

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Дубовика Віталія Валентиновича** на тему
**«Розроблення програмного комплексу навчання роботехнічних систем
ліквідації наслідків техногенного походження»**, представлену на здобуття
ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 Інженерія програмного
забезпечення

Актуальність теми дисертації. Підготовка роботехнічних систем до функціонування в умовах техногенних аварій є складною науково-прикладною задачею, що потребує поєднання програмної інженерії, математичного моделювання, комп'ютерного зору та методів штучного інтелекту. Натурні випробування у небезпечному середовищі є витратними, обмеженими й ризикованими, тому особливого значення набувають цифрові моделі, симуляційні сценарії та алгоритми адаптивного навчання. Водночас застосування навчальних моделей у робототехніці потребує формалізації цілей, обмежень і критеріїв безпеки.

Дисертація Дубовика В. В. спрямована на створення програмного комплексу, у якому цифровий двійник використовується для моделювання середовища, накопичення даних, формування навчальних сценаріїв і перевірки стратегій керування. Поєднання гібридної архітектури з методами машинного навчання, сценарій-орієнтованою підготовкою та багатокритеріальним оцінюванням відповідає сучасним напрямкам розвитку інтелектуальних програмних систем. З огляду на це тема є актуальною, а результати дослідження становлять інтерес для спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано відповідно до плану підготовки аспіранта та в межах науково-дослідних тем № ФПМ-2-22 «Розроблення програмного забезпечення аналізу та кластеризації часових рядів» (номер державної реєстрації 0122U001465) і № 58-ФПМ-2-25 «Розроблення інформаційної технології обробки статистичних даних» (номер державної реєстрації 0125U002280). Використання математичних моделей динамічних процесів, методів аналізу даних і програмного моделювання узгоджується зі змістом зазначених наукових досліджень.

Наукова новизна одержаних автором результатів. Наукова новизна роботи пов'язана зі способом організації програмного контуру підготовки роботехнічної системи, у якому моделювання, навчання, оцінювання та контроль безпеки розглядаються як взаємопов'язані етапи. До основних положень наукової новизни віднесено:

1. Вперше розроблено концептуальну та програмну модель комплексного навчального середовища роботехнічних систем, побудованого навколо цифрового двійника та орієнтованого на задачі ліквідації наслідків техногенного походження.
2. Вперше запропоновано модульну гібридну архітектуру, що поєднує детерміновані алгоритми, навчальні моделі та механізми операторського контролю.
3. Удосконалено метод організації сценарій-орієнтованого адаптивного навчання з варіюванням параметрів середовища та можливістю циклічного оновлення поведінкових стратегій.
4. Удосконалено підхід до безпечного поєднання машинного навчання і класичного керування в межах єдиного програмного середовища.
5. Набули подальшого розвитку методи оцінювання результативності, безпечності, адаптивності, стійкості та ресурсної ефективності навчання роботехнічних систем.
6. Набули подальшого розвитку підходи до проектування програмних комплексів спеціалізованого призначення для цивільного захисту й аварійно-рятувальних операцій з урахуванням підвищених вимог до надійності та безпеки роботехнічних систем.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення полягає у можливості використання запропонованого підходу для створення навчальних стендів і програмних прототипів роботехнічних систем. У дисертації наведено програмний модуль візуальної ідентифікації на основі локальних ознак зображення, альтернативну систему оповіщення, засоби динамічного розбиття території та програмну реалізацію моделей кризових процесів. Ці компоненти демонструють роботу з візуальними, просторовими, мережевими та часовими даними.

Розглянуті результати можуть використовуватися під час створення систем ситуаційної обізнаності, моделювання надзвичайних ситуацій і навчання роботів у цифровому середовищі. Матеріали роботи також мають навчальну цінність для дисциплін з програмної інженерії, аналізу даних, штучного інтелекту та комп'ютерного зору.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Дисертаційні положення ґрунтуються на аналізі сучасних методів робототехніки, цифрових двійників, машинного навчання, сегментації зображень і математичного моделювання. Автор використовує формальні

моделі, програмні алгоритми та чисельні експерименти. Висновки до розділів відображають основний зміст проведеного дослідження, а результати апробовано у публікаціях і доповідях.

Позитивною рисою є прагнення автора сформувати систему кількісних критеріїв, а не обмежуватися лише якісним описом процесу навчання. Розділення оцінювання у цифровому двійнику та фізичному середовищі відповідає логіці верифікації кіберфізичних систем. Наведені математичні й програмні моделі демонструють володіння здобувачем методами формалізації та обчислювального експерименту.

