

УДК 004.045:621.396.967.2

Г.Е. Заволодько¹, А.І. Обод², В.А. Андрусевич²¹ Національний технічний університет «ХПИ», Харків² Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

АНАЛІЗ ЯКОСТІ ОБ'ЄДНАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

Проведено аналіз якості об'єднання координатної інформації повітряних об'єктів які отримані в первинній та вторинній системах спостереження повітряного простору в єдиній інформаційній мережі. Показано що при об'єднанні інформації первинної та вторинної систем спостереження можливо суттєвим чином знизити роздільну здатність вторинної системи спостереження без істотного зменшення ймовірності правильної ідентифікації повітряних об'єктів.

Ключові слова: якість об'єднання інформації, інформаційна мережа систем спостереження.

Вступ

Постановка проблеми та аналіз літератури.

Рішення задач, поставлених перед Повітряними Силами, у значному ступені визначається ІЗ, яке базується на первинних та вторинних СС [1, 2]. Вторинні СС вирішують задачу ідентифікації об'єктів за ознакою «свій-чужий». Ідентифікаційна СС, як правило, потребує цілевказівки (ЦВ) від первинної СС і видачі її інформації в систему обробки первинної СС. На етапі первинної обробки інформація від первинної та вторинної СС об'єднується на координатному рівні [3]. Однак принцип побудови вторинних СС призводять до суттєвих недоліків цих систем. Дійсно, роздільні здатності вторинних СС перевищують роздільні здатності деяких первинних СС, що не завжди потрібно, оскільки при обмеженій кількості об'єктів ймовірність знаходження серед них „свого” та „чужого” на такій малій відстані незначна.

Метою роботи є дослідження якості об'єднання координатної інформації систем первинної та вторинної СС.

Основна частина

Процес об'єднання інформації від первинних та вторинних СС аналогічний процесу ЦВ. При цьому ЦВ можна розглядати, власне кажучи, як заявку на обслуговування визначеного об'єкта вторинною СС. Тому задачею є визначення координат повітряних об'єктів (ПО), які відповідають на сигнали запиту. У подальшому координати ПО, визначені первинною та вторинною СС, порівнюються. Якщо вони співпадають, ПО привласнюється ознака „свій”; якщо ж вторинна СС не визначила координати ПО, об'єкту привласнюється ознака „чужий”.

Одним з основних показників системи об'єднання інформації є ймовірність правильної ідентифікації своїх P_{cc} і чужих $P_{чч}$ об'єктів. Розглянемо ситуацію коли об'єм невизначеності (ОН) вторинної

СС значно перевищує ОН системи первинної СС і в ОН вторинної СС знаходяться декілька ПО.

Будемо вважати, що первинні СС проводять огляд заданої області простору з деяким періодом оновлення інформації про цільову обстановку. Якщо в ОН вторинної СС з'являється відразу декілька об'єктів, через недостатньо високу роздільну здатність цієї системи неможливо однозначно прив'язати їх до ЦВ від інформаційного засобу. Для аналізу ефективності розглянемо таку логіку ідентифікації виявлених ПО:

- первинна СС формує цільову обстановку в цілому в усій зоні відповідальності за поточний період огляду;

- зона відповідальності розбивається на декілька підзон, які не перекриваються. Кожна з них збігається з ОН вторинної СС із таким розрахунком, щоб охопити всі виявлені об'єкти;

- проводиться ідентифікація всіх ПО, які знаходяться в кожній підзоні. Для цього на кожну групу ПО видається одна ЦВ, яке й визначає конкретне розташування ОН dV в межах зони.

Таким чином, задача зводиться до прийняття рішення системою ідентифікації (СІ) у поточному циклі ідентифікації по всім N ПО, які потрапили у визначений ОН dV . При цьому загальна кількість ПО в ОН у даному циклі огляду складається зі N_c своїх та $N_{ч}$ чужих ПО. Із загального визначення ймовірності правильної ідентифікації своїх P_{cc} і чужих $P_{чч}$ ПО як умовних ймовірностей прийняття "свого за свого" і "чужого за чужого" витікає:

$$P_{cc} = \frac{\bar{N}_{опс}}{\bar{N}_c}, \quad P_{чч} = \frac{\bar{N}_{опч}}{\bar{N}_ч}, \quad (1)$$

де $\bar{N}_{опс}$, $\bar{N}_{опч}$ - математичне сподівання кількості правильно ідентифікованих і прив'язаних до ЦВ своїх і чужих ПО в ОН, \bar{N}_c , $\bar{N}_ч$ - математичне очікування кількості своїх та чужих ПО в ОН.

