

УДК 004.8

## Методология управления ресурсами интеллектуального пространства\*

Т.В. ЛЕВАШОВА

199178, РФ, Санкт-Петербург, 14-я линия, 39, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, кандидат технических наук. E-mail: [tatiana.levashova@ias.spb.su](mailto:tatiana.levashova@ias.spb.su)

В современном мире активно развивается концепция интеллектуальных пространств. В соответствии с этой концепцией цель любого интеллектуального пространства состоит в оказании человеку осмысленной помощи без его участия. Достижение указанной цели осуществляется ресурсами пространства. Разработка механизмов для управления ресурсами таких пространств является актуальным направлением развития современных информационных технологий. В данной работе предлагается методологии управления ресурсами интеллектуальных пространств. Методология предполагает использование онтологической модели контекста для представления текущей ситуации. Текущая ситуация, представленная такой моделью, становится интерпретируемой независимыми и разнородными ресурсами интеллектуального пространства. Согласно предложенной методологии контекст строится на основании онтологии интеллектуального пространства ресурсами этого пространства посредством их самоорганизации в динамическую сеть ресурсов. Методология ориентирована на использование методов, предлагаемых технологиями проектирования онтологий, управления контекстом, самоорганизации и динамических сетей.

В рамках работы рассматривается онтология интеллектуального пространства, приводится формализация динамической сети ресурсов и описываются правила включения и исключения ресурсов из сети. Предлагаемая онтология объединяет онтологическое представление интеллектуального пространства и модель знаний проблемной области. Динамическую сеть ресурсов предложено формализовать как множество вершин двух типов – ресурс и функция – и множество ориентированных дуг, показывающих функциональные зависимости между входными и выходными переменными функций. Правила включения и исключения ресурсов из сети основаны на потребностях в реализуемых ресурсами функциях в текущей ситуации. В заключении кратко сформулированы основные положения статьи и указаны перспективы дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** интеллектуальное пространство, онтология, контекст, управление контекстом, управление ресурсами, динамическая сеть ресурсов, правила включения (исключения) ресурсов, функциональные отношения

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-1-171-182

---

\* Статья получена 30 октября 2014 г.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 14-07-00345 и 14-07-00427), Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН (проект 2.2) и Президиума РАН (Программа № 8, проект № 213).

## ВВЕДЕНИЕ

Интеллектуальные пространства постепенно начинают играть ощутимую роль в нашей жизни. Такое пространство представляет собой информационную среду, состоящую из множества независимых ресурсов различного назначения, которые самостоятельно подстраиваются под текущие потребности пользователей этого пространства. Предполагается, что эти ресурсы могут самостоятельно объединяться или интегрироваться в общую среду для выполнения действий, ожидаемых в текущей ситуации. Человек (пользователь), попавший в такую среду, рассчитывает, что ресурсы могут оказать ему осмысленную помощь без вмешательства в их действия с его стороны [1]. Примерами интеллектуальных пространств являются «умный дом» [2–4], «умный офис» [5, 6], «умный город» [7], интеллектуальный зал [8, 9] и т. п.

Для того чтобы ресурсы могли адаптировать свое поведение к текущей ситуации и потребностям пользователей, они должны уметь «понимать» ситуацию и эти потребности. Проблема «понимания» ситуации различными независимыми объектами лежит в основе контекстно-управляемых сред. В них используется понятие контекста. Контекстом называется любая информация, которая может быть использована, чтобы охарактеризовать текущую ситуацию, в которой находится некоторый объект [10].

Использование модели контекста является основным требованием технологии всеобъемлющих вычислений (*ubiquitous computing*) [11], которая занимается организацией взаимодействия между разнородными устройствами и широко используется в интеллектуальных пространствах. Для того чтобы контекст был понятен ресурсам интеллектуального пространства, для его представления используются онтологические модели [12]. В силу динамической природы интеллектуальных пространств контекст в них постоянно меняется. Ресурсы интеллектуального пространства должны уметь адаптироваться к этим изменениям.

Рассматриваемая в данной работе методология управления ресурсами интеллектуальных пространств предполагает использование онтологической модели контекста, создаваемой на основе онтологии интеллектуального пространства. В качестве одного из подходов, который позволял бы ресурсам интеллектуального пространства адаптироваться к контексту, в методологии предлагается использование концепции динамических сетей [13, 14].

## 1. МЕТОДОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА

Методология (рис. 1) основана на контекстно-зависимом управлении ресурсами, под которым понимается адаптация поведения ресурсов к изменениям в интеллектуальном пространстве. Ресурсами интеллектуального пространства являются сенсоры, аппаратные и вычислительные устройства, внедренные в пространство, а также устройства пользователей. В некоторых случаях пользователь также может рассматриваться как ресурс. Ресурсы могут быть как стационарными, так и мобильными. Для всех ресурсов в интеллектуальном пространстве поддерживается проводной и беспроводной выход в сеть Интернет.

