

А. І. Стадник

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ДЕМОНТИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Рассмотрены вопросы актуальности разработки новых методов технической эксплуатации судовых комплексов на основе применения современных автоматизированных процедур определения периодичности диагностики и контроля демонтированного оборудования.

**Ключевые слова:** модель; процесс эксплуатации; судовые комплексы.

O. Stadnick

### INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CONTROL SYSTEMS DISMANTLED EQUIPMENT ON THE EFFICIENCY OF MAINTENANCE AND REPAIR

This article questions the relevance of the development of new methods of technical operation of ship systems based on the use of modern automated procedures for determining the frequency of the diagnosis and monitoring of dismantled equipment.

**Keywords:** model; maintenance; ship complexes.

УДК 681.5

Д. М. ОБІДІН, д-р техн. наук, доцент;

Д. В. ТРОЦЬКИЙ, аспірант,

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету

## Аналітичне подання нечітких графів у задачах інтелектуалізації процесів управління літальним апаратом на основі нечітких семантичних мереж

**Висвітлено актуальні аспекти створення нечіткої бази знань для комплексної системи управління, в основу якої покладено багатокomпонентні кортежі графових структур.**

**Ключові слова:** нечітка база знань; комплексна система управління; нечіткі графи; багатокomпонентні кортежі.

#### Вступ

Розробка сучасних інтелектуальних систем управління (СУ) для літальних апаратів становить предмет актуальних наукових досліджень, здійснюваних в усьому світі. В основу різного роду інтелектуальних систем покладено бази знань, які містять концепти та відношення між ними, що відбивають сутність деякої предметної галузі застосування. В опису ситуацій для інтелектуальних СУ часто доводиться використовувати якісні характеристики, виражені вербально, тому ситуаційна модель, що формується в інтелектуальних СУ, становить лише наближений опис процесу управління, а отже, характеризується як *нечітка*. Така особливість потребує застосування до розробки інтелектуальних систем управління літальним апаратом *нечітких підходів*.

#### Постановка проблеми

Зазвичай база знань інтелектуальної СУ формується у вигляді семантичної мережі, вузли якої — це концепти предметної області, а зв'язки — відношення між концептами. Нечітка ситуаційна модель породжує модель станів інтелектуальної СУ, також нечітку в тому сенсі, що кожній нечіткій ситуації для об'єкта управління відповідає нечітка сукупність задач і моделей у СУ. Тобто для множини  $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots\}$  нечітких ситуацій

в об'єкті управління існує множина  $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots\}$  нечітких станів інтелектуальної СУ. Між ними встановлено *нечітку відповідність*  $E_i = \langle e_i, s_i, v_i \rangle$ .

З огляду на «нечіткість» загальна проблема для інтелектуальної СУ літального апарата полягає в пошуку способу компактного подання знань. Адже класичні (чіткі) методи опису баз знань великої розмірності в цьому разі малоприматні через необхідність залучення величезних обсягів обчислювальних ресурсів.

#### Аналіз публікацій

У теорії нечітких моделей [1–3] розглядають лише нечітку 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 або матриць суміжності (інцидентності), або багатозв'язних списків при їх поданні в пам'яті СУ суттєво надмірний, оскільки в разі застосування матриць має місце велика їх розмірність, а другий спосіб вимагає використання спеціальних програмних засобів. Отже, потрібні подальші теоретичні напрацювання, спрямовані на пошук методів компактного опису графів, які були б позбавлені перелічених недоліків.

Скажімо, у [4] запропоновано спосіб опису нечітких графів за допомогою нечітких околів і меж вершин, який характеризується більшою компактністю щодо опису бази знань інтелектуальної СУ літального апарата, а також зроблено припущення стосовно можливості опису нечітких графів за допомогою багатокomпонентних кортежів.

**Мета статті** — подальший розвиток теорії нечітких графів з орієнтацією на її застосування в інтелектуальних системах управління літальним апаратом на базі алгебри багатокomпонентних кортежів.

### Подання нечітких графів через багатокomпонентні кортежі

Нечіткі стани об'єкта управління та переходи між ними утворюють граф (у загальному випадку нечіткий) станів інтелектуальної СУ  $L_m = (V, F)$ , 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, а  $v_j$  — 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, розв'язуваних у даному стані в інтелектуальній СУ, а зважені дуги показують напрям і можливі ступені здійснення переходів інтелектуальної СУ з одного стану в інший.

