

УДК 528.7

ЛИНЕЙНАЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ЗАСЕЧКА

LINEAR PHOTOGRAMMETRY AN INTERSECTION#



Цветков В.Я. / Tsvetkov V. Ja.

Доктор технических наук, профессор Московского государственного университета геодезии и картографии, Заслуженный деятель науки и образования Российской Федерации / Doctor of Tech.Sci., professor of The State University of geodesy and cartography, Honored worker of science and education of Russian Federation.

e-mail: cvj2@mail.ru

Аннотация. В статье описывается линейное решение прямой и обратной фотограмметрической засечки. Метод не требует предварительных значений элементов ориентирования и не накладывает ограничений на углы наклона фотоснимка. В качестве исходных данных задаются координаты опорных точек местности и координаты их изображений на снимке. Прямая засечка решается по снимкам как с одинаковыми, так и с разными элементами внутреннего ориентирования.

Ключевые слова: Фотограмметрия, фотоснимки, засечка, проектирование.

Abstract. In paper the linear solution direct and return фотограмметрической an intersection is presented. The method does not demand a tentative value of elements of orientation and does not impose restrictions on a picture slope. In the capacity of initial data co-ordinates of datum points of locality and co-ordinate of their images in a picture are set. The intersection dares on pictures both with equal, and with different elements of internal orientation.#

Keywords: Photogrammetry, pictures, an intersection, designing.#

При решении задач реставрации по архивным снимкам, при исследовании внеземных территорий и других задачах – возникает задача нахождения элементов ориентирования снимка при произвольных начальных значениях. В существующей практике обратная фотограмметрическая засечка решается методом последовательных приближений при известных начальных приближениях. Недостатком этого подхода является ограничения на углы наклона.

В свою очередь прямая фотограмметрическая засечка также решается искусственным методом под условием компланарности, то есть нахождения проектирующих лучей в одной плоскости.

Все это обусловлено тем, что уравнения связи координат снимка и точек местности, выраженные через элементы внешнего и внутреннего ориентирования, снимка являются нелинейными.

Покажем как эти уравнения можно преобразовать в линейные при условии замены известных элементов ориентирования на новые постоянные параметры, связанные с этими элементами.

На практике для описания связи между координатами точек снимка x, y и координатами этих же точек X, Y, Z на местности используют уравнения коллинеарности (1).

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 - f \frac{a_{11}(X - X_s) + a_{21}(Y - Y_s) + a_{31}(Z - Z_s)}{a_{13}(X - X_s) + a_{23}(Y - Y_s) + a_{33}(Z - Z_s)} \\ y &= y_0 - f \frac{a_{12}(X - X_s) + a_{22}(Y - Y_s) + a_{32}(Z - Z_s)}{a_{13}(X - X_s) + a_{23}(Y - Y_s) + a_{33}(Z - Z_s)} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь x_0, y_0 – координаты главной точки снимка, X_s, Y_s, Z_s – координаты точки фотографирования a_{ij} – элементы матрицы направляющих косинусов.

В этих формулах предполагается что масштаб по осям Ox, Oy одинаковый. Следствием этого является равенство значений фокусных расстояний f в формуле (1) в уравнениях для координат x, y .

На практике возможны случаи различных масштабов (анаморфотная связка), что дает два разных фокусных расстояния f_x и f_y

Для дальнейших выводов используем скобочное обозначение векторов, которое использовал еще лауреат Нобелевской премии А.М.П.Дирак. В этих обозначениях:

- $\langle \quad |$ - Вектор строка.
- $| \quad \rangle$ - Вектор столбец
- $\langle \quad | \quad \rangle$ скалярное произведение.

Введем в рассмотрение трехмерные вектора: $|XS\rangle = |X_s, Y_s, Z_s\rangle$; $|U\rangle = |X, Y, Z\rangle$; $\langle aa1| = \langle a_{11}, a_{12}, a_{13}|$; $\langle aa2| = \langle a_{21}, a_{22}, a_{23}|$; $\langle aa3| = \langle a_{31}, a_{32}, a_{33}|$.

В этом случае выражения (1) примут вид (2), (3). Осуществляя линейные преобразования, приходим к формулам (4)-(5).

$$x = x_0 - f(\langle a11|U\rangle - \langle a11|XS\rangle) / (\langle a33|U\rangle - \langle a33|XS\rangle) \quad (2)$$

$$y = y_0 - f(\langle a22|U\rangle - \langle a22|XS\rangle) / (\langle a33|U\rangle - \langle a33|XS\rangle) \quad (3)$$

$$x = \frac{f \langle aa1|U\rangle - x_0 \langle aa3|U\rangle + x_0 \langle aa3|XS\rangle - f \langle aa1|XS\rangle}{\langle aa3|XS\rangle - \frac{\langle aa3|U\rangle}{\langle aa3|XS\rangle} + 1} \quad (4)$$

$$y = \frac{f \langle aa2|U\rangle - y_0 \langle aa3|U\rangle + y_0 \langle aa3|XS\rangle - f \langle aa2|XS\rangle}{\langle aa3|XS\rangle - \frac{\langle aa3|U\rangle}{\langle aa3|XS\rangle} + 1} \quad (5)$$

