

# МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ ЦИФРОВЫХ НЕМЕТРИЧЕСКИХ КАМЕР ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СКАНЕРОВ

**Д.В. Комиссаров** (СГГА, Новосибирск)

В 1998 г. окончил аэрофотогеодезический факультет СГГА по специальности «исследование природных ресурсов». После окончания аспирантуры СГГА с 2001 г. работает на кафедре фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА. С 2004 г. по настоящее время — директор регионального центра лазерного сканирования СГГА. Кандидат технических наук.

**А.В. Комиссаров** (СГГА, Новосибирск)

В 2004 г. окончил аэрофотогеодезический факультет СГГА по специальности «исследование природных ресурсов». В настоящее время — аспирант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА.

Многие наземные лазерные сканеры имеют встроенную или позволяют устанавливать неметрическую цифровую камеру других фирм-производителей. Данные модели камер имеют трансфокатор, позволяющий изменять фокусное расстояние, регулируя масштаб и резкость изображения. В результате работы трансфокатора элементы внутреннего ориентирования камеры меняются. Поэтому производители сканеров рекомендуют перед началом использования камеры сфокусировать ее на бесконечность и закреплять положение линз, фиксируя, тем самым, элементы внутреннего ориентирования. Следовательно, такую камеру можно калибровать.

Согласно [1] для неметрических цифровых камер параметрами калибровки являются элементы внутреннего ориентирования, радиальная и тангенциальная дисторсии. Помимо перечисленных параметров калибровки необходимо также определить элементы редукции задней узловой точки камеры относительно начала системы координат сканера. Калибровку камер проводят на тестовом полигоне, имеющем контрольные

съёмочные точки с известными координатами. При калибровке цифровой неметрической камеры, установленной на наземном лазерном сканере, можно предложить принципиально новый способ калибровки. В этом способе в качестве контрольных съёмочных точек используются специальные марки, применяемые для объединения отдельных сканов в единое «облако точек» с целью построения точечной модели снимаемого объекта.

Преимущества применения данного способа калибровки неметрических камер состоят в следующем:

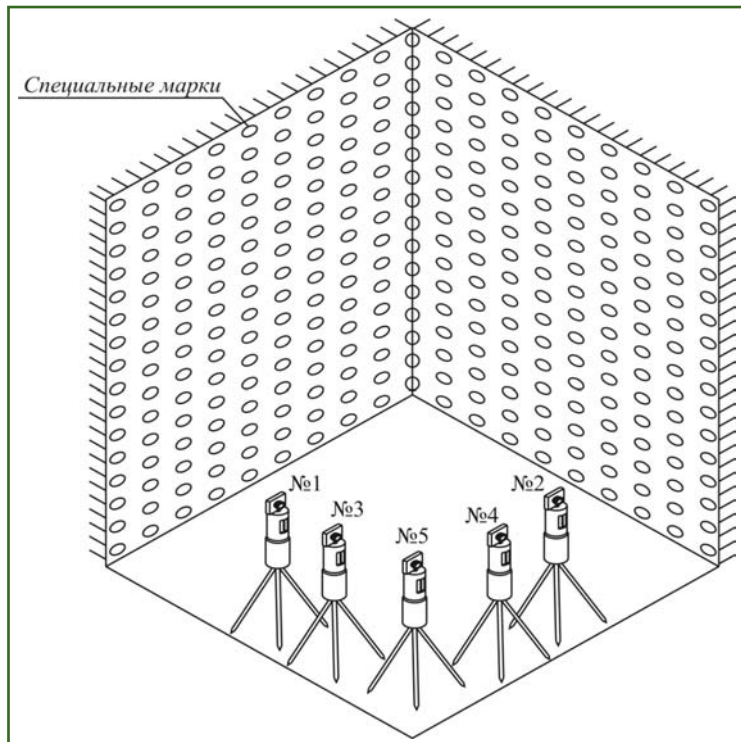
— процесс калибровки полностью автоматизирован, так как специальные марки для наземных лазерных сканеров изготовлены таким образом, чтобы их легко можно было идентифицировать как на цифровом снимке, так и скане. Процессы автоматической идентификации точек на цифровом изображении в настоящее время описаны в литературе и применяются в различных программных комплексах для фотограмметрической обработки цифровых снимков;

