

УДК 004.822:514

### СЕМАНТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИНТЕГРАЦИИ ОБЪЕКТОВ WEB OF THINGS

Рогушина Ю.В.\* , Гладун А.Я.\*\*

\* *Институт программных систем НАН Украины, Киев, Украина*

**ladamandraka2010@gmail.com**

\*\* *Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины, Киев, Украина Киев, Украина*

**glanat@yahoo.com**

Развитие новых тенденций в формировании информационного пространства, в частности – Web of Things (WoT), требует разработки новых знание-ориентированных методов идентификации, поиска и исследования специфических для этого пространства информационных объектов. При создании методов и сервисов семантического поиска на основе онтологий в информационном пространстве Web of Things на базе Internet of Things предлагается использовать для этого элементы онтологического анализа.

Для того чтобы собрать все преимущества технологии Web-сервисов к пространству WoT, предложен подход для аннотирования описаний WoT-объекты при помощи онтологических моделей и семантических Web-сервисов.

**Ключевые слова:** Web of Things, Internet of Things, семантический Web-сервис, онтология, семантическое аннотирование.

#### Введение

В настоящее время наблюдается усложнение структуры и способов получения информации, доступной пользователям через Web. Все большая часть информации поступает не от людей, а от различных физических устройств, и в дальнейшем отправляется также различным устройствам, а не непосредственно пользователям.

Поэтому сейчас можно говорить о новом поколении Web, имеющем свою специфику, базирующемся на новых технологиях (в частности, связанных с Internet of Things) и требующем развития соответствующих способов и методов обработки.

#### 1. Тенденции развития Web

Если технологической основой традиционного Web являлись Интернет-технологии, то базисом развития Web of Things является Internet of Things (IoT). WoT – это информация, передаваемая и получаемая через Web-среду от элементов, составляющих IoT.

Объект в WoT – это встроенное устройство, соединенное с физическим объектом. При этом сам физический объект не является сенсором или вычислительным устройством.

Например, в фонарный столб (физическое устройство) может быть встроен микроконтроллер с датчиками для управления освещенностью и мобильный телефон для связи. Другой пример – помещение в разумном доме, оборудованное датчиками температуры и средствами для связи с пользователем для получения указаний о желаемой температуре.

Таким образом, *объект в IoT* – это совокупность датчиков и встроенных устройств, соединенных с тем или иным физическим предметом, предназначенным для отличных от вычислений функций, и воспринимаемые с ним как единое целое.

Технология *Web вещей (Web of Things, WoT)* возникла с начала 2000-ых годов, как попытка создания Web-ориентированной сервисной платформы для «умных» вещей, т.е. предметов, снабженных различными датчиками или электронными устройствами для приема/передачи

данных и сигналов управления, связь между которыми поддерживается через IoT.

Web of Things можно рассматривать как новый этап развития Web, интегрирующий результаты его предыдущих поколений, в частности, Semantic Web и социального Web (таблица 1).

Таблица 1 – Эволюция поколений Web

	Описание	Технологии
Web 1.0	статические HTML-страницы	HTML, HTTP
Web 1.5	динамичный контент HTML	на стороне клиента (JavaScript, DHTML, Flash), на стороне сервера (CGI, PHP, Perl, ASP / .NET, JSP)
Web 2.0	Участие пользователей в обмене информацией, совместимость, ориентированный на пользователя дизайн, сотрудничество в Web, социальный Web; Semantic Web и семантические Web-сервисы	блоги, социальные сети, социальные теги, вики, подкасты, RSS каналы), URI, XML, RDF, OWL, SPARQL
Web 3.0	Web вещей, приборов и устройств реального мира, связанных полной интеграцией через Интернет	Стандарты IoT: URI, HTTP, Atom, REST

В дальнейшем будем понимать объект в WoT как

$$T_{WoT} = \langle Th_{ph}, \{s_i\}, i = \overline{1, n}, \{u_j\}, j = \overline{1, m} \rangle,$$

где

$Th_{ph}$  – объект физического мира;

$s_i$  – сенсоры, связанные с  $Th_{ph}$ ;

$u_j$  – встроенные устройства, связанные с  $Th_{ph}$ .

Если технологической основой традиционного Web являлись Интернет-технологии, то базисом развития Web of Things является *Интернет вещей* (Internet of Things – IoT). WoT – это информация, передаваемая и получаемая через Web-среду от элементов, составляющих IoT.

Особенностями архитектуры современного IoT является наличие чрезвычайно большого количества разнообразных устройств и ресурсов, которые обмениваются информацией между собой и между прикладными программами, сообщают о состоянии ресурсов, обеспечивают наблюдение и измерение разных физических величин и т.п.

Пока трудно оценить перспективы развития WoT. Вероятно, некоторые приложения, такие как мобильные платежи и инициатива IBM, Smarter Planet, станет широко распространенным всего через несколько лет. Маркетинг также будет преобразован, так как потребители получают беспрепятственный доступ к цифровым продуктам от рекламы в физическом мире. Тем не менее, очевидно, что объем вычислений, связанных с обработкой данных от WoT, увеличится очень быстро и потребует технологий хранения и анализа потоковых данных.

