

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

УДК 621.396.967.2

І.І. ОБОД, д-р техн. наук, І.В. СВІД, канд. техн. наук, І.А. ШТИХ

СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ ОПТИМАЛЬНОГО ВИЯВЛЮВАЧА СИГНАЛІВ ЗАПИТУ У ЛІТАКОВИХ ВІДПОВІДАЧАХ ВТОРИННИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Постановка проблеми й аналіз літератури

Основою інформаційного забезпечення споживачів системи контролю використання повітряного простору є первинні системи спостереження (СС), тобто системи, що працюють з ехо-сигналами, та вторинні СС, тобто системи, що працюють за сигналами відповіді (СВ). Основним елементом, який істотно знижує завадостійкість вторинних СС, є літаковий відповідач (ЛВ) [1 – 4]. ЛВ призначений для роботи з радіолокаційними системами (РЛС), які входять до системи управління повітряним рухом, і забезпечує автоматичну видачу цим РЛС інформації про координати літака, бортовий номер, барометричну висоту польоту, а також сигнали індивідуального опізнавання та аварії. Головною функцією ЛВ є приймання сигналів від наземних РЛС, комбінування інформаційного повідомлення – відповіді та передавання знову назад на обладнання РЛС. Саме принцип побудови останнього, принцип обслуговування сигналів запиту (СЗ) знижують завадостійкість як ЛВ, так і вторинних СС в цілому. Наявність багатоканальності в прийомі СЗ розширює структурні можливості при побудові виявлювачів СЗ, зокрема, в варіантах об'єднання попередніх рішень каналів виявлення. Однак в існуючих ЛВ реалізований квазіоптимальний виявлювач СЗ при багатоканальному прийомі з об'єднанням каналних рішень виявлення СЗ.

Мета роботи

Синтезування та аналіз оптимального виявлювача сигналів запиту в літакових відповідачах вторинної системи спостереження.

Основна частина

Виявлювач СЗ в ЛВ є багатоканальним. Це обумовлено наявністю декількох антенних систем, що працюють як на прийом СЗ, так і випромінювання СВ [4]. Після порогових пристроїв і дешифраторів сигнали підсумовуються елементом об'єднання. Однак слід враховувати, що параметри СЗ, прийняті різними каналами, істотно відрізняються, що не враховується при побудові виявлювачів сигналів в існуючих ЛВ. Крім того, в існуючих ЛВ об'єднанню підлягають попередні рішення про виявлення СЗ, здійснені, як правило, дешифратором, тобто квазіоптимальним виявлювачем. Однак СЗ, як відомо [5], містять кілька простих сигналів без внутріімпульсної 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 і на підставі отриманого алгоритму розглянемо структури виявлювачів СЗ в ЛВ при зазначених вище постановках.

У кожному з каналів обробки ЛВ 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 аналізуемому 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. У відсутності 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 $P(x_{ij}|H_0)$ та $P(x_{ij}|H_1)$ 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

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

Прологарифмував (5), отримуємо

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

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 вихідною ймовірністю F .

Отже, оптимальна спільна обробка СЗ зводиться до вагового підсумовування одиниць і нулів x_{ij} , що відображають прийняті в каналі обробки попередні рішення. Вагові коефіцієнти (7) підвищують роль того каналу, де вища ймовірність D_{oij} і нижча ймовірність F_{oij} . 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 всі Q_{ij} різні і сума будь-якої групи Q_{ij} не збігається з сумою будь-якої іншої її 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 однакові відносини с/ш і рівня завад в каналі, що спрощує алгоритм обробки. Зокрема, виявлювач сигналів в каналах для першої ситуації або крайовий виявлювач сигналів для другої ситуації може бути виконаний у вигляді дешифратора з цілої логікою обробки (« n з n »). Безвесове підсумовування нулів та одиниць в каналах обробки і заміна виявлювача СЗ дешифратором не приводять до істотних втрат в пороговому відношенні с/ш.

