

퍼지추론기반 센서융합 이동로봇의 장애물 회피 주행기법

Fuzzy Inference Based Collision Free Navigation of a Mobile Robot using Sensor Fusion

진태석^{1*}

Taeseok Jin

〈Abstract〉

This paper presents a collision free mobile robot navigation based on the fuzzy inference fusion model in unknown environments using multi-ultrasonic sensor.

Six ultrasonic sensors are used for the collision avoidance approach where CCD camera sensors is used for the trajectory following approach. The fuzzy system is composed of three inputs which are the six distance sensors and the camera, two outputs which are the left and right velocities of the mobile robot's wheels, and three cost functions for the robot's movement, direction, obstacle avoidance, and rotation.

For the evaluation of the proposed algorithm, we performed real experiments with mobile robot with ultrasonic sensors. The results show that the proposed algorithm is apt to identify obstacles in unknown environments to guide the robot to the goal location safely.

Keywords : Mobile Robot, Navigation, Collision avoidance, Fusion, Fuzzy logic

^{1*} 교신저자, 정회원, 동서대학교 메카트로닉스공학과 교수 ^{1*} Corresponding Author, Professor Dept. of Mechatronics
부산대학교 졸업(공학박사), 47011 부산광역시 사상구 Ph.D Dongseo University
주례로47 051-320-1541
E-mail: jints@dongseo.ac.kr

1. 서론

이동로봇이 동적환경을 파악하고 자율적으로 주행하기 위해 사용되는 센서로는 비전, 레이저, 적외선, 초음파 센서 등이 있으며 이 중에서 저가의 다수 초음파 센서 알고리즘의 복잡하고 데이터량이 방대하므로 실시간 처리를 위하여 고성능의 시스템 구현이 가능하게 되었다[1][2]. 따라서 본 논문에서는 구조적으로 간단하고 낮은 성능의 시스템에서도 실시간 처리가 가능한 초음파센서를 사용하여 미지의 환경을 인식하고, 이동로봇의 위치 보정을 위하여 자이로 센서로부터 데이터를 취합하여 이동로봇의 지능적 자율주행에 필요한 센서 융합(Sensor fusion)에 의한 방법을 적용한 실내 환경에서의 실험결과를 검증하였다[3].

센서융합의 방법은 로봇의 여러 센서정보에 의해 환경모델을 구성하여 로봇의 최적의 경로를 계획하고 로봇은 주어진 궤적을 추종하도록 하는 방법이다. 이러한 방법은 여러 센서의 정보에서 정확한 환경모델을 구성하는 것이 매우 중요하며 또한 이를 위하여 많은 양의 계산도 요구된다[6]. 명령융합의 방법은 로봇의 동작에서 각각의 개별 목적을 만족하는 여러 명령들 가운데서 전체목적에 위한 최선의 선택을 하는 방법으로 로봇의 행동에 기반을 둔 형태이다. 이 방법에서는 분산적으로 각 제어목적에 만족하는 행동결과가 나타나며 이를 융합하는 과정에서 인공지능의 기법이 유용하게 사용될 수 있다[4][5][6].

2. 이동로봇의 기구학

그림 1은 자체 제작된 이동로봇 IRL-2002의 외형이다. 두 개의 DC 모터로 각 바퀴를 구동하며 보조바퀴로 볼캐스터를 사용하였다. 부착된 센서로

는 모터의 엔코더 이외에 자이로센서(Gyro-sensor, ENV-05D)와 초음파 센서가 있다. 자이로센서는 주행중에 발생하는 회전속도를 측정하여 로봇의 방향인지에 사용하고, 16개의 초음파센서(Polaroid 6500) 모듈은 41cm에서 최대 10m까지의 거리 검출이 가능하다. 로봇 중심으로부터의 최소 측정 가능거리는 56cm 이다. 각각의 초음파 센서는 1/3초마다 거리측정을 하고, 상호간의 대화현상을 제거하기 위해 한번에 4개씩만 구동한다. 모의 실험에서는 로봇에서 6m이상의 거리에 벽이 있다고 측정될 경우에는 잘못된 정보라고 가정하고 6m이상 측정된 거리정보는 무시하였다.

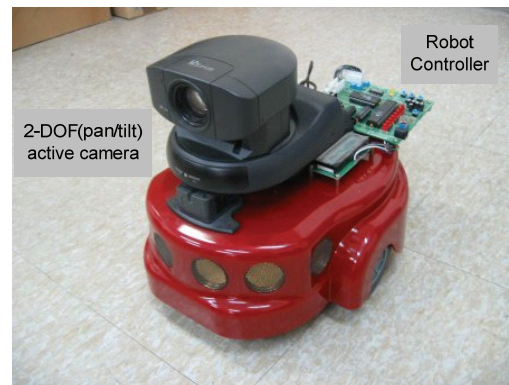


Fig. 1 Mobile robot, Pioneer-X.

