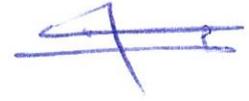


На правах рукописи



Абдулракеб Атеф Рохан Абдулсамиа

**АЛГОРИТМЫ СЕГМЕНТАЦИИ ОПУХОЛЕЙ
ГОЛОВНОГО МОЗГА НА МРТ-ИЗОБРАЖЕНИЯХ**

Специальность 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского
назначения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владимир-2017

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ) на кафедре биомедицинских и электронных средств и технологий.

Научный руководитель: **Сушкова Людмила Тихоновна**

доктор технических наук, профессор, заслуженный работник ВО РФ, заведующий кафедрой биомедицинских и электронных средств и технологий ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир.

Официальные оппоненты: **Фролов Сергей Владимирович**

доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой биомедицинской техники ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов;

Коржук Николай Львович

кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры приборов и биотехнических систем ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва.

Защита состоится «8» декабря 2017г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.211.04 в ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет» и на сайте университета: <http://www.rsreu.ru>.

Автореферат разослан «23» октября 2017г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук



Г.В. Овечкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Статистические данные Всемирной организации здравоохранения показывают что, каждый год от онкологических заболеваний, в том числе опухоли головного мозга (ОГМ) в мире умирают более 7,5 млн. человек. Среднегодовой темп прироста заболеваемости населения России новообразованиями головного мозга и других отделов нервной системы за период 2004-2014 составил 3,76 %, в то время как в мире этот показатель составлял 2,68%. В Йемене за период 2000-2007 данный показатель составил 7,6%.

Общепризнанным методом обнаружения различных ОГМ является магниторезонансная томография (МРТ), позволяющая получить детальное изображение различных тканей. Анализ полученных МРТ-изображений, как правило, проводится радиологами вручную и включает в себя поиск и распознавание объектов интереса, определение границ (оконтуривание) и оценка размеров опухоли. Это является трудоемкой и сложной задачей, требующей высокого профессионализма. Во многих случаях технология сегментации 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 этой процедуры. Анализ работ по обнаружению ОГМ показывает, что на МРТ-изображениях присутствует такие шумы, как Гауссовский, импульсный и др., которые оказывают негативное влияние на результаты дальнейших процедур обработки.

Большой вклад в исследование и разработку методов цифровой обработки МРТ-изображений ОГМ, внесли русские ученые, в том числе, В.И. Мошкин, В.Л. Генкин, Е.П. Путягин, В.Я. Колючкин, Ю.Г. Якушенков, Н.В. Ким, И.Н. Спиридонов, Г.А. Дмитриев, а также зарубежные ученые R.C. Gonzalez, E. Richard, E.R. Davies, W. K. Pratt, Linda G. Shapiro, Alan Pugh и др.

Тем не менее, необходимость повышения качества диагностики ОГМ на МРТ-изображениях и последующего лечения на основе применения методов цифровой обработки изображений, а именно методов фильтрации и сегментации для снижения влияния шума и выделения искомой патологии, является актуальной проблемой.

В связи с этим **целью данной работы** является совершенствование методов и разработка алгоритмов автоматизации процедуры сегментации ОГМ на МРТ-изображениях для повышения точности и достоверности диагностики и последующего лечения опухоли головного мозга.

Объектом исследования являются методы и средства обработки МРТ-изображений опухолей головного мозга.

Предметом исследования является методы и алгоритмы фильтрации и сегментации ОГМ на МРТ-изображениях.

Методы исследования. В работе использованы методы цифровой обработки сигналов, изображений и математической статистики. Экспериментальные исследования выполнены на двух сформированных

верифицированных базах данных реальных МРТ-изображений головного мозга, описанных радиологами специализированных клинических учреждений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1 Провести анализ научных публикаций по современным подходам, методам и алгоритмам фильтрации и сегментации ОГМ на МРТ-изображениях.

2 Исследовать основные этапы обработки МРТ-изображений с опухолью головного мозга с целью выявления проблем, требующих дополнительных исследований.

3 Сформировать необходимый объем базы данных реальных МРТ-изображений головного мозга с опухолью для исследования наиболее часто используемых методов предварительной обработки и сегментации, в том числе такие, как пороговый, наращивания областей и активных контуров.

4 Разработать алгоритм автоматизации выбора порога для порогового метода и алгоритм автоматизации ввода начальных параметров для метода наращивания областей в интересах решения задачи сегментации ОГМ на МРТ-изображениях.

5 Разработать алгоритм автоматизации процедуры сегментации ОГМ на МРТ-изображениях и исследовать эффективность его работы в сравнении с другими традиционными методами.

6 Разработать программно-алгоритмическое обеспечение для реализации разработанных алгоритмов.

Научная новизна работы. В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1 **Алгоритм** автоматизации определения порога яркости для сегментации опухоли головного мозга на МРТ-изображениях пороговым методом, позволяющий повысить его эффективность сегментации на **6%** и **11%** по коэффициенту Дайса, **2%** и **1%** по точности для первой и второй базы данных реальных МРТ-изображений ОГМ соответственно.

2 **Алгоритм** автоматизации определения центров кристаллизации и глобального порога при использовании метода наращивания областей для сегментации опухолей головного мозга на МРТ-изображениях, позволяющий повысить его эффективность на **5%** и **14%** по коэффициенту Дайса, **1%** и **4%** по точности для первой и второй базы данных соответственно.

3 **Алгоритм** автоматизации процедуры сегментации ОГМ на МРТ-изображениях, позволяющий повысить точность сегментации и отличающийся тем, что он включает себя: алгоритм определения порога яркости на основе модального анализа гистограммы яркости; алгоритм локализации ОГМ на основе расчёта среднего значения пикселей с максимальной яркостью в каждой строке и столбце изображения; а также алгоритм исключения сегментации сосуда вместо опухоли. Алгоритм превосходит традиционный пороговый метод на **12%** и **18%** по коэффициенту Дайса, **3%** и **2%** по точности, и превосходит традиционный метод наращивания областей на **24%** и **32%** по коэффициенту Дайса, **2%** и **6%** по точности для первой и второй базы данных соответственно.

Практическая значимость. Программно-алгоритмическое обеспечение обработки МРТ-изображений ОГМ, позволяющее осуществить фильтрацию, автоматическую сегментацию ОГМ и получить количественные размеры сегментируемой области, а именно: малая ось, большая ось, площадь и периметр. Результаты исследования наиболее часто используемых методов фильтрации изображений для предварительной обработки МРТ-изображений, свидетельствующие о том, что фильтр Гаусса со средним отклонением 0,5 является лучшим среди рассмотренных фильтров (усредняющий, медианный, Винер и Вейвлет Хаара), так как он обеспечивает самое высокое пиковое отношение сигнал-шум а именно, **43** и **47** Дб для первой и второй баз данных соответственно.

