

**ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПОРЯДКУ РОЗПОДІЛУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ
ЗА ОБ'ЄКТАМИ МОНІТОРИНГУ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ МНОЖИН**

Анотація. Запропоновано підхід до формалізації порядку розподілу технічних засобів за об'єктами моніторингу на основі теорії нечітких множин. Досліджено можливість використання еталонного опису сигнатур об'єктів моніторингу у складі нечітких моніторингових ознак для визначення фазових станів об'єктів.

Ключові слова: моніторингова ознака, сигнатура, технічний засіб моніторингу.

ВСТУП

На сьогодні важливими науковими завданнями є автоматизоване розпізнавання об'єктів моніторингу шляхом побудови та використання переліку інформаційних ознак і сигнатур, а також формалізація задачі про відповідність об'єкта моніторингу одному із заданих образів вибірки значень інформаційних сигнатур та синтез алгоритмів ухвалення рішення. Розпізнавання об'єкта моніторингу за допомогою відповідних технічних засобів є складним через труднощі у формалізації моніторингових ознак і сигнатур об'єктів, їхню неоднорідну структуру та наявність перетинних класів образів [1–5]. Тому задача розподілу технічних засобів моніторингу за об'єктами моніторингу для конкретних прикладних завдань досі не розв'язана в повному обсязі.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою цієї статті є розроблення порядку розв'язання задачі розподілу технічних засобів моніторингу за об'єктами моніторингу на основі нечітких множин. Розробленню відповідного порядку передують визначення фазових станів об'єктів моніторингу за допомогою розпізнавання образів за вибіркою моніторингових ознак. Для цього запропоновано такий спосіб. На сенсори технічних засобів моніторингу надходять впливи від об'єктів моніторингу, які можна уявити як використовувані у теорії нечітких множин лінгвістичні змінні [6]. Кожне значення лінгвістичної змінної є нечіткою множиною одиничного інтервалу. Спираючись на поняття лінгвістичної змінної, кожному впливу об'єкта моніторингу (через відповідну моніторингову ознаку) на технічний засіб моніторингу можна поставити у відповідність просту лінгвістичну змінну, а кожній сигнатурі — складну. На множині Ψ об'єктів моніторингу визначають L образів Ψ_i , $i \in \{1, 2, \dots, L\}$, об'єктів моніторингу. Використовуючи показник мінімальної розмірності, що забезпечує необхідний рівень інформативності, потрібно визначити перелік ознак S та на його основі розрахувати множину моніторингових сигнатур X^S , кожна з яких містить еквівалентні значення ξ нечітких моніторингових ознак $s_j \in S$, $j \in \{1, 2, \dots, \xi\}$. Кожний з L образів характеризується відповідною сигнатурою $x_i^S = \{x'_{i1} \dots x''_{i1}, x'_{i2} \dots x''_{i2}, \dots, x'_{i\xi} \dots x''_{i\xi}\}$, $i = 1, \dots, L$, $x_i^S \in X^S$, яка по суті є впорядкованою сукупністю інтервалів нечітких значень лінгвістичних ознак, представлених у цифровому вигляді. Кожному значенню лінгвістичної ознаки у моніторинговій сигнатурі образу Ψ_i ставлять у відповідність інтервал значень з використанням відповідних функцій належності. На основі наявної статистичної інформації

формують вибірку визначених еквівалентних значень $x = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_\xi)$ лінгвістичних змінних, що є результатом упорядкованого оцінювання значень нечітких ознак s_j , $j \in \{1, 2, \dots, \xi\}$. Еталонний опис сигнатур являє собою сукупність інтервалів значень s_j , що задані у вигляді сукупності відповідних умовних щільностей розподілу ймовірностей значень ознак $w_{jr}(x_j, x'_{jr}, x''_{jr})$. Ці щільності характеризують еталонний розподіл значень x_j j -ї ознаки s_j на кожному r -му інтервалі можливих значень x'_{jr}, \dots, x''_{jr} для кожного з образів, що розпізнаються.

