

연구논문

DLT 기반의 대안적 모형화(Alternative Sensor Model) 방법을 이용한 SPOT 위성영상의 DEM 생성에 관한 연구

A Study for the DEM Generation from the SPOT Imagery Using Alternative Sensor Model Based on DLT

양인태* · 이인엽** · 오명진***

Yang, In-Tae · Lee, In-Yeub · Oh, Myung-Jin

요 旨

위성영상의 종류가 증가하고 취득이 용이해 짐에 따라 위성영상을 이용한 수치고도모형의 생성에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. SPOT의 경우 60km×60km에 해당하는 광범위한 지역에 대한 영상을 취득할 수 있어 넓은 지역에 대한 수치고도모형을 생성 할 수 있는 이점이 있다. 기존의 엄밀센서모형(Rigorous Sensor Model)의 경우 위성의 천문력자료(Ephemeris Data)와 지상기준점을 사용하여 복잡한 과정을 거쳐 DEM을 생성하였으나 본 연구에서는 직접선형변환(DLT)에 기반을 둔 대안적 모형화 기법을 이용하여 DEM을 생성해 보았다. 결과적으로 직접선형변환의 경우 소수의 기준점을 통하여 양호한 품질의 DEM을 취득할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

핵심용어 : SPOT, DEM, 대안적 모형화 기법, 직접선형변환

Abstract

Increasing number and acquisition rate of satellite imagery promoted researches related with DEM generation based on satellite imagery. SPOT image gave us advantage to generate DEM which covers wide area of 60km×60km. In the case of rigorous sensor model of SPOT imagery, ephemeris data and several ground control points are need and requires arduous computational costs to produce DEM. In this study, using alternative sensor model based on Direct Linear Transform, we generated DEM using small number of ground control points. As a result, it was possible to acquire the DEM with suitable accuracy.

Keywords : SPOT, DEM, Alternative Model, Direct Linear Transformation

1. 서 론

위성영상의 종류가 다양해지고 영상의 취득이 용이해 짐에 따라 각종 위성영상의 모형화 기법과 수치고도모형의 생성에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. SPOT 위성영상의 경우 영상이 포함하는 지상영역의 범위가 60km×60km로 그 범위가 매우 광범위하다. 일반적인 위성영상 보다 넓은 지역을 포함할 수 있는 SPOT 영상은 광역지역의 DEM 생성에 매우 적합하다고 할 수 있다.

DEM 생성을 위해서는 영상좌표와 지상좌표간의 관계 설정을 위한 센서 모형화(Sensor Modelling)과정이 필수적이다. 대표적인 방법으로는 위성의 천문력자료(Ephemeris

Data)와 지상기준점(GCP, Ground Control Points)를 이용한 정밀센서모형(Rigorous Sensor Model)이 있다. 하지만 정밀센서모형의 경우 위성의 물리적 상태를 고려한 복잡한 수학적 해석을 요구한다. 이에 반하여 정밀센서모형의 대안적 모형(Alternative Model)은 직접선형변환(Direct Linear Transformation)을 기반으로 하여 처리 속도 면에서 매우 효율적이라고 할 수 있다. 직접선형변환을 기본으로 한 모형화 기법에 대해서 많은 연구가 있어왔다. El-Manadili와 Novak(1996)은 영상좌표의 왜곡을 보정하고 사진측량학에서 사용되는 직접선형변환을 수행하는 모형화 기법에 대하여 연구하였다. Gupta와 Hartley(1997)는 선형 푸시부름(Linear Pushbroom) 카

2004년 6월 1일 접수, 2004년 6월 12일 채택

* 정회원, 강원대학교 토목공학과 (intae@kangwon.ac.kr)

** 정회원, 강원대학교 토목공학과 박사과정 (hansol6595@hanmail.net)

*** 정회원, 강원대학교 토목공학과 박사과정 (mjoh@kyungbok.ac.kr)

메라에 대한 모형식을 제안하고 SPOT 영상에 대한 모형을 수행하였다. 또한 Okamoto(1998) 등은 부등각사상변환(Affine Transformation)에 기반을 둔 모형화 기법을 제안하기도 하였다. 본 연구에서는 DLT 기반의 모형화 기법중 Gupta와 Hartley가 제안한 방법을 통하여 SPOT 영상에 대한 DEM을 생성하고 그 정확도를 수치 지도를 기본으로 하여 생성한 DEM과 비교 평가하였다.

