

V. Krylov
MERA Labs
Nizhny Novgorod,
603163, Russia
vkrylov@meralabs.com

N. Mikhaylov
MERA Labs
Nizhny Novgorod,
603163, Russia
nmikhaylov@meralabs.com

D. Ponomarev
MERA Group
Nizhny Novgorod,
603163, Russia
dmp@meranetworks.com

Аннотация

Данная статья посвящена новой универсальной архитектуре, позволяющей электронным устройствам различного функционального назначения и самых различных производителей, а также он-лайн службам прозрачно взаимодействовать между собой в масштабах глобальной сети Интернет.

Основная идея статьи в том, что электронные устройства и он-лайн службы по всему миру смогут объединяться посредством Интернет в так называемые виртуальные сообщества. В этих сообществах все их участники могут прозрачно искать друг друга, по самым различным критериям, устанавливать сеансы динамической кооперации, управлять друг другом и осуществлять мониторинг внутреннего состояния друг друга в рамках установленных сеансов динамических коопераций.

Для построения виртуальных сообществ и обеспечения взаимодействия их членов используется новая архитектура, основанная на математической модели метризованного случайного графа, обладающего свойствами тесного мира, а также предлагается стек протоколов.

1 ВВЕДЕНИЕ

В данной статье предлагается универсальная архитектура, позволяющая объединять электронные устройства различного функционального назначения и самых различных производителей, а также всевозможные он-лайн службы в виртуальные сообщества в масштабах глобальной сети Интернет. Данная архитектура позволяет всем электронным устройствам, входящим в состав виртуальных сообществ искать друг друга по самым различным критериям, устанавливать сеансы динамической кооперации, управлять друг другом и осуществлять мониторинг внутреннего состояния друг друга вне зависимости от географического местоположения и принадлежности конкретному физическому сетевому домену.

Статья организована следующим образом: в разделе 2 приводится краткий обзор существующих работ в этой и смежных областях, которые послужили основой при разработке данной архитектуры.

В разделе 3 дается общий обзор предлагаемой архитектуры, и кратко описываются основные этапы взаимодействия электронных устройств.

В разделе 4 приводится описание так называемого кибер-паспорта функциональной сущности. Кибер-паспорт представляет собой детальное мета-описание любого электронного

устройства или он-лайн службы и выступает в качестве уникального идентификатора этого устройства в так называемых глобальных виртуальных сообществах функциональных сущностей.

Раздел 5 посвящен собственно глобальным виртуальным сообществам. Здесь описываются виды сообществ, их внутренняя структура, а также ряд важнейших свойств, которыми обладает математическая модель метризованного случайного графа, лежащая в основе структуры глобальных виртуальных сообществ.

В разделах 6-10 описываются основные этапы взаимодействия электронных устройств в глобальных сообществах: присоединение устройства в сообщество, поиск других устройств-партнеров в рамках данного сообщества, установление сеансов динамической кооперации с найденными устройствами-партнерами, управление и мониторинг партнеров в рамках динамической кооперации, завершение сеанса динамической кооперации.

В разделе 11 приводятся некоторые соображения по организации механизма взаимной координации действий партнеров для совместного решения поставленных задач в рамках динамических коопераций.

И наконец, в разделе 12 обобщается все, что было описано выше и кратко рассматриваются возможные перспективы использования данной архитектуры.

2 ОБЗОР ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

При разработке архитектуры, описываемой в данной статье, мы опирались на ряд публикаций в смежных областях.

В [1] и [2] рассказывается о новых тенденциях, наметившихся в последнее время в сети Интернет и в так называемом Цифровом Доме, а также, о глобальных изменениях, происходящих с Интернет-сервисами, например, появление мультимедийных сервисов, таких как Voice over IP, Internet TV and Radio, Video and Audio on Demand, а также самых различных веб-сервисов, не подразумевающих прямого участия человека (machine-to-machine web services). Это все послужило нам стимулом для создания новой архитектуры динамической кооперации устройств в глобальных масштабах.

