

**Б. П. Русин, О. А. Луцик, Р. Я. Косаревич, Ю. В. Обух***Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів, Україна*

РОЗПІЗНАВАННЯ УШКОДЖЕНОГО ЛІСУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗГОРТКОВИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ ЗОНДУВАННІ

Проведено детальний огляд проблеми всихання лісів, яка останні роки набула не контрольованого характеру. Проаналізовано основні причини пошкодження лісу, серед яких найбільш відомими є зміна клімату, хвороби та шкідники. Наведено втрати лісового господарства внаслідок захворювання дерев, які є масштабними та розповсюдженими і в інших країнах. Вирішення цих проблем є можливим за умови якісного моніторингу із залученням засобів автоматизованого дистанційного зондування та сучасних методів аналізу зображень, в т.ч. й підходи штучного інтелекту, такі як нейронні мережі та глибинне навчання.

Запропоновано підхід до автоматичної локалізації та розпізнавання дерев, уражених всиханням, що має велике практичне значення для екологічного моніторингу та лісництва. Для розпізнавання та локалізації ушкодженого лісу розроблено згорткову модель глибинного навчання з використанням бібліотек tensorflow та keras. Ця модель складається з мережі детектора та окремої мережі класифікатора. Для навчання та перевірки запропонованої мережі на підставі зображень, отриманих засобами дистанційного зондування, була створена навчальна база даних, яка містить 8500 зображень. Зроблено порівняння запропонованої моделі з наявними методами на підставі таких характеристик як точність та швидкодія. Проведено оцінювання точності та швидкодії запропонованої системи розпізнавання на валідаційній вибірці зображень, розмір якої становить 1700 зображень.

Здійснено оптимізацію моделі для практичного використання з CPU та GPU за рахунок псевдо квантування під час навчання. Це допомагає розподілити значення ваг в процесі навчання і наблизити їх вигляд до рівномірного закону розподілу, що дає змогу більш ефективно застосовувати квантування до вихідної моделі. Також встановлено середню тривалість роботи алгоритму. В середовищі Visual C++ на підставі запропонованої моделі створено експертну програму, яка дає змогу здійснювати екологічний моніторинг та аналіз сухих лісів у польових умовах в режимі реального часу. Під час розроблення програмного забезпечення використовувалися такі бібліотеки, як OpenCV та Direct, код підтримує стандарти об'єктно орієнтованого програмування. Результати роботи та розроблене програмне забезпечення можуть бути використані в системах дистанційного моніторингу та класифікації для екологічного моніторингу та в прикладних задачах лісництва.

Ключові слова: зміна клімату; всихання дерев; дистанційне зондування; глибоке навчання; оброблення зображень.

Вступ

Проблема всихання лісів в останні роки набула не контрольованого характеру. За словами екологів і спеціалістів лісового господарства, серед основних причин пошкодження лісу найбільш відомими є зміна клімату, хвороби та шкідники. Щорічні збитки лісового господарства внаслідок захворювання дерев складають сотні мільйонів гривень. З наслідками аналогічних екологічних проблем зустрічаються і в інших країнах [1], [2]. Прогнози на майбутнє є ще гіршими [3]. З метою моніторингу та дослідження змін стану лісів створюються інформаційні технології, які використовують засоби дистанційного зондування, оброблення зображень та прогнозування для отримання цілісної картини впливу

змін клімату, а також для вирішення локальних задач лісового господарства [4].

Зображення, отримані засобами дистанційного зондування, забезпечують огляд поверхні Землі, що дають змогу ідентифікувати та охарактеризувати об'єкти на ній. Окрім цього, кожне зображення надає інформацію про навколишнє середовище, що робить можливим встановити точну прив'язку досліджуваної території до GPS координат. Це є важливо для оцінки просторових зв'язків при побудові моделей прогнозування. Отже, фіксується кожна видима ознака зображення, включаючи її розташування відносно всіх інших зображень з сусідніх областей. Це надає сукупності зображень формат подібний до карти, який забезпечує повний огляд області, а не локальні дані. Завдяки дистанційному зондуванню

відбувається картографування повної області та моніторинг важливих екологічних змінних, таких як зміна земельного покриття, частка ураження хворобами та шкідниками, незаконні вирубки лісу.

Важливою перевагою використання дистанційного зондування в задачах екології є масштабування і каталогізація інформації. Це дає змогу проводити моніторинг рознесений в часі й порівнювати зміни та відстежувати тенденції.

Як результат, дистанційне зондування застосовується в різноманітному програмному забезпеченні для задач екології та управління лісами – від картографування інвазивних видів до моніторингу змін земельного покриття, таких як фрагментація середовища існування, до оцінки біофізичних та біохімічних властивостей лісів.

