

SPOT 위성의 위치 및 자세 Parameter 추출

이문 병무, 엄 기문, 이 쾌희
서강대학교 전자공학과

An Extraction of Position and Attitude Parameters of SPOT

Byeong Moo Moon, Gi Mun Um, Kwae Hi Lee
Dept. of EE, Sogang Univ.

Abstract

Attitude and position parameter of satellite is needed in producing digital elevation model. This paper propose a method which determines the order of polynomial and initial values of satellite exterior parameters using header file of computer compatible tape. Experiments on a SPOT level 1A full scene show that planimetric error is 11m and the altimetric error is about 18.3m.

1. 서론

1986년 SPOT 위성이 발사된 이후 수치지형모델(digital elevation model)을 작성하는 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 이는 LANSAT과 같은 다른 상용 위성에 비해 해상도가 좋고, 사각관측(-27° ~ +27°)이 가능하기 때문이다.

수치지형모델을 구하기 위해서는 두 가지 기본적인 과정이 필요하게 된다. 첫번째가 위성의 위치와 자세를 구하는 것이고, 두번째가 양쪽영상에서 대응되는 점을 찾는 정합과정이다. 본 논문에서는 첫번째의 위성의 위치와 자세를 구하는 것에 대해서 살펴본다. 한 장의 영상은 6000 line이 모여서 이루어진 것이기 때문에 6000 개의 위성의 위치와 자세가 존재하게 되는데 이것을 전부 구하는 것은 거의 불가능하므로 위치와 자세를 line의 함수로 보고 위치와 자세를 구하게 된다. 본 논문에서 CCT(computer compatible tape)의 header file를 이용해서 위성의 위치와 자세의 근사다항식의 차수 결정에 대해서 살펴본다.

2. 위성의 위치와 자세의 근사함수 결정과 초기치 설정

2.1. Header file

SPOT 위성영상은 CCT와 사진의 두 가지 경우가 있는데, 본 논문에서는 CCT를 가지고 실험을 하였다. CCT의 앞 부분에 영상을 찍을 때의 상태를 서술한 부분이 있는데, 이를 header file이라 부른다. 본 논문에 필요한 몇 가지에 사항이 표 1에 있다[1].

표 1. Header file에서 중요한 몇 가지 사항

항 목	좌측 영상	우측 영상
위성 명칭	SPOT1	SPOT1
센 서	HRV2	HRV1
찍은 날짜	1987년 11월 29일	1987년 11월 30일
영상 중심	N 36° 22' 2" E 127° 25' 41"	N 36° 22' 2" E 127° 25' 8"
영상표정(γ)	11.4°	8.2°
시야각(α)	15.6°	R26.2°

2.2. 위성의 위치에 대한 근사함수와 초기치

Header file에는 8점 또는 9점 정도의 위성의 위치와 시간이 주어진다. 각 점 사이의 관측시간은 1 분이다. 한 영상을 찍을 때 걸리는 시간이 약 9초이므로 대상영역을 찍을 때의 위성의 위치는 보간을 해서 구해야 한다[1, 2]. 그림 1, 2, 3은 header file에 주어진 위성의 위치를 나타낸 것이다. 기준좌표계는 대상영역에 접한 local space rectangular 좌표계이다. X축은 경도가 감소하는 방향, Y축은 위도가 감소하는 방향이고, Z축은 지구표면에서 밖으로 향하는 방향이다.

위성의 위치에 대한 근사함수를 시간에 대한 다항식으로 쓰고, 차수는 header file에 있는 자료를 통해서 결정한다. 각 차수의 계수를 결정하는데 least square adjustment를 이용했다. 표 2에 차수에 따른 RMS 오차를 나타내었다.

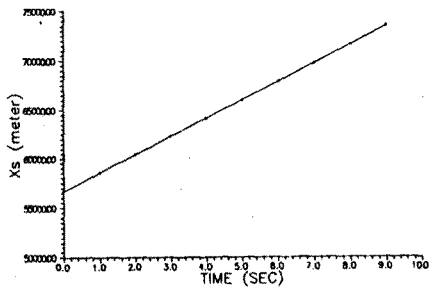


그림 1. 위성의 진행에 따른 X 좌표의 변화.

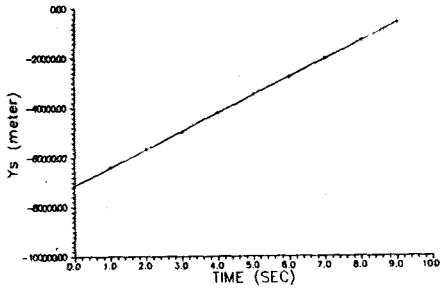


그림 2. 위성의 진행에 따른 Y 좌표의 변화.

