



ISSN 1607–2855

Том 9 • № 2 • 2013 С. 162 – 168

УДК 528.856

Аналіз результатів ортотрансформування космічних зображень різними методами

Н.В. Чернецька, Л.С. Чубко

Національний авіаційний університет

Представлено результати ортотрансформування космічного знімку QuickBird рівня Standard Ortho Ready поліноміальними методами, методами RPC та DLT. Зроблено висновки щодо точності ортотрансформування даними методами.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОРТОТРАНСФОРМИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ, Чернецкая Н.В., Чубко Л.С. — Представлены результаты ортотрансформирования космического снимка QuickBird уровня Standard Ortho Ready полиномиальными методами RPC и DLT. Сделаны выводы относительно точности ортотрансформирования данными методами.

THE ANALYSIS OF THE SATELLITE IMAGE RECTIFICATION ACCURACY BY DIFFERENT METHODS, Chernetska N.V., Chubko L.S. — The results of Standard Ortho Ready QuickBird Image rectification by Rational Polynomial Coefficients and Direct Linear Transformation methods are presented. The image rectification accuracy is estimated.

Ключевые слова: космические снимки; QuickBird; ортотрансформирование; рациональные полиномиальные коэффициенты; точность.

Key words: satellite images; QuickBird; orthorectification; rational polynomial coefficients; accuracy.

1. ВСТУП

У жовтні 2001 року було запущено на сонячно-синхронну орбіту супутник надвисокого розділення QuickBird-2 (компанія DigitalGlobe, США), на борту якого встановлено два сканери — панхроматичний (з просторовим розділенням 0,61 м в надирі) і багатоспектральний (з просторовим розділенням 2,4 м в надирі). Компанія DigitalGlobe надає космічні знімки з супутника QuickBird з різними рівнями попереднього опрацювання. Рівень Basic включає радіометричне коригування знімків та їх коригування за спотворення приймача. Космічні знімки рівня Standard скориговані на рівні знімків Basic, які трансформовані на поверхню Землі і приведені до картографічної проекції, а також внесено поправки із-за рельєфу з використанням наближеної цифрової моделі місцевості (ЦММ). Космічні знімки типу Standard Ortho Ready опрацьовані так, як і Standard, але при геометричному коригуванні не використовувалась наближена ЦММ, тому ці зображення можна використовувати для наступного геометричного коригування з використанням файлу RPC (Rational Polynomial Coefficients — раціональних поліноміальних коефіцієнтів) та детальної ЦММ. Ортотрансформування за рівнем Ortho виконується лише компанією DigitalGlobe [1].

Нашою метою було дослідження точнісних параметрів використання RPC та інших методів обробки при трансформуванні космічних зображень та їх аналіз.

Нами були використані наступні дані. Архівні матеріали космічного знімання QuickBird (Standard Ortho Ready), яке виконане 18 серпня 2003 року з роздільною здатністю 0,61 м. Якість знімку 90%. Космічний знімок наданий в проекції UTM/WGS-84. Файл RPC, що надається фірмою-постачальником разом із космічним зображенням. Каталог координат та фрагменти місцезонашування наземних опорних та контрольних точок, визначених методами GPS-спостережень. У комплекті поставки разом із зображенням надається набір файлів метаданих. Серед них: файл з розширенням .IMD, в якому надається інформація про замовлення продукту (порядковий номер замовлення, назва продукту, діапазон, кількість рядків та стовпчиків зображення, деякі характеристики радіометричної корекції, координати кутів замовленого зображення та ін.); файл з розширенням .XML, в якому представлена та ж сама інформація, що й у файлі .IMD, але у вигляді XML-документу; файл з розширенням .RPB, який містить набір коефіцієнтів раціонального поліному (RPC) та дані, що необхідні для переходу від координат місцевості до координат зображення (величини зміщення координат зображення в системі координат місцевості та знімку, при чому зміщення висоти дорівнює середньому значенню висоти для території, яку покриває знімок, коефіцієнти нормалізації для всіх наборів координат); файли для ГІС-середовищ з розширенням .shp, де знаходиться зображення полоси знімання (strip) та межі зображення (area of interest) з атрибутивною інформацією; файл формату .jpg з попереднім переглядом (preview) космічного знімку.

