

АЕРОНАВІГАЦІЙНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОЛЬОТІВ

УДК 51.380.115:624.072.22

В.П. Харченко, Л.М. Сугоняко

ПРОЦЕДУРА ПІДСУМОВУВАННЯ РІШЕНЬ В АЕРОКОСМІЧНІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТОМ

Запропоновано процедуру підсумовування рішень у підсистемах та засобах системи. Результатом є збільшення вірогідності даних, що підвищує ефективність системи та безпеку руху транспорту.

Ефективність і безпека транспорту суттєво залежить від інформаційного забезпечення, сучасний стан якого пов'язаний з використанням традиційних інформаційних засобів зв'язку, навігації та спостереження. Але в останні десятиліття загострилися проблеми невідповідності цих засобів і можливостей їх використання сучасним вимогам, які визначаються рівнем безпеки, економічності і безперервної доступності інформаційної підтримки.

Використання існуючих та впровадження нових технічних засобів, концепцій, процедур і розвитку додаткової аеронавігаційної інфраструктури можливо в результаті переходу до глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження і організації повітряного руху CNS/ATM (Communications, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management). Підхід розвитку глобальних систем CNS/ATM, запропонований Комітетом FANS і схвалений на Десятій аеронавігаційній конференції (вересень 1991 р.) означає початок нової ери і задовольнить вимоги співтовариства цивільної авіації у наступному столітті.

Аерокосмічна інформаційна система моніторингу та керування транспортом містить ряд підсистем, які дозволяють визначати місцезнаходження транспортного об'єкта і приймати відповідне рішення щодо виконання заданої програми руху [1]. Кожна з таких підсистем (наприклад, навігаційна або спостереження) складається з окремих засобів з різними характеристиками, які визначають вірогідність їх даних. Тому для підвищення ефективності інформаційної системи важливо визначити результативний алгоритм поєднання рішень кожного із засобів з метою їх подальшого інтегрованого використання. Ця задача важлива також для поєднання рішень окремих підсистем у випадку виникнення екстремальних ситуацій і визначення ефективного алгоритму розв'язання можливого конфлікту.

Безпеку польотів у повітряному просторі забезпечують дві основні системи: навігаційна (система керування польотом) і система керування повітряним рухом. Ці системи працюють паралельно, незалежно і вимірюють координати літака в різні моменти часу. Його положення характеризується спектром ситуацій. Розглянемо такий спектр ситуацій по координаті X , під якою можна розуміти висоту, бічну і подовжню координати літака. У спектрі наявні ситуації S_1, \dots, S_5 , що мають сенс відповідно до нормальної ситуації, ускладнення умов польоту, складної ситуації, аварійної ситуації та катастрофічної ситуації [2].

Нехай послідовним аналізом у момент τ_1 за інформацією навігаційної системи приймається рішення $S_i \in \{S_1, \dots, S_5\}$, а в системі керування повітряним рухом у момент τ_2 приймається рішення $S_j \in \{S_1, \dots, S_5\}$. Будемо вважати, що моменти τ_1 і τ_2 не занадто віддалені в часі, так що літак у проміжку між цими моментами не встигне перейти з однієї ситуації в іншу [3].

Крім того, припустимо, що в обох випадках при послідовному методі аналізу витримані середні ймовірності помилок, тобто в обох випадках для необхідної середньої ймовірності

правильної класифікації ситуації P_n^* і шуканої середньої імовірності правильної класифікації P_n виконана нерівність:

$$P_n \geq P_n^* \quad (1)$$

Це забезпечується вибором порогів для послідовного багатоальтернативного правила. Завдання полягає в тому, щоб на підставі рішень S_i і S_j виробити таке спільне рішення, що було б оптимальним у значенні нерівності (1).

Нехай використовується мережа з M інформаційних засобів спостереження за повітряним кораблем. Крім того, припускаємо, що на борту повітряного корабля використовується інформація навігаційної системи. Паралельно функціонують $M+1$ послідовне правило для класифікації ситуацій польоту. Розв'язок класу ситуацій передається в центр керування, де остаточно присвоюється клас ситуації і визначається поведінка повітряного корабля.

Нехай для кожного послідовного правила задані однакові рівні середнього ризику R^* . Із нього вибираються пороги для кожного послідовного правила. Розв'язок будемо приймати на основі перших трьох інформативних надходжень. Формалізуємо цю процедуру. Вона є комбінацією правила простого голосування та правила максимальної впевненості [4]. Особливе значення при прийнятті рішення безумовно буде мати ситуація катастрофи згідно з класифікацією повітряної обстановки [2; 3].

Якщо S_i – перше надходження розв'язку в центр керування польотами, то можливі такі випадки.

