

SPOT 위성영상의 스트립 센서모델링을 이용한 비접근지역 위치결정 연구

Target Positioning in Remote Area Using Strip Sensor Modeling of SPOT Imagery

김 만 조*

Man-Jo Kim

황 치 정**

Chi-Jung Hwang

Abstract

In this paper, a strip modeling method is developed for the acquisition of target positions in remote area and validated using the imagery of SPOT satellite. This method utilizes the parameters given in header files and constructs a camera model without ground control points. In most cases, the root mean squared error of check points is less than pixel size with one ground control point.

The model error of reference image is evaluated using ground control points and used to remove the model error of target images acquired along the same satellite orbit, which enables one to calculate target positions in remote area where no ground control points are available.

Keywords : Strip Modeling, Ground Control Point, Ephemeris Data, RMSE, Space Intersection

1. 서론

SPOT, IKONOS, Quickbird 등 다양한 원격탐사 위성에서 제공하는 위성영상이 지도제작, 환경감시, 재난 분석, 산림관리, 자원탐사 등의 분야에 응용, 활용되고 있으며 이러한 탐사위성은 지구전역에 걸쳐 일관된 방법으로 영상을 획득하기 때문에 제공영상의 고해상도 추세와 더불어 그 활용도가 더욱 커질 것이다.

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

위성영상의 처리과정에서 요구되는 이 지상기준점은 영상내의 특징적인 지형 또는 지물로서 정확한 지상좌표를 알고 있어 영상처리를 위한 수학적 모델을 수립하거나 또는 수립된 모델이 내포하고 있는 오차를 제거하는 데 사용된다. 따라서, 모델링과정에서는 위치자료가 정확한 양질의 지상기준점을 많이 사용할수록 보다 정확한 결과를 산출할 수 있게 된다.

† 2012년 1월 2일 접수~2012년 3월 16일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

** 충남대학교

책임저자 : 김만조(mjkim@add.re.kr)

이러한 지상기준점은 영상내의 특징점에 대하여 그 점의 지상좌표를 현지측량, GPS 또는 기존의 가용한 자료로부터 취득하여 준비할 수 있으나 충분한수의 기준점을 확보하는데 소요되는 비용이 매우 크다. 때문에 보다 적은 수의 기준점으로 충분한 정확도를 얻을 수 있는 기술개발이 요구된다. 또한, 이러한 영상모델링 기술을 기반으로 동일지역에 대하여 서로 다른 관측각에서 획득한 입체영상 쌍을 이용하면 영상내의 임의 화소에 대하여 3차원 좌표를 계산할 수 있다.

탐사위성은 보통 600~800 km 전후의 높은 고도를 갖는 관성궤도에서 운용되기 때문에 항공기에 탑재된 센서에 비해 훨씬 안정된 자세로 수초내지 수분동안 자세를 유지하면서 영상을 획득한다. 이처럼 획득한 영상을 스트립영상(strip image)이라 하며 이 스트립영상은 동일한 영상기하(imaging geometry)에 의하여 획득되었기 때문에 단일영상(single image)으로 각각 분할되었을 때 개별적인 영상의 모델링에 내포된 오차 또한 근사한 특성을 보일 것이다^[1]. 기존에 위성자세모델을 적용한 연구사례^[2]가 있었지만, 논문에서는 이러한 개념에 기초하여 스트립 모델링 방법을 개발하여 SPOT 위성영상에 적용하였다.

2. 제안 방법

가. 단일영상 모델링

영상 모델링이란 개념적으로 각 영상 화소의 지상좌표를 결정하기 위한 수학적 관계식, 즉 모델을 세우는 과정으로 단일영상에 대한 모델링은 궤도기반의 영상모델링 기법^[3]을 사용하였다. 상기 모델링 기법에서는 영상헤더에서 제공되는 여러 파라메타^[4]를 사용하여 센서모델을 구축하고, 식 (1)과 같이 선형 다항식을 사용하여 모델오차를 보정한다.

$$\begin{aligned} \Delta i &= a_0 + a_1 i \\ \Delta j &= a_2 + a_3 j \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 i, j 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 역변환 모델을 이용하여 계산한 다음 기준점의 영상좌표에 대한 편차로 표현한 것이다.

