

«Розробка методів та алгоритмів розпізнавання конфліктних ситуацій у розподілених системах управління динамічними об'єктами»

Основні наукові результати

Розроблено низку нових методів виявлення та оцінки характеристик конфліктних ситуацій:

- узагальнений стохастичний метод оцінки характеристик потенційних конфліктів керованого повітряного руху, який дозволяє визначити ймовірність конфлікту, інтегральну оцінку ймовірності конфлікту, оцінку середнього часу до настання конфлікту. У методі відносний рух літаків розглядається як дифузійний багатовимірний процес загального вигляду, характеристики якого визначаються на підставі прийнятих моделей випадкових відхилень літаків від заданих траєкторій. Основою методу є рівняння ймовірностей конфлікту в загальному вигляді багатовимірною рівняння в частинних похідних параболічного типу. Врахування ймовірнісного характеру процесу відхилення від заданих траєкторій і кореляційних зв'язків у часі дозволяє одержати більш адекватну оцінку конфлікту і вирішувати не тільки задачу оцінки ймовірності порушення норми безпечного розділення літаків, але і задачу оцінки ризику зіткнення.

- метод оцінки ймовірності конфлікту, що заснований на прогнозуванні стохастичної невизначеності положення літаків при цьому отримано новий аналітичний вираз для розрахунку ймовірності конфлікту в кінцевому вигляді, що дає можливість отримувати високу точність обчислення.

- ймовірнісно-імітаційний метод і алгоритм оцінки ймовірності потенційного конфлікту, що дозволяє істотно прискорити процедуру оцінки ймовірності конфлікту шляхом статистичного моделювання.

- композиційний метод оцінки ймовірності конфлікту, у якому по-новому визначається ймовірність конфлікту через композицію ймовірностей їх станів. Це усуває суттєве обмеження існуючих методів і дозволяє оцінювати ймовірність конфлікту при маневруванні літаків.

Розроблено методи вирішення конфліктних ситуацій на основі оптимізаційних задач:

- метод оцінки граничнодопустимих моментів прийняття рішення в системі запобігання конфліктів.

- оптимізаційно-стохастичний метод розв'язання потенційно конфліктних ситуацій з гарантованим рівнем безпеки польотів. У методі об'єднується оптимізаційний і стохастичний підходи, при цьому критерієм оптимальності може бути економічність, комфортність та ін., а мірою оцінки безпеки – ймовірність порушення норми безпечного розділення літаків.

При розробці вказаних методів розроблено нові математичні моделі:

- математичні моделі, яка описують об'єднаний процес відхилення пар літаків від заданої траєкторії для конкретних умов керованого польоту, які приведено до стандартного багатомірною дифузійного процесу.

- математична модель рідкісних подій, на основі якої розроблено метод моделювання рідкісних подій, що дає адекватне моделювання ситуацій повітряної обстановки в екстремальних умовах руху.

Розроблено метод каскадного планування безконфліктних траєкторій, який дозволяє уникати появи вторинних конфліктів, що є характерним для умов „Free Flight”, а також враховує невизначеність прогнозованого положення літаків, що дозволяє підтримувати заданий рівень безпеки польотів. Метод базується на побудові обмежуючих поверхонь допустимих траєкторій і формуванні множини конфліктних областей для кожного повітряного корабля. Аналітичні вирази обмежуючих поверхонь допустимих траєкторій отримано як для детермінованої, так і для стохастичної моделей руху повітряного корабля у випадку маневрування в горизонтальній площині за курсовим кутом.

Розроблено класифікатор небезпечності ситуацій повітряного руху, при цьому:

- сформульовано загальні принципи побудови класифікаторів небезпечності та критерії побудови оптимального простору ознак;

- математично сформульовано задачу класифікації та виконано аналіз найбільш важливих роздільних функцій, що складають основу класифікації;

- розроблено імовірнісний метод багатоальтернативної класифікації небезпечних ситуацій, що враховує неточність завдання щільності розподілу ймовірності, в якому кожному з класів ситуацій зіставляється деякий розподіл щільності ймовірності. При цьому враховується, що у дійсності при виконанні вимірювань цей розподіл відомий неточно, а з деякою випадковою похибкою.

У рамках запропонованого методу багатоальтернативної класифікації небезпечних ситуацій розроблено такі ймовірнісні методи:

- метод класифікації повітряного стану;
- метод розрахунку ймовірності правильного розпізнавання класу повітряної ситуації;
- метод визначення похибки розрахунку ймовірності правильного розпізнавання класу повітряної ситуації при умові, що щільності розподілу ймовірності відомі неточно.

Для кожного запропонованого методу розроблено алгоритм та комп'ютерну програму і проведено комп'ютерне моделювання з порівняльним аналізом з існуючими методами. Отримані результати довели коректність методів, їх більш високі показники в порівнянні з існуючими методами і наявність нових якостей, які дозволяють вирішувати задачу розв'язання конфліктних ситуацій в розподілених системах в складних умовах динамічного розвитку повітряної ситуації в умовах невизначеності.

