

УДК 004.045:621.396.96

І.В. Свид, А.І. Обод

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## СИНТЕЗ СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ ІНФОРМАЦІЙНИМИ СИСТЕМАМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

У статті наводиться синтез структури інформаційного забезпечення споживачів інформаційними мережами спостереження повітряного простору на базі технології мультілатерації. Наводяться можливі показники якості інформаційного забезпечення споживачів, котрі включають імовірності виявлення сигналів відповіді кожнім з каналів обробки та імовірності обчислення координат повітряних об'єктів з заданими показниками якості.

**Ключові слова:** інформаційне забезпечення, системи спостереження, показники якості

### Вступ

**Постановка проблеми й аналіз літератури.** Основою інформаційного забезпечення (ІЗ) споживачів системи контролю використання повітряного простору є системи спостереження (СС), котрі поєднуються у інформаційну мережу (ІМ) [1 – 3]. Підвищення надійності ІЗ користувачів системи контролю повітряного простору (ПП) неможливо без використання інформаційних технологій (ІТ) у процесі отримання, збору, обробки, зберігання й розповсюдження аеронавігаційних даних. Реалізація цифрової обробки інформації у СС дозволила здійснювати обробку інформації СС починаючи з виходів фазових детекторів. У цьому разі використання ІТ дозволило підвищити рівень ІЗ, що забезпечило безпеку польотів, підвищення економічності й регулярності польотів цивільної й військової авіації в районі аеродрому, на повітряних трасах та у позатрасовому ПП. ІТ, у цій ситуації, припускають автоматизацію процесів отримання, збору, обробки й відображення інформації від різнорідних СС та здійснюють мережеву обробку інформації [4]. Однією з таких систем є система мультілатерації MLAT. Система мультілатерації MLAT являє собою незалежну кооперативну СС нового рівня. Система використовується з вже існуючим обладнанням запитальних СС і не потребує додаткової бортової апаратури.

**Мета роботи.** Синтез структури ІЗ споживачів ІМ СС ПП.

### Основна частина

Перехід до ІМ СС дозволяє здійснити кооперативне приймання сигналів та розподілену обробку інформації. При цьому ІМ може бути побудована як на синхронному, так і несинхронному рівні. Одночасне вимірювання дальності до ПО, що спостерігається, дозволяє вимірювати висоту польоту ПО, що значно покращує ІЗ користувачів. Робота такої сис-

теми наступна. Запитувачем системи формується сигнал запиту (СЗ), котрий приймається літаковим відповідачем (ЛВ) ПО. ЛВ формує та випромінює сигнал відповіді (СВ) котрий приймається  $m$  приймачами ІМ. В кожному приймачі здійснюється виявлення СВ, що приймаються та обчислення часу розповсюдження сигналу від запитувача до відповідного приймача. Рівняння дальності для поширення сигналу з моменту запиту і до отримання СВ  $i$ -м приймачем визначається наступним виразом

$$r_i + r_0 = \sqrt{(x - x_{mi})^2 + (y - y_{mi})^2 + (z - z_{mi})^2} + \sqrt{(x - x_z)^2 + (y - y_z)^2 + (z - z_z)^2} + c\tau,$$

де  $r_i$  - дальність от ПО до  $i$ -го приймача;  $r_0$  - дальність від запитувача до ПО;  $x_{mi}$  - координати приймачів СВ;  $z_z$  - координати запитувача;  $\tau$  - затримка СВ в бортовому відповідачі;  $c$  - швидкість світла.

У кожен часовий відрізок входить затримка відповідача  $\tau$ , яка є нормованою. Для визначення місця розташування ПО, а також виключення впливу затримки відповідача, можна скористатися відомим різницево-далекомірним методом. Для застосування різницево-далекомірного методу необхідно мати чотири приймача, при цьому один з приймачів доцільно розміщувати разом з запитувачем. Визначивши різницю дальностей між різними парами приймачів, можна отримати систему трьох рівнянь з трьома невідомими, в якій відсутня затримка бортового відповідача і дальність від запитувача до ПО.