У GIS-файлах міститься наступна інформація:
Stripdesk: 1010010002347B00 (інформація про полосу знімання)
Sunazimuth: 154.26 (кут сонця)
Offnadir: 15.1° (кут відхилення від надиру)
Acquisitio: 2003-08-18T09:12:24.348339Z (час знімання)
Tilename: R1C1 (розміщення знімку на полісі знімання: 1-й рядок, 1-а колонка)

Всі роботи виконувалися з використанням програмного пакету ERDAS IMAGINE v8.7, який дозволяє виконувати геометричну корекцію різними методами, серед яких афінне перетворення, метод DLT, трансформація методом RPC для зображень QuickBird, поліноміальні перетворення 1-го, 2-го та 3-го порядків та ін.

На територію, яку покриває знімок, були надані координати 17-ти рівномірно розподілених GCP, визначених методом GPS-спостережень. У якості контрольних (CP, check point) були використані 6 точок, які не беруть участі у трансформуванні зображення і використовуються виключно для контролю кінцевого результату, інші 11 — у якості опорних (GCP, ground control point), що приймають участь в процесі обробки.

Геометрична корекція зображення в програмі ERDAS IMAGINE виконується за допомогою функції «Geometric correction». Першим кроком є вибір методу трансформування знімку. Наступним кроком є розпізнавання та введення опорних та контрольних точок. Координати точок на знімку (input) та визначені наземними методами (reference) були збережені у вигляді файлів з розширенням .gcs з метою подальшого використання.

Загалом були виконані наступні дослідження: оцінка точності вихідного зображення; визначення залежності між кількістю опорних точок та величиною середньоквадратичної похибки при обробці знімку методом RPC (з уточненням поліномом 1 степеня); визначення точнісних характеристик зображення, трансформованого методом RPC з уточненням поліномами різних степенів; оцінка точності зображення, отриманого в результаті трансформування поліномом 1 степеня; оцінка точності зображення, трансформованого поліномом 2 степеня; оцінка точності космічного зображення після поліноміального перетворення 3 степеня; визначення точнісних характеристик зображення після трансформації методом DLT; точності ортофотоплану, створеного на основі методу RPC, уточненого опорними точками та поліномом 2 степеня, з використанням ЦМР.

2. ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИХІДНОГО ЗОБРАЖЕННЯ

Для знімку Standard Ortho Ready компанією-постачальником виконується сенсорна, радіометрична і геометрична корекція без участі опорних точок. Окрім цього зображення не піддавалося жодному з видів обробки. Точність вихідного зображення була визначена за участі 16 GCP. Оцінка точності виконувалася за наступними формулами:

$$V_x = X_{\text{input}} - X_{\text{ref}}, \quad V_y = Y_{\text{input}} - Y_{\text{ref}},$$
$$M_x = \sqrt{\frac{V_x^T V_x}{n}}, \quad M_y = \sqrt{\frac{V_y^T V_y}{n}}, \quad M_s = \sqrt{M_x^2 + M_y^2},$$

де $X_{\text{input}}, Y_{\text{input}}$ — вектор координат точок визначених на космічному зображенні; $X_{\text{ref}}, Y_{\text{ref}}$ — вектор координат точок визначених геодезичними методами; V_x, V_y — вектор нев'язок по X та Y ; M_x, M_y, M_s — середньоквадратичні похибки положення точок на зображенні.

Результати обчислень наведені в табл. 1. Отже, середньоквадратична похибка вихідного космічного знімку становить 3,14 м.

3. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ КІЛЬКІСТЮ ОПОРНИХ ТОЧОК ТА ВЕЛИЧИНОЮ СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНОЇ ПОХИБКИ ПРИ ОБРОБЦІ ЗНІМКУ МЕТОДОМ RPC (З УТОЧНЕННЯМ ПОЛІНОМОМ 1 СТЕПЕНЯ)

Файл RPC постачається разом зі знімком і містить наступну інформацію — табл. 2.

