

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD111816>

Телеультразвуковые исследования с использованием смартфонов и одноплатных компьютеров

К.М. Арзамасов¹, В.А. Дроговоз², Т.М. Бобровская¹, А.В. Владзимирский^{1, 3}¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация² Научно-производственное объединение «Русские базовые информационные технологии», Москва, Российская Федерация³ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Рост доступности и вычислительной мощности мобильных устройств приводит к расширению их области применения. Медицина не стала исключением: одноплатные компьютеры и смартфоны активно применяются в телемедицине.

Цель — изучить техническую возможность реализации телеультразвуковых исследований при помощи одноплатных компьютеров и смартфонов.

Материалы и методы. В данном исследовании проводили захват ультразвукового видеоизображения при помощи внешних USB-устройств видеозахвата. В качестве платформы для сервера телеультразвуковых исследований использовали одноплатные компьютеры Raspberry Pi, а также смартфон на базе Android. В качестве программного обеспечения использовали VLC, Motion, USB Camera. Дистанционная оценка экспертом проводилась также на мобильных устройствах: посредством VLC при работе на сервере программного обеспечения VLC, в остальных случаях — Google Chrome на Windows 7 и Android, Chromium на Raspberry Pi.

Результаты. Устройство видеозахвата на базе чипсета UTV007 позволяет получить более качественное изображение по сравнению с устройством на базе чипсета AMT630A. Оптимальное разрешение видеоизображения 720×576 при 25 кадрах в секунду. Оптимальным программным обеспечением для организации телеУЗИ на Raspberry Pi является VLC из-за низких требований к пропускной способности каналов связи ($0,64 \pm 0,17$ Мбит/с). Для Android-смартфонов телеультразвуковое исследование может быть реализовано на программном обеспечении USB Camera, но требует большей пропускной способности каналов связи ($5,2 \pm 0,3$ Мбит/с).

Заключение. Использование устройств на базе одноплатных компьютеров и смартфонов позволяет реализовать бюджетную телеультразвуковую систему, что потенциально способствует повышению качества выполняемых исследований за счёт дистанционного обучения и консультирования врачей. Данные решения могут применяться в том числе в удалённых регионах, для задач «полевой» медицины и других возможных направлений мобильного здравоохранения.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование; УЗИ; телеУЗИ; телемедицина; видеозахват.

Как цитировать

Арзамасов К.М., Дроговоз В.А., Бобровская Т.М., Владзимирский А.В. Телеультразвуковые исследования с использованием смартфонов и одноплатных компьютеров // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 1. С. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD111816>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD111816>

Tele-ultrasound imaging using smartphones and single-board PCs

Kirill M. Arzamasov¹, Viktor A. Drogovoz², Tatiana M. Bobrovskaya¹, Anton V. Vladzimirskyy^{1, 3}

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

² Scientific and Production Association "Russian Basic Information Technologies", Moscow, Russian Federation

³ The First Sechenov Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Mobile devices are widely available and their computational performance increases. Nonetheless, medicine should not be an exception: single-board computers and mobile phones are crucial aides in telehealth.

AIM: To explore tele-ultrasound scope using smartphones and single-board computers

MATERIALS AND METHODS: This study focused on capturing ultrasound videos using external video recording devices connected via USB. Raspberry Pi single-board computers and Android smartphones have been used as platforms to host a tele-ultrasound server. Used software: VLC, Motion, and USB camera. A remote expert assessment was performed with mobile devices using the following software: VLC acted as a VLC server, Google Chrome for OS Windows 7 and OS Android was used in the remaining scenarios, and Chromium browser was installed on the Raspberry Pi computer.

OUTCOMES: The UTV007 chip-based video capture device produces better images than the AMT630A-based device. The optimum video resolution was 720×576 and 25 frames per second. VLC and OBS studios are considered the most suitable for a raspberry-based ultrasound system owing to low equipment and bandwidth requirements (0.64±0.17 Mbps for VLC; 0.5 Mbps for OBS studio). For Android phone OS, the ultrasound system was set with the USB camera software, although it required a faster network connection speed (5.2±0.3 Mbps).

CONCLUSION: The use of devices based on single-board computers and smartphones implements a low-cost tele-ultrasound system, which potentially improves the quality of studies performed through distance learning and consulting doctors. These solutions can be used in remote regions for "field" medicine tasks and other possible areas of m-health.

Keywords: Tele-ultrasound, telehealth, ultrasound, video capturing.

