

myGyro61xEB 온도보상



myGyro61xEB
<http://withrobot.com>

6/1/2010

아날로그 자이로 센서의 온도 보상

아날로그 출력 형태를 가진 myGyro610EB, myGyro613EB 를 사용할 때 간단한 온도 보상을 통해 보다 정확한 offset, sensitivity 값을 구하고 우수한 자이로 센서 본연의 성능을 이끌어 낼 수 있습니다.

myGyro61xEB 온도보상

기본

센서 모듈 소개

myGyro61xEB 시리즈는 아날로그 출력을 가지는 MEMS 자이로 센서입니다. myGyro610EB, myGyro613EB 는 각각 $\pm 300^\circ$, $\pm 150^\circ$ 의 측정 범위를 가집니다. 온도에 민감하게 반응하는 센서 회로의 특성상 온도 보상을 통해 보다 정밀한 사용이 가능하며, 온도 보상을 간단하게 수행할 수 있도록 센서 모듈 내에 온도 센서를 내장하고 있습니다. 센서 모듈에 대한 보다 자세한 사항은 제품 홈페이지(<http://www.withrobot.com/136>)와 사용자 설명서를 참조해 주시기 바랍니다.

온도 보상

아날로그 전자 회로는 온도에 따라 다양한 특성이 변하게 됩니다. 자이로 센서의 경우를 살펴보면 움직임이 없을 때 출력 값인 null offset voltage(V_{offset})와 sensitivity(S_{gyro})가 주된 변인입니다.

$$V_{gyro} = V_{offset} + S_{gyro} \times r$$

위 수식에서 r 은 센서 모듈의 각속도(deg/s)를 의미합니다. V_{offset} 과 S_{gyro} 는 상수가 아닌 온도에 따라 변하는 변수입니다. 온도 보은 이처럼 온도에 따라 변하는 시스템 내부 변수를 실험을 통해 추정하는 과정을 말합니다. 이 문서에서는 온도에 따라 V_{offset} 과 S_{gyro} 가 어떻게 변하는지 그 수식을 구하는 방법에 대해 설명합니다.

OFFSET 온도 보상 실험

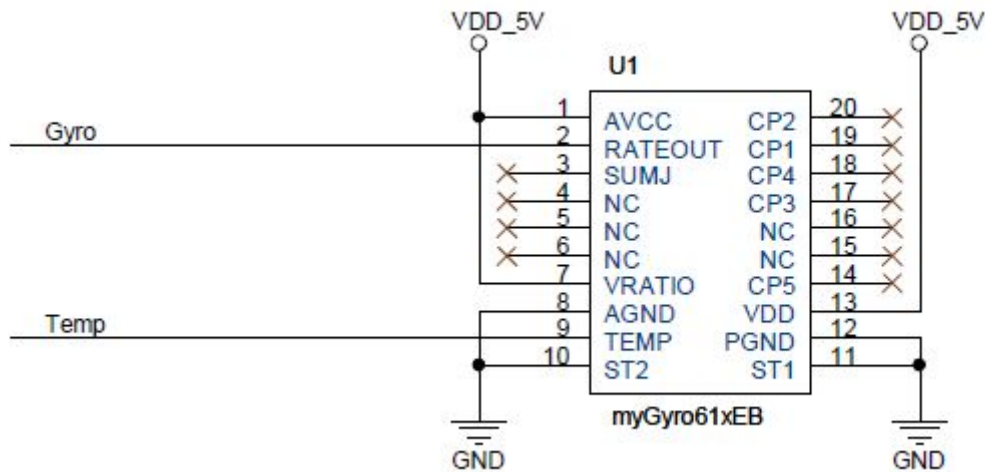


그림 1 온도 보상을 위한 기본 회로

온도 보상을 하기 위해 위 그림 1 과 같이 전원을 연결합니다. 그림 좌측의 Gyro 와 Temp 는 각각 자이로와 온도 출력 신호선 입니다. 이 두 신호 선은 ADC 에 연결하여 전압을 읽도록 합니다. 온도 보상 실험은 구성된 회로를 항온 챔버에 설치하고 각기 다른 3 개 온도 포인트에서 온도와 자이로 값을 읽어 수행하게 됩니다.

