

УДК629.7.014-519 (043.2)

ЧЕПІЖЕНКО В.І., проректор з міжнародного співробітництва Національного авіаційного університету, доктор технічних наук, старший науковий співробітник
СКИРДА І.І., аспірант Національного авіаційного університету

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ГРУПОЮ БЕЗПЛОТНИХ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Розглянуто задачу управління групою безпілотних повітряних суден, основні переваги використання безпілотних груп повітряних суден порівняно з пілотованими. Визначено вимоги до методу, який застосовується для вирішення множинних конфліктів, що виникають між окремими безпілотними повітряними суднами, статичними та динамічними перешкодами, зберігаючи при цьому стрій і склад групи. Проведено аналіз існуючих методів управління групами різних класів динамічних об'єктів в реальному масштабі часу

Ключові слова: безпілотне повітряне судно, конфліктна ситуація, геометричний метод, оптимізаційний метод, ймовірнісно-статистичний метод, польовий метод

Постановка проблеми

Безпілотні повітряні судна (БПС) – один із видів авіаційної техніки, який стрімко розвивається нині. Використання БПС зумовлене рядом переваг:

відсутність екіпажу на борту повітряного судна (ПС);

висока маневреність;

мала помітність та мала вразливість;

відносно незначні затрати на експлуатацію;

мобільність;

можливість виконувати маневри зі значними перенавантаженнями, й висотні перельоти з параметрами, які перевищують фізіологічні можливості людини;

працездатність в умовах, які є шкідливими для людини (радіаційні, хімічні та біологічні забруднення) [1].

Ефективність використання БПС значно збільшується при організації групових польотів. Однак, при цьому виникають проблеми, пов'язані із забезпеченням управління польотом саме групи БПС. Під групою БПС, зазвичай, розуміють певну сукупність ПС, які підпорядковуються певним правилам збору в групу, що здатні витримувати своє місце в строю на прямолінійних і криволінійних ділянках польоту, уникати зіткнення зі статичними й динамічними перешкодами та взаємодіяти один з одним для вирішення єдиної цільової задачі, що поставлена перед групою.

Актуальність дослідження

Беручи до уваги стрімке зростання випадків використання БПС у різних галузях, виникає необхідність розробки методу управління групою БПС, який дозволяв би виявляти потенційні конфліктні ситуації (КС) між кількома БПС й іншими статичними або рухомими перешкодами в повітряному просторі, забезпечити розв'язання КС шляхом зміни параметрів польоту, виконуючи умови мінімумів вертикального, поздовжнього та бічного ешелонування, враховуючи використання контрольованого повітряного простору разом із пілотованими ПС у майбутньому. Під КС розуміється зближення БПС з іншими БПС, пілотованими ПС, статичними й динамічними перешкодами, у просторі й часі, коли порушуються певні межі ешелонування.

Для вирішення цієї задачі необхідно розробити відповідний метод, або шляхом аналізу визначити, який з існуючих методів є можливість застосувати для виявлення та вирішення КС.

Основними вимогами до згаданих методів є:

- здатність виконувати управління функціональним станом БПС;
- здатність вирішувати КС з мінімальними енергетичними витратами БПС;
- автономність контурів управління вектором швидкості;
- здатність розділяти статичні, динамічні й інші перешкоди для БПС;
- гарантованість досягнення цільової точки;
- гарантування функціональної стійкості.

Виділення невирішених частин загальної проблеми

Існує безліч методів, розроблених для групового управління динамічними об'єктами в робототехніці, але в даному випадку технічною особливістю БПС є рух зі швидкістю в межах від еволютивної до максимальної швидкості горизонтального польоту, що робить процес вирішення КС набагато складнішим. Враховуючи всі ці особливості, можна виділити кілька методів, що дозволяють вирішувати КС, але вони все ще вимагають високих показників апаратної продуктивності для виконання обчислень на борту й значних енергоресурсів, що призводить до збільшення вартості БПС.

