

자계 극배치를 이용한 지능형 차량용 도로 정보의 인식

김영민[†] · 임영철 · 김태곤 · 김의선*

Recognition of road information using magnetic polarity for intelligent vehicles

Young-Min Kim[†], Young-Cheol Lim, Tae-Gon Kim, and Eui-Sun Kim*

Abstract

For an intelligent vehicle driving which uses magnetic markers and magnetic sensors, we can get every kind of road information while moving the vehicle if we use the code that is encoded with N, S pole direction of markers. If we make it an only aim to move the vehicle, it becomes easy to control the vehicle the more we put markers close. By the way, to recognize the direction of a marker pole it is much better that the markers have no effect each other. To get road informations and move the vehicle autonomously we propose the methods of arranging magnetic sensors and algorithm of recognizing the position of the vehicle with those sensors. We verified the effectiveness of the methods with computer simulation.

Key Words : magnetic polarity, intelligent vehicle, autonomous driving, neural network, geomagnetism

1. 서 론

첨단차량 도로시스템에 관한 연구는 차량의 전방 정보를 이용하는 전방탐사 시스템(look-ahead system)과 도로에 영구자석을 적층한 마그네틱 마커를 매설하고 그 자계정보를 이용하는 하방탐사 시스템(look-down system)으로 분류된다^[1]. 전방탐사 시스템은 카메라로 얻은 도로영상의 정보를 이용하는 방법에 관한 연구가 주를 이루고 있었다^[2]. 이 방법은 흐리고 비가 오거나, 우리나라와 같이 사계절이 뚜렷하여 가을에 가로수의 낙엽이 쌓이고, 겨울에 눈이 쌓이는 등의 경우에는 카메라 영상으로부터 궤도의 정보를 확보하기에 어렵다는 한계점을 가지고 있다. 또한 고급 영상 카메라와 실시간으로 영상 데이터를 처리할 수 있는 고성능의 프로세서와 같은 고가장비를 차량에 설치해야 하는 단점 때문에 상용화하는데 어려움이 있었다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 최근에는 도로를

따라 마그네틱 마커를 설치한 자계차선을 추적하여 주행하는 하방탐사 시스템의 연구가 관심을 끌고 있다^[3-8]. 이 방법을 이용하면 어떠한 기상 조건에서도, 그리고 도로에 비추는 빛의 양에 관계없이 주행이 가능해질 뿐만 아니라 간단한 자기 센서와 저가의 범용 프로세서를 사용함으로써 차량에 설치하는 장치의 비용이 전방탐사 시스템에 비하여 훨씬 절감된다.

그러나 하방탐사 시스템은 도로 전방에 대한 예측이 어려워, 선로 곡률에 따라서 속도를 제어해야 하거나 또는 차선을 변경해야 하는 경우 등에 대처하기 힘들었다. 따라서 본 연구에서는 필요한 구간에 마그네틱 마커의 극을 서로 약속된 방법으로 매설하여 자율운행 중에도 마커의 자계 방향을 2진 코드로 인식하여 도로의 정보를 수신할 수 있는 방법을 제안한다.

도로정보의 인식과 자율주행을 동시에 수행하기 위한 자기 센서의 배치 방법과 그 센서들을 이용한 차량의 위치인식 알고리즘을 제시하고, 모의실험을 통하여 그 방법의 실효성을 검증한다.

2. 자계 도로

도로의 중앙에 마커를 일정 간격으로 배치하여 자계 도로를 구성하고, 그림 1에 보인 것처럼 도로 중심에서

전남대학교 전기공학과(Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University)

*서남대학교 전기전자공학과(Dept. of Electrical & Electronic Engineering, Seonam University)

[†]Corresponding author: kingun@celrun.com

(Received : May 10, 2005, Accepted : September 21, 2005)

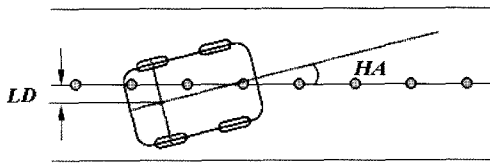


그림 1. 자계 도로와 차량위치
Fig. 1. Road and vehicle position.

