УДК 681.5

МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ОПЕРАТОРІВ ЛОГІЧНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

к.т.н. А.О. Феклістов, к.т.н. О.Я. Лазарєва, О.О. Феклістов
(подав д.т.н. Г.В. Пєвцов)

В статті пропонується метод формалізації операторів логічної невизначеності в індуктивних логічних системах, орієнтований на використання в складі математичного забезпечення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Постановка проблеми. Одним із етапів при розробці інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, що використовують індуктивні логічні системи, є формалізація логічної невизначеності. В загальному випадку поняття «логічної невизначеності» інтерпретується різними дослідниками контекстуально і залежить від задач, що вирішуються в даній предметній галузі.

Аналіз літератури. Більшість робіт в галузі математичної логіки присвячено дослідженню дедуктивних логічних систем, в яких не враховується логічна невизначеність, тому що використовуються два логічних значення: 1 (істина) і 0 (неправда) [1]. В дослідженнях індуктивних логічних систем використовується підхід, орієнтований на логічний аналіз «сирих даних» (raw data), які мають різного роду невизначеність, в тому числі й логічну. Одним із таких досліджень є робота [2], в якій запропоновано логіку унарних предикатів і математичну теорію автоматичного утворення унарних гіпотез, що її використовує (GUHA-метод). Подальший розвиток деяких результатів даної роботи був проведений в роботі [3], в якій було запропоновано метод нечітких узагальнень.

Мета статті. Метою роботи, що пропонується, є розгляд методу формалізації операторів логічної невизначеності для індуктивних логічних систем, орієнтованого на використання в складі математичного забезпечення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Розділ 1. Розглянемо основні положення логіки унарних предикатів [2]. Логічними зв'язками в цій логіці є наступні логічні оператори: $\neg$ (оператор «не»), $\wedge$ (оператор «І»),$\vee$ (оператор «АБО»), $\rightarrow$ (оператор «імплікація»), $\leftrightarrow$ (оператор «еквіваленція»). В логіці визначено два типи кванторів: $\forall$ (квантор загальності) і $\exists$ (квантор існування). Аргументом (τ) називається змінна, визначена на кінцевій множині натуральних значень.

Унарним предикатом ($\varphi(\tau)$) називається предикат з одним аргументом τ, що приймає одне з трьох логічних значень: 1 (істина), x (не визначене) і 0 (неправда). Значення предиката записується наступним чином: $(1)\varphi(\tau)$, $(x)\varphi(\tau)$ і $(0)\varphi(\tau)$. Пропонується розглядати значення «1» і «0» як «визначені» логічні значення, а значення «x» як «невизначене» логічне значення.

Формула $\Phi(\tau)$ визначається індуктивно наступним чином: 1) предикат $\varphi(\tau)$ є формулою; 2) якщо $\varphi(\tau)$ є формулою, то $\neg\ \varphi(\tau)$ також є формулою; 3) якщо $\Phi(\tau)$ і $\Psi(\tau)$ є формулами, то наступні вирази також є формулами: $\Phi(\tau) \wedge \Psi(\tau)$, $\Phi(\tau) \vee \Psi(\tau)$, $\Phi(\tau) \rightarrow \Psi(\tau)$, $\Phi(\tau) \leftrightarrow \Psi(\tau)$; 4) якщо $\Phi(\tau)$ формула і τ її аргумент, то наступні вирази також є формулами: $\forall\ \tau\ \Phi(\tau)$ і $\exists\ \tau\ \Phi(\tau)$.

Значення формули, в склад якої входять логічні зв’язки, визначаються на основі таблиць істинності, наведених в [2]. Для запису значень елементів, що входять в формулу, можуть бути використані матриці логічних значень (M). Позначимо значення елемента матриці M в i-му стовпці j-го рядка як: $(z)\,M_{i,j}$, де $z \in \{0, x, 1\}$. Поняття матриці M відповідає поняттю «алгоритмічного (характеристичного, термінального) кванта знань 1-го рівня» в методі багаторівневих алгоритмічних квантів знань [4, с. 28].

Розділ 2. Метод формалізації операторів логічної невизначеності включає в себе визначення ($\leftrightarrows$) наступних операторів: оператора логічної невизначеності; оператора x-розширення і x-елімінації; статичних і динамічних операторів невизначеності; матричних статичних і динамічних операторів невизначеності.

