

В. Р. Сенченко

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України
вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

Семантична сумісність процесів складних сценаріїв аналітики

Сучасні сценарії аналітики стають все більш складними, багаторівневими та мережевими. Це означає, що існуючі алгоритми обробки даних, веб-сервіси, аналітичні платформи, чисельні плагіни, створені різними командами розробників, повинні бути доступними, зрозумілими та придатними для інтеграції у сценарії аналітика шляхом подолання різного роду неоднорідностей і логічних невідповідностей. Одним із методів подолання неоднорідності та логічної неузгодженості є семантичне посередництво — Mediation, яке здійснюється спеціальними програмними засобами, що використовують знання про певні набори даних предметної області, умови логічних переходів між кроками сценаріїв та інше. У статті розглянуто теоретичні аспекти вирішення проблем сумісності в галузі побудови складних сценаріїв. Особливу увагу приділено онтологічним аспектам подолання невідповідностей при здійсненні багатofакторних переходів між кроками складного сценарію. Тобто розглянуто та класифіковано невідповідності, умови сумісності, зручність використання, їхні властивості та взаємозв'язки, концепції посередництва, функції семантичного медіатора. Запропоновано шляхи їхнього вирішення та розглянуто інструментальне середовище для реалізації семантичного медіатора.

Ключові слова: аналітична діяльність, семантична сумісність процесів, семантичний медіатор, онтологія.

Вступ

Семантичне управління аналітичною діяльністю (АнД) — це комбінація технологій корпоративного семантичного веб, таких як правила, формалізми процесів обробки даних, функцій, процедур, семантичних умов переходів між кроками сценарію та онтології з керування процесами аналітики в цілому [1]. Така унікальна комбінація сприяє автоматизації формування та інтелектуалізації складного сцена-

рію АнД, включаючи процеси накопичення знань щодо особливостей функціонування аналітичної системи та знань про дії аналітика [2]. Це перш за все стосується процесів виявлення типових невідповідностей між компонентами сценарного процесу, а також питань семантичного посередництва між різнорідними інтерфейсами та рівнями абстракції при опису процесів обробки даних для їхнього аналізу та дослідження. У розподіленому аналітичному середовищі різні команди розробників, постачальники послуг використовують різні словники або онтології для опису інструментів/послуг даних, наприклад, інструментів аналізу даних/візуалізації/аналізу. Це ускладнює використання та доступність інструментів і сервісів для обробки даних та об'єктивно вимагає залучення засобів посередництва, щоб дозволити різнорідним програмним компонентам взаємодіяти.

Функціональна або семантична сумісність є надзвичайно складною проблемою, яка вимушена розвиватися з об'єктивних причин. Незважаючи на те, що дослідники з різних предметних областей (ПрО) намагаються вирішити проблеми сумісності протягом багатьох років, часто неясно, які принципи або ключові результати були досягнуті [5]. Серед дослідників і досі існує широкий діапазон поглядів на те, що означає «сумісність» [6, 7], оскільки це поняття дуже залежить від контексту дослідження та семантики ПрО — дослідницькі інфраструктури, цифрові бібліотеки, веб-сервіси, системи обробки даних і люди — аналітики, керівники, програмні компоненти, організаційні структури тощо. Це призводить до широкого спектра визначень, де на одному кінці спектра є визначення, які зосереджуються переважно на технологічних аспектах, а на іншому — на юридичних аспектах. Як наслідок, семантична сумісність є багатогранним комплексним поняттям, яка вирішується фахівцями з урахуванням особливостей ПрО.

Так, наприклад, в області охорони здоров'я забезпечення взаємодії між різними додатками дуже актуальне, оскільки відсутність сумісності даних стала значною проблемою в обміні інформацією, інтеграції та розробці міждоменого додатка [3]. Платформи охорони здоров'я використовують гетерогенні моделі даних і різні протоколи обробки даних, навіть різні терміни та формати даних. Модель семантичного посередництва намагається вирішити ці неузгодженості та базується на кількох функціях забезпечення сумісності, головна з яких семантична анотація з використанням відповідної програми медіатора. Процес семантичної анотації дозволяє анотувати дані на основі моделі даних і семантичної онтології в області охорони здоров'я, яка дозволяє логічно зв'язувати дані різних доменів за допомогою медіатора.

Друга публікація присвячена вирішенню проблеми забезпечення семантичної сумісності між операціями та даними інтерфейсів Facebook і Google, що сприяє забезпеченню соціальної взаємодії між користувачами при використанні програмними компонентами різних інтерфейсів [4]. У статті пропонується підхід, який поєднує онтологічні міркування та програмування обмежень, щоб створити відображення між інтерфейсами цих компонентів. Тобто встановлення смислової відповідності між діями інтерфейсів компонентів є вирішальним кроком до синтезу посередників. Для того, щоб дозволити компонентам правильно взаємодіяти, посередник повинен координувати їхню поведінку. Потім згенеровані відображення використовуються для дослідження поведінки обох компонентів, щоб автоматично синтезувати посередника, який забезпечує їхню безпечну взаємодію.

Аналогічні проблеми виникають і при вирішенні питань сумісності в таких галузях як моделювання бізнес-процесів, де інформаційні моделі на основі онтології використовуються для семантичного моделювання інформаційних потоків у бізнес-процесах [8, 9]. Семантичні мости (медіатори) на основі правил застосовуються для автоматизованого посередництва між різними словниками домену, які використовуються в моделях процесів організацій. Наявність формальних інформаційних моделей Про полегшує семантичне посередництво між гетерогенними концептуалізаціями, які використовуються різними організаціями або доменами, з точки зору застосування, так званих, семантичних мостів. Це дозволяє здійснювати взаємобмін і взаємозв'язок моделей бізнес-процесів, а також посередництво між абстрактним рівнем бізнесу та конкретним рівнем ІТ.

