

*ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ*

УДК 681.327.11:615.8

В.А. Лапицкий, Л.Н. Лаханько, А.Г. Батраков, В.В. Кириченко

**РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКАЯ СИСТЕМА
ПО ЦИФРОВОЙ МАММОГРАФИИ**

Рассматриваются принципы построения и функционирования распределенной телемедицинской системы Минска для проведения дистанционных консультаций по цифровым маммографическим исследованиям. Описываются используемый вариант хранения и передачи медицинских изображений, а также реализованные пользовательские функции для врача-консультанта.

Введение

Среди стратегических механизмов реформирования системы здравоохранения важное место отводится внедрению новых медицинских технологий, способных вывести отрасль из кризисного состояния, преодолеть затратные механизмы, обеспечить выполнение государственных гарантий доступности и качества оказания медицинской помощи населению независимо от места проживания, социального статуса, уровня доходов. К технологиям, способным оказать позитивное комплексное воздействие на клинические, образовательные, научные и управленческие аспекты деятельности системы здравоохранения и обладающим высоким медицинским, социальным и экономическим потенциалом, относится телемедицина.

В комплексе диагностических методов, применяемых в настоящее время в клинической медицине, лучевая диагностика является неотъемлемой частью клинического обследования больного и одним из основных источников получения объективной информации, необходимой для современного установления правильного диагноза, точной локализации и протяженности выявленных патологических изменений, планирования оперативного вмешательства, а также динамики в процессе лечения [1].

До последнего времени основным носителем диагностической информации была рентгеновская пленка и термобумага. В настоящее время имеются широкие возможности передачи изображений по локальным и глобальным сетям. Электронный обмен медицинскими изображениями позволяет обеспечить развитие телемедицины с использованием экономически оправданных, технически и организационно оптимальных заочных сеансов удаленного консультирования [2].

В настоящее время в Минске работает около десяти маммографических аппаратов «Маммоскан», позволяющих получать и передавать изображение молочной железы в оцифрованном виде. Это обстоятельство на определенном этапе эксплуатации аппаратов, наряду с развитием коммуникационных сетей, предопределило развитие телемедицинской маммографической технологии. Возникла необходимость в создании общего механизма работы аппаратов «Маммоскан» поликлиник, а также в объединении их единой сетью с онкологическим диспансером как консультативным учреждением города.

В настоящей статье приводится описание разработанного пилотного образца распределенной телемедицинской системы Минска для проведения дистанционных консультаций по цифровым маммографическим исследованиям.

Основная задача телемедицинской системы цифровой маммографии – обеспечение общедоступности и единого высокого стандарта качества медицинского обслуживания в любом медицинском учреждении независимо от его территориального или иерархического положения.

Это обеспечивается благодаря предоставлению возможности оперативной дистанционной консультации высококвалифицированного специалиста-маммолога без его выезда к месту проведения исследования.

1. Краткая формулировка методов решения поставленной задачи

Разработанная телемедицинская система реального времени является сложной корпоративной системой, обеспечивающей выполнение высоких требований как к информационной компоненте по организации доступа к большим базам данных, так и к вычислительной адаптивной компоненте, реализующей процедуры логического вывода, усвоения и мониторинга информации, а также имитационного моделирования и проигрывания сценариев.

При разработке информационной модели телемедицинской системы реального времени учитывалась выявленная особенность ее функционирования, заключающаяся в необходимости обработки и хранения большого объема информации на двух различных уровнях иерархии:

1. Обработка данных запроса лечащего врача в реальном времени. Операция подразумевает идентификацию состояния пациента по результатам сопоставления его показателей с информацией специализированных баз данных, а также с информацией, получаемой путем аналитической обработки данных этих баз. Поэтому в первую очередь используются поиск, ранжирование и шкалирование многомерных данных, а также их аналитическая обработка специальными алгоритмами.

2. Усвоение данных телемедицинских консультаций в системе. Операция необходима для постоянного пополнения встроенной базы данных информацией, накапливаемой в процессе эксплуатации системы. Поэтому на данном уровне обработки информации ведущую роль играют структуризация и каталогизация данных, а также уточнение параметров моделей в базе знаний.

