

УДК 004.045: 621.396.96

І.В. Свид, А.І. Обод

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## ПОЄДНАННЯ ДАНИХ ОГЛЯДОВИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

У статті наводиться аналіз відомих методів поєднання даних оглядових систем спостереження повітряного простору на етапі третинної обробки та пропонується здійснювати поєднання даних в мережі систем спостереження на етапі сигнальних даних чи на етапі первинної обробки даних. Показано, що реалізація централізованої обробки сигнальних рішень та первинної обробки даних дозволяє здійснити сумісну оптимізацію обробки даних та підвищити показники якості інформаційного забезпечення користувачів системи контролю повітряного простору.

**Ключові слова:** поєднання даних, первинна обробка даних систем спостереження.

### Вступ

#### Постановка проблеми й аналіз літератури.

Підвищення якості інформаційного забезпечення (ІЗ) користувачів системи контролю повітряного простору (ПП) неможливо без використання інформаційних технологій (ІТ) у процесі отримання, збору, обробки, зберігання й розповсюдження даних систем спостереження (СС) [1,2]. Повну картину повітряної обстановки надають первинні та вторинні СС [3-7]. Дійсно, первинна СС надає дані про місцезнаходження ПО, тобто відповідає на запитання «де», а система ідентифікації відповідає на запитання «хто». Наявність вторинної СС дозволяє отримати польотну інформацію з борту ПО.

Завдання обробки даних (ОД) від декількох джерел завжди залишається актуальною, оскільки дозволяє знизити похибки окремих вимірів і підвищити стійкість і достовірність спостережень. Еволюція будь-яких інформаційних систем (ІС) приводить до їхнього об'єднання в мережу. Мережевий принцип організації ІС показав свої переваги при рішенні широкого кола завдань. Слід зазначити, що ІЗ споживачів системи контролю повітряного простору завжди було побудовано за мережевим принципом. Дійсно третинна обробка інформації (ТОІ) передбачає об'єднання трас ПО, отриманих різними СС. Отже, у цьому випадку, СС ПП утворювали некогерентну несинхронну мережу СС ПП. Здійснення мережевої обробки даних, у повному обсязі, може підвищити показники якості даних за рахунок оптимізації обробки даних, що у теперішній час не використовується.

**Мета роботи.** Аналіз інформаційної структури поєднання даних СС повітряного простору.

### Основна частина

Обробка даних в СС, як правило, здійснюється за допомогою електронної обчислювальної машини

(ЕОМ), структурно включеної після сигнального процесору, головна задача котрого здійснити обробку сигнальних даних [1, 2].

Цифрова обробка даних здійснюється на про- тязі декількох циклів обзору СС, тоді як обробка сигнальних даних здійснюється лише за кількома імпульсам опромінення повітряного об'єкту (ПО) в одному циклі огляду. У мережах СС реалізація ОД може бути зосереджена на провідній СС або розподілена за різними позиціями.

Процесор даних СС може бути визначений як сукупність реалізованих на ЕОМ алгоритмів, які за інформацією, одержуваної в декількох послідовних циклах огляду, дозволяють:

- ідентифікувати виявлені сигнали, що відносяться до одного і того ж ПО;
- оцінювати кінематичні параметри ПО (координати, швидкість і прискорення), забезпечуючи таким чином формування траєкторії;
- екстраполювати траєкторії;
- розрізняти ПО і формувати траєкторії кожної з них;
- виділяти справжні ПО на тлі хибних тривог, обумовлених як навмисними, так і природними завадами;
- адаптивне коригувати граничний рівень процесора сигнальних даних, змінюючи чутливість СС в залежності від просторового напрямку з урахуванням карти хибних тривог, обновлюваної на кожному циклі огляду;
- формувати програму огляду простору СС з фазованою антеною решіткою для супроводу ПО, що маневрують із заданою точністю, а також оптимальним чином поєднувати супровід цілей з оглядом простору і іншими функціями СС;
- ефективно використовувати інформацію виявлення або супроводу, що надходить від різних СС, об'єднаних в мережу і контролюючих одну і ту ж область простору.

Остання задача ОД відноситься до третинної обробки даних. Третинна обробка даних СС це поєднання даних різних СС за однойменними ПО з метою поліпшення характеристик спостереження:

- характеристик виявлення;
- характеристик вимірювання координат і параметрів руху ПО.

На цьому етапі обробки вирішується задача обробки даних СС ПП, що припускає виконання наступних функціонально закінчених операцій:

- приведення позначок місця розташування ПО до єдиної системи координат;
- приведення позначок місця розташування ПО до єдиного часу відліку;
- ототожнення (ідентифікація) траєкторій, отриманих від декількох джерел по тому самому ПО;
- обчислення параметрів об'єднаних (усереднених) траєкторій.

