Інтелектуальна тьюторна система на основі бази знань обмежень з мітками

Роман Вовк, Василь Шекета

Кафедра програмного забезпечення автоматизованих систем, Національний технічний університет нафти і газу, УКРАЇНА, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, E-mail: wolf@wolf.if.ua

Abstract - In the given paper the formal-logical approach is introduced for the use of certainty factors in intelligible tutoring system with means of constraints knowledge base for educational subject domain that allows using of parameters actual values on the basis of subjective estimations of subject domain teachers group.

Ключові слова – constraints, knowledge base, constraints sequence, queries constructions, constraints violation.

I. Вступ

Основним завданням в області навчальних тьюторингових систем та інтелектуальних систем навчання є побудова комп'ютерних аналогів індивідуального навчання (тьюторів), що по ефективності може наближатися до індивідуального тьюторингу, що проводиться викладачем-людиною. Оскільки проектована тьютора система є інтелектуальною, то наявні в системі обмеження зручно представляти у вигляді бази знань обмежень *Constraints Knowledge Base* (CK_B). Всі рішення в інтелектуальній тьюторній системі (ІТС) приймаються на основі аналізу досвіду роботи викладачів з великим фаховим досвідом. В роботі [1] база знань інформаційної системи розглядається як набір інформаційних сутностей атомарних предикатів з деякого скінченого інформаційного простору $\Re$. В нашому випадку всі зміни, що відбуваються в базі знань, можна розглядати, як наслідки запитів на вивід порушених обмежень (*violated constraints Query*) та відповідної корекції (модифікації) поточної бази знань. Результатом запитів буде певна множина послідовностей порушених обмежень:

$$Q_{v.c.} \longleftrightarrow (CK_B)^{<<} \left\| \begin{matrix} CK_{B-}(Constr_i) \\ CK_{B+}(Constr_i) \end{matrix} \right. <<, \qquad (1)$$

де $Constr_i \in Constr_{set}^{P_i}$. Основна ідея такого запису послідовності обмежень полягає в тому, що 1) $CK_{B+}(Constr_i)$ означає, що атомарне обмеження $Constr_i$ повинне бути включене в базу знань обмежень CK_B, а CK_{B-} означає, що $Constr_i$ – повинне бути виключене з бази знань; 2) $(CK_B)^{<<}$ - означає модифікацію бази знань на рівні логічної зв'язаності послідовності обмежень як наслідок виконання операцій додавання і вилучення послідовностей обмежень.

Проте **недослідженим** залишається питання опису процесу прийняття рішення групою експертів предметної області (викладачів певних навчальних курсів) в інтелектуальних тьюторних системах, щодо формування послідовностей обмежень для навчальних проблем. Тому **ціллю** даної роботи є питання введення коефіцієнтів впевненості як інструменту підвищення ефективності роботи інформаційних інтелектуальних тьюторних систем, зокрема в процесі виконання запитів на виведення порушених обмежень при вирішенні навчальних проблем.

II. Введення коефіцієнтів впевненості

Однією з актуальних проблем штучного інтелекту є проблема задоволення обмежень (CSP – constraints satisfaction problem) [2], яка має ряд застосувань: прогнозування, розподілення ресурсів, планування, та ін. Наукові пошуки в області CSP базуються на класичних задачах штучного інтелекту, мовах програмування штучного інтелекту, абстрактних обчисленнях, теоріях логіки. Формалізовано проблема задоволення обмежень може бути представлена у вигляді множини змінних $X = \{x_i\}, i = \overline{1,n}$, скінченних множин D_i їх можливих значень (доменів), $D = \{D_i\}, i = \overline{1,n}$, і множини обмежень які обмежують значення, що змінні можуть одночасно приймати $Constr = \{Constr_i\}, i = \overline{1,n}$. Розв'язком CSP є набір значень з відповідних доменів для кожної змінної, таких щоб задовольнялося кожне накладене обмеження.

Основне завдання будь-якої інтелектуальної системи полягає у вивченні певних розділів навчального матеріалу. Згідно класичної архітектури [3] тьюторна система повинна складатися з інтерфейсу, педагогічного модуля, який визначає часові характеристики та наповнення педагогічних дій, а також блоку моделювання студента, який аналізує пропоновані суб'єктом навчання рішення (розв'язки). Система містить теоретичні розділи, а також множину проблем та ідеальних рішень для них. Деякі тьютори включають доменні модулі, а інші не включають їх, тобто є предметно залежними. Основне завдання яке вирішується на кожному з етапів полягає в перевірці коректності рішення запропонованого студентом; для цього система використовує доменні знання представлені в формі обмежень. На початку навчальної сесії (сеансу роботи) тьютор вибирає певну проблему з якою буде працювати студент. Після того як студент відправляє рішення педагогічний модуль перенаправляє її в блок моделювання студента, який аналізує дане рішення, ідентифікує помилки і відповідно оновлює модель студента. Розглядатимемо множину навчальних проблем тьюторної системи у вигляді деякої множини $P_{set} = \{P_i\}, i = 1...n_1$, де кожна проблема P_i має j - станів.

