

자율주행용 자계도로의 3차원 해석 및 차량위치검출시스템

3-Dimensional Analysis of Magnetic Road and Vehicle Position Sensing System for Autonomous Driving

유영재

Young-Jae Ryoo

목포대학교 제어시스템공학과

요 약

이 논문에서는 지능형교통시스템에서 자율주행용 자계도로를 3차원적으로 해석하여 차량의 위치를 검출하기 위한 시스템에 관하여 다룬다. 특히 자율주행시스템을 구성하는 핵심요소 중 하나인 위치검출시스템의 새로운 방법을 제안한다. 기존의 위치검출시스템은 자계와 차량의 위치 관계를 맵핑하는 원리를 이용한다. 이는 데이터의 저장에 필수적이며 대용량의 메모리를 요구되어 상용화시 고비용의 문제점을 가지고 있다. 이 논문에서는 기존 위치검출시스템이 가지는 문제점을 극복하기 위한 방법으로 신경망을 이용한 위치검출시스템을 제안한다. 그리고 제안한 위치검출시스템을 적용한 자율주행시스템을 설계한다. 설계한 자율주행시스템의 적용 가능성을 파악하기 위하여 자율주행실험을 행하고 이를 분석한다.

Abstract

In this paper, a 3-dimensional analysis of magnetic road and a position sensing system for an autonomous vehicle system is described. Especially, a new position sensing system, one of the important component of an autonomous vehicle, is proposed. In a magnet based autonomous vehicle system, to sense the vehicle position, the sensor measures the field of magnetic road. The field depends on the sensor position of the vehicle on the magnetic road. As the relation between the magnetic field and the sensor position is highly complex, it is difficult that the relation is stored in memory. Thus, a neural network is used to learn the mapping from the field to the position. The autonomous vehicle system with the proposed position sensing system is tested in experimental setup.

Key words : Magnetic road, Vehicle position sensing, Autonomous vehicle

21. 서 론

우리나라는 도로 철도 및 공항 등 교통시설 확충에 연간 20조원 내외의 막대한 투자를 하면서도, 정작 교통문제의 심각성은 해결되지 않고 있다. 2000년 기준 교통 혼잡비용은 19.5조원으로 GDP의 3.7%, 1999년 기준 물류비용은 78.9조원 GDP의 16.3%에 이르러 교통난에 의한 국가교통정책 목표달성의 한계에 이르렀다. 또한 교통체계의 효율성 부족은 2000년 교통사고비용 15조원, 1999년 환경비용 3조원의 막대한 사회적 비용 및 국가 경쟁력 저하를 초래하고 있다[1].

최근 우리나라는 이와 같은 교통문제를 해결하기 위하여 신속하고 안전한 교통시스템의 구축과 운영에 관한 필요성을 인식하게 되었다. 이에 국내 연구진은 국가교통 핵심기술로 차세대 대중교통기술 및 미래형 첨단차량 시스템 기술을 개발하게 되었다[2].

첨단도로차량시스템은 미국 University of California에서 주도하는 PATH(Partners for Advanced Transit and Highway) 프로그램에서 선도하고 있다[3]. PATH에서 개발된 대표적인 사례는 자계기반 자율주행시스템이다. 그림 1과

같이 자석을 설치한 전용도로 (이하 자계도로)를 따라 자율주행시스템을 갖춘 첨단차량 (이하 자율주행차량)이 자동으로 주행하는 시스템이다.

자율주행시스템을 구성하는 핵심요소 중 하나는 자계도로상의 차량 위치를 파악하는 위치검출시스템이다. 선진기술인 미국 PATH에서는 위치검출시스템으로 Peak mapping법을 이용하고 있다[4]. Peak mapping법은 도로 자계와 차량 위치의 관계(이하 자계-위치 관계)를 일대일로 맵핑하는 것을 기본 원리로 한다. 이는 데이터의 저장에 필수적이며 대용량의 메모리가 요구되므로 상용화시 고비용의 문제점을 가지고 있다. 또한 차량의 특정위치에서는 데이터가 존재하지 않은 경우가 발생하게 된다. 이를 보완하기 위해 보간법을 사용할 수 있으나, 자계 위치 관계는 비선형적이기 때문에 간단한 보간법으로 메모리에 없는 위치를 추정하기에는 어려움이 있다[5].

