

УДК 004.8:004.932

DOI: 10.31673/2412-9070.2025.027017

О. В. ЧЕРЕВИК, аспірант;

ORCID ID: 0009-0006-0347-7607

Н. О. ЛАЩЕВСЬКА, канд. техн. наук, доцент,

ORCID: 0000-0003-2148-115X

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОБРОБКИ ДАНИХ 3D-СКАНУВАННЯ

У статті розглядається застосування штучного інтелекту (ШІ) для обробки даних 3D-сканування як перспективного напрямку у галузі цифрових технологій. Основну увагу приділено глибокому аналізу сучасних методів обробки, таких як усунення шуму, сегментація та реконструкція 3D-об'єктів за допомогою моделей глибокого навчання. Виявлено ключові переваги інтеграції ШІ у 3D-робочі процеси, включаючи підвищення точності, автоматизацію аналізу та зменшення потреби у ручному втручанні. Проаналізовано обмеження існуючих моделей, зокрема залежність від великих обсягів анованих даних, проблеми узагальнення на реальні сценарії та високу обчислювальну складність. Запропоновано низку практичних рекомендацій щодо ефективного впровадження ШІ в проєкти 3D-сканування: від вибору моделей до побудови гібридних робочих процесів. Результати роботи становлять цінність для фахівців, що працюють у сферах промислової візуалізації, охорони здоров'я, архітектурної реконструкції та збереження культурної спадщини. Зроблено висновки щодо напрямів подальших досліджень, які можуть сприяти розробці масштабованих, стійких та універсальних моделей для практичного застосування в умовах реального світу.

Ключові слова: штучний інтелект; 3D-сканування; аналіз 3D-даних; комп'ютерні технології; глибоке навчання; машинне навчання; нейронні мережі; обробка даних.

Вступ

Впровадження 3D-сканування для обробки даних має величезний потенціал у багатьох сферах, таких як медицина, промислові процеси, архітектура та культура. Це дозволяє значно покращити точність, швидкість і ефективність обробки даних з фізичних об'єктів.

3D-сканування дозволяє створювати точні цифрові копії об'єктів для подальшого аналізу та збереження, що робить його надзвичайно корисним для наукових цілей. Використання лазерних сканерів, фотограметрії та інших методів у цьому процесі дозволяє отримати детальні дані про об'єкт через створення його цифрових моделей, які можна аналізувати і готувати для подальшої обробки за допомогою спеціального програмного забезпечення. Ці технології дозволяють дослідникам проводити віртуальні експерименти, моделювати процеси та розробляти нові рішення у різних галузях науки та технологій.

Аналіз є одним з головних етапів обробки даних, отриманих за допомогою 3D-сканування. Обробка та інтерпретація цих даних за допомогою методів штучного інтелекту (ШІ) відкриває нові перспективи для покращення і прискорення процесів медичної діагностики, виробництва, моделювання, будівництва. Щоб ефективно працювати з великими кількостями даних, штучний інтелект може автоматично витягувати необхідні дані шляхом аналізу форм і структур об'єктів. Це може значно поліпшити якість обробки даних у порівнянні з традиційними методами.

ШІ також може бути використаний в обробці 3D-сканованих даних для створення складних алгоритмів, які здатні точно і швидко розпізнавати об'єкти, прогнозувати зміни в їх структурі та прогнозувати можливі відмінності або дефекти. Наприклад, в медицині можна використовувати технології 3D-сканування за допомогою штучного інтелекту для діагностики захво-

рювань і створення унікальних медичних імплантів і протезів, які можуть значно покращити якість життя для пацієнтів. З іншого боку, 3D-сканування в будівництві та архітектурі допомагає створювати точні моделі будівель і споруд, проводити аналіз зношування будівель і розробляти проекти для реконструкції.

Розвиток технологій штучного інтелекту і 3D-сканування та їх інтеграція у промисловість і науку вже зараз допомагає досягти значних покращень у точності обробки даних і створити нові ефективні технологічні процеси. Важливо відзначити, що технології продовжують розвиватися і щороку з'являються нові методи та підходи, які покращують доступність і якість 3D-сканування для широкого кола користувачів.

