

패턴 인식 알고리즘 기반 휴머노이드 경로 시스템 개발

박 현*, 은진혁*, 박혜련*, 석정봉^o

Development of Path-Finding System for Humanoid Robots Based on Image Pattern Recognition

Park Hyun*, Jin-Hyuk Eun*, Hae-Ryeon Park*, Jung Bong Suk^o

요 약

본 논문에서는 패턴 인식 알고리즘을 기반으로 인간 형태를 가진 휴머노이드 로봇의 보행 동작을 제어하는 경로 인식 시스템을 개발하였다. 휴머노이드 로봇이 효과적인 작업 수행을 할 수 있도록 행동 프러미티브를 정의하였으며, Canny 에지 검출 알고리즘을 적용한 보도 블록의 패턴 및 색상 추출, 이를 기반으로 한 이동 방향을 인식하는 알고리즘 제안하고, 리눅스 운영체제와 영상 카메라가 장착된 소형 휴머노이드 임베디드 시스템에 구현하였다. 제안 알고리즘의 성능 실험을 휴머노이드 로봇의 동작 속도 및 인식율에 관점에서 수행하였으며, 다양한 현실 환경을 반영하기 위해 경사도 및 조도 변화를 적용하였다. 실험 결과 제안 알고리즘은 다양한 환경에서 시각 장애인의 길안내 도우미 로봇으로서 적절한 수준에서 반응함을 확인하였다.

Key Words : humanoid robot, image pattern recognition, behavior primitive, image sensing

ABSTRACT

In this paper, we develop a pattern recognition algorithm applied to a humanoid robot which is exploited as a guide for visually handicapped persons to find a desired path to their destinations. Behavior primitives of a humanoid robot are defined, and Canny's edge detection algorithm is employed to extract the pattern and color of the paving blocks that especially devised for visually handicapped persons. Based on these, an efficient path finding algorithm is developed and implemented on a humanoid robot, running on an embedded linux operating system equipped with a video camera. The performance of our algorithm is experimentally examined in terms of the response time and the pattern recognition ratio. In order to validate our algorithm in various realistic environments, the experiments are repeatedly performed by changing the tilt of paving blocks and the brightness in surrounding area. The results show that our algorithm performs sufficiently well to be exploited as a path finding system for visually handicapped persons.

I. 서 론

로봇 산업 분야에서 지능형 로봇의 역할은 점차 확대되고 있다¹⁾. 지능형 로봇은 영상처리, 음성인식

및 각종 센서를 이용하여 외부로부터 획득한 정보를 인식하고 스스로 상황을 판단하여 능동적으로 동작하는 로봇을 의미한다. 지능형 로봇 중 휴머노이드 로봇은 로봇 기술 개발 초기부터 연구되어 온

※ 본 연구는 2012년 지역혁신인력양성사업(2012025851) 및 2012년 산학연공동기술개발사업(C0003287)의 지원으로 수행되었습니다.

◆ 주저자 : 연세대학교 전산학과 정보통신망 연구실, feelif@gmail.com, 준회원

◦ 교신저자 : 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부, jbsuk@yonsei.ac.kr, 종신회원

* 연세대학교, dmswlsgr1@naver.com, 학생회원

* 연세대학교, haerin@naver.com, 준회원

논문번호 : KICS2012-03-157, 접수일자 : 2012년 3월 31일, 최종논문접수일자 : 2012년 9월 13일

분야이며, 대표적인 예로는 혼다 사의 아시모(ASIMO)^[2], 후지쯔 사의 HOAP^[3] 등이 있다. 휴머노이드 로봇은 복잡한 지형을 이동할 수 있고, 양 팔을 활용할 수 있다는 점에서 기존의 로봇보다 더 효과적으로 인간과의 협업 및 대체 작업을 수행할 수 있다^[4]. 이러한 휴머노이드 로봇의 업무 수행을 보장하기 위해서는 우선적으로 다양한 기울기와 조도를 가지는 실외환경에서의 자율적인 보행이 보장되어야 한다.

휴머노이드 로봇과 관련된 기존의 연구로는, 로봇의 안정적인 보행과 관한 연구와^[5-6], 휴머노이드 로봇에 장착된 카메라를 통해 수집된 영상 정보를 기반으로 하는 로봇의 동작을 제어하는 연구가 진행되거나 있다^[7]. 경로인식을 통해 시각장애인을 지원하는 최근의 연구로는 RFID^[8], 초음파 센서^[9]를 이용한 연구가 진행되었다. 특히 카메라 영상 인식을 기반한 연구도 있으나,^[10] 이 연구는 일자형 한 가지 블록 패턴만을 대상으로 하고 이 일자형 패턴의 연속 여부만으로 길을 안내하기 때문에, 정지를 나타내는 원형으로 된 블록을 인식할 수 없는 문제점이 있다. 즉, 기존의 시각장애인 지원에 대한 연구는 점자 블록을 활용하지 않거나 혹은 한 가지 블록의 패턴만 구분한다는 점에서 여러 블록의 패턴을 인식하고 영상 패턴 인식의 결과에 따라 유도 로봇의 여러 동작을 결정하는 본 연구와 차별성을 갖는다. 영상 패턴 인식을 기반으로 한 휴머노이드 로봇의 동작을 제어하는 본 연구의 동기는 일차적으로 시각 장애인용 보행 도우미 시스템 개발에 있으나, 이를 통해 개발된 효율적인 패턴 인식 및 로봇 동작제어 알고리즘은 향후 다양한 영역에서 활용될 휴머노이드 로봇의 응용에 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 Canny 에지 검출 알고리즘을 적용한 보도 블록의 패턴 및 색상 추출, 이를 기반으로 한 이동 방향을 인식하는 알고리즘 제안하고, 리눅스 운영체제와 영상 카메라가 장착된 소형 휴머노이드 임베디드 시스템에 구현하였다. 제안 알고리즘의 성능 실험을 휴머노이드 로봇의 동작 속도 및 인식율에 관점에서 수행하였으며, 다양한 현실 환경을 반영하기 위해 경사도 및 조도 변화를 적용하였다.

