

УДК 004.9/069

Т. А. Липак

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЦИФРОВОМУ ЗБЕРЕЖЕННІ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

Т. Lypak

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN THE DIGITAL PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE

Оцифровані артефакти відіграють важливу роль у збереженні матеріальної культури, включно з невеликими об'єктами, величною архітектурою та цілими об'єктами культурної спадщини. Кінцевою метою 3D-оцифрування культурної спадщини є створення точних, детальних і доступних цифрових двійників об'єктів, що становлять історичну та культурну цінність. Використання 3D-вимірювань і цифрової реконструкції у сфері культурної спадщини набуває все більшого значення в останні роки завдяки технологічному прогресу і більшій доступності технологій, які дають задовільні результати.

Дослідники виділяють ряд переваг 3D-оцифрування культурної спадщини:

- Можливість зберігати та захищати фізичні об'єкти та місця – цифрові двійники можуть функціонувати як резервна копія при пошкодженні чи знищенні оригінального об'єкта, їх можна використовувати для вивчення об'єкта без ризику його пошкодження.
- 3D-оцифрування може надати цінну інформацію для консервації та реставрації, дозволяючи експертам проаналізувати структуру і стан об'єкта та виявити потенційні проблеми, які можуть виникнути в майбутньому.
- Можливість надання доступу для ширшої аудиторії – цифровими двійниками можна ділитися онлайн або через віртуальну реальність, що може бути особливо цінним для об'єктів і місць, які важкодоступні або розташовані у віддалених районах.
- Профілактичне обслуговування фізичних активів – постійно відстежуючи дані з датчиків, встановлених на об'єкті, цифровий двійник може виявити будь-які аномалії і попередити обслуговуючий персонал до того, як відбудеться значне пошкодження, що допоможе запобігти дорогим простоям і ремонтам [1].

У сфері культурної спадщини для отримання, розробки та зберігання 3D-моделей використовуються різні методи, в тому числі з елементами штучного інтелекту, зокрема:

- *Структура із руху* (Structure-from-Motion, SfM) - це популярна методика 3D-реконструкції, яка відновлює тривимірний об'єм об'єкта з серії зображень, що показують різні ракурси і записані однією камерою. Методика включає етапи переміщення камери навколо об'єкта, отримання декількох зображень, ідентифікації особливостей, зіставлення та присвоєння позиції в тривимірному просторі. Час обробки та роздільна здатність реконструйованого об'єму пропорційні кількості різних знімків.

- *Структуроване світлове сканування* - техніка 3D-реконструкції, яка використовує проектор і камеру для зйомки серії візерунків, що проектуються на об'єкт під різними кутами. Візерунки створюють тіні на поверхні об'єкта, які фіксуються камерою і використовуються для реконструкції 3D-моделі. До переваг належать висока точність, можливість захоплення інформації про колір та висока швидкість сканування; недоліки – чутливість до навколишнього світла, обмежений діапазон, складність захоплення дрібних деталей, висока вартість обладнання.

- *Лазерне сканування* - популярний метод цифрового 3D-документування та збереження об'єктів культурної спадщини, що передбачає використання лазерного променя, який спрямовується на об'єкт, фіксує геометрію і текстуру поверхні,

вимірюючи час, за який лазер відбивається назад до сканера. Отримані дані хмари точок можна використовувати для створення 3D-моделей високої роздільної здатності об'єктів, будівель і цілих об'єктів спадщини. Лазерне сканування може зафіксувати складні форми і деталі, які важко отримати іншими методами. Однак може бути дорогим, вимагає технічних знань для роботи і може не підходити для об'єктів, чутливих до світла чи тепла.

- *Lidar* (LiDAR, Light Detection and Ranging) - це технологія дистанційного зондування, яка широко використовується у сфері культурної спадщини. LiDAR посилає імпульси світла на поверхню об'єкта і вимірює час, необхідний для повернення відбитого сигналу, що дозволяє створювати 3D хмари точок об'єкта з високою роздільною здатністю. LiDAR може швидко захоплювати великі площі і є особливо корисним для відкритих археологічних розкопок і великих споруд. Він також здатний захоплювати деталі важкодоступних ділянок, таких як внутрішні приміщення печер або дахи будівель. Однак LiDAR може бути дорогим і вимагає спеціалізованого обладнання, що робить його менш доступним, ніж інші методи 3D-сканування.

Для 3D-оцифрування культурної спадщини використовуються також фотограмметрія, багаторакурсне стерео (MVS) та камери, що знімають під час польоту (Time-of-Flight, ToF).

Група авторів [2] представили нову методологію, розроблену для створення 3D-моделей археологічних артефактів, яка зменшує час і зусилля, необхідні оператору. Підхід використовує просту систему технічного зору, встановлену на роботизованому маніпуляторі, який слідує заздалегідь визначеною траєкторією навколо об'єкта, що реконструюється. Роботизована система фіксує різні кути огляду об'єкта і присвоює 3D-координати, що відповідають позі робота, дозволяючи йому коригувати траєкторію, щоб пристосувати її до об'єктів різних форм і розмірів. Кутовий зсув між послідовними знімками також може бути точно налаштований в залежності від бажаної кінцевої роздільної здатності. Такий гнучкий підхід підходить для різних розмірів об'єктів, текстур і рівнів деталізації, що робить його ідеальним як для великих об'єктів з низькою деталізацією, так і для малих об'єктів з високою деталізацією. Записані зображення і призначені координати подаються в обмежену реалізацію алгоритму "структура з руху" (SfM), який використовує метод масштабно-інваріантного перетворення ознак (SIFT) для виявлення ключових точок на кожному зображенні. Використовуючи апіорні знання про координати та алгоритм SIFT, можна забезпечити низький час обробки при збереженні високої точності остаточної реконструкції.

Використання такої роботизованої системи для отримання зображень у заданому темпі забезпечує високу повторюваність і узгодженість різних 3D-реконструкцій, виключаючи помилки оператора в робочому процесі. Такий підхід дозволяє не тільки порівнювати схожі об'єкти, але й відстежувати структурні зміни одного й того ж об'єкта з часом. Запропонована методологія забезпечує значне покращення порівняно з методами фотограмметрії за рахунок скорочення часу та зусиль, необхідних для створення 3D-моделей, при збереженні високого рівня точності та повторюваності [2].

Загалом, цифрові двійники мають потенціал революціонізувати управління культурною спадщиною і стати справжніми "моделями знань". Оскільки технології продовжують розвиватися і ставати більш досконалыми, можна очікувати на ще більш інноваційні застосування в майбутньому.

Література

1. Gabellone, F. 2022. Digital Twin: a new perspective for cultural heritage management and fruition. *Acta IMEKO* 11(1).
2. Marchello, G., Giovanelli, R., Fontana, E., Cannella, F., & Traviglia, A. (2023). Cultural heritage digital preservation through ai-driven robotics. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 995-1000.