

УДК 681.5

Барабаш О. В., д.т.н., проф.

(Державний університет телекомунікацій, м. Київ. +380 (97) 911 08 54. bar64@ukr.net)

Обідін Д. М., д.т.н., доц.

(Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного унів-ту. +380 (522) 39 44 72. d.obidin@mail.ru)

Мусієнко А. П., к.ф.-м.н.,

(Державний університет телекомунікацій, м. Київ. +380 (93) 752 00 19, mysienkoandrey@gmail.com)

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ РУХОМИМ ОБ'ЄКТОМ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ СЕМАНТИЧНИХ МЕРЕЖ

Барабаш О. В., Обідін Д. М., Мусієнко А. П. Математична модель інтелектуалізації процесів управління рухомим об'єктом на основі нечітких семантичних мереж. У статті висвітлюються актуальні аспекти створення нечіткої бази знань для комплексної системи управління, заснованої на багатокомпонентних кортежах графових структур. Запропонований новий підхід щодо компактного аналітичного подання нечітких графів у вигляді багатокомпонентних кортежів, який може бути ефективно використаний для опису динамічних аспектів проблемної області управління рухомим об'єктом. Крім того, розглянутий метод дозволяє реалізувати можливість не лише компактного подання, а й здійснення необхідних операцій з графами як нечіткої, так і комбінованої структури.

Ключові слова: нечітка база знань, комплексна система управління, нечіткий граф, багатокомпонентний кортеж, система управління, рухомий об'єкт

Barabash O. V., Obidin D. N., Musienko A. P. Математическая модель интеллектуализации процессов управления подвижными объектами на основе нечеткой семантической сети. В статье освещаются актуальные аспекты создания нечеткой базы знаний для комплексной системы управления, основанной на многокомпонентных кортежах графовых структур. Предложен новый подход к компактному аналитическому представлению нечетких графов в виде многокомпонентных кортежей, который может быть эффективно использован для описания динамических аспектов проблемной области управления подвижным объектом. Кроме того, данный метод позволяет реализовать возможность не только компактного представления, но и осуществление необходимых операций с графами как нечеткой, так и комбинированной структуры.

Ключевые слова: нечеткая база знаний, комплексная система управления, нечеткий граф, многокомпонентный кортеж, система управления, подвижный объект

Barabash O. V., Obidin D. M., Musienko A. P. Mathematical model of mobile unit management intellectualization based on semantic network. The article highlights the best aspects of the illegible knowledge base for integrated management system based on multicomponent tuple graph structures. A new approach to compact analytic representation of illegible graphs in the form of multicomponent tuples that can be effectively used to describe the dynamic aspects of problematic area of the mobile unit management. In addition, this method allows the possibility not only of compact representation, but also the implementation of the necessary operations on illegible graphs as well as ones with combined structure.

Keywords: illegible knowledge base, integrated control system, illegible graph, multicomponent tuple, the control system, mobile unit

Вступ. Постановка проблеми. Розробка сучасних інтелектуальних систем управління для рухомих об'єктів, системи зв'язку, транспорту та інших систем є предметом актуальних наукових досліджень, що проводяться в Україні та світі. В даному напрямку можна виділити роботи О. А. Машкова [1], О. В. Барабаша [2], Ю. В. Кравченка [3], Д. М. Обідіна [4, 5] та інших. В основі інтелектуальних систем лежать бази знань, які містять концепти та відношення між ними, що виражають суть деякої предметної області застосування. При описі ситуацій для інтелектуальних систем управління часто виникає необхідність використання якісних характеристик, виражених вербально, тому ситуаційна модель, що формується у інтелектуальних системах управління, є лише наближеним описом процесу управління, тобто є нечіткою. Така особливість потребує застосування "нечітких підходів" до розробки інтелектуальних систем управління рухомим об'єктом.

Звичайно, база знань інтелектуальної системи управління формується у вигляді семантичної мережі, вузлами якої є концепти предметної області, а зв'язками – відношення

між концептами. Нечітка ситуаційна модель породжує модель станів інтелектуальної системи управління також нечітку у тому сенсі, що кожній нечіткій ситуації для об'єкта управління відповідає нечітка сукупність задач і моделей в системі управління.

