

УДК 004.8

Безпрозвана Ю.Г., Шурипа М.О., Мазурець О.В.

Хмельницький національний університет

НЕЙРОМЕРЕЖЕВА ОЦІНКА СТАНУ БУДІВЕЛЬ ЗА ВІЗУАЛЬНИМИ ДАНИМИ

Розглянуто нейромережевий підхід до оцінки стану будівель за ортофотопланами та аерофотознімками, актуальний для післявоєнної відбудови та зношеного житлового фонду. Використано одностадійні сегментаційні детектори YOLOv8/YOLOv11/YOLOv12 у легких модифікаціях з тайлуванням зображень, балансуванням класів та аугментаціями. Розмітка поєднує маски «будівля/фон» і три рівні пошкоджень, що дає змогу спільно навчати сегментацію та класифікацію. Найкращий результат показали конфігурації buildings-seg-8s-new та buildings-seg-11n-new: mAP50 до 0,35 для масок, 0,39 для рамок і макро- $F_1 \approx 0,78$ для трьох класів стану. Запропоноване рішення дозволяє автоматично будувати карти пошкоджень і формувати пріоритети для інженерних обстежень.

The paper presents a neural-network approach to building condition assessment from orthophotos and aerial imagery, motivated by post-war reconstruction and aging urban stock. Lightweight one-stage segmentation detectors of the YOLOv8/YOLOv11/YOLOv12 families are trained on tiled images with class balancing and augmentations using combined "building/background" masks and three damage levels. This enables joint learning of segmentation and condition classification. The best configurations, buildings-seg-8s-new and buildings-seg-11n-new, achieve mAP50 up to 0.35 for masks, 0.39 for boxes and a macro F_1 score of about 0.78 across three condition classes. The approach supports automatic damage mapping and prioritisation of engineering inspections.

Післявоєнна відбудова та старіння житлового фонду вимагають оперативного контролю стану будівель без повсюдних виїзних обстежень [1]. Класичні методи технічної діагностики опираються на візити експертів і точкові вимірювання, що є дорогим, повільним і складно масштабованим для цілих кварталів чи міст [2]. Натомість супутникові знімки, аерофото з БПЛА та наземні зображення вже масово накопичуються, однак без автоматизованої обробки не перетворюються на придатні для прийняття рішень показники [3, 4]. Тому актуальною є розробка нейромережевих методів, здатних за візуальними даними виділяти контури будівель та оцінювати їхній стан як основу для пріоритизації детального обстеження й планування ремонтів.

Нейромережеві методи аналізу візуальних даних [5, 6] набувають особливої актуальності у сфері оцінки технічного стану будівель, що пов'язано з необхідністю підвищення ефективності моніторингу, своєчасного виявлення дефектів та запобігання аварійним ситуаціям. Традиційні підходи, які ґрунтуються на ручному

огляді або класичних алгоритмах обробки зображень [7], є трудомісткими, суб'єктивними та малоефективними при опрацюванні великих обсягів даних [8, 9]. Розвиток глибинного навчання, зокрема архітектур згорткових нейронних мереж [10], відкриває можливість автоматизованого виявлення тріщин, корозії, деформації та інших структурних порушень із високим рівнем точності.

Сучасні CNN-моделі демонструють здатність до ефективного вилучення просторово-структурних ознак з фотозображень, відеопотоків, даних дронів та лазерного сканування [11, 12]. Досягнення комп'ютерного зору у сегментації [13], класифікації [14] та детекції об'єктів [15] дозволяють формувати багаторівневі карти пошкоджень, визначати ступінь деградації матеріалів і оцінювати потенційні ризики руйнування. Особливо перспективними є підходи, що інтегрують CNN з трансформерними архітектурами та методами мультимодального аналізу, що дає змогу поєднувати зображення з текстовими описами дефектів, показниками сенсорів чи геометричними моделями [16].

У контексті оцінки стану будівель важливим напрямком є розвиток алгоритмів, здатних працювати в умовах шуму, різної освітленості, варіативності кутів зйомки та складного фону, що характерно для реальних інженерних споруд [17].

Мета роботи – сформувати та експериментально обґрунтувати нейромережевий підхід до оцінки стану будівель за візуальними даними, який поєднує автоматичну сегментацію будівельних об'єктів на зображеннях та подальшу інтерпретацію їхніх візуальних ознак для визначення ступеня ушкоджень.

