загальнонауковим, він, природно, з необхідністю випли-ває з основного принципу діалектики і повністю відповідає принципу системності.

Стандартизація "тестових батарей" дозволить підвищити якість проведення спеціальних психофізіологічних досліджень, створить умови для комплексної оцінки психологічних та психофізіологічних показників авіадиспетчера, підвищить надійність, валідність та інформативність професійного відбору. Це дасть змогу побудувати типові психологічні та психофізіологічні портрети операторів за віком, статтю та кваліфікацією.

Запровадження розробленої системи з використання комп'ютерного комплексу сприятиме вдосконаленню системи професійного відбору і підвищенню її ефективності та надійності, значно знизить ризик помилок авіадиспетчерів у позаштатних ситуаціях і підвищить надійність "людського фактору" в авіації.

Література

1. *Бабак В.П., Харченко В.П., Максимов В.О.* та інш. Безпека авіації. – К.: Техніка, 2004. – 584 с.

2. *Фундаментальные* концепции человеческого фактора // Человеческий фактор: Сборник материалов №1, – Циркуляр ICAO 216 – AN/131. – Монреаль, Канада, 1991. – 52 с.

3. *Руководство* по психологическому обеспечению отбора, подготовки и профессиональной деятельности летного и диспетчерского состава гражданской авиации Российской федерации. – Москва: Министерство транспорта Российской федерации, 2001. – 280 с.

4. *Malkhazov A., Cherednichenko Yu.* The realization specialties of computer technologies in psychophysiological researches in aviation / Proceedings of the Second World Congress " Aviation in the XXst century" "Safety in aviation". – Kyiv, NAU. – 2005. P. 6.43–6.47.

УДК 629.7.07

Аргунов Г.Ф.
Національний авіаційний університет. Україна, Київ

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ У СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Анотація

Стаття присвячена виявленню та розв'язанню потенційно конфліктних ситуацій при управлінні повітряним рухом. Розроблено модуль системи інтелектуальної підтримки роботи авіадиспетчера при вирішенні потенційно конфліктних ситуацій, який може бути інтегрований в наземні системи попередження зіткнень.

Abstract

The work is devoted to estimation and solving of potentially conflict situations at air traffic control. The module of artificial support of air traffic controller work for solving of potentially conflict situations is elaborated.

Кожна держава забезпечує, рівень обслуговування повітряного руху, зв'язку, навігації й спостереження, а також правил обслуговування повітряного руху, застосовуваних у відповідному повітряному просторі або на аеродромі, відповідним та достатнім для підтримки прийнятного рівня безпеки польотів при забезпеченні правил обслуговування повітряного руху.

Питання автоматичного пошуку потенційно конфліктних ситуацій і сигналізації про них диспетчерові постійно перебувають в області інтересів фахівців управління повітряним рухом (УПР) багатьох країн. Головним питанням при впровадженні таких наземних систем попередження диспетчера про виникнення небезпеки зіткнення повітряних кораблів (ПК) є питання розробки алгоритму пошуку, виявлення й сигналізації про динамічну повітряну обстановку (ДПО) і ситуаціях, розвиток яких приводить до зіткнення.

Найбільш ефективними шляхами підвищення рівня безпеки польотів (БП), при використанні автоматизованих систем керування повітряним рухом (АС КПР), є підвищення рівня автоматизації шляхом виконання важливої функції – видачі сигналів попередження диспетчерові процедурного керування й диспетчерові радіолокаційного контролю про небезпечне зближення у процесі безпосереднього УПР

Структура програмного забезпечення, побудованого на базі створеного математичного забезпечення, звичайно включає чотири функціональних блоки: первісної обробки, фільтрації, прецизійних обчислень і підготовки даних для сигналізації.

Блок первісної обробки дозволяє визначити поточне, і екстрапольоване значення висоти польоту кожного із супроводжуваних АС КПР ПК. При цьому визначається також і швидкість зміни висоти й для ПК, не обладнаних бортовими відповідачами. Тут же визначаються висоти ПК на підставі даних про проектні (номінальні) значеннях набору-зниження для кожного ПК і заданих диспетчером висот польоту для кожного із ПК.

