

# 방위각 고정 기법을 이용한 개선된 Tracking Parameter File 생성 방법

전문진\*, 김응현\*\*, 임성빈\*\*\*

## An Improved Tracking Parameter File Generation Method using Azimuth Fixing Method

Moon-Jin Jeon\*, Eunghyun Kim\*\*, Seong-Bin Lim\*\*\*

### Abstract

A LEO satellite transmits recorded images to a ground station using an X-band antenna during contact. The X-band antenna points to the ground station according to a TPF (tracking parameter file) during communication time. A TPF generation software generates azimuth and elevation profile which make the antenna point to the ground station using satellite orbit and attitude information and mission information including recording and downlink operation. When the satellite passes above the ground station, azimuth velocity increases rapidly so that jitter may occur if the azimuth velocity is in specific range. In case of realtime mission in which the satellite perform recording and downlink simultaneously, azimuth velocity must be lower than specific value to prevent image blur due to jitter effect. The method to point one virtual ground station has limitation of azimuth velocity reduction. In this paper, we propose the azimuth fixing method to reduce azimuth velocity of X-band antenna. The experimental results show that azimuth velocity of the X-band antenna is remarkably reduced using proposed method.

### 초 록

저궤도 위성은 지상국과의 접속 중에 X-band 안테나를 이용해 촬영한 영상을 전송한다. X-band 안테나는 교신 시간 동안 TPF (tracking parameter file)에 따라 움직이며 지상국의 안테나를 지속적으로 지향한다. TPF 생성 소프트웨어는 위성의 궤도 및 자세 정보와 촬영 및 다운링크 임무 정보를 이용해 X-band 안테나가 지상국을 지향하도록 하는 Azimuth, Elevation 정보를 생성한다. 위성이 지상국 상공을 지나가는 경우 X-band 안테나 특성 상 방위각 속도가 급격하게 증가하며, 특정 각속도로 회전하는 경우 위성의 지터를 유발할 수 있다. 영상촬영과 다운링크를 동시에 수행하는 실시간 임무의 경우 지터에 의한 영상 열화를 방지하기 위해 Azimuth 각속도를 일정 수준 이하로 낮춰야 한다. 현재 사용하는 방법인 한 점의 가상 지상국을 지향하는 방법으로는 각속도를 낮추는데 한계가 있다. 이 논문에서는 방위각 고정 기법을 이용해 X-band 안테나의 Azimuth 각속도를 낮추는 방법을 제안한다. 시뮬레이션 결과는 제안된 방법을 이용해 방위각 속도가 현저하게 감소함을 나타낸다.

키워드 : 인공위성 (satellite), 방위각 속도(azimuth velocity), 안테나(antenna), 지터(jitter), 지상국 (ground station)

접수일(2013년 7월 31일), 수정일(1차 2013년 10월 17일), 게재 확정일(2013년 11월 1일)

\* 다목적실용위성3A호체계팀/mijeon@kari.re.kr

\*\* 다목적실용위성3A호체계팀/ekim@kari.re.kr

\*\*\* 다목적실용위성3A호체계팀/sblim@kari.re.kr

## 1. 서 론

TPF Generation SW는 다운링크 구간의 위성의 궤도 정보, 자세 정보, 촬영 및 다운링크 임무 정보를 이용해 X-band 안테나의 Azimuth, Elevation angle profile을 계산한다[1]. X-band 안테나는 2축 짐벌 형태로 Azimuth는 360° 회전이 가능하며, Elevation은 15° ~ 145° 사이에서 움직인다. 위성이 지상국 상공을 지나가며 긴 시간 동안의 영상 촬영과 다운링크 임무를 동시에 수행하는 strip imaging realtime 임무를 수행할 경우, Azimuth 각속도는 위성이 지상국 상공을 지나칠 때 급격하게 증가하게 된다. Azimuth 각속도가 특정한 값이 될 경우 위성체의 미소 진동이 Jitter를 유발해 영상 품질이 저하될 수 있다.[2] 위성체 설계 단계에서 미소 진동의 영향이 파악되어, Jitter 회피를 위한 구조적인 특성 변경을 시도할 수 있다. 기계적으로 Jitter 문제를 회피할 수 없는 경우에는 영상 특성 분석을 통해 파악된 Jitter 특성에 따라 안테나의 움직임을 적절히 제한하는 방법이 필요하다. Pleiades 위성의 경우 별촬영 영상을 이용해 미소 진동이 영상에 미치는 영향을 분석했다.[3] 현재 운용 중인 저궤도 위성의 경우 지상 촬영 영상에서도 Jitter의 영향이 현저하게 발생했으며, Jitter가 발생한 각속도는 1.9~2.0 deg/sec으로 이보다 작은 각속도로 Azimuth의 움직임을 제한하기 위한 방법이 연구되어 왔다.

