

## 영상보조자료를 이용한 SPOT 카메라 모델링

김만조 · 차승훈 · 고보연

국방과학연구소

### SPOT Camera Modeling Using Auxiliary Data

Man-Jo Kim, Seung-Hoon Cha, and Bo-Yeon Koh

Agency for Defence Development

**Abstract :** In this paper, a camera modeling method that utilizes ephemeris data and imaging geometry is presented. The proposed method constructs a mathematical model only with parameters that are contained in auxiliary files and does not require any ground control points for model construction. Control points are only needed to eliminate geolocation error of the model that is originated from errors embedded in the parameters that are used in model construction. By using a few (one or two) control points, RMS error of around pixel size can be obtained and control points are not necessarily uniformly distributed in line direction of the scene. This advantage is crucial in large-scale projects and will enable to reduce project cost dramatically.

**Key Words :** Camera Modeling, EOP, GCP, RMSE.

**요약 :** 본 논문에서는 외부표정요소(EOP)를 지상기준점을 이용하여 계산하는 기존의 방식과는 달리, 위성의 궤도자료와 영상촬영기하를 이용하여 EOP를 계산하고 지상기준점을 이용하여 모델오차를 보정하는 방식의 카메라모델링 기법을 제시하고 있다.

제시한 기법은 영상보조파일로부터 궤도자료, 센서의 촬영각도 및 영상중심 촬영시간 등을 추출하여 위성의 영상획득당시의 실제 기하를 최대한 충실히 재구성하여 모델링을 수행하며 외부표정요소를 일차 또는 이차의 다항식으로 근사하지 않는다. 이와 같이 수립된 카메라모델을 통해 기존의 방법에 비해 적은 한 두개 정도의 지상기준점으로 영상화소 수준의 RMSE를 얻을 수 있었으며 모델오차 보정을 위한 지상기준점이 영상라인방향으로 고루 분포하지 않아도 된다. 이러한 장점은 대형 프로젝트에서의 지상기준점 취득을 위한 비용을 획기적으로 절감할 수 있을 뿐 아니라 비접근 지역에 대한 위치정보 획득에 대한 가능성을 제시하고 있다.

## 1. 서론

지난 1986년 SPOT-1호의 성공적인 발사 이래로 2001년 11월 Quickbird-2호의 성공적인 발사까지 다양한 특성과 해상도의 광학 위성영상이 상업적으로 가용하게 되었다. 이러한 위성 영상들은 원격탐사, 환경감시, 재난평가 등의 다양한 분야에 활용되어 왔으며 제공영상의 고해상도 추세와 더불어 그 활용도가 더욱 커질 것이다.

그러나, 현재 상용으로 제공되는 위성영상을 응용분야에서 활용하기 위해서는 고도의 처리기술을 요하며, 영상과 함께 제공되는 보조자료의 미비 또는 부정확 등으로 인하여 충분한 정확도의 결과를 얻기 위하여는 영상처리과정에서 지상기준점이라는 정확한 위치자료를 필요로 한다.

지상기준점은 영상내의 특징적인 지형 또는 지물로서 정확한 지상좌표를 알고 있어 영상처리를 위한 수학적 모델을 수립하거나 또는 수립된 모델이 내포하고 있는 오차를 제거하는 데 사용된다. 일반적으로, 모델링과정에서는 위치자료가 정확한 양질의 지상기준점을 많이 사용할수록 보다 정확한 결과를 산출할 수 있다.

지상기준점 자료는 영상특징점에 대하여 영상좌표와 그 점의 지상좌표를 현지측량, GPS 또는 기존의 가용한 자료로부터 취득하여 준비할 수 있으나 충분한 수의 기준점을 확보하는데 소요되는 비용이 매우 높기 때문에 보다 적은 수의 기준점으로 충분한 정확도를 얻을 수 있는 기술개발이 요구된다. 또한, 이러한 영상모델링 기술을 기반으로 동일지역에 대하여 서로 다른 관측각으로 획득한 입체영상쌍을 이용하면 영상내의 임의 화소에 대하여 해당되는 지상의 3차원 좌표를 계산할 수 있다(Wolf, 2000).

## 2. 위성영상 모델링

### 1) 궤도기반 모델링의 개념

위성영상 모델링이란 개념적으로 각 영상화소

의 지상좌표를 계산하기 위한 수학적 관계식, 즉 모델을 세우는 과정으로 설명될 수 있는데 이를 위하여는 위성이 영상을 획득할 당시의 영상기하를 충실히 재현하여야 정확한 모델수립 및 좌표계산이 가능하다.

