

---

# 손모양 인식기반의 경로교사와 장애물 인식이 가능한 자율보행 다족로봇 시스템

김민성\* · 정우원\* · 권배근\*\* · 강동중\*\*

Multi-legged robot system enabled to decide route and recognize obstacle based  
on hand posture recognition

Min -Sung Kim\* · Woo-Won Jeong\* · Bae-Guen Kwon\*\* · Dong-Joong Kang\*\*

---

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

---

## 요 약

영상카메라와 무선통신 기능을 탑재한 손모양 및 장애물 인식이 가능한 다족 로봇을 독자적으로 설계 및 제작하고 제작한 로봇에 최적화된 보행패턴 알고리즘을 개발하여 적용하였다. 영상센서의 입력화상에 대해 하프변환(Hough Transform)을 사용하여 물체의 외곽선을 추출하여 장애물을 인식하여 회피하는 실시간 자율보행이 가능한 알고리즘을 개발하였다. 로봇의 목표물 및 목적지 설정을 위하여 미리 학습시킨 피부색의 평균값과 입력영상의 확률거리(Mahalanobis Distance)를 산출하여 손 영역을 검출하고 손가락 개수에 따라 로봇의 명령 제어가 가능하도록 하였다. 장애물 및 손모양 인식에 따른 다족 자율 보행 로봇의 수행 실험 평균 결과 약 96%의 장애물 인식률과 94%의 손 모양 인식률을 보였다.

## ABSTRACT

In this paper, multi-legged robot was designed and produced using stable walking pattern algorithm. The robot had embedded camera and wireless communication function and it is possible to recognize both hand posture and obstacles. The algorithm decided moving paths, and recognized and avoided obstacles through Hough Transform using Edge Detection of inputted image from image sensor. The robot can be controlled by hand posture using Mahalanobis Distance and average value of skin's color pixel, which is previously learned in order to decide the destination. The developed system has shown obstacle detection rate of 96% and hand posture recognition rate of 94%.

## 키워드

다족로봇, 6족 로봇, 손 검출, 장애물인식

## Key word

multi-legged robot, six leg robot, hand detection, obstacle recognition

---

\* 동명대학교 (교신저자 김민성, minsung@tu.ac.kr)

\*\* 부산대학교

접수일자 : 2010. 04. 17

심사완료일자 : 2010. 06. 30

## I. 서 론

최근 로봇의 사용범위가 확대됨에 따라 로봇의 제어와 인공지능에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다 [1]. 초기 로봇에 대한 연구는 로봇 제어 부분에 국한되었으나, 최근 영상 및 각종 센서를 이용한 자율 이동 로봇에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다 [2, 3]. 다족 로봇에 대한 연구사례로 최근 Kim et. al은 영상처리와 각종 센서를 융합하여 6족 로봇을 제어하는 알고리즘을 개발하였다 [3, 4]. 또한 Yoo et. al은 복잡한 지형에서 유연하게 적응가능한 바퀴달린 변형 가능한 6족 로봇을 개발하였다 [5].

영상을 이용한 로봇의 제어는 손을 이용하는 방법이 널리 사용되고 있다[6, 7]. 예를 들어 손을 움직여서 로봇을 전진시키거나 특정방향으로 움직이게 하는 것이 가능하다. 손을 이용하는 방법은 편리하게 사용이 가능하고 인간 친화적이라는 장점이 있다. 손 모양 인식에 대한 연구 사례로 Freedman은 손을 이용하여 텔레비전의 소리와 채널을 제어하는 원격제어시스템을 보고하였다. [8]. 이 시스템은 고정된 카메라를 이용하여 손의 위치와 움직임을 인식하여 제어한다. Lee et. al은 손동작으로 프레젠테이션 프로그램을 제어하는 시스템을 개발하였다 [9].

하지만 이러한 연구는 고정된 카메라로부터 입력된 영상의 분석을 통해 객체를 인식하기 때문에 실시간으로 이동하는 로봇에 적용하기에는 제약이 많다. 이동하는 로봇의 배경과 조명은 실시간으로 변화하기 때문에 피부색에 대한 정확한 인식과 추적기술이 필요하다. 최근 이러한 목적으로 피부색 검출은 조명의 영향에 민감하지 않은 정규화된(Normalized) RGB를 이용한 색추출 방법이 이용되고 있다[10].

본 논문에서는 영상인식 가능한 다양한 지형에서 안정적으로 보행이 가능한 다족 로봇을 설계 및 제작하고 이에 적합한 보행 알고리즘을 구현하였다. 또한 하프변환(Hough Transform)을 사용하여 장애물의 외곽선을 인식하고 학습시킨 피부색과 입력영상의 색 정보 사이의 확률거리(Mahalanobis Distance)를 구하여 손 모양을 인식하여 자율 보행 제어가 가능한 알고리즘을 개발하였다. 이러한 각종 모듈들을 통합하여 실시간으로 인식하고 제어가 통합된 메커니즘을 구현하

여 로봇 동작 실험을 통해 인지 및 명령수행 성능을 검증하였다.