Різницево-дальномірні рівняння можуть бути представлені як

$$c\tau_{ij} = \sqrt{(x - x_{mi})^2 + (y - y_{mi})^2 + (z - z_{mi})^2} + \sqrt{(x - x_{mj})^2 + (y - y_{mj})^2 + (z - z_{mj})^2},$$

$$\tau_{ij} = t_i - t_j,$$

де  $i, j = 1, 2, 3, 4$ ,  $t_i$  - час приходу СВ на відповідний приймач з моменту випромінювання СЗ;  $x, y, z$  - координати ПО.

Із системи рівнянь чисельними методами можуть бути знайдені координати ПО. Перехід до синхронної ІМ [2] дозволяє скоротити до трьох приймачів та використання суммарно-дальноміним методом.

Інтегральним показником якості ІЗ при використанні ІГ для розглядаємих систем може бути ймовірність ІЗ, котра визначається ймовірністю виявлення СВ в кожному каналі обробки та ймовірністю вимірювання дальності (різниці чи суми) з потрібною точністю, тобто

$$P_{\text{inf}} = P_i \cdot P_{\text{vim}}.$$

У свою чергу ймовірність виявлення СВ кожним з каналів обробки  $P_i = D_{ij}$ , які є функціями

$$D_{ij} = f(D_{0i}, F_{0i}, C_i) = f(q_{0i}, z_{0i}, C_i),$$

де  $z_0(C)$  – аналоговий (цифровий) поріг виявлення сигналу.

Виявлювач СВ мережі є багатоканальним. Це обумовлено наявністю декількох приймальних пунктів, що працюють на прийом СВ. Після порогових пристроїв (ПП) і дешифраторів сигнали підсумовуються елементом об'єднання.

Однак слід врахувати, що параметри прийнятих СВ, прийняті різними каналами істотно відрізняються, що не враховується при побудові виявлювачів сигналів в існуючих ЛВ. Однак, СВ, як відомо [2], містять кілька простих сигналів без внутрішньої модуляції, часова розстановка яких і визначає код СЗ.

Ці обставини дозволяють синтезувати оптимальний виявлювач СЗ в двох різних постановках:

- виявлення СЗ з ваговим міжканальним об'єднанням каналних рішень про виявлення СЗ;
- виявлення СЗ з ваговим міжканальним об'єднанням каналних імпульсів СЗ.

Будемо вважати, що число каналів прийому СЗ дорівнює  $m$ , а число імпульсів в СЗ становить  $n$  (значність коду). Отримаємо загальний алгоритм виявлення сукупності одиничних рішень  $i$ , на підставі отриманого алгоритму, розглянемо структури виявлювачів СЗ в ЛВ при зазначених вище постановках.

У кожному з каналів прийому СВ прийняті сигнали після оптимальної лінійної обробки і детектування порівнюються в ПП з порогом.

Після ПП на подальшу обробку надходить реалізація  $x_{ij} = 1$ , якщо в елементі часового дозволу ( $i = \overline{1, m}$ ) і ( $j = \overline{1, n}$ ), відповідному аналізованому просторовому дозволу, відбулося перевищення порога; якщо ж не сталося – то  $x_{ij} = 0$ .

Для прийняття рішення про наявність або відсутність сигналу при спільній міжканальній обробці піддається сукупність нулів і одиниць  $x_{ij}$ . Очевидно, що  $x_{ij}$  - випадкова величина, що підкоряється розподілу Бернуллі

$$P(x_{ij}) = P_{ij}^{x_{ij}} (1 - P_{ij})^{1-x_{ij}}, \quad (1)$$

де  $P_{ij}$  - ймовірність перевищення порога в  $ij$ -му каналі обробки. В відсутність сигналу  $P_{ij} = F_{ij}$  - ймовірність хибної тривоги, а при впливі сигналу  $P_{ij} = D_{ij}$  - ймовірність виявлення.

