

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对医生的远程培训和咨询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

论证

目前移动设备的性能在不断提升，而其成本却在不断降低。这些因素导致移动设备的使用不断增加，包括在医疗和远程医疗等领域中的应用[1-3]。

远程医疗的一个特例是远程超声检查[4]，这是一种诊断方法，超声或机能的诊断医师接收及分析来自远程超声机的信息，并发回意见或建议。这个过程需要一个特殊的硬件软件体系。

有已知的使用智能手机进行远程超声检查的案例[5-8]，即用智能手机的摄像头捕捉超声扫描仪屏幕上的图像，并使用通信软件将这个图像传送给接收者。这种方法的优点是无需额外的设备，但进行时也有一定的困难：需要额外的工作人员或特殊的智能手机三脚架来记录检查过程；此外，传递给检查者的超声图像的质量比原来的要低。

现在有了特殊的移动视频采集器，它们不仅允许连接到个人电脑，而且允许连接到移动设备，如单板计算机和智能手机。

该研究的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

软件

研究中使用了两个超声扫描仪，即Sequoia 512 Acuson和SonoAce-8000。该研究的一名作者作为一名志愿者，他接受了机能诊断医师对肱动脉进行的标准超声检查。在专家分析的基础上（3位具有10年以上工作经验的机能诊断医师），对图像的质量和解释可能性进行了主观评估。为此，研究的片段被保存在超声扫描仪上，作为每个持续时间为5秒的电影回放，然后在超声扫描仪上循环播放。总共记录了9个电影回放，每个模式有3个电影回放：亮度（B）；B+彩超，B+光谱多普勒。专家有机会实时对在超声扫描仪屏幕上和客户设备屏幕上的图像进行评估，上述方法允许专家在同一检查（电影回放）中评估不同硬件软件体系的结果。

本研究中使用了Defender C-090 USB摄像机和来自超声扫描仪的低成本视频采集系统。由于在不贵设备中两种类型的芯片组作为模数转换器——UTV007和AMT630A，在这项研究中对这两种芯片组进行了审核：

- 1) Gembird UVG-002是一款基于UTV007芯片组的视频采集器，分辨率为720×576，每秒25帧；
- 2) Espada USB 2.0 - RCA/S-video EUsbRca63（以下简称EUsbRca63）是一款基于AMT630A芯片组的视频采集器，分辨率为720×576，每秒25帧。

研究中服务器软件包括：

- VLC Version 3.0.8是一款用于视频传输和播放的免费软件；它能够从外部设备串流播放视频。该软件可在不同的操作系统下运行，包括Linux和Android。在研究中，它同时被用于远程医疗系统的服务器和客户端；
- Motion Release 4.3.0是一款免费的监控摄像头软件，主要用于运动检测。该软件在Linux操作系统下运行，并被安装在单板计算机上。它可以作为后台进程运行，但该软件只能播放图像，不允许传输声音。访问是通过用户识别和密码进行的；
- USB Camera Version 9.7.9.是一款免费软件，用于从USB摄像机获取的图像传输；非商业版本被用来作为Android设备的服务器运行。

选择软件的主要标准是能够在不同的操作平台上运行。下一步是对所提出的软件和硬件解决方案作为远程医疗系统的能力进行评估。要评估的参数是数据传输速度（以平均值±SD形式给出）。使用Microsoft Excel对结果进行了统计处理。

远程医疗系统

一个远程医疗系统由一个服务器和一个客户端组成。在本文中，服务器是传输来自超声扫描仪的视频图像的硬件软件体系。客户端是一个接收和播放视频图像的设备。客户端和服务器的通信是通过Wi-Fi路由器的本地网络实现的，带宽为72 Mbps。在测试中，选择了最大的可用视频质量（最大分辨率和最高帧率）。客户端使用所安装的软件支持的协议连接到服务器：HTTP和RTSP。视频播放所需的客户端软件包括：VLC——当使用RTSP协议时；对于HTTP来说，使用了Windows 7和Android上的Google Chrome；在Raspberry Pi上使用了Chromium。安装在服务器上的每个软件都支持自己的编解码器：JPEG（Motion）、VideoH.264（VLC）、H.264（USB Camera）。

