

MR센서를 이용한 무인 주행 시스템 설계

김창섭*, 박기선, 이영진(부산대 대학원 지능기계공학과), 이만형(부산대 기계공학부)

Development of an Unmanned Vehicle Driving system By the MR Sensor

Chang Sup Kim, Kie Seon Park, Young Jin Lee (Dept. Mech. & Int. Eng., PNU)
Man Hyung Lee(School of Mech. Eng., PNU)

ABSTRACT

By using the information obtained from output of the MR(Magneto Resistive) sensor for an unmanned vehicle system which is used in the Local Position System. We develop an algorithm that decides the distance and directions between the guideline made by magnets and vehicle, and make an unmanned vehicle driving system that is steered by PD controller and MR sensor

Key Words : Unmanned vehicle system, PD control, MR sensor, Linearization, Lateral Control

1. 서론

차량의 자율 주행을 주행로의 정보를 얻는 방식에 따라서 도로 인식에 의한 비전 센서 시스템이나 자기장의 검출에 의한 자기 센서 시스템 등이 있으며 각각은 장단점이 있다. 이에 본 논문에서는 자석을 이용한 주행 도로를 만들어 비교적 넓은 지역에 대한 자율 주행이 가능한 무인 차량을 개발 하고자 한다. 영구자석의 경우는 자기장의 세기가 유도 전선에 비해 비교적 일정하며 비전 시스템을 사용할 때 발생하는 기후나 날씨에 의한 문제점에 영향을 받지 않으며 저렴한 가격으로 주행시스템을 구성할 수가 있다는 장점이 있다.

무인 주행 시스템을 위해서는 도로의 정보를 어떻게 받을 것인가에 대한 문제와 차량의 각 부분을 어떻게 무인화 할 것인가에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 무인 차량의 도로 정보 파악을 위한 센서인 MR(Magneto Resistive)센서의 출력으로부터 자석으로 이루어진 유도선과 차량 사이의 벗어난 거리와 방향을 판별하는 알고리즘을 개발하였다. 그리고 MR 센서로부터 얻어지는 도로 정보를 조향 부분을 무인화 한 실제 차량에 적용시킴으로써 저속에서 무인 주행의 조향 제어성능을 파악하였고, 시스템 잡음 및 주변 외란을 제거 하기위해 PD제어 및 Kalman Filter를 사용하였다.

본 논문은 MR센서를 이용한 Local Position System에도 적용하여 사용할 수 있는 기초자료로 사용하겠다.

2. MR 센서의 원리 및 출력 특성

이방성의 자기저항은 철을 함유한 금속에서 발생하는데, 이러한 얇은 금속에 흐르는 전류와 직교하게 자기장을 가하면 저항의 변화를 발생시킨다.

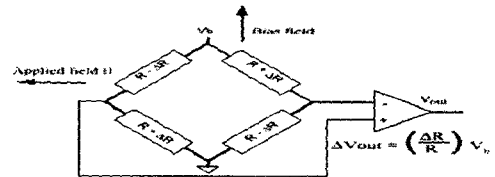


Fig. 1 Magnetoresistive transducer

Fig. 1과 같이 자기장 H 가 존재하는 영역에서 얇은 철, 니켈 합금을 휘스톤 브릿지 형식으로 구성하고 그 금속판에 전압 V_b 를 인가하여 전류를 흐르게 하면 마주보는 두 저항에 전류를 향하는 방향으로 자화가 발생하여 저항 R 이 증가되고, 나머지 두 저항에는 전류방향에 반대되는 방향으로 자화가 발생하여 저항 R 이 감소하게된다. 출력 ΔV_{out} 은 일

정구간에서 자기장 H 에 비례하게 되고 S 는 그 비례 상수이다. 이 관계로부터 다음과 같은 식이 유도된다.[1]

$$\Delta V_{out} = \left(\frac{\Delta R}{R}\right) V_b = SHV_b \quad (1)$$

MR센서가 지면에서 일정한 높이(15cm)에서 자석의 중앙을 통과할 때 다음과 같은 출력을 나타낸다.

