

ВПЛИВ ІНФОРМАТИВНОСТІ МОНІТОРИНГОВИХ ОЗНАК НА УМОВИ ФОРМУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРІЮ ВИЗНАЧЕННЯ ЇХНЬОЇ ПРІОРИТЕТНОСТІ

Анотація. Запропоновано підхід до коригування інтегрального критерію мінімуму суми пріоритетів моніторингових ознак, отриманих за частковими (max-max)- та (max-min)-критеріями. Досліджено можливість використання інформативних моніторингових ознак у процесі підготовки відповідних коригувальних коефіцієнтів.

Ключові слова: моніторингова ознака, інформативність ознаки, ймовірність помилкових рішень.

ВСТУП

На нинішній день є багато процедур розпізнавання та класифікації, використовуваних під час розв'язування прикладних задач моніторингу об'єктів. Проведений аналіз свідчить про те, що математичні методи розпізнавання умовно поділяють на детерміновані, які в явному вигляді не використовують статистичні властивості образів, що розпізнаються, та статистичні, які ґрунтуються на методах теорії ймовірностей та математичної статистики [1–9]. У процесі моніторингу формалізація еталонного опису сигнатур відповідних об'єктів здійснюється на основі введення ймовірностей приналежності образу кожному класу образів та їхніх ймовірнісно-статистичних моделей. Неоднорідний характер інформаційних ознак та побудованих на їхній основі сигнатур, недостатність навчальної вибірки суттєво ускладнюють розроблення еталонного опису (сигнатури) на основі ймовірнісно-статистичних моделей та є підставою для застосування інформаційного підходу до опису сигнатур об'єктів [10]. З огляду на це, питання, пов'язані з оцінюванням похибок розпізнавання та класифікації за інформаційними ознаками об'єктів моніторингу, потребують подальшого ретельного опрацювання.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Складність джерел (об'єктів) моніторингу, їхня функціональність та взаємний вплив на інші об'єкти або процеси зумовлюють певний ступінь інформативності притаманних їм моніторингових ознак. Розроблений підхід із використанням сигнатурно-системного методу та визначення пріоритету моніторингових ознак надає змогу визначити та використати найбільш інформативні з усієї їхньої множини з урахуванням коефіцієнта важливості ознаки (оперативного стану, в якому перебуває джерело (об'єкт) моніторингу) [11]. При цьому враховано, 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 джерел (об'єктів) моніторингу (ДОМ) [10].

Побудову інформативної сигнатури ДОМ здійснюють через трансформацію визначених (вимірних) кількісних параметрів у множину їхніх інформативних моніторингових ознак [10, 12]. Інакше кажучи, оцінюють визначені (вимірні) параметри та на основі їхнього аналізу формують відповідні ознаки (характеристики), хоча не всі вони апіорі є інформативними. Математична постановка за-

дачі є такою. На множині Ψ об'єктів моніторингу визначають L образів Ψ_i , $i \in \{1, 2, \dots, L\}$, об'єктів моніторингу. Використовуючи показник мінімальної розмірності у випадку забезпечення потрібного рівня інформативності, потрібно визначити перелік ознак S та на його основі розрахувати множину сигнатур X^S , кожна з яких містить еквівалентні значення ξ нечітких моніторингових ознак $s_j \in S$, $j \in \{1, 2, \dots, \xi\}$. Кожний L образ 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 [13]. Потрібно визначити еталонний опис сигнатур (сукупність інтервалів значень s_j), які 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 образу, що розпізнається.

РОЗРАХУНОК ІНФОРМАТИВНОСТІ МОНІТОРИНГОВОЇ ОЗНАКИ, ВЗЯТОЇ У ПОЄДНАННІ З ІНШИМИ

Вибір адекватної множини ознак є основним питанням під час розв'язування задачі моніторингу. Множина інформативних ознак $X^{(S)}$ буде меншою ніж початкова множина $X^{(S_0)}$ ($X^{(S)} \subset X^{(S_0)}$, $S < S_0$) внаслідок вибору лише пріоритетних моніторингових ознак з урахуванням показників їхньої важливості та інформативності [11, 12].

