

С. Г. Шило, Д. В. Головняк, С. І. Хмелевський, О. О. Тімочко

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

МЕТОД СУМІСНОЇ ОБРОБКИ КООРДИНАТНОЇ ТА ОЗНАКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМАХ ОБРОБКИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. Предметом вивчення в статті є процес сумісної обробки координатної та ознакової інформації в системах обробки радіолокаційної інформації спеціального призначення. Метою є розробка методу сумісної обробки координатної та ознакової інформації в системах обробки радіолокаційної інформації спеціального призначення, що дозволяє врахувати інформаційні можливості різнотипних джерел про параметри траєкторій, сигнальні, траєкторні та оперативно-тактичні ознаки, а також використовувати інтелектуальні технології для розпізнавання повітряних об'єктів. **Завдання.** Наведено результати досліджень щодо удосконалення методів та алгоритмів третинної обробки радіолокаційної інформації в системах обробки радіолокаційної інформації спеціального призначення. Запропоновано метод сумісної обробки координатної та ознакової інформації в системах обробки радіолокаційної інформації спеціального призначення, що відрізняється від відомих урахуванням інформаційних можливостей різнотипних джерел про параметри траєкторій, сигнальних, траєкторних та оперативно-тактичних ознак, а також використанням інтелектуальних технологій розпізнавання повітряних об'єктів. Отримані такі **результати.** Розроблений метод сумісної обробки координатної та ознакової інформації в системах обробки радіолокаційної інформації спеціального призначення. **Висновки.** Розроблений метод має усунути недоліки притаманні існуючим методам, і за рахунок цього підвищити якість інформації про повітряну обстановку. Встановлено, що використання запропонованого методу сприяє забезпеченню вимог споживачів щодо оперативності та якості інформації про повітряну обстановку.

Ключові слова: повітряні об'єкти, джерела радіолокаційної інформації, координатні параметри, різнотипні ознаки, гіпотези сумісного ототожнення вимірів, вирішальні правила.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. Процес виявлення-спостереження повітряних об'єктів (ПО) в комплексах засобів автоматизації (КЗА) спеціального призначення відбувається в складних умовах радіолокаційного спостереження. До основних чинників, які впливають на якість радіолокаційної інформації (РЛІ) відносяться маневрування та постановка активних та пасивних завад ПО, впровадження заходів щодо зменшення помітності, радіоелектронна протидія, природний шумовий фон, рельєф місцевості, тощо.

Тому процес радіолокаційного спостереження в зоні відповідальності КЗА спеціального призначення характеризується випадковим характером та епізодичністю та переривчастістю, що напряму впливає на якість отриманих оцінок для підготовки прийняття рішень по протидії повітряним атакам супротивника [1-6].

Своечасність та якість виявлення-супроводження ПО в КЗА спеціального призначення можливо забезпечити тільки за умови використання максимально можливого повного спектру інформації, що надходить від різнотипних джерел РЛІ та застосуванням оптимальних методів траєкторної обробки РЛІ, що дозволяють врахувати розбіжності в складі та змісті координатної та ознакової інформації від системи різнотипних джерел [6, 7].

Мета статті. В статті розглядається метод сумісної обробки координатної та ознакової інформації в системах обробки радіолокаційної інформації спеціального призначення, що дозволяє врахувати інформаційні можливості різнотипних джерел про параметри траєкторій, сигнальні, траєкторні та опе-

ративно-тактичні ознаки, а також використовувати інтелектуальні технології для розпізнавання ПО. Він має усунути недоліки притаманні існуючим методам, і за рахунок цього підвищити якість інформації про повітряну обстановку, що видається на КП спеціального призначення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальність дослідження. Існуючі методи об'єднання координатної та ознакової інформації про повітряну обстановку не враховують розбіжностей щодо складу інформації від джерел. Крім того процеси обробки координатної та ознакової інформації реалізуються розрізнено, повний спектр отриманих джерелами РЛІ ознак не використовується, а це в підсумку не дозволяє КЗА спеціального призначення у вказаних умовах забезпечити потрібні для споживачів значення показників якості інформації про повітряну обстановку [1-5].

