

다목적실용위성2호 센서모델링 및 기하정확도 분석

KOMPSAT-2 Direct Sensor Modeling and Geometric Accuracy Analysis

서두천¹⁾·김문규²⁾·이동한³⁾·송정현⁴⁾·박수영⁵⁾·임효숙⁶⁾·안기원⁷⁾·이효성⁸⁾

Doo-Chun Seo, Moon-Gyu Kim, Dong-Han Lee, Jeong-Heon Song, Su-Young Park, Hyo-Suk Lim

- 1) 한국항공우주연구원 우주응용센터 위성정보처리팀 선임연구원 (E-mail: dcivil@kari.re.kr)
- 2) Satreci 지상시스템 사업부 Project Manager (E-mail: mgkim@satreci.com)
- 3) 한국항공우주연구원 우주응용센터 위성정보처리팀 선임연구원 (E-mail: dhlee@kari.re.kr)
- 4) 한국항공우주연구원 우주응용센터 위성정보처리팀 연구원 (E-mail: newsong@kari.re.kr)
- 5) 한국항공우주연구원 우주응용센터 위성정보처리팀 연구원 (E-mail: sypark@kari.re.kr)
- 6) 한국항공우주연구원 우주응용센터 위성정보처리팀 책임연구원 (E-mail: hslim@kari.re.kr)
- 7) 경상대학교 토목공학과 정교수 (E-mail: kwahn@gsnu.ac.kr)
- 8) 순천대학교 토목공학과 조교수 (E-mail: hsleeim@sunchon.ac.kr)

Abstract

The horizontal geo-location accuracy of KOMPSAT-2, without GCPs (Ground Control Points) is 80 meters CE90 for monoscopic image of up to 26 degrees off-nadir angle, after processing including POD (Precise Orbit Determination), PAD(Precise Attitude Determination) and AOCS (Attitude and Orbit Control Subsystem) sensor calibration. In case of multiple stereo images, without GCPs, the vertical geometric accuracy is less than 22.4 meters LE 90 and the horizontal geometric accuracy is less than 25.4 meters.

There are two types of sensor model for KOMPSAT-2, direct sensor model and Rational Function Model (RFM). In general, a sensor model relates object coordinates to image coordinates

The major objective of this investigation is to check and verify the geometrical performance when initial KOMPSAT-2 images are employed and briefly introduce the sensor model of KOMPSAT-2.

1. 서 론

다목적실용위성 2호의 기하정확도 설계요구사항은 기준점을 사용하지 않는 경우, 정밀자세데이터, 정밀 위치데이터, AOCS 정보등을 이용하여 80(CE90)미터를 만족시키도록 요구하고 있으며, 다중입체영상의 경우는 수평 25.4미터(CE90), 수직 22.4미터(LE90)이다. 다목적실용위성 2호의 지상기준점을 결정하는 방법은 크게, 위성의 데이터를 이용하는 KOMPSAT-2 Direct Sensor Model과 이를 기반으로 생산되는 RFM 두 가지가 있다. 본 연구에서는 이러한 다목적위성 2호의 기하정확도 결과를 설명하고자 한다.

2. 센서모델링

기준점을 사용하지 않고, 위성자료로부터 지상좌표를 결정하기 위해서는, 자세데이터, 위치/속도데이터에 포함되어 있는 계통적 오차를 제거하여야 한다. 이러한 계통적 오차는 크게 위성 센서들 사이에 존재하는 mis-alignment angle, thermal 오차, time delay 오차 등을 제거하여야 한다. 이를 위해 다목적실용위성 2호는 GPS, Star, Gyro등의 센서로부터 측정된 데이터를 보정하여 자세, 위치, 속도데이터를 생성한다. 이를 POD, PAD 데이터라 정의한다.

2.1 Direct Sensor Model

KOMPSAT-2 MSC 영상좌표로부터 지상3차원 좌표를 결정하기 위해서는 총 7개의 단계의 좌표변환이 수행되며, 각 단계마다의 좌표 변환은 위치, 속도, 자세, mis-alignment angle이 적용되어야 한다. 아래의 그림은 좌표변화 흐름을 나타낸 것이다.

