

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПО РЕАЛИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ НА БАЗЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

© 2016 А.А. Минаев¹, Д.В. Купер¹, А.В. Иващенко²

¹ Самарское отделение научно-исследовательского института радио

² Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Статья поступила в редакцию 11.11.2016

Статья посвящена проблеме построения распределенной автоматизированной системы для медицинской диагностики на основе современной концепции Интернета вещей. В результате системного анализа и классификации диагностических аппаратно-программных комплексов выделен новый класс медицинских приборов, относящихся к мобильным комплексным активным медицинским диагностическим системам с открытым интерфейсом. Отличительным свойством такой системы является возможность комбинированного достижения высоких показателей энергоэффективности, надежности и своевременности решения задач медицинской диагностики. В рамках реализации концепции Интернета вещей для медицинской распределенной диагностики в статье концепция медиаторной сети связи, в рамках которой удастся повысить автономность каждого датчика за счет реализации специализированного программного обеспечения, функциональность которого включает предобработку информации на стороне датчика и реализацию P2P взаимодействия между датчиками в процессе передачи данных. В ходе такого взаимодействия устройства сбора информации реализуют не только свое непосредственное назначение, но и участвуют в передаче информации между сторонними устройствами. В общем виде медиатор представляется в виде трех взаимодействующих подсистем: сетевого узла, агента и диспетчера. Одно из основных отличий такой архитектуры заключается в реализации предварительной обработки данных посредством вычислительных возможностей интеллектуальных датчиков. Также предлагается использовать интерфейс информационного взаимодействия между датчиками, необходимый для реализации комплексной обработки информации в рамках измерительной подсистемы. Предлагаемая архитектура позволяет наделять систему сбора и обработки данных функционалом, который определяет возможность начального диагностического анализа на уровне данной системы в реальном масштабе времени. Выбранный подход обеспечивает сокращение совокупных энергозатрат автономных устройств на проведение диагностики, сокращает время доставки сетевых сообщений и количество детектированных исключительных ситуаций, вследствие чего повышается общая эффективность распределенной медицинской диагностики. *Ключевые слова:* Интернет вещей, сенсорные сети, мультиагентные технологии, распределенная диагностика.

ВВЕДЕНИЕ

Современные инструментальные методы медицинской диагностики основываются на применении различных датчиков, способных отслеживать показатели деятельности организма, а также аппаратов диагностических воздействий и регистрации реакций. Одно из преимуществ инструментальных методов медицинской диагностики перед лабораторными заключается в сравнительно малом периоде получения результатов одного цикла измерения, что позволяет использовать их для исследования высокочастотных характеристик деятельности организма. Примерами таких характеристик могут служить важнейшие показатели деятельности, такие как

Минаев Антон Андреевич, ведущий инженер.

Купер Дмитрий Витальевич, заместитель директора филиала.

Иващенко Антон Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и технологий. E-mail: anton.ivashenko@gmail.com

артериальное давление, температура тела, насыщение крови кислородом и многие другие.

Решить указанные проблемы можно с помощью современной концепции Интернета вещей [1 – 4], реализовав самоорганизующуюся сеть автономных устройств сбора и обработки медицинской информации. Появившись в виде идей широкого применения средств радиочастотной идентификации (RFID), в настоящее время эта концепция охватывает широкий спектр задач построения беспроводных сетей, организации межмашинного взаимодействия и реализации программно-конфигурируемых сетей, чем вызывает достаточно большой интерес. Преимущества беспроводных диагностических систем включают высокую эргономику и функциональное удобство. Кроме того, популярность таких технологий в медицинском приборостроении во многом обеспечивается ее гибкостью, автономностью и надежностью.

Использование такого подхода к синтезу медицинских диагностических систем позволяет

динамически формировать спектр анализируемых параметров жизнедеятельности человеческого организма. В данной статье на основе системного анализа современных тенденций по автоматизации распределенной медицинской диагностики предлагается техническое решение, основанное на реализации медиаторной архитектуры распределенной диагностической сети.

ПРОБЛЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Интенсивная медицинская диагностика [5] представляет собой процесс непрерывной периодической регистрации параметров жизнедеятельности организма в течение определенного отрезка времени, предназначенный для экстренного оповещения критических изменений и/или последующего анализа динамики данных параметров. Интенсивная медицинская диагностика широко применяется во время хирургических операций и реанимационных мероприятий. Кроме того, она необходима на этапах послеоперационной адаптации пациентов, а также используется для проведения холтеровского мониторинга.

Важной характеристикой при применении интенсивной медицинской диагностики является не только моментальное значение показателей деятельности организма, но и их динамика. Из этого следует необходимость накопления диагностической информации путем непрерывного сохранения измерительных потоков и ее последующего анализа. В случае применения комплексной медицинской диагностики определенным набором датчиков возникает проблема обработки большого количества потоков диагностических данных и своевременного оповещения о выявленных тревожных ситуациях. Кроме того, для хранения диагностических данных требуются значительные объемы памяти централизованного хранилища.

Для решения проблем интенсивной медицинской диагностики на базовом уровне медицинских информационных систем применяются мониторы пациента. Монитор пациента представляет собой электронное устройство, предназначенное для сбора и отображения диагностической информации, обладающее набором интерфейсов для подключения измерительных датчиков и средствами оповещения о тревожных ситуациях. Кроме того, современные мониторы пациента обладают возможностью передачи диагностической информации на верхний уровень для сохранения и последующего анализа. В качестве верхнего уровня в таких сетях используются специализированные серверные станции.

Монитор пациента обеспечивает сбор диагностических данных с измерительных датчиков с постоянной дискретизацией, их сохранение во

внутреннюю память, а также осуществляет оповещение о возникших тревожных ситуациях со звуковым и световым оповещением.

В существующей системе измерительный сигнал с датчиков поступает на монитор пациента, который обеспечивает калибровку данных, отображение в реальном масштабе времени, локальную регистрацию и световое и звуковое оповещение о тревожных ситуациях. Кроме того, данные диагностики поступают на выделенный сервер посредством локальной сети. Сервер, принимая диагностические данные, сохраняет их в своей базе данных. Также сервер отвечает за пост-обработку информации, выделение агрегированных данных, а также передачу этих данных на средства отображения медицинского персонала.

Мониторы пациента успешно используются в палатах интенсивной терапии, однако имеют ряд недостатков, среди которых можно отметить следующие:

- жесткая программно-аппаратная архитектура;
- отсутствие систем адаптации к изменяющимся условиям измерения и значений измеряемых показателей;
- отсутствие интеллектуальных методов комплексного анализа данных в реальном масштабе времени.

Распределенная диагностическая система характеризуется тем, что измерения выполняются при помощи проводных датчиков в масштабе реального времени. Первичная обработка данных также выполняется непосредственно на оборудовании монитора пациента. Для дальнейшего анализа диагностических данных мониторы могут быть объединены в локальную сеть, которая предоставляет возможность отправки информации в центр обработки данных (ЦОД). ЦОД позволяет медицинскому персоналу получать агрегированные статистические данные о диагностической системе.

В научной литературе описаны решения перечисленных проблем реализации интенсивной медицинской диагностики с использованием распределенной сети датчиков, базирующуюся на различных технологиях. Так, в работах [6, 7] описывается архитектурное решение беспроводной системы сбора диагностической информации, ее передачи на выделенный сервер и оповещение медицинского персонала. В представленной системе для обеспечения сбора и обработки данных медицинской диагностики на стороне пациента организуется беспроводная сеть датчиков, каждый из которых оборудован средствами беспроводной связи с координатором. Для связи датчиков с координатором предлагается использовать протоколы беспроводной передачи данных ZigBee или Bluetooth. Координатор диагностической сети организует прием потоков диагностической информации и транслирует их

в локальную вычислительную сеть посредством беспроводного протокола Wi-Fi. В локальной сети данные медицинской диагностики принимаются устройствами отображения информации в масштабе реального времени, устройствами тревожного оповещения, а также выделенным сервером. Выделенный сервер принимает диагностическую информацию, регистрирует ее в базе данных, а также обеспечивает обработку и агрегирование этой информации.

