

АЛГОРИТМ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОСМІЧНОГО АПАРАТА

Запропоновано алгоритм формування та розпізнання нечіткого образу технічного стану космічного апарата на основі експертної інформації.

В даний час контроль і оцінка технічного стану бортових систем космічного апарата (КА) проводиться за сукупністю параметрів телеметричної інформації (ТМІ), одержаних у ході сеансів радіообміну. У [1, 2] основним критерієм працездатності бортових систем КА запропоновано вважати наявність чи відсутність у них позаштатних ситуацій (ПС). У випадку виявлення ПС їх розпізнавання проводиться із залученням експертного досвіду. Однак сучасний розвиток теорії нечітких множин [3] і теорії розпізнавання образів [4, 5] дозволяє розробити алгоритм, що автоматизує процес ідентифікації НС.

Сформулюємо основні поняття.

Під зображенням технічного стану КА будемо розуміти набір вхідних параметрів ТМІ. Під образом технічного стану будемо розуміти множину зображень, що мають деякі загальні властивості, а під прототипом – набір значень ТМІ, при яких можлива ПС [2].

Завдання полягає у формуванні образу технічного стану КА і подальшому його порівнянні з набором прототипів. Після обчислення міри близькості вибирається найбільш придатний прототип. Але у випадку прояву неформалізованих НС даний підхід неефективний.

Проаналізувавши [6, 7, 8], сформулюємо основні етапи алгоритму. На першому етапі у діалоговому режимі експерту пропонується визначити діапазони значень параметрів ТМІ і відповідних їм значень функції належності (ФН) [3, 7]. На другому етапі алгоритму формуються нечіткі зображення технічного стану КА. Це відбувається шляхом фазифікації відповідних значень параметрів ТМІ. На третьому етапі формується нечіткий образ технічного стану бортових систем КА.

Позначимо сукупність параметрів ТМІ через x_1, \dots, x_n . Нехай у ході сеансу радіообміну отримано k масивів параметрів ТМІ. Контроль здійснюється на двох бортових системах КА. Тоді структура нечіткого образу технічного стану КА і порядок формування узагальнених оцінок за параметрами, систем і КА відображений на рис. 1.

На рис. 1 операціями \min і \max показані узагальнені оцінки по кожному параметру ТМІ, по кожній бортовій системі КА та узагальнена оцінка технічного стану КА.

$$\left. \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} \mu^{11}(x_1) \quad \mu^{12}(x_1) \quad \dots \quad \mu^{1k_1}(x_1) \\ \mu^{11}(x_2) \quad \mu^{12}(x_2) \quad \dots \quad \mu^{1k_1}(x_2) \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \mu^{11}(x_n) \quad \mu^{12}(x_n) \quad \dots \quad \mu^{1k_1}(x_n) \end{array} \right\} \min \\ \left. \begin{array}{l} \mu^{21}(x_1) \quad \mu^{22}(x_1) \quad \dots \quad \mu^{2k_2}(x_1) \\ \mu^{21}(x_2) \quad \mu^{22}(x_2) \quad \dots \quad \mu^{2k_2}(x_2) \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \mu^{21}(x_n) \quad \mu^{22}(x_n) \quad \dots \quad \mu^{2k_2}(x_n) \end{array} \right\} \min \end{array} \right\} \max .$$

Рис. 1. Структура нечіткого образу технічного стану КА [7]

На третьому етапі виробляється дефазифікація результату. Skorистаємося підходом, що запропонований у [9, 10]. Нечіткий образ технічного стану КА можна оцінити за допомогою терм-множини:

$$T = \langle T_1, T_2, T_3 \rangle, \tag{1}$$

де $T_1 = \langle \text{режим роботи КА – робочий} \rangle$;

$T_2 = \langle \text{на борту КА можлива ПС} \rangle$;

$T_3 = \langle \text{на борту КА відбулася ПС} \rangle$.

Відобразимо шкалу відповідності (рис. 2), скориставшись експертною оцінкою.

Виходячи з визначення узагальненої оцінки технічного стану КА, у виді значення функції належності вибирається відповідний діапазон першої шкали терм-множини. Таким чином, оператор групи аналізу зможе одержати експрес-оцінку технічного стану КА вже в ході сеансу радіообміну.

