

IKONOS 위성영상 RPC 자료의 수정보완에 의한 3차원 위치결정 3-D Positioning by Adjustment of the Rational Polynomial Coefficients Data of IKONOS Satellite Image

이효성¹⁾ · 안기원²⁾ · 신석효³⁾

Lee, Hyo Sung · Ahn, Ki Won · Shin, Seok Hyo

¹⁾ 서울대학교 지구환경과학부 박사후 연수연구원(E-mail: hslee@eos1.snu.ac.kr)

²⁾ 경상대학교 토목공학과 교수(E-mail: kwahn@nongae.gsnu.ac.kr)

³⁾ 경상대학교 공학연구원 연구원(E-mail: s_shshin@gshp.gsnu.ac.kr)

Abstract

This paper presents on adjustment methods of the vendor-provided RPC(Rational Polynomial Coefficient) of GEO-level stereo images for the IKONOS satellite. RPC are adjusted with control points by the first-order polynomial and the block adjustment method in this study. As results, the maximum error of 3D ground coordinates by the adjusted RPC model did not exceed 4m. The block adjustment method is more stability than the first-order polynomial method.

1. 서론

Space Imaging사는 IKONOS 2호 고해상도 위성영상을 지도좌표계로 기하보정된 표준기하보정(GEO) 레벨 영상과 정밀레벨 (Precision) 영상 등을 제공하고 있으며, 이외에 정사투영영상과 모자이크 영상, 수치표고모델 등을 자체 제작하고 있다. 특히, 현재 가장 많이 제공되고 있는 표준기하보정 영상의 RPC(Rational Polynomial Coefficient)자료는 IKONOS 위성의 물리적인 센서모델로부터 직접 획득되어 지기 때문에 지상좌표 추출 정확도가 25m 내외이며, 이는 영상의 해상력에 비해 대축척 지형도 작성에는 적합하지 않다. 따라서 이러한 오차를 최소화하기 위하여 지상 기준점을 이용하여 RPC를 수정 보완하는 방법이 요구되어진다.

IKONOS 위성의 입체영상으로부터 정확도가 향상된 지상좌표를 획득하기 위해선 크게 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 IKONOS 위성영상의 RPC 자료를 활용하지 않는 방법이고, 두 번째는 RPC 자료를 활용하는 방법이다. 첫 번째 방법으로는 새로운 RPC 모델링 방법(이효성, 2001), DLT(Direct Linear Transformation)와 Affine 모델링 방법(Fraser, 2002) 등이 있다. 새로운 RPC 모델링 방법의 경우 40점 이상의 지상기준점이 요구되며, 이로 인한 많은 시간과 노력이 요구되어진다. DLT 모델링 방법은 기준점 배치상태와 수에 상당히 민감하고, Affine 방법은 평행투영방정식이기 때문에 대상영역 전체에 대한 위치를 적절하게 반영하지 않을 수 있다는 단점이 있다.

두 번째 방법으로는 지상좌표 X, Y, Z 각각에 대한 다항식 모델링 방법(Di, 2003)과 RPC 블록조정(Block Adjustment) 방법(Grodecki, 2003)을 들 수 있다. X, Y, Z에 대한 다항식 모델링의 경우 기준점의 측정 지상좌표와 제공되는 RPC로부터 획득되어지는 지상좌표간의 관계식을 X,Y,Z축 각각에 대하여 다항식을 적용하여 모델링하는 방법이며, RPC 블록조정 방법은 중복된 영상의 수가 많을 경우 적용될 수 있는 방법으로서 두 방법 모두 제공되는 RPC에 의한 편위를 효율적으로 보정할 수 있는 방법이다.

본 연구에서는 앞에서 소개한 바와 같이 제공되는 RPC 정보를 적절하게 활용할 수 있는 두 번째 방법을 적용한 후, 검사점의 상좌표를 산출하여 그 정확도를 제시하고, 적용방법에 대한 신뢰성을 검토하고자 한다.

