

# Контроль космічного і повітряного простору

УДК 621.396.96

doi: 10.26906/SUNZ.2018.1.017

О.С. Мальцев

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СПРОМОЖНОСТІ КООПЕРАТИВНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Наводиться порівняльний аналіз інформаційної спроможності кооперативних систем спостереження на основі коефіцієнта частотної ефективності. Показано, що принцип побудови існуючих кооперативних систем спостереження, принцип обслуговування сигналів запиту інформації та використаний метод модуляції сигналів суттєвим чином знижує інформаційну ємність цих інформаційних систем.

**Ключові слова:** інформаційна спроможність, кооперативні системи спостереження.

### Вступ

#### Постановка проблеми й аналіз літератури.

Системи спостереження (СС) є основою інформаційного забезпечення (ІЗ) системи контролю повітряного простору (КПП) [1 – 3].

Канали передачі інформації (ПІ) кооперативних СС (КСС) значною мірою визначають якість ІЗ в системі КПП та мають деякі недоліки. Дійсно, наявність двох каналів ПІ, принцип побудови систем (несинхронна мережа) та принципи обслуговування сигналів запиту (відкрита одноканальна система масового обслуговування з відмовами) обумовили низькі показники якості ІЗ [4 – 6]. Підхід до цих систем як до СС обумовили потребу виявлення та виміру координат повітряного об'єкту (ПО) на запитувачі. Це потребує прийому пачки сигналів відповіді (СВ), що важко в умовах складної заводої обстановки. Таким чином, кооперативні СС, які мають канал запиту та канал відповіді, більш відносяться до систем обміну інформацією між наземним пунктом управління та бортом ПО і можуть характеризуватися як запитальні системи передачі інформації, за допомогою яких можливо здійснити також і передачу координат з борту ПО. Це може змінити підхід до цих систем і, як наслідок, запропонувати нові методи підвищення їхніх показників якості.

**Мета роботи.** Оцінка частотної ефективності каналів передачі інформації кооперативних систем спостереження повітряного простору.

### Основна частина

У залежності від використання чи ні ПО для визначення його місцезнаходження спостереження поділяється на некооперативне та кооперативне.

Класифікацію кооперативних систем спостереження повітряного простору (ПП) наведено на рис. 1.

При незалежному кооперативному спостереженні (НКС) місцезнаходження визначається на підставі даних вимірювань, які виконуються підсистемою локального спостереження з використанням повідомлень з борту ПО. Ці повідомлення можуть містити інформацію, отриману на борту ПО, тобто дані про барометричну висоту, ідентифікаційний індекс ПО та інше.

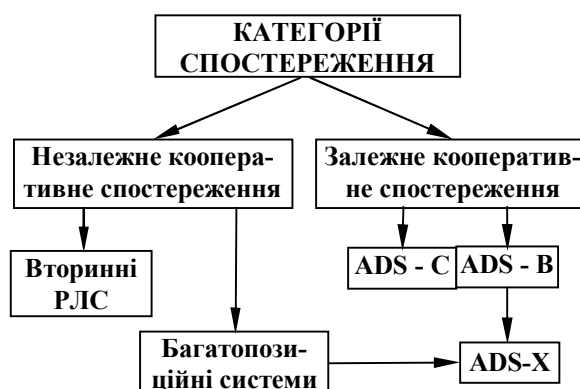


Рис. 1. Класифікація кооперативних систем спостереження повітряного простору

До НКС відноситься вторинний радіолокатор, який вирішує такі задачі [4]:

- визначення координат ПО;
- отримання польотної інформації (ПІ) з борту ПО;
- передачі на борт ПО інформації, необхідної для контролю та управління польотами та наведенням ПО;
- диспетчерської ідентифікації ПО;
- радіолокаційної ідентифікації державної приналежності ПО.

Для вирішення наведених задач вторинний радіолокатор має наступні режими (А, В, С, D, S) та 1, 2, 3, 4 і 5 [7].

