

УДК 621.396.96

С.Б. Клімов

Академія Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

МЕТОД СУМІСНОГО ОБ'ЄДНАННЯ РІЗНОРІДНОЇ КООРДИНАТНОЇ ТА ОЗНАКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

В статті розглядається метод сумісного об'єднання різнорідної координатної та ознакової інформації від сукупності джерел в СОРЛІ, котрий дозволяє усунути недоліки притаманні існуючим методам, і за рахунок цього скоротити час на обробку РЛІ та підвищити якість інформації, що видається споживачам.

Ключові слова: різнорідність, координатні параметри, повітряні об'єкти, радіолокаційна інформація.

Вступ

Постановка проблеми. Об'єднання інформації про повітряну обстановку від сукупності різнотипних джерел реалізується в системах обробки радіолокаційної інформації (СОРЛІ) в складних умовах радіолокаційного спостереження. Це зумовлюється маневруванням та постановкою завад повітряними об'єктами (ПО), їх великою просторовою щільністю, дією природного шумового фону та іншими чинниками. При цьому процес спостережуваності ПО джерелами радіолокаційної інформації (ДРЛІ) носить випадковий характер, координатні параметри та ознаки які оцінені на джерелах та надходять на вхід СОРЛІ мають суттєві розбіжності щодо їх змісту. Для вирішення цієї актуальної задачі необхідно розробити метод об'єднання інформації про координатні параметри та різнорідні ознаки повітряних об'єктів, який би дозволив врахувати особливості функціонування різнотипних джерел, а також розбіжності в часі надходження даних від ДРЛІ та зменшити похибки оцінювання.

Аналіз літератури. В роботах [1 – 3] розглянуті методи та алгоритми об'єднання інформації що реалізують принцип сумісної обробки оцінених значень координат ПО від нерівноточних ДРЛІ. Приведені оцінки ефективності запропонованих методів свідчать про покращення точнісних оцінок параметрів узагальнених траєкторій ПО в середньому на 15 – 20% та про зниження вартості обробки інформації пропорційно збільшенню кількості вимірювачів [2]. Але в той же час запропоновані методи об'єднання інформації використовують інформацію тільки про координатні параметри ПО.

Таким чином, питання підвищення якості інформації про повітряну обстановку, що видається споживачам, за рахунок врахування розбіжностей в складі координатної та ознакової інформації а також часу надходження даних від джерел та зменшення похибок екстраполяції при сумісному об'єднанні РЛІ в СОРЛІ, є актуальними та потребують свого вирішення.

Мета статті: розробити метод сумісного об'єднання різнорідної координатної та ознакової інфор-

мації від сукупності джерел в СОРЛІ, котрий дозволяє усунути недоліки притаманні існуючим методам, і за рахунок цього скоротити час на обробку РЛІ та підвищити якість інформації, що видається споживачам.

Результати досліджень

Розробка метода сумісного об'єднання різнорідної координатної та ознакової інформації від сукупності джерел в СОРЛІ здійснюється за 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 \hat{y}_Σ та сигнальних ознак \hat{x}_Σ характеризуються випадковими похибками, що розподілені за нормальним законом з відомими СКВ – $\sigma_{\hat{y}_\Sigma}$, і $\sigma_{\hat{x}_\Sigma}$. Систематичні похибки вимірювань на джерелах можуть бути усунені і при розробці методу не враховуються.

Розглядається радіолокаційна обстановка в зоні огляду гіпотетичного радіолокатора, яка накриває сукупність зон огляду різнотипних джерел, які перетинаються, а також розриви між. В результаті спостережень, від сукупності ДРЛІ, в черговому α – му такті оновлення інформації надходить l відміток, котрі характеризуються векторами спостереження координатних параметрів $\vec{y}_\Sigma = \vec{y}_1, \dots, \vec{y}_l$, а також векторами спостереження ознак $\vec{x}_\Sigma = \vec{x}_1, \dots, \vec{x}_l$. Необхідно оцінити кількість ПО \hat{n} , їх вектори стану $\hat{\mu}_1, \dots, \hat{\mu}_n$ та класи $\hat{T}_\Sigma = \hat{T}_1, \dots, \hat{T}_n$.

