
СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

УДК 004.89

Д.І. УГРИН, Ю.О. УШЕНКО, В.В. ДВОРЖАК, Т.В. ТЕРЛЕЦЬКИЙ, О.Л. КАЙДИК

АРХІТЕКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ВИДІВ ГРИБІВ

¹Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича,
Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна

²Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Україна

Анотація. У статті представлено розробку інтелектуальної системи для розпізнавання видів грибів, яка забезпечує високу точність і зручність у використанні. Для навчання моделі було використано великий датасет "Mushrooms classification" з платформи Kaggle, що забезпечило необхідну різноманітність зображень і досягнення точності класифікації на рівні 85%. Попередня обробка даних включала перевірку якості зображень, їх стандартизацію та поділ на тренувальні, валідаційні й тестові вибірки, що сприяло ефективному навчанню моделі. Основою алгоритму розпізнавання стала згортоква нейронна мережа ResNet, яка продемонструвала перевагу в точності над іншими архітектурами.

Ключові слова: інтелектуальна система, машинне навчання, нейронна мережа, розпізнавання зображень, IT-галузь, ризик-менеджмент та маркетинг.

Abstract. The article presents the development of an intelligent system for recognising mushroom species that provides high accuracy and ease of use. To train the model, a large dataset 'Mushrooms classification' from the Kaggle platform was used, which provided the necessary diversity of images and achieved a classification accuracy of 85%. Data pre-processing included image quality checks, standardisation, and division into training, validation, and test samples, which contributed to efficient model training. The recognition algorithm is based on the ResNet convolutional neural network, which has demonstrated an accuracy advantage over other architectures.

Keywords: intelligent system, machine learning, neural network, image recognition, IT industry, risk management and marketing.

DOI: 10.31649/1681-7893-2024-48-2-114-127

ВСТУП

У 2023 році в Україні зареєстровано 88 випадків отруєння грибами, з яких 18 сталися серед дітей, згідно з даними Центру громадського здоров'я України. Ця статистика вказує на актуальність питання визначення їстівності грибів у сучасному суспільстві [1, 2]. Незважаючи на зростання кількості інформації про гриби в мережі Інтернет, випадки отруєння не припиняються, що підкреслює необхідність розвитку ефективних заходів профілактики таких ситуацій.

Під час вивчення літератури з грибництва було проаналізовано низку наукових статей і досліджень, присвячених класифікації грибів на основі морфологічних характеристик. Особливу увагу привернула робота Johaira U. Lidasan та Martina P. Tagacay "Mushroom Recognition using Neural Network"[3-5], де розглянуто методи ідентифікації видів грибів за допомогою комп'ютерного зору та машинного навчання. Крім того, було розглянуто дослідження, які аналізують морфологічні особливості грибів та їхню роль у класифікації видів.

Актуальність цього дослідження зумовлена зростанням випадків отруєння грибами, особливо серед дітей, які є найбільш вразливою групою. Незважаючи на доступність інформації в Інтернеті, небезпека отруєння грибами залишається високою. Розробка інтелектуальної системи для розпізнавання видів грибів має значний практичний потенціал для підвищення безпеки громадян і може суттєво знизити кількість випадків отруєнь, зберігаючи здоров'я і життя людей.

© Д.І. УГРИН, Ю.О. УШЕНКО, В.В. ДВОРЖАК, Т.В. ТЕРЛЕЦЬКИЙ, О.Л. КАЙДИК, 2024

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Отже, основна мета цього дослідження — створення інтелектуальної системи, здатної ефективно ідентифікувати види грибів для запобігання випадкам отруєнь. Система повинна автоматично аналізувати зображення грибів і надавати користувачеві інформацію щодо їх їстівності чи отруйності. Такий підхід сприятиме зниженню кількості отруєнь грибами, особливо серед дітей, та підвищенню рівня безпеки громадян України.

Об'єктом дослідження є процес ідентифікації видів грибів за допомогою інтелектуальної системи. У рамках роботи аналізуються методи та алгоритми нейронних мереж, здатних точно розпізнавати види грибів на основі їх зображень. Особлива увага приділяється методам обробки зображень, вибору архітектури та навчання нейронних мереж для класифікації грибів, а також створенню користувацького інтерфейсу системи.

Предметом дослідження є розробка й оптимізація інтелектуальної системи, яка визначає види грибів і надає користувачеві інформацію про сімейство грибів.

Зазначений проект має вагомое практичне значення, оскільки система розпізнавання грибів може значно вплинути на здоров'я громадян та безпеку харчових продуктів. Вона дозволяє знижувати ризик отруєнь грибами завдяки швидкій та точній ідентифікації їх виду, надаючи інформацію про їстівність чи токсичність. Система буде особливо корисною для осіб, які займаються збиранням грибів для харчових або лікувальних цілей, надаючи їм можливість безпечніше використовувати гриби у своєму житті.

В умовах сучасного суспільства зростає потреба у створенні платформ для грибництва, які оснащені інтелектуальними системами для розпізнавання грибів. Це обумовлено зростаючим інтересом до грибів та необхідністю швидкої й точної ідентифікації для запобігання отруєнь та прийняття обґрунтованих рішень. Інноваційні технології та архітектурні підходи мають забезпечити надійний і зручний доступ до інформації для користувачів.

Таким чином об'єктом розробки є інтелектуальна платформа для грибництва, що включає систему розпізнавання грибів. Основною метою є створення системи, яка здатна ефективно обробляти великий обсяг даних про гриби, використовуючи сучасні алгоритми розпізнавання та забезпечуючи зручний інтерфейс для користувачів.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

1. Збір даних для навчання моделі: Зібрати великий обсяг різноманітних даних про гриби для подальшого використання у навчанні моделі прогнозування виду гриба.
2. Попередня обробка даних: Підготувати зібрані дані шляхом їх очищення та обробки, щоб забезпечити якісне навчання моделі.
3. Навчання та тестування моделі: Навчити модель на зібраних даних, провести тестування та оптимізацію з використанням бібліотеки TensorFlow для досягнення високої точності.
4. Розробка UI & UX дизайну: Створити зручний та привабливий інтерфейс користувача за допомогою Figma, забезпечуючи інтуїтивне використання.
5. Розробка Backend-частини: Створити серверну частину платформи з використанням FastAPI для обробки запитів та інтеграції з базою даних PostgreSQL.
6. Інтеграція моделі розпізнавання: Впровадити навчений алгоритм розпізнавання грибів у Backend-частину для забезпечення основної функціональності платформи.
7. Розробка Frontend-частини: Реалізувати клієнтську частину платформи за допомогою React, відповідно до розробленого дизайну у Figma.

1. ДОСЛІДЖЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ГРИБІВ ТА АНАЛІЗУ АНАЛОГІВ

Класифікація грибів на їстівні, умовно їстівні та отруйні становить значний виклик для систем розпізнавання:

1. Їстівні гриби безпечні для споживання без попередньої обробки, мають високу поживну цінність і широко застосовуються у кулінарії. Для правильної ідентифікації їстівних грибів необхідно орієнтуватися на їхні чіткі морфологічні особливості.
2. Умовно їстівні гриби стають придатними для вживання лише після певної обробки, наприклад, варіння, сушіння або соління, оскільки можуть містити токсини, які знешкоджуються під час обробки. Наприклад, *Lactarius deliciosus* (груздь справжній) потребує попереднього вимочування і варіння, щоб зменшити гіркоту і видалити потенційно шкідливі речовини.
3. Отруйні гриби містять токсичні речовини, здатні завдати шкоди або навіть спричинити

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

смерть, і мають різноманітні зовнішні ознаки, які часом можуть нагадувати ознаки їстівних грибів, що робить їхню ідентифікацію вкрай важливою.

Система розпізнавання повинна забезпечувати точне розрізнення грибів на основі їх зовнішніх характеристик, щоб точно визначити можливість їх споживання та уникнути небезпечних помилок.

Варто дослідити низку наявних рішень і систем для розпізнавання грибів, які вже створені й успішно використовуються. Рекомендується детально проаналізувати їхні переваги, недоліки та особливості функціонування, а також провести порівняння для визначення можливостей вдосконалення нашої власної системи розпізнавання грибів.

Одним із таких аналогів є сервіс “Champignonf” (рис. 1). Champignonf — це автоматизована програма для ідентифікації грибів, яка дозволяє користувачам завантажити фотографію для визначення виду гриба. За інформацією з сайту, сервіс здатен розпізнати понад 1000 видів грибів і надає відповідні результати на основі завантаженого зображення.

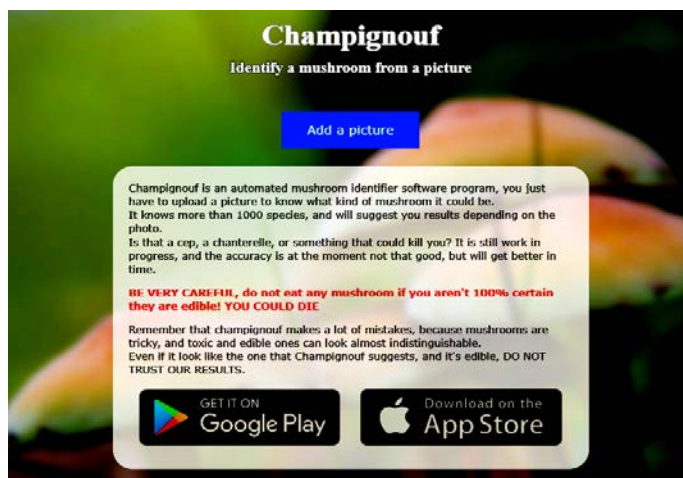


Рисунок 1 – Інформаційна сторінка сервісу Champignonf

Варто зазначити, що Champignonf доступний як веб-додаток, так і мобільний застосунок для iOS та Android. Така мультиплатформність надає користувачам можливість зручно використовувати функції сервісу як онлайн, так і мобільно, отримуючи доступ до інформації про гриби в будь-якому місці — вдома, в дорозі чи на природі.

До недоліків Champignonf можна віднести його обмежену функціональність та відсутність адаптивності, що знижує зручність користування на пристроях з різною роздільною здатністю. Відсутність адаптивного дизайну та ефективною навігації може ускладнити пошук необхідної інформації.

Слід додати, що Champignonf є безкоштовним сервісом, що робить його доступним для широкої аудиторії без фінансових витрат — це може бути важливим критерієм для користувачів, які шукають інформацію про гриби.

Іншим цікавим аналогом є сервіс “Mushroom-ID” (рис. 2), розроблений компанією kindwise.

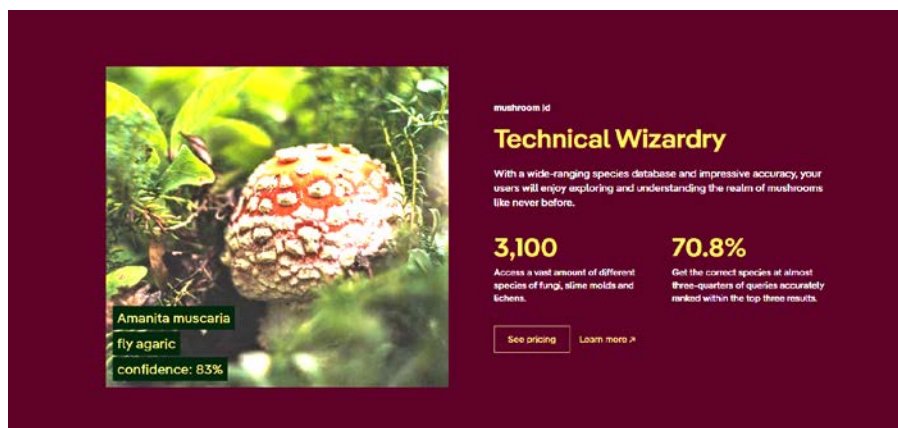


Рисунок 2 – Банер сервісу Mushroom-ID

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Однією з основних переваг Mushroom-ID є доступ до демонстраційного режиму, що дозволяє користувачам ознайомитися з функціоналом додатку до його встановлення. Це допомагає потенційним користувачам оцінити зручність і функціональні можливості додатку ще до ухвалення рішення про його завантаження.

Крім того, відкритий доступ до API-документації є значущим для розробників, оскільки дозволяє інтегрувати можливості Mushroom-ID в інші додатки. Детальна документація сприяє ефективній розробці та відкриває перспективи для створення нових рішень на основі функціоналу інтелектуального розпізнавання грибів, який пропонує додаток.

Згадана вкладка 'Blog' також є важливим елементом, де користувачі можуть обмінюватися статтями, досвідом і знаннями про гриби та грибництво. Це стимулює формування спільноти однодумців, обмін ідеями і поглиблене вивчення тематики.

Функція публікації власних матеріалів сприяє активній участі користувачів і накопиченню цінної інформації про гриби. Це перетворює Mushroom-ID не лише на інструмент для ідентифікації грибів, але й на платформу для обміну знаннями між ентузіастами.

Серед мінусів Mushroom-ID слід відзначити платну модель тарифікації, засновану на кількості запитів. Це може обмежувати доступ для користувачів, які віддають перевагу безкоштовним або бюджетним альтернативам, що стає особливо відчутним для тих, хто регулярно користується сервісом.