실험 결과 제안 알고리즘은 다양한 환경에서 시각 장애인의 길안내 도우미 로봇으로서 적절한 수준에서 반응함을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절 본문에서는 Canny 에지 검출 알고리즘을 적용한 경로 인식 시스템 전체 구성, 실험에 사용한 하드웨어 및 휴머노이드 로

봇의 동작 프리미티브를 정의한다. 3절에서는 제안된 알고리즘을 적용한 휴머노이드 로봇의 보행 실험, 보도 블록의 경사도 및 조도 변경 등 환경 변화에 따른 휴머노이드 로봇의 경로 인식 성능을 실험 결과를 기술하였으며, 마지막 4절에서 본 연구의 결론을 맺었다.

II. 제안 경로 인식시스템 구성

2.1. 에지검출 알고리즘

에지검출은 이미지 내에 존재하는 패턴 형성 객체들의 범위를 결정하는 중요 요소 중에 한 가지이다. 하나의 객체 형성 모델에서 객체의 범위 결정은 깊이 및 곡면 방향에서의 불연속성, 조도 차에 따른 대비의 변화 등에 영향을 받으며, 이상적인 에지 검출기는 곡선을 포함한 표면 경계를 하나의 일련된 곡선들의 집합으로 표현한다. 반면 낮은 성능의 에지 검출기는 에지 곡선들의 연결을 상실하거나 잘못된 에지를 추출함으로써 검출 이후의 이미지 분석 작업에 오류를 유발할 수 있다. 에지검출은 이미지의 종류 및 용도에 따라 다양한 방식으로 추출할 수 있으며, 대표적인 에지검출 방식으로는 Canny 에지검출 알고리즘^[11]이 있다. 잡음이 존재하는 환경에서 우수한 인식 능력을 갖고 있는 Canny 에지검출 알고리즘의 수행절차는 다음과 같다.

- ① 임계치와 표준편차 값을 입력하고 입력영상의 잡음을 제거하기 위해 평활화를 수행한다.
- ② 가우시안 필터링을 이용하여 잡음을 제거한다.
- ③ 소벨(Sobel) 연산자를 사용하여 그래디언트 벡터의 크기를 계산한다.
- ④ 3x3 창을 사용하여 그래디언트 벡터 방향에서 그래디언트 크기가 최대값인 위치를 파악하고 그 외의 값을 0으로 변경함으로써 얇은(thin) 에지를 확보한다.

[그림 1]은 에지 검출을 통해 검출한 보도블록의 외곽선모양이다.



그림 1. Canny 에지 영상처리 후 검출되는 외곽선
Fig. 1. Outline of Canny edge detected image

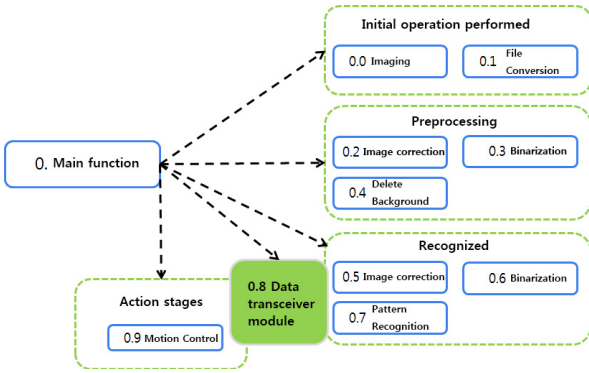


그림 2. 패턴 검출 흐름도
Fig. 1. Outline of Canny edge detected image

2.2. 패턴 추출 흐름도

휴머노이드 로봇은 외부의 영상에서 패턴 인식률을 높이기 위해 이진화 처리를 반복하여 진행한다.

[그림 2]는 패턴 인식 처리의 흐름도로서 각각의 단계는 순차적 또는 비순차적으로 수행된다.