Постановка проблеми

Сучасні технології 3D-сканування пропонують широкий спектр можливостей для точного моделювання об'єктів, що використовуються у багатьох сферах. Незважаючи на значні досягнення у розробці таких технологій, існують деякі проблеми, які перешкоджають їхньому широкому використанню та застосуванню у повсякденному житті. Серед них є деякі важливі аспекти, які стосуються точності та швидкості обробки даних, а також того, як методи штучного інтелекту (ШІ) були включені до процесів аналізу та інтерпретації даних у трьох вимірах.

Забезпечення високої точності при 3D-скануванні є однією з основних проблем. Для створення деталізованих і точних цифрових моделей об'єктів необхідні високотехнологічні сканери з великою роздільною здатністю, але навіть найсучасніші сканери мають обмеження. Низька роздільна здатність даних, труднощі з обробкою об'єктів у поганому освітленні або важкодоступних місцях є лише кількома прикладами таких обмежень. Крім того, використання технологій 3D-сканування у реальному часі або для масового сканування є складним через значні витрати часу та ресурсів, необхідні для отримання якісних результатів.

Ще одним важливим питанням є складність інтеграції штучного інтелекту у процеси обробки 3D даних. Завдання автоматичної інтерпретації та аналізу складних тривимірних даних залишається надзвичайно складним, незважаючи на значні досягнення в галузі машинного навчання та нейронних мереж. ШІ потребує великих обсягів навчальних даних і складних алгоритмів, здатних оброблювати різноманітні форми і структури, щоб точно класифікувати, розпізнавати та передбачати зміни об'єктів. Важливо, щоб розробка таких алгоритмів йшла в напрямку підвищення їх точності та швидкості роботи; це вимагає значних зусиль від дослідницьких і інженерних галузей. Таким чином, технології 3D-сканування та штучного інтелекту мають багато переваг, але є багато проблем, які перешкоджають їх використанню повністю. Щоб підвищити точність, швидкість і доступність цих технологій для різних галузей економіки, необхідні додаткові дослідження та розробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження, проведені останнім часом щодо використання штучного інтелекту в обробці даних 3D-сканування, показують багато досягнень і тенденцій у цій галузі. Для післяобробки даних хмари точок у тривимірному просторі з метою зменшення шуму та збільшення точності та швидкості можуть бути використані методи поглибленого навчання. Завдання, такі як класифікація об'єктів, сегментація кінцевий аналіз хмари точок, також можна вирішити за допомогою методів глибокого навчання, таких як згорткові нейронні мережі (CNN) і генеративні змагальні мережі (GAN). Такі підходи продемонстрували значний потенціал для обробки неструктурованих 3D-даних [1].

Аналіз даних хмари точок у реальному часі є одним із прикладів використання штучного інтелекту в поєднанні з технологіями лазерного 3D-сканування для покращення обробки даних, підвищення точності та автоматизації робочих процесів. Цей підхід особливо корисний у сферах, таких як машинобудування та будівництво [2]. Для вирішення проблем в обробці 3D-даних були розроблені новаторські підходи, такі як PoinTr і SnowflakeNet, що наведені

у статті [3]. Ці методи спрямовані на підвищення продуктивності та точності таких завдань, як 3D-реконструкція об'єктів.

Роботи [4,5] ретельно розглядають наявні головні тенденції в галузі використання ШІ для обробки даних 3D-сканування.

Формулювання мети статті

Ціль дослідження полягає в тому, щоб вивчити сучасні методи обробки даних 3D-сканування, а також нові моделі штучного інтелекту, які можуть покращити якість обробки даних (усунення шуму, точність сегментації та ін.), а також визначити основні проблеми та обмеження, які виникають при їх застосуванні, а також надати поради щодо впровадження штучного інтелекту у проекти, що використовують 3D-сканування.

Основна частина

Хоча штучний інтелект і глибоке навчання стали популярнішими в обробці 3D-даних, традиційні методи (ICP, Пуассона, SOR та ін.) продовжують використовуватися у промислових процесах із застосуванням 3D-сканування завдяки своїй надійності, ефективності та добре зрозумілим математичним принципам. Детерміновані результати (не потрібні дані для навчання), обчислювальна ефективність (важлива для додатків у реальному часі) і інтерпретованість (корисно в проєктуванні та виробництві) роблять традиційні підходи важливими.

Дослідження останніх років [6,7] зосереджувалися на вдосконаленні цих методів, а не на повній заміні їх. Інструменти з відкритим вихідним кодом, такі як MeshLab і PCL, продовжують бути важливими для низки процесів і є складними для заміни. З автоматизацією та ранньою інтеграцією штучного інтелекту, особливо в промислових і історичних застосуваннях, традиційні методи покращилися. Але проблеми, такі як масштабованість і обмеженість матеріалів, все ще існують, що спонукає до переходу до гібридних робочих процесів, які поєднують сучасні та традиційні методи.