Об'єкт дослідження – процеси опрацювання та розпізнавання зображення лісу, які отримані засобами дистанційного зондування.

Предмет дослідження – нейромережеві методи розпізнавання зображень та архітектури глибоких нейронних мереж.

Мета роботи – автоматизація процесу детектування та розпізнавання зображень лісу для виявлення дерев, уражених всиханням внаслідок дії хвороб та шкідників.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- 1) створити базу даних для глибокого навчання. Навчальна база зображень створюється на підставі зображень отриманих засобами дистанційного зондування. При цьому вона містить зображення отримані під різними кутами при різних умовах освітлення. Загальна кількість зображень має становити 8500;
- 2) провести маркування зображень;
- 3) формування навчальної та валідаційної вибірки;
- 4) вибір моделі глибокого навчання;
- 5) навчання моделі;
- 6) розроблення алгоритму фільтрації помилкових об'єктів;
- 7) оцінка результатів розпізнавання на підставі валідаційної вибірки.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – розроблена автоматизована система моніторингу стану лісу, яка за рахунок використання згорткових нейромереж забезпечує опрацювання та розпізнавання зображень масивів ушкоджених дерев у реальному часі та визначення їх координат.

Практична значущість результатів дослідження – підвищена ймовірність правильного розпізнавання зображень масивів ушкоджених дерев; підвищена якість роботи автоматизованої системи моніторингу стану лісових насаджень.

Матеріали та методи дослідження. У роботі використано: методи оброблення та розпізнавання зображень – для розроблення нейромережевих засобів оброблення та розпізнавання зображень масивів ушкоджених дерев; теорію проектування автоматизованих систем – для розроблення автоматизованої системи моніторингу стану лісу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З наслідками аналогічних екологічних проблем зустрічаються і в інших країнах [1], [2]. Прогнози на майбутнє є ще гіршими [3]. З метою моніторингу та дослідження змін стану лісів створюються інформаційні технології, які використовують засоби дистанційного зондування, об-

роблення зображень та прогнозування для отримання цілісної картини впливу змін клімату, а також для вирішення локальних задач лісового господарства [4].

Виявлення хвороб лісу візуальним шляхом є складним завданням і водночас менш точним. Водночас, якщо застосовуються засоби автоматичного виявлення, це забирає менше сили і часу та підвищує точність аналізу. У лісництві деякі загальні захворювання – це бурі та жовті плями, або ранній та пізній випал, та інші грибокві, вірусні та бактеріальні захворювання. На сьогодні більшість автоматизованих експертних систем базуються на методах оброблення зображень та класичних підходах до розпізнавання образів [5]. Досить ефективними є підходи вимірювання ураженої ділянки захворювання та визначення різниці у кольорі ураженої області, також до уваги беруться текстурні та статистичні ознаки зображень [6].

Велику увагу приділяють розробці універсальних інформаційних технологій з самоадаптуючими властивостями. Для цього здійснено перехід до використання алгоритму кластеризації k -середнього, що дало змогу зробити метод сегментації більш універсальним в різних умовах. В статтях багато уваги приділяють застосуванню методів сегментації для виявлення ознак таких як зміна кольору та текстурних особливостей [7].

Проаналізувавши багато підходів до аналізу екологічного стану лісових насаджень, можна зробити висновок, що в основному використовуються експертні системи, які працюють в напівавтоматичному режимі. Такі системи передбачають участь навченого експерта та сильно залежні від оператора програмного забезпечення. Тут кожен крок опрацювання зображень вимагає досвіду та часто залежить від суб'єктивної думки користувача. Для прикладу, це проявляється в потребі налаштування порогових значень для бінаризації, сегментації чи прийняття рішень про належність об'єктів до певного класу на підставі досвіду експерта. Все це, значною мірою ускладнює процес аналізу зображень, робить його довгим, складним та дорогим, а при великих об'ємах інформації аналіз стає взагалі не можливим.

На сьогодні є велика потреба в створенні повністю автоматизованих систем моніторингу в прикладних задачах екології. Об'єми зображень, які отримуються засобами дистанційного зондування є практично не обмеженими. Це є головною умовою для створення інформаційних технологій на підставі штучного інтелекту, а саме нейромережевих моделей глибокого навчання [8].

Велика кількість наявних моделей розпізнавання, у тому числі комерційні бібліотеками не відповідають вимогам до автоматизованої системи розпізнавання. Тому запропоновано використання моделі глибокого навчання, заснованої на повністю пов'язаній згорткової мережі [8]. Багато архітектурних особливостей запозичено з архітектури Resnet та Mobilenet [9].

