

ОТЗЫВ

официального оппонента диссертационного совета ДС.ТПУ.15 на диссертацию Данилова Вячеслава Владимировича на тему «Методы и алгоритмы сегментации медицинских изображений на основе машинного обучения», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (научные исследования)

Актуальность темы

Прогресс в разработке и широкое распространение программно-аппаратных комплексов получения, обработки и визуализации многомерных медицинских данных магнитно-резонансной томографии, компьютерной томографии, эхокардиографии и т.д. создали необходимые предпосылки для решения задач распознавания объектов на изображениях. При этом особое внимание уделено поиску новых автоматических методов сегментации изображений, что подтверждает актуальность выбранной темы диссертационного исследования Данилова В.В.

Исследование направлено на решение важной научно-практической задачи – повышения качества распознавания и визуализации медицинского инструмента и анатомических структур при сопровождении минимально инвазивных операций. Для этого в диссертации Данилова В.В. предложены метод сегментации изображений на основе машинного обучения, алгоритмы генерации новых данных и выбора гиперпараметров глубоких нейронных сетей.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Основные научные положения и выводы, представленные в диссертационной работе, в достаточной степени обоснованы и интерпретированы. Автор корректно использует научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. В работе дан анализ современного состояния средств решения задач обработки графической информации на разных медицинских модальностях. Список использованной литературы содержит 179 наименований. Все выдвигаемые научные положения подтверждены экспериментальными исследованиями. Выводы логически вытекают из материалов исследований и в полном объеме отражают поставленные задачи. В работе приведены рекомендации по выбору гиперпараметров модели и функций активации при решении заданного класса задач сегментации изображений.

Анализ содержания диссертации и её завершенность

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, списка источников и 2 приложений.

Во *введении* обоснована актуальность темы диссертации, определены цель и задачи, объект, предмет и методы исследования, сформулированы научная новизна, выносимые на защиту положения, теоретическая и практическая значимость, представлены сведения об апробации результатов научной работы.

В *первой главе* представлен обзор современных исследований в области сегментации медицинских инструментов и анатомических структур. Приведены специфика области исследования; методы и алгоритмы сегментации цифровых медицинских изображений; ограничения, влияющие на использование представленных алгоритмов. Дан обзор программных продуктов анализа и визуализации медицинской информации. Приведена классификация методов сегментации, включающая пять основных классов. Нейронные сети попали в класс «Другие методы».

В целом, содержание главы оставляет благоприятное впечатление, однако применение нейронных сетей для локализации медицинских устройств рассматривается на неполных двух страницах (с. 29 - 31), проанализировано два литературных источника (№9, №62), сделано заключение о том, что полученная при этом «точность является относительно низкой» (с. 30). Применение нейронных сетей для сегментации и локализации анатомических структур также рассматривается на неполных двух страницах (с. 41 - 43), проанализировано также два литературных источника (№92, №94), причём авторы работы №94¹ отмечают, что линейный дискриминантный анализ выполнялся, по меньшей мере, так же хорошо, как и нейронные сети и квадратичный дискриминантный анализ. Тем не менее, диссертант в пункте 2 раздела «Выводы» приходит к следующему умозаключению: «Литературный обзор методов сегментации позволил выделить подход с использованием методов глубокого обучения как наиболее эффективный». В обзоре приведены многочисленные метрики оценки точности, которые представлены то в процентах, то в относительных единицах, что затрудняет восприятие текста.

Во *второй главе* описаны и формализованы предлагаемые методы и алгоритмы сегментации исследуемых объектов интереса. Предложен алгоритм синтеза трёхмерных ультразвуковых данных. Поэтапно описан и обоснован каждый слой разработанной архитектуры нейронной сети. Предложено введение пробросов признаков как с энкодера в декодер, так и внутри данных структур, что позволило скомпенсировать эффект затухания градиентов. Для эффективного обучения нейронных сетей автор разработал и реализовал алгоритмы циклического изменения скорости обучения и динамического изменения размера батча. Концепция, заложенная в использовании непостоянного размера батча, заключается в том, что обучение начинается с больших партий данных, что обеспечивает быстрое схождение

¹ Landgren M. et al. An Automated System for the Detection and Diagnosis of Kidney Lesions in Children from Scintigraphy Images // Image Analysis. 2011. P. 489–500.

