



МЕТОД КОНТРОЛЯ ДЕЙСТВИЙ ХИРУРГА В ОПЕРАЦИОННОЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ

И.Н. Шевелев¹, Н.А. Коновалов¹, М.А. Шифрин¹, А.Ю. Ильяшенко¹, А.М. Черкашов², Т.Г. Шафамко²,
К.В. Бушминкин³, А.И. Молодченков⁴, С.Ю. Тимонин¹, Д.С. Асютин¹, А.Г. Назаренко¹

¹НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко

²Медицинский центр Банка России

³Центр координации международных научных программ

⁴Институт системного анализа РАН, лаборатория «Интеллектуальные динамические системы», Москва

Цель исследования. Представление схемы трансляции видеосигнала с камер, установленных в операционной, на стационарные и мобильные устройства в онлайн-режиме.

Материал и методы. В НИИ нейрохирургии на базе существующей системы телевизионной трансляции видеоизображения из операционной реализована онлайн-схема интернет-трансляции. Разработана трансляция с использованием дополнительного обеспечения и выделенного сервера и с использованием IP-камер и аппаратных видеосерверов-энкодеров.

Результаты. Реализованные технические решения позволяют руководителю наблюдать за ходом операции в любой точке мира и с любого устройства, имеющего доступ в интернет.

Заключение. Предложенная технология обладает низкой стоимостью внедрения проекта в работу отделения, реализует проект «Руководитель в операционной», позволяющий осуществлять мониторинг действий хирургов в онлайн-режиме, может использоваться для дистанционной демонстрации хирургических вмешательств в онлайн-режиме с реализацией общения между операционной и аудиторией (конгрессы, курсы повышения квалификации и т.д.), обладает возможностью настройки параметров системы вещания и возможностью дальнейшего совершенствования системы с реализацией новых функций.

Ключевые слова: телемедицина, телекоммуникации, информационные технологии, онлайн-интернет-трансляция видеоизображения.

Для цитирования: Шевелев И.Н., Коновалов Н.А., Шифрин М.А., Ильяшенко А.Ю., Черкашов А.М., Шафамко Т.Г., Бушминкин К.В., Молодченков А.И., Тимонин С.Ю., Асютин Д.С., Назаренко А.Г. Метод контроля действий хирурга в операционной с помощью технологий телемедицины // Хирургия позвоночника. 2013. № 4. С. 67–74.

METHOD FOR MONITORING OF SURGEON'S ACTIVITY IN THE OPERATING ROOM USING TELEMEDICINE TECHNOLOGIES

I.N. Shevelev, N.A. Konovalov, M.A. Shifrin, A.Yu. Ilyashenko, A.M. Cherkashov, T.G. Sharamko, K.V. Bushminkin, A.I. Molodchenko, S.Yu. Timonin, D.S. Asyutin, A.G. Nazarenko

Objective. Presentation of the scheme of video signal online translation from cameras installed in the operation room (OR) to stationary and mobile devices.

Material and Methods. The scheme of online webcast translation was implemented in the Institute of Neurosurgery on the basis of the existing system of TV broadcasting of video images from the operation room. Translation scheme using additional software and dedicated server, and translation scheme using IP-based cameras and video servers-encoders were designed.

Results. Realized technical decisions allow chief of the department to get visual control of the operating room from any point worldwide using any device with internet access.

Conclusion. The proposed technology has a low cost of implementation and helps to realize a project "Chief in the OR", providing the online monitoring of surgeon's activity regardless of the chief location. It may be used for remote surgery live demonstration with audio feedback (congresses, training courses, conferences, etc), and give opportunity for adjustment of the system parameters and further improvement with functional evolution.

Key Words: telemedicine, telecommunications, information technology, online webcast video.

Hir. Pozvonoc. 2013;(4):67–74.