Известны попытки создать похожую унифицированную технологию. Примером такой технологии является Universal Plug and Play [3]. Однако существенным недостатком UPnP является то, что она носит локальный характер и не масштабируется на весь Интернет.

В последнее время отмечается повышенный интерес к исследованиям и разработкам механизмов и протоколов обнаружения сервисов, предоставляемых устройствами в сети, например, такие механизмы описываются в [4] и [5].

В [6] и [15] предлагаются идеи по созданию мета-описаний предметов реального мира в Интернет. Эти идеи легли в основу кибер-паспорта, о котором будет рассказано ниже.

В предлагаемой архитектуре активным образом используется язык XML, описанный в [7] и DOM модель [8].

Наши идеи по созданию структуры глобальных виртуальных сообществ и механизмов поиска устройств в этих сообществах опирались на работы [9] – [11], [15].

Для управления сеансами взаимодействия всех устройств в нашей архитектуре используется протокол SIP, описанный в [12].

Очень интересные и глубокие исследования в области коллективного поведения автоматов проводились Виктором Варшавским [13], [14]. Мы также опирались на его результаты в своей работе над новой архитектурой.

3 ОБЗОР ПРЕДЛАГАЕМОЙ АРХИТЕКТУРЫ

В первую очередь следует отметить, что с точки зрения предлагаемой архитектуры нет никаких различий между электронными устройствами и он-лайн службами, предоставляемыми в сети. Поэтому благодаря этой архитектуре и те и другие могут прозрачно взаимодействовать между собой на основе единых механизмов, описываемых ниже.

С учетом всего вышесказанного, здесь и далее понятия «электронное устройство» и «он-лайн служба» обозначаются общим термином «функциональная сущность».

В основе предлагаемой архитектуры лежит модель поэтапного взаимодействия функциональных сущностей (Рис. 1). Далее коротко рассматриваются все этапы взаимодействия:

Этап 1 – Создание кибер-паспорта. На первом этапе для каждой функциональной сущности создается виртуальный образ – ее мета-описание, которое содержит информацию обо всех существенных аспектах внешней и внутренней структуры, поведения, текущего внутреннего состояния и прочих характеристиках этой сущности. Такое мета-описание называется кибер-паспортом функциональной сущности.

Этап 2 - Присоединение в виртуальное сообщество. В рамках предлагаемой архитектуры, все функциональные сущности объединяются в так называемые виртуальные сообщества (Virtual Communities - VC). Любая функциональная сущность, будь то электронное устройство или он-лайн служба, имеющая кибер-паспорт, получает

возможность войти в состав одного или нескольких виртуальных сообществ.

Этап 3 – Поиск функциональной сущности-партнера. После того, как функциональная сущность войдет в состав какого-либо виртуального сообщества, она получает возможность в рамках этого сообщества искать себе партнеров с целью последующей кооперации для совместного выполнения определенных задач.

Этап 4 – Установление сеанса динамической кооперации. Как только функциональная сущность найдет одного или нескольких партнеров в виртуальном сообществе, она имеет возможность унифицированным образом установить с этими партнерами сеанс совместного взаимодействия, называемый сеансом динамической кооперации (Dynamic Cooperation Session).

Этап 5 – Управление и мониторинг функциональных сущностей-партнеров. После того, как сеанс динамической кооперации будет установлен, сущности могут обмениваться между собой управляющими командами и уведомлениями о различных изменениях в их внутреннем состоянии.

Этап 6 – Взаимная координация действий партнеров. Для совместного выполнения определенных задач в полностью автоматическом режиме, при отсутствии координирующей активности со стороны человека, функциональные сущности с помощью специального механизма осуществляют взаимную координацию действий, ведущих к решению поставленной задачи.

