

В.О. Корнєєв

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОД ОБ'ЄДНАННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ ТРАЄКТОРІЙ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ З УРАХУВАННЯМ КООРДИНАТНИХ І ОЗНАКОВИХ ВИМІРІВ

У статті викладається сутність методу об'єднання радіолокаційної інформації про об'єкти спостереження з обліком координатних і ознакових вимірів. Метод дозволяє спільно вирішувати задачі ототожнення вимірів, розпізнавання типів об'єктів. Це забезпечує підвищення показників оперативності, вірогідності й точності вихідної інформації про обстановку.

Ключові слова: об'єднання інформації, ототожнення вимірів, джерело інформації

Вступ

Відомі підходи до вирішення проблеми оптимізації об'єднання РЛІ від множини джерел, які, наприклад, наведені в [1–4], реалізують принцип сумісної обробки оцінених значень координат повітряних об'єктів (ПО) від нерівноточних ДРЛІ. Приведені оцінки ефективності запропонованих методів свід-

чать про покращення точнісних оцінок параметрів узагальнених траєкторій ПО в середньому на 15–20% та про зниження вартості обробки інформації пропорційно збільшенню кількості вимірювачів [1].

В той же час запропоновані методи об'єднання інформації використовують інформацію тільки про координатні параметри ПО. Розбіжності різнотипних джерел щодо складу видаваної інформації про

сигнальні, траєкторні та поведінкові ознаки а також результати попереднього розпізнавання ПО, не враховуються. Це може призводити до прийняття помилкових рішень при оцінюванні параметрів потоку ПО та знижувати ефективність функціонування СОРЛІ.

Аналіз останніх досліджень. При обробці інформації в пункті оброки інформації (ПОІ) узагальнена траєкторія (УТ) ПО являється частковою траєкторією. В роботах [5, 6] розглянутий метод об'єднання різнорідної координатної та ознакової інформації з врахуванням мультирадарної обробки в періоді огляду повітряного простору. Розгляд проводиться виходячи з припущень, що кожен вимір, який надходить від будь-якого з джерел, породжений не більш ніж одним ПО при відсутності розмноження відміток. Складові векторів спостереження координатних параметрів \vec{y}_Σ та сигнальних ознак \vec{x}_Σ характеризуються випадковими похибками, що розподілені за нормальним законом з відомими середньоквадратичними відхиленнями (СКВ) – $\sigma_{\vec{y}_\Sigma}$, та $\sigma_{\vec{x}_\Sigma}$. Систематичні похибки вимірювань на джерелах можуть бути усунуті і при розробці методу не враховуються.

Мета статті. У статті приводиться метод спільного об'єднання та узагальнення інформації про повітряну обстановку в ПОІ, що дозволяє усунути недоліки, властивим існуючим методам, і за рахунок цього підвищити якість інформації, видаваної споживачам.

Основна частина

Кожне окреме джерело РЛІ, робить огляд простору в дальнісно-азимутально-кутомісній площини з постійним для нього періодом T_0 . До складу вектора спостереження координатних параметрів ПО \vec{y}_Σ входять обмірювані значення похилої дальності, азимута й кута місця $\vec{y}_\Sigma = (\hat{r}_\Sigma, \hat{\beta}_\Sigma, \hat{\epsilon}_\Sigma)^T$. Вектор спостереження некоординатних параметрів, залежно від можливостей джерела по одержанню ознакової інформації, \vec{x}_Σ може містити у своєму складі ознаки різних груп. По завершенню кожного періоду огляду джерела видають координатну й ознакову інформацію для об'єднання й узагальнення на ПОІ.

В алгоритмах обробки траєкторій ПО на джерелах із трасовим виходом і обробки узагальнених траєкторій на ПОІ використовується поліноміальна модель руху спостережуваних повітряних об'єктів [Кузьмін]. Наприклад, для лінійної моделі руху ПО вектор стану повітряного об'єкта представляється в декартовій системі координат у вигляді $\vec{\mu}_\Sigma = (\hat{x}_\Sigma, \hat{y}_\Sigma, \hat{z}_\Sigma, \hat{v}_\Sigma, \hat{z}_\Sigma, \hat{z}_\Sigma)^T$, при цьому в результаті функціонування алгоритму траєкторної обробки в кожному такті відновлення інформації додатково здійснюється формування значень для міри правдоподібності розпізнавання класів ПО T_Σ , на підставі яких інформація розпізнавання в будь-який момент може бути видана споживачеві.

