

## СПОСІБ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СТАНОМ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ДРОНІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖ НА ОСНОВІ ВІДЕОДАНИХ

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

vicway.nesterenko@gmail.com

### Вступ

Ліси є обширними та віддаленими територіями, які природно наділені значними кількостями легкозаймистих матеріалів, таких як сухе листя та гілки, які є першопричиною для початкового розпалювання вогню та його поширення по території лісу. Причинами виникнення лісових пожеж можуть бути за різних факторів та осіб: безпосереднє втручання людини або природні умови.

Початкова стадія займання зазвичай відома як "поверхнева пожежа". Після цього пожежа може розповсюдитися до такого рівня, коли вогонь вибухає в верхніх частинах дерев, стаючи "коронним вогнем". Зазвичай на цій стадії вогонь стає неконтрольованим, і шкоди ландшафту можуть бути значними та тривалими, відомими залежно від погодних умов і рельєфу місцевості [1].

Тому пожежі у лісах є складною та актуальною проблемою, яка вимагає компетентних та ефективних методів моніторингу, виявлення пожежі та сповіщення відповідних служб на початковій стадії поширення вогню.

Існуючі системи спостереження вирішують дану проблему не точно і не так оперативно як можливо.

Наразі на ринку представлені такі системи системи спостереження: «Проект виявлення лісової пожежі за допомогою дронів», бездротова портативна система моніторингу «*FireWxNet*», оптична сенсорна система «*FireWatch*», оптична система «*Forest Fire Finder*» [3].

*FireWxNet* – це запропонований варіант багаторівневої портативної бездротової системи для моніторингу погодних умов у важкодоступних лісових пожежах. Дана система надає пожежникам можливість вимірювати пожежні і погодні умови та використовує багаторівневу структуру, яка починається з спрямованих антен на вершині гір і закінчується мережею датчиків з кількома сподіваннями для спостереження за необхідними параметрами навколишнього середовища [3].

Проект виявлення лісової пожежі за допомогою дронів виявляє пожежу швидше та з більшою точністю, ніж супутникові та оптичні системи моніторингу. Дрон оснащений *GPS* та камерою високої роздільної здатності, що надає йому можливість фіксувати пожежу з високою якістю та надавати сповіщення пожежній службі у разі виявлення пожежі. Для точної класифікації лісових пожеж дана система використовує алгоритми штучного інтелекту або методи глибокого машинного навчання [2].

Розглянуті системи [1-3] не можуть забезпечити процес спостереження за станом лісових без постійної участі оператора.

### Мета

Метою статті є покращення екологічного стану лісів шляхом зменшення кількості пожеж у лісі за рахунок покращення якості та ефективності моніторингу лісових екосистем, зокрема виявлення пожеж, а також забезпечення більшої оперативності та надійності процесу моніторингу.

### Основна частина

Для досягнення мети в статті запропоновано спосіб спостереження за станом лісових екосистем з використанням дронів для виявлення пожеж на основі відеоданих.

Дрон літає над площею екосистеми, виявляє за допомогою штучного інтелекту пожежу та надсилає дані до серверу застосунків.

На рис. 1 наведена функціональна схема запропонованої системи.

Як видно з рисунка система складається з двох підсистем: підсистема збору та оброблення даних і підсистема спостереження.

Зв'язок між підсистемою збору та оброблення даних і підсистемою спостереження відбувається за допомогою радіоінтерфейсів кожної підсистеми відповідно.

У підсистемі спостереження є такі компоненти:

- дрони у кількості  $N$ ;
- зарядні станції у кількості  $M$ ;
- інтерфейс зв'язку з мережею

*Internet M*.

Кількість дронів у підсистемі залежить від площі лісу, яку вони мають патрулювати, тому для забезпечення безперервної роботи кожен дрон повинен поновлювати свій заряд за допомогою зарядної станції.

Кількість інтерфейсів зв'язку з мережею *Internet*, яка позначена як  $M$ , потрібна для того, щоб мати зв'язок зі зарядною станцією в разі несправності та для визначення того, чи станція використовується або розряджена.

Кількість зарядних станцій, позначена як  $M$ , прямо пропорційна кількості дронів, позначена як  $N$ . Однак, важливо враховувати, що  $M$  повинна бути меншою за  $N$ , оскільки заряджати усі дрони одночасно немає потреби.

У підсистемі збору та оброблення даних є такі компоненти:

- сервер застосунків;
- сервер бази даних;
- база даних;
- сервер ШІ;

- веб-сторінка;
- *Ethernet*;
- інтерфейс зв'язку з пожежною службою.

