

УДК 004.82:510.643:519.688

Н.Г. Кеберле

Запорожський національний університет, Запорозжє

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЕЙ В ОНТОЛОГИЯХ

Динамические предметные области отражают развитие реального мира. Известные формальные модели динамических предметных областей в основном сфокусированы на базе фактов, лежащих в основе модели. Динамике структуры и семантики модели предметной области уделяется меньше внимания, несмотря на то, что влияние изменений в структуре/семантике более существенно. Моделирование динамической предметной области в информационной системе требует специальных средств для работы со временем. В статье предлагается формальная модель онтологии динамической предметной области, включающей временную структуру. Представлены формальный язык для описания онтологии динамической предметной области и экспериментальные результаты проверки выполнимости формул предложеного языка.

Ключевые слова: модель динамической предметной области, онтология предметной области, временная логика, логический вывод.

1. Общая постановка задачи и её актуальность

Подверженность изменениям – неотъемлемая характеристика любой предметной области. К объективным причинам изменений можно отнести изменения в самой предметной области, обусловленные внешними и не зависящими от исследователя предметной области факторами. К субъективным причинам отнесем изменения точки зрения исследователя на предметную область, расширение/сужение предметной области для нужд некоторой задачи.

Принятие факта изменчивости реального мира требует рассмотрения динамической предметной области – предметной области, претерпевающей изменения с течением времени.

Моделирование динамических предметных областей, изучение возможностей использования таких моделей в информационных системах позволяет найти новые решения для главной задачи моделирования – адекватного представления предметной области.

2. Истоки исследования и обзор известных решений

Семиотическое моделирование предметных областей, к которому относится [1] онтологический инжиниринг, предполагает построение модели в виде некоторой формальной теории – онтологии. Онтология аппроксимирует [2] понятийную структуру (иначе, концептуализацию) предметной области в виде некоторой формальной теории.

Формальная модель онтологии [1] O – это кортеж вида

$$\langle X, \mathfrak{R}, \Phi \rangle, \quad (1)$$

где X – конечное множество концептов (понятий, терминов) предметной области, которую представляет онтология O ; \mathfrak{R} – конечное множество отношений между концептами (понятиями, терминами) заданной предметной области; Φ – конечное множество функций интерпретации (аксиоматизация), заданных на концептах и/или отношениях онтологии O .

Прагматически значимые изменения, которые происходят в предметной области, необходимо приводят к рассмотрению моделей онтологии, учитывающих изменения. В настоящее время различают два подхода к моделированию онтологий с учетом изменений.

Первый подход состоит в создании системы инвариантов, которые ограничивают возможные изменения в модели, но гарантируют выполнение неких требований, связанных, например, с особенностями решаемой задачи.

Создание систем инвариантов рассматривается в работах К. Заниоло [3] (для объектно-ориентированных баз данных), Х. Греггерсена [4] (для концептуальных моделей), Л.А. Калиниченко [5] (для реляционных баз данных), Ф.И. Андона, А.Е. Яшунина и В.А. Резниченко [6] (применение алетической модальной логики для определения допустимых изменений в базах фактов), а также в работах Л. Стоянович [7 – 9], Н.Г. Кеберле [10 – 11] (для онтологий). В [11] предлагается общая модель, в которой множество допустимых операций модификации определяется для каждого составного компонента формальной

Формальная модель онтологии с допустимыми изменениями [11] – это кортеж вида

$$\langle O, \Omega \rangle, \quad (2)$$

где $O = \langle X, \mathfrak{R}, \Phi \rangle$ – формальная модель онтологии; Ω – множество допустимых операций модификации элементов O .

Определение “эталонных” изменений в работах [7–9], [12] позволяет выявлять незаконченные/ неполные изменения в онтологии, и выполнять полуавтоматический “ремонт” онтологии.

Второй подход состоит в разрешении любых изменений в модели динамической предметной области, допускаемых языком описания модели.

Д.А. Павлов вводит гибридную математическую модель развития нечетких онтологий.

