

SPOT 위성영상의 연속화상 모델링

SPOT Continuous Strip Image Modelling

이용웅*

신대식*

조봉환**

유복모***

요 지

스트립 방식으로 촬영된 위성영상의 기하학적 모델링시에는 일반적으로 단위모델별로 위성영상에서 식별이 용이한 지점을 지상기준점으로 선정하여 영상에서의 좌표를 해석도화기나 컴퓨터 화면상에서 획득하고, 그에 대응하는 지상좌표는 현지측량이나 기본지도로부터 얻는다. 현지측량방법의 경우에는 정확하고 신뢰성있는 좌표를 제공해 줄 수 있는 반면에 현지로의 접근이 용이해야 하고 비용과 시간이 많이 소요되며, 소축척의 기본지도상에서 직접 독취하는 경우에는 지도자체에 내재된 오차의 정도가 불명확하고 지상기준점으로 선정한 지점이 명확히 표기되어 있지 않은 경우가 있으므로 영상좌표 측정시에 오차의 유발 가능성이 크다. 특히 영상 해상도 5~10m의 연속된 화상을 3차원 기하학적 모델링을 수행하기 위하여 현지측량에 의해 지상기준점을 획득하는 방법은 경제성 및 효율성 측면에서 불리하다. 따라서 본 연구에서는 삼각점 조서를 이용하여 연속촬영된 SPOT 위성영상을 스트립 단위로 모델링하여 영상해상도 수준의 위치정확도를 얻을 수 있는 연속화상 모델링기법을 제시하였다.

1. 서론

위성영상을 대상으로 하는 기하학적 모델링시에는 일반적으로 각각의 단위모델별로 위성영상에서 식별이 용이한 지점을 지상기준점으로 선정하여 영상에서의 좌표를 해석도화기나 컴퓨터 화면상에서 획득하고, 그에 대응하는 지상좌표는 현지측량이나 기본지도로부터 얻었다. 현지측량방법의 경우에는 정확하고 신뢰성있는 좌표를 제공해 줄 수 있는 반면에 현지로의 접근이 용이해야 하고 비용과 시간이 많이 소요되며, 소축척의 기본지도상에서 직접 독취하는 경우에는 지도자체에 내재된 오차의 정도가 불명확하고 지상기준점으로 선정한 지점이 명확히 표기되어 있지 않은 경우가 있으므로 영상좌표 측정시에 오차의 유발 가능성이 크다.

한편, 지상기준점에 대한 현지측량이 용이하지 않고 정밀한 대축척 기본지도의 확보도 여의치 않은 지역에 대하여 연속된 여러 모델의 SPOT 위성영상을 확보하여 하나의 통일된 기하학적 모델링을 수행할 필요가 있다. 이러한 상황에서 삼각점의 조서가 충분히 존재할 때 삼각점의 조서를 위성영상의 지상기준점으로 이용하였다. 기존의 삼각점은 대부분 산 정

* 국방과학연구소 선임연구원

** 국방과학연구소 책임연구원

*** 연세대학교 공과대학 토목공학과 교수

상에 위치하고 있기 때문에 화면상에서 식별이 매우 어려운 실정이므로 좌우영상을 입체 관측하여 영상좌표를 얻고, 지상좌표는 삼각점의 조서로부터 직접 획득하였다.

그리고 한 개의 SPOT 위성영상 모델을 기하학적으로 정밀 모델링할 경우에 10내지 20점 정도의 지상기준점이 요구되는 것으로 알려져 있다. 여러 개의 위성영상 모델을 각각의 모델별로 수행할 경우에는 전체적으로 소요되는 지상기준점의 수가 상당히 많아지며, 아울러 지상기준점 확보를 위한 비용과 시간측면에서 큰 부담이 아닐 수 없다. 또한 요구되는 수 만큼의 지상기준점을 확보하여 모델링이 가능하더라도, 각 모델별로 계산된 파라미터를 이용하여 수치표고모델 등을 제작할 경우 인접부분에서 커다란 불일치가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 여러 개의 연속된 위성영상 모델을 대상으로 요구정확도를 만족하면서 적은 수의 지상기준점을 가지고 한꺼번에 모델링하는 방법을 제시하였다.

