

자율주행차량과 로봇의 안내를 위한 자계위치인식시스템 Magnetic Position Sensing System for Autonomous Vehicle and Robot Guidance

정영윤, 김근모, 유영재

전라남도 무안군 목포대학교 제어시스템공학과
E-mail: yiryoo@mokpo.ac.kr

요 약

본 논문은 자율주행차량과 로봇의 안내를 위한 자계위치인식시스템을 제안한다. 자계위치인식 시스템은 자성체로부터 발생하는 자계를 측정하여 위치를 인식한다. 이러한 자계위치인식시스템에서 지구자계는 기본적인 왜란으로 작용한다. 본 논문에서는 지구자계의 영향을 제거하기 위해서 다수의 1축 자계센서 열을 구성하였으며, 자계센서 출력의 선형구간을 이용하여 정밀한 위치인식시스템을 개발하였다. 본 논문에서 제안하는 자계위치인식시스템은 실험을 통하여 그 실용성을 검증하였다.

Key Words : Magnetic positioning, Magnetic sensors array, Linear of vertical field, Autonomous vehicle and robot guidance

1. 서 론

사회의 발전과 함께 차량과 로봇의 자율주행에 관한 연구는 계속해서 이루어지고 있다. 이러한 연구들 중 본 논문은 자성체로부터 발생하는 자계를 측정하여 위치를 인식하는 자계위치인식시스템에 관한 것이다. 자계를 측정하여 위치를 인식하는 방법에 대한 연구는 대표적으로 미국 캘리포니아의 PATH 프로젝트와 네델란드 APTS의 Phileas 프로젝트에서 수행되었다. PATH의 경우는 Averaging, Peak-Valley identification, Dual sensor measurements 등의 방법을 연구하였으며, Philaea는 Simple sensor array 방법을 사용하였다. 그러나 이러한 방법들은 아래와 같은 문제점을 해결하는데 약간의 단점을 지니고 있다.

지구는 중심부에 자석을 놓아둔 것과 같은 형태로 남극과 북극을 통과하는 자계의 분포를 가지고 있다. 자계센서에 의해 측정된 지구자계는 센서의 방향에 따라 변화한다. 변화하는 지구자계는 자계위치인식시스템에서 기본적인 왜란으로 작용한다. 따라서 자계를 이용하여

차량과 로봇의 위치를 인식하기 위해서는 지구자계의 영향은 제거되어야한다. 또한 차량이나 로봇의 주행에 사용되기 때문에 왜란자계는 실시간으로 제거되어야한다. 그리고 실제 시스템에서 메모리 소비율은 최소화하여야한다.

본 논문에서는 수직성분자계의 선형구간과 자계센서 열을 이용한 자계위치인식시스템을 제안한다. 제안하는 자계위치인식시스템은 1축 자계센서 열, 수직 성분 자계, 센서출력의 선형구간과 직선방정식, 마이크로컨트롤러를 사용한 위치인식알고리즘으로 구성되어 있다. 실험 결과를 통하여 제안하는 시스템의 실용성을 검증하였다.

2. 연구배경

2.1 자석과 자계

본 절에서는 자석과 자계의 관계에 대한 모델을 분석하였다. 자석에서 발생하는 자계는 그림 1과 같이 직각좌표계를 사용하여 표현할 수 있다. 그림 1은 직각좌표계를 이용하여 자계의 3차원 성분벡터를 표현하였다. B_x 는 자석에서 발생하는 수평성분의 세로방향, B_y 는 수평성분의 가로방향이고, B_z 는 수직성분벡터이다.

※ 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력 양성 사업의 연구결과로 수행되었음.

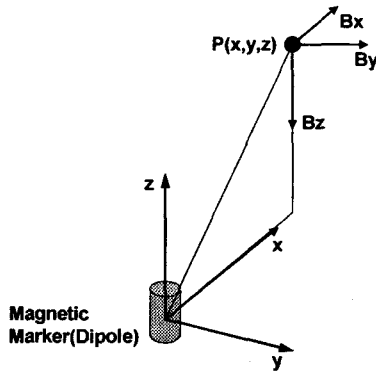


그림 1. 자기쌍극자 모델.

어느 한 지점 P에서 자석으로부터 발생하는 자계의 3차원 성분 B_x, B_y, B_z 는 각각 아래의 식 (1), (2), (3)으로 나타낼 수 있다.

$$B_x = \frac{3Kmzx}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} \quad (1)$$

$$B_y = \frac{3Kmyz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} \quad (2)$$

$$B_z = \frac{Km(2z^2 - x^2 - y^2)}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} \quad (3)$$

위 식에서 $Km = \frac{\mu_0 M_T}{4\pi}$, $M_T = \pi b^2 M_0$, Km 은 비례상수, M_0 는 자기모멘트, 그리고 b 는 원통형 영구자석의 반지름이다.