Оскільки досягнення нормативних вимог щодо оперативності та якості РЛІ забезпечує отримання цілевказівок спеціальними засобами без необхідності подальшого допозуку повітряних цілей, то відповідно і розробка методу сумісної обробки координатної та ознакової інформації в системах обробки радіолокаційної інформації спеціального призначення, що дозволяє врахувати інформаційні можливості різнотипних джерел про параметри траєкторій, сигнальні, траєкторні та оперативно-тактичні ознаки, а також використовувати інтелектуальні технології для розпізнавання ПО, що в підсумку призводить до зменшення величини похибок оцінювання є нагальним науковим завданням, що потребує свого вирішення.

Аналіз літератури. В КЗА спеціального призначення останніх технологічних поколінь реалізова-

но методи та алгоритми траєкторної обробки РЛІ, що дозволяють реалізовувати багатоцільовий підхід при виявленні та супроводженні траєкторій ПО та проводити оптимальне об'єднання даних в мульти-радарних системах [5, 8, 10]. Це суттєво знизило недоліки притаманні мультирадарним системам обробки РЛІ та дозволило відмовитись від значної кількості спрощень, що впроваджені при реалізації алгоритмів вторинної та третинної обробки РЛІ в сучасних КЗА спеціального призначення [5, 10].

Стосовно проблеми оптимізації об'єднання РЛІ від множини джерел в роботах [8-11, 14-20] 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 вимірвачів [9, 13].

Однак запропоновані методи та алгоритми об'єднання інформації використовують інформацію тільки про координатні параметри ПО. Ознакова інформація в КЗА спеціального призначення використовується тільки в окремих випадках для усунення суперечностей та в неавтоматизованому режимі. Розбіжності різнотипних джерел щодо складу видаваної інформації про сигнальні, траєкторні та оперативно-тактичні ознаки ПО, а також результати попереднього розпізнавання типів ПО, враховано недостатньо або ж не враховано взагалі. Це може призводити до прийняття помилкових рішень при оцінюванні параметрів потоку ПО та знижувати ефективність функціонування КЗА спеціального призначення [7, 8, 12].

Основна частина

Вихідні передумови та вибір реалізації підходу до третинної обробки РЛІ. В існуючих і перспективних КЗА спеціального призначення можливі наступні варіанти реалізації процесів об'єднання інформації про повітряну обстановку:

1. Джерела вимірюють в кожному періоді огляду координатні і ознакові параметри ПО і видають виміряні (істинні та помилкові) значення координатних параметрів відміток і спостережуваних ознак ПО в систему траєкторної обробки інформації КЗА спеціального призначення, де реалізується процес об'єднання РЛІ, тобто вирішується завдання виявлення-супроводу узагальнених траєкторій і класифікації ПО.

Даний підхід не враховує відмінностей в можливостях різнотипних джерел зі спостереження, обробки і змісту видаваної РЛІ, зокрема можливості частини джерел системи формувати траєкторії і проводити попереднє розпізнавання, наприклад, на підставі аналізу отримуваних радіолокаційних дальнісних портретів [8]. Це не дозволяє досягти потенційних можливостей системи траєкторної обробки РЛІ за якістю видаваної інформації.

2. На кожному з джерел реалізуються процеси первинної і вторинної обробки РЛІ, результати яких, у вигляді повідомлень про координатні параметри траєкторій і значення ознак або результати попереднього розпізнавання ПО в алфавітах класів джерел, видаються в систему траєкторної обробки КЗА спеціального призначення, де реалізується процес узагальнення інформації про параметри траєкторій ПО, сформованих на джерелах.

Практична реалізація цього підходу ускладнена тим, що існуючі методи і алгоритми не дозволяють враховувати істотні відмінності в можливостях різнотипних джерел зі спостереження, обробки і змісту видаваної інформації. При функціональній спроможності такої реалізації, використання відомих методів, що не враховують відмінностей у складі інформації, яка видається джерелами для подальшої обробки і апріорній невизначеності РЛІ, призводить до зниження якості інформації про повітряну обстановку, за рахунок накопичення і зростання помилок оцінювання параметрів траєкторій ПО на джерелах, а також із-за помилок в класифікації ПО внаслідок обмеженості алфавітів класів ПО окремих джерел і неспівпадіння їх з алфавітом класів КЗА спеціального призначення, що зрештою сприяє виникненню значного числа дублюючих траєкторій ПО і веде до зниження достовірності інформації.

