

На правах рукописи



МИНАЕВ Антон Андреевич

**МЕДИАТОРНАЯ СЕТЬ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ**

Специальности:

**05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации
(в технике и технологиях);**

05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ПЕНЗА 2017

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Ибатуллин Ильдар Дугласович

Научный консультант – доктор технических наук, доцент
Иващенко Антон Владимирович

Официальные оппоненты: **Росляков Александр Владимирович**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный
университет телекоммуникаций
и информатики», заведующий кафедрой
«Автоматическая электросвязь»;

Крошили Александр Викторович,
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет», профессор
кафедры «Вычислительная и прикладная
математика»

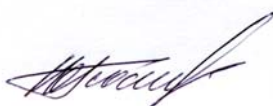
Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет», г. Воронеж

Защита диссертации состоится 22 июня 2017 г., в ___ часов, на заседании диссертационного совета Д. 212.186.04 при ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» по адресу: 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» и на сайте: http://dissov.pnzgu.ru/ecspertiza/Tehnicheskie_nauki/minaev

Автореферат разослан «___» _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Косников Юрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Современные системы распределенной диагностики на базе беспроводных пиринговых сетевых технологий получили широкое распространение в различных прикладных областях человеческой деятельности. Беспроводные сенсорные сети находят свое применение в диагностической и оперативной медицине, мониторинговании параметров различных физических сред, оптимизации маршрутов и регулировании трафика, системах охраны и контроля доступа. Популярность технологии во многом обеспечивается ее гибкостью, автономностью и надежностью.

В рамках данного направления успешно развивается концепция интернета вещей (Internet of Things, IoT), которая достаточно активно обсуждается в современном научном сообществе. Появившись в виде идей широкого применения средств радиочастотной идентификации (RFID), в настоящее время она охватывает широкий спектр задач построения беспроводных сетей, организации межмашинного взаимодействия и реализации программно-конфигурируемых сетей, чем вызывает достаточно большой интерес.

Использование такого подхода к синтезу медицинских диагностических систем позволяет динамически формировать спектр анализируемых параметров организма и применять комплексный анализ жизненных показателей пациентов в рамках стационара, что, помимо диагностических задач, является важным фактором исследования семиотики различных заболеваний.

Теоретическую основу исследования в данной области составляют современные научные работы, авторами которых являются В. И. Городецкий, Ю. В. Гуляев, А. Е. Кучерявый, Д. И. Муромцев, В. Н. Орлов, Р. М. Рангайян, А. В. Росляков, В. К. Сарьян, В. Ф. Хорошевский, М. Aminian, Y. Liu, S. Russel, R. Sahandi, V. Shnayder, M. Wooldridge.

При этом открытой остается проблема реализации концепции интернета вещей и сетевидного управления для визуализации, трансформации и анализа информации на основе компьютерных методов обработки в диагностических системах и комплексах. Таким образом, актуальной является научно-техническая задача разработки новых методов и средств сбора и обработки данных в системах распределенной диагностики в медицине и технической сфере.

Цели и задачи исследования. Целью диссертационной работы является совершенствование технических методов получения, обработки, анализа и передачи медико-биологической информации, основанных на базе открытых распределенных систем в режиме реального времени в условиях изменения динамической нагрузки.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие основные задачи:

1. Определить направление исследований на основе системного анализа процессов сбора и обработки данных в задачах распределенной диагностики.

2. Разработать модель компьютерной сети автономных устройств для сбора и обработки диагностических данных на базе беспроводных и мульти-агентных технологий и программную архитектуру медиатора.

3. Разработать алгоритмы динамической балансировки загрузки медиатора и структуру системы распределенной диагностики.

4. Реализовать программное обеспечение медиаторной сети для сбора и предварительной обработки медико-биологической информации и показателей жизнедеятельности человека.

5. Провести исследование результативности системы диагностики с использованием предложенных модели и алгоритмов имитационного моделирования и в реальных клинических приложениях.

Объектом исследования является открытая система распределенной диагностики с сетевой архитектурой.

Предмет исследования – процессы сбора, передачи и обработки данных в открытых системах распределенной медицинской диагностики.

Методы исследования. В работе использовались концепция интернета вещей, модели сетевцентрического управления, мультиагентные технологии, методы системного анализа, методы управления сложными организационно-техническими системами, методы объектно-ориентированного проектирования информационных систем и методы имитационного моделирования.

Научная новизна работы характеризуется следующими результатами:

1. Предложена модель медиаторной сети сбора и обработки данных, отличающаяся от существующих аналогов возможностью динамической балансировки загрузки вычислительной мощности автономных мониторирующих устройств в составе открытой распределенной диагностической системы.

2. Предложена программная архитектура агента-медиатора, позволяющая в отличие от аналогов реализовать сетевцентрическое управление посреднической деятельностью в медиаторной сети сбора и обработки данных.

3. Разработаны алгоритмы управления посреднической деятельностью и динамической балансировки загрузки автономных устройств распределенной диагностики, отличающиеся возможностью своевременной и достоверной идентификации патологических событий, имеющих отражения в наблюдаемых показателях.

4. Разработана структура автономного устройства оптического контроля внутривенной инфузии с медиаторной архитектурой программного обеспечения, отличающаяся возможностью передачи данных в беспроводной сети медицинских устройств диагностики.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Архитектура медиаторной сети сбора и обработки данных позволяет решать прикладные задачи построения систем распределенной диагностики с неопределенным и/или изменяемым во времени количеством диагностических устройств и их топологией.

2. Разработанное специальное алгоритмическое и программное обеспечение медиаторной диагностической сети позволяет реализовать автоматизи-

рованные системы анализа, обработки информации и принятия решений с использованием разнородных устройств сбора и обработки диагностических данных в режиме реального времени.

3. Реализация системы медицинской диагностики на базе медиаторной распределенной сети обеспечивает идентификацию патологических признаков показателей деятельности организма в условиях гетерогенной и открытой сети сбора и обработки диагностических данных.

Достоверность и обоснованность результатов диссертации подтверждаются корректным использованием математических методов и методов имитационного моделирования, а также системным анализом объекта исследования.

Соответствие паспорту специальности. Предложенные в диссертации модель, архитектура и алгоритмы медиаторной сети сбора и обработки данных соответствуют специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в технике и технологиях). Области исследования: 5 Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, управления и обработки информации; 12 Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации.

