**설계 구성요소**

설계는 목표하는 기능과 성능을 포함한 제반 요구조건을 만족하는 시스템이나 시스템의 일부를 고안하는 전 과정을 포함하므로 다음과 같이 목표, 기준설정, 분석, 제작, 실험, 평가, 결과도출의 단계로 나눌 수 있다. 아래 표는 각 설계 구성요소를 정의한 것이다.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 설계 구성요소 | 설명 | 산출물 |
| 목표, 기준설정 | 설계 목표를 현실적인 제한 요소와 컴퓨터, 정보기술 분야의 제한요소를 감안하여 설정 | 1. 과제 제안서 2. 과제 계획서 |
| 분석 | 포괄적인 문제에 대한 분석 또는 결과물(프로그램)에 대한 요구사항 분석 | 1. 요구사항 명세서 |
| 제작 | 분석한 문제 또는 요구사항에 맞추어 각 기능을 프로세스에 따라 구현하고 통합하여 결과물(프로그램)을 만들어 내는 작업 | 1. 설계 사양서 |
| 시험 | 최종 결과물(제작한 프로그램)에 대한 시험 | 1. 시험결과 보고서 |
| 평가 | 시험 결과를 바탕으로 ‘목표, 기준설정’에서 제시된 제한요소에 맞는가를 평가 | 1. 평가결과 보고서 |
| 결과 도출 | 설계 전 과정을 명시한 결과물 및 결과보고서, 중간보고서 등 문서 도출 | 1. 과제완료 보고사 |

**설계 제한요소**

각 설계 교과목은 현실적 제한조건에 맞추어 구성요소와 시스템을 설계할 수 있는 능력을 배양하기 위한 과목으로, 이들은 다양한 방법으로 설계 구성요소의 일부를 교육시킬 수 있어야 한다. 따라서 컴퓨터, 정보기술 분야에서 제시될 수 있는 아래의 제한요소를 각 설계 교과목의 목표, 기준으로 설정함으로써 현실적인 설계학습을 도모한다.

|  |  |
| --- | --- |
| 설계 제한요소 | 설계 제한요소 설명 |
| 경제성 | 1. 개발 프로세스 또는 결과물의 경제성을 평가 2. 설계 및 제작 과정에서 경제성이 고려되었는가? 3. 설계된 프로그램은 최적화되어 효율적으로 구동되는가? |
| 견고성 | 1. 예외상황에 적절히 대응할 수 있도록 설계 2. 프로그램 또는 각 기능이 예외상항에 적절히 대응할 수 있도록 설계되었는가? |
| 접근성 | 1. 사용자의 사용 편의성 2. 프로그램 또는 각 기능을 사용자가 사용화기 편리한가? |
| 호환성 | 1. 필요시 타 프로그램과 원활한 연동 수행 2. 타 프로그램 또는 시스템과 연동이 필요한 상황에서 원활히 연동할 수 있도록 구현되었는가? |
| 확장성 | 1. 용구사항 변경에 대한 적용 용이성 2. 설계된 프로그램은 기능을 추가하기 쉽도록 구현되었는가? 3. 프로그램 구조의 유연성, 재사용성 및 프로그램 구축의 편의성 |
| 적시성 | 1. 사용자가 원하는 시점에 인도 2. 요구된 설계완료일에 결과물을 제출하였는가? |
| 윤리성 | 1. 설계된 프로그램이 다른 사용자의 사생활을 침해하지는 않는가? 2. 개발 단계에서 불법 프로그램을 사용하였는가? |

|  |
| --- |
|  |
| **캡스톤디자인 과제 지침서** |
|  |
| **I. 과제 내용**  **II. 과제 수행계획서 양식**  **III. 과제 최종보고서 양식** |
|  |
|  |

