

Fuzzy Algorithm을 이용한 자율 이동 Robot의 운동 제어

정재훈⁰ 정용현 김종무 이석규 이달해
영남대학교 전기공학과

Motion Control of Autonomous Mobile Robot with Fuzzy Algorithm

Jae-Hun Jung⁰, Yong-Hyun Jung, Jong-Mo Kim, Suck-Gyu Lee, Dal-Hae Lee
Dept. of Electrical Eng, Yeungnam Univ.

<Abstract>

This paper proposes a method for determining navigation path of an autonomous mobile robot in surrounding environment using a fuzzy algorithm.

This fuzzy algorithm includes three type (MIN-TIME, ECONOMY, SAFETY) motion mode for the given robot to get the ability to meet the ambiguous situation which the robot will encounter. Each mode is applied to the same situation. This paper conclude with some results of computer simulation concerning an evaluation of this method.

1. 서론

핵발전소와같은 위험한 장소에서의 감시용¹⁾으로나 공장에서 물건이동 같은 넓은 영역에서 mobile Robot는 많이 사용되고 있으며, 전 세계적으로 상당한 흥미를 불러 일으키고 있다.

특히 고정된 라인을 추적하는 이동 Robot 대신 Fuzzy logic을 사용하여 자율행동 결정능력²⁾을 갖는 고등지능 Robot에 관한 연구가 활발하다.

본 논문에서는 Robot의 자율 주행에 있어서 기존의 Robot control system의 여러가지 복잡한 수식 모델의 많은 계산없이 보다 인간이 가지는 정성적 지식을 효과적으로 표현하는 Fuzzy control Algorithm을 사용하여 애매한 상황에서의 통로 넓이의 판별이나 장애물과의 충돌 회피에 적용하였다.

Mikio Maeda³⁾, T.Kasushi⁴⁾등에서는 CCD카메라를 이용하여 여러 장애물을 인식하였지만 시각sensor가 갖는 여러가지 문제점을 보완하기 위하여 초음파 sensor를 사용하여 장애물을 인식하여 회피하는 simulation을 PC상에서 시도하였다.

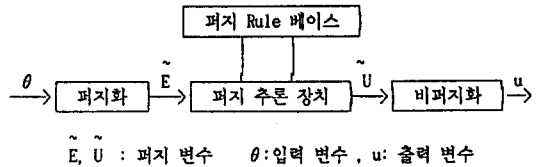
2. 본론

2-1 Fuzzy 제어 이론

일반적으로 퍼지 제어는 제어 대상의 수식 모델을 도출하는 것이 곤란하거나 수식 모델의 도출에 많은 시간과 투자를 필요로 하는 경우에 유효하다. 퍼지 제어에서는 멤버십 함수

와 제어 Rule을 사용하여 제어 알고리즘을 구성하고 있으며, 멤버십 함수는 상식적인 범위에서 모순이 없도록 주관적으로 결정되며 제어 Rule은 숙련된 오퍼레이터의 노하우를 적극적으로 도입한 형태로 결정된다.

퍼지 컨트롤러는 그림 1에서 보이는 바와 같이 4가지 요소로 구성되어 있다.



\tilde{E}, \tilde{U} : 퍼지 변수 θ : 입력 변수, u : 출력 변수

< 그림 1. Fuzzy controller >

2-2 방향 결정과 장애물 회피를 위한 Fuzzy 추론

Robot의 주행 방향을 결정하기 위하여 본 system에서는 Robot 전방에 1개의 초음파 sensor를 부착하여 좌우 120도씩 1도 간격으로 장애물을 감지하여 Robot의 주행여부를 판단하게 된다. 여기에서는 전건부와 후건부가 모두 membership 함수로 표현되는 fuzzy 추론 방법에 대해 설명한다. 지금 장애물에 대한 거리와 각도에 대한 2개의 fuzzy 입력 변수와 Robot 주행 방향에 대한 fuzzy 출력 변수를 출력으로 가진다.

입력에 의한 방향변경과 장애물 회피의 일반적인 fuzzy 추론 방식은 전건부와 후건부 형식을 (if-then 형식)을 사용해서 아래와 같이 표현된다.

