

# Некоторые вопросы функционирования и построения сенсорных вопросно-ответных систем

В. А. Мочалов, А. В. Мочалова

**Аннотация** — В работе рассматриваются вопросы функционирования и построения сенсорных вопросно-ответных систем (СВОС), позволяющих с помощью вопросно-ответных агентов отвечать на заданные типы естественно-языковых вопросов на основе данных мониторинга окружающей среды (МОС), поступающих с сенсорных сетей и существующих систем анализа данных. Вопросно-ответные агенты выполняют следующие функции: сбор информации с узлов сенсорной сети; взаимодействие с существующими системами МОС, с неструктурированными и текстовыми источниками данных; пополняют онтологии и базы данных; формируют задачи и запросы к используемым источникам данных; формируют ответы на запросы и задачи. Вопросно-ответные агенты для работы с онтологией и системами МОС осуществляют преобразование задачи/запроса в запрос на языке взаимодействия с системой и, сформировав ответ, отправляют его координатору назначения задач. Рассматривается применение агентов не только на этапе ответа на вопрос, но и на этапе построения структуры СВОС при поиске последовательности удаления лишних элементов. Приводятся схемы работы СВОС и рассматривается применение семантического анализатора в архитектуре СВОС. Текущий семантический анализатор реализован на языке программирования Java, экспертной системы Dgoals и семантической платформы Apache Jena.

**Ключевые слова** — вопросно-ответные системы, онтологии, сенсорные сети, мониторинг окружающей среды

## I. ВВЕДЕНИЕ

Вред окружающей среде может быть причинен в результате ее загрязнения, истощения, порчи, уничтожения, нерационального использования природных ресурсов, деградации и разрушения естественных экологических систем, природных комплексов и природных ландшафтов, и иного нарушения [1]. Оперативный мониторинг окружающей среды в условиях стихийных бедствий позволяет спасти человеческие жизни и сокращать вредные последствия стихийных бедствий. Чтобы проследить за изменениями в окружающей среде требуется построить систему

мониторинга с учетом различных функциональных требований, а также временных, стоимостных, пространственных и технических ограничений. Наличие методов и специализированных систем позволит существенно повысить эффективность принятия решений о построении систем мониторинга окружающей среды (МОС).

В последние годы активно ведутся работы в области построения конкретных систем мониторинга окружающей среды. Сюда следует отнести работы по построению беспроводных сенсорных сетей [2-5], систем класса «Интернет вещей» [6-8], распределенных онтологий и семантических сенсорных сетей [9-12] и др. Следует отметить, что пространство поиска синтезируемого решений конкретной МОС является очень большим и имеются сложные ограничения целевой функции, а также многие решаемые задачи являются NP-полными и для поиска приближенных решений которых в настоящее время используются различные алгоритмы искусственного интеллекта [3][13-18], линейное и целочисленное программирование [19-21] и выполняются распределенные вычисления.

Следует отметить огромное количество различных данных мониторинга окружающей среды, которые имеются в организациях и свободном доступе в Интернете. Рост количества данных существенно превосходит рост человеческих возможностей по их обработке. В этой связи крайне актуальным является задача создания естественно-языковой вопросно-ответной системы для поддержки анализа различных данных МОС с целью выявления закономерностей, обнаружения требуемых сигналов, поиска вероятностных распределений появления конкретных событий, выявления причинно-следственных связей между событиями, формирования ответов на заданные типы вопросы, генерации наглядных сводных таблиц, изображений и др.

## II. СЕНСОРНЫЕ ВОПРОСНО-ОТВЕТНЫЕ СИСТЕМЫ

Под вопросно-ответной (ВОС) системой мы понимаем информационную систему, способную принимать естественно-языковые вопросы пользователей и отвечать на них на естественном языке. Целью разработки такой системы является сокращение времени поиска нужной информации, хранящейся в больших объемах как структурированных, так и неструктурированных данных, а также текстах на естественном языке.

Статья получена 12.10.2018

Мочалов Владимир Анатольевич, к.т.н., с.н.с. Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия; (e-mail: vmochalov@ikir.ru).

Мочалова Анастасия Викторовна, к.т.н., н.с. Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия; (e-mail: a.mochalova@ikir.ru).

В работе под сенсорной сетью будем понимать распределенную сеть оконечных функциональных узлов (Ф-узлов), которые осуществляют сбор данных окружающей среды и выполняют передачу собранной информации на один или несколько центров сбора информации. В общем виде передача информации может выполняться как по проводным, так и по беспроводным сетям связи. В случае использования беспроводных сетей благодаря свойству самоорганизации и использованию специальных сетевых протоколов становится возможным с помощью транзитных узлов (Т-узлов) выполнять передачу информации путем ретрансляции от одного узла сети к другому [3].

