

## Коммюнике онтологического саммита 2018 КОНТЕКСТ В КОНТЕКСТЕ<sup>1</sup>

Июнь 2018

Kenneth Baclawski<sup>1</sup>, Mike Bennett<sup>2</sup>, Gary Berg-Cross<sup>3</sup>, Cory Casanave<sup>4</sup>, Donna Fritzsche<sup>5</sup>,  
Joanne Luciano<sup>6</sup>, Todd Schneider<sup>7</sup>, Ravi Sharma<sup>8</sup>, Janet Singer<sup>9</sup>, John Sowa<sup>10</sup>,  
Ram D. Sriram<sup>11</sup>, Andrea Westerinen<sup>12</sup>, David Whitten<sup>13</sup>

<sup>1</sup>Northeastern University, Boston, MA USA,

<sup>2</sup>Hypercube Limited, London, UK,

<sup>3</sup>RDA US Advisory Group, Troy, NY USA,

<sup>4</sup>Model Driven Solutions, Herndon, VA USA,

<sup>5</sup>Hummingbird Design, Chicago, IL USA,

<sup>6</sup>Indiana University, IN USA,

<sup>7</sup>Engineering Semantics, Fairfax, VA USA,

<sup>8</sup>Senior Enterprise Architect, Elk Grove, CA USA,

<sup>9</sup>INCOSE, Scotts Valley, CA USA,

<sup>10</sup>Kyndi, Inc. USA,

<sup>11</sup>National Institute of Standards & Technology, Gaithersburg, MD USA,

<sup>12</sup>Two Six Labs, LLC USA,

<sup>13</sup>WorldVista USA

### Аннотация

Общепризнанно, что интерпретация информации в любой форме зависит от контекста. Онтологический саммит 2018 исследовал разнообразные связи между онтологией и контекстом. Этот документ подводит итог работы саммита и проведённого в его рамках симпозиума. В статье описывается необходимость создания точных формальных спецификаций контекста, рассматриваются подходы к обнаружению, пониманию и формализации контекста. Цель настоящей работы и связанных с ней материалов помочь сообществу в исследовании подходов к контексту для развития контекстно-зависимых решений, которые могли бы быть применены как в области инженерии знаний, так и в проектировании онтологий.

**Ключевые слова:** онтологии; контекст; ситуации; микротеоии; открытая сеть знаний.

## 1 Введение

Только за последние несколько лет было создано больше данных, чем за всю предыдущую историю человечества. Скорость производства данных и их сложность увеличиваются. Большая часть этих данных контекстно-зависима. Несмотря на прогресс в разработке и применении онтологических методов работы с семантикой данных, прогресс в области определения контекста невелик. Учитывая, что данные почти всегда зависят от контекста, формальное описание данных, даже при помощи очень развитых онтологий, будет иметь ограниченную полезность, если контекст известен только неформально, если он известен вообще.

Задачей этого Коммюнике является описание преобладающих взглядов на проблему формализации контекста и связанные с этим сложности и исследовательские задачи. В рамках настоящего Коммюнике основное внимание уделено контексту цифровой информации и данных, хотя контекст присущ любой предметной области (Про).

## 2 Предпосылки

В общем случае под контекстом обычно понимаются условия, которые формируют сцену для события, утверждения, процесса или идеи в терминах, которые позволили бы понять и оценить это событие, утверждение, процесс или идею. Таким образом, речь идёт о лингвистическом контексте выражения. Кроме того, может

<sup>1</sup>ONTOLOGY SUMMIT 2018 COMMUNIQUE - Contexts in Context -

[https://s3.amazonaws.com/ontologforum/OntologySummit2018/Communique/communique\\_v12.pdf](https://s3.amazonaws.com/ontologforum/OntologySummit2018/Communique/communique_v12.pdf)

**Рекомендуемое цитирование в русскоязычной литературе:**

Коммюнике Онтологического Саммита 2018 – Контекст в контексте / К. Baclawski, М. Bennett, G. Berg-Cross, С. Casanave, D. Fritzsche, J. Luciano, Т. Schneider, R. Sharma, J. Singer, J. Sowa, R.D. Sriram, A. Westerinen, D. Whitten. Пер. с англ. М.Д. Коровина, с сокр. // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №2(28). - С.305-316.

существовать физический контекст, обстоятельства или состояние дел в реальном мире, которое обеспечивает контекст для произносимых утверждений. Некоторые примеры синонимов или альтернативных терминов, которые имеют контекст контекста, включают обстоятельства, условия, факторы, перспективу, сферу действия, состояние дел, ситуацию, фон, сцену, место действия и систему взглядов.

Контекст, необходимый для понимания любого предмета, может включать любую информацию, общую или конкретную. По этой причине любые рассуждения о контексте находятся на метаяуровне: речь идёт не о текущем предмете, а о методах определения некоторой неявной информации, которая должна быть добавлена к интерпретации предмета.

Информация, необходимая для контекста, может поступать из нескольких источников. Непосредственный контекст включает предложения, предшествующие или следующие текущему предложению. Фоновые знания включают информацию о предмете, которой обладают оратор, слушатель, зритель, автор или читатель. Ситуация включает время, место и аудиторию или читателей. Все эти источники информации могут меняться в разных моментах дискурса или документа.

Можно говорить о физических ситуациях как контексте событий, а онтологии могут моделировать концепт «ситуации», используя, например, онтологию теории ситуаций (ОТС) (Kokar, Matheus, & Baclawski, 2009). Однако ситуация сама по себе может быть недостаточной в качестве контекста. Это означает, что нужно указать ответы как минимум на шесть основных вопросов; а именно: кто, что, когда, где, почему и как<sup>2</sup>. Более того, существует множество понятий «контекст» за пределами физических ситуаций (например, социальный контекст), и поэтому ситуации могут потребовать для описания гораздо больше, чем просто ответы на эти вопросы.

Одним из подходов к пониманию контекста является рассмотрение взглядов и перспектив. Пэт Хейс выделяет две интеллектуальные традиции, каждая из которых приносит различную коллекцию невысказанных предположений: семантическая лингвистика и когнитивная лингвистика (Hayes, 1997). В каждой из этих традиций Пэт Хейс идентифицировал два смысла для контекстов, в общей сложности четыре смысла: физический контекст; лингвистический / тематический контекст; концептуальный контекст; дедуктивный контекст.

Джон Сова далее разделяет четыре смысла языкового контекста следующим образом (Sowa, 2017): текст или дискурс; ситуация; общеизвестные знания; намерения участников.

Джон Сова признал, что эти смыслы могут бесконечно подразделяться для любых целей. Он также обозначил, что существуют реальные, модальные и намеренные контексты (Sowa, 2017).