Викладений у [4] спосіб подання нечітких графів у вигляді околів і меж вершин відповідає поданню околів вершин через трикомпонентні кортежі. Так, кортеж вершини  $v_i$  має вигляд

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

де  $B_i^1$  — нечітка межа першого порядку  $i$ -ї вершини нечіткого графа як множина вершин, інцидентних  $i$ -й вершині, що обмежують  $i$ -й окіл [4].

При розв'язуванні різноманітних задач на графах зручно користуватися деякими операціями над кортежами. Це надає алгоритмам компактності та спрощує їх реалізацію.

Відомо [5], що **проекцією кортежу на  $l$ -ту вісь називається  $l$ -й компонент кортежу**:

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

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

### Алгебра кортежів

Побудуємо алгебру для розглядуваних кортежів:  $(\alpha, \oplus, \theta, \otimes)$ .

**Носієм алгебри** є множина кортежів  $\alpha$ . **Сигнатура алгебри** — це сукупність операцій додавання, віднімання і множення кортежів. Операції алгебри  $n$ -арні. Сукупність операцій, яка розглядається, є розвитком операцій, запропонованих у [6] 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:

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

Ця операція не комутативна, оскільки результуючий кортеж приписується нечіткій вершині  $v_i$ .

За допомогою цієї операції можуть будуватися околи вищого 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  $\alpha_{v_i v_j}$  задовольняють вимогу  $\text{Pr}_1 \alpha_{v_i v_j} \in \text{Pr}_3 \alpha_{v_i}$ , описує другий окіл вершини  $v_i$ . Дії в такому ланцюжку виконуються зліва направо.

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

$$\text{Pr}_1 \alpha_{v_k} = \text{Pr}_1 \alpha_{v_i}$$

(результуючий кортеж приписується до вершини  $v_i$ ),

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

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

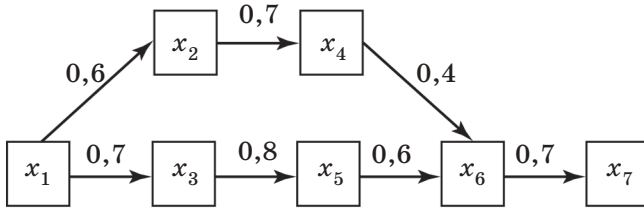
**Операція множення кортежів**  $\alpha_{v_k} = \alpha_{v_i} \otimes \alpha_{v_j}$  реалізується так:

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

**П р и к л а д.** Для графа, зображеного на рисунку, подання через множину кортежів має вигляд:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \langle \langle 1/v_1 \rangle, 2, \{ \langle 0, 6/v_2 \rangle, \langle 0, 7/v_3 \rangle \} \rangle, \\ \alpha_2 &= \langle \langle 1/v_2 \rangle, 1, \{ \langle 0, 7/v_4 \rangle \} \rangle, \alpha_3 = \langle \langle 1/v_3 \rangle, 1, \{ \langle 0, 8/v_5 \rangle \} \rangle, \\ \alpha_4 &= \langle \langle 1/v_4 \rangle, 1, \{ \langle 0, 4/v_6 \rangle \} \rangle, \\ \alpha_5 &= \langle \langle 1/v_5 \rangle, 1, \{ \langle 0, 6/v_6 \rangle \} \rangle, \end{aligned}$$

$$\alpha_6 = \langle \langle 1/v_6 \rangle, 1, \{ \langle 0,7/v_7 \rangle \} \rangle, \quad \alpha_7 = \langle \langle 1/v_7 \rangle, 0, \{ \langle \emptyset \rangle \} \rangle.$$



Визначення меж вершин графа

Операція побудови проєкцій:

$$\text{Pr}_1 \alpha_1 = \{ \langle 1/v_1 \rangle \}; \quad \text{Pr}_3 \alpha_1 = \{ \langle 0,6/v_2 \rangle, \langle 0,7/v_3 \rangle \}; \\ \text{Pr}_2 \alpha_1 = 2;$$

$$\text{Pr}_1 \alpha_2 = \{ \langle 1/v_2 \rangle \}; \quad \text{Pr}_3 \alpha_2 = \{ \langle 0,7/v_4 \rangle \}; \quad \text{Pr}_2 \alpha_2 = 1;$$

$$\text{Pr}_1 \alpha_3 = \{ \langle 1/v_3 \rangle \}; \quad \text{Pr}_3 \alpha_3 = \{ \langle 0,8/v_5 \rangle \}; \quad \text{Pr}_2 \alpha_3 = 1;$$