2. 연구대상지역 및 자료

2.1 대상지역 및 영상자료

본 연구에서는 한국의 일부지역을 대상으로 하였고, 대상지역을 피복하는 7개 GRS의 SPOT 스트립영상을 이용하였다. 각 GRS는 좌측, 중앙, 우측의 3중 영상으로 구성되어 있고 모델링시에는 두 방향의 영상을 선택하여 이용하였다.

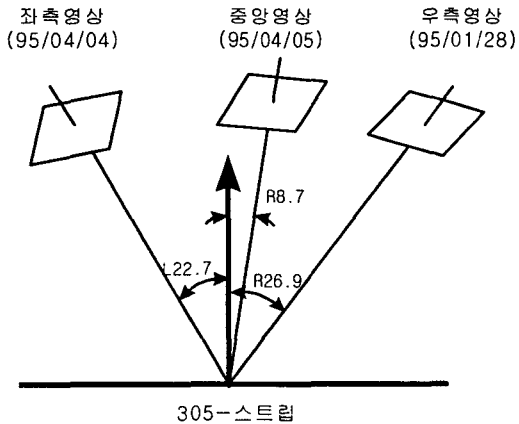
- 스트립영상 : GRS K305J274, K305J275, K305J276, K305J277, K305J278, K305J279, K305J280 (7개의 연속화상)

이용한 SPOT 위성영상은 SPOT-3 위성으로 촬영하였고, 전처리수준 Level 1A의 Panchromatic이고, 스트립 영상의 촬영기하와 지상 피복형태를 <그림 1>과 <그림 2>에 나타내었다.

2.2 지상기준점 자료

삼각점의 조서는 삼각점 소재지, 지리 및 직각좌표, 정확도등급 등의 여러 가지 정보가 포함된 자료이다. 지상의 임의 점에 대한 위치와 방향은 기준이 되는 좌표점으로부터 측정할 수 있는데, 국가차원에서 평면위치의 기준이 되는 점은 삼각점이고 높이의 기준이 되는 점은 표고점(Bench Mark; BM)이다. 통상적으로 삼각점의 높이는 표고점으로부터의 삼각수준측량(또는 직접수준측량)에 의해 결정된다.

<그림 3>에 삼각점 조서의 예를 나타내었다.



<그림 1> 위성영상 촬영기하

<그림 2> 위성영상 피복형태

국립지리원 기 준 점 설 과 표 46

중심점의 종류 Order and Kind of Station	중심점의 명칭 Mark & Name of Station	중심점의 높이 Value of Elevation	비고 Remarks
중심점의 명칭 Name of Base & M. No.	중심점의 높이 Elevation of Station	중심점의 명칭 Name of TL & TL No.	
중심점의 위치 Location of Station	중심점의 소유주 Address & Name of Land Possessed		중심점의 종류 Kind of Station
중심점의 소유주 Address & Name of Land Possessed	중심점의 소유주 Address & Name of Land Possessed		
중심점의 관리자 Comment Police of Station	중심점의 관리자 Comment Police of Station		중심점의 종류 Kind of Station
중심점의 관리자 Comment Police of Station	중심점의 관리자 Comment Police of Station		중심점의 종류 Kind of Station
중심점의 관리자 Comment Police of Station	중심점의 관리자 Comment Police of Station		중심점의 종류 Kind of Station

위 수량성과 등·초본은
원본과 상키 있음을 증명함.
국립지리원
1991. 8. 29.