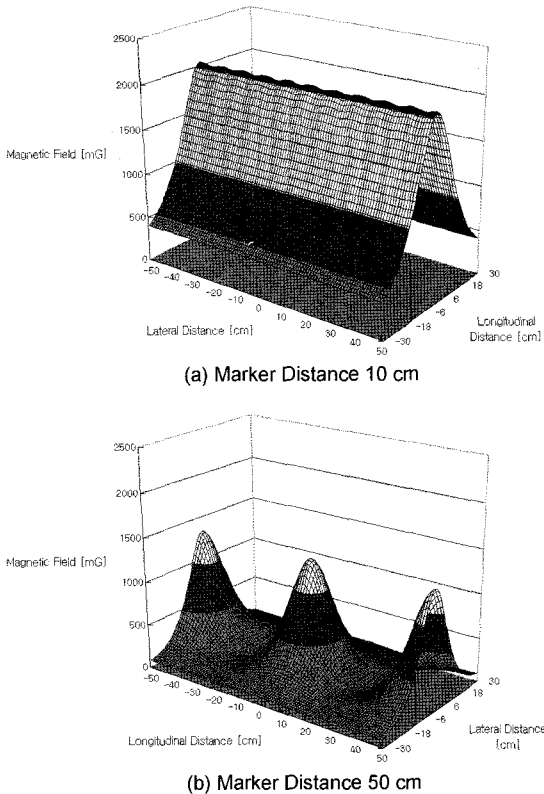


그림 2. 마커 간격에 따른 자계 분포 예
Fig. 2. Magnetic field by the distance between markers.

차량 중심이 벗어난 정도를 측 방향 오차(LD : Lateral Deviation), 차선 방향에 비해 어긋난 차량 진행방향을 차량 방향(HA : Heading Angle)이라고 정의하고, 이 두 가지 오차를 0으로 하도록 차량을 제어하여야 한다.

그림 2에 마커 간의 간격에 따른 자계 분포를 비교하여 나타냈는데, 수직 축은 도로의 측 방향을 나타내고 수평축은 도로의 진행 방향을 나타낸다. 마커의 극은 서로 동일한 방향으로 배치하였으며, 현재 마커를 중심으로 도로 진행 방향으로 ± 50 cm, 도로 측 방향으로 ± 30 cm구간의 자계 분포를 볼 수 있다.

마커 간격이 좁은 그림 2(a)의 경우는 중앙의 블록블

록한 부분의 밑에 마커가 있어서 자계의 세기가 가장 큰 부분이고 중앙에서 도로의 가장자리로 멀어질수록 자계의 세기는 감소한다. 임의의 두 지점에서 LD(측방향 오차)가 서로 동일하면 도로 진행방향으로 어느 지점에 차량이 위치하더라도 측정되는 자계 값도 동일하여, 자계 값으로부터 LD의 산출이 쉬워지므로 자율주행을 위한 조향 제어가 용이하다. 그러나 자계의 극 배치에 난점이 있고, 마커의 설치비가 많이 필요한 단점이 있다.

그림 2(b)는 자계의 피크치에 마커가 존재하고 마커로부터 어느 방향으로나 거리가 멀어질수록 자계 값은 감소한다. 마커 간격이 멀어질수록 인접한 마커 간의 영향이 줄어들어 마커의 극 방향을 인식하기는 쉬워진다. 하지만 기존의 주행 알고리즘을 이용하면 HA를 인식하기가 불가능해지고, LD는 도로의 중앙으로부터의 오차가 아닌 마커로부터 떨어진 정도를 인식할 수 있을 뿐이어서 새로운 위치 인식 및 주행 알고리즘이 필요해진다.

따라서 두 쌍의 센서를 이용해서 인접한 두 개의 마커로부터 자계 값을 동시에 얻을 수 있도록 센서를 배치하여 도로의 방향 정보를 얻는 방법을 제안한다.

3. 센서

3.1. 지자계의 제거^[7]

자계 센서에서 측정되는 자계 값에는 자석에 의한 값뿐만 아니라 지구 자계 값이 포함되어 있는데 본 논문에서는 한 쌍의 센서를 이용하여 지구 자계를 제거하는 방법을 이용한다. 센서에서 측정되는 자계 값에는 식 (1),(2)에서와 같이 마커에 의한 자계, 지구의 자계, 그리고 차량과 주변의 환경에 의한 자계가 혼합되어 있다.

