

ПРИМЕНЕНИЕ НАЗЕМНОЙ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ АНАЛИЗА ДЕФОРМАЦИЙ СООРУЖЕНИЙ

Лидия Кутилова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (999)452-84-33, e-mail: lidda9677796@mail.ru

Александр Юрьевич Чермошентцев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: fdz2004@bk.ru

Статья посвящена применению наземной фотограмметрической съемки для анализа деформации сооружения. Выполнен эксперимент по съемке тест-объекта, для которого была смоделирована деформация кирпичной кладки. Величина смещения определена с помощью кодированных марок в программе Agisoft Metashape. Результаты оценки точности позволяют сделать вывод о том, что данная методика обеспечивает высокую точность определения координат и деформаций.

Ключевые слова: наземная фотограмметрическая съемка, деформации, калибровка.

APPLICATION OF TERRESTRIAL PHOTOGRAMMETRIC SURVEY TO ANALYZE THE DEFORMATIONS OF BUILDINGS

Lidiya Kutilova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Graduate, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (999)452-84-33, e-mail: lidda9677796@mail.ru

Alexander Yu. Chermoshentsev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-08-66, e-mail: fdz2004@bk.ru

The article is devoted to the use of terrestrial photogrammetric survey to analyze the deformation of the buildings. The experiment was carried out to take photographs of test object for which deformation of the brickwork was simulated. The offset value is determined using coded targets in Agisoft Metashape. The results make it possible to conclude that this technique provides high accuracy of determining coordinates and deformations.

Key words: terrestrial photogrammetric survey, deformation, calibration.

Введение

Наблюдению за сохранностью объектов строительства необходимо уделять большое внимание. В зависимости от размера наблюдаемых деформаций и перемещений могут быть применены методы геометрического, тригонометрического и гидростатического нивелирования, а также фотограмметрии [1–4]. В последние

годы для определения деформаций используются также лазерное сканирование и спутниковые наблюдения. Традиционные методы наблюдений за деформациями предполагают наблюдения за высотными перемещениями, поэтому необходимо наблюдать также за взаимными плановыми перемещениями марок [5]. В настоящее время достичь этого можно применяя фотограмметрические методы обработки изображений и данных лазерного сканирования [6–9]. Целью данной работы является применение методов фотограмметрии для определения деформаций сооружений.

Методы и материалы

Методика выполнения мониторинга трещин и деформационных швов в зданиях и сооружениях включает набор кодированных марок, цифровую фотокамеру и специализированное программное обеспечение, позволяющее выполнять обработку снимков на основе теоретически строгих методов фотограмметрии. Обработка подразумевает автоматическую идентификацию и измерение марок на снимках с субпиксельной точностью [10]. В процессе обработки выполняется фотограмметрическая калибровка и учет дисторсии каждого снимка. В результате определяет взаимное положение закрепленных по обе стороны трещины марок в трехмерной декартовой системе координат.

Экспериментальные работы по определению деформаций фотограмметрическим методом были выполнены на тест-объекте, для которого была смоделирована деформация кирпичной кладки. В качестве опознаваемых точек выступали кодированные марки, создаваемые в программном продукте Agisoft Metashape. Марки сгруппированы в два прямоугольных блока по 12 штук в каждом. В зависимости от исследуемого объекта форма блоков может выбираться произвольной для удобного размещения в области деформации. На рис. 1. приведен комплект марок, использовавшийся в эксперименте.

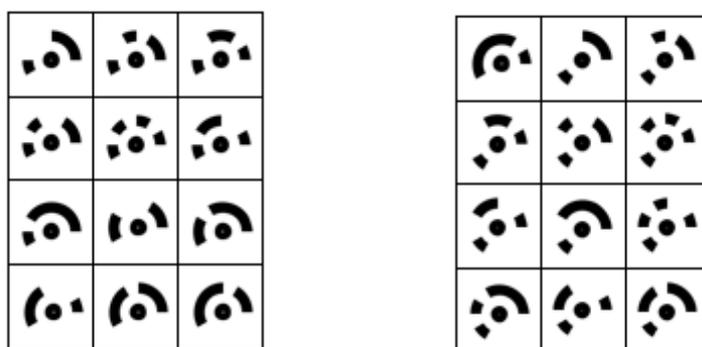


Рис. 1. Комплект марок для определения деформаций

Каждая марка является уникальной (всего их количество может составлять 999), что позволяет программе выполнять автоматическую идентификацию с точностью до десятых долей пикселя [11]. Комплект марок располагался по раз-

ные стороны деформационного шва, трещины, или предполагаемого места появления деформации (рис. 2).