Метод сумісного об'єднання координатних та некоординатних параметрів траєкторій і оцінювання кількості ПО передбачає виконання наступних процедур третинної обробки РЛІ [1, 3 – 7]:

а) узгодження в часі множини вимірів координат та різнорідних ознак ПО, отриманих від множини джерел;

б) перерахунок вимірів координатних параметрів з систем координат конкретних ДРЛІ в систему координат СОРЛІ;

в) прийняття рішень про тотожність вимірів та оцінок координат та різномірних ознак на різнотипних ДРЛІ, а також результатів попереднього розпізнавання ПО;

г) отримання оцінки кількості ПО ВО \hat{n} , векторів стану координатних параметрів $\hat{\mu}_1, \dots, \hat{\mu}_n$ і класів $\hat{T}_\Sigma = \hat{T}_1, \dots, \hat{T}_n$ для всіх узагальнених траєкторій.

Для наочності результатів процедуру а) доцільно розглядати за припущення, що ПО здійснює маневр за курсом великої інтенсивності.

Припустимо, що оцінка координатних параметрів ПО від ДРЛІ №1 надходить на обробку в СОРЛІ раніше ніж аналогічна оцінка від ДРЛІ № 2. Традиційні методи пропонують в такому випадку приведення першої та другої отриманих оцінок на момент часу обробки (видачі) та їх сумісну обробку, що в умовах здійснення маневру ПО призводить до значного розростання похибок екстраполяції і відповідно, до зростання результуючої похибки оцінки параметрів УТ.

Сумарна точність оцінок по кожній оцінці від j -го джерела буде визначатися як $\frac{1}{\sigma_{\Sigma j}^2} = \frac{1}{\sigma_{\text{изм } j}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{пр } j}^2}$, де $\sigma_{\text{изм } j}^2$ – дисперсія

похибки виміру; $\sigma_{\text{пр } j}^2$ – дисперсія похибки приведення (екстраполяції), а точність результуючої оцінки УТ для випадку, що розглядається, буде визначатися як $\frac{1}{\sigma_{\Sigma \text{ ОБ}}^2} = \frac{1}{\sigma_{\Sigma 1}^2} + \frac{1}{\sigma_{\Sigma 2}^2}$. Отримати виграш

в точності результуючої оцінки очевидно дозволяє приведення тих вимірів від ДРЛІ, що надійшли раніше, на момент надходження останнього виміру, а не на момент обробки (видачі споживачам). Тоді результуючу похибку будуть формувати похибки вимірів на ДРЛІ $\sigma_{\text{изм } j}^2$, $j = \overline{1, 2}$, і тільки одна похибка приведення $\sigma_{\text{пр } 1}^2$.

Для такого випадку

$$\sigma_{\Sigma \text{ ОБ}}^2 = \frac{(\sigma_{\text{изм } 1}^2 + \sigma_{\text{пр } 1}^2)\sigma_{\text{изм } 2}^2}{\sigma_{\text{изм } 1}^2 + \sigma_{\text{пр } 1}^2 + \sigma_{\text{изм } 2}^2},$$

що з врахуванням рівно точності ДРЛІ, в результаті нескладних але громіздких перетворень в підсумку приводить до кінцевого виразу

$$\sigma_{\Sigma \text{ ОБ}} = \sigma_{\Sigma} \sqrt{1 - \frac{\sigma_{\Sigma}^2}{2\sigma_{\Sigma}^2 + \sigma_{\text{пр } 1}^2}}.$$

Із аналізу отриманого виразу слідує, що для найгіршого випадку, зі зростанням похибок екстраполяції $\sigma_{\text{пр } 1}^2 \rightarrow \infty$, вираз під знаком радикалу в граничному випадку буде устрімлюватися до одиниці, і від-

повідно величина результуючої похибки УТ буде устрімлюватися до величини похибки вимірювання

$\sigma_{\Sigma \text{ ОБ}} = \sigma_{\Sigma}$. В іншому граничному випадку, коли похибки приведення устрімлюються до нуля $\sigma_{\text{пр } 1}^2 \rightarrow 0$, величина результуючої похибки УТ буде устрімлюватися до можливо досяжної і рівнятиметься $\sigma_{\Sigma \text{ ОБ}} = 0,705\sigma_{\Sigma}$ для двох вимірів, і також має тенденцію до сталого зменшення значення з ростом числа вимірів (кількості ЧТ від джерел).