Разработанные алгоритмы автоматизации процедуры сегментации ОГМ на МРТ-изображениях способствуют решению таких задач практической медицины, как сокращение времени, затрачиваемого на распознавание ОГМ, определение ее границ и размеров, а также уменьшение количества субъективных врачебных ошибок, связанных с уровнем профессионализма медперсонала.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается:

- результатами тестирования на сформированных верифицированных базах данных реальных МРТ-изображений ОГМ, а также результатами экспериментальных исследований и апробации разработанных специализированных алгоритмов для сегментации ОГМ;
- оценкой эффективности функционирования разработанного алгоритма сегментации ОГМ на основе использования общепризнанных критериев, а именно: коэффициента Дайса, чувствительности, специфичности и точности.

Основные научные положения, выносимые на защиту.

1 Алгоритм автоматизации выбора порога, исключаящий зависимость результатов сегментации от его произвольного выбора и позволяющий повысить эффективность сегментации пороговым методом на **6%** и **11%** по коэффициенту Дайса, **2%** и **1%** по точности для первой и второй базы данных реальных МРТ-изображений ОГМ соответственно.

2 Алгоритм автоматизации выбора порога определения центров кристаллизации и глобального порога на основе анализа гистограммы яркости для исключения зависимости результатов сегментации от произвольного выбора начальных параметров, позволяющий повысить эффективность сегментации методом наращивания областей на **5%** и **14%** по коэффициенту Дайса, **1%** и **4%** по точности для первой и второй базы данных соответственно.

3 Алгоритм автоматизации процедуры сегментации ОГМ на МРТ-изображениях, отличающийся включением в себя: алгоритм определения порога, на основе модального анализа гистограммы яркости; алгоритм локализации ОГМ, на основе расчёта среднего значения пикселей с максимальной яркостью в каждой строке и столбце изображения; а также

алгоритм исключения сегментации сосуда вместо опухоли, позволяющий автоматизировать процедуру сегментации с точностью **99%** и **98%** для первой и второй базы данных соответственно.

Результаты внедрения работы

Результаты научной работы внедрены в учебный процесс кафедры биомедицинских и электронных средств и технологий ВлГУ по подготовке студентов по направлению «Биотехнические системы и технологии» (бакалавриат и магистратура), а также в лечебном процессе радиотерапевтических отделений ГБУЗВО «ОКОД» для повышения эффективности планирования лучевой терапии ОГМ.

Личный вклад автора заключается в выполнении основного объема теоретических и экспериментальных исследований, изложенных в диссертационной работе, включая формирование экспериментальных баз данных МРТ-изображений ОГМ, разработку методов и алгоритмов экспериментальных исследований, проведение исследований, анализ и оформление результатов в виде публикаций и научных докладов.

Апробация работы

Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на: XI и XII международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» ФРЭМЭ-2014 и ФРЭМЭ-2016 (г. Владимир, г. Суздаль 2014 и 2016); Всероссийской молодежной научной конференции «Современные проблемы биомедицинской инженерии», (г. Саратов 2015); XXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы, Биомедсистемы – 2015» (г. Рязань 2015); XI международной научно-технической конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ-2015» – Владимир, 2015; Всероссийской конференции «Радиоэлектронные средства получения, обработки и визуализации информации – (РСПОВИ-2015)», (г. Москва 2015); XII Российско-Германской конференции по биомедицинской инженерии RGC'2016 (г. Суздаль 2016); VI Всероссийской научной конференции «Актуальные вопросы биомедицинской инженерии», (г. Саратов 2016).

Публикации

По материалам диссертации опубликованы 17 работ, в том числе 4 на всероссийских конференциях, 5 на международных конференциях, 1 в сборнике трудов, 6 статей в профильных журналах, рекомендованных ВАК РФ, в том числе одна в базе данных Scopus, 1 свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка, включающего 123 наименований, и 4 приложения. Объём диссертации 152 страниц машинописного текста, 59 рисунков и 13 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и основные задачи работы, перечислены предмет, объект, область и методы исследования, показаны научная новизна и достоверность основных научных результатов работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, показаны практическая значимость работы и личный вклад автора, приведены сведения об апробации работы, реализации и внедрении ее результатов, а также сведения о публикациях по тематике работы.

В первой главе рассмотрены особенности МРТ как средства исследования ОГМ. Рассмотрены основные типы ОГМ. Обоснован выбор МРТ-изображений ОГМ, полученных в режиме T1 пост контрастное. Отмечено, что на МРТ-изображениях присутствуют шумы, которые влияют на результаты дальнейших процедур обработки, в т.ч. сегментации. На основе обзора научных работ проведен анализ современных методов и алгоритмов подавления шумов и сегментации ОГМ на МРТ-изображениях и приведены результаты сопоставительного анализа методов сегментации ОГМ на МРТ-изображениях. На основе материалов данной главы сделаны выводы о наличии шумов на МРТ-изображениях ОГМ, а именно, Гауссовского шума, импульсного шума и др., требующих уменьшения их влияния на результаты анализа. Проведенный литературный обзор и анализ методов фильтрации и сегментации ОГМ на МРТ-изображениях показал, что наиболее часто используются такие фильтры, как усредняющий, Гаусса, Винера, медианный и вейвлет Хаара, а также такие методы сегментации, как пороговые методы (ПМ), метод наращивания областей (МНО) и метод активных контуров (МАК).

Во второй главе рассматриваются теоретические предпосылки решения задачи фильтрации и сегментации ОГМ на МРТ-изображениях. Кратко изложены теоретические основы методов фильтрации: усредняющего, Гаусса, Винера, медианного и вейвлета Хаара. Проведен сопоставительный анализ перечисленных фильтров. Также рассмотрены теоретические основы методов сегментации, а именно: ПМ, МНО и МАК, описаны их особенности решения задачи сегментации ОГМ на МРТ-изображениях. Анализ рассмотренных методов показал, что для повышения точности сегментации ПМ и МНО требуется автоматизация процедуры выбора начальных параметров, а при применении МАК требуется автоматизация процедуры ввода начального контура, который должен быть максимально близким к контуру опухоли.

Для оценки изменения уровня шума отфильтрованного изображения относительно исходного в качестве критерия используется пиковое отношение сигнал-шум (ПОСШ):

$$ПОСШ = 10 \log_{10} \frac{I_{\max}^2}{СКО}, \quad СКО = \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\dot{x}(i, j) - x(i, j))^2, \quad (1)$$

где I_{\max} – максимальное значение яркости в изображении; $СКО$ – среднеквадратическая ошибка; n, m – число строк и столбцов изображения; $x(n, m)$ и $\dot{x}(n, m)$ – исходное и отфильтрованное изображения соответственно.

В качестве меры близости полученных результатов сегментации (выявления) ОГМ с результатами «золотого стандарта» выбраны общепризнанные критерии: коэффициент Дайса (КД), чувствительность (Ч), специфичность (С) и точность (Т), представленные в таблице.

