

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата физико-математических наук, доцента Ручая Алексея Николаевича 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 исследования**

Эхокардиография (ЭхоКГ) является одним из наиболее распространенных методов неинвазивного анализа сердечной мышцы, который основан на использовании ультразвуковых волн, называемый ультразвуковым исследованием (УЗИ). ЭхоКГ позволяет получать врачам-кардиологам двумерные изображения сердца в апикальной проекции, на которой необходимо выделять эндокардиальный контур левого желудочка (ЛЖ). На основе анализа эндокардиального контура вычисляются различные количественные показатели, характеризующие состояние сердечной мышцы. Врач-эксперт строит контур ЛЖ на основе собственных представлений о его правильной форме, которые зачастую субъективны, игнорируя при этом области на изображении являющиеся артефактами или достраивая области с низким контрастом мышечных тканей.

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

### **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 алгоритмов оконтуривания ЛЖ;

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 базируется на использовании известных математических методов, адекватных задачам исследования, а также подтверждается 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 результатов диссертации 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).

### **Оценка содержания диссертации и её оформления**

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.

В первой главе проведен анализ современного состояния предметной области, основанный на результатах исследований отечественных и зарубежных учёных. Автор рассматривает медицинскую проблему построения контура ЛЖ на ЭхоКГ-изображениях апикальной проекции сердца, проводит анализ программных инструментов для построения контуров ЛЖ в УЗИ аппаратах и делает обоснованный вывод об отсутствии 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 научно обосновать достаточность использования 9-ти базовых точек для восстановления экспертного контура. Для этого автор разработал автоматический алгоритм определения реперных точек экспертного контура (две точки – места крепления митрального клапана и



верхушка контура ЛЖ), используя которые оказывается возможным выделять базовые точки контура.

В третьей главе диссертационного исследования автор разрабатывает автоматические алгоритмы с использованием только УЗИ-кадров и полуавтоматические алгоритмы нахождения контуров ЛЖ с использованием априорной информации для построения контура, в том числе: полуавтоматический алгоритм на основе морфологических операций, полуавтоматический алгоритм на основе уровневых множеств, полуавтоматический алгоритм на основе геодезических активных контуров, полуавтоматический алгоритм на основе метода оптического потока, и автоматический алгоритм на сверточных нейронных сетях с архитектурой U-Net.

Четвертая глава посвящена исследованию разработанных алгоритмов оконтуривания ЛЖ. 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 перспективных алгоритмов оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях.

#### **Замечания и вопросы по работе**

Вместе с этим следует отметить некоторые замечания и вопросы по содержанию автореферата и диссертационной работы:

1. Из раздела 3 текста диссертации сложно понять, какие алгоритмы были разработаны или модифицированы лично автором.
2. Остался невыясненным момент, почему в данном исследовании акцент делается только на построение контура левого желудочка, тогда как остальные части сердца (правый желудочек и предсердия) в диагностике также играют важную роль. Возможно, в работе следовало осуществить попытку построить контур для всех частей сердца?
3. В исследовании используются значения квантилей на уровне доверия 0.5. Неясно, имеется в виду двухсторонняя квантиль или односторонняя? Почему выбирается и используется такой маленький уровень доверия 0.5?
4. В работе для оценки качества сегментации эндокарда ЛЖ использовались среднее расстояние (мм), расстояние Хаусдорфа (мм), коэффициента *Dice* (%). Возможно, следовало уделить внимание итоговому результату построения

контура ЛЖ – оценке показателей и непосредственному диагностированию заболеваний сердечной мышцы с помощью ЭхоКГ.

5. Исследовался ли вопрос модели шумов (аддитивный или мультипликативный шум) на ЭхоКГ-изображения? Исходя из природы шума, можно точно подобрать эффективные методы удаления шума, а также провести исследование устойчивости разработанных алгоритмов к шуму.
6. В работе отсутствует описание и детали реализации нейронной сети. Находится ли в открытом доступе разработанная нейронная сеть и наборы данных для обучения?
7. Предпринимались ли попытки исследовать всевозможные варианты архитектуры глубокой нейронной сети или использовать автоматизированные средства для поиска лучшей архитектуры? Исследовался ли вопрос о подборе оптимальных гиперпараметров выбранной архитектуры глубокой нейронной сети? В частности, почему не были исследованы всевозможные функции потерь, алгоритмы обучения нейронной сети и изменения весов сети?
8. Не понятна процедура кросс-валидации, описанная в работе. Согласно исследованию, вся база разбивалась на 9 подвыборок. На каждой отдельной подвыборке осуществлялось обучение нейронной сети и валидация?
9. Для обучения глубокой нейронной сети явно недостаточно данных, возможно в работе следовало воспользоваться аугментацией данных.
10. Также текст диссертации не свободен от опечаток и неточностей, хотя это не влияет на общую значимость работы:
  - Некоторые вводимые определения и понятия запутаны и неточны. Например, термин «оконтуривание» достаточно специфичный, лучше было использовать понятие «построение контура». В тексте диссертации используется термин «уровень доверительной вероятности», обычно используют «уровень доверия» или «уровень значимости» или в физике – «доверительная вероятность». На странице 96 написано «гиперпараметров (параметров, относящихся к процессу обучения)», что является не точным определением понятия «гиперпараметра». На рисунке 1.32 не понятны обозначения красного контура, это результат работы СНС из работы [27] или экспертный контур ЛЖ?
  - Орфографические ошибки: на странице 58 «аппроксиммирующих», на странице 89 «субпикселной», на странице 93 «квартилей», на странице 96 «еозффициента» и т.д. Опечатки: на рисунке 2.16 в описание указано



«Значение кватилей», должно быть «квантилей»; на странице 105 «парастеральная проекция сердца по которой оси», должно быть «короткой»; и т.д.

- Небрежное оформление формул. Например, на странице 73 странное обозначение точки  $[P_x^k P_y^k]$ , на странице 74 в формуле не уточняется обозначение Int, на странице 53 в формуле появляется непонятное обозначение  $\times$  и т.д.

Сделанные замечания имеют дискуссионный характер и не снижают научной ценности работы.

### Заключение по работе

Исследовательская работа 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 и п.п.3,5,12,13 паспорта специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информатизация и связь). 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:

Кандидат физико-математических наук, доцент  
Заведующий кафедрой компьютерной безопасности и прикладной алгебры  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет»  
Тел.: +7 (351) 799-72-92  
e-mail: csukbcp2011@gmail.com  
Адрес: 454001, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129

24.05.2021

Ручай Алексей Николаевич

