

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD100779>

Стриминговые технологии: из игровой индустрии в телеультразвуковые исследования

К.М. Арзамасов¹, Т.М. Бобровская¹, В.А. Дроговоз²¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация² Научно-производственное объединение «РусБИТех», Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Стремительное развитие игровой индустрии привело к появлению многих технических средств и технологий с уникальными характеристиками. Одной из таких технологий, имеющих высокий потенциал к применению в медицинской диагностике, является стриминг (потокковое онлайн-вещание). Подключив ультразвуковой сканер к системе видеозахвата, возможно существенно расширить функционал диагностического устройства.

Цель — изучить возможность применения достижений информационных технологий игровой индустрии в телемедицине на примере телеультразвуковых исследований.

Материалы и методы. В данном исследовании проводили запись ультразвукового видеоизображения при помощи системы видеозахвата, разработанной для геймеров. Видеоизображение получалось в ходе телеультразвукового исследования брахицефальных артерий в следующих режимах: серошкальный В-режим, цветное дуплексное картирование и импульсно-доплеровский режим. В режиме реального времени проводили трансляцию исследования на видеостриминговый сервис.

Результаты. Получены оптимальные показатели видеоизображения, а также определены минимально допустимые настройки видеостриминга для адекватной дистанционной оценки врачом-экспертом по ультразвуковому исследованию. Рекомендуется использовать на автоматизированном рабочем месте видеозахвата следующие настройки: видео 1280×720, 24 кадра в секунду, кодировщик H.264, битрейт не менее 350 Кбит/с.

Заключение. Использование технических и программных средств, разработанных для стриминга видеоигр, возможно для обеспечения телеультразвуковых исследований.

Ключевые слова: телемедицина; телеУЗИ; УЗИ; видеозахват; стриминг.

Как цитировать

Арзамасов К.М., Бобровская Т.М., Дроговоз В.А. Стриминговые технологии: из игровой индустрии в телеультразвуковые исследования // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 2. С. 131–140. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD100779>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD100779>

Streaming technology: from games to tele-ultrasound

Kirill M. Arzamasov¹, Tatiana M. Bobrovskaya¹, Viktor A. Drogovoz²

¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

² Scientific and Production Association "RusBITech", Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Due to the gaming industry's rapid development, a large number of technical tools and technologies with unique characteristics have emerged. One of these technologies, which can be potentially used in medical diagnostics, is streaming (online streaming). By connecting an ultrasound scanner to a video capture system, it is possible to significantly expand the diagnostic device's functionality.

AIM: To investigate the possibility of applying the gaming industry's information technology in telemedicine, like tele-ultrasound.

MATERIALS AND METHODS: In this study, an ultrasound video image was captured using a video capture system developed for gamers. The video was obtained during brachycephalic arteries ultrasound in the following modes: greyscale B-mode, color duplex, and pulse Doppler mode. The examination was broadcast to a video streaming service in real time.

RESULTS: An expert sonologist obtained optimal video image parameters and determined the minimum required video streaming settings for an adequate remote evaluation. The following video capture workstation settings are recommended: video, 1280×720; 24 fps; H.264 encoder; bitrate, at least 350 Kbps.

CONCLUSIONS: Using technical and software tools developed for video game streaming to provide tele-ultrasound is possible.

Keywords: telemedicine; tele-ultrasound; ultrasound; video capture; streaming.

To cite this article

Arzamasov KM, Bobrovskaya TM, Drogovoz VA. Streaming technology: from games to tele-ultrasound. *Digital Diagnostics*. 2022;3(2):131–140.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD100779>

Received: 15.02.2022

Accepted: 06.04.2022

Published: 05.06.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD100779>

直播技术：从游戏行业到远程超声检查

Kirill M. Arzamasov¹, Tatiana M. Bobrovskaya¹, Viktor A. Drogovoz²

¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

² Scientific and Production Association "RusBITech", Moscow, Russian Federation

简评

论证。游戏产业的快速发展导致了许多具有独特特点的技术和技术工具的出现。其中一项在医学诊断中具有很大应用潜力的技术是流式传输（网络直播）。通过将超声波扫描仪连接到视频捕获系统，可以显著扩展诊断设备的功能。

目的是以远程超声检查为例，研究将游戏产业信息技术成果应用于远程医疗的可能性。

材料与方法。在这项研究中，使用专为游戏玩家设计的视频捕获系统记录了超声视频图像。视频图像是在对头臂动脉进行远程超声检查期间以下列模式获得的：灰度B型超声、彩超和脉冲多普勒模式。这项研究在一个视频流服务中实时播放。

