

УДК 519.711.3

Л.Ю. Малафєєва

РОЗРОБКА СТРУКТУРОВАНОЇ БАЗИ ЗНАНЬ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ З ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПЕРЕДБАЧЕННЯ

Вступ

У процесі розв'язання задач з технологічного передбачення [1] повнота подання і спосіб обробки вихідної інформації впливають на інтерпретацію, розуміння та сприйняття аналітиком предметної області, об'єкта дослідження тощо. Це значно впливає на подальший хід процесу передбачення, якісний і кількісний аналіз інформації та вихідні результати.

При супроводженні процесу технологічного передбачення виникає необхідність у створенні автоматизованих інструментів проектування складних об'єктів та засобів поглибленого аналізу складних предметних областей [2].

Неформалізовані, неоднорідні і слабкоструктуровані дані з предметної області потребують єдиної структурної мови опису і подання у вигляді єдиної структурованої бази знань у складі "Інформаційної платформи сценарного аналізу" [3].

Постановка задачі

При розв'язанні задач з технологічного передбачення з метою формалізації вихідної інформації необхідно розробити структуровану базу знань, яка ґрунтується на створенні моделі знань, архітектури поля знань із врахуванням понять і особливостей процесу технологічного передбачення та побудови алгоритму, що регламентує спосіб завдання структурованої бази знань, зображеної у вигляді фреймової мережі.

Модель знань

Модель знань у загальному випадку може бути подана як кортеж:

$$M = \langle S, R, P \rangle,$$

де $S = \{S_i | i = \overline{1, N_S}\}$ — множина сутностей;

$R = \{R_i | i = \overline{1, N_R}\}$ — множина типів зв'язків;

$P = \{P_i | i = \overline{1, N_P}\}$ — скінченна множина відносин між сутностями з використанням відповідних зв'язків, де P_i визначається таким чином:

$$P_i = \{S_i R_{ij} S_j | j = \overline{1, N_{P_i}}\} \quad \forall i = \overline{1, N_{P_i}}.$$

Під "сутністю" будемо розуміти об'єкти різної природи [4], наприклад показники, одиниці вимірювання, процеси, дії, сценарії, критичні технології, які виділяє аналітик, аналізуючи предметну область, об'єкт, цілі, обмеження дослідження тощо.

Поле знань займає центральні позиції на стадіях отримання і формалізації знань. Це умовний неформальний опис головних сутностей та зв'язків між ними. Поле знань задається у вигляді семіотичної моделі, що в нашому випадку буде зображено фреймовою мережею, тобто поєднанням фреймів і семантичних ролей [4, 5].

Рівнева архітектура поля знань

Поле знань можна зобразити у вигляді архітектури, яка складається із скінченних наборів розрізів $Pr = \{Pr_i | i = \overline{1, N_{Pr}}\}$ та відповідних рівнів $Pr_i = \{L_i | i = \overline{1, N_{Pr_i}}\}$. Розрізи і рівні архітектури, їх кількість і зміст мають визначатися цілями, обмеженнями та умовами створення фреймової мережі. Таким чином, всі сутності з поля знань у кожному розрізі відносять до певного рівня з деяким допуском. Наприклад, сутність із поля знань за розрізами абстрагування, повноти і достовірності $Pr = \langle Pr_A, Pr_D, Pr_P \rangle$ можна зобразити графічно (рис. 1, а).

При спробі більш детального опису рівнів за принципом абстрагування може з'явитись ситуація неоднозначного віднесення сутності до одного унікального рівня L_A . У цьому випадку слід вказати на відповідні допуски $\delta(L_A)$ віднесення сутності до інших рівнів.

Достовірність інформації має суб'єктивний характер і уточнюється експертами після генерації опитувальних форм — на етапі якісного та кількісного аналізу експертних оцінок. Беручи до уваги, наприклад, розріз повноти або достовірності [6], ми повинні вказати також на допуски $\delta(L)$, з якими встановлюємо відповідне значення L . Інші якісні характеристики інформації відносно сутностей, наприклад суперечність, невизначеність, неточність [6] тощо, визначаються в процесі аналізу бази знань та коригуються під наглядом аналітика.

Архітектура поля знань є концептуально необхідною складовою процедури опису сутностей аналітиком, в результаті застосування якої маємо однорідність зв'язків у топології фреймової мережі, що надає переваги ефективного зображення, обробки та збереження знань за допомогою комп'ютерних засобів.

Поле знань за розрізом абстрагування. Розглянемо розріз абстрагування поля знань у термінах технологічного передбачення. Кожний рівень характеризує абстрагування сутностей і являє собою страту [6].

