

УДК 629.735.067(0432)

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄДНАННЯ ДАНИХ  
ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ АЕРОНАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ  
ПРИ КОРЕЛЬОВАНИХ СПОСТЕРЕЖЕННЯХ У ВИПАДКУ  
ГАУССОВСЬКИХ ЩІЛЬНОСТЕЙ**

*Слюняєв О. С.*

Національний авіаційний університет  
olegrabota@ukr.net

*Розглянуто методику підвищення ефективності об'єднання даних у випадку гауссовських щільностей з метою оптимізації статистично розподіленого виявлення та роботи зосередженого процесора, який забезпечує швидше прийняття рішення об'єднуючи рішення окремих приймачів.*

**Ключові слова:** інформаційна система, аеронавігаційна система, мультистатична система, корельовані сигнали.

*The technique of increase of efficiency of association of the data in case of Gaussian density for the purpose of optimization of statistically distributed revealing is considered and work of the concentrated processor which provides faster decision-making uniting decisions of separate receivers.*

**Keywords:** information firmness, aeronavigation system, multistatic system, correlated signals.

### **Постановка проблеми**

Специфіка роботи повітряного транспорту потребує постійного вдосконалення всіх його систем. Це необхідно для гарантування його безпечного та ефективного функціонування.

Безпека та ефективність авіації є головною рушійною силою її розвитку. Найактуальнішим завданням на сьогодні є гарантування безпеки польотів та авіаційної безпеки (недопущення актів протизаконного втручання в діяльність цивільної авіації).

Ефективність і безпека польотів залежить від інформаційного забезпечення системи управління повітряним рухом.

Система управління повітряним рухом є складною ієрархічною та багаторівневою системою, в якій взаємодіють засоби збирання та оброблення інформації, обчислювальні засоби, системи відображення інформації, засоби зв'язку, а також її персонал. Ефективність і досконалість системи визначається її надійністю, точністю та повнотою отриманих даних, а також правильністю прийняття рішення [1].

Правильність прийняття рішення в першу чергу залежить від надійності систем зв'язку, повноти та точності отриманої інформації.

Різнобічний, активний і надійний інформаційний обмін між повітряним судном та центром управління повітряним рухом дає змогу швидко формувати та оперативно ухвалювати найбільш раціональні рішення про подальше виконання польоту з урахуванням обстановки в повітрі та на землі.

Стратегічно важливою умовою досягнення високого рівня безпеки польотів в умовах безперервного зростання авіаційного трафіку є безпе-

первний надійний зв'язок та правдивість отриманих даних наземними центрами управління повітряним рухом на всіх етапах польоту повітряного судна [3; 4].

Під забезпеченням авіаційної безпеки мається на увазі комплекс заходів, а також людські та матеріальні ресурси, призначені для захисту авіації від актів незаконного втручання в її діяльність.

Актом незаконного втручання в діяльність авіації є протиправні дії, пов'язані з посяганням на діяльність авіації і авіаційних об'єктів, унаслідок яких можуть статися нещасні випадки з людьми, майнові збитки, захоплення чи викрадення повітряного судна, або такі, що можуть створити ситуацію для таких наслідків [1; 2].

### **Аналіз досліджень і публікацій**

Проведений аналіз свідчить про те, що найбільш повно проблеми безпеки польотів та авіаційної безпеки висвітлені в збірниках Міжнародної організації цивільної авіації ICAO.

Питанням аналізу та забезпечення безпеки інформаційних потоків систем аеронавігації приділено ряд робіт вітчизняних та зарубіжних авторів.

Стан безпеки польотів — одна з найактуальніших тем, які висвітлюються ЗМІ.

Також, слід зазначити, що предметом сучасного інтересу розробників розподілених систем є мультистатичні системи, які працюють з великою кількістю розділених приймачів, контролюючих загальний об'єм.

Такі системи вважаються більш надійними та захищеними до електронного впливу ніж моностатичні системи. Ці властивості обумовлені розділеним резервуванням. Підвищені характерис-

тики мультистатичних систем витікають з просторового рознесення схеми системи.