Враховуючи попередні результати досліджень, згідно з яким доцільно проводити спільне узагальнення координатної і ознакової інформації, з урахуванням особливостей функціонування різнотипних джерел РЛІ, пропонується наступний варіант реалізації процесу об'єднання інформації про повітряну обстановку в КЗА спеціального призначення.

На кожному з джерел, залежно від особливостей їх функціонування, реалізуються процеси виявлення-виміру координатних параметрів ПО (відміток або координатних параметрів траєкторій ПО), а також, залежно від можливостей джерел, формуються вектори спостереження ознак, або розраховуються значення мір правдоподібності по заздалегідь розпізнаних класах (типах) ПО в алфавітах класів ПО джерел. Процеси зв'язки, супроводу узагальнених траєкторій, а також остаточного розпізнавання (уточнення) класів (типів) ПО здійснюються в КЗА спеціального призначення шляхом сумісного об'єднання вимірних значень координатних і ознакових параметрів ПО, з урахуванням несуперечності ознак ПО і результатів попереднього розпізнавання від джерел. При цьому реалізація комплексного алгоритму вторинної і третинної обробки РЛІ в КЗА спеціального призначення необхідно приймати рішення про тотожність вимірів різнотипних джерел, формувати часткові траєкторії на підставі сукупностей відміток, що поступають від джерел, які здійснюють тільки внутрішню оглядову обробку РЛІ, і вже після цього приймати рішення про кількість ПО, параметри узагальнених траєкторій і класи ПО.

Розглядаючи можливі підходи до реалізації процесів об'єднання РЛІ від сукупності різнотипних джерел, необхідно також відмітити, що при роздільній обробці РЛІ обчислювальними засобами окремих дже-

рел, в ході реалізації процедур траєкторної обробки проявляється такий недолік, як неповнота інформації, обумовлена обмеженими можливостями джерел зі спостереження і втратами при обробці інформації на окремих джерелах. При цьому складність моделі руху ПО, що обумовлена її істотною нелінійністю, призводить до зниження точності і достовірності отримуваних оцінок при реалізації алгоритмів траєкторної обробки в системах координат джерел.

Вхідними даними для алгоритму ототожнення вимірних значень координатних і некоординатних параметрів ПО і оцінювання їх кількості є вихідні дані алгоритмів обробки РЛІ на різнотипних джерелах. При цьому необхідно використовувати результати як внутрішньо оглядової, так і вторинної обробки РЛІ на різнотипних джерелах, що дозволить врахувати особливості їх функціонування.

Зміст методу сумісної обробки координатної та ознакової інформації системах обробки радіолокаційної інформації спеціального призначення. Метод передбачає виконання наступних процедур третинної обробки РЛІ [8, 10, 11]:

а) приведення множини вимірів координатних параметрів ПО, отриманих від сукупності різнотипних джерел, до єдиного моменту часу;

б) перерахунок вимірних джерелами значень координатних параметрів ПО в систему координат КЗА спеціального призначення;

в) ухвалення рішень про тотожність вимірних значень координат і ознак ПО від різнотипних джерел;

г) оцінка кількості ПО, що знаходяться в радіолокаційному полі сукупності різнотипних джерел.

Процедури приведення вимірів різнотипних джерел до єдиного моменту часу і єдиної системи координат відносяться до попередньої обробки РЛІ при ототожненні вимірів координатних параметрів. При цьому передбачається, що різнотипні джерела здійснюють огляд простору з постійним і, в загальному випадку, неспівпадаючим періодом T_0 . Вектор спостереження координатних параметрів ПО \vec{y}_Σ містить вимірні значення похилої дальності, азимута і кута місця

$\vec{y}_\Sigma = (\hat{r}_\Sigma, \hat{\beta}_\Sigma, \hat{\varepsilon}_\Sigma)^T$. Введемо також припущення, що у більшості випадків, виконується на практиці про те, що виміри різнотипних джерел (вектори спостереження координатних параметрів \hat{y}_Σ) характеризуються випадковими помилками, розподіленими за нормальним законом з відомими СКВ, $-\sigma_{\hat{y}_\Sigma}$ [8, 12, 20]. Від джерел з траєкторним виходом для подальшої обробки надходять параметри сформованих траєкторій.

У алгоритмах траєкторної обробки на таких джерелах, як і в КЗА спеціального призначення, використовується поліноміальна модель руху повітряних об'єктів [8-11].