Для вирішення цих задач можуть бути використані всі характеристики ПО.

Однак координати ПО вимірюються в системі координат СС, тому при передачі даних на пункт ТОД необхідно перерахувати їх до точки стояння приймача даних. В АСУ передача координат ПО зазвичай здійснюється в прямокутній системі координат. На пункті обробки також використовується прямокутна система. Отже, завдання зводиться до перетворення прямокутних координат ПО щодо точки стояння джерела в прямокутні координати щодо точки стояння пункту обробки.

Єдиний час необхідно для того, щоб визначити положення оброблюваних відміток станом на якийсь один момент часу. Ця операція значно полегшує завдання ототожнення відміток ПО.

Для приведення до єдиного часу приймається модель руху ПО в єдиній системі координат з постійною швидкістю, тобто

$$\bar{W}(i) = \bar{\Phi}(i, i-1)\bar{W}(i-1),$$

$\bar{\Phi}$  - перехідна матриця яка дорівнює де

$$\bar{\Phi}(i, i-1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & | & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & | & 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & 1 & | & 0 & 0 & T \\ - & - & - & - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & | & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & | & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & | & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

де  $T = t_i - t_{i-1}$ .

Приведення вектору стану до заданому моменту часу  $t_s > t_i$  виконується відповідно виразу

$$\bar{W}(s) = \Phi(s, i)\bar{W}(i)$$

для  $T = t_s - t_i$ .

Так як звичайний час екстраполяції невеликий, тому і застосовується лінійна екстраполяція.

Задача ототожнення позначок вирішується у два етапи. Спочатку позначки групуються за їх потраплянням у строб припустимих відхилень, що визначається погрішностями оцінки координат. Потім проводиться ототожнення позначок та їх об'єднання.

У більшості відомих системах ТОД здійснюється на етапі об'єднання трас ПО. Дійсно, в обчислювальному відношенні переважно спочатку прокладати траєкторії ПО незалежно за даними кожного джерела, а на наступному етапі – етапі третинної обробки – використовувати їх для підвищення якості даних, що надається особі яка приймає рішення. Траєкторії кожного ПО, що спостерігається з різних ракурсів кількома СС, при узагальненні дозволяють не тільки точніше визначити і передбачити місце розташування об'єкта, а й оперативно відслідковувати поточні значення похибки кожного джерела вимірювань.

Задачі ТОД у теперішній час вирішуються двома основними методами [2]:

- мозаїчна обробка;
- мультирадарна обробка.

При мозаїчній обробці кожній СС виділяється своя зона огляду, що не перетинається із зонами огляду інших СС. Для формування єдиного формуляра ПО використовується інформація тільки від однієї СС.

До недоліків даного методу відноситься задача супроводу траєкторій ПО при перетинанні границь зон огляду, а також не використання переваги перекриття зон виявлення сусідніх СС.

При мультирадарній обробці використовуються всі доступні СС для формування єдиного формуляра ПО.

Мультирадарна обробка повинна забезпечити стабільний супровід ПО і формування картини повітряної обстановки шляхом аналізу інформації, що надходить від декількох ІС. Як правило, ІС володіють різними характеристиками, так що в конкретних умовах може бути більш ефективний той чи інший радар. За інших рівних умов на великих відстанях буде ефективний радар, що володіє більшою потужністю. В областях великої щільності руху і підвищеної маневреності ПО необхідний радар з невеликим періодом огляду.

Крім того, ефективність радара залежить від його розташування щодо навколишніх завад. Будинки, природний рельєф та інші елементи навколишньої місцевості можуть екранувати, відображати або перевідбивати випромінювання, в результаті чого в певних областях з'являються численні хибні відмітки (або пропадають справжні). Тому для отримання найбільш інформативної картини бажано використовувати інформацію від декількох СС, причому

враховувати особливості цих радарів та їх можливість стосовно конкретних ділянок зони дії системи КПП. Результатом мультирадарної обробки є мультирадарні траєкторії, розраховані з реальних за спеціальними алгоритмами.

Залежно від обставин при формуванні мультирадарної траєкторії може використовуватися траєкторія тільки від одного радара або відразу від декількох радарів, вимірювання яких усереднюються з різними ваговими коефіцієнтами.

Задача ототожнення позначок вирішується у два етапи.