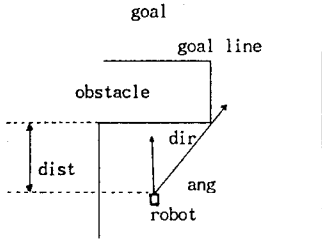
Rule 1) If Ang is C_i and Dist is C_j
then Dir is D_{ij}

C_i : sensor로 측정된 장애물에 대한 각도(fuzzy 입력 변수)

C_j : 장애물까지의 거리 (fuzzy 입력 변수)

D_{ij} : 이동 Robot의 조향각 (fuzzy 출력 변수)

Fuzzy rule에 사용되는 Fuzzy 변수의 언어학적 의미는 아래와 같고, Fuzzy membership 함수는 그림.3과 같다. 그리고 각 변수의 Fuzzification은 더욱 세분화할수 있지만 5 degree로 하였다.



< 그림 2. Fuzzy 입력 변수 >

* 각도 = (NB, NS, ZO, PS, PB)

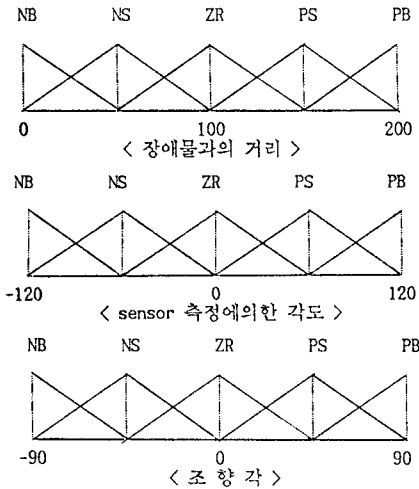
(NB:Negative Big, NS:Negative Small, ZO:Zero, PS:Positive Small, PB:Positive Big)

* 거리 = (VN, NR, MD, FR, VF)

(VN:Very Near, NR:Near, MD:Medium, FR:Far, VF:Very Far)

* 조향각 = (LB, LS, ZO, RS, RB)

(LB:Left Big, LS:Left Small, ZO:Zero, RS:Right Small, RB:Right Big)



< 그림 3. 각 변수에 대한 Fuzzy membership 함수 >

장애물 회피를 위하여, 두 Fuzzy 입력 변수에 의해 결정되어 지는 Robot의 주행 방향을 나타내는 제어 규칙표는 아래 표1에 나타내었다.

		거 리					
		VF	FR	ZO	NR	VN	
각 도	NB	LS	LS	LB	LB	LB	
	NS	ZO	LS	LS	LS	LB	
	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	
	PS	ZO	RS	RS	RS	RB	
	PB	RS	RS	RB	RB	RB	

< 표 1. 주행을 위한 fuzzy 제어 규칙표 >

2-3 통로 넓이 측정을 위한 Fuzzy 추론

여기서는 통로 넓이를 판별하기 위해 퍼지 알고리즘을 적용하였다. 또한 통로를 통과하는 센서의 수와 로봇 위치에 대한 장애물과의 방향을 Fuzzy 입력 변수로 사용하여 통로의 넓이(Wide, Medium, Narrow)를 결정한다.

두 입력변수에 의한 통로 넓이 판별의 일반적인 Fuzzy 추론 방식과 제어 규칙표는 역시 아래와 같다.

Rule 1) If Pos is A_i and Num is A_j

then Str is B_{ij}

A_i : 전방 통로에 대한 AGV의 현재 위치 (fuzzy 입력 변수)

A_j : 통로를 통과하는 sensor의 수 (fuzzy 입력 변수)

B_{ij} : AGV가 주행해야 할 방향의 통로 넓이

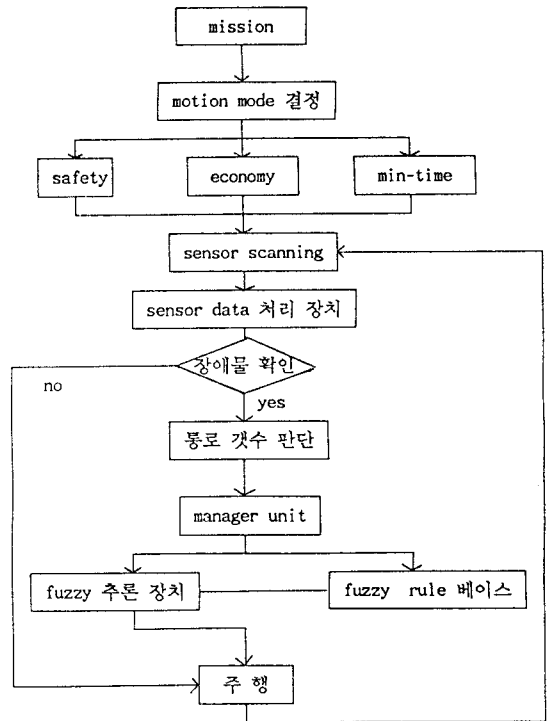
		(왼쪽)		(정면)	(오른쪽)	
		NB	NS	FO	PS	PB
S e n s o r 의 수	VS(1-25)	Na	Na	Na	Na	Na
	S(26-50)	Me	Na	Na	Na	Me
	M(51-70)	Me	Me	Me	Me	Me
	B(71-90)	Wi	Wi	Me	Wi	Wi
	VB(91-120)	Wi	Wi	Wi	Wi	Wi

