

УДК 004.8

Держак В.В., Мазурець О.В.

Хмельницький національний університет

ПРОЄКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЛАСИФІКАЦІЇ ПОБУТОВОГО СМІТТЯ ЗА ВІЗУАЛЬНИМИ ДАНИМИ

У роботі розглянуто особливості проектування інтелектуальної системи класифікації побутового сміття за візуальними даними в умовах змішаних потоків, змінного освітлення та фонових завад. Запропоновано підхід, у якому якість зображень розглядається як структурний елемент процесу навчання: формалізовано вектор якості (різкість, контраст, експозиційна збалансованість, рівень фонові «засміченості») та побудовано механізм адаптивної фільтрації вибірки за інтегральним балом. Архітектура системи реалізована як модульний конвеєр, що включає підсистему підготовки даних, тренувальний контур з порівняльним донавчанням моделей на сирому й очищеному датасетах, модуль оцінювання з використанням збалансованих метрик та прикладний вебінтерфейс для інтерактивного тестування.

The paper addresses the design features of an intelligent visual system for household waste classification operating under mixed waste streams, variable illumination and background clutter. The proposed approach treats image quality as a structural component of the training process: a formal quality vector (sharpness, contrast, exposure balance, background clutter level) is introduced and an adaptive filtering mechanism based on an integral quality score is implemented. The system architecture is organised as a modular pipeline comprising a data preparation subsystem, a training loop with comparative fine-tuning of models on raw and cleaned datasets, an evaluation module employing balanced performance metrics, and an application-level web interface for interactive testing.

Інтенсивне зростання обсягів побутових відходів і нормативний тиск щодо збільшення частки перероблення висувають підвищені вимоги до автоматизації сортування на сортувальних лініях та в смарт-інфраструктурі поводження з відходами [1]. Критичним елементом таких рішень є інтелектуальні системи класифікації побутового сміття за візуальними даними, здатні працювати в умовах змішаних потоків, змінного освітлення, фонових завад, деформацій і забруднень об'єктів [2]. У цих умовах якість зображень та організація програмної архітектури системи стають не другорядним, а визначальним чинником досягнення стабільної точності й відтворюваності результатів [3]. У цьому контексті комп'ютерне зір [4] і нейромережеві методи [5] відкривають нові перспективи для об'єктивного аналізу візуальної інформації, що містить зображення побутових відходів [5, 6].

Сучасні конволюційні нейронні мережі здатні ефективно виділяти локальні та глобальні ознаки зі складних візуальних даних [7], стійкі до шумів [8] і змінних

умов освітлення [9], що характерні для фотозображень. Адаптивні конвеєри обробки зображень [10], які враховують показники якості, такі як різкість, контраст, експозиційна збалансованість і рівень фонових завад, дозволяють оптимізувати процес тренування моделей, підвищуючи точність класифікації навіть при наявності спотворених або частково некоректних даних [11]. Поєднання базових архітектур CNN із модулями донавчання на очищених і сирих датасетах забезпечує більш гнучке узагальнення патернів [12] і зменшує вплив артефактів та шумів [13] на рішення моделі.

Важливим аспектом є модульна побудова системи [14], яка дозволяє інтегрувати попередню обробку зображень, навчальні контури, оцінку якості та прикладні інтерфейси для інтерактивного тестування [15]. Такий підхід відкриває можливості для впровадження нейромережових рішень, де потрібно автоматизовано оцінювати численні візуальні параметри [16, 17]. Подальший розвиток включає вдосконалення механізмів пояснюваності рішень моделей [18, 19], інтеграцію з мультимодальними даними [20], такими як відео та аудіо, а також створення адаптивних систем, що здатні навчатися на нових даних без повного перенавчання, що суттєво підвищує їхню практичну цінність [21].