Гибридная математическая модель развития онтологии [13]:

$$\text{Struct}(t) = \langle \{f_{D_i}(t)\}, \text{MRI}(t) \rangle, \quad (3)$$

где t – значение момента времени; D_i – интенсивное развитие онтологии i , такое что:

$$D = \{ \langle \text{Ont}_i, t_i \rangle \mid t_i < t_{i+1}, i = \overline{0, K} \},$$

где Ont – онтология; $f_{D_i}(t)$ – функция значения онтологии i в момент t для развития D_i ; $\text{MRI}(t)$ – конечное множество импортов аксиом элементарных онтологий в момент t для онтологии Ont .

3. Нерешенные проблемы и цели работы

Из вышеприведенного обзора следует, что моделирование динамических предметных областей развивается по двум основным направлениям: моделирование ограничений на допустимые изменения (как в модели (2)) и построение моделей с временной составляющей (как в модели (3)). Модели типа (2) в настоящее время широко распространены в областях, где объем знаний небольшой и разработчик модели знает все о предметной области (так называемый постулат “всеведения” разработчика [5]). Для больших объемов знаний модель (2) может использоваться для ограничения возможных действий пользователя (например, для запрета удаления элементов). Модель (3) не вносит никаких ограничений на возможные пути развития предметной области. Однако, несмотря на то, что в модели (3) присутствует понятие момента времени, t , его роль сводится только к нумерации версий онтологии. Специальной роли для времени не отводится. Таким образом, особенности предметной области, проявляющиеся с течением времени, способны рассмотрения развития предметной области не получают должного внимания.

В данной статье определяются концептуализации и модель онтологии динамической предметной области. Поскольку важную роль в определениях играет временная структура, рассматриваются соответствия между использованием конкретной временной структуры и способом развития динамической предметной

области, а также обсуждается реализация языков описания онтологий динамических предметных областей.

4. Концептуализации динамической предметной области

При отражении динамической предметной области в некоторой концептуализации отслеживаться должны только прагматически значимые изменения, поскольку концептуализация является моделью, в которой прагматически незначимые элементы предметной области отсутствуют.

Временная составляющая процесса изменения требует определения временной структуры, в которой развертывается изменение.

Временная структура (или временной фрейм) [14] – это кортеж

$$\langle T, \prec \rangle, \quad (4)$$

где $T = \{t_k : k = 0, 1, \dots\}$ – множество моментов времени, или состояний; \prec – отношение предшествования по времени.

Свойства фреймов. Пусть $x, y, z, w \in W$ – состояния из множества допустимых состояний, R – некоторое бинарное отношение достижимости на множестве допустимых состояний.

Тогда выполнение следующих утверждений для отношения R задает [14] свойства фрейма $F = \langle W, R \rangle$:

| | |
|---|-------------------------|
| (R) $\forall x R(x, x)$ | рефлексивность |
| (I) $\forall x \neg R(x, x)$ | иррефлексивность |
| (TR) $\forall x \forall y \forall z (R(x, y) \wedge R(y, z) \Rightarrow R(x, z))$ | транзитивность |
| (S) $\forall x \forall y (R(x, y) \Rightarrow R(y, x))$ | симметричность |
| (AS) $\forall x \forall y (R(x, y) \Rightarrow \neg R(y, x))$ | асимметричность |
| (AntiS) $\forall x \forall y (R(x, y) \wedge R(y, z) \Rightarrow x = y)$ | антисимметричность |
| (T) $\forall x \forall y (R(x, y) \vee R(y, z) \vee (x = y))$ | трихотомия |
| (LinF) $\forall x \forall y \forall z (R(x, y) \wedge R(x, z) \Rightarrow (y = z))$ | линейность в будущее |
| (LinP) $\forall x \forall y \forall z (R(x, y) \wedge R(z, y) \Rightarrow (x = z))$ | линейность в прошлое |
| (Den) $\forall x \forall y (R(x, y) \Rightarrow \exists z (R(x, z) \wedge R(z, y)))$ | плотность |
| (FinP) $\exists x \forall y \neg R(y, x)$ | конечность в прошлое |
| (FinF) $\exists x \forall y \neg R(x, y)$ | конечность в будущее |
| (InfF) $\forall x \exists y R(x, y)$ | бесконечность в прошлое |
| (InfP) $\forall x \exists y R(y, x)$ | бесконечность в будущее |
| (Dis) $\forall x \forall y (R(x, y) \Rightarrow \exists z (R(x, z) \wedge \neg \exists w (R(x, w) \wedge R(w, z)))$ | дискретность |

