

상하 회전형 차동 구동부를 이용한 자기 유도 무인운반차

Magnetic Guidance Vehicle using Up-and-down Rotating Type Differential Drive Unit

송하준* · 조현학** · 김성신*

Hajun Song*, Hyunhak Cho** and Sungshin Kim*

*부산대학교 전자전기컴퓨터공학과, **부산대학교 로봇관련협동과정

*Department of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University

**Department of Interdisciplinary Cooperative Course : Robot, Pusan National University

요 약

본 논문은 상하 회전형 차동 구동부를 이용한 자기 유도 무인운반차에 대한 연구이다. 기존의 자기 유도 무인운반차는 주행 정보를 얻기 위해 자기 위치측정 센서 외에 랜드마크 및 이를 인식하기 위한 추가적인 센서가 필요하다. 또한, 일반적으로 사용되는 고정형 차동 구동부를 사용할 경우 자기 유도 무인운반차의 무게 불균형으로 인해 위치측정 오차의 증가 및 제어에 어려움이 존재하므로 2개 이상의 구동부를 필요로 한다. 이러한 단점들을 해결하기 위해 본 논문에서는 상하 회전형 차동 구동부를 이용한 자기 유도 무인운반차를 제안한다. 제안된 무인운반차는 주행 경로상에 자석의 양극으로 패턴을 구성하고 자기 위치측정 센서로 주행 정보를 획득하며, 하나의 상하 회전형 차동 구동부를 이용하여 후진 주행을 제어한다. 또한, 위치측정 오차의 감소를 위해 KF(Kalman filter)를 적용하여 무인운반차의 위치측정 정밀도를 향상시킨다. 제안된 방법의 성능을 확인하기 위하여 직접 제작한 자기 유도 무인운반차를 이용하여 실험하였다. 실험 결과, 제안된 방법의 패턴 인식 및 무인운반차의 후진 주행 성능을 확인할 수 있었으며, 기존의 방법보다 위치측정 정밀도의 RMSE가 더 감소된 것을 확인하였다.

키워드 : 자기 유도 무인운반차, 칼만 필터, 자기 유도 센서, 후진 주행, 패턴 인식

Abstract

This paper presents the study about MGV(Magnetic guidance vehicle) with up-and-down rotating type differential drive unit. Previous MGV needs the landmarks to get the driving information and additional sensor to recognize the landmarks except for localization sensor. Previous MGV requires at least 2 drive units when common fixed differential drive unit is used because it occurs the problems with driving control and localization error from imbalance of the MGV's weight. To solve such problems, we propose the MGV using up-and-down rotating type differential drive unit. Proposed MGV recognizes the driving information from the pattern which is consisted of both pole of magnet without landmarks and additional sensors, and it control the backward movement using up-and-down rotating type differential drive unit instead of common drive units. Proposed MGV considers KF(Kalman filter) to improve the localization accuracy. To verify the performance of proposed method, we designed MGV for the experiment. As the results, we can confirm the performance of proposed method to recognize the pattern and to control the backward movement. With respect to localization, proposed method has the less RMSE about 5.6904 mm than previous method.

Key Words : MGV, Kalman filter, Magnetic guided sensor, Backward movement, Pattern recognition.

접수일자: 2013년 9월 12일

심사(수정)일자: 2013년 10월 25일

게재확정일자 : 2013년 11월 9일

† Corresponding author

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원 응복합형 로봇전문인력양성 특수환경 Navigation/Localization 로봇기술연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음." (H1502-13-1001)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

현대 산업에서 생산된 대량의 물품을 신속하게 유통시키는 기술은 물류 산업에 종사하고 있는 업체들의 핵심 경쟁력이 되었으며, 이를 높이기 위한 무인 자동화 시스템의 도입이 확대되고 있다. 무인 자동화 시스템은 기계나 로봇을 이용하여 사람이 작업하기 힘든 일을 대신해서 수행하기 때문에 인건비 절약 및 작업의 생산성과 효율성을 높일 수 있다. 무인운반차는 무인 자동화 시스템의 중요한 기술 집약체 중 하나로써, 물류의 운송 및 이-적재 등의 작업을 자율적으로 수행할 수 있다.

