

УДК 621.321.96

І.Є. Ряполов

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

## ВИКОРИСТАННЯ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ В РЛС З ПОВНИМ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИМ ЗОНДУВАННЯМ ПРОСТОРУ

*Запропоновано використання кластеризації в РЛС з повним поляризаційним зондуванням простору в цілях скорочення часу того, що витрачається на обчислювальні витрати при виконанні процесу виявлення-розпізнавання цілей*

*кластеризація, повне поляризаційне зондування простору*

### Вступ

**Постановка проблеми.** Аналіз розвитку аеродинамічних засобів нанесення першого удару, засобів розвідки, а також досвід бойових дій у деяких збройних конфліктах останнім часом показує, що істотну небезпеку для військ і об'єктів прикриття можуть становити цілі з малою ефективною поверхнею розсіяння (ЕПР).

До таких цілей можна віднести безпілотні літальні апарати, зокрема розвідувально-ударні, літаки, виконані за технологією "Стелс" та інші.

Вирішення задач виявлення таких цілей радіолокаційними засобами часто буває складним, а своєчасний обстріл може бути неможливим. Одним з важливих завдань є завдання істотного підвищення можливостей РЛС при виявленні і розпізнаванні цілей з малою ЕПР.

У складній заводській обстановці, коли просторово-часові, частотні відмінності сигналів і завод не істотні, доцільно використання й інших відмінностей, зокрема поляризаційних. Метод ППЗП є найбільш інформативним для їх виділення [1].

ППЗП припускає випромінювання двох складних ортогональних за внутрішньою структурою сигналів на ортогональних поляризаціях і повний поляризаційний прийом всіх складових відбитих сигналів [1].

Ефективність відомих алгоритмів виявлення з використанням методу ППЗП може бути значно поліпшено при виявленні цілей, тип яких апріорі відомий. Незнання даної інформації про тип цілі вимушує будувати алгоритм багатоканальний за безліччю цілей.

З огляду на те, що безліч типів цілей може бути величезною, і вимоги до обчислювальних витрат важко реалізувані, стає **актуальним** завдання проведення дослідження щодо вирішення задачі кластеризації цілей, кількість яких буде істотно менша за весь парк цілей можливих об'єктів локації РЛС.

**Аналіз літератури.** Для скорочення часу того,

що витрачається на обчислювальні витрати при виконанні процесу виявлення-розпізнавання цілей, одним із способів може служити використання кластеризації цілей.

Як відомо [3], класифікація – це впорядкування об'єктів за їх схожістю, включаючи процеси і дії, тобто все, чому можна приписати вектор дескрипторів (вектор ознак). Загальна постановка завдання класифікації є стохастичною, оскільки вектори ознак через шуми і завади завжди мають імовірнісний розподіл.

Оскільки на процес вимірювання сигналу, відображеного від цілі, впливає кількість різних чинників, то вектори дескрипторів групуються біля сигнатур об'єктів, залишаючи розділяючий простір слабо заповненим.

Таким чином, виникає завдання кластеризації – розбиття деякої початкової множини на класи за тим або іншим критерієм близькості або схожості [3].

Розміри кластерів у просторі дескрипторів визначаються заданою мірою схожості ознак усередині кластера. Варіації міри ідентичності ознак змінюють розміри кластера і кількість об'єктів, які можуть бути віднесені при розпізнаванні до даного класу. Рівномірність класів визначається тим, що об'єкти з одного кластера подібніші один одному, ніж об'єкти інших кластерів.

**Метою статті** є оцінка можливості використання кластеризації для оптимізації відомих алгоритмів виявлення цілей у РЛС з повним поляризаційним зондуванням простору.

### Основна частина

Більшість реальних радіолокаційних цілей, зокрема аеродинамічних (літаки і т.п.), балістичних (бойові головки ракет й ін.) та орбітально-космічних (штучні супутники Землі), мають розміри, що значно перевищують довжину хвилі опромінюючих їх коливань. Конфігурація їх поверхні, як правило, дуже складна. Опуклі і гладкі елементи поверхні реальних цілей є «блискучі крапки». Разом з «блискучими» на

поверхні цілі можуть бути резонансні елементи і шорткі ділянки з дифузним розсіянням. Роль дифузного розсіювання зростає з укороченням довжини хвилі.

