

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Егошина Ивана Александровича «Исследование методов и разработка алгоритмов обработки суммационных маммографических изображений», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Актуальность исследования

Рак молочной железы – самый часто диагностируемый рак и вторая по частоте причина онкологической смертности среди женщин. Поскольку ранние опухоли обычно не имеют клинических проявлений, общий подход к раннему выявлению рака молочной железы – это скрининг, который обычно проводится ежегодно у женщин старше 40-45 лет. В настоящее время маммография остается наиболее важным методом скрининга рака молочной железы, результатом ее являются суммационные маммографические изображения.

Несмотря на значительные различия в типичных характеристиках доброкачественных и злокачественных опухолей, существует широкая "серая зона", которая включает в себя опухоли обоих типов. Эта проблема особенно важна для небольших опухолей, у которых могут быть очень схожие и неспецифические признаки. Поэтому автоматическое обнаружение и классификация подозрительных областей на маммограммах представляет интерес как с фундаментальной, так и с практической точки зрения. В результате важными этапами компьютерных систем, предназначенных для оказания помощи врачу в интерпретации маммограмм, являются обнаружение, сегментация и классификация подозрительных образований. Существуют различные системы компьютерного анализа для рентгеновской маммографии, которые в настоящее время используются в экспериментальных и клинических условиях. Однако, несмотря на показательные результаты, продемонстрированные на отдельных наборах изображений, обширный спектр маммографических характеристик рака и связанных с ними изменений молочной железы делает сложным обнаружение всех опухолей. Чтобы увеличить частоту обнаружения, особенно в диагностически сложных ситуациях, необходимы новые подходы к обнаружению, сегментации и классификации подозрительных изменений на суммационных маммографических изображениях.

В диссертационном исследовании И.А. Егошина представлены новые методы и алгоритмы автоматического выявления и классификации патологических изменений на суммационных изображениях, разработанные на основе предложенных модельных положений, которые могут повысить точность и достоверность неинвазивной маммографической диагностики рака молочной железы. Также проведены

экспериментальные сравнения алгоритмов и методов с другими существующими методиками на обширных базах данных со всеми возможными вариантами изменений характерными для рака молочной железы.

Подводя итог, можно утверждать, что рассматриваемая тема диссертации «Исследование методов и разработка алгоритмов обработки суммационных маммографических изображений» является актуальной.

Содержание работы

Диссертационная работа включает в себя введение, 3 главы, выводы, заключение и практические рекомендации. Общий объем работы составляет 155 страниц, она содержит 53 рисунка, 23 таблицы и 175 источников в списке литературы.

Во введении раскрывается актуальность темы исследования, формулируются его цели и ставятся задачи диссертационной работы. Целью исследования И.А. Егошина является разработка и улучшение алгоритмов обработки и анализа суммационных маммографических изображений для повышения точности и достоверности неинвазивной диагностики рака молочной железы. Для этого автором были поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработать алгоритм обнаружения подозрительных изменений молочной железы на маммограммах.
2. Провести анализ эффективности предложенного алгоритма обнаружения изменений в сравнении с моделью глубокого обучения.
3. Разработать методику сегментации подозрительных изменений на маммографических изображениях.
4. Развить методики классификации подозрительных изменений на маммограммах.
5. Разработать метод обнаружения скоплений кальцинатов на маммографических изображениях.
6. Разработать методику классификации доброкачественных и злокачественных кальцинатов на маммографических изображениях.

В первой главе диссертантом рассматриваются особенности суммационных маммографических изображений, их виды, характеристики и способы получения. Анализируются важные особенности маммограмм, и делается вывод о широком диапазоне соотношения яркости патологических очагов и фона. Автором описываются все возможные типы изменений молочной железы, которые могут соответствовать раку, и представлены их примеры и характерные особенности. Далее приводится обширный анализ существующих алгоритмов и методов обнаружения, сегментации и классификации, которые разделены по

подгруппам используемых подходов. На основе данного анализа И.А. Егошиным делаются выводы и уточнены поставленные задачи диссертационного исследования.

