한국지능시스템학회 논문지 2010, Vol. 20, No. 1. pp. 54-59

센서융합을 이용한 AGV의 라인 트레킹 방법

Line Tracking Method of AGV using Sensor Fusion

정경훈* · 김정민** · 박정제** · 김성신**+ · 배선일***

Kyunghoon Jung*, Jungmin Kim**, Jungje Park**, Sungshin Kim**+ and Sunil Bae***

* 부산대학교 로봇협동과정

** 부산대학교 전자전기공학과

*** ㈜ATIS

요 약

본 논문은 AGV(autonomous guided vehicle)의 센서융합을 통한 위치측정(localization)과 라인 트레킹(line tracking) 방법인 AGV의 유도 시스템(guidance system)에 관한 연구이다. 기존에 AGV는 유도 되어진 선만을 주행 가능한 시스템이었고, 그러한 유도 시스템에 대표적인 방법으로는 자기-자이로 유도(magnet-gyro guidance) 방식과 유선 유도(wire guidance) 방식이 있었다. 하지만 이들은 설치 및 유지보수에 대한 비용이 높고, 작업 환경의 변화에 따른 시스템의 변경이 어렵다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 레이저 내비게이션과 자이로, 엔코더를 함께 이용하여 외란에 강인하고 작업 환경 및 작업의 내용에 따른 주행 경로 변경이 유연한 위치측정 시스템을 구현하였다. 또한 유도선이 없는 레이저 내비게이션의 라인 트레킹을 위해서 프로그램 상에 가상의 유도선을 설정하고, 경유 노드를 생성하여 AGV와 노드 사이의 각도 차를 바탕으로 주행 제어기(driving controller)를 설계하였다. 실험은 직접 제작한 AGV를 이용하였으며, 동일한 작업공간에서 반복적으로 라인 트래킹 실험을 하였다. 실험 결과, 설정된 주행선의 경로와 실제 AGV 사이의 최대 오차가 49.93mm 이내였으며, 제안한 시스템이 AGV의 라인 트레킹에 효율적임을 확인할 수 있었다.

키워드 : 대차, 센서융합, 위치측정, 선 추적, 주행 제어

Abstract

This paper present to study the guidance system as localization technique using sensor fusion and line tracking technique using virtual line for AGV(autonomous guided vehicle). An existing AGV could drive on decided line only. And representative guidance systems of such guidance system are magnet-gyro guidance and wired guidance. However, those have had the high cost of installation and maintenance, and the difficulty of system change according to variation of working environment. To solve such problems, we make the localization system which is fused with a laser navigation and gyro, encoder. The system is robust against noise, and flexible according to working environment through sensor fusion. For line tracking of laser navigation without wire guidance, we set the virtual line in program, and design the driving controller based on difference of angle and distance between AGV's position and decided virtual line. To experiment, we use the AGV which is made by ourselves, and experiment the line tracking repeatedly on same experimental environment. In result, maximum distance error between decided virtual line and AGV's position was less than 49.93mm, and we verified that the proposed system is efficient for line tracking of actual AGV.

Key Words : AGV, sensor fusion, localization, line tracking, driving control

1. 서 론

오늘날의 산업은 대량 기술이 확립되어 제품의 대량 공급을 할 수 있게 되었으나, 차츰 다양한 제품의 공급을 요청하는 추세로 바뀌고 있다. 따라서 공정 변화에 유연하게 대처 가능한 유연한 생산 시스템(flexible manufacturing system: FMS)에 대한 관심이 커졌고, 그에 따라 운송 작업을 위한 AGV(autonomous guided vehicle)의 수요가 점차적으로 늘어나고 있다[1,2].

