

РЕСТАВРАЦИОННОЕ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ФАСАДНОГО ДЕКОРА ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ

Ю. А. Дорошенко¹, В. О. Нецадим²

Национальный авиационный университет

Киев, Украина

E-mail: dua159@ukr.net¹

E-mail: architector_vn@ukr.net²

В статье представлены результаты исследования компьютерной технологии реставрации памятников архитектуры, а именно процесс получения точечной информации для построения 3D-модели элемента фасадного декора. Разработан алгоритм для выявления и устранения «затененных» участков отсканированной рельефной поверхности. Точность сканирования и определение предельно допустимого диапазона сканирования исследованы на примере сферы. Реставрационное воспроизведение элементов фасадного декора по его модели требует достаточно высокой точности, чем обуславливаются требования к первичной геометрической информации (облако точек). Такую информацию получают в результате итерационного лазерного сканирования воспроизводимой рельефной поверхности с определенных точек по специальному алгоритму, который задает траекторию перемещения лазерного луча и режим фиксации точек.

Ключевые слова: фасадный декор, цифровая модель, облако точек, рельефная поверхность, моделирование, лазерное сканирование.

Актуальность темы публикации

Потребность в реставрации объектов архитектурного наследия нынче приобретает все большую актуальность. А процесс реставрации является неотъемлемой частью практически всех действий по сохранению архитектурного наследия. В эпоху ускоренного научно-технического прогресса появляются и внедряются в практику новые методы, средства и технологии реставрации, способствующие более качественному и быстрому воспроизведению памятников архитектуры или же их отдельных фрагментов. В последнее время для реализации такого рода задач актуализируется использование современных компьютерных технологий и лазерных средств. Эти технологии пока недостаточно развиты и поэтому актуализируется потребность в их разработке, экспериментальной апробации и детальном исследовании их возможностей для разработки инновационных работоспособных технологий. В частности, на основе математических методов и алгоритмов получения качественной начальной информации о рельефной поверхности определенного элемента фасадного декора с последующим ее использованием для моделирования в составе реставрационных работ.

Разрушение элементов фасадного декора, в частности лепнины, чаще всего происходит в верхней части фасада на аттике, карнизе, фризе [5, с.130]. Такие разрушения обычно вызваны атмосферными осадками или же являются результатом физического износа поверхности фасада здания.

В соответствии с современными реалиями актуализируется потребность в разработке адаптированного к решаемым задачам «комплексного метода реставрации» на основе оригинального математического аппарата, технологии и средства лазерного сканирования.

Обработка материалов лазерного сканирования (облака точек) и фотосъемка (снимок) рельефной поверхности фасадного декора выполняются отдельно. В работе [3] подробно описаны методы измерения линейных величин, используемых в наземном лазерном сканировании. В работе [17] исследована точность лазерного сканирования при выполнении архитектурных работ. А в [17, 1] подробно исследованы фотограмметрические методы моделирования фасада дома.

Цель публикации – презентация укрупненной комплексной автоматизированной технологии реставрационного воспроизведения элементов фасадного декора памятников архитектуры на основе данных лазерного сканирования.

Основные результаты исследования

Реставрация фрагментов фасадного декора относится к фрагментной реставрации. Во время такой реставрации на фасаде здания выделяется конкретный элемент фасадного

декора и для него разрабатывается сценарий (обычно оригинальный) построения 3D-модели, которая с заданной точностью воспроизводит поверхность выбранного элемента фасадного декора. Для того чтобы построить такую 3D-модель, нужно иметь качественную (прежде всего, достоверную и достаточную) начальную информацию о рельефной поверхности – облако точек (рис. 1).