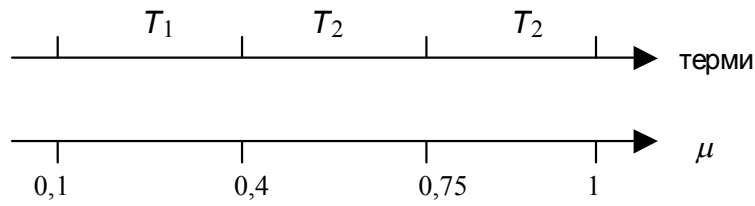


Рис. 2. Шкала відповідності функції належності

Розглянемо практичний приклад застосування розробленого алгоритму [11].

Із борту КА отримана наступна інформація в моменти часу t_1, t_2, t_3 у ході сеансу радіообміну з КА.

За першою оцінюваною бортовою системою:

на момент t_1 :	на момент t_2 :	на момент t_3 :
$U_1^{11} = 8,5B$;	$U_1^{12} = 8,12B$;	$U_1^{13} = 7,1B$;
$U_2^{11} = 7B$;	$U_2^{12} = 7,1B$;	$U_2^{13} = 6,5B$;
$I_1^{11} = 3,5A$,	$I_1^{12} = 3,12A$,	$I_1^{13} = 2,7A$.

За другою оцінюваною бортовою системою:

на момент t_1 :	на момент t_2 :	на момент t_3 :
$U_1^{21} = 7,3B$;	$U_1^{22} = 7,01B$;	$U_1^{23} = 6,9B$;
$U_2^{21} = 6,8B$;	$U_2^{22} = 6,4B$;	$U_2^{23} = 6,35$;
$I_1^{21} = 4,1A$;	$I_1^{22} = 3,88A$;	$I_1^{23} = 3,8A$;
$I_2^{21} = 3,1A$,	$I_2^{22} = 3A$,	$I_2^{23} = 2,7A$.

Для фазифікації параметри ТМІ оцінювалися терм-множиною:

$$\beta = \langle \beta_1, \beta_2, \beta_3 \rangle ,$$

де $\beta_1 = \langle \text{високий} \rangle$; $\beta_2 = \langle \text{середній} \rangle$; $\beta_3 = \langle \text{низький} \rangle$.

Результат експертної оцінки параметрів ТМІ представлений у табл. 1 [11].

Після фазифікації параметрів ТМІ був отриманий нечіткий образ технічного стану КА:

$$\begin{aligned} \mu_1^{11} &= 0,9; & \mu_1^{12} &= 0,45; & \mu_1^{13} &= 0,25; \\ \mu_2^{11} &= 0,8; & \mu_2^{12} &= 0,85; & \mu_2^{13} &= 0,35; \\ \mu_3^{11} &= 0,9; & \mu_3^{12} &= 0,6; & \mu_3^{13} &= 0,2; \\ \mu_1^{21} &= 1,0; & \mu_1^{22} &= 0,8; & \mu_1^{23} &= 0,74; \\ \mu_2^{21} &= 1,0; & \mu_2^{22} &= 0,75; & \mu_2^{23} &= 0,65; \\ \mu_3^{21} &= 0,85; & \mu_3^{22} &= 0,51; & \mu_3^{23} &= 0,4; \\ \mu_4^{21} &= 0,85; & \mu_4^{22} &= 0,75; & \mu_4^{23} &= 0,35. \end{aligned}$$

З [3, 7] одержимо наступні узагальнені оцінки параметрів ТМІ:

$$\begin{aligned} \mu_1^1 &= \mu_1^{11} \wedge \mu_1^{12} \wedge \mu_1^{13} = 0,25; \\ \mu_2^1 &= \mu_2^{11} \wedge \mu_2^{12} \wedge \mu_2^{13} = 0,35; \\ \mu_3^1 &= \mu_3^{11} \wedge \mu_3^{12} \wedge \mu_3^{13} = 0,20; \\ \mu_1^2 &= \mu_1^{21} \wedge \mu_1^{22} \wedge \mu_1^{23} = 0,74; \\ \mu_2^2 &= \mu_2^{21} \wedge \mu_2^{22} \wedge \mu_2^{23} = 0,65; \\ \mu_3^2 &= \mu_3^{21} \wedge \mu_3^{22} \wedge \mu_3^{23} = 0,40; \\ \mu_4^2 &= \mu_4^{21} \wedge \mu_4^{22} \wedge \mu_4^{23} = 0,35. \end{aligned}$$