На практиці, при розв'язанні задач з технологічного передбачення, необхідно враховувати раціональну глибину абстрагування базових об'єктів до певного рівня. Опис цих об'єктів формує фундамент для подання більш складних сутностей, наприклад формування сценаріїв майбутнього, предметної області, об'єкта дослідження тощо. Результатом проведення процедур технологічного передбачення є побудова альтернатив сценаріїв розвитку майбутнього, що можна розглядати як верхню границю рівнів сутностей або верхній рівень абстрагування.

Таким чином, в архітектурі поля знань за принципом абстрагування $Pr_A = \langle O, E, Sc \rangle$ можна виділити такі рівні:

$O = \{O_i | i = \overline{1, N_O}\}$ – рівень об'єктів,

$E = \{E_i | i = \overline{1, N_E}\}$ – рівень подій,

$Sc = \{Sc_i | i = \overline{1, N_{Sc}}\}$ – рівень сценаріїв.

Із врахуванням запропонованих рівнів сутність з поля знань за розрізами абстрагування, повноти і достовірності можна зобразити графічно (рис. 1, б).

Рівень об'єктів описує атомарні об'єкти, що будуть застосовуватись при описі сутностей на вищих рівнях (рис. 2). Рівень подій описує надсутності відносно атомарних об'єктів. Останній рівень містить різні альтернативи сценаріїв майбутнього.

У разі необхідності можна використовувати також додаткові допоміжні рівні абстрагування сутностей.

Кожний рівень абстрагування характеризується своїм набором ролей, за яким можна визначити належність сутності до того чи іншого рівня. Таким чином, рівень сценаріїв може містити сутності, що виступають у ролі "це альтернатива", "це ситуація" та ін.; рівень об'єктів може мати ролі "це показник", "це стан", "це одиниця вимірювання" тощо. Між окремими ролями різних рівнів абстрагування існує теж відношення абстрагування відповідно до рівнів, яким вони належать. Наприклад, сутності рівня об'єктів можуть виступати в ролі "це дія", сутності рівня подія – в ролі "це процес". У цьому контексті сутність з роллю "це процес" має вищий порядок відносно сутності з роллю "це дія" відповідно до рівнів абстрагування, в яких вони знаходяться. Звернімо увагу на те, що роль "це процес" має теж вищий порядок відносно ролі "це дія". Аналогічно можна встановити, що роль "це ситуація" (рівень подій) має більш високий рівень абстрагування, ніж роль "це стан" (рівень об'єктів).

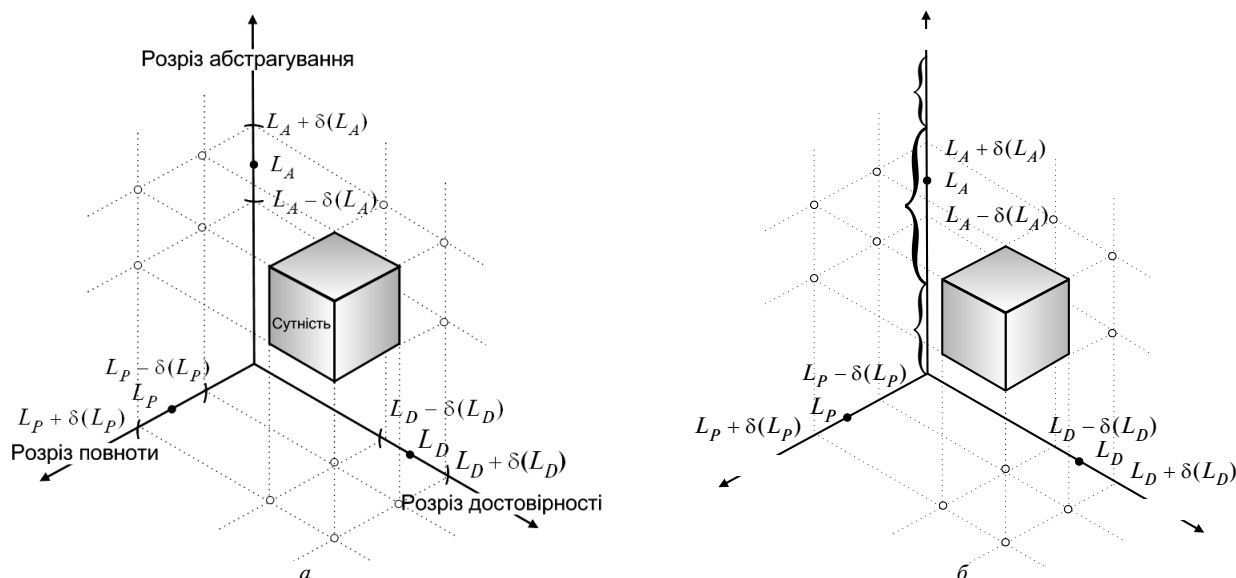


Рис. 1. Приклад архітектури поля знань: а – загальний вигляд; б – з рівнями абстрагування

