

УДК 004.42

СЕТЕВЫЕ СЕРВИСЫ ОПТИКО-ЦИФРОВОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОГО КОМПЛЕКСА¹

Д.С. Копылов^а, С.Н. Устинов^а, А.А. Скшидлевский^а, А.В. Лямин^а

^а Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия, dima@cde.ifmo.ru

Представлены результаты разработки сетевых сервисов оптико-цифрового диагностического телемедицинского комплекса, предназначенного для лабораторных и клинических исследований пациентов в медицинских учреждениях. Сетевые сервисы включают в себя клиентское приложение к базе данных диагностических исследований, веб-службу, веб-интерфейс, видеосервер и сервер обработки микроизображений. Состав и организация взаимодействия указанных сервисов позволяют объединить набор программного обеспечения для передачи через Интернет обезличенных медицинских данных и управления оптико-электронными приборами, входящими в состав комплекса. Комплекс состоит из трех систем – микровизионной, эндоскопической и сетевой. Микровизионная система включает в себя автоматизированный цифровой микроскоп с двумя высокочувствительными видеокамерами и возможностью удаленного управления его функциями через Интернет. Видеоэндоскопическая система позволяет транслировать видеоизображения удаленным пользователям как непосредственно в процессе диагностических исследований, так и в режиме off-line после их завершения. Сетевая система является интегрирующим ядром комплекса, на котором функционируют сетевые сервисы и прикладное программное обеспечение, предназначенное для архивации, хранения и обеспечения доступа к базе данных диагностических исследований. Разработан и апробирован на функциональную устойчивость протокол передачи состояний, команд управления и видеопотоков с выходов автоматизированного цифрового микроскопа и видеоэндоскопа с возможностью работы в веб-браузерах на современных мобильных устройствах без применения дополнительного программного обеспечения.

Ключевые слова: веб-приложение, телемедицина, сетевые сервисы, DICOM-сервер, цифровые изображения, защита информации.

NETWORK SERVICES FOR DIAGNOSTIC OPTODIGITAL COMPLEX FOR TELEMEDICINE¹

D.S. Kopylov^a, S.N. Ustinov^a, A.A. Skshidlevsky^a, A.V. Lyamin^a

^a Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University), Saint Petersburg, Russia, dima@cde.ifmo.ru

The paper deals with a result of the network services development for the optodigital complex for telemedicine diagnostics. This complex is designed for laboratory and clinical tests in health care facilities. Composition of network services includes the following: a client application for database of diagnostic test, a web-service, a web interface, a video server and micro-image processing server. Structure of these services makes it possible to combine set of software for transferring depersonalized medical data via the Internet and operating with optodigital devices included in the complex. Complex is consisted of three systems: micro-vision, endoscopic and network. The micro-vision system includes an automated digital microscope with two highly sensitive cameras which can be controlled remotely via the Internet. The endoscopic system gives the possibility to implement video broadcasting to remote users both during diagnostic tests and also off-line after tests. The network system is the core of the complex where network services and application software are functioning, intended for archiving, storage and providing access to the database of diagnostic tests. The following subjects are developed and tested for functional stability: states transfer protocol, commands transfer protocol and video-stream transfer protocol from automated digital microscope and video endoscope. These protocols can work in web browsers on modern mobile devices without additional software.

Keywords: web-application, telemedicine, network services, DICOM-server, digital images, information security.

Введение

Одним из направлений развития современных медицинских технологий является информатизация. В рамках приоритетного национального проекта «Здоровье» особое внимание уделяется внедрению автоматизированных приборных комплексов для диагностики и лечения широкого спектра заболеваний. Телемедицинские технологии, направленные на удовлетворение потребностей широких слоев населения в качественных медицинских услугах, способствуют постановке точных диагнозов на ранних стадиях патологии, сокращают сроки лечения и уменьшают вероятность врачебных ошибок, связанных с недостоверной и несвоевременной диагностикой.

