

ВІДГУК

рецензента Кобиліна Олега Анатолійовича,
на дисертаційну роботу Бизкровного Олександра Миколайовича
на тему «Моделі та методи розроблення програмного забезпечення
прогнозування дорожньо-транспортних пригод в реальному часі»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
з галузі знань 12 — Інформаційні технології
за спеціальністю 121 — Інженерія програмного забезпечення

1. Актуальність теми дисертації

Підвищення рівня інформованості водія про дорожню обстановку є одним із дієвих напрямів зниження аварійності. Наявні бортові системи активної безпеки працюють у межах зони дії власних сенсорів і не спроможні оцінити ситуацію за перешкодою, а системи прогнозування, побудовані на історичних даних, придатні для стратегічного аналізу, але не для роботи в режимі реального часу. Технології V2X, які теоретично усувають ці обмеження, потребують масового дооснащення транспортних засобів.

Дисертаційна робота Бизкровного О.М. пропонує інший шлях: перенести прогнозування у дорожню інфраструктуру, виконуючи опрацювання відеопотоку локально на IoT-пристрої та надсилаючи водієві коротке повідомлення про небезпеку- через шину повідомлень. Такий підхід не потребує дооснащення автомобілів, працює з транспортними засобами будь-якого року випуску і за побудовою орієнтований на режим реального часу.

Отже, вважаю, що тема дисертаційної роботи є актуальною та відповідає напряму досліджень спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення.

2. Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукову новизну результатів роботи визначають такі наукові положення:

- *Уперше запропоновано* модель розроблення програмного забезпечення прогнозування виникнення дорожньо-транспортних пригод на перехрестях для роботи в режимі реального часу, яка використовує моделі обчислювального інтелекту та алгоритми адаптації роботи на IoT пристроях, що дозволяє виконувати прогнозування локально, без обробки відеопотоку на сервері, що вирішує фундаментальні проблеми усунення затримок реакції систем в режимах роботи в реальному часі. Використання запропонованої моделі забезпечує швидку горизонтальну масштабованість системи, без створення єдиної точки відмови, так як модель використовується в розподіленій програмній системі.

- *Уперше запропоновано* гібридну модель розроблення програмного забезпечення прогнозування виникнення дорожньо-транспортних пригод на різноманітних ділянках руху, яка ґрунтується на використанні моделей обчислювального інтелекту та методів обчислювальної геометрії для визначення потенційних дорожньо-транспортної пригод. Дана модель оптимізована для локальної роботи на IoT-пристроях без серверної обробки. Використання запропонованої гібридної моделі дозволяє зменшити об'єм навчальних даних на 40% у порівнянні з попередньо запропонованою моделлю, а також дозволяє використання загальних та уже існуючих наборів даних класифікації, без створення специфічних наборів тренувальних даних. Додатково, зменшено кількість класів для класифікації на 80%, що дозволяє використовувати невеликі моделі комп'ютерного зору, що мають перевагу у швидкості роботи.

– Уперше запропонований метод проєктування програмного забезпечення, що використовує запропоновані моделі прогнозування виникнення дорожньо-транспортних пригод, в основі якого лежить використання системи розподілених обчислень, де кожен обчислювальний елемент є автономною одиницею прогнозування. Архітектура програмного забезпечення сфокусована на використанні хмарних рішень, IoT пристроїв (Jetson, Raspberry), MQTT протоколу передачі даних та алгоритму GeoHash, що використовується для маршрутизації повідомлень та зменшенні затримки на стороні шини повідомлень. Додаткові пристрої, встановлені на одній ділянці, дозволяють розширювати зону прогнозування з 120° до 360° . Система підтримує навантаження до 100 повідомлень в секунду з одного IoT пристрою та до 20 000 повідомлень в секунду для акаунту AWS. Запропонований метод проєктування програмного забезпечення, що використовує запропоновані моделі прогнозування ДТП допомагає уникнути до 60% небезпечних ситуацій.

Обґрунтованість і достовірність результатів підкріплено коректним використанням методів комп'ютерного зору та обчислювальної геометрії у поєднанні зі статистичною теорією виявлення, де безпечну та небезпечну ситуації описано гіпотезами H_0 і H_1 з відповідним урахуванням помилок I та II роду, а розрахункові дані узгоджено з експериментальними. Моделі комп'ютерного зору порівняно за стандартними показниками якості – Precision, Recall, F1, mAP@0.5, mAP@0.5:0.95 – та за часом інференсу з наведенням умов навчання (табл. 2.3 – 2.5). Працездатність запропонованого методу підтверджено серією з 80 випробувань у середовищі BeamNG.tech із вимірюванням наскрізних часових характеристик: імовірність правильного виявлення небезпечної ситуації склала $P^D = 0,67$ у повному діапазоні швидкостей і $P^D = 0,80$ за умови дотримання швидкісного режиму, середня затримка доставки повідомлення – 0,298 с за гранично допустимих 500 мс, а повний цикл «виявлення небезпеки – зупинка транспортного засобу» – у середньому 1,93 с (п. 3.8).

