

IKONOS 위성영상의 수치고도모형 생성

DEM Generation from IKONOS Satellite Imagery

김의명¹⁾ · 김성삼²⁾ · 유환희³⁾

Kim, Eui Myoung · Kim, Seong sam · Yoo, Hwan Hee

1) University of Calgary, Dept. of Geomatics Eng, Post-doc, E-mail : emkim@ucalgary.ca

2) 경상대학교 대학원 도시공학과 박사과정, E-mail : kimss333@netian.com

3) 경상대학교 건설공학부 도시공학전공 교수, E-mail : hhyoo@gsnu.ac.kr

요 지

정사영상 생성, 도시 공간의 모형화 등 도면화의 다양한 응용분야에 적용을 위해서는 위성 영상으로부터 수치고도모형을 생성하는 것은 중요하며, SPOT-5, IKONOS, QUICKBIRD, ORBVIEW 등의 고해상도 위성영상은 효율적이고 경제적으로 수치고도모형을 생성할 수 있는 정보를 제공하고 있다.

그러나, 이들 고해상도 위성영상으로부터 수치고도모형을 생성하기 위해서는 센서모형화, 에피폴라 영상 생성 그리고 영상정합에 대한 사전지식이 필요하다. 이들 중 에피폴라 영상생성은 중요한 인자이며 이에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 뿐만 아니라, IKONOS 위성영상으로부터 수치고도모형을 생성하는 연구는 다항식비례모형에 기반한 연구가 주로 이루어졌다.

이에 본 연구에서는 센서 독립적이면서 적은 수의 기준점만으로 센서모형화와 에피폴라 영상생성이 가능한 평행투영모형을 이용하여 수치고도모형을 생성하는 일련의 처리과정을 새롭게 제안하였다. 제안된 방법론은 IKONOS 위성영상을 이용하여 적용하고 평가하였다.

1. 서 론

고해상도 위성영상의 등장으로 인해 위성 영상으로부터 경제적이고 효과적으로 수치고도모형(DEM : Digital Elevation Model)을 생성할 수 있게 되었으며, 이를 위해 위성의 자세와 위치를 결정하는 센서모형화, 에피폴라(epipolar) 영상생성, 영상정합 및 형상정보추출(feature extraction) 등에 대한 연구가 선행되어야 한다. 국내에서도 자체 지구관측위성의 보유에 따라 센서모형화 기법에 대한 연구는 상당부분 진전이 되었으나 위성영상에서 수치표고모형을 생성하기 위

한 전처리(pre-processing) 단계의 에피폴라 영상생성에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

또한, 고해상도 위성영상으로부터 수치고도모형을 생성하는 연구는 주로 다항식비례모형에 기반한 연구가 주로 이루어졌으나, 본 연구에서는 센서 독립적이면서 적은 수의 기준점만으로 센서모형화와 에피폴라 영상생성이 가능한 평행투영(parallel projection)을 이용하여 수치고도모형을 생성하는 일련의 처리과정을 새롭게 제안하고자 한다.

2. IKONOS 위성의 센서모형화

2.1. IKONOS 위성의 촬영기하

위성의 센서모형화란 위성영상 내의 제 점간의 위치와 실제 공간의 상호관계를 규명하는 것으로 고해상도의 위성영상을 이용해 수치고도모형, 지도 및 정사영상을 제작하기 위해서는 필수적인 과정이라 할 수 있다. IKONOS 위성의 센서특성을 살펴보면 초점거리가 길고(약 10m) 촬영시야각(AFOV : Angular Field Of View)이 1° 미만으로 좁고 입체영상 취득은 대부분 앞뒤회전각(pitch angle)을 이용하고 있다(Gruen, 2000).

엄밀센서모형화를 위해서는 궤도매개변수, 렌즈왜곡 등 영상취득을 위한 매개변수가 필요하나 IKONOS의 경우는 물리적인 센서모형을 비공개하고 있기 때문에 위성의 센서정보를 사용하지 않는 다항식비례모형이 주로 이용되어 있다. 그러나 본 연구에서는 IKONOS 위성의 촬영기하 특성을 이용한 평행투영모형을 이용하여 센서모형화를 하였다(김의명 외 1인, 2004).