Мета статті

Основна ідея того, що називається семантичною сумісністю процесів складних сценаріїв аналітики, полягає в тому, щоб використовувати інформаційні моделі на основі онтології для надійного проектування багатофакторних умов переходів між кроками розгалуженого сценарію аналітичної діяльності. Проблема посилюється тим, що для прискорення розробки аналітичних сценаріїв розробник вимушений залучати існуючі алгоритми обробки даних, веб-сервіси, аналітичні платформи, чисельні плагіни, створені різними командами розробників. А, як відомо, різні команди розробників, використовують різні словники або онтології для опису інструментів/послуг даних, що вимагає залучення засобів посередництва, щоб дозволити різнорідним сторонам спілкуватися та взаємодіяти.

Отже, мета статті — надати теоретичний підхід для визначення того, чи сумісні семантично описані процеси переходів складного сценарію, і які дії необхідно виконати, щоб забезпечити успішну взаємодію між кроками сценарію в умовах багатофакторних переходів.

Для досягнення мети, в статті викладено та доведено набір визначень і теорему. У разі сумісності процесів запропоновано посередницький підхід із залученням спеціальної програми медіатора, яка під час виконання сценарію використовується для вирішення розбіжностей і невідповідностей.

Основні визначення

Сценарій аналітичної діяльності

Під сценарієм Анд розуміється сукупність методів опису процесів, функцій, процедур і умов переходів між кроками сценарію (особливо для багатофакторних Про при жорстко заданих обмеженнях), застосування яких сприяє генерації різних шляхів досягнення цілей аналітичного дослідження з урахуванням багатофакторності і обмежень [2]. На рис. 1 наведено графічне відображення складного сценарію у вигляді можливих варіантів дій, які, залежно від настання внутрішніх і зовнішніх факторів (умов переходів), дають різні шляхи дій для кожного окремого кроку сценарію — S_n .

Формально аналітичний процес представляється орієнтованим графом — $Gr(S)$, який відображає послідовності можливих дій (атомарних процесів —

$S_n(Pr_i)$ сценарію), що сприяють досягненню мети дослідження аналітиком, наприклад $Aim(A)$ [2].

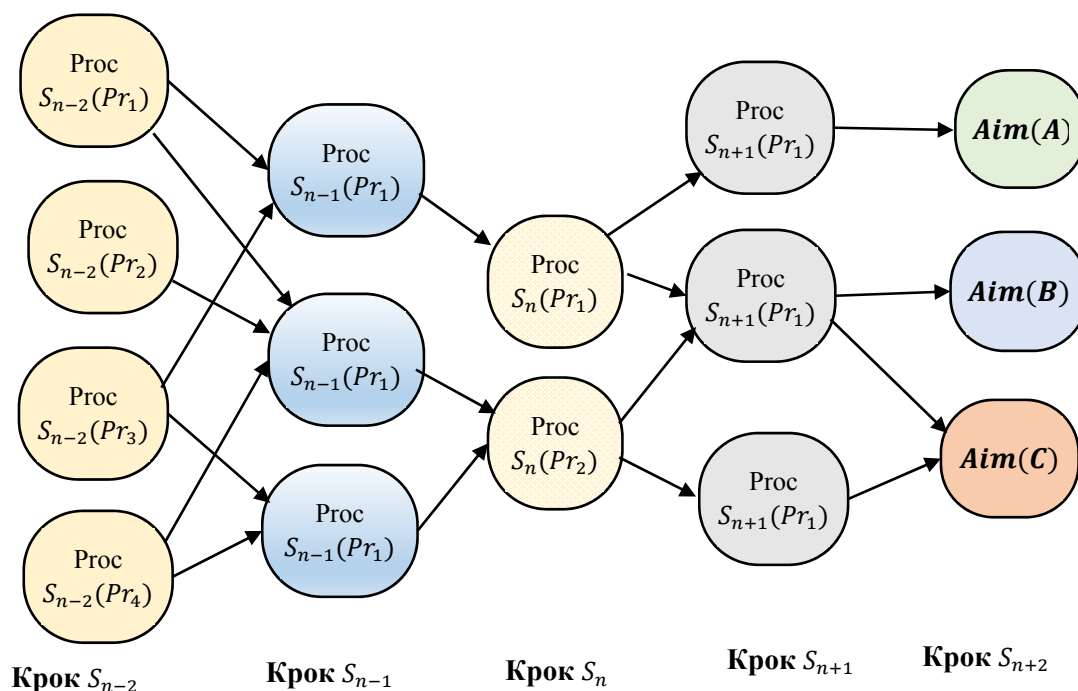


Рис. 1. Граф можливих варіантів дій користувача розгалуженого сценарію аналітичної діяльності

Для більшої реалістичності вважаємо, що деякі атомарні процеси $S_n(Pr_i)$ можуть бути невідповідними умовам певних переходів — $Cond_{S_i}$ на наступний крок сценарію. Завдання полягає в тому, щоби з накопичених даних отримати знання про процеси та умови переходів, на основі яких інтелектуальний засіб (семантичний медіатор) у змозі запропонувати найбільш вірогідну дію користувача, виходячи з аналізу попередніх кроків і враховуючи, так звану, семантичну сумісність процесів.

