

IKONOS 위성영상의 3차원 위치 결정 모형화 기법 개발 Development of Modeling Method for 3-D Positioning of IKONOS Satellite Imagery

진경혁¹⁾ · 홍재민²⁾ · 유환희³⁾ · 유복모⁴⁾

Jin, Kyeong Hyeok · Hong, Jae Min · Yoo, Hwan Hee · Yeu, Bock Mo

¹⁾ (재)석곡관측과학기술연구원 연구원(E-mail: tom51@sog.or.kr)

²⁾ (재)석곡관측과학기술연구원 연구원(E-mail: alssmile@sog.or.kr)

³⁾ 경상대학교 건설공학부 도시공학과 교수(E-mail: hhyoo@nongae.gsnu.ac.kr)

⁴⁾ (재)석곡관측과학기술연구원 원장(E-mail: yeubm@sog.or.kr)

Abstract

Recent adoption of the generalized sensor model to IKONOS and Quickbird satellite imagery have promoted various research activities concerning alternative sensor models which can replace conventional physical sensor models. For example, there are the Rational Function Model(RFM), the Direct Linear Transform(DLT) and the polynomial transform. In this paper, the DLT model which uses just a few number of GCPs was suggested. To evaluate the accuracy of the proposed DLT model, the RFM using 35 GCPs and the bias compensation method(Fraser et al., 2003) were compared with it. Quantitative evaluation of 3D positioning results were performed with independent check points and the digital elevation models(DEMs). In result, a 1.9- to 2.2-m positioning accuracy was achieved for modeling and DEM accuracy is similar to the accuracy of the other model methods.

1. 서론

현재 원격탐측 분야에서 고해상 위성영상을 이용하여 지형공간정보 중 가장 중요한 것 중 하나인 지상 3차원 좌표 취득의 정확도 증진에 관한 연구가 진행되고 있다. IKONOS, Quickbird와 같은 고해상 공간해상도를 가진 위성영상이 출현하면서 보다 정확하고 효율적인 방법으로 3차원 좌표를 취득하고자 하는 연구에 관심이 모아지고 있다. IKONOS 위성영상의 경우, 공급자(Space Imaging社)가 위성영상의 헤더정보(천체력 자료, 자세 자료 등)를 영상과 함께 제공하고 있지 않고 RPC 계수만을 제공하고 있다.

IKONOS 입체 위성영상의 3차원 위치 정확도를 향상시키기 위한 일반적 방법은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째 방법은 Space Imaging社에서 제공되는 RPC를 추가적인 지상기준점을 사용하여 갱신하거나 편의를 수정하는 방법이 있다(방기인 등, 2002; Hu 등, 2002; Fraser 등, 2003). Hu 등(2002)은 지상기준점 20점을 사용하여 RPC를 보정하는 연구를 수행하였다. 그러나 RPC 자체가 위성의 헤더정보를 이용하여 생성된 것으로 엄밀센서모형과 독립적이라고는 할 수 없다. 두 번째 방법은 엄밀센서모형과는 독립적으로 일반적인 센서의 영상취득 구조를 이용한 기법이다. 본 연구에서는 RPC와는 독립적으로 지상기준점만을 이용하여 IKONOS 위성영상으로부터 3차원 위치정보를 취득할 수 있는 모형화 기법을 제안하고자 한다. 연구 내용으로는 IKONOS Geo 위성영상에 대해서 다수의 지상기준점을 이용하는 RFM 모형화 기법, 지상기준점 1점을 이용하여 RPC에 의한 위치 정확도를 갱신하는 기법(Fraser 등, 2003), 소수의 지상기준점만을 이용한 본 연구의 DLT 식 기반의 모형화 기법에 관하여 3차원 위치 정확도와 입체 위성영상으

로부터 작성된 수치고도모형의 정확도를 비교 분석하였다. 입체 위성영상의 영상정합을 위한 알고리즘은 Fonseca 등(1997)이 제안한 다해상도 웨이블릿 분석(multiresolution wavelet analysis) 기법을 이용하였다.

