Голові спеціалізованої вченої ради
Д 64.052.08 Харківського
національного університету
радіоелектроніки

пр. Науки, 14, Харків, 61166

ВІДГУК

офіційного опонента – професора кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» доктора технічних наук, професора Барабаша Олега Володимировича 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»

Актуальність теми дисертаційної роботи та її зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Останнім часом спостерігається інтенсивний розвиток інформаційних технологій доповненої реальності, особливо це актуально у зв'язку із введеними карантинними обмеженнями. Системи обробки і передачі візуальної інформації, частинним випадком яких є маркерні системи доповненої реальності, базуються на візуальних інформаційних структурах (ВІС). Для маркерних систем доповненої реальності, у якості ВІС в даний час виступають лише візуальні маркери. В сучасних умовах при використанні маркерних систем доповненої реальності до ВІС взагалі, та до візуальних маркерів, зокрема, висуваються жорсткі вимоги по помітності, простоті, інформативності, орієнтованості, робастності – збереження працездатності при втраті до 50% інформації, криптостійкості і універсальності. Головною з цих вимог є вимога робастності – система повинна працювати при фізичній відсутності будь-якої частини ВІС чи закритті її завадою. Очевидно, що жоден стандартний тип маркера не буде відповідати вказаним вимогам у повній мірі, тобто існуючим ВІС притаманні функціональні обмеження щодо їх стійкого використання та наявності повідомлення. Саме розробці моделей, методів розширення функціональності та забезпечення стійкості систем

ХНУРЕ
Вхідний № 01/27-1260
«07» 12 2020 р.

доповненої реальності, що базуються на ВІС, присвячена дисертація Маковейчука О.М.

Враховуючи вищевикладене, можна вважати, що теоретичні та практичні рішення, які запропоновано в дисертаційній роботі Маковейчука О.М, які зокрема забезпечують функціональну стійкість систем доповненої реальності, є **актуальними** з наукової та практичної точок зору, мають важливе наукове та практичне значення.

Особливої уваги в дисертаційній роботі приділено вирішенню таких завдань: створення системного уявлення ВІС доповненої реальності, розробка моделі стійкого мозаїчного стохастичного маркера та методів його побудови і використання, розробка інформаційної технологіії побудови і використання маркерів доповненої реальності, яка дозволяє забезпечити вимоги до ВІС доповненої реальності.

Дисертаційна робота виконана відповідно до плану наукової і науково-технічної діяльності Харківського національного університету радіоелектроніки в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи (НДР) "Методи, системи і засоби криптографічного захисту інформації з гарантованим рівнем стійкості та підвищеною швидкодією" (№ ДР 0115U002431), господарсько-договірної НДР № 17-13 "Розробка моделей, механізмів, методів та засобів симетричного шифрування та гешування, методи оцінювання їх стійкості" шифр "Стійкість" (№ ДР 0118U003807), плану наукової і науково-технічної діяльності Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба в рамках держбюджетної НДР "Створення програмного модуля обробки різнорідних і різночасових даних, отриманих від оптико-електронних засобів безпілотних літальних апаратів та супутникових систем" шифр "Мозаїка-ПС" (№ ДР 0101U002020).

Ступінь новизни, обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.

У дисертаційній роботі Маковейчука О.М отримано такі основні нові науково обґрунтовані результати:

Вперше:

– розроблено модель стійких мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності та метод їх формування, який базується на процедурах масштабування зображення-повідомлення методом найближчого сусіда, перемішування 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;

– 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;

– розроблено метод визначення параметрів проективного перетворення мозаїчних стохастичних маркерів, який реалізує знаходження чотирьох опорних точок, ітеративно максимізуючи суму дисперсій 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;

– 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.

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;

– 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.

Набули подальшого розвитку:

– 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;

– метод проеціювання 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-потоку в області маркера та забезпечує універсальність та уніфікацію незалежно від фізичних та геометричних властивостей засобів реєстрації зображення.

Зазначені наукові результати є обгрунтованими, насамперед з точки зору практики, а підтвердженням їхньої достовірності є добре співпадіння між теоретичними та практичними результатами. Також обгрунтованість отриманих результатів підтверджується коректним застосуванням методів теорії категорій, методів теорії груп, методів математичної логіки, методів теорії ймовірності, методів комбінаторики, методів теорії оптимізації, методів теорії матриць, методів аналітичної геометрії, методів математичної статистики, методів кластеризації даних, методів порівняння зображень, методів цифрової обробки зображень, методів комп'ютерного зору, методів математичного моделювання, методів створення інформаційних технологій.

