

ОПИС ПРОЦЕСУ ВЕБ-СЕРВІСУ. ТАБЛИЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Вирішення задач веб-сервісів на процесному рівні лишається актуальною проблемою вже протягом багатьох років. Дане дослідження спирається на попередні, де функціональна модель веб-сервісу та задачі цього рівня формалізуються онтологіями, побудованими на основі апарата дескриптивних логік. Але функціональна модель є статичною і не розглядає поведінки сервісу. Для аналогічної формалізації поведінки сервісу дескриптивна логіка має бути розширена темпоральними операторами, що і є фокусом даної роботи.

Для інтерпретації цих темпоральних операторів використовується табличне представлення. Дане дослідження розширює описану раніше табличну інтерпретацію темпоральних операторів майбутнього для LTL_{ACT} , використовуючи даний підхід для визначення табличного представлення операторів минулого часу LTL_{ACT} . В роботі наводиться приклад застосування табличної інтерпретації темпоральної дескриптивної логіки LTL_{ACT} до представлення динаміки конкретного прикладного процесу, а саме моделі адміністрування процесу подання на захист дисертаційної роботи на отримання ступеня доктора філософії.

Слід зауважити, що представлене в статті дослідження має певні обмеження, бо охоплює лише лінійний час і не підтримує розгалуження в часі, тобто не забезпечує можливість формалізації довільного процесу. Інтерпретація темпоральних операторів нелінійного часу є напрямком подальших досліджень.

Ключові слова: темпоральне розширення дескриптивної логіки, процесна модель веб-сервісу, таблична інтерпретація темпоральних операторів, онтології часу, часовий домен, перевірка моделі сервісу, опис динаміки веб-сервісу, лінійна темпоральна логіка, темпоральні оператори майбутнього, темпоральні оператори минулого, TDL онтологія сервісу, темпоральна структура.

V.A. Reznichenko, O.V. Zakharova

DESCRIPTION OF THE WEB-SERVICE PROCESS. TABULAR INTERPRETATION

Solving the tasks of web services at the process level is an actual problem for many years. This research is based on the previous ones, where the functional model of the web service and its tasks of this level are formalized by ontologies built on the basis of the descriptive logics. But the functional model is static and does not consider the behavior aspects of the web service. For a formalization of web service behavior, the descriptive logic should be extended by temporal operators. This is the focus of the research.

To interpret temporal operators a tabular representation is used. This study extends the tabular interpretation of future temporal operators for LTL_{ACT} previously described. It uses this approach to determine the tabular representation of LTL_{ACT} past tense operators. This paper gives an example of applying the tabular interpretation of LTL_{ACT} to describe the dynamics of a specific application process, namely, the model of the administration of the process of submitting a dissertation for the degree of Doctor of Philosophy.

It should be noted that the research presented in the article has certain limitations, because it covers only linear time and does not support branching in time. That is, it does not provide the possibility of formalizing an arbitrary process. The tabular interpretation of temporal operators of non-linear time is the direction of further researches.

Key words: temporal extension of descriptive logic, process model, Time ontology, tabular interpretation of temporal operators, time domain, checking model, defining the dynamics of the web service, linear temporal logic, temporal operators of Future, temporal operators of Past, TDL service ontology, temporal structure of the first order.

Вступ

Функціональна модель веб-сервісу розглядає сервіс як «чорну скриньку» з входами, виходами та стислим описом [1]. Тобто, користувач, обираючи сервіс(и), знає, що він

робить, які дані мають бути, за якими умовами цей сервіс виконується та результат його роботи, але не має уявлення, яким чином досягається цей результат. Однак не

завжди ефективно вирішення бізнес-задачі в сервісно-орієнтованій архітектурі можливе без урахування особливостей внутрішньої поведінки веб-сервісу.