Этап 7 – Завершение сеанса динамической кооперации. Как только в ходе совместных скоординированных действий будет достигнут желаемый результат или по команде извне, функциональные сущности разрывают сеанс динамической кооперации.

Далее, представленные выше этапы взаимодействия описываются более детально.

4 СОЗДАНИЕ КИБЕР-ПАСПОРТА

Как уже упоминалось выше, на первом этапе для каждой функциональной сущности создается детальное мета-описание всех основных аспектов ее структуры и поведения. Например, если такой сущностью является электронное мультимедийное устройство, такое как телевизор, то мета-описание этого устройства будет включать в себя его уникальный (в глобальных масштабах всей сети Интернет) идентификатор, тип устройства по некой универсальной классификации, данные о модели, производителе, текущем владельце, текущем географическом местоположении, описании командного интерфейса, модели внутреннего состояния, способах физического управления устройством (по IP-сети, через 10-футовый ИК-интерфейс, через Bluetooth или как-то иначе), данные о мультимедийных возможностях,

данные обо всех внешних контактах и разъемах этого устройства и об их текущем состоянии и ряд других параметров.

В качестве языка для декларации мета-описаний в данной архитектуре используется специально разработанный диалект языка XML [7] – FEPDL (Functional Entity Passport Description Language). Все мета-описания, на языке FEPDL имеют древовидную внутреннюю структуру и могут быть представлены стандартной DOM-моделью (Document Object Model) [8].

Созданные таким образом мета-описания будем называть кибер-паспортами. А функциональные сущности, для которых эти паспорта создаются, здесь и далее будут называться владельцами паспортов.

Физически киберпаспорта функциональных сущностей могут размещаться как внутри самих этих сущностей, так и во вне – на специализированных серверах в сети Интернет [10]. В первом случае сущность сама ответственна за представление этого паспорта во внешний мир, а во втором случае она должна располагать механизмами доступа к своему паспорту через ту службу, на которой он в данный момент размещается.

Следует отметить, что идея создания виртуальных кибер-паспортов для предметов реального мира уже предлагалась ранее в [15].

Киберпаспорта функциональных сущностей используются на всех этапах взаимодействия в рамках данной архитектуры.

5 ВИРТУАЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СУЩНОСТЕЙ

В соответствии с концепцией, лежащей в основе описываемой архитектуры, поверх всего физического пространства глобальной сети будет существовать множество взаимосвязанных между собой наложенных на Интернет виртуальных сетей – internet overlay networks, подобно тому, как сейчас существует Web поверх Интернет. Все эти наложенные сети, в свою очередь, будут состоять из взаимосвязанных между собой функциональных сущностей, представленных электронными устройствами самого различного назначения и он-лайн службами. Такие наложенные сети называются виртуальными сообществами функциональных сущностей (Virtual Communities of Functional Entities – VCoFE).

Функциональные сущности, имеющие кибер-паспорта, образуют одну большую наложенную сеть, покрывающую все пространство Интернет. Эта сеть называется Common Access Virtual Community (CAVC) – виртуальное сообщество общего доступа. CAVC можно рассматривать как аналог современного Web. Это

открытая сеть и все функциональные сущности по умолчанию имеют свободный доступ в нее.

Помимо сообщества общего доступа в Интернет будет также представлено множество частных сообществ Private Access Virtual Communities (PAVC). Одна и та же функциональная сущность при этом может одновременно участвовать в нескольких различных виртуальных сообществах, например в CAVC и одном или нескольких PAVC. Некоторые функциональные сущности по определенным соображениям могут быть исключены из CAVC и участвовать только в частных сообществах.

Internet overlay network виртуального сообщества математически моделируется метризованным случайным графом. В узлах этого графа находятся так называемые Functional Entity Representation Units (FERUs), которые отвечают за полноценное представление функциональных сущностей в виртуальном сообществе. В качестве ребер случайного графа сообщества (random VCoFE-graph) выступают так называемые «логические связи дружбы» (Logical Friendship Links - LFL), образованные между FERU отдельных функциональных сущностей. При этом на всем множестве узлов наложенной сети задана метрика, определяющая степень информационной близости каждой отдельно взятой пары узлов [9] – [11].