Вектор спостереження некоординатних параметрів \vec{x}_Σ , залежно від можливостей конкретних джерел з отримання ознакової інформації, може містити вимірні значення різнорідних ознак. Також передбачається, що виміри ознак різнотипними джерелами (складові векторів \hat{x}_Σ) характеризуються випадковими помилками, розподіленими за нормальним законом з відомими СКВ, $-\sigma_{\hat{x}_\Sigma}$.

Під час попередньої обробки вимірів координатних параметрів повітряного об'єкту, що поступили від джерел, реалізуються процедури а) і б), результатом яких є перерахунок координат повітряного об'єкту з полярної системи координат джерел в прямокутну систему координат КЗА спеціального призначення, відповідно до відомих методів, приведених в [8-10].

Також виміри приводяться до єдиного моменту часу шляхом виконання процедур екстраполяції, відповідно до прийнятої моделі руху ПО, згідно пропонуваним.

Після реалізації операцій попередньої обробки РЛІ, що надійшла від джерел, приймаються рішення про тотожність вимірів координатних та ознакових параметрів, які поступили від різнотипних джерел, при цьому, одним з істотних і складних моментів при ототожненні є вибір опорного виміру.

Пропонується при визначенні неузгодження між вимірами різнотипних джерел $\Delta m_k = m_{s_j} - m_{p_j}$ в якості опорного вибирати вимір координат і ознак що відповідає критерію мінімуму спільної дисперсії помилок

$$\min_{\sigma_{\Delta k} \sigma_{\Delta z}} (l, \vec{y}_k, \vec{x}_z; \varphi / n, \vec{\mu}, T) \longrightarrow \vec{y}_k \vec{x}_z, \quad (1)$$

де $\vec{y}_k \vec{x}_z$ – виміри координат і ознак, вибрані в якості опорних при ототожненні від φ -го джерела. Отже опорна точка, що обрана для ототожнення є функцією точності φ -го джерела РЛІ.

Тобто згідно критерію (1), при прийнятих припущеннях, в якості опорного і визначаючого центр багатовимірного строга ототожнення, доцільно вибирати вимір найбільш точного джерела.

Розмірність і величина багатовимірного строга ототожнення визначаються розмірністю простору ототожнюваних координатних і некоординатних параметрів повітряного об'єкту, тобто розмірністю векторів спостереження від джерел, що здійснюють первинну обробку РЛІ і розмірністю векторів стану від джерел з цифровим траєкторним виходом, а також величиною результуючої дисперсії по кожному параметру, що ототожнюється.

Загальне правило для ототожнення вимірів має такий вид:

$$\left\{ e \frac{\alpha_k \Delta y_k}{\sigma_{\Delta k}^2} - e \frac{\alpha_k \Delta y_k}{\sigma_{\Delta k}^2} \right\} \leq \frac{1}{\gamma_k} e \frac{\alpha_k^2}{2\sigma_{\Delta k}^2} \wedge \left\{ e \frac{\beta_z \Delta x_z}{\sigma_{\Delta z}^2} - e \frac{\beta_z \Delta x_z}{\sigma_{\Delta z}^2} \right\} \leq \frac{1}{\gamma_z} e \frac{\beta_z^2}{2\sigma_{\Delta z}^2} \wedge \Delta \vec{K} = 0, \quad (2)$$

де γ_k і γ_z – порогові значення для ухвалення рішення про тотожність вимірних значень координатних параметрів і параметричних ознак, відповідно; $\Delta\vec{K}$ – відхилення вимірних значень складових вектору логічних оперативних ознак, \wedge – знак кон'юнкції, що означає логічну операцію

Слід зазначити, що чим більшою є розмірність вказаних векторів і значення величин дисперсій вимірів і оцінок параметрів часткових траєкторій, отриманих на джерелах, тим більшою є розмірність строба ототожнення і допустима величина розбіжності по кожному з параметрів, що ототожнюються. Проте при виборі опорного виміру і розмірів багатовимірної строба для ототожнення вимірів джерел, окрім характеристик точності, необхідно враховувати також чинник апріорної невизначеності радіолокаційної інформації і епізодичне спостереження різнотипними джерелами.

