

УДК 621.396.96

Головатенко С. В., аспірант

Науковий керівник: Обод І. І., д.т.н., професор

ORCID ID: 0000-0002-1600-1337

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

## ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ У СИНХРОННИХ МЕРЕЖАХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Важливим напрямом підвищення ефективності радіолокаційного озброєння є створення синхронних мереж радіолокаційних систем (СМРЛС) [1-4]. Основною перевагою СМРЛС порівняно з однопозиційними є підвищена завадостійкість та знижена вразливість до дії протирадіолокаційних ракет [5, 6]. Однак рознесення приймальних та випромінювальних позицій у СМРЛС на значні відстані накладає певні вимоги на синхроністі їхньої роботи [7, 8]. Використання синхронних мереж рознесених радіолокаційних систем [9-11] дозволяє значно послабити ці вимоги й у них з'являється можливість роботи приймальних пунктів при кооперативному прийомі інформації. У СМРЛС при цьому з'являється можливість оцінки кута опромінення ПО передавальним пунктом, без передачі по лінії зв'язку. Все це дозволяє як підвищити живучість рознесених радіолокаційних систем, так і отримати на приймальних пунктах надлишкові первинні виміри.

За полярними координатами (рис.1)  $\rho = R_T + R_r$  та  $Q_r$ , вимірними двопозиційною РЛС, координати у прямокутній системі можна обчислити наступним чином

$$X = (\rho^2 \cos \Theta_r + \rho b) / 2(b \cos \Theta_r + \rho), Y = [(\rho^2 + b^2) \sin \Theta_r] / (b \cos \Theta_r + \rho). \quad (1)$$

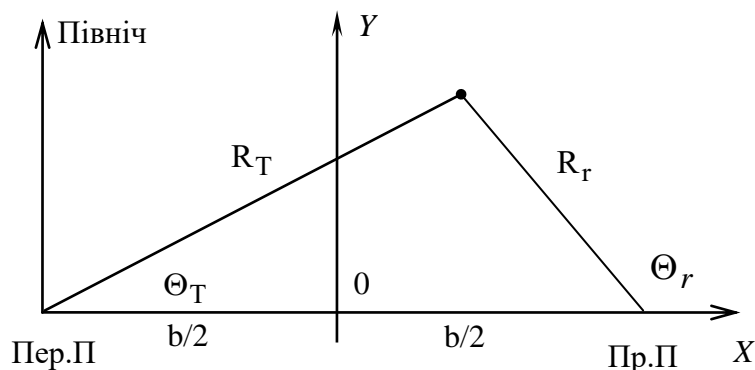


Рис.1

Будемо враховувати що як  $\rho$  та  $\Theta_r$  спотворені білим гаусовим шумом з нульовим середнім значенням та відповідними дисперсіями  $\sigma_r^2$  і  $\sigma_q^2$ . Для оцінки впливу шуму вимірів на координати X і Y ПО зробимо припущення, що помилки вимірів  $\rho$  та  $\Theta_r$  малі стосовно дійсних значень вимірюваних величин.

Виходячи з зазначених припущень помилки вимірювання координат ПО (1) мають нульові середні значення, для котрих дисперсії та ковариації

визначаються як

$$\sigma_x^2 = (H_1^2 \sigma_r^2 + H_2^2 \sigma_q^2) / H_3^4, \quad \sigma_y^2 = (H_4^2 \sigma_r^2 + H_5^2 \sigma_q^2) / H_3^4,$$

$$\sigma_{xy}^2 = (H_1 H_4 \sigma_r^2 + H_2 H_5 \sigma_q^2) / H_3^4,$$

де  $H_1 = 2\rho b \cos^2 \Theta_r + (\rho^2 + b^2) \cos \Theta_r$ ,  $H_2 = (b^2 - \rho^2) \rho \sin \Theta_r$ ,  
 $H_3 = 2(b \cos \Theta_r + b)$ ,  $H_4 = \rho^2 \sin 2\Theta_r + (\rho^2 + b^2) \sin \Theta_r$ ,  
 $H_5 = (\rho^2 - b^2)(\rho \cos \Theta_r + b)$ .