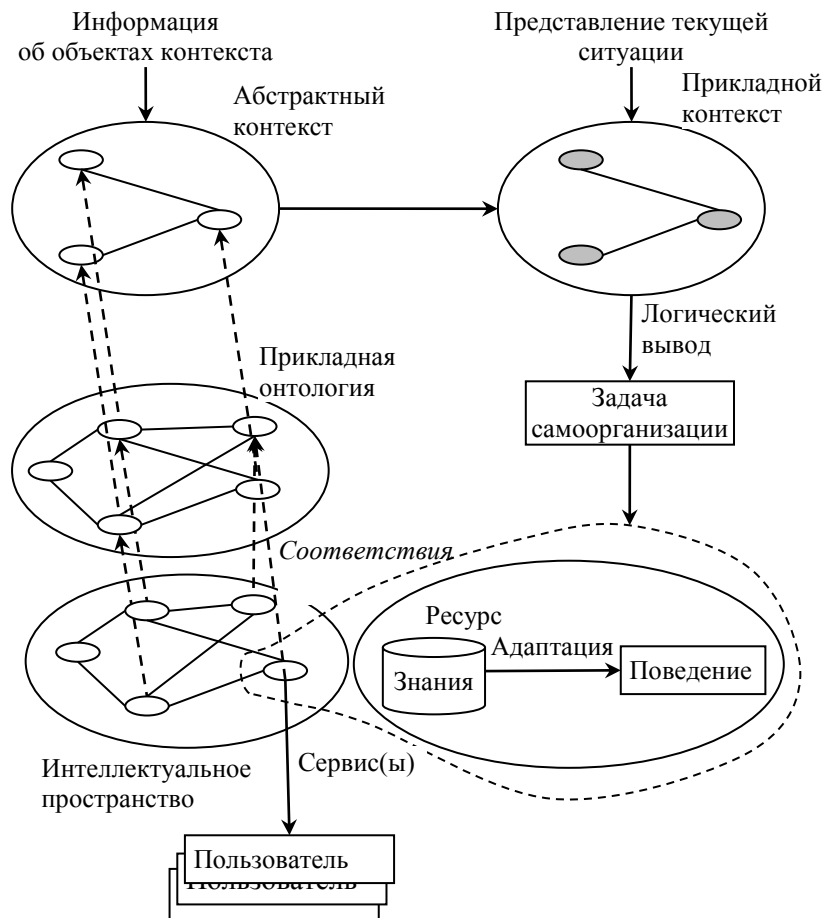


Рис. 1. Методология управления ресурсами интеллектуального пространства

Методология управления ресурсами интеллектуального пространства ориентирована на онтологическое представление текущей ситуации посредством модели контекста. Такое представление составляется в соответствии с методологией управления контекстом [15, 16], согласно которой используется двухуровневое представление ситуации. На абстрактном уровне ситуация представлена абстрактным контекстом, который является интенциональным онтологическим представлением ситуации. На прикладном уровне ситуация представлена прикладным контекстом, который является экстенсионалом абстрактного контекста для конкретных текущих условий.

В методологии используются три типа онтологий: 1) онтология верхнего уровня для представления знаний об объектах интеллектуального пространства и отношениях между ними; 2) прикладная онтология для представления знаний проблемной области и 3) онтология пользователя ресурса, представленные их профилями. Все онтологии представляют интенциональные знания. В конкретной проблемной области онтология верхнего уровня и прикладная онтология связываются отношениями соответствия, которые задают специализацию обобщенной онтологии интеллектуального пространства применительно к данной проблемной области. Дополнительно прикладная

онтология представляет знания о существующих в проблемной области задачах и методах их решения.

Абстрактный контекст интегрирует в себе фрагменты знаний из онтологии верхнего уровня и прикладной онтологии. Этот контекст представляет интенциональные знания о конкретном интеллектуальном пространстве из заданной проблемной области. Как и прикладная онтология, абстрактный контекст содержит спецификацию решаемых в рассматриваемом интеллектуальном пространстве вычислительных задач. Примерами таких задач являются: планирование совместных действий пользователей в любом интеллектуальном пространстве, поиск эффективного маршрута в интеллектуальном городе, составление плана осмотра экспозиции в интеллектуальном музее и т. п.

Конкретизация абстрактного контекста осуществляется ресурсами интеллектуального пространства в процессе изменений текущей ситуации. Например, сенсоры передают информацию о текущем местоположении пользователей или других мобильных объектов интеллектуального пространства, вычислительные устройства сообщают информацию о своем текущем статусе, выполняемых ими в данный момент функциях и т. п. Индикатором того, что ситуация изменилась, является наступление некоторого события (возможные виды событий специфицированы в абстрактном контексте). На основе вида события средствами логического вывода строится заключение о том, какая задача должна решаться в данный момент. Под задачей понимается определение того, какие представленные в контексте объекты или отношения должны быть конкретизированы, какие действия должен выполнить ресурс или пользователь, а также решение специфицированных в абстрактном контексте вычислительных задач. Логический вывод поддерживается за счет использования онтологической модели контекста.

