

# Кібернетика та системний аналіз

УДК 519.87

А.А. Адаменко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ПІДВИЩЕННЯ АДЕКВАТНОСТІ НЕЧІТКИХ КОГНІТИВНИХ МОДЕЛЕЙ

*Запропоновано підхід щодо удосконалення методів параметризації нечітких когнітивних моделей. Підхід базується на застосуванні логіки антонімів при формалізації параметричних характеристик когнітивних карт та механізмів перетворення впливів концептів один на одного, що дозволяє усунути недоліки нечіткої логіки й, тим самим, підвищити адекватність моделей.*

**Ключові слова:** когнітивне моделювання, параметризація когнітивних карт, логіка антонімів.

### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним із підходів дослідження слабкоструктурованих систем та ситуацій є статичний та динамічний аналіз систем та ситуацій на базі їх когнітивних моделей [1].

В основу когнітивної моделі покладено поняття когнітивної карти (далі – КК), що формально являє собою орієнтований зважений граф, в якому вершини відповідають базисним факторам (далі - концептам), а дуги – взаємовідношенням між ними. Когнітивна модель конкретної динамічної системи чи ситуації отримується в результаті параметризації КК, коли вершинам та дугам графу ставляться у відповідність змінні, за допомогою яких формалізують стани концептів, характер зв'язків між ними, а також задаються механізми перетворення впливів концептів один на одного.

Аналіз результатів розробки та використання когнітивних моделей в різних предметних областях свідчить про існування проблеми їх адекватності, що залежить, зокрема, від обраного методичного підходу щодо параметризації КК.

Найбільшу практичну цінність при моделюванні слабкоструктурованих систем та ситуацій здобули нечіткі когнітивні моделі [2], де параметричні характеристики вершин та дуг формалізуються з використанням методів нечіткої логіки.

Віддаючи належне методам нечіткої логіки, слід зауважити, що мають місце парадоксальні результати їх використання. Поясненнями щодо парадоксальності методів нечіткої логіки є її слабкі місця, а саме:

- вид та параметри функцій приналежності нечітких множин, що описують вхідні та вихідні змінні системи, обираються суб'єктивно, тому можуть викривлювати реальну дійсність;

- відсутність єдиного підходу щодо правил

проведення та фізичного тлумачення операцій нечіткої логіки;

- чутливість операторів нечіткої логіки до "сильного" аргументу;

- "небулевість" операторів нечіткої логіки, тобто існування таких законів класичної двозначної логіки, яким вони не відповідають;

- припущення щодо взаємної незалежності аргументів в рамках однієї формули (правила);

- складність формалізації негативних та різнознакових зв'язків між аргументами;

- складність апріорного формування повного набору сумісних (неконфліктних) нечітких правил та їх апостеріорного корегування.

**Мета статті.** Стаття має на меті підвищення адекватності нечітких когнітивних моделей за рахунок удосконалення методів параметризації КК, що покладаються в їх основу.

### Розділ основного матеріалу

Параметризація когнітивної карти передбачає отримання шкал поточних та майбутніх станів (або значень) концептів, сили впливу концептів один на одного з урахуванням напрямку впливу та визначення механізмів перетворення цих впливів.

При цьому визначальну роль відіграє тип когнітивної карти, що визначається відповідно до фізичної інтерпретації природи станів факторів та зв'язків між ними. В роботі [1] розглянуті дві можливі інтерпретації когнітивних карт – детерміновані та недетерміновані.

В детермінованих КК значення концепту в вершині інтерпретується як його абсолютне значення, що задається на відповідній оціночній шкалі значень (приросту значень) концептів. Вага дуги інтерпретуються як коефіцієнт передачі, що зв'язує зміну абсолютних значень концепту-причини та концепту-наслідка.

В недетермінованих КК вага дуги та значення у вершинах інтерпретуються як міра впевненості експерта в існуванні зв'язку між концептами та, відповідно, впевненості експерта у тому, що відповідний концепт буде мати місце.

У цьому випадку використовується шкала впевненості, що характеризує приріст показника невідзначеності (впевненості).

Оскільки мова йде саме про нечіткі когнітивні моделі, що направлені на дослідження слабкоструктурованих систем чи ситуацій в умовах нестохастичної невизначеності, то доцільним при їх розробці є параметризація недетермінованих КК або КК змішаного типу.

В КК змішаного типу значення концепту в вершині інтерпретується як його абсолютне значення, що задається на оціночній шкалі значень (приросту значень) концептів з урахуванням впевненості експерта. При цьому, вага дуги інтерпретується як коефіцієнт передачі, що зв'язує зміну абсолютних значень концепту-причини та концепту-наслідка, а також визначає міру впевненості експерта в існуванні зв'язку між концептами.