### Методика оптимізації статистично розподіленого виявлення

Досліджується клас мультистатичних розподілених систем, названих системами розподіленого виявлення, які хоча і використовують концепцію рознесення, проектуються так, щоб оптимальним чином об'єднувати рішення, які надходять від приймачів, швидше, ніж відповідні статистики, як в загально прийнятій конструкції. Незважаючи на втрату експлуатаційних якостей, які можуть бути результатом такої структуризації, важлива практична перевага полягає в необхідності ліній передачі даних з малою шириною смуги між приймачами і центральним блоком об'єднання або процесором.

У статті наведено оптимальне розв'язання задачі перевірки статистичних гіпотез.

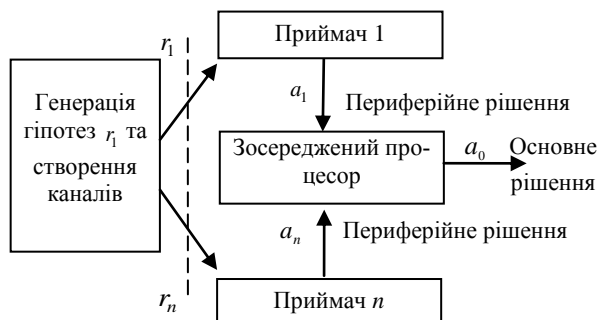
В основі розподіленого виявлення синтез закладає так, що стратегія оптимального рішення будь-якого приймача повинна враховувати умови робочої обстановки і характеристики всіх інших приймачів, а також структуру зосередженого процесора. Характеристики повної системи через периферійну вірогідність помилкової тривоги і помилки виходять через характерні для певного класу виведені вирази.

Розглянемо дворівневу задачу виявлення.

Приймачі перетворюють ехосигнали розподіленої системи  $r_k$  з тим, щоб створити набір першої стадії рішень  $a_k$ ,  $k=1, n$ . На другій стадії зосереджений процесор об'єднує ці рішення в остаточне рішення  $a_0$  стосовно наявності чи відсутності цілі за принципом:

$a_j = 1$ , якщо прийнято рішення про наявність цілі, тобто обрано гіпотезу  $H_1$ ;

$a_j = 0$ , якщо прийнято рішення про відсутність цілі, тобто обрано гіпотезу  $H_0$ , для  $j = \overline{0, n}$  (див. рисунок).



Розподілене виявлення з використанням периферійних приймачів

Припускається, що як у випадку  $H_1$ , так і у випадку  $H_0$  сигнали корельовані.

Отже, припустимо:

(i) — у випадку  $H_1$  випадковий вектор  $\bar{r} = (r_1, \dots, r_n)^T$  має відому щільність імовірності  $\rho_1(x_1, \dots, x_n)$ , причому ця щільність симетрична відносно своїх аргументів  $x_1, \dots, x_n$ ;

(ii) — у випадку  $H_0$  випадковий вектор  $\bar{r}$  має відому щільність  $\rho_0(x_1, \dots, x_n)$ , причому ця щільність симетрична відносно своїх аргументів  $x_1, \dots, x_n$ .

Симетричність щільностей означає, що периферійні приймачі рівноправні в такому сенсі: сигнали  $r_1, \dots, r_n$  мають однакові розподіли зі щільністю

$$\rho_1(x) = \int_{R^{n-1}} \rho_1(x, x_2, \dots, x_n) dx_2 \dots dx_n$$

у випадку  $H_1$  (наявність цілі);

також і у випадку  $H_0$  (відсутність цілі) вони мають однакові розподіли зі щільністю

$$\rho_0(x) = \int_{R^{n-1}} \rho_0(x, x_2, \dots, x_n) dx_2 \dots dx_n.$$

Тут і надалі  $R$  означає множину всіх дійсних чисел.

