

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.422.18

Багаев
Алексей Васильевич

Программный комплекс ранней диагностики кардиологических заболеваний

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-40 80 01 «Элементы и устройства вычислительной
техники и систем управления»

Научный руководитель
Маковский Андрей Леонидович
Доцент, кандидат технических наук

Минск 2019

ВВЕДЕНИЕ

Современная кардиология направлена на то, чтобы минимизировать необходимую лекарственную терапию, стабилизировать гемодинамику, повысить переносимость физических и повседневных нагрузок, улучшить общее самочувствие, а также значительно снизить риск развития осложнений основного заболевания путем применения не медикаментозных методов лечения.

С помощью электрокардиограммы можно многое узнать о работе сердца и выявить целый ряд нарушений: обнаружить аритмии, выявить нарушение, внутрисердечной проводимости, обнаружить изменение размеров полостей сердца, определить локализацию и размер ишемии или инфаркта миокарда, диагностировать токсическое поражение сердечной мышцы, выявить нарушения обмена калия, кальция, магния и других электролитов в организме.

Сердечнососудистые заболевания - основная причина инвалидности и преждевременной смерти жителей экономически развитых стран. Сегодня доля этих заболеваний в структуре смертности составляет 40-60%, при этом продолжающийся рост заболеваемости и поражение людей всё более молодого возраста, что делает сердечнососудистые заболевания важнейшей социальной проблемой здравоохранения.

Статистика смертности от сердечнососудистых заболеваний отнюдь не радужная. К началу 21-го века болезни сердца и кровеносных сосудов приобрели глобальный характер и стали возникать не только у пожилых людей.

В настоящий момент не существует приложений, которые предназначены для ранней диагностики кардиологических заболеваний и целевой аудиторией которого является пользователь не имеющий медицинского образования.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Несмотря на урбанизацию, в нашей стране остаются места, где для получения медицинской помощи приходится преодолевать не один десяток километров. В отдаленных от медицинских учреждений районах люди обращаются к врачу только в самом крайнем случае, профилактические визиты зачастую невозможны. Согласно статистике, белорусские больницы и поликлиники укомплектованы медперсоналом всего на 70%. По информации из открытого доступа от белорусского телеграфного агентства, крупнейшего

информационного агентства Белоруссии, по состоянию на 1 июня 2016 года в сельской местности недоставало 44 врачей и 57 медицинских сестер. К тому же квалификация медицинских работников изменяется в сторону снижения с увеличением расстояния от областных центров.

Существует множество болезней, которые на ранней стадии развития не вносят никаких изменений в состояние человека. Нередки случаи, когда человек обращается к врачу слишком поздно. К числу болезней, которые сложно выявить по ощущениям относятся и кардиологические заболевания. Список болезней сердца достаточно велик, и многие из них можно отнести к разряду «коварных» заболеваний – то есть, болезней, развивающихся незаметно, дающих о себе знать тогда, когда произошли уже серьезные поражения органов. К примеру, гипертония поначалу не проявляет себя почти никакими симптомами, однако в дальнейшем последствия её воздействия могут быть губительны для здоровья человека.

Это свидетельствует об актуальности разработок, связанных с автоматизацией процесса предупреждения заболеваний. Это позволит людям, не имеющим прямого доступа к медицинскому обслуживанию, следить за состоянием своего здоровья.

Цель и задачи исследования

Целью данного исследования является разработка мобильного приложения, автоматизированной системы, доступной для каждого, которая позволит в домашних условиях выявлять нарушения в работе сердца для своевременного обращения к врачу.

В соответствии с поставленной целью, в работе сформулированы и решены следующие задачи:

1. Выполнить анализ актуального состояния и перспективы развития систем определения кардиологических заболеваний.
2. Установить роль электрокардиограммы в процессе постановки диагноза.
3. Изучить специфику существующих мобильных приложений, применяемых в кардиологии.
4. Разработать концепцию и эскизы интерфейса приложения.
5. Разработать структурную схему системы.
6. Реализовать систему анализа графических изображений и систему гармонического анализа.
7. Применить методы abc-анализа и хуз-анализа для предупреждения кардиологических заболеваний.

Объектом исследования являются кардиологические заболевания.

Предметом исследования выступают методы обработки и анализа электрокардиограммы.