## II. 다족 로봇 시스템

### 2.1 다족 보행 로봇의 구성

다족 보행 로봇은 보행의 불안정함을 보완하고 많은 관절로 인해 속도가 느려짐을 방지하기 위하여 총 6개의 다리를 가지며, 각 다리마다 3개의 관절에 의해 총 18자유도의 움직임을 구현할 수 있게 설계하였다. 보행을 위한 모터 모듈은 로보티즈사의 AX-12+ 모듈을 사용하였다. 이 모터는 DC 10V에서 15.5kgf/cm의 힘을 가지고 있어 작은 크기에 비해 큰 힘을 낼 수 있다. 그리고 영상인식의 경우 로봇이 공간적 제한으로부터 자유롭게 동작하기위해 CM32C 초소형 무선카메라를 사용하였다. CM32C 무선카메라의 재원은 무선도달거리가 최대 100m, 27만 화소의 CCD 카메라이며 입력영상의 크기는 640 x 480이며 동작전원은 5V DC이다. 2.4GHz의 RF통신이 가능한 무선카메라로 영상을 입력받고 서버PC에서 영상처리 후 블루투스 통신으로 로봇에 제어 명령을 전송하도록 하였다.

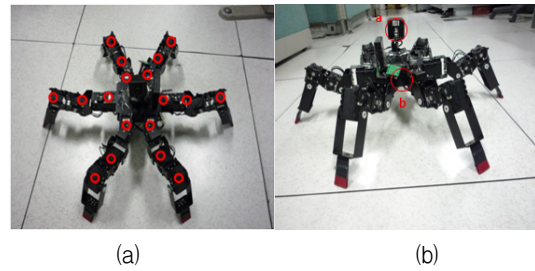


그림 1. 다족 로봇 관절 위치 및 완성된 로봇 사진  
(a) 무선카메라 (b) 구동보드 및 배터리

Fig. 1 Joint positions of multi-legged robot and the picture of completed robot  
(a) Wireless camera (b) Control board and battery

그림 1은 제작한 다족 로봇의 관절 위치와 전체적인 모습을 보여주고 있다. 그림 1(a),(b)에서 보는바 같이 영상인식용 무선카메라와 구동보드 및 배터리를 탑재한 로봇의 모습이다. 로봇의 크기는 그림 2에서처럼 표

준상 상태에서 길이 440mm ~ 450mm, 높이 155mm, 6개의 다리를 가지며 로봇의 원활한 이동을 위해 두 다리 디딤대의 폭을 40mm로 설계하였다. 모터연결부 및 다리 부분까지 로봇 몸체 전체는 1.5T 두께의 알루미늄재질로 무게를 최소화하여 총 중량 2.6kg으로 동작이 원활하도록 제작하였다.

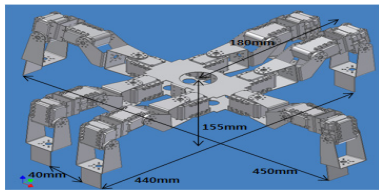


그림 2. 다족 로봇 각 부위별 설계도  
Fig. 2 The blueprint of each part of multi-legged robot

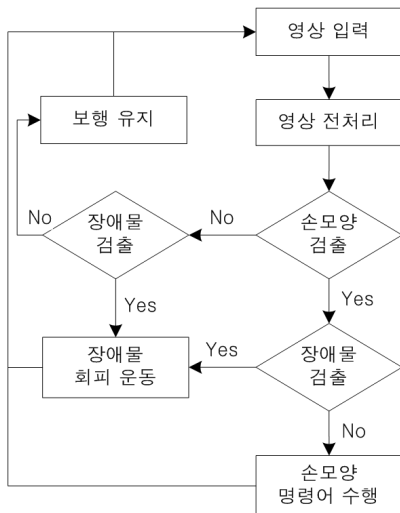


그림 3. 6족 자율 보행 로봇 처리 블록도  
Fig 3. The processing bloc-diagram of six-leg robot auto walking

그림 3은 자율 보행 로봇의 명령 및 처리 순서를 블록도로 나타낸 그림이다. 로봇의 영상인식용 카메라에 의해 획득한 영상에서 손과 장애물을 검출하여 로봇의 제어 명령을 내리는 동시에 연속적으로 추가 영상을 받아 움직임을 피드백 한다. 따라서 로봇이 보행하는 도중에도 손과 장애물의 지속적인 감지가 가능하며, 명령의 이행을 계속 피드백 할 수 있다.

### 2.2 다족 로봇 보행 알고리즘

다족 로봇(6족)의 안정적인 보행을 위해서 각 다리별 지면에 지지하는 시간을 같도록 알고리즘을 개발 구현하였다. 보행 로봇의 지지하는 다리들의 평균수는 식 (1)과 같다.

$$n_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^{\Pi} n(t)}{\Pi} \quad (1)$$

식 (1)에서  $\Pi$ 는 주기를 패턴에 따라 분할한 수를 뜻하며,  $n(t)$ 는 시간  $t$ 에 지지하는 다리의 수를 나타낸다. 각 다리별 지지시간이 같을 때 안정적인 보행이 가능하기 때문에 지지하는 다리의 평균  $n_{ave}$ 는 디딤울  $\beta$ 와 전체 다리의 수로 나타낼 수 있다.

$$n_{ave} = \beta \cdot n_{all} \quad (2)$$

6족 로봇의 지지하는 다리의 평균이 6에 가까운 수가 될 경우 로봇은 정지 상태인 경우이고 3~6에 해당된다면 이동을 준비하는 상태이다. 또한 평균이 3이하라면 로봇은 이동 중인 상태이다. 이 조건을 기준으로 제작한 다족 보행 로봇은 6개의 다리를 3개씩 동시에 움직이는 방식을 적용하였다.

