

인공위성용 센서의 오류 데이터 분석 Anomaly Data Analysis of Spacecraft Sensor

오시환† · 윤석택* · 김진희*

Shi-Hwan Oh, Seok-Taek Yun and Jin-Hee Kim

1. 서론

본 연구에서는 센서 데이터의 신호 처리 중 발생한 문제와 이의 해결 방안에 대한 것이다. 인공위성에 장착되는 유닛들의 성능 및 기능 검증을 위해 지상에서 수행되는 여러 시험 단계 중의 하나로 극성 시험이 있다. 자이로 센서는 극성 시험을 위해 단축 회전 테이블에 올려지게 되며 회전 테이블을 몇 가지 정해진 각속도로 회전시키며 센서에서 측정되는 각속도가 인가한 각속도와 일치하는지 확인하게 된다. 이러한 시험 도중에 특정 값 이상의 각속도 인가 시 탑재소프트웨어에 의해 계산된 자이로 데이터 출력의 극성이 뒤집히는 현상이 발생하였다. 본 연구에서는 이 오류에 대한 현상을 설명하고 그 원인을 규명하였으며 오류 방지 알고리즘 적용 결과를 정리하였다. 이러한 극성이 뒤집히는 현상은 기본적으로 자이로 내부의 샘플링 주파수와 외부 샘플링 주파수의 불일치로 발생하였으며 이로 인해 각속도 계산을 위한 누적각 적분 주기가 변하여 발생하였다. 샘플링 주파수를 변경하지 않고 이러한 오류를 복구하기 위하여 특별한 방지 로직을 구현하였으며 그 결과 센서 데이터가 정상적으로 복구됨을 모의실험 및 실제 시험을 통하여 확인하였다. 본 연구에서는 이러한 내용을 소개하고자 한다.

2. 자이로 센서의 구성 및 각속도 계산

자이로 센서의 내부에는 Figure 1 과 같이 자이로 코어가 장착되어 있다. 외부에서 인가되는 각속도에 의해 4 개의 자이로 코어는 각속도를 감지하게 되고 각각의 자이로 코어 출력이 탑재소프트웨어 내부의 자이로 신호처리로직의 입력으로 제공된다. 이 값들을 이용하여 위성에 인가된 각속도를 계산한다. 외부에서 인가되는 입력 각속도를 ω^{ext} 라고 할 때 4 개의 자이로 코어에 걸리는 각속도는 다음과 같다.

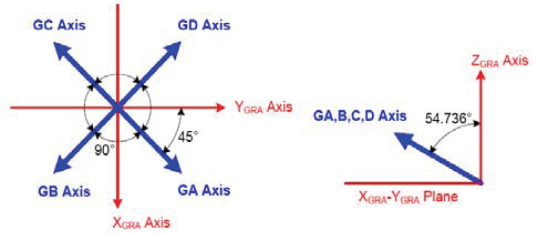


Figure 1 Internal Alignments of Gyro Core

$$\begin{bmatrix} GA \\ GB \\ GC \\ GD \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x^{ext} \\ \omega_y^{ext} \\ \omega_z^{ext} \end{bmatrix}_{Gyro_{yz}}$$

자이로 신호 처리 로직에서는 다시 각 자이로 코어의 각속도를 제공받아 입력 각속도를 추정하게 되며 GA, GB, GC, 3 개의 자이로 코어가 사용되는 경우에는

$$\begin{bmatrix} \omega_x^{ext} \\ \omega_y^{ext} \\ \omega_z^{ext} \end{bmatrix}_{SC\ Body} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{4} \begin{bmatrix} 0 & 2 & -2 & 0 \\ 2 & -2 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} GA \\ GB \\ GC \\ GD \end{bmatrix}$$

와 같이 측정 각속도, ω^{ext} 가 계산된다.

자이로 센서의 극성 시험(Polarity test)을 위해 단축 각속도 테이블을 이용하였으며 각속도 테이블의 회전축은 자이로 센서의 z 축과 일치한다.

첫 번째 자이로 코어의 각속도, GA 는 다시 다음의 식에 의해서 계산된다.

$$GA(\text{deg/sec}) = S \frac{\Delta A_{GA}}{\Delta t}$$

여기서 S 는 스케일 인자이며 Δt 는 누적각 적분 주기, ΔA_{GA} 는 샘플링 주기 동안 GA 자이로 코어에

† 교신저자: 오시환, 한국항공우주연구원 다목적실용위성 5호체계팀

E-mail: oshysh@kari.re.kr

Tel: 042-860-2446, Fax: 042-860-2007

* 한국항공우주연구원 다목적실용위성 5호체계팀

서 누적되는 적분각(Rate Integrated Angle)이다. 실제 시험에서의 자이로 데이터 요청 주기는 0.125 초이다. 시험에 사용된 자이로 센서는 2 개의 스케일 인자를 가지고 있으며 첫 번째 스케일 인자는 입력 각속도의 절대값이 3.6deg/sec 이하인 경우에 사용할 수 있으며 3.6deg/sec 이상의 각속도가 인가되면 스케일 인자가 바뀌어 측정 범위의 확장이 가능하다. 다만, 첫 번째 스케일 인자는 값이 작아 분해능이 좋고 두 번째 스케일 인자는 상대적으로 분해능이 좋지 않다.