Це особливо важливо, якщо сервіс є складним (не атомним), та, відповідно, реалізує процес, в середині якого є значущі події, стани, розгалуження, умови. Наприклад, може бути принциповим, щоб при бронюванні житла/квитків/товарів сервіс обов'язково перевіряв валідність платіжної картки замовника, а, може, й блокував потрібну суму коштів на ній і здійснював таку перевірку до завершення операції бронювання. Отже, це вже умова, яка має враховувати послідовність чи паралельність операцій в часі всередині процесу сервісу, іншими словами, часові характеристики операцій процесу. Слід зазначити, що потреба в описі часової інформації (у веб-системах, в цілому) породила різні онтології часу [2], які формалізують загальні часові поняття, такі як часові моменти, часові інтервали й календарні терміни тощо, і пропонують стандартизовані формати для представлення різних типів часової інформації. У даному дослідженні для визначення динаміки процесу будуть використовуватись поняття часових моментів, часових інтервалів та часових ланцюжків, які будуть формально описані нижче.

На процесному рівні веб-сервіс описується впорядкованим набором базових (знаючих) операцій та станів, які визначають його поведінку. Семантизація даних та поведінки веб-сервісу на цьому рівні полягає у збагаченні специфікації сервісу семантичними анотаціями, які пов'язують опис сервісу із прикладним доменом. Зазвичай це посилання на онтологію прикладної сфери, де онтологія є загальноприйнятою формалізацією домену. Якщо за формальну мову представлення онтології (статичних сутностей) обрати дескриптивну логіку (DL), то для визначення динаміки процесу, вона має бути розширена темпоральними операторами (TDL).

Слід зазначити, що доцільність використання DL онтологій у вирішенні задач веб-сервісів було обґрунтовано в [3].

Темпоральні дескриптивні логіки та бази знань. Основні поняття та визначення

Спочатку наведемо стислий опис базових понять DL компонента [4], а потім його темпоральне розширення. Всі визначення будуть базуватися на дескриптивній логіці **ALC**, що використовується просто як прототип.

Визначення 1. (Синтаксис) Нехай N_C , N_R , N_I не порожні множини імен, відповідно, концептів, ролей та індивідів, що попарно не перетинаються. Базовий концепт має форму $A \in N_C$, $\neg A$ – доповнення концепту A (інверсія). Аксиоми включення концептів: $B \sqsubseteq C$, $B, C \in N_C$. Твердження мають форму $A(a)$ або $P(a, b)$, де $A \in N_C$, $P \in N_R$, $a, b \in N_I$.

ТВох дескриптивної логіки є кінцева множина включень концептів, тоді як АВох – кінцева множина тверджень індивідів.

Семантика дескриптивної логіки вводиться через поняття інтерпретації.

Визначення 2. (Семантика) Інтерпретацією є пара $\mathcal{J} = (\Delta^{\mathcal{J}}, \cdot^{\mathcal{J}})$, де $\Delta^{\mathcal{J}}$ – непорожня множина, що називається доменом, та \mathcal{J} – функція інтерпретації, яка призначає кожному $A \in N_C$ множини $A^{\mathcal{J}} \subseteq \Delta^{\mathcal{J}}$, кожному $P \in N_R$ бінарне відношення $P^{\mathcal{J}} \subseteq \Delta^{\mathcal{J}} \times \Delta^{\mathcal{J}}$, та кожному $a \in N_I$ елемент $a^{\mathcal{J}} \in \Delta^{\mathcal{J}}$.

\mathcal{J} є моделлю $B \sqsubseteq C$, якщо $B^{\mathcal{J}} \subseteq C^{\mathcal{J}}$, моделлю $A(a)$, якщо $a^{\mathcal{J}} \in A^{\mathcal{J}}$, моделлю $P(a, b)$, якщо $(a^{\mathcal{J}}, b^{\mathcal{J}}) \in P^{\mathcal{J}}$. Якщо \mathcal{J} є моделлю всіх включень концептів з ТВох \mathcal{T} , будемо позначати це як $\mathcal{J} \models \mathcal{T}$. Якщо \mathcal{J} є моделлю всіх тверджень індивідів з A , то позначаємо це як $\mathcal{J} \models A$.

