

*І.В. СВІД, канд. техн. наук, І.І. ОБОД, д-р техн. наук,
Г.Е. ЗАВОЛОДЬКО, канд. техн. наук*

ОПТИМІЗАЦІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ В ЛІТАКОВИХ ВІДПОВІДАЧАХ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ «СВІЙ-ЧУЖИЙ»

Вступ

Система ідентифікації «свій-чужий» [1, 2] забезпечує спостереження за повітряними об'єктами (ПО), обладнаними літаковими відповідачами (ЛВ) і забезпечує двосторонній зв'язок за каналом передачі даних між наземними станціями і повітряними об'єктами [3]. Система ідентифікації «свій-чужий» відноситься до основних інформаційних джерел як системи контролю повітряного простору [4], так і системи управління повітряним рухом [5]. Система ідентифікації «свій-чужий» повинна вирішувати завдання ідентифікації повітряного об'єкту за ознакою «свій-чужий» як в інтересах визначення ступеня небезпеки виявленого повітряного об'єкта, так і при безпосередньому застосуванні зброї. Рішення завдання радіолокаційної ідентифікації за ознакою «свій-чужий» полягає в ухваленні рішення про виявлення повітряного об'єкта системою ідентифікації «свій-чужий». Імітостійка (криптографічна) ідентифікація повітряних об'єктів, що реалізована в існуючих системах ідентифікації «свій-чужий» [1, 2], дозволяє однозначно вирішити питання за ознакою «свій-чужий» і є важливою умовою функціонування єдиного інформаційно-комунікаційного простору. Найбільш вразливим місцем в системах ідентифікації «свій-чужий», що істотно обмежує можливість ідентифікації повітряних об'єктів є літаковий відповідач [6 – 9]. Він побудований за принципом відкритої одноканальної системи масового обслуговування з відмовами [10, 11], що викликає труднощі при роботі останніх при значних щільностях потоків внутрісистемних завад [12, 13]. Така побудова літакового відповідача викликає суттєві недоліки в безпеці як його, так і безпеці всієї системи ідентифікації «свій-чужий». Це зазначається в значному числі робіт, зокрема в [14 – 16]. Використання ж єдиної частоти у запитальному каналі в системах, що розглядаються, призводить до високої щільності запитуваних сигналів і, як наслідок, до внутрісистемних завад [17 – 18] значної інтенсивності. Зазначені фактори призводять до зниження якості обробки сигнальних даних. Так, в роботі [17] наводиться характеристика середовища щодо оцінки характеристик сучасних вторинних радіолокаційних приймачів спостереження. Основна увага приділяється параметрам, що надають точну характеристику явищ завад, які суттєво обмежують продуктивність даної системи. В роботі [18] розглядаються питання оптимального виявлення сигналів запиту (СЗ) при однакових рівнях як сигналів запиту, так і завад, які надходять на літаковий відповідач, що представляє собою ідеальний випадок.

Побудова ЛВ за принципом одноканальної системи обслуговування сигналів запиту з відмовами визначило часову паралізацію ЛВ на час обслуговування попереднього сигналу відповіді, що призводить до суттєвих обмежень відносної пропускної здатності ЛВ [10, 11], і це необхідно враховувати при оптимізації обробки даних в ЛВ.

Антенна система літакового відповідача утворена значною кількістю слабонаправлених антен [19 – 22], що розширює можливості щодо оптимізації обробки даних ЛВ за часовими і просторовими параметрами.

Наявність багатоканальності в прийомі сигналів запиту розширює структурні можливості при синтезі оптимальних виявлювачів сигналів запиту, зокрема при об'єднанні попередніх рішень в каналах виявлення сигналів запиту [23, 24]. Так, в існуючих ЛВ загалом реалізується квазіоптимальний виявлювач сигналів запиту під час багатоканального прийому з об'єднанням каналних рішень виявлення сигналів запиту.

При синтезі та аналізі оптимальної структури обробки сигнальних даних у літакових відповідачах систем ідентифікації «свій-чужий» враховується багатоканальність прийому сигналів запиту та обмеження відносної пропускної здатності літакового відповідача [25 – 28].

