

УДК 681.3.06

ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОНОМНОЙ ПОСРЕДНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ

А.В. Иващенко¹, А.А. Минаев², О.В. Двойнина¹, С.Ю. Леднева²

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет им. ак. С.П. Королёва
Россия, 443086, г. Самара, Московское ш., 34

² Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: ledneva_svtl@mail.ru, anton.ivashenko@gmail.com

Предлагается концепция балансировки загрузки автономных устройств в распределенной системе сбора и обработки сверхбольших массивов информации (Big Data), построенной в соответствии с концепцией Интернета вещей. Рассматривается программное обеспечение для устройств сбора информации, которые реализуют не только свое непосредственное назначение, но и участвуют в передаче информации между сторонними устройствами. В качестве постановки задачи предлагается обеспечить формирование расписания событий измерения, которое необходимо поддерживать в актуальном состоянии и адаптивно корректировать в зависимости от текущей ситуации в режиме реального времени, с учетом сокращения количества измерений, характеризующего нагрузку на сеть. Для решения поставленной задачи предлагается программная архитектура распределенной сети сбора и обработки данных, реализующей автономную посредническую деятельность диагностических устройств. В качестве примера описывается программно-аппаратная реализация распределенной системы медицинской диагностики, базирующейся на сети автономных сенсорных устройств. Реализация предложенного решения в автономной системе оптического контроля внутривенной инфузии, а также результаты ее внедрения на практике подтверждают практическую полезность описанных в статье результатов.

Ключевые слова: Интернет вещей, посредническая деятельность, распределенная архитектура, мультиагентные технологии, медицинская диагностика

Современные системы сбора и обработки данных часто 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.

Например, при решении задач медицинской диагностики в настоящее время широко применяются автономные диагностические устройства, способные к вза-

Антон Владимирович Иващенко (д.т.н.), профессор кафедры «Информационные системы и технологии».

Антон Андреевич Минаев, аспирант.

Оксана Владимировна Двойнина, аспирант.

Светлана Юрьевна Леднева, старший преподаватель кафедры «Вычислительная техника».

имоддействию в беспроводной сети связи. В отличие от медицинских мониторов, они не ограничивают свободу передвижения пациента и могут быть использованы в домашних условиях. В то же время существует проблема их комплексного применения для одновременного отслеживания параметров жизнедеятельности пациента в режиме реального времени и проведения персональной диагностики.

Взаимодействие автономных устройств разного типа в гетерогенной открытой информационной среде может быть описано с помощью последовательности событий подключения, обмена сообщениями, идентификации и т. п. В современной распределенной диагностической системе таких событий много (большой физический объем данных), они достаточно многообразны и требуют высокоскоростной обработки. В связи с этим задачу управления сбором и обработкой информации в системе сбора и обработки данных с распределенной архитектурой следует отнести к проблеме BIG DATA (больших данных).

В данной статье рассматривается организация автономной посреднической деятельности в распределенной сети устройств сбора и обработки данных. При построении программного обеспечения такой сети предлагается в соответствии с концепцией принципами мультиагентных технологий реализовать функциональность автономного посредника, которая включает возможности балансировки загрузки в соответствии с интенсивностью потока текущих задач устройства.

Современные подходы к организации распределенного взаимодействия в интегрированной информационной среде

Концепция Интернета вещей (Internet of things, IoT) достаточно широко обсуждается в современном научном сообществе [1, 2]. 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. Например, данная концепция демонстрирует хорошие результаты на практике при решении задач интенсивной медицинской диагностики с использованием распределенной сети датчиков. Так, в работах [3, 4] описывается решение для беспроводной системы сбора диагностической информации, ее передачи на выделенный сервер и оповещения медицинского персонала. 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 данных в масштабе реального времени, устройствами тревожного оповещения, а также выделенным сервером.

Распределенная архитектура современной интегрированной информационной среды с учетом концепции Интернета вещей и требований интероперабельности 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 в современной научной литературе [5, 6] предлагаются P2P (peer-to-peer, равный с равным) модели взаимодействия. Среди ключевых свойств P2P-сетей отмечается децентрализация (т. е. отсутствие единственного контролирующего органа управления), заимствование ресурсов и автономность. P2P-сеть формируется и

изменяется динамически, она может перестраиваться, сохраняя при этом свои способности по передаче информации в режиме реального времени.