2. RPC 자료수정 방법

2.1 다항식 조정

다항식 조정방법은 기준점의 측정 지상좌표와 제공되는 RPC로부터 획득되어지는 지상좌표간의 관계식을 X, Y, Z 각각에 대하여 다항식을 적용하여 모델링하는 방법으로써 미지수의 수는 9개이며, 최소 4개의 기준점이 요구되어진다. 다항식 조정방법은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_G &= a_0 + a_1 X_{RF} + a_2 Y_{RF} + a_3 Z_{RF} \\ Y_G &= b_0 + b_1 X_{RF} + b_2 Y_{RF} + b_3 Z_{RF} \\ Z_G &= c_0 + c_1 X_{RF} + c_2 Y_{RF} + c_3 Z_{RF} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, X_G, Y_G, Z_G : 기준점에 대한 관측 지상좌표

X_{RF}, Y_{RF}, Z_{RF} : 기준점에 대한 RPC로 획득한 지상좌표

$a_0, a_1, a_2, a_3, b_0, b_1, b_2, b_3, c_0, c_1, c_2, c_3$: 계수

2.2 RPC 블록 조정

위성의 센서모델로부터 직접 획득된 RPC자료는 센서모델 자체의 여러 가지 오차를 포함하고 있기 때문에 해상력 대비 위치추출 정확도는 현저히 떨어진다. RPC 블록조정 방법은 중복된 영상의 수가 많을 경우 적용될 수 있는 방법으로서 중복된 영상에서 식(2)을 테일러 선형화와 최소제곱법 그리고 반복계산에 의하여 최확값의 변수를 구한 후, 제공되는 RPC에 의한 편위를 보정하는 방법이다. 보정을 위한 방법은 다음과 같다.

$$R = \Delta R + r, \quad C = \Delta C + c \quad (2)$$

$$\Delta R = a_0 + a_C \cdot C + a_R \cdot R, \quad \Delta C = b_0 + b_C \cdot C + b_R \cdot R \quad (3)$$

$$r = y \times \text{Row_Scale} + \text{Row_Off}, \quad c = x \times \text{Column_Scale} + \text{Column_Off} \quad (4)$$

$$y = \frac{\text{Num}_R(P, L, H)}{\text{Den}_R(P, L, H)}, \quad x = \frac{\text{Num}_C(P, L, H)}{\text{Den}_C(P, L, H)} \quad (5)$$

여기서, R, C : 기준점의 관측한 영상좌표

r, c : 기준점의 지상좌표와 RPC로부터 얻어진 영상좌표

P, L, H : 기준점의 WGS 84 타원체 측지좌표인 위도, 경도, 높이

식(2)에서 a_0 는 위성의 In-track Ephemeris 오차, Pitch 회전의 자세오차, 주점과 센서위치의 Row방향 오차를 포함하며, b_0 는 위성의 Cross-track Ephemeris 오차, Roll 회전의 자세오차, 주점과 센서위치의 Column방향오차를 포함한다. a_C 와 b_C 는 방사방향의 Ephemeris 오차, 초점거리와 렌즈왜곡과 같은

내부표정요소 오차를 포함하며, a_R 과 b_R 은 영상을 스캔하는 동안 발생하는 Gyro Drift에 의한 영향과 기타의 우연오차를 포함한다. 따라서 a_C 와 b_C , a_R 과 b_R 은 a_0 와 b_0 에 비하여 그 영향이 적으므로 중복영상이 많을 경우에는 a_0 와 b_0 만으로도 충분한 보정이 이루어 질 수 있다.

3. 적용실험

본 연구에 사용된 인공위성 영상자료는 2001년 1월 10일에 경남 양산시 일대(지상면적 약 7×7km)을 대상으로 관측 수집된 IKONOS 2호의 Panchromatic 입체영상이다(그림 1).

기준점은 좌·우측영상에서 동일한 21점을 대상영역 내에서 골고루 분포하게끔 선정하였다. 기준점의 지상좌표 획득에 있어서는 GPS 수신기 LEICA SR9500, Geotracer, DSNP 총 10대를 가동하여 한 측점당 1시간 이상 자료를 수신하였으며, 국립지리원 3, 4등 삼각점 3점과 1등 수준점 2점을 연결하여 삼각측량 방식으로 측지좌표와 3차원 직각좌표를 획득하였다(그림 2). 표 1은 기준점에 대한 위·경도 및 타원체로부터의 높이를 나타낸 것이다.

