УДК 519.87

А.А. Адаменко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПОКАЗНИКИ ВПЛИВІВ В НЕДЕТЕРМІНОВАНИХ НЕЧІТКИХ КОГНІТИВНИХ МОДЕЛЯХ, ЩО ПОБУДОВАНІ НА БАЗІ ЛОГІКИ АНТОНІМІВ

Запропонована система показників бінарних та системних взаємовідношень між факторами в недетермінованих нечітких когнітивних моделях слабкоструктурованих ситуацій, що побудовані на базі логіки антонімів. Система показників дозволяє здійснювати аналіз взаємовідношень між факторами в інтересах підтримки прийняття рішення щодо доцільної стратегії управління слабкоструктурованою ситуацією.

Ключові слова: *управління ситуацією когнітивне моделювання, 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 $G=(X,D)$, в якому вершини X_i, $i=\overline{1,n}$, відповідають базисним факторам (або концептам), а дуги – взаємовідношенням між ними за допомогою матриці суміжності $D=\left|d_{ij}\right|_{n\times n}$. Задав "імпульс" одному чи декільком вершинам можна спостерігати за його розповсюдженням по КК. Когнітивна модель конкретної динамічної системи чи ситуації отримується в результаті параметризації КК, коли вершинам та дугам графу ставляться у відповідність змінні або правила (функції), за допомогою яких формалізують стани вершин, характер зв'язків між ними, а також задаються механізми перетворення впливів вершин одна на одну.

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

Для підтримки прийняття рішень при розробці стратегій управління ситуацією за допомогою таких моделей використовують узагальнені структурні показники впливу та консонансу (дисонансу) факторів [3], для розрахунку яких використовується подвійна позитивно визначена матриця суміжності $D'=\left|d'_{ij}\right|_{2n\times 2n}$.

В роботах [4, 5] запропоновано здійснювати параметризацію вершин та дуг нечітких когнітивних моделей за допомогою методів логіки антонімів [6], що вмістила в собі усі позитивні властивості неперервнозначних логік й, разом з тим, має ряд додаткових позитивних властивостей, найголовніша з яких це – бульовість.

Особливості побудови нечітких когнітивних моделей на базі логіки антонімів (далі – ЛА) роблять недоцільним штучне "подвоєння" початкової когнітивної моделі слабкоструктурованої ситуації й, тим самим, унеможливлює використання узагальнених структурних показників впливу та консонансу (дисонансу) факторів, що традиційно використовуються в нечітких когнітивних моделях.

Мета статті. Розробка системи показників для характеристики структурних особливостей нечітких когнітивних моделей, що побудовані на базі логіки антонімів.

Розділ основного матеріалу

Розглянемо недетерміновану нечітку когнітивну модель [5], що побудована на базі логіки антонімів. В недетермінованій когнітивній моделі в зміст концептів покладаються деякі події і важливим э лише факт їх появи чи непояви, 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 використовується шкала впевненості, що характеризує приріст показника невизначеності (впевненості) відповідного параметру.

В якості прикладу розглянемо недетерміновану нечітку когнітивну модель на базі логіки антонімів, логічна схема якої наведена на рис. 1.

Відповідно до логічної схеми можна сформувати матриці суміжності $D=\left|d_{ij}\right|_{n\times n}$ та транзитивного замикання $D^{\text{тз}} = \left| d_{ij}^{\text{тз}} \right|_{n \times n}$, ненульові елементи яких приймають значення -1 або 1 в залежності від знаку впливу.

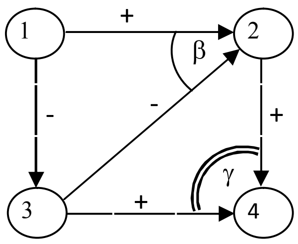

Рис. 1. Приклад логічної схеми системи концептів

При цьому вважається, що модель не має петель та контурів, має не менше одної вершини-входу (вершина X_1) та не менше одної вершини-виходу (вершина X_4).

Вершина-вхід – вершина X_1, що має лише вихідні дуги, тобто, $X_i : d_{ji} = 0, \forall j = \overline{1,n}$ та $\exists j : d_{ij} \neq 0$.

Вершина-вихід – вершина X_1, що має лише вхідні дуги, тобто, $X_i : d_{ij} = 0, \forall j = \overline{1,n}$ та $\exists j : d_{ji} \neq 0$.

Вхідними даними для моделі, що розглядається, мають бути значення вершин-входів та вага усіх дуг. Об'єктами впливу при цьому можуть бути як значення окремих (керованих) вершин, так і вага окремих (керованих) дуг.