무인운반차는 사용되는 목적, 환경에 따라 요구되는

기술들이 다양하다. 유도 방식은 무인운반차의 대표적인 기술로서 위치측정 기술과 주행 제어 기술을 모두 일컫는 말이며, 환경의 특성에 적합한 방식이 선택되어야 한다. 유도 방식에는 설치된 유도선을 따라 주행하는 유선 유도 방식과 가상 경로를 따라 주행하는 무선 유도 방식이 있다. 기존의 산업 현장에서는 유선 유도 방식 중 하나로써, 바닥에 설치된 자기 테이프의 자기력을 따라 주행하는 자기 유도 방식이 많이 사용되어 왔다[1-4].

이러한 자기 유도 무인운반차는 분기점과 같은 주행 정보를 알려줄 수 있는 표식이 필요하다[5-8]. 기존에는 랜드마크를 설치하여 주행 정보를 획득하였지만, 이는 랜드마크 설치 및 이를 인식하기 위한 추가적인 센서를 필요로 한다. 또한, 주행을 위해 주로 사용되는 고정형 구동부는 무인운반차 및 적재된 화물의 무게 균형에 따라 주행 제어가 불안정해지며, 고속 주행의 경우에는 적재된 화물의 추락에 대한 문제점이 있다[9-10].

따라서 본 논문에서는 상하 회전형 차동 구동부를 이용한 자기 유도 무인운반차를 제안한다. 제안된 무인운반차는 자석의 양극으로 구성된 패턴에서 주행 정보를 인식할 수 있으며, 상하 회전형 차동 구동부를 이용한 제작 비용 절감, 시스템의 복잡도 감소 및 안정성을 가진다. 또한, KF를 적용하여 분기점과 같은 구간에서 위치측정 정밀도를 향상시킬 수 있도록 설계하였다.

2. 무인운반차 시스템

2.1 무인운반차

본 논문에서 제안한 방법들을 실험하기 위하여 그림 1과 같이 직접 제작한 자기 유도 무인운반차와 상하 회전형 차동 구동부를 사용하였다.

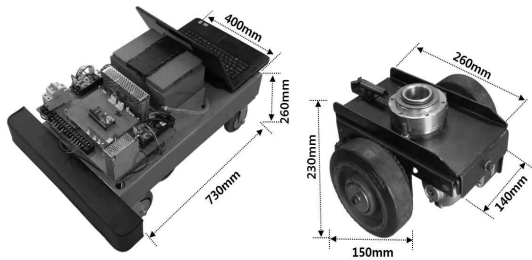


그림 1. 사용된 자기 유도 무인운반차와 구동부
Fig. 1. Used MGV and drive unit

제작된 무인운반차는 2개의 상하 회전형 차동 구동부와 4개의 조향 바퀴를 이용해서 주행한다. 상하 회전형 차동 구동부는 구동부가 지면으로부터 뜨는 것을 막기 위한 높이 조절부가 상단에 장착되어 있으며, 구동부의 축을 중심으로 좌우 360도 회전이 가능하다.

2.2 시스템 구성

제안된 자기 유도 무인운반차의 시스템 구성은 그림 2와 같다. 2개의 자기 유도 센서를 이용하여 자기 테이프의 자기력을 측정 후, 직렬 통신을 통해 데이터를 노트북으로 전송한다. 전송된 데이터는 AT90CAN128을 통해서 모터 제어를 위한 전압 신호로 변환된다.