그림 3과 같이 동일한 평면상에 두 개의 센서를 가

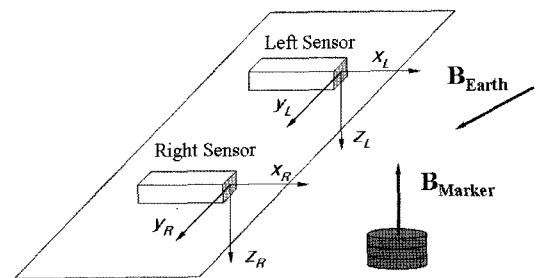


그림 3. 지자계의 제거를 위한 센서 배치
Fig. 3. Arrangement of sensors for elimination of the earth magnetic field.

값과 평행하게 설치하면, 각각의 센서에서 측정되는 지구 자계 성분은 모든 축에 대해서 동일하고, 차체를 비롯한 주위의 영향 또한 거의 같다고 할 수 있다. 따라서 두 센서에서 측정된 값들의 차이를 각 축에 대하여 구하면 식 (3)과 같이 지구 자계 성분과 주위환경에 의한 성분이 제거되고 마커에 의한 성분만 남게 된다.

$$B_L = B_{Lm} + B_{Lg} + B_{Lv} \tag{1}$$

$$B_R = B_{Rm} + B_{Rg} + B_{Rv} \tag{2}$$

- 여기서 B_L : 왼쪽 센서의 측정 자계값
- B_R : 오른쪽 센서의 측정 자계값
- B_m : 마커에 의한 자계값
- B_g : 지구의 자계값
- B_v : 차량과 주변의 환경에 의한 자계값

$$dB = B_L - B_R = B_{Lm} - B_{Rm} \tag{3}$$

3.2. 센서의 배치

지구 자계를 제거하기 위하여 두 개를 한 쌍으로 사용하고, 인접한 두 개의 마커로부터 동시에 자계 값을 얻기 위하여 두 쌍을 1개조로 사용하는데 이를 그림 4에 나타냈다. 즉 지구 자계를 제거하기 위한 한 쌍의 센서를 마커의 설치 간격만큼 앞뒤로 각각 1쌍씩(F1, F2쌍 과 F3, F4쌍) 배치하여 자계 센서 4개가 센서 1개조를 이루도록 한다.

그런데 마커에서 거리가 멀어질수록 마커에 의한 자계 값은 마커로부터 거리의 5승에 비례해서 작아진다^[7]. 그러므로 마커의 간격이 넓어질수록 마커와 마커 간에 자계 값이 매우 작아지는 영역은 넓어진다. 그림 2의 (b)에서 자계값이 임의의 값 이하로 떨어지는 부분이 그 영역을 나타내며, 그 영역에서 측정된 자계 값으로부터는 도로 정보를 얻을 수 없게 된다.

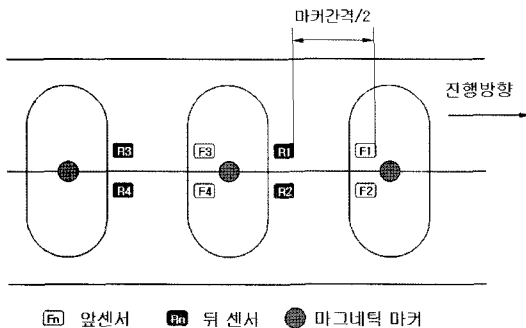


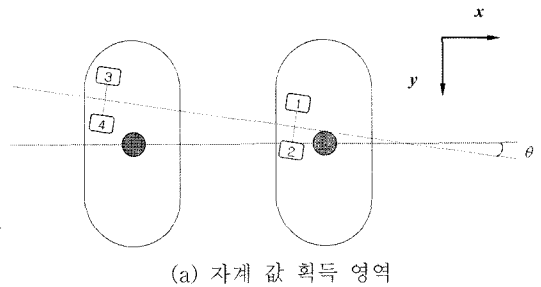
그림 4. 센서의 배치
Fig. 4. Arrangement of sensors.

차량이 진행하여 센서 F1, F2, F3, F4가 그림 4에서의 회색영역을 벗어나면, 센서에서 측정되는 자계 값이 작아지므로, F1~F4센서가 다시 회색영역으로 진입할 때까지 자계 값을 측정할 여분의 센서가 필요하다. 그림에 R1, R2, R3, R4로 표시하였고 각각 Fn에 대하여 Rn 센서는 마커 간격의 절반만큼 뒤에 배치하였다.