При этом перспективным направлением представляется трансформация получаемых сведений в значительно более компактные знания и последующее использование именно таких «обработанных» знаний для решения прикладных задач.

WoT развивается в неразрывной связи с IoT и для повышения эффективности требует применения семантических, ориентированных на знания методов онтологического распознавания, выбора, поиска и управления объектами и сервисами доставки, хранения и обработки данных. В данной работе предлагается использование разработанной онтологии «умных» вещей для задач семантической интероперабельности (методы выравнивания онтологий), выбора сервисов и объектов в распределенном и гетерогенном пространстве Web of Things.

Отсутствие четкого и формального представления знаний в WoT может привести к двусмысленности в терминологии, а также препятствовать совместимости и в основном семантической совместимости.

Особенностями архитектуры современного Интернета вещей является наличие чрезвычайно большого количества разнообразных устройств и ресурсов, которые обмениваются информацией между собой и между прикладными программами, сообщают о состоянии ресурсов, обеспечивают наблюдение и измерение разных физических величин и т.п.

Распределенная природа и неоднородный характер IoT делает взаимодействие между "вещами" сложной задачей и требует методов, которые могут облегчить автоматизированную машинную обработку.

Идея IoT начала успешно развиваться благодаря развитию следующего набора информационных технологий: широкого распространения беспроводных сетей (Wi-Fi, 3G, LTE, WiMAX) и датчиков; активного перехода Интернет на IPv6; роста популярности облачных вычислений и появления технологий межмашинного взаимодействия (Machine to Machine, M2M) [Machine-to-machine, 2011].

С помощью M2M осуществляется доступ к удаленным объектам для сбора данных и

мониторинга состояния. M2M работает с протоколами TCP/IP, беспроводными сетями стандарта IEEE 802.11, технологиями сотовой связи и проводными сетями, такими как Ethernet. Эта технология незаменима в тех случаях, когда удалённое оборудование используется в труднодоступных местах или когда использование проводного соединения невозможно в принципе.

Набор технологий, разработанных в Semantic Web, таких как онтологии, семантические аннотации, связанные данные и семантические Web-сервисы могут быть использованы в качестве принципиальных решений в целях реализации WoT.

## 2. Постановка задачи

Для того, чтобы для обнаружения и использования объектов WoT использовать подходы и методы, разработанные для исследования семантических Web-сервисов, предлагается рассматривать каждую WoT-объект как семантический Web-сервис, функции которого соответствуют назначению физической составляющей WoT-объекты и связанных с ней датчиков и устройств.

Для семантического аннотирования WoT-объектов предлагается использовать как онтологии, специально разработанные для описания объектов WoT, IoT и Web-сервисов, так и произвольные онтологии предметных областей. При этом проблема исследования WoT сводится к задаче сопоставления онтологий, для которой на сегодня уже разработано некоторое количество алгоритмов и методов.

## 3. История возникновения Web of Things

Если проследить историю зарождения WoT, то можно отметить следующее. В 2002 году при разработке проекта по «умному городу» [Kindberg, 2002] было предложено связать физические объекты с Web-страницами, содержащими информацию о городе, и сервисами для пользователей.

Для этого были использованы инфракрасные интерфейсы или штриховые коды на объектах, позволяющие пользователям при взаимодействии с физическими объектами легко находить URI страниц, связанных с этими объектами.

Другая попытка использовать Web для связи с объектами реального мира заключалась в том, чтобы объединить «умные вещи» со стандартизированной архитектурой Web-сервиса, использующей такие традиционные стандарты, как SOAP, WSDL, UDDI [Guinard, 2010]. Но на практике это оказалось слишком сложно и неоправданно для простых объектов.

Поэтому вместо SOAP и WSDL, используемых

в Web-сервисах, была предложена технология "Web вещей" на основе вложенного протокола передачи гипертекста (HTTP) для серверов и Web 2.0 [Luckenbach, 2005].

Необходимые для этого Web-серверы с продвинутыми функциями (такими как альтернативные соединения или назначение сервера для уведомления о событиях) могут быть реализованы всего с 8 КБ памяти и без поддержки операционной системы. Кроме того, благодаря эффективной оптимизации стека протоколов TCP/HTTP, эти Web-серверы могут быть установлены на таких миниатюрных встроенных системах, как смарт-карты и др.

Так как внедренные Web-серверы, которые используются в Интернете вещей, как правило, имеют в наличии значительно меньше ресурсов по сравнению с такими клиентами Web, как браузеры или мобильные телефоны, то асинхронный JavaScript и XML (AJAX) оказался хорошим способом передавать часть рабочей нагрузки от сервера к клиенту.

## 4. Физические компоненты WoT

Основная цель WoT заключается в том, чтобы обеспечить возможность людям общаться с объектами и физическими объектами, которые находятся вокруг них. Эти объекты могут также взаимодействовать друг с другом, а затем отправлять людям информацию на их смартфоны. Взаимодействие людей с физическими объектами осуществляется с помощью датчиков, которые могут получать информацию, передавать информацию и выполнять действия, требуемые человеком или компьютерами и объектами. Если поместить датчик в районе жилого дома или прикрепить его к физическому объекту или вещи, то он сможет отправлять информацию на телефон пользователя или на любой другой объект или объект.