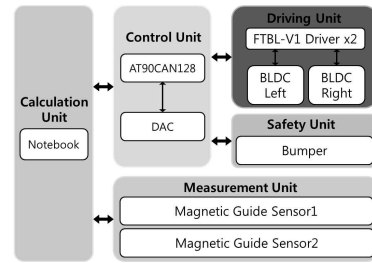


그림 2. 자기 유도 무인운반차의 시스템 구성
Fig. 2. System configuration of MGV

3. 자기 유도 무인운반차

3.1 자기 센서를 이용한 패턴 인식

기존의 무인운반차는 랜드마크를 통하여 주행 정보를 획득한다. 이는 랜드마크 설치 및 유지보수 비용이 요구되고 랜드마크 인식을 위한 추가적인 센서가 필요하며, 그에 따른 시스템의 복잡성도 증가한다. 때문에 제안된 방법은 랜드마크 대신 자기 테이프를 이용하여 자석의 양극과 공백 구간으로 패턴을 형성하고, 기존의 경로 인식용 자기 센서만으로 패턴을 인식한다.

그림 3은 무인운반차에 자기력 및 패턴을 인식하기 위한 자기 센서 바가 부착된 그림이다.

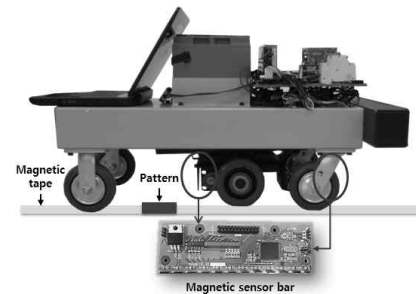


그림 3. 자기 센서 바
Fig. 3. Magnetic sensor bar

12점 자기 센서 바를 무인운반차의 정면과 구동부의 후면에 하나씩 부착하여 각각 정방향 및 후진 주행 때 자기력과 패턴을 감지하도록 하였다. 자기 센서 바는 12개의 홀 센서가 10 mm 간격으로 부착되어 있다.

표 1은 자석의 양극 및 공백으로 구성된 패턴의 주행 정보를 나타낸다.

표 1. 주행 정보 패턴

Table 1. Pattern for driving information

Pattern					
Arrangement	Polar	Operation	Arrangement	Polar	Operation
	N	Straight		ENSE	Intersection 1
	NE	Left		ENSN	Intersection 2
	EN	Right		ESNE	Intersection 3
	ENS	High Speed			

각 패턴은 50 mm x 50 mm 크기이며 자석의 N극과 S극, 공백으로 이루어지고 4개의 bit로 구성된다. 공백은 자기 테이프의 N극과 S극이 맞닿을 때 자기력이 상쇄되는 특성을 이용한다. 주행 경로인 자기 테이프는 기본적으로 S극을 띄므로 무인운반차가 N극이나 공백을 감지했을 때 패턴으로 인식하도록 설계하였고, 전진과 후진 모두 패턴이 인식될 수 있도록 패턴의 시작과 끝을 N극 혹은 공백으로 설정한다.

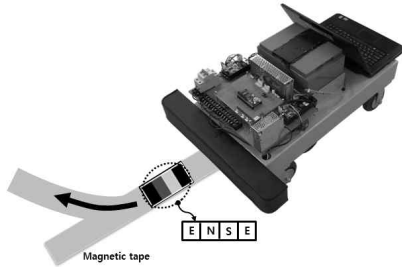


그림 4. 패턴 인식
Fig. 4. Pattern recognition

그림 4는 무인운반차가 패턴을 인식한 후, 패턴으로 부터 획득한 주행 정보를 바탕으로 분기점에서의 주행 방향을 판단하는 그림이다.

3.2 위치측정 정밀도 향상

자기력은 자성체와 자기 센서와의 거리에 따라 값이 변하기 때문에 무인운반차의 안정적인 주행을 위해서는 이러한 값의 변화를 최소화하는 것이 중요하다. 자기력의 오차를 최소화하기 위한 방법으로는 다수의 자기 센서를 일정한 간격으로 부착한 후, 감지된 자기력을 바탕으로 위치를 연산하는 방법이 많이 사용되고 있다.

