

УДК 621.396.96

Д.Г. Васильєв

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СУМАРНОГО СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНОГО РОЗМІРУ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ЦІЛІ ПО ВЗАЄМНІЙ КОРЕЛЯЦІЙНІЙ ФУНКЦІЇ ІНТЕНСИВНОСТЕЙ ВІДБИТИХ БАГАТОЧАСТОТНИХ СИГНАЛІВ ОРТОГОНАЛЬНИХ ПОЛЯРИЗАЦІЙ

Запропоновано метод визначення сумарного середньоквадратичного розміру цілі по взаємній кореляційній функції інтенсивностей відбитих багаточастотних сигналів ортогональних поляризацій.

**Ключові слова:** радіолокаційна ціль, багаточастотний сигнал, взаємна кореляційна функція, основна та кросова поляризації, середньоквадратичний розмір.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Останнім часом в науково-технічній літературі з'явилася велика кількість публікацій по використанню багаточастотних сигналів (БЧС) для вирішення різних задач радіолокації. Також розглядаються питання аналізу інформації, що отримується при обробці БЧС в радіолокаційних станціях (РЛС) різного призначення, які працюють в різних діапазонах довжин хвиль. При обробці таких сигналів з'являється можливість визначення геометричних характеристик радіолокаційних цілей (РЛЦ), які можуть бути використані в якості додаткових ознак розпізнавання повітряних та наземних об'єктів локації. Подальший розвиток отримують методи визначення ознак розпізнавання РЛЦ при використанні БЧС. Тому розробка методів і пристроїв визначення геометричних характеристик РЛЦ, що спостерігаються, при використанні РЛС різних типів БЧС є актуальною науково-технічною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У ряді робіт [1 – 6] детально розглянута інформація, яка отримується при обробці відбитого БЧС, що приймається як однопозиційними, так і рознесеними в просторі РЛС. В [3] розглянуто метод визначення середньоквадратичного розміру РЛЦ в якості ознаки розпізнавання при використанні відбитого некогерентного БЧС. У монографії [7] детально розглянуті питання отримання ознак розпізнавання РЛЦ по поляризаційній матриці розсіяння при суміщеному і рознесеному прийомах. В роботі [8] розглянута та проаналізована інформація, яка міститься у відбитому БЧС, що приймається РЛС на ортогональних поляризаціях. Метод визначення геометричних характеристик РЛЦ по взаємній кореляційній функції інтенсивностей відбитих БЧС ортогональних поляризацій в якості ознак розпізнавання не розглядався.

**Метою статті** є розробка методу визначення сумарного середньоквадратичного розміру РЛЦ по взаємній кореляційній функції інтенсивностей відбитих БЧС ортогональних поляризацій.

### Основний матеріал

В роботі [8] проаналізовано інформацію про геометричні характеристики РЛЦ, яку можна отримати з комплексної огинаючої взаємної кореляційної функції (ВКФ) радіолокаційного портрету РЛЦ, що визначається по основній і кросовій компонентам БЧС. Після дискретизації отриманий вектор відліків ВКФ радіолокаційного портрету можна використовувати як вектор ознак розпізнавання.

Проте, є можливість скоротити розмірність вектора, переходячи до інтегральної характеристики, так званого сумарного середньоквадратичного розміру РЛЦ ( $L_{\Sigma}$ ).

Сумарний середньоквадратичний розмір РЛЦ визначається періодом амплітудної модуляції огинаючої взаємного енергетичного спектру, що обчислюється по багаточастотних пачках ортогональних поляризацій і описує ефективний подовжній розмір РЛЦ, який складається з основної і деполаризуючої компоненти і міститься в реалізації огинаючої ВКФ БЧС ортогональних поляризацій.

Квадрат модуля комплексною огинаючою ВКФ БЧС матиме вигляд

$$G(t) = |R_o(t)|^2 = \left| \sum_{k=1}^M Y_{ok} Y_{kp,k} \exp \{ (j2\pi k \Delta f t + \Delta \varphi_k) \} \right|^2 \quad (1)$$

Функція  $G(t)$  матиме періодичний характер, унаслідок чого можна розглянути її на інтервалі

$$\left[ -\frac{T}{2}; \frac{T}{2} \right], \text{ де } T = \frac{1}{\Delta f}.$$

Другий момент функції  $G(t)$  характеризуватиме сумарну протяжність цілі і її деполаризуючої частини в проекції на лінію візування РЛС. З метою усунення залежності другого моменту від потужності ехо-сигналів, можна провести попереднє нормування  $G(t)$

$$G_H(t) = \frac{G(t)}{\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} G(t) dt} \quad (2)$$

і визначити другий момент

$$Q^2 = \frac{\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} t^2 G(t) dt}{\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} G(t) dt},$$

який є оцінкою дисперсії координат дальності відбиваючих і деполяризуючих сигнал елементів РЛЦ. Виражений в одиницях довжини параметр Q є, по суті, сумарним середньоквадратичним розміром основної і деполяризуючої компонент РЛЦ.