Архитектура системы медицинской диагностики на базе медиаторной распределенной сети и повышение эффективности медицинского мониторинга на основе предложенной архитектуры соответствуют специальности 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения. Область исследования: 2 Создание высокоэффективных приборов и систем, технического и программного обеспечения, новых средств передачи и отображения медико-биологической информации.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Модель медиаторной сети сбора и обработки данных в открытой системе распределенной диагностики.

2. Программная архитектура агента-медиатора для сети сбора и обработки данных.

3. Алгоритмы управления посреднической деятельностью и динамической балансировкой загрузки автономных устройств распределенной диагностики.

4. Структурные и технические решения автономного устройства оптического контроля внутривенной инфузии с медиаторной архитектурой программного обеспечения.

Реализация и внедрение научно-технических результатов работы.

Разработанные модели и алгоритмы внедрены в Самарском государственном медицинском университете, Самарском национальном исследовательском университете имени академика С. П. Королева, Самарском отделении научно-исследовательского института радио, ООО «Вебзавод», что подтверждается соответствующими актами.

Диссертационное исследование поддержано ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России в 2014–2020 гг.», проект по созданию комплекта средств разработки программного обеспечения (СРПО) для самостоятельного формирования медицинским сообществом решений в среде симуляционных технологий в медицине с возможностью их распространения и обмена в системе здравоохранения и медицинского образования, грант Минобрнауки России 2014-14-579-0003, соглашение 14.607.21.0007, шифр RFMEFI60714X0007.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на Международном симпозиуме «Надежность и качество» (Пенза, 2014, 2016); Международной конференции «Оптические технологии в телекоммуникациях» (Казань, 2014); Международной конференции SIBCON (Омск, 2015); Международной конференции ESM (Порту, Португалия, 2014); Международной конференции «Информационные технологии в управлении» (Санкт-Петербург, 2014); Международной конференции «Перспективные информационные технологии» (Самара, 2013, 2014); Международной конференции АМТ (Варшава, Польша, 2014).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 печатные научные работы, в том числе 6 статей – в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК РФ, 4 статьи – в изданиях, зарегистрированных в базе данных SCOPUS.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографического списка из 94 наименований и перечня приложений из 2 наименований. Работа содержит 62 рисунка и 1 таблицу. Объем диссертационной работы составляет 137 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы; сформулированы цель и задачи работы, научная новизна и практическая ценность полученных результатов; приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе работы выполнен обзор существующих решений в области построения распределенных диагностических систем сбора и обработки данных, в том числе в медицине.

В рамках системного анализа процессов сбора и обработки данных в задачах распределенной диагностики и мониторинга исследованы вопросы построения сетей автономных устройств связи, способных взаимодействовать между собой в режиме реального времени. Такие сети должны 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. Важной проблемой построения распределенной архитектуры интегрированной информационной среды является обеспечение интероперабельности гетерогенного программного, технического и информационного обеспечения.

Распределенная архитектура современной диагностической системы с учетом концепции интернета вещей часто представляется в виде сети или графа, узлами которого являются программные или аппаратно-программные компоненты, способные взаимодействовать между собой путем обмена информацией в виде сообщений и обладающие автономным поведением. Для моделирования такой архитектуры используются P2P (peer-to-peer, равный с равным) модели взаимодействия. Технологии программирования, позволяющие реализовать управление передачей информации в P2P сети, должны реализовывать принципы сетецентрического управления.

Этому требованию соответствуют мультиагентные технологии. С одной стороны, эти технологии позволяют реализовать взаимодействие в открытой среде по аналогии с природными механизмами самоорганизации, но, с другой стороны, требуют дополнительных усилий по обеспечению упомянутых выше требований надежности и высокой производительности. В этой связи понятие посредника или медиатора достаточно широко используется в теории мультиагентных систем. Под медиатором в данном случае понимают специфический тип агента, предназначение которого состоит в координации интеллектуальных агентов, представлении объектов предметной области (здесь понятия «медиатор» и «агент» близки) и реализации протоколов и механизмов передачи сообщений между агентами с целью обеспечения их взаимодействия. При построении программного обеспечения такой сети необходимо реализовать функциональность автономного посредника, которая включает возможности балансировки загрузки в соответствии с интенсивностью потока текущих задач устройства.

В главе рассмотрены существующие способы классификации диагностических систем и приборов, а также терминология вычислительных сетей (ГОСТ 24402–88). Для конкретизации объекта исследования и проведения системного анализа предложена фасетная классификация диагностических систем, нацеленная на отражение их технических характеристик (рисунок 1).

В рамках предлагаемой классификации диагностические системы по степени мобильности делятся на стационарные и мобильные, которые не предполагают ограничение в перемещении и/или подключение к сетевому ис-

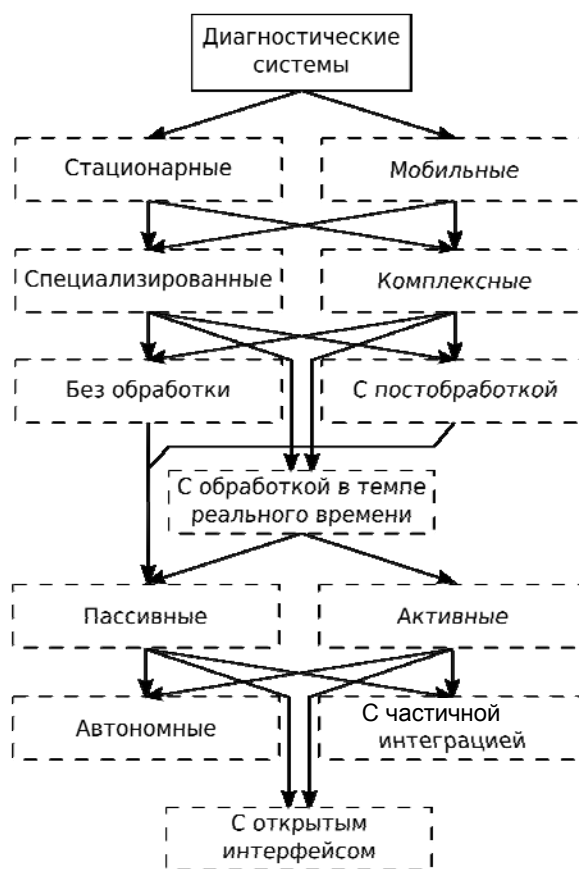


Рисунок 1 – Классификация диагностических систем

точнику питания. По разнообразию анализируемых показателей организма диагностические системы делятся на специализированные и комплексные. Специализированные диагностические системы нацелены на сбор одного вида измерительной информации, а комплексные имеют возможность одновременного отслеживания множества видов измерительной информации.