Нехай у радіолокаційному полі сукупності різнотипних джерел перебуває n повітряних об'єктів, кожний з яких характеризується апріорними розподілами можливих значень спостережуваних ознак. Процес виміру ознакової інформації зі спостережуваного ПО у цих умовах буде нерівноточним і нерівноточним.

Введемо припущення про те, що виміри різнотипних джерел характеризуються випадковими помилками, розподіленими за нормальним законом з відомими СКВ – $\sigma_{\hat{r}}, \sigma_{\hat{\beta}}, \sigma_{\hat{\epsilon}}$ і $\sigma_{\hat{x}_\Sigma}$. Потрібно розробити метод і алгоритм спільного об'єднання й узагальнення інформації про повітряну обстановку на ПОІ, у якому оптимізація процесу одержання необхідних оцінок досягається за рахунок оптимального вибору числа висунутих і різнорідних статистичних гіпотез, що перевіряються. Даний підхід реалізується шляхом застосування наступних принципів:

– спільність використання координатної й ознакової інформації;

– обмеження числа гіпотез про кількість спостережуваних ознак ПО числом отриманих за останні два такти відновлення інформації на ПОІ складових векторів спостережень ознак по даному ПО від всіх його джерел, що спостерігаються;

– введенням порогів прийняття найбільш правдоподібних і відхилення неправдоподібних гіпотез спільного ототожнення множини вимірів сукупності джерел;

– однозначним формуванням значення функції правдоподібності для класифікації ПО за результатами вибірки спостережуваної ознакової інформації отриманої від джерел за обмежений час спостереження.

Метод спільного об'єднання й узагальнення інформації про повітряну обстановку при виявленні – супроводі траєкторій і класифікації ПО включає виконання наступних процедур [Кузьмін]:

- а) зав'язка траєкторій повітряних об'єктів;
- б) остаточне виявлення траєкторій повітряних об'єктів;
- в) супровід траєкторій повітряних об'єктів і оцінка параметрів супроводжуваних траєкторій;
- г) ухвалення рішення про скидання траєкторій повітряних об'єктів із супроводу;
- д) формування значення функції правдоподібності для розпізнавання типів ПО в алфавіті класів на ПОІ.

Вхідними даними для алгоритмів об'єднання й узагальнення РЛІ при виявленні – супроводі траєкторій ПО є вихідні дані алгоритмів обробки РЛІ джерел, як внутрішньо-оглядової так і міжобзорної, що визначається особливостями функціонування конкретних джерел, вимір їх координатних і ознакових параметрів. У результаті обробки РЛІ на джерелах на ПОІ надходять оцінки, що містять координатну й ознакову інформацію про ПО, що перебувають у зоні огляду джерела.

Для загальної організації процесу об'єднання й узагальнення траєкторій ПО за даними одного джерела РЛІ й реалізації вищенаведених процедур обробки необхідно організувати такі масиви інформації:

супроводжуваних траєкторій повітряних об'єктів; попередньо виявлених траєкторій ПО;

початкових точок траєкторій повітряних об'єктів.

Надходячи в кожному черговому такті відновлення РЛІ виміри послідовно перевіряються на приналежність до однієї із супроводжуваних траєкторій ПО або до однієї із зав'язаних траєкторій ПО за встановленим критерієм, наприклад по мінімальному відхиленню від екстрапольованої крапки відповідної супроводжуваної траєкторії.

