

시뮬레이션 자료를 이용한 고해상도 인공위성자료의 정확도 분석

Analysis for Accuracy of High Resolution Satellite Data Using Simulation data

서두천¹⁾ · 이동한²⁾ · 박수영³⁾ · 송정현⁴⁾ · 임효숙⁵⁾

Doo-Chun Seo · Dong-Han Lee · Su-Young Park · Jeong-Heon Song · Hyo-Suk Lim

- 1) 한국항공우주연구원 우주응용센터 원격탐사그룹 선임연구원 (E-mail: dcivil@kari.re.kr)
- 2) 한국항공우주연구원 우주응용센터 원격탐사그룹 선임연구원 (E-mail: dhlee@kari.re.kr)
- 3) 한국항공우주연구원 우주응용센터 원격탐사그룹 연구원 (E-mail: sypark@kari.re.kr)
- 4) 한국항공우주연구원 우주응용센터 원격탐사그룹 연구원 (E-mail: newsong@kari.re.kr)
- 5) 한국항공우주연구원 우주응용센터 원격탐사그룹 책임연구원 (E-mail: hslim@kari.re.kr)

Abstract

With the increasing availability of high-resolution satellite imagery, the demand for ortho-rectified products will also be growing. High-resolution of the imagery (up to 1m) the desired accuracy of the ortho-rectification is more sensitive to a number of factors, including satellite position, velocity, internal sensor error (specifically, misalignment, lens distortion, etc.), sensor modeling, relief displacement and matching error, etc.

The main objective of this study is to analysis the accuracy of high resolution satellite data using simulation data.

1. 서 론

고해상도 인공위성자료를 이용하여 정량적, 정성적 정보를 추출하고 이를 바탕으로 지도제작, 토지피복도, 도시계획도, 시설물관리 등의 GIS 기본 자료로 활용하기 위해서는 인공위성 자료를 다양한 방법과 알고리즘을 적용하여 정사보정된 영상으로 생성하여야 한다. 인공위성자료를 정사보정하기 위해서는 위성시스템 레벨에서 발생하는 위성 위치, 속도, 자세, 위성체 내부의 각 센서들 간의 misalignment, 렌즈 왜곡 등의 보정, 센서 모델링 오차, 지상의 지형/지물의 표고에 의해 발생하는 기복변화, 영상 매칭 오차 등을 보정하여야 한다. 또한 보정된 영상을 이용하여, 실제 지상의 3차원 좌표를 결정하기 위해서는 공선조건식을 기반으로 하는 공간교차이론 등이 적용된다.

본 연구는 고해상도 인공위성으로부터 지상기준점이 없이, 지상 3차원좌표 결정 정확도 향상을 위해 시뮬레이션 자료를 활용하여 다중입체영상을 적용할 경우, 정확도의 향상 정도를 살펴보고자 한다.

2. 시뮬레이션 조건 결정

시뮬레이션의 결과에 대한 신뢰도는 실제 데이터에 얼마나 적합하게 데이터를 생성하는가에 의해 결정된다. 본 연구에서는 다목적실용위성 2호의 궤도, 카메라 특성을 기본으로 시뮬레이션 조건을 생성하였다.

표 1. 시뮬레이션 데이터 생성을 위한 기본 매개변수

Items	Value	Items	Value
Altitude	685km	Focal length	9000mm
Eccentricity	0.001	CCD size	13 μ m \times 13 μ m
Inclination	98.13°	No of pixel	15,000 pixels
Satellite Position deviation	1m ~ 30m	Tilting Angle	0°~30°
Satellite Attitude deviation	0 arc sec ~ 10 arc sec	Terrain point deviation	20m