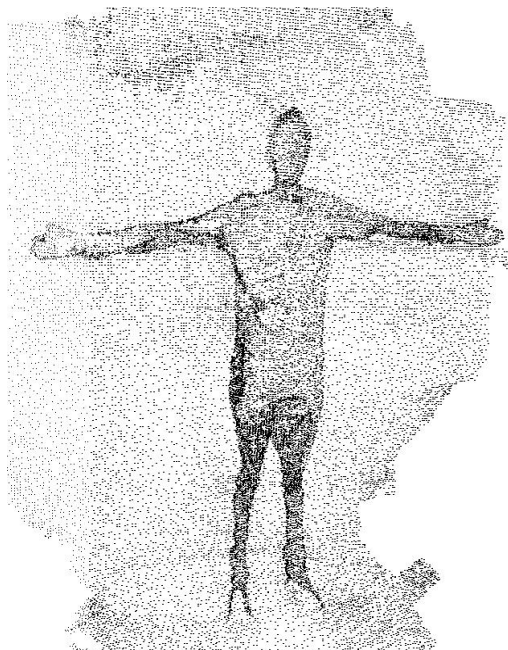


Рисунок 1 – Облако точек – результат лазерного сканирования поверхности объекта

В соответствии с этим наиболее перспективным является использование бесконтактных лазерных 3D-сканеров.

Результатом сканирования является облако точек в трехмерном пространстве, которое описывает поверхность объекта сканирования с заданной точностью и в определенной локальной системе координат. Вместе с тем после сканирования появляются так называемые «затененные зоны», где "теряется" луч лазера и результаты сканирования (точки) неоднозначны.

В связи с появлением таких участков, границы которых определяются резким увеличением расстояния между соседними точками, влекут за собой локальное изменение (увеличение) плотности получаемого точечного массива. Возникает необходимость в изменении положения лазера и его ориентации для дополнительного сканирования поверхности «затененных зон». Если таких перестановок несколько, то в результате выстраивается итерационный сценарий сканирования с последующим контрольным моделированием с опорой на дополнительные сканирования. Таким образом, в результате изменения позиций сканирования удастся устранить недостатки облака точек (рис. 2).

Рассмотрим процесс искажения результатов сканирования на простом модельном геометрическом объекте – на сфере. Любое сечение сферы плоскостью является окружностью. Расположим 3D-сканер на расстоянии 10 метров от сферы и направим его луч к центру сферы. Диаметр сферы – 10 метров. На рис. 3 показано, что на сканированной поверхности сферы образуется определенная граничная линия сканирования с заданной точностью. При использовании заданных выше параметров телесный угол сканирования и охвата крайних точек сферы на граничной линии равняется 38,94 градусов. Когда лазерный луч смещается от центра сферы на фиксированный угол, то погрешность сканирования увеличивается не пропорционально. Когда погрешность сканирования становится критично большой, то точность полученной информации сканирования существенно снижается, чем вызывается необходимость в перемещении сканера в новую точку. Каждое такое перемещение фиксируется на специальной карте (плане).

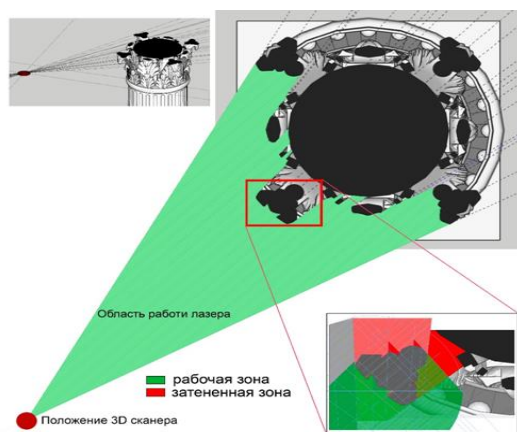


Рисунок 2 – Рабочая область лазерного сканера

После формирования дополнительных облаков точек, полученных с разных позиций расположения сканера, их необходимо интегрировать к основному облаку (первичное сканирование), образовав таким образом единую точечную модель. При этом для корректного объединения облаков точек (массивов координат точек) на сканированную модель необходимо нанести специальные метки-маркеры. Не менее 3-х для каждого отдельного уточняющего сканирования. Эти маркеры обеспечат необходимую точность «сшивания» облаков точек и определенным образом облегчат процесс интеграции точечных массивов.

