한국소음진동공학회 2011년 춘계학술대회논문집, pp.335~336

자이로 데이터를 이용한 저주파 진동 분석

Low Frequency Motion Analysis Using Gyro Sensor Data

오시환† · 김진희*

Shi-Hwan Oh and Jin-Hee Kim

1. 서 론

고해상도 영상 획득 임무를 수행하는 인공위성의 경우 지구의 자전과 지구 및 위성 궤도의 이심률, 위성의 측면 지향 등의 복합적인 요인으로 인하여 발생하는 영상의 품질 저하를 방지하기 위해 위성의 궤도 상 위치에 따라 위성의 요축 각을 미세하게 회전시킨다. 이는 탑재체의 종류와 위성의 궤도에 따라 그 방법이 조금씩 다르나 한 궤도에 대해 한 주기를 가지는 정현파와 유사한 형태를 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 요축 회전을 수행하는 위성의 자이로 데이터를 이용하여 운용자가 원하는 요축 회전이 정상적으로 수행되고 있는지를 확인하는 데이터 처리 및 분석 방법을 제안하였다.

2. 위성의 요축 회전

위성이 영상 획득 임무를 수행할 때 지구의 자전이 없고 위성에서 지구 중심으로의 직하점 만을 촬영한다면 위성은 정확히 지구 중심만을 바라보고 있으면 된다. 그러나 실제로는 지구 자전이 존재하는 경우는 지표면에서의 위성의 선속도에 지구 자전 방향의 속도 성분이 추가된다. 광학 카메라가 주 탑재체인 경우 CCD line 과 위성의 지표면에서의 선속도가 수직이 아니면 영상의 왜곡이 발생한다[1]. SAR 위성의 경우도 탑재체 빔의 진행 방향으로 위성과 지구 사이의 상대속도가 존재하면 도플러 중심오차가 발생하여 역시 영상의 품질 저하가 발생하게 된다[2]. 그러므로 두 탑재체에 대해서 서로 다른 요축 회전 보정 알고리즘이 사용되지만 큰 의미에서 영상 보정을 위한 요축 회전은 모두 필요하다. 경우에 따라 이러한 요축 회전은 위성의 궤도 좌표계에 대해서 수해되기도 하며 위성의 몸통 좌표계에 대해서 수행되기도 한다. 본 연구에서는 위성의 몸통 좌표계에 대해서 수행되는 요축 회전의 경우에 대해서 자이로 센서를 이용하여 측정된 위성의 각속도 데이터로부터 요축 회전에 수행된 위성의 각속도 성분만을 추출함으로써 요축 회전이 정확히 수행되는지를 검증하는 방법을 설명하고 실제 모의실험 데이터를 이용하여 이 방법을 검증하고자 하였다.

† 교신저자; 한국항공우주연구원 다목적 5 호체계팀
E-mail : oshysh@kari.re.kr
Tel : (042) 860-2446, Fax : (042) 860-2007
* 한국항공우주연구원 다목적 5 호체계팀

3. 자이로 데이터 처리 방법

Figure 1 은 위성에 사용되는 기준 좌표계를 표현한 것이다. J2000 Reference Frame 은 고정된 절대 좌표계이며 LVLH Reference Frame 은 위성의 궤도에 고정된 좌표계로서 x 축은 항상 위성의 진행 방향을 나타내고 z 축은 위성으로부터 지표면까지의 수직 방향을 나타내며 y 축은 이 두 벡터와 수직인 방향을 가진다. S/C Body Reference Frame 은 위성의 몸통좌표계로서 위성에 고정되어 있다.

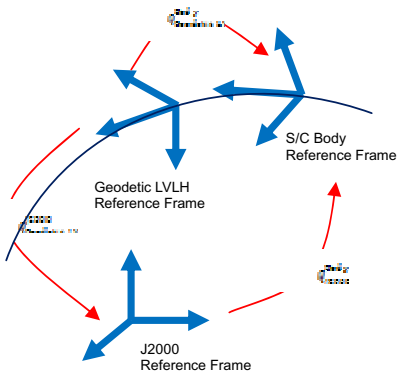

Figure 1 Reference Frame Definition

위성이 임무 수행을 하는 동안에는 몸통 좌표계가 궤도 좌표계에 정렬되어 있어야 하므로 요축 회전이 없다면 임무 수행 중의 궤도 좌표계에서의 위성 각속도 $\omega^{\text{Body}}_{\text{Geodetic LVLH}}\big|_{\text{Geodetic LVLH}}$ 는 항상 영백터이어야 한다.