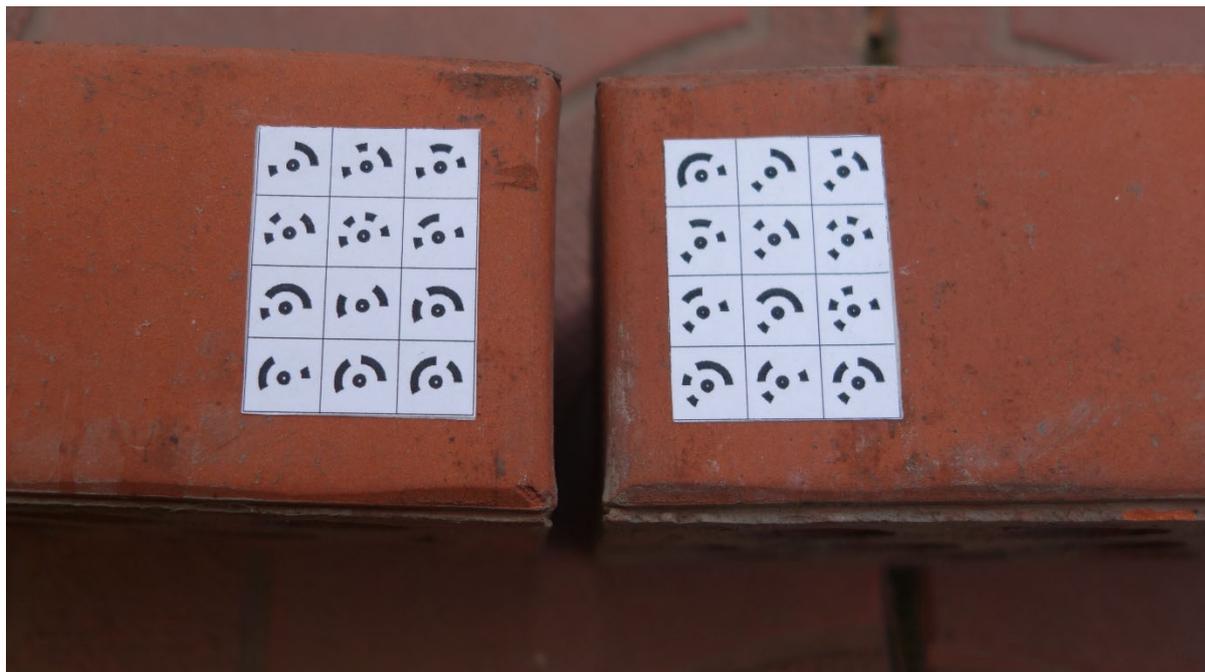


Рис. 2. Расположение марок на тест-объекте

Съемка выполнялась с помощью цифровой камеры Sony DSC-QX100.

Характеристики камеры:

- матрица Exmor R CMOS, 1 дюйм ($13,2 \times 8,8$ мм);
- разрешение 20,2 млн. эффективных пикселей;
- объектив Vario-Sonnar с фокусным расстоянием 10,4 мм.

Для достижения надежных результатов съемка выполнялась с соблюдением следующих правил:

- установлено минимальное значение ISO для того, чтобы избежать дополнительного шума;
- установлен минимальный размер диафрагмы для достижения максимальной глубины резкости;
- съемка выполнена в пасмурную погоду чтобы избежать бликов;
- расстояние подобрано таким образом, чтобы наибольшую площадь кадра занимали блоки с марками.

Всего получено две серии снимков (по пять в каждой серии), между которыми произведено смещение одного блока относительно другого.

Обработка снимков выполнена в программном обеспечении Agisoft Metashape. Основные этапы обработки: загрузка снимков, взаимное ориентирование снимков, внешнее ориентирование модели и оценка точности. В процессе обработки также выполняется фотограмметрическая калибровка и учет дисторсии камеры для каждого снимка.

Результаты

Внешнее ориентирование модели выполнено с помощью координат кодированных меток, заданных по результатам измерения расстояний до всех остальных марок от левого нижнего маркера, служащего началом системы координат. В результате получены расхождения координат автоматически измеренных опорных точек. Также были измерены контрольные расстояния, расхождения по которым приведены в табл. 1.

Таблица 1

Оценка точности внешнего ориентирования модели

	Средняя ошибка, м	
	первый цикл наблюдений	второй цикл наблюдений
Опорные точки	0,0006	0,0009
Контрольные расстояния	0,0001	0,0002

Таким образом, применение фотограмметрического метода позволяет выполнять измерения с точностью порядка 0,0002 м.

