Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Институт Кибернетики
Направление подготовки Информатика и вычислительная техника
Кафедра: Оптимизации Систем Управления

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Математическое и программное обеспечение сегментации и визуализации легкого человека по МРТ-изображениям с помощью высокопроизводительных вычислений

УДК 004.42:004.925.83:616.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ4В	Чеботарева Екатерина Николаевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ОСУ	Аксёнов Сергей Владимирович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ЭБЖ	Акулов Петр Анатольевич			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОСУ	Иванов Максим Анатольевич	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО (ФГОС 3+), критерии АИОР, заинтересованных работодателей и студентов
Общепрофессиональные компетенции		
Р1	Воспринимать и самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте.	Требования ФГОС 3+ (ОПК-1; ПК 3-6; ОК-4), критерий 5 АИОР (п. 1.1), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р2	Владеть и применять методы и средства получения, хранения, переработки и трансляции информации посредством современных компьютерных технологий, в том числе в глобальных компьютерных сетях.	Требования ФГОС 3+ (ОПК-5; ПК-7; ОК-7), критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.2), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р3	Демонстрировать культуру мышления, способность выстраивать логику рассуждений и высказываний, основанных на интерпретации данных, интегрированных из разных областей науки и техники, выносить суждения на основании неполных данных, анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями.	Требования ФГОС 3+ (ОПК-6; ПК-1,2; ОК-1,2), критерий 5 АИОР (п. 1.2), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р4	Анализировать и оценивать уровни своих компетенций в сочетании со способностью и готовностью к саморегулированию дальнейшего образования и профессиональной мобильности. Владеть, по крайней мере, одним из иностранных языков на уровне социального и профессионального общения, применять специальную лексику и профессиональную терминологию языка.	Требования ФГОС 3+ (ОПК-3,4; ПК-11,12; ОК-3), критерий 5 АИОР (п. 1.6, п. 2.2), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Профессиональные компетенции		
Р5	Выполнять инновационные инженерные проекты по разработке аппаратных и программных средств автоматизированных систем различного назначения с	Требования ФГОС 3+ (ПК-8–12; ОПК-2, ПК-7,6), критерий 5 АИОР (п. 1.3), соответствующий

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО (ФГОС 3+), критерии АИОР, заинтересованных работодателей и студентов
	использованием современных методов проектирования, систем автоматизированного проектирования, передового опыта разработки конкурентно способных изделий.	международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р6	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области проектирования аппаратных и программных средств автоматизированных систем с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта. Критически оценивать полученные данные и делать выводы.	Требования ФГОС 3+ (ПК-1–7; ОПК-6; ОК-4,9), критерий 5 АИОР (п.1.4), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р7	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения и эксплуатации аппаратных и программных средств автоматизированных систем различного назначения.	Требования ФГОС 3+ (ПК-13–19; ОПК-5; ОК-8), критерий 5 АИОР (п. 1.5), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Общекультурные компетенции		
Р8	Использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских, проектных работ и профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов, в управлении коллективом.	Требования ФГОС 3+ (ОК-5,8; ОПК-1,6; ПК-6,7,11,12), критерий 5 АИОР (п. 2.1, п. 2.3, п. 1.5), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р9	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, активно владеть иностранным языком, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.	Требования ФГОС 3+ (ОК-2,9; ОПК-4; ПК-1), критерий 5 АИОР (п. 2.2), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р10	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный	Требования ФГОС 3+ (ОК-1,6; ОПК-2; ПК-1,2),

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО (ФГОС 3+), критерии АИОР, заинтересованных работодателей и студентов
	уровень. Проявлять инициативу, в том числе в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности.	критерий 5 АИОР (п. 2.4, п. 2.5) , соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности, способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, способность к педагогической деятельности.	Требования ФГОС 3+ (ОК-3,4,7; ОПК-3; ПК-7), критерий 5 АИОР (п. 2.6), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Институт Кибернетики
Направление подготовки (специальность) 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»
Кафедра: Оптимизации Систем Управления

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ОСУ ИК
_____ _____ Иванов М.А.
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студентке:

Группа	**ФИО**
8ВМ4В	Чеботаревой Екатерине Николаевне

Тема работы:

Математическое и программное обеспечение сегментации и визуализации легкого человека по МРТ-изображениям с помощью высокопроизводительных вычислений	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1321/С от 19.02.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе *(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*	Объектом исследования является анализ и обработка графической информации, а именно МРТ-изображений (томограмм) легких человека. Данный программный продукт должен осуществлять сегментацию томограмм с целью локализации участков с легкими на изображении. По полученным для каждой томограммы результатам осуществляется визуализация легких, а именно построение их трехмерной модели. Среда разработки программного обеспечения Microsoft Visual Studio 2012. Языки программирования C#, GLSL ES, JavaScript.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов *(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).*	1. Изучение алгоритмов сегментации с дальнейшим проектированием применяемого алгоритма для сегментации легких. 2. Изучение алгоритмов построения трехмерной модели на основе двумерный изображений и разработка алгоритма трехмерной визуализации легких на основе результатов сегментирования. 3. Изучение технологии WebGL для создания и визуализации трехмерной модели. 4. Реализация алгоритмов сегментации томограмм и построения трехмерной модели легких на их основе.
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	Презентация в Microsoft PowerPoint

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич
Социальная ответственность	Акулов Петр Анатольевич
Раздел, выполненный на иностранном языке	Чердынцев Евгений Сергеевич
	Куркан Наталия Владимировна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Обзор литературы

Объект и методы исследования

Расчеты, аналитика, описание процесса создания программного обеспечения для сегментации и визуализации легкого человека и его результатов

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Социальная ответственность

3D modeling and new technologies in medicine

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.10.2015 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ОСУ	Аксёнов С.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ4В	Чеботарева Екатерина Николаевна		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Институт Кибернетики
Направление подготовки (специальность) 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»
Уровень образования – магистратура
Кафедра: Оптимизации Систем Управления
Период выполнения – осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2016 г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) /вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.04.2016 г.	Основная часть	70
05.05.2016 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
12.05.2016 г.	Раздел, выполненный на иностранном языке	10
20.05.2016 г.	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ОСУ	Аксёнов С.В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОСУ	Иванов М.А.	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 130 с., 10 рис., 14 табл., 39 источников, 4 прил.

Ключевые слова: МРТ легких, изображение, сегментация, магнитно-резонансная томограмма, визуализация, 3D-модель.

Объектом исследования являются анализ и обработка графической информации.

Цель работы – создание математического и программного обеспечения сегментации и визуализации легкого человека по МРТ-изображениям с помощью высокопроизводительных вычислений.

В процессе исследования проводились декомпозиция задачи на подзадачи, поиск, сбор и анализ информации по сегментации и визуализации медицинских изображений с последующим синтезом при проектировании, создание прототипов будущей программы, тестирование и отладка.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики, такие как быстродействие и нетребовательность к ресурсам памяти и центрального процессора, соответствуют предъявленным требованиям.

Степень внедрения: продукт является завершенным.

Область применения: медицина и компьютерное зрение (обнаружение легких на изображении и на основе этого построение их трехмерной модели для упрощения диагностики).

Экономическая эффективность работы обоснована с точки зрения ресурсосбережения и получения прибыли.

В будущем планируется разработать Интернет-версию данного приложения.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

сегментация: Процесс разделения цифрового изображения на несколько областей, или сегментов (суперпикселей), непохожих по некоторому признаку.

кластеризация: Группировка, разбиение множества объектов на непересекающиеся подмножества, кластеры, состоящие из схожих объектов.

графический процессор (англ. graphics processing unit, GPU): Отдельное устройство персонального компьютера или игровой приставки, выполняющее графическую визуализацию.