При ототожненні оцінки з однієї із супроводжуваних траєкторій реалізується процедура уточнення її параметрів. Якщо оцінка не ототожнилася з жодною із супроводжуваних траєкторій, вона розглядається як кандидат для ототожнення з однією із зав'язаних траєкторій. Якщо оцінка не ототожнилася з жодною із зав'язаних траєкторій, вона передається для ототожнення з початковими крапками траєкторій. Оцінки, які не ототожнилися з жодною траєкторією із зазначених масивів, записуються як початкові "крапки" гіпотетичних траєкторій. По закінченню кожного циклу відновлення інформації виробляється ототожнення знову виявлених траєкторій ПО за приналежністю до траєкторій повітряних об'єктів попередньо скинутим із супроводу на попередніх тактах відновлення інформації й здійснюється перегляд рішень, прийнятих на попередньому такті відновлення інформації. За результатами обробки здійснюється уточнення координатних параметрів траєкторій ПО у відповідних інформаційних масивах, а також приймаються рішення про попереднє скидання траєкторій ПО із супроводу, про остаточне скидання із супроводу попередньо скинутих і не підтверджених траєкторій, а також про скидання непідтверджених попередньо виявлених і початкових точок траєкторій.

Особливості побудови алгоритму об'єднання й узагальнення РЛІ обумовлені врахуванням у процесі ототожнення ознакової інформації приводяться в ході розгляду змісту основних процедур об'єднання й узагальнення РЛІ при рішенні задачі виявлення – супроводу траєкторій ПО.

А. Процедура зав'язки траєкторій ПО за координатною і ознаковою інформацією одного джерела

За попереднім виявленням траєкторій ПО кожна виявлена нова оцінка перевіряється на можливість ототожнення з усіма початковими крапками траєкторій. При цьому нова оцінка може бути ототожнена з однією або декількома початковими крапками траєкторій за умовою:

$$\begin{cases} V_{\hat{y}_{\min}} \leq \frac{(\hat{y}(t_2) - \hat{y}(t_1))C(\hat{y}(t_2) - \hat{y}(t_1))^T}{t_2 - t_1} \leq V_{\hat{y}_{\max}}, & (1) \\ R\hat{x}(t_2) \text{ непротиричить } R\hat{x}(t_1) \end{cases}$$

де t_1 – час одержання оцінки – початкової крапки траєкторії; $\hat{y}(t_1)$ – значення складового вектора спостереження координатних параметрів початкової крапки траєкторії; t_2 – час одержання вимірюваної оцінки; $\hat{y}(t_2)$ – значення складового вектора спостереження координатних параметрів відмітки, яка перевіряється; $V_{\hat{y}_{\min}}, V_{\hat{y}_{\max}}$ – мінімальні й максимальні можливі значення швидкості зміни координатних параметрів повітряних об'єктів; C – коефіцієнт враховуючої помилки виміру; $R\hat{x}(t_2), R\hat{x}(t_1)$ – результат несуперечності спостережуваної ознакової інформації для початкової крапки траєкторії й вимірюваної оцінки.

Під результатом несуперечності ознакової інформації мається на увазі, що значення складових вектора ознак ПО, який спостерігається, не суперечить значенням вектора ознак, що спостерігаються джерелом, на попередніх тактах відновлення інформації з даного ПО.

Несуперечність ознакової інформації з виявлення ПО перевіряється відповідно до одного з наступних правил:

$\hat{x}(t_2) = \hat{x}(t_1)$ або $\hat{x}(t_2) = \hat{x}(t_1)$ – перевіряється точний збіг результатів спостереження однієї ознаки або сукупності ознак.

$\hat{x}(t_2) \cap \hat{x}(t_1) \neq \emptyset$ – перевіряється наявність хоча б одного збігу результатів спостереження складового вектора ознак ПО.

Міра невідповідності ознакової інформації для різних груп ознак буде мати різні значення. Тому доцільно інформацію про даний ПО не видавати, а провести уточнення ознаки в наступних тактах відновлення РЛІ.

