



Валентина ПЛЕСКАЧ, д-р екон. наук, проф.  
ORCID ID: 0000-0003-0552-0972  
e-mail: valentyna.pleskach@knu.ua  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Ярослав КРИВОЛАПОВ, асист.  
ORCID ID: 0000-0003-1151-9337  
e-mail: y.kryvolapov@knu.ua  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Гліб КРИВОЛАПОВ, студ.  
ORCID ID: 0000-0002-0853-5881  
e-mail: kubg@kubg.edu.ua  
Київський столичний університет імені Бориса Грінченка, Київ, Україна

## ЗАСТОСУВАННЯ ДРОНІВ У ТРАНСПОРТНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ

**Вступ.** *Висвітлено реальні можливості й перспективи створення та застосування безпілотних літальних апаратів в автодорожній і залізничній інфраструктурах. В межах проведеного експерименту поставлено завдання створення дрону з використанням найпростіших засобів розроблення у лабораторних умовах.*

**Методи.** *Використано метод натурного експерименту для перевірки працездатності запропонованих рішень.*

**Результати.** *Створений у результаті експерименту дрон здатний в автоматичному режимі стабілізувати своє положення, на нього можна встановити плату приймача, що дасть змогу організувати дистанційне керування. У перспективі на квадрокоптер можуть бути встановлені додаткові модулі, із застосуванням механізму глибинного навчання. А застосування інтелектуальної системи виявлення та розпізнавання образів на базі ефективних алгоритмів цифрового оброблення даних дозволить суттєво скоротити час на оброблення даних, отримання високоточних результатів і забезпечити доступ до інформації в максимально стислий термін, що буде ще одним фактором, що сприяє активному впровадженню безпілотних технологій.*

**Висновки.** *Завдяки можливості отримання різноманітних даних безпілотні літальні апарати зможуть у найближчому майбутньому значно скоротити витрати на розв'язання різноманітних завдань і стати незамінними помічниками в секторі транспортної інфраструктури.*

**Ключові слова:** навчання машин, транспортна інфраструктура, безпілотний літальний апарат, дрон, оброблення й аналіз даних.

### Вступ

Транспортна інфраструктура – найважливіша система розвинутого суспільства. Зростання капітальних вкладень у транспортну інфраструктуру спостерігають повсюдно. Автодорожній і залізничний сектори системи на цьому етапі можуть отримати набагато більше переваг, використовуючи в цій сфері безпілотні літальні апарати, які можуть виявитися швидшими, економічнішими та безпечнішими. Завдяки можливості одержувати різноманітні дані дрони можуть стати незамінними помічниками у будівництві нових доріг або налагодженні старих під час поточного ремонту. Найближчим часом застосування безпілотних літальних апаратів приведе до інноваційних змін у секторі транспортної інфраструктури.

Дрони та дані, які за їхньою допомогою можна збирати, радикально змінять ситуацію на всіх етапах інвестиційного проекту для сектору транспортної інфраструктури. Безпілотні літальні апарати забезпечують швидкий і точний збір даних, які разом із новітніми інструментами тривимірного моделювання незамінні у процесі планування. За рахунок надання точних геопросторових даних дрони не лише полегшують процеси проектування, а й дозволяють обмежити витрати на корегування планів і проектних рішень. На етапі підготовки до введення в експлуатацію автомобільних і залізничних доріг з'являється можливість оцінити результат виконаних робіт порівняно з первинним проектом і виявити певні відхилення. Також їх можна використовувати для оцінювання впливу проекту на навколишнє середовище загалом.