трехмерная модель (англ. three-dimensional model, 3D model): Модель объекта в трехмерной графике, представляющая собой совокупность вершин и ребер, которая определяет форму отображаемого многогранного объемного объекта.

программный продукт: Программное средство, предназначенное для поставки, передачи, продажи пользователю.

Оглавление

Введение 11

1 Обзор литературы 13

1.1 Получение трехмерной модели объекта 13

1.2 3D-сканирование 13

1.3 Методы реконструкции трехмерных объектов 16

1.4 3D-печать 20

1.5 Достижения трехмерной печати в медицине 25

1.6 3D-биопринтинг 26

2 Объект и методы исследования 30

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 34

4.1 Организация и планирование работ 34

4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта 38

4.3 Оценка экономической эффективности проекта 44

Список публикаций 47

Введение

На данный момент в мире, в особенности в индустриально развитых странах, прогрессируют заболевания органов дыхательной системы. Они занимают лидирующую позицию в Российской Федерации и во всемирной структуре заболеваемости, а среди причин смертности – третье место [1]. Поэтому для профилактики и успешного лечения заболеваний легких необходима своевременная диагностика.

В настоящий момент МРТ (магнитно-резонансная томография) один из самых популярных видов диагностики заболеваний, так как данный вид обследования не вызывает дискомфорт пациента и не требует внедрения инородного тела в его организм, также информативность этого метода позволяет обнаружить различные патологические изменения, кроме того, данная процедура позволяет избежать сильного облучения, в отличии от рентгена и компьютерной томографии [2]. Это обуславливает потребность в автоматизированных системах сегментации МРТ-изображений и построения трехмерных моделей по ним для более наглядного представления результатов медицинского обследования.

Зарубежные компании Medixant (продукт RadiAnt DICOM Veiwer) и 3D Systems (приложение Bespoke Modeling) работают над проблемой сегментации и визуализации органов человека по медицинским изображениям (рентгенограммы, томографии и т.д.). Им уже удалось реализовать функции построения трехмерных моделей и выделения органов на изображениях. Но данные решения являются дорогостоящими и требовательными к ресурсам. Исследования в данном направлении являются актуальными, так как существующими разработками еще не достигнута высокая точность сегментации и моделирования. Кроме того, они работают только со специальными форматами данных [3, 4]. Цель данной работы – реализовать доступное отечественное решение, позволяющее осуществлять сегментацию и объемную визуализацию легких человека на основе томограмм.

Объектом исследования является анализ и обработка графической информации.

Предмет исследования – сегментация и трехмерная визуализация легких человека на основе томограмм.

Научная и практическая новизна заключается в том, что было реализовано специализированное недорогостоящее приложение, нетребовательное к вычислительным ресурсам ЭВМ и учитывающее специфику работы с легкими, а именно с их МРТ-изображениями.

Результаты данной работы имеют практическую значимость для медицины и науки для выявления патологических изменений в легких и диагностики заболеваний, а также сферы трехмерной печати органов человека.

Реализация и апробация разработки по сегментации МРТ-изображений легких человека была использована в качестве научно-исследовательской практики и ее результаты были представлены на XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Технологии Microsoft в теории и практике программирования», где указанная работа была отмечена диплом второй степени.

1 Обзор литературы

Цифровые представления различных объектов являются на сегодняшний день необходимыми для различных сфер деятельности человека, таких как медицина, археология, искусство, развлекательная индустрия, производство, промышленность и многих других.

Наиболее перспективным представлением объекта является его трехмерная модель, так как она позволяет получить больше информации о его различных свойствах и характеристиках и является более реалистичной и наглядной.

1.1 Получение трехмерной модели объекта

Приложения, основанные на обработке трехмерных моделей широко распространены, благодаря развитию технологий и убывающей стоимости вычислительных мощностей, а также возрастающей доступности графических устройств для работы с трехмерными объектами.

3D-модель можно создать с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР, или CAD), а также с помощью измерений физического объекта. Первый способ представляет объекты с помощью уравнений и предусматривает описание сложных объектов как совокупность простых, второй – подразумевает измерение геометрических параметров объекта и таких его характеристик, как цвет и текстура [5].

1.2 3D-сканирование

В большинстве случаев для получения объемных моделей реальных объектов используют 3D-сканеры, работа которых основана на измерении координат точек поверхности сканируемого объекта. На основе полеченных координат происходит вычисления его объемной модели. Некоторые сканеры

способны распознавать цвет и текстуру объекта благодаря наличию специальных камер, что позволяет получить более реалистичную модель [5, 6]. Точность трехмерного сканирования составляет от 0.05 — 0.2 мм и определяется габаритами объекта [7].

По способу сканирования сканеры разделяются на контактные, которые непосредственно взаимодействуют с объектом, и бесконтактные, которые в свою очередь разделяются на трансмиссионные и отражающие. Отражающие сканеры вычисляют координаты точек поверхности на основе отраженного от объекта сигнала и могут быть оптическими и неоптическими, а оптические в свою очередь подразделяются по способности генерировать собственный сигнал на активные, которые производят и используют свое излучение (ультразвуковое, рентгеновское, лазерное), и пассивные сканеры, которые используют уже имеющиеся (чаще всего световое) [5, 6].

Все вышеперечисленные типы 3D-сканеров находят применение в различных сферах: инженерном и цифровом анализе, макетировании, цифровом архивировании, архитектуре, создании интерактивных компьютерных программ, игр, симуляторов и систем обучения. При необходимости, полученную модель можно уточнить и модифицировать в специальных редакторах. Но каждый тип сканера имеет свою специфику и применим для определенного типа задач [7].

Например, контактные сканеры подходят для объектов среднего размера и несложной формы без плавный переходов. Они не способны дать представление о внутреннем строении объекта, а для объектов имеющих множество мелких деталей процесс сканирования займет длительное время и даст невысокую точность результата. Но контактное трехмерное сканирование применимо в промышленности, где объекты (в основном различные детали и запчасти) отвечают необходимым требованиям. Ограничение на их применение накладывает в основном необходимость непосредственного контакта между данным видом сканера и объектом.

Бесконтактные сканеры более универсальны и точны, они имеют возможность работы с как очень мелкими, так и большими объектами (здания и сооружения и т.п.), а также сложными геометрическими формами, поэтому находят применение для более широкого круга задач [6]. Для создания более совершенных моделей и расширения сферы применения используется гибридный подход в трехмерном сканировании, позволяющий сочетать преимущества нескольких технологий [5].

Виртуальные обучающие системы и симуляторы являются результатом развития 3D-технологий и позволяют свести к минимуму ошибки человека при выполнении сложных и опасных задач. Они находят применение в авиации, где используются авиатренажеры для подготовки летчиков; а также в хирургии, где врач может тренироваться на виртуальном пациенте и выбрать наиболее подходящий и способ сводящий к минимуму вмешательство, что позволяет сократить время пребывания пациента под наркозом. В медицине трехмерное сканирование используется в пластической хирургии, имплантации, протезировании и создании наглядных пособий для врачей, которым полученные модели органов помогают спланировать серьезные операции и уменьшить риск для жизни и здоровья пациента. Также можно с помощью специального автоматического оборудования произвести запись движений, совершаемых скальпелем, для дальнейшего проведения операции автоматически [8]. Однако, задача, связанная со сканированием внутренних органов человека выполнима только для бесконтактного трансмиссионного сканера промышленной компьютерной томографии, использующего рентгеновское излучение [9]. Но этот метод не является самым безопасным для здоровья по причине радиации.

1.3 Методы реконструкции трехмерных объектов

Помимо объемного сканирования, использующего плотное множество точек (координат), существует еще несколько подходов к 3D-реконструкции объектов.

Первый способ – это получение трехмерной модели объекта по его модели. Существует несколько их видов: на основе полигональной сетки, поверхностные и твердотельные САПР-модели [6].