Контекст - это всё, что влияет на интерпретацию или значение истинности чего-то ещё. Кори Казанаве предложил шаблон для понимания и формализации контекста как посредника (Casanave, 2018), показанный на рисунке 1. В этом подходе контекст выступает как посредник между набором предложений (или правил) и контекстуализируемыми вещами. Существенные отношения заключаются в том, что правило или предложение имеют место в контексте, и что контекст обеспечивает основу для понимания множества вещей (которые также могут быть предложениями). Если контекст *C* истинен для акта интерпретации, предложения, которые находятся внутри *C*, сохраняются для всех вещей, которые *C* контекстуализует. Этот шаблон работает для многих контекстуальных измерений, таких как время, местоположение и происхождение.

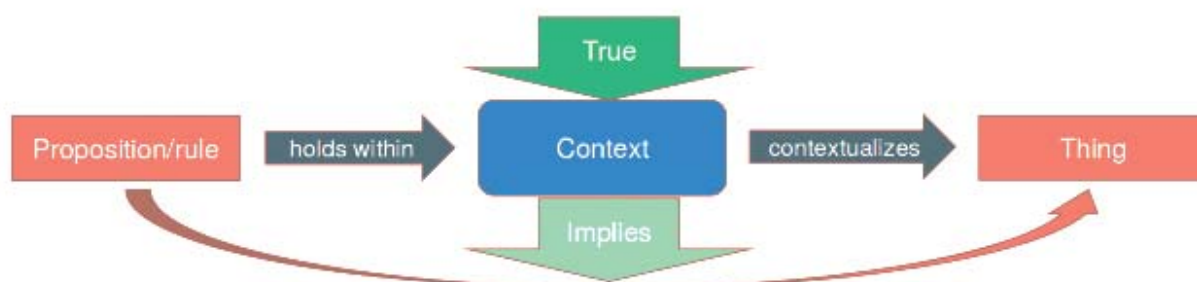


Рисунок 1 - Контекст как посредник (Casanave, 2018, Slide 15)

Примером, иллюстрирующим потенциальное использование контекста как посредника, является разделение между ссылочными и прикладными онтологиями в биомедицинской области. Онтология приложения - это та, которая была разработана экспертами Про для использования в конкретных видах приложений. В отличие от онтологий приложений эталонные онтологии не предназначены для какого-либо конкретного приложения, но предназначены для повторного использования в нескольких контекстах приложений. Тогда в идеале можно генерировать онтологии приложений из одной или нескольких эталонных онтологий с использованием фор-

<sup>2</sup> В английском языке эти вопросы (Who, What, When, Where, Why and HoW) иногда называют «шестью Ws», несмотря на то, что один из них не начинается с буквы W, а заканчивается её.

мальных методов для определения трансформации из эталонных онтологий в онтологии приложений (Brinkley, Suciu, Detwiler, Gennari, & Rosse, 2006). Формальное определение трансформации представляет собой контекст онтологии приложения, как показано на рисунке 1. К сожалению, на практике этот процесс может быть трудно-выполнимым, как отмечено в (Malone & Parkinson, 2010).

Существуют различные источники информации, которые могут быть использованы для определения контекста какого-либо предмета. К ним относятся объём, вопросы компетенции, требования к бизнесу, «случаи использования», происхождение и другие документы, которые использовались в процессе разработки предмета. К другим потенциальным источникам относятся намерения и взгляды заинтересованных сторон и разработчиков. Такие исходные данные должны теоретически быть полезными для формального определения контекста, а также для разработки предмета, поскольку эти материалы дают некоторое представление о том, что предназначено для представления. К сожалению, существует мало систематического опыта использования таких материалов для разработки контекста.

Даже для формальных артефактов, таких как онтологии, контекст является неопределённым понятием; и в тех случаях, когда он вообще определяется, контекст обычно документируется неформально. Ещё в 1997 году Патрик Хейс заметил, что «есть много идей о том, какова структура [контекста]» (Hayes, 1997). Позже, в своём выступлении на конференции CogSIMA 2012, он сказал: «Все согласны с тем, что смысл зависит от контекста, но не все согласны с тем, что такое контекст». Затем продолжил: «... любая теория смысла будет сосредоточена на вещах, которые влияют на него, и всё, что осталось, будет названо «контекстом» ... поэтому «контекст» становится термином «мусор». Это означает остаток, что бы это ни было». (Hayes, 2012) Кажется, что, хотя контекст важен, всё, что можно сказать вообще о контексте, это то, что он находится на метауровне относительно предмета, и что контекст влияет на интерпретацию предмета. Тем не менее, возможно сформировать рекомендации, помогающие явно выражать некоторые аспекты контекста при использовании конкретной методологии разработки. Более того, прагматические соображения должны стимулировать разработку исследований подходов к контекстам.

### 3 Причины формализации контекста

Одна из задач онтологии заключается в формализации неявных контекстов. Тем не менее, требуется обоснование для выделения ресурсов для разработки таких онтологий.

#### 3.1 Причины, специфичные для предметной области

Многие ПрО имеют специфические потребности в однозначной контекстной информации. Например, правила поддержки принятия решений для медицины требуют таких контекстных элементов, как: кто (личные данные), когда (связанные с возрастом и временем медицинские события, даты приема и выписки), что (медицинские показания, поведение, информация о медучреждении), почему (цель посещения и приёма) и т.д. Чтобы иметь возможность эффективно отвечать на запросы, связанные с такими элементами контекста, необходимо указать их формальным образом, в идеале используя онтологию.

Финансовая область - ещё один пример регулярного использования контекстной информации, например, происхождение и детали для индивидуальной, институциональной и финансовой информации для бизнес-кредита или ипотеки. Формализация контекста важна для проверки соответствия юридическим требованиям. Отсутствие этой возможности, вероятно, стало фактором, повлиявшим на финансовую рецессию, связанную с ипотекой в 2008 году.

#### 3.2. Интеграция и взаимодействие

Помимо потребности в формализации контекста отдельных ПрО, существует потребность в интеграции и интероперабельности, которая изучалась на Онтологическом саммите 2016 г. «Онтологии в семантически интероперабельных экосистемах»<sup>3</sup> (Fritzsche et al., 2017). Действительно, интеграция характерна для многих организаций, и обеспечение взаимодействия систем между департаментами и организациями стало важнейшей задачей. Системы, которые предоставляют или обеспечивают информационную поддержку, создаются на основе преобладающих потребностей ПрО, организации или приложения. Ограничения по времени и ресурсам не позволяют интеграции и повторному использованию быть приоритетными, несмотря на наличие осознанной потребности в их реализации. Как заявил Ханс Польцер, различные системы вносят различные контексты, цели и решения в области охвата различными институциональными спонсорами (Polzer, 2018).

