

РОЗДІЛ 2

СВІТОВИЙ ДОСВІД І ЄВРОПЕЙСЬКА ПРАКТИКА ІНТЕГРАЦІЇ ГЕОГРАФІЧНИХ, ТУРИЗМОЛОГІЧНИХ, ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ В СФЕРІ НАУК ПРО ЗЕМЛЮ З ФУНДАМЕНТАЛЬНИМИ НАУКОВИМИ НАПРЯМКАМИ

АЛГОРИТМИ СТВОРЕННЯ 3D МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ УКРАЇНИ ТА ЇХ АПРОБАЦІЯ НА ПРИКЛАДАХ ЦІННИХ АРХІТЕКТУРНИХ СПОРУД КИЄВА

Іван КОВАЛЬЧУК, Тарас ЄВСЮКОВ, Олексій КУЦЕНКО

Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна

Abstract. During the period of martial law in Ukraine, the problem of preserving historical and cultural heritage, which is undergoing destruction, has become acute. To record the condition of objects and create prerequisites for their future restoration, universal 3D modeling algorithms have been developed using various geodetic technologies: laser scanning (terrestrial and mobile SLAM), UAV (unmanned aerial vehicle) aerial scanning, and LiDAR in smartphones. The proposed methodology includes the stages of defining goals, selecting objects and optimal scanning methods, instrumental support, data collection and processing, and the creation and editing of 3D models. An algorithmized scheme for surveying valuable architectural objects using various geodetic instruments to create their 3D models has been substantiated. The effectiveness of the algorithms has been verified using the examples of Buildings No. 1, 2, and 6 of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Building No. 1 of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», and the Central House of Officers of the Armed Forces of Ukraine.

Key words: 3D modeling, laser scanning, SLAM scanning, historical and cultural heritage.

Актуальність теми. У період воєнного стану, зумовленого збройною агресією росії, практично щодня під час бомбардування рашистами українських міст і сіл руйнується багато об'єктів, які мають історичну, архітектурну, загальнокультурну цінність. Для збереження пам'яті про ці об'єкти, а також для створення інформаційно-аналітичних передумов для їх відновлення чи реконструкції частково пошкоджених необхідно мати їх 3D моделі. Ці моделі можна створювати, застосовуючи методи їх лазерного сканування з використанням широкого спектру геодезичних інструментів – електронних тахеометрів, лазерних сканерів, лідарів у смартфоні, БПЛА. В Україні і зарубіжжі існує певний досвід виконання робіт цієї тематики [1-11]. Базуючись на наших дослідженнях [8, 9, 11], для вирішення завдання – сканування цінних об'єктів історико-культурної спадщини та створення їхніх та створення 3D моделей – ми розробили універсальні алгоритми, які можна буде використовувати при виконанні подібних робіт в різних регіонах України й інших країн з урахуванням як специфіки досліджуваних об'єктів, так і наявного дослідницького інструментарію – лазерних сканерів різних типів, електронних тахеометрів, безпілотних літаючих апаратів (БПЛА), LIDAR-сканерів або їх поєднань (комплексування).

Результати досліджень та їх обговорення. В запропонованій схемі алгоритму досліджень, спрямованих на сканування досліджуваних цінних архітектурних об'єктів та створення їх 3D моделей, задіяно чотири види операторів прийняття рішень (рис. 1):

1. Оператор формулювання мети і завдань дослідження (1);
2. Оператори виконання дослідницьких кроків (2-11);
3. Оператори прийняття рішень про напрямок продовження досліджень (А, В, С, D);

4. Оператори завершення дослідження за обраним напрямком та отримання кінцевого результату (12, 12', 12'', 12''') – 3D моделі історико-архітектурного об'єкта.

Повний спектр дослідницьких операцій за кожним напрямком дослідження нараховує 12 кроків. Перші 5 кроків є спільними для кожного з виділених чотирьох напрямків досліджень (рис.):

- 1 – формулювання мети і завдань дослідження;
- 2 – вибір об'єкта(ів) детального дослідження для апробації різних методик на його (їхніх) прикладі(ах);
- 3 – аналіз існуючих методів створення 3D моделей цінних історико-архітектурних об'єктів (ІАО);
- 4 – вибір оптимальних (найкращих) методів створення 3D моделей цінних історико-архітектурних об'єктів (ІАО);
- 5 – вибір варіантів технічного (інструментального) забезпечення виконання знімальних робіт за кожним з чотирьох напрямків досліджень.

