

신경망을 이용한 이동로봇의 자기동조 제어기 설계

김동욱 · 광일두 · 이양우

Design of Mobile Robot Auto-Tuning Controller Using Nueal Networks

Kim Dong Wook · Kwak Il Doo · Lee Yang Woo  
E&E Department Donggeui University

**Abstract** - In this paper, we propose an auto-tuning control algorithm for a mobile robot. This controller consists of a three layer neural networks and a PID controller. In order to compensate for uncertainties from unknown dynamics and ignored dynamic effects such as slip conditions, neural network based position schemes are proposed. The results of simulations show the validity of proposed method. This controller learns quickly the model and has good position control performance.

1. 서 론

이동로봇은 산업의 발달에 더불어 단순히 어떤 물체를 이동 시켜주는 의미만을 강조하는 것을 넘어서 최근에는 적절한 작업 장소로 이동시켜주고 이동 후에 작업로봇과 협동하면서 작업을 수행하는 것에 관한 관심이 높아지고 있다[1][2]. 지능형 이동 로봇은 정해진 경로를 단순히 이동하는 것이 아니라 미지의 장애물을 감지하여 새로운 경로를 설정하고 장애물을 회피하는 능력을 가진 이동의 자유도를 지닌 로봇을 의미한다. 이동 로봇은 광범위한 범위에서 작업을 하기 때문에 자동화 및 무인화 시스템을 위해서 필수적인 기술로써 많은 연구가 필요하다.

이동로봇은 non-holonomic 시스템으로 상태변수와 제어입력변수의 수가 다르므로 동력학을 기반으로 위치 제어시 구속조건을 만족해야 하고, 제어 변수를 선택적으로 취해야 함으로 제어가 어렵다. 또한 바퀴의 슬립이나 바퀴의 불균형 등의 동적인 요소를 고려하지 않는데서 오는 위치 오차가 발생한다[3].

이러한 이동 로봇은 바퀴와 몸체에 대한 모델링에 있어서 불확실성 및 측정잡음을 고려하지 않아 실제 주행 시 많은 오차를 발생할 수 있다. 따라서 비선형의 성질의 요소를 가지고 단순한 PID 제어기를 사용하여 제어하는 많은 오차가 발생한다. 그래서 제어대상에 대한 정확한 수학적 모델링을 요구하지 않아 불확실한 자료를 처리 할 수 있고 학습 능력을 가지고 있는 신경회로망을 PID 제어기에 적용하여 위치 오차값을 추정하여 보상해 주고 간단한 구조를 가지는 모터부분을 PD 제어기를 사용하여 제어하면 정밀한 위치제어가 가능한 제어기를 설계할 수 있다.

2. 이동 로봇의 수학적 모델

2.1 기구학 모델링

기구학적 모델링은 다음의 3가지 가정으로부터 이루어진다.

- 1) 바퀴형 이동로봇은 동작에 있어서의 진동은 무시한다.
- 2) 이동 로봇은 평면을 움직인다(바닥의 요철등의 굴곡 무시).
- 3) 바퀴와 표면사이의 회전 마찰력은 회전 미끄럼을 허

용할 정도로 매우 작다.

위의 가정하에서 바퀴의 각속도와 이동 로봇의 전진방향 속도 사이의 관계를 나타낸다. 그림 1은 이동 로봇의 움직임을 x-y 좌표계에 나타낸 것이다.

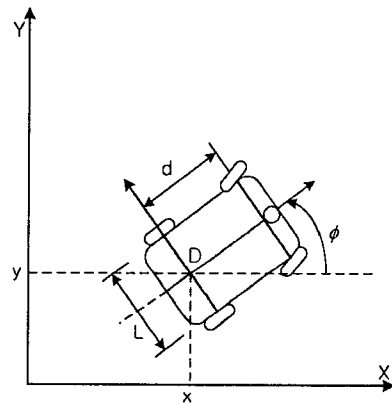


그림 1 이동로봇의 좌표계  
Fig. 1 Coordinates of Mobile Robot

여기서  $r$ 은 바퀴의 반지름,  $L$ 은 바퀴사이의 거리,  $G$ 는 이동로봇의 무게중심,  $D$ 는 바퀴의 중심,  $d$ 는 무게중심에서 바퀴축 간의 최단거리이다. 이때 무게 중심  $G$ 에서 로봇의 선속도를  $v$  각속도를  $\omega$ 로 두고 각 축 방향의 속도로 분할하여 식(1)과 같다[4].