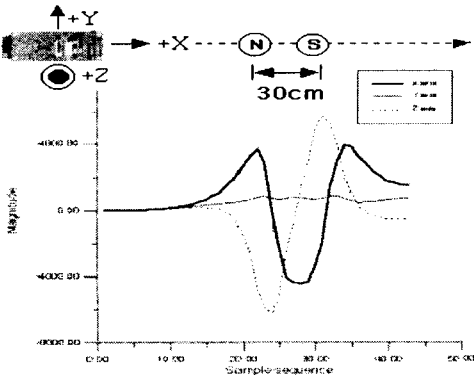


Fig. 2 N-S Series of the magnet with 30cm

Fig. 2는 자석을 일정한 거리로 서로 다른 극을 교대로 해서 배치하였을 때의 출력 곡선이다. 상대 극으로 자석을 배열하면 두 개의 서로 다른 극이 서로 간섭하여 하나의 커다란 자석을 배열한 것과 같은 효과를 나타낼 수 있다. 그러나 어느 정도 이상 간격이 멀어지면 서로 다른 극의 간섭이 적어져 독립된 두 개의 서로 다른 자석으로 인식한다. 자석의 N은 Z축의 아래 쪽 피크에, S극은 Z축의 위쪽 피크에 각각 대응이 된다. X의 피크는 각 Z피크 사이의 중심에서 발생한다. 상대 극 배열 방식은 특정 간격 이하에서 동일한 출력을 나타내고, 출력의 크기는 같은 극으로 배열한 것보다 큰 출력을 보여 측정 데이터의 세분화 측면에서 이점이 있다.

3. 거리 계산 알고리즘 및 제어기

3.1 거리 계산 알고리즘

영구 자석을 지면으로부터 일정한 높이(15cm)에 장착하여 상대 극으로 배열한 유도선을 MR 센서가 바로 위를 진행 할 때와 Off-Set을 두고 진행할 때의 출력은 거리에 따라 변하게 된다. 즉, 거리가 가까울 때에는 MR 센서 Z축의 최대 값과 최소 값의 차이가 크고, 거리가 멀 때에는 MR 센서 Z축의 최대 값과 최소 값의 차이가 작다. 이를 각 값에 대하여 그래프로 나타내면 다음 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다.

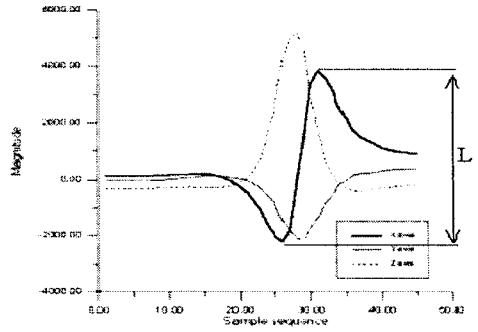


Fig. 3 Difference between Max. and Min. value (L: Difference between Max. and Min. value)

MR 센서의 출력에 의하여 피크를 제외한 각 구간에서 어느 정도의 선형 근사 출력이 나온다는 것을 알 수가 있다. 선형 근사가 가능하다는 것은 보상 알고리즘 없이 센서 출력을 그대로 이용할 수 있다는 것을 의미한다. 실험을 통해 선형화가 유지되는 자석간의 최대거리를 구하여 필요로 하는 자석의 수를 구할 수 있다. 본 논문에서는 센서의 이동 방향에 따라 자석간의 상대적 거리가 달라짐을 고려하여 30cm로 정했다. 실험 장치를 제작하여 자석과 일정한 offset 거리에 대한 센서의 출력을 반복하여 구하고, 이러한 값에서 Z축의 최대 값과 최소 값의 차이를 평균하여 아래 Fig. 4와 같이 나타내었다. 선형 보간 이전의 곡선에서는 유도선과 센서의 떨어진 거리가 거의 선형에 가깝게 변한다는 것을 알 수 있다.

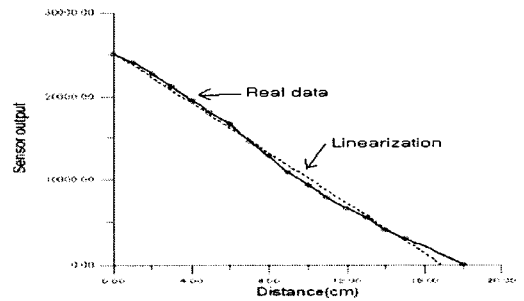


Fig. 4 Linearization of the distance according to the output

이점을 이용하여 다음과 같은 선형화를 할 수 있다.

$$r = k \times \frac{1}{L}$$

(r : 유도선과 센서사이의 떨어진 거리, L : 센서 출력의 최대값과 최소값의 차이, k : 상수)

유도선에 대하여 센서의 off-set 방향을 판단하는 알고리즘은 각 샘플링 타임마다 Z와 Y의 미분 부호를 판별함으로써 이루어진다. 하지만 Z피크와 Y피

크 시점이 정확하게 일치하지 않기 때문에 바로 적용을 할 수가 없다. 각 피크 시점의 차이는 지구 자기장이나 주위의 철, 혹은 다른 자석 등에 의한 노이즈 영향으로 일정하지 않기 때문에 프로그램 적으로 보상하는 데에는 다소 어려움이 있다. 현재 구현된 알고리즘 상에는 X가 피크를 보일 때 Z와 Y의 미분 부호를 비교하여 유도선에 대한 센서의 위치를 판단한다. 선형화된 직선의 방정식에 의해 센서와 자석사이의 거리와 방향을 측정해보면 다음과 같다.