Визначення фазових станів об'єктів моніторингу через розпізнавання їхніх образів за вибіркою моніторингових ознак є складовою частиною розробленого порядку розподілу технічних засобів за об'єктами моніторингу на основі нечітких множин. З огляду на те, що на сьогодні немає цілісного науково-методичного підходу до розв'язання задачі розподілу технічних засобів за об'єктами моніторингу, дослідження у цьому напрямку є своєчасними і актуальними.

ПОРЯДОК РОЗПОДІЛУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗА ОБ'ЄКТАМИ МОНІТОРИНГУ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

Моніторингову ознаку в запропонованому підході до розв'язання поставленої задачі визначають як характеристику (параметр) об'єкта моніторингу, яку (який) можна визначити (виміряти) та використати для розпізнавання об'єкта моніторингу, визначення його фазового стану, характеру діяльності та прогнозування напрямку розвитку подій (явиш).

Розроблений підхід ґрунтується на побудові нечітких відношень [6] «об'єкт моніторингу — моніторингова ознака», «моніторингова ознака — технічний засіб моніторингу» та їхньої композиції «об'єкт моніторингу — технічний засіб моніторингу» з використанням пріоритетних моніторингових ознак фазового стану об'єкта моніторингу. Суть підходу полягає в тому, що на основі статистичної інформації (накопиченої протягом тривалого проміжку часу) та оцінок досвідчених експертів визначають об'єкти моніторингу в їхніх фазових станах з відповідними моніторинговими ознаками. Після побудови такої інформаційної моделі моніторинговим ознакам ставлять у відповідність наявні технічні засоби моніторингу, за допомогою яких ці ознаки виявляють. Це дає змогу шляхом композиції розрахувати ступінь відповідності між об'єктами моніторингу та наявними технічними засобами моніторингу. Взнявши до уваги пріоритетність моніторингових ознак [7], можна використати у розрахунках лише інформативні ознаки та ті, що корелюють з відповідними фазовими станами об'єктів моніторингу на заданому інтервалі часу. Це забезпечує підвищення достовірності отриманої інформації про об'єкт моніторингу.

Для визначення фазового стану об'єкта моніторингу запропоновано застосувати статистичний алгоритм розпізнавання образів. У роботі [8] наведено методику синтезу статистичних алгоритмів розпізнавання образів. Фазові стани (їхні образи) об'єктів моніторингу $\Psi_i \subset \Psi$, що розпізнаються, задані їхнім еталонним описом в області x_i^s ξ -вимірному евклідовому просторі еталонів X^S із осями $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_\xi$. Еталонний опис образів фазових станів надають у вигляді суми отриманих у результаті навчання та об'єднаних в інформаційні сигнатури апріорних щільностей розподілу ймовірностей $w_j(x)$ еталонних значень ознак $x_1 \dots x_\xi$ на множині Ψ_i :

$$w_j(x) = \sum_{r=1}^{R_j} p_{jr} w_{jr}(x_j^e, x_{jr}^{e'}, x_{jr}^{e''}), \quad \sum_{r=1}^{R_j} p_{jr} = 1, \quad (1)$$

де $w_j(x_j^e, x_{jr}^e, x_{jr}^{e''})$ — зважені щільності ймовірності еталонного розподілу моніторингової ознаки x_j^e на кожному r -му інтервалі можливих значень x_j^e , $x_{jr}^e, x_{jr}^{e''}$ j -ї ознаки для кожного образу, що розпізнається, p_{jr} — умовні апіорні ймовірності потрапляння значення ознаки в r -й інтервал, $r \in \{1, 2, \dots, R_{ij}\}$, для j -ї ознаки в i -му образі, $\forall j \in \{1, 2, \dots, \xi\}$.

Кожний еталонний інтервал значення j -ї ознаки x_j^e , $j \in \{1, 2, \dots, \xi\}$, в одному образі відповідає одній координаті цієї ознаки, а кожна сигнатура містить ξ інтервалів значень ознак. Виходячи з цього, створюють область визначення функцій щільності ймовірностей $w_j(x_j^e, x_{jr}^e, x_{jr}^{e''})$ значень складного еталонного опису (1) відповідного виду [8]. При цьому висуюють N гіпотез H_1, H_2, \dots, H_N про те, що спостережувана вибірка \mathbf{x} , що складається з ϑ -кратно оцінених значень ξ ознак і має розмір $(\vartheta \times \xi)$, належить одному з описаних образів Ψ_j через значення сигнатури ознак відповідного класу. У цьому випадку простір рішень складається з N елементів γ_i рішень про ухвалення гіпотези H_j . Далі обирають нерандомізоване правило δ , за яким реалізують поділ простору X на N перетинних областей x_i , $\bigcup_{i=1}^N x_i = X$. Якщо у процесі розпізнавання реалізується одночасне потрапляння кожного значення ознаки з вибірки $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_\xi)$ у відповідні інтервали сигнатури