По типу обработки измерительной информации диагностические системы делятся на три фасета: без обработки измерительных данных, с постобработкой и с обработкой в темпе реального времени. По реакции на измерительные данные диагностические системы делятся на активные и пассивные. Параметры и методы диагностики активных систем зависят от результатов анализа данных предыдущей диагностики. Таким образом, активные диагностические системы могут быть реализованы только с обработкой измерительных данных в темпе реального времени.

В рамках предложенной в работе классификации (см. рисунок 1) выделен новый класс мобильных комплексных активных диагностических систем с обработкой в темпе реального времени и открытым интерфейсом. Такие системы крайне востребованы в медицине, а их отличительным свойством является возможность комбинированного достижения высоких показателей энергоэффективности, надежности и своевременности решения задач диагностики.

Во второй главе работы для выбранного класса диагностических систем предложена модель медиаторной сети сбора и обработки данных.

Рассмотрена распределенная сеть передачи данных как часть диагностической системы. Устройства связи $s_j = 1 \dots N_s$ объединяются в беспроводную сеть сбора данных по параметрам $u_i = 1 \dots N_u$.

Операция измерения каждого параметра представлена как $e_{i,j,k} = (v_{i,j,k}, t_{i,j,k}, w_{i,j,k})$, $k = 1 \dots N_k$, где $t_{i,j,k}$ – момент времени измерения; $v_{i,j,k}$ – измеренное значение; $w_{i,j,k}$ – количественная характеристика энергетических ресурсов устройства на момент измерения; N_k – количество произведенных измерений.

Обозначим реальное событие изменения значения параметра как $\varepsilon_{i,l} = (u_i, v'_{i,j,l}, t'_{i,j,l})$, $l = 1 \dots N_l$, где $v'_{i,j,l}$ – значение параметра u_i , определенное в момент времени $t'_{i,j,l}$; N_l – количество событий.

Для идентификации определенной ситуации необходимо достаточное количество событий измерения, которое обозначим шаблоном (паттерном). Паттерн представлен в виде набора интервалов ожидаемых значений $P_{i,m,n} = (v_{i,m,n}^P, t_{i,m,n}^P, \Delta v_{i,m,n}^P, \Delta t_{i,m,n}^P)$, который определяет ожидаемый m -й интервал значения и времени параметра i для паттерна n .

Тогда паттерн можно представить в виде набора таких ожидаемых интервалов: $P_n = \{p_{i,m,n}\}$, $n = 1 \dots N_p$, $m = 1 \dots N(P_n)$.

Обозначим идентификацию значения измерения по интервалу паттерна:

$$g(\hat{v}, v_{i,m,n}^p) = \delta \left[\hat{v} \in \left(v_{i,m,n}^p, v_{i,m,n}^p + \Delta v_{i,m,n}^p \right) \right] = \{0,1\}, \quad (1)$$

где $\delta[x] = \begin{cases} 1, & \text{если } x - \text{ истина,} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$

Обозначим полную идентификацию значения и времени измерения по интервалу паттерна:

$$h(\hat{v}, v_{i,m,n}^p, t_s, \hat{t}, t_{i,m,n}^p) = g(\hat{v}, v_{i,m,n}^p) \delta \left[(\hat{t} - t_s) \in \left(t_{i,m,n}^p, t_{i,m,n}^p + \Delta t_{i,m,n}^p \right) \right] = \{0,1\}. \quad (2)$$

В (1) и (2) t_s характеризует время, относительно которого детектируется паттерн, \hat{v} является значением параметра, который идентифицируется по паттерну, а \hat{t} указывает на время, соответствующее этому параметру.

Время первого возможного детектирования для каждого паттерна t_n^0 определено как

$$t_n^0 = \sum_{l=1}^{N_l} \sum_{i=1}^{N_p} g \left(v'_{i,l}, v_{i,N(P_n),n}^p \right) t'_{i,l} \times \\ \times \sum_{l=1}^{N_l} \sum_{i=1}^{N_p} \prod_{m=1}^{N(P_n)-1} h \left(v'_{i,l,m}, v_{i,l,m,1}^p, t'_{i,l,m}, t'_{i,l,m}, t_{i,l,m,1}^p \right). \quad (3)$$

В свою очередь время первого удавшегося детектирования паттерна t_n^* определено следующим образом:

$$t_n^* = \sum_{k=1}^{N_k} \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{i=1}^{N_u} g \left(v_{i,j,k}, v_{i,N(P_n),n}^p \right) t_{i,l} \times \\ \times \sum_{k=1}^{N_k} \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{i=1}^{N_u} \prod_{m=1}^{N(P_n)-1} h \left(v_{i,j,k}, v_{i,l,m,1}^p, t_{i,j,k}, t_{i,j,k}, t_{i,l,m,1}^p \right). \quad (4)$$

Детектирование паттерна в процессе измерения соответствует его успешной идентификации во временном ряду измерений. Количество идентификаций паттернов оценивается следующим образом:

$$I_p = \sum_{n=1}^{N_p} \sum_{k=1}^{N_k} \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{i=1}^{N_u} g \left(v_{i,j,k}, v_{i,1,n}^p \right) \times \\ \times \sum_{k=1}^{N_k} \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{i=1}^{N_u} \prod_{m=1}^{N(P_n)-1} h \left(v_{i,j,k}, v_{i,l,m,1}^p, t_{i,j,k}, t_{i,j,k}, t_{i,l,m,1}^p \right). \quad (5)$$

В результате ввода данной модели были сформированы комплекс критериев эффективности, соответствующих энергоэффективности, надежности и своевременности решения задач распределенной диагностики.

Критерий корректности диагностической системы можно представить как отношение количества детектированных паттернов к реальному:

$$K_p = \frac{I_p}{N_p} \rightarrow 1. \quad (6)$$

Критерий энергоэффективности диагностической системы можно представить в следующем виде:

$$K_э = \sum_{i=1}^{N_u} \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{k=2}^{N_k} w_{i,j,k} - w_{i,j,k-1} \rightarrow 0. \quad (7)$$

Критерий своевременности диагностической системы представлен следующим образом:

$$K_c = \sum_{n=1}^{N_p} t_n^* - t_n^0 \rightarrow 0. \quad (8)$$

Выражения (6–8) формируют постановку задачи сбора и обработки информации в распределенной диагностической системе. Следует отметить некоторое противоречие целей (6–8), из-за которого невозможно прямое решение поставленной задачи традиционными оптимизационными методами: система должна обеспечивать минимальное энергопотребление, обеспечивать достаточный объем входных данных и вычислительную мощность для своевременного принятия решений.