Область исследования и содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-40 80 01 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Научная новизна состоит в том, что избранное научное направление позволило разработать мобильное приложение; обозначить возможный круг существующих проблем; определить будущие векторы развития информационных технологий в Республике Беларусь.

Положения, выносимые на защиту

1. Концепция и эскиз интерфейса приложения.
2. Структурная схема системы ранней диагностики кардиологических заболеваний.
3. Система анализа графических изображений.
4. Система гармонического анализа.
5. Методы abc-анализа и хуз-анализа для предупреждения кардиологических заболеваний.

Структура и объем диссертации

Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, семи глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 76 страниц. Работа содержит 1 таблицу, 27 рисунков. Библиографический список включает 58 наименований, графический материал включает 11 слайдов презентации.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы кардиологических заболеваний, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** проводится анализ актуального состояния и перспектив развития систем определения кардиологических заболеваний.

Опасность сердечнососудистых заболеваний состоит во внезапности возникновения и стремительности развития непоправимых последствий, а мер по предупреждению мало, и они носят скорее рекомендательный характер.

Факторы риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний бывают устранимые и не устранимые. Устранимые – это такие факторы риска, которые можно тем или иным способом устранить, а не устранимые – это такие факторы риска, которые устранить невозможно.

К неустрашимым факторам риска относятся:

1. Пол. Риск у мужчин выше, чем у женщин. С возрастом различия уменьшаются. В возрасте 35 - 70 лет у мужчин риск смерти от инсульта на 30% выше. В возрасте 75 лет риск смерти от ССЗ примерно одинаков у мужчин и у женщин.
2. Возраст. Мужчины старше 55 лет и женщины старше 65 лет в большей степени подвержены сердечно-сосудистым заболеваниям.
3. Менопауза. У женщин в менопаузе риск сердечно-сосудистых заболеваний выше.
4. Наследственность. Болезни сердца у Ваших прямых родственников говорят о более высокой вероятности развития подобных болезней и у Вас.
5. Этническая принадлежность.
6. Географический регион проживания.
7. Поражение органов мишеней: сердце, головной мозг, почки, сетчатка глаз, периферические сосуды. Наличие необратимых заболеваний перечисленных органов значительно увеличивает риск сердечно-сосудистой

катастрофы.

8. Сахарный диабет. Сахарный диабет в настоящее время причислен к поражениям органов мишеней. Признаки диабета: жажда, сухость во рту, большое потребление жидкости, частое и обильное мочеиспускание.

К устранимым факторам риска относятся:

1. Курение повышает риск заболеваний сердца в 1,5 раза. Повышает риск эндотелиальной дисфункции, атеросклероза, облитерирующих заболеваний сосудов, онкологических заболеваний. Повышает артериальное давление как у больных гипертонией, так и у лиц с нормальным давлением.

2. Гиперхолестеринемия.

3. Дислипидемия, то есть изменение соотношения уровней различных фракций холестерина.

4. Гипертриглицеридемия наличие большого триглицеридов в крови.

5. Повышение систолического артериального давления.

6. Повышение диастолического артериального давления - Повышенное потребление соли.

7. Злоупотребление алкоголем.

8. Стрессы.

9. Нарушенная толерантность к глюкозе, гипергликемия.

10. Протеинурия, микроальбуминурия.

11. Гиперкреатининемия (хроническая почечная недостаточность).

12. Пульсовое артериальное давление.

13. Синдром ночного апноэ.

14. Дефицит эстрогенов у женщин.

15. Метаболические нарушения.

16. Повышение уровня фибриногена.

17. Снижение уровня эндогенного тканевого активатора плазмогена

При оценке здоровья человека на первом месте стоит исследование и оценка состояния его сердечно-сосудистой системы, так как она является основным звеном, определяющим и лимитирующим доставку кислорода работающим органам, и, кроме того, сердечно-сосудистая система современного человека чрезвычайно ранима из-за большого количества психоэмоциональных нагрузок в повседневной жизни. Электрокардиография – методика регистрации и исследования, электрических полей, образующихся при работе сердца. А.Л. Голдбергер отмечает, что электрокардиография

представляет собой относительно недорогой, но ценный метод электрофизиологической инструментальной диагностики в кардиологии.

