

Кібернетика та системний аналіз

УДК 005.8:111:303.725

Н.Г. Кеберле

Запорожский национальный университет, Запорожье

МЕТОДИКА ВЕРИФИКАЦИИ ТЕМПОРАЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ ЦЕЛОСТНОСТИ НА АРХИВЕ ВЕРСИЙ ОНТОЛОГИИ

Контролируемый процесс управления изменениями в онтологиях предполагает наличие средств описания ограничений на изменения и средств их верификации. В работе приводятся методика верификации темпоральных ограничений целостности и результаты сравнительных экспериментов по оценке качества проведения изменений в онтологиях на примере архива версий промышленных онтологий.

Ключевые слова: модель динамики знаний о предметной области, онтология предметной области, процесс управления изменениями в онтологиях, темпоральное ограничение целостности, верификация темпорального ограничения целостности.

Введение

Важным аспектом при реализации информационной системы поддержки технической подготовки производства (ИСП ТПП) является обеспечение и проверка качества использованных моделей предметной области. Вопросы проверки качества моделей в условиях динамики предметной области приобретают тем большее значение, чем выше стоимость ошибок проектирования.

Процесс разработки любого устройства является динамическим, зависящим от многих факторов, делающих процесс во многом недетерминированным, и вместе с тем, ограниченным во времени. Влияние на процесс разработки оказывают человеческий фактор, инновационный характер разработки передовых устройств, темпы развития технологий, особенности рынка и требований заказчиков.

Выявление критериев оценки производительности в процессах разработки сложных устройств даёт рычаги для её усовершенствования, позволяя контролировать время и стоимость разработки.

Зачастую, процессы разработки сложных устройств сопровождаются имитационным моделированием. Системы имитационного моделирования выполняют связующую роль между концептуальными моделями системы разработки и процесса разработки, представленными в виде онтологий [1], и программным обеспечением оценки производительности процесса разработки, допускающим симуляцию различных (в том числе, конкурирующих) процессов разработки.

Среди инструментов имитационного моделирования сложных систем и процессов рассматриваются многоагентные технологии [1], в которых онтологии

выступают ментальными моделями знаний агентов. Многоагентная архитектура системы имитационного моделирования предполагает возможность модификации и даже замены используемых онтологий на другие, отражающие новые аспекты компонентов процесса разработки, упрощения/усложнения, принятые в модели процесса разработки. Результаты моделирования и симуляции в рамках альтернативных моделей процесса разработки могут сравниваться и служить основой для проверки гипотез о надежности предложенных критериев производительности.

У пользователя системы имитационного моделирования должна быть возможность сравнения разных версий онтологий на предмет *логической совместности отдельных её элементов*, поскольку использование онтологий компонентов процесса разработки, содержащих противоречащие друг другу элементы, лишает результаты моделирования смысла.

Для простых онтологий такое сравнение может выполняться вручную, путём просмотра альтернативных онтологий. С ростом размера, сложности онтологий, увеличением числа зависимостей между онтологиями, с использованием сторонних онтологий, при продолжительном процессе разработки самих онтологий анализ изменений вручную становится неэффективным, организационно и технически сложным, т.к. участники процесса разработки не обязаны быть специалистами в области онтологий.

Наличие формальных средств определения системы ограничений целостности, учитывающих особенности предметной области, позволит задавать декларативно те зависимости, которые, по мнению участников процесса разработки, должны выполняться на некоторых или на всех версиях онтологий.

Источники исследования и обзор существующих решений

Существует два основных способа проведения изменений в онтологиях [2]: использование системы ограничений (контролируемые изменения) и неконтролируемые изменения. Известные модели процесса управления изменениями в онтологиях (Плессерс [3], Стоянович [4]) используют системы ограничений разной выразительной силы. Сравнительный анализ возможностей моделей показан в табл. 1.

Модели [3, 4] процесса управления эволюцией онтологии реализуют первый подход к управлению изменениями – обеспечивают проверку набора ограничений целостности, обусловленных языком и структурой онтологии.

Использование ограничений целостности, связанных с особенностями предметной области, рассматривается только в [4], но эти ограничения задаются заново для каждой модификации онтологии, что, как отмечает Стоянович, занимает много времени, и используют классическую логику.

Возможности языка Change Definition Language в модели Плессерса позволяют задавать ограничения целостности, зависящие от предметной области, но их применение не исследовалось для процесса управления эволюцией [3].