Вважатимемо, що всі інтерпретації \mathcal{J} задовольняють припущенню унікальності імен (UNA), тобто для всіх $a, b \in N_I$, якщо $a \neq b$, то $a^{\mathcal{J}} \neq b^{\mathcal{J}}$.

База знань є сукупністю всіх тверджень про предметну сферу, тобто є поєднанням аксіом $TBox$ та тверджень $ABox$.

Це загальні визначення синтаксису та семантики дескриптивних логік. Існує ціла сім'я дескриптивних логік, які відрізняються складом елементів (концептів, ролей, індивідів), а також множиною конструкторів та аксіом, що підтримуються та визначаються на цих елементах. Дане дослідження спирається на базову дескриптивну логіку \mathcal{ALC} .

Темпоральні дескриптивні логіки уможливають керування часовими даними в DL онтологіях, що фіксують часові обмеження на інтенціональному рівні.

Визначення 3. Часовий домен [5], у загальному випадку, визначається парою $(T; <)$, де T – непорожня множина моментів часу, а $<$ – лінійне відношення порядку на T .

Більшість загальноприйнятих структур, що відповідають цьому визначенню, базуються на числових множинах. Наприклад, множині натуральних $(N, <)$, цілих $(Z, <)$ чи дійсних $(R, <)$ чисел, де відношення впорядкування зазвичай інтерпретується як «менше, ніж». З моментів часу можуть будуватися більш складні часові елементи (інтервали, ланцюжки тощо).

Визначення 4. Темпоральна інтерпретація DL (TDL) $\mathcal{J} = (\Delta, \cdot^{\mathcal{J}})$ складається з непорожнього домена Δ та функції інтерпретації $\cdot^{\mathcal{J}}$, яка відображає:

- кожне ім'я індивіда $a \in N_I$ в елемент $a^{\mathcal{J}} \in \Delta$;
- кожне ім'я концепта $A \in N_C$ в підмножину $A^{\mathcal{J}} \subseteq T \times \Delta$;
- кожне ім'я ролі $R \in N_R$ в підмножину $R^{\mathcal{J}} \subseteq T \times \Delta \times \Delta$.

У цьому визначенні T – домен, що представляє час $(T, <)$. Тобто, концепти та ролі (їхній склад) змінюються в часі. У даній темпоральній інтерпретації імена індивідів НЕ змінюються в часі й інтерпретуються од-

наково на всій часовій осі, тобто є фіксованими.

Визначена інтерпретація – спеціальний випадок темпоральної структури першого порядку, не містить функціональних символів, предиката рівності та n -місних предикатів з $n > 2$.

Зазвичай темпоральна база знань містить глобальний (незмінний в часі) $TBox$ та сенсорні дані ($ABox$ -и) для визначеної множини моментів або інтервалів часу. На сьогодні відомо чимало темпоральних логік, які, перш за все, відрізняються способом визначення часової складової: лінійна (LTL), інтервальна (ITL), зрізана лінійна темпоральна логіка (TLTL) тощо. Для специфікації конкретної темпоральної логіки важливо, чи є час безперервним або дискретним, лінійним або розгалуженим, як визначається майбутнє й минуле, що таке поточний час, структура (моменти, інтервали, ланцюжки інтервалів) та способи вимірювання часу.

Як вже було зазначено, в даному дослідженні будемо розглядати дискретний час (лінійно впорядкована цілочисленна часова вісь) та спиратися на множину темпоральних операторів логіки LTL, хоча вона є недостатньою для опису процесу сервісу у загальному випадку, адже не підтримує розгалуження у часі, що, зазвичай, можуть бути притаманними процесу. Інтерпретація темпоральних операторів STL*, яка узагальнює LTL та STL й дозволяє описувати розгалуження процесу у часі, є предметом подальших досліджень.