При цьому рішення про попереднє виявлення траєкторії приймається на підставі логічного критерію l/m – тобто при одержанні l оцінок у не більш ніж m тактах відновлення інформації підряд. При цьому мінімальне значення $l=2$, тому що одержання двох оцінок досить для оцінювання швидкості ПО. Далі для кожної зав'язаної траєкторії проводиться розрахунок початкових значень траєкторних параметрів, і інформація про них записується у відповідний масив. У масиві зав'язаних траєкторій зберігаються також значення міри правдоподібності гіпотез поточкового ототожнення, що відповідають цим траєкторіям.

Б. Процедура остаточного виявлення траєкторій повітряних об'єктів з використанням ознакової інформації

При остаточному виявленні траєкторій повітряних об'єктів кожна отримана нова оцінка перевіряється на можливість ототожнення з усіма траєкторіями при виконанні умови несуперечності ознак. Для кожної зав'язаної траєкторії виробляється екстраполяція координатних параметрів на момент часу надходження нової оцінки відповідно до прийнятої моделі руху. За екстрапольованим значенням коор-

динатних параметрів супроводжуваної траєкторії та міри правдоподібності відповідної гіпотези поточкового ототожнення й координатних параметрів отриманої оцінки розраховується міра правдоподібності V_α відповідної гіпотези покращеного ототожнення, що відповідає виявленій траєкторії. З врахуванням спостережуваної ознакової інформації що виявляє j -на траєкторія вважається істиною, якщо виконуються умови:

$$\begin{cases} V_\alpha(\tilde{t}_j) \geq \gamma_{\text{пор}}; \\ R\hat{x}(t_2) \text{ непротиричить } R\hat{x}(t_1), \end{cases} \quad (2)$$

де $V_\alpha(\tilde{t}_j)$ – міра правдоподібності j -ої гіпотези покращеного ототожнення, розрахована з урахуванням нової оцінки в поточному такті відновлення інформації на ПОІ; $\gamma_{\text{пор}}$ – поріг прийняття гіпотези покращеного ототожнення, що задається виходячи із закону розподілу міри правдоподібності; $R\hat{x}(t_2)$, $R\hat{x}(t_1)$ – результати погодженості ознакової інформації для перевірки відмітки, що ототожнює траєкторії. Перевірка несуперечності здійснюється так само, як і за попереднім виявленням траєкторії ПО.

Рекурентне співвідношення для розрахунку міри правдоподібності відповідної гіпотези покращеного ототожнення вимірів має вигляд:

$$V_\alpha(\tilde{t}_j) = V_{\alpha-1}(\tilde{t}_j) \Delta V_\alpha, \quad (3)$$

де $V_{\alpha-1}(\tilde{t}_j)$ – міра правдоподібності гіпотези покращеного ототожнення \tilde{t}_j розрахована за результатами попередніх $(\alpha-1)$ тактів відновлення інформації; ΔV_α – приріст міри правдоподібності гіпотези покращеного ототожнення за результатами спостережень координатних параметрів і ознак, що відповідають j -му ПО у поточному α такті відновлення інформації.

Величина ΔV_α , розраховується відповідно до співвідношення:

$$\Delta V_\alpha = \begin{cases} V^{(\alpha)}(\bar{\mu}_j^{(\alpha)} / \bar{y}_k^{(\alpha)}) \times f^{(\alpha)}(\bar{\mu}_{j_m}, \bar{T}_{j_m} / \bar{y}_{i_m}, \bar{x}_{i_m}) \\ V^{(\alpha)}(\bar{\mu}_j^{(\alpha)}) \times f^{(\alpha)}(\bar{\mu}_{j_m}, \bar{T}_{j_m}) \end{cases} \quad (4)$$

для випадків використання отриманих вимірів і екстрапольованої інформації про координатні параметри й ознаки j -го ПО і тільки екстрапольованої інформації при підтвердженні зав'язків траєкторії відповідно.

Остаточне рішення про виявлення траєкторії приймається при виконанні умови (1) і логічного критерію l/m . Якщо в ньому більш ніж в m оглядах підряд відібрано l оцінок, у яких міра правдоподібності гіпотези поточкового ототожнення перевищила поріг, то приймається рішення про остаточне виявлення траєкторії повітряного об'єкта. При цьому, у випадку виявлення декількох траєкторій із загальними оцінками, вибирається траєкторія з максимальною правдоподібною гіпотезою поточкового ототожнення.

