

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

кандидата фізико-математичних наук

Корохіна Віктора Валентиновича

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 дисертаційного дослідження

Стрімкий розвиток сучасних методів тривимірної візуалізації, комп'ютерної томографії та цифрового аналізу просторових даних обумовлює зростання потреби у програмних засобах, здатних забезпечувати високоточне визначення геометричних характеристик об'єктів складної форми. Особливої актуальності ця задача набуває у медичній діагностиці, промисловій дефектоскопії, технічному контролі, біомедичних дослідженнях та інших галузях, де навіть незначні похибки під час визначення лінійних розмірів можуть суттєво впливати на достовірність отриманих результатів та прийняття подальших рішень.

Незважаючи на значну кількість наукових праць, присвячених аналізу тривимірних даних, існуючі програмні рішення здебільшого орієнтовані на виконання окремих етапів обробки томографічних зображень або використовують універсальні алгоритми сегментації, що не забезпечують необхідної точності визначення геометричних параметрів об'єктів складної форми та недостатньо враховують особливості просторового подання томографічних даних. В результаті цього точність визначення геометричних параметрів суттєво залежить від якості сегментації, просторової роздільної здатності томографічних даних та характеристик досліджуваних матеріалів.

У зв'язку з цим актуальним є розробка нових математичних моделей, методів і програмного забезпечення, які забезпечують комплексне вирішення задач локалізації об'єктів, визначення їх просторової структури та високоточного оцінювання лінійних розмірів із урахуванням фізичних особливостей формування томографічних даних. Саме на вирішення зазначених проблем спрямовано дисертаційне дослідження Є.В. Вакуліка.

Особливу цінність роботи становить те, що автор не обмежився удосконаленням окремих алгоритмів оброблення зображень, а запропонував цілісну систему взаємопов'язаних математичних моделей і методів, яка охоплює всі основні етапи обробки тривимірних томографічних даних – від локалізації області дослідження та сегментації об'єкта до визначення його просторових характеристик і розрахунку лінійних розмірів. Запропоновані рішення реалізовано у вигляді програмного забезпечення. Його ефективність підтверджено результатами експериментальних досліджень на реальних томографічних даних.

Таким чином, тема дисертаційної роботи є актуальною, відповідає сучасним тенденціям розвитку інженерії програмного забезпечення, комп'ютерного моделювання та цифрової обробки тривимірних медичних зображень, а також має важливе наукове і практичне значення.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень та результатів, їхньої достовірності та новизни

Наукові положення та результати дисертаційного дослідження є обґрунтованими, логічно структурованими та представленими з належною аргументацією. Обґрунтованість отриманих результатів забезпечується коректним використанням математичних моделей і методів, послідовним розв'язанням поставлених наукових завдань, а також проведенням експериментальних досліджень із застосуванням розробленого програмного забезпечення.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується узгодженістю результатів теоретичних та експериментальних досліджень, застосуванням статистичних методів обробки експериментальних даних, порівнянням результатів автоматизованого оцінювання з результатами експертних вимірювань, а також апробацією основних положень дисертації на наукових конференціях і їх публікацією у фахових наукових виданнях.

Основні наукові результати, отримані здобувачем у ході дисертаційного дослідження, характеризуються такими положеннями наукової новизни:

1. Вперше запропоновано модель і метод розробки програмного забезпечення для високоточного прогнозування лінійних розмірів тривимірних об'єктів довільної форми, які ґрунтуються на розгляді тришарового розподілу градієнта щільності об'єкта. Застосування запропонованих моделі та методу дозволяє компенсувати втрати точності оцінювання, пов'язані з дискретним поданням меж об'єктів у міжпіксельному просторі.
2. Отримали подальший розвиток модель і метод розробки програмного забезпечення для високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів довільної форми завдяки інтеграції запропонованих моделі та методу високоточного прогнозування з класичними моделями і методами оцінювання. У результаті сформовано нові гібридні модель і метод розробки програмного забезпечення для високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів довільної форми, застосування яких дозволяє знижувати похибку оцінювання малорозмірних об'єктів на величину до 90% порівняно з відомими аналогами.
3. Отримала подальший розвиток модель розробки програмного забезпечення для виконання градаційної корекції зображень за рахунок впровадження системи умов і обмежень, що забезпечує підвищення якості зображень у їх інформативних діапазонах. Застосування запропонованої моделі дозволяє скоротити час аналізу покращених зображень на величину до 90% порівняно з відомими аналогами.

Наведені положення наукової новизни відповідають меті та завданням дисертаційного дослідження, мають логічний зв'язок із розробленими математичними моделями, методами й програмними засобами та підтверджуються результатами проведених експериментів.

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

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Структура роботи є логічною та послідовною, повною мірою відповідає поставленим меті й завданням дослідження та забезпечує цілісне розкриття обраної наукової проблеми.

У першому розділі виконано аналіз сучасного стану досліджень у галузі високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів за даними комп'ютерної томографії. Розглянуто сучасні методи отримання та представлення томографічних даних, проаналізовано існуючі підходи до оцінювання геометричних характеристик об'єктів, досліджено вплив шумів, артефактів та міжпиксельних ефектів на точність вимірювань. На основі проведеного аналізу сформульовано вимоги до моделей і методів високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів.