첫째로 직진보행은 속도문제와 보행 안정성을 고려하여 중심축의 변화를 가져오지 않고 6개의 관절 축을 4단계로 나누어 전진 보행하도록 하였다. 표 1과 그림 4에 나타난 것과 같이 4단계의 사이클로 진행하면 로봇은 전진을 하게 된다.

표 1. 로봇 전진 보행 사이클  
Table. 1 Forward the robot's cycle of the gait

사이클	로봇의 움직임
1단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>2, 4, 6번 다리가 축</li> <li>1, 3, 5번 다리가 움직임</li> <li>관절의 각도 변환</li> </ul>
2단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>1, 3, 5번 다리가 축</li> <li>2, 4, 6번 다리가 움직임</li> <li>관절의 각도 변환</li> </ul>
3단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>2단계에서의 축으로 각도 변환</li> </ul>
4단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>2, 4, 6번으로 축을 바꾸고 각도 변환</li> </ul>

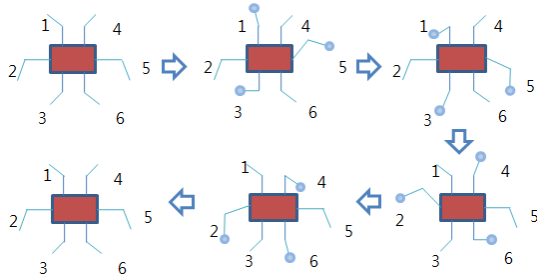


그림 4. 직진보행 알고리즘  
Fig. 4 The algorithm of straight walking

둘째로 6족 로봇의 제자리회전을 위한 방법으로 직진 보행과는 다르게 관절의 각도 변환이 주어져 제자리회전이 된다. 표 2 설명과 그림 5의 그림과 같이 관절 축을 2단계로 나누어 회전 보행을 수행하게 된다.

표 2. 로봇 회전 보행 사이클  
Table. 2 The cycle of robot's rotation gait

사이클	로봇의 움직임
1단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>1, 3, 5번 다리가 축</li> <li>2, 4, 6번 다리가 관절의 각도 변환</li> </ul>
2단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>2, 4, 6번 다리가 축</li> <li>1, 3, 5번 다리가 관절의 각도 변환</li> </ul>

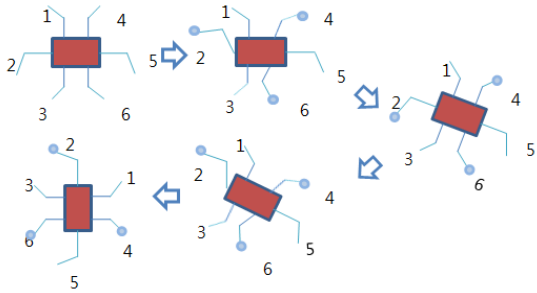


그림 5. 제자리회전 알고리즘  
Fig. 5 The algorithm of rotation

반대방향 회전은 회전 사이클의 순서를 반대로 하여 적용한다. 로봇의 회전은 한 사이클에 22.5° 움직이게 하였다.

세 번째 대각보행은 전진보행과 유사하게 6개의 다리를 4단계로 나누어 대각 이동 보행을 하게 된다. 표 3과 그림 6에서 나타내는 것과 같이 4단계의 사이클로 진행하면 로봇은 우측 대각 이동을 하게 된다. 좌측 대각 이동 보행은 우측과 같은 사이클로 진행되며 방향 변환은 반대로 진행된다.

표 3. 로봇 대각 보행 사이클  
Table. 3 The cycle of robot's diagonal gait

사이클	로봇의 움직임
1단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>2, 4, 6번 다리가 축</li> <li>1, 3, 5번 다리가 각도 변환</li> </ul>
2단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>1, 3, 5번 다리가 축</li> <li>1, 3번은 큰 각도 변화, 5번은 작은 각도 변화</li> </ul>
3단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>2단계에서의 축으로 각도 변환</li> </ul>
4단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>2, 4, 6번으로 축을 바꾸고 각도 변화</li> <li>2번 각도는 크게 변화하고 4, 6번 각도는 작게 변환</li> </ul>

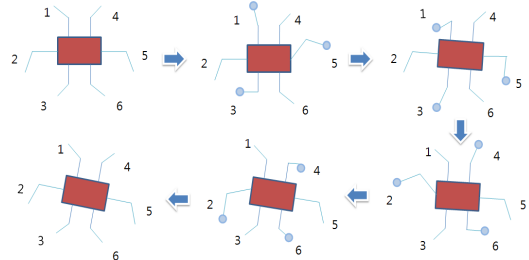


그림 6. 대각보행 알고리즘  
Fig. 6 The algorithm of diagonal walking

### III. 자율 보행 알고리즘

#### 3.1 장애물 인식 알고리즘

다족 로봇의 자율 보행을 위해서는 진행경로에 있는 장애물을 피하는 것이 기본이 되어야 한다. 개발한 다족 로봇 시스템은 RF 무선카메라를 통하여 획득되는 영상 데이터를 24bit의 RGB 데이터 파일로 변환을 하여 C언

어 기반의 프로그램을 통한 장애물을 인식한다. 장애물 인식을 위하여 일반적인 하프변환(Hough Transform)을 사용하였다[11].