Под сенсорной вопросно-ответной системой (СВОС) мы понимаем систему, позволяющую с помощью вопросно-ответных агентов отвечать на заданные типы естественно-языковых (ЕЯ) вопросов на основе данных мониторинга окружающей среды, поступающих с сенсорных сетей и существующих систем МОС. Работа ВОС с сенсорной сетью представляется особенно актуальной для решения задач МОС в связи с тем, что сенсорная сеть позволяет оперировать ВОС не только информацией о произошедших событиях, но и получать информацию о состоянии окружающей среды в настоящий момент времени.

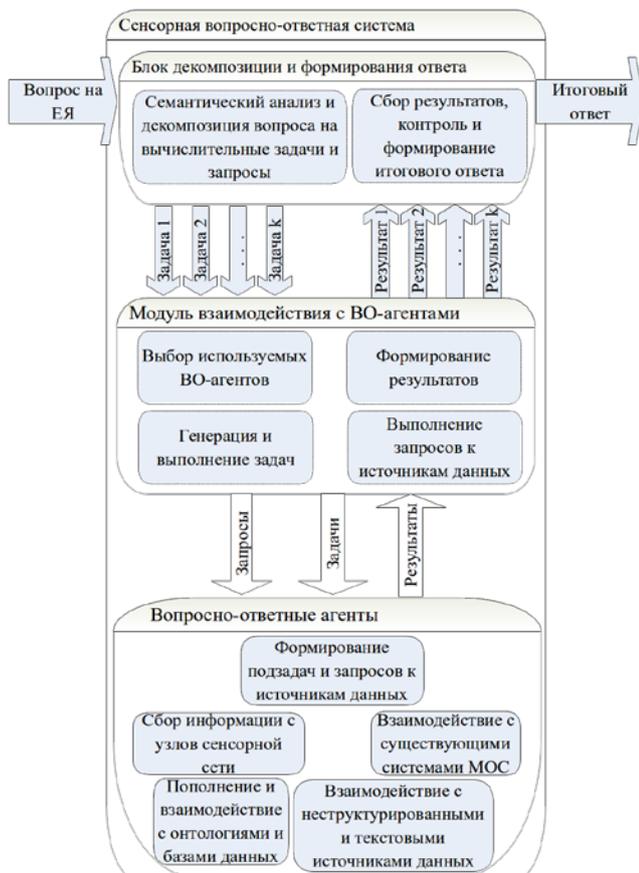


Рис. 1. Упрощенная функциональная схема работы сенсорной вопросно-ответной системы

Упрощенная схема работы сенсорной вопросно-ответной системы приведена на рисунке 1. Для взаимодействия с различными источниками данных МОС используются вопросно-ответные агенты (ВО-агенты), которые выполняют следующие функции:

сбор информации с узлов сенсорной сети; взаимодействие с существующими системами МОС, с неструктурированными и текстовыми источниками данных; пополняют онтологии и базы данных; формируют задачи и запросы к используемым источникам данных; формируют ответы на запросы и задачи.

На рисунке 2 приведена формализованная схема работы СВОС. В общем виде естественно-языковой вопрос  $Q$  поступает на вход семантического анализатора, результатом работы которого является онто-семантический граф  $G(Q)$ . Граф  $G(Q)$  подается на вход координатору назначения задач ВО-агентам, которые наилучшим образом подходят для формирования общего ответа на вопрос  $Q$ . Информация о выбранных на данном этапе ВО-агентах помещается во множество  $FQA = \{FQA_1, FQA_2, FQA_3, \dots, FQA_k\}$ .

Множество  $FQA$  передается на вход модулю формирования задач/запросов к вопросно-ответным агентам. В результате работы этого модуля для каждого вопросно-ответного агента  $FQA_i \in FQA$  формируется задача/запрос  $q_i$ . Каждая задача/запрос  $q_i$  передается ВО-агенту  $FQA_i$ .