따라서 이 논문에서는 기존 위치검출시스템이 가지는 문제점을 극복하기 위한 방법으로 신경망을 이용한 위치검출시스템을 제안한다. 그리고 제안한 위치검출시스템을 적용한 자율주행방식의 첨단차량도로시스템을 설계한다. 설계한 첨단차량도로시스템의 적용 가능성을 파악하기 위하여 자율주행실험을 행하고 이를 분석한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 자계기반 자율주행시스템을 설계한다. 3장에서는 신경망을 이용한 지능형 위치검출시스템을 제안한다. 4장에서는 제안한 위치검출시스템과 설계한 자율주행시스템을 실험하고 결과를 분석한 후, 5장에서는 결론을 요약한다.

접수일자 : 2004년 8월 11일

완료일자 : 2004년 10월 8일

감사의 글 : 본 논문은 2003학년도 목포대학교 학술연구 기 지원에 의하여 연구되었음.

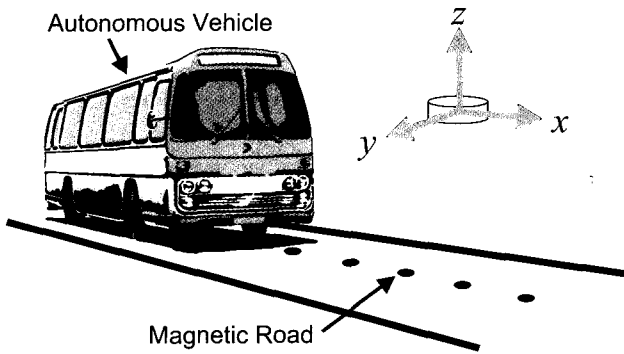


그림 1. 자계기반 첨단차량도로시스템.

Fig. 1. Magnet based advanced vehicle and highway system.

2. 자율주행시스템의 구성

2.1 자율주행시스템의 구조

자계기반 자율주행시스템의 구성은 그림 2와 같다. 자계도로에 위치한 차량은 자율주행시스템을 이용하여 자동으로 주행하게 된다.

도로 곡률 ρ 인 자계도로 위에 차량의 무게중심이 y 에 위치해 있다고 가정한다. 자계센서를 이용하여 도로 자계벡터 B 를 측정하여 차량위치에 따른 3차원 자계 (B_x, B_y, B_z)를 얻는다. 차량위치검출시스템은 측정된 자계를 신호처리하고 분석하여 차량중심이 도로중심으로부터 떨어진 거리인 횡방향 거리오차 Δy 를 추정한다. 조향제어기는 거리오차를 입력변수로 받아 차량의 조향각 δ 을 계산하여 출력한다. 차량은 동역학적 현상에 의해 도로 상의 새로운 위치 y 로 이동한다.

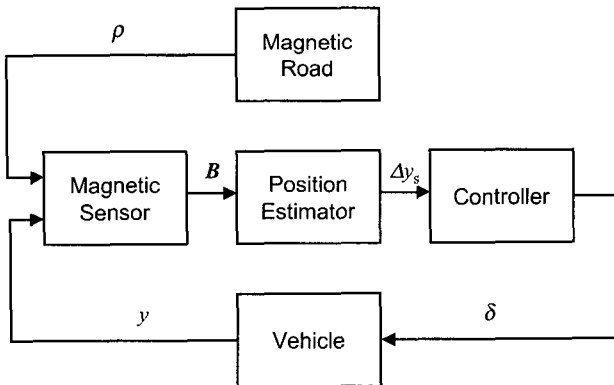


그림 2. 자계기반 자율주행시스템의 구조.

Fig. 2. Structure of magnet based autonomous vehicle system.

2.2 자계도로의 구성

자계도로는 그림 1과 같이 도로중앙에 자석을 진행방향으로 배열함으로써 구성된다. 자계도로에서 측정되는 자계는 여러 가지 조건에 따라 영향을 받는다. 자석의 크기, 자석간의 간격 등은 도로에 형성된 자계의 형태를 결정하게 된다. 따라서 최적의 자계도로를 구성하기 위하여 먼저 도로의 자계를 분석해야 한다. 자계 분석을 통하여 자석의 크기, 자석간의 간격 등이 결정된다. 구체적인 사항은 [6]을 참고한다.