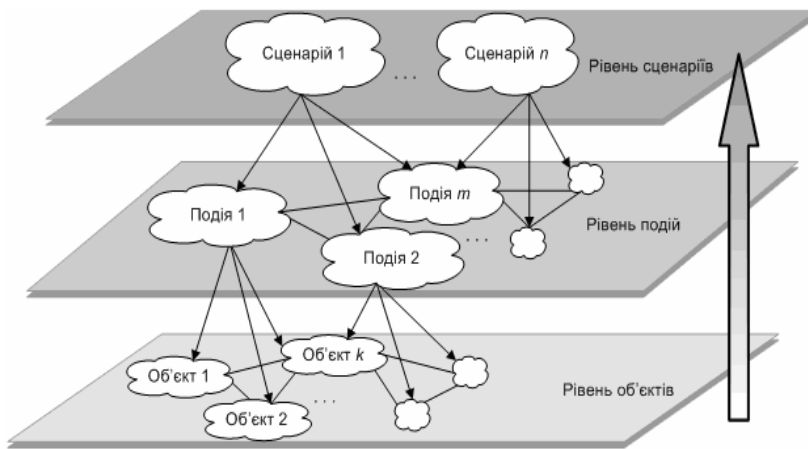


Рис. 2. Поле знань за розрізом абстрагування

Алгоритм побудови структурованої бази знань у вигляді фреймової мережі

Наведена архітектура поля знань дає змогу зобразити алгоритм побудови структурованої бази знань, поданої у вигляді фреймової мережі, що трансформує сутності у фрейми, а неявні

зв'язки сутностей — у семантичні ролі (рис. 3).

На початковому етапі, у процедурі зображення сутності з поля знань, необхідно виділити головну суть та характеристики сутності відносно предметної області та контексту відповідної ситуації. Фреймове подання сутності, що аналізується, заносимо до бази знань. Проаналізувавши сутність з її навколишнім середовищем та подальшим виділенням головної характеризуючої сутності в контексті ситуації та встановленням відповідного зв'язку, маємо головну роль, яку відіграє сутність відносно головної характеризуючої. За головною роллю сутність можна віднести до одного з рівнів абстрагування в архітектурі поля знань. Із врахуванням того факту, що кожний рівень абстрагування має свій набір ролей, виникає можливість виявлення переліку характеризуючих сутностей.

Наведений алгоритм побудови структурованої бази знань у вигляді фреймової мережі дає змогу зобразити алгоритм побудови структурованої бази знань, поданої у вигляді фреймової мережі, що трансформує сутності у фрейми, а неявні зв'язки сутностей — у семантичні ролі (рис. 3).

