

УДК 621.396.96

В.А. Дорошук¹, В.Ж. Яценюк¹, А.А. Побережний¹, М.В. Булаєнко²

¹Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба

²Харківська національна академія міського господарства

ПАРАМЕТРИЧНІ МЕТОДИ ПОРІВНЯННЯ ОТРИМАНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ДАЛЬНІСНИХ ПОРТРЕТІВ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ З ЕТАЛОНАМИ

В статті проведений аналіз можливостей використання параметричних методів порівняння отриманих радіолокаційних дальнісних портретів повітряних цілей з еталонами на основі адаптивних методів цифрового спектрального аналізу та шляхів їх технічної реалізації при вирішенні задачі розпізнавання в перспективних та існуючих радіолокаційних системах.

радіолокаційна система, повітряна ціль, задача розпізнавання

Вступ

Постановка проблеми і аналіз літератури.

Проблема розпізнавання про приналежність радіолокаційних цілей, до одного з апріорі відомих класів, є актуальною та складною проблемою для сучасної радіолокації, про що свідчать численні публікації [1, 2]. Розробка методів і алгоритмів радіолокаційного розпізнавання пов'язана з вирішенням цілого ряду специфічних задач [3]:

докладного вивчення та класифікації об'єктів, для розпізнавання яких призначається система;

розробки словника ознак;

розробки алгоритмів розпізнавання, які визначають процедуру віднесення об'єкта до того чи іншого класу або типу об'єктів класу;

розробки алгоритмів об'єднання результатів розпізнавання, які отримано від різних джерел інформації;

розробки спеціальних алгоритмів управління системою розпізнавання.

Усі ці задачі, у тій чи іншій мірі, уже висвітлювались у літературі, але достатньої систематизації матеріалу і досить повного вивчення і висвітлення всіх питань за переліченими задачами досягнуто не було. Труднощі полягають у тому, що вирішення поставлених задач не лежить лише в абстрактно-теоретичній площині, а й потребують експериментального вивчення цих задач.

Мета статті. У статті більш детально розглянуті задачі порівняння радіолокаційних дальнісних портретів (РДП) цілі з еталонами.

Результати досліджень

Для вирішення цієї задачі використовують різні варіанти існуючих алгоритмів розпізнавання. Ці варіанти відрізняються: етапністю прийняття рішення; ступенем і характером обліку статистики ознак, завад, сигналів. За етапністю розрізняють алгоритми одноетапного і багатоетапного прийняття рішень. За ступенем обліку статистичних законо-

мірностей розрізняють лінгвістичні і параметричні алгоритми. За характером обліку статистичних закономірностей із статистичних алгоритмів виділяються параметричні (байєсовські і небайєсовські), непараметричні та нейрокомп'ютерні алгоритми [1].

Зростаючий інтерес представляють параметричні алгоритми розпізнавання, як найбільш інформативні і порівняно прості в обробці. РДП цілей можуть бути отримані різними методами цифрового спектрального аналізу (ЦСА). Спектральні функції $\hat{S}(f) = S(f, \hat{\Psi})$ ряду відомих «невласноструктурних» методів просторово-часового спектрального аналізу [4 – 6] мають вигляд:

$$\hat{S}_1(f) = \frac{T_0}{x^\#(f) \cdot \hat{\Psi} \cdot x(f)}, \quad (1)$$

де $\hat{S}_1(f)$ – метод «мінімальної дисперсії (МД)» Кейпона; $\hat{S}(f)$ – спектральна щільність потужності; $\hat{\Psi}$ – матриця, обернена оціночній автокореляційній матриці розміром $m \times m$; $x(f)$ – вектор комплексних синусоїд:

$$x(f) = \begin{pmatrix} 1 \\ \exp(j2\pi f T_0) \\ \dots \\ \exp(j2\pi m f T_0) \end{pmatrix}.$$