Параметризацію недетермінованих КК та КК змішаного типу пропонується здійснювати на базі логіки антонімів [3], що вмістила в собі усі позитивні властивості неперервнозначних логік й, разом з тим, має ряд додаткових позитивних властивостей, найголовніша з яких – це відповідність усім законам класичної логіки, тобто булевисть.

**Основні положення логіки антонімів.** В основу логіки антонімів (далі – ЛА) покладено поняття антонімичної пари  $A$  та  $\alpha A$ , що розглядаються як пара протилежних властивостей того чи іншого параметру, наприклад: "великий - малий", "сильно - слабо", "достовірно - неможливо" тощо.

При цьому, значення параметру визначається або величиною  $H[A]$  – кількісна оцінка міри наявності у об'єкта параметризації властивості  $A$  або величиною  $H[\alpha A]$  – кількісна оцінка міри наявності у об'єкта параметризації властивості  $\alpha A$ . Тобто, визначається, наприклад, на скільки відповідний параметр "великий" або на скільки він "малий".

Оцінки  $H[A]$  та  $H[\alpha A]$  зв'язані між собою виразом

$$H[\alpha A] = -\log_2(1 - 2^{-H[A]}) \quad (1)$$

і можуть вважатися координатами стану об'єкту параметризації, можливі значення яких визначені на числовому інтервалі  $[0, \infty)$  або, в разі потреби, після нормування можуть бути визначені, наприклад, на інтервалах  $[0, 1]$  або  $[0, 100]$ .

Слід зазначити, що оператору  $\alpha$  можна поставити у відповідність оператор "Не", що, на відміну

від його розуміння в нечіткій логіці, передбачає не "усе інше", а перехід до конкретного протилежного значення – синоніма.

Для характеристики логічних взаємозв'язків між елементами деякої системи в ЛА розглядаються два види зв'язків:  $\gamma$ -зв'язок (сильний зв'язок), що відповідає операції кон'юнкції, та  $\beta$ -зв'язок (слабкий зв'язок), що відповідає операції диз'юнкції. При цьому, мають місце оператори ЛА [4], що на базі логічної моделі системи дозволяють отримати її математичну модель з урахуванням виду ( $\gamma$ -зв'язок чи  $\beta$ -зв'язок), напрямку (позитивний, негативний чи різнознаковий) зв'язків між її елементами, значимості цих елементів (у формулах, що будуть наведені нижче, значимість елементів виражається через коефіцієнти  $k_A$  та  $k_B$ ,  $k_A + k_B = 1$ ), а також їх залежності чи незалежності.

Оператори ЛА, що оцінюють стан системи за умови позитивності зв'язків між її елементами:

$$\begin{aligned} H[A\gamma B] &= \\ &= -\log_2\left(1 - \left(1 - 2^{-k_A \cdot H[A]}\right)\left(1 - 2^{-k_B \cdot H[B]}\right)\right); \\ H[A\beta B] &= k_A \cdot H[A] + k_B \cdot H[B]. \end{aligned}$$

Оператори ЛА, що оцінюють стан системи за умови негативності зв'язків між її елементами:

$$\begin{aligned} H[A\bar{\gamma}B] &= \\ &= -\log_2\left[\left(1 - 2^{-k_A \cdot H[A]}\right)\left(1 - 2^{-k_B \cdot H[B]}\right)\right]; \\ H[A\bar{\beta}B] &= -\log_2\left[1 - 2^{-k_A \cdot H[A] - k_B \cdot H[B]}\right]. \end{aligned}$$

Оператори ЛА, що оцінюють стан системи за умови різнознакових зв'язків між її елементами:

$$\begin{aligned} H[A^+ \tilde{\gamma} B^-] &= -\log_2\left[1 - \left(1 - 2^{-k_A \cdot H[A^+]}\right) \times \right. \\ &\quad \left. \times \left(1 - 2^{-\log_2\left(1 - 2^{-k_B \cdot H[B^-]}\right)}\right)\right]; \end{aligned}$$

$$H[A^+ \tilde{\beta} B^-] = k_A \cdot H[A^+] - \log_2\left(1 - 2^{-k_B \cdot H[B^-]}\right).$$

**Параметризація недетермінованих КК.** В недетермінованих КК в зміст концептів покладаються деякі події і важливим є лише факт їх появи чи не появи, що можливо внаслідок реалізації певного комплексу умов – множини подій, що покладені в зміст інших концептів і можуть бути пов'язані між собою будь-якими логічними схемами.

