

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Шевченка Станіслава Сергійовича

на тему «Інформаційна технологія створення інтерактивних сценаріїв на основі 3D-моделей з навчання спеціалістів з ремонту насосів атомних станцій»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122
«Комп'ютерні науки» галузі знань 12 «Інформаційні технології»

Актуальність теми дисертації.

Забезпечення безпечної та безперебійної роботи атомних електростанцій значною мірою залежить від якості підготовки ремонтного персоналу. У сучасних умовах цифровізації енергетики та розвитку дистанційних і віртуальних засобів підготовки актуальним є створення інформаційних технологій, здатних відтворювати складні технологічні операції, підтримувати кооперативну роботу декількох учасників і водночас забезпечувати формальну коректність сценаріїв, прийнятне когнітивне навантаження та стійку мережеву взаємодію.

У дисертації обґрунтовано низку технологічних обмежень існуючих підходів: складність адаптації інженерних CAD-моделей для навчальних середовищ, трудомісткість створення багатокористувацьких сценаріїв і їх формальної верифікації, ризик візуального перевантаження користувача, а також залежність якості спільної роботи від параметрів мережевого з'єднання. Тому розроблення інформаційної технології створення, верифікації, візуалізації та синхронного відтворення інтерактивних сценаріїв на основі 3D-моделей для навчання спеціалістів з ремонту насосів атомних станцій є актуальним науковим завданням у галузі комп'ютерних наук.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Обґрунтованість одержаних результатів забезпечується послідовною постановкою мети і завдань дослідження, використанням адекватного математичного та алгоритмічного апарату, зокрема теорії графів і мереж Петрі, методів об'єктно-орієнтованого проектування, математичного та комп'ютерного моделювання, а також реалізацією запропонованих моделей і методів у прототипі програмного комплексу. Достовірність основних положень підтверджується результатами порівняльних та експериментальних досліджень, тестуванням мережевої синхронізації, апробацією програмного прототипу та кількісним аналізом окремих показників ефективності.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розвитку інформаційної технології та розробленні нових моделей і методів, зокрема:

1. Дістала подальшого розвитку технологія створення інтерактивних навчальних сценаріїв на основі запропонованої моделі рольової взаємодії у віртуальному середовищі, побудованої з використанням апарату ієрархічних мереж Петрі. Модель пов'язує дискретні стани 3D-моделей із цілеспрямованими діями конкретних ролей і забезпечує автоматизований аналіз сценарію, зокрема виявлення тупикових ситуацій та взаємних блокувань на етапі проектування.

2. Запропоновано інформаційну модель віртуальних навчальних 3D-моделей, що включає дані про геометрію, властивості, кінематичні обмеження та функції реакцій. Розширення механізмів об'єктно-орієнтованого наслідування на ієрархічні графи 3D-моделей, а також механізми фіксації залежностей та ієрархічного блокування забезпечують контрольоване поширення змін і детермінованість логіки під час виконання сценарію.

3. Запропоновано метод автоматичного видалення внутрішньої топології вузлів, не задіяних у конкретному сценарії, на основі аналізу зв'язків між геометрією та логікою сценарію. На відміну від класичної геометричної децимації, такий підхід зменшує навантаження на систему візуалізації без вилучення інформації, важливої для навчального процесу, та ускладнює відновлення внутрішньої конструкції обладнання за переданими 3D-даними.

4. Запропоновано метод управління обсягом інформації на сцені для забезпечення прийняттого когнітивного навантаження користувача. Метод ґрунтується на теорії когнітивного навантаження та поєднує проактивне виявлення потенційного перевантаження, візуальне приглушення нерелевантних об'єктів і перетворення частини некритичних дій у автоматичні та/або мовчазні т-переходи відповідно до заданого рівня складності.

5. Розроблено аналітико-параметричний метод реплікації гармонічних станів для розподіленої мережевої синхронізації навчальних комплексів. Передавання спектральних параметрів події замість безперервної трансляції координат робить обсяг трафіку інваріантним до частоти коливань об'єкта, а використання глобальної часової мітки забезпечує фазову узгодженість відтворення за наявності флуктуацій мережевої затримки.

Одержані результати безпосередньо відповідають темі дисертації та предметній області спеціальності 122 «Комп'ютерні науки». Рівень постановки і вирішення завдань, формалізації моделей, алгоритмічної та програмної реалізації, а також експериментальної перевірки свідчить про належне оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення роботи полягає у створенні прототипу програмного комплексу, що реалізує запропоновані моделі та методи і містить засоби підготовки та оптимізації 3D-даних, візуального створення і статичної верифікації сценаріїв, клієнтського виконання та мережевої синхронізації. За результатами проведених випробувань застосування аналітико-параметричного методу реплікації гармонічних станів забезпечило зменшення мережевого трафіку на 94 % порівняно з базовим підходом до передавання станів; середньоквадратичне відхилення візуальної позиції в умовах деградованої мережі було у чотири рази меншим, а додаткове навантаження на CPU/GPU клієнтського пристрою становило 5–8 %.

Порівняльна оцінка процесу створення навчального контенту показала скорочення часу реалізації логіки типового сценарію з 24 до 4 людино-годин та часу внесення ітераційних змін з 2 годин до 10 хвилин. В апробаційному навчальному експерименті експериментальна група ($N = 35$) продемонструвала середній час виконання операції 45,2 хв, тоді як контрольна група ($N = 32$) — 64,5 хв; наведена в роботі різниця є статистично значущою ($t = 15,6$; $p < 0,01$).