Штучний інтелект, особливо глибоке навчання, значно підвищує якість даних 3D-сканування. ШІ допомагає створювати більш чіткі та корисні 3D-моделі для таких галузей, як виробництво та охорона здоров'я, вирішуючи такі проблеми, як шум, відсутні дані та класифікація точок. Підвищення точності та прискорення обробки, які є важливими для застосування на практиці, часто є результатом цих покращень. Аналіз обробки 3D-даних показує, що моделі штучного інтелекту дозволяють досягти чудових результатів при видаленні зайвої і хибної інформації із 3D-сканів; це робить їх точнішими, оскільки непотрібний шум видаляється, а також заповнює проміжки в даних. Крім того, вони можуть прискорити процес, автоматизуючи певні завдання, які раніше займали багато годин. Наприклад, вони можуть сортувати точки за відповідними групами для аналізу.

Дані 3D-сканування, які зазвичай представлені у вигляді хмар точок або сіток, отриманих з таких пристроїв, як лазерні сканери або структуровані світлові системи, є життєво важливими у багатьох сферах, від виробництва та охорони здоров'я до автономного водіння та збереження культурної спадщини. Для моделей глибокого навчання, розроблених для регулярних сіток, таких як зображення, існують проблеми через те, що хмари точок неупорядковані і мають різну щільність. Ця невідповідність додає складності при виділенні локальних ознак і аналізі границь структур при сегментації.

Збереження чітких геометричних особливостей без внесення артефактів є постійною проблемою у таких випадках, як зниження шуму. Неконтрольовані методи обробки і виправлення складних або розріджених хмар точок можуть призвести до втрати важливих деталей. З іншого боку, точкові методи шумоподавлення можуть спричинити усадку або розширення.

Методи та алгоритми видалення шуму в хмарі точок після сканування, необхідні для досягнення точності в подальшому процесі, використовуються для отримання більш чистих даних сканування. Нейронні мережі використовують фільтрацію шуму, зберігаючи при цьому базову геометрію об'єкта, що сканується. Це досягається за допомогою методів глибокого нав-

чання, таких як PointCleanNet і Score-denoise. Ці методи збільшують чіткість 3D-моделей і роблять їх більш надійними для контролю якості у виробництві та інших подібних завдань.

Відновлення відсутніх компонентів хмари точок є однією з цілей підвищення точності та повноти даних сканування. Використовуючи глибоке навчання, такі моделі, як PoinTr і SnowFlakeNet, виправляють геометрію об'єктів на основі вивчених шаблонів. Це особливо корисно в сценаріях, де обмеження або перешкоди датчика призвели до неповного сканування. Така процедура гарантує, що 3D-моделі більш точно відображають реальні об'єкти.

Підвищення частоти дискретизації у сучасних сканерах збільшує щільність хмар точок, це дозволяє отримати дані з більш високою роздільною здатністю, що може призвести до покращення візуальної якості та точності. Методи, такі як PU-Net і PU-GAN, створюють більшу щільність розріджених хмар точок за допомогою нейромереж. Це корисно для програм, які вимагають ретельної реконструкції поверхні, наприклад, віртуальної реальності або 3D-друку.

Дослідники час від часу використовують моделі, навчені на синтетичних наборах даних. Але через відмінності в характеристиках даних такі моделі часто не можуть узагальнювати сценарії реального світу. Наприклад, дослідження про покращення хмари 3D-точок вказує на те, що методи вдосконалення кінцевої поверхні об'єктів більше зосереджені на синтетичних наборах даних, а не на факторах, можливих у реальному світі, таких як оклюзія або варіація текстури. Цей розрив знижує ефективність використання моделей III у різних умовах. Продуктивність синтетичних тестів, таких як ShapeNet і ModelNet, значно відрізняється від реальних даних. Поточні оцінки часто є якісними для реальних наборів даних, наголошуючи на тому, що для точної оцінки продуктивності моделі потрібні реальні тести великого масштабу.