Мета роботи полягає в аналізі існуючих методів управління групою динамічних об'єктів у різних галузях і можливість їх застосування для автоматичного управління БПС у групі, щоб досягти цільову точку з урахуванням присутності інших БПС, в умовах статичних і динамічних перешкод на маршруті.

Аналіз досліджень і публікацій

Для вирішення постановленої задачі можна застосувати загально відомі методи виявлення та вирішення КС. Особливістю таких методів має бути здатність вирішувати множинні, а не одинарні конфлікти. Розрізняють такі способи вирішення множинних КС: попарні й глобальні, де попарний спосіб означає, що всі конфлікти будуть вирішуватися послідовно в парах, на відміну від глобального аналізу повітряної обстановки. Перший спосіб відноситься до принципу роботи бортової системи попередження зіткнення у повітрі (TCAS), коли один конфлікт спонукає до появи нового, доки не буде виявлено безконфліктну траєкторію, але є велика ймовірність того, що це призведе до "ефекту доміно" [2], тому саме другий спосіб має бути застосований в методі, що має бути створеним.

Можна визначити чотири основні класи методів:

геометричні;
ймовірнісно-статистичні;
оптимізаційні;
польові.

Виклад основного матеріалудослідження

Класичним методом є **геометричний**, де прогнозування траєкторії руху динамічних об'єктів базуються на лінійних проекціях поточних об'єктів. Такі прогнози можна обчислювати більш ефективно, з незначними помилками прогнозування для коротких періодів часу. Недоліком даного методу для вирішення множинних конфліктів є збільшення складності розрахунків зі збільшенням кількості динамічних об'єктів. Виникає необхідність дискретизації часу й простору [3]. В [4] представлено ідею глобального вирішення конфліктів за допомогою геометричного методу шляхом агрегування динамічних об'єктів в один штучний (Рис.2) [4], але в цьому випадку алгоритм ускладнюється. З практичної точки зору швидкість оновлення інформації про повітряну обстановку має бути досить високою. Окрім того, з'являється окремий центр моніторингу руху, що призведе до зменшення показника надійності управління при виконанні польотів.