У блоці фільтрації виділяються тільки ті ПК, які є потенційними генераторами небезпечного зближення (НЗ) при розвитку ДПО в заданий відрізок часу.

Завданням блоку прецизійних обчислень є перевірка відсутності стану НЗ для кожної пари ПК у кожний момент. Якщо цей стан виявляється, то диспетчер

© Аргунов Г.Ф.

негайно інформується про НЗ або про потенційне його виникнення. У протилежному випадку пари ПК піддаються додатковій перевірці.

У блоці підготовки даних для сигналізації формуються сигнали, відображення яких інформує диспетчера радіолокаційного контролю про потенційно конфліктні ситуації (ПКС).

Основу будь-якої наземної системи попередження зіткнень (НСПЗ), що базується на АС КПР, становить сукупність розв'язуваних завдань, що включають ідентифікацію стану ДПО, виявлення ПКС, сигналізацію про це диспетчерові.

Ефективність НСПЗ на базі АС КПР можна визначити як гарантійну оцінку ймовірності виявлення потенційно небезпечного зближення ПК. Для цього вводять незалежну змінну, що характеризує границі області виявлення потенційно небезпечного зближення й розведення ПК що зближаються. Необхідно так само знати те значення цієї змінної, яке дає кращу оцінку знизу для ймовірності виявлення конфлікту.

Якщо параметр Z, визначений на області $L_Y^{(k)}$ характеризує відстань між двома попарно екстрапольованими положеннями ПК на тимчасовому інтервалі $\tau_э$, то рішення про виникнення потенційно небезпечного зближення приймається у випадку, якщо

$$\hat{Z}(\tau_э) \in L_Y^{(k)} : UL_Y^{(\delta)} = L^{(k)},$$

де $L_Y^{(\delta)}$ – додаткова область, наявність якої викликана помилками екстраполяції.

У протилежному випадку

$$\hat{Z}(\tau_э) \in L_Y \,/\, L^{(k)}$$

Із порівняння цих двох випадків слідує ймовірність:
правильного виявлення потенційно НЗ:

$$P_T = P\left[\hat{Z}(\tau_э) \in L^{(k)} / Z(\tau_э) \in L_Y^{(k)}\right];$$

правильного не виявлення конфлікту:

$$P_H = P\left[\hat{Z}(\tau_э) \in L_Y \,I\, L^{(k)} / Z(\tau_э) \in L \,I\, L_Y^{(k)}\right];$$

фіктивної тривоги:

$$P_Ф = P\left[\hat{Z}(\tau_э) \in L^{(k)} / Z(\tau_э) \in L \,I\, L_Y^{(k)}\right];$$

пропуску конфлікту.

$$P_П = P\left[\hat{Z}(\tau_э) \in L \,I\, L^{(k)} / Z(\tau_э) \in L_X^{(k)}\right].$$

Алгоритм пошуку й виявлення потенційно небезпечних зближень у НСПЗ найчастіше базується на оцінці критерію τ, відповідно до якого наявність конфлікту фіксується, якщо:

- у горизонтальній площині

$$R_{min} = \sqrt{\left\{\left[(x_0 - x_1) + \left(V_x^0 - V_x^1\right)T_{min}\right]^2 + \left[(y_0 - y_1) + \left(V_y^0 - V_y^1\right)T_{min}\right]^2\right\}}$$

$$T_{min} = \frac{(x_0 - x_1)\left(V_x^0 - V_x^1\right) - (y_0 - y_1)\left(V_y^0 - V_y^1\right)}{\left(V_x^0 - V_x^1\right)^2 - \left(V_y^0 - V_y^1\right)^2},$$

де T_{min} – час до зближення на найменшу відстань між парою ПК;

$R_{дал}$ – дистанція мінімального неруйнуючого прольоту;
V_x, V_y – складові вектора швидкості пари ПК;
x, y – координати пари ПК.

