퍼지 및 지능시스템학회 논문지 2006, Vol. 16, No. 5, pp. 581-586

자계안내시스템용 지자계 제거를 위한 Ground 검출법

Ground Detection Method for Removement of Earth Field for Magnetic Guidance System

임대영 · 정영윤 · 유영재

Dae-Yeong Im, Young-Yoon Jung, Young-Jae Ryoo

목포대학교 제어시스템공학과

요 약

본 논문에서는 무인주행 차량의 자율주행에 사용되는 자계안내시스템에서 지자계를 제거하기 위한 새로운 방법으로 Ground 검출법을 제안한다. 자계안내시스템은 도로에 일정한 간격으로 자계표식을 매설하고 차량이 자계표식 으로 부터 떨어진 거리를 인식하여 주행하는 방법이다. 차량이 주행 중 측면이탈거리를 알기위해서는 지자계가 제거된 자계표식의 자계만을 이용해야 한다. 그러나 자계센서는 자계를 검출할 때 자계표식의 자계와 지자계를 함께 계측한다. 지자계는 차량의 주행방향과 경사에 따라 다르게 검출되기 때문에 자계표식의 자계와 더해질 경우 측면이탈거리를 인식 하는데 오차를 발생 한다. 따라서 본 논문에서는 지자계를 제거하는 새로운 방법을 제안하고, 이를 검증하기 위한 실험 장치를 구성하였다. 그리고 실험을 통하여 제안한 방법의 타당성과 유용성을 입증한다.

Abstract

In this paper, describes ground detection method for removal earth field of magnet guidance system Magnetic guidance system is magnetic markers are installed just under the surface of roadway pavement and the magnetic fields generated these markers are detected by magnetic field sensor mounted of vehicles. vehicle is know for lateral distance using magnetic field. But sensor is together measuring the magnetic field and earth field. It is operate error. Thus in this paper, proposed new method removing earth field or development experiment device via show the for practical and excellence.

Key Words : Magnetic field sensor, Magnetic markers, Ground detection, Valley detection.

1. 서 론

사람이 차량을 조작하지 않고 스스로 주행이 가능한 대표적인 기술은 카메라를 이용하여 차선을 인식하고 주행하는 방법 이었다[1-3]. 그러나 미국 PATH(Partners for Advanced Transit and Highways)에서 자석(이하 자계표식)을 이용한 자계안내시스템이 개발되면서 이에 대한 관심도가 높아지고 많은 연구가 이루어져 왔다. 그 결과 현재 여러 나라에서 실용화 단계에 이르고 있다.

자율주행 자계안내 시스템이란 그림 1 에서 보는 바와 같이 도로의 중앙에 일정한 간격으로 자계표식(Magnetic marker)을 매설하고, 자동차에는 자계센서를 장착한다. 그리고 자계표식에서 발생하는 자계를 검출하여 좌측이나 우측(이하 측면이탈거리) 으로 어느 정도 떨어져 있는지 현재의 위치를 인식하여 주행하는 방법이다.

자계안내시스템에서 자율주행을 하기 위해 가장 먼저 선행되어야 하는 것은 지구자계(이하 지자계)의 제거이다. 지구도 하나의 자성체이기 때문에 자계를 가지고 있기 때문이다. 자계표식을 중심으로 측면이탈거리를 알기 위해서는 지자계가 제거된 자계표식의 자계만을 이용해야 한다. 그러나 자계센서는 자계표식의 자계와 지자계를 함께 계측한다. 지자계의 경우 차량의 주행방향과 경사에 따라 다르게 계측되기 때문에 자계표식의 자계와 더해질 경우 측면이탈거리를 검출 하는데 외란으로 작용하게 된다[4,5].

이러한 지자계의 문제를 극복하기 위하여 Han-Shue Tan 과 Ching-Yao Chan은 Valley 검출법을 제안하였다[6-9]. 이 방법은 센서가 자계표식을 지날 때 검출된 자계 중 세기가 가장 낮은 부분을 검출하여 이를 지자계로 보고 제거하는 방법이다.

