

수평 자동 조절 의자

Automated Gimbal Chair

강세혁, 김성우, 이지훈
박세광, 추병천, 박명원

부천대학교 지능로봇과

Kang Se-hyuk, Kim Sung-woo, Lee Ji Hoon
Park Se Kwang, Chu Byeung Cheon, Park Myung Won

개요-본 작품은 특정 환경 (중장비, 선박, 항공 우주 등)에서 보다 편안한 활동과 작업 환경 개선으로 작업의 효율과 높은 안정성을 제공하기 위해 만들어졌다. 자동으로 수평 제어가 가능하게 제작이 되어 별도의 조작 없이 자동으로 수평을 조절 할 수 있게끔 제작이 되었다. 본 작품을 통해 특정 환경에서의 활동과 작업들이 좀 더 편리하고 안정성 있는 환경으로 변화하였으면 한다.

Abstract-This work is designed to provide work efficiency and high stability through more comfortable activities and improved working environment in a particular environment (such as heavy equipment, ships, aerospace, etc.). It is designed to be controlled automatically so that the level can be adjusted automatically without any additional control. I hope this work will transform activities and work in a particular environment into a more convenient and stable environment.

1. 서론

활동성의 제한이나 수평이 맞지 않아서 생기는 여러 가지 문제들을 개선 할 수 있는 방법을 특정 환경에서의 활동에서 좀 더 편안한 작업과 활동이 가능할 수 있게 제작을 진행하였다.

작품 진행 단계

1단계 - 아이디어 구상 및 정립

2단계 - 작품에 대한 간단한 스케치 및

참고 자료조사

3단계 - 작품에 대한 구동원리 이해를 위한 프로토타입 제작

4단계 - 제작을 위한 부품구매와 가공

5단계 - 하드웨어 조립 및 소프트웨어코딩

6단계 - 작품 완성

2. 본론

2-1 개념설계

삼상 교류 모터 3개와 감속기3개를 기반으로 인버터를 통한 수동 조작 및 코딩을 통해 자동 수평조절을 가능하도록 요구 사양을 정하였다.

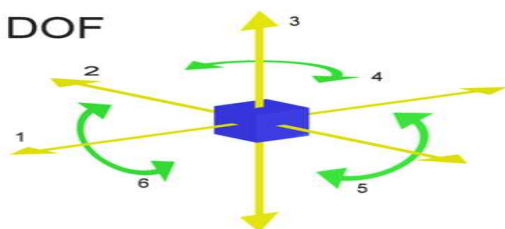
2.2 수평 조절의자의 회로

수평 조절 의자는 RS-485 통신, PID 제어, 칼만필터, MPU 6050 센서로 구성된다.

2.3 수평 조절의자의 모델링

수평 조절 의자의 기본 구성 요소로는 베어링(유니트, 로드엔드, UCFL), 가공 각파이프, 알루미늄 상판, 모터, 감속기, 인버터 등의 기구부로 구성된다

2.4 DOF_자유도의 핵심기능



< 그림 1 > Degree-of-Freedom

작품과 같이 움직이는 기계장치에는 '자유도'라는 것이 존재한다. 자유도_DOF(Degrees of Freedom) 이라고 하는 것은 해당 기계가 얼마나 자유롭게 움직일 수 있느냐에 따라 달라지게 하는데, 보통 움직이는 축의 개수, 축의 방향 또는 모터의 개수에 따라 달라진다. 밸런싱 체어와 같은 경우는 '롤 Roll'과 '피치 Pitch' 그리고 상하로 움직일 수 있기 때문에 3자유도(3DOF)를 갖게 된다.

2.5 칼만필터

칼만 필터는 재귀적으로 동작한다. 즉, 칼만 필터는 바로 이전 시간에 추정된 값을 토대로 해서 현재의 값을 추정하며, 바로 이전 시간 외의 추정값이나 추정값은 사용하지 않는다.

각 추정 계산은 두 단계로 이루어진다. 첫 단계에서는 이전 시간에 추정된 상태에 대해, 그 상태에서 사용자 입력을 가했을 때 예상되는 측정값을 계산한다. 이 단계는 예측(prediction) 단계라고 부른다. 그 다음 단계에서는, 앞서 예측된 측정값과 실제 측정값을 토대로 현재의 상태를 추정한다. 이 단계는 보정(update) 단계라고 부른다.

시스템에 따라서 보정단계가 가끔씩 일어날 수도 있다. 이때에는 예측단계가 여러번 수행되다가 한번씩 보정단계가 수행된다.

각 시간의 추정 상태는 평균과 분산의 두 개의 변수로 표현된다. 정확하게는, 각 시간의 추정 상태는 평균과 분산의 두 개의 변수로 표현된다. 정확하게는,

- $\hat{\mathbf{x}}_{n|m}$: m 시점의 측정값을 토대로 한 n 시점의 상태 추정값
 - $\mathbf{P}_{n|m}$: m 시점의 측정값을 토대로 한 n 시점의 상태 공분산행렬
- 여기에서 아랫첨자로 쓰인 n|m은 m 시점에서의 측정값을 토대로 한 n 시점의 상태 추정을 의미한다.