У другому розділі запропоновано методи обробки, аналізу та візуалізації медичних DICOM-зображень. Розглянуто особливості формування тривимірної моделі об'єкта, запропоновано послідовність первинної фільтрації, хвильового аналізу зв'язності, адаптивної порогової сегментації, прогнозування належності вокселів до об'єкта та визначення його геометричних характеристик. Окрему увагу приділено розробці методу градаційної корекції КТ-зображень.

У третьому розділі запропоновано комплексну модель аналізу DICOM-зображень та наведено її формалізований опис. Розроблено математичні

моделі й алгоритми локалізації об'єкта, виділення зв'язних областей, прогнозування часткової належності вокселів, переходу до реальних координат та визначення основного лінійного розміру об'єкта із застосуванням методу головних компонент. Також наведено алгоритмічну реалізацію запропонованого методу.

У четвертому розділі виконано експериментальну перевірку запропонованих моделей і методів. Описано формування експериментального набору даних, методику проведення натурного й обчислювального експериментів, наведено результати порівняльних досліджень та виконано їх аналіз. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованих моделей і методів та доцільність їх практичного застосування для високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів довільної форми.

За результатами ознайомлення з дисертаційною роботою та звітом про перевірку на текстові збіги можна зробити висновок, що дисертація є результатом самостійного наукового дослідження здобувача. Робота не містить ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації чи інших порушень принципів академічної доброчесності. Використані в дисертації результати інших авторів супроводжуються належними посиланнями на відповідні джерела.

Таким чином, дисертаційна робота є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на належному науковому рівні, а її зміст відповідає вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

4. Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційного дослідження оприлюднено у шести наукових публікаціях, серед яких три статті у наукових фахових виданнях України та

три статті у виданнях, що індексуються у наукометричних базах Scopus та Web of Science.

Наукові публікації здобувача повною мірою відображають основні положення, наукову новизну та практичні результати дисертаційного дослідження. Представлені у них результати відповідають змісту дисертаційної роботи та підтверджують апробацію отриманих автором наукових результатів.

Таким чином, основні результати дисертаційної роботи повністю оприлюднені у наукових публікаціях здобувача.

5. Дискусійні питання та зауваження щодо змісту дисертаційної роботи й окремих її положень

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні, містить нові науково обґрунтовані результати та справляє позитивне враження. Разом із тим у процесі її аналізу виникли окремі дискусійні питання та зауваження, які мають переважно рекомендаційний характер.

1. У дисертаційній роботі основну увагу приділено високоточному оцінюванню основного лінійного розміру тривимірних об'єктів. Водночас перспективним напрямом подальших досліджень бачиться розвиток запропонованого підходу для одночасного визначення повного комплексу геометричних характеристик об'єктів довільної форми, зокрема площі поверхні, об'єму та інших метричних параметрів.

2. Запропоновані математичні моделі та методи апробовано на даних комп'ютерної томографії. Разом з тим становить науковий інтерес дослідження можливості їх адаптації до інших видів тривимірних зображень та сфер застосування, у яких виникають задачі високоточного визначення геометричних характеристик об'єктів довільної форми, наприклад, космічних тіл таких, як астероїди та комети.

3. У роботі наведено результати експериментальної перевірки ефективності запропонованих моделей і методів. Водночас доцільним було б доповнити дослідження аналізом чутливості запропонованого методу до зміни окремих параметрів алгоритму, рівня шумів та якості вихідних томографічних даних, що дозволило б більш повно оцінити межі його практичного застосування.

4. В роботі грамотно застосований достатньо складний математичний апарат. Але окремі математичні виведення та формалізовані описи запропонованих моделей могли б бути доповнені більш детальним поясненням фізичного змісту окремих параметрів і прийнятих припущень. Це зробило б виклад матеріалу ще більш доступним для широкого кола фахівців, які працюють на стику прикладної математики, комп'ютерних наук та медичної візуалізації.

Наведені зауваження мають рекомендаційний характер, не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи, не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації та не ставлять під сумнів достовірність отриманих автором результатів.

6. Висновок щодо дисертаційної роботи

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, у якому вирішено актуальне науково-практичне завдання розроблення математичних моделей, методів і програмного забезпечення для високоточного оцінювання лінійних розмірів тривимірних об'єктів довільної форми за даними комп'ютерної томографії.

Запропоновані автором математичні моделі та методи характеризуються науковою новизною, достатнім рівнем теоретичного обґрунтування та підтверджені результатами експериментальних досліджень. Отримані

результати мають важливе теоретичне і практичне значення для спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення та можуть бути використані під час розробки спеціалізованих програмних засобів аналізу тривимірних зображень у медицині та інших прикладних та фундаментальних галузях.

За актуальністю теми, науковою новизною, теоретичним рівнем, практичною цінністю отриманих результатів, ступенем їх обґрунтованості та достовірності, повнотою викладення основних положень у наукових публікаціях, а також відповідністю принципам академічної доброчесності дисертаційна робота повністю 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 січня 2022 року № 44.

Вакулік Євген Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення галузі знань 12 – Інформаційні технології.

Офіційний опонент:

кандидат фізико-математичних наук,

старший дослідник,

провідний науковий співробітник

Науково-дослідного інституту астрономії

Харківського національного університету

імені В. Н. Каразіна

Віктор Валентинович Корохін