Об'єкт дослідження – процес моніторингу технічного стану будівель у міській забудові.

Предмет дослідження – методи й моделі нейромережевої сегментації та класифікації будівель за візуальними ознаками ушкоджень (деформації покрівлі, обвалені перекриття, руйнування фасадів тощо).

Методологія. Для виділення будівель у сцені застосовано одностадійні сегментаційні детектори сімейств YOLOv8/YOLOv11/YOLOv12 у легких модифікаціях (8s, 11n, 11s, 11m, 12n). Вихідні ортофотоплани та аерофотознімки були нарізані у тайли з нормалізованою роздільністю; виконано балансування класів та розширення вибірки через геометричні та фотометричні перетворення [18]. Розмітка містила маски «будівля/фон» та категорії стану будівлі («задовільний», «пошкоджений», «значно пошкоджений/зруйнований»). Навчання здійснювалось у режимі багатозадачної оптимізації: перша голова моделі виконувала детекцію та сегментацію будівель, друга – класифікацію стану об'єкта на основі ознак, агрегованих у межах відповідної маски [19]. Якість сегментації оцінювали за показниками mAP50(B) для рамок та mAP50(M) для масок, а точність оцінки стану – за макро-усередненими Precision, Recall та F_1 [20].

Отримані результати. Порівняння конфігурацій показало, що попередньо налаштовані компактні моделі демонструють кращий баланс точності та обчислювальної складності, ніж глибші варіанти (рисунок 1). Модель buildings-seg-

8s-new, навчена з доопрацьованим набором аугментацій, досягла найкращих результатів за сегментаційними метриками: на валідаційній вибірці mAP50(M) для масок становив близько 0,35, а mAP50(B) для рамок – близько 0,39. Конфігурація buildings-seg-11n-new продемонструвала близькі значення ($\approx 0,34$ та $\approx 0,37$ відповідно), забезпечуючи невеликий програш у точності при кращій швидкодії на GPU та можливості роботи на ресурсно-обмежених вузлах. Базові варіанти моделей без вдосконалених аугментацій (buildings-seg-8s, buildings-seg-11n, buildings-seg-11s) забезпечили mAP50 у межах 0,24–0,30, що вказує на внесок додаткової обробки даних у зменшення кількості пропусків дрібних чи частково перекритих будівель. Найгірші результати показали більш громіздкі моделі buildings-seg-11m та buildings-seg-12n, для яких наявний обсяг вибірки виявився недостатнім: їхні криві навчання характеризуються повільним зростанням і насиченням на рівнях mAP50(M) < 0,15.

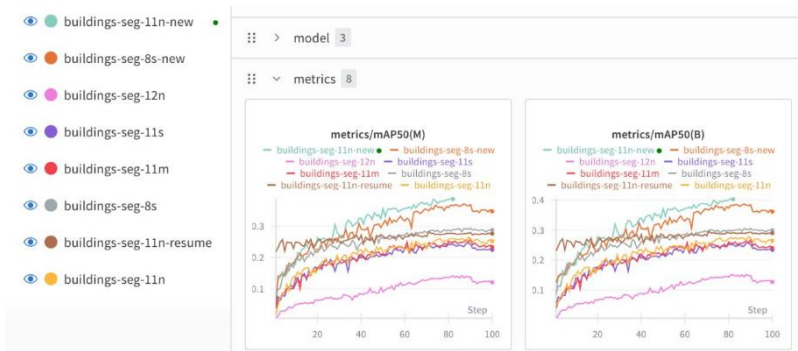


Рисунок 1 – Графіки навчання YOLO різних версій

На другому етапі, після фіксації найкращої сегментаційної архітектури, було проведено навчання класифікаційної голови для оцінки стану будівель. Для конфігурації на основі buildings-seg-8s-new макро-усереднений показник F_1 для трьох класів стану склав близько 0,78, при цьому найвищу точність досягнуто для класу «зруйнований», а найбільша кількість помилок спостерігалась у межах переходу між «пошкодженим» та «значно пошкодженим» станами [21]. Аналіз помилок виявив чутливість моделі до сильних тіней, сезонних відмінностей та маскуванню фасадів рослинністю, що вказує на доцільність додавання мультиспектральних каналів та текстурних ознак.

