

신경 회로 이론을 이용한 이동 로봇의 경로 제어에 관한 연구 (Path Control for a Mobile Robot Using Neural Network)

신철권, 조형서
(C.K.Shin, H.S.Cho)

한국과학기술원 생산공학과
(KAIST, Dept. of Production Eng.)

Abstract

This paper presents a path control method for mobile robot using neural network and a systematic method for the kinematic and dynamic modelling of a mobile robot. The robot finds its path deviation by taking the signals of an optical array sensor and determines its moving behaviors using neural net control method. A robot can be taught behaviors by changing the given patterns, in this work, Back Propagation rule is used as a learning method.

1. 서론

현재 산업계에서 실용화되고 있는 대부분의 이동 로봇은 작업장 바닥에 설치된 연속적인 고정 궤도를 따라서 운행하는 방식을 택하고 있다.[1,2] 이러한 경로운행 방식은 고정궤도를 감지하면서 주행하므로 위치 제어특성이 매우 우수하기는 하나 시스템 운용의 유연성이 떨어져 장애물 등 돌발 사고에 대한 대응 능력이 한층더 낮다는 결점을 가지고 있다.[3] 따라서 이러한 결점을 보완하기 위해서 무궤도 방식의 이동 로봇 주행법에 관한 연구 및 개발이 활발하게 진행되고 있으며 산업현장에도 실용화 단계에 와있다.[4,5,6]

본 논문에서는 무궤도 방식 주행법의 일환으로 절대 좌표계에서의 정밀 위치 보상을 위하여 경로의 중간 중간에 광 FIBER를 이용한 LASER BEAM을 설치하고 이동 로봇의 상부에도 PHOTO DIODE를 이용한 배열 센서(그림 2)를 장착하여 경로오차를 보정하는 방식을 도입하였다.

그러나 VISION, 초음파, 광 DIODE등의 절대 경로보정 센서등을 이용한다 할지라도 이동 로봇의 정밀한 경로 보정을 위해서는 시스템의 DYNAMICS 해석이 우선 되어져야 할 것이다.

일반적으로 이동 로봇의 DYNAMICS는 해석상의 여러가지 복잡한 요소를 가지고 있어 보통은 저속으로 움직인다는 가정하에 KINEMATICS만을 고려하는 경향이 있어 왔다.[7,8]

그러나 최근 들어 MUIR and NEUMAN(1987) 등이 CHAIN RULE을 이용하는 이동 로봇의 DYNAMICS 해석을 시도하였고, 또한 SAHA and ANGELES (1989)등은 평면운동을 하는 이동 로봇에 쉽게 적용가능한 DYNAMICS 해석을 ORTHOGONAL COMPLEMENT RULE을 이용하여 전개하였다.

본 논문에서는 본 실험실에서 제작된 이동 로봇 LCAR의 DYNAMICS 해석을 통하여 시스템 모델링을 구현하였으며 이동 로봇의 경로 제어를 위하여 신경회로망 이론을 적용한다.

이동 로봇의 경로 제어는 FEEDBACK된 경로오차와 시스템 구동 입력간의 관계가 복잡한 비선형성을 가지고 있기때문에 경로 제어기에 신경회로망을 구성하고 실제 주행상에서 나타날 수 있는 100가지 PATTERN에 대하여 가중치 행렬값을 반복 훈련을 통하여 구하였다.

2. 시스템의 구성

본 이동 로봇 LCAR는 그림 1과 같이 4개의 WHEEL로 구성되어진다. 좌우 WHEEL은 SERVO MOTOR 에 의해 구동 되고 전후 WHEEL은 증동륜이다. 이동 로봇의 주행 방향 및 주행속도는 좌우 WHEEL의 속도차 및 속도 평균에 의해 결정되어지며 그 관계식은 다음과 같다.

주행 방향의 YAW각속도 ω 는

$$\omega = R / L \times (\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) \quad \dots (2.1)$$

주행속도 V 는

$$V = R / 2 \times (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \quad \dots (2.2)$$