Электрокардиограмма – это процесс измерения и регистрации «электрической деятельности» сердца называется электрокардиографией. Это относительно недорогой метод, при котором врач получает очень важную информацию о том, как работает сердце пациента. Электрокардиограмма - это графическая регистрация разности потенциалов электрического поля сердца, возникающих в результате его работы, которая производится с помощью специального прибора – электрокардиографа.

Процедура регистрации ЭКГ абсолютно безболезненна. Она не имеет противопоказаний и занимает всего 5-10 минут времени. После снятия показаний проводится расшифровка ЭКГ. «График» ЭКГ выглядит как череда зубцов и спадов. Зубцы электрокардиограммы принято обозначать латинскими буквами P, Q, R, S и T. Иногда еще можно увидеть волну U.

Работу предсердий отображает зубец P. Комплекс QRS соответствует возбуждению желудочков сердца. Следом регистрируется интервал S-T, в течение которого остается возбужденной вся поверхность желудочков. Зубец T отображает процесс реполяризации миокарда. После него регистрируется изоэлектрический интервал, соответствующий расслаблению сердца [7, с. 44].

Высота, глубина, ширина зубцов, длительность интервалов, частота сердечных сокращений, проводимость сердца – все это важные показатели, на основании которых специалист может сделать выводы о состоянии сердца и его функционировании.

Во второй главе приведен анализ существующих решений и определены потребности проектируемого приложения.

За счет распространения сенсоров и датчиков, относящихся к концепции Интернета вещей, серьезное развитие получили мобильные технологии электронного здравоохранения. Разработаны мобильные приложения, предназначенные для занятия фитнесом, контроля веса, соблюдения режима питания и пр., которые доступны для использования и понимания пользователем без назначения врача и дополнительных консультаций. На сегодняшний день мировой рынок мобильного здравоохранения составляет порядка 23 млрд. долларов. Мобильные технологии, уже достаточно широко представленные в сегменте электронного здравоохранения, можно условно разделить на несколько функциональных категорий. Первая категория решений выполняет функции мониторинга здоровья, диагностики и обеспечения ухода за пациентами.

На текущий момент устройства и приложения данной категории

включают в себя:

- системы мониторинга давления, работы мозга, ритмов бодрствования и сна, работы сердца и т.п.;
- мультипараметрические системы мониторинга;
- системы удаленного взаимодействия с врачом или медицинской организацией;
- диагностические системы, включая системы быстрого анализа крови, мочи, слюны, дыхания и т.п.;
- системы контроля за людьми с ограниченными возможностями, хронически больными людьми, пожилыми и детьми;
- мобильные и облачные приложения, предназначенные для контроля здоровья, контроля за приемом лекарств, для планирования лечения и т.п.

Согласно проведенному анализу, на данный момент не разработано приложения, отвечающего заданным нам требованиям: легкость в использовании, интуитивная простота для пользователя, возможность использования людьми, не имеющими медицинского образования, приятный интерфейс.

В **третьей главе** представлена концепция интерфейса приложения. Разработано графическое решение приложения.

В качестве основного цвета для приложения был выбран синий цвет. Синий цвет может символизировать доброту, верность, постоянство, расположение, а в геральдике обозначает целомудрие, честность, добрую славу и верность. Синий – это успокаивающий цвет, наводящий на мысли о солидности и опыте, внушающий доверие. Его часто выбирают для оформления корпоративных сайтов. Сочетания, в которых используется этот цвет, служит для выражения надежности и взаимозависимости. Традиционно эти цвета были связаны с представлением о власти. Данный цвет возможно применять в образовательной, финансовой, юридической сфере, консалтинге, где необходимо отобразить представительность и обеспечить сосредоточенность на информации. По нашему мнению, синий цвет также является оптимальным для использования в медицине.

Предоставлены эскизы основных страниц приложения, имея представление о которых можно приступить непосредственно к его разработке. Выполненная концепция интерфейса выгодно отличает приложение от уже существующих как в плане привлекательности интерфейса, так и в плане удобства для пользователя.

В **четвертой главе** разработана структурная схема системы.

Для использования разработанной системы, пользователю понадобится портативный прибор для снятия кардиограммы и гаджет одного из последних поколений. Для этого подойдет любое мобильное устройство, поддерживающее операционные системы Android или IOS.

