

МЕТОД ПОБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА НА ОСНОВІ ОНТОЛОГІЇ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

© Литвин В.В., Демчук А.Б., Войчишен М.М., 2011

Розглянуто функціонування інтелектуального агента як раціональну поведінку, яка полягає в намаганні отримати якомога максимальний вигаш від своєї діяльності. Для цього інтелектуальний агент здійснює пошук нових альтернатив (методів, алгоритмів тощо), використання яких дає кращі результати порівняно з еталонним підходом. Для такого пошуку використовуються онтології проблемних областей, у межах яких функціонує агент.

Ключові слова: онтологія, концепт, інтелектуальний агент, структура онтології, зміст онтології, оптимізаційна задача.

An intellectual functioning of the agent as a rational behavior, which is an effort to get the maximum possible benefit from its activities, is considered. For this aim an intelligent agent is searching for new alternatives (methods, algorithms, etc.), use of which gives better results comparing with the reference approach. For such a search the agent uses domain ontology within which it operates.

Key words: ontology, concept, intelligent agent, ontology structure, ontology content, optimization task.

Вступ. Постановка проблеми у загальному вигляді

Онтологічний інжиніринг (Ontological Engineering – OE) – один з напрямів інженерії знань, метою якого є розроблення методів, моделей, технологій для подання і опрацювання знань гетерогенних розподілених інформаційних просторах типу Інтернет. De facto підходом, що досягає поставлену мету, став онтологічний підхід, який дозволяє в експліцитному вигляді подавати семантичну модель проблемної області (ПО), яка досліджується, у вигляді ієрархії концептів, релевантних до наявної ПО і множини відношень, які поєднують встановлені концепти і терміни [9, 10].

Сьогодні OE став самостійною галуззю досліджень, у межах якої розглядається множина всіх видів діяльності, спрямована на розроблення методів і методологій побудови онтологій різного спрямування, стандартизації процесів розроблення онтологій, життєвого циклу онтологій, формальних мов для подання знань в онтологіях, а також програмно-технічних засобів для побудови, редагування і підтримки функціонування онтологій в онтологічних системах. Онтологічний підхід дає змогу ефективно розв'язувати у web-просторі такі задачі, як семантична анотація web-ресурсів, змістовний пошук, інтеграції, а також повторне спільне використання або розподіл знань.

Для побудови онтологій, які адекватно описують семантичні моделі ПО, необхідно передусім розв'язувати задачі видобування знань з різних джерел для виявлення множини концептів і встановлення ієрархії на цій множині. Оскільки значна частина інформації міститься в природномовних текстах (ПМТ), перспективним є видобування знань з текстової інформації, а також інтелектуальне опрацювання спеціально підібраних колекцій ПМТ.

Як відомо, інтелектуальні системи розвиваються у двох напрямках: на основі виведення за прецедентами та на основі побудови плану діяльності. Використання онтологічного підходу для першого класу інтелектуальних систем розглянуто у роботі [5]. У роботі досліджується використання онтологій для класу задач, для яких будується план діяльності. А саме розглядається модель отримання деяким агентом максимального прибутку за рахунок раціонального розподілу наявних у нього ресурсів під час реалізації плану діяльності та на основі використання ним новітніх технологій. Вважаємо, що опис таких технологій є в мережі Інтернет, а агент здійснює інтелектуальне

опрацювання текстів, що містять такий опис, на основі запитів та з використанням онтологій відповідних ПО. Також результати запиту використовуються під час навчання онтології (Ontology Learning), коли необхідно покращити, розширити, модифікувати вже існуючу модель онтології.

Опис поведінки інтелектуального агента

Вважаємо, що деякий інтелектуальний агент (ІА) має деякий ресурс (наприклад, нафто- чи газопровід, готельний комплекс тощо). Перед ІА є задача модернізації цього ресурсу (устаткування) з метою продовження його експлуатації на певний період. Очевидно, що таке продовження експлуатації приносить прибуток його власнику, а отже, ІА отримує від цього вигаш. Очевидно, що тоді метою ІА є модернізація цього устаткування на якомога довший період з найменшими на це затратами. Крім того існує межа Ω (обмеження на ресурс), до якої ІА (власник) готовий вкласти ресурсні затрати у модернізацію такого устаткування (через обмеженість коштів або невідповідність, оскільки вигідніше купити нове устаткування).

