

УДК 004.8:004.89

И.Б. СИРОДЖА, Л.С. МОЛОДЫХ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ОПЕРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ИНЖЕНЕРИИ КВАНТОВ ЗНАНИЙ ДЛЯ ВЫВОДА РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В статье предложена операторная модель инженерии квантов знаний для принятия идентификационных и прогнозных решений в условиях α -неопределенности. Синтезирована операторная модель для решения трех базовых задач: A_1 -задача формализации tk-знаний; B_1 -задача распознавания (идентификация) объекта по результатам наблюдений; C_1 -задача экстраполяции (прогнозирования) результатов наблюдений. Операторный вывод идентификационных и прогнозных решений на основе использования РАКЗ-метода предполагает такие операторные преобразования разноуровневых tk-знаний: посредством оператора индукции по заданной таблице эмпирических данных (ТЭД), как обучающим tk-знаниям, синтезируется база точных квантов знаний (БкЗ) (прогнозная или идентификационная); затем, с помощью операторов дедукции и традукции по наблюдаемым (входным) tk-знаниям, опираясь на БкЗ, выводятся идентификационные или прогнозные решения в форме новых tk-знаний.

объект принятия решений, база квантов знаний, целевой признак, метода разноуровневых алгоритмических квантов знаний, условие неопределенности, имплективная закономерность

Введение

В работе развивается знаниеориентированное моделирование интеллектуальных умений человека успешно принимать решения в условиях неопределенности для распознавания образов и прогнозирования ситуаций в системах искусственного интеллекта (СИИ). Предложена операторная модель инженерии квантов знаний для вывода решений в условиях неопределенности, которая базируется на применении метода точных разноуровневых алгоритмических квантов (порций) знаний (tРАКЗ-метод). В отличие от существующих подходов, предложенные tРАКЗ-модели принятия решений имеют вид строго формализованных разноуровневых по сложности квантов знаний (tk-знаний). Такие tk-знания, как содержательные алгоритмические структуры достоверных данных допускают машинное манипулирование знаниями средствами алгебр конечных предикатов и векторно-матричных операторов, а также индуктивный синтез базы квантов знаний (БкЗ) при обучении компьютера по выборочным сценарным примерам ситуаций из конкретной предметной области.

1. Постановка задачи

Рассмотрим моделируемый процесс принятия классификационных и прогнозных решений человеком в условиях неопределенности. Полагаем, что этот процесс всегда целенаправлен (мотивирован целевым критерием) на объект принятия решений (ОПР), который можно описать конечным набором характеристик (признаков), измеренных в разнотипных шкалах и допускающих логическое представление. В этом наборе содержатся и целевые признаки, значения которых определяют класс, образ исследуемых ОПР.

Распознать класс (образ) ОПР, т.е. принять классификационное решение, означает определить значение целевого классификационного признака по наблюдаемым посылочным характеристикам, опираясь на базу квантов знаний (БкЗ), представленную системой классификационных закономерностей. Аналогично для принятия прогнозного решения необходимо иметь прогнозную БкЗ, позволяющую по ситуации на временном отрезке t , определить значение целевого прогнозного признака на отрезке $t+\Delta t$.

Введём следующие ограничения, конкретизирующие условия рассматриваемых α -, β -, λ -неопределённостей:

- 1) данные об ОПР разнотипны (т.е. измерены как в количественных, так и в качественных шкалах) и достижимы в неполных объёмах из различных источников (эксперты, техническая документация, справочники, измерения приборов и т.д.);
- 2) информация об ОПР и предметной области неполная, нечёткая и/или вероятностная;
- 3) преобладает вероятностный характер данных, но законы распределения характеристик (признаков) ОПР неизвестны;
- 4) целевые критерии заданы неявно, неизвестно какие, в каком количестве и как выбрать информативные признаки ОПР относительно целей принятия решений;
- 5) неизвестны правила принятия классификационных и прогнозных решений, а также индуктивные принципы их построения путём обучения на выборочных экспериментальных данных;
- 6) искомые ППР невозможно определить непосредственно регулярными численными методами, но возможен путь создания средств инженерии знаний для моделирования и имитации интеллектуальных умений человека находить решения, опираясь на собственную интуицию и базу знаний.

Назовём α -неопределённостью реальные условия решения В-, С-задач, которым отвечает совокупность ограничений $\{(1), (4) - (6)\}$, допускающих возможность построения идентификационного или прогнозного ППР с определением приемлемой оценки его надёжности в предложении, что данные достоверны. Для решения практических В-, С-задач в условиях α -неопределённости рационально использовать подкласс $M_t \subset M$ точных (t -квантовых) моделей (сокращённо, t РАКЗ-моделей или t к-знаний) [2].

Реальные условия решения В-,С-задач будем называть β -неопределённостью, если им отвечает со-

вокупность ограничений $\{(1), (2), (4) - (6)\}$, допускающих синтез соответствующего ППР заданной надёжности и вычисление некоторого показателя достоверности принимаемых решений при неполных и нечётких данных. В условиях β -неопределённости следует применять подкласс $M_\pi \subset M$ приближённых (π -квантовых) моделей, т.е. π РАКЗ-моделей или π к-знаний [2].

