

동적환경에서의 인지에 기반한 이동로봇의 운항계획

Cognition-based Navigational Planning for Mobile Robot under Dynamic Environment

서석태, 이인근, 권순학
영남대학교 전자정보공학부

Suk Tae. Seo, In K. Lee, Soon H. Kwon

School of Electrical Engineering and Computer Science, Yeungnam University

E-mail: kenneth78@yumail.ac.kr

Abstract

Lee et al. have proposed a framework for the linguistic map-based navigational planning of a mobile robot on dynamic environment and provided simulation results applied it to the static environment[1]. In this paper, we extend the navigational planning of a mobile robot into dynamic environment. There are two kinds of dynamic obstacles: (1) Time-obstacles that change condition of obstacles with time. (2) Space-obstacles that move their position with time. We propose an algorithm which a mobile robot identifies and avoids the two kinds of dynamic obstacles. The proposed algorithm consists of two stages: (1) The fuzzy logic-based perception stage which identifies the dynamic obstacles around a mobile robot by using sensory data and fuzzy rules, (2) The planning stage which plans the path to goal by avoiding the dynamic obstacles[2-6]. We provide computer simulation results for a mobile robot in order to show the validity of the proposed algorithm.

1. 서론

최근, 이동로봇은 산업 현장의 자동주행 시스템을 비롯하여 화성 탐사에 활용되고 있는 오퍼튜니티와 스피릿과 같이 우주항공 분야에 이르기까지 다양한 분야에서 활용되고 있다. 이러한 이동로봇에 대한 수요는 기존의 이동로봇이 지닌 단순히 장애물을 인식하고 회피하며 경로 계획을 수행하여 이동하는 능력에서 한 걸음 더 나아가 지식을 기반으로 이동로봇의 주변 환경을 인식하고 목표점까지 도달하기 위한 경로를 계획하며, 또한 운항중에 발생할 수 있는 이동장애물에 대해 능동적으로 대처할 수 있는 능력을 기반으로 하고 있다[1-6].

본 논문에서는 이 등이 제안한 인지에 기반한 이동로봇의 운항계획 알고리즘을 확장하여, 이동로봇이 주변 장애물을 인식하고, 경로계획을 통해 목표점까지 이동하는 과정에서 고정장애물과 이동장애물을 판별하여 장애물의 성격에 따라 능동적으로 대처할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 여기서 사용된 이동장애물은 (1)위의 속도

로 움직이는 공간성 장애물과 (2)시간에 따라 상태가 변화하는 시간성 장애물로 분류한다.

이동로봇의 경로계획 및 이동장애물 회피 알고리즘은 크게 '지각' 부분과 '계획' 부분으로 나눌 수 있다. (1)'지각' 부분은 센서의 정보와 퍼지 규칙을 이용하여 장애물을 판별하여 이동로봇의 위치를 추론하고, (2)'계획' 부분은 환경에 대한 사전지식과 '지각' 부분에서 얻은 정보를 통하여 목표점까지의 경로를 계획하며 이동장애물과의 충돌에 대한 대처방안을 계획한다.

본 논문의 구성은 서론에 이어, 2절에서는 지식기반 이동로봇의 운항계획에 대하여 살펴보고, 3절에서는 컴퓨터 모의실험을 통해 제안된 알고리즘의 타당성을 보이기 위한 모의실험 및 결과를 나타내며 마지막으로 4절에서는 결론을 맺는다.

2. 지식기반 이동로봇의 운항계획

그림 1은 감지(Sensing), 지각(Perception), 계획(Path Planning), 이동(Action), 지식베이스

(Knowledge Base), 획득(Acquisition), 그리고 회피(Avoidance)로 구성되어 있는 제안한 알고리즘의 전체 구성도를 나타낸다.