Нині внаслідок активного зростання мобільності населення громадяни змушені щотижня проводити багато годин на шляху від одного пункту до іншого. Завантаженість внутрішньоміських транспортних мереж, а також систем міжміських перевезень суттєво збільшується щорічно. У зв'язку із цим пріоритетом є завдання забезпечення функціонування наявної транспортної інфраструктури на повну потужність. І саме використання безпілотних пристроїв, обладнаних фотовідеокамерами високої роздільної здатності та датчиками, можуть допомогти людині у проведенні оцінювання, адже використовуючи новітні досягнення у сфері цифрового оброблення зображень, можна досягти великої точності даних. Особливо це важливо в тих випадках, коли доступ до інфраструктури ускладнено чи пов'язано з небезпекою для життя чи здоров'я. Наприклад, дрон, оснащений інфрачервоною камерою, може обчислити місця перегріву дротів, що виникає в результаті корозії опор ліній електропередачі, неправильного підключення або перепадів напруги, причому отримати цю інформацію можна без шкоди для здоров'я людини. Безпілотні літальні апарати можна обладнати й іншими датчиками, які надаватимуть операторам автомобільних доріг і залізниць дані, які коштують дуже дорого, якщо їх взагалі можна отримати. Автономні безпілотні пристрої зможуть здійснювати об'їзди автомобільних трас і залізниць упродовж сотні кілометрів і надавати найточніші дані за низьких витрат.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дрони набули популярності у використанні в транспортній інфраструктурі, оскільки вони можуть допомогти забезпечити швидкі й ефективні доставки, інспекції та обслуговування. Останні дослідження та публікації зосереджено на питаннях покращення безпеки, ефективності та розширення можливостей використання дронів (Lum et al., 2011). Одним з основних напрямів досліджень є розроблення систем, які дозволяють дронам працювати безпечно в міських умовах. Для цього використовують різні технології, такі як датчики виявлення



перешкод, системи автономного керування й аналізу даних із дронів. За допомогою цих технологій можна зменшити ризики зіткнення з іншими повітряними транспортними засобами, будівлями й іншими перешкодами. Інше дослідження зосереджено на використанні дронів для ефективного контролю й обслуговування транспортної інфраструктури, наприклад, доріг, мостів та інших споруд (Scheduling, & Finn, 2010). Застосування дронів дозволяє швидко й ефективно виявляти пошкодження та потреби в ремонті, що допомагає забезпечити безпеку на дорогах та інших транспортних маршрутах. Крім того, дослідження показали, що дрони можуть бути використані для доставки товарів і медичної допомоги у важкодоступних і віддалених місцях (Piotrowski, Witkowski, & Piotrowski, 2015). Це може допомогти забезпечити швидку й ефективну доставку, особливо в умовах надзвичайних ситуацій, наприклад, у разі природних катастроф або воєнного стану. Кожен, хто потребує використання дронів, знає, що це вимагає великих грошових витрат. Дрони коштують дорого, тому що вони є продуктом високих технологій. Насправді все залежить від того, навіщо потрібен дрон, і від якості, за яку ви готові платити. Наприклад, автономні дрони можна використовувати для інспекції транспортної інфраструктури, для доставки товарів у логістичній діяльності, для забезпечення міської мобільності, а також для інспекції мостів (Kumar, Kumar, & Sreenivas, 2015). Є інші дослідження та розроблення, спрямовані на широке застосування дронів у різних прикладних галузях (Shah, Dutt, & Modh, 2014). У публікації запропоновано один із реальних способів конструювання дрону за мінімальних витрат із боку розробника.

**Мета дослідження.** Метою цього дослідження є перевірка можливості створення експериментального дрону з використанням найпростіших засобів розробки. Мозком розробки став польотний контролер Arduino Uno. Його можливостей достатньо для того, щоб керувати безпілотником. Крім мікроконтролера для створення безпілотного літального апарата використано: акумулятор на 3,7 В, плату MPU-6050, транзистор ULN2003A, колекторні двигуни з порожнистим ротором 0820 і дроти.

#### Методи

В роботі пропонується використати метод натурального експерименту для перевірки працездатності запропонованих рішень. Для його реалізації зібрано й апробовано дослідницький зразок.

#### Результати

Оскільки основна ідея розроблення полягала в тому, щоб зібрати недорогий апарат, то вибір авторів зупинився на колекторних двигунах із порожнистим мотором (coreless motors). Вони не такі надійні, як безколекторні двигуни, однак набагато дешевше коштують. Крім того, можна обійтися без додаткових контролерів швидкості. Але неможливо обійтися без гіроскопа й акселерометра. Гіроскоп необхідний, щоб квадрокоптер міг утримувати заданий напрямок руху, тоді як акселерометр використовують для вимірювання прискорення. Без цих пристроїв керувати коптером було б набагато складніше, оскільки саме вони надають дані для сигналу, що регулює швидкість обертання гвинтів. Модель рами для друку можна створити самостійно та роздрукувати на 3D-принтері каркас, промені й кріплення для двигунів. Зазначимо, що роздрукована на принтері рама виявилася не тільки легкою, а й достатньо міцною.



Рис. 1. Плата I2C

Для налаштування акселерометра-гіроскопа (I2C) застосовано бібліотеку I2C Device Library. Зауважимо, що під час під'єднання плати до контролера для живлення необхідно використовувати напругу саме 3,3 В. Підключення плати до 5 В найімовірніше призведе до її поломки. Плату I2C із датчиками (рис. 1) відрізняють від традиційної плати акселерометра з трьома аналоговими виходами для осей x, y, z.