Решение задачи (6–8) основано на современных принципах сетцентрического управления, реализованных с помощью мультиагентных технологий. В рамках этой концепции в диссертации предлагается повысить автономность каждого устройства сбора и обработки данных за счет создания специализированного программного обеспечения, реализующего предобработку информации на стороне устройства и взаимодействие между устройствами в процессе передачи данных.

Устройства сбора информации должны производить измерения в такие моменты времени, чтобы наилучшим образом идентифицировать определенную ситуацию. Таким образом, решение задачи (6–8) сформулировано в виде задачи планирования: в системе должно быть сформировано расписание событий $e_{i,j,k}$, которое необходимо поддерживать в актуальном состоянии и корректировать в зависимости от результатов анализа показателей. Для формализации алгоритмов планирования в рамках решения поставленной задачи в диссертации предложена модель диагностической медиаторной сети сбора и обработки данных:

$$\Omega_M = \left(\{s_j\}, \{u_i\}, \{\varepsilon_{i,l}\}, \{p_{i,m,n}\}, \{e_{i,j,k}\} \right). \quad (9)$$

В предложенной медиаторной сети устройства сбора и обработки данных выполняют не только свои непосредственные обязанности, но и участвуют в передаче информации между сторонними устройствами, что позволяет динамически балансировать загрузку вычислительной мощности.

Таким образом, во второй главе были предложены математическая модель и комплекс критериев эффективности диагностической сети.

В третьей главе описаны разработанные алгоритмы управления посреднической деятельностью и динамической балансировки загрузки автономных устройств медиаторной сети, а также приведена архитектура медиатора. Предложенная архитектура медиатора представлена на рисунке 2.

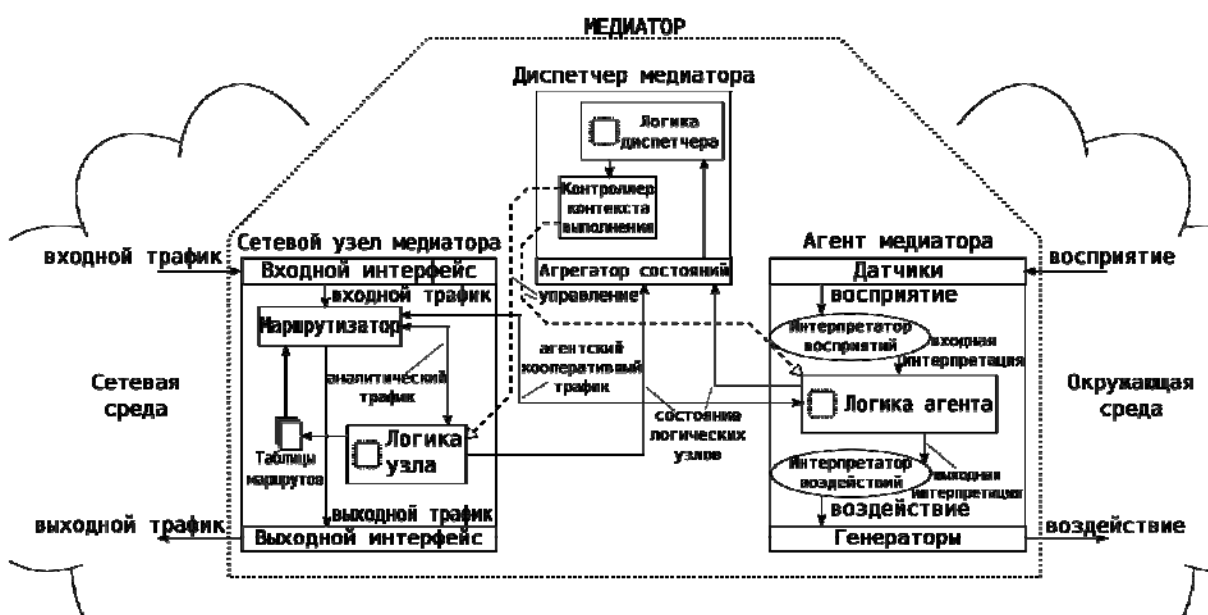


Рисунок 2 – Программная архитектура агента-медиатора

Медиаторная сеть представлена совокупностью взаимодействующих друг с другом медиаторов для каждого устройства s_j . Медиатор – обособленное автономное устройство, выполняющее диагностические задачи сбора и обработки информации, а также обеспечивающее инфраструктуру передачи данных. В общем виде медиатор состоит из трех взаимодействующих подсистем: сетевого узла, агента и диспетчера.

Понятие агентов в теории мультиагентных систем вводится для обозначения автономных программ, способных к информационному взаимодействию для достижения общих целей. Агент медиатора обеспечивает выполнение локальных диагностических задач, возложенных на медиатор, замеряя параметры среды с помощью датчиков. Сетевой узел медиатора обеспечивает коммуникационную инфраструктуру сети, а также прием и передачу информации для выполнения диагностических задач. Диспетчер медиатора производит планирование распределения вычислительных и временных ресурсов в рамках медиатора.

Анализ измерительной информации выполняется в соответствии с набором паттернов. Паттерн $P_n = \{p_{i,m,n}\}$ представляет собой метаинформацию об одном или нескольких измеряемых параметрах среды, которая отражает релевантность этого параметра или их комбинации соответственно. Релевантность конкретного состояния (совокупности динамики параметров) определяет степень необходимости дальнейшей обработки данного состояния, его сохранения и тревожного оповещения о входе системы в такое состояние. Таким образом, локальной целью агента-медиатора является поиск и детектирование паттернов.

Паттерны хранятся централизованно и распространяются по медиаторам по необходимости. Данные паттерны наряду с простейшими критериями пороговых значений могут содержать интегрально-дифференциальные критерии, а также критерии корреляционно-спектрального анализа. Использование паттернов исключительных состояний приводит к значительному сокращению потока первичной информации и повышению эффективности использования беспроводной среды передачи данных. Для решения задачи планирования (6–8) предложены следующие алгоритмы.

Алгоритм управления посреднической деятельностью определяет логику передачи информации между медиаторами. Агент-медиатор обладает некоторым множеством каналов для передачи $Q_j = \{q_{j,l}\}$. Вся передаваемая информация по сети представляет собой множество адресных сообщений $M = \{m_r\}$ и множество сообщений массовой рассылки $\hat{M} = \{\hat{m}_w\}$.

