

М.А. Гендельманның 110 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары – 19» халықаралық ғылыми - практикалық конференциясының материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 19, посвященной 110-летию М.А. Гендельмана». - 2023.- Т. I, Ч. IV. – С. 110-113.

УДК 528.721

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ АРХИТЕКТУРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО СНИМКАМ С БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

*Лимонов А.Н., профессор кафедры дистанционного зондирования
и цифровой картографии
ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», г.
Москва*

В данной работе рассмотрены вопросы совершенствования технологии создания трёхмерной метрической модели по снимкам, полученным с беспилотных воздушных судов (БВС), для цели реставрации или реконструкции архитектурных объектов. Предложен алгоритм фотограмметрической обработки в специализированном программном обеспечении для получения требуемой геометрической точности модели объекта. При выполнении экспериментальных исследований учтены особенности аэрофотосъёмки с БВС, особенности обработки материалов съёмки, предварительно рассчитаны параметры съёмки, выбрано необходимое оборудование для минимизации влияния различных физических факторов и получения заданной точности, установленной нормативными документами.

В настоящее время выполнение фасадной съёмки, строительных обмеров отдельных элементов здания, а также фотореалистичное трёхмерное моделирование реализуются по снимкам, полученным с беспилотных воздушных судов. Использование материалов съёмки с БВС позволяет получить качественные пространственные данные с высоким разрешением до нескольких сантиметров.

Фотограмметрический метод использования снимков, полученных с БВС, для создания фронтальных планов и 3D-моделей сложных архитектурных сооружений может служить альтернативой обмерным чертежам, которые лежат в основе составления проекта для проведения реставрационных и реконструкционных работ.

Современные программные продукты и технологии позволяют в автоматизированном режиме осуществлять фотограмметрическую обработку аэроснимков для создания фотореалистичных трёхмерных моделей, используемых в архитектуре [1].

Создание цифровой модели архитектурного сооружения выполнялось по следующему алгоритму:

- подготовка беспилотного воздушного судна;
- фотограмметрическая калибровка цифровой съёмочной камеры;
- создание геодезической сети в условной системе координат, включающей маркировку опорных и контрольных точек;
- подготовка проекта полётного задания;
- получение аэроснимков с БВС;
- фотограмметрическая обработка аэроснимков;
- оценка точности полученных результатов.

В качестве объекта исследований по созданию трёхмерной модели в эксперименте выбрана церковь Владимирской иконы Божией Матери в усадьбе Быково Московской области, Россия.

Аэрофотосъёмочные работы выполнялись с квадрокоптера DJI Phantom 4, оснащённого цифровой камерой FC6310 с фокусным расстоянием 8,8 мм. Камера дрона оснащена однойматовой CMOS-матрицей с размером пикселя матрицы – 2,4 мкм. Объектив состоит из восьми линз, организованных в семь групп. Координаты центров фотографирования аэроснимков определяются при помощи бортового ГНСС-приёмника с СКП не хуже 8 см. Планово-высотная подготовка проводилась с использованием электронного тахеометра Leica TS06.

Съёмка с БВС проводилась по круговым маршрутам вокруг объекта на различных высотах, обеспечивая 80% поперечное и продольное перекрытие. Перекрытия были выбраны с запасом, поскольку полёт на квадрокоптере неустойчив, на него влияют порывы ветра, турбулентность и другие возмущающие факторы. Плановая и перспективная съёмка проводилась на высотах до 50 м по полётному заданию (рис. 1).

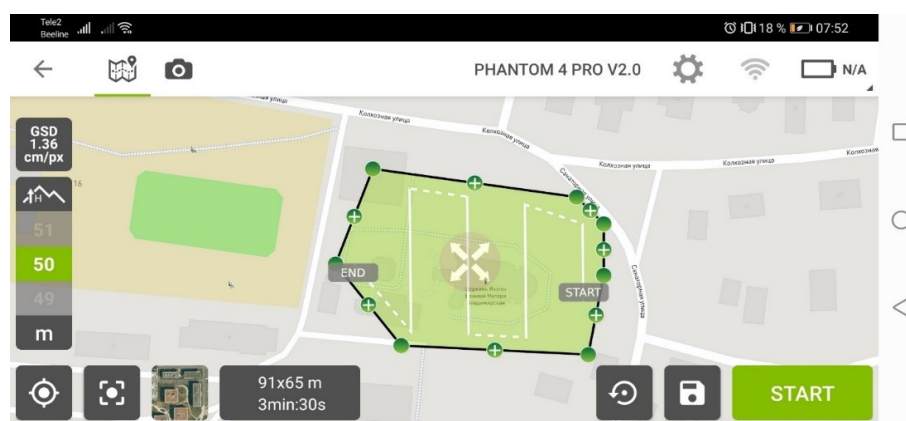


Рисунок 1- Схема многомаршрутной съёмки архитектурного объекта

Перед проведением аэрофотосъёмки выполнены расчёты основных параметров съёмки. Знаменатель масштаба съёмки рассчитан по формуле (1):

$$m_c = \frac{15000 \text{ мкм}}{2 * 2,5 \text{ pix} * 2,4 \text{ мкм}} = 1250 \quad (1)$$

По формуле (2) рассчитано предельное отстояние центров фотографирования от объекта съёмки:

$$Y = f * m = 8,8 \text{ мм} * 1250 = 11 \text{ м} \quad (2)$$

При съёмке отстояние было выбрано равным 6 метрам из-за наличия древесной растительности, частично закрывающей объект съёмки.

