

6. *Ranger N.T., Mackenzie A., Honey I.D., Dobbins III J.T., Ravin C.E., Samei E.* Extension of DQE to include scatter, grid, magnification, and focal spot blur: A new experimental technique and metric // *Proc. of SPIE.* 2009. Vol. 7258. PP. 1-12.
7. *Samei E., Ranger N.T., Dobbins III J.T., Ravin C.E.* Effective dose efficiency: An application-specific metric of quality and dose for digital radiography // *Phys. Med. Biol.* 2011. Vol. 56. № 16. PP. 5099-5118.
8. *Yalcin A., Olgar T.* Characterizing the digital radiography system in terms of effective detective quantum efficiency and CDRAD measurement // *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research.* 2018. Vol. A 896. PP. 113-121.
9. *Alves A.F.F., Alvarez M., Ribeiro S.M., Duarte S.B., Miranda J.R.A., Pina D.R.* Association between subjective evaluation and physical parameters for radiographic images optimization // *Physica Medica.* 2016. Vol. 32. № 1. PP. 123-132.
10. *Clavel A.H., Monnin P., Le?tang J.M., Verdun F.R., Darbon A.* Characterising the EOS slot-scanning system with the effective detective quantum efficiency // *Radiation Protection Dosimetry.* 2016. Vol. 169 (1-4). PP. 319-324.
11. *Кабанов С.П.* Исследование и разработка методов и аппаратно-программных средств контроля квантовой эффективности регистрации цифровых приемников рентгеновского изображения / Дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук; 05.11.10 – Приборы и методы для измерения ионизирующих излучений и рентгеновские приборы. – М.: Научно-практический центр медицинской радиологии ДЗ г. Москвы, 2011. 143 с.
12. *Bor D., Guven A., Yusuf A.R., Birgul O., Yuksel S., Yalcin A., Marshall N., Olgar T.* A modified formulation of eDQE for digital radiographic imaging // *Radiation Physics and Chemistry.* 2019. Vol. 156. PP. 6-14.

Алексей Владимирович Бехтерев,
зам. директора,
Роман Владимирович Котков,
инженер,
ООО «Предприятие «МЕДТЕХ»,
Владимир Александрович Лабусов,
д-р техн. наук, зав. лабораторией,
лаборатория оптических информационных систем,
Институт автоматизации и электрометрии,
зав. кафедрой,
кафедра оптических информационных технологий,
Новосибирский государственный
технический университет,
директор,
ООО «Предприятие «МЕДТЕХ»,
Роман Александрович Лохтин,
ведущий инженер,
Дмитрий Алексеевич Пьянов,
инженер,
ООО «Предприятие «МЕДТЕХ»,
Игорь Иванович Строков,
канд. хим. наук, ведущий инженер-программист,
лаборатория оптических информационных систем,
Институт автоматизации и электрометрии СО РАН,
Михаил Сергеевич Храмов,
инженер,
ООО «Предприятие «МЕДТЕХ»,
г. Новосибирск,
e-mail: labusov@ymk.ru

З.М. Юлдашев, А.М. Сергеев, Н.С. Настуева

Перспективы использования Интернета вещей в носимых online-кардиомониторах

Аннотация

Рассматривается технология Интернета вещей как основа построения глобально коммуницирующих систем кардиомониторинга. Показаны преимущества технологии и тренды ее развития, оцениваются перспективы широкого внедрения в устройства online-кардиомониторинга. Оцениваются требования к технологии Интернета вещей, существующие проблемы общего характера, относящиеся в основном к обеспечению защищенных и надежных коммуникаций.

Введение

Развитие современных медицинских технологий сегодня уже немислимо без использования сетевых коммуникаций в реальном масштабе времени. В значительной степени это относится к системам дистанционного наблюдения за функционированием жизненно важных систем организма человека, за его состоянием. Деятельность в этом сегменте медицинских услуг, относящихся к телемедицине, регламентируется Приказом Министерства здравоохранения РФ [1] и документами Международного общества телемедицины [2].

Поскольку создание дистанционной технологии и поддерживающих ее устройств лежит на стыке науки, медицины и техники, прогресс в последней остро ставит задачу выбора технических решений в совокупности с требованиями медицинских технологий.

Одна из технологий, востребованных сегодня в медицине, технология Internet of Things (IoT) – Интернет вещей [3]. Она настолько проникла в различные решения для медицины, что появился отдельный термин IoMT (Internet of Medical Things) [4]-[6]. Технология помогает автоматизировать процессы ух-

да за пациентами и контроля их состояния при обеспечении мобильности как врача, так и пациента. Она повысила вовлеченность и удовлетворенность пациентов процессом лечения, поскольку взаимодействие с врачами стало легче и эффективнее [3]-[6]. IoT также оказывает значительное влияние на существенное снижение расходов на здравоохранение и улучшение результатов лечения, а это важные аспекты реализации принципов здравоохранения и организации работы медицинских учреждений следующего поколения.