При виявленні траєкторії ПО виробляється згладжування її координатних параметрів відповідно до алгоритму фільтрації. Параметри виявленої траєкторії й міра правдоподібності відповідної гіпотези покращеного ототожнення записуються в масив супроводжуваних траєкторій, при цьому виробляється:

виключення оцінок, по яких ця траєкторія побудована, з масивів, які їх містять;

перегляд гіпотез покращеного ототожнення для зав'язаних траєкторій, що містять виключені оцінки, у припущенні, що в попередніх періодах огляду оцінки по даних траєкторіях були пропущені.

В. Процедура супроводу

При супроводі траєкторії ПО кожна оцінка, що надійшла, перевіряється на ототожнення з усіма супроводжуваними траєкторіями для пошуку траєкторії, продовження якої вона може бути. Для цього:

виробляється екстраполяція координат кожної траєкторії на час відновлення інформації;

для кожної i -ої траєкторії розраховується міра правдоподібності гіпотези покращеного ототожнення;

визначається траєкторія з максимальним значенням міри правдоподібності;

значення міри правдоподібності рівняється із граничним значенням $\gamma_{\text{пор}}$ і при перевищенні порога приймається рішення про ототожнення нового виміру й i -ої траєкторії.

Додатковою умовою для ототожнення є несуперечність складових векторів спостережуваних ознак для супроводжуваної траєкторії й нового виміру. При невиконанні цих умов новий вимір не ототожнюється з жодної із супроводжуваних траєкторій і передається для наступної процедури остаточного й попереднього виявлення траєкторій.

У випадку ототожнення нового виміру із супроводжуваною траєкторією ПО виробляється згладжування координат.

Г. Процедура прийняття рішень про скидання траєкторій ПО із супроводу

Якщо в результаті відновлення інформації, супроводжувана траєкторія повітряного об'єкта не ототожнювалася з жодним виміром, приймається рішення про пропуск чергової оцінки. По даній траєкторії здійснюється перерахування міри правдоподібності гіпотези поточкового ототожнення. При цьому з кожним черговим пропуском оцінок, міра правдоподібності для відповідної супроводжуваної траєкторії зменшується й відповідно приймається рішення про попереднє скидання траєкторії із супроводу. Для реалізації процедури введений критерій попереднього скидання траєкторії ПО із супроводу: при не виявленні траєкторії в $K_{\text{умови}}$ тактах відновлення інформації підряд приймається рішення про умовне скидання траєкторії ПО із супроводу й прив'язка нових оцінок до неї із цього моменту не виробляється, та виключається можливість помилкового продовження траєкторії ПО за рахунок помилкових оцінок, що мають шумове походження оцінок від інших ПО.

Для вибору оптимального значення критерію умовного скидання траєкторій ПО із супроводу розглянемо ситуацію, коли в $n - k$ тактах відновлення інформації підряд спостерігається траєкторія ПО. У черговому такті відновлення інформації $\alpha = n - k + 1$ траєкторія j -го ПО не підтверджується. При цьому до розгляду підлягають дві гіпотези:

Траєкторія j -го ПО присутня, але з імовірністю $(1 - D(\bar{\mu}_j))$ була пропущена; j -й ПО в області Ω на момент чергового α -го такту відновлення інформації відсутня і його траєкторія з імовірністю $(1 - F(\bar{\mu}_j))$ вірно не виявлена. Імовірність того, що траєкторія j -го ПО пропущена у k тактах відновлення інформації підряд розраховується відповідно до виразу:

$$P_{\text{ЩР}} = 1 - \prod_{\alpha=1}^k \left[\frac{\tau_{\text{СПОСТ}}^{\alpha} D(\bar{\mu}_j, \bar{T}_j / \bar{y}_i, \bar{x}_i)}{T_0} \right] \times \prod_{\alpha=1}^k \left[\frac{1 - \tau_{\text{НЕСПОСТ}}^{\alpha} \times D(\bar{\mu}_j, \bar{T}_j / \bar{y}_i, \bar{x}_i)}{T_0} \right], \quad (5)$$

де $\tau_{\text{СПОСТ}}^{\alpha}$, $\tau_{\text{НЕСПОСТ}}^{\alpha}$ – середній час спостереження й не спостереження ПО в α такті відновлення інформації; T_0 – період відновлення інформації із супроводжуваних траєкторій; $D(\bar{\mu}_j, \bar{T}_j / \bar{y}_i, \bar{x}_i)$ – імовірність правильного виявлення траєкторії.