Семантична сумісність процесів аналітики та визначення медіатора

Сумісність є однією із основних проблем не тільки у галузі аналітики, але й у програмній інженерії, що зумовлено зростаючою потребою складання динамічно змінюваних процесів [5]. У контексті виконання багаторівневих сценаріїв АнД *семантична сумісність* процесів $S_n(Pr_i)$, з яких складається будь-який складний сценарій, часто ускладнюється відмінностями семантики взаємодії як самих атомарних процесів, так і програмних компонентів, які реалізують ці процеси. Один з головних факторів, який вносить відмінності в семантику процесів взаємодії кроків сценарію, можна пояснити тим, що складні алгоритми обробки даних часто використовують різні програмні платформи та реалізуються різними командами розроб-

ників, що, безумовно, потребує узгодження опису процесів і їхнього змісту як на онтологічному, так і на семантичному рівнях.

Тобто, щоб усунути ці відмінності без зміни програмних компонентів, потрібні посередники, які забезпечують взаємодію між функціонально сумісними компонентами шляхом відображення їхніх інтерфейсів, а також координації їхньої поведінки — умов багатофакторних переходів — $Cond_{S_i}$ між кроками сценарію [9].

З теоретичної точки зору виконання кроків складного сценарію АнД описується двома принципово різними компонентами: поточними даними та виконавчими процесами, які відображають сутність аналітичного дослідження даних [3]. У разі сумісності процесів запропоновано посередницький підхід — Semantic Process Mediation (SPM) для розв'язання розбіжностей, які виникають у переходах між кроками виконання складного сценарію АнД. Цей підхід засновано на базі онтологічної моделі комунікаційного посередника — Semantic Communication Mediator (SCM), який застосовується для вирішення аналогічних проблем у сфері інформаційних технологій — Semantic Web Service [17, 18].

Семантична модель посередництва SCM складається з механізму вирівнювання онтології у взаємодіючих процесах і базується на кількох функціях забезпечення семантичної сумісності, які включають головним чином:

— семантичну анотацію поточних даних для перевірки коректності логічних переходів між різними кроками сценарію. Семантична анотація даних сценарію досягається шляхом покращення вмісту, умов визначення переходів, що забезпечує взаємозв'язок між кроками сценарію, а також робить їх придатними для машинного читання;

— семантичне вирівнювання онтології (установлення співвідношень між сутностями онтології, які виконані в різних моделях, нотаціях і різними командами розробників) з урахуванням гетерогенних виконавчих комп'ютерних моделей при взаємодії різних рівнів та умов переходів складного сценарію;

— загальну модель даних для єдиного представлення ПрО сценаріїв АнД, яка має містити базові сутності онтології, включаючи опис логіки умов переходів між кроками сценаріїв;

— онтологічні моделі ПрО сценаріїв для підтримки процесів семантичного посередництва при вирішенні розбіжностей SCM, які можуть виникнути у переходах між кроками виконання складного сценарію АнД.

На рис. 2 показано місце та функції SCM на прикладі розв'язання розбіжностей у варіантах переходу між двома кроками складного сценарію. З метою демонстрації взаємодії кроків реального сценарію, умови багатофакторного переходу показані в нотації BPMN через застосування логічних операторів — шлюзи (Gateway) [19]. Оскільки умови багатофакторного переходу потребують ретельного опису дій шлюзів, на рисунку наведено приклад з 3-ма шлюзами з певними функціями: **Gat1** — AND, **Gat2** — AND, **Gat3** — XOR. У свою чергу, кожний логічний оператор описується відповідними умовами $Cond_{S_{n+1}}$ (*Gati*), що дає можливість обрати один із 4-х варіантів продовження сценарію на кроці S_{n+1} , як показано на рис. 2. Інформація про умови переходу міститься в онтологічній моделі сценарію, яка використовує технологію перетворення XML-файл сценарію в QWL-модель сценарію (технологія конвертації BPMN-to-S-BPM-Ontology [15]).