Нехай устаткування U перебуває у деякому стані $St(0)$, назовемо його початковим станом або поточною ситуацією. Модернізація усього устаткування U передбачає модернізацію його складових U_1, U_2, \dots, U_m . Ієрархія складових устаткування та їх опис (призначення) міститься у відповідній онтології, використовуючи зв'язки IS-A, PART-OF, CONSIST-OF та ін. Загальну задачу (модернізація устаткування загалом) позначимо P . Будемо вважати, що модернізація кожної складової U_i є окремою задачею P_i , тому загальну задачу модернізації всього устаткування схематично зображатимемо окремими процесами, які можуть бути як паралельними так і послідовними (див. рис. 1). Так задачу модернізації готельного комплексу розбивають на ряд підзадач: модернізація будівлі, модернізація прилеглої території, модернізація підвір'я тощо. Кожна своєю чергою розбивається на підзадачі і т.д., тим самим ми отримуємо ієрархію підзадач, тобто декомпозицію загальної задачі.

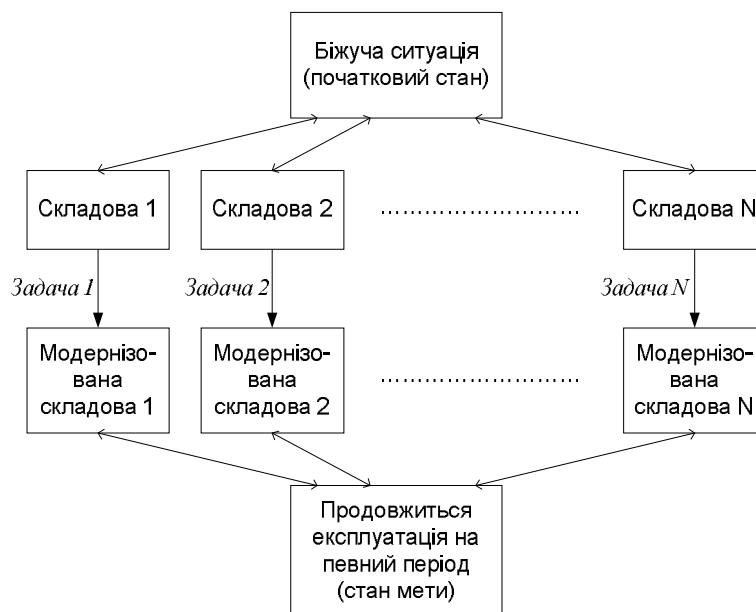


Рис 1. Декомпозиція загальної задачі

Якщо U' – устаткування після модернізації, то загальна задача набуде вигляду: $P:U \rightarrow U'$, а окрема підзадача: $P_i:U_i \rightarrow U'_i$.

Розглянемо окрему підзадачу P_i детальніше. Для переходу із поточного стану складової U_i в новий модернізований стан U'_i власник може використати одну із N_i альтернатив a_{ij} , де $j \in \{1, 2, \dots, N_i\}$ (див. рис. 2).

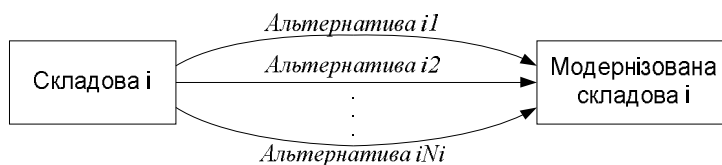


Рис. 2. Вигляд задачі модернізації окремої складової

Своєю чергою використання альтернативи a_{ij} для розв'язування задачі P_i визначається витратами ресурсів Q_{ij} , які необхідно затратити на модернізацію i -ї складової U_i та періодом експлуатації r_{ij} модернізованої складової U'_i . Отримати ці оцінки можна з онтології ПО, наперед здійснивши інтелектуальне опрацювання природномовних текстів з відповідної тематики. Таке інтелектуальне опрацювання є складною задачею і потребує окремих робіт з опису методів її розв'язування, тому в цій роботі ця задача не розглядається. Лише зазначимо, що деякі методи та підходи до її розв'язання описані в роботах [2–4].

Формальна модель поведінки інтелектуального агента

Нехай для модернізації i -ї складової U_i ми використали альтернативу a_{ik} . Тоді загальні витрати для модернізації усього устаткування обчислюються як сума відповідних витрат для модернізації кожної складової. Загальні витрати позначимо Q , а окремих складових з відповідними індексами. Тоді:

$$Q = \sum_{i=1}^N Q_{ik}$$

А гарантований період експлуатації модернізованого устаткування U' становитиме

$$r = \min_i r_{ik}$$

За критерій вибору альтернатив візьмемо припущення, що необхідно устаткування модернізувати на якомога довший період з найменшими на це затратами, саме в цьому аспекті вважатимемо суть раціональної поведінки агента-власника устаткування. Якщо у системі координат зобразити період та ресурси, необхідні на модернізацію, то критерій задовольняється тоді, коли кут j найменший (див. рис. 3). Крапками на рисунку зображено місце альтернатив у системі координат: період-ресурс.