Разработка телемедицинской системы цифровой маммографии (ТМС ЦМ) реального времени опиралась на следующие основные принципы построения:

– кластерная архитектура для организации ядра информационной ТМС. При этом сравнительно небольшое количество вычислительных узлов, необходимых для реализации данной задачи, не налагает кардинальных требований на топологию связи между ними;

– организация параллельного функционирования информационной ТМС на кластере. При этом организация баз данных ТМС на кластере должна предусматривать повышение надежности системы в целом, возможность вертикального и горизонтального распараллеливания обработки запросов, а также оптимизацию параллельного размещения данных.

Создание ТМС как многоуровневого проблемно-ориентированного программного комплекса для ввода, передачи, обработки, хранения и отображения медицинской информации осуществлялось в несколько этапов:

1) проектирование операционного и логического уровней компонент модели ТМС (алгоритмы обработки данных и абстрактные структуры);

2) проектирование экранного уровня и уровня хранения данных (формы диалога, структура и содержание базы данных).

Высокая производительность ТМС ЦМ достигается с помощью алгоритмов распараллеливания процессов ввода-вывода данных.

Распараллеливание ввода-вывода в сочетании с оптимальным планированием заданий позволяет осуществить весьма эффективный одновременный доступ к фрагментированным таблицам и индексам, расположенным на нескольких физических дисках в разных узлах кластера, тем самым многократно ускоряя операции с относительно медленными внешними устройствами (рис. 1).

2. Состав и основные функции ТМС ЦМ

ТМС ЦМ – это распределенная многоуровневая система, функционирование которой осуществляется по технологии «клиент – сервер» в рамках корпоративной телекоммуникационной сети (VPN-сети) медицинских учреждений Минска.

В структуру аппаратно-программного и телекоммуникационного обеспечения ТМС ЦМ (рис. 2) входят следующие основные составляющие:

1) выделенный сервер кластерного типа, в котором реализована отказоустойчивая архитектура с общей подсистемой хранения данных, поддерживающая режимы резервирования вычислительных узлов и каналов доступа к системе хранения данных;

