

Априорная оценка точности автоматического получения цифровой информации о рельефе по стереоизображениям

В. А. МЫШЛЯЕВ

Журнал «Геодезия и картография», №2, 2005, с. 21-23.

Как известно, точность автоматического получения цифровой информации о рельефе (ЦИР) по растровым полутоновым изображениям (РПИ) обусловлена не только совершенством алгоритма отождествления одноименных точек растровых стереоизображений, но и искажениями кодов оптических плотностей (КОП), с которыми этот алгоритм оперирует. Эти искажения определяются как рельефом, так и ошибками сканирования фотоснимков, внутреннего и взаимного ориентирования получаемых изображений.

Указанные процессы приводят к появлению геометрических ошибок $m_{ск}$ и $m_{ор}$, которые, в свою очередь, порождают фотометрические искажения при эпиполярном (базисном) трансформировании, т. е. при формировании КОП вдоль соответственных базисных линий.

Суммарная ошибка m_0 автоматического отождествления одноименных точек стереоизображений определяется по формуле

$$m_0 = [m_{oa}^2 + m_{od}^2]^{\frac{1}{2}},$$

где m_{oa} и m_{od} - ошибки, обусловленные работой программы отождествления и дискретностью Δx^0 представления КОП вдоль базисных линий в приведенной плоскости. При этом ошибка m_{od} получается по формуле [2]

$$m_{od} = \frac{\Delta x^0}{2\sqrt{3}}. \quad (1)$$

Тогда

$$m_0 = \left[\frac{(\Delta x^0)^2}{12} + m_{oa}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

откуда следует, что минимальная величина ошибки m_0 но может быть меньше ошибки m_{od} .

Рассмотрим влияние ошибок сканирования и ориентирования фотоснимков на точность получения ЦИР. Точность сканирования исходных фотоснимков определяется смещением пикселей сканирования относительно их заданных координат и характеризуется ошибкой $m_{ск}$. Так как сканирование фотоснимков в общем случае является двух-координатным, то ошибку $m_{ск}$ можно условно разделить на две взаимно перпендикулярные составляющие:

$m_{ск}^q$ - в поперечном направлении (вдоль оси y фотосканера);

$m_{ск}^p$ - в продольном направлении (вдоль оси x фотосканера).

Точность ориентирования фотоснимков определяется смещением одноименных точек в направлении, перпендикулярном к базисным линиям, и характеризуется ошибкой $m_{ск}^q$, вычисляемой по остаточным поперечным параллаксам в измеряемых точках [1]. Так как ошибки $m_{ск}^q$ и $m_{ск}^p$ являются случайными и независимыми, то суммарную ошибку m^q сканирования и ориентирования можно определить по формуле

$$m^q = \left[(m_{ск}^q)^2 + (m_{оп}^q)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Найдем влияние ошибки m^q на точность определения продольного параллакса. Допустим, что траектория базисной линии пересекает некоторый контур, изображенный на фотоснимке, под углом α (рис. 1). Причем если на левом фотоснимке траектория базисной линии пересекает контур в точке A , то на правом за счет наличия ошибки m^q в точке B (на правом фотоснимке пунктиром показана траектория базисной линии без ошибки по отношению к левому фотоснимку). Наличие ошибки m^q приводит к появлению ошибки m^{pq} в смещении точки пересечения контура базисной линией и, следовательно, к ошибке в определении величины продольного параллакса.

Эту ошибку можно определить по формуле

$$m^{pq} = m^q \cdot ctg \alpha, \quad (4)$$

где α - угол между направлением контура и базисной линией в текущей точке.

Подставив величину m^q из формулы (3) в формулу (4), получим

$$m^{pq} = \left[(m_{ск}^q)^2 + (m_{оп}^q)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot ctg \alpha \quad (5)$$



Суммарная же ошибка m^p в определении продольного параллакса

$$m^p = \left[(m^{pq})^2 + (m_{ск}^q)^2 + (m_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

После подстановки в это выражение значения m^{pq} из формулы (5) получим

$$m^p = \left[\left(\left[(m_{ск}^q)^2 + (m_{оп}^q)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot ctg \alpha \right)^2 + (m_{ск}^q)^2 + (m_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

Так как контуры на фотоснимке ориентированы по отношению к базисным линиям равновероятно в пределах угла α от 0° до 180° , то ошибка m^{pq} при пересечении этих контуров базисными линиями в соответствии с формулой (5) теоретически может изменяться от 0 до ∞ . Приняв среднюю величину угла α равной 45° , получим

$$m^p = \left[(m^p)^2 + (m_{ск}^q)^2 + (m_{оп}^p)^2 + (m_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (8)$$

По этой приближенной формуле можно предопределить величину ошибки, которая будет присуща ЦИР.