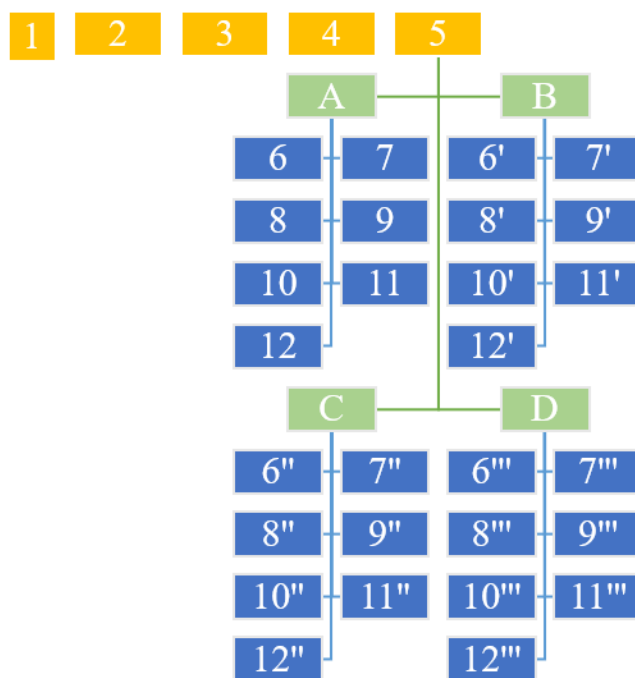


Рис. 1. Алгоритм створення 3D моделей об'єктів історико- архітектурної спадщини

На наступному етапі у гру вступають Оператори прийняття рішень про вид продовження досліджень (A...D).

Оператор А передбачає, що дослідження виконуватиметься з використанням БПЛА і включатимуть такі кроки (рис. 1):

- 6 – вибір типу БПЛА та програмного забезпечення для виконання знімальних робіт;
- 7 – виконання знімальних робіт;
- 8 – вибір програмного забезпечення для опрацювання матеріалів знімання;
- 9 – опрацювання матеріалів (результатів) знімальних робіт з використанням відповідного програмного забезпечення;
- 10 – створення 3D моделі досліджуваного об'єкта;
- 11 – редагування, коректура 3D моделі;
- 12 – отримання кінцевої продукції – авторської 3D моделі об'єкта дослідження (історико-архітектурної пам'ятки), побудованої з використанням БПЛА.

При виборі напрямку В дослідження проводитимуться з використанням ручного лазерного сканера AlphaGeo SLAMR100 і включатимуть такі операції (рис. 1):

- 6' – вибір типу лазерного сканера для проведення знімальних робіт з урахуванням

необхідної точності і складності досліджуваного об'єкта;

7' – виконання знімальних робіт;

8' – вибір програмного забезпечення для опрацювання даних знімання з допомогою обраного типу лазерного сканера;

9' – опрацювання результатів (даних) знімальних робіт в обраному програмному забезпеченні;

10' – створення 3D моделі досліджуваного історико-архітектурного об'єкта;

11' – редагування, коректура створеної 3D моделі досліджуваного об'єкта – історико-архітектурної пам'ятки;

12' – отримання кінцевої продукції – 3D моделі історико-архітектурної пам'ятки.

При виборі третього напрямку досліджень (оператор С) дослідження проводяться методами поєднаного використання БПЛА і лазерного 3D сканера. Необхідність застосування цієї технології виникає у випадку багатоповерховості історико-архітектурної пам'ятки і неможливості зйомки її даху лазерним сканером. В цьому випадку знімальні роботи міститимуть наступні кроки:

6" – вибір певного типу БПЛА та лазерного сканера для поєднаного їх застосування при зніманні об'єкта історико-культурної (архітектурної) спадщини;

7" – виконання знімальних робіт із застосуванням 3D сканера та БПЛА;

8" – вибір програмного забезпечення для зйомки та опрацювання даних знімання, отриманих з допомогою БПЛА і лазерного 3D сканера;

9" – опрацювання результатів знімальних робіт, отриманих при поєднаному застосуванні БПЛА та лазерного 3D сканера;

10" – створення 3D моделі досліджуваного історико-архітектурного об'єкта (пам'ятки архітектури);

11" – редагування, коректура створеної 3D моделі досліджуваного історико-архітектурного об'єкта (пам'ятки архітектури);

12" – отримання кінцевої наукової продукції – 3D моделі досліджуваної пам'ятки архітектури.