Намагатимось мінімізувати ймовірність промаху  $P_{m0}$  зосередженого процесора за умови  $P_{f0} = \alpha_0$ , накладеної на загальну ймовірність помилкової тривоги. Тобто потрібно мінімізувати величину  $F$ , яка визначається виразом:

$$F = P_{m0} + \lambda(P_{f0} - \alpha_0), \quad (1)$$

де  $\lambda$  — невизначений множник,  $\lambda > 0$ .

Позначимо через  $A$  довільний набір рішень  $(a_1, \dots, a_n)$ . Маємо при  $i = 0; 1$

$$P(a_0 | H_i) = \sum_A p(a_0 | A) p(A | H_i). \quad (2)$$

Тут  $p(\cdot)$  позначає відповідну умовну ймовірність. Для ймовірності помилок зосередженого процесора I та II роду маємо:

$$P_{m0} = p(a_0 = 0 | H_1), \quad (3)$$

$$P_{f0} = p(a_0 = 1 | H_0). \quad (4)$$

Підставляючи вирази (2—4) в (1), отримуємо

$$F = \sum_A p(a_0 = 0 | A) [p(A | H_1) - \lambda p(A | H_0)] + \lambda(1 - \alpha_0). \quad (5)$$

Розглянемо принцип роботи зосередженого процесора у випадку гауссівських щільностей.

Нехай  $\rho_0(\bar{x})$  відповідає розподілу  $N(\bar{0}, S_0)$ .

Тут  $S_0$  — кореляційна матриця,

$$S_0 = \sigma_0^2 \begin{pmatrix} 1 & \alpha_0 & \alpha_0 & \alpha_0 \\ \alpha_0 & 1 & \alpha_0 & \alpha_0 \\ \alpha_0 & \alpha_0 & 1 & \alpha_0 \\ \alpha_0 & \alpha_0 & \alpha_0 & 1 \end{pmatrix},$$

де  $0 \leq \alpha_0 < 1$  — коефіцієнт кореляції.

При  $\alpha_0 = 0$  сигнали  $r_k$  (у випадку  $H_0$ ) незалежні.

Нехай  $\rho_1(\bar{x})$  відповідає розподілу  $N(\bar{m}, S_1)$ , де  $m \in R$ ,

$$S_1 = \sigma_1^2 \begin{pmatrix} 1 & \alpha_1 & \alpha_1 & \alpha_1 \\ \alpha_1 & 1 & \alpha_1 & \alpha_1 \\ \alpha_1 & \alpha_1 & 1 & \alpha_1 \\ \alpha_1 & \alpha_1 & \alpha_1 & 1 \end{pmatrix},$$

де  $0 \leq \alpha_1 < 1$  — коефіцієнт кореляції.

При  $\alpha_1 = 0$  сигнали  $r_k$  (у випадку  $H_1$ ) незалежні.

Оберемо такі припущення.

(iii). Матриця  $S_1 - S_0$  додатно визначена.

Фізично це означає, що енергія сигналу у випадку  $H_1$  більша, ніж його енергія у випадку  $H_0$  (зокрема, дисперсія  $r_k$  у випадку  $H_0$  менша, ніж у випадку  $H_1$ ).

Нехай центральний процесор слідує логіці «І».

Розглянемо область при  $\lambda > 0$ . Маємо

$$\lambda \rho_0 \leq \rho_1, \quad \ln \rho_0 + \ln \lambda \leq \ln \rho_1, \quad (6)$$

$$\rho_0(\bar{x}) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^n \sqrt{\det S_0}} e^{-\frac{1}{2}(S_0^{-1} \bar{x}, \bar{x})},$$

$$\rho_1(\bar{x}) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^n \sqrt{\det S_1}} e^{-\frac{1}{2}(S_1^{-1}(\bar{x}-\bar{m}), \bar{x}-\bar{m})}.$$

Якщо виконано (iii), то матриця  $A = S_0^{-1} - S_1^{-1}$  додатно визначена [5].