AGV의 기술은 물류의 운송 작업을 스스로 판단하고 자율적으로 작업하는 기술로써, 다양한 기술의 집합체라 할 수 있다. 그 중에서도 유도 시스템(guidance system)은 AGV의 기술에서 가장 중요한 기반 기술이며, 이는 위치측정 기술과 주행 제어 기술을 모두 일컫는 말이다. 기존의 AGV의 자율주행을 위해 사용된 대표적인 유도 기술로는

접수일자 : 2009년 11월 30일
완료일자 : 2010년 1월 19일
"본 논문은 본 학회 2009년도 추계학술대회에서 선정된 우수논문입니다."
+ Corresponding Author : sskim@pusan.ac.kr
본 연구는 (부산대학교 특수환경 Navigation/localization 로봇기술연구센터를 통한) 지식경제부/한국산업기술진흥원 융복합형로봇전문인력양성사업의 지원으로 수행되었음

자기-자이로 유도(magnet-gyro guidance) 방식과 유선 유도(wire guidance) 방식이 있다[3-7]. 하지만 이러한 방식은 유도선의 설치 및 유지·보수에 대한 비용이 높고, 특정한 작업환경에 맞게 AGV가 주행 되도록 설계되어 작업 환경의 변화에 따른 시스템의 변경이 어렵다는 단점이 있었다. 이러한 단점을 해결하기 위해, 완전한 자율주행이 가능한 레이저 내비게이션 시스템이 개발되었다. 하지만, 레이저 내비게이션은 느린 반응속도와 함께, 고속 주행 시 주위의 반사체를 제대로 인식하지 못하는 문제로 인해, 중장비인 AGV에 적용하기에는 안전성에 대한 문제가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 외란에 강인하고 정밀한 위치측정 시스템을 위해서 전역 위치측정이 가능하지만, 반응속도가 느리고 외란에 약한 레이저 내비게이션과 빠른 반응 속도와 외란에 강인한 특성을 가졌지만, 오차 누적의 문제가 있는 엔코더, 자이로, 전자 나침반 센서들을 함께 이용한 강인한 위치측정 시스템을 이용한다[8].

완전한 자율주행이 가능한 레이저 내비게이션을 이용한다고 하더라도 산업체들은 안정상의 문제로 인해, 설정된 주행선에 따라 이동하는 라인 트레킹 방법을 선호한다. 따라서 본 논문에서는 상기의 레이저 위치측정 시스템을 기반으로 실제 AGV의 정밀한 라인 트레킹이 가능한 주행 제어 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안한 라인 트레킹 방법을 실험하기 위해 직접 설계·제작한 AGV의 시스템 구조와 기구부, 위치측정 시스템에 대해 소개하고, 3장에서는 라인 트레킹을 위한 주행 제어 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 AGV 제어 시스템 성능 실험 및 결과에 대해 다루고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대하여 기술하였다.

2. AGV 시스템

본 연구에서는 레이저 유도 방식을 이용한 라인 트레킹의 실험을 위해, AGV 개발 전문 업체인 ㈜아티스(ATIS)와 함께 AGV를 직접 설계·제작하였다. 제작된 AGV의 크기는 134×75× 210cm이며, 주행과 조향이 같은 위치에서 이루어지는 차축 구동 방식의 구동부를 이용하였다. 제작된 AGV는 그림 1과 같다.

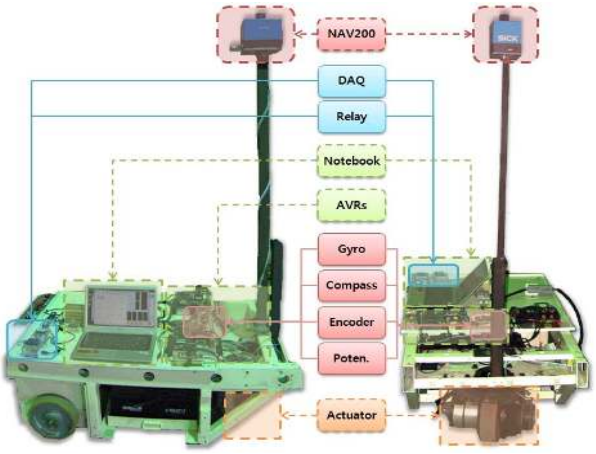


그림 1. 사용된 AGV
Fig. 1. Used AGV

2.1 구동 및 측정 시스템

제작된 AGV의 구동부는 비용을 최소화하기 위해서 차축 구동부로 개발하였으며, 이를 주행과 조향을 제어하기 위해 DAQ(data acquisition)를 이용하였다. 또한, 위치측정을 위해서 레이저 내비게이션과 엔코더, 자이로, 전자나침반을 이용하였다. 그림 2는 AGV에 전체 시스템 구성을 간략히 보여준다.