Тобто для множини нечітких ситуацій у об'єкті управління

$$S = \{s_1, s_2, s_3, \dots\}$$

існує множина нечітких станів інтелектуальної системи управління

$$V = \{v_1, v_2, v_3, \dots\}.$$

Між ними є нечітка відповідність

$$E_i = \langle e_i, s_i, v_i \rangle.$$

Через “нечіткість” загальна проблема для інтелектуальної системи управління рухомого об'єкту полягає у необхідності компактного подання знань, оскільки класичні (чіткі) методи опису баз знань великої розмірності є малопридатними через необхідність залучення значної кількості обчислювальних ресурсів.

Аналіз публікацій. У теорії нечітких моделей [6...8] розглядається лише нечітка відповідність вигляду

$$\Gamma = \langle F, X, Y \rangle,$$

де F – нечіткий граф нечіткої відповідності; X – область відправлення; Y – область прибуття нечіткої відповідності, а також нечіткі графи з нечітко суміжними вершинами вигляду $L = (V, F)$.

Запис нечітких графів за допомогою матриць суміжності (інцидентності) і багатозв'язних списків при їх поданні у пам'яті системи управління є суттєво надмірним, оскільки при застосуванні першого з них має місце велика розрідженість матриць, а другий спосіб вимагає використання спеціальних програмних засобів. Це спричиняє необхідність подальших теоретичних напрацювань, спрямованих на пошук методів компактного опису графів, які були б вільними від перелічених недоліків.

Разом з тим у [9] пропонується спосіб опису нечітких графів за допомогою нечітких околиць і меж вершин, який володіє більшою компактністю щодо опису бази знань інтелектуальної системи управління рухомого об'єкту, а також зроблено припущення щодо можливості опису нечітких графів за допомогою багатокомпонентних кортежів.

Мета статті полягає у розвитку теорії нечітких графів для забезпечення можливості застосування її в інтелектуальних системах управління рухомим об'єктом шляхом компактного подання у вигляді багатокомпонентних кортежів.

Подання нечітких графів через багатокомпонентні кортежі. Нечіткі стани об'єкта управління і переходи між ними утворюють граф станів інтелектуальної системи управління (у загальному випадку нечіткий)

$$L_m = (V, F),$$

в якому $V = \{\langle \mu_V(v_i) / v_i \rangle\}$, $i = 1 \dots n$ – нечітка множина вершин; $F = \{\langle \mu_F(v_i, v_j) / (v_i, v_j) \rangle\}$, $(v_i, v_j) \in V^2$, $i, j = 1 \dots n$ – нечітка множина орієнтованих дуг графа, причому v_i – початок, v_j – кінець дуги; $\mu_V(v_i)$ і $\mu_F(v_i, v_j)$, де $\mu_V(v_i), \mu_F(v_i, v_j) \in [0, 1]$ – ступені належності вершин і дуг відповідним нечітким множинам.

У графі станів нечітка множина вершин інтерпретується як сукупність задач, що вирішуються у даному стані в інтелектуальній системі управління, а зважені дуги показують напрямок і можливі ступені здійснення переходів інтелектуальної системи управління зі стану у стан.

Викладений у [9] спосіб подання нечітких графів у вигляді околиць і меж вершин відповідає поданню околиць вершин через трикомпонентні кортежі. Так, кортеж вершини v_i має вигляд

$$\alpha_i = \langle \langle \mu_{v_i}(v_i)/v_i \rangle, |B_i^1|, B_i^1 \rangle, \quad (1)$$

де B_i^1 – нечітка межа i -ї вершини нечіткого графа, як множина вершин, інцидентних i -й вершині, що обмежують i -ту околицю.

При вирішенні різноманітних задач на графах зручно користуватися деякими операціями над кортежами. Це надає алгоритмам компактність і спрощує їх реалізацію.

