

허리 구조를 갖는 복합 바퀴-다리 이동형 로봇의 설계

Design of Hybrid Wheeled and Legged Mobile Robot with a Waist Joint

최대규 · 정동혁 · 김용태[†]

Dae-Gyu Choi, Dong-Hyuk Jeong and Yong-Tae Kim[†]

한경대학교 전기전자제어공학과

[†] Dept. of Electrical, Electronic and Control Engineering, Hankyong National University

요 약

본 논문에서는 허리 구조를 갖는 복합 바퀴-다리 이동형 로봇의 설계 방법을 제안한다. 제안된 복합 이동형 로봇은 비평탄 및 평탄 지형에서의 효과적인 이동을 위하여 로봇의 다리에 바퀴가 결합된 복합 바퀴-다리 구조와 로봇 주행 중 보행 자세로의 안정적인 전환과 비평탄 지형에서 기구적인 제한의 개선을 위하여 허리 관절을 갖는 구조로 설계하였다. 또한 다양한 지형을 인지하기 위하여 LRF 센서, PSD 센서, CCD 카메라를 사용하였다. 제안한 로봇 시스템의 검증을 위해 지형별 주행과 보행 자세를 선택할 수 있는 운동 계획 기법을 제안하였다. 실제 복합 바퀴-다리 이동형 로봇을 설계 및 제작하고, 제안된 운동계획을 사용한 실험을 통해 지형에 따른 효율적인 이동 성능을 검증하였다.

키워드 : 이동형 로봇, 복합 바퀴-다리 구조, 4족 로봇, 허리 관절

Abstract

In this paper, we design a hybrid wheeled and legged mobile robot with a waist joint. The proposed hybrid mobile robot is designed to have a hybrid structure with leg and wheel for the efficient movement in flat and uneven surfaces. The proposed robot have a waist joint that is used to stably transform from wheeled driving to legged walking of the robot and to overcome non-flat surface. In order to recognize various environments we use LRF sensor, PSD sensor, CCD camera. Also, a motion planning method for hybrid mobile robot with a waist joint is proposed to select wheeled driving motion and legged walking motion of the robot based the environment types. We verify the efficient mobility of the developed hybrid mobile robot through navigation experiments using the proposed motion planning method in various environments.

Key Words : Mobile robot, Hybrid wheeled and legged structure, Quadruped robot, Waist joint

1. 서 론

로봇의 응용 분야는 산업용, 가정용, 의료용, 군사용, 탐사용, 교육용 등과 같이 많은 분야에서 다양한 형태로 연구 및 활용되고 있다. 최근에는 원자력 발전소 사고와 같은 자연 재해의 위험한 환경에서 사람 대신 임무를 수행하는 로

봇에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다[1]. 특히, 미국 국방성 연구기관인 DARPA(defence advanced research projects agency)에서도 큰 규모의 재난로봇 경연대회 프로젝트를 진행 중이다. 탐사나 재난 로봇은 다양한 환경에서 이동 및 탐사하기 때문에 여러 지형에 대응하는 로봇의 이동성에 관한 연구가 필요하다[2].

지형에 따른 이동 로봇의 연구는 평탄 지형과 비평탄 지형의 이동으로 나눌 수 있다. 평탄 지형의 경우 지면에 대한 외란이 없기 때문에 구조가 비교적 단순하며, 구동이 쉽고 빠른 이동이 가능하다. 반면, 비평탄 지형의 이동 로봇의 연구는 경사면, 계단, 장애물 등의 지형에서 다리 구조를 이용한 다족 보행 로봇에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다[3-6]. 그러나 바퀴형 이동 로봇은 평탄 지형의 한정적 지형에서만 이동 가능한 제약이 있으며, 비평탄 지형의 다리형 이동 로봇은 높은 전력을 요구하고, 평탄 지형에서 주행 로봇보다 이동속도가 느리다는 단점이 있다. 이러한 이동 로봇의 제약을 개선하는 응용 연구가 많이 진행되고 있으며, 단순한 평지 이동에서 벗어나 계단 등의 비평탄 지형과 장애물 회피, 다양한 작업 수행을 위한 기능이 추가되어 이동성향상을 위한 메커니즘과 효율을 높이는 연구가 진행되고

접수일자: 2013년 9월 1일

심사(수정)일자: 2013년 9월 7일

게재확정일자: 2014년 6월 9일

[†] Corresponding author

본 논문은 2013년 한국지능시스템학회 추계 학술대회에서 우수 논문으로 선정된 논문입니다.