При використанні другої множини вимірювань можна обчислити координати ПО в прямокутній системі за такими виразами

$$X = (b/2 - 0,5\rho \cos \Theta_T) / (b/\rho \cos \Theta_T - 1),$$

$$Y = (b^2/2\rho) \sin \Theta_T / (b/\rho \cos \Theta_T - 1). \quad (2)$$

Враховуючи припущення, викладені вище, можна показати, що помилки вимірів координат ПО за цими виразами мають нульові середні значення, а їх дисперсії та коваріації описуються такими виразами

$$\sigma_x^2 = \{ (b/2) \cos \Theta_T - b\rho \cos^2 \Theta_T + (\rho^2/2) \cos \Theta_T \}^2 \sigma_r^2 + \{ (b^2/2) \rho \sin \Theta_T - (\rho^2/2) \sin \Theta_T \}^2 \sigma_q^2 \} / (b \cos \Theta_T - \rho)^4,$$

$$\sigma_y^2 = \{ [(\rho^2/2) \sin \Theta_T - (b/2) \rho \sin 2\Theta_T + (b^2/2) \sin \Theta_T] \sigma_r^2 + [(b^3/2) - (b/2) \rho^2 + (\rho^3/2 - b^2 \rho/2) \cos \Theta_T] \sigma_q^2 \} / [1/(b \cos \Theta_T - \rho)^4],$$

$$\sigma_{xy} = \{ [(b^2/2) \cos \Theta_T - b\rho \cos^2 \Theta_T + (\rho^2/2) \cos \Theta_T] [(\rho^2/2) \sin \Theta_T - (b/2) \rho \sin 2\Theta_T + (b^2/2) \sin \Theta_T] \sigma_r^2 + [(b^2/2) \rho \sin \Theta_T - (\rho^3/2) \sin \Theta_T] ((b^3/2) - (b/2) \rho^2 + ((\rho^3/2) - (b^2/2) \rho) \cos \Theta_T) \sigma_q^2 \} / (b \cos \Theta_T - \rho)^4.$$

Для порівняння точності вимірювань за виразами (1) та (2) розглянемо вектор вимірювання  $Z=[x \ y]$ .

Помилка, що входить до нього, має нульове середнє значення та матрицю коваріації  $P$

$$P = \begin{vmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Для порівняння точносних характеристик двопозиційної РЛС з різними множинами вимірів обчислює квадратне коріння детермінантів коваріаційних матриць, що відображають площу еліпсів помилок, тобто. обчислюємо

$$\mu = P_2 / P_1. \quad (4)$$

З урахуванням (3) вираз (4) можливо записати в наступному вигляді

$$\mu = \sqrt{|\sigma_{x2}^2 \sigma_{y2}^2 - \sigma_{xy2}^2| / |\sigma_{x1}^2 \sigma_{y1}^2 - \sigma_{xy1}^2|}. \quad (5)$$

Розрахунки за виразом (5) показують, що лінія, що розділяє області різної точності, що розглядається для двопозиційної РЛС при однакових помилках

обох варіантів вимірювань, знаходиться на рівній відстані від приймального пункту.

#### Список літератури

1. Свид І.В., Обод І.І. Завадостійкість радіолокаційних систем ідентифікації за ознакою «свій-чужий»: монографія. / І. В. Свид, І. І. Обод. Харків : Друкарня Мадрид, 2021. 254 с.
2. Свид І.В. Обробка радіолокаційної інформації систем спостереження повітряного простору: монографія. / І. В. Свид. Дніпро : ЛІРА ЛТД, 2022. 224 с.
3. І.І. Обод, І.В. Свид, О.С. Мальцев. Обробка даних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору: навчальний посібник. Харків: Друкарня Мадрид, 2021. 255 с.
4. 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.
5. 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.
6. М.К. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.