Особистий внесок здобувача. Автором особисто виконано аналіз предметної області, сформовано архітектурні та алгоритмічні рішення, розроблено програмні модулі, проведено чисельні експерименти й узагальнено результати. Особистий внесок у спільні публікації конкретизовано в дисертації.

Апробація результатів дисертації та публікації. Основні результати оприлюднено у 8 наукових працях, серед яких 5 статей у фахових виданнях України категорії Б і 3 тези доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях. Публікації відповідають тематиці дисертації та відображають її ключові положення.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація викладена на 166 сторінках, з яких 148 сторінок займає основний текст. Робота містить 29 рисунків, 3 таблиці, перелік із 70 використаних джерел і чотири додатки. У першому розділі виконано огляд роботехнічних систем і методів їх навчання. Другий розділ присвячено вимогам до комплексу, гібридній архітектурі та цифровому двійнику. Третій розділ містить формалізацію адаптивного навчання, програмні засоби комп'ютерного зору та метод оцінювання. У четвертому розділі наведено прикладні математичні й програмні моделі кризових процесів.

Виклад матеріалу загалом є послідовним, а основні поняття пов'язані з метою роботи. Дисертація містить теоретичний, алгоритмічний і програмний матеріал, необхідний для формування цілісного уявлення про запропонований підхід.

Окремі дискусійні питання і зауваження.

1. Формалізація адаптивного навчання у підрозділі 3.1 має переважно концептуальний характер. Доцільно було б явно визначити вектори стану системи й середовища, оператор формування керуючої дії, цільову функцію та множину обмежень, що дало б змогу подати навчальний цикл як завершену математичну модель.

2. Для інтегрального показника ефективності у підрозділі 3.5 бажано навести конкретні формули нормалізації різнорозмірних метрик, процедуру визначення вагових коефіцієнтів, пороги прийняття рішення та аналіз чутливості. Без цього різні набори ваг можуть призводити до різних висновків щодо якості навчання.
3. Під час формування стохастичних навчальних сценаріїв доцільно було б визначити закони розподілу, діапазони параметрів, кількість реалізацій та критерії достатності вибірки. Це дозволило б кількісно оцінити робастність алгоритмів до варіацій середовища.
4. У підрозділі 3.4 одночасно розглядаються методи сегментації та візуальна ідентифікація за ключовими точками, тоді як у додатку наведено реалізацію ORB і BFMatcher. Бажано чіткіше розмежувати ці дві задачі та показати, який саме алгоритм і на якому етапі використовується у програмному комплексі.
5. Методику порівняльного аналізу комп'ютерного зору варто доповнити еталонними розмітками та загальноприйнятими метриками IoU, Dice, precision, recall і F1-score, а також оцінками статистичної варіабельності. Це підвищило б відтворюваність наведених результатів.
6. У тексті використано словосполучення «адаптивне перенавчання моделей», яке може тлумачитися як надмірне пристосування моделі до навчальних даних. Доцільніше визначити цей процес як повторне, додаткове або інкрементальне навчання. Крім того, у четвертому розділі необхідно уточнити повторну нумерацію формули (4.1).

Проте висловлені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи, її наукового рівня, а також обґрунтованості основних наукових положень і висновків автора.

Загальний висновок. Дисертаційна робота Дубовика Віталія Валентиновича на тему «Розроблення програмного комплексу навчання роботехнічних систем ліквідації наслідків техногенного походження», подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення, є завершеною самостійною науковою працею, присвяченою розв'язанню актуальної науково-прикладної задачі. Одержані результати характеризуються науковою новизною та мають практичне значення, а основні положення і висновки є обґрунтованими.

Оформлення дисертації відповідає вимогам, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40. За науковим рівнем,

новизною одержаних результатів, практичним значенням і повнотою їх оприлюднення дисертаційна робота відповідає вимогам 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 12.01.2022 № 44 (зі змінами), а її автор Дубовик Віталій Валентинович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Рецензент

доцент кафедри
інженерії програмного забезпечення
та інформаційних технологій
Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара
кандидат техн. наук, доцент


Марина ІВАНЧЕНКО

Підпис канд. техн. наук, доцента Іванченко М.Г. засвідчую:

Проректор з наукової роботи
Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара
кандидат біологічних наук, професор



Олег МАРЕНКОВ