Розроблювана інтелектуальна система має кілька важливих переваг порівняно з аналогами. По-перше, вона буде безкоштовною для користувачів, що зробить її більш доступною. По-друге, функція блогу сприятиме формуванню спільноти та обміну інформацією про гриби. Крім того, система надаватиме швидке розпізнавання грибів для оперативної ідентифікації видів. Також у майбутньому заплановано впровадження відкритого API, що дасть змогу розробникам інтегрувати цю систему в інші додатки та розширювати її можливості.

Проведений аналіз та розроблена постановка задачі надали чітке уявлення про створення інтелектуальної системи для розпізнавання видів грибів. Огляд літератури допоміг визначити ключові концепції у сфері грибного розпізнавання та застосування нейронних мереж для ідентифікації об'єктів. Цілі, що охоплюють збір даних, аналіз, моделювання прогнозів та розробку, формують ефективний план (Roadmap) для створення системи. Такий підхід з елементами ризик-менеджменту та маркетингу в IT-сфері забезпечує створення результативної інтелектуальної системи, здатної надійно розпізнавати види грибів.

2. КОНЦЕПЦІЯ АРХІТЕКТУРИ ТА ЛОГІКИ СИСТЕМИ З ЕЛЕМЕНТАМИ РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТУ ТА МАРКЕТИНГУ В ІТ-ГАЛУЗІ

Початкове завдання полягало у вивченні різних видів грибів і методів їх розрізнення. Проте, виявилось, що це завдання є досить складним як для людей, так і для машин. Це пояснюється тим, що схожість між грибами може призводити до помилкової ідентифікації, особливо коли один із них отруйний. Тому було вирішено використовувати дані з перевірених і відкритих джерел, при цьому їх обсяг мав бути достатньо великим і різноманітним.

Наступним кроком було створення та навчання самої моделі, для чого була обрана бібліотека TensorFlow. Вибір TensorFlow для цієї задачі обумовлений кількома причинами. По-перше, TensorFlow є однією з провідних бібліотек для розробки та навчання глибоких нейронних мереж. Вона пропонує широкі можливості для роботи з нейронними мережами різної складності, включаючи згорткові нейронні мережі, які є ефективними для задач обробки зображень, як у випадку розпізнавання грибів. Крім того, TensorFlow забезпечує високу продуктивність і масштабованість, що є важливими при обробці великих обсягів даних, таких як навчання моделі на зображеннях грибів. Нарешті, TensorFlow має активну спільноту користувачів і багатий обсяг документації, що полегшує процес розробки та навчання моделі для розпізнавання грибів.

Реалізація будь-якого проекту починається з чіткого формулювання функціональних вимог, які визначають очікувані функції та можливості системи. Для успішного виконання даного проекту було визначено ряд функціональних вимог, що підлягають реалізації. Ці вимоги детально описують функціонал, якого користувачі можуть очікувати від інтелектуальної системи розпізнавання грибів, і слугують основою для подальшої розробки та впровадження системи:

1. Розпізнавання видів грибів за морфологічними ознаками.
2. Відображення результатів розпізнавання в зручному та інтуїтивно зрозумілому інтерфейсі.
3. Можливість завантаження зображень грибів для їх подальшого розпізнавання.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

4. Реєстрація користувачів та створення особистих профілів.
5. Публікація статей, фотографій та інших матеріалів про гриби.
6. Система коментарів, яка дозволяє обговорювати та коментувати статті і матеріали.
7. Забезпечення безпеки даних користувачів та захист від несанкціонованого доступу до особистої інформації.
8. Адміністративні функції для управління контентом, модерації коментарів і управління користувачами.

Для успішної реалізації проекту важливо не лише розробити функціонал, але й дотримуватися ряду нефункціональних вимог, які визначають якість, ефективність та безпеку системи. Ці вимоги охоплюють технічні, ергономічні та інші аспекти, які впливають на користувацький досвід:

1. Безпека. Забезпечення конфіденційності та цілісності даних користувачів.
2. Швидкодія. Гарантування швидкої та ефективної роботи блогу, навіть при великій кількості відвідувачів або значному обсязі контенту.
3. Надійність. Мінімізація відмов системи та забезпечення безперервної доступності для користувачів.
4. Доступність. Гарантування доступності блогу в різних мережевих умовах.
5. Підтримка. Можливість розширення та підтримки блогу для подальшого розвитку.
6. Сумісність. Підтримка різних браузерів та пристроїв для максимальної доступності.
7. Використання ресурсів. Оптимізація використання серверних та мережевих ресурсів для зменшення витрат і підвищення продуктивності.
8. Ергономіка. Створення зручного та приємного інтерфейсу для користувачів.

Було вирішено створити схему архітектури (рис. 3), оскільки вона візуалізує структуру та взаємозв'язки компонентів системи, що допомагає краще зрозуміти та оцінити архітектурні рішення. Ці схеми зменшують ризик непорозумінь під час розробки, сприяють управлінню ризиками та покращують комунікацію із зацікавленими сторонами. Крім того, вони є важливим джерелом документації для подальших розробок, тестування та підтримки системи.

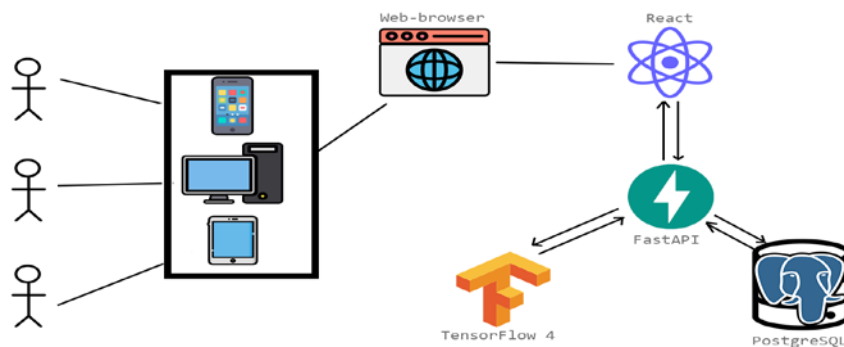


Рисунок 3 – Архітектурна схема проекту

Для покращення розуміння та моделювання взаємодії користувачів із системою була створена діаграма варіантів використання (рис.4). Це допомагає уникнути непорозумінь у функціональності системи та гарантує, що всі потреби користувачів будуть враховані під час розробки. Діаграма варіантів використання фокусується на конкретних сценаріях використання системи, що дозволяє визначити та задокументувати їх вимоги та можливості. Такий підхід сприяє створенню більш зрозумілої та ефективної системи, яка відповідає запитам користувачів.

Згідно з діаграмою, в системі представлені чотири категорії користувачів: гість, неверифікований користувач, верифікований користувач та модератор.

Гість:

1. Авторизація та реєстрація. Гість може відвідати сторінку авторизації для входу в систему або перейти на сторінку реєстрації для створення нового облікового запису.
2. Розпізнавання грибів. Гість має можливість завантажити зображення гриба для його ідентифікації.
3. Перегляд блогу. Може ознайомлюватись зі статтями в блозі та отримувати корисну інформацію про гриби.