본 연구는 정부(교육과학기술부)의 재원으로 연구재단의 일반 연구자 지원사업의 일환으로 수행하였음.

과제번호: 2010-0023291

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

있다[7-9].

본 논문에서는 다리와 바퀴를 결합한 형태의 복합 이동형 로봇을 설계하여 로봇의 이동성을 개선하였다. 또한 허리 관절을 이용하여 주행 중 보행 자세 혹은 보행 중 주행 자세의 전환을 안정적으로 수행하고, 비평탄 지형에서의 기구적 제한을 개선하여 지속적인 보행을 가능하게 하였다. 평탄 지형과 비평탄 지형의 판단은 기울기가 다르게 부착된 두 개의 PSD센서와 CCD 카메라를 이용한 영상 처리를 통하여 환경 변화를 인식하고, 인식된 환경에 대응하는 허리 관절의 각을 결정하여 두 가지 지형을 극복하였다. 허리 관절을 이용한 운동 계획을 적용한 실제 실험을 통하여 로봇의 성능을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 복합 이동형 로봇의 구성과 기구학적 모델을 설명하고, 3장에서는 복합 이동형 로봇의 운동 계획 방법을 제안하였다. 4장에서는 제안한 운동 계획을 적용한 실험을 수행하여 로봇의 성능을 확인하였고, 5장에서는 결론을 맺었다.

2. 복합 이동형 로봇의 구조

2.1 복합 이동형 로봇의 구성

본 논문에서는 그림 1과 같이 전방향 이동이 가능한 복합 이동형 로봇을 설계하였다. 복합 이동형 로봇은 총 23자유도를 가지며, 비평탄 지형을 위한 2개의 허리 관절 모터, 바퀴 및 다리 관절에 각각 4개의 DC모터로 구성된다. 또한, 변화하는 주위환경을 실시간으로 인식하기 위하여 로봇의 전면에 LRF센서, CCD 카메라와 로봇의 하단에 PSD센서를 장착하였다. 전원 장치는 모터가 최대 토크를 낼 수 있도록 18.5V, 3,200mA의 리튬 폴리머 배터리를 사용하였다. 배터리를 포함한 로봇 본체의 무게는 6.8Kg이며, 로봇이 일어섰을 때의 높이 320mm, 폭은 60mm로 설계하였다.

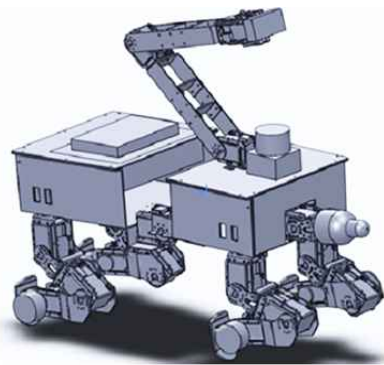


그림 1. 허리 구조를 갖는 복합 이동형 로봇
Fig. 1. Hybrid mobile robot with a waist joint

복합 이동형 로봇 시스템은 그림 2와 같이 주제어부와 부제어부로 구성된다. 주제어부는 리눅스 기반의 임베디드 보드를 사용하여 로봇의 보행을 위한 운동 계획과 CCD카메라의 영상처리, LRF센서와 PSD센서의 측정 데이터를 처리한다. 부제어부는 모션 제어를 위해 Atmega2561 보드를 사용하여 22개의 모터를 실시간으로 제어한다.

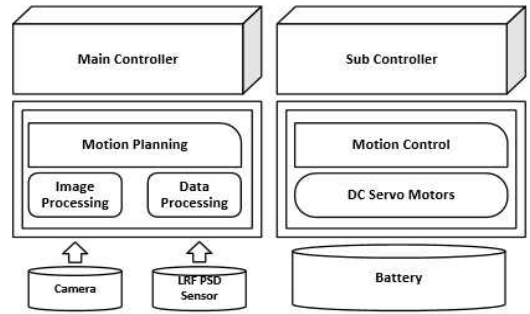


그림 2. 복합 이동형 로봇의 시스템 구성
Fig. 2. Structure of hybrid mobile robot system

2.2 복합 이동형 로봇의 기구학 모델

복합 이동형 로봇의 기구학 모델은 임의의 한 점을 원점으로 하는 세계 좌표계를 기준으로 D-H 표현 방법을 이용하여 허리 관절을 포함한 1개의 다리 모델을 기반으로 유도한다. 복합 이동형 로봇의 모델링을 위한 변수와 D-H 표현 방법의 좌표축 정의는 아래의 그림 3과 같다.

