

УДК 004.9

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2024.2\(495\).12](https://doi.org/10.15589/znp2024.2(495).12)DEVELOPMENT OF A MODEL FOR SEGMENTATION OF FOREST FIRES
ON SATELLITE IMAGES USING NEURAL NETWORK TECHNOLOGIESРОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ СЕГМЕНТАЦІЇ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ
НА СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКАХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ
НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Nadiia V. Holovina

good.little.dalek@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0985-0135

Н. В. Головіна,

аспірант, викладач-стажист

*Kherson National Technical University, Kherson**Херсонський національний технічний університет, м. Херсон*

Abstract. The article examines the research and development of a forest fire segmentation model on satellite images using neural network technologies. It was noted that forest fires are a major problem in Ukraine, causing hundreds of thousands of catastrophic situations annually. To combat this problem, it is important to have effective forest fire monitoring and prevention systems.

The study was carried out using images from the open sources of the NASA Earth Observatory. Python libraries: Keras, TensorFlow, PyTorch were used to process and analyze satellite images. With the help of modeling methods, the system architecture is designed and usage options are shown. The free LucidChart web service was used to construct the diagrams. The following methods were used to conduct the research: analysis of literary sources, data collection and preparation, development of a neural network model, evaluation and implementation of the model.

The article presented a study of the State Emergency Service of Ukraine on the problem of forest fires. Critical indicators were found that indicate the need to develop a special decision support system to reduce the risks of catastrophic situations. The article discusses the results of neural network architecture development. The image processing process is considered, taking into account the key aspects affecting fire detection. The following methods were used for this: noise filtering, image segmentation, edge detection, color transformation, thresholding, key point detection.

Various aspects of image evaluation were examined and studied: noise removal using various methods, image segmentation, color transformation, edge detection, detection of key points, image orientation. The operation of the algorithms is described in detail and the results are presented visually. A convolutional neural network learning algorithm is built on the results of image evaluation. The basic function is given. The results of the trained convolutional network algorithm for detecting forest fires are shown.

Based on the predictions of this model on an unseen test data set, the estimated accuracy of the model is 92%, which supports the hypothesis that the combination of all features is more effective in detecting all fires. The results of the algorithm were used to build the DSS for monitoring and preventing forest fires in Ukraine.

Key words: forest fires; satellite images; neural networks; segmentation; machine learning; computer vision.

Анотація. У статті розглянуто дослідження та розроблення моделі сегментації лісових пожеж на супутникових знімках із застосуванням нейромережових технологій. Було зазначено, що лісові пожежі є великою проблемою в Україні, викликаючи соті тисяч катастрофічних ситуацій щорічно. Для боротьби з цією проблемою важливо мати ефективні системи моніторингу та попередження лісових пожеж.

Дослідження виконано з використанням знімків з відкритих джерел NASA Earth Observatory. Для обробки та аналізу супутникових зображень використано бібліотеки Python: Keras, TensorFlow, PyTorch. За допомогою методів моделювання спроектовано архітектуру системи та показано варіанти використання. Для побудови діаграм використано безкоштовний веб-сервіс LucidChart.

Для проведення дослідження використано такі методи: аналіз літературних джерел, збір та підготовка даних, розробка нейромережової моделі, оцінка та впровадження моделі.

У статті було наведено дослідження ДСНС України з проблемою лісових пожеж. Було виявлено критичні показники, які свідчать про необхідність розробки спеціальної системи підтримки прийняття рішень для зниження ризиків катастрофічних ситуацій.

У статті розглядаються результати розробки архітектури нейронної мережі. Розглянуто процес обробки зображення, враховуючи ключові аспекти, що впливають на виявлення вогню. Для цього були використані такі методи: фільтрація шуму, сегментація зображення, виявлення країв, перетворення кольору, порогове значення, виявлення ключових точок.

Було наведено та досліджено різні аспекти оцінки зображень: видалення шумів за допомогою різноманітних методів, сегментація зображення, трансформація кольору, виявлення країв, виділення ключових точок, орієнтація зображення. Детально описано роботу алгоритмів та наведено результати наочно. На результатах оцінки зображень побудовано алгоритм навчання згорткової нейронної мережі. Наведено базову функцію. Показано результати роботи алгоритму навченої згорткової мережі для виявлення лісових пожеж.

На основі прогнозів цієї моделі на невидимому наборі тестових даних оцінена точність моделі становить 92%, що підтверджує гіпотезу про те, що поєднання всіх функцій виявляється більш ефективним при виявленні всіх пожеж. Результати роботи алгоритму використано для побудови СППР для моніторингу та попередження лісових пожеж в Україні.