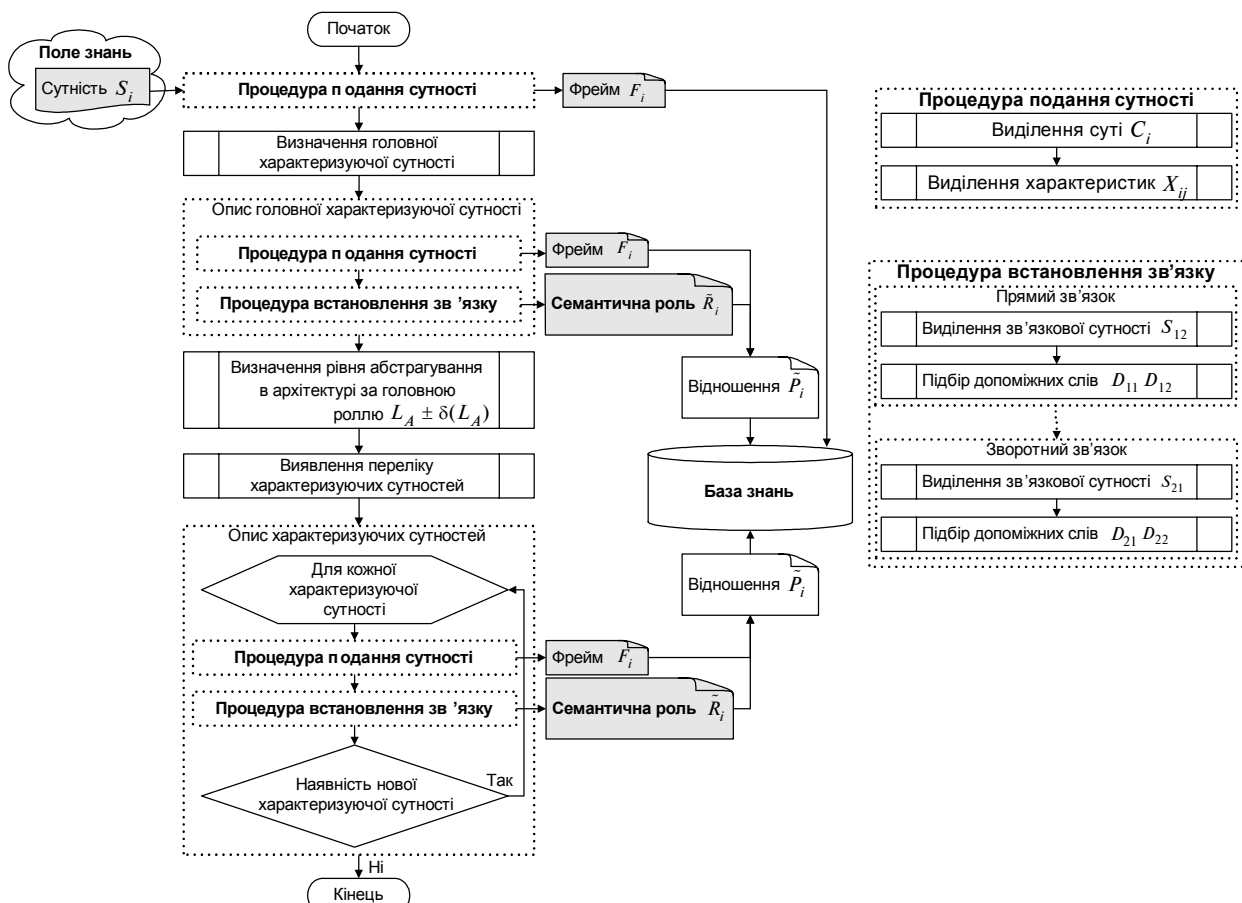


Рис. 3. Схема алгоритму побудови структурованої бази знань у вигляді фреймової мережі

Кожна характеризуюча сутність теж повинна мати вказане вище подання. Після встановлення прямих та зворотних зв'язків між сутністю, що аналізується, та характеризуючими сутностями маємо відношення, що акумулюються в базі знань.

Слоти фрейму можуть містити як інформацію про зв'язки сутності з характеризуючими сутностями, так і інформацію про свої характеристики тощо. Розглянемо головні етапи алгоритму більш детально.

Процедура подання сутності. Зображення кожної сутності S_i з поля знань у вигляді головного слова C_i , тобто суті, та множини його уточнювальних характеристик $X_i = \{X_{ij} | j = \overline{1, N_{X_i}}\}$ має свої переваги. Чим більше характеристик ми можемо вказати відносно сутності, тим більш детально її опишемо, тим більше маємо змогу звузити та обмежити область значень, яку може набувати сутність. Таким чином, у результаті процесу виявлення головної суті та характеристик сутності отримуємо подання сутності у вигляді

$$S_i = C_i \cup \tilde{X}_i,$$

де \tilde{X}_i визначається як

$$\tilde{X}_i = \bigcup_{j=1}^{N_{X_i}} X_{ij}.$$

Наведене подання сутності можна схематично зобразити з використанням центричних кіл Ейлера (рис. 4).

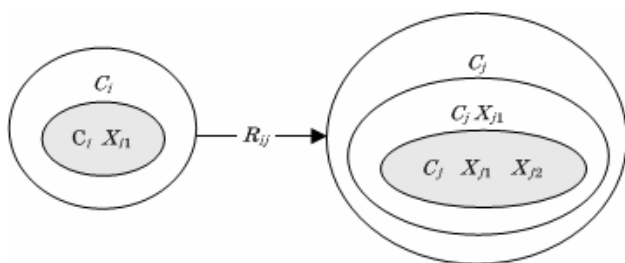


Рис. 4. Зображення сутностей

З метою раціонального подання сутності розуміння та уявлення її аналітиком із врахуванням дослідів Міллера [7] не рекомендується вказувати характеристик більш ніж 7 ± 2 . У випадку, коли характеристик стає більше, ніж 7 ± 2 , найзначиміші та найвагоміші характеристики пропонується виділити в окремі характе-

ризуючі сутності, які теж повинні бути описані, та встановити відповідні зв'язки їх із самою сутністю. Наприклад, зв'язок між двома сутностями може бути встановлено за типом "має характеристику" для прямого зв'язку або "це характеристика для" для зворотного зв'язку.