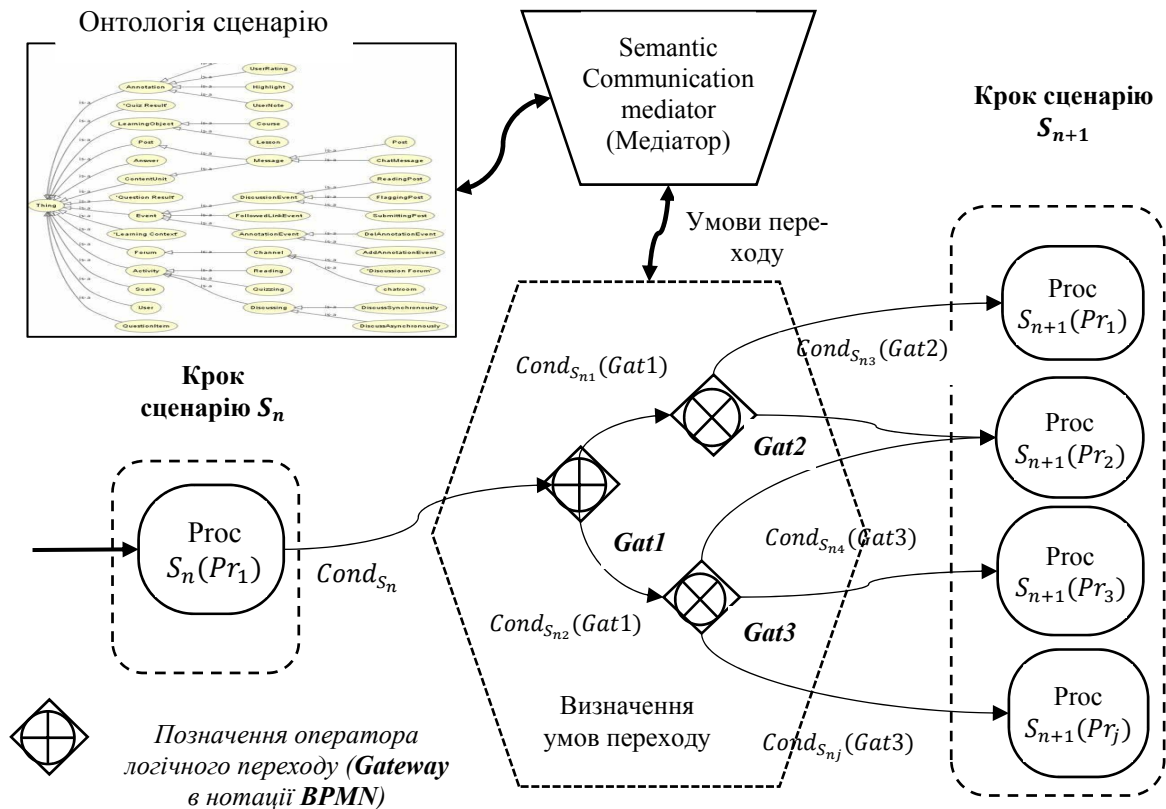


Рис. 2. Функції семантичного посередника (медіатора) при розв'язанні розбіжностей у складному переході

Дослідження взаємодії між кроками складного сценарію

Модель семантичного медіатора

Дослідження взаємодії між кроками складного сценарію АнД, наведене в статті, базується на таких новітніх технологіях: опису загальної онтології ПрО OWL2 [10]; онтології моделювання веб-сервісів (Web Service Modeling Ontology — WSMO) [11]; середовищі виконання веб-служб (Web Service Execution Environment — SEE) [13]; моделюванні бізнес-процесів (Business Process Model and Notation — BPMN) [14]; технології перетворення BPMN-моделі в OWL-модель разом з підтримкою інструменту моделювання [10, 15]. Ці технології використовуються для вирішення розбіжностей при взаємодії кроків сценарію.

Під час виконання сценарію АнД семантичний посередник SCM здійснює автоматичний аналіз умов переходів з $S_n(Pr_i)$ -кроку сценарію на наступний $S_{n+1}(Pr_j)$ -крок (рис. 2). При цьому внутрішні рішення, прийняті всередині $S_n(Pr_i)$ -кроку, у цьому випадку не мають значення, оскільки SCM під час роботи діє на рівні обміну повідомленнями (умови переходів), надісланих та отриманих під час взаємодії кроків сценарію. На попередньому кроці можуть виникнути процеси, які формують умови переходів $Cond_{S_i}$ на наступний крок. Стандартною є ситуація, коли, залежно від умов попереднього кроку, SCM повинен вирішувати завдання вибору переходу до певного процесу $S_{n+1}(Pr_j)$ — стану сценарію. Для відображення взаємозв'язку

між двома процесами, тобто переходу між кроками сценарію $S_n(Pr_1)$ та $S_{n+1}(Pr_2)$, використовується таке позначення:

$$\frac{Cond_{S_i} \text{ sequence of } S_n(Pr_i)}{Cond_{S_j} \text{ sequence of } S_{n+1}(Pr_j)}$$

Якщо перехід між двома кроками має більше двох процесів (станів), як це показано на рис. 2, для відображення зв'язку між кроками сценарію можна використувати кілька пар позначень за кількістю можливих станів та умов переходів:

$$\frac{Cond_{S_i} \text{ sequence of } S_n(Pr_1) \text{ in interaction with } S_{n+1}(Pr_1)}{Cond_{S_i} \text{ sequence of } S_{n+1}(Pr_1) \text{ in interaction with } S_n(Pr_1)}$$

$$\frac{Cond_{S_i} \text{ sequence of } S_n(Pr_1) \text{ in interaction with } S_{n+1}(Pr_2)}{Cond_{S_i} \text{ sequence of } S_{n+1}(Pr_2) \text{ in interaction with } S_n(Pr_1)}$$

.....

$$\frac{Cond_{S_i} \text{ sequence of } S_n(Pr_1) \text{ in interaction with } S_{n+1}(Pr_j)}{Cond_{S_i} \text{ sequence of } S_{n+1}(Pr_j) \text{ in interaction with } S_n(Pr_1)}$$

Порядок послідовності умов переходів зображується символом \rightarrow . Наприклад, процес кроку сценарію $S_n(Pr_1)$ взаємодіє з процесом $S_{n+1}(Pr_2)$, якщо виконуються наступні умови:

$$\text{If } S_n(Pr_1) = S_{n+1}(Pr_2) ,$$

де

$$S_{n+1}(Pr_1) = Cond_{S_i} \rightarrow Cond_{S_{n1}}(Gat1)^1 \rightarrow Cond_{S_{n1}}(Gat2)^2$$

та

$$S_{n+1}(Pr_1) = Cond_{S_i} \rightarrow Cond_{S_{n1}}(Gat1)^3 \rightarrow Cond_{S_{n1}}(Gat3)^1.$$

Перехід між двома кроками складного сценарію зазвичай складається з багатьох умов, тому пошук еквівалентності у шаблонах умов переходів до наступних кроків — це зовсім не тривіальне завдання. Інтуїтивно найпростіший спосіб — це спочатку визначити невідповідності, а потім шукати спосіб їхнього усунення. Дослідження показують, що в процесі обробки умов переходів класифікуються три можливі випадки.