Діаграми зворотного вторинного випромінювання реальних цілей мають багатопелюстковий характер. Ширина пелюсток залежить від відношення лінійних розмірів цілі до довжини хвилі, а її оцінка (наприклад, для рівня половинної потужності) може бути проведена за формулою:

$$\Delta\theta \approx \lambda_0 / 2 \cdot I_e, \quad (1)$$

де  $I_e$  – деякий еквівалентний розмір цілі.

Чим коротша довжина хвилі, тим вужче пелюстки діаграми зворотного вторинного випромінювання.

Складний характер геометричної форми реальних цілей утруднює теоретичну оцінку їх ефективної поверхні. Тому часто користуються одержаними з експерименту діаграмами зворотного вторинного випромінювання і значеннями ефективної поверхні, необхідними, наприклад, при розрахунку дальності дії радіолокатора для скалярної поляризації (табл. 1). Вимірювання проводяться як за реальними цілями, так і на моделях. В останньому випадку вторинне випромінювання моделі зіставляється з вторинним випромінюванням еталона (кулі з розмірами, що значно перевищують довжину хвилі  $\lambda$ ). Величина  $\lambda$  зменшується пропорційно масштабу моделювання.

Таблиця 1

Відповідність типу радіолокаційної цілі і її середньої ефективної поверхні розсіювання

№ з/п	Тип радіолокаційної цілі	ЭПР, м <sup>2</sup>
1	Дальній бомбардувальник	10...50
2	Середній бомбардувальник	5...20
3	Винищувач	1...5
4	Крилата ракета	0,3...0,8
5	Літак, який виконаний за технологією "Stelth"	1...10 <sup>-2</sup>

Для більшості аеродинамічних цілей ефективна поверхня залежить від ракурсу, але її усереднене значення практично не залежить від довжини хвилі.

На рис. 1 як приклади наведені діаграми зворотного вторинного випромінювання літаків В-26, зняті при  $\lambda = 3$  см і  $\lambda = 10$  см. Найбільші значення ефективної поверхні відповідають опромінюванню з борту. Діапазон зміни  $\sigma(\theta)$  великий і досягає 30 – 35 дБ на сантиметрових хвилях.

Діаграми зворотного вторинного випромінювання можуть змінюватися при зміні виду поляризації.

При опромінюванні реальних об'єктів, крім того, має місце явище деполіризації, коли поляризація поля в точці прийому відрізняється від поляризації зондуючих коливань.

Ступінь деполіризації визначається електричними властивостями і формою об'єкту, залежить від довжини хвилі й умов поширення.

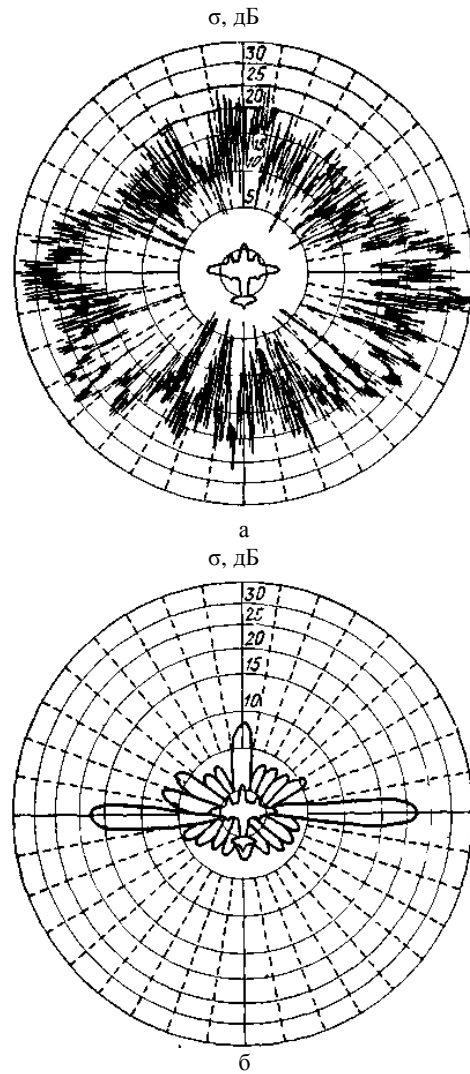


Рис. 1. Діаграми зворотного вторинного випромінювання літака В-26 у горизонтальній площині при  $\lambda = 3$  см (а) і  $\lambda = 10$  см (б) при горизонтальній поляризації на випромінювання і прийом

