

Digital Accelerometer & Gyroscope

Week 06
2023-04-06

Handong Global University
Smart Sensors and IoT Devices

0. Project

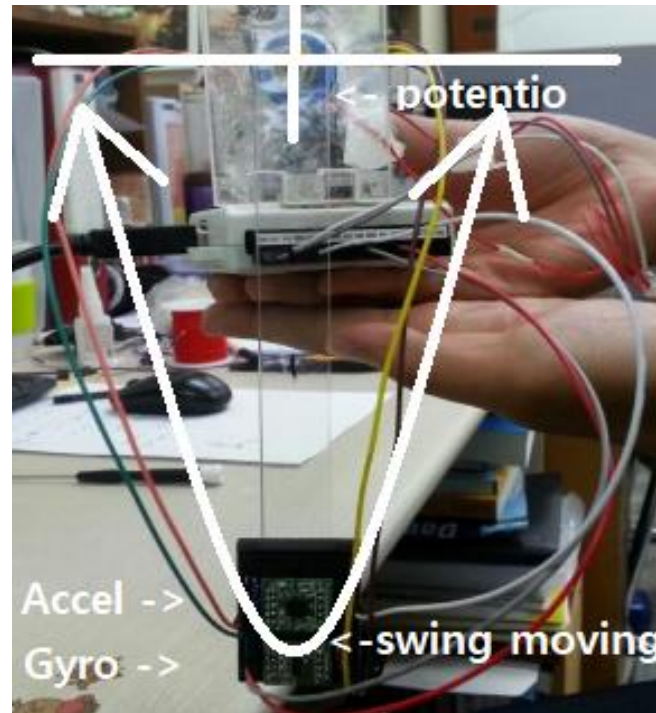
기간 : 4/6 ~ 4/26 자정

**프로젝트 요약 : 가속도계와 자이로스코프를 상보필터와 칼만필터를 통해 노이즈를 제거하고
정확한 각도 값을 얻는 것**

프로젝트 보고서 : 실험 후 보고서 **각자 제출 (제목,목차,부록 외 20 페이지 내)**

1. Project Guide

- 1) Design the following **pendulum system**.
- 2) **Read and compare angles** from your potentiometer, gyroscope, and accelerometer.
 - A. Sample rate: 100[Hz], Duration time: 1.0[s]
 - B. Assume the potentiometer as a true angle
 - C. 3 conditions: stationary, slow swing, fast swing
- 3) What are the reasons behind the **inaccurate measurements from each sensor**?



1. Project Guide

- 4) Using a complementary filter, **fuse** the gyroscope, and accelerometer sensors.
 - A. **Backward Euler Method**
 - B. 1st order **LPF and HPF**(Complementary Filter)
 - C. Select **your own cutoff frequency** - hint: start with low frequency
 - D. Kalman Filter
- 5) Compare the results with the **true value** and determine **your final cutoff frequency**.

채점 기준

1. Introduction

- 프로젝트의 목표를 정확하게 언급하였는가

2. Research Method

- 각 센서에 대한 기본 설명과 센서 특징
- 센서 모델링(Sensor identification) - 잘 되었는지 확인도 필수
- Raw data 보여주고 상보필터의 필요성 도출(plot 필요, 느리게,빠르게,가만히 있을 때)

3. Filter

- 상보필터의 원리 설명(수식 필요)
- 시스템에 적용(cutoff freq. 설정 기준 명확)
- 칼만필터의 원리 설명(수식 필요)
- 시스템에 적용(plot 필요)

