

УДК 621.396.96

Шевцов І. О.

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

ORCID ID: 0000-0003-0597-1589

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

## ОПТИМІЗАЦІЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ СИГНАЛІВ ЗАПИТУ У ВТОРИННИХ РАДІОЛОКАТОРАХ

Якість інформаційного забезпечення системи контролю повітряного простору значною мірою визначається вторинними радіолокаторами [1-5]. Потік сигналів запиту (СЗ) на вході літакового відповідача (ЛВ) є сумою потоків СЗ  $\lambda_i(t)$   $N-1$  запитувачів, у зоні дії яких перебуває відповідач і може бути записаний у наступному виді [6]

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^{N-1} \alpha_i(t) \beta_i(t),$$

де  $\alpha_i(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } \xi_i + mT_{si} \leq T(t) < \xi_i + mT_{si} + \tau_0 \\ 0, & \text{при других } T(t) \end{cases}$ ;  $\xi_i$  - початкова фаза потоку;

$\alpha_i(t)$  - випадкова величина з рівномірною щільністю розподілу на інтервалі  $[0, T_{si}]$ ;  $\tau_0$  - тривалість імпульсів потоку;  $\Delta t_i$  - тривалість пачки СЗ;

$$\beta_i(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } \mu_i + sT_{oi} \leq T(t) < \mu_i + sT_{oi} + \Delta t_i \\ 0, & \text{при других } T(t) \end{cases}.$$

Потік  $\lambda_c(t)$  повністю визначається параметрами чотирьох типів  $N_i, t_i, T_{si}, T_{oi}$ . Число вторинних радіолокаторів  $N$  і ширина діаграми спрямованості антени звичайно задані. Залишаються два параметри, змінюючи які можливо змінювати властивості потоку в потрібному напрямку, використовуючи певні критерії. Такими критеріями можуть бути: дисперсія числа СВ у пачці; математичне очікування загублених СЗ розглянутої станції за  $L$  періодів огляду підряд [7-11].

Потік СЗ, що дозволяє мінімізувати зазначені критерії, можна вважати найкращим. Дисперсія числа синхронних відповідей у пачці СЗ, у загальному

випадку можна визначити як  $\sigma^2 = MP_0(1 - P_0) + 2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \text{cov}(x_i, x_j)$ ,  $i > j$ , де

$\text{cov}(x_i, x_j)$  - коваріація величин  $x_i$  і  $x_j$ ;  $P_0$  - імовірність відповіді на СЗ конкретного запитувача;  $M$  - число СЗ у пачці розглянутого запитувача.

Коваріація в наведеному виразі являє собою суму величин виду  $\text{cov}(x_i, x_j) = M(x_i, x_j) - M(x_i)M(x_j)$ , де для всіх  $i, j = 1, \dots, M$ ,

$$M(x_i, x_j) = P(x_i = 1)P(x_j = 1/x_i = 1), \quad M(x_i) = P(x_i = 1) = P.$$

Мінімум дисперсії необслужених СЗ може бути отримано шляхом відповідного підбору величини коваріації при заданих  $P_0$  і  $M$ . Однак вимір

імовірності відповіді або числа СЗ у пачці, що спостерігається у ПО, якій рухається, порушує умову мінімальності дисперсії. Тому зручніше вважати що  $\sigma^2 = \sigma_{\min}^2$ , якщо сума кореляційних моментів дорівнює нулю, що вказує на незалежність або некорельованість станів відповідача в моменти надходження на його вхід  $i$ -го та  $j$ -го СЗ конкретного запитувача. Умова некорельованості станів відповідача, у моменти надходження на його вхід  $i$ -го й  $j$ -го СЗ конкретного запитувача, виконується, якщо період проходження СЗ запитувача обраний так, що  $\tau = kT_{z0}$  потрапляють у проміжки між пелюстками кореляційної функції процесу обслуговування. Тому що кожний з  $N$  ВРЛ може вважатися конкретною, то періоди проходження СЗ кожного ВРЛ повинні задовольняти умові при збереженні незалежності потоків  $\lambda_i(t)$

$$m_r T_{zr} = m_s T_{zs}, \quad s, r = 1, 2, \dots, N, \quad s \neq r, \quad m_r T_{zr} > m_o T_{z0} \quad \text{и} \quad |T_{zt} - T_{z0}| > 2t_0, \quad (1)$$

де  $m_r, m_s$  - цілі нескорочувані числа,  $t_0$  - час обслуговування СЗ в відповідачі,  $T_{z0}$  - період слідування СЗ запитувача, що розглядається.

