

О.О. ТЮРИН, НТУ "ХПІ" (м. Харків)

АНАЛІЗ ЯКОСТІ ОБ'ЄДНАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ІДЕНТИФІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЄДИНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Показано, що при об'єднанні координатної інформації первинних систем спостереження та системи ідентифікації у єдиній інформаційній мережі систем спостереження можливо суттєвим чином знизити роздільну здатність ідентифікаційної системи (зробити її керованою) без істотного зменшення імовірності правильної ідентифікації повітряного об'єкту.

Ключові слова: координатна інформація, система спостереження, система ідентифікації, роздільна здатність.

Постановка проблеми та аналіз літератури. Рішення задач, поставлених перед користувачами системи контролю використання повітряного простору, в значному ступені визначається інформаційним забезпеченням, яке базується на системах спостереження (СС) [1 – 4]. СС, що запитують, призначені для ідентифікації об'єктів (визначення їх державної належності) та отримання координатної та іншої польотної інформації від своїх об'єктів. СС, що запитує, вирішує задачу ідентифікації виявлених повітряних об'єктів (ПО) як в інтересах визначення ступеня їх небезпечності, так і при безпосередньому застосуванні зброї. Система ідентифікації (СІ) потребує цілевказування (ЦВ) від первинної СС і її інформація видається у систему обробки первинної СС. На етапі первинної обробки інформація від первинних СС та СІ об'єднується автоматично на координатному рівні [2], що потребує аналізу питань автоматичної обробки інформації ідентифікаційної СС [5, 6]. Однак принцип побудови СІ та система сигналів, які використовуються в них, призводять до суттєвих матеріальних затрат. Дійсно, роздільні здатності СІ значно перевищують роздільні здатності деяких первинних СС, що не завжди потрібно, оскільки при обмеженій кількості ПО імовірність знаходження "свого" та "чужого" літака на такій малій відстані незначна.

Метою роботи є дослідження якості об'єднання координатної інформації первинних СС та СІ.

Основна частина. Процес об'єднання інформації від первинних СС і СІ аналогічний процесу ЦВ. При цьому ЦВ можна розглядати, власне кажучи, як заявку на обслуговування визначеного об'єкта СІ. Задачею СІ є визначення координат ПО, які відповідають на сигнали запиту. У подальшому координати ПО, визначені первинною СС та СІ, порівнюються. Якщо вони співпадають, ПО привласнюється ознака "своя"; якщо ж СІ не визначила координати ПО,

об'єкту привласнюється ознака "чужа".

Одним із основних показників системи об'єднання інформації є імовірність правильної ідентифікації своїх P_{cc} і чужих $P_{чч}$ об'єктів. Розглянемо показники якості СІ для двох випадків:

1) об'єм невизначеності (ОН) системи первинної СС та СІ однакові;

2) ОН СІ значно перевищує ОН системи первинної СС і в ОН СІ знаходяться декілька ПО.

Розглянемо перший випадок, коли в ОН СІ знаходиться один ПО (при наявності декількох ПО вони все одно не розпізнаються). Згідно з алгоритмом обробки, координатна інформація первинної СС і СІ об'єднуються, якщо різниця між оцінками азимуту та дальності ПО в двох системах не перевищує роздільних здатностей первинної СС за відповідними координатами.

В припущенні, що похибки вимірювання координат в первинній СС і СІ незалежні і розподілені за нормальним законом з нульовим середнім, імовірність об'єднання оцінок визначається формулою

$$P_{об} = \frac{1}{4} \left[1 + \Phi \left(\frac{\delta\theta}{\sqrt{2\sqrt{\sigma_{\theta 1}^2 + \sigma_{\theta 2}^2}}} \right) \right] \left[1 + \Phi \left(\frac{\delta r}{\sqrt{2\sqrt{\sigma_{r 1}^2 + \sigma_{r 2}^2}}} \right) \right],$$

де $\Phi(x)$ – інтеграл імовірностей; $\delta\theta$ и δr – роздільні здатності за азимутом та дальністю; $\sigma_{\theta 1}$ та $\sigma_{\theta 2}$ ($\sigma_{r 1}$ та $\sigma_{r 2}$) – похибки вимірювання азимуту (дальності) первинної СС та СІ відповідно.

