

신경망을 이용한 자계기반 자율주행 시스템의 조향 제어기 설계

Design of Steering Controller for Autonomous Vehicle System on Magnetic Based Using Neural Network

임대영, 정영운, 유영재
목포대학교 제어시스템공학

Dae-Young Lim, Young-Yoon Jung and Young-Jae Ryoo

Department of Control System Engineering Mokpo National University

E-mail : dylim@mokpo.ac.kr, yyjung@mokpo.ac.kr, yjryoo@mokpo.ac.kr

요 약

본 논문에서 신경망을 이용한 자계기반 자율주행 시스템의 조향 제어기 설계를 제안한다. 자율주행시스템에서 가장 중요한 핵심요소는 자계도로상의 센서의 현재위치를 파악하고 주행하는 것이다. 먼저 자계도로상의 현재위치를 파악하기 위한 방법으로, 첫 번째 자기쌍극자 모델식이 센서에서 측정된 자계와 일치함을 보였다. 두 번째 Peak Mapping법을 이용하여 외란으로 작용하는 지자계 성분을 제거할 수 있음을 입증하였다. 세 번째로 신경망을 이용하여 높이 성분(B_z)가 변하더라도 정확한 거리가 계속됨을 확인하였다.

따라서 신경망을 이용하면 소량의 메모리를 사용할 수 있으므로 실제 시스템에서 경제적인 효과를 볼 수 있고, 정확한 거리를 계속하므로 경로를 이탈하지 않고 자율주행이 가능한 시스템을 설계하였다.

1. 서론

현재 자동차의 자율주행에 대한 연구는 수년간 지속적으로 증가하여 실용화 단계를 넘어 상용화 단계에 이르고 있다. 지금까지 개발된 자율주행 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

첫 번째 방법은 시각센서를 이용한 것으로 영상 처리 장비로 도로의 차선을 감지하고 인식하여 주행하는 방법이다[1]. 그러나 이 방법은 기상때 따른 영향으로 상용화하는데 많은 문제점을 내포하고 있다. 즉 비나 눈이 내려 도로의 차선이 보이지 않으면 주행을 할 수 없고, 영상을 처리하는데 빛에 의한 영향으로 정상적인 데이터 처리가 어렵기 때문이다. 또한 영상데이터를 실시간으로 처리해야 함으로 장비가 고가이며 시스템을 구성하는데 많은 비용이 투자된다.

두 번째 방법은 자계기반의 자율주행 시스템으로 차선의 중앙에 영구자석을 심고 자계센서를 이용하여 도로상의 3차원공간에서 자계분포를 계

측하여 주행하는 방법이다[2,3]. 이는 눈이나 비가 오더라도 자계에 영향이 없기 때문에 기상에 의한 영향을 받지 않는 장점을 가지고 있다. 또한 마이크로프로세서를 이용하여 시스템을 구축할 수 있기 때문에 저가형 시스템개발이 가능하다.

이러한 장점들로 인해 선진국인 미국이나 네덜란드에서는 자계기반의 자율주행 버스를 개발하여 BRT(Bus Rapid Transit)에 적용하거나 상용화 하고 있다[4-7].

우리나라에서는 지하철을 대신할 수 있는 용도로 2008년에 대도시의 지상에서 운행할 수 있도록 건설교통부가 추진 중인 “국가교통핵심기술개발사업”의 일환으로 한국철도기술연구원에서 “도시형 연료전지 궤도차량시스템 개발사업”에 자계기반의 자율주행 시스템 적용을 계획하고 있다 [8].

자계기반의 자율주행 시스템에서 가장 중요한

핵심요소는 자계도로상의 차량의 현재 위치 파악하고 검출하는 것이다. 자계도로상에서 센서를 이용하여 자계를 측정하면 주행방향에 대한 3축 성분 B_x (전후방향 자계), B_y (측방향 자계), B_z (높이방향 자계)의 자계를 측정할 수 있다. 측정된 자계를 해석함으로써 차선상의 센서위치를 검출할 수 있다.

자계를 측정하고 위치를 결정하는데 있어 중요하게 다루어야 할 요소는 외란으로 작용하는 지구자계(이하 지자계라 한다.)이다. 지자계 성분은 방향에 따라 변화하는 특성을 가지고 있기 때문에 주행방향에 따라 지자계 제거가 필수적이다.

따라서 본 논문에서는 자율주행시스템에서 외란으로 작용하는 지자계를 제거하고, 차량의 위치를 파악하고, 신경망을 이용하여 조향각을 제어할 수 있는 제어기설계를 제안한다.