중심점의 위치 Location of Station	중심점의 높이 Elevation of Station	중심점의 명칭 Name of TL & TL No.	중심점의 종류 Kind of Station
중심점의 위치 Location of Station	중심점의 높이 Elevation of Station	중심점의 명칭 Name of TL & TL No.	중심점의 종류 Kind of Station
중심점의 위치 Location of Station	중심점의 높이 Elevation of Station	중심점의 명칭 Name of TL & TL No.	중심점의 종류 Kind of Station

<그림 3> 삼각점의 조서 예

2.3 지상기준점 선점 및 지상좌표 추출

지상기준점 선점은 사진판독 경험이 풍부한 전문인력에 의해 확대사진상에서 실시하였다. 확대사진은 음화필름으로부터 별도로 제작한 것으로서 지상기준점의 분포결정, 위치선정, 좌표측정시에 참고자료로 사용하였다. 도화사가 정밀입체 해석도화기를 이용하여 위성영상에서 쉽고 빠르게 삼각점의 위치를 판단할 수 있도록 확대사진상에 미세한 구멍을 내고 사진의 뒷면에 개략적으로 지형을 묘사하며 선정하였다. <그림 4>에 지상기준점 선점에 사용된 보조자료의 예를 보였다.



<그림 4> 지상기준점 선점을 위한 보조자료

삼각점 및 검사점의 지상좌표는 삼각점의 조서에 기록된 지리좌표, UTM좌표, 평균해수면으로부터의 표고를 이용하였다.

2.4 지상기준점의 영상좌표 측정

좌우영상의 기준점에 대한 입체 영상좌표는 기준점의 지상위치에 대응하는 영상위의 점으로서 좌측영상, 중앙영상, 우측영상의 3점이 존재한다. 3개의 영상을 각각 입체시하면 좌측영상-중앙영상, 좌측영상-우측영상, 중앙영상-우측영상 등 3가지 입체영상이 형성된다.

삼각점이 대부분 산정상에 위치해 있으므로 컴퓨터 화면상에서 정확한 위치 식별이 불가능하다. 따라서 해석도화 장비내에서 입체시하여 지상기준점에 대응하는 영상의 좌표를 입체영상에서 판독하여 얻는다. 영상의 입체시를 위해서는 상대표정에 필요한 파라미터를 제공해 주어야 하는데 이 자료는 위성궤도 파라미터 리스트에 있는 부가의 데이터를 이용하였다. 입체영상 3차원 기하학적 모델링 파라미터의 계산, 즉 번들조정 프로그램 수행을 위해서는 입체시된 삼각점의 단사진 좌표를 얻는다. 이와 같은 방법으로 3가지 입체영상에 대한 좌우 단사진좌표를 측정한다.

이상의 내용을 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 스트립 위성영상 : 305-스트립 (7모델)
- 지상기준점 : 지상좌표 = 삼각점의 조서
영상좌표 = 입체해석 도화기
- 모델링 수행 : 단일화상 모델링 = 2개 모델
연속화상 모델링 = 3가지 스트립 모델

3. 단일화상 모델링

SPOT 위성영상을 CCT나 CD-ROM 형태로 획득한 경우에 이들 매체에는 지상영역에서 반사되는 빛의 밝기로 표현되는 영상자료 이외에 위성 위치자료 및 센서에 관한 자세자료, 촬영지역 및 측지계관계 등의 여러 가지 보조자료가 포함되어 있다.

이 중에서 위성영상의 기하학적 모델링에 직접 또는 간접적으로 이용되는 것을 나타내면

- 위성영상의 GRS(Grid Reference System)
- 전처리수준 (Preprocessing Level)
- 위성위치 및 시각
- 위성 고도
- 화면중심의 촬영시각
- 화면 표정각(Orientation) 및 촬영경사각(Inclination)
- 태양의 방위각 및 고도각
- 화면 중심 및 4 모서리 위치
- 위성의 직하점(Nadir) 위치
- 센서의 촬영각도 (Pitch, Yaw)