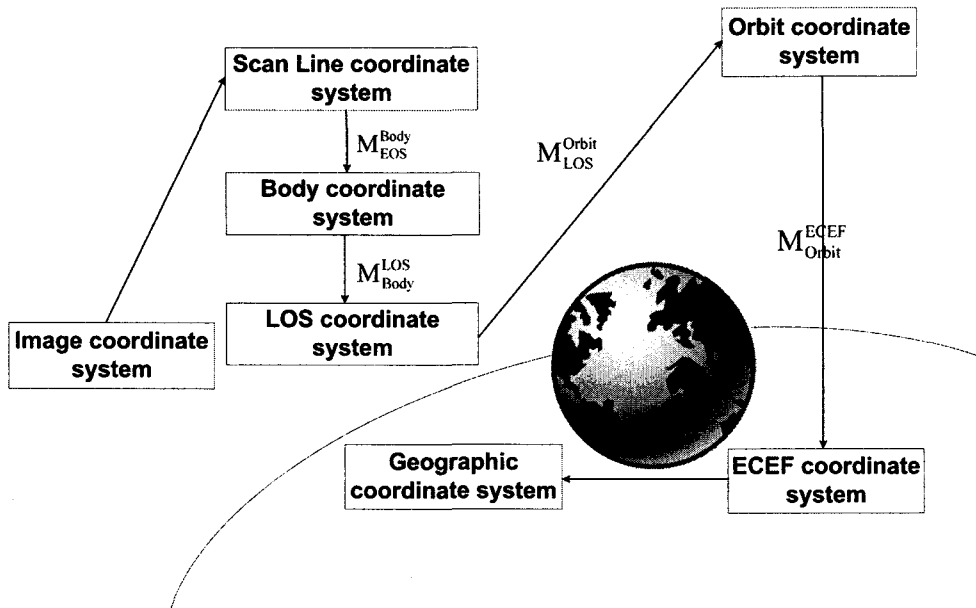


그림 1. KOMPSAT-2 Direct Sensor Modeling

임의의 영상좌표(u,v)에서 지상좌표의 계산은 다음의 식과 같다.

$$\begin{bmatrix} X - X_S \\ Y - Y_S \\ Z - Z_S \end{bmatrix} = k \cdot M_{Orbit}^{ECEF} \cdot M_{LOS}^{Orbit} \cdot M_{Body}^{LOS} \cdot M_{AL}^{Body} \cdot M_{EOS}^{AL} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

여기서,

M_{Orbit}^{ECEF} : from Orbit Coordinate System to ECEF

M_{LOS}^{Orbit} : from LOS Coordinate System to Orbit Coordinate System

M_{Body}^{LOS} : from Body Coordinate System to LOS Coordinate System

M_{AL}^{Body} : from EOS cube #1 & #2 Coordinate System to Body Coordinate System

M_{EOS}^{AL} : from EOS Coordinate System to EOS cube #1 & #2 Coordinate System

$[x, y, z]^T$: Scan line coordinate

$[X_S, Y_S, Z_S]^T$: Satellite position

$[X, Y, Z]^T$: 3-D Ground coordinate

k : scale factor

2.2 RFM

RFM은 촬영 대상공간상에 존재하는 지형지물의 3차원좌표와 이에 대응하는 영상좌표간의 기하학적인 관계를 비례다항식의 형태로 표현하는 모델이다. 이 모델은 2차원 평면내에서 좌표변형에 사용되는

고차다항식을 기본방정식으로 개발된 모델로서, 지상 3차원 좌표(X,Y,Z)와 이에 대응하는 영상좌표(r, c)를 비례다항식 형태로 표현하면 식(1)과 같다.

$$r_n = \frac{P1(X_n, Y_n, Z_n)}{P2(X_n, Y_n, Z_n)} \quad c_n = \frac{P3(X_n, Y_n, Z_n)}{P4(X_n, Y_n, Z_n)} \quad (1)$$

위의 식(1)에서 지상좌표(X, Y, Z)와 영상좌표(r, c)는 수학적 안정성을 높이기 위해 -1.0과 1.0사이의 좌표값으로 정규화 시켜 사용하며, 정규화의 방법은 식(2)와 같다.