To cite this article

Arzamasov KM, Drogovoz VA, Bobrovskaya TM, Vladzimirskyy AV. Tele-ultrasound imaging using smartphones and single-board PCs. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):15–23. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD111816>

Received: 11.10.2022

Accepted: 10.03.2023

Published: 04.04.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD111816>

使用智能手机和单板电脑进行远程超声检查

Kirill M. Arzamasov¹, Viktor A. Drogovoz², Tatiana M. Bobrovskaya¹,
Anton V. Vladzimirskyy^{1,3}

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

² Scientific and Production Association "Russian Basic Information Technologies", Moscow, Russian Federation

³ The First Sechenov Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

简评

论证。移动设备的可用性和计算能力不断提高，导致其应用不断扩大。医学也不例外：单板电脑和智能手机被积极用于远程医疗。

目的是研究使用单板计算机和智能手机进行远程超声检查的技术可行性。

材料和方法。在这项研究中，超声视频图像采集是使用USB外置视频采集设备进行的。一台树莓派（Raspberry Pi）单板电脑和一台安卓（Android）智能手机被用作远程超声检查服务器的平台。VLC、Motion和USB摄像头被用作软件。专家也在移动设备上进行了远程评估，使用的是：VLC——当在VLC软件服务器上运行时；在其他情况下，在Windows 7和安卓上使用谷歌浏览器（Google Chrome）；在树莓派上使用Chromium。

结果。与基于AMT630A芯片组的设备相比，基于UTV007芯片组的视频采集设备提供更好的图像质量。最佳视频分辨率为720x576，每秒25帧。由于通信信道带宽要求低（ 0.64 ± 0.17 Mbps），树莓派上的进行远程超声检查的最佳软件是VLC。对于安卓智能手机，远程超声检查是可以在USB摄像头软件上进行的，但需要更高的通信信道带宽（ 5.2 ± 0.3 Mbps）。

结论。使用基于单板电脑和智能手机的设备使实现不贵的远程超声系统有可能，这潜在地有助于通过远程培训和咨询医生提高所做检查的质量。这些解决方案也可用于偏远地区、野外医疗和其他可能的移动医疗领域。

关键词：远程超声检查，远程医疗，超声检查，视频采集。

To cite this article

Arzamasov KM, Drogovoz VA, Bobrovskaya TM, Vladzimirskyy AV. 使用智能手机和单板电脑进行远程超声检查. *Digital Diagnostics*. 2023;4(1):15–23. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD111816>

收到: 11.10.2022

接受: 10.03.2023

发布日期: 04.04.2023

ОБОСНОВАНИЕ

В настоящее время отмечается увеличение производительности мобильных устройств, при этом происходит снижение их стоимости. Эти факторы приводят к расширению сферы применения мобильных устройств, в том числе в медицине и телемедицине [1–3].

Частным случаем телемедицины является телеультразвуковое исследование (телеУЗИ) [4] — метод диагностики, при котором врач-специалист ультразвуковой или функциональной диагностики получает и анализирует информацию с дистанционно расположенного ультразвукового аппарата и высылает обратно заключение или рекомендации. Для осуществления этого процесса необходимо наличие специального программно-аппаратного комплекса.

Известны случаи реализации телеУЗИ посредством смартфона [5–8], когда изображение с экрана УЗ-сканера захватывалось камерой смартфона и передавалось получателю при помощи коммуникационных программ. Данный способ имеет большой плюс в виде отсутствия необходимости применения дополнительного оборудования, однако имеет и определённые трудности выполнения: требуется привлечение дополнительных сотрудников или специальных удерживающих устройств для смартфона при записи исследования; кроме того, качество УЗ-изображений, доставленных эксперту, снижается по сравнению с оригинальным.

В настоящее время существуют мобильные устройства видеозахвата, которые могут быть подключены не только к персональному компьютеру, но и к таким мобильным устройствам, как одноплатные компьютеры и смартфоны.

Цель исследования — изучить технические возможности реализации телеУЗИ при помощи одноплатных компьютеров и смартфонов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Программное обеспечение

В исследовании использовали УЗ-сканеры Sequoia 512 Acuson и SonoAce-8000. В качестве добровольца, которому выполнялось стандартное ультразвуковое исследование брахиоцефальных артерий врачом функциональной диагностики, выступал один из авторов исследования. На основании экспертного анализа (3 врача функциональной диагностики с опытом работы более 10 лет) проводилась субъективная оценка качества изображения, возможность его интерпретации, для чего фрагменты проводимого исследования сохранялись на УЗ-сканере в виде кинопетель длительностью по 5 сек, а затем циклически воспроизводились на УЗ-сканере. Всего было записано 9 кинопетель, по 3 для каждого режима: только В-режим; В-режим + цветное доплеровское картирование; В-режим + спектральный доплер. У эксперта была возможность в режиме реального времени оценить изображение на экране монитора УЗ-сканера и на экране

устройства клиента, при этом вышеописанная методика позволяла экспертам оценивать результаты работы разных программно-аппаратных комплексов на одном и том же исследовании (кинопетле).