Таблица – формулы расчета критериев сегментации

Коэффициент Дайса	Чувствительность	Специфичность	Точность
$KD = \frac{2 \times (ЗС \cap P)}{ЗС + P}$	$Ч = \frac{ИП}{(ИП + ЛО)} \times 100\%$	$C = \frac{ИО}{(ИО + ЛП)} \times 100\%$	$T = \frac{ИП + ИО}{(ИП + ЛО + ИО + ЛП)} \times 100\%$

Здесь: ЗС- золотой стандарт; P-результат метода сегментации; ИП- истинно-положительный результат, характеризующий пиксели опухоли, которые правильно сегментировались как опухоль; ЛО- ложно-отрицательный результат, характеризующий пиксели опухоли, которые неправильно сегментировались как не-опухоль; ИО- истинно-отрицательный результат, характеризующий пиксели не опухоли, которые правильно сегментировались как не-опухоль; ЛП- ложно-положительный результат, характеризующий пиксели не-опухоли, которые неправильно сегментировались как опухоль.

Для исследования были сформированы две верифицированных базы данных (БД) реальных МРТ-изображений опухоли головного мозга аксиального, коронального и сагиттального срезов, полученных в режиме T1 пост контрастное с помощью томографов двух разных специализированных клинических учреждений: Медицинский центр имени короля Сауда, г. Эр-Рияд, Саудовская Аравия (260 МРТ-изображений ОГМ) и ГБУЗВО «Областной клинический онкологический диспансер», г. Владимир, Россия (60 МРТ-изображений ОГМ).

На основе результатов данной главы сформулированы задачи для дальнейшего исследования.

Третья глава посвящена решению задачи автоматизации процедуры сегментации ОГМ на МРТ-изображениях и исследованию рассмотренных ранее методов сегментации для оценки их эффективности.

Известно, что пороговый метод является одним из простых и широко применяемых методов сегментации. С целью совершенствования этого метода и устранения зависимости результатов сегментации от выбора величины порога яркости разработан алгоритм автоматизации определения порога на основе анализа гистограммы яркости изображения (рисунок 1 и 2). Суть алгоритма заключается в автоматическом анализе гистограммы МРТ-изображения ОГМ и определении мод, соответствующих фону (**a**) и серому веществу (**b**). Первая мода исключается из анализа, она имеет большое количество пикселей от 12000-18000, что делает область интереса ОГМ не сопоставимой по масштабу на гистограмме яркости и не удобной для анализа.

В связи с этим, на рисунке 2 первая мода не показана. Вторая мода (точка **b**) является опорной точкой для определения порога, который представляется точкой перехода (**c**) от серого цвета (нормальные ткани) к более яркому (область предполагаемого местонахождения искомой опухоли). Точка **c** характеризует порог яркости (I_c) для сегментации.

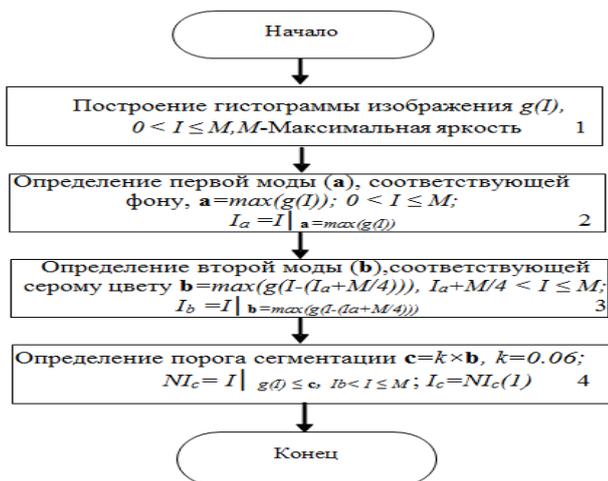


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма автоматизации выбора порога яркости

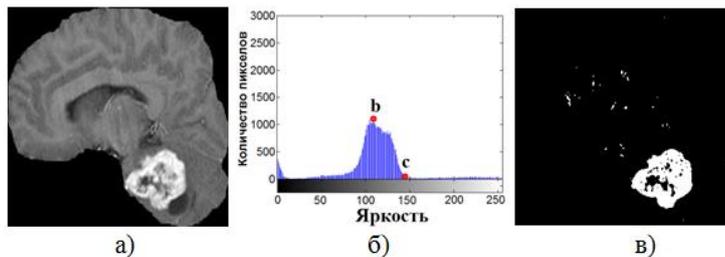


Рисунок 2 – Сегментация ОГМ на МРТ-изображении головного мозга на основе автоматизации выбора порога яркости при использовании ПМ: исходное МРТ-изображение с ОГМ (а); гистограмма яркости (б); результат сегментации (в)

Исследования на сформированных двух базах данных МРТ-изображений показали, что указанная точка **c** определяется как первая точка справа от моды **b** на уровне значения коэффициент $k=0,06$ от значения этой моды (рисунок 3).

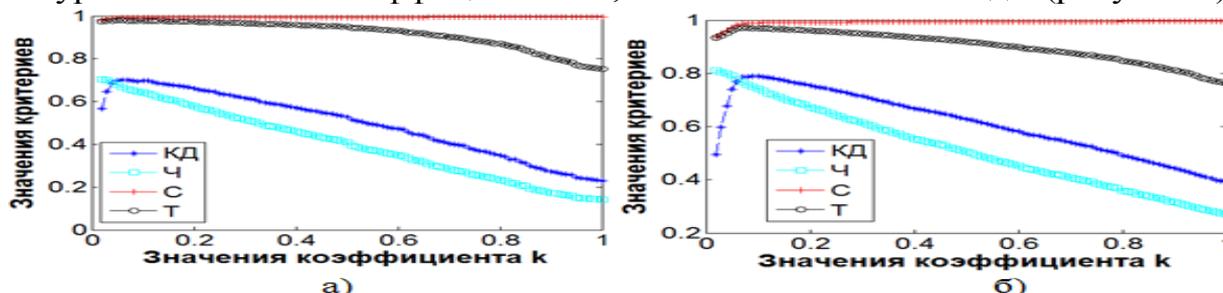


Рисунок 3 – Зависимость результатов сегментации от значения коэффициента k в первой (а) и второй (б) БД

Анализ рисунка 2, в показывает эффективность разработанного алгоритма. Однако, помимо опухоли сегментируются и все пиксели, имеющие яркость выше полученного порога сегментации и не относящиеся к опухоли. Для более точной сегментации патологии используется МНО, принцип работы которого заключается в группировке пикселей в области по заранее заданным критериям. Для этого берется множество точек, играющих роль центров кристаллизации. Затем на них наращиваются области путем присоединения к каждому центру тех пикселей из числа соседей, которые по своим свойствам (яркость или цвет) близки к центру кристаллизации.

Однако, определение центров кристаллизации и глобального порога присоединения к ним соседних пикселей осуществляется вручную, что делает результаты сегментации очень чувствительными к их выбору. Поэтому был разработан алгоритм (рисунок 4) автоматизации выбора центров кристаллизации и глобального порога, который отличается от алгоритма автоматизации выбора порога для ПМ тем, что найденная на гистограмме точка **c** (рисунок 5,б) характеризует глобальный порог для наращивания областей I_c , а точка **d** (рисунок 5,б) соответствует порогу определения центров кристаллизации I_d .