Na : Narrow Me : Medium Wi : Wide

< 표 2. 통로판별을 위한 Fuzzy 제어 규칙표 >

2-4 제어 system의 전체적인 흐름

자율 이동 Robot가 출발하기전에 motion mode를 지정해주면 각 mode에 맞게 주행을 시작하게 된다. 주행을 시작하게 되면 초음파 sensor로 부터 주위 환경에 대한 정보를 입력받아 각 상태에 대한 장애물 회피와 방향 결정을 하기 위하여 fuzzy 추론 rule을 선택 적용하여 다음 상태까지 주행하게 된다.



< 그림 4. 전체 system 구성도 >

그림 4.의 주행 제어 system의 중심이되는 각 중요부분의 기능과 작동은 아래와 같다.

1) 자율 이동 Robot가 주행을 하기 전에 Robot의 상태에 따라 motion mode을 지정해 주어야 하는데 아래와 같다.

SAFETY : 통로의 넓이가 Wide로 판단이 될때만이 주행 가능
ECONOMY : 통로의 넓이가 Wide, Medium로 판단이 될 경우 주행 가능

MIN-TIME: 초음파 sensor에 측정되는 가능한 한 모든 통로는 주행 가능

2) sensor data 처리 장치

Robot의 주행 방향을 결정하기 위하여 본 system에서는 Robot 앞 부분에 1 개의 초음파 sensor를 부착하여, 좌우 120도 씩 1도 간격으로 장애물을 감지하여 Robot의 주행 여부를 판단하게 한다. sensor에 처리되는 data에 의해 통로의 수를 결정하게 되고, 이 정보를 fuzzy 추론 장치를 관리하는 manager unit로 보냄으로써 fuzzy 추론을 가동시키는 역할을 한다.

3) Manager unit

주행 계획 수행을 위해 fuzzy 추론 장치의 상위 레벨에 위치하여 sensor data 처리장치에서 보내진 정보를 가지고 Robot의 주행을 결정하게 되는데, 주행중 직면하게 되는 각 상황에 따라서 fuzzy algorithm을 적용하게 된다.

Robot가 목표점을 향하여 주행시 여러 장애물을 만나게 되는데, 이 장애물과의 충돌을 회피하기 위한 방향 결정을 하기 위하여 fuzzy algorithm을 적용하게 되고, 통로의 넓고 좁음의 애매한 판단시에 또다른 fuzzy algorithm을 적용하여 각 motion mode에 맞게 통과 여부를 결정하게 된다.

이상과 같은 fuzzy algorithm을 적용하는데 필요한 정보를 fuzzy 추론 장치로 보낸다.

4) fuzzy 추론 장치

Manager unit에서 보내진 정보를 가지고 fuzzy 제어 rule base의 내용과 비교 선택함으로써 통로 넓이와 주행 방향에 대한 fuzzy 추론을 함으로써 주행에 필요한 동작 방향의 규칙과 membership 함수를 적용하여 Robot에게 결정을 내린다.

2-5 주행 rule

주행 과정은 목표 지점에 대한 방향이 정해지면 그곳에 대한 goal line을 만들고 나서 주행을 시작한다. 주행 도중 장애물을 만나면 장애물을 회피하기 위한 subgoal line을 정하게 되는데 goal line과 장애물간에 편차각과 그리고 장애물과 Robot간의 거리를 fuzzy 입력 변수로 받아 들어 Robot의 주행 방향 결정을 한다. 그리고 주행을 시작하기전에 주위 상황에 따라서 motion mode를 지정해 주는데 그 mode에 맞게 주행을 하기위하여 통로 판별을 한다. 만약 주행중 2개 이상의 통로를 만나게 되며는 SAFETY MODE이며는 넓은 통로를 선택하여 주행을 할것이고, MIN-TIME MODE일때는 목표점에 가까운 통로를 선택하게 된다.

1) 주행 결정 algorithm의 흐름

단계 1) 주행하기전에 상황에 따른 motion mode를 지정해 준다.

단계 2) goal 지점을 향해서 초음파 sensor로 측정을 해서 장애물이 측정되지 않으면 goal 지점을 향해서 계속 주행을 하고, 장애물이 측정되면 단계3)으로 넘어간다.

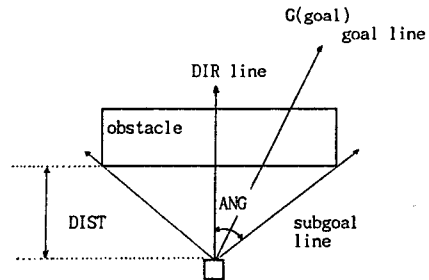
단계 3) goal 방향에 장애물이 측정되면, 좌측 120도 지점부터 1도씩 변화시키면서 우측 120도 지점까지 측정한다. 그리고 초음파 sensor로부터 각도와 거리입력을 받아 Fuzzy 추론을 해서 Robot 주행방향을 결정한다. 만약, 모든 sensor에 장애물이 감지되면 막다른 통로로 판정을 내려 회전을 하여 통로를 빠져 나오게 된다.

단계 4) 만약 motion mode가 SAFETY일때 목표지점쪽에 좁은 통로가 나타나면 통행 불가능 결정이 내려져서 넓은 통로쪽으로 subgoal line을 정하게 된다.

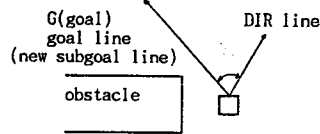
단계 6) Fuzzy 추론으로 결정된 방향으로 주행을 한 다음 목표 지점에 이룰때 까지 단계 1)로 되돌아간다.

3. simulation

Fuzzy algorithm을 적용한 자율이동 Robot의 주행을 시험하기위하여 제한된 공간의 여러가지 상황에서 simulation을 시행하였다. 그림 5.는 자율이동 Robot가 장애물을 회피하는 상태를 자세하게 그려놓았다.



a) 초기 출발 상태



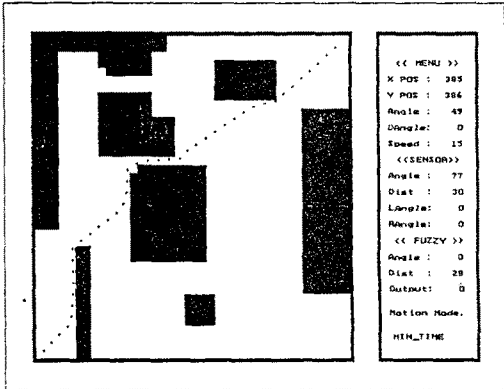
b) 중간 과정 상태

< 그림 5. 장애물 회피와 주행 결정 >

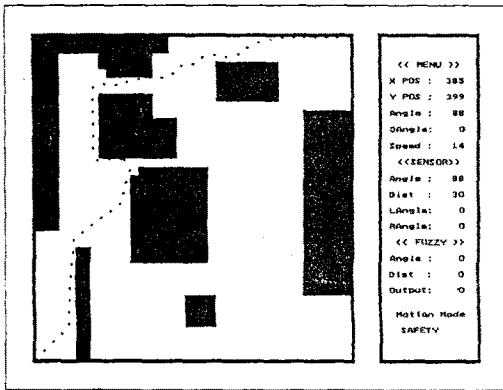
simulation은 그림 5.의 a)와 같은 초기 출발 상태에서는 장애물에 의해서 목표 지점 (G)를 향한 주행을 불가능 하게 되어 있다. 그러므로 장애물을 회피하면서 목표지점에 도달하기 위해서는 목표 지점과 장애물 간의 좌우 편차각이 적은 쪽으로 방향을 결정한 다음, 장애물에 대한 각도와 거리 data를 Fuzzy 추론 입력으로 받아 Robot의 주행방향을 결정한다.

그림 5. b)의 중간 과정에서 처럼, 장애물을 회피하고 난

다음에는 초음파 sensor로 부터 Fuzzy 추론 입력 변수로써 새로운 각도와 거리 data를 받아서 목표지점으로 새로운 방향을 결정하게 된다.



< 그림 6. MIN-TIME MODE 주행 결과 >



< 그림 7. SAFETY MODE 주행 결과 >

그림6)은 MIN-TIME MODE로 주행을 한 결과이며, 그림7)은 SAFETY MODE로 주행한 결과이다.

자율 이동 Robot는 PC 화면상의 좌측 하단부분을 출발하여 우측 상단부분을 목표로 주행을 하게 되어있고, 우측의 Menu는 각 상황에 있어서의 Robot의 위치와 속도, 그리고 sensor로 측정된 장애물의 각도와 거리, fuzzy 추론의 결과와 goal line의 각도를 나타내었다.

자율 이동 Robot가 각각의 위치에서 주행을 하기전에 goal(subgoal) line을 향하여 초음파 sensor로 scan을 하는데 전방에 장애물이 감지가 되지않으면 일정한 거리만큼 주행을 하게되고, 만약에 장애물이 나타나면 좌측 120도 부분에서 시작하여 우측 120도까지 scan을 하게된다. 이런 상황에서 통로가 두 갈래로 나누어 지면 그 지점을 기억시키고 한쪽 방향을 택하여 주행을 하게된다. 만약 원하는 통로를 찾지못하면 기억된 부분으로 돌아와서 다른 방향으로 주행을 시도하게 된다.

자율 이동 Robot는 @지점에서 fuzzy 추론을 하여 주행방향을 결정하게 된다. MIN-TIME MODE일 경우에는 우측의 좁은 길의 통로가 가능할것이고, SAFETY MODE일 경우에는 좁은 길로 판정이나서 좌측으로 돌아서 갈것이다. 그리고 이런 상황에서 Robot의 속도는 장애물과의 거리에 비례해서 줄어나간

다.

그림6)은 MIN-TIME MODE에서 주행을 한결과이며, @지점에서 두 갈래의 통로가 sensor에 감지되었다. SAFETY MODE에서는 오른쪽의 통로가 너무 좁은 길기에 위쪽으로 곧바로 올라갔지만 MIN-TIME MODE에서는 통로가놓한 통로로 판별이나서 오른쪽통로로 주행을 했다.

그림7)은 SAFETY MODE를 실행한 결과이며 좁은 길을 회피하여 위쪽의 넓은 길을 이용하여 목표지점까지 주행을 하였다.

4. 결론

본 논문에서는 이동 Robot가 1개의 초음파 sensor를 통하여 얻은 data를 기본으로, fuzzy 제어를 이용하여 Robot 주행 방향 결정에 있어 보다 자율적으로 환경변화에 대한 애매한 정보 처리나 적응 능력을 높임으로써 그 실용성을 보였 다. MIN-TIME MODE와 SAFETY MODE로 실행된 Simulation의 결과를 보면 거의 인간의 주행과 비슷한 결과를 보여 주고있 다. SAFETY MODE일 경우에는 좁은 길을 회피하여 안전하게 목표지점까지 주행을 하였고, MIN-TIME MODE일 경우에는 목표지점까지 좀 더 짧은 시간에 도착하기위하여 좁은 길에서의 위험에도 주행하였다.

그리고 기존의 Robot 주행은 이동의 유연성이나 환경변화에 대해 상당히 많은 어려움이 따르고 있으나 이와같은 fuzzy 제어 algorithm을 잘 적용하면 거의 인간의 움직임에 가까운 자율 이동 Robot를 개발해낼수 있을 것으로 본다.

Reference

- 1) T.Kaiiwar, et al, "Develop of a mobile robot for security guard" in Proc. of the 15th ISIR, September, pp.271-278, 1985.
- 2) Yoichiro Meada, et al., "Hierarchical Control for Autonomous Mobile Robots with Behavior-Decision Fuzzy Algorithm" Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation., pp.117-122, 1992.
- 3) Mikio Maeda, Yasushi Maeda, Shuta Murakami., "Fuzzy Drive Control of an Intelligent Robot" 6th Fuzzy System Symposium., pp.45-48, September, 1990.
- 4) T. Kakeuchi, et al., "Fuzzy Control for Guidance of a Mobile Robot" 5th Fuzzy System Symposium., pp.71-76, June, 1989.
- 5) 추 봉조, 김 영택, "Fuzzy Controller에 의한 Robot Navigation의 Direction 결정에 관한 연구" 한국정보과학회 가을 학술발표논문집 Vol.18, No. 2, pp.293-296, 1991.
- 6) E.Palma-Villalon, and P.Dauchez, "World representation and path planning for a mobile robot" Robitica vol. 6, pp.35-45, 1988.