

УДК 621.391.82

В. С. НАКОНЕЧНИЙ, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник,
Державний університет телекомунікацій, Київ

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ МІЖОЗНАКОВОЇ КОРЕЛЯЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ

Здійснено порівняльний аналіз відомих методів класифікації об'єктів із модифікованим кореляційним методом, що має на меті визначення методу, найбільш ефективного при функціонуванні системи розпізнавання за умов обмеженого часу та невизначеності законів розподілу вектора ознак.

Ключові слова: ознака; вектор ознак; метод розпізнавання.

Вступ

Одна з найважливіших проблем при проектуванні та створенні систем радіолокаційного розпізнавання (РЛР) полягає у виборі відповідного методу класифікації, який має ефективно функціонувати за умов дефіциту часу на обробку та ухвалення рішення щодо віднесення об'єкта іденти-

фікації до певного типу. Через помилку в виборі такого методу може невиправдано збільшитися обсяг вхідної, ознакової інформації, що неминуче призведе до зростання обчислювальних витрат, а отже, і часу на ухвалення класифікаційного рішення. Остання обставина дуже актуальна для систем РЛР, що функціонують у масштабі реального часу.

З огляду на обмеженість відношення сигнал/шум і відсутність апріорних даних про закони розподілу вимірюваних ознак об'єктів радіолокаційного моніторингу (ОРЛМ) розробка методу класифікації зводиться до розв'язування статистичної задачі з розпізнавання типу ОРЛМ перетворенням вхідної інформації у вихідну, на базі якої ухвалюється рішення про те, до якого типу належить розпізнаваний ОРЛМ [1; 2]. Як вхідна інформація можуть використовуватися виміряні ознаки ОРЛМ: ефективна площа розсіювання; радіальна швидкість та висота польоту; довжина вимірюваного радіолокаційного далекомірного портрета (РЛДП) ОРЛМ; кількість його максимумів і відстані між ними, які описують форму ОРЛМ; коефіцієнт кореляції вимірюваного РЛДП ОРЛМ з еталонним радіолокаційним далекомірним портретом кожного i -го класу.

Для розв'язання цієї проблеми необхідно провести відповідний якісний аналіз різних методів розпізнавання з метою вибору найбільш ефективного для застосування в системах РЛР у разі роботи за умов обмеженого часу.

Мета статті — дослідити залежність якісних показників різних методів розпізнавання від коефіцієнта ρ міжознакової кореляції та визначити найбільш ефективний метод, що дав би змогу здійснювати класифікацію ОРЛМ з імовірністю правильного розпізнавання (ІПР), не нижчою від наперед заданої, за умов гострого дефіциту часу.

Основна частина

У разі обмеженого часу та апріорної невизначеності параметрів законів розподілу вектора ознак розпізнавання йдеться про пошук методів, найбільш наближених до оптимальних. Як відомо [3; 4], серед одноетапних непараметричних методів РЛР найбільшу ІПР забезпечують евристичні алгоритми обчислення відстаней, зокрема метод **відстань Махаланобіса (Мh)** [3]:

$$K = \arg \min_n (S - S_{en})^* \cdot P_n^{-1} \cdot (S - S_{en}), \quad (1)$$

де S і S_{en} — вектор відповідно вимірюваних ознак і ознак n -го еталона ($n = 1, \dots, N_e$);

$P_n = \left\{ (S - S_{en}) \cdot (S - S_{en})^* + I_{ш} \right\}$ — оцінна кореляційна матриця відхилень вектора вимірюваних ознак від еталонного вектора n -го класу;

$I_{ш} = (s_{ш1}^2, s_{ш2}^2, \dots, s_{шp}^2) \cdot I$ — діагональна матриця дисперсій власних шумів p каналів виміру ознак розпізнавання.

Недолік таких методів — необхідність пошуку мінімуму, який вимагає високої розрядності чисел, що подаються; зниження шумів округлення, зрізання; необхідність обернення в реальному масштабі часу великої кількості N кореляційних матриць P_n .

Саме тому значний інтерес становлять евристичні методи оцінювання сумарної потужності ознак розпізнавання, які збігаються з ознаками еталона. Відомими представниками таких методів є алгоритми **цифрового спектрального аналізу Кейпона (Кр)**.

$$K = \arg \max_n \frac{1}{S_{en}^* \cdot P^{-1} \cdot S_{en}}, \quad (2)$$

а також **тепловий шум (Th)**

$$K = \arg \max_n \frac{1}{S_{en}^* \cdot (P^{-1})^2 \cdot S_{en}}, \quad (3)$$

де $P = S \cdot S_{en} + I_{ш}$ — оцінна кореляційна матриця вимірюваних ознак розміром $p \times p$.