Сервер застосунків – це сервер, який відповідає за обробку даних, отриманих від дронів та серверу штучного інтелекту і керування їхньою роботою: задання маршруту польоту кожного дрону, фіксування відсотку заряду дрону, зміна маршруту. Якщо значення заряду одного із дронів менше або дорівнює 20 відсотків, то сервер застосунків має змінити маршрут дрону до найближчої зарядної станції.

Сервер бази даних – це сервер, який відповідає за деплоювання та розташування бази даних на обраному сервері. На ньому зберігається інформація отримана з дрону – фотографії зроблені камерою дрону, інформація про маршрути дронів та їх частоту підзарядки. Також сервер надає доступ до даних іншим компонентам підсистеми збору та оброблення даних є такі компоненти.

Сервер ШІ – це сервер, який отримує фотографії надіслані дронами з підсистеми спостереження та використовує алгоритм штучного інтелекту для розпізнавання вмісту на цих знімках. Якщо алгоритм виявив пожежу на фотографіях, то сервер ШІ надає сповіщення серверу застосунків. Звідти інформація поширюється на веб-сторінку. Пожежна служба, яка позначена на схемі як інтерфейс зв'язку з пожежною службою, може приймати термінове сповіщення про виникнення пожежі у лісовій екосистемі, відслідковуючи це на моніторинговій веб-сторінці.

Система спостереження складається з наступних компонентів: дрону, радіоінтерфейсу та зарядної станції.

Дрон включає в себе різні елементи: гіроскоп, акселерометр, датчик висоти, ультразвуковий датчик, *GPS*/компас модуль, польотний контролер та камеру. Для забезпечення спільної роботи цих елементів, гіроскоп, акселерометр, датчик висоти, ультразвуковий датчик та *GPS*/компас модуль під'єднані до польотного

контролера за допомогою I2C інтерфейсу. Також до польотного контролера підключено контролер швидкості, до якого підключені чотири двигуни дрону.

Камера також з'єднана з радіоінтерфейсом. Збір та передача даних до підсистеми збору та оброблення інформації здійснюється через з'єднання польотного контролера з радіоінтерфейсом.

Це дозволяє здійснювати надсилання отриманих відеоданих для подальшого аналізу і виявлення пожеж у лісових екосистемах. Зарядна станція складається з посадочного місця.

Підсистема збору та оброблення даних складається з кількох ключових компонентів, які спільно працюють для забезпечення ефективного аналізу та оброблення інформації. Ця підсистема включає в себе СУБД, базу даних, радіоінтерфейс, сервер застосунків, сервер ШІ та веб-сторінку. Дані з підсистеми спостереження, які представлені у формі фото або відео фрагментів лісової екосистеми, надходять до радіоінтерфейсу. Цей елемент системи відіграє ключову роль у передачі даних до подальшої обробки. Сервер застосунків приймає ці фото або відеодані та пересилає їх безпосередньо на сервер ШІ.

На сервері ШІ проводиться аналіз отриманих даних з використанням алгоритмів розпізнавання штучного інтелекту та вже розпізнані фото або відео фрагменти надсилаються назад до сервера застосунків. Після отримання цих даних на сервері застосунків відбуваються два важливих процеси: спершу дані надсилаються до бази даних для подальшого зберігання та аналізу, а потім проводиться визначення точного місця розташування вогню. Після визначення точного місцезнаходження вогню, сервер застосунків автоматично надсилає сповіщення до веб-сторінки. На цій веб-сторінці генерується термінове повідомлення про вогонь, яке надсилається пожежній службі для негайного реагування на ситуацію.

Сервер застосунків виконує також функцію керування дроном. Його завдання включає в себе встановлення маршруту для польотних параметрів, виконання цього маршруту та постійний моніторинг рівня заряду акумуляторів. Ця функція робить процес керування дроном абсолютно автоматизованим і ефективним для користувачів системи.

Пожежна служба має доступ до веб-сторінки та серверу застосунків через інтерфейс зв'язку з мережею Інтернет.