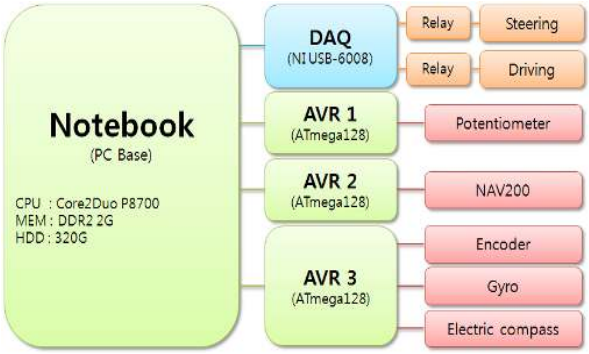


그림 2. AGV의 시스템 구성
Fig. 2. System configuration of AGV

AGV의 주 제어기는 라인 트레킹 알고리즘의 빠른 개발을 위해 노트북을 이용하였으며, 구동부 중 조향 구동은 가변저항(potentiometer)을 설치하여 ATmega128 MCU를 통해 계측 후, DAQ로 제어 하였다. 또한, ATmega128을 이용하여 NAV200의 전역 위치 데이터를 425ms마다 요청 및 처리하고 오류 시에는 빠르게 초기화하도록 하였으며, 엔코더와 자이로, 전자 나침반을 통해 100ms마다 지역 위치 값을 계산하도록 하였다. 표 1은 AGV의 시스템에 사용된 센서들의 주요 사양을 보여준다.

표 1. 사용된 센서들의 주요 사양
Table. 1 Spec. of used sensors

Item (model)	Specification	
Laser navigation (NAV200)	Voltage	: 24V
	Interface	: RS244
	Resolution	: approx. 15mm
	Typ. Range	: 1.2m to 28.5m
Encoder (LIB-49B)	Voltage	: 12V
	Resolution	: 1000 pulse
Gyro (myGyro300SPI)	Voltage	: 5V
	Interface	: SPI
	Sensitivity	: ±300°/s
Electric compass (CMPS03)	Voltage	: 5V
	Interface	: I2C bus
	Bearing	: 0-359.9(word)

2.2 위치측정 시스템

레이저 내비게이션은 전역 위치측정이 가능하지만, 늦은 반응 속도와 회전 및 고속 주행 시 주위의 반사체를 제대로 인식하지 못해 부정확한 데이터 혹은 오류를 송신하게 되는

문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 누적 오차에 문제점을 가지고 있지만, 외란에 강인한 지역 위치측정 센서인 엔코더, 자이로, 전자 나침반 센서들을 레이저 내비게이션과 함께 사용하여 위치측정이 가능하도록 하였다. 그림 3은 센서융합 알고리즘의 순서도를 보여준다.