여기서

$\dot{\theta}_1$: 좌우 WHEEL의 회전속도

$\dot{\theta}_2$: 우측 WHEEL의 회전속도

R : 좌우 WHEEL의 반경

L : 좌우 WHEEL간의 거리

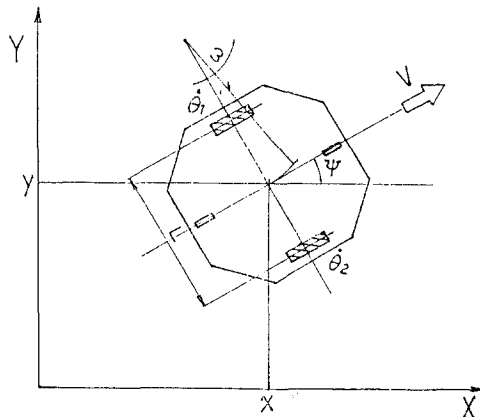
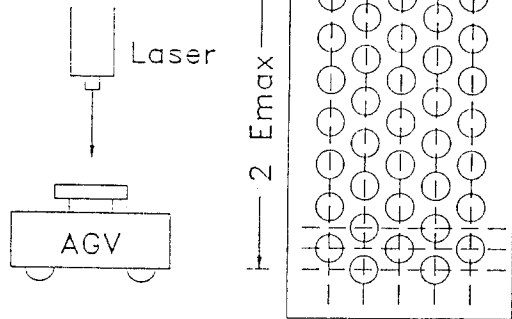


그림.1 이동 로봇 LCAR의 구성 및 좌표계

주행중인 이동 로봇의 상대 위치 정보는 좌우 구동 WHEEL 에 설치된 ENCODER 신호로부터 얻을 수 있으며 이동 로봇은 이를 통하여 경로제어를 한다. 그러나 ENCODER 는 상대 위치 센서로서 WHEEL 의 SLIP 이나 외란으로 인한 절대 위치의 오차는 보정해 줄 수 없으므로 이의 보정은

OPTICAL 절대 위치 센서를 이용하였다. OPTICAL 절대 위치 센서는 그림 2와 같이 PHOTO DIODE를 MATRIX 형태로 배열한 구조이며 이동 로봇트의 상부에 설치한다.

Optical sensor array



Emax; maximum deviation bound

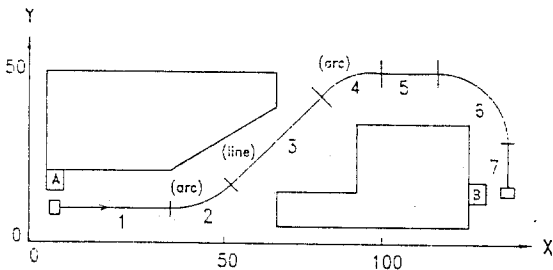
그림 2. OPTICAL 절대 위치 센서

시스템의 경로 제어를 위한 전체적인 BLOCK DIAGRAM은 그림3과 같으며

- (1) 기준 경로 발생기 (REFERENCE PATH GENERATOR)
- (2) 경로 제어기 (PATH CONTROLLER)
- (3) 이동 로봇트의 DYNAMICS
- (4) 위치 오차 보정 센서 등의 4개 부위로 구성된다.

3. 기준 경로 발생기 (REFERENCE PATH GENERATOR)

기준 경로 발생기 (RPG)는 PATH PLANNER로부터 주행 속도 PROFILE이 주어지면 이를 직선 또는 원호의 SEGMENT로 전체경로를 구획하고 또한 실제로 이동 로봇트가 매 SAMPLING 간 이동해야하는 기준 좌표를 발생하여 준다. (그림.4)



Segment Number	Segment * Type	Xd	Desired Yd	End State θd	Vd
1	1	40.00	10.00	0.00	0.50
2	2	56.97	17.03	45.00	0.50
3	1	85.03	42.97	45.00	0.50
4	2	100.00	50.00	0.00	0.50
5	1	116.00	50.00	0.00	0.50
6	2	136.20	30.00	-90.00	0.40
7	1	126.20	14.20	-90.00	0.00

* 1 - LINE, 2 - ARC

<< PATH PLAN DATA >>

그림 4. PATH PLAN DATA와 기준 좌표 발생의 예

시간 t에서의 reference position 과 heading 좌표

$Z_r(t) = [x_r(t), y_r(t), \psi_r(t)]^T$ 는 현재 경로의 segment type 과 reference speed $v_r(t)$, t-τ에서의 reference position 과 heading 좌표

$Z_r(t-\tau) = [x_r(t-\tau), y_r(t-\tau), \psi_r(t-\tau)]^T$ 에 의해 결정되어

진다. 현재 경로 segment의 끝점의 좌표를 $Z_d \equiv [x_d, y_d, \psi_d]^T$.