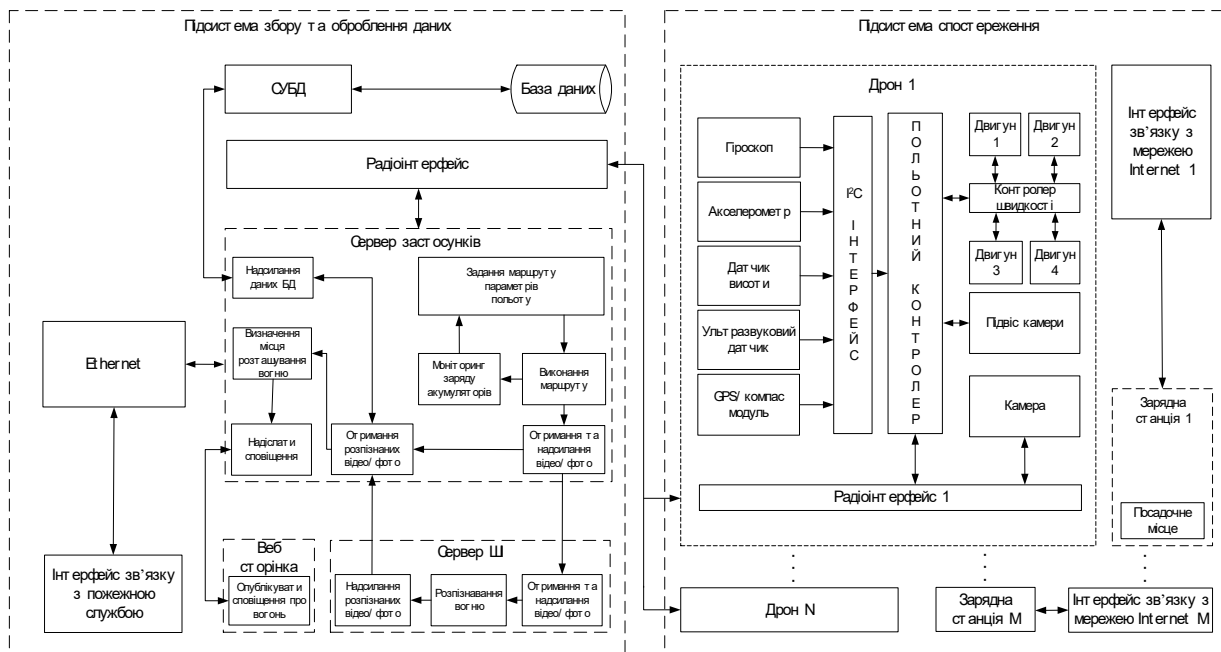


Рис. 1. Функціональна схема системи спостереження за станом лісових екосистем за допомогою дронів

Як відомо, останнім часом різко зросло використання машинного навчання. Це пов'язано з ростом обчислювальної потужності, доступної для досліджень і навчання. Глибоке навчання тепер допомагає вирішувати проблемні області, пов'язані з серйозними екологічними впливами. Однією з таких проблем є ідентифікація та класифікація вогню. За допомогою функціоналу *MATLAB* можна створити який буде розпізнавати вогонь з відео, які зняті дроном.

На рис. 2 зображені результати коду, який розпізнав відео. З рисунку видно, що скрипт матлабу взяв 3 кадри відео та знайшов вогонь на ньому і виділив його білим

кольором. Скрипт за допомогою об'єкту *VideoReader* відкриває відео з дрону, яке має назву "forest\_droneCam.mp4". Далі оброблюються кадри з відео, кількість яких визначається та зберігається у змінній *numFrames*. Для цього створюється чотиривимірний масив *fireFrames*, розміри якого будуть залежати від першого кадру та загальної кількості кадрів у відео. Потім у циклі *for* перебираються усі кадри. За кожної ітерації циклу зчитується поточний кадр з відео та скрипт перетворює його кольоровий простір з *RGB* в *YCbCr*, за допомогою якого вже виділяється вогонь на відео [4].

