

구륜 이동 로봇의 경로추적을 위한 퍼지-신경망을 이용한 제어기 설계

A Design of Fuzzy-Neural Network Algorithm Controller for Path-Tracking in Wheeled Mobile Robot

김 제 현*, 김 상 원**, 이 용 현***, 박 종 국****

* 경희대학교 전자공학과(전화:(031)201-2957, 팩스:(031)204-4968, E-mail : kokoi3@hotmail.com)

** 경희대학교 전자공학과(전화:(031)201-2957, 팩스:(031)204-4968, E-mail : netcon@autolab.knu.ac.kr)

*** 강남대학교 지식정보 공학부(전화:(031)280-3807, 팩스:(031)280-3884, E-mail : yhlee@kns.kangnam.ac.kr)

**** 경희대학교 전자공학과(전화:(031)201-2957, 팩스:(031)204-4968, E-mail : ckpark@knu.ac.kr)

Abstract : It is hard to control the wheeled mobile robot because of uncertainty of modeling, non-holonomic constraint and so on. To solve the problems, we design the controller of wheeled mobile robot based on fuzzy-neural network algorithm. In this paper, we should research the problem of classical controller for path-tracking algorithm and design of Fuzzy-Neural Network algorithm controller. Classical controller acquired different control value according to change of initial position and direction, In this control value having very difficult and having acquired a lot of trial and error. Fuzzy is implemented to adaptive adjust control value by error and change of error and neural network is implemented to adaptive adjust the control gain during the optimization. The computer simulation shows that the proposed fuzzy-neural network controller is effective.

Keywords : Wheeled Mobile Robot, Fuzzy, Neural Network

1. 서 론

구륜 이동 로봇의 궁극적 목적은 외부의 지원 없이 자율적으로 목적 지점으로 이동하는 것이다. 또한 이동 로봇은 경로 설계기에 의해 설정된 기준경로와 위치추정에 의해 추정된 위치사이의 경로 오차를 보상하는 방법으로 이동한다. 그러나 구륜 이동 로봇에서 고전적으로 사용되는 제어기는 환경에 대한 적응력이 떨어져 초기 위치의 변화나 다른 환경적인 요인으로 인하여 많은 영향을 받는다 [1] [2]. 이러한 문제를 해결하기 위해 퍼지-신경망을 결합하여 외부 환경요인에 대한 적응력을 높일 수 있는 제어기를 설계 하고자 한다.

본 논문에서는 4륜 2자유도 이동 로봇을 대상으로 기준 궤적에 대하여 초기 위치와 방향에 따른 경로추적을 위한 제어 이득 값의 영향을 Lyapunov Theory를 통해 설계한 제어기를 컴퓨터 모의실험을 통하여 확인하였다. 퍼지-신경망을 결합한 제어기를 통하여 기존 제어기의 문제점을 해결하고, 모의 실험을 통하여 향상된 성능을 확인 하였다.

2. 본 론

2.1 구륜 이동 로봇 구조

본 논문에서 연구되어진 4륜 구륜이동로봇의 좌표 할당은 그림1과 같다.

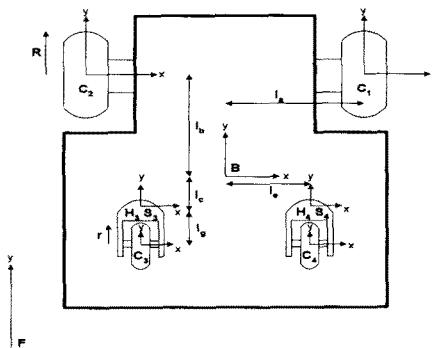


그림 1. 구륜 이동로봇의 좌표할당

Fig 1. Assignment of coordinate system in wheeled mobile robot

2개의 전륜은 구동구륜이고, 2개의 후륜은 구륜 이동 로봇의 안정을 위한 보조구륜이다. 구륜이동로봇의

방향 전환은 두개의 독립적인 구동구륜의 속도 차에 의해 이루어진다. 구륜 이동 로봇의 위치는 $\mathbf{X} = (x, y, \theta)$ 로 표현된다. 여기서 (x, y) 는 제어 점 (controlled-point)의 직각 좌표계이며, θ 는 기준 좌표계의 x축에 대한 구륜이동 로봇의 x축의 방향각을 나타낸다.