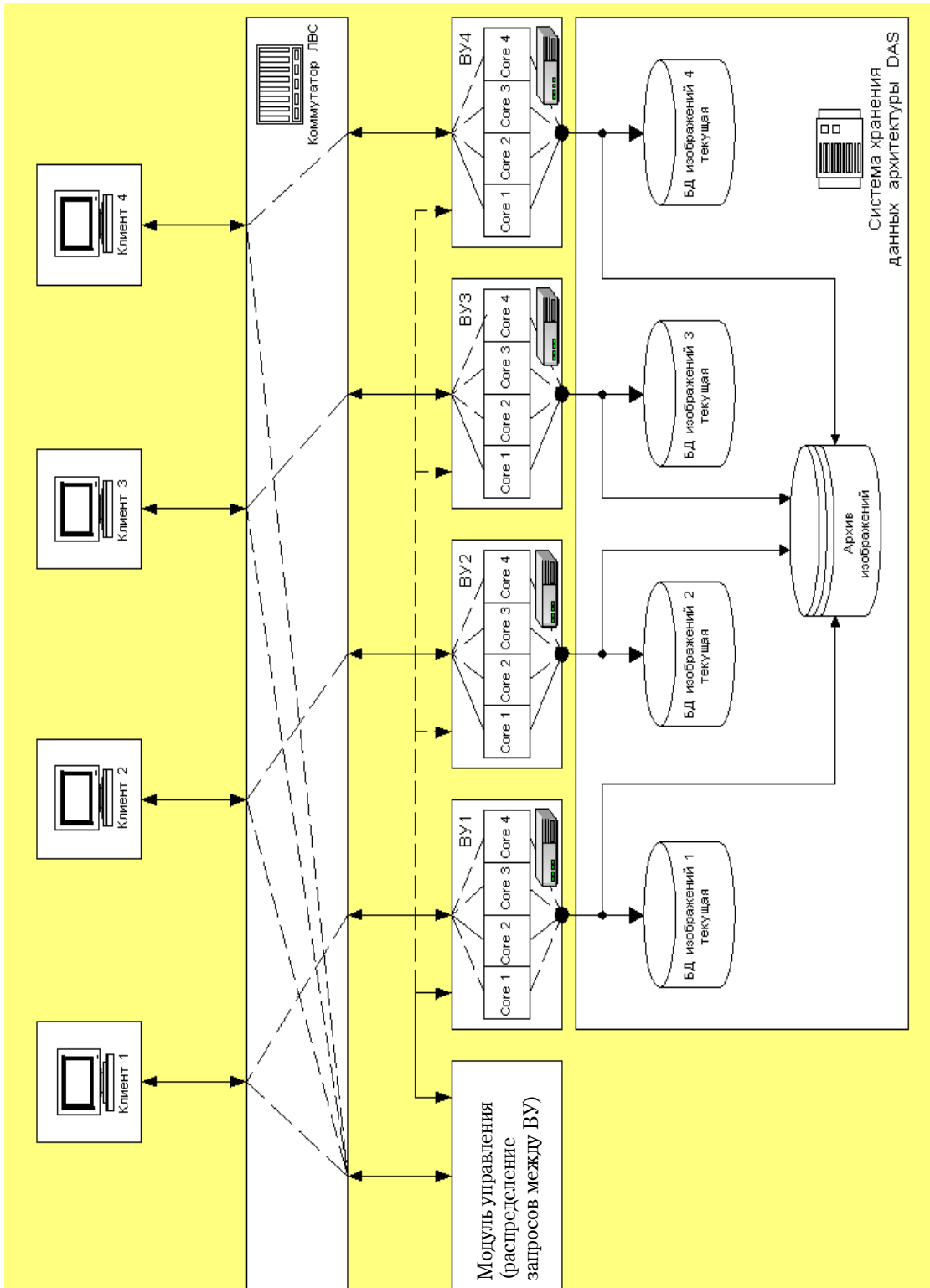


Рис. 1. Функциональная схема параллельной обработки данных на сервере ТМС ЦМ

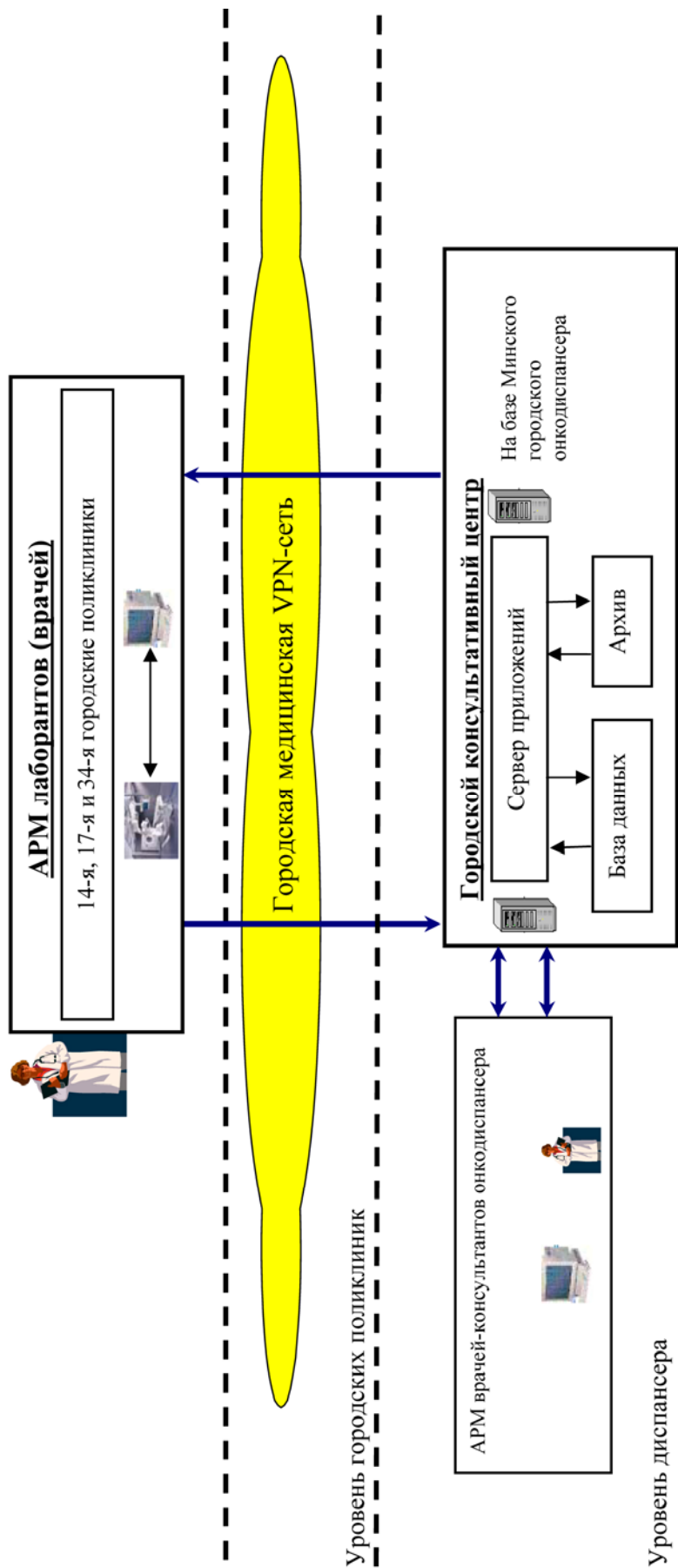


Рис. 2. Общая структура ТМС ЦМ Минска

2) автоматизированные рабочие места (АРМ) врачей-диагностов (рентген-лаборантов) в трех городских поликлиниках Минска. АРМ врача-диагноста (рентген-лаборанта) представляет собой программно-технический комплекс на базе персонального компьютера и обеспечивает аппаратно-программное сопряжение по цифровому интерфейсу (DICOM 3.0) с рабочими станциями маммографического аппарата (цифрового маммографа);

3) АРМ врача-консультанта в специализированном консультационном центре, созданном на базе Минского городского онкологического диспансера;

4) программно-технические средства передачи данных на базе VPN-сети. VPN-сеть построена на базе цифровых систем передачи данных (сети SDH) РУП «Белтелеком». Пропускная способность линии диспансера – 2 Мбит/с, пропускная способность линий поликлиник – 1 Мбит/с.

В целом ТМС ЦМ обеспечивает:

- создание и ведение единого архива электронных медицинских карт и диагностических протоколов обследования пациентов, переданных из поликлиник;

- создание и ведение единого архива медицинских рентгеновских изображений, переданных из поликлиник;

- доступ медицинских консультантов к телемедицинской базе данных;

- создание и ведение архива консультационных протоколов и автоматическую их рассылку в поликлиники;

- создание и ведение экспертного электронного атласа медицинских рентгеновских изображений и исследований и удаленный доступ к нему;

- обмен разнообразной информацией между пользователями ТМС ЦМ путем передачи диагностического изображения, текстовых и графических файлов с унифицированной тактикой диагностики и лечения;

- ведение статистики и получение различных аналитических данных за требуемый промежуток времени по проведенным телемедицинским консультациям.

