

논문 2012-07-08

휠-트랙 하이브리드 모바일 플랫폼을 위한 지형 적응성 장애물 극복 자세 제어기 개발

(Development of Terrain-Adaptive Attitude Controller for Hybrid Mobile Platform with Wheel & Track)

곽 정 환, 김 윤 구, 홍 대 한, 안 진 응*

(Jeong-Hwan Kwak, Yoon-Gu Kim, Dae-Han Hong, Jinung An)

Abstract : This paper describes terrain-adaptive attitude controller for a hybrid mobile platform which operates in wheel & track mode. The wheel mode of the hybrid mobile platform allows quick driving performance in the flatland, while the track mode provides adaptive movement in the rough ground or stairway. The switching of the platform between two modes is automatically controlled by attitude controller algorithm. In addition, in the track mode, the platform automatically adjusts its attitude angle to overcome the obstacles in front. This paper demonstrates the attitude controller for the aforementioned wheel-track hybrid mobile platform in order to overcome terrain obstacles by using an adaptive method. The driving performance of the hybrid mobile platform has been tested and verified in various surrounding environments in both wheel and track mode. Further, this paper presents the experiments by using the track structure of mobile platform on forming adaptive attitude under various types of obstacles. The practicability and effectiveness of the proposed attitude controller of the platform has been demonstrated in urban building and a test-bed.

Keywords : Adaptive attitude controller, Wheel-track hybrid mobile platform, Terrain-adaptive

1. 서 론

평지 및 계단과 같은 시설물들이 공존하는 도심 건물이나, 건물 붕괴로 말미암아 파편과 같은 장애물들이 많은 재난 현장에서는 모바일 로봇의 기동성이 크게 떨어지게 된다. 이러한 작업 현장에서 원활한 동작을 할 수 있도록 다양한 모바일 로봇들이 개발되고 있다 [1, 2]. 특히 이러한 모바일 로봇들이 가지는 대표적인 구조형태를 들자면 주행속도 면에서 뛰어난 휠 구조와 장애물 극복에 성능이 뛰어난 트랙과 다리 구조가 존재한다. 재난 구조로봇

은 현장의 특성에 따라 다르지만, 지형 적응성에 중점을 둔 트랙형 구조를 가진 로봇들이 많이 사용되고 있다. 하지만 도심 환경에서 사회안전로봇이나 감시로봇이 주행하게 된다면 계단과 슬로프 같은 시설물들은 로봇에게 장애물이 될 수 있다. 이러한 평지, 슬로프 및 계단과 같은 시설물이 존재하는 도심 환경에서 원활한 주행과 장애물 극복을 위해 휠과 트랙 구조의 장점을 복합화한 하이브리드 모바일 플랫폼이 개발되었다 [3, 4]. 하이브리드 모바일 플랫폼은 평지 주행 성능이 뛰어난 휠 구조와 계단 극복 성능이 우수한 트랙 구조를 복합하여 평지나 계단 및 협지에서의 지형 적응성을 가지도록 하였다. 그리고 이러한 복합 형태는 도심 환경 및 건물용의 모바일 플랫폼에 적용하기에 적합할 것이다.

휠-트랙 하이브리드 모바일 플랫폼을 위해 본 논문에서는 하이브리드 모바일 플랫폼이 가진 기동성을 최대화하고자 지형 적응성 자세 제어기를 개발하였다. 지형 적응성 자세 제어기는 도심의 환경에 존재하는 계단, 슬로프 및 평지와 같은 시설물에

* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수: 2011. 04. 18., 수정일: 2011. 05. 11., 2011. 07. 07., 채택확정: 2011. 08. 08.

곽정환, 김윤구, 홍대한: 대구경북과학기술원 로봇시스템연구부

안진응: 대구경북과학기술원 실용로봇연구소장

※ 본 연구는 교육과학기술부에서 지원하는 대구경북과학기술원 일반사업(12-BD-0101)에 의해 수행되었습니다.

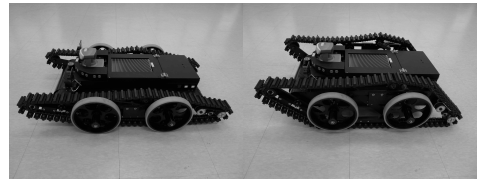
따라 적절히 휠과 트랙 모드로 주행모드를 전환하는 장치이다. 이는 가변형 트랙 구조를 가진 복합 플랫폼을 사용함으로써 변형할 수 있는데, 가변형 트랙의 종류에는 능동형과 수동형이 있다 [4-6]. 수동형은 플랫폼이 장애물을 넘어갈 때 기구학적인 구조에 따라 휠과 트랙으로 변하는 형태이다. 그리고 능동형은 센서를 이용해서 외부 장애물을 측정하고, 장애물의 형태에 따라 플랫폼의 구조를 변형한다. 능동형 가변 트랙 구조를 위한 선행 연구로는 싱글 트랙형 플랫폼으로 적외선 센서를 이용하여 주행모드를 전환하는 VSTR [5]가 있으며, 수동형 가변 트랙 구조로는 수동링크가 사용되어 장애물에 따라 주행형태를 변화시키는 휠-트랙 하이브리드 플랫폼인 NEZA-I [4]과 트랙형인 ROBHAZ [6]가 있다.