2. IKONOS 위성영상의 모형화

2.1 RFM(Rational Function Model)

IKONOS 위성영상과 같이 영상의 헤더정보를 제공하지 않을 경우, 엄밀센서모형(Rigorous Sensor Modeling) 기법을 적용할 수 없기 때문에 다항식 비례 모형을 사용한다. 다항식비례모형은 영상좌표와 지상좌표간의 관계를 식(1)과 같이 2개의 다항식의 비례형태로 나타낸 것이다.

$$x_n = \frac{p1(X_n, Y_n, Z_n)}{p2(X_n, Y_n, Z_n)}, \quad y_n = \frac{p3(X_n, Y_n, Z_n)}{p4(X_n, Y_n, Z_n)} \quad (1)$$

식(1)에서 (x_n, y_n) 는 영상좌표를 의미하며 (X_n, Y_n, Z_n) 는 영상좌표에 대응하는 실제 대상물의 지상좌표 값이다. 식(1)에서 사용된 다항식의 일반적인 형태를 식(2)로 나타내었다.

$$p = \sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k = a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4 XY + a_5 YZ + a_6 ZX + a_7 X^2 + a_8 Y^2 + a_9 Z^2 + a_{10} XYZ + a_{11} X^2 Y + a_{12} X^2 Z + a_{13} XY^2 + a_{14} Y^2 Z + a_{15} XZ^2 + a_{16} YZ^2 + a_{17} X^3 + a_{18} Y^3 + a_{19} Z^3 \quad (2)$$

일반적으로 광학투영에 의한 왜곡은 1차 항으로, 지구곡률, 대기굴절, 렌즈 왜곡 등에 의한 왜곡은 2차 항으로, 이외의 알려지지 않은 왜곡은 3차 항으로 보정하게 된다. 이 경우 전체 미지수의 개수는 78개이며 필요한 최소 기준점의 수는 39점이 된다.

2.2 RPC 보정

IKONOS 위성영상과 함께 제공되는 RPC를 갱신하는 방법은 Fraser 등(2003)이 제안한 알고리즘을 이용하였다. Fraser 등(2003)은 RPC 편이는 영상에 대한 오차로 가정하여 영상좌표마다 한 쌍의 요소로 구성되는 편이보정 모형식을 유도하여 식을 제안하였다.

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 1 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \\ \Delta x_i \\ \Delta y_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 - x \\ y_0 - y \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기서, $\Delta x, \Delta y$ 는 영상좌표에 대한 오차로 최소 지상기준점 1점을 이용하여 구할 수 있다. 새로운 RPC를 생성하는 것이 아니라 소수의 지상기준점을 이용하여 편이 요소를 구하고 이 편이 요소를 이용하여 원 RPC 계수를 갱신하게 된다. 계산된 편이 요소는 영상에 대한 오차이므로 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$x_{ij} + \Delta x_i = \frac{p_1(X, Y, Z)}{p_2(X, Y, Z)} \quad y_n + \Delta y_i = \frac{p_3(X, Y, Z)}{p_4(X, Y, Z)} \quad (4)$$

2.3 DLT 식 기반의 모형식

본 연구에서 새롭게 제안한 DLT 식 기반의 모형식을 위한 가정사항은 다음과 같다.

1. 영상취득시의 위성 궤도는 직선이며 등속운동을 한다.
2. 위성의 궤도는 지표면과 평행한 평면상에 존재한다.

