УДК 528.72

Ю.Н.КОРНИЛОВ, Т.В.БУРКОВА,
Ю.Ю.ВОЛКОВА
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВНУТРЕННЕГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СНИМКОВ

Рассмотрена методика определения элементов внутреннего ориентирования цифровых снимков для фиксированных значений установки объектива камеры. Выполнены экспериментальные исследования с 5-мегапиксельной камерой «Olympus», которые подтверждают обоснованность предлагаемых решений.

The technique of definition of elements of internal orientation of the digital chamber for the fixed values of installation of its(her) objective is considered. Are executed exsperement research with 5-megapicsel chamber Olympus, confirming validity of offered decisions.

С появлением цифровой техники у исследователей возникает соблазн использовать ее для решения тех или иных технических задач (например, в архитектурной фотограмметрии). Цифровые камеры мобильны, кроме того, исключается процесс сканирования фотоснимков. Однако указанные камеры не являются метрическими, поэтому необходимо исследовать как геометрические качества построенных с их помощью изображений, так и константы (элементы внутреннего ориентирования).

Калибровку фотографических аппаратов можно выполнить путем фотографирования тест-объекта (например, сетки Готье). Если известен масштаб изображения и отстояние, то легко вычислить фокусное расстояние цифрового снимка. Однако реализовать этот вариант не просто. Во-первых, изображение на мониторе увеличено по сравнению с оригиналом (которое формирует ПЗС-матрица) в десятки раз. Во-вторых, измерить точно отстояние невозможно, поскольку не известно положение центра проекции.

Предположим, что имеется две фотографии тест-объекта, полученные с разных отстояний. Главные лучи снимков совпадают с перпендикуляром к центральному кресту тест-объекта, и измерены расстояния Y_1 и Y_2 от креста до края объектива фотоаппарата. Они отличаются от отстояний на некоторую константу Δ. Обозначим масштабы изображений на ПЗС-матрицах (т.е. масштабы оригиналов) через $1:m_1$ и $1:m_2$.

Для рассматриваемого случая уравнение оптического сопряжения имеет вид

$$\frac{1}{Y+\Delta}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}.$$

С учетом того, что $f=(Y+\Delta)/m$, вышеприведенное уравнение представим следующим образом:

$$Y+\Delta=F(1+m).$$

Для двух фотографий можно составить два таких уравнения, в результате решения которых получим формулы, для определения как константы Δ, так и фокусного расстояния F объектива камеры:

$$\Delta=\frac{Y_2(1+m_1)-Y_1(1+m_2)}{m_2-m_1};\quad F=\frac{Y_2-Y_1}{m_2-m_1}. \quad (1)$$

Однако знаменатели масштабов оригинальных изображений не известны, и подставлять в формулы (1) приходится значения, полученные по результатам измерения изображений, построенных на мониторе компьютера. Предположим, что они меньше

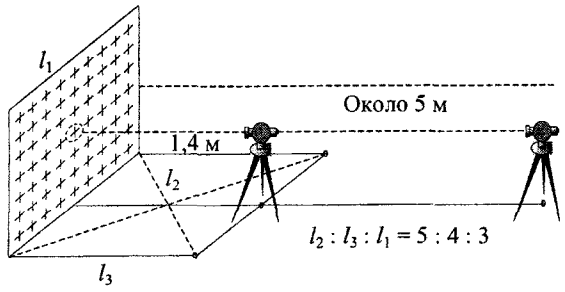


Схема определения элементов внутреннего ориентирования

в k раз. Тогда после подстановки вместо знаменателя m дроби m/k будем иметь

$$\Delta_k = \frac{Y_2(k+m_1) - Y_1(k+m_2)}{m_2 - m_1};$$

$$F_k = k\frac{Y_2 - Y_1}{m_2 - m_1} = kF. \qquad (2)$$

Как видим, для изображений, построенных на мониторе, значение фокусного расстояния объектива увеличивается в k раз. Это положительный результат, так как для сохранения связки проектирующих лучей именно значение F_k следует использовать при вычислении фокусного расстояния изображения по формуле оптического сопряжения.

Однако $\Delta_k \neq \Delta$. Чтобы понять существующую между ними взаимосвязь, добавим и вычтем в скобках первого равенства уравнений (2) по единице. В результате получим

$$\Delta_k = \frac{Y_2(k-1+m_1+1) - Y_1(k-1+m_2+1)}{m_2 - m_1}$$

или после некоторых преобразований

$$\Delta_k = \frac{Y_2(1+m_1) - Y_1(1+m_2)}{m_2 - m_1} + k\frac{Y_2 - Y_1}{m_2 - m_1} - \frac{Y_2 - Y_1}{m_2 - m_1}.$$

С учетом уравнений (1) и (2) окончательно получим

$$\Delta = \Delta_k - F_k + F. \qquad (3)$$

Рассмотренный вариант оценки констант реализован при определении максимального фокусного расстояния цифровой 5-мегапиксельной камеры «Olympus». Максимальное значение выбрано по той причине, что оно достаточно хорошо фиксируется при установке, значит, при желании может быть повторено с высокой точностью.