Первоначальная инициализация сети при вхождении новых агентов:

- 1) при обнаружении s_j других агентов осуществляется подключение к ним и формируется множество доступных каналов Q_j ;
- 2) если подключившийся агент является потребителем какого-либо из параметров u_i , то при входе в сеть осуществляется массовая рассылка сообщения \hat{m}_r со списком требуемых параметров и адресом;
- 3) при подключении агента, который предоставляет параметр u_i , осуществляется массовая рассылка с информацией об этом;
- 4) при получении агентом-потребителем сообщения о предоставляемом параметре осуществляется повторная массовая рассылка из п. 2;
- 5) при получении агентом сообщения о потребителе и в случае, если требуемый параметр совпадает с предоставляемым агентом, потребитель добавляется в множество C_j .

Массовая рассылка:

- 1) агент s_j получает сообщение \hat{m}_r по каналу $q_{j,l}$;
- 2) осуществляется добавление в множество $\hat{Q}_{j,r}$ (множество каналов агента s_j , по которому проходило сообщение \hat{m}_r) канала $q_{j,l}$;
- 3) осуществляется передача сообщения по множеству каналов $Q_j - \hat{Q}_{j,r}$.

Алгоритм динамической балансировки загрузки автономных устройств медиаторной сети сбора и обработки данных позволяет изменять логику загрузки вычислительной мощности медиаторов. Для оптимизации маршрута доставки сообщений от агента-датчика до агента-потребителя используется муравьиный алгоритм построения маршрута:

1. Для каждого из доступных каналов Q_j назначаются коэффициенты $K_j = \{k_{j,l}\}$, которые при инициализации агента задаются равными нулю.

2. При получении сообщения m_r агентом s_j по каналу $q_{j,x} \in Q_j$ осуществляется выбор, по какому ребру выполнить дальнейшую передачу:

а) выбор осуществляется из множества $Q'_j = Q_j - \{q_{j,x}\}$;

б) интервал $[0,1]$ разбивается на число отрезков, равное числу элементов множества Q'_j . Длины отрезков задаются как $L_{j,l} = \frac{k_{j,l}}{\sum_l k_{j,l}}$;

в) разыгрывается равномерная случайная величина на интервале $[0,1]$. Определяется интервал, в который попало значение случайной величины. Этот канал и используется для передачи.

3. В случае выигрыша канала $q_{j,l}$, через него осуществляется отправка сообщения.

4. В случае удачной передачи коэффициент $k_{j,l}$ увеличивается на предустановленный коэффициент Δk , в противном случае повторяется шаг 2 с исключением канала $q_{j,l}$ из множества Q'_j .

5. Учитывая возможность динамического изменения топологии сети, вводится коэффициент «испарения» $\hat{\Delta k}$, который вычитается из каждого $k_{j,l}$ с заданной частотой по времени.

При передаче сообщения агенту-медиатору последний анализирует текущую нагрузку устройства и, если она превышает допустимый предел (в случае если устройство занято считыванием информации с датчика или ее память уже занята другим сообщением), может отказать в дальнейшей передаче.

Для уменьшения объема первичных данных, нуждающихся в обработке, необходимым условием является сокращение частоты дискретизации. Это позволит сократить энергопотребление автономных модулей датчиков, а также высвободить вычислительные мощности данных модулей. С другой стороны, в пользу увеличения частоты дискретизации выступает требование к точности восстановления исходного сигнала динамики измеряемых параметров по дискретным отчетам. Кроме того, повышение частоты дискретизации целесообразно при увеличении значимости получаемых данных. Таким образом, частота дискретизации измеряемого параметра зависит от таких факторов, как динамика измеряемого параметра, состояние среды и скорость потока первичных данных.

В четвертой главе рассмотрены программная архитектура системы моделирования медиаторной сети сбора и обработки данных, программное обеспечение данной сети, а также приведены результаты исследования методом имитационного моделирования.

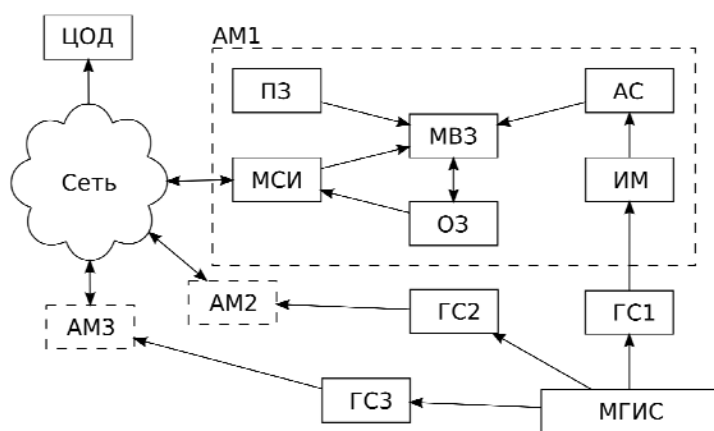


Рисунок 3 – Структура системы моделирования медиаторной сети

Структура системы моделирования медиаторной сети представлена на рисунке 3. Контроль за поступлением входного потока событий в модель реализует модуль генерации исключительных ситуаций (МГИС). МГИС осуществляет управление генераторами сигнала (ГС), которые формируют входной сигнал для измерительного модуля (ИМ) каждого агента-медиатора (АМ). ИМ каждого агента-медиатора принимает входную последовательность и формирует входные данные для анализатора сигнала (АС). АС выполняет алгоритм детектирования исключительной ситуации и при ее возникновении генерирует задачу ее обработки, которая в свою очередь поступает во входной буфер модуля выполнения задач (МВЗ). МВЗ осуществляет обработку всех типов задач агента-медиатора с учетом их приоритета, длительности выполнения и энергоемкости. Результаты выполнения передаются в обработчик задач (ОЗ), где содержится логика реагирования агента на возникновение событий. В результате выполнения задачи обработки исключительной ситуации ОЗ генерирует сообщение для центра обработки данных, которое попадает в выходной транспортный буфер модуля сетевого интерфейса (МСИ). МСИ обрабатывает входной и выходной буфера в результате выполнения задачи анализа состояния интерфейса и осуществляет непосредственное взаимодействие с инфраструктурой передачи данных. Инициатором задач анализа датчиков и состояния интерфейса является планировщик задач (ПЗ), который генерирует план выполнения на заданный период времени по определенному алгоритму.