1. **Повна відповідність** — коли обидва процеси мають абсолютно однаковий шаблон переходу за визначеними умовами. В цьому випадку взаємодія між процесами сценарію може відбуватися автоматично з мінімальним втручанням SCM у роботу сценарію.

2. **Вирішені невідповідності** — коли процеси, що взаємодіють, мають різні шаблони переходу за умовами, і для їхнього подолання можна виконати кілька перетворень, які посередник SCM може подолати самостійно, за рахунок онтологічної бази знань прогнозованих дій.

3. **Невирішені невідповідності** — які складаються або з невідповідності моделей процесів між двома кроками сценарію, або невідповідності процесу комуні-

кації (взаємозв'язку), яку неможливо вирішити будь-якими перетвореннями в послідовностях обміну повідомленнями $Cond_{S_i}$ під час виконання переходу між кроками сценарію.

У випадку «**Вирішені невідповідності**» можна класифікувати типові ситуації, які можуть бути автоматично вирішені семантичним посередником SCM з використанням онтологічного опису умов переходів сценарію.

1. Процес $S_n(Pr_1)$ надсилає повідомлення $Cond_{S_i}$, тоді як процес $S_{n+1}(Pr_1)$ не готовий його отримувати.

2. Процес $S_n(Pr_1)$ надсилає одразу кілька екземплярів повідомлень $Cond_{S_i}^{e1}$, $Cond_{S_i}^{e2}$, $Cond_{S_i}^{en}$, тоді як процес $S_{n+1}(Pr_1)$ хоче отримати цю інформацію як частину кількох повідомлень.

3. Процес $S_n(Pr_1)$ надсилає повідомлення в порядку $Cond_{S_i}^{e1}$, $Cond_{S_i}^{e2}$, $Cond_{S_i}^{en}$ іншому порядку, ніж їх очікує процес $S_{n+1}(Pr_1)$. Порядок надісланих повідомлень може бути автоматично інвертований до проекції, визначеної у відповідних аксіомах і лемах.

4. Процес $S_n(Pr_1)$ надсилає повідомлення $Cond_{S_i}$, яке отримує процес $S_{n+1}(Pr_1)$, і очікує підтвердження того, що повідомлення було отримано цільовим процесом.

Існує набір невідповідностей, які семантичний медіатор не може автоматично вирішити. Ці розбіжності стосуються неіснуючих повідомлень, які не відповідають семантичним умовам переходу. Наприклад, процес $S_{n+1}(Pr_1)$ очікує повідомлення $Cond_{S_i}$, яке не було надіслано процесом $S_n(Pr_1)$ до певного часу. Інший випадок розглядає ситуацію, коли процес $S_{n+1}(Pr_1)$ отримав повідомлення $Cond_{S_i}$, але процес $S_n(Pr_1)$ очікує підтвердження його отримання.

Вирішення невідповідностей при взаємодії кроків сценарію

Складні невідповідності. В реальності взаємодія між кроками сценарію складається не лише з елементарних невідповідностей, представлених раніше, але може включати і проекції процесів, які за певних умов розглядаються як семантичні еквіваленти процесів — проекції перетворення. Метою отримання проекцій є формалізація умов переходів для більш коректного застосування онтології сценарію при вирішенні невідповідностей із залученням семантичного медіатора. Для цього досліджується, як семантична сумісність між двома прогнозами впливає на сумісність прогнозованих процесів.

Для застосування онтологічних моделей при вирішенні невідповідностей в умовах переходів між кроками сценарію дамо кілька визначень.

Визначення 1. Проекція процесу $S_n(Pr_i)$, що позначається через $\pi(S_n(Pr_i))$, — це похідний процес, отриманий із $S_n(Pr_i)$ шляхом застосування набору операцій становлення співвідношень (за допомогою семантичного медіатора) між сутностями онтології, які описують процес. Це пояснюється тим, що програмне забезпечення складного сценарію, яке використовує модель онтології, може бути виконано в різних нотаціях і різними командами розробників. Наприклад, процес $S_n(Pr_i)$ сценарію, який визначає умови виникнення гідрологічної ситуації використовує онтологію команди метеорологів, а наступний аналіз наслідків і прийняття рішень —

іншу модель онтології [22]. Тобто процес $S_n(Pr_i)$ та його проекція $\pi(S_n(Pr_i))$ відрізняється лише еквівалентним позначенням сутностей онтології, яка не порушує семантику самого процесу.

Визначення 2. Зв'язок між двома процесами $S_n(Pr_i)$ та $S_{n+1}(Pr_j)$ сценарію вважається семантично еквівалентним проекції $\pi(S_n(Pr_i))$ та процесу $S_{n+1}(Pr_j)$, якщо ця проекція жодним чином не впливає на комунікацію з точки зору початку функціонування кроку сценарію $S_{n+1}(Pr_j)$. Визначення 2 витікає з положень, які сформульовано в попередньому абзаці. Тобто, встановлені за допомогою семантичного медіатора співвідношення між сутностями різних моделей онтології сприймаються як еквівалентні та можуть використовуватися у подальшому при опису взаємодії між кроками сценарію.

