

УДК 528.1,7.727.7

д.т.н., професор Катушков В.О.,

Київський національний університет будівництва та архітектури

РЕЗУЛЬТАТИ РЕКТИФІКАЦІЇ «СИРИХ» ЗНІМКІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ПРОЕКЦІЇ

О калібруванні - ректифікації наземних растрових знімків до фотограмметричної триангуляції та оброблення спільної моделі з різним розміщенням і кількістю опознаків.

В цілях експерименту на матеріалах практичного об'єкта, виконаного по замовленню реставраторів пам'яток архітектури, проведені дослідження калібрування (ректифікації) «сирих» растрових знімків.

В свій час растрові знімки отримані за допомогою неметричною (не фотограмметричною, а звичайною) дзеркальною камерою КИЇВ TTL з 45 мм об'єктивом при фокусуванні на нескінченність. Орієнтування камери при зніманні виконувалося спільним методом знімання. Головні промені семи знімків приводилися до горизонту та орієнтувалися відносно поверхні об'єкту без використання додаткового геодезичного обладнання, яке входило до фототеодолітного комплексу.

На першому етапі дослідження фотографічні знімки (60x60 мм) відскановані на фотограмметричному сканері ЦФС «Дельта» з заданим розміром пікселя у 16 мкм. Об'єми растрових знімків в форматі Tiff (tiled) дорівнюють 19,1-20,6 Мб. З семи знімків побудовано шість моделей (стереопар) з 65% подвійним та 30% потрійним перекриттями.

Обробка знімків виконана таким чином. Зроблений проект фото триангуляції в програмі «BЛОК». Проведено вимірювання і врівноваження координат точок знімків за допомогою програми «ТРИАДА». В трикратних зонах перекриття розташовані по 3 зв'язкових точок. Для кінцевої точності спільної моделі об'єкту на поверхні фасадної стіни замарковані опознаки по одному в центральній зоні кожного знімка. На місцевості висота розташування опознаків в погляді чорно-білих ромбів була приблизно 1 м над поверхнею землі, що трошки вище рівня цоколя. В зонах потрійного перекриття над і під опознаками приймалися по дві зв'язкових точки. Ці точки на стінах не маркувалися, а вибиралися на контурах елементів будівлі які добре дешифруються (кути облицювальних плит, кути віконних, дверних прорізів, точки під дахового карнизу, верхніх частинах фронтонів ін.).

Обчислення 6 послідовно об'єднаних моделей виконано за допомогою програмного комплексу BЛОКMSG (автор – професор ДНТУ С.Г. Могильний)

з Гауссовим з'єднанням моделей. За допомогою виміряних в «TRIAD» точок фотограмметричного ряду складено до 244 колінарних рівнянь поправок на спільну модель. Нелінійні рівняння поправок лінеаризовані, вирішені та врівноважені в нормальних матрицях. За різницями врівноважених фотограмметричних координат з визначеними геодезичним шляхом координатами опознаків та різницями просторових координат зв'язкових точок між сусідніми моделями знайдені середньо квадратичні похибки в діапазоні до 8 см (на координаті Y однієї точці із 36).

На другому етапі дослідження виконана ректифікація (калібрування) «сирих» растрових знімків за допомогою розробленого в ДНТУ алгоритму (автор професор А.Л. Шоломицький [1]) за наданими нами коефіцієнтами радіальної дисторсії.

Аналогічно точкам (пікселам) фотограмметричного ряду змінюються і координати пікселів растрового зображення «сирих» знімків на площинах усіх знімків. Координати x_i, z_i ректифікованих пікселів обчислювалися і апроксимувалися за формулами (1) від центрального хреста (який збігається з головною точкою знімка).

$$x_i = x_i^i(1 - (C_1 + R_i^2(C_2 + C_3R_i^2))) - x_o; \quad z_i = z_i^i(1 - (C_1 + R_i^2(C_2 + C_3R_i^2))) - z_o; \quad (1)$$

де x_i^i, z_i^i - виміряні координати опознаків, зв'язкових і інших точок, x_o, z_o - координати головної точки, наприклад від лівого нижнього кута растрового зображення монітору. $R_i = \sqrt{(x_i'^2 + z_i'^2)}$; $C_1=0,20683E^{-1}= 0,020683$; $C_2=-0,57223E^{-4}= -0,000057223$; $C_3=0,14220E^{-7}=0,00000001422$;

Результати вимірювання «сирих» і ректифікованих знімків на 6 окремих, послідовних моделях наведені у табл.1.

Таблиця 1.