Наглядно продемонстрируем процесс образования "теневых" зон на модельном объекте. Для этого смоделируем абстрактный рельеф в виде 3D-лабиринта (рисунки 4 и 5). Лабиринт образуется методом разновысотного выдавливания полосы постоянной ширины, в результате чего выстраивается своеобразная зубчатая стена с верхним ограничивающим профилем в виде ломаной или гладкой кривой линии. Полученный лабиринт рассматривается как своеобразный имитатор рельефа.

Для выявления "теневых" зон лазерный сканер изначально размещается над серединой плоскости лабиринта и производится строчное прямоугольное сканирование лабиринта как рельефной поверхности. В результате такого сканирования визуализируются затененные участки поверхности сканирования (рисунки 4 и 5). Аналогично тому, если бы в точке, где находится сканер, разместить источник света (лампочку) и посмотреть, где появляется тень от лабиринта. Визуализация метода выявления "затененных" зон сканируемой рельефной поверхности лучами лазерного сканера.

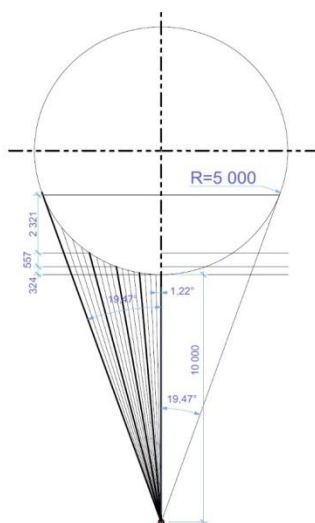


Рисунок 3 – Анализ точности сканирование модельного объекта – сферы

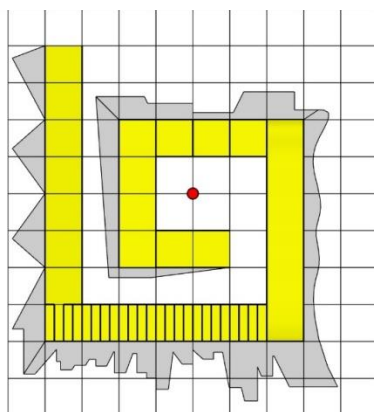


Рисунок 4 – Изображение модельного лабиринта в плане

"Теневые" зоны сканирования делают невидимыми для сканера участки рельефной поверхности и указывают места, где необходимо провести дополнительное сканирование с выбором оптимальной точки для описания рельефа утраченной при общем сканировании зоны. В результате отдельного сканирования таких участков рельефной поверхности формируются дополнительные облака точек. Они уточняют рельеф в недоступных для начальной позиции сканера местах. И этими облаками точек необходимо дополнить начальное облако, разместив их в соответствующих местах облака.

Если начальное облако точек с математических позиций представляет собой прямоугольную матрицу, где каждый ее элемент является тричисловым объектом, то тот фрагмент матрицы, что соответствует "теневой" зоне сканированной рельефной поверхности, замещается матрицей соответствующего облака точек. Для корректного замещения фрагментов матрицы размерность замещаемого и замещающего матричных компонентов должны быть одинаковыми. Кроме этого, для правильного "сшивания-внедрения" двух облаков точек на поверхности сканирования выделяется тройка точек, которые принимаются реперами интеграции. Этим обеспечивается точное вписывание уточняющего массива точек в основной, базовый массив. В результате образуется интегрированная фрагментированная матрица, объединяющая точки со всех разных сканирований и надлежащим образом задающая рельефную поверхность.

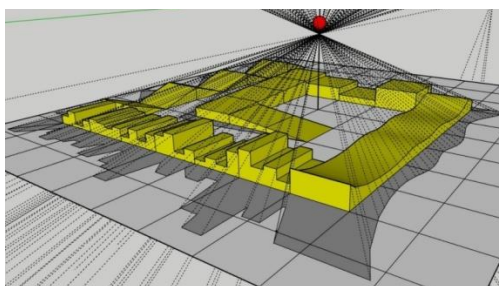


Рисунок 5 – Моделирование лучей сканера и процесса получения "теневых" зон в модельном объекте – лабиринте