Результати дослідження та їх обговорення

Процес розпізнавання відбувається безпосередньо в польових умовах в режимі реального часу. Результати розпізнавання можуть бути використані для заповнення бази даних з подальшим статистичним аналізом. Запропонований підхід повинен забезпечувати незмінність обертання зображення в межах 25 градусів, інваріантність до масштабу, умов освітлення, відблисків та кута

фотографування. Він повинен відповідати вимогам до швидкості оброблення.

- створити базу даних для глибинного навчання. Навчальна база зображень створюється на підставі зображень отриманих засобами дистанційного зондування. Також вона містить зображення отримані під різними кутами при різних умовах освітлення. Загальна кількість зображень має становити 8500;
- маркування зображень – досягають шляхом присвоєння кожному об'єкту (ушкодженому дереву) відповідного класу;
- формування навчальної та валідаційної вибірки;
- вибір моделі глибинного навчання;
- навчання моделі;
- розроблення алгоритму фільтрації помилкових об'єктів;
- оцінка результатів розпізнавання на підставі валідаційної вибірки.

Виявлення хвороб лісу. Виявлення хвороб лісу візуальним шляхом є складним завданням і водночас менш точним. Водночас, якщо застосовуються засоби автоматичного виявлення, це забирає менше сили і часу та підвищує точність аналізу. У лісництві деякі загальні захворювання – це бурі та жовті плями, або ранній та пізній випал, та інші грибокві, вірусні та бактеріальні захворювання.

Проаналізувавши багато підходів до аналізу екологічного стану лісових насаджень, можна зробити висновок, що в основному використовуються експертні системи, які працюють в на півавтоматичному режимі. Такі системи передбачають участь навченого експерта та сильно залежні від оператора програмного забезпечення. Тут кожен крок опрацювання зображень вимагає досвіду та часто залежить від суб'єктивної думки користувача. Для прикладу, це проявляється в потребі налаштування порогових значень для бінаризації, сегментації чи прийняття рішень про належність об'єктів до певного класу на підставі досвіду експерта. Все це, значною мірою ускладнює процес аналізу зображень, робить його довгим, складним та дорогим, а при великих об'ємах інформації аналіз стає взагалі не можливим.

На сьогодні є велика потреба в створенні повністю автоматизованих систем моніторингу в прикладних задачах екології. Об'єми зображень, які отримуються засобами дистанційного зондування є практично не обмеженими. Це є головною умовою для створення інформаційних технологій на підставі штучного інтелекту, а саме нейромережових моделей глибинного навчання [8].

Модель глибинного навчання. Запропонована модель, подібно до Mobilenet, приймає триканальні (RGB) зображення довільного розміру і змінює параметри, що вказують координати конкретного об'єкта, в даному випадку пошкоджені дерева.

Запропонований підхід заснований на використанні загорткового фільтра з адаптивним розміром згорткового вікна, яке отримує зображення на вхід у трьох каналах. Модель повертає параметри, що вказують координати певного об'єкта. Також така модель дає змогу одночасно виявляти та класифікувати цілу послідовність об'єктів, а результат повертати у вигляді стеку координат.

Навчальний вибірка відіграє важливу роль у навчанні запропонованої моделі. Результат роботи безпосередньо залежить від того, наскільки репрезентативною, якісною та повною є навчальна вибірка. Аналізуючи особливості ентропії зображення, було виявлено, що

розмір навчальної вибірки повинен становити 8500 зображень. Щоб досягнути такої об'єму навчальної вибірки використовуються підходи аугментації та доповнення зображень адитивним шумом. В межах поставленого експерименту використовували збільшення зображень шляхом спотворення в кількох напрямках:

- спотворення зображення внаслідок зміни кута;
- спотворення зображень через розмиття;
- спотворення зображення шляхом додавання адитивного шуму;
- реплікація зображення за допомогою масштабування.

Функціональну частину запропонованої моделі можна розділити на дві складові. Перша – це виділення об'єктів на зображеннях, а друга – відповідає за генерування ознак за допомогою сукупності згорткових фільтрів.

Перший шар згортки моделі є адаптивним і може змінювати розмір маски згортки в межах від 3×3 до 7×7 елементів на підставі критерію про розмір вхідного зображення. Будівельний блок запропонованої моделі представлений на рис. 1. Нормалізація додається з метою прискорення навчального процесу, який супроводжується використанням градієнтних методів, таких як метод зворотного розповсюдження.

Функція активації в нашому випадку є комбінацією кусково-лінійної та сигмоїдальної функції. Нами було досліджено, що така форма цієї функції є найбільш оптимальною з точки зору поставленого завдання.



