

ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів
дисертації Стеця Сергія Юрійовича на тему:
“Підвищення точності та швидкодії детектування зображень автомобілів
засобами згорткової нейронної мережі YOLO”,
поданої на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення
з галузі знань 12 – Інформаційні технології**

1. Обґрунтування вибору теми дослідження та її зв'язок із планами наукових робіт Університету

На сучасному етапі розвитку інтелектуальних транспортних систем і технологій автономного водіння існує потреба у точних, швидких та надійних методах аналізу дорожньої обстановки. У багатьох випадках інформація про дорожній рух отримується з цифрових відеокамер і обробляється в системах комп'ютерного зору. Важливою задачею автоматичного аналізу зображень дорожнього руху є детектування зображень об'єктів, зокрема, автомобілів, пішоходів та велосипедистів. Детектування зображень транспортних засобів застосовується для дистанційного моніторингу стану дорожнього руху в різноманітних системах Інтернету речей. Стан дорожньої обстановки у значній мірі визначається автомобілями, тому в даній роботі розглянуто задачу детектування саме зображень автомобілів. Для детектування зображень об'єктів застосовуються різні види штучних нейронних мереж, зокрема, згорткові нейронні мережі. Одним з найбільш ефективних засобів детектування зображень автомобілів є згорткові нейронні мережі з архітектурою YOLO.

Проте, точність та швидкодія існуючих засобів детектування зображень автомобілів є недостатньою для вирішення багатьох прикладних завдань. Це зумовлено значною варіабельністю зображень автомобілів, різними відстанями та ракурсами отримання зображень, умовами освітлення, щільним дорожнім трафіком, перекриванням об'єктів та ін.

Отже, вибір теми дослідження зумовлений потребою у вирішенні актуальної задачі підвищення точності та швидкодії детектування зображень автомобілів засобами нейронної мережі YOLO, що є важливим для аналізу дорожньої обстановки засобами комп'ютерного зору.

Робота виконувалася відповідно до планів науково-дослідницьких робіт кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича за держбюджетною тематикою: «Дослідження, моделювання та розробка програмного забезпечення складних динамічних систем» (Державний реєстраційний номер 0121U109232).

Метою дисертаційного дослідження є підвищення точності та швидкодії детектування зображень автомобілів шляхом вибору архітектури та версії згорткових нейронних мереж, попередньої обробки зображень та донавчання нейронних мереж з архітектурою YOLO на основі автоматизовано створених наборів даних.

Завдання дисертаційного дослідження, які забезпечують досягнення поставленої мети, полягають у наступному:

- Провести аналіз існуючих нейромережових архітектур, методів та програмних засобів для детектування зображень об'єктів, зокрема, транспортних засобів, і на основі такого аналізу виконати вибір архітектури та версії згорткових нейронних мереж, які б задовольняли вимоги до швидкодії та точності детектування зображень автомобілів, а також до обсягу використаних ресурсів.
- Розробити методику та програмні засоби для попередньої обробки зображень шляхом еквалізації їх гістограм та підвищення локального контрасту, які б забезпечували підвищення точності детектування зображень автомобілів засобами згорткової нейронної мережі з архітектурою YOLO.
- Розробити методику та програмні засоби для навчання різних версій моделей YOLO та аналізу результатів навчання, які б давали змогу підвищити точність детектування за рахунок донавчання та вибирати версію YOLO з урахуванням вимог для конкретної задачі аналізу зображень.

- Розробити методику та програмні засоби для автоматизованого створення набору даних із зображень автомобілів засобами моделей згорткових нейронних мереж YOLO середнього або великого розмірів, які б забезпечували селекцію унікальних кадрів відеопотоку та аугментацію даних.
- Розробити методику та програмні засоби з архітектурою «Вчитель-Учень» для донавчання згорткової нейронної мережі YOLO малого розміру на основі датасету, створеного в автоматизованому режимі.
- Виконати програмну реалізацію інтелектуальної системи для детектування зображень автомобілів із використанням навчених моделей YOLO.
- Провести експериментальне дослідження точності та швидкодії розробленої системи на прикладі детектування об'єктів на тестових зображеннях.

Об'єкт дослідження. Процес детектування зображень автомобілів на цифрових зображеннях.

