УДК 519.87

А.А. Адаменко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ СТРОГИХ ДИЗ`ЮНКТИВНИХ ЗВ'ЯЗКІВ В НЕЧІТКИХ КОГНІТИВНИХ МОДЕЛЯХ ОПЕРАЦІЙ

Розглядається проблема когнітивного моделювання операцій угруповань військ (сил). На базі логіки антонімів викладено метод формалізації однознакових та різнознакових строгих диз'юнктивних зв'язків між концептами когнітивних моделей операцій в умовах нестохастичної невизначеності. Введені нові оператори логіки антонімів, що задають відповідні взаємозв'язки між концептами, сформовані їх основні властивості та визначені формули для кількісної оцінки їх значень.

Ключові слова: *когнітивна модель, строгий диз'юнктивний зв'язок, логіка антонімів.*

Вступ

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень та публікацій. Одним із підходів дослідження операцій угруповань військ (сил) в умовах слабкої структурованості та нестохастичної невизначеності обстановки є статичний та динамічний аналіз обстановки за допомогою її когнітивної моделі [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 областей свідчить про існування проблеми їх адекватності, що залежить, зокрема, від обраного методичного підходу щодо параметризації КК. Необхідною умовою при параметризації КК, що надає можливість отримати більш-менш адекватні рішення при моделюванні слабко структурованих систем та ситуацій, є всебічне врахування невизначеностей при формалізації та обробці інформації про об'єкти моделювання.

З цих позицій найбільшу практичну цінність при моделюванні слабкоструктурованих систем та ситуацій здобули нечіткі когнітивні карти та моделі [2, 3], 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.

Інший підхід щодо формалізації елементів когнітивних карт слабко структурованих систем та ситуацій в умовах нестохастичної невизначеності запропоновано в [4]. Цей підхід базується на положеннях логіки антонімів (далі – ЛА) [5], що вмістила в собі усі позитивні властивості неперервнозначних логік й, разом з тим, має ряд додаткових позитивних властивостей, найголовніша з яких – це узгодженість з класичною двозначною логікою (точніше, в ЛА мають місце аналоги усіх законів класичної логіки).

Авторами робіт [4 – 5] розглянуті особливості формалізації основних логічних зв'язків між концептами нечітких когнітивних карт на базі логіки антонімів, але нерозкритим на цей час є питання формалізації строгих диз'юнктивних зв'язків між концептами, що в певній мірі обмежують практичну цінність запропонованого підходу.

Мета статті. Стаття має на меті на базі логіки антонімів розробити метод формалізації однознакових та різнознакових строгих диз'юнктивних зв'язків між концептами когнітивних моделей операцій в умовах нестохастичної невизначеності.

Розділ основного матеріалу

При когнітивному моделюванні задача оцінки стану деякого фактору S, що залежить від станів інших факторів або значень певної множини змінних, розглядається як задача визначення інтегральної оцінки якості складної системи S за станом її елементів.

Введемо наступні посилки:

– відома логічна модель складної системи як сукупність елементів системи, зв'язаних між собою мережею зв'язків (когнітивна карта або дерево залежностей);

– якість складної системи у цілому в будь-який момент часу (далі – стан системи) залежить від якості елементів системи та від характеру зв'язків між ними в даний момент часу (далі – стани елементів та стани зв'язків відповідно);

– у кожного елементу системи може бути нескінчена множина станів, що характеризує якість елементу в даний момент часу;

– стани елементів системи в деякий момент часу чітко розрізнити неможливо.

Будемо вважати, що стан елементу A системи S оцінюється мірою наявності у нього деяких властивостей, що визначають його якість у визначений момент часу та задаються антонімічною парою A (наприклад, A = "якісний") та αA (наприклад, αA = "неякісний", де оператор α в ЛА тотожній оператору $\neg$ в класичній логіці).

Відповідно до [5] елементи антонімічної пари зв'язані між собою виразом:

$$H\left[\alpha A\right] = -\log_2\left(1-2^{-H[A]}\right), \qquad (1)$$

де $H\left[A\right]$ – кількісна оцінка міри наявності у об'єкта дослідження властивості A (тобто, на скільки він "якісний"); $H\left[\alpha A\right]$ – кількісна оцінка міри наявності у об'єкта дослідження властивості αA (тобто, на скільки він "неякісний").

При цьому, стан елементу системи відповідає його максимальній якості (абсолютна якість) при $H\left[A\right]=\infty$ та $H\left[\alpha A\right]=0$. І навпаки, стан елементу відповідає його мінімальній якості (абсолютна неякість) при $H\left[A\right]=0$ та $H\left[\alpha A\right]=\infty$.

