

УДК 004.75

## МОДЕЛЬ ПОСРЕДНИКА-МЕДИАТОРА В ПОДВИЖНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ

© 2015 А.В. Иващенко, А.А. Минаев

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева  
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 30.07.2015

В статье предлагается мультиагентная архитектура программного обеспечения для построения подвижных сенсорных сетей датчиков, изменяющих свое положение в пространстве в соответствии с заданным расписанием и с учетом ограничений предметной области. Рассматривается применение подвижных сенсорных сетей для задач распределенной диагностики. В качестве реализации предлагается модель медиаторной сети связи.

**Ключевые слова:** Интернет вещей, сенсорные сети, мультиагентные технологии, распределенная диагностика.

### ВВЕДЕНИЕ

Современные диагностические системы представляют собой сложные аппаратно-программные комплексы с распределенной архитектурой. Целью технической диагностики является мониторинг и оценка технического состояния машин, механизмов и оборудования, цели медицинской диагностики включают отслеживание состояния пациента в условиях протекающих болезней с последующим становлением диагноза. Родство целей технической и медицинской диагностики, которое состоит в необходимости мониторинга многих параметров сложного объекта (системы) в режиме реального времени, обуславливает высокую актуальность задачи сбора и обработки больших данных (Big Data).

При построении систем распределенной диагностики важно учитывать особенности объекта исследования, определяющие количество и основные требования к устройствам сбора и обработки информации. В частности, необходимо обеспечить возможность этих устройств изменять свое положение в пространстве, что требует разработки новых подходов к планированию измерительной процедуры и адаптивного мониторинга и контроля процесса измерения. Одним из таких подходов является реализация концепции подвижных сенсорных сетей, позволяющей решить проблему управления динамическим процессом распределенной диагностики.

В данной статье описывается решение данной проблемы, основанное на организации медиаторной сети связи [1, 2] для подвижных сенсорных сетей распределенной диагностики.

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

### СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ

Современные системы диагностики имеют распределенную архитектуру и строятся в виде сетей автономных устройств связи, способных взаимодействовать между собой в режиме реального времени. 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.

В связи с этими особенностями высокий потенциал имеют технологии Интернета вещей (Internet of things, IoT) и мультиагентные технологии, широко применяющиеся в последнее время в современных системах сбора, передачи и обработки данных. Концепция Интернета вещей [3 – 6] охватывает широкий спектр задач построения беспроводных сетей, организации межмашинного взаимодействия и реализации программно-конфигурируемых сетей обмена данными.

Распределенная архитектура современной интегрированной информационной среды 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. Такая сеть формируется и изменяется динамически, она может перестраиваться, сохраняя при этом свои способности по передаче информации.

Для обеспечения заданных свойств элементов распределенной диагностической сети при разработке программного обеспечения необходимо использовать современные парадигмы программирования, основанные на децентрализации управления, высокой автономности компонентов и сетевоцентрических принципах взаимодействия. Этому требованию

соответствуют мультиагентные технологии [7, 8], которые демонстрируют высокую эффективность при решении проблем распределенного управления ресурсами в режиме реального времени.

При реализации мультиагентного программного обеспечения для распределенной диагностической системы, построенной по принципу Интернета вещей, одной из актуальных проблем является задача динамического распределения вычислительных ресурсов между задачами агента. Для решения этой задачи предлагается дополнить архитектуру агента, реализовав функциональность посреднической деятельности по передаче информации. Вообще, понятие посредника (медиатора) достаточно широко используется в теории мультиагентных систем. При этом обычно понимают специфический тип агента, предназначение которого состоит в координации гетерогенных интеллектуальных агентов [9], представлении объектов предметной области [10] и реализации протоколов и механизмов передачи сообщений между агентами с целью обеспечения их взаимодействия [11]. Однако существующие подходы не позволяют в полной мере реализовать посредническую деятельность по передаче данных, востребованную в подвижных сенсорных сетях распределенной диагностики.

## МОДЕЛЬ ПОСРЕДНИКА В ПОДВИЖНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Определим объект исследования как подвижную сенсорную сеть распределенной диагностики – распределенную, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, которые могут изменять свое положение в пространстве и, таким образом, изменять топологию сети в зависимости от поставленных задач. В качестве примера такой сети можно привести беспроводную сеть медицинских

устройств диагностики пациентов в стационаре или множество устройств диагностики транспортной инфраструктуры железной дороги, объединенных каналами связи.