시작점의 좌표를 $Z_b \equiv [x_b, y_b, \psi_b]^T$, 그리고 t에서의 reference 좌표를 $Z_r(t) = [x_r(t), y_r(t), \psi_r(t)]^T$ 라 할 때 좌표계의 원점이 (x_b, y_b) 에 있고 그것의 X axis가 ψ_b 에 일치하는 이동

로봇트의 상대 좌표계는 그림 5.와 같다. 상대 좌표계에서의 reference 좌표를 $Z_r(t) = [x_f(t), y_f(t), \psi_f(t)]^T$ 라하면 Z_f 와 Z_r 과의 관계는 (3.1)식과 같다.

$$Z_r = B (Z_r(t-\tau) - Z_b) \quad (3.1)$$

여기서 transformation matrix B는 다음과 같다.

$$B = \begin{bmatrix} \cos\psi_b & \sin\psi_b & 0 \\ \sin\psi_b & \cos\psi_b & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

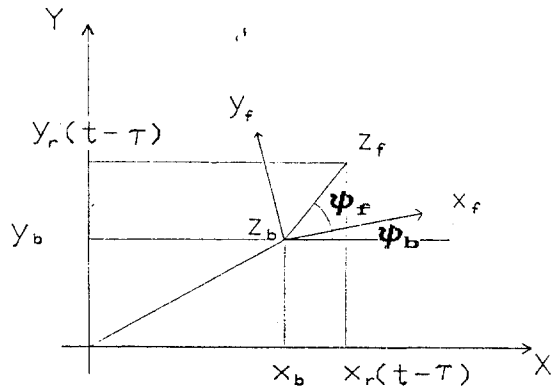


그림 5. 절대 좌표계와 상대 좌표계

변환된 상대 좌표계에서 얻어지는 이동 로봇트의 상대경로 좌표를

$Z_p \equiv [x_p, y_p, \psi_p]^T$ 로 표시하면 직선 또는 원호 segment일 때의 상대 경로 좌표 Z_p 는 각각 다음과 같다.

* 직선 segment

segment type이 직선일 경우 증분 좌표는 상대 좌표계의 X 축을 따라 $v_r(t)\tau$ 만큼 증가하며 이동 로봇트의 상대경로 좌표 Z_p 를 구하면 (3.3)식과 같다.

$$Z_p = [x_r + v_r(t)\tau, 0, 0]^T \quad (3.3)$$

* 원호 segment

segment type이 원호일 경우 원호의 곡률 반경 r_0 는 (3.4) 식과 같이 결정되며 여기서 y_b, ψ_b 는 (3.5) 식으로부터 얻어진다.

$$r_0 = y_b / (1 - \cos\psi_b) \quad (3.4)$$

$$Z_b = B (Z_d - Z_b) \quad (3.5)$$

이때 좌표 $Z_b = [x_b, y_b, \psi_b]^T$ 는 segment의 끝점과 시작점과의 상대 좌표값을 의미한다.

(3.4)식으로부터 얻어진 원호의 곡률 반경 r_0 를 이용하여 이동 로봇트의 상대 경로 좌표 Z_p 를 구하면 (3.6)식과 같다.

$$Z_p = [r_o \sin \psi_p, r_o (1 - \cos \psi_p), \psi_p]^T \dots (3.6)$$

여기서

$$\psi_p = \psi_r + v_r(t) \tau / r_o \dots (3.7)$$

따라서 (3.3) - (3.7) 식으로부터 시간 t에서의 이동로봇의 상대 경로 좌표 Z_p 가 구해지면 (3.1)식의 역변환식인 (3.8)식을 이용하여 reference 경로좌표 Z_r 을 구할 수 있게 된다.

$$Z_r(t) = B^{-1}(Z_p) + Z_o \dots (3.8)$$

4. KINEMATICS AND DYNAMICS

이동 로봇은 그림 6과 같이 5개의 PART로 구성되어 있으며 작업바닥면에 대하여 회전 운동과 평면운동의 평면운동을 한다.

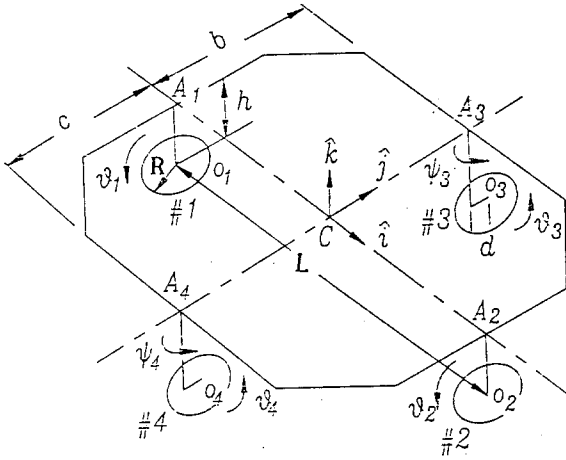


그림 6. 이동 로봇의 3-D VIEW

4.1 Kinematics 해석

(1) 속도 해석

$$\begin{aligned} V_o &= \dot{C} = V_{o1} + V_{o2} \\ &= -\dot{\theta}_1 R \hat{j} + \omega \times \overline{OC} \\ &= -R/2 \times (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \hat{j} \dots (4.1) \end{aligned}$$

