

ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора

Худова Геннадія Володимировича

на дисертаційну роботу Вакуліка Євгена Вікторовича

«Моделі та методи розроблення програмного забезпечення для високоточного

оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів довільної форми»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення

галузі знань 12 – Інформаційні технології

1. Актуальність теми дисертації

У сучасних умовах розвитку інформаційних технологій, комп'ютерного зору та цифрової обробки зображень актуальним є завдання високоточного автоматизованого оцінювання геометричних характеристик тривимірних об'єктів. Особливого значення воно набуває під час аналізу комп'ютерно-томографічних даних, які використовуються в медицині, промисловому неруйнівному контролі, робототехніці та системах технічного моніторингу. Точне визначення розмірів таких об'єктів ускладнюється наявністю шумів, артефактів реконструкції, дискретизацією даних і складною формою об'єктів.

Існуючі програмні засоби не завжди забезпечують необхідну точність вимірювання малорозмірних об'єктів довільної форми, що зумовлює потребу в удосконаленні відповідних моделей, методів та алгоритмів. У зв'язку з цим розроблення програмного забезпечення для високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів на основі обробки DICOM-даних, адаптивної сегментації, прогнозування меж і визначення геометричних характеристик є актуальним науковим і практичним завданням.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому та оформлення

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Структура роботи є логічною і послідовною, а її зміст забезпечує розкриття мети та вирішення поставлених завдань дослідження.

У вступі наведено стислу оцінку сучасного стану досліджуваної проблеми, сформульовано мету й завдання дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про публікації й апробацію результатів дослідження.

У першому розділі виконано аналіз сучасного стану досліджень у галузі обробки та аналізу тривимірних томографічних даних. Розглянуто особливості отримання, представлення й обробки DICOM-зображень, проаналізовано сучасні підходи до оцінювання геометричних характеристик тривимірних об'єктів, визначено їх переваги та обмеження. На основі проведеного аналізу сформульовано вимоги до розроблення відповідних моделей, методів та програмних засобів.

У другому розділі розроблено методи обробки, аналізу та візуалізації медичних DICOM-зображень. Запропоновано послідовність програмної обробки томографічних даних, яка охоплює формування тривимірного представлення об'єкта, первинну фільтрацію, аналіз зв'язності, адаптивну сегментацію, прогнозування належності вокселів і визначення геометричних характеристик об'єкта. Окрему увагу приділено методу градаційної корекції КТ-зображень.

У третьому розділі запропоновано комплексну модель аналізу DICOM-зображень та наведено її алгоритмічну реалізацію. Описано послідовність обробки даних від формування матриці щільності та локалізації об'єкта до визначення його основного лінійного розміру із застосуванням аналізу головних компонент. Запропоновані моделі й методи об'єднано в єдиний програмно-алгоритмічний комплекс, придатний для практичної реалізації.

У четвертому розділі наведено результати експериментальної перевірки розроблених моделей і методів. Виконано натурний та обчислювальний

експерименти, проведено порівняння отриманих результатів з еталонними вимірюваннями та підтверджено ефективність розробленого програмного забезпечення. Результати досліджень свідчать про практичну цінність запропонованих рішень і можливість їх використання у спеціалізованих системах аналізу тривимірних даних.

Таким чином, зміст дисертації викладено послідовно та логічно. Теоретичні результати дослідження доведено до алгоритмічної та програмної реалізації, а також експериментальної перевірки. Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, а її оформлення загалом відповідає встановленим вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційну роботу виконано відповідно до напрямів наукової діяльності Харківського національного університету радіоелектроніки та кафедри програмної інженерії.

Результати дисертаційного дослідження отримано під час виконання науково-дослідної роботи за договором від 30.05.2023 № РН/36-2023 на тему «Інтелектуальна інформаційно-аналітична система діагностики вогнепальних поранень на КТ». Зазначену науково-дослідну роботу виконано за грантового фінансування Міністерства освіти і науки України за рахунок зовнішнього інструменту допомоги Європейського Союзу для виконання зобов'язань України у межах Рамкової програми Європейського Союзу з наукових досліджень та інновацій Horizon 2020.

Тематика дисертації відповідає завданням зазначеної науково-дослідної роботи в частині розроблення моделей, методів та програмних засобів обробки комп'ютерно-томографічних даних, автоматизованого аналізу тривимірних об'єктів і високоточного оцінювання їх лінійних розмірів. Отримані в дисертації результати є складовою відповідних наукових досліджень та спрямовані на створення спеціалізованого програмного забезпечення для інтелектуального аналізу томографічних зображень.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, забезпечується чітким визначенням мети та завдань дослідження, аналізом сучасного стану проблеми високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів довільної форми, а також використанням адекватного математичного й алгоритмічного апарату.

У роботі послідовно обґрунтовано вибір методів обробки комп'ютерно-томографічних даних, сегментації тривимірних об'єктів, визначення їх просторових характеристик і застосування методу головних компонент для оцінювання основного лінійного розміру. Запропоновані моделі та методи узгоджуються з особливостями DICOM-даних, дискретною структурою томографічних зображень, наявністю шумів, артефактів і складною формою досліджуваних об'єктів.

Достовірність отриманих результатів підтверджується проведенням експериментальних досліджень на спеціально сформованому наборі тривимірних об'єктів, розміщених у біологічних фрагментах, використанням еталонних вимірювань та експертного оцінювання, а також кількісним аналізом похибок визначення лінійних розмірів. Результати теоретичних досліджень доведено до алгоритмічної та програмної реалізації у складі спеціалізованого програмного забезпечення.

