

УДК 629.783

О.Д. Фесенко*Військовий інститут телекомунікації та інформатизації***ВДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ПОБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ
АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ НАВІГАЦІЇ БПЛА**

Розкрито вдосконалену методику побудови інтелектуальної системи автоматичного управління системою навігації БПЛА. Визначено блочну структуру інтелектуальної системи автоматичного управління. Описано функціональні та структурні особливості складових системи автоматичного управління системою навігації БПЛА. Запропоновано алгоритм реалізації інтелектуальної системи автоматичного управління із моделюванням на реальних об'єктах результату дієвості, з формуванням траєкторії польоту в умовах перешкод та за умови навігації групи БПЛА.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, навігація, траєкторія польоту, інтелектуальна система, автоматичне управління, перешкоди, група БПЛА.

Форм.2 . Рис. 6 Літ.8 .

А.Д.Фесенко*Военный институт телекоммуникации и информатизации***УСОВЕРШЕНСТВОВАНАЯ МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ НАВИГАЦИИ БПЛА**

Раскрыто усовершенствованную методику построения интеллектуальной системы автоматического управления системой навигации БПЛА. Определена блочная структура интеллектуальной системы автоматического управления. Описаны функциональные и структурные особенности составляющих системы автоматического управления системой навигации БПЛА. Предложен алгоритм реализации интеллектуальной системы автоматического управления с моделированием на реальных объектах результата реализации, с формированием траектории полета в условиях помех и при навигации группы БПЛА.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, навигация, траектория полета, интеллектуальная система, автоматическое управление, препятствия, группа БПЛА.

A.D. Fesenko*Military Institute of Telecommunications and Information***IMPROVED METHODOLOGY OF BUILDING INTELLIGENT AUTOMATIC
CONTROL SYSTEM FOR THE UNMANNED AERIAL VEHICLE NAVIGATION SYSTEM**

An improved method of constructing an intelligent system for automatic control of the UAV navigation system is disclosed. The block structure of the intelligent automatic control system is defined. Functional and structural features of the components of the automatic control system of the UAV navigation system are described. An algorithm for implementing an intelligent automatic control system with simulation of the result of realization on real objects, with the formation of the flight trajectory in the conditions of interference and during navigation of the UAV group is proposed.

Keywords: unmanned aerial vehicle, navigation, flight trajectory, intelligent system, automatic control, obstacles, UAV group.

Вступ та постановка проблеми дослідження. Проблеми автоматизованого управління комплексами БПЛА є актуальними в умовах сьогодення, спираючись на ситуацію, що склалася на Сході України. Використання БПЛА в умовах розвідки є пріоритетним напрямком формування стратегічних дій українських військових формувань. Побудова інтелектуальної системи автоматичного управління системою навігації БПЛА здійснюється в якості системи збільшення стійкості для наземного пілота, що передбачає підвищення безпеки польотів та покращення характеристик траєкторії формування шляху БПЛА.

Використання інтелектуальних комплексів в управлінні, реалізує субоптимальний контроль за траєкторією польоту як одного БПЛА так і групи слідкуючих об'єктів.

Методика побудови інтелектуальної системи автоматичного управління системою навігації БПЛА базується на модельно-орієнтованому проектуванні. Для забезпечення польоту БПЛА в умовах перешкод є можливість здійснювати формування характеристик стабільності та керованості на всіх рівнях маневрування.

Головними джерелами вихідної інформації є математична модель динаміки БПЛА, виконуючи пристрої, сенсори, датчики, функції систем орієнтації та кінцеву точку шляху. На основі згаданих параметрів та обмежуючих факторів інтелектуальна система автоматичного управління системою навігації БПЛА повинна сформувати траєкторію шляху.

Мета. Запропонувати вдосконалену методику побудови інтелектуальної системи автоматичного управління системою навігації БПЛА. Визначити блочну структуру інтелектуальної системи автоматичного управління. Описати функціональні та структурні особливості складових системи автоматичного управління системою навігації БПЛА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Масштабність сучасних наукових досягнень за темою дослідження є суттєвою. Питання формування інтелектуальних систем управління БПЛА, на сторінках своїх праць, розглядало чимало як зарубіжних так і вітчизняних вчених.

А.Д. Летунов [1], дослідив головні аспекти оптимізації системи управління легкого безпілотного літального апарату за частотним критерієм, математично обґрунтував вибір напрямку руху та обхід перешкод.

Систему інформаційно-вимірювальну та управляючу малорозмірного безпілотного літального апарату підвищеної точності, обґрунтував схемами та розрахунком М. Н. Машнін [2].