2.2 평행투영모형

평행투영모형에서 지상과 사진좌표와의 관계는 식 (1)과 같이 비선형식 또는 식 (2)와 같이 선형식으로 나타낼 수 있다(그림 1 참조).

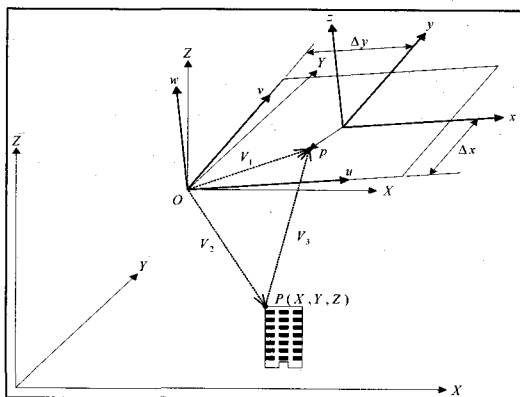


그림 1. 지상과 영상의 평행투영변환

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ 0 \end{pmatrix} = s\lambda M \begin{pmatrix} I \\ J \\ K \end{pmatrix} + sM \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서, x, y : 사진좌표

X, Y, Z : 지상좌표

s, λ : 축척계수

I, J, K : 단위투영벡터

$\Delta x, \Delta y$: 이동량

$$M = M_x M_\phi M_\omega$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \omega & \cos \omega \sin \omega + \sin \omega \sin \phi \cos \omega & \sin \omega \sin \omega - \cos \omega \sin \phi \cos \omega \\ -\cos \phi \sin \omega & \cos \omega \cos \omega - \sin \omega \sin \phi \sin \omega & \sin \omega \cos \omega + \cos \omega \sin \phi \sin \omega \\ \sin \phi & -\sin \omega \cos \phi & \cos \omega \cos \phi \end{bmatrix}$$

평행투영모형은 $(I, J, \omega, \phi, \omega, \Delta x, \Delta y, s)$ 의 8개의 매개변수를 이용하여 식 (1)과 같이 비선형식으로 나타낼 수 있으며 이를 선형식으로 나타내면 식 (2)와 같다(Okamoto 외 4인, 1998 and Ono, 1999).

$$\begin{aligned} x &= A_1 X + A_2 Y + A_3 Z + A_4 \\ y &= A_5 X + A_6 Y + A_7 Z + A_8 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,

$$\begin{aligned} A_1 &= s(m_{11} - m_{31}U) & A_5 &= s(m_{21} - m_{31}V) \\ A_2 &= s(m_{12} - m_{32}U) & A_6 &= s(m_{22} - m_{32}V) \\ A_3 &= s(m_{13} - m_{33}U) & A_7 &= s(m_{23} - m_{33}V) \\ A_4 &= \Delta x & A_8 &= \Delta y \end{aligned}$$

$$U = \frac{m_{11}I + m_{12}J + m_{13}K}{m_{31}I + m_{32}J + m_{33}K}$$

$$V = \frac{m_{21}I + m_{22}J + m_{23}K}{m_{31}I + m_{32}J + m_{33}K}$$

3. 위성영상을 이용한 에피폴라 영상 생성 및 영상정합

3.1 평행투영변환에 의한 에피폴라 영상 생성

항공사진뿐만 아니라 위성영상에서도 영상정합의 효율성과 정확도를 향상시키고 수치고도모형을 생성하기 위해서는 에피폴라 영상을 생성해야 한다. 에피폴라 영상은 y-시차가 소거된 영상을 의미하며 영상재배열을 통해 에피폴라 영상을 생성할 수 있으며 공역점이 동일한 행(row)에 존재하기 때문에 탐색공간을 2차원에서 1차원으로 줄일 수 있다. 에피폴라 영상은 다음과 같은 과정

을 통해 생성할 수 있다(Morgan 외 3인, 2004).

- 선형 평행투영식(식 2)과 영상 및 지상기 준점을 이용하여 ($A_1 \sim A_8$)를 결정한다.

- $A_1 \sim A_8$ 로부터 좌우영상의 평행투영계수 ($I, J, \omega, \phi, x, \Delta x, \Delta y, s$)를 결정한다.