2.3 센서시스템의 구성

자계도로의 자계는 Magneto Resistive(이하 MR로 표기) 센서를 이용하여 측정한다. 동일한 도로 조건에서 도로 면으로부터 센서가 장착된 지점의 높이가 높을수록 자계센서에서 측정되는 자계의 크기는 작아진다. 센서의 높이가 결정되면 센서는 도로 면과 평행한 면을 따라서 움직이게 되는데, 그 면에서 센서의 위치에 따라서 측정되는 자계는 변화한다. 여기서 도로의 진행 방향을 x 축, 수직인 방향을 y 축으로 정의한다. x 축 좌표 값은 도로의 진행방향으로 보아 자석의 부근인지, 자석 사이의 어느 지점에 있는지를 나타낸다. y 축 좌표 값은 도로의 중앙으로부터 벗어난 정도를 나타낸다.

지자기와 외란 자계의 영향을 제거하기 위해서 그림 3과 같이 이중센서를 이용한 계측 시스템으로 구성하는 것이 바람직하다. [7]에 의하면 식(1)과 같이 두 센서에서 계측된 자계의 차이 성분 ΔB 는 지자기 및 외란을 제거할 수 있다.

따라서 이 논문의 자율주행 시스템은 MR센서를 이용하여 차량의 앞 범퍼에 두개의 센서를 장착하는 이중 센서시스템으로 구성하였다.

$$\begin{aligned}
 B^{Right} &= B_{Marker}^{Right} + B_{Earth} + B_{Noise} \\
 B^{Left} &= B_{Marker}^{Left} + B_{Earth} + B_{Noise} \\
 \Delta B &= B^{Right} - B^{Left} = B_{Marker}^{Right} - B_{Marker}^{Left}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

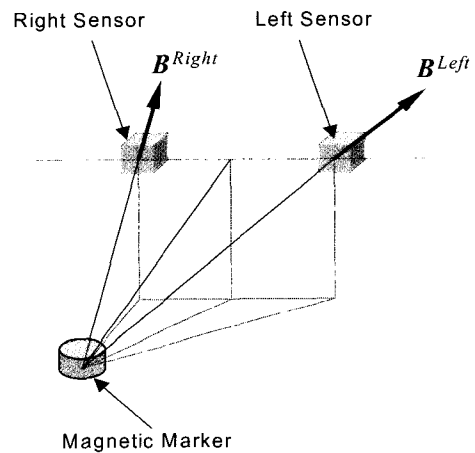


그림 3. 이중센서의 계측시스템.

Fig. 3. Measurement system of dual sensors.

2.4 차량위치검출기의 설계

자율주행시스템은 자석에 의한 자계를 센서로 측정하여 얻어진 자계로부터 횡방향 거리오차 Δy 하고 조향각을 출력한다. 위치검출시스템은 입력으로 자계 $\Delta B_x, \Delta B_y$ 와 ΔB_z 을 이용하여 횡방향 거리오차 Δy 를 출력하도록 설계하였다. 위치검출기를 구현하는 구체적인 방법은 3절에서 기술한다.

2.5 조향제어기의 설계

센서로부터 얻어진 위치정보를 이용하여 차량이 자율주행하기 위한 조향제어기를 설계한다. 제어기는 차량과 도로의 횡방향 거리오차 Δy 가 감소하도록 조향각 δ 을 조절해야 한다. 이를 PID 제어기로 구성하면 다음과 같다.

$$\delta = K_p \cdot \Delta y + K_I \cdot \int \Delta y dt + K_D \cdot d \frac{\Delta y}{dt} \quad (3)$$

여기서 K_p , K_I 와 K_D 은 비례, 적분, 미분상수이다.

2.6 차량시스템의 구성

자계기반 자율주행시스템에 사용되는 차량시스템은 조향 구동장치부와 차량 동역학부, 그리고 차량 기하학부로 구성된다. 자율주행차량은 운전자 대신 자동으로 핸들을 조작하기 위한 조향구동장치부가 요구된다. 따라서 차량을 설계할 때는 조향구동장치에 대한 해석과 모델이 사용된다. 상용화된 대부분의 승용차 및 대중교통차량은 전륜조향 후륜구동의 형태이다. 따라서 차량의 동역학은 단일궤도모델을 이용하여 해석한다[7].

3. 차량위치 검출시스템

3.1 PATH의 위치검출시스템

그림 2와 같은 자계기반 자율주행시스템에서 시스템의 성능을 결정짓는 가장 중요한 요소 중의 하나는 차량의 위치를 파악하는 위치검출시스템(Position Sensing System)이다.

PATH에서 개발된 위치검출시스템의 주요 방법은 Peak Mapping과 Differential Peak Mapping을 사용한다[4]. 이는 차량위치에 따라 측정된 도로의 자계 데이터를 맵핑하는 원리를 이용한다. 즉 자계와 위치관계를 역으로 맵핑하면 차량의 위치를 추정할 수 있게 된다.