$$\hat{S}_2(M, \alpha) = |P_{MPM-1}|^{-2} = |Q_M Q_{M-1}|^{-2}; \quad (2)$$

$$\hat{S}_3(f) = \hat{\omega}_{mm} |e_m^* \hat{\Pi} x(f)|^{-2}, \quad m \in \overline{1, M}; \quad (3)$$

$$\hat{S}_4(f) = \hat{\omega}_{mm} x^*(f) \hat{\Pi} x(f) |e_m^* \hat{\Pi} x(f)|^{-2}; \quad (4)$$

$$\hat{S}_5(f) = (x^*(f) \hat{\Pi}^2 x(f))^{-1}; \quad (5)$$

$$\hat{S}_6(f) = x^*(f) \hat{\Pi} x(f) (x^*(f) \hat{\Pi}^2 x(f))^{-1}, \quad m \in \overline{1, M}, \quad (6)$$

де $\hat{S}_2(M, \alpha)$ – «комбінований метод (КМ)»; $\hat{S}_3(f)$ – метод «максимуму ентропії (МЕ)» Берга; $\hat{S}_4(f)$ – «модифікований алгоритм Кейпона (МАК)»; $\hat{S}_5(f)$ –

метод «теплого шуму (ТШ)»; $\hat{S}_G(f)$ – метод «Борджотті-Лагунаса (БЛ)».

Параметричною інформацією про РДП є ширина портрета, яка ототожнюється з геометричними розмірами цілі і практично мало залежить від її ракурсу. Таку ж інформацію несе в собі площа під портретом, яка дозволяє судити про ефективну площу розсіювання (ЕПР) та енергетичні характеристики цілі. Інформативним параметром про РДП є кількість максимумів у РДП при оцінці його в спектральній області, який ототожнюється з кількістю характерних блискучих точок (БТ) цілі.

У реальних умовах параметри, які характеризують якість різних методів ЦСА, наприклад, роздільна здатність, мають випадковий характер. Результати математичного моделювання на ЕОМ окремих спектральних функцій, які використовуються для порівняльного аналізу, не можуть бути базою для їх коректного порівняння. Тому останнє повинно опиратися на статистичні характеристики (щільності розподілу, математичне очікування (МО) та дисперсію) параметрів, які підлягають аналізу.

З допомогою системи комп'ютерної математики було створено модель АРФ, і за описаною [6] методикою проведено аналіз розділення БТ у залежності від об'єму вибірки $\delta = K - M$.

Блискучі точки було імітовано за допомогою двох кварцових генераторів із середніми частотами коливань $f_{\Gamma_1} \approx 12903$ кГц та $f_{\Gamma_2} \approx 12902$ кГц, які поєднувались у суматорі з шумовими коливаннями, регульованими за амплітудою генератором шуму із шириною спектра ≈ 25 МГц, у проміжному тракті приймача в вигляді двох рівнопотужних гармонік з відносною відстанню:

$$\Delta = (f_1 - f_2) / \Delta_0 = 0.6; \Delta_0 = 1 / \Delta t M,$$

нормованою до півширини Δ_0 і узагальненим відношенням сигнал/шум $q=21$ дБ, $M=7$. З виходу суматора вони надходили у приймач, де за допомогою кварцового опорного генератора із частотою $f_{\Gamma}=12,9$ МГц і фазових детекторів переносились на відеочастоту й розділялися на два квадратурних підканали. У кожному з них відеочастотні коливання були оцифровані 7-мирозрядними АЦП. З виходу АЦП цифрові коди квадратурних компонентів через блоки сполучення надходили в ЕОМ, де здійснювалась обробка результатів. За допомогою описаної експериментальної установки було отримано реальні спектральні функції розділення двох рівнопотужних гармонік К-мірної навчаючої вибірки, використаної при формуванні МП оцінки $\hat{\Psi}$ апіорі невідомої кореляційної матриці Φ .

У статті наведено результати порівняльного аналізу різних методів ЦСА за вимірюванням таких параметрів портрета, як його ширина, площа та зсув оцінки \hat{f}_1 максимуму від істинного положення f_1 у залежності від об'єму вибірки на основі експериментальних досліджень.

