

АНАЛИЗ МЕТОДИК ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ СЪЕМОЧНЫХ КАМЕР

Представлены результаты геометрической калибровки ряда фотокамер с использованием различных методик калибровки. Описан разрабатываемый калибровочный стенд, представлены его основные характеристики.

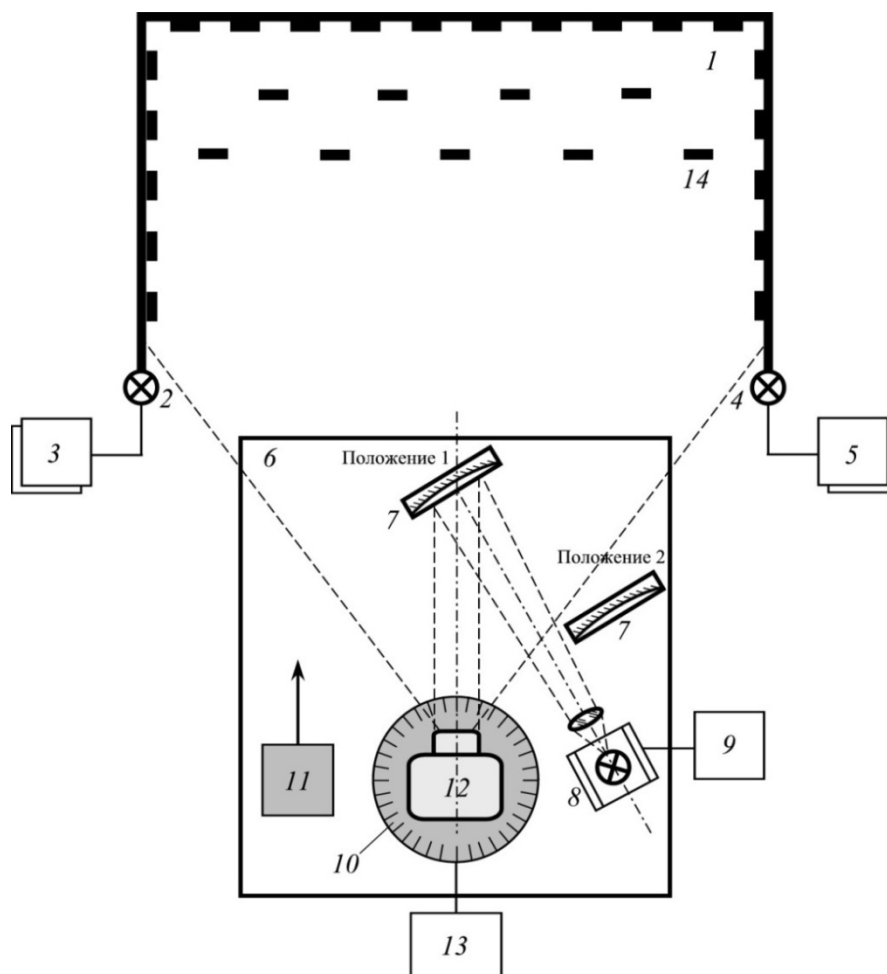
Ввиду постоянно расширяющегося применения дистанционных методов исследования Земли с аэрокосмических носителей для изучения и мониторинга природных и техногенных объектов, к съемочным системам предъявляются требования высокой метрической точности получаемых изображений, которая может быть обеспечена на основе предварительной геометрической калибровки камер [1, 2]. Определяемые в результате геометрической калибровки параметры внутреннего и внешнего ориентирования используемых камер необходимы при решении таких задач обработки изображений, как ортотрансформация, геометрическая коррекция, географическая координатная привязка, приведение к одному масштабу и совмещение изображений различных каналов и камер, построение мозаик изображений отснятых территорий, измерения геометрических характеристик объектов на изображениях. Геометрическая калибровка также помогает устранять искажения снимков, вызываемые погрешностями изготовления и установки элементов конструкции камер, фотоприемных матриц, дисторсиями объективов.

Создание калибровочных тестовых объектов и разработка методов геометрической калибровки является необходимым этапом при создании и эксплуатации систем дистанционного зондирования кадровой съемки. В НИИ прикладных физических проблем БГУ создается комплекс геометрической калибровки (рисунок 1) приборов авиакосмического дистанционного зондирования с трехмерной калибровочной сценой, размеры которой составляют $3,2 \times 2,0 \times 1,5 \text{ м}^3$ и которая будет содержать более 200 точечных маркеров в объеме сцены. Для определения пространственного разрешения и функции передачи модуляции систем изображения разрабатываются соответствующие тестовые миры, располагаемые внутри сцены. Кроме того, изображения специальных тестовых мир будут создаваться оптическим коллиматором комплекса в фокальной плоскости калибруемой системы. Для прецизионного измерения расстояний и углов поворота в состав комплекса также будут входить динамический гониометр (поворотный столик) с фиксацией и измерением углов поворота оптической оси калибруемого прибора по азимуту и углу места и лазерный дальномер-рулетка для измерения расстояний от прибора до маркерных точек тестовой сцены комплекса.

Методика фотограмметрической калибровки основана на съемке тест-объекта (трехмерной сцены комплекса, положения большого числа маркеров которой тщательно измерены), определении на изображении пиксельных координат маркерных точек сцены и решении уравнений, связывающих объектные и пиксельные координаты точек, относительно неизвестных параметров внутренней и внешней ориентации камеры.

