

ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

Березького Олега Миколайовича,

доктора технічних наук, професора, професора кафедри комп'ютерної інженерії

Західноукраїнського національного університету

на дисертаційну роботу **Кондратьєва Сергія Борисовича** на тему:

«Методи удосконалення карти глибин для систем технічного зору»,

що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки

галузь знань 12 – Інформаційні технології

1. Актуальність теми дисертації

Існує широка завдань, таких як оцінка положення об'єктів, визначення їхніх розмірів і форм, сегментація сцен, реконструкція тривимірних моделей, оцінка відстаней у середовищі, реалізація навігації автономних агентів, взаємодія з об'єктами в режимі реального часу, якість виконання яких сильно залежить від точного та всебічного розуміння навколишнього середовища. Як основне завдання розуміння 3D-сцени, 3D-виявлення об'єктів має створення карти глибини, яка є базовим джерелом просторової інформації. Незважаючи на чисельні дослідження присвячені побудові як пасивних так і активних методів створення карти, сьогодні існують проблеми надання чіткої інформації про відстань, що перешкоджають практичному вирішенню вище наведених завдань.

Тому дисертаційна робота, яку присвячено розв'язанню важливої науково-практичної задачі підвищення ефективності побудови карт глибини в системах технічного зору для широкої низки практичних застосувань є своєчасною та актуальною.

Дисертаційна робота Кондратьєва Сергія Борисовича виконана відповідно до планів наукової і науково-технічної діяльності Національного університету «Одеська політехніка», при виконанні держбюджетних тем: НДР роботи № 719-61/161 – «Інтелектуальна підтримка прийняття рішень при проектуванні кісткових замінників для лікування воєнних травм» (номер держ.

реєстрації 0124U000388); НДР № 716-145 «Інноваційна інтелектуальна технологія аналізу та синтезу енергоефективних гідроаеродинамічних елементів та систем» (номер держ. реєстрації 0121U111720).

2. Структура та обсяг дисертації

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 224 сторінок, в тому числі: 163 сторінки основного тексту, 43 рисунки і 30 таблиць, список використаних джерел зі 116 найменувань і 6 додатків.

У вступі наведена загальна характеристика роботи, а саме: її актуальність, поставлені мета й задачі досліджень, представлені методи досліджень, вказані новизна і практичне значення отриманих результатів, сформульовані основні положення, що виносяться на захист, наведені відомості про апробацію, публікації та реалізацію результатів дослідження.

У першому розділі дисертаційної роботи проведено аналіз проблем побудови карт глибини в системах технічного зору. Показано, що незважаючи на широку затребуваність та на чисельні дослідження та розробки в області технічного зору, при вилученні просторової інформації стикаються з проблемою недостатньої ефективності існуючих рішень побудови карт глибин як за допомогою пасивних так і активних методів. Сформульовано мету та задачі дослідження.

У другому розділі удосконалено пасивні методи побудови карт глибини, а саме:

- пасивний локальний метод побудови карти глибини за рахунок використання процедури адаптивного зіставлення та афінно-інваріантних ознак;

- метод покращення часової узгодженості для послідовностей карт глибини за рахунок впровадження показника надійності глибини та використання динамічних атрибутів регіонів;

– метод локального стереозіставлення StereoBM шляхом інтеграції наближеного вейвлет-перетворення Гаара для попереднього виділення контурних ознак та локалізації екстремумів;

Проведено експериментальне дослідження роботи запропонованих рішень.

У третьому розділі удосконалено активні методи побудови карт глибини, а саме:

– керований метод покращення точності карти глибини на базі марковського випадкового поля за рахунок впровадження процедури оцінки неузгодженості країв вихідного кольорового зображення та отриманої карти глибини з жорстким та м'яким прийняттям рішень;

– керований метод покращення точності карти глибини низької якості на базі марковського випадкового поля за рахунок впровадження процедури оцінки неузгодженості країв з м'яким прийняттям рішень та представленням локальної структури карти глибин з використанням мінімального кістякового лісу.