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & -d \sin \phi \\ \sin \phi & d \cos \phi \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (1)$$

양쪽 바퀴의 각속도와 로봇의 속도와의 관계는 다음과 같다

$$\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} & \frac{r}{2} \\ \frac{r}{L} & -\frac{r}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_R \\ w_L \end{bmatrix} \quad (2)$$

그러므로 각 바퀴의 각속도에 의해서 결정되어지는 직교 좌표는 식 (1) 과 (2)를 연립하므로  $d=0$ 일 때 다음과 같이 구할수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} \cos \phi & \frac{r}{2} \cos \phi \\ \frac{r}{2} \sin \phi & \frac{r}{2} \sin \phi \\ \frac{r}{L} & -\frac{r}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_R \\ w_L \end{bmatrix} \quad (3)$$

## 2.2 동력학 모델링

이동로봇의 동력학적 모델은 시스템의 마찰 및 외란 등이 고려될 수 있어 실제 시스템에 근접한 모델이다. 이동로봇의 움직임은 평면에서 움직이므로 위치 에너지는 없고 운동에너지에 의해 운동한다고 가정한다.

그림 1에서 제시된 형태의 이동로봇의 모델은 다음과 같다[5].

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) = P(q)\tau - A^T\lambda \quad (4)$$

$M(q)$ 는  $n \times n$  관성행렬,  $V(q, \dot{q})$ 는  $n \times 1$  원심력 및 코리올리스 벡터,  $P(q)$ 는  $n \times r$  입력 변환 행렬,  $\tau$ 는  $r \times 1$  입력 토크 벡터,  $A(q)$ 는  $m \times n$  자코비안 행렬, 그리고  $\lambda$ 는  $m \times 1$  라그랑지안 multiplier 또는 구속된 힘의 벡터를 나타낸다.

여기서 동력학식을 간단히 하면 다음과 같다.

$$S^T M(q) S(q) \ddot{\theta}(t) + S^T V(q, \dot{q}) = \tau \quad (5)$$

여기서  $b = \frac{L}{2}$ ,  $c = \frac{r}{L}$ 로 정의하고 행렬  $S(q)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$S(q) = \begin{bmatrix} c(b \cos \phi - d \sin \phi) & c(b \cos \phi + d \sin \phi) \\ c(b \sin \phi + d \cos \phi) & c(b \sin \phi - d \cos \phi) \\ 1 & -1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

식(6)의  $S(q)$  행렬은 식(8)의  $A(q)$  행렬을 통해  $A(q)S(q) = 0$  또는  $S^T(q)A^T(q) = 0$ 을 만족하도록 구해진다. 정리하면 결국 조인트 공간에서의 토크방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} D_{11} \ddot{\theta}_R + D_{12} \ddot{\theta}_L + 2c^3 b d \alpha (m + m_c)(\theta_R \theta_L - \theta^2_L) &= \tau_R \\ D_{21} \ddot{\theta}_R + D_{22} \ddot{\theta}_L + 2c^3 b d \alpha (m + m_c)(\theta_R \theta_L - \theta^2_R) &= \tau_L \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 각 관성성분은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} D_{11} &= c^2 m (b^2 + d^2) + 2c^2 d^2 m_c + c^2 I + I_w \\ D_{12} &= c^2 [m \alpha (b^2 - d^2) - 2d^2 m_c - I] \\ D_{21} &= c^2 [m \alpha (b^2 - d^2) - 2d^2 m_c - I] \\ D_{22} &= c^2 m (b^2 + d^2) + 2c^2 d^2 m_c + c^2 I + I_w \end{aligned}$$