Рис. 1. Найпростіший будівельний блок моделі

Аналітичне представлення запропонованої функції активації має вигляд:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & : x < 0; \\ x & : x \leq 0.5; \\ \frac{1}{1+e^{-x}} & : x > 0.5. \end{cases}$$

У цьому виразі центральна лінійна частина функції є обчислювально простою, оскільки є лінійним перетворенням x в $f(x)$. Завдяки нормалізації можна досягти потрапляння значень у 85 % – 90 % лінійної частини функції активації та тільки 10 % – 15 % для нелінійної функції. Модель навчається з використанням градієнтних методів. У цьому випадку похідна запропонованої функції буде мати такий вигляд:

$$f'(x) = \begin{cases} 0 & : x < 0; \\ 1 & : x \leq 0.5; \\ f(x)(1-f(x)) & : x > 0.5. \end{cases}$$

Вигляд запропонованої архітектури показано у вигляді блок-схеми на рис. 2. Окремим завданням є детектування об'єктів або локалізація. Ця задача добре вирішується з допомогою запропонованої архітектури детектора (рис. 3). Виходом цієї мережі є сукупність координат зображення, які вказують на об'єкти, що в подальшому піддаються розпізнаванню.

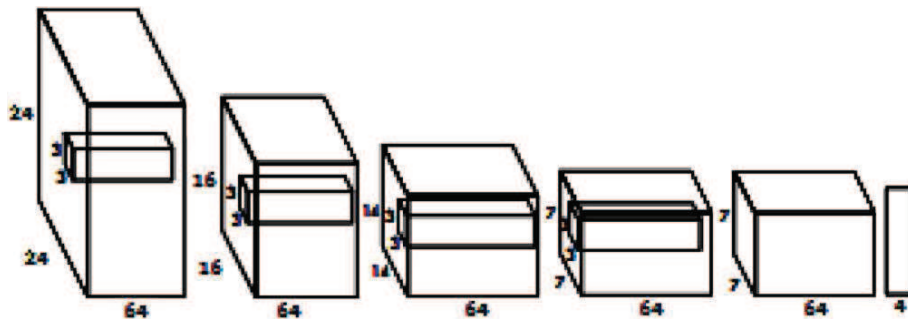


Рис. 2. Запропонована архітектура моделі класифікатора

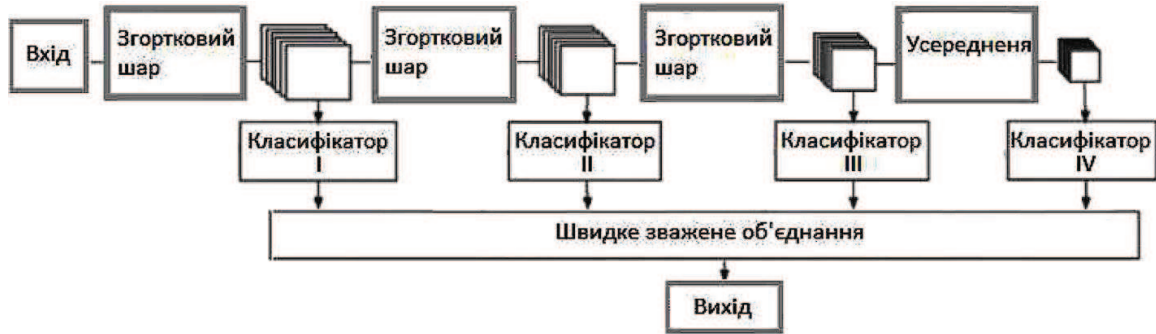


Рис. 3. Архітектура мережі детектора

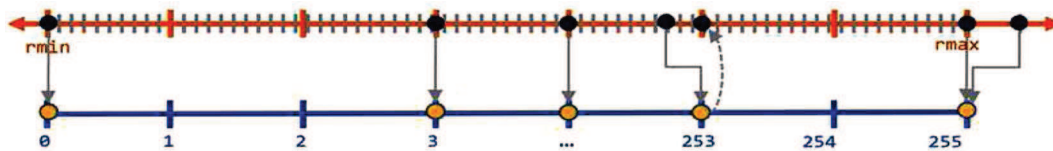


Рис. 4. Схема квантування вагових значень нейронів до 8 біт

Модель складається з п'яти згорткових шарів та класифікаційного шару. Перший шар представлений адаптивною згортковою маскою розмір якої може змінюватися в межах 3×3 до 7×7 пікселів. Блок розпізнавання передбачає наявність 4 класів. У процесі навчання використовується оптимізатор Адама. Це дає змогу прискорити навчання на великих навчальних вибірках. Мінімізація функції втрат при навчанні досягається приблизно на 800-1000 епосі (рис. 5).