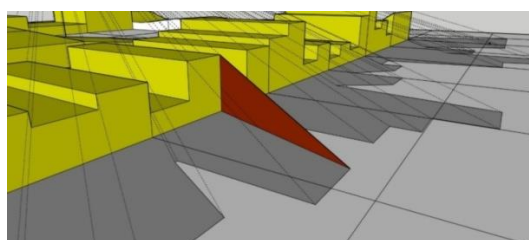


Рисунок 6 – Визуализация метода выявления "затененных" зон лучами лазерного сканера

Аналогічним образом результуюча матриця сканування – облако точок – може локально доповнятися облаками точок в місцях з різким зміною кривизни поверхності. Оскільки в таких місцях для забезпечення високої точності моделювання (восстановлення) вихідної поверхності необхідно збільшувати щільність розміщення точок сканування. В результаті утворюється інтегрована різнофрагментна матриця нерівномірної структури з різною щільністю розміщення в ній елементів.

Задана точечним каркасом (облаком точок) рельєфна поверхність моделюється методом триангуляції, де кожна трійка близьколежачих точок утворює плоский елемент поверхності – трикутник. Очевидно, що розміри таких трикутників будуть різними для різних частин поверхності і фрагментів матриці, в залежності від щільності розміщення точок сканування.

Висновки

Комп'ютерне моделювання на основі облака точок, отриманих в процесі лазерного сканування, дозволяє здійснювати і оптимізувати трудомісткі процеси реставрації і відновлюючого моделювання пошкоджених фрагментів декоративної отделки фасадів пам'яток архітектури. Оцінку якості побудованої цифрової моделі здійснюють на основі аналізу виготовленого елемента фасадного декору, ступені його відповідності його прототипу. При цьому для виготовлення елементів фасадного декору на основі їх цифрових моделей можуть використовуватися 3D-принтери або фрезерні станки з ЧПУ.

В цій статті описані ключові аспекти лазерного сканування рельєфної поверхності елементів фасадного декору пам'яток архітектури з метою їх комп'ютерного моделювання і наступного виготовлення. Продовженням цього дослідження буде розробка математичного апарату ітераційного сканування в комбінації з комп'ютерним моделюванням. Передбачається, що в відповідності з результатами оцінки якості моделі і виробу можуть вноситися відповідні корективи в процес сканування з наступним моделюванням. В результаті цього може бути сформований ітераційний комплексний алгоритм уточнюючого моделювання і лазерного сканування. Його корисність і необхідність застосування в реставраційній архітектурі очевидні.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глотов, В. Аналіз методів створення фронтальних планів лазерним наземним скануванням та цифровим зніманням / В. Глотов, Х. Марусаж // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2013. – № 78. – С. 30–37.
2. Гордюк, І. В. Інноваційні технології створення макетів в архітектурному проектуванні / І. В. Гордюк, О. А. Костюченко, О. А. Хлюпин // Science and society. Proceedings of the 12th International conference. Accent Graphics Communications & Publishing. Hamilton, Canada. 2019. Рр. 12–17 – С. 422–429.
3. Гордюк, І. В., Композиційні матеріали для 3D принтера / Гордюк І. В. // Архітектура та Екологія: Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 12–14 листопада 2019 року). – К. : НАУ, 2019. – С.45–48.
4. Казанцева, Т. Аттік та антаблемент у львівській сецесії / Т. Казанцева / Вісник НУ «Львівська політехніка» «Архітектура» «Ландшафт дахів історичного центру міста: проблеми збереження і регенерації». – Львів, 2011. – № 716. – С. 128–134.
5. Катусков, В. О. Співвідношення між очікуваною точністю наземного лазерного сканування та вимогами до точності виконання інженерно-геодезичних робіт / В. О. Катусков, Р. В. Шульц, Б. Р. Сосса // Містобудування та територіальне планування. – 2012. – № 44. – С. 238–248.
6. Наземное лазерное сканирование: монография / В. А. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 259 с.
7. Нецадим, В. О. Методика розробки архітектурних макетів в будівельній сфері на прикладі макету адміністративних будівель Софії, Болгарія / В. О. Нецадим, І. В. Гордюк // Сучасні проблеми архітектури та містобудування: Наук.-техн. збірник / Відпов. ред. М.М. Дьомін. – К., КНУБА, 2018. – Вип. 50. – 500 с. 346-353.
8. Нецадим, В. О. Комп'ютерні методи реставрації фасадних елементів пам'яток архітектури. / В. О. Нецадим, Ю. О. Дорошенко // IX Міжнародна науково-практична конференція «Архітектура та екологія» 30 жовтня 1 листопада 2018 р. – 2018. – С. 85–87.