Метою роботи є обґрунтування та реалізація підходу до проектування інтелектуальної системи класифікації побутового сміття за візуальними даними, у якій забезпечено інтеграцію якісно-обізнаного препроцесингу, нейромережової класифікації та прикладного інтерфейсу користувача в єдиний модульний контур. Об'єктом дослідження виступає процес автоматизованої класифікації побутових відходів за зображеннями, а предметом – архітектурні та алгоритмічні рішення, що забезпечують підвищення точності та стійкості класифікації за рахунок формалізованого контролю якості вхідних даних і раціональної побудови програмних компонентів.

Ключовою особливістю запропонованого підходу є трактування якості зображень не як допоміжного параметра, а як структурного елемента процесу навчання. На відміну від типових рішень, де препроцесинг обмежується нормалізацією розміру та базовими аугментаціями, у запропонованій системі передбачено формальну модель відбору зображень за вектором якості, що включає різкість, контрастність, експозиційну збалансованість та показник фонові «засміченості» сцени. Інтегральний бал якості, обчислений із використанням вагових коефіцієнтів, слугує основою для адаптивного порога фільтрації, який динамічно налаштовується на основі статистики датасету [22]. Це дає змогу вилучати зображення, що знижують внутрішньокласову однорідність і ускладнюють узагальнення моделі, зберігаючи при цьому репрезентативність кожного класу [23].

Архітектура системи (рисунок 1) побудована як сукупність узгоджених модулів: підсистема підготовки даних (імпорт, перевірка структури, обчислення метрик якості, формування очищеного датасету), тренувальний контур (донавчання базової нейромережової моделі на сирих та очищених даних із можливістю

порівняльних експериментів), модуль оцінювання (розрахунок сукупності метрик – accuracy, balanced accuracy, macro/micro F_1 , аналіз матриць плутанини) та прикладний інтерфейс для інтерактивного тестування. Така декомпозиція дозволяє незалежно модифікувати та повторно використовувати окремі компоненти, переносити систему на інші датасети та інтегрувати її у прототипи виробничих рішень.

У нейромережевій частині системи застосовано трансферне навчання легковагових згорткових архітектур (зокрема MobileNetV2/EfficientNet) на основі відкритого датасету Recyclable and Household Waste Classification, який містить 30 класів відходів у контрольованих та реалістичних умовах зйомки. Донавчання виконується окремо на сирій та очищеній вибірках, що дає змогу кількісно оцінити вплив формалізованого відбору зображень на поведінку моделі, зокрема щодо рідкісних і візуально складних класів. Порівняння метрик на двох конфігураціях моделі дозволяє виявити класи, найчутливіші до шуму, та обґрунтувати доцільність інтеграції механізмів контролю якості в промислові конвеєри класифікації.

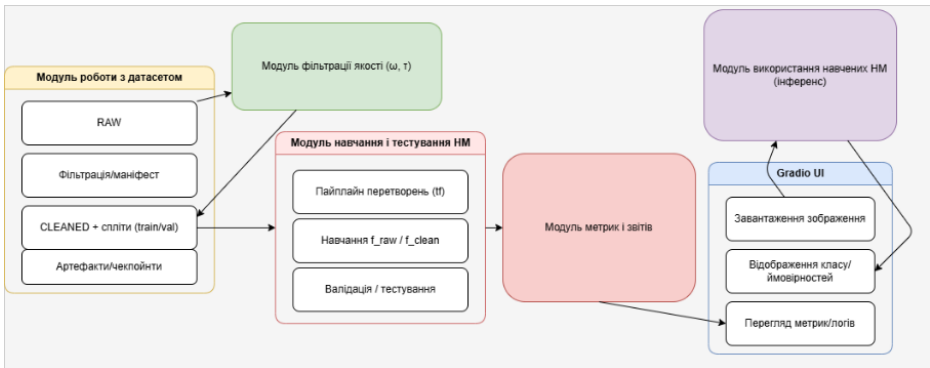


Рисунок 1 – Схема взаємодії компонентів інтелектуальної системи

Особливе значення в контексті проектування має вибір технологічного стека. Для реалізації обчислювальної частини застосовано Python з використанням бібліотек PyTorch, NumPy, Pandas, OpenCV та Matplotlib, що забезпечують повний цикл роботи з даними – від попередньої обробки зображень до навчання й оцінювання моделей. Середовище Google Colab використано як основну платформу для експериментів завдяки доступу до GPU, інтеграції з хмарним сховищем та можливості відтворення результатів. Для побудови інтерфейсу інтерактивного тестування впроваджено вебкомпонент на основі Gradio, який дає змогу не лише завантажувати зображення користувачем, а й візуально демонструвати результати класифікації у формі, придатній для подальшої інженерної інтеграції.