(4.1)식으로부터 물체 중심 C의 twist vector $P \equiv [\omega \quad \dot{x} \quad \dot{y}]^T$

와 구동 wheel 회전 속도 vector $\dot{\theta}_m = [\dot{\theta}_1 \quad \dot{\theta}_2]^T$ 와의 관계식은 (4.2)식과 같다.

$$P = T_p \dot{\theta}_m \dots (4.2)$$

여기서

$$T_p = R/L \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 0 \\ -1/2 & -1/2 \end{bmatrix}$$

(2) 가속도 해석

이동 로봇의 가속도 $\dot{P} = [\dot{\omega} \quad \ddot{x} \quad \ddot{y}]^T$ 는 (4.2)식을 시간에

대해 미분함으로써 얻는다.

$$\dot{P} = T_p \ddot{\theta}_m + \dot{T}_p \dot{\theta}_m \dots (4.3)$$

여기서

$$\ddot{\theta}_m = [\ddot{\theta}_1 \quad \ddot{\theta}_2]^T$$

$$\dot{T}_p = (R/L)^2 \times (\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1/2 & 1/2 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(3) Inverse Kinematics

(4.2)식과 (4.3)식으로부터 INVERSE KINEMATICS를 구할 수 있다.

$$\dot{\theta}_m = T_p^{-1} P \dots (4.4)$$

$$\ddot{\theta}_m = T_p^{-1} [\dot{P} - \dot{T}_p \dot{\theta}_m] \dots (4.5)$$

여기서

$$T_p^{-1} = (T_p^T T_p)^{-1} T_p^T ; \text{generalized inverse of } T_p$$

(4) Direct Kinematics

이동 로봇상의 상대 좌표를 고정된 절대 좌표계로 나타내는 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \omega &= (R/L) \times (\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) \\ \dot{X} &= \dot{x} \cos \beta - \dot{y} \sin \beta \dots (4.6) \end{aligned}$$

$$\dot{Y} = \dot{x} \sin \beta + \dot{y} \cos \beta$$

여기서 β 는 이동 로봇상의 상대 좌표와 고정된 절대 좌표계간의 상대 각이다.

4.2 Dynamics 해석

(1) Equations of Motion

Newton-Euler equation을 써보면 아래와 같다.

$$n_i = I_i \dot{\omega}_i + \omega_i \times I_i \omega_i$$

$$f_i = m_i \ddot{r}_i \dots (4.7)$$

(4.7)식을 하나의 식으로 정리하면

$$M \dot{P} = -WMP + R \dots (4.8)$$

여기서 R는 body에 작용하는 wrench vector이므로

$$R \equiv [n^T, f^T]^T \dots (4.9)$$

n과 f는 각각 body center에 작용하는 resultant torque 와 force 이다. 등가 가속도 matrix W와 등가 질량 M은 다음과 같이 정의 된다.

$$W \equiv \begin{bmatrix} \omega & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad M \equiv \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{bmatrix}$$

여기서 I는 inertia, m은 질량

이동 로봇이 총 5개의 part로 이루어져 있으므로 각각의 equation

of motion을 구한다.

$$M_i \dot{P}_i = -W_i M_i P_i + R_i - R_i^0 \quad (i = 1, 5) \quad \dots (4.10)$$

여기서

R_i : 구동 wronche vector

R_i^0 : 손실 wronche vector

(2) Generalized Twist Vector

이동 로보트의 각 5개 PART의 twist vector P는 모든 wheel joint 와의 선형 변환식으로 나타낼 수 있다.

$$P = T_m \dot{\theta}_m + T_u \dot{\theta}_{u_i} \quad (i=3,4) \dots (4.11)$$

여기서 T_m : 구동 wheel joint와의 선형 변환 matrix

T_u : 증동 wheel joint 와의 선형 변환 matrix

$$\dot{\theta}_m \equiv [\dot{\theta}_1 \quad \dot{\theta}_2]^T$$

$$\dot{\theta}_{u3} \equiv [\dot{\theta}_3 \quad \dot{\psi}_3]^T$$

$$\dot{\theta}_{u4} \equiv [\dot{\theta}_4 \quad \dot{\psi}_4]^T$$

그러나 이동 로보트를 실제 구동하는 wheel 회전속도 vector는 $\dot{\theta}_m$ 이므로 증동 wheel 회전속도 vector $\dot{\theta}_{u_i}$ 를 $\dot{\theta}_m$ 의 항으로 나타내 주어야하며 이의 관계식은 다음과 같이 유도된다. 먼저 좌측 구동 wheel과 전방 증동 wheel 간의 속도 관계식으로부터

$$V_{\omega 3} = V_{\omega 1} + \omega \widehat{k} \times \overrightarrow{O_1 O_3} + (\omega + \psi_3) \widehat{k} \times \overrightarrow{A_2 O_3} \dots (4.12)$$

