

АЛЬ САИДИ САЛИМ АЛИ САЛЕХ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ
ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ
В ЙЕМЕНЕ

Специальность 05.12.04- Радиотехника,
в том числе системы и устройства телевидения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владимир 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ) на кафедре «Радиотехника и радиосистемы»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ Никитин Олег Рафаилович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Динамика электронных систем» Ярославского государственного университета имени П.Г. Демидова Брюханов Юрий Александрович

кандидат технических наук, зам. главного инженера ЗАО «Кобра» г. Владимир Кучин Сергей Игоревич

Ведущая организация ООО «ИнфоЦентр», г. Владимир

Защита диссертации состоится « 2 » апреля 2013 г. В 14⁰⁰ в ауд. 301, корп.3 на заседании диссертационного совета Д212.025.04 Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по адресу: 600000, Владимир, ул. Горького, 87.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ.

Автореферат разослан « 28 » февраля 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор

А.Г. Самойлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Рынок медицинского управления является одним из самых больших и быстро растущих сегментов индустрии здравоохранения. Развитие адекватных недорогих телекоммуникационных инфраструктур может помочь обеспечить равный доступ к медицинской помощи богатых и бедных. Республика Йемен сталкивается со многими серьезными проблемами медицинского обслуживания, к которым можно отнести ограничение финансирования и ресурсов, дефицит врачей и другого персонала, низкое качество дорог, горный рельеф, сложный климат, недостаточные транспортные возможности. Все это усложняет обеспечение надлежащего уровня медицинской помощи, как в крупных городах, так и в отдаленных сельских регионах. В этом случае телекоммуникационные системы могут дать решение части этих проблем, в частности обеспечат возможность диагностики из любой точки страны, обеспечат доступ к медицинским информационным источникам пациентам удаленных и горных районов. Особое значение приобретают экстренная помощь, консультации в отдаленных районах, обучение, слежение за распространением эпидемий, административное управление первичными звеньями здравоохранения. В силу этого весьма актуальна проблема разработки инфокоммуникационной системы телемедицины (ТМ) республики Йемен.

Большой вклад в решение задач развития ТМ и совершенствование инфокоммуникационных технологий внесли Юсупов Р.М., Полонников Р.И., Блажис А.К., Семенов С.И., Сенкевич Ю.И., Брюханов Ю.А., Гонсалес Р., Вудс Р., Прокис Дж., Феер К.

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является повышение доступности населению республики Йемен к получению медицинских услуг за счет построения инфокоммуникационной системы телемедицины и разработки мер по повышению ее эффективности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать основные направления, задачи и опыт формирования ТМ систем ведущих и развивающихся стран мира.

2. Обосновать требования к структуре ТМ системы республики Йемен и к ее инфокоммуникационному сегменту.

3. Разработать предложения по созданию инфокоммуникационной системы ТМ для одного из районов республики.

4. Определить критерий эффективности функционирования инфокоммуникационной системы ТМ.

5. Провести исследование применимости стандартов компрессии видеоизображений для различных типов медицинской графики.

6. Исследовать возможность повышения эффективности инфокоммуникационной системы за счет применения методов автоматизированной диагностики.

Методы исследований. Для решения перечисленных выше задач были использованы методы математической статистики, теории матриц, теории вероятностей, математического моделирования, теории обработки изображений.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана концепция построения инфокоммуникационной системы ТМ в республике Йемен.

2. Предложен комплексный критерий качества сжатых медицинских изображений.

3. Предложена структурная организация системы автоматизации обработки медицинских видеоизображений для диагностирования патологий.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. На базе оборудования стандарта IEEE 802.16e разработан инфокоммуникационный сегмент ТМ сети города Сана.

2. На основе статистического анализа качества сжатых медицинских изображений разработаны рекомендации по выбору стандарта и параметров компрессии для различных типов медицинской графики.

3. Предложено использование схем АРМ врачей-диагностов, позволяющих снизить продолжительность исследования на 20-40%, а также уменьшить стоимость процедур за счет экономии расходных материалов.

4. Предложена структурная организация системы автоматизации обработки медицинских видеоизображений для диагностирования патологий, позволяющая снизить время диагностики на 10-20%.

На защиту выносятся следующие основные результаты и научные положения:

1. Концепция построения инфокоммуникационной системы ТМ республики Йемен.

2. Структура алгоритмического информационного обеспечения автоматизированной системы диагностики, технологические особенности обработки и анализа изображений в системе.

3. Результаты статистического исследования качества компрессированных медицинских изображений.

4. Критерий эффективности функционирования инфокоммуникационной системы ТМ (ИКСТМ).

5. Комплексный критерий качества сжатых медицинских изображений.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на V НТК аспирантов и молодых ученых «Вооружение, технология, безопасность, управление, Ковров, 2010г., X МНТК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» ФРЭМЭ, Владимир 2012г., III ВНТК «Информационные измерительные и управляющие системы военной техники», Владимир 2012г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, в том числе, две в изданиях, рекомендованных ВАК.

Результаты исследования. Результаты диссертационной работы успешно внедрены в ООО «Владинфо» г. Владимир, а также в учебный процесс кафедры радиотехники и радиосистем ВлГУ для специальностей радиотехнического профиля.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 92 наименований. Основной текст занимает 161 страниц, он иллюстрирован 40 рисунками и 27 таблицами.

Краткое содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цель работы и основные задачи, показаны практическая значимость и реализация результатов работы, перечислены новые результаты и положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен обзор литературы по вопросам возникновения и развития ТМ в связи с совершенствованием инфокоммуникационных технологий. Особо важным аспектом использования ИКСТМ является неотложная медицина.