Данный подход лежит в основе автоматизированной системы имитационного моделирования. Посредством системы имитационного моделирования были исследованы показатели эффективности медиаторной сети сбора и обработки для медицинских диагностических систем, обладающих одной топологией, но управляемых различными алгоритмами посреднической деятельности и балансировки загрузки автономных устройств. В первом случае при моделировании медиаторной сети были использованы неадаптивные алгоритмы управления без использования данных о паттернах определенных состояний и без балансировки динамической нагрузки, а во втором – представ-

ленные в третьей главе адаптивные алгоритмы управления. В процессе моделирования по каждому агенту-медиатору собираются следующие данные: динамика загруженности, динамика пропущенных определенных ситуаций, состояние входного и выходного сетевых буферов, изменение потребляемой мощности и затраченная энергия.

Результатом имитационного моделирования медиаторной сети медицинской диагностики, состоящей из 10 узлов, являются значения показателей (6–8), определяющие эффективность системы. Значения показателей эффективности диагностики моделируемых сетей сбора и обработки данных диагностических систем представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения показателей эффективности диагностики моделируемых сетей сбора и обработки данных диагностических систем

Показатель	Без адаптации	С адаптацией	Улучшение, %
Корректность K_p	0,971	0,994	2,3
Энергоэффективность $K_э$	9,456 мВт	9,435 мВт	0,2
Своевременность K_c	242,01 мс	210,68 мс	14,9

Динамика показателя своевременности моделируемых медиаторных сетей сбора и обработки данных диагностических систем представлена на рисунке 4. С использованием описанной системы имитационного моделирования был проведен анализ предложенного решения, который показал, что реализация предложенных алгоритмов управления посреднической деятельностью и балансировкой загрузки в медиаторной диагностической сети позволяет повысить показатели ее эффективности.

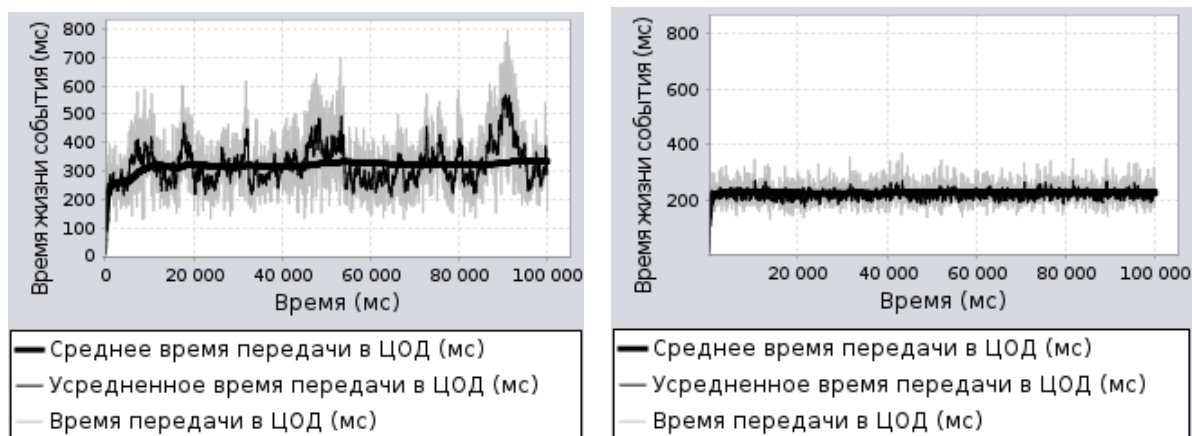


Рисунок 4 – Динамика показателя своевременности моделируемых медиаторных сетей сбора и обработки данных диагностических систем без адаптации (слева) и с адаптацией (справа)

В пятой главе даны результаты реализации системы медицинской диагностики на базе медиаторной распределенной сети для идентификации ис-

ключительных состояний организма в условиях гетерогенной и открытой сети сбора и обработки диагностических данных. Также представлены результаты разработки автономного устройства оптического контроля внутривенной инфузии с медиаторной архитектурой программного обеспечения.

Для апробации концепции паттерна исключительных ситуаций, который используется агентом-медиатором для детектирования важных медицинских событий, была реализована модель диагностирования патологии зубца *P* электрокардиограммы в режиме реального времени.

На рисунке 5 приведены результаты имитационного моделирования, иллюстрирующие описанное решение. Выделение паттернов, характеризующих нормальный случай зубца *P* и патологии, позволяет реализовать адаптивную дискретизацию электрокардиограммы и снизить нагрузку на устройство сбора и обработки данных.

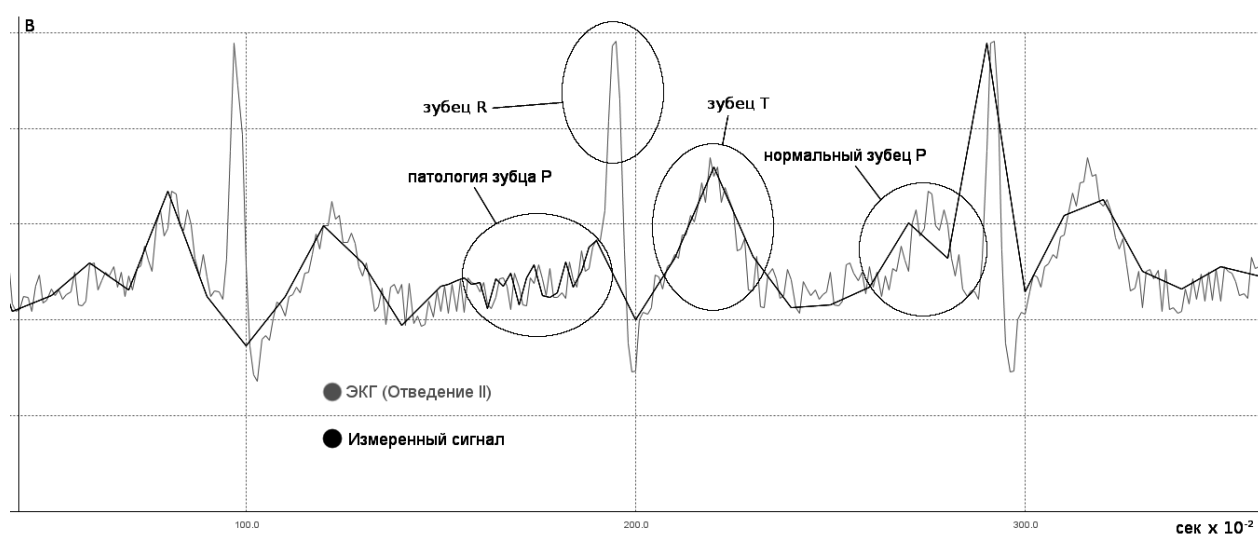


Рисунок 5 – Детектирование паттерна патологии зубца *P* на электрокардиограмме

Предложенные решения позволяют построить индивидуальную конфигурацию группы устройств диагностики (датчиков) для конкретного пациента. Эти датчики, оборудованные средствами беспроводной связи, способны функционировать в автономном режиме без ограничения мобильности пациента. Данные, собираемые с этих устройств в режиме реального времени, частично обрабатываются на стороне самих автономных устройств, а при возникновении рисков передаются для централизованной обработки. В случае необходимости комплексного анализа устройства могут взаимодействовать, обмениваясь сообщениями и согласовывая частоту и точность проведения измерений. Преимущества предлагаемого подхода включают гибкость, адаптивность к внешним событиям, возможность функционирования в режиме реального времени и поддержки принятия решений по диагностике пациентов, а также возможность обработки сверхбольших массивов данных.