Применение информационных компьютерных технологий для передачи данных, в частности интернет-технологий, находит все более широкое применение в клинической медицине. Когда необходимо предоставление медицинской информации на расстоянии, возможно применение методов телемедицины. По определению ВОЗ, телемедицина («медицина на расстоянии», от греч. «tele» – вдаль, далеко) – метод предоставления услуг по медицинскому обслуживанию там, где расстояние является ключевым фактором. Телемедицина является направлением на стыке нескольких областей – медицины, телекоммуникаций и информационных технологий. Исследование возможностей использования каналов связи для оказания медицинской помощи на расстоянии предпринимались еще в начале XX в. Так, в 1905 г. основоположник ЭКГ В. Эйтховен предпринял попытку передачи кардиосигнала по телефону. В Швеции с 1922 г. в университетском госпитале Готтенбурга по радиоканалам проводились медицинские консультации моряков, находящихся в плавании. В 1959 г. в США была проведена первая телевизионная консультация, в том же году из США в Канаду было передано изображение флюорограммы. В 1965 г. кардиохирург М. Дебейки через канал спутника связи консультировал ход операции на сердце, выполняемой в Женеве. В России история телемедицины ведет отсчет с момента возникновения космической медицины. С 1960-х гг. XX в. применялись биотелеметрические методы контроля параметров жизнедеятельности летчиков и космонавтов. Примечательно, что активное участие в этих проектах принимал первый врач-космонавт Б.Б. Егоров, который был включен в экипаж вместе с К.П. Феоктистовым и В.М. Комаровым. Для обеспечения врачебного контроля применялась аппаратура «Вега-3». В 1970-е гг. в крупных городах России была создана сеть центров дистанционной кардиологической диагностики «ЭКГ по телефону», которые можно считать прямым прообразом телемедицинских центров. Первым крупномасштабным проектом в области телемедицины стала организация телемоста между СССР и США для консультации пострадавших во время землетрясения в Армении и взрыва газопровода в Уфе в 1988–1989 гг. С 1996 г. в рамках реализации проекта «Здоровье» телемедицина представлена как одно из важных направлений повышения качества оказания медицинской помощи. К функциям современной телемедицины следует отнести следующее:

- трансляция и передача видеоизображения и медицинских данных;
- консультации в режиме реального времени;
- проведение интерактивных консилиумов;
- диагностика;
- дистанционное обучение;
- домашняя телемедицина (пациент проходит курс лечения в домашних условиях).

Основными преимуществами телемедицины являются скорость передачи медицинской информации и ее сравнительно низкая стоимость.

Очевидно, что применение такой технологии актуально для медицины в целом, но и она оказывается еще более полезной для сверхсложных и быстроразвивающихся направлений. Наглядным примером этого является хирургия заболеваний позвоночника и спинного мозга. Развитие хирургии позвоночника с начала XX в. характеризуется постоянным усовершенствованием применяемых хирургических методов. Несомненно, это стало возможным благодаря развитию смежных медицинских технических дисциплин. Основные пики развития спинальной нейрохирургии традиционно совпадают с достижениями в смежных направлениях. Так, появление и постепенное распространение таких методов диагностики, как компьютерная и магнитно-резонансная томографии (1970–1980-е гг.), стали платформой для появления большого количества методов лечения заболеваний позвоночника и спинного мозга. Развитие самих хирургических методов прошло путь от простых декомпрессивных до сложных сочетаний декомпрессивных и реконструктивных операций, направленных на сохранение и восстановление утраченных функций. Число ежегодно выполняемых хирургических операций при заболеваниях позвоночника и спинного мозга возрастает. Динамика увеличения числа операций в отделении спинальной нейрохирургии НИИ нейрохирургии представлена на рис. 1.

К сожалению, ведущие специалисты не могут присутствовать на каждой операции, хотя наличие возможности интерактивной интраоперационной консультации с ними в некоторых случаях оказывается важной. Изначально, как видно на вышеприведенных примерах, телемедицина была ориентирована на взаимодействие между различными (территориально удаленными) медицинскими и иными учреждениями и людьми. Развитие технологий телемедицины позволяет активно продвигаться в направлении решения внутренних задач научно-клинического учреждения.