ВО-агент для работы с сенсорной сетью первоначально выполняет поиск в локальной базе данных необходимой информации для формирования ответа, а при ее отсутствии производит отбор тех функциональных узлов сенсорной сети, с которых следует собрать требуемую информацию. Информация о выбранных на данном этапе Ф-узлах помещается в множество  $F = \{F_1, F_2, F_3, \dots, F_n\}$ , где  $F_i$  –  $i$ -ый функциональный узел. Далее, в модуле формирования задач для функциональных узлов, соответствующих  $F$ , происходит формирование запросов  $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$  для каждого Ф-узла из множества  $F$ . С помощью модуля распределения задач по выбранным Ф-узлам, каждый функциональный узел  $F_j \in F$  получает и выполняет задачу  $t_j$ , а после этого посылает результат  $r_j$  ВО-агенту, инициировавшему формирование задачи  $t_j$ . На базе всех полученных от функциональных узлов  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$  ответов  $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$  с помощью модуля формирования ответов ВО-агент  $FQA_i$  генерирует ответ  $a_i$ , который, в свою очередь, передается обратно координатору назначения задач.

Одной из немаловажных возможностей работы СВОС является работа со структурированными данными (онтологиями, существующими системами МОС и их баз данных). Как правило, базы структурированных данных служат ВОС для ответов на вопросы, связанные с событиями из прошлого. Такие базы могут хранить различные собранные за многие годы данные МОС. Базы могут периодически пополняться, например, с помощью информации, предоставляемой сенсорными сетями, в результате оцифровки архивных данных, анализа данных мониторинга в режиме реального времени или как данные, регулярно передаваемые единичным датчиком (например, датчиком температуры, давления, напряженности электрического поля Земли и т.п.). ВО-агенты для работы с онтологией и системами МОС осуществляют преобразование задачи/запроса  $q_i$  в запрос на языке взаимодействия с системой (например, SPARQL [23] для онтологии) и

сформировав ответ отправляют его координатору назначения задач.

Поиск вопросно-ответной системой ответа на вопрос пользователя с помощью информации из онтологии также является актуальной задачей, которая рассматривается в ряде работ (например, [24]). Применение онтологий для разработки ВОС, нацеленной на решение задач МОС имеет свои сложности - для этого необходимо создавать узкоспециализированные онтологии, что часто приходится делать вручную. Однако, существуют различные подходы к автоматическому созданию и пополнению онтологий. Онтология может пополняться с помощью коллекции документов  $D$  по тематики онтологии, а также посредством потоков информации, передаваемых от сенсорной сети (поток  $D_{SN}$ ) и данных систем МОС (поток  $D_{SD}$ ).

Координатор назначения задач принимает все ответы от ВО-агентов, и на базе них уже составляет итоговый ответ  $A$ , который передается пользователю в качестве ответа на заданный вопрос  $Q$ .

На рисунке 4 приведена архитектура программно реализованного семантического анализатора [25], построенного по математической модели, описанной в работе [26]. На вход модуля начальной обработки текста подается вопрос  $Q$  на естественном языке, в котором происходит выполнение следующих шагов: предварительная обработка, токенизация, морфологический анализ, выделение неделимых смысловых единиц. Результат начальной обработки  $Q$  записывается в  $F(Q)$  и после этого  $F(Q)$  поступает на вход онтологически-семантическому анализатору,

который на основе использования программного кода, экспертной системы, онтологической базы знаний выполняет следующие действия: сопоставление синтаксем с узлами структурированной онтологии; построение онто-семантического графа  $G(Q)$ , узлы которого ссылаются на элементы структурированной онтологии. Структурированная онтология формируется с помощью модуля пополнения онтологии на базе загружаемых в систему онтологий и семантических словарей. Далее  $G(Q)$  подается на вход координатору назначения задач СВОС.

Пунктирной рамкой на рисунке 4 обведены названия языка программирования (Java), экспертной системы (Drools [27]), онтологии (PyTез [28]), семантической платформы (Apache Jena [29]) и языка запросов (SPARQL [23]), с помощью которых был программно реализован прототип такой системы.

Следует отметить важность задачи сопоставления синтаксем с узлами структурированной онтологии и выделить следующие этапы [30]:

- (s1) Предварительная обработка текста;
- (s2) Определение границ предложений;
- (s3) Выделение границ синтаксем;
- (s4) Определение возможных вариантов лемм для всех выделенных синтаксем;
- (s5) Поиск в онтологии элементов, соответствующих леммам из (s4);
- (s6) Выбор из элементов онтологии, найденных в (s5), тех, которые соответствуют синтаксемам из (s3).

На рисунке 3 приведены некоторые этапы решения задачи соотнесения частей текста с узлами онтологии.