Проведен анализ состояния уровня здравоохранения и развития рынка телекоммуникационных услуг республики Йемен, на базе которого, с учетом опыта других стран афро-азиатского региона, разработана концепция развития ИКСТМ. Для реализации ТМ системы республики Йемен необходимо поэтапное проведение следующих работ:

1. Создание сети независимых телемедицинских провайдеров (ТМП).
2. Создание системы «Удаленных пунктов» (УП).
3. Создание консультационных медицинских центров на базе существующих государственных и частных больниц, госпиталей и клиник.
4. Создание инфотелекоммуникационной инфраструктуры, объединяющей в едином информационном пространстве специализированных инфокоммуникационных операторов, провайдеров ТМ-услуг, УП, консультантов и клиентов.

5. Разработка и внедрение специального программного обеспечения для дистанционного установления медицинского диагноза.

На рисунке 1 приведена логическая схема ИКСТМ.

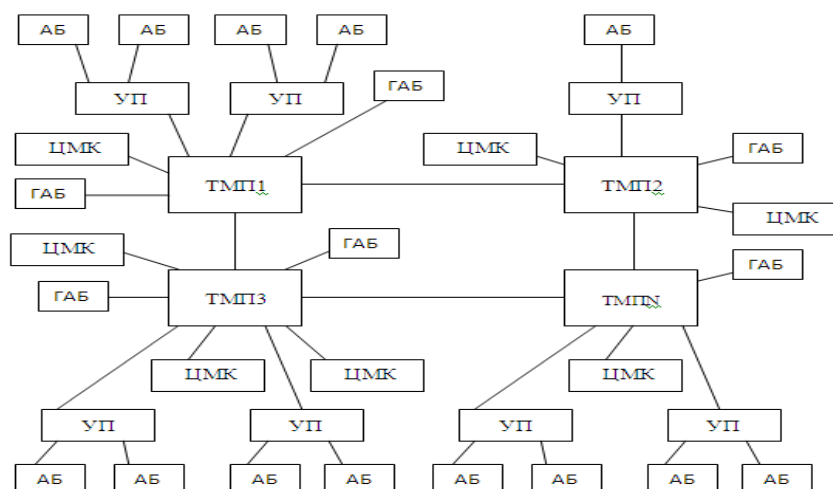


Рисунок 1. Логическая схема ИКСТМ

Проведен анализ требований, предъявляемых к ИКСТМ перечнем перечисленных выше задач. Предложено построение системы на базе оборудования широкополосной беспроводной связи стандарта IEEE 802/16e.

Во второй главе проведен анализ основных характеристик стандарта IEEE 802.16e и показано, что он удовлетворяет требованиям, связанным с организацией видеоконференций высокого качества. Показано, что особое внимание IEEE 802.16e уделяет проблемам качества предоставляемых услуг (QoS).

Проведено сравнение систем IEEE 802,16e и перспективных сотовых систем LTE (Long Term Evolution). Показано, что WiMAX rel.1.5 и LTE имеют похожие характеристики. В них на линии от базовой станции используется OFDMA с многоуровневой модуляцией и кодированием. Пиковые скорости практически одинаковы при одинаковых кратностях модуляции и скоростях корректирующего кода. Но в тоже время мобильный WiMAX имеет двухлетний выигрыш по времени выхода на рынок и гладкую e2e архитектуру сети; пропускная способность и спектральная эффективность мобильного WiMAX в релизе 2.0 имеет лучшие параметры, нежели LTE.

При проектировании широкополосного доступа на основе технологии WiMAX необходимо проведение планирования сети с учетом, как минимум, следующих параметров: расстояние от базовой станции (БС) до антенны пользователя/группы пользователей; количество пользователей, их тип и услуги которыми они будут пользоваться, т.е. необходимо провести оценку нагрузки на базовую станцию.

Методика расчета зоны покрытия базовой станции, основанная на эмпирической модели SUI (Stanford University Interim) рекомендованной WiMAX Forum, приведена ниже. Потери мощности сигнала

$$L = A + 10 \gamma \log_{10} (d/d_0) + X_f + X_h + S, \quad (1)$$

где $d_0 = 100$ м; A - потери мощности сигнала в свободном пространстве; d - расстояние между базовой станцией и абонентской станцией, при $d > d_0$, (м); X_f - корректирующий фактор частоты. $X_f = 6 \log_{10} (f / 2000)$; X_h - корректирующий фактор высоты антенны абонентской станции. $X_h = -10,8 \log_{10} (hm / 2)$ - для типа местности А и В, hm - высота антенны мобильной станции, (м); $X_h = -20 \log_{10} (hm / 2)$ - для типа местности С, γ - показатель степени затухания радиоволн определяет величину потерь при распространении радиоволн в городской среде. $\gamma = (a - b \cdot hb + c / hb)$, hb - высота антенны базовой станции, (м); a , b , c - константы, зависящие от типа местности; S - корректирующий фактор затенения, зависящий от типа местности (дБ). Для расчета дальности связи используется уравнение бюджета канала связи (Link Budget). Данное уравнение связывает уровни мощности на входе приемника R_x и выходной мощности передатчика T_x , находящихся друг от друга на расстоянии d :

$$R_x = T_x + GTX + GRX - L_{RX} - L_{TX} - MAPL - M, \quad (2)$$

где T_x - выходная мощность передатчика, (дБм); GTX - коэффициент усиления антенны передатчика, (дБи); GRX - коэффициент усиления антенны приемника, (дБи); L_{RX} , L_{TX} - СВЧ потери мощности сигнала, соответственно, в приемнике и передатчике, в кабеле, разъемах, (дБ); $MAPL$ - потери на пути распространения радиоволн на дальность d км, (дБ); M - запас по замираниям, (дБ).