В настоящее время телемедицина широко применяется во всем мире. В США и европейских странах реализуются государственные программы, имеющие целью создание и внедрение в медицинскую практику аппаратных и программных средств для сбора и обработки персональных медицинских данных. Разработаны комплексные системы для обучения студентов-медиков основным приемам оказания неотложной медицинской помощи в районах, удаленных от мест расположения медицинских учреждений.

¹ Работа выполнена в Университете ИТМО при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по договору от 23 мая 2013 г. № 02.G25.31.0092.

The work is performed in ITMO University under financial support from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under the contract of May 23, 2013 № 02.G25.31.0092.

Созданы и внедрены в медицинскую практику многофункциональные мобильные комплексы для оценки состояния пациентов, находящихся на лечении в медицинских учреждениях [1–3]. В Российской Федерации (РФ) теоретические и практические аспекты телемедицинских исследований в последние годы также являются предметом пристального изучения, создаются региональные телемедицинские центры на базе университетов и ведущих лечебно-профилактических учреждений [4]. Для систематизации накопленной медицинской информации разрабатываются и внедряются медицинские экспертные системы [5]. Эти примеры говорят о необходимости проведения исследований и практических разработок в области телемедицины, так как потребители телемедицинских услуг (клиники и пациенты) заинтересованы в современных методах диагностики и доступа к медицинской информации.

Начиная с 2000 г., в РФ проводится государственная политика в области информатизации медицины: при Министерстве здравоохранения создан координационный совет по телемедицине, утверждена концепция развития телемедицинских технологий, принят национальный стандарт медицинской информации, введены такие понятия, как «электронная история болезни», «персональная медицинская запись», описаны общие требования к такой записи [6]. В 2010–2012 г.г. в рамках постановления Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» выполнен совместный проект Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (Университета ИТМО) и ОАО «ЛМО», направленный на разработку и организацию производства оптико-цифрового диагностического телемедицинского комплекса [7]. Создание данного комплекса и постановка его на серийное производство открывают новые возможности для развития телемедицинских технологий и предоставляют новую технологическую медицинскую платформу для внедрения в телемедицинскую практику приборов и систем ранней диагностики заболеваний человека.

Телемедицинский комплекс состоит из трех систем – цифровой микровизионной, видеоэндоскопической и сетевой. Микровизионная система (МС) представляет собой цифровой микроскоп с двумя высокочувствительными видеокамерами, анализатор изображений и встроенный компьютер. Система способна функционировать в автоматическом режиме по заранее заданной программе как в ручном режиме, предоставляющем врачу-лаборанту контроль над всеми узлами системы (перемещения предметного столика в трех плоскостях, управление осветителями, видеокамерами и светофильтрами), так и в автоматическом – при реализации возможности удаленного управления его функциями через Интернет.

Видеоэндоскопическая система (ВС) включает рабочее место врача-эндоскописта и содержит специальную видеоэндоскопическую стойку, видеоэндоскоп с набором принадлежностей, осветительный блок, блок управления, высококачественный монитор и персональный компьютер с программным обеспечением (ПО). Данная система позволяет транслировать видеоизображения удаленным пользователям как непосредственно в процессе диагностических исследований, так и в режиме off-line после их завершения.

Сетевая система (СС) [8] является интегрирующим ядром комплекса, на котором функционируют сетевые сервисы и прикладное ПО, предназначенное для архивации, хранения и обеспечения доступа к базе данных (БД) диагностических исследований.

Аппаратные возможности телемедицинского комплекса в сочетании с ПО открывают перспективы развития нового направления медицинских услуг – аппаратной телемедицинской диагностики, результатом которой могут стать такие социально-значимые эффекты, как увеличение продолжительности жизни и снижение смертности. Реализация этих перспектив невозможна без внедрения в телемедицинскую практику сетевых сервисов, объединяющих микровизионные и видеоэндоскопические системы в единый диагностический комплекс, открытый для включения в него других медицинских приборов и систем, работа которых основана на формировании и обработке цифровых изображений, – приборов ультразвуковой диагностики, оптических когерентных томографов, рентгеноскопической аппаратуры, и пр.