간단한 방법으로 X-band 안테나가 실제 지상국을 지향하지 않고, 유효 빔폭을 만족하는 범위에서 가상의 지상국을 지향하는 방법이다[4]. 마진을 포함해 220Km 떨어진 가상 지상국으로 Off-Pointing 할 경우 Azimuth 각속도는 약 1.98 deg/sec까지 감소하게 된다. 그러나 이 정도의 각속도로는 Jitter의 영향을 제거할 수 없다. Azimuth 각속도를 더 감소시킬 수 있는 방법은 크게 다음과 같이 나눌 수 있다.

1) Off-Pointing을 더 늘려서 더 먼 거리의 가상 지상국을 지향하는 방법

300 Km 떨어진 가상 지상국을 지향할 경우 1.45 deg/sec 까지 감소할 수 있다. 그러나 유효 빔폭의 마진이 매우 감소하기 때문에 다운링크 신호 세기가 감소해 영상 수신에 영향을 줄 수 있다.

2) 하나의 가상 지상국만 지향하는 것이 아니고 Azimuth 각속도를 최소화할 수 있도록 연속된 ground track을 따라가며 지향하는 방법 [5]

3) 촬영 시 강제로 Azimuth를 고정하고 elevation만 움직이는 방법

이 논문에서는 위의 3번 방법인 방위각 고정 기법을 설명한다. 위성이 지상국 상공을 지날 때 X-band 안테나의 azimuth를 고정 시키고 elevation만 지상국의 위치를 고려해 회전하기 때문에 azimuth 각속도를 0 deg/sec까지 감소시킬 수 있다. 먼저 2장에서는 TPF Generation SW의 알고리즘에 대해 간략히 설명하고 3장에서 방위각 고정 기법을 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과에 대해 설명하고, 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. TPF 생성 알고리즘

이 장에서는 TPF SW의 알고리즘의 각 모듈이 어떤 역할을 수행하는지 설명한다.

### 2.1 Load input data

TPF 소프트웨어는 먼저 위성의 궤도 및 자세 정보를 불러들인다. 입력 파일은 다운링크 동작 구간의 ECEF 위치, 자세 쿼터니언 정보, 임무 정보 등을 포함한다.

### 2.2 Calculation S/C to GS Vector

입력된 데이터를 이용해 위성과 지상국 간의 벡터를 계산한다. 위성에서 실제 지상국 및 가상 지상국으로의 벡터를 생성한다.

## 2.3 GS Selection

실제 지상국 및 가상 지상국을 이용해 azimuth profile, elevation profile을 생성해 모든 지상국의 profile 중에 가장 Azimuth 각속도가 낮은 지상국을 선택한다.

## 2.4 Preliminary Profile Manager

수학적으로 계산된 예비 프로파일을 생성한다. 예비 프로파일에서는 안테나가 타겟 지상국을 정확히 지향한다. 그러나 안테나 장착 위치, 오정렬 등을 고려하지 않고 수학적으로만 계산한 결과이다.

## 2.5 Corrected Profile Manager

안테나의 실제 장착 위치(각도) 및 오정렬을 고려해 수정된 프로파일 생성한다. 예비 프로파일에서의 azimuth 값은 위성체의 x축과 azimuth 0°를 동일한 방향으로 간주하고 프로파일을 생성했으나, 실제로는 120° 회전해 있으므로 이를 고려해 프로파일을 생성한다. 두 안테나의 장착 오정렬을 각각 고려한다.