Functional Entity Representation Unit является частью функциональной сущности – электронного устройства или он-лайн службы. По своей внутренней структуре FERU представляет собой некий активный информационно-функциональный комплекс, состоящий из кибер-паспорта функциональной сущности, списка актуальных логических связей с другими «дружественными» FERU в данном виртуальном сообществе, а также активный модуль, обеспечивающий всю логику работы FERU внутри наложенной сети виртуального сообщества.

Logical Friendship Links, образованные между отдельными FERU в виртуальном сообществе представляют собой взаимные ссылки FERU друг на друга вместе с некой мета-информацией, ассоциированной с этими ссылками. Упомянутая мета-информация содержит значения метрического расстояния между соответствующими FERU, участвующими в данной LFL.

Для объединения FERU в связанную сеть сообщества используется специальный VCoFE Assembling Algorithm [9] – [11]. Этот алгоритм основан на вычислении метрических расстояний между отдельными парами FERU. И синтезирован он таким образом, что обеспечивается ряд важнейших свойств получающегося при этом случайного графа. VCoFE-graph получается полностью связным, то есть, все его вершины достижимы друг для друга вне зависимости от их количества. Кроме того, этот граф обладает свойствами тесного мира, а это означает, что среднее значение минимальной длины пути между любыми двумя его

узлами растет логарифмически с ростом общего числа узлов в графе. Это позволяет создать алгоритм поиска, достаточно быстро и эффективно отыскивающий требуемые функциональные сущности даже в огромных многомиллионных виртуальных сообществах.

6 ПРИСОЕДИНЕНИЕ В ВИРТУАЛЬНОЕ СООБЩЕСТВО

После того как функциональной сущности выдается кибер-паспорт, она с помощью своего FERU получает возможность войти в состав одного или сразу нескольких виртуальных сообществ.

Как было сказано выше, присоединение функциональной сущности в VCoFE фактически означает включение FERU этой сущности в соответствующую наложенную сеть (overlay network). Процедура присоединения функциональной сущности в виртуальное сообщество инициируется через одного из его членов, играющих роль, так называемых точек входа в это сообщество. Точкой входа может быть FERU любой функциональной сущности.

Важным условием при этом является то, что подключаемой в данное сообщество функциональной сущности заранее должны быть известны некоторые параметры доступа в это VCoFE, такие как: идентификационные данные сообщества, ссылки на некоторые точки входа, параметры безопасности и т.д. Вся эта информация в совокупности называется конфигурацией доступа в виртуальное сообщество – Virtual Community Access Configuration.

Следует отметить, что все операции в процессе присоединения функциональной сущности в виртуальное сообщество осуществляются путем взаимодействия активного модуля Functional Entity Representation Unit этой сущности по специальному протоколу с аналогичными активными модулями сущностей-членов виртуального сообщества.

7 ПОИСК ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СУЩНОСТЕЙ-ПАРТНЕРОВ

Как только функциональная сущность входит в состав какого-либо виртуального сообщества, она сразу получает возможность в рамках этого сообщества искать для себя партнеров с целью динамической кооперации с ними для совместного выполнения определенных задач.

В качестве партнера для данной функциональной сущности может выступать любая другая сущность, удовлетворяющая определенным критериям, необходимым для плодотворного совместного взаимодействия в ходе динамической кооперации.

Указанные выше критерии определяются функциональной сущностью в каждом конкретном

случае отдельно, в зависимости от множества факторов. Совокупность всех факторов, влияющих на выбор партнера в каждом конкретном случае называется контекстом поисковой ситуации, в которой находится данная функциональная сущность. Этот контекст описывается с помощью специально разработанной структуры данных, получившей название Partner Discovery Context – PDC. Функциональная сущность располагает специальным механизмом, позволяющим постоянно отслеживать контекст поисковой ситуации и обновлять PDC, когда это необходимо.