2.2 기구학적 모델링

구륜 이동 로봇의 기구학 모델링 단순화를 위해 다음과 같이 가정 한다.

- ① 구륜 이동로봇은 평지에서 이동한다.
- ② 구륜과 주행 면 사이의 접촉점에서는 미끄러짐이 발생하지 않는다.
- ③ 구륜 이동로봇의 구조는 강체이다.

2.2.1 역기구학

역기구학에서는 구륜 이동 로봇이 주어진 기준궤적을 추적하기 위한 구륜의 속도를 구한다. 구륜 이동 로봇의 역 기구학 해는 다음과 같다 [1] [2].

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} {}^A_1 \omega_{W_x} \\ {}^A_2 \omega_{W_x} \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{R(l_b^2 + 1)} \begin{bmatrix} -l_a l_b & -l_a - 1 & l_a \\ l_a l_b & -l_b^2 - 1 & -l_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{B} v_{B_x} \\ \bar{B} v_{B_y} \\ \bar{B} \omega_{B_z} \end{bmatrix} \quad (1) \end{aligned}$$

여기서

- ${}^A_i \omega_{W_i}$: 구동구륜의 속도 ($i = 1, 2$)
- $\bar{B} v_{B_i}$: 본체 좌표계에 대한 본체의 속도 ($i = x, y$)
- $\bar{B} \omega_{B_z}$: Z축에 대한 본체의 회전속도
- R : 구동 구륜의 반경
- l_a : 본체의 폭

2.2.2 전향 기구학

전향 기구학에서는 엔코더(Encoder)에 의해 측정된 구륜의 속도로부터 구륜 이동로봇 본체의 속도를 구한다. 구륜 이동 로봇의 전향 기구학 해는 다음과 같다 [1] [2].

$$\begin{bmatrix} \bar{B} v_{B_x} \\ \bar{B} v_{B_y} \\ \bar{B} \omega_{B_z} \end{bmatrix} = \frac{R}{2l_a} \begin{bmatrix} -l_b & -l_b \\ -l_a & -l_a \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^A_1 \omega_{W_x} \\ {}^A_2 \omega_{W_x} \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.3 오차에 대한 정의

여기서 \mathbf{T}_e 는 기준 좌표계에 대한 위치 오차의 변환 행렬이며, \mathbf{P}_r 와 \mathbf{P}_c 는 기준 위치와 현재 위치이다. 경로추적의 목적은 위에서 정의한 오차가 “0”으로 수렴하게 하기 위한 것이다.

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_e &= \begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ \theta_e \end{bmatrix} = T_e(\mathbf{P}_r - \mathbf{P}_c) \\ &= \begin{bmatrix} \cos \theta_c & \sin \theta_c & 0 \\ \sin \theta_c & \cos \theta_c & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r - x_c \\ y_r - y_c \\ \theta_r - \theta_c \end{bmatrix} \quad (3) \end{aligned}$$