При віддзеркаленні від об'єктів складної форми ефект деполіризації може привести до втрати енергії, що приймається. Поле в точці прийому, як правило, еліптично поляризовано, незалежно від поляризації первинної хвилі [2]. Так, при опромінюванні літака лінійно поляризованою хвилею сантиметрового діапазону частина енергії вторинного поля ( $\approx 10$  дБ) доводиться на поперечну поляризацію. Втрати енергії, що приймається, при круговій поляризації опромінюючих коливань іноді (за наслідками вимірювань на  $\lambda = 3$  см) досягають 3 дБ, що пов'язано з неоднаковим зсувом фаз ортогональних компонентів відображеного поля.

Поляризаційні ефекти можуть бути використані для підвищення якості виявлення корисних сигналів аеродинамічних цілей, що приймаються на фоні віддзеркалень гідрометеорів, що заважають. Реальні цілі, що не мають симетрії, створюють вторинне поле, один з компонентів якого обов'язково буде прийнятий антеною.

Дослідження поляризації відображеного сигналу

дозволяє також одержати деяку інформацію про електричні характеристики і форму цілі.

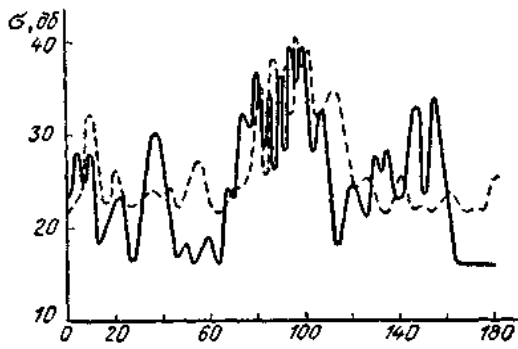


Рис. 2. Залежність величини ефективного поверхні літака від поляризації при різних ракурсах.:  
 ----- вертикальна поляризація  
 ————— горизонтальна поляризація

У загальному випадку залежність ефективного поверхні від поляризації опромінюючих коливаний зручно, з погляду практичних додатків, представляти поляризаційною матрицею розсіяння:

$$\vec{S} = \begin{pmatrix} |s_{11}| \cdot e^{j\varphi_{11}} & |s_{12}| \cdot e^{j\varphi_{12}} \\ |s_{21}| \cdot e^{j\varphi_{21}} & |s_{22}| \cdot e^{j\varphi_{22}} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де  $\hat{s}_{ik}$  – комплексний елемент ПМР ( $i, k = 1, 2$ ), причому  $i$  – номер приймального поляризаційного каналу,  $j$  – передавального;  $s_{ik}$  – амплітуда елемента ПМР, причому  $s_{ik}^2$  – ефективна поверхня розсіяння цілі на основних ( $i = k$ ) і перехресних ( $i \neq k$ ) поляризаціях [1].

Оскільки в РЛС з ППЗП передбачені незалежні канали прийому і передачі для ортогональних видів поляризації, то можливо отримання інформації в чотирьох режимах, для кожного з яких можуть бути виміряні амплітуда й фаза коливання, що приймається, щодо деякого опорного, тобто визначена поляризаційна матриця розсіяння.

Таким чином, виникають передумови кластеризації всього парку аеродинамічних об'єктів на безліч класів за сумарним значенням ЕПР  $S_{\Sigma}^2$  елементів ПМР, яке розраховується відповідно до виразу:

$$S_{\Sigma}^2 = \sqrt{(s_{11}^2)^2 + (s_{21}^2)^2 + (s_{12}^2)^2 + (s_{22}^2)^2}, \quad (3)$$

де  $s_{ik}^2$  – ефективна поверхня розсіяння цілі на основних ( $i = k$ ) і перехресних ( $i \neq k$ ) поляризаціях.

