

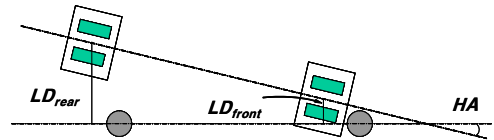
마그네틱 마커를 이용한 이동로봇의 경로제어
Part II : 센서의 배치, 마커의 극배치, 로봇의 제작 및 실험

김영민, 김의선, 임영철, 김태곤, 문채주, 장영학
 (주)셀런, 신경대, 전남대, 목포대, 목포대, 목포대

Path Tracking Control of Mobile Robot using Magnetic Marker

Young-Min Kim, Eui-Sun Kim, Young-Cheol Lim, Tae-Gon Kim, Chae-Joo Moon, Young-Hak Chang
 Celrun Co., Ltd., Shin-Gyeong University, Chonnam University, Mokpo University, Mokpo University, Mokpo University

Abstract - 이동하고자 하는 경로에 자석 마커를 설치하고 마커의 자계를 인식하여 경로를 추종하는 이동 로봇의 경로 제어시스템이다. 마커 설치 간격 확장에 따른 센서 배치를 제안하였다. 마커의 극성을 서로 약속된 방법으로 코드화 하여 설치하고, 경로 추적 중에도 마커의 자계 방향을 2진 코드로 인식하여 자계 경로로부터 경로 정보를 수신할 수 있도록 하였다. 소형 이동 로봇 실험 장치를 설계 제작하고 실험을 한 결과 제작된 이동 로봇은 마커로 만들어진 이동 경로를 중앙으로부터 오차 범위 이내에서 이동함을 확인하였고, 이동 경로의 일부 구간에서는 마커의 극배치를 이용한 코드를 주행 중에 정확히 인식함을 확인하였다.



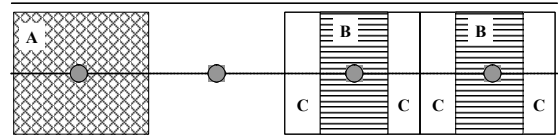
〈그림 2〉 두 쌍의 센서를 이용한 HA의 산출

하나의 센서 쌍을 더 이용하여서 HA의 정보까지 알 수 있는 방법을 그림 2에 나타냈다.

두 개의 센서 쌍을 마커 간격만큼 앞뒤로 배치하고 앞 쪽 센서 쌍의 LD를 LD_{front}로 얻고 뒤 쪽 센서 쌍의 LD를 LD_{rear}로 얻어졌다면 식 (1)을 이용하여 HA를 구할 수 있다.

$$HA = \sin^{-1} \left(\frac{LD_{rear} - LD_{front}}{\text{Marker Distance}} \right) \quad (1)$$

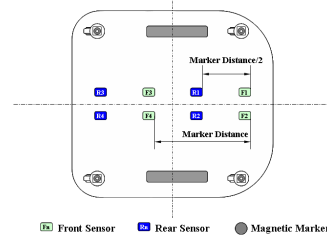
이로써 두 쌍의 센서로 얻어진 자계 값으로부터 LD와 HA를 모두 구할 수 있게 되었다. 하지만 아직도 약 자계 영역에 대한 문제가 남아 있다. 그림 3에 경로를 영역별로 분류하였다.



〈그림 3〉 자기 경로의 영역들

경로를 영역별로 알아보면 그림 3에서 A영역이 연속적으로 나타난다. 그리고 A영역도 자계가 큰 B영역과 작은 C영역으로 나눌 수 있다. 로봇이 주행 중에 B영역에 센서가 위치하였을 경우는 측정된 자계로 충분히 경로추적에 필요한 정보를 얻을 수 있으나, 자계 값이 작은 C영역에 센서가 위치하였을 경우는 충분한 정보를 얻을 수 없다. 센서가 C영역에 위치하였을 때에도 B영역에서 자계 값을 얻을 수 있는 여분의 센서를 추가하면 경로를 이동하는 중에 두 그룹의 센서 중에 어느 한 그룹은 항상 B영역에서 큰 자계 값을 얻을 수 있다.