Наконец, λ -неопределённостью назовём реальные условия решения В-, С-задач, которым отвечает совокупность ограничений $\{(1), (3) - (6)\}$, допускающих построение идентификационного и прогнозного ППР заданной надёжности и определение вероятности искомых решений при неполных и вероятностных данных. В СИИ при условиях λ -неопределённости рекомендуется использовать подкласс $M_v \subset M$ вероятностных (v -квантовых) моделей, т.е. v РАКЗ-моделей или v к-знаний [2].

В зависимости от конкретных условий неопределённости в практических задачах принятия идентификационных решений (В-задача) и прогнозных решений (С-задача) используются соответствующие квантовые структуры. При α -неопределённости используются точные k -знания (t к-знания); при β -неопределённости – приближённые k -знания (π к-знания) и при λ -неопределённости – вероятностные (v к-знания).

В данной работе рассматриваются условия α -неопределённости.

Основная задача работы состоит в создании методики синтеза операторной модели инженерии квантов знаний для вывода классификационных и прогнозных решений в условиях α -неопределённости. В общем, эта задача сводится к решению трех базовых задач [1]:

- 1) A_t -задача формализации t к-знаний;
- 2) B_t -задача распознавания (идентификация) объекта по результатам наблюдений;

3) C_t -задача екстраполяції (прогнозування) результатів спостережень.

В A_t -задачі вимагається формально визначити поняття « t -знання» і t РАКЗ-моделі в умовах α -неопределенності, описати їх алгоритмічне конструювання за допомогою квантової структуризації різноманітних даних об ОПР з урахуванням його семантики в конкретній предметній області.

A_t -задача формально описується множинною четверкою

$$A_t = \langle S, K_t, \Pi_t, Q_t \rangle \quad (1)$$

і складається з побудови класу M_t змістовних алгоритмічних структур і операторних засобів маніпулювання ними на символічному мові S з множини букв, цифр, спеціальних символів і алгоритмічних операцій за правилами Π_t конструювання t -квантів з допомогою кінцевої множини Q_t семантичних кодів. Під семантичним кодом $tk_s \in Q_t$ ($s=0, 1, 2, \dots$) розуміються символи, кодуючі t -квант, який відповідає виду і вмісту достовірних знань s -го рівня.

B_t -задача заключається в синтезі розпізнаючих t РАКЗ-моделей і алгоритмів маніпулювання t -знаннями для визначення значення цільової характеристики розпізнаваного ОПР, т.е. ідентифікації його з заданою надійністю за зовнішніми спостереженнями, опираючись на попередньо накоплену БкЗ.

C_t -задача складається з синтезу прогнозних t РАКЗ-моделей і алгоритмів маніпулювання t -знаннями для прогнозування з заданою надійністю значень незмінних характеристик ОПР по вимірним значенням спостережуваних характеристик, опираючись на попередньо побудовану БкЗ.

Для розв'язання B_t, C_t -задач необхідно:

1) синтезувати оператор індукції

$$INDS(tk_2\Sigma_0; A_t; tk_2\overline{\Sigma_{BM}})$$

для індуктивного виводу шуканої БкЗ з сукупності вибіркового навчання t -знань, де в

скобках вказані параметри оператора INDS: $tk_2\Sigma_0$ – навчальні вибірково-знання 2-го рівня; A_t – операторний алгоритм індуктивного виводу БкЗ як нових знань; $tk_2\overline{\Sigma_{BM}}$ – мінімізована БкЗ в формі матричного t -кванта 2-го рівня як системи імплікативних закономірностей;

2) синтезувати оператор дедукції

$$DED(tk_2\Sigma_0; tk_1Y_\omega; A_t; tk_sR)$$

для дедуктивного виводу шуканої розв'язки як нового t -знання s -го рівня ($s = 1, 2$) tk_sR по s спостереженням за ОПР ω tk_1Y_ω , опираючись на БкЗ $= tk_2\overline{\Sigma_{BM}}$, де A_t – i -й алгоритм дедукції.

2. Алгоритмічна формалізація і векторно-матричне представлення t -знань (A_t -задача)

Визначення 1. Процедура знаходження функції $h(x_1, \dots, x_n)$ за заданими функціями $f(x_1, \dots, x_m)$ і $g_1(x_1, \dots, x_n), g_2(x_1, \dots, x_n), \dots, g_m(x_1, \dots, x_n)$ в відповідності з формулою

$$h(x_1, \dots, x_n) = f[g_1(x_1, \dots, x_n), g_2(x_1, \dots, x_n), \dots, g_m(x_1, \dots, x_n)] \quad (2)$$

називається оператором суперпозиції (П-оператор).

Визначення 2. Процедура послідовного з'єднання в рядок або матрицю числових або символічних виразів як елементів e_i кінцевих послідовностей $\{e_i\}_{i=1}^m$ називається строчним оператором конкатенації з позначенням

$$CON_{i=1}^m \langle e_i \rangle = e_1 e_2 \dots e_m, \quad (3)$$

або матричним оператором конкатенації з позначенням

$$CON_{i=1}^m [e_i] = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_m \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Процедуры (3) и (4) кратко называются $CON\langle \bullet \rangle$ - и $CON[\bullet]$ -операторами.

