

ВІДГУК

рецензентки Кириченко Ірини Віталіївни

на дисертаційну роботу Вакуліка Євгена Вікторовича

«Моделі та методи розроблення програмного забезпечення для високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів довільної форми»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 – Інформаційні технології

за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення

Актуальність теми дисертації

Розвиток цифрових технологій, комп'ютерного зору та засобів медичної візуалізації зумовлює постійне зростання вимог до точності автоматизованого визначення геометричних характеристик тривимірних об'єктів. Особливо це стосується комп'ютерної томографії, де результат вимірювання залежить від просторової роздільної здатності, параметрів реконструкції, наявності шумів, артефактів, ефекту часткового об'єму, а також від способу сегментації та визначення меж досліджуваного об'єкта.

Найбільш відчутно ці чинники впливають на оцінювання невеликих об'єктів складної або нерегулярної форми. Для медичних та судово-медичних застосувань це має особливе значення, оскільки точність цифрового вимірювання безпосередньо пов'язана з достовірністю подальшого аналізу.

Дисертаційна робота Вакуліка Є. В. присвячена розробленню моделей і методів створення програмного забезпечення для високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів за даними комп'ютерної томографії. У роботі поєднано методи сегментації, просторової кластеризації, аналізу градієнта щільності, прогнозування належності граничних вокселів і методу головних компонент та реалізовано відповідні процедури у програмному засобі.

Слід відзначити, що актуальність дослідження визначається не лише прикладною важливістю задачі високоточного вимірювання, але й необхідністю формалізації

послідовності оброблення даних, алгоритмізації запропонованих моделей і методів, їх реалізації у вигляді спеціалізованого програмного забезпечення та експериментальної перевірки його працездатності. З огляду на зазначене тема дисертації є актуальною, сучасною та має наукове і практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами

Дисертаційне дослідження виконувалося у 2022-2026 роках відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри програмної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки. Робота пов'язана з науково-дослідною темою за договором від 30.05.2023 № РН/36-2023 (додаткова угода від 27.03.2024 № 1/РН/36-2024) «Інтелектуальна інформаційно-аналітична система діагностики вогнепальних поранень на КТ», що виконувалася в межах прикладного дослідження з грантовим фінансуванням Міністерства освіти і науки України за рахунок зовнішнього інструменту допомоги Європейського Союзу для виконання зобов'язань України у Рамковій програмі ЄС з наукових досліджень та інновацій Horizon 2020. У межах цієї теми здобувач брав участь у розробленні методів і програмного забезпечення для оброблення та аналізу КТ-зображень.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

У дисертації коректно визначено мету, об'єкт, предмет і завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети використано методи системного аналізу та узагальнення, математичного моделювання, цифрової обробки зображень, просторового аналізу та інтерполяції, статистичного аналізу експериментальних даних, імітаційного й обчислювального моделювання, а також методи проектування та розроблення програмного забезпечення.

Обраний методичний апарат у цілому відповідає характеру поставлених задач і забезпечує послідовний перехід від аналізу предметної галузі до формалізації, алгоритмічної реалізації та експериментальної перевірки запропонованих рішень.

Така побудова роботи дає можливість простежити зв'язок між теоретичними положеннями та отриманими практичними результатами.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи полягає в наступному:

- вперше запропоновано модель і метод розроблення програмного забезпечення для високоточного прогнозування лінійних розмірів тривимірних об'єктів довільної форми на основі тришарового розподілу градієнта щільності об'єкта. Запропонований підхід дає можливість враховувати невизначеність у граничній області та компенсувати частину втрат точності, пов'язаних із дискретним поданням меж об'єктів у міжпіксельному просторі;

- отримали подальший розвиток модель і метод розроблення програмного забезпечення для високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів довільної форми за рахунок інтеграції запропонованих моделі та методу високоточного прогнозування з класичними моделями і методами оцінювання. За результатами, наведеними у дисертації, такий гібридний підхід дозволяє зменшити похибку оцінювання малорозмірних об'єктів;

- отримала подальший розвиток модель розроблення програмного забезпечення для градаційної корекції томографічних зображень за рахунок введення умов і обмежень для вибору інформативного діапазону щільностей. Запропоноване рішення спрямоване на покращення візуального виділення інформативних ділянок КТ-зображень та скорочення часу їх аналізу.

Обґрунтованість і достовірність наведених результатів підтримується формалізованим поданням процесу оброблення КТ-даних, описом алгоритмічних процедур, програмною реалізацією та проведенням натурним і обчислювальним експериментом. За узагальненими даними експерименту середня відносна похибка для всієї вибірки становить близько 3,6 %, що є достатнім підтвердженням працездатності запропонованого програмного рішення в умовах проведеного дослідження.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За змістом дисертаційна робота відповідає спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення», охоплює формалізацію моделей і методів оброблення даних, алгоритмічну реалізацію, створення спеціалізованого програмного забезпечення, його експериментальне застосування та оцінювання результатів.

Дисертація є завершеною науковою працею. Вона складається з анотацій українською та англійською мовами, переліку скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання та двох додатків.

У першому розділі виконано аналіз сучасного стану досліджень у сфері високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів за томографічними даними. За результатами аналізу сформульовано вимоги до моделей і методів високоточного оцінювання.

Другий розділ присвячено методам оброблення, аналізу та візуалізації DICOM-зображень. Розглянуто формування тривимірної моделі, первинне та адаптивне порогування, аналіз просторової зв'язності, прогнозування належності граничних вокселів, визначення геометричних характеристик об'єкта та градаційну корекцію томографічних зображень.