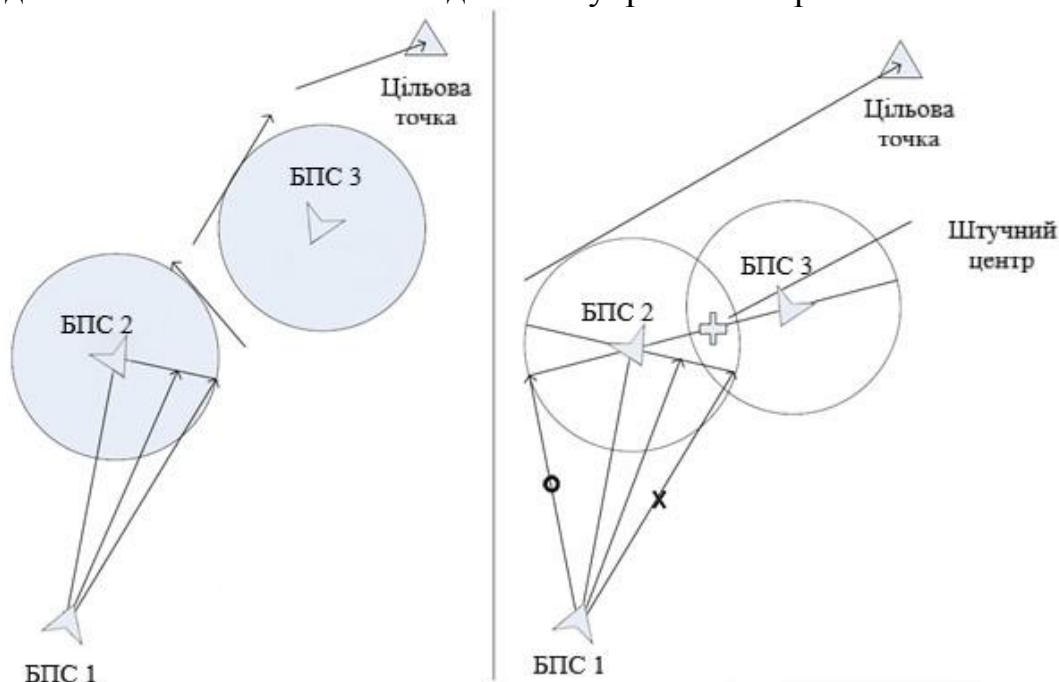


Рис. 2. Вирішення множинних КС на основі геометричного методу

Ймовірнісно-статистичний метод пов'язаний з проблемою виявлення ймовірності виникнення КС за наявності різних невизначеностей під час польоту. Динаміка об'єкту описана з використанням системи стохастичних диференціальних рівнянь, а прогнозована траєкторія руху об'єктів визначається шляхом рішення задачі стохастичного оптимального керування. В [5] використовується числовий алгоритм, що поєднує псевдоспектральний метод з методом узагальненого хаосу для вирішення задач оптимізації стохастичних траєкторій. Цей підхід можна застосувати лише для визначення конфлікту на досить великих відстанях (рис.3) [5], тому не можливо використовувати даний метод для керування групою БПС, які

летять щільно в групі та мають обчислювальні обмеження для оцінки ймовірності виникнення подій.

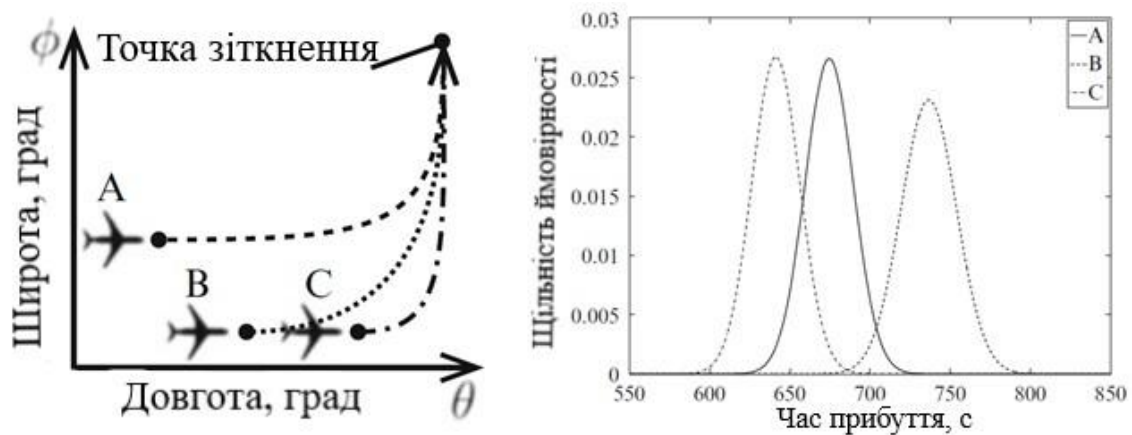


Рис. 3. Вирішення множинних КС на основі імовірнісно-статистичного методу

Оптимізаційний метод - це математичний підхід на основі лінійного програмування [6], в якому задача оптимального управління полягає в знаходженні траєкторій, що мінімізують цільову функцію. Виділяють два основних підходи. В першому підході оптимальне керування перетворюється на кінцевовимірну нелінійну програму (NLP). При цьому виникає потреба використання розстановки на кінцевих елементах і переформулюванні диз'юнкції, що застосовуються в моделюванні захищених зон, використовуючи неперервні змінні. У другому підході оптимальне керування перетворюється на лінійну програму змішаного цілого ряду (MILP) з кінцевим розміром, використовуючи при цьому дискретизацію Ейлера та переформулювання диз'юнкції, пов'язаної з захищеними зонами, а також використовуючи бінарні змінні й методи Big-M. Недоліком такого методу є неможливість виконання польотів по оптимальним траєкторіям з врахуванням аспектів надійності та безпеки. Слід відзначити збільшення складності розрахунків при збільшенні числа динамічних об'єктів, що стає причиною виникнення такого ефекту, як "прокляття розмірності" (рис.4) [6].

