

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И ФОТОНИКА»  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»  
(ФНИЦ «КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И ФОТОНИКА» РАН)

ИНСТИТУТ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАН –  
ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И ФОТОНИКА» РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»  
(ИСОИ РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН)

Юридический адрес: 117342, г. Москва, ул. Бутлерова, 17А      Почтовый адрес: 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 151  
Телефон/факс: +7 (499) 135-63-11    E-mail: office@crys.ras.ru      Телефон: +7 (846) 332-57-83    Факс: +7 (846) 332-56-20    E-mail: ipsi@smr.ru  
ОКПО 02244730    ОГРН 1037739548747    ИНН/КПП 7736099104/631543001

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

доктора технических наук, доцента Ильясовой Натальи Юрьевны на диссертационную работу Зюзина Василия Викторовича на тему «Разработка и исследование полуавтоматических и автоматического алгоритмов оконтуривания левого желудочка сердца на эхокардиографических изображениях сердца», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информатизация и связь)

### **Актуальность темы диссертации**

Ультразвуковое исследование (УЗИ) является неинвазивным методом, который широко используется в различных областях медицины, в том числе, в кардиологии, где он называется эхокардиографией (ЭхоКГ), предоставляющий кардиологам визуальные изображения сердечной мышцы в различных проекциях. При этом наиболее часто используется апикальная проекция сердца, которая позволяет визуализировать левый желудочек (ЛЖ) и построить соответствующий эндокардиальный контур, на основе анализа которого оцениваются глобальная и локальная сократимости ЛЖ. Задача построения контура осложняется высоким уровнем спекл-шумов на УЗИ-изображениях, а также присут-

ствием различных артефактов: папиллярных мышц, хорд, клапанов, изображения которых оказываются низко контрастными. Врач-эксперт строит контур ЛЖ на основе собственных представлений о его правильной форме, игнорируя при этом области на изображении являющиеся артефактами.

В этой связи разработка новых методов анализа экспертных наборов данных и разработка алгоритмов построения контура на двумерных изображениях апикальной проекции сердца является актуальной задачей.

### **Оценка содержания диссертации**

Диссертационная работа содержит 114 страниц основного текста (всего 151 с.), 94 рисунка (без приложений) и 3 таблицы (без приложений). Она состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 84 наименований, 5 приложений.

**Во введении** обоснована актуальность и определена степень разработанности темы диссертационной работы, определены цель и задачи, указаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, перечислены методы исследования, сформулированы научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведен анализ современного состояния предметной области, основанный на результатах исследований отечественных и зарубежных учёных. Автор системно рассматривает медицинскую проблему построения контура ЛЖ на УЗИ-изображениях, проводит анализ программных инструментов для оконтуривания ЛЖ в современных УЗИ-сканерах и делает обоснованный вывод об отсутствии полуавтоматических и автоматических алгоритмов оконтуривания ЛЖ. Здесь же на основе анализа состояния предметной области автор формулирует цель и задачи исследования.

**Вторая глава** посвящена анализу особенностей эхокардиографических наборов данных и контуров ЛЖ, размеченных экспертами. Его результаты позволили автору предложить научно обосновать достаточность использования 9-ти точек для восстановления экспертного контура в полярной системе

координат, названных автором реперными точками, а также разработать соответствующий автоматический алгоритм поиска реперных точек экспертного контура.

**В третьей главе** диссертационного исследования автором предложены автоматические и полуавтоматические алгоритмы нахождения контуров ЛЖ, в том числе:

1. Полуавтоматический алгоритм, основанный на использовании морфологических операций;
2. Полуавтоматический алгоритм, основанный на использовании уровневых множеств;
3. Полуавтоматический алгоритм, основанный на использовании геодезических активных контуров;
4. Полуавтоматический алгоритм, основанный на использовании метода оптического потока;
5. Автоматический алгоритм на сверточных нейронных сетях с архитектурой U-Net.

**Четвертая глава** посвящена исследованию разработанных алгоритмов оконтуривания ЛЖ. В том числе, предложена методика сравнения результатов применения разработанных алгоритмов. В соответствии с разработанной методикой определены оптимальные значения параметров разработанных алгоритмов, в том числе найдены оптимальные параметры для обучения сверточных нейронных сетей с архитектурой U-Net. Также автор провел анализ разработанных алгоритмов в соответствии с разработанной методикой и обосновал выбор наиболее перспективные алгоритмы оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях.

**В заключении** представлены основные научные и практические результаты исследований, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

### **Научная новизна полученных результатов**

В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты:

– проведен комплексный анализ доступных наборов данных, содержащих УЗИ-изображения сердца и экспертные контуры ЛЖ, обоснована возможность их использования для разработки полуавтоматических и автоматических алгоритмов;

– разработаны научно-обоснованные полуавтоматические и автоматические алгоритмы оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях сердца на основе адаптации и модернизации известных алгоритмов компьютерного зрения;

– разработана научно-обоснованная методика количественного сравнения разработанных полуавтоматических и автоматических алгоритмов оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях сердца.

### **Обоснованность и достоверность научных положений сформулированных в диссертации**

Обоснованность и достоверность научных результатов исследования обоснована использованием известных математических методов, адекватных задачам исследования, а также их согласованностью с результатами, полученными другими авторами и с экспертными оценками врачей-кардиологов качества контуров ЛЖ на УЗИ-изображениях.