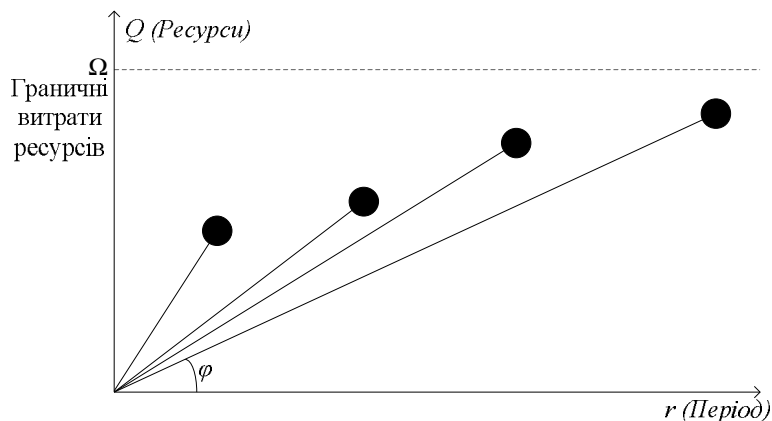


Рис. 3. Оцінка якості альтернатив

Оскільки $j = \arctg \frac{Q}{r}$ і функція \arctg є монотонно зростаючою у першій чверті, то функція мети матиме вигляд:

$$f = \frac{Q}{r} \rightarrow \min$$

Додаючи обмеження $Q \leq \Omega$ отримаємо таку модель задачі діяльності ІА:

$$\begin{cases} f = \frac{Q}{r} \rightarrow \min \\ Q \leq \Omega \end{cases}$$

Очевидно, що існують складові, для яких період експлуатації після модернізації нескінченний. Такі складові без зайвих обмежень вкладаються у модель задачі (4). Однак реальна модель задачі є складнішою, ніж (4), оскільки різні складові мають різний вплив на устаткування залежно від їх важливості. Так модернізація житлової будівлі готельного комплексу є важливішою, ніж модернізація подвір'я цього комплексу. Тріщина у фундаменті спричиняє непридатність будівлі загалом, в той час як обвал стелі в окремому номері готелю зумовлює непридатність функціонування лише цього номера. Тому ми вважаємо за доцільне поділити всі підзадачі модернізації на три великі групи згідно з важливістю впливу складових, що модернізуються. На наш погляд, існують такі впливи:

1) значний вплив складової (вихід зладу такої складової зумовлює непрацездатності устаткування загалом);

2) одна складова має значний вплив на працездатність іншої складової;

3) незначний вплив складової на устаткування.

Всі ці впливи відображаються у відповідній онтології устаткування, де задається ієрархія складових та їх визначення. На основі ієрархії складових будуємо SWRL правила відносно впливу та важливості складових. Враховуючи такий поділ, ми пропонуємо враховувати складової 3-ї групи у формулі (2), однак не враховувати їх у (3), оскільки ми завжди зможемо повторно модернізувати цю складову.

Щоб різниця між періодами для різних складових не була великою, пропонуємо вибирати ту складову із значним впливом, для якої здійснюється модернізація на найменший період. Інші рішення відносно вибору альтернатив здійснюємо відносно цього періоду.

Для кожної i -ї складової будуємо N_i SWRL правил щодо модернізації складової, де на виході правил маємо кількість ресурсів необхідних на модернізацію та період експлуатації після використання відповідної альтернативи. Правила отримуємо на основі аналізу природномовних текстів з використанням відповідної онтології.

Розв'язуємо задачу (4) методом динамічного програмування [1]. Знаходимо період, на який можемо здійснити модернізацію: $r = \min_i \max_j r_{ij}$ для складових 1-го та 2-го типу.

Задача динамічного програмування матиме такий вигляд: мінімізувати витрату ресурсів на модернізацію устаткування з обмеженням на період та на ресурси:

$$\begin{cases} Q = \sum_{i=1}^N Q_{ik} \rightarrow \min, \\ r_{ik} \geq r, \\ Q \leq \Omega. \end{cases}$$

Якщо задача (5) розв'язків не має, то зменшуємо період r на деяку дискретну величину d : $r = r - d$ і повертаємося до задачі (5) і т.д., поки не отримаємо її розв'язок.