Таблица 1
Сравнение моделей процесса управления изменениями в онтологиях

Критерий	Плессерс [3]	Стоянович [4]
Ограничения на эволюцию онтологии, зависящие от языка онтологий	Да	Да (стратегии эволюции)
Ограничения на эволюцию онтологий, зависящие от структуры онтологии	Да	Нет
Ограничения, зависящие от предметной области	Change Definition Language	В целом – нет. Возможно определить ограничения перед каждой модификацией онтологии
Логические связи, используемые в определении ограничений	AND, OR, NOT, темпоральные модальности	AND, OR, NOT
Верификация ограничений	А priori, А постериори	А priori
Ведение журналов изменений	Журнал версий, журнал эволюции	Журнал эволюции

Таким образом, подход к определению ограничений целостности, связанных как с языком и

структурой онтологии, так и с особенностями предметной области, основанный на темпоральном языке, подобном Change Definition Language, предоставляет наибольшую свободу в процессе управления эволюцией онтологии.

В соответствии с [5], *формальная модель онтологии* динамической предметной области – это кортеж

$$\left\langle \left\langle O_{t_k} \right\rangle_{t_k \in T}, \langle T, < \rangle \right\rangle, \quad (1)$$

где O_{t_k} – онтология, актуальная в момент времени t_k ; $\langle T, < \rangle$ – временная структура.

Введём следующие определения, отражающие темпоральный характер ограничений целостности для динамической предметной области.

Определение 1. Дан набор версий онтологии, $\{O_i\}$, некоторый формальный язык L_T . *Темпоральное ограничение целостности* φ – правильно построенная формула L_T , представляющая собой ограничение на элементы $\{O_i\}$.

Определение 2. *Задача верификации темпорального ограничения целостности* φ состоит в проверке выполнимости формулы φ в модели (1) относительно указанного момента времени, т.е.

$$\left\langle \left\langle O_{t_k} \right\rangle_{t_k \in T}, \langle T, < \rangle \right\rangle, t_j \models \varphi, \text{ где } t_j \in T.$$

Использование знаний, с учётом динамики предметной области в информационных системах, требует усовершенствования существующих моделей знаний.

Определение 3. *Модель динамики знаний о предметной области информационной системы* – это кортеж

$$\left\langle \left\langle O_{t_k} \right\rangle_{t_k \in T}, \langle T, < \rangle, L_T, \{\varphi : \varphi \in WFF(L_T)\} \right\rangle, \quad (2)$$

где O_{t_k} – онтология, актуальная в момент времени t_k ; $\langle T, < \rangle$ – темпоральная структура; L_T – темпоральный формальный язык с множеством правильно построенных формул $WFF(L_T)$; $\{\varphi : \varphi \in WFF(L_T)\}$ – конечное множество темпоральных ограничений целостности.

Среди известных реализаций языка L_T , поддерживающих темпоральные конструкции в онтологиях, таких как TL-OWL, TOWL, OWL-MeT (см. сравнение в [6]) только OWL-MeT имеет процедуру логического вывода, практически реализованную в машине логического вывода Pellet-MeT [7].

Метод верификации темпоральных ограничений целостности, заданных в OWL-MeT, рассмотрен в [5].

Целью данной работы является описание и экспериментальная апробация методики примене-

ния метода верификации темпоральных ограничений целостности, заданных на языке OWL-MeT, в процессе управления изменениями в онтологиях.

Описание методики

Методика применения метода верификации темпоральных ограничений целостности состоит в следующем:

1. На этапе спецификации модификаций в онтологии – создать или отредактировать набор темпоральных ограничений целостности, которые отражают ожидаемые изменения в онтологиях. Проверить логическую истинность каждого ограничения в наборе.

2. На этапе кодирования изменений в онтологиях, после внесения изменений, провести автоматизированную верификацию набора темпоральных ограничений целостности с помощью предложенного программного комплекса. Провести коррекцию спецификации модификаций, в зависимости от результата верификации.

Для практических целей в качестве такого языка был взят язык OWL-MeT [7], расширяющий выразительные возможности языка OWL [8] за счет использования оременённых классов и формул.

Для проверки непротиворечивости ограничений целостности над архивом онтологий было решено использовать машину логического вывода Pellet-MeT [7].