3. 오류 데이터 현상 분석

극성 시험을 위해 자이로가 장착된 각속도 데이터를 회전시켰으며 그 결과를 다음의 표에 나타내었다.

ω_z^{est} (deg/s)	Δt^{est} (sec)	ω_x^{est} (deg/s)	ω_y^{est} (deg/s)	ω_z^{est} (deg/s)
0		0.001	-0.003	0.002
0.5	0.12	0.001	-0.002	0.5
0		-0.001	0.002	0.002
-0.5	0.12	-0.002	0.001	-0.5
0		0.003	0	0.002
5	0.13	0	0	5.019
6.2	0.13	0	0	-5.93

입력각속도가 6.2 deg/sec 이 되었을 때 출력 각속도도 6.2 deg/sec 가 측정되어야 하나 -5.93 deg/sec 이 출력되었다. 또한 측정된 누적각 적분 주기는 0.125 초가 아닌 0.12 초 또는 0.13 초였다.

이 값이 0.12 또는 0.13 초로 나타난 이유는 다음과 같다. 자이로 데이터를 요청하는 주기는 8Hz 이지만 자이로 내부에서 데이터를 생성하는 주기는 100Hz 이므로 이 값이 정수배가 되지 않아 나타나는 현상이다. 이를 그림으로 도시하면 Figure 2 와 같다.

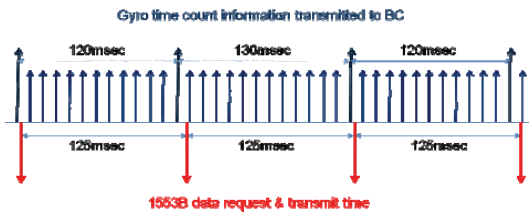


Figure 2 Integrated Time Variation due to a Mismatch of Two Sampling Times

자이로가 누적각을 제공하는 경우 신호처리를 통해 계산할 수 있는 각속도 크기에 제한이 있게 된다. 본 실험에 사용된 자이로의 경우, 누적각 적분주기가 0.125 초일 때는 자이로 코어가 최대 3.6408

deg/sec 을 측정할 수 있으며 0.12 초일 때는 3.7925 deg/sec, 0.13 초일 때는 최대 3.5007deg/sec 까지 측정할 수 있다. 각속도 테이블의 회전 각속도가 6.2 deg/sec 인 경우 자이로 코어에 걸리는 각속도는 2장에서 소개된 식에 의해 3.5796 deg/sec 이 되며 이는 누적각 적분주기가 0.13 초일 경우의 최대 측정 각속도를 넘어서게 된다. 그러므로 계산되는 각속도의 부호가 바뀌어 -5.93 deg/sec 으로 인식하게 되는 것이다.

자이로의 누적각 적분 주기가 0.125 초로 고정되어 있지 않고 0.12 초와 0.13 초의 값을 번갈아 가지며 흔들림에 따라 첫 번째 스케일 인자를 이용하여 측정할 수 있는 각속도의 범위가 3.6deg/sec 이하로 줄어들게 되면 두 개의 스케일 인자를 이용하여 모든 영역의 각속도를 측정할 수가 없게 된다. 그러므로 이를 방지하기 위한 로직을 구현하였다. 이 로직은 입력 각속도의 변화가 특정 값 이상으로 빠르지 않다는 가정에서만 적용할 수 있는 방법이며 실제로 인공위성은 그 구동 주파수가 작으므로 이러한 가정을 적용하기가 용이해진다. 구현된 로직을 이용한 시험 결과를 다음의 표에 나타내었다.

ω_z^{est} (deg/s)	Δt^{est} (sec)	ω_x^{est} (deg/s)	ω_y^{est} (deg/s)	ω_z^{est} (deg/s)
0		0.001	-0.003	0.002
6	0.12	0	0	6
6.1	0.12	0	0	6.1
6.2	0.13	0	0	6.2

이전과는 다르게 각속도 테이블이 6.2deg/sec 으로 회전하는 경우에도 측정 각속도의 부호가 바뀌지 않고 정상적인 값을 출력하는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

자이로의 극성 시험 시 발생한 오류 데이터를 분석하였고 그 결과 자이로 내부에서 데이터를 생성하는 주기와 외부에서 자이로 데이터를 가져가는 주기의 불일치로 인하여 비정상적인 측정값이 생성됨을 확인할 수 있었다. 이 문제를 해결하기 위한 방지 로직을 설계하였고 추가적인 시험을 통하여 측정 가능한 모든 각속도 영역에서 측정된 값의 부호가 뒤집어지는 현상이 발생하지 않고 정상적인 값이 출력됨을 확인하였다.