Исходя из (2), полные потери на радиотрассе могут быть вычислены как:

$$L = MAPL = (T_x + GTX + GRX - L_{RX} - L_{TX} - M) - R_x. \quad (3)$$

Используя формулы (1), (3), получаем максимальную дальность связи:

$$d = d_0 \times 10^{\frac{((T_x + GTX + GRX - L_{RX} - L_{TX} - M) - R_x) - A - X_f - X_h - S}{10\gamma}}. \quad (4)$$

При расчете абонентской нагрузки во внимание принимались лишь абоненты ТМ сети, количество которых определялось по среднегодовому уровню заболеваемости на территории г.Сана, составляющему 10%. Этот процент заболеваемости определяет среднесуточное количество абонентов сети 705. При расчете было сделано допущение о суммарной пропускной способности, необходимой для оказания всех услуг 361,024 Мбит/с. Зная пропускную способность одного сектора базовой станции, определяем требуемое количество базовых станций.

В процессе проектирования сетей WiMAX, для оценки покрытия базовой станции используется оценка потерь на пути распространения радиоволн

$$MALP = G_{sys} - M_{total} , \quad (5)$$

где $G_{sys} = EIRP - IRL$ – системное усиление (System Gain), определяющее максимальную дальность связи.

$$M_{total} = M_{fade} + M_{in} + U_{correct} - \text{суммарный запас,}$$

где M_{fade} – запас по замираниям; M_{in} – интерференционный запас (для канала DL составляет 2 дБ, а для UL канала равен 3 дБ); $U_{correct}$ – корректирующий параметр, отражающий плотность застройки.

Подставив вместо L, значение MAPL из уравнения бюджета канала связи, получим:

$$L = MALP = A + 10 \gamma \log_{10} (d/d_0) + X_f + X_h + S , \quad (6)$$

Решая уравнение относительно d , получим формулу для расчета радиуса БС:

$$d = 10^{\sigma} \times d_0 \text{ (м)}, \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{MALP - A - X_f - X_h - S}{10\gamma}$$

Построение сети WiMAX для города Сана производится на основе системы 4Motion BreezeMAX. Для этого оборудования радиус соты при наиболее производительном виде модуляции составляет $d = 1551$ (м). Зона покрытия составляет 7,55 квадратных километра. Требуемое количество базовых станций 17. На рисунке 2 приведен вариант расположения базовых станций на территории города Сана.



Рисунок 2. Схема расположения базовых станций в г.Сана

Следует отметить возможность значительного повышения производительности сети за счет использования трех и шестисекторных антенн, при том же расположении базовых станций. Основным критерием выбора положения БС являлось максимальное покрытие густонаселенных районов города и минимальное для малонаселенных или открытых территорий.

В третьей главе рассмотрены вопросы повышения эффективности ИКСТМ. Этот параметр предлагается оценивать продолжительностями этапов

формирования и передачи ТМ информации. Так как основные задержки телеконсультаций определяются продолжительностью профессиональной деятельности врачей-диагностов и врачей клиницистов, то правильная организация их рабочих мест будет в значительной мере определять эффективность функционирования ТМС.

Предложена общая концепция повышения эффективности ИКСТМ за счет использования автоматизированных рабочих мест (АРМ) врачей-диагностов. Определен перечень требований к АРМ и классы решаемых задач. Показано, что АРМ врачей-диагностов различных специализаций имеют общие черты, поэтому их построение можно рассматривать с общих позиций.

В функции АРМ врача-диагноста включены следующие возможности: получение электронных изображений с диагностических аппаратов, обеспечение просмотра направлений пациентов на диагностическое исследование, предоставление помощи врачу для соблюдения оптимального диагностического алгоритма и при составлении протокола обследования, возможность предварительной обработки полученных изображений, помощь в проведении семантического и математического анализа изображений, сохранение изображений в репозитории; печать протокола обследования. Исходя из перечисленных выше функций, можно выделить следующие основные компоненты АРМ врачей-диагностов, специализирующихся на работе с изображениями. Система работы с изображениями состоит из следующих подсистем: системы ввода изображений в компьютер; системы предварительной обработки изображений; системы анализа изображений.

В работе представлены АРМ врача эндоскописта, врача ультразвуковой диагностики, врача рентгенолога, врач маммолога. Время от момента окончания исследования до предъявления снимков на мониторы пользователей не превышает 5 минут. Внедрение АРМ приводит к снижению диагностических ошибок за счет полного и оперативного доступа к диагностической информации.

При ультразвуковой визуализации, исходя из технических особенностей УЗИ-аппаратов, изображения необходимо обрабатывать с целью повышения их качества. Для этого в составе АРМ используются алгоритмы повышения контраста. В целом эти алгоритмы можно использовать для улучшения снимков, полученных практически на любых других диагностических установках. Дополнительно применяются алгоритмы для подавления специфического спекл-шума ультразвуковых изображений.

АРМ рентгенолога состоит из компьютера IBM PC, содержащего устройство для ввода в компьютер телевизионного сигнала с монитора рентгеновского аппарата в режиме рентгеноскопии, пульта дистанционного

управления захватом снимка, размещаемого непосредственно возле рентгеновского аппарата, и программного пакета, предназначенного для обработки сигналов пульта, запуска заданных функций устройства ввода изображений и автоматического именования графических файлов. При использовании АРМ врач не находится в зоне облучения. Качество рентгеноскопического изображения при этом контролируется в ходе процедуры по монитору компьютера. Метод позволяет полностью отказаться от использования рентгеновской пленки. Время от момента окончания исследования, включая время преобразований, до передачи изображений конечным пользователям, как правило, составляет 5 минут, тогда как при использовании традиционных методов фотолабораторного процесса на это уходит не менее часа. К дополнительным возможностям автоматизированного рабочего места врача-рентгенолога относится возможность записи в память компьютера динамического видеофильма рентгеновского исследования для последующего просмотра с целью определения протяженности процесса, подвижности органа, динамического наблюдения.

АРМ маммолога предназначен для визуализации маммограмм на экране полутонового или цветного монитора, имеет в своем составе средства, позволяющие осуществлять обработку маммограмм для облегчения их анализа и интерпретации.

