

УДК 004.045:621.396.96

*Козирев С.Р., аспірант кафедри  
мікропроцесорних технологій і систем  
Обод І.І., д.т.н., професор кафедри  
мікропроцесорних технологій і систем  
Свид І.В., к.т.н., завідувач кафедри  
мікропроцесорних технологій і систем*

## **ІНФОРМАЦІЙНА МЕРЕЖА СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ**

Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

Інформаційне забезпечення (ІЗ) в значній мірі визначає якість рішень задач системою контролю повітряного простору. Еволюція систем спостереження (СС) призводить до побудови об'єднаних СС, розосереджених на певній ділянці контрольованого простору та поєднаних у мережу. Така еволюція вмотивована можливістю об'єднання великого обсягу даних, одержуваних елементами СС, що працюють незалежно один від одного і володіють певною мірою взаємодоповнюючими даними. Завдання полягає в точному відображенні навколишнього оточення і своєчасному виявленні змін в ньому. Такий супровід повітряних об'єктів (ПО) являє собою загальновідому системну концепцію, що довела свою корисність при вирішенні прикладних задач практично у всіх розвинених державах.

Коротко розглянемо переваги мережевої інформаційної системи в порівнянні з поодинокими інформаційними засобами.

Відомо, що з'єднання декількох радіолокаційних станцій (РЛС) лініями зв'язку дозволяє розширити зону видимості за межами максимальної дальності одиночної РЛС, яка обмежена або межами прямої видимості, або потужністю випромінювання радіолокації. Такого результату можна досягти при мінімальному перекритті зон охоплення РЛС, тим самим, зводячи до мінімуму кількість прийомних датчиків, розгорнутих в заданій області. Однак об'єднання в мережу РЛС з перекриттям зонами видимості пов'язано з рядом переваг.

Одна з переваг полягає в збільшенні ймовірності виявлення в межах деякого інтервалу часу, який забезпечується мережевою системою РЛС, в порівнянні з випадком розрізаних РЛС, при цьому знижується ймовірність зриву супроводу. Як варіант, при заданій ймовірності зриву супроводу, ймовірність виявлення для кожної РЛС може бути знижена щодо випадку одиночних РЛС. Це має на увазі зниження потужності передавачів і зниження вартості кожної з РЛС. Залежно від типу прикладної задачі, об'єднання РЛС в мережу може виявитися більш зручним, ніж одиночна РЛС, яка має високу потужність і швидкість видачі даних.

Ще одна з переваг, одержуваних при мережевій системі РЛС, тобто при об'єднанні їх в єдину інформаційну мережу, це відмінність в ефективних поверхнях розсіювання (ЕПР) цілей в різних трактах проходження сигналів між об'єктом та радіолокаційними станціями. Для розосереджених великих базових радіолокаційних систем розкид ЕПР в залежності від кута

огляду становить значну величину. Ця обставина дозволяє забезпечити більш надійне виявлення ПО з малою ЕПР в інформаційній мережі.

Серед інших переваг, можна згадати надійність і безперервність супроводу при переході спостереження між сусідніми радіолокаційними системами і підвищення точності супроводу цілей.

Мережева РЛС забезпечує більш високу швидкість видачі даних, при відповідному зменшенні помилок фільтрації. На прямолінійних ділянках траєкторії помилки фільтрації головним чином обумовлюються шумами системи. Мережева структура, що дозволяє комбінувати дані, що надходять від двох або більше РЛС, підвищує точність системи в цілому. Коли комбінування даних здійснюється простим усередненням, точність підвищується пропорційно квадратному кореню числа використовуваних РЛС. Кращі результати може дати метод комбінування, при якому координатні дані по кожній окремій цілі піддаються ваговій обробці, відповідно до їх точності, на підставі критерію мінімуму середньоквадратичної помилки.

Ще однією перевагою мережевих систем є їх більш висока стійкість до природних і навмисним завад, і живучість, обумовлена складністю вогневого знищення протирадіолокаційними ракетами. Це є результатом складної геометрії радіолокаційних станцій і можливості координувати випромінювання РЛС. Крім того, висоту цілі й сумарний вектор швидкості можна оцінити, відповідним чином комбінуючи дані вимірювань, що видаються РЛС.