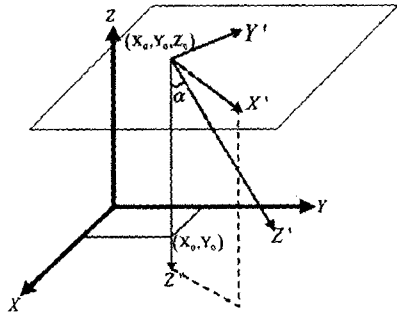


그림 1. 영상의 취득 기하구조

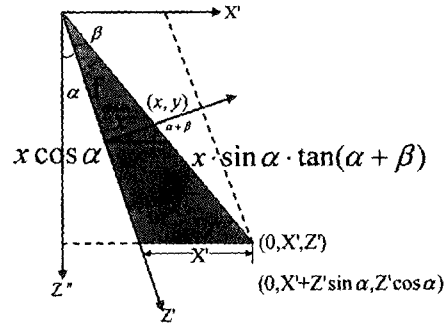


그림 2. 스캔 라인 기하학

위성의 진행방향이 Y' , 센서의 스캔라인의 방향은 X' , 영상의 경사관측각은 α 이다. 그림 1에서 직교 좌표계 $X'Y'Z'$ 에서 Z' 은 $X'Z'$ 평면 상에 있으며 Z' 축에 대하여 α 만큼 기울어져 있다. 우선 하나의 스캔라인에 대한 기하구조를 표현하면 그림 2와 같다.

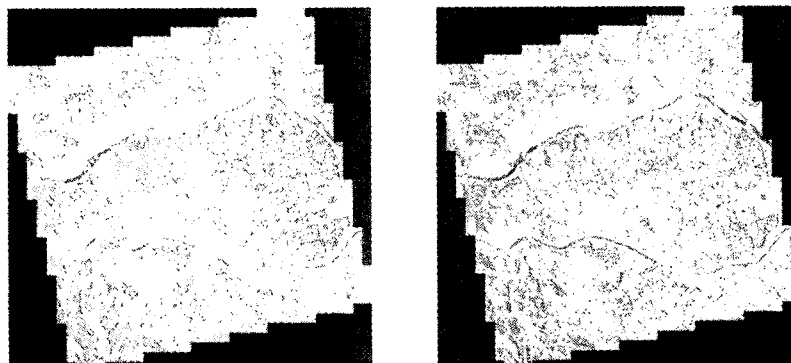
$$y = A_1 X + B_1 Y + C_1 \quad (5)$$

$$x + a'_2 x^2 = \frac{A''_2 X + B''_2 Y + C''_2 Z + D''_2}{A''_3 Z + 1} \quad (6)$$

3. 결과 분석

3.1 연구대상

본 연구에서는 각각의 모형식에 대한 정확도를 검증하기 위해서 대전지역 IKONOS-2 Geo 입체 위성영상을 이용하였다. 위성영상의 촬영시각은 각각 2001년 11월 19일 02:18:46, 2001년 11월 19일 02:19:44 이며, 처리수준은 Precision Geometrically Corrected 이다(그림 3참조).



<좌측 위성영상>

<우측 위성영상>

그림 3. IKONOS-2 Geo 위성영상(대전)

3.2 3차원 위치 결정 정확도 분석

IKONOS-2 Geo 위성영상에 대해 지상기준점 35점을 이용한 RFM 모형화 기법(Method-1), 지상기준점 1점을 이용하여 RPC 계수를 갱신하는 기법(Method-2), 본 연구에서 제안한 DLT 기법(Method-3)에서 지상기준점 10점을 적용하여 모형화 정확도를 분석한 결과, 표 1과 같이 나타났다. 표 1에서 보듯이 Method-2와 Method-3이 Method-1에 비해 정확도가 높게 나타난 것을 알 수 있다.

표 1. IKONOS-2 Geo 위성영상의 모형화 결과

	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$
Method-1	2.9	2.8	3.8
Method-2	1.8	0.9	1.9
Method-3	1.9	1.8	2.2

3.2 수치고도모형 정확도 분석

각각의 모형식에 대한 수치고도모형의 정확도를 검증하기 위해 동일한 지역의 항공사진(1/5,000)으로부터 수치고도모형을 생성하여 기준 자료로 이용하였다. 그림 4는 IKONOS-2 Geo 위성영상으로부터 수치고도모형 생성을 위한 지역이다. 그림 4는 수치고도모형 추출 대상지역이다.

