

# Ознакова модель інтелектуальної ідентифікації радіолокаційних об'єктів

Володимир Жирнов<sup>1</sup> та Світлана Солонська<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166, Україна

<sup>2</sup> НТУ "Харківський політехнічний інститут", вул. Кирпичова 2, Харків 61002, Україна

## Анотація

Пропонується ознакова модель інтелектуальної ідентифікації радіолокаційних об'єктів, що використовує можливості експерта РЛС, який на основі даних про динаміку змін координат, форму, яскравість і багатооглядову передісторію зображень відміток, здатний ефективно ідентифікувати радіолокаційні об'єкти. Розроблено алгоритм автоматичної ідентифікації рухомих об'єктів на основі семантичних ознак. Показано, як цей підхід використовується для автоматичного виявлення й розпізнавання відміток повітряних і надводних об'єктів.

## Ключові слова

інтелектуальна ідентифікація, радіолокаційні об'єкти, розпізнавання, ознакова модель

## 1. Вступ

У сучасній техніці обробки сигналів та інформації недостатньо ефективно використовуються можливості експерта РЛС, який на основі даних про динаміку змін зображень відміток здатний ефективно ідентифікувати радіолокаційні об'єкти. Основною перевагою такого підходу є варіативний комплексний аналіз просторово-часової картини, що відображається на екрані індикатора. Застосування пропонованого методу під час формування і опису сигнального образу дозволяє визначати семантичні складові його поведінки та на їх основі розробляти системи автоматичної ідентифікації радіолокаційних об'єктів.

## 2. Метод інтелектуальної ідентифікації радіолокаційних об'єктів на основі ознакової моделі відміток

Розроблено метод ідентифікації радіолокаційних об'єктів на основі аналізу простору ознак. Перевага даного методу пов'язана з використанням додаткової інформації, яка отримана під час створення і аналізу інтелектуального зображення радіолокаційної відмітки, що включає образ об'єкта і семантичну складову. Пропонована модель включає процедури формування й аналізу зображень радіолокаційних відміток, визначення характеристик ознакового простору та автоматичне прийняття рішення щодо виявлення і розпізнавання радіолокаційних об'єктів.

Суть метода полягає у формуванні вектору прийняття рішення щодо виявлення й розпізнавання зображень радіолокаційних відміток за допомогою логічної обробки простору семантичних ознак  $W(I_g, I_s, I_f)$ , який задано на множині семантичних ознак зображень відміток  $\{I_1, I_2, \dots, I_k\}$  на основі геометричної  $\{I_{g1}, I_{g2}, \dots, I_{gk}\}$ , семантичної

$\{I_{s1}, I_{s2}, \dots, I_{sk}\}$  складових інтелектуальних зображень і флуктуаційної ознаки  $\{I_{f1}, I_{f2}, \dots, I_{fk}\}$ .

Визначимо через  $X$  множину об'єктів радіолокації. Ознака - це результат виміру деякої характеристики об'єкта, тобто відображення  $I: X \rightarrow D_I$ , де  $D_I$  - множина допустимих значень ознаки. Якщо задано ознаки  $I_1, I_2, \dots, I_n$ , то вектор  $x = (I_1(x), I_2(x), \dots, I_n(x))$  називається ознаковим описом об'єкта.

На основі системи ознак:  $Z_{pij}$  - наявності сигналу в  $a_{ij}$  інформаційній комірці ( $i, j$  - номери елементів зони огляду РЛС),  $Z_{dij}, Z_{aij}$  - переходу сигналу з поточної комірки  $a_{ij}$  до суміжної комірки за дальністю або азимут, сформовані складові інтелектуальної моделі зображень сигнальних відміток для точкових рухомих та малорухомих літальних апаратів: літак, вертоліт, БПЛА, це:

- ознаковий опис відмітки об'єкта радіолокації

$x_1 = \{I_1(Z_{pij}, Z_{dij}, Z_{aij}), \dots, I_n(Z_{pij}, Z_{dij}, Z_{aij})\}$ , створений на основі відношень між подіями в інформаційних комірках в ході формування віртуального просторово-семантичного зображення радіолокаційних відміток;

- множина ознак зображень радіолокаційних відміток

$X = (I_1(x_1), \dots, I_n(x_1)), \dots, (I_1(x_k), \dots, I_n(x_k))$  для  $k$  об'єктів на основі аналізу залежностей первинних семантичних ознак;

- формування матриці ознакових описів відміток об'єктів радіолокації, що створена на множині ознак зображень відміток  $\{I_s(X), I_g(X), I_e(X), I_f(X)\}$  на основі семантичної  $\{I_{s1}(x_1), I_{s2}(x_2), \dots, I_{sk}(x_k)\}$ , геометричної  $\{I_{g1}(x_1), I_{g2}(x_2), \dots, I_{gk}(x_k)\}$ , енергетичної  $\{I_{e1}(x_1), I_{e2}(x_2), \dots, I_{ek}(x_k)\}$  складових інтелектуальних зображень і флуктуаційної ознаки зображень відміток  $\{I_{f1}(x_1), I_{f2}(x_2), \dots, I_{fk}(x_k)\}$ .