Манера викладу відповідає академічним нормам, розповсюджується спеціальна термінологія інженерії

Таким чином, сформульоване наукове завдання виконано в повному обсязі, що свідчить про оволодіння здобувачем методологією наукової роботи.

3. Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом робота здобувача О.М. Бизкровного відповідає Стандарту вищої освіти за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» та напрямом підготовки, передбаченим освітньо-науковою програмою Харківського національного університету радіоелектроніки. Дисертацію підготовлено у 2022–2026 роках відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри програмної інженерії.

Подана дисертація є завершеною науковою працею та підтверджує наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям інженерії програмного забезпечення.

Огляд звіту про перевірку дисертації на плагіат дозволяє стверджувати, що робота є результатом самостійних досліджень здобувача та вільна від фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату й запозичень. Зафіксовані співпадіння є збігами з власними науковими працями автора, опублікованими раніше, тоді як використані ідеї, результати та тексти інших дослідників належним чином процитовано.

Таким чином, є підстави вважати дисертацію О.М. Бизкровного оригінальною, вільною від фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

4. Мова та стиль викладення результатів

Дисертація написана українською мовою, а результати дослідження викладено ясно й послідовно. Манера викладу відповідає академічним нормам, послідовно застосовується спеціальна термінологія інженерії

програмного забезпечення, яка розкриває сутність досліджуваних питань. Наочний матеріал – діаграми UML та SysML, схеми архітектури, графіки метрик і таблиці експериментів – вдало дібраний і підвищує ясність тексту.

До складу роботи входять анотації двома мовами, вступ, чотири розділи, висновки, перелік джерел посилання з 70 позицій та два додатки, а її загальний обсяг сягає 178 сторінок.

Вступ містить обґрунтування актуальності теми, формулювання мети та завдань, визначення об'єкта і предмета дослідження, опис методів, наукової новизни й практичної цінності результатів, а також відомості про особистий внесок автора та апробацію.

Перший розділ охоплює аналіз сучасного стану безпеки руху механічних транспортних засобів: тут розглянуто статистику виникнення ДТП, найнебезпечніші маневри та види перехресть, чинні методи й моделі виявлення та попередження пригод, типові системи безпеки автомобілів і інтелектуальні системи, побудовані на машинному навчанні. Окреслено обмеження наявних рішень, сформульовано критерії до методів вирішення задачі та наведено її постановку.

Другий розділ присвячено моделям прогнозування виникнення ДТП. Розглянуто архітектури моделей комп'ютерного зору, подано модель класифікації передумов ДТП на перехрестях із зазначенням її вхідних і вихідних даних, порядку формування набору даних та методики оцінювання, у якій ситуацію описано гіпотезами H_0 і H_1 . Проведено порівняння YOLOv7 і Faster R-CNN, вивчено швидкодію моделей на одноплатному комп'ютері Jetson TX2 NX та запропоновано гібридну модель, у якій висновок про небезпеку формує шар обчислювальної геометрії.

У третьому розділі описано метод розроблення програмного забезпечення прогнозування ДТП. Наведено сценарії використання, функціональні та нефункціональні вимоги й обмеження до програмного забезпечення, подано Use Case діаграму (рис. 3.7) та SysML Requirement Diagram (рис. 3.8). Сформовано сценарії атрибутів якості та на їх основі

обґрунтовано архітектурні рішення – шину повідомлень MQTT AWS IoT Core, маршрутизацію за алгоритмом GeoHash і метод побудови полігону зони дії за координатами GPS; представлено діаграму розгортання (рис. 3.14), діаграми послідовностей (рис. 3.15, 3.16), характеристики обладнання IoT-пристроїв і методику оцінювання методу за трьома критеріями.

Четвертий розділ містить результати практичного впровадження запропонованих рішень: висвітлено формування експериментального середовища на основі BeamNG.tech із програмованими сценаріями руху автомобілів та наведено підсумки експериментального застосування прототипу IoT-пристрою прогнозування ДТП (табл. 4.1–4.4), включно з аналізом випадків недостатнього попередження та напрямками його поліпшення.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій».

5. Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційного дослідження опубліковано у 7 наукових працях: 4 з них – статті у виданнях, що на момент публікації входили до переліку фахових видань України, ще 3 – у збірниках матеріалів міжнародних наукових конференцій. Основні положення роботи апробовано на трьох міжнародних конференціях: COLINS-2023 (Харків, Україна), Environment. Technology. Resources. (Резекне, Латвія) та 2024 IEEE Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences eStream (Вільнюс, Литва).

У наукових працях здобувача основні результати дослідження подано ґрунтовно й на високому рівні. Усі публікації відповідають принципам академічної доброчесності: джерела процитовано коректно, будь-які прояви плагіату відсутні.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоноване програмне забезпечення може застосовуватися для своєчасного сповіщення водія про виявлену передумову ДТП за межами дії бортових систем безпеки; на відміну від рішень V2X, воно не потребує дооснащення кожного транспортного засобу, що знижує вартість отримання послуги та сприяє швидшому впровадженню. Одержані результати впроваджено в ІТ-фірмі ПП «РІІТ» для інформування екстрених служб про факт виникнення ДТП з метою кращої координації та навігації бригад екстреної допомоги (довідка про впровадження від 03.02.2026).

З огляду на викладене, наукові результати дисертаційної роботи повністю відображено в наукових публікаціях здобувача.

6. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Мету роботи сформульовано як підвищення ефективності розроблення і супроводу програмного забезпечення, однак саме показники розроблення та супроводу в роботі кількісно не вимірюються: методику оцінювання (п. 3.8) побудовано на характеристиках цільової системи – ймовірності виявлення та затримці доставки повідомлення. Доцільно було б чіткіше зазначити, які саме показники процесів розроблення і супроводу поліпшено та якою мірою.

2. Перший розділ надмірно насичений статистичним матеріалом щодо аварійності (табл. 1.1–1.9), тоді як аналіз власне програмно-інженерних рішень – архітектур систем реального часу, платформ граничних обчислень, наявних фреймворків – подано значно стисліше. Для роботи за спеціальністю 121 такий розподіл матеріалу доречніше було б змінити на користь предметної галузі спеціальності.

3. Використані критерії оцінювання моделей (Precision, Recall, F1-міра, mAP) є загальновідомими, а їх значення істотно залежать від набору даних. У тексті варто було б чіткіше відмежувати відомі метрики від власного

внеску автора – методики їх застосування та обґрунтування вибору Recall як пріоритетного показника для задач безпеки.

4. На мій погляд, потребують узгодження показники швидкодії. У табл. 2.3–2.5 час інференсу моделей комп'ютерного зору становить 0,192–0,198 с на кадр, тоді як у формулі (2.12) встановлено граничну вимогу $T^{\max} \leq 50$ мс, а для CV-шару гібридної моделі наведено пропускну здатність 140,5 кадр/с. З тексту не завжди очевидно, які саме моделі й на якому обладнанні задовольняють заявлений часовий бюджет- це слід пояснити явно.

5. У четвертому розділі результати подано переважно у вигляді протоколів окремих запусків (табл. 4.1–4.4). Бракує зведеної узагальненої таблиці з агрегованими показниками за всіма 80 сценаріями (ймовірність виявлення, частота хибних спрацювань, затримка, час циклу) із зазначенням похибок вимірювань.

6. У п. 3.7.6 наведено характеристики конкретної камери (табл. 3.8) та мінімальні вимоги до частоти кадрів і роздільної здатності, проте не сформульовано вимог до геометрії встановлення (висота, кут нахилу, зона огляду) та до умов освітлення, зокрема роботи в темну пору доби. Ці параметри безпосередньо впливають на точність детекції, час опрацювання і відтворюваність одержаних результатів.

Висловлені зауваження не є визначальними, не зменшують наукової новизни та практичного значення отриманих результатів і не змінюють позитивної оцінки дисертаційної роботи.

7. Висновок про дисертаційну роботу

На мою думку, дисертаційна робота Бизкровного Олександра Миколайовича на тему «Моделі та методи розроблення програмного забезпечення прогнозування дорожньо-транспортних пригод в реальному часі» виконана на високому науковому рівні та з дотриманням принципів академічної доброчесності і є закінченим науковим дослідженням, сукупність

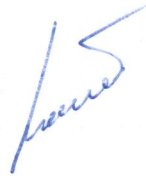
теоретичних і практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 12 Інформаційні технології.

За актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною робота повністю задовольняє вимоги чинного законодавства України, визначені пп. 6–9 «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.

Вважаю, що Бизкровний Олександр Миколайович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри інформатики
Харківського національного університету
радіоелектроніки



Олег КОБИЛІН

Підпис засвідчую

Проректор з наукової роботи,
доктор технічних наук, професор
Харківського національного університету
радіоелектроніки



Юрій РОМАНЕНКОВ