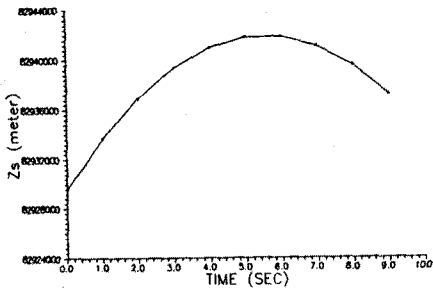


그림 3. 위성의 진행에 따른 Z 좌표의 변화.

표 2. 위치의 차수에 따른 오차 (단위 : meter)

	좌측 영상		우측 영상	
	1 차	2 차	1 차	2 차
Xs	2.90	0.013	5.25	0.0117
Ys	0.938	0.036	1.016	0.0367
Zs	35.29	0.000996	35.036	0.00077

Xs, Ys를 1차, Zs를 2차로 한 경우 각각 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \text{Left : } & Xs = 68116.320 + 1806.92 \times t \\ & Ys = -26857.17 + 7312.50 \times t \\ & Zs = 829418.17 + 13807.83 \times t + -3.99 \times t^2 \\ \text{Right : } & Xs = -409019.2 + 1443.25 \times t \\ & Ys = 45851.69 + 7593.48 \times t \\ & Zs = 817955.3 + 4535.35 \times t + -3.96 \times t^2 \end{aligned}$$

Xs, Ys를 1차, Zs를 2차로하고, 공선조건식을 이용해서 parameter를 구할 때의 초기치는 위에서 구한 parameter를 이용하면 된다.

2.3 위성의 자세에 대한 근사함수와 초기치

Header file에는 72 개 또는 73 개의 line에 대한 위성의 세 축에 관한 angular rate가 있다. 따라서 위성의 자세에 대한 정보를 알기 위해서는 angular rate를 적분해야 한다 [1]. 그림 4,5,6은 header file에 주어진 위성의 angular rate를 나타낸 것이다.

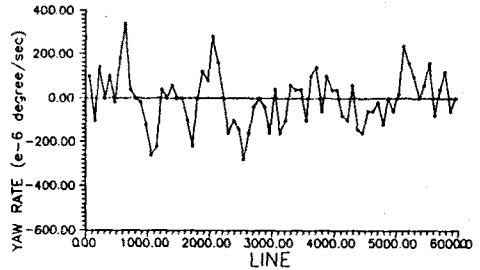


그림 4. 위성의 진행에 따른 yaw의 변화율.

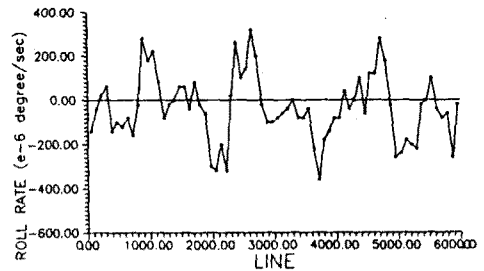


그림 5. 위성의 진행에 따른 roll의 변화율

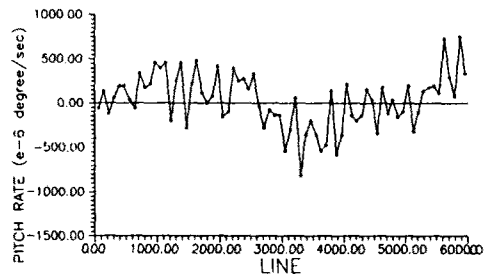


그림 6. 위성의 진행에 따른 pitch의 변화율

위성의 자세에 대한 근사함수를 시간에 대한 다항식으로 쓰고, 차수는 header file에 있는 자료를 통해서 결정한다. Header file에 주어진 angular rate를 적분하면 자세정보를 구할 수 있다. 각 차수의 계수를 결정하는데 least square adjustment를 이용했다. 표3에 근사차수에 따른 RMS 오차를 나타내었다.

Yaw, roll을 1차, pitch를 3차로 하고, yaw의 초기치는 영상표정을 이용하고, roll의 초기치는 시야각을 이용한다. Pitch의 초기치는 0으로 한다.