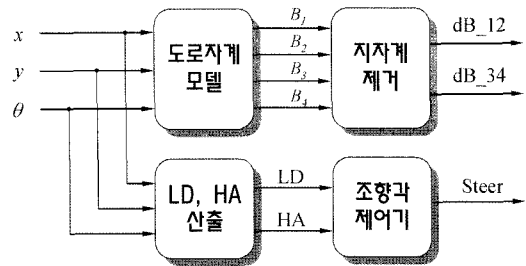
이와 같이 센서들을 배치하고 차량이 주행할 때 각각의 센서에 측정된 자계 값을 비교하여 큰 값이 측정된 센서 쌍들의 값을 취하여 제어기에 입력하여 무인 주행하도록 한다.

4. 신경회로망 제어기

차량이 주행 중에 자계 값을 획득하면 그 값으로부터 LD와 HA를 구하고, 이들을 이용해서 조향각을 산출하여 무인 차량은 자율주행하게 된다. 따라서 설계하고자 하는 제어기는 도로에서 측정된 자계 값을 입력 변수로 하고 조향각을 출력변수로 갖는 구조로 설계한다. 자계 값과 조향각의 관계는 수학적으로 모델링하기가 매우 어려우므로 제어기는 비선형 제어에 우수한 성능을 보이는 신경회로망(Neural Network)을 이용하여 설계한다.



(a) 자계 값 획득 영역



$$B = f\{x, y, \theta \mid x \leq \pm \frac{\text{마커간격}}{4}, y \leq \pm \text{Max LD}, \theta \leq \pm \text{Max HA}\}$$

$$dB = B_{left} - B_{right}$$

(b) 입력패턴과 출력패턴

그림 5. 학습 패턴의 획득
Fig. 5. Gathering the learning pattern.

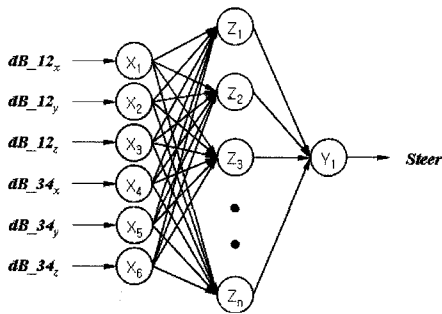


그림 6. 신경회로망의 구조
Fig. 6. Structure of a neural network-based controller.

신경회로망 제어기의 학습에 사용할 학습패턴은 그림 5의 (a)에 표시된 영역에서 x, y 좌표와 θ 를 변화시켜 가면서 자계 값을 얻은 다음, 왼쪽 센서의 값에서 오른쪽 센서의 값을 각 축별(x, y, z)로 빼서 지구 자계가 제거된 자계 값을 입력패턴으로 얻는다. 그리고 동시에 x, y 좌표와 θ 로부터 조향각을 출력패턴으로 얻는다. 이 과정은 그림 5의 (b)에 나타났다.

획득한 학습패턴으로 이용하여 학습이 끝난 신경회로망은 자계 값이 입력되면 조향각을 출력하는 조향각 제어기로 동작한다. 신경회로망 제어기의 구조는 그림 6에 나타났다.

5. 도로정보의 인식

마커간의 간격을 충분히 멀리하여 인접 마커간의 영향을 줄인 다음, 마커의 극을 동일한 방향으로 배치하여 주행하다가, 필요한 구간에 마커의 N, S극 방향을 서로 약속된 방법으로 코드화 하여 매설하면 자율운행 중에도 마커의 자계 방향을 2진 코드로 인식하여 자계 도로로부터 정보를 수신할 수 있다.

N극이 하늘을 향하도록 마커를 매설하면 2진 코드 1로, S극을 위쪽으로 매설하면 0으로 인식하도록 하였다. 코드인식에는 RS232 프로토콜을 사용하였으며 시작비트, 8비트의 데이터, 1개의 스톱비트를 순서로 마커의 극을 매설하였다. 패리티 비트는 사용하지 않았으며 8비트의 데이터는 ASCII 코드를 이용하여 실험하였다.