Верифікований користувач:

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

1. Редагування профілю. Має право змінювати свої особисті дані, такі як ім'я, фотографія, контактні відомості тощо.
2. Створення та публікація статей. Може писати статті про гриби та публікувати їх у блозі, щоб поділитися своїм досвідом з іншими користувачами.
3. Робота з чернетками. Може зберігати написані статті у вигляді чернеток для подальшої редагування або публікації.
4. Верифікація профілю. Після реєстрації може перейти на сторінку для підтвердження своїх особистих даних.

Модератор:

1. Адміністрування статей. Має доступ до адміністративної панелі, де може переглядати, редагувати та видаляти статті, створені іншими користувачами.
2. Деактивація облікових записів. Має право призупинити облікові записи користувачів у разі порушення правил платформи.

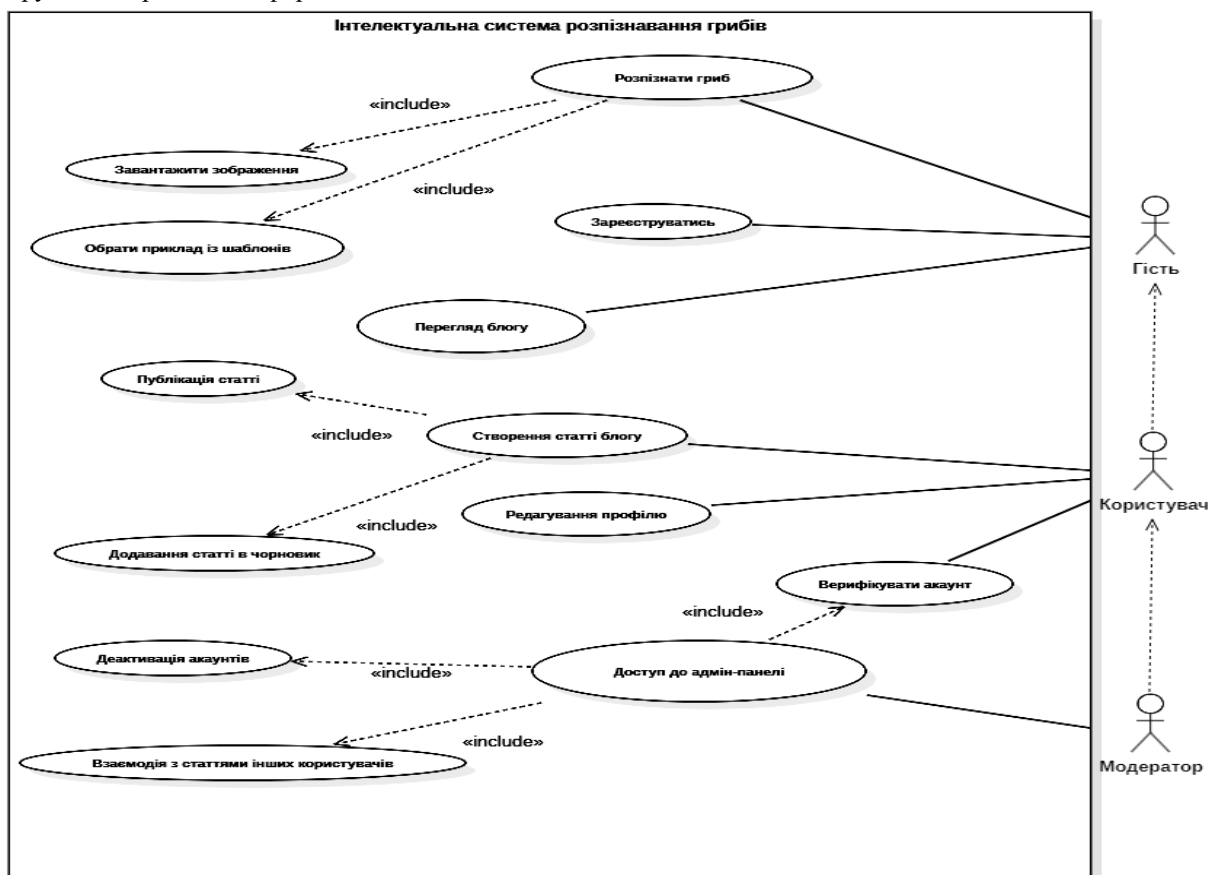


Рисунок 4 – Діаграма варіантів використання

Користувач заходить на веб-сервіс, де має можливість додати фотографію гриба через файловий оглядач або за допомогою технології Drag-and-Drop. Важливо, щоб на одному зображенні був присутній лише один гриб. Розмір зображення вважається прийнятним, але для досягнення більш точних результатів рекомендується використовувати фотографії розміром не менше 299x299 пікселів. Після завантаження фотографії система обробляє зображення та надає користувачу результат – визначений вид гриба і інформацію про його їстівність. Слід зазначити, що модель штучного інтелекту може допускати помилки і не забезпечує 100% гарантії точності визначення.

3. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ

Для початку обробки даних, зокрема фотографій грибів, необхідно було їх зібрати та згрупувати. Важливим ресурсом виявився датасет, що доступний на платформі Kaggle, який має назву "Mushrooms

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

classification - Common genus's images". Цей датасет містив приблизно 7000 зображень різних видів грибів (рис. 5), що стало цінною основою для подальшого аналізу та розробки моделей розпізнавання. Кожна з підкатегорій датасету представляла певне сімейство грибів.

Набір даних містить інформацію про різні грибні сімейства та їх зображення. Кожна підкатегорія відповідає конкретному сімейству грибів і містить різноманітні фотографії цього сімейства. Для перевірки автентичності та точності даних було відібрано кілька фотографій з кожної підкатегорії та порівняно їх з зображеннями з Вікіпедії та медичних сайтів. Цей процес допоміг підтвердити достовірність та відповідність наданих даних.

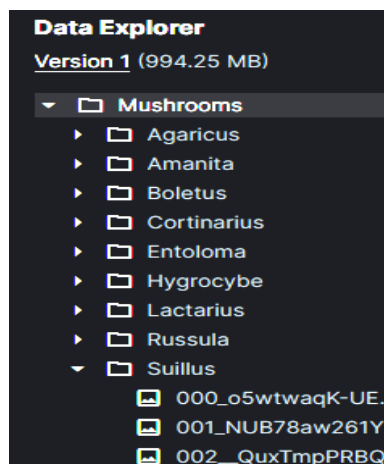


Рисунок 5 – Колекція зображень у датасеті “Mushrooms classification - Common genus's images”

Підготовка даних для навчання моделі складалася з кількох етапів. По-перше, кожне зображення було перевірене на цілісність, щоб уникнути помилок або пошкоджень, які могли б вплинути на якість навчання. Далі всі зображення були стандартизовані до одного розміру, щоб забезпечити однорідні умови для навчання моделі. Наступним кроком стало розділення даних на три вибірки: тренувальну, валідаційну та тестову. Цей підхід дозволяє ефективно оцінювати продуктивність моделі на різних наборах даних і запобігати перенавчанню. Тренувальна вибірка складає 75% даних, валідаційна – 15%, а тестова – 10%. Такий розподіл забезпечує баланс між точністю оцінки та використанням ресурсів.