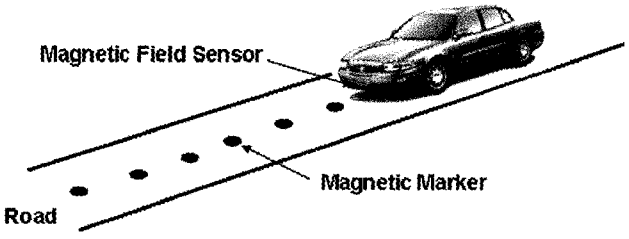


그림 1. 자율주행 자계안내시스템

Fig. 1. Autonomous driving magnetic guidance system

접수일자 : 2006년 8월 23일
완료일자 : 2006년 9월 29일
감사의 글 : 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성 사업의 연구결과로 수행되었음.

그러나 이 방법은 센서가 자계표식을 지날 때 나타나는 특성과, 자계표식이 지면으로부터 유지하고 있는 수평각도에 따라 다르게 검출되는 문제점을 지니고 있다.

따라서 이러한 문제점을 극복하기 위하여 새로운 지자계 검출법을 제안하고, 개발된 실험 장치를 통해 실용성을 입증한다. 또한 기존의 지자계 검출법과 비교를 통해 개발된 검출방법의 우수성을 입증한다.

2. Ground 검출을 이용한 지자계 제거

2.1 자계안내시스템에서 지자계의 영향

지구도 하나의 자성체이기 때문에 자계를 가지고 있다. 지자계는 남극에서 발생하여 북극으로 들어가며 지구상의 위치와 장소에 따라 다르게 분포한다. 우리나라의 경우 평균자계는 수평성분 300[mG], 수직성분 380[mG]이다.

그림 2는 지자계가 자계표식 자계에 미치는 영향으로 지자계의 특징을 나타낸 것이다. 점선은 주행방향이 360° 회전했을 때 나타나는 지자계의 변화이고, 실선은 자계표식을 지날 때 지자계와 함께 변화하는 자계표식자계 이다. 그림에서 보는 바와 같이 지자계의 변화 위에 자계표식자계의 변화가 나타나기 때문에 정확한 자계표식자계를 계측할 수 없다. 또한 측면이탈거리를 검출하는데 외란으로 작용하기 때문에 지자계의 제거는 필수적 이다.

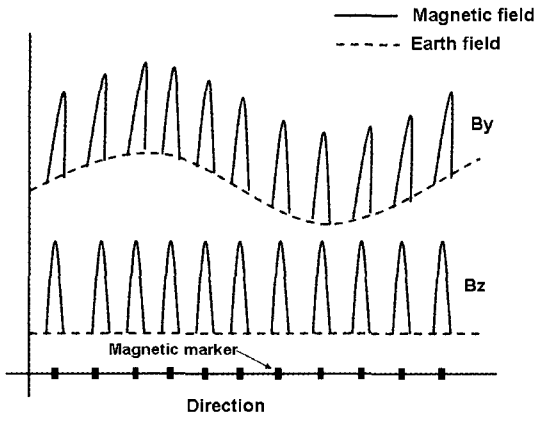


그림 2. 지자계의 영향
Fig. 2. Influence of earth field

2.2 기존의 지자계 제거방법

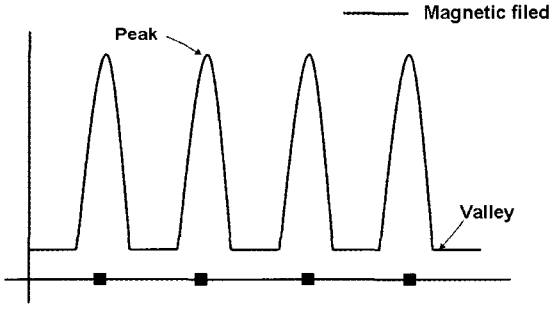


그림 3. Valley 검출방법
Fig. 3. Valley detection method

자계안내시스템을 개발한 PATH의 Han-shue Tan 과 Ching-Yao Chan은 지자계를 제거하기 위하여 Valley 검출법을 제안하였다. Valley 검출법이란 그림 3에서 보는 바와 같이 센서가 자계표식 사이를 지날 때 계측되는 자계 중 가장 낮은 부분을 검출하여 제거하는 방법 이다. 그러나 그림 3을 확대해서 분석하면 그림 4에서 보는 바와 같이 Valley는 자계표식을 중심으로 ±5[cm]이내에서 실제 지자계인 Ground보다 더 낮게 검출되는 것을 볼 수 있다, 이는 측면이탈거리를 계산하는데 오차로 발생한다. 또한 자계표식이 매설 된 지면으로부터 유지하고 있는 경사와 주변 환경에 따른 자계의 변화를 해결할 수 없는 한계점을 가지고 있다.