초기 동작수행 단계에서 입력받은 영상 신호는 외부의 환경을 인지하고 휴머노이드 로봇을 시각 장애인용 유도 블록으로 유도하는데 중요한 정보로 활용된다. NTSC (National Television Standards Committee) 영상을 입력받은 비디오 인코더는 영상을 ITU-656 YUV 4:2:2 표준디지털 영상으로 변환한다. 입력받은 영상을 YUV 포맷으로 바꾸는 이유는 실외환경에서의 패턴 인식이 빛의 밝기에 따라 민감하게 변할 수 있기 때문에, 색상과 명도가 구분되어 있는 YUV 포맷을 사용한다.

YUV로 변환된 파일은 패턴을 추출하기에 앞서 잡음을 제거하는 이미지 보정 과정을 거쳐 YCbCr 포맷으로 변환된다. 변환 과정에서 발생하는 잡음은 영상의 화소 값을 훼손하여 패턴 추출시 경계값을 변화시키는데, 이를 방지하기 위해 가우시안 블러(blur) 필터를 사용하여 잡음을 제거한다. 잡음 제거 후 YCbCr 포맷으로 변경된 이미지의 바다 부분은 입력받은 색상의 RGB 값을 분석하여 기준 값 이하의 값은 제거하는 방식으로 배경을 구분하고 삭제한다.

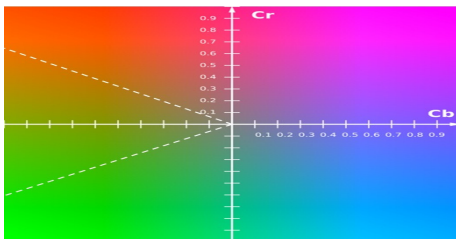


그림 3. Cb Cr 색상표 내 영역 지정
Fig. 3. Cb-Cr color palette for zoning

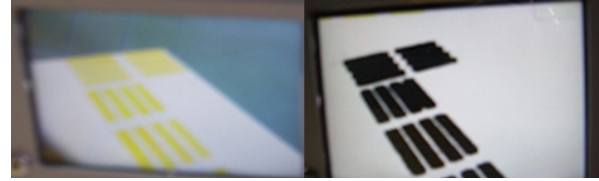


그림 4. 이진화 영상 처리 전(좌측)과 후(우측) 영상
Fig. 4. Binarization image processing: before and after

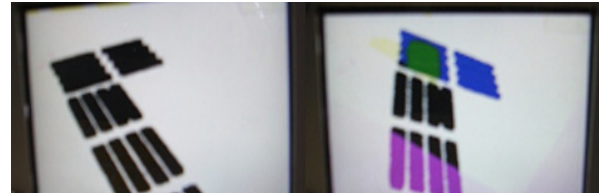


그림 5. 선형보간 처리 전(좌측)과 후(우측) 영상
Fig. 5. Linear interpolation: before and after

RGB 값을 분석하는 이유는 YCbCr 포맷이 RGB 정보를 인코딩하는 방식 중에 하나이기 때문이다. 국내 시판중인 시각장애인용 유도 블록은 저시력자를 위해 색상대비 70% 이상의 색상 중 노란색 계열을 사용하도록 권장하고 있다^[2].

수식 (1)은 이진화 처리를 위해 노란색 분포만을 추출하는 수식이다. [그림 3]의 Cb Cr 색상표에서 삼각형 범위 안에 포함된 색상들을 인지하면, 휘도(y)값을 검정색으로 지정하고(0x00), 변환된 휘도 값을 적용하여 원본영상의 노란색을 검정색으로 변환하는 수식이다. 86은 노란색의 휘도 값으로 주변에 일정한 광량이 존재할 때 가장 정확한 노란색 휘도 값의 수치이다.

$$Y = Cr < 255 - Cb ? 0x00 : Y \quad (1)$$

$$Y = Cr > Cb/2 + 86 ? 0x00 : Y$$

원본 영상에서 이진 영상으로 변환된 영상은 배경 및 조명에 의한 변색 효과로 인해 다른 색상이 포함될 수 있으며, 잡음의 원인이 된다. 잡음을 제거하고 명확한 이진화 데이터 값을 입력받기 위하여 검정색으로 추출된 노란색 패턴은 증강과 침식과정을 거쳐 영상의 노란색을 확장하고 강조하는 이미지 보정 단계를 거친다. 색상이 보정된 이미지는 선형 보간에 기반한 양선형 보간법을 적용하여 배열 형식의 이진화 처리가 가능한 위치로 기울기를 변경한다. [그림 4]는 이진화 영상 처리를 진행한 전후 사진이며, [그림 5]는 이진화 영상 처리 이후 선형보간 처리를 추가로 진행한 전후 사진이다.



그림 6. 이미지 맵핑(좌) 및 이진화(우)
Fig. 6. Image mapping(left) and binarization(right)

2.3. 경로 인식 알고리즘

휴머노이드 로봇이 요청한 목적지에 도달하기 위해서는 입력받은 영상을 기반으로 경로를 추적하는 알고리즘이 요구된다. 본 논문에서는 유도 블록의 패턴에 기반을 둔 경로 탐지 및 인식 알고리즘을 성에 따른 로봇 자세 제어 및 행동 방식을 구현하였다. 구성된 배열은 원본 이미지를 4x4 크기로 분할하고, 이미지 맵핑을 통해 각 블록을 하나의 배열요소로 지정한다. [그림 6]의 좌측 이미지는 로봇의 이미지 맵핑 영상으로 붉은 색은 패턴을 검출한 블록을 의미하며, 파란 색은 다음 단계에서 배열에 포함시킬 예비 블록을 의미한다. 노란 색은 로봇의 이동방향이다.