Задачу оптимальної обробки сигналів можна розглядати в різних постановках. Дійсно в розглянутому виявлювачі можливе управління напругою порога спрацьовування вихідного ПП, а також напругою порога каналних ПП.

Розглянемо характеристики виявлювача при управлінні величиною порога тільки на вихідному ПП. Ймовірності хибної тривоги і правильного виявлення сигналів в каналах обробки будемо вважати заданими (хоча і довільними).

Припустимо, що на вхід пристрою спільної обробки прийнятих сигналів надходить сукупність випадкових величин  $x_{ij}$ . Спільні розподілу ймовірностей всіх можливих комбінацій  $x_{ij}$  як у відсутність, так і при наявності сигналу (гіпотези  $H_0$  та  $H_1$ ), тобто  $P(x_{ij}|H_0)$  і  $P(x_{ij}|H_1)$  довільні, але відомі. Для кожної конкретної сукупності  $x_{ij}$  сформуємо відношення правдоподібності

$$\Lambda = P(x_{ij}|H_1) / P(x_{ij}|H_0). \quad (2)$$

Порівняння  $\Lambda$  з порогом, визначеним за допустимої ймовірності хибної тривоги, забезпечує оптимальне за критерієм Неймана-Пірсона рішення про наявність або відсутність сигналу.

Через незалежності шумів в каналах обробки можна записати

$$P(x_{ij}|H_0) = \prod_{i=1, j=1}^{m, n} F_{ij}^{x_{ij}} (1 - F_{ij})^{1-x_{ij}}. \quad (3)$$

Легко бачити, що при впливі сигналу перевищення порогів в каналах обробки - незалежні події. Тоді можна записати

$$P(x_{ij}|H_1) = \prod_{i=1, j=1}^{m, n} D_{ij}^{x_{ij}} (1 - D_{ij})^{1-x_{ij}}. \quad (4)$$

З урахуванням (3) і (4) вираз (2) можна записати як

$$\Lambda = \frac{\prod_{i=1, j=1}^{m, n} D_{ij}^{x_{ij}} (1 - D_{ij})^{1-x_{ij}}}{\prod_{i=1, j=1}^{m, n} F_{ij}^{x_{ij}} (1 - F_{ij})^{1-x_{ij}}}. \quad (5)$$

Прологарифмувавши (5) отримуємо

$$L = \ln \Lambda = \sum_{i=1, j=1}^{m, n} \left( x_{ij} (\ln D_{ij} - \ln F_{ij}) + (1 - x_{ij}) \times \left[ \ln(1 - D_{ij}) - \ln(1 - F_{ij}) \right] \right) \quad (6)$$

Якщо позначити множники при  $x_{ij}$

$$Q_{ij} = \ln D_{ij} - \ln F_{ij} - \ln(1 - D_{ij}) + \ln(1 - F_{ij}) = D_{ij} (1 - F_{ij}) / ((1 - D_{ij}) F_{ij}). \quad (7)$$

і відкинути доданки, які не залежать від  $x_{ij}$ , отримуємо оптимальний за критерієм Неймана-Пірсона алгоритм виявлення сигналів запиту при об'єднанні попередніх рішень виявлення сигналів або імпульсів всіх каналів обробки ЛВ

$$L = \sum_{i=1, j=1}^{m, n} Q_{ij} x_{ij} \geq z_0, \quad (8)$$

де  $z_0$  – поріг, який визначається вихідний ймовірністю  $F$ .

Отже, оптимальна спільна обробка СЗ зводиться до вагового підсумовуванню одиниць і нулів  $x_{ij}$ , що відображають прийняті в каналі обробки попередні рішення.

Вагові коефіцієнти (7) підвищують роль того каналу, де вища ймовірність  $D_{0ij}$  і нижча ймовірність  $F_{0ij}$ . Вагові коефіцієнти (7) залежать як від відношення с/ш, так і від рівня шумів в різних каналах обробки ЛВ.