Визначимо знаменник у формулі (2), виходячи з виразу (1):

$$\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} G(t) dt = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \sum_{k=1}^M \sum_{n=1}^M Y_{ok} Y_{kp} Y_{on} Y_{np} \times \exp\{j(2\pi k \Delta f t + \Delta\phi_k)\} \times \exp\{j(2\pi n \Delta f t + \Delta\phi_n)\} dt.$$

Замінивши межі інтеграції:  $\frac{T}{2} \rightarrow \frac{1}{2\Delta f}$ ,

$-\frac{T}{2} \rightarrow -\frac{1}{2\Delta f}$ , маємо

$$\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} G(t) dt = \sum_{k=1}^M \sum_{n=1}^M Y_{ok} Y_{kp} Y_{on} Y_{np} \times \exp\{j(\Delta\phi_k - \Delta\phi_n)\} \quad (3)$$

$$L_\Sigma = \frac{c}{2\Delta f \eta} \sqrt{\frac{\frac{1}{M-1} \sum_{k=1}^{M-1} (Y_{ok}^2 Y_{kp,k}^2 + Y_{ok+1}^2 Y_{kp,k+1}^2 - 2Y_{ok} Y_{kp,k} Y_{ok+1} Y_{kp,k+1} \cos(\Delta\phi_k - \Delta\phi_{k+1}))}{\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M Y_{ok}^2 Y_{kp,k}^2}} \quad (4)$$

Ознаку розпізнавання  $L_\Sigma$ , як видно з отриманого виразу (4), вільний від впливу потужності ехо-сигналу основної і кросової поляризацій, оскільки проведено нормування.

Очевидно, що за наявності відбитого від РЛЦ БЧС тільки основний, або тільки кросовою поляризацій, ВКФ БЧС цілі трансформуються в некогерентний портрет (автокореляційну функцію), а сумарний середньоквадратичний розмір – в середньоквадратичний розмір РЛЦ, що отримується на відповідній поляризації

$$\frac{1}{2\Delta f} \times \int_{-\frac{1}{2\Delta f}}^{\frac{1}{2\Delta f}} \exp\{j2\pi \Delta f (k-n)t\} dt = \frac{1}{\Delta f} \sum_{k=1}^M Y_{ok}^2 Y_{kp,k}^2.$$

З урахуванням виразу (3) можливо записати:

$$G_H(t) = \frac{G(t)}{\left\{ \frac{1}{\Delta f} \sum_{k=1}^M Y_{ok}^2 Y_{kp,k}^2 \right\}};$$

$$Q^2(t) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} t^2 G(t) dt}{\left\{ \frac{1}{\Delta f} \sum_{k=1}^M Y_{ok}^2 Y_{kp,k}^2 \right\}}.$$

Скориставшись рівністю Парсеваля і враховуючи, що взаємний енергетичний спектр сигналів основної і кросової поляризацій

$$E(f) = Y_o(f) Y_{kp}(f) = \sum_{k=1}^M Y_{ok} Y_{kp,k} \exp\{j\Delta f_k\} \delta(f - f_k)$$

можливо записати

$$\int_{-\infty}^{\infty} t^2 G(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} t^2 |R_o(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{d}{df} E(f) \right|^2 df.$$

Переходячи до кінцевих меж інтеграції і замінюючи інтеграл сумою, а похідну першою різницею, маємо

$$\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} t^2 G(t) dt = \frac{1}{\Delta f} \sum_{k=1}^M \left| \frac{d}{df} [Y_{ok} Y_{kp,k} \exp(j\Delta\phi_k)] \right|^2 \approx \frac{1}{\Delta f} \cdot \frac{M}{M-1} \sum_{k=1}^{M-1} \left| \frac{1}{\Delta f} [Y_{ok} Y_{kp,k} \exp(j\Delta\phi_k) - Y_{ok+1} Y_{kp,k+1} \exp(j\Delta\phi_{k+1})] \right|^2.$$

Тоді

$$L_{o(kp)} = \frac{c}{2\Delta f \eta} \sqrt{\frac{\frac{1}{M-1} \sum_{k=1}^{M-1} (Y_{o(kp)k}^2 - Y_{o(kp)k+1}^2)}{\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M Y_{o(kp)k}^4}}.$$

Коефіцієнт  $\eta$  в виразі (4) рівний 3,14, що дозволяє отримати оцінки L, які близькі до реальних подовжніх розмірів РЛЦ.