무게의 중심이 바퀴의 중심축의 연장선상에 있을 때, 즉  $d=0$ 일 때 동력학식은 다음 (8)과 같이 간단하게 된다.

$$\begin{bmatrix} m b^2 c^2 + I c^2 + I_w & c^2 (m b^2 - I) \\ c^2 (m b^2 - I) & m b^2 c^2 + I c^2 + I_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_R \\ \ddot{\theta}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_R \\ \tau_L \end{bmatrix} \quad (8)$$

## 3. 자기 동조 제어기

본 논문에서 사용되는 제어기는 간접 구조를 가지는 신경회로망을 이용하여 자동 동조하였다. 신경망 구조는 입력층, 은닉층과 출력층 총 3층 구조이고 은닉층은 10개이다. 또한 학습방법으로는 오류 역전파 알고리즘을 사용하였다. 전체 제어기 구조는 그림 2와 같다[6][7].

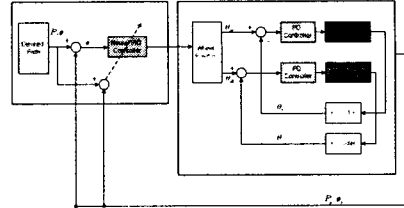


그림 2 이동 로봇의 제어 블록도

Fig. 2 control block Diagram of mobile robot

여기서 이동로봇의 모터를 제어하는 PD 제어기의 제어 법칙은 다음 식 (9)과 같다

$$\tau = k_d(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) + k_p(\theta_d - \theta) \quad (9)$$

이때 여기서  $k_p$ ,  $k_d$ 는 제어 이득값 이고  $\theta_d$ 는 원하는 바퀴의 회전수이다. 다음으로 위치 뉴럴 PID 제어기는 우선 위치 정보로부터 알 수 있는 직교좌표의 오차는

$$\begin{aligned} P_e &= \sqrt{x_e^2 + y_e^2} \\ \phi_e &= \phi_d - \phi \end{aligned} \quad (10)$$

이다. 여기서  $P_e$ 는 위치에 대한 거리오차이고  $\phi_e$ 는 목표지점에 각도오차이다. 식을 오차로 구성된 뉴럴 PD 제어입력은 다음 식 (11)과 같다.

$$\tau = K_{pp} \dot{P}_e + K_{dp} \dot{\phi}_e + k_{pp} P_e + k_{d\phi} \dot{\phi}_e \quad (11)$$

여기서  $K_{pp}$ ,  $K_{dp}$ 는 위치제어 이득값이고  $K_{pp}$ ,  $K_{d\phi}$ 는 헤딩각 제어 이득값이다. 각각의 위치제어 및 헤딩각 제어 이득값은 식을 적용하여 구할 수 있다. 또한 여기서 사용한 활성화함수는 시그모이드 함수이다.

## 3. 시뮬레이션

제안된 제어기를 사용하여 이동 로봇의 이동 경로를 추종하였다. 그림 3은 이동로봇의 경로 추적에 결과이고 그림 4와 5는 추적시 로봇의 각도 및 속도에 대한 그래프이다.

그림에서 알 수 있듯이 추적시 계획경로에 수렴하고 각 요소의 오차들이 수정되는 것을 알 수 있다.

### 3. 결론

본 연구는 신경회로망 학습구조를 가지는 PID 제어를 이용하여 이동로봇에 자동 동조 제어를 제안하였다. 이동로봇은 non-holonomic 시스템으로 상태변수와 제어 입력변수의 수가 다르므로 동력학을 기반으로 위치 제어 시 구속조건을 만족해야 하고, 제어 변수를 선택적으로 취해야 함으로 제어가 어렵다. 또한 바퀴의 슬립이나 바퀴의 불균형 등의 고려사항이 존재하여 이에 대한 보상으로 신경회로망을 추가하였다.

