

О системе онтологий измерений

М. Н. Королева
МГТУ им. Н.Э. Баумана
maria.svyatkina@gmail.com

Аннотация. Рассмотрена комплексная проблема мониторинга сложного технического объекта (на примере мостового перехода), описаны особенности организации и задачи измерений в системе мониторинга. В интересах представления и систематизации знаний об измерениях изложен онтологический подход к спецификации измерений, предложена иерархическая система онтологий измерений, построены основные онтологии измерений с помощью ментальных карт. Особое внимание уделено описанию видов неопределённости в измерениях.

Ключевые слова: онтология; измерения; онтологическое моделирование; иерархия онтологий; неопределенность в измерениях; сенсорные сети; мониторинг

I. ВВЕДЕНИЕ

Новая промышленная революция, основанная на технологиях киберфизических систем и «Интернета вещей», предполагает формирование концепции и реализацию «повсеместных измерений» (Ubiquitous Measurement) с помощью сенсорных сетей. Такие сети можно трактовать как сообщество автономных агентов, расположенных в разных местах и взаимодействующих друг с другом, формируя распределенную систему коллективного познания. Обеспечение взаимопонимания и совместной работы подобных агентов предполагает построение системы онтологий измерений. В настоящей работе эта задача рассмотрена в контексте проблемы мониторинга сложных объектов железнодорожной инфраструктуры (на примере мостовых переходов).

II. ИЗМЕРЕНИЯ В КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА

Комплексная проблема мониторинга (рис. 1) мостового перехода охватывает следующие задачи: 1) определение ключевых характеристик состояния моста (напряжённо-деформированного состояния, неравномерных осадок, вибраций), измерение метеорологических показателей (в первую очередь, направления и скорости ветра); 2) интерпретация результатов измерений; 3) анализ протекания процессов в конструкции моста и диагностика его текущего состояния; 4) прогнозирование дальнейшего развития состояния конструкций моста; 5) принятие решения, связанного с возможностью и безопасностью эксплуатации моста.

Таким образом, измерения служат основным источником информации для решения последующих задач мониторинга.



Рис. 1. Задачи, решаемые в рамках комплексной проблемы мониторинга

Согласно ОДМ 218.4.002-2008 [1], при мониторинге выполняется экспериментальная оценка количественных параметров (измерение) и качественных признаков, характеризующих техническое состояние моста. Сюда относятся геометрические параметры; напряженно-деформированное состояние; температура элементов сооружения; динамические характеристики; дефекты; нагрузки и воздействия, атмосферные и др. условия эксплуатации; жесткостные, прочностные и пр. свойства конструкций и материалов. Оцениваться могут как действующие значения параметров, так и их изменение в процессе мониторинга. Измерения в мониторинге могут проводиться при помощи приборов с регистрацией данных непрерывно или с минимальной периодичностью, а также на основе периодических инструментальных измерений по установленным в конструкции маркам, по датчикам или приборам.

В основе теории измерений лежат знания о видах, методах, средствах, результатах, условиях проведения измерений. В интересах разработки интеллектуальных систем в метрологии на базе инженерии знаний [2] далее рассмотрим онтологический подход к измерениям.

III. ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СПЕЦИФИКАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ

Под онтологией понимают формализованное описание структуры некоторой проблемной области. Известны два классических подхода в онтологическом моделировании – реляционный и логический, восходящие к работам Т. Грубера [3] и Н. Гуарино [4]. Так Т. Грубер определяет онтологию как явную формальную спецификацию концептуализации, принятую и разделяемую экспертами в некотором сообществе. Здесь ключевыми словами служат: «концептуализация» – синтез абстрактной концептуальной

модели явлений внешнего мира путем идентификации ключевых понятий, связанных с этими явлениями, и изучения отношений между ними; «*формальная*» – концептуализация реализуется в машиночитаемом формате, понятном для компьютерных (сенсорных) систем; «*явная*» – все элементы и единицы онтологии заданы строго, в явном виде; «*разделяемая*» – принимаемая группой в интересах обеспечения взаимопонимания и совместной деятельности агентов (коммуникативный аспект онтологий).