Ключові слова: лісові пожежі; супутникові зображення; нейронні мережі; сегментація; машинне навчання; комп'ютерний зір.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Лісові пожежі є серйозною проблемою в Україні [2], що завдає значної шкоди довкіллю, економіці та людському здоров'ю. Щорічно в Україні виникає тисячі лісових пожеж, які знищують тисячі гектарів лісів. Для боротьби з цією проблемою важливо мати ефективні системи моніторингу та попередження лісових пожеж.

Аналіз зображень відіграє важливу роль у роботі таких систем. Завдяки сучасним технологіям, таким як машинне навчання та комп'ютерний зір, стало можливим автоматично виявляти лісові пожежі на супутникових знімках та інших зображеннях.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У цій статті [3] автори описують інформаційну систему (ІС) для аналізу геоданих, розроблену для відстеження змін рослинності. ІС використовує дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для виявлення та моніторингу змін у рослинному покриві. Система може бути використана для різних цілей, таких як:

- 1) Моніторинг вирубок лісів.
- 2) Відстеження поширення інвазивних видів.
- 3) Оцінка стану екосистем.
- 4) Виявлення пожеж та інших стихійних лих.

Автори описують архітектуру ІС, алгоритми, які вона використовує, та результати її тестування. Вони також обговорюють потенційні застосування ІС та її майбутні перспективи.

У цій роботі [4] розглядаються методи моделювання екологічно небезпечних територій за допомогою геоінформаційних систем. Дана робота розглядає популярні методи моделювання, що використані при написанні даної статті.

У даній статті [6] автори розглядають доступні методи та способи моніторингу лісових пожеж. Вони розкривають поняття ГІС та систем обчислювального інтелекту.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Проблема сегментації лісових пожеж на супутникових знімках є надзвичайно важливою для моніторингу та боротьби з лісовими пожежами. Застосування нейромережових технологій для розробки моделі

сегментації може значно покращити точність та ефективність цього процесу. Серед ключових проблем, які потребують рішення:

- 1) нестача даних для навчання;
- 2) варіативність даних;
- 3) складність точної сегментації країв пожежі;
- 4) складність інтерпретації зображень.

Саме ці завдання було поставлено за мету вирішити у ході дослідження лісових пожеж на території України.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Основною метою цього дослідження є розробка та впровадження високоточної та ефективної моделі сегментації лісових пожеж на супутникових знімках з використанням нейромережових технологій.

Дослідження виконано з використанням знімків з відкритих джерел NASA Earth Observatory [1]. Для обробки та аналізу супутникових зображень використано бібліотеки Python: Keras, TensorFlow, PyTorch. За допомогою методів моделювання спроектовано архітектуру системи та показано варіанти використання. Для побудови діаграм використано безкоштовний веб-сервіс LucidChart.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для проведення дослідження використано такі методи: аналіз літературних джерел, збір та підготовка даних, розробка нейромережової моделі, оцінка та впровадження моделі. Об'єктом дослідження є процес сегментації лісових пожеж на супутникових знімках. Предметом дослідження є методи та алгоритми розробки нейромережової моделі сегментації лісових пожеж, що базуються на сучасних досягненнях машинного навчання та глибоких нейромереж.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Лісові пожежі є серйозною проблемою в Україні, що завдає значної шкоди довкіллю, економіці та людському здоров'ю.

Для дослідження кількості пожеж в Україні за роками були використані дані Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) за період з 2010 по 2022 рік [2]. Дані показують, що загальна кількість пожеж в Україні протягом

досліджуваного періоду має тенденцію до зростання. Найбільша кількість пожеж спостерігалась у 2015 році (114 701 пожежа), 2020 році (80 654 пожежі) та 2022 році (102 376 пожеж). Найменша кількість пожеж спостерігалась у 2012 році (44 821 пожежа) та 2017 році (45 408 пожеж). На рис. 1 можна побачити загальну статистику по кількості лісових пожеж на території України за останні роки.

Сучасна ситуація по кількості лісових пожеж на території України пропонує розробки ефективного рішення для раннього виявлення та попередження великих катастроф. На рис. 2 можна побачити розроблену архітектуру навчання нейронної мережі. Зображення потрібно попередньо обробити для навчання моделі.

Далі потрібно було обробити зображення, враховуючи ключові аспекти, що впливають на виявлення вогню. Для цього були використані такі методи: фільтрація шуму, сегментація зображення, виявлення країв,

перетворення кольору, порогове значення, виявлення ключових точок. Усі ці параметри дозволяють виявити ключові елементи лісової пожежі. Таким чином, для навчання моделі були підготовлені дані. На рис. 3 представлена діаграма, що відображає розподілення пікселів на зображеннях, які проаналізовані.

Для ідентифікації справжньої пожежі використано різноманітні релевантні функції для детального аналізу зображень. На першому етапі було видалено шуми (рис. 4). Спочатку було використано фільтр Гауса для видалення шумів. Далі було використано двосторонній фільтр, який зглажує зображення зі збереженням країв. У якості третього фільтру було використано медіанний фільтр. Він зменшує видалення випадкового шуму.