Полигональная сетка подразумевает представление кривых поверхностей как множества маленьких плоских граней. Такие модели применяются для визуализации в автоматизированном производстве, но они являются тяжеловесными (так как содержат много данных) и их редактирование зачастую невозможно. Реконструкция 3D-объекта из модели на основе полигональной секи включает в себя поиск и соединение смежных точек с прямыми линиями для создания непрерывной поверхности. Для этих целей доступны приложения, такие как Rhino 3D, AutoCAD, JRC 3D Reconstructor и другие [6].

Поверхностная модель представляет моделируемую форму как совокупность участков кривых поверхностей, таких как различные сплайны, например, NURBS (неоднородный рациональный B-сплайн), позволяющий представить сферу как действительную математическую сферу [10]. Среди приложений, позволяющих работать с кривыми поверхностями, лучшими являются те, которые одновременно предполагают комбинацию ручного и автоматического задания криволинейных участков, так как полученные в результате данные не тяжеловесные и являются более манипулируемыми при экспорте в САПР. Полученные модели редактируемы, но для этого необходима с осторожность и точность. Данный способ хорошо подходит для моделирования органических форм и произведений искусства. Возможность работы по поверхностному моделированию предоставляют следующие программы: Rhino 3D, Geomagic, Rapidform [6].

Твердотельные модели с точки зрения инженерии и производства представляют собой окончательную редактируемую параметрическую САПР-модель. Использование параметров позволяет с легкостью модифицировать модель объекта, изменяя их значения. Кроме того, твердотельное моделирование позволяет описать достоверные физические характеристики объекта, чем упрощает расчеты при проектировании. САПР-модели также учитывают критические параметры и их взаимосвязь с другими параметрами или функциями [6, 11].

Существует несколько способов получения параметрической САПР-модели: экспорт NURBS-поверхностей и отправка их на доработку в редакторе автоматизированного проектирования (приложения Rhino 3D, Geomagic), получение данных сканирования и использование их для создания редактируемой и подлежащей проверке модели, которая импортируется в САПР с полной функциональностью и без изменений, сохраняя дизайн и инженерный замысел (Geomagic и Rapidform). Другие приложения позволяют манипулировать в САПР граничными точками и моделями полигонов, это такие надежные программы, как AutoCAD [6].

Второй способ реконструкции трехмерных объектов – лазерное сканирование, которое представляет собой общий метод измерения или сканирования поверхности с использованием лазерной технологии. Существует несколько областей применения данного способа, отличающихся мощностью используемого лазера и полученными результатами сканирования. Лазеры низкой мощности используются, когда на сканируемую поверхность не должно оказываться какое-либо влияние, например в тех случаях, когда она должна быть только оцифрована. Конфокальное (софокусное) или трехмерное лазерное сканирование – методы получения информации о сканируемой поверхности объемного объекта. Другое применение низкомощного лазера – системы проекции структурированного света для измерения в солнечных плоскостных ячейках, позволяющее рассчитывать напряжение на более чем 200 пластинах в

час. Мощность лазерного излучения, используемого в оборудовании для лазерного сканирования в промышлености, как правило не превышает 1 Вт [6].

Следующий способ воссоздания объемных объектов основан на анализе двумерных изображений (срезов). Сканеры компьютерной томографии, МРТ, промышленной и микротомографии позволяют получить не плотное множество точек, как при трехмерном сканировании, а наборы томограмм, представляющих собой двумерные послойные изображения срезов ткани, которые затем соединяются для получения 3D-представления. В зависимости от требований к полученному результату, выделяют несколько способов получения объемных объектов по медицинским изображениям: объемный рендеринг, сегментация изображений, анализ изображения на основе сетки.

Объемный рендеринг обычно используется только для визуализации сканируемого объекта. Разные части объекта обычно имеют различные пороговые значения или значения интенсивности серых тонов, на основании чего трехмерная модель может быть сконструирована и показана на экране. Многоуровневая модель может быть создана с использованием различных порогов, позволяющих различным цветам представлять каждый компонент объекта.

Сегментация изображения применяется в случаях, когда пороговые или полутоновые значения близки для различных его частей, становиться невозможным разделить их лишь изменением значений параметров рендеринга. Сегментация – процедура разделения изображения на различные участки по определенному признаку, которая вручную или автоматически позволяет убрать нежелательные структуры с изображения. Например, программа ImageVis3D созданная в университете Юты (США), в центре биомедицинских вычислений, позволяет это осуществить [12]. Программы сегментации изображений обычно предусматривают возможность экспорта сегментированных структур в форматы САПР или STL для дальнейших манипуляций [6]. Полученные сегменты соединяются между собой, для чего можно использовать специализированную программу Seg3D, созданную там же в университете штата Юты [12].

Анализ изображения на основе сетки – автоматизированный процесс генерации точных и реалистичных геометрических описаний сканируемых данных. Этот подход используется, когда применения трехмерных данных для вычислительного анализа (например, вычислительная гидродинамика или метод конечных элементов) простая сегментация и объединение с САПР затратны по времени и практически невыполнимы для сложных топологий, типичных для подобных изображений [6].

Создание трехмерных моделей органов человека по результатам МРТ или компьютерной томографии используется в медицине. Также создаются новые разработки, например персональная трехмерная модель сердца на основе МРТ для выявления пациентов с высоким риском аритмии. Суть разработки заключается в создании объемной подвижной модели сердца и сравнении ее с эталоном, на основе чего выявляются проблемные участки, которые не сокращаются своевременно, а также шрамы после инсультов. На рис.1.1 показаны МРТ-снимки сердца пациента, построенная на их основе трехмерная модель с выделенными шрамами и поврежденными тканями, а также итоговая модель с выделенными темным проблемными областями с запаздывающим сокращением.

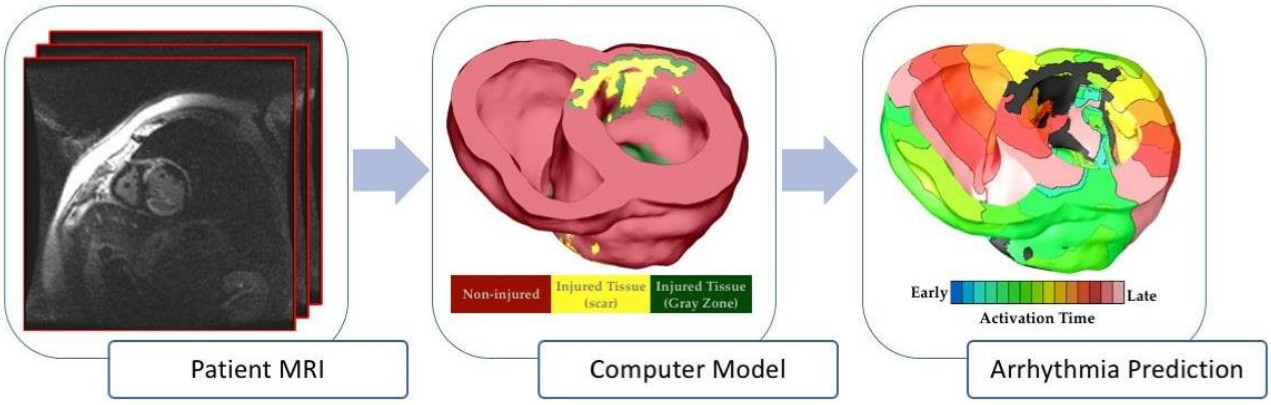

Рисунок 1.1 – Демонстрация основных этапов работы программы по выявлению аритмии

Для создания трехмерной модели прежде всего необходимо выделить сердце на каждой томограмме. Это достигается путем сегментации МРТ-изображений (рис. 2.1).