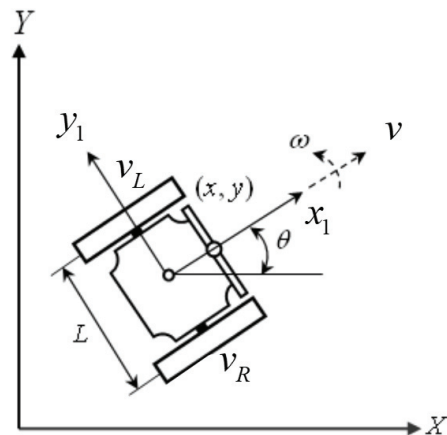


Fig. 2 Coordinate system for mobile robot.

그림 2와 같이 좌표계를 설정하면 이동로봇의 Jacobian 식 (1), (2)를 얻을 수 있다. 여기서 v 는 이동로봇의 진행방향 속도이며 ω 는 로봇의 중심축에 대한 회전각속도를 나타낸다[8].

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} \quad (2)$$

또한 식 (1),(2)를 실제의 바퀴의 각속도의 관계로 나타내기 위하여 식 (3)을 사용한다.

$$q = Kv \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{L} & -\frac{1}{L} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_R \\ v_L \end{pmatrix}$$

여기서 L 은 두 바퀴 사이의 거리이다. 이동로봇의 기구학에 의해 각 구동 바퀴의 엔코더 신호로부터 로봇의 위치를 계산한다. 또한, 제어에서 계산되는 로봇의 진행속도와 회전속도 명령은 역기구학에 의해 각 바퀴의 속도명령으로 변환되어 로봇의 위치와 방향을 제어한다.

3. 장애물 회피 및 주행 알고리즘

이동로봇이 미지의 환경에서 주어진 작업, 즉 목표지점까지의 운동을 수행하기 위해서 매 순간 인식된 환경정보와 로봇의 상태정보를 이용하여 안전하게 목표점까지 도달할 수 있도록 방향 및 속도를 결정해야 한다. 본 논문에서는 복잡한 지

도형성이 가능한 로봇의 운행에서 고려해야 할 목적을 만족하는 각 명령을 분산적으로 산출하여 이 명령들을 융합하는 방법에 기반한 알고리즘을 사용하였다. [7,10].

그림 3은 이동로봇 운행알고리즘의 구조를 나타낸다. 로봇의 주행시 고려되는 목적을 목적지 방향, 장애물 회피, 회전운동 최소화의 3가지로 정의하고 각 목적을 만족하는 결과를 비용함수의 형태로 표현하여 이들의 융합과정은 각 결과, 즉 비용함수에 가중치를 인가하여 결합하는 구조를 가진다. 명령의 융합과정에서는 인공지능의 기법을 사용하여 각 명령의 가중치를 퍼지 알고리즘을 사용하여 추론하였다. 제안된 방법에 의해 이동로봇은 조건에 따라 지능적으로 가중치를 변화하며 운동을 수행하게 되는데 결합된 비용함수를 탐색하여 최소값을 가지는 방향과 속도를 로봇은 최종 결과로 선택한다.

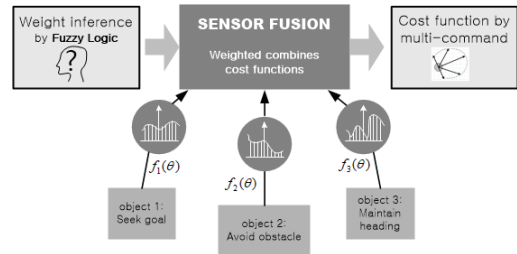


Fig. 3 Overall structure of navigation algorithm.

퍼지규칙에 따른 비용함수 적용을 위하여 기 발표된 논문[6]에서 제시한 장애물 회피 및 회전운동 최소화 명령을 기반으로 비용함수형태의 명령을 분산적으로 적용하도록 하였다. 이들 비용함수는 상반된 목적을 가질 수 있으며 모든 목적을 동시에 만족시키는 결과를 찾을 수는 없다. 따라서 이들 비용함수에 식 (4)와 같이 가중치를 부여하여 결합함으로써 최종결과에서 각 명령의 기여도를 명령의 가중치 ω_1 , ω_2 , ω_3 를 부가하여 아

래와 같이 표현할 수 있다.

$$E(\theta) = w_1 * E_d(\theta) + w_2 * E_o(\theta) + w_3 * E_r(\theta) \quad (4)$$

여기서 $E_d(\theta)$ 는 목적지의 방향 비용함수, $E_o(\theta)$ 은 장애물 회피 비용함수, $E_r(\theta)$ 는 회전운동의 최소화 비용함수를 각각 나타낸다.

이동로봇의 가중치를 추론하는 도구로 퍼지 알고리즘을 사용한다. 퍼지 알고리즘을 사용하게된 주된 이유는 사람의 생각을 쉽게 규칙으로 나타낼 수 있으므로 사람의 지능적인 대처를 쉽게 로봇에 반영할 수 있다는 이점 때문이다[7][8]. 각각의 상황을 설정하고 그에 알맞는 적절한 가중치 값을 추론하는 퍼지규칙을 작성하여 가중치를 구하고 최선의 선택을 하도록 한다. 그림 4에 퍼지 방식에 의한 가중치 추론구조에 대하여 나타내었다. 이동로봇의 주위 환경과 상태를 퍼지 추론기의 입력변수로 정의하였으며 그에 따라 각 비용함수의 가중치를 추론해 낸다. 추론된 가중치는 비용함수에 인가되어 로봇방향을 결정하며, 회전운동의 크기에 따라 속도명령도 구한다. 이렇게 얻은 결과를 이동로봇의 역기구학으로 관절 각속도값을 구하여 이동로봇을 제어한다.

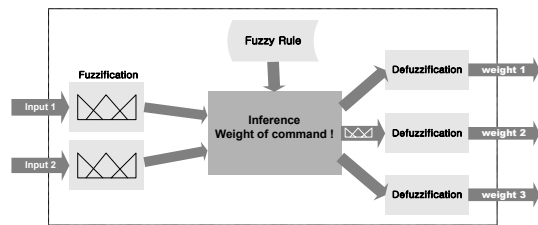
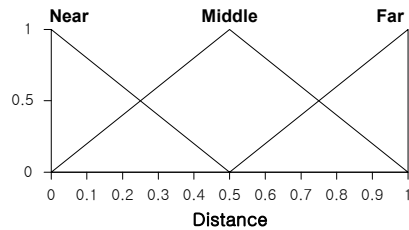


Fig. 4 Structure of fuzzy inference system.

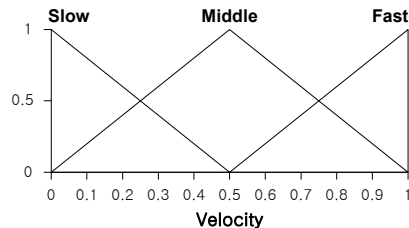
퍼지 추론기의 입력변수로 로봇주위의 가장 가까운 장애물의 거리와 현재 로봇의 속도를 설정하였다. 장애물에 대한 변수는 그림 5(a)와 같이 3

개의 소속함수(membership function : M.F)로 구분하여 “가깝다, 보통이다, 멀다”의 언어변수로 표현하였다. 또한 로봇의 속도에 대한 변수는 그림 5(b)와 같이 3개의 소속함수로 구분하여 “느리다, 보통이다, 빠르다”의 언어변수로 표현하였다.

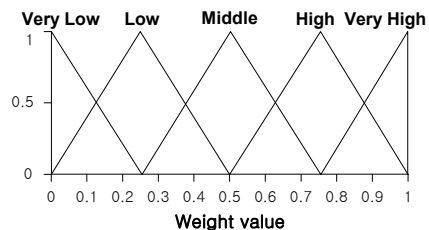
퍼지추론기의 출력으로는 각 명령의 가중치 w_1 , w_2 , w_3 이며 더욱 세밀한 구분을 위해 그림 5(c)와 같이 5개의 소속함수로 구분하였다. 각 비용함수의 가중치를 “매우 낮다, 낮다, 보통이다, 높다,



(a) M.f. of input variable for nearest distance.



(b) M.f. of input variable for robot velocity.



(c) M.f. of output variable for command weights.

Fig. 5 Fuzzy input, output variables for inference weight.

매우 높다”의 언어변수로 표현하여 가중치 값을 추론하게 된다. 퍼지추론에서 비퍼지화는 일반적인 Mamdani의 무계중심법을 사용하였다.

입력변수에 대하여 상황을 구분하고 그에 적절한 가중치의 규칙은 가장 가까운 장애물이 멀리 있으면 장애물 비용함수의 가중치는 낮추고 다른 비용함수들은 상대적으로 높은 값을 부여하여 중요성을 높인다. 또한 로봇속도에 근거하여 회전운동 비용함수의 가중치를 조정한다. 이러한 개념에서 상황에 대해서 입력변수에 대해 추론된 출력결과를 그림 6에 입출력 평면으로 나타내었다. 그림 6(a)의 w_1 출력평면 결과에서 장애물의 거리가 멀고 로봇의 속도가 빠를수록 w_1 이 높은값을 가짐을 알 수 있다.

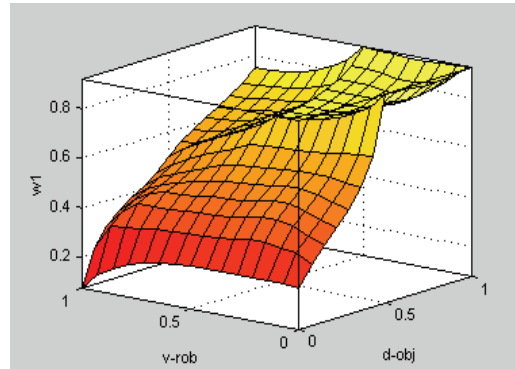
그림 6(b)의 w_2 출력 평면 결과는 로봇의 속도와는 상관관계가 없고 장애물의 거리에 대해 반비례 관계를 나타낸다. 그림 6(c)의 w_3 출력 평면 결과는 장애물과의 거리가 멀고 로봇의 속도가 빠를수록 높은 값을 나타낸다. 또한 각 비용함수는 다른 목적을 나타내므로 입출력 평면이 서로 상반된 형태를 나타냄을 알 수 있다.

4. 주행실험

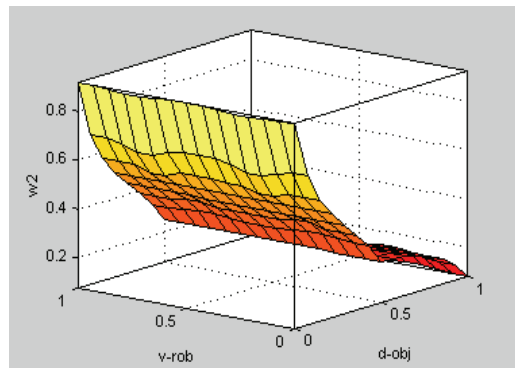
선행연구[9][10]를 바탕으로 제안된 경로계획 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 다양한 환경에서 주행 시뮬레이션을 수행하고, 임의의 장애물 및 벽을 배치하여 이동로봇이 목적지까지 충돌 없이 안전하게 경로를 계획하여 주행하는지를 실험하였다.

다음으로 그림 7(a)와 같이 폭 2m의 복도에 장애물을 배치한 환경에서 주행하도록 실험하였다. 그림 7(b)는 (1300, -950)까지 주행하면서 검출된 센서값에서 신뢰성있는 정보만을 나타낸 것인데

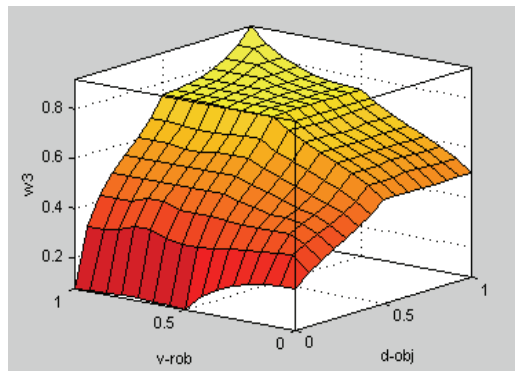
실제 환경과 유사하게 지도가 형성되었음을 알 수 있었다.



(a) Surface of w_1



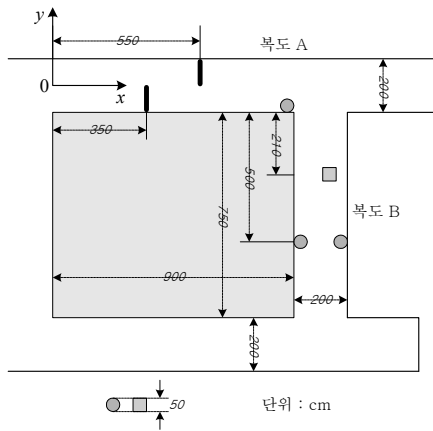
(b) Surface of w_2



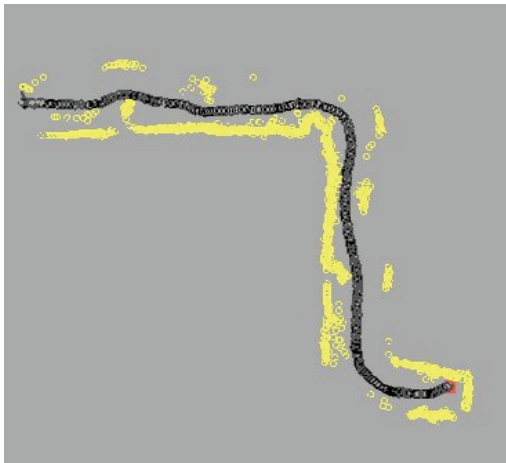
(c) Surface of w_3

Fig. 6 Input-output surface of weight inference system.

로봇의 주행중에 장애물이 로봇 진행방향에 대해 정면위치에 놓고 경로를 방해하는 형태로 실험 환경을 조성하였다. 그림 7(b)는 그 결과에서 장애물의 환경에서도 빠르게 대처하면서 목적지에 도달했음을 알 수 있다. 센서정보의 주기 및 로봇의 주행속도에 따른 더욱 동적인 환경에서도 잘 대처할 것이다.



(a) Diagram of navigation environment



(b) Composed world map

Fig. 7 Navigation of robot in corridor environment.

5. 결론

본 논문에서는 미지의 동적환경에서 이동로봇이 자율적으로 목적지까지 안전하게 이동할 수 있는 장애물 회피 및 경로 계획을 위한 알고리즘을 제시하고 시뮬레이션 정보를 기반으로 실험을 통해 그 타당성을 검증하였다. 이동로봇이 여러 목적을 동시에 달성하기 위하여 각각의 비용함수를 정의하고 퍼지규칙에 의해 각 비용함수의 가중치를 조절하여 상황에 따라 지능적으로 처리할 수 있도록 하였다. 유동적으로 변화하는 이동장애물에 대해서도 충돌을 회피하며 목적지에 도달할 수 있었다. 그러나 로봇의 주행 속도 이상으로 다가오는 이동장애물이나 고속의 불규칙적인 이동 장애물에 대해서는 강인한 결과를 얻기 어려웠다. 이를 극복하기 위하여 적절한 예측제어 알고리즘을 개발하여 강인한 성능을 얻을 수 있는 연구와 비전 시스템과의 센서융합에 의해 지역적인 정보의 한계를 벗어나 국부최소점 문제를 극복하는 연구가 계속 되어야 할 것이다.

사 사

본 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2016R1D1A1B04932124).

참고문헌

- [1] Y. Arai, T. Fujii, H. Asama and Y. Kataoka, "Adaptive behavior acquisition of collision avoidance among multiple autonomous mobile

- robots," Proc. IROS, pp. 1762-1767, (1997).
- [2] J. Borenstein and Y. Koren, "Potential field methods and their inherent for mobile robot navigation," In Proc. IEEE Int Conf. Robotics and Automation, vol. 2, pp. 1398-1404, (1991).
- [3] T. Hessburg and M. Tomizuka, "Fuzzy logic control for lane change maneuvers in lateral vehicle Guidance," IEEE Control Systems, vol. 14, no. 4, pp. 55-63, (1994).
- [4] J. Miura and Y. Shirai, "Vision and Motion Planning for a Mobile Robot under Uncertainty," The International Journal of Robotics Research, Vol. 16, No. 6, pp. 806-825, (1997).
- [5] H. Liu, N. Stoll, S. Junginger, and K. Thurow, "Mobile robot for life science automation," Int. J. Adv. Robot. Syst., vol. 10, pp.1-14, (2013).
- [6] J. Miura and Y. Shirai, "Vision and Motion Planning for a Mobile Robot under Uncertainty," The International Journal of Robotics Research, Vol. 16, No. 6, pp. 806-825, (1997).
- [7] A. Al-Mayyahi, W. Wang, P. Birch, "Adaptive Neuro-Fuzzy Technique for Autonomous Ground Vehicle Navigation," Robotics, Vol. 3, pp. 349-370, (2014).
- [8] C. Chen, P. Richardson, "Mobile robot obstacle avoidance using short memory: A dynamic recurrent neuro-fuzzy approach," Trans. Inst. Measur. Control, Vol. 34, pp.148-164, (2012).
- [9] R. Wai, C. Liu, and W. Lin, "Design of switching path-planning control for obstacle avoidance of mobile robot," Journal of the Franklin Institute, Vol. 348, No.4, pp.718-737, (2011).
- [10] T.S. Jin, "Control and Calibration for Robot Navigation based on Light's Panel Landmark," Journal of the Korean Society of Industry Convergence, Vol. 20, No. 2, pp.89-95, (2017).

(접수: 2018.01.15. 수정: 2018.02.09. 게재확정: 2018.02.22.)