

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка» доктору
технічних наук, професору Гнатушенку
Володимиру Володимировичу

**ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА, кандидатки технічних наук,
доцентки Сергєєвої Катерини Леонідівни на дисертаційну роботу
Мартиненка Андрія Анатолійовича
«Методи і моделі організації, обробки та аналізу даних в
інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень при
ідентифікації творів живопису»**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12
«Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

1. Загальна характеристика роботи

Повний обсяг роботи 156 сторінок, у тому числі 148 сторінки основного тексту. Робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків, список використаних джерел налічує 183 найменування.

До розгляду подано дисертацію на здобуття ступеня доктора філософії та копії усіх опублікованих автором робіт, які відображають результати та зміст дослідження.

2. Оцінка актуальності теми дисертаційної роботи

Дисертаційну роботу присвячено розв'язання актуальної задачі створення математичних моделей, методів, схем, архітектур та алгоритмів, орієнтованих на розв'язання задач використання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень при ідентифікації та класифікації творів живопису, як одного з видів культурних цінностей. У дисертаційній роботі на основі отриманих теоретичних і експериментальних досліджень вирішена задача розробки моделей та методів організації та обробки даних в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень при ідентифікації творів живопису за рахунок використання сучасних штучних нейронних мереж, в умовах обмеженого часу та невизначеності.

Актуальність розв'язання поставленої в дисертаційній роботі задачі зумовлена тим, що культурні цінності давно є об'єктами злочинів, зокрема

вивезення їх із держави. Фальсифікація приховує твори живопису від митного контролю; її виявлення потребує тривалої експертизи з використанням різноманітних методів аналізу.

Ідентифікація, експертиза, митна експертиза та реєстрація культурних цінностей – це важливі ланки в системі обліку та контролю за збереженням пам'яток національної культури, їх переміщенням через митний кордон, а також у сфері регулювання правовідносин розпорядництва, пов'язаними з ними майновими комплексами усіх форм власності. Експертна діяльність активно сприяє науковому вивченню культурних цінностей – артефактів національної історії, матеріальних носіїв ідеалів народу, а також специфічного товару на світовому ринку.

Проведення ідентифікації культурних цінностей і творів живопису як одного їх видів, як один з етапів експертизи – складна процедура, що не піддається чітко зафіксованому формальному опису, а часто має евристичний характер і залежить від професійного рівня та професійної інтуїції експерта. Важливим напрямком розвитку інформаційних технологій є розробка систем, призначених для підтримки процесів прийняття рішення. Таким чином можна зазначити, що тема дисертаційної роботи є важливою та актуальною.

3. Оцінка наукових результатів дисертаційної роботи

Запропоновано двоетапну процедуру, яка передбачає швидку перевірку на основі аналізу фотографій творів живопису та більш тривалу музейну експертизу. Для реалізації аналізу фотографій запропоновано використовувати інтелектуальну систему прийняття рішень, дія якої базується на класифікаторі, що реалізовує алгоритм k-найближчих сусідів. Сформовано набір ознак опису властивостей творів живопису, запропоновано метрики для обчислення міри подібності об'єктів під час класифікації. Для навчання алгоритму пропонується набір даних, що включає картини світових, європейських художників та українських майстрів різних століть.

Запропоновано метод автоматизованого визначення віку картини з цифрової фотографії за допомогою класифікації, яку виконує інтелектуальна система прийняття рішень. Пропонується використовувати атрибут року створення картини як головний критерій для прийняття рішення під час митної перевірки легітимності експорту. Замість тривалої та дорогої музейної експертизи застосовується фотографування творів живопису в умовах митниці та обробка фото за допомогою набору дескрипторів. До набору дескрипторів пропонується включити локальні бінарні патерни, їх колірну модифікацію, текстурні ознаки Хараліка, перші чотири моменти, текстурні ознаки Тамури, SIFT дескриптор. Дані, отримані внаслідок дії дескрипторів,

утворюють значення кількох десятків окремих атрибутів. Вони формують вектори даних, які потім конкатенуються в узагальнений опис вектора-об'єкта. У просторі ознак, створеному таким чином, виконується автоматична класифікація методом зважених k-найближчих сусідів. Пропонований алгоритм розраховує відстань між об'єктами в багатовимірному просторі значень атрибутів, і відносить нові об'єкти до сформованих класів. Критерієм для створення класів є вік картини із існуючої бази даних. Як міру близькості об'єктів пропонується використовувати метрики Евкліда та Мінковського. Розрахунок вагів для алгоритму класифікації запропоновано виконувати методом Фішера.