В конкретизации объектов и отношений участвуют два процесса: а) прямая передача информации от ресурсов в контекст и присвоение значений соответствующим свойствам объектов и б) распространение полученной информации взаимосвязанным в контексте объектам в соответствии с установленными между ними отношениями. По мере получения и распространения информации формируется прикладной контекст. В прикладном контексте представлены только объекты, которые существуют в данное время в данной ситуации, а все взаимосвязи между этими объектами конкретизированы. Прикладной контекст является основой для решения вычислительных задач.

Для конкретизации абстрактного контекста и решения задач ресурсы формируют динамическую сеть ресурсов посредством самоорганизации [17].

Далее в данной работе предлагаются к рассмотрению онтологическая модель интеллектуального пространства и формализация динамической сети ресурсов.

## **2. ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА**

Как сказано в предыдущем разделе, методология управления ресурсами интеллектуального пространства опирается на онтологическую модель контекста. Хотя на настоящий момент известно несколько моделей контекста

(например, [18, 19]), наиболее целесообразными для использования в интеллектуальных пространствах представляются онтологические модели. Это обусловлено следующими причинами:

- онтолого-ориентированный контекст открывает возможность совместного использования представленной в нем информации всеми объектами (ресурсами и пользователями) интеллектуального пространства и делает эту информацию интерпретируемой для всех объектов;
- онтолого-ориентированный контекст предоставляет ранее независимым объектам интеллектуального пространства возможность взаимодействия (сюда относится как возможность взаимодействия ресурсов, так и возможность взаимодействия пользователей);
- онтолого-ориентированный контекст позволяет осуществлять логический вывод над представленной в нем информацией и, таким образом, выводить уточняющие, недостающие, скрытые или принципиально новые информацию и знания;
- онтолого-ориентированный контекст, включающий в себя спецификацию проблем (задач), в конкретной текущей ситуации позволяет ресурсам находить решения для задач и, таким образом, делает контекст функциональным средством решения задач.

С точки зрения онтологического представления, при котором объективная реальность представляется через множество типизированных объектов и отношений между ними, интеллектуальное пространство – это множества ресурсов, сервисов и пользователей. Ресурсы предоставляют свои сервисы в соответствии с текущими потребностями пользователей интеллектуального пространства.

С точки зрения представления контекста любая информация, описывающая некоторый объект контекста (entity), попадает в одну из пяти категорий: субъект (individuality), действие (activity), местоположение (location), время (time), отношения (relations) [20] (рис. 2). Категория «субъект» содержит набор свойств и атрибутов для описания самого этого субъекта. Категория «действие» используется для описания задач, в выполнение которых может быть вовлечен субъект. Контекстно-зависимые категории «местоположение» и «время» используются для спецификации пространственно-временных координат соответствующего субъекта. Категория «отношения» используется для представления информации о любых возможных отношениях, которые могут быть установлены между данным субъектом и другим субъектом.

Предлагаемая в данной работе онтологическая модель интеллектуального пространства (рис. 3) позволяет совместить онтологическое представление интеллектуального пространства с моделью знаний проблемной области. Новые ресурсы специфицируются (описываются) в терминах проблемных обла-

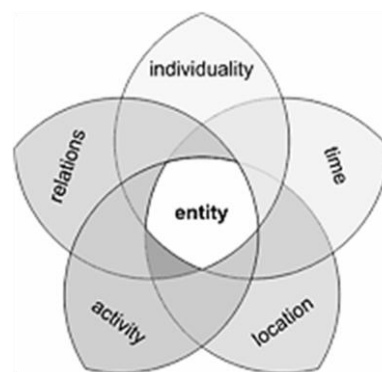


Рис. 2. Пять фундаментальных категорий для представления контекстной информации [20]

стей. Установленные соответствия между концептами, представляющими ресурсы, автоматически масштабируют интеллектуальное пространство в соответствии с наличием или отсутствием новых типов ресурсов в рассматриваемой проблемной области. Связь между ресурсом и сервисом автоматически учитывает функциональность ресурса.