Метою є розширення дескриптивної логіки темпоральними операторами стандартної темпоральної логіки та аналіз отриманої моделі в аспекті застосування для опису лінійного процесу веб-сервісу та умов його поведінки. Тобто даний підхід припускає використання темпоральних операторів у базовій дескриптивній логіці як конструкторів концептів, що уможливають опис динаміки сервісу через зміну членства індивідів у концептах DL, ролей DL та $ABox$, вцілому в часі. Вважатимемо, що $TBox$ лишається незмінним.

Вбудовування темпоральних операторів в DL, зокрема DL \mathcal{ALC} , здійснюється наступним чином (синтаксис $LTL_{\mathcal{ALC}}$) [6]:

$T \mid \perp \mid A \mid \neg C \mid C \wedge D \mid C \vee D \mid \exists R.C \mid \forall R.C$ – конструктори концептів \mathcal{ALC} ,

$\circ C \mid \diamond C \mid \square C \mid C \mathcal{U} D \mid C \mathcal{R} D$ – оператори LTL майбутнього,

$\sigma^{-1}C \mid \diamond^{-1}C \mid \square^{-1}C \mid C \mathcal{U}^{-1}D \mid C \mathcal{R}^{-1}D$ – оператори LTL минулого, де C та D довільні концепти.

Семантики наведених темпоральних операторів визначаються як:

$(\circ C)^{\mathcal{J}} = \{(n, d) \mid (n+1, d) \in C^{\mathcal{J}}\}$ – наступний; (1)

$(\diamond C)^{\mathcal{J}} = \{(n, d) \mid \exists m \geq n (m, d) \in C^{\mathcal{J}}\}$ – має місце в певний момент часу в майбутньому; (2)

$(\square C)^{\mathcal{J}} = \{(n, d) \mid \forall m \geq n (m, d) \in C^{\mathcal{J}}\}$ – має місце завжди в майбутньому; (3)

$(C \mathcal{U} D)^{\mathcal{J}} = \{(n, d) \mid \exists m \geq n ((m, d) \in D^{\mathcal{J}} \wedge (k, d) \in C^{\mathcal{J}} \text{ для } n \leq k < m)\}$ – має місце доки; (4)

$(C \mathcal{R} D)^{\mathcal{J}} = \{(n, d) \mid \text{або } \forall m \geq n (m, d) \in D^{\mathcal{J}}, \text{ або } \exists k \geq n ((k, d) \in C^{\mathcal{J}} \wedge (m, d) \in D^{\mathcal{J}} \text{ для } n \leq m \leq k)\}$ – звільнити (Release). (5)

Оператори минулого часу є інверсними відносно аналогічних операторів майбутнього та мають наступну семантику:

$(\sigma^{-1}C)^{\mathcal{J}} = \{(n, d) \mid n > 0 \wedge (n-1, d) \in C^{\mathcal{J}}\}$ – попередній; (6)

$(\diamond^{-1}C)^{\mathcal{J}} = \{(n, d) \mid \exists m \leq n (m, d) \in C^{\mathcal{J}}\}$ – має місце в певний момент часу в минулому; (7)

$(\square^{-1}C)^{\mathcal{J}} = \{(n, d) \mid \forall m \leq n (m, d) \in C^{\mathcal{J}}\}$ – має місце завжди в минулому; (8)

$(C \mathcal{U}^{-1} D)^{\mathcal{J}} = \{(n, d) \mid \exists m \leq n ((m, d) \in D^{\mathcal{J}} \wedge (k, d) \in C^{\mathcal{J}} \text{ для } m < k \leq n)\}$ – має місце поки (Until) в минулому, або з того моменту (Since); (9)

$(C \mathcal{R}^{-1} D)^{\mathcal{J}} = \{(n, d) \mid \text{або } \forall m \ 0 \leq m \leq n (m, d) \in D^{\mathcal{J}}, \text{ або } \exists k \leq n ((k, d) \in C^{\mathcal{J}} \wedge (m, d) \in D^{\mathcal{J}} \text{ для } n \geq m \geq k)\}$ – звільнити (Release) в минулому, або тригер (Trigger). (10)

Наведені постулати визначають темпоральну інтерпретацію DL.