Синтез оптимальної структури обробки сигнальних даних в літакових відповідачах систем ідентифікації «свій-чужий»

Наявність багатоканальності в прийомі сигналів запиту зумовлює і багатоканальність структури детектора сигналів запиту. Це обумовлено наявністю значної кількості антен систем ідентифікації «свій-чужий» на повітряному об'єкті, які працюють на прийом сигналів запиту і також випромінюють сигнали відповіді (СВ). Зокрема, на винищувачах кількість антенних систем не менше чотирьох. Після порогових пристроїв і дешифраторів прийняті сигнали підсумовуються елементом об'єднання. При цьому слід враховувати, що параметри сигналів запиту, прийнятих різними антенними системами, суттєво відрізняються, що слід враховувати при реалізації виявлювачів сигналів запиту в ЛВ. Крім того, в існуючих алгоритмах обробки даних ЛВ об'єднанню підлягають попередні рішення про виявлення СЗ, здійснені дешифратором, тобто квазіоптимальним детектором. Однак, СЗ, як відомо [4, 5], мають кілька простих сигналів без внутріімпульсної модуляції, часова розстановка яких і визначає код СЗ. Ці обставини дозволяють розглядати питання оптимізації обробки в двох напрямках:

- 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 сигналів запиту становить M , а кількість імпульсів, що утворюють сигнал запиту становить n , що є значністю коду сигналу запиту. Отримаємо загальний алгоритм виявлення сукупності одиночних рішень i , на основі отриманого алгоритму, розглянемо структури обробки сигналів запиту в ЛВ при зазначених вище напрямках оптимізації обробки.

У кожному каналі обробки СЗ в ЛВ прийняті сигнали, після оптимальної лінійної обробки і детектування, порівнюються в пороговому пристрої (ПП) з порогом виявлення, який визначає ймовірність хибної тривоги. Після ПП на подальшу обробку надходить реалізація $x_{ij} = 1$, за умови, що в елементі часового дозволу ($i = \overline{1, M}$) і ($j = \overline{1, n}$), який відповідає аналізованому просторовому дозволу, відбулося перевищення порога; в іншому випадку $x_{ij} = 0$. Для прийняття рішення про наявність або відсутність сигналу запиту під час спільної міжканальної обробки подається сукупність нулів та одиниць x_{ij} . В даному випадку очевидно, що x_{ij} – випадкова величина, яка підпорядковується розподілу Бернуллі

$$P(x_{ij}) = P_0 P_{ij}^{x_{ij}} (1 - P_0 P_{ij})^{1-x_{ij}}, \quad (1)$$

де P_{ij} – ймовірність перевищення порога в ij -му каналі обробки сигнальних даних, P_0 – відносна пропускна здатність ЛВ. При відсутності сигналу $P_{ij} = F_{ij}$ – ймовірність хибної тривоги, а при наявності сигналу запиту $P_{ij} = D_{ij}$ – ймовірність виявлення.

Задачу оптимальної обробки сигнальних даних можна розглядати в різних постановках. В детекторі СЗ, що розглядається, можливе управління напругою порога спрацьовування вихідного порогового пристрою, а також напругою порога каналних порогових пристроїв. Отримаємо характеристики детектора СЗ при управлінні величиною порога на вихідному ПП. Ймовірність помилкової тривоги й правильного виявлення СЗ в каналах обробки будемо вважати заданими (хоча і довільні).

Припустимо, що на вхід пристрою спільної обробки прийнятих сигналів надходить наступна сукупність випадкових величин x_{ij} . Спільні розподіли ймовірностей всіх можливих комбінацій x_{ij} як у відсутності, так і при наявності сигналу запиту (гіпотези H_0 і H_1), тобто $P(x_{ij}|H_0)$ і $P(x_{ij}|H_1)$ довільні, проте відомі. В цьому випадку для кожної конкретної сукупності можна сформуванати відношення правдоподібності у вигляді

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

Шляхом порівняння відношення правдоподібності Λ із заданим порогом, який визначається виходячи з допустимої ймовірності хибної тривоги, забезпечується оптимальне, за критерієм Неймана – Пірсона, рішення про наявність або відсутність сигналу.