2.3 자계표식의 자계특성

그림 4는 센서가 자계표식을 지났을 때 나타나는 자계의 특성을 자세히 나타낸 것으로 크게 Peak, Ground, Valley 세부분으로 나눌 수 있다. Peak는 자계표식이 센서 바로 위에 있을 때 가장 크게 나타나며, Ground는 자계표식과 자계표식 사이에서 자계표식자계의 영향이 없는 부분으로 지자계만 검출될 때 이다. Valley는 자계표식을 중심으로 좌우 ±5[cm] 이내에서 근접하기 직전과 직후에 나타나는 것으로 가장 낮은 값이다. Valley의 경우 자계표식의 자계의 세기, 자계표식과 센서의 높이 등에 따라 나타날 수 도 있고, 그렇지 않을 수도 있다. 따라서 자계표식 자계의 영향이 없는 부분의 신호 Ground가 지자계이며 Ground를 검출하는 방법이 요구된다.

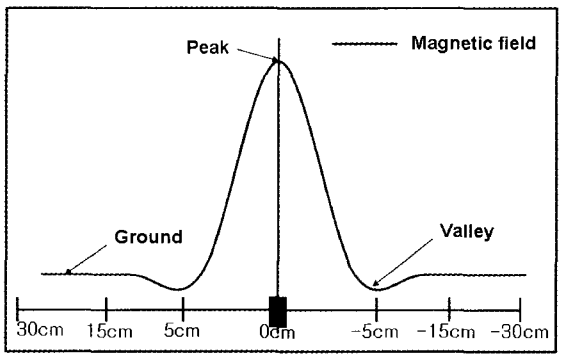


그림 4. Magnetic marker의 특징
Fig. 4. Characteristic of magnetic marker

3. Ground 검출법

3.1 제안하는 Ground 검출 신호처리

본 논문에서 제안하는 Ground 검출에 대한 전체적인 신호처리 방법은 그림 5와 같다. 자계안내 시스템에 사용되는 센서는 3축 센서로 3가지 성분의 자계(Bx, By, Bz)를 출력한다. Bx는 센서가 자계표식의 전후방향 즉 자계표식이 앞에 있는지 뒤에 있는지에 대한 정보를 담고 있다. By는 수평성분으로 자계표식을 중심으로부터 측면이탈거리 정보를 담고 있다. Bz는 수직성분으로 자계표식의 표면으로부터 센서의 높이에 대한 정보를 파악할 수 있다. 여기에서는 By와 Bz를 이용한다. 두성분의 자계는 그림 2에서와 같이 지자계 성분인 Ground가 동일 시간에 나타난다. 자자계를 검출하고 제거하는데 가장 용이한 신호는 그림 4와 같이 Peak, Ground, Valley를 쉽게 확인할 수 있는 Bz이다. 따라서 By

와 Bz는 동일한 시간에 검출되기 때문에 즉 Bz에서 지자계가 검출될 때 By도 지자계가 검출되기 때문에 Bz의 Ground가 검출될 때 By도 Ground로 볼 수 있다. 따라서 Bz 신호를 이용하여 Ground 신호 검출법을 제안한다.

센서에서 계측된 신호는 지자계와 자계표식 자계에 잡음 등이 함께 계측되기 때문에 $\overline{B_z}$ (Moving average)를 통해 잡음의 일부를 제거한다. 잡음이 제거된 $\overline{B_z}$ 신호에서 Ground 부분의 변화가 작은 신호이다. 이를 검출하기 위해 Bz의 분산 σ_{B_z}(Variance)신호를 구하면 (C)와 같다. σ_{B_z}신호에서 임의의 Threshold 값 이하가 되면 Bz에서 Ground임을 알 수 있다.