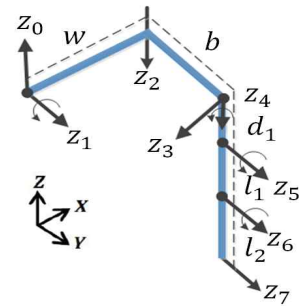


그림 3. D-H 표현 방법의 좌표축 정의
Fig. 3. Definition of coordinate axis of D-H representation

또한, D-H 표현 방법의 매개변수 설정은 표 1과 같으며, 표현 방법에서 사용되는 각 매개변수가 나타내는 값은 w 는 허리의 길이, θ_1 는 허리 관절각, b 는 어깨 고정 길이, d_1 은 어깨 길이, l_1 은 허벅지 길이, l_2 는 정강이 길이, θ_2, θ_3 는 어깨관절 각, θ_4 는 무릎관절 각이다.

표 1. D-H 표현 방법의 매개변수
Table 1. Parameter of D-H representation

link i	a	α	d	θ
1	0	90°	0	0
2	w	90°	0	θ_1
3	b	-90°	0	90°
4	0	90°	0	90°
5	0	-90°	d_1	θ_2
6	l_1	0°	0	θ_3
7	l_2	0°	0	θ_4

좌표축 Z_2, Z_3 는 90도의 고정된 구조이며, 표의 변수들을 이용하여 7개의 변환 행렬을 구할 수 있다. 구해진 변환 행렬을 모두 곱하여 최종 변환 행렬을 구하면, 위치 좌표 p_x, p_y, p_z 를 다음 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} p_x &= wc_1 - l_1c_3(c_1s_2 + c_2s_1) + l_2(c_1s_2 + c_2s_1)(c_3^2 - s_3^2) \\ p_y &= l_1s_3 - d_1 - 2l_2c_3s_3 - b \\ p_z &= ws_1 - l_1c_3(c_1c_2 - s_1s_2) + l_2(c_1c_2 - s_1s_2)(s_3^2 - c_3^2) \end{aligned} \quad (1)$$

메카넘휠을 적용한 복합 이동형 로봇의 기구학을 그림 4와 같이 분석하였다. 메카넘휠이 구동될 때 비스듬하게 배열된 롤러는 바퀴의 회전력을 목표 방향과 롤러의 회전방향으로 분산시킨다. 그리고 롤러 회전방향의 분해된 힘은 롤러의 회전에 의해 소멸된다. 각 바퀴의 독립적인 회전 방향과 속도가 조합되어 결과적으로 발생하는 모든 힘의 총합은 벡터 합의 방향으로 바퀴자체의 방향 전환을 하지 않고도 복합 이동형 로봇을 전방향으로 이동시키게 된다[10].

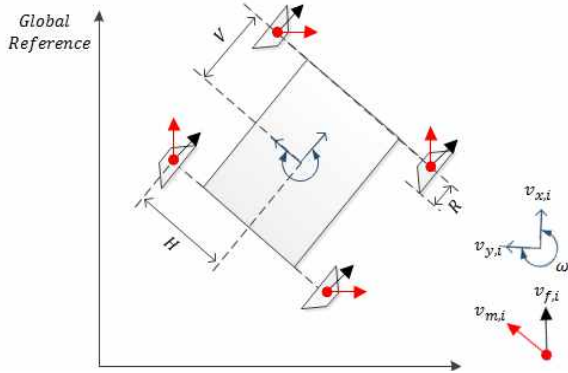


그림 4. 메카넘휠 이동형 로봇의 기구학
Fig. 4. Kinematics of mobile robot with mecanum wheels

V 는 로봇의 회전 중심축과 바퀴 중심까지의 세로축 거리이며, H 는 가로축 거리이고, R 은 메카넘휠의 반지름이다. v_f 는 바퀴의 회전에 의한 전진 속도이고, v_m 은 메카넘휠의 롤러에 의해 실제 바닥에 작용하는 속도이다. $V-H$ 을 D 로 치환하고 각 바퀴의 회전속도를 ω_i 라 할 때, 다음의 식 (2)와 같이 바퀴의 회전속도로 복합 이동형 로봇의 위치와 속도를 계산할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix} = \frac{R}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -\frac{1}{D} & \frac{1}{D} & -\frac{1}{D} & \frac{1}{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} \quad (2)$$