Окрім виграшу в точності результуючої оцінки УТ, запропонований підхід до реалізації процедури а) дозволяє отримати суттєвий виграш в часі за рахунок переходу від екстраполяції оцінок на момент видачі РЛІ споживачеві до їх екстраполяції на момент часу отримання виміру останнім із ДРЛІ, що спостерігає ПО.

Для прийняття рішень про тотожність інформації, що надходить від s -го та ρ -го джерел, необхідно здійснити порівняння всіх вимірних значень координатних параметрів та ознак ПО в просторі ДРЛІ та на основі величини неспівпадання $\Delta y_k = \bar{y}_{s j} - \bar{y}_{\rho j}$, $\Delta x_z = \bar{x}_{s j} - \bar{x}_{\rho j}$ по кожній зі складових вектору виміру координатних параметрів та вектору виміру ознак, де $k \in r$, r – розмірність вектора виміру координатних параметрів, $z \in \theta$, θ – розмірність вектора виміру ознак, прийняти рішення про їх тотожність. Для рішення задачі необхідно формування умовної сумісної щільності ймовірності $\omega_1(\Delta y_k \Delta x_z; k \in r, z \in \theta)$ – для умови належності кожної пари вимірів до конкретної j -ї траєкторії ПО, умовної сумісної ЩРЙ $\omega_2(\Delta y_k \Delta x_z; k \in r, z \in \theta)$ – для умови належності вимірів різним траєкторіям ПО, знаходження значення відношення правдоподібності та порівняння його з пороговим значенням γ_{Ξ} :

$$\frac{\omega_1(\Delta y_k \Delta x_z; k \in r, z \in \theta)}{\omega_2(\Delta y_k \Delta x_z; k \in r, z \in \theta)} \geq \gamma_{\Xi}. \quad (1)$$

Більш доцільним є розглядати взаємне положення (відстань між двома ПО) як невідому постійну величину Δy_k^0 . Приймаючи, як і раніше, що Δy_k є різниця між двома вимірами координат ПО різнотипними джерелами, випадкові похибки вимірів координат складають $\varepsilon = \Delta y_k^0 - \Delta y_k$ та будуть підлягати нормальному закону розподілу

$$\omega(\varepsilon) = 1/\sqrt{2\pi}\sigma_{\Delta k} \exp\left\{-\frac{1}{2} \frac{(\Delta y_k^0 - \Delta y_k)^2}{\sigma_{\Delta k}^2}\right\}.$$

Вважаючи, що мінімально припустима відстань між ПО α_k є заданою, та відома максимально припустиме відхилення між вимірними значеннями ознак одного ПО від різнотипних ДРЛІ β_z , прийн-

яття рішень про належність вимірів ДРЛІ до одного, або ж до різних ПО, ґрунтується на порівнянні відношення правдоподібності з порогом, відповідно до співвідношення:

$$\frac{\omega_1(\Delta y_k \Delta x_z; k \in \Gamma, z \in \Theta / \Delta y_k^0 = 0, \Delta \bar{K}_z^0 = 0, |\Delta x_z^0| \leq \beta_z)}{\omega_2(\Delta y_k \Delta x_z; k \in \Gamma, z \in \Theta / |\Delta y_k^0| \geq \alpha_k, |\Delta x_z^0| > \beta_z)} \geq \gamma_{\Xi}, \quad (3)$$

де Δx_z^0 – відстань між істинними значеннями в просторі параметричних ознак $z \in \Theta$; $\Delta \bar{K}^0$ – неузгодженість між істинними значеннями складових вектора поведінкових ознак [5]; γ_{Ξ} – значення результуючого порога, розмірність котрого визначається розміром простору координатних параметрів та ознак.

Після ряду перетворень рішаюче правило, на основі якого повинні прийматися рішення про тотожність вимірів координатної та ознакової інформації від різнотипних ДРЛІ, прийме вигляд:

$$\left\{ e^{\frac{\alpha_k \Delta y_k}{\sigma_{\Delta k}^2}} - e^{-\frac{\alpha_k \Delta y_k}{\sigma_{\Delta k}^2}} \right\} \leq \frac{1}{\gamma_k} e^{\frac{\alpha_k^2}{2\sigma_{\Delta k}^2}} \wedge$$

$$\wedge \left\{ e^{\frac{\beta_z \Delta x_z}{\sigma_{\Delta z}^2}} - e^{-\frac{\beta_z \Delta x_z}{\sigma_{\Delta z}^2}} \right\} \leq \frac{1}{\gamma_z} e^{\frac{\beta_z^2}{2\sigma_{\Delta z}^2}} \wedge \Delta \bar{K} = 0,$$

де γ_k і γ_z – порогові значення для прийняття рішення про тотожність вимірюваних значень координатних параметрів та параметричних ознак, відповідно; $\Delta \bar{K}$ – відхилення вимірюваних значень складових вектора логічних поведінкових ознак; \wedge – знак кон'юнкції, що позначає логічну операцію І.