Табличне представлення ТДЛ

В [7] автори запропонували табличну інтерпретацію майбутнього часу темпоральної DL. Цінність табличного представлення полягає в його простоті, наочності, а також можливості легкого конвертування у таблиці для зберігання відповідних даних та знань і подальшої роботи з ними. Ідея полягає в тому, що семантика всіх операторів подається у вигляді таблиць, де по вертикалі розташовуються індивіди концепта, а по горизонталі – моменти часу.

На часовій осі визначаються три типи елементів часу (що розглядаються в межах даного дослідження):

– момент часу – одна комірка таблиці;

– інтервал часу – поспіль розташовані по горизонталі комірки. У виродженому випадку інтервал може складатися з однієї комірки, тобто початок та кінець інтервалу співпадають;

– часовий ланцюжок – впорядкована послідовність інтервалів, що розташовані по горизонталі. Інтервали у ланцюжку не можуть ані перетинатися, ані торкатися. У виродженому випадку ланцюжок може містити лише один інтервал. Ланцюжок, який складається з двох (чи більше) комірок, НЕ може розглядатися як два (чи більше) самостійних моментів часу.

В табличній інтерпретації кожний темпоральний концепт (атомарний чи складовий) є двомірною таблицею, один вимір якої є вісь часу, другий – індивіди концепта. Аналогічно для ролі. З точки зору поняття темпоральної інтерпретації та застосування темпоральних операторів роль не відрізняється від концепта. Різниця полягає лише в тому, що для концепта ці поняття визначаються для множини індивідів, а для ролі – для множини пар індивідів. Тобто, роль представляється двомірною таблицею, один

Сенс оператора $\diamond C$ - «у майбутньому настане такий момент часу, коли буде мати місце концепт C » (у кожному рядку знаходиться перша права сіра комірка і всі комірки ліворуч аж до першої, перефарбовуються на сірі).

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\diamond C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| $\diamond C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| C | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| $\diamond C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| C | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| $\diamond C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

Темпоральний оператор $\square C$ означає, що «з даного моменту завжди в майбутньому буде мати місце концепт C » (для кожного рядка таблиці інтерпретації концепта розміщена перша права біла комірка, і всі комірки ліворуч фарбуються в білий колір).

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\square C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| $\square C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| C | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| $\square C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| C | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| $\square C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

Оператор CUD означає, що «відносно даного моменту часу настане такий момент у майбутньому, що в ньому буде мати місце концепт D , й протягом усього цього діапазону (тобто доки - UNTIL), буде мати місце концепт C ». Іншими словами, у майбутньому D стане істинним, а до того моменту буде істинним C . Для кожного безперервного інтервалу сірих комірок таблиці інтерпретації концепту C розміщена крайня права сіра комірка D (в межах часового інтервалу даного діапазону C) і цей діапазон обрізається праворуч

відносно цієї сірої комірки D . Якщо в межах інтервалу сірих C немає жодної сірої D , то цей діапазон не зараховується до результату оператора U .

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| C | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CUD | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Більш детальний розгляд TDL операторів майбутнього та їхня таблична інтерпретація наведена в [7]. Далі аналогічним чином визначимо табличну інтерпретацію для темпоральних операторів минулого часу та введемо кілька нових операторів, які будуть виражатися через базові і таким чином не підвищуватимуть виразну спроможність TDL, але забезпечать зручніші формальні засоби у вирішенні прикладної задачі.

Таблична інтерпретація темпоральних операторів минулого. Семантика темпоральних операторів минулого часу була визначена вище, в постулатах (6) – (10). Та, як було зазначено, оператори минулого часу є інверсними щодо аналогічних операторів майбутнього.

