

상대위치인식과 자계안내를 이용한 무인주행차량의 주행기법

Navigation of Unmanned Vehicle Using Relative Localization and Magnetic Guidance

이용준 · 유영재*

Yong-Jun Lee and Young-Jae Ryoo*

목포대학교 제어로봇공학과

요 약

본 논문에서는 상대위치인식과 자계기반 안내를 결합한 무인주행 차량의 주행기법을 제안한다. 자계기반 주행은 이동하는 경로에 자계가 항상 계측되면 안정적인 자율주행이 가능하다. 하지만 외부요인으로 인해 자계가 검출되지 않으면 예측 불가능한 상황이 발생하는 단점이 있다. 따라서 상대위치인식을 이용한 무인주행을 통해 자계가 검출되지 않는 구간을 극복하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법의 유용함을 검증하기 위하여 차량을 개발하고 자계기반 주행 실험하였다. 또한 자계가 없는 구간에서의 상대항법을 이용한 무인주행 실험을 실시하고 결과를 분석하여 문제점 극복의 가능성을 확인하였다.

키워드 : 자계안내시스템, 상대위치인식, 무인주행, 로봇형 차량

Abstract

In this paper, a navigation technology of an unmanned vehicle using relative localization and magnetic guidance is proposed. Magnetic guidance system had been developed as a robust autonomous driving technology as long as magnetic fields on the path are detected. Otherwise, if magnetic fields were not detected due to some reasons, the vehicle could not drive. Therefore, in order to overcome the drawback, we propose that relative localization would be combined to magnetic guidance system. To validate the usefulness of the proposed method, a robotic vehicle was set up with the magnetic guidance system and the relative localization. In addition, the unmanned driving test was realized on the road without the magnetic fields so that the proposed method is verified by the experiment.

Key Words : magnetic guidance system, relative localization, unmanned driving, robotic vehicle

1. 서 론

최근 들어 증가한 차량으로 인해 발생하는 많은 교통문제의 해결 방법으로 지능형 교통시스템에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 차량의 무인주행이나 로봇의 자기위치인식에 관한 연구들도 활발히 연구되고 있다[1]. 차량의 무인주행을 위한 방법으로는 카메라를 이용하여 주행하는 방법[2, 3]과 경로 상에 자계를 설치하고 이를 계측하여 주행하는 자계기반 주행방법 등이 있다[4, 5]. 로봇의 자기위치인식 방법으로는 GPS를 통한 절대좌표를 계측하여 자신의 위치를 인식하는 방법, 자이로와 엔코더를 이용하는 방법, 두 방법을 융합하여 오차를 극복하고 자기 위치를 인식하는 방법 등이 있다[6]. 이렇게 로봇의 기술이 접목되며 동시에 차량의 기술에 융합되는 첨단 차량을 로봇형 차량(Robilet; Robotic Vehicle)이라는 명칭으로 부를 수 있다. Robilet은 'robot'과 'vehicle'의 합성어로서, 'robot'은 특화된 일을 자동으로 수행하도록 프로그램된 것을 의미하고

'vehicle'은 기계로써의 차량을 의미한다. Robilet은 Robot의 지능과 Vehicle의 이동성을 융합하여 인간의 편의를 위한 지능형 차량이라고 말할 수 있다[7].

이러한 Robilet의 경로 주행을 위해 자계기반 주행방식을 이용하였다. 이동하는 경로에 마그네틱 와이어를 매설하고 자계위치인식센서를 이용하여 도로에 매설된 자계를 검출하고 경로를 인식하는 기술이다. 자계가 임의로 제거되지 않는 이상 항상 자계가 발생하기 때문에 안정적인 주행이 가능하다[8, 9]. 하지만 자계가 손실된 구간이 나오거나, 외부 요인으로 인해 자계경로가 있음에도 불구하고 자계가 검출되지 않을 경우 경로 주행이 불가능해지거나 불안정한 주행이 발생 할 수 있다는 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 자계경로가 검출되지 않아 주행이 불가능해지는 문제점을 극복하기 위한 방법으로 상대위치인식법을 이용한 자계가 없는 구간에서의 무인주행 방법을 제안한다. 상대위치인식법은 차량에 장착된 자이로와 엔코더를 이용하여 현재 차량의 위치를 추정하여 이동 경로를 설정하고 자계 검출이 예상되는 경로로 주행하는 방법이다[10-13]. 자계기반으로 차량이 무인주행 도중 자계가 검출되지 않는 구간이 발생할 경우 상대위치인식법을 결합하여 주행하고자 한다.