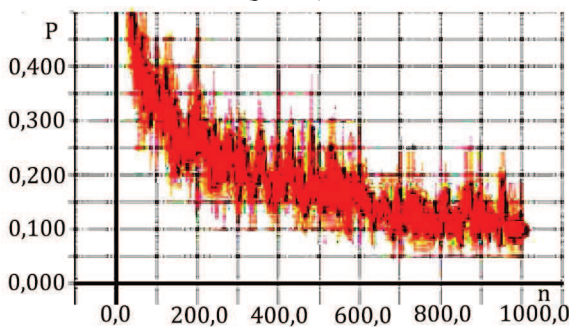


Рис. 5. Мінімізація функції втрат при навчанні

Окрім цього реалізована можливість застосування псевдо квантування (рис. 4). Це допомагає розподілити значення ваг в процесі навчання і наблизити їх вигляд до рівномірного закону розподілу, що внаслідок дає змогу більш ефективно застосовувати квантування до вихідної моделі (рис. 6).

Вихідні дані моделі реалізовані у вигляді матриці, де перший стовпець містить інформацію про координати виявлених об'єктів. Другий стовпець містить інформацію про належність кожного з об'єктів до одного із чотирьох класів. Третя колонка інформує про ймовір-

ність належності даного об'єкта у співвідношенні з еталоном. Модель повертає велику кількість виявлених об'єктів, серед яких є помилкові об'єкти.

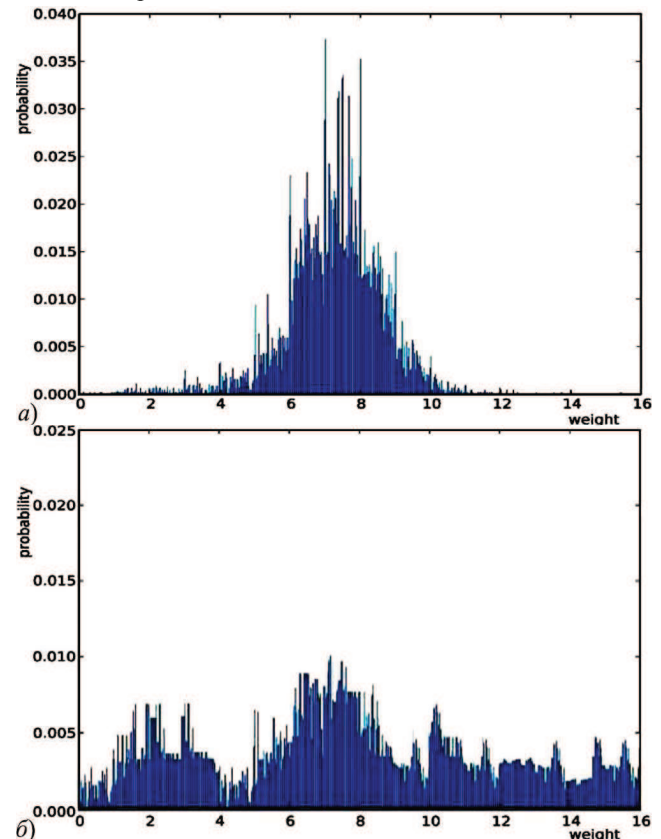


Рис. 6. Розподіл вагових значень без використання псевдо квантуванням (а) та з використанням квантування (б)

Подальша робота зі створення автоматизованої системи передбачає виділення справжніх об'єктів з усього масиву та їх подання у зручній формі для подальшого оброблення. Під подальшим обробленням мається на увазі логічне фільтрування, статистичного оброблення та візуалізація результату.

Результати роботи. Попереднє тестування запропонованої моделі показує хороші результати локалізації і розпізнавання. Базуючись на даних, отриманих на валідаційній вибірці, ймовірність правильного розпізнавання становить 91 %. В таблиці наведено результати ймовірності правильного розпізнавання та часу оброблення запропонованої моделі порівняно з наявними методами.

Таблиця. Результати ймовірності правильного розпізнавання та часу роботи для різних методів

Метод	Точність розпізнавання (%)	Тривалість роботи (с)
Випадкові ліси	94.2	2.6
Лінійна машина підтримки векторів	90.8	0.6
Вирішуючі дерева	76.6	0.8
Бассівський класифікатор	78.8	1.2
k -найближчих сусідів	64.3	2.4
Запропонована модель	91.1	0.2

Як видно з таблиці, запропонована модель показує високу точність розпізнавання при швидкому часі роботи, що робить її придатною для використання в системах реального часу.