- 좌우영상의 평행투영계수로부터 에피폴라 영상을 생성하기 위한 새로운 평행투영계수 ($I_n, J_n, \omega_n, \phi_n, x_n, \Delta x_n, \Delta y_n, s_n$)를 결정한다. 이 단계에서 평행투영계수는 공액점간의 y-시차는 소거되고 x-시차는 공액점간의 높이값에 비례하게 결정된다.

- 새롭게 결정된 평행투영계수를 이용하여 원영상으로부터 밝기값을 에피폴라 영상에 재배열 시킨다.

일반적으로 $s_n, \Delta x_n, \Delta y_n$ 값은 좌우영상의 평행변환 계수의 평균값으로 결정되며 영상의 투영벡터는 좌우영상에서 변하지 않도록 설정한다. 또한 회전각에 해당하는 x_n 값은 식 (3)과 같이 계산할 수 있고, 평행변환을 가정하였기 때문에 ω_n, ϕ_n 값은 0으로 가정할 수 있다.

$$x_n = \tan^{-1} \left(\frac{K_1 J_2 - J_1 K_2}{K_1 I_2 - I_1 K_2} \right) \quad (3)$$

여기서,

I_1, J_1, K_1 : 좌측영상의 단위투영벡터

I_2, J_2, K_2 : 우측영상의 단위투영벡터

3.2 영역기준정합

에피폴라 영상을 이용하여 영상정합을 수행할 때, 탐색영역의 크기는 기준영역의 크기와 동일하게 설정할 수 있으나 공액점간의 y-시차가 정확하게 0이 된다는 보장이 없기 때문에 탐색영역의 크기는 기준영역의 크기보다 다소 크게 설정하였다. 영역기준정합에서 정합점의 유사도는 상관계수법이나 최소제곱정합법을 이용하여 결정할 수 있으나 본 연구에서 사용된 영상은 동일한 위성에서 짧

은 시간에 관측한 영상으로 좌우 영상의 방사학적인 특성이 크게 차이가 나지 않는다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 상관계수법을 이용하여 영상정합을 수행하였으며 정합점의 신뢰도를 높이기 위하여 다음과 같은 방법을 제안하였다(Habib 외 3인, 2004).

- 에피폴라 영상에 대해 상관계수법을 이용하여 영상정합을 수행하여 정합후보점을 결정한다.

- 각각의 정합후보점을 대상으로 동심원으로 인접 정합후보점을 적절하게 검색하여 x-시차의 평균과 표준편차를 계산한다.

- 정합후보점에 대해

$$\frac{|P_x - \mu|}{\sigma} > \text{Thereshold}$$

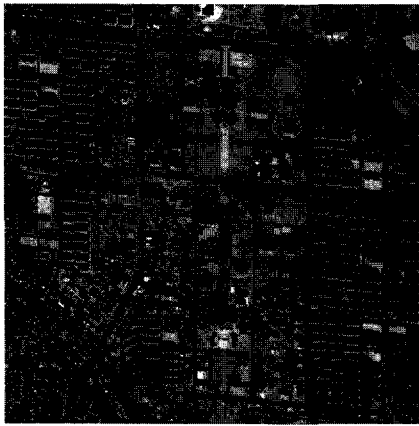
식을 적용하여 선택된 정합후보점의 x-시차(P_x)가 인접한 정합후보점과 크게 차이가 있을 경우 정합후보점을 오정합점으로 처리하여 정합의 신뢰도를 높인다

4. 실험 및 결과분석

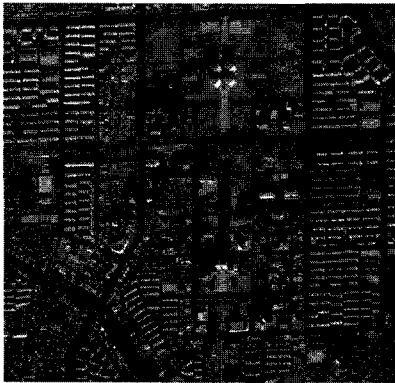
4.1 센서모형화

연구대상지역은 IKONOS 위성에서 취득된 좌우 원영상(13824행×13816열, 14336행×13816열)에서 2600행×2600열 크기로 대전 도심지역을 선정하였으며 그림 2와 같다. 지상기준점은 1:1000 수치지도에서 20점을 추출하여 10점을 기준점으로 사용하고 10점은 검사점으로 이용하였다.