Необхідне значення критерію умовного скидання $K_{\text{умовн}}$ впливає з виразу:

$$K_{\text{умовн}} = \frac{P_{\text{ЩР}} \tau_{\text{СПОСТ}}^{\alpha} \times D(\bar{\mu}_j, \bar{T}_j / \bar{y}_i, \bar{x}_i) \tau_{\text{НЕСПОСТ}}^{\alpha}}{\alpha T_0} \quad (6)$$

Далі перевіряється критерій остаточного скидання траєкторій із супроводу, якщо в $K_{\text{скид}}$ оглядах підряд ($K_{\text{скид}} > K_{\text{умовн}}$) умовно скинута траєкторія не ототожнювалася з жодною з нових виявлених траєкторій. При цьому вона вибирається з масиву супроводжуваних траєкторій. Значення $K_{\text{скид}}$ вибирається, виходячи зі значень середнього часу помилкового не виявлення траєкторій ПО із «запасом», що перекриває інтервал можливих значень часу не спостереження траєкторій ПО при прийнятій моделі фізичної видимості, обумовленої стохастичними і не випадковими факторами.

Д. Процедура об'єднання знову виявлених оцінок траєкторій ПО з умовно скинутими із супроводу траєкторіями ПО

В основу об'єднання покладені наступні вирішальні правила:

– об'єднанню з новими виявленими траєкторіями підлягають умовно скинуті траєкторії;

– новою супроводжуваною траєкторією вважається тільки що виявлена й передана на супровід траєкторія;

– кожна нова траєкторія після виявлення розглядається як кандидат на об'єднання з однією з раніше умовно скинутих із супроводу, при цьому повинні виконуватися вимоги погодженості в часі для попе-

редньо скинутої траєкторії, яка знову надійшла:

$$t_{i \text{ умовн.скид}} < t_k;$$

де $t_{i \text{ умовн.скид}}$ – момент умовного скидання i -ої траєкторії (час її останнього спостереження); t_k – момент початку нової виявленої k -ої траєкторії.

Для чергової нової траєкторії з використанням вищевказаних правил формується список умовно скинутих траєкторій, з якими траєкторія може бути об'єднана, тобто висуваються й перевіряються гіпотези поточкового ототожнення отриманого виміру до попередньо скинутої із супроводу траєкторії ПО.

На першому етапі із всіх гіпотез ототожнення вибираються ті, для яких виконується умова ідентичності ознакових параметрів умовно скинутих і нової виявленої траєкторії ПО.

На другому етапі для кожної з гіпотез, що залишилися, проводяться наступні розрахунки:

– здійснюється екстраполяція координат i -ої умовно скинутої траєкторії й k -ої нової траєкторії на момент часу $t_a = (t_i^3 + t_k^3) / 2$;

– проводиться розрахунок значення міри близькості координатних параметрів і порівняння із граничним значенням.

Для прийнятих гіпотез ототожнення вважається, що k -а нова траєкторія є продовженням i -ої умовно скинутої із супроводу, при цьому вносяться наступні формальні зміни в список супроводжуваних траєкторій:

– об'єднана траєкторія залишається під старим номером, тобто під номером i -ої умовно скинутої;

– поточні значення параметрів об'єднаної траєкторії вважаються рівними значенням параметрів k -ої нової виявленої траєкторії.