— отпадает необходимость закрепления и измерения коор-

динат контрольных точек, а также создания различного рода конструкций на тестовом полигоне;

— калибровку можно выполнять как на тестовом полигоне со специальными марками, так и в момент съёмки объекта. В технологии наземного лазерного сканирования съёмку объекта выполняют с нескольких станций. Для объединения сканов, снятых с соседних станций, в единую точечную модель в зависимости от решаемых задач применяются несколько десятков специальных марок, а для всего объекта их количество может составлять несколько сотен. Поэтому поправки в измеренные координаты точек можно вводить как в методе уравнивания фототриангуляционной сети с самокалибровкой, предложенном профессором И.Т. Антиповым;

— точность определения координат специальных марок наземным лазерным сканером удовлетворяет требованиям, предъявляемым к точности измерения контрольных точек тестового полигона. Для обеспечения достоверного определения параметров калибровки камеры расположение специальных марок и лазерного сканера с уста-



Расположение наземного лазерного сканера с камерой во время калибровки на испытательном полигоне

новленной на нем цифровой камерой на тестовом полигоне должно быть таким, как показано на рисунке.

Авторами разработана и предлагается следующая методика определения параметров коррекции цифровых изображений, полученных неметрическими камерами, с использованием тестового полигона (см. рисунок). Методика включает следующие этапы.

1. Измерение координат контрольных точек тестового полигона либо специальных марок при помощи наземного лазерного сканера и их фотографирование камерой с пяти точек. При фотографировании специальных марок необходимо, чтобы они располагались по всему полю снимка (см. рисунок).

2. Определение элементов редукации задней узловой точки камеры относительно начала системы координат наземного лазерного сканера и коэффициентов полиномов (например, Эбнера, Якобсона, Грюна, Брауна и т. д.), описывающих систематические ошибки в координатах

точек снимков. Ошибки в координатах точек снимка обусловлены дисторсией объектива и неточностью изготовления ПЗС-матрицы камеры.

3. Исключение систематических ошибок в измеренных координатах точек пятого снимка при помощи полиномов и выполнение контроля качества калибровки.

В настоящее время в программных комплексах реализовано два основных способа калибровки снимков: полиномиальный и способ зон. Первый способ для цифровых снимков является более предпочтительным. Во-первых, нет необходимости регулярного расположения контрольных точек на тестовом полигоне, в отличие от способа зон, который предполагает разбиение снимка на равные зоны и обеспечение каждой зоны минимум тремя точками. Во-вторых, при наземной лазерной съемке цифровые снимки используются для раскрашивания массива точек лазерных отражений в реальные цвета объекта, для чего достаточно точности полиномиального

метода калибровки. Поэтому в предлагаемой методике для калибровки цифровых камер выбран полиномиальный способ учета отклонений снимка от центральной проекции.

Согласно работе [2] в основу калибровки съемочных систем при помощи тестового полигона положены уравнения коллинеарности, в которые входят следующие величины:

- пространственные координаты контрольных точек тестового полигона в системе координат сканера ( $X_c, Y_c, Z_c$ );
- элементы редукации задней узловой точки камеры относительно начала системы координат наземного лазерного сканера ( $X_s, Y_s, Z_s$ );
- угловые элементы ориентирования снимка относительно системы координат сканера ( $\alpha, \omega, \kappa$ );

— измеренные координаты контрольных точек на снимке ( $x, y$ );

- элементы внутреннего ориентирования камеры ( $x_0, y_0, f$ );
- функции, описывающие систематические ошибки в координатах точек снимка ( $\delta_x, \delta_y$ ).