**I. 과제 내용**

|  |  |
| --- | --- |
| 1. 과제명 | PID 제어 알고리즘 기반 균형 유지 알고리즘 제작 |
| 2. 과제 목표 | 로봇은 크게 구동부로와 전자부로 나눠져 있다. 구동부로는 전기적 신호를 역학적 신호로 변환하는 장치가 필요한데, 일반적으로 모터를 사용한다. 기존의 로봇들은 안정성을 위해 3개 이상의 모터를 사용하여 하나의 평면을 만들어 사용했지만, 이는 비용의 증가로 이어지는 문제가 존재한다. 2개의 모터를 사용할 경우, 2 DOF를 넣을 수 있어 전후좌우 방향으로 이동할 수 있지만, 바퀴 축이 한 평면 위에 있지 못하기에 안정성이 다소 떨어지는 경향이 있다. 다라서 본 연구는 비용 절감을 위해 모터 2개를 사용하면서, 균형 제어 즉, 자세를 제어하는 알고리즘을 개발하는 것이 주 목적이다. |
| 3. 과제 내용 | 사용하는 디마이스는 Arduino Pro mini 3.3v, MPU6050을 사용하며, 각각 제어부와 자세 센서이다. 본 연구는 PID 제어 기반으로 이륜 로봇의 균형을 잡는데 목적이 있다. MPU6050 6 axis 센서로 현재 로봇이 취하고 있는 자세의 pitch 정보를 받아온다. PID 제어는 비례, 적분, 미분 항목이 있다. P 제어로 목표 값에 근접하며, I 제어로 정상상태 오차를 줄인다. 또한 D 제어를 사용하여 PI 제어로 인한 오버슈팅을 상쇄한다. |
| 4. 제한 요소 | 1. 통신 링크  적외선 통신은 발광부에서 나온 적외선이 대기를 통해 수광부로 전달되는 방식이다. 해당 방식에서 태양과 형광등 같이 적외선 수광부 대역폭에 속하는 잡음이 발생되는 소스가 존재하면 신호의 왜곡이나, 진폭의 왜곡이 발생할 수 있다.  해당 문제는 통신을 하지 않는 idle 상태에서 수광부의 에너지 level을 측정하여 특정 환경 속 잡음을 분석하여 이를 알고리즘에 포함하는 방식으로 해결할 수 있다.  2. 통신 거리  통신의 경우, 거리에 따라 신호 강도가 감쇄하는 현상을 보인다.  해당 문제는 적외선 통신 방식에 이용되는 NEC protocol에 따라 38KHz 대역 부근의 반송파를 사용함과 동시에 LED 출력을 높이는 방식으로 해결할 수 있다. |

**II. 캡스톤디자인 수행계획서**

**과제명 : PID 제어 알고리즘 기반 균형 유지 알고리즘 제작**

|  |  |
| --- | --- |
| **팀원** | **박광렬** |
| **유안** |
|  |
|  |

**제 1장 과제 개요**

로봇은 크게 구동부로와 전자부로 나눠져 있다. 구동부로는 전기적 신호를 역학적 신호로 변환하는 장치가 필요한데, 일반적으로 모터를 사용한다. 기존의 로봇들은 안정성을 위해 3개 이상의 모터를 사용하여 하나의 평면을 만들어 사용했지만, 이는 비용의 증가로 이어지는 문제가 존재한다. 현재는 3개 미만의 바퀴만을 사용하려는 움직임이 있으며, 대표적인 예시로 세그웨이와 전동휠이 있다. 이들은 구동부를 줄여 제작 단가를 줄이는 이득을 취하고 있다.

**제 2장 과제 목표 및 주요 내용**

**2.1. 과제 목표 및 내용**

로봇은 크게 구동부로와 전자부로 나눠져 있다. 구동부로는 전기적 신호를 역학적 신호로 변환하는 장치가 필요한데, 일반적으로 모터를 사용한다. 기존의 로봇들은 안정성을 위해 3개 이상의 모터를 사용하여 하나의 평면을 만들어 사용했지만, 이는 비용의 증가로 이어지는 문제가 존재한다. 2개의 모터를 사용할 경우, 2 DOF를 넣을 수 있어 전후좌우 방향으로 이동할 수 있지만, 바퀴 축이 한 평면 위에 있지 못하기에 안정성이 다소 떨어지는 경향이 있다. 다라서 본 연구는 비용 절감을 위해 모터 2개를 사용하면서, 균형 제어 즉, 자세를 제어하는 알고리즘을 개발하는 것이 주 목적이다.

PID 제어의 원리를 파악하며, PID의 각각의 계수와 로봇의 성능지표와의 관계를 연구한다. 여기서 성능지표는 로봇의 pitch 값의 최대 첨두 시간, 최대 초과량, 정상상태 오차를 의미한다. 과제 수행자는 지글러-니콜스 주파수 응답 방식으로 최초의 P, I, D gain 값을 정하며, 앞서 수행한 연구를 기반으로 각 gain 값을 정밀 조정한다. 과제 수행자는 조정된 gain 값들을 통해 pid 제어기를 완성함으로써 모터의 출력량을 결정하고 이륜 로봇의 균형을 유지시킨다.

