О значении критерия точности построения модели местности

On the Role of Accuracy Criterion in Plotting the Local Terrain Model

Хрущ / Khrusch R.
Роман Михайлович
(Chrusch@rambler.ru)
кандидат технических наук, доцент.
ФГКВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского» МО РФ
(ВКА им. А. Ф. Можайского),
профессор кафедры фототопографии и фотограмметрии.
г. Санкт-Петербург

Гринь / Grin A.
Александр Николаевич
(al-grin1@yandex.ru)
кандидат физико-математических наук, доцент.
ВКА им. А. Ф. Можайского,
профессор кафедры математики.
г. Санкт-Петербург

Соловьев / Soloviev A.
Алексей Владимирович
(solov19882008@mail.ru)
ВКА им. А. Ф. Можайского,
адъюнкт.
г. Санкт-Петербург

Левадный / Levadny Y.
Юрий Валерьевич
(levada74@mail.ru)
кандидат военных наук.
ВКА им. А. Ф. Можайского,
заместитель начальника кафедры фототопографии и фотограмметрии.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: модель местности – local terrain model; элементы взаимного ориентирования – elements of mutual bearings; одноименные точки – homologue points; нормаль к базисной плоскости – normal to basic plane; идентификация – identification.

В статье рассматривается сущность определения допустимых значений отклонения от нулевого значения критерия, предложенного авторами. Для этого следует установить соотношение между остаточными поперечными параллаксами соответственных точек и углом между нормалями к базисным плоскостям, в которых они находятся.

The paper reviews the essence of defining permissible deviations from zero value of the criterion suggested by the authors. For that a relationship should be retrieved between residual transverse parallaxes of respective points and the angle between the normals to basic planes to which these points belong.

Фотограмметрическая обработка снимков преследует цель заменить измерения на местности измерениями по снимкам. К сожалению, непосредственно по снимкам решить эту задачу не представляется возможным. Для измерений объектов местности по снимкам используют ее аналог – модель местности. При этом точность измерений объектов местности по модели будет зависеть от точности ее построения. В качестве критерия точности построения модели по аэрокосмическим снимкам обычно используются значения остаточных поперечных параллаксов в плоскости изображений снимков стереопары, которые связаны с поперечными параллаксами в пространстве модели. Использование такого критерия позволяет обоснованно определять параметры оценки точности измерений по модели местности, так как их значения зависят от точности измерений по снимкам. Использование остаточных поперечных параллаксов для оценки точности построения модели местности связано со свойством идеальной стереопары, на снимках которой по определению должны отсутствовать поперечные параллаксы.

В настоящее время для фотограмметрической обработки снимков применяют цифровые технологии, которые реализуются современными цифровыми фотограмметрическими системами (ЦФС). При этом технологические процессы стараются максимально автоматизировать – до полного исключения человеческого фактора. Одним из таких процессов является взаимное ориентирование снимков – построение модели местности с использованием элементов взаимного ориентирования (ЭВзО) снимков стереопары. Автоматическое взаимное ориентирование реализовано в большинстве современных ЦФС. При этом используются координаты соответственных точек стереопары снимков. В процессе определения ЭВзО снимков стереопары отбраковывают грубо измеренные точки.

В работе [1] рассмотрен критерий отбраковки соответственных точек на стереопаре снимков, основанный на вычислении значения угла α между нормалями $\mathbf{N}_1$ и $\mathbf{N}_2$ к базисным плоскостями, в которых находятся соответственные точки m_1 и m_2 стереопары (рис. 1). Этот угол должен быть равным нулю при безошибочном определении соответственных точек и это означает, что соответственные точки находятся в одной базисной плоскости. Поэтому отклонение его от нуля является критерием точности идентификации соответственных точек. Этот критерий является более эффективным по сравнению с остаточными поперечными параллаксами, ибо он учитывает влияние ошибок обеих координат (x и y) точек снимков. Этот критерий целесообразно применять при автоматическом построении модели местности по аэрокосмическим снимкам.

Однако важным является вопрос, как установить критическое значение угла α. По-иному, как следует определять допустимое значение угла α с целью отбраковки ошибочно идентифицированных соответственных точек снимков. Для решения этого вопроса найдем связь угла α и поперечного параллакса соответственных точек.

Пусть Q – расстояние между проектирующими лучами S_1m_1 и S_2m_2 (рис. 1), если они не пересекаются, т.е. не выполняется условие взаимного ориентирования снимков; отрезок Q называется поперечным параллаксом в пространстве модели, он параллелен оси Y [2];

m_1 – точка на первом снимке стереопары;

m_2 – точка на втором снимке стереопары;

S_1 и S_2 – центры проекций;

B – вектор базиса фотографирования;

$m_1 = S_1m_1$ – вектор, определяющий положение точки m_1 на левом снимке;

$m_2 = S_2m_2$ – вектор, определяющий положение точки m_2 на правом снимке;

N_1 – нормаль к плоскости $S_1S_2m_1 \rightarrow \mathbf{N_1} = \mathbf{B} \times \mathbf{m_1}$;

N_2 – нормаль к плоскости $S_1S_2m_2 \rightarrow \mathbf{N}_2 = \mathbf{B} \times \mathbf{m}_2$;

α – угол между нормалями $\mathbf{N}_1$ и $\mathbf{N}_2$, который равен углу между плоскостями $S_1S_2m_1$ и $S_1S_2m_2$.