Правило для ухвалення рішення про тотожність вимірів координатних параметрів від l -го і k -го джерел, що здійснюють тільки первинну обробку РЛІ має вигляд:

$$\left(\hat{y}_{l\alpha}^j - \hat{y}_{k\alpha}^i\right) C_{yl}^{-1} C_{yk}^{-1} \left(\hat{y}_{l\alpha}^j - \hat{y}_{k\alpha}^i\right)^T \leq \gamma_{\hat{y}_{\Sigma}}^1, \quad (3)$$

де $\hat{y}_{l\alpha}^j, \hat{y}_{k\alpha}^i$ – виміряні l -м і k -м ДРЛІ значення координатних параметрів j -го і i -го ПО, рішення про

$$\left[\left(\hat{X}_{n\alpha}^i - \hat{X}_{m\alpha}^j \right) \leq \Delta X^{nop} \right] \wedge \left[\left(\hat{Y}_{n\alpha}^i - \hat{Y}_{m\alpha}^j \right) \leq \Delta Y^{nop} \right] \wedge \left[\left(\hat{H}_{n\alpha}^i - \hat{H}_{m\alpha}^j \right) \leq \Delta H^{nop} \right] \wedge \left[\left(\hat{X}_{n\alpha}^i - \hat{X}_{m\alpha}^j \right) \leq \Delta \dot{X}^{nop} \right] \wedge \left[\left(\hat{Y}_{n\alpha}^i - \hat{Y}_{m\alpha}^j \right) \leq \Delta \dot{Y}^{nop} \right] \wedge \left[\left(\hat{H}_{n\alpha}^{iT} - \hat{H}_{m\alpha}^{jOB} \right) \leq \Delta \dot{H}^{nop} \right], \quad (5)$$

де $\hat{X}_{n\alpha}^i, \hat{X}_{m\alpha}^j, \hat{Y}_{n\alpha}^i, \hat{Y}_{m\alpha}^j, \hat{H}_{n\alpha}^i, \hat{H}_{m\alpha}^j, \hat{X}_{n\alpha}^j, \hat{X}_{m\alpha}^i, \hat{Y}_{n\alpha}^j, \hat{Y}_{m\alpha}^i, \hat{H}_{n\alpha}^j, \hat{H}_{m\alpha}^i$ – оцінки координатних параметрів i -ої та j -ої траєкторій ПО, що надходять від n -го і m -го джерел з траєкторним виходом в α -м такті оновлення інформації; $\Delta X^{nop}, \Delta Y^{nop}, \Delta H^{nop}, \Delta \dot{X}^{nop}, \Delta \dot{Y}^{nop}, \Delta \dot{H}^{nop}$ – порогові значення, що визначають розміри відповідно строба ототожнення вимірів.

Таким чином, правила перевірки відповідності координатних і некоординатних параметрів ототожнюваних вимірів від різнотипних джерел ґрунтуються на отриманих оптимальних правилах і полягають в перевірці попадання вимірів різнотипних джерел в строб ототожнення, сформований навколо відібраного за критерієм (1) виміру від найбільш точного джерела.

Реалізація процедури γ в алгоритмах третинної обробки РЛІ в КЗА спеціального призначення викликає істотні труднощі із-за необхідності обліку відмінностей в розмірах, конфігурації і взаємного просторового положення зон огляду різнотипних джерел.

Крім того, оцінювання кількості ПО, що знаходяться в зоні огляду сукупності різнотипних джерел, істотно залежить від міри апріорної невизначеності РЛІ. Тому ухвалення рішень про кількість ПО доцільно здійснювати під час висунення і перевірки різнорідних статистичних гіпотез.

тотожність яких приймається в α -му такті оновлення інформації; C_{yl}^{-1}, C_{yk}^{-1} – коефіцієнти, що враховують помилки виміру координатних параметрів ПО відповідними ДРЛІ; $\gamma_{\hat{y}_{\Sigma}}^1$ – пороговий рівень, що задає розміри багатовимірної строба ототожнення для координатних параметрів.

Правило для перевірки відповідності векторів спостереження ознак матиме вигляд:

$$\left(\hat{x}_{l\alpha}^j - \hat{x}_{k\alpha}^i\right) C_{xl}^{-1} C_{xk}^{-1} \left(\hat{x}_{l\alpha}^j - \hat{x}_{k\alpha}^i\right)^T \leq \gamma_{\hat{x}_{\Sigma}}^1, \quad (4)$$

де $\hat{x}_{l\alpha}^j, \hat{x}_{k\alpha}^i$ – виміряні l -м і k -м джерелами значення ознакових параметрів j -го та i -го повітряного об'єкта, рішення про тотожність яких приймається в α -м такті оновлення інформації; C_{xl}^{-1}, C_{xk}^{-1} – коефіцієнти, що враховують помилки виміру ознакових параметрів повітряного об'єкта відповідними джерелами; $\gamma_{\hat{x}_{\Sigma}}^1$ – пороговий рівень, що задає розміри багатовимірної строба ототожнення для ознакових параметрів.