3. 복합 이동형 로봇의 운동 계획

3.1 허리 관절을 이용한 로봇의 운동 계획

제안한 복합 바퀴-다리 로봇은 허리 관절을 이용하여 주행과 보행을 위한 로봇 몸체의 변환이 가능하다. 따라서 노

면에 따른 자세의 선택으로 로봇의 운동 계획을 수행한다. 노면의 평탄함과 기울기 정보는 전면에 부착된 CCD카메라를 통한 영상 정보와 기울기가 다르게 부착된 두 개의 PSD 센서를 통해 판단한다. 센서를 통해 측정되어 얻어진 값이 기준에 설정해 놓은 값의 범위 안에 있다면 평탄한 지형으로 판단하여 바퀴를 이용한 주행을 수행한다. 주행 중에 측정된 값의 변화가 생기고, 영상 정보를 통해 비평탄 지형으로 판단되면, 허리 관절을 이용하여 주행에서 보행 자세로 전환한 후 보행 초기 자세를 취하게 된다. 영상 정보를 통해 계단의 에지를 검출하고, 두 개의 센서를 통해 계단의 높이를 계산하고 허리 각과 무릎 각을 결정한 후 계단 보행을 수행한다. 영상 정보와 센서 값을 통해 경사면으로 판단된 경우는 기울기 정도를 계산하여 허리 각을 결정한 후 경사면 보행을 수행한다. 또한 계단과 경사면이 아닌 극복 불가능한 장애물로 판단될 경우는 후회한다. 노면의 상태 정보에 따른 허리관절을 이용한 운동 계획은 그림 5와 같다.

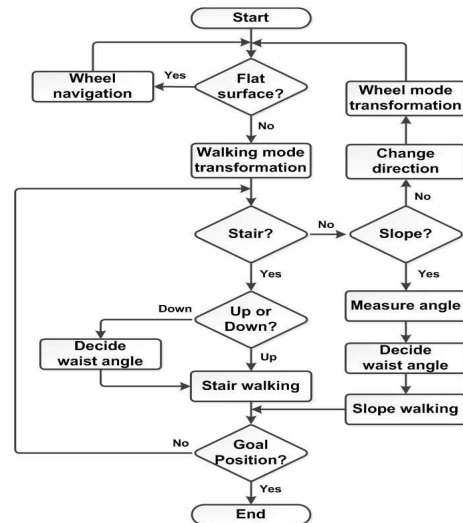


그림 5. 허리 구조를 갖는 복합 이동형 로봇의 운동 계획

Fig. 5. Motion planning of hybrid mobile robot with a waist joint

3.2 PSD 센서를 이용한 지형 판단 기법

60도와 30도로 기울여 부착된 두 개의 PSD센서를 이용하여 평탄 지형을 판단하고, 계단의 높이와 경사면의 기울기를 계산한다. 센서에서 측정된 두 개의 고정된 길이 정보와 로봇 프레임에서 기울여진 두 개의 각 정보를 바탕으로 직각삼각형의 삼각비를 이용하여 지형의 계산이 가능하다.

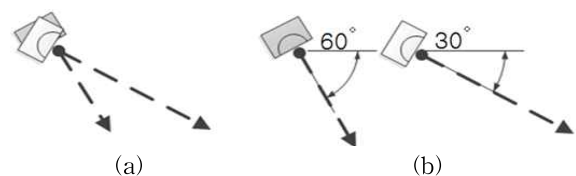


그림 6. 기울기가 다르게 부착된 두 개의 PSD센서
(a) 부착된 모습 (b) 분리한 모습

Fig. 6. PSD sensors with slopes of different degrees
(a) attached figure (b) separation figure

로봇의 주행 중 두 개의 센서 값이 설정한 범위를 벗어나지 않을 경우 평탄 지형으로 인식하여 바퀴 형태의 자세로 주행을 한다. 만약 계단 혹은 장애물을 만날 경우에는 30도 기울여 부착된 센서의 값이 변하여 비평탄 지형으로 인지하고, 바퀴에서 다리 형태로 자세 변환을 수행한다. 그림 7은 두 개의 PSD센서를 이용한 오르고 내려가는 계단의 높이 측정을 나타낸다. 60도 기울여 부착된 PSD센서의 측정값과 기울여 부착된 각도 정보를 통해 로봇 몸체부터 지면의 길이를 알 수 있고 30도 기울여 부착된 PSD센서의 측정값과 기울여 부착된 각도 정보를 통해 로봇 몸체부터 계단의 윗면까지의 길이를 알 수 있다.