Один з етапів аналізу вхідних зображень – сегментація (рис. 5). Цей метод використаний для ідентифікації зображення у вигляді кривих кожного пікселя.

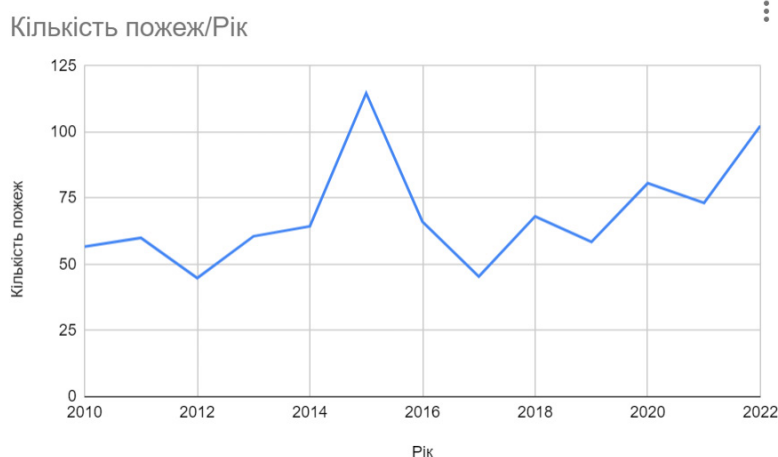


Рис. 1. Кількість лісових пожеж в Україні з 2010 по 2022 роки

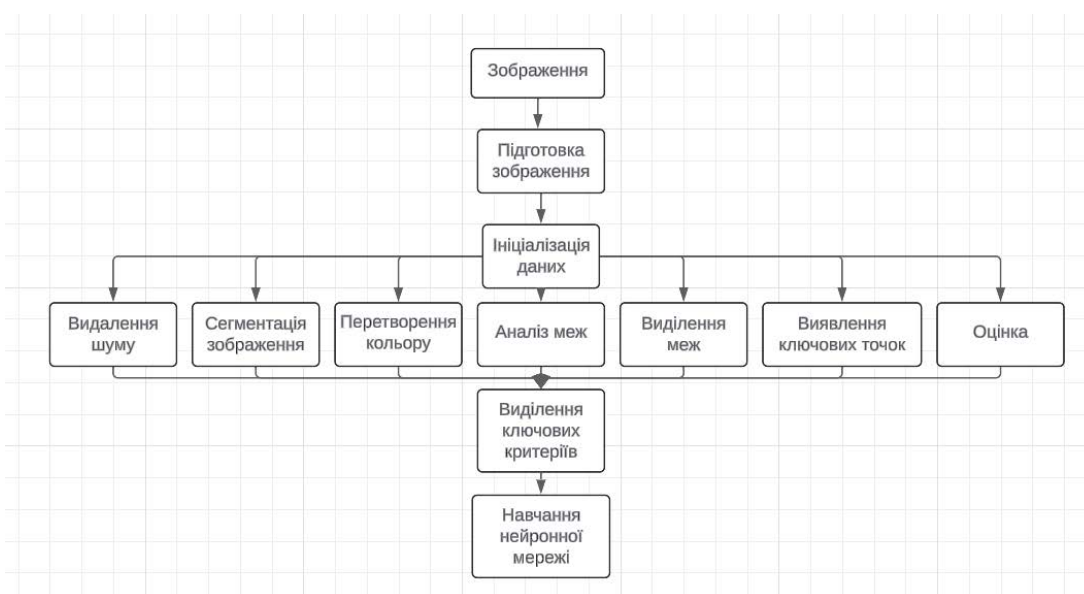


Рис. 2. Архітектура створення набору даних для навчання нейронної мережі

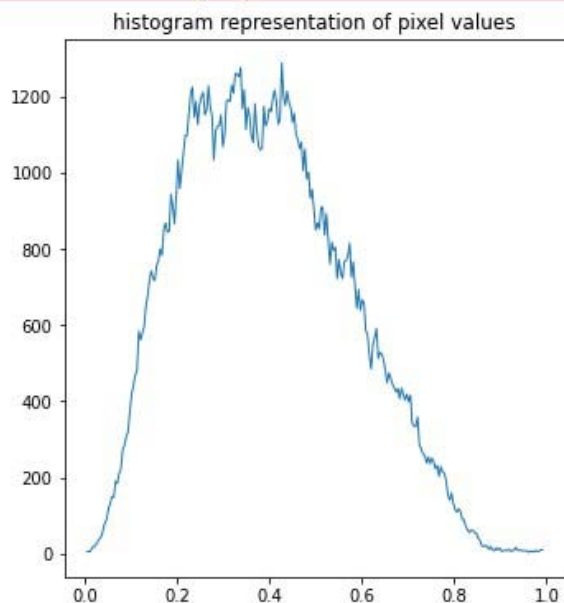


Рис. 3. Діаграма пікселів зображення, що аналізується для навчання нейронної мережі

Сегментація дає можливість оптимізувати оброблюване зображення та зробити його більш зрозумілим для подальшого навчання нейронної мережі. Було використано сегментацію Оцу на основі порового значення. Спочатку дані вхідного зображення обробляються і будується гістограма. Ці дані будуть використані для спрощення подальшого аналізу.