Предмет дослідження. Методики та програмні засоби детектування зображень автомобілів із використанням згорткової нейронної мережі YOLO, які забезпечують задані вимоги до точності та швидкодії детектування.

Методи дослідження. У дисертації застосовано методи глибокого навчання для навчання згорткових нейронних мереж з архітектурою YOLO; методи цифрової обробки зображень для еквалізації їх гістограм та підвищення локального контрасту; методи інтелектуального аналізу даних (регресійного аналізу, зокрема, лінійної регресії) для знаходження взаємозв'язків між метриками якості детектування зображень автомобілів; перцептуальне хешування для селекції унікальних кадрів відеопотоку; методи комбінаторної оптимізації (угорський алгоритм) для порівняння координат рамок детектованих автомобілів; методи класифікації даних та зображень для селекції унікальних кадрів відеопотоку; методи комп'ютерного експерименту з використанням програм на мові Python для емпіричного підтвердження адекватності отриманих результатів та порівняльного аналізу точності, швидкодії та споживаних ресурсів для моделей згорткових нейронних мереж.

2. Формулювання наукового завдання, нове розв'язання якого отримано в дисертації

Наукове завдання, нове розв'язання якого отримано в дисертації, полягає в розробленні та програмній реалізації методик для підвищення точності та швидкодії детектування зображень автомобілів шляхом вибору архітектури та версії згорткових нейронних мереж з архітектурою YOLO, попередньої обробки зображень та донавчання нейронних мереж на основі наборів даних, створених в автоматизованому режимі.

3. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, та їх новизна:

- Вперше розроблено методику донавчання згорткової нейронної мережі YOLO малого розміру для задачі детектування зображень автомобілів, яка базується на автоматизованому формуванні спеціалізованого датасету зображень за допомогою нейронної мережі YOLO більшого розміру в рамках підходу «Вчитель-Учень», що дозволяє підвищити точність детектування до 24 % за метрикою mAP50 при збереженні високої швидкодії.
- Вперше запропоновано методику попередньої обробки вхідних зображень для моделей згорткових нейронних мереж з архітектурою YOLO, яка включає узгоджене застосування еквалізації та центрування гістограм зображень з метою підвищення їх контрасту, що забезпечує збільшення точності детектування зображень автомобілів на 16 % за метрикою IoU.
- Подальшого розвитку отримала методика для донавчання різних версій ЗНМ YOLO з використанням датасетів, створених у ручному режимі, особливістю якої є порівняльний аналіз результатів донавчання, що забезпечує цілеспрямований вибір версії YOLO відповідно вимогам до точності, швидкодії та обсягу використаних ресурсів при вирішенні конкретної задачі детектування зображень автомобілів.
- Подальшого розвитку отримала методика для автоматизованого створення набору даних із зображень автомобілів засобами моделі згорткової нейронної мережі YOLO середнього або великого розміру, особливістю якої є селекція

унікальних кадрів відеопотоку з використанням перцептивного хешування, що дає змогу суттєво скоротити час формування датасету і отримувати спеціалізовані набори без дублювання даних із мінімальною участю людини-експерта.

Дисертант брав активну участь на всіх етапах дослідження та розробки нових методик, виконав їх програмну реалізацію, організував та провів експериментальні дослідження, здійснив обробку й аналіз отриманих результатів, а також сформулював основні наукові положення та висновки роботи.

4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються

Обґрунтованість і достовірність наукових положень та висновків забезпечується формуванням релевантних датасетів зображень, поділом їх на навчальну, контрольну та тестові вибірки, контролем навчання згорткових нейронних мереж із використанням метрик якості навчання для навчальної та контрольної вибірок, порівнянням отриманих результатів із результатами програм-аналогів, з відомими теоретичними і практичними даними.

Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновки до розділів, загальні висновки, перелік використаних джерел та вісім додатків. Дисертаційна робота є самостійною науковою працею, має теоретичне та прикладне значення. Усі висновки, рекомендації та положення, що характеризують наукову новизну дослідження, сформульовані особисто автором дисертації.

Публікації (три статті у наукових фахових виданнях України; 1 стаття у наукометричній базі даних SCOPUS, яка додатково відображає результати дисертації) у наукових журналах за темою дисертації висвітлюють проблематику та основні положення наукової роботи. Апробація основних наукових результатів відбулася у формі доповідей на 6 Міжнародних науково-практичних конференціях.