Відсутність можливості передачі координат ПО з літакового відповідача потребує, як показано вище виявлення ПО та вимір його координат на запитувачі. Це особливість призводить до того що якість ІЗ вторинними радіолокаторами визначається якістю виявлення ПО та виміру його координат. Використання СВ літакових відповідачів дозволяє створювати багатопозиційні СС чи системи мультilaterації (MLAT) [8 – 10]. При цьому слід зазначити що є можливість визначення координат ПО при випромінюванні сигналу запиту (СЗ) свого передавача, так і при випромінюванні СЗ чужих передавачів.

На основі MLAT може бути побудована система контролю точності дотримування висоти, яка забезпечує вимірювання висоти ПО та передачу даних в регіональне моніторингове агентство.

Мультilaterаційне спостереження за положенням ПО відносно курсу посадки і глісади може бути використано для виводу ПО на злітно-посадкову смугу, тобто для побудови на основі MLAT системи посадки ПО.

В теперішній час спостерігається тенденція поєднання MLAT в «широкозоніві» (Wide Area Multilateration) інтегровані системи.

При залежному кооперативному спостереженні місцезнаходження визначається на борту ПО і ця інформація передається підсистемі локального спостереження поряд з можливими додатковими даними, використовуючи як свої засоби передавання інформації, так і супутникові канали передачі інформації.

Прикладом залежного спостереження є концепція автоматичного залежного спостереження (Automatic dependent surveillance – ADS). ADS – концепція, заснована на наявності ліній передачі даних «повітря-земля», за якими інформація про ПО, включаючи місце розташування, час та інші дані автоматично передається на землю відповідному споживачу. При цьому ADS підрозділяється на:

- ADS-A (Automatic Dependent Surveillance - Addressable);
- ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast);
- ADS-X (Automatic Dependent Surveillance - Extended).

Устаткування ADS-A, іменоване також ADS-C (контрактне), автоматично посилає з борту ПО дані про своє місцезнаходження органу управління повітряним простором (УПП), що знаходиться на землі, через певні інтервали часу або в певних заздалегідь обумовлених випадках. Періодичність передачі даних або особливі випадки, при яких має передаватися повідомлення, встановлює орган УПП.

У режимі ADS-C ПО використовує бортові навігаційні системи для визначення свого місця розташування, швидкості та отримання інших даних. Наземна система УПП укладає «контракт» з даними

ПО про надання такої інформації через регулярні інтервали або після певних подій. Інформація передається по лінії передачі даних абонент-абонет. Це означає, що доступ до такої інформації не можуть отримати інші сторони.

ADS-B являє собою радіомовну передачу з борту ПО даних про його місце розташування (широта і довгота), абсолютній висоті, швидкості, опізнавальний індекс та іншої інформації, отриманої від бортових систем. Кожне повідомлення про місцезнаходження ADS-B включає вказівку на якість даних, що дозволяє користувачам визначити, чи забезпечує якість інформації підтримку передбачуваної функції.

Дані про місцезнаходження, швидкість ПО та пов'язані з ними показники якості даних зазвичай отримують від бортової системи, яка використовує комплексну обробку даних, отриманих різними вимірювальними системами. Дані про абсолютну висоту зазвичай отримують від барометричного висотоміра.

Оскільки повідомлення ADS-B передаються в радіомовному режимі, їх може одержувати й обробляти будь-який відповідний приймач. Тому функція ADS-B підтримує як наземні, так і бортові види застосування спостереження. Для авіаційного спостереження встановлюються наземні станції, призначені для отримання і обробки повідомлень ADS-B. При бортовому застосуванні ПО, обладнані приймачами ADS-B, можуть обробляти повідомлення від інших ПО для визначення повітряної обстановки.