## 2.6 Modified Profile Manager

안테나의 동작 제한 사항을 고려해 프로파일을 보완한다. 각속도, 각 가속도 등의 안테나 구동 제한 사항을 확인하고, 제한 사항을 만족하지 못할 경우 평탄화(smoothing)를 통해 Dynamic Constraint를 만족하도록 보완한다. 평탄화를 통해 프로파일이 변경되면 안테나의 지향점이 변경되므로 Off-pointing 정도를 체크해 유효 빔폭을 벗어날 경우 평탄화 작업을 취소한다. 영상 촬영 시에는 Azimuth 각속도를 좀 더 줄이기 위해 Static Point Method(촬영 구간에서는 안테나 움직임을 잠시 중단하고 촬영이 종료되면 재개하는 방법) 또는 Static Slant Method(촬영 구간동안 안테나를 일정한 각속도로 움직이는 방법)의 최적화 방법을 사용한다[6]. 이러한 방법 적용 시에도 Off-Pointing을 체크해 유효 빔폭을 벗어날 경우 최적화 작업을 취소한다.

## 2.7 Coefficient Extraction Manager

최종 생성된 Modified Profile을 다수의 segment로 나눠 다항식 근사화를 위한 계수(coefficient)를 생성한다. 몇 개의 segment로 나눠야 할지는 boundary condition 알고리즘을 사용해 오차가 일정 수준 이하가 되도록 segment를 나눈다[7]. 나뉜 segment들의 다항식 계수를 이용해 Reconstruction Profile을 생성하고 Dynamics 제한 사항 및 Off-Pointing을 체크한다. segment의 개수가 제한 범위를 넘을 경우 Modified Profile을 사용하지 않고 1회만 Smoothing 적용된 First Smoothing Profile을 사용한다. 최종적으로 결정된 Profile을 New Modified Profile에 저장한다. 모든 과정이 완료되면 계산된 계수를 이용해 Tracking Parameter를 구하고 파일에 저장한다.

## 2.8 TP Validation Manager

최종 생성된 New Modified Profile을 이용해 안테나의 지상 지향점을 계산해 실제 지상국과 비교해 유효 빔폭 범위를 만족하는지 체크한다.

## 2.9 TPF Generation Manager

Tracking Parameter에 저장되어 있는 다항식 계수를 이용해 hex 값인 TPF를 생성하고 TPF 파일에 저장한다.

# 3. 방위각 고정 기법

Azimuth Fixing Method의 개념은 그림 1과 같다. 기존 알고리즘에서 Azimuth 각속도를 줄이기 위한 방법으로 한 점의 가상 지상국을 지향했다면 이 알고리즘에서는 촬영 구간에는 Azimuth를 고정하고 Elevation만 움직인다.

이 알고리즘에서는 특별한 지상 궤적을 사용해 프로파일을 생성하는 방법이 아니라, 지상국을 지향할 경우 생성된 프로파일을 이용해 azimuth 고정 작업을 수행한다. 그러므로 엄밀히 말해 촬영 구간 중에 그림 1에서 나타낸 것처럼