Означення. Обмеженням для стану j проблеми P_i, P_i^j будемо вважати впорядкований триплет

$[Constr_r^j, Constr_s^j, Constr_v^j] \in CK_B$, де $Constr_r^j$ є релевантним обмеженням із множини накладених обмежень $Constr_{set}^{P_i^j}$ на поточний стан проблеми, $Constr_{set}^{P_i} = \left\{ Constr_k^{\{P_i^j\}} \right\}$, $k = 1 \ldots n_{constr}$, де n_{constr} - кількість накладених обмежень на множину рішень навчальних проблем $Solution_{set}^{P_{set}}$, $Constr_s^j$ є обмеженням, що задовольняється і $Constr_v^j$ - є обмеженням, що було порушене в поточній сесії.

Виконаємо представлення знань предметної області $SubjectDomain$ як множини обмежень стану проблеми $Constr_{set}^{P_i^j}$, тобто обмежень, що інтерпретують множину еквівалентних станів проблеми $[P_i]_{set}^E$, де $E \le J$. Кожен з одержаних класів еквівалентності $Class^{P_{set}^E}$ ініціює в системі запуск однакових педагогічних дій $\{f_i\}_{i=1\ldots9}$, де кожне з f_i прийматиме одне із значень: 1. індикація вірності чи невірності рішення, 2. повідомлення про помилку, 3. підказка, 4. детальна підказка, 5. вивід всіх помилок, 6. виведення рішення, 7. показ порушених обмежень, 8. показ задоволених обмежень, 9. показ релевантних обмежень. Тобто стани проблеми в класі еквівалентності є педагогічно еквівалентними $P_i^{j_1} \overset{\{f_i\}}{\equiv} P_i^{j_2}$, де $P_i^{j_1}, P_i^{j_2} \in Class^{[P_i]_{set}^{E_1}}$.

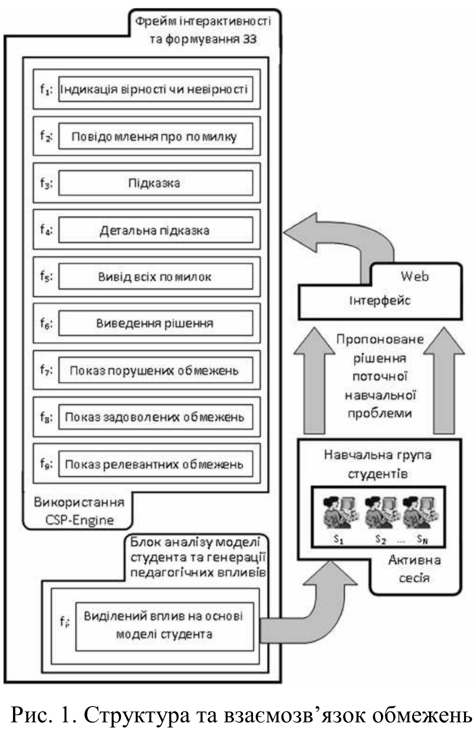

Рис. 1. Структура та взаємозв'язок обмежень

Для одержаного формально-логічного апарату, що моделює процес побудови запитів на виведення послідовності порушених обмежень при рішенні навчальної проблеми введемо коефіцієнти впевненості *(Certainty Factors)*, які описують ситуації прийняття рішень групою викладачів навчального курсу (експертів).

Студенти мають кілька варіантів вибору навчальних проблем в тьюторі. Зокрема вони можуть вибирати проблеми по наростаючій складності, натискаючи кнопку наступна проблема. Інша опція – це вибір проблеми системою. Такий вибір здійснюється на основі поточного профілю студента в його моделі.

Навчальні проблеми є релевантними до множини обмежень в приблизно рівних пропорціях. Хоча існує множина обмежень, яка релевантна до всіх проблем, а також деяка множина обмежень нерелевантних до жодної проблеми (у зв'язку з високою динамікою оновлення веб-базованих навчальних курсів). Перед початком рішення всіх проблем система може видавати короткий тьюторинг щодо користування системою, а також по окремих розділах теорії з яких взята навчальна проблема.