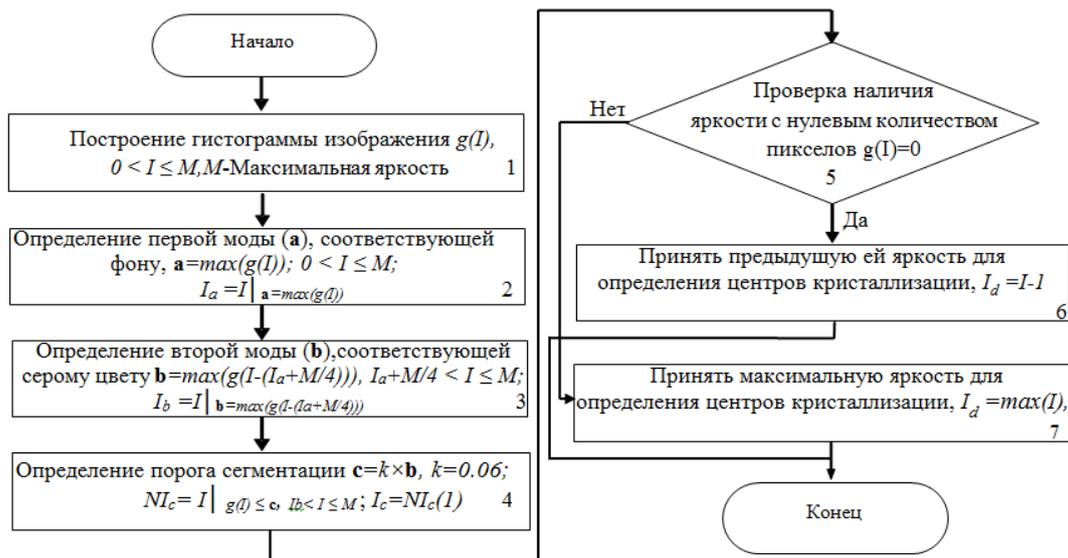


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма автоматизации выбора центров кристаллизации и глобального порога для МНО, используемого в задаче сегментации ОГМ на МРТ-изображениях

На МРТ-изображениях ОГМ, полученных в режиме пост-контрастное опухоль, как правило, имеет самую высокую яркость (рисунок 5,а). Однако эта яркость не всегда максимальная. В некоторых низкоинтенсивных изображениях она может быть меньше (рисунок 5,б). Исходя из этого, в алгоритме введено условие: если на гистограмме справа от глобального порога (точки с) имеется яркость с нулевым количеством пикселей, то в качестве порога определения центров кристаллизации принимается предыдущая ей яркость (точка d на рисунке 5,е), в противном случае принимается максимальная яркость (точка d на рисунке 5,б).

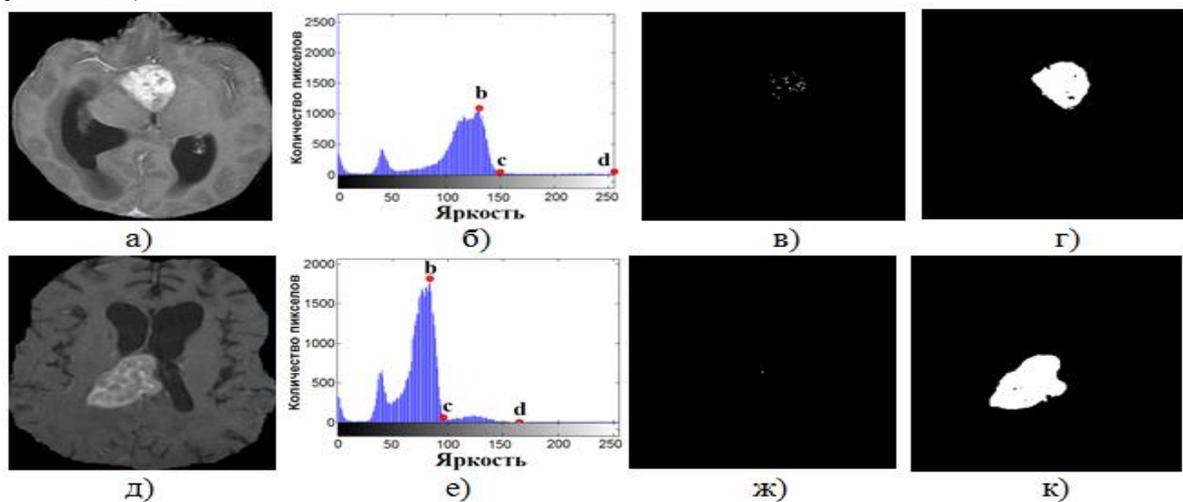


Рисунок 5 – Результаты сегментации на основе алгоритма автоматизации выбора начальных параметров для МНО: исходные МРТ-изображения с ОГМ (а) и (д); гистограммы яркостей (б) и (е); изображения центроидов (в) и (ж); результаты сегментации (г) и (к)

Результаты исследований МНО показали, что в ряде случаев при применении этого метода после автоматизации возникают ситуации, когда объект сегментации не обнаруживается, либо сегментируется не одна область, а несколько. Для исключения подобных случаев и получения более точных

результатов сегментации ОГМ был предложен алгоритм локализации ОГМ на МРТ-изображениях (рисунок 6).



Рисунок 6- Блок-схема алгоритма локализации ОГМ на МРТ-изображениях

Основой алгоритма является предположение, что опухолевая область характеризуется максимальной яркостью по строкам и столбцам. Для определения точных границ опухоли и ее пространственной локализации по горизонтали и вертикали рассчитывается среднее значение количества пикселей с максимальной яркостью в каждой строке и столбце (рисунок 6, блок 2) матрицы бинарного изображения. Далее определяется строка (рисунок 6, блок 3), имеющая максимальное количество пикселей. Как правило, данная строка проходит через центр опухоли и соответствует горизонтальной оси R_c (рисунок 7). Затем определяются строки от первой строки в изображении до центра опухоли, имеющие количество пикселей меньше или равно значению переменной KR , определяющей границы опухоли по строкам (рисунок 6, блок 4). Значение KR определяется умножением значения пикселей соответствующих горизонтальной оси, на коэффициент $q=0,021$, значение которого было установлено в рамках экспериментальных исследований изменений результатов сегментации в зависимости от значений коэффициента q (рисунок 8).

