

АНАЛІЗ СПОСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ БПЛА

У статті розглянуто побудову систем автоматичного управління маршрутом польоту БПЛА в режимі автономного супроводження. Обґрунтовано можливість застосування інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень та елементів штучних нейронних мереж для збільшення часу польоту в автономному режимі. На основі проведеного систематичного аналізу та узагальнення наявного досвіду розроблено рекомендації щодо побудови комплексних автономних систем навігації в умовах відсутності сигналу глобальної супутникової системи навігації.

Радзівілов Г.Д., Фесенко О.Д. Анализ способов реализации автономных систем навигаций БПЛА. В статье рассмотрены построения систем автоматического управления маршрутом полета БПЛА в режиме автономного сопровождения. Обоснована возможность применения интеллектуальной системы поддержки принятия решений и искусственных нейронных сетей для увеличения времени полета в автономном режиме. На основе проведенного систематического анализа и обобщения имеющегося опыта разработаны рекомендации по построению комплексных автономных систем навигаций в условиях отсутствия сигнала глобальной спутниковой системы навигации.

G.Radzivilov, O. Fesenko Analysis of ways to implement autonomous UAV navigation systems. In the article the bases of construction of systems of automatic control of the UAV flight route in the mode of autonomous support are considered. The possibility of applying the intellectual decision-making system is substantiated of decision making support and artificial neural networks for the increase of flight time in the autonomous mode is substantiated. On the basis of systematic analysis and generalization of existing experience, recommendations for the construction of complex autonomous navigation systems in the absence of the signal of the global satellite navigation system have been developed

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, навігаційні системи, системи автоматичного контролю польоту, нейронні мережі.

Постановка завдання. Як відомо, для точного позиціонування безпілотного літального апарату (БПЛА) в просторі, присутність сигналів глобальної супутникової системи навігації (ГССН) є необхідною умовою виконання поставлених завдань. Відсутність або навмисне придушення сигналів ГССН призводить до ускладнення точного визначення власних координат літального апарату (ЛА) і як наслідок виконати політ по заданому маршруту. Одним із важливих завдань, що ставиться при розробці систем управління безпілотним літальним апаратом, є забезпечення автономного польоту. Незважаючи на великий діапазон існуючих методів реалізації систем навігації БПЛА [1], до теперішнього часу залишається актуальним завданням. На сьогодні однією з найбільш важливим завданням щодо використання в різних сферах діяльності БПЛА є виконання всієї програми польоту, в незалежності від різних випадкових факторів [2], що виникають в польоті. Завдання автоматичного управління польотом БПЛА невід’ємно взаємопов’язані з проблемою вирішення завдань розробки автономних систем навігації.

Основним завданням при розробці систем управління БПЛА є збільшення часу автономного польоту в умовах відсутності сигналу глобальної супутникової системи навігації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання побудови автономної системи навігації БПЛА розглядало чимало вчених.

Так, Ленер Р. та ін. [3] розглянули можливість синтезу систем автономної навігації на основі оптико - електронних датчиків, було розроблено дієвий алгоритм у вигляді пакету прикладних програм для обробки вхідних відео даних, даних рельєфу місцевості з метою відновлення траєкторії польоту БПЛА.

Логачев В.Г. [4] запропонував метод позиціонування БПЛА в автономному режимі польоту по заданій траєкторії під час відсутності ГССН. Суть методу полягає у використанні даних датчиків лазерного сканування, бортової фото камери в синтезі з інерціальними датчиками орієнтації, що в свою чергу надає можливість БПЛА збільшити час польоту в автономному режимі. В роботі [5] авторами була розроблена методика і технологія

забезпечення автономної відео навігації БПЛА на базі рекурсивної нейронної мережі, що не вимагає використання вразливих супутникових глобальних навігаційних систем.

Для збільшення часу в автономному режимі польоту БПЛА в роботі [6] представлений алгоритм підвищення швидкості обробки даних інерціальної системи навігації на основі Калмановської фільтрації. Розглянуто структурну схему алгоритму Калмановської фільтрації навігаційних даних і комп'ютерний аналіз ефективності даного алгоритму. В роботі [7] було запропоновано структуру оптичної системи навігації БПЛА та алгоритм співставлення зображень. Запропонована система дозволяє частково вирішити проблеми орієнтації БПЛА в період відсутності ГССН.