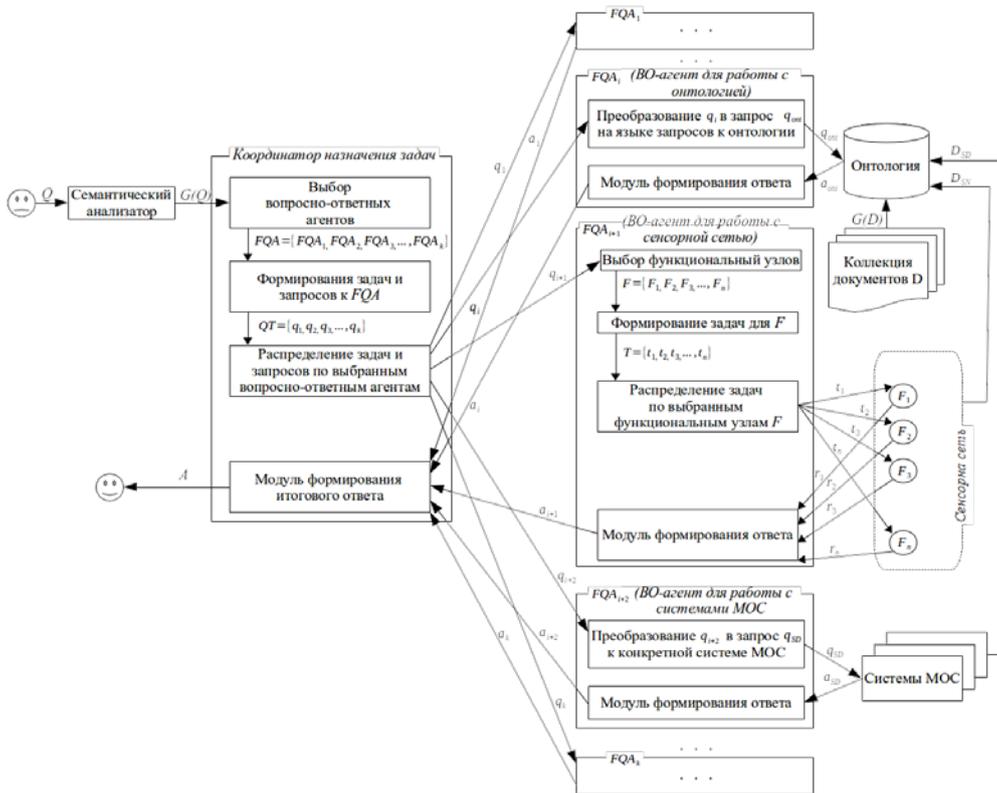


Рис. 2. Формализованная схема работы сенсорной вопросно-ответной системы

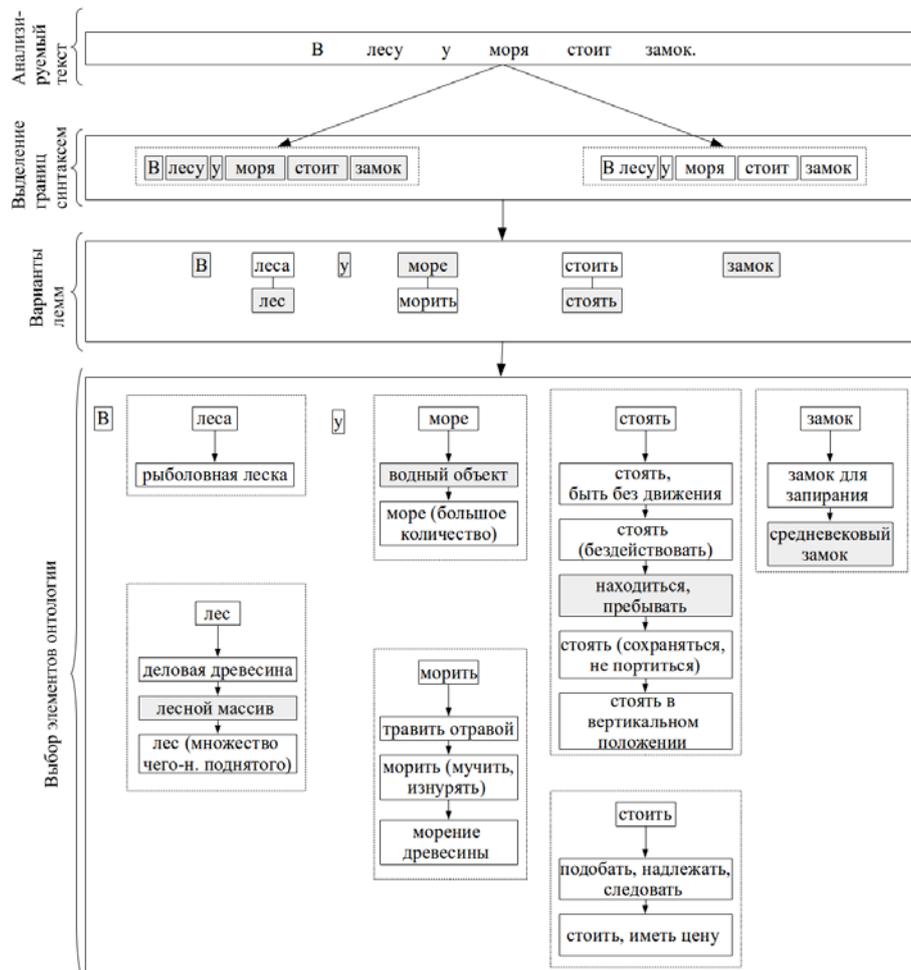


Рис. 3. Некоторые этапы решения задачи соотнесения частей текста с узлами онтологии [30]



Рис. 4. Применение семантического анализатора на базе платформы Apache Jena в СВОС

### III. ПРИМЕНЕНИЕ ОТСЕВНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ УЗЛОВ В СТРУКТУРУ СЕНСОРНОЙ ВОПРОСНО-ОТВЕТНОЙ СИСТЕМЫ

Проблемы построения, функциональная схема и возможные варианты постановки задач размещения узлов в структуру геокосмической СВОС, а также алгоритмы изменения структуры сети приводятся в работе [10]. В основе алгоритма построения структуры СВОС лежит ориентированный на решение некоторых оптимизационных задач метод "отсевное программирование" [31].

Микеланджело Буонарроти говорил, что в каждом камне заключена статуя, и нужно уметь убрать все лишнее, чтобы извлечь ее на свет. Смотря на статую, мы видим итоговый результат работы скульптора и, говоря техническим языком, мы видим финальную целевую функцию процесса удаления лишних элементов ("маленьких частей камня") из исходного пространства ("камня"). Зная целевую функцию, мы можем приступить к поиску таких лишних элементов из исходного пространства, чтобы в остатке получить нужный нам результат.

Проведем следующие аналогии: "камень" – исходное пространство, из которого мы будем удалять лишние элементы; "статуя" – это лучшее из найденных решений, удовлетворяющих заданной целевой функции; "скульптор" – это поисковый агент, который на основе

знаний и опыта осуществляет удаление лишних элементов из исходного пространства с целью получить в остатке решение, удовлетворяющее заданной целевой функции.

Опираясь на высказывание Микеланджело в основе метода «отсевное программирование» [31] лежит поиск такой последовательности удаления элементов из исходного пространства («камня»), которая приведет к формированию множества оставшихся не удаленных элементов с желаемой целевой функцией. Исходные элементы пространства поиска могут быть либо заданы, либо с помощью специальных алгоритмов покрытия выполняется их поиск. Для поиска последовательности удаления элементов из пространства поиска применяются поисковые агенты, которые в процессе своей работы формируют общие знания и их используют.

Основанный на применении метода «отсевное программирование» алгоритм размещения узлов в структуру СВОС приведен в работе [31].

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие информационных технологий, электроники и удешевление сенсоров существенно увеличило возможности по мониторингу окружающей среды. При этом появилась необходимость построения новых систем МОС, быстрого и удобного доступа к данным МОС и созданию специализированных СВОС. В качестве примеров прикладного применения СВОС следует привести: сокращение вреда окружающей среде; снижение уязвимостей и рисков, связанных с природными явлениями и чрезвычайными ситуациями; выявление закономерностей и причинно-следственных связей в данных МОС; выполнение исследовательских работ в области изучения и охраны окружающей среды; и др.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

[1] Статья 77 Федерального закона от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ "Об охране окружающей среды".

[2] Faludi R. Building Wireless Sensor Networks. O'Reilly Media, 2010. 320 p.

[3] Mochalov V.A.. Multi-agent Bio-inspired Algorithms for Wireless Sensor Network Design // The IEEE 17th International Conference on Advanced Communication Technology, 2015. Proceedings. ICACT. Phoenix Park, Korea, 2015. P.33-42.

[4] Koucheryavy A., Vladyko A., Kirichek R. State of the Art and Research Challenges for Public Flying Ubiquitous Sensor Networks // Lecture Notes in Computer Science. 2015. Vol. 9247. P. 299-308.

[5] Weng-Fong C., Tzu-Hsuan L., Yu-Cheng L. A Real-Time Construction Safety Monitoring System for Hazardous Gas Integrating Wireless Sensor Network and Building Information Modeling Technologies // Sensors. 2018. Vol. 18(2).

[6] Vermesan O., Friess O.. Internet of Things – From Research and Innovation to Market Deployment. River Publishers, 2014. 374 p.

[7] Hanes D., Salgueiro D., Grossetete D., Barton D., Henry D. IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things. Cisco Press, 2017. 576 p.

[8] Raj P., Raman A.C. The Internet of Things: Enabling Technologies, Platforms, and Use Cases. CRC Press, 2017. 364 p.

[9] Semantic Sensor Network Ontology W3C Recommendation. 19 October 2017. URL: <https://www.w3.org/TR/vocab-ssn/>

[10] Mochalov V.A., Mochalova A.V. Algorithms for changing the structure of geospace self-organizing question-answering sensor networks // Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors, E3S Web Conf. 2017. Vol. 20. P. 11.

[11] Calbimonte J., Jeung H., Corcho O., Aberer K. Semantic Sensor Data Search in a Large-Scale Federated Sensor Network // Proceedings of the 4th International Workshop on Semantic Sensor Networks. 2011. Vol. 839. P. 23-38.

[12] Wang X., Zhang X., Li M. A Survey on Semantic Sensor Web: Sensor Ontology, Mapping and Query // International Journal of u- and e- Service, Science and Technology. 2015. Vol. 8, No. 10. P. 325-342.

[13] Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М., Сороколетов П.В. Биоинспирированные методы в оптимизации. М.: Физматлит, 2009. 384 с.

[14] Brabazon A., O'Neill M., McGarraghy S. Natural Computing Algorithms. Springer, 2015. 554 p.

[15] Mandal J.K., Mukhopadhyay S., Pal T. Handbook of Research on Natural Computing for Optimization Problems (2 Volumes). Igi-Global, 2016. 1015 p.

[16] Fister I., Xin-She Y., Fister I., Brest J., Fister D. A Brief Review of Nature-Inspired Algorithms for Optimization // Elektrotehniski vestnik, 2013. Vol. 80(3). P. 1–7.

[17] Binitha S., Sathya S. A Survey of Bio inspired Optimization Algorithms // International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE). 2012. Vol. 2 (2). P. 137-151.

[18] Gupta G. Monitoring Water Distribution Network using Machine Learning, EP242X. Degree Project in Communication Networks. 2017. 66 p. URL: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1177842/FULLTEXT01.pdf>

[19] Gounaris C.E., Rajendran K., Kevrekidis I.G., Floudas C.A. Designing networks: A mixed integer linear optimization approach. 2015. 56 p. URL: <https://arxiv.org/pdf/1502.00362.pdf>

[20] Taccari L. Mixed-integer programming models and methods for bilevel fair network optimization and energy cogeneration planning. PhD dissertation. 2015. 209 p.

[21] Fraccaroli E., Quaglia D. Toolchain for Optimal Network Synthesis. URL: <http://www.di.univr.it/documenti/OccorrenzaIns/matdid/matdid014072.pdf>

[22] Mochalov V.A., Mochalova A.V. Application of «Sensor signal analysis network» complex for distributed, time synchronized analysis of electromagnetic radiation // Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors, E3S Web Conf. 2017. Vol. 20. P. 11.

[23] SPARQL Query Language for RDF [Электронный ресурс]. URL: <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>

[24] Богуславский И.М. Семантический анализ и ответы на вопросы: система в стадии разработки / И.М. Богуславский, В.Г. Диконов, Л.Л. Иомдин, А.В. Лазурский и др. // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодной Международной конференции «Диалог» (Москва, 27–30 мая 2015 г.). Вып. 14 (21): В 2 т. – М.: Изд-во РГГУ, 2015. – Т. 1. – С. 62 – 79.

[25] Мочалова А.В. Семантический анализатор русскоязычного текста для вопросно-ответной системы: дис. канд. техн. наук: 05.13.18. Петрозаводск. 2017. 128 с.

[26] Mochalova A.V., Mochalov V.A. Mathematical model of an ontological-semantic analyzer using basic ontological-semantic patterns // Lecture Notes in Artificial Intelligence. Proceedings of 15th Mexican International Conference on Artificial Intelligence. – 2016. P. 53–66.