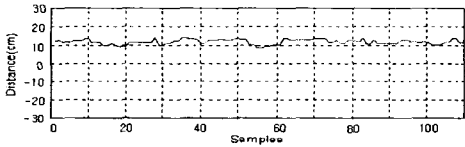


Fig. 5 Test result of the offset(13 cm) passed

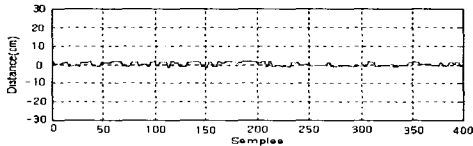


Fig. 6 Test result of the center passed

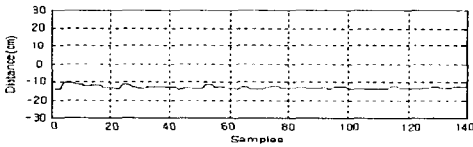


Fig. 7 Test result of the offset(-13 cm) passed

Fig. 5에서 7까지를 살펴보면 자기 ± 2cm 정도의 오차를 보임을 알 수 있다. 이는 자석을 배열함에 있어 발생하는 자석 간격사이의 오차와 자석이 이루는 길의 직진도에서 발생하는 오차로 차량의 폭에 비교해 볼 때 비교적 작은 값의 오차로 볼 수 있다. 측정 센서로부터 발생하는 측정 잡음은 특정 주파수 대역 성분이 아니라, 거의 모든 주파수 대역 성분임을 실험을 통해 알 수 있었다. 그러므로 특정 주파수대역 잡음을 제거하는데 사용되는 Low Pass Filter, High Pass Filter, Band Pass Filter 등을 사용할 수 없다 그래서, 이런 잡음 성분을 제거하기 위해 Kalman Filter를 사용하였다.

다음 그림은 Kalman Filter를 사용한 후의 결과이다.

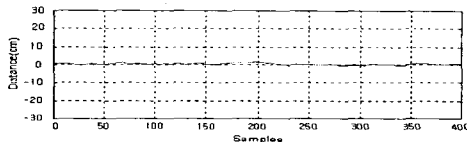


Fig. 8 Kalman filtering data for center passed

3.2 제어기

주행할 때 유도선에 대한 차량의 Error를 e 라고 한다면 주행제어의 목표는 $e=0$ 가 되도록 하는 regulating 문제이다. 본 논문에서는 이 제어 목표를 위해 제어기의 기본 구조를 PD로 설계하였다. 정상상태 오차 e 에 비해 과도상태 응답이 조향성에 중요하므로 PD구조로 제어기를 설계한다. 제어 이득은 시행착오법으로 구하였다.

$$\theta = -(K_P e + K_D \dot{e})$$

(θ : 핸들 조향, e : 위치오차, K_P , K_D : 제어 게인)

시스템 전체의 블록 다이어그램은 다음과 같다.

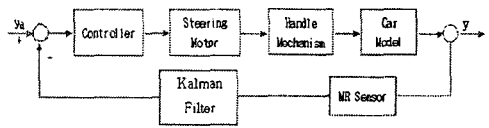


Fig. 9 Block diagram of the system

4. 시스템의 구성

4.1 전체구성

실제 실험에 사용된 시스템의 전체 구성도는 Fig. 10과 같다.

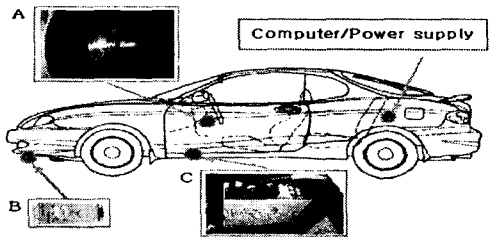


Fig. 10 Total composition of the system (A: Handling mechanism, B: MR sensors, C: Driver)

4.2 MR 센서 부분

3장에서 얻어진 MR 센서의 거리/방향 판단 알고리즘을 이용하여 유도선을 감지하기 위한 MR 센서를 차량의 앞 범퍼 아랫부분에 설치한다. 실험용 자석에 의한 센서 1개당 최대 센싱 거리는 좌우 18cm로서 그 범위가 협소하여 두 개의 MR 센서를 이용하여 그 센싱 거리를 2배로 늘린다.

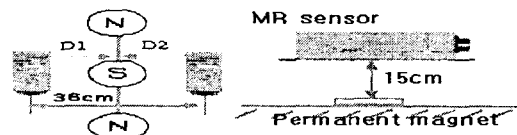


Fig. 11 Arrangement of the MR sensor

두 센서에서 입력받은 값을 비교 판단하여 유도선과 가까이 있는 센서의 값(각기 측정된 D1, D2의 값에서 작은 값을 채택한다)에 센서 위치를 보상하여 거리 정보를 판단한다. 최대 감지가능한 영역은 72cm이다.

