

ТРАЄКТОРНЕ СУПРОВОДЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО СУДНА В КАНАЛІ АЗИМУТУ РЛС

Вінницький національний технічний університет.

Анотація

Метою даної роботи є вдосконалення систем посадки літальних апаратів заради підвищення безпеки польотів шляхом підвищення точності та достовірності вимірювань кутових координат повітряного судна в азимутальному каналі посадкового радіолокатора. Це досягається шляхом уведення спеціальних методів обробки сигналів на основі методів оптимальної дискретної фільтрації. Для рішення цієї задачі, у представленій роботі, розглянуто завдання синтезу оптимального фільтра на основі полімодельного методу з імовірнісною взаємодіючою логікою, як ефективного, відносно простого, ресурсозберігаючого підходу за умов певної апріорної невизначеності. Отримані результати моделювання показують ефективність запропонованого методу.

Ключові слова: радіолокаційна система посадки; кутомірний канал; дискретна лінійна система; інтерактивний полімодельний фільтр.

Abstract

The purpose of this work is aircraft approach systems improvement for safety benefits and expands the possibilities of using aviation under conditions of free landing paths by ameliorating the accuracy and reliability of measurements of the aircraft's angular coordinates in the azimuth channel of the approach radar. This goal is achieved by introducing special signal processing methods based on optimal discrete filtering methods. The obtained simulation results show the effectiveness of the proposed method.

Keywords: radar landing system, angular channel, discrete linear system, interactive polymodel tracking filter.

Вступ

Не викликає сумнівів той факт, що авіаційна галузь відіграє ключову роль у становленні світової економіки, а її мобільність та розгалуженість перебувають у центрі соціально-економічної структури розвинених країн світу. У зв'язку з цим постійно підвищуються вимоги до безпеки польотів ПС відповідно до вимог ІКАО (міжнародної організації цивільної авіації).

Найбільш складним та відповідальним етапом польоту, який характеризується неодноразовою зміною режиму польоту швидкоплинністю та психофізіологічним навантаженням на екіпаж є посадка ПС. Успішний розв'язок задачі безпечного заходу на посадку потребує чіткого виконання екіпажами усіх без винятку встановлених правил, порядку та обладнання аеродромів, майданчиків приземлення спеціальними технічними системами. За даними ІКАО, частка авіаційних подій, що класифікується як втрата керування польотом (ЛОС-І) становить приблизно 36 відсотків від їх загальної кількості. При цьому, 90 відсотків з них, обумовлено незадовільною видимістю, а 70 відсотків припадає на етапи зниження та захід на посадку [1]. У структурі «Єдиної системи керування повітряним рухом» для оцінювання повітряної стану обстановки аеродромної зони застосовують оглядову радіолокаційну станцію та посадкову РЛС. Посадкова РЛС (ПРЛ) являє собою трьох координатну РЛС призначену для огляду повітряного простору в зоні перед посадкового та посадкового маневрів. За даними ІКАО заходи на посадку без наземного контролю з використанням посадкової РЛС у п'ять разів стають більш небезпечними ніж з її використанням, що підкреслює необхідність та актуальність контролю заходу на посадку із пунктів наземного контролю з використанням посадкової РЛС.

Мета роботи спрямована на досягнення підвищеної точності кутових вимірювань за допомогою посадкової РЛС та їх достовірності методами вторинної обробки сигналів, заснованих на положеннях теорії оптимальної лінійної дискретної фільтрації Калмана. Використання фільтрів Калмана передбачає наявність адекватної математичної моделі динаміки руху ПС [2-5]. Проте за умови апріор-

рної невизначеності фільтр Калмана втрачає оптимальні властивості, при цьому не виключається ймовірність втрати стійкості, що сприяє розбіжності процесу фільтрації.

Сьогодні пропонує досить велику кількість розроблених алгоритмів, базовим елементом яких залишається стандартний фільтр Калмана, які здатні подолати апріорну невизначеність структури та параметрів руху ПС як об'єкту контролю. В основу таких алгоритмів покладена ідея використання полі-модельних методів фільтрації. Розв'язок задач цим методом передбачає наявність банку моделей як засобу подолання апріорної невизначеності щодо динаміки об'єкта спостереження і моделлю фільтра. В даній роботі, в умовах посадкового маневру, коли азимутальна траєкторія руху ПС змінюється відповідно до режиму польоту, запропоновано використати полімодельний алгоритм з взаємодіючою логікою осереднення [6].

