

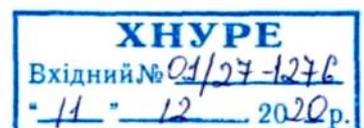
Ученому секретарю спеціалізованої
вченої ради Д 64.052.08
Харківського національного
університету радіоелектроніки
Плісс І.П.

м. Харків, Україна
пр. Науки, 14,
61166

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Жолткевича Григорія Миколайовича на дисертаційну роботу Маковейчука Олександра Миколайовича «Моделі, методи та інформаційна технологія побудови і використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології

І. Актуальність теми дослідження. Трендом розвитку сучасних інформаційних технологій, як свідчить аналіз сучасного стану цієї галузі, є використання візуальних інформаційних структур для вирішення задач обробки і передачі візуальної інформації. Важливим частинним випадком таких систем є маркерні системи доповненої реальності, які використовують в якості візуальних інформаційних структур візуальні маркери (AR-маркери). Основними типами AR-маркерів є шаблонні маркери (template markers), 2D штрих-кодові маркери (barcode markers), колові маркери (circular markers) та маркери-зображення (image markers). Всі вони дозволяють визначати положення камери, але тільки частина з них (штрих-кодові і колові маркери) містить додаткову інформацію (повідомлення), наприклад, посилання на інформаційні ресурси, що є однозначною перевагою, оскільки дозволяє розширити область застосування. На даний час до візуальних інформаційних структур, взагалі, та до візуальних маркерів, зокрема, висуваються підвищені вимоги щодо помітності, простоти, інформативності, орієнтованості, робастності, криптостійкості та універсальності. Існуючим візуальних інформаційних структур притаманні функціональні обмеження щодо



стійкого використання та наявності повідомлення. Зважаючи на викладене вище, можна зробити висновок про те, що розробка моделей, методів та інформаційної технології побудови і використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності є актуальною та важливою. Дослідженню саме цієї теми присвячена дисертаційна робота Маковейчука О.М.

2. Наукова новизна отриманих результатів. Автором дисертації, що опонується, запропоновано нові моделі, методи та інформаційна технологія побудови і використання візуальних інформаційних структур в системах доповненої реальності для застосування в різних сферах обробки інформації.

Основні результати дослідження полягають в наступному:

– *вперше* розроблено модель стійких мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності та метод їх формування, який базується на процедурах масштабування зображення-повідомлення методом найближчого сусіда, переміщення пікселів за допомогою відомої псевдовипадкової перестановки та їх кодування кольором клітинок зображення маркера, які розділяються рамкою, що дозволяє забезпечити стійку передачу даних та коректне відображення візуальних об'єктів доповненої реальності;

– *вперше* розроблено метод виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності, який на підставі бінаризації локальної дисперсії детектує область маркера на вихідному зображенні та знаходить маски біт-контейнерів шляхом сегментування та подальшої морфологічної фільтрації маскованої області зображення, що дозволяє в умовах несприятливих зовнішніх впливів коректно декодувати повідомлення;

– *вперше* розроблено метод визначення параметрів проєктивного перетворення мозаїчних стохастичних маркерів, який реалізує знаходження чотирьох опорних точок, ітеративно максимізуючи суму дисперсії середніх значень об'єднання масок біт-контейнерів, розрахованих по рядках і стовпцях без врахування додаткової апріорної інформації, що дозволяє забезпечити уніфіковане виявлення та декодування незалежно від умов реєстрації маркера;

– *вперше* розроблено метод декодування мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності, який на підставі запропонованої системи показників визначає розміри матриці бітів маркера, будує матрицю бітів маркера із трансформованого зображення біт-контейнера, визначає зсув у повній матриці бітів та реалізує фільтрацію пермутованого зображення, що дозволяє в умовах несприятливих зовнішніх впливів забезпечити коректне відтворення та візуалізацію інформації;

– *отримали подальший розвиток* теоретичні основи побудови і використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності, які, на відміну від відомих, базуються на науково-обґрунтованих моделях та методах системного формування, перетворення та декодування візуальної інформації, що забезпечує в умовах несприятливих зовнішніх впливів стійке функціонування систем доповненої реальності;

– *удосконалено* модель візуальних інформаційних структур доповненої реальності, яка, на відміну від відомих, побудована шляхом введення надлишковості, проведення стохастичного перевпорядкування та контейнеризації даних, що забезпечує стійке відновлення інформації в умовах втрати частини даних;