Подвижная сенсорная сеть является актуальным объектом исследования, поскольку позволяет реализовать современную концепцию Интернета вещей. Вместе с тем, при управлении сбором и обработки данных в подвижной сенсорной сети возникает актуальная задача реализации балансировки загрузки узлов и координации процесса сбора информации в режиме реального времени.

Для решения этой проблемы предлагается реализовать программное обеспечение автономных устройств сбора и обработки данных с использованием мультиагентной архитектуры. В отличие от упомянутых выше подходов, предлагается выделить функцию посредника (медиатора) и передать ее всем агентам, имеющим различное назначение и участвующим во взаимодействии. Такой подход позволит повысить автономность каждого датчика за счет реализации специализированного программного обеспечения, функциональность которого включает предобработку информации на стороне датчика и реализацию информационного 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.

Для реализации данного подхода был разработан интерфейс «Медиатор» для информационного взаимодействия между датчиками, необходимого для реализации комплексной обработки информации (см. рис. 1). Конкретизируя структуру агента-медиатора можно выделить задачу обеспечения коммуникационной инфраструктуры мультиагентной системы и задачу организации взаимодействия с окружающей средой. С этой

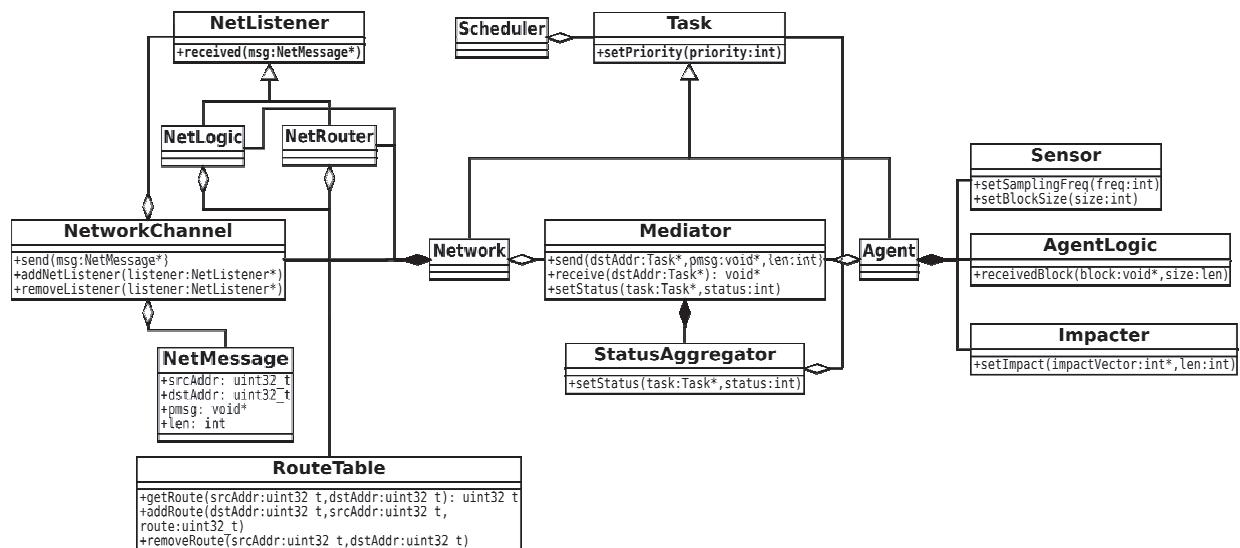


Рис. 1. Интерфейс агента – медиатора для подвижной сенсорной сети

целью в структуру агента вводится диспетчер, отслеживающий состояния структурных модулей агента. В результате анализа изменения состояний выносится решение о выделении определенного количества аппаратных ресурсов. Распределение вычислительных ресурсов агента между его задачами подразумевает наличие инструмента переключение контекстов выполнения этих задач с учетом установленного приоритета.

Предлагаемый подход позволяет наделить систему сбора и обработки данных функционалом, который определяет возможность начального диагностического анализа. Данные преимущества улучшают качество и своевременность диагностики. Модуль датчика представляет собой заключенное 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. Адаптивность частоты дискретизации измеряемых параметров является важным фактором, влияющим на эффективность работы не только отдельного модуля датчика, но и всей системы в целом.

## РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ПОСРЕДНИКА В МЕДИАТОРНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

Представим подвижную сенсорную сеть, взаимодействие в которой реализуется с помощью шаблонов агента-медиатора в виде медиаторной сети связи. Агенты-медиаторы анализируют сигнал с собственных датчиков, вырабатывают информацию для центра обработки данных (ЦОД), передают ее, а также участвуют в транспортировке информации от аналогичных агентов. Задача медиаторной сети – обнаружить исключительные ситуации с помощью собственных датчиков и передать информацию в ЦОД.

Топологию медиаторной сети можно описать с помощью неориентированного графа, узлами которого агенты-медиаторы, а ребрами – информационные каналы между агентами. На вход сети поступает вектор унарных предикатов исключительных ситуаций датчиков по времени, размерность которого определяется числом агентов-медиаторов.

Ключевыми параметрами эффективности моделируемой медиаторной сети являются:

- точность детектирования, определяемая отношением количества исключительных ситуаций, которые были успешно переданы в ЦОД к их общему количеству;
- среднее время детектирования исключительной ситуации;
- СКО времени детектирования исключительной ситуации;

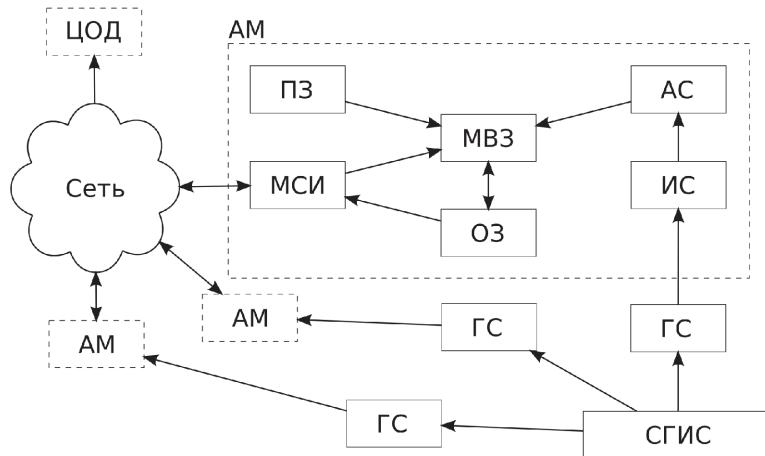
- энергоэффективность, определяемая суммой энергозатрат всех агентов медиаторной сети связи.

Работа агента-медиатора моделируется в виде последовательности выполнения задач, каждая из которых обладает определенным уровнем приоритета, энергоемкости и параметрами. В модели представлены следующие виды задач: планирование, анализ сигналов с датчиков, анализ состояния интерфейса, обработка исключительной ситуации, прием сообщения, отправка сообщения и трансляция сообщения.

Планирование заключается в распределении задач детектирования исключительных ситуаций и сетевого анализа по времени на заданный интервал. В результате планирования формируется стек ожидания агента-медиатора. При запуске анализа сигналов от датчиков агента выполняются алгоритмы детектирования исключительных ситуаций. При детектировании исключительной ситуации инициируется задача ее обработки, которая в свою очередь реализует регистрацию события, а также генерирует сообщение для ЦОД. Анализ состояния сетевого интерфейса осуществляет оценку загруженности входного и выходного буферов, а также инициирует транспортные виды задач по приему, отправке и трансляции сообщения.

Логическая модель агента-медиатора представлена на рис. 2.

Контроль за поступлением входного потока событий в модель осуществляет система генерации исключительных ситуаций (СГИС). СГИС осуществляет управление генераторами сигнала (ГС), которые формируют входной сигнал для измерительной системы (ИС) каждого агента-медиатора (АМ). ИС каждого агента-медиатора принимает генерированную 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 пла-



**Рис. 2.** Логическая модель агента-медиатора

Принятые сокращения: ИС — измерительная система, МСИ — модуль сетевого интерфейса, ГС — генератор сигнала, АС — анализатор сигнала, ПЗ — планировщик задач, ОЗ — обработчик задач, СГИС — система генерации исключительных ситуаций, МВЗ — модуль выполнения задач, АМ — агент-медиатор, ЦОД — центр обработки данных

нировщик задач (ПЗ), который генерирует план выполнения на заданный период времени по определенному алгоритму.