5. Рівень теоретичної підготовки здобувача, його особистий внесок у розв'язання конкретного наукового завдання. Рівень обізнаності здобувача з результатами наукових досліджень інших учених

Здобувач має високий рівень теоретичної та практичної підготовки в галузі інформаційних технологій, що дозволило йому успішно вирішити поставлені наукові завдання. Здобувач продемонстрував високий рівень обізнаності з науковими досягненнями інших учених за тематикою дисертаційної роботи. Проведений аналіз наукових досягнень у цій сфері дозволив здобувачу значно розширити розуміння сучасних тенденцій у галузі комп'ютерного зору та вдосконалити існуючі методи для досягнення нових результатів.

Особистий внесок здобувача у розв'язанні конкретних наукових завдань є визначальним, зокрема дисертант:

- брав участь у формуванні задач дослідження, визначенні мети роботи, виборі методів досліджень та у підготовці матеріалів до публікації у наукових журналах, представленні на наукових конференціях із висвітленням отриманих результатів;
- виконував розробку, тестування та вдосконалення програмного забезпечення;
- проводив теоретичні дослідження, розробив методики для попередньої обробки зображень, створення наборів даних у ручному та в автоматизованому режимах, а також для донавчання моделей згорткової нейронної мережі YOLO;
- проводив експериментальні дослідження, навчання штучних нейронних мереж та аналіз отриманих результатів;
- займався питаннями впровадження розроблених програмних засобів для вирішення прикладних завдань.

6. Наукове та практичне значення роботи

Наукове значення дисертаційної роботи полягає в розробці нового способу підвищення контрасту зображень шляхом вирівнювання (еквалізації) та центрування їх гістограм, а також методик для попередньої обробки зображень, створення спеціалізованих наборів даних та донавчання згорткових нейронних мереж з архітектурою YOLO.

Практичне значення дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблені у дисертаційній роботі методики та програмні засоби на мові Python можуть застосовуватися для автоматизованого донавчання нейронних мереж YOLO та для високоточного детектування з їх допомогою зображень автомобілів та інших учасників дорожнього руху в прикладних системах комп'ютерного зору, які застосовуються для оцінки автомобільного трафіку, аналізу зайнятості автомобільних паркувань, контролю безпеки дорожнього руху, аналізу дорожньої обстановки та в технологіях автономного водіння. Розроблені програмні засоби штучного інтелекту можуть функціонувати на мобільних обчислювальних пристроях (наприклад, на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi), що значно знижує вартість впровадження інтелектуальних систем для детектування зображень. Як сенсори зображень можуть застосовуватися відеокамери, розміщені на стаціонарних або рухомих платформах, зокрема, на безпілотних літальних апаратах (БПЛА) у системах дистанційного зондування.

7. Використання результатів роботи

Результати дисертаційної роботи впроваджено у ТОВ «ДВА ВІДРА» та в ТОВ «ТРК А.С.С.», де розроблене програмне забезпечення використовується для визначення стану паркомісць та положення автомобілів компаній на автомобільних стоянках за їх зображеннями. Результати теоретичних та практичних досліджень також впроваджені в освітній процес кафедри комп'ютерних систем та мереж Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича в межах навчальних дисциплін: «Методи цифрової обробки зображень», «Комп'ютерні системи штучного інтелекту» та «Системи комп'ютерного зору».

8. Повнота викладу матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок здобувача в публікації, виконані у співавторстві

Особистий внесок здобувача в публікаціях, виконаних у співавторстві, такий:

- розробка методики та програмного забезпечення для попередньої обробки зображень перед їх детектуванням;
- розробка методики та програмного забезпечення для автоматичного створення набору даних та донавчання згорткової нейронної мережі;
- аналіз сучасних методів розпізнавання зображень автомобілів;
- розробка програмного забезпечення з використанням модуля Inception;
- розробка програмного забезпечення для детектування зображень пішохідних переходів;
- розробка програмних засобів для попередньої обробки зображень;
- розробка моделі згорткової нейронної мережі з архітектурою EfficientNet, призначеної для розпізнавання зображень автомобілів.