Результаты исследования опубликованы в 17 научных работах, 16 из которых в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ. Присутствует свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

### **Практическая значимость результатов диссертации**

Практическая значимость заключается в разработке программных реализаций полуавтоматических и автоматических алгоритмов оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях апикальной проекции сердца человека, готовых к

использованию врачами-кардиологами. Полученные результаты внедрены в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», (Екатеринбург, Россия); в ФГБУН «Институт иммунологии и физиологии» Уральского отделения Российской академии наук, (Екатеринбург, Россия); в ООО «Институт информационных датчиков и технологий», (Екатеринбург, Россия).

### **Замечания по диссертации**

Диссертационная работа имеет ряд недостатков:

1. Все результаты диссертационной работы рассчитаны с использованием в качестве эталонного контура левого желудочка данные (маски), полученные от одного эксперта. Не проанализирован предел точности обнаружения контура, который будет меньше 1, т.к., начиная с некоторого уровня точности, погрешность, причем, случайную, в результате будет вносить уже сам экспертный контур. Эту погрешность можно было бы «систематизировать», используя на каждое изображение множественную экспертную оценку контуров или же введя точную математическую модель контура с использованием, например, явной математической формулы положения контура или же цифровых фантомов (синтетических изображений).

2. В работе предлагаются полуавтоматические методы для оконтуривания левого желудочка, которые требуют некой начальной разметки изображения, однако отсутствует анализ влияния исходных данных (устойчивости метода) на сходимость к «идеальному» контуру.

3. Автор не совсем корректно называет свою адаптацию U-Net «модифицированной» (раздел 3.2.1), т.к. глобально использование сдвига вместо пулинга, подбор функции потерь, подбор глубины даунсемплинга и апсемплинга не вносит в архитектуру U-Net (представленной, в том числе, на рисунке 3.20) ничего принципиально нового.

4. В разделе 4.3 отсутствует кросс-валидация результатов обучения сверточных нейронных сетей, позволившая бы судить об интервальной оцен-

ке точности для коэффициента Дайса при различном разбиении на обучающую и тестовую выборку (не путать с интервальной оценкой распределения Розенבלата-Парзена, представленной в таблице 3).

5. Автору следовало бы во введении аккуратнее формулировать, научную новизну, которая, безусловно, в работе значительна, но указана без должной глубины и конкретики, например, «Проведен комплексный анализ...» следовало бы уточнить конкретными примерами из работы, в чем новизна состоит.

6. В работе присутствуют стилистические ошибки, например, на странице 87 «при проверке ... мы использовали...», а на рисунке 3.31 горизонтальные стрелки в легенде перепутаны местами.

Указанные замечания не снижают ценности полученных диссертантом результатов.

### **Общая характеристика работы**

Указанные недостатки не снижают общего уровня диссертационной работы в целом. Исследования проведены в значительном объеме, в продуманной последовательности, включающей как теоретические аспекты, так и их экспериментальную проверку, и с большой тщательностью, что позволило получить новые научные результаты.

В целом диссертационная работа Зюзина Василия Викторовича хорошо структурирована и производит благоприятное впечатление. Работа имеет четкую структуру, иллюстрации выполнены на высоком научном и оформительском уровне. Результаты диссертации полностью представлены публикациями в рецензируемых научных журналах и докладами на различных международных, всероссийских и региональных конференциях.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

## Заключение по диссертации

Таким образом, диссертация Зюзина Василия Викторовича «Разработка и исследование полуавтоматических и автоматического алгоритмов оконтуривания левого желудочка сердца на эхокардиографических изображениях сердца» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические, технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие компьютерных методов анализа УЗИ-изображений биологических тканей.

Работа соответствует паспорту специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информатизация и связь):

- п. 3 в части «разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач... обработки информации»;
- п. 5 в части «разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем... обработки информации»;
- п. 12 в части «...анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации»;
- п. 13 в части методов «...анализа и обработки экспертной информации».

Полученные автором результаты диссертации достоверны, выводы обоснованы и своевременно опубликованы в открытой печати. Публикации и автореферат диссертации отражают основное содержание диссертации.

Диссертация изложена грамотным научно-техническим языком, в полной мере отвечает требованиям по актуальности, научной новизне, практической значимости, личному вкладу автора, отражению результатов в публикациях, а также полностью соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ. Автор диссертации Зюзин Василий Викторович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информатизация и связь).

Официальный оппонент,  
 доктор технических наук, доцент,  
 05.11.17 – Приборы, системы и изделия  
 медицинского назначения  
 Старший научный сотрудник  
 лаборатории интеллектуального анализа  
 видеоданных

Ильасова Наталья Юрьевна

Институт систем обработки изображений РАН – филиал федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук»  
 (ИСОИ РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН)  
 Юридический адрес: 117342, г. Москва, ул. Бутлерова, 17А  
 Почтовый адрес: 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 151  
 Тел.: (846) 332-56-20  
 Тел./факс: (846) 332-56-20  
 E-mail: [ilyasova@ipsiras.ru](mailto:ilyasova@ipsiras.ru)

Подпись Ильасовой Натальи Юрьевны заверяю  
 Ученый секретарь, заведующий лабораторией  
 лазерных измерений ИСОИ РАН – филиала  
 ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН



Котляр Виктор Викторович