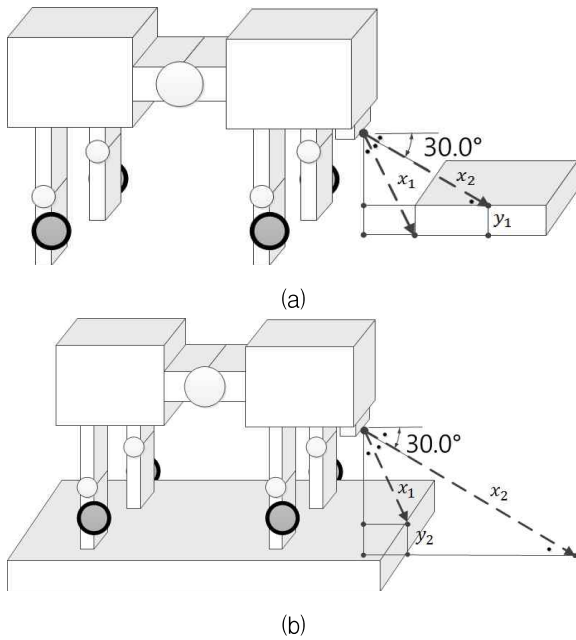


그림 7. 두 개의 PSD를 이용한 계단의 높이 측정
(a) 오르는 계단 (b) 내려가는 계단

Fig. 7. Measurement of stair height using two PSD sensors (a) up stair (b) down stair

다음의 식 (3)와 같이 두 개 정보의 차이를 통해 계단의 높이를 계산할 수 있다. 계단을 하행하는 경우도 마찬가지로 로봇 몸체부터 계단 밖의 지면 길이와 계단 면의 길이 정보를 얻어 이를 통해서 계단 높이를 다음과 같이 구할 수 있다. y_1 은 상행할 계단 높이, y_2 는 하행할 계단 높이, x_1 은 60도 기울여 부착된 PSD센서의 측정값, x_2 는 30도 기울여 부착된 센서의 측정값이다.

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1 \times \cos 30^\circ - x_2 \times \cos 60^\circ \\ y_2 &= x_2 \times \cos 30^\circ - x_1 \times \cos 30^\circ \end{aligned} \quad (3)$$

그림 8의 그래프는 기울기가 다르게 부착된 두 개의 PSD센서의 실제 계단 환경에서 측정된 값의 변화율이다. 두 개 중 상단의 그래프는 계단 아래에서 계단의 높이를 측정된 결과이고 하단의 그래프는 계단면 위에서 계단의 높이를 측정된 결과이다. 60도 기울여 부착된 PSD센서는 항상 고정된 값을 갖고 30도 기울여 부착된 PSD센서는 계단의 높이에 따라 선형적으로 변하는 결과를 확인하였다.

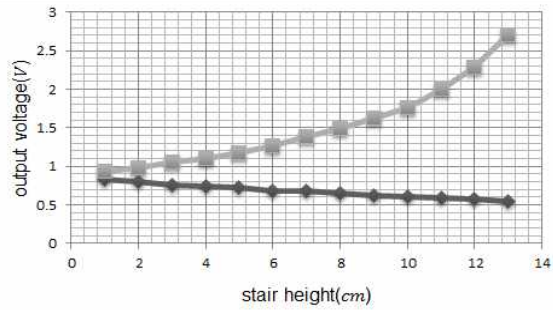


그림 8. 실제 환경에서 PSD 센서 측정 실험
Fig. 8. Measurement experiment using PSD sensor in real environment

3.3 허프 변환을 이용한 계단 영역 검출

허프 변환은 형상 검출이나 특징 추출을 위한 영상 처리에 사용되며, 직각 좌표계에 있는 영상 평면의 한 점을 지나는 직선들의 조합을 파라메트릭 표현(parametric representation)으로 변환하고, 이를 해석하여 기하학 정보를 추출하는 기법이다[11].