Использование АРМ позволит сократить время диагностики на 20-40% и, тем самым, повысить эффективность инфокоммуникационной системы.

Для сокращения длительности этапа передачи информации рассмотрена возможность сжатия медицинских изображений. JPEG — один из самых распространенных и достаточно мощных алгоритмов. Оперирует алгоритм с областями 8x8, на которых яркость и цвет меняются сравнительно плавно. Отрицательными сторонами алгоритма является то, что проявляется эффект Гиббса — ореолы по границам резких переходов цветов. При повышении степени сжатия изображение распадается на отдельные квадраты (8x8). Основные отличия нового алгоритма JPEG-2000 от JPEG заключаются в том, что новый алгоритм имеет лучшее качество изображения при сильной степени сжатия, за счет замены дискретного косинусного преобразования дискретным вейвлет преобразованием.

В качестве критерия оценки искажающего влияния компрессии обычно используется выражение

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{x=1, y=1}^{W, H} (I_{S(x,y)} - I_{C(x,y)})^2}{W \cdot H}},$$

где I_S – исходное изображение, рассматриваемое как массив яркостей $I_{S(x,y)}$, I_C (compressed image) – сжатое изображение, рассматриваемое как массив яркостей $I_{C(x,y)}$, x – счётчик горизонтальной координаты пикселя изображения, от 1 до W – пиксельная ширина изображения; y – счётчик вертикальной координаты пикселя изображения, от 1 до H – пиксельная высота изображения. При одинаковых RMS характер искажений может существенно различаться. Применение дополнительных показателей позволяет улучшить качество оценки искажений. В качестве этих показателей могут быть использованы:

Коэффициент смещения яркости

$$B = \frac{\left| \sum_{x=1, y=1}^{W, H} (I_{S(x,y)} - I_{\tilde{N}(x,y)}) \right|}{W \cdot H \cdot L}$$

Он характеризует степень сдвига изображения по шкале яркости в результате компрессии. Величина нормирована к общему диапазону яркостей L .

Коэффициент неравномерности искажения

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{x=1, y=1}^{W, H} (I_{S(x,y)} - I_{\tilde{N}(x,y)} - B \cdot L)^2}{W \cdot H \cdot L^2}}$$

Коэффициент покрытия

$$\tilde{N} = \frac{\sum_{x=1, y=1}^{W, H} \sigma^1 (|I_{S(x,y)} - I_{\tilde{N}(x,y)}|)}{W \cdot H}, \quad \sigma^1 = \begin{cases} 1, & (..) > L \cdot k \\ 0 & \end{cases},$$

показывает, насколько обширно по площади влияние искажений, не уточняя их величины.

Коэффициент диапазона искажения

$$R = \frac{\left| \max(I_{S(x,y)} - I_{\tilde{N}(x,y)}) - \min(I_{S(x,y)} - I_{\tilde{N}(x,y)}) \right|}{2 \cdot L},$$

Для эксперимента были сформированы три тестовые группы медицинских «серых» изображений по наиболее распространённым классам: 487 ультразвуковых изображений; 36 рентгеновских изображений; 92 эндоскопических изображения.

Далее изображения были сжаты тремя наиболее перспективными алгоритмами с изменением ведущего параметра:

JPG, Ведущий параметр - «качество» - изменялся дискретно: 1, 3, 5, 7, 10, 13, 16, 20, 25, 30, 40..100.

JPG2000, Ведущий параметр - «качество» - изменялся дискретно: 1, 3, 5, 7, 10, 13, 16, 20, 25, 30, 40..100.

GIF, со стандартной LZW компрессией. Ведущий параметр – количество цветов индексированной палитры - изменялся дискретно: 4, 5, 6, 7, 8, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 45, 64, 90, 128, 180, 256.

Эксперимент показал сложность оценки качества сжатых изображений по четырем параметрам искажений. Для упрощения предложен комплексный критерий качества сжатых изображений

$$D = a \cdot B + b \cdot U + c \cdot C + d \cdot R,$$

где весовые коэффициенты a , b , c , d предлагается подбирать эмпирически, усредняя по значительному количеству различных изображений. Для их определения необходимо найти отношение веса соответствующего показателя к максимальному значению анализируемого параметра. Значения весовых коэффициентов приведены в таблице 1.

На рисунке 3 показаны зависимости комплексного критерия от коэффициента сжатия для разных типов медицинских изображений при применении JPG и JPG2000

Таблица 1. Значения весовых коэффициентов

JPEG				JPEG2000				GIF			
a	B	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
0,385	0,18	0,01	0,0165	1	0,28	0,016	0,02	0,8	0,165	0,01	0,06