Висновки дисертації відповідають поставленим завданням і ґрунтуються на результатах проведеного дослідження. Сформульовані рекомендації мають практичну спрямованість і можуть бути використані під час розроблення програмних засобів автоматизованого аналізу тривимірних томографічних даних.

5. Основні наукові результати та їх новизна

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в отриманні таких результатів:

1. Вперше запропоновано модель і метод розроблення програмного забезпечення для високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів

довільної форми на основі тришарового розподілу градієнта щільності об'єкта. Запропонований підхід забезпечує уточнення меж об'єкта у міжвоксельному просторі та створює основу для розроблення високоточних програмних засобів аналізу тривимірних томографічних даних.

2. Отримали подальшого розвитку модель і метод розроблення програмного забезпечення для високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів довільної форми за рахунок інтеграції запропонованих моделей і методів високоточного прогнозування з класичними моделями і методами оцінювання. Це призвело до отримання нової гібридної моделі та методу розроблення програмного забезпечення для високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів довільної форми, застосування яких дозволяє до 90 % знижувати похибку оцінювання малорозмірних об'єктів у порівнянні з відомими аналогами.
3. Отримала подальшого розвитку модель розроблення програмного забезпечення для виконання градаційної корекції зображень за рахунок впровадження системи умов та обмежень, що істотно підвищує якість у інформативних діапазонах аналізу зображень. Це дозволило істотно скоротити час аналізу зображень до 90 % порівняно з відомими аналогами.

Отже, результати дисертаційної роботи характеризуються достатнім рівнем наукової новизни, є теоретично обґрунтованими та експериментально підтвердженими. Запропоновані моделі, методи й алгоритми мають практичне значення для розроблення програмного забезпечення автоматизованого аналізу тривимірних томографічних даних.

6. Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення результатів дисертаційної роботи полягає у розробленні моделей, методів, алгоритмів і програмного забезпечення для автоматизованого високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів довільної форми за даними комп'ютерної томографії.

Запропоновані рішення реалізовано у програмному засобі, що забезпечує завантаження та обробку DICOM-зображень, градаційну корекцію, сегментацію тривимірних об'єктів, прогнозування їх просторових меж і визначення основного лінійного розміру із застосуванням аналізу головних компонент. Розроблені моделі та методи можуть бути використані під час створення спеціалізованих інформаційно-аналітичних систем для аналізу томографічних даних у медицині, технічній діагностиці, неруйнівному контролі та інших прикладних сферах.

7. Дотримання академічної доброчесності

За результатами аналізу дисертаційної роботи та наукових публікацій здобувача порушень академічної доброчесності не виявлено.

У роботі відсутні ознаки академічного плагіату, фабрикації та фальсифікації результатів дослідження. Використання положень, результатів і матеріалів інших авторів супроводжується належними посиланнями на відповідні джерела. Дисертація є самостійним науковим дослідженням Вакуліка Євгена Вікторовича.

8. Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях

Основні наукові положення та результати дисертаційного дослідження достатньо повно відображено у шести наукових публікаціях, серед яких три статті опубліковано у наукових фахових виданнях України категорії «Б», а ще три — в українських наукових виданнях, що індексуються у наукометричних базах Scopus та Web of Science. Зміст опублікованих праць відповідає основним положенням дисертації та забезпечує належну апробацію отриманих результатів.

9. Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота виконана на належному науковому рівні, містить науково обґрунтовані нові наукові результати та має практичне значення для розроблення програмного забезпечення оброблення й аналізу тривимірних томографічних даних.

Водночас за результатами ознайомлення з роботою виникли окремі дискусійні питання та зауваження.

1. Експериментальну перевірку запропонованих моделей і методів проведено на томографічних даних, отриманих із використанням конкретного комп'ютерного томографа. Водночас у роботі не досліджено особливості застосування запропонованого методу до даних, сформованих томографами різних типів, моделей і виробників. Проведення такого дослідження дозволило б повніше оцінити апаратну незалежність розроблених моделей, методів і програмного забезпечення.

2. У дисертаційній роботі недостатньо уваги приділено впливу різних режимів сканування та параметрів реконструкції томографічних зображень на точність оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів. Доцільно було б дослідити залежність отриманих результатів від роздільної здатності, товщини зрізу та інших параметрів формування томографічних даних, що дозволило б конкретизувати умови ефективного застосування запропонованого методу.

3. Для запропонованих алгоритмів не наведено формалізованої оцінки їх обчислювальної складності та залежності часу оброблення від обсягу вхідних томографічних даних. Доповнення роботи таким аналізом сприяло б більш обґрунтованому визначенню вимог до обчислювальних ресурсів, а також оцінюванню перспектив практичного застосування розробленого програмного забезпечення для оброблення значних масивів тривимірних даних.

Наведені зауваження мають переважно рекомендаційний характер, не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи, не впливають на достовірність отриманих результатів і не змінюють загальної позитивної оцінки дисертації.

10. Загальний висновок

Вважаю, що 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

науковим дослідженням, виконаним на високому науковому рівні та таким, що не порушує принципів академічної доброчесності.

Сукупність теоретичних і практичних результатів роботи розв'язує важливе науково-прикладне завдання у галузі знань 12 «Інформаційні технології». Дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною, теоретичним і практичним значенням повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, встановленим для дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Вважаю, що Вакулік Євген Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Офіційний опонент:

начальник кафедри тактики радіотехнічних військ
факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони
Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
доктор технічних наук, професор

Геннадій ХУДОВ