ERDAS Imagine v8.7 підтримує обробку космічних знімків QuickBird методом RPC. При застосуванні даного методу слід вказати файл, що містить RPC (зазвичай він визначається програмою автоматично), вибрати ступінь поліному для уточнення коефіцієнтів. Крім цього, необхідно вказати джерело, з якого будуть братися значення висот. У разі наявності цифрової моделі рельєфу потрібно вибрати файл, в якому вона зберігається. У разі відсутності ЦМР значення висоти приймається постійним для всієї території знімку (його значення міститься у файлі RPC і дорівнює середньому значенню висот).

В процесі трансформування знімка кількість опорних точок, які безпосередньо приймають участь у трансформуванні, змінювалася (від чотирьох до десяти). Значення висоти було сталим і становило 224 м. Залежність середньоквадратичної похибки, визначеної по контрольним точкам, трансформованого зображення від кількості використаних під час перетворення опорних точок представлена на рис. 1. При цьому виконувалося покращення (refinement) RPC поліномом 1 степеня.

Таблиця 1. Оцінка точності вихідного зображення

Point ID	X_{input} , м	Y_{input} , м	X_{ref} , м	Y_{ref} , м	V_x , м	V_y , м	RMS Error
1	445066,005	5598884,09	445063,5	5598882	2,5049	2,083	3,257823
2	445141,840	5597682,96	445139,2	5597682	2,6722	1,3695	3,002696
3	446013,609	5597740,33	446011,6	5597738	1,9804	2,0883	2,878017
4	448724,435	5598098,959	448722,9	5598097	1,5234	2,1384	2,625564
5	449535,765	5597805,5	449529,3	5597803	6,4922	2,0688	6,813853
6	446864,096	5601130,96	446862,5	5601130	1,5798	1,4252	2,127666
7	449871,911	5600782,49	449869,7	5600780	2,2405	2,0866	3,061656
8	448998,842	5601910,01	448996,4	5601909	2,4323	1,3388	2,776413
9	446829,784	5601525,51	446827,7	5601523	2,1271	2,513	3,292374
10	447685,713	5598802,97	447684,3	5598801	1,3969	2,0839	2,508778
11	448145,329	5600665,53	448143,4	5600663	1,8879	2,1006	2,824303
12	448777,637	5600503,9	448776,3	5600503	1,3866	1,2445	1,86318
13	450032,172	5600553,17	450029,4	5600552	2,7930	1,2488	3,059469
14	446009,234	5602033,13	446007,8	5602031	1,4353	2,4858	2,870416
16	448966,027	5602534	448963,8	5602533	2,2663	1,1937	2,561452
17	447332,204	5598556,56	447330,4	5598556	1,7904	1,0282	2,064637
18	446176,861	5600309,16	446174,2	5600308	2,6201	0,8793	2,76371

$$V_x^T V_x = 112,27 \text{ м}^2, \quad V_y^T V_y = 55,22 \text{ м}^2, \quad M_x = 2,57 \text{ м}, \quad M_y = 1,80 \text{ м}, \quad M_s = 3,14 \text{ м}$$

