

이동 로봇의 모델링 및 경로 추종

임철우, 김영구, 강진석
 제주대학교 통신공학과
 전화 : 064-754-3637

Modeling and Path Following for Mobile Robot

Chul-Woo Rhim, Young Gu Kim, Jin-Shig Kang
 Dept. of Telecomm. Eng. Cheju National University
 E-mail : brain95@netian.com

Abstract

In this paper the wheeled mobile robot is studied. The kinematic and dynamic modeling of the robot is presented via LPD(Linear Parameter Dependent) framework. A path-planning algorithm which is optimized in the sense of robot mobility and distance is presented. And by using PI controller we show that the presented algorithm and model is work very well in the computer simulation and experiment.

I. 서론

로봇 축구 시스템은 사람이 아닌 이동 로봇을 이용하여 축구를 하도록 하는 시스템이다. 이러한 이동 로봇의 기본적인 기능으로 환경인식, 장애물 회피, 경로 계획, 경로추종등이 있다. 현재 로봇 축구 시스템과 로봇을 제어하기 위한 방법은 많은 사람들에 의해 다양한 각도에서 연구되고 있다.[1]

본 논문은 로봇 축구에 사용되고 있는 이동로봇의 기구학적으로 모델링을 하고 그 동역학을 유도하며, 원과 직선에 의한 로봇의 이동 경로 생성 그리고 그 생성 경로의 추종에 관하여 논한다. 위에서 제안한 경로 생성 방법 및 경로 추종에 대하여 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션을 통하여 타당성을 검토하고 이를

로봇 축구 시스템을 이용하여 실제 주행을 통해서 검증한다.

II. 이동 로봇의 모델링

이동 로봇의 움직임은 그림 1의 2차원 좌표계로서 설명할 수 있다.

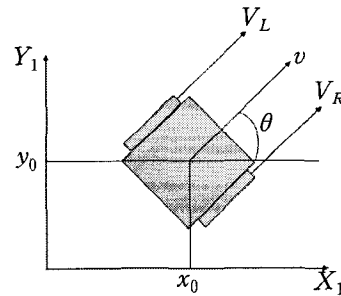


그림 3 이동 로봇의 구조

로봇의 중심 속도와 각속도는 식(1)의 관계를 갖는다.

$$\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} & \frac{r}{2} \\ \frac{r}{2b} & \frac{r}{2b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, r 은 차륜의 반경이고, b 는 로봇의 중심에서 바퀴까지의 거리이다. 로봇 좌표의 순간변화량과 로봇의 중심속도, 각속도는 식(2)와 같은 관계를 갖는다.[1][2]

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

동역학식을 유도하기 위해서 다음과 같은 변수를 정의한다.

m_c : 바퀴와 모터를 제외한 로봇의 질량

m_w : 바퀴와 모터를 합한 질량

I_c : 구동바퀴와 모터를 제외한 로봇의 관성력

I_w : 바퀴와 바퀴축에 대한 모터의 관성력

I_m : 바퀴와 바퀴 직경에 대한 모터의 관성력

이러한 유형의 로봇의 동역학식은 식(3)과 같다.[3]

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) = E(q)\tau - A^T(q)\lambda \quad (3)$$

여기서 λ 는 Lagrangian multiplier이고, 로봇의 무게중심과 회전축의 중심이 같다고 하면,

$$M(q) = \begin{pmatrix} m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_c^2 + I_w & -I_c^2 \\ 0 & 0 & -I_c^2 & I_c^2 + I_w \end{pmatrix},$$

$$V(q, \dot{q}) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$E(q) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \tau = \begin{pmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{pmatrix}, \quad \lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{pmatrix}$$

이다.

여기서 동역학식은 식(4)와 같다.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e_{11} & e_{12} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e_{21} & e_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \theta_r \\ \theta_l \\ \tau_r \\ \tau_l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_c^2 + I_w & -I_c^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -I_c^2 & I_c^2 + I_w \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta_r \\ \theta_l \\ \tau_r \\ \tau_l \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

여기서,

$$\begin{aligned} e_{11} &= m(cb)^2 + I_c^2 + I_w \\ e_{12} &= m(cb)^2 - I_c^2 \\ e_{21} &= m(cb)^2 - I_c^2 \\ e_{22} &= m(cb)^2 + I_c^2 + I_w \end{aligned}$$

로봇의 선속도 (\dot{x}, \dot{y}) 는 각속도 (θ_r, θ_l) 에 비례한다고 하면 선속도 (\dot{x}, \dot{y}) 는 동역학식에서 소거할 수 있다. 그러므로 식(4)를 정리하면 다음과 같다.

$$E\dot{x} = Ax + Bu \quad (5)$$

여기서,

$$x = (\theta_r, \theta_l, \theta_r, \theta_l)^T, \quad u = (\tau_1, \tau_2)^T$$

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e_{11} & e_{12} \\ 0 & 0 & e_{21} & e_{22} \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & I_c^2 + I_w & -I_c^2 \\ 0 & 0 & -I_c^2 & I_c^2 + I_w \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