Якщо в строб попадають позначки від багатьох СС, що належать декільком ПО, то задача групування вирішується в такий спосіб:

- складаються всі можливі варіанти групування;
- обчислюються різниці координат у кожній групі;
- обчислюється кореляційна матриця помилок  $\bar{C}_i^{-1}$ , як сума кореляційних матриць помилок координат, що групуються;
- для кожного варіанта групування складається квадратична форма  $\bar{Q}_i = \bar{Z}_i^T \bar{C}_i^{-1} \bar{Z}_i$  та приймається варіант групування, для якого значення  $\bar{Q}_i$ , мінімальне.

Нехай, наприклад, у строб припустимих відхилень потрапили дві позначки з векторами стану  $\bar{W}_{1,1}$  і отримані від першої СС, і одна позначка з векторами стану від другої СС. Кореляційні матриці помилок відповідно рівні  $i$ .

Можливі два варіанти групування:

$$\text{перший} - \bar{Z}_1 = \left\| \begin{array}{l} \bar{Q}_{1,2} \rightarrow \bar{Q}_2 \\ \bar{Q}_{1,2} \end{array} \right\|,$$

$$\text{другий} - \bar{Z}_2 = \left\| \begin{array}{l} \bar{Q}_{1,1} \\ \bar{Q}_{1,2} \rightarrow \bar{Q}_2 \end{array} \right\|.$$

Кореляційні матриці помилок для першого й другого варіантів групування однакові й визначаються як

$$\bar{C}_0^{-1} = \bar{C}_1^{-1} + \bar{C}_2^{-1}.$$

Конкуруючі квадратичні форми можливо записати як:

$$\bar{Q}_1 = \bar{Z}_1^T \bar{C}_0^{-1} \bar{Z}_1 = \bar{Z}_1^T \bar{C}_0^{-1} \bar{Z}_1; \bar{Q}_2 = \bar{Z}_2^T \bar{C}_0^{-1} \bar{Z}_2.$$

Якщо  $\bar{Q}_1 < \bar{Q}_2$ , обирається перший варіант і навпаки. Для СС і ПО число варіантів групування можна визначити як

$$k = (m-1)!n!.$$

Із цієї формули видно, що воно різко зростає зі збільшенням  $n$ .

Задача формування одиничних вимірів вирішується усередненням координат ПО з вагами, обернено пропорційними дисперсіям помилок одиничних вимірів кожної СС.

Однак в єдиних ІС СС повітряного простору поєднання даних за однойменними ПО може здійснюватися і на етапах:

- обробки сигнальних даних;
- первинної обробки даних (ПОД);
- вторинної обробки даних (ВОД).

Дійсно, якщо сигнальні або первинні дані, отримані в окремих пунктах спостереження, передати і зосередити в деякому центрі обробки, то це об'єднання дозволить використовувати в інтересах поліпшення характеристик спостереження не тільки додаткову енергетику, але і кореляційні зв'язки прийнятих сигналів, а також просторову подобу первинних даних про один об'єкт від різних джерел, обумовлене наявністю ПО в певній точці простору.

Основою об'єднання сигнальних даних є наявність розсіяного або випроміненого ПО сигналу в просторі, що набагато перевершує за розмірами обмежений простір однопозиційного спостереження. Остання задача третинної обробки вирішується методами, розглянутими при вторинній обробці.

Проведемо оцінку результатів поєднання сигнальних даних в мережі СС ПП з трьома пунктами прийому. На кожному пункті прийому здійснюється виявлення сигналів, рішення про яке передається на пункт сумісної обробки на якому здійснюється:

- поєднання рішень про виявлення сигналів (критерії 1/3;2/3;3/3);
- виявлення ПО;
- виявлення зав'язки траси ПО.

Будемо вважати, що виявлення ПО здійснюється за правилом  $K/N = 12/25$ , а зав'язка траси ПО -  $1/m = 2/3$ . Характеристики виявлення траси ПО при поєднанні на рівні виявлення сигналів, тобто сигнальних даних, наведені на рис. 1. Ймовірність хибної тривоги дорівнює  $F = 10^{-3}$ .