**Объектом** в данном случае может быть любой объект в доме или офисе (например, дверь, светильник, окна, ключи от квартиры), устройство (кофеварка, стиральная машина, автомобиль) или же абстрактный объект, например, человек или животному.

Если поместить датчик на любую такую «объект» и иметь возможность общаться с ней, то она становится «умной» *вещью (smart thing)*.

На рисунке 1 представлена обобщенная схема взаимодействия пользователя с объектами через смартфон посредством Web-интерфейса.



Рисунок 1 - Объединение объектов через WoT

Если поставить датчик на объект, то он может отправлять сообщение, содержащее информацию о его состоянии, местоположении, включен он или выключен, открыт он или закрыт и т.д. Пользователь может использовать смартфон для отправки различных команд к своим объектам и указывать им, что делать. Например, при помощи датчиков можно узнать, когда ребенок возвратится домой из школы и выключен ли свет в гостиной, включить электроплиту, заблокировать или разблокировать входную дверь.

Важно, что при этом объекты могут взаимодействовать друг с другом: например, когда ребенок приходит со школы домой, то датчик на его рюкзаке автоматически посылает сообщение на смартфон об этом, а тот посылает сообщение о разблокировке замка на входной двери.

На рисунке 2 представлена иерархическая структура электронных устройств, используемых пользователями для подключения, мониторинга и управления окружающими объектами.



Рисунок2 - Иерархическая структура устройств, используемых для подключения объектов в IoT и WoT

Чтобы сообщество «умных» устройств или объектов было жизнеспособным, следует наделять каждую объект определенным интеллектом, помогающим ей распознать контекст своего

окружения (местоположение, собственное состояние и положение контролируемого объекта), а также наладить диалог с окружающими объектами и управляющим устройством [Vermesan, 2012].

Данные, собранные разными датчиками и устройствами по обыкновению являются многомодальными (температура, индикатор, звук, видео и т.п.). Разнообразие, изменчивость и разнотипность данных реального мира WoT вызывает многие проблемы с их обработкой, интегрированием и интерпретацией. Поэтому динамическая и ограниченная ресурсами природа WoT требует специальной архитектуры представления знаний и обработки, которая должна быть учтена технологиями семантического Web, такими как онтологический анализ, семантические метаданные, связанные данные (linked data), семантические Web-сервисы и социальные сети.

## 5. Технологические аспекты реализации Web of Things

Одним из первых прототипов Web of Things был проект, в котором датчики использовались для мониторинга и контроля за потреблением электроэнергии бытовых приборов [Web вещей, 2013], чтобы на домашнем компьютере пользователь мог визуально контролировать потребление электроэнергии.

Реализация функций человеко-машинного интерфейса при этом осуществлялась на основе интерфейса прикладного программирования RESTful API (Representational State Transfer - «Передача Репрезентативного Состояния») [Fielding, 2000].

Web-сервис REST реализует метод взаимодействия компонентов распределённого приложения в IoT, при котором вызов удаленной процедуры представляет собой обычный HTTP-запрос (обычно GET или POST; такой запрос называют REST-запрос), а необходимые данные передаются в качестве параметров запроса [Pautasso, 2008]. Этот способ является альтернативой более сложным методам, таким как SOAP, CORBA и RPC.

Другими словами REST означает концепцию построения распределённого приложения, при которой компоненты взаимодействуют наподобие взаимодействия клиентов и серверов в Web. Системы, поддерживающие REST, называются RESTful-системами.

Концепцию построения распределённого приложения на основе REST предполагает, что каждый запрос (REST-запрос) клиента к серверу содержит в себе исчерпывающую информацию о желаемом ответе сервера (желаемом репрезентативном состоянии), и сервер не обязан

сохранять информацию о состоянии клиента («клиентской сессии»).

Можно выделить ряд важных преимуществ REST Web-сервисов по сбору, доставке и передаче данных от/к умным объектам в Web of Things в отличие от традиционных SOAP Web-сервисов:

- надёжность (за счет отсутствия необходимости сохранять информацию о состоянии клиента, которая может быть утеряна);
- производительность (за счет использования специального кэша);
- масштабируемость; прозрачность системы взаимодействия, особенно необходимая для приложений по обслуживанию сети;
- простота интерфейсов; портативность компонентов; легкость внесения изменений;
- способность эволюционировать, приспосабливаясь к новым требованиям (на примере Web).

Таким образом, в архитектура REST очень проста в плане использования. По виду пришедшего запроса сразу можно определить, что он делает, не разбираясь в форматах (в отличие от SOAP, XML-RPC). Данные передаются без применения дополнительных слоев, поэтому REST считается менее ресурсоемким, поскольку не надо парсить (автоматически обрабатывать или разбирать с целью получения нужных данных) запрос чтоб понять что он должен сделать и не надо переводить данные из одного формата в другой.

Но важным моментом здесь остается информационная безопасность – недопустимо кому угодно позволять изменять информацию, то есть нужна еще авторизация и аутентификация. Эта проблема решается различными методами, например, при помощи различного типа сессий или просто HTTP Authentication.