4. Discussion

- 상보필터를 적용했을 때의 결과 분석
- 칼만필터를 적용했을 때의 결과 분석

5. Conclusion

- 프로젝트의 요약과 결과 분석이 잘 되어있는지

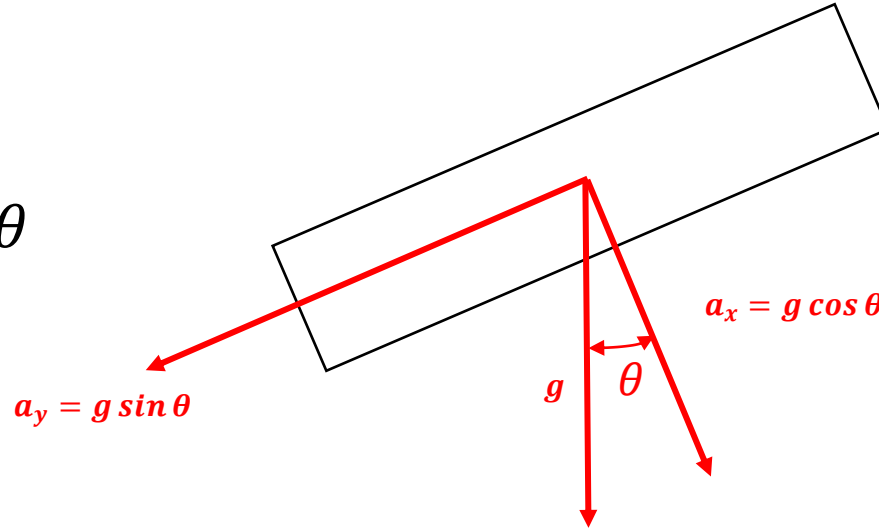
Appendix

1. 가속도, 자이로 센서 측정 방법

1) 가속도 센서

$$\frac{a_y}{a_x} = \frac{g \sin \theta}{g \cos \theta} = \tan \theta$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{a_y}{a_x}$$



2) 자이로 센서

Note : 감도는 0.5 mV/°/s

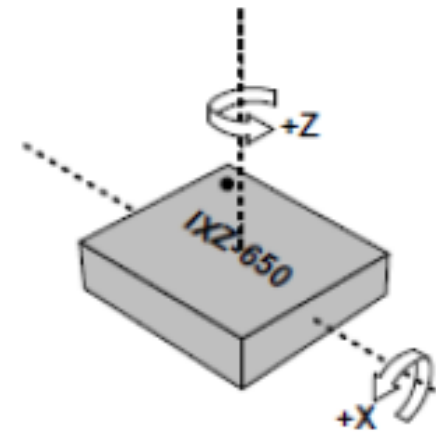
감도의 풀 스케일은 ±2000 °/s

Xrate 및 Yrate/Zrate 출력 전압 범위는 기준전압(출하시:1.35V ± 1000 mV)입니다.

$$\omega_{gyro} = 1 \left[\frac{^\circ}{s} \right] \rightarrow 0.5 [mV]$$

자이로 offset을 값을 구하면 전압과 자이로 각속도의 관계식 추출 가능

Euler Backward Method를 통해 자이로 각속도를 자이로 각도로 변환 가능

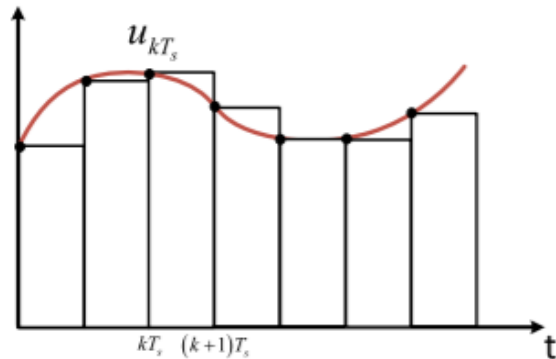


1. Euler's Method

Forward Euler Method

$$f(t, y) = \frac{dy}{dt}$$

$$y_{k+1} = y_k + hf(t_k, y_k)$$

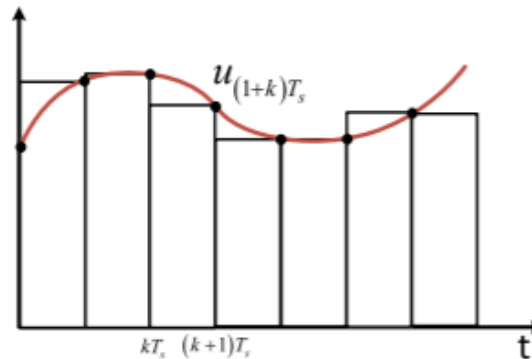


Forward Difference Method or
Forward Euler Method

Backward Euler Method

$$f(t, y) = \frac{dy}{dt}$$

$$y_k = y_{k-1} + hf(t_k, y_k)$$



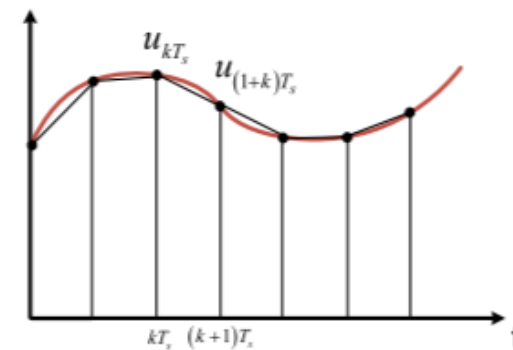
Backward Difference Method
or Backward Euler Method

