

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2025.01.107

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У НАВІГАЦІЇ ДРОНІВ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ, ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Підкоритов В.О.,¹Купін А.І.²

¹ТОВ “Сімкорп”,¹магістр, Україна

²Криворізький національний університет, д.т.н., професор, Україна

Анотація. У даній доповіді розглядаються сучасні підходи до використання алгоритмів штучного інтелекту (ШІ) у навігації безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Додаткову увагу приділено огляду основних елементів створення інтелектуальної системи автономної навігації дрону: сучасним технологіям, що застосовуються в цій галузі, оптимізації маршрутів, видаленню шумів з даних, ухваленню рішень у реальному часі та покращенню сприйняття навколишнього середовища інтелектуальною системою. Зокрема, розглядається застосування методів машинного навчання, нейронних мереж, комп'ютерного зору, пропорційно-інтегрально-диференціальних регуляторів та фільтра Калмана. Також окреслено ключові виклики, що постають перед БПЛА під час польотів, таких як втрату зв'язку з оператором, змінні умови навколишнього середовища, перешкоди та складність виявлення і супроводу малопомітних або рухомих цілей.

Ключові слова: автоматизація, дрон, нейронна мережа, комп'ютерний зір, машинне навчання, ПІД - регулятор, фільтр Калмана, штучний інтелект.

У наш час безпілотні літальні апарати набули широкого застосування у різних сферах, включаючи логістику, рятувальні операції, сільське господарство та військову справу. Одним із ключових викликів їх використання є забезпечення автономної навігації та можливість ухвалення рішень у змінних умовах. Використання штучного інтелекту дозволяє значно покращити ефективність і точність управління дронами, що є критично важливим для їхнього функціонування.

Штучний інтелект (ШІ) включає в себе різні методи машинного навчання, які дозволяють обробляти велику кількість даних та адаптувати поведінку дронів відповідно до змін навколишнього середовища. Крім того, розвиток сенсорних технологій та комп'ютерного зору дозволяє покращити здатність безпілотних апаратів до ухвалення автономних рішень. З огляду на це, питання

інтеграції штучного інтелекту в навігаційні системи дронів є актуальним і потребує детального розгляду.

FPV дрон — це безпілотний літальний апарат (БПЛА) з камерою, яка бездротовим способом передає відео на окуляри, гарнітуру, мобільний пристрій або інший дисплей [1]. Користувач має змогу бачити від першої особи навколишнє середовище, де літає дрон, а також може знімати відео або фотографії.

Основними викликами використання FPV дронів є:

- втрата зв'язку між дроном та оператором, що може призвести до неможливості керування або аварійної посадки;
- змінні умови навколишнього середовища (освітлення, погодні умови, перешкоди), які ускладнюють орієнтацію та навігацію;
- складність виявлення і супроводу малопомітних або динамічно рухомих цілей, що вимагає високої точності сенсорів та адаптивних алгоритмів обробки даних.

Проблему втрати зв'язку можна виправити за допомогою використання дронів на оптоволокну. Дві інші вищезазначені проблеми можна вирішити за допомогою створення інтелектуальної системи навігації.

Інтелектуальна система автономної навігації — це складна система, яка дозволяє об'єктам (наприклад, БПЛА, роботам, автомобілям або іншим автономним транспортним засобам) виконувати навігацію без безпосереднього втручання людини. Вона включає в себе набір технологій і алгоритмів, що дозволяють цьому об'єкту ефективно орієнтуватися в просторі, взаємодіяти з навколишнім середовищем та ухвалювати рішення на основі аналізу даних. Нижче наведений перелік компонентів, які можуть бути використані для створення такої системи:

- програмуємий дрон або мікрокомп'ютер, який може бути інтегрований в БПЛА;
- машинне навчання;
- система комп'ютерного зору;
- фільтр Калмана;
- нейронні мережі;

-програмуємий логічний контролер (типу нейро/ПІД – або інший регулятор).

Методи машинного навчання дозволяють дронам аналізувати навколишнє середовище та ухвалювати рішення на основі отриманих даних. Зокрема, алгоритми підкріпленого навчання використовуються для оптимізації маршрутів польоту, а глибоке навчання — для обробки відеопотоків із камер БПЛА.