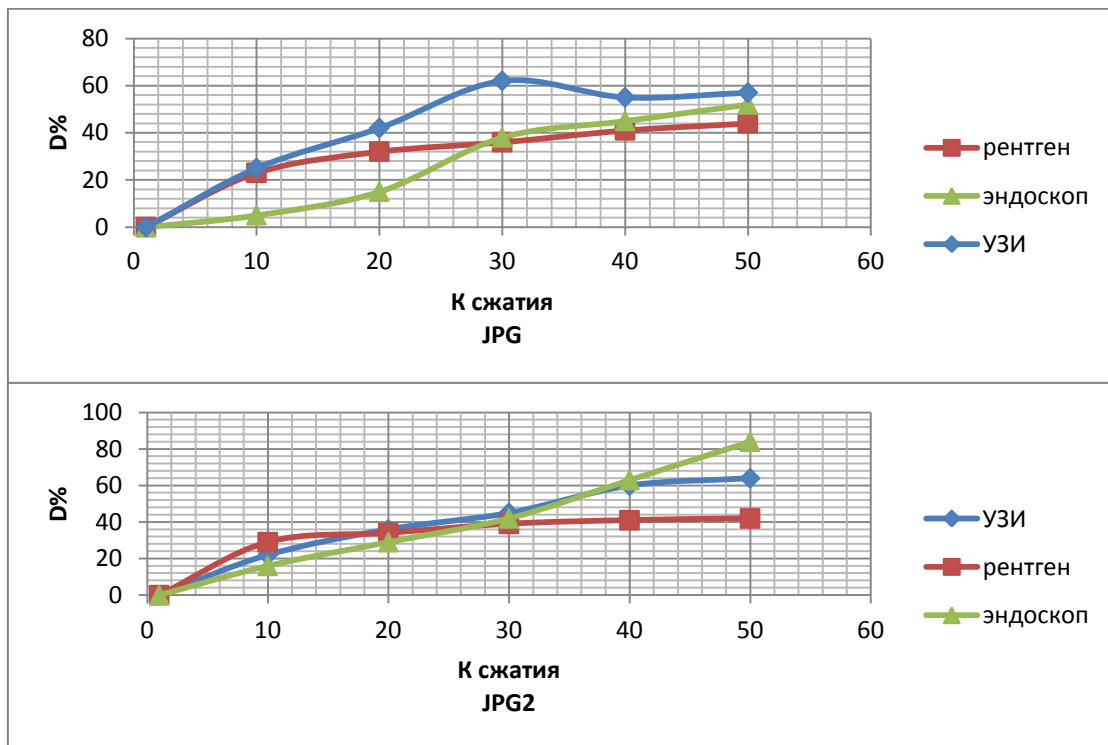


Рисунок 3. Исследование сжатия с помощью комплексного критерия

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы: все алгоритмы обладают неравномерной зависимостью степени искажения и

степени сжатия исходного изображения от ведущего параметра. Чем выше значение ведущего параметра сжатия, тем больше становится уровень искажений. Алгоритм JPG ведет себя наименее стабильно. Для него характерны волнообразные колебания смещения и наличие выбросов в покрытии. Наибольший допустимый уровень сжатия для алгоритмов JPEG и JPEG2000 в среднем лежит в пределах 20-30. Для GIF в пределах 3-4. Степень сжимаемости при равном уровне искажений для разных типов изображений различна. Наиболее сжимаемы эндоскопические изображения, за ними идут рентгенограммы и УЗИ.

Ошибки сегментирования можно разделить на две основные группы: ошибки первого и второго рода. Ошибками первого рода или α – ошибками будем считать исходы с ложно – положительным результатом. Искомая патология отсутствует на изображении, а метод сегментирования дает положительное заключение и сегментирует некий объект, удовлетворяющий критериям поиска, либо это случаи, когда степень патологии преувеличена. К ошибкам второго рода, или β - ошибкам будем относить исходы с ложно – отрицательным результатом. Метод сегментирования не находит объект на изображении, в то время как он там действительно присутствует. На основании анализа результатов сегментирования различных объектов на медицинских снимках при изменяющемся пороговом уровне чувствительности, формируется таблица, отражающая балльные оценки качества сегментирования. Элементы матрицы, отражающей ошибки сегментирования первого рода получаются из элементов данной матрицы следующим образом:

$$M_{\alpha}(x, y) = \begin{cases} 1, M_0(x, y) = 0,5 \\ 0, M_0(x, y) \neq 0,5 \end{cases},$$

где $M_{\alpha}(x, y)$ - матрица, отражающая статистические ошибки первого рода, $M_0(x, y)$ - матрица балльных оценок., а x и y – столбцы и строки матриц.

Элементы матрицы, отражающей ошибки второго рода формируются из элементов первоначальной матрицы соответственно:

$$M_{\beta}(x, y) = \begin{cases} 0, M_0(x, y) = 0 \cap M_0(x, y) = 0,2 \\ 1, M_0(x, y) > 0,2 \end{cases},$$

где $M_{\beta}(x, y)$ – матрица, отражающая статистические ошибки второго рода, $M_0(x, y)$ - матрица балльных оценок, x и y – столбцы и строки матриц.

Число N , определяющее число элементов в первоначальной матрице M_0 характеризует репрезентативный объем выборки.

Удобным способом для комплексной оценки параметров изображения является анализ гистограммы распределения пикселей по уровням яркости.

Имея контур аномального объекта на изображении, полученный после сегментирования изображения, предполагаем, что именно этот контур является достоверным. Оценка качества сегментирования может быть записана в виде:

$$\Delta = \frac{1}{S} * \sum_{i=begin}^{end} \sqrt{\left(\frac{2U * i}{b_{li} - t_{li}} \right)^2}$$

где $begin$ – координата начала левой границы объекта, end – координата окончания правой границы объекта, после которой анализ не имеет смысла, t_{li} – текущее значение координаты верхней границы исходного объекта в i -ом сечении, b_{li} – текущее значение координаты нижней границы исходного объекта в i -ом сечении, S – общее число анализируемых сечений, сечений в которых граница объекта имеет место, U – значение шага итерации расширения границы. При изменении положения контура исследуемого объекта на медицинском изображении происходит значительное изменение параметров гистограмм распределения пикселей по уровням яркости.

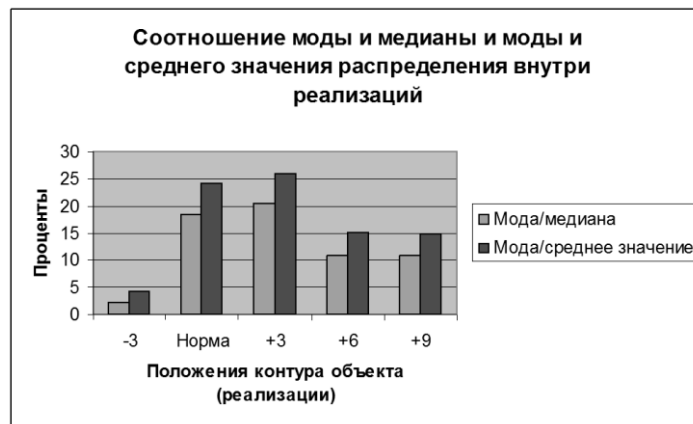


Рисунок 4. Соотношение моды и медианы и моды и среднего арифметического значения распределений внутри реализаций, в процентах.