Определение 3. Разноуровневые алгоритмические структуры, получаемые из терминальных квантов [1]:

- tk_1y_t (вектор доменов);
- tk_0a_t (терминальный выбирающий квант);
- tk_1b_t (терминальный характеристический квант)

путём конечного числа применений к ним Π -оператора, $CON\langle \bullet \rangle$ -оператора и $CON[\bullet]$ -оператора, называются разноуровневыми алгоритмическими tk -знаниями или tPAK3-моделями знаний в условиях α -неопределённости, которые образуют класс точных PAK3-моделей M_t .

На рис. 1 показано квантовое пространство $B_t^{(3)}$ tPAK3-модели ОПР, описываемой тремя признаками:

- x_1 с $r_1 = 2$ значениями из $X^1 = \{\alpha_1^1, \alpha_2^1\}$;
- x_2 с $r_2 = 4$ значениями из $X^2 = \{\alpha_1^2, \alpha_2^2, \alpha_3^2, \alpha_4^2\}$;
- x_3 с $r_3 = 3$ значениями

из множества $X^3 = \{\alpha_1^3, \alpha_2^3, \alpha_3^3\}$.

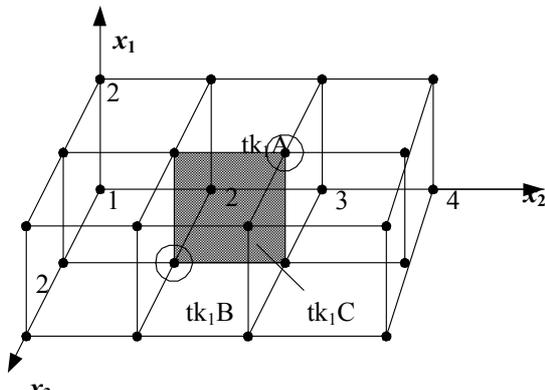


Рис. 1. Пространство $B_t^{(3)}$ tPAK3-модели

Отмеченным точкам А и В пространства $B_t^{(3)}$ отвечают элементарные векторные tk -знания tk_1A и tk_2B :

$$tk_1A = \begin{bmatrix} \overline{x_1} & \overline{x_2} & \overline{x_3} \\ 01 : 0010 : 010 \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$$tk_1B = [10 : 0100 : 010]. \quad (6)$$

Заштрихованному интервалу $C \subset B_t^{(3)}$ соответствует точный интервальный векторный квант 1-го уровня

$$tk_1C = [\overline{11} : \overline{0110} : \overline{010}], \quad (7)$$

который можно представить матричным t -квантом 2-го уровня tk_2C , состоящим из объединения 4-х элементарных векторных t -квантов 1-го уровня:

$$tk_2C = \begin{bmatrix} \overline{x_1} & \overline{x_2} & \overline{x_3} \\ 01 : 0010 : 010 \\ 10 : 0010 : 010 \\ 01 : 0100 : 010 \\ 10 : 0100 : 010 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Кроме того, если t -квант tk_1C (7) представляет собой конъюнкцию, то ему соответствует элементарная конъюнкция:

$$\left(x_1 \in \{\alpha_1^{(1)}, \alpha_2^{(1)}\} \right) \wedge \left(x_2 \in \{\alpha_2^{(2)}, \alpha_3^{(2)}\} \right) \wedge \left(x_3 \in \{\alpha_2^{(3)}\} \right). \quad (9)$$

Элементарную конъюнкцию (9) можно представить предикатным уравнением:

$$\left((x_1 = \alpha_1^{(1)}) \vee (x_1 = \alpha_2^{(1)}) \right) \wedge \left((x_2 = \alpha_2^{(2)}) \vee (x_2 = \alpha_3^{(2)}) \right) \wedge (x_3 = \alpha_2^{(3)}) = 1. \quad (10)$$

Таким образом, класс M_t tPAK3-моделей представляет собой множество единообразных квантовых средств описания импликативных закономерностей, а также различных фактов для представления их в трёх содержательно эквивалентных формах: множественной (точки, интервалы пространства $B_t^{(n)}$); векторно-матричной (доменные структуры); аналитической (конечные предикаты).

3. Операторы манипулирования tk -знаниями

3.1. Редуцирование импликативных tk -знаний. Оператор редукции (RED-оператор)

При решении указанных базовых B_t - и C_t -задач часто возникает необходимость редуцирования

(преобразования) системы $tk\text{-знаний } tk_2\Sigma$ как имплицитивных (запретных) закономерностей [1] по известному t -кванту наблюдений tk_1A за ОПР. Содержательный смысл оператора редукции состоит в выделении из системы $tk_2\Sigma = Bk_3$ и упрощении только тех запретных t -квантов, которые имеют отношение к наблюдениям tk_1A . Иными словами, выявляются некоторые новые знания $tk_2\Sigma^*$ об объекте A , локализованные в интервале \tilde{A} пространства B^n . Алгоритмически это означает, что необходимо удалить из $tk_2\Sigma$ непересекающиеся с tk_1A запреты-интервалы с пустыми доменными компонентами, а также избавиться от одноэлементных доменов, не содержащих нулевых значений.