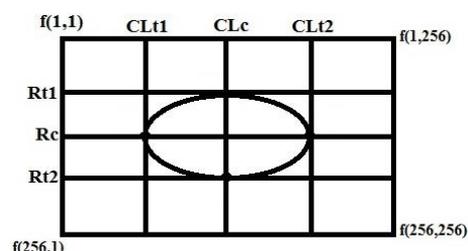


Рисунок 7 –Графическая модель, иллюстрирующая работу алгоритма локализации ОГМ

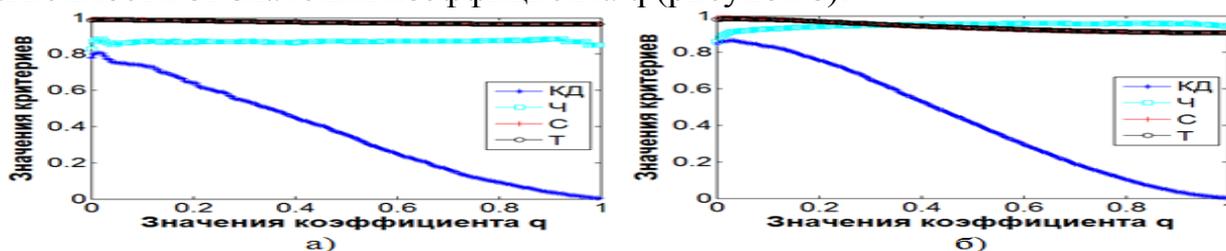


Рисунок 8 – Изменение результатов сегментации в зависимости от значений коэффициента q в первой (а) и второй (б) БД

Последней строкой из массива найденных строк является первая строка, определяющая границу опухоли Rt_1 (рисунок 6, блок 5 и рисунок 7). Далее определяются строки от горизонтальной оси до последней строки в изображении, имеющие количество пикселей меньше или равное значению переменной KR . Первой строкой из массива найденных строк является последняя строка, определяющая границу опухоли Rt_2 (рисунок 6, блок 6 и рисунок 7). Аналогично определяются: вертикальная ось опухоли CL_c (рисунок 6, блок 7); значение переменной KCL , определяющей границы опухоли по столбцам (рисунок 6, блок 8), первого CLt_1 и последнего CLt_2 столбца, определяющих границы опухоли (рисунок 6, блок 9 и рисунок 7). Таким образом, определяются границы опухоли по горизонтали и вертикали, после чего всем точкам, находящимся за пределами опухоли, присваивается нулевое значение яркости (рисунок 6, блок 10).

На рисунке 9 приведены: исходное изображение (а); бинарное изображение (б); результат сегментации (в); распределение пикселей с максимальной яркостью по строкам (г) и столбцам (д).

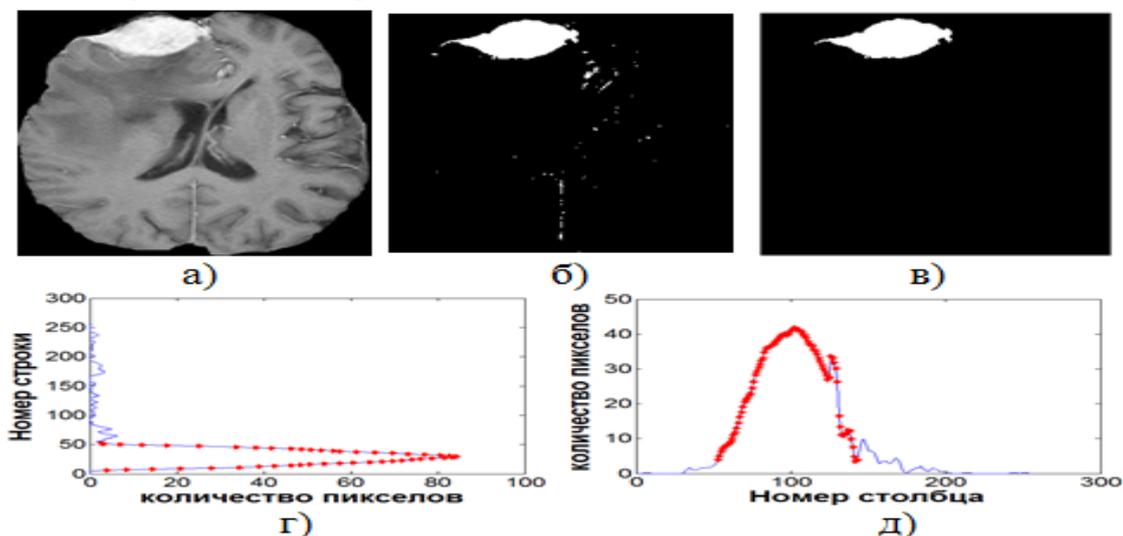


Рисунок 9 – Этапы применения алгоритм локализации ОГМ на МРТ-изображениях

Известно, что на МРТ-изображениях существуют ситуации, когда введенный контраст накапливается в сосудах. Это приводит к тому, что сосуд на изображении также, как и опухоль, имеет более высокую яркость по сравнению с другими тканями (рисунок 10,а). В результате в процессе сегментации опухолевой области сегментируется кровеносный сосуд вместо опухоли (рисунок 10,б). Для решения данной проблемы был разработан алгоритм исключения сегментации сосуда вместо опухоли на МРТ-изображении, блок-схема которого приведена на рисунке 11. В этом алгоритме для более точной сегментации ОГМ на МРТ-изображениях осуществляются фильтрация алгоритмом скользящего среднего и возведение во вторую степень распределения количества пикселей $R(i)$ и $CL(i)$, соответствующих строкам и столбцам. Далее, по аналогии алгоритму локализации ОГМ, определяются новые параметры исследуемой области: горизонтальная ось R_{c2} ; вертикальная ось CL_{c2} ; границы исследуемой области по строкам и столбцам RS_1 ; RS_2 ; CLS_1 ;

CLs_2 соответственно (рисунок 11, блок 2 и 3). Затем проводится сравнение количества пикселей между новыми и старыми границами и выбирается область с большим количеством пикселей (рисунок 11, блок 4), поскольку опухоль, как правило, характеризуется большим количеством пикселей, чем сосуд. Результат применения алгоритма исключения сегментации сосуда вместо опухоли показан на рисунке 10,в.

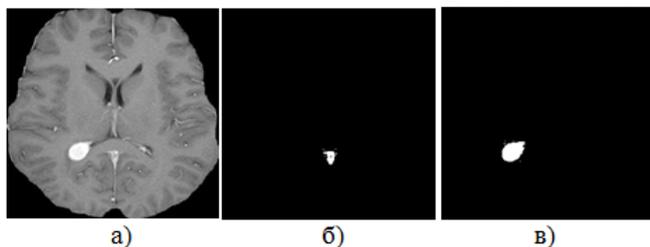


Рисунок 10 – Сегментация ОГМ на МРТ-изображении головного мозга до и после применения алгоритма уменьшения вероятности ошибки сегментации ОГМ: исходное изображение (а); результат сегментации до применения алгоритма (б) и после применяя алгоритма (в)

