

Исследование точностных характеристик RPC-полиномов при обработке информации КА «Ресурс-ДК1»

А.Я. Романов

ФГУП НИИ Точных Приборов
127490 Москва, ул. Декабристов, вл. 51
E-mail: anrm@yandex.ru

В работе приведены результаты оценки точности использования RPC-полиномов при обработке изображений сканерного типа, получаемых КА «Ресурс-ДК1». Выполнен анализ для различных углов крена, продолжительности маршрутов и детальности исходных данных для построения RPC-полиномов. Рекомендуется использовать RPC-модели для использования в системах обработки информации ДЗЗ высокого разрешения, полученной датчиками сканерного типа.

При обработке данных ДЗЗ, получаемых с помощью космической оптико-электронной съемочной аппаратуры высокого пространственного разрешения, одной из задач является обеспечение быстрого и высокоточного преобразования пространственных геодезических координат объектов местности (широты, долготы и высоты) в пиксельные координаты изображения и обратно. Этой цели служит модель рациональных полиномов, которая первоначально была разработана и предложена для обработки изображений IKONOS [1, 2].

Модель рациональных полиномов кратко может быть описана следующим образом.

Пиксельные координаты изображения (E – по строке, I – по столбцу) могут быть выражены через геодезические координаты объекта с помощью следующих соотношений:

$$E = f(B, L, H) = \frac{\mathbf{a}^T \mathbf{u}}{\mathbf{b}^T \mathbf{u}} M_E + E_0, \quad I = g(B, L, H) = \frac{\mathbf{c}^T \mathbf{u}}{\mathbf{d}^T \mathbf{u}} M_I + I_0,$$

где

$$\mathbf{aT} = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ a_6 \ a_7 \ a_8 \ a_9 \ a_{10} \ a_{11} \ a_{12} \ a_{13} \ a_{14} \ a_{15} \ a_{16} \ a_{17} \ a_{18} \ a_{19} \ a_{20}],$$

$$\mathbf{u} = [1 \ 1 \ p \ h \ lp \ lh \ ph \ l_2 \ p_2 \ h_2 \ plh \ l_3 \ lp_2 \ lh_2 \ l_2p \ p_3 \ ph_2 \ l_2h \ p_2h \ h_3]T,$$

$$\mathbf{bT} = [b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \ b_5 \ b_6 \ b_7 \ b_8 \ b_9 \ b_{10} \ b_{11} \ b_{12} \ b_{13} \ b_{14} \ b_{15} \ b_{16} \ b_{17} \ b_{18} \ b_{19} \ b_{20}],$$

$$\mathbf{cT} = [c_1 \ c_2 \ c_3 \ c_4 \ c_5 \ c_6 \ c_7 \ c_8 \ c_9 \ c_{10} \ c_{11} \ c_{12} \ c_{13} \ c_{14} \ c_{15} \ c_{16} \ c_{17} \ c_{18} \ c_{19} \ c_{20}],$$

$$\mathbf{dT} = [d_1 \ d_2 \ d_3 \ d_4 \ d_5 \ d_6 \ d_7 \ d_8 \ d_9 \ d_{10} \ d_{11} \ d_{12} \ d_{13} \ d_{14} \ d_{15} \ d_{16} \ d_{17} \ d_{18} \ d_{19} \ d_{20}],$$

$$p = \frac{B - B_0}{\text{Масштаб}_B}; \quad l = \frac{L - L_0}{\text{Масштаб}_L}; \quad h = \frac{H - H_0}{\text{Масштаб}_H};$$

Масштабные множители M_E , M_I и сдвиги E_0 , I_0 используются для нормирования пиксельных координат к значениям в интервале от -1 до +1.

Определяемыми параметрами в модели рациональных полиномов являются наборы коэффициентов a , b , c , d . Для их определения формируется некоторая трехмерная сетка точек с заданными (табличными) геодезическими координатами (B , L , H), для которых по строгой модели съемки, учитывающей все особенности съемочной системы рассчитываются «номинальные» пиксельные координаты изображения. Данные об орбите и ориентации съемочной аппаратуры берутся из служебной информации, поступающей вместе с изображением. Обработка данных выполняется по методу наименьших квадратов.

Точность модели рациональных полиномов характеризуется среднеквадратическим значением отклонения расчетных значений пиксельных координат от «номинальных» значений в контрольных точках, не участвовавших в расчете коэффициентов.

В ходе исследования проводился расчёт СКО невязок отдельно по строкам и столбцам. Использовались изображения, полученные съёмочной системой космического аппарата Ресурс-ДК1. При этом привлекались сканы разной продолжительности с разными углами отворота.

