

СИСТЕМА АВТОНОМНОГО КЕРУВАННЯ ДРОНОМ ДЛЯ ПЕРЕГОНІВ НА ОСНОВІ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Кліменко А.В., Литвиненко Г.В.

artem.klimenko@nure.ua , herman.lytvynenko@nure.ua

Науковий керівник – доц., к.т.н., Мартовицький В.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ЕОМ
м. Харків, Україна

This paper presents the development of an autonomous control system for a racing drone based on convolutional neural networks (CNNs). Modern drone racing requires high-speed decision-making, precise navigation, and robustness in dynamic environments, where traditional control approaches often become insufficient. The proposed system utilizes onboard visual data processed by CNNs to detect track elements, estimate the drone's position, and generate control commands in real time. Special attention is given to end-to-end learning and hybrid approaches that combine deep learning with classical control algorithms. The advantages of CNN-based methods, including fast visual processing and adaptability, are discussed alongside challenges such as computational complexity and sim-to-real transfer. The results demonstrate that the integration of convolutional neural networks significantly improves the performance and autonomy of racing drones.

Сучасний розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) сприяє появі нових прикладних напрямів їх використання, серед яких особливе місце займають автономні дрони для перегонів. Такі системи характеризуються високими вимогами до швидкості обробки даних, точності керування та здатності працювати в умовах динамічних змін середовища. Традиційні методи керування, що базуються на класичних алгоритмах стабілізації та планування траєкторії, часто не забезпечують достатньої ефективності в задачах високошвидкісного маневрування. У зв'язку з цим актуальним є використання методів глибинного навчання, зокрема згорткових нейронних мереж (CNN), які здатні ефективно обробляти візуальну інформацію та приймати рішення в реальному часі [1].

Метою роботи є дослідження принципів побудови системи автономного керування дроном для перегонів на основі згорткових нейронних мереж. Така система поєднує бортові камери, інерціальні датчики, обчислювальний модуль та алгоритми керування, які забезпечують аналіз зображень і формування керувальних сигналів. На відміну від класичних підходів, де траєкторія задається заздалегідь, запропонована система дозволяє дрону самостійно орієнтуватися у просторі, визначати положення воріт і перешкод, а також адаптувати свою поведінку до змін у середовищі [2].

Ключовим компонентом системи є модуль комп'ютерного зору, реалізований на основі згорткових нейронних мереж. CNN використовуються для виявлення елементів траси, оцінювання відстані до об'єктів та визначення оптимального напрямку руху. Завдяки здатності автоматично виділяти інформативні ознаки із зображень, такі моделі забезпечують високу точність розпізнавання навіть за умов змін освітлення, наявності шумів або часткового перекриття об'єктів. Сучасні дослідження демонструють, що використання CNN значно підвищує ефективність візуальної навігації БПЛА порівняно з традиційними методами обробки зображень [3].

Після етапу сприйняття середовища важливу роль відіграє формування керувальних дій. У системах автономного керування дронами для перегонів часто застосовується підхід end-to-end навчання, при якому нейронна мережа безпосередньо відображає вхідні зображення у керувальні сигнали. Це дозволяє мінімізувати кількість проміжних етапів обробки та зменшити затримки, що є критично важливим для задач високошвидкісного польоту. Альтернативно використовується комбінований підхід, де CNN відповідає за сприйняття сцени, а класичні або навчальні алгоритми керування - за стабілізацію та рух дрона [4].

Важливим аспектом є процес навчання моделі. Як правило, він здійснюється у симуляційних середовищах, що дозволяє генерувати великі обсяги навчальних даних без ризику пошкодження апарата. Для підвищення якості навчання застосовуються методи аугментації даних, перенесення навчання та доменної адаптації. Однак перенесення моделей із симуляції в реальні умови залишається складною задачею через відмінності між віртуальним і фізичним середовищами. Це потребує додаткового налаштування моделей і врахування обмежень обчислювальних ресурсів бортових систем [5].

Окрему увагу слід приділити забезпеченню стабільності та безпеки керування. У задачах перегонів дрони рухаються з високими швидкостями, що підвищує ризик помилок і зіткнень. Тому системи керування повинні поєднувати швидкодію нейронних мереж із надійністю класичних алгоритмів стабілізації. Такий гібридний підхід дозволяє досягти балансу між адаптивністю та передбачуваністю поведінки системи.

Перевагами використання згорткових нейронних мереж у системах керування дронами для перегонів є висока точність обробки візуальних даних, здатність працювати в умовах невизначеності та можливість навчання складним маневрам. Водночас до основних обмежень належать значні обчислювальні витрати, потреба у великій кількості навчальних даних та складність пояснення рішень нейронних мереж.

Отже, система автономного керування дроном для перегонів на основі згорткових нейронних мереж є перспективним напрямом розвитку інтелектуальних безпілотних систем. Поєднання методів комп'ютерного

зору та глибинного навчання дозволяє створювати високоефективні системи керування, здатні працювати в умовах високої динаміки та невизначеності. Подальші дослідження спрямовані на підвищення надійності моделей, зменшення їх ресурсомісткості та вдосконалення методів перенесення навчання у реальні умови експлуатації.

Список використаних джерел:

1. Kaufmann E., Loquercio A., Ranftl R., Dosovitskiy A., Koltun V., Scaramuzza D. Deep Drone Racing: Learning Agile Flight in Dynamic Environments // Robotics: Science and Systems. 2018 (оновлені дослідження та застосування активно використовуються донині).
2. Loquercio A., Maqueda A. I., Del-Blanco C. R., Scaramuzza D. Dronet: Learning to Fly by Driving // IEEE Robotics and Automation Letters. 2018.
3. Zhao, Y., Zhang, J., & Zhang, C. (2024). Deep-learning based autonomous-exploration for UAV navigation. Knowledge-Based Systems, 297, 111925.
4. Tai L., Paolo G., Liu M. Virtual-to-Real Deep Reinforcement Learning: Continuous Control of Mobile Robots // IEEE Transactions on Robotics. 2022.
5. Katkuri, A. V. R., Madan, H., Khatri, N., Abdul-Qawy, A. S. H., & Patnaik, K. S. (2024). Autonomous UAV navigation using deep learning-based computer vision frameworks: A systematic literature review. Array, 23, 100361.