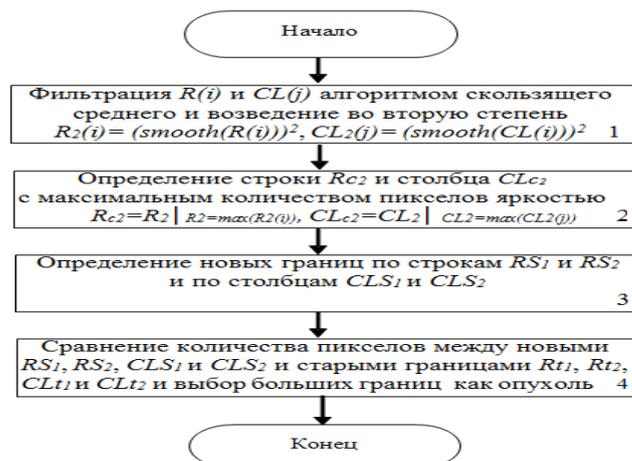


Рисунок 11 –Блок-схема алгоритма исключения сегментации сосуда вместо опухоли

Проведенные исследования способствовали разработке алгоритма автоматизации процедуры сегментации ОГМ на МРТ-изображениях, обеспечивающего более точную сегментацию опухоли. Разработанный алгоритм автоматизации процедуры сегментации (РАС) совмещает в себе алгоритм определения порога яркости, алгоритм локализации ОГМ и алгоритм исключения сегментации сосуда вместо опухоли. Исследования РАС для его применения по глобальной пороговой обработке (ГПО) и локальной пороговой обработке (ЛПО) с маской 3x3 показали, что ЛПО уступает ГПО по быстродействию в 10 раз.

Также в данной главе исследуется метод активных контуров (МАК) для решения поставленной задачи. Для достижения приемлемых результатов при применении МАК необходимо располагать начальный контур как можно ближе к границам объекта. Для устранения зависимости результатов сегментации методом активных контуров от расположения начального контура, предложен алгоритм автоматизации процедуры выбора начального контура (рисунок 12), особенностью которого является комплексирование МАК с РАС. Другими словами, начальным контуром является изображение, полученное после применения РАС.

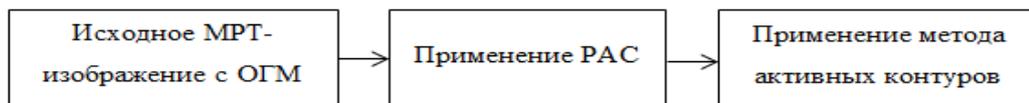


Рисунок 12 – Комбинация МАК с РАС

В четвертой главе приводятся результаты экспериментальных исследований выше рассмотренных методов фильтрации и сегментации ОГМ на МРТ-изображениях ОГМ. Проведен сравнительный анализ указанных

методов с помощью диаграмм размаха значений критериев оценки эффективности сегментации.

Для оценки результатов фильтрации, на рисунке 13 приведены диаграммы размаха значений ПОСШ для первой и второй БД.

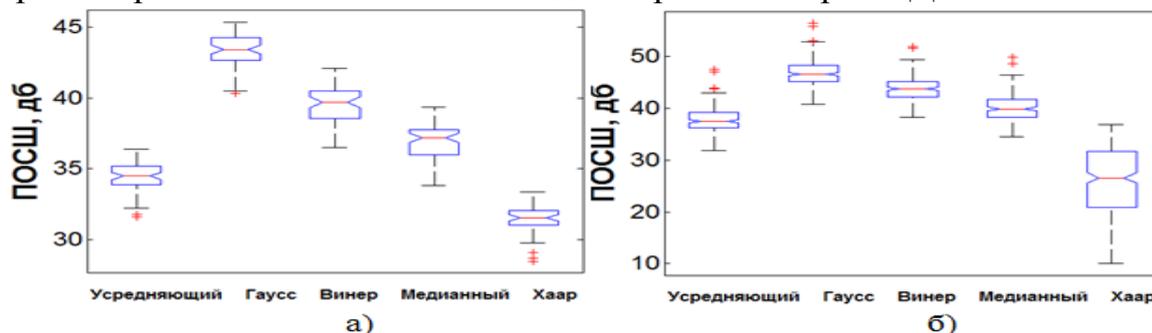


Рисунок 13 - Диаграмма размаха значений ПОСШ для первой (а) и второй (б) БД, где по оси x-отмечены методы, а по y- значений ПОСШ для каждого метода

Анализ рисунка 13 показывает, что на исходных изображениях фильтр Гаусса со стандартным отклонением 0,5 является более эффективным по сравнению с остальными фильтрами, и, как видно, из рисунка 13, нижняя граница его значений ПОСШ выше медианных значений ПОСШ для остальных фильтров. Поэтому для предварительного этапа обработки МРТ-изображений целесообразен выбор фильтра Гаусса.

Для оценки и анализа эффективности рассмотренных, модифицированных и разработанных алгоритмов сегментации используется эталон или «золотой стандарт» (рисунок 14, в и д), который представляет собой решение задачи сегментации опытным врачом (экспертом).

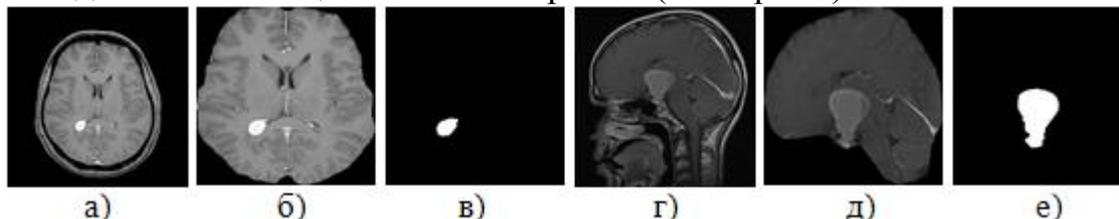


Рисунок 14 – Примеры удаления немозговых тканей и преобразования изображения в размер 256×256 : исходные МРТ-изображения (а) и (г); результаты удаления немозговых тканей и преобразования в размер 256×256 (б) и (д); золотой стандарт (в) (е)

Вместе с МРТ-изображениями ОГМ были получены заключения врача и измеренные им вручную параметры ОГМ. Это позволило с использованием пакета MATLAB сформировать "золотой стандарт". Для обработки МРТ-изображений ОГМ в пакете MATLAB, осуществлено их конвертирование в формат JPEG, так как в этом пакете МРТ-изображения формата DICOM обработать невозможно. Для повышения эффективности сегментации ОГМ на МРТ-изображениях в данной работе были удалены немозговые ткани. В основном, это череп в аксиальном срезе, лицо (носовая и ротовая области) в сагиттальном срезе и шея в корональном срезе. После этого все изображения были преобразованы в размер 256×256 для их нормирования и исключения зависимости результатов сегментации от размера изображения (рисунок 14, б и д). Результаты исследования методов сегментации на сформированных двух БД

МРТ-изображений ОГМ представлены на рисунках 15 и 16. Здесь приведены диаграммы размаха КД, Ч, С и Т (таблица, стр. 6). По оси *x* отмечены методы сегментации, а именно, пороговый метод (ПМ), автоматизированный пороговый метод (АПМ), метод наращивания областей (МНО), автоматизированный метод наращивания областей (АМНО), автоматизированный метод активных контуров (АМАК), разработанный алгоритм автоматизации процедуры сегментации ОГМ на МРТ-изображениях (РАС).