На наступному етапі необхідна трансформація колірної сітки. Перетворення кольору (рис. 6) застосовано для того, щоб додати новий відтінок для аналізу пожежі по всьому зображенню.

Порогове значення використовується для того, щоб сегментувати зображення шляхом зміни пікселів. Це допомагає краще проаналізувати вхідне зображення. Особливо це дає можливість розрізнити деталі зображення та краще виділити відображення лісу, фону та вогню. Двійкове порогове значення забезпечило кращий аналіз вогню на зображенні (рис. 7).

Виявлення країв застосовано для того, щоб перевірити, чи можуть краї виділити об'єкт вогню на зображенні. Даний метод дозволяє ідентифікувати розрив яскравості, коли одна частина зображення замінюється іншою. Зміни інтенсивності зображення виявлено

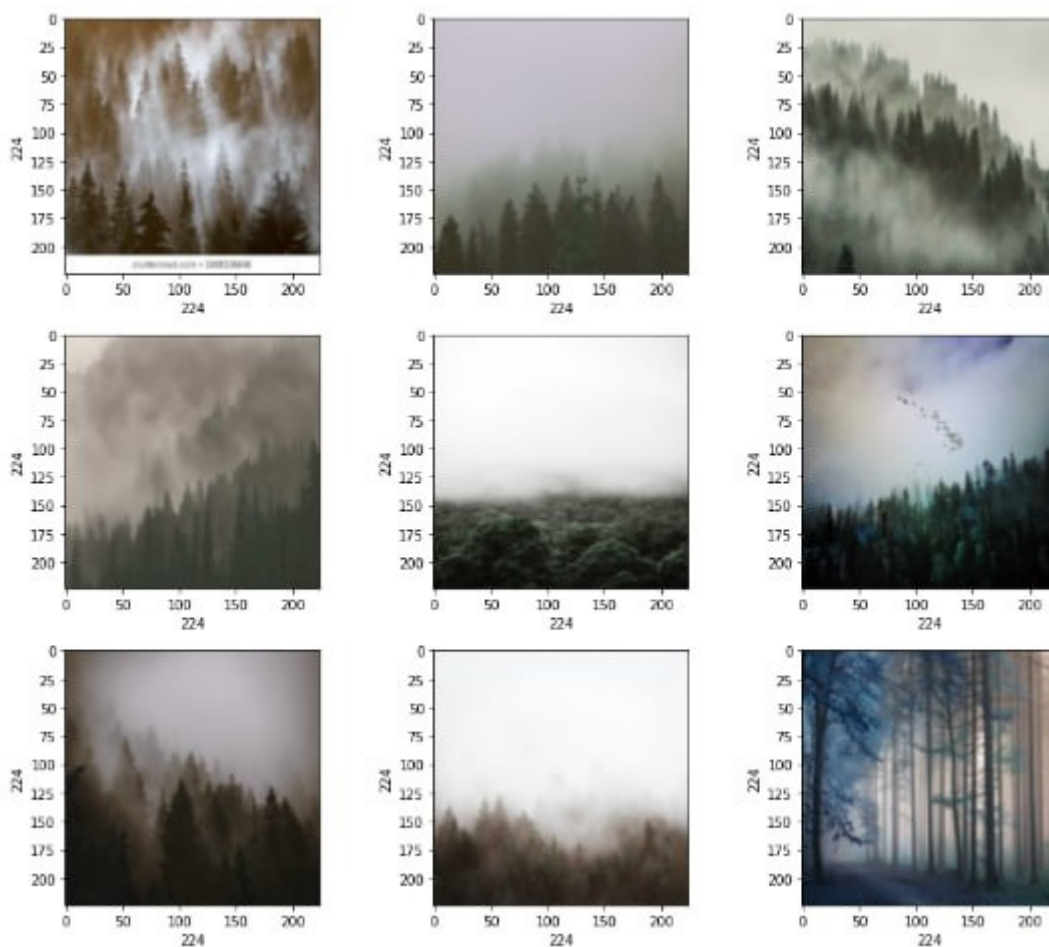


Рис. 4. Видалення шуму

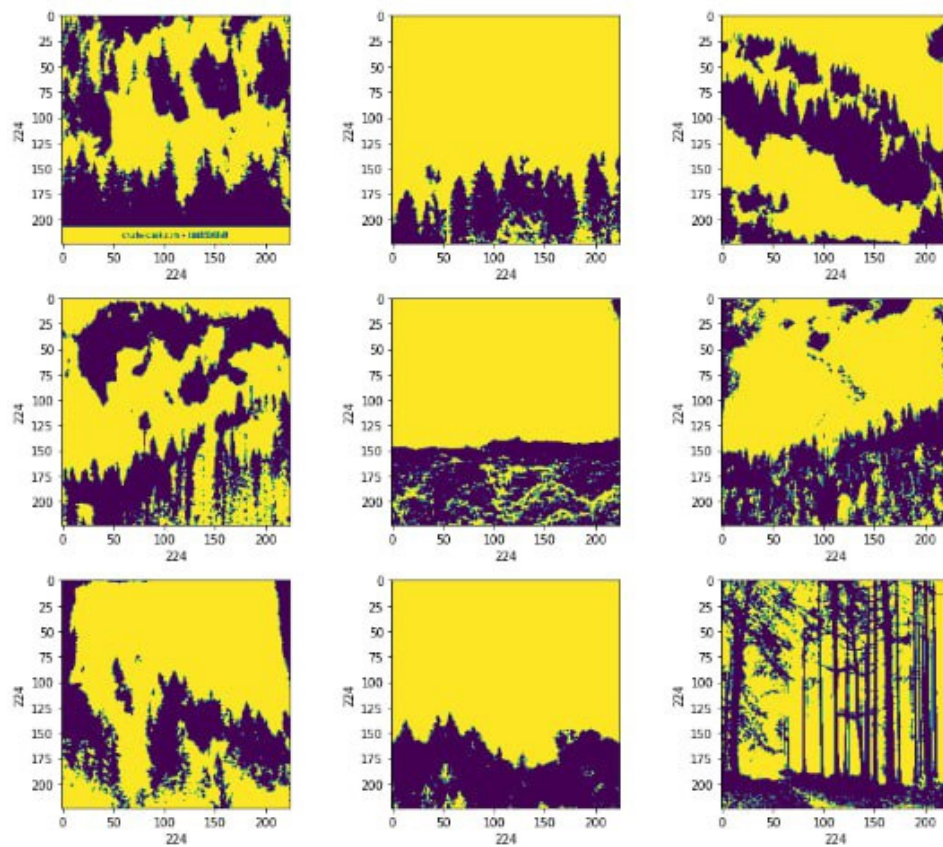


Рис. 5. Сегментація зображення

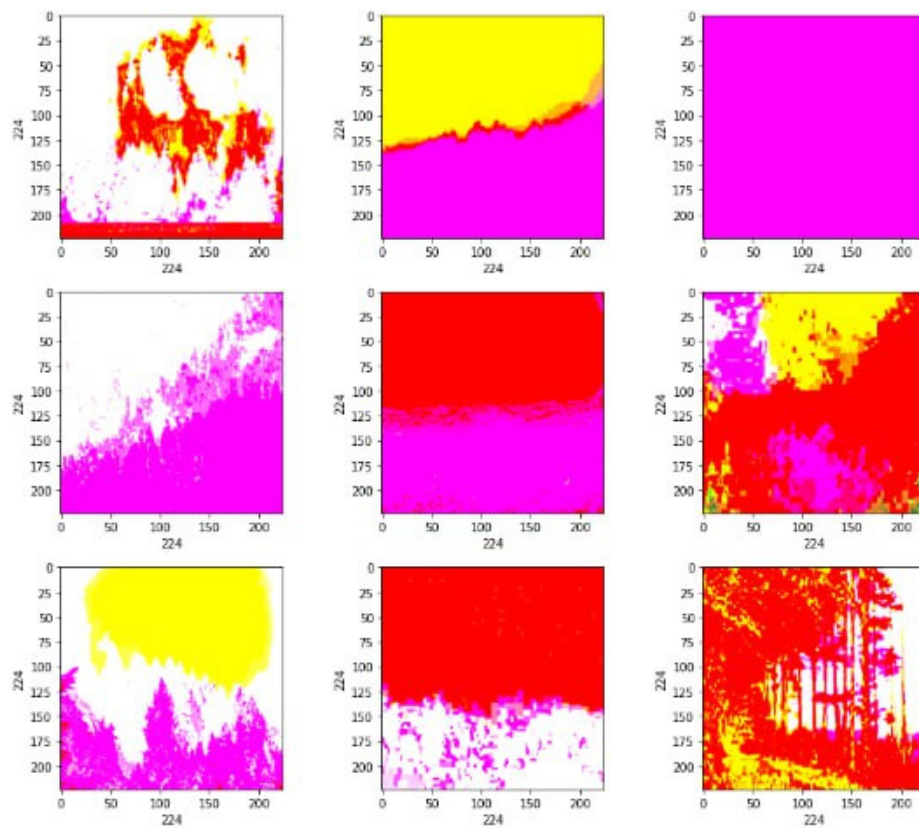


Рис. 6. Трансформація кольору

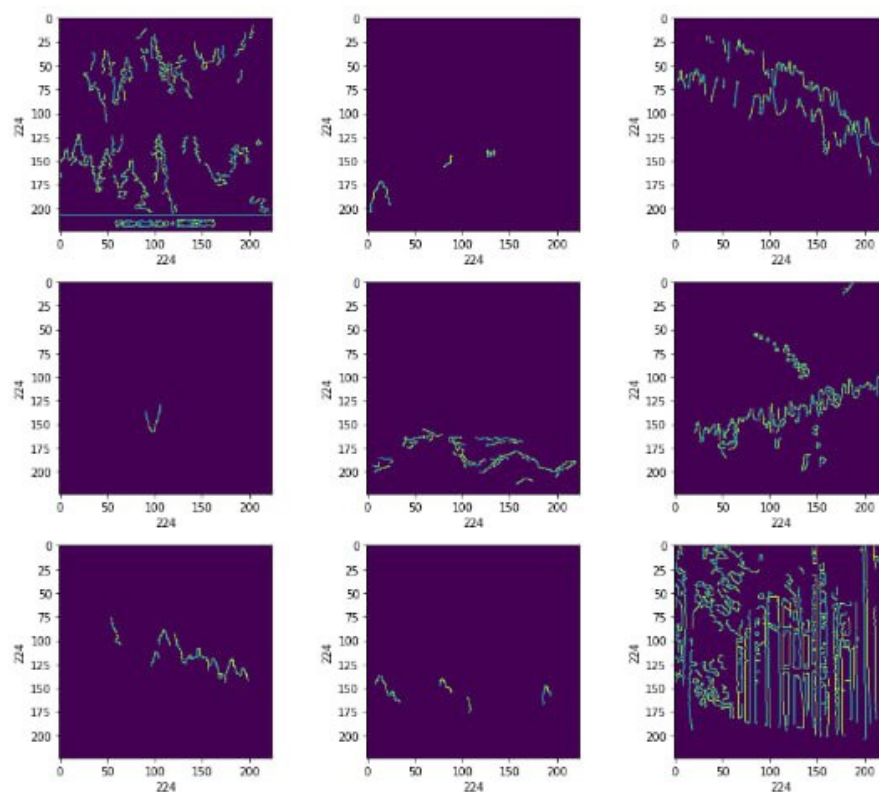


Рис. 7. Порогове значення

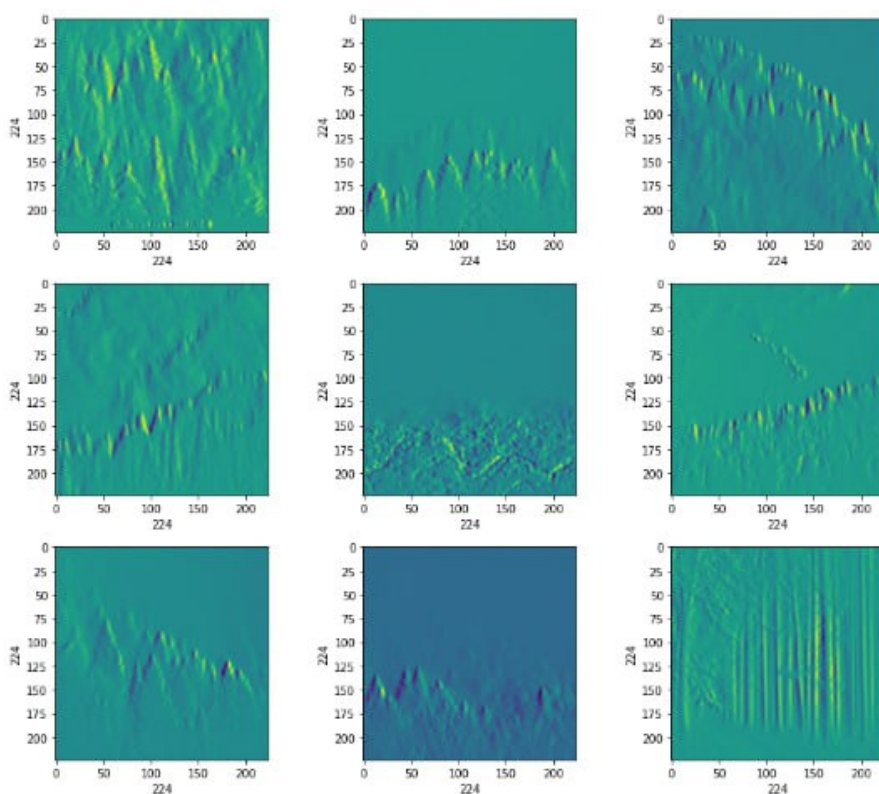


Рис. 8. Виявлення горизонтальних та вертикальних країв зображення

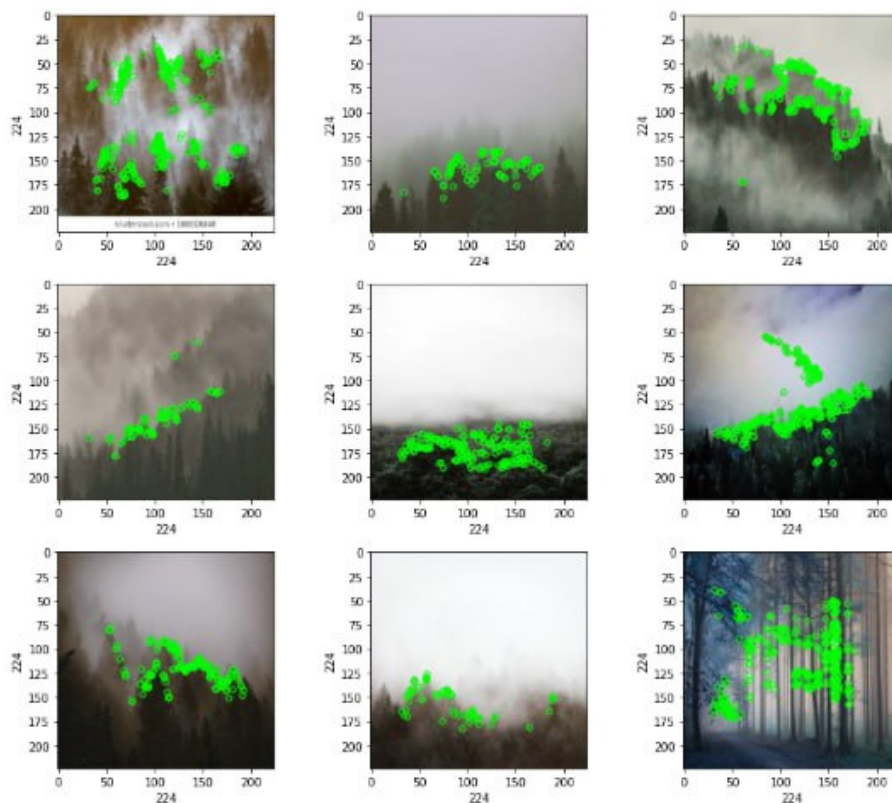


Рис. 9. Виявлення ключової точки

за допомогою фільтра Собеля (рис. 8). Для виявлення ключових точок (рис. 9) використано алгоритм BRIEF. Він дає можливість виявити інтенсивність пікселів для розгляду окремих кутів на зображенні. За допомогою алгоритму вдається виявити краї дерев.