Окремо в дисертації здійснено розрахункову оцінку енергоефективності клієнтської архітектури порівняно з хмарним рендерингом.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За змістом дисертаційна робота відповідає предметній області спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» та положенням Стандарту вищої освіти України для третього (освітньо-наукового) рівня зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», затвердженого наказом Міністерства освіти і науки України від 28 квітня 2022 р. № 394. Дисертація є завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій простежується особистий внесок здобувача у розроблення моделей, методів, алгоритмів та програмних засобів інформаційної технології.

За результатами аналізу звіту подібності та змістового опрацювання тексту дисертації ознак академічного плагіату не виявлено. Використані ідеї, результати та тексти інших авторів супроводжуються відповідними посиланнями на джерела. За змістовим аналізом дисертації ознак фабрикації або фальсифікації наукових результатів не встановлено.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою та загалом характеризується належним науковим стилем, логічною послідовністю викладення і коректним використанням фахової термінології у сфері комп'ютерних наук, інформаційних технологій, комп'ютерного моделювання та 3D-візуалізації. Наявні окремі редакційні й термінологічні огріхи не впливають на розуміння одержаних результатів і загальну оцінку роботи.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків; загальний обсяг роботи становить 183 сторінки. У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, наведено методи, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі проаналізовано сучасні методи і засоби підготовки персоналу АЕС та технологічні бар'єри створення інтерактивних навчальних систем. У другому розділі розроблено інформаційну модель віртуальних навчальних об'єктів, формальну модель рольової взаємодії, методи обробки 3D-даних, управління когнітивним навантаженням і реплікації гармонічних станів. У третьому розділі наведено алгоритмічну та програмну реалізацію запропонованих рішень, у тому числі мікросервісну клієнт-серверну архітектуру, візуальний редактор, статичний аналізатор і клієнтський рушій виконання.

У четвертому розділі представлено результати практичної реалізації та апробації інформаційної технології. Експериментально досліджено ефективність алгоритмів мережевої синхронізації, виконано розрахункову оцінку екологічної та інфраструктурної ефективності клієнтського рендерингу, проведено порівняльне оцінювання трудомісткості створення навчального контенту та апробацію прототипу на тестових групах. Дисертаційну роботу оформлено відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення та апробація результатів дисертаційної роботи.

Основні наукові результати дисертації відображено у чотирьох наукових статтях: двох статтях у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України категорії «Б», та двох статтях у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі Scopus, одна з яких опублікована у виданні першого квартиля (Q1), а друга — третього квартиля (Q3) відповідно до зазначеної в дисертації класифікації. Результати роботи також апробовано у матеріалах десяти наукових конференцій; додатково науково-технічні рішення відображено у патенті України на корисну модель.

Публікації та матеріали апробації тематично пов'язані з поставленими у дисертації завданнями і відображають основні етапи дослідження. Особистий внесок здобувача у працях, виконаних у співавторстві, у дисертації окреслено окремо.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу в цілому, слід зазначити окремі положення, які потребують додаткового обговорення або могли б бути розвинені у подальших дослідженнях:

1. У підрозділі 3.1 наведено мікросервісну архітектуру програмного комплексу та описано модуль «Серверний арбітр симуляції», який виконує функції авторитетного джерела стану. Водночас у роботі недостатньо деталізовано механізми забезпечення відмовостійкості цього вузла та відновлення активної кооперативної сесії у разі відмови або перезапуску серверного компонента.

2. Для зменшення простору станів під час формальної верифікації автор застосовує редукцію часткового порядку (Partial Order Reduction) і зазначає можливість усунення ефекту «вибуху простору станів». Було б доцільно доповнити роботу кількісним дослідженням масштабованості верифікатора — залежності часу виконання та обсягу пам'яті від кількості ролей, переходів і досяжних маркувань — та чіткіше окреслити межі практичної застосовності запропонованого підходу для великих сценаріїв.

3. Оцінка енергоефективності клієнтського рендерингу WebGL/WebXR порівняно з технологіями хмарного рендерингу значною мірою базується на паспортних значеннях теплової потужності (TDP) цільового обладнання. Прямі інструментальні вимірювання фактичного енергоспоживання серверної та клієнтської частин за різних профілів навантаження дали б змогу точніше підтвердити наведені кількісні оцінки та посилити висновки щодо «Green Computing».

4. Експериментальні дослідження мережевої синхронізації виконано за емуляції RTT 150–300 мс і втрати 2 % пакетів. Доцільним продовженням дослідження було б визначення граничних умов працездатності аналітико-параметричного методу за триваліших переривань зв'язку, вищих рівнів втрат пакетів та різких змін затримки, а також аналіз часу відновлення фазової узгодженості після повернення мережевого з'єднання.

Наведені зауваження мають переважно рекомендаційний характер, не стосуються принципових положень роботи, не зменшують наукової новизни та практичного значення одержаних результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації.

Висновок про дисертаційну роботу.

Дисертаційна робота Шевченка Станіслава Сергійовича на тему «Інформаційна технологія створення інтерактивних сценаріїв на основі 3D-моделей з навчання спеціалістів з ремонту насосів атомних станцій» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальне наукове завдання з розроблення інформаційної технології створення, верифікації, візуалізації та синхронного відтворення інтерактивних багатокористувацьких сценаріїв на основі 3D-моделей. Одержані результати є науково обґрунтованими, мають наукову новизну та практичне значення, відповідають темі дисертації й предметній області спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

За актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю та достовірністю одержаних результатів, їх практичним значенням, повнотою викладення основних положень у наукових публікаціях, рівнем виконання поставленого наукового завдання та дотриманням принципів академічної доброчесності дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 6–9 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 р. № 44.

Шевченко Станіслав Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» галузі знань 12 «Інформаційні технології».

Рецензент:

Заступник директора
з науково-організаційної роботи
Інституту проблем моделювання в
енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України
д.т.н., с.н.с.



Володимир АРТЕМЧУК

«19» вересня 2026 року