Производственные работы показали, что при учете систематических ошибок фотоснимков, дисторсии объектива фотоаппарата, внутренней рефракции, деформации фотоматериала, подвижки фотоматериала в момент экспозиции, а также при сравнительно точном измерении координат крестов и одноименных точек стереоизображения ошибка $m_{оп}$ ориентирования может составлять от 3 до 6 мкм.

При сканировании снимков на фотограмметрическом сканере динамическая ошибка $m_{ск}$ может достигать 4 мкм. Если принять, что ошибка $m_{оа}$ равна только ошибке $m_{од}$, то суммарная ошибка автоматического отождествления $m_о$ будет составлять $\Delta x^o / \sqrt{6}$.

Экспериментальные исследования показали, что только в пределах части участка обработки продольные параллаксы могут быть получены автоматически с требуемой точностью. Отношение этой части ко всей площади участка K может принимать значения от 0 до 1 (от 0 до 100%). Коэффициент K можно определить следующим образом. Из формулы (7) получим угол $\alpha_{дон}$, при котором

$$m^p < m_{дон}^p \quad (9)$$

где $m_{дон}^p$ - допустимая ошибка автоматического получения продольных параллаксов. Тогда

$$\alpha_{дон} \geq \arctg \left(\frac{(m_{ск}^q)^2 + (m_{оп}^q)^2}{(m_{дон}^q)^2 - (m_{ск}^q)^2 - (m_о)^2} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

Причем необходимо рассматривать абсолютную величину угла $\alpha_{дон}$, так как положительный и отрицательный углы пересечения контура с базисной линией приводят к одним и тем же ошибкам определения продольного параллакса.

Для наглядности представим, что вся площадь обрабатываемого участка эквивалентна кругу (рис. 2).

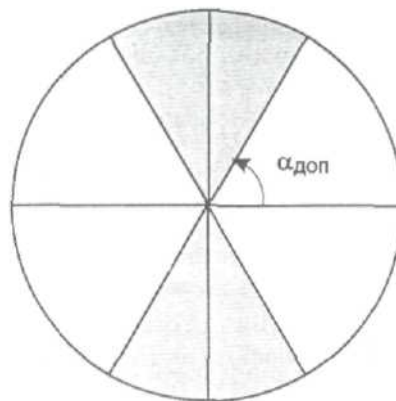


Рис. 2. Графическое представление площади обрабатываемого участка

Тогда площадь заштрихованных секторов соответствует той части участка, в

пределах которой ошибка m^p будет меньше заданной, и величину K можно определить по формуле

$$K = S_{сект} / S_{кр} = 1 - \alpha_{дон} / 90^\circ, \quad (11)$$

где $S_{сект}$ - площадь заштрихованной части круга (сектора); $S_{кр}$ - площадь всего круга.

Подставив в формулу (11) из формулы (10), получим:

$$K = 1 - \arctg \frac{\left(\frac{(m_{ск}^q)^2 + (m_{оп}^q)^2}{(m_{дон}^q)^2 - (m_{ск}^q)^2 - (m_o)^2} \right)^{\frac{1}{2}}}{90^\circ}. \quad (12)$$

Таким образом, если в пределах площади, соответствующей величине K , не потребуется ручное исправление автоматически полученной ЦИР, то на площади $(1 - K)$ оно может быть необходимо.

Подставив в формулу (7) значение α из формулы (11), получим формулу для расчета ожидаемой величины ошибки определения продольных параллаксов

$$m^p = \left(\left((m_{ск}^q)^2 + (m_{оп}^q)^2 \right) \cdot \operatorname{ctg}((1 - K) \cdot 90^\circ) + (m_{ск}^p)^2 + (m_o)^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (13)$$

Автоматическая съемка рельефа по фотоснимкам с ошибкой, не превышающей 5 мкм, возможна только для случая, когда ошибка ориентирования не превышает 3 мкм, а ошибки сканирования и автоматического отождествления одноименных точек - 2 мкм. Однако коэффициент K в этом случае не превысит 50 %. Это означает, что только половина участка может быть обработана с требуемой точностью. Для допустимых ошибок съемки рельефа, равных 10 и 20 мкм, коэффициент K может возрасти до 90 и 95 % соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобанов А. Н. Фотограмметрия. - М.: Недра, 1984.
2. Хлыстунов В. Н. О погрешностях аппроксимации дискретных методов измерения // Приборостроение. - 1960. - № 5.