본 휠-트랙 하이브리드 모바일 플랫폼의 지형 적응성 자세 제어기는 주행모드 제어를 위한 능동형 시스템이다. 이는 장애물이 없는 상황에서 모바일 플랫폼의 주행속도를 최대화하기 위해서 휠 모드로 전환하고, 장애물이 있을 때 트랙 모드로 주행모드를 전환하여 장애물을 극복할 수 있도록 하였다. 또한, 트랙 모드로 전환을 할 때 장애물의 형태에 따라 트랙 자세각을 변경시킬 수 있도록 장애물 극복향상에 초점을 두었다. 이러한 기능은 원격 조종기에서 조종자가 주변 상황에 따라 플랫폼의 주행모드 전환과 트랙 자세각 변경의 불편함을 덜어주는 기능 보조의 역할을 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 이미 개발된 하이브리드 모바일 플랫폼에 대해 개념 설명을 하고, 3장에서 지형 적응성 자세 제어기의 구현 및 개발 방법을 제시한다. 4장에서는 장애물의 형태에 따른 자세 제어기의 성능을 검증하고 마지막으로 5장에서는 결론 및 앞으로의 연구에 대해 논한다.

II. 하이브리드 모바일 플랫폼

휠과 트랙을 가진 하이브리드 모바일 플랫폼은 계단 및 평지가 공존하는 도심지형에서 주행 성능을 최대화하기 위해서 개발되었다. 모바일 플랫폼은 크게 3가지의 구조로 나뉠 수 있다. 평지에서 빠른 주행 성능을 보장하는 휠 구조, 장애물을 극복하기 위해 지형 적응성이 좋은 트랙 및 보행 구조가 있다. 휠 구조는 선접촉을 하므로 에너지 효율성이 좋고 빠른 주행 성능을 가지므로 평지에서 구동 가능한 플랫폼은 대부분이 휠 구조를 채택하고 있다. 하



(a) 휠 모드 (b) 트랙 모드

(a) Wheel mode (b) Track mode

그림 1. 휠-트랙 하이브리드 모바일 플랫폼

Fig. 1. Hybrid mobile platform with wheel-track

지만 그 구조 때문에 험지나 휠의 반경보다 큰 장애물이 있으면 주행할 수 없거나 회피하여야 한다는 단점이 있다. 트랙 구조의 경우는 접촉면이 많으므로 휠 구조보다는 에너지 효율성이 떨어진다는 측면이 있지만, 휠 구조와 달리 면접촉을 하므로 많은 접촉 면적 덕분에 장애물을 수월히 극복할 수 있다는 장점이 있다. 다리 구조는 트랙 구조와 같이 성능상에서는 장애물 극복에 뛰어나지만, 그 구조상 각 다리와 관절의 제어가 어렵다는 단점이 있다. 그러므로 본 플랫폼은 이러한 형태들의 장점을 복합화하여 휠-트랙 하이브리드 모바일 플랫폼을 개발하였다. 그림 1은 휠-트랙 하이브리드 모바일 플랫폼을 나타내며, 휠 모드와 트랙 모드로 각각 변형한 모습을 보여준다.

휠-트랙 하이브리드 모바일 플랫폼은 지형 적응성 자세 제어기에 의해 휠 모드와 트랙 모드간 주행모드를 전환한다. 그림 2에서와 같이 휠 모드로 주행하고 있는 하이브리드 모바일 플랫폼이 장애물을 감지하면 지형 적응성 자세 제어기에 의해 휠 모드에서 트랙 모드로 전환하게 된다. 트랙 모드로 전환된 다음에는 장애물의 형태에 따라 모바일 플랫폼의 트랙 자세각을 결정하고 자세를 변경하여

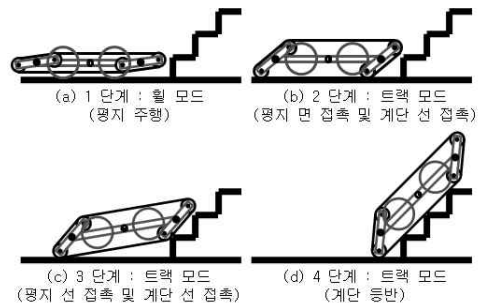


그림 2. 휠-트랙 주행모드의 전환

Fig. 2. Transition of driving mode

수월하게 장애물을 극복할 수 있도록 하였다.

하이브리드 모바일 플랫폼은 그림 2 (a)와 같이 평지에서 휠 모드로 주행하게 된다. 하지만 계단과 같은 장애물을 감지하거나 계단을 올라가야할 때, 그림 2 (b)와 같이 휠 모드에서 트랙 모드로 주행 모드를 전환하게 된다. 주행모드의 전환은 지형 적응성 자세 제어기에 의해 결정된다. 주행모드의 전환이 끝난 후에는 그림 2 (b)와 같이 플랫폼에 부착된 센서에 의해 장애물의 형태를 파악하고 그것에 맞게 장애물 진입각을 결정한다. 그리고 최종적으로 트랙 자세각을 변경한다. 트랙 자세각은 주행모드의 전환과 마찬가지로 지형 적응성 자세 제어기의 자세 제어 알고리즘에 따라 변경된다. 주행모드의 전환 및 장애물에 따른 트랙 자세각 변경은 원격 조종기에서 수동으로 조작할 수 있으며, 지형 적응성 자세 제어기에 의해 자동 제어를 할 수 있다.