В цьому випадку, для розглянутих ситуацій вираз (8) можна записати:

- при міжканальному об'єднанні результатів виявлення СЗ

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

- при міжканальному об'єднанні результатів виявлення імпульсів СЗ

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

Отримані алгоритми (9) і (10) дозволяють викласти структурні схеми виявлювачів сигналів запиту, для розглянутих ситуацій між каналного об'єднання попередніх каналних рішень про виявлення сигналів або імпульсів. В синтезованих виявлювачах є три порогових пристрої: перший – пороговий пристрій з аналоговим порогом, де відбувається виявлення імпульсів сигналів запиту, другий – в дешифраторі (цифровий поріг) і третій – при виявленні об'єднаних імпульсів (сигналів) (цифровий поріг).

Таким чином, оптимізація виявлення сигналів запиту в літакових відповідачах 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 сигналів запиту в літакових відповідачах, що забезпечують такі значення F_i , які при вибраному вирішальному правилі дають необхідне значення результуючої ймовірності F .

Розрахунок показників виявлення сигналів запиту за наведеними вище виразами досить складний через необхідність розгляду відмінності заводових коливальних і відносини с/ш в каналах обробки. Припустимо, що число каналів обробки сигналів запиту складає m . У кожному каналі обробки однакове ставлення с/ш. В цих умовах вагові коефіцієнти внутриканального і міжканального об'єднання однакові, а розрахункові вирази для показників виявлення спрощуються.

Розрахунки виявлення сигналів запиту в літакових відповідачах для $m=2$ представлені на рис.1, а для $m=3$ – на рис. 2.

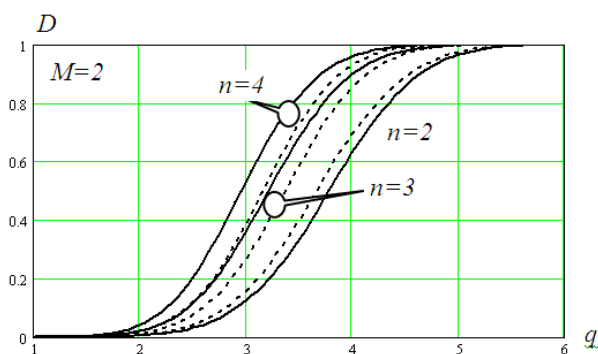


Рис.1. Показники якості виявлення СЗ

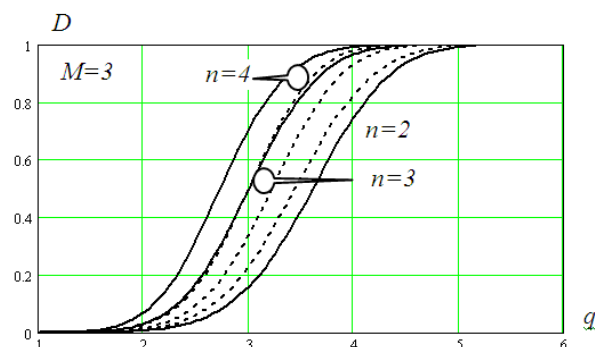


Рис.2. Показники якості виявлення СЗ

Висновки

Міжканальне об'єднання результатів виявлення імпульсів дозволяє отримати переваги в пороговому відношенні с/ш (близько 1 дБ) порівняно з міжканальним об'єднанням результатів виявлення сигналів запиту.

Збільшення значності використовуваних сигналів запиту вторинних систем спостереження дозволяє підвищити ймовірність виявлення їх в літакових відповідачах.

Список літератури: 1. *Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации*; под ред. С.Г. Пятко и А.И. Краснова. – СПб. : Политехника, 2004. 2. *Агаджанов, П.А., Воробьев, В.Г., Кузнецов, А.А.* Автоматизация самолетовождения и управления воздушным движением. – М. : Транспорт, 1980. – 342 с. 3. *Фарина, А.* Цифровая обработка радиолокационной информации / А.Фарина, Ф.Студер. – М. : Радио и связь, 1993. – 319 с. 4. *Давыдов, П.С., Жаворонков, В.П., Кащеев, Г.В.* Радиолокационные системы летательных аппаратов. – М. : Транспорт, 1977. – 356 с. 5. *Обод, І.І.* Завадозахищеність вторинних систем

спостереження повітряного простору / І.І. Обод, І.В. Свид, І.А. Штих. – Х. : ХНУРЕ, 2014. – 310 с.

*Харківський національний
університет радіоелектроніки*

Надійшла до редколегії 05.04.2017