Определяемыми параметрами в этих формулах являются  $X_s, Y_s, Z_s, \alpha, \omega, \kappa$ , а также параметры, обуславливающие величины систематических ошибок в координатах точек снимка и входящие в функции  $\delta_x, \delta_y$ . Наибольшее распространение в качестве таких функций получили полиномы Брауна, которые с учетом природы ошибок в координатах точек цифровых снимков, в общем виде, можно записать следующим образом [3]:

$$\begin{aligned} \delta_x &= \delta x_{\text{внутр}} + \delta x_{\text{рад.дис.}} + \\ &\quad + \delta x_{\text{тан.дис.}}, \\ \delta_y &= \delta y_{\text{внутр}} + \delta y_{\text{рад.дис.}} + \\ &\quad + \delta y_{\text{тан.дис.}}, \end{aligned}$$

где  $\delta x_{\text{внутр}}, \delta y_{\text{внутр}}$  — поправки, учитывающие элементы внутреннего ориентирования снимка;

$\delta x_{\text{рад.дис.}}, \delta y_{\text{рад.дис.}}$  — поправки за влияние радиальной дисторсии;

$\delta x_{\text{тан.дис.}}, \delta y_{\text{тан.дис.}}$  — поправ-

ки, учитывающие влияние тангенциальной дисторсии.

Уравнения коллинеарности являются нелинейными относительно неизвестных величин, поэтому их необходимо решать итерационным способом по методу наименьших квадратов. Количество контрольных точек тестового полигона должно быть в 5–15 раз больше числа оцениваемых параметров [4], следовательно, число точек при использовании полиномов Брауна должно быть от 100 до 200.

После определения коэффициентов полиномов и элементов редукации задней узловой точки камеры относительно начала системы координат наземного лазерного сканера, вводятся поправки в координаты точек снимка. Затем они подставляются в уравнение коллинеарности и вычисляются невязки  $\Delta x_i$ ,  $\Delta y_i$  для пятого снимка. По значениям этих невязок вычисляют средние квадратические ошибки (СКО)

калибровки:  $m_{x\text{калиб}}$  и  $m_{y\text{калиб}}$ . Затем значения СКО калибровки по оси  $X$  и  $Y$  сравниваются с размером пикселя цифровой камеры  $d_x$  и  $d_y$ . Результаты калибровки считаются удовлетворительными, если величина СКО калибровки равна или меньше размера пикселя цифровой камеры.

Учет параметров калибровки цифровых камер в снимках, используемых при наземном лазерном сканировании для раскрашивания массива точек в реальные цвета объекта, позволит облегчить процесс дешифрирования точечной модели и повысить достоверность построения трехмерной модели снимаемого объекта.

#### ▼ Список литературы

1. A new calibration system of a non-metric digital camera [Текст] / R. Matsuoka и др. // Procs. 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Zurich, Switzerland, September 22–25, 2003, p. 130–137.

2. Дубиновский В.Б. Калибровка

снимков. — М.: Недра, 1982. — 224 с.

3. Dorstel, C. DMC — photogrammetric accuracy — calibration aspects and generation of synthetic DMC images [Текст] / C. Dorstel, K. Jacobsen, D. Stallmann // Procs. 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Zurich, Switzerland, September 22–25, 2003, p. 74–82.

4. Валеев С.Г. Перспективное моделирование при обработке наблюдений. — М.: Недра, 1991. — 272 с.

#### RESUME

Digital photographic images play a considerable role in processing ground laser scanned data. These images are used to color the pixel array into the real colors of the object surveyed. This eases the identification process as well as improves its authenticity. Thus it is necessary to calibrate digital cameras in order to improve accuracy of the imagery superimposing. This article considers one of the calibration techniques of the nonmetric cameras.



## СКОРО В РОССИИ! ЯПОНСКОЕ КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ ПО УДИВИТЕЛЬНО НИЗКОЙ ЦЕНЕ



190031, Санкт-Петербург,  
ул. Гороховая, 33, офис 37  
Тел/факс: (812) 310-49-93, 380-92-13, 337-51-92  
E-mail: nevatech@mail.rcom.ru  
Интернет: www.nevatec.ru, www.pentax-geo.ru

Точность измерения расстояния на отражатель 3+2ppm мм  
без отражателя 5+2ppm мм  
Дальность измерения расстояния на один отражатель до 1900 м  
без отражателя 90 м  
Время измерения расстояния 2,0 сек

Большой графический дисплей  
Внутренняя память до 6 000 точек  
Рабочая температура от -20 до +50° C  
Продолжительность работы с одним аккумулятором до 5-6 час



В начале 2007 года ждите появление новых серий тахеометров Pentax: 300DNX со встроенной цифровой камерой и W-800 с Windows CE