Описание объекта апробации. В качестве основы для апробации методики была рассмотрена предметная область «Продуктивность систем и процессов проектирования микроэлектронных устройств», смоделированная в ИСП ТПП микроэлектронных устройств DEDP-PMS [9]. Для данной предметной области существует архив версий семейства онтологий (PSI Ontologies Suite), разработанных в рамках проекта PSI [10] для DEDP-PMS. Структура данного архива версий соответствует линейной дискретной ограниченной в прошлое и в будущее темпоральной структуре, и позволяет применить предложенный метод верификации темпоральных ограничений целостности в процессе управления изменениями в онтологиях.

Описание и результаты экспериментов. Для проверки достижения цели исследования были выполнены сравнительные эксперименты по проведению процесса управления изменениями в онтологиях с использованием предложенного в [5] метода верификации темпоральных ограничений целостности и без него.

Для оценки эффективности использования предложенного метода верификации темпоральных ограничений целостности был рассмотрен базовый процесс управления изменениями в онтологиях по Стоянович [4].

В качестве критериев эффективности процесса управления изменениями в онтологиях были выбраны следующие экономические критерии:

а) трудоёмкость, измеряемая в количестве человеко-часов, затраченных в процессе управления изменениями в онтологиях.

б) качество онтологий, полученных в процессе управления изменениями в онтологиях.

Для оценки критерия трудоёмкости были использованы два следующих показателя:

– количество возвратов с этапа j на этап i ($0 < i < j$) процесса управления изменениями в онтологиях в связи с нахождением на этапе j ошибки, допущенной на этапе i ;

– суммарное количество человеко-часов, которое было использовано на каждом из этапов процесса управления изменениями в онтологиях.

Первый сравнительный эксперимент оценивал трудоёмкость процесса и проводился следующим образом. Для эксперимента был взят набор онтологий версии 2.3.3 и приглашены две группы разработчиков онтологий. В обеих группах разработчиков процесс управления изменениями в онтологиях проходил в соответствии с моделью [4].

В первой группе разработчиков на этапе спецификации модификаций на основании требований к модификации онтологий версии 2.3.3 была создана спецификация модификаций (необходимые действия для перехода к новой версии) на естественном языке, понятном для разработчиков.

На этапе кодирования в OWL модификации онтологий до версии 2.3.4 проводились согласно спецификации модификаций обычным образом.

На этапе внутреннего тестирования онтологии выполнялись два типа проверки: проверка корректности полученного кода онтологии (логической непротиворечивости онтологии); проверка выполнения спецификации модификаций. Для обоих видов проверки использовались стандартные средства визуального редактора онтологий Protege 4.0.

В зависимости от наличия ошибок при тестировании, процесс управления изменениями возвращался на один из предыдущих этапов.

Переход на этап внедрения новой версии онтологии осуществлялся только в случае отсутствия ошибок на этапе внутреннего тестирования.

Во второй группе разработчиков использовалась методика применения метода верификации темпоральных ограничений целостности [5].

На этапе спецификации модификаций на основании требований к модификации онтологий версии 2.3.3 был создан набор темпоральных ограничений целостности на языке OWL-MeT. Логическая истинность всех заданных ограничений относительно временной структуры, представленной полным архивом версий онтологий, была автоматизированно проверена в Pellet-MeT с помощью метода проверки выполнимости формул [2].

На этапе кодирования в OWL модификации онтологий до версии 2.3.4 проводились согласно спецификации модификаций обычным образом.

На этапе внутреннего тестирования весь набор темпоральных ограничений целостности был также автоматизированно верифицирован относительно обновленного архива версий онтологий, который включал и новую версию 2.3.4. Для верификации также использовался Pellet-MeT. Переход к этапу внедрения также осуществлялся только в случае отсутствия ошибок на этапе внутреннего тестирования. Анализ количества возвратов на предыдущие этапы процесса управления изменениями в онтологиях показал, что при использовании формализованных темпоральных ограничений целостности на этапе спецификации модификаций количество возвратов на этот этап уменьшается (табл. 2). Достигается этот результат вследствие действия таких факторов:

- во-первых, при формальной записи темпоральных ограничений целостности уточняется их смысл, выявляются возможные неточности и смысловые ошибки, которые приводят в дальнейшем к ошибкам восприятия и, как следствие, неверному кодированию модификаций разработчиками онтологии;

- во-вторых, формальная запись темпоральных ограничений целостности делает возможным формальную их верификацию, что позволяет избежать логически противоречивых или дублирующих друг друга модификаций.