В зависимости от свойств множества T и отношения $<$ можно говорить о различных моделях времени. Так, например, отношение $<$, обладающее свойствами рефлексивности и транзитивности, будет моделировать линейное дискретное время, а отношение $<$ со свойством плотности будет моделировать непрерывное время.

В соответствии с [2], предлагается различать экстенциональные и интенциональные концептуализации динамической предметной области.

Экстенциональная концептуализация динамической предметной области – это кортеж

$$\left\langle \langle D_{t_k}, R_{t_k} \rangle_{t_k \in T}, \langle T, < \rangle \right\rangle, \quad (5)$$

где $\langle D_{t_k}, R_{t_k} \rangle$ – экстенциональная концептуализация в момент времени t_k ; t_k – момент времени моделирования; $D_{t_k} = \{d_{t_k}^i\}$ – конечное или счетное множество объектов в предметной области; $R_{t_k} = \{r_{t_k}^j\}$ – конечное или счетное множество отношений в предметной области; $\langle T, < \rangle$ – временная структура.

Интенциональная концептуализация динамической предметной области – это кортеж

$$\left\langle \langle D_{t_k}, \mathfrak{R}_{t_k}, W_{t_k} \rangle_{t_k \in T}, \langle T, < \rangle \right\rangle, \quad (6)$$

где $D_{t_k} = \{d_{t_k}^i\}$ – конечное или счетное множество объектов в предметной области; $\mathfrak{R}_{t_k} = \{r_{t_k}^j\}$ – конечное или счетное множество концептуальных отношений, наблюдаемых в пространстве предметной области $\langle D_{t_k}, W_{t_k} \rangle$; $W_{t_k} = \{w_{t_k}\}$ – множество возможных миров; $\langle T, < \rangle$ – временная структура.

И экстенциональная (5), и интенциональная (6) концептуализации динамической предметной области являются последовательностями статических концептуализаций, упорядоченных отношением предшествования, заданным на временной структуре.

Выбранная временная структура оказывает существенное влияние на поведение моделей интенциональной и экстенциональной концептуализаций изменчивой предметной области в истории концептуализаций.

Пример 1. Допустим, история концептуализаций изменчивой предметной области задается на бесконечной линейной в прошлое и в будущее временной структурой, т.е. отношение порядка $<$ на фрейме $F = \langle T, < \rangle$ имеет свойства InfF, InfP, LinF, LinP. Тогда с добавлением свойства дискретности времени (Dis), полученная история концептуализаций будет соответствовать ситуации, в которой мо-

дель сменяет модель мгновенно, в конкретные моменты времени – моменты проведения изменений. При этом в любой момент времени доступна единственная, актуальная в этот момент времени, модель концептуализации.

Пример 2. Если отношение порядка $<$ на фрейме $F = \langle T, < \rangle$ имеет свойства InfF, InfP, LinF, LinP и свойство плотности времени (Den), то полученная история концептуализаций соответствует ситуации, когда модель сменяет модель постепенно, в течение некоторых интервалов времени, но по заданному моменту времени указать единственную актуальную модель концептуализации нельзя.

Пример 3. Если отношение порядка $<$ на фрейме $F = \langle T, < \rangle$ имеет свойства FinF, FinP, LinF, LinP, Dis, полученная история концептуализаций соответствует ситуации конечного линейного набора версий концептуализаций, каждая из которых актуальна в конкретный момент времени, и изменения происходят мгновенно.