Для передачі даних ADS-B може використатися режим S, ES 1090 МГц (1090 ES). Засоби 1090 ES розроблялися як складові частини системи режиму S. Стандартна довжина сигналу режиму S становить 56 біт. Сигнал +1090 МГц ES містить додатковий 56-бітний блок даних з інформацією ADS-B. Тривалість кожного повідомлення ES становить 120 мкс (8 мкс преамбули та 112 мкс даних). Сигнали передаються на частоті 1090 МГц. Інформація ADS-B передається у вигляді окремих повідомлень, кожне з яких містить відповідний набір даних (наприклад, місце розташування і барометрична висота ПО, місце розташування на поверхні, швидкість, ідентифікаційний індекс і тип ПО, дані про аварійну обстановку). Дані про місцезнаходження і швидкість передаються два рази в секунду. Ідентифікаційний індекс ПО передається кожні 5 с.

ADS-X – інтеграція MLAT і ADS-B систем. Розширена ADS (Extended ADS-X) це інтеграції методів мультilaterації в інфраструктуру ADS-B спостереження. ADS-X підтримує повне охоплення парку ПО. Оскільки при мультilaterації використовуються сигнали всіх транспондерів (в режимах Mode A/C/S), мережа наземних станцій здатна визначити положення ПО без необхідності оснащення їх новою авіоні-

кою. Існує необхідність незалежного резервування, а також перевірки систем ADS-B ПО в самовизначенні свого місця розташування, шляхом включення можливості мультilaterації в мережі ADS-B, так як кожен звіт про місцезнаходження ADS-B буде перевірятися в режимі реального часу з використанням мультilaterації.

Виходячи з наведеного можливо зробити висновок, що всі системи кооперативного спостереження являють собою запитальні системи передачі даних. Дійсно вони мають канал передачі СЗ та канал передачі СВ. Для кодування інформації в цих системах застосовуються примітивні інтервально-часові та позиційні коди, що суттєво знижують інформаційну ємність каналів передачі даних, що розглядаються.

Побудова відповідачів ПО на принципах одноканальної системи масового обслуговування з відмовами та обслуговування першого правильно прийнятого сигналу запиту призводить до значного зменшення пропускної спроможності останнього

при дії в каналі запиту внутрісистемних та навмисних корельованих завад.

Дійсно, використання зазначених видів кодування сигналів потребує обирати ширину смуги пропускання приймачів значно більшу ширини спектрів сигналів, що використовуються, що, як наслідок, призводить до зниження завадостійкості цих кодів. Дійсно, можливо показати, що імовірність виявлення сигналів у КСС визначається як

$$P_n = \left\{ 1 - \left[ 0,5 + \Phi \left( \sqrt{2q_0 / (nk)} - x_0 \right) \right]^k \right\}^n,$$

де  $q_0 = q_k$  – відношення сигналу до завади, віднесенне до оптимальної смуги,  $k$  – відношення смуги пропускання приймача до оптимальної,  $n$  – значність коду.

Місце КСС у ІЗ користувачів розглянемо на прикладі районного диспетчерського обслуговування (рис. 2).