Правило для прийняття рішень про тотожність оцінок параметрів i -ї та j -ї траєкторій по приналежності їх одному повітряному об'єкту має такий вигляд:

Враховуючи особливості вирішення задачі узагальнення інформації про повітряну обстановку, та отримані оптимальні вирішальні правила оцінювання кількості ПО, що знаходяться в зоні огляду гіпотетичного радіолокатора, що складається з зон огляду різнотипних джерел радіолокаційної інформації, що в тому числі можуть перетинатися, а також розривів між ними, необхідно розробити вирішальні правила з урахуванням наступних ситуацій, що виникають під час радіолокаційного спостереження.

1. Зона огляду одного з джерел системи Ω_{Δ} повністю охоплює зони огляду інших ДРЛІ, при цьому можливі наступні ситуації:

а) в КЗА спеціального призначення надходить РЛІ, за умови повного спостереження усіх ПО усіма джерелами системи $P(\Pi_{\varphi\xi}(t) = 1)$, в цьому випадку загальна кількість ПО, що знаходяться в зоні огляду такого гіпотетичного радіолокатора, дорів-

новатиме кількості ПО, що спостерігаються джерелом з найбільшою зоною огляду Ω_Λ ;

б) в КЗА спеціального призначення надходить РЛП, за умови спостереження деяких (частини) ПО тільки джерелами з мінімальними зонами огляду Ω_Y . Наприклад, ПО здійснює політ з обгинанням рельєфу місцевості на надмалих висотах, при цьому джерелами з більшою зоною огляду Ω_Λ , що покриває Ω_Y , такі ПО спостерігатися не будуть, у тому числі можливо і за дії інших чинників, зазначених у вступі та при постановці завдання. Загальна кількість повітряних об'єктів в цьому випадку знаходитиметься як сума повітряних об'єктів, що спостерігаються джерелами з мінімальними зонами огляду, доповнене кількістю ПО, що знаходяться поза перетином зон огляду сукупності джерел, тобто таких, що спостерігаються тільки джерелом радіолокаційної інформації з найбільшою зоною огляду;

в) комбінація двох попередніх ситуацій, коли частина повітряних об'єктів спостерігається тільки окремими джерелами, а частина повітряних об'єктів спостерігається в перетині зон огляду декількох (усіх) джерел системи – при цьому оцінка кількості ПО повинна знаходитися після ухвалення рішень про тотожність вимірів різнотипних ДРЛП, згідно (3-5). Рішення про кількість повітряних об'єктів,

в цьому випадку, доцільно приймати за критерієм максимуму правдоподібності гіпотези ототожнення множини вимірів сукупності джерел радіолокаційної інформації:

$$\max_n L_\alpha \left(\begin{matrix} n, \bar{\mu}_\Sigma, \bar{T}_\Sigma / l, \\ \bar{y}_{\rho\Sigma}, \bar{x}_{\rho\Sigma}, \\ n_s, \bar{\mu}_{s\Sigma}, T_{s\Sigma} \end{matrix} \right) \rightarrow n^*, \quad n = \overline{1, n_{\max}}. \quad (6)$$

2. Оцінюванню в КЗА спеціального призначення підлягають ПО, частина з яких знаходиться тільки в частинах зон огляду окремих джерел, що не перетинаються, а частина знаходиться в перетині зон огляду сукупності (декількох) джерел радіолокаційної інформації, при цьому загальна кількість ПО знаходиться як сума ПО, які спостерігаються в усіх частинах зон огляду окремих джерел радіолокаційної інформації, що не перетинаються, доповнена оцінкою кількості ПО, що знаходяться в перетинах зон огляду ДРЛП, після ухвалення рішень про тотожність вимірів різнотипних джерел згідно (1-3).