Пример 4. Если отношение порядка $<$ на фрейме $F = \langle T, < \rangle$ имеет свойства InfF, InfP, LinP, Dis, но свойство линейности в будущее (LinF) отсутствует, полученная история концептуализаций соответствует ситуации, при которой в будущем допускаются несколько альтернативных моделей концептуализации. Данное сочетание свойств может отражать, например, альтернативные способы изменения предметной области – что важно при совместном проведении изменений в концептуализации несколькими разработчиками.

5. Формальная модель онтологии динамической предметной области

Формальная модель онтологии динамической предметной области – это кортеж

$$\left\langle \langle O_{t_k} \rangle_{t_k \in T}, \langle T, < \rangle \right\rangle, \quad (7)$$

где O_{t_k} – онтология (1), актуальная в момент времени t_k ; $\langle T, < \rangle$ – временная структура.

Наложив на временную структуру свойства времени, как показано в п. 4, можно определять особое поведение модели (7).

Для использования модели (7) на практике в информационных системах необходимо предоставить некоторый формальный язык (или семейство языков), в котором будут средства описания времени и овремененных конструкций онтологии.

Наиболее часто для описания онтологий используют OWL¹ – основан на логике дескрипций

¹ <http://www.w3.org/2004/OWL/>

SHOIN(D) и KIF² – основан на исчислении предикатов 1-го порядка. В рамках данной статьи базовым логическим языком выбран язык логик дескрипций [15] в силу его популярности в приложениях Semantic Web, и наличия большого количества инструментальных средств работы с онтологиями, заданными в логиках дескрипций.

В обзоре [16] обсуждаются разрешимые комбинации временных логик и логик дескрипций для временной структуры со свойствами Dis, LinF, LinP, InfF, и временной структуры со свойствами Dis, LinP, InfF (т.е. ветвящейся в отношении будущего). Практических реализаций рассмотренных в [16] логических языков крайне мало, можно упомянуть лишь машину вывода [17], которая реализована в Prolog, однако временные характеристики вывода в этой машине вывода не указаны.

Для практических целей было решено комбинировать базовый язык логики дескрипций ALC с номиналами и гибридную метрическую пропозициональную логику MT [18]. Полученная логика получила название MT –ALCO .

Алфавит языка MT –ALCO состоит из:

- а) Множества букв для неовременённых атомарных концептов A, \dots , к которым относятся также предопределённые концепты top и $bottom$, и сложных концептов E, F, \dots ;
- б) Примитивных связок для неовременённых концептов \cup, t, \neg , скобок $\{, \}$, и кванторов \exists, \forall ;
- в) Множества букв для ролей R, P, \dots ;
- г) Множества букв для оременённых концептов C, D, \dots ;
- д) Множества букв для номиналов o, \dots ;
- е) Множества букв для временных номиналов a, \dots ;
- ж) Множества букв n, m, k, \dots – натуральных чисел и числа «0»
- з) Примитивных связок для оременённых концептов и формул $intersection, union, not, @, subclassof, equivalent, \langle : \rangle$;
- и) Символов модальностей $future\ n, past\ n, somefuture, somepast, allfuture, allpast$.

В языке MT –ALCO допускаются два вида концептов – неовременённые и оременённые, которые строятся с помощью конструкторов двух типов:

- а) если $A, top, bottom$ – атомарные неовременённые концепты, E, F, \dots – неовремененные концепты, R – роль, o – номинал, то множество неовременённых концептов, CON , состоит из концептов вида $A, top, bottom, \neg E, E \cup F, E t F, \exists R.E, \forall R.E, \{o\}$;

- б) если $E \in CON$ – неовремененный концепт, C, D, \dots – оремененные концепты, а \neg – временной номинал, то множество оременённых концептов, $TCON$, состоит из концептов вида $E, \{a\}, C intersection D, C union D, not C, C@ \{a\}, future\ n\ C, past\ n\ C, somefuture\ C, somepast\ C, allfuture\ C, allpast\ C$;

в) концептами языка MT –ALCO будут только те концепты, которые построены по правилам а)–б).

Таким образом, множество оременённых концептов, $TCON$, включает в себя CON – все неовременённые концепты являются частным случаем оременённых концептов.