Експериментальні дослідження підтверджують, що врахування якості зображень на етапі формування вибірки дозволяє підвищити збалансовану точність

та macro-F1, зменшити систематичні помилки між близькими матеріальними класами та стабілізувати поведінку моделі для рідкісних категорій. З погляду проектування це означає, що інтелектуальна система класифікації побутового сміття має розглядатися не лише як «модель + інтерфейс», а як цілісний конвеєр, у якому модулі контролю якості даних, навчання та валідації взаємопов'язані й спільно визначають рівень надійності рішення в реальних виробничих сценаріях.

Перелік посилань

1. Global Waste Management Outlook / United Nations Environment Programme. United Nations Environment Programme, 2015. URL: <https://www.unclearn.org/wp-content/uploads/library/unep23092015.pdf>
2. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 / S. Kaza et al. Washington, DC: World Bank, 2018. URL: <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
3. Maalouf A., Mavropoulos A. Re-assessing global municipal solid waste generation. Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy. 2022. P. 0734242X2210741.
4. Kok I.A., Kadynska V.D., Zalutska O.O., Mazurets O.V. Object-Oriented Intelligent System for Automated Control of Smoking by Video Data. Current scientific goals, approaches and challenges. Proceedings of IV International Scientific and Theoretical Conference. June 13, 2025. Dresden, Federal Republic of Germany. Pp. 156-164.
5. Bas I.S., Kadynska V.D., Klimenko V.I., Mazurets O.V. Convolutional Neural Network Transfer Learning Method for Aircraft Image Classification. Scientific method: reality and future trends of researching. Proceedings of VI International Scientific and Theoretical Conference. June 6, 2025. Montreal, Canada. Pp. 147-155.
6. Mushtyn O., Sobko O., Molchanova M., Mazurets O. Convolutional Neural Network Architecture for Image-Based Architectural Style Recognition. Evolving Science: Theories, Discoveries and Practical Outcomes. Proceedings of 4th International Scientific and Practical Conference. June 9-11, 2025. Zurich, Switzerland. Pp. 130-143.
7. Дідур В.О., Молчанова М.О., Мазурець О.В. Спосіб виявлення та класифікації залишків зруйнованих будівель та будівельного сміття за фотографіями з використанням моделей CNN. Науковий журнал «Наука і техніка сьогодні». Київ, 2025. №1 (42). С. 1162-1175.
8. Дидо Р.А., Мазурець О.В. Метод ідентифікації особистості на основі розпізнавання обличчя в реальному часі для систем кібербезпеки. Інформаційна, функційна і кібербезпека СКІФіК2024. Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції. 29-30 листопада 2024. Харків. 2024. с. 36-37.
9. Похитун А.В., Мазурець О.В., Молчанова М.О., Бармак О.В. Підхід до формування датасету для нейромережевого виявлення модифікованих фотографій обличчя людей. Збірник наукових праць за матеріалами XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2024». 15-16 листопада 2024. Хмельницький, 2024. с. 428-433.
10. Мазурець О.В., Петровський С.С., Дидо Р.А. Нейромережева модель для ідентифікації особистості за зображенням обличчя у реальному часі Інформаційні технології і автоматизація. Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції. 31 жовтня – 1 листопада 2024 р. Одеса, ОНТУ. 2024. С.655-658.
11. Мазурець О.В., Жарновський О.В., Гладун О.В., Собко О.В. Нейромережеве виявлення фейкових зображень людей. Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету» серія: Технічні науки. Хмельницький, 2025. №5. Т.1. С. 416-422.