После снятия кардиограммы пользователь делает снимок кардиограммы с помощью гаджета, подходящего по требованиям. Кардиограмма представляет собой периодический повторяющийся сигнал, поэтому пользователю достаточно будет сфотографировать лишь часть полученной кардиограммы.

Полученный снимок с помощью алгоритмов заложенных в мобильное приложение обрабатывается и из него выделяется необходимая информация, которая по сети интернет передаётся на web-сервер. На web-сервер хранится база данных с результатами всех загруженных кардиограмм.

В структурную схему автоматизированной системы ранней диагностики кардиологических заболеваний входят пользователь, мобильное приложение, веб-сервер. Рассмотрены основные задачи и действия, выполняемые каждым блоком. Определены минимальные технические и программные средства к разрабатываемой системе, для успешного функционирования.

В **пятой главе** разработана система анализа графических изображений, алгоритм выделения показаний кардиограммы из фото.

Согласно, поставленной задачи, нам было необходимо, отделить показания электрокардиограммы от фона, полученных фотографий. Для этого был написан программный продукт, который сможет определять цвет определенного пикселя. Также реализован алгоритм с определенной частотой дискретизации, при этом сохраняя максимальную производительность. Все это позволило реализовать применение компьютерного зрения.

Согласно алгоритму происходит загрузка изображения, затем определяется его размерность. Далее следует обход пикселей в соответствии с заданной частотой дискретизации. Если пиксель имеет черный цвет, его координаты сохраняются для дальнейшей обработки.

В **шестой главе** разработана система гармонического анализа электрокардиограммы.

В данном разделе сердце человека рассматривается как автоматическая система. Сердце человека работает циклами, поэтому сигнал, полученный в результате снятия электрокардиограммы периодический. Следовательно, для его анализа был использован методы анализа периодических сигналов.

Благодаря численному методу вычисления коэффициентов Фурье был найден способ получения их с помощью ординат, полученных из алгоритма раздела 3. Таким образом, была выбрана схема для произведения

гармонического анализа показаний кардиограммы.

В **седьмой главе** был разработан метод abc-анализа и хуз-анализа для предупреждения кардиологических заболеваний и разработан алгоритм разбиения на группы.

ABC-анализ – это метод, позволяющий классифицировать ресурсы по степени их важности. Этот анализ является одним из методов рационализации и может применяться в любой сфере деятельности. В его основе лежит принцип Парето. По отношению к ABC-анализу правило Парето может прозвучать так: надёжный контроль 20 % позиций, позволяет на 80 % контролировать систему. В нашем случае позиции – это коэффициенты, которые оказывают наибольшее влияние на здоровье.

В ходе анализа были выделены следующие группы:

Группа А: коэффициенты, изменение которых в худшую сторону вызывает 80% патологий.

Группа В: коэффициенты, изменение которых в худшую сторону вызывает 15% патологий.

Группа С: коэффициенты, изменение которых в худшую сторону вызывает 5% патологий.

XYZ-метод часто используется как дополнение к ABC-анализу. Данный метод позволяет следить за показателями в течении времени. Распределение по группам происходит по значению коэффициента вариации.

Коэффициент вариации – это отношение среднеквадратичного отклонения к среднеарифметическому значению измеряемых значений.

Для нашего проекта выделены следующие группы:

Группа Х: показание коэффициента характерное для здорового человека. Значение коэффициента вариации находится в интервале от 0 до 10 %.

Группа Y: показание коэффициента отклоняется от нормы, при появлении таких значений пациенту рекомендуется обращаться за медицинской помощью. Значение коэффициента вариации находится в интервале от 10 до 25 %.

Группа Z: показание коэффициента сильно отклоняется от нормы, при появлении таких значений пациенту нужна срочная медицинская помощь. Значение коэффициента вариации свыше 25 %.

В **приложениях** представлен графический материал и отчет о проверке в системе «Антиплагиат».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках исследования мы провели анализ существующих приложений в области работы с электрокардиограммами, однако, обзор показал, что на данный момент нельзя выделить приложение, отвечающее заданным нами требованиям: легкость в использовании, интуитивная простота для пользователя, возможность использования людьми, не имеющими медицинского образования, приятный интерфейс. На основании вышесказанного мы перешли к следующему этапу исследования, который включил в себя определение общей функциональной и графической концепции разрабатываемого приложения.