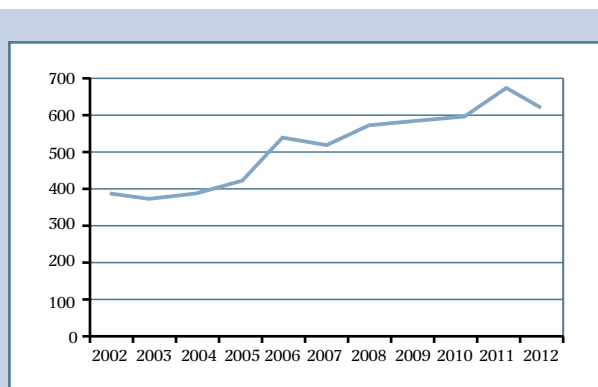


Рис. 1

Динамика увеличения числа операций в отделении спинальной нейрохирургии НИИ нейрохирургии в 2002–2012 гг.

В этой статье мы рассмотрим реализацию с помощью телемедицинских технологий возможности контроля действий оперирующей бригады в онлайн-режиме.

Цель исследования – представление схемы трансляции видеосигнала с камер, установленных в операционной, на стационарные и мобильные устройства в онлайн-режиме.

Материал и методы

С начала 2000-х гг. в НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН функционирует система телевизионной трансляции видеоизображения с различных источников из операционных (камеры общего вида и микроскопа) посредством коаксиального кабеля. Такой подход обеспечивает простой способ получения видеоизображения из операционной на телевизоре, к которому подведена коаксиальная сеть. Использование такой сети имеет ряд недостатков:

- ограниченная разрешающая способность передаваемого видеоизображения (720 × 576 для PAL);
- необходимость прокладки коаксиальной линии передачи изображения к каждому телевизору, на котором планируется просмотр изображения;

- необходимость усиления сигнала с увеличением расстояния передачи;
- невозможность трансляции изображения за пределы кабельной сети института;
- отсутствие обратной связи (возможна только трансляция от источника к зрителю);
- необходимость оцифровки сигнала для внедрения в инфраструктуру информационных технологий.

Рассмотрим две схемы трансляции видеоизображения из операционной.

Схема 1 – трансляция с использованием дополнительного программного обеспечения и выделенного сервера. Передача видеосигнала к пользователю производится через промежуточный сервер, установленный в центре обработки данных (ЦОД), за пределами медицинского учреждения.

Так как аналоговая сеть вещания уже развернута в НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко, то для передачи видеоинформации в ЦОД через интернет необходимо преобразование аналогового сигнала в цифровой.

В качестве ЦОД может выступать любая площадка, специально предназначенная для размещения серверного оборудования с подготовленной инфраструктурой для передачи больших объемов информации с высоким качеством и подключенных к интер-

нету. В предложенной схеме из НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко в ЦОД передается только одна копия видеопотока, а для просмотра клиенты подключаются к ЦОД. Таким образом, минимизируется объем передаваемой информации, что не требует высоких расходов на трафик и изменений в сетевой инфраструктуре института. Схема вещания изображена на рис. 2. В такую систему планируется включить возможность передачи аудиосигнала между участниками вещания (операционной и руководителем) для организации консультации в наиболее сложных ситуациях, возникающих в процессе операции.

Компоненты системы, размещенные в НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН:

- камера общего вида (может использоваться любая видеокамера, позволяющая передавать сигнал в аналоговом или цифровом формате; если камера цифровая – не потребуются дополнительная оцифровка);
- микроскоп с видеовыходом в стандарте PAL или другом телевизионном стандарте («SECAM», «NTSC»);
- станция кодирования и трансляции (СКТ; рис. 3), включающая компьютер для перекодирования, двухканальный ТВ-тюнер, подключенный к компьютеру, сотовый модем связи стандарта 4G.