맵핑에 의한 위치검출법의 구체적인 방법으로 3축 성분의 자계에 의한 위치 추정법이 [3]에서 제안된 바 있다. 맵핑법을 이용하기 위해서는 실험에 의해 얻어진 3축 성분(전후방향 ΔB_x , 횡방향 ΔB_y , 수직방향 ΔB_z)의 자계와 그때 차량 위치 데이터가 계속되어야 한다. 실험데이터는 메모리에 저장한 후, 자계와 차량위치의 역맵핑을 이용하여 위치를 추정한다. 자계도로상의 자계 데이터와 차량 위치의 관계는 매우 복잡하고 비선형적이다. 역맵핑 관계 또한 대수적인 관계로 해석하기에는 한계가 있다. 또한 역맵핑법을 실제 시스템으로 구현하기 위해서는 많은 용량의 메모리 요구된다. 메모리에 저장된 데이터가 없는 경우 부정확한 위치를 추정하는 문제점이 있다.

3.2 신경망을 이용한 위치검출시스템

이 논문에서는 이와 같은 맵핑법의 문제점을 극복하기 위하여 지능형 위치검출시스템을 제안한다. 지능형 위치검출시스템은 신경망의 학습능력과 일반화 특성을 이용하여 자계와 차량위치 관계 학습한다. 신경망은 연결강도만 메모리에 저장하기 때문에 소용량 메모리로 구현이 가능하다. 또한 신경망의 일반화 특성을 이용하면 특별한 보간법 없이도 데이터가 없는 부분의 위치를 검출할 수 있는 장점이 있다.

3.3 신경망의 구조

차량위치추정에 이용하기 위한 신경망의 구조는 그림 4와 같다. 입력소자로 3축 성분의 자계 ΔB_x , ΔB_y 와 ΔB_z 을 이용하고, 출력소자로 횡방향 거리오차 Δy 를 출력한다.

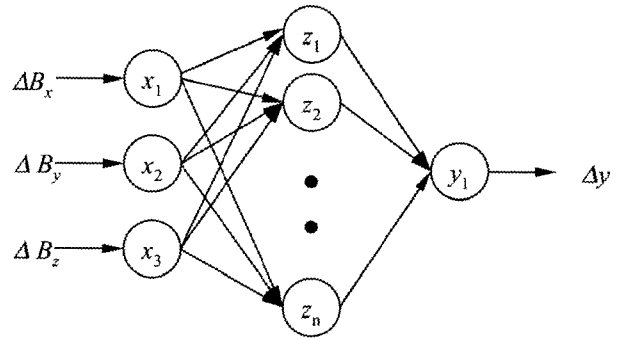


그림 4. 위치검출에 이용한 신경망의 구조.

Fig. 4. Structure of neural network for position sensing.

3.4 신경망의 학습패턴

도로의 자기장 분포는 동일 규격의 자석을 동일 간격, 동일한 방향으로 설치하였으므로 그림 5와 같이 창으로 씌운 부분이 연속적으로 반복된다는 것을 알 수 있다. 따라서 신경회로망을 학습시키기 위한 학습패턴은 창 내부에서 위치에 따른 자계 값을 입력패턴으로 하고, 그 때의 위치를 목적패턴으로 하여 얻는다. 예를 들어 자계로부터 $(\Delta x, \Delta y)$ 떨어진 지점의 3축 성분 자계 ΔB_x , ΔB_y , ΔB_z 를 획득한다

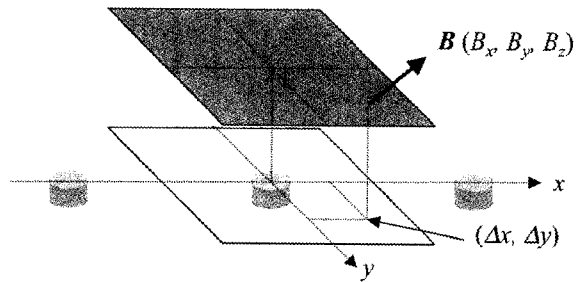


그림 5. 학습패턴 획득 영역.

Fig. 5. Acquisition area of learning patterns.