3. 실험 및 평가

3.1 단 영상의 지상좌표 결정 정확도 분석

그림 1은 단영상의 경우 지상의 좌표를 결정하는 형태를 표현한 것이다. 이 경우 지상의 좌표는 위성의 경사각 roll각, pitch각에 의해 결정된다. 그림 1에서 나타낸 것처럼 지상 임의점에 대한 수평좌표 X_P 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_P &= X_c + \Delta X = X_c + \Delta Z \cdot \tan \omega \\ &= X_c + (Z_C - Z_{Terrain}) \tan \omega \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)을 오차 전파법칙에 따라 표현하여 수평정확도를 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \sigma_{X_P}^2 &= \left(\frac{\delta X_P}{\delta X_C}\right)^2 \sigma_{X_C}^2 + \left(\frac{\delta X_P}{\delta Z_C}\right)^2 \sigma_{Z_C}^2 + \left(\frac{\delta X_P}{\delta \omega}\right)^2 \sigma_{\omega}^2 + \left(\frac{\delta X_P}{\delta Z_{Terrain}}\right)^2 \sigma_{Z_{Terrain}}^2 \\ &= \sigma_{X_C}^2 + \tan^2 \omega \cdot \sigma_{Z_C}^2 + \left(\frac{\Delta Z}{\cos^2 \omega}\right)^2 \sigma_{\omega}^2 + \tan^2 \omega \cdot \sigma_{Z_{Terrain}}^2 \end{aligned} \quad (2)$$

식(2)를 기본으로 단영상의 지상좌표 결정 정확도 평가를 위해, 표 1의 시뮬레이션 기본 매개변수를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하여, 그 정확도를 계산하면 그림 2와 같다.

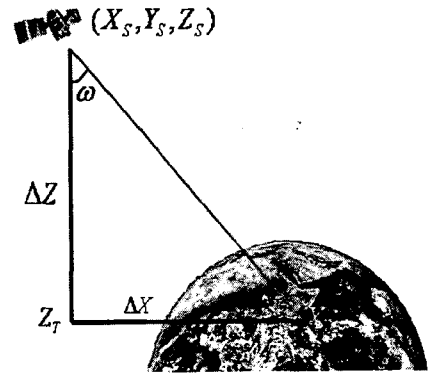


그림 1. 단영상의 지상좌표결정

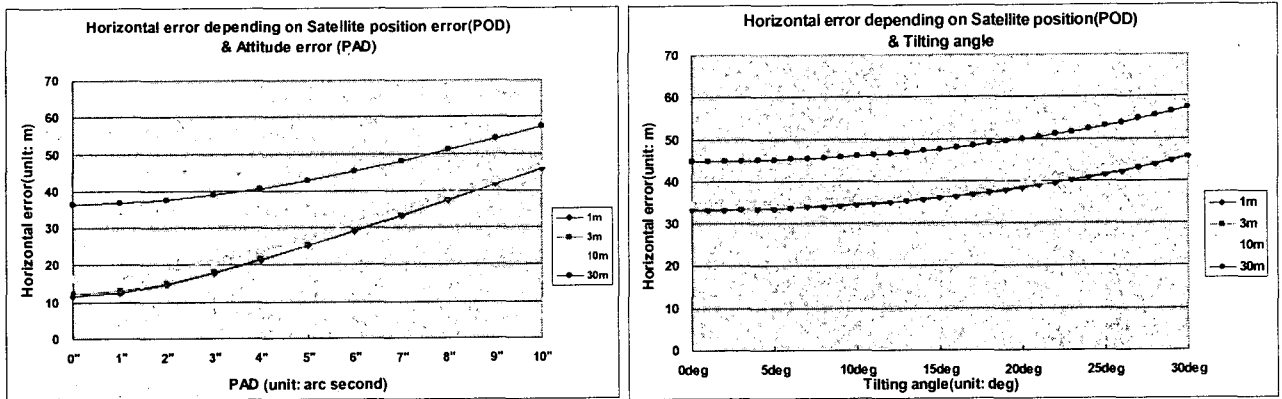


그림 2. 단 영상의 정확도 분석

그림 2에서 왼쪽 그림은 위성의 자세 정확도가 0 arc second에서 10 arc second로 변화함에 따라, 위성의 위치 정확도가 각각 1m, 3m, 10m 및 30m 인 경우를 나타낸 것이다. 오른쪽 그림은 위성의 자세 정확도가 10 arc second인 경우 위성의 경사각을 30도까지 변화 할 때의 정확도를 분석한 것이다. 이 결과를 보면 위성의 위치 정확도는 자세 정확도에 비해 지상좌표 결정에 영향이 작으며, 3m 이하인 경우에는 그 영향이 적음을 알 수 있다.