이것을 정리하면

$$\begin{bmatrix} -R/L (b-d) & R/L (b-d) \\ -R/2 & -R/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & d \\ r & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_3 \\ \dot{\psi}_3 \end{bmatrix} = 0$$

이것은 다음과 같은 형태가 된다.

$$J_{\omega 3} \dot{\theta}_{\omega 3} + J_{\omega 1} \dot{\theta}_{\omega 1} = 0 \quad \dots (4.13)$$

마찬가지로 $\dot{\theta}_m$ 와 $\dot{\theta}_{u4}$ 의 관계식을 구하면

$$\begin{bmatrix} R/L (b+d) & R/L (b+d) \\ -R/2 & -R/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & d \\ r & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_4 \\ \dot{\psi}_4 \end{bmatrix} = 0$$

이것은 다음과 같은 형태가 된다.

$$J_{\omega 4} \dot{\theta}_{\omega 4} + J_{\omega 1} \dot{\theta}_{\omega 1} = 0 \quad \dots (4.14)$$

(4.13) (4.14) 식으로부터 이동로보트의 twist vector P에 대한 관계식 (4.11)은 실제 구동 제어 할 수 있는 $\dot{\theta}_m$ 의 항만을 포함하는 일반화된 식으로 나타낼 수 있으며 그 관계식은 다음과 같다.

$$P = T \dot{\theta}_m \quad \dots (4.15)$$

여기서 $T = T_m - T_u J_u^{-1} J_m$

또한 twist rate vector \dot{P} 는 다음과 같다.

$$\dot{P} = T \ddot{\theta}_m + \dot{T} \dot{\theta}_m \quad \dots (4.16)$$

이고 여기서

$$\dot{T} = \dot{T}_m - \dot{T}_u J_u^{-1} J_m + T_u J_u^{-1} \dot{J}_u J_u^{-1} J_m - T_u J_u^{-1} \dot{J}_m$$

가 된다.

(3) Inverse Dynamics

(4.15) 식을 (4.10) 식에 대입하여 정리하고 정리된 식의 양변에 ORTHOGONAL COMPLEMENT 이븐 (ANGELES AND LEE, 1983)에 의해 (4.15)식에 서 구한 T의 transpose를 곱하면 (4.10)식의 EQ. of MOTION 은 증동 WHEEL의 JOINT VECTOR $\dot{\theta}_u$ 가 제거된 $\dot{\theta}_m$ 만의 함수로 나타내어진다.

$$T^T M T \ddot{\theta}_m = -T^T (M \dot{T} + W M T) \dot{\theta}_m + T^T (R - R^0) \dots (4.17)$$

이것을 다시 정리하면 INVERSE DYNAMICS EQ.은 다음과 같다.

$$I \ddot{\theta}_m + C(\dot{\theta}_m) \dot{\theta}_m + \tau^0 = \tau \quad \dots (4.18)$$

여기서

* I : (2 x 2) ; 등가 관성항

$$I = R^T A L^2 \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^5 I_i + L^2 (M_1 + 1/4 \sum_{i=3}^5 M_i) & -\sum_{i=1}^5 I_i + 1/4 L^2 \sum_{i=3}^5 M_i \\ -\sum_{i=1}^5 I_i + 1/4 L^2 \sum_{i=3}^5 M_i & \sum_{i=1}^5 I_i + L^2 (M_2 + 1/4 \sum_{i=3}^5 M_i) \end{bmatrix}$$

* $C(\theta, \dot{\theta})$: convective 관성항

$$= \omega \times R^2 / L^2 \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^5 I_i & -\sum_{i=1}^5 I_i \\ -\sum_{i=1}^5 I_i & \sum_{i=1}^5 I_i \end{bmatrix}$$

* τ : 등가 구동 토크

* τ^0 : 등가 손실 토크

(4) Direct dynamics

(4.18)식을 이용하여 Direct dynamics eq.을 구하면 다음과 같은 first order 형태로 쓸 수 있다.

$$\dot{q} = Pq + Qu$$

여기서

$$q = [\theta_1 \quad \theta_2 \quad \dot{\theta}_1 \quad \dot{\theta}_2]^T \quad u = [\tau_1 \quad \tau_2]^T$$

$$P = \begin{bmatrix} 0_{2 \times 2} & 1_{2 \times 2} \\ 0_{2 \times 2} & I^{-1} C \end{bmatrix} \quad Q = \begin{bmatrix} 0_{2 \times 2} \\ I^{-1} \end{bmatrix}$$

5. 경로 제어기 (Path Controller)

5.1 경로오차 (Path Error)