현재 가용한 상용위성은 영상과 각자의 고유한 형식에 따라 영상처리에 필요한 보조자료를 같이 제공하는데 이러한 보조자료에 포함된 각종 파라메타들이 절대오차를 포함하고 있어 이들만으로 최종적으로 정확한 절대좌표를 구하는 것은 매우 어렵다(Spotimage, 1999). 그러나, 보조파일에 포함된 자료들을 이용하여 원하는 시각의 위성의 궤도자료(ephemeris data)를 계산하고 이로부터 먼저 수학적 모델을 수립한 다음 지상기준점을 사용하여 모델에 포함된 오차를 보정하면 기존의 공선조건식을 이용한 모델링방식에 비하여 적은 수의 지상기준점으로도 충분히 정확한 절대좌표를 구할 수 있다. 또한, 제시된 방법은 동일 스트립상에서 획득된 비접근 지역의 영상에 대하여도 모델보정이 가능함을 보여 준다.

궤도기반의 영상모델링에서 핵심적인 과정인 궤도자료 계산, 지상좌표 계산 및 자세변위 보정에 대하여 살펴본다.

### 2) 위성궤도의 계산

정확한 위치정보의 추출을 위하여는 위성의 영상획득당시 촬영기하를 충실히 재현하는 것이 가장 중요하며, 보조파일에 포함된 정보만으로 시간에 따른 궤도자료(위치,속도)의 정확한 계산이 그 첫번째 과정으로 영상점의 지상좌표를 계산하기 위하여는 영상라인에 대하여 궤도자료가 요구되는데 SPOT 위성의 경우 Lagrange 보간다항식을 이용하여 계산할 수 있다(Spotimage, 2002).

### 3) 지상위치 결정

영상라인에 대하여 궤도자료의 계산이 가능하면, 영상화소(pixel)에 대한 CCD센서의 촬영각과 영상 획득당시 기하를 이용하여 영상화소의 지상 위치를 결정할 수 있다. SPOT 위성의 경우, 첫번

제와 마지막 영상화소에 해당하는 CCD센서의 위성의 자세기준계(attitude reference frame)에 대한 회전각을 리더파일에 제공하고 있다. 자세기준계는 궤도자료를 이용하여 정의되며 위성자세의 변화량에 대한 기준이기도 하다(Wolf, 2000).

영상라인에 대한 위성의 관측시각은 다음의 수식에 의하여 계산된다

$$t_i = T_c + (i - L_c) * T_I \quad (1)$$

- 여기에서,  $t_i$ :  $i$ 번째 라인의 관측시간
- $T_c$ : 영상중심 관측시간
- $T_I$ : 영상라인당 촬영소요시간
- $L_c$ : 영상중심 라인번호

영상화소의 관측각(look angle)의 계산은 다음 수식에 의하여 얻어진다.

$$\alpha_i = \alpha_{last} + \left( \frac{\alpha_{first} - \alpha_{last}}{np - 1} \right) * i \quad (2)$$

$$\beta_i = \beta_{last} + \left( \frac{\beta_{first} - \beta_{last}}{np - 1} \right) * i$$

$\alpha_{first}$ ,  $\alpha_{last}$ ,  $\beta_{first}$ ,  $\beta_{last}$ 는 각각 첫번째와 마지막 CCD 소자의 X축(roll axis), Y축(pitch axis)에 대한 회전각, np는 영상의 화소수를 나타낸다. 이로부터 자세기준계에 대하여  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ 의 각도를 가지는 관측 벡터(line-of-sight vector)는 다음과 같으며 몇 번의 좌표계변환 과정을 거쳐서 지상좌표 결정에 사용된다(Spotimage, 2002).

$$LOS_i = [\tan(\alpha_i), \tan(\beta_i), -1] \quad (3)$$

지구타원체는 WGS84 타원체를, 지오이드모델로는 EGM96을 사용하였다. 최종 지상좌표는 지구 타원체방정식(식(4))과 관측벡터(식(3))의 교점을 구해 얻어진다(Spotimage, 2002).

$$\frac{x^2 + y^2}{e_a} + \frac{z^2}{e_b} = 1 \quad (4)$$

#### 4) 위성자세 보정

탐사위성이 비록 대기권밖 600km이상의 고도에서 작동하지만 초속 7km가 넘는 엄청난 속도에서 기계적, 외부적 요인에 의하여 위성자세에 미소변

위가 발생한다(Larson, 1992).