마커의 극방향이 바뀌면 센서에서 측정되는 각축 자계 값의 부호는 서로 반대가 되므로 그 부호로부터 인식하고자 하는 코드의 비트 값을 얻는다. 또한 앞에서 설계된 신경회로망은 마커의 극성이 바뀌더라도 측정 자계 값의 부호만 바꾸어 입력하면 웨이트를 변경하지 않고 그대로 조향제어기로 사용할 수 있다.

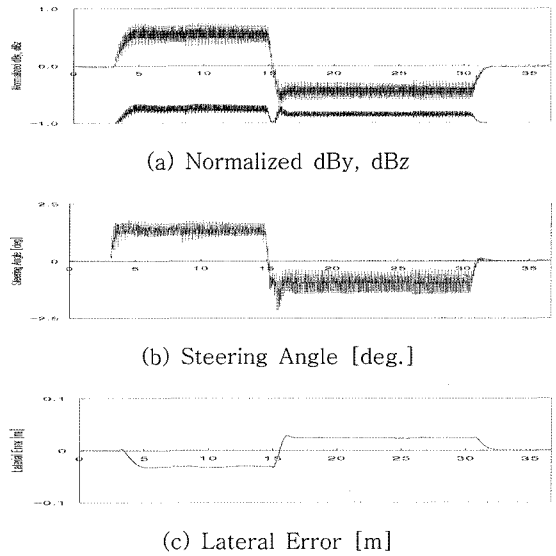


그림 7. 마커 극배치를 알았을 경우의 주행결과
Fig. 7. The result of simulation with all the same marker polarity.

6. 시뮬레이션

마커는 직경 2.5 cm와 0.5 cm의 두께를 가지며 쌍극자 모멘트가 $9.585 \times 10^{-7} \text{ Wb} \cdot \text{m}$ 인 페라이트자석을 3개씩 적층하였고, 도로에 50 cm간격으로 설치하였다. 차량의 폭은 0.65 m, 길이는 0.9 m, 속도는 4.0 m/s, 샘플링시간은 5 ms로 하였다.

시뮬레이션에 이용한 도로는 직선도로 10 m이후에 우측으로 굽은 반경 30 m의 1/4원, 좌로 굽은 반경 40 m의 1/4원 그리고 다시 직선도로를 연속적으로 연결하였다. 그림 7은 모든 마커를 동일한 방향으로 설치하였을 경우의 주행 결과이고, 그림 8은 일부 구간에서 마커를 극배치 하였을 경우의 그래프이다. 시험 데이터로는 아스키 코드 A, B, C를 순서대로 사용하였다. 그림 8(a)에서 3부분이 마커의 극배치로 인하여 자계 방향이 바뀌어 있는 것을 볼 수 있지만, (b)에서 볼 수 있는 것처럼 그림 7(b)의 경우와 비교하여 자계 방향이 조향각의 산출에 영향을 미치지 않았음을 알 수 있다.

그림 9에는 그림 8의 일부분을 확대하여 dBy, dBz 값에 더불어 인식된 코드를 표시하였다. 아스키 코드 "B"를 정확히 인식한 것을 볼 수 있는데, 참고로 처음에 시작비트 0, "B"의 아스키 코드 01000010와 마지막 스톱비트 1을 추가하여 인식된 10개 비트는 0010000101이다. 그 외 "A"와 "C"도 정확하게 인식함을 확인하였다.

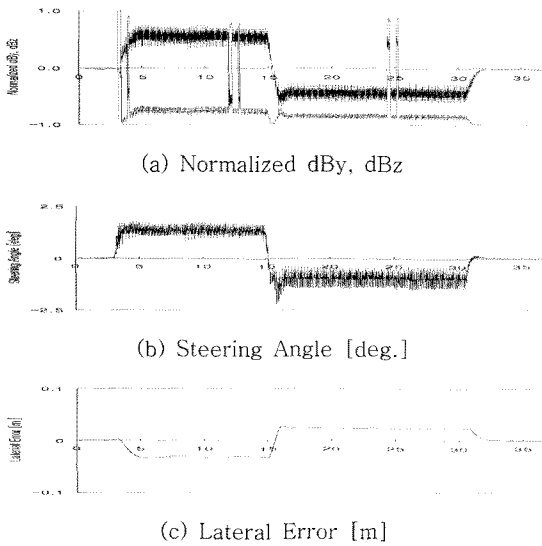


그림 8. 마커 극배치 경우의 주행결과
Fig. 8. The result of simulation with mixed marker polarity.