Ефективність цих методів, як і алгоритму (1), залежить від відношення сигнал/шум, що висуває жорсткі вимоги до точності виміру всіх використовуваних для розпізнавання ознак. Проте алгоритми (2) і (3), на відміну від методу (1), передбачають менші обчислювальні витрати, оскільки йдеться про оцінювання однієї оберненої кореляційної матриці P^{-1} замість N матриць P_n , що особливо важливо в разі великої розмірності вектора S ознак, коли система РЛР працює в реальному масштабі часу.

Метод Басса (Bc) у матричному вигляді подається так:

$$K = \frac{e^{(S_{ei}^* P^{-1} S_{ei})}}{\sqrt{(2\pi)^p D}}. \quad (4)$$

Для визначення оцінки ефективності застосування методів (1) – (4) розпізнавання було здійснено їх порівняння з розробленим **модифікованим кореляційним методом (Kn)**:

$$K = \frac{1}{L} \cdot \frac{\sum_{l=1}^L (S_l - \bar{S}_l) \cdot (S_{en} - \bar{S}_{en})}{\sigma_s \cdot \sigma_{en}}, \quad (5)$$

де L — кількість проведених при розпізнаванні випробувань; (S_l, \bar{S}_l) — l -й відповідно прийманий і усереднений за p вектор ознак; (S_{en}, \bar{S}_{en}) — відповідно n -й і усереднений вектор еталонних ознак; σ_s і σ_{en} — середньоквадратичне відхилення відповідно різниці $(S_l - \bar{S}_l)$ і $(S_{en} - \bar{S}_{en})$.

Остаточну оцінку впливу міжознакової кореляції на ефективність запропонованих методів розпізнавання об'єктів радіолокаційного моніторингу знайдемо з урахуванням найгірших умов, тобто припущення, що вектори ознак розподілені за рівномірним законом.

Щоб оцінити ефективність розпізнавання за методами (1) – (5) було проведено експеримент, в якому за ознаки розпізнавання було взято відліки РЛДП макетів літаків, виміряні задалегідь у безлуновій камері за допомогою експеримен-

тального вимірювального комплексу, що його розробив автор цієї статті [5]. Виміряні РЛДП було розбито на 11 відліків, тобто взято $P = 11$ (розмірність вектора ознак S). Далі згідно з (1) – (5) за допомогою методів математичного моделювання кожний із семи вимірних векторів S ознак порівнювався з еталонним S_{en} . Було взято 20 вибірок вектора ознак розпізнавання ($n = 20$), а ознак розпізнавання — шість ($P = 6$). Коефіцієнт ρ міжознакової кореляції набував значень від мінімального ($\rho = 0,01$) до максимального ($\rho = 1$) із кроком 0,1. Для розрахунку одного значення ІПР було проведено 30 випробувань ($l = 30$), як і для розрахунку середньоквадратичного відхилення σ_v значень ІПР.

У результаті математичного моделювання було отримано дані для побудови графіків залежності значень ІПР від коефіцієнта ρ міжознакової коре-

ляції при різних значеннях кількості P ознак розпізнавання — від $P = 2$ до $P = 7$. Відповідні графіки наведено на рис. 1.

Окрім того, було отримано дані для побудови залежності середньоквадратичних відхилень σ_v математичного сподівання значень ІПР від ρ при $P = 2$ (рис. 2), де використано ті самі позначення що й на рис. 1).

Аналізуючи наведені на рис. 1 графіки, доходимо висновку, що зі збільшенням коефіцієнта ρ значення ІПР для різних методів розпізнавання зростає не однаково. Наприклад, зі збільшенням ρ від нуля до одиниці значення ІПР для методів Кр, Мh і Th збільшується майже на 25%, тоді як значення ІПР, обчислене за методом Вc, збільшилось майже на 14%, а за методом Кп майже не змінилося.