Определение 4. Процедура нахождения tk -знаний $tk_2\Sigma^*$ с помощью алгоритма RED:

$$tk_2\bar{\Sigma}^* = RED(tk_2\bar{\Sigma} | tk_1A), \quad (11)$$

называется оператором редукции заданной системы имплицитивных знаний $tk_2\bar{\Sigma} = Bk_3$ по кванту наблюдений tk_1A (RED-оператором).

3.2. Дедуктивный вывод tk -знаний (DED-оператор) и традуктивный вывод (T-оператор)

Определение 5. Дедукцией (дедуктивным выводом посредством DED-оператора) конъюнктивных tk -знаний 0-го $tk_0\hat{\beta}_i^{(jk)}$, 1-го $tk_1\hat{Y}_3$, $tk_1\hat{Y}$ и 2-го $tk_2\hat{\|P\|}$ уровней [1] из имплицитивных tk -знаний $tk_2\Sigma$ называется алгоритмический процесс нахождения логических следствий с помощью специальных алгоритмов дедукции AL1, AL2, AL3, AL4 и с операторным обозначением:

$$\begin{aligned} DED(tk_2\Sigma; AL1; tk_0\hat{\beta}_i^{(jk)}) &= DED(tk_2\Sigma \Rightarrow tk_0\hat{\beta}_i^{(jk)}); \\ DED(tk_2\Sigma; AL2; tk_1\hat{Y}_3) &= DED(tk_2\Sigma \Rightarrow tk_1\hat{Y}_3); \\ DED(tk_2\Sigma; AL3; tk_1\hat{Y}) &= DED(tk_2\Sigma \Rightarrow tk_1\hat{Y}); \\ DED(tk_2\Sigma; AL4; tk_2\hat{\|P\|}) &= DED(tk_2\Sigma \Rightarrow tk_2\hat{\|P\|}), \end{aligned} \quad (12)$$

где $tk_2\Sigma = tk_2\hat{\|S\|}$ – посылка, tk_sR – результат-следствие, AL1 – i -й алгоритм дедукции, если посылочный квант tk -знаний $tk_2\hat{\|S\|}$ фиксируется как определенная БкЗ, отвечающая данной предметной области и заданному целевому критерию задачи.

В DED-операторе компонентный квант $tk_0\hat{\beta}_i^{(jk)}$ определяет выводимое k -е значение j -го признака ОПР в i -й строке-конъюнкте матричного tk -знания, где $1 \leq i \leq m$, $1 \leq j \leq n$, $1 \leq k \leq p_j$. Выводимый элементный векторный квант $tk_1\hat{Y}_3$ представляет точку пространства tPAK3-моделей и определяет полные знания о признаках ОПР. Интервальный векторный квант $tk_1\hat{Y}$ представляет интервал пространства tPAK3-моделей, состоящий из нескольких точек, и определяет не полные знания об ОПР, а лишь возможный интервал его существования. Выводимый матричный квант $tk_2\hat{\|P\|}$ определяет область существования ОПР в пространстве tPAK3-моделей, состоящую из нескольких векторных интервалов.

Определение 6. Оператором традукции (т.е. T-оператором) с обозначением

$$T(p; a_i; s) = p \frac{T}{a_i} \rightarrow s \quad (13)$$

называется алгоритм a_i , $i = (1, 2, \dots, 6)$, по которому реализуют традуктивный вывод (частное из частного) t -кванта знаний s из посылочного t -кванта знаний p согласно следующим схемам логических следствий:

$$\begin{aligned} tk_1A \frac{T}{a_1} &\rightarrow tk_0\hat{\beta}_i^{(jk)}; & tk_1A \frac{T}{a_2} &\rightarrow tk_1Y_e; \\ tk_2\|A\| \frac{T}{a_3} &\rightarrow tk_1Y_e; & tk_1A \frac{T}{a_4} &\rightarrow tk_1B; \\ tk_2\|S\| \frac{T}{a_5} &\rightarrow tk_1C; & tk_2\|C\| \frac{T}{a_6} &\rightarrow tk_2\|P\|, \end{aligned} \quad (14)$$

где a_i – имя i -го алгоритма традукции.

Теорема 1. Квант $tk_s^{\&}A$ традуктивно следует из кванта $tk_s^{\&}B$, т.е.

$$T(tk_s^{\&}B; a_i; tk_s^{\&}A) = tk_s^{\&}B \xrightarrow{a_i} tk_s^{\&}A, \quad (15)$$

когда на выходе алгоритма a_i получается 0-квант $tk_s^{\&}0$ [1].

3.3. Оператор условной традукции (Tu-оператор)

Определение 7. Простым запретным t-квантом знаний (простые tk-знания) называется запретный конъюнкт $tk_1\bar{\Pi}$, традуктивно следующий из заданной системы $tk_2\bar{\Sigma}$, и такой, что при любой замене «0» на «1» в его доменах векторного представления получается конъюнкт, уже не следующий традуктивно из $tk_2\bar{\Sigma}$.