3.5 신경망의 학습방법

신경망의 학습은 가장 일반적인 역전파 학습규칙을 이용하였다. 입력 및 목적 패턴 데이터는 단극성(unipolar)으로 정규화하여 사용하였다. 입력소자와 출력소자의 활성화함수는 단극성 시그모이드(sigmoid) 함수를 사용하였다. 학습 결과에 따라 학습 종료 후 신경망 내의 연결 가중치들은 제어기의 성능을 나타내며, 학습에 포함되지 않았던 자계성분이 신경망에 입력되더라도 신경망의 일반화 특성에 의하여 적절한 출력을 생성하게 된다.

4. 자계도로 3차원 해석 및 주행실험

4.1 자계-위치 관계 해석실험

신경망의 학습능력을 이용하여 자계를 입력하면 차량의 위치를 추정하고자 한다. 학습을 위해서 3.4절과 같은 영역에서 학습패턴을 획득한다. 즉, 차량의 위치에 따라 3차원 공간에서 자계는 3축 성분으로 분해된다. 먼저 3축 성분의 자계 분포를 획득하여야 한다. 획득한 위치와 자계의 관계를 살펴보고 그 특성을 해석해본다.

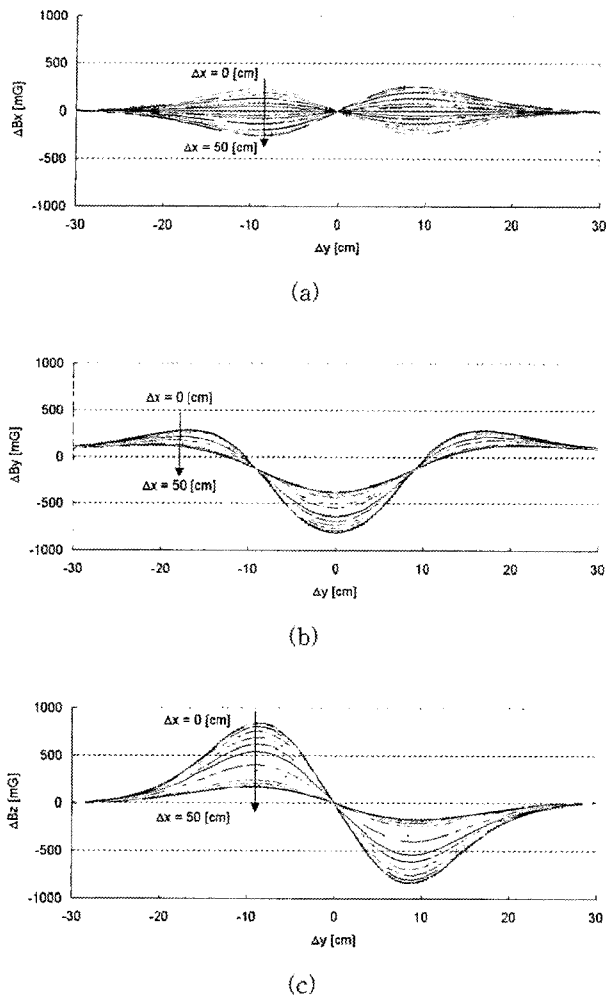


그림 5. 횡방향 거리오차에 따른 편차자계의 분포.

(a) ΔB_x , (b) ΔB_y , (c) ΔB_z .

Fig. 5. Distribution of differential magnetic fields for lateral deviation.

(a) ΔB_x , (b) ΔB_y , (c) ΔB_z .

그림 5는 횡방향 거리오차에 따른 3축 성분 자계 분포를 나타낸다. 그림 5 (a)는 전후방향성분의 자계분포를 나타낸다. 주행방향에 대해 좌측과 우측의 자계가 상호 반대임을 알 수 있다.

그림 5 (b)는 횡방향성분 자계분포를 나타낸다. 횡방향 거리오차가 주행도로와 일치하여 0일 때 자계는 음의 최대치를 가진다. 반면 좌우로 멀어질수록 자계가 증가하다가 30[cm] 이상부터는 0에 가까워진다.

그림 5 (c)는 수직방향성분 자계분포를 나타낸다. 횡방향 거리오차가 0일 때 자계는 0인 반면, 좌우로 멀어지면 자계의 크기가 증가한다. 약 좌우로 10[cm] 멀어질 때 자계는 최대 크기를 가지며 좌우의 부호는 반대이다.

4.2 주행 실험조건

자율주행을 위한 제어시스템을 그림 6과 같이 구성하여 제안한 방법을 실험하였다.