Практичне значення наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Рекомендації щодо використання результатів дисертації.

Практичні результати дисертаційного дослідження можуть використовуватись для модернізації існуючих і розробки перспективних систем доповненої реальності, що дозволить забезпечити стійке функціонування інформаційних технологій та систем доповненої реальності шляхом побудови та використання мозаїчних стохастичних маркерів.

Також практична значимість підтверджена відповідними актами реалізації та впровадження результатів роботи: 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).

Розроблені та обгрунтовані в дисертаційній роботі моделі та методи можуть бути рекомендовані для підвищення ефективності та функціональної стійкості систем доповненої реальності.

Повнота викладу основних результатів дисертації в публікаціях.

Результати дисертаційних досліджень достатньо повно опубліковано у 31 науковій статті у фахових періодичних виданнях України з технічних наук, з яких 5 статтей проіндексовано у міжнародній наукометричній базі Scopus. Крім цього, деякі результати дисертаційного дослідження знайшли відображення в 29 публікаціях за матеріалами наукових конференцій, в тому числі 4 з яких індексуються міжнародними наукометричними базами IEEE Xplore, Scopus та Web of Science

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності.

Дисертаційна робота відповідає формулі паспорту спеціальності 05.13.06 «Інформаційні технології», зокрема забезпечує подальший розвиток теоретичних та методологічних основ й інструментальних засобів створення та використання інформаційних технологій доповненої реальності.

На мій погляд, робота найбільш відповідає наступним пунктам паспорту спеціальності: 1, 2, 6, тому що

– розроблені наукові і методологічних основи створення і застосування інформаційної технології побудови і використання маркерів доповненої реальності та інформаційних систем доповненої реальності для автоматизованої переробки інформації і управління;

– розроблено інформаційну технологію побудови і використання маркерів доповненої реальності для аналізу та синтезу структурних, інформаційних і функціональних моделей об'єктів і процесів, що автоматизуються;

– розроблені теоретичні і прикладні основи побудови інформаційної технології для автоматизації функціональних завдань керування, аналізу і оцінювання ефективності автоматизованих систем переробки інформації та управління.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності й оформлення.

Побудова дисертації відповідає прийнятим для наукового дослідження нормам. Дисертація складається із вступу, п'ятьох розділів, висновків по дисертації, списку використаної літератури та додатків. Обсяг дисертаційної роботи відповідає нормам, встановленим для докторських дисертацій з технічних наук.

У вступі обгрунтовано актуальність теми, наведено дані про зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, сформульовані мета й завдання досліджень, перераховані методи досліджень, які використані в дисертації, задекларовано наукову новизну й практичне значення одержаних результатів, дані про впровадження, апробацію та особистий внесок здобувача.

У *першому розділі* визначені основні проблеми існуючих систем і технологій доповненої реальності, які пов'язані з недосконалістю існуючих методів обробки, проаналізовані відомі моделі, методи та інформаційні технології в системах доповненої реальності, проаналізовані типи існуючих маркерів доповненої реальності та типові методики роботи з ними. Висвітлені відомі результати щодо розробки моделей, методів та інформаційних технологій обробки зображень в системах доповненої реальності, окреслені основні етапи застосування візуальних інформаційних структур в системах доповненої реальності та вирізнені питання, що

залишилися невирішеними, обґрунтовується вибір напряму дослідження. Сформульовано наукову проблему, мету та завдання дослідження.

У *другому* розділі дисертації наведено результати подальшого розвитку теоретичних основ побудови і використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності, які базуються на науково-обґрунтованих моделях та методах системного формування, перетворення та декодування візуальної інформації. Формалізація операцій, що проводяться над ВІС, представлена у формалізмі теоретико-категорійного підходу, в рамках якого сформульовано ряд визначень і теорем.

У *третьому* розділі роботі наведено розроблені модель та метод формування стійких мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності; метод виявлення, метод визначення параметрів проективного перетворення без врахування додаткової апріорної інформації, метод декодування, метод проеціювання віртуальних об'єктів на площину маркера, метод рендерингу відеопотоку в області маркера.