Технологии программирования, позволяющие реализовать управление передачей информации в P2P-сети, должны реализовывать принципы сетевцентрического управления. Этому требованию соответствуют мультиагентные технологии [7]. 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.

Для решения этих вопросов предлагается дополнить мультиагентную архитектуру программного обеспечения пиринговой сети, реализовав функциональность посреднической деятельности по передаче информации. Вообще понятие посредника достаточно широко используется в теории мультиагентных систем. При этом обычно понимают специфический тип агента, предназначение которого состоит в координации гетерогенных интеллектуальных агентов [8], представлении объектов предметной области [9] и реализации протоколов и механизмов передачи сообщений между агентами с целью обеспечения их взаимодействия [10, 11]. В данной работе предлагается выделить функцию посредника и передать ее всем агентам, имеющим различное назначение и участвующим во взаимодействии.

Постановка задачи

В обобщенной архитектуре сети сбора и обработки информации устройства $s_j, j = 1..N_s$ объединяются в беспроводную сеть сбора данных по параметрам $u_i, i = 1..N_u$.

Операции измерения могут быть представлены булевыми переменными $e_{i,j,k} = e(u_i, s_j, v_{i,j,k}, t_{i,j,k}) \in \{0, 1\}$, где $v_{i,j,k}$ – значение параметра u_i , определенное s_j в момент времени $t_{i,j,k}$.

Для идентификации определенной ситуации необходимо достаточное количество событий измерения, которое обозначим шаблоном (паттерном)

$$\Theta_{i,n} = \{e_{i,j,k} = 1, k \in \Omega_{i,n}\} \quad (1)$$

где $\varepsilon_{i,j,k} = \varepsilon(u_i, s_j, v'_{i,j,k}, t'_{i,j,k}) \in \{0, 1\}$ представляет собой реальное событие изменения значения параметра и поступает в систему в качестве входных данных.

В идеальном случае адаптивная сеть передачи данных должна удовлетворять требованию

$$\sum_{i=1}^{N_u} \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{k=1}^{N_e} \varepsilon(u_i, s_j, v'_{i,j,k}, t'_{i,j,k}) \cdot \min_l (e(u_i, s_j, v_{i,j,l}, t_{i,j,l}) \cdot t_{i,j,l} - t'_{i,j,k}) \rightarrow \min. \quad (2)$$

С учетом того, что в реальности последовательность событий представляет собой неэквидистантный временной ряд, этот показатель может быть определен как

$$\sum_{i=1}^{N_u} \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{k=1}^{N_e} \sum_{l=1}^{N_e} \varepsilon_{i,j,k} \cdot e_{i,j,l} \cdot \theta(t_{i,j,l} - t'_{i,j,k}) \cdot \theta(t'_{i,j,k} - t_{i,j,l-1}) \cdot (t_{i,j,l} - t'_{i,j,k}) \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $\theta(x)$ – степ-функция Хэвисайда: $\theta(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases}$,

$\forall \varepsilon_{i,j,k}, \exists e_{i,j,l} : t_{i,j,l} > t'_{i,j,k}, \forall e_{i,j,l}, l > 1 : t_{i,j,l} > t_{i,j,l-1}$ (события упорядочены в порядке появления).

Выражения (2) и (3) описывают требования к временным интервалам измерений. Устройства сбора информации должны производить измерения в такие моменты времени, чтобы наилучшим образом идентифицировать текущую ситуацию. Таким образом, можно сформулировать задачу планирования: в системе должно быть сформировано расписание событий $e_{i,j,k}$, которое необходимо поддерживать в актуальном состоянии и адаптивно корректировать в зависимости от текущей ситуации в режиме реального времени.