Ректифікація координат растрових знімків

№ зп	" Сирі" знімки, мм				Ректифіковані знімки, мм				Ризниці координат, мк			
	x_j	z_j	x_2	z_2	x_j	z_j	x_2	z_2	Dx	Dz	Dx	Dz
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Модель 1-2												
2	-1,933	7,052	-23,604	7,572	-1,899	6,927	-23,819	7,641	-34	125	215	-69
21	19,292	20,863	-2,183	22,149	19,606	21,202	-2,192	22,241	-314	-339	9	-92
20	20,472	-4,438	-1,608	-3,751	20,507	-4,445	-1,576	-3,677	-35	7	-32	-74
10	-2,1	-3,89	-23,684	-3,182	-2,059	-3,814	-23,858	-3,205	-41	-76	174	23
1	-1,226	-1,485	-22,839	-0,811	-1,201	-1,455	-22,961	-0,815	-25	-30	122	4
11	-2,152	17,77	-23,901	18,218	-2,144	17,702	-24,365	18,571	-8	68	464	-353
Модель 2-3												
2	-1,374	-1,507	-22,017	-1,149	-1,346	-1,476	-22,100	-1,153	-28	-31	83	4
31	18,326	21,305	-1,839	22,605	18,613	21,638	-1,848	22,718	-287	-333	9	-113
3	18,253	-1,914	-2,097	-1,151	18,198	-1,908	-2,054	-1,128	55	-6	-43	-23
21	-2,183	22,149	-22,738	22,534	-2,192	22,241	-23,262	23,053	9	-92	524	-519
20	-1,608	-3,751	-22,266	-3,377	-1,576	-3,677	-22,370	-3,393	-32	-74	104	16
30	18,425	-4,238	-1,929	-3,528	18,387	-4,229	-1,891	-3,458	38	-9	-38	-70
311	24,57	21,022	4,745	22,476	25,150	21,518	4,771	22,601	-580	-496	-26	-125
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Модель 3-4												
3	-2,097	-1,151	-21,861	-0,225	-2,054	-1,128	-21,936	-0,226	-43	-23	75	1
4	19,169	-0,821	0,054	-0,684	19,139	-0,820	0,053	-0,670	30	-1	1	-14
41	21,188	16,939	2,966	17,642	21,479	17,171	2,955	17,575	-291	-232	11	67
411	18,943	19,22	0,690	19,985	19,198	19,478	0,690	19,984	-255	-258	0	1
30	-1,929	-3,528	-21,813	-2,519	-1,891	-3,458	-21,892	-2,528	-38	-70	79	9
40	18,672	-3,345	-0,562	-3,276	18,636	-3,339	-0,551	-3,210	36	-6	-11	-66
311	4,745	22,476	-13,865	22,992	4,771	22,601	-14,048	23,295	-26	-125	183	-303
Модель 4-5												
33	4,791	-3,477	-15,461	-2,794	4,701	-3,412	-15,346	-2,773	90	-65	-115	-21
4	0,054	-0,684	-23,102	-0,303	0,053	-0,670	-23,236	-0,305	1	-14	134	2
41	2,966	17,642	-20,375	17,812	2,955	17,575	-20,652	18,054	11	67	277	-242
5	21,536	-1,824	-1,489	-1,236	21,599	-1,829	-1,459	-1,211	-63	5	-30	-25
51	21,756	16,818	-1,583	17,581	22,071	17,061	-1,576	17,507	-315	-243	-7	74
411	0,69	19,985	-22,491	20,069	0,690	19,984	-22,931	20,462	0	1	440	-393
40	-0,562	-3,276	-23,715	-2,847	-0,551	-3,210	-23,889	-2,868	-11	-66	174	21
54	25,773	20,476	2,665	21,284	26,408	20,980	2,672	21,340	-635	-504	-7	-56
Модель 5-6												
6	19,684	-1,847	-1,863	-1,256	19,674	-1,846	-1,825	-1,230	10	-1	-38	-26
5	-1,489	-1,236	-23,394	-0,644	-1,459	-1,211	-23,544	-0,648	-30	-25	150	4
51	-1,583	17,581	-23,597	18,008	-1,576	17,507	-24,038	18,345	-7	74	441	-337
50	7,619	-3,590	-14,603	-2,984	7,492	-3,530	-14,476	-2,958	127	-60	-127	-26
60	19,301	-3,900	-2,359	-3,381	19,289	-3,898	-2,312	-3,314	12	-2	-47	-67
54	2,665	21,284	-19,24	21,856	2,672	21,340	-19,579	22,241	-7	-56	339	-385
61	15,902	16,001	-5,670	16,938	15,978	16,077	-5,648	16,872	-76	-76	-22	66
Модель 6-7												
6	-1,863	-1,256	-14,246	-1,198	-1,825	-1,230	-14,110	-1,187	-38	-26	-136	-11
71	12,514	18,078	0,226	18,34	12,560	18,144	0,225	18,284	-46	-66	1	56
7	10,245	-1,559	-2,121	-1,494	10,094	-1,536	-2,078	-1,464	151	-23	-43	-30
701	11,529	20,111	-0,609	20,362	11,598	20,231	-0,609	20,375	-69	-120	0	-13
60	-2,359	-3,381	-14,78	-3,307	-2,312	-3,314	-14,657	-3,280	-47	-67	-123	-27
70	11,071	-3,720	-1,304	-3,672	10,926	-3,671	-1,278	-3,599	145	-49	-26	-73
61	-5,670	16,938	-17,834	16,847	-5,648	16,872	-17,987	16,992	-22	66	153	-145