2. 영구자석의 자기쌍극자 모델

원통형 영구자석을 자기 쌍극자 모델로 가정하면 자석으로부터 떨어진 센서위치의 3축 성분 (B_x, B_y, B_z)의 세기를 유도할 수 있다. 자계의 세기는 다음과 같다.

$$U = \frac{M \cos \theta}{4\pi\mu_0 r^2}$$

$$= \frac{Mz}{4\pi\mu_0 (x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}}$$

단, U : 자기쌍극자자위, r : $\sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}$

M : 자기쌍극자모멘트, μ_0 : 진공중의 투자율.

따라서 센서위치의 자계 B 의 3축성분 세기는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_x = \frac{3Kxz}{r^5} [G]$$

$$B_y = \frac{3Kyz}{r^5} [G]$$

$$B_z = \frac{K(2z^2 - x^2 - y^2)}{r^5} [G]$$

단, K : $\frac{M\alpha}{4\pi}$ α : 단위환산계수.

3. 자계계측 및 지자계 제거

자기저항센서를 이용하여 자계를 측정한다. 측정된 자계는 외란으로 작용하는 지자계를 포함하

고 있다. 지자계는 방향에 따라 세기가 다르기 때문에 Peak Mapping법을 이용하여 지자계 성분을 제거한다. 측정된 자계는 마이크로프로세서와 컴퓨터 사이에 직렬통신을 통해 컴퓨터에 전송된다. 전송된 데이터는 개발된 소프트웨어에 의해 그래프로 표시된다.

본 논문에서 사용된 자기원은 페라이트로 직경 2.5[cm]×10[cm]크기를 갖는다.

센서는 미국 Honeywell사의 HMR2300 사용하였다. 이는 내부적으로 HMC 1001과 1002로 구성되어있다. 최대 ±2[Gauss]내에서 자계를 측정할 수 있고, 70[μGauss]의 정밀도를 가지고 있다. 센서의 이동거리가 정확하도록 가로, 세로 100[cm]크기의 모눈종이를 바닥에 설치하였다. 센서높이를 고정하기 위해 아크릴 케이스를 제작하였다. 센서는 자석의 표면으로부터 20[cm]위에서 고정하였다. 센서의 이동방향은 자기원을 중심으로 전후방향(D_x)과 좌우방향(D_y)으로 5[cm] 간격씩 각각 50[cm] 이동하며 측정하였다.

3.1 단일자기원의 자계분포

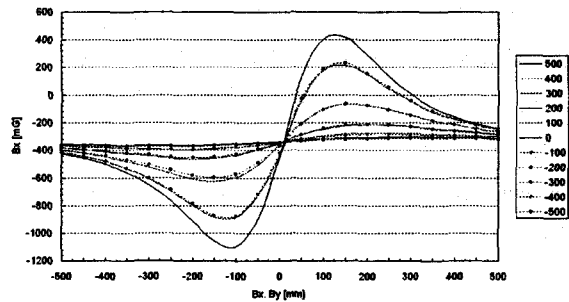


그림 3.1 전후방향(B_x) 자계분포.

그림 3.1은 자기원의 전후방향에 대한 자계분포를 나타낸다. 상수로 지자계 값을 포함하고 있다. 전후방향(D_x)으로 이동하는 동안 자기원이 위치한 0[cm]를 기준으로 후방에 위치할 때 음에 값을, 전방에 위치할 때는 양에 값을 갖는다.

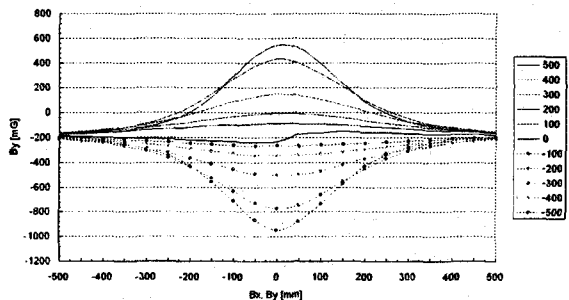


그림 3.2 측방향(B_y) 자계분포.

그림 3.2는 좌우방향(D_y)으로 이동할 때 자계의 분포를 볼 수 있다. 자기원이 위치한 0[cm]에서 자계의 분포가 가장 크게 나타나고, 좌측에 위치할 때 음에 값을 우측에 위치할 때 양에 값이 나타낸다.

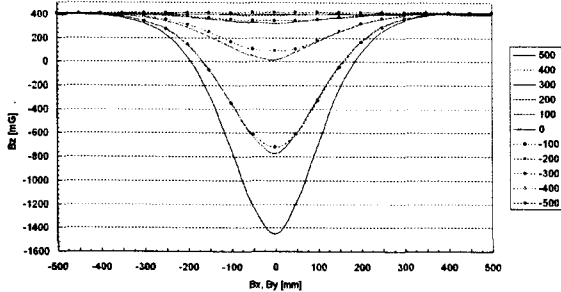


그림 3.3 높이성분(B_z) 자계분포.