12. Молчанова М.О., Мазурець О.В., Шурипа М.О. Об'єктно-орієнтований підхід до нейромережевого виявлення та відстеження БПЛА з використанням хмарних технологій. Науковий журнал «Наука і техніка сьогодні». Київ, 2025. №9 (50). С. 1346-1360.
13. Мазур Є.В., Мазурець О.В., Кліменко В.І., Собко О.В., Залуцька О.О. Алгоритми та програмна архітектура інформаційної системи нейромережевого аналізу постави людини. Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету» серія: Технічні науки. Хмельницький, 2025. №3. Т.1. С. 275-284.
14. Malaydakh V., Molchanova M., Shevchuk P., Mazurets O. Deep learning neural network architecture for determining sunflower growth stage from visual data. Modern Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects. Proceedings II International Scientific and Practical Conference. May 26-28, 2025. Riga, Latvia. Pp. 143-148.
15. Мазурець О.В., Собко О.В., Дидо Р.А., Молчанова М.О., Тищенко О.О. Проектування структури бази даних для інтелектуальної системи нейромережевого виявлення та локалізації на фотозображеннях ділянок із залишками зруйнованих будівель. Науковий журнал «Наука і техніка сьогодні». Київ, 2025. №4 (45). С. 1242-1258.
16. Ostapchenko N., Tyschenko O., Denysenko B., Mazurets O. Semantic search of relevant images using vector databases. Modern Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects. Proceedings II International Scientific and Practical Conference. May 26-28, 2025. Riga, Latvia. Pp. 161-165.
17. Dydo R., Sobko O., Klivenko V., Mazurets O. Datalogic structure for intelligent system for areas localization in photos with the remains of buildings using neural network. Modern Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects. Proceedings II International Scientific and Practical Conference. May 26-28, 2025. Riga, Latvia. Pp. 123-127.
18. Молчанова М.О., Дідур В.О., Мазурець О.В., Тищенко О.О., Залуцька О.О. Інформаційна технологія використання хмарних обчислень для класифікації залишків зруйнованих будівель засобами нейронних мереж за візуальними даними з безпілотних літальних апаратів. Науковий журнал «Наука і техніка сьогодні». Київ, 2025. №4 (45). С. 1259-1272.
19. Didur V., Molchanova M., Mazurets O. Research on the effectiveness of neural network detection of plots with the destroyed buildings remains. Modern technologies and science: problems, new and relevant developments. Proceedings XXI International Scientific and Practical Conference. May 26, 2025. Zaragoza, Spain. Pp. 245-251.
20. Hladun O.V., Molchanova M.O., Zalutska O.O., Mazurets O.V. Effectiveness research of using ViT neural network architecture for classifying the destroyed buildings remains. Achievements of Science and Applied Research. Proceedings of 2nd International Scientific and Theoretical Conference. May 19-21, 2025. Dublin, Ireland. Pp. 96-100.
21. Собко О.В., Кліменко В.І., Мазурець О.В., Залуцька О.О., Гладун О.В. Особливості програмної інженерії та тестування програмного забезпечення для нейромережевого аналізу фотоданих залишків зруйнованих будівель із роботизованої техніки. Науковий журнал «Наука і техніка сьогодні». Київ, 2025. №4 (45). С. 1566-1581.
22. Hladun O., Zalutska O., Klivenko V., Mazurets O. Research on the effectiveness of classifying the remains of destroyed buildings using MobileNetV3 neural network architecture. Innovations in Science: From Theoretical Foundations to Practical Impact. Proceedings 1st International Scientific and Practical Conference. May 12-14, 2025. Antwerp, Belgium. Pp. 158-162.
23. Sychanskyu S. O. Bringing the legislation of Ukraine on hazardous waste management in line with the requirements of the European Union law. Uzhhorod National University Herald. Series: Law. 2025. Vol. 3, no. 86. P. 180-189.