3. Методика дистанционного консультирования по цифровым маммографическим исследованиям

Рассмотрим блок-схему функционирования ТМС ЦМ (рис. 3).

Источником информации для распределенной базы данных ТМС ЦМ являются АРМ рентген-лаборантов, обслуживающих цифровые маммографы городских поликлиник. В данных поликлиниках осуществляется регистрация пациентов, их фактографических данных и выполняется маммографическое исследование с получением четырех, а иногда и более цифровых рентгеновских изображений. В течение рабочего дня рентген-лаборант поликлиники по мере накопления информации запускает процедуру передачи первичных диагностических данных в онкологический диспансер. АРМ лаборантов поликлиник связаны с сервером базы данных онкологического диспансера с помощью выделенной телефонной линии связи с использованием ADSL-модемов.

С целью повышения скорости передачи данных информация сжимается в 1,5–2 раза без потери качества. Время передачи одного исследования при скорости канала связи 1 Мбит/с составляет порядка 5–7 мин. Ежедневно каждая поликлиника выполняет порядка 10–25 исследований в зависимости от численности населения обслуживаемой территории и времени года.

В Минском городском онкологическом диспансере работает телемедицинский программный сервер ТМС ЦМ, который принимает информацию от поликлиник и сохраняет ее в базе данных ТМС ЦМ. В диспансере организована локальная вычислительная сеть, в которую объединены автоматизированные рабочие места врачей-рентгенологов (врачей-консультантов), подключенные к базе данных диспансера. По мере поступления информации врачи-рентгенологи выполняют анализ медицинских данных и цифровых рентгеновских изображений, с помощью специального программного модуля формируют их цифровые портреты и описывают результаты исследований в текстовом виде для поликлиник. Результаты работы врачей-рентгенологов (врачей-консультантов) сохраняются в базе данных ТМС ЦМ.