Матриця розміру  $k \times n$ . Стовпці цієї матриці відповідають ознакам: семантична  $\{I_{s1}(x_1), I_{s2}(x_2), \dots, I_{sk}(x_k)\}$ , геометрична  $\{I_{g1}(x_1), I_{g2}(x_2), \dots, I_{gk}(x_k)\}$ , енергетична  $\{I_{e1}(x_1), I_{e2}(x_2), \dots, I_{ek}(x_k)\}$  складові інтелектуальних зображень і флуктуаційна ознака зображень відміток  $\{I_{f1}(x_1), I_{f2}(x_2), \dots, I_{fk}(x_k)\}$ , а кожен рядок є ознаковою характеристикою зображення відмітки одного об'єкта радіолокації. На рисунку 1 наведено зразок матриці.

|               |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| $I_{s1}(x_1)$ | $I_{g1}(x_1)$ | $I_{e1}(x_1)$ | $I_{f1}(x_1)$ |
| $I_{s2}(x_2)$ | $I_{g2}(x_2)$ | $I_{e2}(x_2)$ | $I_{f2}(x_2)$ |
| ...           | ...           | ...           | ...           |
| $I_{sk}(x_k)$ | $I_{gk}(x_k)$ | $I_{ek}(x_k)$ | $I_{fk}(x_k)$ |
|               |               |               |               |

**Рисунок 1.** Матриця ознакових характеристик інтелектуальних зображень відміток  $k$  об'єктів радіолокації.

### 3. Предикатні рівняння ідентифікації

Наведені моделі ідентифікації  $S_j$  інтелектуальних зображень для об'єктів радіолокації описуються так:

1. Точковий нерухомий об'єкт радіолокації місцевий предмет: тип зображення  $S_1$ , семантична ознака процесу формування зображення відмітки  $I_{s1}(x_1) = 1$  при діапазонах зміни ознаки розміру відмітки за азимут  $C1 \leq D_{s1}^1(x_1) \leq C2$ , розміру відмітки за дальністю  $C3 \leq D_{s1}^2(x_1) \leq C4$ ; енергетична ознака  $I_{e1}(x_1) = 1$  інтелектуальної моделі зображення пачки сигналів при сумі добутків амплітуд сигналів на предикати інформаційних комірок пачки у напрямку, що визначається вектором  $(l_n)$   $D_{e1}^l(x_1) =$

$\sum_{l_1}^{l_n} q_{i,j+l_n} Z_{ai,j+l_n} > E1$ . Тут  $C1$  та  $C2$  – мінімальна і максимальна тривалість пачок відміток за азимутом,  $C3$  та  $C4$  – мінімальна і максимальна тривалість пачок відміток за дальністю,  $E1$  – мінімальне значення енергетичної ознаки.

Предикатне рівняння ідентифікації має вид

$$S_1 = I_{s1}(x_1) \wedge I_{e1}(x_1). \quad (1)$$

2. Точковий малорозмірний, малозшвидкісний рухомий об'єкт радіолокації спортивний літак, вертоліт, БПЛА: тип зображення  $S_2$ , семантична ознака процесу формування зображення відмітки  $I_{s2}(x_2) = 1$  при діапазонах зміни ознаки розміру відмітки за азимутом  $C5 \leq D_{s2}^1(x_2) \leq C6$  і ознаки розміру відмітки за дальністю  $C7 \leq D_{s2}^2(x_2) \leq C8$ ; енергетична ознака  $I_{e2}(x_2) = 1$  інтелектуальної моделі зображення пачки сигналів при сумі добутків амплітуд сигналів на предикати інформаційних комірок пачки у напрямку, що визначається вектором  $(l_n)$   $D_{e2}^1(x_2) = \sum_{l_1}^{l_n} q_{i,j+l_n} Z_{ai,j+l_n} > E2$ ; флуктуаційна ознака зображень відміток  $I_{f2}(x_2) = 1$ , коли підпростір значень спектрально-семантичної ознаки відмітки для оцінки швидкості руху об'єкта визначається ознакою  $D_{f2}^1(x_2)$  амплітудних флуктуацій пачки (для малих доплерівських зміщень частоти), з урахуванням амплітудних даних  $q_{i,j}$ , використовуючи дані про форму, визначаємо ознаку флуктуації як допустиму різницю амплітуд відповідних комірок  $D_{f2}^1(x_2) = 1$  при  $\Delta g = qmin_{max}$  та ознаку одиночної групи одиниць  $D_{f2}^2(x_2) = 1$  при  $F1=2$  (для одиночної групи зімкнутих одиниць у множині результат підсумовування завжди дорівнює двом). Тут  $C5$  та  $C6$  – мінімальна і максимальна тривалість пачок відміток за азимутом,  $C7$  та  $C8$  – мінімальна і максимальна тривалість пачок відміток за дальністю,  $E2$  – мінімальне значення енергетичної ознаки,  $F1$ – арифметична сума предикатів у предикатній функції  $F(y)$ .