По Н. Гуарино, онтология – это логическая теория, которая задаёт в явном виде концептуализацию. Она состоит из словаря терминов, образующих таксономию, их определений и атрибутов, а также связанных с ними аксиом и правил вывода.

Разработка единственной понятной и согласованной предметной онтологии часто оказывается невозможным, поэтому обычно формируют иерархии онтологий [4–6]. На нижнем уровне наряду с предметной онтологией отдельно строят онтологии задач и приложений, а на верхнем уровне [7] – онтологии базовых категорий, встречающихся в разных предметных областях. Кроме того, выделяется метаонтология («онтология онтологий»), обеспечивающая как точную, математическую спецификацию онтологий, так и формальный анализ их свойств. В частности, она включает методы и формы представления, интеграции и слияния различных онтологий.

Примером базовой онтологии измерений служит онтология QUDT (Quantity, Unit, Dimension, Type) [8], где определяются свойства классов и ограничения для моделирования физических величин, единиц измерения и их размерностей в разных системах измерений. Цель разработки онтологии QUDT заключалась в создании общей модели единиц измерения, измеряемых величин, числовых значений этих величин в различных единицах измерения, структур и типов данных для программной обработки результатов измерений.

Среди перспективных онтологических подходов к измерениям следует также указать функциональную онтологию наблюдений и измерений В. Куна [9].

Ниже предлагается трёхуровневая система онтологий измерений (рис. 2), проводимых в рамках решения комплексной проблемы мониторинга. Здесь онтологиями нижнего уровня являются: онтология измерений, онтология измеряемых свойств, онтология сенсорных сетей как средств измерений, онтология приложения измерений (измерения в процессе мониторинга). Основная онтология верхнего уровня в соответствии с GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) [10] и ГОСТ Р 54500.3-2011 [11] – онтология неопределённости, а на метаяуровне имеем гранулярную метаонтологию [12].

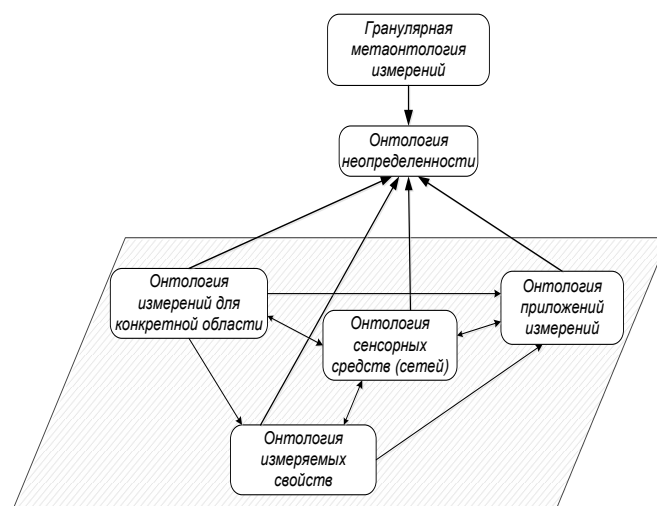


Рис. 2. Иерархическая система онтологий измерений

Для представления онтологий удобно воспользоваться таким наглядным средством как ментальные карты (Mind Maps) [13]. Основная идея ментальных карт заключается в автоматическом преобразовании фрагментов текста в графическую форму. Такая карта обладает следующими особенностями: а) её структура имеет форму куста; б) объект изучения находится в центре изображения (что соответствует фокусу внимания); в) основные темы, связанные с объектом изучения, расходятся от центра в виде ветвей, которые поясняются ключевыми словами; г) вторичные идеи также ветвятся; д) ветви формируют связную узловую структуру. На рис. 3–5 дано представление трёх онтологий нижнего уровня – онтология сенсорных сетей, онтология измерений, онтология измеряемых свойств (по классификации А.С. Дойникова [14]) – в виде ментальных карт.

