

ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ МОНІТОРИНГУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНФОРМАТИВНОСТІ ЇХНІХ МОНІТОРИНГОВИХ ОЗНАК

Анотація. Запропоновано підхід до побудови математичної моделі визначення об'єктів моніторингу з використанням інформативності їхніх моніторингових ознак. Досліджено можливість розрахунку інформативності окремої моніторингової ознаки та визначено напрями подальших досліджень щодо розрахунку ймовірності похибки розпізнавання джерел (об'єктів) моніторингу залежно від відносної інформативності сигнатури та апріорних ймовірностей джерел (об'єктів) моніторингу.

Ключові слова: моніторингова ознака, сигнатура, інформативність моніторингової ознаки.

ВСТУП

У зв'язку з інтенсивним розвитком інформаційних технологій кількість джерел (об'єктів) моніторингу (ДОМ) у відповідних сферах діяльності людини і суспільства невпинно зростає. Як наслідок, виникає потреба у розробленні та застосуванні ефективних програмно-апаратних комплексів моніторингу ДОМ. У зв'язку з цим першочерговими завданнями є розроблення математичних моделей, які нададуть змогу здійснювати формування інформаційних ознак та сигнатур на їхній основі, а також формалізація задачі з подальшим синтезом алгоритмів прийняття рішення про відповідність обраного ДОМ одному із заданих образів вибірки значень його інформаційної сигнатури.

Розпізнавання об'єктів моніторингу ускладнено важкістю і трудомісткістю формалізації сигнатур та моніторингових ознак, неоднорідністю їхньої структури, наявністю класів образів, що перетинаються. На сьогоднішній день задачі формалізації еталонного опису ДОМ та їхнього розпізнавання за відповідними моніторинговими ознаками не розв'язані у повному обсязі [1–3].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Формалізацію складного еталонного опису сигнатур відповідних ДОМ для розпізнавання їхніх фазових станів здійснюють шляхом уведення ймовірностей належності образу кожному з класів образів та їхніх ймовірнісно-статистичних моделей. Неоднорідний, нечіткий характер інформаційних ознак та побудованих на їхній основі сигнатур, а також недостатність навчальної вибірки суттєво ускладнюють розроблення еталонного опису (сигнатури) із застосуванням ймовірнісно-статистичних моделей. Тому запропоновано застосувати інформаційний підхід до опису сигнатур ДОМ. Нехай для об'єктів трьох класів ДОМ (Z_1 , Z_2 , Z_3) є дві сигнатури з відповідними моніторинговими ознаками, які надають змогу їх розрізнити: перша сигнатура — Z_1 від Z_2 та Z_3 , але при цьому Z_2 від Z_3 не відрізняється; друга — Z_2 від Z_1 та Z_3 , але при цьому Z_1 від Z_3 не відрізняється. У результаті моніторингу об'єкти класу Z_3 не можуть бути знайдені та ідентифіковані, хоча разом ці сигнатури містять інформацію, яка може бути корисною під час розв'язання цієї задачі та класифікації всіх об'єктів [2–4]. При цьому слід враховувати, що моніторингові ознаки завжди отримують з певними похибками, тобто втратами, що

призводить до зростання ступеня невизначеності (ентропії), втрат інформативності ознак і зменшення ймовірності правильного розпізнавання ДОМ.

Отже, постає важливе наукове завдання — оцінювання інформативності моніторингових ознак і побудованих на їхній основі сигнатур. Інформативність ознак і сигнатур прийнято як міру невизначеності у процесі розпізнавання ДОМ і взято за основу для розроблення підходу до побудови математичної моделі визначення об'єктів моніторингу з використанням інформативності їхніх моніторингових ознак.

