

УДК 621.396.96

Коротіч О. В., аспірант

Науковий керівник: Свид І. В., к.т.н., доцент

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4635-6542>

## ОПТИМАЛЬНИЙ ВИМІР ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ У ЗАПИТАЛЬНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Інформаційне забезпечення системи контролю повітряного простору значною мірою визначається запитальними радіолокаційними системами спостереження (РСС) [1-4]. Робота існуючих запитальних РСС характеризується коефіцієнтом готовності літакового відповідача, який несе інформацію про вимірюваний параметр. Це зумовлено принципом обслуговування сигналів запиту у відповідачах та принципом побудови мережі систем. Наявність внутрішньосистемних та навмисних корельованих завад призводить до зниження коефіцієнта готовності (КГ) літакових відповідачів [5-8], що і зумовлює передачу сигналів у відповідь не на кожен сигнал запиту. У зв'язку з цим постає завдання оптимізації алгоритму обробки прийнятих сигналів відповіді вимірником з урахуванням кінцевого значення КГ. Аналізу впливу зникнень сигналу на оптимальним алгоритмам виявлення та оцінки параметрів у загальному випадку присвячені роботи [9-11]. Однак, у відомих роботах не враховано специфіку вимірювання неенергетичних параметрів сигналів відповіді запитальних радіолокаційних систем спостереження.

Метою роботи є оптимізація алгоритму обробки сигналів відповіді у запитальних радіолокаційних системах спостережень.

Вважатимемо, що спостерігається адитивна суміш  $\bar{y}$  сигналу  $x(\bar{\alpha})$  та завадою  $n$  на інтервалі  $[0, T]$ , де  $\bar{\alpha}$  – вектор інформативних неенергетичних параметрів сигналів, що приймаються. Випадкове зникнення сигналів відповіді, вважатимемо, пов'язане лише з кінцевим значенням КГ відповідача. Досліджуємо характер оптимальної взаємодії виявника і вимірювача в єдиному пристрої обробки сигналів, що приймаються, яке одночасно з формуванням оптимальної оцінки вимірюваного параметра повинно виробляти рішення про достовірність отриманої оцінки, тобто. про наявність сигналу у реалізації, за якою утворена оцінка. Це завдання може бути вирішено на основі байєсовського підходу до перевірки статистичних гіпотез при одночасному оцінюванні параметрів розподілів, пов'язаних з цими гіпотезами.

Особливість розглянутої задачі полягає в тому, що при випадковому зникненні сигналів відповіді вимірюваний параметр вектору  $\bar{\alpha}$  не втрачається, і помилка виявлення першого роду може супроводжувати більш-менш правильна оцінка параметра вектору  $\hat{\bar{\alpha}}$ , закодованого в зниклому сигналу відповіді. Ці виміри особливо цінні при стежачим вимірі параметрів сигналів відповіді і є цінність для спостерігача, залежно від ступеня їх близькості до справжнього значення параметра. Звідси випливає, що ставлення спостерігача

до помилок оцінки при прийнятті гіпотези  $H_1$ , незалежно від того, чи вірна прийнята гіпотеза чи ні, має характеризуватися однією і тією ж функцією вартості  $C_1$ . У разі прийняття альтернативи  $H_0$  слід вважати недійсною оцінку вектору  $\hat{\alpha}$ . Вартість прийнятого рішення у цьому випадку визначатиметься лише його істинністю, незалежно від отриманої оцінки. Позначимо вартість пропуску сигналу (помилки виявлення другого роду)  $C_\beta$  і прийемо вартість правильного рішення про відсутність сигналу, що дорівнює нулю ( $C_0 = 0$ ). Розглянемо з урахуванням зазначених особливостей оптимальний алгоритм спільного виявлення сигналу та оцінки його параметрів.

В роботі показано, що при квадратичній функції вартостей вираз для оптимальної оцінки набуває вигляд

$$\hat{\alpha}_{opt} = P(H_1|\vec{y})\vec{\alpha}_{ps} + P(H_0|\vec{y})\vec{\alpha}_{pr}, \quad (1)$$

де  $P(H_1|\vec{y})$  та  $P(H_0|\vec{y})$  - апостеріорні імовірності наявності та відсутності сигналу.

Слід зазначити, що вираз (1) означає, що при високій апостеріорній імовірності наявності сигналу в прийнятій реалізації оптимальною оцінкою є відома байесовська оцінка сигналу, тобто «центр тяжкості» апостеріорного розподілення. При малій ж імовірності  $P(H_1|\vec{y})$  найліпшою оцінкою є апіорне середнє параметру  $\vec{\alpha}_{pr}$ , що вимірюється. В загальному випадку оптимальна оцінка (1) представляє собою взважену суму оцінок  $\vec{\alpha}_{ps}$  та  $\vec{\alpha}_{pr}$ , при цьому значення вагових коефіцієнтів при заданих вартостях помилок повністю визначається відношенням правдоподібності, що несе інформацію про наявність сигналу у прийнятій реалізації.