Застосування нейронних мереж у навігації дозволяє дронам розпізнавати об'єкти, визначати перешкоди та ухвалювати оптимальні рішення для їхнього уникнення. Наприклад, згорткові нейронні мережі (CNN) можуть аналізувати зображення з камер та розпізнавати інфраструктурні об'єкти або природні перешкоди.

Використання глибокого навчання у навігації дронів дозволяє підвищити точність ухвалення рішень навіть у складних умовах. Наприклад, нейромережі можуть навчатися на великій кількості даних, що дозволяє їм адаптуватися до різних сценаріїв польоту. Це особливо корисно при виконанні складних місій, таких як рятувальні операції, дослідження важкодоступних територій або військові завдання.

Комп'ютерний зір є однією з ключових технологій автономної навігації. Дрони можуть використовувати камери та сенсори для аналізу навколишнього середовища, розпізнавання перешкод та ухвалення рішень щодо траєкторії польоту. Сучасні нейронні мережі дозволяють здійснювати точну ідентифікацію об'єктів і визначати безпечні маршрути у складних умовах.

Алгоритм фільтра Калмана [2] є потужним інструментом для оцінки та прогнозування станів системи за наявності невизначеності. Цей засіб досить широко використовується як фундаментальний компонент у таких програмах, як відстеження цілей, навігація та керування, фільтрація тощо. Головна мета підхід — об'єднати інформацію з різних джерел (наприклад, датчиків), щоб отримати більш точну оцінку положення, швидкості або інших параметрів.

ПІД-регулятори являють собою складний механізм зворотного зв'язку, важливий для керування динамічними системами [3]. За своєю суттю такі

регулятори працюють за допомогою трьох основних елементів: пропорційний (П), інтегральний (І) і диференційний (Д). Кожна складова унікальним способом модулює вихідний сигнал на основі різниці між бажаним заданим значенням і фактичним вимірним значенням, відомим як похибка.

ПІД-регулятор безперервно обчислює сигнал помилки як різницю між бажаним цільовим значенням і поточною змінною процесу (вимірним значенням). На основі цього сигналу помилки контролер регулює вхідний сигнал керування системою так, щоб мінімізувати помилку та підтримувати змінну процесу близько до заданого значення.

Нейронні мережі, можуть бути використані для передбачення майбутніх значень помилки або відхилень, що дозволяє ПІД-регулятору не лише реагувати на поточну помилку, але й враховувати майбутні зміни. Наприклад, замість того, щоб просто коригувати помилку в реальному часі, система може передбачити, як ця помилка буде змінюватися на основі минулих даних. Отже, підготувати регулятор до коригування параметрів заздалегідь.

Нейронні мережі можуть використовуватися для автоматичного налаштування параметрів ПІД-регулятора в реальному часі, що дозволяє покращити його ефективність при змінних умовах:

- під час зміни зовнішніх факторів, таких як швидкість вітру або зміни температури, ПІД-регулятор може недостатньо ефективно автоматизувати процес без допомоги адаптації;

- нейронні мережі можуть навчатися на історичних даних та коригувати параметри K_p , K_i , K_d таким чином, щоб забезпечити оптимальну продуктивність;

- покращення стійкості системи: Нейронні мережі можуть бути навчені на даних про стрибки або зміни в зовнішніх умовах, що дозволяє більш точно передбачити та регулювати реакцію системи.

Існують різні методи створення ПІД регулятора з нейронною мережею (ПІДНМ). Наприклад:

- нейронна мережа з П-, І-, Д- нейронами;
- підсилення ПІД - регулятора нейронною мережею.

Перший варіант є більш складним для реалізації, так як вимагає створення пропорційного, інтегрального, диференціального типу нейронів.

Далі на їх базі відбувається створення тришарової нейронної мережі [4]. Схема такої штучної нейронної мережі представлена на рис. 1.

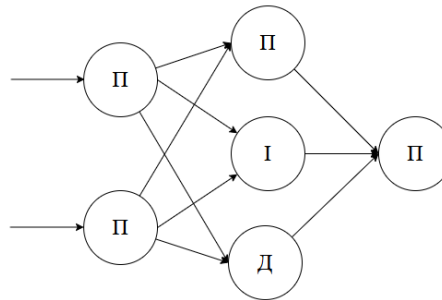


Рисунок 1 - Схема ШНМ з ПІД нейронами [4]

Другий варіант більш простий в реалізації, так як являє собою класичний ПІД – регулятор. Його вихід є входом в нейронну мережу, яка в свою чергу прогнозує майбутнє значенні ПІД - регулятора. Схема представлена на рис. 2.