Предикатне рівняння ідентифікації має вид

$$S_2 = I_{s2}(x_2) \wedge I_{e2}(x_2) \wedge I_{f2}(x_2). \quad (2)$$

3. Точковий рухомий об'єкт радіолокації літак: тип зображення  $S_3$ , семантична ознака процесу формування зображення відмітки  $I_{s3}(x_3) = 1$  при діапазонах зміни ознаки розміру відмітки за азимутом  $C9 \leq D_{s3}^1(x_3) \leq C10$  і ознаки розміру відмітки за дальністю  $C11 \leq D_{s3}^2(x_3) \leq C12$ ; енергетична ознака  $I_{e3}(x_3) = 1$  інтелектуальної моделі зображення пачки сигналів (відмітки) при сумі творів добутків амплітуд сигналів на предикати інформаційних комірок пачки у напрямку, що визначається вектором  $(l_n)$ ,  $D_{e3}^1(x_3) = \sum_{l_1}^{l_n} q_{i,j+l_n} Z_{ai,j+l_n} > E3$ ; семантична ознака флуктуації зображень відміток  $I_{f3}(x_3) = 1$ , коли підпростір значень спектрально-семантичної ознаки відмітки з метою оцінки швидкості руху об'єкта визначається як: ознака одиночної групи одиниць  $D_{f3}^2(x_3) = 1$  при  $F1=2$ ; ознака двох або більше груп одиниць при  $F1=4$  або  $F1=6$  (для двох або більше груп зімкнутих одиниць у множині результат підсумовування завжди дорівнює 4 або 6); ознака кількості нулів між групами одиниць  $D_{f3}^4(x_3) = 1$  при  $L_1 \leq 3$  класифікує прийнятий сигнал як літак, а при  $L_i > 3$  - як заваду; ознака кількості нулів від початку координат до першої групи одиниць  $D_{f3}^5(x_3) = 1$  при  $L_0 > 5$  класифікує прийнятий сигнал як літак. Тут  $C9$  та  $C10$  – мінімальна і максимальна тривалість пачок відміток за азимутом,  $C11$  та  $C12$  – мінімальна і максимальна тривалість пачок відміток за дальністю,  $E3$  – мінімальне значення енергетичної ознаки,  $F1$ – арифметична сума предикатів у функції  $F(y)$ .

Предикатне рівняння ідентифікації має вид

$$S_3 = I_{s3}(x_3) \wedge I_{e3}(x_3) \wedge I_{f3}(x_3). \quad (3)$$

#### 4. Практичне значення одержаних результатів

Проведено модельні експерименти з перевірки ефективності виявлення й ідентифікації літальних апаратів. Для порівняльної оцінки ефективності технології використовувалися семантичні та енергетичні ознаки інтелектуальної моделі сигнальної відмітки.

З аналізу результатів випливає, що при малих значеннях відношення сигнал/шум ймовірність виявлення й розпізнавання, за умови використання запропонованої технології обробки, значно вище, ніж за умови використання енергетичної (класичної) обробки. При відношенні сигнал/шум від 5 до 20 спільна можливість ймовірності виявлення й розпізнавання збільшується на величину від 0,328 до 0.497.

#### 5. Висновки

Розроблена ознакова модель ідентифікації радіолокаційних об'єктів, таких як літак, вертоліт, БПЛА. Розроблено технологію формування й аналізу зображень радіолокаційних відміток, створено простір семантичних ознак для опису відміток об'єктів радіолокації, а також перелік операцій обробки.

#### References

- [1] Skolnik M. I. (eds) (2021) Radar Handbook, McGraw-Hill, New York
- [2] V. Zhyrnov, S. Solonska, Symbolic model of radar images when detecting aircraft, Telecommunications and Radio Engineering, Vol. 81-2, 2022, pp. 25-35.
- [3] В.В. Жирнов, С.В. Солонська, Інтелектуальна модель зображень відміток радіолокаційних об'єктів для оглядових РЛС, Радіотехніка, Вип. 212, 2023, с. 148-154.
- [4] В.В. Жирнов, С.В. Солонська Методи логічної обробки зображень відміток радіолокаційних об'єктів на основі семантичних ознак, Радіотехніка, Вип. 216, 2024, с. 120-125.