그림 5는 본문 3.1의 그림 3에 나타난 12점 자기 센서 바를 이용하여 자기력을 감지하는 그림이다. 자기 센서 바의 검은 원은 자기 테이프로부터 자기력을 감지한 홀 센서이며, 밝은 원은 자기력을 감지되지 않은 홀 센서를 나타낸다.

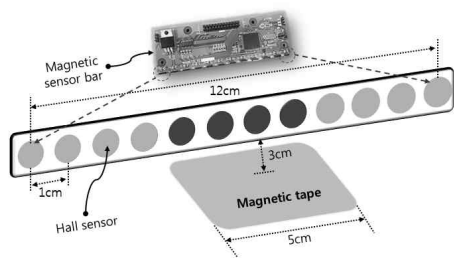


그림 5. 자기력 감지
Fig. 5. Recognition of magnetic force

제안된 방법은 연속된 4개의 홀 센서가 자기 테이프로부터 자기력을 감지하면 주행 경로라고 인식하고 주행한다. 하지만 분기점과 같이 다수의 자기력이 부분적으로 감지되는 구간에서는 위치측정 정밀도가 감소될 수 있다. 그림 6은 자기력 분기점의 예를 보여준다.

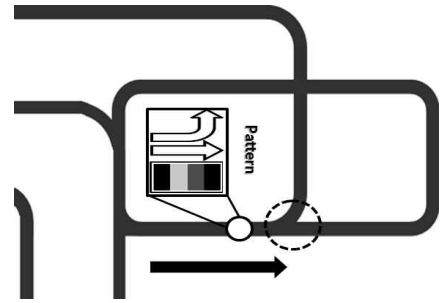


그림 6. 자기력 분기점
Fig. 6. Intersection of magnetic force

따라서 본 논문에서는 KF를 적용하여 위치측정 정밀도를 향상시키는 방법을 제안한다. 식 (1)은 KF의 추정값과 시스템 오차 공분산 예측 값을 구하는 식이다.

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} \tag{1}$$

\hat{x}_{k-1} 는 시스템 모델의 입력 값으로서 자기 센서로부터 계측된 위치측정 값을 나타내고, A 는 상태전이행렬을 나타낸다. \hat{x}_{k-1} 와 A 를 연산하여 구한 예측된 상태 변수는 \hat{x}_k^- 이며, p_k^- 는 오차 공분산의 예측 값을 나타낸다. p_k^- 를 구하기 위한 시스템 모델의 오차 공분산은 Q 이며, 식 (2)를 이용하여 Q 의 값을 조정한다.

$$\alpha = (S - \beta) \times 0.1 \tag{2}$$

$$Q = 1 + \alpha$$

식 (2)의 β 는 직진 주행 시에 자기력을 감지한 홀 센서들의 개수를 말하며, S 는 분기점에 도착했을 때 β 와 β 외에 추가적으로 자기력을 감지한 홀 센서들의 합을 나타낸다. S 와 β 를 이용하여 시스템 모델 조정 값 α 를 구한 후, 이를 적용하여 Q 를 구한다.

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-) \tag{3}$$

식 (3)은 보정된 자기 센서의 위치측정 값 \hat{x}_k^- 를 구하는 과정이다. K_k 와 H 는 각각 Kalman gain과 변환 행렬을 나타내며, z_k 는 측정 모델의 입력인 측정값이다.

3.3 후진 주행 제어

기존의 자기 유도 무인운반차는 2개 이상의 고정형 구동부를 이용하기 때문에 무인운반차 및 적재물에 대한 무게의 불균형 문제가 발생하며, 지형의 높낮이에 따른 오차가 증가하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 하나의 상하 회전형 차동 구동부를 이용하여 자기 유도 무인운반차의 후진 주행을 제어하는 방법을 제안한다.