结果。获得了视频图像的最佳指标，并确定了最小容许视频流设置，以便由超声专家进行充分的远程评估。建议在视频捕获自动化工位上使用以下设置：视频1280×720，每秒24帧，H. 264编码器，码率不低于 350Kbps。

结论。为游戏流传输开发的硬件和软件可以用于远程超声检查。

关键词：远程医疗；远程超声检查；超声检查；视频捕获；流式传输。

To cite this article

Arzamasov KM, Bobrovskaya TM, Drogovoz VA. 直播技术：从游戏行业到远程超声检查. *Digital Diagnostics*. 2022;3(2):131–140.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD100779>

收到: 15.02.2022

接受: 06.04.2022

发布日期: 05.06.2022

ОБОСНОВАНИЕ

В настоящее время существует отдельное направление — телеультразвуковые исследования (телеУЗИ) — метод проведения ультразвукового исследования (УЗИ) с применением телемедицинских технологий. В ходе данного исследования УЗ-изображение в цифровом виде передаётся удалённо расположенному эксперту для консультирования. В настоящее время широкое развитие получили УЗ-системы со встроенным функционалом для осуществления дистанционного консультирования, однако проблема обновления парка ультразвуковой диагностической аппаратуры остаётся актуальной и по сей день [1, 2].

Для получения телемедицинской консультации по результатам УЗИ можно воспользоваться обычным смартфоном, переслав изображение или киноленту, записанную на встроенную камеру [3–5]. Однако этот способ не всегда удобен и сопряжён с большим риском, так как такое сообщение будет содержать персональные данные.

Большая часть УЗ-сканеров 10–20-летней давности имеют видеовыход для подключения внешнего монитора и/или видеопринтера. Используя разработки для игровой индустрии (специальные устройства для захвата аудио и видео во время игры [6]), а также программное обеспечение, позволяющее вести трансляции игрового процесса в режиме реального времени, можно расширить функционал устаревшего диагностического оборудования.

Цель исследования — изучить возможность применения достижений информационных технологий игровой индустрии в медицине на примере телеУЗИ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования был один из авторов, которому проводили УЗИ сосудов шеи в 2019 г. В ходе исследования использовались следующие режимы сканирования: В-режим, режим цветового доплеровского картирования кровотока (ЦДК), режим импульсно-волнового доплера, а также их сочетание (В-режим + ЦДК; В-режим + импульсный доплер). В исследовании использовали УЗ-сканер Sequoia 512 Acuson. Регистрация изображения с УЗ-сканера производилась при помощи системы видеозахвата Ezcap 295 HD (<http://www.ezcap.com>).

Для дистанционной передачи исследования использовалось программное обеспечение фирмы Open Broadcaster Software (<http://www.obsproject.com>) — OBS Studio (версия 24.0.3) — бесплатная программа с открытым исходным кодом для записи видео и потокового вещания. В качестве видеостримингового сервиса был выбран Twitch (<http://twitch.tv>). В качестве автоматизированного рабочего места (АРМ) видеозахвата использовались компьютер на базе процессора AMD Ryzen 5 3400G, 16 Гб оперативной памяти (оперативное запоминающее устройство, ОЗУ), графическая карта NVIDIA GeForce RTX 2070, 64 bit

OS Windows 10 Pro, LAN 100 Mbs, монитор BenQ: IPS 21.5" 1920×1080. Техническим решением для удалённого врача-эксперта был ноутбук на базе AMD E-450 APU, 8 Гб ОЗУ, графическая карта Radeon HD7470 Graphics, 64 bit OS Windows 7, WiFi 72 Mbs, экран 15.6" 1366×768. В качестве мобильного технического решения применялся смартфон Redmi Note4, 3 Гб ОЗУ, экран: IPS 5.5", 1920×1080, 401 ppi, подключение к интернету по 4G. Для отслеживания УЗ-исследования использовался видеорегистратор Prestige 338, 1920×1080 точек, 25 к/с в режиме веб-камеры.

Оценка качества изображения была проведена тремя экспертами — врачами функциональной (ультразвуковой) диагностики с опытом работы более 10 лет. Качество исследования считалось достаточным при возможности эксперта корректно оценить дифференцировку комплекса интима-медиа на слои.

Для статистической обработки результатов использовался программный продукт Microsoft Excel. Измеряемые параметры указывали в виде среднего \pm SD. Корреляцию показателей оценивали по величине коэффициента корреляции Спирмена, так как данные были распределены непараметрически.

Структурная схема телеУЗИ с использованием стриминговых технологий представлена на рисунке.