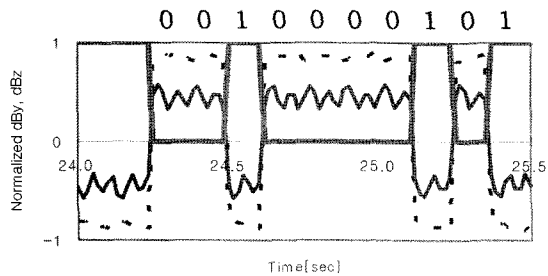


그림 9. dBy, dBz 와 인식된 코드
Fig. 9. Normalized dBy, dBz and recognized code.

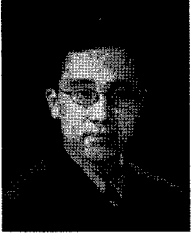
7. 결 론

마커의 극을 동일한 방향으로 배치하지 않고, N, S 극 방향을 코드화해서 배치하여 도로의 정보를 무인 주행하면서도 얻을 수 있는 방법을 연구하였다. 자계 도로의 자계 분포를 해석하여 적절한 마커 간격을 제시하였고, 자계 측정을 위한 센서 배치방법을 제안하였으며, 측정된 자계 값을 이용하여 자율 주행할 수 있는 신경회로망 제어기를 설계하였다. 또한 마커의 극방향

을 코드화 하여 도로 정보로 이용하는 방법을 제안하였으며, 시뮬레이션을 통하여 그 방법의 실효성을 검증하였다. 향후 마커를 전자석으로 바꾸면 도로의 형태 정보뿐만 아니라 시간에 따라 바뀌는 상황 정보도 받을 수 있으리라고 예상된다.

참고 문헌

- [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, 2000.
- [2] Y.-J. Ryoo and Y.-C. Lim, "Visual control of autonomous vehicle by neural networks using fuzzy-supervised learning", *Journal of Electrical Engineering and Information Science*, vol. 2, no. 2, pp. 77-85, 1997.
- [3] Han-Shue Tan, Jürgen Guldner, Satyajit Patwardhan, Chieh Chen, and Bénédicte Bougler, "Development of an automated steering vehicle based on roadway magnets, a case study of mechatronic system design", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 4, no. 3, pp. 258-272, 1999.
- [4] C.-Y. Chan, "Magnetic sensing as a position reference system for ground vehicle control", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 51, no. 1, pp. 43-52, 2002.
- [5] 정승권, 김인수, 박기선, 이종년, 이만형, "무인차량의 강인한 조향제어 시스템 설계에 관한 연구", 제어자동화시스템공학 논문지, 제8권, 제9호, pp. 747-756, 2002.
- [6] 김성호, 박경섭, "AMR 센서를 이용한 옥외용 AGV 주행센서 시스템에 관한 연구", 제어자동화시스템공학 논문지, 제9권, 제2호, pp. 140-144, 2003.
- [7] 김홍렬, 손석준, 김태근, 김정희, 임영철, 김의선, 장영학, "Steering control and geomagnetism cancellation for an autonomous vehicle using MR sensors", 센서학회지, 제10권, 제5호, pp. 57-63, 2001.
- [8] 김병준, 김의선, 류영재, 임영철, "자기센서방식 자율 주행 차량의 경로 인식 성능 개선", 센서학회지, 제12권, 제5호, pp. 211-217, 2003.



김 영 민 (金永民)

- 1967년 9월 10일생
- 1990전남대학교 공과대학 전기공학과 졸업
- 1992전남대학교 대학원 전기공학과 졸업
업 · 자동제어 전공
- 1999전남대학교 대학원 전기공학과 박사
과정 수료 · 자동제어 전공
- 2003 ~ (주)티컴앤디티비로 대표이사 사장
- 주관심분야 : 이동 로봇, DSP를 이용한
Motor 위치 제어

임 영 철

- 『센서학회지 제12권 제5호』 논문 2003-12-5-03 pp. 217 참조
- 현재 전남대학교 공과대학 전기공학과 교수

김 태 곤

- 『센서학회지 제10권 제5호』 논문 2001-10-5-07 pp. 336 참조

김 의 선

- 『센서학회지 제12권 제5호』 논문 2003-12-5-03 pp. 217 참조
- 현재 서남대학교 전기전자공학과 교수