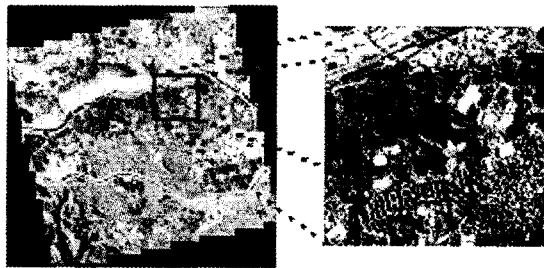


그림 4. 수치고도모형 추출 대상 지역

그림 5는 항공사진(1/5,000)으로부터 생성된 수치고도모형이며, 그림 6은 Method-1, 그림 7은 Method-2, 그림 8은 Method-3에 의한 수치고도모형 결과이다. 그리고 표 2는 기준 수치고도모형과의 RMSE를 비교한 것이고 표 3은 오차의 분포 비율로서 기준 수치고도모형과의 비교분석한 결과를 나타내고 있다. Method-1에 의한 수치고도모형의 RMSE가 가장 작게 나타났으나, 0~2m이내에 분포하는 정확도 비율은 Method-3이 41%로 가장 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

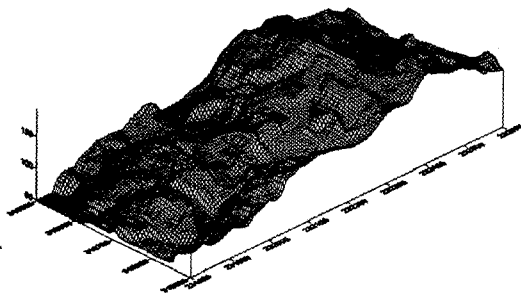


그림 5. 기준 수치고도모형

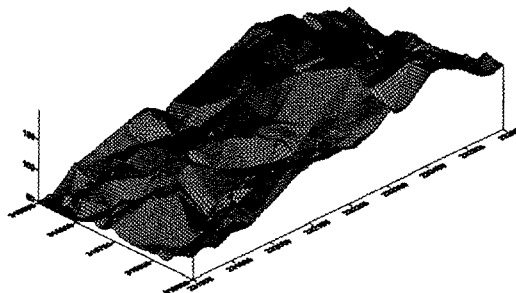


그림 6. 수치고도모형-1(Method-1)

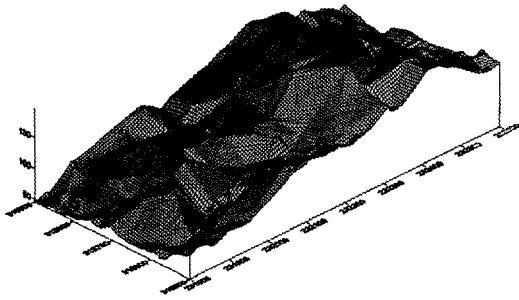


그림 7. 수치고도모형-2(Method-2)

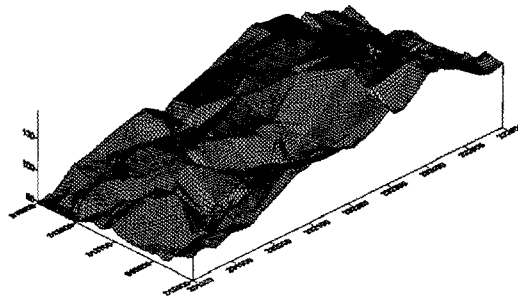


그림 8. 수치고도모형-3(Method-3)