В работе были использованы USB-камера Defender C-090 и бюджетные системы видеозахвата с УЗ-сканера. Так как в качестве аналогово-цифрового преобразователя в бюджетных устройствах применяются два типа микросхем (чипсетов) — UTV007 и AMT630A, в работе были апробированы оба варианта:

- 1) Gembird UVG-002 — устройство видеозахвата на базе чипсета UTV007 с разрешением 720×576 при 25 кадрах в секунду;
- 2) Espada USB 2.0 – RCA/S-video EUsbRca63 (далее по тексту EUsbRca63) — устройство видеозахвата на базе чипсета AMT630A с разрешением 720×576 при 25 кадрах в секунду.

В исследовании на сервере использовалось следующее программное обеспечение (ПО):

- VLC Version 3.0.8 — свободно распространяемое ПО, предназначенное для передачи и воспроизведения видео; имеет возможность потокового вещания видео с внешних устройств. Данное ПО функционирует под разными операционными системами, в том числе Linux и Android. В работе использовалось одновременно на сервере и клиенте телемедицинской системы;
- Motion Release 4.3.0 — свободно распространяемое ПО, предназначенное для работы с камерами видеонаблюдения, ориентированное на обнаружение движения в кадре. Данное ПО функционирует под операционной системой Linux, устанавливалось на одноплатные компьютеры. Возможна работа в качестве фонового процесса, однако данное ПО способно транслировать только изображения, не позволяя передавать звук. Доступ осуществлялся с идентификацией пользователя и по паролю;
- USB Camera Version 9.7.9. — свободно распространяемое ПО, предназначенное для передачи изображения с USB-камер; использовалась некоммерческая версия для работы в качестве сервера на Android-устройствах.

Основным критерием выбора программного обеспечения была возможность работы на различных операционных платформах. Далее осуществлялась оценка возможности функционирования представленных программных и аппаратных решений в качестве телемедицинской системы. Оцениваемый параметр — скорость передачи данных (указывается в виде среднего \pm SD). Для статистической обработки результатов использовался программный продукт Microsoft Excel.

Телемедицинская система

Телемедицинская система состоит из сервера и клиента. В контексте настоящей работы под сервером

подразумевается программно-аппаратный комплекс, осуществляющий передачу видеоизображения с УЗ-сканера. Клиентом является устройство, принимающее и воспроизводящее видеоизображение. Связь клиента с сервером осуществлялась по локальной сети через Wi-Fi-роутер с пропускной способностью 72 Мбит/с. При проведении тестирования выбиралось максимально доступное качество видеосигнала (максимальное разрешение и максимальная частота кадров). Клиент подключался к серверу по протоколам, поддерживаемым установленным ПО: HTTP и RTSP. Программы клиента, необходимые для воспроизведения видеоизображения: VLC — при работе с протоколом RTSP, для HTTP — Google Chrome на Windows 7 и Android, Chromium — на Raspberry Pi. Каждое ПО, установленное на сервере, поддерживало свой кодек: JPEG (Motion), VideoH.264 (VLC), H.264 (USB Camera).

Реализовано 2 варианта подключения (рис. 1).

1. Сервер — смартфон (Android 7.0, 8-ядерный процессор 2 ГГц, 3 Гб оперативной памяти, или Опух Max3 Android 9.0, 8-ядерный процессор 2 ГГц, 4 Гб оперативной памяти), соединённый с устройством видеозахвата посредством OTG-USB кабеля. Устройство видеозахвата подключено к видеовыходу УЗ-сканера. Клиент — ноутбук на базе AMD E-450 APU, 8 Гб ОЗУ, 64 bit OS Windows 7 или смартфон.
2. Сервер — одноплатный микрокомпьютер (Raspberry Pi 1 Model B, CPU 700 МГц, 512 Мб или Raspberry Pi 4, CPU Quad core Cortex 1,5 ГГц, 4 Гб с установленной ОС Linux версия 4.19.118-v7+), соединённый с устройством видеозахвата посредством USB-кабеля, с USB-веб-камерой. Raspberry Pi 1 не имел

Wi-Fi-модуля и подключался к роутеру через LAN-кабель. Клиент — ноутбук на базе AMD E-450 APU, 8 Гб ОЗУ, 64 bit OS Windows 7 или смартфон.