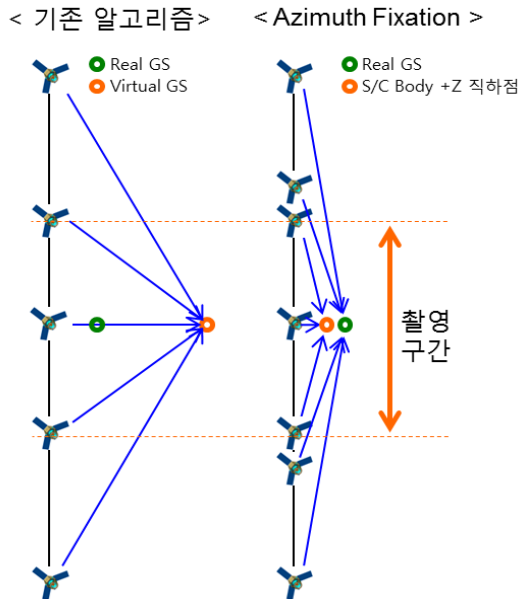


그림 1. 방위각 고정 기법 개념

안테나가 지상국을 지나는 시점에 위성체 Z축과 지표면이 만나는 직하점과 일치하지는 않는다. 만약 직하점을 이용해 지향 위치를 먼저 계산한 후 프로파일을 생성할 경우 Azimuth가 급격하게 180° 회전하는 현상을 막을 수 없다. 그 이유는 지향위치를 지상국을 지나는 지점의 직하점으로 정하더라도 전 구간에서 Azimuth가 위성의 진행 방향과 정확히 일치할 수 없으며, 프로파일이 계산되는 과정에서 Azimuth가 이동할 수밖에 없기 때문이다. 그러므로 일단 지상국을 지향하는 프로파일을 생성하는 과정에서 촬영 구간이 아닌 구간은 지상국을 지향하도록 프로파일을 생성하고, 시간 마진을 포함한 촬영 구간에서는 Azimuth 각도를 0°로 고정하도록 elevation을 계산해야 한다. 촬영 구간이 아닌 구간에서는 Azimuth 각도를 고정하면 유효 빔폭을 벗어날 수 있으며, 고정할 필요도 없다. 촬영이 시작되는 시점에 지상국을 지향하다가 갑자기 Azimuth를 0°로 변경하게 되는데, 이 구간은 기존 알고리즘의 Smoothing 로직을 통해 부드럽게 연결된다.

그림 2와 같이 Azimuth Angle을  $\alpha$ 라 하고 elevation angle을  $\beta$ 라 할 때 안테나 지향 방향

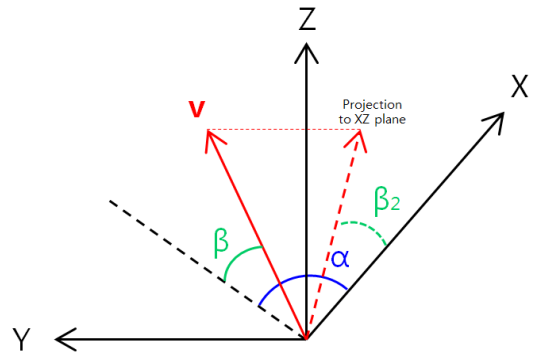


그림 2. 안테나 지향 벡터의 3축 표현

의 단위 벡터를 X, Y, Z 축으로 표시할 수 있다. 이는 X축 방향의 단위 벡터의 Y-Z fixed angle rotation 또는 Z-Y Euler angle rotation으로 계산할 수 있다. 두 수식의 결과는 동일하며 다음과 같다.

$$\vec{v} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha\cos\beta \\ \sin\alpha\cos\beta \\ -\sin\beta \end{bmatrix}$$

영상 촬영 구간에서는 azimuth를 0으로 고정하기 위해  $\vec{v}$ 를 XZ평면에 사영시킨 벡터를 안테나 지향 벡터로 사용한다. 이 때  $\alpha_2 = 0^\circ$ 이고  $\beta_2$ 는  $\vec{v}$ 를 XZ 평면에 사영한 벡터와 X축이 이루는 각으로, 다음과 같다.

$$\beta_2 = \text{atan2}(-\sin\beta, \cos\alpha\cos\beta)$$

위 방법은 TPF SW의 GS Selection, Preliminary Profile Manager, Corrected Profile Manager 단계에 적용된다.

#### 4. 시뮬레이션 결과

각 시나리오에 대한 시뮬레이션 결과는 총 4 가지 항목으로 Azimuth, Elevation의 각도, 각속도, 각가속도, 지상 지향 궤적이다. 각도의 경우 실제 안테나의 Azimuth, Elevation 축에 대한 회전 위치를 나타낸다. 각속도의 경우 영상 촬영 구간에서 제한 조건 초과 여부를 판단할 수 있