Припускаючи незалежність шумів у каналах обробки даних можна записати

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

Можна припустити, що при впливі корисного сигналу перевищення порога виявлення в каналах обробки – незалежні події. В цьому випадку 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 виразів (3) і (4) вираз (2) можна записати в наступному вигляді

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

Здійснивши логарифмування виразу (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} у виді

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

і відкинути доданки, що не залежать від реалізацій x_{ij} , отримаємо оптимальний за критерієм Неймана – Пірсона алгоритм виявлення сигналів запиту при об'єднанні даних попередніх рішень виявлення сигналів або імпульсів всіх каналів обробки ЛВ

$$L = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^n Q_{ij} x_{ij} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} z_0, \quad (8)$$

де z_0 – поріг, який визначає вихідну ймовірність помилкової тривоги F .

Таким чином, оптимальна спільна обробка СЗ зводиться до вагового підсумовування одиниць і нулів x_{ij} , які відображають прийняті в каналах обробки даних попередні рішення. Вагові коефіцієнти, що визначаються відповідно до виразу (7), підвищують роль того каналу обробки даних, де вища ймовірність правильного виявлення D_{0ij} і нижче ймовірність хибної

тривоги F_{0ij} . Вагові коефіцієнти (7) є функцією як відношення сигнал/шум, так і рівня шумів в різних каналах обробки ЛВ.

Так як x_{ij} може бути 0 або 1, тоді ліва частина виразу (8) є сумою $k < Mn$ вагових коефіцієнтів Q_{ij} та може приймати тільки певні дискретні значення. Значення порога z_0 в цьому випадку буде лежати в межах $0 < z_0 < \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^n Q_{ij}$, для того, з одного боку, щоб завжди не приймалося рішення про виявлення СЗ, а з іншого боку – тривіальне рішення про пропуск СЗ.

Якщо розглядати ситуацію, коли всі вагові коефіцієнти Q_{ij} різні й сума будь-якої групи Q_{ij} не співпадає з сумою будь-якої іншої їх групи, то при різних комбінаціях значень x_{ij} для розглянутого випадку можливі тільки $2^M - 1$ різних правил виявлення СЗ.

Зазначимо, що на практиці підсумовування складових імпульсів СЗ в каналах обробки здійснюється без вагових коефіцієнтів через припущення про однакові відношення сигнал/шум і рівня завад в каналі обробки. Це дещо спрощує алгоритм обробки СЗ. Підсумовування без ваг нулів і одиниць в каналах обробки і заміна виявлювача СЗ дешифратором не призводить до суттєвих втрат в пороговому відношенні сигнал/шум.

При зазначених припущеннях вираз (8) можна записати як:

- при міжканальному злитті результатів виявлення СЗ

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

- при міжканальному злитті результатів виявлення складових імпульсів СЗ

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

Отримані вирази (9) і (10) дозволяють реалізувати структури обробки даних СЗ для зазначених ситуацій міжканального злиття попередніх каналних рішень про виявлення сигналів запиту або імпульсних складових сигналів запиту. У синтезованих виявлювачах є три порогових пристрої: перший – пороговий пристрій з аналоговим порогом, де здійснюється виявлення імпульсів СЗ, другий – в дешифраторі (цифровий поріг) і третій – при виявленні об'єднаних імпульсів (сигналів) (цифровий поріг).

Отже, оптимізація обробки СЗ в ЛВ зводиться до вибору для спільної обробки даних одного з вирішальних правил, яке задовольняє алгоритму (8), (9) та (10), а також до установки однакових відносних порогів в каналах обробки СЗ ЛВ, які забезпечують такі значення F_i , що при обраному вирішальному правилі дають необхідне значення результуючої ймовірності F_i .

Аналіз оптимальної структури обробки даних в літакових відповідачах систем ідентифікації «свій-чужий»

Розрахунок показників якості обробки даних СЗ відповідно до виразів (9) і (10) відносно складний і викликає деякі труднощі. Складність викликана необхідністю розгляду відмінностей завадових коливань і відношень сигнал/шум в кожному з каналів обробки даних. У зв'язку з цим розглянемо ситуацію, при якій можна вважати, що в кожному каналі обробки відношення сигнал/шум однакові. При таких умовах вагові коефіцієнти внутріканального і міжканального злиття однакові, а розрахункові вирази для показників

якості виявлення кілька спрощуються. При розрахунках будемо припускати, що число просторових каналів обробки даних становить M .