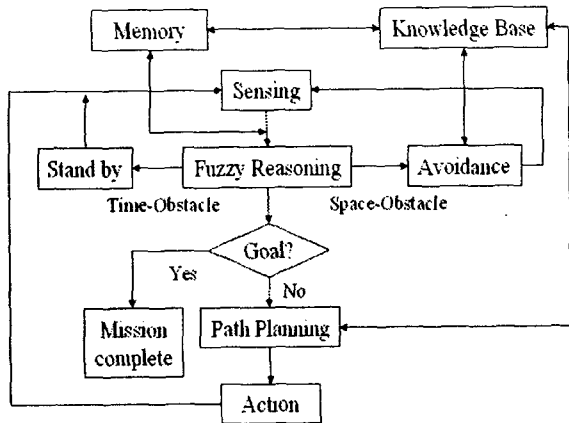


그림 1. 전체 알고리즘 구성도

2.1 지식베이스

그림 2와 같이 지도 구성에 사용되는 언어변수의 소속함수를 이용하여 이동로봇이 움직이는 환경에 대한 장애물 배치를 표 1과 같은 언어지도로 구성할 수 있다.

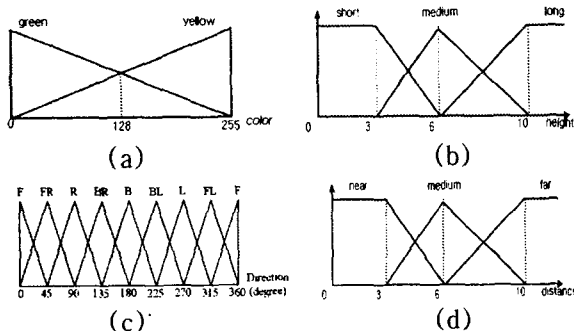


그림 2. (a)색상 (b)높이 (c)방향 (d)거리의 소속함수

표 1. 언어지도

장애물	장애물 속성		장애물 사이의 관계							
	색상	높이	FT	FR	RT	BR	BK	BL	LT	FL
A	green	medium	-	-	C/M	C/M	B/F	-	-	-
B	green	medium	A/F	C/F	C/M	-	-	-	-	-
C	yellow	medium	-	-	-	-	-	-	B/M A/M	-

N: near, M: medium, F: far

2.2 감지

그림 3과같이 이동로봇은 CCD 카메라와 초음파 센서를 이용하여 10방향에서 장애물의 정보를 획득한다고 가정한다.

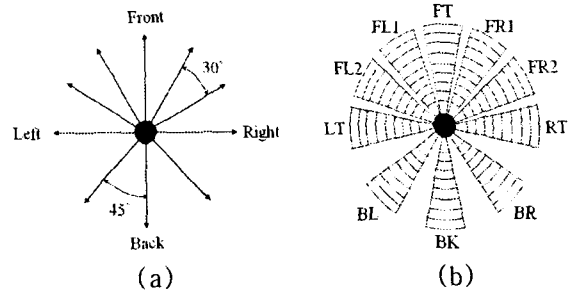


그림 3. 로봇의 (a)감지범위와 (b)10방향 기호

2.3 획득

센서로부터 얻은 장애물의 정보는 규칙 1에 따라 식 (1)과 같은 데이터폼(Data form)으로 변환하여 이동로봇의 메모리에 저장한다.

$$Data\ form = \{x_k | x_k = k\text{번째 장애물}, 1 \leq k \leq K\}$$

여기서, K = 감지된 장애물의 총수 (1)

$$x_k = (Color_k, Height_k, Direction_k)$$

(규칙 1) 이동로봇이 인식한 장애물의 속성이 서로 동일하고 인접한 센서에서 감지되었을 경우 이들을 하나의 장애물로 간주한다. 그리고 로봇이 감지한 장애물을 데이터폼에 나열하는 순서는 로봇의 진행 방향(FT)을 기준으로 하여 시계방향의 순으로 정한다.