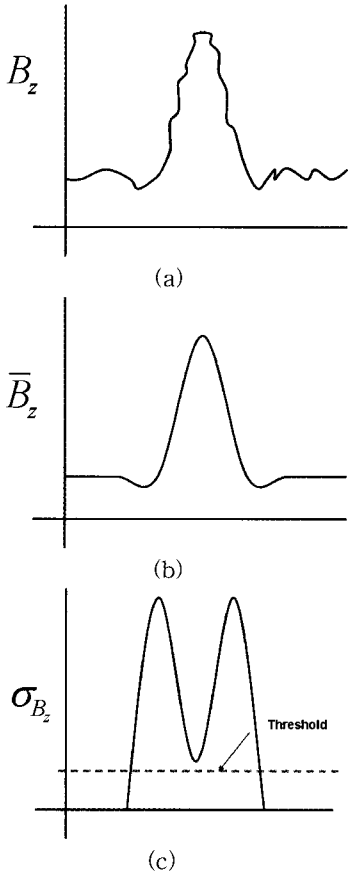


그림 5. Ground 검출의 신호처리
(a) Bz, (b) Moving average, (c) Variance
Fig. 5. Signal processing of ground detection
(a) Bz, (b) Moving average, (c) Variance

3.2 Ground 검출 알고리즘

Ground 검출에 대한 전체적인 구조는 그림 6과 같다. 입력되는 자계 Bz에 대한 Moving average를 구하는 것은 식 (1)과 같다. 이때 N은 샘플 개수 이다.

$$\overline{B_z}(t_k) = \frac{1}{N}\sum_{i=k-N}^{k} B_z(t_i) \qquad (1)$$

식 (1)을 통해 구해진 Moving average는 분산을 구하는데 이용되는데 분산은 식 (2)를 통해 구할 수 있다.

$$\sigma_{B_z}(t_k) = \sum_{i=k-N}^{k} (B_z(t_i) - \overline{B_z}(t_k))^2 \qquad (2)$$

식(2)를 통해 구해진 분산의 값이 설정한 Threshold 보다 작은 경우 입력되는 자계가 Ground로 볼 수 있으며, 식 (3)과 같이 Ground가 검출된다.

$$B_{Ground} = \overline{B}(t_k) \text{ if } \sigma_{B_z} < \sigma_{Thre.} \qquad (3)$$

이와 같은 알고리즘을 블록도로 나타내면 그림 6과 같다. Bz의 Ground가 검출되는 것과 동일 시간에 By도 Ground가 검출됨을 볼 수 있다.

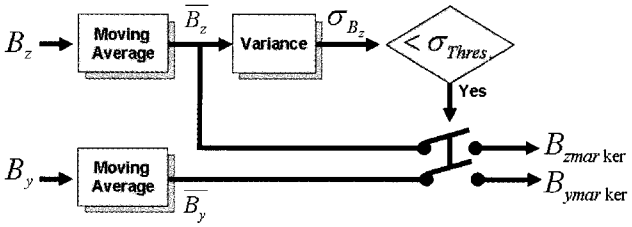


그림 6. Ground 검출방법
Fig. 6. Ground detection method

4. 실험장치

4.1 Ground 검출 시스템

제안한 Ground 검출법을 검증하기 위한 실험장치의 구조는 그림 7과 같다. 자계표식의 자계를 측정할 수 있는 마그네틱 필드(자계)센서, 데이터를 수집할 수 있는 DAQ(Data Acquisition)보드, 계측된 데이터를 확인할 수 있는 컴퓨터 등으로 구성하였다.

센서로부터 출력되는 아날로그 신호는 시간에 따라 변화하고 잡음도 함께 포함되어 있다. 먼저 DAQ보드의 12비트 A/D 컨버터를 통해 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하고, 신호처리를 통해 잡음을 제거한다. 잡음이 제거된 데이터는 Ground를 검출을 통해 지자계가 제거된다. 지자계가 제거된 순수 자계표식의 자계의 값을 확인하기 위하여 컴퓨터에 전송되어 출력된다.