Trapezoidal Euler Method

$$f(t, y) = \frac{dy}{dt}$$

$$y_{k+1} = y_k + \frac{1}{2}h(f(t_k, y_k) + f(t_{k+1}, y_{k+1}))$$

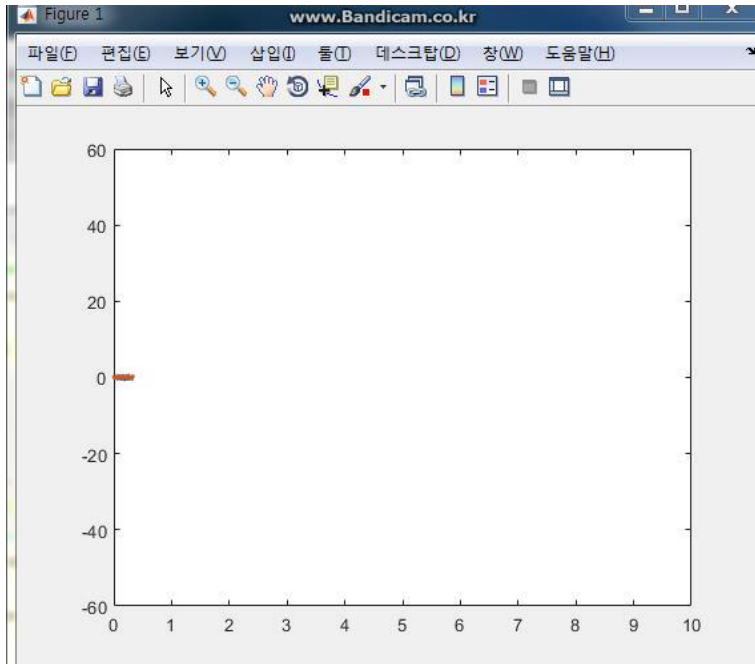
$$(h = t_{k+1} - t_k)$$



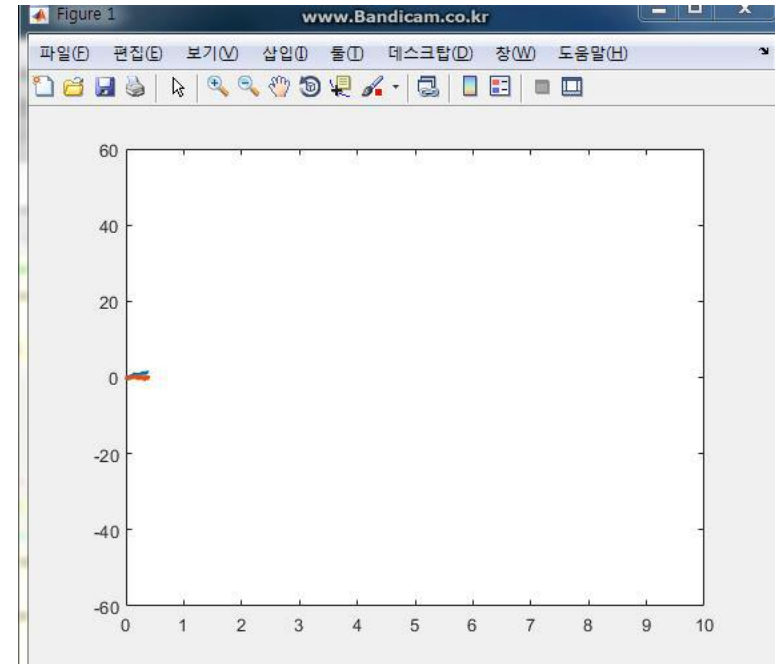
Trapezoidal Integration

1. Real-time Rotational Angle of a Pendulum

Slow Movement
(red: accel, blue:gyro)