Випадок А. За умови $S_i = S_5$ (катастрофічна ситуація) приймається рішення про наявність катастрофічної ситуації.

Випадок Б. Якщо $S_i \neq S_5$ (катастрофічна ситуація) очікуємо на надходження другого розв'язку S_j . За умови $S_j = S_5$ приймається катастрофічна ситуація, а при $S_i \neq S_5$, але $S_j = S_5$ за правилом простого голосування приймається розв'язок про цю загальну ситуацію $S_j = S_5$.

Випадок В. Якщо $S_i \neq S_5$, $S_j \neq S_5$, то очікуємо третього надходження S_k . За умови $S_k = S_5$ приймається рішення про наявність катастрофічної ситуації.

Випадок Г. У протилежному випадку, коли $S_i \neq S_5$ та $S_5 \notin \{S_i, S_j, S_k\}$ необхідно також забезпечити прийняття рішення. Для цього модифікуємо правило максимальної впевненості ближче до басовського правила. Тоді в центр керування, крім розв'язків S_i, S_j, S_k , також будемо вимагати надходження наборів апостеріорних імовірностей в моменти прийняття рішень щодо класів ситуацій S_1, \dots, S_4 . Це набори

$$q_1^{(1)}, \dots, q_4^{(1)}; q_1^{(2)}, \dots, q_4^{(2)}; q_1^{(3)}, \dots, q_4^{(3)} \quad (2)$$

У центрі керування повинні бути відомі апіорні імовірності $P_i, 1 \leq i \leq 4$ для класів ситуацій S_1, \dots, S_4 , тобто про всі ситуації, крім катастрофічної. Вважаємо, що спостереження різних інформаційних систем незалежні, тому в наборі (2) маємо три групи взаємно незалежних випадкових подій: перша група не залежить від другої, друга не залежить від третьої і т.д.

Зазначимо, що числа в ряді (2) пропорційні ступеню впевненості в тому, що має місце певний клас, який визначений відповідно до системного спостереження. Правило максимальної впевненості пропонує розглянути

$$\max(q_{S_i}^{(1)}, q_{S_i}^{(2)}, q_{S_i}^{(3)})$$

і прийняти рішення на користь такої ситуації, яка досягає найбільшого значення. Але це правило має емпіричне обґрунтування. Значно ж краще з погляду мінімізації середньої похибки

обгрунтовано баєсовське правило. Тому розглянемо використання баєсовського підходу і теорії колективних рішень.

Припустимо, що визначено порядок надходження рішень від першої, другої та третьої інформаційних систем. Нехай $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ – відповідні вектори спостережень (на момент прийняття рішення) і $\rho_\alpha^{(j)}$, $1 \leq \alpha \leq 4$, $1 \leq j \leq 3$ є α – щільність спостереження вектора для j -ї інформаційної системи. Тоді щільність збільшеного вектора (x, y, z) через незалежність групи спостереження

$$\rho_\alpha(U, V, W) = \rho_\alpha^{(1)}(U) \cdot \rho_\alpha^{(2)}(V) \cdot \rho_\alpha^{(3)}(W), \quad 1 \leq \alpha \leq 4.$$

Таким чином, формуються чотири щільності для збільшеного вектора спостереження, який відповідає класам ситуацій S_α , $1 \leq \alpha \leq 4$.

При спостереженнях (x, y, z) згідно з баєсовським правилом необхідно шукати для точки спостереження

$$\max_{1 \leq \alpha \leq 4} P_\alpha \rho_\alpha^{(1)}(x) \rho_\alpha^{(2)}(y) \rho_\alpha^{(3)}(z) = \left[\max_{1 \leq \alpha \leq 4} \frac{1}{P_\alpha^{(1)}} q_\alpha^{(1)}(x) q_\alpha^{(2)}(y) q_\alpha^{(3)}(z) \right] \times \left[\sum_{k=1}^4 P_k \rho_k^{(1)}(x) \sum_{k=1}^4 P_k \rho_k^{(2)}(y) \sum_{k=1}^4 P_k \rho_k^{(3)}(z) \right]. \quad (3)$$

Максимізація (3) рівнозначна максимізації

$$\max_{1 \leq \alpha \leq 4} \frac{q_\alpha^{(1)}(x) q_\alpha^{(2)}(y) q_\alpha^{(3)}(z)}{P_\alpha^2}. \quad (4)$$

Якщо максимум досягається при $\alpha = \alpha_0$, то приймаємо S_{α_0} . Якщо максимум спостерігається одночасно на декількох α , то є сенс (з метою безпеки) прийняти S_α з найбільшим значенням α . Це пояснюється тим, що ситуація з більшим індексом α несе більшу небезпеку.