표 1. 하이브리드 모바일 플랫폼 사양

Table 1. Specification of hybrid mobile platform

Dimensions	1070x600x343mm (Track Mode) 1146x600x240mm (Wheel Mode)
Net weight	50 Kg
Max. forward speed	2.2km/h (Track Mode) 7.3km/h (Wheel Mode)
Variable attack angle	0 ~ 130°
Steering type	Skid steering

III. 지형 적응성 자세 제어기

1. 자세 제어기 구성

지형 적응성 자세 제어기는 크게 4가지로 구성된다. 장애물과의 거리를 측정하기 위한 거리측정센서와 센서에서 발생하는 노이즈 제거 및 신호 증폭을 위한 시그널 컨디셔닝 회로가 있다. 그리고 센서에서 출력되는 아날로그 신호를 디지털화하고, 주 제어기인 임베디드 컴퓨터로 거리 데이터를 전송하기 위한 마이크로프로세서가 있다. 마지막으로 지형 적응성 자세 제어기의 주행모드 전환 및 트랙 자세각 결정의 알고리즘 처리를 담당하는 윈도우기반의 산업용 임베디드 컴퓨터가 있다. 주 제어기인 임베디드 컴퓨터는 하이브리드 모바일 플랫폼의 주행 및 트랙 자세각 제어 등의 모터 드라이버 제어 및 원격 조종기와의 통신과 지형 적응성 자세 제어기



그림 3. 지형 적응성 자세 제어기의 제어 흐름
Fig. 3. Flowchart of terrain-adaptive attitude control

등 전체적인 제어를 위한 통합 시스템이 내장되어 있다. 임베디드 컴퓨터는 지형 적응성 자세 제어기의 트랙 자세각 제어 알고리즘에 따라 하이브리드 모바일 플랫폼의 트랙 제어용 모터 드라이버를 제어하여 주행모드의 전환 및 트랙 자세각 변경을 할 수 있다. 그림 3은 하이브리드 모바일 플랫폼의 지형 적응성 자세 제어기 구성과 제어 흐름을 나타낸다.

2. 자세 제어기 설계와 구현

거리측정센서에는 여러 종류가 있다. 그중에서 특히 널리 사용하는 센서는 초음파 센서, 적외선 센서 및 레이저 센서가 있다 [7]. 레이저 센서는 빠른 응답속도와 넓은 측정범위 등 여러 가지 조건에서 다른 센서보다 기능상에서 우월하나, 초음파 및 적외선 센서보다 상대적으로 가격이 비싸다는 단점이 있다. 그리고 초음파 센서는 넓은 측정범위와 가격이 저렴하다는 장점이 있지만, 초음파센서의 특성상 방사상의 장애물이 감지된다는 단점이 있다. 마지막으로 적외선 센서는 응답속도가 빠르며 가격이 저렴하지만, 빛에 의한 간섭현상을 보이는 것이 단점으로 지적될 수 있다. 그림 4는 본 자세 제어기의 거리측정센서로 사용된 적외선 센서의 외형과 사양을 보여준다.

본 자세각 제어기는 모바일 플랫폼 전방의 장애물만을 대상으로 하므로 직진성을 가지며, 가격 측면에서 저렴한 적외선 센서를 사용하여 시스템을 구현하고자 하였다. 모바일 플랫폼에 적용한 거리측정센서는 Sharp사의 아날로그 타입 GP2Y0A02YK-0F 적외선 센서를 사용하였다 [8, 9]. 해당 거리



Range(cm)	20~150
Output type	analog
Size(mm)	30 x 15 x 20
Voltage(V)	5V

그림 4. 거리측정센서 사양

Fig. 4. Specification of distance measuring sensor

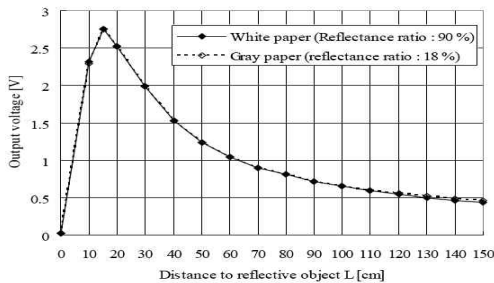


그림 5. 거리측정센서의 특성

Fig. 5. Characteristics of distance measuring sensor

측정센서는 측정거리에 따라 그 값을 전압값으로 출력한다. 전압값을 거리값으로 변환하려면 Analog to Digital Converting(ADC)하여야 한다. 하지만 거리값에 따른 출력값이 비선형적이므로 이에 따른 처리를 해주어야 한다. 그림 5는 거리측정센서의 거리에 따른 출력값을 보여준다. 그림 5에서 보는 바와 같이 거리측정센서는 비선형적인 특성이 있다. 하지만 거리값을 역수로 환산하면 일부 구간에서는 선형적인 특성이 있게 된다. 센서의 측정범위인 20~150cm의 일부 구간에서 선형적인 특성이 있으므로 쉽게 거리값으로 변환할 수 있다. 하지만 센서의 특성상 노이즈가 발생하고, 센서의 측정데이터 범위에 상응하는 전압 출력값이 0~3V로 낮게 형성된다. 그러므로 센서의 노이즈를 줄이고자 Low Pass Filter(LPF)를 적용하였고, 선형적인 특성을 키우기 위해 신호증폭회로를 장착하여 출력값을 증폭하였다. 그림 6은 노이즈 제거와 신호증폭을 위한 시그널 컨디셔닝 회로이다.