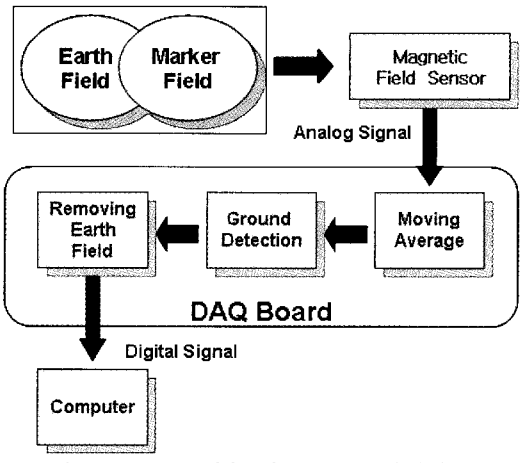


그림 7. Ground 검출 시스템 블록다이어그램
Fig. 7. Black diagram of ground detection system

4.2 자계도로 주행시뮬레이션장치

자계도로의 자계를 계측하기 위하여 그림 8과 같은 시스템을 제작하였다. 도로에 자계표식을 매설 할 수 없기 때문에 주행 중 자계 데이터를 얻기 위해서 도로와 유사한 자계도로 주행시뮬레이터를 개발하였다. 자계는 철 재질의 물질에 자계가 변화하는 특성을 가지고 있기 때문에 자계의 영향을 주지 않는 알루미늄 프로파일을 이용하여 프레임을 제작하였다. 주행속도조절을 위해 정격전압 24[V]의 DC모터를 장착하였고, 속도는 0~21[km/h]까지 가변이 가능하다. 주행도로인 벨트의 길이는 3[m]이며, 1[m]간격으로 자계표식을 설치하였다. 자계표식의 크기는 직경 2.5[cm] × 두께 2[cm]의 페라이트 자계표식을 사용하였다. 센서는 3축 자계센서를 이용하였으며, ±3500[mG]까지 계측이 가능하며, 상하좌우로 이동이 가능하고 디지털 값으로 컴퓨터에 전달된다. 컴퓨터의 GUI 프로그램은 LabView를 이용하여 개발하였다.