Оценка экспертами проводилась по бинарной шкале: положительная оценка выставлялась при условии высказывания всеми тремя экспертами положительного мнения о субъективном соответствии качества видео на сервере и на экране клиента. Отрицательная оценка выставлялась, если хотя бы один эксперт высказывал мнение о несоответствии качества видеоизображения оригиналу. Для оценки качества каждому эксперту на экран сервера выводилось изображение с одновременной его трансляцией на экран клиента. Оценка качества изображения проводилась экспертами независимо друг от друга.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Подключение осуществлялось по следующей схеме: видеовыход с УЗ-сканера поступал на вход платы видеозахвата Ezcap 295 HD, которая по USB была подключена к АРМ видеозахвата с установленным OBS Studio. В качестве видеовыхода УЗ-сканера использовался видеовыход S-Video, предназначенный для подключения видеоманитофона. На устройстве видеозахвата использовался соответствующий видеовыход. Аппаратным способом были выставлены максимальные настройки: разрешение FULL-HD (1920×1080), частота кадров не могла быть изменена и соответствовала заводским установкам — 30 к/с. На АРМ видеозахвата после установки драйвера устройства видеозахвата Ezcap 295 HD автоматически определился и добавился в качестве источника видеосигнала в OBS Studio. Было протестировано качество картинки на АРМ видеозахвата в сравнении

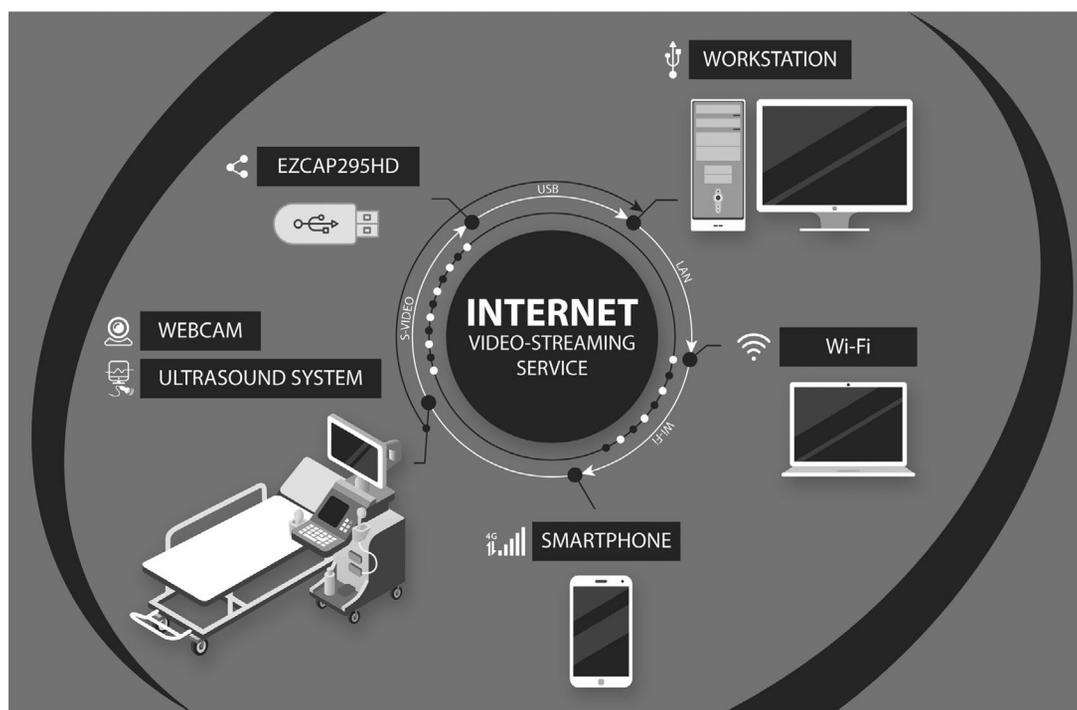


Рис. Структурная схема телеУЗИ.

Примечание. Ultrasound System (ультразвуковая система), к которой посредством S-Video (стандарт вывода видеоизображения) подключается Ezcap 295 HD (устройство видеозахвата), который в свою очередь подключён через USB к Workstation (рабочей станции). WEBCAM — веб-камера также через USB подключена к Workstation (рабочей станции). Трансляция видео/аудио осуществляется посредством Video-Streaming Service (видеостримингового сервиса). В качестве клиентов выступают ноутбук, подключённый к сети Internet посредством Wi-Fi, и 4G-смартфон.

с оригинальным на мониторе УЗ-сканера. Изображение было оценено тремя экспертами, которые единогласно сошлись во мнении, что качество изображения на экране АРМ видеозахвата соответствует оригиналу на экране монитора УЗ-сканера.