Для розкриття змісту та властивостей взаємозв'язків між елементами системи розглянемо дві системи S_1 та S_2, що складаються з двох елементів A та B (див. рис. 1). Якість елементів системи оцінюється величинами $H\left[A\right]$ (або $H\left[\alpha A\right]$) та $H\left[B\right]$ (або $H\left[\alpha B\right]$), а оцінку якості системи S_i, $i=1,2$, буде задавати величина $H\left[S_i\right]$ (або $H\left[\alpha S_i\right]$).

Традиційно в ЛА для характеристики взаємозв'язків між елементами системи використовуються оператори, що задають два види зв'язків: γ-зв'язок (сильний зв'язок), що відповідає операції кон'юнкції, та β-зв'язок (слабкий зв'язок), що відповідає операції диз'юнкції.

У цьому випадку система S_1 така, що (рис. 1, а):

1. Якість системи тим вище, чим вище якість її елементів.
2. Абсолютна якість системи досягається у випадку, коли абсолютно якісні усі її елементи.
3. Система абсолютно неякісна, коли хоча б один її елемент абсолютно неякісний.

Система S_2 така, що (рис. 1, б):

1. Якість системи тим вище, чим вище якість її елементів.
2. Абсолютна якість системи досягається у випадку, коли абсолютно якісний хоча б один її елемент.
3. Система абсолютно неякісна, коли абсолютно неякісні усі її елементи.

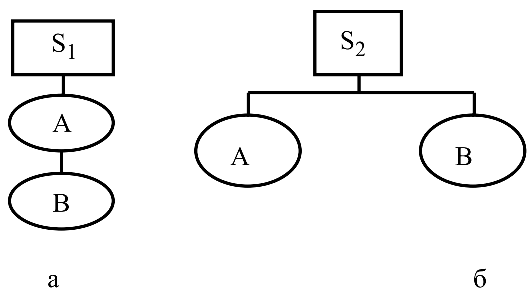

Рис. 1. Логічні моделі взаємозв'язків між елементами систем

З вище наведеного зрозуміло, що елементи A та B є незалежними та сумісними (якість системи залежить від якості усіх її елементів), їх вплив на систему є позитивним (підвищення якості кожного з елементів системи приводить до підвищення якості системи, а логічні моделі систем S_1 та S_2 можна записати як:

$$S_1 = A\gamma B,\ \alpha S_1 = (\alpha A)\beta(\alpha B) = \alpha(A\gamma B); \qquad (2)$$

$$S_2 = A\beta B,\ \alpha S_2 = (\alpha A)\gamma(\alpha B) = \alpha(A\beta B), \qquad (3)$$

що тотожно законам де Моргана.

Міру наближення систем до свого стану абсолютної якості прийнято розраховувати за формулами:

$$H\left[S_1 = A\gamma B\right] = -\log_2\left(1-\left(1-2^{-H[A]}\right)\left(1-2^{-H[B]}\right)\right); \qquad (4)$$

$$H\left[S_2 = A\beta B\right] = H[A]+H[B], \qquad (5)$$

що забезпечують виконання умов (2, 3) та є підтвердженням адитивності міри, що традиційно розглядається в ЛА.

В описі системи S_2 правило 2 замінимо правилом:

2. Абсолютна якість системи досягається у випадку, коли абсолютно якісний тільки один з її елементів.

З цього вираз (5) прийме вид:

$$H\left[S_2 = A\beta'B\right] = H[A] + H[B] - H\left[A\gamma B\right] =$$
$$= H[A] + H[B] + \log_2\left(1 - \left(1 - 2^{-H[A]}\right)\left(1 - 2^{-H[B]}\right)\right). \quad (6)$$

Таким чином для логіки антонімів введено новий вид зв’язку – β'-зв’язок, що є аналогом логічної операції $\otimes$ - строгої диз’юнкції в класичній логіці.

Враховуючи булевість ЛА та отримані раніше властивості її операторів, нескладно довести наступні властивості β'-зв’язку:

1. $H\left[A\ \beta'\ A\right] = 0$.
2. $H\left[A\ \beta'\ 0\right] = H\left[A\right]$.
3. $H\left[A\ \beta'\ \infty\right] = H\left[\alpha A\right]$.