자계 제어를 위하여 한 쌍의 센서를 사용하였고, HA를 얻기 위하여 두 쌍의 센서(4개)를 사용하였는데 이 두 쌍의 센서를 그룹이라고 하겠다. 마지막으로 강 자계 영역이나 약 자계 영역에서도 로봇의 위치를 확실하게 인식할 수 있도록 두 그룹의 센서(8개)를 그림 4와 같이 배치하는 방법을 제안한다. 앞 센서 그룹의 배치는 한 쌍의 센서 F1, F2를 좌우로 배치하고, 마커의 설치 간격만큼 뒤에 또 한 쌍의 센서 F3와 F4를 배치한다. 뒤 센서 그룹은 R1, R2, R3, R4로 표시하였고, 각각의 F_n에 대하여 마커 간격의 절반만큼 뒤쪽에 R_n을 배치하였다.



〈그림 4〉 센서의 배치

1. 서론

마커의 간격을 넓히고, 로봇의 측방향 변위오차뿐 아니라 방향각 오차를 얻을 수 있는 센서의 배치법을 제안한다. 마커가 기본적으로 가지는 N, S극 방향을 서로 약속된 방법으로 코드화 하여 설치하면 경로 추적 중에도 마커의 극성을 2진 코드로 인식하여 자계 경로로부터 정보를 추가로 수신할 수 있는 방법을 제안한다.

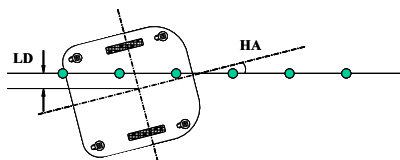
실험용 이동 로봇은 2륜 구동형으로 제작되었으며, 자계의 영향을 고려하여 알루미늄으로 몸체를 제작하였다. 설계 제작된 자기센서 보드를 로봇의 밑면에 제안한 방법으로 장착하고, 자석 경로에는 마커를 일정 간격으로 설치하였으며, 특정 구간은 마커의 극을 코드화 하여 설치한다. 경로 제어 실험은 직선 부분과 곡선 부분을 포함하는 경로에서 실시하여 제안한 방법들을 입증한다.

2. 경로 정보 인식

2.1 로봇의 경로 상 위치

그림 1은 경로 상에서 로봇의 위치를 인식할 수 있는 2가지 변수를 보여준다. 로봇이 경로의 중앙으로부터 벗어난 정도를 측 방향 변위오차(Lateral Deviation : 이하 LD)라 하고, 경로의 중앙과 로봇 중심 간의 거리를 말하는데 여기서 로봇의 중심은 두 바퀴 사이의 중앙 점으로 하였다. 이 논문에서 사용하게 될 로봇은 독립적으로 제어되는 두 개의 바퀴와 4개의 캐스터를 가진 구조이다. 경로 방향에 비해 로봇의 진행 방향이 어긋난 정도를 방향각 오차(Heading Angle : 이하 HA)라 하고 경로방향과 로봇 방향의 차이를 구한다. 그림 1에서 경로 중앙의 작은 원들은 자석 마커이다.

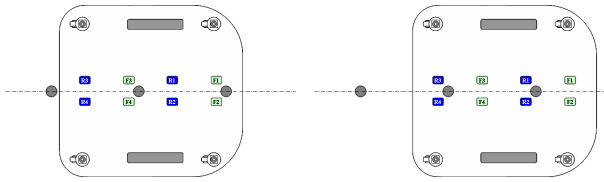
로봇의 LD와 HA가 모두 0이 되어야 경로의 중앙으로 추적할 수 있음을 알 수 있다. 마커에 의하여 생성된 자기장을 자기센서로 측정하여 얻어진 자계 값으로부터 LD와 HA를 산출하여 이 두 변수가 0이 되도록 로봇을 제어하여야 한다.



〈그림 1〉 LD와 HA

2.2 센서의 배치

자석 마커의 간격을 충분히 멀리 하여 인접한 마커 간에 서로 영향을 미치지 않도록 하였다면 센서에서 측정되는 자계 값은 센서에서 가장 가까운 마커 하나에 의한 값만 측정이 된다. 두 개 즉, 한 쌍의 센서로 자계는 제거되었다고 가정한다. 하지만 하나의 센서 쌍을 이용해서 LD는 알 수 있지만 HA의 정보는 구분할 수 없다는 것이다. 따라서