Очевидно, что все остальные конъюнкты-следствия из $tk_2\bar{\Sigma}$ можно легко найти из простых конъюнктов путем замены в них некоторых «1» на «0».

Теорема 2. Для любой матричной системы запретных конъюнктов $tk_2\bar{\Sigma} = tk_2\|\bar{S}\|$ (запретов) существует эквивалентная ей минимальная система $tk_2\bar{\Sigma}_M = tk_2\|\bar{\Pi}\|$ по количеству r строк-квантов 1-го ранга $tk_1\bar{\Pi}_1, \dots, tk_1\bar{\Pi}_r$, состоящая исключительно из простых запретных квантов $tk_1\bar{\Pi}_j$ ($j = 1, 2, \dots, r$).

Определение 8. Оператором условной традукции tk-знаний (т.е. Tu-оператором)

$$\begin{aligned} Tu(tk_1\bar{A}, tk_1\bar{B}; a_u(x_j), tk_1\bar{C}) = \\ = (tk_1\bar{A}, tk_1\bar{B}) \xrightarrow{a_u(x_j)} tk_1\bar{C} \end{aligned} \quad (16)$$

называется алгоритм $a_u(x_j)$ (процедура), реализующий традуктивный вывод запретного t-кванта $tk_1\bar{C}$ из пары t-квантов $(tk_1\bar{A}, tk_1\bar{B})$ путём проверки $tk_1\bar{A}$ и $tk_1\bar{B}$ на смежность по перемен-

ной x_j и выполнения условной дизъюнкции данной пары [1].

3.4. Понятие общезапретности импликативных tk-знаний. POZ-оператор

Определение 9. Запретные tk-знания $tk_1\bar{A}$ или (и) $tk_2\|\bar{A}\|$ называются общезапретными, если соответствующие им конечные предикаты тождественно истинны на всех наборах значений своих переменных (т.е. «запрещено все»).

Определение 10. Оператором проверки запретного кванта tk-знаний $tk_2\bar{\Sigma} = tk_i\bar{Y}(i = 1, 2)$ на общезапретность (сокращенно POZ-оператор) с обозначением

$$POZ(tk_2\bar{\Sigma} | A) = \begin{cases} 1, & \text{если } A(tk_2\bar{\Sigma}) = tk_11; \\ 0, & \text{если } A(tk_2\bar{\Sigma}) \neq tk_11 \end{cases} \quad (17)$$

называется алгоритм $A(tk_2\bar{\Sigma})$ для поиска простых запретных квантов и производит такие действия:

1) определить последовательность простых запретов $a_1(tk_2\bar{\Sigma}) = \{tk_1\bar{\Pi}_1, \dots, tk_1\bar{\Pi}_s\}$ [2];

2) если система $a_1(tk_2\bar{\Sigma})$ содержит единичный квант $tk_1\mathbf{1} = [11\dots1:11\dots1:\dots:11\dots1]$, то фиксировать значение $POZ(tk_2\bar{\Sigma} | A) = 1$, (t-квант $tk_2\bar{\Sigma}$ общезапретен), в противном случае – $POZ(tk_2\bar{\Sigma} | A) = 0$ и t-квант $tk_2\bar{\Sigma}$ не общезапретен.

Приведенные алгоритмические RED- и POZ-операторы лежат в основе формального и машинного манипулирования tk-знаниями при решении V_t - и C_t -задач.

4. Индуктивный и дедуктивный вывод решений как tk-знаний

В tPAK3-методе принятия решений индуктивный вывод tk-знаний используется для построения общей «модели мира» в форме БкЗ как совокупности импликативных и функциональных закономерностей, кото-

рые находятся по обучающим tk-знаниям (экспериментальным данным, справочно-литературным сведениям, сообщениям экспертов).

Дедуктивный вывод tk-знаний необходим для получения частных заключений по наблюдаемым фактам, опираясь на имеющуюся БкЗ.

4.1. Оператор индуктивного вывода импликативной БкЗ (INDS-оператор)

Существование импликативной закономерности как некоторого запретного кванта знаний s-го уровня $tk_s \bar{Y}$ из T_r , судя по ТЭД $T_0(m,N)$, ($s = 1, 2$), определяется оценкой её достоверности, удовлетворяющей неравенству

$$M_s\{m,N,r\} = \frac{N! \cdot 2^{r(1-m)} \cdot (2^r - 1)^m}{r!(N-r)!} \leq M_s^* \quad (18)$$

при заданном допустимом граничном значении (пороге) оценки M_s^* [1].

В практическом диапазоне значений m и N ранг r_{max} оказывается небольшим. Это позволяет обнаружить все импликативные закономерности путём проверки на “запретность” интервалов ранга не выше r_{max} . Дизъюнктивное объединение всех найденных запретных интервалов как конъюнкций комбинаций информативных признаков ОПП образует аналитическое (предикатное) описание запретной области, отвечающей БкЗ.