$$x_i^s = \{x_{i1} \dots x_{i1}, x_{i2} \dots x_{i2}, \dots, x_{i\xi} \dots x_{i\xi}\}, i = 1, \dots, L, \quad (2)$$

то ухвалюють рішення γ_i .

У [8] розглянуто випадки синтезу мінімакських алгоритмів об'єктів моніторингу у постановці задачі багатоальтернативного розпізнавання та для одноальтернативного випадку шляхом розгляду множини об'єктів розпізнавання (моніторингу) Ψ , у якій задано лише два образи $\Psi_1 \subset \Psi$ та $\Psi_2 \subset \Psi$, де Ψ_1 відповідає образу об'єкта моніторингу, а Ψ_2 йому не відповідає. За наведеною послідовністю перевіряють лише дві гіпотези на відповідність спостережуваної вибірки \mathbf{x} розміру $(\vartheta \times \xi)$, що складається з ϑ -кратно вимірюваних значень ξ лінгвістичних ознак S_j , сигнатурі образу Ψ_1 чи Ψ_2 об'єкта моніторингу. За результатами перевірки ухвалюють рішення γ_1 або γ_2 , які відповідають коректності гіпотез H_1 або H_2 . Проте під час формування еталонного розподілу j -ї ознаки S_j у вигляді суми умовних розподілів $w_{1j}(x_j^e), w_{2j}(x_j^e)$, зважених із невідомими апіорними ймовірностями p_1 та $p_2 = 1 - p_1$, виявляється, що насправді ймовірності p_{1jr}, p_{2jr} є апіорі невідомими, тому однозначний розв'язок цієї задачі отримати складно. Однак, її розв'язок можна одержати, якщо для кожної ознаки в одному образі об'єкта моніторингу вважати ці ймовірності однаковими, а потім під час розпізнавання оцінити їх і відкоригувати правило ухвалення рішення. Далі на основі (1), (2) розраховують мінімаксне правило розпізнавання образів Ψ_1 та Ψ_2 , за яким порівнюють відношення правдоподібності з пороговим значенням. На практиці для визначення фазового стану об'єктів моніторингу також можна застосувати баєсівський алгоритм багатоальтернативного розпізнавання образів [4, 6].

Перейдемо до реалізації розробленого порядку розподілу технічних засобів за об'єктами моніторингу на основі визначеного фазового стану об'єкта моніторингу. Вихідні дані є такими: множина об'єктів моніторингу $W = \{O_j\}_{j=1}^J$, де J — кількість об'єктів моніторингу; множина фазових станів j -го об'єкта моніторингу

$S = \{S_j\}_{j=1}^J$, $S_j = \{C_i\}_{i=1}^{r_j}$, де r_j — кількість фазових станів j -го об'єкта моніторингу; множина моніторингових ознак фазових станів об'єктів моніторингу $F = \{R_n\}_{n=1}^N$, де N — кількість моніторингових ознак фазових станів об'єктів моніторингу; коефіцієнт важливості λ_{ij} i -го фазового стану j -го об'єкта моніторингу; коефіцієнт K_{nij} інформативності n -ї моніторингової ознаки i -го фазового стану j -го об'єкта моніторингу.