이미지에서 변환된 배열 값은 보도 블록 패턴에 따라 결정된다. 배열 값 1은 직선 모양의 보도 블록, 배열 값 0은 보도 블록이 존재하지 않거나 정지를 나타내는 원형 블록의 존재를 의미한다. 로봇은 배열 값 1로 설정된 방향으로 이동 혹은 좌우측으로 방향 변경을 한다. 이동이 이루어지는 상황에서 배열 값 0을 만나게 되면 현재의 이동 방향으로 원형 블록이 존재함을 의미하고, 이에 따라 로봇은 이동을 정지한다.

2.4. H/W 시스템 구성

실험에 사용한 경로인식 보행로봇은 H-MF-17AI 로봇 플랫폼을 사용하였다¹³⁾. 보행로봇은 크기

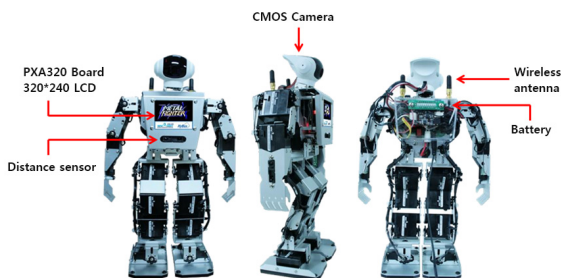


그림 7. 휴머노이드 로봇 구조
Fig. 7. Structure of humanoid robot

표 1. 휴머노이드 로봇 시스템 사양
Table 1. Specifications of humanoid robot system

Items	Specifications
Size	310(h)x180(d)x90(w)mm
Weight	1.35kg (in 6.0V BATTERY)
Torque	6V-9kg / cm
Operating time	30min(Maximum)
Motor	MRS-D2009SP : 15 piece MRS-D1812SP : 4 piece
Camera	1.3M CMOS
Network	Wireless lan, bluetooth
Sensors	Infrared, Gyro, Inclination
ETC	320x240 LCD Panel

310mm, 무게는 1.35kg이며 19개의 서브모터를 통해 동작한다. 경로 인식을 위해 사용한 카메라는 1.5M 픽셀 카메라로 CCD 센서를 사용하였으며, 최대 해상도는 1280x960 사이즈를 지원하고 1분에 30프레임 촬영이 가능한 제품이다 [그림 7].

휴머노이드 로봇은 바닥의 상황을 인지하기 위해 머리 부분에 CMOS 카메라를 부착하였으며, 후면부에는 프로그램을 전송받기 위한 무선 통신용 안테나 2개가 설치되어 있다. CMOS 카메라를 통해 입력받은 영상은 영상 처리를 통해 배열 데이터로 전환되며, 필요시 LCD 패널을 통해 동작 관련 데이터를 출력할 수 있다. 또한 전면부의 전방 거리 센서는 지면의 노출상태를 파악하여 로봇의 관절 각도를 제어하기 위한 것으로, 센서를 통해 수신된 정보는 15개의 보조 서브 모터와 4개의 주 서브모터를 통해 로봇이 유기적으로 움직일 수 있도록 필요한 정보로 변환되어 전달된다. 휴머노이드 로봇의 세부적인 사양은 [표 1]과 같다.

휴머노이드 로봇의 환경 인식 및 자세 제어는 영상인식 및 프로세서 처리를 담당하는 주 제어보드(MF-AI2)와 자세 제어를 담당하는 모터 제어 보드(MR-C3024FX)를 통해 구현된다. 주 제어보드와 모터 제어 보드는 임베디드 리눅스 기반 플랫폼으로 구성되어 있으며, 별도의 호스트 컴퓨터 지원 없이 영상 제어 및 센서 데이터 처리를 진행함으로써 로봇 스스로 자율적인 동작을 수행한다.

주 제어보드는 외부 환경과의 상호작용을 위해 전방거리센서를 통한 센서 데이터 및 CCD 카메라를 통한 영상을 입력받는다. 이 때 입력받은 영상은 OpenCV(Open Computer Vision) 라이브러리를 통

해 데이터가 압축된다. OpenCV는 영상 데이터를 조작하고 영상의 입출력을 지원하는 오픈소스 기반의 C 라이브러리로 C와 C++를 지원하여 윈도우 및 리눅스 플랫폼과 호환되는 라이브러리이다. 모터 제어 보드는 8비트 ATMEL RISC 마이크로컨트롤러를 사용하며, 64KB의 플래시 메모리를 탑재하여 최대 56KB의 사용자 정의 프로그램을 실행시킬 수 있다. 또한 수신 받은 센서 데이터 값을 서브모터로 전달하기 위한 DIO 포트와 로봇의 자세 제어 프로그램을 다운로드하기 위한 인터페이스 포트가 구성 되어 있다.