Затем, Выполняя несложные преобразования, выделяя U , получаем систему (6)-(7).

$$x = -\frac{\langle A1|U\rangle + A_4}{\langle A3|U\rangle + 1} \quad (6)$$

$$y = -\frac{\langle A2|U\rangle + A_8}{\langle A3|U\rangle + 1} \quad (7)$$

Выражения для векторов A и их компонент в (6-7) определяются из (3-4). Например, для вектора $A1$ будем иметь выражение

$$\langle A1| = -\frac{f \langle aa1| - x_0 \langle aa3|}{\langle aa3|XS\rangle}$$

В общем вектора A имеют компоненты, включающие только постоянные величины.

- $\langle A1| = \langle A_1, A_2, A_3|$;
- $\langle A2| = \langle A_5, A_6, A_7|$;
- $\langle A3| = \langle A_9, A_{10}, A_{11}|$;

При переходе от векторной записи (5-6) к скалярной получим следующие выражения.

$$x = \frac{A_1 X + A_2 Y + A_3 Z + A_4}{A_9 X + A_{10} Y + A_{11} Z + 1} \quad (7)$$

$$z = \frac{A_5 X + A_6 Y + A_7 Z + A_8}{A_9 X + A_{10} Y + A_{11} Z + 1} \quad (8)$$

Выражения (7-8) позволяют построить линейную систему уравнений для нахождения параметров A , связывающих координат точек снимка x, y и координаты этих же точек X, Y, Z на местности. Для одной точки с опорными координатами будет иметь место пара уравнений относительно неизвестных A :

$$A_1X + A_2Y + A_3Z + A_4 - A_9xX - A_{10}xY - A_{11}xZ = x \quad (9)$$

$$A_5X + A_6Y + A_7Z + A_8 - A_9yX - A_{10}yY - A_{11}yZ = y \quad (10)$$

Наличие 6 опорных точек позволяет решить линейную систему уравнений типа (9-10). Это линейная обратная фотограмметрическая засечка. Между коэффициентами A и элементами ориентирования снимка существует однозначная зависимость, которая позволяет определить элементы ориентирования снимка [1, 2, 3].

Если коэффициенты A определены, то система (9-10) позволяет составить систему уравнений для определения координат точек X, Y, Z на местности по координатам x, y изображений этих точек на снимке. Каждый снимок дает пару уравнений относительно неизвестных X, Y, Z .

$$(A_1 - A_9x)X + (A_2 - A_{10}x)Y + (A_3 - A_{11}x)Z = A_4 \quad (11)$$

$$(A_5 - A_9y)X + (A_6 - A_{10}y)Y + (A_7 - A_{11}y)Z = A_8 \quad (12)$$

Для второго снимка с координатами x, y изображений этих точек и параметрами A будет иметь место

$$(\underline{A}_1 - \underline{A}_9x)X + (\underline{A}_2 - \underline{A}_{10}x)Y + (\underline{A}_3 - \underline{A}_{11}x)Z = \underline{A}_4 \quad (13)$$

$$(\underline{A}_5 - \underline{A}_9y)X + (\underline{A}_6 - \underline{A}_{10}y)Y + (\underline{A}_7 - \underline{A}_{11}y)Z = \underline{A}_8 \quad (14)$$

Система (11-14) переопределена и решается относительно X, Y, Z . Очевидно что система (11-14) может дополняться други-

ми снимками, а в целом дает возможность решения мульти коллинеарной засечки. То есть прямой засечки, получаемой по координатам неограниченного количества снимков с разными элементами внутреннего ориентирования.

Исследования показали [4], что такая засечка решается и при нарушении условия компланарности, которое является обязательным при классическом подходе.

Такой подход позволяет эффективно определять координаты точек в во многих ситуациях когда классические методы неприемлемы..

Литература

1. Цветков В.Я. Методика обработки снимков неправильной формы // В кн. Развитие и использование аэрокосмических методов изучения природных явлений и ресурсов. - Новосибирск.: СО АН СССР, ИГИГ, ВЦ СО АН СССР, 1979, с. 56 – 63
2. Цветков В.Я. Программа определения проективных характеристик архивных снимков // Программное средство инв. N ГОСФАП 50890000091. - М.: ВНИЦентр, 1989. - 18 с.
3. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н. . Цветков В.Я. Прикладная геоинформатика. - М.: МаксПресс, 2005 -360 с.
4. Цветков В.Я., Хлебникова Т.А. Исследование прямой фотограмметрической засечки // Геодезия и картография. - 1987. - N 2. - с. 48 - 51

(с) Цветков В.Я., 2011