

계층구조의 지능제어를 가진 이동로봇의 장애물 회피

최정원, 한교경, 박찬규*, 김연태**, 이달해
 영남대학교 전기공학과, *영남이공대학 전기과, **안동정보대학 전기과**

Obstacle Avoidance of a Mobile Robot
 with Intelligent Controller of Hierarchical structure

J.W. Choi, K.K. Han, *C.K. Park, **Y.T. KIM, D.H. Lee
 Yeungnam Univ., *Yeungnam College of Science & Tech., **Andong Institute of Information Tech.

Abstract - This paper proposes a new fuzzy-neural algorithm for navigation of a mobile robot with stationary and moving obstacles environment. The proposed algorithm has two-layered hierarchical structure such as a lower layer for collision avoidance and goal approach, and upper layer for adaptive combination of these two algorithms. Some computer simulation results for a mobile robot equipped with ultrasonic range sensors show that the suggested navigation algorithm is very effective in stationary and moving obstacles environment.

자율 이동 로봇이 필수적으로 갖추어야 되는 목표 도달 기능과 장애물 회피 기능에 대한 알고리즘을 각각 가지며 이 알고리즘들의 하부에 전거한 상부 계층의 목표 도달 알고리즘과 장애물 회피 알고리즘의 결과를 가지고 로봇의 주행을 결정하는 퍼지 가중치 알고리즘이 존재하는 계층적인 제어 알고리즘의 형태를 가지고 있다.

2. 본 론

그림 1은 모의실험에 사용한 알고리즘의 구성도이다. 장애물 회피 및 목표점 도달을 위한 알고리즘으로 퍼지 및 뉴럴 네트워크를 이용하여 지능제어를 구성하였다. 특히 본 제어기에서 제안한 큰 특징은 제어기가 계층구조를 갖고 있다는 것이다. 이 계층구조 제어기는 장애물이 있는 경우에는 장애물 회피알고리즘에 가중치를 많이 부여하고, 장애물이 없을 때는 목표점 접근 알고리즘에 가중치를 많이 부여하여 장애물 회피와 목표점 도달이라는 두 가지 문제를 해결하는데 큰 역할을 한다.

1. 서 론

이동 로봇의 경로 계획은 동작 환경의 모델 또는 지도 등의 정보를 기반으로 하여 off-line으로 경로를 계획하는 전역 경로 계획(Global path-planning)과 동작 환경에 대한 사전 정보 없이 국지적인 정보만을 가지고 on-line으로 경로 계획을 하는 국지적 경로 계획(Local path-planning)이 있다. 전자의 경우에는 최적의 경로를 찾을 수 있다는 장점이 있으나 환경에 대한 정보가 부정확하거나 동적인 환경 즉 다수의 이동 장애물 등이 존재하는 변화가 많은 환경에서는 적합하지 않으므로 실제 환경에의 적용을 위해서는 국지적 경로 계획이 필수적으로 이루어 져야 한다. 국지적 경로 계획은 센서를 통하여 얻어진 정보를 이용하여 자율 이동 로봇이 필수적으로 갖추어야 할 장애물 회피 기능과 목표점 도달 기능을 수행하는데 이러한 기능을 수행하기 위해서는 이동 로봇이 동작하는 환경 내에 존재할 수 있는 여러 장애물들의 다양한 형태에 따라 유연하게 이동 로봇을 수행시킬 수 있는 지능적인 주행 제어 기법을 필수적으로 요구한다.

이동 로봇의 경로 계획을 지능적으로 수행하기 위한 방법으로는 장애물 회피를 위한 조각자의 경험을 퍼지 로직으로 기술하는 방법을 개발하거나^{1,2}, 이동 로봇의 주행 제어를 위한 퍼지 규칙을 얻기 위하여 센서 정보를 입력으로 하는 신경망(NN)으로 학습시키거나³, 지능형 알고리즘인 유전알고리즘(GA)와 퍼지 이론을 합성하여 환경적응 기능을 가진 알고리즘을 개발⁴하기도 하고 이동 로봇의 동작 환경에 대한 센서 정보를 이용하여 확률적인 위치 정보를 가진 지도를 구축하고 이 구축된 지도를 통하여 경로 계획⁵을 수행하는 방법 등이 있다.