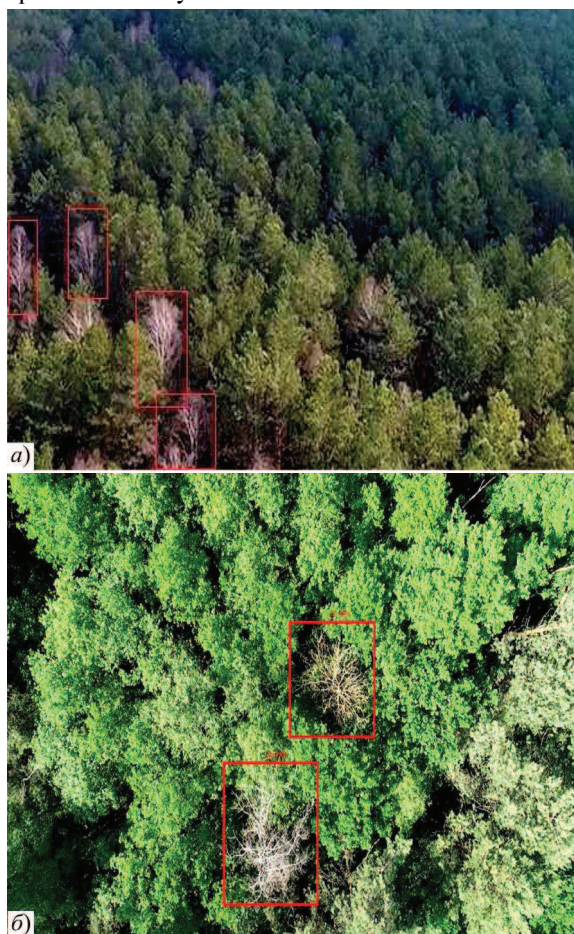


Рис. 7. Результат роботи моделі на зображеннях з поодинокими сухими деревами, які uszkodжені шкідниками

На рис. 7 і рис. 8 наведено результат роботи запропонованої моделі на зображеннях з сухими деревами,

які uszkodжені шкідниками. Перевагою розробленої експертної програми (рис. 9), яка дає змогу здійснювати екологічний моніторинг та аналіз сухих лісів є можливість роботи в польових умовах в режимі реального часу. При цьому процес аналізу відбувається в повністю автоматичному режимі.

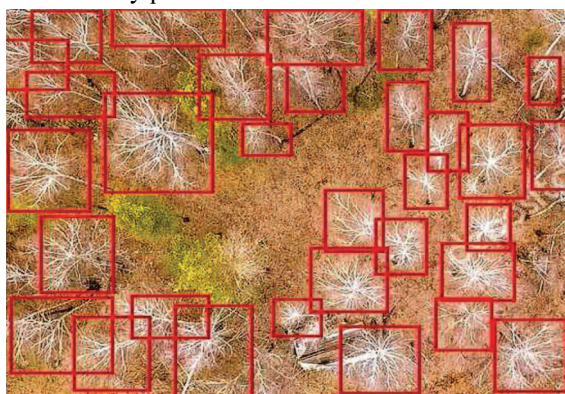


Рис. 8. Результат роботи моделі на зображенні з масовим uszkodженням дерев

Обговорення результатів дослідження. Розроблена автоматизована система моніторингу стану лісу з використанням згорткового фільтра з адаптивним розміром вікна, яке отримує зображення на вхід у трьох каналах і формує результат у вигляді стеку координат. Для підвищення ефективності роботи автоматизованої системи моніторингу стану лісу необхідно забезпечити опрацювання відеопотоків та формування координат у реальному часі. Тому подальші дослідження пов'язані з забезпеченням режиму реального часу при опрацюванні та розпізнаванні зображень. Основними шляхами забезпечення режиму реального часу є: розпаралелення алгоритмів оброблення та розпізнавання зображень; зменшення кількості інформації в кадрі шляхом зменшення роздільної здатності; використання багато ядерних графічних процесорів. Перспективним є дослідження, які зв'язані із розпізнаванням масиву дерев невеликого розміру.

Висновки

1. Проведено огляд методів автоматизованого аналізу в задачах екології лісів. Запропоновано автоматизовану модель глибинного навчання для аналізу uszkodжених дерев. Розроблено підходи для забезпечення стабільної роботи при різних умовах освітлення. Також удосконалено інваріантність розпізнавання до незначних змін кута при отриманні зображення. Реалізовано прив'язку досліджуваної території до GPS координат. Це є важливо для оцінки просторових зв'язків при побудові моделей прогнозування. Показано переваги запропонованої моделі над наявними підходами. Встановлено межі застосування розробленої технології для екологічного моніторингу.