Итак, $\alpha = (\mathbf{N_1}, \mathbf{N_2})$.

Рассмотрим общую нормаль $\mathbf{N}$ векторов $\mathbf{m}_1$ и $\mathbf{m}_2$:

$$\mathbf{N} = \mathbf{m_1} \times \mathbf{m}_2;$$

Тогда

$$Q = \left|\text{Пр}_{\mathbf{N}}\mathbf{B}\right| = \frac{|\mathbf{N} \cdot \mathbf{B}|}{|\mathbf{N}|}.$$

Свяжем величину Q с объемом тетраэдра $S_1m_1S_2m_2$

$$V_T = \frac{1}{6}\left|\mathbf{B} \cdot (\mathbf{m_1} \times S_1m_2)\right| = \frac{1}{6}\left|\mathbf{B} \cdot (\mathbf{m_1} \times (\mathbf{B} + \mathbf{m_2}))\right| = \\ = \frac{1}{6}\left|\mathbf{B} \cdot (\mathbf{m_1} \times \mathbf{B}) + \mathbf{B} \cdot (\mathbf{m_1} \times \mathbf{m_2})\right|,$$

Но

$$\mathbf{B} \cdot (\mathbf{m_1} \times \mathbf{B}) = 0 \quad \text{и} \quad \mathbf{m_1} \times \mathbf{m_2} = \mathbf{N},$$

Поэтому

$$\boldsymbol{V_T} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{6}}|\mathbf{B} \cdot \mathbf{N}| = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{6}} \cdot \frac{|\mathbf{B} \cdot \mathbf{N}|}{|\mathbf{N}|} \cdot |\mathbf{N}| = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{6}}\boldsymbol{Q} \cdot |\mathbf{N}|, \tag{1}$$

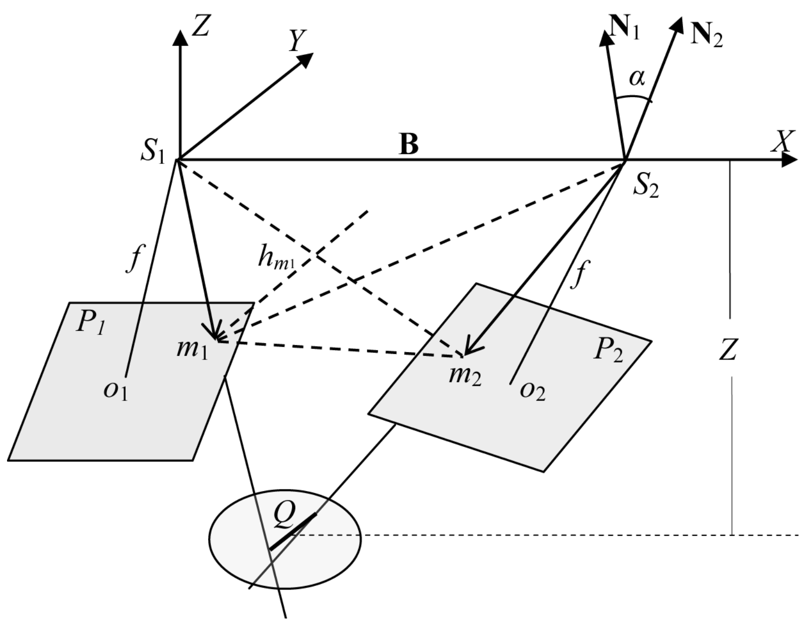

Рис. 1. Поперечный параллакс Q в пространстве модели

С другой стороны объем рассматриваемого тетраэдра:

$$V_T = \frac{1}{3} S_{\Delta S_1 S_2 m_2} \cdot h_{m_1},$$

где $S_{\Delta S_1 S_2 m_2}$ – площадь основания $S_1 S_2 m_2$ тетраэдра, h_{m_1} – высота тетраэдра из вершины m_1.

Тогда:

$$S_{\Delta S_1 S_2 m_2} = \frac{1}{2} \left| \mathbf{B} \times \mathbf{m_2} \right|, \text{ а}$$

$$h_{m_1} = \left| \mathbf{m_1} \right| \cdot \sin(\mathbf{m_1}, \mathbf{B}) \cdot \sin\alpha .$$

Следовательно:

$$V_T = \frac{1}{6} \left| \mathbf{B} \times \mathbf{m_2} \right| \cdot \left| \mathbf{m_1} \right| \cdot \sin(\mathbf{m_1}, \mathbf{B}) \cdot \sin\alpha .$$

Поскольку

$$\sin(\mathbf{m_1}, \mathbf{B}) = \frac{\left| \mathbf{m_1} \times \mathbf{B} \right|}{\left| \mathbf{m_1} \right| \cdot \left| \mathbf{B} \right|},$$