Таблиця 2. Зміст файлу з RPC, що надається користувачам

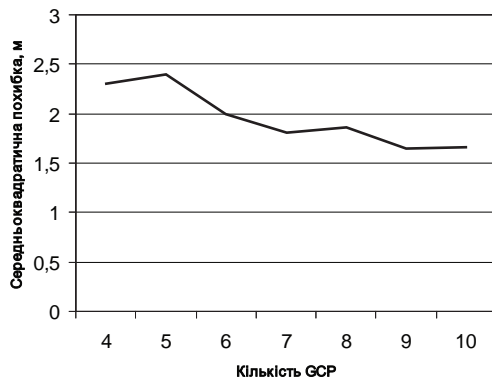
Поле	Опис	Приклад
SatID	Ідентифікатор супутника	«QB02»
BandID	Ідентифікатор спектрального діапазону	«RGB»
specID	Визначає специфікацію, яка містить RPC	«RPC00B»
errBias	Похибка за зміщення в результаті нахилу, в метрах	21.44
errrand	Випадкова похибка	0,12
lineOffset sampOffset	Зміщення координат в системі координат знімка	4205 4225
latOffset		50.5505
longOffset heightOffset	Зміщення координат в системі координат місцевості	26.2600 224
lineScale sampScale latScale longScale heightScale	Коефіцієнти нормалізації	4237 4457 0.0230 0.0361 500
lineNumCoef	20 коефіцієнтів для полінома p_1	+5.169555E-03 +1.004843E-02 ... +3.788190E-06
lineDenCoef	20 коефіцієнтів для полінома p_2	+1.000000E+00 -1.324341E-05 ... +1.280094E-06
sampNumCoef	20 коефіцієнтів для полінома p_3	-2.626825E-03 +9.563454E-01 ... -9.001838E-07
sampDenCoef	20 коефіцієнтів для полінома p_4	+1.000000E+00 +1.292710E-03 ... +1.415704E-06

Таблиця 3. Точність трансформованого зображення при використанні мінімально необхідної кількості опорних точок

Порядок поліному	Мінімальна кількість опорних точок	RMSE (CP), м
0	1	1,6640
1	3	2,2513
2	6	1,9804
3	10	1,9899

Таблиця 4. Точність трансформованого зображення при використанні десяти опорних точок

Порядок поліному	RMSE (CP), м
0	1,2056
1	1,6667
2	1,2049
3	1,9899



Кількість GCP	RMSE (CP), м
4	2,3162
5	2,3992
6	1,9989
7	1,8091
8	1,8629
9	1,6529
10	1,6667

Рис. 1. Залежність точності трансформованого зображення від кількості опорних точок

Point #	Point ID	Color	X Input	Y Input	X Ref.	Y Ref.	Type	X Residual	Y Residual	RMS Error
1	2		445141.840	5597682.957	445139.168	5597681.588	Control			
2	4		448724.435	5598098.959	448722.912	5598096.821	Check	-0.709	2.016	2.137
3	6		446864.096	5601130.963	446862.516	5601129.538	Check	0.661	-0.268	0.713
4	7		449871.911	5600782.491	449869.671	5600780.404	Check	0.601	-1.064	1.222
5	8		448998.842	5601910.013	448996.410	5601908.674	Check	0.115	-0.483	0.496
6	10		447685.713	5598802.974	447684.316	5598800.890	Check	0.462	0.006	0.462
7	12		448777.637	5600503.896	448776.250	5600502.652	Check	1.133	-0.204	1.151
8	13		450032.172	5600553.172	450029.379	5600551.923	Control			
9	14		446009.234	5602033.131	446007.799	5602030.645	Control			
10	3		446013.609	5597740.331	446011.629	5597738.243	Control			
11	16		448966.027	5602534.000	448963.761	5602532.806	Control			
12	18		446176.861	5600309.161	446174.241	5600308.282	Control			

Рис. 2. Розрахунок точності трансформування знімку поліномом 2 степеня

Point #	Point ID	Color	X Input	Y Input	X Ref.	Y Ref.	Type	X Residual	Y Residual	RMS Error
2	6		446864.096	5601130.963	446862.516	5601129.538	Check	0.363	0.362	0.513
3	7		449871.911	5600782.491	449869.671	5600780.404	Check	0.448	-0.887	0.994
4	8		448998.842	5601910.013	448996.410	5601908.674	Check	0.019	0.101	0.103
5	10		447685.713	5598802.974	447684.316	5598800.890	Check	0.567	-0.437	0.716
6	12		448777.637	5600503.896	448776.250	5600502.652	Check	1.055	0.258	1.086
7	13		450032.172	5600553.172	450029.379	5600551.923	Control			
8	14		446009.234	5602033.131	446007.799	5602030.645	Control			
9	3		446013.609	5597740.331	446011.629	5597738.243	Control			
10	16		448966.027	5602534.000	448963.761	5602532.806	Control			
11	18		446176.861	5600309.161	446174.241	5600308.282	Control			
12	9		446829.784	5601525.507	446827.657	5601522.994	Control			
13	11		448145.329	5600665.528	448143.441	5600663.427	Control			
14	17		447332.204	5598556.558	447330.414	5598555.530	Control			
15	1		445066.005	5598884.090	445063.500	5598882.007	Control			
16	2		445141.840	5597682.957	445139.168	5597681.588	Control			
17	GCP #1						Control			