Критерий для количественной оценки качества сегментирования имеет вид:

$$\Delta S = \alpha_1 \frac{|M_i - m_i|}{M_i} + \alpha_2 \frac{|M_i - M_1|}{D_1} T + \alpha_3 \frac{|A_i - A_1|}{D_1} T$$

где ΔS – количественная величина, характеризующая качество сегментации объекта, M_i – мода i -ого распределения пикселей, m_i – медиана i -ого распределения пикселей, M_1 – мода 1-ого распределения пикселей, D_1 – размах 1-ого распределения пикселей, A_i – среднее арифметическое значение i -ого распределения пикселей, A_1 – среднее арифметическое значение 1-ого распределения пикселей, $T = D_i / D_1$ – коэффициент расширения спектра видеоизображения, где D – размах распределения пикселей. Репрезентативный объем исследования, достаточный для того чтобы результаты эксперимента могли быть распространены на прочие медицинские изображения исследуемого класса может быть определен, используя выражение:

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2} * \sigma}{\Delta_{\text{доп}}}$$

где $Z_{1-\alpha/2}$ - доверительный коэффициент, соответствующий доверительной вероятности $(1-\alpha)$, $\Delta_{\text{доп}}$ - предельно допустимое значение ошибки выборки; $-\sigma^2$ дисперсия переменной по генеральной совокупности.

Зададимся $\Delta_{\text{доп}}$ на уровне 3 пикселей, $(1-\alpha)$ в этом случае 0.95, тогда $Z_{1-\alpha/2} = 1,96$. Поскольку до проведения эксперимента σ^2 является неизвестной величиной, то в качестве σ^2 предлагается выбрать максимальную дисперсию:

$$\sigma^2 = \frac{(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})^2}{12}$$

Для проведения эксперимента используем 70 медицинских видеоизображений, что соответствует требованию репрезентативности.

Проанализировав с использованием предложенных критериев результат обработки медицинских изображений методом сегментации, можно отметить, что погрешность сегментирования аномальных объектов на снимках в большинстве случаев не превышает 2 пикселей. Гистограмма частоты возникновения погрешности сегментирования представлена на рисунке 5.

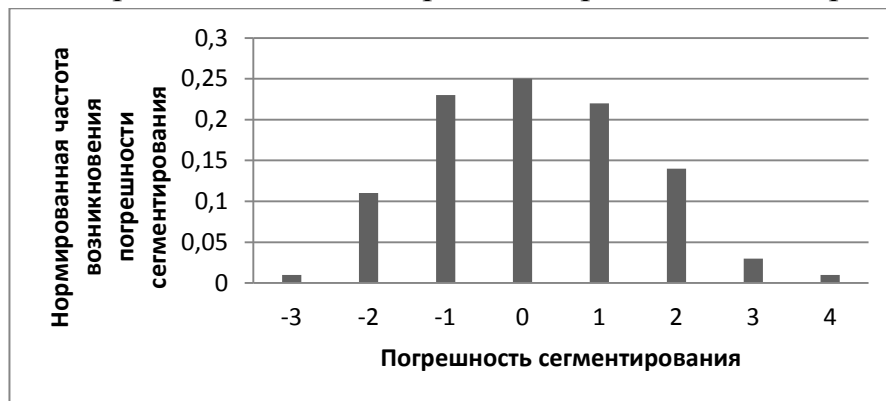


Рисунок 5. Частота возникновения погрешности сегментирования при обработке медицинских видеоизображений комбинированным методом сегментирования.

Это, в свою очередь, свидетельствует о возможности использования рассматриваемого метода в целях оконтуривания и сегментирования аномальных объектов на реальных медицинских снимках, при проектировании систем автоматизированного диагностирования патологий. А предложенная методика количественной оценки качества обработки изображения алгоритмами сегментации может быть использована также и как элемент в цепи обратной связи для корректировки работы выбранного алгоритма сегментации, что может повысить точность сегментации и сделать работу автоматизированной системы более автономной.

При проведении диагностики с использованием цифровых технологий внедрение автоматизированных систем обработки информации позволяет существенно снизить время обслуживания одной процедуры диагностирования.

Обнаружение аномального объекта на изображении не является однозначным признаком наличия патологии, в случае, если речь идет об автоматизации процесса постановки медицинского диагноза. Непосредственно после обнаружения объекта, определения его морфологических признаков, геометрии и положения в пространстве, а также спектральных характеристик фрагмента видеоизображения, находящегося внутри области, определяемой контурами обнаруженного объекта, происходит процесс распознавания объекта и его классификация.

Дифференцирование при обнаружении различных типов объектов на исследуемом изображении может быть достигнуто путем установки соответствующих управляющих параметров методов оконтуривания и сегментации. К таким параметрам относятся метод оконтуривания, наиболее оптимальный для данного типа видеоизображения, параметры предварительной фильтрации видеоизображения, пороговые уровни чувствительности алгоритма оконтуривания, соответствующие конкретному типу исследуемых объектов, а также ряд технологических параметров алгоритма сегментирования, обуславливающих его подстройку к конкретной диагностической ситуации. На рисунке 6 представлена одна из возможных схем использования библиотеки управляющих параметров при построении автоматизированной системы оконтуривания и сегментации аномальных объектов на видеоизображении.