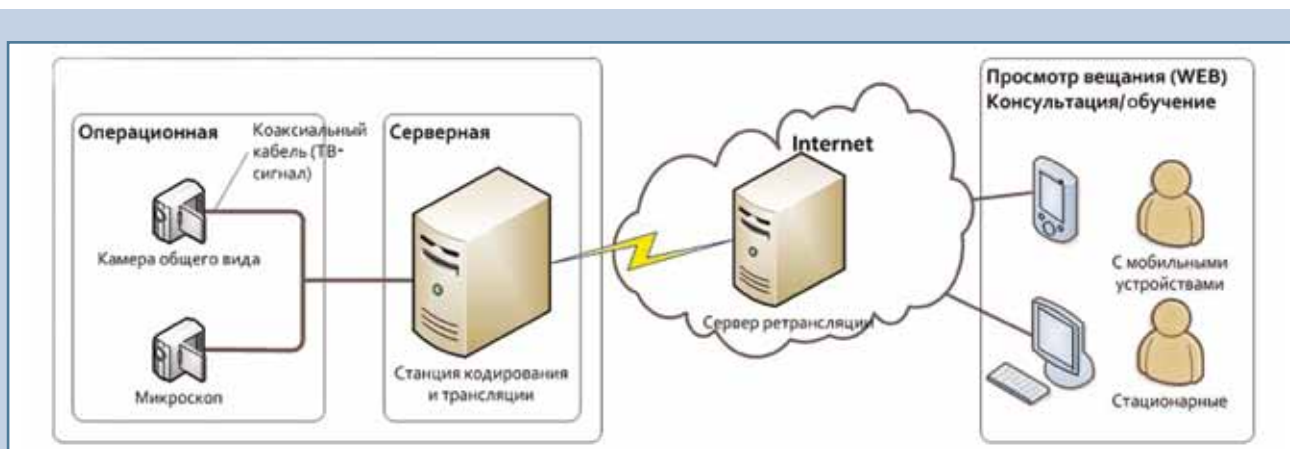


Рис. 2

Схема системы видеотрансляции

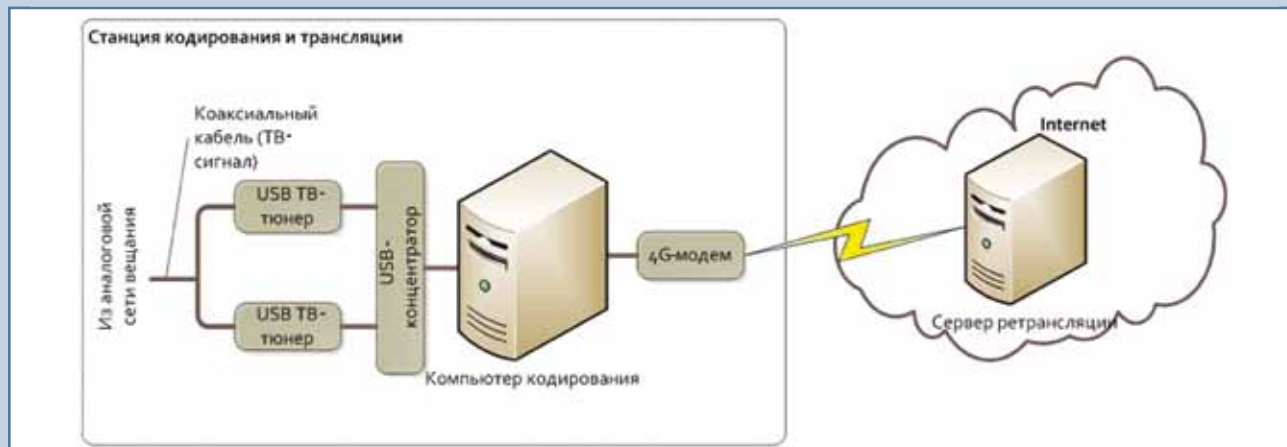


Рис. 3

Схема станции кодирования трансляции

Компонент системы, размещенный в ЦОД; сервер ретрансляции (может использоваться арендованный виртуальный сервер: мощность процессора и памяти рассчитывается в зависимости от числа потенциальных пользователей). При видеопотоке в 500 кбит/с для 1800 пользователей потребуется 200 Мбайт памяти и 50–90 % одного ядра «Intel Xeon L5520@2.27 ГГц».

Основными элементами системы являются СКТ и сервер ретрансляции. СКТ представляет собой обычный компьютер с минимальными требованиями к производительности (технические возможности будут ограничивать качество передаваемого видеопотока). В стенде в качестве СКТ используется ноутбук «Lenovo ThinkPad x200s» с процессором «Intel Core 2 Duo». В качестве операционной системы могут использоваться как «Windows», «MacOs», так и «Linux». Предпочтительней использование системы «Linux», так как она относится к свободно распространяемому программному обеспечению и не требует покупки лицензии, а также позволяет достичь максимальной производительности и гибкости.