[27] Экспертная система Drools [Электронный ресурс]. URL: <https://www.drools.org> (дата обращения 17.02.2018).

[28] Лингвистическая онтология «Тезаурус РуТез» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.labinform.ru/pub/ruthes/index.htm> (дата обращения 17.02.2018)

[29] Apache Jena [Электронный ресурс]. <https://jena.apache.org/> (дата обращения 17.02.2018).

[30] Мочалова А.В., Мочалов В.А. Программная реализация на базе платформы Apache Jena вопросно-ответной системы, использующей данные онтологий // Компьютерная лингвистика и вычислительные онтологии. Выпуск 2: Труды XXI Международной объединенной конференции «Интернет и современное общество, IMS-2018, Санкт-Петербург, 30 мая - 2 июня 2018 г. Сборник научных статей. — СПб: Университет ИТМО, 2018.

[31] Mochalov V. Seeding programming // Proceedings of the 2nd International Conference on BioGeoSciences. URL: [https://www.researchgate.net/publication/325070229\\_Seeding\\_programming](https://www.researchgate.net/publication/325070229_Seeding_programming) (preprint).

# Some Operational and Construction Issues of Question-Answering Sensor Systems

V. A. MOCHALOV, A. V. MOCHALOVA

**Abstract** — The paper deals with the functioning and construction of question-answering sensor systems (QASS), which allow with the help of question-answer agents to answer to specified types of natural language questions based on environmental monitoring (EM) data from sensor networks and existing data analysis systems. Question-answer agents perform the following functions: collecting information from sensor network nodes; interaction with existing EM systems, with unstructured and textual data sources; adding data to ontologies and databases; form tasks and requests for data sources; form answers to requests and tasks. Question-answer agents carry out the conversion of a task / request into a request in the language of interaction with the EM system and after forming the answer send it to the task assignment coordinator. The use of agents is considered not only at the stage of answering a question, but also at the stage of constructing the structure of the QASS when searching for a sequence for removing unnecessary elements. The scheme of work of QASS is given and the application of the semantic analyzer in the architecture of QASS is considered. The current semantic analyzer is based on the Java programming language, the Drools expert system and the Apache Jena semantic platform.