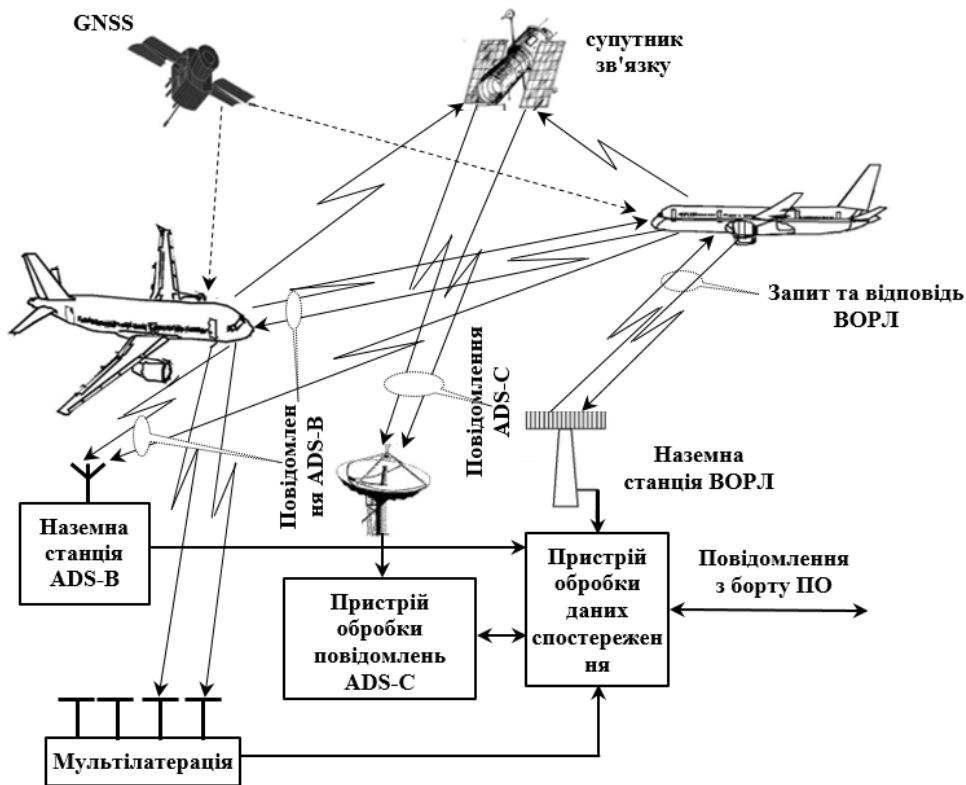


Рис. 2. Архітектура КСС для цілей районного диспетчерського обслуговування

Таким чином ІЗ районного диспетчерського обслуговування забезпечується, як правило, всіма розглянутими вище системами кооперативного спостереження. Для оцінки ефективності розглянутих кооперативних СС може використовуватися коефіцієнт частотної ефективності

$$\gamma = R / \Delta F, \quad (1)$$

де  $R$  – швидкість передачі інформації;  $\Delta F$  – ширина смуги частот, яка зайнята радіоканалом.

У кооперативних СС швидкість передачі інформації може бути визначена як

$$R = f(C_0, \vec{V}_m, \vec{V}_k, \vec{V}_{kan}, P_e), \quad (2)$$

де  $C_0$  – відносна пропускна спроможність відповідача;  $\vec{V}_m$  – вектор параметрів модуляції каналу відповіді;  $\vec{V}_k$  – вектор параметрів способу кодування каналу відповіді;  $\vec{V}_{kan}$  – вектор параметрів радіоканалу відповіді;  $P_e$  – імовірність помилки у каналі відповіді.

У свою чергу відносна пропускна спроможність відповідача може визначатися як

$$C_0 = f(t_p, k_r, k_z, \vec{V}_m, \vec{V}_k, \vec{V}_{kan}, P_0, P_e), \quad (3)$$

де  $t_p$  – час паралізації відповідача при обслуговуванні запиту;  $k_r$  – коефіцієнт розрядки відповідача;  $k_z$  – коефіцієнт максимальної завантаженості відповідача;  $\vec{V}_m$  – вектор параметрів модуляції каналу запиту;  $\vec{V}_k$  – вектор параметрів способу кодування у каналі запиту;  $\vec{V}_{kan}$  – вектор параметрів радіоканалу запиту;  $P_0$  – коефіцієнт готовності відповідача,  $P_e$  – імовірність помилки у каналі запиту.