Слід зауважити, що на відміну від операції строгої диз’юнкції, для β'-зв’язку потребують більш детального дослідження наступні властивості, що не зажди виконуються:

1. Дистрибутивність γ- та β'-зв’язків, тобто: $H\left[A\ \gamma\ \left(B\ \beta'\ C\right)\right] = H\left[\left(A\gamma B\right)\ \beta'\ \left(A\gamma C\right)\right]$.
2. $H\left[A\ \beta'\ B\right] = H\left[\left(A\ \gamma\ \alpha B\right)\beta\left(\alpha A\ \gamma\ B\right)\right] = H\left[\left(A\beta B\right)\gamma\left(\alpha A\ \beta\ \alpha B\right)\right]$.
3. $H\left[\alpha\left(A\ \beta'\ B\right)\right] = H\left[\left(A\ \gamma\ B\right)\beta\left(\alpha A\ \gamma\ \alpha B\right)\right] = H\left[\left(A\beta\alpha B\right)\gamma\left(\alpha A\ \beta\ B\right)\right]$.

Але, не звертаючи на це уваги, можна стверджувати, що на базі ЛА отримана неадитивна міра невизначеності, що відповідає аксіоматичному визначенню міри [], а саме: мірою є функція множини $m: P\left(X\right) \to R$, (де $P\left(X\right)$ – множина усіх підмножин X, R - множина дійсних чисел), що відповідає наступним аксіомам:

1. $A \supseteq X \Rightarrow m\left(A\right) \geq 0$.
2. $m\left(\varnothing\right) = 0$.
3. $A, B \in X$, то

$$m\left(A \bigcup B\right) = m\left(A\right) + m\left(B\right) - m\left(A \bigcap B\right) =$$
$$m\left(B\right) + m\left(A\right) - m\left(B \bigcap A\right).$$

За результатами обчислювального експерименту з’ясувалось, що для отриманої за допомогою ЛА міри справедливі характерні для нечітких мір нерівності, а саме:

$$H\left[A\gamma B\right] \leq \min\left(H\left[A\right], H\left[B\right]\right),$$
$$H\left[A\ \beta'\ B\right] \geq \max\left(H\left[A\right], H\left[B\right]\right).$$

Але на відміну від відомих нечітких мір (окрім ймовірнісної міри) введена на базі ЛА міра володіє властивістю булевості, що обґрунтовує її практичну цінність, зокрема, для параметризації нечітких КК.

Зрозуміло, що при параметризації нечіткої КК як моделі конкретної слабкоструктурованої системи чи ситуації застосування того чи іншого виду диз’юнкції (β-зв’язку чи β'-зв’язку) визначається специфікою взаємозв’язків між елементами системи, що моделюється.

Для характеристики взаємозв’язків між елементами, що негативно впливають на стан системи (підвищення якості елементів системи приводить до пониження якості системи), додатково введемо оператор, що задає строгий диз’юнктивний негативний β'-зв’язок (далі – $\overline{\beta}'$-зв’язок).

Між елементами A та B складної системи S_2 буде існувати $\overline{\beta}'$-зв’язок (тобто $A\ \overline{\beta}'\ B$), якщо виконуються наступні умови (див. рис. 1, б).

1. Якість системи тим вище, чим нижче якість її елементів.
2. Абсолютна якість системи досягається у випадку, коли абсолютно неякісні усі її елементи.
3. Система абсолютно неякісна, коли абсолютно якісний тільки один її елемент.

При цьому, елементи A та B є незалежними та несумісними, їх вплив на систему є однознаковим – негативним, а логічна модель системи S_2 буде мати вид:

$$S_2 = A\overline{\beta}'B = \left(\alpha A\right)\gamma\left(\alpha B\right),\ \alpha S_2 = A\ \beta'\ B.$$

Скориставшись отриманими логічними моделями системи, отримаємо наступну формулу для оцінки міри наближення до свого стану абсолютної якості систем, елементи яких зв’язані негативним строгим диз’юнктивним зв’язком:

$$H\left[S_2 = A\overline{\beta}'B\right] =$$
$$= -\log_2\left[1 - \left(1 - 2^{-H[A]-H[B]-\log_2\left(1-\left(1-2^{-H[A]}\right)\left(1-2^{-H[B]}\right)\right)}\right)\right.$$

У випадку, коли серед елементів системи мають місце елементи як з позитивним (наприклад, елемент A, далі – A^+) так і з негативним (наприклад, елемент B, далі – B^-) впливом на систему (різнознаковий вплив), введемо оператор, що буде задавати різнознаковий строгий диз’юнктивний зв’язок: $\tilde{\beta}'$-зв’язок.