Нехай \bar{W} – множина таких спостережень (x, y, z) , для яких реалізується ситуація (випадок Γ). Тоді правило (4) максимізує імовірність вірної класифікації на множині \bar{W} :

$$P_n(\bar{W}) = \sum_{k=1}^4 P_k \int_{\bar{W}_k} \rho_k(U, V, W) du dv dw, \quad (5)$$

де \bar{W}_k – множина спостережень, на якій приймається рішення на користь ситуації S_k , $\bar{W} = \bigcup_{k=1}^4 \bar{W}_k$.

Максимум (5) досягається, коли на \bar{W}_k [2]

$$P_k \rho_k = \max_{1 \leq \alpha \leq 4} P_\alpha \rho_\alpha,$$

але це і є процедура (4). При цьому для побудованого баєсовського правила ймовірність вірного розпізнавання ситуацій на множині \bar{W} дорівнює

$$P_n = P_n(\bar{W}) = \int_{\bar{W}} (\max_{k=1,2,3,4} P_k \rho_k(U, V, W)) du dv dw. \quad (6)$$

Відзначимо, що у виразі (6) можна виразити і через апостеріорні ймовірності:

$$P_n = \int_{\bar{W}} \max_{1 \leq k \leq 4} \frac{q_k^{(1)}(U) q_k^{(2)}(V) q_k^{(3)}(W)}{P_k^2} Q_1(u) Q_2(v) Q_3(w) du dv dw,$$

де $Q_i = \sum_{k=1}^4 P_k \rho_k^{(i)}(\cdot)$ – усереднена щільність спостереження.

При реалізації стратегії поєднання рішень, яка описана вище, ймовірність правильної класифікації ситуації збільшується порівняно з випадком, коли використовується тільки навігаційна або тільки інформація від системи керування повітряним рухом. Тому дамо короткий коментар необхідності застосування даної стратегії.

Так, при неузгодженості ситуацій S_i і S_j для випадку $|i - j| \geq 2$ немає сенсу об'єднувати спостереження від джерел інформації за аналогією для випадку $|i - j| = 1$. Це пояснюється тим, що при наявності в одному з джерел інформації великих флуктуацій може бути прийняте помилкове рішення. Оскільки не відомо, яке з джерел інформації дає недостовірну інформацію, необхідно залучити додаткове джерело інформації. У той же час імовірність того, що обидва рішення S_i і S_j помилкові, мала. Тому при опрацюванні рішень від третього джерела можемо вважати, що наявна одна із ситуацій S_i і S_j , і здійснювати вибір лише між цими двома системами.

При збігу ситуацій природно прийняти рішення про наявність цієї загальної ситуації, оскільки ймовірність хибності рішень від обох послідовних правил мала. Тоді ймовірність того, що дійсно є лише ця загальна ситуація, близька до одиниці.

При близьких ситуаціях обидва джерела інформації можуть давати порівняно невеликі флуктуаційні помилки, а реальна ситуація може бути близька до граничної між S_i і S_j . Імовірність хибності обох рішень мала, тому приймається припущення, що вірна одна з гіпотез S_i або S_j . При цьому розумно почати спільне опрацювання не з усього масиву спостережень, а з декількох останніх, оскільки повітряний корабель може під час інтервалу спостереження плавно переміщатися із ситуації S_i в сусідню ситуацію S_j , і навпаки. Далі необхідно відповідно будувати послідовне правило згідно із спостереженнями, що надходять по черзі від обох джерел інформації.

Таким чином, викладена процедура підсумовування рішень дозволяє підвищити вірогідність даних системи через поєднання рішень окремих засобів (навігаційних, первинних та вторинних радіолокаційних, запобігання зіткненням, супутникових). Наслідком цього є суттєве підвищення ефективності системи та зростання рівня безпеки руху, оскільки, використовується структурна надлишковість.

Список літератури

1. Харченко В.П. Майбутнє аерокосмічних інформаційних систем і керування транспортом // Вісн. Київ. міжнар. ун-ту цивільної авіації. – 1996. № 2. – С. 166–179.
2. Харченко В.П., Косенко Г.Г. Многоальтернативный последовательный метод в задачах ситуационного анализа воздушной обстановки // Моделирование радиоэлектронных систем и комплексов обеспечения полетов: Сб. науч. тр. – К.: КМУГА, 1996. – С. 3–10.
3. Харченко В.П., Сугоняко Л.М., Алексеев В.М. Принцип сумісної обробки оцінок ситуацій руху повітряних кораблів методом послідовного аналізу // Вісн. центрального наук. центру Транспортної академії України. – 2000. №3. – С. 19–21.
4. Барабаш Ю.Л. Коллективные стохастические решения при распознавании. – М.: Радио и связь, 1983. – 222 с.

Стаття надійшла до редакції 05.07.01.