Визначення 3. Існує відповідність між двома процесами багатофакторного переходу, якщо зв'язок між ними може бути представлено у вигляді послідовності всіх можливих станів між кроками S_n та S_{n+1} сценарію. Це означає, що два процеси вважаються відповідними, якщо онтологія процесу зв'язку між кроками описує умови переходу всіх варіантів (станів) наступного кроку сценарію (рис. 2). Таким чином, відповідність процесів *Match* на рівні визначення онтології умов переходів між кроками сценарію, можна позначити як

$$Match(S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j)).$$

Визначення 4. Два багатофакторних процеси вважаються сумісними, якщо онтологія кожного можливого переходу між кроками сприймає значення (екземпляри основних сутностей) на рівні зміни розгляду умов переходів. Наприклад, якщо умови переходу між кроками сценарію $S_n(Pr_i)$ та $S_{n+1}(Pr_j)$ (рис. 2) описуються функцією приналежності, яка визначає різні умови подальшого аналізу гідрологічної ситуації [22]. У цьому сценарії функцією приналежності може бути модель рівня опадів регіону або забруднення довкілля у сполученні з іншими умовами спостерігання, що формують зміни розгляду умов багатофакторного переходу.

Безумовно, це положення вірне, якщо зміни розгляду умов переходів не порушують семантику процесу багатофакторного переходу. Позначення сумісності двох процесів $S_n(Pr_i)$ та $S_{n+1}(Pr_j)$ таке:

$$Compatible(S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j)).$$

Виходячи з наданих визначень, умови існування сумісності *Compatible* та семантичної відповідності *Match* між процесами, які визначають багатофакторні переходи між кроками сценарію, можна записати у вигляді:

$$\forall S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j),$$

$$Match(S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j)) \Leftrightarrow Match(S_{n+1}(Pr_j), S_n(Pr_i))$$

та

$$\forall S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j),$$

$$Compatible(S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j)) \Leftrightarrow Compatible(S_{n+1}(Pr_j), S_n(Pr_i)).$$

Ці вирази відображують симетричність (\Leftrightarrow) написання умов існування сумісності та семантичної відповідності між процесами.

Теорема. *Будь-які два процеси сценарію $S_n(Pr_i)$ та $S_{n+1}(Pr_j)$ вважаються сумісними (семантично зв'язаними) тоді і тільки тоді, коли їхні існуючі проєкції $(\pi(S_n(Pr_i)))^k$ та $\pi(S_{n+1}(Pr_j))^f$ відповідних процесів сценарію, теж повністю відповідні, де $1 \leq i \leq k$ та $1 \leq j \leq f$ (для різних моделей онтології, які описують процеси сценарію):*

$$\forall S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j), \text{Compatible}(S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j)) \Leftrightarrow \\ \exists k, f, \text{Match}(\pi(S_n(Pr_i))^k, \pi(S_{n+1}(Pr_j))^f),$$

де k та f — кількість можливих проєкцій перетворення $\pi(S_n(Pr_i))^k$ і $\pi(S_{n+1}(Pr_j))^f$ для процесів $S_n(Pr_i)$ та $S_{n+1}(Pr_j)$, відповідно;

$\pi(S_n(Pr_i))^k$ та $\pi(S_{n+1}(Pr_j))^f$ — позначення проєкцій, які вважається семантичними еквівалентами відповідних процесів і можуть використовуватись для аналізу умов переходів між кроками сценарію із застосуванням онтології ПрО та семантичного медіатора.

Теорема наведена у авторефераті дисертації О.В. Ковалю «Методи та засоби комп'ютерного моделювання сценаріїв аналітичної діяльності» [21].

З теореми випливає, що процеси сценарію $S_n(Pr_i)$ та $S_{n+1}(Pr_j)$ вважаються сумісними, якщо хоча би одна пара проєкцій $\pi(S_n(Pr_i))^k$ та $\pi(S_{n+1}(Pr_j))^f$ є відповідною *Match*.

Демонстрація застосування теореми при вирішенні невідповідностей при взаємодії кроків сценарію передбачає доведення положення теореми в обох напрямках, тобто вирішення невідповідностей семантичним медіатором при переході можливо тільки за умов:

$$\forall S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j), \text{Compatible}(S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j)) \\ \Rightarrow \exists k, f \text{Match}(\pi(S_n(Pr_i))^k, \pi(S_{n+1}(Pr_j))^f)$$

та

$$\exists k, f \text{Match}(\pi(S_n(Pr_i))^k, \pi(S_{n+1}(Pr_j))^f) \Rightarrow \\ \forall S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j), \text{Compatible}(S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j)).$$

Одним із методів доведення цього твердження є рівноважність процесів і їхніх еквівалентних проєкцій, яка доводиться шляхом застосування принципу суперечності та індукції, з припущення, що з твердження $\exists k, f, \text{match}(\pi(S_n(Pr_i))^k, \pi(S_{n+1}(Pr_j))^f)$ випливає наступне:

$$\exists k, f, \text{Match}(\pi(S_n(Pr_i))^k, \pi(S_{n+1}(Pr_j))^f) \\ \Leftrightarrow \forall S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j), \neg \text{Match}(S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j))$$

та

$$\forall S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j), \neg \text{Match}(S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j)) \Rightarrow \\ \neg \text{Compatible}(\pi(S_n(Pr_i))^k, \pi(S_{n+1}(Pr_j))^f).$$

Доведення цих положень виконується методом вичерпання, тобто розглядаються всі можливі випадки, кожний з яких аналізується на предмет відповідності положень теореми. Враховуючи специфіку ПрО, було розглянуто 7 можливих випадків, які випадають на k, f — кількість варіантів створення проекції процесів переходів, що мають семантичний сенс в умовах переходу.

Теорема представляє більш офіційне визначення сумісності процесів і семантичної відповідності, які використовуються семантичним посередником для вирішення невідповідностей при взаємодії кроків сценарію АнД.

Щоб дозволити функціонально сумісним процесам сценарію взаємодіяти, семантичний посередник повинен не тільки вирішувати відмінності між їхніми інтерфейсами, але й координувати їхню поведінку, щоб забезпечити їхню правильну взаємодію. Це положення можна позначити наступним чином.