표 2. 기준 수치고도모형과 비교 분석 결과

	평균고도(m)	표준편차(m)	RMSE(m)	최대오차(m)
수치고도모형-1	126.286	34.437	6.002	22.967
수치고도모형-2	126.186	34.946	6.004	22.236
수치고도모형-3	126.069	34.255	6.110	22.535

표 3. 오차 크기에 따른 비율

오차범위(m)	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	>10
수치고도모형-1(%)	38.470	22.912	13.112	8.335	5.812	11.329
수치고도모형-2(%)	37.512	23.249	13.618	8.841	6.027	10.753
수치고도모형-3(%)	40.556	21.478	12.069	8.266	5.689	11.942

4. 결론

본 연구에서는 IKONOS-2 Geo 위성영상을 이용하여 기존의 RFM 모형식과 RPC 편차 보정 기법, 그리고 본 연구에서 제안한 DLT 식 기반의 모형식들에 대해 3차원 위치 정확도와 수치고도모형의 정확도를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 3차원 위치 결정의 경우, 지상기준점 1점을 이용하여 RPC를 보정하는 것이 정확도가 가장 높게 나타났으나, 본 연구에서 제안한 DLT 기법의 결과가 이에 상응한 결과를 얻었을 뿐만 아니라 소수의 지상기준점을 이용한 본 연구의 DLT 기법이 다수의 지상기준점을 이용한 RFM 기법 보다 정확도가 높게 나타났음을 알 수 있었다.
2. 수치고도모형의 경우, RPC 갱신 기법의 성과 및 다수의 지상기준점을 이용한 RFM 모형식 성과가 소수의 지상기준점을 이용한 DLT 식 기반의 모형식 적용 결과와 유사한 정확도로 나타났음을 알 수 있었다.
3. 센서모형화의 정확도에 비하여 수치고도모형의 정확도가 낮게 나타나는 것은 고해상 위성영상의 기하학적 및 방사학적 특성으로 인한 영상정합에 의한 오차와 사용된 지상기준점이 저지대에 분포됨으로써 고도가 높은 지역에 대한 고도값을 반영하지 못한 결과로 사료된다.
4. 향후 KOMPSAT-2와 같은 고해상 위성영상이 상용 보급될 경우, 본 연구에서 개발한 DLT 식 기반의 모형식을 이용하여 위성영상의 헤더정보 없이 소수의 지상기준점으로 고해상 위성영상의 처리가 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 방기인, 정수, 김경옥, 조우석 (2002) 지상기준점 추가에 의한 IKONOS RPC 갱신. *한국지형공간정보학회지*, 제10권, 제4호, pp. 41-50.
- 손홍규 박정환, 유형욱. (2002) 위성영상의 3차원 위치결정을 위한 RFM의 상관성 분석. *대한토목학회 논문집*, Vol.22, No.4-D, pp. 777-789.
- 이재빈, 서병준, 김용일, 유기윤. (2001) IKONOS 위성영상의 RFM을 이용한 3차원 지형자료의 구축에 관한 연구. *대한토목학회 2001년 학술발표회 논문집*. pp. 1-4.
- Fonseca, L. M. G. and Costa, M. H. (1997) Automatic Registration of Satellite Images. Brazilian Symposium on Graphic Computation and Image Processing, 10, Campos de Jordo, *Proceedings. Los Alamitos: IEEE Computer Society*, pp. 219-226.
- Fraser, C.S. and Hanley, H.B. (2003) Bias Compensation in Rational Functions for IKONOS Satellite Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 69(1):53-57.
- Grodecki, J. (2001) IKONOS Stereo Feature Extraction-RPC Approach, *Proceedings of American Society for Photogrammetry & Remote Sensing Annual Conference*, St.Louis, Missouri, CD-ROM.
- Hu, Y. and Tao, C.V. (2002) Updating solutions of the rational function model using additional control information. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68(7):715-723.
- Toutin T. (2004) DTM Generation from IKONOS In-Track Stereo Images Using a 3D Physical Model. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, ASPRS*, 70(6):695-702.