Для преобразования аналогового PAL-сигнала в цифровой используется специальное устройство – USB ТВ-тюнер. В качестве USB ТВ-тюнера

могут использоваться любые доступные на рынке решения, позволяющие принимать аналоговый телевизионный сигнал в формате PAL. На тестовом стенде проводились испытания следующих USB ТВ-тюнеров: «AVerMedia Volar Lite», «AVerMedia Volar Lite II», «AVerMedia Volar Go». Для обеспечения питания ТВ-тюнеров использовался USB-концентратор.

Для преобразования и сжатия цифрового видеопотока (транскодирования) используется свободно распространяемое программное обеспечение (ffmpeg), которое позволяет транскодировать видеопоток из различных форматов (видеоустройства, файлы, сетевые потоки и т.д.) и передавать по сети на удаленный сервер трансляции с использованием протокола «RTMP» [1]. Программа «ffmpeg» позволяет осуществлять тонкую настройку параметров передаваемого видеоизображения.

В качестве сервера ретрансляции может использоваться обычный компьютер с минимальными требованиями, но это накладывает ограничение на количество клиентов, которые могут одновременно просматривать видео на сайте. Рекомендуемые характеристики для сервера ретрансляции при подключении не более 20 пользователей и с видеопотоком 500 кбит/с:

ЦП – 500 МГц; оперативная память – 256 Мбайт.

В качестве операционной системы используется «Linux – CentOS 5» [4], для организации ретрансляции – свободно распространяемая версия программ «Flussonic video streaming server (Flussonic)», которая позволяет организовывать ретрансляцию с минимальными требованиями к аппаратному обеспечению. Для предоставления доступа к ретранслируемому видеопотоку используется веб-страница с включенным кодом плеера (JW Player) [3]. Безопасность доступа к видеопотокам обеспечивается парольной защитой. Алгоритм с системой на практике представлен на рис. 4. На мониторе пользователь видит следующее изображение (рис. 5).

Правовой аспект данного проекта включен в добровольное информированное согласие, подписываемое пациентом или его доверенным лицом перед операцией. Разрешение видеоизображения, которое передается в интернет с камеры общего вида, не позволяет идентифицировать личность пациента, а требуется для того, чтобы руководитель видел расположение операционной бригады. Видеоизображение, транслируемое с камеры микроскопа, также является полностью обезличенным,

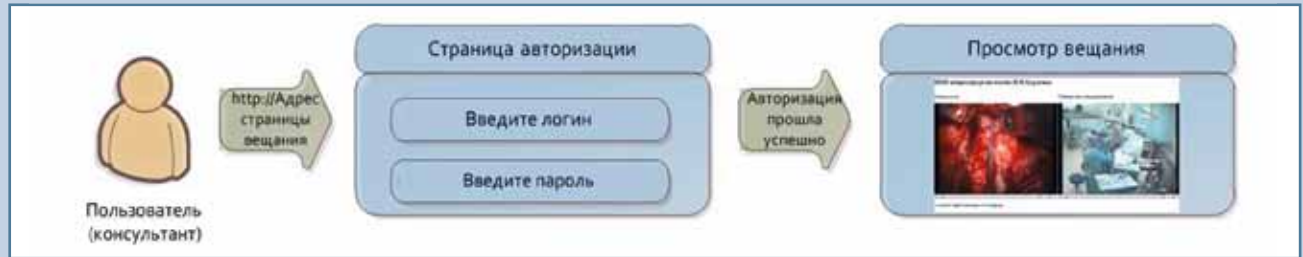


Рис. 4

Алгоритм работы с системой на практике



Рис. 5

Скриншот трансляции на мониторе пользователя

поэтому данная система трансляции не нарушает статьи 13 Федерального закона от 21.11.2011 г. № 323-ФЗ (ред. от 25.06.2012 г.) «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации».

Схема II – трансляция с использованием IP-камер и аппаратных видеосерверов-энкодеров. Трансляция ведется без использования оборудования и сервисов, установленных за пределами медицинской организации. Все решение находится на территории института.