나. 스트립 모델링

본 논문에서는 SPOT 위성처럼 노출 중에 위성기동

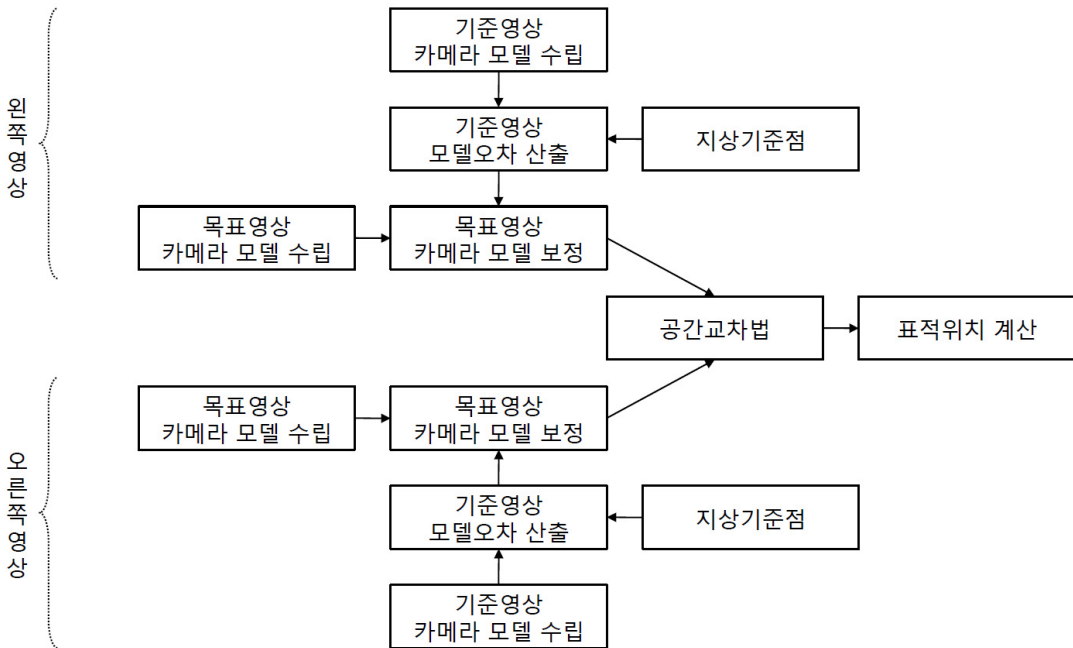


Fig. 1. Processing flow of strip modeling

을 하지 않는 경우에 대하여 스트립영상내의 단일영상들은 유사한 모두 같은 관측기하를 가진다는 가정하에 각각의 입력영상에 대하여 헤더화일에 주어진 자료들을 활용하여 위성의 영상획득 당시 관측기하를 구축하여 모델링을 수행한다. 이때 각각의 모델들은 유사한 오차모델을 내포하고 있을 것이다. 그 중 지상기준점이 가용한 접근지역에 있는 영상(기준영상)에 대하여 모델의 오차분석을 수행하고 이 결과를 접근지역 또는 비접근 지역에 있는 입체스트립상의 다른 영상에 대하여 수립된 모델에 적용한 뒤 공간교차법(space intersection)을 이용하여 영상점 즉, 표적의 3차원 지상좌표를 얻는다.

제안하는 스트립모델링 기법의 절차는 Fig. 1과 같다.

3. 실험 및 고찰

본 연구에서 개발된 모델링방법을 SPOT 위성영상을 대상으로 실험을 해 보았다. 실험은 제시한 방법의 모델링 안정성과 비접근 지역에 대한 위치결정의 정확도를 검증하기 위하여 다음과 같은 형태로 실시되었다.

- 실험 1 : 스트립을 따라 오차모델을 적용할 수 있는 지를 파악하기 위하여 지상기준점의 root mean squared error(RMSE) 분석(평균, 표준편차)
- 실험 2 : 지상기준점 수에 따른 오차모델의 유효성을 파악하기 위하여 지상기준점수에 따른 검사점(check point)의 RMSE 분석
- 실험 3 : 위치결정의 정확도를 평가하기 위하여 기준영상에서의 오차모델을 스트립상의 다른 영상에

적용하여 공간교차법으로 계산된 검사점의 RMSE 분석

또한, 상기 실험을 위하여 영상내에 균등하게 분포된 지상기준점을 확보하였으며, 이러한 지상기준점들을 센서모델 오차 보정에 사용하거나 정확도 평가를 위한 검사점으로 사용하였다⁵⁾.