то

$$V_T = \frac{1}{6} \frac{\left| \mathbf{m_1} \times \mathbf{B} \right| \cdot \left| \mathbf{m_2} \times \mathbf{B} \right|}{\left| \mathbf{B} \right|} \cdot \sin\alpha \qquad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что

$$\frac{1}{6} Q \cdot \left| \mathbf{N} \right| = \frac{1}{6} \frac{\left| \mathbf{m_1} \times \mathbf{B} \right| \cdot \left| \mathbf{m_2} \times \mathbf{B} \right|}{\left| \mathbf{B} \right|} \cdot \sin\alpha$$

Откуда

$$\sin\alpha = \frac{\left| \mathbf{N} \right| \cdot \left| \mathbf{B} \right|}{\left| \mathbf{m_1} \times \mathbf{B} \right| \cdot \left| \mathbf{m_2} \times \mathbf{B} \right|} \cdot Q.$$

Но

$$\left| \boldsymbol{m_1} \times \boldsymbol{B} \right| = \left| N_1 \right| \quad \text{и} \quad \left| \boldsymbol{m_2} \times \boldsymbol{B} \right| = \left| N_2 \right|.$$

А потому

$$\sin\alpha = \frac{\left| \mathbf{N} \right| \cdot \left| \mathbf{B} \right|}{\left| \mathbf{N_1} \right| \cdot \left| \mathbf{N_2} \right|} \cdot Q \qquad (3)$$

Формулу (3) можно преобразовать:

$$\sin\alpha = \frac{\sin(\mathbf{m_1}, \mathbf{m_2})}{\sin(\mathbf{m_1}, \mathbf{B}) \cdot \sin(\mathbf{m_2}, \mathbf{B})} \cdot \frac{Q}{\left| \mathbf{B} \right|} \qquad (4)$$

Итак, зависимость (4) связывает угол α с поперечным параллаксом Q в пространстве модели. Использовать для решения практических задач значение поперечного параллакса Q в пространстве модели затруднительно. Для этой цели обычно используют значения поперечных параллаксов q в плоскости изображения снимков. Значение Q связано с поперечным параллаксом q в плоскости изображения снимков зависимостью [2]:

$$Q = \frac{Z}{f} q. \qquad (5)$$

В зависимости (5) Z – высота проектирования, а f – фокусное расстояние снимков (рис. 1). Из зависимости (5) следует, что пространственный параллакс Q в пространстве модели равен поперечному параллаксу q, увеличенному в m раз. Если в уравнении (4) числитель и знаменатель разделить на m, то вместо Q/B будем иметь q/b, где b – базис в масштабе снимков.

В табл. 1 приведены значения угла α, вычисленные с использованием формулы (4) в соответствии с задаваемыми случайным образом значениями остаточных поперечных параллаксов δq. При этом ср. кв. ошибка $m_{\delta q}$ составила 0,02 мм.

Таким образом, используя зависимость (4) и задаваясь допустимыми значениями остаточных поперечных параллаксов δq, имеется возможность определить допустимое значение отклонения от нуля угла α между нормалями $\mathbf{N}_1$ и $\mathbf{N}_2$.

Следовательно, при использовании в качестве критерия отбраковки соответственных точек отклонение от нуля значения угла α, имеется возможность

Таблица 1

№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Ср.кв. ошибки
№ зоны	I			II			III			IV			V			VI			
δq, мкм	10	0	30	20	0	20	10	30	10	30	20	30	10	20	10	10	10	30	20
угол ***α***, ″	21,8	0,0	90,1	45,2	0,0	62,6	13,3	42,4	15,9	59,1	42,0	71,0	13,5	28,6	16,0	20,3	21,7	73,2	45,10

установить обоснованные допуски его значения, ориентируясь при этом на допустимые остаточные поперечные параллаксы δq. Остаточные поперечные параллаксы δq зависят от многочисленных факторов, влияющих на точность измерения координат точек снимков, но в процессе многолетней практики фотограмметрической обработки снимков апробированы их значения в зависимости от масштаба и качества снимков. Например, при фотограмметрической обработке аэрокосмических снимков часто устанавливаемый допуск – ср. кв. ошибка значений остаточных поперечных параллаксов $m_{\delta q}$ на уровне 0,02 мм. В этом случае, как видно из данных табл. 1, допустимое значение ср. кв. ошибки угла α(m_α) равно 45″. Так как зависимость угла α от значения остаточных поперечных параллаксов (4) носит линейный характер, то задание допусков на отклонение α от нуля не вызывает затруднений.

Литература

1. Хрущ, Р. М. О построении геометрической модели местности по стереопаре аэрокосмических снимков / Р.М. Хрущ, А.Н. Гринь, А.В. Соловьев // Информация и Космос. – 2016. – № 1. – С. 80–84.

2. Михайлов, А. П. Курс лекций по фотограмметрии / А.П. Михайлов, А.Г. Чибуничев. – М.: МИИГАиК, 2011. – 203 с.

3. Назаров, А. С. Фотограмметрия: учебное пособие для студентов вузов / А.С. Назаров. – Мн.: ТетраСистемс, 2006. – 368 с.