예측 단계

예측 단계의 계산은 다음과 같이 이루어진다.

$$\text{연역적 상태 예측: } \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} = \mathbf{F}_k \hat{\mathbf{x}}_{k-1|k-1} + \mathbf{B}_k \mathbf{u}_k$$

$$\text{연역적 공분산 예측: } \mathbf{P}_{k|k-1} = \mathbf{F}_k \mathbf{P}_{k-1|k-1} \mathbf{F}_k^T + \mathbf{Q}_{k-1}$$

보정 단계

보정 단계에서는 앞단계의 예측 값과 실제 측정값간의 오차를 이용해, 이전에 얻은 값을 귀납적으로 수정한다.

$$\text{예측 단계와 실제 측정간의 잔차: } \tilde{\mathbf{y}}_k = \mathbf{z}_k - \mathbf{H}_k \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}$$

$$\text{잔차의 공분산: } \mathbf{S}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k$$

$$\text{최적 칼만 이득(Kalman gain): } \mathbf{K}_k = \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T \mathbf{S}_k^{-1}$$

$$\text{귀납적 상태 보정: } \hat{\mathbf{x}}_{k|k} = \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} + \mathbf{K}_k \tilde{\mathbf{y}}_k$$

$$\text{귀납적 상태 공분산 보정: } \mathbf{P}_{k|k} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_{k|k-1}$$

불변량

모델이 정확하고, Xolo와 Polo 의 값이 정확하게 초기 상태 값의 몫을 반영한다면, 다음 불변량은 보존된다.

- $E[\mathbf{x}_k - \hat{\mathbf{x}}_{k|k}] = E[\mathbf{x}_k - \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}] = 0$
- $E[\tilde{\mathbf{y}}_k] = 0$

여기서 $E[\xi]$ 은 ξ 의 기대값이고, 공분산 행렬은 정확하게 추정의 공분산을 반영한다.

- $\mathbf{P}_{k|k} = \text{cov}(\mathbf{x}_k - \hat{\mathbf{x}}_{k|k})$
- $\mathbf{P}_{k|k-1} = \text{cov}(\mathbf{x}_k - \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1})$
- $\mathbf{S}_k = \text{cov}(\tilde{\mathbf{y}}_k)$

2.6 PID 제어

비례-적분-미분

제어기(Proportional-Integral-Differential controller) 또는 PID 제어(PID control)는 실제 응용분야에서 가장 많이 사용되는 대표적인 형태의 제어기법이다. PID 제어기는 기본적으로 피드백(feedback)제어기의 형태를 가지고 있으며, 제어하고자 하는 대상의 출력값(output)을 측정하여 이를 원하고자 하는 참조값(reference value) 혹은 설정값(Set Point)과 비교하여 오차(error)를 계산하고, 이 오차값을 이용하여 제어에 필요한 제어값을 계산하는 구조로 되어 있습니다.

표준적인 형태의 PID 제어기는 아래의 식과 같이 세개의 항을 더하여 제어값(MV : Manipulated Variable)을 계산하도록 구성이 되어 있다.

$$MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt}$$

이 항들은 각각 오차값, 오차값의 적분(integral), 오차값의 미분(derivative)에 비례하기 때문에 비례-적분-미분 제어기

(Proportional - Integral - Derivative controller)라는 명칭을 가진다. 이 세개의 항들의 직관적인 의미는 다음과 같다.

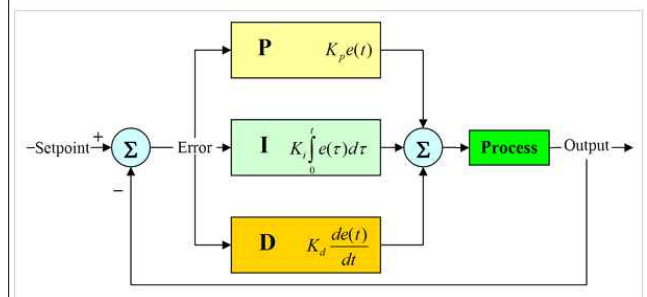
-비례항 : 현재 상태에서의 오차값의 크기에 비례한 제어작용을 한다.

-적분항 : 정상상태(steady-state) 오차를 없애는 작용을 한다.

-미분항 : 출력값의 급격한 변화에 제동을 걸어 오버슈트(overshoot)을 줄이고 안정성(stability)을 향상시킨다.

PID 제어기는 위와 같은 표준식의 형태로 사용하기도 하지만, 경우에 따라서는 약간 변형된 형태로 사용하는 경우도 많다. 예를 들어, 비례항만을 가지거나, 혹은 비례-적분, 비례-미분항만을 가진 제어기의 형태로 단순화하여 사용하기도 하는데, 이때는 각각 P, PI, PD 제어기라 불린다.

