

Рішення разової спеціалізованої вченої ради про присудження наукового ступеня доктора філософії

Разова спеціалізована вчена рада Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро), прийняла рішення про присудження наукового ступеня доктора філософії **Казимиренку Олексію Володимировичу** з галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 126 – Інформаційні системи та технології на підставі прилюдного захисту дисертації на тему **«Нейромережеве розпізнавання об'єктів транспорту на аерокосмічних зображеннях»** за спеціальністю 126 – Інформаційні системи та технології «24» квітня 2026 року.

Здобувач ступеня доктора філософії Казимиренко Олексій Володимирович народився 29 березня 1978 р. у м. Чорнобиль Київської області.

У 2001 році закінчив Національну металургійну академію, економічний факультет за спеціальністю «Менеджмент зовнішньо-економічної діяльності», отримана кваліфікація: менеджер, магістр. Наразі є аспірантом денної форми навчання НТУ «Дніпровська політехніка» за освітньо-науковою програмою 126 Інформаційні системи та технології, нормативний термін навчання: 2022-2026 рр.

За час навчання в аспірантурі Казимиренко Олексій Володимирович проявив себе відповідальним науковцем, здатним самостійно досліджувати предметну область, висувати наукові гіпотези, запропоновувати нові методи розв'язання поставлених задач та підтверджувати їх ефективність шляхом проведення експериментів.

Казимиренко Олексій Володимирович має науково-педагогічний стаж понад 20 років.

Кафедра інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії високо оцінює Казимиренка О.В. за його особистісними, комунікативними якостями, а також відзначає важливість та наукову новизну проведеного ним дисертаційного дослідження.

Індивідуальний план наукової роботи та тему дисертації здобувача Казимиренка Олексія Володимировича був затверджений рішенням вченої ради НТУ «Дніпровська політехніка» 30.06.2022 р. (протокол №8). Роботу виконано на кафедрі інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії. 03 березня 2026 року відбувся науковий семінар кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії (протокол № 15), на якому дисертацію рекомендовано до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді. Згідно наказу ректора від 18 березня 2026 року утворено разову раду у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» з правом прийому до розгляду та проведення захисту дисертації Казимиренка Олексія Володимировича на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології».

Науковий керівник: завідувач кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, доктор технічних наук, професор Гнатушенко Володимир Володимирович.

Матеріали дисертаційної роботи повною мірою викладені у 9 наукових працях. Чотири статті опубліковано у наукових виданнях, включених до переліку

фахових видань України (всі індексуються у НМБД Index Copernicus), три з них – категорії A (Scopus, Web of Sc.), чотири наукових праці опубліковано у збірниках наукових праць та матеріалах міжнародних конференцій, одну з яких проіндексовано у НМБ Scopus; отримано одне свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису, українською мовою.

Наукова новизна одержаних результатів. Всі наукові положення дисертаційної роботи розроблені здобувачем самостійно.

Вперше:

– запропоновано комплексний багатокomпонентний підхід до нейромережевого розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях високої просторової роздільної здатності, що ґрунтується на інтеграції просторової нормалізації ознак, виділення областей інтересу, багатомасштабного представлення ознак та семантичної сегментації в єдиній нейромережевій архітектурі для виявлення та класифікації об'єктів транспорту довільної орієнтації та масштабу;

– розроблено інформаційну технологію нейромережевого розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях високої просторової роздільної здатності на основі запропонованої архітектури глибоких нейронних мереж. Запропонована технологія забезпечує розпізнавання транспортних засобів довільного розташування на різночасових аерокосмічних зображеннях та оптимізує час навчання моделей і обробки даних.

Вдосконалено:

– архітектуру одноетапного нейромережевого детектора (YOLOv11) об'єктів із підтримкою орієнтованих обмежувальних рамок, що базується на багатомасштабному представленні просторових ознак та адаптивному механізмі їх агрегації й уточнення, що забезпечує підвищення точності виявлення та локалізації транспортних засобів у складних сценах на аерокосмічних зображеннях високої просторової розрізненості;

– методи автоматизованого виявлення транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях за рахунок поєднання класичних алгоритмів виділення ознак із сучасними нейромережевими моделями, що забезпечує стабільність роботи системи за умов змінної освітленості, контрастності та спектральної неоднорідності сцен (Precision – 99,5%, Recall – 96,8%, F1 Score – 98,1%);

– підходи до підготовки та навчання нейромережових моделей на комбінованих наборах аерокосмічних даних (DOTA та спеціалізовані аерофотозображення) із застосуванням методів аугментації та функції втрат, що дозволяє зменшити вплив дисбалансу класів та підвищити якість виявлення об'єктів різних розмірів (mAP – 96,8%, OBB IoU – 98,5%);

– методику формування анотованих наборів даних із використанням орієнтованих обмежувальних рамок (OBB), що мінімізує вплив фону та забезпечує коректне навчання моделей для підвищення точності виявлення транспортних засобів. На спеціалізованому наборі даних модель досягла точності

= 100%, FP = 0, Recall = 95,5% (виявлено 107 із 112 ТЗ).