Рис. 3. Розрахунок точності трансформування знімку поліномом 3 степеня

Point #	Point ID	Color	X Input	Y Input	X Ref.	Y Ref.	Z Ref.	Type	X Residual	Y Residual	RMS Error
1	2		445141.840	5597682.957	5597681.588	445139.168	196.521	Control			
2	3		446013.609	5597740.331	5597738.243	446011.629	192.226	Control			
3	4		448724.435	5598098.959	5598096.821	448722.912	196.343	Check	0.840	-0.448	0.952
4	6		446864.096	5601130.963	5601129.538	446862.516	193.010	Check	-0.216	1.336	1.353
5	7		449871.911	5600782.491	5600780.404	449869.671	195.769	Check	-0.173	0.529	0.557
6	8		448998.842	5601910.013	5601908.674	448996.410	199.303	Check	-0.447	0.625	0.788
7	10		447685.713	5598802.974	5598800.890	447684.316	193.713	Check	0.409	0.263	0.486
8	12		448777.637	5600503.896	5600502.652	448776.250	188.045	Check	-0.286	2.659	2.674
9	13		450032.172	5600553.172	5600551.923	450029.379	200.939	Control			
10	14		446009.234	5602033.131	5602030.645	446007.799	191.688	Control			
11	16		448966.027	5602534.000	5602532.806	448963.761	201.352	Control			
12	18		446176.861	5600309.161	5600308.282	446174.241	200.157	Control			

Рис. 4. Побудова моделі за методом DLT

4. ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОБРАЖЕННЯ, ТРАНСФОРМОВАНОГО МЕТОДОМ RPC З УТОЧНЕННЯМ ПОЛІНОМАМИ РІЗНИХ СТЕПЕНІВ

Було виконано обробку зображення з використанням RPC, уточнених поліномами різних степенів (0–3) з використанням мінімально потрібної кількості опорних точок (табл. 3.) та всіх наявних десяти точок (табл. 4.). Для нашого випадку значення висоти було сталим і становило 224 м.

Як видно з табл. 4, середньоквадратична похибка при уточненні поліномом 3 степеня гірша, ніж при уточненні поліномом 2 степеня при одному і тому ж числі GCP. Такий результат може бути спричинений відсутністю надлишкових вимірів, адже десять опорних точок — це мінімально допустима кількість для полінома 3 степеня та/або незабезпеченістю південно-східного кута зображення опорними точками (хоча контрольні точки наявні).

5. ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ, ОТРИМАНОГО В РЕЗУЛЬТАТІ ТРАНСФОРМУВАННЯ ПОЛІНОМОМ 1 СТЕПЕНЯ

При виборі поліноміального методу обробки зображення відкривається вікно, у якому вибирається ступінь полінома (від 1 до 3) та представлені коефіцієнти полінома, за якими буде виконуватись трансформування. Для полінома 1 степеня це шість коефіцієнтів: три для обчислення трансформованого значення X та три для Y .

В процесі трансформування потрібно використовувати щонайменше три опорних точки.

Оцінка точності виконувалася по шести контрольних точках. Середньоквадратична похибка по контрольних точках в цьому випадку становила приблизно 1 м.

При використанні мінімальної кількості опорних точок (три) середньоквадратична похибка по контрольних точках становила 1,35 м.

6. ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ, ТРАНСФОРМОВАНОГО ПОЛІНОМОМ 2 СТЕПЕНЯ

Формули перетворення поліномом 2 степеня мають наступний вигляд:

$$x_0 = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2,$$

$$y_0 = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2.$$

Програма розраховує числові значення коефіцієнтів a_i та b_i , за якими має виконуватись трансформування. Для обробки зображення даним методом необхідно мати принаймні шість опорних точок.

При ректифікації зображення за участі десяти опорних точок середньоквадратична похибка по контрольним точкам становила 0,69 м, а при використанні шести точок — 1,18 м. Розрахунок точності моделі, створеної по шести GCP, представлений на рис. 2.

7. ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ КОСМІЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ В РЕЗУЛЬТАТІ ПОЛІНОМІАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ 3 СТЕПЕНЯ

Для трансформування знімку поліномом 3 степеня програма обчислює необхідні для цього 20 коефіцієнтів. Загальний вигляд рівнянь поліноміального перетворення 3 степеня наступний:

$$x_0 = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + a_6x^3 + a_7x^2y + a_8xy^2 + a_9y^3,$$

$$y_0 = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 + b_6x^3 + b_7x^2y + b_8xy^2 + b_9y^3.$$

Для побудови моделі необхідно мати мінімум десять опорних точок. Середньоквадратична похибка геометричної корекції даним методом, обчислена по контрольних точках, становила 0,71 м. Результати побудови моделі представлені на рис. 3.

8. ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОБРАЖЕННЯ В РЕЗУЛЬТАТІ ТРАНСФОРМАЦІЇ МЕТОДОМ DLT

У вікні «Geometric correction» вибираємо спосіб трансформування DLT (Direct Linear Transformation). Для перетворення знімку цим методом обов'язково потрібно мати висоти (координата Z) точок, з яких мінімум шість повинні бути опорними.

При використанні десяти опорних точок середньоквадратична похибка по контрольних точках виявилася рівною 1,39 м, а при використанні мінімально потрібної кількості, тобто шести, — 1,36 м. На рис. 4. показані результати побудови моделі за методом DLT.

Результати, одержані при використанні різних методів трансформування зображення представлені у табл. 5. та на рис. 5.

Таблиця 5. Результати обробки космічного знімку різними методами

Метод	Кількість GCP	Кількість надлишкових GCP	RMSE (CP), м			Максимальне відхилення, м	
			X	Y	Total	dX	dY
Поліном 1 степеня	3	0	1,0852	0,8054	1,3514	1,790	-1,358
	10	7	0,7243	0,6873	0,9985	1,001	-1,115
Поліном 2 степеня	6	0	0,6846	0,9612	1,1800	1,133	2,016
	10	4	0,4868	0,4910	0,6914	0,902	-0,872
Поліном 3 степеня	10	0	0,5497	0,4445	0,7069	1,055	-0,887
DLT	6	0	0,4529	1,2777	1,3556	0,840	2,659
	10	4	1,0791	0,8694	1,3858	1,610	-1,481
RPC (poly 0)	1	0	0,8842	1,4096	1,6640	-1,671	-1,878
	10	9	1,0177	0,6463	1,2056	1,364	0,760
RPC (poly 1)	3	0	1,8065	1,3434	2,2513	2,980	2,282
	10	7	1,2048	1,1517	1,6667	1,662	1,884
RPC (poly 2)	6	0	1,2170	1,5623	1,9804	1,928	-3,231
	10	4	0,8581	0,8458	1,2049	1,558	1,448
RPC (poly 3)	10	0	1,5380	1,2626	1,9899	3,361	1,897