Розрахунки за наведеним виразом представлені на рис. 1, де крива I відповідає $\sigma_{\theta 1} = 0.1\delta\theta$, $\sigma_{r 1} = 0.1\delta r$; крива II – $\sigma_{\theta 1} = 0.2\delta\theta$, $\sigma_{r 1} = 0.2\delta r$; крива III – $\sigma_{\theta 1} = 0.3\delta\theta$, $\sigma_{r 1} = 0.3\delta r$, а $k = \sigma_{\theta 2} / 0,1\delta\theta = \sigma_{r 2} / 0,1\delta r$.

Наведені розрахунки показують, що для забезпечення прийнятної якості об'єднання інформації первинної СС і СІ необхідно, щоб точність вимірювання координат ПО первинною СС в чотири рази перевищувала точність визначення координат СІ.

Розглянемо методику оцінювання якості ідентифікації для другого випадку.

Будемо вважати, що первинні СС проводять огляд заданої області простору з деяким періодом оновлення інформації про цільову обстановку. Якщо в ОН СІ

з'являється відразу декілька об'єктів, через недостатньо високу роздільну

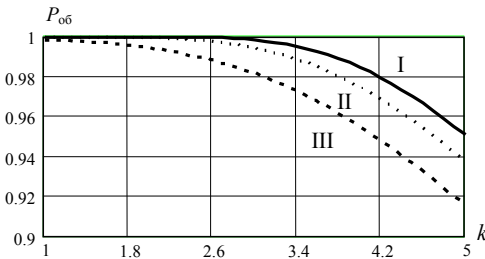


Рис. 1. Імовірність об'єднання інформації первинної СС та СІ

здатність СІ неможливо однозначно прив'язати їх до ЦВ від інформаційного засобу. Для аналізу ефективності ідентифікації ПО 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 СІ з таким розрахунком, щоб охопити всі виявлені об'єкти;

- проводиться ідентифікації всіх ПО, які знаходяться в кожній підзоні. Для цього на кожен групу ПО видається одне ЦВ, яке і визначає конкретне розташування ОН dV в межах зони.

Таким чином, задача зводиться до прийняття рішення СІ (при необхідності – разом з первинними СС) у поточному циклі ідентифікації по всім N ПО, які потрапили у визначений ОН dV . При цьому загальна кількість ПО в ОН в даному циклі огляду складається з N_c своїх та N_q чужих повітряних об'єктів.

З загального визначення імовірності правильної ідентифікації своїх P_{cc} і чужих P_{cq} ПО як умовних ймовірностей прийняття "свого за свого" і "чужого за чужого" витікає:

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

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

З врахуванням (1), імовірність правильної ідентифікації своїх ПО можна представити у виді

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

де $P_{cc}(i, j)$ – імовірність 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 (поданих на вхід СІ; $P(i, j)$ – імовірність пред'явлення рівно i своїх та j чужих ПО; i, j – кількість своїх та чужих ПО, пропонувані до ідентифікації. Величину $P_{cc}(i, j)$ можна представити у виді

$$P_{cc}(i, j) = \frac{\bar{N}_{опс}(i, j)}{i} = \sum_{k=1}^i P_{опс}(k, j),$$

де $\overline{N_{\text{оис}}(i, j)}$ – математичне очікування 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; $P_{\text{оис}}(k, j)$ – імовірність ідентифікації і прив'язки до ЦВ рівно k своїх ПО при подачі на вхід СІ рівно i своїх та j чужих ПО, яка чисельно дорівнює імовірності появи на виході СІ рівно k ідентифікованих і прив'язаних своїх ПО при подачі на вхід СІ рівно i своїх та j чужих ПО (диференційна імовірність ідентифікації рівно k з i своїх ПО).

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

1. Виявлення і вимірювання координат ПО СІ.

2. Селекція ПО.

3. Прив'язка ПО до ЦВ, яка включає порівняння координат ПО, визначених системами первинної СС та СІ, з наступною ідентифікацією виявленого повітряного об'єкту.

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

- перша фаза – імовірністю вимірювання $P_{\text{вим}}$ ознаки цілі, за якою буде проводитися її селекція;

- друга фаза – імовірністю селекції $P_{\text{сел}}$, яка характеризує здатність СІ класифікувати ПО на свої і чужі за виміряною в першій фазі ознакою;

- третя фаза – імовірністю правильної прив'язки $P_{\text{пр.прив}}$ ознаки "свій-чужий" до ЦВ (залежить від роздільної здатності СІ).