지상기준점 및 검사점을 이용하여 평행투영모형에 의한 모델링 결과 기준점에 대한 XY, Z방향에 대해 평균제곱근오차는 각각 $\pm 0.728m$, $\pm 1.014m$ 로 나타났고 검사점에 대한 평균제곱근오차는 각각 $\pm 0.923m$, $\pm 1.304m$ 로 나타났다. 검사점의 평균제곱근오차로부터 대상지역에 대한 센서모형화는 1 영상소(pixel) 내외로 성공적으로 수행된 것을 알 수 있다.

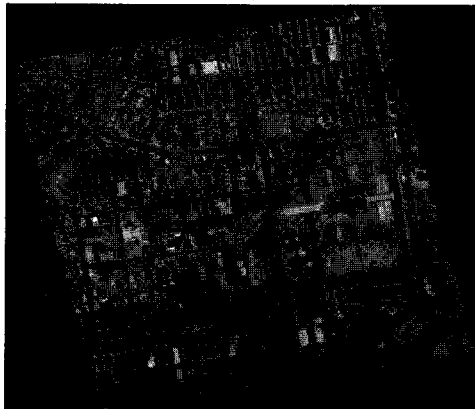


a. IKONOS 좌측영상

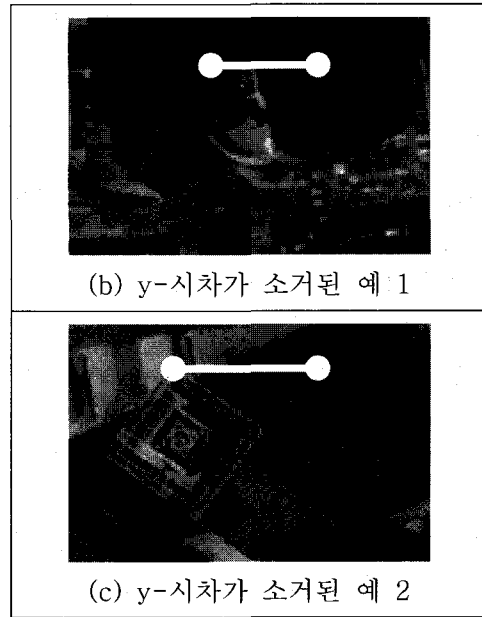


b. IKONOS 우측영상
그림 2. IKONOS 위성영상

그림 3은 평행변환을 이용하여 생성된 좌우 에피폴라 영상을 이용하여 입체시 영상을 만든 것으로 y-시차가 소거된 것을 알 수 있다.



(a) 입체시 영상



(b) y-시차가 소거된 예 1

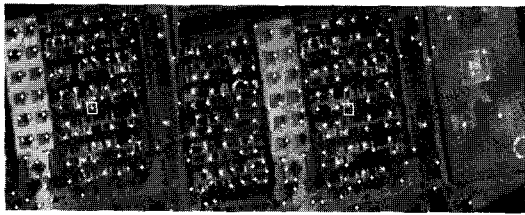
(c) y-시차가 소거된 예 2

그림 3. 평행변환을 이용하여 생성된 에피폴라 영상

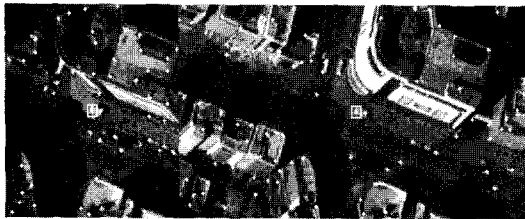
4.3 영상정합

그림 3의 에피폴라 영상에서 Förstner 연산자(operator)를 이용하여 특징점(distinct point)을 추출하고 11×11크기의 기준영역(template)을 이용하여 영상정합(image matching)을 수행하였다.