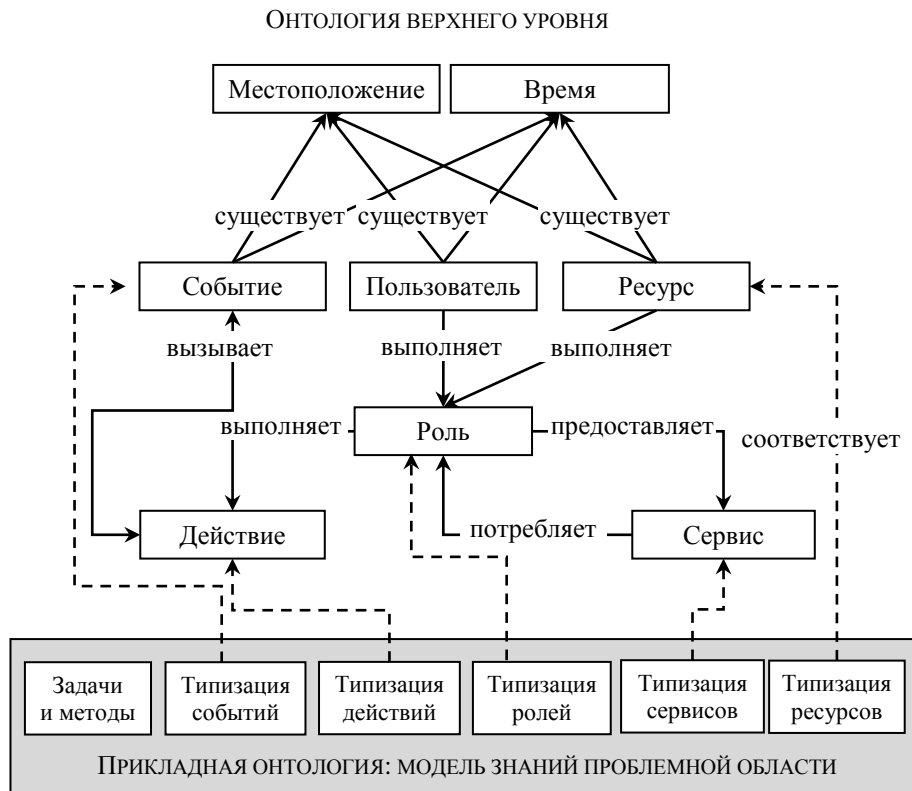


Рис. 3. Онтология интеллектуального пространства

Так как функции интеллектуального пространства тесно связаны с ситуацией, которая в данный момент сложилась в этом пространстве, верхний уровень онтологии представлен контекстно-зависимыми категориями. Обще-признанными контекстно-зависимыми категориями являются текущее местоположение объекта и текущее время.

*Ресурсы и пользователи* интеллектуального пространства в текущей ситуации выполняют определенные роли. *Пользователи* в соответствии с этими ролями и в зависимости от типа события выполняют действия. Действия, выполняемые пользователями, вызывают события определенного типа. Например, событие «звонок телефона» определяет действие человека «ответ на телефонный звонок». Но если человек поднял руку во время лекции, это действие вызывает такое событие, как, например, прерывание лекции. Этим объясняется двунаправленность отношения *вызывает* между концептами *событие* и *действие*.

*Ресурсы* обладают некоторой функциональностью. В соответствии с ней и своими ролями они предоставляют *сервисы*. Сервисы, предоставляемые

одними ресурсами, *потребляются* другими ресурсами и пользователями с соответствующими ролями.

В конкретной ситуации интеллектуальное пространство может выбирать ресурсы в зависимости от того, какие сервисы нужны пользователю в данное время, либо предлагать пользователю какие-либо сервисы в зависимости от наличия ресурсов. Конкретная ситуация определяется событием.

Предложенная онтология интеллектуального пространства предполагает специализацию категорий верхнего уровня в проблемной области. Для этого в конкретной проблемной области между онтологией верхнего уровня и прикладной онтологией устанавливаются соответствия согласно рис. 3.

При формировании абстрактного контекста на основании установленных соответствий из прикладной онтологии извлекаются все возможные специализации для типов событие, роль, пользователь, ресурс, действие и сервис. При этом учитываются связи извлекаемых типов с другими типами, которые также могут быть включены в извлекаемые знания. Извлеченные знания формируют абстрактный контекст.

### 3. ДИНАМИЧЕСКАЯ СЕТЬ РЕСУРСОВ

В методологии управления ресурсами интеллектуального пространства с целью адаптации ресурсов к текущей ситуации ими формируется динамическая сеть ресурсов. Динамические сети характеризуются тем, что вершины сети могут исчезать и появляться, а дуги пропадать и восстанавливаться [13, 14].

Динамическую сеть ресурсов предложено формализовать как множество вершин двух типов – ресурс и функция (метод) – и множество ориентированных дуг, показывающих функциональные зависимости между входными и выходными переменными функций (методов). В рассматриваемой здесь формализации отличие функции от метода не принципиально, поэтому далее по тексту оба понятия объединены в понятие функции. Если метод не имеет выходных переменных, то выходная переменная моделируется двумя значениями: 0 (метод не отработал) и 1 (метод отработал). В соответствии с концепцией динамических сетей ресурсов при изменении контекста текущей ситуации соответствующие вершины и дуги добавляются или исключаются из сети.

