

УДК 621. 396

О.А. Коршець

Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця

## АЛГОРИТМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЦІЛЕЙ ЗА ДАНИМИ ВИМІРІВ БОРТОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ

*Розглянуто задачу ідентифікації цілей за даними вимірів чотирьох бортових радіолокаційних станцій винищувачів, що наводяться. Синтезовано алгоритм третинної обробки інформації в багатопозиційній системі наведення групи винищувачів.*

**Ключові слова:** бортова радіолокаційна станція, багатопозиційна системі наведення, третинна обробка.

### Вступ

**Постановка проблеми і аналіз літератури.** Досвід військових операцій останніх років свідчить про те що авіаційні засоби як нападу так і захисту діють переважно у складі груп [1 – 6]. У сучасних умовах ведення повітряного бою застосування групових дій авіації, дозволяє створити перевагу сил у визначеному районі бою у вирішальний час, значно підвищити повноту інформації про тактичну обстановку за рахунок різних секторів простору й інформаційного обміну [4 – 7]. Застосування групового наведення потребує організації взаємодії між винищувачами. Тому виникає необхідність використання відповідних засобів визначення взаємного розташування літаків, радіоліній міжбортового зв'язку, додаткових обчислювальних можливостей бортових ЕОМ і т.п.

Функції управління групою винищувачів звичайно покладаються на командирів груп, центри обробки радіолокаційної інформації (ЦОРЛІ) та наземні і повітряні пункти управління. Ускладнення алгоритмів траєкторного управління винищувачами і режимів роботи інформаційно-обчислювальних систем (ІВС) висувають тверді вимоги до обсягу, якості і своєчасності інформаційного забезпечення на всіх етапах бойового польоту [5, 6]. Тому використання наземних автоматизованих систем управління (НАСУ) існуючих на озброєнні Повітряних Сил України є неможливим [7]. В теперішній час стала актуальною задача розробки і реалізації нових систем і методів автоматизованого управління груповими діями винищувачів [1 – 3, 5]. Необхідно підкреслити, що для інформаційного забезпечення нових методів наведення, потрібно оцінювати більшу кількість фазових координат відносного і абсолютного руху винищувача та цілі, включаючи складові їх власних прискорень. Очевидно, що швидкоплинність зміни наземної і повітряної обстановки вимагає значного підвищення автономності польоту на всіх етапах від злету до посадки, що враховує можливість зникнення інформації яка надходить від зовнішніх джерел (НАСУ), ця особливість визначає переваги використання і розробки багатопозиційних систем самонаведення [5 – 8]. Такі системи в якості повітряного пункту управління використо-

вують один із літаків групи який спроможний вирішувати задачі автоматизованого групування літаків (корекція параметрів бойового порядку групи відповідно до інформації про склад і стрій групової цілі на даний момент) і наведення всієї групи на повітряну ціль. А також одержання від винищувачів інформації про фактичні координати і параметри руху літаків цілі, ототожнення і узагальнення її. Багатопозиційна радіолокаційна система у складі бортових радіолокаційних станцій (БРЛС) винищувачів забезпечує отримання необхідної інформації про просторове положення цілі і надає можливість провести уточнення параметрів руху цілей в зв'язку з отриманням надлишкової інформації. Передбачається, що при функціонуванні багатопозиційної системи, зони дії окремих БРЛС можуть перекриватися. При цьому кожна БРЛС здійснює вимір місця розташування цілей у власній системі координат з визначеною точністю. Радіолокаційна інформація від суміжних БРЛС надходить у центр обробки інформації (ЦОІ) і використовується для формування повної навігаційної картини в зоні дії суміжних БРЛС. Тут виникає проблема ідентифікації цілей за даними вимірів декількох БРЛС.

Стаття присвячена питанням об'єднання інформації про цілі від чотирьох джерел (БРЛС) у багатопозиційній радіолокаційній системі наведення.

**Метою статті** є синтез алгоритмів третинної обробки інформації в умовах, коли всі БРЛС працюють несинхронно та вимірювання параметрів руху цілей здійснюється в різні моменти часу.

### Основний матеріал

Розглянемо випадок, коли в область перетинання зон дії чотирьох суміжних БРЛС одночасно попадає дві цілі (рис. 1).