그림 3.3은 수직방향(D_y)에 대한 자계의 분포를 나타낸다. 자기원이 위치한 0[cm]에 가까워 질수록 자계의 분포가 커지고, 자기원의 위에서 자계의 분포가 가장 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

3.2 지자계 성분제거

3.1절의 그림들을 살펴보면 그래프 시작점과 끝나는 점의 자계가 약 400~400[mG] 사이 임을 볼 수 있다. 이는 현재 자계를 계측하고 있는 방향의 지자계 성분으로 계측방향에 따라 다르게 분포한다. 이러한 지자계는 자율주행 시스템에서 자동차가 주행할 때 외란으로 작용하며 반드시 제거해야 한다. 따라서 Peak Mapping 방법을 이용하면 지자계를 제거할 수 있다.

자석이 센서 바로 아래를 지날 때 B_z 축은 최대치가 되고, B_y 축은 최소치가 된다. 이때 B_y 축의 최소치가 측방향 성분의 지자계가 된다. 따라서 다음과 같이 B_z 축의 Peak와 B_y 축의 Valley를 구함으로써 지자계를 제거할 수 있다.

$$\sigma_z(t_k) = \sum_{i=k-n}^k (B_z(t_i) - \bar{B}_z(t_k))^2$$

$$\bar{B}_z(t_k) = \frac{1}{N} \sum_{i=k-N}^K B_z(t_i).$$

$$\text{if } |B_z(t_k) - \hat{B}_{z_{Earth}}| > HIGH_threshold \quad \& \quad \sigma_z(t_k) < \epsilon \Rightarrow Peak\ detected,$$

$$\text{if } |B_z(t_k) - \hat{B}_{z_{Earth}}| < LOW_threshold \quad \&$$

$$\sigma_z(t_k) < \epsilon \Rightarrow Peak\ detected,$$

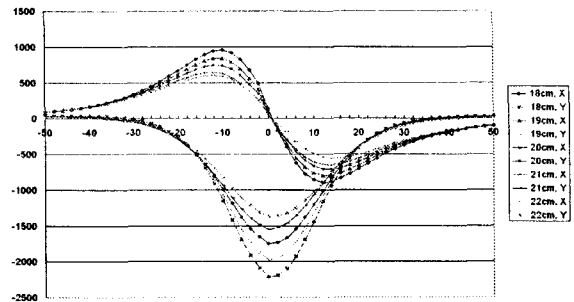


그림 3.4 지자계가 제거된 (B_x, B_y) 자계분포.

그림 3.4는 위의 수식을 이용하여 지자계를 제거한 B_x, B_y 의 순수 자기원의 자계성분이다.

4. 신경망을 이용한 위치예측

기존의 자계를 계측하고 위치를 예측하는 방법으로 Lookup Table법을 이용하였다. 이는 지자계가 제거된 도로의 자계데이터를 메모리에 저장하고, 계측된 자계와 비교함으로써 현재의 위치를 파악한다. 그러나 이 방법은 많은 메모리를 필요로 하게 되고 메모리가 없는 경우 정확한 위치를 파악할 수 없다. 따라서 많은 메모리가 필요하지 않는 신경망을 이용한 지능형 위치검출 방법을 제안한다. 신경망을 이용한 위치검출 시스템은 신경망의 학습능력과 일반화 특성을 이용하여 자계와 센서의 위치 관계를 학습한다. 신경망은 연결강도만 메모리에 저장하기 때문에 소량의 메모리로 주행이 가능하다. 또한 신경망의 일반화 특성을 이용하면 특별한 보간법 없이도 데이터가 없는 부분의 위치를 검출할 수 있는 장점이 있다.

4.1 신경망의 구조

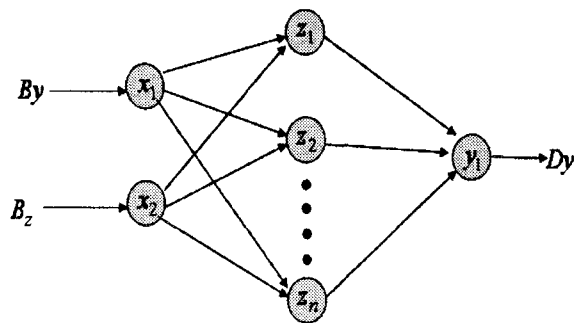


그림 4.1 사용된 신경망의 구조

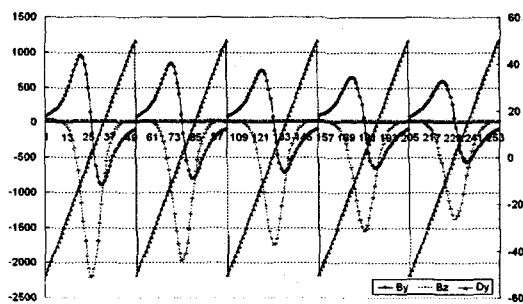
본 논문에서 사용된 신경망의 구조는 그림 4와 같다. 입력소자로 3축성분의 자계 중 B_y, B_z 만을 이용하며, 출력소자로 측방향 거리오차 D_y 를 출력한다.