РЕЗУЛЬТАТЫ

УЗ-сканеры. На УЗ-сканере Sequoia 512 были протестированы два видеовыхода: коаксиальный выход для подключения видеопринтера и S-Video-выход для подключения видеоматрицы. При анализе изображения на выходе для видеопринтера было получено чёрно-белое изображение, часть которого выходила за поля устройств видеозахвата. Напротив, при подключении к S-Video-выходу удалось получить цветное изображение, соответствующее оригиналу на экране монитора УЗ-сканера. Sequoia 512 использовался совместно с системами на основе Raspberry Pi. SonoAce-8000 использовался для реализации телеУЗИ на базе Android-устройств. В качестве видеовыхода был выбран, как и в предыдущем случае, S-Video.

UVG-002. Данное устройство успешно определялось на всех мобильных устройствах и нормально функционировало со всеми тестируемыми программами. Обеспечивало заявленное максимальное разрешение на всех устройствах. Максимальная частота кадров была достигнута на всех устройствах, кроме Raspberry Pi 1.

EUsbRca63. Данное устройство успешно определялось на всех мобильных устройствах и нормально функционировало со всеми тестируемыми программами, кроме VLC на Raspberry. Заявленное максимальное разрешение ни на одном из устройств достигнуто не было, максимальное разрешение составило 640×480.

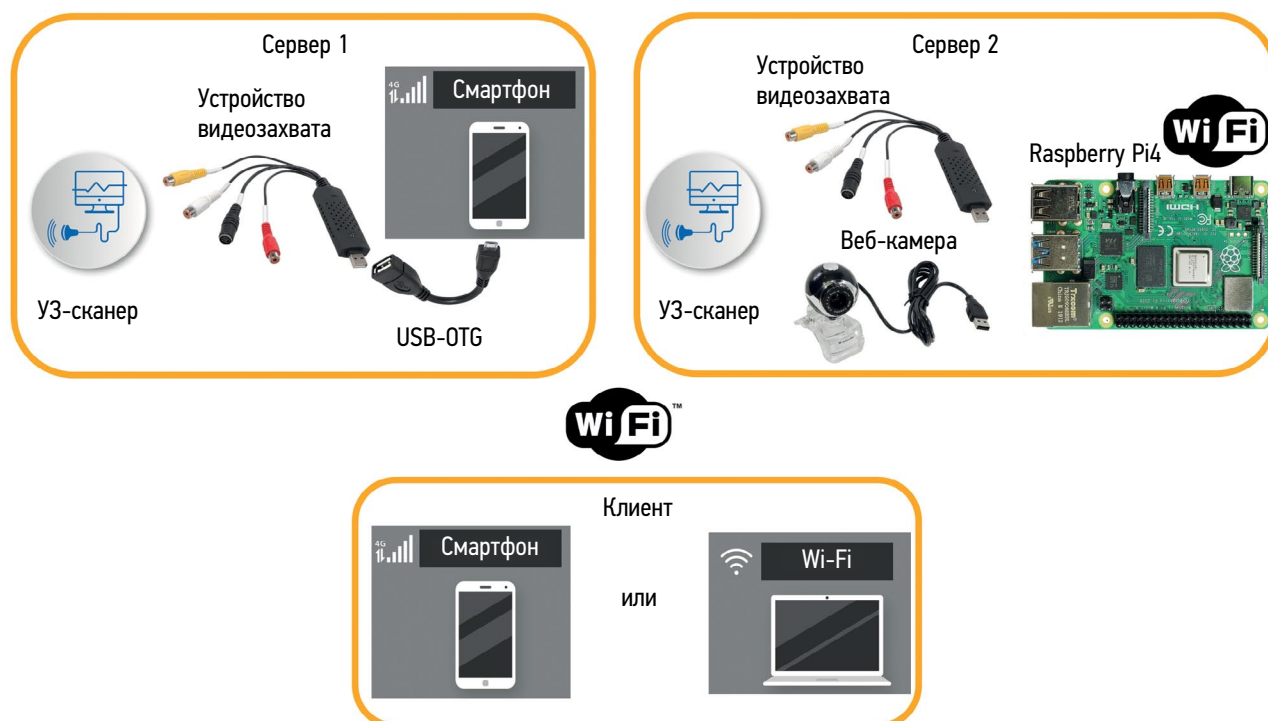


Рис. 1. Схема подключения.

USB-камера. Была успешно определена на всех мобильных устройствах и нормально функционировала со всеми тестируемыми программами. Максимальное разрешение 640×480, частота кадров 30 в секунду.

