

바퀴변형과 센서를 이용한 안정적 계단이동 로봇의 설계

박성현*, 김상훈*

*한경대학교 전기전자제어공학과
psh_mail@naver.com , kimsh@hknu.ac.kr

Design of a stable stair-moving robot using wheel deformation and sensors

Sung-Hyun Park*, Sang-Hoon Kim*

*Dept. of Electrical, Electronic and Control Engineering, HanKyong Nation
University

요 약

본 논문은 안정적으로 계단을 주행하는 로봇에 관한 연구로 바퀴변형 시스템의 설계 방법을 제시하고, 기존의 계단극복 로봇의 문제점 중 하나인 계단 주행 시 발생하는 추락을 IMU센서와 서보모터를 이용한 방지법과 아날로그 IR센서를 통한 간단하고 빠르게 계단을 감지하는 방법을 제시한다.

1. 서론

과거 이동로봇은 일부 제한된 곳에서만 활용이 되었으나 현재 이동로봇의 응용 분야는 재난현장과 같이 위험한 환경에서 인간을 대체하여 작업하거나, 인간 생활에서의 특정 서비스 수행 등 이동로봇의 응용범위가 점점 넓어지고 있다. [1] 이처럼 다양한 환경에서 로봇이 성공적으로 작업을 수행하기 위해서는 빠른 기동성과 계단을 주행할 수 있는 능력이 필요하다.



(그림 1) 소프트뱅크社의 pepper와 Transcend Robotics 社의 ARTI3

하지만 기존 로봇의 경우 Fig 1과 같이 계단 주행 자체가 되지 않거나[2] 설령 계단을 주행할 수 있더라도 기동성이 느리거나 불안정한 주행을 하는 문제점을 가지고 있는 것을 볼 수 있다.[3] 물론, 위와 같은 문제점을 해결하기 위한 다양한 연구들 또한 진행되었다. 그 중 대표적인 계단로봇인 Turboquad[4]의 경우 Fig 2와 같이 바퀴가 절반으로 나뉘어 Leg로 변하는 휠을 이용하여 빠른 바퀴변형과 기동성을 가지는 장점을 볼 수 있다. 하지만 로봇이 극복 가능한 계단의 높이가 매우 낮아 계단 주行的 한계가 발생하고, 계단 주행 시 로봇의 안정성 또한 떨어진다.



(그림 2) Turboquad 휠 변형 과정

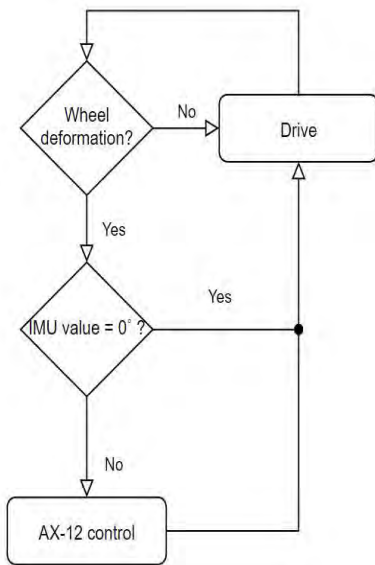
따라서 본 논문에서는 로봇이 계단을 주행할 때 기존 로봇의 문제점을 센서를 통해 보완하여 더욱 안정적인 주행과 바퀴변형 메커니즘을 이용하여 빠른 기동성을 구축하고, 아날로그 센서를 통해 비교적 간단한 방법으로 장애물 중 계단을 빠르게 감지하는 방법을 통해 기존의 로봇보다 더욱 실용적인

로봇 설계를 제시한다.

2. 본론

2.1 로봇 구조 및 메커니즘

개발하고자 하는 로봇의 메커니즘은 다음과 같다. 계단이 감지될 경우 MCU에서 서보모터로 정해진 명령을 주고, 이에 따라 바퀴가 변형된다. 그 후 로봇의 가운데에 있는 서보모터를 IMU센서를 통해 실시간으로 제어하고 계단 주행 시 무게중심을 계속해서 변경하여 안정적인 계단 주행을 한다.