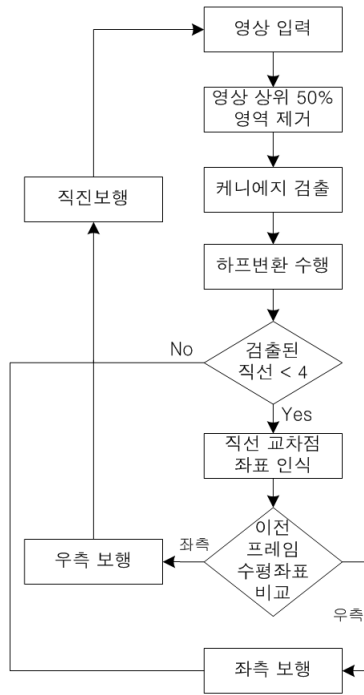


그림 7. 장애물 검출 알고리즘  
Fig. 7 The algorithm of obstacle detection

그림 7은 그림 3의 전체 순서도에서 장애물 검출에 관련된 알고리즘을 상세하게 나타내고 있다. 실시간으로 움직이는 로봇의 시야는 배경이 수시로 변화하기 때문에 영상처리의 복잡성을 높이며, RF 무선통신을 다족로봇 시스템에서는 처리속도의 문제점을 일으킬 수 있다. 장애물을 실시간으로 피하는 로봇은 처리속도가 가장 중요하다. 이를 위하여 영상 내 장애물 인식을 위한 영상 처리영역을 설정하였다. 따라서 전복될 위험이 거의 없는 다족로봇은 그림 8에서 보이는 것과 같이 입력된 영상에서 로봇의 진행경로 정보의 대부분을 차지하는 하단 50% 영역에 대하여 장애물 인식 알고리즘을 적용하였다.



그림 8. 장애물 인식을 위한 화면 분할  
Fig. 8 Split screen for obstacle recognition

분할된 화면으로부터 진행 경로상의 장애물을 찾기 위해서는 우선 장애물을 인식하여야 한다. 하지만 별도의 장애물에 대한 학습이 없이, 또는 입체적인 정보를 지원하는 스테레오 카메라를 이용하지 않고서는, 장애물의 검색이 어렵다. 따라서 영상 내 각 물체의 외곽선을 추출하여 로봇의 보행 경로에 있는 물체를 추출하는 방법을 이용하였다.

우선 영역 내 물체의 외곽선의 추출에 앞서 물체를 인식하기 위하여 일반적으로 영상 처리에서 가장 많이 활용되는 에지 검출 방법인 케니에지 검출(Canny Edge Detection)을 이용하여 에지를 검출하였다. 검출된 에지 정보를 하프변환(Hough Transform)을 이용하여 동일 직선상의 에지를 점정보로 변환하여 보행 경로에 있는 에지들을 외곽선으로 추출하였다. 따라서 그림 9에 보이는 것과 같이 보행 경로의 장애물 외곽선을 추출할 수 있었으며 외곽선이 움직이는 반대방향으로 전진하여 장애물을 회피하도록 하였다.

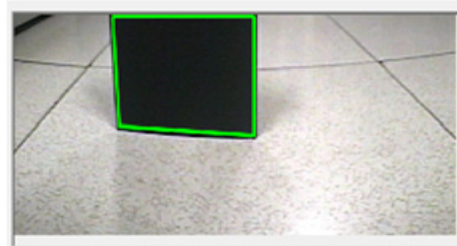


그림 9. 외곽선 추출 영상  
Fig. 9 The image of contour extraction

### 3.2 손 모양 인식 알고리즘

자율 보행 로봇은 장애물을 인식하여 보행하는 로봇이지만 로봇이 자발적으로 목적지나 목표물 설정을 할 수 없다. 본 논문에서는 로봇의 운동 방향에 대한 제어를 위해 손 모양 인식을 통하여 여러 형태의 손 모양에 해당하는 명령을 수행하도록 제어하였다. 로봇은 기본으로 전진을 수행하며 장애물 발견 시 그에 따라 방향을 회전하여 전진한다. 로봇이 전진하는 도중에 손 모양이 발견되면 해당 모양에 따른 행동을 하게 하였다. 장애물 인식과 손모양 인식은 순차적으로 반복적으로 이루어지게 하여 처리량을 줄이도록 하였다.

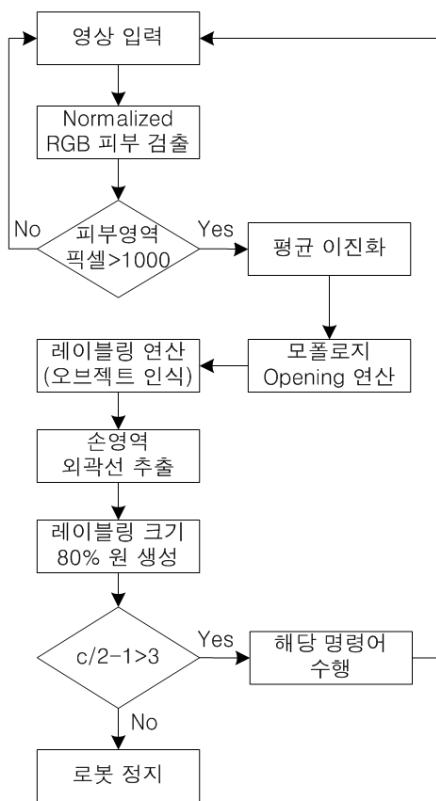


그림 10. 손 영역 검출 알고리즘  
Fig. 10 Hand detection algorithm

그림 10은 손 영역 검출 알고리즘에 관한 순서도로, 그림 3의 전체 알고리즘에서 손 영역 검출 부분을 상세하게 나타내고 있다.