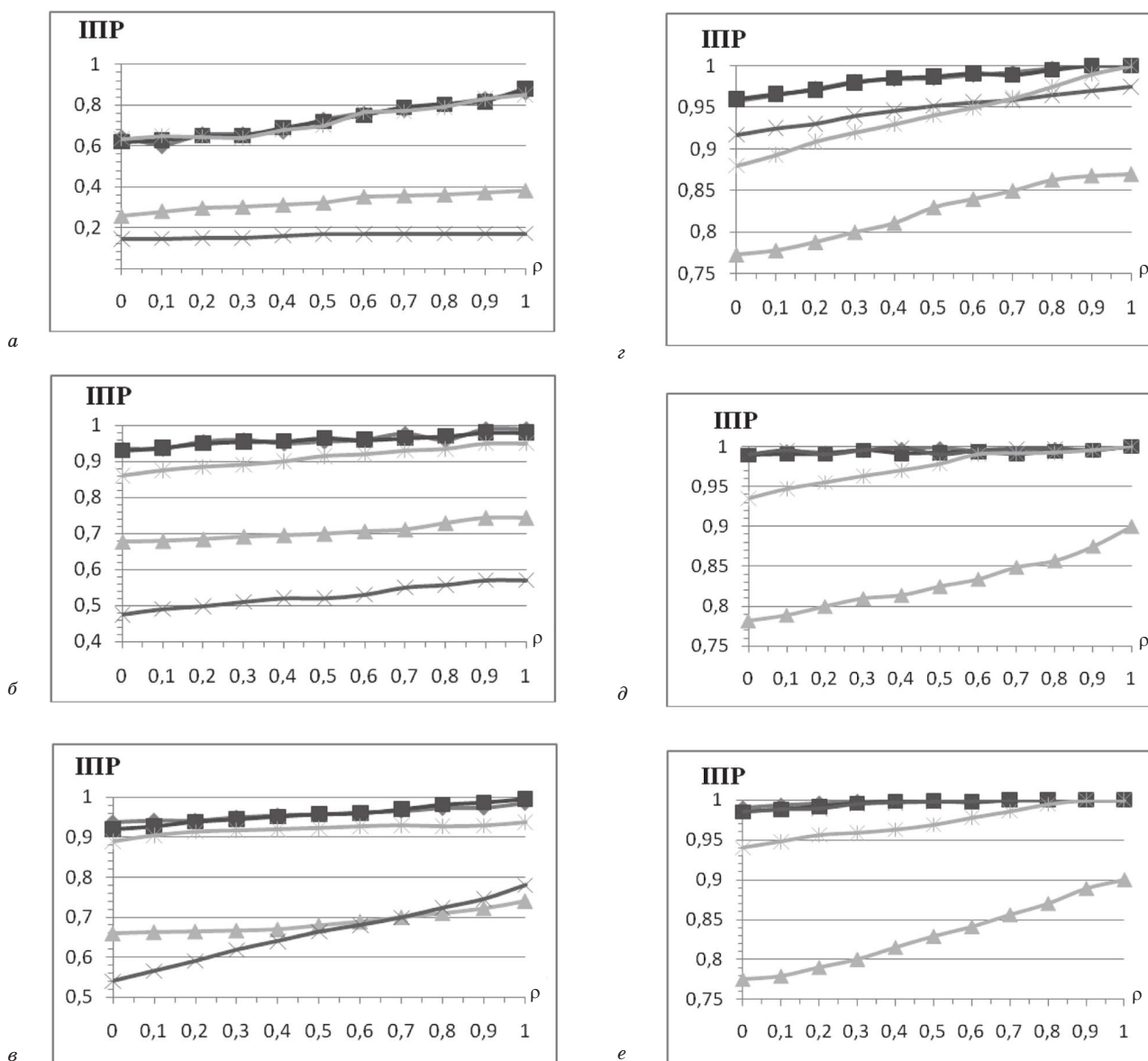


Рис. 1. Графіки залежності ІПР від коефіцієнта ρ міжознакової кореляції при різних кількості P ознак розпізнавання (а — $P = 2$; б — $P = 3$; в — $P = 4$; г — $P = 5$; д — $P = 6$; е — $P = 7$) для різних методів, що підлягали випробуванню: Кр (◆); Мh (■); Вc (▲); Кп (×); Th (✱)

У разі, коли кількість ознак розпізнавання зростає до трьох (див. рис. 1, б), збільшення ρ призводить до збільшення значення ІПР для методів Кр і Мh на 4%, а саме: від 0,94 до 0,98. Для методу Th приріст ІПР становив 9%, а саме: від 0,86 до 0,95. Для методів Вc і Кп спостерігається майже однаковий (на 8-9%) приріст ІПР.

Зі збільшенням кількості ознак розпізнавання до чотирьох (див. рис. 1, в) маємо незначне (6-9%) загальне зростання значення ІПР для методів Кр, Мh, Th і Вc. Натомість значення ІПР, обчислене за методом Кп, зросло на 24%, а саме: з 0,54 до 0,78. Таке зростання зумовлено більш тонкою структурою взаємозв'язків цього методу з коефіцієнтом ρ , причому зв'язки дедалі відчутніші при зростанні кількості P ознак розпізнавання. Аналізуючи графіки, наведені на рис. 1, г, коли $P = 5$, бачимо, що значення ІПР, розраховані методом Кп, перевищують аналогічні показники, розраховані методом Th. Для цих самих P , значення ІПР, знайдені за методами Кп, Кр і Мh, збігаються, істотно перевищуючи значення ІПР, обчислені методом Вc.