Аналіз якості відомих непараметричних тестів для випадкового нормального шуму показує, що деякі з них (зокрема рангові) трохи поступаються за ефективністю оптимальним. У той же час при зміні розподілу шуму рангові алгоритми ефективніші, ніж класичні, які в нових умовах стають вже неоптимальними [4]. Ця

корисна властивість непараметричних тестів зберігати в певних межах свої характеристики при зміні заводої обстановки прийнято називати робастістю [4].

Для детальнішого розбиття об'єктів усередині класу пропонується використовувати ранг коваріаційно-поляризаційної матриці (КПМ), яка визначає ступінь статистичного взаємозв'язку і розраховується відповідно до виразу:

$$\dot{M} = 1/2 \langle \vec{S} \cdot \vec{S}^{*T} \rangle, \quad (4)$$

де  $\langle \dots \rangle$  – оператор статистичного усереднювання;  $\vec{S}$  – поляризаційний вектор розсіяння;  $*T$  – знак комплексного сполучення і транспонування відповідно.

Як відомо [1], ранг КПМ для аеродинамічних цілей лежить у межах від 1 до 3. Виходячи з викладеного, пропонується розбивати об'єкти усередині класу на три класи, за числом рангу.

У результаті проведеної кластеризації одержана така схема:

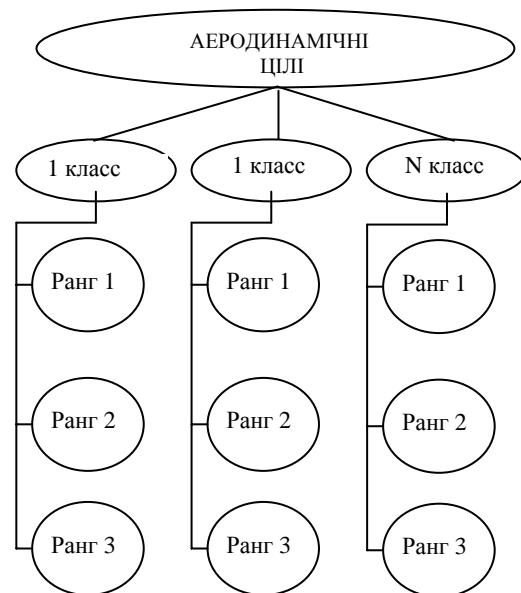


Рис. 3. Кластеризація всього парку аеродинамічних цілей

На рис. 3 представлений результат кластеризації всього парку аеродинамічних цілей у вигляді схеми за запропонованими критеріями, а саме:

- за максимальним значенням ЕПР ПМР;
- ранг аеродинамічної мети у відповідному класі.

### Висновки

Для вирішення задачі кластеризації всього парку цілей РЛС з повним поляризаційним зондуванням простору як критерії пропонується використовувати:

- сумарне значення ЕПР поляризаційної матриці розсіяння цілі;

– ранг аеродинамічної цілі у відповідному класі.

Запропонована структура кластеризації цілей радіолокації дозволяє скорочувати час, що витрачається на обчислювальні витрати при виконанні процесу виявлення-розпізнавання цілей, завдяки зменшенню типів цілей тих, що підлягають розпізнаванню.

### Список літератури

1. Храбростін Б.В., Мартинчук А.А., Зубрицький Г.Н. Застосування методу повного поляризаційного зондування простору в РЛС // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта. Сб. научн. праць ХГПУ. – Х.:1998. – Вип. 6, Ч. 1. – 567 с.

2. Теоретичні основи радіолокації. Під ред. Ширмана Я.Д. Навчальний посібник для втузів. – М.: Радянське радіо,

1970. – 560 с.

3. Вопросы перспективной радиолокации. Коллективная монография / Под ред. А.В. Соколова. – М.: Радиотехника, 2003. – 512 с.

4. Акимов П.С., Ефремов В.С. Непараметрическая последовательная процедура обнаружения // Радиотехника и электроника. – 1974. - Т. 19, № 7. – С. 15-27.

Надійшла до редколегії 17.09.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.В. Єрмаков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.