Из рис. 3 видно, что тематическая область «сенсорные сети» раскрывается через понятия-классы «сенсоры», «сети», «среда» и «цели применения». Аналогично онтология задач измерений непосредственно связана с их приложениями к проблеме мониторинга. Главными задачами измерений в ситуации мониторинга являются формирование суждений и рассуждений, связанных с диагностикой текущего состояния объекта мониторинга (моста), прогнозом тенденций его изменения, принятием решений и выдачей рекомендаций. Например, «если измеренная анемометром скорость ветра на мосту равна 25-26 м/с и наблюдаются значительные колебания его конструкции, то движение по мосту запрещено». Таким образом, имеем дело с совместными, многократными, динамическими измерениями.

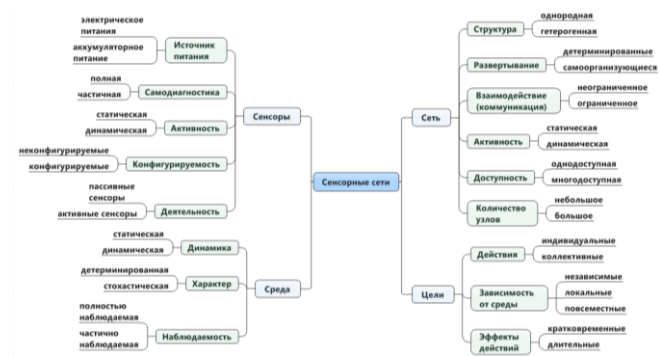


Рис. 3. Наглядное представление онтологии сенсорных сетей



Рис. 4. Ментальная карта «онтология измерений»

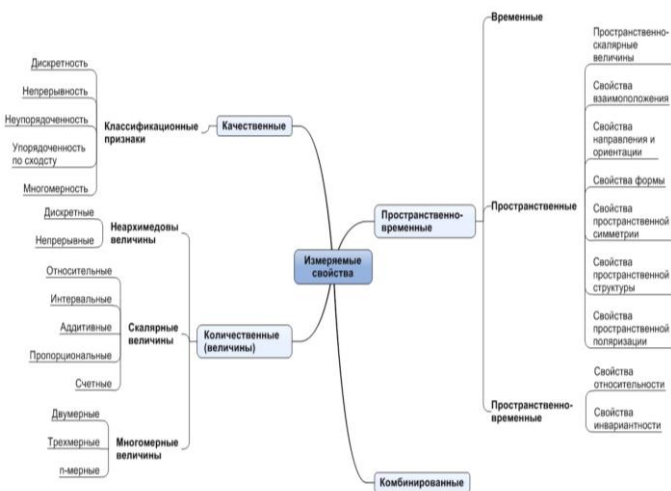


Рис. 5. Ментальная карта «онтология измеряемых свойств»

IV. О ВИДАХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ В ИЗМЕРЕНИЯХ

Любое измерение – это эксперимент, проводимый в условиях неполной определенности. Поэтому оно всегда имеет некоторую ошибку. Результаты измерения зависят от измерительной системы, методики измерения, внешних условий, квалификации человека-оператора и других факторов. Старое представление об измерении, согласно которой результат измерения может иметь точное числовое значение, во многом изжило себя.

В международных, а затем и отечественных стандартах термин «точность измерения» или «ошибка измерения» был заменен более общим понятием «неопределенность измерения» ([10, 11]). Неопределенность измерения – общее понятие, связанное с любым измерением. Учет неопределенности измерения позволяет сравнивать результат измерения с имеющимися нормативами, проводить диагностику текущего состояния объекта мониторинга и прогнозирование его будущего поведения, принимать практически важные решения и управлять возникающими рисками.

В [15] проведены аналогии между классической теорией измерений и концепцией неопределенности измерений. Но дело не только в чисто терминологических различиях, но и в совершенно новом представлении об измерениях. В соответствии с ГОСТ Р 54500.3-2011, с. 2, «абсолютно точных измерений не существует».