В случае появления задачи, требующей партнера для своего решения, функциональная сущность использует параметры задачи и данные PDC для формулирования критериев поиска партнера в виртуальном сообществе. Затем на основе критериев поиска формируется так называемая поисковая маска.

Поисковая маска представляет собой XML-документ, сформированный на основе того же диалекта FEPDL (Functional Entity Passport Description Language), на котором создаются кибер-паспорта функциональных сущностей. Внутренняя структура поисковой маски сходна с внутренней структурой кибер-паспорта, при этом значения поисковых параметров помещаются в соответствующие узлы в структуре маски.

Сформированная в соответствии с контекстом поисковой ситуации маска затем используется FERU для поиска партнера в виртуальном сообществе. Поиск производится путем последовательного обхода некоторого множества узлов (Functional Entity Representation Units) в наложенной сети виртуального сообщества. При этом для каждого рассматриваемого узла производится вычисление метрики между кибер-паспортом данного узла и поисковой маской. Если значение метрического расстояния оказывается ниже некоторого заданного поисковым контекстом уровня, то данная рассматриваемая единица FERU считается результатом поиска. Если же значение метрического расстояния выше заданного порога, то рассматриваемая единица считается недостаточно релевантной поисковому запросу и не включается в список результатов поиска.

Как только поисковая процедура будет завершена, результаты поиска обрабатываются, и из них выбирается кибер-паспорт одного или нескольких наиболее подходящих партнеров. На этом этап поиска партнера завершается.

8 УСТАНОВЛЕНИЕ СЕАНСА ДИНАМИЧЕСКОЙ КООПЕРАЦИИ

После того, как в результате поиска функциональная сущность получит один или несколько кибер-паспортов потенциальных сущностей-партнеров, она проводит

дополнительный анализ данных, содержащихся в найденных кибер-паспортах на предмет соответствия всех интересующих параметров потенциальных партнеров заданным требованиям поискового контекста. В результате анализа выбирается наиболее подходящий кандидат в партнеры и функциональная сущность, получив ссылку на него из его кибер-паспорта, инициирует процесс установления сеанса динамической кооперации с этим кандидатом.

Весь процесс установления и управления сеансами динамической кооперации в данной архитектуре построен на основе совокупности протоколов SIP – Session Initiation Protocol [12] и разработанного нами протокола DCCP – Dynamic Collaboration Control Protocol. Инициация сеанса производится путем передачи в функциональную сущность кандидата SIP-сообщения, в тело которого вкладывается DCCP-сообщение, регламентирующее условия предстоящей динамической кооперации. Эти условия в каждом конкретном случае могут сильно отличаться, поскольку во многом зависят от вида и параметров задачи, решаемой в ходе данного сеанса динамической кооперации. Поэтому в качестве примера указанные условия могут включать в себя ссылку на кибер-паспорт сущности-инициатора кооперации, набор управляющих команд, поддержка которых должна обеспечиваться партнером для успешного совместного решения поставленной задачи, список параметров внутреннего состояния партнера, к которым должен быть обеспечен удаленный доступ в целях мониторинга, форматы и протоколы обмена данными, которые партнер должен поддерживать, параметры QoS, необходимые для качественного обмена данными в ходе выполнения задачи, параметры информационной безопасности, которые необходимо обеспечить в течение всего сеанса кооперации, предполагаемые длительность и стоимость сеанса взаимодействия и др.

Получив сообщение, функциональная сущность-кандидат анализирует предлагаемые параметры взаимодействия и принимает решение, участвовать ли в данной динамической кооперации. Если решение положительное, то сущность-кандидат присылает инициатору ответ в виде SIP-сообщения, в тело которого вкладывается DCCP-сообщение, регламентирующее все параметры, принятые кандидатом в рамках данного сеанса. Если инициатора эти параметры устраивают, то сеанс динамической кооперации считается установленным.