Так оператор O^{-1} є інверсним до оператора майбутнього O . $O^{-1}C$ означає, що «у попередній момент часу мав місце концепт C ». Іншими словами, концепт $O^{-1}C$ є істинним в певний момент часу n , якщо C є істинним у момент часу $n-1$. В табличній інтерпретації це означає зсув сірих комірок на одну праворуч. Продемонструємо дію оператора на прикладі.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $O^{-1}C$ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| $O^{-1}C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| $O^{-1}C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| C | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| $O^{-1}C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

Оператор \diamond^{-1} є інверсним до темпорального оператора майбутнього \diamond . Сенс оператора $\diamond^{-1}C$ - «в минулому існував такий момент часу, коли мав місце концепт C ». Іншими словами, концепт $\diamond^{-1}C$ є істинним на даний момент часу, якщо C був істинним в певний момент часу в минулому. В табличній інтерпретації для кожного рядка таблиці інтерпретації концепта розташована перша ліва сіра комірка і всі наступні комірки аж до останньої перетворюються на сірі. Якщо такої комірки не існує, то весь рядок залишається білим. Таблиця нижче демонструє дію оператора на прикладі.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\diamond^{-1}C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| $\diamond^{-1}C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| C | | | ■ | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| $\diamond^{-1}C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| C | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |
| $\diamond^{-1}C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

Оператор \square^{-1} є інверсним до темпорального оператора \square . $\square^{-1}C$ означає, що «з даного моменту часу завжди в минулому мав місце концепт C ». Іншими словами, концепт $\square^{-1}C$ є істинним в даний момент, якщо C є істинним у всі моменти часу в минулому (відносно даного моменту). В табличній інтерпретації для кожного рядка таблиці інтерпретації концепта розташована перша ліва біла комірка, і всі наступні комірки аж до останньої перетворюються на білі. Якщо такої комірки не існує, то весь рядок лишається сірим.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\square^{-1}C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| $\square^{-1}C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| C | | | ■ | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| $\square^{-1}C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| C | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |
| $\square^{-1}C$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

Сенс темпорального оператора минулого $C\mathcal{U}^{-1}D$ - «щодо даного моменту часу в минулому існував такий момент часу, в якому мав місце концепт D , і з того моменту (SINCE) мав місце концепт C ». Іншими словами, колись у минулому мав місце концепт D , і відтоді був істинним концепт C . У табличній інтерпретації в результат дії оператора потрапляють ті сірі комірки C , що отримуються наступним чином: для кожного безперервного інтервалу сірих C розташована крайня ліва сіра комірка D (в межах цього часового інтервалу C) і по ній обрізається даний сірий інтервал ліворуч. Якщо в межах діапазону сірих C немає жодної сірої D , то цей інтервал не включається до результату \mathcal{U}^{-1} . Продемонструємо дію оператора на прикладі.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |
| D | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | ■ | |
| $C\mathcal{U}^{-1}D$ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

Оператор $C\mathcal{R}^{-1}D$ означає: «до результату потрапляють всі інтервали/ комірки концепта C та додатково, коли відносно даного моменту часу був такий момент часу в минулому, що в ньому мав місце C , і протягом всього цього інтервалу мав місце концепт D , а також ланцюжок, де був істинним $\square^{-1}D$ ». Таблична інтерпретація оператора демонструється на прикладі нижче. До результату дії оператора потрапляють:

видалення відповідної кількості інтервалів праворуч.

S_1^L – вибір крайнього лівого інтервалу в ланцюжку. Можна сказати, що дана операція за дією є протилежною до $D_1^L C$, тому що в результаті в таблиці інтерпретації залишається тільки крайній лівий інтервал. $S_1^L C$ обчислюється за формулою: $S_1^L C = C \sqcap \square^{-1}(C \sqcup \diamond^{-1} C)$.