В [11] неопределенность видится как принципиальное отсутствие точного знания конкретного значения измеряемой величины. Иными словами, результат любого измерения величины x имеет два компонента: измеренное значение x_0 и его неопределенность u_x . В общем случае имеем $(x_0 \pm u_x)$ *ти*, где *ти* – единица измерения.

Результат измерения есть аппроксимация измеряемой величины. Он не может быть выражен единственным значением и характеризуется некоторым распределением на доверительном интервале.

A. Неопределенности типа A и B

С одной стороны, при анализе видов неопределенности мы стремились опираться на материалы GUM и ГОСТ Р 54500.3 [10, 11]. С другой стороны, из-за ограничений классической стохастической методологии интерпретации результатов измерений, целесообразно построение более общего подхода к формализации неопределенности в измерениях, связанного с понятиями гранулы и грануляции измерительной информации [16–18].

В [10, 11] различают два вида неопределённости: неопределенность типа A (классическая стохастическая неопределенность, которую оценивают по плотностям распределения вероятности) и неопределенность типа B (нестохастическая неопределённость, которую можно выражать любым другим распределением, например, нечеткой переменной, нечетким интервалом, нечетким числом, распределением возможности). Неопределенность типа B (точнее, комплекс разных видов нестохастической неопределенности измерений) складывается из таких факторов как: а) неполное или неточное определение измеряемой величины, например, отсутствие обоснования значения неопределенности u_x (см. формулу выше); б) нерепрезентативность выборки; в) открытость, динамика процедуры измерения, ее зависимость от целей, среды, и имеющегося инструментария; г) ограничения по разрешающей способности измерительных приборов; д) неточное и неполное знание условий среды и их влияния на результат измерения.

В. Классификация видов неопределённости В

При анализе разных видов неопределенности в измерениях будем опираться на классификацию А.Н. Борисова [19], в которой ещё в начале 1980-х годов было проведено разбиение неопределённости на стохастическую и нестохастическую, и модифицируем её для измерений с помощью датчиков сенсорной сети (рис. 6).

Неточное значение есть величина, которая может быть получена с ограниченной точностью, не превышающей некий порог, определяемый природой соответствующего параметра. В любом измерении существуют неустраняемые погрешности, зависящие от неточности датчиков. Так например, акустический дальномер определяет расстояние до предметов в пределах 0,2–80 м с погрешностью 2%.

Неполнота поступающей информации подразумевает, что в момент переговоров часть датчиков сенсорной сети может быть недоступна, а *неизвестность* означает потерю связи с датчиком или неисправность измерительного элемента датчика.

Неоднозначность предполагает наличие распределения (возможности, вероятности, уверенности, правдоподобия, и пр.). Пример: «с вероятностью 0,9 два тензометрических датчика, измеряющие напряжение одной и той же конструкции, смогут обнаружить отказ конструкции».

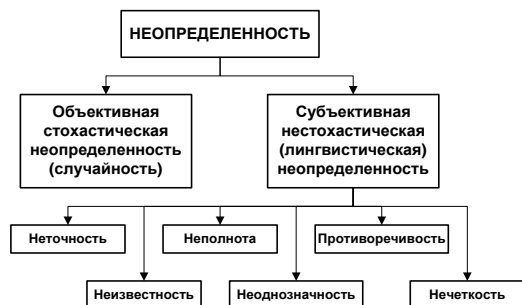


Рис. 6. Классификация видов неопределенности в измерениях

Противоречивость может появиться при наличии нескольких однородных датчиков, измеряющих одну и ту же величину. При интерпретации значений сигналов от нескольких датчиков возникают противоречия, если датчики выдают значения, связанные противоречивым отношением. Например, два тензометрических датчика, измеряющие напряжение одной и той же конструкции, показывают значения, интерпретируемые по первому датчику как «норма», а по второму датчику как «отказ». Наконец, *нечеткое* (точнее, *лингвистическое*) значение приписывают термам лингвистических переменных. Например, «измеренное значение скорости ветра – почти в норме».