Система распределенной беспроводной диагностической сети [8] является более гибкой как в структурном, так и в информационном смысле. Гибкость данной системы обеспечивается за счет отсутствия привязки конкретного диагностического датчика к конкретной системе диагностирования пациента, что позволяет формировать произвольный набор датчиков в одной подсистеме сканирования.

При этом в рамках одной подсистемы изменения предполагается постоянная передача потоков данных медицинской диагностики с датчиков пациента. Кроме того, протоколы беспроводной передачи данных медицинской диагностики от датчиков к координаторам используют нелицензируемый диапазон частот в районе 2,4

ГГц. Все это, наряду с плотностью расположения датчиков и ограниченностью количества каналов в несколько десятков (интерфейсы Bluetooth и ZigBee), определяет предпосылки к возникновению нестабильности в системе беспроводной коммуникации. Потоки диагностических данных, транслируемые в локальную вычислительную сеть, нуждаются в анализе в масштабе реального времени на стороне устройств тревожного оповещения, что в случае использования мобильных решений (смартфонов, ноутбуков) сокращает время автономной работы данных устройств.

КЛАССИФИКАЦИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Для конкретизации объекта исследования и проведения системного анализа предложена фасетная классификация медицинских приборов и диагностических систем, нацеленная на отражение их технических характеристик (см. рис. 1). В рамках предлагаемой классификации медицинские диагностические системы и приборы по степени мобильности делятся на стационарные и мобильные. Стационарные диагностические

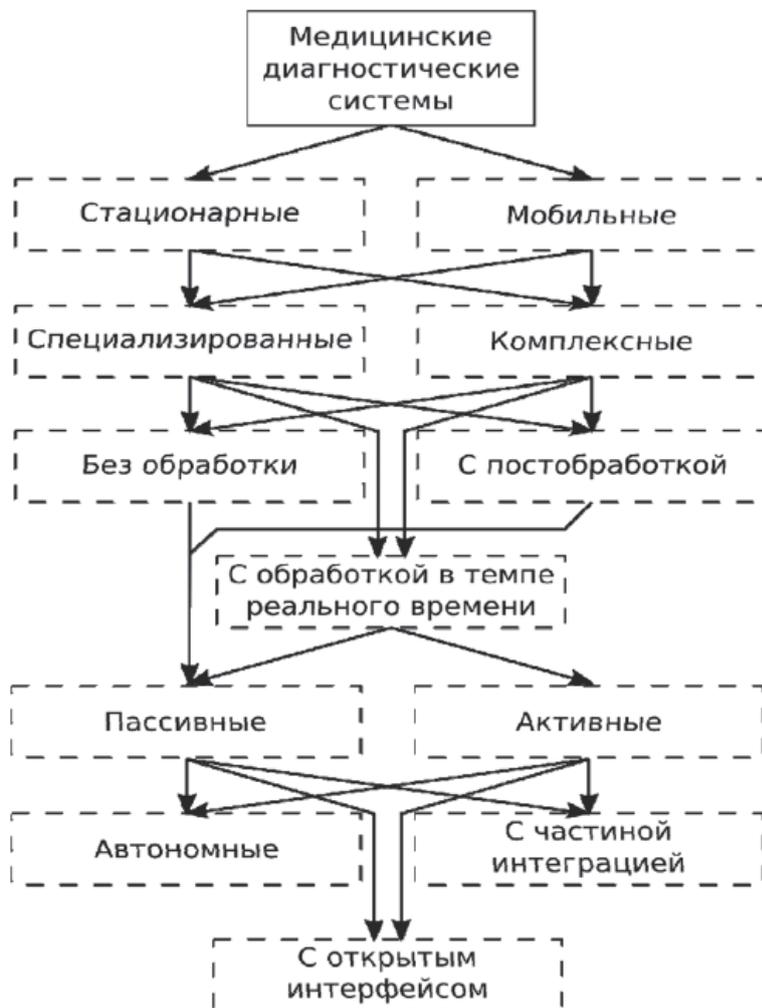


Рис. 1. Классификация диагностических систем

системы в отличие от мобильных предполагают ограничение в перемещении пациента и подключение к сетевому источнику питания.

