

## СОЗДАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ТЕСТ-ОБЪЕКТА ДЛЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ КАМЕР

*Будкевич Карина Сергеевна, Андрейчиков Владислав Владимирович,  
студенты 3-го курса кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Радцевич Е.И., старший преподаватель)*

Благодаря непрерывному росту технологий наблюдается столь же быстрый рост потребностей, которые в свою очередь создают невообразимо большой темп повышения производительности работ. В следствии чего для получения трёхмерной информации об изучаемом объекте применяют различные методы. Лазерное сканирование является наиболее популярным, однако данный метод является дорогостоящим и требует определённого навыка обработки данных. Более дешёвым и простым является метод наземной фотограмметрической съёмки, использование которого значительно расширилось благодаря использованию современного оборудования и программного обеспечения

В настоящее время в наземной фотограмметрии преимущественно применяют специальные цифровые метрические камеры. Также допускается использовать любительские и профессиональные цифровые, однако эти фотокамеры должны быть предварительно откалиброваны.

В процессе изучения дисциплины «Прикладная фотограмметрия» возникла необходимость выполнения наземной фотограмметрической съёмки камерой телефона, технические характеристики представлены в (Табл. 1).

Таблица 1 – Технические характеристики камеры

Фирма изготовитель	Модель	Разрешение, пиксель	Размер пикселя, мкм	Фокусное расстояние, мм
Xiaomi	MI 11 Lite	2610×4640	1.6	4.74

В данном случае необходимо выполнить калибровку камеры, которая будет осуществляться по снимкам пространственного тест-объекта. Для этих целей на кафедре «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии» был создан тест-объект (Рис. 1).

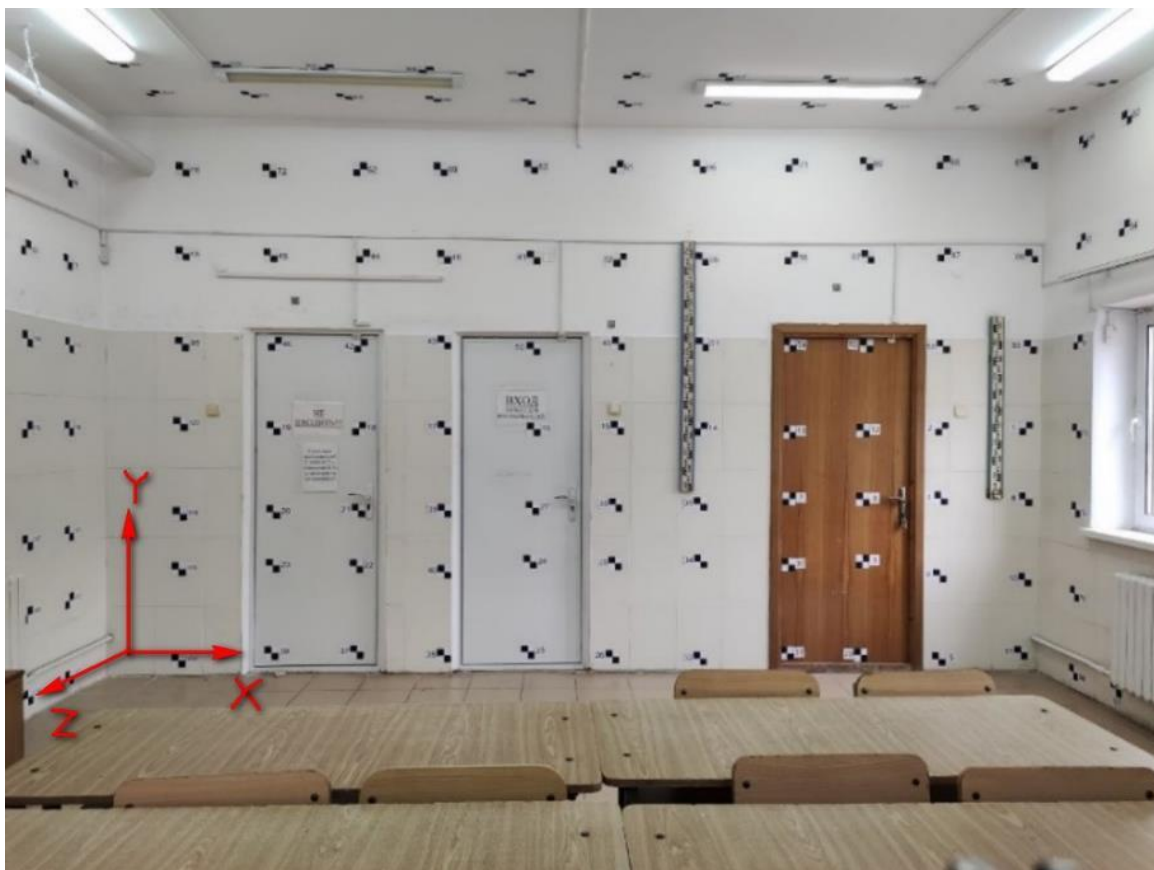


Рисунок 1 – Пространственный тест-объект

Создание пространственного тест-объекта осуществлялось в учебной аудитории 16 корпуса с размерами  $X = 6$  м,  $Y = 3$  м и  $Z = 4$  м.