I2C – це інтерфейсна шина, що забезпечує передавання значних обсягів даних через логічні цифрові імпульси. Аналогових виходів на платі небагато, і це велика перевага I2C, адже в іншому разі довелося

би використовувати всі порти на Arduino, щоб отримати дані від гіроскопа й акселерометра. Перевагою обраного для складання дрону мікроконтролера є простота роботи з ним. Під'єднавши плату MPU-6050 до контролера (рис. 2) та виконавши калібрування датчиків, отримуємо гіроскоп і акселерометр, що функціонують.

До програми також необхідно завантажити бібліотеку з Arduino PID. Вона допоможе керувати дроном. Алгоритм, який використовують для стабілізації, базовано на двох PID-контролерах. Один призначений для крену, інший – для тангажу.

Для того, щоб керувати коптером, необхідно отримати контроль над двигунами, під'єднавши їх до Arduino (рис. 3).



Рис. 2. Підключення до контролера



Рис. 3. Квадрокоптер на базі Arduino Uno



Контролер надає на виході невелику напругу й силу струму, тому підключення двигунів безпосередньо позбавлене сенсу. Замість цього можна поставити кілька транзисторів, що дають змогу збільшити напругу.

Усе це збирається на монтажній платі та з'єднується конекторами.

Вузьким місцем коптера є його колекторні двигуни. Можна встановити трохи більші й потужніші двигуни, ніж запропоновані в моделі, але значного виграшу в характеристиках досягти не вдасться.

Безколекторні двигуни помітно дорожчі, однак вони спроможні додати більшу потужність і надійність. Вибір плати Arduino Uno зумовлений тим, що з неї можна доволі легко зняти чип і встановити його на ProtoBoard. Це дасть змогу зменшити вагу дрону на 30 г, але доведеться включити у схему додаткові конденсатори. Підійде і плата Arduino Pro Mini. Щодо програми Arduino, то її можна порівняно легко змінити й доповнити новими функціями. Головно, що з її допомогою дрон здатний в автоматичному режимі стабілізувати своє положення. На квадрокоптер можуть бути встановлені додаткові модулі, наприклад, плата приймача, що допоможе організувати дистанційне керування дроном.

Застосування камери на дроні є важливим аспектом для розширення його функціональності. Додавання камери дозволяє не лише отримувати дані з висоти, але й використовувати методи оброблення зображень для одержання додаткової інформації та аналізу місцевості, підвищувати якість зображень.

Загальною метою аналізу є виокремлення з відеоданих необхідної інформації. Найчастіше до таких завдань належать виділення ознак на зображенні, виявлення та розпізнавання об'єктів, виділення й ідентифікація структур. Аналіз зображень, що пов'язаний переважно з прийняттям рішень про належність зображення чи його частини до деякого класу об'єктів, фактично є завданням ідентифікації.

Що стосується підвищення якості зображень, то доцільно розглядати це питання у двох аспектах. По-перше, таке оброблення може здійснюватися для покращення якості візуального сприйняття зображення людиною. Другим можливим варіантом постановки є попереднє оброблення для наступного автоматичного аналізу зображення.

Є ряд методів, які використовують для покращення умов спостереження зображень. Деякі з них оперують із зображенням у просторово-часовій області, тоді як інші здійснюють перетворення над спектром зображення, тобто у частотній області. Тому доцільно розглянути кожну із зазначених груп методів окремо.

До методів попереднього оброблення зображень у просторово-часовій ділянці можна віднести методи підвищення контрастності, видалення фону, амплітудну фільтрацію зображень тощо.

Слабкий контраст – найпоширеніший дефект фотографічних і телевізійних зображень. У багатьох випадках контраст можна підвищити, змінюючи яскравість кожного елемента зображення за характеристикою, обраною відповідно до поставлених цілей. У випадку цифрових зображень отримати потрібну характеристику передачі рівнів досить легко. Проте у відшуканні нелінійного оператора слід враховувати помилки квантування, тому що можуть виникнути помітні хибні контури за недостатньої кількості відповідних рівнів квантування.