Продемонструємо дію оператора на прикладі інтерпретації концепта C , що визначена в таблиці нижче.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\diamond^{-1} C$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\neg \diamond^{-1} C$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $C \sqcup \neg \diamond^{-1} C$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\square^{-1}(C \sqcup \neg \diamond^{-1} C)$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $C \sqcap \square^{-1}(C \sqcup \neg \diamond^{-1} C)$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

S_2^L – вибір другого зліва інтервалу у ланцюжку. Результат досягається наступною послідовністю операцій: видаляється крайній лівий інтервал ланцюжка, потім обирається крайній лівий інтервал в тому ланцюжку, що лишився. Обчислюється за формулою: $S_2^L C = D_1^L C \sqcap \square^{-1}(D_1^L C \sqcup \diamond^{-1} D_1^L C)$.

S_n^L - вибір n -го (третього і далі) інтервалу ліворуч у ланцюжку здійснюється так само.

S_n^R - вибір n -го (першого, другого і т.д.) інтервалу праворуч у ланцюжку, виконується симетрично аналогічному вибору ліворуч, описаного вище.

DI_1^L – видалення першої лівої комірки в інтервалі. Результат досягається наступною послідовністю раніше визначених операцій: $DI_1^L C = C - (C - O^{-1} C)$. Продемонструємо дію даного оператора на прикладі:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $O^{-1} C$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $C - O^{-1} C$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $C - (C - O^{-1} C)$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Видалення двох чи більше комірок в інтервалі здійснюється ітераційним виконанням оператора DI_1^L , наприклад, $DI_2^L C = DI_1^L(DI_1^L C)$ – видалення двох крайніх лівих комірок в інтервалі.

DI_1^R – видалення першої правої комірки в інтервалі. Даний оператор є симетричним до попереднього та обчислюється наступним чином: $DI_1^R C = C - (C - OC)$. Таблиця нижче демонструє побудову та дію оператора на прикладі.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $C - OC$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $C - (C - OC)$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Видалення двох чи більше комірок в інтервалі здійснюється ітераційним виконанням $DI_1^R C$, так, $DI_2^R C = DI_1^R(DI_1^R C)$ – видалення двох крайніх правих комірок в інтервалі і так далі.

AI_1^L – додавання до інтервалу однієї комірки ліворуч. Результат обчислюється за формулою: $AI_1^L C = C \sqcup OC$. Продемонструємо роботу даного оператора на прикладі в таблиці нижче.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $C \sqcup OC$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Якщо інтервал примикає до лівого боку таблиці, то до нього нічого не додається.

Так само можна додати ліворуч будь-яку кількість комірок.

Оператор AI_1^R додає до інтервалу одну комірку праворуч, є симетричним попередньому оператору та обчислюється за формулою: $AI_1^R C = C \sqcup O^{-1} C$. Наведемо приклад, що демонструє роботу оператора, в таблиці нижче.

та її застосування для представлення динаміки процесної моделі веб-сервісу.

Визначення веб-сервісу, пошукового запиту та задач виявлення та композиції веб-сервісів на функціональному рівні засобами дескриптивних логік уже було наведено у попередніх дослідженнях. Але функціональна модель сервісу не розкриває його поведінки, а дескриптивна логіка сама собою не дає можливості опису динаміки. Саме використання темпоральних операторів забезпечує формальний інструментарій для опису процесу.

Тому основним питанням даного дослідження є розширення дескриптивної логіки темпоральними операторами та інтерпретація їх через табличне представлення. Слід зазначити, що табличну інтерпретацію для операторів майбутнього часу лінійної темпоральної логіки було наведено в попередніх дослідженнях. Дана робота є розширенням, що, за аналогією, вводить табличну інтерпретацію темпоральних операторів минулого часу LTL ALC.

