

임베디드 비전 시스템 기반 휴머노이드 로봇의 운동 계획

Motion Planning for Humanoid Robot Using Embedded Vision System

노수희*, 한남이*, 노흥식**, 김용태***

Su-Hee Noh*, Nami Han*, Heung-Sik Noh** and Yong-Tae Kim***

*한경대학교 생물환경·정보통신전문대학원, **협성대학교 컴퓨터공학과,
***한경대학교 정보제어공학과
E-mail: ytkim@hknu.ac.kr

Abstract

본 논문에서는 복잡한 환경에서 휴머노이드 로봇의 영상기반 운동계획을 제안하였다. 먼저 영상전처리 과정을 통해 작업환경에서 경로 계획으로 최적 경로를 탐색하고, 탐색된 경로의 거리와 방향각에 따라 퍼지규칙을 적용하여 보행 프리미티브를 선택하는 운동계획방법을 제안하였다. 다양한 장애물을 갖는 복잡한 환경에서 로봇의 보행 프리미티브를 사용하여 영상기반의 운동계획이 실시간으로 수행 가능하도록 설계하였다. 제안한 운동계획방법은 임베디드 비전 시스템을 사용한 휴머노이드 로봇을 실제 제작하여 실험을 통해 성능을 검증하였다.

Key Words : Humanoid robot, Motion planning, Footstep planning, Embedded vision system

1. 서 론

휴머노이드 로봇은 다른 형태의 이동 로봇에 비해 장애물이 있는 불규칙한 지형에서 탁월한 이동성을 제공하기 때문에 3차원인 인간의 생활환경에서 이용이 편리하다. 또한 휴머노이드 로봇은 인간과의 협동 작업을 통해 인간을 보조할 수 있는 보조자의 역할이 가능하기 때문에 점점 휴머노이드 로봇의 개발과 상용화 기대는 더욱 더 커져가고 있다. 그러나 휴머노이드 로봇은 3차원 작업 공간에서 고차원의 자유도를 갖기 때문에 보행 및 운동 계획이 항상 불안정한 상태에 이를 수 있는 기술적 어려움을 가지고 있다. 따라서 현재 휴머노이드 로봇의 연구는 자연스러운 걸음새 구현 및 안정화에 중점을 두고 있으며, 최근 복잡한 장애물 환경에서의 운동 계획에 관한 연구들이 수행되고 있다[1~5].

휴머노이드 로봇을 위한 운동 계획은 걸음새 및 안정화 구현과 마찬가지로 휴머노이드 로봇이 고차원 자유도를 갖는다는 점과 그 구성 공간이 일반적으로 12차원 이상이기 때문에 실제로 휴머노이드 로봇의 운동 계획의 해를 구하는 것은 매우 어렵다고 알려져 있다[3][4][5].

본 논문에서는 장애물이 있는 3차원 작업공간에서의 휴머노이드 로봇의 운동 계획에 초점을 두고 자연스럽고 안정된 보행 계획 방법에

대해 살펴본다. 이를 위해서 휴머노이드 로봇의 고차원 운동 계획 문제를 단순화하여 접근한 방법인 보행 프리미티브(locomotion primitive)를 이용하였다[4]. 보행 프리미티브란 정적으로 안정된 자세로 시작하여 끝나도록 미리 계획된 보행패턴을 의미한다. 제안된 운동 계획 방법은 임베디드 비전 시스템을 기반으로 실제 휴머노이드 로봇의 보행 실험을 수행하여 시각영상기반의 운동계획 성능을 살펴보았다.

2. 휴머노이드 로봇 시스템

2.1 휴머노이드 로봇의 시스템 구성

휴머노이드 로봇은 그림 1과 같이 로봇 기구부, 모터 제어부, 주제어부, 그리고 비전시스템으로 구성되어 있다. 기구부는 24 자유도를 가지도록 설계하였으며, 비전시스템을 위한 카메라를 머리 부분에 장착하였다. 모터 제어부는 24개의 모터를 동시에 실시간으로 제어하기 위해 AVR 프로세서를 기반으로 구성하였고 주제어부는 임베디드 리눅스 기반의 임베디드 시스템을 사용하여 실시간 영상처리시스템을 구현하였다. 휴머노이드 로봇은 임베디드 시스템을 통해 보행 데이터와 영상데이터를 호스트 컴퓨터 없이 로봇 스스로 처리하게 됨으로서 독립적이고 자율적인 보행이 가능하도록 구성하였다.

