

## ЗАСОБИ ІНЖЕНЕРІЇ КВАНТІВ ЗНАНЬ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СИСТЕМАХ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

© Сіроджа І., 2007

Для створення систем штучного інтелекту актуальною є проблема прийняття знанняорієнтованих рішень в умовах невизначеності. Основні труднощі обумовлені складністю його формального опису й алгоритмізації.

На основі нової структуризації (квантування) різнотипних даних і розроблення засобів інженерії квантів знань (ІКЗ) розвивається знанняорієнтований підхід до моделювання інтелектуальних умінь людини, що часто успішно приймає рішення в будь-яких умовах невизначеності, спираючись на власні знання й інтуїцію. Запропоновано математичні моделі, методи й програмні засоби ІКЗ для створення комп'ютерних інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності різного характеру, тобто  $\delta$ -невизначеності ( $\delta=t, \pi, v, \varphi$ ).

The problem of acceptance knowledge-oriented decisions in uncertainty conditions at creation of artificial intellect systems is actual. The basic difficulties are caused by complexity of knowledge formal description and algorithmization.

In the work on the basis of new structurization (quantization) of the polytypic data and development of means of knowledge quantum engineering (KQE) develops knowledge-oriented the approach to modelling intellectual skills of the person which frequently successfully makes a decision in any conditions of uncertainty, by leaning on own knowledge and intuition. Mathematical models, methods and software KQE for creation computer intellectual systems of decision-making support in conditions of different character uncertainty, i.e.  $\delta$ - uncertainty ( $\delta=t, \pi, v, \varphi$ ) are offered.

### 1. Стан проблеми знанняорієнтованого прийняття рішень

При створенні систем штучного інтелекту (СШІ) актуальною є проблема прийняття знанняорієнтованих рішень за умов невизначеності. Основні труднощі проблеми обумовлені складністю її формального опису та алгоритмізації. Існуючі методи **інженерії знань**, що засновані на фреймових, продукційних чи інших моделях знань та *штучні нейронні* мережі виявляються не достатньо ефективними через недосконалість способів *представлення* та *машинного маніпулювання* ними.

### 2. Задача створення моделей та методів інженерії квантів знань

У роботі на основі нової *структуризації* (квантування) різнотипних даних і розробки засобів **інженерії квантів знань** (ІКЗ) [1,2] розвивається *знанняорієнтований* підхід до моделювання інтелектуальних умінь людини, яка часто успішно приймає рішення за будь-яких умов невизначеності, спираючись на власні знання та інтуїцію. Запропоновано математичні моделі, методи і програмні засоби ІКЗ для створення комп'ютерних *інтелектуальних систем* підтримки прийняття рішень за умов невизначеності *різного характеру*, тобто  $\delta$ -*невизначеності* ( $\delta=t, \pi, v, \varphi$ ). Цей характер пропонується визначати відповідною комбінацією таких *обмежень*, які конкретизують умови зазначених **t-, $\pi$ -v-, $\varphi$ -невизначеностей**:

1. Дані про об'єкт прийняття рішень (ОПР) *різнотипні* (вимірені як в *кількісних*, так і *якісних* шкалах) і добути в *неповних* об'ємах з різних джерел (експерти, технічна документація, довідники, вимірювання приладами тощо);

2. Інформація про ОПР та предметну галузь неповна, неточна і/або ймовірнісна;

3. Дані мають переважно *статистичний* характер, але закони розподілу характеристик (ознак) ОПР *не відомі*;

4. Дані про ОПР та предметну галузь мають переважно *лінгвістичний* і *нечіткий* характер;

5. Критерії якості прийняття *ідентифікаційних* та *прогнозних* рішень задані неявно; невідомо які саме, в якій кількості та як знайти *інформативні ознаки ОНР* відносно *цілей прийняття рішень*;
6. Невідомі *правила прийняття ідентифікаційних* та *прогнозних рішень*, а також *індуктивні принципи* їх синтезу шляхом *навчання* системи за вибірковими знаннями і експериментальними даними;
7. Неможливо безпосередньо побудувати правила прийняття вказаних рішень відомими *стандартними* обчислювальними методами.