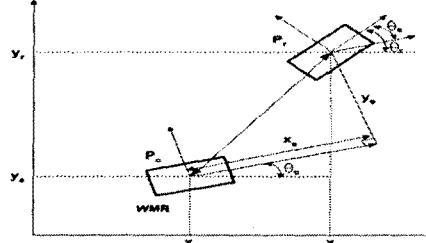


그림 2. 위치오차 정의

Fig. 2. Definition of position error

2.4 제어기

2.4.1 제어기 설계

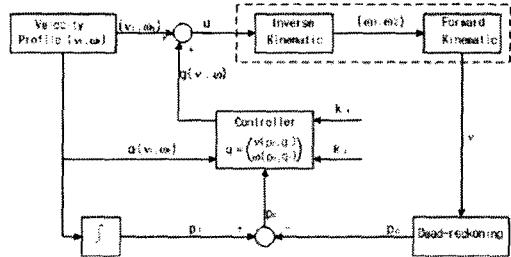


그림 3. 고전적인 제어기 블록도

Fig. 3. The block diagram of classical controller

식(3)의 각각의 성분 P_e, P_r, P_c 는 모두 시간에 대한 함수이므로 시간에 대해 미분, 정리하여 시스템에 대한 기준입력 $q = (v_r, w_r)^T$ 과 오차를 보상하기 위해 필요한 입력 $q = (v(p_e, q_r), w(p_e, q_r))^T$ 으로 나타내면 다음과 같다 [3] [4].

$$\begin{aligned} P_e &= f(t, p_e) \quad (4) \\ &= \begin{bmatrix} w(p_e, q_r)y_e - v(p_e, q_r) + v_r \cos \theta_e \\ -w(p_e, q_r)x_e + v_r \sin \theta_e \\ w_r - w(p_e, q_r) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

비선형 시스템에 대해 점선적으로 안정하기 위한 입력 $q = (v(p_e, q_r), w(P_e, q_r))^T$ 을 결정하기 위하여 다음의 Lyapunov 함수를 사용한다.

$$V = \frac{1}{2} (k_x x_e^2 + k_y y_e^2) + (1 - \cos \theta) \quad (5)$$

여기서 k_x, k_y 는 양의 상수이다.

시스템을 안정하게 하기 위한 입력, 즉 제어규칙은 제안된 Lyapunov 함수에 대한 다음의 조건, 즉 시스템이 안정하기 위한 조건을 만족하여야 한다 [3] [4].

$$V \geq 0 \text{ and } \dot{V} < 0 \quad (6)$$

식 (6)의 조건을 만족하는 제어입력은 다음과 같이 제시될 수 있다.

$$q = \begin{bmatrix} v(p_e, q_r) \\ w(p_e, q_r) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_r \cos \theta_e + k_x x_e \\ w_r + v_r (k_y y_e + k_\theta \cos \theta_e) \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서 k_x, k_y, k_θ 은 양의 상수이다.

2.4.2 모의실험

로봇의 위치 추종 시 가장 많이 영향을 주는 것으로 이득 값 k_x, k_y 이다. 초기 위치 $(0, 0, 0)$ 에서의 $k_x=10.106, k_y=10.64$ 일 때와 초기 위치가 달라짐에 따라 로봇이 이동 궤적의 변화를 모의 실험을 하였다.

모의 실험은 구륜 이동 로봇이 추적해야 할 초기위치에서 사선으로 일정하게 X, Y 축으로 증가하여 종점 $(10, 10, 45^\circ)$ 으로 가는 것이다. 이때 초기 위치와 방향은 $(0, 0, 0)$ 를 기준으로 X, Y위치와 방향을 $0^\circ \sim 90^\circ$ 까지 변화를 주어 각각의 위치 추종 형태를 확인하였다.

이때 모의실험에 사용된 구륜의 재원과 매개 변수는 표1과 같다.

표 1 구륜 이동 로봇의 재원 및 매개 변수

TABLE 1. Resource and Parameter of WMR

기호	수치값	단위	내용
l_a	0.22	m	본체 폭/2
l_b	0.25	m	본체 길이/2
l_c	0.22	m	보조구륜의 y변위
l_d	0.11	m	구동구륜의 z변위
l_e	0.12	m	보조구륜의 x변위
l_f	0.15	m	보조구륜의 z변위
R	0.05	m	구동구륜의 반경
r	0.025	m	보조구륜의 반경