ПО Motion. Было сконфигурировано для работы в качестве сервера: непрерывная регистрация и передача изображения с видеоприборов с максимальным разрешением. Из-за низкой производительности Raspberry Pi 1 данная программа способна была выдавать 1–1,5 кадра в секунду. Этим недостатком был полностью лишён Raspberry Pi 4, позволяя одновременно запускать несколько процессов без снижения качества транслируемого видео.

ПО VLC. Успешно было установлено на Raspberry Pi 4, позволяя вести потоковое вещание с внешних устройств видеозахвата. Успешно была реализована также одновременная работа двух приложений VLC с захватом видео с устройства видеозахвата и веб-камеры, при этом качество изображения и частота кадров соответствовали максимальной. Была протестирована также возможность одновременной работы VLC и Motion на Raspberry Pi 4. VLC было установлено на Android-устройства, но в этой версии не позволяло работать в качестве сервера, а функционировало только в режиме клиента. В режиме клиента использовалось также на Windows-ноутбуке.

ПО USB-Cam. Реализация телемедицинского сервера на основе данного ПО оказалась крайне чувствительной к качеству канала связи. Так, было выявлено, что при уровне сигнала ниже 80 дБ происходил разрыв соединения, при этом не было разницы в том, с какой стороны низкое качество связи — со стороны сервера или со стороны клиента.

ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведённого исследования мы выявили перечень устройств и программных решений для реализации мобильных систем телеУЗИ. Результаты тестирования представлены в табл. 1: устройство видеозахвата на базе чипсета UTV007 позволяет получить субъективно более качественное изображение по сравнению с устройством на базе чипсета AMT630A. Устройство UVG-002 способно работать на всех платформах и со всем использованным ПО и продемонстрировало высокое качество картинки.

Модуль видеозахвата EUsbRca63 показал удовлетворительное качество работы на мобильных устройствах.

Нам не удалось настроить работу данного устройства с VLC, несмотря на то, что ПО Motion EUsbRca63 работало с тем же драйвером без сбоев. Качество получаемого УЗ-изображения оказалось крайне низкое на всех платформах: надписи на изображении были трудночитаемы, адекватная оценка УЗ-изображения при таком качестве невозможна.

Выбирая оптимальное ПО, необходимо определиться с платформой, на которой планируется развёртывать сервер телеУЗИ. Так, в случае со смартфоном на базе Android единственным из рассмотренного ПО подойдёт USB-Cam, но реализация телеУЗИ в таком исполнении окажется требовательной к пропускной способности канала связи. В нашем случае пропускная способность канала для передачи данных УЗИ равнялась 4,4–5,2 Мбит/с, что на практике может быть труднодостижимо при работе в сетях сотовой связи. Напротив, при подключении к Wi-Fi данное требование к пропускной способности канала связи уходит на второй план. В ходе выполнения тестирования была выявлена повышенная чувствительность данного программно-аппаратного комплекса к качеству Wi-Fi-сигнала (т.е. удалённости от точки доступа). Эти факты накладывают серьёзное ограничение на возможность применения данной реализации телеУЗИ в мобильных сетях.

В настоящее время одноплатные компьютеры начинают активно использоваться в телемедицине [9, 10]. На наш взгляд, оптимальной платформой для реализации телеУЗИ являются одноплатные компьютеры последних лет. Участвующие в тестировании модели Raspberry Pi показали существенное увеличение вычислительной мощности: первое поколение Pi 1 способно было реализовать только передачу видео со скоростью не более 1,5 кадров в секунду (минимальная частота кадров на УЗ-сканере в нашем исследовании 16 кадров в секунду), что, по мнению экспертов, недостаточно для реализации на нём сервера телеУЗИ, но данное устройство способно выступить в этой системе в качестве клиента. Raspberry Pi 4 продемонстрировало высокую производительность, осуществляя одновременную трансляцию двух видеопотоков.

Увеличившаяся вычислительная мощность одноплатных компьютеров позволяет реализовывать технологии машинного обучения [11, 12], в том числе в медицине [13]. Имеющийся запас вычислительной мощности одноплатного компьютера может быть достаточным для развёртывания на нём параллельно с сервером телеУЗИ системы

Таблица 1. Результаты тестирования ПО и устройств видеосигнала

Параметры		Motion	VLC	USB-Cam
Кодек		JPEG	VideoH.264	H.264
Протокол подключения		HTTP	HTTP, RTSP	HTTP
Скорость передачи, Мбит/с	UVG-002	18,7±2,8	0,64±0,17	5,2±0,3
	EUsbRca63	8,6±1,4	-	4,4±0,2
	Webcam	15,3±5	0,49±0,19	2,0±0,1

поддержки принятия врачебных решений для оценки УЗ-изображений на предмет патологии.