2.5. 휴머노이드 로봇의 행동 프리미티브

휴머노이드 로봇은 다양한 환경에서 고차원의 자유도를 가지고 작업을 수행하기 때문에 실시간으로 행동에 최적화된 행동 순서를 결정하는 일은 매우 어려운 일이다. 또한 임베디드 기반의 휴머노이드 로봇은 실시간으로 다수의 센서 데이터를 조합하여 제어 명령을 계산하는데 어려운 점이 있다. 본 논문에서는 행동에 관한 프리미티브를 사전에 정의하여 휴머노이드 로봇의 행동 계획에 이용하였다. 행동 프리미티브(Primitive)란 정적으로 안정된 자세에서 동작을 시작하여 목표한 동작을 수행하는 일련의 과정을 사전에 패턴으로 정의한 것이다. 위치와 방위 값을 가지는 로봇의 자세를 q 로 정의할 때, m 개의 관절을 가지는 휴머노이드 로봇의 동작은 $Q=(q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot \dots \cdot q_m)$ 의 집합으로 정의된다^[4]. q_1 은 로봇의 최초 자세이며, q_m 은 로봇의 최종 동작 자세이다. 또한 행동 프리미티브 M 은 동작 Q 의 순서적 집합으로 표현할 수 있다.

$$M = (Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \cdot \dots \cdot Q_K) \quad (2)$$

K 는 동작 Q 의 전체 개수이며, 휴머노이드 로봇은 m 개를 모터를 조절하여 각각의 동작을 생성하고 이를 결합함으로써 다양한 동작 창출이 가능하다. 휴머노이드 로봇의 경로 인식으로 위한 본 연구에서는, 정지 상태에서 초기 유도 블록 인식을 위한 자세 변경 및 원형 블록 발견시 신호등 등의 주변 환경을 탐색하기 위한 상체 자세 제어, 이동시 유도 블록을 확인하며 평행하게 걷도록 머리를 비스듬한 각도로 유지한 상태에서의 직선보행, 직각 유도 블록 형태에 따른 좌우측 방향 전환 등 총 5개의 행동 프리미티브를 새로 구성하고 동작을 정의하였다. 수식 (3)은 행동 프리미티브의 구성 값이다.

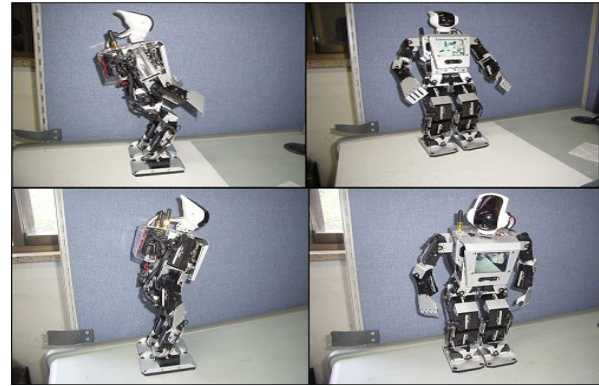


그림 8. 휴머노이드 로봇의 동작 구현
Fig. 8. Implementation of a humanoid robot behavior

$$P = (\Delta x, \Delta y, \Delta z, q_1, q_m, t) \quad (3)$$

$(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ 는 모션 프리미티브 M 를 수행할 때, 로봇 프레임의 이동을 수행하는 모터의 제어 속도 및 모터의 방향(x 축, y 축)에 대한 변위 값이며, q_1 은 로봇의 처음 자세이고, q_m 은 로봇의 최종 자세이다. t 는 q_1 에서부터 q_m 를 수행하는데 걸리는 시간으로 모터 속도 값에 영향을 받는다. [그림 8]은 휴머노이드 로봇이 행동 프리미티브를 수행하는 모습이다. 로봇은 외부 환경에 맞추어 사전에 정의된 5개의 행동 프리미티브 중 한 가지를 선택하고 수행한다.

III. 성능 실험

3.1. 동작 제어 실험

본 논문에서 제안한 패턴 인식 알고리즘에 기반한 휴머노이드 로봇의 보행 기법에 대해 실제 환경에서의 적용 가능성을 검증하기 위하여 [그림 9]와 같은 세트장을 구성하고 동작 실험을 실행하였다. 실험에 사용한 유도 블록은 실제 유도 블록의 1/3 크기인 10x10cm 유도 블록이며, 블록 위에는 별도의 장애물이 없다는 전제하에 실험을 진행하였다.

