

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Песчанського Владислава Юрійовича

на тему «Алгоритмічне та програмне забезпечення технології цифрових

двійників медико-біологічних об'єктів»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань Інформаційні технології

за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

Актуальність теми дисертації.

Стрімкий розвиток інформаційних технологій, штучного інтелекту та методів глибокого навчання відкриває якісно нові можливості для використання технології цифрових двійників (ЦД) у різних галузях, зокрема у медичній сфері. ЦД — це динамічні цифрові моделі реальних об'єктів, здатні синхронно оновлюватися в режимі реального часу й відображати як анатомічні, так і функціональні аспекти їхньої роботи. Для медицини це означає перехід від статичних історичних даних до інтегрованого, «живого» подання стану пацієнта, що створює підґрунтя для персоналізованих діагностичних та лікувальних рішень.

Сьогодні цифрові двійники вже довели свою ефективність у промисловості, логістиці та енергетиці, де вони знижують витрати й підвищують надійність обладнання. Однак потенціал цієї технології у людиноцентричних галузях, таких як охорона здоров'я, реалізований лише частково через низку викликів, таких як неоднорідність та великі обсяги медичних даних (зображення, відео, сигнали, текст), що потребують єдиного формату інтеграції, питання конфіденційності та етики під час використання чутливої інформації пацієнтів та високі вимоги до точності й надійності моделей, оскільки клінічні помилки можуть мати критичні наслідки.

Дисертаційна робота Владислава Песчанського спрямована саме на усунення цих бар'єрів: автор пропонує узагальнену архітектуру програмної системи, метод синхронізації й семантичного аналізу мультимодальних темпоральних даних, а також метод адаптації базових 3D-моделей під індивідуальні особливості пацієнтів. Запропоновані рішення враховують широке коло вхідних сигналів, що особливо актуально у світлі концепції mulsemedia — інтеграції відео, аудіо, тактильних та інших модальностей у єдину інформаційну структуру для створення більш реалістичних імерсивних моделей.

Таким чином, дослідження є своєчасним та відповідає стратегічним потребам цифрової трансформації охорони здоров'я України: воно забезпечує перехід від фрагментарного оброблення даних до цілісної, стандартизованої та безпечної цифрової моделі пацієнта, що у перспективі підвищить якість медичних послуг, зменшить клінічні ризики й створить нові можливості для дистанційної медицини та освітніх симуляторів.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. **Уперше** розроблено узагальнену архітектуру програмної системи для створення і використання цифрових двійників медико-біологічних об'єктів, характерними рисами якої є поєднання мультимодальних темпоральних даних у форматі, який підтримує двосторонню інтеграцію з фізичним об'єктом через давачі, актуатори та інші програмно-апаратні засоби, що надає можливість перейти від фрагментарного оброблення окремих типів даних до цілісної моделі, яка може оновлюватися в реальному часі.
2. **Уперше** розроблено метод синхронізації темпоральних мультимодальних даних, характерною рисою якого є поєднання відео та аудіо у єдиний потік даних, що забезпечує узгодження даних різної модальності та, у такий спосіб, спрощує процес створення цифрового двійника медико-біологічного об'єкта на основі даних, які надходять з давачів різних типів.
3. **Уперше** розроблено метод семантичного аналізу для виявлення кореляцій між наборами даних та прогнозування поведінки програмно-апаратних компонентів цифрового двійника, характерними рисами якого є застосування графових баз даних та алгоритмів машинного навчання, що дає змогу об'єднувати дані з різних джерел (пацієнти, пристрої, записи) в єдину онтологічну модель, що забезпечує автоматизоване виявлення залежностей у даних про медико-біологічний об'єкт, а також надає інструменти для прогнозування стану програмно-апаратного забезпечення цифрового двійника.
4. **Уперше** розроблено архітектурні шаблони проектування для розроблення програмних систем на основі цифрових двійників медико-біологічних об'єктів, які, на відміну від відомих, орієнтовані на оперування складними наборами мультимодальних темпоральних даних, інтегрованих у єдину семантичну модель, що дає змогу спростити процес розроблення, обслуговування та масштабування медичних програмних систем.