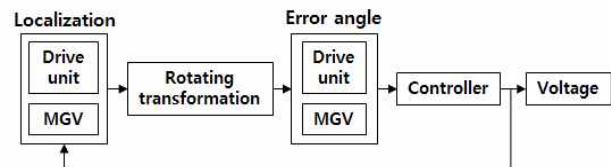


그림 7. 후진 주행 제어 순서도
Fig. 7. Flowchart of control of backward movement

그림 7은 무인운반차의 후진 주행을 제어하는 순서도이다. 구동부의 후면과 무인운반차의 정면에 부착된 자기 센서 바를 이용하여 위치를 측정된 후, 자기력이 감지된 좌표를 자기 센서 바의 중심으로 회전 변환시킨다. 변환된 좌표와 자기 센서 바의 오차 각도를 계산한 후, P 제어기에 적용하여 주행을 제어한다. 그림 8은 무인운반차의 후진 주행 제어에 대한 그림이다.

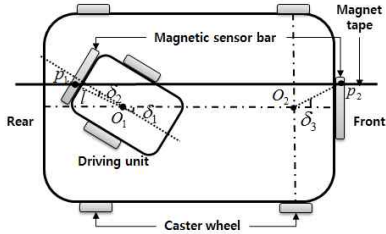


그림 8. 후진 주행 제어
Fig. 8. Control of backward movement

좌표 P_1 은 현재 자기 테이프 상에 위치한 구동부 후면 자기 센서의 위치이며, P_1 을 자기 센서 바의 중심으로 회전 이동하기 위한 식은 식 (4)와 식 (5)와 같다.

$$\delta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2}\right) \quad (4)$$

$$l = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (5)$$

식 (4)와 식 (5)에서 (x_1, y_1) 은 차동 구동부의 중심인 O_1 의 좌표를 나타내며, (x_2, y_2) 은 P_1 의 좌표를 나타낸다. 이 두 좌표를 이용하여 O_1 과 P_1 과 자기 센서 바의 중심 사이의 각도 δ_2 와 두 좌표 사이의 거리 l 을 구할 수 있으며, 구해진 수식을 이용하여 P_1 의 회전 이동 좌표를 식 (6)과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} x'_2 &= l \cos(\delta_1 + \delta_2) \\ y'_2 &= l \sin(\delta_1 + \delta_2) \end{aligned} \quad (6)$$

(x'_2, y'_2) 는 P_1 의 회전 이동 좌표를 나타내며, δ_1 은 차동 구동부의 각도이다. 이를 바탕으로 식 (7)과 같이 무인운반차의 각도인 θ 를 구할 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{x_3 - x'_2}{y_3 - y'_2}\right) \quad (7)$$

식 (7)에서 (x_3, y_3) 는 구동부의 후면에 부착된 자기 센서의 중심으로 P_1 이 회전 이동한 좌표이다. 구해진 무인운반차의 각도를 이용하여 식 (8)과 같이 구동부의 오차 각도 값 S_1 을 구한다.

$$S_1 = a\theta^2 + b\theta + c \quad (8)$$

a, b, c 는 구동부의 오차 각도 제어 값을 구하기 위한 보정 상수들이다. 식 (8)에서 구동부의 오차 각도를 구할 수는 있지만, 더 정밀한 후진 주행 제어를 위해서는 무인운반차의 정면에 부착된 자기 센서 바의 중심과 자기 테이프가 감지된 위치의 거리를 보정해야 한다.

정면의 자기 센서 바의 중심과 자기 테이프가 감지된 위치간의 거리를 보정하기 위한 수식은 식 (9)와 같다.

$$S_2 = dL^2 + eL + f \quad (9)$$

d, e, f 는 거리 보정을 위한 상수들이며, L 은 무인운반차의 정면에 부착된 자기 센서에서 측정된 자기 테이프의 위치이다. S_2 는 자기 센서 바의 중심과 자기 테이프가 감지된 위치간의 거리를 보정하기 위한 구동부의 각도이며, S_1 과 S_2 를 이용하여 무인운반차의 후진 주행을 제어하게 된다.

$$S_3 = S_1 r + S_2(1-r) + g \quad (10)$$

식 (10)은 후진 회전 주행을 제어하기 위한 구동부 양바퀴의 전압차를 구하는 수식이다. S_3 는 양바퀴의 전압차를 나타내고 r 은 가중치 값이며, g 는 전압차를 구하기 위한 보정 상수이다.

