

Хоча польоти зональної навігації основної категорії точності (BRNAV) достатньо прості і доповнюють собою звичайні польоти, їх можна розглядати як перший крок на шляху еволюції до більш комплексної навігації маршрутами, що вимагають використання систем RNAV високої категорії точності на маршрутній фазі, у зоні очікування, для стандартного вильоту, стандартного прибуття й точного заходу на посадку, що можуть бути зіставленими із звичайними заходами на посадку на необладнану смугу.

Список літератури

1. *Методика определения минимумов эшелонирования, применяемых для разделения параллельных линий пути в структурах маршрутов ОВД*. Циркуляр 120-AN/89/2. – Монреаль: ICAO, 1976. – 238 с.
2. *Руководство по требуемым навигационным характеристикам (RNP)*. 2-е изд. – Монреаль: ICAO, 1999. – 43 с.
3. *Руководство по методике планирования воздушного пространства для определения минимумов эшелонирования*. 1-е изд. – Монреаль: ICAO, 1998.

Стаття надійшла до редакції 26. 06. 02.

УДК 621.396.96

Л.М. Нестерова, мол. наук. співроб.

АНАЛІЗ СХЕМ ПОЄДНАННЯ КООРДИНАТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ІНТЕГРОВАНІЙ СИСТЕМІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ

Визначено основні тенденції інтегрування засобів забезпечення польотів. Наведено результати моделювання ймовірнісних характеристик інтегрованих систем та проаналізовано ефективність різних схем поєднання інформації.

На теперішній час існує декілька систем визначення місцезнаходження повітряного корабля (ПК) і систем попередження зіткнень (СПЗ). Задачею інтегрованої СПЗ є об'єднання існуючих систем в єдину СПЗ для глобального спостереження за ПК і запобігання зіткнень. Екіпаж ПК має можливість визначати своє місце розташування за допомогою таких систем:

- радіомаякових систем типу VOR/VOR, DME/DME, VOR/DME, PVOR, DVOR, PDVOR, РСВН, РСДН;
- супутникової системи навігації GNSS (спільне використання систем GPS і GLONASS);
- системи радіолокаційного спостереження;
- інерційних навігаційних систем.

Надмірність інформації про місцезнаходження ПК дозволяє підвищити точність і достовірність визначення місця його розташування. Підвищення точності і достовірності інформації про місце розташування ПК сприяє поліпшенню якості роботи СПЗ і дозволяє підвищувати щільність повітряного руху [1].

Крім перерахованих систем, на борту літака необхідна установка системи попередження про вліт у зсув вітру. Застосування даної системи дозволить знизити можливість катастроф, причиною яких є зсув вітру на малих висотах і полегшити роботу пілотів у подібних ситуаціях.

Ця ідея цілком узгоджена з глобальним планом переходу до систем CNS/ATM ICAO. На теперішній час спостереження за повітряним простором побудовано на використанні первинних і вторинних радіолокаторів (у районах аеродромів і континентальному повітряному просторі) та мовних повідомлень про місце розташування ПК (в океанічному повітряному просторі і поза зонами радіолокаційного контролю). У майбутньому планується зниження потреби в первинних радіолокаторах і впровадженні автоматичного залежного спостереження (АЗС). Повні переваги АЗС реалізуються при використанні двосторонньої лінії передачі даних і/або мовного

зв'язку між пілотом і диспетчером. Мовний зв'язок передбачається, принаймні, в аварійних і нестандартних ситуаціях. Метод АЗС із радіомовною передачею даних про місцезнаходження в просторі і в часі об'єктів (ПК, транспортних засобів аеродрому і т.д.), наприклад, за допомогою дуже високих частот лінії цифрового зв'язку або сигналів режиму S може використовуватися для контролю руху об'єктів на землі як альтернатива радіолокаторам огляду льотного поля. Для впровадження АЗС необхідно забезпечити лінію передачі даних «повітря-земля», узгодження в часі (UTC) і передачу міток часу, наземну інфраструктуру передачі інформації органу організації повітряного руху (ОПР), що відповідає за процедури обслуговування повітряного руху [2].