SPOT 위성의 경우, 리더파일에 영상촬영 시작과 종료시각의 근처에서의 위성자세값과 영상촬영동안의 특정 영상라인에서 감지된 위성자세의 미소변화율이 주어진다. 이를 시간에 대하여 적분하여, 각 영상라인에서의 위성자세의 미소변화량을 계산하고 지상좌표 계산시에 자세기준계에 대한 CCD센서의 관측각에 보상하여 주어 좌표계산의 정확도를 향상할 수 있다(식(3) 참조) (Vallado, 1999). 그러나, SPOT의 경우 자체적분시 사용되는 기준자세값인 영상시작/종료 근처의 위성자세값이 전체영상 획득동안의 자세변화에 대한 평균값이기 때문에 비접근지역에 대한 정확한 좌표계산시 최대 제한요소로 작용한다(SPOT-5는 절대자세값을 제공)(Spotimage, 2002).

#### 5) 모델오차 보정

본 연구에서는 다음과 같은 판단에 근거하여 오차보정함수를 수립하였다. 첫째, 모델수립시 사용된 보조자료에 포함된 오차로 인한 최종적인 지상좌표의 오차형태는 참값에 대하여 이동(translation)과 회전(rotation)이 결합된 형태로 나타난다. 둘째, 영상획득 시간동안 모델에 사용된 보조자료의 오차는 일정하다. 이는 영상획득시간이 수초정도로 비교적 짧고 이 동안의 위성궤도는 충분히 안정적이기 때문에 위성자세의 미소변위를 제외하고는 영상라인 방향으로 보조자료의 오차는 일정하다고 볼 수 있다. 이와 같은 판단하에 식5와 같이 일차식으로 표현된 보정함수의 계수를 최소자승법으로 구한다(Press, 1986).

$$\Delta i = a_0 + a_1 i \quad (5)$$

$$\Delta j = a_2 + a_3 j$$

$i$ 는 픽셀좌표,  $a_0, a_1, a_2, a_3$ 는 보정함수의 계수,  $\Delta i, \Delta j$ 는 화소  $i, j$ 에서의 모델오차 보정량으로, 사용된 지상기준점의 지상좌표에 해당하는 영상좌표를 역변환모델을 이용하여 계산한 다음 기준점의 영상좌표에 대한 편차로 표현하였다.

위에 사용한 오차보정함수는 영상라인과는 무

관하게 오직 픽셀위치만의 함수이며, 이러한 보정 함수를 사용하는 잇점은 지상기준점이 라인방향으로 고루 분포하지 않아도 될 뿐만 아니라 동일 스트립상에서 획득된 비접근지역의 영상에 대한 오차보정을 가능하게 한다.

### 3. 실험 및 고찰

본 연구에서 개발된 모델링방법을 SPOT 위성 영상을 대상으로 실험을 해 보았다. 실험은 제시한 방법의 모델링 안정성과 모델보정에 사용한 기준점 수에 따른 RMSE 분석을 위하여 다음과 같은 형태로 실시되었다. 실험에 사용된 지상기준점들은 국방과학연구소에서 수행한 내부사업의 성과품으로 1등 삼각점(SCP)과 P3급 입체도화기를 사용하여 생산하였으며, 샘플영상에 대한 GPS 측량성과와의 비교결과는 5~10m 수준의 RMSE를 보였다(김병섭 외, 2000; 박계성 외, 2000). 사용한 기준점들은 실험영상마다 36점이며, 약 6km간격으로 영상전체에 비교적 고루 분포되어 있다.

- 실험1 : 모델링 안정도를 분석하기 위한 모델링오차의 통계분석(평균, 표준편차)  
이 실험을 통하여, 기준점없이 보조자료만으로 수립된 모델을 이용하여 계산한 기준점에 대한 모델오차들의 평균과 표준편차를 분석하므로써 모델링방법과 오차보정함수에 대한 타당성을 분석한다.
- 실험2 : 모델의 오차보정을 위하여 사용한 지상기준점수에 따른 검사점(check point)의 RMSE 분석

이 실험을 통하여, 기준점을 사용하여 모델오차를 보정한 후에 모델오차가 기준점수에 따라 어떻게 수렴하는지를 분석한다.