У цьому випадку для параметризації вершин та дуг недетермінованої КК будемо використовувати шкалу впевненості, що характеризує приріст показ-

ника невизначеності (впевненості) відповідного параметру.

В основу показника невизначеності (впевненості) покладається відповідна антонімічна пара, наприклад, "достовірно" – "неможливо". При цьому, в якості параметру вершин  $X_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , будемо розглядати антонімічну оцінку  $H[X_i]$  (або  $H[\alpha X_i]$ ), що буде оцінювати на скільки подія  $X_i$  достовірна чи неможлива.

В якості параметру дуг  $D_{ij}$  будемо розглядати антонімічну оцінку  $H[X_i \rightarrow X_j]$ , що буде оцінювати на скільки достовірним чи неможливим є наступ події-наслідка  $X_j$  за умови наступу події-причини  $X_i$ .

Для оцінювання величини  $H[X_j | X_i]$  – ступеня достовірності події-наслідка  $X_j$  з урахуванням ступеня достовірності (а точніше – неможливості) події-причини  $X_i$  будемо використовувати наступний вираз:

$$H[X_j | X_i] = H[X_i \rightarrow X_j] - H[\alpha X_i], \quad (2)$$

де  $H[X_i \rightarrow X_j]$  – оцінка ступеня достовірності наступу події-наслідка за умови наступу події-причини  $X_i$ ;

$H[\alpha X_i]$  – оцінка ступеня неможливості події-причини, що розраховується згідно (1).

Якщо "причина" наступу події  $X_j$  одна, то

$$H[X_j] = H[X_j | X_i].$$

Якщо "причин" наступу події  $X_j$  декілька, то подію-наслідок  $X_j$  слід розглядати як Ціле, а її "причини"  $X_i$ ,  $i > 1$ , – як Частки. У цьому випадку ступінь достовірності події  $X_j$  (величина  $H[X_j]$ ) розраховується як інтегральна оцінка за оцінками  $H[X_j | X_i]$  з використанням відповідних операторів логіки антонімів в залежності від характеру зв'язків між ними.

**Параметризація КК змішаного типу.** В КК змішаного типу в зміст концептів покладаються певні характеристики об'єкту дослідження, що під впливом дії внутрішніх чи зовнішніх сил можуть покращуватись, погіршуватись чи залишатись незмінними.

У цьому випадку для параметризації вершин та дуг КК змішаного типу будемо використовувати оціночну шкалу значень (приросту значень) відповідних параметрів, що повинна характеризувати приріст показника якості відповідного параметру з ура-

хуванням приросту показника невизначеності (впевненості).

Показник якості вершини  $X_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , (фізичний зміст якого залежить від предметної області дослідження) будемо описувати антонімічною оцінкою  $H[X_i]$  (або  $H[\alpha X_i]$ ) що будується на базі відповідної антонімічної пари (наприклад, "якісний – неякісний") й буде оцінювати на скільки концепт  $X_i$  є якісним чи неякісним з точки зору його користі для системи чи ситуації, що моделюється.

Показником якості дуги  $D_{ij}$  приймається коефіцієнт гнучкості (часто використовується в економіці), що буде вказувати на процентну зміну значення показника якості вершини  $X_j$  в результаті 1% зміни значення показника якості вершини  $X_i$  і мати вид:

$$H[D_{ij}] = \frac{H[\Delta X_{ji}] / H[X_j] \cdot 100\%}{H[\Delta X_i] / H[X_i] \cdot 100\%}, \quad (3)$$

де  $H[\Delta X_i]$  – приріст значення показника якості вершини  $X_i$ ;

$H[\Delta X_{ji}]$  – приріст значення показника якості вершини  $X_j$  внаслідок зміни значення показника якості вершиною  $X_i$ .

Антонімічні оцінки  $H[D_{ij}]$  та  $H[\alpha D_{ij}]$  отримуються на основі відповідної антонімічної пари, зміст якої можна формувати за двома принципами.

Перший – антонімічна пара повинна характеризувати лише модуль величини приросту відповідного показника якості, наприклад, "сильно – слабо". У цьому випадку потрібно ввести додаткову змінну, наприклад, знакову змінну  $z_{ij} = (+, -)$ , що буде характеризувати напрямок приросту.