- у вертикальній площині:
для горизонтального польоту: $\Delta H \le H_э$;
- для хоча б одного ПК зі зміною висоти: $\Delta H \le НЗ$;
$H_З$ – норма вертикального ешелонування.

На основі зазначених нерівностей може бути побудований алгоритм для НСПЗ із використанням радіолокаційних даних, що реалізується в обчислювальному комплексі АС КПР.

Варто відмітити, що при аналізі планової поточної інформації, що відображається на стрипах або електронних таблично-знакових індикаторах, також може бути розроблений алгоритм для виявлення й попередження диспетчера про небезпечне зближення.

Експлуатаційна ефективність НСПЗ на базі АС КПР оцінюється по частоті сигналізації про потенційно небезпечні зближення, за рівнем фіктивних тривог і по деяких інших характеристиках. Прийнято вважати, що частота сигналізації є прийнятної, якщо на одного диспетчера радіолокаційного контролю доводиться в середньому соті одиниці сигналу за годину роботи, а рівень фіктивних тривог не перевищує 10% від загального числа сигналізацій. Виявлено також, що найбільша частота сигналізацій припадає на зони УПР, у яких польоти відбуваються на зустрічних треках та треках що перетинаються.

Інший напрямок розвитку НСПЗ пов'язаний з удосконаленням системи вторинних радіолокаторів на базі використання адресного режиму роботи S. Такий напрямок НСПЗ можна вважати подальшим розвитком автоматизації радіолокаційного контролю.

При використанні режиму S за допомогою вторинних оглядових радіолокаторів (ВОРЛ) вдається одержати більше якісні дані про ДПО, а також адресну передачу інформації з каналів "борт–земля" та "земля–борт" для кожного конкретного ПК. Дані про ДПО, одержувані від ВОРЛ і первинних радіолокаторів (ПОРЛ) після вторинної обробки використаються для виробітку рекомендацій на маневр, у випадку, якщо виявляється загроза зіткнень.

Таким чином, вирішення завдання запобігання зіткнень у НСПЗ такого виду базується на виконанні трьох функціональних завдань:

- попередня фільтрація та відсіювання ПК, які не утворюють конфліктних пар;
- виявлення потенційно небезпечного зближення;
- видача команди на виконання маневру відхилення.

Перше функціональне завдання дозволяє шляхом фільтрації параметрів руху й координат центрів мас пар ПК у горизонтальній і вертикальній площинах виділити таку безліч M, для кожної пари ПК яких на інтервалі екстраполяції τ, спостерігається потенційно конфліктна ситуація. Весь простір зони УПР, де функціонує НСПЗ розділяється по висоті на кілька шарів, що перекриваються, і для кожного ПК визначається приналежність до даного шару. Фільтрація в горизонтальній площині

проводиться для кожного із зазначених шарів і полягає в застосуванні кінцевої умови

$$R_{ij} < (V_i + V_j)\tau$$

$$R_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2},$$

де R_{ij} – відстань між парою ПКі і ПКj;
V_i, V_j – швидкості ПК;
x_i, x_j, y_i, y_j – координати ПК;
τ – інтервал екстраполяції.

Всім екіпажам ПК, що утворюють пари з безлічі М та обладнані бортовими й адресними відповідачами, повідомляються дані про ДПО такі, наприклад, як дальність, пелєнг, висота, відносна швидкість конфліктуючого ПК. Друге функціональне завдання полягає в перевірці показника виявлення потенційно небезпечного зближення для кожної пари ПК із безлічі А. Цей показник полягає в одночасному виконанні трьох нерівностей.