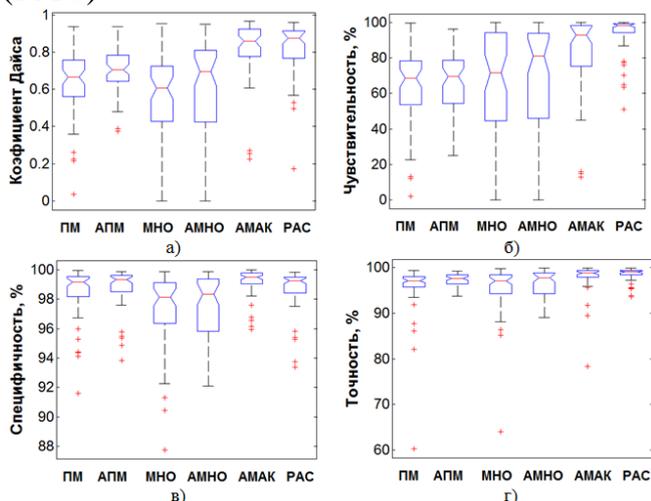


Рисунок 15 – Диаграмма размаха значений критериев КД (а), Ч (б), С (в) и Т (г) для первой БД

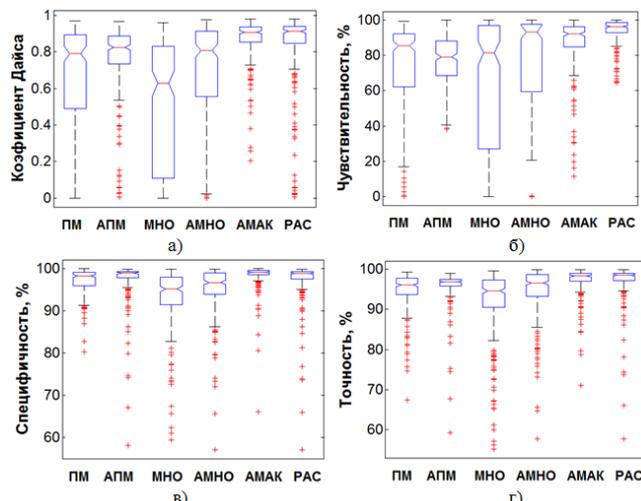


Рисунок 16 – Диаграмма размаха значений критериев КД (а), Ч (б), С (в) и Т (г) для второй БД

Анализ приведенных диаграмм размаха на рисунках 15 и 16 иллюстрирует повышение эффективности порогового метода и метода наращивания областей после их автоматизации, о чем свидетельствуют значения медианы всех критериев для обеих БД. Среднее значение всех критериев для РАС (93 для первой БД и 94 для второй БД) показывает, что РАС обеспечивает более эффективную (качественную) сегментацию по сравнению с другими рассмотренными методами, что иллюстрирует хорошее сходство с «золотым стандартом».

На основе полученных результатов было разработано прикладное программно-алгоритмическое обеспечение (ПАО) обработки МРТ-изображений ОГМ, на основе пакета MATLAB, блок-схема работы которого представлена на рисунке 17.

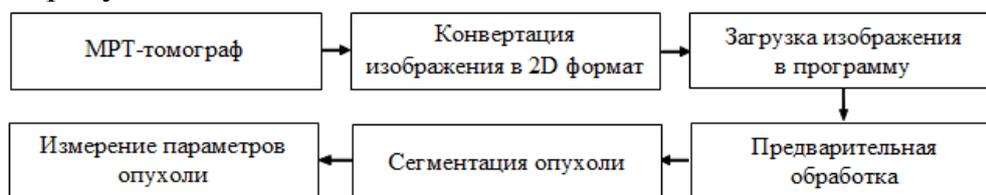


Рисунок 17- Блок-схема применения программно-алгоритмического обеспечения в диагностических центрах МРТ

Сначала получаемое МРТ-изображение ОГМ конвертируется с помощью внешней программы из формата Dicom в любой 2D формат, после чего загружается в ПАО для обработки. Затем, в блоке предварительной обработки

осуществляется подавление шума. После чего сегментируется опухоль и измеряются ее параметры, а именно: малая ось, большая ось, площадь и периметр.

В конце главы изложены возможные области применения разработанного программно-алгоритмического обеспечения обработки МРТ-изображений ОГМ, а также пути его совершенствования. Основным направлением развития данного ПАО является расширение его возможностей для сегментации ОГМ на изображениях других режимов МРТ, таких, как T2 и Flair.

В заключении сформулированы основные результаты работы:

1. Исследованы наиболее часто используемые методы фильтрации изображений для предварительной обработки МРТ-изображений и найдено, что на этом этапе фильтр Гаусса со средним отклонением 0,5 является лучшим среди рассмотренных методов фильтрации, так как обеспечивает самое высокое пиковое отношение сигнал-шум: 43 для первой и 47 для второй базы данных.

2. На основе анализа гистограммы яркости МРТ-изображения ОГМ разработан алгоритм автоматизации выбора порога яркости для сегментации пороговым методом, что позволило повысить эффективность метода на 6% и 11% по коэффициенту Дайса, 2% и 4% по чувствительности, 1% и 1% по специфичности, 2% и 1% по точности для первой и второй БД соответственно.

3. Для сегментации методом наращивания областей, на основе анализа гистограммы яркости МРТ-изображения ОГМ разработан алгоритм автоматизации выбора глобального порога и порога определения центров кристаллизации, что позволило повысить его эффективность на 5% и 14% по коэффициенту Дайса, 5% и 15% по чувствительности, 0,3% и 3% по специфичности, 1% и 4% по точности для первой и второй БД соответственно.

4. Разработан алгоритм автоматизации процедуры сегментации ОГМ на МРТ-изображениях, обеспечивающий более точную сегментацию ОГМ и включающий в себя алгоритм определения порога яркости, алгоритм локализации опухоли на основе расчёта среднего значения пикселей с максимальной яркостью в каждой строке и столбце изображения, а также алгоритм исключения сегментации сосуда вместо опухоли.

5. Проведены экспериментальные исследования разработанного алгоритма автоматизации процедуры сегментации ОГМ на реальных МРТ-изображениях головного мозга, результаты которого при сравнении с традиционным пороговым методом превосходит его на 12% и 18% по коэффициенту Дайса, 30% и 21% по чувствительности, 1% и 0,2% по специфичности, 3% и 2% по точности и превосходит традиционный метод наращивания областей на 24% и 32% по коэффициенту Дайса, 27% и 34% по чувствительности, 1% и 5% по специфичности, 2% и 6% по точности для первой и второй БД соответственно.

6. Полученные результаты исследований позволили разработать прикладное программно-алгоритмическое обеспечение, позволяющее в удобном виде обработать МРТ-изображение ОГМ (процедуры фильтрации и сегментации) и измерить основные параметры опухоли, а именно: малая ось, большая ось, площадь и периметр.