Фоновим зображенням є зображення, інтенсивністю якого у кожній точці координатної сітки є реалізація деякої випадкової величини із заданими параметрами розподілу. Завдання фільтрації фону полягає у видаленні цих значень із відліків початкового зображення у разі найменших спотворень корисного сигналу. Відомий підхід нелінійного оброблення, що дозволяє розв'язувати таке завдання – метод медіанної фільтрації. Вибір цього методу заснований насамперед на його простоті. Алгоритм методу медіанної фільтрації дозволяє найекономніше використовувати машинну пам'ять для розв'язання завдання на комп'ютері, значно скорочуючи час оброблення зображення.

Суть методів, що належать до оброблення зображень у частотній області, полягає в обчисленні двовимірних перетворень (швидкого перетворення Фур'є (ШПФ)), унесенні змін до результату перетворення та в обчисленні зворотного перетворення з метою отримання покращеного зображення.

ШПФ було обрано по-перше, у зв'язку з простотою інтерпретації виконання, тобто досить простим аналізом зображення з його спектра, по-друге, через відсутність етапів навчання на відміну від інших методів, наприклад, перетворення Уолша.

Прикладами методів фільтрації зображень у частотній області можуть служити низько- та високочастотна фільтрація. Метод високочастотної фільтрації дозволяє розв'язати завдання виділення меж, обробляючи зображення у частотній ділянці. Низькочастотну фільтрацію доцільно застосовувати для згладжування шуму зображення.

Оброблення зображення шляхом функціонального перетворення спектрів дозволяє значною мірою покращити зображення, зокрема і покращити суб'єктивне сприйняття відтвореного зображення.

Для підкреслення контурних елементів зображення можна використовувати підхід, що базується на просторовому диференціюванні зображення. Тут доцільно використовувати спектри просторових похідних. У процесі відновлення зображень за спектрами будуть виділені контури, відповідно, по вертикалі та горизонталі вихідного зображення. В результаті накладання відновлених зображень із наступною амплітудною фільтрацією завдання виділення контурів контрастних зображень реалізується програмно і вирішується досить успішно.

Порівняно з обраним підходом для підкреслення контурних елементів зображення, наприклад семантичні методи виділення контурів, значно поступаються швидкодії і є значною мірою "слабко визначеними".

#### **Висновки**

Здешевлення дронів і зниження операційних витрат на їхнє використання може забезпечити стрімке зростання популярності безпілотних літальних апаратів у транспортній інфраструктурі. Крім того, привабливість дронів зростатиме й за рахунок нових досягнень у технологіях, що дозволяють покращити експлуатаційні характеристики та можливості безпілотників, тим самим суттєво розширюючи сферу їхнього застосування. Безпілотні технології демонструють, що це потужний інструмент у різних прикладних галузях. Безперечно, широке застосування можливостей, що відкриваються завдяки цим технологіям, зможе суттєво підвищити якість процесів за рахунок високої точності, простоти і користності.

Методи оброблення зображень відіграють значну роль у наукових дослідженнях. Зокрема, доцільне застосування цих методів під час цифрової передачі зображень із відеокамери дрону.

До результатів проведеної роботи належать такі:

- розроблено алгоритми попереднього оброблення зображень у просторово-часовій області, такі як алгоритми підвищення контрастності, видалення фону, амплітудної фільтрації зображень;



▪ на підставі алгоритму швидкого перетворення Фур'є розроблено алгоритми частотної фільтрації, виділення контурів, функціонального перетворення спектрів, що дозволяють розв'язувати завдання попереднього оброблення зображень у частотній області.

Саме комбінований підхід до цифрового оброблення зображень у просторово-часовій і частотній областях продемонстрував максимально задовільні результати під час аналізу даних.

**Перспективи подальшого дослідження.** Нині одним із найцікавіших напрямків є впровадження в безпілотні літальні системи технології машинного навчання (Alpaydin, 2004). Зараз більшість операцій оброблення й аналізування даних виконують під контролем людини. Проте цей процес можна вдосконалити, навчивши машини виконувати ці завдання самостійно (Witten, & Frank, 2011). Застосувавши у дронах механізм глибинного навчання, можна скоротити час і витрати на оброблення, інтеграцію та аналіз даних, зібраних під час огляду. У найближчому майбутньому дрони виконуватимуть автономні польоти в задані локації, збиратимуть дані про об'єкти інфраструктури, після чого складні програми на базі алгоритмів навчання їх аналізуватимуть і передаватимуть операторам, попереджуючи про пошкодження чи підозрілу діяльність. Завдяки широкому набору функцій безпілотні літальні апарати з кожним днем відіграватимуть усе важливішу роль у розвитку та вдосконаленні саме транспортної інфраструктури.

