

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ОПТИКО-ЦИФРОВОЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ

© 2012 г. И. П. Гуров*, доктор техн. наук; В. О. Никифоров**, доктор техн. наук;
А. С. Потапов*, доктор техн. наук; Н. Р. Белашенков**, канд. физ.-мат. наук;
А. В. Лямин*, канд. техн. наук; Я. В. Рудин**, канд. техн. наук;
А. А. Скшидлевский*, канд. техн. наук; Л. Л. Варламова**

* Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

** ОАО “ЛОМО”, Санкт-Петербург

E-mail: gurov@mail.ifmo.ru

Приведены результаты разработки и характеристики оптико-цифрового комплекса, обеспечивающего автоматическое формирование, регистрацию и обработку изображений биомедицинских объектов в целях неинвазивной диагностики на основе методов цифровой микроскопии и эндоскопии. Комплекс обеспечивает сбор, предварительный анализ и сжатие видеoinформации для передачи по телекоммуникационным каналам.

Ключевые слова: телемедицина, видеоэндоскоп, люминесцентная микроскопия, обработка цифровых изображений, сетевые технологии.

Коды OCIS: 170.2150, 170.2520, 100.2000

Поступила в редакцию 21.06.2012

Введение

Развитие кооперации промышленных предприятий и вузов России является важным фактором создания отечественной инновационной экономики. Модернизация образования и вузовской науки в сочетании с технологическим переоснащением предприятий реального сектора открывают широкие перспективы создания товаров и услуг с использованием новых знаний, воплощенных в приборы, материалы и технологии.

Совместный проект Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики и ОАО “ЛОМО” в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 посвящен разработке и созданию высокотехнологичного производства оптико-цифрового диагностического комплекса для телемедицины.

Направление работ на стыке информатики и медицины выбрано неслучайно. В последние годы компьютерные и телекоммуникационные технологии обеспечили качественный скачок в развитии медицинской техники. Повышенные достоверности диагностики, охват широ-

ких слоев населения медицинскими услугами обеспечили рост средней продолжительности жизни населения. В течение последнего десятилетия в мировой медицинской практике наблюдается стремительный рост объема телемедицинских услуг. Рядом ведущих компаний мира разработаны и выпускаются автоматизированные анализаторы микроизображений, такие как Coolscope (фирма Nikon), BioZero и BioRevo (фирма Keyence), телемедицинские комплексы для ультразвуковой и рентгенографической диагностики, электрокардиографии, компьютерной томографии и другие [1–3]. Широкое распространение в мире получили переносные телемедицинские терминалы, позволяющие проводить долговременный мониторинг состояния сердечно-сосудистой системы пациентов, измерять уровень сахара в крови, контролировать другие жизненно важные показатели здоровья. По сведениям Всемирной организации здравоохранения в настоящее время в мире реализуются несколько сотен проектов в области телемедицины, среди которых кроме клинических и информационных выделяют также образовательные, связанные с телеобучением специалистов в области медицины. Одной из главных задач, стоящих

перед современной телемедициной, является развитие методов медицинской информатики, стандартизация регистрации и формализации медицинских данных. Для решения этих задач необходимо создать и внедрить в медицинскую практику алгоритмы сжатия информации, определить стандартные формы обмена информации как на уровне исходных данных, так и на уровне истории болезни.

В России телемедицинские технологии в последние годы развиваются весьма интенсивно. В течение последнего десятилетия в нашей стране организован координационный совет Минздрава по телемедицине, утверждена концепция развития телемедицинских технологий, разработан и принят первый национальный стандарт в области медицинской информатики [4], который устанавливает общие положения для разработки требований к организации создания, сопровождения и использования информационных систем типа “электронная история болезни”, разработаны и серийно выпускаются биологические цифровые микроскопы нового поколения – микровизоры, обладающие расширенными телекоммуникационными возможностями [5]. В целом, однако, отечественное аппаратное обеспечение телемедицины отстает от мирового уровня, что связано с отсутствием специального оборудования для клинической и лабораторной диагностики.

Целью разработки является создание первого отечественного многофункционального диагностического комплекса для телемедицины, использующего достижения микровизионной и видеоэндоскопической техники в сочетании с современными компьютерными и телекоммуникационными технологиями.