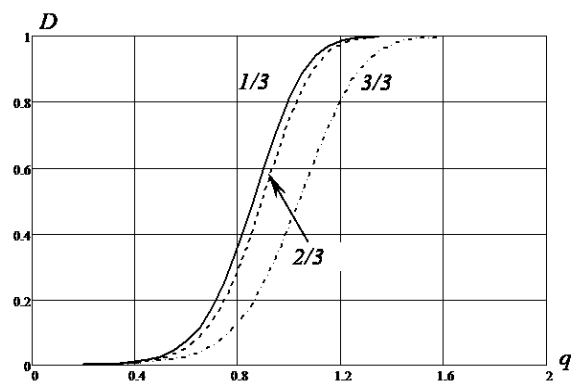


Рис. 1. Поєднання даних на рівні сигнальних даних

Проведемо оцінку результатів поєднання виявлених ПО в мережі СС ПП з трьома пунктами прийому. На кожному пункті прийому здійснюється виявлення сигналів та виявлення ПО рішення про яке передається на пункт сумісної обробки на котрій здійснюється:

- поєднання рішень про виявлення повітряного об'єкту (критерії 1/3;2/3;3/3);
- виявлення зав'язки траси ПО.

Характеристики виявлення траси повітряного об'єкту при поєднанні на рівні виявлення ПО наведені на рис. 2.

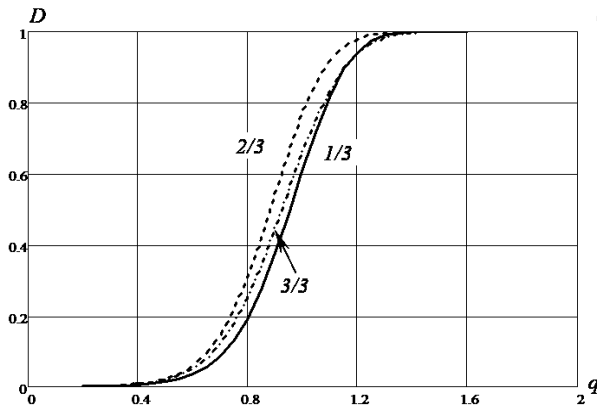


Рис. 2. Поєднання даних на рівні ПОІ

Наведені розрахунки показують, що поєднання рішень про однойменні ПО більш доцільно здійснювати на рівні виявлення ПО для більш жорстких логік обробки і навпаки.

Порівняльний аналіз рис. 1 та 2 показує, що менш жорстких логіках обробки поєднання на рівні сигнальних даних більш доцільно. Дійсно для логіки 1/3 та відношення с/ш 0,8 вираш в імовірності виявлення траси повітряного об'єкту зростає у два рази.

## Висновки

Отримані показники якості інформаційного забезпечення користувачів системи КПП показали доцільність використання сумісної обробки даних СС ПП при широкому застосуванні ІТ на етапах поєднання сигнальних рішень та первинної обробки даних, що дозволяє здійснити наскрізну оптимізацію обробки даних.

## 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. Васильев, В.П. Харченко. – К.: НАУ, 2008. – 108 с.
4. Stevens M.C. Secondary Surveillance Radar / M.C. Stevens. - Artech House, 1988.-345 с.
5. Garcia M.L. Test For Success: Next Generation Aircraft Identification System RF Simulation / M.L. Garcia. - IEEE ICNS '07, 007.
6. Ray P.S. A novel pulse TOA analysis technique for radar identifications. / P.S. Ray - IEEE Transactions on Aerospace And Electronic systems, vol.34, No.3, pp.716-721, 1998.
7. Ahmadi Y. Deinterleaving of Interfering Radars Signals in Identification Friend or Foe Systems / Y.Ahmadi, K.Mohamedpour, M.Ahmadi - 18th Telecommunications forum TELFOR 2010, Serbia, Belgrade, November 23-25, 2010.

Надійшла 23.10.2017

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

## ОБЪЕДИНЕНИЕ ДАННЫХ ОБЗОРНЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЕ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

И.В.Свид, А.И. Обод

В статье приводится анализ известных методов объединения данных обзорных систем наблюдения воздушного пространства на этапе третичной обработки и предлагается осуществлять сочетание данных в сети систем наблюдения на этапе сигнальных данных или на этапе первичной обработки данных. Показано, что реализация централизованной обработки сигнальных решений и первичной обработки данных позволяет осуществить совместную оптимизацию обработки данных и повысить показатели качества информационного обеспечения пользователей системы контроля воздушного пространства.

**Ключевые слова:** объединение данных, первичная обработка данных систем наблюдения

## UNIFICATION OF DATA OF REVIEW SYSTEMS OBSERVATION OF THE AIR SPACE

I.V. Svyd, A.I. Obod

The article provides an analysis of the known methods of combining the data of the surveillance systems for airspace observation in the tertiary processing stage and proposes to perform a combination of data in the observation network at the stage of the signal data or at the stage of primary data processing. It is shown that the implementation of centralized processing of signal solutions and primary data processing allows for joint data processing optimization and improving the quality of information support for users of the airspace control system.

**Keywords:** data consolidation, primary processing of observational data.