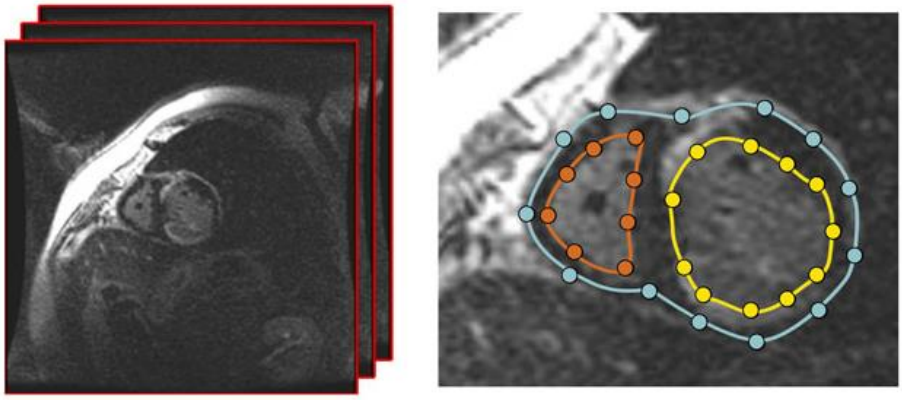

Рисунок 1.2 – Сегментация МРТ-изображений для воссоздания трехмерной модели сердца

Данная разрботка поможет врачам подобрать эффективное и своевременное лечение, что позволит снизить смертность [13, 14].

1.4 3D-печать

Все достижения в области трехмерного моделирования неразрывно связаны с развитием технологий 3D-печати. 3D-принтеры позволяют получить объемное материальное воплощение модели из ее цифрового представления путем последовательного формирования слоев материала. Для многих технологий трехмерной печати доступно использование нескольких материалов одновременно, цветная печать, а также одновременное использование этих возможностей. Разрешение таких принтеров достаточно для многих сфер применения, но несмотря на это можно его увеличить распечатав объект немного большего размера в стандартном разрешении, и затем удалив лишний материал с более высоким разрешением для субтрактивного метода. Это позволит добиться более высокой точности. Кроме того, трехмерная печать ускоряет, упрощает и зачастую удешевляет процесс создания материальных объектов [15].

Некоторые методы трехмерной печати требуют внутренних опор для создания нависающих частей. После завершения печати эти опоры должны быть растворены или удалены механически.

Все коммерческие трехмерные принтеры для работы с металлом поддерживают отделение металлических компонентов от металлической подложки после осаждения. Дуговая сварка в защитных газах – новый процесс в 3D-печати, который позволяет убрать с поверхности подложки разных модификаций алюминий или сталь [15].

Несколько процессов трехмерной печати были изобретены в конце 1970-х годов. Первые принтеры были очень габаритными и дорогими, а также очень ограниченными в том, что могут печатать. Первый 3D-принтер для домашней печати был разработан 3D Systems в 1988 году [15, 16].

Сейчас доступно большое количество технологий 3D-печати. Основные различия между ними заключаются в использовании различных материалов и в способах нанесения слоев для создания объекта. Существует несколько основных подходов к трехмерной печати.

Далее будут рассмотрены методы формирования слоя на основе равномерных тонких слоев порошка, в основном пластикового.

Технология селективного лазерного спекания (selective laser sintering, SLS) основана на спекании пластикового или металлического порошка (Direct metal laser sintering, DMLS) лучом лазера. Для получения слоя на платформу наносится тонкий равномерный слой порошкового реагента, а затем он подвергается лазерному облучению.

Электронно-лучевая плавка (electron-beam melting, EBM) представляет собой похожий способ изготовления металлических деталей (например, из титановых сплавов). Данная технология основана на плавлении металлического порошка электронным пучком в вакууме и позволяет добиться отсутствия пустот.

Выборочное тепловое спекание (selective heat sintering, SHS) основано на послойном плавлении порошка термопластика нагревательной головкой.

Технология селективного лазерного плавления (selective laser melting, SLM) полностью расплавляет порошок с помощью высокоэнергетического лазера для создания плотных материалов послойным методом, механические

свойства которых близки к металлам, произведенным традиционным способом [15].

Струйная трехмерная печать предполагает также использование слоев порошка, на который наносится материал, связывающий между собой слои. Данная технология позволяет напечатать цветные предметы, эластомерные и навесные части. Прочность межслойных соединений можно повысить термореактивной полимерной пропиткой или воском. Данная технология не требует использования внутренних опор и позволяет работать с такими материалами, как гипс, пластик и металл [15, 17].

Следующие методы основанные на фотополимеризации: лазерная стереолитография (laser stereolithography, SLA) и цифровая световой проекция (digital light processing, DLP) позволяют создавать с высокой точностью твердые объекты из жидких материалов, таких как фотополимерные смолы. При этом рабочая поверхность находится в емкости с жидким фотополимером. В технологии SLA полупрозрачный материал (деформируемый под действием атмосферной влаги) затвердевает по действием облучения лазером. Более новая и дешевая технология DLP использует вместо лазеров цифровые светодиодные проекторы, излучающие ультрафиолет. Это позволяет ускорить печать, так как, в отличии от SLA, формируется весь слой сразу [15, 16].

Следующие технологии относятся к методам экструзионной печати, в основе которой лежит продавливание расплавленного материала через специальное формующее отверстие. Для этих методов доступно одновременное использование нескольких материалов и цветная печать.

Моделирование методом наплавления (fused deposition modeling, FDM) или производство способом наплавления нитей (fused filament fabrication, FFF) основано на выдавливании мелких капель материала (в основном термопластик, а также пищевые материалы, каучуки, металлоглина), который сразу затвердевает, образуя слои. Материал подается в виде нити, а затем расплавляется в экструдере и подается на рабочую поверхность. В данной технологии используются опоры, обычно растворимые [15]. Существуют версии

FDM-принтеров для ручной печати, выполненные в виде ручек для рисования объемных объектов [16]. Эта технология является самой недорогостоящей, за счёт чего применяется в бытовых 3D-принтерах, но уступает в точности стереолитографии.

Вторая технология, основанная на экструзии – робокастинг (Robocasting или Direct Ink Writing, DIW). Печатающий материал выходит в жидком состоянии из сопла и сразу же принимает необходимую форму без высыхания или затвердевания (псевдопластичность). Это позволяет изготавливать практически любую форму без ограничений, в отличии от моделирования методом наплавления. После изготовления полученному изделию придают необходимые свойства путем сушки или обработки [15, 18].

Изготовление объектов с использованием ламинирования (laminated object manufacturing, LOM) представляет собой послойное склеивание тонких листов используемого материала (бумага, металл, пластик) путем нагрева или давления и послойное вырезание лазером или режущим инструментом контуров печатаемого объекта. Однако, в некоторых случаях бывает затруднительно убрать лишний материал. Эта технология не нуждается в использовании вспомогательных опор, так как отсутствуют пустоты [15].

При использовании метода ламинирования, как и при подаче проволочного материала и точечной подаче порошка, поддерживается возможность использования нескольких материалов и цветная печать.

Отдельно следует отметить технологию с общедоступными разработками и открытым исходным кодом, распространяющую конструкторскую информацию на условиях General Public License – проект RepRap (Replicating Rapid Prototyper) – самовоспроизводящийся механизм для быстрого прототипирования, основанный на идее создания самовоспроизводящегося 3D-принтера. RepRap – один из старейших проектов, основанный в 2005 году в университете Бата (Великобритания), позволяющий производить не только более чем половину деталей для трехмерных принтеров (в том числе печатные платы), но и другие объемные объекты. Зачастую используется вышеупомянутая

технология производства способом наплавления нитей (FFF), которая полностью аналогична FDM. Но Fused Deposition Modeling является торговой маркой компании Stratasys. Таким образом, термин «Fused Filament Fabrication» позволяет сделать технологию более доступной за счет снятия юридических ограничений в использовании. Данная разработка позволит распределить устройства между людьми и организациями, открывая возможность недорогого производства различных материальных предметов и устройств, включая сами 3D-принтеры без дорогой производственной инфраструктуры. Кроме того, эта технология делает реальным производство различных повседневных вещей обычными людьми, даже в отдаленных районах, так как возможно распространять и совершенствовать сами принтеры, а модель любого объекта можно загрузить из сети Интернет [19].