3.2 입체영상의 지상좌표 결정 정확도 분석

두 장의 입체사진을 이용하여 지상좌표를 결정하는 방법은 동일한 지상점을 대상으로 촬영한 두 사진상의 동일 영상점은 한점에서 만나야 한다. 그러나 실제 위성의 자세와 위치 오차, 영상 판독오차 등의 다양한 원인에 의해 지상의 점은 만나지 않으므로, 그림 3과 같은 최단 거리벡터를 계산하여 지상의 3차원 위치를 결정한다.

$$d = \begin{pmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{pmatrix} = a_1 \times a_2, \quad B = \lambda_1 a_1 + kd - \lambda_2 a_2$$

$$P = L_1 + \lambda_1 a_1 + \frac{1}{2} kd \Rightarrow \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{L1} \\ Y_{L1} \\ Z_{L1} \end{pmatrix} + \lambda_1 \begin{pmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \end{pmatrix} + \frac{1}{2} k \begin{pmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{pmatrix} \quad (3)$$

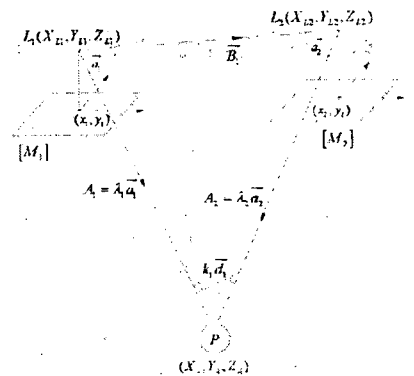


그림 3. 공간교차 이론

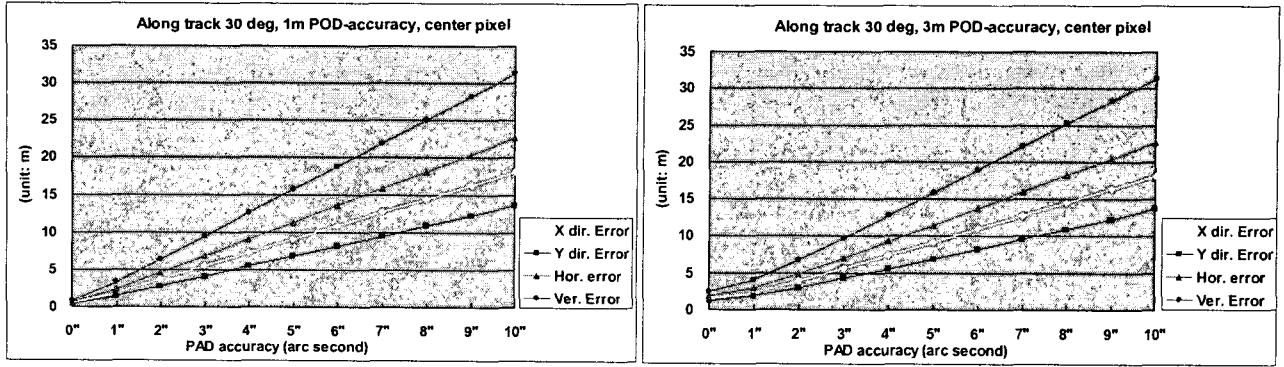


그림 4. 입체사진의 정확도 분석(Along track 방향)