RGB 영상에서 모든 물체는 붉은색, 초록색, 파란색의 세 가지 요소로 표현이 되며, 피부색 또한 일정 비율의 붉은색, 초록색, 파란색의 세 가지 색요소로 이루어져 있다. 하지만 야외 환경에서의 피부색과 실내에서 보이는 피부색이 다르듯, 조명 조건에 따라 피부색을 구성하는 비율은 조명 조건이 달라지면 변화하게 된다. 만일 조명이 특별한 색상을 띄지 않는다면, 조명에 따라 밝기만 달라질 뿐 기본 색상의 비율에는 변화가 없다. 이러한 점을 이용하여 다양한 조명에서의 피부색을 학습시켜 확률 공간에서 피부색의 정보를 표현하며, 표현된 확률 공간에서 피부색의 평균값과 분산 값을 이용하여 학습된 표준 피부색과 보행 로봇에서 입력된 피부색의 확률거리 (Mahalanobis Distance) 값을 산출하여 피부색을 인식하였다[12].

확률거리 산출을 위해 그림 11의 손 영역에 대한 피부색 샘플을 이용하여 손의 RGB 데이터 평균과 RGB 데이터 공분산 값을 학습시켰다.

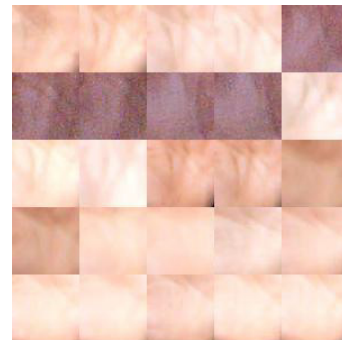


그림 11. 표준 손 샘플  
Fig. 11 Standard hand-sample

그림 11의 손 영역 피부색 샘플을 식 (3)을 적용하여 평균과 공분산값을 산출하였다.

$$\Sigma_{RB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})(B_i - \bar{B}) \quad (3)$$

식 (2)는 영상의 Red와 Blue 색상의 공분산을 구하는 식으로,  $\bar{R}$ 는 R의 평균 값, n은 학습시킨 표준 손 샘플의 픽셀 수,  $\Sigma_{RB}$ 는 R-B 간 공분산을 의미한다. 나머지

R-G, G-B 간의 공분산 또한 같은 방법으로 구한다. 이를 이용하여 RGB 데이터의 각각의 평균과 3x3의 대각 행렬형태의 공분산을 구한다.

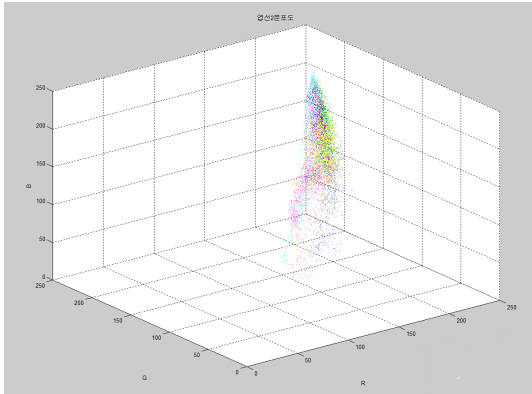


그림 12. 확률 공간에서 피부색 분포  
Fig. 12 Skin color distribution in probability space

그림 12는 그림 11의 표준 피부색을 이용하여 학습된 확률 공간에서 피부색의 분포를 나타낸 값이다. 이와 같이 피부색에 해당하는 색상들은 확률공간에 일정한 영역으로 표현되며 학습된 평균과 공분산 값으로 입력 영상과의 확률 거리를 계산하여 손 영역의 피부색과 유사한 부분을 식별할 수 있다.

그림 11을 통하여 학습시킨 영상의 RGB 평균값을  $\mu$  라고 표현하고 학습된 공분산을  $\Sigma$ 라고 할 경우 입력 영상의 특정 좌표 (i, j)에서 RGB 값의 확률거리  $D_M$ 은 식 (4)를 이용하여 다음과 같이 표현 된다.

$$D_M = [(X(i, j) - \mu)^T \Sigma^{-1} (X(i, j) - \mu)]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

식 (4)를 통하여 계산된 확률 거리  $D_M$ 에서 나타내는 것과 같이 피부색과 그 외 영역의 평균값을 임계값으로 하여 피부색을 추출한다. 이 수식을 Matlab 프로그램을 사용하여 시뮬레이션 한 결과 그림 13에서 나타내는 것과 같이 손영역의 피부색이 나타내는 영역과 그 외 영역과는 거리가 확연히 차이가 남을 알 수 있다.