Основным цветом интерфейса был выбран синий, также были выбраны комплиментарные цвета (использован цветовой круг). При создании цветовой концепции приложения учтено символическое значение цвета, специфика и назначение приложения, а также культурные, возрастно- психологические особенности целевой аудитории. Дополнительными цветами были выбраны оттенок морской волны, голубой, фиолетовый, акцентными цветами выбраны пурпурный и желтый. Произведен анализ интерфейсов существующих приложений. Были разработаны примерные эскизы нового приложения. Таким образом, мы выполнили эскизы основных страниц приложения, имея представление о которых можно приступить непосредственно к его разработке. Выполненная нами концепция интерфейса выгодно отличает приложение от уже существующих и в плане привлекательности интерфейса, так и в плане удобства для пользователя.

Для использования разработанной системы пользователю понадобится портативный прибор для снятия кардиограммы. Полученный снимок с помощью алгоритмов заложенных в мобильное приложение обрабатывается и из него выделяется необходимая информация, которая по сети интернет передаётся на web-сервер. На web-сервере хранится база данных с результатами всех загруженных кардиограмм. Также пользователю понадобится гаджет одного из последних поколений. Для этого подойдет любое мобильное устройство, поддерживающее операционные системы Android или IOS.

После снятия кардиограммы пользователь делает снимок кардиограммы с помощью гаджета. Кардиограмма представляет собой периодический повторяющийся сигнал, поэтому пользователю достаточно будет сфотографировать лишь часть полученной кардиограммы. Работоспособность сервера зависит от производительности процессора, производительность дисковой памяти, объема и типа памяти. Исходя из того, что для работы нашей

системы нам надо хранить данные и выполнять с ними несложные операции обработки и вычисления, можно позволить выбрать комплектующие сервера со средними показателями.

Далее была разработана структурная схема автоматизированной системы ранней диагностики кардиологических заболеваний, в которую входят пользователь, мобильное приложение, веб-сервер. Рассмотрены основные задачи и действия, выполняемые каждым блоком. Определены минимальные технические и программные средства к разрабатываемой системе, для успешного функционирования. Необходимым было отделение показаний электрокардиограммы от фона полученных фотографий. Именно для этого и требовалось написать программный продукт, который сможет определять цвет определенного пикселя. Также необходимо реализовать данный алгоритм с определенной частотой дискретизации, при этом сохраняя максимальную производительность.

Все вышеизложенное привело к рассмотрению концепции и специфике реализации программных продуктов так называемого компьютерного зрения. Компьютерное зрение является важным инструментом в области обработки изображений в медицине, характеризуясь получением информации из видеоданных для постановки медицинского диагноза пациентам.

В ходе работы был использован язык C# – объектно-ориентированный язык программирования. C# поддерживает понятия инкапсуляции, наследования и полиморфизма. Все переменные и методы, включая метод Main – точку входа приложения – инкапсулируются в определения классов. Класс может наследовать непосредственно из одного родительского класса, но может реализовывать любое число интерфейсов. Происходит загрузка изображения, затем определяется его размерность. Далее следует обход пикселей в соответствии с заданной частотой дискретизации. Если пиксель имеет черный цвет, его координаты сохраняются для дальнейшей обработки. В исследовании приведена схема алгоритма выделения показаний кардиограммы из изображения, кроме того, были выбраны оптимальные средства реализации выделения показаний из изображения электрокардиограммы.

Для дальнейшего анализа кардиограммы разработан алгоритм вычисления коэффициентов Фурье. Мы также воспользовались численным методом расчета коэффициентов, прибегнув к ABC-анализу (методу, позволяющему классифицировать ресурсы по степени их важности, в основе которого лежит принцип Парето). XYZ- метод использован как дополнение к ABC-анализу. Данный метод позволяет следить за показателями в течение времени. Распределение по группам происходит по значению коэффициента

вариации. Полученные после гармонического анализа коэффициенты необходимо хранить в базе данных. Выбрана база данных, которая использует модель «клиент-сервер». Модель функционирования такой системы заключается в следующем: клиент делает запрос серверу, сервер получает запрос, выполняет его и отправляет результат клиенту. Клиент-серверная база данных позволяет обмениваться клиенту и серверу минимально необходимыми объёмами информации. При этом основная вычислительная нагрузка ложится на сервер.