Выбирая между ПО Motion и VLC, необходимо руководствоваться пропускной способностью канала связи. Так, для функционирования одного видеопотока для VLC, по нашим данным, требуется 0,5–0,6 Мбит/с, а для Motion требуется минимум в 10 раз большая пропускная способность. По литературным данным, скорость подключения от 0,6 Мбит/с [14] до 1,5 Мбит/с [15] является минимально допустимой для комфортной работы удалённо расположенного эксперта при условии частоты смены кадров 15 в секунду и сохранении оригинального разрешения видео. Если необходима передача только изображения с экрана УЗ-сканера и нет ограничения по пропускной способности канала связи, оптимальным решением является ПО Motion, позволяющее автономно запускаться и развёртывать сервер телеУЗИ без участия человека. В иных случаях можно сделать выбор в пользу VLC. В нашем исследовании продемонстрирована также возможность одновременной работы двух разных систем.

В предыдущей работе [16] мы показали возможность использования стриминговых технологий в телеУЗИ на базе персонального компьютера, однако благодаря применению смартфонов и одноплатных компьютеров телеУЗИ способно стать ещё более мобильной методикой: устройство для реализации сервера телеУЗИ с необходимыми кабелями легко помещается в карман врача, позволяя ему держать комплект подключения наготове, и в случае необходимости организовать трансляцию исследования за считанные секунды.

Ограничения исследования

В настоящем исследовании проводился анализ работы только двух моделей УЗ-сканеров, тем не менее мы можем сделать предположение, что данное техническое решение подойдёт и для других УЗ-сканеров, имеющих аналогичный или иной поддерживаемый видеовыход. В настоящее исследование была включена лишь малая часть современных мобильных устройств, устройств видеозахвата, а также программного обеспечения для работы с устройствами видеозахвата и веб-камерами, однако нам удалось создать несколько функционирующих бюджетных систем для реализации мобильного телеУЗИ. Главная задача, поставленная перед авторами этого исследования, заключалась в поиске наиболее доступного способа реализации телеУЗИ. Так, расходы на мобильное устройство (Raspberry Pi4) и модуль видеозахвата на момент выполнения работы не превышали 6000 рублей, на сегодняшний день аналогичная комплектация стоит от 12 000 рублей. Используемое в работе ПО (Motion, VLC, USB-Cam) имело свободную лицензию или распространялось с открытым исходным кодом. Предполагается наличие установленной операционной системы (Windows, Linux, Android) на устройствах, входящих в состав телемедицинской системы.

При проведении такого рода исследований необходимо также учитывать пропускную способность [17] и защищённость каналов связи, по которым производится передача медицинских данных [3]. Одним из возможных способов обеспечения безопасности передаваемых данных является организация VPN-туннелей, однако изучение вопросов информационной безопасности при проведении телеУЗИ не является целью данной работы. Настоящее исследование отличается от аналогичных тем, что предложено новое техническое решение для телеУЗИ.

В настоящее время существуют портативные УЗ-системы для проведения ультразвуковых исследований, в том числе с функцией передачи изображения (телеУЗИ), например Butterfly iQ+Butterfly Network Inc., Kosmos EchoNous, Vscan Air General Electric и Lumif Philips Healthcare, однако эти системы дорогостоящие (от 500 000 рублей) и не обладают всеми качествами, необходимыми для полноценного исследования на стационарном УЗ-сканере [18]. Преимуществом предлагаемого нами подхода является использование ультразвукового оборудования, входящего в стандарт оснащения кабинета ультразвуковой диагностики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование устройств на базе одноплатных компьютеров и смартфонов позволяет реализовать бюджетную телеультразвуковую систему, что потенциально способствует повышению качества выполняемых исследований за счёт дистанционного обучения и консультирования врачей. Данные решения могут применяться также в удалённых регионах, для задач «полевой» медицины и других возможных направлений мобильного здравоохранения.

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 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 текста рукописи.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам НПКЦ ДиТ врачу функциональной диагностики д.м.н. Д.В. Шутову и ведущему научному сотруднику к.м.н. А.Е. Демкиной за помощь в проведении исследования.

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. K.M. Arzamasov — research design development, research volunteer; K.M. Arzamasov, T.M. Bobrovskaya — data analysis; K.M. Arzamasov, T.M. Bobrovskaya, V.A. Drogovoz — data interpretation; K.M. Arzamasov, V.A. Drogovoz — writing the text of the manuscript.