В настоящее время трехмерная печать применяется во многих сферах: архитектуре и строительстве, промышленности и дизайне, образовании, кулинарии и быту, медицине.

В архитектуре существует возможность создавать объемные макеты сооружений и зданий, районов с их инфраструктурой (дороги, освещение, парки и т.д.) [16].

В строительстве данная технология позволит ускорить, упростить и удешевить процесс возведения зданий. В Университете Южной Калифорнии прошли испытания 3D-принтера для создания крупногабаритных объектов, в результате которых за 20 часов был возведен двухэтажный дом. В 2014 году компания WinSun (Шанхай) построила (посредствам трехмерной печати) 10 домов за сутки, а затем напечатала 2 дома, один из которых пятиэтажный [15].

В промышленности 3D-печать применяется для быстрого прототипирования и производства, а также для литейного, мелкосерийного производства и для изготовление деталей (в том числе и для беспилотных самолетов). Этот подход позволяет существенно снизить затраты и сделать технологии разработки и производства более гибкими.

Возможность цветной печати и создания сложных форм открывает широкие перспективы для дизайнеров [15, 16].

В образовании появилась возможность работы с качественными и недорогими макетами и наглядными пособиями, например органов человека для студентов медицинских ВУЗов. Также, благодаря применению 3D-принтеров, появилась возможность создавать прототипы экспериментальных разработок.

Появилась возможность изготовления одежды и обуви, сувениров, украшений и предметов домашнего обихода методом трехмерно печати. Принтеры, способные работать с пищевыми продуктами, применяются в кулинарии. Ведутся также разработки для домашнего производства бытовой химии и лекарств [15].

1.5 Достижения трехмерной печати в медицине

Особого внимания заслуживает применение технологии трехмерной печати в медицине, так как это уже сейчас помогает улучшить здоровье и спасти жизни многих людей.

В Бостонской детской больнице активно используется объемная печать моделей внутренних органов и костей для подготовке к операциям и обучения хирургов выявлению аномалий. Это дает врачам возможность получить исчерпывающую информативную о состоянии больного органа и применяется в нейрохирургии, кардиологии и других областях [20].

3D-принтеры применяются также в стоматологии, протезировании и при изготовлении имплантатов. Австралийские хирурги поставили пациенту из Испании точную копию ребер из титана. Ранее, в связи с саркомой грудной клетки, ему была сделана операция, после которой он утратил часть ребер. Имплант подошел идеально. После имплантации у пациента улучшилось состояние здоровья [21].

Еще один пример успешного применения технологий трехмерной печати в имплантации – успешная замена верхней части черепа имплантом,

изготовленным из особого прочного прозрачного пластика, распечатанным на 3D-принтере. Операцию провели в Нидерландах. Пациентка – девушка с хроническим заболевание костей, приведшим к значительному утолщению костей черепа. Эта патология привела к ухудшению зрения и сильным головным болям, была угроза повреждения мозга. Операция прошла успешно, состояние пациентки улучшилось, к ней вернулось зрение и работоспособность. Впервые была заменена столь крупная часть черепной коробки [22].

Также ведутся разработки по восстановлению и выращиванию органов и нервов. На крысах опробован метод восстановления нервов на основе силиконового каркаса, распечатанного на 3D-принтере, с биохимическими метками для восстановления ткани нерва. После введения распечатанной части в место повреждения седалищного нерва, через 10 – 12 недель ткани восстанавливались и крысы были способны нормально передвигаться [23]. Кроме того, университетом Миссури ведутся разработки по выращиванию органов. Необходимые клетки наносят на специальный био-гель [15].

1.6 3D-биопринтинг

Вышеупомянутые достижения связаны с технологией создания тканей и органов на основе клеточного материала – 3D-биопринтингом. В процессе создания биологических тканей, чаще всего послойным методом, сохраняется жизнеспособность и функциональность используемых в качестве печатного материала клеток. В большинстве случаев клетки размещаются на биосовместимой основе, которая в большинстве случаев расворяется в процессе развития тканей. Полученный материал в дальнейшем выращивается в инкубаторе. Органы и ткани, полученные с помощью биопринтинга, уже находят применение при тестировании лекарственных препаратов. Кроме того, с помощью биопринтеров можно создавать лекарства и пищевые продукты [24, 25].

Трехмерный биопринтинг включает в себя 3 стадии: пре-биопринтинг, когда происходит создание 3D-модели органа и специальное выращивание клеток для его создания; биопринтинг – размещение полученных клеток в картриджи и последующая печать согласно модели; пост-биопринтинг – поддержание развития и жизнеспособности полученного органа путем химических и биологических раздражителей, которые также необходимы для контроля роста тканей и выполнения необходимых биологических процессов. На второй стадии создания органа (биопринтинг) применяются методы печати, такие как стерео- и фотолитография, экструзия, а также магнитный биопринтинг и другие [24].

Выбор метода печати зависит от типа создаваемых тканей. Метод послойного наплавления подходит для создания костей. В этом случае в качестве материала применяют полимеры природного происхождения. Для создания мягких тканей (кожа, хрящи) подача материала осуществляется дозированными каплями или непрерывной струей [25].

На данный момент есть достижения в производстве методом биопринтинга не только определенных типов биологических тканей, но и функционирующих полноценных органов, в том числе человеческих. В 2013 ученые из Китая начали печатать ткани печени, почек и хрящей с помощью своей разработки – биопринтера Regenovo. В Бельгии провели успешную имплантацию распечатанной челюсти [15].

Кроме того, с помощью биопринтера были созданы почки, сохранявшие жизнеспособность две недели. А в 2014 году американские ученые из компании Organovo создали человеческую печень, которая функционировала в течение пяти недель. Также существует возможность создавать клапаны сердца, сосуды, ушные раковины. Сосуды чаще всего создают с помощью специальных трубок которые затем обрастают живыми клетками[25]. На рис. 1.3 представлена САПР-модель такой трубки.

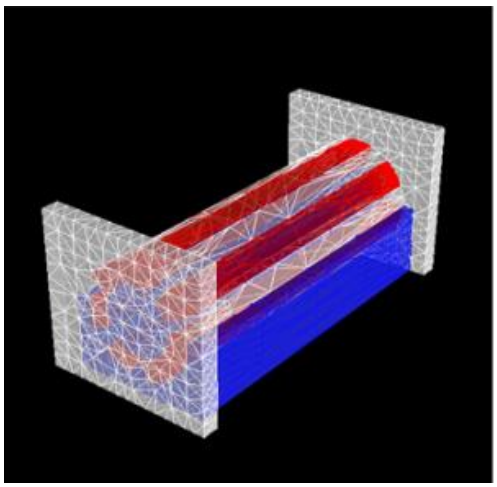

Рисунок 1.3 – САПР-модель трубки-основы, используемой для создания сосудов

Затем полученная модель печатается на 3D-принтере (рис. 1.4) и на нее помещаются живые клетки.

Рисунок 1.4 – Напечатанная трубка для выращивания сосудов

В начале 2016 года российским ученым из Сколково, лаборатория 3D Bioprinting Solutions, удалось напечатать щитовидную железу мыши на разработанном ими биопринтере «FABION», стоимостью 150 тысяч евро. Из эмбриональных тканей изготовили специальные биочернила (сфероиды), в которых клетки сразу начинают взаимодействовать между собой. Печать щитовидной железы заняла всего час. Затем орган был успешно имплантирован мыши. Он нормально функционировал и не отторгался [26].