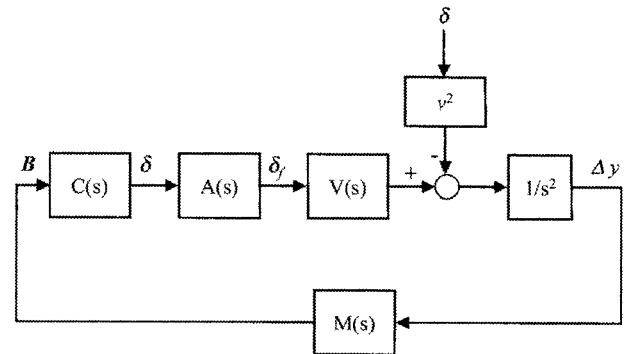


그림 6. 자율주행 제어시스템의 블록도.

Fig. 6. Block diagram of autonomous control system.

$C(s)$ 는 자율주행 제어기로 제안한 위치검출기와 조향제어기를 포함하여 자계 B 를 입력받아 차량이 진행하기 위한 조향각 δ 를 출력한다. 제어기의 조향명령에 따라 조향 구동시스템 $A(s)$ 는 동작하게 되고 실제 앞바퀴는 조향각 δ_y 를 갖게된다. 차량은 조향각 δ_y 에 의해 차량의 동역학 특성 $V(s)$ 에 따라 새로운 위치의 가속도 성분을 출력한다. 이때 차량이 위치한 곡률 ρ 인 도로를 속도 v 로 차량이 주행하게 되어 차량은 도로중심과 위치오차 Δy 를 발생하게 된다. 자계센서 $M(s)$ 는 자계도로 Δy 지점에서 발생하는 자계 B 를 측정하여 제어기에 전달한다. 이와 같은 자율주행 제어 과정을 반복함에 따라 차량의 주행이 이루어진다.

실험을 대상으로 한 도로의 조건은 그림 7과 같이 오른쪽으로 회전하는 12[m] 반경의 곡선도로와 왼쪽으로 회전하는 10[m] 반경의 곡선도로로 구성하였다. 차량은 그림의 좌측에서 출발하여 우측에서 정지하게 된다.

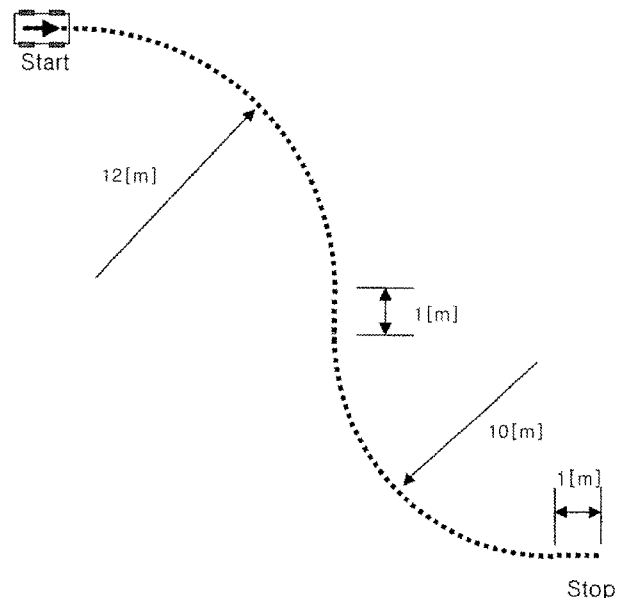


그림 7. 곡선도로의 실험조건.

Fig. 7. Experimental condition of curved road.

4.3 위치검출 실험

그림 8은 곡선도로 주행시 센서로부터 얻어진 자계 ΔB_y

와 ΔB_z 와 이를 이용해 검출된 횡방향 거리오차 Δy 을 나타낸다. 차량이 곡선도로를 주행할 때 측정된 자계의 변화를 보면 차량의 위치를 추정할 수 있다. 그림 8(a)에서 횡방향 자계 ΔB_y 는 양의 값을 가진다. 반면 수직방향 자계 ΔB_z 는 초기엔 음의 값을 가지다가 양의 값으로 바뀐다. 4.2절의 자계-위치관계 분석실험, 그림 5(c)를 고려하면 ΔB_z 가 음의 값을 가지면 횡방향 거리오차 Δy 가 양의 값으로 나타나게 된다는 것을 예측할 수 있다. 반면 ΔB_z 가 양의 값을 가지면 횡방향 거리오차 Δy 가 음의 값으로 나타나게 된다. 그림 8(b)는 이와 같은 예측을 정확히 반영하고 있다. 따라서 제안한 신경망을 이용한 위치검출기가 센서로부터 얻어진 자계에 의해 Δy 를 정확히 추론하였음을 파악할 수 있다.