온도 보상에서 얻은 결과는 향후 자이로 센서의 활용에 직접적인 영향을 미치므로 온도 보상 실험에서는 가능한 안정적인 실험 데이터를 취득하는 것이 중요합니다. 주된 잡음 원은 전원 공급장치와 잘못 설계된 ADC 입니다. 저가의 어댑터와 같은 전원을 사용한 경우 전원 잡음이 많은 영향을 미치므로 바람직하지 않습니다. 또한 ADC 를 설계함에 있어서 센서의 출력 임피던스와 ADC 의 입력 임피던스를 고려하지 않으면 비정상적인 ADC 결과값이 얻어집니다. NI, Agilent 등의 실험용 DAQ(Data Acquisition Device)를 이용하면 간단하고 정확하게 ADC 할 수 있습니다.

본 문서의 실험은 서로 다른 3 온도 지점에서 자이로 출력과 온도 출력을 모두 읽어 저장하면 됩니다. 이때 온도 지점들의 간격이 넓으면 넓을수록 보다 신뢰할 수 있는 온도 보상 결과를 얻을 수 있습니다. 예를 들어 15°C, 20°C, 25°C에서 실험을 한 것보다 -10°C, 30°C, 60°C에서 실험을 한 경우에 보다 더 좋은 결과를 얻게 됩니다. 좁은 온도 범위에서의 특성만 보고 보정을 하게 되면 보다 넓은 온도 범위에서의 특성에 대해서는 불확실한 추측이 됩니다.

만일 항온 챔버가 없는 경우라면 하루 중 온도 변화가 별로 없는 시간을 골라 상온에서

온도 보상을 할 수도 있습니다. 하지만 이 경우에는 위에서 언급한 바와 같이 관찰하는 온도 범위가 좁기 때문에 정확한 온도 보상이 되었다고 말하기 어렵습니다.

온도와 자이로 출력 값을 읽을 때에는 잡음에 대해 강인한 결과를 얻기 위해 장시간 ADC 를 하고 그 결과의 평균을 사용하는 것이 유리합니다. 이 경우 myGyro61xEB 에 내장된 저역 통과 필터의 bandwidth 는 아무런 영향을 미치지 못합니다. 샘플 데이터의 평균을 구해 사용하므로 최소한 수천 개의 샘플 데이터를 얻는 것이 바람직합니다. 일반적으로 100Hz 의 ADC 속도에서 1 분 동안 데이터를 취득하고 그 평균값을 사용하도록 합니다.

항온 챔버에 회로를 설치하고 챔버 온도를 설정한 후 자이로 회로에 전원을 인가하고 온도 출력 값을 계속 지켜보다가 온도가 안정화 되었을 때 ADC 를 해야 합니다. 항온 챔버의 온도와 자이로 센서 내부 온도가 평준화 되어야 안정적인 온도 특성을 얻을 수 있습니다. 아래 그림 2 우측과 같은 온도가 측정된다면 항온 챔버와 센서 내부의 온도가 동일해 지기 전이므로 좌측과 같이 온도가 안정될 때까지 기다렸다가 ADC 하도록 합니다.

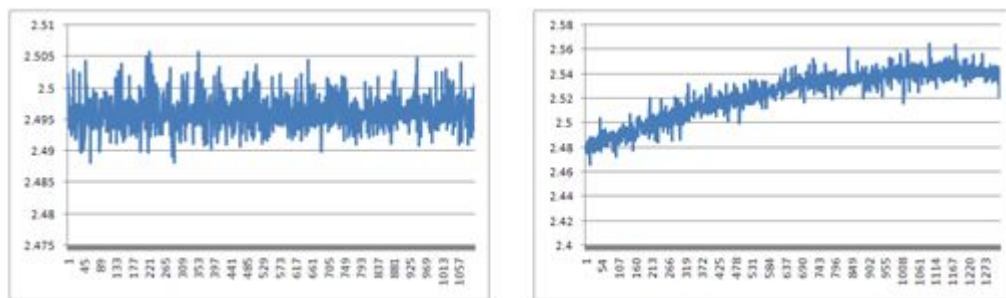


그림 2 안정된 온도(좌)와 안정되지 않은 온도(우)

OFFSET 온도 보상 결과 해석

3 점 보상(3-point compensation)