2. Розроблена автоматизована система моніторингу стану лісу з використанням згорткових нейромереж, яка за рахунок опрацювання зображень лісу забезпечує розпізнавання масиву uszkodжених дерев та визначення його координат.

3. Розроблено у середовищі Visual C++ з експертну систему, яка дає змогу здійснювати екологічний моніторинг та аналіз сухих лісів в польових умовах в режимі реального часу.

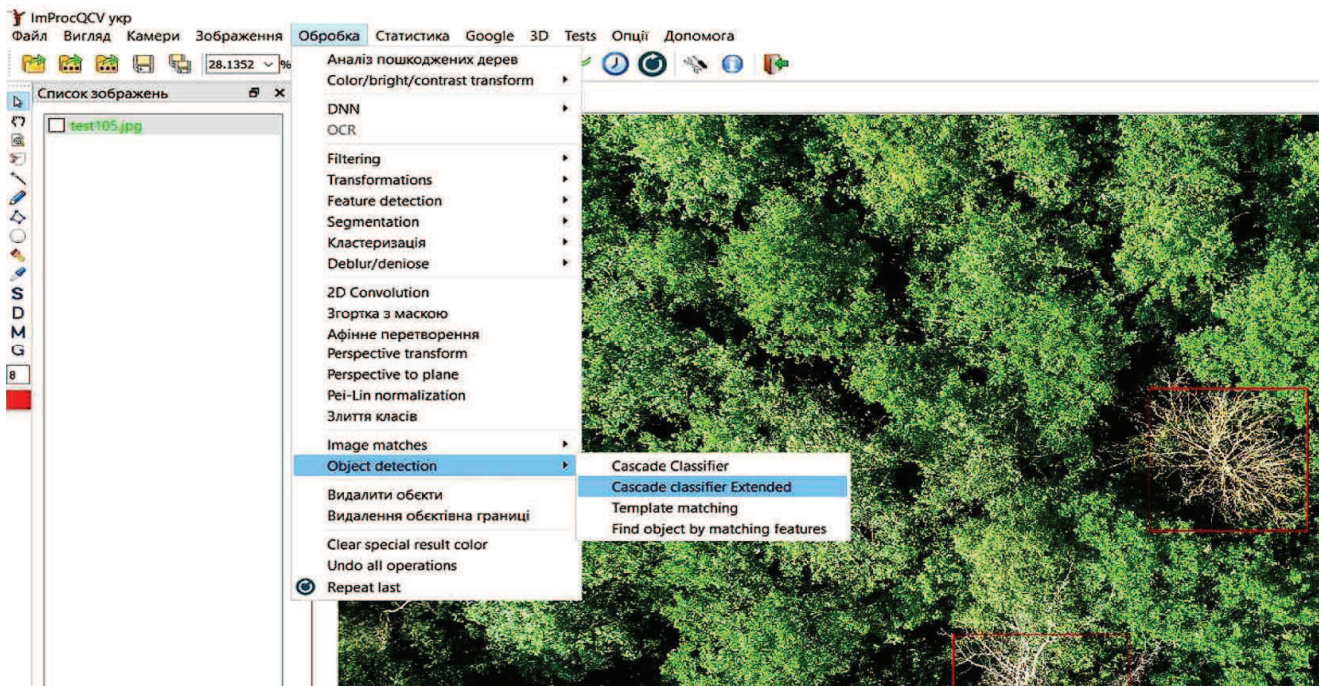


Рис. 9. Головне вікно експертної програми для моніторингу стану лісів

References

- [1] Linnakoski, R., Kasanen, R., Dounavi, A., & Forbes, M. (2019). Forest Health Under Climate Change: Effects on Tree Resilience, and Pest and Pathogen Dynamics. *Frontiers in plant science*, 3, 83–98. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01157>
- [2] Dukes, J., Pontius, J., Orwig, D., Garnas, J., Rodgers, V., Brazeel, N., & Cooke, B. (2009) Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: What can we predict? *Canadian Journal of Forest Research*, 39(2), 231–248. <https://doi.org/10.1139/X08-171>
- [3] Sturrock, R., Frankel, S., Brown, A., Hennon, P., Kliejunas, J., Lewis, K., Worrall, J., & Woods, A. (2011). Climate change and forest diseases. *Plant Pathology*, 60(1), 133–149. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02406.x>
- [4] Lechner, A., Foody, G., & Boyd, D. (2020). Applications in Remote Sensing to Forest Ecology and Management. *One Earth*, 2(5), 405–412. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.05.001>
- [5] Halderl, M., Sarkar, A., & Bahar, H. (2019). Plant disease detection by image processing: A Literature review. *Journal of Food Science & Technology* 3(6), 534–538. <https://doi.org/10.25177/JFST.3.6.6>
- [6] Arya, M., Anjali, K., & Unni, D. (2018). *Detection of unhealthy plant leaves using image processing and genetic algorithm with Arduino*. International Conference on Power, Signals, Control and Computation, 218–236. <https://doi.org/10.1109/EPSCICON.2018.8379584>
- [7] Mehra, T., Kumar, V., & Gupta, P. (2016). *Maturity and disease detection in tomato using computer vision*. Fourth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing, 68–72. <https://doi.org/10.1109/PDGC.2016.7913228>
- [8] Rusyn, B., Lutsyk, O., Kosarevych, R., & Korniy, V. (2018). *Segmentation of atmospheric clouds images obtained by remote sensing*. 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018, 213–216. <https://doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336189>
- [9] Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L. (2019). *Inverted Residuals and Linear Bottlenecks: Mobile Networks for Classification, Detection and Segmentation*. The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Jan. 13, 4510–4520.
- [10] Chng, C., & Chan, C. (2017). *A comprehensive dataset for scene text detection and recognition*. In *Document Analysis and Recognition*. 14th IAPR International Conference, 1, 935–942. <https://doi.org/10.1109/ICDAR.2017.157>

B. P. Rusyn, O. A. Lutsyk, R. Ya. Kosarevych, Yu. V. Obukh

Karpenko Physico-mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine.

RECOGNITION OF DAMAGED FOREST WITH THE HELP OF CONVOLUTIONAL MODELS IN REMOTE SENSING