алгоритма градиентного спуска, но как только наблюдается прекращение снижения значений функции потерь на валидационной выборке, размер батча уменьшается, что приводит к лучшей сходимости модели.

Подробно описан алгоритм выбора значений гиперпараметров, выбор которых является основополагающим при обучении глубоких нейросетевых моделей и влияет на динамику и функцию потерь модели. Основная идея заключается в выборе модели на определённом разбиении кросс-валидации, а для точной настройки параметров вычисляется t – статистика для каждого разбиения.

Несмотря на в целом благоприятное впечатление о данной главе, необходимо сделать ряд замечаний.

1. Алгоритм создания расширенной обучающей выборки, представленный на рисунке 2.7, предназначен для решения практической задачи, однако, по сути, представляет собой бесконечный цикл, что противоречит определению таких свойств алгоритма, как завершаемость и результативность. Представленный на рисунке 2.7 порядок действий больше похож на описание метода, чем на алгоритм.

2. В разделе «2.5.2 Алгоритм изменения скорости обучения» алгоритм как таковой отсутствует. На рисунке «2.17 – Алгоритмы изменения скорости обучения» представлены не алгоритмы, а функции изменения скорости обучения.

3. В разделе «2.5.3 Алгоритм изменения размера батча» алгоритм как таковой отсутствует. Рисунок «2.20 – Метод обучения на основе переменного размера батча» с большой натяжкой можно назвать даже схемой метода, здесь отсутствуют пояснения.

В *третьей* главе приведены результаты проведённого тестирования методов и алгоритмов сегментации. На основе статистических тестов проведён сравнительный анализ V-net модели с современными нейросетевыми моделями, предназначенными для сегментации изображений: FCN, SegNet, Deep Medic, Pseudo 3D U-net, U-net, разреженная U-net. Для оценки работоспособности и надёжности предложенные методы и алгоритмы протестированы как для сегментации медицинского инструмента, так и для различных анатомических структур. Выявлено соответствие результатов тестирования, полученных в ходе исследований, и результатов, представленных в открытых источниках.

В *заключении* сформулированы выводы и возможности применения разработанных методов и алгоритмов сегментации медицинских изображений.

Приложения содержат акт об использовании результатов диссертации в Научно-исследовательском институте комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний, свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ и копию заявки на изобретение.

Таким образом, изложение материалов исследования выполнено в полном объеме, последовательно, на достаточном научном уровне, не содержит противоречий. По каждой главе представлены выводы.

Достоверность и новизна, полученных результатов исследования

Все полученные в работе результаты обоснованы и достоверны. Степень достоверности результатов обеспечивается использованием современных математических методов, непротиворечивостью результатов проведенных численных экспериментов и их удовлетворительным согласием с данными других авторов, а также подтверждается актом внедрения результатов диссертационной работы.

Научной новизной работы обладают следующие результаты.

1. Предложена модификация U-net архитектуры в виде V-net архитектуры с пробросами внутри свёрточной нейронной сети. Отличительной особенностью данной архитектуры является наличие плотных пробросов признаков не только с энкодера в декодер, но и внутри данных структур.
2. Разработан алгоритм синтеза медицинского инструмента на трёхмерных ультразвуковых изображениях. Отличительная особенность данного алгоритма заключается в сочетании кинематики гибких роботов, реальных изображений сердца и медицинского инструмента.
3. Предложен новый метод обучения нейронной сети, отличительной особенностью которого является интеграция test-time аугментации на этапе предсказания новых данных с динамическими изменениями размера батча и скорости обучения.
4. Предложен алгоритм оптимизации гиперпараметров модели, отличительной особенностью которого является применение оценки t -критерия Стьюдента для связанных выборок.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования

Теоретическая значимость научной работы заключается в развитии технологии построения систем сегментации изображений, предназначенных для решения задач принятия решений и обработки информации. Проведен системный анализ концепции сегментации изображений. Применительно к проблематике диссертации эффективно использованы нейронная сеть на основе архитектуры U-net и методы выбора оптимальной функции потерь, аугментация данных и оптимизации гиперпараметров. Теоретическая значимость подтверждена поддержкой грантом РНФ и государственными заданиями «Наука».