По разнообразию анализируемых показателей организма диагностические системы делятся на специализированные и комплексные. Специализированные диагностические системы нацелены на сбор одного вида измерительной информации о состоянии организма человека. Комплексные диагностические системы имеют возможность одновременного отслеживания множества видов измерительной информации.

По типу обработки измерительной информации диагностические системы делятся на три фасета: без обработки измерительных данных, с пост обработкой и с обработкой в темпе реального времени. Медицинские диагностические системы и приборы без обработки измерительных данных используются для получения параметров жизнедеятельности организма и преобразования их в удобно воспринимаемый для человека вид. Приборы с постобработкой предполагает накопление измерительных данных во внутренней памяти устройства для последующего анализа. Медицинские диагностические системы и приборы с обработкой в темпе реального времени реализует анализ измерительной информации непосредственно в процессе ее получения. К диагностическим приборам и системам без обработки медицинской информации можно отнести медицинский термометр, с постобработкой – система суточного мониторинга ЭКГ (хотлеровский монитор), с обработкой в темпе реального времени – прикроватный монитор.

По реакции на показатели жизнедеятельности организма медицинские диагностические системы и приборы делятся на активные и пассивные. Параметры и методы диагностики активных систем зависят от результатов анализа данных предыдущей диагностики. Таким образом, активные медицинские диагностические системы могут быть реализованы только с обработкой измерительных данных в темпе реального времени.

По методам интеграции диагностические системы и приборы делятся на автономные, с частичной интеграцией и с открытым интерфейсом. Автономные диагностические системы и приборы не предполагают интеграции с иными системами и нацелены на восприятие выходных данных непосредственно человеком. Частичная интеграция предполагает наличие интерфейса взаимодействия ограниченного числа диагностических систем и их компонентов или частичной реализации функциональных возможностей в рамках открытого интерфейса. Диагностические системы и приборы с открытым интерфейсом позволяют с его помощью получить доступ к полному спектру функциональных возможностей, то есть не ограничивают полезность системы при переходе на ее использование через интерфейс.

В рамках представленной классификации выделен **новый класс** медицинских приборов, относящихся к мобильным комплексным активным медицинским диагностическим системам с обработкой в темпе реального времени и открытым интерфейсом. Отличительным свойством таких устройств является возможность комбинированного достижения высоких показателей энергоэффективности, надежности и своевременности решения задач медицинской диагностики.

Таким образом, возможности беспроводной связи позволяют строить распределенные архитектуры систем сбора и обработки данных для обеспечения комплексной медицинской диагностики. Открытые протоколы взаимодействия позволяют подключать к диагностической системе новые медицинские приборы, тем самым расширяя спектр наблюдаемых симптомов. Динамически формируемый спектр анализируемых параметров организма играет важную роль в применении данных технологий для наблюдения и анализа жизненных показателей пациентов, особенно в условиях стационара. Централизованная консолидация показателей, их предварительная обработка и конечный анализ в условиях одновременно большого количества пациентов и наблюдаемых параметров является достаточно сложной задачей, и ее реализация при помощи классических мониторинговых систем затруднительна.

Для решения поставленной проблемы создания комплексных активных медицинских диагностических систем с обработкой в темпе реального времени и открытым интерфейсом можно предложить разработку открытой архитектуры, обеспечивающей взаимодействие автономных программных компонентов и подсистем согласно концепции Интернета вещей (the Internet of Things) [1 – 4]. Данная концепция предусматривает построение вычислительной сети физических объектов, оснащенных встроенными приемо-передающими средствами связи для взаимодействия друг с другом или внешней средой. С одной стороны, архитектура такой сети должна удовлетворять требованиям надежности и производительности, а с другой стороны, – быть адаптивной к изменению количества объектов и связей между ними и открытой к подключению новых элементов.