본 논문에서는 강인하고 빠른 응답 특성을 가진 퍼지 이론과 학습능력을 가진 신경망을 이용한 계층적 제어 알고리즘을 개발하여 국부 최소점을 회피하고 여러가지 형태의 고정 장애물과 이동 장애물에 대한 지능적인 충돌 회피를 수행하며 양호한 경로를 통하여 목표점에 도달할 수 있도록 하였다.

본 논문에서 제안된 계층적 제어 알고리즘의 구조는

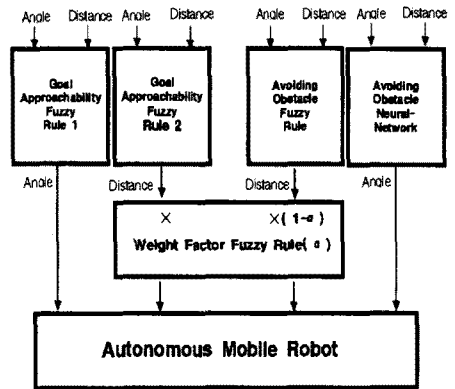


그림 1. 제어기의 구성도

2.1 장애물회피를 위한 퍼지-뉴럴 알고리즘

장애물 회피를 위한 퍼지-뉴럴 알고리즘은 장애물 회피를 위한 거리를 출력하는 장애물회피 퍼지규칙과 각도를 출력하는 뉴럴 네트워크로 구성되어 있다. 장애물 회피 퍼지규칙의 관측변수는 로봇이 측정한 장애물까지의 거리 중에서 가장 작은값과 가장 작은값을 갖는 센서와 목표점이 이루는 각도이다. 출력변수는 장애물 회피를 위해 로봇이 이동해야할 거리이다.

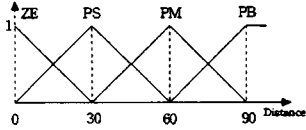


그림 2. 장애물까지의 거리중에서 가장 가까운 거리에 대한 속도 함수

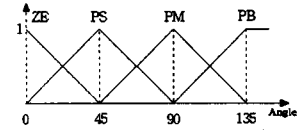


그림 3. 장애물과 가장 가까운 센서와 목표점이 이루는 각도의 속도 함수

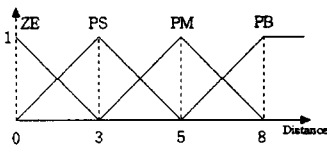


그림 4. 출력변수에 대한 속도 함수

표 1. 장애물 회피를 위한 퍼지규칙

Dist Angle	ZE	PS	PM	PB
ZE	ZE	PS	PS	PM
PS	ZE	PS	PM	PM
PM	ZE	PS	PM	PB
PB	PS	PM	PB	PB

본 논문에서 모의실험에 사용한 이동 로봇의 시스템 구성은 24개의 센서를 15° 씩 원형으로 배치되어 있고 센서의 최대 감지 거리는 100 화소(Pixel)로 하였다. 로봇은 3~9화소 씩 움직이며, 움직임의 방향은 30° 씩의 12방향과 목표점으로의 방향을 합쳐 모두 13방향이다. 논문에서 사용한 뉴럴 네트워크는 입력층이 24개, 은닉층은 35개, 출력층은 13개로서 센서 24개의 값을 입력받고, 출력은 로봇이 움직여야 할 방향을 출력하게 된다.

다층의 신경망을 학습시키기 위해 일반적으로 많이 사용되는 학습방법인 오차 역전파방식을 사용하였다. 장애물까지의 거리를 측정할 값이 24개의 뉴럴 네트워크의 입력값이 되고, 뉴럴 네트워크의 출력은 로봇이 장애물을 회피하기 위해 이동해야 할 13방향이다. 로봇의 이동 방향은 360도를 12등분한 12방향과 목표점을 향한 방향을 합하여 모두 13방향이 된다.

본 논문에서는 이동 로봇이 주행시 장애물과 만날 수 있는 여러 가지 상황을 설정하고, 각 상황에 대한 24개의 센서값과 인간의 지식을 이용한 효과적인 장애물 회피방향을 신경망의 최종 학습목표로 하였다. 그러므로 한 개의 학습패턴은 장애물까지의 거리와 로봇이 이동해야 할 방향으로 구성되어 있다. 그리고 신경망의 학습에 사용한 학습패턴은 총 32개이며, 신경망의 학습율은 0.03, 판성상수는 0.8로 설정하였으며, 신경망의 학습 방법은 오차 역전파방식을 사용하였다. 학습 오차가 0.05이하가 될 때까지 학습하였다.

2.2 가중치 퍼지규칙

가중치 퍼지규칙은 로봇이 이동하는 동안 변화하는 상황에 대하여 목표점 접근 알고리즘과 장애물회피 알고리즘에 적절한 가중치를 부여함으로써 장애물 회피와 목표점 수렴이라는 두 가지 목적을 만족시키게 한다.

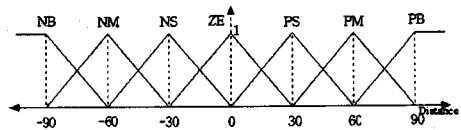


그림 5. 목표점까지의 거리와 장애물까지의 가장 가까운 거리의 차에 대한 속도 함수

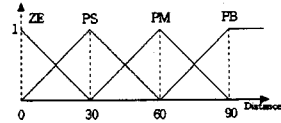


그림 6. 장애물까지 가장 가까운 거리에 대한 속도 함수

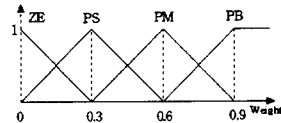


그림 7. 출력변수에 대한 속도 함수

표 3. 가중치 퍼지규칙

Dist Dist1	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
ZE	ZE	ZE	PS	PS	PM	PM	PM
PS	ZE	PS	PS	PM	PM	PM	PB
PM	PS	PM	PM	PM	PB	PB	PB
PB	PM	PM	PB	PB	PB	PB	PB

가중치 퍼지규칙은 장애물회피 알고리즘과 목표점접근 알고리즘에서의 조절변수인 거리에 각각 가중치를 부여한다. 로봇의 이동은 가중치 퍼지규칙에서 조절된 거리와 목표점접근 알고리즘과 장애물회피 알고리즘의 조절변수중의 하나인 방향성분과 벡터 합성되어 움직인다.

2.3 이동 장애물에 대한 충돌 회피

로봇이 이동 장애물에 대한 충돌 회피를 하기 위해서 충돌예상 위치를 판별하게 한다. 충돌예상 위치는 다음과 같이 수학적으로 구성하였다.

- 장애물 정보 : $I_a(p_o, v_o, n_o)$, r_o
 $p_o(t) = (x_o(t), y_o(t))$: 장애물의 위치
 $v_o(t)$: 장애물의 속도
 $n_o(t)$: 장애물의 이동 방향
 r_o : 장애물의 반경
- 로봇의 정보 : $I_R(p_R, v_R, n_R)$
 $p_R(t) = (x_R(t), y_R(t))$: 로봇의 위치
 $v_R(t)$: 로봇의 속도
 $n_R(t)$: 로봇의 이동 방향
- 현재 상황에서 t시간 후의 장애물의 예상 위치 ($p_o(t)$)
 $p_o(t) = (x_o(t), y_o(t))$
 $x_o(t) = x_o(t-1) + v_o(t) \cos n_o(t)$
 $y_o(t) = y_o(t-1) + v_o(t) \sin n_o(t)$
- 현재 상황에서 t시간 후의 로봇의 예상 위치 ($p_R(t)$)
 $p_R(t) = (x_R(t), y_R(t))$

3. 결 론

$$x_R(t) = x_R(t-1) + v_R(t) \cos n_R(t)$$

$$y_R(t) = y_R(t-1) + v_R(t) \sin n_R(t)$$

• 충돌 위치 예상

$|p_R(t) - p_0(t)| \leq r_0$ 이면 충돌할
 $|p_R(t) - p_0(t)| > r_0$ 이면 충돌하지 않음
 충돌할 경우, 충돌 예상 위치는 $p_0(t)$ 이다.

본 논문에서는 이동 장애물에 대하여 실시간으로 충돌 회피하기 위해서 장애물에 운동 정보를 이용하여 충돌 예상 위치를 예측하여 충돌 예상 지점으로는 이동 로봇이 이동하지 않고 장애물을 회피하면서 주행한다.

2.4 모의실험

모의실험은 여러 가지 형태의 고정 장애물을 임의로 배치한 경우, 이동하는 장애물이 있는 경우, 고정장애물과 이동장애물이 공존하는 경우 그리고 앞의 각 경우에서 로봇이 이동하면서 생길 수 있는 로봇 바퀴의 미끄러짐, 기어부의 백래쉬, 센서의 부정확성 등의 로봇장애를 고려하기 위하여 임의의 크기의 노이즈를 인가한 경우에 대하여 모의 실험하였다. 화면의 좌측상단은 실제의 장애물과 로봇이 이동하는 것을 보여주고, 우측상단은 실제 이동 로봇의 움직임에 대한 추적과 이동 로봇이 주행하면서 센서로 감지하여 장애물을 회피하여 주행하는 상태를 나타내었다. 좌측하단은 센서로 장애물을 측정된 값을 표시하고, 우측하단은 계수를 나타낸다. 모의실험 결과 이동 로봇이 주행 도중에 장애물이 없을 구간에서는 빠른 속도로 목표점을 향해 이동하는 것을 알 수 있고, 로봇이 목표점에 가까이 도달했을 경우엔 천천히 주행하여 안정되게 목표점에 도착하는 것을 볼 수 있다.

제안한 알고리즘을 이용한 모의실험에서 이동장애물 및 고정장애물이 있는 복잡한 상황에서 로봇이 안정되게 목표점에 도달하는 것을 보였다. 이것은 컴퓨터상의 모의 실험이다. 실제 로봇시스템에서 제안한 알고리즘을 적용하여 타당성을 보여주는 것이 수행되어야 한다.

향후 연구과제는 로봇시스템을 개발하고, 제안한 알고리즘을 이용하여 먼저 장애물이 있는 경우에 대하여 실제 실험을 행할 것이다. 실제 실험에서 나타나는 문제점을 해결하기 위해 알고리즘을 보완하고, 초음파센서, 자이로 센서, 카메라 등의 센서 정보를 처리하기 위한 알고리즘의 개발과 실제 실험을 행할 것이다. 그리고, 로봇이 사람이 지정한 물체를 스스로 찾고, 집게로 물체를 잡고, 장애물을 회피하여 일정한 위치까지 이동시키는 역할을 수행할 수 있도록 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] A.Hammer and K.Hara, "Knowledge aquisition for collision avoidance maneuver by ship handling simulator" *Proc. MARSIMA- ICSM90*, pp. 245-252, 1990.
- [2] K.Shimada, S.Mabuchi, and K.Hara, "Identification of operators judgment rules of danger in collision avoidance maneuvering of ship" *Proc. 7th Fuzzy Syst. Symp., Japan*, pp.509-512, 1991
- [3] Keigo Watanabe, Jun Tang, Masatodhi Nakamura, Shinji Koga and Toshio Fukuda, IEEE TRANSACTION ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, VOL. 4, NO.2, MARCH 1996
- [4] Hani Hagea, Victor Callaghan, Martin Colley, Malcom Carr-West, "A Fuzzy-Genetic Based Embedded-Agent Approach to Learnig & Control in Agricultural Autonomous Vechiles", *Proceedings of the 1999 IEEE ICRA Detroit, Michigan*, May 1999
- [5] Nicholas Roy, Wolfram Bugard, Dieter Fox, Sebastian Thrun, "Coastal Navigation - Mobile Robot Navigation with Uncertainty in Dynamic Environments", *Proceedings of the 1999 IEEE ICRA Detroit, Michigan*, May 1999
- [6] Jay Farrell, Matthew Barth, "The global positioning system and inertial navigation", McGraw-Hill, 1999

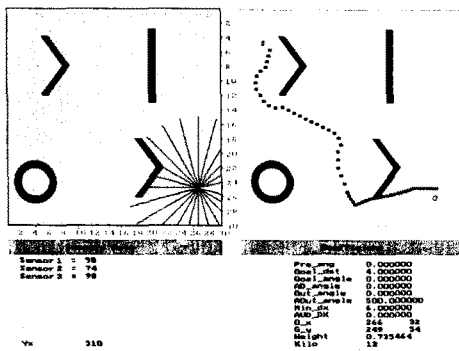


그림 8. 고정장애물에 대한 모의실험

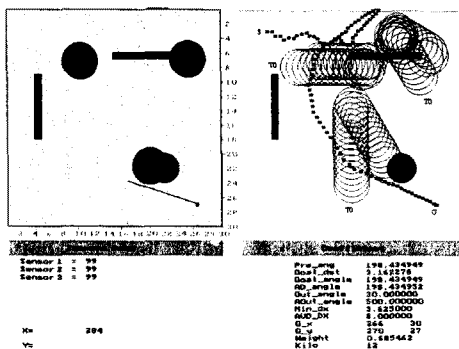


그림 9. 고정 및 이동장애물에 대한 모의실험