Набули подальшого розвитку:

– метод семантичної сегментації аерокосмічних зображень на основі глибоких згорткових нейронних мереж та функції втрат типу Dice, адаптовані до задач виділення транспортних засобів;

– комплексний підхід до автоматизованого розпізнавання транспортних засобів на аерокосмічних зображеннях високої просторової роздільної здатності, що інтегрує багатомасштабне представлення ознак, сегментацію контекстуальної інформації та орієнтовані механізми виявлення об'єктів, підвищуючи точність розпізнавання транспортних засобів у складних сценах.

У дискусії взяли участь присутні на захисті голова і члени спеціалізованої вченої ради:

Голова ради: **Лактіонов Іван Сергійович**, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», доктор технічних наук, професор.

Питання:

Які перспективи розвитку вашої інформаційної технології ви бачите у майбутньому? Як вона може бути застосована в інших галузях?

Відповідь:

Перспективи подальшого розвитку запропонованої інформаційної технології пов'язані насамперед із її масштабуванням, підвищенням універсальності та адаптацією до ширшого спектра прикладних задач аналізу аерокосмічних даних. Одним із ключових напрямів є розширення функціональних можливостей моделі шляхом інтеграції багаточасових даних, що дозволить перейти від статичного розпізнавання об'єктів до аналізу динаміки транспортних потоків, виявлення змін та прогнозування просторово-часових процесів. Важливою перспективою є адаптація розробленої технології для роботи з відеопослідовностями аерокосмічних знімків, зокрема шляхом поєднання нейромережевого розпізнавання з методами трекінгу та рекурентними або трансформерними архітектурами. Це створює передумови для застосування технології у системах оперативного моніторингу, де необхідне безперервне спостереження за об'єктами в реальному або квазі-реальному часі. Крім того, подальший розвиток можливий у напрямі злиття даних з різнорідних сенсорів, включаючи оптичні, мультиспектральні та радарні зображення, що підвищить стійкість моделі до змін освітлення, погодних умов та сезонних факторів. Такий підхід розширює сферу застосування технології на задачі моніторингу критичної інфраструктури, контролю будівельної діяльності, оцінювання наслідків надзвичайних ситуацій та аналізу цивільних об'єктів.

Рецензенти:

Коряшкіна Лариса Сергіївна, професор кафедри системного аналізу та управління Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», доктор технічних наук, доцент. Відгук є позитивним.

Відповіді на зауваження:

Дякую за приділену увагу до моєї роботи. На четверте зауваження щодо «опису впровадження сервіс-орієнтованого підходу, зокрема модуля Logging &

Transfer, для передачі результатів обробки до хмарного сховища.» хотів би зазначити, що у четвертому розділі наведені значення часу обробки (0,09–6,39 с) відображають тривалість виконання алгоритмічної частини інформаційної технології, а саме – обробку зображення та формування результатів розпізнавання на локальному обчислювальному вузлі. Оцінка була проведена окремо з метою коректного порівняння ефективності різних нейромережових архітектур без впливу зовнішніх факторів, зокрема мережевої інфраструктури.

Разом з тим, повний цикл функціонування системи дійсно включає етап передачі результатів до хмарного середовища. У запропонованій технології цей етап оптимізовано за рахунок зменшення обсягу даних, що передаються: а саме, передаються лише результати розпізнавання (координати та класи об'єктів), що суттєво знижує навантаження на мережу.

З урахуванням цього, додаткові часові витрати на передачу даних у типових умовах є незначними (порядку десятків–сотень мілісекунд) і не змінюють загального висновку щодо придатності системи до застосування у задачах, наближених до реального часу.

З іншими зауваженнями згоден.

Питання:

У чому полягає специфіка аерокосмічного моніторингу процесів на поверхні Землі?