Приклад. Розглянемо приклад у якому використовується лише одна складова: устаткування – труба.

Початковий стан: Необроблена. Кінцевий стан (стан мети): Оброблена.

Оскільки складова одна, то розглядається одна задача: обробка (див. рис. 4).

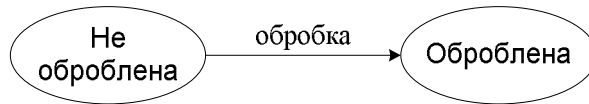


Рис. 4. Загальна задача модернізації труби

Задача ділиться на три підзадачі (*підготовка, покриття, захист*), перша з яких ділиться ще на чотири підзадачі (*розкриття поверхні труби, зняття захисного покриття, знежирення, ґрунтування*) як показано на рис. 5. Для розв'язування кожної підзадачі використовуються альтернативні рішення. Так для підзадачі *зняття захисного покриття* можна використати одну із трьох альтернатив: механічне, хімічне, термічне. Вся ця інформація зберігається у відповідній онтології (онтологія ПО модернізації нафто- та газопроводів тепер перебуває у процесі розроблення в лабораторії системного аналізу науково-технічної інформації Фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка НАН України).

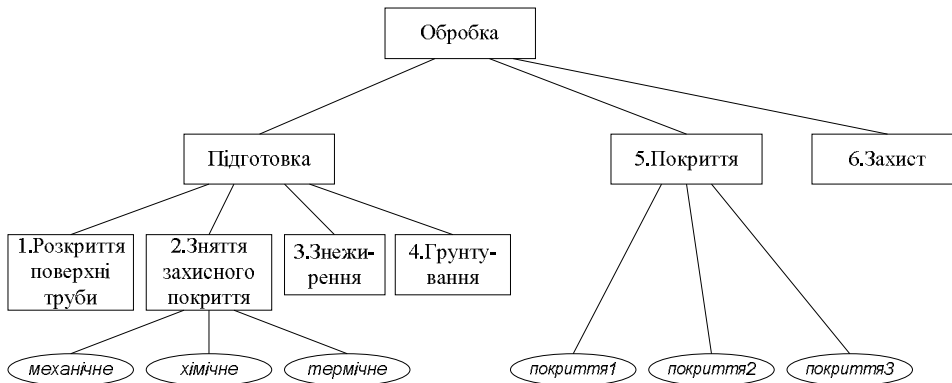


Рис. 5. Декомпозиція задачі Обробка.

Отже, загалом необхідно послідовно розв'язати шість підзадач P_1, P_2, \dots, P_6 .

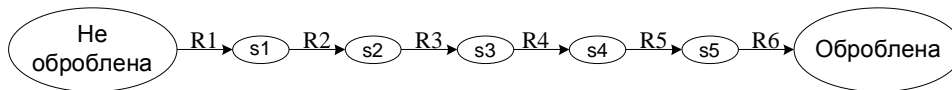


Рис. 6. Послідовність кроків розв'язування задачі модернізації труби

Для кожної задачі необхідно вибрати метод розв'язку (альтернативу). Для модернізації труби використовується відома сьогодні технологія, яку назвемо еталон і позначимо $e \rightarrow (r, Q)$, тобто вона характеризується періодом та вартістю. Відомі альтернативи: $a_1 \rightarrow (r_1, Q_1), \dots, a_n \rightarrow (r_n, Q_n)$.

Альтернатива a_i краща за еталон, якщо виконується нерівність

$$\frac{Q_i}{r_i} < \frac{Q}{r}$$

Отриманий вигаш від застосування альтернативи a_i становить $f(r, Q) - f(r_i, Q_i)$, де f – функція вигашу. Для знаходження такої альтернативи використовуємо інтелектуальну метапошукову систему (ІМПС). Задача ІМПС – пошук новітніх технологій у визначеній ПО. Ядром такої ІМПС є онтологія ПО [5]. Отже, діяльність інтелектуального (раціонального) агента (ІА) полягає у знаходженні нової кращої альтернативи за еталонну, використання якої зменшує затрати на модернізації устаткування та збільшує її період експлуатації з метою отримання максимального прибутку. Формально це запишемо у вигляді

$$IA: P \xrightarrow{o} a_i$$

Крім того, для a_i має виконуватись нерівність (6). У формулі (7) буквою O позначено онтологію.