계단은 직선을 가지고 있지만 실제 환경에서는 계단의 직선 요소 외에도 다른 요소들이 많이 존재하기 때문에 영상 전체에 허프 변환을 적용하여 한 번에 계단 영역을 찾는 것은 쉽지 않다. 따라서 허프 변환을 수행하기 전에 계단 영역의 직선은 강조해주고, 이외의 영역에 나타난 직선 정보들을 감소시키기 위해 수평 방향을 강조하기 위한 소벨 에지 필터를 사용한다. 수평이 강조된 영상에 대하여 허프 변환을 적용한다. 허프 변환은 임의의 각도에 해당하는 직선을 선택하여 나타낼 수 있는 장점이 있다. 따라서 사용자가 영상 정보를 획득시에 기울어짐이 발생할 수 있다는 가정을 가지고 수평선에서 ± 10 도 기울기 내의 직선을 대상으로 검출하면 된다. 그림 9는 실제 실험 환경에서 로봇이 허프 변환 영상처리를 하여 직선 정보를 추출한 영상이다.

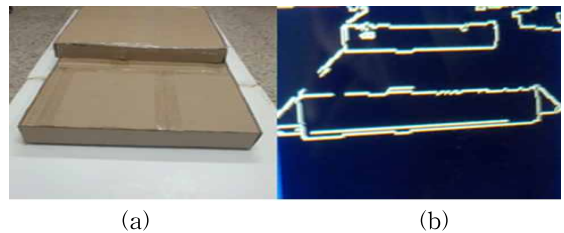


그림 9. 계단의 허프 변환 영상처리
(a) 실제 실험 환경 (b) 허프 변환된 영상

Fig. 9. Hough transform of the stair (a) real experimental environment (b) hough transform image

3.4 허리 관절의 각도 결정

로봇의 보행 중 비평탄 지형에 대한 기구적 제한과 보폭의 감소 문제를 개선하기 위하여 허리 관절의 각도를 지형에 맞게 조정하여 비평탄 지형을 극복하는 허리 관절의 각도 결정 방법을 제안한다. 그림 10은 비평탄 지형에서 계단 높이와 경사면의 기울기에 따른 허리 관절의 조정 모습으로 보폭의 감소 개선과 계단 혹은 경사면 증가에도 계속적 보행이 가능하도록 허리 관절을 이용하였다.

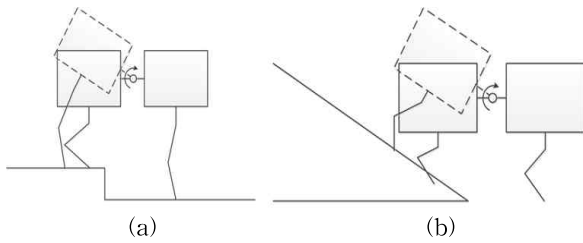


그림 10. 비평탄 지형에서 허리 관절의 조정
(a) 계단 지형 (b) 경사 지형

Fig. 10. Adjustment of waist angle in non-flat surface
(a) stair environment (b) slope environment

실제 계단 환경을 제작하여 보행을 수행하는 실험을 통해 지형별 대응되는 허리 관절의 각을 얻었다. 허리 관절을 이용하여 로봇의 기구학 제한을 개선하기 위해 계단 지형에서 로봇의 보행을 수행할 때는 상체의 다리 길이를 유지함과 동시에 하체는 지면과 평행이 되도록 하였고 경사 지형에서 로봇의 보행을 수행할 때는 상체 부분이 경사면과 평행이 유지되도록 하였다. 계단의 높이 12cm 이상은 로봇의 허리 관절을 이용해서도 극복하지 못하는 장애물이라 판단하고 우회하도록 하였다.

4. 실험 결과

제한된 운동 계획 방법을 적용할 허리 구조를 갖는 복합 이동형 로봇을 제작하고, 실제 실험을 통하여 성능 검증을 하였다. 실험 환경은 평탄 지형과 낮은 계단 지형으로 구성하였다. 실험 환경으로 사용된 평탄 지형은 연구실 바닥을 이용하였고, 비평탄 지형으로 제작된 계단의 높이는 8cm, 계단의 면적은 가로 길이 420cm 세로 길이 40cm의 크기로 마분지를 이용하여 제작하였다.