Таблица 2

Сравнительное количество возвратов на этапы процесса управления изменениями в онтологиях

Этап процесса управления изменениями в онтологиях	Количество возвратов на этап	
	Группа 1 (без т.о.ц.)	Группа 2 (с т.о.ц.)
Определение семантики модификаций	12	3
Кодирование (OWL)	11	3
Валидация	3	1

Суммарная трудоёмкость каждого этапа процесса управления изменениями в онтологиях, полученная в результате сравнительного эксперимента, представлена в табл. 3.

Первый эксперимент показал, что использование в процессе управления изменениями в онтологиях аппарата темпоральных ограничений целостности снижает суммарно трудоёмкость внесения изменений в онтологии на 10%.

Второй эксперимент был поставлен с целью выяснения влияния применения автоматизированных средств в методике применения метода верификации.

В этом эксперименте принимало участие две группы по пять пользователей, имеющих базовый опыт работы с инструментами создания онтологий. Перед пользователями было поставлено задание – провести верификацию набора темпоральных ограничений целостности. Проводился контроль полно-

го времени проверки каждого ограничения целостности и корректность ответа.

Таблица 3

Трудоёмкость этапов процесса управления изменениями в онтологиях, полученная в сравнительном эксперименте

Этап процесса управления изменениями в онтологиях	Трудоёмкость этапа (в человеко-днях)	
	Группа 1 (без т.о.ц.)	Группа 2 (с т.о.ц.)
Спецификация модификаций	7	7,25
Определение семантики модификаций	1	1
Кодирование (OWL)	1,25	0,5
Валидация	1	0,5
Внедрение	0,5	0,5
Всего	10,75	9,75

Перед началом эксперимента в обеих группах было проведено обучение пользованию средствами редактора онтологий Protege 4.0 в части проверки непротиворечивости как онтологии в целом, так и отдельных её концептов. Затем обеим группам был объяснён смысл ограничений целостности каждого из пяти типов, описанных в [5], и принцип проверки таких ограничений. В экспериментальной группе дополнительно было проведено обучение (около 1 часа) использованию языка OWL-MeT и программного комплекса Pellet-MeT. Обеим группам был выдан один и тот же набор из десяти ограничений темпоральных целостности типа 5 [5], заданных на естественном языке. Данный тип ограничений был выбран как допускающий наиболее сложные конструкции ограничений.

В экспериментальной группе заданные ограничения предложили записать на языке OWL-MeT, проверить их логическую истинность с помощью Pellet-MeT и исправить ошибки в формальной записи ограничений, если таковые возникнут.

В контрольной группе заданные ограничения целостности были проверены вручную с использованием редактора онтологий Protege 4.0.

Численные данные времени проверки темпоральных ограничений целостности типа 5 [5] с помощью разработанного программного комплекса и вручную показаны в табл. 4 и графически представлены на рис. 1.

Выводы

В работе показано, что применение модели (2), а значит, использование аппарата темпоральных ограничений целостности и автоматизированного метода их верификации позволяет снизить количество ошибок, связанных с пониманием семантики модификаций инженерами знаний, поскольку при формальном определении темпоральных ограничений целостности уточняется их смысл, выявляются

смысловые ошибки, дублирующие, противоречащие друг другу ограничения.

Таблица 4
Экспериментальные данные о времени верификации темпоральных ограничений целостности для PSI Ontologies Suite

Время проверки ограничений, в секундах	
Вручную	Pellet-MeT
3465	1777
Количество ограничений целостности, проверенных с ошибкой, в %	
20%	0%

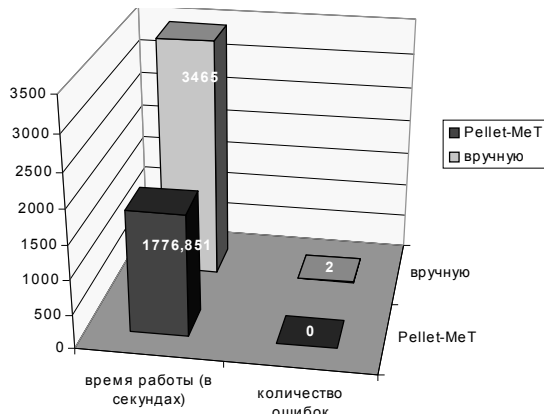


Рис. 1. Сравнение времени верификации и количества ошибок верификации

Эксперименты показали снижение количества ошибок такого рода до 20 % при использовании формально заданных темпоральных ограничений целостности и предложенных средств их автоматизированной верификации. Таким образом, получено усовершенствование средств проверки качества онтологий при модификации.