본 연구에서는 자동제어 수업에서 배운 PID 제어를 기반으로 로봇의 자세를 제어한다. P 제어는 목표 값에 도달하는 제어이며, I 제어는 P 제어의 정상상태 오차를 줄이는데 그 목적이 있다. 마지막으로 D 제어는 PI 제어로 인해 발생되는 Overshooting을 줄이며, 시스템의 응답 속도를 개선시킨다. 제어의 최종 목표는 내부 변수를 원하는 목표 변수 T로 수렴하게 하는 것이며, 본 연구에서는 현재 각도 theta를 목표 각도에 수렴하게 하는 것이다. 여기서 error는 (목표 각도 – 현재 각도)로 결정된다.

P 제어는 다음 수식을 따른다.

P\_control = P\_gain \* (error);

여기서 P\_gain은 P 제어의 비례상수로 에러 값에 곱해져 P 제어가 최종 출력값에 영향을 주는 가중치 역할을 수행한다. 이는 실험에 기반하여 적절한 값으로 결정된다.

I 제어는 적분기로 이뤄져 있으며, Arduino 같은 디지털 시스템의 경우 연속시스템에서 사용하는 적분 연산을 취할 수 없기에 누적기로 이를 대체한다.

I = I + error

I\_control = I\_gain \* I

여기서 I\_gain은 I 제어의 비례상수로 누적 에러 값에 곱해져 I 제어가 최종 출력값에 영향을 주는 가중치 역할을 수행한다. 이는 실험에 의존적인 값이다.

D 제어는 미분기로 이뤄져 있으며, Arduino 같은 디지털 시스템의 경우 연속시스템에서 사용하는 미분 연산을 취한 수 없기에 차분기로 이를 대체한다.

D = error - previous\_error;

D\_control = D\_gain \* D

여기서 D\_gain은 D 제어의 비례상수로 차분 에러 값에 곱해져 D 제어가 최종 출력값에 영향을 주는 가줓이 역할을 수행한다. 이는 실험에 의존적이다.

최종 제어 값은 다음과 같이 계산할 수 있다.

PID\_control = P\_control + I\_control + D\_control;

PID 계수 값 P\_gain, I\_gain, D\_gain을 튜닝하는 방법에는 두 가지가 있으며, 실험에 전의존 방식과 지글러 니콜스 방식으로 나눠진다. 실험에 전적으로 의존하는 방식은 P, I, D 제어의 특성을 기반으로 제작자가 직접 게인 값들을 조정하는 방식이다. 실험에 의존적인 방식이기에 시간이 오래 걸린다는 단점이 존재한다. 지글러 니콜스 방식은 ID gain을 0으로 초기화하고, P gain 값을 올려가며 로봇이 진동할 때의 값, 즉 주파수 특징을 기반으로 P, I, D gain을 조정하는 방식이다. 지글러 니콜스 방식은 대략적인 gain의 값을 제공하며 fine-tuning이 요구된다. 본 연구는 제작하려는 로봇의 주파수 응답 특징을 이용한 지글러 니콜스 방식을 적용하여 로봇의 규형을 잡는 알고리즘을 개발한다.

**2.2. 과제 수행 방법**

로봇의 제어부분을 담당하는 MCU로 Arduino Pro mini 3.3v를 사용한다. Arduino Pro mini 3.3v는 16MHz로 동작하기 때문에 충분한 연산 속도 면에서 적절한 clock rate를 제공한다. 또한 과제 수행자가 가지고 있는 3.7 Lipo battery로 동작될 수 있으며 다수의 라이브러리 덕분에 프로그램 작성이 용이하다. 균형 제어를 위해서 로봇의 pitch 기울기 정보가 필요한데, 이는 MPU6050을 사용한다. MPU6050은 3.3v로 동작하기 때문에 3.3v로 동작하는 Arduino Pro mini 3.3v에 적합하며, 또한 다수의 라이브러리 덕분에 사용하기 용이하다. Motor는 기존에 갖고 있던 3.3v gear motor를 사용한다. 모터 드라이버는 DRV8833을 사용하며, DRV8833은 3.3v 이상의 전압으로 동작으로 동작하기에 3.7v를 공급하는 battery에 적합한 드라이버다. 과제 수행자는 3D 프린터를 가지고 있기 때문에 3D 프린터의 접근성이 높아 로봇 동체는 3D 프린터로 출력된 기구를 사용한다. 과제 수행자는 다루기 쉬운 Shapr3D 프로그램을 통해 도면을 그리며, 앞선 언급된 MCU, 센서, 모터 그리고 모터 드라이버의 데이터 시트 정보를 기반으로 도면에 정확 치수를 기입한다.

Battery와 motor 그리고 DRV8833은 지원금을 통해 구비 되었으며, Arduino와 MPU6050은 과제 수행자가 자체조달한다. 3D 물품은 구비된 3D 프린터로 제작된다.

