

## АЭРОФОТОСЪЕМКА

УДК 528.735.2

Х. В. БУРШТЫНСКАЯ

### О ВЫБОРЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ОПОРНЫМИ ТОЧКАМИ ПРИ ПРОСТРАНСТВЕННОМ ФОТОТРИАНГУЛИРОВАНИИ

Расстояния между опорными точками, используемыми для подсчета коэффициентов полиномов при исключении деформации пространственной фототриангуляционной сети, обусловлены остаточными дисперсиями координат точек. Определение остаточной дисперсии координат точек вытянутого фототриангуляционного хода после исключения систематической части, которая возникает при накапливании случайных ошибок по закону двойного суммирования, основано на использовании ковариационных матриц линейных функций случайных величин. Эти случайные функции выражаются как

$$\begin{aligned} \eta_1 &= \varepsilon_1; \\ \eta_2 &= 2\varepsilon_1 + \varepsilon_2; \\ &\dots\dots\dots \\ \eta_n &= n\varepsilon_1 + (n-1)\varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n \end{aligned}$$

и могут быть представлены в виде полинома  $k$ -й степени и случайной ошибки  $\Delta$

$$\eta_i = (a_0 + a_1 i + a_2 i^2 + \dots + a_k i^k) + \Delta_i.$$

Остаточные дисперсии находят из решения уравнений вида

$$\begin{aligned} \sigma_{\eta_i}^2 &= \sigma_{a_0}^2 + \sigma_{a_1}^2 i^2 + \sigma_{a_2}^2 i^4 + \dots + \sigma_{a_k}^2 i^{2k} + 2\sigma_{a_0 a_1} i + 2\sigma_{a_0 a_2} i^2 + \dots \\ &\dots + 2\sigma_{a_0 a_k} i^k + 2\sigma_{a_1 a_2} i^3 + \dots + 2\sigma_{a_1 a_k} i^{k+1} + \dots + 2\sigma_{a_2 a_k} i^{k+2} + \dots + \sigma_{\Delta_i}^2, \quad (1) \end{aligned}$$

где  $\sigma_{\eta_i}^2$  — дисперсия  $\eta_i$ ;  $\sigma_{a_0}^2, \sigma_{a_1}^2, \dots, \sigma_{a_0 a_1}, \sigma_{a_0 a_2}, \dots$  — дисперсии и ковариации коэффициентов полинома;  $\sigma_{\Delta_i}^2$  — дисперсия случайной ошибки  $\Delta_i$ .

Для определения остаточных дисперсий точек при различном расстоянии между опорными точками подсчитана ковариационная матрица случайных функций  $\eta_i$ .

В зависимости от условий аэрофотосъемки дисперсии случайных ошибок  $\sigma_{\varepsilon_i}^2$  будут различными. В частности, для расчета принято  $\sigma_{\varepsilon_i}^2 = 0,01$ .

При исключении деформации фототриангуляционного хода по полиному второй степени мы выбирали опорные точки с различным числом базисов между ними. Полученные остаточные дисперсии для всех точек хода приведены в табл. 1. Они получены при сравнении истинных значений  $\sigma_{\eta_i}$ , выбираемых из ковариационной матрицы, и значений  $\sigma_{\eta_i}$ , вычисленных при решении уравнений (1).

Значение остаточных дисперсий  $\sigma_{\Delta}^2$  при исключении деформации фотоугранигуляционного хода по полиному второй степени