Було проведено аналіз найпопулярніших архітектур згорткових мереж: EfficientNet та ResNet [4-9]. Ці архітектури користуються широким визнанням у комп'ютерному зорі завдяки своїй високій точності та ефективності [10-18]. У рамках дослідження було застосовано моделі ResNet-152 та EfficientNet B-7 на однакових вибірках даних для розпізнавання грибів.

Результати продемонстрували, що модель на основі ResNet-152 показала кращі результати за ключовими метриками, такими як val_loss (втрата на валідаційній вибірці), loss (втрата на тренувальній вибірці), accuracy (точність) та accuracy_loss (втрата точності). Зокрема, ResNet-152 виявила більш стабільне навчання і меншу кількість помилок у порівнянні з EfficientNet B-7.



True: Cortinarius (Toxic)

Model: Amanita (Toxic)



True: Cortinarius (Toxic)

Model: Cortinarius (Toxic)

Рисунок 6 – Тестування моделі на самостійно відібраних даних з Інтернету.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Для перевірки результатів моделей на реальних даних були відібрані випадкові фотографії грибів (рис. 6) з Інтернету. Модель на базі ResNet-152 (рис. 7а) знову показала кращі результати, досягнувши вищої точності та надійності в порівнянні з EfficientNet B-7 (рис. 7б). Це свідчить про те, що ResNet-152 не лише ефективно працює на навчальних та валідаційних вибірках, але й демонструє високі результати в реальних умовах (таблиця 1).

Таблиця 1.

Порівняння моделей розпізнавання видів грибів

Архітектура моделі	loss	val_loss	test_loss	accuracy	val_accuracy	test_accuracy	Епохи
EfficientNet-B7	0.37	0.52	0.51	0.90	0.84	0.83	37
ResNet-152	0.23	0.48	0.49	0.95	0.85	0.85	31



Рисунок 7 – Результати тестування моделі на основі ResNet-152 (a), EfficientNet-B7 (b)

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Крім того, модель ResNet-152 досягла цих результатів за меншу кількість епох, що свідчить про більш швидке та ефективне навчання. Це є важливим аспектом, оскільки зменшення часу навчання дозволяє економити обчислювальні ресурси та прискорює процес розробки і впровадження системи.

Архітектура ResNet, зокрема ResNet-152, славиться своїм механізмом залишкових блоків, що дозволяє моделі ефективно навчатися, навіть коли мережа має велику глибину. Це сприяє кращій передачі градієнтів під час зворотного поширення помилок, що, в свою чергу, забезпечує стабільніше та точніше навчання [19-25].

У той же час, архітектура EfficientNet B-7, хоча й оптимізована для досягнення високої точності за рахунок масштабування мережі, не змогла перевершити ResNet-152 в нашому дослідженні. Модель EfficientNet B-7 потребує більшої кількості епох для досягнення подібних результатів, що може бути неприйнятним у реальних умовах з обмеженими ресурсами.

Отже, з урахуванням зазначених переваг, модель на основі ResNet-152 була обрана як основна для подальшої роботи над інтелектуальною системою розпізнавання грибів. Це рішення ґрунтується на кращих показниках продуктивності та ефективності, що є критично важливими для створення надійної та точної системи розпізнавання.

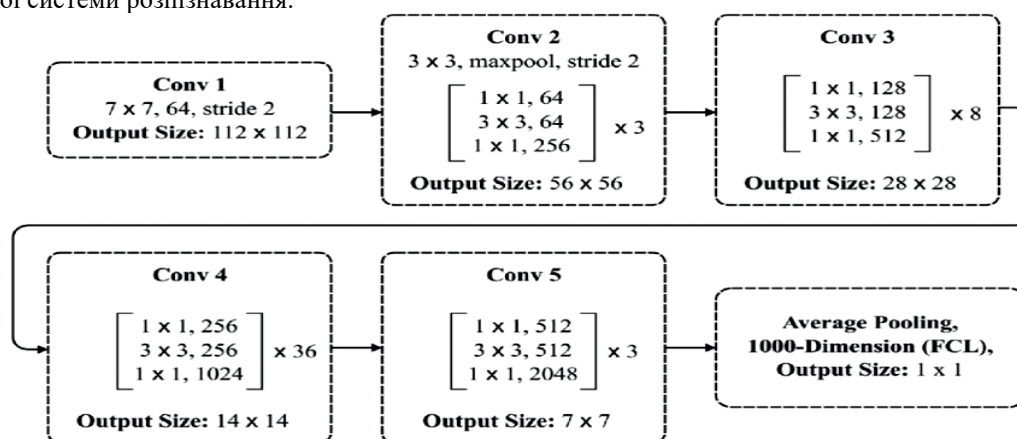


Рисунок 8 – Архітектура ResNet-152

У результаті експериментів було встановлено, що архітектура ResNet-152 перевершує всі популярні згорткові архітектури, займаючи лідируючу позицію за точністю в розв'язанні цього типу задач. У порівнянні з EfficientNet-B7, ResNet-152 виявилася в 5,7 разів швидшою за часом виконання.

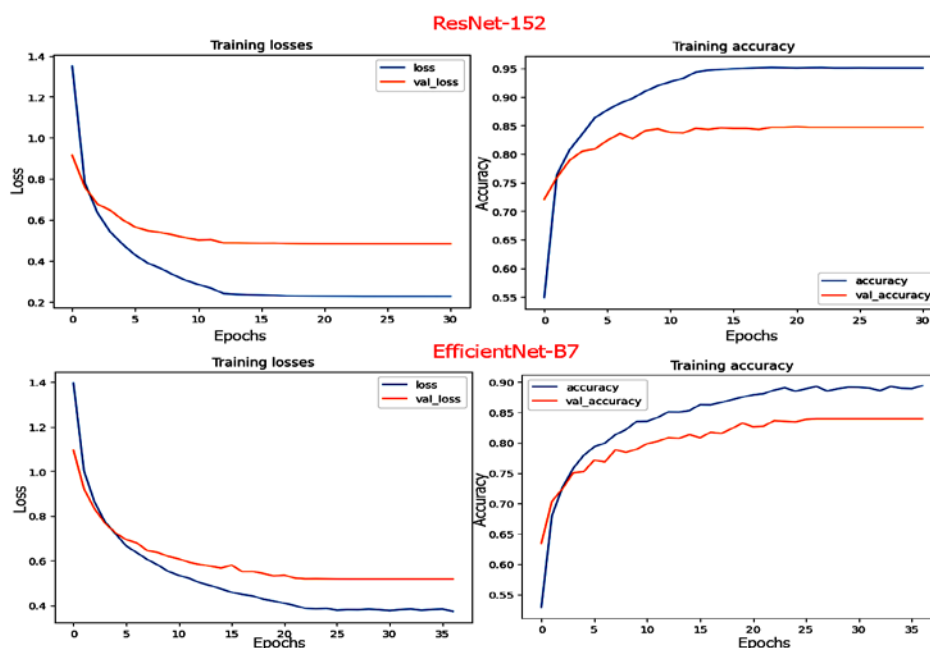


Рисунок 9 – Порівняння різних архітектур згорткових нейронних мереж.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Для покращення процесу навчання було використано два зворотні виклики (callbacks):