제안하는 방법을 구현하기 위하여 차량을 개발하였다. 조향시스템, 주행시스템, 상대항법장치를 설계 및 개발하여 사

접수일자 : 2010년 12월 14일

완료일자 : 2011년 8월 5일

*교신저자

본 연구는 지식경제부의 지역산업기술개발사업에서 일부 지원을 받았습니다.

용하였다.

제안하는 방법의 유용함을 검증하기 위하여 개발된 차량의 실험을 실시하였다. 자계위치인식센서를 이용한 경로인식 및 경로추적 실험을 실시하였다. 또한 마그네틱 디스크와 자이로 센서를 이용하여 상대위치인식 실험을 실시하였다. 마그네틱 와이어 경로가 없는 구간에서의 자계기반 주행의 문제점을 확인하고 상대항법을 이용하여 차량의 무인주행 실험을 실시하여 제기된 문제점 극복을 위한 방법으로 이용할 수 있음을 확인하였다.

2. 상대위치인식법

2.1 로봇형 차량의 기구학

기구학이란, 기계가 원하는 속도나 위치를 갖도록 할 때 나타나는 기계의 링크, 휠 등의 움직임을 기하학적으로 연구하는 학문이다. 이동로봇에서 기구학 식이란, 바퀴에 원하는 속도를 가할 때 로봇의 움직임을 나타내는 식이라고 할 수 있다. 이러한 기구학식은 로봇의 구조에 따라 달라진다. 이 논문에서 이용되는 로봇의 구조는 네 바퀴가 장착된 차량이다. 그림 1로부터 로봇의 기구학적인 모델을 구할 수 있다.

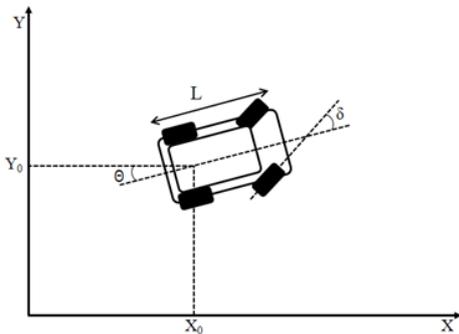


그림 1. 로봇형 차량의 기구학 모델.
Fig. 1. Kinematic model of robotic vehicle.

로봇의 조향각(δ)과 이동속도(v)를 측정하고 기구학 수식을 이용하면 로봇의 방향각(θ) 변화량을 알 수 있다.

$$d\theta = \frac{1}{L} v \sin(\delta) \quad (1)$$

또한 계산된 로봇의 방향각을 다음의 기구학 수식을 이용하면 처음 위치로부터의 로봇의 이동변화량을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} dx &= v \cos(\theta) \cos(\delta) \\ dy &= v \sin(\theta) \cos(\delta) \end{aligned} \quad (2)$$

2.2 상대위치인식법

로봇의 기구학 모델을 이용하여 로봇의 방향각 및 위치의 변화량을 계산 할 수 있고, 방향각과 위치 변화량을 누적하면 로봇의 이동경로를 추적할 수 있다. 기구학 수식만으로 방향각을 추적하기에는 오차가 누적되는 단점이 있어, 자이로 센서를 이용하여 로봇의 방향각을 측정하고 위치 추적에 이용하였다.