4. 실험 및 결과

실험을 위해 그림 9와 같은 22,000 mm × 20,000 mm의 실험 공간에서 위치 측정 정밀도의 실험을 위한 경로 A와 후진 주행 제어의 실험을 위한 경로 B를 설치하였으며, 두 경로에 각각 패턴을 설치하여 패턴 인식에 대한 실험을 수행하였다. 주행 속도는 평균 주행 속도인 25 cm/s와 고속 주행 속도 50 cm/s로 각각 실험하였다.

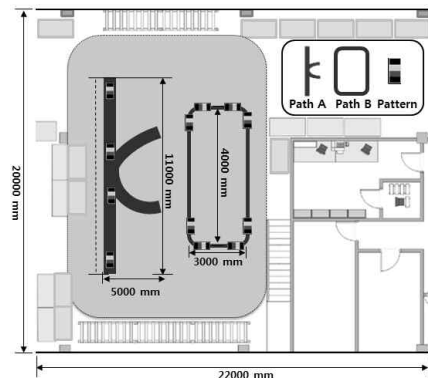


그림 9. 실험 공간
Fig. 9. Experimental space

4.1 마크 및 패턴 인식

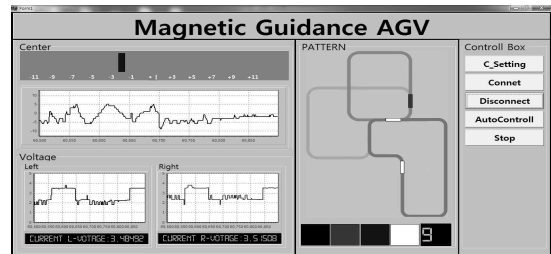


그림 10. 패턴 인식 프로그램
Fig. 10. Program for pattern recognition

실험을 위해 그림 9의 경로 A와 경로 B에 패턴을 설치

하고, Borland C++을 이용하여 그림 10과 같은 패턴 인식 프로그램을 구현하였다. 자기 테이프 상의 패턴을 무인운반차에 장착된 자기 센서 바를 이용하여 인식하였으며 각 패턴들의 4개의 bit에 대한 인식 여부와 인식된 극의 정확도를 측정 한 결과, 평균 및 고속 주행 모두 성공적으로 패턴을 인식하고 동작하는 것을 확인하였다.

4.2 위치측정 정밀도 향상

위치측정 정밀도 향상의 성능을 확인하기 위하여 그림 9의 경로A에서 직선 구간을 평균 및 고속 주행 속도로 주행하며 각각 5회씩 실험하였다. 설치된 경로는 11,000 mm × 5,000 mm이며, 직선 주행 구간의 중간 지점에 분기점을 설치하였다.

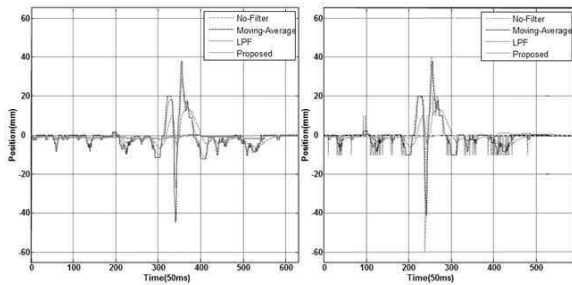


그림 11. 위치측정 오차 결과
 (a) 평균 주행 속도 (b) 고속 주행 속도
 Fig. 11. Result of localization error
 (a) Normal speed (b) High speed

그림 11의 (a)와 (b)는 평균 주행 속도와 고속 주행 속도로 경로A의 직선 구간을 주행하며 No-filter와 Moving average, LPF(Low pass filter), 제안된 방법의 위치측정 결과와 비교한 그래프이다. 그림 11의 (a)의 350 ms 구간과 그림 11의 (b)의 250 ms 구간은 직선 구간 주행 중 분기점을 만난 위치로써 전체적으로 오차 값이 증가하지만, 제안된 방법이 전반적으로 위치측정 오차 범위가 다른 방법에 비해서 비교적 낮은 것을 확인할 수 있다. 표 2는 제안된 방법과 다른 방법들의 RMSE를