그러나 그림 1에서 보는바와 같이 산악지역은 현지 여건상 작업이 어려울 뿐만 아니라 영상에서도 인공구조물의 특이점을 발견하기 어려우므로 이 지역에 대한 기준점은 선정하지 않았다. 지상좌표와 동일한 지점의 영상좌표는 ERDAS IMAGINE 소프트웨어(ver. 8.5)를 사용하여 화소이하의 단위로 독취하였다.

또한 앞에서 언급한 방법을 바탕으로 다항식 조정, a_0, b_0 및 $a_0, a_C, a_R, b_0, b_C, b_R$ 블록조정의 3가지 방법으로 RPC 자료를 수정하였다. 기준점 개수에 따른 실험을 위하여 기준점 배치를 대상영역 중앙에 한 점, 바깥쪽에 한 점씩 점차적으로 증가시켜 나가면서 최종 10점까지 선정을 하였다. 수정한 자료의 정확도를 파악하기 위하여 21점 중 11점을 검사점으로 활용하였다.

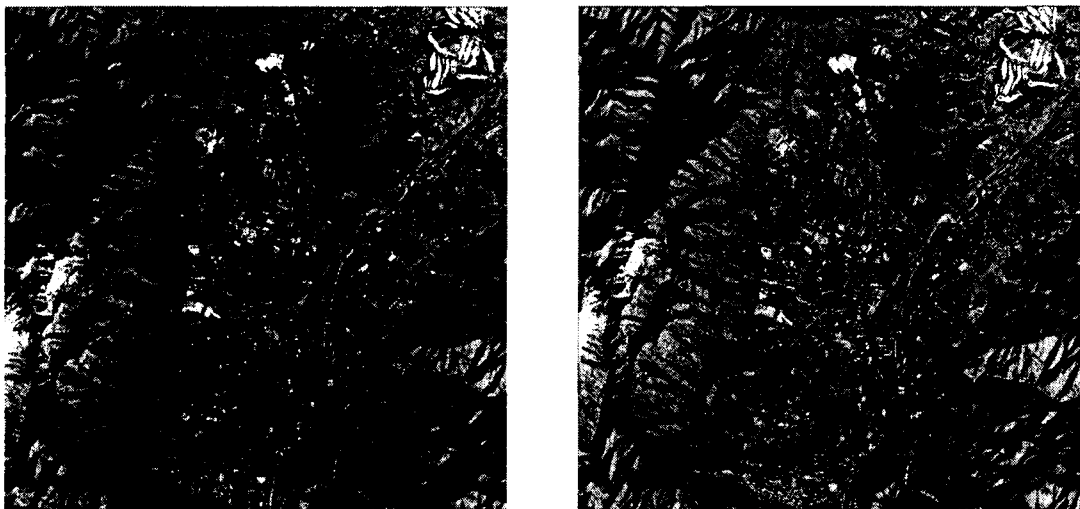


그림 1. 양산시 일대의 IKONOS 위성의 좌·우측 입체영상(크기: 7001화소×7001화소)

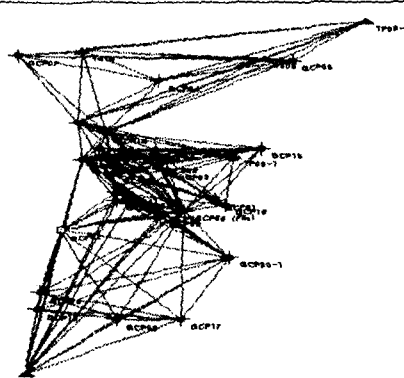


그림 2. 기준점 GPS 관측망도.