[실험 1]

306, 307 스트립상의 영상조합에 대하여 구축된 모델에 포함된 오차를 영상 칼럼과 라인에 대하여 화소단위로 분석해 보았다. Table 1에 제시된 바와 같이 단일영상에 대한 기준점 오차의 표준편차는 센서해상도 이하이며, 오차평균이 작은 편차를 나타내어 제시한 방법의 타당성을 보여주고 있다.

특히, 306-273과 306-281은 약 500 km 정도의 거리임에도 작은 편차를 보여 각 영상에서 수립된 모델이 안정적이고 상대오차가 적어 오차적용에 의한 모델보정의 가능성을 보여준다. 307-274L과 307-281L 경우에는 2.5화소 정도의 칼럼에 대한 평균편차를 보이는데 이는 위성자세의 미소변위보정을 위해 실제 주어진 헤더화일로부터 추출한 영상시작과 종료시점에서의 위성자세 값이 '0'으로 되어 있는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

이 같은 분석은 Table 2에 나타난 오차보정식의 계수값을 통하여 더욱 명확히 이해될 수 있을 것이다. 특히 일차항의 계수값이 작아 오차모델이 지상기준점의 분포에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다(Fig. 2 참조). 이러한 특성은 지상기준점 확보에 있어 여러 면에서 의미가 있다.

Table 1. RMSE of reference images(unit : pixel, resolution : 10 m)

GRS	칼럼		라인	
	평균	표준편차	평균	표준편차
306-273L	-40.158281	0.272057	-130.81794	0.440894
306-281L	-39.645896	0.402522	-130.87583	0.372370
307-274L	-8.184895	1.094593	-143.41068	0.438847
307-281L	-10.672752	0.487894	-144.50195	0.443901
307-274R	-11.895110	0.763774	-132.00594	0.465087
307-275R	-11.937019	0.578977	-132.14578	0.828958

Table 2. Coefficients of error model

GRS	보정계수(칼럼)		보정계수(라인)	
	a0	a1	a2	a3
307-274L	-8.2441384	0.00070817689	-146.69362	0.00021241399
307-281L	-12.035577	0.00014426674	-133.10098	0.00043294347
307-274R	-10.453361	-0.00036989171	-132.08261	0.00011276908
307-281R	-9.9879540	-0.00081318736	-131.25580	0.00027219059
306-277L	-40.389015	0.00019490927	-132.91590	0.00063809276
306-278L	-40.247023	0.00027815677	-129.88952	-4.0409585e-006
306-279L	-41.376576	0.00044139835	-131.85618	0.00059030899
306-281L	-40.604857	0.00023171917	-131.27131	8.7739111e-005
306-277R	-10.6316	0.00122703	-88.8890	0.00180282
306-278R	-6.8033069	-0.00024179104	-85.720274	0.0014869083
306-279R	-8.1330096	-0.00021817435	-87.771625	0.0022724156
306-281R	-7.3874717	-0.00054588839	-87.800401	0.0018414907

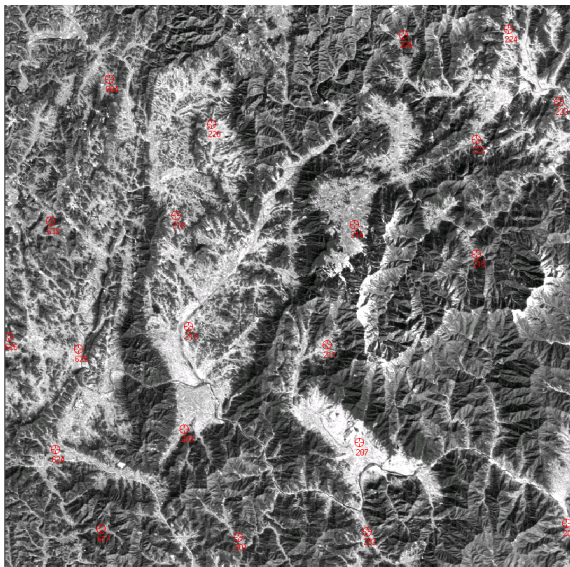


Fig. 2. Distribution of ground control points

[실험 2]