그에 따른 결과로 추적시 계획경로에 수렴하고 각 요소의 오차들이 수정되는 것을 알 수 있다.

### [참고 문헌]

- [1] A. Moran, N. Tokunaga and M. Hayase, "Autonomous motion control of mobile robots using fuzzy neural networks", Third International Conf. on Motion and Vibration Control, pp. 104-109, 1996.
- [2] H. Miyamoto, M. Kawato, T. Sctoyama and R. Susuki, "Feedback error learning neural network for trajectory control of a robotic manipulator.", Neural Networks, vol. 1, pp. 251-265, 1988.
- [3] N. Sarkar, X. Yun, V. Kumar, "Control of Mechanical systems with rolling constraints : Application to dynamic control of mobile robots", The International Journal of Robotics Research, vol. 13, no. 1, pp. 55-69, 1994.
- [4] Y. L. Zhang, S. A. Velinsky, and X. Feng, "On the tracking control of differentially steered wheeled mobile robots", Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, vol. 119, 455-461, 1997.
- [5] N. Sarkar, X. Yun, and V. Kumar, "Control of mechanical systems with rolling constraints: Application to dynamic control of mobile robots," The International Journal of Robotics Research, vol. 13, n0. 1, pp 55-69, 1994.
- [6] Ishida, Y. and et. all, "Nonlinear PID controller using neural networks", IEEE International Conf. on Neural networks, pp. 811-814, 1997.
- [7] Jota F. G., "Practical automatic tuning methods of PID controllers for a sour water stripper", IEEE International symposium on intelligent control, Columbus, Ohio, USA, pp. 22-36, 1994.

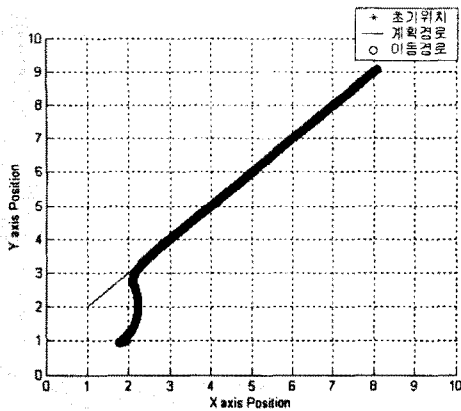


그림 3 이동로봇의 경로 추적 결과  
Fig. 3 Path tracking result of Mobile Robot

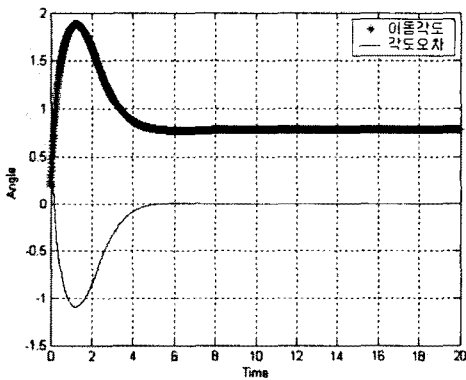


그림 4 이동 로봇의 각도 및 각도 오차  
Fig.4 of Mobile Robot of angle and angle error

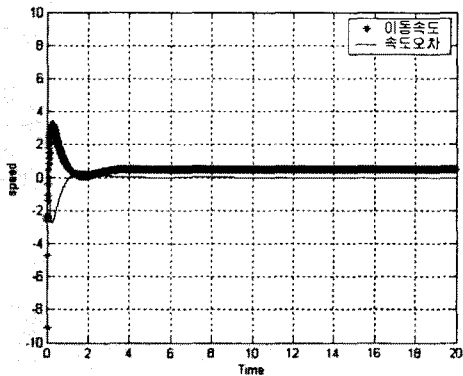


그림 5 이동 로봇의 속도 및 속도 오차  
Fig.5 of Mobile Robot of speed and speed error