Кожна з БРЛС здійснює виміри у визначені моменти часу (які можуть не збігатися) у своїй системі координат і зі своєю точністю. Радіолокаційну інформацію про кожну ціль яка супроводжується можна представити у вигляді вектора вимірів:

$$\bar{\lambda}_{i,j} = \left\{ i, j, \hat{X}_{i,j}, \mathbf{P}_i, t_{i,j} \right\}, \quad (1)$$

де  $i = \overline{1, n}$  – номер джерела інформації (номер

БРЛС);  $j = \overline{1, m}$  – номер цілі, яка виявлена і супроводжується  $i$ -м джерелом інформації;  $t_{i,j}$  – моменти часу, в які інформація надходить в ЦОІ;  $\hat{X}_{i,j}$  – оцінка вектора  $i$ -им джерелом поточних координат  $j$ -ої цілі, який в загальному випадку у декартовій системі координат включає в себе проекції вектора швидкості  $(\hat{x}_{i,j}, \hat{y}_{i,j}, \hat{z}_{i,j})$  і місцеположення  $(x_{i,j}, y_{i,j}, z_{i,j})$  на відповідні вісі координат:

$$\hat{X}_{i,j} = \begin{pmatrix} \hat{x}_{i,j} \\ \hat{y}_{i,j} \\ \hat{z}_{i,j} \\ \hat{x}_{i,j} \\ \hat{y}_{i,j} \\ \hat{z}_{i,j} \end{pmatrix}; \quad (2)$$

$P_i$  – кореляційна матриця помилок  $i$ -ої БРЛС, елементи якої являють собою дисперсії вимірювань по відповідним вісям в декартовій системі координат (для незалежних вимірювань):

$$P_i = \begin{pmatrix} \sigma_{xi}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{yi}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{zi}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{xi}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{yi}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{zi}^2 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

На основі цієї інформації в ЦОІ повинен бути сформований результуючий вектор навігаційної інформації:

$$\bar{\lambda}_p = \left\{ p, \hat{X}_p, P_p, t_p \right\}, \quad (4)$$

де  $p = \overline{1, l}$  – номер об'єднаної інформації ( $l = \max \{m_i\}$ );  $\hat{X}_p$  – оцінка вектора координат цілі по об'єднаній інформації;  $P_p$  – кореляційна матриця помилок об'єднаної інформації;  $t_p$  – моменти часу, в які здійснюється ідентифікація.

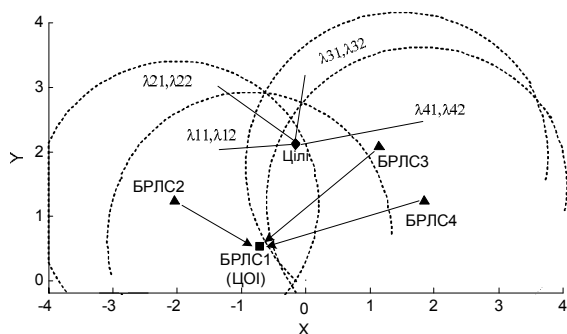


Рис. 1. Ідентифікація цілей по даних вимірювання чотирьох БРЛС

**Ідентифікація цілей по даних чотирьох БРЛС.** Оскільки виміри проводяться кожною БРЛС у власній системі координат, перше, що необхідно зробити при обробці даних у ЦОІ, – це погодити координати, тобто привести виміри до єдиної системи координат (зручніше за центр єдиної системи координат вибрати крапку розташування ЦОІ). Способи узгодження координат добре відомі [9] і являють собою різні способи перетворення систем координат (рівнобіжний перенос осей, поворот осей на деякий кут).

Наступний етап – екстраполяція координат на один момент часу. Екстраполяція може здійснюватися двома способами:

- 1) періодичним об'єднанням інформації;
- 2) послідовним об'єднанням інформації.

При цьому може здійснюватися або середньозважене об'єднання інформації:

$$\hat{X}_p = \left\| \frac{\hat{X}_{1,j} + \hat{X}_{2,j} + \hat{X}_{3,j} + \hat{X}_{4,j}}{4} \right\|, \quad (5)$$

або об'єднання з визначеними ваговими коефіцієнтами:

$$\hat{X}_p = \left\| q_1 \hat{X}_{1,j} + q_2 \hat{X}_{2,j} + q_3 \hat{X}_{3,j} + q_4 \hat{X}_{4,j} \right\|, \quad (6)$$

де  $q_i$  – відповідні вагові коефіцієнти (звичайно  $\sum_i^n q_i = 1$ ), обумовлені матрицею кореляційних помилок.