## 6. Концептуальная модель архитектуры Web of Things

WoT является составной частью IoT: он предоставляет возможность мониторинга и управления объектами с помощью страниц WWW. На рис. 3 приведена структура организации WoT, из которой видно, что ключевую роль в нем играют два уровня: интеллектуальный уровень и уровень приложений, позволяющие использовать через Web как для изначально приспособленные к этому объекты (Web enabled things), так и для те объекты (non-Web enabled things), для которых необходимы соответствующие согласующие устройства (шлюзы), например, объекты, функционирующие по протоколам ZigBee или Bluetooth.

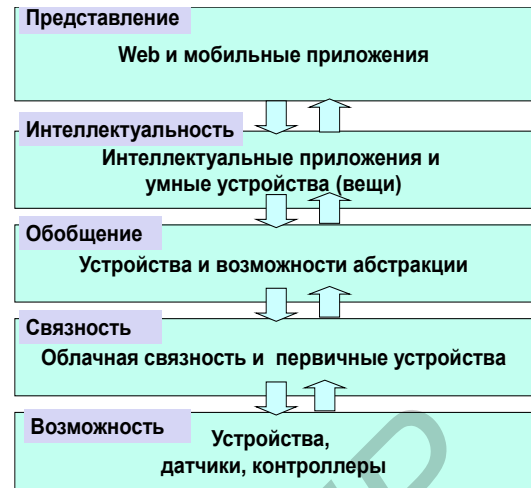


Рисунок 3 - Архитектура Web of Things как части Internet of Things

На рисунке 3 представлена пятиуровневая модель концептуальной архитектуры платформы [Guinard, 2011] Web of Things для взаимодействия человека с «умными» вещами. Уровень интеллектуальных приложений и умных вещей содержит базирующиеся на семантических технологиях (Semantic Web) программы, реализующие функции, поиска, сопоставления онтологий, логического вывода.

Для того, чтобы эффективно использовать преимущества, которые предоставляет сообщество "умных" вещей, нужно наделить каждую объект, входящую в это сообщество, определенным интеллектом (знаниями и правилами их использования), который должен помочь ей распознать контекст своего окружения (местонахождение, собственное состояние и положения объекта, контролирующего эту объект), а также наладить диалог с окружающими объектами и управляющим устройством [Gladun et al., 2009].

Онтологический подход становится тем ядром, который обеспечивает семантическое описание (виртуальную модель знаний) об этих объектах, которая может многократно использоваться разными приложениями.

Кроме того, использование онтологий для объектов WoT обеспечивает всю необходимую семантику для спецификации различных устройств, используемых в технологиях IoT/WoT, равно как и для спецификаций задач, решаемых непосредственно в приложениях WoT (ввод, вывод, логика управления), которые создаются на основе использования информации об этих устройствах.

Для создания целостной системы развертывания приложений WoT в определенной сфере деятельности необходима разработка формальной онтологической модели объектов (вещей), входящих в состав WoT.

Архитектура модели объектов WoT должна включать:

1. Анализ структуры знаний предметной области WoT, основных объектов и отношений:

- Использование мереологических (mereological) и онтологических методов для формирования терминологии домена WoT и структуры знаний;
- Структура OWL-онтологии.

2. Многократное использование существующих тезаурусов, таксономий и онтологий домена WoT:

- Семантический поиск релевантных объектов и анализ средств представления знаний и стандартов в WoT;
- Краткий обзор соответствующих онтологий и других структур знаний;
- Интеграция существующих таксономий и онтологий домена.

3. Архитектура методов для автоматизированного усовершенствования формальной онтологической модели WoT:

- Архитектура методов для автоматизированной добычи знаний (термины и отношения) из текстов естественного языка, которые касаются домена WoT;
- Методы автоматизированной лингвистической обработки текстов естественного языка;
- Усовершенствованная OWL-онтология.

4. Семантический поиск в домене WoT на основе > онтологии домена:

- Семантический поиск объектов WoT;
- Методы семантического поиска объектов WoT;
- Методы семантического поиска сервисов WoT (RESTfull);
- Рекомендации относительно использования WoT объектов.

Данные датчиков, которые связаны с разными событиями и ситуациями могут быть проанализированы и преобразованы в активное знание, которое позволяет нам лучше понимать физический мир и создать больше продуктов с добавленной стоимостью и сервисов, например, учет расстояний линий связи в smart grid может быть использован для того, чтобы лучше предусмотреть и балансировать потребляемой мощностью; анализируя комбинацию транспортных потоков, загрязнение, состояние погоды и перегрузки, можно создать знание на основе данных от датчиков, позволяя при этом обеспечить лучший трафик транспорта и муниципальное управление; контроль и обработка данных от датчиков и объектов, прикрепленных пациентам или людям преклонного возраста могут обеспечить лучшее медицинское обслуживание пациентов на расстоянии.

## 7. Архитектура WoT

Основная цель WoT – обеспечить наиболее эффективное принятие решений за счет более глубокого анализа наблюдения за окружающей средой.

Чтобы достигнуть этого, необходимо ввести несколько информационных уровней между сенсорами и блоком принятия решений (рис.4).

