

УДК 004.896 + 07.52

*А.М. Запорожець, студент гр. ПМ-51, к.т.н., доц. Галаган Р.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

АЛГОРИТМИ ВЗАЄМОДІЇ ТА СИМУЛЯЦІЯ АВТОНОМНИХ РОЇВ БПЛА

Анотація. У тезах досліджено актуальні аспекти функціонування та застосування роїв безпілотних літальних апаратів. Розглянуто базові принципи взаємодії дронів у групі, механізми децентралізованого управління та координації під час виконання спільних завдань. Практична частина роботи базується на проведенні комп'ютерної симуляції, яка дозволяє наочно дослідити поведінку рою.

Ключові слова: рій дронів, БПЛА, симуляція, децентралізоване управління, координація, автономні системи, алгоритми самоорганізації, ройовий інтелект.

ВСТУП

Останніми роками стрімкий розвиток робототехніки, штучного інтелекту та систем зв'язку призвів до появи нових підходів у використанні безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Одним із найперспективніших напрямків сучасної інженерії є концепція "роїв дронів" (drone swarms) – систем, що складаються з великої кількості автономних апаратів, здатних до самоорганізації, координації та виконання спільних завдань (рис. 1). Натхненні природними явищами, такими як поведінка комах або зграй птахів, ройові системи демонструють значні переваги над одиничними БПЛА, зокрема високу гнучкість, масштабованість та стійкість до відмов окремих елементів системи.

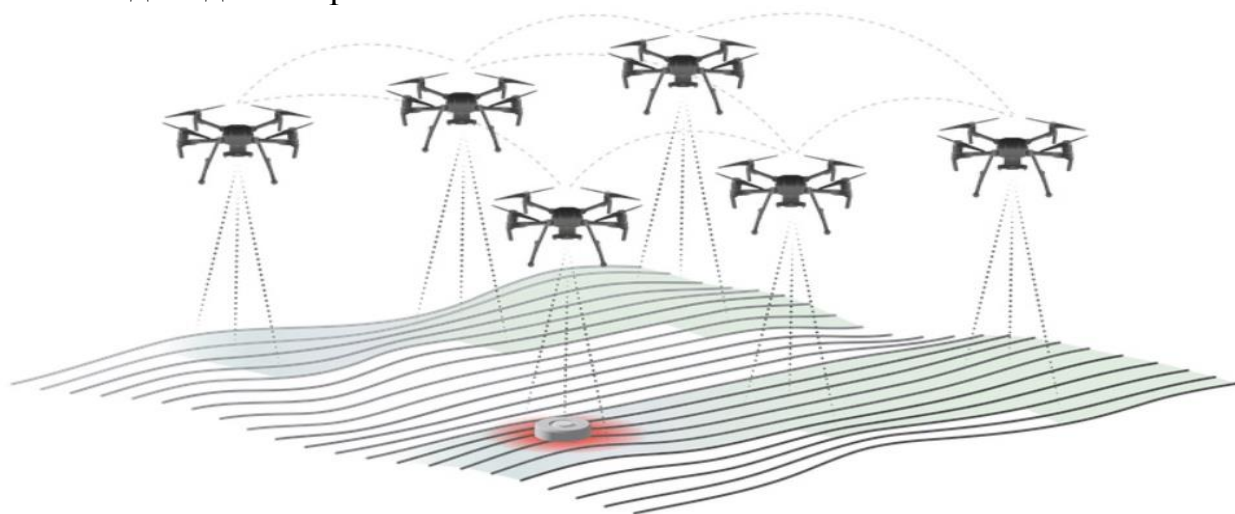


Рис. 1. Рої дронів

СПОСОБИ УПРАВЛІННЯ

Рої дронів інтегрують передові комп'ютерні алгоритми з локальними технологіями зв'язку для синхронізації кількох дронів. Рої дронів можуть використовувати різні методи управління та контролю (рис. 2):

- попередньо запрограмовані місії з певними заздалегідь визначеними траєкторіями польоту;
- централізоване управління наземною станцією або одним керуючим дроном;
- розподілене управління, де дрони спілкуються та співпрацюють на основі спільної інформації [2].