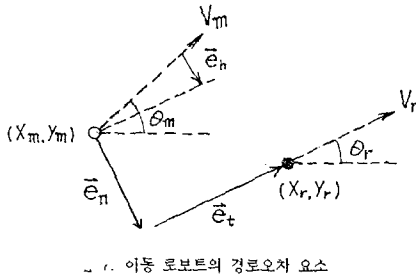
기준경로 발생기(RPG)로부터 주어진 기준경로와 실제 이동 로보트가 이동한 경로를 센서로부터 감지한 실제경로와의 경로오차는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(1) \text{ Normal Error : } e_n = -(x_r - x_m) \sin \theta_r + (y_r - y_m) \cos \theta_r$$

$$(2) \text{ Tangential Error : } e_t = (x_r - x_m) \cos \theta_r + (y_r - y_m) \sin \theta_r$$

$$(3) \text{ Heading Error : } e_h = \theta_r - \theta_m$$

$$(4) \text{ Velocity Error : } e_v = V_r - V_m$$



1. 이동 로봇의 경로오차 요소

경로추종을 위한 기준입력 ($\dot{\psi}_r, V_r$)과 경로오차 요소 (e_n, e_e, e_h, e_v)로부터 경로제어기의 보상 구동입력 ($\delta\dot{\psi}_a, \delta V_a$)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta\dot{\psi}_a &= R/L (\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) = C_1 e_n + C_2 e_h \\ \delta V_a &= R/2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) = C_3 e_e + C_4 e_v \end{aligned} \quad (5.1)$$

(5.1)식을 실제 이동 로봇의 좌우 wheel 구동입력으로 다시 나타내면

$$\begin{aligned} \dot{\theta}_1 &\cong -C_1 e_n - C_2 e_h + C_3 e_e + C_4 e_v \\ \dot{\theta}_2 &\cong C_1 e_n + C_2 e_h + C_3 e_e + C_4 e_v \end{aligned} \quad (5.2)$$

와 같이 된다.

5.2 신경 회로망을 이용한 경로제어

이동 로봇의 feedback 경로오차와 시스템 구동 입력간의 관계식은 식 (5.1)에서와 같이 근사식으로 표현이 가능하지만 이때 오차계수 C_i 를 어떻게 결정하여 주느냐가 경로제어의 편견이 된다. 일반적으로는 추종해야할 경로가 주어지면 전체경로에 대해 경로추종 성능지수를 결정하고 이 성능지수를 최소화하는 C_i 값을 결정하는 방법을 생각할 수 있으나 이 방법의 경우에는 경로가 바뀌게 되면 다시 C_i 값을 결정하여 주어야 하는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 이와 같은 단점을 극복하기 위하여 신경회로망을 적용한 경로제어기를 설계하였으며 최대 주행속도 $V_{max} = 0.5 \text{ m/s}$ 일때 실제 주행상에서 나타날 수 있는 100가지 pattern에 대해서 신경회로망을 구성하고 이동 로봇의 경로오차와 구동 입력간의 가중치 행렬값을 훈련을 통하여 구하였다. (그림 8)

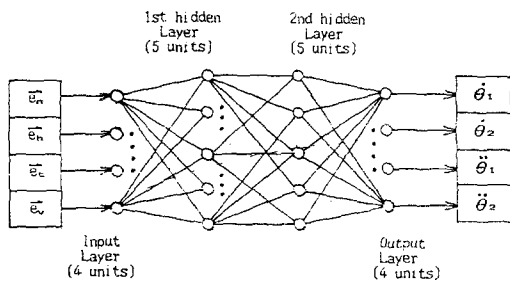


그림 8. 개층적 신경 회로망 구조

신경 회로망을 이용한 이동 로봇의 경로 제어의 전체적인 block diagram은 다음과 같다. (그림 9.)

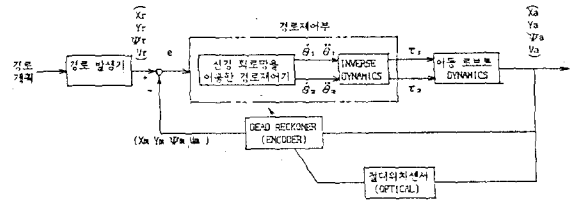


그림 9. 신경회로망을 이용한 경로 제어 BLOCK DIAGRAM

(2) 신경 회로망을 이용한 경로제어에 관한 SIMULATION

경로제어 simulation은 그림 4.의 기준경로를 최대속도 0.5 m/s로 주행하는데 대해서 실행하였다. Photo Diode를 이용한 절대위치 센서는 2nd segment, 4th segment 그리고 6th segment의 끝점 좌표에 설치하는 것 (그림 13)으로 하였으며 미끄럼 현상은 (1) 2nd segment의 중간 지점에서 우측 wheel이 1초간 미끄러짐 (2) 4th segment의 중간 지점에서 좌측 wheel이 1초간 미끄러짐 (3) 6th segment의 중간 지점에서 좌우측 wheel이 동시에 1초간 미끄러짐이 발생하는 것으로 가정하였다.