Для решения задач по калибровке необходимо располагать точки тест-объекта минимум в двух плоскостях, так же учитывать возможность использования тест-объекта для калибровки камер с различными фокусными расстояниями. Исходя из этого точки создаваемого тест-объекта разместили в трех плоскостях. Первая плоскость совмещена с плоскостью  $XY$ , включающая 77 марок, которые расположены по вертикали 7 рядами. Вдоль оси  $Z$  между марками тест-объекта максимальное расстояние должно составлять 0,2 расстояния от дальней стены до точки съемки, так как калибровка осуществлялась короткофокусной (широкоугольной) камеры. В соответствии с этим вторая плоскость проходит параллельно первой на расстоянии 0,8 м и включает 22 марки, принадлежащие не только стенам, но и потолку. Третья плоскость проходит между первой и второй плоскостью, которой принадлежит 25 маркированных точек. В результате пространственный тест-объект включает 124 марки в виде квадрата размером 8x8 см (Рис. 2). Каждой из марок присвоен порядковый номер.

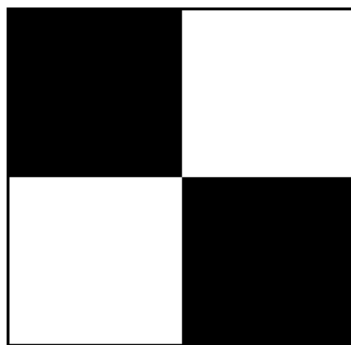


Рисунок 2 – Форма марки

Компенсировать влияние фотограмметрической дисторсии объектива фотокамеры можно учтя поправки  $d_x$  и  $d_y$  в координаты измеренных точек на снимке. Эти поправки описываются следующими уравнениями

$$\begin{cases} d_x = x(r^2 \cdot k_1 + r^4 \cdot k_2 + r^6 \cdot k_3 + \dots) + (r^2 + 2x^2)p_1 + 2xyp_2; \\ d_y = y(r^2 \cdot k_1 + r^4 \cdot k_2 + r^6 \cdot k_3 + \dots) + (r^2 + 2y^2)p_2 + 2xyp_1; \end{cases}$$

где  $x, y$  – координаты точек снимка;

$k_1, k_2, k_3$  – коэффициенты радиальной дисторсии;

$p_1, p_2$  – коэффициенты тангенциальной дисторсии объектива;

$x_0, y_0$  – координаты главной точки снимка.

Вычисление пространственных координат точек тест-объекта производилось методом прямой геодезической засечки, используя электронный тахеометр Nikon 3DR обеспечивающего СКП 5» для измерения горизонтальных и вертикальных углов.

Критерием оценки точности, выполненной пространственной фотограмметрической калибровки, являются значения погрешностей координат измеренных на снимке точек. Эти значения зависят от типа камеры, и находятся в пределах от 0,15 до 0,5 пикселя.

Процесс калибровки камеры, т.е. уточнение коэффициентов радиальной и тангенциальной дисторсии, выполнялся в программном продукте Agisoft Photoscan в следующей последовательности:

- импорт фотографий;
- выравнивание фотографий;
- уточнение параметров привязки;
- импорт координат маркированных точек;
- измерение опорных точек по снимкам (маркеров);
- оптимизация камер (уточнение коэффициентов дисторсии)
- калибровка камеры.

В результате калибровки получены коэффициенты, значения которых представлены на (Рис. 3).

<b>M2101K9AG (4.74 mm)</b>			
11 изображений			
Разрешение	Фокусное р-е	Размер пикселя	Калибровка
<b>4640 x 3472</b>	<b>4.74 мм</b>	<b>2.08 x 2.08 мкм</b>	<b>Нет</b>
Тип:	Кадровая	F:	3408.47
Sx:	1.89127	B1:	19.307
Sy:	-12.0294	B2:	-27.7862
K1:	0.0668351	P1:	0.00176341
K2:	-0.0652494	P2:	0.000446494
K3:	0	P3:	0
K4:	0	P4:	0

Рисунок 3 – Калибровка камеры

По завершению калибровки в программном продукте Agisoft Photoscan формируется отчет, который включает: исходные данные, параметры калибровки, координаты маркированных точек, параметры обработки.

#### Литература:

1. Photoscan [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://youtu.be/5hPULh46xKM>
2. Фотограмметрия : учеб. для вузов / А.Г. Чибуничева [и др.]; под общ. ред. А.Г. Чибуничева. – М. : МИИГАиК, 2016. – 294 с.
3. Краснопевцев, Б.В. Фотограмметрия : метод. пособие / Б.В. Краснопевцев, В.М. Курков – М.: МИИГАиК, 2012, – 74 с.
4. Радцевич, Е.И. Проектирование наземной фотограмметрической съёмки / Е.И. Радцевич, А.В. Кабацкий, Н.О. Куприенко // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение [Электронный ресурс]: материалы Международной научно-технической конференции / редкол.: С.Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.]; сост. В. А. Ходяков. – Минск: БНТУ, 2021. – С. 201-207.