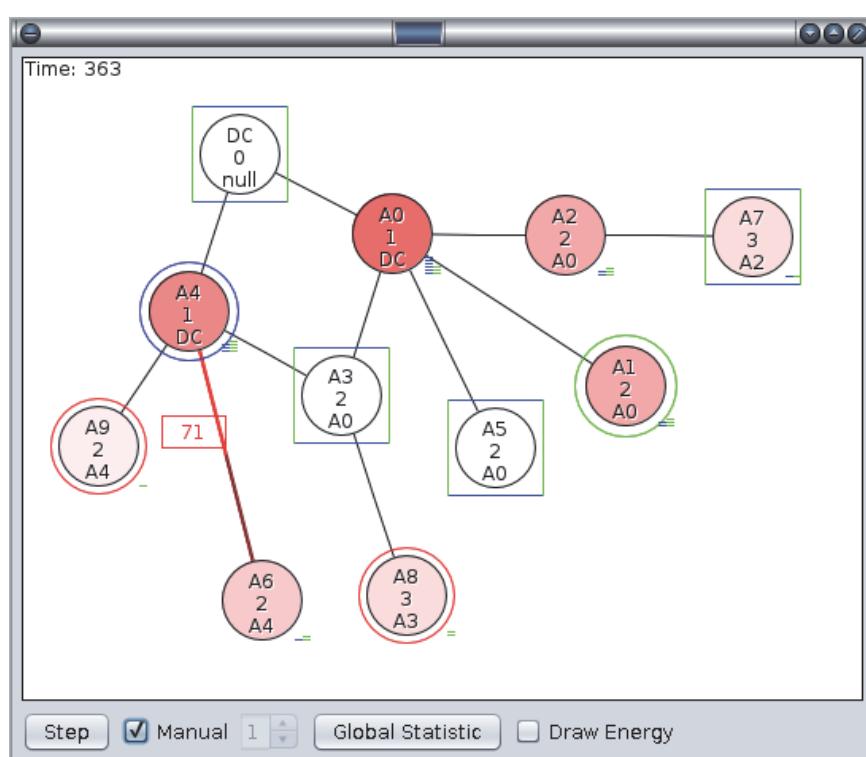
Для исследования предложенного подхода была разработана автоматизированная система имитационного моделирования, описанная ниже. Главный экран графического интерфейса системы моделирования, изображенный на рис. 3, отображает граф медиаторной сети связи.

Каждый узел отражает следующую информацию об агенте-медиаторе:

- имя агента – 1-я строка;
  - дальность до ЦОД – 2-я строка;
  - имя агента-шлюза по умолчанию;

- выполняемая задача – дополнительное обрамление;
    - загруженность очереди задач – цвет фона узла;
    - распределение сетевых и не сетевых задач – синий и зеленый стек справа от узла соответственно;
    - активные линии связи и направление передачи – ребра графа выделены красным, передача от темного к светлому;
    - идентификаторы передаваемых по линии связи сообщений – число в красной прямоугольной рамке.

Графическое отображение графа предполагает использование следующих графических изображений выполняемых задач:



**Рис. 3.** Главный экран графического интерфейса системы моделирования



В процессе жизненного цикла задача может быть потеряна. Потери задач возникают по следующим причинам:

- задача была передана агенту с заполненной очередью;
- задача была передана по сети агенту с полным входным буфером;
- задача была передана по сети в сообщении, время жизни которого закончилось.

В процессе моделирования по каждому агент-

медиатору собираются следующие данные:

- динамика загруженности очереди задач (всех, сетевых, остальных);
- динамика потерянных задач (всех и задач обработки исключительных ситуаций);
- количество типов задач в буфере;
- состояние входного и выходного сетевых буферов;
- изменение потребляемой мощности;
- затраченная энергия.

Перечисленные показания отображаются в окне параметров агента-медиатора, представленного на рис. 4.

Ключевые показатели эффективности работы медиаторной сети представлены в окне общей статистики, которое отображает следующие характеристики:

- зависимость количества произошедших, доставленных в ЦОД и потерянных исключительных ситуаций от времени;
- время, потраченное моделью системой на оповещение ЦОД об исключительной ситуации (среднее, среднее на интервале, мгновенное);
- суммарное количество затраченной системой энергии.

Окно общей статистики представлено на рис. 5.

С использованием описанной системы имитационного моделирования был проведен анализ предложенного решения, который показал, что реализация посреднической деятельности в медиаторной сети связи позволяет снизить количество потерь и суммарное время идентификации исключительной ситуации в подвижной сенсорной сети распределенной диагностики.