Інтегрована СПЗ являє собою об'єднання різних джерел координатної інформації з глобальними супутниковими системами зв'язку і навігації (AMSS і GNSS) [2; 3] і проводить централізоване опрацювання координатної інформації від декількох незалежних джерел у центрі ОПР. Приклад роботи інтегрованої СПЗ подано на рис. 1.

Маючи координатну інформацію про місцезнаходження ПК від різних незалежних систем, можливо об'єднувати її для поліпшення точності. Об'єднання координатної інформації можливе від двох або трьох систем та за кількома логічними схемами (І, АБО, мажоритарна логіка). Поліпшення точності координатної інформації відбувається через надлишку інформації і відбивається на ймовірності відхилення істинної гіпотези (помилка першого роду) $P(V/I)$ та ймовірності прийняття хибної гіпотези (помилка другого роду) $P(\Pi/X)$:

$$P(V/I) = \sum_A g(A) p(A/H_1); \quad (1)$$

$$P(\Pi/X) = \sum_A (1 - g(A)) p(A/H_0), \quad (2)$$

де $g(A)$ – розв'язувальне правило прийняття ситуації.

Розглянемо знаходження ймовірностей для трьох правил об'єднання.

І – об'єднання. Оскільки $g(A) = 0$ тільки для послідовності, що включає всі одиниці, з рівняння (1) отримуємо

$$P(V/I) = \sum_{A \in N_1} p(A/H_1),$$

де N_1 – набір всіх послідовностей довжиною n , що мають хоч один нуль.

Із рівняння (2) маємо

$$P(\Pi/X) = \prod_{j=1}^n p(a_j = 1/H_0) = \prod_{j=1}^n P_{ff}.$$

АБО – об'єднання. Оскільки $g(A) = 0$ тільки для послідовності, що включає всі нулі, то вирази (1) і (2) спрощуються до

$$P(V/I) = \prod_{j=1}^n P_{mj};$$

$$P(\Pi/X) = \sum_{A \in N_2} p(A/H_0)$$

з N_2 , що показує набори всіх послідовностей принаймні з однією одиницею.

Об'єднання за принципом мажоритарної логіки. Для непарної кількості незалежних систем n тільки послідовності з більшою кількістю нулів, ніж одиниць будуть мати $g(A) = 1$. Тоді з рівнянь (1) і (2) вирази для ймовірностей помилок будуть мати вигляд

$$P(V/I) = \sum_{A=Q_1} p(A/H_1);$$

$$P(\Pi/X) = \sum_{A=Q_2} p(A/H_0),$$

Рис. 1. Структурна схема інтегрованої СПЗ:

- радіоканал роботи бортової СПЗ;
- - - - - радіоканал радіолокаційного контролю;
- радіоканал передачі даних і зв'язку;
- радіоканал координатної інформації;
- радіоканал роботи СПЗ;
- канал передачі коригувальної інформації диференціального режиму роботи GNSS