При наличии внутренней телевизионной сети схема трансляции содержит в себе этап модулирования низкочастотного сигнала с операционного микроскопа и камеры общего вида в высокочастотный телевизионный сигнал. Это необходимо для передачи нескольких сигналов из различных операционных по единой коаксиальной кабельной сети на абонентские телевизоры. В схеме I использовался USB ТВ-тюнер для получения цифрового низкочастотного видеобразия из ТВ-сигнала. Тем самым про-

водилось двойное преобразование видеосигнала в ТВ-сигнал и обратно. Это двойное преобразование можно исключить из схемы. На сегодняшний день на рынке доступны видеоэнкодеры (VideoEncoder) – устройства, осуществляющие захват, оцифровку и сжатие низкочастотного видеосигнала. При использовании этих устройств схема трансляции может быть упрощена за счет исключения модулятора и тюнера (рис. 6). Мы использовали видеоэнкодер «TrendNet TV-VS1P», поддер-

живающий стандарты сжатия «H.264», «MPEG4», «MJPEG» [5].

Одним из упомянутых выше недостатков сети телевидения стандартной четкости является ограничение качества видеоизображения. В современном медицинском оборудовании все чаще используется вывод изображения высокой четкости. Кроме того, для трансляции с камеры общего вида в учебных целях желательно использовать изображение с более высоким разрешением. Это позволит наблюдателям увидеть значимые детали и нюансы действий медицинского персонала (например, детали операционного доступа). Для обеспечения

возможности трансляции видеосигнала высокой четкости необходимо использовать источник, выдающий сигнал соответствующего качества. Мы использовали IP-видеокамеру «TrendNet TV-IP672P» с разрешением 1280 × 800 точек (WXGA). Изображение с этой камеры содержит в 2,5 раза больше точек, чем стандартная камера формата PAL.

Важной целью, которую преследовали при построении схемы II, было упрощение решения. Собирали работающий прототип из компонентов, свободно доступных на рынке и не требующих существенных технических компетенций для их уста-

новки. Одним из факторов, упрощающих решение задачи построения сети компьютерной трансляции видеоизображения, является использование PoE (Power over Ethernet) – технологии, позволяющей передавать удаленному устройству вместе с данными электрическое питание через стандартную витую пару в сети «Ethernet». Установка устройств, поддерживающих PoE, позволила избежать работ по прокладке дополнительных линий электропитания к камере и энкодеру. Другим значимым фактором является наличие и в видеокамере, и в видеоэнкодере собственных средств трансляции видеоизображения. Задача просмо-