로봇의 현재 위치를 추적하기 위하여 Potentiometer를

이용하여 로봇의 조향각(δ)을 계속하고 자이로 센서를 이용하여 로봇의 방향각(θ)을 계속한다. 엔코더를 이용하여 로봇의 이동속도(v)를 계속한 다음 기구학 수식을 이용하여 위치 변화량 dx , dy 를 계산하였다.

$$\begin{aligned} \theta_t &= \theta + d\theta \cdot dt \\ x_t &= x + dx \cdot dt \\ y_t &= y + dy \cdot dt \end{aligned} \quad (3)$$

로봇의 위치를 θ , x , y 에 계산된 방향각 변화량 $d\theta$, 위치 변화량 dx , dy 를 누적하면 로봇의 현재 위치를 추적 할 수 있다. 추적된 로봇의 현재 위치를 구하고 출발지점에서의 이동거리를 계산한 후 로봇의 목표 지점에 도달하기 위한 이동 거리, 이동방향 및 로봇의 조향각을 제어하여 로봇의 주행제어를 할 수 있다.

3. 자계기반 무인주행 시스템

3.1 자계위치인식센서

차량의 무인주행을 위한 자계경로 인식 장치로는 자계위치인식센서(Magnetic Position Sensor : MPS)를 사용하였다. MPS는 8개의 자계센서가 배열로 나열되어 있다. 높이 방향에 대한 자계성분이 그림 2와 같이 자석과 센서의 위치가 동일할 때 자계의 세기가 가장 작게 나타난다. 따라서 높이방향에 대한 자계성분을 검출하는 센서를 4[cm] 간격으로 8개를 열로 배치하였으며, 각각의 센서는 좌우로 2[cm]씩 자계의 검출이 가능하다. 자계표식의 위치를 인식하는 방법은 각 센서의 자계를 검출하여 자계의 세기를 비교하고 그 중에서 자계의 세기가 가장 작은 센서의 위치를 검출하면 자석의 위치를 알 수 있다. 자계표식위치인식센서 2장을 연결하여 총 64[cm]를 측정하고 실제 주행 차량에 장착하였다.

차량에 장착한 두 개의 자계위치인식센서에서는 측정된 자계 값들 중 가장 작은 값을 측정하는 센서의 번호와 자계의 값을 출력한다. 첫 번째 자계위치인식센서에서 두 번째 자계위치인식센서로 센서의 번호와 측정된 자계 값을 전달한다. 두 번째 자계위치인식센서는 입력받은 자계 값과 자신이 측정한 가장 낮은 자계 값을 비교하여 더 작은 자계 값을 측정한 센서의 번호를 메인제어기로 전달한다.

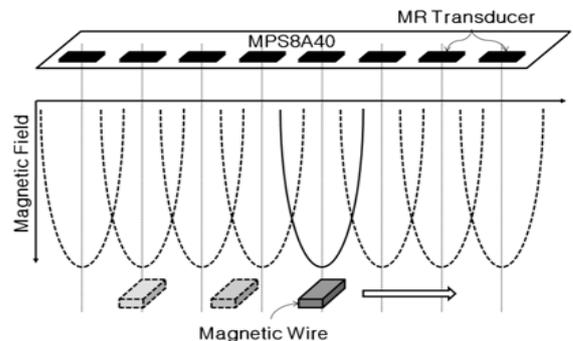


그림 2. 자계위치인식센서.
Fig. 2. Magnetic positioning sensor.

3.2 자계기반 주행 시스템

메인 제어기는 자계위치인식센서로부터 측정된 자계의

세기가 가장 작은 센서의 번호를 입력받는다. 입력된 센서의 번호를 이용하여 차량의 중심으로부터 자계경로까지의 거리를 계산한다. 계산된 거리가 로봇이 경로로부터 벗어난 이탈거리가 된다. 계산된 이탈거리는 다시 조향 제어 알고리즘을 통해 조향 속도, 조향각 및 조향 방향 등의 조향 제어 신호로 변환된다.

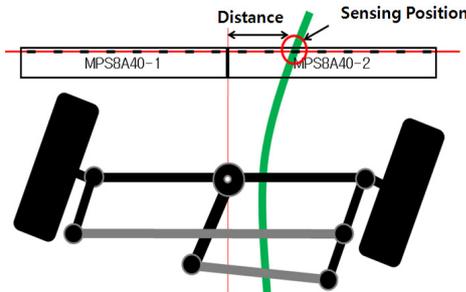


그림 3. 자계기반 주행 시스템.
Fig. 3. Magnetic guidance system.