При об'єднанні в мережу забезпечуються розширені можливості реконфігурації системи в разі виникнення відмов в роботі РЛС. Тим самим досягається велика надійність радіолокаційного огляду контрольованого простору.

Головна функція мережі полягає в передаванні даних, які видаються різними РЛС, до споживача, який комбінує інформацію для того, щоб забезпечити мережевий супровід. При такій реалізації мережі сукупність систем спостереження здійснює виявлення і вимірювання координат ПО та здійснює видачу споживачам інформації з різним темпом і різними показниками. За лініями передачі (в режимі «on line») дані пересилаються до споживача, який виконує функції супроводу, прогнозування радіолокаційної траєкторії, кореляцію, згладжування траєкторій і перетворення координат, одержаних за даними вимірювань, що видаються мережевими РЛС, до опорної системи центру обробки даних.

За принципом організації інформаційні системи (ІС) можуть бути несинхронні та синхронні. У несинхронній ІС інформація від РЛС надходить з різних темпом, що потрібно враховувати при побудові апаратури вторинної обробки. Саме ця обставина вимагає передавати координатну інформацію з вказівкою часу її отримання. Ця обставина дозволяє враховувати інформацію при фільтрації траєкторії цілі, що надходить від різнорідних джерел. Розглянемо таку систему більш детально.

Припустимо, що є дві РЛС сканування простору, в яких відбувається з різних темпом. У кожному з джерел радіолокаційної інформації є своя шкала часу, організована за допомогою, наприклад GPS приймачів, що характеризується часовим процесом  $T_{ij}$ , де індексом  $i$  позначається номер джерела даних ( $i = 1, 2$ ), а  $j$  – дискретний час отримання даних. Будемо вважати, що модуль обробки радіолокаційних даних суміщений з першої РЛС. Припустимо, що по  $j = k$  попереднім вимірам в модулі обробки даних отримана результуюча оцінка вектора стану  $\widehat{W}_k(T_{ik})$  з відповідною матрицею точності  $\vec{C}_k$ .

При отриманні поточної оцінки вектора стану, наприклад від другого датчика в момент часу  $k + 1$   $\widehat{W}_{y(k+1)}(T_{2(k+1)})$  з матрицею точності  $\vec{C}_{y(k+1)}$ , за даними результуючої оцінки вектора стану і матриці точності здійснюється обчислення апріорного розподілу на цей крок вимірювань. Цьому розподілу відповідає  $\widehat{W}_{0(k+1)}(T_{1(k+1)})$  і  $\vec{C}_{0(k+1)}$ , тобто здійснюється прогнозування вектора стану і матриці точності на момент часу отримання поточної оцінки

вектора стану. Результуючу оцінку вектора стану і матрицю точності на момент часу  $k + 1$  можна записати як

$$\widehat{W}_{k+1}(T_{1(k+1)}) = \widehat{W}_{0(k+1)}(T_{1(k+1)}) + \vec{C}_{k+1}^{-1} \vec{C}_{y(k+1)} \left[ \widehat{W}_{y(k+1)}(T_{2(k+1)}) - \widehat{W}_{0(k+1)}(T_{1(k+1)}) \right],$$
$$\vec{C}_{k+1} = \vec{C}_{0(k+1)} + \vec{C}_{y(k+1)}.$$

Надалі процедура повторюється. Таким чином, виходить рекурентне правило, що дозволяє послідовно в часі робити фільтрацію траєкторії повітряної цілі при отриманні первинних вимірювань від датчиків інформації з різним темпом.