(a) 앞쪽 센서 그룹이 제어 (b) 뒤 쪽 센서 그룹이 제어

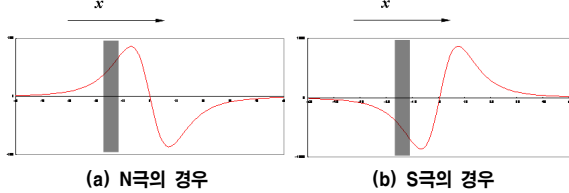
<그림 5> 센서의 동작

그림 5의 (a)와 (b)에 앞 센서 그룹이 제어할 경우와 뒤 센서 그룹이 제어할 경우를 나타냈다. 그림 5 (a)는 앞 센서 그룹에서 계속되는 자계 값이 뒤 센서 그룹에서 계속되는 자계 값보다 크므로 앞 센서 그룹이 산출한 LD 와 HA 를 이용하여 경로 추적하고 그와 반대인 그림 5 (b)의 경우는 뒤 센서 그룹이 산출한 LD 와 HA 를 이용하여 경로 추적하도록 한다.

2.3 마커 극의 인식

마커간의 간격을 충분히 멀리하여 인접 마커간의 영향을 줄인 다음, 마커의 극을 동일한 방향으로 배치하여 경로를 추적하다가, 필요한 구간에서 마커의 N, S극 방향을 서로 약속된 방법으로 코드화 하여 매설하면 경로 추적 중에도 마커의 자계 방향을 2진 코드로 인식하여 자계 경로로부터 경로 정보를 수신할 수 있다.

그림 6에 N극과 S극의 경우 인식 방법을 나타냈다. 마커극의 인식에는 dB 를 이용하지 않고 B_x 성분을 이용한다. 그림 6의 (a)는 N극이 하늘로 향했을 경우의 B_x 그래프인데 0점에 마커가 위치하고 로봇은 왼쪽에서 오른쪽으로 진행한다. 그리고 회색으로 표시한 영역이 센서가 약 자계 영역에서 강 자계 영역으로 진입하는 부분이고 이 때 센서의 제어권이 바뀌면서 마커의 극성을 판별한다. 그림 6의 (b)는 S극이 하늘로 향했을 경우이다. 마커의 극성 판별에는 식(2)를 사용한다.



<그림 6> 마커 극의 인식

$$\frac{d(B_x)}{dt} > 0 : N, \quad \frac{d(B_x)}{dt} < 0 : S \quad (2)$$

3. 경로 제어

센서로부터 얻은 자기장 값을 이용하여 로봇 앞쪽의 LD_{front} 와 뒤쪽의 LD_{rear} 를 얻고, 식(1)을 이용하여 HA 를 구한다. 로봇의 기하학적인 구조를 이용하면 로봇 중앙의 LD 인 LD_{center} 를 얻을 수 있다. 경로 상 로봇의 현재 위치를 나타내는 LD_{center} 와 HA 이 구해지면 다음 식을 이용하여 조향각($Steer$)을 구한다.

$$Steer = \frac{F(LD_{center}, HA)}{K_{LD} \times LD_{center} + K_{HA} \times HA} \quad (3)$$

여기서 K_{LD} 와 K_{HA} 는 비례상수이다. 이 논문에서 사용할 이동 로봇은 두 개의 바퀴를 가지고 두 개의 바퀴는 각각 따로 구동된다. 따라서 로봇을 원하는 방향으로 진행을 시키기 위해서는 식(3)으로부터 얻어진 조향각의 크기에 비례하는 두 바퀴의 속도 차이를 주어서 진행한다.

제어라는 것은 시스템에서 원하는 출력이 나오도록 입력을 조정하는 것이다. 이동로봇의 제어방법 중 가장 일반화 되어있는 것이 PD제어이다. $Steer$ 값이 0이면 경로의 중앙을 정확히 추적하는 것이 되고 $Steer$ 값이 양으로나 음으로 커진다는 것은 경로에서 많이 벗어나거나 진행 방향이 많이 틀어진 것을 의미하므로, 여기에서 오차신호는 $Steer$ 값으로 하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 로봇의 제작

실험을 위해 그림 5.1과 같은 이동 로봇을 설계/제작하였다. 두 개의 바퀴와 4개의 캐스터를 가지며, 800[mm]*760[mm]*400[mm]의 크기로

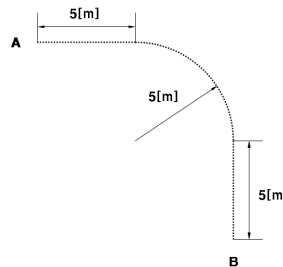
제작하였다. 로봇의 몸체는 자계의 영향을 최소화 할 수 있도록 알루미늄으로 제작하였다. 주행을 위한 구동력은 바퀴에 각각 장착한 DC 12[V]/60[W]의 BLDC모터로부터 얻었으며, 타이밍벨트로 바퀴와 연결되었다. 바퀴는 알루미늄으로 제작 되었고 노면과의 마찰을 고려해 고무 재질을 바퀴에 부착 하였다. 로봇의 밑에는 설계 제작된 센서 보드가 장착되었고, 전원은 12[V]의 배터리를 사용하였다.