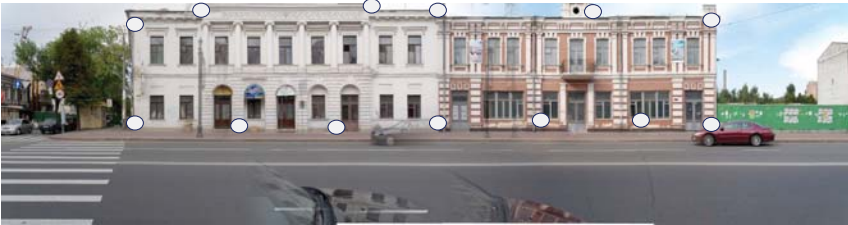
Величини координат для спрощення представлені у міліметрах а різниці координат «сирих» і каліброваних знімків у мікронах.

Розходження в зображенні ідентичних точок для неметричного об'єктиву на полях «сирих» і ректифікованих знімків різні і досягають значних величин. З переліку помилкових факторів на першому місці, по значенням викривлянь, стоїть викривлення за радіальну дисторсію [2]. Тангенціальна залежність і інші помилкові фактори на порядок менше і в більшості випадках їх можна не враховувати.

На професійній фотограмметричній апаратурі величина цих різниць не перебільшує значень 3–5 мкм. В нашому випадку зображення деформоване в сотні разів більше (наприклад у точок 21, 311, 41, 411, 54 та ін. див. табл. 1). Так у 54 точки різниці координат дорівнюють –635 мкм (–0,635 мм), –504 мкм (–0,504 мм), що співвідносно перебільшує спотворення зображення зрівнюючи з метричними камерами в 127 та 100 разів. Але при цьому результати ректифікованих моделей відповідають рівню точності об'єктивів метричної апаратури (фототеодолітів, аеро – космічних знімальних систем).

Проведені дослідження просторової точності ректифікованих моделей які опираються на різну кількість опознаків. На першій моделі мал.1 існує 12 опознаків, які визначені кутовими, лінійними вимірами інженерної геодезії і технічним нівелюванням.

Друга модель опирається не на 12, а на 5 опознаків яке відповідає традиційному розташовуванню опознаків в прикладної та аерокосмічній фотограмметрії.



Мал. 1. Модель з 13 опознаками. Нижні розташовані проти знімальних станцій, верхні на характерних місцях даху.



Мал. 2. Розташування 5 опознаків, які розташовані на кутах об'єкта та в середині.



Мал. 3. Опознаки, розташовані тільки на 4 кутах об'єкта.

Не зважаючи на то, що дослідна модель може опиратися на 3 опознаки третя модель з 4 – ма приймається за остаточну. Слід примітити що при більшій кількості (12) опорних точок модель вирішується точніше, але при цьому зростає час польової роботи для визначення координат опознаків. При зменшенні кількості (4) опознаків точність моделі починає падати, але у межах

допуску [3]. З більшими відстанями між крайніми опознаками у середину вставляються додаткові опознаки аналогічно мал. 2.

Для зрівнювання в табл. 2 надані результати оцінок точності на моделях з різною кількістю опознаків. Середньо кавдатичні помилки обчислені з 36 точок спільної моделі в кількості яких присутні і опознаки.

Таблиця 2.

Зараз замість фототеодолітів використовують метод знімання лазерним

Номер моделі	Кількість опознаків	С. к. п. моделей на координатних осях		
		m_x , мм	m_z , мм	m_y , мм
1	12	6	5	22
2	5	5	5	16
3	4	8	7	26

скануванням з отриманням просторової хмари точок з відомим положенням кожної точки. Цей метод автоматизований і прогресивний, але не треба забувати про вартість обладнання, у десятки тисяч доларів, яке буде рентабельним тільки при великих об'ємах робіт. На малих об'єктах з успіхом можна використовувати неметричну знімальну апаратуру цифрову або фотографічну.

Література

1. Шоломицкий А.А., Шатохин А.Л. Создание испытательного стенда для калибровки цифровых камер // Наукові праці Донецького Державного Технічного Університету, Серія: гірничо-геологічна, випуск 45. – Донецьк, 2002. – С.80 – 84.
2. Катушков В.О. Радіальна дисторсія дистанційних неметричних моделей // Збірник статей. – К.: ГИС–Форум, 2007. – С. 62-64.
3. Руководство по применению фотограмметрических методов для составления обмерных чертежей инженерных сооружений/ ПНИИС. – М.: Стройиздат, 1984. – 312 с.

Аннотация

Про ректифікацію наземних растрових снимков до фототриангуляції і результатах обробки маршрута с різним количеством и размещением опознаков.

Summary

Rectification of land raster images to fototriangulyaciya and results processing route with different number and placement points identification.