На (рис. 1, а) зображені залежності вимірювання МО та дисперсії (рис. 1, б) ширини портрета від об'єму вибірки δ . Як видно з графіків, МО оцінки ширини портрета, яке не залежить від об'єму вибірки має алгоритм КМ (2) та МЕ (3). Трохи гірші результати дають алгоритми Кейпона (1) і ТШ (5), МО оцінки ширини портрету яких залежить від об'єму вибірки при малих $\delta < 5$. Суттєво залежить МО оцінки ширини портрета від об'єму вибірки алгоритмів БЛ (6) і МАК (4).

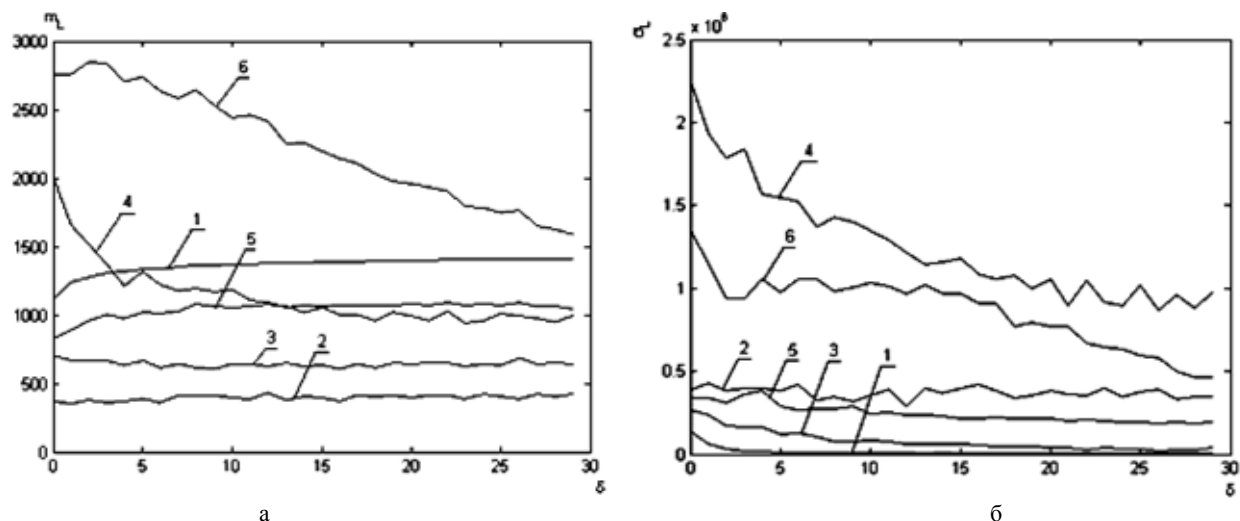


Рис. 1. Залежність МО та дисперсії ширини РДП від об'єму вибірки

Дисперсія оцінки ширини портрета мінімальна для алгоритму Кейпона (1) і далі в порядку зростання: ТШ (5), МЕ (3), КМ (2), вона майже не залежить від об'єму вибірки. Суттєво залежить дис-

персія оцінки ширини портрета від об'єму вибірки алгоритмів БЛ (6) і МАК (4). У результаті порівняльного аналізу МО та дисперсії ширини портрету від об'єму вибірки алгоритмів, що аналізуються,

видно, що алгоритми (1) – (3) та (5) майже рівноцінні. Але враховуючи, що мінімальну дисперсію має алгоритм Кейпона, то саме його слід застосовувати для вимірювання ширини портрета.

На рис. 2, а зображені залежності вимірювання МО та дисперсії (рис. 2, б) площі портрета від об'єму вибірки δ . Як видно з графіків, МО оцінки площі портрета, яке не залежить від об'єму вибірки, має КМ (2) та МЕ (3). Гірші результати дають алгоритми ТШ (5) і Кейпона (1), МО оцінки ширини портрета яких за-

лежить від об'єму вибірки при малих $\delta < 5$. Суттєво залежить МО оцінки ширини портрета від об'єму вибірки алгоритмів БЛ (6) і МАК (4).