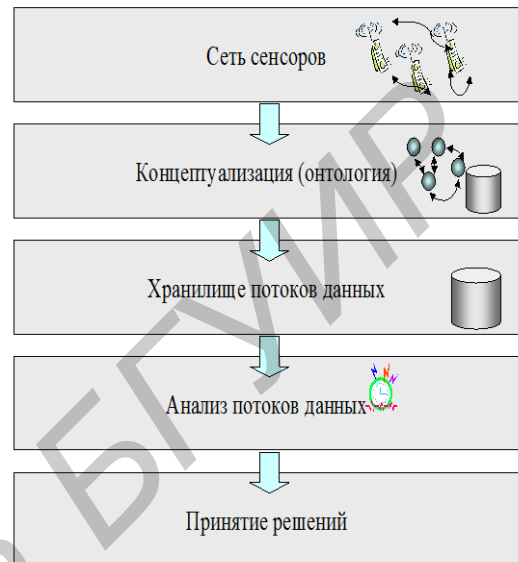


Рисунок 4 - Архитектура WoT

При этом возникает проблема концептуализации домена сенсоров. Ее решение связано с использованием онтологий и требует исследования семантической сети сенсоров (рисунок 5).

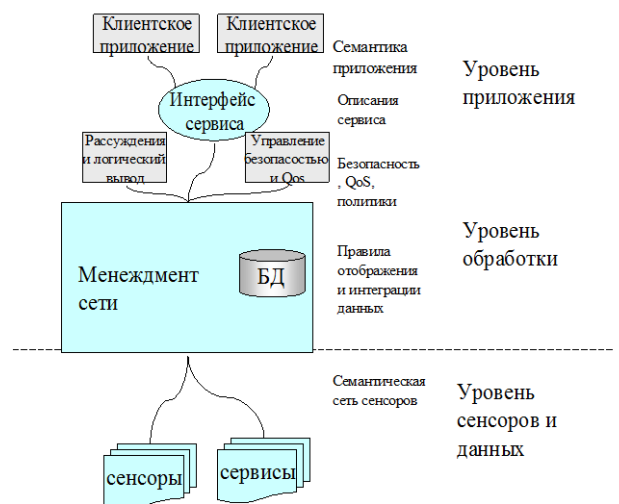


Рисунок 5 - Архитектура семантической сети сенсоров.

Некоторые из существующих онтологий покрывают домен сенсоров, но большинство из них – только его часть. Онтология W3C Semantic Sensor Network (SSN) представляет собой попытку покрыть весь этот домен полностью.

Таблица 2- Онтологии сенсоров.

онтология	Основные понятия
Avancha	Сенсор
CESN	Сенсор
CSIRO	Сенсор, процесс
Eid	Сенсор
Kim	Сенсор
Matheus	Система, сенсор
MMI	Сенсор, процесс
OntoSensor	Компонент, сенсор
OOSTethys	Компонент, система, процесс
SWAMO	Агент, процесс, сенсор

Кроме того, необходимые знания могут извлекаться из различных онтологий предметных областей, доступ к которым обеспечивают различные репозитории онтологий [Гладун и др., 2013].

Но, несмотря на наличие онтологий, извлечение полезных для пользователей сведений из потоков данных от сенсоров остается сложной задачей (рис.6).

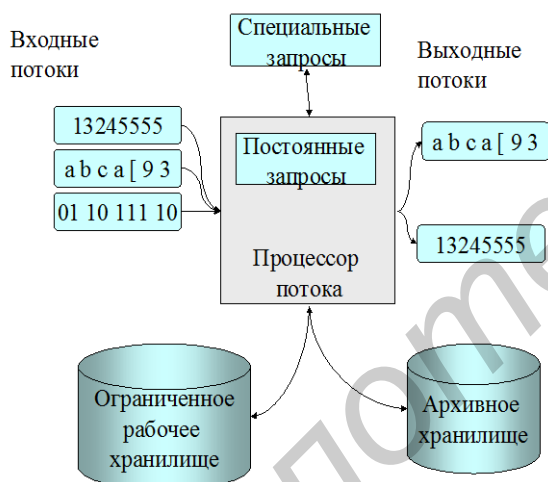


Рисунок 6 - Обобщенная архитектура извлечения знаний из потоковых данных

Это достаточно сложная задача, в которой можно выделить несколько отдельных проблем:

- поиск WoT-объектов, обладающих необходимыми возможностями пользователю;
- исследование свойств WoT-объектов, обладающих необходимыми возможностями;
- исследование потоков данных, передаваемых сенсорами и встроенными устройствами WoT-объектов, обладающих необходимыми возможностями;
- анализ свойств передаваемых потоков данных.

## 8. Средства вывода над онтологиями

Анализ современных методов и средств обработки (добычи) знаний и языков, для формирования запроса к онтологии позволил разработать подсистему интеллектуальных приложений на четвертом уровне модели WoT. Для добычи и обработки знаний, которые хранятся в онтологиях, используются блоки логического вывода (ризонеры, reasoners), которые играют ключевую роль в интеллектуальных системах, ориентированных на знание.

Существует множество реализаций процессоров логического вывода (reasoning engine) для OWL онтологии, которые различаются по возможностям, областям применения и качества выполнения задач. Обобщенный анализ позволяет разделить их на три группы в зависимости от метода реализации:

1. *Табличные DL-процессоры.* Традиционно были разработаны первыми для решения подобных задач. Имеют низкую производительность, но способны делать умозаключения на сложных онтологиях с множеством нетривиальных конструкций. До этого класса относятся ризонеры Pellet, RacerPro, FacT++, а также Hermit и SHER.