1. **EarlyStopping**: Цей виклик контролював метрику точності на валідаційному наборі даних (`val_accuracy`) і зупиняв навчання, якщо протягом 10 епох не відзначалося покращення. Крім того, він відновлював найкращі ваги моделі, отримані під час навчання.

2. **ReduceLROnPlateau**: Цей виклик зменшував швидкість навчання на коефіцієнт 0.1, якщо точність на валідаційному наборі не поліпшувалася протягом 2 епох. Це сприяло більш ефективному сходженню моделі до оптимального рішення.

Разом із розробкою моделі згорткових нейронних мереж відбувалася створення API за допомогою FastAPI. Цей фреймворк дозволив ефективно реалізувати серверну частину програми, забезпечивши швидку обробку запитів і зручну взаємодію з клієнтською стороною. Використання модуля Pickle спростило інтеграцію навченої моделі згорткової нейронної мережі в бекенд програми, забезпечивши простоту управління та підтримки моделі. Такий підхід надав зручність і ефективність у процесі розробки, дозволяючи швидко інтегрувати розроблену модель у програму.

Автентифікація була реалізована з використанням механізмів токенів JWT і протоколу OAuth2.0. Використання токенів JWT дозволяє безпечно передавати інформацію про ідентифікацію користувача між клієнтом і сервером, забезпечуючи захист від зловмисних втручань і підміни даних. Протокол OAuth2.0 дозволяє користувачам отримувати доступ до ресурсів системи через сторонні сервіси, забезпечуючи зручний і безпечний механізм автентифікації. Разом ці технології утворюють потужний і надійний механізм автентифікації, що відповідає сучасним вимогам безпеки.

Для роботи з фотографіями користувачів використовується бібліотека Pillow. Ця бібліотека була застосована для попередньої обробки фотографій, які завантажуються користувачами. Процес передобробки включав конвертацію до популярного формату зображень WebP, що дозволило оптимізувати використання пам'яті та прискорити подальшу обробку. Це забезпечило ефективну обробку та використання фотографій, завантажених користувачами, у системі.

Наприклад розділ "Search AI" (рис. 10) дає змогу визначити вид гриба за допомогою фото. Для зручності користувачів реалізовано функцію перетягування зображень (Drag-and-Drop), що спрощує процес завантаження. Крім того, якщо користувачі не мають власних знімків грибів для аналізу, вони можуть скористатися готовими прикладами, доступними в системі, що дозволяє випробувати можливості платформи та оцінити її точність.

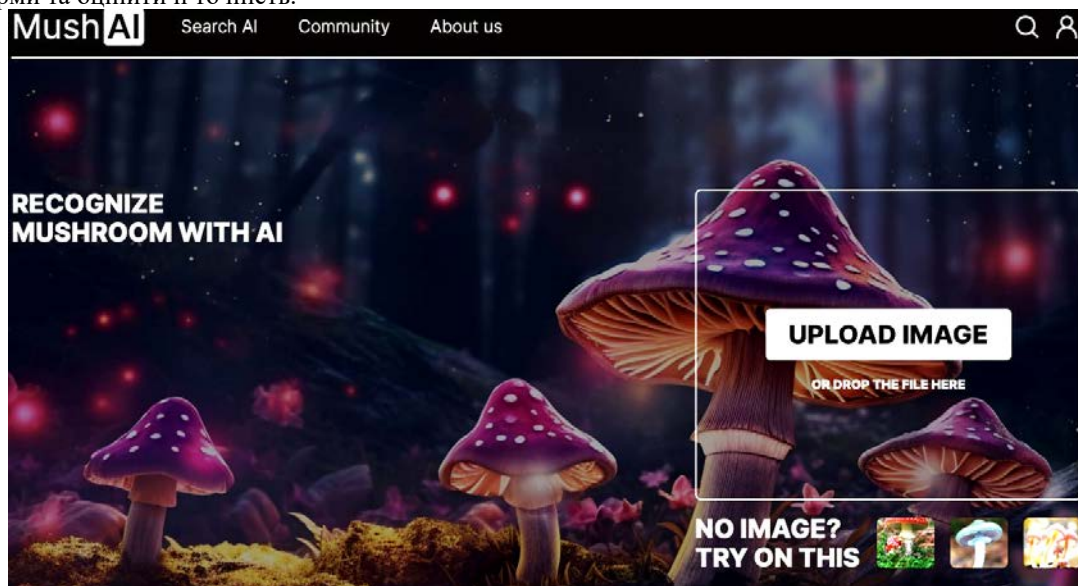


Рисунок 10 – Розділ Search AI розпізнавання видів грибів

REST архітектура використовується для створення веб-сервісів, які забезпечують зручну комунікацію між клієнтом і сервером через стандартні HTTP методи. У контексті нашого додатку REST архітектура забезпечила чітку структуру та інтерфейс для взаємодії між бекендом і фронтендом. Використання стандартних HTTP методів, таких як GET, POST, PUT, DELETE, спростило реалізацію різноманітних операцій, таких як отримання, оновлення, видалення та створення даних. Це покращило ефективність розробки, забезпечивши єдиний і зрозумілий інтерфейс для обміну даними між різними компонентами додатку.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

ВИСНОВКИ

У процесі розробки інтелектуальної системи для розпізнавання видів грибів було реалізовано кілька важливих етапів, які дозволили створити ефективну та зручну платформу для користувачів. Розпочавшись із збору та підготовки даних, був закладений фундамент для навчання моделі. Використання набору даних "Mushrooms classification" з платформи Kaggle дало змогу отримати великий обсяг різноманітних зображень грибів, що стало критично важливим кроком для досягнення точності розпізнавання на рівні 85%.