Динамическая сеть ресурсов  $DN$  описывается следующим образом:  $DN = (S, F(I, O), R_1, R_2, T)$ , где  $S$  – множество образующих сеть  $DN$  ресурсов;  $F(I, O)$  – множество функций, реализуемых ресурсами;  $I, O$  – соответственно множества входных и выходных переменных функций;  $R_1$  – множество отношений  $r_1(s_i, f_j)$  ( $r_1 \in R_1$ ), задающих принадлежность функций  $F$  ресурсам  $S$  для всех  $f_j \in F$ ;  $R_2$  – множество ориентированных дуг  $r_2(f_n(i_{n_k}), f_m(o_{m_l}))$ , задающих зависимость между переменными функций, связанных дугой  $r_2 \in R_2$ , такую что  $f_n, f_m \in F$ ,  $i_{n_k}$  –  $k$ -я входная переменная функции  $f_n$ ,  $k = [1, K]$ ,  $K \in N$ ,  $K$  – количество входных переменных у функ-

ции  $f_n$ ,  $o_{m_l}$  –  $l$ -я выходная переменная функции  $f_m$ ,  $l = [1, L]$ ,  $L \in N$ ,  $L$  – количество выходных переменных у функции  $f_m$ ;  $T$  – множество временных моментов событий,  $T = \{t_c, t_p, t_a\}$ , где  $t_c$  – текущее время,  $t_p$  – планируемое время наступления события;  $t_a$  – фактическое время наступления события. Множество  $R_2$  может быть пустым множеством, означающим, что ресурсы, входящие в сеть, выполняют свои функции независимо.

Ниже описаны правила, на основании которых ресурсы добавляются в динамическую сеть или исключаются из нее.

Правила для включения ресурса в сеть.

Правило 1. Если в текущей ситуации наступило событие, требующее выполнения функции  $f$ , выполняемой ресурсом  $s$  ( $s \in S$ ), то ресурс  $s$  включается в сеть в момент времени  $t_a$ .

Правило 2. Если функция  $f$ , выполняемая ресурсом  $s$  ( $r_1(s, f)$ ), должна выполняться в заданный момент времени  $t_p$  и в текущей ситуации существует  $t_c = t_p$ , то ресурс  $s$  включается в сеть в заданный момент времени.

Правило 3. Если в текущей ситуации требуется выполнение функции  $f_1$ , выполняемой ресурсом  $s_1$  ( $r_1(s_1, f_1)$ ), а значение входной переменной  $i_1$  этой функции является значением выходной переменной  $o_{2_1}$  функции  $f_2$ , выполняемой ресурсом  $s_2$  ( $r_1(s_2, f_2)$ ), то ресурсы  $s_1$  и  $s_2$  включаются в сеть, а между вершинами, обозначающими функции  $f_1$  и  $f_2$ , устанавливается дуга  $r_2(f_1(i_1), f_2(o_{2_1}))$ .

В правилах для включения ресурсов в сеть перед включением ресурса выполняется проверка на возможное присутствие рассматриваемого ресурса в сети. Такая ситуация возможна, если ресурс выполняет несколько функций и одна или несколько из выполняемых им функций уже были востребованы в текущей ситуации, а ресурс после выполнения этих функций из сети исключен не был.

Правила для исключения ресурса из сети.

Правило 4. Если в динамической сети ресурсов вершина, представляющая функцию  $f_1$  ресурса  $s$  ( $r_1(s, f_1)$ ), связана дугой  $r_2(f_2(i_{2_1}), f_1(o_{1_1}))$  с вершиной, представляющей функцию  $f_2$  и функция  $f_1$  выполнена, то значение выходной переменной  $o_{1_1}$  этой функции передается на вход функции  $f_2$ , т. е. присваивается переменной  $i_{2_1}$ , после чего дуга  $r_2(f_2(i_{2_1}), f_1(o_{1_1}))$  исключается из сети. Если у вершины, представляющей функцию  $f_1$  ресурса  $s$ , больше нет исходящих дуг, то ресурс  $s$  исключается из сети. Данное правило справедливо как для несвязанных, так и для связанных вершин, представляющих функции. Если вершина, представляющая выполненную функцию, не имеет



исходящих дуг (не связана с другими вершинами), то значение ее выходной переменной не передается другой функции и ресурс, выполняющий эту функцию, исключается из сети сразу после выполнения функции. Это относится, в частности, к функциям, выполняемым однократно в заданный момент времени или при наступлении заданного события.

Правило 5. Если ресурс вышел из строя, то он исключается из сети с последующей адаптацией сети или ее перестроением.

Правило 6. Если наступило некоторое событие, предполагающее приостановку всех функций интеллектуального пространства, то все ресурсы исключаются из сети.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеллектуальные пространства становятся частью современной жизни. Задача любого интеллектуального пространства – выполнение действий, ожидаемых пользователем такого пространства в конкретной ситуации. Эта задача решается ресурсами пространства. В работе описывается методология управления ресурсами интеллектуального пространства. Методология предполагает использование онтологической модели контекста. Текущая ситуация, представленная такой моделью, становится интерпретируемой независимыми и разнородными ресурсами интеллектуального пространства. Адаптация поведения ресурсов к потребностям пользователей осуществляется посредством их самоорганизации в динамическую сеть ресурсов. Сеть ресурсов строится в зависимости от возникающих в конкретной ситуации событий. В работе приводится формализация такой сети и описываются правила включения и исключения ресурсов из сети. На настоящий момент в наборе правил не предусмотрены правила обработки критических ситуаций, когда один или несколько ресурсов вышли из строя. В дальнейшем планируется разработать принципы восстановления сети для таких ситуаций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lamorte L., Venezia C.* Smart space a new dimension of context [Electronic resource] // Proceedings of the PERSIST Workshop on Intelligent Pervasive Environments (AISB 2009), Edinburgh, Scotland, 6–9 April, 2009. – URL: <http://www.aisb.org.uk/convention/aisb09/Proceedings/PERSIST/FILES/LamorteL.pdf> (accessed: 24.02.2015).
2. A context-aware smart home service system based on uWDL / Y. Cho, K. Shin, J. Choi, C. Yoo // Proceedings of Ubiquitous Intelligence and Computing Third International Conference, UIC 2006, Wuhan, China, September 3–6, 2006. – Berlin; Heidelberg: Springer, 2006. – P. 756–765. – doi: 10.1007/11833529\_77.
3. *Roy N., Roy A., Das S.K.* Context-aware resource management in multi-inhabitant smart homes: a Nash h-learning based approach [Electronic resource] // Proceedings of the Fourth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PERCOM'06), Pisa, Italy, 13–17 March, 2006. – Los Alamitos, California: IEEE, 2006. – P. 148–158. – doi: 10.1109/PERCOM.2006.18. – URL: <http://www.percom.org/2006/documents/roymarkweiser.pdf> (accessed: 24.02.2015).
4. A context-aware system for smart home applications / W.-Y. Wang, C.-C. Chuang, Y.-S. Lai, Y.-H. Wang // Proceedings of the International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing – EUC 2005 Workshops: UISW, NCUS, SecUbiq, USN, and TAUES, Nagasaki, Japan, December 6–9, 2005. – Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. – P. 298–305. – doi: 10.1007/11596042\_31.

5. Augmenting offices with ubiquitous sensing [Electronic resource] / J.-M. Andreoli, S. Castellani, A. Grasso, J.-L. Meunier, M. Muehlenbrock, J. O'Neill, F. Ragnet, F. Roulland, D. Snowdon // Proceedings of Smart Objects Conference (SOC), Grenoble, France, May 15–17, 2003. – URL: <http://www.xrce.xerox.com/content/download/6933/52238/file/augmentOfficeSOC.pdf> (accessed: 24.02.2015).
6. Smart office: design of an intelligent environment / C. Le Gal, J. Martin, A. Lux, J.L. Crowley // IEEE Intelligent Systems. – 2001. – Vol. 16, iss. 4. – P. 60–66. – doi: 10.1109/5254.941359.
7. Smart cities – background paper [Electronic resource] / Department for Business, Innovation and Skills. – London, 2013. – 46 p. – URL: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/246019/bis-13-1209-smart-cities-background-paper-digital.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/246019/bis-13-1209-smart-cities-background-paper-digital.pdf) (accessed: 24.02.2015).
8. Интеллектуальная система автоматизированного проведения конференций / А.М. Кашевник, Ю. Вальченко, М.М. Ситаев, Н.Г. Шилов // Труды СПИИРАН. – 2010. – Вып. (3) 14. – С. 228–245.
9. Ронжин А.Л., Карпов А.А. Сравнительный анализ функциональности прототипов интеллектуальных пространств // Труды СПИИРАН. – 2013. – Вып. 1 (24). – С. 277–290.
10. Dey A.K. Understanding and using context // Personal and Ubiquitous Computing. – 2001. – Vol. 5, iss. 1. – P. 4–7. – doi: 10.1007/s007790170019.
11. Smart spaces in ubiquitous computing [Electronic resource] / D. Lupiana, Z. Omary, F. Mtenzi, C. O'Driscoll // Proceedings of the 4th International Conference on Information Technology ICIT 2009 (Amman, Jordan, June 3–5, 2009). – URL: <http://icit.zuj.edu.jo/icit09/PaperList/Papers/Advances%20in%20Ubiquitous%20Computing%20Systems%20-%20Ireland/632zanifa.pdf> (accessed: 25.02.2015).
12. Semantic web technologies for ubiquitous computing resource management in smart spaces / J. Soldatos, K. Stamatis, S. Azodolmolky, I. Pandis, L. Polymenakos // International Journal of Web Engineering and Technology. – 2007. – Vol. 3, iss. 4. – P. 353–373. – doi: 10.1504/IJWET.2007.014438.
13. Cao G. Designing efficient fault-tolerant systems on wireless networks // Proceedings of the 8th Annual International Conference on Computer Networks. – [s. l.], 2004. – P. 263–270.
14. Newman M.E.J. Networks: an introduction. – Oxford: Oxford University Press, 2010. – 784 p.
15. Формирование контекста задачи для интеллектуальной поддержки принятия решений / А.В. Смирнов, М.П. Пашкин, Н.Г. Шилов, Т.В. Левашова, А.А. Крижановский // Фундаментальные основы информационных технологий и систем / под ред. С. В. Емельянова. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – С. 125–138. – (Труды Института системного анализа Российской академии наук; т. 9).
16. Разработка многоагентной технологии управления контекстом в открытой информационной среде / А.В. Смирнов, Т.В. Левашова, Н.Г. Шилов, М.П. Пашкин, А.А. Крижановский, А.М. Кашевник, А.С. Комарова // Труды СПИИРАН. – 2006. – Вып. 3 (1). – С. 33–61.
17. Левашова Т.В. Самоорганизация ресурсов интеллектуальной среды для участия в совместных действиях // Труды СПИИРАН. – 2010. – Вып. 4 (15). – С. 107–122.
18. Strang T., Linnhoff-Popien C. A context modeling survey // Proceedings of the First International Workshop on Advanced Context Modelling, Reasoning and Management (UbiComp 2004), September 7, 2004. – Nottingham, England, 2004. – P. 34–41.
19. A survey of context modelling and reasoning techniques / C. Bettini, O. Brdiczka, K. Henriksen, J. Indulskad, D. Nicklase, A. Ranganathanf, D. Ribonia // Pervasive and Mobile Computing. – 2010. – Vol. 6, iss. 2. – P. 161–180. – doi:10.1016/j.pmcj.2009.06.002.
20. Zimmermann A., Lorenz A., Oppermann R. An operational definition of context // Modeling and Using Context: proceedings of 6th International and Interdisciplinary Conference, CONTEXT 2007, Roskilde, Denmark, August 20–24, 2007. – Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2007. – P. 558–571. – (Lecture Notes in Artificial Intelligence; vol. 4635).