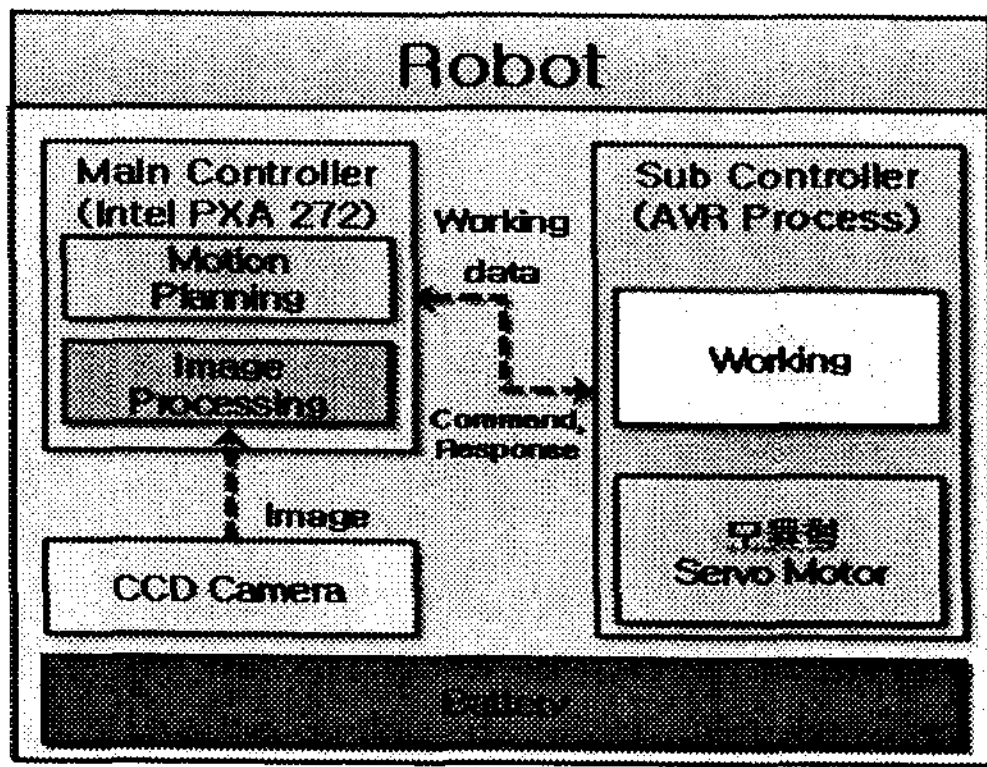


그림 1. 휴머노이드 로봇의 시스템 구성

2.2 휴머노이드 로봇의 기구부 설계

로봇의 기구부는 그림 2와 같이 인간과 같은 구조로 설계하였다. 로봇은 서 있는 상태에서 높이 600mm, 총 무게 6kg이고 몸체는 알루미늄 링크로 구성, 각 관절은 24개의 모듈형 서보모터를 사용하여 구성하였다.

제작된 휴머노이드 로봇은 로봇 머리에 장착된 카메라가 넓은 시야를 확보하도록 설계하였고, 하체부는 인간과 유사하게 발목과 골반관절값이 주어지게 되면 무릎 관절의 위치와 방향을 결정할 수 있게 구현하였다.

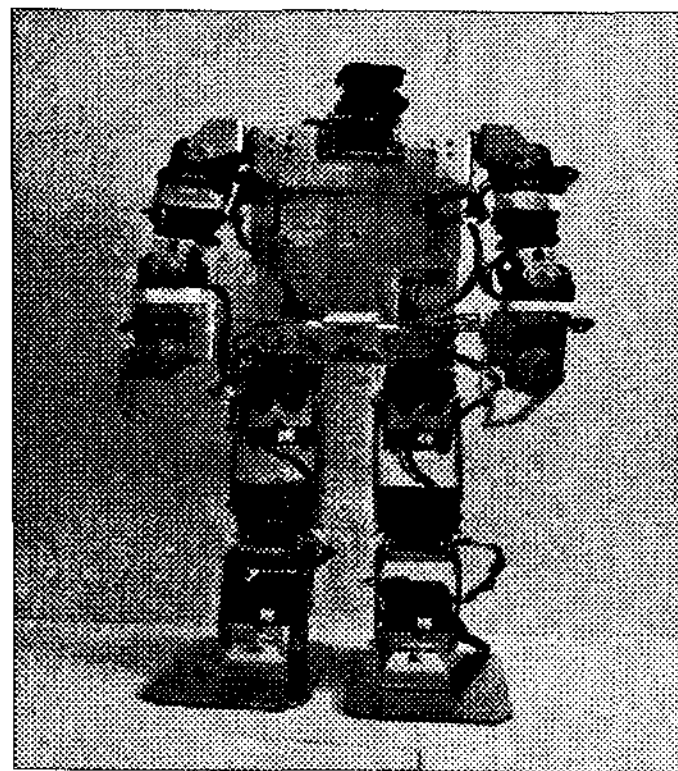


그림 2. 휴머노이드 로봇의 기구부 설계

2.3 휴머노이드 로봇 보행 프리미티브

본 논문에서는 휴머노이드 로봇이 장애물들을 피해 목적지까지 가기 위한 경로계획을 선행하고, 이를 바탕으로 미리 계획된 보행 패턴인 보행 프리미티브를 사용하는 운동계획을 제안하였다.