Рисунок 2 - Схема ПІД регулятора з підсиленням ШНМ

Алгоритм реалізації системи розпізнавання та захвату цілі, а також керування рухом дрону за ціллю показано на рис. 3.

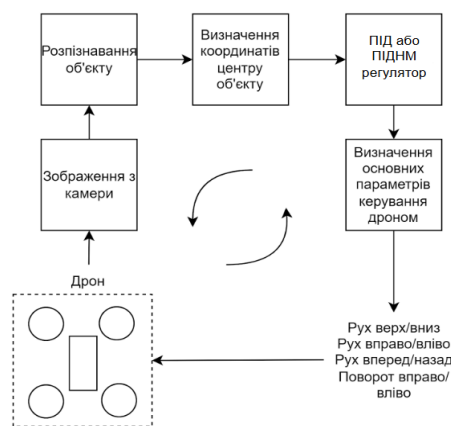


Рисунок 3 - Алгоритм реалізації машинного зору системи

За допомогою вбудованої камери робиться захват відео, кожен кадр якого необхідно обробити алгоритмом розпізнавання образів відповідно до задачі, що вирішується. Одним із потужних сучасних інструментів розпізнавання є бібліотека MediaPipe Solutions від Google. За допомогою неї можна розпізнати

об'єкт і визначити його координати на зображенні. Шкала координат визначається кількістю пікселів зображення по горизонталі і вертикалі.

Наступним етапом є робота ПІД- або ПІДНМ - регулятора. Початкові коефіцієнти регулятора можна визначити за допомогою, наприклад, методу Циглера-Нікольса. Для визначення помилки обчислюються різниці між центром зображення і поточними координатами цілі. Далі отримані величини передаються дрону як команди повороту дрону вправо або вліво і його рух вгору - вниз.

Висновки. Отже, застосування систем інтелектуального управління та нейрокерування в дронах є важливим кроком у вирішенні актуальних проблем їх використання. Ці технології дозволяють значно покращити ефективність керування дронами у специфічних сферах застосування, забезпечуючи більш точну та стабільну роботу в умовах активних завад, протидії, нечіткої та/або неповної інформації. Отримані результати можуть використовуватися для реалізації систем автоматичної навігації БПЛА для яких є важливим швидкість прийняття рішень та висока ймовірність виконання завдання в автоматичному режимі в складних умовах. Подібна система може допомогти виключити оператора з процесу управління і налаштування і дрона.

ЛІТЕРАТУРА

1. FPV. techtarget.com. URL: <https://www.techtargеt.com/whatis/definition/FPV-drone-first-person-view-drone> (дата звернення: 05.04.2025).
2. Фільтр Калмана. URL: <https://www.kalmanfilter.net/default.aspx> (дата звернення: 05.04.2025).
3. ПІД-регулятор. URL: <https://dewesoft.com/blog/what-is-pid-controller> (дата звернення: 05.04.2025).
4. PIDNN. URL: <https://molefrog.com/etc/pid-neural-network/#d-neuron> (дата звернення: 05.04.2025).

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DRONE NAVIGATION: APPROACHES, CHALLENGES AND PROSPECTS

Pidkorytov Volodymyr, Kupin Andrew

Abstract. *The article reviews modern approaches to the use of artificial intelligence (AI) in the navigation of unmanned aerial vehicles (UAVs), such as machine learning and computer vision, neural networks, PID controllers, Kalman filter and other technologies*

used for autonomous control of drones. Additional attention is paid to an overview of the main elements of creating an intelligent autonomous drone navigation system, modern technologies used in this area, route optimization, data denoising, real-time decision-making and improving the perception of the environment by an intelligent system. Key challenges are also outlined, including loss of communication with the operator, changing environmental conditions and the complexity of tracking low-visibility moving targets.

Keywords: *artificial intelligence, automation, computer vision, drone, Kalman filter, machine learning, neural network, PID controller.*

REFERENCE

1. FPV. techtarget.com. URL: <https://www.techtargget.com/whatis/definition/FPV-drone-first-person-view-drone>
2. Kalman filter. URL: <https://www.kalmanfilter.net/default.aspx>
3. PID controller. URL: <https://dewesoft.com/blog/what-is-pid-controller>
4. PIDNN. URL: <https://molefrog.com/etc/pid-neural-network/#d-neuron>