*Левашова Татьяна Викторовна*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук. Основное направление научных исследований – представление знаний, управление знаниями. Имеет более 200 публикаций. E-mail: [tatiana.levashova@ias.spb.su](mailto:tatiana.levashova@ias.spb.su).

## ***Conceptual framework for resource management in a smart space\****

T.V. LEVASHOVA

*St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), 39, 14th line, St. Petersburg, 199178, Russian Federation, PhD. E-mail: tatiana.levashova@iias.spb.su*

In the modern world, the concept of smart spaces is developing intensively. According to this concept, any smart space aims at providing an intelligent support to humans without any intervention from their side. The resources of the smart space are responsible for achieving this aim. The development of mechanisms for managing smart spaces resources is an important trend of advanced information technologies. In the paper, a conceptual framework for resource management in a smart space is proposed. The framework implies the use of an ontology-based context model for the representation of a current situation. Any current situation represented in this way becomes interpretable by autonomous and heterogeneous resources of the smart space. According to the framework, the resources build the context based on smart space ontology through their self-organization into a dynamic resource network. The framework is based on the methods proposed by the technologies of ontology engineering, context management, self-organization, and dynamic networks.

In the paper, the smart space ontology is considered, the formalization of dynamic resource networks is proposed, and rules for inclusion of the resources in the dynamic network and exclusion from it are described. The proposed ontology integrates the ontology-based representation of a smart space and the knowledge model of an application domain. It is proposed to formalize the dynamic resource network by a set of nodes of two types – resource and function – and a set of oriented edges representing functional relationships between input and output arguments of the functions. The inclusion/exclusion rules depend on needs in the functions implemented by the resources in the current situation. In conclusion, the main research ideas are summarized and their further possible development is outlined.

**Keywords:** smart space, ontology, context, context management, resource management, dynamic resource network, inclusion/exclusion rules, functional relations

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-1-171-182

### **REFERENCES**

1. Lamorte L., Venezia C. Smart space a new dimension of context. *Proceedings of the PERSIST Workshop on Intelligent Pervasive Environments (AISB 2009)*, Edinburgh, Scotland, 6–9 April, 2009. Available at: <http://www.aisb.org.uk/convention/aisb09/Proceedings/PERSIST/FILES/LamorteL.pdf> (accessed 24.02.2015).
2. Cho Y., Shin K., Choi J., Yoo C. A context-aware smart home service system based on uWDL. *Proceedings of Ubiquitous Intelligence and Computing Third International Conference, UIC 2006*, Wuhan, China, September 3–6, 2006. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2006, pp. 756–765. doi: 10.1007/11833529\_77
3. Roy N., Roy A., Das S.K. Context-aware resource management in multi-inhabitant smart homes: a Nash h-learning based approach. *Proceedings of the Fourth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PERCOM'06)*, Pisa, Italy, 13–17 March, 2006, Los Alamitos, California, IEEE, 2006, pp. 148–158. doi: 10.1109/PERCOM.2006.18. Available at: <http://www.percom.org/2006/documents/roymarkweiser.pdf> (accessed 24.02.2015)
4. Wang W.-Y., Chuang C.-C., Lai Y.-S., Wang Y.-H. A context-aware system for smart home applications. *Proceedings of the International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing – EUC 2005 Workshops: UISW, NCUS, SecUbiq, USN, and TAUES*, Nagasaki, Japan, December 6–9, 2005. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2005. P. 298–305. doi: 10.1007/11596042\_31

---

\* Received 30 October 2014.