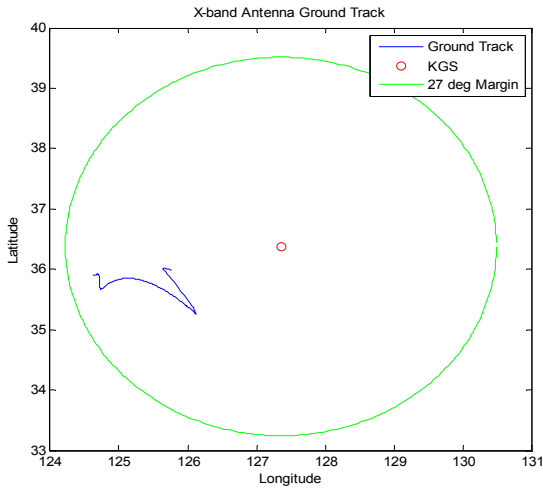


그림 3. Off-pointing method 수행 결과 (ground track)

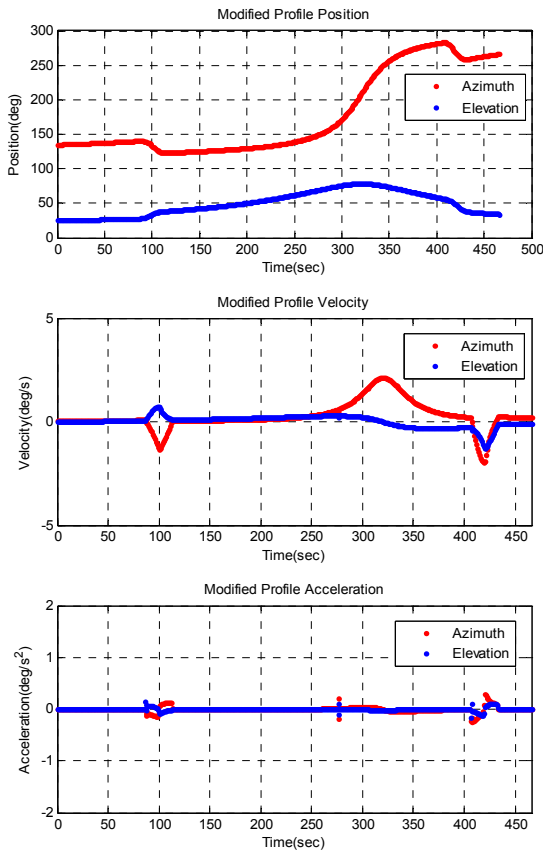


그림 4. Off-pointing method 수행 결과 (angle, angular velocity, acceleration)

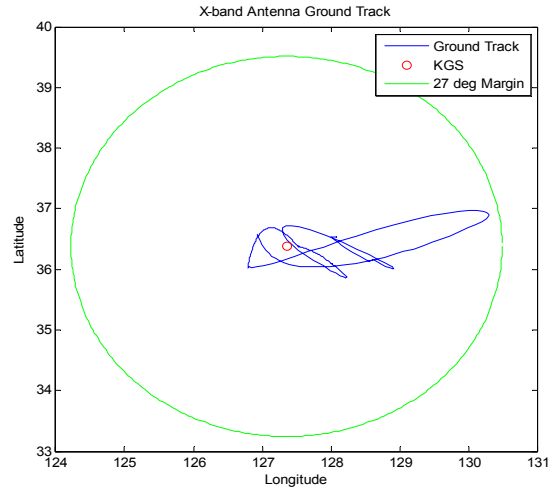


그림 5. 방위각 고정 기법 수행 결과 (ground track)