#### [실험1]

306, 307 스트립상의 영상조합에 대하여 구축된 모델에 포함된 오차를 영상 픽셀과 라인에 대하여 화소단위로 분석해 보았다(Table 1). 동일 스트립상의 각 영상에 대한 지상기준점분석을 보면 화소 이하의 표준편차와 모델간 평균편차를 나타내어 제시한 모델링방법과 오차보정함수의 타당성을 보여주고 있다. 특히, 306-273과 306-281은 약 500km 정도의 거리임에도 작은 평균편차를 보여 모델간 상대오차가 적어 기준영상에서 파악된 모델오차를 동일스트립상의 다른 모델에 전파(적용)하여 오차보정이 가능함을 보여준다.

#### [실험2]

이러한 분석은 지상기준점의 입력순서에 따라 차이를 보일 수 있으며, 본 실험에서는 전체 기준점을 사용하여 모델을 보정한 후 RMSE가 작은 기준점부터 추가하였다.

기준점을 한 개만 사용한 경우에는 보정모델의 상수항만 계산하였다. Table 2에 분석결과를, Fig. 1에는 그래프로 나타내었다.

#### [결과분석]

그림 1에서 보면 지상기준점의 개별적인 정확도가 전체 RMSE에 어떤 영향을 미치는가를 분석할 수 있으며, 지상기준점의 분포가 RMSE에 미치는 영향도 분석할 수 있을 것이다. 또한, 모델오차 보정함수(식(5) 참조)가 픽셀위치에 대한 일차식이므로 보다 정확한 기울기 추정을 위하여 가급

Table 1. 지상기준점의 모델링오차에 대한 통계분석

(단위: 화소)

GRS	픽셀		라인	
	평균	표준편차	평균	표준편차
306-273L	-40.158281	0.27205753	-130.81794	0.44089413
306-281L	-39.645896	0.40252237	-130.87583	0.37237032
307-274R	-11.895110	0.76377442	-132.00594	0.46508737
307-275R	-11.937019	0.57897770	-132.14578	0.82895876

Table 2. 지상기준점수에 따른 모델의 RMSE

(단위: 화소)

GRS \ GCP	306-273L	306-281L	307-274R	307-275R
1	0.50936840	0.53912996	0.87920554	0.99413692
2	0.48900483	0.52823482	0.58258860	0.76745571
3	0.41317500	0.56822795	0.58696351	0.56400290
4	0.45280495	0.53377284	0.58588818	0.53152191
5	0.39501469	0.53539573	0.58379903	0.53845840
6	0.39655488	0.54038940	0.59076506	0.54125895
7	0.42380058	0.53328219	0.59632832	0.54640355
8	0.39902997	0.53333158	0.59032823	0.54446308
9	0.39500588	0.50710260	0.58615244	0.55535810
10	0.40065320	0.49507719	0.58725081	0.51131525
11	0.41802647	0.45775252	0.58431554	0.51903948
12	0.44571917	0.46378876	0.58387924	0.50482240
13	0.46085718	0.46614495	0.58694530	0.50885027
14	0.48149952	0.45624158	0.58926955	0.50796558
15	0.39927622	0.45596565	0.58011181	0.51078269
16	0.37637004	0.45180004	0.57438011	0.50742940
17	0.37901897	0.45198018	0.57507124	0.51085246
18	0.38075436	0.45687912	0.57566304	0.51226510
19	0.38446708	0.46172336	0.57800676	0.51076488
20	0.38704850	0.45704522	0.57371454	0.50937272

적 픽셀좌표 값이 차이가 큰 기준점을 사용하는 것이 유리하다.

이와 같은 보정함수를 사용하면 픽셀좌표 차가

큰 정확한 두개의 지상기준점만으로 충분히 화소 정도의 RMSE를 얻을 수 있을 것이다.