The work was supported by the Russian Fond for Basic Research (grants nos. 14-07-00345 and 14-07-00427), the Branch of Nano & Information Technologies of the Russian Academy of Sciences (RAS) (project 2.2), and the Presidium of RAS (Program 8, project 213).

5. Andreoli J.-M., Castellani S., Grasso A., Meunier J.-L., Muehlenbrock M., O'Neill J., Ragnet F., Roulland F., Snowdon D. Augmenting offices with ubiquitous sensing. *Proceedings of Smart Objects Conference (SOC)*, Grenoble, France, May 15–17, 2003. Available at: URL: <http://www.xrce.xerox.com/content/download/6933/52238/file/augmentOfficeSOC.pdf> (accessed 24.02.2015)
6. Le Gal C., Martin J., Lux A., Crowley J.L. Smart office: design of an intelligent environment. *IEEE Intelligent Systems*, 2001, vol. 16, iss. 4, pp. 60–66. doi: 10.1109/5254.941359
7. *Smart cities – background paper*. Department for Business, Innovation and Skills. London, 2013. 46 p. Available at: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/246019/bis-13-1209-smart-cities-background-paper-digital.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/246019/bis-13-1209-smart-cities-background-paper-digital.pdf) (accessed 24.02.2015)
8. Kashevnik A.M., Val'chenko Yu., Sitaev M.M., Shilov N.G. Intellektual'naya sistema avtomatizirovannogo provedeniya konferentsii [Intelligent system for conference management automation]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*, 2010, iss. 3 (14), pp. 228–245.
9. Ronzhin A.L., Karpov A.A. Sravnitel'nyi analiz funktsional'nosti prototipov intellektual'nykh prostranstv [A comparative analysis of smart space prototypes functionality]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*, 2013, iss. 1 (24), pp. 277–290.
10. Dey A.K. Understanding and using context. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2001, vol. 5, iss. 1, pp. 4–7. doi: 10.1007/s007790170019
11. Lupiana D., Omary Z., Mtenzi F., O'Driscoll C. Smart spaces in ubiquitous computing. *Proceedings of the 4th International Conference on Information Technology ICIT 2009* (Amman, Jordan, June 3–5, 2009). Available at: <http://icit.zuj.edu.jo/icit09/PaperList/Papers/Advances%20in%20Ubiquitous%20Computing%20Systems%20-%20Ireland/632zanifa.pdf> (accessed 25.02.2015)
12. Soldatos J., Stamatis K., Azodolmolky S., Pandis I., Polymenakos L. Semantic web technologies for ubiquitous computing resource management in smart spaces. *International Journal of Web Engineering and Technology*, 2007, vol. 3, iss. 4, pp. 353–373. doi: 10.1504/IJWET.2007.014438
13. Cao G. Designing efficient fault-tolerant systems on wireless networks. *Proceedings of the 8th Annual International Conference on Computer Networks*, 2004, pp. 263–270.
14. Newman M.E.J. *Networks: an introduction*. Oxford, Oxford University Press, 2010. 784 p.
15. Smirnov A.V., Pashkin M.P., Shilov N.G., Levashova T.V., Krizhanovskii A.A. [Building problem context for intelligent decision support]. *Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossiiskoi akademii nauk "Fundamental'nye osnovy informatsionnykh tekhnologii i sistem"* [Proceedings of Institute for Systems Analysis of the Russian Academy of Sciences "Fundamental bases information technologies and systems"]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2004, vol. 9, pp. 125–138.
16. Smirnov A.V., Levashova T.V., Shilov N.G., Pashkin M.P., Krizhanovskii A.A., Kashevnik A.M., Komarova A.S. Razrabotka mnogoagentnoi tekhnologii upravleniya kontekstom v otkrytoi informatsionnoi srede [Development of multiagent technology for context management in open information environment]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*, 2006, iss. 3 (1), pp. 33–61.
17. Levashova T.V. Samoorganizatsiya resursov intellektual'noi sredy dlya uchastiya v sovместnykh deistviyakh [Self-organisation of resources of smart environment with the object of joint activities]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*, 2010, iss. 4 (15), pp. 107–122.
18. Strang T., Linnhoff-Popien C. A context modeling survey. *Proceedings of the First International Workshop on Advanced Context Modelling, Reasoning and Management (UbiComp 2004)*, Nottingham, England, September 7, 2004, pp. 34–41.
19. Bettini C., Brdiczka O., Henriksen K., Indulskad J., Nicklase D., Ranganathan A., Ribonia D. A survey of context modelling and reasoning techniques. *Pervasive and Mobile Computing*, 2010, vol. 6, iss. 2, pp. 161–180. doi:10.1016/j.pmcj.2009.06.002
20. Zimmermann A., Lorenz A., Oppermann R. An operational definition of context. *Lecture Notes in Artificial Intelligence: Modeling and Using Context: proceedings of 6th International and Interdisciplinary Conference, CONTEXT 2007*, Roskilde, Denmark, August 20–24, 2007. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2007, vol. 4635, pp. 558–571.