위의 보조자료중에서 위성위치 및 시각은 위성이 궤도를 비행하는 과정에서 매 분간격으로 해당시각과 위성위치를 기록하게 되는데 이 값들 가운데 대상지역의 촬영을 전후로 하여 기록된 8~9개의 데이터를 수록하고 있다. 위성위치는 위성체에서 이용하는 기준 타원체인 GRS80(WGS84) 기반의 지상직각좌표계로 표시되어 있고, 시각은 만국표준시(UT, Universal Time)로 표기되어 있다. 이 값은 추후 기하학적 모델링에 필요한 외부표정요소중 위성위치에 대한 초기치 추정에 중요한 자료이며, 특히 시각은 화면중심의 촬영시각과 결합하여 촬영시간의 함수로 구성된 외부표정요소 다항식의 계산에 사용된다.

한편 화면표정각, 화면중심 촬영시각, 화면중심위치, 센서의 촬영각도 등은 센서의 자세에 대한 초기치 추정에 이용되고 지상화면의 지리적 위치도 고려된다.

외부표정요소 초기치의 정확한 추정은 광속(번들)조정법을 이용한 기하학적 모델링 과정을 반복 수행하므로써 최적의 외부표정요소를 결정하기 때문에 중요한 과정이다.

공선조건식은 비선형 방정식이므로 급수전개를 통해 선형화한 후, 반복 계산 및 보정을 통한 수렴방법을 이용하게 된다. 따라서 외부표정요소의 초기치를 설정할 필요가 있다. 외부표정요소의 정확한 초기치 설정은 수렴속도의 개선과 정확도에 중요한 영향을 미친다. 여기서는 SPOT 위성영상의 탐측특성을 고려하여 한 화면전체에 대하여 각각의 외부표정요소 성분을 라인(또는 시간)의 2차 다항식으로 구성하였다.

초기치 추정은 각각의 외부표정요소에 대하여 편미분계수를 유도한 후, 최소제곱법을 이용하여 구한다.

최소제곱법에 의해 일단 외부표정요소의 초기치와 분산값이 계산되고 나면 다음의 순서에 따라 공선조건식으로부터 외부표정요소를 결정한다.

- 1) 공선조건식 구성
- 2) 외부표정요소의 초기치 계산시에 이용했던 것과 동일한 다항식을 공선조건식의 각 미지수(외부표정요소)에 적용
- 3) 각 미지수(다항식의 계수)에 대하여 공선조건식을 미분
- 4) 관측방정식 구성
- 5) 축약정규방정식 구성

이러한 과정을 거쳐 구성된 축약정규방정식에 외부표정요소의 초기치를 대입하여 각 표정요소의 보정량을 계산한다. 이 보정량을 다시 원래의 초기치에 합산하여 방정식에 대입하

는 등의 과정을 반복한다. 최종적으로 수렴조건을 만족할 경우에 외부표정요소의 값이 확정된다.

외부표정요소가 결정되고 나면, 임의의 영상점에 대한 입체영상의 영상좌표가 주어질 경우에 그에 대응하는 지상위치를 결정할 수 있다.

스트립 영상중에서 대표적으로 두 개의 GRS를 선정하여 모델링을 수행한 결과를 다음 <표 1>에 나타내었다.

<표 1> 단일화상의 모델링 정확도

(단위 : 미터)

GRS	기준점 (RMSE)			검사점 (RMSE)			기준점수 / 검사점수
	ΔN	ΔE	ΔH	ΔN	ΔE	ΔH	
305-277	2.0	2.6	1.7	6.5	3.5	3.8	11 / 14
305-280	7.0	9.6	8.0	13.5	11.0	6.5	11 / 07

<표 1>에서 보는 바와 같이 10m 정도의 모델링 위치정확도를 달성할 수 있었다.