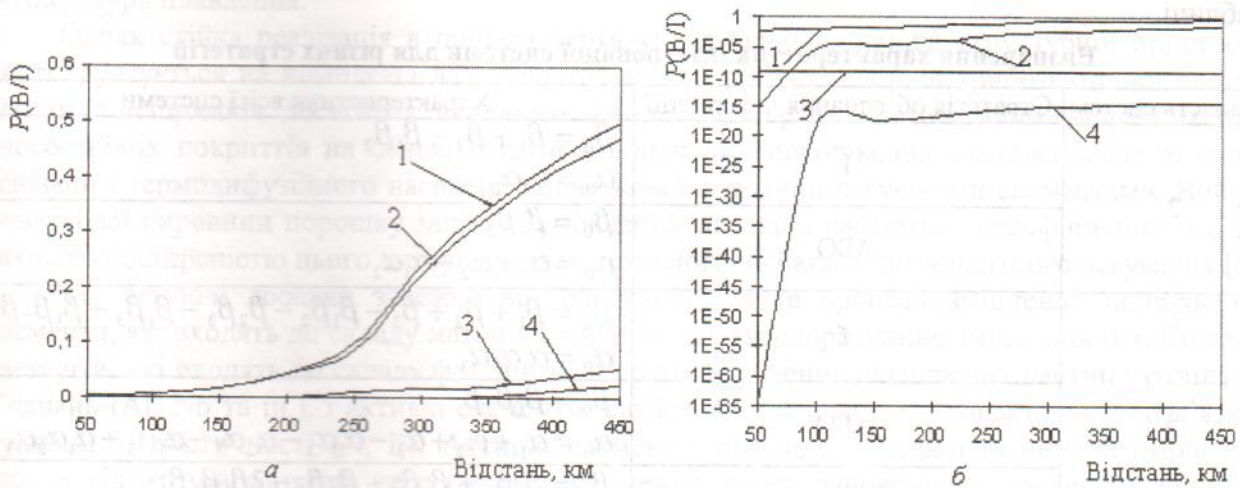
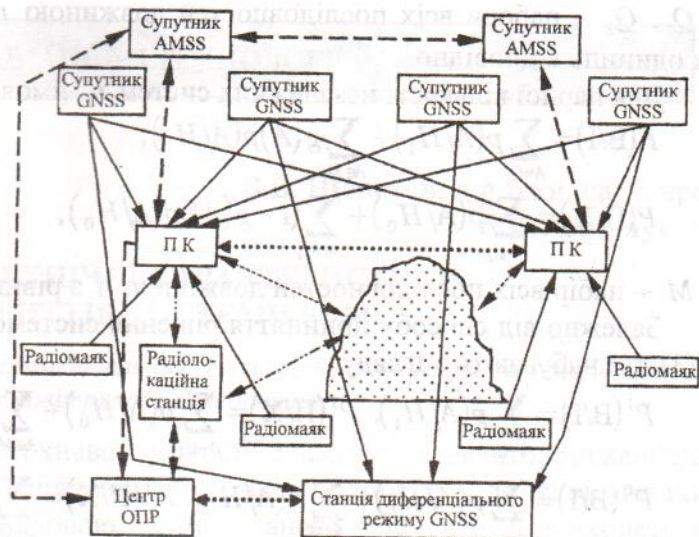


Рис. 2. Залежність розподілу ймовірності $P(V/L)$ від відстані для двох та трьох систем:

- a*: 1 – АБО-об'єднання; 2 – радіолокаційна станція; 3 – DME/DME; 4 – І-об'єднання;
- б*: 1 – АБО-об'єднання; 2 – мажоритарна логіка; 3 – рівень 10^{-9} ; 4 – І-об'єднання

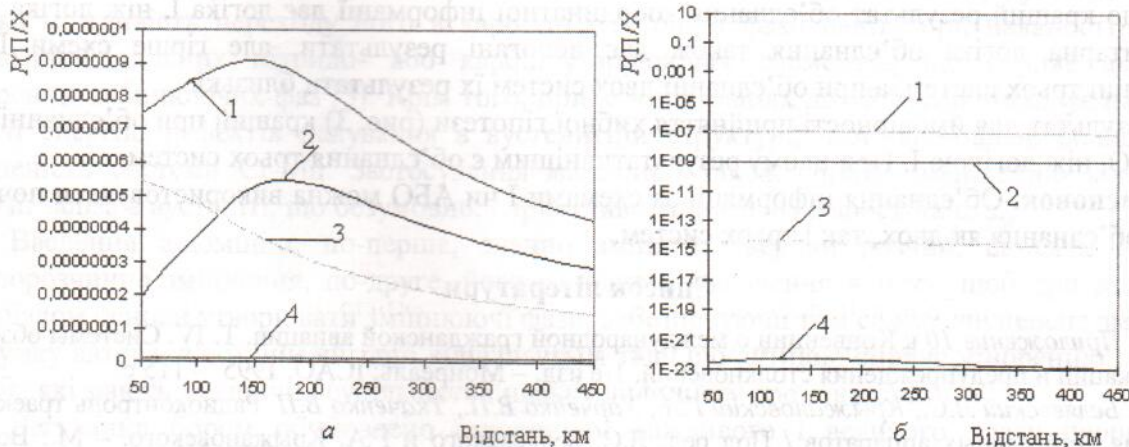


Рис. 3. Графіки залежності розподілу ймовірності $P(P/X)$ від відстані для двох та трьох систем:

- a*: 1 – І-об'єднання; 2 – DME/DME; 3 – радіолокаційна станція; 4 – АБО-об'єднання;
- б*: 1 – І-об'єднання; 2 – рівень 10^{-9} ; 3 – мажоритарна логіка; 4 – АБО-об'єднання

де Q_1, Q_2 – набори всіх послідовностей довжиною n з більшою та меншою кількістю нулів, ніж одиниць відповідно.