Для прикладу, при наявності в зоні дії всіх чотирьох БРЛС двох цілей розглянемо у загальному випадку наступні варіанти подій:

**А.** Від кожної з чотирьох БРЛС надійшли вектори вимірів двох цілей

$$(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{41}, \hat{\lambda}_{42}).$$

**В.** Від першої БРЛС надійшли вектори виміру двох цілей, від другої БРЛС надійшли вектори вимірів двох цілей, від третьої і четвертої вектори виміру однієї цілі  $(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{42})$ .

**С.** Від другої БРЛС надійшли вектори вимірів двох цілей, від третьої БРЛС надійшли вектори вимірів двох цілей, від першої БРЛС надійшли вектори вимірів двох цілей, а від четвертої БРЛС вектор виміру однієї цілі  $(\hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{41})$ .

Тут можливі і інші варіанти.

Розглянемо варіант **А**, коли кожною БРЛС точно виявлені і супроводжуються дві цілі.

По даним які надходять від них потрібно ідентифікувати цілі, тобто визначити, якій цілі відповідають вектори вимірів. При цьому варто розглянути вісім гіпотез.

**Гіпотеза Н1:** вектори вимірів

$(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{41})$  відповідають першій цілі, а век-

тори  $(\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{42})$  – другій (Н1:

$$\hat{\lambda}_1 \sim \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{41}; \hat{\lambda}_2 \sim \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{42}).$$

**Гіпотеза Н2:** вектори вимірів

$(\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{42})$  відповідають першій цілі, а вектори  $(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{41})$  – другій, (Н2):

$$\hat{\lambda}_1 \sim \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{42}; \quad \hat{\lambda}_2 \sim \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{41}.$$

**Гіпотеза Н3:** вектори вимірів

$(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{42})$  відповідають першій цілі, а вектори  $(\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{41})$  – другій (Н3):

$$\hat{\lambda}_1 \sim \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{42}; \quad \hat{\lambda}_2 \sim \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{41}.$$

**Гіпотеза Н4:** вектори вимірів

$(\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{41})$  відповідають першій цілі, а вектори  $(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{42})$  – другій (Н4):

$$\hat{\lambda}_1 \sim \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{41}; \quad \hat{\lambda}_2 \sim \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{42}.$$

**Гіпотеза Н5:** вектори вимірів

$(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{41})$  відповідають першій цілі, а вектори  $(\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{42})$  – другій (Н5):

$$\hat{\lambda}_1 \sim \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{41}; \quad \hat{\lambda}_2 \sim \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{42}.$$

**Гіпотеза Н6:** вектори вимірів

$(\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{42})$  відповідають першій цілі, а вектори  $(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{41})$  – другій (Н6):

$$\hat{\lambda}_1 \sim \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{42}; \quad \hat{\lambda}_2 \sim \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{41}.$$

**Гіпотеза Н7:** вектори вимірів

$(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{42})$  відповідають першій цілі, а вектори  $(\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{41})$  – другій (Н7):

$$\hat{\lambda}_1 \sim \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{42}; \quad \hat{\lambda}_2 \sim \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{41}.$$

**Гіпотеза Н8:** вектори вимірів

$(\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{41})$  відповідають першій цілі, а вектори  $(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{42})$  – другій (Н8):

$$\hat{\lambda}_1 \sim \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{41}; \quad \hat{\lambda}_2 \sim \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{42}.$$

Імовірності приведених вище гіпотез визначаються відповідними умовними щільностями імовірностей подій:

$$P(H1) = p(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_1; \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_2);$$

$$P(H2) = p(\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_1; \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_2);$$

$$P(H3) = p(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_1; \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_2);$$

$$P(H4) = p(\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_1; \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_2);$$

$$P(H5) = p(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_1; \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_2);$$

$$P(H6) = p(\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_1; \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_2);$$

$$P(H7) = p(\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_1; \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_2);$$

$$P(H8) = p(\hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_1; \hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_2).$$