4.2 신경망의 학습패턴

도로의 자기장 분포는 동일 규격의 자석을 동일 간격, 동일한 방향으로 설치하였다. 따라서 신경 회로망을 학습시키기 위한 학습패턴은 센서의 현재 위치의 자계 B_y, B_z 를 입력패턴으로 하고, 그때의 위치를 목적패턴으로 하여 얻는다. 예를 들어 자석으로부터 떨어진 지점의 자계 B_y, B_z 를 획득한다.

4.3 신경망학습방법

신경망의 학습은 가장 일반적인 역전파 학습규칙을 이용하였다. 입력 및 목적패턴 데이터는 단극성(Unipolar)으로 정규화 하여 사용하였다. 출력소자와 입력소자의 활성화함수는 단극성 시그모이드(Sigmoid) 함수를 사용하였다. 학습결과에 따라 학습종료 후 신경망내의 연결 가중치들은 제어기의 성능을 나타내며, 학습에 포함되지 않았던 자계성분이 신경망에 입력되더라도 신경망의 일반화 특성에 의하여 적절한 출력을 생성하게 된다. 그림 4.2는 지자계가 제거된 높이에 따른 자계 데이터 B_x, B_y 를 기반으로 신경망을 적용하여 거리를 검출한 결과이다. 따라서 신경망을 이용하면 높이성분(B_z)이 변화 하더라도 거리(D_y)가 일정하게 검출됨을 확인할 수 있다.



5. 결론

본 논문에서 신경망을 이용한 자계기반 자율주행 시스템의 조향제어기설계를 제안한다. 자율주행시스템에서 가장 중요한 핵심요소는 자계도로상의 센서의 현재위치 파악이다. 따라서 자계도로상의 현재위치를 파악하기 위한 시스템 설계하였다.

첫 번째 자기쌍극자 모델식이 센서에서 측정된

자계와 일치함을 보였다.

두 번째 Peak Mapping법을 이용하여 외란으로 작용하는 지자계 성분을 제거할 수 있음을 입증하였다.

세 번째로 신경망을 이용하여 높이성분(B_z)가 변하더라도 일정한 거리가 계속됨을 확인하였다. 따라서 신경망을 이용하면 작은 메모리를 사용하므로 실제 시스템에서 경제적인 효과를 볼 수 있고, 정확한 거리를 계속하므로 경로를 이탈하지 않고 자율주행이 가능함을 입증 하였다.

6. 참고문헌

- [1] Y., J., Ryoo, and Y., C., Lim, "Neuro-Fuzzy control system for vision-based autonomous vehicle," 1999 IEEE Fuzzy System Conference Rrocs., pp. III-1643~1648, 1999.
- [2] 유영재, "자율주행용 자계도로의 3차원 해석 및 차량위치검출시스템", 한국 퍼지 및 지능시스템학회 논문지, Vol. 15, No. 1, pp. 75-80, 2005.
- [3] 임대영, 유영재, 이진, "자기저항 센서를 이용한 자계기반 자율주행 시스템의 특성분석" 한국 퍼지 및 지능시스템학회 2005년 춘계학술대회 학술발표 논문집 Vol. 15, No 1, pp. 382-385.
- [4] C. Y., Chan, and H. T., Tan, "Evaluation of Magnetic as a Position Reference System For Ground Vehicle Guidance and Control", California PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2003-8, March, 2003.
- [5] C. Y., Chan, "Effects of External Objects and Earth Field on Magnetic marker Systems For Ground Vehicle Guidance and Control" California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2002-20, May, 2002.
- [6] Y. J., Ryoo, E. S., Kim, and Y. C., Lim "Intelligent Positioning System for Magnetic Sensor Based Autonomous Vehicle", SCIS & ISIS, 2004.
- [7] Y. J., Ryoo, E. S., Kim, , and Y. C., Lim "Intelligent Positioning System for Magnetic Sensor Based Autonomous Vehicle", SCIS & ISIS, 2004.
- [8] 목재균, 김용기, 유영재, "정밀정차를 위한 전자기 안내레도기술 개발", 한국철도기술, 50호, 11월, 12월, 2004.