$$\text{Pr}_1 \alpha_4 = \{ \langle 1/v_4 \rangle \}; \quad \text{Pr}_3 \alpha_4 = \{ \langle 0,4/v_6 \rangle \}; \quad \text{Pr}_2 \alpha_4 = 1;$$

$$\text{Pr}_1 \alpha_5 = \{ \langle 1/v_5 \rangle \}; \quad \text{Pr}_3 \alpha_5 = \{ \langle 0,6/v_6 \rangle \}; \quad \text{Pr}_2 \alpha_5 = 1;$$

$$\text{Pr}_1 \alpha_6 = \{ \langle 1/v_6 \rangle \}; \quad \text{Pr}_3 \alpha_6 = \{ \langle 0,6/v_7 \rangle \}; \quad \text{Pr}_2 \alpha_6 = 1;$$

$$\text{Pr}_1 \alpha_7 = \{ \langle 1/v_7 \rangle \}; \quad \text{Pr}_3 \alpha_7 = \{ \langle \emptyset \rangle \}; \quad \text{Pr}_2 \alpha_7 = 0.$$

Операції над кортежами:

$$\alpha_1 \oplus \alpha_2 = \langle \langle 1/v_1 \rangle, 2, \{ \langle 0,6/v_2 \rangle, \langle 0,7/v_3 \rangle \} \rangle, \\ \alpha_1 \theta \alpha_2 = \langle \langle 1/v_2 \rangle, \{ \langle \emptyset \rangle \} \rangle, \\ \alpha_1 \otimes \alpha_2 = \langle \langle 1/v_1 \rangle, \{ \langle \emptyset \rangle \} \rangle.$$

Отже, подання нечітких графів у вигляді багатокортежних кортежів загалом розв'язує проблему щодо уникнення надмірності, яка постає в разі подання у вигляді матриць інцидентності, що вкрай важливо для систем, які не мають значних обчислювальних ресурсів. При цьому зберігається необхідна функціональність системи, оскільки існує можливість обробки таких графів традиційними засобами.

Д. Н. Обидин, Д. В. Троцький

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НЕЧЕТКИХ ГРАФОВ В ЗАДАЧАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Освещены актуальные аспекты создания нечеткой базы знаний для комплексной системы управления, основанной на многокомпонентных кортежах графовых структур.

**Ключевые слова:** нечеткая база знаний; комплексная система управления; нечеткие графы; многокомпонентные кортежи.

D. M. Obidin, D. V. Trotskiy

**THE ANALYTIC REPRESENTATION OF FUZZY GRAPHS IN PROBLEMS OF INTELLECTUALIZATION OF MANAGEMENT PROCESSES AIRCRAFT ON THE BASIS OF THE FUZZY SEMANTIC NETWORKS**

The article highlights the actual aspects of fuzzy knowledge base creation for the complex control system based on multicomponent corteges of graph structures.

**Keywords:** fuzzy knowledge base; complex control system; fuzzy graph; multicomponent corteges.

**Висновки**

Запропонований підхід щодо компактного аналітичного подання нечітких графів у вигляді багатокортежних кортежів може бути ефективно використаний для опису динамічних аспектів управління літальним апаратом, які описуються за допомогою моделей знань на базі семантичних мереж.

Розглянутий метод дозволяє реалізувати можливість не лише компактного подання, а й здійснення необхідних операцій із графами як нечіткої, так і комбінованої структури.

Надалі 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 літальними апаратами.

**Література**

1. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман; пер. с франц.— М.: Радио и связь, 1982.— 432 с.
2. Федун, Б. Е. Механизмы вывода в базе знаний бортовых оперативно советующих экспертных систем / Б. Е. Федун // Изв. РАН. Теория и системы управления.— 2002.— № 4.— С. 32–38.
3. Борисов, В. В. Нечеткие модели и сети / В. В. Борисов, В. В. Круглов, А. С. Федун.— М.: Горячая линия — Телеком, 2007.— 284 с.
4. Толубко, В. Б. Методологічні основи проектування прикладного програмного забезпечення для АСУ воєнного призначення: монографія / В. Б. Толубко, А. І. Світнев, О. Ю. Пермяков.— К.: НАОУ, 2004.— 249 с.
5. Шиханович, Ю. А. Введение в современную математику / Ю. А. Шиханович.— М.: Наука, 1965.— 376 с.
6. 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: зб. наук. праць.— К.: Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України, 2012.— Вип. 63.— С. 81–85.