

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Марийский
государственный университет»

А.Н. Леухин

20 октября 2024 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Марийский государственный университет»

Диссертация Егошина Ивана Александровича «Исследование методов и разработка алгоритмов обработки суммационных маммографических изображений» выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Марийский государственный университет» в Научно-исследовательском секторе.

В 2013 г. Егошин И.А. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Марийский государственный университет» по специальности «Прикладная математика и информатика» с присуждением квалификации «Математик, системный программист». С 2013 по 2016 гг. обучался в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Марийский государственный университет» по научной специальности – 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2022 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Марийский государственный университет».

Научный руководитель – Колчев Алексей Анатольевич, кандидат физико-математических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Марийский государственный университет».

Научный консультант — Пасынков Дмитрий Валерьевич, кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой лучевой диагностики и онкологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Марийский государственный университет».

На этапе планирования работы четко обозначилась необходимость привлечения специалиста, обладающего глубокими познаниями в области маммографической диагностики рака молочной железы и имеющего как собственные разработки в этой области, так и обширную базу изображений гистологически верифицированной патологии молочной железы. Помощь научного консультанта потребовалась также для грамотного формирования базы данных маммографических изображений, последующей их разметки при разработке и тестировании разрабатываемых методов, а также для выделения признаков различных вариантов рака молочной железы и интерпретации полученных результатов оценки эффективности алгоритмов и методов для определения их значимости и возможности применения в клинической практике.

Таким образом, привлечение в качестве научного консультанта специалиста в области лучевой диагностики рака молочной железы, кандидата медицинских наук, доцента Пасынкова Дмитрия Валерьевича, заведующего кафедрой лучевой диагностики, онкологии ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет» по диссертационной работе Егошина Ивана Александровича позволило значительно повысить ее научную и практическую ценность.

В период подготовки диссертации и по настоящее время соискатель Егошин Иван Александрович работает в Научно-исследовательском секторе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Марийский государственный университет» в должности младшего научного сотрудника, участвовал в качестве исполнителя в работах по грантам Российского научного фонда (проекты 22-71-10070 и 24-21-00031).

По итогам обсуждения диссертации Егошина И.А. «Исследование методов и разработка алгоритмов обработки суммационных маммографических изображений» **принято следующее заключение:**

1. Диссертационная работа Егошина И.А. «Исследование методов и разработка алгоритмов обработки суммационных маммографических изображений» соответствует паспорту специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, выдвигаемым на соискание степени кандидата технических наук.

2. Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-технической проблемы разработки и реализации новых алгоритмов и методов, позволяющих обнаруживать, сегментировать и классифицировать патологические изменения молочной железы на ранних стадиях, повышая точности и достоверности неинвазивной диагностики рака молочной железы.

3. Представленная диссертация является самостоятельно выполненной законченной научно-исследовательской работой.

4. Научные результаты, выносимые на защиту, получены автором самостоятельно при научном руководстве кандидата физико-математических наук Колчева А.А. и консультировании кандидата медицинских наук Пасынкова Д.В., являются новыми и представляют научный и практический интерес. Проведенные автором исследования выполнены на высоком научном уровне. Научные положения и выводы подтверждены большим количеством экспериментов.

5. В диссертации получены следующие научные результаты:

- Разработан и программно реализован алгоритм обнаружения подозрительных изменений молочной железы на маммограммах на основе алгоритма вложенных контуров и рассматриваемой модели образований, который демонстрирует высокую чувствительность не только в случаях типичных и хорошо видимых изменений, но и в случаях атипичных и невидимых изменений.
- Представленные результаты оценки эффективности алгоритма вложенных контуров по сравнению с одноэтапным детектором YOLOv4 показывают, что использование алгоритма вложенных контуров для выявления очагов на маммограммах является более значимым.
- Разработана и программно реализована методика сегментации изменений на маммограммах на основе предложенной модели, где модуль градиента растет в направлении от вершины изменения к его границе. Предлагаемая методика обеспечивает достаточную точность сегментации изменений молочной железы, что необходимо для последующей классификации предполагаемых как типичных, так и нетипичных очагов.
- Полученные результаты классификации изменений молочной железы на маммограммах с использованием методов машинного обучения и алгоритмов отбора значимых признаков изображения показали недостаточную точность для клинической практики. Вследствие этого использовать маммограммы для дифференцирования выявленных изменений не представляется перспективным.
- Разработан метод обнаружения кальцинатов на маммограммах, который обеспечивает высокую точность обнаружения, составляющую 93,1%. Метод программно реализован.
- Разработан и программно реализована методика классификации доброкачественных и подозрительных кальцинатов на маммографических изображениях с учетом

скоплений кальцинатов в сосудах в виде модели линейных объектов, точность классификации которой составляет 96,15%.

6. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждается тем, что автор диссертации предложил новые алгоритмы и методы, которые учитывают характеристики функции яркости изображений, основанные на новаторских модельных положениях и имеют важное теоретическое значение. Результаты исследования подтверждают, что разработанные подходы к анализу маммографических изображений точнее существующих методик. Применение этих алгоритмов и методов может значительно улучшить решение различных прикладных задач. Их использование в клинической практике оказывает влияние на медицинскую отрасль, в частности, способствует более раннему выявлению рака молочной железы, что, в свою очередь, позволяет медицинским специалистам более эффективно обнаруживать и лечить злокачественные новообразования. Кроме того, разработанные автором алгоритмы могут быть адаптированы для решения других задач, связанных с анализом различных рентгеновских снимков.

7. Достоверность результатов диссертации подтверждается экспериментами, проводимыми как на математических моделях, так и на опытных образцах, а так же экспертизой научных статей, опубликованных в ведущих научных изданиях, основана на апробации и обсуждении результатов на международных научных конференциях.

8. Основное содержание диссертации опубликовано автором достаточно полно в следующих работах:

В изданиях, рекомендованных ВАК по группе научных специальностей диссертации:

1. Егосшин И.А. Оценка обобщающей способности алгоритма вложенных контуров при анализе маммограмм. // Труды ИСА РАН. – 2024. – Том 74. – № 3. – С. 67-77.

В изданиях, индексируемых Scopus / WoS по группе научных специальностей диссертации:

2. Egoshin, I.A., Pasyнков, D.V., Kolchev, A.A., Kliouchkin, I.V., Pasynkova, O.O. Segmentation of Breast Focal Lesions on the Ultrasound Image. // Biomedical Engineering. 2020. — vol. 54. — no. 2. — pp. 99-103.

3. Kolchev, A., Pasyнков, D., Egoshin, I., Kliouchkin, I., Pasynkova, O., Tumakov, D. YOLOv4-Based CNN Model versus Nested Contours Algorithm in the Suspicious Lesion Detection on the Mammography Image: A Direct Comparison in the Real Clinical Settings. // Journal of Imaging. — 2022. — 8(4): 88.

4. Kolchev, A.A., Pasyнков, D.V., Egoshin, I.A., Kliouchkin, I.V., Pasynkova, O.O. Cystic (including atypical) and solid breast lesion classification using the different features of

- quantitative ultrasound parametric images. // *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*. — 2022. — vol. 17. — Iss. 2. — pp. 219-228.
5. Pasyнков, D.V., Kolchev, A.A., Egoshin, I.A., Klioushkin, I.V., Pasynkova, O.O. A Method for Automatic Calculation of the Diameter of a Pulsating Blood Vessel on Ultrasound Images in Video Stream Mode. // *Biomedical Engineering*. — 2023. — vol. 57. — no. 1. — pp. 23-27.
6. Пасынков Д.В., Колчев А.А., Егошин И.А., Ключкин И.В., Пасынкова О.О. Метод сегментации солидного очагового образования молочной железы и его периферического компонента на ультразвуковых изображениях. // *Компьютерная оптика*. — 2023. — Т. 47. — № 3. — С. 407-414.
7. Колчев А.А., Пасынков Д.В., Егошин И.А., Ключкин И.В., Пасынкова О.О. Classification of benign and malignant solid breast lesions on the ultrasound images based on the textural features: the importance of the perifocal lesion area. // *Компьютерная оптика*. — 2024. — 48(1): С. 157-165.

В изданиях, индексируемых Scopus по смежным научным специальностям:

8. Пасынков Д.В., Егошин И.А., Колчев А.А., Ключкин И.В., Пасынкова О.О. Эффективность системы компьютерного анализа маммограмм в диагностике вариантов рака молочной железы, трудно выявляемых при скрининговой маммографии. // *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. — 2019. — 9(2): С. 107-118.
9. Пасынков Д.В., Тухбатуллин М.Г., Егошин И.А., Колчев А.А., Ключкин И.В. Ультразвуковой скрининг рака молочной железы при маммографически плотной паренхиме: роль системы компьютерного анализа маммограмм (одноцентровое проспективное рандомизированное клиническое исследование). // *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. — 2021 — 11(1): С. 103-113.

В изданиях, рекомендованных ВАК по смежным научным специальностям:

10. Пасынков Д.В., Егошин И.А., Колчев А.А., Ключкин И.В., Бусыгина О.В. Сравнительный анализ диагностической ценности систем компьютерного анализа маммограмм I и II поколений. // *Медицинская визуализация*. — 2017. — №1. — С. 90-102.
11. Kolchev, A., Egoshin, I. Use of Hazard Function for Signal Detection on Ionograms. // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. — 2018. — Vol. 15, Iss. 6. — pp. 803-807.
12. Колчев А.А., Егошин И.А., Недопекин А.Е., Шумаев В.В. Применение модели смеси вероятностных распределений при обнаружении радиофизических сигналов. // *Труды конференции РРВ-26*. — 2019. — Т. 2. — С. 177-180.
13. Пасынков Д.В., Егошин И.А., Колчев А.А., Ключкин И.В., Пасынкова О.О. Цветовое картирование серой шкалы с математическим анализом ультразвукового изображения в

дифференциальной диагностике кистозных и солидных образований молочной железы.

// Вестник рентгенологии и радиологии. — 2020. — Т. 101. — №3. — С. 136–146.