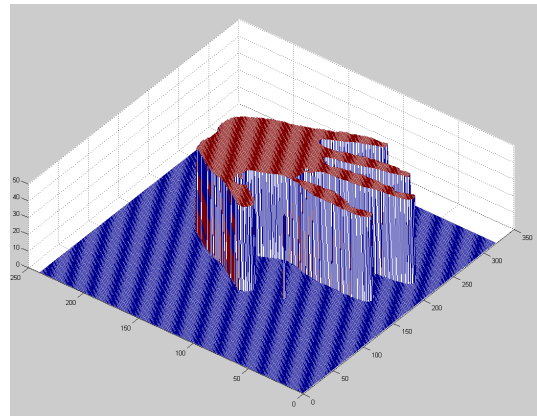


그림 13. 입력 영상의 각 좌표에 따른 손 색상의 확률거리  
Fig. 13 Probability distance of hand-color according to coordinates of input image

이결과를 실제영상에 적용하여 본 결과 그림14와 같이 나타나고 있다.

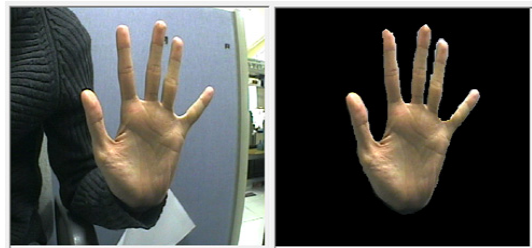
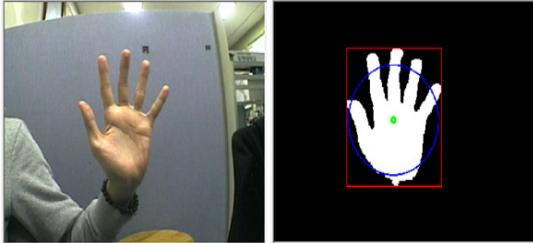


그림 14. 확률거리를 이용한 손 영역 검출  
Fig. 14 The detection of hand region using probability distance

검출된 손 모양에서 식 (5)를 이용하여 손 영역의 중심을 구하고 그림 15와 같이 중심으로부터 손 크기의 80% 길이를 지름으로 하는 원을 생성한다. 즉 손의 중심 C(x,y)는 피부색 영역 픽셀의 합을 전체 픽셀 수로 나눈 값이다.

$$C(x, y) = \frac{\sum_{i=0}^N p(x, y)}{N} \quad (5)$$



(a) (b)

그림 15. 손 영역의 중심검출과 개수 검출을 위한 원을 그린 영상






Fig. 15 Detect the center of hand and draw a circle for number detection

생성한 원과 손가락과의 교차점을 구하여 식 (6)을 이용하여 손가락의 개수를 검출한다. 식(6)의 c는 그림 15(b)에서 생성된 원위에서 흰색-검은색 영역의 교차점의 개수를 말한다. 손가락 하나당 교차점은 2개씩 발생하기 때문에 2로 나누어처리하였으며 손목부분의 교차점을 제외시키기 위하여 1을 빼줌으로써 손가락 개수를 구할 수 있다.

$$n = c/2 - 1 \quad (6)$$

손가락의 개수에 따른 로봇 제어 명령은 표 4와 같이 5가지의 분류로 정하고 나타내었다.

표 4. 손가락 개수에 따른 제어 명령  
Table. 4 Control commands based on the number of fingers

	① 로봇 정면 좌측편 탐색 및 보행		④ 로봇 후면 우측편 탐색 및 보행
	② 로봇 정면 우측편 탐색 및 보행		⑤ 일단 정지 및 명령 대기
	③ 로봇 후면 좌측편 탐색 및 보행		

손가락 개수가 1개일 때는 로봇 정면 좌측편 탐색 및 보행을 하게 되고, 2개일 때는 로봇 정면 우측편 탐색 및 보행을 하게 된다. 그리고 3개일 때는 로봇 후면 좌측편 탐색 및 보행을 하며, 4개일 때는 로봇 후면 우측편 탐색 및 보행, 5개일 때는 일단 정지 및 명령 대기의 제어 명령을 로봇이 수행하게 된다.

#### IV. 실험 및 결과

다족 자율 보행 로봇의 실시간 보행 능력과 손 모양에 따른 영상인식 제어능력을 평가하기 위한 실험을 수행하였다. 서버는 Intel사의 Core2Duo 2.16GHz 환경의 윈도우 기반의 MFC 프로그래밍을 이용하였다. 무선카메라라는 1/4인치 칼라 CCD 센서를 통하여 이미지를 획득하고 2.4GHz의 RF통신을 사용하여 실험하였다.

그림 16은 인터페이스 화면구성이다. 첫 번째 화면은 로봇에 장착된 무선카메라로 입력받는 영상이며, 두 번째 화면은 손모양 검출 영상, 세 번째 화면은 장애물 감지 영상으로 구성하였다. 그리고 로봇의 제어를 위해 통신포트 설정 버튼과 제어 버튼으로 구성하였다.



그림 16. 인터페이스 구성  
Fig. 16 The composition of interface

그림 17은 다족 자율 보행 로봇의 전진 보행을 나타내는 사진으로 로봇은 좌에서 우로 이동한다.

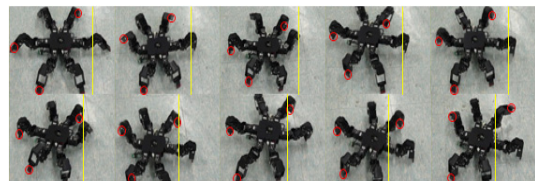


그림 17. 전진 보행 영상  
Fig. 17 The images of forward walking



그림 18은 다족 자율 보행 로봇의 회전 보행을 나타내는 사진으로 한 사이클당 22.5°의 각도로 회전한다.