З урахуванням (1), ймовірність правильної ідентифікації своїх ПО можна представити у вигляді

$$P_{cc} = \frac{\bar{N}_{опс}}{\bar{N}_c} = \frac{\sum_{j=0}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} iP_{cc}(i, j)P(i, j)}{\sum_{j=0}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} iP(i, j)}, \quad (2)$$

де $P_{cc}(i, j)$ – ймовірність ідентифікації "свій приймається за свого" і правильної прив'язки мітки "свій" до ЦВ при рівно i своїх та j чужих ПО, пред'явлених до ідентифікації; $P(i, j)$ – ймовірність пред'явлення рівно i своїх та j чужих ПО; i, j – кількість своїх та чужих ПО, пропонованих для ідентифікації. Величину $P_{cc}(i, j)$ можна представити як

$$P_{cc}(i, j) = \frac{\overline{N_{опс}(i, j)}}{i} = \sum_{k=1}^i P_{опс}(k, j),$$

де $\overline{N_{опс}(i, j)}$ – математичне сподівання кількості правильно ідентифікованих та прив'язаних до ЦВ своїх ПО при пред'явленні рівно i своїх та j чужих ПО; $k=1, 2, \dots, i$ – поточна вихідна кількість ідентифікованих і прив'язаних до ЦВ своїх ПО; $P_{опс}(k, j)$ – ймовірність ідентифікації і прив'язки до ЦВ рівно k своїх ПО при подачі на вхід вторинної СС рівно i своїх та j чужих ПО, яка чисельно дорівнює ймовірності появи на виході СІ рівно k ідентифікованих і прив'язаних своїх ПО при подачі на вхід СІ рівно i своїх та j чужих ПО (диференціальна ймовірність ідентифікації рівно k з i своїх ПО).

Отже, можна відзначити, що процес ідентифікації містить, як мінімум, три фази:

- 1) виявлення й вимірювання координат ПО СІ;
- 2) селекція ПО;
- 3) прив'язка ПО до ЦВ, яка включає порівняння координат ПО, визначених системами первинної та вторинної СС, з наступною ідентифікацією виявленого ПО.

У загальному випадку кожна з фаз носить випадковий характер і може бути описана числовим параметром:

перша фаза — ймовірністю вимірювання $P_{вим}$ ознаки ПО, за якою буде проводитися її селекція;

друга фаза — ймовірністю селекції $P_{сел}$, яка характеризує здатність вторинної СС класифікувати ПО на свої і чужі за вимірюною в першій фазі ознакою,

третя фаза — ймовірністю правильної прив'язки $P_{пр.прив}$ ознаки „свій-чужий” до ЦВ (залежить від роздільної здатності вторинної СС).

Розглянемо особливості розрахунку відповідних ймовірностей.

В якості ознаки селекції або прив'язки ПО використовують, як правило, просторові координати.

Для розрахунку $P_{вим}$ доцільно застосовувати математичну модель реального фізичного каналу з врахуванням зовнішніх і внутрішніх умов функціонування літакового відповідача. Таким же способом розраховується $P_{сел}$, причому при моделюванні вторинної СС необхідно враховувати як власні фізичні параметри селектора, так і алгоритми прийняття рішення "свій-чужий" вторинної СС в цілому.

Цільову обстановку в зоні огляду первинної СС рекомендується моделювати в дискретно-точковому ймовірнісному уявленні із застосуванням пуассонівських законів розподілу. Для випадку незалежних випадкових пуассонівських просторових полів точок (де точками позначаються ПО, які необхідно ідентифікувати), ймовірність появи рівно i своїх та j чужих ПО в ОН визначається співвідношеннями:

$$P(i, j) = P(i)P(j),$$

$$P(i) = \frac{n_c^i e^{-n_c}}{i!}, \quad P(j) = \frac{n_q^j e^{-n_q}}{j!},$$

де $n_c = \bar{N}_c$, $n_q = \bar{N}_q$ – середні кількості своїх та чужих ПО, які знаходяться в розглянутому ОН, причому $n_c = a_c dV$, $n_q = a_q dV$; a_c, a_q – об'ємні щільності своїх та чужих ПО, обумовлені поточною тактичною ситуацією в зоні відповідальності.

За аналогією з (2), ймовірність правильної ідентифікації чужих ПО можна представити у вигляді:

$$P_{чч} = \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} jP_{чч}(i, j)P(i, j) / \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} jP(i, j),$$

або, враховуючи незалежність випадкових полів своїх і чужих ПО:

$$P_{чч} = \sum_{i=0}^{\infty} P(i) \sum_{j=1}^{\infty} jP_{чч}(i, j)P(j) / \sum_{i=0}^{\infty} P(i) \sum_{j=1}^{\infty} jP(j),$$

де i, j – індекси, що відносяться до своїх і чужих ПО; $P_{чч}(i, j)$ – ймовірність правильного ідентифікації чужих ПО і прив'язки ознаки "чужий" до ЦВ при подачі на вхід вторинної СС рівно j чужих та i своїх ПО; $P(i), P(j)$ — ймовірності появи рівно i своїх та j чужих ПО на вході вторинної СС.

Проведемо короткий аналіз ефективності каналу ідентифікації ОН якого значно перевищує ОН первинної СС. У цьому випадку основним засобом ідентифікації є запитувач вторинної СС, суміщений із первинною СС. ПО присвоюється ознака "свій", якщо ПО відповіла на сигнал запиту й за просторовими координатами, визначеними СІ, ПО ототожниться з відміткою ЦУ від первинної СС. При відсутності ознаки "своя" на виході вторинної СС ПО буде сприйнятий як "чужий". Здатність із просторової селекції ПО характеризується об'ємом невизначеності dV СІ. Таким чином, ОН вторинної СС можна

назвати область простору, у кожній точці якого дальність та кутові координати ПО, виміряні СІ, остаються незмінними.