먼저 경로 계획이 세워지면 경로 이동에 따라 총 8개의 보행 프리미티브를 이용하였다. 휴머노이드 로봇의 보행 프리미티브 수행은 그림 3과 같다. 로봇의 이동 방향 변환을 위해 LT(Left Turn)와 RT(Right Turn)를 이용하였고, 로봇과 장애물이 가까이 있을 경우 LS(Left side step)와 RS(Right side step)를 이용하여

장애물을 회피하도록 하였다. 또한 LDW(Left diagonal walk)와 RDW(Right diagonal walk)를 이용함으로써 로봇의 방향 전환 및 이동이 동시에 가능하다. FW(Forward walk)는 주로 로봇의 이동을 위해 사용하였고 로봇과 장애물의 거리가 가까울 경우 장애물과의 충돌을 막기 위해 BS(Back step)을 이용한다.

각각의 보행 프리미티브는 지면에서 본 발의 위치를 주었을 때 역기구학을 사용하여 각 관절의 각도를 계산한 후 각도 변화를 정현파 곡선으로 구성하여 모터를 제어하였다. 이를 통해 로봇의 보행시 자연스럽게 안정적인 ZMP(zero-moment point) 이동을 구현하였다.

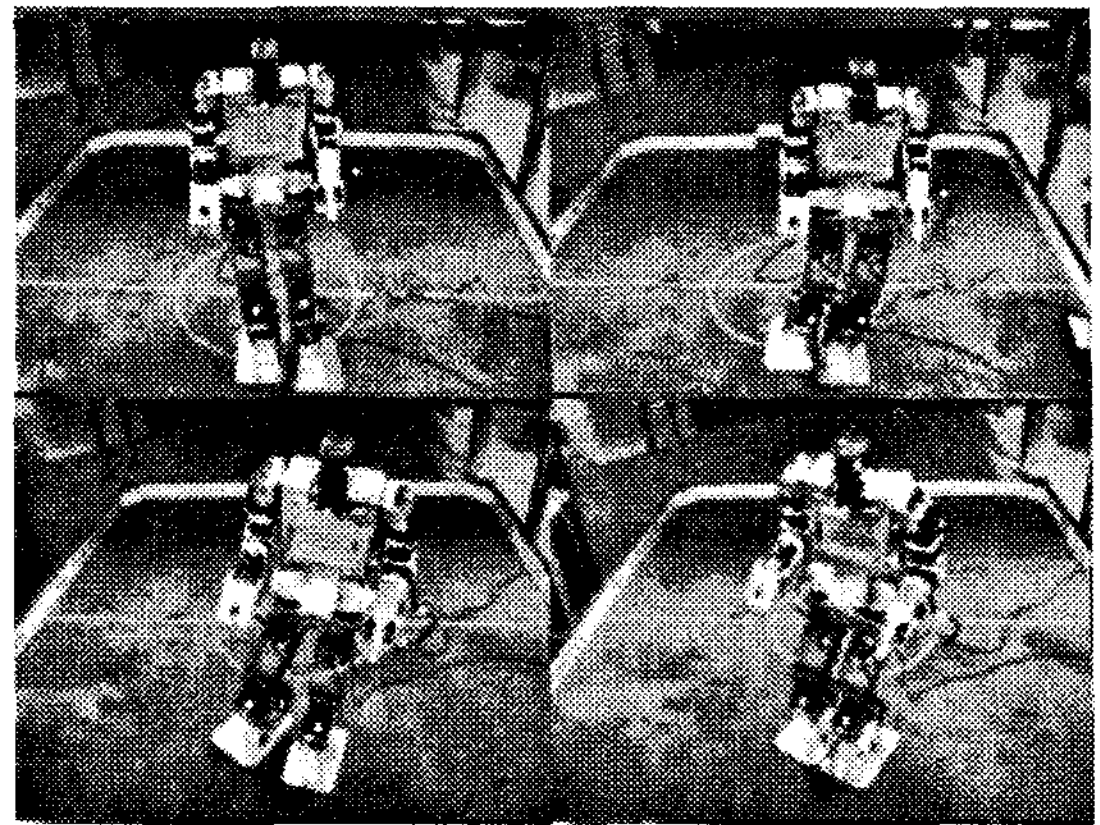


그림 3. 휴머노이드 로봇의 보행 프리미티브

3. 비전 시스템 기반 운동계획

3.1 임베디드 비전 시스템

임베디드 비전 시스템의 목적은 카메라로 받아들인 전방향 영상을 분석하여 주변 상황을 인식한 후 실시간 경로계획 및 이용 가능한 최적의 보행 프리미티브를 찾아서 실행함으로써 로봇의 자율 보행을 구현하는 것이다.

카메라로부터 영상을 입력받아 임베디드 시스템에서 영상처리를 한 후 로봇에 명령을 주기까지 그림 4와 같은 절차를 거치게 된다. 비전 시스템에 사용한 카메라는 콤포지트 방식의 칼라 CCD 카메라를 사용하였고 영상전처리는 임베디드 시스템 안에 탑재되어 있는 FPGA에서 담당한다. 임베디드 시스템에서 처리하는 영상크기는 160×120이고 FPGA칩에서 영상전처리를 담당하기 때문에 영상처리 속도가 빠른 장점이 있다.