Для парної кількості незалежних систем n , ймовірності помилок визначаються як

$$P(V/I) = \sum_{A=Q_1} p(A/H_1) + \sum_{A \in M_1} g(A)p(A/H_1); \quad (3)$$

$$P(\Pi/X) = \sum_{A=Q_2} p(A/H_0) + \sum_{A \in M_1} (1-g(A))p(A/H_0), \quad (4)$$

де M – набір всіх послідовностей довжиною n з рівними кількостями нулів та одиниць.

Залежно від способу прийняття рішення системою (за набором одиниць чи нулів) рівняння (3), (4) набувають вигляду

$$P^1(V/I) = \sum_{A=Q_1} p(A/H_1), \quad P^1(\Pi/X) = \sum_{A=Q_2} p(A/H_0) + \sum_{A \in M} p(A/H_0);$$

$$P^0(V/I) = \sum_{A=Q_1} p(A/H_1) + \sum_{A \in M} p(A/H_1), \quad P^0(\Pi/X) = \sum_{A=Q_2} p(A/H_0).$$

Загальні характеристики визначення характеристик роботи інтегрованої системи наведено в таблиці.

Визначення характеристик інтегрованої системи для різних стратегій

Кількість систем	Стратегія об'єднання інформації	Характеристики всієї системи
2	I	$\beta_0 = \beta_1 + \beta_2 - \beta_1\beta_2$ $\alpha_0 = \alpha_1\alpha_2$
	АБО	$\beta_0 = \beta_1\beta_2$ $\alpha_0 = \alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_1\alpha_2$
3	I	$\beta_0 = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_1\beta_2 - \beta_2\beta_3 - \beta_1\beta_3 + \beta_1\beta_2\beta_3$ $\alpha_0 = \alpha_1\alpha_2\alpha_3$
	АБО	$\beta_0 = \beta_1\beta_2\beta_3$ $\alpha_0 = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 - \alpha_1\alpha_2 - \alpha_2\alpha_3 - \alpha_1\alpha_3 + \alpha_1\alpha_2\alpha_3$
	Мажоритарна логіка	$\beta_0 = \beta_1\beta_2 + \beta_1\beta_3 + \beta_2\beta_3 - 2\beta_1\beta_2\beta_3$ $\alpha_0 = \alpha_1\alpha_2 + \alpha_1\alpha_3 + \alpha_2\alpha_3 - 2\alpha_1\alpha_2\alpha_3$

Примітка. $\alpha_j = P(V/I)_j$; $\beta_j = P(\Pi/X)_j$; $j = 0, \dots, 3$.

Аналіз результатів моделювання для ймовірності відхилення істинної гіпотези (рис. 2) показує, що кращий результат об'єднання координатної інформації дає логіка I, ніж логіка АБО. Мажоритарна логіка об'єднання також дає непогані результати, але гірше схеми I при об'єднанні трьох систем, а при об'єднанні двох систем їх результати близькі.

Результат для ймовірності прийняття хибної гіпотези (рис. 3) кращий при об'єднанні логікою АБО, ніж логікою I. При цьому результативнішим є об'єднання трьох систем.

Висновок. Об'єднання інформації за схемами I чи АБО можна використовувати по черго-во для об'єднання як двох, так і трьох систем.

Список літератури

1. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации. Т. IV. Системы обзорной радиолокации и предупреждения столкновений. 1-е изд. – Монреаль: ICAO, 1995. – 115 с.
2. Беляевский Л.С., Крыжановский Г.А., Харченко В.П., Ткаченко В.П. Радиоконтроль траекторий движения летательных аппаратов / Под ред. Л.С. Беляевского и Г.А. Крыжановского. – М.: Воздуш. трансп. 1996. – 312 с.
3. CIR 267. Рекомендации по внедрению и эксплуатационному использованию глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS). – Монреаль: ICAO, 1996. – 111 с.

Стаття надійшла до редакції 26.06.02.