Розрахунки виявлення СЗ в ЛВ при значності коду запиту $n=3$ представлені на рис. 1, 2, а для $n=2$ – на рис. 3, 4. Неперервні криві визначають зазначені залежності для міжканального злиття результатів виявлення СЗ, а пунктирні – для міжканального злиття результатів виявлення складових імпульсів СЗ. Розрахунки отримані при $F = 10^{-4}$. Число просторово-рознесених каналів обробки даних M складало 2, 3, 4. Представлені залежності показують, що міжканальне злиття результатів виявлення складових імпульсів СЗ дещо краще порівняно з міжканальним злиттям результатів виявлення СЗ.

На рис. 1 представлена залежність $D = f(q, n=3, M, P_0 = 1)$. Представлені залежності показують, що міжканальне злиття результатів виявлення складових імпульсів СЗ більш переважне. Так при $q = 2,8$ ймовірність виявлення сигналів запиту в ЛВ становить відповідно 0,6 ($M = 2$); 0,73 ($M = 3$) і 0,81 ($M = 4$), в той час як для міжканального злиття результатів виявлення СЗ ці ймовірності відповідно дорівнюють 0,5 ($M = 2$); 0,61 ($M = 3$) і 0,68 ($M = 4$).

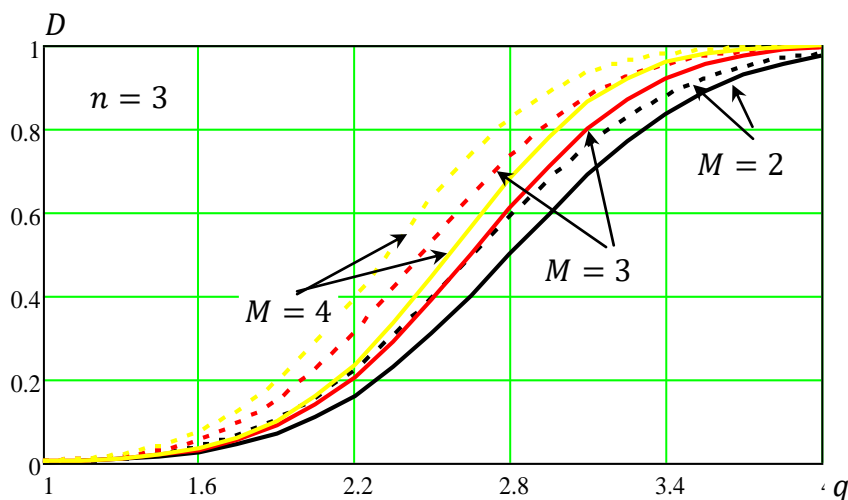


Рис. 1. Виявлення сигналів запиту в літаковому відповідачі при $n=3$

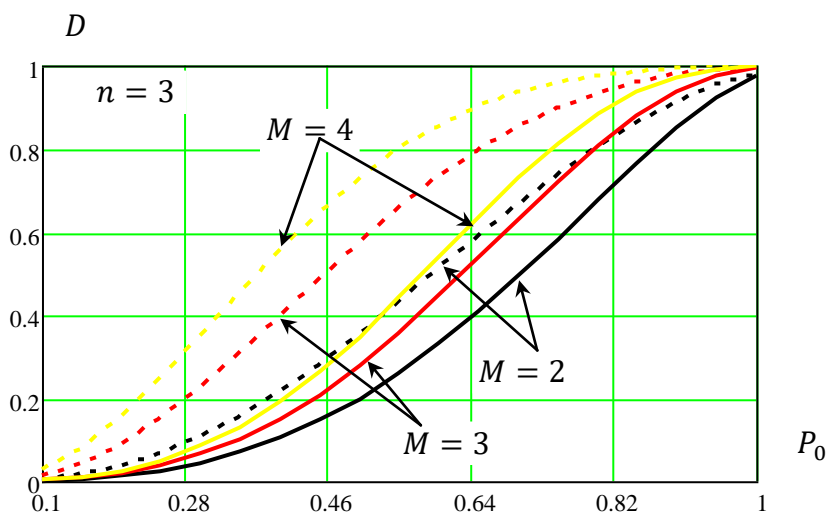