Алгоритм полімодельного методу з взаємодіючою логікою осереднення

Підсумковий результат синтезу даного алгоритму представлений у вигляді таблиці, що описує послідовність кроків для одного циклу роботи алгоритму.

Таблиця 1

Зведена таблиця формул алгоритму ІММ

Модельно-умовна реініціалізація:	
1. Екстраполяція ймовірностей моделей:	$\mu_{k k-1}^{(i)} = \sum_j \mathcal{O}_{ji} \mu_{k-1}^{(j)}$;
2. Змішування ймовірностей моделей:	$\mu_{k-1}^{(j i)} = \mu_{k-1}^{(j)} / \mu_{k k-1}^{(i)}$;
3. Змішування оцінок:	$\bar{\mathbf{x}}_{k-1 k-1}^{(i)} = \sum_{j=1}^N \bar{\mathbf{x}}_{k-1 k-1}^{(j)} \mu_{k-1}^{(j i)}$;
4. Змішування коваріацій:	$\bar{\mathbf{P}}_{k-1 k-1}^{(i)} = \sum_{j=1}^N \left[\mathbf{P}_{k-1 k-1}^{(j)} + (\bar{\mathbf{x}}_{k-1 k-1}^{(i)} - \bar{\mathbf{x}}_{k-1 k-1}^{(j)}) (\bar{\mathbf{x}}_{k-1 k-1}^{(i)} - \bar{\mathbf{x}}_{k-1 k-1}^{(j)})^T \right] \mu_{k-1}^{(j i)}$;
Модельно-умовна фільтрація:	
5. Екстрапольована оцінка вектору стану:	$\hat{\mathbf{x}}_{k k-1}^{(i)} = \mathbf{A}_{k k-1}^{(i)} \bar{\mathbf{x}}_{k-1 k-1}^{(i)}$;
6. Екстрапольована оцінка коваріації процесу:	$\hat{\mathbf{P}}_{k k-1}^{(i)} = \mathbf{A}_{k-1}^{(i)} \bar{\mathbf{P}}_{k-1 k-1}^{(i)} \left(\mathbf{A}_{k-1}^{(i)} \right)^T + \mathbf{Q}_{k-1}^{(i)}$;
7. Нев'язка вимірювань:	$\hat{\mathbf{z}}_k^{(i)} = \mathbf{z}_k - \mathbf{H}_k^{(i)} \hat{\mathbf{x}}_{k k-1}^{(i)}$;
8. Коваріація невязки:	$\mathbf{S}_k^{(i)} = \mathbf{H}_k^{(i)} \hat{\mathbf{P}}_{k k-1}^{(i)} \left(\mathbf{H}_k^{(i)} \right)^T + \mathbf{R}_k^{(i)}$;
9. Матричний коефіцієнт підсилення ФК:	$\mathbf{K}_k^{(i)} = \hat{\mathbf{P}}_{k k-1}^{(i)} \left(\mathbf{H}_k^{(i)} \right)^T \left(\mathbf{S}_k^{(i)} \right)^{-1}$;
10. Оцінка вектору стану:	$\hat{\mathbf{x}}_{k k}^{(i)} = \hat{\mathbf{x}}_{k k-1}^{(i)} + \mathbf{K}_k^{(i)} \hat{\mathbf{z}}_k^{(i)}$;
11. Оцінка коваріації процесу:	$\hat{\mathbf{P}}_{k k}^{(i)} = \hat{\mathbf{P}}_{k k-1}^{(i)} - \mathbf{K}_k^{(i)} \mathbf{S}_k^{(i)} \left(\mathbf{K}_k^{(i)} \right)^T$;
Оновлення ймовірності моделі:	
12. Функція правдоподібності:	$L_k^{(i)} \equiv N \left(\hat{\mathbf{z}}_k^{(i)}, 0, \mathbf{S}_k^{(i)} \right)$;
13. Ймовірність моделі:	$\mu_k^{(i)} = \mu_{k-1}^{(i)} L_k^{(i)} / \sum_j \mu_{k-1}^{(j)} L_k^{(j)}$;
Злиття оцінок:	
14. Оцінка вектору стану:	$\bar{\mathbf{x}}_{k k} = \sum_{i=1}^N \hat{\mathbf{x}}_{k k}^{(i)} \mu_k^{(i)}$;
15. Коваріація процесу:	$\bar{\mathbf{P}}_{k k} = \sum_{i=1}^N \left[\hat{\mathbf{P}}_{k k}^{(i)} + (\hat{\mathbf{x}}_{k k} - \hat{\mathbf{x}}_{k k}^{(i)}) (\hat{\mathbf{x}}_{k k} - \hat{\mathbf{x}}_{k k}^{(i)})^T \right] \mu_k^{(i)}$.