주행모드 및 트랙 진입각 제어를 하는 지형 적응성 자세 제어기를 위해서는 먼저 장애물과의 정확한 거리 측정값이 필요하므로, 센서의 거리 변화에 따른 오차를 줄일 수 있도록 하였다. 그러므로 실측 거리와 센서의 거리 오차를 측정하기 위한 실

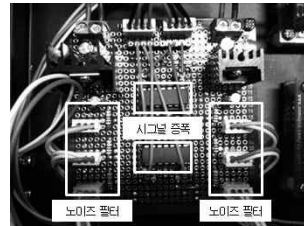


그림 6. LPF를 적용한 전압증폭회로

Fig. 6. Amplification circuit using LPF

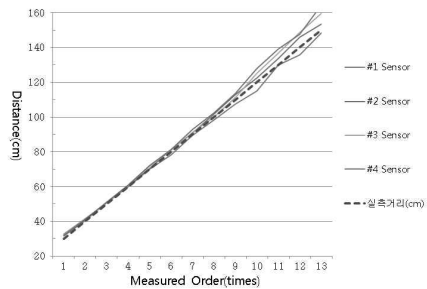


그림 7. 거리측정 실험데이터

Fig. 7. Distance measuring experiment

험을 하였으며, 이를 바탕으로 오차가 최소화될 수 있는 구간을 선정하기 위해 다수의 실험을 통해 경험적으로 30~100cm의 일부 구간을 선정하였다. 실험은 10cm 간격으로 30~140cm를 측정하였고, 같은 센서라도 각 센서 간에 오차가 있을 수 있으므로 같은 사양의 센서 4개를 이용하여 동시 측정하였다. 그림 7은 센서의 거리측정 실험데이터이다.

거리측정 실험데이터에서 보는 바와 같이 센서의 사양은 같지만, 4개의 각 센서는 30~100cm의 범위에서만 실측거리와 거의 근사하게 측정됨을 알 수 있다. 하지만 100cm 이상의 측정값에서는 거리측정센서의 측정값에 노이즈가 포함되는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 지형 적응성 자세 제어기에서는 실측거리와 근사한 부분인 30~100cm의 거리만을 대상으로 하였다. 그 이유는 지형 적응성 자세 제어기에서 주행모드의 전환 및 트랙 자세각의 변경이 거리측정센서에 크게 영향을 받기 때문이다.

지형 적응성 자세 제어기는 거리측정모듈, ADC의 수행을 담당하는 마이크로프로세서 및 주행모드 및 트랙 자세각 변경을 위한 알고리즘으로 구성되어 있다. 거리측정모듈은 거리측정센서, LPF 및 신호증폭회로로 구성되어 있다. 그리고 ADC를 담당하는 마이크로프로세서는 Atmel사의 8비트 마이크

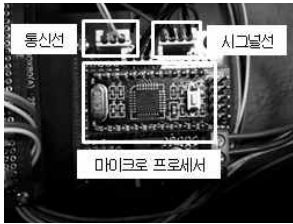


그림 8. ADC용 마이크로프로세서
Fig. 8. Microprocessor with ADC

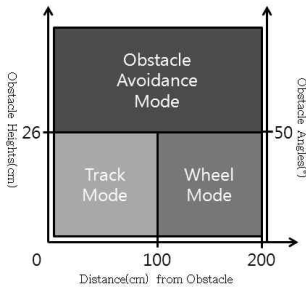


그림 9. 주행모드의 전환
Fig. 9. Driving mode switching

로프로세서인 Atmega8을 사용하였다. 그림 8은 ADC를 수행하는 Atmega8 마이크로프로세서를 나타낸다.

Atmega8 프로세서는 ADC를 수행하고, 주 제어기인 임베디드 컴퓨터의 통합 시스템으로 raw 데이터를 전달해준다. 임베디드 컴퓨터는 Atmega8에서 전송된 raw 데이터를 거리측정값으로 환산한다. 그리고 이를 바탕으로 자세각 제어 알고리즘에 따라 주행모드 전환 및 트랙 자세각을 변경해준다.

3. 휠-트랙 주행모드 결정

휠-트랙 하이브리드 모바일 플랫폼의 주행모드 전환은 지형 적응성 자세 제어기와 레이저 스캐너를 이용하여 각 주행모드로 전환하게 된다. 이미 기술한 바와 같이 지형 적응성 자세 제어기는 휠 모드와 트랙 모드로 주행모드 전환을 한다. 그리고 레이저 스캐너는 차후 적용할 통합 시스템의 자율 주행 기능에 이용할 예정이나 본 논문에서는 주행 시 필요한 안전거리확보를 하고 주변 장애물 확인을 위한 보조역할을 수행한다. 그림 9는 장애물의 높이 및 경사각과 장애물과 플랫폼의 거리에 따른 주행모드의 전환 시점을 나타낸다.

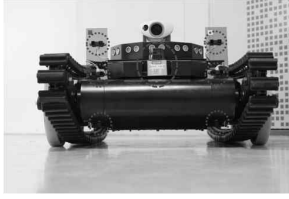
레이저 스캐너는 주변을 감지하면서 플랫폼과

장애물간의 거리가 200cm 이내가 될 때, 장애물과의 충돌과 주행모드의 전환에 대비하기 위해 주행 속도를 감속하는 용도로 사용한다. 이는 휠 모드에서 속도를 1km/h로 제한한다. 그리고 장애물과의 거리가 100cm 이내가 될 때 지형 적응성 자세 제어기에 의해 0.5km/h로 속도를 제한한다. 그 이후에 자세 제어기는 장애물에 따라 주행모드의 전환 및 가변형 트랙의 자세각을 변경시켜준다. 모바일 플랫폼이 진입할 수 없는 장애물일 경우 플랫폼은 장애물을 회피하거나 원격 조종기에 경고하게 된다. 장애물 회피 동작은 차후에 적용할 자율 기능에 추가될 예정이다. 그리고 진입할 수 없는 장애물은 수직 장애물의 높이 26cm 이상을 기준으로 하였다. 이 기준점은 최상단 거리측정센서의 위치와 더불어 하이브리드 모바일 플랫폼이 트랙 모드로 전환을 하고 최대 26cm의 장애물까지 극복할 수 있음을 고려하였다. 그뿐만 아니라 진입할 수 없는 장애물 경사각은 50° 이상으로 하였다. 하이브리드 모바일 플랫폼이 계단일 때 최대 65°의 장애물을 등반할 수 있으나, 전복과 같은 안전상의 이유로 등반 각도를 50°로 결정하였다.