С целью сравнительного анализа различных методик калибровки были проведены эксперименты по съемке плоских калибровочных объектов фотокамерой Nikon D3000 с объективом Nikkor DX VR 18 – 55 mm. Объекты были напечатаны на бумаге формата А1. Калибровочные сцены имели вид «шахматки» (черно-белые квадраты разного размера), а также определенным образом расположенных по полю черных точек и секторов различного размера. Изображения обрабатывались по методикам, реализованным в программах Camera Calibration Toolbox for Matlab [3], PhotoModeler Scanner [4], и GML Camera Calibration Toolbox [5], имеющихся в свободном доступе в Internet. В ходе

проведенных калибровочных экспериментов были определены важнейшие характеристики используемых фотокамер, а также оценены преимущества и недостатки выбранных методик калибровки.



1 – калибровочная трехмерная камера (сцена) с системой оптических маркеров и тестовых мир; 2 – система освещения сцены (галогеновые источники излучения с блоками питания (3)); 4 – система освещения сцены (светодиодные источники излучения с блоками питания (5)); 6 – установочная платформа; 7 – коллиматорное зеркало в различных положениях; 8 – охлаждаемый осветитель коллиматора с блоком питания (9); 10 – поворотный (в двух плоскостях) столик; 11 – дальномер (оптическая рулетка); 12 – калибруемый прибор; 13 – рабочая станция калибруемого прибора; 14 – вертикальные стойки с маркерами в центре сцены для калибровки камер 3D изображений.

Рисунок 1 – Структурная схема комплекса для геометрических калибровок.

Для усовершенствования существующих методов геометрической калибровки в настоящее время разрабатывается программное обеспечение в Borland C++ Builder для геометрической калибровки камер дистанционного зондирования с помощью трехмерной калибровочной сцены создаваемого комплекса по методике, основанной на решении уравнений коллинеарности [6], выражающих зависимость между координатами точки снимка (x, y) и координатами соответствующей точки местности (X, Y)

$$\begin{cases} x - x_0 = -f \frac{a_1(X - X_0) + b_1(Y - Y_0) + c_1(Z - Z_0)}{a_2(X - X_0) + b_2(Y - Y_0) + c_2(Z - Z_0)}, \\ y - y_0 = -f \frac{a_2(X - X_0) + b_2(Y - Y_0) + c_2(Z - Z_0)}{a_3(X - X_0) + b_3(Y - Y_0) + c_3(Z - Z_0)}. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь a_i, b_i, c_i — направляющие косинусы, зависящие от угловых элементов внешнего ориентирования снимка α, ω, κ ; f — фокусное расстояние; x_0, y_0 — координаты главной точки изображения; X_0, Y_0, Z_0 — координаты центра фотографирования в пространственной системе координат. Уравнения (1) записаны без учета оптической дисторсии, влияние которой и соответствующие неизвестные параметры будут включены в окончательную методику калибровки.

Если известны приближенные значения элементов ориентирования снимка, тогда по формуле (1) можно вычислить координаты (x) и (y) изображений опорных точек на снимке. Вычисленные координаты (x) и (y) будут отличаться от измеренных x и y .

Для нахождения поправок к приближенным значениям элементов ориентирования $\delta X_0, \delta Y_0, \delta Z_0, \delta \alpha, \delta \omega, \delta \kappa, \delta f, \delta x_0, \delta y_0$ составляются уравнения поправок и нормальные уравнения метода наименьших квадратов, решаемые итерационным способом. Вычисления продолжают до тех пор, пока разность значений каждого неизвестного, полученных в двух последних приближениях, не будет меньше установленного порога.

В работе представлены результаты расчетов фокусных расстояний, координат главных точек, коэффициентов дисторсии с использованием различных методик, оценена точность определения параметров камер. На основании проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что в программе GML Camera Calibration Toolbox параметры камеры определяются с недостаточной точностью; результаты калибровки в программе PhotoModeler Scanner достаточно сильно зависят от начальных условий съемки. При достаточно качественном проведении съемки калибровочного объекта программа Camera Calibration Toolbox for Matlab обеспечивает небольшую погрешность определения расчетных параметров и хорошее их согласование с теоретическими данными.

Список литературы:

1. Tsai R.Y. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses // IEEE Int. Journal on Robotics and Automation. – 1987. – Vol. 3. – P. 323–344.
2. Zhang Z. A Flexible New Technique for Camera Calibration // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2000. – Vol. 22 (11). – P. 1330 – 1334.
3. Bouguet J.-Y. Camera Calibration Toolbox for Matlab // http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc.
4. PhotoModeler Scanner (Eos Systems Inc.) // <http://www.photomodeler.com/products/pm-scanner.htm>
5. А. Велижев, В. Вежневц. GML Camera Calibration Toolbox v 0.4. // <http://graphics.cs.msu.ru/ru/science/research/calibration/cpp>
6. Лобанов А. Н. Аэрофототопография. М., «Недра», 1978. 575 с.

The results of geometric calibration of various tested photocameras by using different methods of calibration are presented. The structure and characteristic features of the designed photogrammetric complex are described.

Бручковская С.И., м.н.с. НИИПФП им. А.Н.Севченко БГУ, Минск, Беларусь, e-mail: ms.bruchkovskaya@yandex.ru