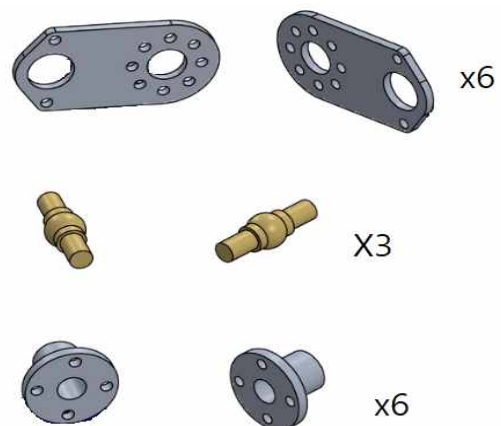
한편, 계산된 제어값이 실제 구동기(actuator)가 작용할 수 있는 값의 한계보다 커서 구동기의 포화(saturation)가 발생하게 되는 경우, 오차의 적분값이 큰 값으로 누적되게 되어서, 정작 출력값이 설정값에 가까워지게 되었을 때, 제어값이 작아져야 함에도 불구하고 계속 큰 값을 출력하게 되어 시스템이 설정값에 도달하는 데 오랜 시간이 걸리게 되는 경우가 있는데, 이를 적분기의 와인드업이라고 한다. 이를 방지하기 위해서는 적절한 안티 와인드업(Anti-windup) 기법을 이용하여 PID 제어기를 보완해야 한다.



< 그림 2 > PID 제어기의 일반적인 구조

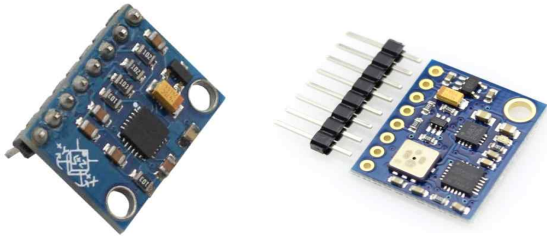
2.7 기구설계

우선 각 파이프로 정삼각형 식의 하판을 설계 및 제작하였다. 결합된 모터와 감속기는 하판에 고정하였고, 모터와 상판을 연결하기 위해 설계된 날개를 연결 후 상판과 결합하여, X, Y, Z의 원활한 동작을 수행하게끔 설계하였다.



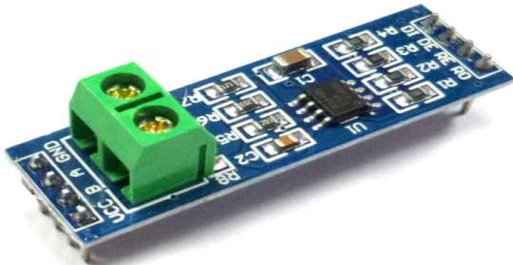
< 그림 3 > 날개, 샤프트, 플랜지

2.8 제어부



< 그림 4 > MPU 6050 Sensor

밸런싱을 하기 위해서 필요한 핵심적인 부품인 IMU이다. 3축에 대해서 각가속도 및 각속도 값을 알 수 있는 센서이며 해당 센서를 통해 현재의 x축, y축의 각도를 추정할 수 있다.



< 그림 5 > MAX 485 To TTL

아두이노 자체에 통신 모듈이 없기 때문에 인버터와 통신하기 위해 RS485 모듈을 사용하였다.



< 그림 6 > LS IG5A-1 인버터

주파수를 바꾸어 모터의 회전속도를 조절하고, DC 전압을 AC로 변환하기 위해 IG5A 인버터를 사용하였다.

2.9 교육과정

- 1주~2주차: 수평 조절 의자 기구설계
- 3주~4주차: 수평 조절 의자 기구제작
- 5주~7주차: 교류모터 제어 프로그램 및 디버깅
- 8주차: 중간평가(수평 조절 의자 조립 및 동작 시험)
- 9주~10주차: 수평 조절 의자 수평 테스트 (현장실습)
- 11주~12주차: 시운전 및 완성

3. 결론

앞서 말한 요약 내용과 같이 특정 환경 (중장비, 선박, 항공 우주 등)에서 보다 편안한 활동과 작업 환경 개선으로 작업의 효율과 높은 안정성을 제공하기 위해 만들어졌다. 아두이노 RS485통신

테스트를 위해 Docklight를 활용하여

인버터 통신을 사전에 테스트 하였고

모터에 사용된 감속기는 비규격을 사용하여 60:1

사용하였다. 그리고 인버터를 통해 모터를 제어하는데 있어서 원활한 제어가 어려워서 RS485 통신을 이용하여 모터를 제어 하였다.

본 작품을 통해 특정 환경에서의 활동과 작업들이 좀 더 편리하고 안정성 있는 환경으로 변화 하였으면 한다.