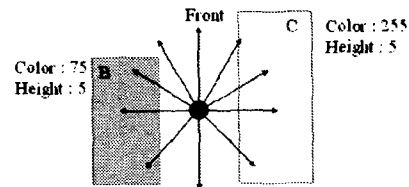


그림 4. 데이터폼의 생성 예

그림 4에서 로봇이 획득한 장애물 정보를 규칙 1에 따라 데이터폼으로 변환하면 식 (2)와 같다.

$$Data\ form = \{x_1, x_2\}$$

여기서, $x_1 = (255, 5, FR1), x_2 = (75, 5, BL)$

2.4 지각

2.4.1 퍼지규칙생성

로봇의 현재 위치를 추론하기 위해 데이터폼에서 장애물의 개수를 파악하고 그 수만큼의 장애물들에 관한 관계를 언어지도에서 찾아낸다. 언어지도에서 이동로봇이 그림 4와 같이 장애물 B와 C사이에서 생성한 데이터폼으로부터 이동로봇의 위치를 판단하기 위해 생성한 퍼지규칙은 표 2와 같다. 이를 If-Then 형식의 퍼지규칙으로 나타내면 식 (3)과 같다.

표 2. 생성된 퍼지규칙

퍼지규칙	장애물 사이의 관계
R_{A-C}	A-C/medium
R_{A-B}	A-B/medium
R_{B-A}	B-A/medium
R_{B-C}	B-C/medium
R_{B-Cx}	B-C/far(\times)
R_{C-B}	C-B/medium
R_{C-A}	C-A/medium

R_{C-A} : If $Color_{x_1}$ is yellow and $Height_{x_1}$ is medium and $Color_{x_2}$ is green and $Height_{x_2}$ is medium then x_1 is C and x_2 is A. (3)

2.4.2 퍼지 추론

식 (2)의 데이터폼과 언어지도로부터 각 장애물의 속성에 대한 소속도를 구한 후, 표 2의 각 퍼지 규칙에 대해 식 (4)와 같은 퍼지 연산을 한 결과를 표 3에 보인다. 다음으로 이와 같은 퍼지 추론 과정을 통해 데이터폼을 생성한 위치에서 로봇의 주변에 위치하는 장애물의 관계에 대한 적절한 후보를 결정한다.

표 3. 데이터폼으로부터의 퍼지 추론 결과

퍼지규칙	퍼지연산 과정 $Color_{x_1} \wedge Height_{x_1} \wedge Color_{x_2} \wedge Height_{x_2}$	퍼지연산 결과
R_{A-C}	$0.3 \wedge 0.6 \wedge 0.3 \wedge 0.6$	0.3
R_{A-B}	$0.3 \wedge 0.6 \wedge 0.7 \wedge 0.6$	0.3
R_{B-A}	$0.3 \wedge 0.6 \wedge 0.7 \wedge 0.6$	0.3
R_{B-C}	$0.3 \wedge 0.6 \wedge 0.3 \wedge 0.6$	0.3
R_{C-B}	$0.7 \wedge 0.6 \wedge 0.7 \wedge 0.6$	0.6
R_{C-A}	$0.7 \wedge 0.6 \wedge 0.7 \wedge 0.6$	0.6

$$\begin{aligned} &\mu(x_1, x_2) \\ &= \min(\mu(x_1), \mu(x_2)) \\ &= \min(\mu_{Color}(x_1), \mu_{Height}(x_1), \mu_{Color}(x_2), \mu_{Height}(x_2)) \end{aligned} \quad (4)$$

퍼지 연산 결과, 장애물 관계 C-B와 C-A가 소속도 0.6으로 가장 큰 값을 나타내므로, 두 관계가 데이터폼이 나타내는 장애물의 관계에 대한 후보가 된다.

2.4.3 애매성의 축소

추론 과정에서 발생하는 애매성은 과거에 생성한 데이터폼을 로봇의 메모리에 저장하여 이용함으로써 해소할 수 있다. 로봇의 이동 과정에서 연속적으로 생성하는 데이터폼 사이에는 다음과 같은 규칙이 있다.

(규칙 2) 데이터폼으로부터 추론 결과로 얻은 로봇의 주변 장애물에 대한 후보와, 시간적으로 인접한 데이터폼에서의 후보 사이에는 공통된 장애물이 존재한다.