Целью настоящей работы является разработка таких сетевых сервисов и обеспечение доступа к функциям комплекса из сети Интернет.

Постановка задачи

При разработке сетевых сервисов телемедицинского комплекса необходимо решить ряд задач: определить состав и назначение сервисов, разработать протокол передачи видеопотока, состояния оптико-механических приборов и команд управления, обеспечить передачу медицинских данных через сеть Интернет без искажений с высокой скоростью и надежной защитой от несанкционированного доступа к ним, а также разработать серверное приложение для обработки цифровых изображений медицинских препаратов с возможностью подключения библиотек.

Как известно, большинство медицинских записей (назначение на обследование, результаты обследований, заключение специалистов) в настоящее время выполняется в бумажном виде, что затрудняет их систематизацию, хранение и поиск. В связи с этим возникает необходимость в создании специализированной информационной системы как новой составной части телемедицинского комплекса.

Сетевые сервисы являются интегрирующим ядром комплекса. Они обеспечивают возможность удаленного ведения электронной медицинской карты пациента, доступ к результатам исследований и возможность удаленного управления функциями оптико-электронных приборов как из локальной компьютерной сети медицинского учреждения, так и из сети Интернет. Удаленное управление приборами и передача видео значительно повышают качество оказания медицинских услуг. Это возможно благодаря обеспечению доступа к прямой трансляции с микровизионной и видеоэндоскопической систем специалистам из крупных медицинских центров. Таким образом, при установке комплексов в удаленных регионах страны пациентам не придется ехать в медицинские центры за консультацией высококвалифицированных специалистов. Для подключения к прямой трансляции нет необходимости устанавливать на компьютер специализированное ПО, так как достаточно обычного веб-браузера. Получить доступ к трансляции можно не только с персонального компьютера, но и с современного мобильного телефона или планшетного компьютера. Это отличает созданное в рамках выполнения настоящей работы ПО для удаленного управления от ПО, входящего в состав, например, цифрового анализатора микроизображений Nikon Coolscore, где на удаленном компьютере необходимо устанавливать виртуальную Java-машину [9]. Наличие удаленного доступа позволяет также упростить послепродажное обслуживание телемедицинского комплекса. При обнаружении потребителем неисправности изготовитель может подключиться к комплексу через Интернет и провести его диагностику. Если проблема незначительна, специалисты технической поддержки могут решить ее удаленно без необходимости выезда к потребителю.

Повышение качества диагностирования обеспечивается путем включения в состав комплекса специализированного ПО для обработки изображений. Одна из таких программ реализует метод подсчета эритроцитов на изображениях мазков крови [10], отличающийся от аналогичных методов устойчивостью к изменениям структуры, текстуры и цвета клеток, а также позволяющий производить подсчет клеток даже при наличии помех на изображении. Ввиду недостаточной глубины резкости микровизионной системы наблюдение многослойных объектов может быть затруднительно. Для решения этой проблемы используется модуль, реализующий метод построения карты глубины сцены микроскопических объектов [11]. Так как подобные расчеты требуют значительных вычислительных ресурсов, целесообразнее перенести их на сервер СС. Для этого необходим сервис обработки изображений. Входными данными сервиса является задание, содержащее входные изображения и выбранный метод, на выходе – результат работы метода в виде изображения или характеристики изображения, например, количество эритроцитов и их распределение по размерам. Основными особенностями сервиса являются обеспечение возможности подключения модулей, написанных с использованием различных языков программирования, и асинхронность его работы для обработки нескольких запросов одновременно.