Таким чином, оптимальний алгоритм виявлення при спільній роботі виявлювача та пристрої оцінки зводиться до порівняння усередненого за вимірюваним параметром відношення правдоподібності  $l_y(\vec{\alpha})$  з порогом  $l_{gr}$ , величина якого визначається не тільки вартістю помилок першого та другого роду, але також апіорними даними про вимірюваний параметр ( $\vec{\alpha}_{pr}$  та  $\sigma_{pr}$ ) та результатами обробки прийнятої реалізації у вимірнику ( $\vec{\alpha}_{ps}$  та  $\sigma_{ps}$ ).

Коли розглядати слідкуючі вимірювачі, то оптимальний дискримінатор при кожному вимірі виробляє сигнал помилки  $(\vec{\alpha}_{ps} - \vec{\alpha}_{pr})$ , пропорційний неузгодженості поточної оцінки  $\vec{\alpha}_{ps}$  щодо раніше сформованого вимірювачем значення  $\vec{\alpha}_{pr}$ . Цей сигнал може бути використаний вимірювачем для керування величиною вирішального порога.

Представлені міркування дозволяють зробити висновок про те, що оптимальний алгоритм виявлення сигналів відповіді з кінцевим коефіцієнтом готовності літакового відповідача в запитальних радіолокаційних системах при спільній роботі як виявлювача так і пристрої оцінки зводиться до порівняння усередненого за параметром параметра відношення правдоподібності з порогом, величина якого визначається не тільки цінами помилок першого і

другого роду, але також і апріорними даними про параметр, що вимірюється, а також і результатами обробки прийнятої реалізації у вимірнику.

#### Список літератури

1. Обод І.І., Свид І.В., Штих І.А. Завадозахищеність запитальних систем спостереження повітряного простору: монографія. / За заг. ред. І.І. Обода. Харків: ХНУРЕ, 2014. 312 с.

2. І.І. Обод, І.В. Свид, О.С. Мальцев. Обробка даних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору: навчальний посібник. Харків: Друкарня Мадрид, 2021. 255 с.

3. Свид І.В. Обробка радіолокаційної інформації систем спостереження повітряного простору: монографія. Дніпро : ЛІРА ЛТД, 2022. 224 с.

4. Свид І.В., Обод І.І. Завадостійкість радіолокаційних систем ідентифікації за ознакою «свій-чужий»: монографія. Харків : Друкарня Мадрид, 2021. 254 с.

5. I. Svyd, I. Obod and O. Maltsev, "Interference Immunity Assessment Identification Friend or Foe Systems", In: Ageyev D., Radivilova T., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 69. Springer, Cham, pp. 287-306, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-71892-3\_12.

6. I. Obod, I. Svyd, O. Vorgul, O. Maltsev, O. Datsenko, and N. Boiko, "Optimization of data processing structure for multi-position radar surveillance systems," 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2021. doi: 10.1109/UKRCON53503.2021.9575286.

7. І.В. Свид, А.І. Обод. Інформаційні технології обробки даних систем спостереження. // Системи управління, навігації та зв'язку. Полтава, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2016. Вип. 4 (40). С. 91-93.

8. О.П. Черних, І.І. Обод, І.В. Свид. Інформаційне забезпечення на основі мереж спостереження повітряного простору. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, том 2, вип. 9(50), 2011. С. 23-25. doi: 10.15587/1729-4061.2011.1850.

9. I. Obod, I. Svyd, O. Maltsev and S. Starokozhev, "The Effect of Masking Interference on the Quality of Request Signal Detection in Aircraft Responders of the Identification Friend or Foe Systems," 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), 2020, pp. 721-726, doi: 10.1109/PICST51311.2020.9467955.

10. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, O. Vorgul, I. Shevtsov and O. Bilotserkivets, "Optimizing the Request Signals Detection of Aircraft Secondary Radar System Transponders," 2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2022, pp. 652-657, doi: 10.1109/ELNANO54667.2022.9926991.

11. M.K. Abdul-Hussein, O. Strelnytskyi, I. Obod, I. Svyd and H. Alrikabi, "Evaluation of the Interference's Impact of Cooperative Surveillance Systems Signals Processing for Healthcare", International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE), vol. 18, no. 03, pp. 43-59, 2022. doi: 10.3991/ijoe.v18i03.28015.