Практичне значення. Запропонований підхід дозволяє на основі серій аерофотознімків автоматично будувати карти пошкоджень, на яких виділяються контури будівель та їхній орієнтовний стан. Це забезпечує формування списків пріоритетних об'єктів для інженерного обстеження, підтримує прийняття рішень щодо планування відновлювальних робіт та може інтегруватися у наявні геоінформаційні системи органів місцевого самоврядування.

Висновки та перспективи. Проведене дослідження показало, що легкі сегментаційні моделі типу YOLO-seg за умови правильно організованої підготовки даних здатні забезпечити прийнятну якість автоматичного виділення будівель та первинної оцінки їхнього стану на візуальних даних. Найкраще співвідношення точності та швидкодії продемонстрували конфігурації buildings-seg-8s-new та buildings-seg-11n-new. Подальший розвиток роботи передбачає розширення датасету за рахунок знімків різних сенсорів і сезонів, використання багатоспектральної інформації, уточнення шкали станів з урахуванням будівельних норм, а також впровадження модулів пояснюваності, що дозволять інженерам інтерпретувати рішення нейромережевої системи при плануванні відбудови.

Перелік посилань

1. Demian, P., Hassan, T. M., Kalmykov, O., Demianenko, I., & Makarov, R. (2024). BIM implementation in post-war reconstruction of Ukraine. *Buildings*, 14(11), 3495.
2. Chashyn, D., Khurudzhi, Y., & Daukšys, M. (2024). Directions for the formation of «City Intelligent models» using artificial intelligence for the post-war reconstruction of historical buildings. *Budownictwo i architektura.*, 23(1), 73-86.
3. Zalizko, V. D., Cherniak, A. M., Nowak, D., & Artemov, V. Y. (2024). Assessing Ukrainian education security in the context of artificial intelligence integration for accelerated post-war recovery. *Scientific Bulletin of National Mining University*, (6).
4. Alshafei, I. A., & Almashhour, R. T. N. (2025). Integrating Artificial Intelligence in urban re-design: A collaborative approach to post-war design phases. *International Journal of Human Capital in Urban Management*, 10(2).
5. Собко О.В., Клименко 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.
6. 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.
7. Zharnovskiy O., Mazurets O., Sobko O. Approach to Identification of Artificial Intelligence-Generated People Images by Means of Machine Learning. *Key Aspects of the Development of Scientific Research in Modern Conditions. Proceedings of the XLV International scientific and practical conference. October 30 – November 1, 2024. Constanta, Romania. 2024. Pp. 69-73.*
8. Pokhytun A., Mazurets O., Molchanova M., Tyschenko O. Method for Neural Network Detecting Changed Images of People's Faces Using CNN. *New Horizons in Scientific Research: Challenges and Solutions. Proceedings of the 1st International scientific and practical conference. October 21-23, 2024. Marseille, France. 2024. Pp. 35-40.*
9. Kharysh I., Sobko O., Mazurets O. Designing CNN Neural Network Model for Detecting Fractures of Lower Extremities by X-ray Images. *The Impact of Scientific Research on the Development of the Modern World. Proceedings of the XLIV International scientific and practical conference. October 23-25, 2024. Dubrovnik, Croatia. 2024. Pp. 91-96.*
10. 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.
11. 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.
 12. 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.
 13. Mazurets O. V., Klimenko V. I., Molchanova M. O., Sultanov A. V. Object-Oriented Intelligent System for Neural Network Detection of Sugar Crystallization Zones. *Global Science: Prospects and Innovations. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference.* Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2024. Pp. 198-207.
 14. Mazurets O., Uspenska K., Vit R., Tyschenko O. Intelligent System for Determining the Object Attributes Values by Neural Networks Means by Graphic Images in Databases. *Current Trends in the Development of Scientific Research in Today's Conditions. Proceedings of XXV International scientific and practical conference.* May 29-31, 2024. International Scientific Unity. Florence, Italy. 2024. Pp. 86-91.
 15. 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. URL: https://www.eoss-conf.com/wp-content/uploads/2025/05/Riga_Latvia_26.05.25.pdf
 16. 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.
 17. Hladun O., Zalutska O., Klimenko 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.
 18. 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.
 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. Dydo R., Sobko O., Klimenko 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.
 21. Molchanova M., Didur V., Mazurets O., Sobko O., Zakharkevich O. Method for Construction and Demolition Waste Classification Using Two-Factor Neural Network Image Analysis. *CEUR Workshop Proceedings, 2025, vol. 3970, pp. 168-182.*