Для полноценной работы технологии телеУЗИ требуется два видеопотока (от УЗ-аппарата и от веб-камеры, направленной на исследуемую анатомическую зону пациента), которые объединяются на АРМ видеозахвата и передаются на удалённый сервер. Для тестирования этой возможности была подключена веб-камера с исходным размером изображения 1920×1080. Изображение с веб-камеры было уменьшено методом бикубической интерполяции до 640×360 и накладывалось поверх изображения с УЗ-сканера в углу, вне рабочего поля, чтобы избежать помех.

Устройство видеозахвата имело фиксированное разрешение, в котором происходила оцифровка аналогового сигнала. Разрешение 1080p является избыточным для видеовыхода, применяемого УЗ-сканером, поэтому с целью экономии трафика при трансляции видео размер изображения был уменьшен до 1280×720 методом бикубической интерполяции. Визуально УЗ-изображения до и после интерполяции на мониторе АРМ видеозахвата, по мнению экспертов, не отличались.

На следующем этапе были произведены настройка OBS Studio для трансляции видеопотока на видеостриминговый

сервис Twitch и собственно трансляция. Качество изображения оценивали на подключённых к видеостриминговому веб-сервису удалённых устройствах — ноутбуке и смартфоне. Для кодировки видео на АРМ видеозахвата использовался аппаратный многопоточный кодировщик Nvidia NVENC; качество видео выставлено на максимальное. При таких настройках загрузка CPU (central processing unit — *центральный блок обработки*) не превышала 15%, на GPU (graphics processing unit — *графический процессор*) — 30%. Единственный параметр, который подбирался, это битрейт (англ. bitrate — *количество бит, используемых для передачи/обработки данных в единицу времени*) видео. Для стабильности качества видео был выбран постоянный битрейт.

В настоящем исследовании мы поставили задачу поиска минимального значения битрейта видео для достоверной оценки изображения удалённо расположенным экспертом. Было принято решение начать тестирование передачи видео с битрейта 3000 Кбит/с с последующим снижением до минимального уровня, на котором качество УЗ-изображения, по мнению врача-эксперта, будет субъективно значительно отличаться от оригинального изображения. Для каждой величины битрейта проводили по три измерения с обязательной остановкой и повторным запуском вещания между ними. Транслируемая запись содержала кинопетли в серошкальном 2D-режиме (В-режиме), кинопетли в дуплексном

режиме (В-режим + ЦДК или В-режим + импульсный доплеровский режим), стоп-кадры, в том числе с проводимыми измерениями.

Оценка экспертами проводилась по бинарной шкале: положительная оценка выставлялась при условии высказывания всеми тремя экспертами положительного мнения о субъективном соответствии качества видео на сервере и на экране клиента. Отрицательная оценка выставлялась, если хотя бы один эксперт высказывал мнение о несоответствии качества видеоизображения оригиналу. При проведении оценки качества каждому эксперту показывалось изображение на экране сервера с одновременной трансляцией на экран клиента. Оценка качества изображения проводилась экспертами независимо друг от друга. Результаты тестирования системы телеУЗИ с различными настройками битрейта приведены в таблице.

С минимальным битрейтом 200 Кбит/с изображение получилось слишком размазанное, что, по единогласному мнению всех экспертов, не позволяло адекватно оценивать УЗ-структуры. Для битрейта 300 Кбит/с оптимальное качество изображения получалось только на стоп-кадре, во время самого исследования мнения экспертов разделились: на экране ноутбука УЗ-изображение выглядело размазанным, на экране смартфона — более чётким. При битрейте 350 Кбит/с и более качество УЗ-изображения было удовлетворительным на всех платформах и во всех режимах.

Оценивали также временную задержку между видео на экране сервера и на экране клиента. В зависимости от битрейта временная задержка находилась в пределах 3,94–4,92 с и сокращалась с уменьшением битрейта (коэффициент корреляции 0,82).

ОБСУЖДЕНИЕ

На сегодняшний день телемедицинские исследования и консультации могут использоваться в регионах, где имеется большой дефицит медицинских кадров, особенно узких специалистов, а также в учреждениях, где оборудование представлено несовременными моделями, как, например, в настоящем исследовании. Стоит также отметить доступность мобильной связи в нашей стране, поэтому использование смартфона актуально и позволяет осуществлять оперативное подключение к телеконференции, в том числе может применяться в экстренных случаях для дистанционного консультирования.

Нам удалось провести УЗИ с дистанционным анализом врачами-экспертами, используя Ezcar 295 HD, позиционируемое производителем как устройство видеозахвата для видеоигр. Данное устройство продемонстрировало высокое качество видеоизображения, необходимое для качественной работы эксперта по УЗ-диагностике.