Функція виграшу f має бути монотонно спадною відносно аргумента $\frac{O}{r}$, тобто чим менше значення $\frac{O}{r}$, тим більший виграш. Наприклад, функцію виграшу можна визначити як $f = \frac{C}{e^{\frac{O}{r}}}$, де C – деяка константа, яка залежить від специфіки ПО.

Зауваження. Для визначення параметрів альтернатив (вартість модернізації та період експлуатації) використовуємо інтелектуальний пошук серед ПМТ. Тому вважаємо за доцільне запровадити в анотаціях до робіт, у яких відображені новий метод, методика чи технологія, явний опис необхідних затрат на їх реалізацію та очікуваний ефект (виграш) від їх застосування.

Очевидно, що онтологія повинна проектуватись чи розвиватись таким чином, щоб адаптуватись до задач, які розв'язує ІА. Ефективність адаптації, своєю чергою, визначається закладеними в структуру та функції бази знань (БЗ) механізмами налаштування онтології під час експлуатації програмного комплексу, тобто шляхом самонавчання.

Одним з підходів до реалізації таких механізмів є автоматичне зважування понять БЗ та семантичних зв'язків між ними під час самонавчання. Цю функцію виконують коефіцієнти важливості понять та зв'язків. Їх розподіл у БЗ має відповідати таким основним вимогам:

- відображати семантичну вагу понять ПО, в якій функціонує інтелектуальний агент;
- формуватися під час наповнення БЗ та коректуватися відповідно до визначених правил;
- забезпечувати контроль цілісності БЗ;
- відповідати вимогам метрики під час їх використання для порівняння семантичної близькості понять.

Завданням є сформулювати відповідний набір правил присвоєння вагових коефіцієнтів (інформаційної ваги) поняттям та твердженням у моделі БЗ, що забезпечить оцінку актуальної цінності її інформаційного наповнення та досліджуваних поточних ситуацій.

Покажемо можливість виконання сформульованого завдання шляхом введення деяких спрощень і припущень. Подамо базу знань у вигляді іменованого графа, числові семантичні характеристики вершин і ребер якого визначаються за певними правилами. Він є орієнтованим зваженим мультиграфом з такими властивостями:

- 1) на кожний елемент (вершину) може бути довільна кількість посилань;
- 2) кожний елемент може мати зв'язок з будь-якою кількістю інших елементів;
- 3) кожному зв'язку (ребру) у моделі відповідає певний напрям і коефіцієнт важливості зв'язку (достовірності відповідного твердження), кожному поняттю (вершині) – коефіцієнти важливості поняття.

Коефіцієнт важливості поняття (зв'язку) – це чисельна міра, котра характеризує значущість певного поняття (зв'язку) у конкретній предметній області і динамічно змінюється за певними правилами під час експлуатації системи [2].

Наш підхід до подання знань у формі зваженої семантичної мережі (концептуальних графів) полягає у тому, що будь-яке можливе узагальнення, тобто комплексне, складене поняття завжди явно артикульоване, назване і як окремий концепт фігурує в базі знань. Тому, якщо деяке узагальнення має спільні властивості чи способи функціонування, вони фізично можуть бути реалізовані через властивості та опрацювання подій відповідного узагальнювального концепту.

Отже, ми розширимо поняття онтології, ввівши в її формальний опис, крім множини понять, відношень та їх інтерпретації, коефіцієнти важливості понять та відношень. Таку онтологію називатимемо адаптивною і визначатимемо як п'ятірку:

$$O = \langle C, R, F, W, L \rangle$$

де C – поняття (концепти), визначені в ПО; R – відношення між поняттями; F – інтерпретація (аксіоматизація) понять та відношень; W – важливість понять; C, L – важливість відношень R .

Визначена таким способом онтологія адаптується до ПО за рахунок модифікації понять та коефіцієнтів важливості цих понять і зв'язків між ними.

Розглянемо методи задання початкових коефіцієнтів важливості понять та зв'язків та їх модифікацію під час функціонування інтелектуального агента, який використовує цю онтологію.

Методи задання початкових ваг (коефіцієнтів важливості) понять та зв'язків:

- 1) за рахунок експертних оцінок;
- 2) присвоєння випадковим чином;
- 3) за рахунок статистичного аналізу інформаційних джерел, які описують ПО, в якій функціонує ІА.

Одним із провідних засобів побудови онтологій є редактор Protege. Проект з його розроблення та підтримки виконує група дослідників Стенфордського університету (США) [11]. Саме у цьому редакторі побудували онтологію. Збір знань, релевантних ПО матеріалознавства, які містяться в онтології, здійснювався на основі книг Я.Середницького, Ю. Банахевича, А.Драгілева “Сучасна протикорозійна ізоляція в трубопроводному транспорті” [7] та інформації, взятої із попередніх номерів журналів “Фізико-хімічна механіка матеріалів”.