Координати ПО вимірювач вторинної СС видає тільки в тому випадку, якщо СІ виявила ПО. Отже, ймовірність визначення ознаки "свій", тобто видачі просторових координат ПО на виході запитувача при ідентифікації свого літака $P_{\text{вим.с}}$, залежить від технічних рішень, прийнятих у СІ та наявності й інтенсивності навмисних корельованих і некорельованих завад [3].

Істотним параметром інформаційного каналу відповіді вторинної СС вважається його пропускна здатність – кількість відповідей $i_{\text{кр}}$, що можуть одночасно опрацьовуватися в одному ОН. Звичайно, пропускна здатність становить лише одну відповідь, причому одночасний прихід двох і більше відповідей може призвести до їхнього взаємного спотворення, і придушення сигналів відповіді, що виключає вимірювання координат ПО вторинною СС.

Розглянемо останню фазу процесу ідентифікації - прив'язку ознаки "свій-чужий" до ЦВ при перебуванні в ОН декількох ПО.

В основному будемо орієнтуватися на алгоритм прив'язки, який використовує випадковий вибір (призначення) свого об'єкта із сукупності пред'явлених ПО.

При зазначених умовах можливо встановити часткові ймовірності правильної ідентифікації своїх ПО та отримати інтегральну ймовірність ідентифікації своїх ПО як

$$P_{\text{сс}} = P_{\text{изм.с}} \frac{n_{\text{с}} e^{-n_{\text{с}}}}{1 - e^{-n_{\text{с}}}} e^{-n_{\text{ч}}} \sum_{j=0}^{N_{\text{ч}}} \frac{n_{\text{ч}}^j}{(j+1)!}, \quad (3)$$

де $n_{\text{с}}$, $n_{\text{ч}}$ - середня кількість своїх і чужих ПО, що знаходяться в ОН; $N_{\text{ч}}$ - кількість чужих ПО.

Результати розрахунку $P_{\text{сс}}(n_{\text{с}}, n_{\text{ч}})$ при різних співвідношеннях $n_{\text{с}}$ та $n_{\text{ч}}$ наведені на рис. 1.

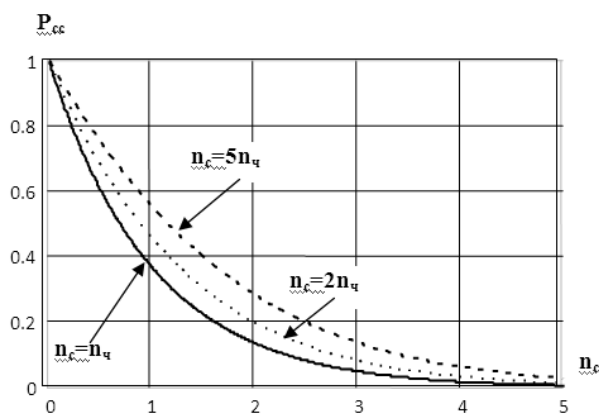


Рис. 1. Ймовірність ідентифікації ПО

З рис. 1 видно, що якість ідентифікації своїх ПО суттєво залежить від наявності „своїх” та „чужих” ПО в ОН.

Висновки

Вищезрозглянуте дозволяє стверджувати, що при об'єднанні інформації первинної та вторинної СС можливо суттєвим чином знизити роздільну здатність вторинної СС (зробити її керованою) без істотного зменшення ймовірності правильної ідентифікації ПО.

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. – 446 с.
2. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 319 с.
3. Обод І.І. Інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич. – Х.: ХНУРЕ, 2015. – 270 с.

Надійшла до редколегії 19.01.2016

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ОБЪЕДИНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

А.Э. Заволодько, А.И. Обод, В.А. Андрусевич

Проведен анализ качества объединения координатной информации воздушных объектов полученной первичной и вторичной системами наблюдения воздушного пространства в единой информационной сети. Показано что при объединении информации первичной и вторичной систем наблюдения возможно существенно образом снизить разрешение вторичной системы наблюдения без существенного уменьшения вероятности правильной идентификации воздушных объектов.

Ключевые слова: качество объединения информации, информационная сеть систем наблюдения

ANALYSIS OF THE QUALITY OF ASSOCIATION INFORMATION IN THE INFORMATION NETWORK SURVEILLANCE AIRSPACE

G.E. Zavalodko, A.I. Obod, V.A. Andrysevich

The analysis of the quality association of air objects coordinate information obtained primary and secondary systems of surveillance of the airspace in the single information network. It is shown that by combining the information of primary and secondary surveillance systems may substantially reduce the resolution of the secondary surveillance system without significantly reducing the probability of correct identification of air objects.

Keywords: combining information quality, the information network of surveillance systems