Нерівність (6) рівносильна такій:

$$(S_0^{-1} \bar{x}, \bar{x}) - (S_1^{-1}(\bar{x}-\bar{m}), \bar{x}-\bar{m}) \geq 2 \ln \lambda + \ln \frac{\det S_1}{\det S_0} = C_1 a,$$

$$(A\bar{x}, \bar{x}) - 2m(S_1^{-1} \bar{x}, \bar{1}) - m^2(S_1^{-1} \bar{1}, \bar{1}) \geq C_1. \quad (7)$$

Нерівність (7) задає зовнішність багатовимірного еліпсоїда.

Розглянемо рівність, яка задає межу еліпсоїда:

$$\begin{aligned} (A\bar{x}, \bar{x}) - 2(\bar{x}, f) - C_2 &= 0; \\ C_2 = m^2(S_1^{-1} \bar{1}, \bar{1}) + C_1; \quad f &= mS_1^{-1} \bar{1}; \\ (A(\bar{x} - x_c), \bar{x} - x_c) &= C_3. \end{aligned} \quad (8)$$

Тут  $2Ax_c = 2f, Ax_c = f, x_c = A^{-1}f$  — центр еліпсоїда;

$$C_3 = C_2 + (Ax_c, x_c) = C_2 + (A^{-1}f, f).$$

Якщо  $C_3 \leq 0$  (це відбувається при достатньо малих  $\lambda > 0$ ), то еліпсоїд вироджується або в центр  $x_c$ , або в порожню множину. Тоді

$$I_{1*}^{(\lambda)} = R$$

Нехай  $C_3 > 0$ . Тоді  $x_c = \beta \bar{1}$  (унаслідок симетрії еліпсоїда),

$$I_{1*}^{(\lambda)} = (-\infty, \beta - d] \cup [\beta + d, +\infty).$$

Тут гіперкуб  $[\beta - d, \beta + d]^n$  — найменший гіперкуб, описаний навколо еліпсоїда (8).

Наведемо спосіб обчислення  $d$ . Унаслідок симетрії еліпсоїда маємо

$$A = \begin{pmatrix} a & b & b & b \\ b & a & b & b \\ b & b & a & b \\ b & b & b & a \end{pmatrix}; \quad a > 0, a > |b|.$$

Розглянемо центрований еліпсоїд

$$\sum_{i,j=1}^n a_{ij} z_i z_j = C_3;$$

$$a \sum_1^n z_i^2 + b \sum_{i \neq j} z_i z_j = C_3.$$

Вважаємо  $z_i = dE_i, E_i = \begin{cases} 1 \\ -1 \end{cases}, i = \overline{1, n}$  і це від-

повідає вершинам гіперкуба. Оскільки гіперкуб описаний, маємо

$$a(nd^2) + bd^2 \sum_{i \neq j} E_i E_j \geq C_3;$$

$$d^2 \geq \frac{C_3}{an + b(\sum_{i,j=1}^n E_i E_j - n)} = \frac{C_3}{an + b((\sum_1^n E_i)^2 - n)};$$

$$d_{\min}^2 = \frac{C_3}{an + \max_{E_1, \dots, E_n} [b(\sum_1^n E_i)^2] - bn}$$

Якщо  $b \geq 0$ , то

$$d_{\min}^2 = \frac{C_3}{an + b(n^2 - n)},$$

$$d = d_{\min} = \sqrt{\frac{C_3}{n(a + b(n-1))}}.$$

Якщо  $b < 0$ , то

$$d_{\min}^2 = \begin{cases} \frac{C_3}{(a-b)n}, & \text{якщо } n \text{ і } a \text{ дільні } a; \\ \frac{\tilde{N}_3}{(a-b)n+b}, & \text{якщо } n \text{ і } a \text{ не дільні } a. \end{cases}$$

При парному  $n$  максимум буде при  $\sum_1^n E_i = 0$  (половина доданків 1, половина доданків (-1)); при непарному  $n$  максимум буде при  $\sum_1^n E_i = \pm 1$   $\left(\frac{n-1}{2}$  одиниць і «мінус одиниць»  $\frac{n+1}{2}$ ). Відповідно, при  $b < 0$

$$d = d_{\min} = \begin{cases} \sqrt{\frac{C_3}{(a-b)n}}, & \text{якщо } n \text{ парне}; \\ \sqrt{\frac{C_3}{(a-b)n+b}}, & \text{якщо } n \text{ непарне}. \end{cases}$$

Нехай центральний процесор слідує логіці «АБО».