Концепция Интернета вещей предлагает объединение интеллектуальных компонентов системы, датчиков и актуаторов, обладающих автономным поведением, посредством реализации информационного обмена в общей сети. Такие сети могут изменять свою конфигурацию в ответ на события внешней среды, представлять открытые интерфейсы для подключения новых устройств и производить балансировку собственной загрузки в соответствии с возникающими потребностями.

КОНЦЕПЦИЯ МЕДИАТОРНОЙ СЕТИ СВЯЗИ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Реализация концепции Интернета вещей для медицинской распределенной диагностики может быть выполнена на базе современной концепции медиаторной сети связи [9 – 12]. В рамках этой концепции предлагается повысить автономность каждого датчика за счет реализации специализированного программного обеспечения, функциональность которого включает предобработку информации на стороне датчика и реализацию P2P взаимодействия между датчиками в процессе передачи данных. В ходе такого взаимодействия устройства сбора информации реализуют не только свое непосредственное назначение, но и участвуют в передаче информации между сторонними устройствами.

Медиатор – это обособленное автономное устройство выполняющее диагностические задачи сбора и обработки информации, а также обеспечивающее инфраструктуру передачи данных. В общем виде медиатор представляется в виде трех взаимодействующих подсистем: сетевого узла, агента и диспетчера. Функциональность агента-медиатора включает:

- непосредственно сбор данных и накопление их в промежуточном хранилище небольшого объема;
- предварительная обработка данных в реальном времени и выявление потенциально опасных ситуаций;
- корректировка интервалов дискретизации (адаптивная дискретизация) – уменьшение в случае необходимости повышения точности измерений и увеличение по возможности для снижения нагрузки на сеть;
- формирование сообщений о потенциально опасных ситуациях и передача их для централизованного анализа;
- запрос к другим агентам датчиков для проведения дополнительных измерений и осуществления комплексного анализа ситуации;
- выполнение функций посредника (медиатора) при передаче данных между сторонними агентами и центром;
- балансировка нагрузки по сбору данных и выполнению посреднических функций.

Одно из основных отличий такой архитектуры заключается в реализации предварительной обработки данных посредством вычислительных возможностей интеллектуальных датчиков. Также предлагается использовать интерфейс информационного взаимодействия между датчиками, необходимый для реализации комплексной обработки информации в рамках измерительной подсистемы.

Предлагаемая архитектура позволяет наделить систему сбора и обработки данных функционалом, который определяет возможность начального диагностического анализа на уровне данной системы в реальном масштабе времени. Данные преимущества улучшают качество и своевременность диагностики. Каждый датчик работает под контролем системы управления модулем датчика. Модуль датчика представляет собой законченное устройство, имеющее беспроводной интерфейс, преобразователь физической величины в оцифрованные данные и систему управления. Для минимизации количества первичных данных, которые необходимо обработать, система управления модулем датчика управляет частотой дискретизации производимых измерений. Частота дискретизации измеряемых параметров является важным фактором, влияющим на эффективность работы не только отдельного модуля датчика, но и всей системы в целом.

Клиент медиаторной сети предоставляет пользователю прозрачный сервис передачи данных между остальными узлами независимо от их географического и топологического местоположения. Возможность прозрачной передачи информационных потоков между клиентами обеспечивается ячеистой архитектурой рассматриваемой сети, специализацией ее структурных компонентов, а также адаптивными алгоритмами маршрутизации применяемого стека протоколов передачи данных. Применяемые алгоритмы и протоколы реализуют возможность формирования динамичной топологии медиаторной сети на физическом уровне, структура которой определяется качественными параметрами связи между узлами и текущих коммуникационных задач.

На рис. 2 представлена схема балансировки медиаторной диагностической сети.