실험 1에 사용한 영상에 대하여 모델의 오차보정에 사용하는 지상기준점의 수를 1개에서 20개까지 증가시키면서 이에 따른 검사점의 RMSE를 분석하여 그래프

로 나타내었다(단, 오차의 1차항 보정계수에 대한 의존성이 낮아 상수항으로만 보정하였음). 이러한 분석은 지상기준점의 입력순서에 따라 차이를 보일 수 있으며, 본 실험에서는 전체 지상기준점을 사용하여 모델을 보정하였을 때 RMSE가 작은 지상기준점부터 사용하였다. Fig. 3에 분석결과를 나타내었다.

상기 결과를 통하여 오차보정 모델이 소수의 지상기준점으로도 대부분의 모델오차를 제거할 수 있음을 알 수 있다.

위성영상의 응용에 있어서 정확한 위치정보 또는 정사영상을 생성하기 위하여 요구되는 지상기준점의 수량은 기술적, 경제적으로 중요한 의미를 가진다.

수치사진해석기법을 적용하여 영상모델링을 수행할 경우에는 다수의 지상기준점을 입력하고 공선조건식을 통하여 외부표정요소를 산출하여 모델링과정을 수행하게 되는 데 이러한 측면에서 볼 때 본 실험결과가 시사하는 바가 크다.

[실험 3]

하나의 기준영상(reference image)에서 지상기준점을 이용하여 수립된 모델의 오차를 분석하고 이를 목표영상(target image)에 적용하여 목표영상의 모델을 보정한

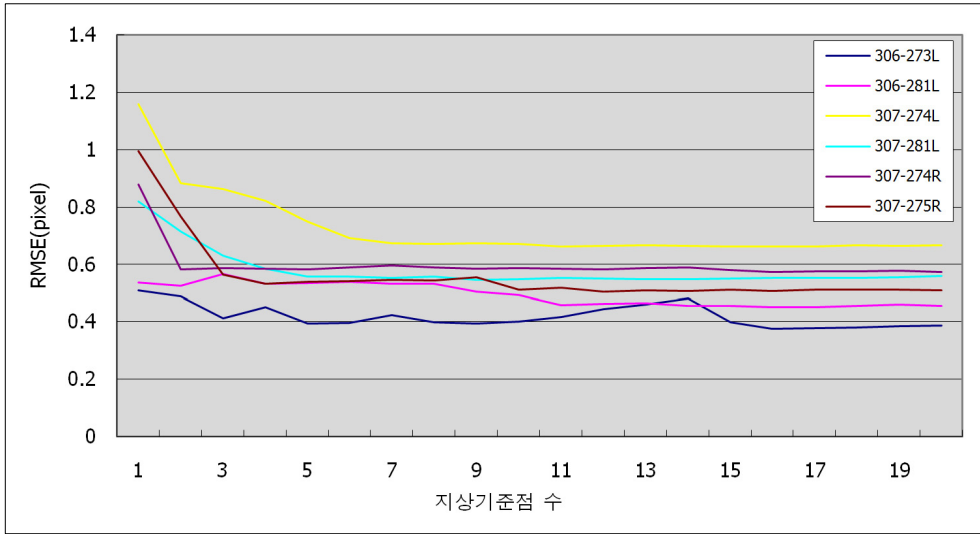


Fig. 3. RMSE of reference images as function of GCPs used(unit : pixel, resolution : 10 m)