Відомо [10], що проекцією кортежу на l -ту вісь називається l -та компонента кортежу:

$$\text{Pr}_1 \alpha_i = \langle \mu_{v_i}(v_i)/v_i \rangle, \text{Pr}_2 \alpha_i = |B_i^1|, \text{Pr}_3 \alpha_i = B_i^1. \quad (2)$$

Тобто першою проекцією кортежу (1) є однокомпонентна нечітка множина, яка складається з вершини, для якої побудований кортеж, та її ступеня належності. Друга проекція (2) представляє собою потужність (кількість елементів) межі. Третя проекція представляє собою нечітку межу першого порядку даної вершини.

Алгебра кортежів. Побудуємо алгебру для кортежів, що розглядаються в роботі:

$$(\alpha, \oplus, \theta, \otimes).$$

Носієм алгебри є множина кортежів α . Сигнатура алгебри – це сукупність операцій додавання, віднімання і множення кортежів. Операції алгебри – n -арні. Сукупність операцій, яка розглядається, є розвитком операцій, запропонованих у [11] у нечіткому середовищі.

Перелічені операції виконуються покомпонентно.

Операція додавання кортежів $\alpha_{v_k} = \alpha_{v_i} \oplus \alpha_{v_j}$ може бути реалізована через операції над проекціями:

$$\begin{aligned} \text{Pr}_1 \alpha_{v_k} &= \text{Pr}_1 \alpha_{v_i}, \\ \text{Pr}_2 \alpha_{v_k} &= |\text{Pr}_3 \alpha_{v_i} \cup \text{Pr}_3 \alpha_{v_j}|, \\ \text{Pr}_3 \alpha_{v_k} &= \text{Pr}_3 \alpha_{v_i} \cup \text{Pr}_3 \alpha_{v_j}, \\ \mu_{\alpha_{v_i} \cup \alpha_{v_j}}(v_i) &= \mu_{\alpha_{v_i}}(v_i) \vee \mu_{\alpha_{v_j}}(v_i). \end{aligned}$$

Дана операція не комутативна, тому що результуючий кортеж приписується нечіткій вершині v_i .

За допомогою даної операції можуть будуватися околиці більш високого порядку.

Кортеж $\alpha_{v_i}^2 = \alpha_{v_i} \oplus \alpha_{v_i, v_1} \oplus \dots \oplus \alpha_{v_i, v_j} \dots \oplus \alpha_{v_i, v_r}$, де всі α_{v_i, v_j} задовольняють вимозі $\text{Pr}_1 \alpha_{v_i, v_j} \in \text{Pr}_3 \alpha_{v_i}$, описує другий окіл вершини v_i . Дії у такому ланцюжку виконуються зліва направо.

Операція віднімання кортежів $\alpha_{v_k} = \alpha_{v_i} \theta \alpha_{v_j}$ здійснюється за такими правилами.

$\text{Pr}_1 \alpha_{v_k} = \text{Pr}_1 \alpha_{v_i}$, тобто результуючий кортеж приписується до вершини v_i ,

$$\begin{aligned} \text{Pr}_3 \alpha_{v_k} &= \text{Pr}_3 \alpha_{v_i} \setminus (\text{Pr}_3 \alpha_{v_i} \cap \text{Pr}_3 \alpha_{v_j}), \\ \mu_{\alpha_{v_i} \cap \alpha_{v_j}}(v_i) &= \mu_{\alpha_{v_i}}(v_i) \wedge \mu_{\alpha_{v_j}}(v_i), \\ \mu_{\alpha_{v_i} \setminus \alpha_{v_j}}(v_i) &= \mu_{\alpha_{v_i}}(v_i) \wedge \overline{\mu_{\alpha_{v_j}}(v_i)}, \\ \text{Pr}_2 \alpha_{v_k} &= |\text{Pr}_3 \alpha_{v_i} \setminus \text{Pr}_3 \alpha_{v_j} \cap \text{Pr}_3 \alpha_{v_j}|. \end{aligned}$$

За допомогою операції віднімання кортежів можуть бути побудовані нечіткі межі вершин більш високих порядків, наприклад $B_i^2 = \text{Pr}_3(\alpha_{v_i}^2 \theta \alpha_{v_i})$.