그리고 조향축에 장착된 Potentiometer로부터 계측된 신호를 AD-Converter를 통해 디지털 값으로 변환하여 현재의 조향각을 계측한다. 이렇게 계측된 조향각 값과 이탈거리 값을 비교하면 제어해야하는 조향각의 오차가 계산된다. 메인제어기는 조향각의 오차를 조향 제어기에 피드백 하여 다시 조향 제어 신호로 변환하고 BLDC 모터 드라이버에 입력한다. 입력된 신호는 조향부 BLDC 모터를 구동시켜 조향이 이루어진다.

4. 상대항법과 자계기반 주행기법의 결합

4.1 무인주행차량의 개발

본 논문에서는 상대항법과 자계기반주행기법의 시험을 위하여 무인주행차량을 개발하였다. 크게 조향부, 구동부, 메인제어기로 나누어진다. 조향부는 경로를 인식하기 위한 자계위치인식센서를 포함한다. 구동부는 엔코더를 장착하여 차량의 속도를 계측할 수 있다. 자계위치인식센서와 엔코더에서 계측된 값을 메인제어기로 입력된다. 메인제어기는 계측된 값을 제어 알고리즘을 통하여 조향제어 신호 및 주행 제어 신호로 변환하고 각 부분에 전달하여 차량의 조향 및 주행을 제어한다.

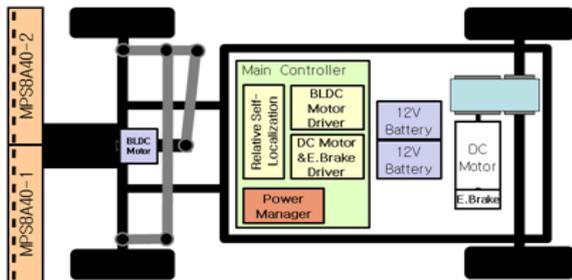


그림 4. 개발된 무인주행차량의 시스템.
Fig. 4. Developed system of unmanned vehicle.

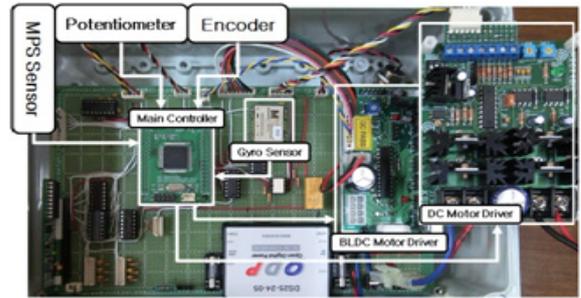


그림 5. 개발된 무인주행차량의 제어기.
Fig. 5. Developed controller of unmanned vehicle.

4.2 자계기반 주행기법

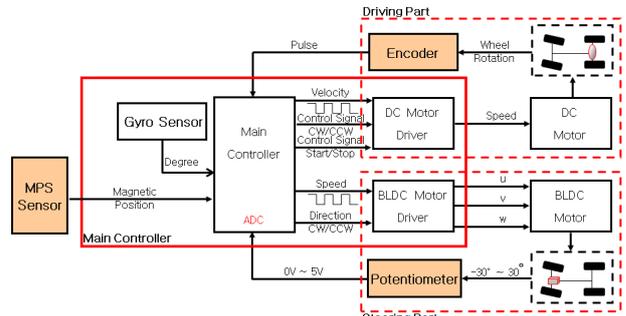


그림 6. 자계기반 무인주행차량의 시스템.
Fig. 6. Unmanned system based on magnetic guidance system.