표 2. RMSE (mm)
 Table 2. RMSE (mm)

#	RMSE				
	No-filter	Moving average	LPF	Proposed	
Normal speed	1	8.1813	3.4621	2.6048	0.9890
	2	7.7332	4.5644	3.3177	0.8490
	3	6.9871	4.1379	3.5854	1.5410
	4	7.6813	5.8671	4.0182	2.6530
	5	7.8944	4.9037	4.4239	3.9970
	Avg.	7.6954	4.5870	3.5900	2.0050
High speed	1	10.9710	8.7350	7.4560	4.8622
	2	12.1591	9.2360	7.6752	5.4350
	3	11.9703	10.3103	8.2037	6.3802
	4	11.7761	10.1481	7.9041	6.0180
	5	11.2123	9.4840	6.8519	5.5041
	Avg.	11.6177	9.5826	7.6181	5.6399

비교한 표이다.

평균 주행 속도에서의 제안된 방법과 다른 방법들의 RMSE 차이를 비교한 결과, LPF가 1.5850 mm로써 최소 값을 나타냈으며 No-filter가 최대 값 5.6904 mm를 나타냈다. 고속 주행 속도의 경우에는 제안된 방법과 LPF의 차이가 1.9782 mm로써 최소 값을 나타냈으며, No-filter가 최대 값 5.9778 mm를 나타내었다.

4.3 후진 주행 제어

제안된 후진 주행 제어의 성능을 평가하기 위하여 그림 9의 경로B에서 후진으로 주행하며 실험하였다. 그림 12는 제안된 후진 주행 제어의 결과 그래프이다.

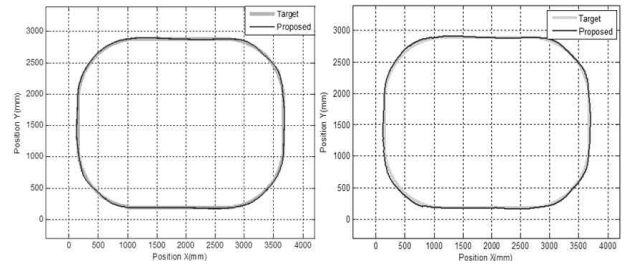


그림 12. 후진 주행 실험 결과
 (a) 평균 주행 속도 (b) 고속 주행 속도
 Fig. 12. Result of backward movement
 (a) Normal speed (b) High speed

실험은 평균과 고속 주행에서 각각 5회씩 이루어졌으며, 각 회당 주행 경로를 10바퀴씩 반복 주행하였다.

표 3. 최대 오차 거리 및 RMSE (mm)
 Table 3. Max error distance and RMSE (mm)

#	Max error distance	RMSE	
Normal speed	1	10.7089	1.9506
	2	11.0335	1.9459
	3	11.0111	1.9736
	4	10.5818	1.9691
	5	10.9367	1.9726
	Avg.	10.8544	1.9623
High speed	1	12.8813	2.5392
	2	13.7217	2.9364
	3	11.9235	2.1719
	4	12.7078	2.3407
	5	12.8361	2.4328
	Avg.	12.8140	2.4842