신경 회로망의 가중치 행렬값은 실제 주행상에서 나타날 수 있는 100가지 pattern에 대해 반복 훈련을 통하여 구하였으며 이 값을 이동 로봇의 경로 제어기에 적용하였다. 그림 14와 그림 15는 절대 위치 센서에서 감지된 경로 오차를 신경 회로망을 이용한 경로 제어를 사용하여 경로를 추종할 경우에 대한 simulation이며 (1) 그림 14는 신경 회로망의 가중치 행렬값을 1000번의 반복 훈련을 통하여 얻은 경우, (2) 그림 15는 3000번의 반복 훈련을 통하여 얻은 경우이다.

6. Simulation

(1) Wheel에서 미끄럼이 발생한 경우의 simulation

미끄럼 발생에 대한 simulation 은 반경 5m의 원을 이동 로봇이 최대 속도 0.5m/s로 경로 추종을 하는 경우에 대해 하였다. 만일 wheel에서 미끄럼이 발생한 경우에는 그 wheel에서 바닥에 전달되는 torque가 zero에 가까워 이동 로봇이 바닥에 대해 전력을 전달하지 못하므로 이동 로봇은 미끄럼이 일어난 wheel쪽으로 경로를 이탈하게 된다.

본 simulation은

- (1) 왼쪽 wheel에서 미끄럼이 일어난 경우 (그림 10.),
- (2) 오른쪽 wheel에서 미끄럼이 발생한 경우. (그림 11.)
- (3) 양쪽 wheel에서 미끄럼이 발생한 경우 (그림 12.)

에 대해서 제어를 하지 않는 off line 형태로 행하였으며 미끄럼은 t=10 초 일때 1초간 일어난 것으로 하였다.

그림 10.과 그림 11 에서 보는 바와 같이 한쪽 wheel에서 미끄럼이 발생하였을 경우 이동 로봇은 미끄럼이 일어난 방향으로 경로를 이탈하며 이 때 절대 센서에 의하여 경로 오차를 보정하는 기능이 없으므로 최종적으로는 오차를 나타낸다. 반면에 그림 12.에서 보듯이 좌우 wheel에서 동시에 미끄럼이 발생하였을 경우에는 약간의 지연 현상만 발생할 뿐 커다란 경로 오차는 발생하지 않았다.

7. 결 론

본 논문에서는 이동 로봇의 경로 제어를 신경 회로 이론을 이용하여 구현하였으며 경로 오차를 감지하기 위한 절대 위치 센서로서 적외선 Laser를 이용한 Photo Diode 배열 센서를 사용하였다.

Simulation 결과에서 보듯이 Encoder와 같은 Odometer 센서로는 미끄럼 등에 의한 경로 오차를 전혀 보정하여 줄 수 없으며 따라서 정확한 경로 추종을 위해서는 절대 위치 센서에 의한 경로 제어가 이루어져야 한다. 신경 회로망의 가중치 행렬값에 대한 훈련의 반복 횟수가 많으면 많을수록 경로 제어기의 오차 보정 능력이 우수하였으며 Pattern 인식 능력이 증대함을 보여주었다.

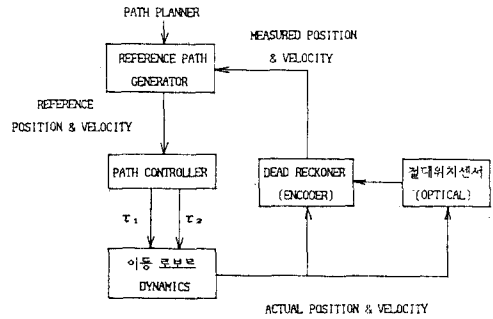


그림 3. 경로 제어를 위한 전체 BLOCK DIAGRAM

(reference)