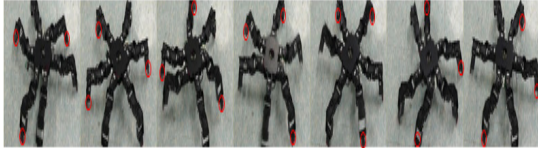


그림 18. 회전 보행 영상  
Fig. 18 The images of rotation walking

다음 실험은 해당 목표 지점까지 직선 주행 능력을 테스트하였으며, 5m 거리에 있는 목표지점까지 직선 보행 후 실제 직선에서 보행 로봇의 중심이 얼마나 벗어나는지를 반복 실험하였다.

그림 19는 다족 로봇의 평지 보행 실험 결과이다. 실험결과 5m 직선 보행 후, 로봇의 중심이 평균 2cm 벗어나는 오차를 보였다.



그림 19. 평지 보행 실험 결과  
Fig. 19 The experimental results of walking on flat

경사로 보행 실험에서는 그림 20과 같이 기울기가 20°에서 5m 거리의 목표물까지 약 3cm의 오차가 발생하였으며 30°에서부터는 미끄럼 현상이 발생하면서 약 5cm의 목표물 접근 오차가 발생하였다.

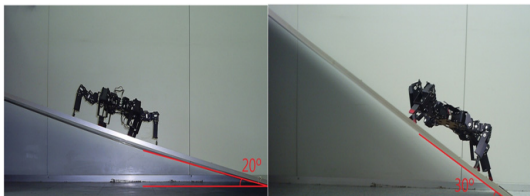


그림 20. 다족 로봇의 경사면 보행 실험 결과  
Fig. 20 The experimental results of multi-legged robot walking on steep incline

기울기에 따르는 로봇의 움직임은 30°에서는 보행, 회전 및 정지가 가능하였으며 40°이상에서는 정지현상을 보이며 직진보행 및 회전이 불가능하였다.

평균적으로 로봇의 무게와 모터의 출력에 영향을 많이 받았으며 모터의 출력이 실험 환경의 바닥 재질에 의하여 충분히 동력으로 전달되지 못하여 오차가 발생하였다.

자율 보행실험에서는 장애물 회피와 손 모양 인식에 따른 로봇 움직임에 대한 실험을 수행 하였다. 이동하는 로봇에 탑재된 무선카메라를 통하여 영상을 입력받아 처리 후 장애물을 회피하는 실험으로 색상에 따른 인식 실험을 수행하였다.

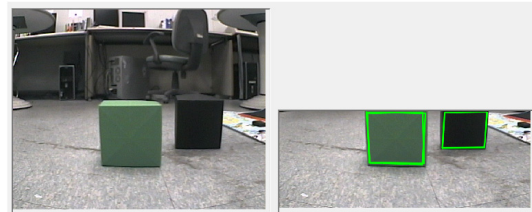


그림 21. 다족로봇의 장애물 인식 실험 결과  
Fig. 21 The experimental results of multi-legged robot recognizing obstacle

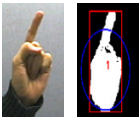
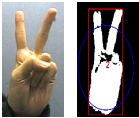

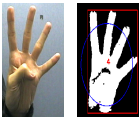

그림 21과 같이 무선으로 전송하는 영상 데이터량을 반으로 줄임으로써 초당 20프레임의 전송속도를 보여 로봇의 실시간 구동에 문제가 없었다. 또한 장애물 인식 실험은 빨간색, 파란색, 초록색, 검정색을 입힌 변이 30cm 인 정육면체 나무상자를 이용하였다. 이 결과 장애물이 다수 존재할 경우에도 장애물의 인식 및 회피가 가능하였으며, 각 장애물 색상에 따른 인식률은 표 5와 같이 나타났다. 색상별로 차이가 있으나 검정색이 99%로 좋은 인식률로 나타내었으며, 빨간색이 인식률이 93%로 다소 떨어지는 인 경향이 있으나 색상별 평균 약 96%정도의 인식률 결과를 얻을 수 있었다.

표 5. 색상에 따른 인식 실험 결과  
Table. 5 The experiment results based on color recognition

색상	인식률
빨간색	93%
파란색	94%
초록색	97%
검정색	99%

손모양 인식을 이용한 로봇의 명령 수행 이행한 결과 실험의 경우, 각 손가락 개수에 따른 인식 결과를 표 6과 같이 정리하였으며 손모양 인식의 경우 펴는 손가락의 종류에 따라 인식률이 떨어지는 것을 알 수 있었다.

표 6. 손가락 개수 인지 명령 수행 결과  
Table. 6 The result of command execution based on number of fingers recognition

손가락 개수	인지 성공	인지 실패	손가락 인지 로봇 수행률(%)
① 	95회	5회	95%
② 	93회	7회	93%
③ 	94회	6회	94%
④ 	91회	9회	91%
⑤ 	98회	2회	98%

명령 인식을 위한 실험은 각각 100회로 실시하였다. 이에 따른 결과로 일단 정지 및 명령 대기 손모양 ⑤인 손가락이 전부 펴진 상태가 98%의 인식률과 로봇 후면, 우측편 탐색 및 보행 ④의 손모양의 인식률이 91% 정도의 인식률을 보였으며 평균 약 94%의 명령 움직임 수행 결과를 얻었다.