로봇의 DSP 제어장치는 자계 센서로부터 자계 값을 측정하고, 제어 프로그램에 의해 모터를 제어하여 로봇의 위치를 제어하고, 초음파 장애물 감지부에서 입력된 신호를 이용하여 장애물과 충돌을 방지하도록 한다. 이 실험에는 150[MHz]로 동작하는 TI사의 DSP2812가 사용되었다.

4.2 경로제어

실험에 사용한 경로는 그림 7에 나타난 것과 같이 5[m]의 직선 경로와 반경 5[m]의 1/4 원에 이어 다시 5[m]의 직선경로로 구성하였다. A 점에서 출발하여 B점으로 다시 B점에서 출발하여 A점으로 진행하면 직선 경로와 우측으로 굽어진 경로, 그리고 좌측으로 굽어진 경로를 모두 실험하는 것이 된다. 마커는 400[mm] 간격으로 배치하였고, 로봇의 속도는 2[m/s]이며, 샘플링 시간은 5[ms]이다.

경로 제어 실험 장면을 그림 8에 나타냈다. 실험 장면에 나오는 경로 중앙의 테이프는 카메라를 이용한 LD 의 측정 시 기준으로 삼고자 설치하였다.

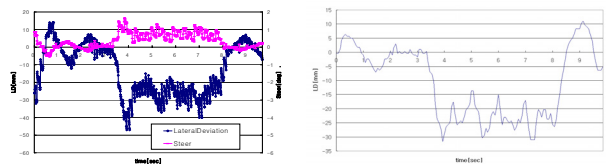


<그림 7> 실험에 사용한 경로



<그림 8> 경로 제어 화면

LD 의 측정은 로봇의 뒤쪽에 자를 장착하고 주행화면을 녹화한 다음에 주행을 끝나면 프레임 별로 LD 값을 읽어서 파일로 저장하여 분석하였다. 그림 9에 로봇의 주행 결과로 얻은 측방향 오차인 LD 를 나타냈다. 출발하여 3초 부근까지의 직선 경로 영역은 처음엔 약간 출렁거렸으나 곧 중앙으로 추종하였고 3초부터 8초까지의 곡선 경로 영역은 20~30[mm]의 LD 를 유지하며 경로를 이탈하지 않고 잘 추종한 것을 볼 수 있다. 마지막 8초 이후의 직선 경로 영역도 LD 가 0으로 가면서 경로의 중앙으로 접근한 것을 알 수 있다.



<그림 9> 로봇이 산출한 LD 와 <그림 10> 로봇의 주행 결과로 출력한 $Steer$ 얻은 LD

5. 결 론

자석 마커의 설치 간격을 넓히고, 로봇의 측방향 변위오차뿐 아니라 방향각 오차를 얻을 수 있는 센서의 배치법을 제안하였다. 마커의 극성을 이용한 코드화 방법과 경로 추적 중에 그 코드를 인식하는 방법을 제안 하였다. 소형 이동 로봇 실험 장치를 설계 제작하고, 장치를 이용한 실험 결과 이동 로봇은 마커로 만들어진 이동 경로를 중앙으로부터 오차 범위 이내에서 이동함을 확인하였고, 지면 문제로 본문에 실지는 못하였지만 이동 경로의 일부 구간에서는 마커의 극배치를 이용한 코드를 주행 중에 정확히 인식함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[1] Seibum B. Choi, "The design of a look-down feedback adaptive controller for the lateral control of front-wheel-steering autonomous highway vehicles", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 49, no. 6, pp.2257-2269, 2000.
 [2] 김영민외, "자계 극배치를 이용한 지능형 차량용 도로 정보의 인식", *센서학회지*, 제 14권 제6호, pp. 409-414, 2005.