Тест-объект представлял собой сетку квадратов 5 × 5 мм (сетка Готье) и сетку квадратов со сторонами 66 мм, нанесенную на плоскопараллельное матовое стекло (от стола координатографа) толщиной около 10 мм и размером 1130 × 930 мм (см. рисунок). Средняя квадратическая ошибка нанесения штрихов оказалась равной 0,05 мм.

Тест-объект был сфотографирован дважды при указанных выше условиях. Изображения сеток (цифровые изображения) измерены на компьютере с использованием цифровой фотограмметрической станции PHOTOMOD. Полученные результаты для максимальных фокусных расстояний (камера «Olimpus») отображены в табл.1.

Таблица 1

Определение масштабов

Номер снимка	Отстояние, мм	Длина отрезка, мм		Знаменатели масштабов	
		на снимке	в натуре	по горизонтали и вертикали	среднее
1	1323	334,86	263,4	0,7866	0,7873
		334,25	263,4	0,7880	
2	4861	239,66	658,5	2,7476	2,7484
		239,52	658,5	2,7492	

Полученные данные позволили установить искомые параметры: Δ_k = 1901,5 мм, F_k = 1804,0 мм.

Для определения поправки в отстояние необходимо знать коэффициент k увеличения изображения, построенного ПЗС-матрицей. Приближенное значение оценить легко, так как размер изображения, построенного на мониторе, известен (для «Olimpus» – 451,6 × 338,7 мм), а размер ПЗС-матрицы, указанный в паспорте камеры, 2/3" (13,55 × 10,16 мм). Получается, что в рассматриваемом случае k = 33,3, поправка Δ = 151,4 мм

Отметим, что на практике при фотографировании объектов может возникнуть потребность в использовании не только максимального, но и других фокусов, например минимального, так как при этом

резко возрастает поле зрения объектива, а значит, и производительность выполнения работ. Поэтому важно знать и их фактические значения. Но теперь это несложно сделать, используя реальные отстояния и масштабы изображений.

Для восстановления связки проектирующих лучей нужно знать не только фокусное расстояние камеры, но и координаты главной точки снимка. Способов их определения много. Можно, например, воспользоваться решением обратной пространственной фотограмметрической засечки. Однако искомые координаты можно попытаться определить и моделированием, используя цифровую фотограмметрическую станцию PHOTOMOD.

Для этого в качестве левого и правого снимков загрузим одно и то же изображение. Выполним все положенные в соответствии с руководством пользователя процедуры: внутреннее ориентирование, геопривязку изображений, построение модели, ее внешнее ориентирование. Однако на этапе подготовки к взаимному ориентированию в качестве соответственных точек на втором (правом) снимке примем точки, смещенные по оси x на несколько квадратов. В результате получается стереопара практически нормального случая съемки с базисом, равным произведению числа квадратов на длину их стороны.

После внешнего ориентирования модели появится набор невязок. Если главную точку менять, то каждому ее новому положению будет соответствовать свой набор. С минимальными значениями невязок и можно сопоставить искомое значение координаты главной точки. Поиск можно выполнять вначале вдоль одной оси, например x, а затем вдоль другой – z.

Подобное моделирование было выполнено по полученному с отстояния 5 м снимку, который предварительно был исправлен в соответствии с построенным для него полем искажения. Фокусное расстояние принято равным 1806,5 мм, число соответственных точек 12, опознаков – 9, они равномерно покрывали перекрывающуюся часть образованной стереопары. В качестве координатных меток были использованы кресты, симметричные относительно средней точки сетки. При выборе соответственных точек все кресты правого снимка были смещены на пять интервалов, поэтому базис фотографирования оказался равным 0,329 м.

Модель была построена в базисной системе координат. Максимальный остаточный поперечный параллакс оказался значительно меньше пиксела, а элементы взаимного ориентирования: $\alpha_л$, $\chi_л$, $\alpha_п$, $\omega_п$ и $\chi_п$ соответственно равны 0,16, –0,48, 0,11, 0,06 и –0,49°.

Таблица 2

Расчет невязок, мм

Вид невязки	Координаты		
	X	Y	Z (отстояние)
Максимальная	1,64	0,47	4,58
Средняя	0,89	0,30	2,95

После внешнего ориентирования модели получены невязки на опознаках. Их максимальные и средние значения представлены в табл.2. Далее при указанных выше параметрах выполнялись все те же процессы, но каждый раз изменялось положение главной точки по оси x. При этом менялись и средние значения невязок на опознаках:

x, пиксель	1226	1244	1262	1278	1316	1334
m_Z, мм	4,29	3,60	3,09	2,95	3,22	4,50

Оценка положения главной точки была выполнена и для снимка, полученного с отстояния 1,4 м.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что невязки не очень критичны к указанию положения главной точки, во всяком случае, ее не нужно указывать с точностью до пиксела. Зависимости между абсциссами главной точки и невязками имеют четко обозначенные минимумы, причем по невязкам они не совсем совпадают.

Таким образом, рассмотренные методы определения элементов ориентирования цифровых снимков вполне корректны и могут быть использованы в прикладной фотограмметрии.