По истечении определенного времени от момента передачи данных (2–5 ч) рентген-лаборанты поликлиник подключаются к серверу ТМС ЦМ, получают от него результаты работы врачей-рентгенологов (врачей-консультантов) в виде протоколов-описаний, распечатывают их и выдают пациентам.

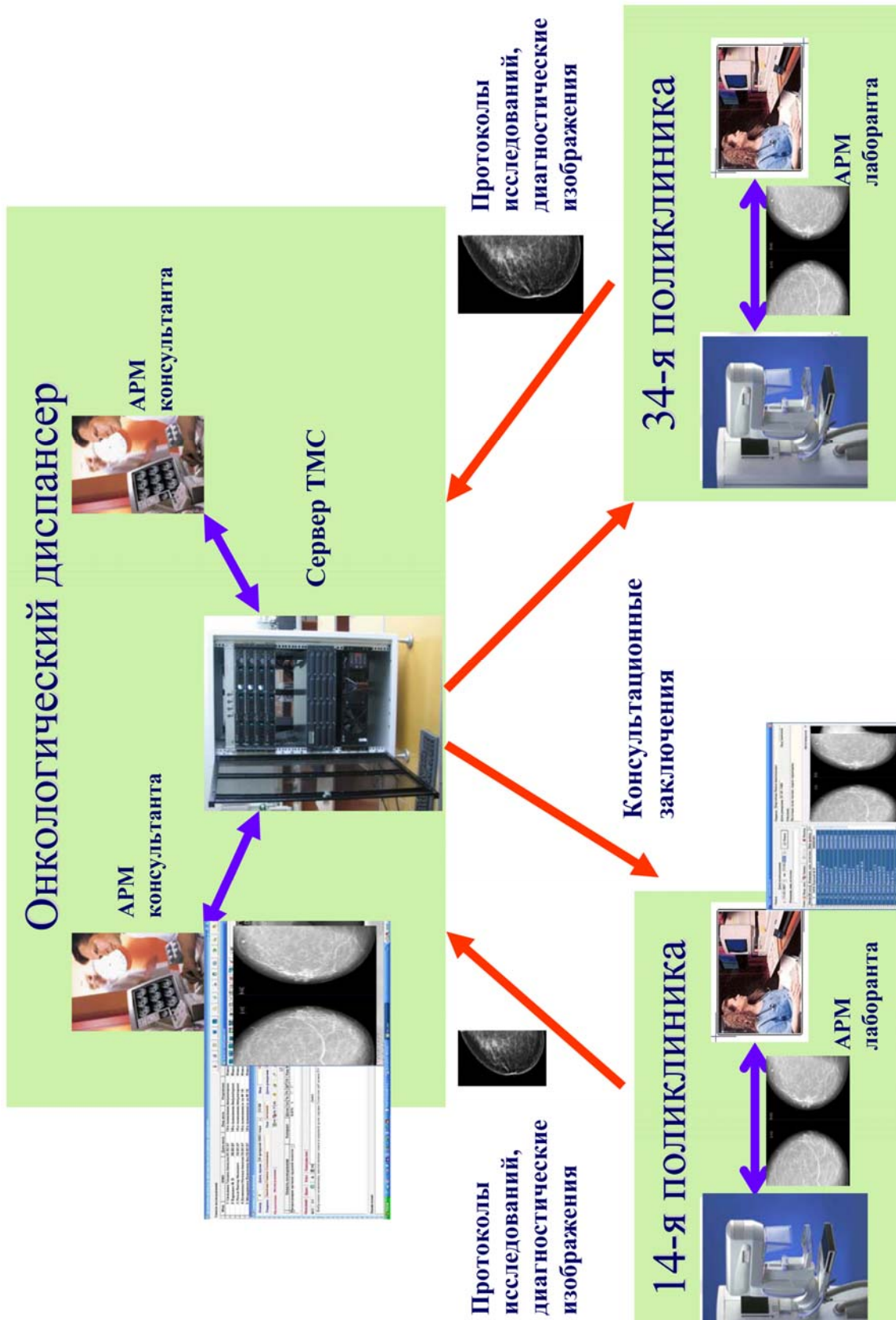


Рис. 3. Блок-схема функционирования ТМС ЦМ

4. Сжатие и передача медицинских изображений в формате DICOM в рамках ТМС ЦМ

DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine, цифровые изображения и обмен ими в медицине) – индустриальный стандарт для передачи радиологических изображений и другой медицинской информации между компьютерами, опирающийся на стандарт Open System Interconnection (OSI), разработанный Международной организацией по стандартизации (International Standards Organization).