2.2 지구자계

지구자계는 지구 중심부에 영구자석이 위치한 것과 같이 남극과 북극을 통과하는 자계의 분포를 나타낸다. 지구자계는 지구상의 어느 곳에서나 존재하기 때문에 자계위치인식시스템에서 고려되어야 할 요건이다. 그림 2는 자계 센서를 수평면상에서 지표면에 수직한 선을 축으로 360도 회전시키며 지구자계의 3차원 성분을 측정 한 결과이다. 그림 2에서 X-Axis는 지구자계의 수평성분 B_x 를 의미하고, Y-Axis는 수평성분 B_y , 그리고 Z-Axis는 수직성분 B_z 를 나타낸다.

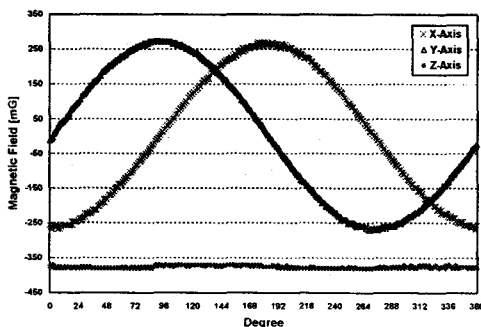


그림 2. 방향에 따른 지구자계의 변화.

수평성분자계인 X-Axis, Y-Axis는 센서의 방향과 함께 값이 변화하고, 수직성분자계인 Z-Axis는 방향과 무관하게 일정한 값을 유지함을 볼 수 있다. 결과적으로 차량이나 로봇의 진행방향이 변화하면 적용되는 지구자계 또한 변화한다는 것이다. 따라서 지구자계는 자계위치인식시스템에서 기본적인 왜란으로 작용한다.

2.3 기존의 자계 위치 인식방법

차량이나 로봇의 자율주행을 위한 자계위치 인식 방법에 관한 연구는 대표적으로 미국 캘리포니아의 PATH 프로젝트와 네덜란드 APTS의 Phileas 프로젝트에서 수행되었다. PATH의 경우는 Averaging, Peak-Valley identification, Differentials between dual sensor measurements 방법 등에 관하여 연구하였으며, Phileas의 경우는 Simple array sensor를 사용하여 암스테르담 시내와 공항 사이를 운행하는 자율주행차량에 적용하였다. Averaging 방법은 주행경로에 매설된 자석 위를 지나면서 측정된 수평성분자계의 B_x 의 평균을 이용한다. 이 방법은 지구자계의 영향을 고려하지 않고 자석의 자계만을 고려하였다. Peak-Valley identification 방법은 수평성분자계의 B_y 와 수직성분자계 B_z 를 이용하는 방법으로 자석과 자석사이를 지나면서 측정된 수직성분자계를 이용하여 Peak와 Valley를 찾아 지구자계의 영향을 제거한다. 그러나 이 방법은 이미 지나친 이전의 Valley를 사용하기 때문에 실시간으로 지구자계의 영향을 제거할 수 없다는 단점을 지닌다. Dual sensor 방법은 두 개의 센서를 이용하여 공통으로 적용되는 왜란 자계의 영향을 제거하여 위치를 인식하는 방법이다. 그러나 자석과 자계의 방대한 관계 데이터를 저장하기 위해 많은 메모리를 소비하는 단점을 지니고 있다. 마지막으로 Simple array sensor 방법은 차량이나 로봇의 폭 만큼의 길이로 다수의 센서를 설치하여 센서열상에서 자석의 위치를 검출하는 방법이다. 보다 높은 정밀도와 넓은 검출범위를 위해서는 보다 많은 센서가 필요하기 때문에 센서의 낭비가 심하다는 단점을 가지고 있다.

3. 제안하는 자계위치인식시스템

3.1 수직 성분 자계

그림 3은 자석의 위치와 수직성분자계의 변화를 나타낸다. 이와 같은 센서출력의 수직성분자계는 2절의 자기쌍극자 모델식 (3)을 이용

하여 구할 수 있다. 또한 센서를 고정시키고 자석을 센서의 바로 아래를 지나도록 이동시키면서, 자석으로부터 발생하는 수직성분자계를 측정하면 그림 3과 동일한 결과를 얻게 된다. 수직성분자계는 자석이 센서의 바로 아래를 지날 때 가장 큰 변화를 보인다. 자석의 위치와 자계 사이는 비선형적인 관계임을 알 수 있다. 그러나 그림 3에서 자석이 센서를 지나치기 전과 후의 자계의 변화에는 거의 직선에 가까운 선형적인 동작영역이 존재함을 알 수 있다. 이 선형구간에서는 자석의 위치와 자계의 일정한 관계 데이터를 획득할 수 있다.