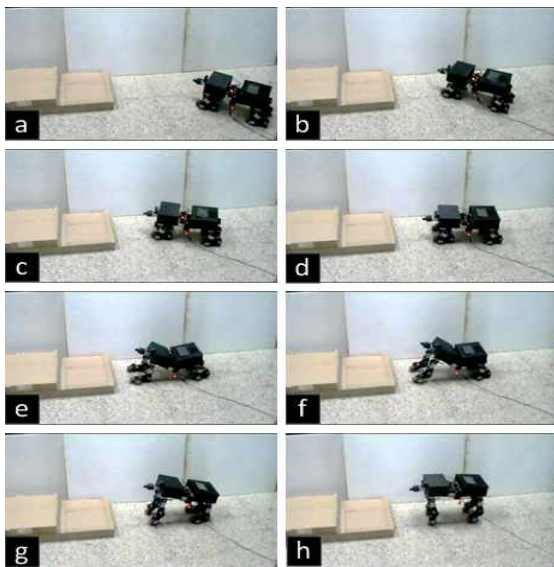


그림 11. 복합 이동형 로봇의 평탄 지형 이동 실험
Fig. 11. Movement experiment of the hybrid mobile robot in flat ground

그림 11은 센서와 카메라의 영상 정보를 받아 현재의 노면 상태가 평탄한 지형임을 판단하여 바퀴형태의 자세로 주행하는 실험 모습이다. 로봇이 주행을 하던 중에 측정된 값의 변화와 카메라를 이용한 허프변환 영상 처리된 영상 정보를 받아 비평탄 지형을 인지하고, 다리형태로 자세 변환을 수행하였다. 그림 12는 복합 이동형 로봇이 카메라의 영상 정보를 통해 직선 성분을 검출하고 계단 지형임을 인지하고, 기울기가 다르게 부착된 두 개의 PSD센서를 이용하여 계단 높이를 계산하고, 허리 각을 결정하여 비평탄 지형을 극복하는 실험 장면이다. 실제 계단의 높이 8cm에 대응하는 32도로 허리관절을 조정하여 계단 보행을 수행한다. 실제 이동 실험을 통하여 허리 구조를 갖는 복합 바퀴-다리 이동형 로봇은 구조적인 특징을 이용하여 다양한 환경에 대응할 수 있음을 검증하였다. 두 가지 지형에 적합한 이동 방법을 선택하여 로봇의 이동성이 개선되었고, 로봇의 구조적인 안전성을 확인하였다.

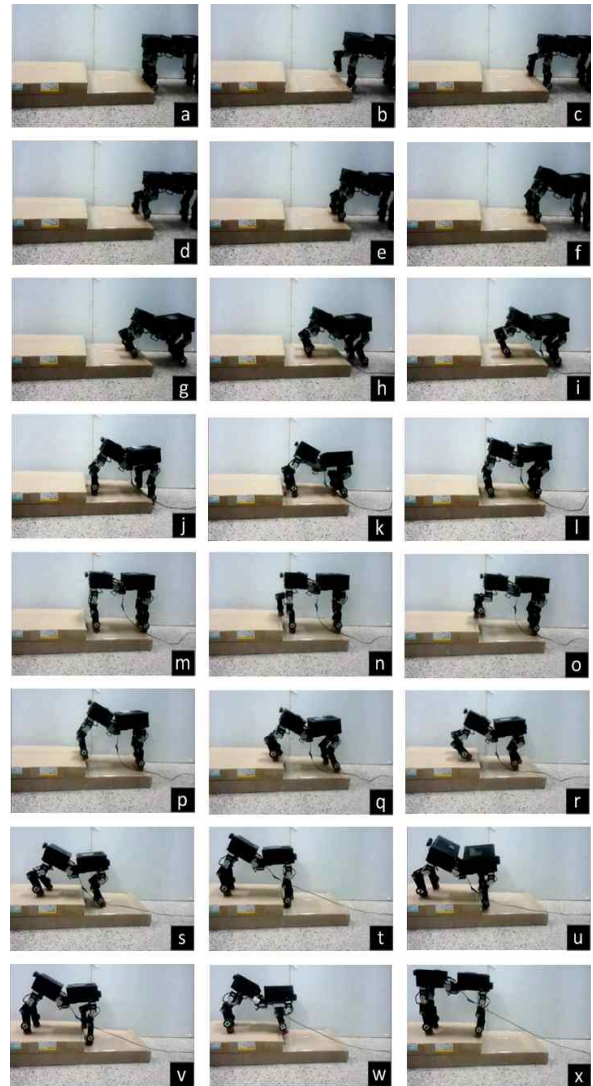


그림 12. 복합 이동형 로봇의 비평탄 지형 실험
Fig. 12. Movement experiment of the hybrid mobile robot in non-flat ground