Вторая глава диссертации посвящена разработке новых методов и алгоритмов, а также представлены наборы данных, используемые для их реализации и тестирования. Для решения задачи обнаружения патологических изменений предложен алгоритм вложенных контуров, который основан на анализе линий уровня маммографических изображений. Диссертантом анализируются вложенные друг в друга линии уровня и предложен набор из геометрических параметров, на основе которых делается заключение об их подобии. Если линия уровня не отличается от вложенной, полученной на предыдущем шаге градации, то делается вывод, что рассматриваемый контур линии уровня представляет собой подозрительную область. Также для обнаружения этих патологических изменений, диссертантом была обучена с применением трансферного обучения модель глубокого обучения YOLOv4, где для улучшения результатов работы модели использовалась предварительная обработка изображения, включающая алгоритм CLAHE и синтез нового 3-канального изображения. Для обучения модели использовался набор из 535 маммографических изображений, который в дальнейшем подверглся аугментации. Для решения задачи сегментации патологических изменений во второй главе предложена методика, учитывающая особенности перепада яркости пикселей изображения. Подозрительное образование на маммограмме рассматривалось как модель яркости пикселей, модуль градиента которой растет в направлении от вершины образования к ее границе. По всей окружности образования проводились лучи, и производился поиск максимального перепада яркости, который соответствовал примерной границе необходимой области для сегментирования. Для классификации сегментированных очагов И.А. Егошиным предлагается две методики извлечения классифицирующих признаков. Первая основана на расчете признаков Харалика, Тамура и моментов Хью из исходного изображения и его производных, полученных путем дополнительной фильтрации фильтрами Собеля, Лапласа и локальных бинарных паттернов. Вторая основана на использовании измененной сети глубокого обучения Inception-ResNet. При использовании первой и второй методик классификации предлагается использовать в качестве классификатора метод опорных векторов. Далее предлагаются методы обнаружения и классификации скоплений кальцинатов, основанные на поиске малых ярких точек (пикселей) или их скоплений на маммограммах. Обнаружение производится с помощью последовательного применения нелинейного фильтра, бинаризации Отцу, алгоритма DBSCAN и Склански. А для решения задачи их классификации И.А. Егошиным предлагается оригинальный набор из

количественных и геометрических признаков, где в качестве классификатора используется метод опорных векторов.

В третьей главе диссертации представлены результаты тестирования предложенных алгоритмов и методов на обширных базах данных (в том числе общедоступных) со всеми возможными вариантами патологических изменений соответствующих раку молочной железы. Приведены таблицы сравнения предложенных алгоритмов с другими существующими методиками. Также предложенный алгоритм вложенных контуров тестируется в сравнении с обученной автором моделью глубокого обучения YOLOv4.

В заключении излагаются основные результаты работы:

1. 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, которые не рассматривались в предыдущих работах.

2. 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.

3. Разработана и программно реализована методика сегментации изменений на маммограммах на основе предложенной модели, где модуль градиента растёт 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.

4. 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.

5. Разработан метод обнаружения кальцинатов на маммограммах, который обеспечивает высокую точность обнаружения, составляющую 93,1%. Метод программно реализован.

6. Разработана 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%.

В конце представлены практические рекомендации, которые необходимо учитывать как при разработке новых методов, так и при использовании предложенных новых алгоритмов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Предложенные методы и подходы подробно описаны в тексте диссертационной работы, детально рассмотрены и исследованы теоретически и экспериментально. Полученные результаты и выводы были апробированы на международных конференциях CARS, COMCAS и др. Исследования автора в 2022-2023 гг. и 2024 г. получили финансовую поддержку Российского научного фонда.

Достоверность результатов исследования

Достоверность проведенного И.А. Егошиным исследования обусловлена соответствием результатов, полученных путем аналитического и численного моделирования, результатам экспериментальных исследований, выполненным в рамках данной работы и другими исследователями. Эффективность разработанных алгоритмов подтверждена натурными испытаниями и повторяемостью результатов на больших объемах экспериментальных данных.

