

Navigation Strategy of Mobile Robots based on Fuzzy Neural Network with Hierarchical Structure

최정원, 한교경, 박만식, 이석규
(Jung-Won Choi, Kyo-Kyeong Han, Man-Sik Park and Suk-Gyu Lee)

Abstract : This paper proposes a algorithm for several mobile robots' navigation. There are three parts in this algorithm. First part generates robot's turnnig angle and moving distance for goal approaching, sencond part generates robot's avoiding angle and avoiding distance for static obstacles or other robots and third part adjust between robot's moving distance and avoiding distance. Most simulation results of this algorithm are very effective for several mobile robots traveling in unknown field.

Keywords : Unknown field, several robots, mobile robot

I. 서론

임의의 공간에서 다수의 이동 로봇들이 자율 이동하여 각각 지정된 목표점에 도달하기 위해서는 크게 두 가지의 기능이 구현되어야 한다. 첫 번째는 로봇이 현재 위치한 지점에서 목표점까지 도달할 수 있도록 하는 목표점 도달기능으로 이는 현재의 로봇 진행 방향이 목표점을 가리키고 있지 않더라도 목표점의 위치로 지향하도록 진행 각도를 수정하고 로봇의 이동 속도를 제어하여 목표점 바로 위에 도달하도록 만드는 기능이다. 두 번째는 장애물 회피기능이다. 로봇이 자율 이동하는 도중에는 고정된 장애물과 이동 장애물이 존재하거나 다른 로봇의 이동 경로와 부딪칠 수 있는데 이러한 장애물들을 회피할 수 있는 기능을 가지고 있어야 한다.

위와 같은 기능을 구현하여 각 이동 로봇의 경로 계획을 수행하는 방식은 동적 환경의 모델 또는 지도 등의 정보를 사용하여 off-line으로 경로 계획을 하는 전역 경로 계획 방식(Global path-planning)과 로봇이 동작환경에 대하여 사전에 어떠한 정보도 없이 국지적인 정보 즉 로봇이 가진 센서 정보를 통하여 on-line으로 경로 계획을 하는 국지적 경로 계획(local path-planning)으로 나눌 수 있다. 전자의 경우에는 최적의 경로를 계획할 수 있으나 동적 환경 즉 이동 장애물이 존재하거나 고정 장애물에 변화가 있는 경우 또 본 논문에서 다루는 다수 이동 로봇이 존재하는 환경에는 적합하지 않으므로 실제로 적용하기에는 적합하지 않다. 그러므로 실제에의 적용을 위해서는 동적 환경에 대해 고려된 국지적 경로 계획이 필수적으로 이루어 져야 한다.

이러한 국지적 경로 계획은 위에서 밝힌 바와 같이 센서 정보만을 이용하여 자율 이동 로봇의 필수적인 기능

들인 목표점 도달 기능과 장애물 회피 기능을 수행하여야 하는데 이의 지능적인 수행을 위한 접근 방법으로는 장애물 회피를 위한 조작자의 경험을 퍼지 논리로 기술하는 방법을 개발하는 방법^{[1][2]}, 이동 로봇의 센서정보를 입력으로 하는 신경망을 통하여 주행 제어를 위한 퍼지 규칙을 얻도록 학습시키는 방법^[3], 유전 알고리즘과 퍼지 이론을 합성하여 환경 적응 기능을 가진 알고리즘을 개발^[4]하는 방법, 이동 로봇이 동작하는 환경에 대한 센서 정보를 통하여 확실적인 위치 정보를 가진 지도를 구축하여 이 지도 정보를 통하여 경로계획^[5]을 수행하는 방법 등 여러 가지 방법이 있다.

본 논문에서는 목표점 접근을 위한 이동 로봇의 각도와 속도를 제어하기 위해서 각각에 대한 퍼지 규칙을 만들어 적용하고 로봇간의 회피 및 장애물 회피를 위한 이동 로봇의 각도와 속도를 제어하기 위해서 장애물 회피 각도는 신경망을 통해서 그리고 회피 속도는 퍼지 논리를 통해서 얻도록 제어기를 구성하였으며 로봇이 처한 상황에 따라 목표물 접근 알고리즘과 장애물 회피 알고리즘간의 가중치를 조절해 주는 가중치 알고리즘을 퍼지로 구성하여 전체 제어기를 총괄하도록 하므로써 여러 이동 로봇들이 고정 장애물을 회피하여 목표점에 도달하도록 할 뿐만 아니라, 국부 최소점(Local minimum), 그리고 다른 이동 로봇들에 대한 회피를 수행하며 안정적으로 목표점 도달할 수 있는 기능을 가지도록 하였다.