Формалізоване правило для ухвалення рішення про кількість ПО n^* , що знаходяться в зоні огляду Ω_Φ сукупності різнотипних джерел, з урахуванням оптимальних правил ототожнення вимірів і розглянутих особливостей матиме вигляд:

$$\left[\bigcup_{\Omega_\Phi} \max_n L_{\Omega_\Lambda} \left(n, \bar{\mu}_\Sigma, \bar{T}_\Sigma; \Omega_\Phi / l, \bar{y}_{\rho\Sigma}, \bar{x}_{\rho\Sigma}, n_s, \bar{\mu}_{s\Sigma}, T_{s\Sigma} \right) \left\{ P(\Pi_{\Omega_\Phi \xi}(t) = 1) \right\} \right] \wedge$$

$$\wedge \left[\bigcap_{\Omega_\Phi} \max_n \min_{\Omega_Y} L_{\Omega_Y} \left(n, \bar{\mu}_\Sigma, \bar{T}_\Sigma; \Omega_\Phi / l, \bar{y}_{\rho\Sigma}, \bar{x}_{\rho\Sigma}, n_s, \bar{\mu}_{s\Sigma}, T_{s\Sigma} \right) \left\{ P(\Pi_{\Omega_Y \xi}(t) = 1) \wedge P(\Pi_{\Omega_\Lambda \xi}(t) = 0) \right\} \right] \wedge \quad (7)$$

$$\wedge \left[\bigcap_{\Omega_\Phi} \max_{n, \bar{\mu}_\Sigma, \bar{T}_\Sigma} L_{\Omega_\Phi} \left(n, \bar{\mu}_\Sigma, \bar{T}_\Sigma; \Omega_\Phi / l, \bar{y}_{\rho\Sigma}, \bar{x}_{\rho\Sigma}, n_s, \bar{\mu}_{s\Sigma}, T_{s\Sigma} \right) \left\{ P(\Pi_{\Omega_\Phi \xi}(t) = 1) \vee P(\Pi_{\Omega_\Phi \xi}(t) = 0) \right\} \right] \longrightarrow n^*.$$

Аналізу виразу свідчить, що в якості опорного виміру при ототожненні вимірів від джерел не завжди слід обирати вимір від найбільш високоточного джерела.

Для ситуацій радіолокаційного спостереження, представлених пп. 1. б) і 1. в), в якості опорного при ототожненні доцільно вибрати вимір від джерела з меншою зоною огляду, навіть якщо він має гірші точнісні характеристики.

Наприклад, коли таке джерело закриває провали у великих за розміром зонах огляду інших, більш високоточних джерел, це дозволяє підвищити якість отримуваних оцінок кількості ПО, що знаходяться в радіолокаційному полі сукупності різнотипних джерел радіолокаційної інформації.

Висновки і напрямки подальших досліджень

Запропонований метод сумісної обробки координатної та ознакової інформації в системах об-

робки радіолокаційної інформації спеціального призначення, що дозволяє врахувати інформаційні можливості різнотипних джерел про параметри траєкторій, сигнальні, траєкторні та оперативно-тактичні ознаки, а також використовувати інтелектуальні технології для розпізнавання повітряних об'єктів дозволяє отримати оцінки кількості повітряних об'єктів і прийняти рішення про тотожність вимірів координатних і некоординатних параметрів повітряних об'єктів від різнотипних джерел радіолокаційної інформації.

При цьому враховуються особливості їх функціонування, що визначають відмінності в змісті інформації про координатні і некоординатні параметри повітряних об'єктів, які видаються для подальшої обробки в комплексах засобів автоматизації спеціального призначення.