Створення ефективних моделей глибокого навчання вимагає високоякісних анотованих даних і їх отримання дороге коштує та займає багато часу. Наприклад, дослідження хмар 3D-точок показують, що методи, подібні SLiDR, які базуються на великих колекціях маркованих хмар точок, значною мірою залежать від сегментації великих анотованих наборів даних. Надійність і масштабованість обмежуються, коли відсутні реальні анотовані дані. У наступній таблиці підсумовано обмеження, що пов'язані з певними моделями або методами III, які використовуються для обробки даних 3D-сканування.

Обмеження, пов'язані з конкретними моделями III

Модель/ підхід	Завдання	Обмеження	Джерело
NeRFs	Реконструкція	Повільна оптимізація (1-2 дні), відсутність можливості узагальнення, складність редагування, великі потреби в даних (60-100 зображень), тимчасові артефакти.	Survey on Deep Learning 3D Reconstruction [8]
LDMs (Zero-1-to-3)	Реконструкція	Складне для обчислювання усунення шуму, неявні результати представлення при глибокому навчанні.	Survey on Deep Learning 3D Reconstruction
3D Gaussian Splatting	Реконструкція	Складне для обчислювання усунення шуму, неоднозначність неявного представлення.	Survey on Deep Learning 3D Reconstruction
Point-based Methods	Усунення шумів	Проблеми зі збереженням чітких геометричних рис, що призводять до усадки та розширень	Survey on Deep Learning 3D Reconstruction
Normal-based Methods	Усунення шумів	Складна реалізація, додаткові обчислення для узгодженості сусідства	Survey on 3D Point Cloud Segmentation [9]

3D-CNN	Сегментація	Низька продуктивність на малих, віддалених об'єктах та захаращених сценах, сильна залежність від воксельних міток	Survey on 3D Point Cloud Segmentation
RPNet	Сегментація	Обмежена гнучкість через те, що MLP містять абсолютні точки розташування	Survey on 3D Point Cloud Segmentation
SLidR	Сегментація	Значна залежність від великих анотованих наборів даних	Survey on 3D Point Cloud Segmentation

Майбутні дослідження можуть зосередитися на декількох напрямках для подолання обмежень, наведених у таблиці, а саме:

- розробка ефективних алгоритмів і легких моделей, які знижують обчислювальні вимоги без шкоди для продуктивності;
- створення моделей, які добре працюють з різними наборами даних, включаючи реальні сценарії, можливо, за допомогою адаптації домену або трансферного навчання;
- використання неконтрольованого або самоконтрольованого навчання для зменшення залежності від анотованих даних;
- створення всеосяжних реальних наборів даних для оцінки, щоб подолати розрив між синтетичними та практичними застосунками;
- розробка інтегрованих підходів за допомогою уніфікованих фреймворків, які обробляють кілька завдань (наприклад, шумоусунення, завершуюча обробка та сегментація) одночасно для підвищення ефективності та узгодженості;
- використання у хмарах точок тимчасової інформації (тимчасової обробки даних), 4D точок, що потрібні для динамічних зображень у програмах автоматичного керування та інших застосунках, що потребують динамічні сцени.

Використання технологій 3D-сканування штучного інтелекту здатне значно покращити обробку даних, точність і результати застосування у проєктах. Нижче наведено основні поради щодо ефективного впровадження ШІ у такі проєкти, із зосередженням на практичні кроки, інструменти і обґрунтування:

1. Визначте цілі проєкту, а також варіанти використання штучного інтелекту. Вкажіть, чому ви впроваджуєте ШІ. Визначте область, в якій ШІ може допомогти. Наприклад, автоматизація розпізнавання об'єктів, прискорення класифікації хмари точок, виявлення дефектів і створення спрощених моделей є прикладами таких областей. Визначте сферу застосування: визначте, де ШІ входить у робочий процес 3D-сканування: попередня обробка, аналіз даних, післяобробка або створення моделі.

2. Надайте пріоритет якості та кількості даних під час попередньої обробки та післяобробки. Високоякісне сканування: продуктивність штучного інтелекту значною мірою залежить від вхідних даних. Переконайтеся, що процес 3D-сканування дає дані, які є чистими, точними та достатньо щільними для передбачуваного завдання штучного інтелекту. Усуньте шуми, оклюзії та помилки реєстрації. Відповідні дані навчання: за допомогою контрольованого навчання можна придбати або самим створити великий, різноманітний і чітко маркований набір даних, що представляє реальні сценарії, з якими зіткнеться штучний інтелект. Упереджені чи неправильні дані навчання можуть призвести до невдалих результатів.