휴머노이드 로봇은 정지 상태에서 동작을 실행하며, 초기 자세 제어 후 머리의 카메라를 이용하여 주변 검색을 통해 유도 블록을 확인한다. 유도 블록의 직선 패턴을 확인한 휴머노이드 로봇은 머리를 15° 각도로 돌려 유지한 상태에서 직선 패턴에 따라 이동을 진행하며, 패턴의 각도 변화에 따라 방향 전환을 수행한다. 전환시 로봇은 코너 부분에서 바로 방향 전환을 수행하지 않고, 직진 보행을 2sec간 더 진행한 후 수행한다. 이는 머리 부분에 위치한

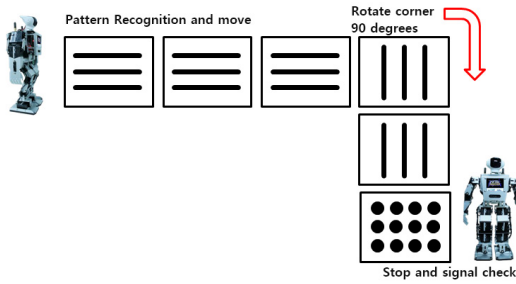


그림 9. 시물레이션 구성
Fig. 9. Simulation configuration

CMOS 카메라의 시야를 더 넓게 확보하기 위해서이다. 방향 전환이 완료된 로봇은 다시 유도 블록을 확인하며 직진 보행을 하다 원형 블록을 만나면 정지한다. [그림 10]은 휴머노이드 로봇의 자율 보행 수행 결과이다.

휴머노이드 로봇은 시작 동작에서부터 원형 블록 인식 후 정지 동작까지 평균 95.5sec(10회 평균)가 걸렸으며, 유도 블록을 따라 이동하거나 코너를 회전할 때, 패턴을 인식하지 못하거나 오류 정보에 따른 잘못된 자세 제어 형태는 발견되지 않았다.

3.2. 기울기 변화에 따른 인식을 실험

실외 환경에서의 휴머노이드 로봇에 대한 동작 성능을 검증하기 위해 기울기 변화에 따른 패턴 인식 실험을 진행하였다. [그림 11]은 실험에 사용한 세트장으로 총 3개의 직선 유도 블록으로 구성되어 있으며, 각 블록은 기울기판에서 10cm 높이에 붙여져 있다. 휴머노이드 로봇은 기울기판에서 10cm 떨어진 위치에서 수평으로 나란히 서 있으며, 시작 신호가 전송되면 경사각에 의해 기울어진 패턴을 보며 이동한 후, 세로 줄 모양의 직선 블록에서는 방

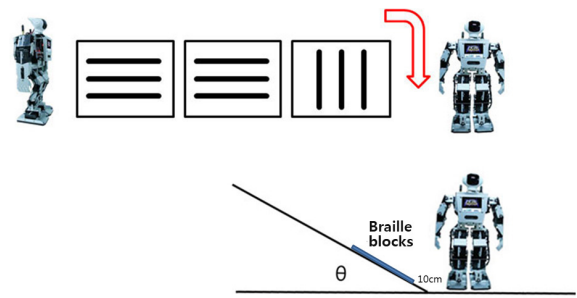


그림 11. 기울기 실험 시물레이션 구성
Fig. 11. Gradient simulation configuration

향을 전환하여 정지한다. [그림 12]는 기울기 변화에 따른 휴머노이드 로봇의 임무 완료 시간을 그래프로 나타낸 것이다.

실험결과 휴머노이드 로봇은 15° 기울기를 가진 경사면에서 26.43sec를 기록하며 가장 빨리 패턴을 인식하고 동작을 수행하였다. 0°의 평면보다 15° 각도에서 패턴 인식이 빠른 이유는 영상 입력을 위한 카메라가 바닥면과 수평으로 위치하고 있기 때문에 0°에서는 패턴이 일그러지는 현상이 발생하며, 15° 각도일 때 가장 원형과 동일한 패턴을 인식하게 된다. 90° 각도일 때 29.78sec의 가장 늦은 시간으로, 최적 환경 (15°)과 비교하여 $(26.43 - 29.78) / 26.43 = 12.7\%$ 의 동작 반응 변화가 증가함을 보여 주고 있는데, 이는 각도 변화에 따른 패턴 인식 속도가 증가함에 기인한다. 그러나, 통상의 각도를 45° 이내로 적용할 경우 동작 반응시간 증가는 약 7% 정도 수준임을 보이고 있다.

3.3. 조도 변화에 따른 인식을 실험

다양한 날씨 변화를 가진 실외환경에서의 로봇 보행을 위하여 조도에 변화를 주어 동작을 검증하는 실험을 진행하였다. [그림 13]은 동작 실험을 위한 세트장 구성으로 2개의 광원을 나란히 수직으로