Пропонована послідовність дій є такою. Спочатку розрахуємо нечітке відношення A «об'єкт моніторингу — моніторингова ознака»

$$A = \begin{bmatrix} \mu_A(O_1, R_1) & \mu_A(O_1, R_2) & \dots & \mu_A(O_1, R_n) \\ \mu_A(O_2, R_1) & \mu_A(O_2, R_2) & \dots & \mu_A(O_2, R_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_A(O_j, R_1) & \mu_A(O_j, R_2) & \dots & \mu_A(O_j, R_n) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де $\mu_A(O_j, R_n)$ — функція належності, яка відображає ступінь належності моніторингової ознаки фазового стану R_n протягом визначеного інтервалу часу відповідному об'єкту моніторингу O_j . Для формування цього нечіткого відношення застосовують лише пріоритетні моніторингові ознаки, визначені та розраховані з використанням коефіцієнтів важливості λ_{ij} i -го фазового стану j -го об'єкта моніторингу та інформативності K_{nij} n -ї моніторингової ознаки i -го фазового стану j -го об'єкта моніторингу. Розрахунок пріоритетності моніторингових ознак наведено у [7].

Далі будують та розраховують нечітке відношення B «моніторингова ознака — технічний засіб моніторингу»

$$B = \begin{bmatrix} \mu_B(R_1, K_1) & \mu_B(R_1, K_2) & \dots & \mu_B(R_1, K_m) \\ \mu_B(R_2, K_1) & \mu_B(R_2, K_2) & \dots & \mu_B(R_2, K_m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_B(R_n, K_1) & \mu_B(R_n, K_2) & \dots & \mu_B(R_n, K_m) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де $\mu_B(R_n, K_m)$ — функція належності, яка відображає ступінь відповідності K_m технічного засобу моніторингу моніторинговим ознакам фазового стану об'єкта моніторингу протягом визначеного інтервалу часу.

Побудовані та розраховані нечіткі відношення A та B є інформаційними моделями, що дають системне уявлення про об'єкт моніторингу через відповідні ознаки (сигнатури), які пов'язані з призначенням, можливостями, фазовими станами тощо, та про потрібні технічні засоби моніторингу для їхньої ідентифікації.

З використанням нечітких відношень A та B розраховують композицію C , що встановлює системне уявлення на рівні «об'єкт моніторингу — технічний засіб моніторингу»:

$$C = A \oplus B = \begin{bmatrix} \mu_C(O_1, K_1) & \mu_C(O_1, K_2) & \dots & \mu_C(O_1, K_m) \\ \mu_C(O_2, K_1) & \mu_C(O_2, K_2) & \dots & \mu_C(O_2, K_m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_C(O_j, K_1) & \mu_C(O_j, K_2) & \dots & \mu_C(O_j, K_m) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

де $\mu_C(O_j, K_m) = \frac{\sum_{n=1}^N (\mu_A(O_j, R_n) \cdot \mu_B(R_n, K_m))}{\sum_{n=1}^N \mu_A(O_j, R_n)}$, $j=1 \dots J$, $m=1 \dots M$, —

функція належності $\mu_C(O_j, K_m)$, яку інтерпретують як ступінь відповідності технічного засобу моніторингу K_m об'єкту моніторингу O_j .

Наступним кроком є розрахунок матриці попарних переваг V , яка визначає ступінь відповідності кожного O_j одночасно кожній комбінації двох варіантів технічних засобів моніторингу K_m :

$$V = \begin{bmatrix} \mu_{C_1}(O_1, K_1) \wedge \mu_{C_2}(O_1, K_2) & \dots & \mu_{C_{m-1}}(O_1, K_{m-1}) \wedge \mu_{C_m}(O_1, K_m) \\ \mu_{C_1}(O_2, K_1) \wedge \mu_{C_2}(O_2, K_2) & \dots & \mu_{C_{m-1}}(O_2, K_{m-1}) \wedge \mu_{C_m}(O_2, K_m) \\ \dots & \dots & \dots \\ \mu_{C_1}(O_j, K_1) \wedge \mu_{C_2}(O_j, K_2) & \dots & \mu_{C_{m-1}}(O_j, K_{m-1}) \wedge \mu_{C_m}(O_j, K_m) \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Через матрицю попарних переваг V розраховують порогове значення λ відповідності O_j як ступеня можливості виявлення всіх O_j для всіх пар K_m технічних засобів моніторингу:

$$\lambda < \min_{m-1, m} \max_{O_j} \min [\mu_{C_{m-1}}(O_j, K_{m-1}), \mu_{C_m}(O_j, K_m)]. \quad (7)$$