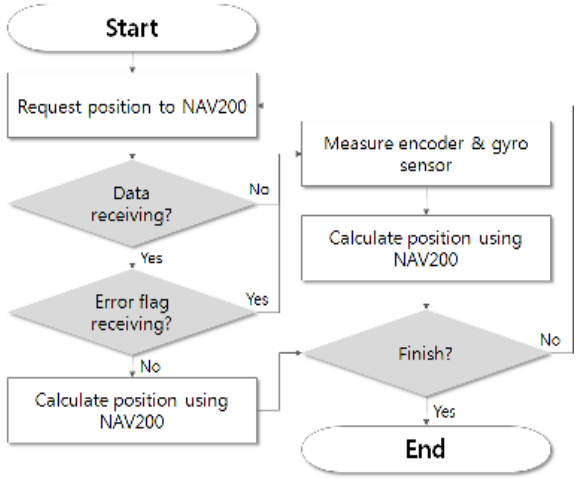


그림 3. 센서융합 알고리즘
Fig. 3. Algorithm of sensor fusion

2.3 기구학

제작된 AGV의 구동 바퀴는 크게 주행 바퀴(driving wheel)와 보조 바퀴(road wheel)로 구성되어지며, 주행 바퀴의 구동부는 다시 조향부와 주행부로 구분되어진다. 주행 바퀴의 위치는 AGV의 중심 축 아래에 위치하고 있으며, 보조 바퀴는 주행 바퀴의 움직임에 따라 회전을 하게 된다. 그림 3은 AGV의 회전 주행에 대한 기구학 모델을 나타낸 것이며, 절대좌표계 O-X-Y와 상대좌표계 o-x-y를 보여준다.

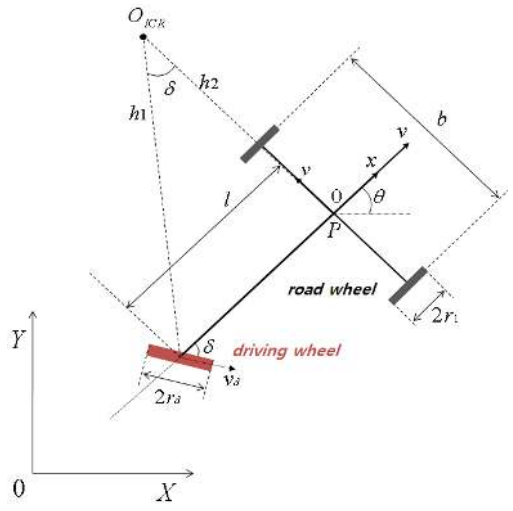


그림 4. AGV의 기구학
Fig. 4. Kinematics model of AGV

AGV의 주행은 주행 바퀴의 각도, 속도 그리고 보조 바퀴의 속도에 의해 이루어진다. 위 그림에서 h_1은 AGV의 회전중심축 O_{ICR}과 주행 바퀴의 중심과의 거리를 나타내며, 식 (1)과 같이 계산된다..

$$h_1 = \frac{l}{\sin\delta} \tag{1}$$

l은 포크 부분을 제외한 차제의 길이를 나타낸다. 바퀴가 바닥에서 회전하는 순간부터 바퀴의 선속도가 지면속도와 같고 미끄러짐이 없을 때, 주행 바퀴의 각도 변화량 $\dot{\delta}$는 다음과 같이 계산된다.

$$\dot{\delta} = \frac{v_d}{h_1} = \frac{v}{h_1\cos\delta} \tag{2}$$

식 (2)에서 v_d는 AGV의 선속도를 의미하며, 이는 다음 식과 같다.

$$v_d = r_d w_d \tag{3}$$

위의 수식에서 r_d와 w_d는 각각 주행 바퀴의 반지름과 각속도를 나타내며, 이는 다음 식과 같이 좌표 값과 방향각으로 나타낼 수 있다.