Множество правильно построенных формул, WFF, языка MT –ALCO состоит:

- а) из всех элементов множества CON и $TCON$;
- б) из формул вида $C\ equivalent\ D, C\ subclassof\ D, not\ \phi, \phi\ union\ \psi, \phi\ intersection\ \psi$, где $C, D \in TCON$, а \neg – временной номинал, $\phi, \psi \in WFF$;

в) последовательность символов языка MT –ALCO считается формулой т. и т.т.к она построена в соответствии с правилами а)–б).

Определённая таким образом MT –ALCO разрешает применение временных и гибридного операторов только к оременённым концептам. Конструкторы ролей не применяются для оременённых концептов.

В MT –ALCO дескриптивная часть, ALCO, является расширением базовой логики LTL_{ALC} [16] (за счет конструктора номиналов), а в оременённой части временная логика $LTL(until, next)$ сводится к MT за полиномиальное время, т.к. по определению временных операторов,

$C\ until\ D =_{df}\ somefuture\ D\ intersect\ somefuture\ allpast\ C$
 $next\ C =_{df}\ future\ 1\ C$.

MT –ALCO интерпретируется в модели Крипке

$$M = \langle \Delta, dist, \{R_F, R_P\}, I, V \rangle, \quad (8)$$

где $\Delta = \{\Delta^k, k \in Z\}$ – множество возможных миров, Δ^k – множество экземпляров в k -м возможном мире, $dist: \Delta \times \Delta \rightarrow N \cup \{0\}$ – метрика на Δ , R_F, R_P – отношения достижимости, связанные условием конверсии $uR_F w = wR_P u$ для возможных миров u и w , I – функция интерпретации, и V – функция гибридной оценки.

Интерпретация I ставит в соответствие каждому Δ^k некую ALCO-интерпретацию

$$I(k) = \langle \Delta^k, I^{(k)} \rangle.$$

² <http://www-ksl.stanford.edu/knowledge-sharing/kif/>

Определим функцию соответствия $\text{Den} : \{a\} \rightarrow Z$ как отображение временных номиналов в целые числа. Наконец, для данного временно-го номинала $\{a\}$, функция гибридной оценки V ставит в соответствие $\{a\}$ уникальный возможный мир $\Delta^{\text{den}(a)}$ – элемент Δ .

МТ –ALCO имеет такую теоретико-модельную семантику:

$$\begin{aligned} (A)^{I(k)} &\subset \Delta^{I(k)} \\ (\text{top})^{I(k)} &= \Delta^{I(k)} \\ (\text{bottom})^{I(k)} &= \emptyset \\ (\text{not } C)^{I(k)} &= \Delta^{I(k)} \setminus C^{I(k)} \\ (C \text{ intersection } D)^{I(k)} &= C^{I(k)} \cap D^{I(k)} \\ (C \text{ union } D)^{I(k)} &= C^{I(k)} \cup D^{I(k)} \\ (\forall R. E)^{I(k)} &= \{a \in \Delta^k : \forall b(a, b) \in R^{I(k)} \Rightarrow b \in E^{I(k)}\} \\ (\exists R. E)^{I(k)} &= \{a \in \Delta^k : \exists b(a, b) \in R^{I(k)} \wedge b \in E^{I(k)}\} \\ (\text{future } n C)^{I(k)} &= \{o \in \Delta^k : \exists j = k + n, o \in C^{I(j)}\} \\ (\text{past } n C)^{I(k)} &= \{o \in \Delta^k : \exists j : k = j + n, o \in C^{I(j)}\} \\ (\text{somefuture } C)^{I(k)} &= \{o \in \Delta^k : \exists j \geq k, o \in C^{I(j)}\} \\ (\text{somepast } C)^{I(k)} &= \{o \in \Delta^k : \exists j \leq k, o \in C^{I(j)}\} \\ (\text{allfuture } C)^{I(k)} &= \{o \in \Delta^k : \forall j \geq k, o \in C^{I(j)}\} \\ (\text{allpast } C)^{I(k)} &= \{o \in \Delta^k : \forall j \leq k, o \in C^{I(j)}\} \\ (C @ \{a\})^{I(k)} &= \{o \in C^{I(\text{Den}(a))}\} \end{aligned}$$

Данная логика разрешима, поскольку разрешима композиция логик LTL_{ALC} .