9 УПРАВЛЕНИЕ И МОНИТОРИНГ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СУЩНОСТЕЙ-ПАРТНЕРОВ

В соответствии с предлагаемой архитектурой, внешние интерфейсы каждой функциональной сущности моделируются неким набором мета-команд и мета-событий. Совокупность мета-команд представляет собой абстракцию интерфейса управления функциональной сущностью, а совокупность мета-событий моделирует внутреннее состояние данной функциональной сущности, что открывает возможности для удаленного мониторинга.

В кибер-паспортах всех функциональных сущностей обязательно декларируются списки поддерживаемых мета-команд и мета-событий. Эти списки затем используются потенциальными партнерами для поиска в виртуальном сообществе, установления сеансов динамической кооперации, управления и удаленного мониторинга данной функциональной сущности.

Мета-команды являются носителями семантики, квинтэссенцией тех или иных действий функциональной сущности, например, включить/выключить электропитание, перейти в один из поддерживаемых режимов работы, начать какой-либо предварительно оговоренный процесс (воспроизведение определенной единицы медиаконтента, передача набора данных, включение двигателя, нагревательного элемента, холодильного агрегата или вентилятора), остановить оговоренный процесс и т.д. То есть, мета-команда несет в себе смысл наиболее общих для большинства функциональных сущностей действий (например, описанные выше мета-команды имеются практически во всех электронных устройствах в том или ином виде). Однако следует отметить, что получив одну и ту же команду, различные сущности выполняют ее по-своему, в зависимости от их функционального назначения и контекста. То же самое касается и мета-событий.

Для того чтобы успешно взаимодействовать в рамках динамической кооперации, произвольные сущности должны быть совместимы между собой на уровне мета-команд и мета-событий. Для гарантирования такой совместимости используются все описанные выше механизмы поиска и договоренности о динамической кооперации.

В целях управления функциональными сущностями в рамках сеансов кооперации используется специально разработанный протокол RPCP – Remote Peer Control Protocol, он использует мета-команды, поддерживаемые сущностями для управления ими.

Для мониторинга сущностей-партнеров в рамках сеанса динамической кооперации используется протокол RPNP – Remote Peer Notification Protocol. В рамках этого протокола функциональная сущность подписывается на определенные мета-события, поддерживаемые партнерами и затем получает от партнеров уведомления в тех случаях, если подписанное событие изменяет свое состояние. Это позволяет

проводить мониторинг всех партнеров в рамках установленного сеанса динамической кооперации.

Для обмена сообщениями протоколов RPCP и RPNP между функциональными сущностями, в рамках установленных между ними сеансов динамической кооперации, используется протокол SIP. При этом обмен сообщениями производится с помощью SIP-сообщений типа MESSAGE [12], в тело которых вкладываются соответствующие сообщения RPCP и RPNP. Таким образом, протокол SIP выполняет в данной архитектуре двойную функцию – с одной стороны он выступает в качестве средства установления и управления сеансами взаимодействия, а с другой стороны – в качестве транспорта для передачи сообщений управляющих протоколов в рамках установленных сеансов кооперации.

10 ЗАВЕРШЕНИЕ СЕАНСА ДИНАМИЧЕСКОЙ КООПЕРАЦИИ

Как только задача, стоящая перед функциональными сущностями-партнерами будет ими совместно решена, сеанс динамической кооперации завершается. Так же этот сеанс может быть завершен в результате каких-либо внешних или внутренних событий (например, по инициативе пользователя).

Завершение сеанса динамической кооперации производится по инициативе одной из функциональных сущностей. При этом сущность-инициатор завершения сеанса отправляет своему партнеру SIP сообщение типа BYE, на что получает сообщение-ответ типа 200 OK. В результате этой транзакции сеанс динамической кооперации считается завершенным.