Відповідно до [8] в основу показника невизначеності (впевненості) в таких моделях покладається відповідна антонімічна пара, наприклад, "достовірно" – "неможливо", що задають відповідно значення абсолютної якості та абсолютної неякості вершини. При цьому, в якості параметру вершин X_1, $i = \overline{1,n}$, розглядається одна з антонімічних оцінок $H\left[X_i\right]$, або $H\left[\alpha X_i\right]$, що оцінюють на скільки подія X_1 достовірна чи неможлива.

Оцінки та $H\left[\alpha X_i\right]$ зв'язані між собою виразом:

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

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

Для характеристики логічних взаємозв'язків між вершинами використовуються відповідні оператори ЛА [6], що задають два види зв'язків (γ-зв'язок, що відповідає операції кон'юнкції, та β-зв'язок, що відповідає операції диз'юнкції) виду:

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

$$H\left[A\beta B\right] = H[A] + H[B].$$

В якості параметру дуг будемо розглядати антонімічні оцінки бо $H\left[X_i \to \alpha X_j\right]$, що відповідно будуть оцінювати на скільки достовірним є наступ (при позитивному зв'язку) чи ненаступ (при негативному зв'язку) події-наслідка X_j за умови наступу події-причини X_1.

Для вершин, що мають вхідні дуги (тобто, їх значення є залежними від значень суміжних вершин-причин) оцінюється величина $H\left[X_j \middle| X_i\right]$ – ступінь достовірності події-наслідка X_j з урахуванням ступеня достовірності події-причини X_1, для чого використовується вирази:

а) для позитивних зв'язків:

$$H\left[X_j \middle| X_i\right] = H\left[X_i \to X_j\right] - H\left[\alpha X_i\right]; \qquad (2)$$

б) для негативних зв'язків:

$$H\left[\alpha X_j \mid X_i\right] = H\left[X_i \to \alpha X_j\right] - H\left[\alpha X_i\right]. \qquad (3)$$

При цьому має місце аксіома [6]:

$$H\left[X_j \mid X_i\right] = -\log_2\left(1 - 2^{-H\left[\alpha X_j | X_i\right]}\right).$$

У випадку, коли результати розрахунків, що отримані за виразами (2), (3), є меншими нуля, то вони прирівнюються до нуля.

Якщо "причина" наступу події X_j одна, то $H\left[X_j\right] = H\left[X_j \middle| X_i\right]$. В іншому випадку подіюнаслідок X_j слід розглядати як Ціле, а її "причини" X_1 – як Частки. У цьому разі ступінь достовірності події X_j (величина $H\left[X_j\right]$) розраховується як інтегральна оцінка за оцінками з використанням відповідних операторів ЛА в залежності від характеру зв'язків між ними.

Враховуючи вище викладене, для будь-якої логічної схеми з одним входом та одним виходом можна отримати функціональні залежності значень $H\left[X_j\right]$ будь-якого концепту, що має дуги, що входять (тобто, $\exists j : d_{ij}^{\text{тз}} \neq 0$) від значень суміжних вершин, характеру логічних зв'язків між ними та ваги дуг, що їх з'єднують.

Відповідно до цих функцій будуть отримані й структурні характеристики вершин та дуг.

Починати потрібно з вершин, суміжних з вершиною-входом, а завершувати вершиною-виходом.

Так, для прикладу, що розглядається, маємо:

$$H[\alpha X_3] = H[X_1 \to \alpha X_3] - H[\alpha X_1]; \qquad (4)$$

$$H[X_3] = -\log_2\left(1 - 2^{-H[\alpha X_3]}\right); \qquad (5)$$

$$H[X_2 \mid X_1] = H[X_1 \to X_2] - H[\alpha X_1];$$

$$H[\alpha X_2 \mid X_3] = H[X_3 \to \alpha X_2] - H[\alpha X_3];$$

$$H[X_2] = H[X_2 \mid X_1] - \log_2\left(1 - 2^{-H[\alpha X_2 \mid X_3]}\right);$$

$$H[X_4 \mid X_2] = H[X_2 \to X_4] - H[\alpha X_2];$$

$$H[X_4 \mid X_3] = H[X_3 \to X_4] - H[\alpha X_3];$$

$$H[X_4] = -\log_2\left(\left(1 - \left(1 - 2^{-H[X_4 \mid X_2]}\right)\left(1 - 2^{-H[X_4 \mid X_3]}\right)\right)\right).$$

За цими функціями для кожної вершини X_1 можна визначити область її можливих значень (далі – фазовий простір $\Phi(X_i)$), якщо проаналізувати значення відповідної їй функції при різних можливих значеннях усіх її аргументів: параметрів суміжних вершин та ваги вхідних дуг, що можуть бути об'єктами впливу.