Метою роботи є узагальнення основних сучасних способів побудови систем управління маршрутом польоту БПЛА в автономному режимі без урахування ГССН та розроблення рекомендацій щодо побудови комплексних автономних систем навігацій.

Виклад основного матеріалу. При розробці системи управління маршрутом польоту БПЛА в автономному режимі розглядається існуючі способи автономних навігаційних систем.

Стаття складається з трьох розділів в яких розкривається принцип роботи основних способів автономної навігації БПЛА, побудова комплексних систем навігації на основі інерціальних датчиків, оптико – електронних приладів та варіації впровадження елементів штучного інтелекту з метою управління навігаційною системою БПЛА.

1. Основні способи автономної навігаційної системи БПЛА.

На сьогодні до основних способів автономних навігаційних систем, що можуть забезпечити автономний режим польоту БПЛА в момент відсутності ГССН можна віднести наступні системи :

Оптико – електронна навігація. При використанні способу на основі оптико – електронної навігації [8] відбувається обробка візуальних даних цифрових знімків місцевості, що дозволяє визначити координати місця розташування і орієнтацію шляхом порівняння потокової видової інформації (зображення, відеоматеріали, образи об'єктів). Цей спосіб навігації забезпечує високу точність визначення абсолютних координат, що досягається шляхом сканування всієї бази даних зі знімками місцевості і порівняння їх з поточним зображенням.

Отримання сигналів управління для навігації, орієнтації в просторі БПЛА полягає в скануванні навколишнього простору і зіставленні поточних і еталонних зображень з локалізацією контурних точок заданих об'єктів.

Відео навігація. Суть відео навігації [9] полягає в обчисленні пройденого шляху на основі аналізу відео даних, що надходить з бортової відео камери спостереження на основі цільових точок місцевості. У кожному кадрі автоматично знаходяться десятки характерних точок. Аналіз їх переміщення від кадру до кадру дає інформацію про рух об'єкта. Більша кількість таких точок гарантує точність визначення переміщення, курсу і кутів орієнтації БПЛА. Основним обмеженням застосування відео навігації в якості основної навігаційної системи для забезпечення автономного режиму польоту БПЛА без використання ГССН, полягає в складності обробки відео даних над однорідною поверхнею без характерних особливих точок, недостатньою освітленістю, несприятливі погодні умови, що призводить до неможливості знайти відповідні пари точок на знімках і як наслідок існує загроза втрати БПЛА.

Навігація на основі лазерного сканування. Використання цифрових даних рельєфу місцевості дозволяє частково компенсувати недоліки способу відео навігації. Використовуючи зіставлення з цифровою моделлю рельєфу місцевості дозволяє визначити місце розташування літального апарату в просторі.

На відміну від способу відео навігації при використанні датчика лазерного висотоміра можливе визначення місця розташування за відсутності денного освітлення, однак цей спосіб

навігації не працює над водною або піщаною поверхнею і дає суттєву помилку під час відсутності явно вираженого рельєфу.

Важливо зазначити, що розробка математичних основ всіх зазначених способів вже проведена, і їх реалізація математично обґрунтована і доведена. Про це свідчать і посилання наукової літератури [9, 10].

Попередні оцінки та комп'ютерне моделювання показують, що застосування наявних способів автономної навігації а саме: відео навігації, оптико-електронно навігації, навігація на основі лазерного сканування не в змозі забезпечити точне визначення координати БПЛА в повному автономному режимі польоту з наступних причин:

– складність обробки відео даних над однорідною поверхнею без характерних особливих точок;

– низька освітленість;

– несприятливі метео умови (туман, тощо);

– однорідність рельєфу місцевості.

Враховуючі пред'явлені обмеження, які накладаються на навігаційні системи, для вирішення завдання щодо побудови системи автоматичного управління БПЛА в автономному режимі польоту пропонується розглянути можливість комплексного використання вище зазначених способів автономної навігації в синтезі з інерціальними навігаційними датчиками та елементів штучного інтелекту.

2. Комплексування автономних систем навігації БПЛА на основі МЕМС інерціальних датчиків.

При побудові автономної системи навігації БПЛА важливою задачею є забезпечення польоту за умов зовнішніх збурень та похибок вхідних даних і здатність літального апарату реалізувати автономний режим польоту.

Для вирішення цієї задачі застосовується комплексна навігаційна система в складі якої входить безплатформна інерціальна система навігації (БІНС) на основі мікроелектромеханічної системи (МЕМС) [11]. Головною перевагою зазначеної системи є її абсолютна автономність, тобто вона не вимагає наявності будь-яких зовнішніх орієнтирів або допоміжних систем глобальної супутникової навігації у випадку втрати зв'язку.