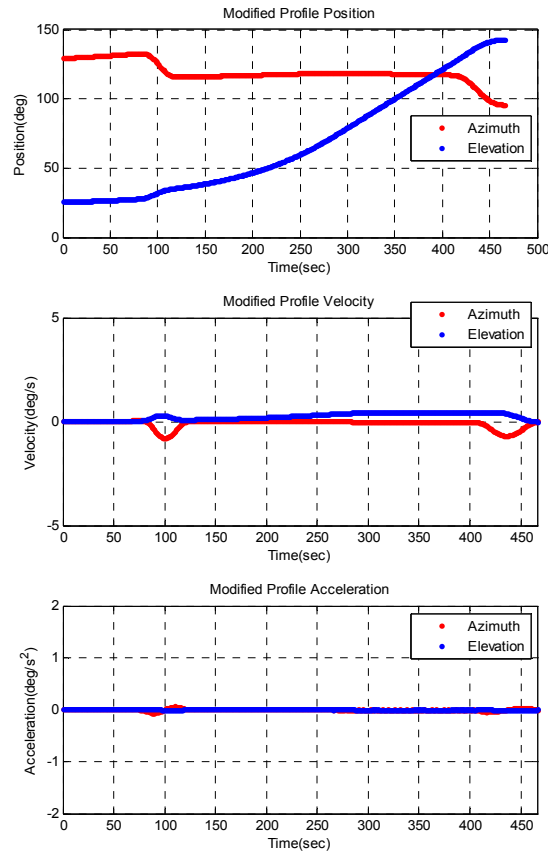


그림 6. 방위각 고정 기법 수행 결과 (angle, angular velocity, acceleration)

다. 각가속도의 경우도 제한 조건 초과 여부를 판단할 수 있다. 지상 지향 궤적은 유효 빔폭 초과 여부를 정확히 나타내지는 않지만 안테나 지향점이 지상에서 어떻게 이동하는지를 알 수 있다. 유효 빔폭에 대한 판단은 시뮬레이션 소프트웨어 내부에서 수행된다.

그림 3, 4는 120초 동안의 realtime 임무에 대해 기존 알고리즘으로 TPF를 생성한 결과를 나타낸다. 촬영 구간에서 약 20초 동안 1.9 deg/sec을 초과하는 것으로 나타났으며 각속도 및 각가속도는 요구 조건을 모두 만족했다. 알고리즘에서는 서쪽 지상국을 선택했으며 이는 안테나 지향점의 지상 궤적을 통해서도 확인할 수 있다.

그림 5, 6은 그림 3, 4와 동일한 시나리오에 방위각 고정 기법을 적용한 결과를 나타낸다. Azimuth\_Fix\_Time\_Margin은 5초로, 촬영 시작 5초 전에 Azimuth를 0으로 고정하고 촬영 종료 5초 이후에 다시 지상국을 지향한다.

Azimuth 각속도는 촬영 구간에서 0 deg/sec임을 알 수 있다.

## 5. 결 론

이 논문에서는 X-band 안테나 구동 시 Azimuth velocity를 줄이기 위한 방법으로 방위각 고정 기법을 설명했다. 시뮬레이션을 통해 영상 촬영 시 Azimuth velocity를 기존 알고리즘에 비해 현저히 줄일 수 있음을 확인했다.

방위각 고정 기법은 위성이 지상국에 근접한 상공을 지나가는 strip imaging 임무의 경우 Azimuth velocity 감소 효과가 가장 크다. 지상국에서 멀리 떨어진 상공을 지나갈 경우나 multi-pointing imaging 임무의 경우 기존의 Off-pointing 방법이 더 적합하다. 그러므로 이 기법은 영상 촬영 임무 특성에 따라 선택적으로 사용해야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Chi-Ho Kang, Durk-Jong Park, Seok-Bae Seo, In-Hoi Koo, Sang-Il Ahn, Eun-Kyu Kim, "Development of TPF Generation S/W for KOMPSAT-2 X-Band Antenna Motion Control", Proc. Of the ISRS 2005
2. Hui Miao, Guang Lei Song, Qiang Liu, "Micro-Vibration Analysis and Measurement on High Resolution Remote Sensing Satellite", Applied Mechanics and Materials, vol. 232 pp.432-436 (2012)
3. L.Lebègue, Ph. Kubik, D. Greslou, F. DeLussy, N. Theret, "Using Exotic Guidance For Pleiades-HR Image Quality Calibration", Proc. Of the ISPRS 2008
4. 김희섭, "임무촬영과 동기된 TPF 생성 방안", KARI-K3T-TM-2011-004
5. Moon-Jin Jeon, Su-Jin Choi, HeeSeob Kim, Hae-Jin Choi, "Modified TPF Generation Algorithm using Ground Contour Tracking Method", Proc. Of the ISRS 2012
6. 최수진, 정옥철, 정대원, "Tracking Profile 최적화 방법소개 및 적용결과", KARI-MOT-TM- 2010-020
7. 최수진, 정옥철, 강치호, 김영욱, 정대원, "저궤도위성 TPF 불연속 제거 알고리즘", 2009 한국항공우주학회 춘계학술대회 논문집, pp. 904-907