Подальша обробка даних включала перевірку цілісності фотографій, їх стандартизацію до єдиного розміру та розподіл на тренувальні, валідаційні та тестові вибірки. Це забезпечило належне навчання та перевірку моделі. Використання згорткових нейронних мереж, зокрема ResNet, дозволило досягти високої точності розпізнавання грибів, перевершуючи інші архітектури.

Розробка API на базі FastAPI та використання JWT для автентифікації користувачів забезпечили надійну та безпечну взаємодію між клієнтською та серверною частинами системи. Поєднання цих технологій дало змогу створити ефективну та масштабовану систему, що відповідає сучасним вимогам. Розроблена система пропонує користувачам зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для розпізнавання видів грибів за зображеннями. Висока точність розпізнавання підвищує надійність результатів, забезпечуючи стабільність і масштабованість платформи. Вона доступна та зручна для використання на різних пристроях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Johaira U. Lidasan, & Martina P. Tagacay. (2018). Mushroom Recognition using Neural Network. *International Journal of Computer Science Issues*, 15(5), 52–57. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1467659>
2. Глибинне навчання для комп'ютерного зору. Частина 1 / В.В. Дворжак, М.В. Талах – Чернівці: Технодрук, 2022 р. – 271 с.
3. Тимчишин Р.М., Волков О.Є., Господарчук О.Ю., Богачук Ю.П. (2018). Сучасні підходи до розв'язання задач комп'ютерного зору // зб. наук. пр. «Control systems and computers», УСИМ, № 6, с. 46-73.
4. Зінченко О.В., Звенігородський О.С., Кисіль Т.М. (2022). Згорткові нейронні мережі для вирішення задач комп'ютерного зору. Телекомунікаційні та інформаційні технології. Київ, 2(75), с. 4-12.
5. Du, A.; Zhou, Q.; Dai, Y. Methodology for Evaluating the Generalization of ResNet. *Appl. Sci.* 2024, 14, 3951. <https://doi.org/10.3390/app14093951>
6. Wang, Z., Bovik, A. C. and Lu, L. Why is image quality assessment so difficult?, *Proceedings of 2002 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 13–17 May 2002, Orlando, FL, USA, Vol. 4, pp. IV-3313-IV-3316.
7. Chollet, F. *Deep Learning with Python*, 2nd ed., Manning Publications Co., 2021, 478 p.
8. Степанов А., Корнага Я., Крилов Є., Анікін В.. Особливості індексування в базах даних та вибір оптимальної реалізації. *Адаптивні системи автоматичного управління*, 2021, № 2(37), с. 110–117.
9. Lathkar M. *High-Performance Web Apps with FastAPI*. California : Apress Berkeley, 2023. 309 p.
10. *Advancements in CNN Architectures for Computer Vision: A Comprehensive Review*. - This paper explores recent developments in CNN architectures and their applications in image classification, object detection, and segmentation. *IEEE* 2023. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9654151>.
11. *A Survey of Convolutional Neural Networks: Analysis, Applications, and Prospects*. - A thorough analysis of CNN advancements, covering foundational concepts and current innovations in architecture, along with applications in healthcare, security, and autonomous vehicles. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 2022. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9451544>
12. *Deep Residual Learning for Image Recognition: A Review of ResNet Architectures*. - Discusses ResNet variations and improvements in training deeper CNNs efficiently. *International Journal of Neural Systems*, 2021.
13. *Convolutional Neural Networks for Visual Recognition and Beyond*. - This book chapter covers CNNs from basic principles to advanced techniques in computer vision *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2021.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

14. EfficientNet and Beyond: CNNs Optimized for Resource-Constrained Environments. - Focuses on the EfficientNet family of models, which optimize accuracy and efficiency for practical applications Neural Networks, 2022.
15. Application of CNNs in Biomedical Imaging: Opportunities and Challenges. - A specialized review on the use of CNNs in analyzing medical images for disease detection IEEE Transactions on Medical Imaging, 2021.
16. CNNs in Autonomous Driving: Current Research and Future Directions - A practical survey on CNN applications in autonomous vehicle systems, including object detection and lane tracking. Journal of Field Robotics, 2020.
17. Transfer Learning in CNNs: A Pathway to Efficient Model Deployment. - Examines transfer learning to adapt pre-trained CNN models for specific tasks, reducing computational demands. Pattern Recognition Letters, 2021.
18. Attention Mechanisms in Convolutional Neural Networks: Enhancing Model Interpretability. - Analyzes attention mechanisms within CNNs and their impact on interpretability and accuracy. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2022.
19. Wójcik Waldemar, Smolarz Andrzej (2017). Information Technology in Medical Diagnostics, July 11, 2017 by CRC Press, 210 Pages.
20. Highly linear Microelectronic Sensors Signal Converters Based on Push-Pull Amplifier Circuits / edited by Waldemar Wojcik and Sergii Pavlov, Monograph, (2022) NR 181, Lublin, Comitet Inzynierii Srodowiska PAN, 283 Pages. ISBN 978-83-63714-80-2
21. Pavlov Sergii, Avrunin Oleg, Hrushko Oleksandr, and etc. (2021). System of three-dimensional human face images formation for plastic and reconstructive medicine // Teaching and subjects on bio-medical engineering Approaches and experiences from the BIOART-project Peter Arras and David Luengo (Eds.), , Corresponding authors, Peter Arras and David Luengo. Printed by Acco cv, Leuven (Belgium). - 22 P. ISBN: 978-94-641-4245-7.
22. Pavlov S.V., Avrunin O.G., etc. (2019). Intellectual technologies in medical diagnosis, treatment and rehabilitation: monograph / [S. In edited by S. Pavlov, O. Avrunin. - Vinnytsia: PP "TD "Edelweiss and K", 260 p. ISBN 978-617-7237-59-3.
23. Romanyuk, O., Zavalniuk, Y., Pavlov, S., etc. (2023). New surface reflectance model with the combination of two cubic functions usage, Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Srodowiska, , 13(3), pp. 101–106
24. Kukharchuk, Vasyl V., Sergii V. Pavlov, Volodymyr S. Holodiuk, Valery E. Kryvonosov, Krzysztof Skorupski, Assel Mussabekova, and Gains Karnakova. (2022). "Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors" *Sensors* 22, no. 1: 271. <https://doi.org/10.3390/s22010271>.
25. Kukharchuk Vasyl V., Pavlov Sergii V., Katsyv Samoil Sh, and etc. (2021). Transient analysis in 1st order electrical circuits in violation of commutation laws", *Przegląd elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 97 NR 9/2021, p. 26-29, doi:10.15199/48.2021.09.05.