Утверждение.

Задача проверки выполнимости формулы МТ –ALCO относится к классу EXPTIME-трудных.

Доказательство:

Проблема выполнимости на произвольном фрейме для пропозиционального временного гибридного языка $L(F, P, G, H, @)$, формирующего гибридную унимодальную временную логику с номиналами, является EXPTIME-трудной [19]. Существует сведение за полиномиальное время любой формулы $L(F, P, G, H, @)$ к эквивалентной формуле языка МТ –ALCO. МТ –ALCO – также унимодальный, т.к. не содержит конструкторы ролей, и допускает применение временных модальных операторов только к временным концептам.

Таким образом, проблема выполнимости формул для МТ –ALCO EXPTIME-трудна.

Конец доказательства.

Алгоритм табло для проверки выполнимости формул МТ –ALCO опирается на правила табло [18], [20] и на часть правил из [21], относящихся к применению временных операторов к концептам.

6. Утверждения о динамической предметной области как формулы МТ –ALCO

Рассмотрим предметную область «Студенты» как динамическую, и на примере утверждений о студентах рассмотрим семантику, заложенную в МТ –ALCO :

Пример 1.

Студент equivalent (Человек intersect (somepast Абитуриент intersect (somefuture Выпускник union somefuture Отчисленный)))

Пример 2.

Первокурсник equivalent (past 1 Абитуриент)

Пример 3.

Выпускник2010года equivalent

Выпускник @ {«2010»}

В первом примере, модель концепта «Студент» составят все экземпляры предметной области, о каждом из которых можно сказать, что он Человек, когда-то в прошлом был Абитуриентом, затем либо стал Выпускником, либо стал Отчисленным.

Во втором примере, в модель концепта «Первокурсник» войдут все экземпляры предметной области, которые в предыдущий момент времени были Абитуриентами (можно предположить, что каждому моменту времени моделирования соответствует понятие учебного года, в пределах которого семантика предметной области «Студенты» меняться не может).

В третьем примере используется гибридный оператор @, оценивающий концепт в конкретный момент времени: модель концепта «Выпускник2010» составляют все экземпляры Выпускников на момент времени «2010».

Таким образом, задавая наборы определений оременённых концептов предметной области, можно получить ту или иную онтологию динамической предметной области.

7. Экспериментальные результаты

Для проведения эксперимента с алгоритмом табло было создано пять групп по 30 утверждений на языке МТ –ALCO, в которых случайным образом применялось от 1 до 10 временных операторов к каждому концепту в аксиоме вида $C \text{ equivalent } D$, $C \text{ subclassof } D$. Онтология состояла из одной такой аксиомы. Оценивалась корректность ответа (истина/ложь), среднее время нормализации утверждения (см. [18], [20]), среднее время работы алгоритма табло.

Алгоритм табло был реализован в машине вывода Pellet-MeT, основанной на машине вывода Pellet³, доступной в исходных кодах. Полученные результаты приведены в табл. 1.

³ <http://clarkparsia.com/pellet>

Таблица 1
Статистические данные

| Тип утверждения | Используются временные операторы | Среднее время | |
|-----------------|---|--------------------|---|
| | | Нормализация, в мс | Полное время работы по алгоритму табло (включая нормализацию), в мс |
| 1 | future n, past m, not | 3,3 | 13,7 |
| 2 | future n, all-future, past m, all-past, not | 2,93 | 8,23 |
| 3 | future n, somefuture, past m, somepast, not | 2,9 | 9,3 |
| 4 | allfuture, somefuture, allpast, somepast, not | 2,63 | 4,87 |
| 5 | @, future n, past n, not | 3,13 | 6,9 |

Видно, что на нормализацию выражений типов 1, 5, содержащих future n и past m затрачивается в среднем на 5–10% больше времени, чем на нормализацию остальных типов выражений. Однако, выражения типов 1, 5 нормализуются до вида, содержащего единственный временной оператор (в силу правил нормализации), в то время как выражения типов 3, 4 в худшем случае могут быть и ненормализуемыми (например, сочетания allfuture/allpast/allfuture/allpast...не нормализуются). Полное время работы алгоритма для выражений типа 1 в среднем до 60% больше, чем для остальных типов выражений, также в силу особенностей правил табло для операторов future n / past n.