Назначение и состав комплекса

Развитие цифровых и компьютерных технологий во всех областях науки и техники послужило толчком к разработке автоматизированных медицинских систем. Одним из наиболее перспективных вариантов организации системы информационного обеспечения медицинской диагностики является создание комплексов оптико-цифровой диагностики для телемедицины (КОЦДТ). Подобные комплексы позволяют не только расширить функциональные возможности существующих методик, но и создать основу для разработки и внедрения новых перспективных медицинских технологий.

Основным назначением разрабатываемого комплекса является создание инфраструктурного базиса для развития телемедицинских услуг на основе открытой информационной технологии сетевого взаимодействия различных диагностических устройств. В качестве первого шага в этом направлении выбрана агрегация систем клинической и лабораторной диагностики, использующих в качестве медицинских данных изображения, получаемые с выходов цифровых микровизионных и видеоэндоскопических систем.

Хорошо известно, что успешное лечение многих заболеваний определяется точным и своевременно поставленным диагнозом. Достоверность диагностики определяется набором разнообразных факторов, в число которых входит в первую очередь квалификация врача-диагноста. Однако одного опыта и интуиции специалиста недостаточно, нужны точные методики и приборы для их реализации, необходимы долговременный профессиональный мониторинг состояния здоровья человека и максимально полная база данных разнообразных анализов.

Медицинские записи анализов и результатов обследования пациентов в виде бумажных историй болезни осуществлялись медиками на протяжении многих лет, но физические и практические ограничения традиционных технологий хранения и организации большого объема разнородных данных в настоящее время совершенно очевидны.

Один из возможных вариантов структуры сетевого применения КОЦДТ представлен на рис. 1. На схеме (в нижней части рисунка) в качестве примера показаны два комплекса, размещенные в лечебно-диагностическом медицинском учреждении, и связанные локальной сетью с сервером верхнего уровня типа “электронный госпиталь”. Каждый КОЦДТ включает в себя три функционально связанных системы.

Микровизионная система обеспечивает формирование и визуализацию микроизображений биотканей и биомедицинских препаратов.

Видеоэндоскопическая система предназначена для проведения эндоскопических обследований желудочно-кишечного тракта с обеспечением формирования и визуализации эндоскопических изображений, документирования и архивирования данных.

Сетевая система служит для документирования и архивирования данных, сжатия информации для передачи по телекоммуникаци-

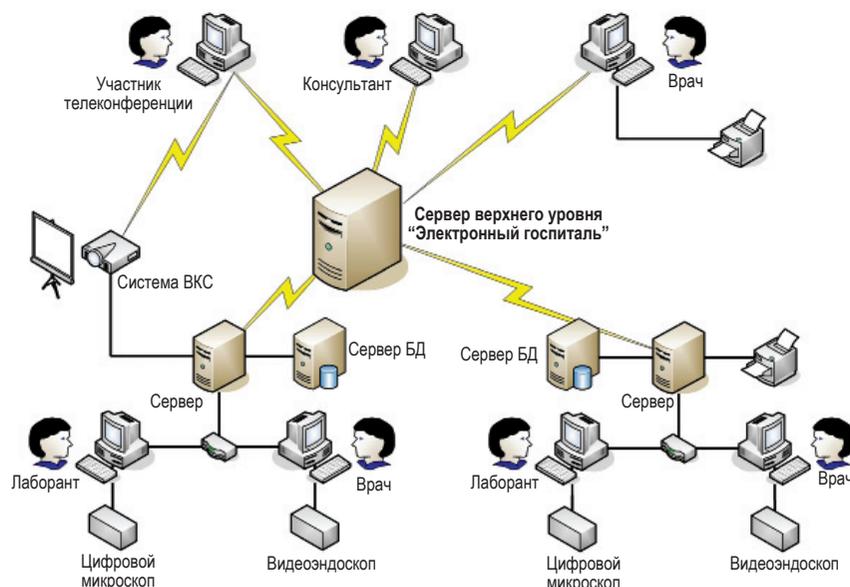


Рис. 1. Структура сетевого применения комплекса.

онным каналам, анализа микроизображений при комплексном использовании данных, содержащихся в изображениях различных видов, на основе использования компьютерных технологий. Эта система совместима с современными видеотелеконференционными системами, что открывает возможность проведения консультаций и консилиумов, высокопроизводительного обмена медицинскими данными в локальных, региональных и глобальных телекоммуникационных сетях.