Тобто, для наведеного прикладу, фазовий простір вершини-входу X_1 є: $\Phi(X_1) = [0, \infty)$.

Використовуючи ці значення та можливі значення $H[X_1 \to \alpha X_3] = [0, \infty)$ ваги дуги D_{13} з виразів (4), (5) отримаємо фазовий простір вершини X_3 (рис. 2, а).

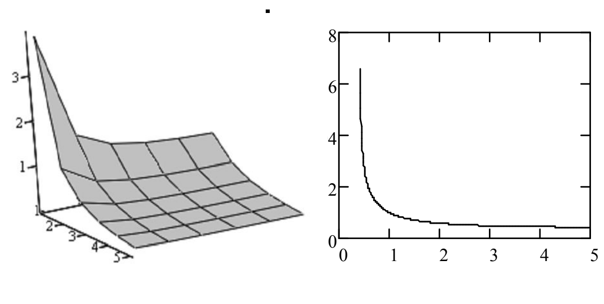

Рис. 2. Фазовий простір вершини X_3:
а – за усіма параметрами;
б – при фіксованому $H[X_1 \to \alpha X_3] = 2$

Аналогічно оцінюється фазовий простір для решти вершин.

Якщо об'єктом впливу виступають лише значення вершин або лише вага дуг, то можна оцінити фазовий простір відповідної вершини за певними жорстко заданими значенням або ваги вхідних дуг або значень суміжних вершин відповідно.

Тобто, якщо об'єктом впливу можуть бути лише окремі значення вершин, то для наведеного прикладу фазовий простір вершини X_3 розраховується за виразами (4), (5) при $H[X_1 \to \alpha X_3] = 2$ (рис. 2, б).

З аналізу фазового простору значень вершин можна оцінити потенційну досяжність цільових значень цільового вектору (у разі, якщо вони були задані) або оцінити максимально досяжні в заданих умовах значення цільового вектору. Крім того, аналіз фазового простору надає можливість оцінити напрямки зміни тих параметрів, що впливають на значення цільового вектору.

Так з рис. 2 можна зробити висновок, що своїх максимально можливих значень вершина X_3 набуває при мінімальних значеннях вершини X_1 та мінімальній вазі дуги D_{13}, що підтверджує негативний характер взаємозв'язку між цими вершинами.

Відповідно до матриці транзитивного замикання $D^{тз} = \left|d_{ij}^{тз}\right|_{n \times n}$ можна оцінити залежність значень вершин X_j від значень вершин X_i, для яких $d_{ij}^{тз} \neq 0$ (тобто, існує шлях P_{ij}^{λ} з вершини X_i в вершину X_j).

З цією метою введемо показники непрямого та сумарного впливу вершини X_1 на вершину X_j.

Оскільки має місце нелінійна залежність між значеннями вершин, то аналогічно оцінюємо фазовий простір $\Phi\left[X_i \xrightarrow{P_{ij}^{\lambda}} X_j\right]$ непрямого впливу вершини X_i на вершину X_j через простий елементарний шлях P_{ij}^{λ}, $\lambda = \overline{1, m}$, (за умови, що $d_{ij}^{тз} \neq 0$) як фазовий простір вершини X_j з урахуванням фазового простору вершини X_1 та характеру зв'язків між вершинами $X_{\ell} \in P_{ij}^{\lambda}$, $\lambda = \mathrm{const}$. Для цього використовуються відповідні функціональні залежності значення $H[X_j]$ вершини X_j, де $H[X_i] \in \Phi(X_i)$, а $H[X_k \mid X_{\ell}] = 0$, $\forall X_k \in P_{ij}^{\lambda}$ та $\forall X_{\ell} \notin P_{ij}^{\lambda}$.

Фазовий простір $\Phi\left[X_i \xrightarrow{\Sigma} X_j\right]$ сумарного впливу вершини X_i на вершину X_j (за умови, що $d_{ij}^{тз} \neq 0$) будемо визначати як фазовий простір вершини X_j з урахуванням фазового простору вершини X_i та характеру зв'язків між вершинами $X_{\ell} \in P_{ij}^{\lambda}$, $\lambda = \overline{1, m}$. Для цього використовуються відповідні функціональні залежності значення $H[X_j]$ вершини X_j, де $H[X_i] \in \Phi(X_i)$, а решта аргументів приймають свої фіксовані початкові значення.