5. **Удосконалено** теоретичні засади оброблення просторово-часових параметрів медико-біологічного об'єкта для побудови його цифрового двійника, що полягає у застосуванні тривимірних згорткових нейронних мереж (3D-CNN) та рекурентних архітектур для оброблення відео- та аудіоданих та, на відміну від відомих підходів, дає змогу забезпечити комплексний аналіз динамічних змін структури та функціонування медико-біологічного об'єкта з врахуванням його індивідуальних анатомічних особливостей та динаміки.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі програмного забезпечення комп'ютерних систем КПП ім. Ігоря Сікорського в рамках НДР під керівництвом завідувача кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, доктора технічних наук, доцента Сулеми Євгенії Станіславівни.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання, а саме підвищення ефективності процесів проєктування медичних інформаційних систем на основі технології цифрових двійників за рахунок розроблення алгоритмічного та програмного забезпечення для оброблення мультимодальних темпоральних даних про медико-біологічний об'єкт виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Песчанського В.Ю. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Інженерія програмного забезпечення.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям програмної інженерії.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Песчанського Владислава Юрійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською / англійською мовою.

Текст побудовано логічно й послідовно: розділи та підрозділи плавно переходять один в одного, кожен блок завершується короткими підсумками, що

полегшує орієнтацію читача. Стиль викладу науковий, але водночас достатньо прозорий для практичних фахівців; використовуються усталені терміни інженерії програмного забезпечення, біомедичної інженерії та семантичних технологій. Автор ретельно дотримується норм академічної мови: речення структуровані чітко, визначення введені до першого вживання, а всі скорочення розшифровані в переліку умовних позначень. Ілюстративний матеріал (16 рисунків і 2 таблиці) підтримує текст, не перевантажуючи його деталями.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 167 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету й завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет, подано стислий огляд наукової новизни та практичної цінності результатів.

Перший розділ присвячено аналізу існуючих математичних, алгоритмічних і програмних рішень для обробки даних про медико-біологічні об'єкти; висвітлено проблеми стандартизації форматів та інтеграції цифрових двійників у медичні інформаційні системи.

Другий розділ описує методи синхронізації та семантичного аналізу мультимодальних темпоральних даних, поєднуючи графові нейронні мережі й онтологічні підходи для виявлення закономірностей у медичних сигналах.

У **третьому розділі** розроблено метод адаптації базової 3D-моделі медико-біологічного об'єкта із застосуванням 3D-CNN, що дозволяє персоналізувати цифровий двійник під конкретного пацієнта.

Четвертий розділ присвячено узагальненій мікросервісній архітектурі програмної системи цифрових двійників, питанням CI/CD, безпеки й інтеграції.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України;

Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових фахових конференціях.

Публікації здобувача за тематикою дисертаційного дослідження мають високий науковий рівень. У всіх публікаціях дотримано принципів академічної доброчесності.