Слід зауважити, що до складу мережі можуть входити (і повинні) датчики з взаємодоповнюючими характеристиками. Безперечною перевагою об'єднання в мережу різних типів датчиків є підвищена надійність огляду і більш чітка оцінка навколишнього оточення. Наприклад, традиційні активні (первинні) РЛС взаємодіють з РЛС активної відповіді (вторинними РЛС). Об'єднання даних вимірювань первинної і вторинної РЛС підвищує якість виявлення [1-4] і точність визначення координат цілі [5-8]. Однак останні військові конфлікти показали, що радіолокатор, в його традиційній побудові, перетворився з інформаційного засобу в засіб небезпеки. Дійсно, створення високоточної зброї та оцінка місця розташування радіолокатора засобами радіорозвідки поза зоною видимості радіолокатора не залишає шансів захисту останнього від вогневого впливу на нього. Одним з ефективних способів зниження уразливості РЛС до вогневого впливу є перехід від однопозиційної до багатопозиційної, зокрема до мережевої, побудови останніх.

Звернемо увагу, що поняття синхронізації тісно пов'язане з поняттям одночасності. Дійсно, синхронізовані годинники повинні одночасно виробляти однойменні часові сигнали. Саме поняття одночасності в загальній теорії відносності не є однозначним. Однак можна стверджувати, що єдиним несуперечливим визначенням одночасності є наступне визначення. Для аналізу будь-яких явищ можна ввести деяку чотиривимірну систему координат (СК), що має одну часову координату (можна називати координатний час даної СК) і три просторових. Дві події, фіксовані в деякій СК значеннями  $(t_1, x_1, y_1, z_1)$  і  $(t_2, x_2, y_2, z_2)$ , вважаються одночасними щодо цієї СК, якщо відповідні їм значення часової координати збігаються:  $t_1 = t_2$ . Надалі таке визначення одночасності (і відповідне йому визначення синхронізації часу) будемо називати координатним. Зазначене визначення дозволяє ввести в рамках системи спостереження єдину самоузгоджену шкалу часу в самих різних областях простору-часу і з будь-якою розумною точністю. СК з синхронізацією за часом не повинна викликати занепокоєння: від синхронізації по координатному часу однієї СК легко перейти до синхронізації по координатного часу будь-якої іншої СК. Таким чином, інформаційне забезпечення споживачів має базуватися на єдиній інформаційній мережі систем спостереження концептуальними засадами створення якої є: контрольований доступ споживачів до будь-якого джерела даних, незалежно від його відомчої належності; єдине координатно-часове забезпечення елементів систем спостереження, що дозволяє реалізувати несинхронну або синхронну мережу.

### Література.

1. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации / А. Фарина, Ф.Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 319 с.
2. Обод І.І. Інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич. – Х.: ХНУРЕ, 2015. -270 с.
3. І.І. Обод, І.В.Свид, О.П. Черних. Оцінка якості передачі інформації у запитальних каналах передачі СС повітряного простору. // «Восточно-Европейский журнал передовых технологий» 3/11(51) 2011 - Харків, 2011 – С. 52-54.
4. І.В. Свид. Показники якості інформаційного забезпечення користувачів сполученими системами спостереження повітряного простору. // Радіотехніка: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2011. Вип. 165. – Харків, ХНУРЕ, 2011 – С. 157-160.

5. І.В. Свид. Аналіз завадостійкості способу передавання польотної інформації у запитальних системах спостереження. // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Выпуск 24'2011. Тематический выпуск «Новые решения в современных технологиях» - Харьков, 2011 – С. 60-64.

6. І.І. Обод, І.В.Свид, В.В. Шевцова. Оцінка якості передачі інформації запитальними каналами передачі при використанні сучасних методів модуляції. // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Збірник наукових праць. Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПИ». – 2012. – № 52 (958). – С. 133-137.

7. І.І. Обод, І.В. Свид, І.А. Штих. Шляхи та методи удосконалення радіотехнічних систем ближньої дії. // Кафедра систем інформації: Зб. наук. праць / Під ред. проф. Кравця В.О. та проф. Серкова О.А. – Х.: ТОВ «Щедра садиба плюс», 2014 р. – С. 225-234.

8. І.І. Обод, І.В. Свид, І.А. Штих. Методи підвищення завадозахищеності літакових відповідачів запитальних систем спостереження повітряного простору. // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015 – Вип. 1 (126) – С. 41-43.