Результати перевірки тексту дисертації з використанням антиплагіатної системи TURNITIN показав 3% схожості з джерелами з Інтернету. Робота відповідає принципам академічної доброчесності.

Основні положення і висновки дисертаційної роботи викладені у 3 наукових працях у виданнях, що включені до переліку наукових фахових видань України (категорія Б). Кількість наукових праць, які додатково відображають наукові результати дисертації – 1. Матеріали дисертації доповідалися і опубліковані у 6 тезах доповідей на Міжнародних наукових конференціях.

Результати дисертації повною мірою викладені в зазначених публікаціях.

**Наукові праці, в яких опубліковані
основні наукові публікації дисертації:**

***Наукові праці у виданнях, включених до переліку
наукових фахових видань України:***

1. **Стець С.** Аналіз точності та швидкодії детекції автомобілів за допомогою нейронних мереж YOLOV8 та YOLOV11. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences.* 2025. Т. 357 (5.2). С. 123-130. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-357-74>. (**Стець С.** – розробка програмного забезпечення для нейромережевої детекції зображень, аналіз точності та швидкодії детекції автомобілів за допомогою нейронних мереж YOLO).
2. Balovsyak S., **Stets S.** Preprocessing of object images before their detection using YOLO neural network. *Security of Infocommunication Systems and Internet of Things.* 2025. Vol. 3, No. 2, Paper 02002. P. 1-5. ISSN 2786-8443. <https://doi.org/10.31861/sisiot2025.2.02002>. (Баловсяк С. – наукове керівництво і редагування; **Стець С.** – розробка методики та програмного забезпечення для попередньої обробки зображень перед їх детектуванням).
3. Баловсяк С., **Стець С.** Автоматизоване створення спеціалізованого датасету для зображень автомобілів. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences.* 2025. Т. 359 (6.2). С. 278-285. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-359-111>. (Баловсяк С. – наукове керівництво і редагування; **Стець С.** – розробка методики та програмного забезпечення для автоматичного створення набору даних та донавчання згорткової нейронної мережі).

***Наукові праці, які засвідчують
апробацію матеріалів дисертації:***

4. Баловсяк С.В., **Стець С.Ю.** Аналіз сучасних методів розпізнавання зображень автомобілів. *Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки: праці XI Міжнародної науково-практичної конференції (ІПКТ – 2022), м. Чернівці, 10–13 листопада 2022 р. Чернівці: Черн. нац. ун-т, 2022. С. 77-80.*

- (Баловсяк С.В. – наукове керівництво і редагування; **Стець С.Ю.** – аналіз сучасних методів розпізнавання зображень автомобілів).
5. Баловсяк С.В., **Стець С.Ю.** Використання модуля Inception для підвищення точності розпізнавання зображень у згорткових нейронних мережах. *Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення*: матеріали міжнародної наукової інтернет-конференції, 8-9 червня 2023 р. Вип. 78. Тернопіль, 2023. С. 30-32. (Баловсяк С.В. – наукове керівництво і редагування; **Стець С.Ю.** – розробка програмного забезпечення з використанням модуля Inception).
 6. **Стець С.Ю.** Підвищення точності нейромережного розпізнавання зображень за допомогою модуля Inception. *Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки*: праці XII Міжнародної науково-практичної конференції (ПІКТ – 2023), м. Чернівці, 10-12 листопада 2023 р. Чернівці: Черн. нац. ун-т, 2023. С. 61-63. (**Стець С.Ю.** – розробка та удосконалення програмного забезпечення з використанням модуля Inception).
 7. Баловсяк С.В., **Стець С.Ю.** Детектування зображень пішохідних переходів за допомогою нейронних мереж YOLO. *Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки*: праці XIII Міжнародної науково-практичної конференції (ПІКТ – 2024), м. Чернівці, 1–3 листопада 2024 р. Чернівці: Черн. нац. ун-т, 2024. С. 49-51. (Баловсяк С.В. – наукове керівництво і редагування; **Стець С.Ю.** – розробка програмного забезпечення для детектування зображень пішохідних переходів).
 8. Баловсяк С.В., **Стець С.Ю.** Попередня обробка зображень об'єктів перед їх детектуванням засобами нейронної мережі YOLO. *Фізико-технологічні проблеми передачі, обробки та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах*: матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції (ПРЕДТ-2025). 15-17 травня 2025 р. Чернівці: Черн. нац. ун-т, 2025. С. 181-182. (Баловсяк С.В. – наукове керівництво і редагування; **Стець С.Ю.** – розробка програмних засобів для попередньої обробки зображень).