Практична цінність

Наукова дослідна робота відповідає програмам міжнародної організації цивільної авіації ICAO та EUROCONTROL, членом яких є Україна, спрямованим на розвиток майбутніх глобальних систем зв'язку, навігації, спостереження і організації повітряного руху (CNS/ATM), а також програмі уніфікації й інтеграції Європейських систем організації повітряного руху (EATC/HP).

При виконанні науково-дослідної роботи використано комплексний підхід до рішення задачі підтримки необхідного рівня безпеки польотів при впровадженні нових концепцій організації системи керування повітряним рухом. Розроблені методи і алгоритми дають якісно нове рішення задачі моніторингу і розв'язання конфліктних ситуацій, що дозволяє підвищити вірогідність виявлення і оцінки характеристик потенційних конфліктів, а також забезпечити надійність і безпеку прийняття рішень про їх усунення з урахуванням критерію економічності і заданих просторово-часових обмежень.

Створений класифікатор небезпечності польотної ситуації дає можливість раціонально (оптимально) вибирати і приймати остаточне рішення, аналізуючи зміну конфліктної ситуації, кількість варіантів і видів маневру.

У запропонованому методі каскадного планування безконфліктних траєкторій розв'язання конфліктних ситуацій розглядається у просторово-часовій системі координат, що спрощує подання динамічного процесу руху повітряного корабля та планування безконфліктних траєкторій. Запропоновані алгоритми розв'язання групових конфліктних ситуацій дозволяють виконувати каскадне планування безконфліктних траєкторій в умовах польотів за довільними маршрутами і можуть бути застосовані як в бортових системах безпечного ешелонування, так і в перспективних наземних автоматизованих системах управління повітряним рухом.

Розроблений програмний комплекс імітації конфліктних ситуацій та прийняття рішень дає можливість провадити дослідження з метою виконання порівняльного аналізу існуючих і нових методів виявлення та оцінки характеристик конфліктних ситуацій, та перевірки різних сценаріїв розвитку і розв'язання конфліктних ситуацій в умовах реалізації різних концепцій організації повітряного руху.

Практична значимість результатів роботи в цілому полягає у тому, що вони складають основу для реалізації розроблених методів і алгоритмів у формі, що дає можливість їх використання в інтелектуальних автоматизованих системах моніторингу та керування динамічними об'єктами в складних умовах, при високому завантаженні простору і передумовах виникнення конфліктних ситуацій. При цьому очікуваний соціальний ефект складає: підвищення надійності прийняття рішень в складних розподілених системах керування і, як наслідок цього, підвищення безпеки на транспорті; підвищення якості контролю руху по заданих оптимальних траєкторіях.

ях і, як наслідок, підвищення економічності.

Розроблені методи, алгоритми та програмні модулі можуть бути застосовані для управління безпекою польотів не тільки при управлінні повітряним рухом, а і при організації повітряного простору та плануванні повітряного руху. Вони також можуть бути адаптовані до наявної організації повітряного руху, процедурам і умовам функціонування існуючих автоматизованих систем УПР.

Перелік основних наукових публікацій, доповідей на конференціях, семінарах

1. Харченко В.П., Кукуш О.Г., Васильєв В.М. Визначення допустимого часу прийняття рішення в системах запобігання конфліктів при польотах в умовах "вільного польоту" //Вісник НАУ.– 2004. – № 1. – С.29-33.

2. Васильєв В.М. Методи прогнозування й оцінки ймовірності конфліктів при польоті літаків на маршрутах // Вісник НАУ.– 2004. – № 2. – С.24-29.

3. Васильєв В.М. Статистичне моделювання та оцінка ризику зіткнень літаків з використанням кореляційної теорії // Вісник НАУ.– 2004. – № 3. – С. 70-73.

4. Васильєв В.М. Оцінка ймовірності конфлікту з урахуванням динаміки і кореляції процесу польоту літаків // Вісник НАУ.– 2004. – № 4. – С. 21-25.

5. Харченко В.П., Загора С.А. Применение принципов распределенного кооперативного решения конфликтных ситуаций в условиях концепции free flight //Журнал „Искусственный интеллект”, 3/2004, Донецк, ДонГИИИ, 2004, С. 385-391.

6.Бабак В.П., Харченко В.П., Знаковська Є.А. Дослідження ймовірності катастрофічної ситуації методом моделювання рідкісних подій за оптимальною вибіркою //Вісник НАУ. – 2004. – №4.. – С. 3–7.

7.Белкин В.В. Міхалочкін М.А., Харченко В.П. Методика обґрунтування вимог до точності, надійності й структури систем запобігання зіткнень і міжлітакової навігації // Труды академії. – К.: НАОУ, 2005. – № 61. – С. 128 – 135.

8.Міхалочкін М.А., Харченко В.П. Метод вычисления центральных моментов случайных величин параметров эрготической системы // Кібернетика та обчислювальна техніка. - 2005. - С. 83 – 89.

9.Міхалочкін М.А., Харченко В.П. Классификация навигационных средств // Труды ЦНИИ Управления и навигации ЦНИИУН, 2005. – С. 71 – 77

10. Белкин В.В., Міхалочкін М.А., Харченко В.П. Системы предотвращения столкновений, основанные на использовании информации от СРНС и радиообмена //36. наук пр. проблемы транспорта. – К.: НТУ, 2005.– Вып.2. – С.196-203.