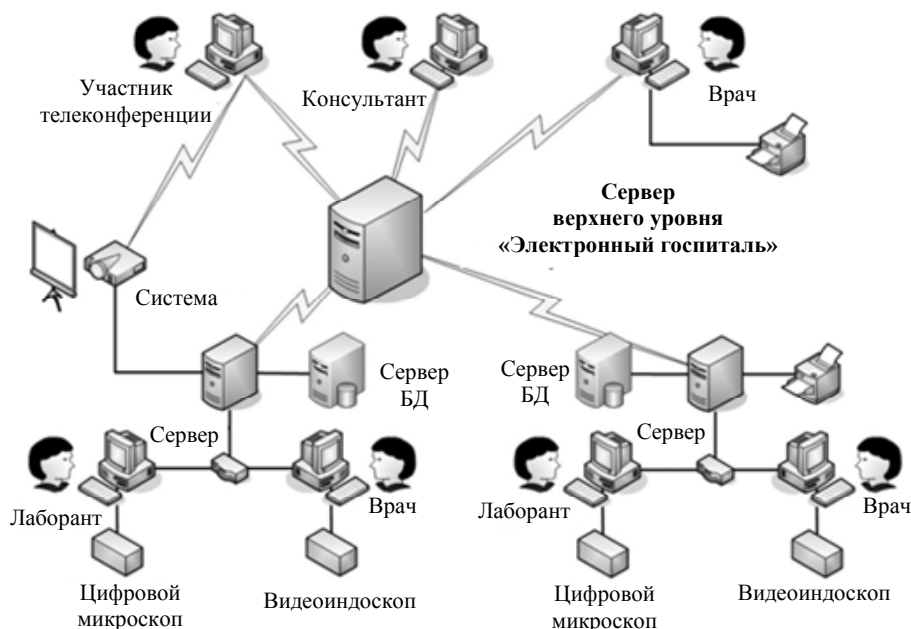


Рис. 1. Схема подключения телемедицинских комплексов

Благодаря наличию современных телекоммуникационных технологий телемедицинский комплекс может быть внедрен в локальную компьютерную сеть медицинского учреждения и подключен к серверу верхнего уровня «Электронный госпиталь». На рис. 1 представлен вариант подключения нескольких (двух) телемедицинских комплексов в одном госпитале. В качестве дополнительной опции телемедицинский комплекс может быть снабжен системой видеоконференционной связи (ВКС) для проведения медицинских консилиумов.

Состав и назначение сервисов

Сетевые сервисы телемедицинского комплекса включают в себя следующие программные модули: БД диагностических исследований с клиентским приложением, веб-служба, веб-интерфейс, видеосервер, активные и пассивные клиенты. На рис. 2 приведена схема, иллюстрирующая взаимодействие сервисов комплекса.

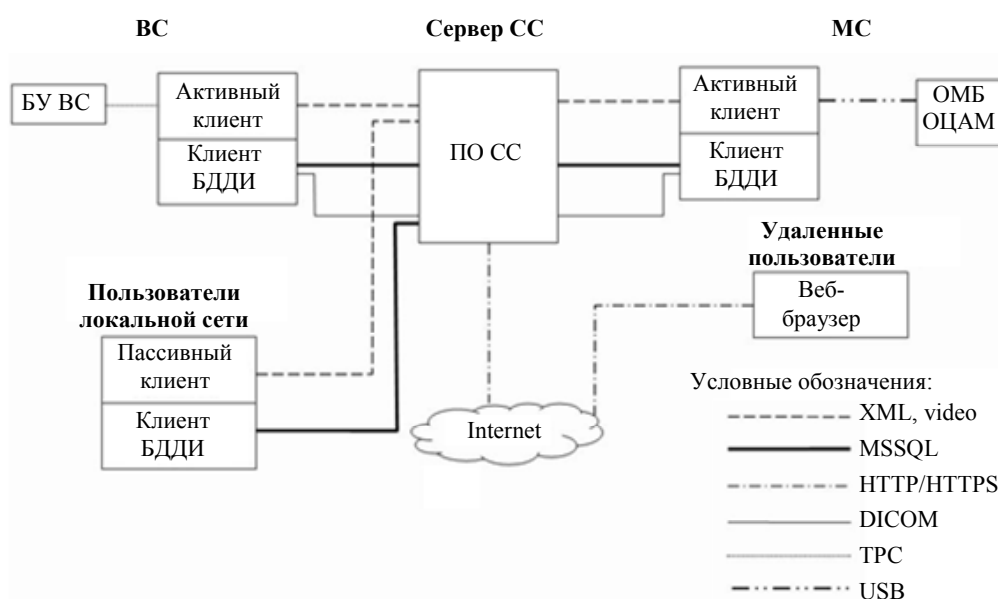


Рис. 2. Взаимодействие систем и сервисов телемедицинского комплекса: БУ ВС – блок управления ВС; ОМБ ОЦАМ – оптико-механические блоки оптико-цифрового анализатора микроизображений MC; клиент БДДИ – клиент БД диагностических исследований