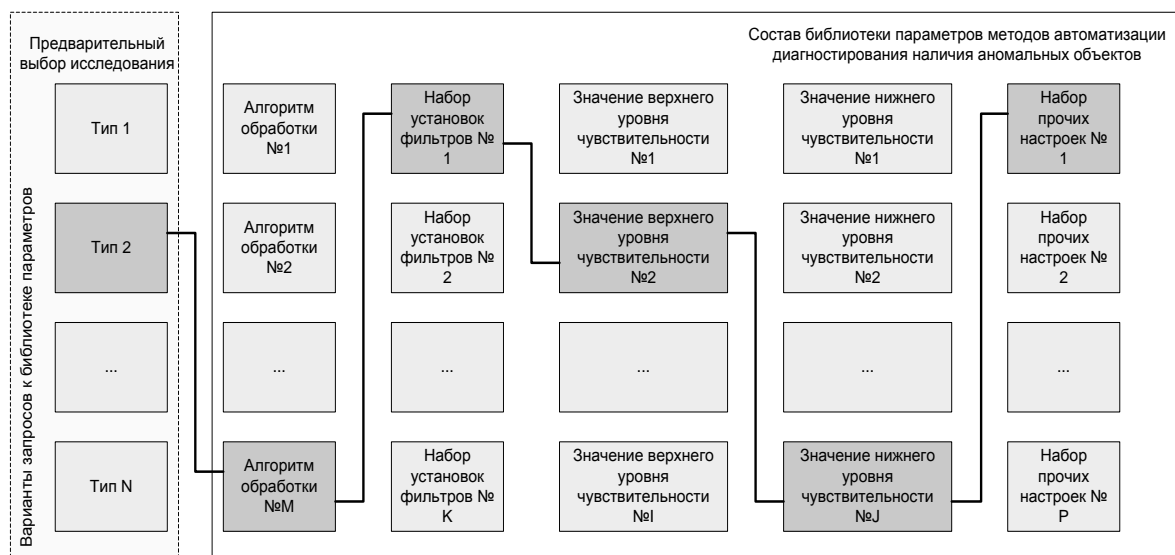


Рисунок 6. Возможная схема использования библиотеки управляющих параметров при построении автоматизированной системы оконтуривания и сегментации аномальных объектов на видеоизображении.

Предложена структурная организация программно-аппаратного комплекса автоматизированной обработки изображений для диагностики патологий (рисунок 7). Диагностическая информация в виде цифровых изображений, или их видеопоследовательностей поступает на блок предварительной обработки. Происходит обмен данными с библиотекой параметров методов и алгоритмов автоматизированной диагностики патологий. В дальнейшем происходит оконтуривание объектов, на видеоизображении методами, выбранными из библиотеки с управляющими параметрами, соответствующими проводимому исследованию. После проведения оценок морфологических параметров объекта, спектральных составляющих его заполнения, происходит распознавание этого объекта и отнесение его к соответствующему классу. На этом этапе процесс обмена данными между библиотекой особенно активный, причем этот процесс является двусторонним, таким образом, происходит самообучение библиотеки параметров методов и алгоритмов автоматизированной диагностики.

Внедрение подобных комплексов и интеграция их с существующей аппаратной базой, имеющейся в медицинских диагностических центрах, позволит существенно повысить качество медицинского обслуживания в таких учреждениях, сократить время проведения процедуры диагностирования на 40%.

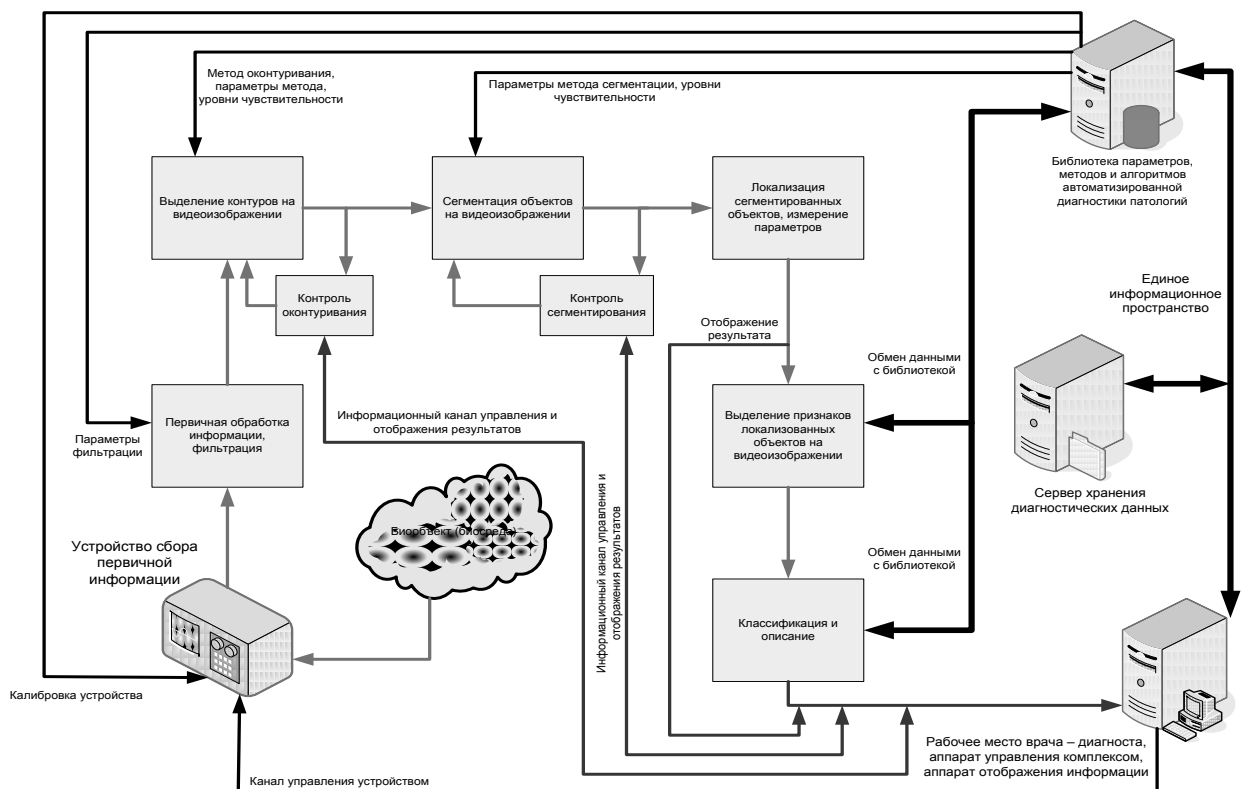


Рисунок 7. Структурная организация программно-аппаратного комплекса для проведения диагностики