Операція множення кортежів $\alpha_{v_k} = \alpha_{v_i} \otimes \alpha_{v_j}$ реалізується наступним чином:

$$\begin{aligned} \text{Pr}_1 \alpha_{v_k} &= \text{Pr}_1 \alpha_{v_i}, \\ \text{Pr}_3 \alpha_{v_k} &= \text{Pr}_3 \alpha_{v_i} \cap \text{Pr}_3 \alpha_{v_j}, \\ \text{Pr}_2 \alpha_{v_k} &= \left| \text{Pr}_3 \alpha_{v_i} \cap \text{Pr}_3 \alpha_{v_j} \right|. \end{aligned}$$

Приклад. Для графа, показаного на Рис. 1, подання через множину кортежів має вигляд:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \langle \langle 1/v_1 \rangle, 2, \{ \langle 0.6/v_2 \rangle, \langle 0.7/v_3 \rangle \} \rangle, \\ \alpha_2 &= \langle \langle 1/v_2 \rangle, 1, \{ \langle 0.7/v_4 \rangle \} \rangle, \\ \alpha_3 &= \langle \langle 1/v_3 \rangle, 1, \{ \langle 0.8/v_5 \rangle \} \rangle, \\ \alpha_4 &= \langle \langle 1/v_4 \rangle, 1, \{ \langle 0.4/v_6 \rangle \} \rangle, \\ \alpha_5 &= \langle \langle 1/v_5 \rangle, 1, \{ \langle 0.6/v_6 \rangle \} \rangle, \\ \alpha_6 &= \langle \langle 1/v_6 \rangle, 1, \{ \langle 0.7/v_7 \rangle \} \rangle, \\ \alpha_7 &= \langle \langle 1/v_7 \rangle, 0, \{ \langle \emptyset \rangle \} \rangle. \end{aligned}$$

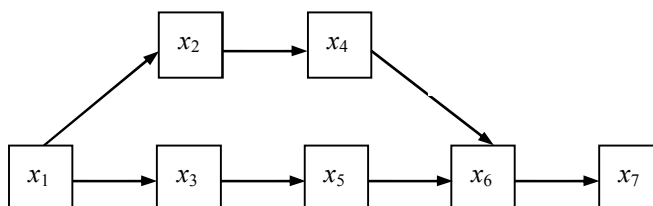


Рис. 1. Визначення меж вершин графа

Операція знаходження проєкцій:

$$\begin{aligned} \text{Pr}_1 \alpha_1 &= \{ \langle 1/v_1 \rangle \}; \quad \text{Pr}_3 \alpha_1 = \{ \langle 0.6/v_2 \rangle, \langle 0.7/v_3 \rangle \}; \quad \text{Pr}_2 \alpha_1 = 2; \\ \text{Pr}_1 \alpha_2 &= \{ \langle 1/v_2 \rangle \}; \quad \text{Pr}_3 \alpha_2 = \{ \langle 0.7/v_4 \rangle \}; \quad \text{Pr}_2 \alpha_2 = 1; \\ \text{Pr}_1 \alpha_3 &= \{ \langle 1/v_3 \rangle \}; \quad \text{Pr}_3 \alpha_3 = \{ \langle 0.8/v_5 \rangle \}; \quad \text{Pr}_2 \alpha_3 = 1; \\ \text{Pr}_1 \alpha_4 &= \{ \langle 1/v_4 \rangle \}; \quad \text{Pr}_3 \alpha_4 = \{ \langle 0.4/v_6 \rangle \}; \quad \text{Pr}_2 \alpha_4 = 1; \\ \text{Pr}_1 \alpha_5 &= \{ \langle 1/v_5 \rangle \}; \quad \text{Pr}_3 \alpha_5 = \{ \langle 0.6/v_6 \rangle \}; \quad \text{Pr}_2 \alpha_5 = 1; \\ \text{Pr}_1 \alpha_6 &= \{ \langle 1/v_6 \rangle \}; \quad \text{Pr}_3 \alpha_6 = \{ \langle 0.6/v_7 \rangle \}; \quad \text{Pr}_2 \alpha_6 = 1; \\ \text{Pr}_1 \alpha_7 &= \{ \langle 1/v_7 \rangle \}; \quad \text{Pr}_3 \alpha_7 = \{ \langle \emptyset \rangle \}; \quad \text{Pr}_2 \alpha_7 = 0. \end{aligned}$$