При  $\delta=t$  *сукупності* обмежень  $\{(1),(5)-(7)\}$  визначає умови *t-невизначеності*, за яких використовуються *вірогідні* (точні) *t-кванти знань* або *tk-знання*. Аналогічно, при  $\delta=\pi$  та обмеженнях  $\{(1),(2),(5)-(7)\}$  використовуються *наближені* *пк-знання* за умов *п-невизначеності*. При  $\delta=v$  і обмеженнях  $\{(1)-(3),(5)-(7)\}$  здійснюються так звані умови *v-невизначеності*, що вимагають застосування *ймовірнісних vk-знань*, а при  $\delta=\varphi$  та обмеженнях  $\{(1),(2),(4)-(7)\}$  маємо умови *ф-невизначеності* і використовуємо *нечіткі ф к-знання*. В основу *ІКЗ* покладено розроблений автором *метод різнорівневих алгоритмічних δ-квантів знань (δРАКЗ-метод)*, узагальнений відносно характеру обмежень (1) – (7) з метою створення ефективних *СШ* для прийняття рішень за умов *δ-невизначеності*. За *δРАКЗ-методом* поняття *δ-кванта знань* ( $\delta=t,\pi,v,\varphi$ ), тобто *δк-знання*, аксіоматично формалізовано як *алгоритмічну структуру 0-го, 1-го і 2-го рівнів*, яка описує відповідну *подію часткою* (квантом) *інформації* у вигляді висловлення математичної логіки і має 3 складові: *змістовну*(семантика), *інформаційну*(символи), *алгоритмічну*(алгоритми, оператори). Якщо змістовному висловлюванню відносно цієї події щодо ОНР можна поставити у відповідність *число*, то застосовується *δк-знання 0-го рівня*. Коли ж у відповідність квантовій події ставиться кортеж чисел (вектор) чи матриця, то використовуються для опису події *δк-знання 2-го та δк-знання 3-го рівня*, відповідно з урахуванням типу ( $\delta=t,\pi,v,\varphi$ ) умов *δ-невизначеності*.

*Змістовна складова δк-знання* про ОНР містить семантичний опис логіки квантового висловлювання, ім'я, *тип* та *рівень δ-кванта знань*, а *інформаційна* – символічну інформацію продукційного виду „*засновок–наслідок*”, що розміщена в активних доменах з поточними та цільовими значеннями ознак ОНР. *Алгоритмічна складова* займає *вихідний домен* і містить список імен алгоритмів, необхідних для цільового оброблення наповнення *інформаційної складової* та для обчислення показників *вірогідності наслідків* у *π-,v-,φ-квантах знань* за даними *засновків*.

Формальний опис *δ-кванта s-го рівня* ( $s=0,1,2$ ) має вигляд рівняння, у лівій частині *семантичний код*  $\delta k_s Y$ , де вказано тип  $\delta$ , рівень  $s$  та ім'я  $Y$  *δ-кванта*, а у правій в дужках «[,]» – *активні домени* його *інформаційної складової* та *вихідний домен алгоритмічної складової*. Наприклад, вираз

$$\delta k_1 c1 = \overbrace{[0,1 | \sigma(\alpha_2^1), 1 | \sigma(\alpha_3^1), \emptyset : 1 | \sigma(\alpha_1^2), 0, \emptyset : \emptyset | \sigma(\alpha_1^{3u}) | \sigma(\alpha_1^{3u}), \emptyset;]}^{x_3=x_{1u}}; \underbrace{A(\rightarrow c1); \sigma(\rightarrow c1); A(c1); \sigma(c1); L(c1); \gamma]}_{\text{вихідний домен}} \quad (1)$$