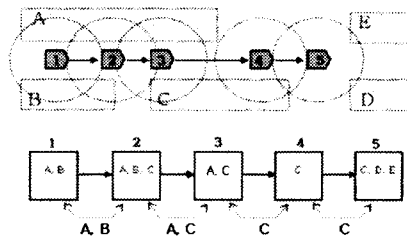


그림 5. 데이터폼 사이의 관계

그림 5는 로봇이 장애물 B와 A 사이에서 장애물 D와 E까지 이동할 때 데이터폼이 메모리에 저장되는 위치와, 인접한 위치에서 생성된 각 데이터폼 사이의 관계를 나타낸다. 규칙 2와 같이 이웃하는 시간적으로 이웃하는 데이터폼 사이에 공통된 장애물 정보가 존재한다.

이동로봇이 저장한 데이터폼으로부터 로봇의 메모리에 있는 모든 데이터폼의 후보들을 결합하여 그림 6과 같이 모든 경로에 대한 후보를 생성한다. 그리고 생성된 경로에 대한 후보의 적합도 (F_c)를 측정하여 가장 높은 적합도를 가진 후보를 최적의 경로로서 선택한다. 적합도는 식 (5)와 같이 측정한다. 식 (5)에서 n 은 메모리에 저장된 데이터폼의 개수이며, c_i 는 i 번째 데이터폼의 위치에 대한 후보이다. 그리고 함수 $L(c_i, c_{i+1})$ 은 c_i 와 c_{i+1} 사이에 일치(Overlap)하는 장애물의 개수를 나타낸다.

$$F_c = \sum_{i=1}^{n-1} L(c_i, c_{i+1}) \quad (5)$$

2.5 이동장애물과 고정장애물의 판별

동적 환경에서는 이동장애물에 대한 정보가 언어지도에 나타나 있지 않으므로, 이동로봇이 이동장애물을 감지했을 경우 언어지도로부터 고정장애물과 이동장애물 사이의 관계를 알 수 없기에 잘못된 위치 판단을 할 위험이 있다. 또한 이동장애물임을 판단하지 못할 경우 이동장애물과의 충돌도 피할 수 없다. 이런 문제를 해결하기 위하여 이동장애물을 시간성 장애물과 공간성 장애물로 구분하여 각각에 대한 적절한 판단과 반응을 할 수 있도록 한다.

그림 6(a)는 일정 주기로 점멸하는 신호등과 같이 시간성 장애물이 존재할 경우 로봇은 이동할 수 있는 공간이라도 이동하지 않고 시간성 장애물이 사라질 때까지 움직임을 멈춘다. 시간성 장애물의 존재 유무는 시간성 장애물에서 발생하는 신호를 포착하여 판단한다. 시간성 장애물은 무형의 장애물이므로 위치 판단에 영향을 미치지 않는다.

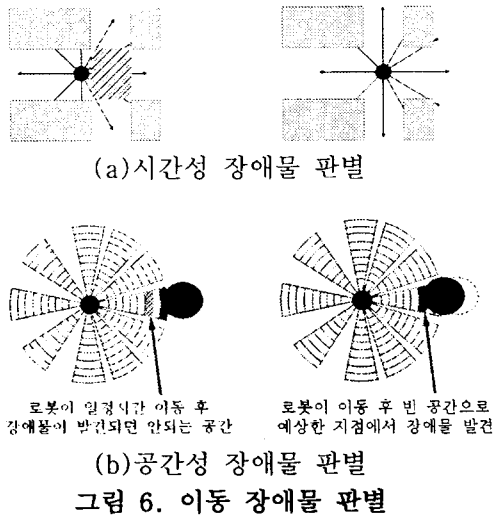


그림 6(b)는 이동로봇이 이동하는 과정에서 감지하는 장애물 사이의 공간으로부터 장애물이 존재하는 공간에 대한 예측을 함으로써 감지한 장애물이 고정 장애물인지 공간성 장애물인지를 판단하는 것을 나타낸다. 이동로봇이 일정 속도로 이동할 때 고정장애물인 경우에는 이동로봇과 고정장애물은 이동로봇의 속도에 따라 가까워지게 된다. 하지만 공간성 장애물의 경우에는 공간성 장애물 고유의 이동 속도가 있으므로 로봇의 이동 속도보다도 빠르게 가까워지거나 멀어지게 된다. 따라서 그림 7의 예측 알고리즘을 통해 공간성 장애물의 유무를 판별한다.