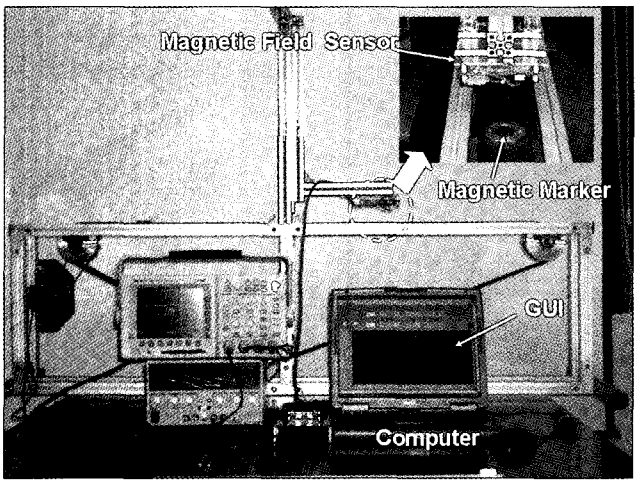


그림 8. 자계도로 주행시뮬레이터
Fig. 8. Magnetic road driving simulator

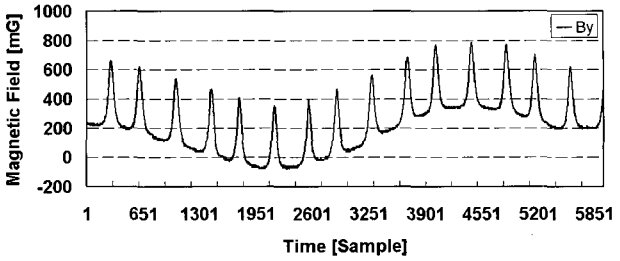
5. 실험 결과 및 고찰

5.1 실측자계

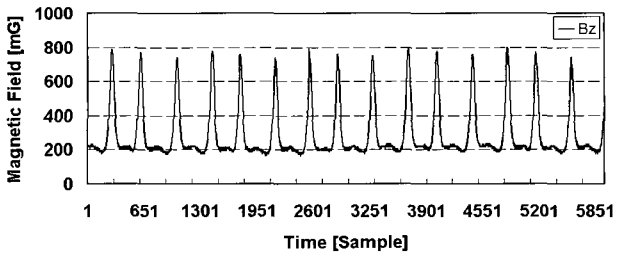
그림 9는 그림 8의 실험 장치를 이용하여 계측된 By와 Bz의 자계변화이다. By는 수평성분의 자계를 계측하기 때문에 360° 회전할 경우 계측되는 지자계는 그림 2와 같이 동일하게 나타나게 되는데 센서의 위치가 어느 쪽에 있느냐에 따라 다르다 나타난다. 즉 자계표식의 오른쪽에 있는 경우 Peak가 위쪽을 향하게 되고 왼쪽에 있는 경우 아래쪽을 향하게 된다.

Bz는 수직성분의 자계이기 때문에 센서가 위아래도 움직이지 않으면 현재 위치에서 자계표식과 센서의 높이에 따른 자계만을 계측한다.

센서가 자계표식으로부터 우측으로 7[cm] 떨어져 있고 10[cm] 위에 위치한다. 자계표식이 장착된 벨트에서 주행하게 하고, 주행시뮬레이터가 360° 회전하면 By의 경우 지자계 위에 자계표식자계의 변화가 나타나고 지자계가 외란으로 작용함을 확인할 수 있다. Bz의 경우 Valley를 살펴보면 자계표식을 지났을 때 전방의 Valley 보다 후방의 Valley가 더 낮은 것을 확인할 수 있다. 이는 그림 4에서 설명 했던 것과 같이 자계표식이 도로에 매설되었을 때 수평도가 정확하지 않고 한쪽으로 기울어져 있기 때문에 발생한다. 이것은 Valley 검출법의 문제점 이기도 하다.



(a)

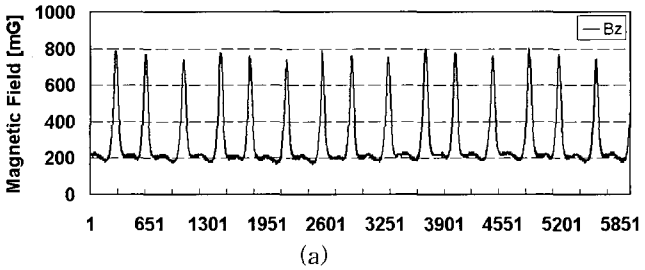


(b)

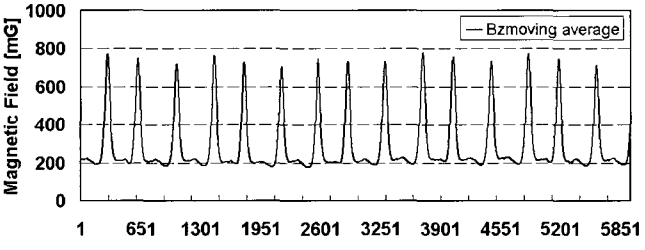
그림 9. 차량방향이 변화할 때 자계의 변화
(a) By, (b) Bz
Fig. 9. Variation of magnetic field at variation of vehicle direction
(a) By, (b) Bz

5.2 실측자계의 지자계 제거

그림 10의 (a)는 실측된 수직성분자계 Bz로 약 200 [mG]의 지자계가 존재하는 것을 알 수 있다. (b)는 실측된 자계의 잡을 제거하기 위하여 Moving average를 취한 것으로 고주파 잡음을 제거되었다. (c)는 Variance신호로 Moving average가 Valley에서 Peak로 변화하는 부분에서 큰 값을 갖고 Ground에서 Threshold 이하임을 보여준다. (d)는 Ground인 지자계가 제거된 수평성분자계 By이고, (e)는 Ground인 지자계가 제거된 수직성분 Bz이다.