Таким образом, формируется процесс балансировки агентов в диагностической медиаторной сети сбора и обработки данных. Балансировка медиаторной функции, применительно к распределенной диагностической сети, обеспечивает сокращение совокупных энергозатрат автономных устройств на проведение медицинской диагностики, сокращает время доставки сетевых сообщений и количество детектированных исключительных ситуаций, вследствие чего повышаются критерии эффективности диагностической системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение современных информационно-коммуникационных технологий в медицинской диагностике обеспечивает новые возможности для повышения качества и уровня сервиса при оказании медицинских услуг. На основе классификации и системного анализа существующих

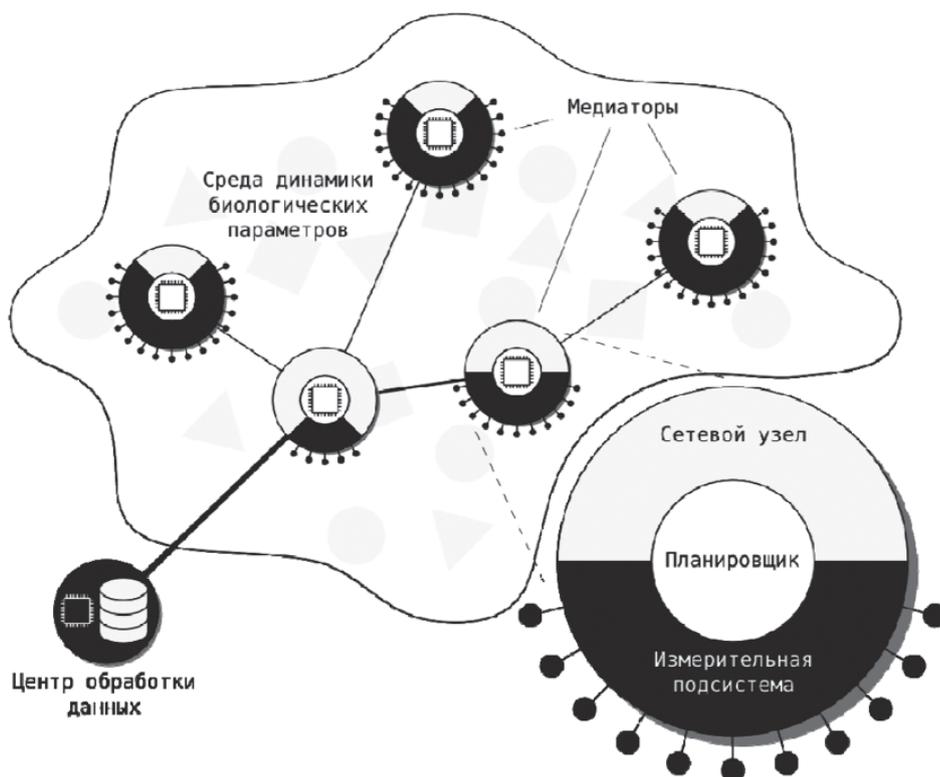


Рис. 2. Схема балансировки медиаторной диагностической сети

технических решений для распределенной медицинской диагностики удалось предложить новую область применения технологии Интернета вещей. Пример реализации технологии Интернета вещей для медицинской диагностики в виде медиаторной сети связи подтвердил высокие преимущества распределенных программных решений, базирующихся на современных информационных технологиях в медицине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боронин П.Н., Кучерявый А.Е. Интернет вещей как новая концепция развития сетей связи // Информационные технологии и телекоммуникации. 2014. № 3(7). С. 7 – 30.
2. Кучерявый А.Е. Интернет вещей // Электросвязь. 2013. № 1. С. 21 – 24.
3. Прошлое, настоящее и будущее стандартизации интернета вещей / В.К. Сарьян, Н.А. Сущенко, И.А. Дубнов и др. // Труды НИИР. 2014. № 1. С. 2 – 7
4. Росляков А.В., Ваняшин С.В., Гребешков А.Ю., Самсонов М.Ю. Интернет вещей [под ред. А.В. Рослякова] // Самара: ПГУТИ, ООО «Издательство Ас Гард», 2014. 340 с.
5. Reynolds H.N., Rogove H., Bander J., McCambridge M., Cowboy E., Niemeier M. Telemedicine and e-Health. 12.2011. № 17(10). 2011. P. 773 – 783.
6. Sahandi R., Noroozi S., Roushanbakhti G., Heaslip V., Liu Y. Wireless technology in the evolution of patient monitoring on general hospital wards // Journal of Medical Engineering and Technology. 2010. № 34 (1). P. 51 – 63.
7. Liu Y., Sahandi R. ZigBee network for remote patient monitoring // IEEE 22nd International Symposium on Information, Communication and Automation Technologies, 29-31 October 2009, Sarajevo, Bosnia & Herzegovina, 2009. P. 1 – 7.
8. Aminian M, Naji HR A hospital healthcare monitoring system using wireless sensor networks // J Health Med Inform 4: 121, 2013. doi:10.4172/2157-7420.1000121
9. Ivaschenko A., Minaev A. Multi-agent solution for adaptive data analysis in sensor networks at the intelligent hospital ward // Lecture Notes in Computer Science LNCS 8610, Springer International Publishing Switzerland 2014. P. 453 – 463.
10. Ivaschenko A., Minaev A. Multi-agent solution for a self mediator sensor network // Proceedings of the European Simulation and Modeling Conference 2014 (ESM 2014), FEUP, Porto, Portugal, EUROSIS-ETI. – P. 209 – 212.