Выводы по результатам и направления дальнейших исследований

Проанализированы известные модели онтологий и их применимость для динамических предметных областей. Предложенная формальная модель онтологии динамической предметной области акцентирует важность временной структуры, в рамках которой происходят изменения в предметной области.

Показаны временные структуры, наиболее типичные для моделирования динамических предметных областей.

Представлен формальный язык – метрическая временная логика дескрипций МТ –ALCO .

Эксперименты, проведенные с алгоритмом табло для МТ –ALCO , подтверждают его приме-

нимость в качестве метода проверки выполнимости утверждений в онтологии динамической предметной области.

Список литературы

1. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. — СПб.: Питер, 2000. — 384 с.
2. Guarino N. Formal Ontology and Information Systems / N. Guarino // *Formal Ontology in Information Systems: (Frontiers in Artificial Intelligence and Applications): proceedings.* — Amsterdam: IOS Press / Ohmsha, 1998. — P. 3-15.
3. *Advanced Database Systems* / C. Zaniolo, S. Ceri, C. Faloutsos et al. — San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1997. — 574 p.
4. Gregersen H. The Formal Semantics of the TimeER model / H. Gregersen // *3rd Asia-Pacific Conference on Conceptual Modelling: proceedings.* — Hobart : Australian Computer Society, 2006. — Vol. 53. — P. 35-44.
5. Калиниченко Л.А. Методы и средства интеграции неоднородных баз данных / Л.А. Калиниченко. — М.: Наука, 1983. — 424 с.
6. Андон Ф.И. Логические модели интеллектуальных информационных систем / Ф.И. Андон, А.Е. Ялуунин, В.А. Резниченко. — К.: Наукова думка, 1999. — 396 с.
7. Stojanovic L. *Methods and Tools for Ontology Evolution: Doctoral Thesis of the University of Karlsruhe* / L. Stojanovic. — Karlsruhe, Germany, 2004. — 249 p.
8. Haase P. Consistent Evolution of OWL Ontologies / P. Haase, L. Stojanovic // *European Semantic Web Conference (ESWC'05), May 29 – June 1, 2005: proceedings.* — Springer Berlin/Heidelberg, 2005. — LNCS 3532. — P. 182-197.
9. Stojanovic L. *User-driven ontology evolution management* / L. Stojanovic, A. Maedche, B. Motik, N. Stojanovic // *European Conf. on Knowledge Engineering and Management (EKAW'02), Oct. 1-4, 2002: proceedings.* — Springer Berlin/Heidelberg, 2002. — LNCS 2473. — P. 285-300.
10. Кеберле Н.Г. Об использовании методов решения проблем для активных эволюционирующих информационных ресурсов / Н.Г. Кеберле // *Искусственный интеллект.* — 2000. — №. 3. — С. 52-59.
11. Keberle N.G. *An Approach to Dynamic Ontology Modification in Mediator Service-Oriented Information Systems* / N.G. Keberle, V.A. Ermolayev // *1st Int'l Conf. on Information Systems Technologies and its Applications (ISTA'01) June 13-16, 2001: proceedings.* — GI, 2001. — LNI P-2. — P. 248-260.
12. Klein M.C.A. Finding and characterizing changes in ontologies / M.C.A. Klein, A. Kiryakov, D. Ognyanov, D. Fensel // *21st Int'l Conf. on Conceptual Modeling (ER'2002), Oct. 7-11, 2002: proceedings.* — Springer Berlin/Heidelberg, 2002. — LNCS 2503. — P. 79-89.
13. Павлов Д.А. Методы и модели анализа развития нечетких онтологий сложных систем: дис. канд. техн. наук: 05.13.23 / Павлов Дмитрий Александрович. — X., 2008. — 139 с.
14. Blackburn P. *Representation, Reasoning, and Relational Structures: a Hybrid Logic Manifesto* / P. Blackburn // *Logic Journal of IGPL.* — 2000. — Vol. 8, No. 3. — P. 339-625.
15. *The description logic handbook : theory, implementation, and applications* / eds. F. Baader, D. Calvanese, D.L. McGuinness, D. Nardi, P.F. Patel-Schneider. — Cambridge: Cambridge University Press, 2003. — 555 p.
16. Lutz C. *Temporal Description Logics: A Survey* / C. Lutz, F. Wolter, M. Zakharyashev // *15th Int'l Symposium on Temporal Representation and Reasoning (TIME'08), June 16-18, 2008: proceedings.* — IEEE Society Press, 2008. — P. 3-14.