Таблиця 6. Оцінка точності ортотрансформування матеріалів космічного знімання

Номер точки	Примітка	X_{input} , м	Y_{input} , м	X_{ref} , м	Y_{ref} , м	dX , м	dY , м	dX^2 , м	dY^2 , м
4	Опорна			2280690.554	5590576.644				
10	Опорна			2284272.756	5591016.162				
11	Опорна			2283675.79	5593579.766				
14	Опорна			2281530.187	5594933.071				
18	Опорна			2284483.8	5595455.33				
2	Опорна			2283229.053	5591713.482				
13	Опорна			2285563.143	5593480.931				
16	Опорна			2281708.293	5593211.228				
3	Контрольна	2280606.806	5591776.597	2280606.774	5591776.972	0.032	-0.375	0.001024	0.140625
6	Контрольна	2281562.469	5590639.266	2281562.938	5590639.196	-0.469	0.07	0.219961	0.0049
7	Контрольна	2285082.024	5590728.36	2285081.376	5590728.099	0.648	0.261	0.419904	0.068121
8	Контрольна	2282390.244	5594037.493	2282391.275	5594037.409	-1.031	0.084	1.062961	0.007056
1	Контрольна	2285403.323	5593708.225	2285401.839	5593708.416	1.484	-0.191	2.202256	0.036481
5	Контрольна	2284520.798	5594831.35	2284520.667	5594831.199	0.131	0.151	0.017161	0.022801
9	Контрольна	2282353.165	5594431.109	2282353.752	5594430.768	-0.587	0.341	0.344569	0.116281
12	Контрольна	2284310.316	5593422.762	2284309.905	5593423.198	0.411	-0.436	0.168921	0.190096
17	Контрольна	2282875.822	5591465.291	2282876.679	5591465.652	-0.857	-0.361	0.734449	0.130321

$$M_x = 0.76 \text{ м}, M_y = 0.28 \text{ м}, M_s = 0.81 \text{ м}.$$

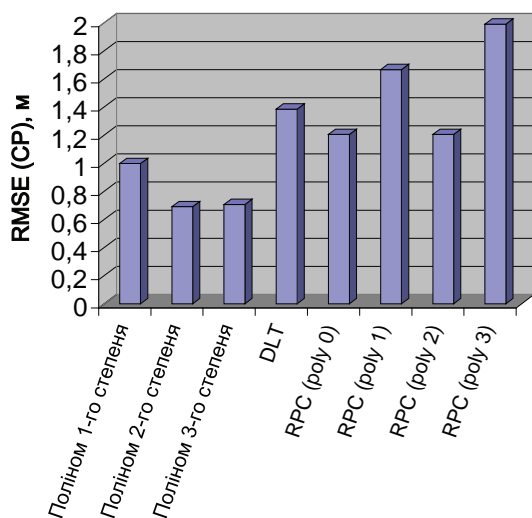


Рис. 5. Середньоквадратична похибка, визначена по контрольним точкам, при сталій кількості опорних точок (10)

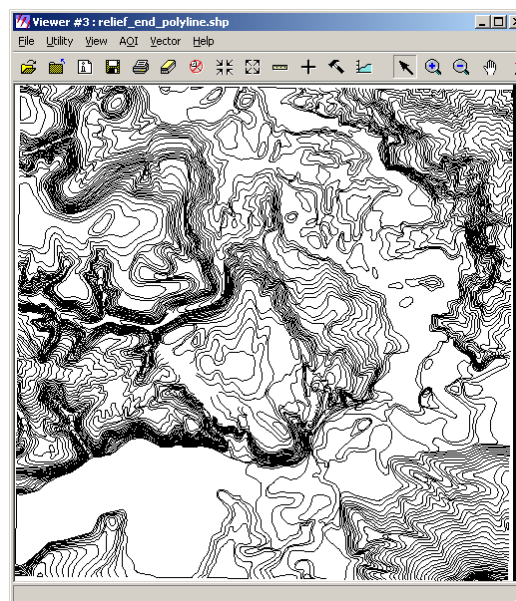


Рис. 6. Цифрова модель рельєфу, створена у вигляді горизонталей (формат .shp)