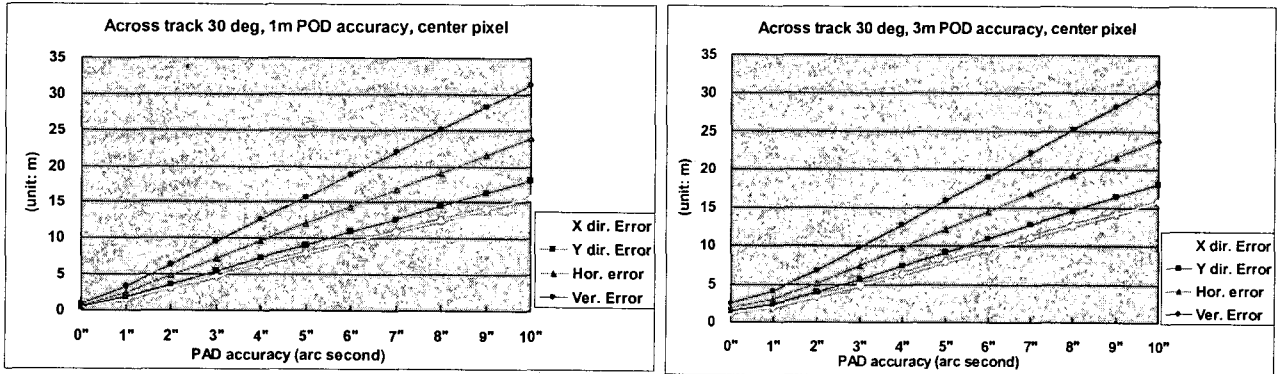


그림 5. 입체사진의 정확도 분석(Across track 방향)

표 1의 시뮬레이션 매개변수를 바탕으로, 두 장의 입체사진의 경우 발생하는 총 시뮬레이션의 조건은 왼쪽 영상의 위치와 자세에 각 6개, 오른쪽 영상의 위치와 자세 6개의 총 1,296개의 경우의 수가 나온다. 그림 4는 1,296개의 경우를 각각에 대해 지상좌표를 계산한 후, 전체 오차항의 표준편차를 계산하여 그림으로 나타낸 것이다. 위의 그림2와 그림 4의 결과를 보면 두 장의 영상의 경우 약 2배정도의 정확도의 향상이 있음을 알 수 있다.

3.3 다중입체영상의 지상좌표 결정 정확도 분석

3장 이상의 다중 입체영상인 경우, 지상 3차원 좌표를 결정하기 위해 공선조건식을 기본으로 최소제곱법을 적용하였다.

$$\begin{aligned}
 x_a &= x_o - f \left(\frac{m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)} \right) \\
 y_a &= y_o - f \left(\frac{m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)} \right) \quad (4)
 \end{aligned}$$

식(4)를 Taylor 이론에 따라 선형화 하면

$$\begin{aligned}
 F_o + \left(\frac{\sigma F}{\sigma X_A} \right)_o dX_A + \left(\frac{\sigma F}{\sigma Y_A} \right)_o dY_A + \left(\frac{\sigma F}{\sigma Z_A} \right)_o dZ_A &= x_a \\
 G_o + \left(\frac{\sigma G}{\sigma X_A} \right)_o dX_A + \left(\frac{\sigma G}{\sigma Y_A} \right)_o dY_A + \left(\frac{\sigma G}{\sigma Z_A} \right)_o dZ_A &= y_a \quad (5)
 \end{aligned}$$

식(5)를 행렬 형태로 나타내면

$$\begin{pmatrix} b_{14} & b_{15} & b_{16} \\ b_{24} & b_{25} & b_{26} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dX_A \\ dY_A \\ dZ_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} J \\ K \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \nu_{xa} \\ \nu_{ya} \end{pmatrix}$$

$$\begin{matrix} B & \cdot & \Delta & = & \epsilon & + & V \\ (2,3) & & (3,1) & & (2,1) & & (2,1) \end{matrix} \quad (6)$$

지상좌표는 다음과 같이 결정된다.