Відповідь:

Аерокосмічний моніторинг дозволяє отримувати дані про великі території у реальному часі або з високою частотою повторних спостережень. Його специфіка полягає в обробці великих обсягів різнорідної інформації, врахуванні різних кутів огляду, змін освітлення, атмосферних умов і складності об'єктів на знімках. Специфіка полягає у виділенні об'єктів на складних і мінливих сценах, де наприклад, транспортні засоби накладаються на різнорідні текстури, а умови освітлення та атмосферні фактори постійно змінюються. Крім того, необхідно враховувати різні кути огляду та масштаби об'єктів.

Питання:

Чи враховували Ви сезонні зміни або інші зовнішні фактори, що можуть вплинути на якість супутникових зображень?

Відповідь:

Так, у підготовці набору даних ми намагалися включити знімки з різними погодними та сезонними умовами, а також варіаціями освітлення. Це дозволяє нейромережі навчатися на більш реалістичних сценаріях, підвищуючи її стійкість до зовнішніх факторів і складного фону.

Сергєєва Катерина Леонідівна, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», кандидат технічних наук, доцент. Відгук є позитивним.

Відповіді на зауваження:

Дякую за приділену увагу до моєї роботи. Щодо останнього зауваження, дійсно, порівняння з результатами сучасних досліджень є важливим для

обґрунтування наукової новизни та практичної цінності отриманих результатів.

У поданій роботі основний акцент було зроблено на коректному порівнянні з базовими та сучасними архітектурами (YOLOv5, YOLOv7, YOLOv8, SSD, RetinaNet, Faster R-CNN) в однакових експериментальних умовах, що забезпечує об'єктивність оцінювання. Пряме зіставлення з результатами інших авторів ускладнюється низкою факторів: використанням різних наборів даних, відмінностями у протоколах оцінювання, а також неоднорідністю анотацій (зокрема для наборів типу DOTA, що в роботі використовувався переважно для якісного аналізу).

Разом з тим, у роботі частково реалізовано порівняння з відомими підходами у задачах семантичної сегментації (DeepLab v3, U-Net, SegNet, FCN, ENet), що дозволяє співвіднести отримані результати з сучасним рівнем розвитку методів у даній галузі.

З іншими зауваженнями згоден.

Питання:

Скажіть, будь-ласка, чому існуючі методи розпізнавання транспортних засобів не є достатньо ефективними?

Відповідь:

Більшість існуючих методів орієнтовані на прямокутні об'єкти та стандартні умови зйомки. Вони не враховують довільну орієнтацію транспортних засобів, щільне розташування на дорозі, перекриття об'єктів та складний фон. Також класичні підходи часто не адаптовані до змін освітлення, тіней і масштабів об'єктів у аерокосмічних знімках високої просторової роздільної здатності. Через це точність локалізації та класифікації зменшується, особливо у міських та дорожніх умовах із високою щільністю об'єктів.

Питання:

У другому розділі наведено Метод просторово-орієнтованого розпізнавання транспортних засобів довільного розташування. Яку роль відіграє математична модель у Вашому методі?

Відповідь:

Математична модель описує просторову орієнтацію об'єктів, включаючи параметри їх розташування, довжину та ширину рамки, а також просторове зміщення вершин. Вона забезпечує формалізацію навчання нейромережі та використовується для розширеного формату розмітки даних, що дозволяє моделі правильно відображати довільну орієнтацію транспортних засобів.

Питання:

У другому розділі (слайд 10) ви представляєте інформаційну технологію на основі YOLOv11-OBV, а у третьому розділі описуєте інформаційної технології нейромережевого розпізнавання транспортних засобів довільного розташування (сл.12). У вас розроблено дві різні технології чи одна є складовою іншої? Поясніть доцільність такого поділу?

Відповідь:

Дякую за запитання. Незважаючи на ефективність технології, представлені у другому розділі, яка базується на модифікованій архітектурі YOLOv11-OBV для виявлення автомобілів на аерофотознімках, аналіз

експериментальних результатів виявив низку обмежень. Зокрема, попередня модель не враховує просторову щільність транспортних засобів, не використовує семантичну інформацію про структуру сцени та забезпечує інваріантність до геометричних перетворень лише опосередковано. Ці обмеження обумовили необхідність розвитку вдосконаленої технології, описаної у третьому розділі. Вона є розширенням і вдосконаленням попередньої моделі, а не окремою технологією. Нова інформаційна технологія інтегрує: просторове узгодження ознакових представлень через нейронну мережу просторових перетворень; багатомасштабне вилучення та інтеграцію ознак для точного виявлення об'єктів малого розміру та близько розташованих транспортних засобів; семантичну сегментацію елементів дорожньої інфраструктури для формування контекстно-орієнтованих карт ознак; орієнтоване виявлення транспортних засобів у єдиній інтегрованій нейромережевій моделі, що дозволяє спільне навчання взаємопов'язаних завдань аналізу сцени. Таким чином, технологія з третього розділу є розширеною та інтегрованою версією рішення з другого розділу, покликаною подолати обмеження попереднього підходу та забезпечити орієнтоване розпізнавання транспортних засобів.