При використанні фреймових структур для подання кожної сутності з поля знань у фреймовій мережі виникає необхідність у забезпеченні ідентифікації фреймів з використанням відповідних міток, що не повторюються [8]. Однак при спробі візуально зобразити фреймову мережу можуть з'явитися складнощі, пов'язані або з ненаочністю зображення мережі з мітками та розуміння її аналітиком, або з дублюванням назв фреймів у випадку заміни міток на оригінальні назви. Вказане вище зображення сутності можна інтерпретувати як назву відповідного фрейму. Таким чином, маємо ширший діапазон для вибору унікальних назв фреймів та знижуємо ризик появи дублювання.

Процедура встановлення зв'язку. На етапі процедури встановлення зв'язку R_i необхідно вказати роль \tilde{R}_i , яку сутність відіграє відносно іншої сутності в даному контексті ситуації. Пропонується розбити семантичну роль на три частини таким чином, щоб головна частина ролі була сутністю S_i , а дві інші були допоміжними словами D_{i1} і D_{i2} до та після встановлення зв'язку

$$R_i = D_{i1} \cup S_i \cup D_{i2}.$$

У результаті, із врахуванням рівності $P_i = \{S_i R_{ij} S_j | j = \overline{1, N_{P_i}}\} \forall i = \overline{1, N_P}$ отримуємо зв'язок сутностей з іншою сутністю (рис. 5, де "До д/с", "Після д/с" — допоміжні слова "до" і "після" встановлення зв'язку, відповідно), що, з одного боку, робить зв'язок більш інформативним, адже зв'язкова сутність теж має опис, надає змогу задавати правила обходу по фреймовій мережі для подальшого аналізу, будувати інші прототипи та класи фреймів на основі базових тощо, та з іншого боку, із врахуванням допоміжних слів запобігає втраті загального логічного змісту, орієнтованого на розуміння аналітиком.

Процедура встановлення зворотного зв'язку.

При візуалізації бази знань з використанням фреймової мережі, її аналізі виникає необхідність перевірки встановлення зворотного зв'язку між сутностями:

$$S_i R_{ij} S_j \stackrel{?}{\Rightarrow} S_j R_{ji} S_i.$$

Невиконання необхідної перевірки або порушує логічну цілісність зв'язків у базі, або породжує встановлення зайвих, нерелевантних зв'язків та, як наслідок, створює загрозу семантичної перевантаженості. Наявність зворотного зв'язку вказує на набуття семантичним зв'язком властивості рефлексивності. Інтерпретацію конструкції встановлення зворотного зв'язку у вигляді схеми зображено на рис. 5.

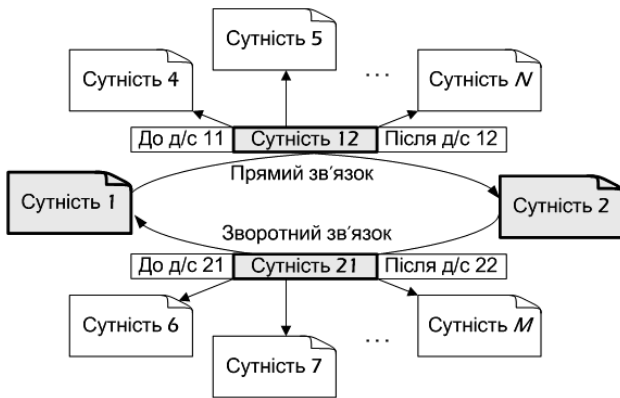


Рис. 5. Встановлення прямого та зворотного зв'язків

Завдання аналітика полягає в з'ясуванні питання необхідності та коректності встановлення зворотного зв'язку між сутностями в контексті розглядуваної ситуації.

Зауважимо, що інколи “Сутність 12” може збігатися із “Сутністю 21”, але не завжди. Наприклад, якщо “Об’єкт 1” має показник — “Об’єкт 2”, то можна стверджувати, що “Об’єкт 2” — це показник для “Об’єкт 1”. Однак, якщо “Об’єкт 1” — це клас для “Об’єкт 2”, то необхідно зазначити, що “Об’єкт 2” — це екземпляр для “Об’єкт 1”. Отже, у другому випадку зворотний зв'язок “Об’єкт 2” — має клас “Об’єкт 1” буде некоректним за змістом і не зрозумілим для аналітика. Слова “це”, “для”, “має” в даному випадку є допоміжними.