본 논문에서 개발한 무인주행차량은 자계기반주행기법을 이용하였다. 차량의 이동경로는 마그네틱 와이어를 사용하였다. 마그네틱 와이어를 이용할 경우 자계가 끊어짐 없이 연속적으로 발생한다. 자계기반 주행은 자계위치센서가 자계경로의 자계가 검출되는 한 안정적인 경로 인식을 바탕으로 안정적인 주행이 가능하다. 하지만 외부 요인으로 인하여 자계가 검출되지 않거나 자계경로가 손실될 수 있다. 이 경우 자계위치센서가 자계를 검출하지 못하기 때문에 경로를 인식할 수 없다. 경로가 인식이 되지 않을 경우 차량은 예측 불가능한 주행을 하거나 주행을 멈추는 등의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 자계가 검출되지 않는 구간에서는 무인주행차량에 상대항법을 적용하여 주행의 문제점의 극복을 제안하였다.

4.3 상대항법을 적용한 자계기반주행기법

상대항법을 이용하면 특별한 경로 없이 무인주행차량이 스스로 경로를 설정하여 주행을 할 수 있다. 하지만 상대항법장치에서 스스로의 위치를 추정하기 위하여 계측한 엔코더 신호와 자이로 센서 신호의 누적 오차로 인하여 정확한 좌표로의 주행에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 상대항법만을 이용한 무인주행보다는 자계기반안내기법에 결합하여 자율주행차량의 주행에 적용하고자 한다. 차량이 자계기반 주행으로 경로를 따라 주행 하는 도중 외부 요인으로 인하여 경로를 인식할 수 없는 경우가 발생하면 상대항법을 이용하여 임의의 위치까지 주행할 수 있다. 상대항법으로 경로를 설정하여 다음 자계경로를 검출 가능한 곳까지 주행을 실시하고 다시 자계경로가 인식되면 자계기반주행기법을 이용하여 차량의 주행을 실시한다.

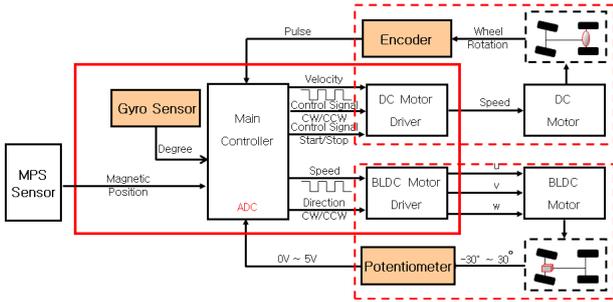


그림 7. 상대항법 기반 무인주행차량의 시스템.
Fig. 7. Unmanned system based on relative localization.

5. 실험 및 결과

5.1 자계안내시스템 기반 주행실험

차량의 조향각은 -30° 에서 $+30^\circ$ 까지이다. 자계위치인식 센서로부터 측정된 자계의 값은 좌측 -10000 에서 우측 10000 까지이다. 차량의 조향각과 자계경로 위치 값의 단위가 다르기 때문에 비교가 불가능하다. 따라서 조향각의 값을 -10000 에서 $+10000$ 까지 정수화 시키고 자계경로의 위치값과 비교하여 현재 조향의 오차를 계산한다. 계산된 조향 오차를 다시 PWM 값 -255 에서 $+255$ 까지 변환한다. 정수화된 조향 10000 을 PWM 255 로 변환하기 위한 변환계수($C_{integer_steer_pwm}$)는 0.0255 이고 조향 시스템에 적용하여 제어기를 개발하였다.

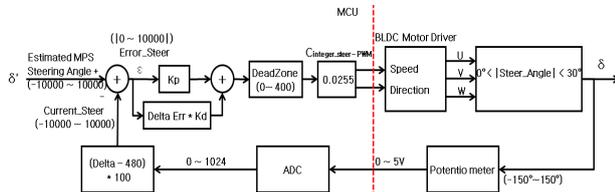


그림 8. 조향시스템 PD 제어 블록도.
Fig. 8. Block diagram of PD control for steering system.

본 논문에서는 PD Control 방법을 이용하여 조향 제어기를 구성하였다.

설계한 제어기를 이용하여 자계경로 인식 실험을 실시하고 자계의 위치 변화에 따른 현재 조향각의 값의 변화와 조향축의 구동 실험을 실시하고 결과를 분석하였다.