<sup>3</sup> См. сокращенный русскоязычный перевод в №2 за 2016 год в журнале «Онтология проектирования». *Прим. ред.*

Например, компания может иметь несколько баз данных для разных отношений с клиентами или продуктами, с поставщиками, данными о персонале и т. д., которые имеют отличающиеся параметры. Взаимодействие между информационными ресурсами компании или их повторное использование может быть достигнуто только в случае разрешения проблемы неявного контекста. В этом примере контексты представляют собой роли (например, клиент, поставщик, сотрудник), отношения (такие как *isCustomerOf*, *isEmployeeOf*, *isProductionManagerOf*) или продукты (например, велосипед, болт, обувь). Другие виды контекстов могут распространяться на весь спектр шести основных вопросов. Онтология для контекста - объединяющая концептуальная модель: общий язык на предприятии. Чтобы обеспечить интероперабельность между приложениями или повторное использование данных по всему предприятию, неявные контексты для каждого набора данных должны быть переработаны в явные онтологические классы и отношения внутри онтологии.

Таким образом, каждая система, организация, сообщество, база данных или формат сообщения определяются в его собственном, часто нечётком контексте, который может зависеть от других контекстов. Интеграция и интероперабельность требуют обмена информацией или инструкциями в этих различных, независимо созданных контекстах систем. Контекст, в котором эти системы создавались, предполагает множество контекстуальных измерений, многие из которых не объявляются. Различные неустановленные контексты приводят к различным неустановленным предположениям при интерпретации информации и инструкций в разных системах, что приводит к ошибкам и риску.

Хотя эти системы создаются независимо, систематическая интеграция их информации и процессов имеет важное значение для совместной работы, общих служб, обмена информацией и аналитики. В современном мире эти возможности необходимы для продолжительного существования коммерческих предприятий и эффективности правительства. Это подразумевает, что практика интеграции и функциональной совместимости связана с множеством контекстов, пониманием их сходства, различий и отношений и смягчением этих различий и потенциальных ошибок и рисков. Сегодня задача понять и преодолеть эти контекстуальные различия, которые могут быть успешными для конкретной проблемы, ложится на онтологов (Allemang, 2018). Однако интеграция и функциональная совместимость в масштабе позволяют предположить, что применимый контекст и их последствия были изложены более формально, чтобы машинная логика могла поддерживать, проверять и, в некоторых случаях, заменять человеческое вмешательство.

Специфические контекстные допущения, которые могут различаться в разных системах и наборах данных и должны быть однозначно описаны, включают: время; пространственные рамки; доверие; терминологию.

Методы представления и логического вывода о контексте улучшились. Действительно, работы по этой тематике ведутся более десяти лет (Chen, Finin, & Joshi, 2003), (Baldauf, Dustdar, & Rosenberg, 2007) и в более свежей работе по контексту для Интернета вещей (Perera et al., 2014). Тем не менее, ещё предстоит чётко определить и согласовать передовой опыт с формальным обоснованием для представления контекста и реализации логического вывода на его основе.

В оперативном плане интероперабельность имеет перспективы или «измерения», помимо технических (например, социальные и культурные измерения). Существует несколько моделей, которые пытаются описать интероперабельность для совместного использования между агентствами. Примечательно, что они включают модель совместимости информационных систем (LISI) из MITER (LISI, 1998); модель «Системы, возможности, операции, программы и предприятия» (SCOPE) из Консорциума по сетевым центрам (NCOIC) (Creps et al., 2008); Национальную модель обмена информацией (NIEM) из дирекции Национальной разведки (веб-сайт NIEM, 2017). Все эти модели пытаются описать аспекты сущностей, которым необходимо взаимодействовать, и их контексты. Однако, хотя конкретные технические или синтаксические проблемы могут быть преодолены, существуют проблемы, связанные с выражением контекста и логическим выводом на его основе. Поскольку контексты имеют тенденцию к более высокому порядку, некоторые логики первого порядка могут быть недостаточными, что ещё более усложняет задачи вывода.

Создание формальных представлений контекста наряду с логическими представлениями, которые позволили бы обеспечить сокращение временных затрат и рисков, связанных с интеграцией и функциональной совместимостью за счёт автоматизации, остаётся открытой темой для исследований. Основной вопрос заключается в следующем: как могут символы и термины, используемые в коммуникации между сущностями и различными контекстами использования, быть достаточно явными и пригодными для использования как машинами, так и людьми для обеспечения согласованности интерпретации? Дополнительная проблема возникает, когда онтологии или системы независимо определяются в разных контекстах с использованием разных терминов. Как можно сделать однозначные контекстуальные предположения для различных систем? Как процессы и информация, определённые в отдельных контекстах, объединяются в общую «систему систем», которая сохраняет смысловую целостность, одновременно сокращая время, стоимость и риски? Эволюция систем и их контексты также оказывают глубокое влияние на интеграцию. Значительные усилия по решению этих проблем включают формальные подходы к согласованию онтологий (например, Kachroudi, Diallo, & Ben, 2017; Buttigieg et al., 2016).

### 3.3 Естественный язык

Исследовательская литература по языку является самым первым случаем изучения контекстов, а высказывания на естественном языке на практике в значительной степени контекстуальны. Обработка естественного языка (ОЕЯ) использует контекст для устранения неоднозначности, поэтому формализация контекста была бы полезной для ОЕЯ, а также для многих других задач. Например, здравый смысл был отмечен как ключевое требование для надлежащего деконструирования текста естественного языка в соответствии с различными контекстами. Пример, приведённый в (Cambria & White, 2014), касается разницы в оценке понятия «маленький». Это отрицательная оценка при описании комнат в обзоре отеля становится положительной при описании очередей в офисе. В качестве другого примера выражение «лучше прочитайте книгу» положительно в контексте обзора книги, но отрицательно при обзоре фильма.

Большое количество важных данных представлено с использованием естественного языка, а извлечение знаний для графов знаний (ГЗ) с использованием ОЕЯ и машинного обучения (МО) активно изучается. Формальный контекст является ключевым для жизнеспособности таких инициатив. Можно было бы ожидать, что лингвистика вообще, помимо ОЕЯ, должна стать полезной для понимания контекстов, и анализ дискурса действительно помогает, но это по-прежнему открытый вопрос (Barenfanger, et al., 2008).

### 3.4 Большие знания

Большие знания с их неоднородностью, глубиной и сложностью могут быть столь же сложными, как и большие данные, особенно если мы используем гетерогенные, шумные и противоречивые данные для создания знаний. Одиночные онтологии не могут масштабироваться по мере расширения работы и возникновения большего количества контекстов, что создает потребность в дополнительных онтологиях и возможностях их связи.

Один из онтологических подходов к большим знаниям заключается в том, чтобы выбрать часть реального мира, подходящую для конкретной цели, и моделировать её как модуль. Модульные подходы к построению онтологий для задач, предназначенные для расширения и согласования, – один из лучших возможных подходов (Ontology Summit, 2014<sup>4</sup>). Невозможно избежать различий в выборе и интерпретации, и различные внешние факторы создадут собственный контекст для каждого интеллектуального агента, выполняющего интерпретацию. Множественные формальные контексты, вероятно, будут единственным средством борьбы с большими, очень сложными проблемами больших знаний. Однако, как и в случае с большими данными, необходимо обеспечить, чтобы контексты и их обработка были масштабируемыми по мере увеличения объёмов и типов данных и знаний.