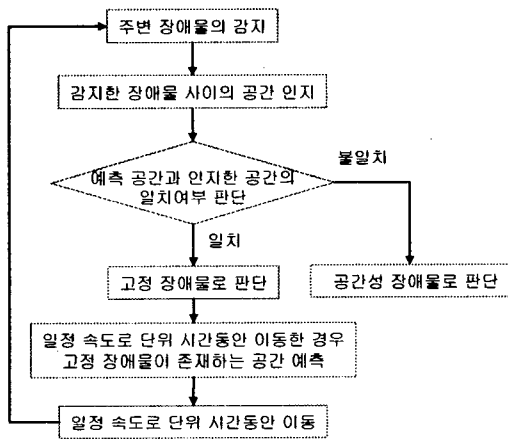


그림 7. 공간성 장애물 판별을 위한 예측 알고리즘

이동로봇이 공간성 장애물을 발견하였을 경우, 공간성 장애물의 정보는 위치 추론에 영향을 미치므로 공간성 장애물의 정보는 데이터폼에 저장하지 않는다.

2.6 계획 및 대처

이동로봇은 목표장애물로 운항하는 과정에서 지속적으로 주변 장애물을 감지하여 위치 추론 결과를 수정하고 확인한다. 또한 이동장애물을 감지한 경우 이동로봇은 ‘지각’ 부분에서 판별된 이동장애물의 종류에 따라서 적절한 대처를 한다. 그림 8에서와 같이 공간성 장애물을 발견했을 경우 이동로봇은 장애물과의 충돌을 회피하기 위하여 일정 거리의 안전영역을 설정한다. 공간성 장애물이 안전영역 내로 접근할 경우, 공간성 장애물과 이동로봇간의 가상의 반발력을 설정하여 이동로봇이 이동함으로써 공간성 장애물과의 충돌을 방지한다.

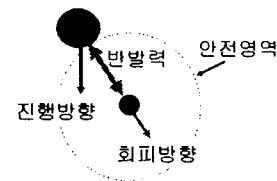


그림 8. 공간성 장애물 회피

이동장애물이 공간성 장애물을 회피한 이후에 경로를 재 확보하기 위해 이동로봇은 최후의 회피 방향의 역방향으로 진행하여 장애물을 탐색한다. 이때 탐색된 장애물이 회피 시작 시점의 장애물이라면, 기존의 경로를 따라서 진행하며, 그렇지 않다면 다시 경로를 계획하여 새로운 경로를 따라서 진행하게 된다.

3. 모의실험 및 결과

이 절에서는 제안된 알고리즘의 타당성을 보이기 위해 컴퓨터 모의실험을 실시하고 그 결과를 보인다. 모의실험을 위한 가상 환경과 언어지도는 참고문헌 [1]의 모의실험에서 사용한 환경을 기반으로 장애물 B와 D사이에 시간성 장애물을 추가하였고, 이동하는 공간성 장애물 M을 추가하였으며 그림 9는 이를 나타낸다.

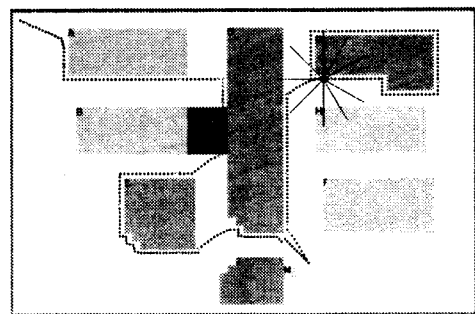


그림 9. 모의실험 환경 및 실험 결과

즉, 그림 9는 이동로봇의 출발점인 장애물 A 주변으로부터 목표장애물인 G까지의 고정장애물과 이동장애물들의 배치 및 이동로봇의 이동하는 과정을 보인다.

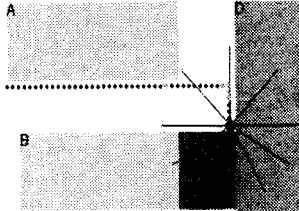
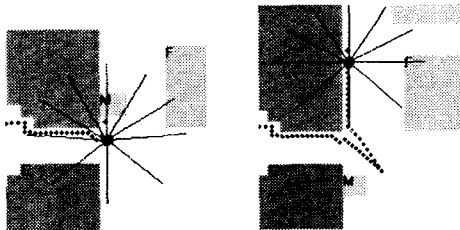


그림 10. 시간성 장애물 판별

그림 10은 이동로봇이 이동 중 시간성 장애물을 만났을 경우 이동을 멈추고 시간성 장애물이 사라질 때 까지 대기하는 모습을 보인다.



(a)공간성 장애물 감지 (b)공간성 장애물의 회피
그림 11. 공간성 장애물 회피

그림 11은 이동로봇이 공간성 장애물을 감지했을 경우 공간성 장애물을 회피하는 것을 보인다. 이 과정에서 이동로봇은 더 이상 위치 추론을 하지 않으며, 시간성 장애물과 공간성 장애물에 대한 회피만을 수행하는 것을 볼 수 있다.

모의실험 결과에서 알 수 있듯이 이동로봇은 감지한 장애물 정보와 언어지도로부터 위치를 추론하며 경로를 계획하고 수정하면서 목표장애물까지 잘 이동하였다. 목표장애물로 이동하는 과정에서 마주치는 공간성 장애물과 시간성 장애물을 판별하고 회피하면서 다시 경로를 계획하여 목표장애물 G에 도달하는 결과로부터 본 논문에서 제안된 알고리즘의 타당성을 보일 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 언어지도를 사용하여 이동로봇이 움직이는 주변 환경에서의 고정장애물 및 이동장애물(시간적 장애물 및 공간적 장애물)에 따른 능동적 대처 알고리즘을 제안하였고, 제안한 알고리즘의 타당성을 컴퓨터 모의실험을 통하여 입증하였다. 사전에 주어진 주변 환경에 대한 지식과 이동로봇에 장착된 센서로부터 얻은 정보를

바탕으로 시작점에서 목표점까지의 경로를 생성하며, 이동하는 과정에서 마주치는 이동장애물인 공간성 장애물과 시간성 장애물을 판별하고 이동장애물에 대한 적절한 대처를 한다. 이동로봇의 이동 및 이동장애물을 판별하고 회피하는 과정은 '지각' 부분과 '계획' 부분을 통하여 이루어진다.

차후의 연구 과제로는 위에서 제안된 알고리즘을 실제 이동로봇에 적용하여 그 효용성을 검증하는 것이 되겠다.

5. 참고 문헌

- [1] 이인근, 이동주, 이석규, 권순학, "인지에 기반한 이동 로봇의 운항계획," 한국퍼지 및 지능시스템학회 논문지, 제14권, 2004 (계재예정).
- [2] M. Mucientes, R. Iglesias, C. V. Regueiro, A. Bugarin, P. Carinena, and S. Barro, "Fuzzy Temporal Rules For Mobile Robot Guidance in Dynamic Environments," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews, Vol. 31, No. 3, pp. 391-398, 2001.
- [3] 고낙용, 최정상, "A New Approach to Moving Obstacle Avoidance Problem of a Mobile Robot," 한국공작기계학회지, Vol. 7, No. 1, pp. 9-21, 1998.
- [4] 조규상, "지역최소 회피를 위한 이동로봇의 경로계획," 산업기술 연구 논문집, Vol. 1, No. 1, pp. 159-166, 1999.
- [5] 현웅근, "신경망 최적화 회피와 퍼지 이론을 이용한 여유자유도 로봇의 장애물회피방법," 산업기술 연구 논문집, Vol. 7, pp. 269-279, 1999.
- [6] A. Konar, Artificial Intelligence and Soft Computing Behavioral and Cognitive Modeling of the Human Brain, CRC Press, Boca Raton, 2000.