그림 9. 조향시스템 동작 실험.
Fig. 9. Experimental test of steering system.

자계경로의 위치가 좌우로 변하면 조향이 좌우로 제어되는 것을 확인 할 수 있다. 그때의 측정된 자계위치와 현재 조향각의 값을 측정하여 결과를 비교하였다.

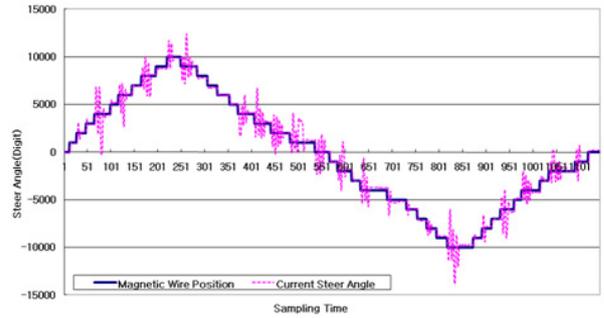


그림 10. 자계 와이어 추종 실험 결과.
Fig. 10. Result of following magnetic wire.

그림 10은 차량이 정지 상태이고 마그네틱 와이어를 좌우로 이동시켰을 경우에 측정된 자계경로 위치 값과 그때 측정된 현재 조향각의 값을 비교한 결과이다. 자계경로가 이동함에 조향제어가 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 그림 11은 자계경로를 지면에 설치하고 무인주행차량을 자계기반으로 주행한 후 측정된 자계경로의 위치 값과 그때 측정된 현재 조향각의 값을 비교하였다.

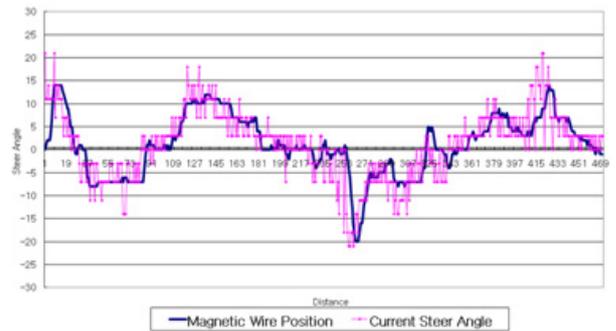


그림 11. 자계경로 추적 실험.
Fig. 11. Result of tracking along magnetic path.

자계경로가 변함에 따라 조향각이 추종해 가고 무인주행 차량의 자계기반주행이 이루어짐을 확인 할 수 있다.

5.2 자계안내가 없을 때 주행실험

본 논문에서 문제점으로 제기한 자계가 없는 구간에서의 불안정한 주행을 실험을 위해 지면에 설치된 자계경로 중간에 자계가 없는 지점을 설치하였다. 자계기반으로 주행하는 무인주행 차량이 주행하는 도중 자계가 없는 구간에서 어떤 현상을 보이는지 실험을 실시하였다.

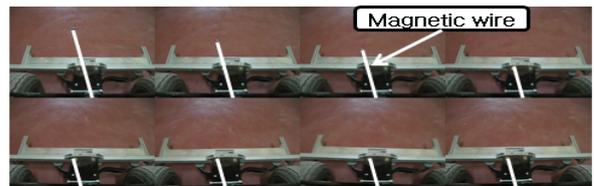


그림 12. 차량의 주행 정지.
Fig. 12. Vehicle stopping.

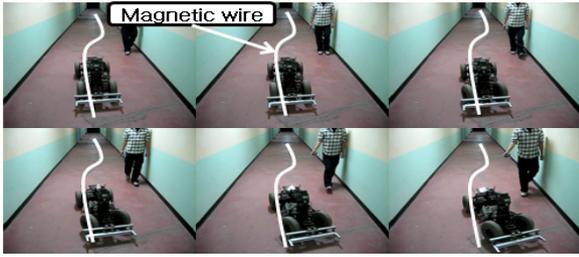


그림 13. 차량의 자계경로 이탈.
Fig. 13. Vehicle running off magnetic path.