3. Виберіть відповідні методи штучного інтелекту (ШІ). Це може включати геометричне глибоке навчання, моделі глибокого навчання для хмар точок (наприклад, PointNet, PointNet++, DGCNN) або навіть традиційне машинне навчання, яке використовується для функцій в залежності від конкретних проблем (класифікація, сегментація, регресія, генерація). Подумайте також про гібридні підходи: іноді найкращі результати досягаються, коли ШІ поєднується з традиційними геометричними алгоритмами.

4. Створіть стратегію інтеграції та робочого процесу. Безшовна інтеграція: спроектуйте, як модуль штучного інтелекту взаємодіятиме з вашим існуючим програмним забезпеченням

для 3D-сканування, обладнанням і конвеєрами даних. Перегляньте API та формати даних, такі як хмари точок і сітки.

5. Прогнозуйте час і необхідні ресурси для обробки. Пам'ятайте, що моделі штучного інтелекту (ШІ), особливо глибокого навчання, можуть бути дуже обчислювально інтенсивними. Плануйте необхідне обладнання (графічні процесори) та час обробки для навчання та виведення (обробка офлайн або в реальному часі).

6. Визначте критерії, які повинні бути пріоритетними для оцінки продуктивності штучного інтелекту. Ці критерії можуть включати точність, відтворюваність, відгук для класифікації та виявлення, процес інтелектуальної сегментації, швидкість обробки та скорочення ручних зусиль.

7. Забезпечте ретельну перевірку моделі. Щоб забезпечити надійність і узагальнення, перевірте модель ШІ на даних навчання та різноманітних нестандартних даних сканування реального світу.

8. Почніть з невеликого обсягу і робіть ітерації. Спочатку зробіть перевірку концепції або пілотного проєкту, що зосереджений на певній керованій частині робочого процесу. Удосконаліть модель штучного інтелекту, стратегію даних і метод інтеграції на основі результатів і коментарів. Робота із штучним інтелектом часто є ітеративним процесом.

9. Забезпечте необхідний рівень експертизи і досвіду для проєкту. Для успішного впровадження потрібні спеціальні знання як у 3D-скануванні та метрології, так і в штучному інтелекті та машинному навчанні. Переконайтеся, що ваші співробітники володіють або можуть отримати доступ до цих навичок.

Якщо ви будете дотримуватись даних рекомендацій, ви зможете підвищити ефективність, точність і можливості ваших проєктів по 3D-скануванню.

Висновки

Хоча штучний інтелект дозволяє перетворити 3D-сканування з ручного процесу, який схильний до помилок, на швидкий, автоматизований та інтелектуальний конвеєр, він вимагає ретельного впровадження, щоб вирішити проблеми масштабованості та безпеки. Зменшуючи ручне втручання, штучний інтелект значно покращує функції розпізнавання, точність реконструкції та зменшення шуму у 3D-сканах. Для ефективної обробки великих наборів даних від 3D-сканування необхідні розподілені обчислення, оптимізовані нейронні мережі та хмарні/комбіновані рішення штучного інтелекту. Для моделювання розумних міст і доповненої реальності (AR/VR) штучний інтелект перетворює необроблені 3D-скани на семантично насичені моделі.

Обробка у реальному часі (наприклад, у виробництві та охороні здоров'я) стала можливою завдяки автоматичній сегментації, реєстрації та виявлення дефектів за допомогою штучного інтелекту. Нейронні мережі (GAN, NeRF, PointNet) дозволяють доповнювати відсутні дані та створювати надзвичайно точні 3D-моделі. Інтелектуальна модель гарантує відповідність у промислових і медичних застосуваннях, виявляє аномалії в даних у трьох вимірах і гарантує прогнозування структурного зносу. Подальший розвиток у таких галузях, як будівництво, археологія та біомеханіка, буде можливим завдяки автономним системам сканування із залученням штучного інтелекту та робототехніки в поєднанні з Інтернетом речей.

Що стосується подальшого дослідження використання штучного інтелекту для обробки даних 3D-сканування, можна виділити такі основні напрямки: подальший розвиток нейромереж для миттєвого видалення шуму, сегментація та реєстрація даних; створення більш точних 3D моделей; захист персональних даних у біометричних сканах і запобігання зламу безпеки ШІ-моделі. Проєктування повністю автономних систем 3D-сканування та обробки даних, а також створення високоточних 3D та 4D моделей об'єктів є основною тенденцією подальших досліджень на тему.