Определение 11. Алгоритмическая процедура

$$\begin{aligned} INDS(tk_2 \Sigma_0; A1; tk_2 \overline{\Sigma_{BM}}) = \\ = tk_2 \Sigma_0 \xrightarrow{A1} tk_2 \overline{\Sigma_{BM}} \end{aligned} \quad (19)$$

реализующая индуктивный вывод безизбыточной БкЗ $= tk_2 \overline{\Sigma_{BM}}$ в виде совокупности простых запретов из обучающего кванта знаний $tk_2 \Sigma_0$ посредством алгоритма A1 [1], называется оператором индуктивного вывода импликативных tk-знаний (INDS-оператором).

4.2. Операторы дедуктивного вывода решений из импликативных tk-знаний.

Понятие дедуктивного вывода tk-знаний базируется на определении 5.

Требуется решить задачу построения алгоритмов AL1, AL2, AL3, реализующих дедуктивный операторный процесс нахождения искомого решения как соответствующих логических следствий $tk_2 \|Y\|$,

$tk_1 Y$, $tk_0 \beta_{ik}^{(j)}$ согласно определению 5:

$$\begin{aligned} \overline{tk_2 \Sigma_{BM}} \xrightarrow[AL1]{DED} tk_2 \|Y\|; \quad \overline{tk_2 \Sigma_{BM}} \xrightarrow[AL3]{DED} tk_1 Y; \\ \overline{tk_2 \Sigma_{BM}} \xrightarrow[AL2]{DED} tk_0 \beta_{ik}^{(j)}, \end{aligned} \quad (20)$$

где $\overline{tk_2 \Sigma_{BM}} = tk_2 \|\overline{\Pi_B}\|$ – известная база импликативных tk-знаний.

Искомые следствия

$$tk_2 \|Y\|; \quad tk_1 Y; \quad tk_0 \beta_{ik}^{(j)}$$

согласно (20) представляют собой разноуровневые tk-знания, характеризующие принимаемые решения в базовых задачах B_i и C_i по результатам наблюдений.

Рассмотрим синтез указанных алгоритмов вывода приведенных следствий и соответствующие модификации операторов дедуктивного вывода искомого решения из импликативных tk-знаний БкЗ.

Пусть задана база импликативных tk-знаний $\overline{tk_2 \Sigma_{BM}} = tk_2 \|\overline{\Pi_B}\|$ и квант $tk_1 Y_\omega$ знаний о наблюдаемом ОПП $\omega \in \Omega$ исследуемой предметной области. Необходимо синтезировать алгоритм AL1 для оценки возможного состояния ОПП ω по кванту наблюдений $tk_1 Y_\omega$, опираясь на известную БкЗ, т.е. алгоритмически реализовать дедуктивный вывод искомого решения по схеме (20). Заметим, что под возможным состоянием ОПП ω понимают класс или образ, к которому относится ОПП ω при использо-

вании идентификационной БкЗ (В_т-задача), либо категория (значение) прогноза относительно ОПР ω , если используется прогнозная БкЗ (С_т-задача).

Алгоритм AL1

Вход: tk-знания БкЗ= $\overline{tk_2 \Sigma_{BM}}$ и наблюдения $tk_1 Y_\omega$ за ОПР ω .

Выход: дедуктивно выведенные из БкЗ tk-знания $tk_2 \|\overline{Y_\omega^*}\|$ о возможном состоянии ОПР ω , судя по наблюдениям $tk_1 Y_\omega$.

Действия:

1. Редуцировать tk-знания БкЗ= $\overline{tk_2 \Sigma_{BM}}$ по кванту $tk_1 Y_\omega$ посредством RED-оператора и получить результирующий t-квант

$$tk_2 \overline{\Sigma_\omega^*} = tk_2 \|\overline{Y_\omega^*}\| = \text{RED}(tk_2 \overline{\Sigma_{BM}} | tk_1 Y_\omega). \quad (21)$$

2. Присвоить выходному значению алгоритма AL1 результат $tk_2 \overline{\Sigma_\omega^*}$, т.е.

$$AL1 = tk_2 \overline{\Sigma_\omega^*} = tk_2 \|\overline{Y_\omega^*}\|.$$

Конец AL1.

Определение 12. Алгоритмическая процедура DED1:

$$\begin{aligned} \text{DED1}(tk_2 \overline{\Sigma_{BM}}, tk_1 Y_\omega; AL1; tk_2 \overline{\Sigma_\omega^*}) = \\ = tk_2 \|\overline{\Pi_B}\| \xrightarrow{tk_1 Y_\omega; AL1} \text{DED1} tk_2 \|\overline{Y_\omega^*}\|, \end{aligned} \quad (22)$$

реализующая получение tk-знаний $tk_2 \|\overline{Y_\omega^*}\|$ о возможном состоянии ОПР ω по базовым $tk_2 \overline{\Sigma_{BM}}$ и наблюдаемым $tk_1 Y_\omega$ tk-знаниям с помощью алгоритма AL1, называется оператором дедуктивного вывода 1-й модификации импликативных tk-знаний (сокращённо, DED1-оператором).