有两种连接方式可供选择（图1）。

1. 服务器是一个通过OTG-USB线连接到视频采集器的智能手机（安卓7.0，八核处理器，主频为2GHz，3GB内存；或Onyx Max3安卓9.0，八核处理器，主频为2GHz，4GB内存）。视频采集器与超声扫描仪的视频输出相连。客户端是一台基于AMD E-450 APU、8GB内存、64 bit OS Windows 7的笔记本电脑或一部智能手机。
2. 服务器是一台USB线连接到视频采集器并配有一个USB网络摄像头的单板微型计算机（Raspberry Pi 1 Model B，CPU，主频为700MHz，512Mbyte或Raspberry Pi 4，CPU Quad core Cortex，主频为1.5GHz，4GB，安装有Linux操作系统4.19.118-v7+版本）。Raspberry Pi 1没有Wi-Fi模块，通过一根网线连接到路由器上。客户端是一台基于AMD E-450 APU、8GB内存、64 bit OS Windows 7的笔记本电脑或一部智能手机。



图1. 接线图。

结果

超声扫描仪。在Sequoia 512超声扫描仪上测试了两个视频输出：使用了一个同轴输出以连接到视频打印机，并使用了一个S-Video接口以连接到录像机。当分析来自视频打印机的输出图像时，得到的是黑白图像，其中一部分在视频采集器的视野之外。相反，当连接到S-Video接口时，可以获得与超声扫描仪屏幕上的原始图像一致的彩色图像。Sequoia 512是与基于Raspberry Pi的系统在一起使用的。SonoAce-8000被用来在安卓设备上上进行远程超声检查。S-Video作为视频输出。

UVG-002。该设备在所有移动设备上都被成功检测到，并在所有测试的程序中运行良好。它在所有设备上提供了声明的最大分辨率。除了Raspberry Pi 1之外，所有设备都达到了最高帧率。

EUsbRca63。该设备在所有移动设备上都被成功检测到，并且除了Raspberry上的VLC，在所有测试的程序中运行良好。在任何设备上都没有达到声明的最大分辨率，最大分辨率为640×480。

USB摄像机。在所有移动设备上被成功检测到，并在所有测试的程序中运行正常。最大分辨率为640×480，帧率为每秒30。

Motion软件。它被配置为一个服务器：以连续记录和传输来自视频设备的最大分辨率的图像。由于Raspberry Pi 1的性能较低，该软件能够提供每秒1-1.5帧的图像。Raspberry Pi 4完全没有这些缺点，允许同时运行多个进程而不降低流媒体视频的质量。

VLC软件。它被成功地安装在Raspberry Pi 4上，允许从外部视频采集器中进行串流播放视频。并且成功地实现了有来自视频采集器和网络摄像头的视频采集的两个VLC应用程序的同时使用，图像质量和帧率都达到了最大值。还测试了在Raspberry Pi 4上同时运行VLC和Motion的能力。VLC被安装在安卓设备上，但在这个版本中不得作为服务器，而只能在客户端模式下运行。它还是在在一台Windows笔记本电脑上在客户端模式下使用的。

USB-Cam软件。基于该软件的远程医疗服务器的实施被证明对信道质量极为敏感。我们发现了，当信号强度低于80分贝时，连接就断开了，而且不管是服务器端还是客户端的通信质量不好，都没有区别。

讨论

根据这项研究的结果，我们确定了一份以实现移动远程超声检查系统的设备和软件解决方案的清单。测试结果见表1：与基于AMT630A芯片组的设备相比，基于UTV007芯片组的视频采集器提供了主观上更好的图像质量。UVG-002设备能够在所有平台和所使用的软件上运行，并表现出较高的图像质量。

EUsbRca63视频采集模块在移动设备上的表现令人满意。虽然Motion EUsbRca63软件在同一驱动下运行时没有故障，但我们无法将该设备配置为VLC。超声图像的质量在所有平台上都非常差：图像上的字幕难以阅读，而且不可能以这种质量来充分评估超声图像。

表1. 软件和视频信号传输设备的测试结果

参数		Motion	VLC	USB-Cam
编解码器		JPEG	VideoH.264	H.264
连接协议		HTTP	HTTP, RTSP	HTTP
	UVG-002	18,7±2,8	0,64±0,17	5,2±0,3
传输速度, Mbps	EUsbRca63	8,6±1,4	-	4,4±0,2
	Webcam	15,3±5	0,49±0,19	2,0±0,1