База данных диагностических исследований (БДДИ) предназначена для ведения списка пациентов, диагностического оборудования, направлений на исследования, результатов и протоколов исследований. В качестве системы управления БД используется Microsoft SQL Server, установленная на сервере CC. Клиенты БДДИ представляют собой приложения для операционной системы Microsoft Windows и разработаны с использованием стека технологий Microsoft .NET на языке программирования C#. Клиенты предназначены для отображения информации, хранящейся в БДДИ, и взаимодействия с другими приложениями, входящими в сетевые сервисы комплекса.

Веб-служба и веб-интерфейс предназначены для удаленного доступа к данным комплекса посредством сети Интернет. Для передачи данных используется защищенный протокол HTTPS. Веб-интерфейс предназначен для управления списком пользователей комплекса, доступом пользователей к приложениям, доступом к результатам исследований, а также для предоставления доступа пользователям для управления MC и просмотра видеотрансляций.

Веб-интерфейс обеспечивает доступ зарегистрированным пользователям, например, врачам-консультантам и пациентам, к результатам исследований, хранящимся в БДДИ. При этом обеспечение безопасности передаваемых данных является основной задачей веб-интерфейса. Для защиты информации через Интернет передаются все необходимые для диагностики и постановки диагноза материалы (изображения, заключения и комментарии врачей, условия проведения обследований и пр.), а также уникальный идентификатор обследования. При этом персональная информация о пациенте (фамилия, имя, отчество и т.д.) по открытым каналам Интернета не передается. Для защиты от перехвата используется криптографический протокол SSL.

Веб-служба аутентификации реализует в комплексе технологию единого входа [12]. При использовании данной технологии повышается безопасность информационного обмена, так как процедура аутентификации проводится на сервере, а клиентские приложения не получают доступ к паролю пользователя. Отличительной особенностью используемого сервера является возможность проведения аутентификации не только веб-приложений, но и автономных приложений, работающих вне веб-браузера. Веб-служба и веб-интерфейс разработаны с использованием стека технологий Java Enterprise Edition и работают под управлением контейнера сервлетов Apache Tomcat.

Видеосервер представляет собой оригинальное приложение, предназначенное для организации трансляции видео с медицинских приборов в высоком качестве. Он обеспечивает передачу видеоизображения и состояния активных клиентов пассивным клиентам, а также передачу команд управления от пассивных клиентов к соответствующим активным клиентам. Активные клиенты – это приложения для операционной системы Microsoft Windows, запускаемые на компьютерах соответствующих систем и под-

ключаемые непосредственно к их контроллерам. Пассивные клиенты – это такие же приложения, как и активные клиенты, за одним исключением – они не имеют прямой связи с контроллерами систем, а взаимодействуют с ними через видеосервер. Видеосервер реализует открытый протокол передачи данных, основанный на XML, что позволяет подключать к нему не только микровизионную и видеоэндоскопическую системы, но и любые другие медицинские приборы, поддерживающие работу в сети.

Хранение медицинских данных, таких как видео или изображения, осуществляется на DICOM-сервере. Для этого видеосервер передает всю необходимую информацию в DICOM-пакете на DICOM-сервер. В дальнейшем пользователи через веб-интерфейс или локальную компьютерную сеть, используя клиенты БДДИ, получают доступ к этим данным. Для клиентов БДДИ разработан визуализатор DICOM-пакетов, работающий как на стороне активных и пассивных клиентов в локальной сети, так и на стороне пассивных клиентов через веб-интерфейс.