Використання запропонованого методу сприяє забезпеченню вимог споживачів щодо оперативності та якості інформації про повітряну обстановку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – К.: КВЦ, 2000. – 428 с.
2. Бакут П.А., Жулина Ю.В., Иванчук Н.А. Обнаружение движущихся объектов. – М.: Сов. радио, 1980. – 287 с.
3. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.
4. Войтович С. А. Метод об'єднання інформації про повітряні об'єкти від сукупності різнотипівих джерел / С.А. Войтович, С.Ю. Стасев, В.О. Корнєєв // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – № 4(16). – С. 54-58.
5. Грачев В.М., Довбня А.В. Метод и алгоритм мультирадарной траекторной обработки радиолокационной информации в системе независимых РЛС // Радиотехника. – 2006. – № 145. – С. 67-75.
6. Войтович С. А. Метод об'єднання інформації в системах обробки радіолокаційної інформації з врахуванням часу надходження даних від джерел / С.А. Войтович, С.Б. Клімов, С.Г. Шило // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 3(7). – С. 3-7.
7. Чалий В.В. Інтеграція різнорідних джерел спостереження в системі контролю повітряного простору / Чалий В.В., Головняк Д.В., Калімулін Т.М., Місюк Г.В. // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – № 6(46). – С. 15-18.
8. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – К.: КВЦ, 2000. – 428 с.
9. K. Yang; Y. Bar-Shalom; P. The cross-covariance for heterogeneous track-to-track fusion - Willett Proc. Vol. 11018, Signal Processing, Sensor/Information Fusion, and Target Recognition XXVIII; 1101806 (2019) <https://doi.org/10.1117/12.2520001>
10. Автоматизация обработки, передачи и отображения радиолокационной информации / Под ред. В.Г. Корякова. – М.: Сов. радио, 1975. – 304 с.
11. Шило С.Г. Метод статистического синтеза алгоритмов комбинированного объединения и обобщения радиолокационной информации // Вісник МСУ. Технічні науки. – 2002. – Т. 5, № 7.-- С. 9-12.
12. Войтович С.А., Шило С.Г. Метод совместного объединения и обобщения информации о воздушной обстановке в системах обработки радиолокационной информации // Системи обробки інформації. – 2004. – Вип. 1. – С. 200-207.
13. 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. – 2005. – Вип. 3 (34). – С. 33-41.
14. Кучук Г. А. Метод синтезу інформаційної структури зв'язного фрагменту корпоративної мультисервісної мережі / Г. А. Кучук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2013. – № 2(35). – С. 97-102.
15. Кучук Г.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. Лукова-Чуйко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 117-120.
16. Кучук Г. А. Метод синтезу інформаційної структури зв'язного фрагменту корпоративної мультисервісної мережі / Г. А. Кучук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2013. – № 2(35). – С. 97-102.
17. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiapa, O. (2018), "Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study", Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2018, pp. 593-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
18. Кучук, Г.А. Синтез стратифікованої інформаційної структури інтеграційної компоненти гетерогенної складової Єдиної АСУ Збройними Силами України / Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал. – Х.: ХУ ПС, 2013. – № 3(12). – С. 154-158.
19. Кучук Г.А. Распределение каналов по трактам узла коммутации при адаптивной маршрутизации / Г.А. Кучук // Вестник НТУ «ХПИ». – Х.: НТУ «ХПИ», 2003. – № 26. – С. 167 – 172.
20. Грачев В.М., Довбня А.В. Метод и алгоритм мультирадарной траекторной обработки радиолокационной информации в системе независимых РЛС // Радиотехника. – 2006. – № 145. – С. 67-75.

Received (Надійшла) 12.11.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 18.12.2019

**Method of joint processing of coordinate and signal information
in systems of radio location information of special purpose**

S. Shylo, D. Golovnyak, S. Khmelevskiy, O. Timochko

Abstract. The **subject matter** of the article is the process of joint processing of coordinate and sign information in special purpose radar processing systems. The **goal** is to develop a method for the joint processing of coordinate and sign information in special purpose radar processing systems, which allows to take into account the information capabilities of various sources about the parameters of trajectories, signal, trajectory and tactical features, as well as to use intelligent technologies for the recognition of air objects. The **tasks** are: The initial prerequisites and the choice of the approach to the tertiary processing of radar information are considered. Results of researches on improvement of methods and algorithms of tertiary processing of radar information in the systems of processing of radar information of special purpose are presented. The method of joint processing of coordinate and sign information in systems of processing of radar information of special purpose is different, which differs from the known taking into account information possibilities of different sources about the parameters of trajectories, signal, trajectory and operative-tactical features, as well as the use of technological intelligence. aerial objects. The following **results** were obtained. The method of joint processing of coordinate and sign information in special purpose radar processing systems has been developed. **Conclusions.** The developed method should eliminate the disadvantages inherent in the existing methods and at the same time improve the quality of the information on the air situation. It is established that the use of the proposed method contributes to ensuring the requirements of consumers for the promptness and quality of information about the air situation.

Keywords: air objects, radar information sources, coordinate parameters, various characteristics, hypotheses of compatible identification of measurements, decisive rules.