Ефективність запропонованого методу була досліджена під час експериментів із базою зображень, що містить фото картин світових, європейських та українських художників. Знайдено параметри конфігурації алгоритму, що забезпечують високу точність класифікації.

Запропоновано архітектуру системи, яка перевіряє провенанс, реалізує детальний аналіз (FGIA) візуальних ознак зображення та виконує автоматичну класифікацію картини за авторством, жанром та часом створення. Провенанс міститься у графі знань, для векторизації якого запропоновано використовувати енкодер типу graph2vec з механізмом уваги, а детальний аналіз пропонується виконувати за допомогою пошукових відмітних регіонів (SDR) та навчальних відмітних регіонів (LDR), що виділяються згортковими нейронними мережами. Для навчання класифікатора запропоновано узагальнену функцію втрат, а також набір даних, що включає провенанс та зображення картин європейських та українських художників.

4. Оцінка практичного значення результатів роботи

Отримані автором результати можуть бути використанні для вирішення задач використання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень при ідентифікації творів живопису як одного з видів культурних цінностей.

Здобувач є співвиконавцем науково-дослідних робіт:

– «Методи, моделі та технології обробки даних в комп'ютерних системах загального та спеціального призначення» (державний реєстраційний номер 0121U113718);

– «Високопродуктивні багатопроекторні системи: особливості конструювання, дослідження оцінок ефективності, застосування до розв'язування прикладних задач» (державний реєстраційний номер 0122U201569).

Запропоновані у роботі рішення впроваджено в митній справі Дніпровській митниці Держмитслужби та Дніпровському художньому музеї при проведенні експертизи.

Результати проведених досліджень застосовуються у навчальному процесі Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» на факультеті інформаційних технологій на кафедрі програмного забезпечення комп'ютерних систем при викладанні дисциплін: «Машинне навчання» (доц. Приходченко С.Д.) для магістрів спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення; «Сучасні методи і системи підтримки прийняття рішень» (проф. Мороз Б.І.); «Моделі та методи штучного інтелекту в комп'ютерних науках» (проф. Мещеряков Л.І.) для докторів філософії спеціальності 122 – Комп'ютерні науки.

Результати впровадження підтверджені відповідними актами.

5. Оцінка достовірності та обґрунтованості основних положень і висновків дисертації

Наукові положення, висновки та пропозиції у достатній мірі обґрунтовані результатами експериментів на відкритих наборах даних та практичними застосуваннями.

Нові наукові результати та положення повністю відображені у 13 публікаціях, з них – 8 статей у фахових періодичних виданнях України з технічних наук, з яких 3 – категорії А (індексується в Scopus та Web of Science), 5 – категорії Б; 5 тезах доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій.

Результати роботи достатньо висвітлено та апробовано на всеукраїнських та міжнародних конференціях. Кількість публікацій, їх повнота та обсяг у достатній мірі відображають особистий внесок автора і відповідають вимогам, що висуваються до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

6. Оцінка змісту й оформлення дисертації

Дисертаційна робота написана українською мовою. В роботі використаний науковий стиль та загальноприйнята термінологія. Робота виконана в чіткій логічній послідовності відповідно до поставлених мети та задач досліджень.

У дисертаційній роботі вирішено актуальну задачу підвищення якості та точності ідентифікації і класифікації творів живопису в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень за рахунок розробки відповідних математичних моделей та методів.

Постановка науково-прикладної задачі, вирішенню якої присвячена дисертаційна робота, є коректною.

У **першому розділі** «Аналіз сучасного стану розв'язання задачі ідентифікації культурних цінностей» розглянуті питання: експертизи та ідентифікація культурних цінностей при використанні систем підтримки прийняття рішень; розгляд проблеми встановлення дійсності і авторства творів живопису; вибору та обґрунтування методів кластеризації творів живопису. Також була виконана постановка завдання дослідження.

У **другому розділі** «Математична постановка і метод розв'язання задачі митної експертизи творів живопису» наведена математична постановка і метод рішення задачі митної експертизи творів живопису у вигляді завдання автоматизованої класифікації картин за роком створення. Наведено дослідження простору ознак творів живопису та розробку математичних моделей класифікаторів творів живопису.