Рис. 2. Виявлення сигналів запиту в літаковому відповідачі при $n=3$

На рис. 2 представлена залежність $D = f(P_0, n = 3, M, q = 4)$. Представлені залежності показують, що міжканальне злиття результатів виявлення складових імпульсів СЗ також більш переважне. Дійсно, при $P_0 = 0,64$ ймовірність виявлення СЗ в ЛВ становить відповідно 0,58 ($M = 2$); 0,79 ($M = 3$) і 0,9 ($M = 4$), в той час як для міжканального злиття результатів виявлення СЗ ці ймовірності відповідно рівні 0,4 ($M = 2$); 0,52 ($M = 3$) і 0,61 ($M = 4$).

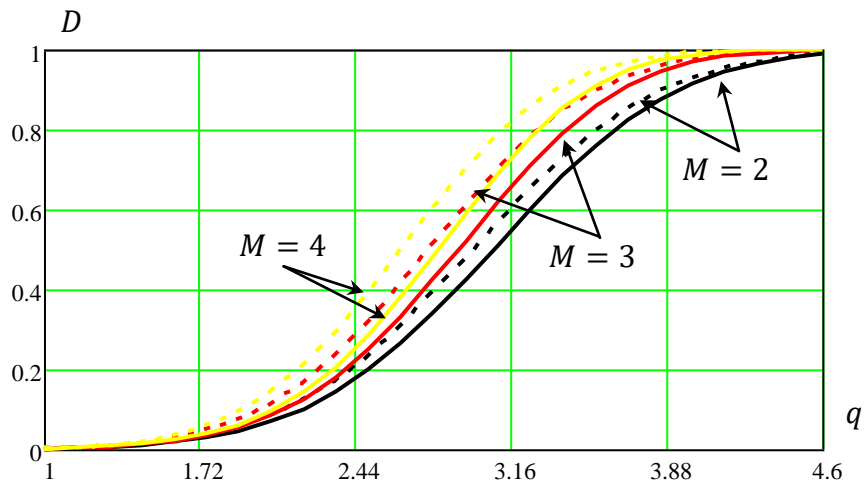


Рис. 3. Виявлення сигналів запиту в літаковому відповідачі при $n=2$

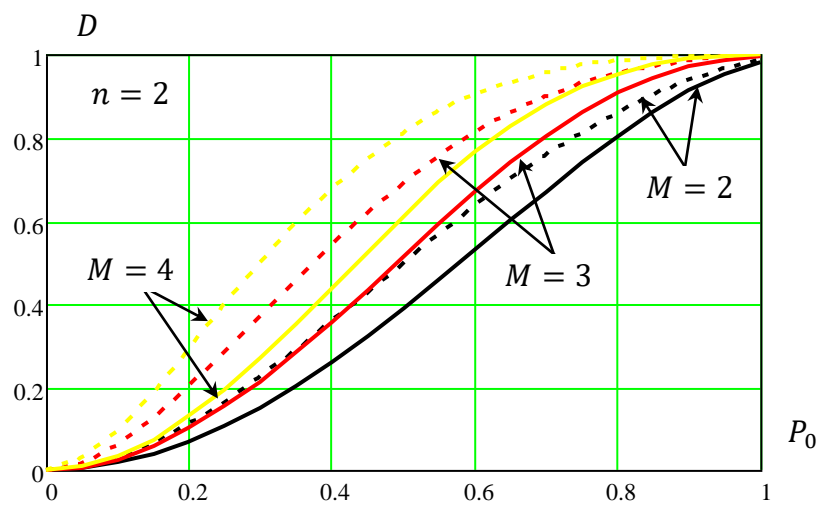


Рис. 4. Виявлення сигналів запиту в літаковому відповідачі при $n=2$

На рис. 3 представлена залежність $D = f(q, n = 2, M, P_0 = 1)$. Представлені залежності показують, що міжканальне злиття результатів виявлення складових імпульсів СЗ більш переважне. Так, при $q = 3,16$ ймовірність виявлення сигналів запиту в ЛВ становить відповідно 0,6 ($M = 2$); 0,74 ($M = 3$) і 0,81 ($M = 4$), в той час як для міжканального злиття результатів виявлення СЗ ці ймовірності відповідно дорівнюють 0,55 ($M = 2$); 0,62 ($M = 3$) і 0,71 ($M = 4$).