2. DLT 기반의 대안적 센서모형

일반적으로 Pushbroom 카메라는 Linear CCD Array 에 영상을 투영하는 광학시스템으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 광학 투영 중심점과 센서의 라인을 포함하는 평면을 관측면(View plane)이라고 하며 영상취득 기하구조는 그림 1과 같다.

인공위성의 Pushbroom 센서는 위성의 움직임에 따라 관측면이 대상지역을 지나가게 된다. 따라서 센서의 array와 관측면은 위성의 진행방향에 대해 거의 수직을 이루게 된다. 센서는 영상을 취득하기 위한 재충전이 필요하며 이에 소요되는 시간을 dwell time이라고 한다. 센서는 dwell time의 간격으로 관측면에 대한 일차원 영상을 취득하게 되며 이러한 일차원 영상들이 모여서 이차원 영상을 구성하게 된다.

본 연구에서는 pushbroom 카메라 모형을 선형화 시킴으로써 계산에 소요되는 부하를 줄였으며 선형화를 위한 기본적인 가정사항은 아래와 같다.

- 가정 1. 센서는 지상에 대하여 등속도로 직선운동을 한다.
- 가정 2. 영상을 취득하는 동안의 표정요소는 불변한다.

따라서 관측면의 자세는 고정되어 있다. 이러한 카메라는 공간상에서 선형 궤적을 등속도로 움

직이며 고정된 표정요소를 갖는 perspective 카메라로 생각할 수 있다. 카메라는 관측면 상의 3차원 대상물을 영상 line에 이차원 투영을 하게 된다. 모형 설정을 위한 공간좌표계와 영상좌표계의 관계를 그림 2에 나타내었다. 영상좌표계는 (x, y) 로 표현되며 y 는 영상소가 취득된 시간이며 x 는 영상 line에 투영된 좌표값을 나타낸다.

좌표계는 투영중심을 원점으로 하는 오른손좌표계이며 직교좌표계이다. Y축은 관측면 내에 있으며 선형센서배열(linear sensor array)에 평행하다. Z축은 관측면 내에 있으며 Y축에 수직이며 X축은 관측면에 대하여 수직으로 되어있다. 본 좌표계는 실제 지상좌표계가 아닌 모형설정을 위해 인위적으로 정한 좌표계이다.

그림 3에 나타난 삼각형의 비례관계($f:x=Z:Y$)로부터 지상좌표와 영상좌표간의 관계를 설정해 보자. 이 비례관계로부터 초점거리가 f , 임의의 점의 위치가 카메라 프