описує деякий *векторний (1-го рівня) π-квант* ( $\delta=\pi$ ) або *v-квант* ( $\delta=v$ ), з ім'ям  $Y=c1$ , який може розширюватися, про що свідчить « $\emptyset$ » (*новий компонент* домену) і « $:\emptyset|\emptyset:$ » (*новий домен*). Домени відповідають ознакам ОНР, розділяються « $;$ », еквівалентним *кон'юнкції* ( $\wedge$ )  $\equiv (I)$ , і містять значення ознак як компонентів, розділених « $;$ », що рівнозначно *диз'юнкції* ( $\vee$ )  $\equiv (A \vee B)$ . *Зафіксованому i-му значенню*  $\alpha_i^j$ , ( $i = 1, 2, \dots, r_j$ ) *j-ї ознаки*  $x_j$ , ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) відповідає *i-й символічний компонент* « $1 | \sigma(\alpha_i^j)$ » *j-го домену*, де „1” означає, що це значення дійсно виміряне, „0” – значення не існує, а символ  $\sigma(\alpha_i^j)$  за ризикою „|” визначає *показник вірогідності (ПВ)* цього значення. Цільовим *наслідком c1* в  $\delta k_1 c1$  є значення  $\alpha_1^{3u} | \sigma(\alpha_1^{3u})$  ознаки  $x_3=x_{1u}$ , що впливає з логічної комбінації значень ознак  $x_1$  та  $x_2$  у *засновку інформаційної складової* даного *δ-кванта*. Тому його *змістовна складова* визначається такою *семантикою*: «*ЯКЩО* для даного ОНР дійсне *2-е значення*  $\alpha_2^1$  *ознаки*  $x_1$  з *ПВ*  $\sigma(\alpha_2^1)$   $\vee$  *3-е значення*  $\alpha_3^1$  з *ПВ*  $\sigma(\alpha_3^1)$   $\wedge$  *1-е значення*  $\alpha_1^2$  з *ПВ*  $\sigma(\alpha_1^2)$  *ознаки*  $x_2$ , *ТО* *1-ше значення*  $\alpha_1^3$  *ознаки*

$x_3=x_n$  з **ПВ** =  $\sigma(\alpha_1^{3n})$  є цільовим **наслідком** **c1** в  $\delta k_1 c_1$  (1), для якого **ПВ**  $\sigma(c_1)$  обчислюється алгоритмом **A(c1)**, а вказана **логіка** реалізується **алгоритмом L(c1)**».

Вихідний домен **алгоритмічної складової**  $\delta k_1 c_1$  (1) містить вказані алгоритми, задану величину  $\sigma(\rightarrow c_1)$  вірогідності сумісного здійснення **висновку** **c1** при ускладненому **засновку**  $((\alpha_2^1 | \sigma(\alpha_2^1) \vee \alpha_3^1 | \sigma(\alpha_3^1)) \wedge \alpha_1^2 | \sigma(\alpha_1^2))$  та **вихідного сигналу**  $\gamma \in \{0,1\}$ , про успішне або неуспішне завершення роботи  **$\delta$ -кванту** ( $\gamma=0$ , коли хоча б один **засновок** відсутній на вході). Функціонування  **$\delta$ -кванта** знань з ім'ям **Y** будь-якого **типу** і **рівня** як деякого **багатополосного перетворювача** починається алгоритмічною реалізацією змісту його **інформаційної складової** за наявності на вході керівного сигналу **u=1** та всіх **засновоків**, а завершується визначенням **заключного** (цільового) **наслідку Y**, його **ПВ**  $\sigma(Y)$  і виробленням сигналу  $\gamma=1$ . Отже, вираз (1) є типовим **прикладом векторно-матричної форми представлення** різнорівневих **δPRAK3-моделей** уявлення знань в **ІКЗ**.

Загальна формалізація та побудова **δPRAK3-моделей** розглядається в **ІКЗ** як **перша базова A $\delta$ -задача** представлення і **аксіоматичного синтезу  $\delta k$ -знань 0-го, 1-го і 2-го рівнів складності** в підкласах **M $_t$ , M $_\pi$ , M $_v$ , M $_\phi$**  **δPRAK3-моделей**, об'єднаних в клас **M $\delta$  = M $_t \cup M_\pi \cup M_v \cup M_\phi$** . **Аксіоматичний синтез  $\delta k$ -знань** ґрунтується на **постулюванні** трьох вихідних (**термінальних**)  **$\delta$ -квантів  $\delta k_1 y_t, \delta k_0 a_t, \delta k_1 b_t$**   $\delta \in \{t, \pi, v, \phi\}$  із залученням відомих в теорії алгоритмів **операторів суперпозиції (П-оператор), рядкової конкатенації (CON<math>\langle \bullet \rangle-оператор) і стовпцевої конкатенації (CON[math>[math>\bullet]-оператор) [1,2].**