Целью настоящей работы является анализ перспектив использования технологии IoT, включающей в себя большинство востребованных функций, для создания отечественных систем дистанционного online-мониторинга.

Виды мониторов и их особенности

На современном рынке устройств мониторинга [7]-[12] различают стационарные (прикроватные) мониторы для мониторинга состояния пациента в стационарных условиях, мобильные (переносные) – для мониторинга в условиях мобильной медицины и медицины катастроф, холтеры (носимые) – для мониторинга состояния в течение заданного промежутка

времени с целью последующего анализа сердечной деятельности, online-кардиомониторы (носимые) – для выявления в реальном времени опасных для жизни нарушений деятельности сердца [13]-[15].

Стационарные мониторы являются устройствами индикации, имеющими развитую периферию, резервный источник питания, большой объем памяти для хранения фрагментов ЭКГ, программное обеспечение для выявления тревожных и критических эпизодов на основе продвинутого ЭКГ-анализа с распознаванием видов аритмий; они обеспечены множеством интерфейсов, а также проводной и беспроводной связью для соединения с центральной станцией и пр.

Мобильные мониторы имеют расширенный набор функций: память для хранения фрагментов ЭКГ, продвинутый ЭКГ-анализ с распознаванием, накопление сопутствующих данных и передача сигнала тревоги, автономное питание от батареек или аккумулятора, связь между врачами в движении, беспроводная связь Wi-Fi и многое др.

Холтеры, как правило, предназначенные для сохранения на встроенной памяти или съемных SD (microSD) и microSDHC результатов замеров параметров сердечно-сосудистой деятельности пациента за некоторый промежуток времени, имеют один проводной интерфейс (например, RS-232C) для подключения к компьютеру с целью последующей обработки на нем произведенных замеров.

Online-кардиомониторы – это постоянно носимые устройства, находящиеся на постоянной связи по сети Интернет (мобильной связи) с компьютером лечащего врача или сервером медицинского учреждения, осуществляющего постоянное наблюдение за состоянием здоровья пациента. Архитектурно такие носимые online-кардиомониторы включают в себя [16], [17] многоканальные усилители биопотенциалов с 24-разрядными аналого-цифровыми преобразователями, высокопроизводительное вычислительное ядро, модули беспроводной связи Wi-Fi и Bluetooth, модуль связи через сеть Интернет.

Концепции online-кардиомониторинга

В настоящее время известны две основные концепции создания и совершенствования online-кардиомониторов, базирующиеся на:

- разработке специализированных носимых устройств и переносе на них ряда функций конечной обработки результатов измерений параметров и сигналов, их интеллектуализации, микроминиатюризации;
- приспособлении части функционала существующих смартфонов, а именно мобильной связи, вычислительной мощности, памяти, системы позиционирования, датчиков ускорений, интерфейсов и т. д., для создания на их основе online-кардиомониторов типа «CardioQVARK» (Россия) [15]. Очевидно, что научные исследования и реальные разработки в соответствии с указанными концепциями являются в настоящее время наиболее востребованными. Этому способствуют:
- значительное улучшение качества коммуникаций в сетях операторов мобильной связи;
- дальнейшая микроминиатюризация элементной цифровой базы [18];
- увеличение удельной емкости источников питания;
- наличие микромощных цифровых модулей для подключения к локальным сетям Wi-Fi, Bluetooth, Bluetooth LE, ZigBee, LoRaWAN и др.;
- увеличение удельной емкости модулей памяти и возрастающие вычислительные мощности микропроцессоров.

Приведенные качественные изменения современной элементной базы носимых устройств являются тем потенциалом, который способствует реализации объемной предобработки контролируемых кардиопараметров пациента на online-кардиомониторе.

Перспективы создания online-кардиомониторов как специализированных устройств с применением технологии IoT обусловлены тем, что:

- наблюдается проникновение Интернета во все сферы человеческой деятельности;
- растет пропускная способность каналов связи, гарантированно снижается задержка и повышается надежность сетей с внедрением 5G-технологий;
- осуществляется переход на IPv6;
- получают распространение и осваиваются программно-конфигурируемые сети;
- снижается удельная стоимость обработки данных на устройствах;
- происходит «мобилизация» сетей, сетевых устройств, программ и приложений;
- растет количество стартап-проектов, связанных с разработкой программного и аппаратного обеспечения для IoT;
- ведущими IT-компаниями увеличивается выпуск устройств с подключением к Интернету, распространяется программное обеспечение для интеграции продукции и сервисов;
- растет интерес различных предприятий к сектору промышленного интернета вещей (Industrial IoT).