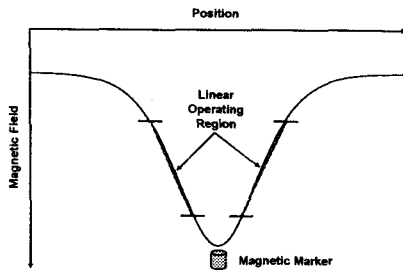


그림 3. 자석과 수직성분자계.

3.2 자계센서 열

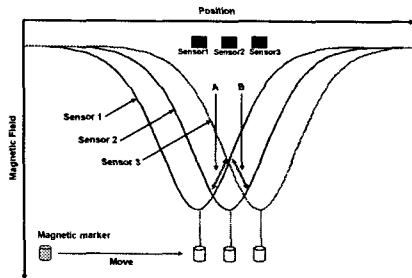


그림 4. 자석의 위치에 따른 자계센서 열의 출력.

그림 3에서 수직성분자계의 선형구간은 좌우 대칭적으로 나타난다. 따라서 한 개의 센서를 사용하여 측정된 수직성분자계만을 이용하여서는 대칭적인 두 구간을 구별할 수는 없다. 본 논문에서는 자계센서 열을 구성하여 두 대칭구간을 판별하였다. 그림 4와 같이 일정한 간격으로 자계센서 열을 구성하면 각 센서는 각각 다른 영역에서 자계를 측정하게 된다. 이때 *Sensor2*를 기준으로 보면 좌우측의 *Sensor1*과 *Sensor3*의 선형구간 *A*, *B*를 구분할 수 있다. *Sensor2*가 최소값을 나타낼 때 *Sensor1*이 *Sensor3*보다 작으면 유용한 선형동작영역은 *A*구간이며, *Sensor3*가 더 작은 값이면 *B*구간이 된다. 이처럼 자계센서 열을 이용하면 간편하게 대칭된 수직성분자계의 두 선형구간을 구분할 수 있다.

3.3 위치결정방법

그림 2에서 지구자계의 수직성분자계는 방향과 무관하게 수평면에서 일정한 값을 갖는 것을 보았다. 그러나 수직성분자계도 변화할 수 있다. 자계위치인식시스템에서 지구자계 수직성분자계는 경로의 지질적 특징이나, 차량이나 로봇의 출렁임에 의한 센서의 높이 변화에 의해 약간의 변화가 나타난다. 따라서 정밀한 위치인식을 위해서는 지구자계의 영향이 제거되어야 한다. 자계센서에 의해 측정되는 자계는 식 (4)와 같이 표현할 수 있다. 측정된 자계는 자석의 자계 뿐 아니라 지구자계 및 주변 환경에 의한 자계까지 포함하고 있다.

$$B_{measured} = B_{marker} + B_{earth} + B_{ambient} \quad (4)$$

그림 4의 각 센서 *Sensor1*, *Sensor2*, *Sensor3*가 측정하는 자계는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$B_{measured}^{sensor1} = B_{marker}^{sensor1} + B_{earth} + B_{ambient} \quad (5)$$

$$B_{measured}^{sensor2} = B_{marker}^{sensor2} + B_{earth} + B_{ambient} \quad (6)$$

$$B_{measured}^{sensor3} = B_{marker}^{sensor3} + B_{earth} + B_{ambient} \quad (7)$$

이때 가장 큰 센서의 자계를 그 외의 센서 값에서 감하게 되면 자석의 자계만 남게 된다. *Sensor1*의 값이 최소가 되는 지점을 예로 들면 다음과 같다.

$$B_{measured}^{sensor2} - B_{measured}^{sensor1} = B_{marker}^{sensor2} - B_{marker}^{sensor1} \quad (8)$$

$$B_{measured}^{sensor3} - B_{measured}^{sensor1} = B_{marker}^{sensor3} - B_{marker}^{sensor1} \quad (9)$$

결과적으로 지구자계의 영향이 제거되었다. 또한 주변 환경에 의한 자계 역시 제거되었다. 위와 같은 방법을 사용하면 왜란자계를 실시간으로 제거할 수 있다.

본 논문에서는 자석의 위치를 결정하기 위해 아래와 같은 수직성분자계 선형구간의 직선방정식을 사용하였다.

$$y = mx + b \quad (10)$$

위 방정식에서 *y*는 유용한 선형구간의 자계, *x*는 자석의 위치 데이터, *m*은 선형구간 직선의 기울기, 그리고 *b*는 위치데이터에 대한 상수이다. 실험을 통해 획득된 자계 데이터를 사용하여 직선방정식의 *m*과 *b*를 구한다. *m*과 *b*를 구하면 측정된 자계로부터 자석의 위치를 계산할 수 있다. 위의 위치결정방법을 위해서는 *m*과 *b*만 저장하면 되기 때문에 메모리의 소비율을 감소시킬 수 있다.