2. *Дизъюнктивные Datalog-процессоры.* Трансформируют онтологию в дизъюнктивную Datalog программу и используют методику дедуктивных баз данных и правило резолюций. Такие процессоры имеют удовлетворительное быстродействие при использовании некоторых оптимизаций, однако не поддерживают определенные OWL-конструкции, в частности кардинальные ограничения и номиналы. К этой группе принадлежит KAON2.

3. *Процессоры правил.* Используют системы обработки правил для умозаключений на онтологиях. Имеют высокую производительность, но могут обрабатывать лишь простые онтологии, лишённые многих важных конструкций. Представители этой группы: Sesame/OWLIM, Jena, Owljesskb.

Существуют два подхода к реализации логического вывода: на базе правил (с использованием алгоритмов forward-chaining и/или backward-chaining) и на базе семантического табло (semantic tableau). На базе правил реализованы Semantics, SDK и Owlrim, а на базе семантического табло - Pellet.

В качестве системы логического вывода для дескриптивной логики нами была избрана свободно распространяемая система Pellet версии 2.0.0. Система Pellet реализует логический вывод для дескриптивной логики класса ALCQNI (D), которая расширяет атрибутивный язык (AL) такими возможностями, как произвольное выражение отрицания, транзитивные отношения, инверсные отношения, иерархия отношений, количественные ограничения на отношения и некоторые конкретные домены.

На сегодняшний день система Pellet реализует наиболее выразительную дескриптивную логику с использованием высокопроизводительного алгоритма (tableau-based algorithm) логического вывода, который используется для обработки онтологий, описанных языком OWL DL.

OWL позволяет представлять знания об предметной области в виде онтологий, которые можно использовать и обрабатывать в разных приложениях; язык OWL запросов SPARQL позволяет создавать метаописания RDF и онтологий.

Разработанная WoT-онтология имеет цель поддержки процесса автоматизированного развертывания интеллектуальных приложений в гетерогенных средах WoT. WoT-онтология используется для поддержки семантического реестра WoT-объектов и позволяет:

- a) скрыть технологическую разнородность, которая характерна множеству гетерогенных объектов WoT;
- b) скрыть семантическую разнородность, присущую используемым гетерогенным онтологиям домена для того, чтобы семантически аннотировать данные умных объектов WoT.

Рассмотрим более детально первый этап этой задачи – поиск в пространстве WoT устройств, необходимых пользователю. При этом пользователь может специфицировать как функции или свойства самого физического объекта, связанного с соответствующей WoT-объектом, так и характеристики связанных с ним сенсоров и получаемых от них сведений либо предоставляемых ими сервисов.

При этом пользователь может применять термины из каких-либо доступных ему онтологий, описывающих пространство WoT и соответствующую предметную область (с ссылкой на сами онтологии). Но в описании IoT-объекты могут использоваться термины из других онтологий, относящихся к близким доменам.

Поэтому возникает проблема сопоставления онтологий. В общем случае эта задача крайне сложна и трудоемка, но при наличии ряда ограничений на сопоставляемые онтологии ее можно решить за приемлемое время.

## 9. WoT-объект как семантический Web-сервис

Web-сервисы являются наиболее современной попыткой реконструировать крупномасштабные распределенные вычисления. Они базируются на стандартах, которые действуют на синтаксическом уровне и не имеют возможностей для представления семантики. Семантика обеспечивает более качественные и масштабируемые решения для таких областей, как интероперабельность

сервисов, обнаружение и композирование сервисов и оркестровка процессов [Talantikite et al, 2009] .

Предлагается рассматривать WoT-объект как семантический Web-сервис. При этом основное внимание уделяется не использованию стандартов сервис-ориентированной архитектуры (что слишком сложно для WoT-объектов), а принципам создания и обработки семантической разметки на основе онтологий и поиску в пространстве этих описаний [Gladun et al., 2014] .

Web-сервисы представляются перспективным базисом для того, чтобы обеспечить решение для интероперабельности в разнородных средах. Они базируются на расширяемом языке разметки (XML), который представляет собой базовую технологию Web-сервисов. Тем не менее, описываются Web-сервисы (как правило, синтаксически) по таким стандартам, как UDDI, SOAP и WSDL.

В предлагаемом подходе данные используются для того, чтобы найти соответствие (matching) между терминами, используемыми в запросе о WoT, и терминами аннотации соответствующей WoT-объекты, представленной его поставщиком. Этот подход основан на архитектуре представления WoT-объектов как Web-сервисов путем добавления семантики в их описание, а также в запрос клиента [Рогушина и др., 2006] .

Web-сервисы предоставляют средства для того, чтобы разбивать на модули программное обеспечение таким образом, что его функциональность могла бы быть описана, обнаружена и развернута платформо-независимым образом по сети (например, интранет, экстранет и Интернет).

Предлагаемый подход к исследованию WoT основан на процессе аннотации, которая состоит в двух этапов [Bouchiha et al., 2012]:

- этапа категоризации, который позволяет классифицировать WoT-объект в соответствующий им домен;
- этапа сопоставления, который позволяет связать каждую сущность из WoT с соответствующей сущностью в онтологии домена.