4.3 핸들 조향 부분

핸들 조향 부분은 차량의 운전석 앞부분에 설치되어 있으며 정확한 제어량을 전달하기 위하여 기어를 이용한 동력 전달 장치를 설치하였다. 핸들이 장착되어 있으므로 경우에 따라서는 수동/자동 조작이 가능하도록 설계하였다. 조향 모터와 바퀴의 움직임 비는 39.775:1의 비율로서 조향 모터가 약 40° 움직이면 바퀴가 1° 움직이게 된다.

4.4 컴퓨터 및 전원 부분

시스템을 제어하기 위하여 486PC를 사용한다. 볼랜드 C++를 이용하여 프로그램을 구성하였다. 주 동력원은 차량에 내장된 12V 75AH 배터리를 사용하였고 1KW 급의 인버터로 12V 전원을 220V로 승압하여 컴퓨터 전원 및 조향 모터 컨트롤러에 공급하도록 하였다.

5. 실험 및 결과

5.1 실험

실제 차량을 통해 주행 실험을 한 결과를 각각 직선도로와 곡선도로의 경우에 대하여 나타내었다.

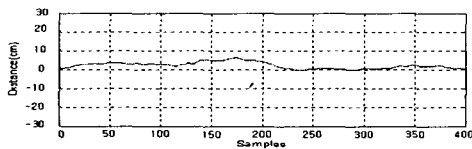


Fig. 12 Test Result of Straight Guide Line

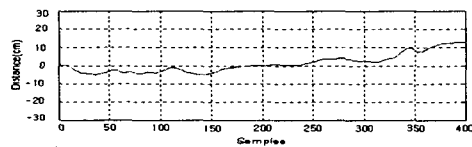


Fig. 13 Test Result of Curved Guide Line

직선도로의 경우 초기 위치가 +3cm 벗어난 경우에서 실험을 시작하여 5km/h의 속도로 주행을 하였을 때의 모습이다. 전반부의 오차 값(약 9cm)에 비해 후반부는 오차 값이 거의 0으로 줄어든 모습을 볼 수 있다. 곡선도로의 경우 Fig. 14와 같이 부드러운 곡선으로 구성을 한다.

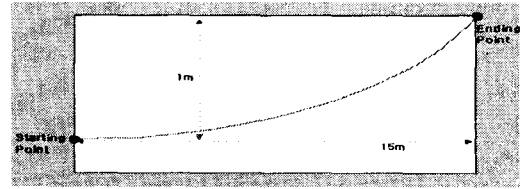


Fig. 14 Profile of the Curved Guide Line

곡선 도로의 경우는 직선 도로에서 보다 적은 약 4km/h의 속도로 주행을 하였다. 곡선 도로의 경우는 곡률의 영향에 의해 직선도로에 비해 16cm 정도의 비교적 큰 오차가 발생함을 볼 수 있다. 이는 곡률이 클 경우 더 많은 오차를 보이게 된다.

7. 결론

MR센서의 출력특성으로부터 유도선으로부터의 거리 및 방향을 판별하는 알고리즘에 제안하였고, 실 차에 적용하여 저속에서 실차 실험을 하였다. MR센서는 자석을 이용함으로써 기구나 날씨의 변화에 강한 특성을 보이며 다른 무인 차량용 센서에 비해 비교적 저렴한 가격으로 시스템을 꾸밀 수 있는 장점이 있다.

PD제어는 현재의 생산현장에서 사용되는 것이며, 본 실험에서도 실험결과가 만족스럽게 나타났다. Kalman Filter를 이용하여 noise를 제거한 후 사용하였을 시 핸들링 감이 좋았다. 즉 급격한 핸들링이 없었으며, 핸들링의 진동도 감소하였다.

기구학적인 모델링에 기초한 dynamics의 이용은 차량의 속도가 저속일 때에는 효과적이지만 그 속도가 20km 이상일 때에는 센서의 감지 영역을 벗어나는 경향 및 진동이 발생할 수 있으므로 바람직하지 못하였다.

따라서 Local Position System의 이용으로 전방 경로의 곡률정보를 활용하여 속도, 곡률, 유도선으로부터 거리, 조향각을 고려한 시스템 dynamics를 고려하여야 하겠다.

참고문헌

1. Honeywell, "Magnetic Sensor DATA Sheets," Honeywell, 1999
2. 김민철, "기구학적 모델에 기초한 차량의 조향 제어", pp. 5-15, 1993.12
3. Thomas D. Gillespie, "Fundamentals of Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers," pp. 196-208, 1994
4. 삼성전자 생산기술센터, "Servo Drive 사용자 설명서," 1998.3