Перед загрузкой аэроснимков в специализированное программное обеспечение выполнена их сортировка для исключения кадров низкого качества. Для этого проведена процедура «Оценка качества изображений». Используя данную процедуру из обработки исключены нерезкие снимки.

Фотограмметрическая обработка полученных аэроснимков осуществляется в программном комплексе Agisoft Photoscan, в котором реализованы принципы машинного зрения Structure from Motion (SfM). Structure from Motion — это метод визуализации трёхмерных структур по двумерным изображениям с продольными и поперечными перекрытиями, используемый в фотограмметрической технологии создания трёхмерных моделей объекта по разноракурсным перекрывающимся снимкам, полученным из разных точек пространства, и оценки их положения относительно друг друга и объекта съёмки. SfM используется для определения и воссоздания положения камеры в пространстве в момент экспонирования [2;3].

Обработка начинается с построения разреженного облака точек с одновременным определением ЭВО каждого снимка. Облако точек – это набор вершин изображения объекта в трёхмерном пространстве. С целью фокусирования или улучшения компоновки применяется отсечение фрагментов аэрофотоизображения.



Рисунок 2 - Изображение, построенное из разреженного облака точек

На следующем этапе выполнено создание изображения из плотного облака точек. В программе производится измерение координат точек изображения и определяется пространственное положение точек поверхности объекта, и на выходе генерируется облако точек в виде цифрового файла данных.

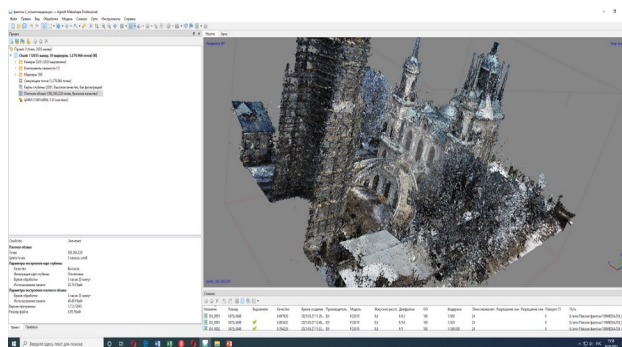


Рисунок 3 - Изображение, построенное из плотного облака точек

При этом исключается максимальное количество ошибочно позиционированных точек.

Заключительный этап – это текстурирование и создание метрической трёхмерной модели архитектурного сооружения. Трёхмерная метрическая модель представлена в одном из ракурсов на рис.4.



Рисунок 4 - Трёхмерная модель церкви Владимирской иконы Божией Матери

В настоящее время отсутствуют нормативные документы по определению количества и местоположения контрольных точек для оценки точности создаваемых моделей архитектурных сооружений [4]. Поэтому в ходе экспериментальных работ выполнены исследования, позволившие выявить достаточное число используемых опорных точек для получения модели объекта заданной точности. Методом последовательного исключения опорных точек и перевода их в статус контрольных пришли к выводу, что достаточно для оценки точности использовать пять опорных точек.

Таблица 1– Значения погрешностей на опорных и контрольных точках, полученные при использовании автоматической калибровки камеры

№ эксперимента	Количество используемых опорных точек	Количество используемых контрольных	СКП координат опорных точек	СКП координат контрольных точек
----------------	---------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------	---------------------------------

		точек	(м)	(м)
1	55	0	0,020	0,000
2	40	15	0,020	0,022
3	30	25	0,015	0,026
4	20	35	0,015	0,024
5	10	45	0,017	0,023
6	5	50	0,018	0,027
7	3	52	0,019	0,029
8	0	55	0	7,010

Анализ результатов экспериментов показал, что фотограмметрическая обработка снимков, полученных с БВС, позволяет построить трёхмерную модель архитектурного объекта с СКП, равной 15 мм, что полностью удовлетворяет требованиям СРП 2007.12 «Проведение обмерных и инженерно-геодезических работ на объектах культурного наследия» [5-6] для создания обмерных чертежей, планов и разрезов фасада.

Список литературы

- 1 Mikhail Aleshin, Larisa Gavrilova, Andrey Melnikov Use of Unmanned Aerial Vehicles on Example of Phantom 4 (standard) for Creating Digital Terrain Models [Text] / Engineering for Rural Development, - 2019. -Volume 18. - P.1686-1692.
- 2 18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development [Text] / ERD 2019; Jelgava; Latvia; 22 May 2019 - 24 May 2019; Код 148446
- 3 R. Hartley, A. Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision [Text] / 2nd Edition University Printing House, Cambridge CB2 8BS, United Kingdom, 670 p. ISBN: 9780521540513
- 4 Форсайт Дэвид, Понс Джин. Компьютерное зрение. Современный подход. [Текст]: Вильямс, 2018. - 960 с. ISBN: 978-5-8459-0542-0
- 5 Безменов В.М. Фотограмметрия. Построение и уравнивание аналитической фототриангуляции [Текст]: учеб.-метод. пособие для студентов физического факультета КГУ, обучающихся по специальности «Астрономогеодезия». / В.М. Безменов. - Казань: Изд-во КГУ, 2009. - 86 с.
- 6 СРП-2007 «Рекомендации по проведению научно-исследовательских изыскательских, проектных и производственных работ, направленных на сохранение объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации», 5-я редакция, Москва - 2013 г.