На рис. 4 представлена залежність $D = f(P_0, n = 3, M, q = 4, 5)$. Представлені залежності показують, що міжканальне злиття результатів виявлення складових імпульсів СЗ також більш переважне. Дійсно, при $P_0 = 0,6$ ймовірність виявлення сигналів запиту в ЛВ становить відповідно 0,62 ($M = 2$); 0,81 ($M = 3$) і 0,92 ($M = 4$), в той час як для міжканального злиття результатів виявлення СЗ ці ймовірності відповідно дорівнюють 0,54 ($M = 2$); 0,67 ($M = 3$) і 0,77 ($M = 4$).

Висновки

Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки:

- міжканальне об'єднання даних результатів виявлення складових імпульсів сигналу запиту дозволяє отримати переваги в пороговому відношенні сигнал/шум в порівнянні з міжканальним об'єднанням даних результатів виявлення сигналів запиту, тобто існуючим алгоритмом злиття результатів виявлення сигналів запиту, так як дозволяють підвищити якість виявлення сигналів запиту і знизити залежність ймовірності виявлення сигналів запиту від відносної пропускну здатності літакового відповідача;
- збільшення значності коду використовуваних сигналів запиту систем ідентифікації «свій-чужий» дозволяє підвищити ймовірність виявлення їх в літаковому відповідачі;
- вплив відносної пропускну здатності літакового відповідача більше відчувається при збільшенні значності коду сигналу запиту.

Список літератури:

1. STANAG 4193 Document, Technical Characteristics Of IFF Mk X And Mk XII Interrogators And Transponders (Part V) – Technical Description Of The MkXII System, NATO Standard, 2016.
2. Маляренко А.С. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением и государственного радиолокационного опознавания : справочник. Харьков: ХУПС, 2007. 78 с.
3. Uzan S. Turan, and S. A. Colak. IFF system simulator design based on DSP // 2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference, SIU 2016 – Proceedings, 2016, pp. 1-4.
4. Stevens Brian L., Frank L. Lewis, and Eric N. Johnson. Aircraft control and simulation: dynamics, controls design, and autonomous systems. John Wiley & Sons, 2015.
5. Benelli G., Giuli D., Mese E. and Pardini S. Characterization of ATC environment for performance evaluation of modern SSR systems // 29th IEEE Vehicular Technology Conference, Arlington Heights, Illinois, USA, 1979, pp. 370-377, doi: 10.1109/VTC.1979.1622720.
6. Kim E. and Sivits K. Blended secondary surveillance radar solutions to improve air traffic surveillance // Aerospace Science and Technology. 2005. vol. 45. P. 203-208.
7. Martin Strohmeier. Large-Scale Analysis of Aircraft Transponder Data // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine (Volume: 32, Issue: 1, January 2017). P. 42 – 44. doi: 10.1109/MAES.2017.160149.
8. Mauro Leonardi; Davide Di Fausto. Secondary Surveillance Radar Transponders classification by RF fingerprinting // 2018 19th International Radar Symposium (IRS). doi: 10.23919/IRS.2018.8448244.
9. David S. and Vitolo A. J., Airborne IFF transponder antenna system with Omni and steerable cardioid patterns, Aug. 1970, pp. 279-283.
10. Svyd I., Obod I., Maltsev O., Tkachova T. and Zavolodko G. Improving Noise Immunity in Identification Friend or Foe Systems // 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Lviv, Ukraine, 2019, pp. 73-77. doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879812.
11. Obod I., Svyd I., Maltsev O. and Bakumenko B. Comparative Analysis of Noise Immunity Systems Identification Friend or Foe // 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 751-756. doi: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088856.
12. NTIA, Compendium for 960–1164 MHz. NTIA, 2014.
13. Otsuyama T., Honda J., Naganawa J. and Miyazaki H. Analysis of signal environment on 1030/1090MHz aeronautical surveillance systems // 2018 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and 2018 IEEE Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC), Singapore, 2018, pp. 71-71. doi: 10.1109/IEMC.2018.8394048.
14. Pollack J. and Ranganathan P. Aviation Navigation Systems Security: ADS-B, GPS, IFF // International Conference on Security & Management, SAM'18, International Conference on Security & Management, SAM'18, Las Vegas, Nevada, USA, 2018, pp. 129-135.