OBS Studio от Open Broadcaster Software был выбран нами как один из популярных стриминговых программных продуктов для геймеров, свободно распространяемый и с открытым исходным кодом. Данный программный продукт без труда обнаружил и подключил Ezcar 295 HD. Для проверки стриминга был выбран сервис Twitch, который позиционируется как сервис для стриминга видеоигр. В настоящем исследовании он использовался только для тестирования возможности работы предложенной системы. Результаты такого исследования указывают лишь на возможность использования ПО OBS Studio для описанных выше задач. OBS Studio позволяет проводить стриминг видео на любую платформу потокового видео (согласно информации на сайте).

Таблица. Результаты тестирования системы изображений по технологии телеУЗИ дистанционными врачами-экспертами

| АРМ видеозахвата | Дистанционная оценка ультразвукового изображения врачом-экспертом | | | | |
|------------------|---|-------------|--------------------|---|----------------------|
| | Битрейт видео, Кбит/с | Тип клиента | Тип подключения | Скорость входящего потока \pm SD, Кбайт/с | Задержка \pm SD, с |
| 3000 | Ноутбук | WiFi | 456,80 \pm 76,28 | 4,92 \pm 0,24 | + |
| | Смартфон | 4G | | | |
| 2000 | Ноутбук | WiFi | 311,75 \pm 9,14 | 4,45 \pm 0,28 | + |
| | Смартфон | 4G | | | |
| 1000 | Ноутбук | WiFi | 153,92 \pm 19,56 | 4,64 \pm 0,49 | + |
| | Смартфон | 4G | | | |
| 500 | Ноутбук | WiFi | 110,00 \pm 2,24 | 4,24 \pm 0,54 | + |
| | Смартфон | 4G | | | |
| 350 | Ноутбук | WiFi | 89,00 \pm 4,85 | 3,94 \pm 0,36 | + |
| | Смартфон | 4G | | | |
| 300 | Ноутбук | WiFi | 83,67 \pm 1,15 | 4,03 \pm 0,31 | - |
| | Смартфон | 4G | | | |
| 200 | Ноутбук | WiFi | 70,00 \pm 0,9 | 4,11 \pm 0,38 | - |
| | Смартфон | 4G | | | |

В дальнейшем для реализации телеУЗИ мы рекомендуем делать выбор в пользу платформ потокового видео, поддерживающих закрытые, защищённые от подключения и просмотра посторонних трансляции материалов. Выбор таких платформ не был задачей данного исследования. Тем не менее вопрос информационной безопасности очень важен при проведении дистанционных исследований в целом и телеУЗИ в частности. При реализации технологии телеУЗИ передаются два вида конфиденциальной информации — медицинская и персональные данные, безопасность которых должна быть обеспечена в соответствии с действующими нормами и требованиями законодательства РФ. Медицинская информация, передаваемая между клиентом и сервером, составляет врачебную тайну и не может быть доступна в каком бы то ни было виде третьим лицам. Мы предполагаем, что передачу обезличенной медицинской информации (изображения с УЗ-сканера) и сопроводительной медицинской документации (включая персональные данные) необходимо разделить на два потока, используя разные алгоритмы защиты и шифрования, что повысит безопасность проводимых исследований. В дальнейшем можно рассмотреть передачу деперсонализированных кадров УЗИ с присвоенным идентификатором пользователя (user identifier, UID), а состыковку UID с ФИО и другими персональными данными осуществлять в базе МИС (медицинская информационная система), а также при помощи программно-аппаратных шлюзов безопасности (например, Vipnet Coordinator).

В настоящем исследовании мы исходили из информации о том, что для передачи видео в формате H.264 при разрешении 1280×720 оптимально использовать битрейт 3000 Кбит/с [7]. Тем не менее результаты тестирования показали, что при снижении битрейта вплоть до 350 Кбит/с субъективно качество изображения существенно не менялось. Данный факт объясняется тем, что большая часть транслируемого с УЗ-сканера изображения является статическим. При детальном анализе изображения с УЗ-сканера было выявлено, что зона интереса на оригинальном изображении не превышает 880×822, после применения бикубической интерполяции зона интереса не превышает 586×548, что требует уже в 3 раза меньший битрейт. Обращаем также внимание, что УЗ-изображение не цветное, что требует меньшего количества бит для кодирования. Режим ЦДК при использовании имеет ограниченную область окрашивания, а также ограниченную цветовую карту, что также позволяет эффективно работать на низком битрейте.

В ходе исследования выбраны оптимальные, на наш взгляд, параметры настройки видеостриминга: входное изображение с УЗ-сканера 1920×1080 и 30 к/с, с веб-камеры — 1920×1080 и 24 к/с; выходные данные видео 1280×720, 24 к/с, кодировщик H.264 (Nvidia NVENC), минимальный битрейт 350 Кбит/с.