앞에서 살펴본 바와 같이 서로 다른 3 온도 지점에서 온도와 자이로 값을 읽어 평균을 구했습니다. 이를 3 개의 온도 평균값을 각각 T_0 , T_1 , T_2 라 하고 각 온도에서 자이로 출력 평균값을 V_0 , V_1 , V_2 라 할 때 아래와 같은 관계식을 생각해 볼 수 있습니다.

$$\begin{cases} V_1 = V_0 + a_o(T_1 - T_0) + b_o(T_1 - T_0)^2 \\ V_2 = V_0 + a_o(T_2 - T_0) + b_o(T_2 - T_0)^2 \end{cases}$$

실험을 통해 얻은 $T_0, T_1, T_2, V_0, V_1, V_2$ 를 위 식에 대입하여 방정식을 풀면 상수 a_o, b_o 값을 구할 수 있습니다. 상수 값이 구해지면 이 결과를 이용해 현재 온도 T 에서의 자이로 센서 null offset voltage 를 구할 수 있습니다.

$$V_{offset} = V_0 + a_o(T - T_0) + b_o(T - T_0)^2$$

SENSITIVITY 온도 보상 실험

Sensitivity 의 간접 측정

Sensitivity 의 경우 offset 온도 보상과 동일한 방법으로 진행합니다. 차이점이 있다면 offset 은 가만히 정지해 있을 때 측정하는 반면 sensitivity 는 센서 모듈을 회전 운동 시키면서 측정해야 한다는 점입니다. 하지만 항온 챔버 내에서 전원과 데이터 라인들이 연결된 회로 기판을 등속 원운동 시키는 것은 현실적으로 어려움이 많습니다. 때문에 등속 원운동 시키는 대신 90 도 회전만 시키면서 광학 인코더를 이용해 정확한 회전 각도를 구하고 회전 동작 전 과정에서 자이로 출력 값을 ADC 하여 그 결과값을 적분한 후 인코더를 통해 구한 회전 각도와 자이로를 통해 구한 회전 각도의 차이를 통해 sensitivity 값을 간접적으로 관찰하는 방식을 사용합니다.