9. Нецадим, В. О. Пропозиційна класифікація елементів фасадного оздоблення будівель за їх об'ємним скануванням / В. О. Нецадим, Ю. О. Дорошенко // V Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія та практика дизайну» 11 березня 2019 р.– 2019. – С. 116–117.

10. Нецадим, В. О. Технологічні особливості виготовлення декоративних панелей з деревини / В. О. Нецадим, Ю. О. Дорошенко // Всеукраїнській науковій конференції «Дизайн-освіта як галузь креативних індустрій», 18–19 квітня 2019 р. – 2019. – С. 138–143.

11. Нецадим, В. О. Цифрове моделювання рельєфних елементів фасадного оздоблення будівель / В. О. Нецадим, Ю. О. Дорошенко // VIII Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених» присвяченої до 100-річчя з дня народження професора А. В. Павлова, 25–26 квітня 2019 р. – 2019. – С. 69–72.

12. Нецадим, В. О. Опорний алгоритм одержання точкової інформації про рельєфну поверхню елементів фасадного оздоблення пам'яток архітектури. / Нецадим В. О., Ю. О. Дорошенко // IX Міжнародна науково-практична конференція «Архітектура та екологія», Київ, 16–18 листопада 2020 р. – 2020. – С. 92–94.

13. Нецадим, В. О. Автоматизированное моделирование рельефа элементов фасада декора архитектурных объектов историко-культурного наследия. / Нецадим В. О., Ю. О. Дорошенко // Особенности развития региональной архитектуры: сборник материалов международной научно-практической конференции / под ред. Н. Н. Шалобыты. – Брест : Издательство БрГТУ, 2020. – С. 68–72.

14. Нецадим, В. О. Лазерне сканування рельєфних поверхонь як розвиток фотограметричних методів / Нецадим В. О., Ю. О. Дорошенко // Міжнародної науково-практичної конференції “Політ. сучасні проблеми науки”, Київ, 5–9 квітня 2021 р. – С. 138–143.

15. Нецадим В.О. Принципи роботи з хмарою точок у середовищі Revit / В. О. Нецадим, Б. С. Нікольчук // XXIII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми геометричного моделювання» Україна, Мелітополь, 1–4 червня 2021 р. – С. 125–133.

16. Aguilera D.G., Gonzalez P.R., Lahoz J.G. Automatic Co-Registration of Terrestrial Laser Scanner and Digital Camera for the Generation of Hybrid Models. // ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and Civil Laser 2007, Espoo 2007.

17. Kamnev, I. S.; Seredovich, V. A. (2017) Analysis of the three-dimensional vector façade model created from photogrammetric data. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 2017, 4.

18. Neshchadym V.O., Doroshenko Y.O. Means of geometric simulation in the work of 3d scanner / Neshchadym V.O., XX Міжнародної науково-практичної конференції “Політ. сучасні проблеми науки”, Київ, 1-3 квітня 2020 року р., с. 85-87.

19. Neshchadym V.O, Dariichuk O.P. Means of geometric simulation in the work of 3D scanner/ Neshchadym V.O. // Міжнародної науково-практичної конференції “Політ. сучасні проблеми науки”, Київ, 5-9 квітня 2021 р., с. 138-143.

ПЛОЩАДИ МАЛЫХ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ

Ю. А. Протасова

*Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь*

В статье рассматриваются площади малых городов Республики Беларусь. Выделены особенности их формирования, дана оценка современного состояния. Определены требования для изменения площадей и создания комфортных городских пространств.

Ключевые слова: малые города, площадь, планировка и застройка, благоустройство.

Малые города Беларуси являются хранителями истории страны, культуры и традиций. В настоящее время в Республике Беларусь 77 малых города с численностью населения до