У четвертому розділі проведено комплексне дослідження методів побудови карти глибини, орієнтованих на використання в умовах обмежених обчислювальних ресурсів та реального часу. Основна увага приділялася розробці, реалізації та експериментальній перевірці як пасивних, так і керованих підходів до підвищення точності та стабільності карти глибини в рамках системи стереозору. Показано суттєве підвищення ефективності, що свідчить про те, що поставлену мету дослідження виконано.

У загальних висновках викладено основні наукові та практичні результати виконаного дослідження, з якими можна погодитися.

У додатках представлено довідки впровадження.

Анотація дисертації стисло відображає її основні положення.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації роботи достатньою мірою обґрунтовані, оскільки базуються на аналізі сучасних та загальновизнаних літературних джерел в таких галузях як аналіз даних, дискретна математика, цифрова обробка сигналів та зображень, математична статистика та великій кількості експериментальних досліджень. Такий підхід підтверджує достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій. Достовірність отриманих теоретичних результатів підтверджується їх узгодженістю з результатами проведених експериментів для різних прикладних завдань.

Крім того, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується коректним застосуванням математичного апарату, даними комп'ютерних досліджень та практичними результатами, які підтверджуються наведеними у додатках дисертації довідками.

4. Практична значимість розроблених моделей та методів

Практична значимість підтверджується тим, що запропоновані рішення використані в розробленому програмному забезпеченні для покращення та аналізу карт глибини. Це дозволяє адаптувати запропоновані рішення до різних задач комп'ютерного зору, зокрема для відеоспостереження, 3D-реконструкції та систем автономної навігації.

Розроблені в роботі методи отримали впровадження у діяльності науково-виробничого підприємства «КАРЕ», товариства з обмеженою відповідальністю «Діскрет» та знайшли відображення у навчальному та науково-дослідницькому процесі Національного університету «Одеська політехніка». Це довело ефективність запропонованих рішень.

5. Новизна наукових положень, висновків та рекомендацій

В роботі визначено ряд нових наукових результатів, які є значущими для підвищення ефективності підвищення систем комп'ютерного зору для широкої низки практичних застосувань:

–*удосконалено* пасивний локальний метод побудови карти глибини за рахунок використання процедури адаптивного зіставлення та афінно-інваріантних ознак, що дозволило підвищити швидкість побудови карти глибини;

–*удосконалено* метод покращення часової узгодженості для послідовностей карт глибини за рахунок впровадження показника надійності глибини та використання динамічних атрибутів регіонів, що дозволило покращити часову узгодженість та покращити ефективність кодування карти глибини;

–*набув подальшого розвитку* метод локального стереозіставлення StereoBM шляхом інтеграції наближеного вейвлет-перетворення Гаара для попереднього виділення контурних ознак та локалізації екстремумів, що дозволило зменшити обчислювальну складність процесу побудови карти глибини, зберігаючи при цьому точність у слабо текстурованих зонах;

–*удосконалено* керований метод покращення точності карти глибини на базі Марківського випадкового поля за рахунок впровадження процедури оцінки неузгодженості країв вихідного кольорового зображення та отриманої карти глибини з жорстким та м'яким прийняттям рішень, що дозволило покращити точність карти глибини;

–*удосконалено* керований метод покращення точності карти глибини низької якості на базі Марківського випадкового поля за рахунок впровадження процедури оцінки неузгодженості країв з м'яким прийняттям рішень та представленням локальної структури карти глибин з використанням мінімального кістякового лісу, що дозволило покращити точність карти глибини з великим коефіцієнтом дискретизації.

6. Рекомендації щодо використання результатів дисертації

Розроблені в дисертаційній роботі моделі і методи доцільно використовувати для одержання просторової інформації в системах комп'ютерного зору для широкої низки практичних застосувань, а саме: оцінка положення об'єктів, визначення їхніх розмірів і форм, сегментація сцен,

реконструкція тривимірних моделей, оцінка відстаней у середовищі, реалізація навігації автономних агентів, взаємодії з об'єктами в реальному часі.