### 3.5 Построение графов знаний

Контекст может быть полезен для развития ГЗ. Разработка ГЗ должна решать проблему шумной, злонамеренной, отсутствующей и неполной информации. Как правило, для принятия некоторого факта и включения его в ГЗ необходимы сходящиеся и избыточные доказательства. Здесь возникает множество проблем, в том числе, вопрос защиты ГЗ от информации из злонамеренного источника. Поскольку люди могут иметь отличающиеся мнения, могут существовать несколько взглядов на определённые сущности и их отношения. Можно представить как растут ГЗ в связи с такими различиями, по мере того как безопасно улучшается качество изучаемого и организуемого. Автоматическая очистка данных находится на раннем этапе развития, и часто требует ручной обработки таких данных. Явное указание контекста, особенно различающихся убеждений, может быть использовано в качестве основы для улучшения автоматизированной очистки ГЗ.

## 4 Подходы к формализующему контексту

После осознания необходимости формализации контекста возникает вопрос его выделения и описания. Онтологии создаются в рамках некоторых систем взглядов, которые не всегда заявляются и не всегда однозначны. Таким образом, нужен способ оценки и описания того, что подразумевается под контекстом и связанной с ним перспективой какого-либо субъекта, независимо от того, насколько формальным может быть этот субъект, например, с использованием логики первого порядка или теории математических категорий.

В простом варианте можно добавить что-то о каком-то предмете внимания в качестве метаданных об объекте. Мы связываемся с онтологиями как частью этого представления, потому что конкретная онтология может

<sup>4</sup> См. русскоязычный перевод в №2 за 2014 год в журнале «Онтология проектирования». *Прим. ред.*

рассказать нам что-то важное о ПрО этой онтологии. Поэтому онтология может использоваться для выражения некоторых базовых знаний о какой-либо теме, данных, объекте и т.д. Но, в свою очередь, может существовать контекст для какой-то темы, который бы мог сказать что-то об этом субъекте, вне того, что он говорит сам.

Разные ораторы в ходе саммита высказали различные мнения о том, что могло бы выступить в качестве релевантного контекста. Однако, поскольку контекст находится в метауровне, то можно спросить, какие метаданные необходимы для обсуждения объекта и какой уровень выразительности потребуется для этого обсуждения. В качестве примера можно привести идею о том, что понятие, например, медицинское заболевание, может и должно быть смоделировано по-разному в зависимости от контекстуального представления, в котором оно рассматривается. Контекстуальный взгляд на болезнь может зависеть от пространственно-временной координаты (первый мир против третьего мира), тематического фокуса (исследование или лечение), субъективной перспективы агента (пациента или врача), некоторого принятого уровня детализации для представления (клеточное или на уровне организма) и предполагаемое применение предмета для контекстуализации. Таким образом, существует много подходов. В этом разделе рассматриваются основные подходы, которые были представлены во время саммита. Эти подходы варьируются от лёгких, ориентированных на метаданные методов с использованием RDF, чтобы указать контекст операторов RDF, до гораздо более богатых формальных механизмов, для которых контексты являются формальными объектами, пригодными для применения к ним выражений первого порядка. Различные подходы не являются исключительными и на самом деле взаимодополняют друг друга, а при необходимости полезно использовать более одного или даже все из них.

#### 4.1 Онтологии верхнего уровня

Онтология верхнего уровня (ОВУ) состоит из очень общих терминов (таких как «объект» или «свойство»), которые должны быть общими для всех ПрО. Выбирая специализацию одного из этих общих терминов, явно указывается один аспект контекста для этого термина; а именно, его относительное место в ГЗ, а также то, что он наследует все свойства родительского термина. Для введения в ОВУ и списка основных ОВУ см. (Bennett, 2018). Рассмотрим, могут ли ОВУ использоваться для предоставления набора общих, организующих теорий, которые служат для разделения различных видов контекста для субъекта. Возможны следующие три подхода к проблеме представления контекста, которые могут или не могут быть совместимыми друг с другом.

- 1) *Контекст как класс*: одна из категорий ОВУ - это всеобъемлющая категория «Контекст» для некоторых предметов.
- 2) *Виды контекста*: несколько категорий высокого уровня разделяют виды контекста, такие как одна категория для каждого из шести основных вопросов.
- 3) *Все как контекст*: для любого элемента в контексте субъекта, контекстуально определённое «значение» или семантики этого элемента является суммой всех других элементов, к которым он относится.

В терминах (1) «Контекст как класс» одним из подходов является представление понятий о Первичности, Вторичности и Третичности. В этом подходе любая категория «Вторичность» - это та, которая объединяет в одном контексте две или более вещи, причём этот контекст является категорией «Третичной».

В терминах подхода (2), возможных видов контекста, каждая ОВУ имеет свой собственный подход для представления контекста. В дополнение к ролям, отношениям, продуктам и тому подобному существует контекст или перспективы, в которых семантика какого-либо элемента модели или общего приложения и использования элемента модели или некоторого набора терминов может быть контекстуализирована. Покажем как некоторые основные вопросы могут быть рассмотрены в ОВУ.

- *Где*: географический регион, местоположение, названное место, ниша, окружающая среда и т.д.
- *Когда*: время, дата, эпоха и т.д.
- *Что*: системы можно рассматривать как контекст чего-то, причём среды рассматриваются как виды системы, так что любой организм нуждается в понимании в его среде. Например, онтология среды, разработанная Консорциумом ENVO, определяет концепцию материальной системы как «материальную сущность, состоящую из нескольких компонентов, которые причинно интегрированы» (Buttigieg et al., 2013).
- *Кто*: роли рассматриваются как виды контекста в общем разделении ОВУ Игрок - Роль - Контекст. Сама роль, как конструкция ОВУ, может быть разделена на реляционную, процессуальную и социальную роли. Социальная роль отражена в онтологии социальных понятий Сирла, где формулировка «X считается как Y в C» является специализацией этой общей картины.

Понятие детализации, как во времени, так и в пространстве является ещё одним типом контекстуализации, не включенным в основные вопросы. Гранулярность - это то как какая-то часть мира концептуализируется некоторым агентом и является способом представления каждой концепции в онтологии агента. Другими словами, гранулярность - это то как мир «вырезается по краям», зависит от масштаба этой резка, например, атомной, молекулярной, клеточной, животной, региональной, галактической и т.д. Для каждого из вышеуказанных основных вопросов и их гранулярности ОВУ обычно имеет понятия, которые образуют широкие категории, кото-

рые могут быть классифицированы различными видами этих контекстуальных понятий - роли, события и т.д. До сих пор в этих исследованиях отсутствует «Почему?», т.е. цель, и неясно, является ли это особой проблемой, считая, что она не принадлежит онтологии, или это то, что может быть применено только к онтологии в целом. Например, почему используем эту онтологию, этот набор представлений, чтобы что-то сделать? Пример цели или функции как части явно контекстуализированной деятельности приведён в Общей системе оценки онтологии (GOEF) (Luciano, 2013, Slides 7 и 8).