Table 3. Stereo images for strip modeling

GRS	촬영센서	촬영일자	카메라 각도	영상간 거리
307-274L	SPOT1	1998년 11월 2일	25.0540	기준영상
307-274R	SPOT1	1998년 11월 9일	-23.8128	
307-281L	SPOT1	1998년 11월 2일	25.0540	420 km
307-281R	SPOT1	1998년 11월 9일	-23.8128	
306-277L	SPOT1	1998년 10월 29일	17.8548	-60 km
306-277R	SPOT2	1998년 10월 29일	-25.9378	
306-278L	SPOT1	1998년 10월 29일	17.8548	기준영상
306-278R	SPOT2	1998년 10월 29일	-25.9378	
306-279L	SPOT1	1998년 10월 29일	17.8548	60 km
306-279R	SPOT2	1998년 10월 29일	-25.9378	
306-281L	SPOT1	1998년 10월 29일	17.8548	180 km
306-281R	SPOT2	1998년 10월 29일	-25.9378	

다음 선정된 검사점에 대하여 공간교차법으로 3차원 지상좌표를 계산하여 검사점의 좌표와 비교해 보았다. 306 스트립은 306-278 L/R 영상을, 307 스트립은 307-274 L/R 영상을 기준영상으로 사용하였다.

Table 3에서 영상간 거리는 기준영상에서 목표영상까지의 거리를 나타낸 것이다.

Table 4는 스트립을 구성하는 각 입체영상 쌍에 대하여 경계, 위거, 표고로 구분하여 오차의 평균, 표준편차, RMSE를 분석한 것이다. 상기 분석결과에 의하면 하나의 기준영상을 이용하여 동일 스트립상의 수백 km 떨어진 지상기준점이 없는 지역의 영상에 대하여 20 m 이내의 오차로 표적위치를 계산할 수 있다.

Table 4. RMSE of check points by stereo pairs

	입체쌍	307-274	307-281	306-277	306-278	306-279	306-281
경거	평균	-1.308288	21.396054	1.775449	2.788508	13.531973	14.680495
	표준편차	3.719764	7.475241	4.777346	3.991079	2.984444	3.005385
	RMSE	3.884204	22.630028	5.028285	4.821761	13.848241	14.976594
위거	평균	-2.733837	-3.047017	-1.394816	4.188256	-2.66478	-7.278629
	표준편차	4.840912	4.108886	6.030976	4.536742	9.129454	3.148126
	RMSE	5.488820	5.069347	6.100491	6.126619	9.387907	7.912891
표고	평균	-2.244214	24.643720	6.779653	4.100513	-9.199515	-9.393800
	표준편차	6.357784	6.614151	3.467259	4.656938	4.551029	5.762489
	RMSE	6.641576	25.492053	7.590868	6.154807	10.235606	10.978496

이러한 결과는 모델오차를 적용한 영상간 거리뿐만 아니라 보다 중요하게는 위성궤도, 위성체의 자세안정도, 영상중양 관측시간의 정밀도에 달려 있다.

도 표적좌표의 정확도를 점진적으로 개선할 수 있을 것이다.

4. 결론

본 논문에서 제시된 방법은 기준영상에서 가용한 적은 수의 지상기준점을 이용하여 모델에 포함된 오차를 보정하고, 이를 동일스트립상의 목표영상에 적용하여 지상기준점 취득이 불가능한 지역의 영상에 대해서도 관심표적의 3차원 좌표를 유효한 오차수준에서 결정할 수 있으며, 고해상도영상에 적용 시 오차가 줄어들 것으로 예상된다.

또한, 관심지역의 획득영상이 많아질수록 입체영상 쌍의 유효한 조합의 경우는 급수적으로 증가하며, 각각의 조합으로부터 산출되는 좌표값을 통계적 기법으로 정제하면 지상기준점을 추가적으로 확보하지 않아

References

- [1] SPOT Image, SPOT Satellite Geometry Handbook, SNT-73-12-SI, 2002.
- [2] Kim, T., "Modeling Satellite Orbital Segments Using Orbit-Attitude Models", Korean Journal of Remote Sensing, 22(1), pp. 63~73, 2006.
- [3] 김만조, 차승훈, 고보연, "영상보조자료를 이용한 SPOT 카메라 모델링", Korean Journal of Remote Sensing, Vol. 19, No. 4, pp. 285~290, 2003.
- [4] Spotimage, "The SPOT Scene Standard Digital Product Format", Edition 1, Revision 2, Nov., 1999.
- [5] 박계성, 주진천, SPOT 위성사진 지상기준점 모델링 정확도평가(남부지역), 국방과학연구소, 연구보고서, 2000.