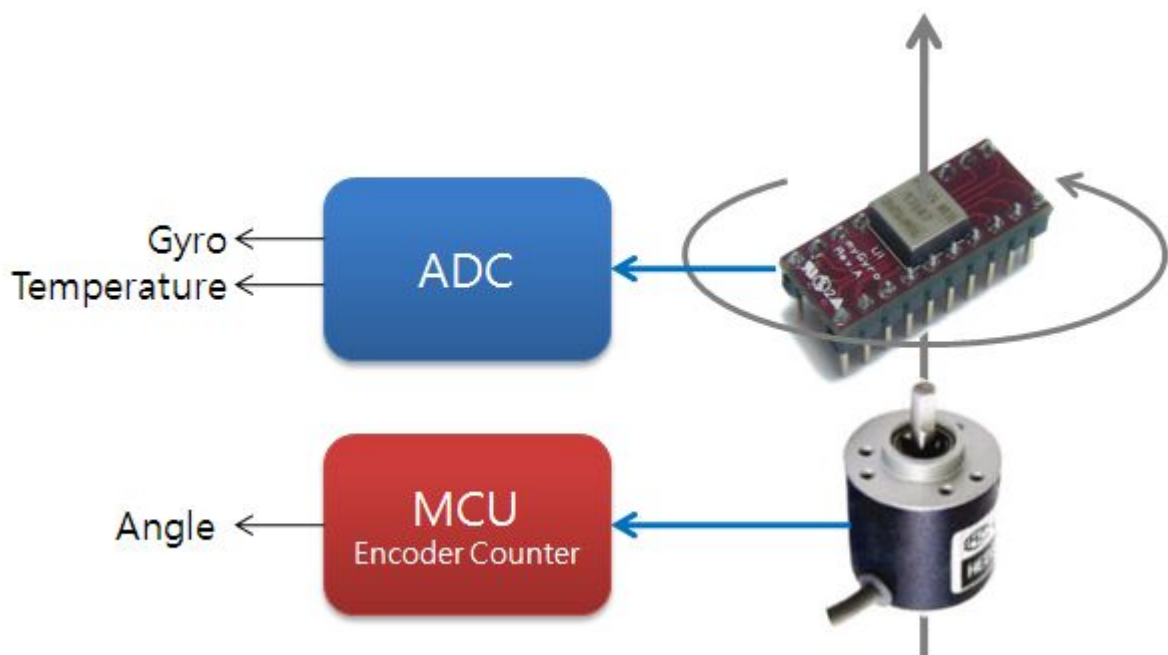


그림 3 optical encoder 를 이용한 sensitivity 간접 측정

인코더를 추가적으로 사용한다는 점을 제외하면 offset 온도 보상과 동일한 방법으로 실험을 하고 결과를 해석하게 됩니다. 즉 서로 다른 3 온도 지점에서 움직임을 측정해서 3 점 보상을 수행합니다.

SENSITIVITY 온도 보상 결과 해석

자이로 적분과 sensitivity

자이로 출력(V_{gyro})을 적분해 각도를 구하는 방법은 아래와 같습니다.

$$angle = \sum r \cdot \Delta t = \sum \frac{V_{gyro} - V_{offset}}{S_{gyro}} \cdot \Delta t$$

따라서 sensitivity 는 아래와 같이 정의됩니다.

$$S_{gyro} = \frac{1}{angle} \sum (V_{gyro} - V_{offset}) \cdot \Delta t$$

3 점 보상(3-point compensation)

이제 다시 offset 온도 보상에서 3 점 보상을 했을 때 사용했던 것과 같은 방식으로 방정식을 만들어 보면 아래와 같습니다.

$$\begin{cases} S_{gyro_1} = S_{gyro_0} + a_s(T_1 - T_0) + b_s(T_1 - T_0)^2 \\ S_{gyro_2} = S_{gyro_0} + a_s(T_2 - T_0) + b_s(T_2 - T_0)^2 \end{cases}$$

Offset 온도 보상에서와 마찬가지로 T_0, T_1, T_2 는 서로 다른 3 온도 지점에서 구한 온도의 평균값입니다. $S_{gyro_0}, S_{gyro_1}, S_{gyro_2}$ 는 각 온도 지점에서 구한 sensitivity 입니다.

이번에도 역시 실험을 통해 구한 값을 대입하고 방정식을 풀면 sensitivity 온도 보상을 위한 계수 a_s, b_s 를 쉽게 구할 수 있습니다. 이렇게 구한 계수를 통해 sensitivity 와 온도간의 관계식을 구하면 아래와 같습니다.

$$S_{gyro} = S_{gyro_0} + a_s(T - T_0) + b_s(T - T_0)^2$$

정리

지금까지 3 점 보상을 이용한 offset 과 sensitivity 온도 보상 방법에 대해 살펴보았습니다. 온도 보상을 하지 않은 경우 센서마다 offset 전압과 sensitivity 가 모두 다르므로 정확한 각속도 측정이 불가능하고, 이를 적분했을 때에는 훨씬 큰 drift 가 발생하게 됩니다.

아날로그 디바이스사에서 제공하는 자료에 의하면 3 점 온도 보상을 한 경우 자이로 값을 적분해서 구한 각도는 $250^{\circ}/h$ 정도의 drift 특성을 보인다고 합니다. 좀 더 정밀한 결과를 원하는 경우 5 점 이상의 온도 보상을 하게 되면 $40^{\circ}/h$ 까지 성능을 높일 수 있다고 합니다.

본 문서에서 살펴본 것과 같은 static fitting 방법을 통한 온도 보상 외에도 AR model 을 이용하여 잡음을 모델링을 하고 그 결과를 이용해 칼만 필터를 구현하는 등의 방법을 통해 자이로 센서의 적분 drift 에 대응하기 위한 많은 연구가 있습니다.

하지만 적분이라는 특성상 drift 를 원천적으로 극복하는 것은 불가능합니다. 이에 대해서도 여러 가지 다른 센서들과의 융합을 통해 보다 안정적인 관성 측정 장치를 만들려는 연구가 많이 진행되고 있습니다.

- ☐ Designed by withrobot Lab.
 - Homepage: <http://www.withrobot.com>

Release Information

The following changes have been made in this document.

Change history

Date	Issue	변동 사항
2010.5	A	The first draft

Copyright(c) 2003-2010 WITHROBOT Lab. All right reserved.



<http://www.withrobot.com>