При виборі четвертого напрямку (оператор D, застосовується при необхідності зйомки музейних експозицій в середині будівлі) дослідження проводяться методом сканування з допомогою LIDAR-сканера, вмонтованого у смартфон. В цьому випадку вони включатимуть наступні кроки:

6''' – вибір типу апарата з урахуванням необхідної точності і складності досліджуваного об'єкта для проведення знімальних робіт;

7''' – виконання знімальних робіт із застосуванням обраного апарата - LIDAR-сканера, вмонтованого у смартфон;

8''' – вибір програмного забезпечення для опрацювання даних знімання, отриманих з допомогою LIDAR-сканера, вмонтованого у смартфон;

9''' – опрацювання результатів знімальних робіт, отриманих з використанням LIDAR-сканера, вмонтованого у смартфон;

10''' – створення 3D моделі досліджуваного історико-архітектурного об'єкта (музею, розташованого в середині пам'ятки архітектури);

11''' – редагування, коректура створеної 3D моделі досліджуваного історико-архітектурного об'єкта (музею в середині пам'ятки архітектури);

12''' – отримання кінцевої наукової продукції - 3D моделі досліджуваної пам'ятки архітектури чи окремих її елементів (наприклад музею).

Використання у дослідницькому процесі охарактеризованого алгоритму дозволить вирішувати поставлене завдання – створення 3D моделей об'єктів історико-культурної, історико-архітектурної, мистецької, науково-музейної спадщини України з урахуванням їхніх рис, властивостей, окремих деталей, а також наявності дослідницького інструментарію та фахівців, здатних виконувати знімальні роботи й опрацьовувати отриману у ході зйомок

цифрову інформацію в тому чи іншому програмному забезпеченні та створювати якісні 3D моделі пам'яток історії, культури, архітектури, музеїв і пам'ятників.

Алгоритм виконання робіт, спрямованих на створення 3D моделей історико-культурних об'єктів за допомогою сканера SLAM R100 можна також подати в наступному (загальнішому) вигляді:

1. Підготовка геодезичного обладнання до знімальної роботи:

1.1 Перевірка обладнання:

- переконайтеся, що сканер SLAM R100 у справному стані, без пошкоджень;
 - перевірте заряд акумулятора. Повністю зарядіть пристрій перед виїздом на досліджуваний об'єкт;
 - підготуйте необхідні аксесуари: підставку для прив'язки, камеру Insta 360.

1.2 Огляд об'єкта сканування:

- визначте ключові точки для сканування історико-архітектурного об'єкта;
 - закладіть опорні точки для прив'язки сканера до системи координат. Відстань між опорними точками повинна становити 50-100 м;
- сплануйте маршрут сканування, при цьому уникайте рухомих об'єктів, скляних елементів, дзеркал.

1.3 Налаштування програмного забезпечення:

- відкрийте програму для роботи зі сканером (LixelGo) на робочому контролері;
- налаштуйте з'єднання зі сканером.

2. Процес сканування. Він включає два види дій:

2.1 Калібрування:

- розмістіть сканер на плоскій поверхні серед великої кількості відбивних поверхонь (будівлі, дерева, інші природні об'єкти);
- запустіть процес сканування, дочекайтеся ініціалізації сканера.

2.2 Виконання сканування:

- утримуйте сканер на оптимальній відстані від об'єкта (згідно з інструкцією);
- почніть сканування, поступово пересуваючись навколо об'єкта. Забезпечте плавні рухи зі сканером в руках для отримання точних даних;
- виконуйте прив'язку сканера до системи координат на попередньо закладених опорних точках;
- виконуйте сканування до 20 хв, щоб забезпечити високу точність збору даних; якщо об'єкт складний, то весь процес розбиваємо на декілька сесій сканування;
- важливо замкнути хід сканування на точці початку сканування.

3. Після завершення сканування виконуються наступні операції:

3.1 Збереження і перевірка даних:

- збережіть отримані дані сканування на запам'ятовуючий пристрій.

Якщо потрібно, виконайте додаткове сканування для заповнення виявлених прогалів та отримання додаткової інформації про окремі архітектурні елементи засканованої будівлі.