1. M. Tajima, "Computer Controlled Wire Guided Vehicle in FMS", Proc. 1st Int. Conf. on ADVS, 1981, pp.1-10.
2. H. Imai, et al. "Advanced Automated Transportation Systems", Proc. 3rd Int. Conf. on Flexible Manufacturing Systems, 1984, pp 175-184.
3. K. Fujiwara, et al. "Development of Guideless Robot Vehicle", Proc. 11th Int. Symp. on Industrial Robots, Oct. 1981, pp 203-210.
4. K. Nishida, et al. "Automatic Position Findings of Vehicle By means of Laser", Proc. IEEE, Int. Conf. on Robotics Automation, April 1984, pp 1343-1348.
5. T. Hongo, et al. "An Automatic Guidance System of a Self-Controlled Vehicle", IEEE Trans. on Industrial Electronics, IE-34(9), Feb 1987, pp 9-19.
6. H. Nasr and B. Bhanu, "Landmark Recognition For Autonomous Mobile Robots", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, April 1988, pp 1218-1221.
7. S. Swaminathan, J. and Y. Koren, Y., "A Mobile Platform for Nursing Robots", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 32, No. 2, May 1985, pp 152-155.
8. Aquino J. and Cardona S. "Kinematic of Vehicles with Directional Sliding Wheels", Mech. and Mach. Th., Vol. 22, No. 4, 1987, pp 295-301.
9. S.E. Shladover, D.N. Wormley, H.H. Richardson & R. Fish, "Steering Controller Design for Automated Guideway Transit Vehicles", J. of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol.100, Mar. 1978.
10. J. Borenstein and Y. Koren, "Motion Control Analysis of a Mobile Robot", J. of Dynamic System, Measurement and Control, Vol.107, June, 1987.
11. K. Soukas, "Motion Control of an Autonomous Vehicle", INCOM'89, 1989.
12. A.S. Hanksdattir and R.E. Fenton, "On the Design of a Vehicle Longitudinal Controller", IEEE Trans. on Vehicular Technology Vol. VT-34, No.4, Nov.1985.
13. W.L. Nelson and Ingemar J. Cox., "Local Path Control for an Autonomous Vehicle", IEEE, 1988.
14. J. Angeles and Sang Koo Lee, "The Formulation of Dynamical Equation of Holonomic Mechanical System Using a Natural Orthogonal Complement", J. of Applied Mechanics, vol.55, Mar. 1988.
15. S.K. Saha and J. Angeles, "Kinematics and Dynamics of a Three-wheeled 2-DOF AGV", IEEE, 1989.

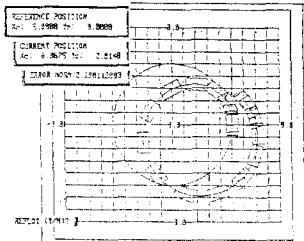


그림 10. 왼쪽 wheel 에서 미끄럼이 생겼을 경우

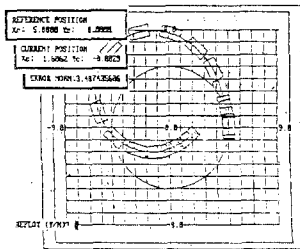


그림 11. 오른쪽 wheel 에서 미끄럼이 생겼을 경우

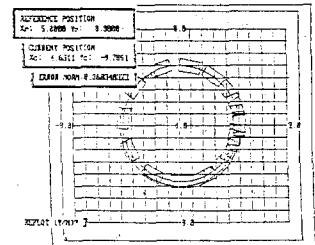


그림 12. 양쪽 wheel 에서 미끄럼이 생겼을 경우

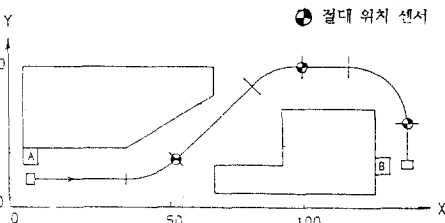


그림 13. 기본 경로 및 절대 위치 센서의 설치위치

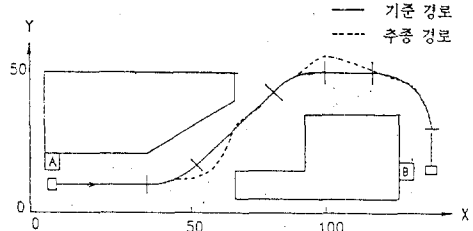


그림 14. 1000번 반복 훈련 후의 추종 경로

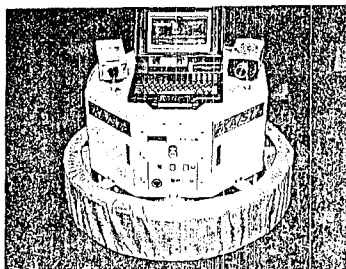


사진 1. 이동 로봇 LCAR의 외관도

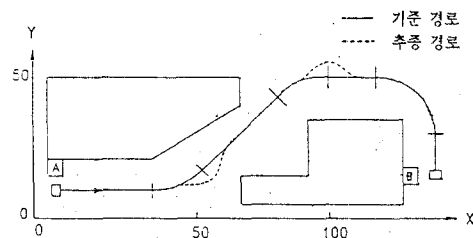


그림 15. 3000번 반복 훈련 후의 추종 경로