

## ОТЗЫВ

дополнительного члена 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.** На данный момент для лечения многих заболеваний, в том числе сердечно-сосудистых, часто применяются катетерные эндоваскулярные процедуры. Подобные процедуры проводятся под контролем различных медицинских модальностей, например, средствами ультразвукового исследования или ангиографии. Однако, современные системы ультразвукового сканирования и рентгеноконтрастного ангиографического исследования ограничены по ряду параметров и не позволяют проводить манипуляции повышенной сложности, что осложняет процесс выполнения минимально инвазивных вмешательств. В связи с этим качественная визуализация и постоянный контроль за медицинским инструментом внутри сердца поможет минимизировать вероятность врачебной ошибки, сократить время хирургических интервенций и время восстановления пациентов. Большинство представленных сегодня решений по обработке данных обладают относительно низкой надёжностью и точностью. Последнее объясняется рядом причин, а именно: каскадным методом построения алгоритмов; большим количеством параметров алгоритмов обработки, требующих точной настройки; ресурсоёмкими блоками предварительной обработки. Таким образом, данная научно-исследовательская работа является актуальной и направлена на совершенствование методов и алгоритмов по обработке медицинских данных, которые используются при диагностике и коррекции различного рода заболеваний.

**Научная новизна.** Один из ключевых пунктов работы заключается в предложенной архитектуре V-net, которая переводит входные данные высокой размерности в пространство более низкой размерности, что позволяет эффективнее сегментировать исследуемый объект на изображении. В предлагаемую архитектуру внедрены дополнительные пробросы признаков, что позволяет решать проблему затухающих градиентов. В качестве процесса обучения подобных моделей на основе данной архитектуры предлагается использовать непостоянный размер батча и циклическую скорость обучения. Для подбора оптимальной конфигурации V-net архитектуры автором предложен алгоритм выбора оптимальных гиперпараметров, который базируется на использовании t-критерия Стьюдента для связанных выборок.

**Практическая значимость.** Данное исследование имеет фундаментальное значение для совершенствования биомедицинских разработок. Прикладной аспект исследования связан с расширением спектра диагностических и реконструктивных вмешательств с использованием эндоваскулярной технологии; снижением послеоперационных осложнений; ускорением реабилитации пациентов. Теоретические обобщения, содержащиеся в диссертации, могут быть использованы при подготовке слушателей по ряду направлений, а именно «Информатика и вычислительная техника» и «Медицинская кибернетика». Предлагаемые методы и алгоритмы обучения глубоких нейронных сетей позволяют сократить время обучения, а также увеличить выходную точность, в том числе за счёт внедрённого алгоритма test-time аугментации. В свою очередь, внедрение нейронной сети, выполняющей сегментации медицинских устройств и анатомических структур, поможет не только при проведении эндоваскулярных процедур, но и может быть использовано в качестве симуляционного и имитационного обучения новым методам диагностики и минимально инвазивных вмешательств.

**Результаты исследования.** При проведении настоящего исследования были достигнуты сравнительно высокие показатели точности сегментации медицинского инструмента внутри сердца. Так, индекс Дайса для медицинского инструмента составил  $93.6 \pm 2.4\%$ , а левого предсердия –  $92.2 \pm 2.7\%$ . Последнее стало возможным благодаря внедрению собственной архитектуры свёрточной нейронной сети V-net с плотными пробросами признаков, а также модифицированного метода обучения, использующего циклическую скорость обучения и непостоянный размер батча. Предлагаемый метод обучения и нейронная сеть V-net были протестированы не только на данных ультразвукового исследования сердца при проведении эндоваскулярных операций, но и на анатомических структурах, а именно на данных левого предсердия, поджелудочной железы, селезёнки, гиппокампа и печени. Результаты сегментации как медицинского инструмента, так и анатомических структур оказались на относительно высоком уровне, а их индекс Дайса оказался выше требуемого среднего уровня точности для медицины, который составляет 85%. Последнее говорит о высокой обобщающей способности модели, а также о гибкости и универсальности предложенного метода.