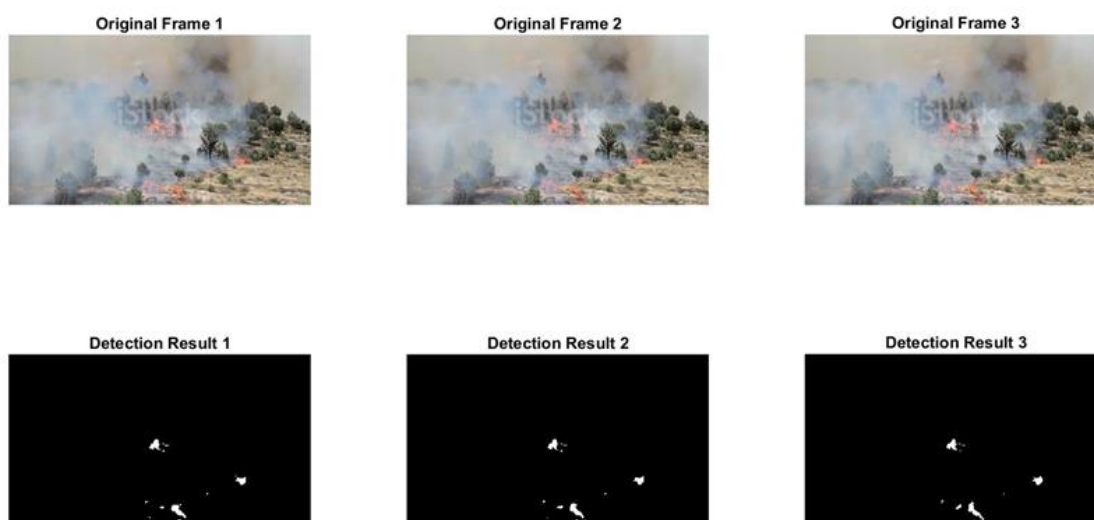


Рис. 2. Розпізнавання вогню за допомогою *MATLAB* скрипту.

Даний скрипт завантажується на дрон та відбувається розпізнавання.

Моделювання польоту дрону здійснюється на основі параметрів. Еталонна траєкторія польоту визначається як вхідні дані, а змодельована траєкторія польоту та інші результати моделювання визначаються як вихідні дані.

Еталонна траєкторія польоту визначається як вхідні дані, а змодельована траєкторія польоту та інші результати моделювання визначаються як вихідні дані. Траєкторія польоту може бути точно визначена в термінах координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  і зміни повороту в часі, але зручніше розглядати всі шість параметрів – три координати та

відповідні кути повороту, які зображено на рис. 3.

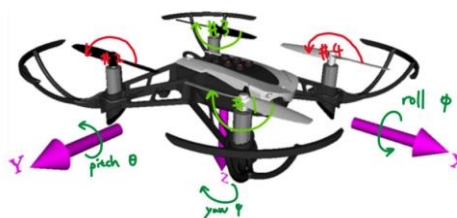


Рис. 3. Квадрокоптер, координати  $x$ ,  $y$ ,  $z$  та кути Ейлера [5]

Найбільш ефективним сценарієм дослідження польоту є сценарій контролю повороту двигунів дрону схема та графіку зображені на рис. 4.

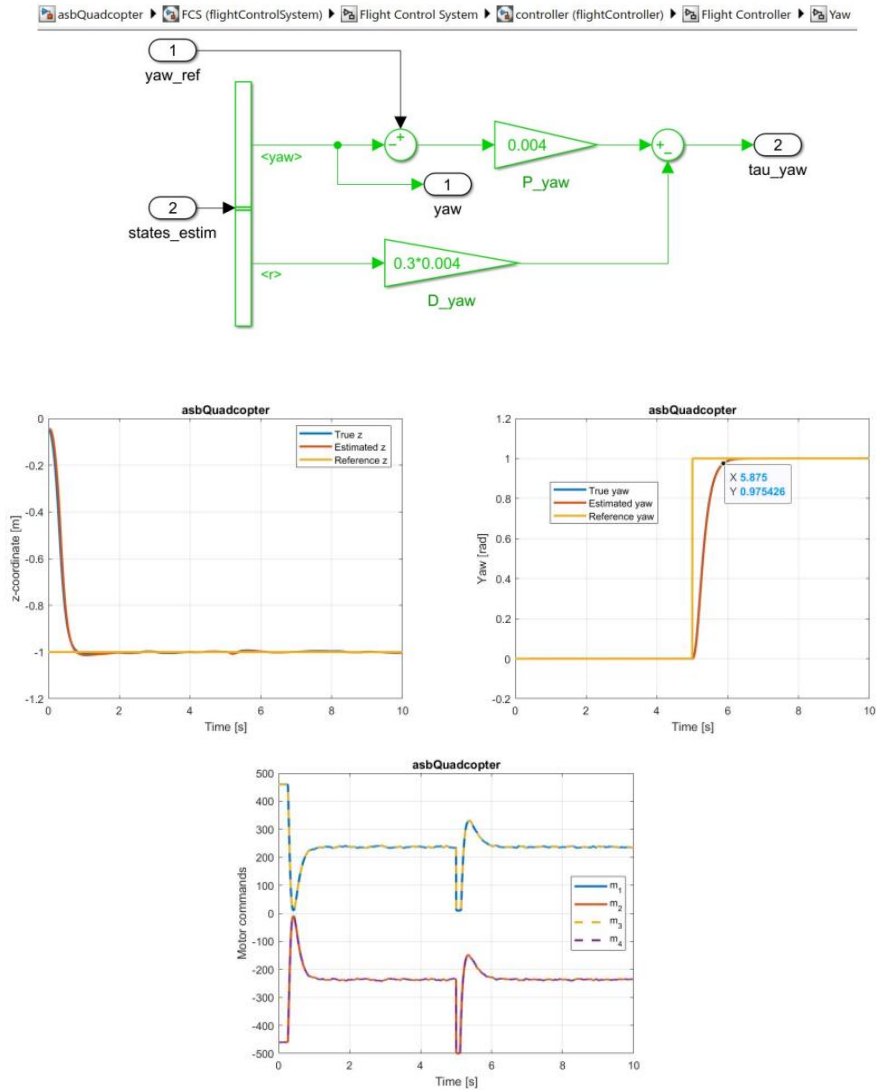


Рис. 4. Змодельована робота дрона за обраним сценарієм.