В настоящее время стандартом DICOM предусмотрены несколько вариантов хранения медицинских изображений. Одним из самых распространенных вариантов на территории Республики Беларусь является формат данных RAW, который подразумевает хранение графической информации в DICOM-файле в «сыром» (необработанном и несжатом) виде. Такой формат позволяет избежать потерь информации, и он наиболее пригоден для последующей обработки. Кроме того, при использовании формата RAW нет необходимости встраивать в программное обеспечение специфические алгоритмы по кодированию и декодированию графической информации. DICOM-файлы с графической информацией в формате RAW являются результатом маммографического исследования маммографами компании Adani, которые используются в большинстве поликлиник, задействованных в ТМС ЦМ.

Однако у формата RAW есть существенный недостаток – большой размер. Поэтому современные производители цифрового медицинского оборудования оснащают свои решения специальными алгоритмами, позволяющими получать медицинские изображения в сжатом виде как с потерей качества, так и без потерь. Стандартом DICOM поддерживаются следующие схемы компрессии и декомпрессии:

RLE (Run Length Encoding), или кодирование повторов, – простой алгоритм сжатия данных, который оперирует сериями данных, т. е. последовательностями, в которых один и тот же символ встречается несколько раз подряд. При кодировании строка одинаковых символов, составляющих серию, заменяется строкой, которая содержит сам повторяющийся символ и количество его повторов;

JPEG – обеспечивает сжатие графической информации с потерей качества. В основе алгоритма лежит дискретное косинусное преобразование [3];

JPEG-LS – основан на формате LOCO-I (Low Complexity Lossless Compression for Images). Этот алгоритм использует адаптивное предсказание значения текущего пиксела по окружению, включающему уже закодированные пиксели, классификацию контекста, контекстное моделирование ошибки предсказания и ее коррекцию, а также энтропийное кодирование скорректированной ошибки [4];

JPEG-2000 – использует технологию вейвлет-преобразования, основывающуюся на представлении сигнала в виде суперпозиции базовых функций – волновых пакетов.

Передача медицинской информации в формате DICOM осуществляется в два этапа. Первый – передача медицинской информации от диагностического оборудования в архив медицинских изображений и в АРМ врача-диагноста. Архив медицинских изображений поставляется вместе с диагностическим оборудованием и представляет собой отдельный блок с жесткими носителями информации. На этом этапе используется сетевой DICOM-протокол, который является частью стандарта DICOM. Врач-диагност запрашивает DICOM-файлы из архива при помощи сервиса DICOM Query, который также является обязательной частью реализации стандарта DICOM. После этого медицинские изображения, удовлетворяющие критериям запроса, передаются в АРМ врача-диагноста.

Второй этап передачи медицинской информации в формате DICOM реализуется в том случае, когда врач-диагност посылает запрос на консультацию. При этом происходит передача DICOM-файла и сопутствующей информации из АРМ врача-диагноста в АРМ врача-консультанта по VPN-сети. На втором этапе файлы передаются с использованием стандартного стека протоколов TCP/IP. Стек протоколов TCP/IP и сопутствующий ему набор системных утилит предназначены для организации сетевого взаимодействия между различными компьютерами. Семейство TCP/IP фактически состоит из двух протоколов: IP (Internet Protocol) и TCP (Transmission Control Protocol).

Реализация и использование широко распространенных и развивающихся технологий и стандартов создает большой задел на будущее. Модернизация и совершенствование стандарта DICOM, внедрение новых алгоритмов сжатия медицинских изображений позволит в дальней-

шем сократить объемы передаваемой информации, время на ее передачу, а значит, и финансовые издержки, связанные с этими показателями.