В якості показників впливу фактору X_i на систему факторів, а також впливу системи на фактор X_i будемо розглядати фазовий простір їх середніх значень $\Phi\left[X_i \xrightarrow{\text{ср}} S\right]$ та $\Phi\left[S \xrightarrow{\text{ср}} X_i\right]$ відповідно наступного вигляду:

$$\Phi\left[X_i \xrightarrow{\text{ср}} S\right] = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\Phi\left[X_i \xrightarrow{\Sigma} X_j\right];$$

$$\Phi\left[S \xrightarrow{\text{ср}} X_i\right] = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\Phi\left[X_j \xrightarrow{\Sigma} X_i\right].$$

Якщо визначена множина $\dot{X} = \left\{\dot{X}_j\right\}$ цільових факторів, визначено їх цільовий стан як $H^T\left[\dot{X}_j\right]$ та бажаний напрямок зміни їх поточного стану – в напрямок збільшення $\left(H_o\left[\dot{X}_j\right] < H^T\left[\dot{X}_j\right]\right)$ чи в напрямок зменшення $\left(H_o\left[\dot{X}_j\right] > H^T\left[\dot{X}_j\right]\right)$ якості, то можна для будь-якого фактору $X_i \notin \dot{X}$ оцінити його корисний вплив на той чи інший цільовий фактор як:

$$W\left(X_i \to \dot{X}_j\right) = \max\left(\Phi\left[X_i \xrightarrow{\Sigma} \dot{X}_j\right]\right), \quad \text{якщо} \quad H_o\left[\dot{X}_j\right] < H^T\left[\dot{X}_j\right];$$

$$W\left(X_i \to \dot{X}_j\right) = \min\left(\Phi\left[X_i \xrightarrow{\Sigma} \dot{X}_j\right]\right), \quad \text{якщо} \quad H_o\left[\dot{X}_j\right] > H^T\left[\dot{X}_j\right].$$

В якості показника ефективності фактору X_i приймається Евклідова відстань між двома точками простору, що задають відповідно цільовий стан множини цільових факторів та їх максимально можливий стан, що потенційно може забезпечити шляхом зміни стану відповідного фактору у фазовому просторі його значень виду:

$$W\left[X_i\right] = \frac{1}{\dot{n}}\sum_{j=1}^{\dot{n}}\sqrt{\left(H^T\left[\dot{X}_j\right] - W\left(X_i \to \dot{X}_j\right)\right)^2}.$$

Найбільш ефективним слід вважати фактор, для якого значення показника ефективності є найменшим.

Висновки

Вперше запропонована система показників бінарних та системних взаємовідношень між факторами в недетермінованих нечітких когнітивних моделях слабкоструктурованих ситуацій, що побудовані на базі логіки антонімів. Система показників дозволяє здійснювати аналіз взаємовідношень між факторами в інтересах підтримки прийняття рішення щодо доцільної стратегії управління слабкоструктурованою ситуацією. В подальшому доцільно розглянути системи показників впливів факторів в інших видах нечітких когнітивних моделей, що побудовані на базі логіки антонімів.

Список літератури

1. *Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. – Princeton. University Press, 1976.*
2. *Kosko B., Fuzzy Cognitive Maps // International Journal of Man-Machine Studies, (1986) 24. – P. 65-75.*
3. *Силов В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке / В.Б. Силов. – М.: ИНПРО – РЕС, 1995. – 228 с.*
4. *Адаменко А.А. Моделювання імпульсних процесів в когнітивних моделях військових операцій на базі логіки антонімів / А.А. Адаменко // Зб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 1 (27). – С. 5-9.*
5. *Адаменко А.А. Підвищення адекватності нечітких когнітивних моделей / А.А. Адаменко // Зб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 3 (29). – С. 77-80.*
6. *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 29.09.2011

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

ПОКАЗАТЕЛИ ВЛИЯНИЙ В НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЯХ, ПОСТРОЕННЫХ НА БАЗЕ ЛОГИКИ АНТОНИМОВ

А.А. Адаменко

Предложена система показателей бинарных и системных взаимоотношений между факторами в недетерминированных нечетких когнитивных моделях слабоструктурированных ситуаций, построенных на базе логики антонимов. Система показателей позволяет осуществлять анализ взаимоотношений между факторами в интересах поддержки принятия решения о рациональной стратегии управления слабоструктурированной ситуацией.

Ключевые слова: *управление ситуацией, когнитивное моделирование, логика антонимов.*

INDEXES OF INFLUENCES ARE IN NONDETERMINISTIC UNCLEAR COGNITIVE MODELS, BUILT ON BASE OF LOGIC OF ANTONYMS

A.A. Adamenko

The system of indexes of binary and system mutual relations is offered between factors in the nondeterministic unclear cognitive models of the semistructured situations, built on the base of logic of antonyms. The system of indexes allows to carry out the analysis of mutual relations between factors in behalf of support of decision-making about rational strategy of management the semistructured situation.

Keywords: *management a situation, cognitive design, logic of antonyms.*