

Оценка точности цифровых ортофотопланов

В. А. Мышляев

Журнал «Геодезия и картография», №5, 2005, с. 25-27.

Цифровой ортофотоплан представляет собой растровое полутоновое ортоизображение в рамках прямоугольного планшета или трапеции соответствующего масштаба, характеризующееся точностью, разрешающей способностью (размером пикселя), системой координат, количеством уровней квантования оптических плотностей и т. п.

Точность цифровых ортофотопланов определяется: масштабом исходных фотоснимков; ошибками элементов внутреннего, взаимного и внешнего ориентирования исходных фотоснимков или их растровых полутоновых изображений (РПИ); ошибками цифровой модели рельефа (ЦМР); величиной пикселя сканирования исходных фотоснимков и др.

Ошибки элементов внутреннего, взаимного и внешнего ориентирования РПИ зависят от точности: измерения координатных меток и связующих (одноименных) точек стереоизображений; геодезической планово-высотной привязки аэрокосмоснимков.

Как правило, эти ошибки определяются при совместном уравнивании фотограмметрических и геодезических результатов измерений, т. е. их можно разделить на фотограмметрические m_ϕ и геодезические m_z . Использование в последующем этих интегральных ошибок позволит не учитывать по отдельности ошибки внутреннего, взаимного и внешнего ориентирования РПИ, а также ошибки, вносимые самим оператором при соответствующих измерениях.

Точность ортофотоплана характеризуется ошибкой $m_{офп}$ в положении контурных точек, измеренных на цифровом ортофотоплане и местности

$$m_{офп} = \sqrt{(m_\phi \cdot M_{сн})^2 + m_z^2 + (m_{\Delta r} \cdot M_{офп})^2} . \quad (1)$$

где $M_{сн}$ и $M_{офп}$ - знаменатель масштаба исходных фотоснимков и создаваемого ортофотоплана; $m_{\Delta r}$ - ошибка ортофотоизображения, обусловленная влиянием рельефа местности (мм).

Ошибка $m_{\Delta r}$ определяется по совокупности локальных (индивидуальных) ошибок в каждой i -й точке ортофотоизображения, вычисляемых по формуле

$$\Delta r_i = \frac{r_i}{M_{офп}} \cdot \frac{\Delta h_i}{f} . \quad (2)$$

где r_i - удаление i -й точки фотоснимка от точки надира (мм); Δh_i - ошибка определения высот элементарных участков цифрового трансформированного фотоснимка (м) в i -й точке ортофотоизображения; f - фокусное расстояние съёмочной камеры (мм).

В свою очередь, ошибка Δh_i определяется точностью ЦМР, которая может быть получена двумя вариантами.

Первый вариант предполагает, что ЦМР характеризуется некоторой ошибкой m_h , единой для всего фотоизображения и не зависящей от местоположения точек на фотоснимке. В этом случае Δh_i в каждой точке трансформируемого изображения определяется по формуле

$$\Delta r_i = \frac{r_i}{M_{офп}} \cdot \frac{m_h}{f} . \quad (3)$$

и ее величина зависит только от параметра r_i , который может изменяться от 0 до r_{max} . Тогда ошибку $m_{\Delta h}$ можно определить по формуле:

$$m_{\Delta r} = \sqrt{\frac{\int_0^{r_{max}} (\Delta r)^2 \cdot d(r)}{r_{max}}}. \quad (4)$$

После некоторых преобразований получим

$$m_{\Delta r} = \frac{m_h r_{max}}{\sqrt{3} M_{офн} f}. \quad (5)$$

Интегральная средняя квадратическая ошибка ортофотоплана в $\sqrt{3}$ раз меньше наибольшей ошибки, соответствующей наиболее удаленному от точки надира участку фотоснимка. Эта формула может применяться в том случае, когда точность ЦМР задается единой величиной m_h для всей трансформируемой площади фотоснимка.

Второй вариант (наиболее распространенный) заключается в том, что точность ЦМР оценивается по ряду локальных значений Δh_i , представляющих собой разности высот, полученных в связующих точках по результатам фототриангуляции и по ЦМР путем интерполяции между высотами в узловых точках. Тогда ошибка определяется по формуле

$$m_{\Delta r} = \frac{1}{M_{офн} f} \sqrt{\frac{\sum (r_i \Delta h_i)^2}{n}} \quad (6)$$

где n - число связующих точек на стереопаре, по которым осуществляется вычисление ошибки $m_{\Delta r}$.

В связи с тем, что в пределах каждой стереопары, как правило, измеряют 20-30 одноименных связующих точек, расположенных на различных расстояниях r_i от точек надира левого и правого фотоснимков стереопары, оценка точности ЦМР по формуле (6) является более или менее достоверной [3].

Мозаику для создания ортофотоплана, как правило, формируют из ортофотоизображений, полученных из различных фотоснимков с использованием одной ЦМР. Поэтому ошибку Δr_i можно минимизировать за счет использования ортофотоизображений, которые получены с участков фотоснимков, расположенных ближе к точкам надира, т. е. тех участков, у которых r_i будет меньше.

Для наглядного представления распределения ошибок Δr_i в приложении к цифровому ортофотоплану можно создать отдельный слой, в который будет записана гипсометрическая раскраска площади ортофотоплана в соответствии с формулой (2). Например, с увеличением ошибки Δr_i ортофотоплан принимает цвет от светло-зеленого до темно-коричневого. Если же $\Delta r_i > \Delta r_{доп}$, то эта площадь ортофотоплана окрашивается в красный (запретный) цвет.