(a)



(b)

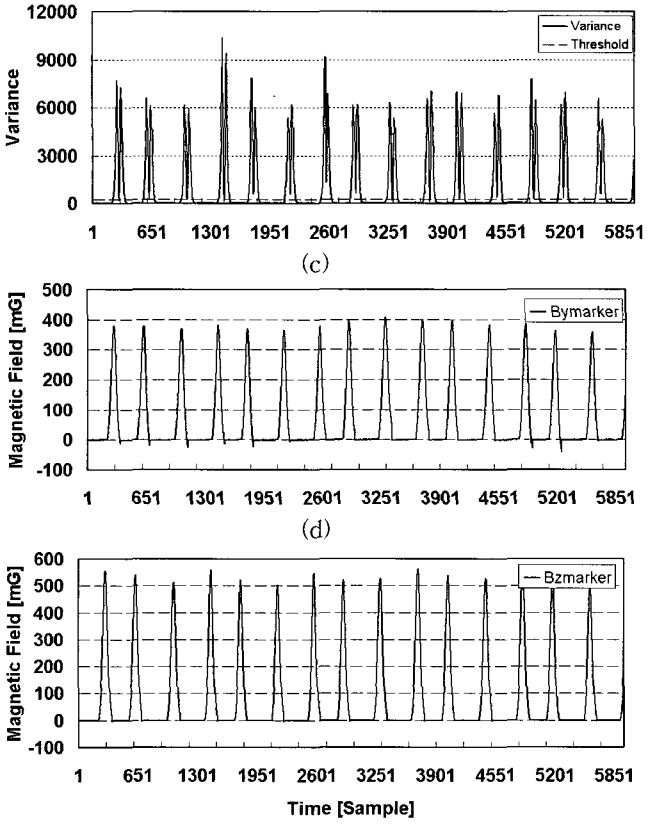
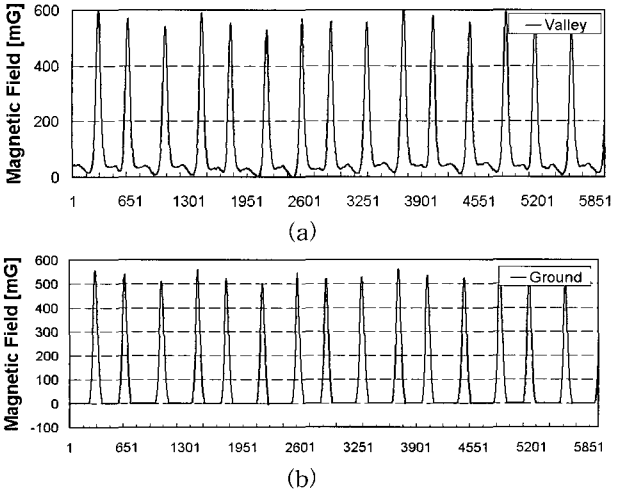


그림 10. 신호처리과정
(a) Bz, (b) Moving average,
(c)Variance, (d)By marker, (e) Bz marker
Fig. 10. Signal processing
(a) Bz, (b) Moving average,
(c)Variance, (d)By marker, (e) Bz marker

5.3 Valley 와 Ground의 검출결과 비교

그림 11은 기존의 Valley 검출법과 개발된 Ground 검출법을 비교한 것으로써 Valley 검출의 경우 약 50[mG]에서 변화함을 볼 수 있지만 Ground 검출의 경우 0[mG]에서 변화하는 것을 확인할 수 있다.



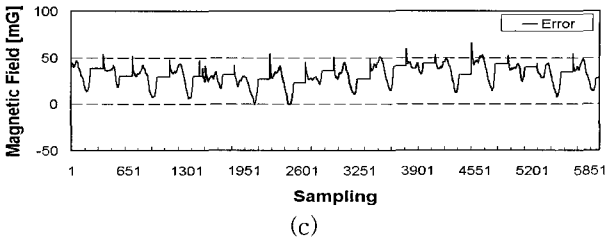


그림 11. Valley 와 Ground 의 비교
(a) Valley 검출법 적용,
(b) Ground 검출법 적용, (c) 오차
Fig. 11. Comparison of Valley and Ground
(a) By valley, (b) By Ground, (c) Error