Усі описані дії необхідні для аналізу вхідних зображень та навчання нейронної мережі, яка буде виявляти лісові пожежі на початкових етапах [5–8]. Алгоритм згорткової нейронної мережі виглядає наступним чином:

$$A_{ij} = \sum \sum w_{kl} * X_{(i-k)_j-l}$$

де:

- 1) A_{ij} – елемент карти ознак на позиції (i, j) .
- 2) w_{kl} – значення ваги на позиції (k, l) в ядрі згортки.
- 3) $X_{(i-k)_j-l}$ – значення елемента вхідної сітки на позиції $(i-k, j-l)$.
- 4) k і l – розміри ядра згортки.

Після згортки до карти ознак застосовується нелінійна функція активації, яка вводить елемент нелінійності в процес обробки. На рис. 10 представлено результати виконання алгоритму згорткової нейронної мережі.

На основі прогнозів цієї моделі на невидимому наборі тестових даних оцінена точність моделі становить 92%, що підтверджує гіпотезу про те, що поєднання всіх функцій виявляється більш ефективним при виявленні всіх пожеж.

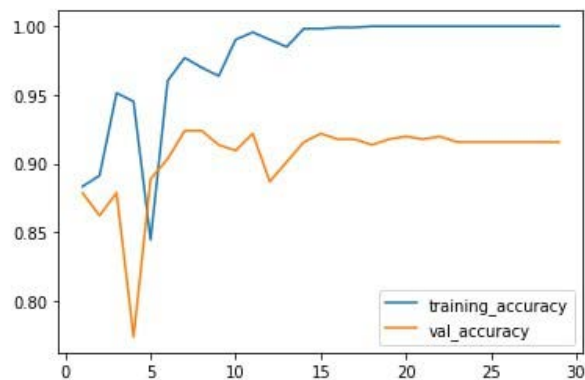


Рис. 10. Результати роботи нейронної мережі

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

У роботі було проведено дослідження лісових пожеж на території України. Побудовано моделі аналізу зображень для ефективного виявлення лісових пожеж на ранніх етапах. Розроблено згорткову нейронну мережу. Досягнуто високої ефективності виявлення пожеж – точність моделі складає 92%. Дані результати ще можна модифікувати та підвищити, щоб ефективніше виявляти лісові пожежі.