Визначається момент часу й виробляється перерахування (екстраполяція) значень складового вектора стану ПО для обох моментів часу. Для моделі у вигляді полінома першого ступеня перерахування складового вектора стану ПО на $\alpha + 1$ такт відновлення інформації виробляється відповідно до співвідношень:

$$x_{\alpha+1} = x_{\alpha} + \dot{x}_{\alpha} T_0; \quad \dot{x}_{\alpha+1} = \dot{x}_{\alpha};$$

$$y_{\alpha+1} = y_{\alpha} + \dot{y}_{\alpha} T_0; \quad \dot{y}_{\alpha+1} = \dot{y}_{\alpha};$$

$$H_{\alpha+1} = H_{\alpha} + \dot{H}_{\alpha} T_0; \quad \dot{H}_{\alpha+1} = \dot{H}_{\alpha}.$$

Нова траєкторія, передана на супровід у момент часу t_k , вважається кандидатом на продовження траєкторії, умовно скинутої із супроводу в момент t_i , якщо виконуються умови:

$\bar{y}_i \in \Delta \bar{y}_i$, $\bar{y}_k \in \Delta \bar{y}_k$, $\Delta \bar{y}_i, \Delta \bar{y}_k$ – строби по координатних параметрах траєкторії, що розраховують відповідно до помилок визначення цих параметрів для виявленої й умовно скинутої траєкторій. За результатами ототожнення траєкторій приймається рішення про спостереження та супровід ПО, з уточненим вектором узагальнених ознак. Результати уточнення скла-

дових вектора узагальнених ознак можуть бути представлені у вигляді списку правдоподібності ознак.

В залежності від виду правила перевірки несуперечності ідентичність ознак визначається одним зі способів:

$$R(\bar{x}_k) = R(\bar{x}_i); R(x_k) = R(x_i);$$

$$R(\bar{x}_k) \cap R(\bar{x}_i) = 0.$$

В якості оцінок параметрів узагальненої траєкторії повітряного об'єкта приймаються оцінки параметрів k -ої, знову виявленої, траєкторії ПО.

За результатами висування й перевірки сукупності гіпотез поточкового ототожнення множини вимірів окремого джерела РЛІ уточнюється попереднє ухвалене рішення про значення складових вектора узагальнених ознак даного ПО. Кожне наступне уточнення може вироблятися з надходженням додаткової інформації – траєкторної і поведінкової.

Таким чином, процес об'єднання й узагальнення траєкторій ПО за координатною і ознаковою інформацією окремого джерела може бути реалізована при дотриманні наступних принципів:

визначальне значення при ототожненні вимірів має близькість координатних параметрів, при несуперечності результатів спостережуваних ознак ПО у ході виявлення – супроводу кожної з узагальнених траєкторій. Суть перевірки несуперечності ознакової інформації полягає в наступному:

– оперативно-тактичні ознаки при ототожненні вимірів не можуть бути різними, тому що визначаються цільовим призначенням і типом даного ПО з урахуванням особливостей його бойового застосування.

– значення траєкторних ознак мають обмеження, обумовлені льотно-технічними характеристиками для конкретного типу ПО;

– кількість і значення складових вектора сигнальних ознак, для кожного класу ПО, повинні відповідати.

Для конкретних типів ПО заздалегідь повинні бути визначені й внесені в базу даних кілька основних варіантів алфавітів апріорних ознак. В процесі об'єднання й узагальнення РЛІ повинна вирішуватися задача перевірки відповідності спостережуваних ознак одному з варіантів і вибір найбільш правдоподібного варіанта.

Таким чином, задачі об'єднання траєкторій ПО з використанням ознакової інформації, яка спостерігається джерелом, повинна вирішуватися разом з використанням єдиної бази даних. Дані по кожному з апріорних значень ознак ПО заносяться в базу даних, можливий варіант якої для двох типів ПО представлений у табл. 1.

У відповідних клітках на перетинанні рядків і стовпців зберігаються значення ознак (0 або 1) відповідному апріорному цільовому призначенню ПО різних типів. Якщо варіанта відповідності знайти не вдається, то гіпотеза ототожнення відкидається. Зрозуміло, що на момент ухвалення рішення джерелом можуть спостерігатися не всі ознаки, з відповідних алфавітів апріорних ознак, тому облік ознакової інформації буде неповним,

що знижує якість прийнятих рішень. При цьому можливий перегляд рішень про ототожнення координатних параметрів, раніше спостережуваних ПО, наприклад, у випадку суперечливості значень ознак оперативно-тактичної групи.