11. Иващенко А.В., Минаев А.А. Модель посредника-медиатора в подвижных сенсорных сетях распределенной диагностики // Известия Самарского научного центра РАН, Том 17, № 2(5), 2015. С. 1004 – 1009.
12. Иващенко А.В., Минаев А.А., Снодобаев М.Ю., Диязитдинова А.Р. Концепция медиаторной сети связи для сбора и обработки данных в реальном времени // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. № 5. С. 56 – 64.

MODERN TRENDS IN DISTRIBUTED MEDICAL DIAGNOSTICS AUTOMATION BASED ON THE INTERNET-OF-THINGS

© 2016 A.A. Minaev¹, D.V. Kuper¹, A.V. Ivaschenko²

¹ Samara Department of Radio Research and Development Institute

² Samara National Research University

The paper deals with the problem of development of a distributed automated system for medical diagnostics based on the modern concept of the Internet of Things. In the process of analysis and classification of diagnostic hardware and software there was derived a new class of medical devices related to mobile integrated active medical diagnostic systems with open interfaces. The distinctive feature of this system is the ability to achieve a combination of energy efficiency, reliability and timeliness of solutions for medical diagnostics tasks. To implement the Internet of Things concept for medical distributed diagnostics we propose to build a self-mediator sensor network concept, which makes it possible to increase the autonomy of each sensor through the implementation of specialized software functionality. This functionality includes pre-processing of information on the transmitter side and implementation of P2P interaction between the sensors in the process of data transfer. In the process of such interaction, the diagnostic devices implement not only their direct purpose, but also participate in data transfer between third party devices. In general, the proposed mediator pattern contains three cooperating subsystems: the network node, the agent and the dispatcher. One of the main differences of this architecture is implementation of pre-processing by computing capabilities of smart sensors. Data interaction interface between the sensors that is required for the implementation of complex information processing within the measurement subsystem. The proposed architecture allows implementing data collection and processing functionality, which provides initial diagnostics on the system level in real time. The approach provides a reduction in the total energy consumption of autonomous devices to perform diagnosis, reduces the delivery time of network messages and the number of detected exceptions, thereby increasing the overall efficiency of a distributed medical diagnostics.

Keywords: The Internet of Things, sensor networks, multi-agent technologies, distributed diagnostics.

Anton Minaev, Lead Developer

Dmitry Kuper, Deputy Manager

*Anton Ivaschenko, Doctor of Technics, Professor at the
Information Systems and Technologies Department.*

E-mail: anton.ivashenko@gmail.com