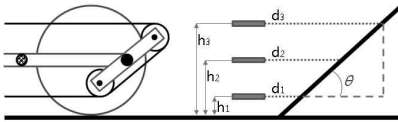
4. 자세 제어기 알고리즘

지형 적응성 자세 제어기의 구성품인 거리측정 센서는 그림 10 (a)와 같이 전방에 6개가 설치되어 있으며, 각 거리측정센서에서 측정된 전방 장애물의 측정 거리를 이용하여 주행모드를 전환하게 된다. 그림 10 (a)의 레이저 스캐너는 Hokuyo 사의 URG-04LX를 사용한다 [10]. 그리고 그림 10 (b)와 같이 거리측정값과 삼각법을 이용하여 주행모드의 전환 및 트랙 자세각을 변경할 수 있다. 그림 10 (b)와 표 2는 거리측정센서의 부착 위치와 트랙 자세각 변경을 위한 판단 알고리즘이다.

각 센서의 위치는 다음과 같다. $h_1 = 6cm$, $h_2 = 16cm$, $h_3 = 26cm$ 이며 각 부착 위치는 플랫폼의 형상과 건축법 시행령 48조의 규정에 맞도록 계단의 구조를 고려하여 부착하였다. 건축물의 종류에 따른 계단의 설치 기준에 따르면, 대부분의 건축물은 계단의 높이와 너비에 관한 특별한 규정은 없다. 하지만 초등학교는 계단의 높이가 16cm 이하, 중고등학교는 계단의 높이가 18cm 이하로 되어 있으며, 계단 너비는 초중고등학교는 모두 26cm 이상으로 되어 있다. 이를 장애물로 측정하면 계단의 끝단을 기준으로 초등학교는 경사각이 최대 32°이며, 중고등학교는 최대 35°가 된다. 계단을 대체하는 경사로의 경우는 경사도가 1:8을 넘지 말아야 한다. 경



(a) 거리측정센서 및 레이저스캐너 부착 위치
 (a) Position of distance measuring sensor and laser scanner



(b) 전방 장애물 감지거리 기반 트랙 자세각 결정
 (b) Track attitude control based on obstacle detection

그림 10. 자세 제어기 구성

Fig. 10. Attitude controller structure

표 2. 자세 제어 알고리즘
 Table 2. Attitude control algorithm

Obstacle distances(d_n)	Angle(θ)	Height (h_n)	Driving mode
$d_1 \approx d_2 \approx d_3 \approx ND$	Wheeled Navigation	X	wheel
$d_1 \wedge (d_2 \approx d_3 \approx ND)$	$\arctan\left(\frac{h_1}{d_1}\right)$	h_1	track
$(d_1 \geq d_2) \wedge (d_3 \approx ND)$	$\arctan\left(\frac{h_2}{d_2}\right)$	h_2	
$(d_1 < d_2) \wedge (d_3 \approx ND)$	$\arctan\left(\frac{h_2 - h_1}{d_2 - d_1}\right)$	h_2	
$(d_1 \geq d_2) \wedge (d_2 < d_3)$	$\arctan\left(\frac{h_3 - h_2}{d_3 - d_2}\right)$	h_3	
$(d_1 < d_2) \wedge (d_2 \approx d_3)$	$\arctan\left(\frac{h_3 - h_1}{d_3 - d_1}\right)$	h_3	
$d_1 < d_2 < d_3$	$\arctan\left(\frac{h_3 - h_1}{d_3 - d_1}\right)$	h_3	
$(d_1 \geq d_2 \geq d_3) \vee (\theta > 50)$	X	over h_3	Obstacle Avoidance

사로는 경사각이 최대 7°가 된다.

표 2와 같이 거리측정센서에 의해 측정된 거리 값 d_n 는 장애물의 형상에 따라 측정값이 달라진다. 그러므로 장애물의 형상에 맞는 트랙 자세각을 변경하기 위해 거리값 d_n 에 따라 트랙 자세각의 계산식이 달라진다. 거리측정값에서 ND는 No

Detection으로 장애물이 감지되지 않았음을 의미한다. ND는 자세 제어 알고리즘 상에서 정의할 수 있으며, 지형 적응성 자세 제어기는 100cm를 벗어나면 ND로 처리하였다. 거리측정센서의 전처리과정에서 기술한 대로 거리측정센서가 100cm를 벗어나면 노이즈가 포함된 거리 측정값의 신뢰성을 보장할 수 없기 때문이다. 장애물과의 거리를 측정된 뒤에는 장애물의 형상을 그룹화하기 위해 보정작업을 한다. 그림 11은 장애물 그룹화를 위한 의사코드를 나타낸다. d_n 감지거리가 d_{n+1} 보다 크면 d_n 는 자세각 결정에 영향을 미치지 않으므로 d_n 감지거리를 d_{n+1} 값으로 대체한다. 장애물의 그룹화를 위한 의사 코드의 보정작업 후에는 표 2의 알고리즘과 같이 총 8가지의 형태로 장애물이 그룹화된다. 그리고 최종적으로 그룹화된 장애물은 자세 제어 알고리즘에 따라 플랫폼의 트랙 자세각을 결정한다.

```

if (  $d_3 < d_2$  )  $d_2 \leq d_3$ ;
if (  $d_2 < d_1$  )  $d_1 \leq d_2$ ;
    
```