Принцип дії заснований на визначення прискорення кутових швидкостей об'єкта за допомогою датчиків (акселерометра, гіроскопа, магнітометра). За цими даними визначається характер руху, а також швидкість і пройдений шлях БПЛА.

Крім автономності перевага такої системи є безперервна динамічна видача показників: координати, швидкість, прискорення, кутова орієнтація [12].

Видача інформації може здійснюватися з високою частотою, незалежно від зовнішніх джерел інформації. На рис.4. представлена загальна схема БІНС яка складається з наступних блоків, блок – 1 складається з чутливих елементів (акселерометр, гіроскоп) видає інформацію про вектор порізного прискорення $AXYZ$ в проекціях на осі пов'язаної з об'єктом системи координат XYZ , а також про вектор кутової швидкості θXYZ в проекціях на осі тієї ж системи координат. У обчислювачі 2 відбувається перетворення проекцій прискорення з пов'язаної системи в навігаційну (наприклад, географічну супроводжуючу).

Для цього за даними про кутову швидкість (або іншої інформації) визначаються напрямні косинуси між осями зазначених систем координат, також обчислює кути положення об'єкта: курс γ , крен ψ , тангаж θ . Сенсори БПЛА мають забезпечувати адекватну точність пілотування, надавати достовірну інформацію, про положення БПЛА у просторі, рух та стан роботи апарату. Тому крім керування траєкторію польоту система здійснює керування кутовим положенням БПЛА та кутову стабілізацію і забезпечую високу точність підтримки висоти [13].

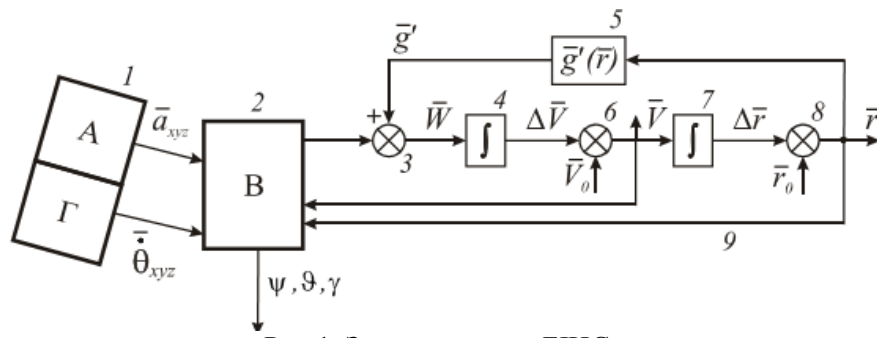


Рис. 1. Загальна схема БНС

де \bar{W} – вектор порізного прискорення і абсолютної кутової швидкості; \bar{V} – вектор абсолютної швидкості ЛА; \bar{g} – вектор гравітаційного прискорення; $\bar{g}(\bar{r})$ – математична модель гравітаційного прискорення; \bar{r} – геоцентричний вектор позиціонування ЛА

Об'єднання систем орієнтації і навігації (комплексування) на рівні окремих датчиків дозволяє у значній мірі підвищити точність визначення параметрів орієнтації БПЛА. На рис. 2 показана схема комплексування модуль інерціальних датчиків (МІД), магнітометрів, датчик барометра.



Рис. 2. Схема комплексування систем орієнтації і навігації БПЛА

Як показано на схемі магнітометр видає показання по кожній з трьох координат, датчик барометра визначає кути тангажа, а модуль інерціальних датчиків передає географічні координати θ і λ , кут рискання ψ , а також кути магнітного схилу і нахилу. Ці данні є вхідним сигналом блоку розрахунку, що обчислює кут курсу, а фільтр Маджвіка [13] займається обробкою масивів даних, що надходять з інерціальних датчиків, мінімізує час обробки даних навігаційних параметрів за рахунок компенсації магнітних спотворень та дрейфу нуля гіроскопа, що характерно впливає на точність і швидкість визначення орієнтації БПЛА в автономному режимі польоту. Для підвищення точності обробки навігаційних параметрів разом з фільтрацією Маджвіка є можливість використовувати алгоритми нейронних мереж.

3. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень системи навігації БПЛА

Основна задача автономної навігації БПЛА на базі інтелектуальної системи прийняття рішень, полягає у пошуку маршруту до цільової точки. Система складає маршрут на основі закладеної карти та корегує у відповідності до змін у зовнішньому середовищі, що мають бути зафіксовані та розпізнані датчиками навігаційної системи, а саме: лазерними висотомірами, інфрачервоні датчики, оптико – електронні прилади, інерціальні датчики, рис.3.

Таким чином, можна говорити про адаптацію інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень, що визначається як міра здатності БПЛА до прийняття рішень, яка базуються на аналізі зовнішніх факторів та системи цілей. Тому для розробки такої системи доцільно використовувати математичний апарат, що використовується при побудові нейронних мереж [5].

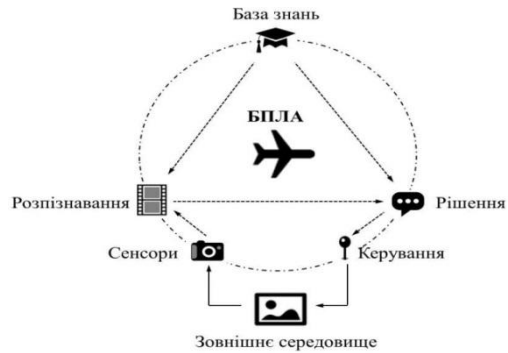


Рис. 3. Функціональні елементи системи підтримки прийняття рішень БПЛА

Інформацію, яка потрапляє на вхід інтелектуальної системи можна розділити на апіорну та апостеріорну.

На основі апіорної інформації будуються еталонні зображення: карти місцевості, об'єкти, що підлягають аналізу, їх характеристики, прогнозовану кількість та взаємне розташування.

Апостеріорною називають інформацію, що можна отримати безпосередньо у процесі польоту БПЛА: поточне зображення з оптико – електронних приладів, показання магнітометрів і інерціальних датчиків та ін., включаючи похибки даних приладів. Зіставляючи данні система враховує апіорну невизначеність в інформації про об'єкти розпізнавання і цифрову карту та наявність спотворень поточного зображення, що пов'язана за зміною рівня яскравості, масштабу та повороту зображення, таким чином БПЛА приймає рішення, щодо подальшого руху.

Підготовку до роботи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень можна розділити на наступні етапи:

- побудова цифрової моделі місцевості, у вигляді тривимірної геометричної моделі яка формується на основі аерофотознімків;

- визначення основних характеристик сенсорів БПЛА, їх діапазонів, чутливості та роздільної здатності;

- отримання координат точки візування поточного зображення.

Таким чином, послідовно будується модель карти та об'єктів у відповідності до заданих координат, формується опис, що містить інформацію про координати та форму об'єктів.

В результаті еталонне зображення містить опис еталонних елементів у прямолінійних відрізках їх контурів, а також еталонних фрагментів та еталонних груп, включаючи данні про взаємне положення та можливі відхилення від заданих значень [14]. При переведенні у форму математичної моделі даний підхід може бути формалізованим як:

$$\left\{ \rho = \left(\sum_i w_i (F_i - G_i)^\alpha \right)^{1/\alpha} \right. \quad (1)$$

$$\alpha \in (1, \infty)$$

де ρ – коефіцієнт, що визначає розходження між еталонним та отриманим параметром, i – номер параметру, w_i – ваговий коефіцієнт, F_i , G_i та α – параметри системи. Такий підхід можна розглядати як варіант штучної нейронної мережі.

Алгоритм роботи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень БПЛА схематично представлено на рис. 4. Робота системи починається з визначення за допомогою комплексної навігаційної системи, кутів орієнтації кутових швидкостей лінії візування у вертикальній і горизонтальній площині та відстані до цілі.

У точку, координати якої отримали у результаті розрахунку, переноситься зображення об'єкта, а вихідні данні обробляється у форматі реального часу.

Система здійснює зіставлення вихідних зображень за параметрами, що включені у опис, в результаті вирішується завдання виявлення, розпізнавання точок місцевості. Далі неймережа вносить корегування у план польоту БПЛА, що враховується при формуванні сигналу керування, БПЛА переходить у режим автосупроводження.

У разі переходу БПЛА в повний автономний режим польоту при допущенні, що система відео навігації в період несприятливих погодних умов чи рівномірності рельєфу місцевості, не в змозі обробляти данні що надходять з оптико - електронних датчиків, в цьому випадку керуючі сигнали формуються знову при цьому враховуються оцінка вихідних навігаційних параметрів, отриманих у блоці фільтрації (фільтр Маджвіка) інерціальних датчиків, це надає можливість БПЛА продовжувати рух в автономному режимі польоту по заданому маршруту на тривалий проміжок часу.