5.3 상대항법 주행실험

로봇이 주행 중 자신의 위치를 추정할 수 있음을 입증하기 위해 시뮬레이션 및 주행실험을 실시하였다.

시뮬레이션은 로봇이 1m/s 속도로 주행하고 가로 세로 7m의 안쪽으로 돌아 들어오는 경로를 주행하였을 경우 이동경로를 계측하였다. 시뮬레이션은 로봇의 출발지점을 (0m, 0m)라고 초기화 하고 (7m, 0m)지점으로 이동, 두 번째 (7m, 7m) 지점으로 이동, 세 번째는 (0m, 7m) 지점으로 이동한다. 그 다음으로 (0m, 2m), (5m, 2m), (5m, 5m), (2m, 5m) 지점으로 차례대로 이동한 후 마지막으로 (2m, 2m) 지점으로 이동하는 경로를 설정하고 실험 결과를 분석하였다.

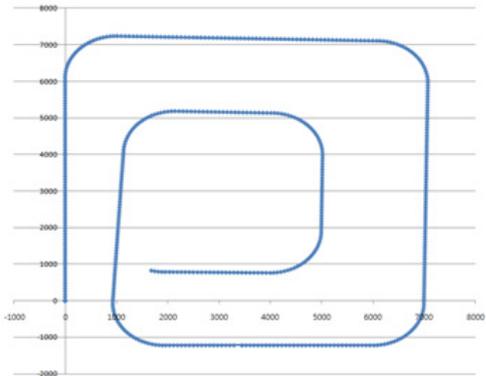


그림 14. 상대항법 주행 시뮬레이션 결과.
Fig. 14. Simulation result of driving test based on relative localization.

그림 14의 그래프에서 보이는 것처럼 정확한 위치에서 벗어나 있지만, 목표 지점들을 지나 마지막 목적 지점에서 멈추는 것을 확인할 수 있었다.

또한 로봇의 방향각을 계측하는 자이로 센서의 전원이 인가되는 순간을 기준으로 좌우 방향각을 계측하는 특성으로 인해 실제로 주행을 하는데 있어서 로봇의 초기 방향에 따라 이동경로의 오차가 심해지는 것을 확인할 수 있었다.

주행실험은 로봇이 1m/s 속도로 주행하고 가로, 세로 6m의 사각 경로를 주행하였을 경우의 위치추적 데이터를 누적하여 이동경로를 계측하였다.

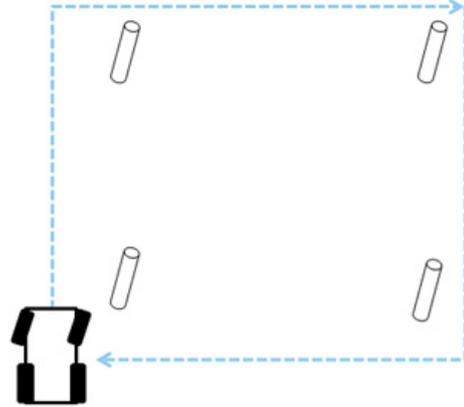


그림 15. 상대항법 주행 실험 환경.
Fig. 15. Environmental environment of driving test for relative localization.



그림 16. 상대항법 주행 실험.
Fig. 16. Driving test based on relative localization.

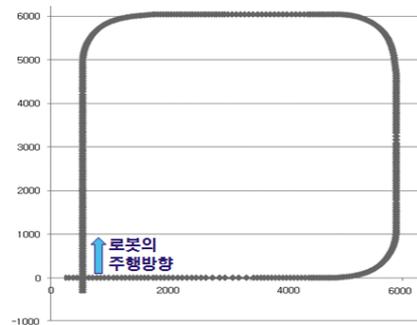


그림 17. 상대항법 주행 실험 결과.
Fig. 17. Result of driving test based on relative localization.