Мета функціонування інтелектуального агента, який керуватиметься розроблюваною базою знань, визначає, які знання мають бути подані у базі. Фактично, ідентифікація завдання відповідає розроблення PEAS [8], зокрема, визначення цільової функції через визначення критеріїв оптимальності та обмежень. Отже, призначення цієї онтології полягає в реалізації ІА деякого плану на основі раціональної поведінки. Така раціональна поведінка складається з чотирьох компонент [8]:

- 1) множини дій, з яких складаються етапи плану;
- 2) множини обмежень впорядкування типу (A перед B);
- 3) множини причинних зв'язків (інтервалів захисту) типу (A досягає P для B), коли за умовами ПО P , спричинене A не може змінитися доки не наступить стан B ;
- 4) множини відкритих передумов для кожного з етапів плану.

Ієрархію понять ПО ми почали із поняття „сутність” (essence), яка ділиться на абстрактні поняття (abstract) і фізичні (physical) (див. рис. 7). Ці своєю чергою поділяються потім з різними критеріями, утворюючи таксономію понять.

Записано аксіоми термінів словника та атомарні висловлювання про екземпляри понять. Після цього здійснено налагодження бази знань. Неправильні аксіоми були виявлені на підставі того, що вони являють собою неправильні твердження про світ.

Допускається задавати класи понять, накладаючи обмеження на властивості їх екземплярів. Такі обмеження можуть бути згруповані у три основні категорії:

- кванторні обмеження (існування, загальності);
- обмеження числа допустимих значень (мінімум \leq , якраз $=$, максимум \geq);
- обмеження типу “може приймати значення з множини”.

Обмеження існування описує клас екземплярів, які мають принаймні один зв'язок вказаного семантичного значення з екземпляром вказаного класу. У цьому випадку квантор існування застосовується до множини зв'язків екземпляра (а не до множини екземплярів класу, як може здаватися). Отже, квантор існування свідчить, що цей клас включає лише ті екземпляри, множина зв'язків яких містить конкретний зв'язок: $\{x|\exists r, r(x, y)\}$

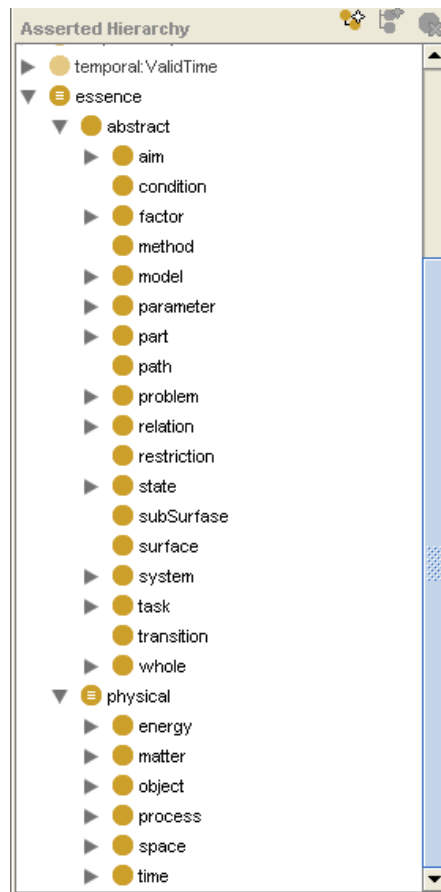


Рис. 7. Ієрархія понять ПО фізико-хімічна механіка матеріалів

Квантор загальності свідчить, що цей клас містить лише ті екземпляри, множина всіх зв'язків яких містить вказаний тут явно виключний перелік зв'язків:

$$\{x | \forall r, R_i \in r, R_1(x, y_1) \wedge R_2(x, y_2) \wedge \dots \wedge R_n(x, y_n)\}.$$

Як сама онтологія, так і база знань ІА загалом мають бути зорієнтовані на певну ПО. У випадку онтології матеріалознавства ПО необхідно звузити до цілком конкретної проблеми чи задачі, яку користувач інтелектуальної системи має розв'язати. Автори розробили базові елементи онтології методів та засобів протикорозійної ізоляції трубопровідного транспорту.