Кроме этого, необходимо учитывать еще один показатель: общее количество измерений, которое характеризует нагрузку на сеть:

$$\sum_{i=1}^{N_u} \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{l=1}^{N_e} e(u_i, s_j, v_{i,j,l}, t_{i,j,l}) \rightarrow \min. \quad (4)$$

Выражения (1) и (3) находятся в некотором противоречии: система должна обеспечивать минимальную нагрузку на сеть сбора и передачи информации и в то же время обеспечивать достаточный объем входных данных для принятия решений.

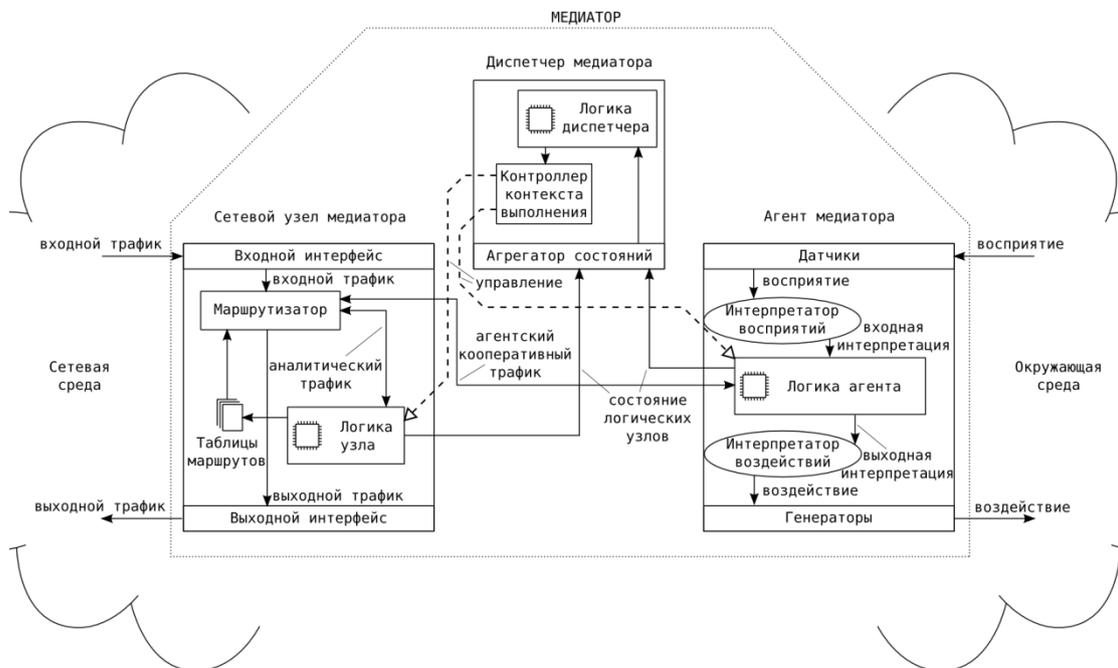
Архитектура решения

Для решения поставленной задачи предлагается построить программную архитектуру распределенной сети сбора и обработки данных, реализующую автономную посредническую деятельность диагностических устройств. В рамках такого подхода 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 не только реализуют свое непосредственное назначение, но и участвуют в передаче информации между сторонними устройствами.

Одно из основных отличий предлагаемой архитектуры заключается в реализации предварительной обработки данных посредством вычислительных возможностей интеллектуальных датчиков. Также предлагается использовать интерфейс «Медиатор» для информационного взаимодействия между датчиками, необходимый для реализации комплексной обработки информации в рамках измерительной подсистемы (см. рисунок).

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.



Архитектура автономного посредника

Преимущества предлагаемого 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.

Реализация решения в медицине

Описанное решение было использовано при реализации устройств контроля процессов внутривенной инфузии, обеспечивающих распознавание момента завершения процедуры и передачу сообщения на мобильное устройство медицинской сестры. Автономная система оптического контроля внутривенной инфузии представляет собой систему для улучшения эффективности работы медицинского персонала, своевременного оповещения об изменениях уровня жидкости в капельнице и улучшения качества сервиса в медицинских учреждениях.

Построение распределенной системы сбора и обработки данных в медицинской палате позволяет обеспечить индивидуальную конфигурацию группы устройств диагностики (датчиков) для конкретного пациента. Эти датчики, оборудованные средствами беспроводной связи с координатором, 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.