Данные расчёта точностей для “сеток” 6x6x6 и 11x11x11 приведены в прилагающихся таблицах. Значения СКО аппроксимации рассчитаны по невязкам в узлах сетки, значения СКО интерполяции рассчитаны по точкам между узлами сетки.

Таблица 1. Результаты расчётов для сетки 11x11x11

Условный номер маршрута	Угол крена (град.)	Размер изображения (пикс.)	СКО аппроксимации по столбцам (I), пикс.	СКО аппроксимации по строкам (E), пикс.	СКО интерполяции по столбцам (I), пикс.	СКО интерполяции по строкам (E), пикс.
1	-27	36000 x 31754	0.061	0.02	0.09	0.025
		10000 x 10000	0.007	9.91e-5	0.011	0.0002
2	42	36000 x 56104	0.042	0.002	0.045	0.005
		36000 x 36000	0.013	0.0005	0.025	0.001
		10000 x 10000	1.33e-5	1.21e-5	6.46e-5	7.11e-5
3	7	36000 x 50525	0.31	0.008	0.87	0.04
		36000 x 36000	0.08	0.004	0.23	0.012
		10000 x 10000	0.001	2.95e-5	0.001	4.89e-5
4	2	36000 x 58528	0.178	0.014	0.33	0.15
		36000 x 36000	0.2	0.115	0.23	0.14
		10000 x 10000	0.0001	0.002	0.001	0.003
5	21	36000 x 40192	0.17	0.001	0.4	0.003
		36000 x 36000	0.047	0.0002	0.26	0.0018
		10000 x 10000	0.001	1.39e-5	0.002	1.21e-5
6	-7	36000 x 136767	0.09	0.006	0.11	0.005
		36000 x 72000	0.02	0.0006	0.03	0.001
		36000 x 36000	0.008	0.00015	0.014	0.0008
		10000 x 10000	1.48e-5	6.68e-6	4.83e-5	8.84e-5
7	-24	36000 x 105001	0.07	0.005	0.07	0.004
		36000 x 36000	0.006	0.0008	0.016	0.0009
		10000 x 10000	2.38e-5	1.03e-5	2.86e-5	6.28e-6

Таблица 2. Результаты расчётов для сетки бхбхб

Условный номер маршрута	Угол крена (град.)	Размер изображения (пикс.)	СКО аппроксимации по столбцам (D), пикс.	СКО аппроксимации по строкам (E), пикс.
1	-27	36000 x 31754	0.184	0.6
		10000 x 10000	0.0009	6.67e-5
2	42	36000 x 56104	0.099	0.011
		36000 x 36000	0.008	0.002
		10000 x 10000	0.0001	3.35e-5
3	7	36000 x 50525	1.83	0.098
		36000 x 36000	0.49	0.03
		10000 x 10000	0.003	6.65e-5
4	2	36000 x 58528	0.56	0.66
		36000 x 36000	0.25	0.65
		10000 x 10000	0.04	0.008
5	21	36000 x 40192	0.82	0.005
		36000 x 36000	0.53	0.004
		10000 x 10000	0.003	2.16e-5
6	-7	36000 x 136767	0.25	0.01
		36000 x 72000	0.13	0.007
		36000 x 36000	0.02	0.0006
		10000 x 10000	8.16e-5	7.53e-6
7	-24	36000 x 105001	0.51	0.006
		36000 x 36000	0.11	0.003
		10000 x 10000	0.002	3.45e-5

Полученные результаты говорят о том, что точность аппроксимации данных практически не зависит от угла отворота при съёмке.

Прослеживается прямая связь между качеством аппроксимации и размером области, для которой производится расчёт. Тем не менее, при “сетке” для вычислений размером 11x11x11 по-

грешность аппроксимации не более 1 пиксела даже в самом худшем случае. При меньших размерах сетки возможен выход за пределы одного пиксела по точности.

Также необходимо отметить, что размер диапазона высот, для которого производится расчёт, не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на качество аппроксимации.

Полученные результаты позволяют рекомендовать использование RPC-модели для обработки материалов, получаемых КА «Ресурс-ДК1» в системах обработки информации ДЗЗ.

Литература

1. *Grodecki J. and G. Dial, IKONOS GEOMETRIC ACCURACY*, <http://www.spaceimaging.com/aboutus/satellites/IKONOS/spectral.htm>
2. *Gene Dial, Jacek Grodecki, IKONOS ACCURACY WITHOUT GROUND CONTROL*, *Proc. 15/Land Satellite Information IV/ISPRS Commission I/FIEOS 2002 Conference Proceedings*.
3. *Максимов В.Г., Романов А.Я. Обработка изображений, получаемых оптико-электронными КА высокого разрешения с использованием модели рациональных полиномов // "Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика". Сб-к статей. Рязань, 2007.*