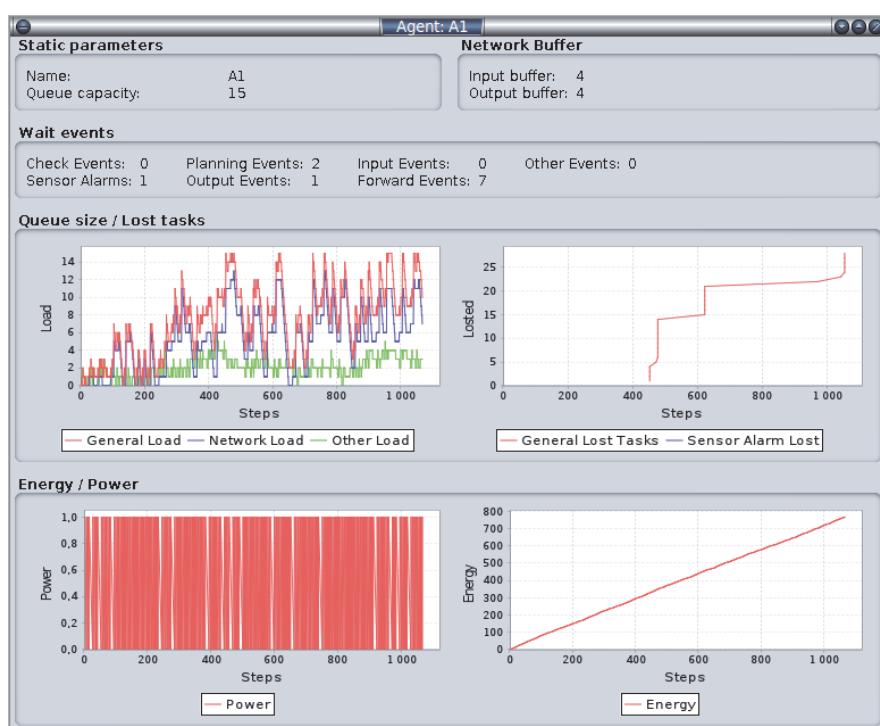


Рис. 4. Окно параметров агента-медиатора



**Рис. 5.** Окно глобальной статистики моделируемой системы, график динамики исключительных ситуаций

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложена концепция медиаторной сети связи для подвижной сенсорной сети распределенной диагностики. Преимущества решения включают адаптивность за счет перераспределения соединений узлов сети связи в зависимости от текущей нагрузки, интероперабельность, так как сеть связи конфигурируется и развивается по принципам самоорганизации и новые узлы могут самостоятельно входить в сеть и устойчивость к сбоям: при выходе элемента сети остальные узлы выстраивают новые связи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иващенко А.В., Минаев А.А., Слободаев М.Ю. Медиаторная сеть распределенной медицинской

диагностики // Материалы конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2014). СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2014. С. 692-696.

2. 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. Pp. 209-212.
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. Боронин П.Н., Кучерявый А.Е. Интернет вещей как новая концепция развития сетей связи // Информационные технологии и телекоммуникации. 2014. № 3(7). С. 7 – 30.
5. Кучерявый А.Е. Интернет вещей // Электросвязь. 2013. № 1. С. 21 – 24.
6. 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.
7. Городецкий В.И. Самоорганизация и многоагентные системы. I. Модели многоагентной самоорганизации // Известия РАН. Теория и системы управления. 2012. № 2. С. 92-120.
8. 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.
9. Maturana F.P., Norrie D.H. A generic mediator for multi-agent coordination in a distributed manufacturing system // Systems, Man and Cybernetics, IEEE International Conference. 1995. Vol. 1. P. 952-957.
10. Lin H. Architectural design of multi-agent systems: technologies and techniques // ed. Hong Lin, Idea Group Inc (IGI) Global. – 2007. – 421 p.
11. Pinninck A.P., Sierra C., Schorlemmer W.M. A multiagent network for peer norm enforcement // Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. 2010. № 21(3). P. 397-424.

## MEDIATOR PATTERN FOR MOVING SENSORS NETS OF DISTRIBUTED DIAGNOSTICS

© 2015 A.V. Ivaschenko, A.A. Minaev

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov  
(National Research University)

In this paper there is described a multi-agent solution for moving sensors software. The sensors can change their position in space depending the pre-defined schedule and problem domain constraints. There is studied an application of moving sensors for distributed diagnostics. As an example of moving sensors application there is described an self-mediator sensor network.

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

Anton Ivaschenko, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Information Systems and Technologies Department.  
E-mail: anton.ivashenko@gmail.com  
Anton Minaev, Assistant Lecturer at the Information Systems and Technologies Department.