Обобщая всё вышеизложенное, можно утверждать, что при рекомендуемых настройках возможна устойчивая

передача качественного видеоизображения с УЗ-сканера на любое клиентское устройство, в том числе смартфон, с подключением к сети Интернет посредством сотовой связи. Это позволяет использовать рассматриваемую технологию для передачи результатов УЗИ с использованием технологий космической связи VSAT. Задержка в видеотрансляции менее 5 с не может негативно сказаться на качестве телеУЗИ.

В литературе встречаются работы, посвящённые применению таких массовых коммуникативных платформ, как Voip, демонстрирующих высокую эффективность при использовании в телеУЗИ [8]. Так, в исследовании A.S. Liteplo и соавт. [3] сравнивали Skype и iChat — самые популярные платформы Voip. В том исследовании выбор был сделан в пользу iChat. Позднее была показана возможность эффективного применения Skype [4, 9]. Была показана также эффективность применения для телеУЗИ технологии FaceTime, разработанной компанией Apple [10].

Использование описанных выше технологий требует установки специального программного обеспечения и существенно усложняет подключение клиентов, если число их более одного. В нашем исследовании показана возможность применения технологии стриминга видеоУЗИ с возможностью просмотра на любом устройстве с выходом в интернет без установки специализированного программного обеспечения на стороне клиента. Предлагаемая технология позволяет просматривать транслируемое исследование неограниченному количеству пользователей, что может быть актуально для дистанционного обучения медицинского персонала, а также проведения консультаций и консилиумов с участием специалистов и экспертов для различных медицинских организаций, в том числе из отдалённых регионов. Мы также можем предположить, что увеличение качества изображения на УЗ-сканере приведёт к улучшению качества изображения, получаемого на экране ноутбука или смартфона. По этой причине осуществлялся видеозахват с максимально возможным для устройства видеозахвата разрешением 1080p. Технически применение УЗ-аппарата с цифровым видеоинтерфейсом (HDMI, DVI-D, DP) и высоким разрешением (Full HD и выше) возможно в связке с рассматриваемым устройством видеозахвата.

Кроме того, настоящее исследование отличается от аналогичных тем, что в нём использовались программные и технические решения, разработанные для игровой индустрии, и по этой причине выпадающие из поля зрения других исследователей. Тем не менее нам удалось показать возможность успешного применения этих решений для медицинских задач.

Современные УЗ-сканеры поддерживают функцию передачи исследования в цифровом формате, а отдельные модели позволяют проводить телеУЗИ без применения дополнительных устройств, тем не менее остаётся большое количество устройств, лишённых этих возможностей,

а также отличающихся более низким качеством УЗ-изображения. Применение описанной нами методики может быть актуально для медицинских организаций, использующих бюджетное или устаревшее оборудование. Рекомендуемое AAPM (American Association of Physicists in Medicine — *Американская ассоциация физиков в медицине*) и SIIM (Society for Imaging Informatics in Medicine — *Общество информатики изображений в медицине*) разрешение мониторов для отображения УЗИ составляет 3 Мр (2048×1536) [11]. При использовании устройств видеозахвата, поддерживающих такое разрешение, возможно применение описанной методики с УЗ-сканерами более высокого класса.

Ограничения исследования

В настоящем исследовании проводилось тестирование только на одном УЗ-сканере, тем не менее мы можем сделать предположение, что данное техническое решение подойдёт и для других УЗ-сканеров, имеющих аналогичный или иной поддерживаемый устройством видеозахвата выход.

Проверена работа только одного устройства видеозахвата. Мы предполагаем, что при использовании устройства видеозахвата с техническими характеристиками не хуже Ezsar 295 HD возможно получение аналогичного результата.

Оценка качества УЗ-изображений в настоящем исследовании проводилась только по субъективным критериям. Данное ограничение нами было принято с учётом того, что все УЗИ априори являются субъективными, так как на всех этапах, начиная от выведения УЗ-изображения и заканчивая оценкой УЗ-картины, присутствует человеческий фактор.

Наконец, в данном исследовании не проведено тестирование иных платформ потокового видео.

На сегодняшний день разработано большое количество разнообразных кодеков (устройство или программа для преобразования данных/сигнала), но в данной работе мы использовали H.264. Шумоподавление, которое характерно для кодеков H.264+, H.265, H.265+, может негативно сказаться на качестве УЗ-изображения, поэтому требует дополнительного изучения с целью оценки вносимых изменений в качество передаваемого УЗ-сигнала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологии, используемые для стриминга видеоигр, могут быть использованы в телемедицине, например, при реализации телеУЗИ в полевых условиях или в мобильных госпиталях при наличии переносного УЗ-аппарата с видеовыходом. Положительной стороной применения данных технологий является их доступность и высокое качество транслируемого видеоизображения при минимальной пропускной способности каналов связи. Данная УЗ-технология также может быть использована

в процессе дистанционного обучения или с целью проведения дистанционной консультации.