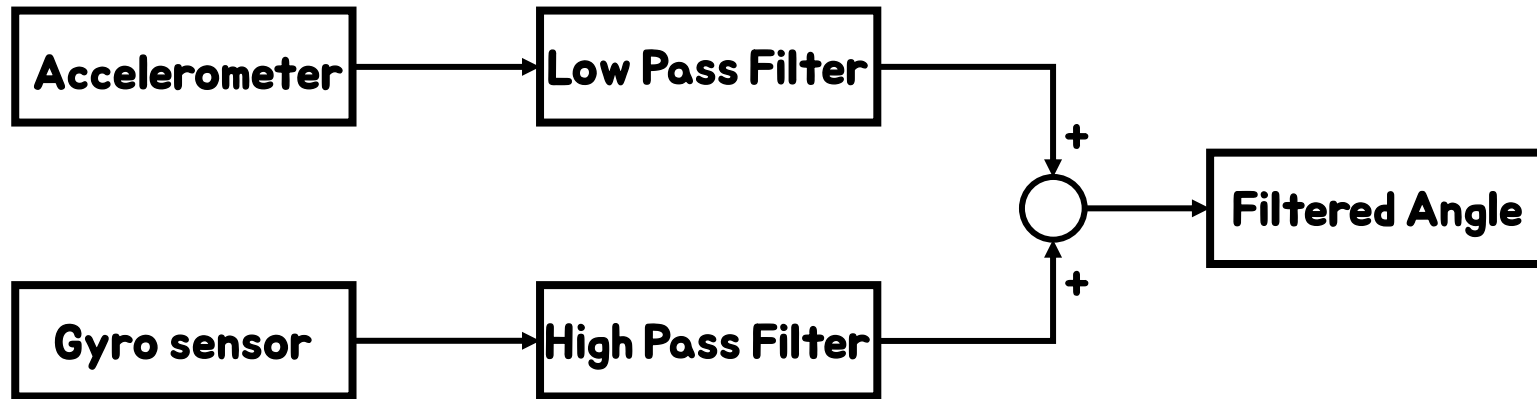
Fast Movement
(red: accel, blue:gyro)



3. 상보 필터(Complementary Filter)

가속도 센서 ➡ Noise 제거 ➡ Low pass filter 사용

자이로 센서 ➡ 적분 오차 제거 ➡ High pass filter 사용



$$\theta_{filter} = \frac{1}{\tau s + 1} \theta_{accel} + \frac{\tau s}{\tau s + 1} \theta_{gyro}$$

3. 상보 필터(Complementary Filter)

$$\theta_{filter} = \frac{1}{\tau S + 1} \theta_{accel} + \frac{\tau S}{\tau S + 1} \theta_{gyro}$$

$$\Rightarrow (\tau S + 1) \theta_{filter} = \theta_{accel} + \tau S \theta_{gyro} \Rightarrow \tau \frac{d\theta_{filter}}{dt} + \theta_{filter} = \theta_{accel} + \tau \frac{d\theta_{gyro}}{dt}$$

$$\Rightarrow \tau \frac{\theta_{filter}[t_k] - \theta_{filter}[t_{k-1}]}{\Delta t} + \theta_{filter}[t_k] = \theta_{accel}[t_k] + \tau \frac{\theta_{gyro}[t_k] - \theta_{gyro}[t_{k-1}]}{\Delta t}$$

$$\Rightarrow \frac{\tau + \Delta t}{\Delta t} \theta_{filter}[t_k] = \frac{\tau}{\Delta t} \theta_{filter}[t_{k-1}] + \theta_{accel}[t_k] + \tau \frac{\theta_{gyro}[t_k] - \theta_{gyro}[t_{k-1}]}{\Delta t}$$

$$\theta_{filter}[t_k] = \frac{\tau}{\tau + \Delta t} \theta_{filter}[t_{k-1}] + \frac{\Delta t}{\tau + \Delta t} \theta_{accel}[t_k] + \frac{\tau}{\tau + \Delta t} (\theta_{gyro}[t_k] - \theta_{gyro}[t_{k-1}])$$

+ 자이로 센서 회로 연결