Розглянемо особливості розрахунку відповідних ймовірностей.

В якості ознаки селекції або прив'язки ПО використовують, як правило, просторові координати. Для розрахунку $P_{\text{вим}}$ доцільно застосовувати математичну модель реального фізичного каналу з врахуванням зовнішніх і внутрішніх умов функціонування літакових відповідачів [7]. Таким же способом розраховується $P_{\text{сел}}$, причому при моделюванні СІ необхідно враховувати як власні фізичні параметри селектора, так і алгоритми прийняття рішення "свій-чужий" СІ в цілому.

Цільову обстановку в зоні огляду первинної СС рекомендується моделювати в дискретно-точковому імовірнісному уявленні з застосуванням пуассонівських законів розподілу. Для випадку незалежних випадкових пуассонівських просторових полів точок (де точками позначаються ПЦ, які необхідно опізнати), імовірність 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), імовірність правильної ідентифікації чужих ПО можна представити у вигляді:

$$P_{\text{чч}} = \frac{\sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} j P_{\text{чч}}(i, j) P(i, j)}{\sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} j P(i, j)},$$

або, враховуючи незалежність випадкових полів своїх і чужих ПО:

$$P_{\text{чч}} = \frac{\sum_{i=0}^{\infty} P(i) \sum_{j=1}^{\infty} j P_{\text{чч}}(i, j) P(i, j)}{\sum_{i=0}^{\infty} P(i) \sum_{i=0}^{\infty} j P(i, j)},$$

де i, j – індекси, що відносяться до своїх і чужих ПО; $P_{\text{чч}}(i, j)$ – імовірність правильної ідентифікації чужих ПО і прив'язки ознаки "чужий" до ЦВ при подачі на вхід СІ рівно j чужих та i своїх ПО; $P(i)$, $P(j)$ – імовірності появи рівно i своїх та j чужих ПО на вході СІ.

Відзначимо також, що імовірність $P_{\text{чч}}$ і імовірність прийняти чужу ціль за свою $P_{\text{чс}}$ утворюють повну групу випадкових подій, звідки $P_{\text{чс}} = 1 - P_{\text{чч}}$.

Проведемо короткий аналіз ефективності каналу СІ, ОН якого значно перевищує ОН первинної СС. В цьому випадку основним засобом ідентифікації є запитувач СІ, суміщений з первинною СС. ПО присвоюється ознака "своя", якщо ПО відповіла на сигнал запиту і за просторовими координатами, визначеними СІ, ціль ототожнила з відміткою – ЦВ від первинної СС. При відсутності ознаки "своя" на виході СІ ПО буде сприйнятий як "чужа". Таким чином, в СІ вимірювач видає інформацію про просторові координати ПО, який відповідає. На основі цих вимірювань ПО селектується за просторовими координатами. Здатність з просторової селекції ПО характеризується об'ємом невизначеності dV СІ. Таким чином, ОН СІ можна назвати область простору, в кожній точці якого дальність та кутові координати повітряного об'єкту, виміряні СІ, остаються незмінними.

Координати ПО вимірювач СІ видає тільки в тому випадку, якщо СІ виявила ПО. Отже, імовірність визначення ознаки "свій", тобто видачі

просторових координат цілі на виході запитувача при ідентифікації свого літака $P_{\text{вим.с}}$, залежить від технічних рішень, прийнятих у СІ, кількості запитувачів і відповідачів, які працюють у єдиному просторі і створюють внутрішньосистемні завади досліджуваній СІ, та наявності й інтенсивності навмисних корельованих і некорельованих завад [7].

Істотним параметром інформаційного каналу відповіді СІ 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 їх взаємного спотворення і придушення сигналів відповіді, що виключає вимірювання координат ПО СІ.