Список літератури

1. Laith Alzubaidi, Jinglan Zhang, Amjad J. Humaidi. Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of Big Data*, Volume 8, Article number: 53 (2023) Cite this article. <https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-021-00444-8>
2. *AI in Laser Scanning: Integrating with 3D and What's Next?* Nov 27, 2024. *Cutting-Edge Innovations in 3D Laser Scanning and LiDAR*: <https://iscano.com/laser-scanning-lidar-innovations/ai-laser-scanning-3d-integration/>
3. Ming Chen, Jinming Zhang, Jianliang Li, Xiaohai Zhang. An improved point cloud completion method based on SnowflakeNet MING. Citation information: DOI 10.1109/ACCESS.2023.3283920 https://www.researchgate.net/publication/371398705_An_improved_point_cloud_completion_method_based_on_SnowflakeNet/fulltext/64821a58b3dfd73b776dce8b/
4. *The Future is Here: 6 Trends Shaping the 3D Scanning Industry*. Digitize Designs. Digitize Designs, April 18, 2024. <https://digitizedesigns.com/the-future-is-here-6-trends-shaping-the-3d-scanning-industry/>
5. *The future of 3D Scanning: Trends to Watch for in 2025*. January 20, 2025 by Digital Scan 3D. <https://digitalscan3d.com/the-future-of-3d-scanning-trends-to-watch-for-in-2025/>
6. Abid Haleem, Mohd Javaid, Ravi Pratap Singh, Shanay Rab, Rajiv Suman, Lalit Kumar, Ibrahim Haleem Khan. Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*. Volume 3, June 2022, Pages 161-171.
7. A.A.M. Muzahid, Hua Han, Yujin Zhang, Dawei Li, Yuhe Zhang, Junaid Jamshid, Ferdous Sohel. Deep learning for 3D object recognition: A survey. *Neurocomputing*, Volume 608, 1 December 2024, 128436.
8. Yonge Bai, LikHang Wong, TszYin Twan. Survey on Fundamental Deep Learning 3D Reconstruction. *Techniques*. <https://arxiv.org/abs/2407.08137>
9. Prasoon Kumar Vinodkumar, Dogus Karabulut, Egils Avots, Cagri Ozcinar A Survey on Deep Learning Based Segmentation, Detection and Classification for 3D Point Clouds. *Entropy* 2024, 25(4), 635; <https://doi.org/10.3390/e25040635> <https://www.mdpi.com/1099-4300/25/4/635>

O. Cherevyk, N. Lashchevska

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR 3D SCANNING DATA PROCESSING

This article explores the application of artificial intelligence (AI) in the processing of 3D scanning data as a promising direction in the field of digital technologies. The study focuses on a detailed examination of contemporary methods such as noise reduction, segmentation, and reconstruction of 3D objects using deep learning models. Particular attention is paid to how AI enhances accuracy, automates complex data analysis processes, and reduces the need for manual intervention in 3D workflows.

The research highlights the advantages of integrating AI into 3D data processing pipelines, including improvements in speed, precision, and scalability. These benefits are particularly valuable in sectors such as industrial visualization, architecture, medical diagnostics, and cultural heritage preservation. At the same time, the paper discusses existing limitations of AI models—such as their reliance on large annotated datasets, difficulties in generalizing to real-world scenarios, and high computational requirements.

A number of practical recommendations are proposed for the effective integration of AI into 3D scanning projects. These include selecting appropriate models based on specific project goals, ensuring data quality and diversity, adopting hybrid workflows that combine traditional algorithms with AI-based methods, and building scalable systems that are adaptable to dynamic environments. The

use of both classical algorithms (e.g., Poisson reconstruction, ICP, SOR) and modern AI techniques demonstrates the need for a balanced, context-aware approach to 3D data processing.

The findings of this study offer valuable insights for researchers and practitioners aiming to optimize the accuracy and efficiency of 3D scanning technologies. The article concludes with an outlook on future research directions, such as the development of lightweight, domain-adaptive models, self-supervised learning approaches, and comprehensive real-world datasets. These efforts are essential for overcoming current challenges and creating robust, generalizable AI systems capable of reliable performance in diverse application areas..

Keywords: artificial intelligence; 3D scanning; 3D data analysis; computer technologies; deep learning; machine learning; neural networks; data processing.