Публикации по теме диссертации
Статьи в журналах из перечня ВАК

1. **Абдулракеб, А.Р.А.** Обзор методов сегментации опухолей на МРТ-изображениях головного мозга / **А.Р.А. Абдулракеб, Л.Т. Сушкова, Н.А. Лозовская** // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – №1 (29) . –С. 192-208.
2. **Абдулракеб, А.Р.А.** Сравнительное исследование эффективности алгоритмов подавления шума на МРТ-изображениях головного мозга / **А.Р.А. Абдулракеб, Л.Т. Сушкова, К.В.Чирков** / Наукоемкие технологии. – 2015. – № 1. –16. –С. 62-68.
3. **Abdulraqeb, A.R.A.** Study of noise reduction algorithms at various artificial noises on MRI images / **A.R.A. Abdulraqeb, L.T. Sushkova, M.M Abounassif, P. J. Parameaswari, M. A. Muteb** // Динамика сложных систем — XXI век.– 2016. – № 3. –Р. 36-44.
4. **Абдулракеб, А.Р.А.** Автоматический метод сегментации опухоли головного мозга на МРТ-изображениях/ **А.Р.А. Абдулракеб, В.А. Аль-Хайдри, Л.Т. Сушкова, М.М. Абунасиф, П.Ж. Парамисуари, М.М. Мутеб**// Медицинская Техника.– 2017. – № 2. С. 16– 19.
5. **Абдулракеб, А.Р.** Модификация порогового метода сегментации полутонных изображений/ **А.Р. Абдулракеб**//Радиотехнические и телекоммуникационные системы.– 2017. – № 2. –С. 52– 60.
6. **Abdulraqeb, A.R.** An Automated Method for Segmenting Brain Tumors on MRI Images / **A.R. Abdulraqeb, W. A. Al-Haidri, L.T. Sushkova, M.M. Abounassif, P. J. Parameaswari, M. A. Muteb** // Biomedical engineering.– 2017. – Vol. 51. –No. 2. – Р. 97-101. Translated from Meditsinskaya Tekhnika. – 2017. – Vol. 51.– No 2. – pp. 16-19.

Публикации в других научных источниках

7. **Абдулракеб, А.Р.** Сушкова Л.Т. Применение преобразования радона для извлечения признаков из МРТ-изображений мозга с опухолевыми образованиями/ **А.Р. Абдулракеб, Л.Т. Сушкова**// сб. материалов докладов 11-ой международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии ФРЭМЭ-2014», книга 1, Суздаль, 1-3 июля 2014. – Владимир, ВлГУ, 2014. – С. 374– 377.
8. **Абдулракеб, А.Р.** Методы сегментации в задачах обработки медицинских изображений/ **А.Р. Абдулракеб, К.В. Чирков**: сборник материалов Всероссийской молодежной научной конференции «Современные проблемы биомедицинской инженерии», Саратов, 6-8 апреля 2015 г.– М.: Прондо.– СГТУ.– Саратов.– С. 126–130.
9. **Абдулракеб, А.Р.** Выделение границ опухоли головного мозга детектором Канни / **А.Р. Абдулракеб, Л.Т. Сушкова**// сб. материалов докладов 11-ой международной научно-технической конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ-2015» – Владимир,2015.– Владимир, ВлГУ, 2015. – С. 180– 181.

10. Чирков, К.В. Программный комплекс для обработки гистологических изображений / К.В. Чирков, **А.Р. Абдулракеб**, Е. Вдовина // Всероссийская конференция (с международным участием) «Радиоэлектронные средства получения, обработки и визуализации информации – (РСПОВИ-2015)», Москва, 26-28 октября 2015 г. – М.: РТНОС. 2015. С.113–116.
11. **Абдулракеб, А.Р.** Применение метода активных контуров без предварительного выделения границ для сегментации и измерения параметров опухолей головного мозга на МРТ – изображениях / **А.Р. Абдулракеб**, К.В. Чирков // Сборник материалов докладов 28-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы (Биомедсистемы – 2015)», Рязань, 9-10 декабря 2015 г. – Рязань, РГРТУ, 2015. – С. 101– 104.
12. **Абдулракеб, А.Р.** Разработка программного комплекса для обработки МРТ-изображений / **А.Р. Абдулракеб**, К.В. Чирков, Л.Т. Сушкова // сб. материалов докладов 12-ой международной научно-технической конференции «Физика и радио-электроника в медицине и экологии ФРЭМЭ-2016», книга 2, Суздаль, 5-7 июля 2016. – Владимир, ВлГУ, 2014. – С. 75– 77.
13. **Abdulraqeb, A.** The Results of Denoising Algorithms Comparison On Magnetic Resonance Images / **A. Abdulraqeb**, L. Sushkova, M. Abounassif, P. Parameaswari, M. Muteb // Proceedings of the 12th Russian–German Conference on Biomedical Engineering. – Suzdal.: VISU, July 4–7, 2016, P. 123– 127.
14. **Abdulraqeb, A.** Significance of Segmentation Methods in assessing Brain Tumor Magnetic Resonance / **A. Abdulraqeb**, L. Sushkova, M. Abounassif, P. Parameaswari, M. Muteb/ Proceedings of the 12th Russian–German Conference on Biomedical Engineering. – Suzdal.: VISU, July 4– 7, 2016, P. 148– 151.
15. **Абдулракеб, А.Р.** Автоматизация выбора порога в задачах сегментации опухоли головного мозга на МРТ-изображениях / **А.Р. Абдулракеб**, В.А. Аль-Хайдри, Л.Т. Сушкова // Сборник материалов VI Всероссийской научной конференции для молодых ученых, студентов и школьников «Актуальные вопросы биомедицинской инженерии», Саратов, 24 октября-12 декабря 2016г. – СГТУ. – Саратов. – С. 54–58.(65%).
16. **Абдулракеб, А.Р.** Автоматизация метода наращивания областей в задачах сегментации опухоли головного мозга на МРТ-изображениях / **А.Р. Абдулракеб**, В.А. Аль-Хайдри, Л.Т. Сушкова // Медицинские приборы и технологии: международный сборник научных статей / под общ. ред. А.З. Гусейнова, Н.Л. Коржука и А.В. Прохорцова. – Вып.7. – Тула: ТулГУ. – 2017. – С. 64–66.(65%).
17. **Абдулракеб, А.Р.А.** Программное обеспечение обработки МРТ изображений / **А.Р.А. Абдулракеб**, В.А. Аль-Хайдри, Л.Т. Сушкова // Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017616204, – рег. 02.06.2017. – Заявлено 07.04.2017., № 2017612980. – Оpubл. 21.06.2017.

Абдулракеб Атеф Рохан Абдулсамиа

**АЛГОРИТМЫ СЕГМЕНТАЦИИ ОПУХОЛЕЙ
ГОЛОВНОГО МОЗГА НА МРТ-ИЗОБРАЖЕНИЯХ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать ____ . ____ . ____ . Формат бумаги 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл.печ. л. 1,0.

Тираж 100 экз. Заказ

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.