Определение 13. Алгоритмическая процедура DED2:

$$\begin{aligned} \text{DED2}(tk_2 \overline{\Sigma_{BM}}, tk_1 Y_\omega, tk_1 \beta_{k\omega}^{(j)}; AL2; tk_0 \beta_{k\omega}^{(j)}) = \\ = (((tk_2 \overline{\Sigma_{BM}} \xrightarrow{tk_1 Y_\omega; AL1} \text{DED1} tk_2 \overline{\Sigma_\omega^*}) \xrightarrow{tk_1 \beta_{k\omega}^{(j)}; AL1} \text{DED1} tk_2 \overline{\Sigma_\omega^{**}}) \text{DED2} \\ \text{POZ}(\overline{\Sigma_\omega^{**}} | A), AL2) tk_0 \beta_{k\omega}^{(j)}, \end{aligned} \quad (23)$$

подтверждающая или опровергающая дедуктивное заключение по алгоритму AL2 [1] о том, что согласно наблюдаемым tk-знаниям $tk_1 Y_\omega$ и данной БкЗ= $\overline{tk_2 \Sigma_{BM}}$ ОПР ω обладает значением $\beta_{k\omega}^{(j)}$ признака x_j , называется оператором дедуктивного вывода 2-й модификации tk-знаний $tk_0 \beta_{k\omega}^{(j)}$ из импликативной БкЗ= $\overline{tk_2 \Sigma_{BM}}$ (DED2-оператором).

Определение 14. Алгоритмическая процедура DED3:

$$\begin{aligned} \text{DED3} \left(tk_2 \overline{\Sigma_{BM}}, tk_1 Y_\omega, \left\{ tk_1 \beta_{i\omega}^{(j)} \right\}_{i=1, j=1}^{i=m, j=n}; \right. \\ \left. AL3; tk_s R_\omega, s = 1, 2 \right) = \quad (24) \\ = \left(tk_2 \overline{\Sigma_{BM}}, tk_1 Y_\omega, tk_2 \overline{\Sigma_{i\omega}^{**}} \right) \xrightarrow{tk_1 \beta_{i\omega}^{(j)}; AL3} \text{DED3} tk_s R_\omega \end{aligned}$$

реализующая посредством алгоритма AL3 дедуктивный вывод [1] из БкЗ по наблюдениям $tk_1 Y_\omega$ минимального интервального кванта знаний $tk_s R_\omega$, ($s = 1, 2$), в котором содержатся возможные комбинации значений известных признаков ОПР ω , называется оператором дедуктивного вывода 3-й модификации по логической схеме (20) (DED3-оператором).

Таким образом, в классе M_t tPAK3-моделей синтезированы три модификации алгоритмических операторов дедуктивного вывода разноуровневых tk-знаний из импликативной БкЗ: DED1-оператор (22), DED2-оператор (23) и DED3-оператор (24).

5. Общая методика операторного вывода решений в базовых V_t - и C_t -задачах

Формальная постановка C_t -задачи состоит в следующем.

Заданы: прогнозная ТЭД

$$T_0(m,N) = tk_2 \|T_0\| = tk_2 \Sigma_0,$$

M_s^* – граничное допустимое значение оценки M_s достоверности гипотезы о существовании имплицативных закономерностей; наблюдения за ОПП ω в форме tk -знаний $tk_1 Y_{\omega}$, описывающих интервал пространства V^N , в котором локализован ОПП ω .

Необходимо дедуктивно вывести с заданной надежностью прогнозный квант знаний $tk_1 CR_{\omega}$ о возможных комбинациях прогнозируемых значений неизмеренных характеристик (признаков) ОПП ω .

Задача прогнозирования значения j -го не измеренного признака ОПП ω , ($j = 1, 2, \dots, n$) сводится к задаче вычисления этого значения по значениям измеренных ($n - 1$) признаков посредством дедуктивного вывода соответствующего t -кванта знаний из БкЗ $_C$ по наблюдениям $tk_1 Y_{\omega}$.

Легко увидеть в такой трактовке известную V_t -задачу распознавания (идентификации) j -го класса (образа), если в качестве целевого признака ОПП ω использовать j -й признак и построить идентификационную БкЗ для данной проблемной области.

Поэтому задача V_t как задача распознавания является частным случаем с точностью до характера базы знаний более общей C_t -задачи прогнозирования: располагая известной прогнознoй БкЗ, определить (спрогнозировать) значения r не измеренных признаков ОПП ω по данным значениям ($n - r$) известных признаков. Иными словами, необходимо принять прогнозное решение, состоящее в дедуктивном выводе минимальных tk -знаний $tk_1 R_{\omega}$ об r

признаках ОПП ω из прогнознoй БкЗ по tk -знаниям $tk_1 Y_{\omega}$ о наблюдаемых ($n - r$) признаках.

Решение C_t -задачи осуществляется посредством DED3-оператора (24).