표 3은 후진 주행 실험에 대한 최대 오차 값과 RMSE를 나타낸 결과이다. 평균 주행 속도의 경우 10.8544 mm의 오차 거리 평균값과 1.9623 mm의 RMSE 평균값을 가졌으며, 고속 주행 속도의 경우 12.8140 mm의 오차 거리 평균값과 2.4842 mm의 RMSE 평균값을 가졌다. 이는 지식경제부 기술표준원에서 규정한 무인운반차의 주행 정밀도 최대 오차 범위 기준인 150.00 mm 이내의 값으로 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 논문은 상하 회전형 차동 구동부를 이용한 자기 유도 무인운반차에 대한 연구이다. 제안된 방법은 경로 정보를 나타내기 위한 랜드마크와 이를 인식하기 위한 추가 센서 대신 자석의 양극으로 이루어진 패턴을 구성하고, 자기 위치추정 센서를 이용하여 패턴을 인식하였다. 또한, 무인운반차의 안정적인 주행을 위해 상하 회전형 차동 구동부를 이용한 무인운반차의 후진 주행 제어 방법과 KF를 이용한 위치추정 정밀도를 향상시키는 방법을 제안하였다. 실험 결과, 평균 및 고속 주행 모두 정상적으로 패턴을 인식하였으며, KF를 이용한 위치추정 정밀도 향상의 성능을 확인할 수 있었다. 후진 주행의 경우 무인운반차의 주행 정밀도 최대 오차 범위인 150.00 mm 이내의 오차 값을 가지는 것을 확인하였다.

References

- [1] K. Atallah and Wang Jiabin, "A Brushless Permanent Magnet Machine With Integrated Differential," *IEEE Trans. Magnetics*, vol. 47, no. 10, pp. 4246-4249, 2011.
- [2] H. G. Xu, M. Yang and R. Q. Yang, "Magnetic Sensing System Design for Intelligent Vehicle Guidance," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 15, no. 4, pp. 652-656, 2010.
- [3] M. C. Tsai and C. H. Yang, "A Flux Density Based Electromagnetic Servo System for Real Time Magnetic Servoing/Tracking," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 13, no. 2, 2008.
- [4] S. Taghvaeeyan and R. Rajamani, "Use of Vehicle Magnetic Signatures for Position Estimation," *Applied Physics Letters*, vol. 99, no. 13, pp. 134101-134103, 2011.
- [5] B. Ristic, S. Arulampalam and N. Gordon, "Beyond the Kalman Filter," *Artech House Publishers*, pp. 115-117, 2004.
- [6] 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.
- [7] L. Occena and T. Yokota, "Modeling of an automated guided vehicle system (AGVS) in a just-in-time environment," *Int. j. Prod. Res.*, Vol. 29, No. 3, pp. 495-511, 1991.
- [8] J. J. Park, J. M. Kim, J. C. Do, S. S. Kim, S. I. Bae, "Path Tracking for AGV using Laser guidance system," *The Journal of Korea Robotics Society*, Vol. 5, No. 2, pp. 120-126, 2010.

- [9] J. M. Kim, J. J. Park, T. R. Jeon, S. S. Kim, "Fuzzy and Proportional Controls for Driving Control of Forklift AGV," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 19, No. 5, pp. 699-705, 2009.
- [10] S. B. Woo, G. H. Jung, J. M. Kim, J. J. Park, S. S. Kim, "Velocity Control Method of AGV for Heavy Material Transport," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 20, No. 3, pp. 394-399, 2010.

저 자 소 개



송하준(Hajun Song)

2012년 : 신라대학교 컴퓨터정보공학부
공학사
2012년~현재 : 부산대학교
전자전기컴퓨터공학과
석사과정

관심분야 : 지능제어, 지능형로봇
Phone : +82-51-510-2367
E-mail : darkhajun@pusan.ac.kr



조현학(Hyunhak Cho)

2011년 : 신라대학교 컴퓨터정보공학부
공학사
2013년 : 부산대학교
로봇관련협동과정 공학석사
2013년~현재 : 동대학교
로봇관련협동과정 박사과정

관심분야 : 영상처리, 지능제어, 지능형로봇
Phone : +82-51-510-2367
E-mail : darkruby1004@pusan.ac.kr



김성신(Sungshin Kim)

1986년 : 연세대학교 전기공학과 공학석사
1996년 : Georgia Inst. of Technology,
전기및컴퓨터공학부 공학박사
1998년~현재 : 부산대학교 전기공학부
교수

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