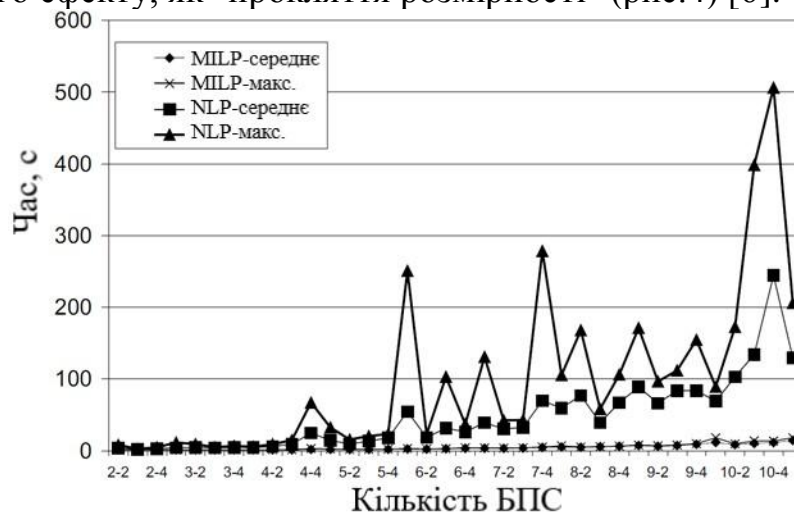


Рис. 4. Максимальне й середнє значення часу розрахунку безконфліктних траєкторій при управлінні групою БПС, використовуючи оптимізаційний метод

Серед **польових** методів варто виділити метод потенціальних полів заснований на присвоєнні динамічним об'єктам властивостей магнітних чи електричних зарядів одного знаку для однотипних об'єктів (у нашому випадку БПС) і протилежних зарядів цільовим точкам, де на основі фізичних законів об'єкти з однаковими зарядами відштовхуються один від одного, та притягуються цільовим точками, позначеними протилежними зарядами. Особливість такого методу полягає в тому, що об'єкти (БПС) не обов'язково повинні знати позиції всіх інших динамічних об'єктів, тому штучна сила, створювана кожним об'єктом, дозволяє їм миттєво реагувати й уникати КС один з одним, одночасно зберігаючи групову форму. Цей підхід є масштабованим і може застосовуватися для великої кількості БПС, навіть у випадку наявності численних конфліктів (рис.5) [7].