Активные клиенты микровизионной и видеоэндоскопической систем предназначены для непосредственного управления приборами. Они осуществляют захват и передачу изображения на видеосервер, обеспечивают управление оптико-механическими узлами и передачу их состояния на видеосервер, принимают и исполняют команды управления от пассивных клиентов, позволяют производить пост-обработку изображений (регулировку яркости, контрастности и др.). Пассивные клиенты подключаются к видеосерверу для отображения видео, обеспечивают отображение состояния оптико-механических модулей и передают на них команды управления. Веб-интерфейс при трансляции видео и управлении приборами выступает пассивным клиентом и подготавливает видеопоток для передачи его через Интернет. Таким образом, пользователи, подключившиеся через веб-браузер к телемедицинскому комплексу, имеют возможность наблюдать видеотрансляции диагностических процедур со своих персональных компьютеров через Интернет. Для отображения видео и управления приборами не требуется устанавливать на компьютер клиента дополнительное ПО или расширять веб-браузер для поддержки таких технологий, как Adobe Flash, Microsoft Silverlight, Java Applet и др.

Основное достоинство сервера для обработки микроизображений медицинских препаратов – возможность подключения модулей обработки цифровых изображений, созданных с использованием различных языков и технологий программирования. Сервер обработки микроизображений представляет собой приложение, написанное на языке Java, которое принимает входящие пакеты для обработки и возвращает результат выполнения. Подключение к серверу осуществляется при помощи различных протоколов благодаря загрузке в него модулей обработчиков протоколов. В качестве основного протокола передачи данных используется протокол на базе языка разметки XML, предназначенный для работы в локальной сети комплекса. Модули проксирования, обеспечивающие взаимодействие сервера и обработчиков изображений, представляют собой JAR-архивы. В них могут быть как бинарные исполнимые файлы, так и, например, функции MATLAB. Функциональная схема сервера обработки микроизображений представлена на рис. 3.

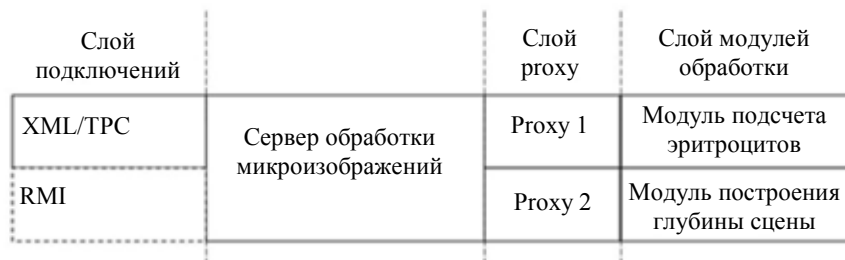


Рис. 3. Функциональная схема сервера обработки микроизображений

Заключение

Определен состав и назначение сетевых сервисов телемедицинского комплекса, разработан протокол передачи видеопотока, состояния оптико-механических приборов и команд управления, разработан веб-интерфейс с возможностью работы на современных мобильных устройствах, решена задача передачи медицинских данных через сеть Интернет, разработан сервер для обработки микроизображений медицинских препаратов с возможностью подключения дополнительных библиотек. Полученные результаты существенным образом улучшают потребительские характеристики серийного прибора ОАО «ЛОМО».

References

1. Marttos A.C., Kuchkarian F.M., Abreu-Reis P., Pereira B., Collet-Silva F.S., Fraga G.P. Enhancing trauma education worldwide through telemedicine. *World Journal of Emergency Surgery*, 2012, vol. 7, p. S4. doi: 10.1186/1749-7922-7-S1-S4
2. Barroso M.C., Esteves G.P., Nunes T.P., Silva L.M.G., Faria A.C.D., Melo P.L. A telemedicine instrument for remote evaluation of tremor: design and initial applications in fatigue and patients with Parkinson's Disease. *BioMedical Engineering OnLine*, 2011, vol. 10, p. 14. doi:10.1186/1475-925X-10-14