Научная новизна исследования

Следующие результаты, полученные соискателем, являются новыми:

1. Предложен новый метод обнаружения патологических изменений на маммограммах на основе алгоритма вложенных контуров и рассматриваемой модели образований, позволяющий повысить чувствительность маммографии в выявлении рака молочной железы.
2. Разработана оригинальная методика сегментации подозрительных изменений на маммографических изображениях, основанная на предложенной модели, где модуль градиента растет в направлении от вершины образования к его границе, и не искажающий границы исследуемого объекта, а также впоследствии не влияющий на извлечение текстурных и/или геометрических признаков изменений молочной железы.
3. Разработан новый метод обнаружения кальцинатов на маммографических изображениях, обеспечивающий повышение чувствительности маммографии в выявлении рака молочной железы.
4. Разработана новая методика классифицирования доброкачественных и злокачественных скоплений кальцинатов на маммографических изображениях, отдельно

учитывающая скопления кальцинатов в сосудах в виде модели линейных объектов и обеспечивающая снижение частоты ложноположительных откликов алгоритма вложенных контуров.

Теоретическая и практическая значимость работы

В диссертационной работе И.А. Егориным предложены новые методы и методики, использование которых улучшает качество анализа маммографических изображений. В перспективе реализованная система компьютерной диагностики образований на ранней стадии на основе предложенных методов может способствовать поддержке принятия решений о необходимости и стратегии дальнейшего обследования пациента.

Предложенный диссертантом реализованный метод на основе алгоритма вложенных контуров потенциально способен обнаруживать типичные образования на более ранней стадии. Это имеет высокую важность, так как стадия опухоли на момент постановки диагноза представляет собой один из важнейших факторов, непосредственно влияющих на выживаемость пациенток.

В целом, внедрение разработанных алгоритмов в клиническую практику может способствовать повышению выживаемости пациенток за счет улучшения выявляемости различных вариантов раков молочной железы в более ранней стадии.

Разработанные автором алгоритмы так же могут быть использованы для других задач, связанных с анализом суммационных, в частности, получаемых при рентгенографии, изображений.

Замечания

В работе можно отметить следующие недостатки:

1. При описании алгоритма вложенных контуров не указан способ определения критических точек для параметров, используемых при сопоставлении линий уровня.

2. В методе обнаружения изменений на маммограммах с помощью одноэтапного детектора глубокого обучения YOLOv4 используется предварительная обработка изображений на основе анализа гистограммы интенсивности. Однако не приведено обоснование выбора используемых здесь алгоритмов и не описано влияние их параметров на работу детектора.

3. Одна из методик классификации изменений на изображениях молочной железы базируется на использовании признаков Харалика, Тамуры и инвариантных моментах Ху. Однако не приведены причины выбора данных признаков.

4. При описании методик классификации изменений на изображениях молочной железы указано применение алгоритмов выбора признаков ReliefF, FSCNCA и LASSO. Однако не приведены обоснование выбора этих алгоритмов и способы определения их параметров.

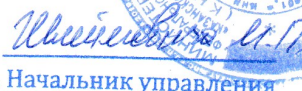
5. Для классификации изменений на изображениях молочной железы используется линейный метод SVM, который эффективен в случае линейной разделимости классов в пространстве признаков. Однако не ясно обладают ли полученные векторы признаков указанным свойством.

Заключение

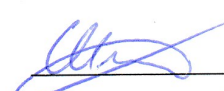
Приведенные выше замечания не влияют на общую оценку работы и скорее носят методический характер. Диссертация И.А. Егошина написана грамотным языком и хорошо структурирована. Научные термины и обозначения определяются и используются корректно. Результаты и выводы обоснованы, новы и представляют теоретический и практический интерес. В целом, диссертационная работа выполнена на высоком уровне и соответствует требованиям Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации, предъявляемой к диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, а так же требованиям «Положения о присуждении ученых степеней». Работа выполнена по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и соответствует паспорту специальности.

Считаю, что Иван Александрович Егошин заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой автоматизированных
систем обработки информации и управления
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Казанский национальный
исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ»,
доцент, кандидат технических наук

Подпись 
заверяю. Начальник управления
делопроизводства и контроля




 / Шлеймович М.П.
«24» декабря 2024 г.

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

Адрес: ул. К. Маркса, д. 10, г. Казань, кафедра АСОИУ, 420111

MPShleymovich@kai.ru

+7(843)231-00-28