate pathology area identification process, carrying out its qualitative and quantitative analysis (localization, measurement of the exact size and volume), to increase the diagnostic MRI image value for the doctor and, as a result, the treatment efficiency.

Key words: brain tumor, MRI images, threshold method, region growing method, Dyce coefficient, Jacquard index, sensitivity and peculiarity..

References

- Kolesnikova N.O., Hubezov D.A. MRI efficiency for detection of local and lymphogenous rectal cancer spreading. State Healthcare Institution Ryazan Regional Clinical Hospital. 2009.
2. Sushkova A.R., Abdulrakeb A.R., Lozovskaya N. A. The overview of brain tumor segmentation methods in MRI images. - Caspian journal: management and high technologies. - 2015. - No. 1. - P. 192-208.
3. Jin Liu. A Survey of MRI-Based Brain Tumor Segmentation Methods. -Tsinghua Science And Technology.2014. - V. 19.-№ 6. - P.578-595.
4. Bjoern H., Menze. A generative probabilistic model and discriminative extensions for brain lesion segmentation - with application to tumor and stroke. -IEEE Transactions on Medical Imaging. - 2015. - Vol.35. - Issue 8. - P. 933-946.

5. E. Ben George, G. Jeba Rosline, D. Gnana Rajesh Brain Tumor Segmentation using Cuckoo Search Optimization for Magnetic Resonance Images. - Proceedings of the 8th IEEE GCC Conference and Exhibition. - 2015. - P. 240-246.
6. Yash Sharma, Megha Chhabra. An Improved Automatic Brain Tumor Detection System, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. - 2015. - Vol.5. - Issue 4. - pp. 11-15. P. 933-946.
7. Gonzalez R.S., Woods R.E. Digital Image Processing. M.: Tehnosphaera. - 2005. - 1072 p.
8. M. Kass Snakes: Active contour models. - M. Kass, A. Witkin, D. Terzopoulos. - International Journal of Computer Vision. - 1988. - Vol.1. - Issue 4. - pp. 321-331.
9. Chernukhinn A. The combined method of detecting borders in radiographic medical images using the active circuit technique, Scientific Journal of KSAU. - 2013. - No. 88.
10. Ran Shi, King Ngi Ngan, Songnan L.I. Jaccard index compensation for object segmentation evaluation, IEEE ICIP. - 2014. - pp. 4457 - 4461.
11. Betty R.K., Jonathan A.C. Essential Medical Statistics, Blackwell publishing, 2nd ed. - 2009. - pp.33-41.
12. MATLAB. access mode: <<http://www.mathworks.com/>> access date 17.11.2016.
13. Priyanka, Balwinder Singh. A review on Brain Tumor detection using Segmentation. - IJCSMC. - 2013. - Vol.2. - Issue 7. - pp. 48-54.
14. Anam Mustaqeem, Ali Javed, Tehseen Fatima An Efficient Brain Tumor Detection Algorithm Using Watershed & Thresholding Based Segmentation. - I.J. Image, Graphics and Signal Processing. - 2012. - Vol.34. - Issue 10.
15. Bjoern H., Menze and others. The Multimodal Brain Tumor Image Segmentation Benchmark. - IEEE Transactions on Medical Imaging. - 2015.