(그림 2) 로봇 주요 기능 알고리즘

2.2 바퀴의 기구적 설계

계단을 극복할 수 있으면서 빠른 기동성을 가진 로봇을 설계하기 위해 Fig 3과 같이 일반적인 Wheel에서 Legged-wheel로 변형이 가능한 바퀴변형 시스템을 채택하였다. [5]

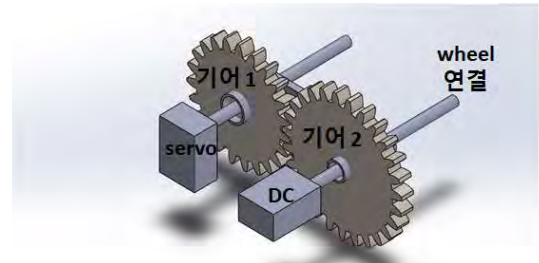


(그림 3) 일반적 Wheel(위)과 변형한 형태인 Legged-wheel(아래)

Wheel의 전체 반경의 크기는 12.5cm이고 Leg-wheel로 변형했을 때의 전체 크기는 21.5cm이다. 이때, Legged-Wheel이 극복 가능한 계단의 높이는 전체 Wheel 반지름에 2.6배를 곱한 값이 된다. 따라서 $6.5 \times 2.6 = 16.25\text{cm}$ 로 최대 극복 가능한 계단의 높이는 16.25cm로 계산되고, 이는 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙(약칭: 건축물 방화구조규칙)[6]에 명시되어 있는 실내 건축물 계단의 높이를 극복 가능한 수치이다.[7]

2.3 바퀴변형 제어시스템

본 논문에서 제시한 바퀴변형을 시행하기 위해서는 Fig 4와 같은 이중 기어 방식의 메커니즘을 선택하였다. [8]



(그림4) 이중 기어 방식의 메커니즘

DC 모터 축의 경우 바퀴가 회전하여 주행하는 역할을 하고, 서보모터 축의 경우 MCU를 통해 특정 신호를 받으면 정해진 명령을 통해 작동하며 바퀴가 Legged-wheel로 변형한다.

이러한 방법으로 바퀴변형을 하기 위해서는 서보모터가 로봇의 무게를 들어 올릴 수 있을 정도의 충분한 토크가 필요하다. 무게의 경우 Fig 5와 같이 최소($m_{\min}$) 1630g 이고 최대($m_{\max}$) 1890g 이다. 바퀴변형 시 로봇이 들어 올려지는 높이(h)는 최소($h_{\min}$) 0.06m이고 최대($h_{\max}$) 0.08m, 바퀴가 회전하는 각도(θ)는 50° 로 0.872rad로 측정이 된다.[9]



(그림5) 로봇의 부품과 무게

따라서 식 (1)과 식 (2)와 같이 계산하여 바퀴변형을 위해 필요한 토크는 최소 $11.22\text{kgf}\cdot\text{cm}$ 이상의 토크로 고려 되고, $17.34\text{kgf}\cdot\text{cm}$ 이상의 토크를 사용하는 것이 권장된다. [10]

$$W_{\min} = 9.8 \times m_{\min} \times h_{\min} \approx 0.96\text{J}$$

$$T_{\min} = \frac{J}{\theta} = \frac{0.96\text{J}}{0.872\text{rad}} \approx 1.1\text{N}\cdot\text{m}$$

$$\therefore T_{\min} = 1.1\text{N}\cdot\text{m} \times 10.2\text{kgf}\cdot\text{cm} = 11.22\text{kgf}\cdot\text{cm}$$

(식 1) 최소 토크 $T_{\min}$ 값

$$W_{\max} = 9.8 \times m_{\max} \times h_{\max} \approx 1.48\text{J}$$

$$T_{\max} = \frac{J}{\theta} = \frac{1.48\text{J}}{0.872\text{rad}} \approx 1.70\text{N}\cdot\text{m}$$

$$\therefore T_{\max} = 1.70\text{N}\cdot\text{m} \times 10.2\text{kgf}\cdot\text{cm} = 17.34\text{kgf}\cdot\text{cm}$$