아두이노 프로그램은 Arduino IDE 환경에서 작성되며, 아두이노에서 기본으로 제공하는 라이브러리와 user defined 라이브러리를 활용하여 작성된다. MPU6050 센서에서 pitch 값을 쉽게 얻기 위해 MPU6050 라이브러리를 사용한다.

모터의 회전 속도는 로봇의 균형을 위해 error가 입력 값으로 지정된 다음의 PID 제어 함수를 통해 제어된다.

void PID(float error, float \*pid) {

static float previous\_error = 0;

P\_control = P\_gain \* (error);

I = I + error;

I\_control = I\_gain \* I;

D = error - previous\_error;

\*pid = P\_control + I\_control + D\_control;

previous\_error = error;

}

제어의 결과 값은 \*pid에 저장되며, \*pid를 모터의 신호로 인가하여 모터를 제어한다. 인가된 신호는 모터의 회전을 유발하며, 모터의 회전으로 인해 로봇의 pitch 값이 변한다. PID 제어는 오차를 0으로 만드는 제어이기 때문에 최종적으로 로봇의 pitch 값이 목표 각도에 도달하게 된다.

과제 수행자는 P, I, D gain를 조정하며 각각의 값의 변화가 시스템의 성능 지표에 어떠한 영향을 미치는지 연구하고, 이 연구와 지글러-니콜스 주파수 응답 방법을 기반으로 로봇의 균형 제어 알고리즘을 작성한다. 여기서 시스템의 성능 지표에는 pitch 값의 최대 첨두 시간, 정상상태 오차, 그리고 최대 값이 있다.

P, I, D 제어기의 gain 값은 교과서에서 배운 지글러-니콜스 주파수 응답 방법을 기반으로 결정한다. 지글러-니콜스 주파수 응답 방법은 I, D gain을 0으로 설정한 상태에서 P gain를 로봇이 진동할 때까지 증가시키며, 진동이 시작한 시점의 P gain 값과 진동 주기를 통해 P, I, D gain을 결정한다. 진동이 시작될 때의 P gain을 Ku, 진동 주기를 Pu라 하면 P, I, D gain은 다음과 같이 결정된다.

P\_gain = 0.6Ku

I\_gain = 0.5Pu

D\_gain = 0.125Pu

지글러-니콜스 주파수 응답 방법은 대략적인 값을 제공하기 때문에, 실험을 통해 gain 값을 정교화 한다.

**제 3장 필요 장비(부품)**(조달 방법 / 구입처 / 가격 등 명시)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **장비 명** | **조달 방법** | **구입처 (스토이명)** | **가격** |
| Arduino Pro mini 3.3v | 자체 조달 |  |  |
| MPU6050 | 자체 조달 |  |  |
| DRV8833 | 지원금 사용 |  |  |
| Motor | 지원금 사용 |  |  |
| 3.7 lipo battery | 지원금 사용 |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

**제 4장 필요 요소 기술**(프로젝트 수행에 필요한 요소 기술을 나열 / 현재 보유하지 않는 기술에 대해 보완할 방안 제시 ex) 스터디 방법 및 기간 / 멘토 활용 등)

1. PID 제어 기술

**제 5장 추진 일정 및 참여 인력**(3월부터 10월 중순까지)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **세부 개발내용** | **주별 세부 일정** | | | | **비고** |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 로봇 본체 제작 | 3D 프린터 도면 제작 및 물품 출력 | | 로봇 회로 구성 및 하드웨어 제작 | |  |
| 로봇 구동부 제어  PID 제어 적용 | 로봇의 구동부 제어 프로그램 작성 | | PID 제어 알고리즘 작성 및 적용 | |  |
| PID 계수 조정 | PID 계수 조정 | | | |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**3월 27일 ~ 4월 02일: 로봇의 본체 도면 작성 및 3D 물품 출력**

**4월 03일 ~ 4월 08일: 로봇의 회로 연결 및 본체 제작**

**4월 09일 ~ 4월 10일: 로봇의 구동부 제어 프로그램 작성**

**4월 11일 ~ 4월 12일: PID 제어 알고리즘 작성 및 적용**

**4월 13일 ~ 4월 15일: PID 제어 게인 값과 로봇의 성능 지표와의 관계 연구**

**4월 16일 ~ 4월 20일: 지글러-니콜스 주파수 응답 방법 적용**

**4월 21일 ~ 5월 20일: PID 계수 미세 조정**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **성명** | **담당분야** | **기타** |
| 1 | 박광렬 | 프로그래밍, 알고리즘 개발, 모델링 |  |
| 2 | 유안 | 정보 수집 |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

(수행계획서의 내용을 바탕으로 팀원들 간에 분배된 담당 내역에 대해서 간략하게 서술)