С учётом того, что предполагается передача медицинских данных для полноценной работы в клинической практике, необходимо также решить вопрос с защищённостью каналов связи от несанкционированного доступа к передаваемой медицинской информации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: К.М. Арзамасов — разработка дизайна исследования, доброволец при проведении исследования; К.М. Арзамасов, Т.М. Бобровская — анализ данных; К.М. Арзамасов, Т.М. Бобровская, В.А. Дроговоз — интерпретация данных; К.М. Арзамасов, В.А. Дроговоз — написание рукописи.

Благодарности. Авторы выражают признательность заведующему отделением функциональной диагностики НКЦ ОАО «РЖД» С.В. Иванову за оказанную помощь в организации и проведении исследования на базе НКЦ ОАО «РЖД», а также врачу отделения функциональной диагностики НКЦ ОАО «РЖД» Е.В. Андреевой за помощь в проведении исследования. Авторы выражают благодарность графическому дизайнеру Т.А. Савосиной за создание иллюстрации к статье, а также М.В. Власовой за перевод.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. К.М. Арзамасов — research design development, volunteer during research; К.М. Арзамасов, Т.М. Bobrovskaya — data analysis; К.М. Арзамасов, Т.М. Bobrovskaya, V.A. Drogozov — data interpretation; К.М. Арзамасов, V.A. Drogozov — writing a manuscript.

Acknowledgments. The authors express their gratitude Head of the Department of Functional Diagnostics of the SCC of JSC "Russian Railways" to S.V. Ivanov for his assistance in organizing and conducting the study on the basis of the SCC of JSC "Russian Railways", and also to the doctor of the Department of functional diagnostics of the SCC of JSC "Russian Railways" E.V. Andreeva for assistance in conducting the study. The authors express their gratitude to graphic designer T.A. Savosina for creating an illustration for the article, as well as M.V. Vlasova for the translation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щепин В.О. Оснащенность и деятельность подразделений ультразвуковой диагностики медицинских организаций Российской Федерации // Бюллетень Национального научно-исследовательского института общественного здоровья имени Н.А. Семашко. 2014. № 5. С. 20–26.
2. Стерликов С.А., Леонов С.А., Сон И.М., и др. Обеспеченность диагностическим оборудованием медицинских организаций, оказывающих помощь в амбулаторных условиях // Менеджер здравоохранения. 2016. № 3. С. 44–55.
3. Liteplo A.S., Noble V.E., Attwood B.H. Real-time video streaming of sonographic clips using domestic internet networks and free videoconferencing software // *J Ultrasound Med.* 2011. Vol. 30, N 11. P. 1459–1466. doi: 10.7863/jum.2011.30.11.1459
4. Jensen S.H., Duvald I., Aagaard R., et al. Remote real-time ultrasound supervision via commercially available and low-cost tele-ultrasound: a mixed methods study of the practical feasibility and users' acceptability in an emergency department // *J Digit Imaging.* 2019. Vol. 32, N 5. P. 841–848. doi: 10.1007/s10278-018-0157-9
5. Kim C., Cha H., Kang B.S., et al. A feasibility study of smartphone-based teleultrasonography for evaluating cardiac dynamic function and diagnosing acute appendicitis with control of the image quality of the transmitted videos // *J Digit Imaging.* 2016. Vol. 29, N 3. P. 347–356. doi: 10.1007/s10278-015-9849-6
6. Lomb B., Güneysu T. Decrypting HDCP-protected video streams using reconfigurable hardware // *Proc 2011 Int Conf Reconfigurable Comput FPGAs. ReConFig.* 2011. P. 249–254. doi: 10.1109/RECONFIG.2011.24
7. Aaron A., Li Z., Manohara M., et al. Per-title encode optimization. The Netflix Techblog, 2015. Режим доступа: <https://netflix-techblog.com/per-title-encode-optimization-7e99442b62a2>. Дата обращения: 15.02.2022.
8. Carbone M., Ferrari V., Marconi M., et al. A tele-ultrasonographic platform to collect specialist second opinion in less specialized hospitals // *Updates Surg.* 2018. Vol. 70, N 3. P. 407–413. doi: 10.1007/s13304-018-0582-9
9. McBeth P., Crawford I., Tiruta C., et al. Help is in your pocket: the potential accuracy of smartphone- and laptop-based remotely guided resuscitative teleultrasonography // *Telemed e-Health.* 2013. Vol. 19, N 12. P. 924–930. doi: 10.1089/tmj.2013.0034
10. Miyashita T., Iketani Y., Nagamine Y., Goto T. FaceTime for teaching ultrasound-guided anesthetic procedures in remote place // *J Clin Monit Comput.* 2014. Vol. 28, N 2. P. 211–215. doi: 10.1007/s10877-013-9514-x
11. College of radiology, American. ACR-AAPM-SIIM technical standard for electronic practice of medical IMAGING. 2017. Режим доступа: <https://cdn.ymaws.com/siim.org/resource/resmgr/guidelines/elec-practice-medimag-2017.pdf>. Дата обращения: 15.02.2022.