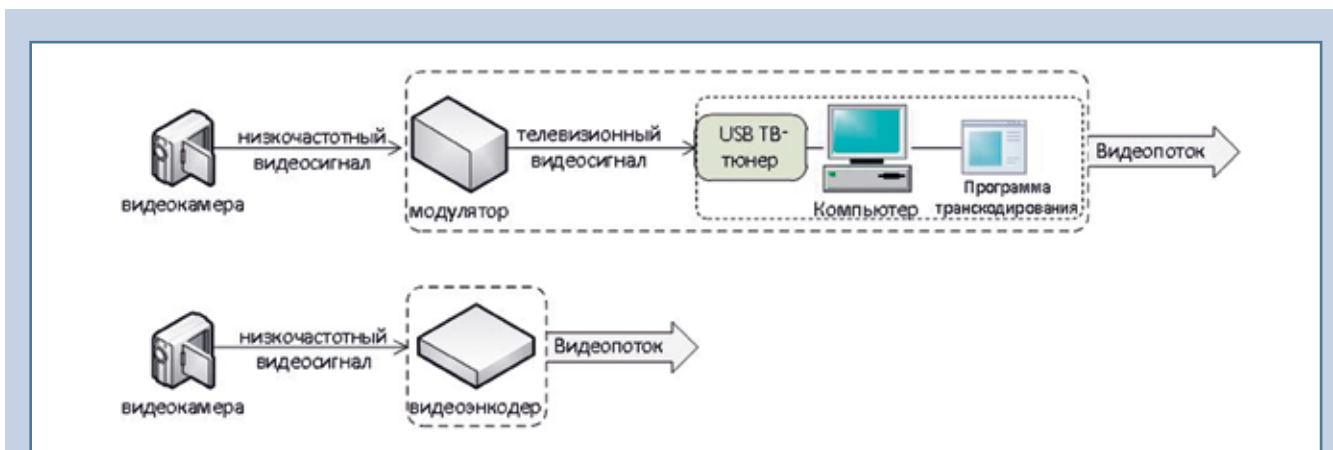


Рис. 6

Верхняя схема – использование ТВ-сигнала, нижняя – применение видеоэнкодера

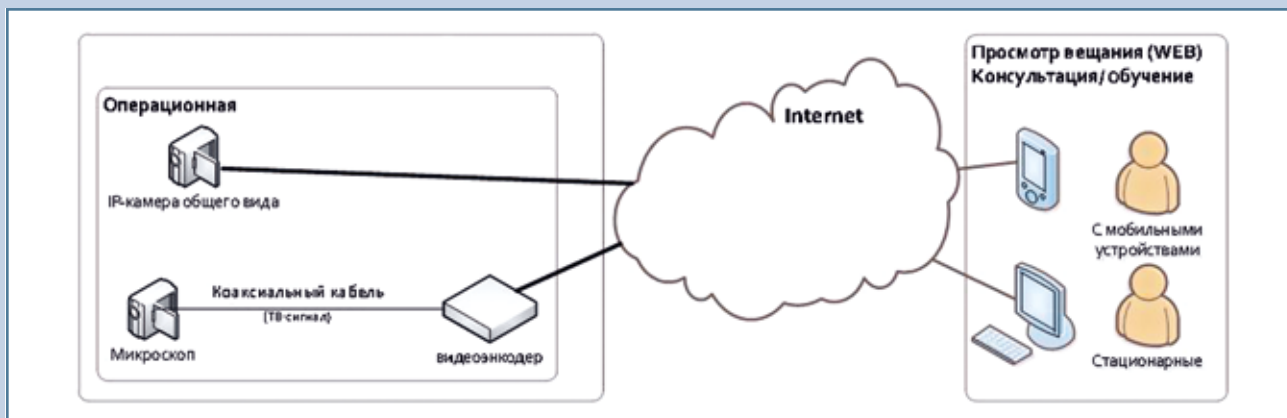


Рис. 7

Схема видеотрансляции без станции кодирования и трансляции

тра видеоизображения на стационарных и мобильных устройствах может быть решена вышеописанным способом, без использования дополнительных станций кодирования, станций трансляции и серверов трансляции (рис. 7). Это существенно упрощает схему и делает ее реализацию более доступной при отсутствии высококомпетентного технического персонала.

Для просмотра изображения на экране компьютера может использоваться веб-браузер с поддержкой Java (рис. 8).

Для просмотра видеоизображения на мобильном устройстве может быть использована любая программа, поддерживающая протокол RTSP. Например, IP Cam Viewer Lite [2]. Такие

программы доступны для мобильных платформ «Android», «iOS», «WP7», «Blackberry» (рис. 9).

Авторизация пользователя осуществляется встроенными средствами камеры и видеокодера.

Результаты и их обсуждение

Обе схемы реализации данного проекта позволяют руководителю наблюдать за ходом операции в любой точке мира с любого устройства, имеющего доступ к интернету.

Сравнивая схемы между собой, стоит выделить основное различие между ними: схема I имеет больший потенциал развития, схема II отличается

простотой и не требует высоких компетенций для реализации.

Плеер, описанный в схеме I, с отображением вещания может быть размещен на любом сайте. Планируется поместить ссылку вещания на сайте вертебрологического регистра (<http://spineregistry.ru>). Это будет сделано для реализации функции дистанционного обучения молодых специалистов.

Для обеспечения максимального качества и минимальной задержки видеоизображения при ретрансляции для связи компонентов системы рекомендуется использовать проводное подключение к интернету, при этом наличия публичного IP-адреса не требуется. Тестовый стенд подключается



Рис. 8

Скриншот трансляции в окне браузера



Рис. 9

Просмотр изображения на мобильном устройстве

к интернету с использованием модема «Megafon 4G» и обеспечивает стабильную работу при вещании со следующими параметрами:

- разрешение 320 × 240 пикселей (камера микроскопа), 320 × 240 пикселей (камера общего вида);
- полоса пропускания 500 кбит/с (камера микроскопа), 250 кбит/с (камера общего вида), суммарно 750 кбит/с (желательно 800–850 кбит/с);
- алгоритм кодирования H.264.