**Термінальний векторний  $\delta$ -квант 1-го рівня  $\delta k_1 y_t$**  є вектором доменів **d $_j$** , ( $j=1, n$ ):

$$\begin{aligned} \delta k_1 y_t &= [d_1 : d_2 : \dots : d_n] = \\ &= [\alpha_1^1 | \sigma(\alpha_1^1), \dots, \alpha_{r_1}^1 | \sigma(\alpha_{r_1}^1) : \dots : \alpha_1^n | \sigma(\alpha_1^n), \dots, \alpha_{r_n}^n | \sigma(\alpha_{r_n}^n)], \end{aligned} \quad (2)$$

які відповідають різнотипним **ознакам**  $x_1, \dots, x_n$  **ОПР** зі значеннями  $\alpha_i^j | \sigma(\alpha_i^j)$ , що належать скінченним множинам значень **X $^j$** , ( $j=1, 2, \dots, n$ ;  $i=1, 2, \dots, r_j$ ):

$$X^1 = \{\alpha_1^1 | \sigma(\alpha_1^1), \dots, \alpha_{r_1}^1 | \sigma(\alpha_{r_1}^1)\}, \dots, X^n = \{\alpha_1^n | \sigma(\alpha_1^n), \dots, \alpha_{r_n}^n | \sigma(\alpha_{r_n}^n)\}, \quad (3)$$

де  $\sigma(\alpha_i^j)$ , ( $i=1, 2, \dots, r_j$ ) – **ПВ** відповідних означень ознак.

**Термінальний вибираючий  $\delta$ -квант 0-го рівня  $\delta k_0 a_t$**  описується відомою в теорії алгоритмів **функцією вибору V $_k^{(m)}$**  аргумента  $\alpha_k$  з **m-послідовності чисел** або **символів**:

$$\delta k_0 a_t = [V_k^{(m)} = (\alpha_1 | \sigma(\alpha_1), \alpha_2 | \sigma(\alpha_2), \dots, \alpha_k | \sigma(\alpha_k), \dots, \alpha_m | \sigma(\alpha_m)) = \alpha_k | \sigma(\alpha_k)]. \quad (4)$$

**Термінальний характеристичний  $\delta$ -квант 1-го рівня  $\delta k_1 b_t$**  описується **характеристичною функцією  $\chi_{Y_j}$**  множини **Y $_j$**  **вимірних значень j-ї ознаки ОПР**:

$$\delta k_1 b_t = [\chi_{Y_j}(\alpha_k^j | \sigma(\alpha_k^j))] = \begin{cases} 1, & \text{если } \alpha_k^j | \sigma(\alpha_k^j) \in Y_j, \\ 0, & \text{если } \alpha_k^j | \sigma(\alpha_k^j) \notin Y_j, \end{cases} \quad k = (1, 2, \dots, r_j). \quad (5)$$

**Визначення 1.** Різнорівневі алгоритмічні  **$\delta$ -квантові** структури, які утворюються з **термінальних квантів  $\delta k_1 y_t$ , (2),  $\delta k_0 a_t$  (4) та  $\delta k_1 b_t$  (5)** шляхом скінченної кількості застосувань до них **П-оператора, CON<math>\langle \bullet \rangle-оператора і CON[math>[math>\bullet]-оператора**, називаються **різнорівневими алгоритмічними  $\delta k$ -знаннями**, або **δPRAK3-моделями** представлення знань за умов  **$\delta$ -невизначеності**.