Характеристика особистого внеску здобувача в наукових працях, опублікованих зі співавторами та зарахованих за темою дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Песчанський В.Ю., Сулема Є.С. Проектування архітектури програмної системи для створення цифрових двійників медико-біологічних об'єктів. «Системні технології». 2023. № 5 (148). С. 62-70. DOI: 10.34185/1562-9945-5-148-2023-06 Здобувачем запропоновано основні критерії для проектування архітектури програмної системи для створення цифрових двійників медико-біологічних
2. Песчанський В.Ю., Сулема Є.С. Методи створення цифрових двійників медико-біологічних об'єктів на прикладі отоларингології. «Системні технології». 2023. № 6 (149). С. 3-10. DOI: 10.34185/1562-9945-6-149-2023-01
Здобувачем порівняно методи для збору та оброблення даних медико-біологічних об'єктів для їх подальшого використання при побудові цифрового двійника
3. Песчанський В.Ю., Сулема Є.С. Метод синхронізації темпоральних мультимодальних даних для створення цифрового двійника гортані. «Системні технології». 2024. № 5 (154). С. 137-145. DOI: 10.34185/1562-9945-5-154-2024-14
Здобувачем запропоновано метод синхронізації темпоральних мультимодальних даних на основі нормалізації відео та аудіо потоків з подальшим кореляційним аналізом
4. Песчанський В.Ю., Сулема Є.С. Архітектурні принципи забезпечення верифікації та якості системи створення цифрових двійників медико-біологічних об'єктів. «Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки». 2024. Том 345 № 6(2). С. 158-164. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-345-6-24
Здобувачем запропоновано узагальнену архітектуру програмної системи для створення і використання цифрових двійників медико-біологічних об'єктів, характерними рисами якої є поєднання мультимодальних темпоральних даних у форматі, який підтримує двосторонню інтеграцію з фізичним об'єктом через давачі, актуатори та інші програмно-апаратні засоби

Матеріали наукових конференцій

5. Песчанський В.Ю., Сулема Є.С. Відтворення тривимірної моделі об'єкту на основі набору зображень. Тринадцята наукова конференція магістрантів та аспірантів «Прикладна математика та комп'ютинг (ПМК'2020)». Київ. 18 - 20 листопада 2020 р. Збірник тез доповідей Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського». Київ: Просвіта. – 2020. – С. 233-236. ISBN 9786177010-14-1

Здобувачем запропоновано метод відтворення тривимірної моделі об'єкту на основі набору зображень за рахунок виявлення та співставлення наборів ключових точок на наборі зображень з подальшою тріангуляцією для визначення просторових координат

6. Песчанський В.Ю., Сулема Є.С. Алгоритм зчитування та аналізу даних медико-біологічних об'єктів у форматі PDF на основі оптичного розпізнавання символів. П'ятнадцята наукова конференція магістрантів та аспірантів «Прикладна математика та комп'ютинг (ПМК'2022)», Київ, 16 - 18 листопада 2022 р. Збірник тез доповідей Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського», Київ: Просвіта. – 2022. – С. 416-420. ISBN 978-617-7010-14-1

Здобувачем запропоновано алгоритм зчитування та аналізу даних медичних і біологічних об'єктів із PDF-файлів, заснований на оптичному розпізнаванні символів, який поєднує використання нейронної мережі для спрощення розпізнавання символів із подальшим синтаксичним аналізом отриманих даних та побудовою абстрактного синтаксичного дерева

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. В експериментальній частині наведено лише вибіркові порівняння з існуючими підходами; детальніша кількісна верифікація методів синхронізації та 3D-моделювання на розширеному наборі даних дозволила б переконливіше продемонструвати переваги запропонованих рішень.
2. Окремі ілюстрації у другому й третьому розділах (зокрема рисунки, що відображають архітектуру прототипу й приклад адаптації базової моделі) мають недостатню роздільну здатність, що ускладнює сприйняття дрібних деталей.
3. Опис процедур безперервної інтеграції та доставлення (CI/CD) подано переважно концептуально; конкретні інструменти, метрики якості й приклади тестових сценаріїв варто подати докладніше, особливо у контексті медичних стандартів.
4. У висновках було б корисно окреслити можливі напрями комерціалізації запропонованої технології та подальші кроки щодо клінічної сертифікації.
5. Питання етичної експертизи роботи з чутливими медичними даними згадано лише загально; розширений опис процедур анонімізації та захисту персональної інформації посилив би практичну цінність дослідження.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Песчанського Владислава Юрійовича на тему «Алгоритмічне та програмне забезпечення технології цифрових двійників медико-біологічних об'єктів» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.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.

Здобувач Песчанський Владислав Юрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Рецензент:

професор кафедри інформаційних
систем та технологій
КПІ ім. Ігоря Сікорського
доктор фізико-математичних

наук, професор



Def

« » березня 2025 року