6. 결 론

본 논문에서는 차량에 자기센서를 장착하고 자기차선으로 구성된 도로를 자율주행하기 위하여 가장 먼저 해결해야하는 지자계 제거를 위한 새로운 방법을 제안하였다. 기존의 방법에서는 지자계를 제거하기 위하여 Valley검출법을 이용하였다. 이 방법은 자계표식이 지면으로부터 경사를 가질 경우 정확한 지자계를 제거할 수 없고 오차를 발생한다. 따라서 제안하는 방법은 자계표식이 지면으로부터 급격한 경사를 지니고 있더라도 분산이라는 수학적인 방법과 실험을 통해 얻은 Threshold 설정만으로 자계표식 사이의 지자계만을 검출하여 제거한다. 또한 컴퓨터 상에서 지자계를 분석할 수 있도록 도로의 상황과 유사한 자계도로 주행시뮬레이터를 개발하였다. 개발된 자계도로 주행 시뮬레이터의 주행 실험을 행함으로써 기존 지자계 제거법과 비교를 통해 우수성을 입증하였다.

참 고 문 헌

[1] Young-Jae Ryoo and Young-Cheol Lim, "Neuro-Fuzzy control system for vision-based autonomous vehicle", 1999 IEEE Fuzzy Systems Conference Procs., pp Ⅲ-1643~1648, 1999.

[2] 이문규, 안택진, "머신비젼 기반의 자율주행 차량을 위한 카메라 교정", 제어자동화시스템공학 논문지, 제 8권, 제 9호, pp.803-811, 2002.

[3] 류영재, 임영철, "상대분활 신경회로망에 의한 자율주행차량 도로추적 제어기의 개발", 제어자동화시스템공학회 논문지, 제 5권, 제 5호, pp.550-557, 1999.

[4] 정영윤, 임대영, 유영재, "지구자계를 이용한 3축 자계센서의 수직성분자계 조정방법 및 장치", 한국 퍼지 및 지능시스템학회 논문지, Vol. 16, No. 3, pp.297-302, 2006.

[5] 임대영, 유영재, 이진,"자기저항센서를 이용한 자계기반 자율주행 시스템의 분석" 한국 퍼지 및 지능시스템학회 학술발표 논문집, 제 15권, 제 1호, pp.382-385, 2005

[6] Han-hue Tan, Ching-Yao Chan, "Evaluation of magnetic markers as a position reference system for ground vehicle guidance and control"

California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2003-8.
[7] Han-hue Tan, Benedicte Bougler, "Experimental studies on high speed vehicle steering control with magnetic marker referencing system" *California PATH Research Report* UCB-ITS-PRR-2000-6.
[8] Tan H-S., Guldner, J., Patwardhan, S., Chen, C., and Bougler,B., "Development of an Automated Steering vehicle Based an Roadway Magnets-A Case Study of Mechatronic System Design", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics,* Vol. 4, no. 3, Sept. 1999, pp.258-272.
[9] Han-hue Tan, Ching-Yao Chan, "Evaluation of magnetic markers as a position reference system for ground vehicle guidance and control" California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2003-8.

저 자 소 개

임대영(Im, Dae-Yeong)
2002년 : 목포대학교 제어계측공학 공학사.
2004년 : 목포대학교 제어시스템공학 공학석사
2004년～현재 : 제어시스템 공학 박사과정

관심분야 : 자율주행시스템, 자계안내시스템, 지능제어 시스템, 원격제어 시스템
Phone : 061-450-2759
Fax : 061-450-6471
E-mail : dylim@mokpo.ac.kr

정영윤(Jung, Young-Yoon)
2004년 : 목포대학교 제어시스템공학 공학사.
2005년～현재 : 목포대학교 제어시스템 공학 석사과정.

관심분야 : 자율주행 차량 및 로봇, 자계안내시스템, 임베디드 시스템.
Phone : 061-450-2759
Fax : 061-450-6471
E-mail : yyjung@mokpo.ac.kr

유영재(Ryoo, Young-Jae)
제 16권 제 3호 (2006년 6월)참조.

Phone : 061-450-2754
Fax : 061-450-6471
E-mail : yjryoo@mokpo.ac.kr