Описание систем комплекса

Микровизионную систему КОЦДТ можно характеризовать как систему “все-в-одном”, включающую цифровой микроскоп, анализатор изображения и компьютер с сетевым интерфейсом в одном корпусе. Система способна функционировать как в ручном, так и в автоматическом режимах, обеспечивает возможность автоматической работы с образцами (сканирование по полю, автоматическая фокусировка, смена методов освещения) по заданной программе, сохранение локальной копии результатов микроскопического исследования, возможность заполнения электронной истории болезни на месте или ее интеграцию в существующие медицинские информационные системы типа “электронный госпиталь”. Микровизионная система предоставляет возможность дистанционного доступа к изображе-

ниям и функциям управления для удаленных пользователей, работающих в локальной сети или через WEB-интерфейс.

Основным компонентом микровизионной системы является оптико-цифровой анализатор микроизображений (ОЦАМ). Он представляет собой полностью автоматизированный люминесцентный микровизор со встроенным интегрированным блоком управления на базе персонального компьютера и подключенных к нему контроллеров управления исполнительными механизмами с обратной связью. ОЦАМ обеспечивает проведение микроскопических исследований в режиме наблюдения люминесценции в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра, а также методами светлого поля в проходящем и отраженном свете и в условиях одновременного освещения объектов наблюдения проходящим и отраженным светом видимого спектра. Оптическая схема и внешний вид ОЦАМ представлены на рис. 2 и 3, соответственно.

Оптическая схема ОЦАМ состоит из наблюдательного канала, включающего набор плахроматических объективов 1 с увеличениями 5, 10, 20, 40 крат, блока светоделительных модулей отраженного света 2, блока фотоприемников 3, включающего тубусные линзы, видеоадаптеры, высокочувствительную охлаждаемую видеокамеру с ПЗС матрицей формата 2/3” и обзорную видеокамеру с КМОП матрицей формата 1/3”, осветительного модуля про-

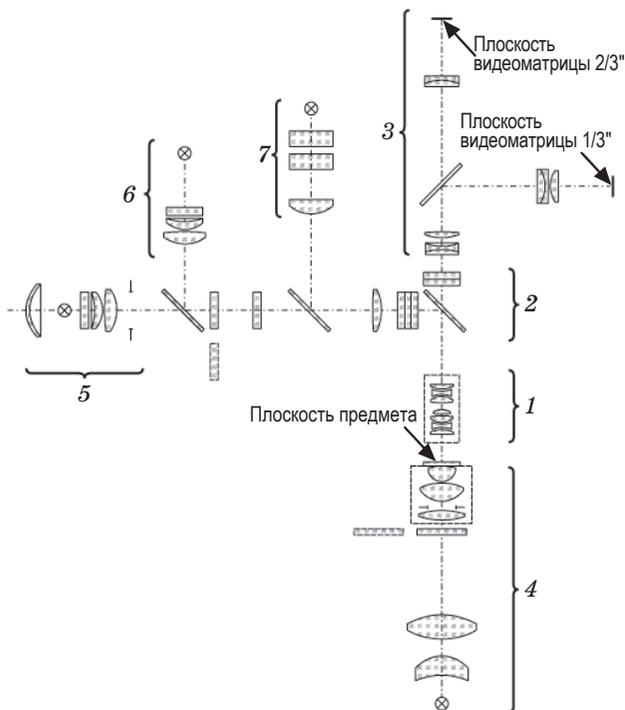


Рис. 2. Оптическая схема оптико-цифрового анализатора микроизображений. 1 – блок сменных микрообъективов; 2 – блок спектроделителей; 3 – блок фотоприемников; 4 – светодиодный осветитель проходящего света; 5 – осветительный модуль ртутной лампы; 6 – светодиодный осветитель отраженного света; 7 – лазерный осветительный модуль.

ходящего света 4, включающего белый светодиод мощностью 5 Вт, набор светофильтров, конденсор и трех осветительных модулей отраженного света 5, 6 и 7, включающих ртутную лампу, белый светодиод мощностью 20 Вт и диодный ИК лазер с длиной волны 956 нм.