РОЗРАХУНОК ІНФОРМАТИВНОСТІ МОНІТОРИНГОВИХ ОЗНАК ЯК ПІДГРУНТЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ МОНІТОРИНГУ

Інформативність моніторингових ознак (кількість інформації I) оцінюють за рівнем ентропії $H_{\text{мож}}$, якого може досягти система моніторингу, при цьому вона буде ефективною за умови, що рівень ентропії не перевищує порогове значення $H_{\text{пор}}$. Він є достатнім для розв'язання основних завдань ідентифікації і класифікації ДОМ під час моніторингу [5, 6].

Для формування сигнатури ДОМ застосовують методи функціонального аналізу через те, що множину моніторингових ознак ДОМ розглядають як підмножину всієї множини ознак сигнатури в результаті оброблення інформаційного потоку про ДОМ.

Складність ДОМ, їхня функціональність та вплив на інші об'єкти або процеси зумовлюють ступінь інформативності їхніх моніторингових ознак. Підхід із застосуванням сигнатурно-системного методу [7] надає змогу визначити та використати найбільш інформативні (у відповідних випадках) моніторингові ознаки з усієї їхньої множини.

З урахуванням викладеного, формування інформативної сигнатури ДОМ полягає у перетворенні інформаційного процесу, а саме кількісних параметрів, визначених за допомогою відповідних сенсорів, на множину інформативних моніторингових ознак ДОМ.

У випадку застосування системою моніторингу скінченної множини сенсорів процес перетворення інформації про ДОМ здійснюють за такими етапами:

- виявлення, вимірювання (визначення) параметрів;
- оцінювання параметрів та на основі їх аналізу формування відповідних характеристик (моніторингових ознак), хоча не всі вони є інформативними;
- побудова множини інформативних моніторингових ознак ДОМ, отриманих шляхом зменшення початкової ентропії $H_{\text{поч}}$ його стану.

Інформативність моніторингової ознаки розраховують за співвідношенням

$$I_k = H_{\text{поч}} - H(Y / x_k), \quad (1)$$

де $H(Y / x_k)$ — умовна ентропія рішення про зміну стану ДОМ, а Y — кількість його фазових станів.

Таким чином, інформативність k -ї моніторингової ознаки x_k будь-якого j -го ДОМ Z_j обчислюють як

$$I_k(Z_j) = H_{\text{поч}}(Z_j) - H(Z_j / x_k), \quad (2)$$

де

$$H_{\text{поч}}(Z_j) = - \sum_{i=1}^{N_j} p(Z_i) \log_2 p(Z_i), \quad (3)$$

а $p(Z_i)$ — апіорна ймовірність i -го ДОМ.

Враховуючи викладене, ентропію рішення про Z_j з урахуванням μ -го дискретного значення моніторингової ознаки x_k [8] визначають як

$$H(Z_j / x_{k\mu}) = - \sum_{i=1}^{N_j} p(Z_{ji} / x_{k\mu}) \log_2 p(Z_{ji} / x_{k\mu}), \quad (4)$$

де $p(Z_{ji} / x_{k\mu})$ — умовна ймовірність ідентифікації Z_{ji} для μ -го дискретного значення моніторингової ознаки x_k .

Розрахунок умовної ймовірності $p(Z_{ji} / x_{k\mu})$ здійснюють за співвідношенням

$$p(Z_{ji} / x_{k\mu}) = \frac{p(Z_{ji})p(x_{k\mu} / Z_{ji})}{p(x_{k\mu})}, \quad (5)$$

де $p(x_{k\mu}) = \sum_{i=1}^{N_j} p(Z_{ji})p(x_{k\mu} / Z_{ji})$ — ймовірність появи μ -го дискретного значення моніторингової ознаки x_k в описах під час розпізнавання j -го ДОМ; $p(x_{k\mu} / Z_{ji})$ — умовна ймовірність появи μ -го дискретного значення моніторингової ознаки x_k в описі j -го ДОМ.