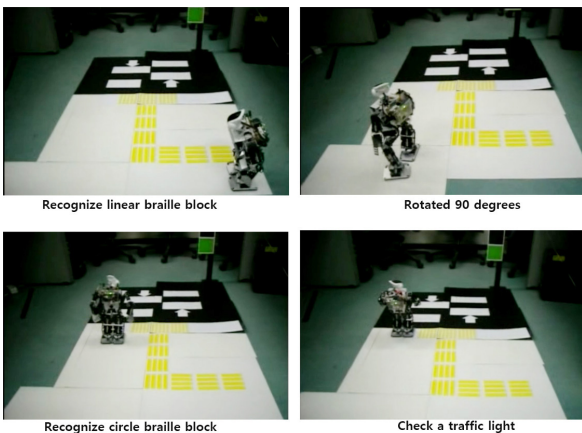


그림 10. 자율 보행 동작 실험
Fig. 10. Automated functional testing

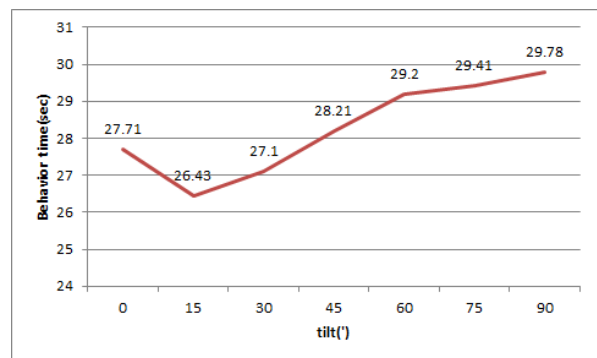


그림 12. [그림 11] 구성에 따른 시물레이션
Fig. 12. Simulation of the model in Fig. 11

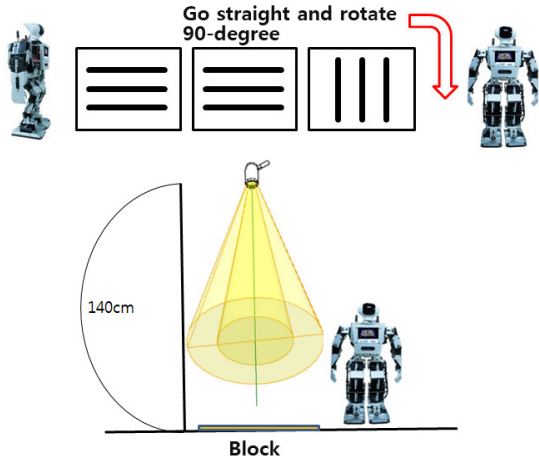


그림 13. 조도 변화에 따른 시뮬레이션 세트장 구성
Fig. 13. Luminous intensity simulation configuration

올려 높이 140cm 지점에 위치시키고 광원의 세기를 변경하며 환경에 변화를 주었다. 블록은 세 개의 직선 블록으로 구성하였다. 휴머노이드 로봇은 블록 옆 10cm 지점에 나란히 서 있으며, 시작 신호를 받으면 우측의 블록에서 패턴을 검출하여 이동하고 코너 회전 뒤 정지한다. [그림 14]는 조도 변화에 따른 동작 시간의 변화율이다. 200 럭스(lux)는 일반적인 공공구역 내에서의 빛의 밝기이며, 500 럭스는 응급실 등 많은 빛을 요구하는 장소에서의 조도이다. 실험 결과 로봇은 200 럭스에서 가장 빠른 동작 수행 값을 가지며, 200 럭스 이상의 값에 대해서는 빛에 대한 노이즈 현상으로 패턴 인식이 지연되는 결과를 보인다. 최적 환경 (약 200 럭스) 대비 최대 동작 반응에 대한 동작 속도 변화율은 $|26.88 - 31.1| / 26.88 = 15.7\%$ 을 나타내고 있다. 그러나, 시각 장애인 도우미 로봇이 통상 적용되는 200 럭스 이상의 밝은 야외 환경을 고려할 경우 반응시간 증가는 약 3.3%정도 수준임을 보이고 있다.

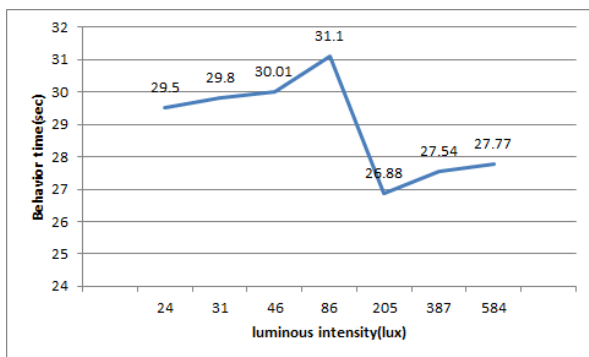


그림 14. [그림 13] 구성에 따른 시뮬레이션
Fig. 14. Simulation of the model in Fig. 13

IV. 결 론

본 논문에서는 패턴 인식 알고리즘을 기반으로 시각 장애인의 보행 도우미 역할을 하는 휴머노이드 로봇 기반 경로 인식 시스템을 개발하였다. 휴머노이드 로봇이 효과적인 작업 수행을 할 수 있도록 행동 프리미티브를 정의하였으며, Canny 에지 검출 알고리즘을 적용한 보도 블록의 패턴 및 색상 추출, 이를 기반으로 한 이동 방향을 인식하는 알고리즘 제안하고, 리눅스 운영체제와 영상 카메라가 장착된 소형 휴머노이드 임베디드 시스템에 구현하였다. 제안 알고리즘의 검증을 위해 다양한 환경에서, 즉 휴머노이드 로봇의 영상 인지 각도와 주변 조도 변경을 통해, 휴머노이드 로봇의 동작 속도 및 인식율에 대한 성능 실험을 수행하였다. 실험 결과, 15° 각도에서 약 200lux의 빛이 주어졌을 때 최적의 동작 성능을 나타내었고, 기타 환경 값에 대한 성능도 최적 환경과 비교하여 7% 증가율 이내 수준으로서, 다양한 환경에서 본 알고리즘이 시각 장애인의 길 안내 도우미 로봇으로서 충분히 적절한 수준에서 반응함을 확인하였다.