Для работы в автоматическом режиме ОЦАМ содержит следующие управляемые моторизованные устройства перемещения: двухкоординатный предметный стол, фокусируемый механизм, блок светофильтров проходящего света, диафрагму осветителя проходящего света, револьвер с объективами, блок светоделительных модулей отраженного света, узел включения ИК-канала осветителя отраженного света, узел включения светодиодного осветителя отраженного света, заслонку и устройство перемещения коллектора ртутной лампы.

В режиме дистанционного управления основными функциями ОЦАМ поддерживает сетевой протокол TCP/IP.

Программное обеспечение ОЦАМ позволяет проводить регистрацию микроизображений,



Рис. 3. Оптико-цифровой анализатор микроизображений.

включая построение панорамных X-Y изображений с автоматической сшивкой границ полей и Z-сканирование с записью изображений в режиме “глубокого фокуса”, а также их предварительную обработку, компрессию и передачу для архивирования в сетевую систему комплекса. Для получения микроизображений с наилучшим качеством программное обеспечение ОЦАМ реализует автоматическую оценку контраста и резкости цифровых изображений, а также обеспечивает режим автоматической фокусировки, алгоритмы и основные параметры которых исследованы в работах [6–8].

Видеоэндоскопическая система КОЦДТ разработана в качестве рабочего места врача-эндоскописта и включает установленные на приборной эндоскопической стойке видеоэндоскоп с комплектом инструмента, осветительный блок, блок управления, а также видеомонитор и персональный компьютер с программным обеспечением.

Видеоэндоскопическая система создана с применением новых технических решений, направленных на повышение качества изображения, а также на улучшение потребительских свойств и эксплуатационных характеристик. В качестве приемника изображения в видеоэндоскопе применена цветная ПЗС матрица формата 1/6" с размером пикселя 3,275×3,150 мкм, для которой разработан новый объектив [9] с угловым полем зрения 140°. Этот объектив обеспечивает высокое качество цветного изображения объекта по всему полю без перефокусировки в диапазоне рабочих расстояний от 3 до 100 мм и имеет улучшенное распределение

освещенности по полю изображения (неравномерность освещенности не превышает 25%).

На рис. 4 показана оптическая схема объектива, а в таблице приведены расчетные значения коэффициента передачи контраста изображения для различных рабочих расстояний и пространственных частот. Конструкция механизма управления изгибаемой частью видеэндоскопа и тормозных устройств выполнена герметичной, улучшены эргономические характеристики проксимальной части и рукояток управления, форма всех элементов конструкции обеспечивает комфортные условия работы врачей с различными антропометрическими данными. В осветительном канале видеэндоскопической системы применено светодиодное освещение. Требуемая освещенность достигнута применением в качестве источника света сверхъяркого белого светодиода, широкоугольных осветительных линз и волоконно-оптических жгутов с повышенным пропусканием.

Блок управления видеэндоскопической системой модернизирован с учетом требований улучшенного качества изображения и совместимости с сетевой системой комплекса. Для этого с помощью команд меню в блоке управления реализованы функции управления цветом, четкостью и яркостью изображения. Для оптимизации режима наблюдения в процессе эндоскопического обследования обеспечены возможности изменения размера углового поля зрения объектива с помощью электронной маски и отображения стоп-кадра одновременно с видеоизображением (режим “картинка-в-картинке”). Связь с сетевой системой поддерживается по протоколу TCP/IP. В результате этого создан первый отечественный цифровой видеэндоскоп для телемедицины, обеспечивающий возможность удаленного наблюдения за проведением эндоскопических процедур во время их выполнения.

Кроме важных с точки зрения медицинского применения функций диагностики, возложенных на микровизионную и видеэндоскопическую системы, для решения телемедицинских задач КОЦДТ включает сетевую систему. Эта система представляет собой программно-аппаратный комплекс, развернутый на базе сервера HP ProLiant ML150 G6 и поддерживающий программные средства для управления базой данных диагностических исследований, поступающих на сервер с диагностических систем комплекса по протоколу DICOM (*Digital*

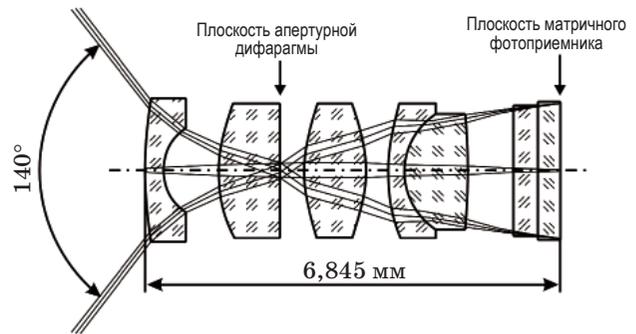


Рис. 4. Оптическая схема объектива видеэндоскопа.