У третьому розділі запропоновано та формалізовано комплексну модель аналізу DICOM-даних, наведено математичне подання окремих етапів, алгоритми локалізації, кластеризації, адаптивної сегментації, прогнозування часткової належності вокселів тіньової області, переходу до реальних координат, визначення головних компонент та основного лінійного розміру. Окремо представлено алгоритмічну реалізацію запропонованого методу.

У четвертому розділі проведено експериментальну перевірку запропонованих рішень. Описано формування набору даних, визначення еталонних розмірів фрагментів, постановку натурного та обчислювального експериментів, наведено абсолютні й відносні похибки та проаналізовано фактори, що впливають на точність вимірювання.

Аналіз тексту дисертації та наданих матеріалів дає підстави вважати, що робота є результатом самостійного дослідження здобувача. Використані результати інших авторів супроводжуються посиланнями на відповідні джерела. Ознак академічного плагіату, фабрикації або фальсифікації результатів у поданих матеріалах не встановлено.

Мова, стиль викладення, оформлення та оприлюднення результатів

Дисертація написана українською мовою з дотриманням загальних вимог наукового стилю. Матеріал викладено послідовно, основні положення супроводжуються математичним описом, алгоритмічними схемами та результатами експериментів. Структура роботи є логічною, матеріал подано послідовно, основні теоретичні положення супроводжуються математичним описом, алгоритмічними схемами та результатами експериментальної перевірки. Оформлення дисертації загалом відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

Основні результати дисертації оприлюднено у шести наукових публікаціях. Відповідно до відомостей, наведених у роботі, три статті опубліковано у наукових фахових виданнях України, три у виданнях, що індексуються у наукометричних базах Scopus та Web of Science.

Результати дослідження апробовано на наукових заходах, зокрема на тематичній школі «Нагальні питання променевої діагностики» у 2024 році, 11th International Workshop on Biometrics and Forensics (IWBF2023) та 2-й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології та системи штучного інтелекту (MIT&AIS-2026)».

Практичне значення та впровадження результатів

Практичне значення роботи полягає у створенні програмного забезпечення, у якому реалізовано запропоновані моделі та методи. Програмний засіб забезпечує оброблення DICOM-даних, виділення об'єктів, визначення їх геометричних

характеристик та візуалізацію результатів. Для обчислювального експерименту використано програмну реалізацію мовою C#, а візуалізацію результатів виконано із застосуванням середовища Unity.

Відомості про практичне використання результатів наведено в акті впровадження від 25 вересня 2023 року у клініці комп'ютерної та променевої діагностики Військово-медичного клінічного центру Північного регіону (військова частина А3306). Це підтверджує прикладну спрямованість дослідження та можливість використання запропонованих рішень у задачах аналізу сторонніх фрагментів з даними КТ.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу в цілому, вважаю за необхідне висловити кілька зауважень і рекомендацій, які не змінюють її загальної оцінки:

1. Оскільки дисертація подана за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення», доцільно було б повніше подати саме програмно-інженерну складову роботи. У дисертаційній роботі наведено загальну блок-схему та опис алгоритмічної реалізації, однак архітектура програмного засобу, взаємодія його основних компонентів, функціональні й нефункціональні вимоги, а також підходи до модульного та інтеграційного тестування розкриті досить стисло. Подання, наприклад, компонентної діаграми, діаграми послідовності або іншого стандартизованого опису дало б змогу наочніше показати перехід від розроблених моделей і методів до їх програмної реалізації та посилити інженерну відтворюваність результатів.

2. Експериментальна частина містить достатній обсяг кількісних результатів, однак для підвищення відтворюваності експериментальних досліджень доцільно було б повніше навести параметри просторової роздільної здатності використаних КТ-даних та детальніше обґрунтувати вибір порогових параметрів алгоритму. Додаткове наведення показників розсіювання або довірчих інтервалів також зробило б статистичне обґрунтування результатів більш повним.

3. Експериментальна перевірка на 72 фрагментах різних типів і матеріалів є достатньо репрезентативною для розглянутої прикладної задачі. Водночас, з огляду на формулювання «об'єкти довільної форми», доцільно було б детальніше окреслити межі узагальнення отриманих результатів для інших геометрій, матеріалів і протоколів сканування. Для сильно асиметричних або вигнутих об'єктів корисним було б окремо обґрунтувати співвідношення між еталонним максимальним лінійним розміром і протяжністю об'єкта вздовж першої головної компоненти РСА.

Вважаю, що зазначені зауваження мають переважно уточнювальний та рекомендаційний характер, не зменшують наукової новизни і практичного значення отриманих результатів та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота Вакуліка Євгена Вікторовича на тему «Моделі та методи розроблення програмного забезпечення для високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів довільної форми» є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на належному теоретичному та прикладному рівні.

У роботі розв'язано актуальне науково-практичне завдання розроблення моделей і методів створення програмного забезпечення для високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів за даними комп'ютерної томографії. Отримані результати мають наукову новизну, практичне значення, підтверджені експериментальною перевіркою та впровадженням у практичну діяльність. Сукупність теоретичних, алгоритмічних і програмних результатів відповідає предметній області спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю, науковою новизною, обґрунтованістю та достовірністю отриманих результатів відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пунктах 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 Вакулік Євген Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Рецензентка:

кандидатка технічних наук, доцентка,
доцентка кафедри програмної інженерії
Харківського національного
університету радіоелектроніки



Ірина КИРИЧЕНКО