Возможно, что подходы (1) и (2) могут быть объединены или могут рассматриваться как реализации одной идеи; что различные базовые вопросы и их декомпозиции, являясь разделами многих ОВУ, могут выступать (или, в случае ролей, определяться) каким-то контекстом. Контексты отношений с клиентами и конкретными потребителями продукта указывают на возможную иерархию ролей и соответствующую иерархию контекстов. Одна из исследовательских проблем, которая заслуживает дальнейшего изучения, – является ли эта модель общим принципом организации для всех или большинства идентифицированных типов контекстов, возможно, с гранулярностью или масштабом в качестве дополнительной отличительной особенности.

Третий подход заключается в том, что всё в данном предмете является контекстом для всего остального. Учитывая широкий характер основных вопросов, возможно, что большинство или все концепции, к которым относится любая данная концепция, в любом случае будут соответствовать тем или иным вопросам и их деталям. Это сделало бы (3) совместимым с подходами (1) и (2).

Учитывая предположение о том, что онтология может строго описать ранее неявные концепции, реальный процесс поиска полного контекста не может быть завершён. Включить все возможные «контекстуальные» вопросы в онтологию означало бы создать онтологию всего - мифическую и совершенно бесполезную копию мира один к одному. Поэтому, даже после включения множества контекстных вещей в онтологию, она всё ещё существует в некотором контексте и интерпретируется в этом контексте. Однако ОВУ и, следовательно, контекст, который она предоставляет, по-прежнему различимы как идентифицируемая часть общей онтологии. Соответственно, то, что рассматривалось как два отдельных понятия контекстных классов – вещей, которые являются видами контекста, организованного в некоторой ОВУ, в сравнении с контекстом, в котором используется онтология, на самом деле является одним и тем же основным понятием контекста. Различные применения онтологии будут иметь место в разных контекстах, и многие вещи, которые могут считаться контекстом, могут быть включены в какую-то онтологию, чтобы контекстуализировать другие элементы этой онтологии.

Эти соображения приводят к выбору модели развития онтологий вида «колесо со спицами», популяризированному Барри Смитом (Smith, 2018, слайд 40). Этот подход создаёт дерево онтологий, где каждая онтология расширяет существующую. В некоторых областях, особенно в биомедицине, этот подход был очень успешным. Хотя корень дерева рассматривается как «ОВУ»; на самом деле, каждая онтология является ОВУ для его дочерних онтологий в дереве. Например, онтология химии может быть использована для структурной химии или для химической безопасности.

Итак, существует онтология контекстов, а также контекст онтологии. Онтология контекстов - это просто онтология; самые широкие категории видов вещей, которые можно рассматривать как контекст для других вещей, составляют ОВУ. Это понятия Кто, Что, Когда, Где и Как, которые, наряду с другими аспектами онтологии, такие как масштабы или декомпозиция, иерархии ролей, отношений, описания систем, процессов, функций и т.д., составляют контекст для любой данной концепции.

## 4.2 Происхождение

Происхождение - это информация об объектах, действиях, инструментах и людях, участвующих в создании части данных или вещей, которые могут быть использованы для формирования оценок качества, надёжности или достоверности. PROV - рекомендация W3C для представления происхождения. PROV предоставляет определения для доступа к информации о происхождении, проверки его, представляя этапы обработки. Цель PROV - обеспечить широкую публикацию и обмен опытом в Интернете (PROV-Overview, 2013).

PROV состоит из базовой онтологии, называемой начальной точкой, набора так называемых расширенных классов и свойств, а также набора квалифицированных классов и свойств. Ядро состоит из трёх классов: prov: Entity, prov: Activity и prov: Agent; и девяти свойств, таких как prov: wasGeneratedBy, prov: wasDerivedFrom и т.д. Учитывая общий характер основных классов, PROV можно рассматривать как ОВУ. Действительно, учитывая, что по существу любые данные могут быть данными происхождения, PROV должен быть ОВУ. Многие из классов и свойств расширенного класса являются подклассами и подвариантами основных классов и свойств. Ожидается, что конкретные применения PROV добавят дополнительные подклассы и подсвойства. Квалифицированные классы являются подтверждением свойств ядра для поддержки определения происхождения (PROV-O, 2013).

### 4.3 Микротеории

Понятие микротеории (МТ) было введено Сусорп, который разработал большую библиотеку МТ (Сусорп, nd). МТ является относительно небольшой, многократно используемой онтологией. МТ могут различать происхождение фактов и предоставлять мета-утверждения о фактах, точно так же, как это требуется для определения контекстов. В базе знаний Сус интерпретация каждого факта и каждого вывода локализована в определённом регионе «контекстного пространства», и все выводы включают только факты, которые видны из этого контекстного пространства.

Изучение понятия МТ полезно для предоставления языка, на котором можно рассмотреть вопрос решения кажущейся невозможной задачи определения всего контекста предмета. МТ не являются некоторым отдельным представлением предмета, которое несовместимо с другими представлениями одного и того же или смежного предмета. Скорее МТ принимает форму модуля общей онтологии, так что для того, чтобы рассуждать по какой-то определенной теме, нужны только более широкие понятия, относящиеся к этому предмету, и к понятиям, упомянутым в его свойствах.

Предложенная здесь аналогия состоит в том, что если общая эталонная онтология похожа на стены темной комнаты, то освещение части этой комнаты приравнивается к рассмотрению контекста этой части онтологии. Свет может охватывать более широкую или узкую область, но не будет охватывать всю онтологию за один раз. Возможности мира, которые были представлены как явные онтологические классы, не всегда должны упоминаться одновременно. И сама комната, конечно, заканчивается где-то.

### 4.4 Расширение логики первого порядка для определения контекстов

Сусорп МТ обычно определяют как логические теории. Логика первого порядка (ЛПП) является основным методом для определения логических теорий. Поскольку онтология является логической теорией, ЛПП - это язык для богатых онтологий. Стандартным синтаксисом для ЛПП является Common Logic (CL) (Delugach, 2005). Хотя можно указать любую онтологию, используя CL, у неё нет механизма для определения контекста, кроме неофициальных комментариев и аннотаций. ICL является расширением CL (Hayes & Menzel, 2006).

На сессиях саммита Джон Сова представил введение в ICL и показал, как его можно использовать для определения контекстов (Sowa, 2018). Хотя ICL потенциально может быть эффективным языком для выражения контекстной информации, он пока ещё не используется, поэтому его потенциал остаётся нереализованным.