Нехай $Constr_{set}$ – скінчений простір, елементи якого вважатимемо атомарними обмеженнями. Зокрема в нашому прикладі ми спочатку розглядаємо $Constr_{set} = \{in^+\}$, а потім $Constr_{set} = \{Constr_i^1, Constr_i^2\}$. Вирази виду $CK_{B+}(Constr_i^1)$, $CK_{B-}(Constr_i^2)$, де $Constr_i \in Constr_{set}$ називатимемо модифікаційними атомами. Модифікаційним атомам присвоюються мітки. Всі мітки належать множині M. Будемо вважати множину M частково впорядкованою, із введеними операціями $\cup$, $\cap$. Для кожного елемента $Constr_i \in M$ введемо доповнення де-Моргана, яке будемо позначати через $\overline{Constr_i}$. Введені операції задовольняють закони де-Моргана:

$$\overline{Constr_i^1 \cup Constr_i^2} = \overline{Constr_i^1} \cup \overline{Constr_i^2},$$

$$\overline{Constr_i^1 \cap Constr_i^2} = \overline{Constr_i^1} \cap \overline{Constr_i^2}. \qquad (2)$$

В наведеному нижче прикладі (для випадку трьох експертів – викладачів певного фаху) M є множиною підмножин, утворених із $\{t\_1, t\_2, t\_3\}$.

Модифікаційними атомарними обмеженнями з мітками будемо вважати вирази виду:

$$(CK_{B+}(Constr_i^1) : C_F) \text{ або } (CK_{B-}(Constr_i^2) : C_F), \qquad (3)$$

де $Constr_i \in Constr_{set}$, $C_F \in M$.

Модифікаційною послідовністю обмежень будемо вважати виділену послідовність модифікаційних атомарних обмежень.

Під запитом на порушене обмеження із мітками, будемо розуміти множину модифікаційних послідовностей обмежень із мітками.

Можна також виконати запис модифікаційних послідовностей обмежень із мітками, в формі простих модифікаційних послідовностей (без міток), якщо ввести додаткові атомарні предикати ($in^+\_t\_n$), де $1 \le n \le m$, t – кількість викладачів, що приймають участь в дискусії, щодо формулювання навчальних проблем P_i та накладання на них певних обмежень $Constr_{set}^{P_i}$.

Розглядатимемо випадок, коли мітки задані у вигляді чисел з діапазону $[0;1]$.

Нехай тепер ми маємо два обмеження навчальної проблеми P_i $Constr_i^1$ і $Constr_i^2$. У вихідній базі знань дані обмеження представлені з певним коефіцієнтом впевненості. Наприклад, якщо, коефіцієнт впевненості в обмеженні $Constr_i^1$ є C_F^1, $(0 \le C_F^1 \le 1)$, тоді $CK_B^{поч}(in^+) =< C_F^1, 1 - C_F^1 >$, де in^+-атомарний предикат. Ми можемо інтерпретувати перший і другий елементи в кортежі $(C_F^1, 1 - C_F^1)$ як степені впевненості і невпевненості в надійності інформації, щодо релевантності обмеження. Задача, яка виникає в даній ситуації є вивід дійсного значення характеристики, виходячи із суб'єктивної оцінки викладача. Таким чином всі $Q_{v.c.}$ – запити на порушені обмеження для вихідної бази знань $CK_B^{поч}$, $CK_B^{Q_{c.v.}}$ повинні представляти реальні значення характеристик релевантності обмежень. Припустимо тепер, що невизначеність H_1 не може занизити значення обмеження більше чим на 0.1. Тоді ми можемо припустити, що обмеження $Constr_i^1$ є присутнім, коли коефіцієнт впевненості в даному факті є 0.9 і більше. Припустимо тепер, що невизначеність H_2 не може впливати на обмеження $Constr_i^2$ більше чим на 0.3. Тому, якщо коефіцієнт впевненості у відсутності обмеження є принаймні 0.7, дане обмеження повинне бути відсутнім. Ці передпосилки, разом із фактом, що для кожного обмеження беруться до уваги два значення $\{ïðèñóòíÿ\ ,â³äñóòíÿ\}$, можуть бути представлені:

$$
\begin{aligned}
&\{(CK_{B+}(Constr_i^1):1) << (CK_{B+}(Constr_i^1):0.9),\\
&(CK_{B-}(Constr_i^1):0.7),\\
&(CK_{B-}(Constr_i^2):1) << (CK_{B+}(Constr_i^1):0.9),\\
&(CK_{B-}(Constr_i^1):0.7),
\end{aligned}
\tag{4}
$$

$$
\begin{aligned}
&(CK_{B+}(Constr_i^2):1) << (CK_{B+}(Constr_i^2):0.9),\\
&(CK_{B-}(Constr_i^1):0.7),\\
&(CK_{B-}(Constr_i^1):1) << (CK_{B+}(Constr_i^2):0.9),\\
&(CK_{B-}(Constr_i^2):0.7)\}.
\end{aligned}
\tag{5}
$$