У роботі наводиться приклад опису прикладного процесу веб-сервісу засобами табличної інтерпретації LTL, розширеної темпоральними операторами. Але для опису довільної поведінкової моделі сервісу не достатньо засобів LTL ALC, тому що вона не охоплює операторів розгалуження. Вивчення та визначення табличної інтерпретації темпоральних операторів для нелінійних темпоральних логік, зокрема CTL, є напрямком подальших досліджень.

Література

1. Web Service composition: Semantic Links based approach. Freddy L'ecu', Doctor of Philosophy, 2008.
2. Hobbs, J.R., Pan, F.: An ontology of time for the semantic web. ACM Trans. Asian Lang. Inf. Process. 3(1) (2004) 66-85.
3. Захарова О. Використання дескриптивних логік в проблематиці web-сервісів. Проблеми програмування. 2015. N 1. С. 38–50.
4. Gutiérrez-Basulto, V., Klarman, S.: Towards a unifying approach to representing and querying temporal data in description logics. In: Krötzsch, M., Straccia, U. (eds.) RR 2012. LNCS, vol. 7497, pp. 90–105. Springer, Heidelberg (2012).

5. Montanari, A., Chomicki, J.: Time domain. In: Encyclopedia of Database Systems. (2009) 3103-3107.
6. Carsten Lutz, Frank Wolter, and Michael Zakharyashev. Temporal description logics: A survey. In 15th International Symposium on Temporal Representation and Reasoning, 2008. IEEE Computer Society Press, P. 3–14.
7. Reznichenko V., Chystiakova I. Table interpretation of the temporal description logic LTLALC *Prombles in programming 2022; 3-4: 216-230*
8. Zakharova O. Defining and resolving Web-services discovery problems using description logics formalism. Problems in programming. 2017. N 4. P. 66–78.
9. Schlingloff H., Martens A., Schmidt K. Modeling and Model Checking Web Services. Electronic Notes in Theoretical Computer Science. (2005) V. 126. P. 3-26.

References

1. Web Service composition: Semantic Links based approach. Freddy L'ecu', Doctor of Philosophy, 2008.
2. Hobbs, J.R., Pan, F.: An ontology of time for the semantic web. ACM Trans. Asian Lang. Inf. Process. 3(1) (2004) 66-85.
3. Zakharova O. Descriptive logic using in Web-service problems. Problems in programming. 2015. N 1. С. 38–50.
4. Gutiérrez-Basulto, V., Klarman, S.: Towards a unifying approach to representing and querying temporal data in description logics. In: Krötzsch, M., Straccia, U. (eds.) RR 2012. LNCS, vol. 7497, pp. 90–105. Springer, Heidelberg (2012).
5. Montanari, A., Chomicki, J.: Time domain. In: Encyclopedia of Database Systems. (2009) 3103-3107.
6. Carsten Lutz, Frank Wolter, and Michael Zakharyashev. Temporal description logics: A survey. In 15th International Symposium on Temporal Representation and Reasoning, 2008. IEEE Computer Society Press, P. 3–14.
7. Reznichenko V., Chystiakova I. Table interpretation of the temporal description logic LTLALC *Prombles in programming 2022; 3-4: 216-230*
8. Zakharova O. Defining and resolving Web-services discovery problems using description

logics formalism. Problems in programming. 2017. N 4. P. 66–78.

- Schlingloff H., Martens A., Schmidt K. Modeling and Model Checking Web Services. Electronic Notes in Theoretical Computer Science. (2005) V. 126. P. 3-26.

Одержано: 06.11.2024

Внутрішня рецензія отримана: 11.11.2024

Зовнішня рецензія отримана: 12.11.2024

Про авторів:

Резніченко Валерій Анатолієвич,
кандидат фізико-математичних наук,
провідний науковий співробітник.
<http://orcid.org/0000-0002-4451-8931>

Захарова Ольга Вікторівна,
кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник.
<http://orcid.org/0000-0002-9579-2973>.

Місце роботи авторів:

Інститут програмних систем
НАН України,
E-mail: ozakharova68@gmail.