

А.Н.Гринь, Р.М.Хрущ, В.П.Дуда
Санкт-Петербургский филиал Военно-инженерного ун-та, Россия

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПО ОДИНОЧНОМУ ФОТОСНИМКУ

В работе предлагается способ определения координат точек местности по одиночному фотоснимку. Для этого используется интерполирование в плоскости, построенной по трем узлам ЦМР.

The way of terrain coordinates calculating using a single photo is suggested. The interpolation in the plane build with the help of the CMR knots is used.

При создании и обновлении топографических и цифровых карт местности в качестве основного материала используются результаты аэрокосмических съемок. При этом многие задачи, например создание фотопланов и ортофотопланов, получение цифровой информации об объектах местности, решаются по одиночным снимкам.

Технология создания фотопланов и ортофотопланов, которые служат основой для составления графических оригиналов карт и планов, отработана и получила широкое распространение. Однако использование одиночного фотоснимка с целью координатного обоснования элементов содержания карт требует совершенствования.

В данной работе предлагается новое решение вопроса определения по одиночному фотоснимку координат отдельных точек или объектов местности. Теоретической основой решения этой задачи являются зависимости*:

$$\left. \begin{aligned} X &= X_S + (Z - Z_S) \frac{a_1x + a_2y - a_3f}{c_1x + c_2y - c_3f}; \\ Y &= Y_S + (Z - Z_S) \frac{b_1x + b_2y - b_3f}{c_1x + c_2y - c_3f}, \end{aligned} \right\} (1)$$

где X, Y, Z – координаты точки местности; x, y – координаты изображения точки местности на фотоснимке; $a_i, b_i, c_i (i=1, 2, 3)$ – направляющие косинусы, функции угловых элементов внешнего ориентирования (ЭВО) фотоснимка; X_S, Y_S, Z_S – линейные ЭВО фотоснимка.

Из зависимостей (1) следует, что для определения плановых координат точки местности необходима высота этой точки. С появлением цифровой информации о местности для этой цели стали применять цифровую модель рельефа. Например, в работе В.А.Даргеля с соавторами** высоты определяемых точек получают билинейным интерполированием, а за

* Лобанов А.Н. Фотограмметрия. М.: Недра, 1984. 552 с.

** Даргель В.А. Об автоматизированном определении пространственных координат точек по одиночному аэрофотоснимку / В.А.Даргель, В.И.Иванов, В.В.Митрофанов // Геодезия и картография. 1991. № 2. С.36-39.

тем методом последовательных приближений по формулам (1) уточняют плановые координаты точек местности.

В описанном в работе В.А.Даргеля способе, как и в других подобных решениях, на точность и надежность результатов влияют не только ошибки исходных данных, но и сходимость и ограниченность числа шагов итерационного процесса. Предлагаемый способ свободен от погрешностей, связанных с итерационным решением задачи определения координат точек местности по одиночному фотоснимку.

Сущность предлагаемого способа состоит в следующем. Допустим, что на участок местности D , изобразившейся на снимке P , имеется цифровая матрица рельефа (ЦМР). Кроме ЦМР, представленной в виде

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{m1} & Z_{m2} & \dots & Z_{mn} \end{bmatrix},$$

для автоматизированного решения фотоснимок преобразуется в цифровую форму. Также необходимо иметь элементы внутреннего и внешнего ориентирования фотоснимка.

Любая точка $A = [X \ Y \ Z]$ местности D преобразуется в точку $A_p = [x \ y]$ по формулам

$$x = -f \frac{a_1(X - X_S) + b_1(Y - Y_S) + c_1(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)}; \quad (2)$$

$$y = -f \frac{a_2(X - X_S) + b_2(Y - Y_S) + c_2(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)},$$

Поскольку узлы ЦМР определены на местности координатами X, Y, Z , а элементы ориентирования фотоснимка известны, имеется возможность рассчитать

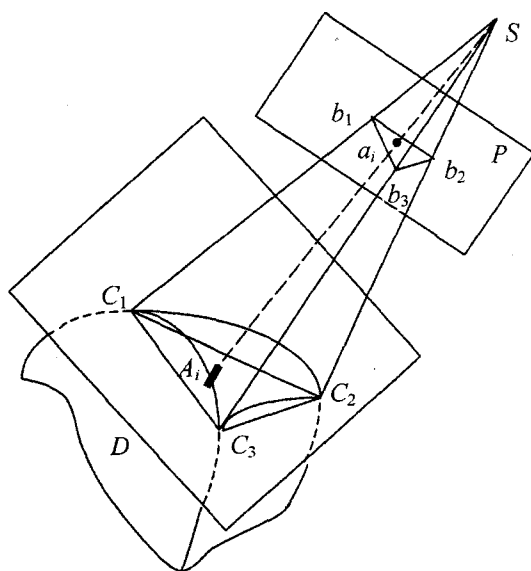


Схема к определению координат точки a_i

координаты x, y изображений узлов на фотоснимке P . Таким образом получим совокупность точек $a_{ij} = P(A_{ij})$, которые соответствуют совокупности A_{ij} узлов ЦМР.