4. 연속화상 모델링

기존의 삼각점을 지상기준점으로 이용한 위의 단일화상 모델링 결과는 단위모델별로 처리되고 생성된 것이므로 모델내부에서는 정확한 모델링이 가능할 수가 있다. 위의 <표 1>에서도 알 수 있듯이 각 모델별로 11점의 지상기준점을 이용하였다. 따라서 이와 같은 방법으로 연구대상인 7개 모델을 처리하기 위해서는 전체모델에 고르게 분포된 80점 정도의 지상기준점이 요구된다. 또한 위성의 궤도방향을 따라 여러개 화상이 연결된 영역에 대하여 단일화상 모델링 방법으로 지상위치를 결정하거나 수치표고모델 등을 제작할 경우에는 인접한 모델간의 경계선에서 불연속 현상이 발생할 수 있다.

스트립 영역내에서의 모델간 불연속을 해결하고, 전체 영역을 좀더 경제적이고 신속히 처리하기 위하여 본 연구에서는 스트립영상에 대하여 적은 수의 지상기준점을 가지고 한번의 모델링으로 원하는 정확도를 만족하는 결과를 얻을 수 있는 연속화상 모델링기법을 개발하게 되었다.

4.1 지상기준점 좌표변환

연속화상의 모델링을 위해서는 우선 스트립에 대하여 하나의 지상좌표체계와 영상좌표체계를 갖도록 재구성해 주어야 한다.

- 지상좌표 변환

모델링을 위한 지상좌표계는 처리하고자 하는 스트립 영역의 중앙부근에 다음과 같이 임의의 원점을 갖는 국소직각좌표계로 선정하였다.

<국소직각좌표계의 원점 설정>

305-스트립 : 동경 127도, 북위 36도, 높이 0미터

• 영상좌표 변환

인접된 각각의 영상에서 독립적으로 획득된 좌표의 측정값은 영상마다 독립된 좌표원점을 갖는다. 즉 해석도화장비를 이용할 경우에는 앞에서 언급한 것처럼 일반적으로 영상의 가장자리에 표시되어 있는 지표들을 서로 연결하여 교차하는 점을 원점으로 정한다. 따라서 이들을 한꺼번에 처리하기 위해서는 하나의 공통된 원점을 기준으로 한 좌표값으로 변환해 주어야 한다.

영상좌표 변환을 위해서는 스트립에서 인접 모델간의 중첩영역에 고르게 분포된 3점 이상의 접합점을 선정 한 후 양쪽 영상에서 해당점의 좌표값을 측정하여 변환식에 의해 연결해 나가는 방법이 있고, 한 궤도에서 연속하여 촬영된 수치영상이 주어질 경우에는 인접한 영상간에 라인(SPOT 위성영상의 경우에는 위성의 비행방향과 직각인 스캔라인)별로 밝기값을 비교하여 이전 영상의 마지막 라인과 일치하는 다음 영상에서의 라인을 찾는다. 이 때 두 라인이 일치할 경우에는 라인간의 차이값은 0 이다. 이 라인값이 바로 두 영상간의 중첩된 정도를 나타내므로 연속된 좌표계산에 이용할 수 있다.

4.2 모델링 및 평가결과

위성영상의 기하학적 모델링을 위한 외부표정요소의 초기치 계산을 위한 입력자료도 단일화상 모델링의 경우와 비슷하게 보조데이터 파일로부터 스트립 영역 탐측을 전후한 위성의 위치와 시각, 화면의 지리적 위치, 센서의 자세각도 등의 자료를 추출하여 사용하였다.

<표 2>에 스트립 위성영상에 대하여 2가지 경우의 모델링 결과를 나타내었다. 이 경우 영상좌표 측정시의 추정오차는 $\pm 3\mu\text{m}$, 지상좌표의 추정오차는 $\pm 1\text{m}$ 로 가정하였다.