Все указанные выше тенденции в совокупности формируют современный тренд развития IoT, в том числе и IoMT.

Интернет вещей как основа коммуницирующих устройств

Первым устройством, подключенным к сети Интернет, считается аппарат по продаже кока-колы в Carnegie Mellon University, установленный в 1982 году. Однако как суть Интернет вещей впервые исследуется в 1991 году в работе М. Вайзера о вездесущих вычислениях/вычислителях (ubiquitous computing) [19], где он говорит о начале эры *вездесущих коммуницирующих устройств* – третьей эры вслед за эрой мэйнфреймов, а затем эрой персональных компьютеров.

Конечно, в тот период это явление не называлось Интернетом вещей, но начали появляться первые устройства с коммуникациями типа «устройство-устройство» через сеть Интернет. Так, в 2001 году на Всемирной выставке в Кельне были продемонстрированы первые сетевые устройства с коммуникациями типа machine-to-machine (M2M) [20].

В России к 2000 году тоже был накоплен богатый опыт создания устройств, подключаемых к Интернету. Так, компанией «Tekseed LLC» (США) и ООО «АСК Лаборатория» (Россия) [21] были совместно разработаны и внедрены образцы IP-видеокамеры, IP-видеомонитора, IP-велосипеда, IP-устройства сбора и обработки аналоговой и цифровой информации. IP-видеокамера и IP-видеомонитор осуществляли коммуникации через Интернет как источник и приемник видеoinформации [20], [22]. IP-велосипед являлся при реабилитации манипулятором с бесконечным непрерывным перемещением по контенту виртуальных миров – по сайтам городов и учебных заведений [23]. Уже тогда разработчики позиционировали его, в том числе как тренажер для реабилитации пациентов с заменой рутинного занятия на велоэргометре на виртуальное путешествие в процессе занятий. IP-устройство сбора и обработки информации являлось основой построения модулей распределенных систем сбора и обработки информации, в том числе о пациенте.

Многими публикациями утверждается, что Интернет вещей – маркетинговый термин, не отражающий суть технологии, но позволяющий разработчикам и компаниям договориться о взаимодействии через Интернет как концепции коммуницирования. В целом можно констатировать, что поддержка и активное развитие этой концепции крупнейшими IT-гигантами позволили ей стать новой движущей силой, способной коренным образом преобразовать многие отрасли человеческой деятельности, в том числе и современную медицину.

Суть Интернета вещей как технологии в здравоохранении – создание однородного цифрового пространства, обеспечивающего совместимость, коммуникации между цифровыми медицинскими объектами, обмен информацией и перемещение данных. Именно это делает предоставление медицинских услуг более эффективным и формирует условия получения выгод от их цифровизации.

IoT в медицинской электронике и существующие проблемы

Отрасли, в которых в основном используются решения с использованием IoT, – это рынки мобильной вычислительной техники, систем безопасности и связи. Однако проведенное АО «ЦНИИ «Электроника» (Россия) исследование [24] показывает, что в Российской Федерации уже около 14 % выпускаемых по технологии IoT изделий представляют собой решения для медицинской электроники. Но существенного роста в этом сегменте рынка ожидать не приходится: только около 22 % российских компаний, занимающихся разработкой и производством продуктов и решений для IoMT, планируют дальнейшие работы в области медицинской электроники [24].

Обостряются нерешенные вопросы обеспечения безопасности данных в соответствии с Приказом Министерства здравоохранения РФ [1], защиты от кибератак, которые высказывают около 58 % участников опроса [24]; отсутствие промышленных стандартов (46 %), отсутствие нормативной базы (46 %).

Большая работа предстоит операторам связи для обеспечения надежных и бесперебойных коммуникаций, связанная с масштабной модернизацией сетей связи для пропуска трафика 5G [25], критичного к задержкам. Это требует от операторов глобального пересмотра концепции построения сетей, приобретения оборудования, поддерживающего современные протоколы маршрутизации трафика.

Кроме того, несмотря на то что технология создания модулей встраиваемого класса для глобально распределенных систем насчитывает более 20 лет, хорошо поддержана массово выпускаемыми электронными комплектующими такими

компаниями, как «Texas Instruments» (США), «Samsung» (Корея), «Qualcomm» (США), «Philips» (Нидерланды) и другими, и многие проблемные вопросы концептуального характера решены, все-таки остается еще ряд нерешенных проблем.