Обозначим изображение на фотоснимке определяемой точки a_i (см. рисунок), где i – номер точки. На фотоснимке выберем три ближайшие к точке a_i изображения узлов ЦМР, т.е. точки b_1, b_2, b_3 . Точка a_i находится внутри треугольника $T_{b_1 b_2 b_3}$. Точки b_1, b_2, b_3 являются изображениями узлов C_1, C_2, C_3 ЦМР, образующих треугольник $T_{C_1 C_2 C_3}$.

Определяемая точка будет находиться на луче SA_i (см. рисунок). Найдем координаты пересечения этого луча с поверхностью местности. Они и будут определять местоположение искомой точки.

Построим линейный интерполянт Z в треугольнике $T_{C_1 C_2 C_3}$ по точкам C_1, C_2, C_3 :

$$Z = A_0 + A_1 X + A_2 Y. \quad (3)$$

Поскольку координаты точек C_1, C_2, C_3 известны, коэффициенты A_0, A_1, A_2 определяются из системы линейных уравнений

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= A_0 + A_1 X_1 + A_2 Y_1; \\ Z_2 &= A_0 + A_1 X_2 + A_2 Y_2; \\ Z_3 &= A_0 + A_1 X_3 + A_2 Y_3, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где X_i, Y_i ($i=1, 2, 3$) – координаты узлов ЦМР, образующих треугольник $T_{C_1 C_2 C_3}$.

Обозначив матрицу коэффициентов

$$D = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_1 \\ 1 & X_2 & Y_2 \\ 1 & X_3 & Y_3 \end{bmatrix} \quad \text{при неизвестных в сис-}$$

теме уравнений (4), получим

$$\begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \end{bmatrix} = D^{-1} \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{bmatrix}.$$

Используя зависти (1), определим отображение $U: T_{b_1 b_2 b_3} \rightarrow T_{C_1 C_2 C_3}$ следующим образом. Подставив в зависимости (1) значение высот точек (4), получим

$$X - X_S = (Z - Z_S) \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f};$$

$$Y - Y_S = (Z - Z_S) \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f};$$

откуда

$$\left. \begin{aligned} X - X_S &= (A_0 + A_1 X + A_2 Y - Z_S) \times \\ &\times \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f}; \\ Y - Y_S &= (A_0 + A_1 X + A_2 Y - Z_S) \times \\ &\times \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \end{aligned} \right\}$$

или

$$\begin{aligned} &X \left(1 - A_1 \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \right) - \\ &- A_2 \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} Y = \\ &= X_S + \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} (A_0 - Z_S); \\ &X \left(-A_1 \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \right) + \\ &+ \left(1 - A_2 \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \right) Y = \\ &= Y_S + \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} (A_0 - Z_S). \end{aligned}$$

Введем обозначения:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 - A_1 \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} & -A_2 \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \\ -A_1 \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} & 1 - A_2 \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \end{vmatrix};$$

$$\Delta x = \begin{vmatrix} X_S + (A_0 - Z_S) \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} & -A_2 \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \\ Y_S + (A_0 - Z_S) \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} & 1 - A_2 \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \end{vmatrix}$$

и

$$\Delta y = \begin{vmatrix} 1 - A_1 \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} & X_S + (A_0 - Z_S) \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \\ -A_1 \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} & Y_S + (A_0 - Z_S) \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \end{vmatrix}.$$

В таком случае отображение U будет определяться зависимостями

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{\Delta x}{\Delta(x, y)}; \\ Y &= \frac{\Delta y}{\Delta(x, y)}; \\ Z &= A_0 + A_1 \frac{\Delta x}{\Delta(x, y)} + A_2 \frac{\Delta y}{\Delta(x, y)}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Поскольку $T_{C_1 C_2 C_3}$ является приближением поверхности рельефа местности, отображение U является приближением отображения снимка P в окрестности точки a_i на участок местности D . Поэтому координаты определяемой точки A_i

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} \approx U(x_i, y_i).$$

Итак, координаты определяемой точки находят по формулам (5). При этом координаты x_i, y_i измеряют по визуализированному на экране дисплея ПЭВМ изображению фотоснимка.

Практическое применение метода показало, что основной источник погрешностей в полученных формулах – это интерполирование высоты рельефа местности в окрестности определяемой точки. Однако этот источник присутствует в любом методе, основанном на использовании ЦМР. Реально есть лишь один способ уменьшения влияния этого источника: использование более точных ЦМР.