

АДАПТИВНЕ ВИЯВЛЕННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ МАЛОРУХОМИХ ЦІЛЕЙ МОРСЬКИМИ РЛС НА ФОНІ ІНТЕНСИВНОГО МОРСЬКОГО КЛАТЕРА

Турко С. І., аспірант

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Однією з найскладніших проблем сучасної радіолокації є виявлення малорозмірних малорухомих цілей на фоні інтенсивного морського клатера. Складність зумовлена тим, що існуючі методи оптимального виявлення розраховані на гаусів характер шумів, а морський клатер при високій роздільній здатності радара не є гаусовим шумом. Методи подавлення клатера, основані на селекції доплерівських цілей, не можуть бути застосовані для виявлення малорухомих цілей на фоні інтенсивного морського клатера, оскільки доплерівський спектр морського клатера міститься в тій же області частот, що і спектр малорухомих цілей.

Більшість дослідників сходяться на компоновано Гаусовій моделі розподілу амплітуди морського клатера [1]. Згідно цієї моделі випадковий процес, що представляє амплітуду клатера, є добутком двох випадкових величин — текстури і спеклу. Спекл розподілено за законом Релея, щодо розподілу текстури різні науковці пропонують використовувати гамма розподіл, інверсний гамма розподіл, лог-нормальний і лог-Вейбулів розподіл.

Статистичні характеристики морського клатера є змінними у часі, і тому для виявлення цілей використовуються адаптивні алгоритми, що володіють властивістю максимізації ймовірності правильного виявлення при постійному значенні хибної тривоги. Алгоритм прийняття рішення про наявність чи відсутність цілі таким детектором математично записується наступним чином:

$$\frac{\left| \left(p^H M^{-1} z \right) \right|^2}{\left(p^H M^{-1} p \right) \left(z^H M^{-1} z \right)} \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} \lambda,$$

де M — коваріаційна матриця, що характеризує амплітудний розподіл клатера, z — вектор імпульсів прийнятого сигналу, $p_i = e^{j2\pi f_d T}$ — керуючий вектор, де T — період слідування імпульсів, f_d — доплерівський зсув, λ_t — поріг, що визначається відповідно до заданого значення хибної тривоги.

На практиці коваріаційна матриця M , що характеризує амплітудний розподіл клатера, не є відомою, і оцінюється з сусідніх комірок. Одним з найкращих алгоритмів для оцінки невідомої коваріаційної матриці, що є хорошим компромісом між ефективністю та складністю обчислення, є ал-

горитм, запропонований в [2], який математично записується наступним чином:

$$\hat{M}(i+1) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{m \cdot z_k z_k^H}{z_k^H \hat{M}(i)^{-1} z_k},$$

де m — кількість елементів вектора z , K — кількість сусідніх комірок, використаних для оцінки коваріаційної матриці. Оскільки виконується інверсія матриці, необхідно, щоб матриця не ставала сингулярною. Достатньою умовою для цього є відношення $K \geq m$. Чим більше відношення K до m , тим точніше буде визначено коваріаційну матрицю, а отже, кращою буде точність виявлення цілі.

Співвідношення між порогом та значенням хибної тривоги для адаптивного алгоритму виявлення, що використовує такий спосіб оцінки коваріаційної матриці, визначається з рівняння [4]:

$$P_{fa} = (1 - \lambda)^{a-1} {}_2F_1(a, a-1; b-1; \lambda),$$

де $a = \frac{m}{m+1}N - m + 2$ і $b = \frac{m}{m+1}N + 2$, ${}_2F_1$ — гіпергеометрична функція:

$${}_2F_1(a, b; c; x) = \frac{\Gamma(c)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Gamma(a+k)\Gamma(b+k)}{\Gamma(c+k)} \frac{x^k}{k!}.$$

Доведено, що алгоритм володіє властивістю максимізації ймовірності правильного виявлення при константному значенні хибної тривоги за умови, якщо керуючий вектор p достеменно відомий і комірки, що використовуються для оцінки коваріаційної матриці, не містять цілі і мають коваріаційну матрицю, ідентичну з коваріаційною матрицею комірки.

Роботу алгоритму перевірено на публічній базі даних морського кластера і малорозмірної цілі, отриманих морською РЛС у водах ПАР [4].

Результат роботи адаптивного детектора залежить від доплерівської частоти цілі, яка в загальному випадку теж не відома. Пропонується використовувати алгоритм для цілей з низькою швидкістю, доплерівський спектр яких лежить в області доплерівського спектра кластера, в результаті чого методи селекції доплерівських цілей не можуть бути застосовані.

Література

1. Ward K. D. Sea clutter: scattering, the K distribution and radar performance / K. D. Ward, R. J. A. Tough, S. Watts. — London: The Institution of Engineering and Technology, 2006. — 452 p.
2. Gini F. Covariance matrix estimation for CFAR detection in heavy tailed clutter / F. Gini, M. Greco // Signal Processing.— 2002.— p. 1495 — 1507.
3. On a SIRV-CFAR detector with radar experimentations in impulsive clutter / F. Pascal, J.-P. Ovarlez, P. Forster, P. Larzabal // 4th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2006), Florence, Italy, September 4-8, 2006.
4. http://www.csir.co.za/small_boat_detection.