5. Краткое описание программного обеспечения ТМС ЦМ

В структуру комплекса программного обеспечения ТМС ЦМ входят:

- программный комплекс центрального вычислительного комплекса (сервер базы данных);
- программный комплекс АРМ рентген-лаборантов в городских поликлиниках Минска;
- программный комплекс АРМ врачей-консультантов в Минском городском онкологическом диспансере.

АРМ рентген-лаборанта, входящее в состав ТМС ЦМ, представляет собой программно-технический комплекс на базе персонального компьютера, аппаратно сопряженный по цифровому (DICOM 3.0) интерфейсу с маммографическим аппаратом.

В АРМ врачей-консультантов реализованы следующие функции просмотра исследований:

- доступ к серверу ТМС ЦМ;
 - идентификация пациентов, материалы которых присланы на консультацию;
 - идентификация медицинских специалистов и организаций, от которых поступили материалы на консультацию;
 - поиск по базе данных и просмотр исследований;
 - просмотр протокола исследования;
 - загрузка и просмотр изображений;
 - печать на Windows-принтерах;
 - увеличение-уменьшение изображения;
 - использование экранной лупы и кинопетли;
 - регулировка и предустановка диапазона рентгеновской плотности Window/Level;
 - копирование изображения в буфер обмена;
 - копирование протокола в буфер обмена;
 - измерение расстояний, углов;
 - повороты, зеркалирование;
 - шифрование данных (SSL);
 - просмотр DICOM-информации;
 - инверсия;
 - разделение рабочего стола;
 - экспорт изображений в форматы tiff, jpeg;
 - формулировка и отправка консультационного заключения на сервер ТМС ЦМ.
- Примеры рабочих экранов АРМ врачей-консультантов показаны на рис. 4 и 5.