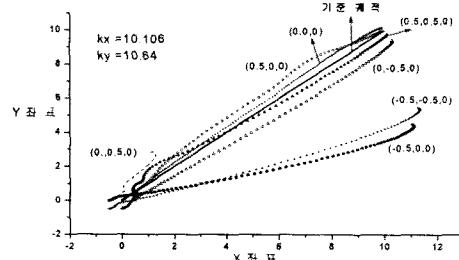


그림 4. 초기위치 변화에 따른 로봇의 이동궤적
Fig. 4. The Path-tracking for the change of initial position

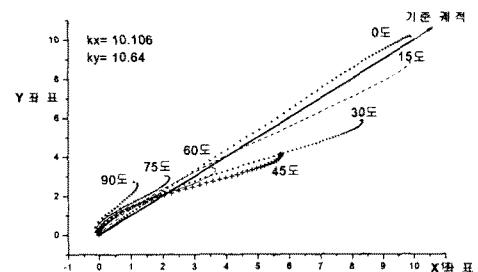


그림 5. 초기 각도 변화에 따른 로봇의 이동궤적
Fig. 5. The Path-tracking for the change of initial angle

Lyapunov Theory를 통하여 설계한 제어기를 통한 모의실험 결과와 같이 구륜 이동 로봇의 초기위치와 방향에 따라 제어기 이득 값이 고정된 값일 경우 위치 추정에 문제점을 그림 4, 그림 5을 통하여 알 수 있고, 제어 이득 값은 초기 위치나 방향의 변할 경우 각기 다른 값을 설정해 주어야 한다는 결론을 확인하였다.

3. 퍼지-신경망 제어기

3.1 퍼지-신경망 알고리즘 적용

퍼지-신경망을 이용한 제어기의 형태는 그림 6과 같다.

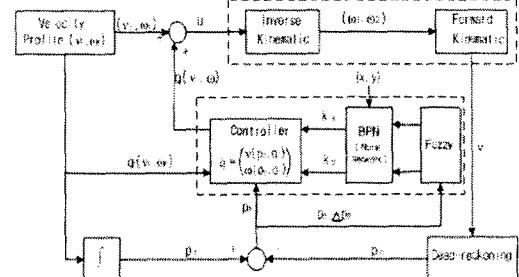


그림 6. 퍼지-신경망을 이용한 제어기 블록도

Fig. 6. The block diagram of controller of Fuzzy-Neural Network

제어기에 제어 이득 값 k_x, k_y 를 초기 위치와 방향에 따라 퍼지-신경망을 통하여 변화시킨다. 그림 7과 같이 퍼지 알고리즘은 위치 어려 P_e (x_e, y_e, θ_e)와 어려 변화율 ΔP_e ($\Delta x_e, \Delta y_e, \Delta \theta_e$)을 이용하여 제어 이득값(Control value)을 출력하게 된다. 그러나 Defuzzify 값은 정규화 된 값이기 때문에 일정한 출력 이득 값을 곱해야 하는데 이 부분에 신경망 알고리즘을 적용하여 최적화 하였다 [5] [6].

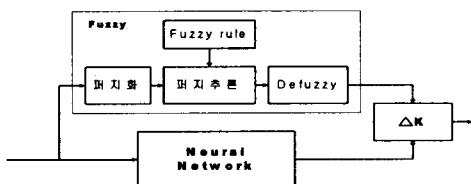


그림 7. 퍼지-신경망 블록도

Fig. 7. The block diagram of Fuzzy-Neural Network

Fuzzy 알고리즘의 퍼지 추론 방법으로 MANDANI법칙을 적용하였고, Defuzzy는 무게 중심법 (Center of Gravity) 사용하였으며 신경망은 일반적인 BPN을 사용하였다.

3.2 퍼지-신경망 알고리즘 모의실험

그림 8과 같이 퍼지-신경망을 이용하여 제어 이득 값을 변화 시킨 경우 경로 추정에 있어 초기 위치에 관계없이 능동적인 것을 확인 할 수 있다.