1. Час зближення у вертикальній площині менше інтервалу прогнозу $\tau^{(1)}$, або поточний поділ по висоті менший допустимого:

$$\frac{H_i - H_j}{V_{Bi} - V_{Bj}} < \tau^{(1)}$$
$$|H_i - H_j| < \Delta H_{ЗАГР} \qquad (1)$$

2. Час зближення в горизонтальній площині до прольоту точки мінімальної відстані менше інтервалу $\tau^{(1)}$ або поточна відстань у горизонтальній площині менше допустимої:

$$\frac{(X_i - X_j)(V_{Xi} - V_{Xj}) + (Y_i - Y_j)(V_{Yi} - V_{Yj})}{(V_{Xi} - V_{Xj})^2 + (V_{Yi} - V_{Yj})^2} < \tau^{(1)}$$
$$R_{ij}(t) < R_{ЗАГР} \qquad (2)$$

3. Відстань між ПК у точці максимальної відстані менше припустимого.

$$\frac{|(X_i - X_j)(V_{Yi} - V_{Yj}) - (Y_i - Y_j)(V_{Xi} - V_{Xj})|}{\sqrt{(V_{Xi} - V_{Xj})^2 + (V_{Yi} - V_{Yj})^2}} < L_{ЗАГР}. \qquad (3)$$

Третє функціональне завдання полягає в перевірці вирішального правила підтвердження загрози зіткнення, видачі команд на маневр відхилення й передачі цих команд на борт і диспетчерові УПР.

Вирішальне правило підтвердження загрози зіткнень також будується на основі перевірки нерівностей, ідентичних (1, 2 та 3), у яких зменшується лише інтервал екстраполяції $\tau^{(k)}$, де $\tau^{(k)} < \tau^{(1)} < \tau$.

Варто відмітити, що відомі алгоритми НСПЗ не можна вважати виконаними з погляду передбачення й перегляду з їхньою допомогою розвитку ситуацій у ДПО після виявлення, наприклад, множинної конфліктної ситуації й виконання деяких ПК рекомендованих команд НСПЗ.

Реалізація НСПЗ на базі ВОРЛ із режимом роботи S може бути здійснена при впровадженні ЕОМ і ліній передачі даних. Простота алгоритмів НСПЗ дозволяє реалізацію їх на мікропроцесорах.

Переваги подібної НСПЗ не викликають сумніву, хоча експериментальна перевірка її в експлуатаційних умовах висуватиме ще не один десяток завдань і технічних труднощів.

Однак, необхідно відзначити, що наявність подібних наземних систем попередження, хоча й підвищує рівень БП, все-таки не дає необхідної гарантії БП. Тут не виконується основний принцип забезпечення високого рівня БП, відповідно до якого всі найважливіші канали зв'язку, види відображуваної інформації, елементи діяльності, силові установки, системи керування й т.д. повинні бути дубльовані. У цьому випадку єдиним резервом наземної системи попередження диспетчера про небезпечний розвиток ДПО на базі автоматизованої системи АС КПР виступає візуальний контроль тієї частини повітряної обстановки, що спостерігається екіпажем безпосередньо, або за допомогою бортової радіолокаційної станції (БРЛС). Таке положення не може бути визнане задовільним, тому що не забезпечує надійного дублювання в системах попередження зіткнень на базі АС КПР, що виключив би прояв людського фактора. Єдино можливим виходом є нарощування ступеня комплексної автоматизації такої найважливішої частини автоматичної системи подання інформації, як УПР. Вона включає розробку й впровадження бортових засобів попередження зіткнень (БСПЗ), а також діючих у взаємозв'язку з ними наземних систем попередження зіткнень, організованих за допомогою наземних засобів вторинної радіолокації, РЛС АС КПР і ін.

Література

1. *Бабак В.П., Харченко В.П., Максимов В.О.* та інші. Монографія. Безпека авіації. - К.: Техніка, 2004. - 584с.

2. *Правила* радіолокаційного обслуговування, затверджені Наказом Мінтрансу України від 15.04.2004 №311.

3. *Руководство* по методике планирования воздушного пространства для определения минимумов эшелонирования. Doc ИКАО 9689-AN/953, издание первое 1998.