– *отримав подальший розвиток* метод проєціювання віртуальних об'єктів на площину маркера доповненої реальності, який, на відміну від відомих, реалізує запропоновані процедури калібрування камери по наявному зображенню мозаїчного стохастичного маркера, що дозволяє візуалізувати тривимірні об'єкти та рендерінг відео-потoku в області маркера та забезпечує універсальність та уніфікацію незалежно від фізичних та геометричних властивостей засобів ресстрації зображення;

– *удосконалено* інформаційну технологію побудови і використання маркерів доповненої реальності, в якій, на відміну від відомих, застосовуються моделі та методи обробки стійких мозаїчних стохастичних маркерів, що дозволяє задовільнити зростаючі вимоги до візуальних інформаційних структур доповненої реальності, формалізувати та

автоматизувати процес побудови візуальних об'єктів в проектах створення нових інформаційних систем доповненої реальності.

3. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Належний ступінь обґрунтованості досягнуто завдяки використанню положень математичного апарату теорії категорій, теорії груп, математичної логіки, теорії ймовірності, комбінаторики, теорії оптимізації, теорії матриць, аналітичної геометрії, математичної статистики, кластеризації даних, цифрової обробки зображень, комп'ютерного зору, математичного моделювання та створення інформаційних технологій. Достовірність висновків і рекомендацій, що сформульовано у дисертації, забезпечена теоретичною обґрунтованістю, кількісним та якісним дослідженням даних, взятих для експериментальної перевірки запропонованих моделей та методів. Всі основні результати дослідження підтверджуються комп'ютерним моделюванням.

Наукові результати кандидатської дисертації не включено до результатів докторської дисертаційної роботи.

4. Практична цінність роботи. Практичне значення отриманих теоретичних результатів дисертаційної роботи полягає у розробці інформаційної технології побудови і використання маркерів доповненої реальності, автоматизації процесу побудови візуальних об'єктів в існуючих та перспективних інформаційних системах доповненої реальності.

Результати дисертаційної роботи впроваджені та реалізовані: у військовій частині А2667, м. Київ (акт від 28.02.2020); в приватному акціонерному товаристві "Авікос", м. Львів (акт від 28.05.2020); в Державному підприємстві "Центр державного земельного кадастру" Державного агентства земельних ресурсів України, м. Київ (акт від 29.05.2020); в Національному центрі управління та випробувань космічних засобів Державного космічного агентства України, м. Київ (акт від 26.05.2020); в освітньому процесі Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків (акт від 05.05.2020).

5. Загальна характеристика роботи. Дисертація складається із вступу, п'ятих розділів, висновків по дисертації, списку використаних джерел та додатків.

У *вступі* обгрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета і завдання дослідження, вказані об'єкт, предмет і методи досліджень, визначена наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про публікації за темою дисертаційної роботи і апробацію результатів дослідження.

Перший розділ дисертації присвячений розгляду сфер практичного застосування доповненої реальності у різних галузях науки і техніки, огляду існуючих підходів до розв'язання задач за темою дисертації та визначенню напрямів дослідження.

У *другому розділі* дисертації наведено результати подальшого розвитку теоретичних основ побудови і використання ВІС доповненої реальності. Формалізація операцій, що проводяться над ВІС, представлена у формалізмі теоретико-категорного підходу, в рамках якого сформульовано ряд визначень і теорем.

Третій розділ присвячений розробці моделі та методу формування стійких мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності; методів виявлення маркерів, визначення параметрів проєктивного перетворення маркера без врахування додаткової апіорної інформації, декодування маркерів, проєціювання віртуальних об'єктів на площину маркера, рендерингу відеопотоку в області маркера.

У *четвертому розділі* наведено реалізацію розроблених методів побудови та використання мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності. Проведено теоретичні оцінки якості застосування мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності.

У *п'ятому розділі* розроблено інформаційну технологію побудови і використання маркерів доповненої реальності, наведено опис та результати

експериментів, що проводилися, проведено порівняльний аналіз показників якості типів візуальних маркерів доповненої реальності.

У *висновках* стисло сформульовані основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

Додатки до дисертації містять список публікацій здобувача за темою дисертації і відомості про апробацію результатів дисертації; акти про реалізацію і впровадження результатів дисертаційної роботи.

Обсяг та структура дисертаційної роботи відповідають вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

6. Оцінка змісту дисертації і її завершеність в цілому. Дисертація представляє собою завершену наукову роботу, яка має внутрішню єдність, сукупність теоретичних положень і експериментальних результатів, що свідчать про індивідуальний внесок здобувача у науку.