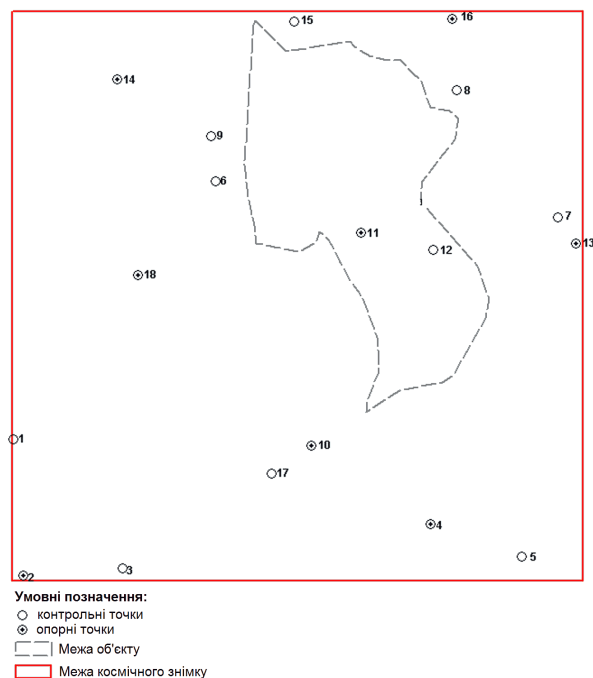


Рис. 7. Схема розміщення наземних опорних і контрольних точок для ортотрансформування космічних знімків

9. ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ОРТОФОТОПЛАНУ, СТВОРЕНОГО НА ОСНОВІ МЕТОДУ RPC, УТОЧНЕНОГО ОПОРНИМИ ТОЧКАМИ ТА ПОЛІНОМОМ 2 СТЕПЕНЯ, З ВИКОРИСТАННЯМ ЦМР

Цифрова модель рельєфу створена на основі топографічних планів масштабу 1 : 10 000 з перерізом рельєфу 1 метр в Балтійській системі висот 1977 року у форматі .shp. Для використання цифрової моделі в середовищі ERDAS IMAGINE v8.7 shp-файл було конвертовано у формат .img. При трансформуванні були використані 8 опорних точок і 9 контрольних, які рівномірно розміщені по території знімку (рис. 7). Трансформування виконувалося методом RPC з уточненням поліномом 2-го степеня.

Результати оцінки точності представлені в табл. 6. Середньоквадратична похибка геометричної корекції в цьому випадку складає 0,81 м, що безумовно краще за результат, який був одержаний без використання ЦМР і становив при шести опорних точках 1,98 м, а при десяти — 1,2 м.

У разі, якщо числові результати моделювання тим чи іншим методом є задовільними, виконується безпосереднє трансформування зображення (resampling).

10. ВИСНОВКИ

1. Похибки положення контрольних та опорних точок на трансформованому зображенні значною мірою залежать від похибок визначення їх висоти, тому при трансформуванні зображення без використання ЦМР (з урахуванням середнього значення висоти території, яку покриває знімок) на точках, реальна висота яких значною мірою відрізняється від усередненого значення, можуть виникати великі похибки.

2. Для якісного розпізнавання опорних і контрольних точок на знімку необхідно їх замаркувати. При виборі у якості GCP чітких контурів та об'єктів місцевості (кути парканів, кінці або повороти бордюрів, ліхтарі та ін.) похибки розпізнавання не є рівноцінними.

3. Необхідно, щоб GCP-точки розташовувалися рівномірно по площі знімку.

4. Точність методу RPC покращується зі збільшенням кількості опорних точок, що використовуються при трансформуванні; оптимальним числом наземних опорних точок є 6–8 (подальше їх збільшення не призводить до значного покращення результату).

5. Ортофотоплани, отримані за допомогою трансформування космічних знімків Standard Ortho Ready методом RPC, задовольняють точності створення картографічного матеріалу масштабу 1 : 5 000 і менше.

6. Кінцева точність результатів трансформування космічних знімків значною мірою залежить від точності визначення координат GCP наземними методами та розпізнавання їх на знімку, а також точності та якості ЦМР, що приймає участь у трансформуванні.

1. Болсуновский М.А. Геометрическая коррекция данных со спутника QuickBird // Геопрофи. — 2006. — № 1. — С. 16–19.
2. Железняк О.О., Чубко Л.С. Космічна фотограмметрія: навч. посібник. — К.: НАУ, 2012. — 220 с.

Надійшла до редакції 5.11.2013