The article provides a detailed review of the problem of deforestation, which in recent years has become uncontrolled. The main causes of forest damage are analyzed, among which the most well-known are climate change, diseases and pests. The losses of forestry as a result of tree diseases, which are large-scale and widespread in other countries, are given. The solution of these problems is possible under the condition of high-quality monitoring with the involvement of automated remote sensing tools and modern methods of image analysis, including artificial intelligence approaches such as neural networks and deep learning.

The article proposes an approach to automatic localization and recognition of trees affected by drought, which is of great practical importance for environmental monitoring and forestry. A fully connected convolutional model of deep learning using the *tensorflow* and *keras* libraries has been developed for localization and recognition. This model consists of a detector network and a separate classifier network. To train and test the proposed network based on images obtained by remote sensing, a training database containing 8500 images was created. A comparison of the proposed model with the existing methods is based on such

characteristics as accuracy and speed. The accuracy and speed of the proposed recognition system were evaluated on a validation sample of images, consisting of 1700 images. The model has been optimized for practical use with CPU and GPU due to pseudo quantization during training. This helps to distribute the values of the weights in the learning process and bring their appearance closer to a uniform distribution law, which in turn allows more efficient application of quantization to the original model. The average operating time of the algorithm is also determined. In the Visual C++ environment, based on the proposed model, an expert program has been created that allows to perform the ecological monitoring and analysis of dry forests in the field in real time. Libraries such as OpenCV and Direct were used in software development, and the code supports object-oriented programming standards. The results of the work and the developed software can be used in remote monitoring and classification systems for environmental monitoring and in applied tasks of forestry.

Keywords: climate change; drying of trees; remote sensing; deep learning; image processing.

Інформація про авторів:

Русин Богдан Павлович, д-р техн. наук, професор, завідувач відділу інформаційних технологій дистанційного зондування.

Email: b.rusyn.prof@gmail.com

Луцки Олексій Андрійович, канд. техн. наук., наук. співробітник, відділ інформаційних технологій дистанційного зондування.

Email: olutsyk@yahoo.com

Косаревич Ростислав Ярославович, ст. наук. співробітник, відділ інформаційних технологій дистанційного зондування.

Email: kosar2311@gmail.com

Обух Юрій Володимирович, мол. наук. співробітник, відділ інформаційних технологій дистанційного зондування.

Email: bleach665@gmail.com

Цитування за ДСТУ: Русин Б. П., Луцки О. А., Косаревич Р. Я., Обух Ю. В. Розпізнавання ушкодженого лісу за допомогою згортованих моделей при дистанційному зондуванні. Український журнал інформаційних технологій. 2021, т. 3, № 1. С. 01–07.

Citation APA: Rusyn, B. P., Lutsyk, O. A., Kosarevych, R. Ya., & Obukh, Yu. V. (2021). Recognition of damaged forest with the help of convolutional models in remote sensing. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 3(1), 01–07.

<https://doi.org/10.23939/ujit2021.03.001>