У разі відсутності необхідності встановлення зворотного зв'язку або набуття прямого зв'язку з характеризуючою сутністю не дуже необхідних, другорядних відносин з точки зору цілей обстеження та контексту ситуації доцільніше відносити характеризуючу сутність до слоту фрейму вихідної сутності з метою уникнення появи семантичної перевантаженості.

Модель знань технологічного передбачення

При застосуванні запропонованого алгоритму для побудови структурованої бази знань, зображеної фреймовою мережею, загальна модель знань трансформується в такий вигляд:

$$M = \langle F, \tilde{R}, \tilde{P} \rangle,$$

де $F = \{F_i | i = \overline{1, N_F}\}$ — множина фреймів; $\tilde{R} = \{\tilde{R}_i | i = \overline{1, N_{\tilde{R}}}\}$ — множина семантичних ролей; $\tilde{P} = \{\tilde{P}_i | i = \overline{1, N_{\tilde{P}}}\}$ — скінченна множина відносин між фреймами з використанням відповідних семантичних ролей, де \tilde{P}_i визначається таким чином:

$$\tilde{P} = \{F_i \tilde{R}_{ij} F_j | j = \overline{1, N_{\tilde{P}}}\} \quad \forall i = \overline{1, N_{\tilde{P}}}.$$

Із врахуванням архітектурного підходу до подання поля знань у термінах процесу технологічного передбачення модель знань доповнюється поданням об'єктів та подій, що задаються відповідно у вигляді

$$O_i = \{\tilde{P}_{ij} | j = \overline{1, N_{O_i}}\}, \quad E_i = \{O_{ij} | j = \overline{1, N_{E_i}}\}.$$

Множина контекстів ситуацій складається з подій та може бути подана таким чином:

$$K = \{K_i | i = \overline{1, N_K}\}, \quad K_i \in E.$$

Нагадаємо, що кожен контекст ситуації як сутність відображається у вигляді фрейму, який містить зв'язок із попереднім та наступними контекстами ситуацій, як із результатом попередніх змін, що його спричинили, та з результатами можливих наступних дій, що в ньому можна виконувати, відповідно. Контекст ситуації на стартовому моменті часу її розгляду є підмножиною множини контекстів ситуацій:

$$K_s = \{E_{s_i} | i = \overline{1, N_{K_s}}\}, \quad K_s \in K.$$

Множину цілей дослідження можна подати у вигляді

$$A = \{A_i | i = \overline{1, N_A}\}, \quad A_i \in K,$$

$$\text{де } A_i = \{K_i | i = \overline{1, N_{A_i}}\}.$$

Задамо сценарій як стартову і кінцеву ситуації, що є бажаними для даного сценарію, та підмножину контекстів проміжних ситуацій,

що являють собою множину впорядкованих перехідних станів між ними:

$$Sc_i = \{ \langle K_s, K_j, Ke_{Sc_i} \rangle \mid j = 1, \overline{N_{Sc_i}} \}.$$

Приклад

Розглянемо застосування алгоритму процесу подання поля знань на прикладі предметної області “Залізнична система металургійного комбінату” у процесі розв’язання задачі підвищення ефективності роботи залізничної системи з використанням методології технологічного передбачення. У результаті роботи алгоритму було побудовано базу знань, структуру якої зображено на рис. 6.

Розглянемо більш детально процес формування фрагменту зображеної бази знань із використанням алгоритму. Наприклад, зображення сутностей “Нормативний термін служби” та “Локомотив” із зв’язком “це показник для” в графічній інтерпретації буде мати вигляд, показаний на рис. 7, б.

У цьому випадку “Термін” є суттю для сутності “Нормативний термін служби” і уточ-

нюється за допомогою характеристики – “служби”. В результаті отримуємо більш звужену область значень та більш конкретну сутність, що потім уточнюється з використанням характеристики “нормативний”. Таким чином, маємо трансформацію початкового подання сутності “Нормативний термін служби” у “Термін служби нормативний”.

Описуючи сутність “Термін служби нормативний”, задаємо головну роль “це показник для”, за якою виступає вказана сутність у даному контексті ситуації. Інакше кажучи, “Термін служби нормативний” грає роль “Показник” для сутності “Локомотив”. “Термін служби нормативний”, “Показник”, “Локомотив” – це сутності, що можуть бути описані іншими сутностями або виступати у ролі по відношенню до інших сутностей. “Це” і “для” – допоміжні слова, що вказують на направленість зв’язку.