Дисперсія оцінки площі портрета мінімальна для КМ (2) і далі в порядку зростання: алгоритми Кейпона (1), МЕ (3), ТШ (5), залежить від об'єму вибірки при малих $\delta < 5$, а далі практично не змінна.

Суттєво залежить дисперсія оцінки площі портрета від об'єму вибірки алгоритмів БЛ (6) і МАК (4).

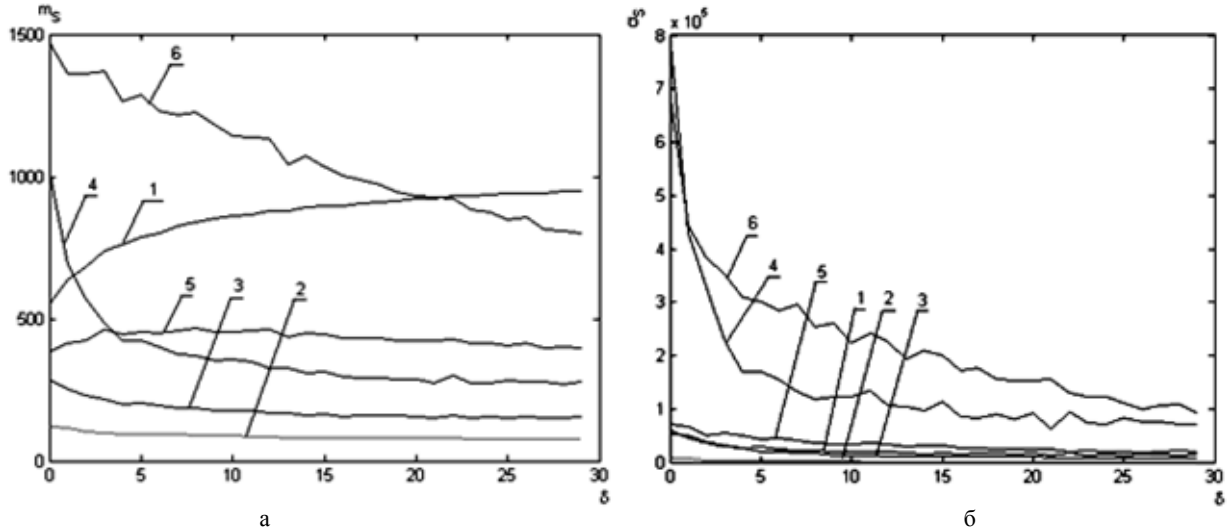


Рис. 2. Залежність МО та дисперсії площі РДП від об'єму вибірки

На рис. 3, а зображені залежності вимірювання МО та дисперсії (рис.3, б) зсуву оцінки максимуму \hat{f}_1 РДП відносно істинного значення f_1 , при оцінці його в спектральній області, від об'єму вибірки. Як видно з графіків, МО зсуву оцінки \hat{f}_1 портрета, яке майже не залежить від об'єму вибірки, мають у порядку зростання КМ (2), МЕ (3), Кейпон (1) і ТШ (5). МО зсуву оцінки \hat{f}_1 портрета алгоритмів БЛ (6)

і МАК (4) суттєво залежить від об'єму вибірки.

Дисперсія зсуву оцінки \hat{f}_1 портрета на графіках згрупувалася у порядку зростання для КМ (2), МЕ (3), Кейпона (1), ТШ (5), залежить від об'єму вибірки при малих $\delta < 5$ і далі практично не змінна. Дисперсія зсуву оцінки \hat{f}_1 портрета алгоритмів БЛ (6) і МАК (4) залежить від об'єму вибірки і зменшується при його зростанні.