Розглянемо останню фазу процесу ідентифікації – прив'язку ознаки "свій-чужий" до цілевказування 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 часткові імовірності правильного ідентифікації своїх літаків становлять:

$$P_{\text{сс}}(1_{\text{с}}, 0_{\text{ч}}) = P_{\text{вим.с}}, P_{\text{сс}}(1_{\text{с}}, 0_{\text{ч}}) = P_{\text{изм.с}} P_{\text{сс}}(1_{\text{с}}, j_{\text{ч}}) = P_{\text{вим.с}} [1/(j+1)];$$

$$P_{\text{сс}}(1_{\text{с}}, j_{\text{ч}}) = P_{\text{изм.с}} [1/(j+1)]; P_{\text{сс}}(0_{\text{с}}, j_{\text{ч}}) = P_{\text{сс}}(i_{\text{с}} > 1, j_{\text{ч}}) = 0,$$

а інтегральна імовірність ідентифікації своїх літаків для пуассонівського поля ПО визначається

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

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. 2.

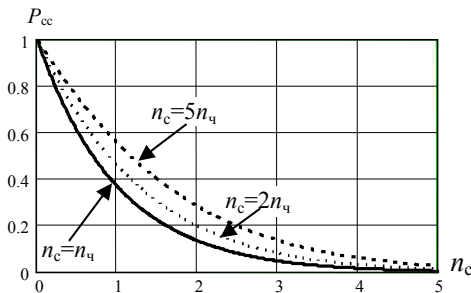


Рис. 2. Імовірність ідентифікації "своїх" ПО

З рис. 2 видно, що якість ідентифікації своїх ПО суттєво залежить від наявності "своїх" та "чужих" ПЦ в ОН.

Для підвищення якості ідентифікації своїх ПО можливо запропонувати адаптивне управління ОН відповідача при використанні методів ідентифікації, заснованих на принципах обслуговування запитувачів чи мережі загалом.

Висновки. Вищерозглянуте дозволяє стверджувати, що при об'єднанні інформації первинних СС та СІ можливо суттєвим чином знизити роздільну здатність СІ (зробити її керованою) без істотного зменшення імовірності правильної ідентифікації ПО [8].

Список літератури: 1. *Lok J.J.* C² for the air warrior // Jane's International Defense Review. – October 1999. – № 2. – P. 53-59. 2. *Farina A., Studer F.A.* Radar Data Processing Introduction and Tracking. Vol. 1. Research Studies Press. Letch worth England. 1985, – P. 121-123. 3. *AAP-28(B)* NATO Glossary of Identification. – NATO Standardization Agency, 2002. – С. 350. 4. *Маляренко А.С.* Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением и государственного радиолокационного опознавания: Справочник.– Харьков: ХУПС, 2007. – 78 с. 5. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони // *В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко.* – К.: МОУ, 2004. – 342 с. 6. Теоретичні основи побудови заводозахисних систем інформаційного моніторингу повітряного простору / *В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко.* – К.: МОУ, 2004. – 271 с. 7. *Обод І.І., Тюрин А.А., Ярвова А.В.* Сравнительный анализ существующих систем идентификации воздушных объектов // Системи управління, навігації та зв'язку: Збірник наукових праць. – Вип. 2 (6). – К.: ЦНДІ НІУ, 2008. – С. 21-25. 8. *Обод І.І., Тюрин О.О.* Спосіб ідентифікації об'єктів. Патент на корисну модель № 32641 від 26.05.2008.

Статтю представлено д.т.н. проф. НТУ "ХПІ" Ободом І.І.

УДК 004.045:621.396.967.2

Анализ качества объединения информации идентификационных систем единой информационной сети систем наблюдения/ Тюрин А.А. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 13. – С. 176 – 182.

Показано, что при объединении координатной информации первичных систем наблюдения и системы идентификации в единой информационной сети систем наблюдения возможно существенным образом снизить раздельную способность идентификационной системы (сделать ее управляемой) без существенного уменьшения вероятности правильной идентификации воздушного объекта. Ил.: 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: координатная информация, система наблюдения, система идентификации, раздельная способность.

UDC 004.045:621.396.967.2

Analysis of uniting information quality of the identification systems of a uniform informational network of supervisory control system / Tyurin A.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 13. – P. 176 – 182.

It is shown that at uniting coordinate information of the primary supervision systems and system of identification in the uniform informational network of the systems of supervision possibly to reduce separate ability of the identification system (to do its guided) substantial appearance without the substantial diminishing of correct authentication of air object probability. Figs: 2. Refs: 8 titles.

Keywords: coordinate information, supervision system, system of identification, separate ability.

Поступила до редакції 05. 04.2009