Із зворотним зв’язком графічна інтерпретація семантичної ролі може бути зображена на рис. 7:

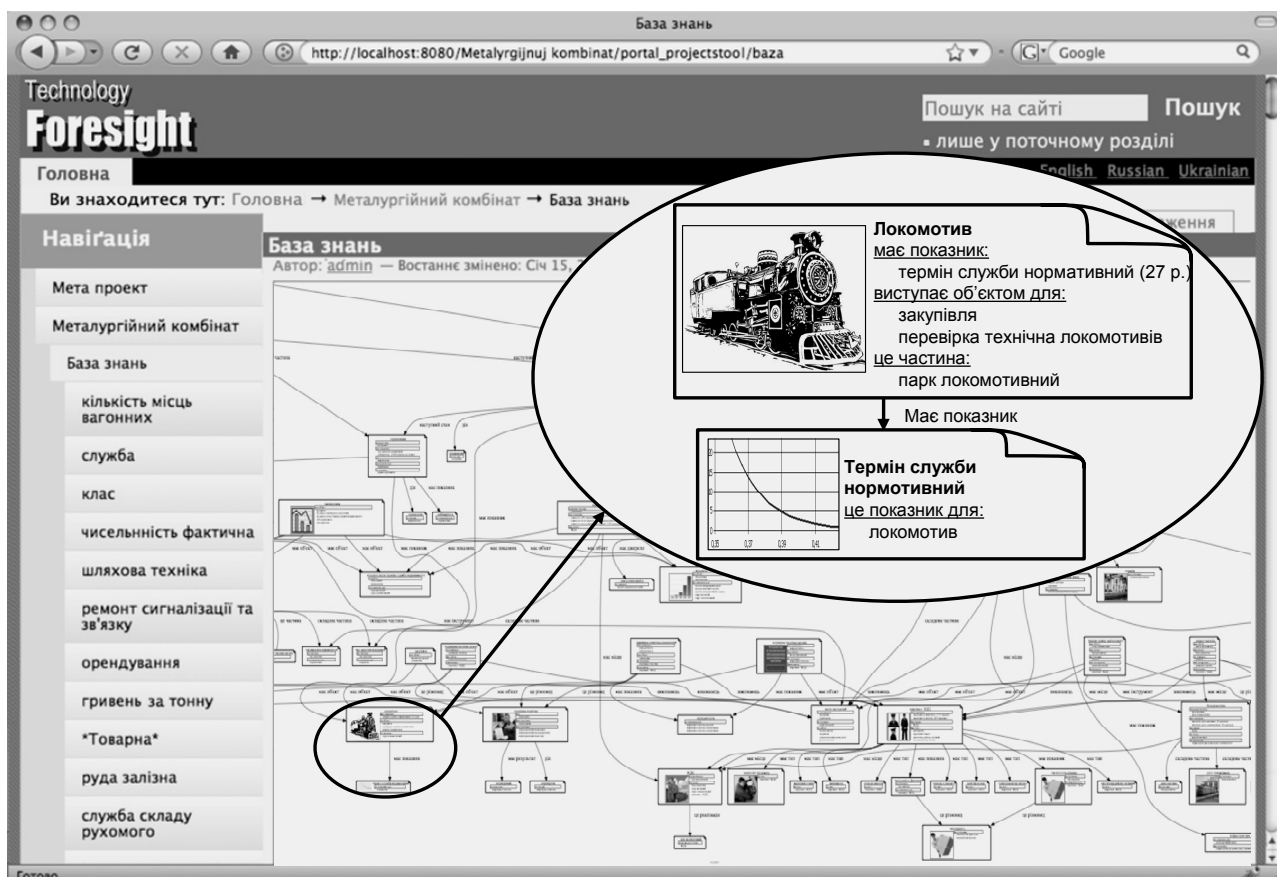


Рис. 6. Приклад фрагмента бази знань предметної області “Залізнична система металургійного комбінату”

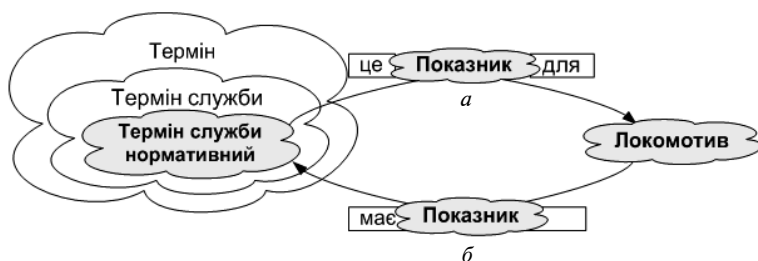


Рис. 7. Приклад зображення сутностей із встановленим зв'язком: *a* – прямий зв'язок; *б* – зворотний зв'язок

Описавши сутність “Термін служби нормативний” за головною роллю і встановивши прямий та зворотний зв'язки, відносимо її до об'єктного рівня архітектури за принципом абстрагування. Як характеризуюча сутність може виступати, наприклад, сутність одиниця вимірювання “Рік” тощо. Над сутністю “Термін служби нормативний” можна виконувати дії “Підвищення” або “Скорочення”, які являють собою теж характеризуючі сутності та які можна описати, встановити відповідні зв'язки, подати у вигляді подій та віднести їх до рівня подій, і т.д.