Результати моделювання

У основу методології досліджень покладено метод цифрового статистичного моделювання. Потік даних каналу вимірювання формувався з урахуванням геометрії посадкової траєкторії яка визначалась аеродинамічними даними літака АН-26. Оцінка ефективності роботи полі-модельного фільтра з взаємодіючою логікою виконувалась шляхом порівняння відповідних статистичних характеристик

точності з характеристиками еталонної моделі. Ефективність роботи запропонованого алгоритму відображена на рис. 1.

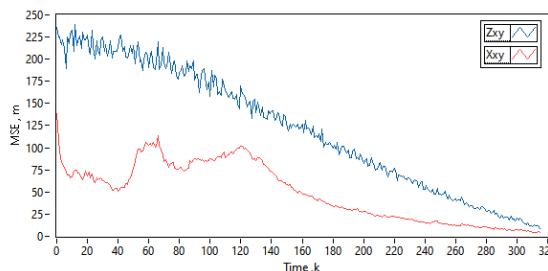


Рис. 1. Середньоквадратична похибка:
 Z_{xy} – даних каналу вимірювання; X_{xy} – результату фільтрації.

Висновки

1. Технологічна еволюція авіаційної галузі вимагає непинного удосконалення радіотехнічних засобів забезпечення безпеки польотів, розробки нових та модернізації існуючих внутрішньо-аеродромних засобів радіолокаційного контролю. Результати виконаних досліджень дозволяють стверджувати, що використання надмірності апаратних та програмних засобів разом з надзвичайно високою тактовою частотою сучасних мікропроцесорних пристроїв є перспективним напрямком підвищення точності, контролю достовірності та цілісності посадкових даних.

2. Результати проведеного статистичного експерименту дозволяють зробити висновки, що застосування полі-модельного фільтру з взаємодіючою логікою усереднення для вторинної обробки даних кутових вимірювань азимутального каналу посадкової РЛС є працездатним і ефективним. За вибраних умов моделювання, досягнуто покращення точності у 1,3–1,5 рази порівняно з нормативами ІКАО. Показано, що зберігається тенденція зростання точності оцінювання параметрів руху ПС по мірі наближення до точки посадки.

3. Застосування полі-модельного методу з взаємодіючою логікою у системах вторинної обробки результатів первинних вимірювань у азимутальному каналі посадкової РЛС зможе дозволити екіпажу ПС виконувати політ у директорному або напівавтоматичному режимах з будь-якого напрямку по довільній траєкторії з високою точністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] State of Global Aviation Safety (2019). ICAO Safety Report 2019 Edition. ICAO, 108 p.
- [2] Кичак В.М., Воловик Ю.М., Воловик А.Ю. Методи та пристрої обробки радіосигналів бортових авіаційних систем посадки: Монографія/Вінниця: ВНТУ, 2011–208с.
- [3] Rameshbabu K., J Swarnadurga J., Archana G., Menaka K. (2012). Target Tracking System Using Kalman Filter. International Journal of Advanced Engineering Research and Studies. Vol. II, pp. 90-94.
- [4] А.Ю. Воловик, Д.В. Гаврілов, В.С. Мозговий. Розробка моделі траєкторних спостережень для авіаційної посадкової системи. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – Хмельницький, 2018, Том 1 № 6 (267), – С. 173-182.
- [5] A. Volovik, D. Havrilov, A. Semenov, S. Baraban, A. Savytskyi and O. Zviahin, "Observation Trajectory Model for Radio-Frequency Aviation Landing Systems," 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), Odessa, Ukraine, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/UkrMiCo47782.2019.9165505.
- [6] А. Ю. Воловик . Адаптивне оцінювання параметрів руху повітряного судна у режимі дотримання заданої посадкової траєкторії. Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. ICTEE. 2023, Volume 3, Number 2 с. 116-125, <https://doi.org/10.23939/ictee2023.02.116>

Воловик Андрій Юрійович – канд. техн. наук, доцент кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: voland@vntu.edu.ua.

Червак Оксана Петрівна – провідний інженер кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oksana_chervak@ukr.net.

Шутило Микола Артемович – провідний інженер кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Volovyk Andrii U. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of Radio engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: voland@vntu.edu.ua.

Chervak Oksana. P. – Senior Engineer of Radio engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oksana_chervak@ukr.net.

Shutilo Mikola. A. – Senior Engineer of Radio engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.