9. **Стець С.Ю.** Донавчання нейронної мережі YOLO за допомогою автоматизовано створеного датасету зображень автомобілів. *Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки*: праці XIV Міжнародної науково-практичної конференції (ПШКТ – 2025), м. Чернівці, 13-15 листопада 2025 р. Чернівці: Черн. нац. ун-т, 2025. С. 64-66. (**Стець С.Ю.** – розробка програмних засобів для донавчання нейронної мережі YOLO).

***Наукові праці, які додатково відображають
наукові результати дисертації:***

12. Balovsyak S., Kroitor O., Odaiska Kh., Salem A.B.M., **Stets S.** Car image recognition using convolutional neural network with efficient net architecture. *CEUR Workshop Proceeding*. 2024. Vol. 3675: 5th International Workshop on Intelligent Information Technologies and Systems of Information Security, IntelITSIS 2024. P. 182-195 (Scopus). (Balovsyak S. – наукове керівництво, Kroitor O. – аналіз наборів даних, Odaiska Kh. – редагування, Salem A.B.M. – аналіз архітектур згорткових нейронних мереж, **Stets S.** – розробка моделі згорткової нейронної мережі з архітектурою EfficientNet, призначеної для розпізнавання зображень автомобілів)

9. Апробація матеріалів дисертації

Апробація матеріалів дисертації здійснювалася на таких конференціях та семінарах:

- XI Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» (ПШКТ – 2022), Чернівці, 10–13 листопада 2022 р.; форма участі – очна.
- Міжнародна наукова інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення». Вип. 78, Тернопіль, 8-9 червня 2023 р.; форма участі – заочна.
- XII Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» (ПШКТ – 2023), Чернівці, 10–12 листопада 2023 р.; форма участі – очна.

- XIII Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» (ПІКТ – 2024), Чернівці, 1–3 листопада 2024 р.; форма участі – очна.
- X Міжнародна науково-практична конференція «Фізико-технологічні проблеми передачі, обробки та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах» (ПРЕДТ-2025), Чернівці, 15-17 травня 2025 р.; форма участі – очна.
- XIV Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» (ПІКТ – 2025), Чернівці, 13–15 листопада 2025 р.; форма участі – очна.
- науковий семінар кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

10. Оцінка мови і стилю дисертації

Дисертація написана чіткою мовою і відповідає критеріям науковості, що забезпечує логічність, послідовність і об'єктивність викладення результатів дослідження. Зазначене свідчить про відповідність дисертації вимогам, що висуваються до праць такого рівня.

11. Відповідність змісту дисертації спеціальності з відповідної галузі знань, з якої вона подається до захисту

Зміст дисертації відповідає чинним вимогам до оформлення дисертації, встановленим освітньо-науковою програмою «Інженерія програмного забезпечення» галузі знань 12 «Інформаційні технології», спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення.

12. Дотримання нормативних вимог щодо оформлення дисертації

Нормативні вимоги щодо оформлення дисертації дотримані повністю.

13. Рекомендації дисертації до захисту

Дисертаційна робота Стеця Сергія Юрійовича «Підвищення точності та швидкодії детектування зображень автомобілів засобами згорткової нейронної мережі YOLO», подана на здобуття ступеня доктора філософії (PhD) у галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія

новизною постановки та розв'язання проблем, практичним значенням отриманих результатів відповідає вимогам пунктів 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44 (зі змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України №507 від 03.05.2024 р.).

За результатами публічної презентації результатів дисертації та їх обговорення на засіданні кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича 12 березня 2026 року дисертацію Стеця Сергія Юрійовича рекомендовано до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді для здобуття ступеня доктора філософії (PhD) з галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

Голова засідання

доктор філософії, доцент,
завідувач кафедри програмного
забезпечення комп'ютерних систем
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича

Катерина ГАЗДЮК

Піліпс Газдюк К. засвідчую
Учений секретар Чернівецького національного
університету імені Юрія Федьковича
16/03