$$\dot{X} = v\cos\theta = r_d w_d \cos\theta$$

$$\dot{Y} = v\sin\theta = r_d w_d \sin\theta$$

$$\dot{\theta} = \frac{r_d w_d \sin\delta}{l} \tag{4}$$

3. 주행 제어

3.1 라인 트레킹

일반적인 AGV의 주행은 임의의 경로로 목표지점까지 주행하는 것이 목표지만, 현재 산업 현장에서 사용되고 있는 AGV들은 중장비인 AGV의 교착·충돌 문제를 고려하여, 설정된 주행선을 따라 주행이 이루어진다. 특히, 회전 구간을 빠져 나와 직선 주행이 시작 될 때, 주행선을 벗어나는 오차가 쉽게 발생하기 때문에 직선구간의 각도를 고려해야 한다. 따라서 본 논문에서는 회전 구간의 시작 및 목표 지점을 설정하고, 주행 시에 목표 지점의 위치와 목표 지점과 이어진 직선 경로의 각도를 고려한 제어방법을 제안한다. 그리고 제안된 방법의 성능 향상을 위해 회전 구간의 목표 지점에서 직선 구간과 AGV사이의 각도차가 -15°~15° 이상 일 때에는 AGV의 주행속도를 조절하여 정밀한 주행이 이루어 질 수 있도록 하였다. 그림 5는 회전 주행 시 목표 지점에 목표 각도로 주행하는 방법을 나타내었다.

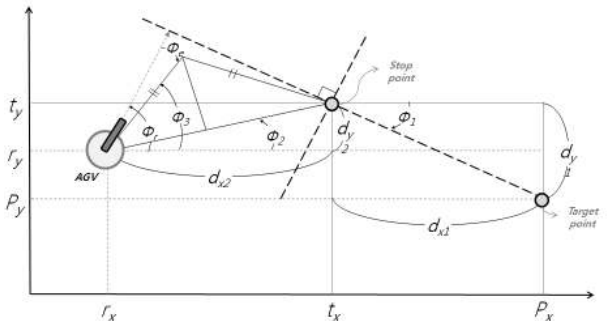


그림 5. AGV를 위한 주행제어
Fig. 5. Driving control for AGV

위 그림에서 직선 구간의 끝 지점과 회전 구간의 목표지점은 각각 (p_x, p_y), (t_x, t_y) 이며, ϕ_3는 AGV가 목표 각도를 고려하여 목표지점으로 주행하기 위한 각도이다. ϕ_3는 직선 구간의 각도인 ϕ_1, AGV와 목표점과의 각도차인 ϕ_2에 의해 계산된다. 식 (5)는 각각의 각도를 계산하는 방법을 나타내었다.

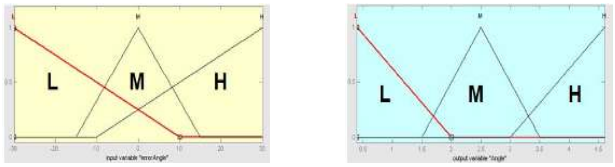
$$\phi_3 = 2\phi_2 - \phi_1$$
$$\phi_1 = \tan^{-1}\left(\frac{dy_1}{dx_1}\right)$$
$$\phi_2 = \tan^{-1}\left(\frac{dy_2}{dx_2}\right) \quad (5)$$

식 (5)에 의해 매 시간 AGV가 향해야 할 각도가 계산되어지면 현재 AGV의 각도 θ_r과의 오차 θ_e를 다음 식과 같이 계산한다.

$$\theta_e = \phi_3 - \theta_r \quad (6)$$

3.2 주행 제어기

AGV의 주행 제어기는 퍼지와 비례 제어기로 구성되고, 퍼지 제어기는 각도차가 -15°~15°에서 조향 제어에만 사용된다. 이는 하루 20시간 이상 작업의 해야 하는 AGV 조향 구동부와 주 제어기의 스트레스를 줄이고, 정확한 직진 주행을 위함이다. 퍼지 제어기에 대한 입력은 목표지점과 AGV 사이의 각도차이며, 출력은 AGV의 구동부에 입력되는 조향에 대한 전압 신호이다. 그림 6은 퍼지 제어기의 입력과 출력의 소속함수를 보여준다.



a. 각도 차
a. Error of angle

b. 조향 출력
b. Steering output

그림 6. 입력과 출력 소속함수
Fig. 6. Input and output membership functions

소속함수는 구동부들의 특성을 바탕으로 설계하였으며, 비례 제어는 AGV와 목표지점과의 각도에 따라 선형적으로 제어 신호를 발생시켜 AGV를 회전시킨다. 이 때, 회전 주행 시에는 속도를 저속으로 고정하였다. 그리고 목표지점과의 각도차가 적을 때는 거리 차에 상관없이 조금씩 각도를 움직이고, 각도차가 클 경우에는 각도 변경을 크게 하여 빠르게 목표지점과 AGV의 각도차이를 최소화 하도록 하였다.

사용된 퍼지 룰은 각도차가 적을 때에 적게 조향하고, 각도차를 클 때는 크게 조향 하도록 하였다. 또한, 실시간 제어가 필요한 AGV를 제어하기 위해서 퍼지 제어는 MATLAB을 이용하여 룩업 테이블(lookup table)로 만들어, AGV의 제어기가 시작될 때에 메모리에 적재 시키도록 하였다. 메모리에 적재된 퍼지 제어 룩업 테이블은 입력에 따라 결과를 알 수 있어, 퍼지 제어의 높은 계산량을 줄이고 제어 신호를 출력하는 시간을 최소화 하여 AGV의 안정과 효율성을 높일 수 있다.

4. 실험 결과

4.1 실험 환경

제안된 AGV의 라인 트레킹 방법의 성능 평가 분석을 위해 그림 5와 같은 환경에서 실험을 하였다.

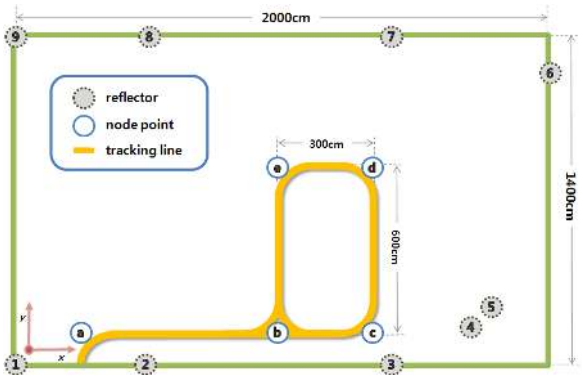


그림 7. 라인 트레킹을 위한 실험환경
Fig. 7. Experimental environment for line tracking

실험을 위한 환경은 총 1400×2000cm의 크기의 공간에서 원점을 왼쪽 아래로 두고, 반사체(reflector)는 ①~⑨의 위치에 총 9개를 설치하여 수행하였다.

4.2 라인 트레킹 실험 및 결과

본 논문에서는 성능 분석을 위해, AGV의 주행 중 회전 시에 목표 지점의 거리와 각도 차만을 이용한 일반적인 방법과 제안한 라인 트레킹 방법의 실제 주행 결과를 비교하였다. 라인 트레킹 실험을 위한 주행선은 그림 7의 ⓓ→ⓔ→ⓑ→ⓒ이며, 주행 길이는 300×600cm이다. AGV의 시작 위치는 ⓒ→ⓓ 사이에 두고 시작하였으며, 총 10회의 실험을 수행하였다. 여기서, 주행선을 짧게 설정한 이유는 협소한 구간에서의 주행 결과를 확인하기 위해서 이다.

결과 분석은 회전 주행 시 반대 방향으로 벗어나는 구간을 위험 구간으로 설정하고, 그에 대한 오차를 측정 하였다. 그 이유는 라인 트레킹 시스템에서 가장 고려되어야 하는 부분은 회전 주행 시 회전방향의 반대 방향으로 경로를 벗어나는 경우이기 때문이다. 표 2는 ⓓ→ⓔ→ⓑ→ⓒ의 주행선을 라인 트레킹 방법에 따라 각각 10회 주행하였을 때의 오차를 내림차순으로 정리한 결과를 보여준다.

표 2. 라인 트레킹 결과
Table. 2 Result of line tracking

Maximum distance error[mm]	
general method	proposed method
250.27	49.93
246.34	47.54
242.61	47.17
242.27	47.07
239.14	45.72
237.95	45.45
237.38	45.45
234.88	42.82
234.59	42.80
227.63	41.24

실험 결과, 제안된 라인 트레킹 방법의 최대 오차는 49.93mm로 나타났고, 목표 지점만을 고려한 방법의 최대오차는 250.27mm로 나타났다. 그림 8과 그림 9는 제안된 라인 트레킹 방법과 목표 지점만을 고려한 라인 트레킹 방법을 이용한 worst-case의 실제 주행 결과를 보여준다.