Операції над кортежами:

$$\begin{aligned} \alpha_1 \oplus \alpha_2 &= \langle \langle 1/v_1 \rangle, 2, \{ \langle 0.6/v_2 \rangle, \langle 0.7/v_3 \rangle \} \rangle, \\ \alpha_1 \theta \alpha_2 &= \langle \langle 1/v_2 \rangle, \{ \langle \emptyset \rangle \} \rangle, \\ \alpha_1 \otimes \alpha_2 &= \langle \langle 1/v_1 \rangle, \{ \langle \emptyset \rangle \} \rangle. \end{aligned}$$

Отже, подання нечітких графів у вигляді багатокомпонентних кортежів в цілому вирішує проблему щодо уникнення надмірності, притаманну поданню у вигляді матриць інцидентності, що є вкрай важливим для систем, які не володіють значними обчислювальними ресурсами. При цьому зберігається необхідна функціональність системи, оскільки існує можливість обробки таких графів традиційними засобами.

Висновки. Таким чином, запропонований підхід щодо компактного аналітичного подання нечітких графів у вигляді багатокомпонентних кортежів може бути ефективно використаний для опису динамічних аспектів проблемної області управління рухомим об'єктом, які описуються за допомогою моделей знань, заснованих на семантичних мережах. Розглянутий метод дозволяє реалізувати можливість не лише компактного подання, а й здійснення необхідних операцій з графами як нечіткої, так і комбінованої структури.

У подальшому передбачається дослідити підходи щодо визначення функцій належності лінгвістичних змінних як на основі експертних оцінок, так і на основі об'єктивних характеристик процесів у системах управління рухомих об'єктів.

Література

1. Артюшин Л. М. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л. М. Артюшин, О. А. Машков. – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с.
2. Барабаш О. В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О. В. Барабаш. – К.: НАОУ, 2004. – 226 с.
3. Кравченко Ю. В. Метод поэтапного зменшення потужності бази матроїда в задачах побудови топології системи зв'язку і автоматизації управління військами / Ю. В. Кравченко, С. А. Микусь // Системи озброєння і військова техніка. – Харків : ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2013. – № 4(36). – С. 74-78.
4. Обідін Д. М. Алгоритми логічного виведення знань в розподіленій інтелектуалізованій системі автоматичного управління / Д. М. Обідін, О. В. Барабаш, Р. В. Хращевський // Збірник наукових праць Харківського інституту Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 4(33). – С. 161-167.
5. Обідін Д. М. Проблема забезпечення функціональної стійкості процесів навігації та управління рухом літальних апаратів / Д. М. Обідін, С. М. Неділько // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – № 3 (31). – С. 197-200.
6. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман ; пер. с франц. – Москва : Радио и связь, 1982. – 432 с.
7. Федунев Б. Е. Механизмы вывода в базе знаний бортовых оперативно советующих экспертных систем / Б. Е. Федунев // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2002. – №4. – С. 32-38.
8. Борисов В. В. Нечеткие модели и сети / В. В. Борисов, В. В. Круглов, А. С. Федулов. – Москва : Горячая линия–Телеком, 2007. – 284 с.
9. Толубко В. Б. Методологічні основи проектування прикладного програмного забезпечення для АСУ воєнного призначення: монографія / В. Б. Толубко, А. І. Сбітнев, О. Ю. Пермяков. – К.: НАОУ, 2004. – 249 с.
10. Шиханович Ю. А. Введение в современную математику / Ю. А. Шиханович. – Москва : Наука, 1965. – 376 с.
11. Савченко В. А. Інтелектуалізація системи управління складним динамічним об'єктом на основі нечітких семантичних мереж / В. А. Савченко, Д. М. Обідін // Моделювання та інформаційні технології : збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України. – 2012. – Вип. 63. – С. 81-85.