표 1. 기준점의 측지좌표와 영상좌표

NO	위도 (Deg.)	경도 (Deg.)	높이 (m)	좌측영상		우측영상	
				Column	Line	Column	Line
1	35.4286	129.1474	240.05	2955.81	1897.71	2942.93	1955.22
2	35.4053	129.1442	200.92	2674.20	4474.21	2656.76	4553.47
3	35.4181	129.1643	135.35	4501.29	3026.09	4474.26	3142.18
5	35.4218	129.1576	158.06	3896.26	2629.46	3872.80	2733.65
6	35.3858	129.1544	160.74	3609.60	6615.47	3586.10	6715.38
8	35.4417	129.1875	195.99	6596.97	428.72	6577.20	510.89
13	35.3880	129.1396	269.12	2253.65	6409.74	2244.46	6448.97
14	35.4262	129.1526	181.22	3435.24	2145.84	3414.51	2236.34
15	35.4227	129.1818	130.08	6094.13	2511.57	6066.04	2630.30
16	35.4104	129.1749	155.00	5468.37	3882.81	5444.20	3986.59
17	35.3859	129.1667	222.92	4715.06	6624.74	4698.83	6689.62
25	35.4227	129.1514	186.67	3330.26	2536.28	3310.11	2623.60
27	35.4205	129.1482	220.75	3032.41	2795.12	3016.52	2863.31
29	35.4226	129.1559	166.72	3734.77	2542.90	3712.01	2641.64
31	35.4200	129.1531	191.10	3480.21	2839.98	3461.15	2924.85
34	35.4225	129.1617	144.28	4269.65	2540.39	4244.25	2652.06
36	35.4196	129.1623	141.62	4319.28	2868.40	4293.28	2980.53
39	35.4173	129.1539	184.03	3657.13	3130.73	3636.85	3217.95
41	35.4132	129.1546	152.84	3623.05	3580.02	3598.23	3685.42
50	35.4115	129.1546	156.75	3623.47	3769.51	3599.89	3872.97
52	35.4119	129.1573	148.73	3866.85	3718.87	3841.72	3827.05

4. 결과분석

본 연구에서는 앞에서 언급한 바와 같이 대상영역에 대하여 다항식 조정과 블록조정방법을 이용하여 RPC를 조정한 후, 이로부터 그 타당성을 검토하기 위하여 검사점의 지상좌표를 결정하였다. 표 2는 결정된 다항식 조정계수로부터 산출된 검사점의 지상좌표에 대한 기준점 적용 개수별 RMS 오차와 최대오차의 절대값을 나타낸 것이며, 표 3과 4는 a_0 , b_0 및 $a_0, a_C, a_R, b_0, b_C, b_R$ 블록조정으로부터 산출된 검사점의 지상좌표에 대한 기준점 적용 개수별 RMS오차와 최대오차의 절대값을 나타낸 것이다. 두 방법 모두 지상좌표 추출 정확도가 $\pm 1m$ 이하의 결과를 나타냈으며, 최대오차는 대략 $\pm 4m$ 를 넘지 않았다.

표 2에서 보는바와 같이 기준점 5개를 적용한 경우의 검사점의 지상좌표 오차가 가장 양호한 결과를 나타내고 있으며, 기준점 개수가 증가할수록 평균제곱근 오차는 대체적으로 줄어드는 반면에 최대오차는 기준점 개수와는 상관없는 결과를 보여주고 있다. 표 3과 4의 결과에서는 표 3의 결과보다 표 4의 결과 정확도가 비교적 높게 나타났으며, 기준점 개수가 같더라도 표 3에 비해 표 4의 정확도가 비교적 높게 나타났다. 또한 기준점 개수가 증가할수록 정확도가 향상되었음을 알 수 있다.

결과적으로 적용한 대상영역에서는 블록조정방법이 안정되고 효율적이며, 계수를 모두 적용한 경우가 가장 정확한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 기준점의 개수가 증가하더라도 결과 정확도에는 큰 차이가 없음을 알 수 있으며, 소요정확도내에서는 오히려 a_0 , b_0 블록조정방식이 효과적일 것이라 판단된다.

표 2. 기준점 개수에 따른 다항식 조정의 지상좌표 추출오차

기준점 개수	위도(Deg.)		경도(Deg.)		높이(m)	
	평균제곱근 오차	최대오차	평균제곱근 오차	최대오차	평균제곱근 오차	최대오차
4	5.439e-006	1.327e-005	6.987e-006	1.535e-005	0.817	2.000
5	4.611e-006	1.180e-005	6.565e-006	1.712e-005	0.812	1.987
6	4.889e-006	1.388e-005	7.209e-006	1.451e-005	0.800	2.423
7	4.923e-006	1.425e-005	6.574e-006	1.657e-005	0.754	2.320
8	5.429e-006	1.545e-005	6.761e-006	1.654e-005	0.779	2.508
9	4.967e-006	1.395e-005	6.950e-006	1.892e-005	0.779	2.509
10	4.899e-006	1.371e-005	7.182e-006	1.935e-005	0.783	2.527