**Keywords** — question-answer systems, ontologies, sensor networks, environmental monitoring

## REFERENCES

- [1] Stat'ja 77 Federal'nogo zakona ot 10 janvarja 2002 g. N 7-FZ "Ob ohrane okruzhajushhej sredy".
- [2] Faludi R. Building Wireless Sensor Networks. O'Reilly Media, 2010. 320 p.
- [3] Mochalov V.A.. Multi-agent Bio-inspired Algorithms for Wireless Sensor Network Design // The IEEE 17th International Conference on Advanced Communication Technology, 2015. Proceedings. ICACT. Phoenix Park, Korea, 2015. P.33-42.
- [4] Koucheryavy A., Vladyko A., Kirichek R. State of the Art and Research Challenges for Public Flying Ubiquitous Sensor Networks // Lecture Notes in Computer Science. 2015. Vol. 9247. P. 299-308.
- [5] Weng-Fong C., Tzu-Hsuan L., Yu-Cheng L. A Real-Time Construction Safety Monitoring System for Hazardous Gas Integrating Wireless Sensor Network and Building Information Modeling Technologies // Sensors. 2018. Vol. 18(2).
- [6] Vermesan O., Friess O.. Internet of Things – From Research and Innovation to Market Deployment. River Publishers, 2014. 374 p.
- [7] Hanes D., Salgueiro D., Grossetete D., Barton D., Henry D. IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things. Cisco Press, 2017. 576 p.
- [8] Raj P., Raman A.C. The Internet of Things: Enabling Technologies, Platforms, and Use Cases. CRC Press, 2017. 364 p.
- [9] Semantic Sensor Network Ontology W3C Recommendation. 19 October 2017. URL: <https://www.w3.org/TR/vocab-ssn/>
- [10] Mochalov V.A., Mochalova A.V. Algorithms for changing the structure of geospace self-organizing question-answering sensor networks // Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors, E3S Web Conf. 2017. Vol. 20. P. 11.
- [11] Calbimonte J., Jeung H., Corcho O., Aberer K. Semantic Sensor Data Search in a Large-Scale Federated Sensor Network // Proceedings of the 4th International Workshop on Semantic Sensor Networks. 2011. Vol. 839. P. 23-38.
- [12] Wang X., Zhang X., Li M. A Survey on Semantic Sensor Web: Sensor Ontology, Mapping and Query // International Journal of u- and e- Service, Science and Technology. 2015. Vol. 8, No. 10. P. 325-342.
- [13] Gladkov L.A., Kurejchik V.V., Kurejchik V.M., Sorokoletov P.V. Bioinspirirovannye metody v optimizacii. M.: Fizmatlit, 2009. 384 s.
- [14] Brabazon A., O'Neill M., McGarraghy S. Natural Computing Algorithms. Springer, 2015. 554 p.
- [15] Mandal J.K., Mukhopadhyay S., Pal T. Handbook of Research on Natural Computing for Optimization Problems (2 Volumes). Igi-Global, 2016. 1015 p.
- [16] Fister I., Xin-She Y., Fister I., Brest J., Fister D. A Brief Review of Nature-Inspired Algorithms for Optimization // Elektrotehniski vestnik, 2013. Vol. 80(3). P. 1–7.
- [17] Binitha S., Sathya S. A Survey of Bio inspired Optimization Algorithms // International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE). 2012. Vol. 2 (2). P. 137-151.
- [18] Gupta G. Monitoring Water Distribution Network using Machine Learning. EP242X. Degree Project in Communication Networks. 2017. 66 p. URL: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1177842/FULLTEXT01.pdf>
- [19] Gounaris C.E., Rajendran K., Kevrekidis I.G., Floudas C.A. Designing networks: A mixed integer linear optimization approach. 2015. 56 p. URL: <https://arxiv.org/pdf/1502.00362.pdf>
- [20] Taccari L. Mixed-integer programming models and methods for bilevel fair network optimization and energy cogeneration planning. PhD dissertation. 2015. 209 p.
- [21] Fraccaroli E., Quaglia D. Toolchain for Optimal Network Synthesis. URL: <http://www.di.univr.it/documenti/OccorrenzaIns/matdid/matdid014072.pdf>
- [22] Mochalov V.A., Mochalova A.V. Application of «Sensor signal analysis network» complex for distributed, time synchronized analysis of electromagnetic radiation // Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors, E3S Web Conf. 2017. Vol. 20. P. 11.
- [23] SPARQL Query Language for RDF [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>
- [24] Boguslavskij I.M. Semanticheskij analiz i otvety na voprosy: sistema v stadii razrabotki / I.M. Boguslavskij, V.G. Dikonov, L.L. Iomdin, A.V. Lazurskij i dr. // Komp'juternaja lingvistika i intellektual'nye tehnologii: Po materialam ezhegodnoj Mezhdunarodnoj konferencii «Dialog» (Moskva, 27–30 maja 2015 g.). Vyp. 14 (21): V 2 t. – M.: Izd-vo RGGU, 2015. – T. 1. – C. 62 – 79.
- [25] Mochalova A.V. Semanticheskij analizator ruskosjazychnogo teksta dlja voprosno-otvetnoj sistemy: dis. kand. tehn. nauk: 05.13.18. Petrozavodsk. 2017. 128 c.
- [26] Mochalova A.V., Mochalov V.A. Mathematical model of an ontological-semantic analyzer using basic ontological-semantic patterns // Lecture Notes in Artificial Intelligence. Proceedings of

15th Mexican International Conference on Artificial Intelligence. – 2016. P. 53–66.

[27] Jekspertnaja sistema Drools [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://www.drools.org> (data obrashhenija 17.02.2018).

[28] Lingvisticheskaja ontologija «Tezaurus RuTez» [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://www.labinform.ru/pub/ruthes/index.htm> (data obrashhenija 17.02.2018)

[29] Apache Jena [Jelektronnyj resurs]. <https://jena.apache.org/> (data obrashhenija 17.02.2018).

[30] Mochalova A.V., Mochalov V.A. Programmaja realizacija na baze platformy Apache Jena voprosno-otvetnoj sistemy,

ispol'zujushhej dannye ontologij // Komp'juternaja lingvistika i vychislitel'nye ontologii. Vypusk 2: Trudy XXI Mezhdunarodnoj ob'edinennoj konferencii «Internet i sovremennoe obshhestvo, IMS-2018, Sankt-Peterburg, 30 maja - 2 ijunja 2018 g. Sbornik nauchnyh statej. — SPb: Universitet ITMO, 2018.

[31] Mochalov V. Seeding programming // Proceedings of the 2nd International Conference on BioGeoSciences. URL: [https://www.researchgate.net/publication/325070229\\_Seeding\\_programming](https://www.researchgate.net/publication/325070229_Seeding_programming) (preprint).