Заключение

Предложенное решение по организации автономной посреднической деятельности в распределенной сети сбора и обработки данных позволяет реализовать балансировку загрузки автономных диагностических устройств в условиях работы с большими данными (Big Data). Успешная реализация предложенного решения в автономной системе оптического контроля внутривенной инфузии, а также результаты ее внедрения на практике подтверждают практическую полезность описанных в статье результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сарьян В.К., Сущенко Н.А., Дубнов И.А. и др. Прошлое, настоящее и будущее стандартизации Интернета вещей // Труды НИИР. – 2014. – № 1. – С. 2–7.
2. Jara A.J., Bocchi Y., Genoud D. Determining human dynamics through the Internet of Things // Proceedings of the 2013 IEEE/WIC/ACM International Conferences on Web Intelligence (WI) and Intelligent Agent Technology (IAT), Atlanta, Georgia, USA. – 2013. – P. 109–113.
3. Sahandi R., Noroozi S., Roushanbakhti G. et al. Wireless technology in the evolution of patient monitoring on general hospital wards // Journal of Medical Engineering and Technology, 34 (1). – 2010. – P. 51–63.
4. Liu Y., Sahandi R. ZigBee network for remote patient monitoring // IEEE 22nd International Symposium on Information, Communication and Automation Technologies, Sarajevo, Bosnia & Herzegovina. – 2009. – P. 1–7.
5. Schoder D., Fischbach K. Peer-to-peer prospects // Communications of the ACM, 2003. – Vol. 46, no. 2. – P. 27–29.
6. Орлов С.П., Леднев А.М., Иващенко А.В. Применение модели P2P аутсорсинга в задачах управления проектами на предприятии нефтегазовой отрасли // Вестник Волжского университета им. Татищева. – 2013. – № 2 (21). – С. 35–42.
7. Городецкий В.И. Самоорганизация и многоагентные системы. I. Модели многоагентной самоорганизации // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2012. – № 2. – С. 92–120.
8. 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.
9. Lin H. Architectural design of multi-agent systems: technologies and techniques // ed. Hong Lin, Idea Group Inc (IGI) Global. – 2007. – 421 pp.
10. Piminck 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.
11. Decentralized mediator in an Open Multi-Agent System. Rapport de stage. 2006. Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, URL: <http://www.les.inf.puc-rio.br/wiki/images/e/e8/FinalRapport.pdf>
12. 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, Proceedings of the 10th International Conference on Active Media Technology AMT 2014, Warsaw, Poland, August 11–14, 2014, Springer International Publishing Switzerland. – 2014. – P. 453–463.

Статья поступила в редакцию 15 января 2015 г.

AUTONOMOUS INTERMEDIARY PROCESSING OF BIG DATA FOR INTERNET OF THINGS

A. V. Ivaschenko¹, A. A. Minaev², O. V. Dvoynina¹, S. Yu. Ledneva²

¹ Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

² S.P. Korolyov Samara State Aerospace University
34, Moskovskoye sh., Samara, 443086, Russia

In this paper there is proposed a concept for autonomous diagnostics devices balancing in a distributed system for Big Data processing, developed according to the principles of Internet of Things. Specialized software for data collection devices is considered that implements both direct appropriation and data transmission between the external devices. In the capacity of problem definition there is proposed to provide measurement events' scheduling (the schedule should be actualized and adaptively updated according to the current situation changes in real time) with optimization of measurements' number that characterizes the network load. To solve this problem there is proposed software architecture of data collection and processing distributed network that implements autonomous intermediary functioning of diagnostic devices. As an example there is described a hardware and software complex for a distributed system of medical diagnostics based of a network of autonomous sensors. Successful implementation of this solution in autonomous system for optical control over the intravenous infusion, as well as the results of its practical use confirms the benefit of described results.

Keywords: *Internet of things, intermediary agency, distributed architecture, multi-agent technologies, medical diagnostics.*

*Anton V. Ivaschenko (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Anton A. Minaev, Postgraduate Student.
Olga V. Dvoynina, Postgraduate Student.
Svetlana Yu. Ledneva, Senior Lecture.*