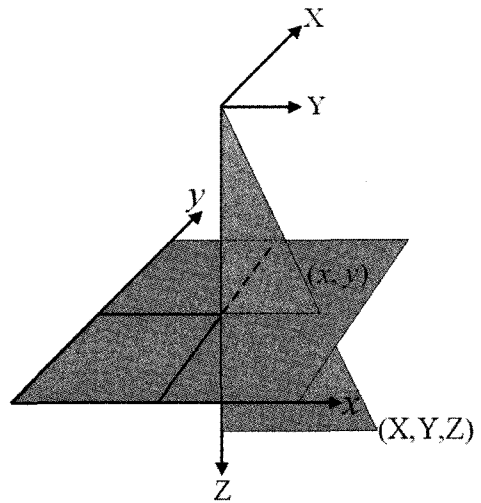


그림 2. 선형 Pushbroom 카메라의 투영

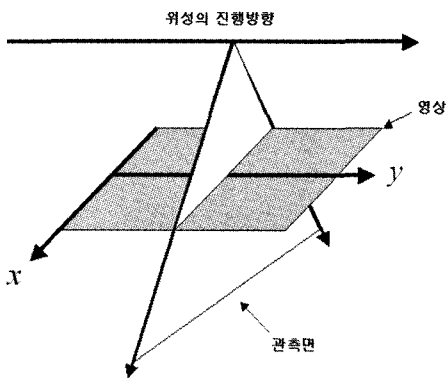


그림 1. Pushbroom 카메라의 영상취득 기하

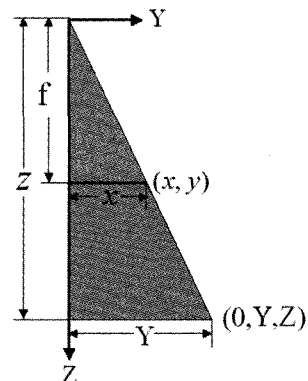


그림 3. 2차원 투영도

레이에 대해서 (0, Y, Z)라고 하면 $x=f Y/Z$ 의 식을 구할 수 있다. x방향의 주점의 offset을 p_x 라고 하면 $x=f Y/Z+p_x$ 의 관계가 성립된다. w를 축척계수(Z값과 동일)라고 하면 식 (1)과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} wx \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f & p_x \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (1)$$

일반적인 가정과는 반대로 카메라는 고정되어 있고 대상물이 움직인다고 가정하자. 카메라의 위치 \mathbf{p} 는 $\mathbf{p}(t)=(X(t), Y(t), Z(t))^T$ 와 같이 시간 t에 관한 식으로 표현할 수 있으며 카메라 프레임에 대한 한 점의 속도벡터를 나타내면 $-\dot{V}=(V_x, V_y, V_z)^T$ 로 나타낼 수 있다. 속도벡터가 음수로 표현되는 이유는 대상물에 대한 카메라의 속도가 \dot{V} 이기 때문이다. 공간상의 움직이는 점 t_{im} 의 시간에 (0, Y_{im}, Z_{im})^T의 위치로 관측면을 통과한다고 가정하자. 2차원의 pushbroom 영상에 이 점은 (x, y)에 맺히게 되며, 이때 $y=t_{im}$ 이 되며 식 (1)과 같이 통합하면 식 (2)와 같다.

$$\begin{pmatrix} y \\ wx \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & f & p_x \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t_{im} \\ Y_{im} \\ Z_{im} \end{pmatrix} \quad (2)$$

t=0에서의 센서의 위치 \mathbf{p} 를 \mathbf{p}_0 라고 하자. 등속도로 움직이기 때문에 임의의 시간 t에서의 위치 $\mathbf{p}(t)$ 는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{p}(t) &= \mathbf{p}_0 - t\dot{V} \\ &= (X_0, Y_0, Z_0)^T - t(V_x, V_y, V_z) \end{aligned} \quad (3)$$

관측면에서는 $x=0$ 이며 관측면을 통과할 때의 시간 t_{im} 은 $t_{im}=X_0/V_x$ (시간=거리/속도)로 나타낼 수 있다. 따라서 시간 t_{im} 에서의 위치는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} 0 \\ Y_{im} \\ Z_{im} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 0 \\ Y_0 - t_{im}V_y \\ Z_0 - t_{im}V_z \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0 \\ Y_0 - X_0V_y/V_x \\ Z_0 - X_0V_z/V_x \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (4)$$

관측면을 벗어나 일반적인 시간 t_{im} 에서의 위치는 식 (5)와 같다.

$$\begin{pmatrix} t_{im} \\ Y_{im} \\ Z_{im} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/V_x & 0 & 0 \\ -V_y/V_x & 1 & 0 \\ -V_z/V_x & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

식 (2)와 (5)을 합치면 식 (6)과 같다.

$$\begin{pmatrix} y \\ wx \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & f & p_x \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1/V_x & 0 & 0 \\ -V_y/V_x & 1 & 0 \\ -V_z/V_x & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

이 식에서 나타낸 센서의 초기위치 (X_0, Y_0, Z_0)^T는 일반적으로 사용하는 좌표계가 아닌 임의로 설정한 모형좌표계이다. 일반적으로 사용하는 외부좌표계는 지구좌표계이며 모형좌표계 또한 지구좌표계이므로 두 좌표계 간의 관계는 3차원 회전행렬로 표현할 수 있다. 회전행렬을 R이라고 하고, t=0에서의 외부좌표계상의 센서의 위치를 $\mathbf{T}=(T_x, T_y, T_z)^T$ 라고 하면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} = R \left(\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} \right) = (R - R\mathbf{T}) \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