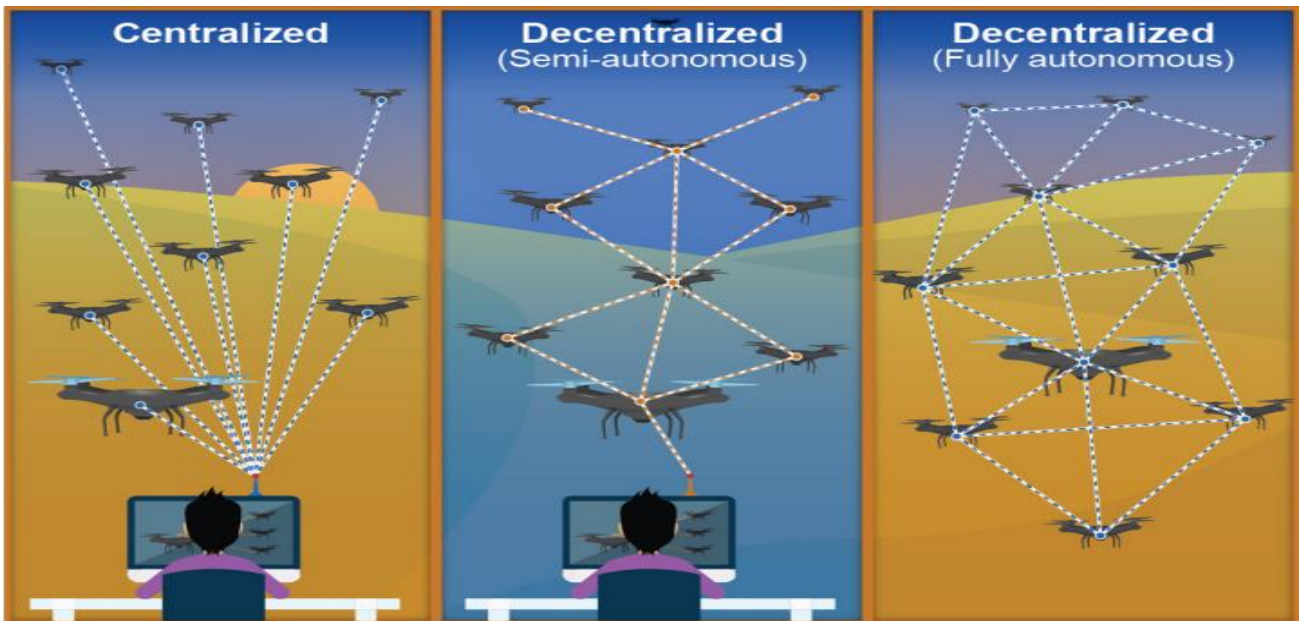


Рис. 2. Способи управління дронами

Більш просунуті методи управління включають ройовий інтелект, а також методи штучного інтелекту для навчання роїв дронів реагувати на нові або неочікувані ситуації [2].

ТЕХНОЛОГІЇ, ЩО ЛЕЖАТЬ В ОСНОВІ РОЇВ ДРОНІВ

Технології, що лежать в основі роїв дронів, охоплюють різноманітний спектр апаратних та програмних систем, які підтримують гармонійну роботу різних типів БПЛА.

1. **Системи зв'язку.** Рої дронів покладаються на надійні системи зв'язку для обміну даними та командами між окремими дронами. Цей зв'язок може відбуватися різними способами, включаючи радіочастоти, Wi-Fi або інші бездротові протоколи.

2. **GPS та навігація.** Кожен дрон у рої використовує GPS або аналогічні системи супутникової навігації для визначення свого точного місцезнаходження та висоти.

3. **Датчики.** Дрони оснащені низкою датчиків, включаючи акселерометри, гіроскопи, магнітометри та датчики виявлення перешкод (наприклад, LiDAR або ультразвукові датчики). Ці датчики надають дані про орієнтацію, швидкість дрона та навколишнє середовище, що забезпечує безпечну та точну навігацію.

4. **Бортові комп'ютери.** Потужні комп'ютери, що є найсучаснішою розробкою технології рою дронів, обробляють дані з різних датчиків та виконують алгоритми, що контролюють траєкторію польоту та дії дрона. Ці комп'ютери, виконуючи свої завдання автономно, відповідають за підтримку строю, уникнення зіткнень та дотримання заздалегідь визначених шаблонів або цілей місії.

5. **Алгоритми рою.** Розширені алгоритми лежать в основі технології рою дронів. Вони мають включати алгоритми відмовостійкості. Їхні можливості включають підтримку певних формацій, адаптацію до змінних умов та ефективне досягнення цілей місії.

6. Управління енергією. Ефективні системи управління енергією є важливими для продовження часу польоту дронів у рої. Ці системи можуть включати передові технології акумуляторів, алгоритми управління живленням та можливість перезаряджання або заміни акумуляторів під час роботи.

7. Протоколи безпеки. Безпека є першочерговим питанням, і рої дронів часто програмується протоколами безпеки для запобігання зіткненням, уникнення заборонених для польотів зон та реагування на надзвичайні ситуації.

8. Людино-машинний інтерфейс (НМІ). Наземні станції керування або інтерфейси користувача дозволяють операторам-людям контролювати та керувати поведінкою рою. Ці інтерфейси забезпечують ситуаційну обізнаність і дозволяють операторам втручатися за необхідності [1].