Якщо припустити, що виміри  $\hat{\lambda}_{11}, \hat{\lambda}_{12}, \hat{\lambda}_{21}, \hat{\lambda}_{22}, \hat{\lambda}_{31}, \hat{\lambda}_{32}, \hat{\lambda}_{41}, \hat{\lambda}_{42}$  є статистично незалежними, а в більшості випадків так і є, тоді можна записати:

$$\left. \begin{aligned} P(H1) &= p(\hat{\lambda}_{11} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{31} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_1) \cdot \\ &\cdot p(\hat{\lambda}_{12} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{32} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_2) \\ P(H2) &= p(\hat{\lambda}_{12} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{32} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_1) \cdot \\ &\cdot p(\hat{\lambda}_{11} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{31} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_2) \\ P(H3) &= p(\hat{\lambda}_{11} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{31} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_1) \cdot \\ &\cdot p(\hat{\lambda}_{12} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{32} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_2) \\ P(H4) &= p(\hat{\lambda}_{12} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{32} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_1) \cdot \\ &\cdot p(\hat{\lambda}_{11} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{31} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_2) \\ P(H5) &= p(\hat{\lambda}_{11} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{32} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_1) \cdot \\ &\cdot p(\hat{\lambda}_{12} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{31} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_2) \\ P(H6) &= p(\hat{\lambda}_{12} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{31} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_1) \cdot \\ &\cdot p(\hat{\lambda}_{11} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{32} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_2) \\ P(H7) &= p(\hat{\lambda}_{11} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{32} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_1) \cdot \\ &\cdot p(\hat{\lambda}_{12} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{31} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_2) \\ P(H8) &= p(\hat{\lambda}_{12} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{22} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{31} | \hat{\lambda}_1) \cdot p(\hat{\lambda}_{41} | \hat{\lambda}_1) \cdot \\ &\cdot p(\hat{\lambda}_{11} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{21} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{32} | \hat{\lambda}_2) \cdot p(\hat{\lambda}_{42} | \hat{\lambda}_2) \end{aligned} \right\} (7)$$

Умовна щільність імовірності  $p(\hat{\lambda}_{ij} | \hat{\lambda}_p)$  як функція інформаційних параметрів вектора  $\hat{\lambda}_p$  називається функцією правдоподібності [10]. Для визначення найбільш ймовірної гіпотези потрібно задати вид функції правдоподібності.

Інформаційними параметрами вектора вимірів  $\bar{\lambda}_{i,j}$ , по яких здійснюється ідентифікація, є координати місця розташування і швидкості руху цілі  $\hat{X}_{i,j}$  в декартовій системі координат.

Уведемо вектор різниці інформаційних параметрів:

$$\Delta \bar{X}_{ij/p} = \bar{X}_{ij} - \bar{X}_p = \begin{pmatrix} \Delta \hat{x}_{ij/p} \\ \Delta \hat{y}_{ij/p} \\ \Delta \hat{z}_{ij/p} \\ \Delta \hat{x}_{ij/p} \\ \Delta \hat{y}_{ij/p} \\ \Delta \hat{z}_{ij/p} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{x}_{i,j} - \hat{x}_p \\ \hat{y}_{i,j} - \hat{y}_p \\ \hat{z}_{i,j} - \hat{z}_p \\ \hat{x}_{i,j} - \hat{x}_p \\ \hat{y}_{i,j} - \hat{y}_p \\ \hat{z}_{i,j} - \hat{z}_p \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Звичайно приймають [10], що  $\Delta \hat{X}_{ijp}$  має нормальний розподіл. Для нормального закону розподілу функція правдоподібності у випадку багатомірного вектора вимірів  $p(\hat{\lambda}_{ij} | \hat{\lambda}_p)$  описується виразом [11]:

$$p(\hat{\lambda}_{ij} | \hat{\lambda}_p) = p(\Delta \hat{X}_{ij/p}) = \frac{1}{(2\pi)^3 \sqrt{|P_i|}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \Delta \hat{X}_{ij/p}^T \cdot P_i^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{ij/p} \right]. \quad (9)$$

Вигляд функції правдоподібності – на рис. 2.