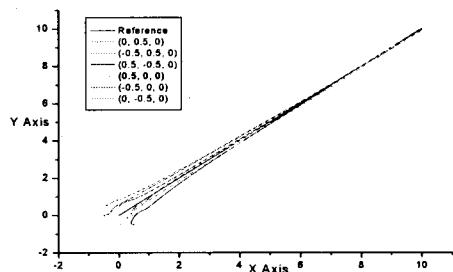


그림 8. 퍼지-신경망 제어기의 초기위치 변화에 따른
로봇의 이동궤적

Fig. 8. The Path-tracking for the change of initial position

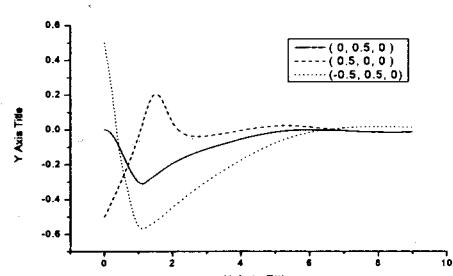


그림 9 초기 위치에 따른 X 방향 오차 변화

Fig. 9. The Error for X-axis the change of initial position

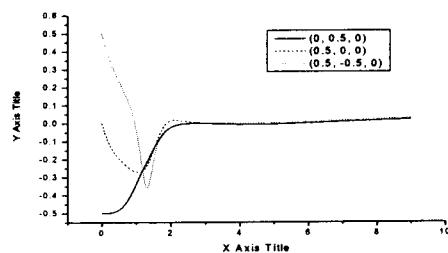


그림 10 초기 위치에 따른 Y 방향 오차 변화

Fig. 10. The Error for Y-axis the change of initial position

4. 결 론

로봇이 지니는 지역적 한계성을 극복하기 위하여 구륜 이동 로봇에 대한 연구가 진행되고 있으나, 구륜 이동 로봇의 모델링의 불확실성이거나 Non-holonomic 등의 제약조건과 환경에 대한 적응력이 떨어지는 문제점을 지니게 된다. 이러한 어려움을 해결하기 위하여 본 논문에서는 퍼지-신경망 알고리즘 제어기를 설계하였다. Control rule에 사용된 이득 값을 퍼지-신경망 알고리즘으로 조정함으로써 추적에서의 오차를 감소시킬 수 있었다. 본 논문에서는 모의실험을 통하여 고전 제어기의 초기위치와 각도변화에 따른 문제점을 확인하였고, 퍼지-신경망 알고리즘을 이용하여 초기위치에 따른 경로 추적의 문제점을 해결하기 위한 제어기를 설계하였다. 이 본문에서 제안된 퍼지-신경망 제어기를 이용한 컴퓨터 모의 실험을 통해 제어기의 유용성을 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] A. Meystel, Autonomous Mobile Robots, World Scientific, 1991.
- [2] Yuan F. Zheng, Recent Trends in Mobile Robots. World Scientific. 1993
- [3] C. Samson and K. Ait-Abderrahim, "Feedback Control of a Non-holonomics Wheeled Cart in Cartesian Space", IEEE Inter. Conf. Robotics and Auto., pp. 1136-1141, 1991.
- [4] Y. Kanayama, Y. Kimuro, F. Miyazai, T. Noguchi. "A Stable Tracking Control Method for an Autonomous Mobile Robot." IEEE Trans. Robotics and Auto, pp. 384-389. 1990.
- [5] Sang-Won kim, Sung-hoe kim, Sun-ho Cho and Chong-Kug Park, "A Design of Controller for 4-Wheeled 2-D.O.F Mobile Robot Using Fuzzy Genetic Algorithm", AFSS, pp.607-612. 1998.
- [6] 김문수, 김정도, 홍철호, 정영창, "퍼지 뉴럴 네트워크를 이용한 퍼지 제어기 설계", KACC, 제14권, PP. 88-91. 1999.