После внешнего ориентирования вычисленные для каждой кодированной марки координаты после первого и второго цикла наблюдений экспортированы для дальнейшего анализа. В табл. 2 показаны расхождения координат марок, полученные между двумя циклами наблюдений.

Таблица 2

Оценка точности внешнего ориентирования модели

Номер марки	Блок 1		Номер марки	Блок 2	
	ΔX , мм	ΔY , мм		ΔX , мм	ΔY , мм
1	-0,2	-0,1	15	-5,7	0,0
2	0,0	-0,3	16	-5,5	0,0
3	-0,2	-0,2	17	-5,3	0,1
4	-0,3	-0,1	18	-5,8	0,0
5	0,0	-0,1	19	-5,6	0,0
6	-0,2	-0,1	20	-5,3	0,1
7	-0,3	0,1	21	-5,8	0,1
8	0,0	0,1	22	-5,6	0,0
11	-0,2	0,1	25	-5,3	0,0
12	-0,3	-0,4	26	-5,8	-0,1
13	0,0	-0,3	27	-5,6	0,0
14	-0,2	-0,3	28	-5,3	0,0

Как следует из анализа таблицы, во втором блоке марок явно прослеживается смещение по оси X, составляющее в среднем 5,6 мм.

Заключение

Наземная фотограмметрическая съемка является высокопроизводительным методом, не требующим дорогостоящего оборудования и подготовки [12]. Высокая скорость и оперативность ее выполнения в совокупности с современными алгоритмами обработки, во многом автоматизирующим этот процесс, позволяют считать данный метод одним из наиболее перспективных. Используя результаты обработки фотограмметрической съемки объекта для определения деформаций можно эффективно оценить точность и достоверность получаемых результатов и сделать выводы о направлении и величине смещений локального участка наблюдаемого объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 24846-2012 Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. М. : Стандартинформ.
2. Донец, А.М. Геодезический мониторинг высотных зданий и сооружений с помощью высокоточных спутниковых методов // Геопрофи. – 2005. – № 5. – С. 17–19.
3. Азаров, Б. Ф. Современные методы геодезических наблюдений за деформациями инженерных сооружений // Ползуновский вестник. – 2011. – № 1. – С. 19–29.
4. Лобов, М.И. Применение наземной фотограмметрии и лазерного сканирования для исследования динамического состояния мачтовых сооружений // Геопрофи. – 2005. – № 5. – С. 33–36.
5. Корнеев В.А. Строительный контроль зданий и сооружений с применением мультикоптеров и фотограмметрии // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2018. – № 2. – С. 40–58.
6. Корнилов Ю.Н. Определение деформации объектов фотограмметрическим методом с использованием ЦФС «Photomod» // Записки горного института. – 2013. – Т. 206. – С. 53–59.
7. Скрыпицына Т. Н. Лабораторный практикум по дисциплинам «Наземная фотограмметрия» и «Основы архитектурной фотограмметрии». – М. : МИИГАиК, 2017. – 76 с.
8. Особенности наземной фотограмметрической съемки инженерных конструкций и сооружений [Электронный ресурс] / Компания Ракурс. 2018. URL: www.racurs.ru/wiki/index.php (дата обращения: 07.04.2020).
9. Щепакин А.А. Определение точности наземной фотограмметрической съемки, выполненной неметрической камерой [Электронный ресурс] / Магистры ДОННТУ. 2012. URL: <http://masters.donntu.edu.ua/2012/igg/shchepakin/diss/index.htm> (дата обращения: 02.04.2020).
10. Фотоцелемер 3D – высокоточная фотограмметрическая система мониторинга трещин и деформационных швов в зданиях и сооружениях [Электронный ресурс] // Сайт компании НПП «Фотограмметрия». 2019. URL: <https://photomicrometer.com/information/3-fotoschelemer-3d-vysokotochnaja-fotogrammetricheskaja-sistema-monitoringa-treschin-i-deformacionnyh-shvov-v-zdaniyah-i-sooruzhenijah.html> (дата обращения: 07.04.2020).
11. Войнаровский А.Е. Фотограмметрическая технология дистанционного высокоточного 3D-мониторинга трещин и деформационных швов в зданиях и сооружениях.
12. Фотомикрометр 3D [Электронный ресурс] // Сайт компании НПП «Фотограмметрия». 2020. URL: <https://photomicrometer.com/> (дата обращения: 07.04.2020).

© Л. Кутилова, А. Ю. Чермошенцев, 2020