У роботах [1, 2] показано, як використовується **строге визначення 1** при  $\delta=t$  і  $\sigma(\alpha_i^j)=1$  для **автоматичного синтезу різнорівневих tk-знань** в підкласі **M $_t$  tPRAK3-моделей** за умов **t-невизначеності**. При  $\delta=\pi$  і  $\sigma(\alpha_i^j)=\text{ПВ } d(\alpha_i^j)$  синтезуються різнорівневі  **$\pi k$ -знання** в підкласі **M $_\pi$   $\pi$ PRAK3-моделей** за умов  **$\pi$ -невизначеності**, а при  $\delta=v$  і **ПВ  $\sigma(\alpha_i^j)=p(\alpha_i^j)$**  отримуються  **$\nu k$ -знання** в підкласі **M $_v$   $\nu$ PRAK3-моделей** за умов  **$\nu$ -невизначеності**. Наприклад, нехай задано **термінальний векторний  $\nu$ -квант 1-го рівня  $\nu k_1 y_t$** :

$$\nu k_1 y_t = [\alpha_1^1 | .60, \alpha_2^1 | .75 : \alpha_1^2 | .30, \alpha_2^2 | .86, \alpha_3^2 | .55, \alpha_4^2 | .90 : \alpha_1^3 | .85, \alpha_2^3 | .75, \alpha_3^3 | .95] \quad (6)$$

з **семантикою**: «ОПР має три ( $n=3$ ) ознаки  $x_1, x_2, x_3$  з заданими імовірнісними значеннями відповідно: в **1-му** домені в кількості  **$r_1=2$** , у **2-му** домені –  **$r_2=4$**  і в **3му** –  **$r_3=3$** , які належать змістовним імовірним множинам:

$$\tilde{X}^1 = \{\alpha_1^1 | p(\alpha_1^1), \alpha_2^1 | p(\alpha_2^1)\}, \text{ где } p(\alpha_1^1) = .6, p(\alpha_2^1) = .75;$$

$$\tilde{X}^2 = \{\alpha_1^2 | p(\alpha_1^2), \alpha_2^2 | p(\alpha_2^2), \alpha_3^2 | p(\alpha_3^2), \alpha_4^2 | p(\alpha_4^2)\}, p(\alpha_1^2) = .3, p(\alpha_2^2) = .86, p(\alpha_3^2) = .55, p(\alpha_4^2) = .9;$$

$$\tilde{X}^3 = \{\alpha_1^3 | p(\alpha_1^3), \alpha_2^3 | p(\alpha_2^3), \alpha_3^3 | p(\alpha_3^3)\}, \text{ где } p(\alpha_1^3) = .86, p(\alpha_2^3) = .75, p(\alpha_3^3) = .95.$$

Необхідно синтезувати **v-квант 1-го рівня vk<sub>1</sub>c2** з іменем **c2**, що описує знання про **ОПР** з такою **семантикою**: «зафіксовано множини **Y<sub>j</sub>**, (j=1,2,3) вимірних значень ознак **ОПР**: **Y<sub>1</sub>**={α<sub>2</sub><sup>1u</sup>}, **Y<sub>2</sub>**={α<sub>2</sub><sup>2</sup>, α<sub>4</sub><sup>2</sup>}, **Y<sub>3</sub>**={α<sub>1</sub><sup>3</sup>, α<sub>3</sub><sup>3</sup>}, де 2-ге значення α<sub>2</sub><sup>1u</sup> ознаки **x<sub>1</sub>** заявлено **цільовим (x<sub>1</sub>=x<sub>ц</sub>) наслідком c2**, який впливає з логіки цієї квантової події: (α<sub>2</sub><sup>2</sup> ∨ α<sub>4</sub><sup>2</sup>) ∧ (α<sub>1</sub><sup>3</sup> ∨ α<sub>3</sub><sup>3</sup>) як **засновку** зі значеннями α<sub>2</sub><sup>2</sup>, α<sub>4</sub><sup>2</sup>, α<sub>1</sub><sup>3</sup>, α<sub>3</sub><sup>3</sup> ознак **x<sub>2</sub>** та **x<sub>3</sub>** з заданими відповідними **ПВ**: **p(α<sub>2</sub><sup>2</sup>), p(α<sub>4</sub><sup>2</sup>), p(α<sub>1</sub><sup>3</sup>), p(α<sub>3</sub><sup>3</sup>)**; у **вихідному домені** ймовірність імплікації **p(→c2)=0,98**, **заключний ПВ p(c2) наслідку c2 v-кванта vk<sub>1</sub>c2** обчислюється алгоритмом **A(c2)**, а логіка квантової події реалізується алгоритмом **L(c2)**».