15. Strelnytskyi O., Svyd I., Obod I., Maltsev O., Voloshchuk O. and Zavolodko G. Assessment Reliability of Data in the Identification Friend or Foe Systems // 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 728-731, doi: 10.1109/ELNANO.2019.8783397.
16. Svyd I., Obod I., Maltsev O., Strelnytskyi O., Zubkov O. and Zavolodko G. Method of Increasing the Identification Friend or Foe Systems Information Security // 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2019, pp. 434-438, doi: 10.1109/AIACT.2019.8847853.
18. Federal Aviation Administration, DOT, "Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) Out Performance Requirements to Support Air Traffic Control (ATC) Service; Technical Amendment. Final rule; technical amendment // Federal Aviation Administration, Renton, Washington, 2015.
19. Svyd I., Obod I., Maltsev O., Shtykh I., Maistrenko G. and Zavolodko G. Comparative Quality Analysis of the Air Objects Detection by the Secondary Surveillance Radar // 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 724-727, doi: 10.1109/ELNANO.2019.8783539.
20. Sharifi-Tehrani O., Sadeghi A. and Razavi S. M. J. Design and Simulation of IFF/ATC Antenna for Unmanned Aerial Vehicle // Majlesi Journal of Mechatronic Systems, vol. 6, no. 1, Jun. 2017.
21. Kolosowski W., Sedek E., Borejko M. and Jeziorski A. Monopulse IFF antennas. // MIKON 2008 – 17th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, Wroclaw, 2008, pp. 1-4.
22. Coleman H. and Wright B. A compact flush-mounting antenna with direction finding and steerable cardioid pattern capability // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 32, no. 4, pp. 412-414, 1984. doi: 10.1109/tap.1984.1143319.
23. Obod I., Svyd I., Maltsev O., Vorgul O., Maistrenko G. and Zavolodko G. Optimization of the Quality of Information Support for Consumers of Cooperative Surveillance Systems. In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 48. Springer, Cham, pp. 133-155, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-43070-2_8.
24. Obod I., Svyd I., Maltsev O., Zavolodko G., Pavlova D. and Maistrenko G. Fusion the Coordinate Data of Airborne Objects in the Networks of Surveillance Radar Observation Systems. In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications // Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 48. Springer, Cham, pp. 731-746, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-43070-2_31.
25. Poornima P., Roja Reddy B. and Anantha Murthy B. G. Design and Simulation of Two-Chain Monopulse Receiver for IFF Radar Application // 2018 3rd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), Bangalore, India, 2018, pp. 1114-1118. doi: 10.1109/RTEICT42901.2018.9012646.
26. Svyd I., Maltsev O., Obod I. and Zavolodko G. Fusion Method of Primary Surveillance Radar Data and IFF systems Data // 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 336-340. doi: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125040.
27. Svyd, I.V., Obod, A.I., Zavolodko, G.E., Melnychuk, I.M., Wójcik, W., Orzalieva, S., Ziyatbekova, G. Assessment of information support quality by "friend or foe" identification systems // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, vol. 1, no. 4, pp. 129-133, 2019. doi: 10.15199/48.2019.04.22.
28. Svyd I., Obod I., Maltsev O., Shtykh I. and Zavolodko G. Model and Method for Detecting Request Signals in Identification Friend or Foe Systems // 2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), Polyana, Ukraine, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/CADSM.2019.8779322.

Надійшла до редколегії 28.30.2020

Відомості про авторів:

Свид Ірина Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна; email: irynd.svyd@nure.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4635-6542>

Обод Іван Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна; email: ivan.obod@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9898-0937>

Заволодько Ганна Едвардівна – кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна; email: ganna.zavolodko@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0000-8910>