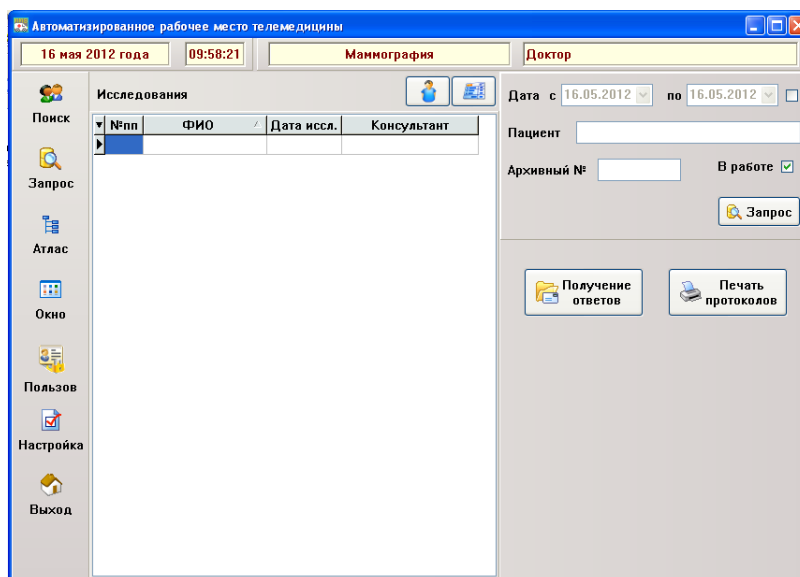


Рис. 4. Основное рабочее окно врача-консультанта

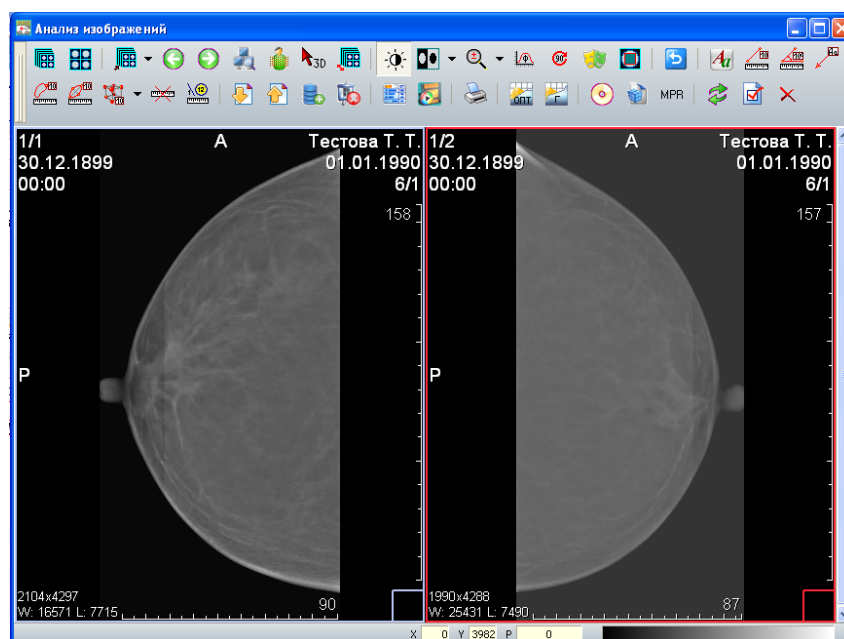


Рис. 5. Рабочее окно врача-консультанта в режиме анализа изображений

Программный продукт специализированного сервера ТМС ЦМ обеспечивает выполнение следующих функций:

- надежное хранение разнородной текстовой и графической информации, предназначенной для формулировки врачебного заключения в рамках выполнения консультации;
- эффективный доступ к информации;
- надежную защиту информации от несанкционированного доступа из локальных и глобальных сетей;
- архивирование данных и эффективный доступ к архивам.

Заключение

В результате полугодовой эксплуатации ТМС ЦМ в 2012 г. было проведено более 600 сложных телемедицинских консультаций.

Опыт дистанционных диагностических услуг позволяет говорить о неоспоримых преимуществах использования ТМС ЦМ:

- создан уникальный механизм оперативного выявления ряда заболеваний молочной железы;
- обеспечена реализация декларируемой государством общедоступности получения высококвалифицированной специализированной медицинской помощи населением;
- обеспечено ресурсосбережение за счет уменьшения стоимости медицинского скринингового обслуживания при сокращении времени оказания медицинских услуг, экономии средств на транспортные расходы как врача, так и пациента при проведении дистанционных консультаций;
- увеличена эффективность работы медицинского персонала и снижена психологическая нагрузка на пациентов.

Значимость внедрения телемедицинской системы заключается в улучшении качества диагностики и лечения пациентов, что в итоге приводит к усилению социальной защищенности жителей республики.

Использование телемедицинской системы цифровой маммографии обеспечивает прямой экономический эффект, который складывается из следующих аспектов:

- ранняя диагностика и своевременное лечение онкологических заболеваний молочной железы позволяет сократить прямые финансовые затраты на лечебно-диагностический процесс в десятки раз;
- дистанционные консультации являются экономически и организационно эффективным мероприятием ежедневной клинической практики, позволяющим сократить стоимость меди-

цинского обслуживания за счет сокращения времени оказания медицинских услуг, экономии средств на транспортные расходы и уменьшения времени потери трудоспособности.

Список литературы

1. Михайлов, А.Н. Средства и методы современной рентгенографии : практическое руководство / А.Н. Михайлов. – Минск : Бел. наука, 2000. – 242 с.
2. Кобринский, Б.А. Телемедицина в системе практического здравоохранения / Б.А. Кобринский. – М. : МЦФЭР, 2002. – 176 с.
3. Мушкаев, С. Применение процессора L1879BM1 для сжатия изображений / С. Мушкаев, С. Ландышев // Цифровая обработка сигналов. – 2002. – № 1. – С. 12–18.
4. The LOCO-I Lossless Image Compression Algorithm: Principles and Standardization into JPEG-LS / Hewlett-Packard Laboratories technical report, USA [Electronic resource]. – Mode of access : www.hpl.hp.com/loco/HPL-98-193R1.pdf. – Date of access : 05.06.2012.

Поступила 31.07.2012

*Объединенный институт проблем
информатики НАН Беларуси,
Минск, Сурганова, 6
e-mail: asc_med@newman.bas-net.by*

V.A. Lapitsky, L.N. Lakhanko, A.G. Batrakov, V.V. Kirichenko

DISTRIBUTED TELEMEDICINE SYSTEM OF DIGITAL MAMMOGRAPHY

The principles of construction and operation of Minsk distributed telemedicine system for carrying out remote consultations on digital mammography are considered. The used version of the storage and transfer of medical images as well as realized functions for a consultant doctor are described.