Проблема формулюється так: як за мінімальних затрат максимально продовжити ресурс трубопроводу, беручи до уваги, що:

- основним обмежувальним ресурс-фактором слугує електрохімічна корозія труби;
- заданий орієнтовний економічний ефект, який отримує користувач інтелектуальної системи від експлуатації трубопроводу та можливі втрати від припинення експлуатації;
- затрати на протикорозійний захист відомі і визначаються технологією такого захисту;
- орієнтовні терміни безаварійної експлуатації трубопроводу за відомих (заданих) вжитих заходів з його протикорозійного захисту відомі з експертних оцінок, нормативів, даних неруйнівного контролю та технічної діагностики.

Загальне правило заміни відновлення покриття формулюється так:

ЯКЩО ((Настав термін відновлення покриття) АБО (Наступила подія пошкодження покриття) АБО (Вимірювані параметри перевищують встановлений раніше допустимий поріг)) І (Наявні ресурси для оновлення покриття) ТО (Виконати заміну покриття).

База знань деталізує це правило через систему уточнювальних продукційних правил, побудовану відповідно до Rete алгоритму [8].

Для інтелектуального агента інформаційного пошуку цінною вважається інформація, яка дозволяє досягнути успіху у вирішенні наявної проблеми, тобто:

- інформація про нові види протикорозійного захисту, що дають подовжені терміни безаварійної експлуатації;
- інформація про уточнену оцінку ресурсу трубопроводу;
- інформація про ефективніші технології нанесення покриттів.

Для пошуку цінної інформації проаналізовано анотації наукових статей журналу “Фізико-хімічна механіка матеріалів” за останні десять років. Окремі анотації записані в розробленій онтології за допомогою SWRL-правил [6]. Наприклад розглянемо анотацію статті В.П.Силованюк, Р.Я.Юхим “Зародження втомних тріщин біля включень у пружно-пластичних матеріалах” (том 44, №6, 2008, С. 12-17): *Запропоновано підхід для обчислення періоду зародження тріщини в околі пружних включень в напругопластичних матеріалах. Встановлено фактори, від яких залежить інтенсивність утоми матеріалу в околиці включення. Такими є: амплітуда й асиметрія навантаження; геометрія поверхні включення, його відносна твердість; модуль Юнга, границі міцності матеріалу матриці; параметри циклічного зміцнення, його гранична деформація.* Ця анотація подана у вигляді такого SWRL-правила:

matter(?x) \hat{U} depend(?x1, ?x) \hat{U} geometry_inclusion_surface(?x1) \rightarrow intensity_fatigue(?x),

де права частина правила означає: matter(?x) – змінна ?x є матеріалом, geometry_inclusion_surface(?x1) – ?x1 – геометрія поверхні включення; depend(?x1, ?x) – ?x залежить від ?x1, а ліва частина як висновок правила: intensity_fatigue(?x) – в результаті отримуємо інтенсивність втомлення матеріалу ?x.

Для задання вагових коефіцієнтів онтології введено властивість has_weight як відображення сутностей (essence) в величину weigh_ontology (див. рис. 8). Своєю чергою weigh_ontology містить два підкласи: вагу понять (weight_concept) та вагу відношень (weight_relation).

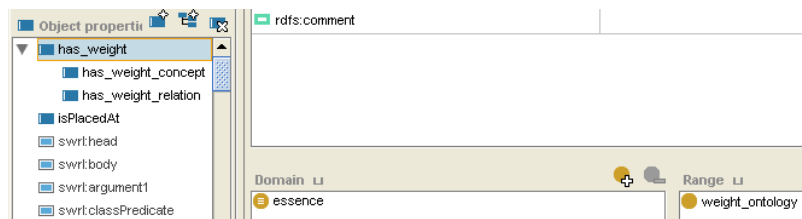


Рис. 8. Ваги понять та відношень у редакторі Protégé

Для побудови онтології використано всі чотири найвідоміші методи подання знань. Так онтологія являє собою семантичну мережу фреймів (див. рис. 9). Для визначення поняття (значок \oplus) використовується логіка предикатів. Для побудови SWRL-правил використовуються продукційні правила.