$$r_n = \frac{r-r_o}{r_s}, \quad c_n = \frac{c-c_o}{c_s}, \quad X_n = \frac{X-X_o}{X_s}, \quad Y_n = \frac{Y-Y_o}{Y_s}, \quad Z_n = \frac{Z-Z_o}{Z_s} \quad (2)$$

여기서, r_o, c_o, X_o, Y_o, Z_o 와 r_s, c_s, X_s, Y_s, Z_s 는 사용된 영상과 지상의 기준점 좌표로부터 계산되는 offset과 scale factor로 식(3)과 같이 계산된다.

$$r_o = \frac{r_{max} + r_{min}}{2} \quad r_s = \frac{r_{max} - r_{min}}{2} \quad (3)$$

$$c_o = \frac{c_{max} + c_{min}}{2} \quad c_s = \frac{c_{max} - c_{min}}{2}$$

$$X_o = \frac{X_{max} + X_{min}}{2} \quad X_s = \frac{X_{max} - X_{min}}{2}$$

$$Y_o = \frac{Y_{max} + Y_{min}}{2} \quad Y_s = \frac{Y_{max} - Y_{min}}{2}$$

$$Z_s = \frac{Z_{max} - Z_{min}}{2} \quad Z_o = \frac{Z_{max} + Z_{min}}{2}$$

RFM을 구성하는 다항식인 P1, P2, P3 및 P4는 일반적으로 최대 3차항까지로 제한되며 이들 다항식의 구성방식은 식(4) 및 식(5)와 같다.

$$P(X, Y, Z) = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^i \sum_{k=0}^j a_n X^i Y^j Z^k \quad (4)$$

$$P(X, Y, Z) = a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4 X^2 + a_5 XY + a_6 XZ + a_7 Y^2 + a_8 YZ + a_9 Z^2 + a_{10} X^3 + a_{11} X^2 Y + a_{12} X^2 Z + a_{13} XY^2 + a_{14} XYZ + a_{15} XZ^2 + a_{16} Y^3 + a_{17} Y^2 Z + a_{18} YZ^2 + a_{19} Z^3 \quad (5)$$

여기서, N 은 다항식 차수, a_n 은 RPC 나타내며 아래첨자인 n 은 $n = \frac{i \cdot (i+1) \cdot (i+2)}{6} + \frac{j \cdot (j+1)}{2} + k$ 로 정의된다. 그러므로 각 다항식 계수의 총 개수는 $\frac{(N+1)(n+2) + (n+3)}{6}$ 이다. 예를 들어 N 이 3인 경우에는 3

차다항식을 형성하게 되는데 이때 분자항 계수는 20개, 분모항 계수는 상수 1을 제외한 19개로 이루어지므로 총 39개의 계수가 존재하게 된다.

RPC를 구성하는 각 차수항중 1차항 계수는 투영왜곡, 2차항 계수는 지구곡률, 대기굴절, 렌즈왜곡 그리고 3차항 계수는 이들 이외의 나머지 왜곡들을 보정하며, 된다.

3. 기하정확도 평가 및 분석

다목적실용위성의 지상기준점의 사용없이 기하정확도를 평가하기 위해 총 31개 영상에 대하여 정확도를 평가하였다. 31개의 영상의 취득 위치는 그림 2와 같으며, 경사각의 변화는 +25도에서 -20도이다.

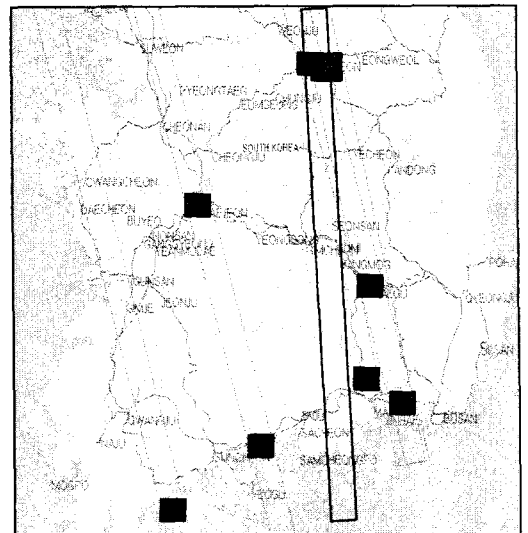


그림 2. Test area

표 1 다목적실용위성 2호 기하정확도

(unit:m)