Содержательно и формально общая методика решения C_t -задачи совпадает по сути с действиями алгоритма AZ и алгоритма AL3 [1] в DED3-операторе, с помощью которого дедуктивно выводится искомый прогнозный минимальный квант знаний 1-го ранга $tk_1 R_{\omega}$ из предварительно синтезированной прогнознoй базы tk -знаний.

Однако, главным звеном методики является построение имплицативной БкЗ посредством INDS-оператора (19).

Построение выполняется в режиме обучения ЗОСПР по обучающим tk -знаниям 2-го ранга $tk_2 \|T_0\| = tk_2 \Sigma_0$ (входной матричной информации $T_0(m,N)$ объемом $m \times N$). Именно в режиме обучения формируется и минимизируется БкЗ как система имплицативных (запретных) закономерностей, получаемых индуктивно из обучающих знаний $tk_2 \|T_0\|$.

Содержание V_t -задачи заключается в синтезе алгоритма дедуктивного вывода неизвестного значения целевой характеристики (признака) ОПП ω с помощью синтезируемой в режиме обучения идентификационной базы tk -знаний БкЗ и посылочных значений измеренных характеристик (признаков) ОПП ω .

Формально V_t -задача ставится так.

Задана идентификационная запретная

$$Bk3 = tk_2 \bar{\Sigma}_{BZ} = tk_2 \|\bar{\Pi}_B\|,$$

известен результат наблюдений за ОПП ω_v , ($v = 1, 2, \dots$) в виде кванта знаний $tk_1 Y_{\omega_v}$:

$$tk_1 Y_{\omega_v} = \left[\beta_{1\omega_v}^{(1)} \dots \beta_{r1\omega_v}^{(1)} : \dots : \beta_{1\omega_v}^{(j)} \dots \beta_{rj\omega_v}^{(j)} : \dots : \beta_{1\omega_v}^{(n)} \dots \beta_{rn\omega_v}^{(n)} \right], \quad (25)$$

содержащий целевую характеристику (признак) x_j с неизвестными значениями

$$\beta_{k\omega_v}^{(j)}, \quad (k = \overline{1, \rho}; \quad j = \overline{1, n}; \quad v = 1, 2, \dots).$$

Требуется с заданной надежностью η дедуктивно вывести tk-знания $tk_1 \beta_{k\omega_v}^{(j)}$ о значении $\beta_{k\omega_v}^{(j)}$ целевой характеристики x_j при известных базовых ограничениях $tk_2 \bar{\Sigma}_{BZ} = tk_2 \|\bar{\Pi}_B\|$ как системы имплицитивных закономерностей данной проблемной области.

V_1 -задача сводится к определению значения целевой характеристики (признака) ОПР ω при полностью или частично известных значениях его посылочных характеристик (признаков). Поэтому методику решения V_1 -задачи можно строить на основе использования DED2-оператора (23).

Определим функциональную сущность указанной методики действиями алгоритма AL2. Заметим, что при полностью известных значениях всех посылочных признаков ОПР ω в кванте наблюдений (25), кроме целевого признака x_j , возможно вырождение редуцируемой из БкЗ $tk_2 \bar{\Sigma}_{BZ} = tk_2 \|\bar{\Pi}_B\|$ по кванту наблюдений (25) системы $tk_2 \bar{\Sigma}_\omega^*$ в пустое множество либо в совокупность компонент некоторого домена. Если $tk_2 \bar{\Sigma}_\omega^* = \emptyset$, то интервал локализации наблюдаемого ОПР ω совсем не пересекается с областью запретов

$$\text{БкЗ} = tk_2 \bar{\Sigma}_{BZ} = tk_2 \|\bar{\Pi}_B\|.$$

В случае, когда $tk_2 \bar{\Sigma}_\omega^* \neq \emptyset$, то значение целевой характеристики (признака) может быть определено с точностью до tk-знаний, отвечающих дополнению редуцированной системы запретов $tk_2 \bar{\Sigma}_\omega^*$ в пространстве V^N , т.е. инвертированному t-кванту знаний $\overline{tk_2 \bar{\Sigma}_\omega^*}$.

Заключение

Операторный вывод идентификационных и прогнозных решений на основе использования tPAK3-метода предполагает такую последовательность операторных преобразований разноуровневых tk-знаний: посредством оператора индукции по заданной таблице эмпирических данных (ТЭД) как обучающим tk-знаниям синтезируется база точных квантов знаний (БкЗ) (прогнозная или идентификационная). Затем дедуктивно с помощью операторов дедукции, традукции, проверки на общезапретность по наблюдаемым (входным) tk-знаниям, опираясь на БкЗ, выводятся искомые идентификационные или прогнозные решения в форме результирующих tk-знаний.

Операторный метод вывода решений основан на машинном манипулировании векторно-матричными структурами (в отличие от уже существующих методов), что позволяет сократить время синтеза БкЗ как решающего правила и повысить оперативность машинного принятия решений.

Литература

1. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. – К.: Наук. Думка, 2002. – 420 с.
2. Сироджа И.Б. Математическое и программное обеспечение интеллектуальных компьютерных систем. – Х.: ХАИ, 1992. – 342 с.

Поступила в редакцию 29.09.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Е.П. Пуятин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.