5. 결 론

본 논문에서는 상대항법과 자계안내기법을 결합한 무인 주행차량의 주행기법을 제안하였다. 제안하는 방법의 실험을 위하여 자계기반주행시스템을 개발하였고, 상대항법장치를 설계하였다. 실험을 통해 조향 시스템이 자계경로를 추종할 수 있음을 확인하였다. 상대항법을 이용하여 본 논문에서 극복하고자 하는 자계가 검출되지 않는 곳에서의 무인 주행의 가능성을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] 서창진, 양황규, “지능형 교통시스템을 위한 자동차 추적에 관한 연구”, *퍼지 및 지능시스템학회 논문지*, 제14권, 1호, pp. 63-68, 2004.

[2] Young-Jae Ryoo, "Image Technology for Camera-based Automatic Guided Vehicle", *Lecture Notes in Computer Science 4319 : Advances in Image and Video Technology*, pp.1225-1233, Springer, 2006. 12.

[3] 황재필, 최혁두, 박성근, 김은태, “지능형 자동차 시스템을 위한 칼라 스테레오 카메라 도로면 추출 시스템”, *한국지능시스템학회논문지*, 제20권, 1호, pp. 365-367, 2010.

[4] Dae-Young Lim, Young-Jae Ryoo, Jang-Hyun Park, Hyong-Yeol Yang, Ju-Sang Lee, "Neural Network Mapping of Magnet Based Position Sensing System for Autonomous Robotic Vehicle", *Lecture Notes in Computer Science 4432 : Adaptive and Natural Computing Algorithms*, pp.730-737, Springer, 2007.

[5] 임대영, 유영재, “자계표식을 이용한 로봇형 차량의 무인주행”, *한국지능시스템학회논문지*, 제18권, 6호, pp. 775-780, 2008. 12.

[6] 이재훈, 남동균, 박주영, 김도윤, 성상학, “차량주행을 위한 GPS/INS 결합에 대한 고찰”, *한국지능시스템학회논문지*, 제19권, 2호, pp. 61-66, 2009.

[7] Young-Jae Ryoo, "Introduction to Robicle(Robotic Vehicle) with Robotic Intelligence and Vehicular Mobility", *SCIS & ISIS 2008*, pp. 1538-1539, 2008.

[8] 임대영, 유영재, “자계기반 무인차량을 위한 조향장치 개발”, *한국지능시스템학회논문지*, 제19권, 3호, pp. 375-380, 2009.

[9] 김근모, 유영재, “자기거리계를 이용한 자율주행 시스템의 개발”, *퍼지 및 지능시스템학회 논문지*, 제17권, 3호, pp. 343-347, 2007.

[10] 김정민, 허정민, 정승영, 김성신, “자율주행 장치를 위한 수정된 유전자 알고리즘을 이용한 경로계획과 특징 맵 기반 SLAM” *한국지능시스템학회 논문지*, 제19권, 3호, pp. 381-387, 2009.

[11] 하상형, 최인찬, 김현성, 전홍태, “소프트 컴퓨팅에 의한 자율 이동로봇의 충돌 회피 및 최적 경로계획”, *한국지능시스템학회논문지*, 제20권, 2호, pp. 195-201, 2009.

[12] 최종석, 김병국, “엔코더 트레일러를 이용한 이동로봇의 위치 추정”, *제어·자동화·시스템공학 논문지*, 제5권, 3호 pp. 306-313, 1999.

[13] 김정민, 도주철, 김성신, “엔코더와 자이로를 이용한 각속도 오차 최소화”, *한국지능시스템학회논문지*, 제20권, 6호, pp. 814-819, 2010.

저 자 소 개



이용준(Yong-jun Lee)

2004년 : 목포대학교 제어시스템공학과 졸업.

2010년 : 동 대학원 석사 졸업

2010년~현재 : 동 대학원 전기공학과
제어시스템전공 박사
과정

관심분야 : 지능로봇, 자율주행차량
Phone : 061-450-2759
Fax : 061-450-6471
E-mail : yongjun@mokpo.ac.kr



유영재(Young-Jae Ryoo)

본 논문지 제19권, 제3호 참조

2000년~현재 : 목포대학교 제어로봇공학과 교수

2010년~현재 : 미국 Virginia Tech 교환
교수

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