Исследование трудоёмкости проведения изменений в онтологии при наличии набора темпоральных ограничений целостности показало, что применение метода верификации темпоральных ограничений целостности снижает трудоёмкость уточнения онтологий до 10 %, за счёт снижения количества возвратов на ранние этапы процесса управления изменениями в онтологиях. Таким образом, применение

модели (2) оправдано. Результаты подтверждены экспериментами над онтологиями проекта PSI.

Список литературы

1. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
2. Кеберле Н.Г. Моделирование динамических предметных областей в онтологиях / Н.Г. Кеберле // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – X.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2009. – № 3. – С. 121-127.
3. Plessers P. An Approach to Web-based Ontology Evolution : Doctoral Thesis of the Free University of Brussels / P. Plessers. – Brussels, Belgium, 2006. – 229 p.
4. Stojanovic L. Methods and Tools for Ontology Evolution: Doctoral Thesis of the University of Karlsruhe / L. Stojanovic. – Karlsruhe, Germany, 2004. – 249 p.
5. Кеберле Н.Г. Применение логических средств для анализа изменений в онтологиях. / Н.Г. Кеберле, В.А. Ермолаев, W.-E. Matzke // Системи управління, навігації та зв'язку, 2009. – 3(11). – С. 105-111.
6. Keberle N.G. Temporal Classes and OWL. [Електрон. ресурс] / N.G. Keberle // 6th Workshop on Web Ontology Language Experiences and Directions (OWLED'2009) in conjunction with International Semantic Web Conference (ISWC'2009), Washington DC, USA, Oct. 23-24, 2009. – Режим доступу до матеріалу: http://www.webont.org/owlled2009/owlled2009_submission_27.pdf.
7. Keberle N.G. Ontology Evolution Analysis with OWL-MeT. [Електрон. ресурс] / N.G. Keberle, Y.I. Litvinenko, Y.A. Gordeyev, V.A. Ermolayev // Workshop on Ontology Dynamics (IWOD'2007) in conjunction with 4th European Semantic Web Conference (ESWC'2007), Innsbruck, Austria, 4-7 June, 2007. – Режим доступу до матеріалу: <http://kmi.open.ac.uk/events/iwod/papers/paper-05.pdf>.
8. OWL Web Ontology. Language Overview. W3C Recommendation 10 February 2004. [Електрон. ресурс] / eds. D.L. McGuinness, F. van Harmelen. – Режим доступу: <http://www.w3.org/TR/owl-features/>.
9. An Agent-Oriented Model of a Dynamic Engineering Design Process / V. Ermolayev, E. Jentzsch, O. Karsaev [et al.] // Agent-Oriented Information Systems III. – Springer Berlin/Heidelberg, 2006. – LNCS 3529. – P. 168-183.
10. Modeling Dynamic Engineering Design Processes in PSI / V. Ermolayev, E. Jentzsch, O. Karsaev [et al.] // Perspectives in Conceptual Modeling. – Springer Berlin/Heidelberg, 2005. – LNCS 3770. – P. 119-130.

Поступила в редколлегию 19.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.И. Гоменюк, Запорожский национальный университет, Запорожье.

МЕТОДИКА ВЕРИФІКАЦІЇ ТЕМПОРАЛЬНИХ ОБМЕЖЕНЬ ЦІЛІСНОСТІ НА АРХІВІ ВЕРСІЙ ОНТОЛОГІЇ

Н.Г. Кеберле

Контрольований процес управління змінами у онтологіях застосовує засоби опису обмежень на зміни та засоби верифікації таких обмежень. У роботі наведені методика верифікації темпоральних обмежень цілісності та результати порівняльних експериментів з оцінки якості проведення змін у онтологіях на прикладі архіву версій промислових онтологій.

Ключові слова: модель динаміки знань про предметну область, онтологія предметної області, процес управління змінами у онтології, темпоральне обмеження цілісності, верифікація темпорального обмеження цілісності.

TEMPORAL INTEGRITY CONSTRAINTS VERIFICATION TECHNIQUE OVER ONTOLOGY VERSIONS ARCHIVE

N.G. Keberle

Controlled ontology change management process uses declarative means to express modification constraints and tools to verify such constraints. In the paper reported are the technique of temporal integrity constraints verification and the results of comparative experiments on ontology change process quality given the archive of industrial ontologies.

Keywords: dynamic domain knowledge model, domain ontology, ontology change management process, temporal integrity constraint, temporal integrity constraint verification.