В ближайшие 10 – 20 лет ученые надеются использовать органы, распечатанные на 3D-биопринтере для имплантации человеку. Это позволит

решить проблему дефицита донорских органов. Кроме того, созданные ткани могут обладать улучшенными свойствами по сравнению с обычными человеческими органами благодаря использованию специальных веществ [24].

2 Объект и методы исследования

При выполнении курсовых и практических работ, целью которых было создание программного продукта, отвечающего определенным требованиям были получены технические задания и представлены результаты их выполнения.

Техническое задание к курсовой работе, в ходе которой был написан графический редактор приведено в Приложении Б.

Результаты выполнения научно-исследовательской практики, в ходе которой была написана программа «Find Region» (рис. 2.1) были доработаны и использованы в программном продукте «ImageSegmentator».

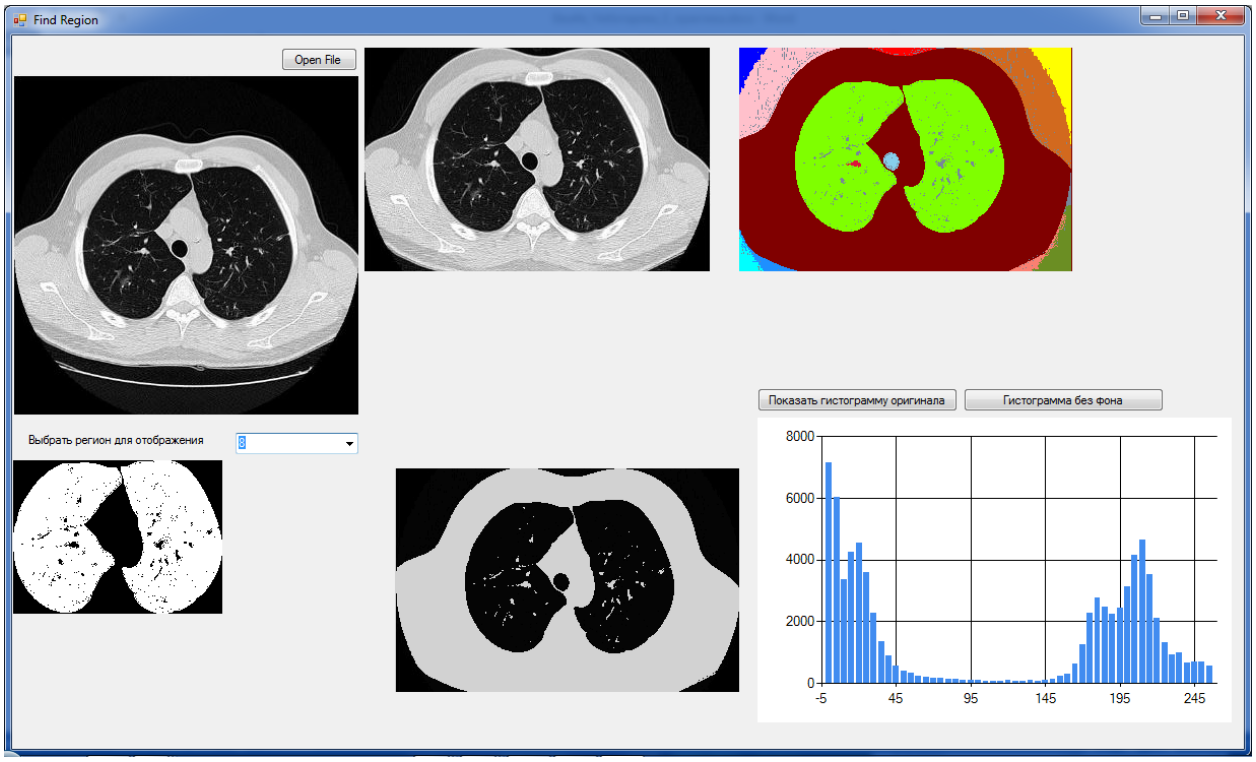

Рисунок 2.1 – Окно программы после выбора изображения и региона и демонстрации гистограммы

Полученные результаты, представленные на рис. 2.1, отвечают следующим требованиям.

Созданная разработка программы, которая выделяет регионы на МРТ-изображении, в том числе сами легкие человека.

Основные задачи работы.

1. Открыть файл изображения томограммы.

2. Выводить на экран результаты минимизации черного фона и произвести обработку полученного в результате изображения.

3. Выводить на экран результаты выделения основных цветов и регионов в виде изображений.

4. Пользователь может вывести на экран гистограмму, демонстрирующую оттенки изображения и соответствующее им количество пикселей.

5. Пользователь может выбрать регион и вывести на экран его изображение.

Данные задачи были решены средствами Microsoft Visual Studio 2012 с помощью языка программирования C#.

Объектом исследования данной работы является анализ и обработка (сегментация) медицинских изображений (томограмм).

Необходимо разработать программный продукт, осуществляющий анализ и сегментацию МРТ-изображений легких и построение их трехмерной модели (на основе результатов сегментации, проводимой для выделения легких на изображениях).

Чтобы решить поставленную задачу, необходимо применить следующие методы.

1. Декомпозиция задачи на подзадачи (проект был разделен на две части для упрощения и оптимизации решения поставленной задачи).

2. Сбор и поиск информации по выбранной тематике.

3. Анализ информации с последующим синтезом при разработке алгоритмов и проектировании приложения.

4. Метод создания прототипов будущей программы (так называемое прототипирование или макетирование), включающий неполную функциональность программы, с целью овладения новыми навыками и умениями, которые используются для создания уже полноценного программного продукта.

5. Метод кластеризации и сегментации изображений, необходимый для выделения участков с легкими на каждом изображении-томограмме.

6. Метод построения трехмерной модели на основе двумерных данных, который позволяет создавать 3D-модель на основе медицинских изображений.

7. Проведение экспериментов – тестирование и отладка, как во время этапа кодирования, так и после его завершения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студентке:

Группа	ФИО
8ВМ4В	Чеботаревой Екатерине Николаевне

Институт	Кибернетики	Кафедра	ОСУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Информатика и вычислительная техника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*	
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*	
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ*	
2. *Разработка устава научно-технического проекта*	
3. *Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок*	
4. *Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности*	
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)***:**	
1. *Таблица трудозатрат на выполнение проекта* 2. *Линейный график работ*	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.01.2016

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ4В	Чеботарева Екатерина Николаевна		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В работе осуществляется создание программного обеспечение сегментации и визуализации легкого человека. Целью данного раздела является экономическое обоснование вышеуказанной научной разработки, а также определение и расчет трудовых и денежных затрат на ее создание.

4.1 Организация и планирование работ

Для успешной организации процесса роботы на конкретной задачей необходимо рационально спланировать занятость каждого из участников и сроки проведения отдельных этапов работы.

На данном этапе составляется полный список необходимых работ, назначаются их исполнители и продолжительность. Результатом планирования работ является линейный график реализации проекта.