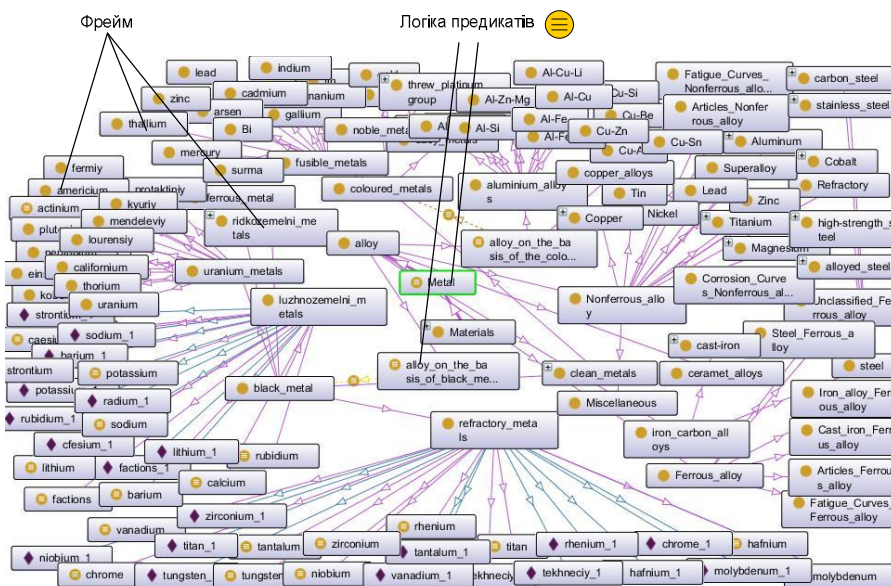


Рис. 9. Семантична мережа фреймів онтології ФХММ

Отже, в роботі запропоновано методика та розроблено базові елементи для побудови онтології інтелектуального агента, який функціонує в галузі матеріалознавства. Даються формальні декларативні визначення базових класів та зв'язків, необхідних для побудови баз знань у цій ПО. Запропоновано метод оцінки цінності знань за їх внеском у розв'язання задачі, яка є перед інтелектуальним агентом.

Висновки

У роботі розглянуто використання онтологічного підходу до задачі максимізації отримання прибутку інтелектуальним агентом. З цією метою агент будує план своєї діяльності (здійснює декомпозицію задачі) та здійснює вибір методу серед множини альтернатив для розв'язування окремих підзадач. Вибір альтернативи здійснюється, застосовуючи онтологію ПО та контекстний пошук в мережі Інтернет. Побудовано модель такої задачі, яку можна розв'язати методом динамічного програмування.

1. Беллман Р. *Динамическое программирование*. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. 2. Даревич Р.Р. *Метод автоматичного визначення інформаційної ваги понять в онтології бази знань* / Р.Р.Даревич, Д.Г.Досин, В.В.Литвин // *Відбір та обробка інформації*. — 2005. — Вип. 22 (98). — С.105–111. 3. Даревич Р.Р. *Застосування інформаційних технологій для координації наукових досліджень* // Р.Р.Даревич, Д.Г.Досин, В.В.Литвин, Л.С.Мельничок — Львів: „СПЛОМ”, 2008. — 240 с. 4. Даревич Р.Р. *Оцінка подібності текстових документів на основі визначення інформаційної ваги елементів бази знань* / Р.Р.Даревич, Д.Г.Досин, В.В.Литвин, З.Т.Назарчук — *Искусственный интеллект*. — Донецьк. — № 3. — 2006. — С. 500–509. 5. Досин Д.Г. *Інтелектуальні системи, базовані на онтологіях* // Д.Г.Досин, В.В.Литвин, Ю.В.Нікольський, В.В.Пасічник — Львів: Цивілізація, 2009. — 414 с. 6. Досин Д.Г. *Модельовання поведінки інтелектуального агента на основі онтологічного підходу* // Д.Г.Досин, В.В.Литвин, Н.В.Шкутяк. — *Відбір і обробка інформації*. — 2009. — Вип. 31(107). — С.112–117. 7. *Середницький Я. Сучасна протикорозійна ізоляція в трубопровідному транспорті* / Я.Середницький, Ю.Банахевич, А.Драгілев — Львів, К: Вид-во “Сплайн”, 2005. — 285с. 8. *Рассел С. Искусственный интеллект* / С.Рассел, П.Норвиг. — М., С.-П., К.: Вильямс, 2006. — 1408с. 9. *Gomez-Perez A. Ontological Engineering: with Examples from the areas of Knowledge Management, E-commerce and the Semantic Web* // A.Gomez-Perez, M.Fernandez-Lopez, O.Corcho — Springer-Verlag London Limited, 2nd printing, 2004. — 403p. 10. *Feldman R. The Text Mining Handbook: Advanced Approaches in Analyzing Unstructured Data* // R.Feldman, J.Sanger — Cambridge University Press, 2007. — 410 p. 11. *The Protege Project*. — Режим доступу: <http://www.stanford.edu>.