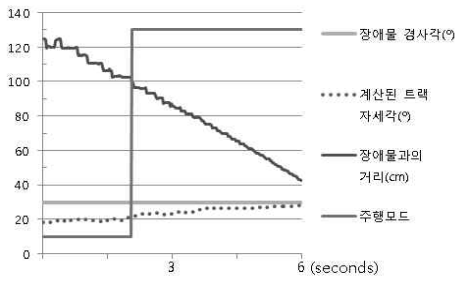
그림 11. 장애물의 그룹화를 위한 의사코드
 Fig 11. Pseudo code for grouping obstacle

IV. 실험

실험은 도심건물에서 발견할 수 있는 장애물을 대상으로 하였다. 장애물은 슬로프 및 계단을 이용하였으며, 각 장애물에 따른 주행모드의 전환 및 트랙 자세각 변경에 주요점을 두었다. 그리고 각 실험 결과 그래프에서 트랙 자세각은 슬로프 및 계단의 경사각에 따라 변경된 플랫폼의 트랙 자세각을 의미하며, 장애물 경사각은 실제 측정된 장애물의 경사각을 의미한다. 주행모드는 플랫폼의 휠 모드와 트랙 모드간 전환을 의미한다. 각 실험 결과에서 보여주는 주행모드의 숫자 10(Low Line)은 휠 모드이고, 숫자 130(High Line)은 트랙 모드를 의미한다. 이는 플랫폼의 주행모드 전환시점을 쉽게 파악하기 위해 해당 숫자를 할당하여 실험결과 그래프에 표기하였다.

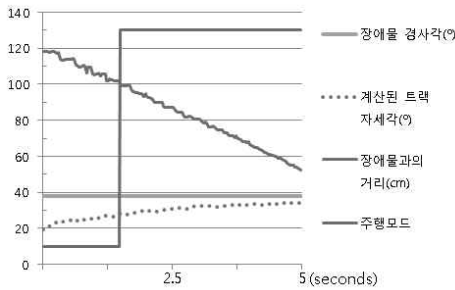
1. 슬로프 실험

실험은 자체 제작한 테스트 베드인 29° 및 38°의 경사각을 가지고 있는 슬로프를 대상으로 하였다. 실험 방법은 플랫폼이 슬로프의 전방 120cm 지점에서 출발을 하여 슬로프와 접촉할 때까지의 데이터를 산출하였다. 그림 12와 같이 휠 모드에서



(a) 주행모드 전환 및 트랙 자세각 변경 (29° 슬로프)

(a) Control of driving mode and track attitude angle (29° Slope)

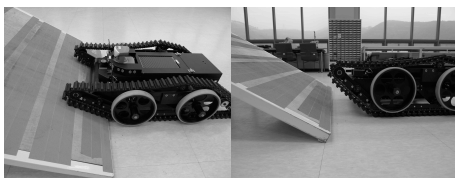


(b) 주행모드 전환 및 트랙 자세각 변경 (38° 슬로프)

(b) Control of driving mode and track attitude angle (38° Slope)

그림 12. 슬로프 극복 실험 결과

Fig. 12. Experiment data for overcoming a slope



(a) 29° 슬로프 (a) 29° Slope (b) 38° 슬로프 (b) 38° Slope

그림 13. 슬로프 극복 실험

Fig. 13. Experiment for overcoming a slope

트랙 모드로 주행모드의 전환이 이루어진 후 트랙 자세각이 변경하는 것을 확인할 수 있다. 자세 제어 알고리즘에서 ND로 적용된 100cm 이상일 경우는 휠 모드로 주행하다가 100cm 이내에 진입할 경우

는 트랙 모드로 주행모드가 전환된다고 언급하였다. 그림 12처럼 장애물과의 거리가 100cm 이내로 진입할 때 주행모드의 전환이 정상적으로 이루어짐을 확인할 수 있다. 그리고 자세 제어기에 의해 실제 슬로프의 경사각인 29°와 38°에 근접한 트랙 자세각으로 변경하는 것을 볼 수 있다. ND를 100cm로 적용을 하였지만 약 80cm 이상 부분에서는 거리측정센서의 노이즈 및 주행 시 발생하는 진동에 의해 거리 변환에 따른 오차가 발생하는 것을 볼 수 있다. 그림 13은 슬로프를 극복하기 위해 주행모드를 전환하고, 슬로프의 경사각과 일치하게 트랙 자세각을 변경하는 휠-트랙 하이브리드 모바일 플랫폼을 나타낸다.

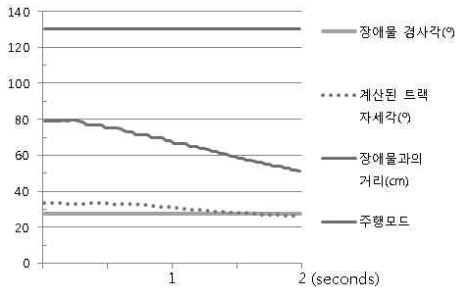
2. 계단 실험

계단은 건물 내에 설치된 비상구의 계단과 자체 제작된 모형 계단을 대상으로 진행하였으며 건물 계단의 형태는 단의 높이가 15cm이며 폭이 29cm로 되어 있다. 계단 끝단을 기준으로 경사각을 계산하면 약 27°가 된다. 그리고 모형 계단은 각각 16cm, 30cm이며 경사각은 약 28°이다. 계단 실험에서 건물 비상구의 계단은 협소하여 휠 모드로 주행할 수 없는 환경이었기 때문에, 트랙 모드로 전환된 후의 데이터만을 포함하였다. 하지만 모형 계단은 슬로프와 같게 주행모드의 전환이 이루어진다. 실험데이터에는 그림 14과 같다.