11 ВЗАИМНАЯ КООРДИНАЦИЯ ДЕЙСТВИЙ ПАРТНЕРОВ

Любая задача, выполняемая в ходе динамической кооперации нескольких функциональных сущностей, требует взаимной скоординированности их действий. Описанные выше протоколы управления и мониторинга функциональных сущностей (RPCP и RPNP) являются своеобразными «рабочими лошадками», но для успешного совместного решения поставленных задач этого недостаточно – требуется еще и «наездник», умеющий дергать в нужный момент за нужные «поводья» и способный анализировать результаты своих действий, получаемые за счет обратной связи посредством мониторинга. Таким наездником может быть человек, управляющий системой из нескольких динамически скооперировавшихся функциональных сущностей. Но если человек в этом процессе не участвует, то сущности должны уметь

кооперироваться самостоятельно, то есть – автоматически.

Для автоматической кооперации сущностей необходима в первую очередь формализация и алгоритмизация поставленной задачи. Если задачу можно формализовать и описать алгоритм ее решения в виде некоторого сценария (скрипта), понимаемого функциональной сущностью, то эта сущность будет способна выполнять поставленную задачу по заданному сценарию, координируя при этом свою работу и работу всех своих партнеров в рамках текущей динамической кооперации.

Глубокие исследования в области автоматической координации поведения распределенных систем, состоящих из множества функциональных сущностей проводились, в частности, профессором Виктором Варшавским и представлены в [13], [14].

12 БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Lawrence G. Roberts, «Beyond Moore's Law: Internet Growth Trends», IEEE Computer, Volume 33, Jan 2000.
- [2] R. MacManus. (Sept. 2007). 10 Future Web Trends. ReadWriteWeb. [Online]. Available: www.readwriteweb.com/archives/10_future_web_trend_s.php.
- [3] M. Jeronimo. (Oct. 2004). It Just Works: UPnP in the Digital Home. The Journal of Spontaneous Networking. [Online]. Available: http://www.artima.com/spontaneous/upnp_digihome.html
- [4] Helal, S., "Standards for service discovery and delivery," Pervasive Computing, IEEE, vol.1, no.3, pp. 95-100, 2002.
- [5] Ch. Lee, S. Helal, «Protocols for service discovery in dynamic and mobile networks», International Journal of Computer Research, Volume 11, Number 1, pp. 1-12, 2002.
- [6] David L. Brock, «The Physical Markup Language», Massachusetts Institute of Technology, Auto-ID Center, Feb 2001.
- [7] Ed. by T. Bray, J. Paoli, C. M. Sperberg-McQueen, «Extensible Markup Language (XML) 1.0», W3C Recommendation, Feb 1998.
- [8] Ed. by L. Wood, Arnaud Le Hors, V. Apparao et al, «Document Object Model (DOM) Level 2 Specification», W3C Candidate Recommendation March, 2000.
- [9] V. Krylov, D. Ponomarev, A. Logvinov, A. Ponomarenko, «Metriized small world properties based data structure», submitted for publication
- [10] V. Krylov, D. Ponomarev, A. Logvinov, A. Ponomarenko, «Active XML Database Architecture», submitted for publication
- [11] V. Krylov, D. Ponomarev, A. Logvinov, A. Ponomarenko, «Metriized Small World Based Data Structure», submitted for publication

[12] Alan B. Johnston, «SIP: Understanding the Session Initiation Protocol, Second Edition», Artech House, Nov 2003.

[13] Varshavsky, V., Collective Behavior of Automata, Moscow, Science, 1973 (in Russian), German translation Kollektives Verhalten von Automaten Akademie Verlag, Berlin, 1978.

[14] Varshavsky, V., "Automata and Models of Collective Behavior", Proceedings of IFAC-66, 1966.

[15] D. Ponomarev, V. Krylov, «Web Mapping of Real-World Things and its Applications,» proc. ICETE, vol. 1, pp. 263-267, 2004.