Перечень этапов настоящей работы и продолжительность их выполнения в процентном соотношении для научного руководителя (НР) и исполнителя (И) представлены в табл. 4.1

Таблица 4.1 – Распределение занятости научного руководителя и исполнителя по этапам работы

Этапы работы	**Исполнители**	**Загрузка исполнителей**
Постановка целей и задач	НР	НР – 100 %
Разработка и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100 % И – 10 %
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 40 % И – 100 %
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100 % И – 10 %

Продолжение таблицы 4.1

Этапы работы	**Исполнители**	**Загрузка исполнителей**
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30 % ИП – 100 %
Проектирование структуры ПО	НР, И	НР – 40 % И – 100 %
Разработка ПО	НР, И	НР – 30 % И – 100 %
Тестирование и отладка ПО	НР, И	НР – 30 % И – 100 %
Устранение проблем и оптимизация	И	И – 100 %
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100 %
Оформление графического материала	И	И – 100 %

4.1.1 Продолжительность этапов работ

Для определения ожидаемой продолжительности работ $t_{ож}$ с помощью экспертных оценок была использована следующая формула:

$$t_{ож} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5}, \quad (4.1)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работ, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работ, дн.

Длительность этапов в рабочих днях $T_{РД}$ вычислялась по формуле:

$$T_{РД} = t_{ож} \cdot K_{д}, \quad (4.2)$$

где $K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д}$=1,2).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях $T_{КД}$ ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (4.3)$$

где $T_{РД}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (4.4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ}$ = 366);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД}$ = 53);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД}$ = 14).

$$T_{К} = \frac{366}{366 - 53 - 14} \approx 1{,}224$$

Все расчеты по трудозатратам представлены в таблице, приведенной в Приложении В, в которой итоги по продолжительности этапов работы в рабочих и календарных днях являются общими трудоемкостями для каждого из участников проекта. Далее они будут использованы для расчетов. Величины трудоемкости этапов по исполнителям $T_{КД}$ (данные столбцов 8 и 9 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта, приведенный в Приложении Г.

1.4.2 Расчет накопления готовности проекта

В данном разделе определяется степень готовности проекта. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего (i-го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом. Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа представлены в табл. 4.2.

Для определения степени готовности проекта используется следующая формула:

$$СГ_i = \frac{ТР_i^Н}{ТР_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^{i} ТР_k}{ТР_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^{i}\sum_{j=1}^{m} ТР_{km}}{\sum_{k=1}^{I}\sum_{j=1}^{m} ТР_{km}}, \quad (4.5)$$

где $ТР_{общ.}$ – общая трудоемкость проекта;

$TP_i(TP_k)$ – трудоемкость i-го (k-го) этапа проекта;

$ТР_i^Н$ – накопленная трудоемкость i-го этапа проекта по его завершении

TP_{ij} (TP_{kj}) − трудоемкость работ, выполняемых j-м участником на i-м этапе, здесь $j = \overline{1,m}$ − индекс исполнителя (в данном случае m = 2, так как в проекте 2 исполнителя). Расчет данной величины производится на основании столбцов 6 и 7.

Таблица 4.2 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этапы работы	**$ТР_i$, %**	**$СГ_i$, %**
Постановка целей и задач	2,31	2,31
Разработка и утверждение ТЗ	2,90	5,20
Подбор и изучение материалов по тематике	17,99	23,20
Разработка календарного плана	2,54	25,74
Обсуждение литературы	7,50	33,23
Проектирование структуры ПО	13,84	47,07
Разработка ПО	22,28	69,35
Тестирование и отладка ПО	12,85	82,20
Устранение проблем и оптимизация	5,77	87,97
Оформление расчетно-пояснительной записки	8,07	96,04
Оформление графического материала	3,95	100,00

Как видно из табл. 4.2, при выполнении последнего этапа работы степень готовности проекта становиться равной 100%, что подтверждает верность расчетов.

4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Для проекта по созданию программного обеспечения сегментации и визуализации легкого человека производится оценка затрат по следующим статьям:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- прочие расходы.

Так как работа выполнялась без привлечения сторонних организаций и для ее выполнения не требовалась аренда какого-либо имущества, а также не было необходимости в командировках, расходы по соответствующим статьям отсутствуют.

4.2.1 Расчет затрат на материалы

В материальных затратах будут учтены только расходы на канцелярские принадлежности и картриджи для принтера, так как все необходимые для работы над проектом материалы имелись в распоряжении кафедры, на которой велась разработка.

Материалы необходимые для выполнения данной работы и расчет материальных затрат представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Материальные затраты

Наименование материалов	**Цена за ед., руб.**	**Кол-во**	**Сумма, руб.**
Бумага для принтера формата А4	210	1 уп.	210
Ручка шариковая	30	2 шт.	60
Картридж	1600	1 шт.	1600
Блокнот	45	2 шт.	90
Итого:			**1960**

4.2.2 Расчет заработной платы

Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Месячный оклад (МО) НР, занимающего должность доцента и имеющего степень кандидата технических наук, составляет 23484,86 руб./мес. МО исполнителя, являющегося инженером первого уровня составляет 7864,11 руб./мес.

Исходя из того, что в месяце в среднем 24,83 рабочих дня при шестидневной рабочей неделе среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{дн-т}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн-т} = МО/24,83 \quad (4.6)$$

Расчеты затрат на полную заработную плату приведены в табл. 4.4. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы трудозатрат в Приложении В. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: премиальный $К_{ПР}$ = 1,1; дополнительной заработной платы $К_{доп.ЗП}$ = 1,188 (для шестидневной рабочей недели); и районный $К_р$ = 1,3. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $К_и$ = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699.

Таблица 4.4 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	**Оклад, руб./мес.**	**Среднедневная ставка, руб./раб.день**	**Затраты времени, раб.дни**	**Коэффициент**	**Фонд з/платы, руб.**
НР	23484,86	945,83	38	1,699	61064,68
И	7864,11	316,72	108	1,699	58115,59
Итого:					**119180,26**

4.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН) включают в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование и составляют 30% от полной заработной платы по проекту.

То есть ЕСН ($С_{соц.}$) определяется следующим образом:

$С_{соц.} = С_{зп} * 0,3 = 119180,26 * 0,3 = 35754,08$ руб.

4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию при работе оборудования, а именно компьютера и принтера. Затраты на электроэнергию при работе оборудования $С_{эл.об.}$ рассчитываются по формуле:

$$С_{эл.об.} = P_{об} \cdot Ц_э \cdot t_{об}, \quad (4.7)$$

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_э$ – тарифная цена за 1 кВт·час;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Мощность $P_{об}$, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном.} \cdot K_С, \quad (4.8)$$

где $P_{ном.}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_С$ – коэффициент загрузки (для технологического оборудования малой мощности $K_С = 1$).

Номинальная мощность персонального компьютера составляет 0,3 кВт, принтера – 0,1 кВт.

Для ТПУ с учетом налога на добавленную стоимость (НДС)

$Ц_э = 5,257$ руб./кВт·час

Время работы оборудования $t_{ОБ}$ для исполнителя вычисляется на основе данных таблицы трудозатрат Приложения В:

$$t_{ОБ} = T_{РД} \cdot K_t, \quad (4.9)$$

где $К_t \leq 1$– коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{РД}$.

Из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов, а работа выполнялась 108 рабочих дней, получим, что общее время выполнения проекта составляет 864 часа.

Так как работа на компьютере проводилась по 7 часов в день из 8, то $К_t = 0,88$. Тогда из 864 часов, потраченных исполнителем на осуществление проекта, 760 часов были проведены за компьютером. Принтер использовался примерно в течении 15 часов.

Затраты на электроэнергию при работе оборудования сведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование оборудования	**Время работы оборудования $t_{ОБ}$, час**	**Потребляемая мощность $P_{ОБ}$, кВт**	**Затраты $Э_{ОБ}$, руб.**
Персональный компьютер	760	0,3	1198,60
Лазерный принтер	15	0,1	7,89
Итого:			**1206,48**

4.2.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения работы.

Амортизационные отчисления рассчитываются по времени использования компьютера по формуле:

$$C_{АМ} = \frac{Н_А \cdot Ц_{ОБ}}{F_Д} \cdot t_{рф} \cdot n, \quad (4.10)$$

где $Н_А$ – годовая норма амортизации;

$Ц_{ОБ}$ – цена оборудования;

$F_Д$ – действительный годовой фонд рабочего времени;

$t_{рф}$ – время работы вычислительной техники;

n – число задействованных единиц оборудования, n = 1.