Під час розв'язування задачі моніторингу можна скористатися дихотомією, тобто наявністю двох класів належності об'єкту моніторингу, і звести до цього випадку загальний випадок (коли кількість класів більше двох) шляхом послідовного розв'язування загальної задачі розпізнавання належності об'єкта моніторингу одному класу та всім іншим. Проте слід враховувати, що існує відмінність між інформативністю окремо взятої моніторингової ознаки зі складу сигнатури та інформативністю моніторингової ознаки, взятої у поєднанні з іншими (тобто статистично з ними пов'язаної) [12]. Для розв'язування практичних задач розпізнавання у процесі моніторингу використовують поняття інформативності моніторингової ознаки у поєднанні з іншими, а саме, моніторингова ознака x_n , $1 \leq n \leq S$, є інформативною, якщо у випадку її виключення з множини $x^{(S)} = (x_1, \dots, x_S)$ середня умовна ентропія змінюється

$$H(V | X^{(S-1)}) - H(V | X^{(S)}) > 0, \quad (1)$$

де

$$H(V | X^{(S)}) \triangleq - \sum_{x^{(S)} \in X^{(S)}} P(x^{(S)}) \sum_{m=1,2} P(V_m | x^{(S)}) \log P(V_m | x^{(S)}), \quad (2)$$

$$H(V | X^{(S-1)}) \triangleq - \sum_{x^{(S-1)} \in X^{(S-1)}} P(x^{(S-1)}) \sum_{m=1,2} P(V_m | x^{(S-1)}) \log P(V_m | x^{(S-1)}), \quad (3)$$

$x^{(S-1)}$ — скорочений вектор ознак без x_n , а $X^{(S-1)} \triangleq \{x^{(S-1)}: p(x^{(S-1)}) > 0\}$.

З огляду на викладене та прикладний аспект розв'язування задач моніторингу, більш доцільним є використання величини зміни середньої ймовірності помилки $P(e)$ під час розпізнавання, а не зміни середньої умовної ентропії [12].

Із застосуванням зазначеного підходу дихотомії для кожної фіксованої $x^{(S)} = \hat{x}^{(S)}$ розраховують умовну ймовірність помилкових рішень

$$P(e | \hat{x}^{(S)}) \triangleq 1 - \max \{P(V_1 | \hat{x}^{(S)}), P(V_2 | \hat{x}^{(S)})\}$$

та визначають часткову умовну ентропію

$$H(V|\hat{x}^{(S)}) \triangleq -P(e|\hat{x}^{(S)}) \log P(e|\hat{x}^{(S)}) - [1 - P(e|\hat{x}^{(S)})] \log [1 - P(e|\hat{x}^{(S)})]. \quad (4)$$

Однак, результати виконаних розрахунків свідчать про те, що між середньою ймовірністю помилкових рішень

$$P(e) \triangleq \sum_{x \in X} p(x) [1 - \max \{P(V_1|\hat{x}^{(S)}), P(V_2|\hat{x}^{(S)})\}]$$

та середньою умовною ентропією

$$H(V|X) \triangleq - \sum_{x \in X} p(x) \sum_{m=1,2} P(V_m|x) \log P(V_m|x)$$

немає однозначного зв'язку [3, 12], тому можна встановити лише часткові випадки їхньої відповідності.

Для множини X неперервних величин x в умовах дихотомії для заданої ймовірності помилкових рішень $P(e)$ верхня і нижня межа умовної ентропії $H(V|X)$ для будь-якого фіксованого $P(e)$, $0 \leq P(e) \leq \min \{P(V_1), P(V_2)\}$ [3, 12] визначені у вигляді

$$\sup H(V|X) = -P(e) \log P(e) - [1 - P(e)] \log [1 - P(e)], \quad (5)$$

$$\inf H(V|X) = 2P(e). \quad (6)$$

Проте під час розв'язування практичних задач розпізнавання у процесі моніторингу використовують дискретні ознаки, які мають кількість градацій $\mu > 2$. За таких умов точна нижня межа середньої умовної ентропії $H(V|X)$ досягається для будь-якого значення середньої ймовірності помилкових рішень $P(e)$, $0 \leq P(e) \leq \min \{P(V_1), P(V_2)\}$. Тому незалежно від кількості градацій ($\mu > 2$) та за виконання умов

$$P(e|x) = 0 \quad \forall x \in X', \quad (7)$$

$$P(e|x) = 0,5 \quad \forall x \in X'' \quad (8)$$

середня умовна ентропія $H(V|X)$ досягає своєї точної нижньої межі (6), що збігається з її точною верхньою межею (5), для двох крайніх значень $P(e)$:

$$P(e) = 0 \quad \text{для } X'' \neq \emptyset;$$

$$P(e) = 0,5 \quad \text{для } X' = \emptyset \quad (p(x|V_1) \equiv p(x|V_2) \quad \text{для } p(V_1) = p(V_2) = 0,5).$$

Практичний інтерес становить використання визначення умов, виконання яких забезпечить $H(V|X) = \inf H(V|X)$ для $0 < P(e) < 0,5$ та за обмежень $X' = \emptyset$, $X'' \neq \emptyset$.