Таблиця 1

Дані апріорних значень ознак повітряних об'єктів залежно від цільового призначення й льотно-технічних характеристик та конфігурації

| Типи повітряних об'єктів | Апріорні значення ознак, які визначені конфігурацією й варіантами бойового застосування повітряних об'єктів | | | | | | |
|------------------------------|---|---------------------|-----------|----------|------|------|--------|
| | Конфігурація й варіант застосування | Найменування ознаки | | | | | |
| | | Вел. ЕВП | Серед ЕВП | Мала ЕВП | Пр П | Пр М | Пр СМВ |
| Винищувач | а | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | б | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Стратегічний бомбардувальник | а | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | б | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | в | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |

Висновки

У статті приводиться метод спільного об'єднання координатної й ознакової інформації від різнотипних джерел, що відрізняється від відомих отриманими вирішальними правилами ототожнення вимірів різнотипних джерел. Метод дозволяє враховувати особливості функціонування різнотипних джерел, що визначають розходження в змісті координатної й ознакової інформації, видаваної на ПОІ. Використання запропонованого методу дозволяє забезпечити споживачів інформацією про повітряну обстановку необхідної якості.

Список літератури

1. Кузьмин С.З. *Цифровая радиолокация. Введение в теорию* / С.З. Кузьмин. – К.: КВІЦ, 2000. – 428 с.
2. Бар Шалом Я. и др. *Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах* / Бар Шалом Я. и др. / под ред. К.Т. Леондеса и др. – М.: Мир, 1980. – 407 с.
3. R.K. Saha *Track-to-Track Fusion with Dissimilar Sensors* // *IEEE Trans on AES*. – 1996. – Vol. 32, №3. – P. 1021-1028.
4. Chang K.C. *On Optimal Track-to-Track Fusion* / K.C. Chang, R.K. Saha, and Y. Bar-Shalom // *IEEE Trans. Aero. Elec. Syst.* – 1997. – Vol. 33, № 4. – P. 271-276.
5. Войтович С.А. *Анализ алгоритмов третичной обработки РЛИ в КСА КП РТВ ПВО и направления их усовершенствования* / С.А. Войтович, С.Г. Шило // *Збірник наукових праць ХВУ*. – X., 2002. – Вып. 4 (42). – С. 28-33.
6. Войтович С.А. *Метод об'єднання інформації в системах обробки РЛІ з урахуванням часу надходження даних від джерел* / С.А. Войтович, С.Б. Клімов, С.Г. Шило // *Системи озброєння і військова техніка*. – 2006. – № 3(6). – С. 3-8.

Надійшла до редколегії 4.10.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Стасев, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**МЕТОД ОБЪЕДИНЕНИЯ И ОБОБЩЕНИЯ ТРАЕКТОРИЙ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ
С УЧЕТОМ КООРДИНАТНЫХ И ПРИЗНАКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

В.А. Корнеев

В статье излагается сущность метода объединения радиолокационной информации о объектах наблюдения с учетом координатных и признаковых измерений. Метод позволяет совместно решать задачи отождествления измерений, распознавания типов объектов. Это обеспечивает повышение показателей оперативности, достоверности и точности выходной информации про обстановку.

Ключевые слова: объединение информации, отождествление измерений, источник информации.

**METHOD OF THE ASSOCIATION AND GENERALIZATIONS PATH AIR OBJECT WITH PROVISION
FOR COORDINATE AND PRIZNAKOVYH MEASUREMENTS**

V.A. Korneev

In article is stated essence of the method of the association to radar information on object of the observation with provision for coordinate of the measurements. The Method allows together to solve the problems of the identification of the measurements, recognitions of the types object. This provides increasing of the factors efficiency, validity and accuracy to output information about situation.

Keywords: association to information, identification of the measurements, source to information.