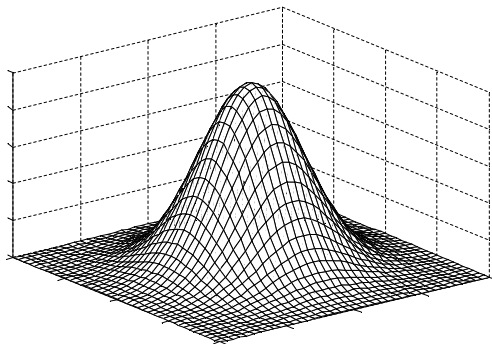


Рис. 2. Вигляд функції правдоподібності

Підставивши (9) в (7), отримаємо вираз для імовірностей відповідних гіпотез:

$$\left. \begin{aligned} P(H1) &= \frac{1}{(2\pi)^{12} \sqrt{(|P_1|)^2 (|P_2|)^2 (|P_3|)^2 (|P_4|)^2}} \exp \left[ -\frac{\Sigma_1}{2} \right] \\ P(H2) &= \frac{1}{(2\pi)^{12} \sqrt{(|P_1|)^2 (|P_2|)^2 (|P_3|)^2 (|P_4|)^2}} \exp \left[ -\frac{\Sigma_2}{2} \right] \\ P(H3) &= \frac{1}{(2\pi)^{12} \sqrt{(|P_1|)^2 (|P_2|)^2 (|P_3|)^2 (|P_4|)^2}} \exp \left[ -\frac{\Sigma_3}{2} \right] \\ P(H4) &= \frac{1}{(2\pi)^{12} \sqrt{(|P_1|)^2 (|P_2|)^2 (|P_3|)^2 (|P_4|)^2}} \exp \left[ -\frac{\Sigma_4}{2} \right] \\ P(H5) &= \frac{1}{(2\pi)^{12} \sqrt{(|P_1|)^2 (|P_2|)^2 (|P_3|)^2 (|P_4|)^2}} \exp \left[ -\frac{\Sigma_5}{2} \right] \\ P(H6) &= \frac{1}{(2\pi)^{12} \sqrt{(|P_1|)^2 (|P_2|)^2 (|P_3|)^2 (|P_4|)^2}} \exp \left[ -\frac{\Sigma_6}{2} \right] \\ P(H7) &= \frac{1}{(2\pi)^{12} \sqrt{(|P_1|)^2 (|P_2|)^2 (|P_3|)^2 (|P_4|)^2}} \exp \left[ -\frac{\Sigma_7}{2} \right] \\ P(H8) &= \frac{1}{(2\pi)^{12} \sqrt{(|P_1|)^2 (|P_2|)^2 (|P_3|)^2 (|P_4|)^2}} \exp \left[ -\frac{\Sigma_8}{2} \right] \end{aligned} \right\} (10)$$

де

$$\Sigma_1 = \Delta \hat{X}_{111}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{111} + \Delta \hat{X}_{211}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{211} + \Delta \hat{X}_{311}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{311} + \Delta \hat{X}_{411}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{411} + \Delta \hat{X}_{122}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{122} + \Delta \hat{X}_{222}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{222} + \Delta \hat{X}_{322}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{322} + \Delta \hat{X}_{422}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{422}; \quad (11)$$

$$\Sigma_2 = \Delta \hat{X}_{121}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{121} + \Delta \hat{X}_{221}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{221} + \Delta \hat{X}_{321}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{321} + \Delta \hat{X}_{421}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{421} + \Delta \hat{X}_{112}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{112} + \Delta \hat{X}_{212}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{212} + \Delta \hat{X}_{312}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{312} + \Delta \hat{X}_{412}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{412}; \quad (12)$$

$$\Sigma_3 = \Delta \hat{X}_{111}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{111} + \Delta \hat{X}_{221}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{221} + \Delta \hat{X}_{311}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{311} + \Delta \hat{X}_{421}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{421} + \Delta \hat{X}_{122}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{122} + \Delta \hat{X}_{212}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{212} + \Delta \hat{X}_{322}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{322} + \Delta \hat{X}_{412}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{412}; \quad (13)$$