II. 본론

본 논문에서 제안된 제어기의 전체 구조는 그림 1의 형태를 취하는 데 이를 개략적으로 설명하면 제어기 전체 구성은 5가지 세부 항목으로 나뉘고 이 중 Fuzzy 1과 Fuzzy 2는 이동 로봇의 목표점 도달 기능을 수행하는 제어기 부분이며 Fuzzy 3과 신경망 부분은 로봇의 장애물 및 다른 로봇에 대한 충돌 회피를 위한 기능을 수행하는 부분이다. 또한 로봇의 이동 속도를 센서를 통하여 들어오는 환경 정보 즉 주위의 장애물 및 다른 로

접수일자 : 1995. X. XX., 수정완료 : 1995. X. XX.

한교경 : 영남대학교 전기과 대학원

최정원 : 영남대학교 전기과 대학원

박만식 : 안동 정보 대학 전기과

이석규 : 영남대학교 전자 정보 공학부

봇에 대한 거리 정보에 맞추어 적절하게 조절하여 주는 부분인 가중치 Fuzzy부분이 존재한다.

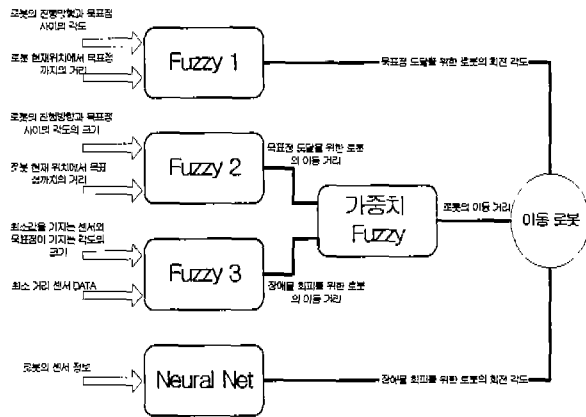


그림 1. 로봇 제어기의 전체 구성도
Fig. 1. Robot controller's block diagram

1. 목표점 접근을 위한 퍼지 알고리즘

목표점 접근 퍼지 알고리즘은 목표점에 도달하기 위하여 로봇이 이동해야 할 방향을 제어하는 퍼지 규칙 1과 이동해야 할 이동 로봇의 거리를 제어하는 퍼지 규칙 2로 구성되어 있다.

1.1 퍼지 규칙 1

목표점 접근을 위한 퍼지 규칙 1은 로봇의 진행 방향과 목표점이 이루는 각도와 로봇의 현재 위치에서 목표점까지의 거리를 관측 변수로 가지고 로봇이 목표점에 도달하기 위하여 회전해야 할 각도를 출력 변수로 가진다.

그림 2 과 3은 퍼지 규칙 1의 입력변수의 소속도 함수를 나타내고 그림 4는 출력변수의 소속도 함수를 나타낸다.

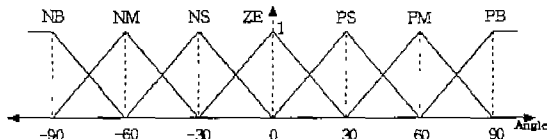


그림 2.로봇의 이동 방향과 목표점이 이루는 각도의 소속도 함수
Fig. 2. Membership functions of angle difference between the goal and the direction of robot

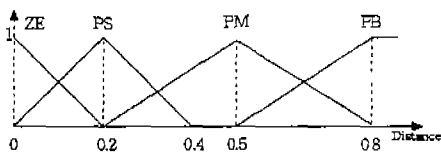


그림 3.로봇과 목표점 사이의 거리에 대한 소속도 함수
Fig. 3. Membership functions of distance between the goal and the robot

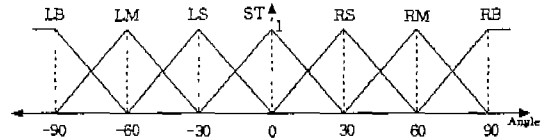


그림 4.로봇이 목표점으로 접근하기 위해 회전해야 할 각도의 소속도 함수
Fig. 4. Membership functions of rotate angle of robot for the goal

1.2 퍼지 규칙 2

목표점 접근을 위한 퍼지 규칙 2는 로봇의 이동 방향과 목표점이 이루는 각도의 크기 즉 절대값과 로봇의 현재 위치에서 목표점까지의 거리를 입력 변수로 가지며 출력변수는 로봇이 목표점까지 한 스텝동안 이동해야 할 거리이다.