이다. 그리고 출력 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} cb\cos\theta & cb\cos\theta & 0 & 0 \\ cb\sin\theta & cb\sin\theta & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

III. 경로 설정 및 제어

3.1 경로 생성

로봇의 현재 위치와 목표위치를 알고 있을 경우 불연속점이 없는 가장 짧은 경로로 이동할 수 있는 알고리즘을 소개한다. 일반적인 경로설정법의 경우에는 로봇의 기구학 및 동특성을 고려하지 않으므로 경로상에 로봇 속도의 불연속적인 점이 존재한다. 로봇의 위치와 방향각 그리고 경유 및 도착해야하는 위치를 알고 있다는 전제하에 경로를 설정하는 순서는 다음과 같다.

(1) 현재 로봇의 위치에서 로봇의 무게 중심을 기준으로 좌/우측에 동일한 반경의 원을 생성한다.

(2) 경유 및 도착 위치에서 생성된 각 원간의 거리를 비교하여 최소 거리가 되는 원을 선택한다.

(3) 현재 위치와 목표 위치에서 선택된 원을 비교하여 로봇이 가야할 직선 경로가 두 원의 공통 외접선 또는 공통 내접선인지를 판별한다.

(4) (3)의 과정에서 선택된 직선 경로와 현재 지점과 목표 지점의 원호의 경로를 선택하여 이동 경로를

선택한다.

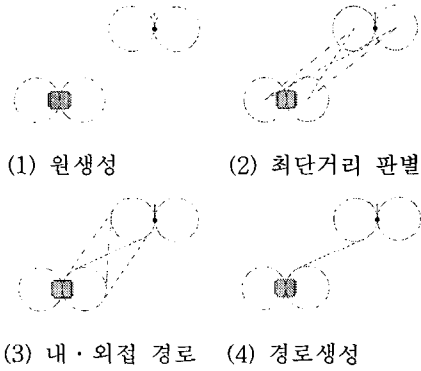


그림 2. 경로설정 및 생성
이를 흐름도로 나타낸 것이 그림 3이다.

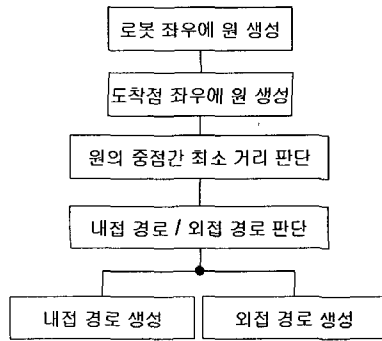


그림 3. 경로 설정 및 생성 흐름도

3.2 경로 제어기

본 논문에서는 로봇의 주행시 설정된 경로를 벗어났을 경우 이 오차값을 비례-적분제어기를 이용하여 오차를 보정하고, 설정된 경로를 추종하게 하였다. 그림 4은 PI제어기의 블록도를 나타내고 있다.

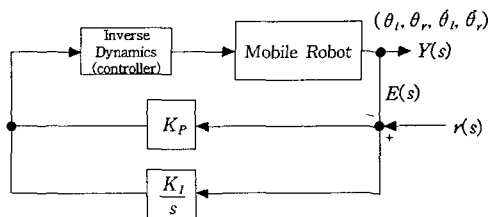


그림 4. PI 제어기 블록도

IV. 시뮬레이션 및 주행 실험

4.1 시뮬레이션

본 논문의 시뮬레이션에서 사용된 로봇의 파라미터는 표 1과 같다.

표 5. 시뮬레이션에 사용된 로봇의 파라미터

	단위	값
로봇의 가로길이	Cm	7
로봇의 세로길이	Cm	7
로봇의 높이	Cm	7
바퀴의 직경	Cm	4.5
모터의 최대 회전수	rpm	8000
모터의 기어비		1:8
m_c	Kg	0.0681
m_w	Kg	0.0473
I_m	$Kg \cdot Cm \cdot sec^2$	0.0800
I_w	$Kg \cdot Cm \cdot sec^2$	0.0176
I_c	$Kg \cdot Cm \cdot sec^2$	0.5000

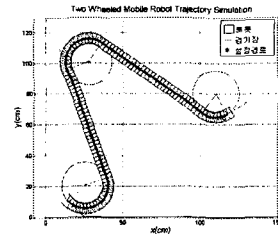


그림 5 3점 경로 생성 및 주행 시뮬레이션

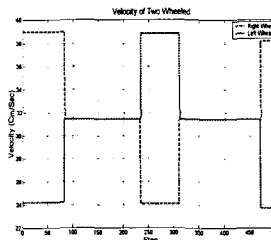


그림 6. 3점 경로시 양 바퀴의 속도

로봇의 최초 좌표는 (10.9, 20.4)이고 전방향각은 -45도이다. 경유해야하는 좌표는 (13.9, 95.6)이며, 최종 좌표는 (117.4, 67.1)이다. 최종 좌표에서 전방향각은 30도이다. 총 샘플링 수는 505이며, 설정된 경로를 주행하는데에는 8초가 걸렸다. 시뮬레이션에서 계산된 구간별 이동거리 및 생성원의 반지름 그리고 샘플수는 표 2와 같다.