Офіційні опоненти:

1. **Машталір Сергій Володимирович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформатики Харківського національного університету радіоелектроніки. Відгук є позитивним

Відповіді на зауваження:

Дякую за приділену увагу до моєї роботи. Щодо до третього зауваження про UML-діаграми і блоку семантичної сегментації хочу зазначити, що у запропонованій інформаційній технології семантична сегментація є функціонально інтегрованим етапом інваріантного розпізнавання, що використовується для формування просторово-контекстних ознак та підвищення якості виявлення малорозмірних і довільно орієнтованих об'єктів. Саме тому на UML-діаграмі варіантів використання вона позначена як обов'язковий підпроцес (include).

Крім того, на діаграмі класів модулі Segmentation Model та Invariant Recognition Model представлені як окремі компоненти з метою відображення модульності та можливості їх незалежної реалізації й повторного використання. Їх взаємодія координується через Application Controller, який забезпечує послідовний виклик: попередня обробка → сегментація → розпізнавання.

Таким чином, сегментація в рамках реалізованого підходу є обов'язковим етапом обробки, але архітектурно виділена як окремий модуль для забезпечення гнучкості та масштабованості системи.

З іншими зауваженнями згоден.

Питання:

Скажіть, будь ласка, від чого залежить різниця в точності результатів розпізнавання літаків і автомобілів у моделі нейронної мережі?

Відповідь:

Різниця в точності розпізнавання літаків і автомобілів зумовлена

сукупністю просторово-геометричних та контекстних факторів. По-перше, літаки мають більш виражені та стабільні геометричні ознаки (форма крил, фюзеляж, пропорції), що полегшує їх ідентифікацію нейромережею. По-друге, вони зазвичай розміщуються на однорідному та контрастному фоні аеродромної інфраструктури, що знижує вплив шумів і фонового перекриття. Натомість автомобілі часто присутні у щільно забудованих сценах, мають значну варіативність розмірів, форм і кольорів, а також піддаються впливу тіней і часткових перекриттів. Урахування просторово-геометричних ознак, зокрема орієнтації та пропорцій об'єктів, підвищує стійкість моделі, однак складність сцени все ж зумовлює нижчу точність порівняно з повітряними транспортними засобами.

Питання:

Які типи транспортних засобів передбачено для розпізнавання у вашій моделі та які прикладні задачі вирішує ідентифікація різних категорій транспорту на аерокосмічних зображеннях?

Відповідь:

У межах даного дослідження під поняттям транспортні засоби розуміється клас рухомих технічних об'єктів, що функціонують у наземному та повітряному середовищі й мають чітко виражені просторово-геометричні ознаки. Запропонована нейромережева технологія орієнтована на розпізнавання об'єктів різних масштабів - від малогабаритних (мотоцикли) до великогабаритних (вантажні транспортні засоби, спеціалізована будівельна техніка та літальні апарати). У процесі експериментальних досліджень було підтверджено здатність моделі коректно ідентифікувати не лише легкові автомобілі, а й вантажівки, мотоцикли, одиниці спеціалізованої техніки (зокрема екскаватори), а також повітряні транспортні засоби. Це свідчить про універсальність запропонованого підходу та його адаптивність до різних типів сцен аерокосмічної зйомки. Практична цінність такого розширення спектра розпізнаваних об'єктів полягає, по-перше, у демонстрації здатності моделі ефективно працювати з дрібними та слабконтрастними об'єктами на зображеннях надвисокої просторової розрізненості, що є характерною складністю для мотоциклів. По-друге, ідентифікація спеціалізованої техніки має важливе прикладне значення для задач моніторингу дорожніх і будівельних робіт, контролю стану критичної інфраструктури та оцінювання техногенної активності. Таким чином, запропонована технологія виходить за межі класичних систем контролю транспортних потоків і може бути використана в широкому спектрі задач аерокосмічного моніторингу та безпеки.