На основі порогового значення λ , розрахованого для кожного варіанта K_m технічних засобів моніторингу, можна визначити рівневу множину об'єктів моніторингу P , ступінь відповідності яких дорівнює пороговому значенню λ можливості виявлення об'єкта моніторингу варіантом технічного засобу або перевищує його:

$$P = \{O_j \mid \mu_{C_m}(O_j) \geq \min_{m-1, m} \max_{O_j} \min [\mu_{C_{m-1}}(O_j, K_{m-1}), \mu_{C_m}(O_j, K_m)]\}, O_j \in P. \quad (8)$$

Отже, розроблений порядок формалізації розподілу технічних засобів моніторингу за об'єктами моніторингу на основі нечітких множин є одним з підходів до розв'язання цієї задачі. Його застосування надасть змогу здійснити розподіл технічних засобів моніторингу за об'єктами моніторингу, виходячи з відповідності моніторингових ознак об'єктів моніторингу їхнім фазовим станам.

ВИСНОВКИ

Формалізовано порядок розподілу технічних засобів моніторингу за об'єктами моніторингу з використанням теорії нечітких множин. Запропоновано здійснювати розпізнавання фазових станів об'єктів моніторингу за допомогою еталонних описів у вигляді сукупності інтервалів нечітких моніторингових ознак.

Напрямок подальших досліджень є побудова еталонних описів фазових станів об'єктів моніторингу та визначення нечітких ознак у моніторингових сигналах образів відповідних об'єктів моніторингу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов. Москва: Наука, 1979. 368 с.
2. Загоруйко Н.В. Методы распознавания и их применение. Москва: Сов. радио, 1972. 208 с.
3. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. Москва: Высш. шк., 1977. 222 с.
4. Шлезингер М., Главач В. Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию. Киев: Наук. думка, 2004. 545 с.
5. Васильев В.И. Распознающие системы. Киев: Наук. думка, 1983. 422 с.
6. Заде Л. Понятие лингвистической переменной приближенных решений. Москва: Мир, 1976. 520 с.
7. Ляшов О.А., Комаров В.С. Удосконалення сигнатурно-системного методу із застосуванням пріоритетних ознак у складі сигнатур об'єктів моніторингу для забезпечення максимальної ймовірності правильного розпізнавання. *Кибернетика и системный анализ*. 2020. Т. 56, № 4. С. 68–78.
8. Ляшов О.А. Методика синтезу алгоритмів розпізнавання уразливостей web-ресурсів за сигнатурами значень нечітких лінгвістичних ознак. *Кибернетика и системный анализ*. 2017. Т. 53, № 3. С. 85–92.

Надійшла до редакції 15.01.2021

А.А. Ильяшов, В.С. Комаров, В.В. Олексиук
ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОРЯДКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ПО ОБЪЕКТАМ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Аннотация. Предложен подход к формализации порядка распределения технических средств по объектам мониторинга на основе теории нечетких множеств. Исследована возможность использования эталонного описания сигнатур объектов мониторинга в составе нечетких мониторинговых признаков для определения фазовых состояний объектов.

Ключевые слова: мониторинговый признак, сигнатура, техническое средство мониторинга.

O. Iliashov, V. Komarov, V. Oleksiuk
FORMALIZATION OF THE ORDER OF ALLOCATION OF TECHNICAL MEANS BY MONITORING OBJECTS BASED ON THE THEORY OF FUZZY SETS

Abstract. An approach to formalizing the order of allocation of technical means by monitoring objects based on the theory of fuzzy sets is presented. The possibility of using a reference description of the signatures of monitoring objects as a part of fuzzy monitoring features to determine the phase states of objects is analyzed.

Keywords: monitoring feature, signature, technical monitoring tool.

Ілляшов Олександр Авксентійович,

доктор військ. наук, професор, головний науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, Київ, e-mail: aleksandr.ilyashov@gmail.com.

Комаров Володимир Сергійович,

доктор військ. наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного управління Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, Київ, e-mail: komarvlad@ukr.net.

Олексиук Вадим Віталійович,

кандидат військ. наук, начальник науково-дослідного відділу Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, Київ, e-mail: voleksiyk@ukr.net.