

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 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 дозволили 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 і-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 і-го приймача; r_0 - дальність від запитувача до ПО; x_{mi} - координати приймачів СВ; z_z - координати запитувача; τ - затримка СВ в бортовому відповідачі; c - швидкість світла.

У кожен часовий відрізок входить затримка відповідача τ , 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-дальномірного 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 враховувати, 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 Λ 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.

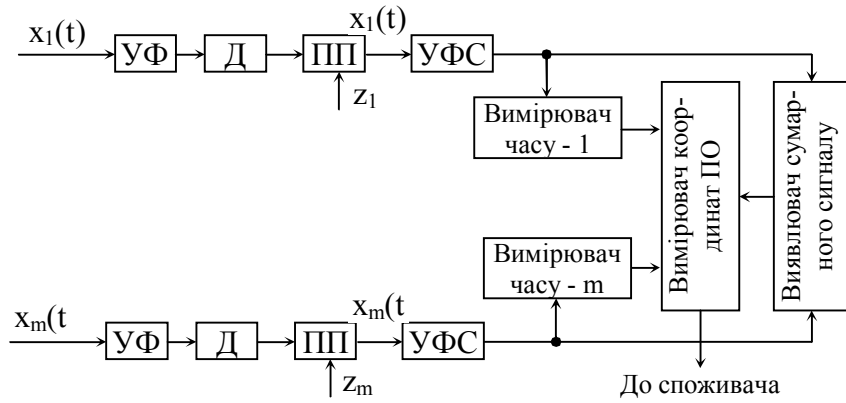


Рис. 1. Структура інформаційного забезпечення

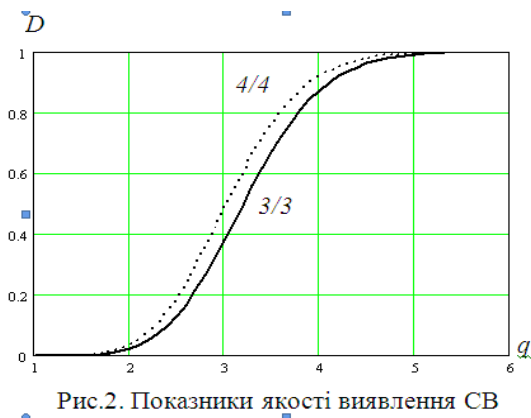


Рис.2. Показники якості виявлення СВ

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-дальномірного 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.