Природно припустити, що, оскільки при розрахунку  $L_\Sigma$  використовувалися, окрім відліків амплі-

тудно-частотного спектру БЧС, відліки його фазочастотного спектру, то ознака  $L_{\Sigma}$ , з погляду його інформативності, буде ефективніше  $L_0$  або  $L_{кр}$ .

Як видно з отриманого виразу (4), алгоритм практичного обчислення  $L_{\Sigma}$  досить просто реалізувати. Використання ж сумарного середньоквадратичного розміру як ознаки розпізнавання РЛЦ дозволить істотно понизити ресурс пам'яті пристрою розпізнавання, оскільки не буде потрібно докладне знання еталонів.

### Висновки

Метод визначення сумарного середньоквадратичного розміру РЛЦ полягає в обчисленні другого моменту від квадрата модуля комплексною огинаючою ВКФ БЧС ортогональних поляризацій. Цей розмір характеризує сумарну протяжність РЛЦ і її деполаризуючої частини в проекції на лінію візування РЛС. Використання сумарного середньоквадратичного розміру в якості ознаки розпізнавання РЛЦ дозволяє істотно понизити ресурс пам'яті пристрою розпізнавання, оскільки не вимагає докладного знання еталонів.

### Список літератури

1. Вишин Г.М. Многочастотная радиолокация / Г.М. Вишин. – М.: Радио и связь, 1986. – 183 с
2. Гьесинг Г.Т. Радиолокация с адаптирующимся к цели согласованным подсветом: Принципы и приложения. Серия по электронным волнам института электротехнических инженеров. Том 22. Великобритания: Лондон, 1986. – 103 с.

3. Радиолокационные признаки распознавания при многопозиционной локации / [Е.Л. Казаков, В.Б. Бзот, А.Е. Казаков, В.Л. Павлов]; под ред. Е.Л. Казакова. – Х.: АСЭ, 2005. – 188 с.

4. Казаков Е.Л. Анализ информации, содержащейся в автокорреляционной функции квадратов амплитуд отраженных многочастотных сигналов, принимаемых вынесенной РЛС / Е.Л. Казаков, Д.Г. Васильев // Збірник наукових праць Об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил – Х.: ОНДІ ЗС, 2007. – Вип. 1(6). – С. 102-106.

5. Казаков Е.Л. Распознавание воздушных целей по некогерентному многочастотному сигналу с учетом поляризации в разных диапазонах длин волн / Казаков Е.Л., Васильев Д.Г., Казаков А.Е.; под ред. Е.Л. Казакова. – Х.: КП "Типография № 13", 2009. – 165 с.

6. Казаков Е.Л. Распознавание радиолокационных целей по сигнальной информации / Казаков Е.Л., Васильев Д.Г., Казаков А.Е., Рыжов Д.Н., Коломийцев О.В.; под ред. Е.Л. Казакова. – Х.: КП "Міська друкарня", 2010. – 232 с.

7. Казаков Е.Л. Радиолокационное распознавание космических объектов по поляризационным признакам / Е.К. Евгений. – Одесса: Одес. ин-т управления и менеджмента, 1999. – 230 с.

8. Казаков Е.Л. Анализ информации о радиолокационной цели, содержащейся во взаимной корреляционной функции амплитуд отраженных многочастотных сигналов ортогональных поляризацій / Е.Л. Казаков, Д.Г. Васильев // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ Н і У», 2009. – Вип. 3(11). – С. 45-48.

Надійшла до редколегії 1.03.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, ст. наук. співробітник В.О. Василюк, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОГО СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОГО РАЗМЕРА РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ЦЕЛИ ПО ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ОТРАЖЕННЫХ МНОГочАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПОЛЯРИЗАЦИЙ

Д.Г. Васильев

Предложен метод определения суммарного среднеквадратического размера радиолокационной цели по взаимной корреляционной функции интенсивностей отраженных многочастотных сигналов ортогональных поляризацій.

**Ключевые слова:** радиолокационная цель, многочастотный сигнал, взаимная корреляционная функция, основная и кроссовая поляризацій, среднеквадратический размер.

### THE DETERMINATION METHOD OF TOTAL ROOT-MEAN-SQUARE SIZE OF RADAR TARGET ON CROSSCORRELATION FUNCTION INTENSITIES OF REFLECTED MULTIFREQUENCY ORTHOGONAL POLARIZATIONS SIGNALS

D.G. Vasiliev

The determination method of total root-mean-square size of radar target on the crosscorrelation function of intensities of the reflected multifrequency orthogonal polarizations signals is offered.

**Keywords:** radar target, multifrequency signal, crosscorrelation function, basic and cross polarizations, root-mean-square size.