Процесс аннотирования WoT-объектов опирается на методы сопоставления онтологий, которые, в свою очередь, используют некоторые меры подобия (similarity measures).

И категоризация, и сопоставление используют методы сопоставления онтологий – как специфичных для WoT, так и связанных с предметной областью [Гладун и др., 2006] . Например, при описании подключенной через IoT кофеварки может использоваться онтология бытовой техники, онтология WoT-сенсоров и персональная онтология пользователя,



описывающая, какие напитки он предпочитает в разное время суток.

Цель сопоставления всех этих онтологий – найти отношения между сущностями, выраженные в различных онтологиях, и определить, насколько они семантически близки. Очень часто эти отношения являются отношениями эквивалентности, которые обнаруживаются через меру сходства между сущностями онтологий (рис.7).

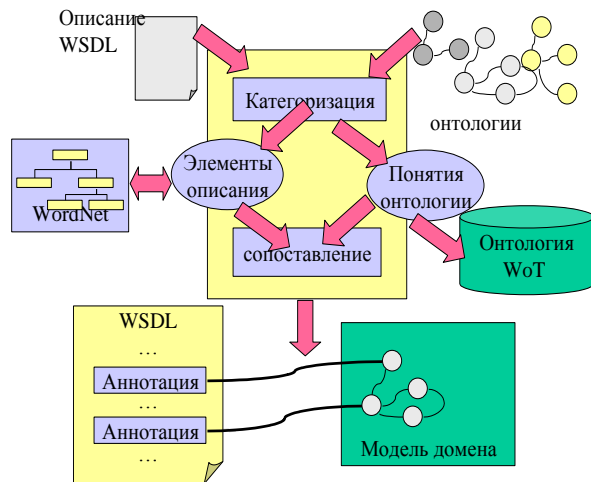


Рисунок 7 - Процесс аннотирования

Именно сопоставление онтологий является основой для поиска в пространстве объектов, семантически размеченных терминами различных онтологий [Рогушина, 2014].

Для завершения процесс сопоставления онтологий соответствия использует меры сходства (similarity measure) между объектами. Мера сходства направлена на количественную оценку того, насколько две сущности подобны. Формально она определяется следующим образом:

Сходство объектов можно определить следующим образом: для набора сущностей  $O$  сходство  $\sigma : O \times O \rightarrow R$  – функция от пары сущностей из  $O$  в реальное число, выражающая сходство между двумя объектами так, что выполняются следующие свойства:

1) положительность

$$\forall x, y \in O, \sigma(x, y) \geq 0;$$

2) максимальность

$$\forall x \in O, \forall y, z \in O, \sigma(x, x) \geq \sigma(y, z);$$

3) симметрия

$$\forall x, y \in O, \sigma(x, y) = \sigma(y, x).$$

В качестве меры подобия можно использовать меру на основе Wordnet [Pedersen et al., 2004]. WordNet представляет собой лексическую базу данных. Таким образом, эти меры вычисляются, а затем нормализуются. Нормализация заключается в

инверсии значения меры для получения нового значения между 0 и 1. Значение 1 указывает, что между двумя структурами есть полная семантическая эквивалентность.

Меры подобия, зависящие от WordNet, можно разделить на три категории:

- (1) на основе длины пути между понятиями;
- (2) на основе информационного содержания;
- (3) на основе типа отношений между понятиями.

Когда доступен набор онтологий, сходство между двумя наборами вычисляется путем сравнения набора сущностей описания WoT-объекты и набора сущностей каждой онтологии. На основе таких мер системы решают, между какими онтологиям запустить алгоритм сопоставления. Выбранная онтология предметной области определяет категорию WoT-объекты. Этот процесс называется процесс категоризации WoT-объекты.

Онтология рассматривается как набор сущностей (понятий), и описание WoT-объекты – также как набор сущностей (типов данных, функций, типов сенсоров, интерфейса, операций, сообщений и т.д.).

Некоторые стратегии могут быть адаптированы для вычисления сходства между двумя наборами. Затем мы определяем стратегии отдельной связи (Single linkage), полной связи (Full linkage) и средней связи (Average linkage).

Важно отметить, что, так как онтологии базируются на дескриптивных логиках (DL), то при сопоставлении семантической разметки на основе онтологий можно применять методы логического вывода: для поиска Web-сервисов, или для WoT-объектов, представленных в виде Web-сервисов, отдельные сервисы описываются в терминах DL, а потом над ними осуществляется логический вывод [Di Noia et al., 2007].

Как правило, для логического вывода на основе DL используют отношения категоризации (subsumption) и выполнимости (satisfiability) для поиска соответствия потенциальных соответствий.

## Выводы

Современный этап Web-технологий и, в частности, перспективы развития WoT, требуют формирования соответствующих методов и технологий для их эффективного использования. Представляется целесообразным применять для этого уже существующие и доказавшие свою полезность разработки, такие как Semantic Web и семантические Web-сервисы, модифицируя их в соответствии со спецификой использования объектов реального мира, связанных через IoT.