Другий – антонімічна пара повинна окрім модуля величини приросту характеризувати його напрямок (зменшення чи збільшення). З цією метою можна, наприклад, використовувати антонімічну пару "збільшує – зменшує". У цьому випадку, його можливі значення будуть визначатися кривою, але точка рівноваги (1, 1) буде розмежувати області його позитивних ( $H[D_{ij}] > 1$ ,  $H[\alpha D_{ij}] < 1$ ) та негативних ( $H[D_{ij}] < 1$ ,  $H[\alpha D_{ij}] > 1$ ) значень.

Крім того, при параметризації вершин та дуг КК змішаного типу вводяться показники невизначеності (впевненості) так, як це проводилось при параметризації недетермінованих КК.

Для оцінки значення  $H_{t+1}[X_j]$  показника якості вершини  $X_j$  на етапі моделювання  $(t+1)$ , що може відбутися внаслідок приросту  $H_t[\Delta X_i]$  значень показників якості суміжних вершин, слід користуватися виразом:

$$H_{t+1}[X_j] = H_t[X_j] \overset{+,-}{\gamma} H_t[\Delta X_j],$$

$$\text{при } H_t[\Delta X_j] = \underset{i=1,n}{\gamma} H[\Delta X_{ji}]$$

де  $H_t[X_j]$  – значення показника якості вершини  $X_j$  на попередньому етапі  $t$ ;

$\overset{+,-}{\gamma}$  – відповідний оператор логіки антонімів, що характеризує позитивний чи негативний сильний зв'язок між операндами та визначається напрямком впливу вершин одна на одну (значеннями знакової змінної  $z_{ij}$  – у першому випадку, та величинами  $H[D_{ij}]$  – у другому випадку);

$H_t[\Delta X_j]$  – значення загального приросту показника якості вершини  $X_j$  внаслідок зміни своїх станів суміжними вершинами;

$H[\Delta X_{ji}]$  – нечіткий приріст значення показника якості вершини  $X_j$  внаслідок зміни значення показника якості вершиною  $X_i$ , що розраховується з (3).

При проведенні відповідних розрахунків, що передбачають відповідні оператори ЛА, в якості коефіцієнтів значимості елементів повинні виступити значення показників їх невизначеності (впевненості), що розраховуються згідно (2).

## ВИСНОВКИ

Запропонований підхід щодо удосконалення методів параметризації нечітких когнітивних моделей за рахунок формалізації параметричних характеристик когнітивних карт та механізмів перетворення впливів концептів один на одного на базі логіки антонімів дозволяє підвищити адекватність моделей за рахунок усунення привласних нечіткій логіці недоліків.

Доцільними є дослідження щодо розробки методів верифікації нечітких когнітивних моделей, що побудовані на базі логіки антонімів.

## Список літератури

1. Кулинич А.А. Систематизация когнитивных карт и методов их анализа / А.А. Кулинич // Когнитивный анализ и управление развитием ситуации (CASC'2007): тр. VII междунар. конф. – М.: ИПУ РАН, 2007. – С. 50-57.
2. Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps / B. Kosko // International Journal of Man-Machine Studies. – 1986. – 24. – P. 65-75.
3. Голота Я.Я. О формализации логики неполных знаний (логики антонимов) / Я.Я. Голота // Логика и развитие научного знания: межвуз. сб.; под. ред. И.Н. Бродского, Я. А. Слина. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 1992. – С. 92-112.
4. Адаменко А.А. Метод формализации негативных та різнознакових взаємозв'язків між факторами воєнного конфлікту / А.А. Адаменко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2011. – Вип. 3 (19). – С. 135-138.

Надійшла до редколегії 1.11.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.М. Більчук, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ПОВЫШЕНИЕ АДЕКВАТНОСТИ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ

А.А. Адаменко

Предложен подход усовершенствования методов параметризации нечетких когнитивных моделей. Подход базируется на применении логики антонимов при формализации параметрических характеристик когнитивных карт и механизмов преобразования влияний концептов друг на друга, что позволяет устранить недостатки нечеткой логики и, тем самым, повысить адекватность моделей.

**Ключевые слова:** когнитивное моделирование, параметризация когнитивных карт, логика антонимов.

## INCREASE OF ADEQUACY OF UNCLEAR COGNITIVE MODELS

A.A. Adamenko

Offered approach improvement of methods of parametrization of unclear cognitive models. Approach is based on application of logic of antonyms during formalization of self-reactance descriptions of cognitive maps and mechanisms of transformation of influences of concepts on each other, that allows to remove the lacks of fuzzy logic and, the same, to promote adequacy of models.

**Keywords:** cognitive design, parametrization of cognitive maps, logic of antonyms.