Другое расширение логики для контекста называется «Описание логики контекста» (ОЛК), которые расширяют дескрипционную логику (ДЛ) для контекстных рассуждений (Klarman & Gutierrez-Basulto, 2016). Этот подход происходит от традиции Дж. Маккарти рассматривать контексты как формальные объекты, по которым можно количественно выражать свойства первого порядка, что аналогично подходу, используемому в ОТС, за исключением того, что ОТС относится к первому порядку. ОЛК основано на двумерной семантике, где одно измерение представляет собой обычную ПрО, а другое измерение - область контекстов. В этом подходе есть два взаимодействующих языка ДЛ - язык объекта и язык контекста, интерпретируемые по их соответствующим ПрО. ОЛК отличается от ICL тем, что оно основано на ДЛ, а не на CL. Преимуществом этого является то, что оно более совместимо с SemanticWeb. ОЛК создано относительно недавно и известны примеры его применения (Stephen & Nahmann, 2017).

### 4.5 Другие языки

Онтология иерархии шаблонов (HTemp) состоит из 150 шаблонов, которые могут быть использованы для включения контекстной информации (Zarri, 2017).

RDF++ расширяет RDF, позволяя добавлять метаданные к каждому факту RDF. Метаданные могут включать в себя происхождение, время, местоположение информации и т.д. в виде метаданных RDF триплетов (Nguyen, 2017). RDF++ является лёгким расширением RDF, поэтому он обладает отличным потенциалом для поддержки средств SemanticWeb и Linked Data. Другие примеры включают четвёрки RDF, аннотированные RDF и контекстуализированные хранилища знаний. Это относительно новые парадигмы, которые вводят новые возможности в практику инженерии знаний.

## 5 Открытая сеть знаний

Инициатива ОСЗ возникла из наблюдения, что сущность-ориентированные базы знаний в виде «графов» теперь кажутся повсеместными. Структурированные «знания» используются в личных помощниках для потребительских/поисковых приложений, но это знание является частным и, следовательно, может трудно распространяться для других целей. ОСЗ - это создание пространства для публичных знаний в форме ГЗ, состоящего



из устойчивой экосистемы данных. Основываясь на этом хранилище общественных знаний, приложения могут быть построены поверх этого для таких Про, как биомедицина, производство и геофизика. В целом процесс ОСЗ можно визуализировать как создание приложения с использованием знаний, формализованных в ГЗ тремя шагами, каждый из которых включает в себя некоторый контекст следующим образом:

- 1) *Сбор данных.* Использование веб-сканеров для поиска соответствующих веб-страниц и извлечения необходимого контента из этих источников (Web Crawler, nd).
- 2) *Структурирование данных.* Встраивание данных в одну или несколько онтологий.
- 3) *Построение ГЗ.* Когда будет найдена связанная информация, необходимо определить сходства и построить связи для расширения ГЗ.

Сбор данных начинается с обращения к источникам, таким как Интернет, для идентификации и извлечения соответствующей информации. Чтобы помочь в повторном использовании и понимании данных, некоторая информация об источниках должна быть контекстуализирована. Кроме того, извлечённые материалы должны быть «структурированы» для приложений, а это значит, что информация о дополнительной структуре становится частью контекста уточнённой информации. Последующий этап идентификации объекта использует фоновые онтологии и конструкцию ГЗ, которая предполагает выбор минимального знания «дерева», связывающего все семантические типы и имеет собственный контекст построения. Таким образом, ОСЗ и его итоговый ГЗ включают множество контекстов, которые необходимо документировать (NITRD, 2017).

## 5.1 Техники сбора информации для ОСЗ

### 5.1.1 Приложения, ширина и глубина знаний

В рамках саммита был описан базовый подход ОСЗ, используемый для извлечения информации из веб-ресурсов и государственных ресурсов и использования лёгких методов и инструментов, таких как schema.org для создания ОСЗ. Это знание становится ресурсом для других приложений, построенных поверх сети. К сожалению, это означает, что учитывается не очень много контекстуальных проблем, связанных с глубокими онтологиями. Онтология, используемая для предоставления схемы для ГЗ, может быть относительно простой и не связанной с предшествующей онтологической работой.

### 5.1.2 Семантический веб и другие источники

Как часть подхода к связанным данным, знания ОСЗ могут быть опубликованы в лёгкой форме в виде RDF и RDF-графов. Однако, вероятно, потребуется более богатый подход, например, использование MT Susorp. Важной целью ОСЗ в будущем является выявление некоторых основных проблем исследований, таких как объём, характер и точность, с которыми следует указывать контекст при извлечении информации. Хотя лёгкие усилия могут быть достаточными для начала, в некоторых областях более формальная семантика будет необходима, чтобы избежать семантических проблем и обеспечить лучшее повторное использование.

### 5.1.3 Инжиниринг контекстуальных знаний

Существует потребность в формальном механизме для определения контекста. Стремясь удовлетворить эту потребность, необходимо достичь понимания контекстуализации, которое могло бы быть включено в инженерную практику. Определённые усилия по связыванию контекстуальной информации уже ведутся, например, RDF++ является одним из таких проектов.

Все подходы в разделе 4 расширяют способность представлять людей, понятия, свойства и их отношения с возможностью документировать некоторый соответствующий выбор контекстов. В дополнение к этим возможностям, необходимо отделить онтологическое знание сущностей, понятий и т.п. между этими контекстами (Nomola, Serafini, & Taminlin, 2010), доработать инструменты и технологии ОСЗ, чтобы упростить и ускорить создание и проверку ГЗ, а также новых приложений, основанных на знаниях. Одной из важных и трудных целей является контекстуализация баз знаний, путём быстрого добавления MT и, возможно, с небольшим участием человека (Taylor et al., 2007). При этом необходимо контекстуализировать добавленные MT на метауровне.

### 5.1.4 Возможное использование микротеорий

Практически не существует примеров использования MT вне Susorp. В ОСЗ есть возможность использовать MT для создания небольшого числа широких контекстов рассуждений, начиная с высокоуровневых абстрактных знаний, которые расширяются в конкретные контексты для использования в приложениях. Полезен был бы исследовательский проект, чтобы проверить, будет ли эта идея ценной на раннем этапе работы ОСЗ, как для определения требуемых усилий, так и для определения преимуществ, которые она могла бы предоставить.

## 5.2 Проблемы исследований ОСЗ

### 5.2.1 Отбор источников с контекстом и аннотацией

Одной из проблем исследования, рассмотренных ОСЗ и другими проектами, является проблема поиска контекста. Существует много источников данных и типов, которые можно рассматривать как источники для ОСЗ ГЗ в семантической сети. В качестве исследовательской тактики первичные результаты могут быть получены путем обработки триплетов и связанных с ними данных, поскольку их структурирование помогает легко извлекать факты. В некоторой степени они уже приходят с некоторой контекстной информацией, такой как расположение URL-адреса «факта».