Применительно к тематике статьи особенно актуальными остаются вопросы комплексного характера:

- гарантированность подключения online-мониторов к коммуникациям в местах массового скопления людей с мобильными устройствами;
- обеспечение непрерывности мониторинга параметров здоровья и биометрии за счет реализации «бесшовного» роуминга и переключения между коммуникационными технологиями;
- микроминиатюризация носимых online-устройств для удобства их постоянного ношения пациентами.

С учетом вышесказанного в табл. 1 отражена эволюция требований к технологии Интернета вещей за последние два десятилетия в связи с ее использованием для решения задач удаленного мониторинга состояния здоровья людей.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что технология IoT имеет перспективу широкого внедрения в устройства и технологию online-кардиомониторирования. Однако этому пока препятствуют перечисленные нерешенные проблемы общего характера, относящиеся в основном к обеспечению защищенных и надежных коммуникаций.

Интерес IoT-производителей к модулям медицинского назначения зависит лишь от их востребованности, широкого внедрения в практику online-мониторирования.

Таблица 1

Эволюция требований к IoT

Проблема	Наличие проблемы в		Требование	Обоснование
	2000 г.	2020 г.		
Безопасность устройств и коммуникаций	–	+	Устройство IoT должно собирать данные, идентифицировать объекты и осуществлять защищенные коммуникации, отражать кибератаки	В работе [26] IoT обоснованно называется Internet of Terror и рассматриваются его аспекты. Требования защищенности данных (медицинская тайна)
Унификация аппаратных и программных решений	–	+	Совместимость и взаимозаменяемость устройств и технологических мероприятий	Большое количество специализаций производителей: Internet of Your Things, «Microsoft» (США); Internet of Everything, «Cisco» (США); Industrial Internet, «General Electric» (США); Watson IoT Unit, «IBM» (США); HomeKit, «Apple» (США) и др.
Обеспечение коммуникаций типа «устройство-устройство» (M2M)	+	+	Необходимость поддержки популярных беспроводных интерфейсов и каналов связи	Повсеместное внедрение сегментов сетей ZigBee, WiFi, WiMAX, LoRaWAN, 4G, переход на 5G и выше [25], [27], [28].
Автономное бесперебойное питание мобильных устройств	+	+	Увеличение времени бесперебойного автономного питания и подзарядка от разных источников, включая преобразователи тепла человека, солнечной энергии	Повышение мобильности пациентов [3]-[5]
Повышение производительности	–	+	Интеллектуализация устройств IoT, позволяющая обрабатывать полученные данные, делать выводы и принимать решения	Разгрузка сетевого трафика и деятельности врача
Развитие инфраструктуры коммуникаций и увеличение скорости обмена данными	–	+	Гарантированное подключение устройств IoT к Интернету или локальной сетевой инфраструктуре для обмена информацией с другими устройствами (M2M). Обеспечение «бесшовного» роуминга	Постоянный рост пропускной способности каналов при возрастании количества подключений устройств. Изменение и расширение технологий коммуникаций [25]
Обеспечение мобильности модулей IoT	+	+		«Мосты» между технологиями коммуникаций
Механизмы и оборудование для подключения к Интернету	+	+		Переход от внешних модулей к интеграции в чипсеты. Развитие IoT

Список литературы:

1. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 30.11.2017 № 965н «Об утверждении порядка организации и оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий» (зарегистрирован 09.01.2018 г. № 49577) / <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201801100021> (дата доступа: 01.12.2020 г.).
2. International Society for Telemedicine & eHealth / <http://www.isfteh.org/> (дата доступа: 01.12.2020 г.).
3. Все продукты для мониторинга пациентов / <https://www.philips.ru/healthcare/solutions/patient-monitoring/all-patient-monitoring-products> (дата доступа: 01.12.2020 г.).
4. IoT in Healthcare Expectations for 2020 / <https://www.digitalinformationworld.com/2020/02/iot-in-healthcare-expectations-for-2020.html> (дата доступа: 01.12.2020 г.).
5. Internet of Things to healthcare / <https://www.medicaldevice-network.com/comment/bringing-internet-things-healthcare/> (дата доступа: 01.12.2020 г.).
6. What can IOT do for HealthCare / <https://www.wipro.com/business-process/what-can-iot-do-for-healthcare/> (дата доступа: 01.12.2020 г.).
7. Мониторинг пациентов / <https://www.gehealthcare.ru/products/patient-monitoring> (дата доступа: 01.12.2020 г.).
8. Мониторы пациента и системы жизнеобеспечения / https://www.mindray.com/ru/category/Patient_Monitoring_Life_Support.html.
9. Мониторы пациента и ИТ-решения Dräger / https://www.draeger.com/ru_ru/Hospital/Portfolio/Patient-Monitoring-IT (дата доступа: 01.12.2020 г.).
10. Мониторы пациента / <http://www.triton.ru/tovary/monitory-pacienta/> (дата доступа: 01.12.2020 г.).
11. CARDEX Real help in real life / <http://www.cardex.ru/> (дата доступа: 01.12.2020 г.).
12. Суточные мониторы и регистраторы / <https://www.incart.ru/production/kt-07/holterovskoe-monitorirovanie-kt-07/> (дата доступа: 01.12.2020 г.).
13. Красичков А.С. Принципы построения и базовое алгоритмическое обеспечение систем удаленного мониторинга состояния здоровья больных с нарушениями сердечно-сосудистой системы // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2016. № 2. С. 85-94.
14. CardioSecur / <https://www.cardiosecur.com/> (дата доступа: 01.12.2020 г.).
15. Кардиомонитор CardioQVARK. Контроль сердечно-сосудистой системы / <https://cardioqvark.ru/>.
16. Юлдашев З.М., Рагеб Ага М. Метод и аппаратно-программный комплекс для оценки функционального состояния и эффективности носимых online-кардиомониторов // Биотехносфера. 2019. № 6 (64). С. 10-15.
17. Анисимов А.А., Глазова А.Ю., Пустозеров Е.А., Юлдашев З.М. Системы удаленного мониторинга здоровья людей с хроническими заболеваниями. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. 172 с.
18. Yoshimoto M., Izumi S. Recent Progress of Biomedical Processor SoC for Wearable Healthcare Application: A Review // IEICE Trans. Electronics. 2019. Vol. E102-C. № 4. PP. 245-259.
19. Weiser M. The Computer for the 21st Century / Scientific American Special Issue on Communications, Computers and Networks. 1991.
20. Астапович А.М., Сергеев М.Б., Востриков А.А., Чудиновский Ю.Г. Информационно-управляющие системы на основе Интернет // Информационно-управляющие системы. 2002. № 1. С. 12-18.
21. ASK Lab / www.ask-lab.com.
22. Сергеев М.Б., Чудиновский Ю.Г. IP-сеть как основа построения распределенных информационно-управляющих систем / В кн.: Информационно-управляющие системы для подвижных объектов; под общ. ред. М.Б. Сергеева. – СПб.: Политехника, 2002. С. 33-42.
23. Сергеев М.Б., Никитин А.А., Никитин А.В., Чудиновский Ю.Г. Принципы построения и реализация пользовательского интерфейса систем тренинга управления подвижными объектами на примере аппаратно-программного комплекса «Велонет» (Velonet) / В кн.: Информационно-управляющие системы для подвижных объектов. – СПб.: Политехника, 2002. С. 66-78.
24. Исследование радиоэлектронной отрасли. Интернет вещей: потенциал российских компаний. – АО «ЦНИИ «Электроника», 2019 / <https://www.instel.ru/izdaniya/inform-material/internet-veshchey-potentsial-rossiyskikh-kompaniy/> (дата доступа: 01.12.2020 г.).
25. Wearable Technology in Healthcare. Report Code: GDHCHT026, Published: August 2019 / <https://store.globaldata.com> (дата доступа: 01.12.2020 г.).
26. Neville-Neil G. V. IoT: The Internet of Terror // Communications of the ACM. 2017. Vol. 60. № 10. PP. 36-37.
27. Балонин Н.А., Сергеев М.Б. Беспроводные персональные сети / Учеб. пособие. – СПб.: ГУАП, 2012. 60 с.
28. Sergeev A.M., Blaunstein N.Sh. Evolution of Multiple-Access Networks – Cellular and Non-cellular – in Historical Perspective. Part 1 // Информационно-управляющие системы. 2018. № 4. С. 86-104.

*Зафар Мухамедович Юлдашев,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра биотехнических систем,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный электротехнический
университет им. В.И. Ульянова (Ленина)»,
Александр Михайлович Сергеев,
канд. техн. наук, ст. научный сотрудник,
кафедра вычислительных систем и сетей,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения»,
Наталья Станиславовна Настуева,
студент,
кафедра физики, математики и информатики,
ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский
государственный медицинский университет
им. акад. И.П. Павлова»,
г. С.-Петербург,
e-mail: yuld@mail.ru*

* * * * *