В результате проведенного исследования разработаны предложения по гранулярным моделям неопределённости и когнитивным структурам измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Отраслевой дорожный методический документ «Руководство по проведению мониторинга состояния эксплуатируемых мостовых сооружений». М.: Росавтодор, 2008.
- [2] Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний: методы и модели. Учебник. СПб.: Изд-во Лань, 2016.
- [3] Gruber T.R. A Translation Approach to Portable Ontologies // Knowledge Acquisition. 1993. Vol.5, №2. P.199-220.
- [4] Guarino N. Formal Ontology and Information Systems // Proceedings of the 1st International Conference on Formal Ontologies in Information Systems (FOIS'98, Trento, Italy, June 6-8, 1998)/ Ed. by N.Guarino. Amsterdam, IOS Press, 1998. P.3-15.
- [5] Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации (Ч.1)/ А.В. Смирнов, М.П. Пашкин, Н.Г. Шилов, Т.В. Левашова // Новости искусственного интеллекта. 2002. №1. С.3-13.
- [6] Методы и языки для онтологического моделирования. Монография / Г.С.Плесневич, В.Б.Тарасов, Б.С.Карабеков, Нгуен Тхи Минь Бу. Алматы: Изд-во ИИВТ МОН РК, 2017.
- [7] Sowa J.F. Top-Level Ontological Categories // International Journal of Human-Computer Studies. 1995. Vol.43, P.669-685.
- [8] Hodgson R. et al. The NASA QUDT Handbook, 2014.
- [9] Kuhn W. A Functional Ontology of Observation and Measurement // Proceedings of the 3rd Workshop on GeoSemantics (GeoS'2009, Mexico City, December 3-4, 2009). Lecture Notes in Computer Science. Vol.5892. Berlin: Springer-Verlag, 2009. P.26-43.
- [10] ISO/ IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of Measurement. Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995). Geneva: JCGM, 2008.
- [11] ГОСТ Р 54500.1-2011/ Руководство ИСО/МЭК 98-1:2009. Неопределенность измерения. Ч.1. Введение в руководства по неопределенности измерения. Ч.3. Руководство по выражению неопределенности измерения. М.: Стандартинформ, 2012.
- [12] Тарасов В.Б., Калуцкая А.П., Святкина М.В. Гранулярные, нечеткие и лингвистические онтологии для обеспечения взаимопонимания между когнитивными агентами // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Материалы II-й Международной научно-технической конференции (Минск, БГУИР, 16-18 февраля 2012г.). Мн: Изд-во БГУИР, 2012. С.267-278.
- [13] Бьюзен Т.Ю. Гриффитс К. Интеллект-карты для бизнеса: Пер. с англ. М.: Изд-во Попурри, 2011.
- [14] Дойников А.С. Классификация измеряемых свойств // Сборник докладов 5-й международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2002, Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 25-27 июня 2002г.). СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2002. С.46-49.
- [15] Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс. СПб.: НПО «Профессионал», 2008.
- [16] Zadeh L.A. Toward a Theory of Fuzzy Information Granulation and its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic // Fuzzy Sets and Systems. 1997. Vol.90. P.111-127.
- [17] Reznik L. Measurement Theory and Uncertainty in Measurements: Application of Interval Analysis and Fuzzy Set Methods // Handbook of Granular Computing/ Ed. by W.Pedrycz, A.Skowron, V.Kreinovich. Chichester: John Wiley and Sons Ltd, 2008. P.517-532.
- [18] Тарасов В.Б. Гранулярные структуры измерений в интеллектуальных средах: васьевские и белнаповские сенсоры и модели их взаимодействия // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. №5. С.65-74.
- [19] Борисов А.Н., Алексеев А.В., Крумберг О.А. и др. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной. Рига: Зинатне, 1982.