위성영상의 응용에 있어서 정확한 위치정보 또

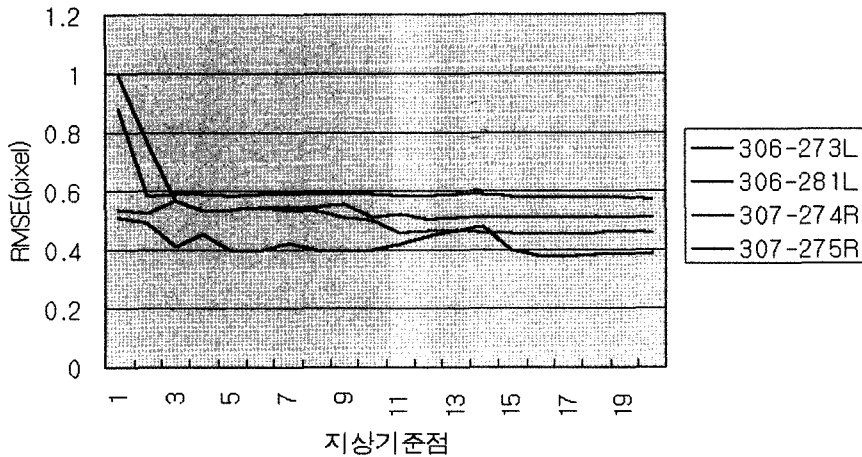


Fig. 1. 지상기준점수에 따른 모델의 RMSE(단위: 화소)

는 정사영상을 생성하기 위하여 요구되는 지상기준점의 수량은 기술적, 경제적으로 중요한 의미를 가진다.

일반적으로, 수치사진해석기법(digital photogrammetry)을 적용하여 영상모델링을 수행할 경우에는 다수의(수개에서 수십개의) 지상기준점을 입력하여 공선조건식(co-linearity equation)을 통하여 외부표정요소(EOP: external orientation parameter)를 산출하여 모델링과정을 수행한다. 이와 비교해 볼 때, 위 실험결과는 대형 프로젝트에서의 경비절감에 대한 가능성을 제시하고 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 위성의 궤도자료와 촬영기하에 근거한 모델링기술을 개발하여 현재 상용으로 활발하게 활용되고 있는 SPOT 위성영상에 적용하여 만족할만한 좋은 결과를 얻었다.

개발된 방법은 공선조건식에 근거하여 지상기준점을 투입하여 정확한 외부표정요소를 계산하는 기존의 방식과는 달리 영상 보조자료만을 활용하여 수학적모델을 수립한 다음 가용한 지상기준점으로 모델오차를 후보정(post-correction)하는 방식으로 다음과 같은 특징이 있다고 판단된다.

첫째, 영상보조자료만으로 모델수립이 가능하다. 이는 보조자료가 충분히 정확하면 지상기준점이 없어도 만족한 결과를 얻을 수 있음을 시사한다.

둘째, 소수의 지상기준점으로도 충분히 화소정도의 RMSE를 얻을 수 있을 뿐 아니라 기준점의 분포에도 특별한 제약이 없다.

셋째, 입체 스트리프영상에 대하여 비접근지역에 대해서도 정확한 3차원 좌표획득이 가능하다. 동일 스트리프상의 영상들은 동일한 기하로 촬영된 것이기 때문에 기준점이 가용한 접근지역의 기준영상에 대하여 모델오차를 계산하고 이를 사용하여

동일스트리프상의 비접근지역에 있는 모델의 오차를 보정할 수 있으며 이때에는 촬영기하의 안정성이 무엇보다 중요하다.

넷째, 표적의 3차원 좌표계산시 정확도 및 신뢰도를 향상하기 위하여 다중 입체모델링(multiple stereo modeling)으로 확장이 가능하며 이는 동일 지역의 다중 입체쌍에 대하여 공간교차법을 적용할 때 다중 관측벡터(line-of-sight)의 최소거리 중심점을 찾는 형태로 구현할 수 있다.

본 기술을 적용할 경우, 대형 프로젝트에서의 기준점확보에 많은 예산을 절약할 수 있을 것이며, 접근/비접근지역을 포함한 전역적인 프로젝트 수행이 가능할 것으로 판단한다.

#### 참고문헌

- Wolf, P. R. 2000. *Elements of Photogrammetry with applications in GIS, 3rd Edition*, McGraw Hill.
- Spotimage, 1999. *The SPOT Scene Standard Digital Product Format, Edition 1, Revision 2*.
- Spotimage, 2000. *SPOT Satellite Geometry Handbook, Edition 1, Revision 0*.
- Press, W. H. 1986. *Numerical Recipes : The Art of Scientific Computing*, Cambridge University Press.
- Larson, W. J. 1992. *Space Mission Analysis and Design*, Microsom, Inc.
- Vallado, D. A. 1999. *Fundamentals of Astrodynamics and Applications*, United States Air Force Phillips Laboratory.
- 김병섭, 신대식, 최선용, 2000. SPOT 위성영상의 지상기준점 제작기술 연구, 국방과학연구소.
- 박계성, 최선용, 주진천, 2000. SPOT 위성사진 지상기준점 모델링 정확도평가(남부 지역), 국방과학연구소.