Стосовно автоматичного управління системою навігації БПЛА, варто відмітити роботи: М. Н. Красильщикова та Г. Г. Себрякова [3], К. С. Амеліна [4], Ю. Б. Колесова [5], та ін.. Автори детально описують можливість застосування автоматичного управління системою навігації БПЛА в умовах перешкод та механізми формування траєкторії польоту.

Низка авторів сучасників М.Н. Ясечко, А.І. Дохов, М.Г. Іванець, О.В. Тесленко [6] описують, з фізико-математичної точки зору, вплив радіоелектронної апаратури при управлінні БПЛА з відокремленням параметрів сигналів випромінювачів.

Із зарубіжних вчених варто відмітити роботи Williams P., та Crump M [7] та Tang D., Li F., Shen N., і Guo S. [8].

Однак, незважаючи на результати наукових розробок відповідно до теми дослідження, питання формування вдосконаленої методики побудови інтелектуальної системи автоматичного управління системою навігації БПЛА залишається відкритим та потребує детального вивчення.

Виклад основного матеріалу. Методика побудови інтелектуальної системи автоматичного управління системою навігації БПЛА базується на трьох основних складових: формування концепції моделі та аналіз початкових даних, реалізація моделі у програмному середовищі та результат моделювання.

Методика побудови інтелектуальної системи автоматичного управління системою навігації БПЛА графічно представлена у вигляді блок-схеми на рис. 1. Перший блок є блоком формування концепції моделі та аналізу початкових даних. Даний блок передбачає збір інформації та її аналіз. До початкової інформації на цьому етапі відносяться математичні моделі БПЛА, зовнішні та внутрішні збудження, що впливають на БПЛА у період експлуатації, моделі та дані з сенсорів і датчиків.

За наявності всіх початкових даних формується концепція моделі управління, головні напрямки руху, перешкоди на шляху, проекція переміщення таке ін..

Другим блоком передбачається реалізація моделі у програмному середовищі. Означений блок є головним у рамках алгоритму. Відбувається синтез загальної концепції, виносяться, формуються та узагальнюються закони управління та алгоритми навігації системи. Враховуються режими роботи та умови виконання алгоритму, що розробляється. Здійснюється формування загальної моделі з використанням математичних моделей динаміки та збудження. Отримані моделі є фундаментальними у загальному алгоритмі розробки, на них базується подальший аналіз та формування остаточної моделі. На кожному окремому етапі відбувається обов'язкова перевірка та оцінка результатів моделювання, а також корекція, за необхідністю, параметрів законів управління та навігаційних алгоритмів.

результату, щодо дієвості інтелектуальної системи автоматичного управління системою навігації БПЛА.

З фізичної точки зору, інтелектуальна система автоматичного управління системою навігації БПЛА складається з навігаційної частини, інформаційної частини та частини, що відповідає за контроль остаточного результату.

Навігаційна система, за своєю сутністю є орієнтиром управління польотом БПЛА.

Інформаційна системи формується на базі глобальної системи позиціонування (GPS). У її склад входять: барометричний висотомір та магнітомір, які визначають поточне положення БПЛА та кут повороту.

Контрольна частина будується на мікропроцесорній техніці для реалізації алгоритмів управління. Дана частина передбачає наявність таких обов'язкових складових як: імітатор польотів, наземний контрольно-пропускний пульт, пульт дистанційного керування.

Інтелект метода ґрунтується на використанні повністю автоматизованих систем. Управління базується на принципі «наведення-стабілізація». Навігаційний метод відповідає за формування напрямку польоту та поточну координацію, яка ґрунтується на сигналах датчиків, систем орієнтації та навігації. Результат транслюється «Автопілоту», який вирішує завдання стабілізації. Обов'язковим є постійна перевірка наявності зв'язку по радіоканалу.

Система навігації інтелектуальної системи автоматичного управління системою навігації БПЛА є безплатформною інерціальною навігаційною системою у комплексі зі спеціальними пристроями, які розпізнають втручання в управління апаратом і переводять його повністю в автономний режим, за умови виникнення перешкод. Навігація здійснюється за рахунок координат, які видаються безплатформною інерціальною навігаційною системою, БПЛА здійснює політ по певних точках.

Формування інтелектуальної системи автоматичного управління системою навігації БПЛА для успішного маневрування у навколишньому середовищі, яке повно перешкод, повинно бути здатне обчислити траєкторії, які будуть плавати навколо цих перешкод, та зорієнтувати БПЛА на остаточне положення. Отже, головною є вимога, обчислення композитних траєкторії, які включають маневри ухилення.