표 3. 자세의 근사차수에 따른 오차 (단위 : 10⁻⁶ degree)

	좌측 영상			우측 영상		
	1 차	2 차	3 차	1 차	2 차	3 차
Yaw	34.86	34.84	27.42	33.92	31.66	26.20
Roll	48.25	41.9	41.3	45.33	40.78	31.48
Pitch	219.52	128.15	98.46	261.98	160.92	109.92

3. Parameter estimation

3.1. 공선조건식

위성의 위치와 자세를 추정하기위해서 이용하는 기본적인 식은 공선조건식이다[3]. 즉, 위성의 중심에서 영상으로의 벡터가 위성의 중심에서 영상에 해당하는 지상점으로의 벡터와 일치한다는 것이다. 공선조건식은 다음 식 (3.1)과 같다.

$$\begin{bmatrix} xp \\ yp \\ zp \end{bmatrix} = S RT \begin{bmatrix} Xs - Xi \\ Ys - Yi \\ Zs - Zi \end{bmatrix}$$

S : scale factor
R : rotation matrix

=> z 성분으로 정규화

$$fx(\cdot) = 0, \quad fy(\cdot) = 0 \tag{3.1}$$

=> 선형화

$$v1 + B1 d1 + B2 d2 = e1 \tag{3.2}$$

B1(2m x p) : parameter에 대한 편미분 계수 행렬

B2(2m x 3m) : 지상좌표에 대한 편미분 계수 행렬

d1(p x 1) : parameter의 근사값에 대한 보정량 벡터

d2(3m x 1) : 지상좌표의 근사값에 대한 보정량 벡터

v1(2m x 1) : 영상좌표의 잔차 벡터

e1(2m x 1) : 관측값과 근사값 차이

m : GCP(ground control point)의 갯수

p : parameter의 갯수

3.2. 관측방정식

근사값과 관측값에 의해 나타내어지는 관측방정식은 다음과 같다[3].

$$v2 - d1 = e2 \tag{3.3}$$

$$v3 - d2 = e3$$

v2 : parameter의 잔차 벡터

v3 : 지상좌표의 잔차 벡터

e2 : parameter의 근사값과 관측값 차이 벡터

e3 : 지상좌표의 근사값과 관측값 차이 벡터

3.3 전체 관측방정식

식 (3.2)와 식 (3.3)을 동시에 고려하면 식 (3.4)의 관측 방정식이 나온다[1].

$$\begin{bmatrix} v1 \\ v2 \\ v3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B1 & B2 \\ -I & 0 \\ 0 & -I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d1 \\ d2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e1 \\ e2 \\ e3 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow v + B d = e \tag{3.4}$$

따라서 식 (3.4)의 관측방정식에서 보정량 벡터가 무시할 수 있을 정도로 작아질 때까지 반복 수행함으로써 위성의 위치와 자세 parameter를 구할 수 있다. 여기서 보정량 벡터를 least square adjustment에 의해서 구한다[3.4.5.6]

4. 실험 결과

4.1. 실험에 쓰인 GCP와 test point

실험에 쓰인 GCP의 갯수는 13개이고, test point의 갯수는 16개이다. 그림 7에 GCP의 분포를 그림 8에 test point의 분포를 나타내었다.