11. Загора С.А. Аналіз методів розв'язання конфліктних ситуацій в умовах вільного польоту // Вісник НАУ. – 2005. – №1. – С.42-47.

12. Харченко В.П., Знаковська Є.А. Моделювання порушення цілісності на основі методів дерева ризику і моделювання рідкісних подій //Вісник НАУ. – 2005. – №1. – С. 23–26.

13. Харченко В.П., Васильєв В.М., Кукуш А.Г. Методы оценки вероятности конфликтов для системы управления воздушным движением //Проблемы управления и информатики. – 2005. – №1.– С. 88-97.

14. Харченко В.П., Васильєв В.М. Прогнозирование вероятности столкновения самолетов при управляемом воздушном движении //Авиационно–космическая техника и технология. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т „ХАІ”, 2005. – Вып.. 7(23). – С. 268-279.

15. Харченко В.П., Васильєв В.М., А.Г. Кукуш. Обобщенный стохастический метод оценки характеристик потенциальных конфликтов управляемого воздушного движения //Кибернетика и системный анализ. – 2005.- №3. – С.81-93.

16. Харченко В.П., Васильєв В.М., А.Г. Кукуш. Вероятная оценка риска столкновений самолетов при кооперативном управлении воздушным движением //Проблемы управления и информатики. – 2005. – №5.– С. 56-63.

17. Васильєв В.Н. Композиционный метод оценки вероятности конфликтов с управлением неопределенностью положения самолетов //Кибернетика и вычислительная техника. – 2005. – Вып. 145. – С. 95–106.

18. Харченко В.П., Знаковська Є.А., Нагаев С.В., Кукуш А.Г., Доценко С.И. Выбор объема выборки в методе моделирования редких событий // Кибернетика и системный анализ. – 2006. – №1. – С. 79–86.
19. Загора С.А. Пошук оптимальної послідовності розв'язання конфліктних ситуацій для сукупності повітряних суден // Вісник ЖДТУ. – 2006. – №2 (37). – С.126-131.
20. Загора С.А. Послідовне розв'язання конфліктних ситуацій для сукупності літаків за рахунок відхилення за курсовим кутом // Вісник НАУ. – 2006. – №1. – С.57-63.
21. Загора С.А. Урахування невизначеності прогнозованого положення літаків при послідовному розв'язанні конфліктних ситуацій // Вісник НАУ. – 2006. – №2. – С.51-56.
22. Харченко В.П., Міхалочкін М.А. Классификация навигационных средств //Зб. наук. пр. “Проблеми транспорту” – К.: НТУ, 2006. – № 3. – С. 38 – 47.
23. Babak V., Kharchenko V., Vasylyev V. Methods of conflict probability estimation and decision making for air traffic management //Aviation. – Vilnius: Technika, 2006.– Vol. 10.– № 1. – P. 3-9.
24. Знаковська Є.А. Програмна реалізація методу моделювання рідкісних подій порушення цілісності аеронавігації // Технологические системы. – 2006. – №3(35). – С.31-33.
25. Остроумов І.В. Проблеми використання наукоємних технологій у системах запобігання зіткнень повітряних кораблів //Технологические системы. – 2006. – №3(35). – С. 35-38.
26. Харченко В.П., Васильев В.Н. Организация мониторинга траекторий и поддержки принятия решений в системах и тренажерных комплексах кооперативного управления воздушным движением //Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – К.: ІПМЕ, 2006. – Спец. вип., Сучасні тренажерно-навчальні комплекси та системи, Т.2. – С. 56–64.
27. Васильев В.М. Застосування ймовірнісного методу оцінки конфліктів для прийняття рішення при керуванні повітряним рухом //Проблеми інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2006. – Вип. 3(18). – С. 36-40.
28. Babak V., Kharchenko V., Vasylyev V. Using generalized stochastic method to evaluate probability of conflict in controlled air traffic // Aviation. – Vilnius: Technika, 2007. – Vol. 11, №2. – P. 31-36.
29. Харченко В.П., Кукуш А.Г., Васильев В.Н. К задаче оценки вероятности опасного сближения самолетов: Условия применения и уменьшения размерности обобщенного метода // Проблемы информатики и управления. – 2007. – № 3. – С. 64-71.
30. Васильев В.М. Дослідження аналітичного методу оцінки ймовірності потенційно конфліктних ситуацій в повітряному русі // Вісник НАУ. – 2007. – № . – С. 85-90.
31. Харченко В.П., Васильев В.Н. Поддержка принятия решений при устранении потенциально конфликтных ситуаций в воздушном движении //Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – К.: ІПМЕ, 2007. – Спец. вип., Сучасні тренажерно-навчальні комплекси та системи, Т.2. – С. 92–99.
32. Васильев В.Н. Оценка вероятности опасного сближения самолетов при управлении воздушным движением // Математические машины и системы. – 2007. – № 2. – С.68-76.