Результаты исследования были использованы для разработки распределенной системы оптического контроля внутривенной инфузии (рисунок 6). Для работы данной системы используется беспроводная сенсорная сеть датчиков и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала. Область покрытия подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счет способности ретрансляции сообщений от одного элемента к другому.

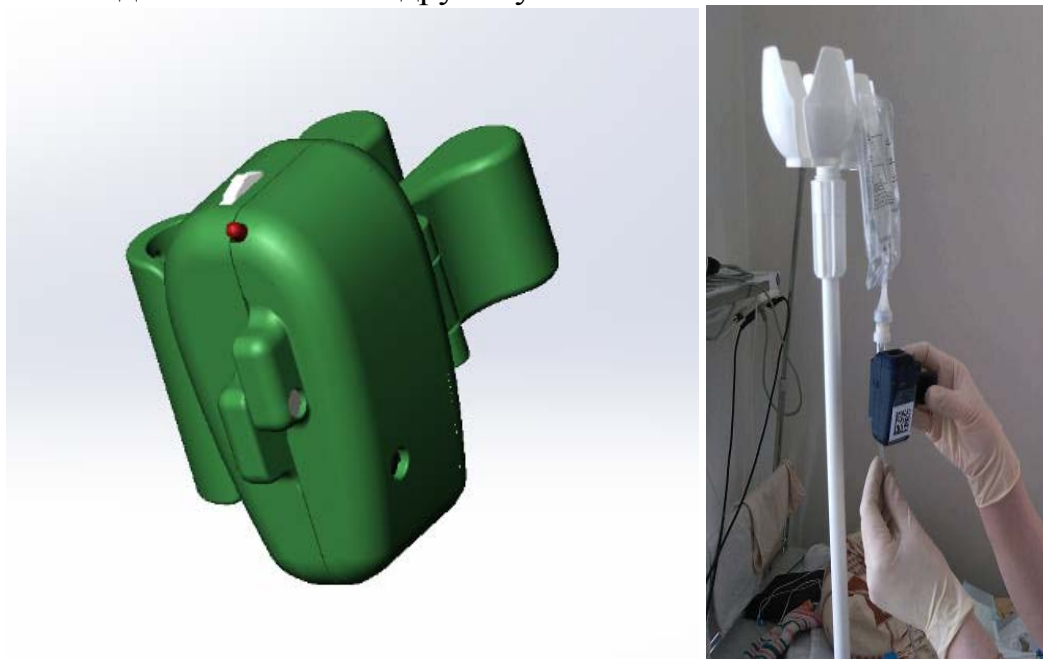


Рисунок 6 – Автономное устройство оптического контроля внутривенной инфузии

Разработанная автономная система оптического контроля внутривенной инфузии прошла успешные испытания в клиниках Самарского государственного медицинского университета. Преимущества автономной системы оптического контроля внутривенной инфузии включают обеспечение высокой точности идентификации при использовании жидких лекарственных препаратов с разной плотностью, простоту установки устройства на инфузионную систему с любым конструктивным исполнением и простой интерфейс мобильного приложения.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. В результате системного анализа процессов сбора и обработки данных в задачах распределенной диагностики выделен новый класс мобильных комплексных активных диагностических систем с обработкой в темпе реального времени и открытым интерфейсом. Отличительным свойством таких систем является возможность комбинированного достижения высоких показате-

телей энергоэффективности, надежности и своевременности решения задач распределенной диагностики, в том числе в медицине.

2. Разработана модель медиаторной сети сбора и обработки диагностических данных, позволяющая динамически балансировать загрузку вычислительной мощности автономных устройств в составе открытой распределенной диагностической системы, а также алгоритмы управления посреднической деятельностью и динамической балансировки загрузки автономных устройств сбора и обработки данных.

3. Предложена программная архитектура агента-медиатора, позволяющая реализовать сетевое управление посреднической деятельностью в медиаторной сети сбора и обработки данных.

4. Разработаны специальные алгоритмы и программное обеспечение медиаторной сети сбора и обработки данных, реализующие проведение достоверной диагностики с использованием разнородных устройств в режиме реального времени.

5. Усовершенствована программная архитектура медиаторной сети сбора и обработки данных с использованием метода имитационного моделирования и результатов клинического приложения в медицине. Разработанное программное обеспечение позволяет реализовать различные архитектурные решения, обеспечивающие проведение достоверной медицинской диагностики с использованием разнородных устройств сбора и обработки показателей жизнедеятельности человека в режиме реального времени.

6. Разработано автономное устройство оптического контроля внутривенной инфузии с медиаторной архитектурой программного обеспечения, отличающееся возможностью передачи данных в беспроводной сети медицинских устройств мониторинга.

7. Реализация системы медицинской диагностики на базе медиаторной распределенной сети обеспечивает идентификацию патологических признаков показателей деятельности организма в условиях гетерогенной и открытой сети сбора и обработки диагностических данных, обеспечивая повышение своевременности детектирования до 14,9 %, увеличение энергоэффективности диагностики на 0,2 % и повышение корректности диагностики на 2,3 %.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Минаев, А. А. Методы и принципы оценки тренажеров открытой хирургии при помощи стендов выходного контроля / А. В. Скользнев, А. А. Минаев, И. Д. Ибатуллин, А. В. Иващенко // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16, № 1 (2). – С. 535–537.

2. Минаев, А. А. Модель посредника-медиатора в подвижных сенсорных сетях распределенной диагностики / А. В. Иващенко, А. А. Минаев //

Известия Самарского научного центра РАН. – 2015. – Т. 17, № 2(5). – С. 1004–1009.