Оскільки  $x_{ij}$  дорівнює 0 чи 1, то ліва частина (8) представляє собою суму  $k < mn$  вагових коефіцієнтів  $Q_{ij}$ , а значить, може приймати тільки певні дискретні значення. Значення порогу  $z_0$  в цьому випадку може лежати в межах

$$0 < z_0 < \sum_{i=1, j=1}^{m, n} Q_{ij},$$

щоб, з одного боку, не приймалося завжди тривіальне рішення про виявлення, а з іншого - тривіальне рішення про невиявлення.

Якщо все  $Q_{ij}$  різні і сума будь-якої групи  $Q_{ij}$  не збігається з сумою будь-який інший їх групи, то при різних комбінаціях значень  $x_{ij}$  для розглядаємого нами випадку можливі  $2^m - 1$  різних правил виявлення.

Слід зазначити, що підсумовування імпульсів сигналу запиту в каналах обробки здійснюється без ваг, через однакових відносин с/ш і рівня завад в каналі, що дещо спрощує алгоритм обробки. Зокрема, виявлювач СВ в каналах для першої ситуації або крайовий виявлювач сигналів для другої ситуації

може бути виконаний у вигляді дешифратора з цілою логікою обробки («п з п»).

Безвагове підсумовування нулів та одиниць в каналах обробки і заміна виявлювача СЗ дешифратором не приводить до істотних втрат в пороговому відношенні с / ш. В цьому випадку, для розглянутих нами ситуацій, вираз (8) можна записати:

при міжканальному об'єднанні результатів виявлення СВ

$$L = \sum_{i=1}^m Q_i \times \left( x_i = \prod_{j=1}^n x_j \right) \geq z_0, \quad (9)$$

при міжканальному об'єднанні результатів виявлення імпульсів СВ

$$L = \prod_{j=1}^n \left( x_j = \sum_{i=1}^m Q_i x_i \geq z_0 \right). \quad (10)$$

Отримані алгоритми (9) і (10) дозволяють викласти структурні схеми виявлювачів СВ, для розглянутих ситуацій міжканального об'єднання попередніх каналних рішень про виявлення сигналів або імпульсів. В синтезованих виявлювачах мається три порогових пристрої:

перший - ПП з аналоговим порогом, де відбувається виявлення імпульсів СВ,

другий - в дешифраторі (цифровий поріг);

третій - при виявленні об'єднаних імпульсів (сигналів) (цифровий поріг).

Таким чином, оптимізація виявлення СВ зводиться до вибору для спільної обробки одного з вирішальних правил, що задовольняють алгоритму (8), (9) і (10) і до установки однакових відносних порогів в каналах обробки СВ, що забезпечують такі значення  $F_1$ , які при вибраному вирішальному правилі дають необхідну значення результуючої ймовірності  $F$ .

Розрахунок показників якості виявлення СВ за наведеними вище виразами досить складний через необхідність розгляду відмінності завадових коливань і відносини с/ш в каналах обробки.

Припустимо, що число каналів обробки одно  $m$ . У кожному каналі обробки однакове ставлення с/ш. В цих умовах вагові коефіцієнти внутрішньоканального і міжканального об'єднання однакові, а розрахункові вирази для показників якості виявлення спрощуються.

Крім всього слід зазначити, що для функціонування системи мультілатерації потрібно виявлення СВ у всіх приймальних пунктах.

Все це дозволяю зобразити структуру ІЗ у вигляді наведеному на рис.1.

Розрахунки якості виявлення СВ для  $m = 3$  та  $m = 4$  (відповідно логіки 3/3 та 4/4) представлені на рис. 2.

Ймовірність виміру координат ПО визначається відомими математичними виразами.