3.2 경로 검색 계획

작업환경에서 휴머노이드 로봇이 목표지점까지의 경로 검색을 위한 영상처리 과정은 매우 중요한 부분이다. 그림 5는 경로 검색을 위한 영상처리 알고리즘을 나타낸다.

휴머노이드 로봇의 머리에 장착된 카메라를 통해 영상데이터가 입력되면 그림 6과 같이 색 변화, 윤곽선 추출, 노이즈 제거 등의 영상처리 과정을 바탕으로 휴머노이드 로봇이 가야할 경로를 검색하고, 최대 길이 경로들 중에서 최적의 경로를 선택하여 최적 경로의 방향과 길이에 따라서 안정된 보행으로 이동하게 된다.

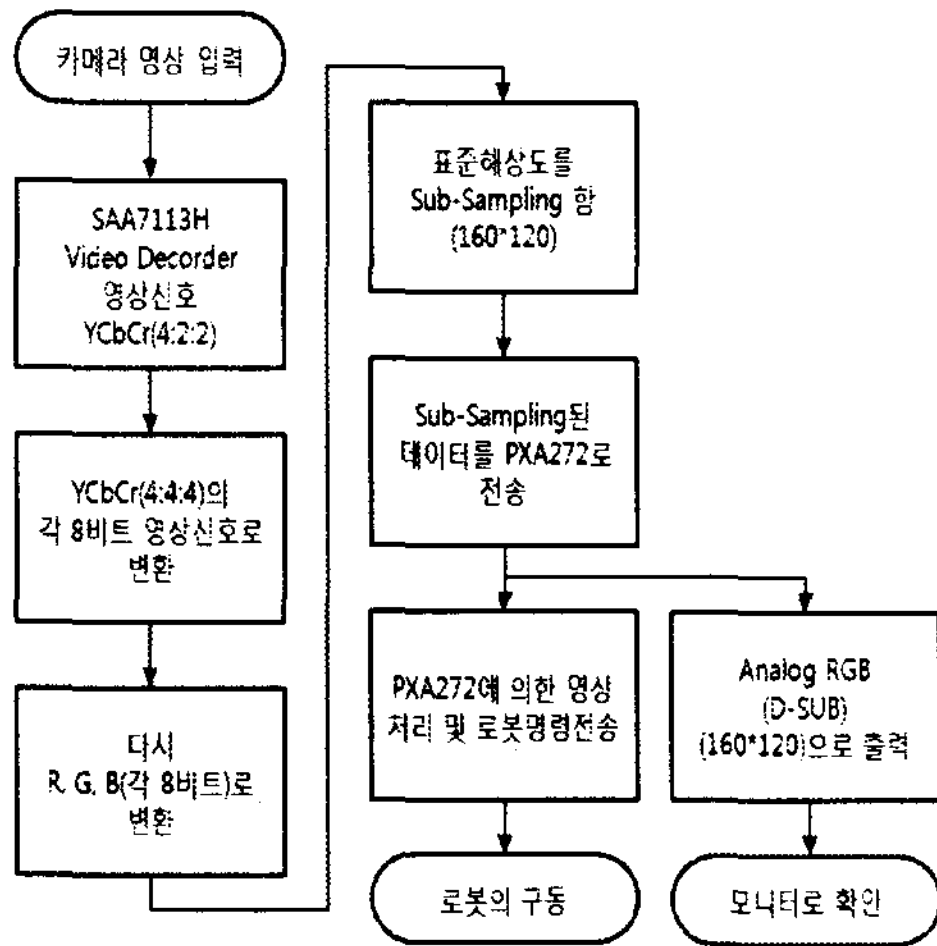


그림 4. 영상처리 순서도

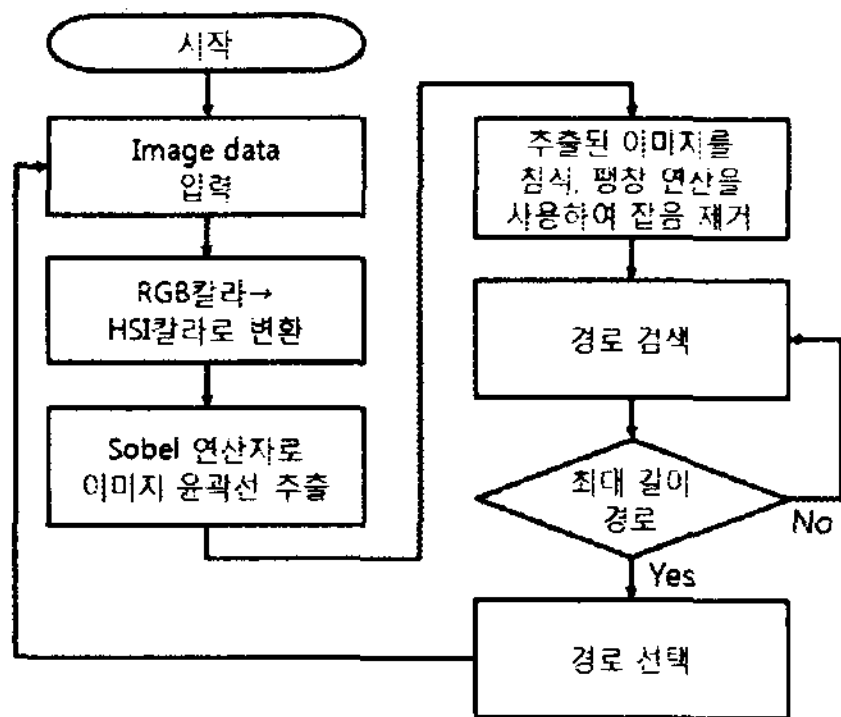


그림 5. 경로 검색 영상 처리 알고리즘

3.3 보행 계획

그림 6은 휴머노이드 로봇의 경로 검색을 나타낸 것이다. 7개의 경로를 설정하고 그에 따라 7개의 영역이 생성된다. 영역에 따라 로봇의 이동을 유연하게 하기 위해서 퍼지추론을 적용하여 자연스러운 보행 변화가 이루어지도록 하였다. 더욱 정확한 경로 생성을 위해서는 경로의 수를 늘려 영역을 세분화하면 된다.

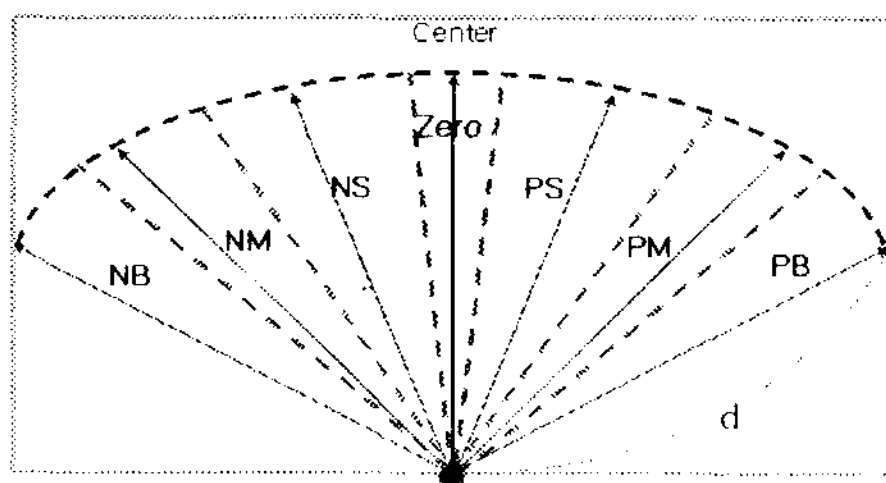


그림 6. 휴머노이드 로봇의 보행 계획

구체적인 휴머노이드 로봇의 경로 검색 계획은 그림 7과 같이 나타낼 수 있다. 먼저 로봇의 검색 경로를 설정하고 카메라로부터 받은 영상의 윤곽선만을 추출하여 각 영역별로 검색을 한다. 검색된 결과 선택된 최적 경로에서 휴머노이드 로봇이 가야할 방향(θ)과 거리(d)를 구한다.

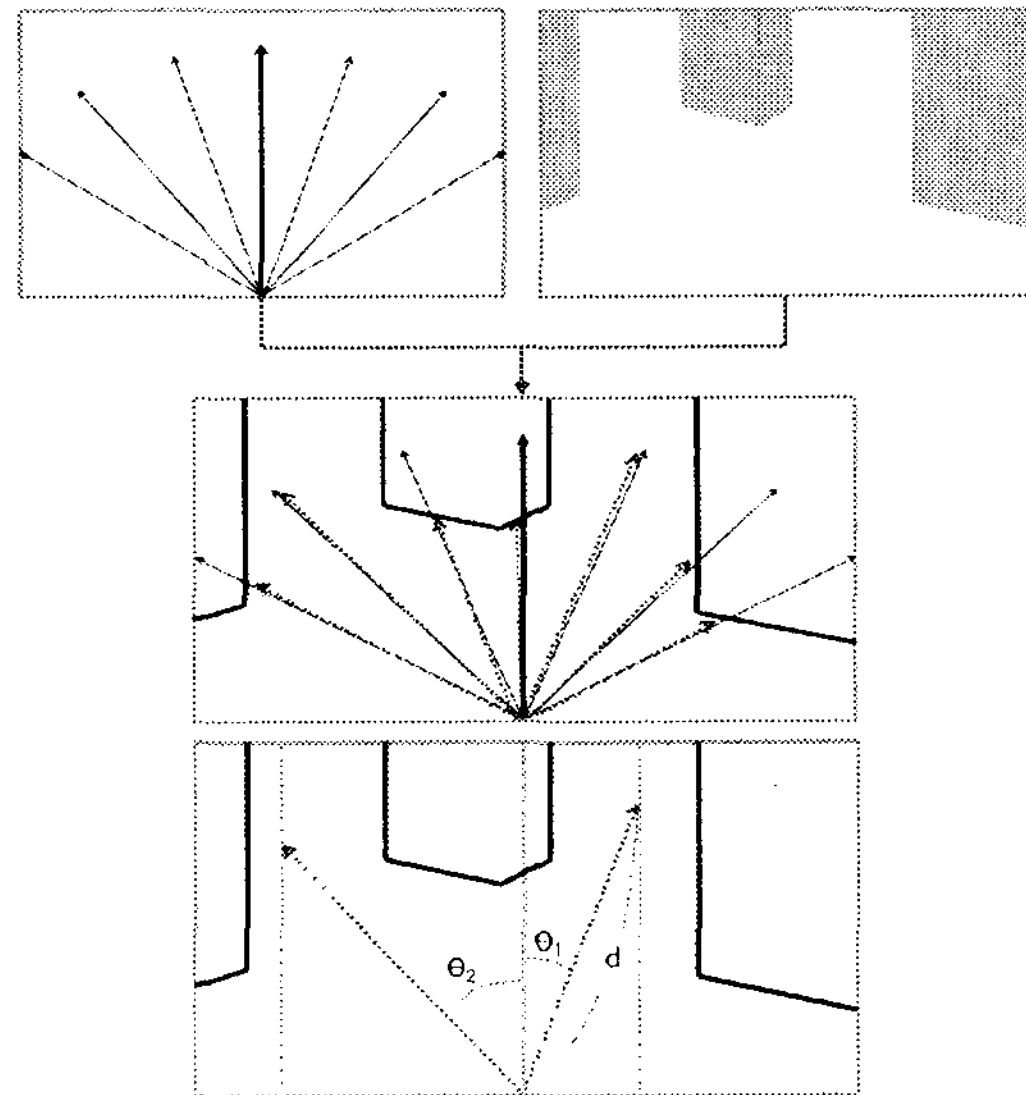


그림 7. 윤곽선 이미지에서 경로 계획 확인

그림 8은 거리 d 의 퍼지 멤버십 함수이다. 경로의 최장 거리를 3단계로 PB, PM, PS 영역을 나누어 경로 계획을 세웠다. 거리 d 가 너무 짧을 경우 로봇과 장애물의 충돌이 일어날 수 있기 때문에 차등 분할하였다.

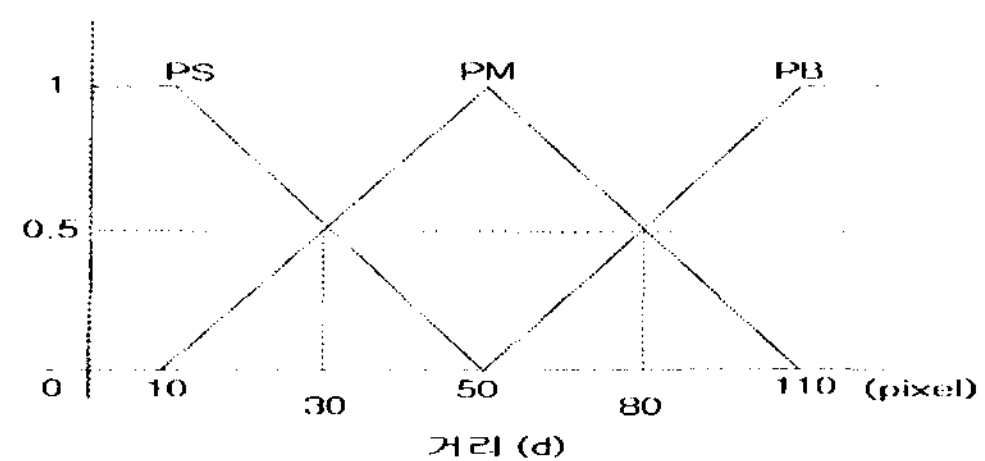


그림 8. 거리(d)에 대한 멤버십 함수

경로 방향각 θ 는 경로 검색을 통해 얻은 경로의 거리 d 값이 가장 긴 경로와 중심축이 이루는 각의 크기로 그림 7과 같은 퍼지 멤버십 함수를 가지도록 설계하였다. 경로 검색 과정에서 경로가 여러 개 생기는 경우 단순히 가장 긴 경로만을 선택하게 되면 로봇이 다른 경로로 이동할 경우가 생기게 된다. 따라서 지능적인 경로 탐색을 위해 모든 경로를 동일한 조건으로 비교하는 것이 아니라 좌우 방향의 경로보다 중간 경로에 높은 가중치를 두어 그 경로를 먼저 선택하게 하도록 구현하였다.

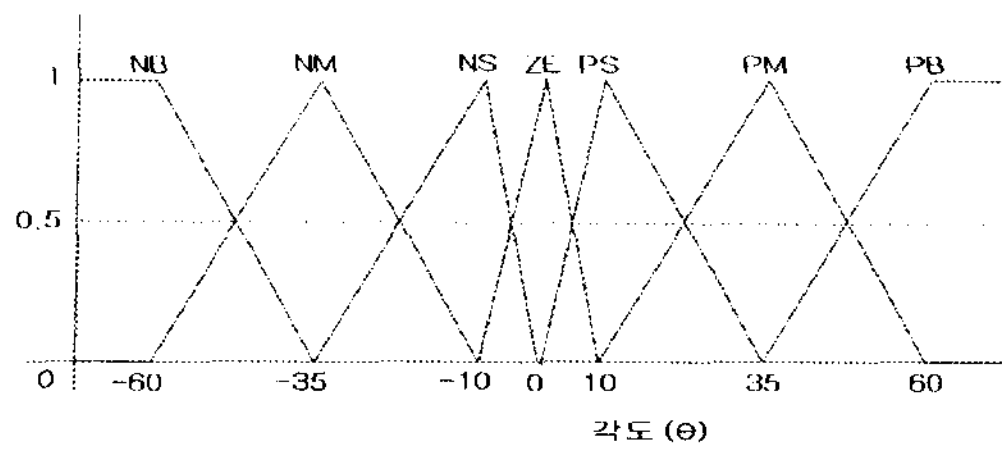


그림 9 각도(θ)에 대한 멤버쉽 함수

표 1은 휴머노이드 로봇의 머리에 장착된 카메라에서 입력된 영상을 기반으로 검색된 경로의 각도와 거리 값에 따라 로봇이 현 위치에서 어떤 행동을 해야 하는지를 나타낸 보행 프리미티브 퍼지 추론 규칙이다. 퍼지 추론으로는 Max-Min 추론과 Mean of Maximum 비퍼지화기를 사용하였다.

표 1. 운동계획기의 퍼지 추론 규칙

θ	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PB	LT	LDW	FW	FW	FW	RDW	RT
PM	LT	LDW	FW	FW	FW	RDW	RT
PS	LT	LT	LS	BS	RS	RT	RT

4. 실험 및 결과

그림 10은 본 논문에서 제시한 알고리즘을 검증하기 위한 실제 실험 환경이다. 장애물 환경에서 8개의 보행 프리미티브를 구현하여 제안된 운동계획 방법의 성능을 검증하였다. 휴머노이드 로봇의 보행 프리미티브는 논문[4]를 참고하여 구현하였다. 실험 결과는 그림 11과 같다. 제안한 운동계획방법은 3차원실험 환경에서 실시간으로 장애물을 정확히 찾아내어 운동계획대로 보행을 수행하는 것을 보았다.

5. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 3차원 작업공간에서 시각 영상기반의 휴머노이드 로봇의 운동 계획 방법을 제안하였다. 제안된 운동 계획 방법은 다양한 장애물을 피해 목표지점까지 실시간으로 이동하는데 효과적이다. 그러나 아직 저장된 보행 프리미티브의 수가 적어 목표지점을 찾아가는데 시간이 오래 걸리는 단점이 있었다.

앞으로 보다 다양한 보행 프리미티브 구축과 효율적인 영상처리 알고리즘을 개발해 지금보다 빠른 운동계획 방법을 구현하고, 다양한 장애물 환경에서의 강인한 경로 검색 및 운동 계획 방법을 연구할 예정이다.

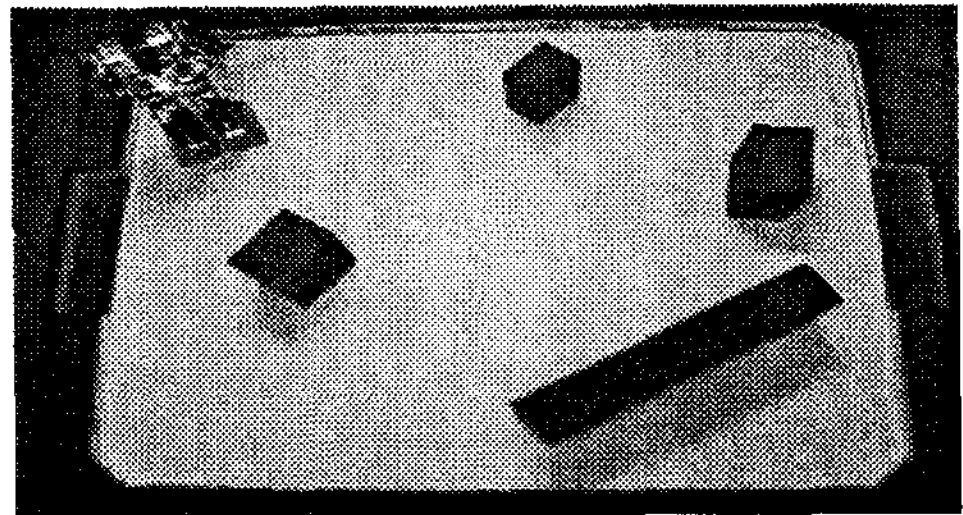


그림 10. 시스템 실험 환경

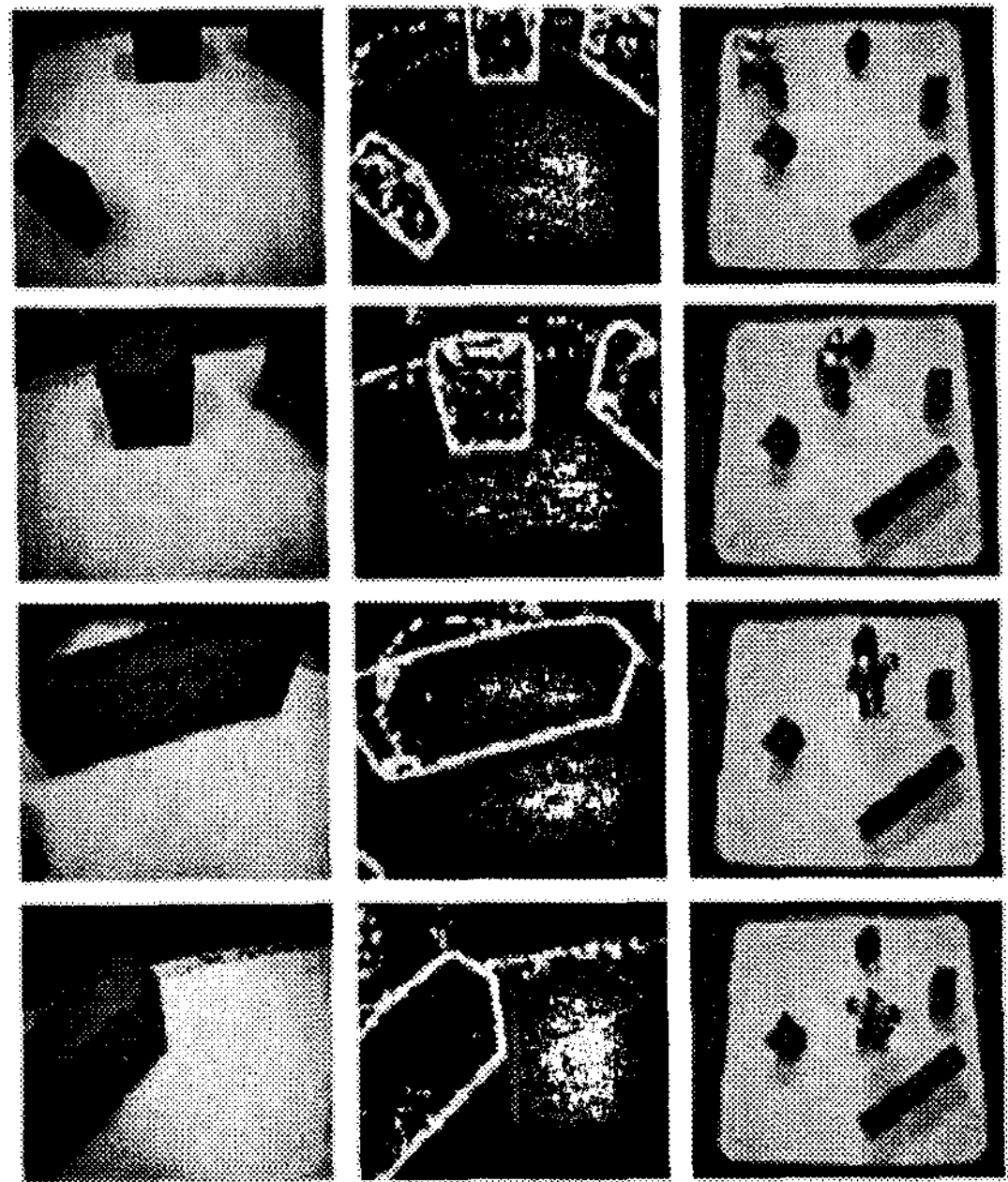


그림 11. 실험 결과

참고 문헌

- [1] 성영휘, 이수영, "소형 휴머노이드 로봇 시스템 개발", 제어·자동화·시스템공학 논문지, Vol. 7, No. 5, pp. 420-426, 2001.
- [2] 김용태, 노수희, 이희진, "이족보행로봇의 비평탄지형 보행 및 자세 안정화 알고리즘", 퍼지 및 지능시스템학회 논문지, 제15권 1호, pp. 907-913, 2005.
- [3] J.J. Kuffner, S. Kagami, K. Nishiwaki, M. Inaba, and H. Inoue, "Dynamically-stable motion planning for humanoid robots", Autonomous Robots, Vol. 12, No. 1, pp. 105-118, 2002.
- [4] 김용태, 김한정, "3차원 작업공간에서 보행 프리미티브를 이용한 다리형 로봇의 운동 계획", 로봇공학회 논문지, 제 2권 3호, pp 275-281, 2007.and Systems, Sendai, Japan, 2004.
- [5] J.K. Hauser, T. Bretl, J.-C. Latombe, "Using Motion Primitives in Probabilistic Sample-Based Planning for Humanoid Robots", In proceedings of the Workshop on the Algorithmic Foundations of Robotics (WAFR), 2006.