Визначення 5. Якщо взаємодія між процесами $S_n(Pr_i)$ та $S_{n+1}(Pr_j)$ виконується за допомогою посередника M^{SCM} , процеси вважаються семантично сумісними через посередника M^{SCM} :

$$Compatible(S_n(Pr_i) \Leftrightarrow M^{SCM} [S_{n+1}(Pr_j)]).$$

Це означає, що сумісність між процесами сценарію $S_n(Pr_i)$ та $S_{n+1}(Pr_j)$ через посередника M^{SCM} дає можливість застосування всього апарату логіки виводу при вирішенні невідповідностей за рахунок підключення онтології з боку посередника.

На виконавчому рівні має бути забезпечена синхронізація процесів і даних між посередником (медіатором) та обома кроками сценарію. Така синхронізація дозволяє забезпечити успішне завершення взаємодії кожним процесом, досягнувши стану END.

Типовий алгоритм встановлення взаємодії між сумісними процесами сценарію

Першим етапом визначення невідповідності та пошуку способів їхнього усунення є встановлення взаємодії між сумісними процесами сценарію.

Алгоритм встановлення взаємодії між сумісними процесами сценарію $S_n(Pr_i)$ та $S_{n+1}(Pr_j)$ починається з перевірки базової конфігурації, яка описує кожний із цих процесів з позиції послідовності та семантики обміну повідомленнями. Взаємодія вважається повністю встановленою, якщо обидва процеси досягають своїх кінцевих станів. В алгоритмі це означає досягнення посередником M^{SCM} стану END. Далі алгоритм створює екземпляри посередника M^{SCM1} та M^{SCM2} для кожного із процесів для завантаження онтології з умовами виконання взаємодії між процесами. В результаті успішного виконання алгоритм дозволяє забезпечити завершення взаємодії кожним процесом, досягнувши стану END.

Нижче представлено типовий алгоритм встановлення взаємодії між двома сумісними процесами сценарію (взаємодія процесів $S_n(Pr_i)$ та $S_{n+1}(Pr_j)$ рис. 2):

Algorithm

Require: $S_n(Pr_i), S_{n+1}(Pr_j)$

Ensure: A Semantic mediator M^{SCM}

1. if $S_n(Pr_i) = \text{END}$ and $S_{n+1}(Pr_j) = \text{END}$ then

2. return END

Require: P_1, P_2

Ensure: A mediator M

```

1: if  $P_1 = \text{END}$  and  $P_2 = \text{END}$  then
2:   return END
3: end if
4:  $M \leftarrow \text{END}$ 
5: for all  $P_i \xrightarrow{a} P'_{i=1,2}$  do
6:    $\text{mappingList} \leftarrow \text{FindEligibleMappings}(a, P_i, P_{3-i})$ 
7:   while  $\neg \text{found}$  and  $\text{mappingList} \neq \emptyset$  do
8:      $\text{Map}(X_1, X_2) \leftarrow \text{selectMapping}(\text{mappingList})$ 
           such that  $P_i \xrightarrow{X_1} P''_i$  and  $P_{3-i} \xrightarrow{X_2} P'_{3-i}$ 
9:      $M' \leftarrow \text{SynthesiseMediator}(P''_i, P'_{3-i})$ 
10:    if  $M' \neq \text{fail}$  then
11:       $\text{found} \leftarrow \text{true}$ 
12:       $M_{m-n}(X_1, X_2) \leftarrow \text{GenerateMapProcess}(X_1, X_2)$ 
13:       $M'' \leftarrow M_{m-n}(X_1, X_2); M'$ 
14:    end if
15:  end while
16:  if  $\neg \text{found}$  and  $\exists \bar{\beta} \mid P_{3-i} \xrightarrow{\bar{\beta}} P'_{3-i}$  then
17:     $M' \leftarrow \text{SynthesiseMediator}(P_i, P'_{3-i})$ 
18:    if  $M' \neq \text{fail}$  then
19:       $\text{found} \leftarrow \text{true}$ 
20:       $M_{\bar{\beta}} \leftarrow \text{GenerateExtraProvidedActionProcess}(\bar{\beta})$ 
21:       $M'' \leftarrow M_{\bar{\beta}}; M'$ 
22:    end if
23:  end if
24:  if  $\neg \text{found}$  then
25:    return fail
26:  end if
27:   $M \leftarrow M | M''$ 
28: end for
29: return  $M$ 

```

Середовище реалізації і наступні завдання

Впровадження запропонованого у статті підходу є теоретичним розширенням існуючої методології та інструментарію моделювання сценаріїв АнД на основі нотації BPMN та OWL-сценарію, яка докладно описана в роботі [10]. За базовий інструментарій моделювання сценаріїв визнано платформу BizAgi Process Modeler Аналіз [19, 20], завдяки якій створюється реальна модель сценарію АнД. Принциповою особливістю методології є можливість моделювати сценарії за допомогою графічного редактора, що оперує з елементами нотації BPMN 2.0., яка дозволяє не тільки моделювати сценарії АнД у вигляді BPMN-діаграм, але й серіалізувати в XML-файл. Далі використовується технологія конвертації BPMN-to-S-BPM-Ontology [15, 16] — онтологічна модель сценарію, включаючи опис умов переходів між кроками сценарію. Ця онтологічна модель сценарію і є вхідною

Після встановлення взаємодії між процесами кроків сценарію можна безпосередньо виконувати аналіз відповідності або невідповідності семантичних умов переходів. Як теоретичне підґрунтя для роботи медіатора використовуються наведені