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 허리 구조를 갖는 복합 바퀴-다리 이동형 로봇을 설계 및 제작하고, 운동 계획 방법을 제안하였다. 평탄 지형에서는 바퀴 주행으로 에너지 감소와 이동성의 개선을 확인했고, 비평탄 지형에서는 보행 방법으로 전환하여 새로운 지형을 극복하였다. 또한 허리축을 이용하여 주행 자세에서 보행 자세로의 안정적인 전환을 보여주고, 비평탄 지형에 대응하는 허리 각 결정으로 기구적 제한을 개선하여 비평탄 지형에서 효율적으로 보행 이동할 수 있었다. 향후에는 더 많은 비평탄 지형의 판단을 위하여 영상 정보와 LRF 센서 정보를 통해 평탄한 정보와 기울기 정보의 측정값을 보충하는 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] J. W. Cho and K. M. Jeong, "Japanese QUINCE Robot used for the Accident Management of the Fukushima Nuclear Power Plant", *Journal of Information and Control Symposium*, Vol. 2011, No. 10, pp. 394-395, 2011.
- [2] Y. J. Yun, "Research about rough road conquest of UGV", *Journal of Security Engineering*, Vol. 6, No. 2, pp. 103-116, 2009.
- [3] B. H. Kim, "Analysis on Effective Walking Pattern for Multi-Legged Robots", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 19, No. 5, pp. 622-628, 2009.
- [4] S. H. Jang and H. Kang, "Walking robot with 4 legs", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 11, No.2 pp. 125-128, 2001.
- [5] B. H. Kim, "Analysis of Balance of Quadrupedal Robotic Walk using Measure of Balance Margin", *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol. 13, No.2 pp. 100-105, 2013.
- [6] D. S. Kim and Y. H. Choi, "An Efficient Gait Generation Method for Quadruped Robot with Waist Joints", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 23, No.5 pp. 466-472, 2013.
- [7] B. H. Lee and Y. T. Kim, "A Study on Hybrid Wheeled and Legged Mobile Robot with Docking", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 21, No.6, pp. 692-697, 2012.
- [8] D. H. Jeong and Y. T. Kim, "Obstacle Avoidance Algorithm of Hybrid Wheeled and Legged Mobile Robot Based on Low-Power Walking", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 22, No.4, pp. 448-453, 2012.
- [9] D. S. Kim and Y. H. Choi, "An Efficient Gait Generation Method for Quadruped Robot with Waist Joints", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 23, No.5 pp. 466-472, 2013.

- [10] B. S. Joo, "Design and Kinematical Discussion of an Omni-directional Mobile Robot based on Mecanum Wheel", *ICROS 2012*, pp.376-377, 2012.
- [11] W. J. Jang, "Real-time lane detection using Hough transform and B-spline", *SOGANG UNIVERSITY, Master Thesis*, 2010.

저 자 소 개



최대규(Dae-Gyu Choi)

2013년 : 한경대학교 정보 제어 공학과 졸업(학사)
2014년 : 한경대학교 대학원 석사과정

관심분야 : 지능로봇, 물류 자동화
E-mail : choedaegy@hknu.ac.kr



정동혁(Dong-Hyuk Jeong)

2012년 : 한경대학교 정보 제어 공학과 졸업(학사)
2014년 : 한경대학교 전기 전자 제어 공학과 졸업(공학석사)

관심분야 : 지능로봇, 지능시스템, 물류 자동화
E-mail : jdhyuk87@hknu.ac.kr



김용태(Yong-Tae Kim)

1991년 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1993년 : KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)
1998년 : KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)
1998년 ~ 2000년 : (주)삼성전자

2006년 : Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 방문연구
2002년 ~ 현재 : 국립 한경대학교 전기 전자 제어 공학과 교수

관심분야 : 지능로봇, 지능시스템, 지능제어, 물류 자동화
Phone : +82-31-670-5292
E-mail : ytkim@hknu.ac.kr