최종적으로 식 (7)을 식 (6)에 넣으면 식 (8)과 같다.

$$\begin{pmatrix} y \\ wx \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} = M\mathbf{x} \quad (8)$$

3. 적용자료

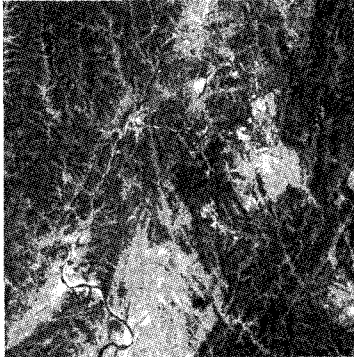
본 연구에서는 한쌍의 SPOT-3호 위성영상을 사용하

표 1. 사용된 위성영상의 세부사항

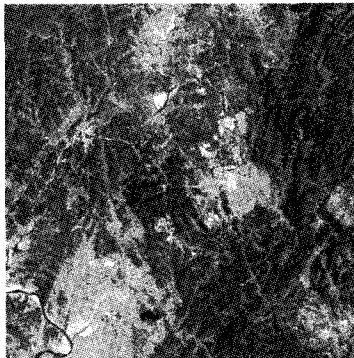
구분		305277 Stereo 영상		
		좌측영상	우측영상	
위성의 종류		SPOT-3	SPOT-3	
영상중앙 촬영시간		1995-04-04	1995-04-05	
		02:39:41	02:20:24	
영상중심	위도	N036°22' 03"	N036°22' 03"	
	경도	E127°11' 51"	E127°17' 45"	
분광모드		전정(Panchromatic)		
영상 모서리 좌표	좌상단	위도	N036°41' 51"	N036°40' 43"
		경도	E126°55' 06"	E127°02' 05"
	우상단	위도	N036°33' 18"	N036°34' 59"
		경도	E127°40' 30"	E127°42' 24"
	좌하단	위도	N036°10' 32"	N036°09' 05"
		경도	E126°44' 05"	E126°53' 00"
	우하단	위도	N036°02' 04"	N036°03' 23"
		경도	E127°29' 12"	E127°33' 02"
경사촬영각(Deg)		L22.7°	R08.6°	

였다. 사용된 위성영상의 세부사항은 표 1에 나타내었으며 그림 4와 같다.

그림 4에 표시한 위성영상의 모형을 수행하기 위하여 본 연구에서는 지상기준점 36점을 수치지도를 이용하여 취득하였으며 기준점 분포는 그림 5와 같다.



(a) SPOT-3호 위성영상(좌측영상)



(b) SPOT-3호 위성영상(우측영상)

그림 4. 연구대상 SPOT-3호 위성영상

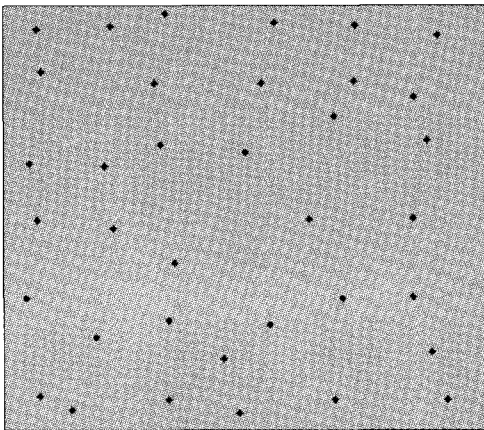


그림 5. 영상기준 기준점 분포도

4. 실험 및 결과

그림 5에 제시한 기준점 분포를 고려하여 7, 9, 10점으로 지상기준점의 숫자를 변화시켜 가며 모형식의 정확도 분석을 수행하였다. 또한 모형식 구성을 위해 사용되지 않은 점들은 검사점(Check point)으로 하여 정확도 분석에 이용하였다. 실험 결과는 표 2와 같다.