## V. 결 론

손 모양 인식과 장애물 인식을 통한 실시간 다족 자율보행 로봇시스템은 기존의 다족 로봇 시스템에 비하여 보행 패턴이 간결하며 카메라를 통하여 자율보행이 가능하였다. 고정카메라가 갖는 공간적 한계를 무선카메라를 통하여 극복하고 Hough Transform을 이용하여 장애물 인식을 수행한 결과 96%의 인식률을 보였다. 또한 자율보행 로봇의 목표지점 및 방향지시를 위하여 Mahalanobis Distance를 이용한 피부색 검출로 손 영역을 추출하고 손가락 개수를 계수하여 로봇을 제어하는데 94%의 명령 수행 성공률을 보였다.

개발한 다족 로봇 시스템은 다양한 실험 조건에서 우수한 장애물 인지능력과 실내의 동적 조명 환경에서 피부색 검출로 신뢰성 높은 손모양 인식능력을 보여주었다. 하지만 배경이 과도하게 변화하는 야외환경에서 인식률이 낮아지는 단점이 있다. 복잡한 배경과 조명의 변화가 잦은 야외환경에서 인식률을 높이고 다양한 지역에서 자율보행을 위한 효율적인 보행 방법에 대한 보완 연구가 필요하다.

### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

[1] 백문홍, 백승호, 박제한, “정보화시대의 지능형로봇 연구동향,” 정보과학회지 제26권 제1호, pp.45-52, 2008.

[2] Hexiau and E.J. Lee, “Hand Posture Recognition based on PCA,” ITC-CSCC, Vol.1, pp.381-382, 2007

[3] 이상무, 김상훈, “영상처리와 센서융합을 활용한 지능형 6족 이동 로봇,” Journal of Institute of Control, Robotics and Systems Vol.15, No.4, pp.365-371, April 2009.

[4] 정우원, “손모양 인식을 이용한 실시간 자율보행 및 다족 로봇 제어 방법에 관한 연구”, 동명대학교 석사학위논문, 2010

[5] 유영국, 공정식, 김진걸, “복잡한 지형에서 변형 가능한 6족 로봇의 구현,” 한국정밀공학회지 제25권 제12호, pp.65-74, 2008.

[6] 김유진, 권경수, 박세현, “제스처 기반의 애완용 로봇 제어를 위한 인터페이스 개발,” 한국인터넷정보학회 학술발표대회 논문집 제8권 제2호, pp.607-610, 2007.

[7] 서인교, 장상수, 김항준, “손 제스처를 사용한 보행 로봇 제어,” 한국정보과학회 학술논문발표집 제32권 제2호, pp.577-579, 2005.

[8] Freeman, W. T. and Weissman, C. D, “Television control by hand gestures,” IEEE International Workshop. on Automatic Face and Gesture Recognition, 179-183, December 1995.

[9] Lee, H. K. and Kim, J. H. “An HMM-based threshold model approach for gesture recognition,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol.37, No.5, 1011-1024, November 2004.

[10] 박성욱, 박종관, 방종욱, “컬러 정보와 피부색 모델을 이용한 피부 영역 검출,” 전자공학회논문지 IE 제45권, 제4호, pp.60-67, April 2008.

[11] Nguyen N.T.B, 김용권, 정진완, 이석룡, 김덕환 “A Combined Hough Transform based Edge Detection and Region Growing Method for Region Extraction” 정보과학회논문지, 제36권 4호, pp.263-279, 2009.

[12] 권배근, 강동중, 김민성, 이주섭, “터널 내 실시간 화재 감시 알고리즘”, 제 22회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, 2010.

[13] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, “Digital Image Processing” PEARSON Prentice Hall

저자소개

김민성 (Min-Sung Kim)



1993년 Waseda University 대학원 공학석사  
1997년 Tokyo Institute of Technology 공학박사

1997년 ~ 2000년 (주)삼성전자 정보통신총괄 광응용연구그룹 광소자 개발팀장  
2000년 ~ 현재 동명대학교 부교수  
※ 관심분야: 광소자, 광통신, 로봇제어

정우원 (Woo-Won Jeong)



2008년 동명대학교 정보통신공학과 공학사  
2009년 동명대학교 전기전자정보통신공학과 공학석사

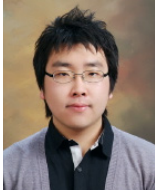
※ 관심분야: 로봇제어, Image processing

강동중 (Dong-Joong Kang)



1988년 부산대학교 정밀기계 공학사  
1990년 한국과학기술원 기계공학과 공학석사

1999년 한국과학기술원 자동화 및 설계공 공학박사  
1990년 ~ 1993년 현대전자 산업전자연구소 주임 연구원  
1996년 ~ 2000년 삼성종합기술원 신호처리랩 선임연구원  
2000년 ~ 2006년 동명정보대학교 메카트로닉스 공학과 교수  
2006년 ~ 현재 부산대학교 기계공학부 교수  
※ 관심분야: Image processing, Pattern Recognition



**권배근 (Bae-Guen Kwon)**

2008년 부산대학교 기계공학부  
공학사

2008년 ~ 현재 부산대학교  
기계공학부 석박사  
통합과정

※ 관심분야 : Image processing, Pattern Recognition