Создание такого слоя и его совместное использование с цифровым ортофотопланом поможет оператору оценить его качество. Так, например, если в этом слое преобладает светло-зеленый или зеленый цвет, то цифровой ортофотоплан имеет высокую точность. Красный цвет указывает на недопустимые ошибки: в этих местах необходимо отредактировать ЦМР таким образом, чтобы соблюдалось условие

$$\Delta r_i > \Delta r_{доп}. \quad (7)$$

Имеется и другой вариант устранения мест на ортофотоплане, содержащих недопустимые по точности участки. Для этого из всех трансформированных изображений на данный участок местности компьютер автоматически выбирает наиболее точные для формирования ортофотоплана. Если ни на одном ортофотоизображении не окажется участка, пригодного по точности для формирования ортофотоплана, компьютер покажет оператору тот участок, для которого необходимо уточнить ЦМР.

Таким образом, зная все исходные величины, по формуле (1) можно определить точность цифрового ортофотоплана. Зная допустимую ошибку ортофотоплана $m_{офп}^{\partial on}$ и ошибки m_{ϕ} и m_r , можно определить точность, с которой необходимо получать ЦМР для создания цифрового ортофотоплана. Для этого из формулы (1) определим

$$m_{\Delta r}^{\partial on} = \sqrt{\left(m_{офп}^{\partial on}\right)^2 - \left(\frac{m_{\phi} M_{сн}}{M_{офп}}\right)^2 - \left(\frac{m_r}{M_{офп}}\right)^2}. \quad (8)$$

При этом всегда должно соблюдаться условие

$$m_{\Delta r}^{\partial on} \geq \left(\frac{m_{\phi} M_{сн}}{M_{офп}}\right)^2 + \left(\frac{m_r}{M_{офп}}\right)^2 \quad (9)$$

а также $m_{\Delta r}^{\partial on} > m_{\Delta r}$, вычисленного по формулам (5) или (6).

В соответствии с Инструкцией [1] допустимая ошибка цифровых ортофотопланов $m_{офп}$ не должна превышать 0,5 мм в масштабе создаваемого ортофотоплана.

Если $r_i = r_{max}$, минимальную ошибку по высоте можно определить по формуле

$$\Delta h_{\min}^{офп} \leq \frac{\Delta r_{\partial on} M_{офп} f}{r_{\max}}. \quad (10)$$

где в качестве $\Delta r_{\partial on}$ можно использовать допустимую ошибку $m_{\Delta r}^{\partial on}$, вычисляемую по формуле (8).

Определим, какую же минимальную ошибку Δh_{\min}^{pmu} по высоте можно получить в результате обработки растровых полутоновых изображений. Для этого воспользуемся формулой

$$\Delta h_{\min}^{pmu} = \frac{M_{сн} f m_p}{a(1 - P_x)}. \quad (11)$$

где m_p - ошибка измерения продольных параллаксов по цифровым стереоизображениям, зависящая от параметров фотоснимков, физиологических возможностей оператора и функциональных возможностей программно-технических средств; a - сторона фотоснимка вдоль базиса фотографирования; P - продольное перекрытие фотоснимков (цифровых изображений); b - базис фотографирования в масштабе фотоснимков.

В соответствии с [2] $m_p = 0,4\Delta$ (Δ — размер пикселя сканирования).

В свою очередь, значение Δ рассчитывается по формуле [1]

$$\Delta = \frac{0.4}{R_{cn}}, \quad (12)$$

где R_{cn} - разрешающая способность исходных фотоснимков (1/мм).

Подставив значения m_p и Δ в формулу (11), получим

$$\Delta h_{\min}^{pmu} = \frac{0,16M_{cn}f}{R_{cn}\alpha(1-p_x)}. \quad (13)$$

Величина Δh_{\min}^{pmu} должна быть всегда меньше или равна значению Δh_{\min}^{ofn} , вычисляемому по формуле (10). Подставив значение Δh_{\min}^{pmu} из формулы (13) в (10), получим

$$r_{\min} = \frac{0,16M_{cn}r_{\max}}{R_{cn}\alpha(1-p_x)M_{ofn}} \quad (14)$$

Вычислим точность цифровых ортофото-планов, создаваемых по фотоснимкам различного масштаба размером 230 x 230 мм, имеющим продольное перекрытие $P_x = 0,6$ (60%), по формуле (1). Ошибку $m_{\Delta x}$ принимаем равной Δr_{\min} . Значение r_{\max} при продольном перекрытии $P_x = 60\%$ и поперечном $P_y = 30\%$ может составлять:

- для фотоснимков внутри фотограмметрического блока - 92 мм;
- для одиночных и крайних фотоснимков в блоке - 161 мм.

Величины m_{ϕ} и m_r в соответствии с Инструкцией [1] не должны превышать соответственно 10 мкм в масштабе фотоснимка и 0,1 мм в масштабе создаваемого плана. Фактически же ошибка m_{ϕ} , как правило, не превышает 6 мкм, а m_r при использовании спутникового GPS-приемника может составлять 0,1 м на местности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Инструкция* по фотограмметрическим работам при создании топографических карт и планов. - М.: ЦНИИГАиК, 2002.
2. *Мельников А. В., Мышляев В. А., Тюкавкин Д. В.* Об одном из методов планово-высотной привязки материалов аэрофотосъемки // *Геодезия и картография*. - 2003. - № 4. - С. 42-44.
3. *Книжников Ю.Ф.* Зависимость точности стереоскопических измерений от размера пикселя цифровых снимков // *Геодезия и картография*. - 2003. - № 4. - С. 32-41.