Оцінка кожної бортової системи КА має такий вигляд:

$$\mu_1 = \mu_1^1 \vee \mu_2^1 \vee \mu_3^1 = 0,35;$$

$$\mu_2 = \mu_1^2 \vee \mu_2^2 \vee \mu_3^2 \vee \mu_4^2 = 0,74.$$

Узагальнена оцінка технічного стану КА така:

$$\mu = \mu_1 \vee \mu_2 = 0,74.$$

Таблиця 1

Таблиця результату експертної оцінки параметрів ТМІ КА

Номер бортової системи	Назва параметра ТМІ	Значення параметра / Значення функції належності		
		β_1	β_2	β_3
1	U_1^1	$\frac{8,55 \div 8,4}{1 \div 0,75}$	$\frac{8,4 \div 8,1}{0,75 \div 0,4}$	$\frac{8,1 \div 6,9}{0,4 \div 0,1}$
	U_2^1	$\frac{7,2 \div 6,9}{1 \div 0,75}$	$\frac{6,9 \div 6,6}{0,75 \div 0,4}$	$\frac{6,6 \div 6,2}{0,4 \div 0,1}$
	I_1^1	$\frac{3,6 \div 3,3}{1 \div 0,75}$	$\frac{3,3 \div 3,0}{0,75 \div 0,4}$	$\frac{3,0 \div 2,5}{0,4 \div 0,1}$
2	U_1^2	$\frac{7,3 \div 6,9}{1 \div 0,75}$	$\frac{6,9 \div 6,5}{0,75 \div 0,4}$	$\frac{6,5 \div 6,01}{0,4 \div 0,1}$
	U_2^2	$\frac{6,8 \div 6,4}{1 \div 0,75}$	$\frac{6,4 \div 6,1}{0,75 \div 0,4}$	$\frac{6,1 \div 5,7}{0,4 \div 0,1}$
	I_1^2	$\frac{4,2 \div 4,0}{1 \div 0,75}$	$\frac{4,0 \div 3,8}{0,75 \div 0,4}$	$\frac{3,8 \div 3,5}{0,4 \div 0,1}$
	I_2^2	$\frac{3,2 \div 3,0}{1 \div 0,75}$	$\frac{3,0 \div 2,8}{0,75 \div 0,4}$	$\frac{2,8 \div 2,0}{0,4 \div 0,1}$

Після оцінки цього результату на шкалі відповідності (рис. 2) був отриманий висновок про можливу ПС на борту КА.

Запропонований алгоритм був реалізований мовою програмування Сі++. Він показав ефективну роботу як із реальною ТМІ, так і в режимі її імітації.

Користувач має можливість контролювати і, у діалоговому режимі, брати участь у формуванні нечіткого образу технічного стану КА.

Розроблений алгоритм дозволяє розпізнавати образи технічного стану КА. Нечіткий образ технічного стану запропоновано формувати на основі використання експертної інформації. Основним критерієм працездатності КА запропоновано вважати наявність чи відсутність ПС на борту КА. Як показало моделювання, запропонований алгоритм дозволяє розпізнати не тільки відомі ПС на борті КА, а також: ПС, що слабо проявилася (немає точного співпадання значень усіх параметрів ТМІ); сукупність одночасно декількох ПС; нову ПС, що не описана в літературі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Бобунов А.І.* Підхід до ідентифікації позаштатних ситуацій бортових систем космічних апаратів // Вісник ЖІТІ. – 2000. – № 13. – С. 35–36.
2. *Бобунов А.І.* Генетичний алгоритм ідентифікації позаштатних ситуацій бортових систем космічного апарата //Зб. наук. праць Житомирського військового інституту радіоелектроніки. – № 3. – 2000. – С. 9–12.
3. *Кофман А.* Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
4. *Фу К.* Структурные методы в распознавании образов. – М.: Мир, 1977. – 312 с.
5. *Васильев В.И.* Распознающие системы. – К.: Наукова думка, 1983. – 421 с.
6. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
7. *Ротштейн А.П.* Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: “УНИВЕРСУМ–Винница”, 1999. – 320 с.
8. *Герасимов Б.М., Тарасов В.А., Токарев И.В.* Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта. – К.: Наукова думка, 1993. – 183 с.
9. Нечеткие множества в теории возможностей. Последние достижения / Под ред. Р.Р. Янера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
10. *Трухарев Р.И.* Модели принятия решений в условиях неопределенности. – М.: Наука, 1981. – 258 с.
11. Звіт про НДР “Рішення”. – Житомир: ЖВІРЕ, 2000.

БОБУНОВ Андрій Іванович – кандидат технічних наук, доцент Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- формування і розпізнавання нечіткого образу технічної системи;
- розпізнавання позаштатних ситуацій при управлінні складними інформаційними системами;
- розробка нечітких систем розпізнавання образів і підтримки прийняття рішень.

Подано 12.09.2000