(식 2) 최대 토크 $T_{\max}$ 값

Fig 6은 바퀴변형 시 필요한 초기값 설정과 명령 코드를 나타낸다. 초기설정의 경우 서보모터를 작동하기 위해 적절한 프리스케일과 주기를 적용하였고, 바퀴변형 인터럽트가 발생하면 MCU와 서보모터가 연결된 핀의 PWM 값을 250~1250 만큼 변화시킴으로써 바퀴변형을 진행하도록 코드를 설계한다.

```

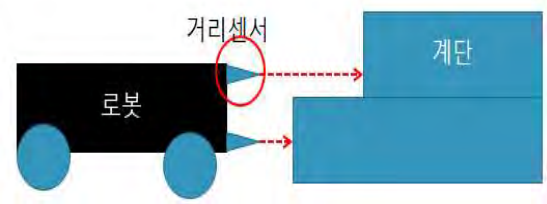
29 /* TIM2 init function */
30 void MX_TIM2_Init(void)
31 {
32     TIM_ClockConfigTypeDef sClockSourceConfig = {0};
33     TIM_MasterConfigTypeDef sMasterConfig = {0};
34     TIM_OC_InitTypeDef sConfigOC = {0};
35
36     htim2.Instance = TIM2;
37     htim2.Init.Prescaler = 168-1;
38     htim2.Init.CounterMode = TIM_COUNTERMODE_UP;
39     htim2.Init.Period = 20000-1;
40     htim2.Init.ClockDivision = TIM_CLOCKDIVISION_DIV1;
41     htim2.Init.AutoReloadPreload = TIM_AUTORELOAD_PRELOAD_DISABLE;
42     if (HAL_TIM_Base_Init(&htim2) != HAL_OK)
43     {
44         Error_Handler();
45     }
46
47     while (1)
48     {
49         HAL_TIM_PWM_Start(&htim2, TIM_CHANNEL_1); //servo pwm start
50         for (int i = 250; i < 1250; i++) {
51             __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim2, TIM_CHANNEL_1, i);
52             HAL_Delay(10);
53         }
54     }
55 }

```

(그림 6) 서보모터 초기설정 및 제어코드

2.3 계단 감지

본 논문에서는 아날로그적 방식의 감지를 이용하여 다양한 장애물 중 빠르고 비교적 단순하게 계단을 감지하는 방법을 제시한다. Fig 7과 같이 로봇의 전면의 상단과 하단에 아날로그 센서를 설치하고 두 개의 아날로그 센서 데이터의 차를 구한값이 건축물 방화구조규칙에서 제시한 계단의 단 너비인 26cm 이상의 값이 나오면 계단으로 감지하고 바퀴변형을 진행 후 주행을 진행한다.



(그림 7) 계단 감지 메커니즘

2.4 자세제어 시스템

바퀴변형을 통해 계단을 주행하는 로봇이나, 캐터필러를 기반으로 하는 로봇 등 기존의 계단을 극복하는 로봇들에서 볼 수 있는 문제점은 어느 정도 경사가 있는 계단을 주행하는 경우 낙하를 하는 모습을 볼 수 있다. 이러한 문제점은 주행 시 무게중심이 한쪽으로 집중되어 생기는 문제점으로 본 논문에서는 Fig 8과 같이 로봇 가운데에 서보모터로 구성된 관절을 설치하고, IMU센서를 통해 기울어짐을 인식하면 실시간으로 로봇의 서보모터를 조절하여 무게중심을 이동시키는 방법을 제시한다.



(그림 8) 자세제어 메커니즘

Fig 9는 IMU센서의 헥사 출력값을 MCU로 받아 실시간으로 서보모터를 제어하는 코드이다. 본 로봇에서는 Roll 값을 통해서 서보모터의 듀티비(Duty Ratio)를 조절하였다.

```

185 void HAL_UART_RxCpltCallback(UART_HandleTypeDef *huart)
186 {
187     if(huart-> Instance == USART1)
188     {
189         HAL_UART_Receive_IT(&huart1, &rx_data, 10);
190         EulerRoll = (rx_data[2]<<8)|rx_data[3];
191         EulerPitch = (rx_data[4]<<8)|rx_data[5];
192         EulerYaw = (rx_data[6]<<8)|rx_data[7];
193
194         Roll = EulerRoll/100.0;
195         Pitch = EulerPitch/100.0;
196         Yaw = EulerYaw/100.0;
197
198         rr = Roll;
199         duty = 604+4/9+(rr-1)*(40/9);
200
201         //led off
202         HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_4, GPIO_PIN_SET);
203
204         // servo controll code
205         HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim2, TIM_CHANNEL_1, duty);
206     }
207 }
208
209
210
211 }