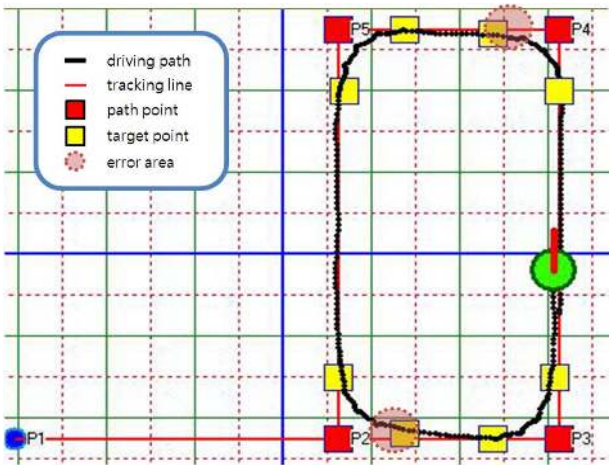


그림 8. 제안된 방법을 이용한 주행 결과(worst-case)
Fig. 8. Experimental result of actual driving using proposed method(worst-case)

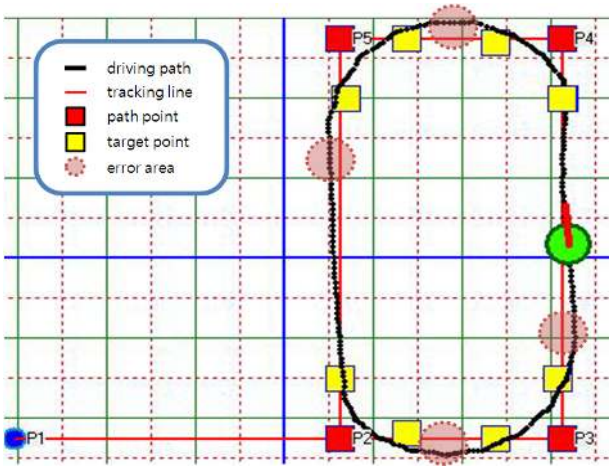


그림 9. 일반적인 방법을 이용한 주행 결과(worst-case)
Fig. 9. Experimental result of actual driving using general method(worst-case)

그림 8의 제안된 방법의 주행 결과를 보면, 두 곳에서 오차가 크게 발생하는 경우가 발생한다. 이는 짧은 주행선을 주행 중 주행선 밖으로 AGV가 나가지 못하도록 다음 목표 노드를 안쪽으로 이동 시켰기 때문이다. 이에 반해, 그림 9의 일반적인 방법의 주행 결과는 다음 목표 노드를 안쪽으로 이동했음에도 불구하고 주행선 밖으로 주행이 이루어지는 상황을 볼 수 있다.

두 가지 주행 제어 방법을 비교 분석 한 결과, 위치측정 정밀도에 의해 오차가 발생할 수 있지만, 제안된 방법이 목표지점의 위치 및 각도 차뿐 만 아니라 목표와 이어진 직선 경로의 각도까지 고려하여 주행선 안쪽으로 안전하게 주행함으로 AGV의 라인 트레킹 시스템에 적합함을 확인 할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 전역 위치측정 센서인 레이저 내비게이션과 지역위치 측정 센서인 엔코더, 자이로 센서를 함께 이용한 위치측정 시스템과 라인 트레킹을 위한 주행 제어 방법에 대해서 이야기 하였다. 라인 트레킹 시스템 개발을 위해 ㈜ATIS사의 차축 구동방식 AGV를 이용하였고, 위치 측정은 레이저 내비게이션을 기반으로 하여 엔코더, 자이로센서들과의 융합을 통해 강인한 위치 측정이 가능하도록 하였다. 또한, 라인 트레킹 방법을 위해서 회전 주행 시 목표지점 과의 거리 및 각도 오차뿐만 아니라, 이어진 직선 경로의 각도까지 고려한 제어기를 설계하였다. 또한, 성능 향상을 위해 직선 구간과 AGV사이의 각도 차가 클 때, AGV의 주행속도를 조절하여 정밀한 주행이 이루어 질 수 있도록 하였다. 라인 트레킹이 가능한 실험환경에서 제안된 제어 방법과 목표 지점만을 고려한 일반적인 방법을 비교 실험한 결과, 제안된 방법이 최대 49.93mm의 오차로 정밀한 주행이 이루어짐을 확인하였다. 향후 과제로는 예측 기법을 통해 위치측정 정밀도를 향상 시킬 것이며, fork-type AGV의 팔레트 하역을 위해 직선 라인에서 주행 오차가 10mm 이하의 오차를 가지도록 주행 제어기를 최적화할 것이다.

참 고 문 헌

[1] I. A. Vis, “Survey of Research in the Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 170, No. 3, pp. 677-709, 2006.

[2] T. Le-Anh. “*A review of design and control of automated guided vehicle system*,” Eur J Oper Res, Vol. 171, pp. 1-23, 2006.

[3] J. Borenstein, “The OmniMate: A Guidewire and Beacon-free AGV for highly Reconfigurable Applications,” *International Journal of Production Research*, Vol. 38, No. 9, pp. 1993-2010, 2000.

[4] C. Y. Chan, “*A System Review of Magnetic Sensing System for Ground Vehicle Control and Guidance*,” California PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2002-20, 2002.

[5] M. J. Caruso, T. Bratland, C. H. Smith and R. Schneider, “*A New Perspective on Magnetic Field Sensing*,” Sensor Magazine, Vol. 15, No. 12, pp. 34-46, 1998.

[6] 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.

[7] Y. J. Ryoo, E. S. Kim, and Y. C. Lim “Intelligent Positioning System for Magnetic Sensor Based Autonomous Vehicle,” *SCIS & ISIS*, 2004.

[8] 김정민, 박정제, 전태룡, 김성신, “퍼지와 비례 제어를 이용한 지게차 AGV의 주행제어,” *한국지능시스템학회*, Vol. 19, No. 5, pp. 699-705, 2009.

저 자 소 개

정경훈(Kyunghoon Jung)
2008년 : 신라대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2009년 : 부산대 전자전기공학과 석사과정

관심분야 : 신호처리, 지능제어, 지능형 로봇
E-mail : hooraring@pusan.ac.kr

김정민(Jungmin Kim)
2006년 : 신라대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2008년 : 부산대학교 전기공학과 (공학석사)
2008년 ~ 현재 : 동대학원 전자전기공학과 박사과정

관심분야 : 신호처리, 지능 시스템, 지능형 로봇
E-mail : kjm16@pusan.ac.kr

박정제(Jungje Park)
2009년 : 부산대학교 정보컴퓨터공학부 (공학사)
2009년 ~ 현재 : 동대학원 전자전기공학과 석사과정

관심분야 : 지능제어, 로봇
E-mail : parkjj@pusan.ac.kr

김성신(Sungshin Kim)
1986년 : 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
1996년 : Georgia Inst. of Technology, 전기및컴퓨터공학과 (공학박사)
1998년 ~ 현재 : 부산대학교 전자전기통신공학부 부교수

관심분야 : 지능 시스템, 지능형 로봇, 고장 예측 및 진단
Phone : +82-51-510-2374
Fax : +82-51-513-0212
E-mail : sskim@pusan.ac.kr

배선일(Sunil Bae)
1979년 : 경동공대 기계공학과 (공학사)
1999년 : 디잔테크 경영
2007년 : 금성자동화주식회사 재직
2007년 ~ 현재 : 주식회사 아티스 경영

관심분야 : 무인 물류 이송 시스템, 자동화 시스템
Phone : 070-7011-1891
Fax : 070-7016-1891
E-mail : autoatis@daum.net