$$\Sigma_4 = \Delta \hat{X}_{121}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{121} + \Delta \hat{X}_{211}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{211} + \Delta \hat{X}_{321}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{321} + \Delta \hat{X}_{411}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{411} + \Delta \hat{X}_{112}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{112} + \Delta \hat{X}_{222}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{222} + \Delta \hat{X}_{312}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{312} + \Delta \hat{X}_{422}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{422}; \quad (14)$$

$$\Sigma_5 = \Delta \hat{X}_{111}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{111} + \Delta \hat{X}_{221}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{221} + \Delta \hat{X}_{321}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{321} + \Delta \hat{X}_{411}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{411} + \Delta \hat{X}_{122}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{122} + \Delta \hat{X}_{212}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{212} + \Delta \hat{X}_{312}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{312} + \Delta \hat{X}_{422}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{422}; \quad (15)$$

$$\Sigma_6 = \Delta \hat{X}_{121}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{121} + \Delta \hat{X}_{211}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{211} + \Delta \hat{X}_{311}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{311} + \Delta \hat{X}_{421}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{421} + \Delta \hat{X}_{112}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{112} + \Delta \hat{X}_{222}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{222} + \Delta \hat{X}_{322}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{322} + \Delta \hat{X}_{412}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{412}; \quad (16)$$

$$\Sigma_7 = \Delta \hat{X}_{111}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{111} + \Delta \hat{X}_{211}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{211} + \Delta \hat{X}_{321}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{321} + \Delta \hat{X}_{421}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{421} + \Delta \hat{X}_{122}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{122} + \Delta \hat{X}_{222}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{222} + \Delta \hat{X}_{312}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{312} + \Delta \hat{X}_{412}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{412}; \quad (17)$$

$$\Sigma_8 = \Delta \hat{X}_{121}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{121} + \Delta \hat{X}_{221}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{221} + \Delta \hat{X}_{311}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{311} + \Delta \hat{X}_{411}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{411} + \Delta \hat{X}_{112}^T \cdot P_1^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{112} + \Delta \hat{X}_{212}^T \cdot P_2^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{212} + \Delta \hat{X}_{322}^T \cdot P_3^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{322} + \Delta \hat{X}_{422}^T \cdot P_4^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{422}; \quad (18)$$

Найбільш ймовірною буде гіпотеза, для якої відповідний вираз (10) буде максимальним. Критерієм максимальності служить мінімум показника експоненти  $\Sigma_k$

$$\min_k \{ \Sigma_k \}, \quad (19)$$

де  $k$  – кількість гіпотез,  $k = \overline{1, 8}$ .

Для варіантів подій **B** и **C** та інших можливих варіантів імовірності відповідних гіпотез знаходяться за аналогією з наведеними виразами для аргументів функцій правдоподібності (11) – (18).

Описаний вище алгоритм ідентифікації показаний на рис. 3.

### Висновки

В статті розглянуті можливості застосування третинної обробки інформації для наведення групи