Рис. 4. Система інтелектуальної підтримки прийняття рішень БПЛА

Впровадження запропонованої варіації інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень дозволить підвищити ефективність виконання завдань, в умовах відсутності ГССН на яких спеціалізується безпілотна авіація.

Висновки: Таким чином, в роботі були розглянуті основні способи систем автономної навігації для управління маршрутом польоту БПЛА в режимі автономного супроводження. Обґрунтовано можливість застосування системи підтримки прийняття рішень.

А також було показано, можливість реалізації та переваги комплексування навігаційних систем на рівні окремих датчиків, для збільшення часу польоту в автономному режимі польоту БПЛА на значний проміжок часу, без допоміжних глобальних систем позиціонування.

В подальших дослідженнях, що до побудови автономної навігації БПЛА для підвищення точності обробки навігаційних даних ЛА під час відсутності ГССН, є можливість використання адаптивних властивостей неймереж на основі алгебри кватерніонів [15], а саме здатність неймережі апроксимувати, а потім екстраполювати вхідні сигнали навігації досить складної форми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аменитский М. В. Анализ потенциальных угроз системы управления беспилотных летательных аппаратов средних и тяжелых классов / М. В. Аменитский. // Московский научно-исследовательский радиотехнический институт. – 2016. – №6. – С. 45 – 46.
2. Cobano J. N. Efficient local path planning for UAVs in unknown environments / J. N. Cobano, A. S. Ollero, L. P. Rodriguez. // XV workshop of physical agents. – 2016. – №1. – С. 125 – 134.
3. Laner R. Direct Method for Video Based Navigation Using a Digital Terrain Map / R. Laner, E. Rivlin. // Trans Pattern Anal Mach Intell. – 2015. – №5. – С. 67 – 78.
4. Логачев В.Г., Минин И.В. Метод стабилизации положения и управления БПЛА в пространстве с использованием данных инерциальных и визуальных сенсоров // научный журнал Фундаментальные исследования – 2015. – №11 – С. 85 – 91.
5. Интеллектуальная система поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами на наземном пункте управления / Н. А. Королук, С. Н. Еременко // Системи обробки інформації. К – 2015. – № 8. – С. 31 – 36.
6. Буянов И. А., Исламов В. К. Автономная система ориентирования беспилотного летательного аппарата: состав и схема функционирования в формате 3D // Молодой ученый. – 2017. – № 50. – С. 24 – 30.
7. Щипицын, А.Г. Математическое и алгоритмическое обеспечение синтеза автономных инерциальных навигационных систем / А.Г. Щипицын, Л.Н. Шалимов, Л.А. Фокин. – Челябинск. – ЮурГУ, 2008. – 149 с
8. Дичко В. М. Оптическая навигационная система БПЛА: сравнительный анализ алгоритмов нахождения ключевых точек / В. М. Дичко, С. В. Ляхевич. // Международный научный журнал Технические науки. М – 2016. – №6. – С. 63 – 88.
9. Скидан Д. Е. Системы видеосопровождения для беспилотного летательного аппарата // Молодой ученый. – 2015. – №22. – С. 187 – 191.
10. Saripalli S. Vision-Aided Inertial Navigation for Flight Control / S. Saripalli, J. Montgomery. // AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit. – 2010. – №43. – С. 160 – 183.
11. С.П.Тимошенко Применение МЭМС-сенсоров в системах навигации и ориентации подвижных объектов Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва, Россия
12. Лоскутников А. А. Системы автоматического управления БПЛА / А. А. Лоскутников, Н. С. Сенюшкин, В. В. Парамонов. // Молодой ученый. – 2012. – №9. – С. 56 – 58.
13. Madgwick S. An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays / Madgwick. // University of Bristol. – 2015. – №7. – С. 60 – 95.
14. Адаптивний метод руху безпілотних літальних апаратів у маловідомому просторі / В. В. Стасюк // Науковий вісник НЛТУ України. - 2013. - Вип. 23.17. - С. 146-150.
15. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии / Б. С.Алёшин, А. А. Афонин, К. К. Веремеенко, А. И. Черноморский. – Москва, 2010. – 424 с. – (ФИЗМАЛИТ).