2. Островська Катерина Юріївна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки та технологій. Відгук є позитивним

Відповіді на зауваження:

Дякую за приділену увагу до моєї роботи. Щодо п'ятого зауваження можна погодитись, що вибір алгоритмів оптимізації та гіперпараметрів суттєво впливає на здатність моделі до узагальнення.

У даному дослідженні вибір не є довільним і зумовлений специфікою

задачі: обмеженим обсягом навчальної вибірки (~1122 зображення), високою варіативністю орієнтації об'єктів та необхідністю стабільного навчання багатокомпонентної архітектури (детекція + сегментація + інваріантність). Зокрема, використання адаптивних методів оптимізації (типу Adam) обґрунтоване їх здатністю забезпечувати швидку збіжність на малих вибірках та стійкість до шуму градієнтів, що є важливим для задач аерокосмічного аналізу. Застосування стратегії зменшення швидкості навчання (learning rate scheduling) дозволило уникнути коливань на пізніх етапах навчання та досягти стабільної збіжності, що підтверджується монотонним спаданням функції втрат.

З урахуванням зазначеного, обрані алгоритми та параметри навчання забезпечують компроміс між швидкістю збіжності, стабільністю навчання та узагальнювальною здатністю моделі.

З іншими зауваженнями згоден.

Питання:

Які версії архітектури YOLO Ви застосовували у своєму дослідженні? Чому ці архітектури?

Відповідь:

У дослідженні використовували YOLOv8m та YOLOv11-OBV. YOLOv8m забезпечує ефективну базову детекцію об'єктів із високою швидкістю, тоді як YOLOv11-OBV модифікована для роботи з орієнтованими обмежувальними рамками, що дозволяє враховувати нахил транспортних засобів і їхню довільну орієнтацію на аерокосмічних знімках. Вибір цих архітектур обумовлений наступними факторами: обидві моделі демонструють високу продуктивність на великих знімках високої просторової роздільної здатності. YOLOv11-OBV легко інтегрувати з FPN (Feature Pyramid Network) для багатомасштабного виділення ознак і з STN (Spatial Transformer Network) для просторового узгодження, що критично для щільно розташованих транспортних засобів. Завдяки доданому блоку кутових параметрів та механізмам багатомасштабного вилучення ознак, модель здатна точно локалізувати об'єкти у складних сценах. YOLOv11-OBV дозволяє поєднати локальне виявлення об'єктів із семантичною інформацією про інфраструктуру, що підвищує стійкість до шумів і складного фону.

Питання:

Чим обґрунтовано вибір саме 300 епох для навчання моделі? Чи проводився аналіз динаміки навчання на предмет виявлення ефекту перенавчання?

Відповідь:

Вибір 300 епох навчання був зумовлений необхідністю досягнення повної збіжності алгоритму, що підтверджується графіками на Рисунку 17. На графіку Model Performance видно, що метрики точності mAP та mAP@0.50-0.95 демонструють інтенсивне зростання до 150–200 епохи, після чого виходять на стабільне "плато". Це свідчить про те, що 300 епох є достатнім показником для вичерпання потенціалу навчання моделі. Ефект перенавчання зазвичай проявляється у зростанні помилки (Loss) на валідаційній вибірці при подальшому навчанні. У нашому випадку графіки Box Loss, Class Loss та Object Loss мають монотонно спадний характер до самого кінця дистанції у 300 епох. Відсутність розбіжності між тренувальними та валідаційними показниками підтверджує

стійкість моделі. Графік Class Loss демонструє найшвидше падіння вже на перших 50 епохах, що доводить ефективність обраної архітектури YOLO-OBV у розпізнаванні семантичних ознак транспортних засобів. Показник Vox Loss знижується поступово, що пояснюється складністю задачі точного підбору координат та кута нахилу орієнтованих обмежувальних рамок. Таким чином, результати експерименту підтверджують, що процес навчання було зупинено вчасно: модель досягла високої точності, не втративши здатності до узагальнення на нових даних.

Результати відкритого голосування:

«За» – 5 членів ради,

«Проти» – 0 членів ради,

На підставі публічного захисту та результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує **Казимиренку Олексію Володимировичу** ступінь доктора філософії з галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 126 – Інформаційні системи та технології.

Відеозапис трансляції захисту дисертації Казимиренка О.В. додається.

Голова разової
спеціалізованої вченої ради




Іван ЛАКТИОНОВ