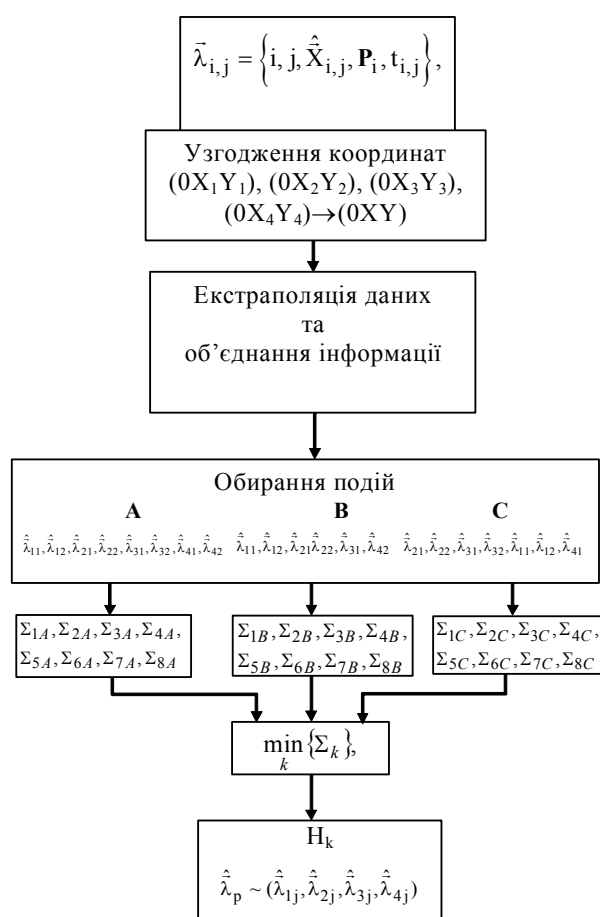


Рис. 3. Алгоритм ідентифікації цілей за даними вимірювань чотирьох БРЛС

винищувачів з використанням бортових радіолокаційних вимірювачів координатної інформації. Наведено алгоритм ідентифікації цілей за даними вимірювань чотирьох БРЛС. Потрібно відзначити, що застосування додаткової інформації (інформація про швидкості цілей) може підвищити імовірність правильної ідентифікації, але цей факт вимагає підтвердження шляхом імітаційного моделювання. Крім того, оскільки об'єкти що супроводжуються, інерційні і не можуть миттєво і у великих межах змінювати координати свого місця розташування, інформацію про швидкості можна використовувати для прогнозування місця розташування цілей, що значно зменшить похибку місцевизначення. А це, у свою

чергу, підвищить імовірність правильної ідентифікації. Перераховані вище факти будуть враховані в подальших дослідженнях автора.

## Список літератури

1. Гороценко Л.Б. Методы координированного наведения и атаки несколькими истребителями группы самолетов противника / Л.Б. Гороценко // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». – 2000. – № 6. – С. 32-36.
2. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс. Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / Под ред. академика Е.А. Федосова. – М.: Дрофа, 2004. – 816 с.
3. Гороценко Л.Б. Пути реализации координированного наведения и атаки несколькими истребителями группы самолетов противника / Л.Б. Гороценко // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». – 2000. – № 10. – С. 41-43.
4. Гороценко Л.Б. Методы использования истребителей для получения информации об обстановке в воздухе при отражении налетов / Л.Б. Гороценко // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». – 2001. – № 6. – С. 24-30.
5. Канащенков А.И. Облик перспективных бортовых радиолокационных систем. Возможности и ограничения / А.И. Канащенков, В.М. Меркулов, О.О. Самарин. – М.: ИПРЖР, 2002. – 176 с.
6. Авиационные системы радиопередачи. Т. 1. Принципы построения систем радиопередачи. Основы синтеза и анализа / Под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003. – 192 с.
7. Торочин А.Я. Современный стан та перспективи розвитку систем наведення у повітряних силах. Аналіз дискретних систем самонаведення винищувачів на надманеврені цілі у просторі станів / А.Я. Торочин, О.А. Коршець, В.В. Поляков // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2005. – Вип. 1 (1). – С. 23-26.
8. Авиационные системы радиопередачи. Т. 2. Радиоэлектронные системы самонаведения / Под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003. – 192 с.
9. Ильин В.А. Аналитическая геометрия / В.А. Ильин, Э.Г. Поздняк. – М.: Наука, 1988. – 438 с.
10. Фалькович С.Е. Оценка параметров сигналов / С.Е. Фалькович. – М.: Сов. радио, 1970. – 366 с.
11. Брандт З. Статистические методы анализа наблюдений / З. Брандт. – М.: Мир, 1975. – 322 с.

Надійшла до редколегії 1.03.2011

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

## АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЦЕЛЕЙ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ БОРТОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

Е.А. Коршец

Рассмотрена задача идентификации целей по данным измерений четырех бортовых радиолокационных станций истребителей, которые наводятся. Синтезирован алгоритм третичной обработки информации в многопозиционной системе наведения группы истребителей.

**Ключевые слова:** бортовая радиолокационная станция, многопозиционная система наведения, третичная обработка.

## OBSERVERIDENTIFIERS AIMS ARE FROM DATA OF MEASUREMENTS OF THE AIRBORNE RADAR

E.A. Korshec

The task of authentication of aims is considered from data of measurements of four airborne radar of destroyers, which are pointed. The algorithm of tertiary treatment of information is synthesized in the multiposition system of aiming of group of destroyers.

**Keywords:** vehicular radiolocation station, multiposition the aiming system, tertiary treatment.