Оператором логічної невизначеності (F) називається функція відображення значень унарного предиката. Пропонується розгляд двох операторів: оператор x-розширення ($F_\circ$) і оператор X-елімінації ($F_\bullet$).

$$F \in \{ F_\circ , F_\bullet \}.$$

Оператором X-розширення ($F_\circ$) називається функція, що відображає зміну невизначеного значення предиката на визначене:

$$(x1)\,F_\circ \leftrightarrows [(x)\varphi\ (\tau) \rightarrow (1)\varphi\ (\tau)];$$

$$(x0)\,F_\circ \leftrightarrows [(x)\varphi\ (\tau) \rightarrow (0)\varphi\ (\tau)].$$

Оператором X-елімінації ($F_\bullet$) називається функція, що відображає зміну визначеного значення предиката на невизначене:

$$(1x)\,F_{\bullet} \leftrightarrows [(1)\varphi\,(\tau) \rightarrow (x)\varphi\,(\tau)];$$

$$(0x)\,F_{\bullet} \leftrightarrows [(0)\varphi\,(\tau) \rightarrow (x)\varphi\,(\tau)].$$

Поняття «Х-розширення» є формалізацією припущення про можливість зміни невизначеного значення ознаки об'єкта на визначене. Наприклад, зміна значення «NULL» поля бази даних на конкретне значення, зміна значення «Nil» посилальної змінної в мові програмування на конкретну машинну адресу. Вперше поняття «Х-розширення» було запропоноване в роботі [2] як відношення «а-поліпшення». У відомих автору роботах поняття «Х-елімінації» не розглядалось.

Оператори F є відношеннями, що мають властивості рефлексивності, антисиметричності й транзитивності. Далі пропонується розгляд операторів F з точки зору їхньої статичності (динамічності), а також даються визначення матричних операторів.

Статичність припускає розгляд операторів відносно одного моменту (τ), а динамічність – відносно двох і більше моментів (наприклад, $\tau - 1$ і τ). Введення матричних операторів базується на визначенні операторів на матриці логічних значень M.

Статичним оператором Х-розширення ($F_{\circ}(\tau_i, \varphi)$) називається функція, що відображає зміну невизначеного значення предиката на визначене відносно поточного моменту τ_i:

$$(x1)\,F_{\circ}\ (\varphi(\tau_i)) \leftrightarrows [(x)\varphi\,(\tau_i) \rightarrow (1)\varphi\,(\tau_i)];$$

$$(x0)\,F_{\circ}\ (\varphi(\tau_i)) \leftrightarrows [(x)\varphi\,(\tau_i) \rightarrow (0)\varphi\,(\tau_i)].$$

Статичним оператором Х-елімінації ($F_{\bullet}(\tau_i, \varphi)$) називається функція, що відображає зміну визначеного значення предиката на невизначене відносно поточного моменту τ_i:

$$(1x)\,F_{\bullet}\ (\varphi(\tau_i)) \leftrightarrows [(1)\varphi\,(\tau_i) \rightarrow (x)\varphi\,(\tau_i)];$$

$$(0x)\,F_{\bullet}\ (\varphi(\tau_i)) \leftrightarrows [(0)\varphi\,(\tau_i) \rightarrow (x)\varphi\,(\tau_i)].$$

Динамічним оператором Х-розширення ($F_{\circ}(\varphi(\tau_{i-1}), \varphi\,(\tau_i))$) називається функція, що відображає зміну невизначеного значення предиката в момент τ_{i-1} на визначене значення в момент τ_i:

$$(x1)\,F_{\circ}\ (\varphi(\tau_{i-1}), \varphi\,(\tau_i)) \leftrightarrows [(x)\varphi\,(\tau_{i-1}) \rightarrow (1)\varphi\,(\tau_i)];$$

$$(x0)\,F_{\circ}\ (\varphi(\tau_{i-1}), \varphi\,(\tau_i)) \leftrightarrows [(x)\varphi\,(\tau_{i-1}) \rightarrow (0)\varphi\,(\tau_i)].$$

Динамічним оператором Х-елімінації ($F_{\bullet}(\varphi(\tau_{i-1}), \varphi\,(\tau_i))$) називається функція, що відображає зміну визначеного значення предиката в момент τ_{i-1} на невизначене значення в момент τ_i:

$$(1x)\,F_\bullet\ (\varphi(\tau_{i-1}),\varphi(\tau_i)) \leftrightarrows [(1)\varphi(\tau_{i-1}) \rightarrow (x)\varphi(\tau_i)];$$

$$(0x)\,F_\bullet\ (\varphi(\tau_{i-1}),\varphi(\tau_i)) \leftrightarrows [(0)\varphi(\tau_{i-1}) \rightarrow (x)\varphi(\tau_i)].$$

Розділ 3. Розглянемо матрицю логічних значень M (табл. 1) для формули Ф (τ). Значеннями матриці є значення унарних предикатів, що входять до неї. Позначимо: n_φ – кількість стовпчиків, n_τ – кількість рядків.