Для випадку $\mu = 2$ точна нижня межа досягається тільки для $P(e) = \min \{P(V_1), P(V_2)\}$. У випадку $\mu > 2$, який є найбільш цікавим для задач розпізнавання, для одних значень $x \in X'$ справджується нерівність $p(x|V_1) > 0$, $p(x|V_2) = 0$, для інших значень $x \in X'$ справджується рівність $p(x|V_1) = 0$, $p(x|V_2) > 0$, при цьому середня ймовірність помилкових рішень $P(e)$, при кількісному значенні якої $H(V|X) = \inf H(V|X)$, одночасно задовольняє співвідношення $P(e) < P(V_1)$ та $P(e) < P(V_2)$. Отже, $P(e) < \min \{P(V_1), P(V_2)\}$.

Тому $p(x|V_1)$ та $p(x|V_2)$ для $x \in X''$, з урахуванням обмежень $p(x|V_1)P(V_1) = p(x|V_2)P(V_2)$ можна задати в такий спосіб, щоб значення $P(e)$, яке розраховується за співвідношенням

$$P(e) = P(V_1) \sum_{x \in X''} p(x|V_1) + P(V_2) \sum_{x \in X''} p(x|V_2),$$

дорівнювало заздалегідь визначеному α .

Виконані розрахунки свідчать про те, що значення $P(e)$ розташовуються вище значень, отриманих за співвідношенням (6) [3, 12]. За рахунок варіювання параметром α можна уточнити інтервали значень $\inf H(V|X)$ залежно від $H(V|X)$.

ВИСНОВКИ

Результати отриманих розрахунків будуть використані для визначення коригувальних коефіцієнтів інформативності моніторингових ознак (разом з іншими), які матимуть безпосередній вплив на коефіцієнт важливості в інтегральному критерії мінімуму суми пріоритетів моніторингових ознак [11].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гульчак М.Г. Об информативности совокупности признаков. *Автоматика и телемеханика*. 1970. № 6. С.161–163.
2. Загоруйко Н.В. Методы распознавания и их применение. Москва: Советское радио, 1972. 208 с.
3. Ковалевский В.А. Методы оптимальных решений в распознавании изображений. Москва: Наука, 1976. 328 с.
4. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. Москва: Высшая школа, 1977. 222 с.
5. Житецкий Л.С., Файнзильберг Л.С. Об информационном подходе к оценке полезности признаков при статистическом распознавании образов. *Изв. АН СССР. Техническая кибернетика*. 1983. № 4. С.120–126.
6. Горелик А.Л., Эпштейн С.С. Об условиях аддитивности информации в задачах распознавания объектов и явлений. *Кибернетика*. 1983. № 6. С.85–88.
7. Васильев В.И. Распознающие системы. Киев: Наукова думка, 1983. 422 с.
8. Гренандер У. Лекции по теории образов. Регулярные структуры. Москва: Мир, 1983. 432 с.
9. Сергиенко И.В., Гупал А.М., Пашко С.В. О сложности задач распознавания образов. *Кибернетика и системный анализ*. 1996. № 4. С. 70–88.
10. Льяшов О.А., Комаров В.С. Підхід до побудови математичної моделі визначення об'єктів моніторингу із застосуванням інформативності їхніх моніторингових ознак. *Кибернетика и системный анализ*. 2020. Т. 56, № 5. С. 95–99.
11. Льяшов 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.
12. Файнзильберг Л.С. Математические методы оценки полезности диагностических признаков. Киев: «Освіта України», 2010. 152 с.
13. Льяшов О.А., Комаров В.С., Олексюк В.В. Формалізація порядку розподілу технічних засобів за об'єктами моніторингу на основі нечітких множин. *Кибернетика та системний анализ*. 2021. Т. 57, № 3. С. 91–96.

Надійшла до редакції 29.03.2021

В.С. Комаров, В.В. Олексиук, А.А. Ильяшов

**ВЛИЯНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ МОНИТОРИНГОВЫХ ПРИЗНАКОВ
НА УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ ПРИОРИТЕТНОСТИ**

Аннотация. Предложен подход к корректировке интегрального критерия минимума суммы приоритетов мониторинговых признаков, полученных по частным (max-max)- и (max-min)-критериям. Исследована возможность использования информативных мониторинговых признаков в процессе подготовки соответствующих корректирующих коэффициентов.

Ключевые слова: мониторинговый признак, информативность признака, вероятность ошибочных решений.

V. Komarov, V. Oleksiuk, O. Ilyashov

**INFLUENCE OF INFORMATIVITY OF MONITORING FEATURES
ON THE CONDITIONS OF GENERATING AN INTEGRAL CRITERION
FOR DETERMINING THEIR PRIORITY**

Abstract. An approach to correcting the integral criterion of the minimum sum of the priorities of monitoring features obtained by partial (max-max) and (max-min) criteria is proposed. The possibility of using informative monitoring features while preparing the corresponding correcting coefficients is analyzed.

Keywords: monitoring feature, informativeness of a feature, probability of erroneous decisions.

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.

Ильяшов Александр Авксентійович,

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