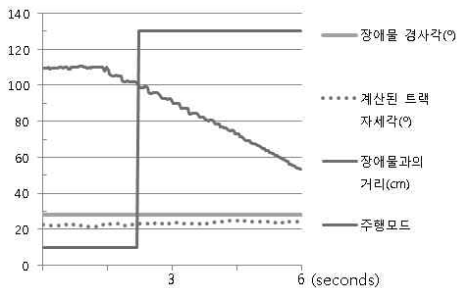
그림 14의 주행 전반부에는 장애물 경사각과 트랙 자세각사이에서 다소 오차가 발생함을 확인할 수 있다. 슬로프 실험결과에도 같은 현상이 나타나는데 이것은 거리 결정 지점인 ND 때문에 발생한다. 자세 제어 알고리즘은 거리측정센서에서 ND 지점 이내에 진입하면 트랙 모드로 전환하게 되어 있다. 하지만 트랙 모드로 전환하더라도 일부의 거리측정센서는 ND가 될 수 있으므로 트랙 자세각에 오차가 발생한다. 하지만 모든 거리측정센서가 ND 지점 이내로 진입하는 경우는 그림 14와 같이 계단의 경사각에 근접해 있음을 알 수 있다. 그림 15는 계단면을 주행하는 휠-트랙 하이브리드 모바일 플랫폼을 나타낸다.

3. 분석

휠-트랙 하이브리드 모바일 플랫폼이 트랙 모드로 주행모드가 전환된 후, 장애물을 진입하기 전까지 장애물 경사각과 트랙 자세각에 오차가 다소 발생함을 알 수 있다. 하지만 실험데이터에서와 같이



(a) 주행모드 전환 및 트랙 자세각 변경 (27° 계단)
 (a) Control of driving mode and track attitude angle (38° Stair)



(b) 주행모드 전환 및 트랙 자세각 변경 (28° 계단)
 (b) Control of driving mode and track attitude angle (28° Stair)

그림 14. 계단 극복 실험 결과

Fig. 14. Experiment data for overcoming a stair

장애물에 근접하면 장애물 경사각과 트랙 자세각의 오차가 줄어들음을 확인할 수 있다. 이는 거리측정센서의 특성상 거리가 가까워짐에 따라 오차가 줄어들기 때문이다. 거리측정센서의 부착 높이는 그림 10처럼 고정값으로 결정되어 있지만, 거리는 거리측정센서에 의해 측정되기 때문에 센서의 노이즈와 오차는 자세 제어 알고리즘의 트랙 자세각에 큰 영향을 미치게 된다. 최악의 경우는 최하단 거리측정센서에만 감지되는 장애물은 센서의 부착 높이가 6cm이기 때문에 거리측정센서에 1cm의 오차가 포함되면 트랙 자세각에 약 4도의 오차가 발생한다. 휠-트랙 하이브리드 모바일 플랫폼은 트랙 자세각을 고정하고 장애물을 극복할 수 있도록 진입 전에 트랙 자세각을 결정하여야 한다. 그러므로 측정오차를 줄이고, 정확한 트랙 자세각을 결정할 수 있는

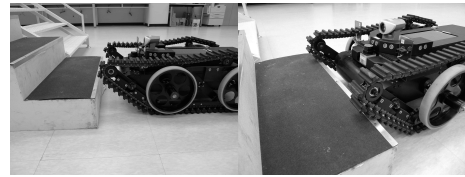


그림 15. 계단 극복 실험

Fig. 15. Experiment for overcoming a stair

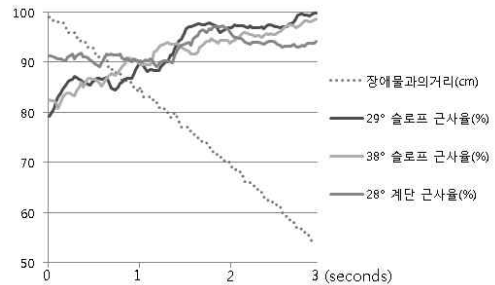


그림 16. 트랙 자세각과 장애물 경사각과의 근사율
 Fig. 16 Approximation rate between track attitude angle and Obstacle Angle

지점을 선정하여야 한다. 트랙 자세각 오차를 최소화할 수 있는 거리를 선정하기 위해서 실험결과에 따라 트랙 자세각을 결정할 수 있는 지점을 선정하였다. 그림 16은 장애물 거리에 따른 플랫폼의 트랙 자세각과 장애물 경사각사이의 근사율을 나타낸다. 근사율이 의미하는 것은 장애물 경사각을 기준으로 자세 제어가 생성한 트랙 자세각의 비율을 나타낸다.

그림 16에 사용된 슬로프 및 계단은 장애물과의 거리 80cm 이하에서 트랙 자세각이 장애물 경사각의 90~100%에 도달함을 확인할 수 있다. 장애물과의 거리가 가까울수록 도달률이 높아지지만, 앞서 언급한 바와 마찬가지로 안전거리확보를 고려하여 60cm를 장애물 진입을 위한 트랙 자세각의 고정 지점으로 선정하였다.

지형 적응성 자세 제어기의 트랙 자세각 변경 및 주행모드의 전환은 장애물의 형태에 따라 변형된다. 그리고 장애물의 형태 감지는 거리측정센서의 영향을 크게 받게 된다. 그러므로 실제 개발에서는 거리측정센서의 거리값에 영향을 미치는 노이즈 처리가 매우 중요하다. 그리고 이를 바탕으로 신뢰성 있는 거리측정구간을 정함으로써 더 나은 주행모드의 전환 및 트랙 자세각 변경을 할 수 있다.