표 6. 3점 경로시 경로 형태 및 이동거리

구간 형태	이동거리 (Cm)	원의 반경 (Cm)	누적이동거리(Cm)	샘플수
원	40.6325	15	40.6325	82
직진	74.3898	-	115.0223	151
원	38.0199	15	153.0422	77
직진	78.8804	-	248.9450	160
원	17.0224	15	231.9226	35

로봇의 중심 속도는 17레벨이며 이때 실제 속도는 30.9780 Cm/sec 이다. 로봇에 입력되는 속도는 그림 7 이다.

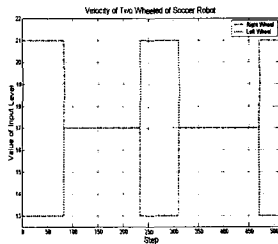


그림 7. 로봇에 입력된 바퀴의 속도

4.2 주행 실험 결과

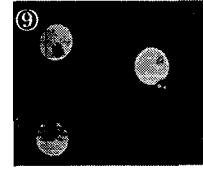
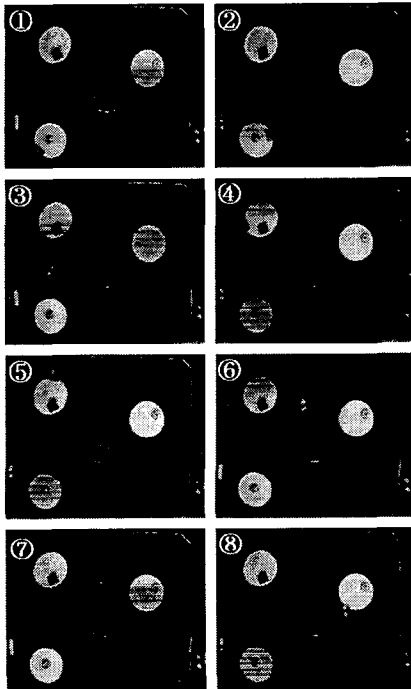


그림 8. 3점 경로 주행 실험 결과

그림 8은 3점 경로에 대해 로봇 축구 시스템을 이용하여 로봇의 주행 실험 결과이다.

설계된 경로를 잘 추종하였으나, 경유되는 원에서 원 경로를 제대로 추종하지 못하였다. 이는 좌·우 바퀴 속도가 설계치를 양자화 시키는 과정에서 발생한 오차로 인한 것이다.

V. 결론

이동 로봇에 있어 경로 설정 및 그 설정된 경로의 추종은 매우 중요하다.

본 논문은 이러한 이동로봇에 대한 기구학적인 모델링을 통한 동역학식을 유도했으며, 원과 직선에 의한 경로 생성 알고리즘을 제시하였다. 또한 생성 경로에 대한 로봇의 경로 추종을 위한 PI제어기를 설계하였다. 설정된 경로의 추종의 타당성을 확인하기 위해서 로봇 축구 시스템을 이용하여 로봇의 주행을 확인하였다. 시뮬레이션 결과와 주행 실험 결과에 있어 오차가 있었다. 이는 시뮬레이션에서 사용한 속도 데이터를 로봇에 입력으로 주기 위해서 모터의 최대 속도를 127개의 레벨값으로 양자화를 시켰다. 이렇게 양자화를 하는 동안 발생한 오차의 값, 모델링시 고려되지 않은 부분에 의한 오차 그리고 각 모터의 특성이 동일하지 않은 것에 대한 오차에 의해서 설정된 경로를 정확하게 추종할 수 없었다. 차후에 계속 수행되어야 할 연구과제로서는 양자화 오차를 줄이기 위한 방법과 모터 특성 및 로봇의 특성을 고려한 모델링을 해야 할 것이다.

참고문헌

[1] 김종환, "로봇축구시스템," 대영사, pp.35-48, 2000. 7.
 [2] G. Campion, G. Bastin, and B.D'Andrea-Novet, "Structural Properties and Classification of Kinematic and Dynamic Models of Wheeled Mobile Robots," pp.47-62, IEEE trans. on Robotics and Automation, vol. 12, no. 1, 1996.
 [3] 최종석, "이동로봇의 효율적 운행 제어 시스템에 대한 연구," pp.459-462, KACC'95, 1995
 [4] 김주영, "축구 로봇의 속도 및 자세 제어," pp.73, 고려대학교 대학원, 1999
 [5] 이진우, "동적 환경에서의 이륜 주행 로봇을 위한 실시간 경로 주행 제어," ICCAS2001, pp.2203-2206, 2001.10.