REFERENCES

1. Johaira U. Lidasan, & Martina P. Tagacay. (2018). Mushroom Recognition using Neural Network. *International Journal of Computer Science Issues*, 15(5), 52–57. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1467659>
2. Deep learning for computer vision. Part 1 / V.V. Dvorak, M.V. Talakh - Chernivtsi: Technoprint, 2022 - 271 p.
3. Timchyshyn R.M., Volkov O.E., Gospodarchuk O.Yu., Bogachuk Yu.P. Modern approaches to solving problems of computer vision // collection. of Sciences, "Management Systems and Computers", USiM, 2018, No. 6, p. 46-73.
4. Zinchenko O.V., Zvenigorodskyi O.S., Kysil T.M. Convolutional neural networks for solving computer vision problems. *Telecommunications and information technologies*. Kyiv, 2022, No. 2(75), p. 4-12.
5. Du, A.; Zhou, Q.; Dai, Y. Methodology for Evaluating the Generalization of ResNet. *Appl. Sci.* 2024, 14, 3951. <https://doi.org/10.3390/app14093951>
6. Wang, Z., Bovik, A. C. and Lu, L. "Why is image quality assessment so difficult?", *Proceedings of 2002 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 13–17 May 2002, Orlando, FL, USA, Vol. 4, pp. IV-3313-IV-3316.
7. Chollet, F. *Deep Learning with Python*, 2nd ed., Manning Publications Co., 2021, 478 p.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

8. Stepanov A., Kornaga Ya., Krylov Ye, Anikin V. (2021). Peculiarities of indexing in databases and choosing the optimal implementation. *Adaptive automatic control systems*, No. 2(37), p. 110–117.
9. Lathkar M. *High-Performance Web Apps with FastAPI*. California : Apress Berkeley, 2023. 309 p.
10. Advancements in CNN Architectures for Computer Vision: A Comprehensive Review. - This paper explores recent developments in CNN architectures and their applications in image classification, object detection, and segmentation. *IEEE* 2023. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9654151>.
11. A Survey of Convolutional Neural Networks: Analysis, Applications, and Prospects. - A thorough analysis of CNN advancements, covering foundational concepts and current innovations in architecture, along with applications in healthcare, security, and autonomous vehicles. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 2022. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9451544>
12. Deep Residual Learning for Image Recognition: A Review of ResNet Architectures. - Discusses ResNet variations and improvements in training deeper CNNs efficiently. *International Journal of Neural Systems*, 2021.
13. Convolutional Neural Networks for Visual Recognition and Beyond. - This book chapter covers CNNs from basic principles to advanced techniques in computer vision *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2021.
14. EfficientNet and Beyond: CNNs Optimized for Resource-Constrained Environments. - Focuses on the EfficientNet family of models, which optimize accuracy and efficiency for practical applications *Neural Networks*, 2022.
15. Application of CNNs in Biomedical Imaging: Opportunities and Challenges. - A specialized review on the use of CNNs in analyzing medical images for disease detection *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2021.
16. CNNs in Autonomous Driving: Current Research and Future Directions - A practical survey on CNN applications in autonomous vehicle systems, including object detection and lane tracking. *Journal of Field Robotics*, 2020.
17. Transfer Learning in CNNs: A Pathway to Efficient Model Deployment. - Examines transfer learning to adapt pre-trained CNN models for specific tasks, reducing computational demands. *Pattern Recognition Letters*, 2021.
18. Attention Mechanisms in Convolutional Neural Networks: Enhancing Model Interpretability. - Analyzes attention mechanisms within CNNs and their impact on interpretability and accuracy. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 2022.
19. Wójcik Waldemar, Smolarz Andrzej (2017). *Information Technology in Medical Diagnostics*, July 11, 2017 by CRC Press, 210 Pages.
20. *Highly linear Microelectronic Sensors Signal Converters Based on Push-Pull Amplifier Circuits* / edited by Waldemar Wojcik and Sergii Pavlov, Monograph, (2022) NR 181, Lublin, Comitet Inzynierii Srodowiska PAN, 283 Pages. ISBN 978-83-63714-80-2
21. Pavlov Sergii, Avrunin Oleg, Hrushko Oleksandr, and etc. (2021). *System of three-dimensional human face images formation for plastic and reconstructive medicine // Teaching and subjects on bio-medical engineering Approaches and experiences from the BIOART-project* Peter Arras and David Luengo (Eds.), , Corresponding authors, Peter Arras and David Luengo. Printed by Acco cv, Leuven (Belgium). - 22 P. ISBN: 978-94-641-4245-7.
22. Pavlov S.V., Avrunin O.G., etc. (2019). *Intellectual technologies in medical diagnosis, treatment and rehabilitation: monograph* / [S. In edited by S. Pavlov, O. Avrunin. - Vinnytsia: PP "TD "Edelweiss and K", 260 p. ISBN 978-617-7237-59-3.
23. Romanyuk, O., Zavalniuk, Y., Pavlov, S., etc. (2023). New surface reflectance model with the combination of two cubic functions usage, *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*, , 13(3), pp. 101–106
24. Kukharchuk, Vasyl V., Sergii V. Pavlov, Volodymyr S. Holodiuk, Valery E. Kryvonosov, Krzysztof Skorupski, Assel Mussabekova, and Gaini Karnakova. (2022). "Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors" *Sensors* 22, no. 1: 271. <https://doi.org/10.3390/s22010271>.
25. Vasyl V. Kukharchuk, Sergii V. Pavlov, Samoil Sh. Katsyv, and etc. (2021). Transient analysis in 1st order electrical circuits in violation of commutation laws”, *Przegląd elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 97 NR 9/2021, p. 26-29, doi:10.15199/48.2021.09.05.

Надійшла до редакції: 5.07.2024 р.

**СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ
З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ**

УГРИН ДМИТРО ІЛЛІЧ – доктор технічних наук, професор, доцент кафедри комп'ютерних наук, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Чернівці, Україна,
e-mail: d.ugryn@chnu.edu.ua

УШЕНКО ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач комп'ютерних наук, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Чернівці, Україна, *e-mail: y.ushenko@chnu.edu.ua*

ДВОРЖАК ВАЛЕНТИНА ВОЛОДИМИРІВНА – кандидат фізико-математичних наук, асистент кафедри комп'ютерних наук, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Чернівці, Україна, *e-mail: v.dvorzhak@chnu.edu.ua*

ТЕРЛЕЦЬКИЙ ТАРАС ВОЛОДИМИРОВИЧ – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та безпеки, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна, *e-mail: terletskyi@lntu.edu.ua*

КАЙДИК ОЛЕГ ЛЕОНТІЙОВИЧ – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та безпеки, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна, *e-mail: o.kaidyk@lntu.edu.ua*

DMYTRO UHRYN, YURIY USHENKO, VALENTYNA DVORZHAK,
TARAS TERLETSKYI, OLEN KAI DYK
**ARCHITECTURE OF THE INTELLIGENT SYSTEM FOR RISK MANAGEMENT AND
RECOGNITION OF MUSHROOM SPECIES**

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, 2 Kotsjubynskyi Str. Chernivtsi, Ukraine
Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine