

자율이동로봇의 경로계획과 주행에 관한 연구

A Study on Path Planning and Navigation of Autonomous Mobile Robot

곽상필*, 최병재**, 류석환**

*: (주)아진엑스텍

**: 대구대학교 전자공학부

Sangfeel Kwack*, Byung-Jae Choi**, Seog-Hwan Yoo**

*: AJINEXTEK Ltd.

**: School of Electronic Engineering, Daegu University

E-mail : bjchoi@daegu.ac.kr

요 약

지능형 로봇이 성장동력 산업으로 선정되면서 국내에서도 로봇 산업이 급속도로 성장하고 있다. 지능형 로봇과 관련해서는 특히 자율 이동 로봇, 그리고 그것의 경로계획과 주행에 관한 연구가 널리 진행되고 있다. 자율 이동 로봇은 주어진 환경에서 효율적인 주행을 하기 위하여 환경 지도를 구성하고, 이를 기반으로 목표 지점에 대한 효율적인 광역 주행 경로를 계산하게 되고, 계산된 광역 경로를 주행하여 목표 지점에 이르게 된다. 본 논문에서는 퍼지 환경 지도를 제안하고, 퍼지 환경 지도로부터 최단시간 광역 경로 계산 알고리즘을 소개하며, 주행 제어를 위한 퍼지 논리 제어를 제안한다.

1. 서론

지능형 로봇이 성장동력 산업으로 선정되면서 국내의 로봇 산업도 급속도로 성장하고 있다. 이제 로봇은 산업현장에서뿐만 아니라 병원, 사무실, 가정과 같은 여러 환경에서 각각의 목적에 적합한 기능을 수행하는 것을 요구받고 있는 실정이다. 이에 따라 로봇은 넓은 활동 범위를 담당하기 위하여 자율 이동 기능을 가져야 하며, 이에 대한 연구가 활발히 진행 되고 있다[1][2].

자율 주행이 가능한 이동 로봇을 구현하기 위해서는 로봇의 운동 특성에 대한 해석과 운동 방정식의 설계가 필요하다. 이를 바탕으로 로봇이 스스로의 목적을 수행하기 위하여 공간에 대한 정보를 수집하고, 로봇 자신의 위치에 대한 추정 이 가능해야 하며, 목적지까지의 광역 주행 경로 계획과 주행 중 주변 환경 변화에 대한 반응으로 국부 주행 경로 계획이 필요하게 된다.

본 논문에서는 격자 기반 환경지도와 토폴로지컬 환경지도의 단점을 개선하는 퍼지 논리 환경 지도를 제안하고, 이를 통한 광역 경로 계획과 국부 경로 계획을 수행한다.

광역 경로 계획을 위하여 대표적인 길 찾기 휴리스틱 알고리즘인 A^* 를 퍼지 논리 환경지도에 맞게 변형하여 사용한다. 그리고 국부 경로 계획에서는 퍼지 논리 환경지도의 고정 장애물과 퍼지 거리 정보를 이용한 퍼지 논리 국부경로 제어를 제안한다.

2. 로봇의 경로 모델

이론 차동 구동 방식은 두 개의 구동륜을 두고 두 바퀴의 합성 속도로 주행하며, 양 바퀴의 속도 차를 통해서 조향 각을 얻어 낸다. 본 논문에서는 퍼지 논리 시스템을 통해서 주행 속도와 조향 각을 얻어 내고, 이들로부터 각 구동륜의 속도를 얻는다.

[그림 1]은 2륜 차동 구동 자율 이동 로봇의 이동 궤적을 묘사하고 있다. 그림으로부터 다음의 식(1)~(5)가 얻어진다.

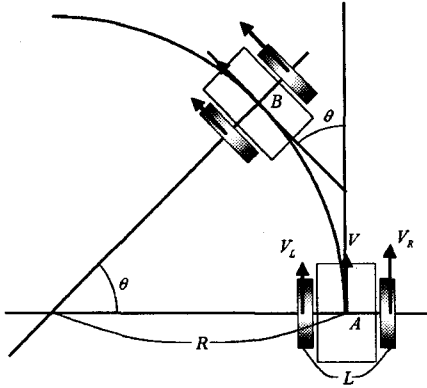


그림 1. 2륜 차동 구동 자율 이동 로봇의 이동 궤적

$$\Delta l_R : R + L/2 = \Delta l_L : R - L/2$$

$$(\Delta l_L + \Delta l_R)L/2 = (\Delta l_R - \Delta l_L)R$$

$$R = \frac{\Delta l_R + \Delta l_L}{\Delta l_R - \Delta l_L} L/2$$

$$\Delta \theta = \frac{\Delta l_R - \Delta l_L}{L}$$

$$\Delta l = \frac{\Delta l_R + \Delta l_L}{2}$$

여기서 L 은 로봇의 폭, R 은 로봇이 이동한 궤적의 중심축과의 거리, θ 는 로봇이 이동한 이동 각, V_L 은 왼쪽 바퀴의 이동 속도, V_R 은 오른쪽 바퀴의 이동 속도, V 는 로봇 중심의 이동 속도이다. 그리고 l_L 은 왼쪽 바퀴가 이동한 거리이며, l_R 은 오른쪽 바퀴가 이동한 거리, l 은 로봇의 중심의 이동 거리이다. 임의의 시간 Δt 동안에 변화한 각각의 변화량은 $\Delta \theta$, $\Delta l_L (= V_L)$, $\Delta l_R (= V_R)$, $\Delta l (= V)$ 로 나타낸다.

3. 퍼지환경지도

퍼지 환경 지도는 토폴로지컬 환경 지도와 격자 기반 환경 지도의 장점을 가지며, 토폴로지컬 환경 지도처럼 간결한 공간 표현과 격자 기반 환경 지도와 같이 환경의 기하학적 정보를 모두 담고 있는 환경 지도의 형태이다. 퍼지 환경 지도는 토폴로지컬 환경 지도에서의 특징 점과 같은 노드를 가진다. 각 노드는 격자 기반 환경 지도 상 모서리 특징 점 또는 곡면 특징 점들을 포함

하고 있으며 각 특징 점들은 장애물에 대한 방향을 표시하며 장애물과의 거리를 표현하는 퍼지 멤버십을 갖는다. 또한 각 특징 점들은 서로 링크되어 있으며, 각 링크는 특징 점들 간의 거리 정보를 가지고 있다.

[그림 2]는 퍼지 환경 지도의 구성 예를 보여주고 있다.

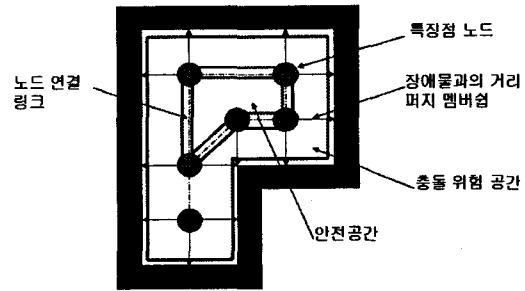


그림 2. 퍼지 환경 지도 구성

- [그림 2]에서 환경 지도 중간에 원형으로 표시되는 부분이 특징 점 노드이다. 이 특징 점 노드는 장애물로부터 일정 거리만큼 떨어져 있고, 그 떨어져 있는 방향과 거리 정보를 포함하고 있다. 각 노드는 노드 연결 링크를 통해서 서로 연결되어 있다.

- 광역 경로 계산에서는 목표 방향에 대한 각도를 가중치로 갖는 평가함수를 사용하여 결과비용이 최소인 노드들에 대한 리스트를 광역 경로로 사용한다. 이를 그림으로 나타내면 [그림 3]과 같다.

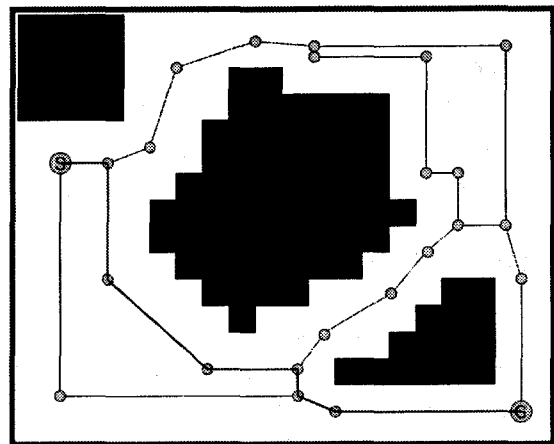


그림 3. 각도우선 경로를 가지는 환경 지도 예

4. 시뮬레이션

시뮬레이션에 사용된 환경 지도의 범위는 가로 800, 세로 400이고, 장애물은 0, 주행 가능 공간은 255의

값을 가진다고 가정한다. 로봇의 크기는 50x50 픽셀이며, 로봇의 최대 주행 속도는 단위 시간당 10 픽셀이다. 단, 회전 시 각 구동륜 당 최대 속도는 20 픽셀로 동작한다고 가정하였다. 각 픽셀의 단위는 1cm이며, 단위 시간은 0.01초이다.

$\theta_G(n)$ 는 현 위치에서 목표 위치로의 방향, $\theta_R(n)$ 는 로봇이 현재 향하고 있는 방향이라고 하면, 로봇이 진행해야할 방향인 $\theta_E(n)$ 는 다음과 같다.

$$\theta_E(n) = \theta_G(n) - \theta_R(n) \quad (6)$$

퍼지 논리 시스템의 입력은 로봇의 초음파 센서로 얻어지는 장애물과의 거리 D_O , 다음 노드에 대한 거리 D_D , 장애물에 대한 최단 거리방향 $\theta_O(n)$, 그리고 로봇이 진행해야할 방향인 $\theta_E(n)$ 이다.

퍼지 논리 시스템의 출력 변수는 로봇의 현재 방향을 나타내는 $HA(n)$ 과 로봇의 진행 속도를 나타내는 $SP(n)$ 이다.

이 때 제어 규칙표는 각각 [표 1] 및 [표 2]와 같다.

표 1. $SP(n)$ 을 위한 제어 규칙 표

$Zone(n)$	Near		Far	
D_O				
D_D	Near	Far	Near	Far
Near	SS	SS	SS	MS
Far	SS	MS	MS	FS

표 2. $HA(n)$ 을 위한 제어 규칙 표

		θ_E		
D_O	θ_O	N	Z	P
Far	N	SL	Z	SR
	Z	LL	SL	SL
Near	Z	SL	SR	SR
	P	SR	SR	LR

[그림 4] 및 [그림 5]는 퍼지 논리 시스템의 출력 변수에 사용된 멤버십 함수를 보여주고 있다.

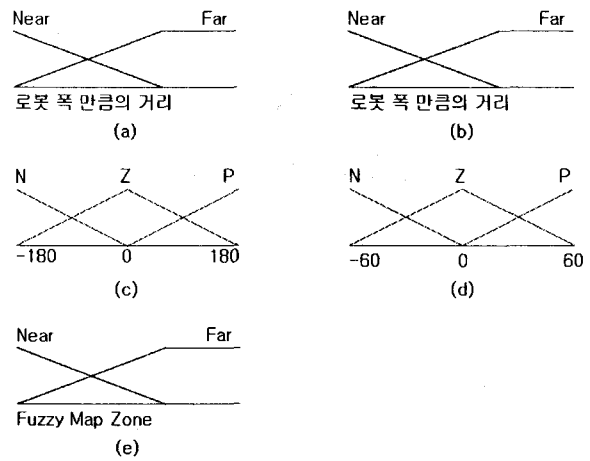


그림 4. 퍼지 논리 시스템에 사용된 멤버십 함수

(a) μ_{D_O} , (b) μ_{D_D} , (c) μ_{θ_O} , (d) μ_{θ_E} , (e) $\mu_{Zone(n)}$

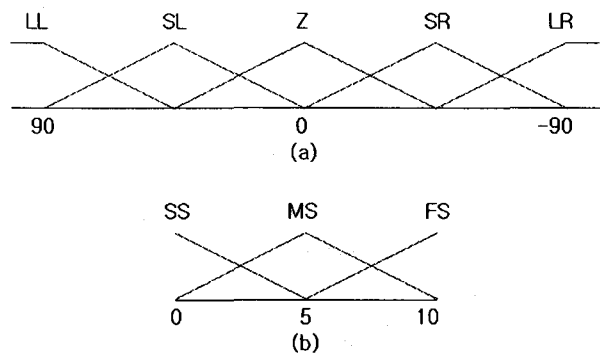
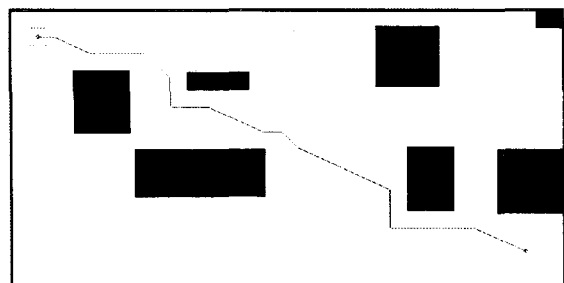


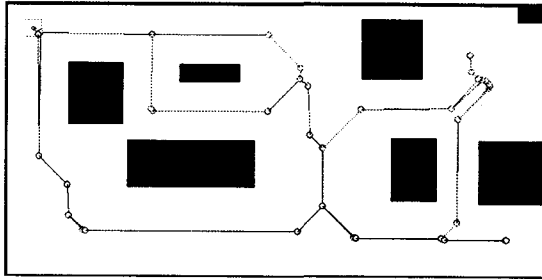
그림 5. 퍼지 출력 변수의 멤버십 함수

(a) $\mu_{HA(n)}$, (b) $\mu_{SP(n)}$

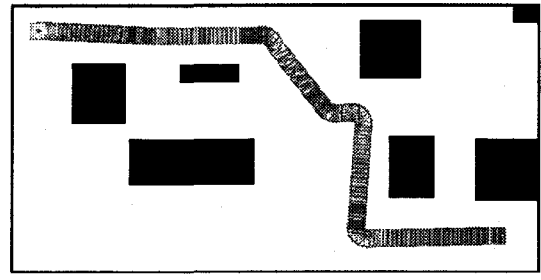
[그림 6]은 격자 기반 환경 지도와 토폴로지컬 환경 지도, 그리고 퍼지 환경 지도의 광역 경로 계획에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다.



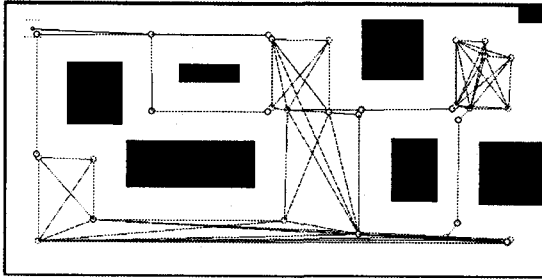
(a) 격자 기반 환경 지도



(b) 토폴로지컬 환경지도

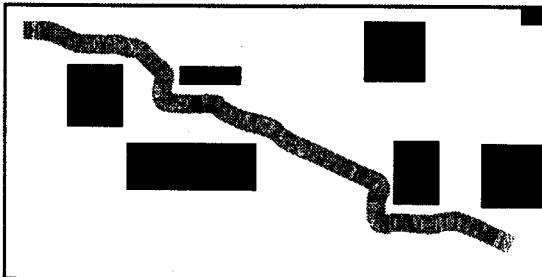


(c) 퍼지 환경 지도에서의 주행
그림 7. 각 환경 지도에서의 주행 결과

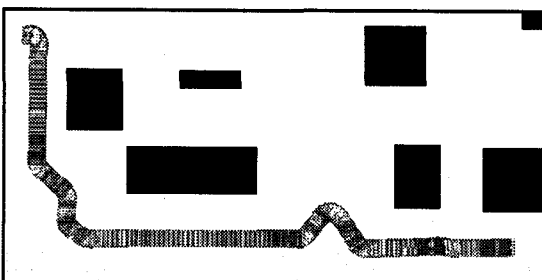


(c) 퍼지 환경지도
그림 6. 각 환경 지도의 광역 경로 결과

[그림 7]은 각 환경 지도에서의 주행 결과를 나타낸다.



(a) 격자 기반 환경 지도에서의 주행



(b) 토폴로지컬 환경 지도에서의 주행

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 2륜 차동 구동 자율 이동 로봇의 궤적 모델, 광역 경로 계획, 그리고 국부 경로 계획에 대하여 살펴보았다. 그리고 여러 가지 환경 지도와 퍼지 환경 지도를 비교하였다. 또한 퍼지 논리 시스템에 의한 국부 경로 계획을 시뮬레이션을 통하여 비교하였다. 각 환경 지도의 광역 경로에 따른 주행 시뮬레이션 결과를 보면, 퍼지 환경 지도가 다른 일반적인 환경 지도보다 높은 속도를 내기에 적당함을 확인 할 수 있었다.

6. 참고문헌

- [1] Sebastian Thrun, "Probabilistic Algorithms in Robotics". AI Magazine, vol.21, no.4, pp. 93-109, 2000
- [2] "The International Federation of Robotics", World Robotics 2001, United Nations, 2001
- [3] 김종환 외 8명, "Robot Soccer Engineering", KAIST Press, 2002
- [4] D. Fox, "Markov Localization: A Probabilistic Framework for Mobile Robot Localization and Navigation", Ph.D. Dissertation, University of Bonn, Germany, 1998
- [5] D. Fox, W. Burgard, F. Dellaert and S. Thrun, "Monte Carlo Localization: Efficient Position Estimation for Mobile Robots", AAAI/IAAI, pp.343-349, 1999
- [6] 도용태, 김태호, 류석환, "초음파 거리 센서의 계측 오차 감소를 위한 연구", 전자공학학회논문집 제34권, 1997
- [7] Greg Welch and Gary Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter", Department of Computer Science, University of North Carolina at Chapel Hill, April 5, 2004
- [8] Jun-Pyo. Hong, "A Study on the Path Planning and Localization Method for the Autonomous Navigation of Synchro Drive Mobile Robots.", 인하대학교 박사학위논문, Aug, 2003
- [9] 김성중, "초음파 센서를 이용한 이동로봇의 환경 인식과 주행에 관한 연구", 전북대학교 석사학위논문, Feb, 2003