Запропоновані автором рішення доцільно використовувати в навчальних цілях при викладанні дисциплін пов'язаних розробкою систем штучного інтелекту.

7. Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відсутність порушення академічної доброчесності

Основні положення і практичні результати дисертаційної роботи доповідалися та одержали схвалення на таких конференціях: міжнародній конференції «International Conference on Applied Innovations in IT 2024 (ICAIIТ 2024)» (м. Кетен, Німеччина, 2024 рік); X Міжнародній науково-практичній конференції «Інформатика. Культура. Техніка. 2024», 25–27 вересня 2024 р. м. Одеса (Україна); XII Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ – Одеса – 2024)» (м. Одеса, 2024 рік).

Основні результати дисертаційної роботи викладено в 13 публікаціях з них: 6 статей у наукових фахових виданнях України категорії «Б», 7 публікацій у працях і матеріалах міжнародних наукових конференцій (матеріали трьох з яких проіндексовано у наукометричній базі Scopus), та монографіях. Таким чином, необхідні вимоги до кількості публікацій виконано.

Публікація автором результатів досліджень у рецензованих виданнях, які передбачають попередню перевірку матеріалів на відсутність запозичень є одним із елементів підтвердження відсутності порушень академічної доброчесності. В цілому у дисертаційній роботі порушень академічної доброчесності не виявлено.

8. Зауваження згідно змісту та оформлення дисертаційної роботи

1. Перший розділ значно перевантажено довідковою інформацією, більшість з якої далі не застосовано. Проте, доцільно було б додати короткі

відомості про показники оцінки ефективності побудови карт глибини, які будуть використані далі.

2. У роботі не показано, яким чином впливають умови освітлення камер на результати визначення глибини об'єктів на зображеннях.

3. На сторінці 84 дисертації сказано про уточнення для негладких регіонів зображень. Із тексту дисертації незрозуміло, яким чином обираються пікселі, які належать до «ненадійних» згладжених областей та «ненадійні пікселі» у згладжених областях.

4. У дисертаційній роботі присутня англomовна термінологія і багато англomовних аббревіатур ускладнюють читання. Тому слід було б паралельно ввести їх переклад українською мовою.

5. У четвертому розділі детально експериментальний стенд стереозору, основою якого став мікрокомп'ютер Raspberry Pi Compute Module 3 у поєднанні з модулем стереокамери Stereo PI. Але не приведена структура програмного забезпечення, яка реалізує розроблені алгоритми побудови карт глибини.

6. У дисертації розроблений експериментальний стенд стереозору не порівняно з відомими аналогами.

7. У роботі мають місце окремі термінологічні, стилістичні та синтаксичні неточності та помилки.

Наведені зауваження не впливають суттєво на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи та не знижують науковий рівень і практичну цінність дисертації.

9. Загальний висновок

В цілому вважаю, що дисертаційна робота Кондратьєва Сергія Борисовича «Методи удосконалення карти глибин для систем технічного зору» є завершеною кваліфікаційною науковою роботою, яка має науково-практичне значення, тема і зміст якої відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Вона містить незахищені раніше наукові положення і нові науково обґрунтовані результати в галузі розподілених інформаційних систем. Результати дисертації можуть бути рекомендовані до використання в організаціях і науково-дослідних установах, які розробляють системи технічного зору та системи штучного інтелекту.

Дисертаційна робота «Методи удосконалення карти глибин для систем технічного зору» за своїм змістом відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор **Кондратьєв Сергій Борисович** заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю – 122 Комп’ютерні науки, галузь знань – 12 Інформаційні технології.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри комп’ютерної
інженерії Західноукраїнського
національного університету

_____ **Олег БЕРЕЗЬКИЙ**