그림 5와 6는 퍼지 규칙 2의 입력 변수의 소속도 함수를 나타내고 그림 7은 퍼지 규칙 2의 출력 변수의 소속도 함수를 나타낸다.

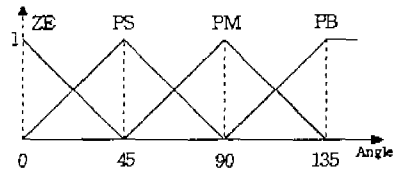


그림 5. 로봇의 이동 방향과 목표점이 이루는 각도의 크기의 소속도 함수
Fig. 5. Membership functions of the angle difference between the robot's direction and the goal

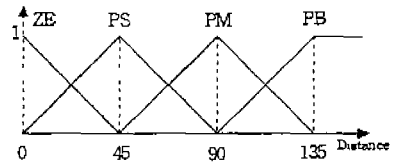


그림 6. 로봇의 현재 위치에서 목표점까지의 거리에 대한 소속도 함수
Fig. 6. Membership functions of distance from robot's current position to the goal

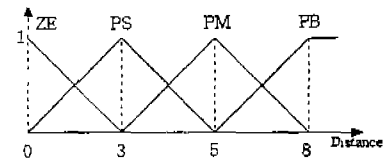


그림 7. 로봇이 목표점으로 이동해야 할 거리의 소속도 함수
Fig. 7. Membership functions of robot's moving distance to the goal

2. 장애물 회피 알고리즘

장애물 회피 알고리즘은 이동 로봇과 장애물 사이의

각도와 거리를 입력으로 하고 이동 로봇이 장애물을 회피하기 위한 각도를 출력으로 하는 신경망과 장애물 회피를 위해 한 스텝동안 로봇이 이동하여야 할 거리를 출력하는 퍼지 규칙 3으로 구성되어 있다.

본 논문에서의 모의 실험에 채용한 로봇 모델은 24개의 거리 센서를 15° 씩의 각도 차를 두고 로봇에 원형으로 장착하고 있다. 모의 실험에서의 로봇은 직경 10픽셀의 원형이고 거리 센서는 최고 센서 방향 100픽셀 까지 측정한다고 가정하고 모의 실험을 수행하였다.

2.1 신경망 알고리즘

본 논문에서 신경망은 이동 로봇의 거리 센서를 통해 얻어진 장애물과의 거리 및 각도 정보를 통하여 로봇의 장애물 회피 각도를 출력하는 기능을 수행한다.

신경망의 구조는 입력층이 24개, 은닉층이 35개, 출력층은 13개로 구성되어 있고 이 다층의 신경망을 학습시키기 위하여 일반적으로 많이 사용되는 오차 역전파 방식을 사용하였다.

입력층은 거리 센서 정보를 획득하는 센서의 개수 24개에서 기인하고 출력층은 로봇이 장애물을 회피하기 위해 회전하여야 할 13개 방향을 나타낸다. 이는 로봇의 현재 위치에서 회전하여야 할 각도를 30° 씩 각도 차를 갖는 12개의 방향과 목표점으로서의 방향을 말한다.

본 논문에서는 이동 로봇이 주행하는 가운데 만날 수 있는 여러 가지 상황을 설정하고 이에 대한 센서값들을 입력으로 하여 인간의 경험적 지식을 바탕으로 효과적인 장애물 회피를 위한 각도를 얻는 것을 신경망 학습의 최종 목표로 삼았다. 그러므로 이 신경망의 학습 패턴은 장애물에 대한 센서들의 거리 값과 이에 대한 이동 로봇의 회피 각도로 구성되어 있고 신경망 학습을 위해 사용된 패턴의 수는 32개이고 학습율은 0.03, 관성상수는 0.8로 설정하였으며 오차가 0.05이하가 될 때까지 학습하였다.

2.2 퍼지 규칙 3

장애물 회피를 위한 퍼지 규칙 3은 로봇의 거리 센서 값 즉 장애물까지의 거리값 중 가장 작은 값과 이 가장 작은 값을 가지는 센서와 목표점이 이루는 각도의 크기를 입력 변수로 가지고 장애물 회피를 위한 로봇의 이동 거리를 출력으로 한다.

그림 8 과 9는 퍼지 규칙 3의 입력변수의 소속도 함수를 나타내고 그림 10은 퍼지 규칙 3의 출력변수의 소속도 함수를 나타낸다.

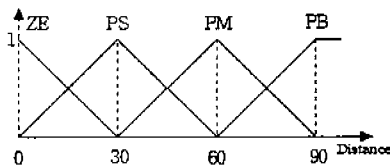


그림 8. 장애물과의 거리가 가장 작은 센서값의 소속도 함수

Fig. 8. Membership functions of the closest distance to obstacles

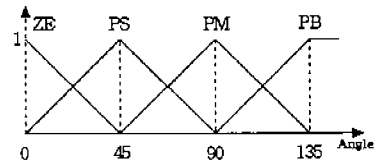


그림 9. 가장 작은 거리 값을 가지는 센서와 목표점이 이루는 각도 크기의 소속도 함수
Fig. 9. Membership functions of the angle difference between the sensor that has smallest value and the goal

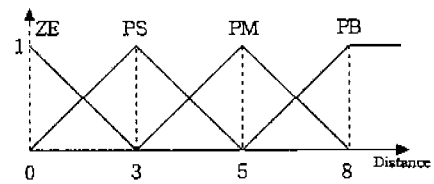


그림 10. 장애물 회피를 위해 로봇이 이동해야 할 거리의 소속도 함수
Fig. 10. Membership functions of distance for obstacle avoidance

3. 가중치 퍼지 알고리즘

가중치 퍼지 규칙은 로봇의 목표점 접근을 위한 이동 거리와 장애물 회피를 위한 이동 거리 사이에 가중치를 각각 적용하여 주변 환경에 맞추어 지능적으로 로봇을 이동시키기 위한 제어 알고리즘으로 이를 통하여 복잡한 환경에서 이동로봇의 필수 기능인 목표점 도달 기능과 장애물 회피기능을 동시에 충족시켜준다.

이 가중치 퍼지 알고리즘의 관측변수는 장애물까지의 최소거리와 목표점까지 거리의 차와 장애물까지의 최소거리이고 그 출력은 목표점 접근 알고리즘에서의 이동거리와 장애물 회피 알고리즘에서의 회피를 위한 이동 거리에 대한 가중치이다.

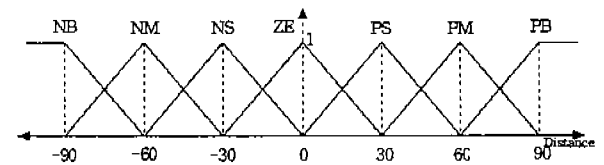


그림 11. 목표점까지의 거리와 가장 가까운 장애물까지의 거리의 차에 대한 소속도 함수
Fig. 11. Membership functions of the difference between the distance to the goal point and the closest distance to the obstacle

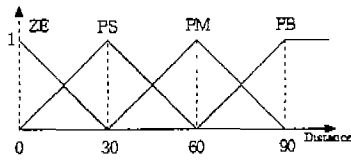


그림 12. 가장 가까운 장애물까지의 거리에 대한 소속도 함수

Fig. 12. Membership functions of the closest distance to the obstacle

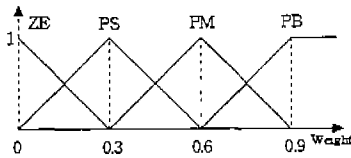


그림 13. 로봇의 목표점 접근을 위한 이동거리에 대한 가중치에 대한 소속도 함수

Fig. 13. Membership functions of the adjustment variable for robot's moving distance to the goal

III. 시뮬레이션

본 논문에서 사용된 시뮬레이션 프로그램은 Microsoft사의 Windows환경에서 Visual C++을 사용하여 작성하였으며 로봇은 직경 10픽셀의 원형 형태를 가지며 장애물을 탐지하는 거리 센서는 로봇 외경을 따라 15° 씩 간격을 가지고 총 24개가 장착되어 있는 것으로 가정하였다.

또한 이 시뮬레이션에서 사용된 좌표계는 2차원 직교 좌표계로 시뮬레이션 창의 좌측 상단을 원점으로 하고 X축은 화면 우측 방향으로 좌표값이 증가하고 Y축은 화면 아래 방향으로 좌표값이 증가한다.

1. 로봇이 한 대인 경우

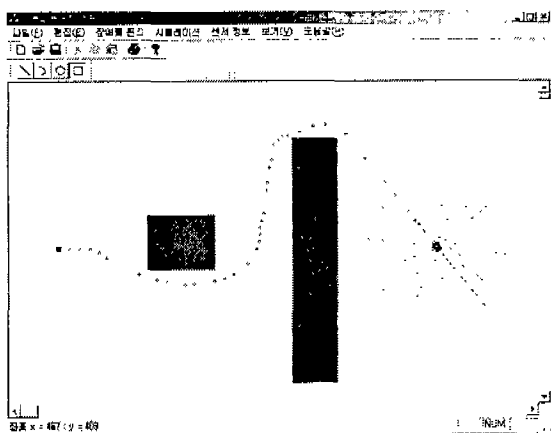


그림 14. 고정 장애물에 대한 시뮬레이션 결과 I
Fig. 14. The result of simulation for

static obstacles I

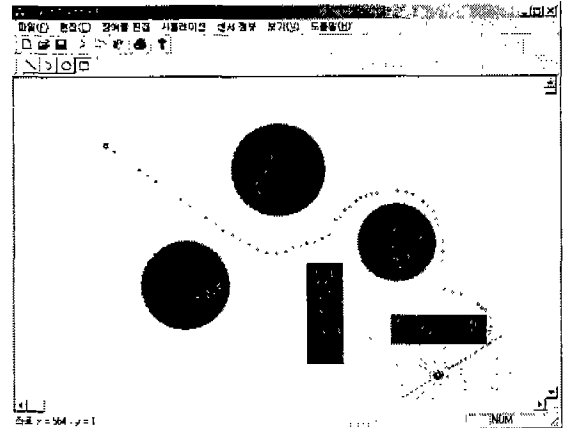


그림 15. 고정 장애물에 대한 시뮬레이션 결과 II
Fig. 15. The result of simulation for static obstacles II

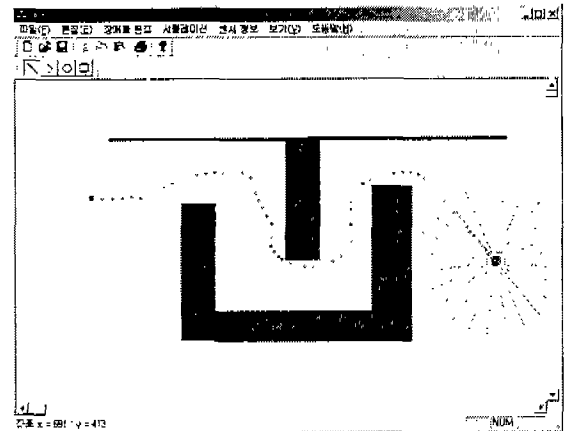


그림 16. 고정 장애물에 대한 시뮬레이션 결과 III
Fig. 16. The result of simulation for static obstacles III

2. 다수의 로봇이 존재하는 경우

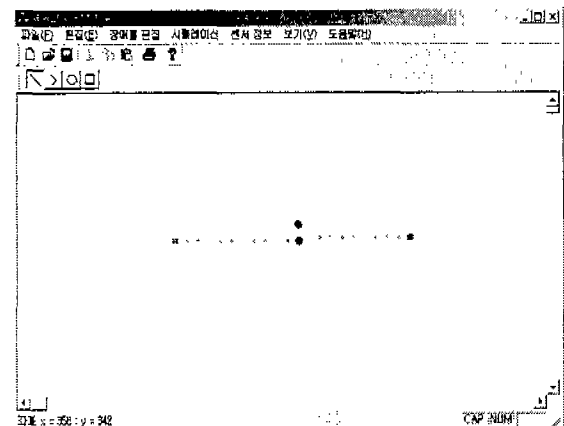


그림 17. 이동 로봇간의 회피
Fig. 17. The result of simulation for mobile robots'

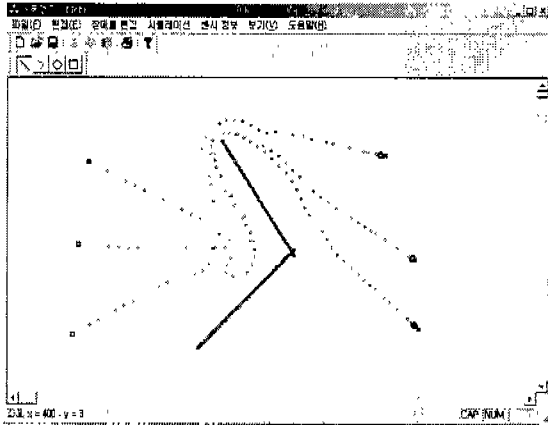


그림 18. 국부 최소점 및 로봇 간의 장애물 회피
 Fig. 18. The simulation result of several mobile robots for other robots and local minimum

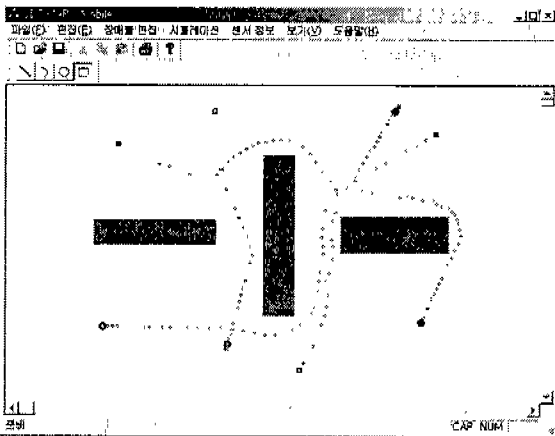


그림 19. 여러 고정 장애물 및 로봇 상호간의 회피
 Fig. 19. The simulation result for several mobile robots for other robots and static obstacles

위 시뮬레이션 결과들 중 그림 14, 15, 16은 여러 가지 형태의 고정 장애물에 대하여 로봇 한 대가 회피동작을 취하며 목표점에 도달하는 결과를 나타내는 것으로 로봇의 궤적을 나타내는 작은 원형 점들의 간격을 통해서 로봇 근처에 장애물이 존재하거나 목표물에 가까이 근접하면 로봇의 이동 거리가 작아지고 장애물이 없거나 목표물에 대한 거리가 멀면 이동 거리가 커지는 사실을 알 수 있고 다양한 장애물 형태에 관계없이 회피 동작을 수행하는 것을 알 수 있다. 그리고 그림 17은 서로 출발점과 도착점을 반대로 가진 두 대의 로봇들이 이동 경로 중간에 만났을 때 회피하는 결과를 보여주며, 그림 18은 3대의 이동 로봇이 로봇 상호간에 회피하면서 국부 최소점을 가진 고정 장애물을 회피하여 목표점에 각각 도달하는 결과를 보여 준다. 또한 그림 19는 여러 고정 장애물에 대하여 다수의 로봇들이 서로 간에 회피 동작을 취하며 목표점에 도달하는 결과를 보여 준다.

위의 시뮬레이션 결과들을 통해서 이 논문에서 제안된 알고리즘이 한 대의 로봇이 미지의 공간에서 여러 형태의 고정 장애물을 회피하며 목표점에 도달하게 하는 기능을 수행하는 것 뿐만 아니라 여러 대의 로봇들에 대해서도 로봇 상호간의 회피 및 고정 장애물 회피 동작을 효과적으로 수행하며 각각의 로봇들이 목표점에 도달하게 해주는 결과를 보여 주고 있다. 또한 이 알고리즘이 여러 대의 로봇들이 다수의 고정장애물과 이동장애물이 존재하는 동적인 환경에 대한 정보의 사전 획득 또는 학습^[5] 없이 그리고 장애물에 대한 모델링 과정이나 이에 맞는 예측 회피를 위한 연산^[6] 없이 만족할 만한 기능을 수행한다는 결과를 보여 준다. 이러한 사실들을 통하여 이 알고리즘이 다수의 로봇들이 존재하면서 전체적으로 이 로봇들을 제어하는 장치 없이 서로 독립적으로 동작하는 미지 공간에서 유용하다는 점을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] A.Hammer and K.Hara "Knowledge aquisition for collision avoidance maneuver by ship handling simulator" *Proc. MARSIM4- ICSM90*. pp. 2445-252, 1990.
- [2] K.Shimada, SMabuchi, and K. Hara, "Identification of operators judgement 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, NO2. MARCH 1996*
- [4] Hani Hasgea, Victor Callaghan, Martin Colley, Malcom Carr-West, "A Fuzzy-Genetic Based Embedded-Agent Approach to Learning & 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] Qiuming Zhu, "Hidden Markov Model for Dynamic Obstacle Avoidance of Mobile Robot Navigation" *IEEE TRANSACTION ON ROBOTICS AND AUTOMATION, VOL 7, NO3. JUNE 1991*