Ентропію в разі розпізнавання j -го ДОМ з використанням μ -го дискретного значення моніторингової ознаки x_k розраховують у такий спосіб:

$$\begin{aligned} H(Z_j / x_{k\mu}) &= - \frac{1}{p(x_{k\mu})} \sum_{i=1}^{N_j} p(Z_{ji})p(x_{k\mu} / Z_{ji}) \log_2 \frac{p(Z_{ji})p(x_{k\mu} / Z_{ji})}{\sum_{i=1}^{N_j} p(Z_{ji})p(x_{k\mu} / Z_{ji})} = \\ &= - \frac{1}{p(x_{k\mu})} \left(\sum_{i=1}^{N_j} p(Z_{ji})p(x_{k\mu} / Z_{ji}) \log_2 p(Z_{ji})p(x_{k\mu} / Z_{ji}) - \right. \\ &\quad \left. - \sum_{i=1}^{N_j} p(Z_{ji})p(x_{k\mu} / Z_{ji}) \log_2 \sum_{i=1}^{N_j} p(Z_{ji})p(x_{k\mu} / Z_{ji}) \right). \quad (6) \end{aligned}$$

Для визначення ентропії за ознакою x потрібно обчислити суму ентропій $H(Z_j / x_{k\mu})$ j -го ДОМ з використанням усіх дискретних значень μ моніторингової ознаки x_k з важливістю, що є пропорційною ймовірності появи кожного її дискретного значення:

$$\begin{aligned} H(Z_j / x_k) &= \sum_{\mu=1}^{M_k} p(x_{k\mu})H(Z_j / x_{k\mu}) = - \sum_{\mu=1}^{M_k} \sum_{i=1}^{N_j} p(Z_{ji}, x_{k\mu}) \log_2 p(Z_{ji}, x_{k\mu}) + \\ &\quad + \sum_{\mu=1}^{M_k} \sum_{i=1}^{N_j} p(Z_{ji}, x_{k\mu}) \sum_{i=1}^{N_j} \log_2 p(Z_{ji}, x_{k\mu}), \quad (7) \end{aligned}$$

де $p(Z_{ji}, x_{k\mu}) = p(Z_{ji})p(x_{k\mu} / Z_{ji})$.

З урахуванням отриманих значень початкової ентропії $H_{\text{поч}}(Z_j)$ та $H(Z_j / x_k)$ інформативність моніторингової ознаки x_k під час розпізнавання j -го ДОМ матиме вигляд

$$\begin{aligned} I_k(Z_j) &= - \sum_{i=1}^{N_j} p(Z_{ji}) \log_2 p(Z_{ji}) + \sum_{\mu=1}^{M_k} \sum_{i=1}^{N_j} p(Z_{ji}, x_{k\mu}) \log_2 p(Z_{ji}, x_{k\mu}) - \\ &\quad - \sum_{\mu=1}^{M_k} \sum_{i=1}^{N_j} p(Z_{ji}, x_{k\mu}) \sum_{i=1}^{N_j} \log_2 p(Z_{ji}, x_{k\mu}). \quad (8) \end{aligned}$$

Використовуючи відносну інформативність $I_k(Z_j)$ моніторингової ознаки x_k під час розпізнавання j -го ДОМ

$$I_k(Z_j) = \frac{H_{\text{поч}}(Z_j) - H(Z_j / x_k)}{H_{\text{поч}}(Z_j)}, \quad (9)$$

отримаємо

$$I_k(Z_j) = 1 - \left(\sum_{\mu=1}^{M_k} \sum_{i=1}^{N_j} p(Z_{ji}, x_{k\mu}) \log_2 p(Z_{ji}, x_{k\mu}) + \sum_{\mu=1}^{M_k} \sum_{i=1}^{N_j} p(Z_{ji}, x_{k\mu}) \sum_{i=1}^{N_j} \log_2 p(Z_{ji}, x_{k\mu}) \right) / \sum_{i=1}^{N_j} p(Z_{ji}) \log_2 p(Z_{ji}). \quad (10)$$

Наведене співвідношення (10) надає змогу розрахувати відносну інформативність лише окремої моніторингової ознаки x_k .

