

УДК 621.396.96

Ткач М. Г., аспірант

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

ORCID ID: 0000-0002-1600-1337

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

ОЦІНКА ЦІЛІСНОСТІ КООРДИНАТНИХ ДАНИХ ЗАЛЕЖНОГО КООПЕРАТИВНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

Визначені на борту повітряного об'єкта (ПО) координати на основі вимірювань глобальної навігаційної супутникової системи безперечно характеризуються високою точністю. Однак збої та відмови, що виникають у глобальній навігаційній супутниковій системі, можуть призводити до значного збільшення помилок визначення координат ПО, що передаються каналами залежних систем спостереження (СС) повітряного простору [1-4]. Для користувача системи залежних СС повітряного простору особливо важливо, щоб була можливість виявляти ситуації, коли помилки визначення координат ПО, що передаються в повідомленнях залежних СС повітряного простору, перевищують встановлений радіус знаходження ПО R_s .

Процедура забезпечення цілісності даних залежного кооперативного спостереження повітряного простору заснована на аналізі різниці координат незалежних міток горизонтального положення ПО (x_N, y_N) і (x_R, y_R) , що передбачає оптимізацію обробки сигналів [5-8] і пропускну здатність [9-11] інформаційних систем, що розглядаються.

Введемо такі двовимірні випадкові величини: $\vec{N} = \|X_N, Y_N\|$ - вектор оцінки координат ПО залежною СС повітряного простору; $\vec{R} = \|X_R, Y_R\|$ - вектор оцінки координат ПО незалежною системою спостереження повітряного простору; $\vec{S} = \|S_x, S_y\|$ - відстань між векторами \vec{N} та \vec{R} .

Вектори \vec{N} та \vec{R} є незалежними з відомими з відомими щільностями ймовірностей. Компоненти X_N, Y_N, X_R, Y_R векторів \vec{N} і \vec{R} також незалежні як усередині \vec{N} і \vec{R} , так і між векторами.

Вважатимемо, що математичні очікування компонент вектору \vec{R} збігаються з координатами фактичного становища ПО, а математичні очікування компонент вектору \vec{N} можуть мати зміщення Δx і Δy стосовно фактичних координат ПО. Зазначені зміщення такі, що $\Delta x^2 + \Delta y^2 = R_s^2$

Виходячи із загальних міркувань формалізації ймовірності хибної тривоги та ризику цілісності, можемо записати

$$P_{F.A.} = P\{|s| > D_t, |x| \leq R_s\}; P_{I.R.} = P\{|s| > D_t, |x| > R_s\}.$$

З урахуванням того, що випадкові величини s і x мають густини ймовірності, які відповідно дорівнюють $g(s)$ і $u_{N/S}(x, s)$, отримуємо наступні значення шуканих ймовірностей

$$P_{F.A.} = \int_{|s|>D_t} g(s) \left[\int_{|x|\leq R_s} u_{N/s}(x;s) dx \right] ds; P_{I.R.} = \int_{|s|>D_t} g(s) \left[\int_{|x|>R_s} u_{N/s}(x;s) dx \right] ds. \quad (1)$$

Помилки у визначенні координат ПО за допомогою залежної СС повітряного простору у загальному вигляді можуть мати ненульові зміщення $\Delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} = R_s$. Стан, в якому залежна СС повітряного простору вимірює координати зі зсувами, називатимемо відмовою. Така ймовірність стану дорівнює P_f . Апріорна щільність ймовірності помилок виміру координат ПО за допомогою залежної СС повітряного простору при відмові позначимо як $w_N^f(x; \Delta)$

Тоді і щільність різниці випадкових величин $R - N$ також матиме параметр зміщення Δ . Отже, умовну щільність помилок виміру координат ПО залежної СС повітряного простору при відмові слід записувати зі зміщенням $w_{N/s}^f(x, s, \Delta)$.

Облік стану відмови у залежній СС повітряного простору доповнює моделі хибної тривоги та ризику цілісності.

$$P_{F.A.} = (1 - P_f) P_{F.A.}^{n.f.} + P_f P_{F.A.}^f; \quad P_{I.R.} = (1 - P_f) P_{I.R.}^{n.f.} + P_f P_{I.R.}^f; \quad (2)$$

де $P_{F.A.}^{n.f.}$ та $P_{I.R.}^{n.f.}$ визначаються виходячи з наступних співвідношень

$$P_{F.A.}^{n.f.} = \int_{|s|>D_t} g(s; \Delta = R_c) \left[\int_{|x|\leq R_s} u_{N/s}^f(x; s, \Delta = R_s) dx \right] ds,$$

$$P_{I.R.}^{n.f.} = \int_{|s|>D_t} g^f(s; \Delta = R_s) \left[\int_{|x|>R_c} u_{N/s}^f(x; s, \Delta = R_s) dx \right] ds.$$

Зауважимо, що ймовірність події, за якої помилка визначення місця розташування ПО не перевищує поріг R_s чи помилка виявлена, тобто. цілісність P_I поєднує в собі три з чотирьох можливих подій: «правильне виявлення», «правильне виявлення» та «хибну тривогу», внаслідок чого

$$P_I = 1 - P_{I.R.}$$

де $P_{I.R.}$ визначається за виразом (2).

Таким чином, в представлений роботі отримано алгоритм оцінки ймовірності хибної тривоги, ризику цілісності, а також цілісності координатної інформації залежного кооперативного спостереження на основі порівняння міток горизонтального положення ПО при двох незалежних СС повітряного простору. Показано, що цілісність координатної інформації залежних кооперативних СС повітряного простору визначається ймовірністю того, що інформація про координати ПО, що передається в повідомленнях залежної кооперативної СС повітряного простору та використовується диспетчером з

метою управління повітряного руху, не містить не виявлених помилок, що перевищують рішення.

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. 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.
6. 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.
7. 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.
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. 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.
10. 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.
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.