Förstner 연산자를 이용하여 좌우 영상에 대해 특징점을 추출한 후 좌측영상에서 추출된 특징점을 기준으로 우측영상에서 영상정합을 하였다. 영상정합은 상관계수정합법을 사용하였으며 상관계수값이 0.7 이상이 되는 점을 정합 후보점(candidate points)으로 하였으며, 정합 후보점을 대상으로 x-시차와 평균, 표준편차를 계산하여 $|x_{\text{시차}} - x_{\text{시차평균}}| > 1.5\sigma$ 이면 정합 후보점에서 제외시켰다. 그림 4는 특징점에 대한 영상정합의 예를 나타내는 것으로 도시지역에서도 영상정합이 성공적으로 수행된 것을 알 수 있다.



(a) 반복적인 패턴



(b) 도시지역

그림 4. 특징점에 대한 영상정합

4.4 수치고도모형 생성

이전단계에서 영상정합시 발생하는 오정합률을 낮추는 방법을 제안하였으며 또한 특징점을 이용하여 영상정합과정에 대한 검증은 거쳤으므로 좌우영상에서 4 영상소 간격으로 영상정합을 수행하여 수치고도모형을 생성하고자 하였다. 이를 위해 정합된 영상좌표를 공간전방교선법을 이용하여 3차원좌표를 결정한 후 크리깅(Kriging) 보간을 적용하여 그림 4와 같이 약 4m의 지상해상도를 갖는 수치고도모형을 생성하였다.

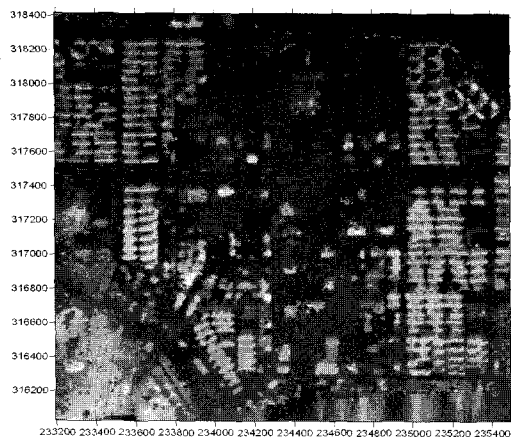


그림 5. 4m×4m로 생성된 수치고도모형

5. 결 론

본 연구는 평행투영변환을 이용하여 고해상도 위성영상에서 에피폴라 영상을 생성하고 영상정합을 거쳐 수치고도모형을 생성하는 일련의 과정을 제안한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 평행투영변환은 적은 수의 기준점으로도 센서모형화를 수행할 수 있을 뿐만 아니라 고해상도 위성영상으로부터 y-시차가 소거된 에피폴라 영상을 생성할 수 있다.

둘째, 정합후보점 주변의 y-시차, y-시차의 평균과 분산의 분석을 통해 정합성공률을 높이는 방법을 제안하였으며 이를 통해 오정합점을 제거할 수 있었다.

셋째, 수치고도모형은 일정한 간격으로 영상정합된 정합점을 이용하여 지상좌표를 결정한 후 이를 보간하여 생성하였다. 생성된 수치고도모형은 향후 정사영상 생성 및 도시지역의 공간분석에 활용할 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

1. 김의명, 정원조 (2004), "영상좌표 보정을 통한 SPOT 위성영상의 모형화 개선", 대한토목학회논문집, 제24권 4D호, 641-648.
2. Gruen, A. (2000), Potential and limitations of highresolution satellite imagery, 21st Asian Conference on Remote Sensing, Taipei, 4-8 December, Keynote Presentation : http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/AG_pub/Potential_Asian_conf_2000.pdf

3. Habib, A., E. M. Kim, M. Morgan, I. Couloigner (2004), "DEM Generation from High Resolution Satellite Imagery Using Parallel Projection Model", XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, Commission 1, TS: HRS DEM Generation from SPOT-5 HRS Data, 393-398.
4. Morgan, M., K. Kim, S. Jeong, A. Habib (2004), Indirect Epipolar Resampling of Scenes Using Parallel Projection Modelling of Linear Array Scanners, XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, PS WG III/1: Sensor Pose Estimation, 58-63.
5. Ono, T., (1999), Epipolar Resampling of High Resolution Satellite Imagery, IAPRS International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (Sensors and Mapping from Space)
6. 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.