Рабочее расстояние, мм	Расчетное значение коэффициента передачи контраста для центра поля на пространственной частоте:		
	40 мм ⁻¹	50 мм ⁻¹	110 мм ⁻¹
3	0,50	0,38	—
4,5	—	0,61	—
12	—	0,59	0,27
100	—	0,65	0,33

Imaging and Communications in Medicine – отраслевой стандарт создания, хранения, передачи и визуализации медицинских изображений и документов обследованных пациентов). Достоверность диагностики по наблюдаемым изображениям обеспечивается включением в программный комплекс сетевой системы ряда оригинальных компьютерных программ для обработки медицинских изображений [10, 11]. Сетевая система КОЦДТ является открытой информационной системой, способной поддерживать программные продукты других производителей. С ее помощью удаленные пользователи, находящиеся как в локальной сети комплекса, так и вне ее, при условии авторизации могут получить доступ к функциям управления микровизионной системой, наблюдению потокового видео, поступающего с выхода видеэндоскопической системы, а также к персональным электронным медицинским записям пациентов, хранящихся в базе данных диагностических исследований. Возможность подключения к сети Интернет, телекоммуникационные функции собственно сетевой системы определяют жесткие требования по защите персональных данных и информационной безопасности комплекса в целом.

Заключение

В результате работы над комплексным проектом ОАО “ЛОМО” и НИУ ИТМО разработан первый отечественный высокотехнологичный комплекс оптико-цифровой диагностики для телемедицины. Комплекс предназначен для проведения клинических и лабораторных исследований и решения актуальной задачи повышения качества медицинского обслуживания ши-

роких слоев населения России, в том числе проживающего на удаленных территориях вдали от современных диагностических центров. Открытая сетевая архитектура открывает перспективы расширения области применения комплекса в медицинской практике за счет включения в его состав новых диагностических средств.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Falconer J., Giles W., Villanueva H. Realtime ultrasound diagnosis over a widearea network WAN using off-the-shelf components // Journal of Telemedicine and Telecare. 1997. № 3. P. 28–30
2. Tsagaris M.J., Papavassiliou M.V., Chatzipantazi P.D., Danis N.D., Dendrinou M.S., Tsantoulas D.J., Ioannidis P.G. The contribution of telemedicine to cardiology // Journal of Telemedicine and Telecare. 1997. № 3. P. 63–64
3. Thrall J.H., Boland G. Telemedicine in practice // Seminars in Nuclear Medicine. 1998. V. 28. IS. 2. P. 145–157
4. ГОСТ Р 52636-2006 “Электронная история болезни. Общие положения”.
5. Белашенков Н.Р., Калинина Т.Ф., Лопатин А.И., Скобелева Н.Б., Тютрюмова Т.В. Микровизоры – новое поколение цифровых микроскопов // Оптический журнал. 2009. Т. 76. № 10. С. 52–57.
6. Беззубик В.В., Белашенков Н.Р., Устинов С.Н. Оптимизация алгоритмов автофокусировки цифрового микроскопа // Оптический журнал. 2009. Т. 76. № 10. С. 16–22.
7. Белашенков Н.Р., Беззубик В.В., Никифоров В.О. Метод количественной оценки контраста цифрового изображения // Научно-технич. вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2010. В. 6(70). С. 86–88.
8. Белашенков Н.Р., Беззубик В.В., Никифоров В.О. Анализ влияния дефокусировки и шума на качество цифрового изображения // Научно-технич. вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2011. В. 6(76). С. 59–64.
9. Сокольский М.Н., Совс И.Е., Варламова Л.Л., Богомолова Л.Е. Объектив эндоскопа // Патент России № 109875. 2011.
10. Аверкин А.Н., Потапов А.С. Применение метода восстановления глубины из фокусировки для микроскопических изображений // Оптический журнал. 2011. Т. 78. № 11. С. 52–59.
11. Дырнаев А.В. Метод подсчета эритроцитов на изображениях мазков крови // Научно-технич. вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2011. В. 2(78). С. 17–22.