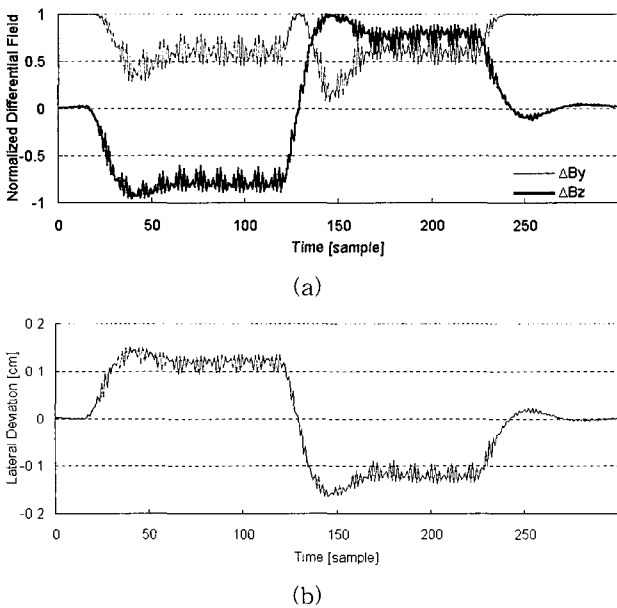


그림 8. 자계에 따른 위치검출 결과.
(a) ΔB_y 와 ΔB_z , (b) Δy .

Fig. 8. Result of position sensing along to magnetic field.
(a) ΔB_y 와 ΔB_z , (b) Δy .

4.4 자율주행실험

조향제어기는 위치검출기에 의해 추정된 횡방향 거리오차 Δy 를 입력받아 조향각을 출력한다. 그림 9는 곡선도로 주행에서 얻어진 조향각과 자율주행에 의해 나타난 차량 중심의 횡방향 거리오차 Δy_v 이다.

그림 9 (a)를 보면 조향각은 우측으로 회전하는 도로에서는 약 +5도의 조향을 하는 반면, 좌측으로 회전하는 도로에서는 약 -4도의 조향을 한다. 우측 회전에서 좌측 회전으로 변경되는 순간에 조향각의 오버슈트가 발생하는 것을 볼 수 있다. 반면 곡선도로에서 직선도로로 들어서면 조향각은 0으로 정상상태에 이르게 됨을 볼 수 있다. 이와 같이 조향제어기에 의해 적절히 조향각이 산출됨을 알 수 있다.

그림 9(b)는 조향제어 의해 주행한 차량중심의 횡방향 거리오차를 나타낸다. 우측으로 회전하는 경우 최대 +0.1[cm]의 오차가 발생하는 반면, 좌측으로 회전하는 경우 최대 -0.1[cm]의 오차가 발생하는 것을 볼 수 있다. 곡선도로에서

직선도로로 진입하는 순간 작은 오버슈트가 발생하지만 곧 정상상태로 주행함을 볼 수 있다. 자율주행 실험결과를 요약하면 횡방향 거리 최대오차 ± 0.1 [cm] 내에서 안전하게 주행함을 알 수 있다.

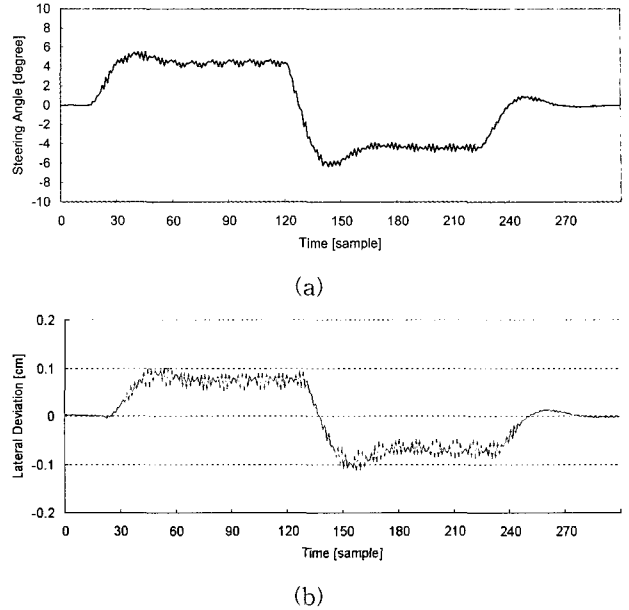


그림 9. 곡선도로에서 자율주행 실험결과.