Можливо показати, що коефіцієнт максимальної завантаженості та коефіцієнт готовності відповідача визначає потенційну швидкість передачі інформації у кооперативних СС. Це дозволяє обчислити кількість інформації, що передається кооперативними СС в одиницю часу та дозволяє визначити спектральну ефективність каналів передачі даних для режиму:

ідентифікації - 0,084;  
 передачі ПП - 0,0054;  
 С - 0,12,

при  $P_0 = 1$ . При зниженні  $P_0$  спектральна ефективність каналів передачі даних також знижується.

Наведені розрахунки показали, що використання принципів побудови, організації мережі, а також принцип обслуговування як СЗ так і користувачів суттєвим чином знижують технічні характеристики існуючих кооперативних СС.

## Висновки

Отримані показники спектральної ефективності каналів обміну інформацією в кооперативних СС показують значні недоліки обумовлені обраним принципом побудови розглядаємої СС, що показує низку якість інформаційного забезпечення користувачів системи контролю ПП при дії внутрісистемних та навмисних корельованих завад в каналах передачі інформації.

## АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ КООПЕРАТИВНЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ

А.С. Мальцев

Приводится сравнительный анализ информационной способности кооперативных систем наблюдения на основе коэффициента частотной эффективности. Показано, что принцип построения существующих кооперативных систем наблюдения, принцип обслуживания сигналов запроса информации и использованный метод модуляции сигналов существенно образом снижает информационную емкость этих информационных систем.

**Ключевые слова:** информационная способность, кооперативные системы наблюдения.

## ANALYSIS OF THE INFORMATION ABILITY OF JOINT OBSERVING SYSTEMS

O.S. Maltsev

The comparative analysis of the information ability of joint observing systems based on the frequency efficiency coefficient is presented. It is shown that the principle of constructing existing joint observing systems, the principle of servicing the information request signals and the used method of signal modulation significantly reduces the information capacity of these information systems.

**Keywords:** information capacity, joint observing systems.

## Список літератури

1. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 319 с.
2. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации / под ред. С.Г. Пятко и А.И. Краснова. – СПб.: Политехника, 2004.
3. Моделирование аэронавигационных систем. Обработка информации та прийняття рішень у системі керування повітряним рухом: навч. посіб. / В.М. Васильєв, В.П. Харченко. – К.: НАУ, 2008. – 108 с.
4. Stevens M.C. Secondary Surveillance Radar / M.C. Stevens. - Artech House, 1988.-345 с.
5. Обод І.І. Інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору / І.І.Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич. – Х.: ХНУРЕ, 2015. -270 с.
6. Обод І.І. Обробка даних систем спостереження повітряного простору: монографія. За заг. ред. І.І. Обод / І.І. Обод, Г.Е. Заволодько. – Харків: НТУ «ХПИ», 2016. – 281 с.
7. Ahmadi Y., Mohamedpour K., Ahmadi M.: Deinterleaving of Interfering Radars Signals in Identification Friend or Foe Systems, 18th Telecommunications forum TELFOR 2010, Serbia, Belgrade, November 23-25, 2010.
8. Garcia M.L. Test For Success: Next Generation Aircraft Identification System RF Simulation / M.L. Garcia. - IEEE ICNS '07, 007.
9. Li Wan Chun. A robust TDOA-based location method and its performance analysis / Li Wan Chun, Wei Ping, Xiao Xianci // Science in China Press. – 2009.
10. Pourvoyeur, K.; Mathias, A.; Heidger, R. Investigation of Measurement Characteristics of MLAT/WAM and ADS-B. In Proceedings of the Tyrrhenian International Workshop on Digital Communications-Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles (TIWDC/ESAV), Capri, Italy, 12–14 September 2011; pp. 203–206.
11. Zhang, J.; Liu, W.; Zhu, Y. Study of ADS-B data evaluation. Chin. J. Aeronaut. 2011, 24, 461–466.
12. Leonardi, M.; Mathias, A.; Galati, G. Two efficient localization algorithms for multilateration. Int. J. Microw. Wirel. Technol. 2009, 1, 223–229.

Надійшла до редколегії 23.11.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.