그러므로 자이로 센서에 의해 측정된 각속도 정보를 이용하여 이 벡터를 추출한다면 임무 수행 중 위성의 실제 거동을 파악할 수 있다. 그러나 실제 자이로 센서에 의해 측정되는 각속도는 절대 좌표계에서 측정되는 각속도가 위성 몸통 좌표계로 표현되므로, 궤도 좌표계 자체의 회전 각속도가 함께 측정이 되므로 궤도 좌표계에 대한 각속도는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\omega^{\text{Body}}_{\text{Geodetic LVLH}} = \omega^{\text{Body}}_{\text{J2000}} - \omega_{\text{Geodetic LVLH/J2000}}$$

이 때, $\omega^{\text{Body}}_{\text{Geodetic LVLH/J2000}}$ 은 절대 좌표계에 대한 궤도 좌표계의 상대 회전 각속도이므로 피치(y) 축 성분이 가장 크게 나타난다. 위의 식에서 사용된 각속도는 모두 궤도 좌표계에 대해서 표현된 식이므로 정확히 표현하면

$$\omega^{\text{Body}}_{\text{Geodetic LVLH}}\Big|_{\text{Geodetic LVLH}} = \omega^{\text{Body}}_{\text{J2000}}\Big|_{\text{Geodetic LVLH}} - \omega_{\text{Geodetic LVLH/J2000}}\Big|_{\text{Geodetic LVLH}}$$

와 같이 나타낼 수 있으며 이는 다시 다음과 같이 표현된다.

$$\omega^{\text{Body}}_{\text{Geodetic LVLH}}\Big|_{\text{Geodetic LVLH}} = C^{\text{Geodetic LVLH}}_{\text{Body}}\omega^{\text{Body}}_{\text{J2000}}\Big|_{\text{Body}} - \omega_{\text{Geodetic LVLH/J2000}}\Big|_{\text{Geodetic LVLH}}$$

한편 $\omega_{\text{Geodetic LVLH/J2000}}\Big|_{\text{Geodetic LVLH}}$ 는 $q^{\text{Geodetic LVLH}}_{\text{J2000}}$ 및 이의 수치미분값을 이용하여 계산될 수 있다.

4. 모의실험 데이터를 이용한 검증

위의 결과를 위성 시뮬레이션 데이터를 이용하여 확인하여 보았다. 위성은 정확한 영상 획득을 위하여 요축 회전이 수행되고 있으므로 궤도 좌표계에서의 위성 각속도는 영벡터가 아닌 요축에만 값이 존재하는 벡터가 나와야 한다. Figure2 는 자이로 센서에 의해 측정된 각속도이다 궤도 좌표계의 회전과 요축 회전이 섞여서 모든 축에 각속도 성분이 존재한다. 그러나 제안된 방법으로 데이터를 처리하면 Figure 3 과 같이 요축에만 각속도 성분이 존재함을 알 수 있고 이 각속도 성분을 분석하면 정확히 설계에서 입력된 요축 회전과 동일한 성분만이 존재함을 확인할 수 있다.

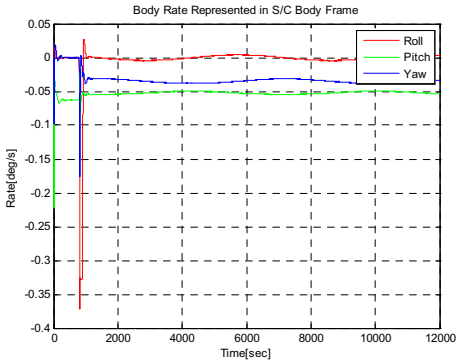

Figure 2 S/C Body Rates Measured with Gyro Sensor

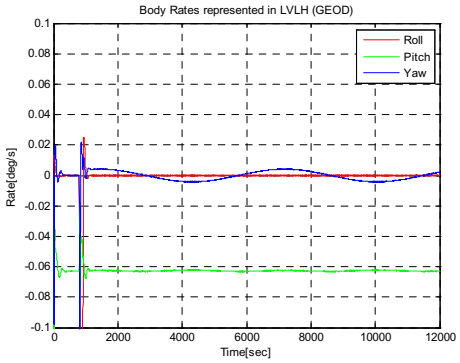

Figure 3 Body Rates w.r.t J2000 Represented in Orbital Frame

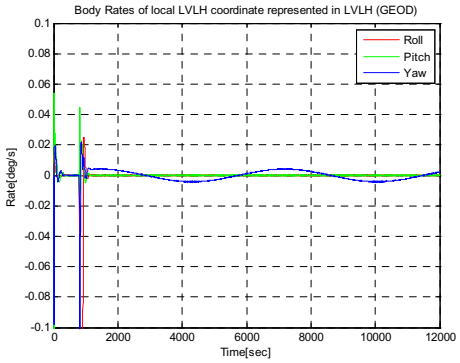

Figure 4 Estimated Body Rates in Orbital Frame

5. 결 론

자이로 데이터를 처리/분석하여 위성의 저주파 요축 회전 각속도 성분만을 추출함으로써 위성이 임무 수행을 위해 정확히 제어가 되고 있는지를 파악할 수 있는 알고리즘을 제안하였고 모의실험을 통하여 검증하였다.