Аналогічна умова може бути складена для умови синхронізації періодів огляду вторинного радіолокатора [12-17]. У цьому випадку, з огляду на тільки ті ситуації, коли відповідач опромінюється запитувачами, що заважають, протягом усього часу опромінення конкретної станції, математичне очікування числа загублених СЗ конкретного запитувача за  $L$  періодів огляду підряд можна записати в так:

$$R_L = \sum_{(k_1 \dots k_L)} [P(k_1) + \dots + P(k_L)] P(k_1, \dots, k_L),$$

де  $k_j$  - число запитальних систем, що опромінюють відповідач одночасно з розглядаємою на  $j$ -ому періоді огляду;  $P(k_j)$  - імовірність втрати СЗ у відповідачі;  $P(k_1, \dots, k_L)$  - імовірність того, що протягом першого огляду відповідач опромінюється одночасно розглянутою станцією й  $k_1$  іншими, протягом другого  $k_2$ , і т.д.

З огляду на вищевикладене можна зробити висновок, що потік СЗ є оптимальним у розумінні мінімізації дисперсії числа СВ у пачці, якщо періоди проходження СЗ вибираються відповідно до умов (1). Дисперсія числа СВ у пачці при такому потоці зменшується в  $M$  раз у порівнянні з потоком, у якого однакові періоди запиту.

#### Список літератури

1. Stevens M. Secondary surveillance radar. Boston, Mass.: Artech House, 1988.
2. Обод И.И. Помехоустойчивые системы вторичной радиолокации. – М.: ЦИИТ, 1998. 118 с.
3. Обод І.І., Свид І.В., Штих І.А. Завадозахищеність запитальних систем спостереження повітряного простору: монографія. / За заг. ред. І.І. Обо́да. – Харків: ХНУРЕ, 2014. – 312 с.
4. Свид І.В., Обод І.І. Завадостійкість радіолокаційних систем ідентифікації за ознакою «свій-чужий». –Х. Друкарня Мадрид. 2021.

5. 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.

6. V.A. Andrusevich, I.I. Obod. Assessment of the quality of information support by air radar surveillance systems. Advanced Information Systems. 2021. Vol. 5, No. 2. Kharkiv, NTU"KhPI". P. 78-82. doi: 10.20998/2522-9052.2021.2.10.

7. Обод И.И. Управление потоками сигналов в несинхронных сетях запросных систем вторичной локации. Радиоэлектроника и информатика. 1998. № 2. С. 4-5.

8. Свид І.В., Обод І.І., Мальцев О.С., Ткач М.Г., Старокожев С.В., Глущенко А.О., Чумак В.С. Метод підвищення завадозахищеності радіолокаційних систем ідентифікації «свій-чужий» при дії навмисних корельованих завод. Радіотехніка. 2021. №. 205. С. 154-160.

9. Обод И.И. Повышение эффективности систем управления воздушного движения за счет реализации разнесенных систем вторичной радиолокации. Радиоэлектроника и информатика. 1997. № 1. С. 63-64.

10. Obod I., Svyd I., Maltsev O., Bakumenko B. Comparative Analysis of Noise Immunity Systems Identification Friend or Foe. 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 751-756, doi: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088856.

11. Обод И.И. Управление потоками сигналов в синхронных сетях систем вторичной локации. Вестник ХГПУ. 1998. № 14. С. 85-87

12. Обод И.И. Синхронные сети первичной и вторичной локации и их математические модели. СНТ ХВУ. № 14. 1997. С.115-119.

13. Обод И.И. Управление потоками сигналов в несинхронных сетях запросных систем вторичной локации. Радиоэлектроника и информатика. 1998. № 2. С. 4-5.

14. Бакуменко Б.В., Обод І.І., Булай А.М. Єдине координатно-часове забезпечення як основа розв'язання протиріч спільного функціонування систем первинної і вторинної радіолокації. Системи обробки інформації. 2006. № 5(54). С. 3-9.

15. Свид І.В., Обод А.І. Порівняльний аналіз якості інформаційного забезпечення системами широкозонного багатопозиційного спостереження. Системи обробки інформації. - 2016. - Вип. 7(144). - С. 72-74.

16. І.В. Свид. Показники якості інформаційного забезпечення користувачів сполученими системами спостереження повітряного простору. Радіотехніка. 2011. Вип. 165. – Харків, ХНУРЕ, 2011 – С. 157-160.

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