No	Orbit #	Date	Roll tilting	KGRS	RMSE X	RMSE Y	RMSE XY	CE90
1	2962	2007-02-16	25.327	1077-1275	35.62	15.61	38.89	59.02
2	2991	2007-02-18	3.321	1092-1275	17.19	18.78	25.46	38.63
3	3035	2007-02-21	20.284	1076-1258	24.05	14.81	28.24	42.86
4	3035	2007-02-21	20.285	1077-1264	19.54	18.36	26.81	40.68
5	3035	2007-02-21	20.285	1077-1268	3.54	14.77	15.19	23.05
6	3035	2007-02-21	20.285	1077-1275	22.28	15.13	26.93	40.87
7	3064	2007-02-23	-16.598	1076-1258	43.05	5.05	43.34	65.78
8	3064	2007-02-23	-16.598	1076-1264	36.07	12.82	38.28	58.09
9	3064	2007-02-23	-16.599	1076-1267	24.87	9.99	26.80	40.67
10	3064	2007-02-23	-16.599	1076-1269	20.89	12.25	24.22	36.75
11	3064	2007-02-23	-16.600	1076-1275	32.34	9.45	33.70	51.13
12	3108	2007-02-26	14.902	1076-1258	16.49	23.98	29.10	44.17
13	3108	2007-02-26	14.902	1077-1264	6.15	25.76	26.49	40.19
14	3108	2007-02-26	14.902	1077-1268	11.70	25.77	28.30	42.94
15	3108	2007-02-26	14.902	1077-1269	16.07	28.40	32.63	49.51
16	3108	2007-02-26	14.902	1077-1275	10.08	19.88	22.28	33.82
17	3137	2007-02-28	-21.302	1076-1267	6.86	15.74	17.17	26.05
18	3137	2007-02-28	-21.303	1076-1269	9.13	14.33	16.99	25.78
19	3137	2007-02-28	-21.303	1076-1275	21.19	18.31	28.01	42.50
20	3137	2007-02-28	-21.301	1077-1258	23.04	16.55	28.37	43.05
21	3137	2007-02-28	-21.302	1077-1264	19.52	19.48	27.58	41.85
22	3254	2007-03-08	-0.130	1076-1258	28.76	22.26	36.37	55.19
23	3254	2007-03-08	-0.132	1076-1264	19.48	28.11	34.20	51.90
24	3254	2007-03-08	-0.133	1076-1267	14.34	30.01	33.26	50.47
25	3254	2007-03-08	3.418	1076-1269	18.44	31.70	36.68	55.66
26	3254	2007-03-08	3.418	1076-1275	14.46	29.02	32.42	49.20
27	3327	2007-03-08	-2.381	1076-1258	18.32	34.47	39.04	59.24
28	3327	2007-03-08	-2.381	1076-1264	20.97	32.27	38.49	58.41
29	3327	2007-03-08	-2.381	1076-1267	15.52	31.88	35.46	53.81
30	3327	2007-03-08	-2.382	1076-1269	18.20	31.47	36.35	55.16
31	3327	2007-03-08	-2.382	1076-1275	14.30	32.27	35.30	53.56
Average					19.81	19.09	29.14	44.22

4. 결 론

본 연구는 다목적실용위성 2호의 기하정확도 설계요구사항, 기준점을 사용하지 않는 경우, 정밀자세 데이터, 정밀위치데이터, AOCS 정보등을 이용하여 80(CE90)미터를 만족 여부를 평가하기 위해 총 31개의 영상데이터에 대해 기하정확도를 살펴보았다. 그 결과 기준점을 사용하지 않고, 위성 보조데이터만을 사용한 경우 평균 45m(CE90)의 기하정확도를 보유하고 있음을 알 수 있었다. 그러나 다른 해외지역의 기하정확도를 평가하기 위해서는 해외지역의 지상기준점이 존재하여야 한다. 현재 해외 지상기준점이 수집되면 다른 타 지역의 정확도를 평가할 수 있을 뿐만 아니라, 위성의 orbital angle에 따른 검보정 작업도 수행될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

이동한, 서두천, 송정현, 박수영, 임효숙(2007), 아리랑위성 2호 발사후 검보정, 2007 원격탐사학회 춘계학술대회 논문집, pp. 29-31