Висновки

З метою формалізації вихідної інформації при розв'язанні задач з технологічного передбачення було розроблено структуровану базу знань, яка подана у вигляді моделі знань, архітектури поля знань та алгоритму, що регламентує спосіб її задання.

Подання поля знань у вигляді структурованої бази знань описується запропонованою математичною моделю знань із врахуванням особливостей методології технологічного передбачення.

Застосування в поєднанні фреймів та семантичної мережі має переваги у сенсі опису

об'єктів, процесів, ситуацій та сценаріїв у мережі з часово-просторовим вимірюванням та подання кожного з них у вигляді цільної структури – фрейму. Встановлення прямого та зворотного зв'язків між сутностями за допомогою інших сутностей підвищує рівень сприйняття інформації аналітиком, забезпечує зручне машинне подання для подальшого аналізу та запобігає порушенню структурної однорідності і цілісності бази.

Архітектурний підхід до зображення поля знань у вигляді фреймової мережі робить процедуру опису більш прозорою і зручною при використанні на практиці. Архітектурне подання поля знань масштабує об'єкти дослідження до відповідних рівнів, надаючи змогу їх співставляти та порівнювати між собою за різними розрізами. Подання рівневої архітектури за принципом абстрагування поля знань дає можливість перейти від лінійного плоского зображення складних сутностей більш простими до побудови впорядкованої ієрархічної структури знань із врахуванням особливостей процесу технологічного передбачення.

Запропоновані підходи до розв'язання задачі надали змогу створити модуль формалізації та подання поля знань в “Інформаційній платформі сценарного аналізу” для подальшого застосування накопиченої структурованої бази знань з метою автоматичного коригування бази при виявленні нових знань або протиріч, аналізу цілей та обмежень обстеження, аналізу контексту ситуації, генерації правил обходу по базі, створення опитувальних форм для процедур експертного оцінювання, побудови інших прототипів та класів фреймів на основі базових на подальших етапах процесу технологічного передбачення.

Л.Ю. Малафеева

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРИРОВАННОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДВИДЕНИЯ

Предложена модель знаний с учетом особенностей методологии технологического предвидения. Предложены архитектура поля знаний и алгоритм построения структурированной базы знаний, представленной в виде фреймовой сети.

L.Yu. Malafeeva

ON DEVELOPMENT OF THE STRUCTURED KNOWLEDGE BASE FOR SOLVING TASKS OF TECHNOLOGY FORECASTING

In this paper, we provide insights into the knowledge model taking into account the specificity of methodology of technology forecasting. We also demonstrate the architecture of knowledge field and the algorithm for constructing the structured knowledge base in the form of frame network.

1. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Технологическое предвидение // Учебно-научный комплекс "Институт прикладного системного анализа" НТУУ "КПИ". — К.: Политехника, 2005. — 166 с.
2. Бутенко Л.Н. Проблематика концептуального проектирования технических объектов // Информационный портал Metodolog.ru <http://www.metodolog.ru/01199/01199.html>
3. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Информационная платформа сценарного анализа в задачах технологического предвидения // Кибирнетика и системный анализ. — 2003. — № 4. — С. 112–125.
4. Аверкин А.Н., Гаазе-Рапопорт М.Г., Поспелов Д.А. Толковый словарь по искусственному интеллекту. — М.: Радио и связь, 1992. — 256 с.
5. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. — СПб.: Питер, 2000. — 384 с.
6. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ. Проблемы, методология, приложения. — К.: Наук. думка, 2005. — 744 с.
7. Miller G.A. The magical number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information // Psychological Review. — 1956. — **63**. — P. 81–97.
8. Искусственный интеллект. Спр. в трех томах / Под ред. В.Н. Захарова, Э.В. Попова, Д.А. Поспелова, В.Ф. Хорошевского. — М.: Радио и связь, 1990. — I т. — 464 с., II т. — 304 с., III т. — 368 с.

Рекомендована Радою
Навчально-наукового комплексу
"Інститут прикладного системного
аналізу" НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
29 червня 2009 року