Встановлено, що найефективніше розв'язання поставленої задачі доцільно шукати у вигляді класифікатора, дія якого базується на зваженому алгоритмі k -найближчих сусідів.

Для забезпечення високої точності розв'язання задачі запропоновано набір атрибутів, що включає колірні, текстурні, статистичні та інші характеристики зображень. Значення атрибутів формуються за фотографіями картин в інтелектуальній системі прийняття рішень, яка потім класифікує твір живопису за віком.

Для розрахунку ваг під час реалізації алгоритму k -найближчих сусідів пропонується використовувати метод Фішера, а для обчислення міри схожості об'єктів використовувати евклідову метрику. Описано переваги запропонованого підходу.

У **третьому розділі** «Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень музейної експертизи оцифрованих творів живопису» розглянуто задачу автоматизованої класифікації картин за допомогою інтелектуальної системи ухвалення рішень на основі графа знань і Fine-Grained Image Analysis. Запропоновано рішення у вигляді класифікатора на основі згорткових нейронних мереж з функцією уваги, що діє в мультизадачному режимі.

У **четвертому розділі** «Експериментальні дослідження моделей та методів ідентифікації культурних цінностей» запропоновано в якості набору даних для експериментальних досліджень використовувати датасет, що містить роботи відомих світових і європейських художників, а також метадані з біографією художників, періодом життя, описом жанрів і стилів написаних ними картин.

Результати експериментальних досліджень підтвердили ефективність розробленого методу розв'язання задачі автоматизованої класифікації картин за роком їх створення для митної експертизи творів живопису.

Уперше розроблено архітектуру автоматичної системи класифікації картин з використанням Knowledge Graph і Fine-Grained Image Analysis для інтелектуальної системи прийняття рішень на етапі музейної експертизи. Система класифікації картин виконує автоматизований збір візуальних ознак та аналіз Fine-Grained ознак з оцифрованого зображення картини, формування вектору провенансу та ідентифікацію картини за ім'ям автора, стилем, жанром і часом створення на основі мереж глибокого навчання для автоматизованої класифікації картин з урахуванням їхнього провенансу.

Запропоновано застосування Knowledge Graph для формалізації провенансу та його використання як атрибута під час ідентифікації картин за допомогою Fine-Grained Image Analysis, реалізованої в архітектурі згорткових нейронних мереж глибокого навчання.

Також у розділі запропонована концептуальна модель інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень ідентифікації культурних цінностей, структура та алгоритм роботи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для ідентифікації культурних цінностей та пропозиції використання інструментів практичної реалізації відповідної системи підтримки прийняття рішень.

7. Зауваження до дисертаційної роботи

1. В тексті роботи мають місце деякі незначні відхилення від правил та вимог оформлення нумерації посилань на використані джерела інформації.

2. В розділі 1 не повною мірою проведено аналіз існуючих систем підтримки прийняття рішень ідентифікації та класифікації творів живопису.

3. В розділі 2 варто було б більш детально описати алгоритм формування експериментальних даних для досліджень.

4. В розділі 2 та 3 частина матеріалу містить описовий аналітичний характер який варто було б скоротити та/або частково перенести в розділ 1.

5. В розділі 4 варто було б більш детально описати алгоритм проведення експериментальних досліджень.

6. В роботі містяться незначні відхилення від вимог до оформлення дисертаційної роботи.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

8. Висновок про дисертаційну роботу

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, ознайомившись із науковими публікаціями та дисертацією А.А. Мартиненка, відзначаю відсутність порушень академічної доброчесності.

Вважаю, що дисертація А.А. Мартиненка на тему «Методи і моделі організації, обробки та аналізу даних в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень при ідентифікації творів живопису» подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» є завершеним науковим дослідженням, яке розв'язує актуальну задачу створення математичних моделей, методів, схем, архітектур та алгоритмів, орієнтованих на розв'язання задач використання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень при ідентифікації та класифікації творів живопису.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені наказом МОН України №40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) та «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.

Здобувач Мартиненко Андрій Анатолійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Рецензентка:

кандидатка технічних наук, доцентка,
доцентка кафедри інформаційних технологій
та комп'ютерної інженерії
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

Катерина СЕРГЄЄВА