V. 결 론

실제 하이브리드 모바일 플랫폼이 주행하게 되면 실험에서 언급한 계단이나 경사로 같은 장애물이 아닌 다양한 장애물을 만나는 경우가 많을 것이다. 그러므로 차후 연구에서는 모바일 플랫폼의 실용성을 위해서 더욱 많은 장애물 및 환경에서 실험을 진행하려고 한다. 이를 바탕으로 지형 적응성 자세 제어기의 보완 및 개선이 이루어질 수 있다.

본 논문에서 다루고 있는 지형 적응성 자세 제어기는 전용의 휠-트랙 하이브리드형 모바일 플랫폼뿐만 아니라 가변형 트랙을 가진 모바일 플랫폼에서도 적용할 수 있을 것으로 생각한다. 가변형 트랙을 가진 모바일 플랫폼은 저마다의 특색에 따라 트랙 자세각을 변경하기 위한 알고리즘을 채택할 것이다. 하지만 지형 적응적 자세 제어기는 본론에 기술한 내용과 같이 그 구조와 알고리즘이 간단하고, 가격적인 면에서 큰 이점이 될 수 있다. 그러므로 앞으로 개발을 앞둔 가변형 트랙형태의 플랫폼에서 쉽게 적용 및 개선을 할 수 있으리라 생각된다.

현재의 지형 적응성 자세 제어기만으로는 전방 장애물의 거리를 측정하고 형태만을 짐작할 수 있다. 하지만 앞으로는 지형 적응적 자세 제어기를 개선하기 위해 2차원적인 전방 장애물의 형태판단만이 아니라, 3차원적으로 전방 장애물의 형태 판단 및 회피를 위한 시스템을 제공하고자 한다. 그리고 이를 모듈화 함으로써 실제 모바일 플랫폼에서 실용화할 방안을 연구할 것이다.

참고문헌

- [1] 정경민, 이성욱, 정승호, 김승호, “재난 인명 구조를 위한 험지 이동 로봇 기술,” 제어 로봇 시스템학회지, Vol. 13, No. 1, pp.41-45, 2007.
- [2] J. Casper, R.R. Murphy, “Human-Robot Interaction during the Robot-Assisted Urban Search and Rescue Response at the World Trade Center,” IEEE Trans. on SMC, Vol. 33, pp. 367-386, 2003.
- [3] 김윤구, 김진욱, 광정환, 홍대한, 이기동, 안진웅, “도심지형 최적 주행을 위한 휠무한궤도 하이브리드형 모바일 로봇 플랫폼 및 메커니즘,” 로봇학회논문지, Vol. 5, No. 3, pp.270-277, 2010.
- [4] Z. Li, S. Ma, B. Li, M. Wang, Y. wang,

“Design and basic experiments of a transformable wheel-track robot with self-adaptive mobile mechanism,” Proceedings on IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robot Systems, pp.1334-1339, 2010.

- [5] 최근하, 정해관, 현경학, 박윤근, “가변트랙형 메커니즘의 재난구조 로봇(VSTR)을 위한 장애물 극복,” 제어 로봇 시스템학회지, Vol. 13, No. 12, pp.1222-1229, 2007.
- [6] S.C. Kang, W.S. Lee, M.S. Kim, K.C. Shin, “ROBHAZ-rescue: rough-terrain negotiable teleoperated mobile robot for rescue mission,” 2005 IEEE International on Safety, Security and Rescue Robotics Workshop, pp.105-110, 2005.
- [7] 유성구, 정길도, “단일 영상과 거리센서를 이용한 SLAM 시스템 구현,” 전자공학회지, Vol. 45, No. 6, pp.149-156, 2008.
- [8] <http://www.sharpsme.com/it/optoelectronics/sensors/distance-measuring-sensors/GP2Y0A02YK0F/>
- [9] 채원용, 이경준, 김희제, “모바일 로봇에 이용되는 적외선 거리측정 센서 연구,” 한국지능시스템학회 학술발표논문집, Vol. 20, No. 1, 2010.
- [10] http://www.hokuyo-aut.jp/02sensor/07scanner/urg_04lx.html

저 자 소 개

곽 정 환 (Jeong-Hwan Kwak)



2009년: 영남대학교
컴퓨터공학과 학사.
현재, 대구경북과학기술원
로봇시스템연구부 연구원.
관심분야: 지능로봇, 자율제어.

Email: kajuha@dgist.ac.kr

홍 대 한 (Dae-Han Hong)



2009년: 영남대학교
컴퓨터공학과 학사.
2011년: 영남대학교
컴퓨터공학과 석사.
현재, 대구경북과학기술원
로봇시스템연구부 연구원.

관심분야: 로봇자율주행, 머신비전시스템.
Email: honggoon8e@dgist.ac.kr

김 윤 구 (Yoon-Gu Kim)



2005년: 영남대학교
컴퓨터공학과 석사.
2008년: 영남대학교
컴퓨터공학과 박사.
현재, 대구경북과학기술원
로봇시스템연구부 선임연구원.

관심분야: 지능로봇, 자율주행로봇, 자동제어.
Email: ryankim9@dgist.ac.kr

안 진 응 (Jinung An)



1997년: KAIST
기계공학과 석사.
2005년: KAIST
로봇공학과 박사.
현재, 대구경북과학기술원
실용로봇연구소 소장.

관심분야: BRI, Biomimetics, HRI, Haptics.
Email: robot@dgist.ac.kr