Практическая значимость подтверждается результатами использования предложенных алгоритмов для выполнения сегментации стеноза при проведении диагностики коронарных артерий методом ангиографии в федеральном государственном бюджетном научном

учреждении «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» (Кемерово, Россия).

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в учреждениях здравоохранения для решения задач обработки медицинских изображений.

Замечания по диссертационной работе

1. Недостаточно обоснован приведенный в пункте 2 раздела «Выводы» выбор нейронных сетей в качестве метода локализации и сегментации медицинских устройств и анатомических структур.
2. Алгоритм создания расширенной обучающей выборки, представленный на рисунке 2.7, предназначен для решения практической задачи, однако, по сути, представляет собой бесконечный цикл, что противоречит определению таких свойств алгоритма, как завершаемость и результативность.
3. В разделе «2.5.2 Алгоритм изменения скорости обучения» алгоритм как таковой отсутствует. На рисунке «2.17 – Алгоритмы изменения скорости обучения» представлены не алгоритмы, а функции изменения скорости обучения.
4. В разделе «2.5.3 Алгоритм изменения размера батча» алгоритм как таковой отсутствует. Рисунок «2.20 – Метод обучения на основе переменного размера батча» с большой натяжкой можно назвать даже схемой метода, здесь отсутствуют пояснения, что есть $M(W_i)$, пунктирные стрелки и синие шестиугольники.
5. Рассуждая об актуальности работы и анализируя недостатки существующих методов и подходов, автор диссертации часто (порядка 15 раз) упоминает режим реального времени, однако характеризуя созданный программный продукт, не оценивает время обработки и визуализации данных, полученных в различных типах медицинских модальностей.
6. Не все литературные источники в разделе «Список литературы» оформлены в соответствии с ГОСТ 7.0.5.

Соответствие диссертации паспорту специальности

Тема и содержание диссертации соответствует пунктам 4, 5, 12 паспорта специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (научные исследования).

Заключение

Диссертация Данилова Вячеслава Владимировича на соискание ученой степени кандидата технических наук является самостоятельно выполненной законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые научные результаты, позволяющие их

квалифицировать как имеющие существенное значение для решения проблем обработки графической информации и повышения эффективности научных исследований. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Исследование основано на достаточном числе исходных наборов данных. Диссертация написана логично, грамотно и аккуратно. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 22 печатных работах.

Диссертационная работа «Методы и алгоритмы сегментации медицинских изображений на основе машинного обучения» отвечает требованиям пп. 8 – 12 «Порядка присуждения учёных степеней», утверждённого приказом ректора Национального исследовательского Томского политехнического университета № 93/од от 6 декабря 2018 г., а её автор, Данилов Вячеслав Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (научные исследования).

Официальный оппонент диссертационного совета ДС.ТПУ.15, профессор кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем факультета безопасности Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, д.т.н., профессор

Ходашинский И.А.

11.08.2020

(дата, подпись)

Подпись Ходашинского И.А. заверяю:
Учёный секретарь Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники



Е.В. Прокопчук

Прокопчук Е.В.

(дата, подпись)

Сведения:

Полное наименование организации: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

Ф.И.О.: Ходашинский Илья Александрович

Должность: профессор кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем

Адрес: г. Томск, улица Красноармейская, дом 146, офис 517

Телефон: +7 3822 701 529

Эл. почта: hia@fb.tusur.ru

Я, Ходашинский Илья Александрович, даю своё согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.