Продуктивність повороту з контролером за замовчуванням характеризується низькою швидкістю відгуку та короткий період насичення рухових команд.

Перший графік показує успішність підвищення висоти контролер через наявність вбудованого керування в оновленому контролері висоти. Тобто справжня висота здатна відстежувати базову висоту з нульовою похибкою сталого стану.

Другий графік показує, що 97,5% час встановлення для повороту дорівнює приблизно 0,875 с.

Третій графік показує наявність насичення рухових команд протягом короткого періоду після 5 с, що показує, що ми досягли більшої швидкості повороту, аніж у базовому контролері пакету *MATLAB*.

## Висновки

Таким чином, запропоновано спосіб, який забезпечує покращення екології лісових ресурсів: зменшення кількості пожеж і лісах та оперативне сповіщення пожежних служб, щодо пожежі у лісі. До складу запропонованої системи входить  $N$  кількість безпілотних літальних апаратів – дрон, які розпізнають вогонь на поверхні екосистеми і надсилають координати його розташування серверу, який у свою чергу управляє рухом дрону задаючи йому параметри польоту та сповіщає служби на вебсторінці у разі виявлення вогню. У майбутньому запропонована система може стати сучасним стартапом.

Стаття вносить важливий вклад у розробку систем моніторингу лісових

пожеж, пропонуючи інноваційне рішення з використанням дронів та ШІ. Незважаючи на свої сильні сторони, дослідження потребує подальшого розвитку, включаючи тестування системи в реальних умовах, підтвердження економічної доцільності запропонованого рішення та вдосконалення алгоритмів розпізнавання.

### **Література**

1. Szmyt Janusz (Ed.). Forest Fire. URL: <https://www.intechopen.com/books/6304>.

2. Forest Fire Identification in UAV Imagery Using X-MobileNet. URL: <https://www.mdpi.com/2079-9292/12/3/733#:~:text=A%20real%2Dtime%20forest%20fire,m%20above%20the%20ground%20surface>.

3. A Review on Forest Fire Detection Techniques. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1155/2014/597368#B24-2014-597368>.

4. Vicnesterenko. Fire detection repository. URL: <https://github.com/vicnesterenko/fire-detection>

5. MathWorks. Quadcopter Project Documentation. URL: <https://www.mathworks.com/help/aeroblks/quadcopter-project.html>.

### **Нестеренко В.В.**

#### **СПОСІБ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СТАНОМ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ДРОНІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖ НА ОСНОВІ ВІДЕОДАНИХ**

*Дрони, як інноваційні засоби, набули широкого застосування в різних галузях, включаючи медіа, військовий сектор, сферу сільського господарства, охорону та проведення наукових досліджень. Однак, з урахуванням зростаючих проблем екології, виникає необхідність в нових технологічних підходах.*

*Нинішній науковий витік стосується розробки системи спостереження за лісовими екосистемами, з використанням дронів для реагування на можливі пожежі. Ця ініціатива передбачає використання дронів для проведення повітряних розвідок над лісовими територіями та аналізу отриманих відеоданих з метою виявлення можливих джерел загорянь.*

**Ключові слова:** спостереження за станом лісових екосистем, MATLAB, пожежі у лісі, моделювання польоту дрону.

### **Nesterenko V.V.**

#### **THE METHOD OF MONITORING FOREST ECOSYSTEM STATE USING DRONES TO DETECT FIRE BASED ON VIDEO DATA**

*Drones, as innovative tools, have found widespread applications across various sectors, including media, the military, agriculture, security, and scientific research. However, considering the escalating environmental issues, there arises a necessity for new technological approaches.*

*The current scientific trend focuses on developing a monitoring system for forest ecosystems using drones to respond to potential wildfires. This initiative involves deploying drones for aerial reconnaissance over forested areas and analyzing the captured video data to identify potential sources of ignition.*

*This endeavor represents a proactive use of drones in environmental monitoring, enhancing our ability to detect and respond to potential forest fires.*

**Keywords:** forest ecosystem monitoring, MATLAB, forest fires, drone flight simulation.