Розглянемо простий випадок єдиної перешкоди, що перетинає прямолінійний сегмент стандартної траєкторії, як показано на рисунку 2. Траєкторія зараз складається з п'яти сегментів, з початкових, проміжних і кінцевих маневрів дуги, разом з двома прямими відрізками. У початковій і кінцевій дузі маневри модифіковано, щоб відрізки були дотичними до перешкоди кола. Тому два варіанта уникнення траєкторії повинні бути розраховані для кожної перешкоди.

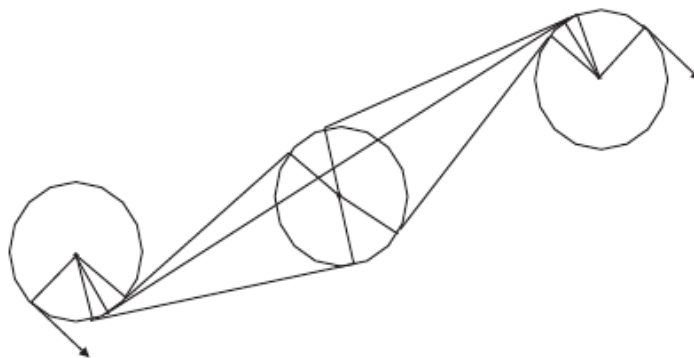


Рис. 2. Одиначна перешкода [7]

Якщо БПЛА виявляє перешкоду за допомогою датчика, розташованого на борту, БПЛА повинен повторно спланувати шлях або шляхом зміни кривизни між двома точками розглянутого випадку або перепланувати шлях з використанням проміжної точки. Перешкоди проходять перевірку визначення, якщо безпека перешкоди перетинає безпеку БПЛА. Якщо перетин не порожній, то перепланування не потрібно. Це може бути зроблено або шляхом збільшення кривизни траєкторії, або шляхом створення проміжної точки і проектуванні нового шляху, який включає в себе цю нову колійну точку.

Якщо припустити, що O_{obs} є перешкодою кола і безпеки БПЛА O_{safe} , умовою для уникнення зіткнення буде

$$O_{\text{obs}} \cap O_{\text{safe}} = \emptyset \quad (1)$$

Схема для перевантаженого середовища показана на рис. 3. Перешкоди моделюються у вигляді багатокутників. Области, які передбачаються стаціонарно та їх позиції відомі. Планування шляху з декількох безпілотних літальних апаратів через послідовність поз можна записати у вигляді

$$P_{s,i,j-1}(x_{s,i,j-1}, y_{s,i,j-1}, \theta_{s,i,j-1}) \xrightarrow{r_{i,j-1}(q)} P_{f,i,j}(x_{f,i,j}, y_{f,i,j}, \theta_{f,i,j}) \quad (2)$$

$i = 1, \dots, n_{UAV}, j = 2, \dots, n_p, |k_i(q)| < k_{max}, \prod_{safe}, \prod_{length}$

де $i = 1, \dots, n_{UAV}$ – це число безпілотних літальних апаратів,

$j = 2, \dots, n_p$ – кількість позицій (в тому числі час початку і кінця),

$x_{f,i,j}, y_{f,i,j}, \theta_{f,i,j}, x_{s,i,j-1}, y_{s,i,j-1}, \theta_{s,i,j-1}$ - координати початкової та кінцевої точки,

$P_{f,i,j}, P_{s,i,j-1}$ - початкова та кінцева точки,

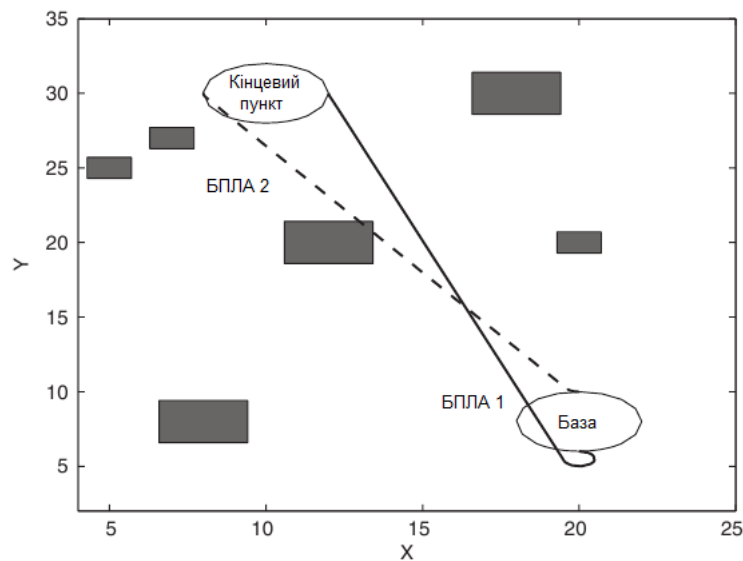
$r_{i,j-1}(q)$ - радіус кривизни руху,

$k_i(q)$ - кривизна руху,

\prod_{safe} - кодобуток складових безпеки руху,

\prod_{length} - кодобуток складових загального шляху слідування.