**Внесок авторів:** Валентина Плескач – розроблення методів і методології дослідження, опис результатів; Ярослав Криволапов – огляд літературних джерел і написання висновків; Гліб Криволапов – розроблення та монтаж експериментального зразка та збір емпіричних даних.

#### Список використаних джерел

- Alpaydin, E. (2004). *Introduction to Machine Learning*. MIT Press.  
Kumar, M., Kumar, N., & Sreenivas, T. H. (2015). Autonomous Navigation of Flying Quadcopter. *International Journal IJRITCC*, 3(6), 3633–3634.  
Lum, C., W., Gauksheim, K., Deseure, C., Vagners, J., & McGeer, T. (2011). Assessing and estimating risk of operating unmanned aerial systems in populated areas. *Proceedings of the 11th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference* (p.1–12). Virginia Beach.  
Piotrowski, P., Witkowski, T., & Piotrowski, R. (2015). Unmanned remote-controlled flying unit. *Measurement Automation and Robotics*, (19), 49–55.  
Scheding, S., & Finn, A. (2010). *Developments and challenges for autonomous unmanned vehicles: A compendium s. 1*. Springer Sci & Business.  
Shah, K. N., Dutt, B. J., & Modh, H. (2014). Quadrotor – An Unmanned Aerial Vehicle. *IJEDR*, 2 (1), 1299–1303.  
Witten, I. H., & Frank, E. (2011). *Data Mining: Practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann.

#### References

- Alpaydin, E. (2004). *Introduction to Machine Learning*. MIT Press.  
Kumar, M., Kumar, N., & Sreenivas, T. H. (2015). Autonomous Navigation of Flying Quadcopter. *International Journal IJRITCC*, 3(6), 3633–3634.  
Lum, C., W., Gauksheim, K., Deseure, C., Vagners, J., & McGeer, T. (2011). Assessing and estimating risk of operating unmanned aerial systems in populated areas. *Proceedings of the 11th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference* (p.1–12). Virginia Beach.  
Piotrowski, P., Witkowski, T., & Piotrowski, R. (2015). Unmanned remote-controlled flying unit. *Measurement Automation and Robotics*, (19), 49–55.  
Scheding, S., & Finn, A. (2010). *Developments and challenges for autonomous unmanned vehicles: A compendium s. 1*. Springer Sci & Business.  
Shah, K. N., Dutt, B. J., & Modh, H. (2014). Quadrotor – An Unmanned Aerial Vehicle. *IJEDR*, 2 (1), 1299–1303.  
Witten, I. H., & Frank, E. (2011). *Data Mining: Practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann.

Отримано редакцією журналу / Received: 28.11.22  
Прорецензовано / Revised: 05.01.23  
Схвалено до друку / Accepted: 11.01.23

Valentyna PLESKACH, DSc (Econ.), Prof.  
ORCID ID: 0000-0003-0552-0972  
e-mail: valentyna.pleskach@knu.ua  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Yaroslav KRYVOLAPOV, Assist.  
ORCID ID: 0000-0003-1151-9337  
e-mail: y.kryvolapov@knu.ua  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Hlib KRYVOLAPOV, Student  
ORCID ID: 0000-0002-0853-5881  
e-mail: kubg@kubg.edu.ua  
Borys Grinchenko Kyiv Metropolitan University, Kyiv, Ukraine

## THE USE OF DRONES IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE

**Background.** *The article is devoted to the real possibilities and prospects of creating and using unmanned aerial vehicles in road and railway infrastructures. As part of the conducted experiment, the task of creating a drone was set using the simplest means of development in laboratory conditions.*

**Methods.** *To assess the viability of the proposed solutions, the method of the natural experiment has been used.*

**Results.** *The drone created as a result of the experiment is able to automatically stabilize its position, and a receiver board can be installed on it, which will enable remote control. In the future, additional modules can be installed on the quadrocopter using the deep learning mechanism. And the use of an intelligent pattern detection and recognition system based on effective digital data processing algorithms will allow to significantly reduce the time for data processing, obtain more accurate results and ensure access to information in the shortest possible time, which will be another factor contributing to the active implementation of unmanned technologies.*

**Conclusions.** *Thanks to the ability to obtain various data, unmanned aerial vehicles will be able to significantly reduce the costs of solving various tasks in the near future and become indispensable assistants in the transport infrastructure sector.*

**Keywords:** *machine learning, transport infrastructure, unmanned aerial vehicle, drone, data processing and analysis.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.