Reference

- [1] Su-Hee Noh, Doo-Young Na and Yong-Tae Kim, "Walking Stabilization Using Locomotion Primitive for Humanoid Robots," *Korean Institute of Intelligent Systems(KIIS) Spring Conference 2009*, Vol. 19, No. 1, pp. 125-126, Korea, 2009.
- [2] Y. Sakagami, R. Watanabe, C. Aoyama, S. Matsunaga, N. Higaki and K. Fujimura, "The intelligent ASIMO : System overview and integration," in *Proc. 2002 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2478-2483, Lausanne, Switzerland, Oct. 2002.
- [3] Riezenman, M.J, "Robots stand on own two feet," *Spectrum IEEE*, 39(8), pp. 24-25, Aug. 2002.
- [4] Su-Hee Noh, and Yong-Tae Kim, "Behavior Planning for Humanoid Robot Using Behavior Primitive," *J. KIIS 2009*, Vol 19, No 1, pp. 108-114, 2009.
- [5] Jung-Shik Kong, and Jin-Geol Kim, "A Study on the Joint Controller for a Humanoid R

obot based on Genetic Algorithm,” *J. KIIS* 2007, Vol 17, No 5, pp. 640-647, 2007.

[6] K. Hauser, T. Bretl, and J-C Latombe, “Using motion primitives in probabilistic sample-based planning for humanoid robots,” *Workshop on the Algorithmic Foundations of Robotics(WAFR)*, pp. 1-16, 2006.

[7] J. Kuffner, K. Nishiwaki, S. Kagami, M. Inaba and H. Inoue, “Motion planning for humanoid robots,” *International Symposium on Robotic Research*, pp. 1-9, 2003.

[8] Joong-Yeub Lee, “Blinded Use of Smart Walk Guide System Design,” *J. Digital Interaction Design*, Vol.10, No.1, pp. 193-203, 2011.

[9] Jin-Hee Lee, Sukhyun Lim, Eun-Seok Lee, and Byeong-Seok Shin, “An Outdoor Navigation System for the Visually Impaired Persons incorporating GPS and Ultrasonic Sensors,” *J. Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Vol. 36, No. 6, pp. 462-470, 2009.

[10] Sang-Il Hahn, Jong-Su Kim, Jin-Woo Ahn, and Hyung-Tai Cha, “Information System for Blind People using Smartphone,” in *Proc. KIIS Spring Conf 2010*, Vol. 20, No. 1, pp. 63-66, Korea, 2010.

[11] J. Canny, “A computational approach to edge detection,” *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, Vol Pami-8. No 6, pp. 679-698, November, 1986.

[12] Raised block regulations(Korea National Institute for Special Education), Retrieved June., 1, 2012, from http://edu.knise.kr/jsp/lesionsee/facility/facility_braille.jsp?main=4&sub=8.

[13] H-MF-17AI Robot(Hibus), Retrieved June., 1, 2012, from http://edu.hybus.net/goods/goods_detail.asp?idx=38&ctg_code=01-05&intPageSize=12&schword=&page=1&goods_company=&sort=.

[14] Yong-Tae Kim, and Han-jeong Kim, “Motion Planning for Legged Robots Using Locomotion Primitives in the 3D Workspace,” *J. Korea Robotics Society*, Vol. 2, No. 3, pp. 275-281, 2007.

박 현 (Park Hyun)



2008년 3월 연세대학교 전산학과 학사
 2008년 9월~현재 연세대학교 전산학과 석박사 통합과정
 <관심분야> 무선 LAN 및 무선 메쉬 네트워크, 임베디드 시스템

은 진 혁 (Jin-Hyuk Eun)



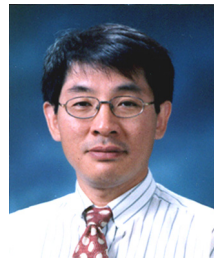
2006년 3월~현재 연세대학교 컴퓨터정보통신학부 학사과정
 <관심분야> 무선 LAN 및 지능형 로봇

박 혜 련 (Hae-Ryeon Park)



1982년 2월 이화여자대학교 수학과 학사
 1988년 5월 미국 Univ. of Massachusetts, Amherst 수학 및 통계학과 석사
 2006년 8월 명지대학교 컴퓨터학과 박사
 2002년 9월~연세대학교 강사
 <관심분야> 무선 LAN 및 메쉬네트워크 프로토콜

석 정 봉 (Jung Bong Suk)



1979년 2월 연세대학교 전자공학과 학사
 1981년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 1989년 5월 미국 Univ. of Massachusetts, Amherst 전기 및 컴퓨터공학과 박사

1981년 3월~1993년 2월 한국전자통신연구원 책임연구원
 1993년 3월~현재 연세대학교 원주캠퍼스 컴퓨터정보통신공학부 교수
 <관심분야> 통신망 성능분석, 무선 LAN 및 무선 메쉬 네트워크