Тем не менее, для создания высококачественного ГЗ может потребоваться исследование происхождения разных данных и определение того, какие выборки должны быть добавлены к ГЗ, а какие следует отбросить, чтобы избежать конфликтов. В некоторых случаях важна классификация извлечённой информации, и некоторые источники могут быть лучше документированы с помощью метаданных, чтобы сделать эту задачу более простой. Однако, если используется иерархия МТ, для определения того, где поместить предметную информацию в общую иерархию, может потребоваться довольно много контекста. Чтобы решить такие проблемы с конфликтом, необходимо будет зарегистрировать происхождение каждого узла и края в ОСЗ ГЗ. Происхождение на этом уровне детализации может быть трудноуправляемо, и сложные методы, такие как PROV Ontology (PROV-O, 2013), обычно не использовались в создании ГЗ.

### 5.2.2 Глубина и формальность представления

Важными для семантического сообщества являются вопросы о лучшем языке представления, о глубине и деталях контекста (Paulheim, 2017). Эволюционный путь к развивающемуся контексту в идеале должен привести к богатой и детализированной онтологии. То, что возможно с использованием современных технологий, является открытым вопросом, поскольку данные могут быть определены в разных контекстах или уточнены с использованием различных онтологий.

Поскольку основной целью ОСЗ является открытое предоставление знаний широкой аудитории, проблема заключается в том, как организовать и хранить знания для эффективного доступа к ним. Лёгкий путь заключается в использовании хранилища RDF триплетов, но возможно более богатое и полезное представление.

### 5.2.3 Усовершенствование инженерных практик

Важно включить контекстуализацию в инженерную практику. Для ОСЗ это должно включать руководство и передовую практику для извлечения и создания ГЗ, а также как очищать, совершенствовать и организовывать их с помощью онтологий. ОСЗ создаёт набор инструментов и технологий, повышающих скорость построения ГЗ и связанных с ними контекстов.

## 6 Наиболее важные проблемы и вопросы для исследования

### 6.1 Инженерная практика

Несмотря на явную необходимость в формальном уточнении контекста, такая информация в основном является неофициальной и специальной в современной инженерной практике. Помимо разработки языков, парадигм и инструментов, важно предоставить проверенные, хорошо обоснованные рекомендации по лучшей практике, основанные как на теоретических соображениях, так и на опыте. Легче захватить контекст во время процесса разработки, чем пытаться обнаружить его после.

### 6.2 Поиск контекста

Проблема заключается в нахождении контекста какого-то предмета, т.е. как определить достаточный уровень описания контекста для оперативных целей? В этой общей проблеме существует множество конкретных проблем. Могут ли быть использованы материалы для разработки темы, такие как объём, вопросы компетенции, бизнес-требования и «варианты использования»? Если да, то как? Где и как мы ищем то, что имеет значение? Какова физическая ситуация, явная или неявная повестка дня? Каковы общие цели (или цель), которые привели к текущей деятельности? Будущие разработки контекстов должны быть способны обрабатывать динамический характер контекста как ситуации, события и области онтологий, а также встроенные или связанные с ними изменения данных.

### 6.3 Ограничение контекста

Обратная сторона поиска контекста - обеспечение того, что он не слишком велик и позволяет избежать «шума». Как ограничивать и очищать контекст, чтобы можно было эффективно рассуждать, но все же иметь достаточный охват для оперативных целей? Каков надлежащий уровень детализации? Как при поиске контекста более эффективно выбирать уровень детализации, ограничивать и очищать контекст во время процесса разработки, а не после его завершения.

### 6.4 Масштабируемость контекста

Как можно обеспечить масштабируемость в условиях необходимости всё более сложные контекстов? Онтологический саммит 2014 года рассмотрел проблемы, представленные большими данными, и некоторые из решений этого саммита могут быть применимы для больших контекстов (Grüninger et al., 2014). Однако проблема масштабируемости больших контекстов будет иметь свои особенности, поскольку даже малые субъекты могут иметь очень большие контексты.

### 6.5 Язык контекста

Какой язык следует использовать для представления контекстов? Можно использовать существующие языки онтологии. Это подходы OBU, PROV и MT. Можно также расширить существующие онтологические языки. Это подход, применяемый ICL, OLC, RDF++ и многими другими. Какой бы язык ни использовался, важно отличить контекст от его предмета и чётко указать отношения между ними. Для определения преимуществ и недостатков различных возможностей необходимы дополнительные эксперименты и опыт.

### 6.6 Пересечение контекстуальных границ

Где онтологии или системы независимо определяются с различным контекстом и терминологией, как можно согласовать различные концептуализации в таких областях, как проектирование систем? Проблема интероперабельности и идеи перекрестных онтологий была рассмотрена на Онтологическом саммите 2016 (Fritzsche et al., 2017).

### 6.7 Релевантность лингвистики

Известно, что работа в области лингвистики в целом и НЛП имеет отношение к разработке онтологий (Baclawski et al., 2018). Проблема заключается в том, какая часть работы в лингвистике относится к контексту, имеет отношение к формальным контекстам информационных систем. Задача состоит в том, чтобы извлечь большие уроки из этих областей и интегрировать их в общую структуру.

### 6.8 Вложенные контексты

Как можно отличить то, что принадлежит контексту от того, что принадлежит предмету, контекстуализировано? Сложная система может иметь несколько уровней абстракции и, следовательно, множественные уровни контекста. Они могут вкладываться линейно, но в принципе также могут возникать более сложные взаимосвязи. Например, независимо разработанные онтологии могут легко противоречить друг другу, но всё же можно рассматривать их как контексты для какого-то предмета. Например, ОТС допускает противоречивые утверждения, если утверждения находятся в разных ситуациях.

### 6.9 Цель

Один из основных вопросов: «Почему?», и ответ на это даёт цель или намерение для субъекта, или, по крайней мере, для того, почему вы фокусируетесь на предмете. Представление цели формальным образом может быть полезно, хотя есть некоторые разногласия относительно того, насколько это полезно. Это важная исследовательская проблема, чтобы формально указать цель.

### 6.10 Логика высших порядков

Некоторые онтологии для определения контекста, такие как ОТС, используют логику более высокого порядка. Однако на практике, как правило, можно избежать более высокой логики при построении систем, кото-

рые используют контекст, таких как системы повышения осведомленности о ситуации. Вопрос о том, нужно ли иногда использовать логику более высокого порядка для определения контекста, остаётся нерешённым.