```

(그림 9) 자세제어 코드

3. 실험 및 분석

앞서 설명한 방법으로 설계를 진행하면, 로봇의 일반 주행시 초당 2.5cm를 주행하는 모습을 볼 수 있다. 계단 주행의 경우 낮은 계단은 칸당 1~2초의 시간이 걸리고, 높은 계단의 경우 칸당 2~3초의 시간이 걸리는 모습을 볼 수 있다. 또한, 로봇이 오르내리는 경우 로봇이 계단을 올라가는 주행을 진행할 때에는 실시간 로봇 관절제어에는 무리가 없지만 내려가는 주행을 진행할 때 발생하는 급격하고 빠른 높이 감소와 같은 갑작스러운 환경변화에 로봇의 제어속도가 따라가지 못하는 상황이 발생한다.

4. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 바퀴변형에 필요한 바퀴 설계와 제어시스템을 제시하고, 아날로그 거리 센서를 통한 계단 감지 메커니즘을 통해 안정적인 계단 주행과 감지하는 방법을 고안 하였다. 이러한 방법을 사용해도 로봇의 안정성과 계단을 주행하기 위해 설계한 로봇의 크기 문제, 아날로그 센서의 단순한 감지에 따라오는 계단 감지의 한계, 로봇제어의 속도와 같은 또 다른 문제점을 새로 일으킨다. 향후 연구에서는 역 푸아송 비 구조(Negative Poisson's Ratio)[11]를 바탕으로 로봇의 크기를 제어하는 연구와 아날로그 센서의 값을 정확한 디지털 거리의 값으로 변환

하여 로봇과 장애물과의 거리를 더 정확하고 빠르게 감지해, 그 결과를 통해 로봇의 행동을 제어하는 방법, 로봇이 계단을 이동할 때 생기는 변화값에 대해 데이터를 먼저 얻을 수 있는 방법에 관한 연구가 진행되어야 한다.

참고문헌

- [1] 이재웅, 현웅근, 서희현, 서동진, 류영곤 “센서 융합에 의한 이동로봇 위치 인식 및 제어”, 2017년 대한전자공학회 춘계학술대회
- [2] Available at :https://www.softbankrobotics.com/emea/en/p-epper?utm_source=robots.ieee.org
- [3] Available at :<https://www.solvelight.com/product/arti3-mobile-robot-platform/>
- [4] Wei-Hsi Chen, Hung-Sheng Lin, Pei-Chun Lin, “TurboQuad: A Novel Leg - Wheel Transformable Robot With Smooth and Fast Behavioral Transitions”, IEEE Transactions on Robotics, 2017년
- [5] 김유석, 김한, 정광필, 김성한, 조규진, 주종남 “협지 주행용 소형 로봇을 위한 바퀴의 설계”, 한국정밀공학회지, 제 30권, 1호, p32-38, 2013년
- [6] 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙(약칭: 건축물 방화구조규칙), Available at :<https://glaw.scourt.go.kr>
- [7] 김유석, 김한, 하경호, 주종남, “동적 모델링 분석을 통한 변신바퀴 로봇의 최적설계”, 한국정밀공학회지, p1489-1490, 2013년
- [8] Long Bai, Jian Guan, Xiaohong Chen, Junzhan Hou, Wenbo Duan, “An optional passiveactive transformable wheel-legged mobility concept for search and rescue robots”, Robotics and Autonomous System, p145-155, 2018년
- [9] AHMAD FAIZ BIN FADZIL, “STAIR CLIMBING MOBILE ROBOT (SCMOR)”, 2010년
- [10] Available at : <http://study.zum.com/book/12025>
- [11] 송원호, 김진원, 사공지혁, 정현경, 주백석 “역푸아송비를 사용한 크기조절 로봇”, 한국기계가공학회 춘계학술대회 논문집, 275-275, 2019년