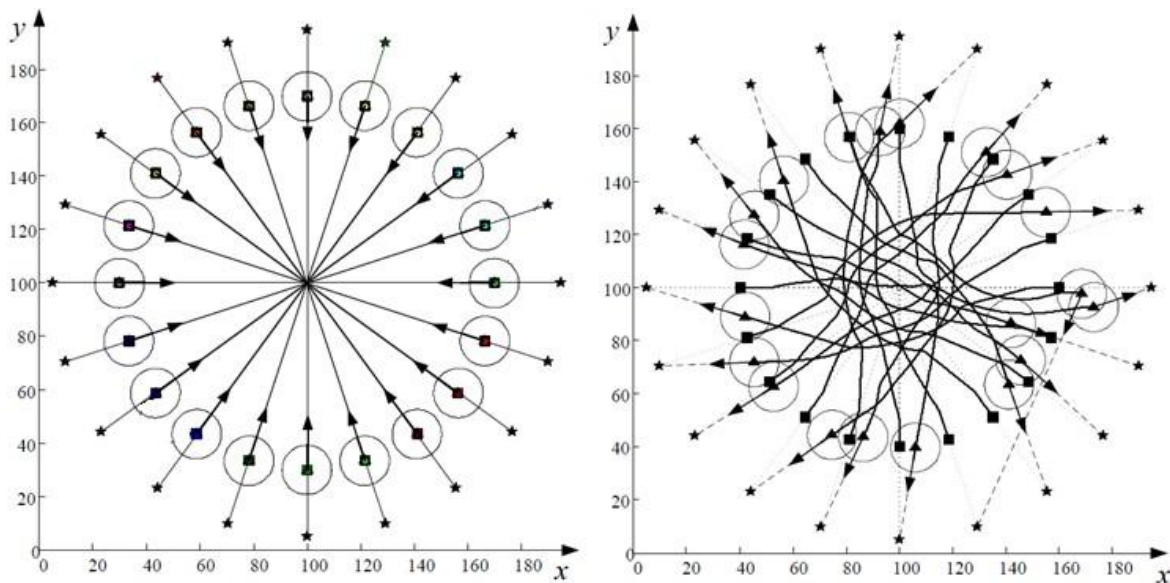


Рис. 5. Вирішення множинних конфліктів між динамічними об'єктами на основі методу потенціальних полів

Висновки:

1. Особлива увага в роботі приділяється автономним БПС, оснащеним бортовими комп'ютерами, здатними отримувати та аналізувати інформацію від зовнішніх джерел, тому і основним критерієм вибору методу є також наявність реальної можливості його практичного застосування;

2. Встановлено вимоги до методу управління групою БПС, включаючи здатність виявляти й вирішувати КС та зберігаючи при цьому загальний устрій;

3. Проаналізовано існуючі методи управління групою динамічних об'єктів, виділено основні класи цих методів, їх переваги та недоліки при вирішенні задачі управління групою БПС;

4. За результатами проведеного дослідження встановлено, що метод потенціальних полів задовольняє встановленим вимогам щодо управління групою БПС, дозволяючи глобально вирішувати КС, і зменшує ймовірність виникнення

“ефекту доміно”. При використанні даного методу також не є критичним поняття “прокляття розмірності”.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чепіженко В.І., Скирда І.І. Управління групою безпілотних повітряних суден / В.І. Чепіженко, І.І. Скирда // АВІА-2017: XIII міжнар. наук.-техн. Конф., 19-21 квітня 2017р. : матеріали – К. : НАУ, 2017. – С. 13.27-13.30.
2. Chepizhenko V. Synthesis of artificial gravitational fields virtual meters for the polyconflicts resolution in the aeronavigation environment / V. Chepizhenko // Proceedings of the National Aviation University. - 2012. - № 2. - С. 60-69.
3. Alfons Geser and César Muñoz. A Geometric Approach to Strategic Conflict Detection and Resolution / A. Geser, C. Muñoz // Proceedings of the 21st Digital Avionics Systems Conference, DASC 2002, BibTexReference, 2002.
4. PARK, J.-W., OH, H. and TANH, M.-J. UAV collision avoidance based on geometric approach / PARK, J.-W., OH, H. and TANH, M.-J. // Proceedings of the 2008 SICE Annual Conference, 20th-22nd August 2008, Tokyo, pp. 2122 - 2126.
5. Yoshinori Matsuno and Takeshi Tsuchiya, "Probabilistic Conflict Detection in the Presence of Uncertainty", Air Traffic Management and Systems. Selected Papers of the 3rd ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2013), Springer Japan 2014, pp. 17-33.
6. F. Borrelli, D. Subramanian, A. Raghunathan, and L. Biegler. MILP and NLP techniques for centralized trajectory planning of multiple unmanned air vehicles / F. Borrelli, D. Subramanian, A. Raghunathan, L. Biegler // Proceedings American Control Conference, 2006, pp. 5763–5768.
7. Чепиженко В. И. Виртуальные эйнштейновские силовые поля в синергии навигационного пространства сложных эргатических систем / В. И. Чепиженко, В. В. Павлов, С. В. Павлова // Вісник Національного авіаційного університету. - 2012. - № 3. - С. 15-27.

Надійшла до редакції 26.10.2017

Рецензент: ДТН Павлова С.В.