17. Günzel C. *A Tableaux-Based Reasoner for Temporalised Description Logics: Doctoral Thesis of the Univ. of Liverpool* / C. Günzel. – Liverpool, 2005. – 159 p.

18. Keberle N.G. *Hybrid Propositional Metric Temporal Calculus* / N.G. Keberle // *Питання прикладної математики і математичного моделювання*. – 2007. – С. 197-212.

19. Areces C. *The Computational Complexity of Hybrid Temporal Logics* [Электронный ресурс] / C. Areces, P. Blackburn, M. Marx. — Saarbrücken: Computerlinguistik, Universität des Saarlandes, 1999. – (Tech. Rep. / Universität des Saarlandes; CLAUS-Report 108). – Режим доступа: ftp://ftp.coli.uni-sb.de/pub/coli/claus/claus108.ps.

20. Keberle N.G. *On the Decidability of Propositional Metric Temporal Calculus* / N.G. Keberle // *Вісник Харків*

ського національного університету ім. В. Каразіна, 2006. – № 733. – С. 149-159. — (Серія: Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління; вип. 6).

21. Sturm H. *A tableau calculus for temporal description logic: the expanding domain case* / H. Sturm, F. Wolter // *Journal of Logic and Computation*. – 2002. – Vol. 12, no. 5. – P. 809-838.

Поступила в редколлегию 6.08.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.Н. Жолткевич, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків.

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРЕДМЕТНИХ ОБЛАСТЕЙ В ОНТОЛОГІЯХ

Н.Г. Кеберле

Динамічні предметні області відображають розвиток реального світу. Відомі формальні моделі динамічних предметних областей в основному сфокусовані на базі фактів, що складають основу моделі. Динаміці структури та семантики моделі предметної області приділяється менше уваги, незважаючи на те, що вплив змін у структурі/семантиці є більш істотним. Моделювання динамічної предметної області у інформаційній системі потребує спеціальних засобів для роботи з часом. В статті запропоновано формальну модель онтології динамічної предметної області, що включає часову структуру. Запропоновані формальна мова для опису онтології динамічної предметної області та експериментальні результати перевірки виконуваності формул цієї мови.

Ключові слова: модель динамічної предметної області, онтологія предметної області, темпоральна логіка, логічний вивід.

MODELING DYNAMIC UNIVERSES OF DISCOURSE IN ONTOLOGIES

N.G. Keberle

Dynamic domains reflect evolving nature of the world. Known formal models of a dynamic domain are mainly focused on evolution of the factual base underlying the model. Structural and semantic evolution is paid less attention although the impact of structural/semantic evolution of a domain model on an information system is much more influent. Modeling of a dynamic domain in an information system requires special means to deal with time. The paper proposes a formal model of ontology for a dynamic domain, including a time frame. Presented is a formal language for dynamic domain ontology description and experimental results of satisfiability checking problem for formulae of this language.

Keywords: model of dynamic universe of discourse, domain ontology, temporal logic, logical reasoning.