Це внутрішність еліпсоїда (8):

$$(A(\bar{x} - x_c), \bar{x} - x_c) \leq C_3.$$

Якщо  $\tilde{N}_3 \leq 0$ , то  $I_{0*}$  є порожньою множиною,  $I_{1*} = R$ .

Якщо ж  $C_3 > 0$ , то  $I_{0*}^n = [\beta - d, \beta + d]$  — найбільший гіперкуб, вписаний в еліпсоїд.

Відповідно

$$d_{\max}^2 = \frac{C_3}{an + \min_{E_1, \dots, E_n} \left[ b \left( \sum_1^n E_i \right)^2 \right] - bn}.$$

Якщо  $b \leq 0$ , то

$$d_{\max}^2 = \frac{C_3}{an + b(n^2 - n)},$$

$$d = d_{\max} = \sqrt{\frac{C_3}{n(a + b(n-1))}}.$$

Якщо ж  $b > 0$ , то

$$d_{\max}^2 = \begin{cases} \frac{C_3}{(a-b)n}, & \text{якщо } n \text{ парне}; \\ \frac{C_3}{(a-b)n+b}, & \text{якщо } n \text{ непарне}. \end{cases}$$

Значення  $d = d_{\max}$  знаходиться здобуванням кореня.

Тоді

$$I_{0*}(\lambda) = [\beta - d, \beta + d];$$

$$I_{1*}(\lambda) = (-\infty, \beta - d) \cup (\beta + d, +\infty).$$

## Висновки

Зосереджений процесор можна розглядати як пристрій, що формує зважену суму розподілених рішень і що порівнює її з пороговим значенням.

Оптимальна стратегія об'єднання залежить від вірогідності помилки  $a$ , отже, від порогів виявлення приймачів.

Оптимальний поріг виявлення для перевірки відносно правдоподібності будь-якого приймача залежить від характеристик всіх інших приймачів, від значення та істотно від вибору стратегії об'єднання зосередженого процесора.

Підвищення безпеки та ефективності роботи системи управління повітряним рухом потребує реалізації широкого спектру заходів та впровадження комплексу організаційно-технічних заходів.

Запропоновано методику, яка дає змогу розв'язувати задачу оптимального прийняття рішення про наявність або відсутність цілі.

Мета цієї методики полягає в тому, щоб зробити політ більш захищеним та безпечним, зменшити затримки, накопичення, екологічний вплив та негативну роль чинника екіпажу, а також недопущення актів протизаконного втручання в діяльність цивільної авіації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Енциклопедія безпеки авіації* / Н. С. Кулик, В. П. Харченко, М. Г. Луцкий [и др.] / под ред. Н. С. Кулика. — К. : Техніка, 2008. — 1000 с.
2. *Безпека авіації* / В. П. Бабак, В. П. Харченко, В. О. Максимов [та ін.]; за ред. В. П. Бабака. — К. : Техніка, 2004. — 584 с.
3. *Циркуляр ІКАО 261-AN155*. Руководство по планированию поэтапной разработки связанной с обменом данных части авиационной фиксированной службы. — Монреаль, Канада, 1996.
4. *Руководство по управлению безопасностью полетов / ІКАО*. — Doc 9859 AN/460. — Издание первое. — 2006. — 364 с.
5. *Маршалл А.* Неравенства: Теория мажоризации и её приложения / А. Маршалл, И. Олкин. — М. : Мир, 1983. — 574 с.
6. *Ланкастер П.* Теория матриц / П. Ланкастер. — М. : Наука, 1978. — 280 с.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2011.