Таблиця 1

Матриця логічних значень унарних предикатів формули Ф (τ)

$\Phi(\tau)$	φ_1	φ_2	…	φ_{n_φ}
τ_1	$\varphi_1(\tau_1)$	$\varphi_2(\tau_1)$		$\varphi_{n_\varphi}(\tau_1)$
τ_2	$\varphi_1(\tau_2)$	$\varphi_2(\tau_2)$	…	$\varphi_{n_\varphi}(\tau_2)$
…	…	…	…	…
τ_{n_τ}	$\varphi_1(\tau_{n_\tau})$	$\varphi_2(\tau_{n_\tau})$		$\varphi_{n_\varphi}(\tau_{n_\tau})$

Статичним матричним оператором X-розширення ($M_sF_\circ(M)$) називається функція, що змінює невизначені значення всіх елементів матриці M на визначені відносно моменту τ_i:

$$(x1)\,M_sF_\circ\ (M) \leftrightarrows \underset{i=1..n_\varphi}{\forall}\ \underset{j=1..n_\tau}{\forall}\ [(x)\,M_{i,j} \rightarrow (1)\,M_{i,j}];$$

$$(x0)\,M_sF_\circ\ (M) \leftrightarrows \underset{i=1..n_\varphi}{\forall}\ \underset{j=1..n_\tau}{\forall}\ [(x)\,M_{i,j} \rightarrow (0)\,M_{i,j}].$$

Статичним матричним оператором X-елімінації ($M_sF_\bullet(M)$) називається функція, що змінює визначені значення всіх елементів матриці M на невизначені відносно моменту τ_i:

$$(1x)\,M_sF_\bullet\ (M) \leftrightarrows \underset{i=1..n_\varphi}{\forall}\ \underset{j=1..n_\tau}{\forall}\ [(1)\ M_{i,j} \rightarrow (x)\ M_{i,j}];$$

$$(0x)\,M_sF_\bullet\ (M) \leftrightarrows \underset{i=1..n_\varphi}{\forall}\ \underset{j=1..n_\tau}{\forall}\ [(0)\ M_{i,j} \rightarrow (x)\ M_{i,j}].$$

Динамічним матричним оператором X-розширення ($M_dF_\circ(M)$) називається функція, що змінює невизначені значення всіх елементів матриці M в момент τ_{i-1} на визначені в момент τ_i:

$$(x1)\, M_d F_{\circ}\ (M) \leftrightarrows \underset{i=1..n_{\varphi}}{\forall}\ \underset{j=1..n_{\tau}}{\forall}\ [(x)\, M_{i,j-1} \rightarrow (1)\ M_{i,j}];$$

$$(x0)\, M_d F_{\circ}\ (M) \leftrightarrows \underset{i=1..n_{\varphi}}{\forall}\ \underset{j=1..n_{\tau}}{\forall}\ [(x)\ M_{i,j} \rightarrow (0)\ M_{i,j}].$$

Динамічним матричним оператором Х-елімінації ($M_d F_{\circ}(M)$) називається функція, що змінює визначені значення всіх елементів матриці М в момент τ_{i-1} на невизначені в момент τ_i :

$$(1x)\, M_d F_{\bullet}\ (M) \leftrightarrows \underset{i=1..n_{\varphi}}{\forall}\ \underset{j=1..n_{\tau}}{\forall}\ [(1)\ M_{i,j-1} \rightarrow (x)\ M_{i,j}];$$

$$(0x)\, M_d F_{\bullet}\ (M) \leftrightarrows \underset{i=1..n_{\varphi}}{\forall}\ \underset{j=1..n_{\tau}}{\forall}\ [(0)\ M_{i,j-1} \rightarrow (x)\ M_{i,j}].$$

Висновки. Запропонований метод формалізації операторів логічної невизначеності в індуктивних логічних системах орієнтований на використання в складі математичного забезпечення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Вперше розглянуто поняття «Х-елімінації», наведено математичні визначення статичних і динамічних операторів, а також введене визначення матричних операторів логічної невизначеності. Отримані формальні подання є основою для проведення подальших досліджень, пов'язаних із обробкою логічної невизначеності в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Искусственный интеллект. В 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.*
2. *Гаек П., Гавранек Т. Автоматическое образование гипотез: математические основы общей теории. – М.: Наука, 1984. – 280 с.*
3. *Феклистов А.А. Метод нечетких обобщений для систем поддержки принятия решений // Інформатизація та нові технології. – 1996. – № 2. – С. 6 – 8.*
4. *Математическое и программное обеспечение интеллектуальных и компьютерных систем. Ч. І. Учебное пособие / Под ред. И.Б. Сироджа – Х.: ХАИ, 1992. – 101 с.*

Надійшла 22.08.2003

ФЕКЛІСТОВ Андрій Олександрович, *канд. техн. наук, старший науковий співробітник, начальник лабораторії наукового центра при ХВУ. В 1993 році закінчив ХВВКІУ РВ. Область наукових інтересів – системи обробки інформації, штучний інтелект.*

***ЛАЗАРЄВА Ольга Ярославна**, канд. техн. наук, старший науковий співробітник наукового центра при ХВУ. В 1981 році закінчила ХДУ. Область наукових інтересів – математична лінгвістика.*

***ФЕКЛІСТОВ Олексій Олександрович**, ад'юнкт кафедри ХВУ. В 1998 році закінчив ХВУ. Область наукових інтересів – системи обробки інформації.*