Разработанные алгоритмы и модели семантического распознавания информационных объектов на основе онтологического представления

знаний об этих объектах для дальнейшего их использования в интеллектуальных информационных технологиях и применениях приложениях требуют дальнейшего развития и усовершенствования с учетом гетерогенности среды Web of Things.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

[Гладун и др., 2006] Гладун А.Я., Рогушина Ю.В. Онтологический подход к поиску веб-сервисов в распределенной среде Интернет // Информатика, Минск, № 4, 2006. – С.116-127.

[Гладун и др., 2013] Гладун А.Я., Рогушина Ю.В. Репозитории онтологий как средство повторного использования знаний для распознавания информационных объектов // Онтология проектирования, № 1 (7), 2013. – С.35-50.

[Рогушина, 2014] Рогушина Ю.В. Знание-ориентированные средства поддержки семантического поиска в Web. – LAP LAMBERT Academic Publishing. 2014. – 214 с. – ISBN 978-3-659-56520-5.

[Рогушина и др., 2006] Рогушина Ю.В., Гладун А.Я. Онтологическая модель интеллектуализации сервис-ориентированных вычислений в распределенной среде Интернет // Проблемы програмування, №2-3, 2006. – С.526-536.

[Bouchiha et al., 2012] Bouchiha D., Malki M. Semantic Annotation of Web Services // Proc.ICWIT, 2012.

[Di Noia et al., 2007] Di Noia T., Di Sciascio E., Donini F.M. Semantic Matchmaking as Non-Monotonic Reasoning: A Description Logic Approach // Journal of Artificial Intelligence Research 29, 2007. – P. 269-307.

[Fielding, 2000] Fielding Roy. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures (2000), Dissertation – <http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm>.

[Gladun et al., 2009] Gladun A., Rogushina J. Use of Semantic Web technologies in design of informational retrieval systems // in Book “Building and Environment”, 2009 Nova Scientific Publishing, New-York, USA. – P.89-103.

[Gladun et al., 2014] Gladun A., Rogushina J. Intelligent Techniques of User-Oriented Recognition of Objects from the Web Informational Resources // Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence, Vol 6, No 3, 2014. – P. 348-353.

[Guinard, 2010] Guinard D, Fischer M, Trifa V (2010a) Sharing Using Social Networks in a Composable Web of Things. Proceedings of the 1st IEEE International Workshop on the Web of Things (WoT 2010) at IEEE PerCom, Mannheim, Germany.

[Guinard, 2011] Guinard Dominique A Web of Things Application Architecture – Integrating the Real-World into the Web. A dissertation submitted to ETH Zurich, 2011.

[Kindberg,2002] Kindberg T, Barton J, Morgan J, Becker G, Caswell D, Debaty P, Gopal G, Frid M, Krishnan V, Morris H, Schettino J, Serra B, Spasojevic M (2002) People, places, things: web presence for the real world. Mob Netw Appl 7:365-376.

[Luckenbach, 2005] Luckenbach T, Gober P, Arbanowski S, Kotsopoulos A, Kim K (2005) TinyREST – A protocol for integrating sensor networks into the internet. Proceedings of the Workshop on Real-World Wireless Sensor Network: SICS. Stockholm, Sweden.

[Machine-to-machine, 2011] Machine-to-machine (M2M) – the rise of machine// White Paper, Juniper, 2011.

[Pautasso, 2008] Pautasso Cesare; Zimmerman Olaf; Leymann Frank. RESTful Web Services vs. Big Web Services: Making the Right Architectural Decision// in Proceedings of the 17th International World Wide Web Conference (WWW2008) - <http://www.jopera.org/docs/publications/2008/restws>.

[Pedersen et al., 2004] Pedersen T., Patwardhan S., Michelizzi J. WordNet: Similarity – measuring the relatedness of concepts // Proc. of the Nineteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-04), 2004. – P.1024-1025.

[Talantikite et al, 2009] Talantikite H. N., Aissani D., Boudjlida N. Semantic Annotations for Web Services Discovery and Composition // Computer Standards & Interfaces Journal, Elsevier, CSI, 31:1108-1117, 2009. – P.1108-1117.

[Vermesan, 2012] Vermesan Ovidiu and Friess Peter Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems.– River Publishers, 2012.– 363 p.

[Web вещей, 2013] Web вещей визуализация энергопотребления – <http://www.webofthings.org/?s=energie+visible>.

## SEMANTIC APPROACH TO THE WEB OF THINGS OBJECTS INTEGRATION

Rogushina J. \*, Gladun A. \*\*

\* *Institute of Software Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

[ladamandraka2010@gmail.com](mailto:ladamandraka2010@gmail.com)

\*\* *International Research and Training Center of Information Technology and Systems of National Academy of Sciences Ukraine, Kiev, Ukraine*

[glanat@yahoo.com](mailto:glanat@yahoo.com)

Development of new trends in the formation of information space, in particular – Web of Things (WoT), requires the new knowledge-oriented methods of identification, retrieval and research of the specific to this space information objects. Use of ontological analysis For creating of methods and semantic search services based on ontologies in the Web of Things information space (on base of the Internet of Things) is proposed.

In order to integrate all the benefits of Web-services technology to the WoTspace, an approach to annotate WoT-things descriptions by ontological models and semantic Web-services is proposed.

**Keywords:** Web of Things, Internet of Things, semantic Web-service, ontology, semantic annotation.