Годовая амортизация $Н_А$ определяется как величина, обратная сроку амортизации оборудования $С_А$, который определяется согласно постановлению правительства РФ «О классификации основных средств, включенных в амортизационные группы». Для компьютера примем $С_А$ = 3 года, тогда $Н_А$ = 0,33. Для принтера примем $С_А$ = 2 года, тогда $Н_А$ = 0,5.

Расчет затрат на амортизационные отчисления представлен в табл. 4.6.

Таблица 4.6 –Затраты на амортизационные отчисления

Наименование оборудования	**Норма амортизации оборудования $Н_А$**	**Стоимость оборудования $Ц_{ОБ}$, руб.**	**Фактич. время работы оборудования $t_{рф}$, ч**	**Действ. годовой фонд раб.времени $F_Д$, ч**	**Амортизац. отчисления $С_{АМ}$, руб.**
Персональный компьютер	0,33	45000	760	2384	4734,06
Лазерный принтер	0,5	15000	15	500	225
Итого:					**4959,06**

4.2.6 Расчет прочих расходов

В данном разделе производится оценка расходов на выполнение проекта, которые не были учтены в предыдущих статьях, оплата услуг связи, копирование материалов и др. Величина прочих расходов составляет 10% от суммы всех предыдущих затрат и вычисляется по следующей формуле:

$$C_{\text{проч}} = 0{,}1 \cdot (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}}). \qquad (4.11)$$

$$C_{\text{проч}} = 0{,}1 \cdot (1960 + 119180{,}26 + 35754{,}08 + 1206{,}48 + 4959{,}06) =$$
$$= 16305{,}95 \text{руб.}$$

Таким образом, накладные расходы составили 16305,95 руб.

4.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Общая стоимость разработки по созданию математического и программного обеспечения сегментации и визуализации легкого человека определяется путем суммирования затрат по всем статьям и представлена в табл. 4.7.

Таблица 4.7 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	**Условное обозначение**	**Сумма, руб.**
Материалы и покупные изделия	$C_{мат}$	1960
Основная заработная плата	$C_{зп}$	119180,25
Отчисления в социальные фонды	$C_{соц}$	35754,08
Расходы на электроэнергию	$C_{эл.об.}$	1206,48
Амортизационные отчисления	$Э_{ам}$	4959,06
Прочие расходы	$C_{проч}$	16305,95
Итого:		**179365,43**

4.2.8 Расчет прибыли

Прибыль от реализации данного проекта предполагается равной 15% от расходов на разработку и составляет 26904,81 руб.

4.2.9 Расчет налога на добавленную стоимость

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли:

$(179365,43 + 26904,81) \cdot 0,18 = 37128,64$ руб.

4.2.10 Цена разработки НИР

Данный параметр представляет сумму полной себестоимости, прибыли и НДС. Таким образом, получаем:

$Ц_{НИР}$ = 179365,43 + 26904,81 + 37128,64 = 243398,89 руб.

4.3 Оценка экономической эффективности проекта

Экономический эффект от внедрения разработанного проекта по созданию программного обеспечения сегментации и визуализации легкого человека в количественном отношении выразить сложно, так как это потребует дополнительных комплексных исследований, проведение которых в рамках данной работы не предоставляется возможным. Однако в качественном отношении внедрение разработанной системы окажет влияние на многие аспекты здравоохранения и медицинского обслуживания, состояние здоровья населения и методы диагностики. Главным эффектом от внедрения разработки является возможность снижения уровня заболеваемости и смертности от заболеваний легких за счет улучшения методов диагностики и возможности своевременного подбора оптимальных методов лечения.

4.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР

Научно-технический уровень характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается научно-технический прогресс в данной области.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$I_{НТУ} = \sum_{i=1}^{3} R_i \cdot n_i, \quad (4.12)$$

где $I_{НТУ}$ – интегральный индекс научно-технического уровня;

R_i – весовой коэффициент i-го признака научно-технического эффекта;

n_i – количественная оценка i-го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Результаты оценок признаков научно-технического уровня для данного проекта приведены в табл. 4.8.

Таблица 4.8 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак научно-технического эффекта НИР	**Характеристика признака НИОКР**	***Балл***	R_i
Уровень новизны	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	6	0,3
Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	6	0,2
Возможность реализации	Время реализации в течение первых лет	10	0,5

Исходя из оценки признаков НИОКР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$I_{НТУ} = 0,3 \cdot 6 + 0,2 \cdot 6 + 0,5 \cdot 10 = 1,8 + 1,2 + 5 = 8$

Таким образом, исходя из полученной оценки признаков НИОКР, проект имеет высокий уровень научно-технического эффекта благодаря новому подходу к анализу медицинских изображений и визуализации их результатов.

Оценка научно-технического уровня представлена в табл. 4.9.

Таблица 4.9 – Оценка научно технического уровня НИР

Значимость	**Фактор НТУ**	**Уровень фактора**	**Выбранный балл**	**Обоснование выбранного балла**
0,3	Уровень новизны	Новая	6	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты
0,2	Теоретичес-кий уровень	Разработ-ка способа	6	Разработка нового способа сегментации и визуализации легких
0,5	Возможность реализации	В течение первых лет	10	Реализуется на основе хорошо известных технологий

Таким образом, проект имеет высокий уровень научно-технического эффекта (т.к. $I_{НТУ} = 8$) и достаточно быструю возможность реализации в течение первых лет.

Разработка по созданию программного обеспечения сегментации и визуализации легкого человека с точки зрения ресурсоэффективности является достаточно трудоемкой и затратной, но имеет высокий уровень научно-технического эффекта. Этот факт, а также актуальность решаемой проблемы повышают конкурентоспособность проекта в заданной предметной области. Кроме того, данная разработка может найти широкое применение, так как имеет невысокие требования к ресурсам ЭВМ. По сравнению с существующими коммерческими аналогами по обработке медицинских изображений, использование данной разработки не является столь затратным, что позволит медицинским учреждениям сэкономить по данной статье расходов. Также данная разработка повлияет на сферу медицинского обслуживания и будет иметь экономический социальный эффект, так как, в результате улучшения методов диагностики и повышения ее качества, позволит сократить затраты в этой области медицины, а также снизить уровень заболеваемости и смертности от заболеваний легких среди населения.

Список публикаций

1. Е.Н. Чеботарева, С.В. Аксёнов. Сегментации и визуализации легкого человека по МРТ-изображениям // Технологии Microsoft в теории и практике программирования : сборник трудов XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г.Томск, 22-23 марта 2016 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт кибернетики (ИК).

2. Е. Н. Чеботарева, С. В. Аксёнов. Построение 3D-моделей объектов с помощью OpenGL // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 9-13 ноября 2015 г. в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт кибернетики (ИК) ; под ред. Т. Е. Мамоновой [и др.]. — 2016. — Т. 2. — [С. 194-195].

3. Е. Н. Чеботарева, С. В. Аксёнов. Обнаружение заданного объекта в видеофайлах с помощью GPU // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: сборник трудов XII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 25-26 марта 2015 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт кибернетики ; ред. кол. А. В. Лиепиньш [и др.]. — Томск: Изд-во ТПУ, 2015. — [С. 52-54].

4. Е. Н. Чеботарева, С. В. Аксёнов. Нахождение заданного объекта на видео с помощью параллельных вычислений // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 12-14 ноября 2014 г. в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт кибернетики (ИК) ; ред. кол. Е. А. Сикора [и др.]. — Томск: Изд-во ТПУ, 2014. — Т. 2. — [С. 247-248].