Перших два правила стверджують, що якщо впевненість в наявності обмеження $Constr_i^1$ є принаймні 0.9, а впевненість у відсутності $Constr_i^2$ принаймні 0.7, тоді обмеження $Constr_i^1$ присутнє із коефіцієнтом впевненості 1, а обмеження $Constr_i^2$ відсутнє з коефіцієнтом впевненості 1. Нехай тепер коефіцієнт впевненості в присутності обмежень $Constr_i^1$ і $Constr_i^2$ складає відповідно 0.4 і 0.8. Тоді

$CK_B^{поч}(Constr_i^1) =< 0.4, 0.6 >$

$CK_B^{поч}(Constr_i^2) =< 0.8, 0.2 >$.

Після виконання $Q_{v.c.}$ – модифікації для $K_B^{поч}$ ми одержимо реальні значення обмежень в базі знань, а саме

$$CK_B^{Q_{v.c.}}(Constr_i^1) =< 0,1 >,$$

$$CK_B^{Q_{v.c.}}(Constr_i^2) =< 1,0 >.$$

Для M введемо оціночну функцію Θ, яка буде описувати наявну інформацію про належність елементів $Constr_i$ деякій множині T, $T \subseteq Constr_i$. Тому $\Theta(CK_{B+}(Constr_i)) = C_F$ будемо інтерпретувати, як факт того, що $Constr_i \in T$ з впевненістю C_F. Оціночна функція Θ задовольняє модифікаційне атомарне обмеження $(CK_{B+}(Constr_i):C_F)$ якщо $\Theta(CK_{B+}(Constr_i)) \ge C_F$. Подібним чином будемо говорити, що Θ задовольняє $(CK_{B-}(Constr_i):C_F)$, якщо $\Theta(CK_{B-}(Constr_i)) \ge C_F$. В загальному випадку будемо вважати, що Θ задовольняє множину модифікаційних атомарних обмежень, якщо вона задовольняє кожен елемент множини. Будемо вважати, що оціночна функція Θ – задовольняє модифікаційне правило з мітками, якщо вона задовольняє заголовок послідовності обмежень в усіх випадках, коли задовольняє тіло послідовності. І нарешті будемо говорити, що Θ задовольняє запит на порушене обмеження з мітками, або є моделлю запиту, якщо вона задовольняє всі послідовності обмежень в запиті.

Для даного запиту на порушене обмеження із мітками, введемо оператор $\Lambda_{Q_{v.c.}}$ на множині значень оціночної функції Θ. Нехай $\Lambda_{Q_{v.c.}}(\Theta)$ – множина заголовків всіх послідовностей обмежень в $Q_{v.c.}$, тіла яких задовольняються оціночною функцію Θ. Тому оператор $\Lambda_{Q_{v.c.}}$ введемо наступним чином

$$\Lambda_{Q_{c.v.}}(\Theta) = \bigcup_n \{ C_F \,|\, (r_n : C_F) \in \Lambda_{Q_{c.v.}}(\Theta) \},\ n \ge 0, \tag{6}$$

де, r_n – модифікаційна послідовність обмежень.

Очевидно, що при побудові оціночних функцій $\Theta(M)$, для кожного елемента $Constr_i \in Constr_{set}$, можна поставити у відповідність пару елементів з M, що відповідають модифікаційним атомарним обмеженням $CK_{B+}(Constr_i^1)$ і $CK_{B-}(Constr_i^2)$. Таким чином ми повинні розглянути структуру $M^2 = M \times M$, із введеною операцією $\le_l$, яку означимо так:

$$(C_{F_1}^1, C_{F_2}^1) \le_l (C_{F_1}^2, C_{F_2}^2), \tag{7}$$

якщо $C_{F_1}^1 \le_l C_{F_1}^2$ і $C_{F_2}^1 \le_l C_{F_2}^2$.

Якщо пару $(C_{F_1}^1, C_{F_2}^1)$ – розглядати як міру нашого знання про належність обмеження $Constr_i^1$ множині T, тоді якщо ми маємо, що $C_{F_1}^1 \le_l C_{F_1}^2$ і $C_{F_2}^1 \le_l C_{F_2}^2$ тоді пара $(C_{F_1}^2, C_{F_2}^2)$ більш точно характеризує обмеження $Constr_i^1$. Тому операцію $\le_l$ можна розглядати, як відношення порядку задане на множині коефіцієнтів впевненості для тверджень бази знань.

