

## МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ОПЕРАТОРІВ ЛОГІЧНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

к.т.н. А.О. Феклістов, к.т.н. О.Я. Лазарева, О.О. Феклістов  
(подав д.т.н. Г.В. Певцов)

*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:  $\neg$  (опе-

ратор «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 ( $\tau$ ) називається змінна, визначена на кінцевій множині натуральних значень.

Унарним предикатом ( $\varphi(\tau)$ ) називається предикат з одним аргументом  $\tau$ , 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  $\tau$  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 ( $\rightleftharpoons$ ) 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:

$$(x1)F_{\circ} \rightleftharpoons [(x)\varphi(\tau) \rightarrow (1)\varphi(\tau)];$$

$$(x0)F_{\circ} \rightleftharpoons [(x)\varphi(\tau) \rightarrow (0)\varphi(\tau)].$$

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

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

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

Поняття «X-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 «X-розширення» було запропоноване в роботі [2] як відношення «а-поліпшення». У відомих автору роботах поняття «X-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 ( $\tau$ ), а динамічність – відносно двох і більше моментів (наприклад,  $\tau - 1$  і  $\tau$ ). Введення матричних операторів базується на визначенні операторів на матриці логічних значень M.

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

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

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

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

$$(x1) F_{\bullet}(\varphi(\tau_i)) \Leftrightarrow [(1)\varphi(\tau_i) \rightarrow (x)\varphi(\tau_i)];$$

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

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

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

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

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

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

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

**Розділ 3.** Розглянемо матрицю логічних значень  $M$  (табл. 1) для формули  $\Phi(\tau)$ . Значеннями матриці є значення унарних предикатів, що входять до неї. Позначимо:  $n_{\varphi}$  – кількість стовпчиків,  $n_{\tau}$  – кількість рядків.

Таблиця 1

Матриця логічних значень унарних предикатів формули  $\Phi(\tau)$

$\Phi(\tau)$	$\varphi_1$	$\varphi_2$	...	$\varphi_{n_{\varphi}}$
$\tau_1$	$\varphi_1(\tau_1)$	$\varphi_2(\tau_1)$		$\varphi_{n_{\varphi}}(\tau_1)$
$\tau_2$	$\varphi_1(\tau_2)$	$\varphi_2(\tau_2)$	...	$\varphi_{n_{\varphi}}(\tau_2)$
...	...	...	...	...
$\tau_{n_{\tau}}$	$\varphi_1(\tau_{n_{\tau}})$	$\varphi_2(\tau_{n_{\tau}})$		$\varphi_{n_{\varphi}}(\tau_{n_{\tau}})$

**Статичним матричним оператором X-розширення** ( $M_S F_{\circ}(M)$ ) називається функція, що змінює невизначені значення всіх елементів матриці  $M$  на визначені відносно моменту  $\tau_i$ :

$$(1x)M_S F_{\circ}(M) \Leftrightarrow \bigvee_{i=1..n_{\varphi}} \bigvee_{j=1..n_{\tau}} [(x)M_{i,j} \rightarrow (1)M_{i,j}];$$

$$(0x)M_S F_{\circ}(M) \Leftrightarrow \bigvee_{i=1..n_{\varphi}} \bigvee_{j=1..n_{\tau}} [(x)M_{i,j} \rightarrow (0)M_{i,j}].$$

**Статичним матричним оператором X-елімінації** ( $M_S F_{\bullet}(M)$ ) називається функція, що змінює визначені значення всіх елементів матриці  $M$  на невизначені відносно моменту  $\tau_i$ :

$$(1x)M_S F_{\bullet}(M) \Leftrightarrow \bigvee_{i=1..n_{\varphi}} \bigvee_{j=1..n_{\tau}} [(1)M_{i,j} \rightarrow (x)M_{i,j}];$$

$$(0x)M_S F_{\bullet}(M) \Leftrightarrow \bigvee_{i=1..n_{\varphi}} \bigvee_{j=1..n_{\tau}} [(0)M_{i,j} \rightarrow (x)M_{i,j}].$$

**Динамічним матричним оператором X-розширення** ( $M_d F_{\circ}(M)$ ) називається функція, що змінює невизначені значення всіх елементів матриці  $M$  в момент  $\tau_{i-1}$  на визначені в момент  $\tau_i$ :

$$(x1) M_{dF_{\circ}}(M) \Leftrightarrow \bigvee_{i=1..n_{\varphi}} \bigvee_{j=1..n_{\tau}} [(x) M_{i,j-1} \rightarrow (1) M_{i,j}];$$

$$(x0) M_{dF_{\circ}}(M) \Leftrightarrow \bigvee_{i=1..n_{\varphi}} \bigvee_{j=1..n_{\tau}} [(x) M_{i,j} \rightarrow (0) M_{i,j}].$$

**Динамічним матричним оператором X-елімінації** ( $M_{dF_{\circ}}(M)$ ) називається функція, що змінює визначені значення всіх елементів матриці  $M$  в момент  $\tau_{i-1}$  на невизначені в момент  $\tau_i$ :

$$(1x) M_{dF_{\bullet}}(M) \Leftrightarrow \bigvee_{i=1..n_{\varphi}} \bigvee_{j=1..n_{\tau}} [(1) M_{i,j-1} \rightarrow (x) M_{i,j}];$$

$$(0x) M_{dF_{\bullet}}(M) \Leftrightarrow \bigvee_{i=1..n_{\varphi}} \bigvee_{j=1..n_{\tau}} [(0) M_{i,j-1} \rightarrow (x) M_{i,j}].$$

**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 «X-елімінації», наведено математичні визначення статичних і динамічних операторів, а також введено 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 // Информатизация та нові технології. – 1996. – № 2. – С. 6 – 8.
4. Математическое и программное обеспечение интеллектуальных и компьютерных систем. Ч. I. Учебное пособие / Под ред. И.Б. Сироджа – Х.: ХАИ, 1992. – 101 с.

Надійшла 22.08.2003

**ФЕКЛИСТОВ Андрій Олександрович**, канд. техн. наук, старший науковий співробітник, начальник лабораторії наукового центру 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 центру 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.*

---