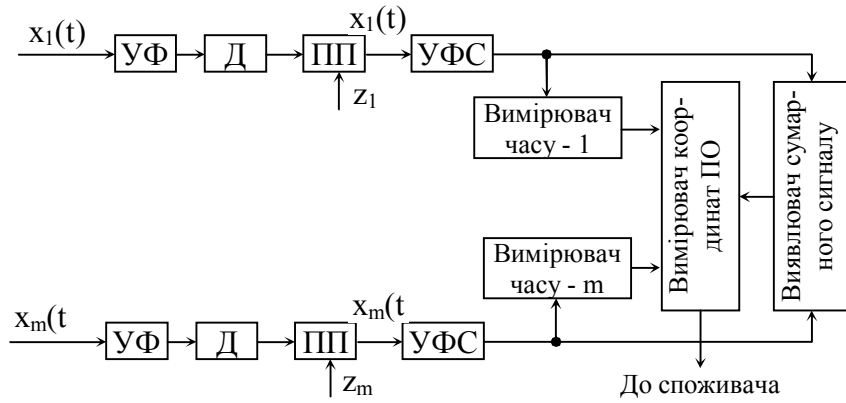


Рис. 1. Структура інформаційного забезпечення

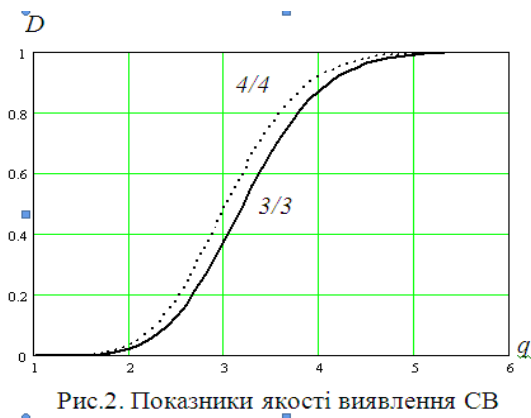


Рис.2. Показники якості виявлення СВ

## Висновки

Отримані результати дозволяють зробити такі висновки:

- використання сучасних радіоелектронних систем MLAT дозволить суттєво поліпшити навігаційні характеристики ПО; використання цих систем, полягає в компенсації окремих навігаційних параметрів з метою збільшення їх технічних характеристик та підвищення якості ІЗ користувачів;
- використання різницево-дальномірною методу більш доцільно.

## Список літератури

1. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони / [Ткачев В.В., Даник Ю.Г., Жуков С.А. і др.] – К.: МОУ, 2004. – 342 с.
2. Теоретичні основи побудови завадозахищених систем інформаційного моніторингу повітряного простору / В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко. – К.: МОУ, 2004. – 271 с.
3. Обод І.І. Завадозахищеність запитальних систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, І.В. Свид, І.А. Штих. – Х.: ХНУРЕ, 2014. – 310 с.
4. Давыдов П.С. Радиолокационные системы летательных аппаратов / П.С. Давыдов, В.П. Жаворонков, Г.В.Кащеев. – М.: Транспорт, 1977. – 356 с.

Надійшла в редколегію 23.03.2015

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

## СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ НАБЛЮДЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

И.В. Свид, А.И. Обод

В статье приводится синтез структуры информационного обеспечения потребителей информационными сетями наблюдения воздушного пространства на базе технологии мультilaterации. Приводятся возможные показатели качества информационного обеспечения потребителей, которые включают вероятности обнаружения сигналов ответа в каждом из каналов обработки и вероятности вычисления координат воздушных объектов с заданными показателями качества.

**Ключевые слова:** информационное обеспечение, системы наблюдения, показатели качества.

## SYNTESIS OF STRUCTURE INFORMATION TO USERS INFORMATION SYSTEMS FOR MONITORING OF AIRSPACE

I.V. Svyd, A.I. Obad

The article provides a synthesis of the structure of information to users information networks airspace surveillance technology-based multilateration. The possible indicators of quality information to users, which include the probability of detection signals responds-that in each of the processing channels and the probability of calculating the coordinates of air objects with given exponential quality.

**Keywords:** provision of information, surveillance systems, quality indicators.