Оскільки структура M є повною і дистрибутивною, то M^2 теж є повною і дистрибутивною структурою по відношенню до операції $\le_l$.

Як правило рішення, щодо формулювання послідовності навчальних проблем та їх обмежень приймається групою викладачів, що ведуть певний навчальний курс. Розглянемо початкову групу, що складається із трьох викладачів:

$$G^3 = \{<t\_1>, <t\_2>, <t\_3>\}. \quad (8)$$

Нехай перед даною групою стоїть завдання прийняти рішення, щодо накладання обмежень на навчальну проблему. Дану ситуацію можна описати, як процес співставлення атомарному предикату in^+ структурованого кортежу $\{<t\_x>, <t\_y>\}$, де перший елемент кортежу відповідає множині викладачів, яка виступає за прийняття пропозиції, а другий елемент – відповідає множині викладачів, яка виступає проти даної пропозиції.

Будемо вважати, що цей процес полягає в проведенні дискусії із голосуванням, в результаті якого приймається рішення. Кожний викладач має свою думку, щодо пропозиції винесеної на голосування, причому частина викладачів із самого початку налаштована на прийняття пропозиції, а частина категорично проти винесеної пропозиції. Будемо також вважати, що думки викладачів можуть також змінюватися під час дискусії. Можливі варіанти зміни їх думок опишемо наступною послідовністю модифікаційних правил із мітками, що застосовуються до бази знань метаданих ІТС.

$$\{(K_{B+}^{meta}(in^+) | <t\_1>) << (K_{B+}^{meta}(in^+) | <t\_2>),$$
$$(K_{B-}^{meta}(in^+) | <t\_1>) << (K_{B-}^{meta}(in^+) <t\_3>), \quad (9)$$
$$(K_{B+}^{meta}(in^+) | <t\_2>) << (K_{B+}^{meta}(in^+) <t\_1>),$$
$$(K_{B+}^{meta}(in^+) | <t\_2>) << (K_{B+}^{meta}(in^+) <t\_3>), \quad (10)$$
$$(K_{B-}^{meta}(in^+) | <t\_3>) << (K_{B-}^{meta}(in^+) <t\_1>),$$
$$(K_{B-}^{meta}(in^+) | <t\_3>) << (K_{B+}^{meta}(in^+) <t\_2>)\}. \quad (11)$$

Перше правило означає, що якщо $викладач\_2$ приймає пропозицію, то тоді $викладач\_1$ також повинен прийняти пропозицію, оскільки його переконає в цьому $викладач\_2$. Друге правило означає, що якщо $викладач\_3$ проти пропонованого рішення, тоді він може переконати також і $викладача\_1$. Таким чином правила (9) - (11) описують викладачів, як in^+ – схильних, або in^+ – несхильних і вказують також можливий вплив одного викладача на іншого , що в кінцевому підсумку може призводити до зміни переконань викладачів і впливати на кінцевий результат голосування. Можливі результати голосування визначаються $Q_{v.c.}$ – модифікаціями для бази знань метаданих системи. В даному випадку, зокрема, можна побудувати такі $Q_{v.c.}$ – модифікації для бази знань $[K_B^{meta}]^{поч}$:

$$[K_{B_1}^{meta}]^{Q_{v.c.}}(in^+) = \{<t\_1>, <t\_2>, <t\_3>, <>\},$$
$$[K_{B_2}^{meta}]^{Q_{v.c.}}(in^+) = \{<>, <t\_2>, <t\_3>\}. \quad (12)$$

Висновок

В даній статті введено формально-логічний підхід використання коефіцієнтів впевненості при оперуванні з обмеженнями та їх послідовностями в інформаційній інтелектуальній тьюторній системі, що використовує базу знань обмежень з мітками, зокрема для виконання запитів на виведення послідовності порушених обмежень при вирішенні студентом поточної навчальної проблеми.

Подальші дослідження даного напряму будуть направлені на побудову коректних імплементацій одержаних моделей у випадку структурованих множин обмежень для навчальних курсів фахового напряму "Програмна інженерія".

[1] Шекета В.І. Прийняття рішень при модифікації предикатних запитів// Штучний інтелект. — Інститут проблем штучного інтелекту.— Донецьк.— 2004.— № 3 .— С.392–404.

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Constraint_satisfaction

[3] Ohlsson S. Constraint-based student modeling // In: Greer J.E., McCalla G. (Eds): Student modeling: the key to individualized knowledge-based instruction. - 1994.- P.167-189.