СИМУЛЯЦІЯ РОЇВ ДРОНІВ

Моделювання рою дронів включає тестування кількох автономних БПЛА у віртуальних середовищах для перевірки таких поведінкових характеристик, як запобігання зіткненням, планування траєкторії та контроль формування, за допомогою таких інструментів, як PX4 з SITL (Software In The Loop), Gazebo та ROS. Ключові фреймворки для моделювання включають SwarmGPT для керування на основі LLM, FANET-Sim для комунікаційних мереж та CoppeliaSim для високоточної фізики [3].

Окрім великих фреймворків розроблено симулятор рою дронів на основі Python, який моделює поведінку кількох автономних дронів, використовуючи різні алгоритми для досягнення консенсусу, уникнення зіткнень та контролю формування [5]. Симуляція візуалізується у 3D за допомогою Matplotlib та керується через графічний інтерфейс на основі Tkinter (рис. 3).

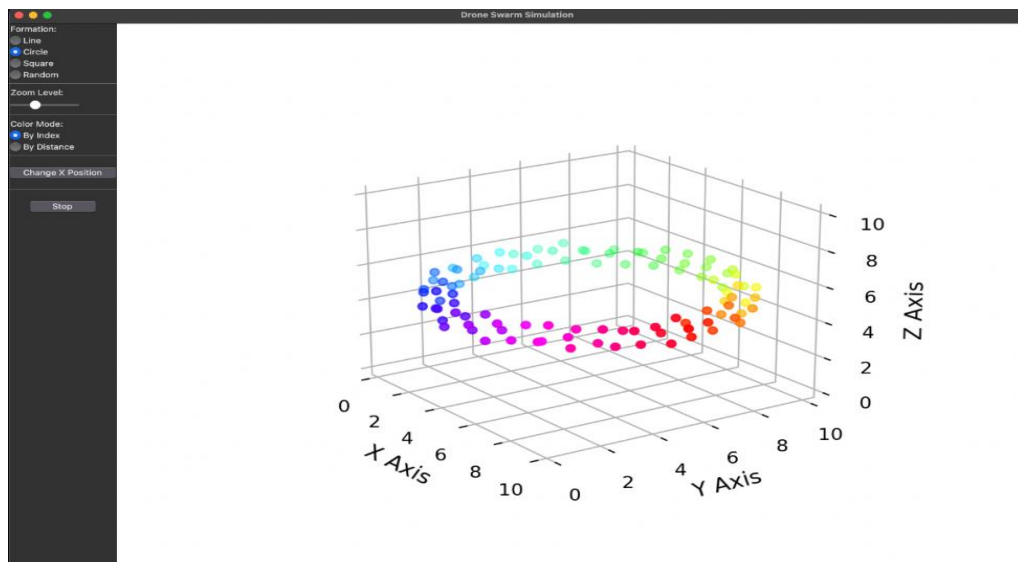


Рис. 3. Симуляція за допомогою Python

ВИСНОВКИ

Технологія роїв дронів виявляється найбільш цінною у таких сферах, як сільське господарство, розмінування та логістика, де ключовими є масштаб, автономність та адаптивність. Спільна робота кількох агентів дозволяє

перевершити системи з одним дроном за показниками швидкості, точності та економічної ефективності. Для безпечної перевірки таких характеристик, як планування траєкторії, запобігання зіткненням та контроль формування, застосовується моделювання поведінки автономних БПЛА у віртуальних середовищах [3].

Проте на сьогодні існує суттєвий технічний бар'єр для повноцінного розгортання таких систем – це обмежена бортова обчислювальна потужність апаратів. Дрони повинні мати здатність самостійно аналізувати великі масиви даних та координувати свої дії в режимі реального часу без будь-якого зовнішнього керування.[4] Тим не менш, оскільки ройові технології активно переходять від розряду можливого до етапу практичного використання, саме зараз настав найсприятливіший час для зосередження зусиль і досліджень у цій перспективній галузі.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

- [1]lumasky Drone Show. – Режим доступу: <https://lumasky.show/journal/what-is-a-drone-swarm/>
- [2]Science, Technology Assessment, and Analytics. – Режим доступу: <https://www.gao.gov/assets/gao-23-106930.pdf>
- [3]The robot report. – Режим доступу: <https://www.therobotreport.com/drone-swarms-how-they-actually-work-and-what-industries-should-care/>
- [4]RISE. – Режим доступу: <https://www.ri.se/en/automotive-and-future-transport/drones/expertise/drone-swarms>
- [5]Drone Swarm Python Simalation. – Режим доступу: <https://github.com/jeanjerome/drone-swarms> [0]

Наук. керівник – к.т.н., доц. Галаган Р.М.