3. Kyriacou E., Pavlopoulos S., Berler A., Neophytou M., Bourka A., Georgoulas A., Anagnostaki A., Karayiannis D., Schizas C., Pattichis C., Andreou F., Koutsouris D. Multi-purpose HealthCare Telemedicine Systems with mobile communication link support. *BioMedical Engineering OnLine*, 2003, vol. 2, p. 7. doi: 10.1186/1475-925X-2-7
4. Lyadov M.A., Trufanov D.N., Frolov S.VI., Frolova M.S. Organizatsiya teleditsinskogo tsentra na base tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Organization of telemedicine center at the Tambov State Technical University]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2008, no. 1 (46), pp. 203–210.
5. Golovin P.A., Hechaev V.A., Nechaev D.A. Ekspertnye sistemy dlya klassifikatsii boleznei v meditsinskoj diagnostike [Expert systems for classification of diseases in medical diagnosis]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2006, no. 6 (29), pp. 80–84.
6. GOST R 52636-2006 *Elektronnaya istoriya bolezni. Obshchie polozheniya* [State Standard 52636-2006 Electronic medical case history. General provisions]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 20 p.
7. Gurov O.P., Potapov A.S., Lyamin A.V., Skshidlevskiy A.A., Nikiforov V.O., Belashenkov N.P., Rudin Y.V., Varlamova L.L. Diagnostic optodigital complex for telemedicine. *Journal of Optical Technology*, 2012, vol. 79, no. 11, pp. 712–715.
8. Lyamin A.V., Skshidlevskiy A.A., Kopylov D.S. *Razrabotka sistemy setevogo optico-tsifrovogo diagnosticheskogo kompleksa dlya teleditsiny* [Development of optodigital network diagnostic complex for telemedicine]. *Trudy XIX Vserossiiskoi nauchno-metodicheskoi konferentsii "Telematika'2012"* [Proc. of All-Russian Scientific and methodical conferences "Telematika'2012"]. St. Petersburg, 2012. T. 2. С. 294–295.
9. Rojo M.G., Garcia G.B., Mateos C.P., Gonzalez J., Vicente M.C. Critical comparison of 31 commercially available digital slide systems in pathology. *International Journal of Surgical Pathology*, 2006, vol. 4, pp. 285–305. doi:10.1177/1066896906292274
10. Dymayev A.V. Metod podscheta eritrotsitov na izobrazheniyakh mazkov krovi [Red cells count method on blood smears images]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2011, no. 6 (76), pp. 17–22.
11. Averkin A.N., Potapov A.S. Using the method of depth reconstruction from focusing for microscope images. *Journal of Optical Technology*, 2011, vol. 78, no. 11, pp. 730–734. doi: 10.1364/JOT.78.000730
12. Kopylov D.S. *Sistema edinogo vkhoda v geterogennykh obrazovatel'nykh sistemakh* [Single sign on in heterogeneous educational systems]. *Sbornik tezisev dokladov kongressa molodykh uchenykh* [Collection of papers of young scientists congress]. St. Petersburg, NTU ITMO Publ., 2012, part 1, pp. 3–4.

- | | |
|--------------------------------------|--|
| Копылов Дмитрий Сергеевич | – студент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия, dima@cde.ifmo.ru |
| Устинов Сергей Николаевич | – ведущий инженер, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия, usnstl@mail.ru |
| Скшидлевский Антон Алексеевич | – кандидат технических наук, директор центра дистанционного обучения, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия, anton@cde.ifmo.ru |
| Лямин Андрей Владимирович | – кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия, lyamin@mail.ifmo.ru |
| Dmitry S. Kopylov | – student, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University), Saint Petersburg, Russia, dima@cde.ifmo.ru |
| Sergei N. Ustinov | – leading engineer, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University), Saint Petersburg, Russia, usnstl@mail.ru |
| Anton A. Skshidlevsky | – PhD, Section head, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University), Saint Petersburg, Russia, anton@cde.ifmo.ru |
| Andrey V. Lyamin | – PhD, Associate professor, Head of distance learning center, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University), Saint Petersburg, Russia, lyamin@mail.ifmo.ru |

Принята к печати 24.12.13

Accepted 24.12.13