<표 2> 연속화상의 모델링 정확도

(단위 : 미터)

연속화상 수	기준점 (RMSE)			검사점 (RMSE)			기준점수 / 검사점수
	ΔN	ΔE	ΔH	ΔN	ΔE	ΔH	
3 화상 (305-276,277,278)	9	10	13	8	12	16	15 / 14
4 화상 (305-275,...,278)	9	9	12	7	10	15	15 / 23
7 화상 (305-274,...,280)	9	15	16	15	17	17	15 / 60

표에서 보는 바와 같이 7개 영상모델(60km×420km)을 처리하는데 15개의 기준점을 이용해서 모델링이 가능함을 알 수 있다.

단일화상을 정확히 모델링하기 위해 최소한 10점 이상의 기준점이 필요한 점을 고려할 때, 본 연구에서는 요구 기준점의 수를 크게 증가시키지 않고도 광범위한 영역을 모델링할 수 있음을 확인하였다.

또한 이와 같이 삼각점의 조서만을 이용해서 스트립 영상의 모델링이 가능해 짐으로써 현지의 접근이나 측량이 용이하지 않은 지역에 대해서도 요구정확도를 만족하는 지상위치를 결정할 수 있고, 새로운 지상기준점의 설정이 가능해졌으며, 더 나아가 특정의 지형정보 추출에도 이용이 가능할 것으로 기대되고 있다.

5. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 현지측량에 의한 지상기준점좌표를 정확히 획득하지 않고 삼각점의 조서를 이용하여 SPOT 입체위성영상의 단모델에 대한 위치정확도를 10m 이내의 위치정확도까지 수행할 수 있다.
- 2) 연속된 화상의 기하학적 모델링기법을 개발함으로써 광범위 지역에 대한 스트립 영상이 주어질 경우 적은 수의 지상기준점을 이용하여 7개의 연속화상 정도까지는 10~20m이내의 위치정확도를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1]. 유복모, 손덕제, 박정남, 정 수, "SPOT 위성의 수치영상자료를 이용한 정사투영 사진지도 제작에 관한 연구", 한국지형공간정보학회 논문집 1권 2호, 1993. 12
- [2]. 유복모, 이현직, "위성영상의 위치결정을 위한 지상기준점 취득에 관한 연구", IUGG 한국 위원회 학술발표회, 1992. 6
- [3]. 조봉환, 최선용, 국방과학연구소, "지도위치정확도 평가기법연구", CESD-417- 961054, 1996. 10
- [4]. CNES/SPOT Image, *SPOT User's Manual Vol I, II*.
- [5]. 조봉환, "연속스트립 위성영상에서의 3차원 사상," 박사학위논문, 성균관대학교 대학원, 1991.
- [6]. 조봉환, 신대식, 박완용, 국방과학연구소, SPOT 위성영상을 이용한 수치지형모델 자동 생성 및 응용, MSDC-408-92492, 1992.
- [7]. 김필수, 조봉환, 신대식, 국방과학연구소, 지역측지계와 세계측지계의 변환, MSRD-408-90280, 1990.

- [8]. 조기성, “SPOT 위성영상의 외부표정요소 결정에 관한 연구,” 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1991.
- [9]. 이현직, “SPOT 위성영상을 이용한 3차원 위치결정에 관한 연구,” 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1992.
- [10]. 박병욱, “SPOT 위성데이터를 이용한 수치표고모델 생성에 관한 연구,” 박사학위논문, 서울대학교 대학원, 1991.
- [11]. Osamu Uchida, Sukit Viseshsin, “Comparison of Orientation Accuracy between Types of Control Data for SPOT Imagery,” *ISPRS*, Commission III, 1988.
- [12]. P. V. Radhadevi, T. P. Sasikumar, R. Ramchandran, “Orbit Attitude Modelling and Derivation of Ground Coordinates from SPOT Stereopairs,” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 49, No. 4, pp.22-28, 1994.
- [13]. Shibasaki, R., “SPOT Imagery Orientation with Auxiliary Satellite Position and Attitude Data,” *ISPRS*, Vol. 27, Part B9, pp.III-125~III-132, 1988.