Отримані результати розрахунку відносної інформативності окремої моніторингової ознаки x_k будуть використані для визначення інформативності всієї сигнатури, яка складається з певної їхньої сукупності.

ВИСНОВКИ

Запропоновано підхід до побудови математичної моделі визначення об'єктів моніторингу шляхом оцінювання інформативності їхніх моніторингових ознак. Досліджено можливість розрахунку інформативності окремої моніторингової ознаки.

Отримані результати розрахунків для ступеня інформативності окремої моніторингової ознаки надають змогу продовжити дослідження щодо визначення інформативності сигнатури в цілому та обчислення ймовірності похибки розпізнавання ДОМ залежно від відносної інформативності сигнатури та апріорних імовірностей ДОМ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Popov M.A., Topolnitskiy M.V. A Dempster–Shafer evidence theory-based approach to object classification on multispectral/hyperspectral images. *Proc. 10th Intern. Conf. IEEE on Digital Technologies* (9–11 July 2014, Žilina, Slovakia). Žilina, Slovakia, 2014. P. 296–300. <https://doi.org/10.1109/DT.2014.6868729>.
3. Попов М.О., Артюшин Л.М., Топольницький М.В., Титаренко О.В., Шморгун Ю.В. Інтегрування гетерогенних геопросторових даних на основі теорії свідчень Демпстера–Шейфера. *Математичні машини і системи*. 2019. № 3. С. 35–46. <https://doi.org/10.34121/1028-9763-2019-3-35-46>.
4. Le Hagarat-Masclé S., Bloch I., Vidal-Madjar D. Application of Dempster–Shafer evidence theory to unsupervised classification in multisource remote sensing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 1997. Vol. 35, N 4. P. 1018–1031.
5. Ляшов О.А. Оцінка інформативності моніторингових ознак і сигнатур та міри їх невизначеності при розпізнаванні джерел та об'єктів моніторингу в інформаційному середовищі телекомунікаційних систем. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування*. 2016. № 67. С. 77–83.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Москва: Наука, 1969. 576 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. Сашук І.М., Жовтоватюк Р.М., Гуменюк М.О. Процедура визначення інформативності моніторингової ознаки. *Збірник наук. праць ЦНДІ ЗСУ*. 2009. Вип. 25. С. 41–49.

Надійшла до редакції 04.02.2020

А.А. Ильяшов, В.С. Комаров

**ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ОБЪЕКТОВ МОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАТИВНОСТИ
ИХ МОНИТОРИНГОВЫХ ПРИЗНАКОВ**

Аннотация. Предложен подход к построению математической модели определения объектов мониторинга на основе информативности их мониторинговых признаков. Проведено исследование возможности расчета информативности отдельного мониторингового признака и определены пути дальнейших исследований расчета вероятности погрешности распознавания источников (объектов) мониторинга в зависимости от относительной информативности сигнатуры и априорных вероятностей источников (объектов) мониторинга.

Ключевые слова: мониторинговый признак, сигнатура, информативность мониторингового признака.

O. Ilyashov, V. Komarov

**AN APPROACH TO CONSTRUCTING A MATHEMATICAL MODEL TO DETERMINE
MONITORING OBJECTS BASED ON THE INFORMATION CONTENT
OF THEIR MONITORING FEATURES**

Abstract. An approach to constructing a mathematical model for determining monitoring objects on the basis of the information content of their monitoring features is proposed. The feasibility of calculating the information content of a particular monitoring feature and is analyzed and directions of further studies of calculating the probability of recognition error of monitoring sources (objects) depending on the relative information content of the signature and a priori probabilities of monitoring sources (objects) are determined.

Keywords: monitoring sign, signature, information content of the monitoring sign.

Ильяшов Александр 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: komarvld@ukr.net.