Прийmemo два БПЛА для реалізації алгоритму. Обидва БПЛА є однорідними за своїми фізичним можливостями, і, отже, вони обидва рухаються з тією ж швидкістю і мають обмеження кривизни.

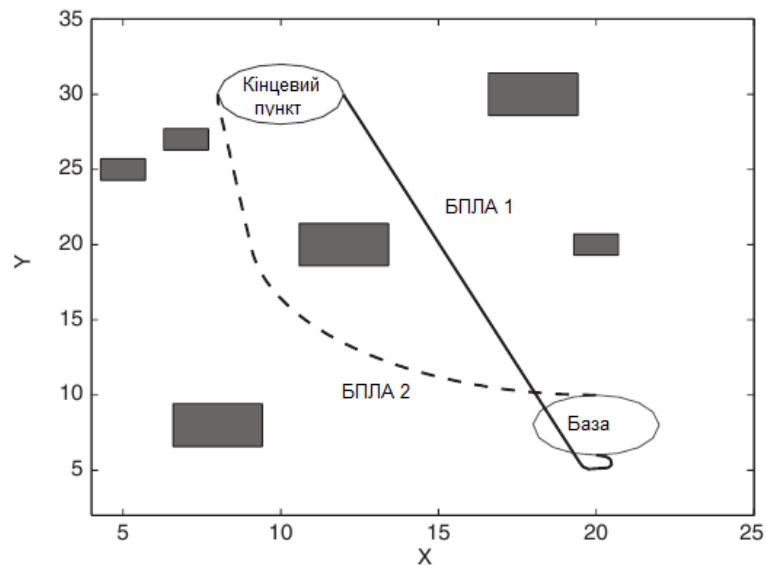


власна розробка автора на основі [7,8]

Рис. 3. Моделювання шляхів двох безпілотних літальних апаратів у навколишньому середовищі з перешкодами

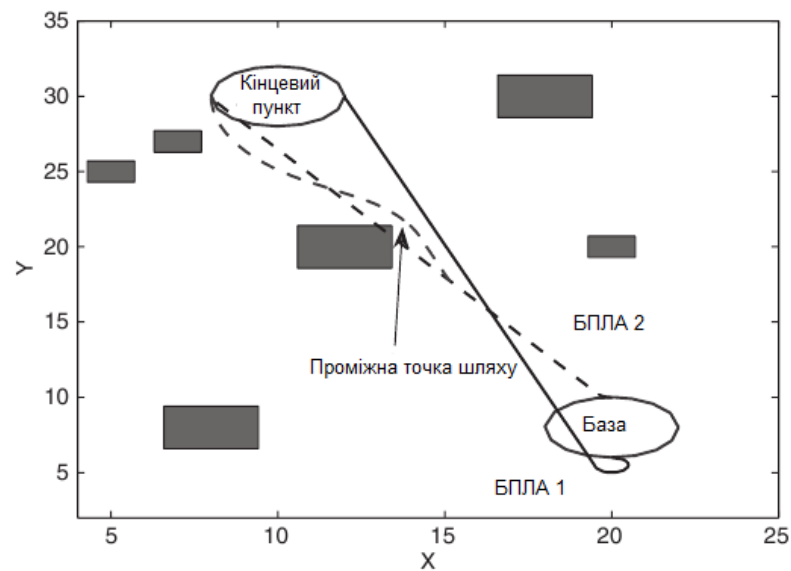
Рисунок 3 показує траєкторії двох безпілотних літальних апаратів у навколишньому середовищі з перешкодами. Шлях польоту другого БПЛА 2 перетинає перешкоду і шлях польоту першого БПЛА 1. Кривизна дуги шляху різноманітна щоб уникнути регіон загрози. Рисунок 4 показує, новий безпечний шлях після збільшення кривизни траєкторії БПЛА 2. Рисунок 5 показує рішення тієї ж задачі за допомогою проміжної точки.

Після того, як перешкоду перетину було виявлено, проміжні точки генерується.