(a) 조향각 δ , (b) 차량의 횡방향 거리오차 Δy_v .

Fig. 9. Result of autonomous driving test on curved road.
(a) steering angle δ , (b) vehicle lateral deviation Δy_v .

5. 결론

이 논문에서 자계기반 자율주행시스템을 위한 자계도로의 3차원적인 해석과 차량의 위치를 검출하기 위한 시스템을 제안하였다. 특별히 자율주행시스템을 구성하는 핵심요소 중 하나인 위치검출시스템의 새로운 방법을 제안하였다. 기존의 위치검출시스템은 자계와 차량 위치의 관계를 맵핑하는 원리를 이용한다. 이는 데이터의 저장에 필수적이며 대용량의 메모리가 요구되어 상용화시 고비용의 문제점을 가지고 있었다. 또한 차량의 특정위치에서는 데이터가 존재하지 않은 경우가 발생하게 된다. 이를 보완하기 위해 보간법을 사용할 수 있으나, 자계-위치 관계는 비선형적이며 간단한 보간법으로 메모리에 없는 위치를 추정하기에는 어려움이 있었다.

이 논문에서는 기존 위치검출시스템이 가지는 문제점을 극복하기 위한 방법으로 신경망을 이용한 위치검출시스템을 제안하였다. 그리고 제안한 위치검출시스템을 적용한 자율주행시스템을 설계하였다. 설계한 자율주행시스템의 적용 가능성을 파악하기 위하여 자율주행실험을 행하고 이를 분석하였다.

적용한 자율주행시스템은 간단한 구조의 PID 조향 제어기를 사용하여 직선 주행 시 오차가 없으나 곡선 주행 시에 오차를 발생하는 한계를 가지고 있다. 향후 조향 제어기에 신경회로망 및 지능제어 기법을 적용하여 이런 한계점을 개선하고자 한다.

또한 설계된 자율주행시스템은 국가교통정책과 연계하여

교통체계의 효율화함으로써 국민의 교통편의 증진 및 국가경쟁력 강화에 도움이 될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 설재훈, 박인기, "2002년 전국 교통혼잡비용 산출과 추이 분석", 교통개발연구원, 2003.
- [2] 강연수 외 7인, "국가교통핵심기술개발사업 - 정책연구보고서", 교통개발연구원, 2002.
- [3] Jurgen Guldner, Han-Shue Tan, "Analysis of automatic steering control for highway vehicles with look-down lateral reference systems", PATH Technical Report 96-3, April 1996.
- [4] Ching-Yao Chan, Han-Shue Tan, "Evaluation of magnetic markers as a position reference system for ground vehicle guidance and control", PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2003-8, March 2003.
- [5] 유영재, "3축 자기센서를 이용한 자기차선상의 차량 위치 및 방향추정", 센서학회지, 제9권, 제5호, pp.373-379, 2000. 9.
- [6] Ching-Yao Chan, "A system review of magnetic sensing system for ground vehicle control and guidance", PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2002-20, May 2002.
- [7] Young-Jae Ryoo, E.S.Kim, Y.C.Lim, Y.H.Chang, C.J.Moon, S.H.Yang, "Cancellation of background field using magnetic compass sensor for magnetometer based autonomous vehicle", Proc. of IEEE Sensors 2003, 2003.
- [8] P. Riekert and T.E. Schunck, "Zur Fahrmechanik des gummibereiften Kraftfahrzeugs (in German)", *Ingenieur Archiv*, vol. 11, pp. 210-224, 1940.

저 자 소 개



유영재(Young-Jae Ryoo)

1991년 : 전남대학교 전기공학과 공학사
 1993년 : 전남대학교 전기공학과 공학석사
 1998년 : 전남대학교 전기공학과 공학박사
 1999년 : NC A&T 주립대 Visiting
 Researcher
 2000년~현재 : 목포대학교 제어시스템
 공학과 조교수
 2004년~현재 : 한국퍼지 및 지능시스템
 학회 회원이사

관심분야 : 신경망 및 퍼지이론, 지능제어시스템, 지능형로봇, 자율주행시스템, 전기자동차 시스템
 E-mail : yjryoo@mokpo.ac.kr
 Homepage : <http://iclab.mokpo.ac.kr>