Отдельно стоит выделить алгоритм синтеза ультразвуковых данных, который позволил расширить синтетическими изображениями исходную обучающую выборку. Для оценки влияния дополнительных синтетических данных на обобщающую способность были проведены 8 экспериментов. На основе полученных результатов была выявлена положительная динамика смешивания реальных и синтетических данных.

**Замечания.** Несмотря на классическое построение диссертационной работы, возникает ряд вопросов и замечаний, которые заключаются в следующем:

1. Из диссертации не видно в алгоритме генерации искусственных данных возможности внесения шума с заданными характеристиками (рисунок 2.6) в изображение со вставленным инструментом. Это может быть полезным для исследования помехоустойчивости алгоритма аугментации данных.

2. В диссертации не приведены данные о влиянии зашумлённости исходных данных на результат работы алгоритма сегментации.

3. В тексте диссертации мало уделено внимания выбору архитектуры нейронной сети. Выбору архитектуры уделена всего половина стр. 66.

Указанные замечания не уменьшают научной и практической значимости работы, носят рекомендательный характер и могут быть учтены автором при проведении дальнейших исследований.

**Заключение.** Представленная работа относится к сфере междисциплинарных исследований и направлена на создание комплексного подхода, позволяющего создавать математические модели и алгоритмы, базирующиеся на принципах машинного обучения и выполняющие сегментацию различных медицинских объектов. В конечном счёте работа направлена на решение важной медицинской проблемы, а именно на повышение качества сегментации медицинского инструмента и анатомических структур, что позволяет более эффективно и безопасно проводить диагностику и минимально инвазивные хирургические операции. Предлагаемый подход заключается в создании методов и алгоритмов, результатом которых является нейронная сеть, эффективно решающая задачу сегментации и визуализации исследуемого объекта.

Данная исследовательская работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, по степени научной новизны, объёму проведённых исследований и их практической значимости является завершённой. Содержание диссертации изложено доступно, поставленные цели и задачи конкретны и понятны, материал логически последователен. Доступно изложив современное состояние проблемы, автор обосновал преимущества предлагаемого подхода. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Публикации по теме диссертации в полной мере отражают основные положения работы. Резюмируя вышесказанное, диссертационная работа Данилова Вячеслава Владимировича на тему «Методы и алгоритмы сегментации медицинских изображений на основе машинного обучения» полностью отвечает требованиям «Порядка присуждения учёных степеней», утверждённого приказом ректора Национального исследовательского Томского политехнического университета № 93/од от 6 декабря 2018 г.,

а её автор достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка информации (научные исследования)».

Дополнительный член диссертационного совета ДС.ТПУ.15, д.т.н., заведующий кафедрой – руководитель отделения ядерно-топливного цикла на правах кафедры Инженерной школы ядерных технологий Национального исследовательского Томского политехнического университета

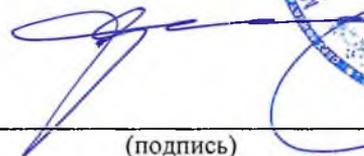


Горюнов А.Г.

(подпись)

Подпись Горюнова А.Г. заверяю:

Учёный секретарь  
Национального исследовательского  
Томского политехнического университета



(подпись)



28.08.2020

**Сведения:**

**Полное наименование организации:** федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

**Ф.И.О.:** Горюнов Алексей Германович

**Должность:** заведующий кафедрой – руководитель отделения ядерно-топливного цикла на правах кафедры

**Адрес:** г. Томск, проспект Ленина, дом 2, офис 231

**Телефон:** +7 3822 606 341, +7 3822 701 777 доб. 2331

**Эл. почта:** [alex1479@tpu.ru](mailto:alex1479@tpu.ru), [alex1479@mail.ru](mailto:alex1479@mail.ru)

Я, Горюнов Алексей Германович, даю своё согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.