## Список источников

- Allemang, D. (2018). *FIBO and Cesium*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2KkfM4m>
- Baclawski, K., Bennett, M., Berg-Cross, G., Fritzsche, D., Schneider, T., Sharma, R., . . . Westerinen, A. (2018). Ontology Summit 2017 Communique: AI, Learning, Reasoning and Ontologies. *Applied Ontology*, 13(1), 3–18.
- Baldauf, M., Dustdar, S., & Rosenberg, F. (2007). A survey on context-aware systems. *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, 2(4), 263-277.
- Barenfanger, M., et al. (2008). OWL ontologies as a resource for discourse parsing. *LDV Forum*, 23(1).
- Bennett, M. (2018). *Upper ontologies for specifying context*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2FDL5te>
- Brinkley, J., Suci, D., Detwiler, L., Gennari, J., & Rosse, C. (2006). A framework for using reference ontologies as a foundation for the semantic web. *AMIA Annu Symp Proc*, 96-100. Retrieved on June 3, 2018 from <http://bit.ly/2JnXRwV>
- Buttigieg, P., et al. (2013). The environment ontology: contextualising biological and biomedical entities. In *Journal of Biomedical Semantics* (Vol. 4). <https://doi.org/10.1186/2041-1480-4-43>
- Buttigieg, P., et al. (2016). The environment ontology in 2016: bridging domains with increased scope, semantic density, and interoperability. *Journal of Biomedical Semantics*, 7(1), 57.
- Cambria, E., & White, B. (2014). Jumping NLP curves: A review of natural language processing research. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 9(2), 48–57.
- Casanave, C. (2018). *Context aware ontologies*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2Epjyrl>
- Categories (Peirce). (nd). Wikipedia. Retrieved on May 23, 2018 from <http://bit.ly/1x81Q5A>
- Chen, H., Finin, T., & Joshi, A. (2003). An ontology for context-aware pervasive computing environments. *The Knowledge Engineering Review*, 18(3), 197–207.
- Creps, R., Polzer, H., Yanosy, J., Sutton, F., Jones, A., Ford, R., . . . Schneider, T. (2008). *Systems, capabilities, operations, programs, and enterprises (scope) model for interoperability assessment version 1.0*. Retrieved on April 27, 2018 from <http://bit.ly/2JznDKO>
- Cycorp Website. (nd). Retrieved on May 23, 2018 from <http://www.cyc.com>
- Delugach, H. (Ed.). (2005). *Common Logic - A framework for a family of logic-based languages*. ISO/IEC JTC 1/SC 32N1377, International Standards Organization Final Committee Draft
- Firstness. (nd). Mirriam-Webster. Retrieved on May 23, 2018 from <http://bit.ly/2KPgEOI>
- Fritzsche, D., Gruninger, M., Baclawski, K., Bennett, M., Berg-Cross, G., Obrst, L., . . . Westerinen, A. (2017). Ontology Summit 2016 Communique: Framing the Conversation: Ontologies within Semantic Interoperability Ecosystems. *Applied Ontology*, 12(2), 91–111.
- Groth, P., & Moreau, L. (Eds.). (2013). *An overview of the PROV family of documents*. Retrieved on May 17, 2018 from <http://bit.ly/2L46MSd>
- Gruninger, M., Obrst, L., Baclawski, K., Bennett, M., Brickley, D., Berg-Cross, G., . . . Yim, P. (2014). Ontology Summit 2014 Communique: The Semantic Web and Big Data meet Applied Ontology. *Applied Ontology*, 9(2), 155-170.
- Hayes, P. (1997). Contexts in context. In *AAAI Fall Symposium*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2jf0BBa>
- Hayes, P. (2012). Situations, contexts, states of affairs, and the limits of formalization. In *IEEE Conference on Cognitive and Computational Aspects of Situation Management*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2EKdVTq>
- Hayes, P., & Menzel, C. (2006). *IKL specification document* (Tech. Rep.). IKRIS Interoperability Group. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2rEif2D>
- Homola, M., Serafini, L., & Tamilin, A. (2010). Modeling contextualized knowledge. In *Proc. 2nd Workshop on Context, Information and Ontologies (CIAO 2010)* (Vol. 626).
- Kachroudi, M., Diallo, G., & Ben, S. Y. (2017). On the composition of large biomedical ontologies alignment. In *Proceedings of the 7th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics*. ACM.
- Klarman, S., & Gutierrez-Basulto, V. (2016). Description logics of context. *Journal of Logic and Computation*, 26(3), 817–854.
- Kokar, M., Mathews, C., & Baclawski, K. (2009). Ontology-based situation awareness. *Information Fusion*, 10(1), 83–98.
- Lebo, T., Sahoo, S., & McGuinness, D. (Eds.). (2013). *PROV Ontology (PROV-O)*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2xPcx2k>
- LISI. (1998). *Levels of Information Systems Interoperability*. Retrieved on April 27, 2018 from <http://bit.ly/2HU7M7f>
- Luciano, J. (2013). *The General Ontology Evaluation Framework (GOEF): A proposed infrastructure for the ontology development lifecycle*. Retrieved on June 3, 2018 from <http://bit.ly/2JrUXar>
- Malone, J., & Parkinson, H. (2010). *Reference and application ontologies*. Cambridge, CB10 1SD, UK.
- Nguyen, V. (2017). *Semantic web foundations for representing, reasoning, and traversing contextualized knowledge graphs*. Ph.D. Thesis NEM website. (2017). National Information Exchange Model of the Office of the Director of National Intelligence. Retrieved on June 2, 2018 from <http://bit.ly/2Lcm1re>
- NITRD. (2017). *Big Data Interagency Working Group: 3rd Workshop on an Open Knowledge Network*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2rDrTm8>
- Ontology Summit 2014: Big Data and Semantic Web Meet Applied Ontology. (2014). Retrieved December 9, 2017 from <http://bit.ly/2xPFiID>
- Paulheim, H. (2017). Knowledge graph refinement: A survey of approaches and evaluation methods. In *Semantic web* (Vol. 8.3, pp. 489–508).
- Peirce's Triad. (nd). Stanford Encyclopedia of Philosophy. Retrieved on May 23, 2018 from <https://stanford.io/2KPhoU0>
- Perera, C., et al. (2014). Context aware computing for the internet of things: A survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(1), 414–454.
- Polzer, H. (2018). *Data/entity representation in different contexts and frames of reference*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2KgxDJC>
- Smith, B. (2018). *Response to john sowa at the ontology summit 2018*. Retrieved May 23, 2018 from <http://bit.ly/2row7xT>
- Sowa, J. (2017). *Contexts in language and logic*. Retrieved on April 27, 2018 from <http://bit.ly/2JAYapt>
- Sowa, J. (2018). *Representing and reasoning about contexts using IKL*. Retrieved on May 15, 2018 from <http://bit.ly/2xrklA> and <http://bit.ly/2y4h41v>
- Stephen, S., & Hahmann, T. (2017). An ontological framework for characterizing hydrological flow processes. In *LIPICs-Leibniz International Proceedings in Informatics* (Vol. 86). Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik.
- Taylor, M., et al. (2007). Autonomous classification of knowledge into an ontology. In *FLAIRS Conference*.
- Web Crawler. (nd). Retrieved on May 23, 2018 from <http://bit.ly/R7Ys74>
- Zarri, G.-P. (2017). Functional and semantic roles in a high-level knowledge representation language. In *Artificial intelligence review*. doi: 10.1007/s10462-017-9571-5