3.2 Експорт даних:

- експортуємо файли зі сканера, камери Insta 360, яка використовувалась для кольоризації;
- готуємо файли для опрацювання: за допомогою програмного забезпечення Insta 360 Studio конвертуємо відео з камери в необхідний формат – MP4. Готуємо файл з опорними точками, які будуть використовуватись для прив'язки хмари точок до системи координат;
- запускаємо програмне забезпечення для постопрацювання даних сканування - LixelStudio;
- завантажуюмо вихідні дані в LixelStudio;
- запускаємо процес опрацювання вихідних даних;
- отримуємо хмару точок: оптимізовану, прив'язану до системи координат, очищену від рухомих об'єктів, кольоризовану (за необхідності).

Даний алгоритм роботи зі сканером та опрацюванням результатів знімання застосовується лише для сканерів компанії «XDRIDS», «AlphaGeo». При задіяння інших видів сканерів можуть використовувати дещо відмінні методи знімання й етапи опрацювання отриманих даних.

За охарактеризованими алгоритмами нами здійснено сканування таких пам'яток архітектури: навчальні корпуси Національного університету біоресурсів і природокористування України № 1, 2, 6; корпус № 1 Національного університету «КПІ імені Ігоря Сікорського»; Центральний будинок офіцерів Збройних сил України. За результатами сканування створюються 3D моделі досліджуваних архітектурних пам'яток України.

Висновки. 1. Запропоновані алгоритми виконання знімальних робіт, спрямованих на створення 3D моделей цінних архітектурних пам'яток, опрацювання результатів зйомки та їх відображення дають можливість зберегти об'ємну інформацію про ці пам'ятки і в разі їх руйнування чи пошкодження виступатимуть основою для розробки проєктів відтворення чи реконструкції архітектурних пам'яток.

2. Використання різних технологій зйомки, передбачене цим алгоритмом, дозволяє оптимально вирішувати як науково-практичні, так і економічні (зниження вартості знімальних робіт) завдання при створенні 3D моделей цінних історико-архітектурних об'єктів.

Список використаних джерел:

1. Дослідження точності визначення просторового положення об'єктів методом slam сканування. / Ковтун В. та ін.. Геофорум-2024:зб. тез міжнар. наук.-техн. конф., м. Львів, 10-12 квітня 2024 р. Львів-Брюховичі, 2024. С. 27–29.
2. Коцюбівська Катерина, Баранський Степан (2020). 3D-моделювання при відновленні історико-культурних цінностей. Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері, 3(1), 59–68. <https://doi.org/10.31866/2617-796x.3.1.2020.206109>
3. Місик С.О., Смолій К.Б., Методика виконання наземного лазерного сканування пам'яток архітектури, URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/51990/1/%D0%9C%D1%96%D1%81%D0%B8%D0%BA.pdf>
4. Романюк О.Н., Чехмestук Р.Ю., Романюк О.В. Тривимірне моделювання в архітектурно-містобудівній галузі, URL: <http://repository.ukd.edu.ua:8080/bitstream/handle/123456789/612/%D0%97%D0%91%D0%86%D0%A0%D0%9D%D0%98%D0%9A%20%D0%A3%D0%9A%D0%94.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=200>.
5. Спадщина Львова у 3D. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.uois.lviv.ua/spadshchyna-u-3d/>.
6. Товбич, В., & Попович, Є. (2023). Засоби та методи 3-D сканування для створення фантомних моделей архітектурних об'єктів. Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування, (67), 372–381. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.67.372-381>
7. 3D пам'ятки: технологія створення цифрових версій об'єктів культури. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://mcsc.gov.ua/news/3d-pamyatky-tehnologiya-stvorenniya-cyfyfrovyyh-versij-obyektiv-kultury/>.
8. Ievsiukov T., Chetverikov B., Openko I., Kovalchuk I., Shevchenko O., Stepchuk Ya., Tykhenko R., Makarov O. Topographic and geodetic support for the development of the GIS register of polish burials – case study on baikove cemetery in Kyiv. Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering, Vol. XI, 2022, pp. 398-405.
9. I.P. Kovalchuk, V.O. Yukhimiuk, V.A. Bogdanets. Methodology and results of 3D creation models of historical and cultural objects using a smartphone equipped with a LiDAR scanner. Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. Науково-виробничий журнал. № 4, 2024. Р. 90-98. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2024.04.08>
10. Review of mobile mapping and surveying technologies / Puente I., González-Jorge H., Martínez-Sánchez J., Arias P. Measurement, 2013. 46.7. p. 2127-2145.
11. Shevchenko O., Openko I., Tykhenko R., Stepchuk Y. Comparative analysis of geodetic surveys for building facad: laser scanning, total station surveying and smartphone lidar. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2023», Oct 2023, Vol. 2023, p. 1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510102>