$$\Delta = (B^T \cdot B)^{-1} (B^T \cdot \epsilon) \quad (7)$$

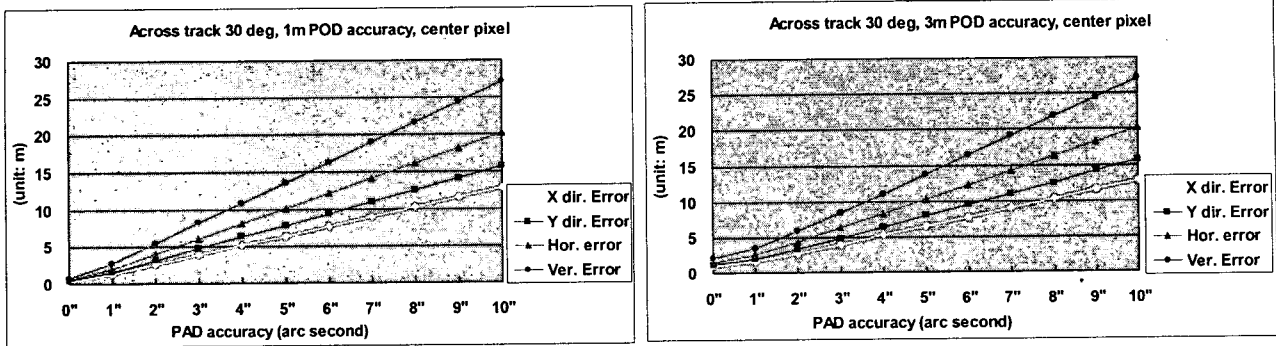


그림 6. 다중입체사진의 정확도 분석(3장 영상, Across track 방향)

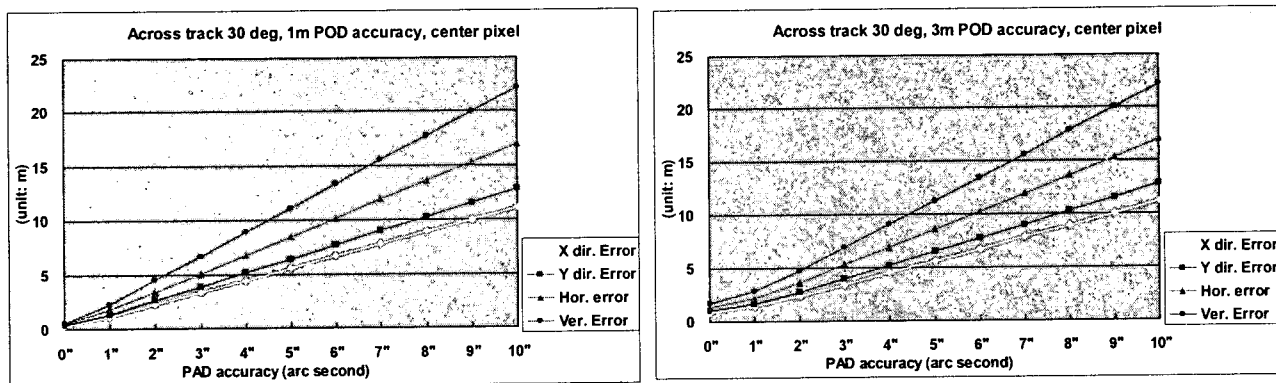


그림 7. 다중입체사진의 정확도 분석(4장 영상, Across track 방향)

그림 6은 3장의 영상을 사용한 경우로서, 시뮬레이션에 사용된 총 경우의 수는 46,656개이며, 그림 7은 4장의 영상을 사용한 경우로 총 경우의 수는 1,679,616개이다. 그림 6과 그림 7의 정확도는 전체 경우의 수에 대한 표준편차를 나타 것이다. 2장의 영상의 경우보다 3장의 영상인 약 4m, 8m 정도 정확도가 향상됨을 알 수 있으며, 3장에 비해 4장도 약 4m, 8m 정도의 정확도가 향상이 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 기준점 없이, 위성의 보조 데이터에서 제공되는 위치와 자세 오차에 따라, 지상좌표의 결정 정확도를 시뮬레이션 자료를 이용하여 그 결과를 평가 하였다. 그 결과, 약 4장 정도의 영상을 이용할 경우, 우리나라 공공지도의 1:50,000의 지도를 수정/보완 할 수 있는 영상지도를 제작 할 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- J. C. McGlone(2004), Manual of Photogrammetry 5th Edition, ASPRS
- Mikhail, E. M. and Bethel, J. S. (2001), Introduction to modern photogrammetry, John Wiley & Sons, New York, pp. 95-106.