визначення та теорема, яка формалізує умови взаємодії між сумісними процесами. Такий аналіз має виконуватися спеціальною програмою семантичним медіатором, який використовує онтологічну модель сценарію тв призначений для усунення певних типів невідповідностей. Типовими вважаються такі невідповідності:

— *припинення несподіваного повідомлення*. Для цього семантичний посередник SCM має проаналізувати процеси переходу та визначати, чи справді надіслана інформація очікується наступним кроком. Для цього має використовуватись онтологічна модель сценарію, яка містить інформацію щодо очікуваних повідомлень;

— *розділення повідомлення*. Семантичний посередник SCM розділяє повідомлення, аналізує семантичний опис цільового процесу, визначає в якому форматі має бути передана ця інформація, готує її та надсилає отримувачу;

— *профілювання послідовності команд*. Семантичний посередник SCM аналізує умови переходів, визначає порядок їхнього надходження та змінює його, якщо це не впливає на загальну семантику процесу;

— *адаптування порядку*. Семантичний посередник SCM аналізує умови переходу, визначає порядок їхнього надходження та змінює послідовність надходження наступних умов, якщо порядок надходження не впливає на семантику процесу переходу.

Висновки

Запропонований теоретичний підхід для визначення того, чи сумісні семантично описані процеси переходів складного сценарію, і які дії необхідно виконати, щоб забезпечити успішну взаємодію між кроками сценарію в умова багатофакторних переходів, заснований на використанні онтологічної моделі сценарію. Підхід є теоретичним розширенням існуючої методології та інструментарію моделювання сценаріїв Анд на основі нотації BPMN та OWL.

Подальшим розвитком роботи є безпосередньо програмна реалізація семантичного медіатора та відпрацювання теоретичних положень на реальних прикладах подолання різного роду неоднорідностей і логічних невідповідностей.

1. Додонов А.Г., Сенченко В.Р., Коваль А.В. Аналітика и знания в компьютерных системах/монография. Киев: ИПРИ НАН Украины, «КПИ имени Игоря Сикорского», 2020. 315 с.
2. Додонов О.Г., Коваль О.В., Сенченко В.Р., Шпурик В.В. Автоматизована система формування сценарію аналітичної діяльності. *Регістрація, зберігання і оброб. даних*. 2019. Т. 21, № 1. С. 11–22. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2019.1.1.179167>.
3. Sajjad Ali and Ilyoung Chong. Semantic Mediation Model to Promote Improved Data Sharing Using Representation Learning in Heterogeneous Healthcare Service Environment. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/19/4175/htm>
4. Amel Bennaceur, Valérie Issarny. Automated Synthesis of Mediators to Support Component Interoperability. IEEE Transactions on Software Engineering, Institute of Electrical and Electronicshttps. URL: [//hal.inria.fr/hal-01076176](https://hal.inria.fr/hal-01076176)
5. Costantino Thanos. Mediation. The Technological Foundation of Modern Science, Engineers, 2015. 22 p. URL: https://www.google.com.ua/?source=search_app
6. Hevner, A., March, S., Park, J., and Ram, S. Design Science in Information Systems Research. MIS Quarterly (28:1) 2004. P. 75-105. URL: <http://chitu.okoli.org/bios/pro/research/research-summaries/hevner-et-al-2004/>
7. Robert Agler, and Paul De Boeck. On the Interpretation and Use of Mediation: Multiple Perspectives on Mediation Analysis. URL <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2017.01984/full>

8. Nils Barnickel, Johannes Böttcher, Adrian Paschke Semantic Mediation of Information Flow in Cross-Organizational Business Process Modeling. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-682/paper4.pdf>
9. Hassina Nacerab, Djamil Aissanic. Semantic web services: Standards, applications, challenges and solutions. *Journal of Network and Computer Applications*. September 2014. Vol. 44. P. 106–119. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1084804514001143>
10. Додонов О.Г., Сенченко В.Р., Коваль О.В., Бойченко А.В. Моделювання сценаріїв аналітичної діяльності на основі нотації BPMN та OWL. *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. 2020. Т. 22. № 1. С. 31–48. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2020.1.1.207782>.
11. OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (Second Edition) W3C Recommendation 11. December 2012. URL: <http://www.w3.org/TR/owl2-overview/>
12. Web Service Modeling Ontology. URL: <http://www.wsmo.org/>
13. Web Service Execution Environment. URL: <https://www.w3.org/Submission/WSMX/>
14. Business Process Model and Notation v2.0. URL: <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/PDF>
15. Ресурс BPMN-to-S-BPM-Ontology: [Online]. Available. URL: <https://github.com/reiterma13/>
16. Ресурс PM2ONTO: [Online]. URL: <https://github.com/lukasriehl/pm2onto>
17. Semantic Web Services. URL: www.sciencedirect.com/topics/computer-science/semantic-web-service
18. HassinaNacerab, DjamilAissani. Semantic web services: Standards, applications, challenges and solutions. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1084804514001143>
19. Bizagi Modeler, User Guide. URL: <http://help.bizagi.com/process-modeler/en/>
20. Офіційний сайт: Bizagi. URL: <https://www.bizagi.com/en/>
21. Коваль О.В. Методи та засоби комп'ютерного моделювання сценаріїв аналітичної діяльності: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Київ, 2021.
22. Додонов О.Г., Коваль О.В., Сенченко В.Р., Швайко В.Г. Формування та реалізація сценаріїв аналітики в задачах просторового моделювання. *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. 2020. Т. 22, № 3. С. 39–57. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2020.22.3.218856>.

Надійшла до редакції 05.09.2021