У випадку неспівпадання словників ознак на джерелах, аналізу на можливість ототожнення підлягають тільки виміряні значення координатних параметрів, а по вимірюваним значенням ознак ПО приймається рішення про їх несуперечність (узгодженість).

За рахунок запропонованого методу в середньому на величину від половини до трьох четвертих значення періоду видачі інформації скорочується час обробки РЛІ, що не суперечить результатам сумісної третинної обробки радіолокаційної інформації наведеною в [7].

МЕТОД СОВМЕСТИМОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ РАЗНОРОДНОЙ КООРДИНАТНОЙ И ПРИЗНАКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

С.Б. Климов

В статье рассматривается метод совместного объединения разнородной координатной и признаковой информации от совокупности источников в системе обработки радиолокационной информации, который позволяет устранить недостатки присущие существующим методам, и за счет этого сократить время на обработку радиолокационной информации и повысить качество информации, которая выдается потребителям.

Ключевые слова: разнородность, координатные параметры, воздушные объекты, радиолокационная информация.

COMPATIBLE MERGE OF HETEROGENEOUS COORDINATE AND SIGNED INFORMATION TECHNIQUE

S.B. Klimov

In the article a compatible merge of heterogeneous coordinate and signed information technique is examined from the aggregate of sources in system of treatment of radio-location information (RLI), which allows to remove failings inherent existent methods, and due to it to shorten time on treatment of RLI and promote quality of information which is given out users.

Keywords: heterogeneity, co-ordinate parameters, air objects, radio-location information.

Висновки

Розроблено метод сумісного об'єднання координатної та ознакової інформації в системах обробки РЛІ з врахуванням часу надходження даних від джерел, який відрізняється від відомих вперше запропонованим способом приведення параметрів часткових траєкторій до моменту останньої за часом оцінки ЧТ та удосконаленими рішеннями ми правилами ототожнення вимірів різнотипних джерел. Метод дозволяє зменшити величину похибок третинної обробки РЛІ при приведенні повідомлень від джерел до єдиного моменту часу, скоротити час обробки, а також врахувати особливості функціонування різнотипних джерел, що визначають розбіжності в змісті інформації, що видається в СОРЛІ. Використання запропонованого методу дозволяє забезпечити вимоги споживачів до оперативності та якості інформації про повітряну обстановку.

Список літератури

1. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – К.: КВЦ, 2000. – 428 с.
2. Chen H., Kirubarjan T., Bar-Shalom Y. Centralized vs. Distributed Tracking Algorithms for Air to Air Scenarios // Proc. of SPIE Conf. on Signal and Data Processing of Small Targets. – April 2000. – Vol. 4048. – P. 318-324.
3. Автоматизация обработки, передачи и отображения радиолокационной информации / под ред. В.Г. Корякова. – М.: Сов. радио, 1975. – 304 с.
4. Шило С.Г. Метод статистического синтеза алгоритмов комбинированного объединения и обобщения радиолокационной информации // Вісник МСУ. Технічні науки. – Х.: МСУ, 2002. – Т. 5, № 7. – С. 9-12.
5. Войтович С.А. Метод совместного объединения и обобщения информации о воздушной обстановке в системах обработки радиолокационной информации / С.А. Войтович, С.Г. Шило // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 1. – С. 200-207.
6. Метод совместного объединения координатной и признаковой информации в системах обработки радиолокационной информации / С.А. Войтович, С.Г. Шило, А.В. Сисков, П.Г. Бердник, А.Н. Бесчасный // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2005. – Вип. 3 (34). – С. 33-41.
7. Грачев В.М. Метод и алгоритм мультирадарной траекторной обработки радиолокационной информации в системе независимых РЛС / В.М. Грачев, А.В. Довбня // Радиотехника. – Х.: ХНУРЭ, 2006. – № 145. – С. 67-75.

Надійшла до редколегії 1.03.2010

Рецензент: канд. техн. наук, проф. Б.М. Судаков, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.