3. Минаев, А. А. Шаблон агента-медиатора для программного обеспечения сенсорных сетей / А. В. Иващенко, А. А. Минаев, М. Ю. Сподобаев // Программные продукты и системы. – 2015. – № 3 (111). – С. 166–170.

4. Минаев, А. А. Организация автономной посреднической деятельности при обработке больших данных в Интернете вещей / А. В. Иващенко, А. А. Минаев, О. В. Двойнина, С. Ю. Леднева // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер.: Технические науки. – 2015. – № 1 (45). – С. 51–57.

5. Минаев, А. А. Медиаторная сеть распределенной диагностики / А. А. Минаев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 4. – С. 91–95.

6. Минаев, А. А. Концепция медиаторной сети связи для сбора и обработки данных в реальном времени / А. В. Иващенко, А. А. Минаев, М. Ю. Сподобаев, А. Р. Диязитдинова // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2016. – № 5. – С. 56–64.

Статьи в изданиях, индексируемых SCOPUS

7. Minaev, A. Multi-agent solution for adaptive data analysis in sensor networks at the intelligent hospital ward / A. Ivaschenko, A. Minaev // Lecture Notes in Computer Science LNCS. Springer International Publishing Switzerland. – 2014. – Vol. 8610. – P. 453–463.

8. Minaev, A. Multi-agent solution for a self mediator sensor network / A. Ivaschenko, A. Minaev // Proceedings of the European Simulation and Modeling Conference 2014 (ESM 2014), FEUP. – Porto, Portugal, EUROSIS-ETI, 2014. – P. 209–212.

9. Minaev, A. Self-mediator software for sensor networks / A. Ivaschenko, A. Minaev, M. Spodobaev // Proceedings of the 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). – 2015 IEEE. – 4 p.

10. Minaev, A. A. Distributed medical diagnostics based on self-mediator sensor networks / A. V. Ivaschenko, A. A. Minaev, A. V. Kolsanov // Proceedings of the 19th Conference of FRUCT Association. – Jyväskylä, Finland, 2016. – P. 66–71.

Публикации в других изданиях

11. Минаев, А. А. Мультиагентная архитектура систем управления в машиностроении / А. А. Минаев // МИКМУС : сб. ст. XXV Междунар. инновационно-ориентированной конф. молодых ученых и студентов. – М., 2013. – С. 208–209.

12. Минаев, А. А. Мультиагентная система медицинской диагностики и обслуживания / А. А. Минаев // Перспективные информационные технологии –

2013 : сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Самара : Изд-во СНЦ РАН, 2013. – С. 164–166.

13. Минаев, А. А. Система управления универсальным диагностическим комплексом для анализа характеристик поверхностей / А. В. Иващенко, А. А. Минаев, А. В. Скользнев, Р. С. Суфиев, И. Д. Ибатуллин // Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике : сб. ст. XV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 25–26 апреля 2013 г.). – СПб., 2013. – Т. 1. – С. 18–20.

14. Минаев, А. А. Совершенствование диагностического комплекса для оценки качества поверхностей деталей машин / А. А. Минаев, А. В. Иващенко // Тезисы докладов XXXIX Самарской обл. студенческой конф. – Самара, 2013. – С. 296.

15. Минаев, А. А. Интеграция автономных устройств медицинской диагностики в медиаторной сети связи / А. В. Иващенко, А. А. Минаев // Перспективные информационные технологии (ПИТ-2014) : тр. Междунар. науч.-техн. конф. – Самара : Изд-во СНЦ РАН, 2014. – С. 272–274.

16. Минаев, А. А. Мультиагентные технологии сбора и обработки информации в задачах медицинской диагностики / А. А. Минаев, А. В. Иващенко // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2014. – Т. 1. – С. 49–51.

17. Минаев, А. А. Медиаторная сеть распределенной медицинской диагностики / А. В. Иващенко, А. А. Минаев, М. Ю. Сподобаев // Информационные технологии в управлении : материалы конф. (ИГУ-2014). – СПб. : Концерн «ЦНИИ "Электроприбор"», 2014. – С. 692–696.

18. Минаев, А. А. Модель агента-медиатора в распределенных диагностических системах / А. В. Иващенко, В. В. Кузьмин, А. А. Минаев, А. Л. Новиков // Эвристические алгоритмы и распределенные вычисления. – 2014. – Т. 1, № 5. – С. 76–88.

19. Минаев, А. А. Медиаторная архитектура сети распределенного сбора и обработки данных / А. А. Минаев, А. В. Иващенко // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций (ПТИТТ-2014). Оптические технологии в телекоммуникациях ОТТ-2014 : материалы Междунар. науч.-техн. конф. (г. Казань, 19–21 ноября 2014 г.). – Казань : Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014. – С. 305–306.

20. Минаев, А. А. Модель посредника в мультиагентных системах диагностики / А. В. Иващенко, Д. С. Косов, В. В. Кузьмин, А. А. Минаев, А. Л. Новиков // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании АПИНО-2015 : сб. науч. ст. IV Междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф. – СПб. : Изд-во СПбГУТ, 2015. – Т. 1. – С. 511–515.

21. Минаев, А. А. Реализация посреднической функции в распределенной сети автономных устройств сбора и обработки данных / А. В. Иващенко, А. А. Минаев, Д. В. Купер, М. Ю. Сподобаев // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 1. – С. 229–231.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

22. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2014610455. Автономная система оптического контроля внутривенной инфузии / А. В. Иващенко, А. В. Скользнев, А. А. Минаев, С. А. Макаров, Д. Р. Шарипянова. – 2014. – 10 января.

23. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2015619593. Программное обеспечение аппаратно-программного комплекса для оптического контроля внутривенной инфузии / А. В. Колсанов, С. С. Чаплыгин, А. В. Иващенко, А. А. Минаев, М. В. Батянов, А. И. Соркин, А. А. Новиков, Л. К. Бутырев. – 2015. – 8 сентября.

Научное издание

МИНАЕВ Антон Андреевич

**МЕДИАТОРНАЯ СЕТЬ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ**

Специальности: 05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации (в технике и технологиях);
05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

Редактор *Н. А. Сидельникова*
Технический редактор *Р. Б. Бердникова*
Компьютерная верстка *Р. Б. Бердниковой*

Распоряжение № 9/121-2017 от 20.04.2017.
Подписано в печать 20.04.2017. Формат 60×84¹/₁₆.
Усл. печ. л. 1,2. Заказ № 009522. Тираж 100.

Издательство ПГУ.
440026, Пенза, Красная, 40.
Тел./факс: (8412) 56-47-33; e-mail: iic@pnzgu.ru