표 3. 기준점 개수에 따른 계수 a_0 , b_0 블록조정 of 지상좌표 추출오차

기준점 개수	위도		경도		높이	
	평균제곱근 오차	최대오차	평균제곱근 오차	최대오차	평균제곱근 오차	최대오차
1	5.605e-006	1.762e-005	6.943e-006	1.562e-005	1.307	3.301
2	4.935e-006	1.479e-005	6.049e-006	1.683e-005	0.864	2.145
3	5.707e-006	1.791e-005	6.183e-006	1.652e-005	1.103	2.864
4	5.187e-006	1.630e-005	6.389e-006	1.761e-005	0.948	2.500
5	7.432e-006	2.153e-005	6.148e-006	1.808e-005	1.132	2.917
6	6.162e-006	1.901e-005	6.329e-006	1.930e-005	0.927	2.402
7	6.412e-006	1.950e-005	6.443e-006	1.982e-005	1.037	2.669
8	5.798e-006	1.814e-005	6.162e-006	1.825e-005	0.993	2.581
9	5.923e-006	1.840e-005	6.194e-006	1.850e-005	0.946	2.460
10	5.548e-006	1.748e-005	6.123e-006	1.780e-005	0.907	2.348

표 4. 기준점 개수에 따른 계수 $a_0, a_C, a_R, b_0, b_C, b_R$ 블록조정지의 지상좌표 추출오차

기준점 개수	위도		경도		높이	
	평균제곱근 오차	최대오차	평균제곱근 오차	최대오차	평균제곱근 오차	최대오차
4	4.455e-006	1.448e-005	5.856e-006	1.464e-005	0.713	1.574
5	4.542e-006	1.377e-005	5.732e-006	1.711e-005	0.773	2.060
6	4.063e-006	1.178e-005	5.702e-006	1.496e-005	0.681	2.025
7	3.911e-006	1.155e-005	5.696e-006	1.502e-005	0.679	2.022
8	3.921e-006	1.028e-005	5.769e-006	1.695e-005	0.678	2.261
9	3.911e-006	1.015e-005	5.753e-006	1.719e-005	0.681	2.306
10	3.890e-006	1.038e-005	5.664e-006	1.680e-005	0.685	2.315

5. 결론

본 연구에서는 IKONOS 위성의 GEO레벨 입체영상으로부터 기준점을 이용하여 다항식 조정과 블록 조정방식으로 RPC를 조정한 후, 조정한 계수를 이용하여 검사점의 지상좌표를 획득한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 두 방법에 의한 결과 정확도는 $\pm 1m$ 이내이고, 최대오차는 $\pm 4m$ 를 넘지 않았다.

둘째, 다항식 조정방법에 비해 블록조정방법이 안정적이며, 블록조정방법에서 기준점 개수가 증가할수록 정확도가 향상되었다.

마지막으로 블록조정방법에서 계수를 모두 적용한 경우가 가장 정확한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 소요정확도내에서는 오히려 영상좌표에 대한 편위요소를 고려한 계수 블록조정방식이 효과적인 것이라 판단된다.

참고문헌

이효성, 이재빈, 김용일, 유기윤(2003), IKONOS 위성영상의 Rational Function Model 계수 직접추출에 의한 3차원 위치결정, 대한토목학회논문집, 23권, 제 1D호, pp. 115-121.

Clive. S. Fraser, E. Baltsavias, A. Gruen(2002), Processing of Ikonos imagery for submetre 3D positioning and building extraction, ISPRS Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 56, pp. 177-194.

Kaichang Di, Ruijin Ma and Ron Xing Li(2003), Rational Functions and potential for Rigorous Sensor Model Recovery, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 69, No. 1, pp. 33-41.

Jacek Grodecki and Gene Dial(2003), Block Adjustment of high-Resolution Satellite Images Described by Rational Polynomials, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 69, No. 1, pp. 59-68.

Clive S. Fraser and Harry B. Hanley(2003), Bias Compensation in Rational Functions for Ikonos Satellite Imagery, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 69, No. 1, pp. 53-57.