Вважається, що між елементами A^+ та B^- складної системи S_2 існує $\tilde{\beta}'$-зв’язок (тобто $A^+\ \tilde{\beta}'\ B^-$), якщо виконуються наступні умови (див. рис. 1, б).

1. Якість системи тим вище, чим вище якість її елементів з позитивним впливом та нижче якість її елементів з негативним впливом.

2. Абсолютна якість системи досягається у двох випадках: перший – тільки один її елемент з позитивним впливом є абсолютно якісним; другий – тільки один її елемент з негативним впливом є неякісним.

3. Система абсолютно неякісна, коли абсолютно неякісні усі елементи з позитивним впливом та абсолютно якісні усі елементи з негативним впливом.

При цьому, елементи A^+ та B^- є незалежними та несумісними, їх вплив на систему є різнознаковим, а логічна модель системи S_2 буде мати вид:

$$S_2 = (A^+)\beta'\left(\alpha B^-\right),\ \alpha S_2 = \left(\alpha A^+\right)\gamma\left(B^-\right).$$

Формула для оцінки міри наближення до свого стану абсолютної якості системи, елементи якої зв'язані різнознаковим строгим диз'юнктивним зв'язком, буде мати наступний вид:

$$H\left[S_2 = (A^+)\tilde{\beta}'\left(\alpha B^-\right)\right] =$$

$$= H\left[A^+\right] - \log_2\left(1 - 2^{-H\left[B^-\right]}\right) +$$

$$+ \log_2\left(1 - \left(1 - 2^{-H\left[A^+\right]}\right)\left(1 - 2^{\log_2\left(1 - 2^{-H\left[B^-\right]}\right)}\right)\right).$$

Висновки

Отримали подальший розвиток методи параметризації нечітких КК. На базі логіки антонімів викладено метод формалізації однознакових та різнознакових строгих диз'юнктивних зв'язків між концептами когнітивних моделей операцій в умовах нестохастичної невизначеності, що раніше не розглядалося. Вперше введені оператори логіки антонімів, що задають відповідні взаємозв'язки між концептами, сформовані їх основні властивості та визначені формули для кількісної оцінки їх значень.

Подальші дослідження доцільно зосередити на розробці методів формалізації різних взаємозв'язків між залежними елементами когнітивних карт з використанням ЛА.

Список літератури

1. Адаменко А.А. Зміст методики когнітивного моделювання в задачах управління ситуаціями в воєнних конфліктах / А.А. Адаменко // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 1 (25). – С. 190-195.

2. Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps / B. Kosko // International Journal of Man-Machine Studies. – 1986. – 24. – P. 65-75.

3. Carvahlo J.P. Rule Based Fuzzy Cognitive Maps – A Comparison with fuzzy Cognitive Maps / J.P. Carvahlo, J.A.B. Tom // Proceedings of the NAFIPS99. – NY, USA 1999.

4. Адаменко А.А. Підвищення адекватності нечітких когнітивних моделей / А.А. Адаменко // Зб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил. – 2011. – Вип. 3 (29). – С. 77-80.

5. 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. Слинина]. – СПб.: Из-во С.-Петербургского ун-та, 1992. – С. 92-112.

Надійшла до редколегії 12.11.2011

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

МЕТОД ФОРМАЛИЗАЦИИ СТРОГИХ ДИЗЪЮНКТИВНЫХ СВЯЗЕЙ В НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЯХ ОПЕРАЦИЙ

А.А. Адаменко

Рассматривается проблема когнитивного моделирования операций группировок войск (сил). На базе логики антонимов изложен метод формализации однознаковых и разнознаковых строгих дизъюнктивных связей между концептами когнитивных моделей операций в условиях нестохастической неопределенности. Введены новые операторы логики антонимов, которые задают соответствующие взаимосвязи между концептами, сформированы их основные свойства и определены формулы для количественной оценки их значений.

Ключевые слова: когнитивная модель, строгая дизъюнктивная связь, логика антонимов.

METHOD OF FORMALIZATION OF STRICT DISJUNCTIVE CONNECTIONS IN FUZZY COGNITIVE MODELS OF OPERATIONS

A.A. Adamenko

The problem of cognitive design of operations of groupments of troops (forces) is examined. On the base of logic of antonyms the method of formalization of strict disjunctive connections is expounded between concepts of cognitive models of operations in the conditions of unstochastic vagueness. The new operators of logic of antonyms which set corresponding intercommunications between concepts are entered, their basic properties are formed and formulas are certain for the quantitative estimation of their values.

Keywords: cognitive model, strict disjunctive connection, logic of antonyms.