Діючи за **визначенням 1**, з **термінального** кванта **vk<sub>1</sub>y<sub>T</sub>** (6) одержуємо **формальну алгоритмічну процедуру** синтезу потрібного **v-кванта vk<sub>1</sub>c2** разом з його формальним представленням, яке автоматично отримується:

$$vk_1c2 = \text{CON}_{j=1}^{n=3} \left\langle \text{CON}_{k=1}^{r_j} \left\langle \chi_{Y_j} (V_j^{(3)}) (V_k^{(r_j)} (vk_1r_T)) \right\rangle \right\rangle = \overbrace{[0,1|.86,0,1|.90]}^{x_2} : \overbrace{[1|.85,0,1|.95]}^{x_3} : \overbrace{[0,1|.75]}^{x_1=x_{ц}} ; ; \quad (7)$$

.98;A(c2):p(c2);L(c2);γ].

вихідний домен

Послідовність алгоритмічних дій в **операторному виразі** (7) починається з налагодження циклічних дій усіх операторів і функцій зліва направо для обробки **vk<sub>1</sub>y<sub>T</sub>**(6) так, що перший **CON<sub>j=1</sub><sup>n=3</sup>⟨•⟩-оператор** встановлює **j:=1** для циклічної конкатенації **1-го, 2-го і 3-го доменів vk<sub>1</sub>c2**, що синтезується. Наступний **CON<sub>k=1</sub><sup>r<sub>j</sub></sup>⟨•⟩-оператор**, починаючи з **k:=1**, (1≤k≤r<sub>j</sub>), виконує **рядкову конкатенацію r<sub>j</sub>** компонентів **j-го** домену, які після аналізу **компонентів** на належність **зафіксованій** множині **Y<sub>j</sub>** **характеристичною** функцією **χ<sub>Y<sub>j</sub></sub>** перетворюються в «0» або «1». Вибір компонентів здійснюється в циклі, починаючи з **j:=1**, функцією **V<sub>j</sub><sup>(3)</sup>**, а потім функцією **V<sub>k</sub><sup>(r<sub>j</sub>)</sup>** вибирається **k-й** компонент з **r<sub>j</sub>** можливих в **j-му домені**. Циклічні дії закінчуються у разі досягнення кінцевих значень параметрів: **n** – кількість **ознак (доменів)** та **r<sub>j</sub>** – кількість **компонентів j-го домену**.

Наступні **друга і третя базові** задачі інженерії квантів знань, а саме **дедуктивний** вивід **ідентифікаційних** рішень (**B<sub>δ</sub>-задача**) та **прогнозних** рішень (**C<sub>δ</sub>-задача**) на основі **індуктивної** побудови відповідних **баз δ-квантів знань (Bδk3)** поставлені і розв'язані засобами **δРАКЗ-методу**, які описані в роботі [2].

### Висновки

На відміну від інших методів, **δРАКЗ-метод** забезпечує **індуктивну** побудову **баз δ-квантів знань (Bδk3)**, що здатні навчатися за вибірковими **δk-знаннями**, у вигляді систем **імплікативних і/або функціональних** залежностей **r-го рангу** (2≤r≤n) між ознаками **ОПР** як **закономірностей** предметної галузі. На цій основі реалізується алгоритмізація **квантових операторів** та **мереж виведення рішень (δ-КМВР)** як **δРАКЗ-моделей** логічних міркувань, тобто **дедуктивного виведення наслідків із засновків**.

**Адекватність δРАКЗ-моделей** оцінюється доведеним **співвідношенням** між **об'ємом** вибіркових **δk-знань** для навчання та **найбільшим допустимим рангом складності** побудованої **Bδk3** як **δРАКЗ-моделі**.

**Ефективність** знанняорієнтованого прийняття рішень визначається величиною імовірності прийняття **помилкового рішення** на **контрольній** вибірці **δk-знань** [1,2].

1. Сироджа И.Б., Петренко Т.Ю. *Метод разноуровневых алгоритмических квантов знаний для принятия производственных решений при недостатке или нечёткости данных.* – К.: Наукова думка, 2000. – 247с. 2. Сироджа И.Б. *Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления.* – К.: Наукова думка, 2002. – 490 с.