14. Kolchev, A., Egoshin, I. Some Problems of Mathematical Modeling of Radiophysical Sounding Signals. // Springer Proceedings in Mathematics and Statistics. — 2022. — vol. 379. — pp. 107–117.

В трудах конференций:

15. Egoshin, I., Pasyнков, D., Kolchev, A., Kliouchkin, I. Value of nested contours analysis algorithm in mammographic image processing. // Int. J. of Computer Assisted Radiology and Surgery. — 2016. — Vol. 11. — Suppl. 1. — P. S278.
16. Egoshin, I., Pasyнков, D., Kolchev, A., Kliouchkin, I., Pasynkova, O. A segmentation approach for mammographic images and its clinical value. // IEEE International Conference on Microwaves, Antennas, Communications and Electronic Systems, COMCAS 2017. — 2018. — P. 1-6.
17. Egoshin, I., Pasyнков, D., Kolchev, A., Kliouchkin, I., Pasynkova, O. Automatic differentiation cystic and solid breast lesions at ultrasonic images. // Int. J. of Computer Assisted Radiology and Surgery. — 2018. — Vol. 131. Suppl. 1. — P. S255.
18. Пасынков Д.В., Егосин И.А., Колчев А.А., Ключкин И.В. Дифференциальная диагностика атипичных кистозных и солидных образований молочной железы: ценность математической обработки ультразвукового изображения. // Лучевая диагностика и терапия. — 2018. — №1 (S). — С. 105.
19. Pasyнков, D., Egoshin, I., Kolchev, A., Klioushkin, I., Pasynkova, O. Value of Machine Learning Technique in the Differentiation of Cystic (Including Atypical) and Solid Breast Lesions at Ultrasonic Images. // EUROSON, 6-9.09.2018, Poznan, Poland. Abstract book. — P. 168.
20. Egoshin, I., Pasyнков, D., Kolchev, A., Kliouchkin, I., Pasynkova, O. Automated differential diagnosis of benign and malignant breast lesions on the mammograms // Int. J. of Computer Assisted Radiology and Surgery. — 2019. — Vol. 14. — Suppl. 1. — pp. S179-S180.
21. Пасынков Д.В., Егосин И.А., Колчев А.А., Ключкин И.В., Пасынкова О.О. Раки, трудно выявляемые при маммографии: причины и ценность систем компьютерного анализа (CAD). // Лучевая диагностика и терапия. — 2019. — №1 (S). — С. 87.
22. Pasyнков, D., Egoshin, I., Kolchev, A., Klioushkin, I., Pasynkova, O., Shafigulina, V. The study of machine learning methods for the lesion differentiation on mammograms // Int. J. of Computer Assisted Radiology and Surgery. — 2020. — Vol. 15. — Suppl 1. — pp. S209–S210.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

23. Пасынков Д.В., Егошин И.А., Колчев А.А., Пасынкова О.О. Электронная экспертная система дифференциальной диагностики доброкачественных и злокачественных солидных образований молочной железы на ультразвуковых изображениях (версия 1.0): Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662473 от 29.07.2021.
24. Пасынков Д.В., Егошин И.А., Колчев А.А., Пасынкова О.О. Электронная экспертная система дифференциальной диагностики кистозных и солидных образований молочной железы на ультразвуковых изображениях (версия 1.0): Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662649 от 02.08.2021.
25. Егошин И.А., Колчев А.А., Пасынков Д.В. Программа для обработки данных скрининга молочной железы: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023611125 от 17.01.2023.

Диссертация Егошина Ивана Александровича «Исследование методов и разработка алгоритмов обработки суммационных маммографических изображений» по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, представляющую решение актуальной современной научно-технической проблемы разработки и реализации новых алгоритмов и методов обработки и анализа суммационных маммографических изображений для повышения точности и достоверности неинвазивной диагностики рака молочной железы. Она выполнена автором самостоятельно и имеет большое теоретическое и практическое значение. Она полностью соответствует критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и рекомендуется к защите на соискание автором степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» в диссертационный совет 24.1.224.01 при Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук».

Апробация диссертации проведена на расширенном заседании сотрудников кафедры прикладной математики и информатики, кафедры математического анализа и теории функций, кафедры лучевой диагностики. Присутствовали: д.техн.н. Петропавловский М.В., к.ф.-м.н. Недопёкин А.Е., к.ф.-м.н. Шадрин Е.О., д.ф.-м.н. Кокурин М.Ю., к.ф.-м.н. Кокурин М.М., к.ф.-м.н. Ключев В.В., к.мед.н. Пасынков Д.В., к.мед.н. Мухоматгалеева Л.Х.

Заключение принято голосованием участников заседания. Присутствовало на заседании 8 человек. Результаты голосования: «за» – 8 чел., «против» – нет, «воздержались» – нет, протокол № 2 от 04.10.2024 года.

Председатель:

Заведующий кафедрой математического анализа и теории функций ФГБОУ ВО «МарГУ», д.ф.-м. н., профессор

М.Ю. Кокурин

Секретарь:

Доцент кафедры прикладной математики и информатики ФГБОУ ВО «МарГУ» к.ф.-м.н., доцент

А.Е. Недопёкин