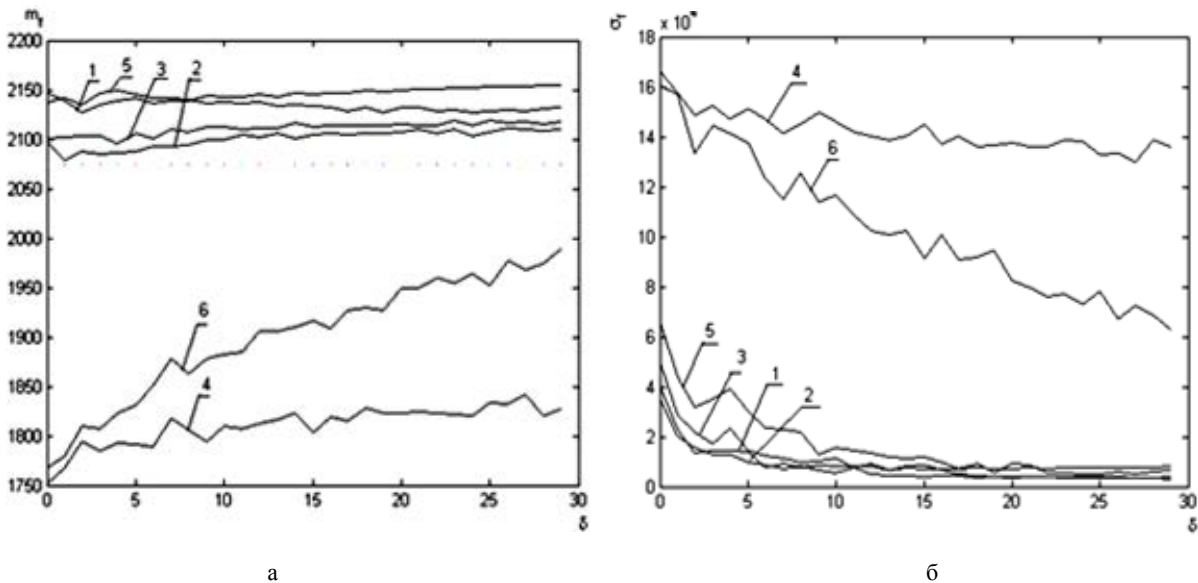


Рис. 3. Залежність МО та дисперсії \hat{f}_1 в РДП від об'єму вибірки

Опираючись на проведений аналіз статистичних характеристик параметрів портретів, можна зробити наступні висновки:

ширину портрета краще вимірювати за допомогою алгоритму Кейпона;

площу портрета за допомогою комбінованого алгоритму або алгоритму МЕ;

зсув оцінки максимуму \hat{f}_1 РДП відносно істинного значення за допомогою КМ або алгоритмів МЕ, Кейпона, ТШ.

Виходячи з вищеписаних результатів синтезована структурна схема вимірювача параметрів РДП різними методами ЦСА на основі АРФ, яка представлена на (рис. 4).