4. 실험 및 결과 고찰

4.1 실험환경

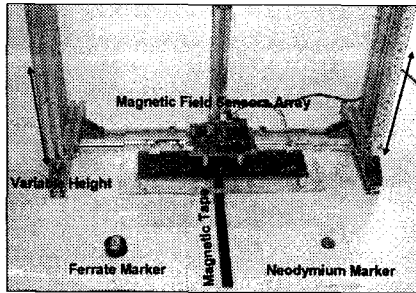


그림 5. 제안하는 자계위치인식시스템과 실험환경.

3절의 제안하는 이론을 바탕으로 자계위치인식시스템을 구성하였다. 실험에 사용한 자계센서열은 5개의 Z축 센서를 4cm 간격으로 배치하였으며, 센서열의 아래에서 자석을 이동시키며 각 센서에서 측정된 자계 데이터를 사용하여 선형구간의 직선방정식을 구하였다. 또한 변화하는 높이에 대한 실험을 수행하기 위해 센서열의 높이를 가변 할 수 있는 장치를 구성하였다.

4.2 실험결과

그림 6은 자계센서 열의 중심으로부터 좌측 30cm 지점에서 우측 30cm 지점까지 자석을 이동시키면서 측정된 5개의 각 센서의 출력을 나타낸다. 자석이 센서열의 각 센서의 아래를 지날 때 각 센서의 출력은 최소값을 나타낸다. 측정된 기본 자계를 사용하여 각 센서의 선형구간의 직선방정식을 구하였다. 센서의 높이의 변화에 따라 적용되는 자계의 세기도 변화하기 때문에 센서열의 높이를 변화시키면서 동일한 실험을 반복하여 높이에 따른 선형구간의 방정식을 구하였다.

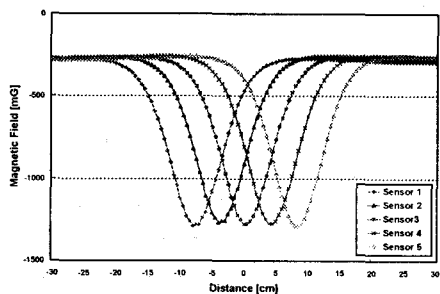


그림 6. 자계센서 열의 출력.

제안하는 자계위치인식시스템의 출력은 그림 7과 같이 선형적 특성을 지닌다. 실험결과 제

안하는 시스템은 고정된 높이에서는 최대 2.5mm, 평균 1.4mm의 오차를 변화하는 높이에서는 최대 5.6mm, 평균 1.5mm의 오차의 정확성을 보였다. 제안하는 시스템은 자계기반 자율주행 차량과 로봇의 위치인식시스템으로 사용 가능성이 검증되었다.

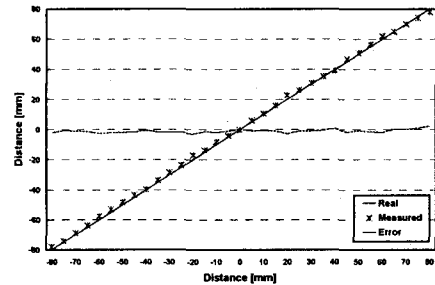


그림 7. 제안하는 자계위치인식시스템의 출력.

5. 결 론

본 논문에서는 자율주행과 차량과 로봇의 안내를 위한 자계위치인식시스템에 관하여 논하였다. 1축 자계센서 열을 구성하여 왜란자계의 영향을 제거하였으며, 수직성분자계의 선형구간과 마이크로컨트롤러를 사용한 위치인식 알고리즘을 통하여 자석의 위치를 검출하였다. 실험결과 제안하는 시스템은 평균 1.5mm의 오차를 보였으며, 자계기반 자율주행차량과 로봇의 위치인식시스템으로 사용 가능성이 검증되었다.

참 고 문 헌

- [1] David S. Nyce, "Linear Position Sensors: Theory and Application," Wiley-Interscience, USA, 2004.
- [2] Ching-Yao Chan, "A System Review of Magnetic Sensing System for Ground Vehicle Control and Guidance" PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2002-20, 2002.
- [3] C.-Y. Chan, H.-S. Tan, "Evaluation of Magnetic Markers as a Position Reference System for Ground Vehicle Guidance and Control" California PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2003-8, 2003.
- [4] National Geomagnetic Information Center, URL <http://geomag.usgs.gov/>
- [5] Advanced Public Transport Systems (APTS), URL <http://www.apt-phileas.com/>