власна розробка автора на основі [7,8]

Рис. 4. Перепланування шляху БПЛА 2 з регулюванням кривизни

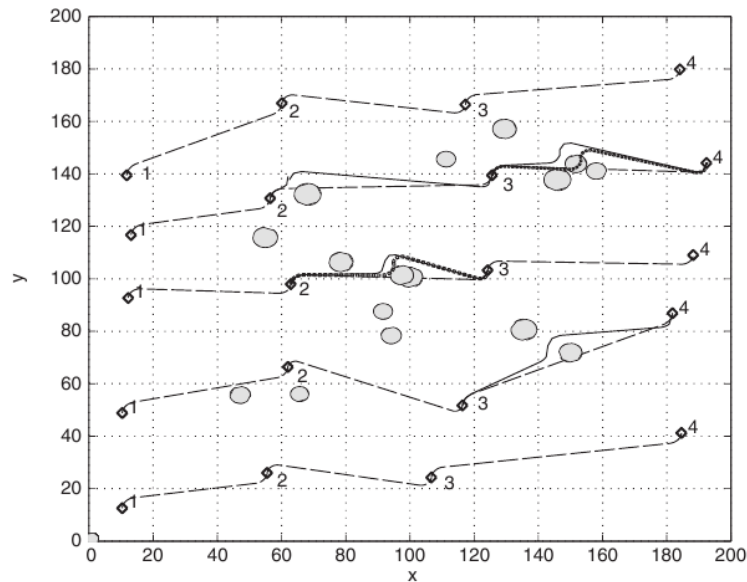


власна розробка автора на основі [7,8]

Рис. 5. Перепланування шляху БПЛА 2 за допомогою проміжної точки

Перешкоди перетину обробляються шляхом створення проміжних точок та / або пози. Перетин шляхів визначається інтерактивно для кротоїди дугових сегментів, а перетини ліній з еліпсів можуть бути виявлені за допомогою простої геометрії.

Проміжний шлях проводиться для кожного перехрестя в межах зони безпеки перешкоди. Після цього, шляхи переплановуються, щоб пройти через нові точки.



- - - Початковий шлях (так само, як кінцевий шлях, якщо ніяких змін)
 _____ Остаточний шлях після модифікації
 Шляхи, отримані в ході проміжних точок

Рис. 6. Результат моделювання: п'ять БПЛА кожен з чотирма точками у навколишньому середовищі з перешкодами

Інтелектуальне управління системою навігації БПЛА вимагає обов'язкової розробки динамічної бібліотеки законів управління для різних завдань і умов польоту. Досягнення цієї мети вимагає багаторазового виконання процедури синтезу закону керування.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У рамках роботи розкрито методика побудови інтелектуальної системи автоматичного управління системою навігації БПЛА. Наведена схема є вдосконаленою методикою побудови траєкторії польоту БПЛА в умовах перешкод. Система управління, що описана, може бути використана, у якості інтелектуальної системи стійкості БПЛА в умовах формування траєкторії польоту.

Алгоритм побудови інтелектуальної системи автоматичного управління системою навігації БПЛА є стійким до впливу зовнішніх та внутрішніх впливів.

Запропонована методика значно скорочує час проектування, та витрати на проектування. А результат моделювання є дієвим та безпомилковим.

Література:

1. Летунов Д. А. Оптимизация системы управления легкого беспилотного летательного аппарата по частотному критерию : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.05 / Д. А. Летунов. – Рыбинск, 2011. – 16 с.
2. Машнин М. Н. Информационно-измерительная и управляющая система малоразмерного беспилотного летательного аппарата повышенной точности : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.16 / М. Н. Машнин. – Тула, 2013. – 20 с.
3. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий. / под ред. М. Н. Красильщикова и Г. Г. Себрякова. М.: Физматлит. 2003. – С. 280.
4. Амелин К. С. Адаптивное управление автономной группой беспилотных летательных аппаратов. // Стахостическая оптимизация в информатике. СПб.: Изд-во С.-Петербур. Ун-та. 2009. – Вып. 5. – С. 157-166.
5. Колесов Ю. Б. Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем / Ю. Б. Колесов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. – 239 с.
6. Методы формирования и фокусировки электромагнитного излучения для воздействия на радиоэлектронные средства / М.Н. Ясечко, Дохов А.И., М.Г. Иванец, О.В. Тесленко / Под ред. М.Н. Ясечко. – Харьков: ХУПС, 2015. – 220 с.
7. Williams, P., and Crump, M., All-source navigation for enhancing UAV operations in GPS-denied environments. Proceedings of the 28th International Congress of the Aeronautical Sciences, Brisbane, September 2012.
8. Tang, D., Li, F., Shen, N., and Guo, S., UAV attitude and position estimation for vision-based landing. Proceedings of the 2011 International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology, August 2011. – pp.4446- 4450.

Стаття надійшла до редакції 04.12.2017