在选择最佳软件时，必须决定远程超声检查服务器要部署在哪个平台上。例如，在使用基于安卓的智能手机的情况下，唯一考虑的软件是USB-Cam，但在这种条件下进行远程超声检查对信道带宽比较敏感。在我们的案例中，传输超声所见的信道带宽为 4.4-5.2Mbps，在实践中，这是在蜂窝网络中可能很难实现的。相反，当连接到Wi-Fi时，这种信道带宽要求就退居了次要地位。在测试过程中，我们发现了，该硬件软件体系对Wi-Fi信号质量（即与接入点的距离）高度敏感。这些事实对在移动网络中进行这种远程超声检查的可能性造成了严重限制。

目前，单板计算机开始积极用于远程医疗[9, 10]。我们认为，远程医疗实施的最佳平台是近年来的单板计算机。所测试的Raspberry Pi型号显示出计算能力显著提高了：第一代Pi 1只能以每秒1.5帧的速度传输视频（我们研究中超声扫描仪的最低帧率为每秒16帧），据专家称，这不足以在其上实现远程超声检查服务器，但这种设备能够在本系统中作为客户端。Raspberry Pi 4当同时传输两个视频流时显示出高性能。

单板计算机计算能力的提高使得机器学习技术的实施成为可能[11, 12]，包括在医学上的实施[13]。单板计算机的可用计算能力可能足以部署一个同时使用远程超声检查服务器的医疗决策支持系统，以对超声图像进行评估来确定是否存在病理。

在Motion和VLC软件之间做出选择，必须考虑一下信道带宽。例如，根据我们的数据，对VLC来说，只有0.5-0.6 Mbps的信道带宽，才能传输一个视频流，而Motion至少需要10倍大的信道带宽。根据文献，在帧率为每秒15以及保持原始视频分辨率的情况下0.6 Mbps[14]至1.5 Mbps[15]的连接速度是远程专家舒适操作的最低可接受值。如果只需要从超声扫描仪屏幕上传输图像，而且没有信道带宽限制，Motion软件是最佳解决方案，可以开机自启动和部署远程超声检查服务器，无需人工干预。在其他情况下，VLC可能是首选的解决方案。我们的研究还证明了同时运行两个不同系统的能力。

在以前进行的研究中[16]，我们展示了在基于个人计算机的远程超声检查中使用流媒体技术的可能性，但多亏智能手机和单板计算机的使用，远程超声检查可以成为一种更加移动的技术：一

个实现远程超声检查服务器的设备和必要的电缆可以很容易地放在医生的口袋里，让他随时能够使用本连接套件，如果有必要，在几秒钟内开始转播检查。

研究的局限性

这项研究只分析了两种型号的超声扫描仪，但我们可以假设，该解决方案将适用于其他具有类似或另外支持视频输出的超声扫描仪。本研究只包括了当前移动设备、视频采集器以及用于视频采集器和网络摄像头的软件的一小部分，但我们能够创建几个运行良好的低成本系统来进行移动远程超声检查。本研究作者具有的主要任务是找到最可行的方法来进行远程超声检查。因此，当进行研究时，一个移动设备（Raspberry Pi 4）和视频采集模块的成本不超过6000卢布，如今，类似的一套设备售价为12000卢布以上。研究中使用的软件（Motion、VLC、USB-Cam）有免费许可证或以开放源代码分发。远程医疗系统所包含的设备上打算有安装操作系统（Windows、Linux、Android）。

在这类研究中还必须考虑到用于医疗数据传输的信道的带宽[17]和安全性[3]。确保传输数据安全的一个可能方法是搭建VPN隧道，但本文的目的不是研究远程超声检查的信息安全问题。本研究与类似的研究不同，它为远程超声检查提出了一个新的技术解决方案。

目前，有用于超声检查的便携式超声系统，包括具有图像传输功能（远程超声检查）的系统，如Butterfly iQ+Butterfly Network Inc.、Kosmos EchoNous、Vscan Air General Electric和Lumif Philips Healthcare，但这些系统价格昂贵（50万卢布起），并且没有用固定式超声扫描仪进行全面检查所需的性能[18]。我们提出的方法的优点是使用属于超声诊断室装备标准的超声设备。

结论

使用基于单板计算机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对医生的远程培训和咨询提高检查的质量。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。

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/emmermed-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, Drogovoz VA. Streaming technology: From games to tele-ultrasound. *Digital Diagnostics.* 2022;2(3):131–140. (In Russ). doi: 10.17816/DD100779
17. Arzamasov KM, Drogovoz 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

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

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

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

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку