

MR센서를 이용한 실외형 자율이동 로봇의 퍼지 조향제어기 개발

김정희 · 손석준 · 임영철 · 김태곤 · 유영재* · 김의선**

전남대학교 전기공학과 & RRC
 *목포대학교 제어계측공학과
 **서남대학교 전기전자 멀티미디어공학부

Development of Fuzzy Steering Controller for Outdoor Autonomous Mobile Robot with MR sensor

Jeong-Heui Kim · Seok-Jun Son · Young-Cheol Lim · Tae-Gon Kim · Young-Jae Ryoo* · Eui-Sun Kim**

Dept. of Electrical Eng. and RRC, Chonnam Nat'l Univ.

*Dept. of Electrical Eng., Mokpo Nat'l Univ.

**Dept. of Electrical Eng., Seonam Univ.

ABSTRACT - This paper describes a fuzzy steering controller for an autonomous mobile robot with MR sensor. Using the magnetic field(B_x, B_y, B_z) obtained from the MR sensor, we designed fuzzy controller for driving on the road center. Fuzzy rule base was built to magnetic field(B_x, B_y, B_z). To develop an autonomous mobile robot simulation program, we have done modeling MR sensor, dynamic model of mobile robot and coordinate transformation. A computer simulation of the robot (including mobile robot dynamics and steering) was used to verify the steering performance of the mobile robot controller using the fuzzy logic. Good results were obtained by computer simulation. So, we confirmed the robustness of the proposed fuzzy controller by computer simulation. Also, we know that proposed control algorithm was applied to real autonomous mobile robot.

1. 서론

지난 몇 년간 이동 로봇의 제어에 관한 많은 연구가 이루어졌으며 특히, 최근 이동 로봇 중 실제 자동차의 무인 자동화를 위한 연구로 인하여 자동차형 이동 로봇의 자율 주행에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 로봇이 자율 주행을 하기 위해서는 주위 환경에 대한 인식능력을 갖추어야하며 출발점에서 목표점까지의 안전하게 도달할 수 있어야 한다[1]. 이동 로봇의 자율 주행을 위해 조향 제어는 이동 로봇시스템에서 가장 기본이 되는 기능이라고 할 수 있으며 로봇의 이동을 위해 로봇은 현재의 위치를 인식해야 한다. 위치 인식을 위해 현재 사용되는 방식으로는 적외선센서, 레이저 거리 센서, 초음파 센서 등을 이용하는 방식과 비전센서를 이용한 방식이 있다[2-7]. 적외선 센서나 레이저 센서, 초음파 센서의 경우는 벽면과 같은 기준면을 따라 이동하기 때문에 실내에서는 적용하기가 용이하나, 반사체가 없거나 멀리 있는 실외에서는 이동 로봇에 적용하기가 어렵다. 또한 비전센서의 경우 실내외에서의 사용이 가능하고, 획득된 영상의 품질과 처리를 위한 하드웨어의 성능에 따라 좋은 결과를 나타내지만 조명의 변화에 적용이 어렵고 또한 조향 제어를 위해 영상으로부터 기하학적인 변환을

통해 로봇의 위치를 계산해야 하므로 많은 양의 데이터 처리를 위한 고속 프로세서나 전용 장비를 구축 해야한다[7]. 본 논문에서는 조명이나 기후의 변화에 무관하고 저가의 프로세서만으로도 로봇의 위치를 인식하여 자율 주행할 수 있는 방법을 연구하였다. 이동하고자 하는 경로에 일정간격으로 영구자석을 설치하고 로봇에 자기장을 검출하는 센서를 장착하여 로봇의 위치와 방향을 계산하고 로봇의 진행 방향을 제어하도록 하였다. 로봇의 조향 제어를 위해 자석에 의한 자계(B_x, B_y, B_z)를 입력으로 한 퍼지 제어를 설계했으며 설계된 제어기의 효과와 유효성을 검증하기 위하여 자율 이동로봇의 자율 주행 시뮬레이터를 제작하여 설계된 제어기의 동작을 확인하였으며 PD 제어기에 의한 자율 주행과 주행 성능을 비교하였다.

2. 데이터 획득

2.1 영구 자석에 의한 자기장

영구자석에 의한 자계는 Fig.1과 같이 x, y 그리고 z축 방향의 성분을 갖는다. 페라이트 영구자석을 자기쌍극자로 가정하면 공간상의 한 점 P(x,y,z)에서의 자계는 식 (1)과 같이 표현된다[8].

$$B = \frac{M}{4\pi r^3} (3xz a_x + 3yz a_y + (2z^2 - x^2 - y^2) a_z) \left(\frac{\mu_0}{m^2} \right) \quad (1)$$

여기서, M : 자기 쌍극자 모멘트
 $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$

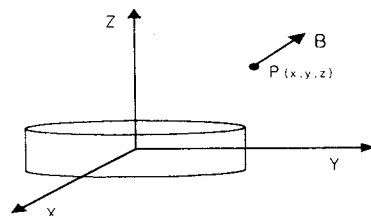


Fig.1 Magnet field at point P.

Fig.2는 x축을 0으로 고정하고 y축을 따라 센서를 이동했을 때 측정되는 B_x 와 B_z 의 값을 모델식에 의해서 얻어진 데이터와 실험에 의해서 얻어진 데이터를 비교한

그래프를 나타낸다. 페라이트 영구 자석은 원통형으로 지름 0.025m, 높이 0.01m이다. 수평성분의 자계 크기는 원점에서 0이고 중앙에서 멀어짐에 따라 증가하다가 다시 감소하고, 수직성분의 자계는 원점에서 최대 값을 나타내고 거리가 멀어짐에 따라 감소한다.

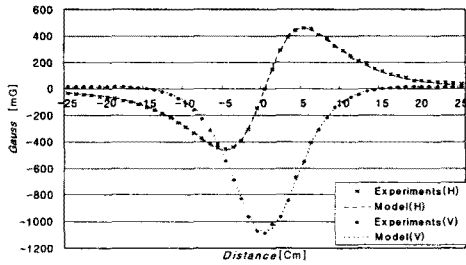


Fig. 2 Comparison model equation with experimental sensing data.

2.2 지구 자기장 보정

자석을 로봇의 이동로에 설치하면 센서에서 측정되는 자기장의 값은 자석에 의한 자기장과 지구자기장 값이 같이 획득된다. 지구자기장은 각 축당 (B_x, B_y, B_z) 200~300[mG]의 크기를 나타내며 이는 제어기에 외란으로 작용하게 된다. 본 논문에서는 지구 자기장의 보정을 위해 두 개의 센서를 로봇의 앞 부분에 쌍으로 설치하고, 두 센서에서 획득한 자기장의 차이를 이용하여 외란에 대한 보상이 되게 하였다. Fig.3은 x축을 0으로 고정한 후 센서를 y축을 따라 이동시켰을 때의 자기장 차이값 dB_y, dB_z, dB 를 나타낸 것이다.

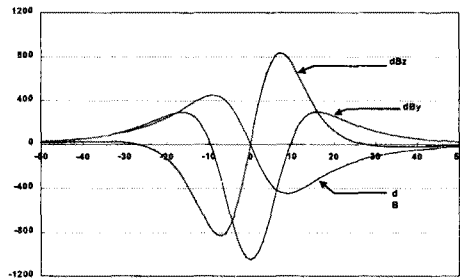


Fig.3 The difference value of magnetic field according to lateral distance.

3. 퍼지 제어기 설계

3.1 제어기의 구조

제어기의 입력은 두 센서의 차에 의해 얻어진 자기장값 (dB_y, dB_z, dB)이고 그에 따른 출력은 조향각(δ)이다. Fig.4은 입력되는 자기장에 의해 퍼지추론을 이용하여 조향명령을 출력하는 과정을 나타낸다.

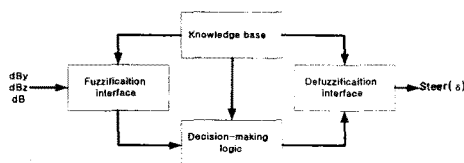


Fig.4 Configuration of Fuzzy Controller.

퍼지화 도입부에서 제어기의 입력인 dB_z 와 dB 의 언어 변수를 NB, NM, NS, ZN, ZE, ZP, PS, PM, PB로

정의했고 dB_y 의 언어변수는 MB, NS, ZE, PS, PB로 정의했다. Fig.5는 각 변수에 따른 퍼지 소속도를 나타낸다.

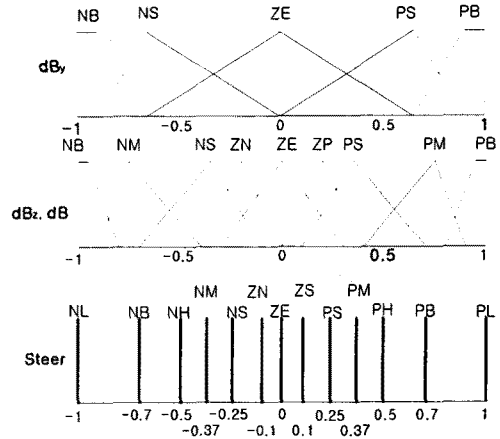


Fig.5 Shape of Fuzzy variables.

지식베이스에서는 퍼지데이터의 조작과 언어적 제어 규칙을 생성했다. 제어 규칙은 If ~ then 룰을 사용하여 고, 제어규칙은 Table.1로 나타났다.

Table 1. Rule base.

	dB_y	dB_z	dB	Steer
R ₁	NB	ZE	ZE	ZE
R ₂	NB	ZP	ZN	ZP
R ₃	NB	PS	NS	PS
R ₄	NB	PM	NM	PM
R ₅	ZE	PB	NB	PH
R ₆	PS	PM	NB	PB
R ₇	PB	PS	NM	PL
R ₈	PB	ZE	NS	PL
R ₉	NB	ZN	ZP	ZN
R ₁₀	NB	NS	PS	NS
R ₁₁	NS	NM	PM	NM
R ₁₂	ZE	NB	PB	NH
R ₁₃	PS	NM	PB	NB
R ₁₄	PB	NS	PM	NL
R ₁₅	PB	ZE	PS	NL

퍼지추론은 그 방식에 있어서 본 논문은 Mamdani의 Max-Min방식을 이용하여 추론을 하였다. 비퍼지화는 퍼지 singleton법을 이용하였다.

4. 시뮬레이터의 개발

4.1 시뮬레이터의 구성

제안된 퍼지 제어기의 강인성을 검증하고 실제 제작할 로봇의 자율주행 실험의 시행착오와 조정시간을 단축하기 위해 시뮬레이터를 제작하였다. 제작된 시뮬레이터의 구성은 Fig.6과 같고, 주행을 위한 경로 생성 부와 자계 측정을 위한 센서부가 있고, 로봇의 이동을 위한 로봇의 동적 모델 및 좌표변환과 조향각 제어를 위한 퍼지 제어부로 구성되어 있다. 시뮬레이션 프로그램은 win98 환경에서 비주얼 베이직으로 작성하였다.

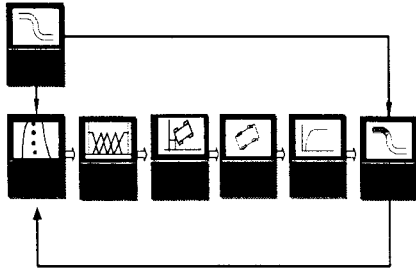


Fig.6 Block diagram of Simulation.

로봇의 이동로가 결정되면 이동로의 중앙에 자석을 일정 간격으로 설치하고 로봇의 초기위치와 방향을 설정하고 주행을 시작하게 된다. 이때 자석열에서 얻어진 자기장 값은 모델식에 의해 얻어지게 되고 이 때 얻어진 dB_y, dB_z, dB 값이 퍼지제어기의 입력으로 들어가게 되면 퍼지 조향제어기는 조향각을 출력한다. 조향각과 로봇의 좌표변환과 동적 모델에 의하여 로봇의 다음 위치가 결정되면 시뮬레이터는 다음 위치로 로봇을 이동시킨다. 이런 과정을 반복하여 로봇은 이동경로를 따라 이동을 하게 된다.

4.2 4륜 이동로봇의 모델

4륜 로봇의 동력학적 특성을 모델링하기 위해서는 일반적으로 2륜 로봇과 동일하게 취급하는데 로봇의 모델에 대한 절대 좌표계는 Fig.7과 같다

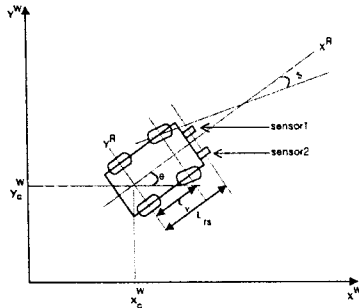


Fig.7 Dynamic model of the Robot.

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{1}{L_c} v \sin \delta \\ \dot{x}_c^W &= v \cos \theta \cos \delta \\ \dot{y}_c^W &= v \sin \theta \cos \delta \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 (x_c, y_c) 는 로봇의 뒷바퀴 중앙을 기준으로 하는 점이며, L_c 는 앞바퀴와 뒷바퀴간의 거리, θ 는 방향각(heading angle), 그리고 δ 는 조향각(steering angle)을 나타낸다.

4.3 실세계 좌표에서 로봇 좌표로 변환

로봇의 뒷바퀴 중심점을 로봇의 기준 위치점 (x_c^W, y_c^W) 으로 가정한다. 실세계 좌표에서 로봇의 진행방향각 θ 와 조향각 δ 를 Fig.7과 같이 정의한다. 실세계 좌표의 (X^R, Y^R) 는 로봇 좌표로 변환하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} X^R \\ Y^R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^W - x_c^W \\ Y^W - y_c^W \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 (X^R, Y^R) 는 로봇 좌표에 있는 점이며, (X^W, Y^W) 는 실세계 좌표에 있는 점이다.

4.4 로봇좌표에서 센서좌표로 변환

로봇에 부착되는 자기센서는 실험에 의해서 가장 적합한 곳을 택하였으며 그 위치는 로봇의 앞 범퍼 밑에 설치하였다. 따라서 로봇의 중심에서 센서의 중심으로 좌표변환을 해야하며 식(4)로 나타내어진다.

$$\begin{bmatrix} X^S \\ Y^S \\ Z^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X^R \\ Y^R \\ Z^R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{ms} \cos \theta \\ L_{ms} \sin \theta \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서 (X^S, Y^S, Z^S) 는 센서의 좌표를 나타내고, (X^R, Y^R, Z^R) 는 로봇의 좌표를 나타낸다. L_{ms} 는 로봇의 기준점과 자기저항 센서의 기준점 사이의 전후방향 차이를 나타낸다.

5. 시뮬레이션의 결과 및 고찰

로봇의 주행을 위한 조향제어를 위해 두 가지 경우에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 첫째 직선에서의 각각의 위치에 대한 자기장 영역으로 추적하여 주행하는 것과 곡선에서의 자기장 영역으로 추적하여 주행하는 것을 보였다. Fig.8은 이동 경로 중심으로부터 우측 20 [cm] 떨어진 곳에서 출발시켜 이동경로 중심을 향해 진입하고 중심을 따라 이동하는 궤적을 나타낸다.

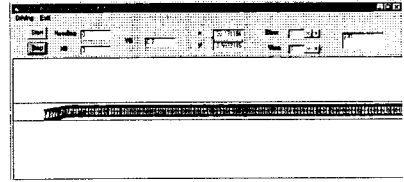


Fig.8 Trajectory during straight movement traveling.

Fig.9은 곡률반경 5.5, 8 [m]의 이동경로에서 이동로봇이 중심을 따라 이동하는 궤적을 나타내었다. 이는 직선뿐만 아니라 곡선부분에서도 중심을 이탈하지 않고 이동하는 궤적을 나타낸다.

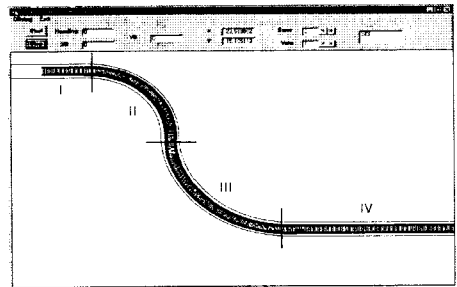


Fig.9 Trajectory during straight and curved movement traveling.

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\max} e_n^2}}{\max - 1} \quad (5)$$

퍼지 시뮬레이션의 주행성능은 식(5)와 같이 Root Mean-squared error(RMSE)로 주행구간을 I, II, III, IV 구간으로 나누어 평가되었다.

Table.2 Comparison Fuzzy controller with PD controller.

	I	II	III	IV	Total RMSE
Fuzzy	0.002	3.409	3.377	0.016	1.701
PD	0.081	6.069	5.801	0.220	3.045

Table.2는 Fig.9에서 각 구간별 데이터를 퍼지제어기와 PD제어기를 비교한 것이다. II 구간에서의 이탈거리가 III 구간에서의 이탈 거리보다 좀더 큰 값을 가지는데 이는 II 구간의 곡률 반경이 더 작기 때문이다. 평균적으로 퍼지제어기와 PD제어기의 오차 차이는 약 2배 정도로 모든 구간에서 퍼지제어기의 성능이 우수함을 알 수 있다. 이 결과로 인해 제안한 퍼지제어기가 기존의 PD제어기에 비해 더욱 강인한 제어특성을 나타냄을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 MR센서를 이용한 실외형 이동 로봇의 퍼지 조향제어기의 시뮬레이션에 대한 연구를 수행하였다. 먼저 수학적 모델식을 시뮬레이션 프로그램에서 사용할 수 있도록 실제 센서에서 획득한 데이터와 비교하여 서로 일치함을 검증하였다. 또한 획득되는 자기장과 조향 명령 사이의 관계가 비선형적이므로 비선형제어에 우수한 성능을 갖는 퍼지 조향 제어기를 설계하였다. 모델식과 퍼지 조향 제어기를 로봇의 동적 모델링, 좌표변환을 이용하여 자율 이동 로봇 시뮬레이션 프로그램을 제작하였다. 시뮬레이션의 직선 및 곡선 이동로의 주행을 통하여 제안한 퍼지 조향 제어기의 효용성을 검증하였다. 향후 과제로서 제안한 퍼지제어 알고리즘을 실제 실외형 이동로봇에 적용할 수 있음을 검증해야 한다.

[참 고 문 헌]

[1]T. Lund, H. Hartmut, J. Huser, L. Peters, "A Mixed Analogue/Digital Fuzzy System for Indoor Mobile Robot Navigation", Intelligent Information System ANZIS-95 Proc. on, pp 204-209, 1995
 [2]M. Toda, O. Kiani, T. Okamoto, T. Torii, "Navigation Method for a Mobile Robot via Sonar-based Crop Row Mapping and Fuzzy Logic Control", J. Agric. Engng Res. pp 299-309, 1999
 [3]David J. Kriegman, Ernst Triendl, Thomas o. Binford, "Stereo Vision and Navigation in Buildings for Mobile Robots", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 5, NO. 6, pp 792-803 1989
 [4]Ishay Kamon, Student Member, IEEE, Ehud Rivlin, Member, IEEE, "Sensory-Based Motion Planning with Global Proofs", IEEE Tran. on Robotics and Automation, Vol. 13, No. 6, pp. 814-822, 1997
 [5]A. G. karmeta, H. M. Barbera, M. S. Alonso, "A Fuzzy logic Based Language to Model Automomous Mobile Robots", IEEE Int. Fuzzy Systems Con. Proc. pp. 550-555, 1999
 [6]Ching-Chih Tsai, Member, IEEE, "A Localization System of a Mobile Robot by Fusing Dead-Reckoning and Ultrasonic Measurements", IEEE Transaction and Measurement, Vol. 47, No. 5 pp. 1399-1404, 1998
 [7]Young-jae Ryoo, Young-Cheol Lim, "Neuro_Fuzzy Control System for Vision-Based Autonomous

Vehicle", IEEE Fuzzy Systems Con. Proc. pp 1643-1648 1999
 [8]Seok-Jun Son, Young-Jae Ryoo, "The Lateral Guidance System of an Autonomous Vehicle Using a Neural Network Model of Magneto-Resistive Sensor and Magnetic Fields", ICEE2K, pp.477-480, 2000.