Теоретичні положення та експериментальні результати є оригінальними, взаємопов'язаними, вони отримані на основі надійного методичного забезпечення. Висунуті в роботі задачі послідовно вирішені автором і, таким чином, вирішено поставлену мету дослідження – забезпечення стійкого функціонування систем доповненої реальності шляхом розробки моделей, методів та інформаційної технології побудови і використання візуальних інформаційних структур.

Текст автореферату повною мірою відображає зміст дисертації.

7. Апробація та повнота викладу основних результатів роботи. За результатами дисертації опубліковані 60 наукових праць, у тому числі: 30 наукових статей у виданнях, які зазначені у переліку фахових видань України з технічних наук, 1 стаття у зарубіжному науковому періодичному виданні. Серед цих статей п'ять проіндексовано у міжнародній наукометричній базі Scopus. Крім того, результати дисертаційної роботи представлені у 29 тезах доповідей конференцій (у тому числі 4 з яких індексуються міжнародними наукометричними базами IEEE Xplore, Scopus та Web of Science).

H-індекс цитування робіт дисертанта за наукометричною міжнародною базою Scopus дорівнює 8 (10 робіт, 142 цитування у 48 документах).

Основні положення дисертаційної роботи повністю розкрито у наукових публікаціях.

8. Зауваження по дисертації і автореферату. Дисертаційна робота не вільна від ряду недоліків, серед яких слід зазначити:

- у другому розділі використовується формалізм теорії категорій для обґрунтування можливості узагальнення візуальних інформаційних структур. Доцільно було б явно обмежитися класом декартово замкнутих категорій, для формального опису введених у роботі візуальних інформаційних структур (наприклад, CAT_VIS), зобразивши графічно всі об'єкти та морфізми, це унаочнило б отримані результати і полегшило їх розуміння;

- для опису та формалізації теоретичних основ побудови візуальних інформаційних структур доповненої реальності автор використовує мову теорії множин. Було би цікаво, використовуючи єдину методологію, провести повну формалізацію, залишаючись в рамках теоретико-категорійного підходу;

- використання QR-кодів у якості зображення-повідомлення зменшує загальну інформаційну сміть розроблених автором мозаїчних стохастичних маркерів, оскільки QR-коди мають власну надлишковість і частина елементів QR-коду використовується для службових цілей. Доцільніше використовувати пряме по-бітове кодування даних;

- оператор стохастичного перевпорядкування даних автор пропонує реалізувати у вигляді процедури перемішування пікселів за допомогою відомої псевдовипадкової перестановки. Цікаво було би дослідити можливість використання для цієї мети інших перемішуючих відображень (наприклад, підкови Смейла, або перетворення пекаря).

Вказані недоліки зумовлені як складністю предмету дослідження, так і великим обсягом роботи, частину з них можна розглядати як побажання щодо наступних напрямків досліджень.

Крім зазначених недоліків, слід зауважити, що робота не вільна від помилок набору, проте кількість цих помилок не є критичною і не ускладнює розуміння тексту.

9. Висновок щодо відповідності дисертації спеціальності. Дисертаційна робота виконана у відповідності до наступних пунктів, що зазначені у паспорті спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології:

1) Розроблення наукових і методологічних основ створення і застосування інформаційних технологій та інформаційних систем для автоматизованої переробки інформації і управління.

2) Розроблення інформаційних технологій для аналізу та синтезу структурних, інформаційних і функціональних моделей об'єктів і процесів, що автоматизуються.

6) Розроблення теоретичних і прикладних основ побудови інформаційних технологій для автоматизації функціональних завдань керування, аналізу і оцінювання ефективності автоматизованих систем переробки інформації та управління.

10. Загальні висновки. Висловлені зауваження не знижують цінність представленого наукового дослідження, його науково-теоретичного та практичного значення. Дисертаційну роботу Маковейчука Олександра Миколайовича «Моделі, методи та інформаційна технологія побудови і використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності» слід вважати завершеною, цільною науковою працею, в якій отримано нові обґрунтовані теоретичні і практичні наукові результати та розв'язана наукова проблема розробки теоретичних основ створення моделей, методів та інформаційної технології побудови і використання візуальних інформаційних структур в системах доповненої реальності для застосування в різних сферах обробки інформації.

Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології. Вважаю, що дисертаційна робота Маковейчука О.М. відповідає вимогам пп. 9, 10, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових

ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами), щодо докторських дисертацій, а її автор, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Офіційний опонент: доктор технічних наук,
професор, декан факультету математики і
інформатики Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна

“ 10 ” грудня 2020 року

Жолткевич Г.М.

Підпис професора Жолткевича Григорія Миколайовича засвідчую
Начальник служби управління персоналом
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна, доктор педагогічних
наук, професор

“ 10 ” грудня 2020 року



Куліш С.М.