Acknowledgments. The authors are grateful to collaborators of Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine: doctor of functional diagnostics, MD PhD D.V. Shutov and the leading researcher, MD PhD A.E. Demkina for their help in this study.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Shi J., Wang F., Qin M., et al. New ECG compression method for portable ECG monitoring system merged with binary convolutional auto-encoder and residual error compensation // *Biosensors (Basel)*. 2022. Vol. 12, N 7. P. 524. doi: 10.3390/bios12070524
- Palacios D.R., Shen K., Baig S., et al. Wide field of view handheld smart fundus camera for telemedicine applications // *J Med Imaging (Bellingham)*. 2021. Vol. 8, N 2. P. 026001. doi: 10.1117/1.JMI.8.2.026001
- Shewale A.D., Patil S.A., Patil S.R. Raspberry-pi based automatic health care modelling: An IoT approach // *Compliance Engineering J*. 2021. Vol. 12, N 3. P. 99–104.
- Recker F., Höhne E., Damjanovic D., Schäfer V.S. Ultrasound in telemedicine: A brief overview // *Appl Sci*. 2022. Vol. 12, N 3. P. 958. doi: 10.3390/app12030958
- Lim T.H., Choi H.J., Kang B.S. Feasibility of dynamic cardiac ultrasound transmission via mobile phone for basic emergency teleconsultation // *J Telemed Telecare*. 2010. Vol. 16, N 5. P. 281–285. doi: 10.1258/jtt.2010.091109
- 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
- Kim C., Cha H., Kang B.S., et al. A feasibility study of smartphone-based telephonography 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
- Boissin C., Blom L., Wallis L., et al. Image-based teleconsultation using smartphones or tablets: Qualitative assessment of medical experts // *Emergency Med J*. 2017. Vol. 34, N 2. P. 95–99. doi: 10.1136/emered-2015-205258
- Beckhauser E., Petrolini V.A., Savaris A., et al. Are single-board computers an option for a low-cost multimodal telemedicine platform: First tests in the context of santa catarina state integrated telemedicine and telehealth system // 2016 IEEE 29th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS). 2016. P. 163–168.
- Bhojwani H., Sain G.K., Sharma G.P. A hybrid connectivity oriented telemedicine system for Indian landscape using raspberry Pi SBC & IOT // 2018 3rd Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-iCON). 2018. P. 1–5. doi: 10.1109/TIMES-iCON.2018.8621799
- De Oliveira D.C., Wehrmeister M.A. Using deep learning and low-cost rgb and thermal cameras to detect pedestrians in aerial images captured by multicopter UAV // *Sensors (Basel)*. 2018. Vol. 18, N 7. P. 2244. doi: 10.3390/s18072244
- Kim W., Jung W.S., Choi H.K. Lightweight driver monitoring system based on multi-task mobilenets // *Sensors (Basel)*. 2019. Vol. 19, N 14. P. 3200. doi: 10.3390/s19143200
- Peine A., Hallawa A., Schöffski O., et al. A deep learning approach for managing medical consumable materials in intensive care units via convolutional neural networks: Technical proof-of-concept study // *JMIR Med Informatics*. 2019. Vol. 7, N 4. P. e14806–e14806. doi: 10.2196/14806
- Yoo S.K., Kim D.K., Jung S.M., et al. Performance of a web-based, realtime, tele-ultrasound consultation system over high-speed commercial telecommunication lines // *J Telemed Telecare England*. 2004. Vol. 10, N 3. P. 175–179. doi: 10.1258/135763304323070841
- Panayides A., Antoniou Z.C., Mylonas Y., et al. High-resolution, low-delay, and error-resilient medical ultrasound video communication using H.264/AVC over mobile WiMAX networks // *IEEE J Biomed Health Inform*. 2013. Vol. 17, N 3. P. 619–628. doi: 10.1109/TITB.2012.2232675
- 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: 10.17816/DD100779
- Арзамасов К.М., Дроговоз В.А. Систематический обзор технологий и методов телеультразвуковых исследований // *Медицинские технологии. Оценка и выбор*. 2020. № 3. С. 44–54. doi: 10.17116/medtech20204103144
- Le M.T., Voigt L., Nathanson R., et al. Comparison of four handheld point-of-care ultrasound devices by expert users // *Ultrasound J*. 2022. Vol. 14, N 1. P. 27. doi: 10.1186/s13089-022-00274-6

REFERENCES

- Shi J, Wang F, Qin M, et al. New ECG compression method for portable ECG monitoring system merged with binary convolutional auto-encoder and residual error compensation. *Biosensors (Basel)*. 2022;12(7):524. doi: 10.3390/bios12070524
- Palacios DR, Shen K, Baig S, et al. Wide field of view handheld smart fundus camera for telemedicine applications. *J Med Imaging (Bellingham)*. 2021;8(2):026001. doi: 10.1117/1.JMI.8.2.026001