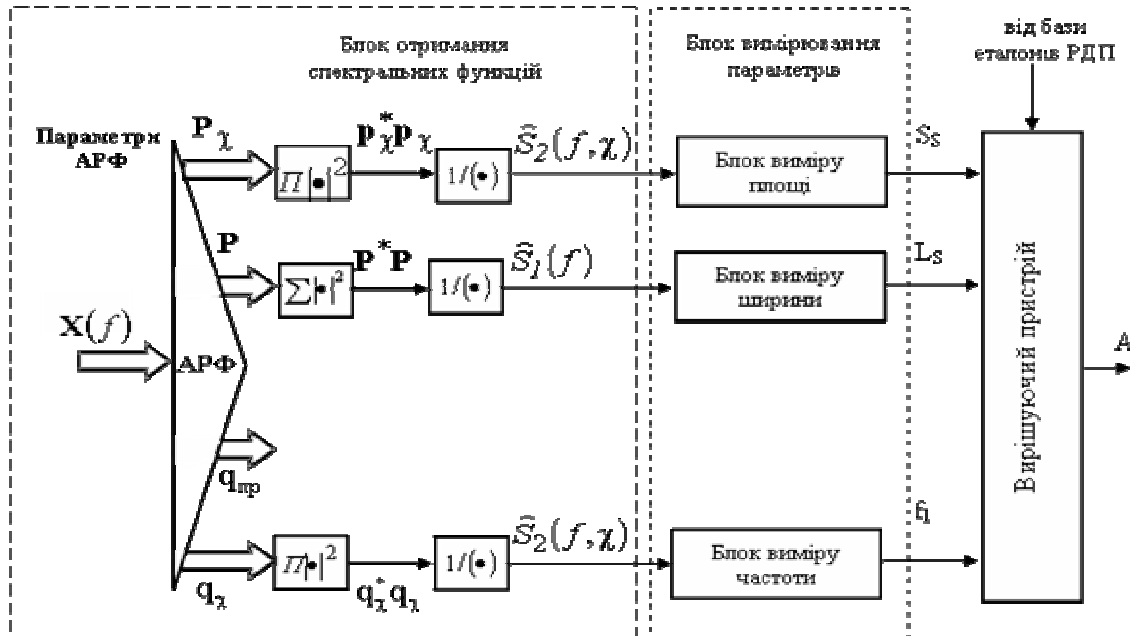


Рис. 4. Структурна схема вимірювача параметрів РДП

Вимірювач параметрів РДП складається з блока отримання спектральних функцій, який власне являє собою АРФ, за допомогою якого можна отримати будь-який з алгоритмів ЦСА (1) – (6), блока виміру параметрів, пристрою прийняття рішень. Блок вимірювання параметрів складається з блоку виміру ширини портрета, блока виміру площі портрета, блока виміру частоти f_1 , де вимірюються відповідні параметри портретів методами КМ та Кейпона.

Важливою задачею на етапі розпізнавання є об'єднання отриманих результатів в один, для послідовного прийняття кінцевого рішення про клас цілі А. Таким чином, інформація про параметри РДП надходить до пристрою прийняття рішень, в якому за визначеним алгоритмом приймається рішення про належність даного РДП до того чи іншого класу повітряної цілі. Як алгоритм для розпізнавання класу цілі за великою кількістю параметрів (ознак), з невеликими обчислювальними затратами, може бути запропоновано алгоритм Журавльова [7].

Висновки

У статті розглянутий синтез структури схеми вимірювача параметрів РДП різними методами ЦСА на основі АРФ. Як алгоритмів вимірювання параметрів РДП доцільно використовувати алгоритми Кейпона та КМ.

Список літератури

1. Ширман Я.Д., Горшков С.А. и др. Радиолокационное распознавание и методы моделирования // Научно-технические серии. – Вып. III. – 2000. – С. 24-28.
2. Ширман Я.Д. О некоторых алгоритмах классификации объектов по совокупности признаков // Радиотехника и электроника. – Вып. 7. – С. 1095-1102.
3. Ширман Я.Д., Горшков С.А. Проблемы теории радиолокационного распознавания // Труды МНТК "Современная радиолокация". – Вып. 1. – 1994. – С. 30-36.
4. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990. – 448 с.
5. Леховицкий Д. И., Атаманский Д. В., Кириллов И. Г. Разновидности сверхразрешающих анализаторов пространственно-временного спектра случайных сигналов на основе обеляющих адаптивных решетчатых фильтров // Антенны. – 2000. – Вып. 2 (45). – С. 40-45.
6. Дороцук В.А., Яценко В.Ж., Олійник І.І., Мисик Ф.Ф. Радиолокатор з каналом розпізнавання класу повітряної цілі на основі адаптивного решітчастого фільтру // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології. – Х.: НАКУ «ХАІ», 2006. – №31. – С. 149-155.
7. Распознавание. Классификация. Прогноз. Математические методы и их применение: Ежегодник. Вып. 1. – Наука, 1989. – 144 с.

Надійшла до редколегії 1.12.2006

Рецензент: д-р техн. наук доцент А.В. Лемешко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.