Для просмотра видеотрансляции используется веб-страница со встроенным видеоплеером.

В качестве дальнейшего развития предложенного технического решения можно выделить следующие направления:

- добавление возможности удаленного просмотра информации с других устройств в операционной (например, экран электронно-оптического преобразователя, экран анестезиолога и др.);

- передача аудиосигнала между участниками процесса;
- архивирование видео для фиксации в виртуальном протоколе операции;
- возможность перемотки видеотрансляции;
- комментирование этапов трансляции;
- выделение объектов в кадре для указания точек интереса;
- возможность сохранения стоп-кадра.

Представленные в настоящем исследовании технические решения имеют следующие преимущества:

- используются свободно распространяемые компоненты, не требующие покупки лицензий;
- не требуется изменений в существующей инфраструктуре на территории внедрения;
- возможность ведения трансляции на удаленных участках, не имеющих кабельного подключения;

- возможность для расширения и интеграции за счет использования открытых компонентов;
- возможность передачи видеозображения высокого качества при наличии необходимого канала связи.

Предложенная технология обладает низкой стоимостью внедрения проекта в работу отделения, возможностью настройки параметров системы вещания и дальнейшего совершенствования системы с реализацией новых функций. Технология реализует проект «Руководитель в операционной», позволяющий осуществлять мониторинг действий хирургов в онлайн-режиме. Предложенную технологию можно использовать для дистанционной демонстрации хирургических вмешательств в онлайн-режиме, с реализацией общения между операционной и аудиторией (конгрессы, курсы повышения квалификации и т.д.).

Литература

1. FFmpeg. URL: <http://ffmpeg.org/>
2. IP Cam Viewer Lite. URL: <http://hit-mob.com/>
3. JW Player. URL: <http://www.longtailvideo.com/jw-player/>
4. The Community ENTerprise Operating System. URL: <http://www.centos.org/>
5. TrendNet.ru. URL: <http://trendnet.ru/>

Адрес для переписки:

Асютин Дмитрий Сергеевич
125047, Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская,
16, корп. 5А, каб. 920,
dasyutin@nsi.ru, dasyutin@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24.06.2013

Иван Николаевич Шевелев, д-р мед. наук, проф.; Николай Александрович Коновалов, д-р мед. наук; Михаил Абрамович Шифрин, канд. физ.-мат. наук; Александр Ильевич Ильяшенко, лаборант; Станислав Юрьевич Тимонин, ординатор; Дмитрий Сергеевич Асютин, аспирант; Антон Герасимович Назаренко, д-р мед. наук, НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко, Москва; Андрей Михайлович Черкашов, зам. директора по лечебной работе; Тарас Георгиевич Шарафко, травматолог-ортопед, Медицинский центр Банка России, Москва; Кирилл Владимирович Бушимкин, ст. исследователь, Центр координации международных научных программ, Москва; Алексей Игоревич Молодченков, инженер-исследователь, Институт системного анализа РАН, лаборатория «Интеллектуальные динамические системы», Москва.

Ivan Nikolayevich Shevelev, MD, DMSc, Prof.; Nikolay Aleksandrovich Kononov, MD, DMSc; Mikbail Abramovich Shifrin, PhD in Physics/Mathematics; Aleksandr Iljevich Ilyashenko, laboratory technician; Stanislav Yuryevich Timonin, resident; Dmitry Sergeyeovich Asyutin, fellow; Anton Gerasimovich Nazarenko, MD, DMSc, N.N. Burdenko Neurosurgical Institute, Moscow; Andrey Mikbailovich Cherkasov, MD, deputy director; Taras Georgyevich Sharamko, MD, Medical Centre of the Bank of Russia, Moscow; Kirill Vladimirovich Busbminkin, senior researcher, Center for of Coordination of International Scientific Programs; Aleksey Igorevich Molodchenkov, engineer-researcher, Laboratory of Intelligent Dynamic Systems, Institute of System Analysis of RAS, Moscow.