지상기준점 7점을 사용한 경우 Z값에 있어 불안정한 결과를 보이는 관계로 지상기준점을 10점을 사용한 모형화 결과를 이용하여 DEM 생성을 수행하였다.

DEM 생성을 위해서는 좌측영상에서 특징점을 추출한 후 영역기반(area based)의 상관계수(Correlation Coefficient)를 이용하여 우측영상에서 공액점을 찾아 DEM 생성을 수행하였다. 정확도 평가를 위해 1:5000 수치지도를 이용하여 2km×2km 영역의 지역에 대한 DEM 생성을 수행하였다. 그림 6은 수치지도를 기반으로 생성한 DEM이며 그림 7은 Gupta와 Hartley가 제안한 DLT 방법을 이용하여 생성한 DEM이다.

수치지도 기반으로 생성한 기준 DEM과 대안적 모형

표 2. 모델링 수행 결과

구분 (A)	정확도	기준점수		
		7	9	10
좌측 영상	xy (pixel)	1.858	1.110	1.093
우측 영상	xy (pixel)	1.388	1.625	1.576
지상	X (m)	8.695	10.455	10.414
	Y (m)	7.603	8.504	8.561
	Z (m)	23.695	6.817	7.722

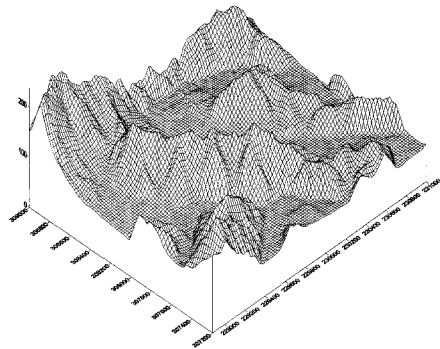


그림 6. 수치지도를 기반의 DEM

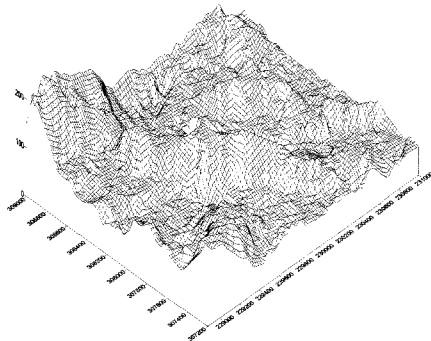


그림 7. 대안모형 기반의 DEM

을 이용하여 생성한 DEM의 고도값을 비교한 결과 15.62m의 평균제곱근오차(RMSE : Root Mean Square Error)가 발생함을 확인 할 수 있었다.

5. 결 론

대안적 모형화 기법인 DLT방법을 이용하여 DEM을 생성한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 업빌모형식을 사용하지 않고서도 10m 해상력을 지닌 SPOT-3호 위성영상으로부터 15.62m의 평균제곱근

- 오차를 지닌 양호한 DEM을 생성할 수 있었다.
2. 위성의 센서모형화를 소수의 지상기준점으로 수행할 수 있는 대안적 방법으로 만족할 만한 정확도의 DEM을 얻음으로써 광범위한 지역의 DEM 생성시 대안적 모형화 기법을 적용하는 것은 효과적인 방법으로 사료된다.

참고문헌

1. 최현, 강인준, 홍순현, (2002) Komsat 영상을 이용한 수치표고 모델추출, 한국지형공간정보학회, 제 10권 3호, pp. 71-77.
2. El-Manadili, Y. and Novak, K. (1996) Precision Rectification of SPOT Imagery Using the Direct Linear Transformation Model, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 62, No. 1, pp. 67-72.
3. Gupta, R. and Hartley, R. I. (1997) Linear Pushbroom Cameras, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 19, No. 9, pp. 963-975.
4. Okamoto, A., Fraser, C., Hattori, S., Hasegawa, H., and Tetsu, Ono, (1998) An Alternative Approach to the Triangulation of SPOT Imagery, IAPRS International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, B4, 457-462.
5. SPOT Image Corporation, (1987), SPOT User's Handbook - Reference Manual, Vol. 1, Center Spatial de Toulouse.