3. Shewale AD, Patil SA, Patil SR. Raspberry-pi based automatic health care modelling: An IoT approach. *Compliance Engineering J.* 2021;12(3):99–104.
4. Recker F, Höhne E, Damjanovic D, Schäfer VS. Ultrasound in telemedicine: A brief overview. *Appl Sci.* 2022;12:958. doi: 10.3390/app12030958
5. Lim TH, Choi HJ, Kang BS. Feasibility of dynamic cardiac ultrasound transmission via mobile phone for basic emergency teleconsultation. *J Telemed Telecare.* 2010;5(16):281–285. doi: 10.1258/jtt.2010.091109
6. Miyashita T, Iketani Y, Nagamine Y, Goto T. FaceTime® for teaching ultrasound-guided anesthetic procedures in remote place. *J Clin Monit Comput.* 2014;2(28):211–215. doi: 10.1007/s10877-013-9514-x
7. Kim C, Cha H, Kang BS, et al. A feasibility study of smartphone-based telephonography for evaluating cardiac dynamic function and diagnosing acute appendicitis with control of the image quality of the transmitted videos. *J Digit Imaging.* 2016;3(29):347–356. doi: 10.1007/s10278-015-9849-6
8. Boissin C, Blom L, Wallis L, et al. Image-based teleconsultation using smartphones or tablets: qualitative assessment of medical experts. *Emergency Med J.* 2017;34(2):95–99. doi: 10.1136/emered-2015-205258
9. Beckhauser E, Petrolini VA, Savaris A, et al. Are single-board computers an option for a low-cost multimodal telemedicine platform? First tests in the context of Santa Catarina state integrated telemedicine and telehealth system. In: Conference: 2016 IEEE 29th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS). 2016. P. 163–168. doi: 10.1109/CBMS.2016.57
10. Bhojwani H, Sain GK, Sharma GP. A hybrid connectivity oriented telemedicine system for Indian landscape using Raspberry Pi SBC & IOT. In: Conference: 2018 3rd Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-iCON). 2018. P. 1–5. doi: 10.1109/TIMES-iCON.2018.8621799
11. De Oliveira DC, Wehrmeister MA. Using deep learning and low-cost rgb and thermal cameras to detect pedestrians in aerial images captured by multirotor UAV. *Sensors (Basel).* 2018;7(18):2244. doi: 10.3390/s18072244
12. Kim W, Jung WS, Choi HK. Lightweight driver monitoring system based on multi-task mobilenets. *Sensors (Basel).* 2019;14(19):3200. doi: 10.3390/s19143200
13. Peine A, Hallawa A, Schöffski O, et al. A deep learning approach for managing medical consumable materials in intensive care units via convolutional neural networks: technical proof-of-concept study. *JMIR Med Informatics.* 2019;4(7):e14806–e14806. doi: 10.2196/14806
14. Yoo SK, Kim DK, Jung SM, et al. Performance of a web-based, realtime, tele-ultrasound consultation system over high-speed commercial telecommunication lines. *J Telemed Telecare.* 2004;10(3):175–179. doi: 10.1258/135763304323070841
15. Panayides A, Antoniou ZC, Mylonas Y, et al. High-resolution, low-delay, and error-resilient medical ultrasound video communication using H.264/AVC over mobile WiMAX networks. *IEEE J Biomed Health Inform.* 2013;17(3):619–628. doi: 10.1109/TITB.2012.2232675
16. Arzamasov KM, Bobrovskaya TM, Drogozov VA. Streaming technology: From games to tele-ultrasound. *Digital Diagnostics.* 2022;2(3):131–140. (In Russ). doi: 10.17816/DD100779
17. Arzamasov KM, Drogozov VA. Systematic review of technologies and methods of tele-ultrasound. *Medical Technologies Assessment Choice.* 2020;3(3):44–54. (In Russ). doi: 10.17116/medtech20204103144
18. Le MT, Voigt L, Nathanson R, et al. Comparison of four handheld point-of-care ultrasound devices by expert users. *Ultrasound J.* 2022;14(1):27. doi: 10.1186/s13089-022-00274-6

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

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

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

Владимирский Антон Вячеславович, д.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>;
eLibrary SPIN: 3602-7120; e-mail: a.vladimirsky@npcmr.ru

AUTHORS' INFO

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

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

Tatiana M. Bobrovskaya, MD;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2746-7554>;
eLibrary SPIN: 3400-8575; e-mail: BobrovskayaTM@zdrav.mos.ru

Anton V. Vladzymirskyy, MD, Dr. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>;
eLibrary SPIN: 3602-7120; e-mail: VladzymirskijAV@zdrav.mos.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author