Номера точек

$m^2$   
 $\sigma_{\Delta}^2$

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

Номера опорных точек																	
1-4-8	0	0,01	0,01	0	0,02	0,04	0,03	0	0								0,0006
1-5-8	0	0,01	0,02	0,02	0	0,02	0,03	0	0								0,0004
1-6-8	0	0,01	0,03	0,03	0,02	0	0,02	0	0								0,0005
1-5-10	0	0,01	0,02	0,01	0	0,02	0,06	0,10	0,08	0							0,0030
1-6-10	0	0,01	0,03	0,04	0,03	0	0,04	0,07	0,07	0							0,0021
1-7-10	0	0,01	0,04	0,06	0,06	0,04	0	0,04	0,05	0							0,0021
1-6-12	0	0,01	0,03	0,04	0,03	0	0,06	0,14	0,18	0,20	0						0,0135
1-7-12	0	0,01	0,04	0,06	0,07	0,05	0	0,06	0,12	0,15	0						0,0075
1-8-12	0	0,02	0,05	0,09	0,10	0,09	0,05	0	0,06	0,10	0						0,0061
1-9-12	0	0,02	0,06	0,11	0,14	0,14	0,11	0,06	0	0,05	0						0,0086
1-7-14	0	0,01	0,06	0,07	0,07	0,05	0	0,07	0,16	0,25	0,31	0,22	0				0,0312
1-8-14	0	0,02	0,05	0,09	0,11	0,10	0,06	0	0,08	0,17	0,23	0,19	0				0,0203
1-9-14	0	0,02	0,07	0,11	0,15	0,15	0,13	0,08	0	0,08	0,15	0,15	0				0,0157
1-10-14	0	0,02	0,08	0,14	0,19	0,21	0,20	0,16	0,09	0	0,07	0,11	0				0,0188
1-8-16	0	0,02	0,06	0,09	0,12	0,11	0,07	0	0,10	0,22	0,33	0,43	0,45	0,31			0,0711
1-9-16	0	0,02	0,07	0,12	0,16	0,17	0,14	0,09	0	0,11	0,22	0,32	0,38	0,26			0,0484
1-10-16	0	0,02	0,08	0,14	0,19	0,22	0,22	0,17	0,10	0	0,11	0,22	0,30	0,22			0,0370
1-11-16	0	0,03	0,09	0,17	0,23	0,28	0,29	0,26	0,20	0,11	0	0,11	0,23	0,18			0,0389

Как видно из табл. 1, дисперсии точек первого звена меньше дисперсий второго звена при одинаковом количестве базисов в звеньях. Поэтому выбор расстояния между опорными точками сделан по величине средней квадратической ошибки рядов остаточных дисперсий.

Можно рекомендовать следующее расположение опорных точек (или следующие длины звеньев) при исключении деформации по полиному второй степени:

Количество базисов в сети	7	9	11	13	15
Длина первого звена	4	5	7	8	9
Длина второго звена	3	4	4	5	6

По остаточным дисперсиям, приведенным в табл. 2, можно судить о точности исключения деформации фототриангуляционного хода по полиному третьей степени. При исключении деформации по полиному третьей степени остаточные дисперсии меньше, чем при исключении ее по полиному второй степени при одинаковом расстоянии между опорными точками. Деформация в звеньях исключается примерно с равной точностью.

Таблица 2

Значения остаточных дисперсий  $\sigma_{\Delta}^2$  при исключении деформации фототриангуляционного хода по полиному третьей степени

Номера точек	Номера опорных точек					Номера точек	Номера опорных точек				
	1-4-7-10	1-5-9-13	1-6-11-16	1-7-13-19	1-8-15-22		1-4-7-10	1-5-9-13	1-6-11-16	1-7-13-19	1-8-15-22
1	0	0	0	0	0	12		0,01	0,02	0,04	0,12
2	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	13		0,00	0,04	0,00	0,10
3	0,01	0,03	0,04	0,05	0,10	14			0,03	0,03	0,06
4	0,000	0,02	0,05	0,07	0,010	15			0,01	0,06	0,00
5	0,01	0,00	0,03	0,07	0,11	16			0,00	0,06	0,05
6	0,01	0,02	0,00	0,04	0,09	17				0,04	0,08
7	0,00	0,03	0,03	0,00	0,05	18				0,01	0,09
8	0,01	0,03	0,05	0,04	0,00	19				0,00	0,09
9	0,00	0,00	0,06	0,07	0,05	20					0,05
10	0,00	0,02	0,03	0,08	0,10	21					0,01
11		0,03	0,00	0,07	0,12	22					0,00

Произведенные расчеты показывают, что для исключения деформации фототриангуляционной сети, вызванной накоплением случайных ошибок, следует применять полином третьей степени.

В случае применения полинома второй степени для выбора расстояния между опорными точками целесообразно пользоваться данными, приведенными на стр. 115.

Расстояние между опорными точками при исключении деформации по полиному третьей степени должно быть одинаковым.

Желая получить остаточные дисперсии при значении  $\sigma_{\epsilon_i}^2$ , отличном от расчетного, необходимо величину остаточной дисперсии  $\sigma_{\Delta_i}^2$  умножить на принятое значение  $\sigma_{\epsilon_i}^2$ .