Графіки залежності $\sigma_B = f(\rho)$ при $P = 2$, наведені на рис. 2, підтверджують вірогідність здобутих результатів: середньоквадратичні відхилення значень ІПР від своїх математичних сподівань зі зростанням ρ повільно зменшуються для всіх запропонованих методів. Найгірші значення показників

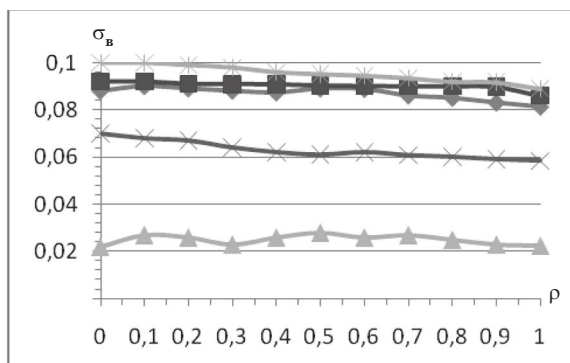


Рис. 2. Графіки залежності середньоквадратичного відхилення σ_B від коефіцієнта ρ у разі двох ознак розпізнавання ($P = 2$)

σ_B , що спостерігаються при розрахунках за методами Th, Мh та Кр, становлять близько 0,1-0,08. Меншу залежність значень σ_B від ρ маємо для методів Кп ($\sigma_B \approx 0,07-0,06$) і Вc ($\sigma_B \approx 0,02-0,022$).

Висновки

Як показують результати математичного моделювання, у разі обмеженої кількості P ознак розпізнавання існує дуже виразний вплив коефіцієнта ρ на значення ІПР для методів Кр, Мh і Th. Менша залежність ІПР від ρ спостерігається для модифікованого кореляційного методу. При $P > 5$ значення ІПР для методів Кп, Кр і Мh практично однакові, більші за аналогічні показники, розраховані методом Th. При цьому для методу Кп спостерігається значно менший розкид середньоквадратичного відхилення ІПР від свого математичного сподівання.

Отже, при розробці систем РЛР, які мають працювати в масштабі реального часу за обмеженої (не більше як 8) кількості ознак розпізнавання і незначної міжознакової кореляції доцільно застосовувати розроблений модифікований кореляційний метод або метод Кр, що забезпечують найменший обсяг обчислень.

Література

1. Небабин, В. Г. Методы и техника радиолокационного распознавания / В. Г. Небабин, В. В. Сергеев. — М.: Радио и связь, 1984. — С. 121.
2. Радиолокационное распознавание: учеб. пособие / [Я. Д. Ширман, С. А. Горшков, С. П. Лещенко, Г. Д. Братченко]. — Харьков: ХВУ, 1994.
3. Горелик, А. Л. Методы распознавания / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. — М.: Высш. шк., 1989.
4. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование / [Я. Д. Ширман, С. А. Горшков, С. П. Лещенко и др.] // Радиолокация и радиометрия. — 2000. — № 2. — 97 с.
5. Наконечный, В. С. Шляхи підвищення інформативності радіолокаційних дальнісних портретів повітряних об'єктів оперативного спостереження / В. С. Наконечний, В. А. Дружинін // Сучасний захист інформації. — 2013. — № 2. — С. 78–81.

В. С. Наконечный

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕЖДУПРИЗНАКОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ РАДИОЛОКАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

Проведен сравнительный анализ известных методов классификации объектов с модифицированным корреляционным методом, имеющий целью определить метод, наиболее эффективный при функционировании системы распознавания в условиях ограниченного времени и неопределенности законов распределения вектора признаков.

Ключевые слова: признак; вектор признаков; метод распознавания.

V. S. Nakonechny

IMPACT EVALUATION OF CORRELATION ON THE EFFECTIVENESS OF DISCRIMINATION METHOD OF OBJECTS OF RADIOLOCATING MONITORING

In the article the comparative analysis of the known methods of classification is conducted with modified cross-correlation one. The aim of the conducted estimation is to determine the most effective one at functioning of the system of recognition in the conditions of a limit time and vagueness of laws of distribution of vector of signs.

Keywords: sign; vector of signs; method of recognition.