ВИСНОВКИ

На основі проведеного дослідження було проаналізовано зображення лісових пожеж. Розроблено згорткову нейронну мережу. Ці дані використано

для розробки СППР з моніторингу та попередження лісових пожеж в Україні. Даний сервіс має практичне значення, дозволяючи своєчасно фіксувати факт пожеж та застосувати відповідні заходи щодо їх запобігання.

REFERENCES

- [1] Binson, Ze, Siuepin, Chzhao, Chzhio, Chzho, & Zhei, Fan. Realizatsiia alhorytmu vyivlennia pozhezhi na DSP TMS320DM642 za dopomohoiu MATLAB/Simulink. [Implementation of fire detection algorithm on DSP TMS320DM642 using MATLAB/Simulink]. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/266646537_Implementation_of_a_Fire_Detection_Algorithm_on_TMS320DM642_DSP_using_MATLABSimulink [in Ukrainian].
- [2] Boriuchys iz lisovoiu pozhezheiu ta pandemiieiu, Ukraina stykaietsia z novym vorohom: nazemnymy minamy [Struggling with forest fires and the pandemic, Ukraine faces a new enemy: land mines]. Retrieved from <https://www.nytimes.com/2020/10/03/world/europe/ukraine-wildfires-landmines.html> [in Ukrainian].
- [3] Zatserkovnyi, V., Savkov, P., Pampukha, I., & Vasetska, K. (2020). Zastosuvannia tekhnolohii HIS ta DZZ v zadakhakh monitorynhu lisovykh pozhezh [Application of GIS and DZZ technologies in forest fire monitoring tasks.]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Viiskovo-spetsialni nauky – Taras Shevchenko Kyiv National University. Military special sciences.* № 2(44). 54–58 pp. [in Ukrainian].
- [4] Kvietyi, R.N., Bohach, I.V., Boiko, O.R., Sofina, O.Iu., & Shushura, O.M. Kompiuterne modeliuвання system i protsesiv. Metody obrobky. Chastyna 2 [Computer modeling of systems and processes. Processing methods. Part 2]. Retrieved from https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp%27yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t2/zm2..htm [in Ukrainian].
- [5] Pitak, I.V., Nehadailov, A.A., Masikevych, Yu.H., Pliatsuk, L.D., Shaporiev, V.P., & Moiseiev, V.F. (2012). Heoinformatsiini tekhnolohii v ekolohii [Geoinformation technologies in ecology]. Chernivtsi, 273 p. [in Ukrainian].
- [6] Turhai Chelyk. Shvydkyi i efektyvnyi metod vyivlennia pozhezhi za dopomohoiu obrobky zobrazen [A fast and efficient method of fire detection using image processing]. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.4218/etrij.10.0109.0695> [in Ukrainian].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Бінсон, Зе, Сюепін, Чжао, Чжіо, Чжо і Жей, Фан. Реалізація алгоритму виявлення пожежі на DSP TMS320DM642 за допомогою MATLAB/Simulink. URL: https://www.researchgate.net/publication/266646537_Implementation_of_a_Fire_Detection_Algorithm_on_TMS320DM642_DSP_using_MATLABSimulink (дата звернення: 10.04. 2024).
- [2] Борючись із лісовою пожежею та пандемією, Україна стикається з новим ворогом: наземними мінами. URL: <https://www.nytimes.com/2020/10/03/world/europe/ukraine-wildfires-landmines.html> (дата звернення: 10.04. 2024).
- [3] Зацерковний, В., Савков, П., Пампуха, І., Васецька, К. (2020). Застосування технологій ГІС та ДЗЗ в задачах моніторингу лісових пожеж. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки.* № 2(44). С. 54–58.
- [4] Кветний, Р.Н., Богач, І.В., Бойко, О.Р., Софіна, О.Ю., Шушура, О.М. Комп'ютерне моделювання систем і процесів. Методи обробки. Частина 2. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp%27yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t2/zm2..htm (дата звернення: 10.04. 2024).
- [5] Пітак, І.В., Негадайлов, А.А., Масікевич, Ю.Г., Пляцук, Л.Д., Шапорєв, В.П., Моїсєєв, В.Ф. (2012). Геоінформаційні технології в екології. Чернівці, 273 с.
- [6] Тургай Челік. Швидкий і ефективний метод виявлення пожежі за допомогою обробки зображень. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.4218/etrij.10.0109.0695> (дата звернення: 10.04. 2024).

© Головіна Н. В.

Дата надходження статті до редакції: 08.04.2024

Дата затвердження статті до друку: 24.04.2024