В заключении сформулированы основные результаты работы, которые сводятся к следующему:

1. Показано, что развитие телемедицины является широкомасштабным, а в ряде случаев единственным государственным направлением повышения качества современной системы здравоохранения.

2. На базе анализа прогрессивных ТМ систем определены основные составляющие и требования к ним. С учетом состояния медицины, систем телекоммуникаций и уровня здравоохранения республики Йемен, определены особенности создания ИКСТМ.

3. Определены основные этапы создания ИКСТМ, и предложена структура республиканской и городской ИКСТМ.

4. Определены требования к телекоммуникационной части городских ИКСТМ и проанализированы основные возможные пути ее реализации.

5. Проведено сравнение стандарта IEEE 802.16e со стандартами широкополосной сотовой связи третьего-четвертого поколений HSPA, LTE. Показано, что при близких характеристиках по территории обслуживания, скорости передачи данных, помехозащищенности IEEE 802.16 e имеет более простую структуру сети и, следовательно, предпочтительнее для использования во вновь создаваемой инфокоммуникационной сети. Показано, что возможности городского сегмента сети IEEE 802.16 e превышают требования ИКСТМ и могут быть использованы для решения других телекоммуникационных задач.

6. Согласно рекомендациям WiMAX Forum предложено использование эмпирической модели распространения радиоволн в условиях городской застройки SUI. Показано, что размеры зоны обслуживания базовой станции зависят не только от параметров приемо-передающего оборудования, условий распространения радиоволн, но и от количества пользователей в окрестности станции и типа транспортной сети.

7. Произведен расчет инфокоммуникационной сети для г. Сана.

8. Рекомендованы к использованию структуры АРМ в составе информационно-диагностической системы консультационного центра, которые позволяют: уменьшить сроки обследования и доводить максимально полную информацию до врачей-клиницистов; оперативно обмениваться диагностической информацией между врачами-диагностами; снизить долю повторных исследований; собирать диагностическую информацию в единый блок на рабочем месте врача-диагноста и врача-клинициста.

9. Проведено исследование статистики компрессии типовых медицинских изображений с помощью рекомендованных к использованию в телемедицине алгоритмов JPEG, JPEG-2000 и GIF с помощью традиционных и

дополнительных показателей качества сжатия. Получены рекомендации по применимости конкретных методов сжатия и их параметров для обработки рентгенограмм, УЗИ-изображений и эндоскопических изображений. Предложен обобщенный критерий качества сжатых медицинских изображений, позволяющий распространить результаты исследования на другие типы медицинской графики.

10. Показано, что эффективность ИКСТМ в значительной мере определяется продолжительностями этапов формирования, обработки, передачи и собственно использования медицинских изображений для диагностики. Обоснована возможность повышения эффективности ИКСТМ с помощью использования алгоритмов сжатия, сегментации, оконтуривания при подготовке документов к проведению консультации.

11. Предложена структурная организация системы автоматизации обработки медицинских видеоизображений для диагностирования патологий.

В приложении приведены акты внедрения, подтверждающие практическое использование результатов диссертационной работы.

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

1. Никитин О.Р., Пасечник А.С., Аль Саиди Салим Автоматизированная обработка медицинских изображений для диагностики патологий // Биомедицинская радиоэлектроника 2012, №6. С.56-61.

2. Никитин О.Р., Полушин П.А., Леммле Д.В., Аль Саиди Салим Метод улучшения энергопоказателей при передаче многочастотных сигналов с клиппированием // Биомедицинская радиоэлектроника, 2012, №9. С.36-41.

3. Аль Саиди Салим, Архипов Е.А., Никитин О.Р. Перспективы совершенствования телекоммуникационной инфраструктуры республики Йемен // Радиотехнические и телекоммуникационные системы 2011, №2. С.56-60.

4. Пасечник А.С., Никитин О.Р., Яковлев В.В., Аль Саиди Салим Структурная организация программно-аппаратного комплекса автоматизированной оперативной диагностики патологий // Труды X МНТК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» ФРЭМЭ 2012. С. 123-125.

5. Никитин О.Р., Аль Саиди Салим Телемедицинская система мониторинга состояния сердца // Труды X МНТК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» ФРЭМЭ 2012 С. 129-131

6. Архипов Е.А., Никитин О.Р., Аль Саиди Салим Алгоритм сегментации медицинских изображений // Труды X МНТК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» ФРЭМЭ 2012 С. 257-262

7.Аль Саиди Салим Оценка различных методов моделирования сотовой связи»// Материалы V НТК аспирантов и молодых ученых «Вооружение технология безопасность управление». Ч.3, Ковров 2010, С. 6-11

8.Никитин О.Р., Герасимова О.В., Яковлев В.В., Аль Саиди Салим Моделирование радиотеплового метода диагностирования неоднородных тел, в т.ч. осколков от боеприпасов и пуль в биообъектах // Материалы III ВНТК Информационные измерительные и управляющие системы военной техники». Владимир, Изд-во РАН, М.: 2012 С.145-150