Четвертий розділ присвячено загальній реалізації методів побудови та використання мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності. Проведені теоретичні оцінки якості мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності (оцінки помітності маркерів, оцінки простоти маркерів, оцінки інформативності маркерів, оцінки орієнтованості маркерів, оцінки робастності маркерів, оцінки криптостійкості маркерів, оцінки універсальності маркерів), а також оцінки роботи методів по часу і складності.

У *п'ятому* розділі розроблено інформаційну технологію побудови і використання маркерів доповненої реальності, опис та результати експериментів, що проводилися, порівняльні оцінки показників якості для основних типів візуальних маркерів доповненої реальності.

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

Таким чином, усі положення, винесені на захист, висвітлені в тексті дисертації. Викладене дозволяє зробити висновок, що зміст дисертаційної роботи відповідає вимогам.

Дисертація написана грамотною науковою мовою та оформлена відповідно до існуючих нормативних документів. Текст і графічний матеріал викладено акуратно, логічно, послідовно.

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації і достатньо повно відбиває її основні положення.

Недоліки та зауваження.

1. Перший розділ дисертації, який включає огляд літератури за темою роботи, на мою думку, переобтяжений зайвою інформацією стосовно метаевристичних методів вирішення оптимізаційних задач. Оскільки в

дослідженні основна увага приділена використанню генетичного алгоритму, достатньо було б обмежитися аналізом еволюційних методів оптимізації (чи навіть тільки суто генетичних алгоритмів). Слід також зауважити, що генетичні алгоритми належать до класу стохастичних методів, тому розв'язок знаходиться лише з певною імовірністю. Цей факт в роботі не відмічається.

2. При описі моделі стійких мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності автор пропонує оператор введення надлишковості реалізувати у вигляді процедури масштабування у задане число разів k методом найближчого сусіда. Це, по суті, означає просте дублювання даних. Однак використання надлишковості шляхом дублювання даних – це є найпростіший варіант. На мою думку, доцільно було б розглянути також інші способи, наприклад, коди Ріда-Соломона, чи будь які інші коди, що виправляють помилки.

3. У третьому розділі (п.3.4.3) при описі цільової введеної функції для знаходження положення матриці біт-контейнера після виразу (3.52), вказано, що "...коефіцієнт 1/4 введено з міркувань зручності". Не пояснено, в чому саме полягає ця зручність. На мою думку, вибір даного коефіцієнту слід було б обґрунтувати.

4. Модель перспективної проекції вводиться автором у третьому розділі у п. 3.3.2, а потім продовжується розгляд цієї моделі у п. 3.5. На мою думку, доцільніше було би перенести загальні відомості про перспективну проекцію та інші пов'язані питання в огляд у першому розділі.

5. У четвертому розділі автор використовує систему MATLAB для проведення імітаційного моделювання і прототипування розроблених методів, аналогічно у п'ятому розділі у наведених IDEF0-діаграмах також вказано MATLAB (а також його деякі стандартні розширення) в якості середовища виконання. Однак, в даному випадку, подібна конкретизація не є виправданою, тому при описі удосконаленої інформаційної технології доповненої реальності доцільніше було би вказати абстрактне середовище виконання та не прив'язуватися лише до MATLAB.

Вказані недоліки не знижують цінності та практичного значення одержаних в дисертаційній роботі наукових результатів і, внаслідок цього, її позитивну оцінку в цілому.

Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки.

Дисертаційна робота Маковейчука Олександра Миколайовича "Моделі, методи та інформаційна технологія побудови і використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності" є завершеним науковим дослідженням, в якому отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності розв'язують актуальну науково-прикладну проблему 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, що має істотне значення в галузі технічних наук.

Розглянута дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 10, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», що ставляться до докторських дисертацій, а її автор, Маковейчук Олександр Миколайович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології».

Офіційний опонент
професор кафедри автоматизації проектування
енергетичних процесів і систем
теплоенергетичного факультету
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

доктор технічних наук, професор О.В. Барабаш
"3" грудня 2020 року

Підпис Барабаша О.В. засвідчую
Вчений секретар Валерій Халявко