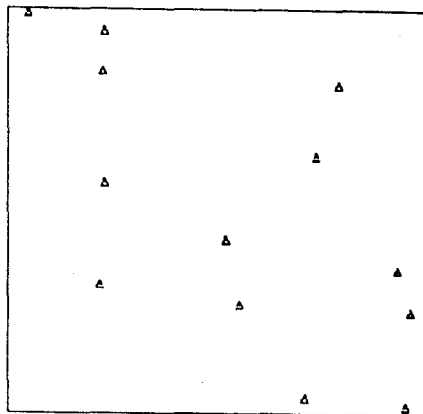


그림 7. GCP의 분포

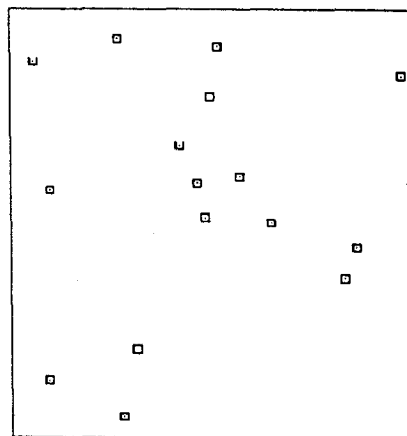


그림 8. test point의 분포

4.2. 구한 parameter 값

위성의 위치 parameter에서 Xs, Ys는 1차로 Zs는 2차로, 위성의 자세 parameter에서 yaw, roll은 1차로 pitch는 3차로 해서 수행하였다. 구한 parameter는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Left : yaw} &= -11.355645934 + -0.008406904 \times t \\ \text{roll} &= 5.60001964996 + -0.058207933 \times t \\ \text{pitch} &= 0.00396690917 + -0.001976174 \times t + \\ &\quad 0.0000166481 \times t^2 + 0.00001322 \times t^3 \\ X_s &= 73305.8939 + 837.56525 \times t \\ Y_s &= 1514.3016 + 6484.01055 \times t \\ Z_s &= 828164.893 + 239.736963 \times t + \\ &\quad -11.966428 \times t^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Right : yaw} &= -9.0688617207 + -0.013443673 \times t \\ \text{roll} &= -26.168084663 + 0.044712001 \times t \\ \text{pitch} &= -0.0064583818 + -0.000777968 \times t + \\ &\quad 4.0576836e-8 \times t^2 + 0.00001990 \times t^3 \\ X_s &= -410257.22 + 1833.1811 \times t \\ Y_s &= 1209.78982 + 6510.11761 \times t \\ Z_s &= 818973.386 + 594.719676 \times t + \\ &\quad -2.6098471 \times t^2 \end{aligned}$$

"SPOT Imagery Orientation with Auxiliary Satellite Position and Attitude Data", ISPRS, Commission III, vol. 27, B9, 1988, pp. III-125~III-132.

[3] ASP, Manual of Photogrammetry, ASP, 1980, pp. 77~101.

[4] Charles L. Lawson, Richard J. Hanson, Solving Least Squares Problems, Prentice Hall, pp. 121~133.

[5] Liang-Hwei Lee, Liang-Chien Chen, "Bundle Adjustment with Additional Parameters for SPOT Stereopairs", ISPRS, Commission III, vol. 27, 1988, pp. III-1~III-10.

[6] Li Deren, Cheng Jiayu, "Bundle Adjustment of SPOT Imagery", ISPRS, Commission III, 1988, pp. 449~455

[7] V. Rodriguez, P. Gigord, A. C. de Gaujac, and p. Munier, "Evaluation of the Stereoscopic Accuracy of the SPOT Satellite", P. E. R. S, Vol. 54, No. 2, 1988, pp. 217-221

표 4. GCP에 대한 평가

GCP #	X 방향 오차	Y 방향 오차	h 오차
228	11.504	3.743	5.378
225	1.433	1.152	16.359
220	7.079	-1.927	-6.813
219	10.743	0.475	-2.081
226	-3.686	8.330	14.643
203	0.389	-6.629	-20.127
205	3.884	3.146	9.964
227	-7.259	-6.546	-7.395
221	-5.503	-1.642	-2.413
206	-5.266	2.431	-10.259
212	-10.812	-2.162	-3.121
213	-1.651	1.877	3.057
204	-0.947	-2.576	2.725
RMSE	6.563	4.007	9.838

4.3. GCP와 test point에 대한 평가

위성의 중심에서 대응하는 양쪽 영상점으로서의 두 벡터 간에 최단 거리가 되는 점의 중심을 그 영상점의 지상좌표로 선정한다[7]. GCP와 test point에 대한 평가가 각각 표 4, 5에 있다.

표 5. test point에 대한 평가

test#	X 방향 오차	Y 방향 오차	h 오차
319	3.332	11.344	6.095
320	1.888	13.268	12.814
312	-21.872	17.470	-21.689
313	-22.409	7.512	-17.563
308	-4.693	-0.907	-17.572
322	-6.450	6.762	23.301
324	-3.322	13.242	-10.475
323	1.081	12.569	37.302
304	-21.830	9.957	13.959
311	-4.196	11.139	5.801
310	-9.849	22.459	-23.516
315	-6.702	3.205	23.479
325	-13.750	6.600	-11.786
317	0.807	4.167	-3.370
316	4.090	8.089	19.092
330	7.403	5.305	-13.881
RMSE	11.092	11.008	18.326

5. 결론

Level 1A SPOT 위성영상의 위치와 자세에 대한 parameter를 구해보았다. 위도 방향, 경도 방향으로 각각 RMS 오차가 약 11m이고, 고도오차는 18.3m이다. 고도오차가 약간 큰데 원인은 왼쪽영상이 거의 수직영상이기때문인 것으로 보인다. 양쪽영상의 시야각이 모두 크면 고도오차가 줄어들 것으로 보인다. 좀 더 나은 parameter 추출을 위해서 GCP의 분포와 갯수에 따른 영향과 대기굴절 같은 내부 parameter에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] CNES, SPOT User's handbook, CNES and SPOT IMAGE, 1987.

[2] Ryosuke Shibasaki, Shunji Murai and Tautomu Okuda,