REFERENCES

1. Shchepin V.O. Equipment and activity of ultrasound diagnostics units of medical organizations of the Russian Federation. *Bulletin of the N.A. Semashko National Research Institute Public Health.* 2014;(5):20–26. (In Russ).
2. Sterlikov SA, Leonov SA, Son IM, et al. Provision of diagnostic equipment for medical organizations providing outpatient care. *Health Care Manager.* 2016;(3):44–55. (In Russ).
3. Liteplo AS, Noble VE, Attwood BH. Real-time video streaming of sonographic clips using domestic internet networks and free videoconferencing software. *J Ultrasound Med.* 2011;30(11):1459–1466. doi: 10.7863/jum.2011.30.11.1459
4. Jensen SH, Duvald I, Aagaard R, et al. Remote real-time ultrasound supervision via commercially available and low-cost tele-ultrasound: a mixed methods study of the practical feasibility and users' acceptability in an emergency department. *J Digit Imaging.* 2019;32(5):841–848. doi: 10.1007/s10278-018-0157-9
5. Kim C, Cha H, Kang BS, et al. A feasibility study of smartphone-based teleultrasonography for evaluating cardiac dynamic function and diagnosing acute appendicitis with control of the image quality of the transmitted videos. *J Digit Imaging.* 2016;29(3):347–356. doi: 10.1007/s10278-015-9849-6
6. Lomb B, Güneysu T. Decrypting HDCP-protected video streams using reconfigurable hardware. *Proc 2011 Int Conf Reconfigurable Comput FPGAs. ReConFig.* 2011. P. 249–254. doi: 10.1109/RECONFIG.2011.24
7. Aaron A, Li Z, Manohara M, et al. Per-title encode optimization. The Netflix Techblog, 2015. Available from: <https://netflixtechblog.com/per-title-encode-optimization-7e99442b62a2>. Accessed: 15.02.2022.
8. Carbone M, Ferrari V, Marconi M, et al. A tele-ultrasonographic platform to collect specialist second opinion in less specialized hospitals. *Updates Surg.* 2018;70(3):407–413. doi: 10.1007/s13304-018-0582-9
9. McBeth P, Crawford I, Tiruta C, et al. Help is in your pocket: the potential accuracy of smartphone- and laptop-based remotely guided resuscitative teleultrasonography. *Telemed e-Health.* 2013;19(12):924–930. doi: 10.1089/tmj.2013.0034
10. Miyashita T, Iketani Y, Nagamine Y, Goto T. FaceTime for teaching ultrasound-guided anesthetic procedures in remote place. *J Clin Monit Comput.* 2014;28(2):211–215. doi: 10.1007/s10877-013-9514-x
11. College of radiology, American. ACR-AAPM-SIIM technical standard for electronic practice of medical IMAGING. 2017. Available from: <https://cdn.ymaws.com/siim.org/resource/resmgr/guidelines/elec-practice-medimag-2017.pdf>. Accessed: 15.02.2022.

ОБ АВТОРАХ

* **Арзамасов Кирилл Михайлович**, к.м.н.;
адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24 стр. 1;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7786-0349>;
eLibrary SPIN: 3160-8062; e-mail: k.arzamasov@npcmr.ru

Бобровская Татьяна Михайловна;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2746-7554>;
eLibrary SPIN: 3400-8575; e-mail: t.bobrovskaya@npcmr.ru

Дрогвоз Виктор Анатольевич, к.т.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9582-7147>;
eLibrary SPIN: 1804-2636; e-mail: Vdrog@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Kirill M. Arzamasov**, MD, Cand. Sci. (Med.);
address: Petrovka st. 24 bld, 1, Moscow, 127051, Russia;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7786-0349>;
eLibrary SPIN: 3160-8062; e-mail: k.arzamasov@npcmr.ru

Tatiana M. Bobrovskaya;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2746-7554>;
eLibrary SPIN: 3400-8575; e-mail: t.bobrovskaya@npcmr.ru

Viktor A. Drogovoz, Cand. Sci. (Technical);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9582-7147>;
eLibrary SPIN: 1804-2636; e-mail: Vdrog@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author