

Unscented Kalman filter를 이용한 위치측정 센서융합

Sensor Fusion of Localization using Unscented Kalman Filter

이준하* · 정경훈** · 김정민*** · 김성신****

Junha Lee*, Kyunghoon Jung**, Jungmin Kim***, and Sungshin Kim****

* 부산대학교 로봇협동관련과정
** 부산대학교 로봇협동과정
*** 부산대학교 전자전기공학과

요 약

본 논문은 AGV(automatic guided vehicle)의 위치측정 정밀도 향상을 위해 UKF(unscented Kalman filter)를 이용한 위치측정 센서의 융합 방법에 관한 연구이다. 기존의 AGV를 위한 유도 방법에는 유선 유도 방식과 마그네틱 유도 방식이 있었다. 이들은 정밀도가 높고 반응속도가 빠르기 때문에 대부분의 유연 생산 시스템에서 사용되어지고 있었다. 하지만 이러한 방법들은 유지·보수에 대한 지속적인 노력과 비용의 문제가 발생되었고 완성된 경로의 변경이 어렵다는 단점이 있었다. 이러한 문제들을 해결하기 위해, 최근에는 레이저 내비게이션을 이용한 유도방식으로 변경되고 있는 추세이다. 레이저 내비게이션은 벽면에 설치된 반사체를 측정하여 전역위치를 측정하는 장치로써 정밀도가 높고 경로 변경에 유연하다는 장점이 있다. 하지만 이 또한, 응답속도가 느리고 AGV의 주행 중 발생하는 반사체 계측 오차에 따라 위치측정 정밀도가 낮아진다는 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 UKF를 이용하여 응답속도가 빠른 지역위치센서와 레이저 내비게이션의 센서융합 방법을 제안한다. 제안된 방법은 주행 중 발생하는 센서들의 오차를 분석하고 이에 따른 모델을 설계하여 위치측정 정밀도를 향상 시키는 방법이다. 본 논문에서는 실험을 위해서 직접 설계한 차축구동 방식의 지게차 AGV를 이용하여 제안된 방법의 결과와 레이저 내비게이션의 위치측정 결과를 비교하였다. 실험 결과, 제안된 방법이 레이저 내비게이션의 위치측정 결과보다 16% 만큼 정밀도가 향상되는 것을 확인하였다.

키워드 : AGV, 위치측정, 센서융합, 레이저 내비게이션, UKF

Abstract

This paper presents to study the sensor fusion of positioning sensors using UKF(unscented Kalman filter) for positioning accuracy improvement of AGV(automatic guided vehicle). The major guidance systems for AGV are wired guidance and magnetic guidance system. Because they have high accuracy and fast response time, they are used in most of the FMS(flexible manufacturing system). However, they had weaknesses that are high maintenance cost and difficult of existing path modification. they are being changed to the laser navigation in recent years because of those problems. The laser navigation is global positioning sensor using reflecters on the wall, and it has high accuracy and easy to modify the path. However, its response time is slow and it is influenced easily by disturbance. In this paper, we propose the sensor fusion method of the laser navigation and local sensors using UKF. The proposed method is improvement method of accuracy through error analysis of sensors. For experiments, we used the axle-driven forklift AGV and compared the positioning results of the proposed method with positioning results of the laser navigation. In experimental result, we verified that the proposed method can improve positioning accuracy about 16%.

Key Words : AGV, localization, sense fusion, laser navigation, UKF

1. 서 론

오늘날 과학기술의 발전에 따른 생산현장의 자동화로 인해 무인으로 자재를 운반하는 무인 자율 이동 장치에

대한 수요와 관심이 증가되고 있다. 무인 자율이송장치인 AGV는 제품을 목표지점으로 운반하기 위해 높은 수준의 위치측정 기술이 필요하다. 이러한 위치측정 기술은 무인 자율이송장치에 요구되는 모든 지능화 기술의 기반기술로서 자율주행의 성능에 큰 비중을 차지한다. 최근까지 가장 많이 사용되고 있는 위치측정 기술에는 RFID(radio frequency identification), 유선 유도, 마그네틱 유도 방식들이 있다. 그 중에서 생산 자동화현장에서 가장 많이 사용되는 유선 유도 방식과 마그네틱 방식들은 정밀도가 높고 반응속도가 빠르기 때문에 대부분의 산업 현장에서는 이들을 채택하였다. 하지만 유선 유도 방식과 마그네틱

접수일자 : 2011년 6월 7일

완료일자 : 2011년 8월 25일

+ Corresponding Author : sskim@pusan.ac.kr

“이 논문 또는 저서는 2011년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임”

(지역점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

유도 방식들은 유지·보수에 대한 비용의 문제와 바닥에 센서를 매설해야 하기 때문에 경로의 변경이 어려웠다. 이러한 문제들로 인해 최근에는 레이저 내비게이션 방식으로 변경되고 있는 추세이다[1-5]. 레이저 내비게이션은 주위의 반사체를 인식 후에 이를 기반으로 현재의 위치를 측정하는 장치로써 경로의 변경이 쉽다. 하지만 헤더가 360° 회전하면서 반사체를 인식 후에 현재 위치를 측정하기 때문에 반응속도가 느리며 외란에 의해 위치측정 오차가 발생하는 단점이 있다. 이러한 단점에 의해 정밀한 위치측정 기술이 요구되는 생산 자동화 현장에서는 이용이 어렵다. 따라서 본 논문에서는 UKF를 이용하여 레이저 내비게이션과 자이로, 엔코더의 데이터를 융합함으로써 위치측정 정밀도를 향상 시키는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 계측 시스템을 설명하고 3장에서는 UKF와 계측 시스템의 운동 모델과 관측 모델에 대해 설명한다. 4장에서는 제안된 방법을 설명하고 마지막 5장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대하여 기술하였다.

2. 계측 시스템

제안된 방법의 실험을 위해, 레이저 내비게이션과 엔코더, 자이로가 설치된 지게차 타입의 AGV를 이용하였다. 전역위치측정 센서인 레이저 내비게이션은 헤더의 시야가 확보되어야 반사체를 원활하게 인식하기 때문에 AGV의 최상단에 설치하였다. 엔코더는 구동 모터에 부착되어 있는 것을 사용하였다. 그림 1은 AGV의 주행 제어와 데이터 계측을 위한 전체 시스템 구성을 보여준다.

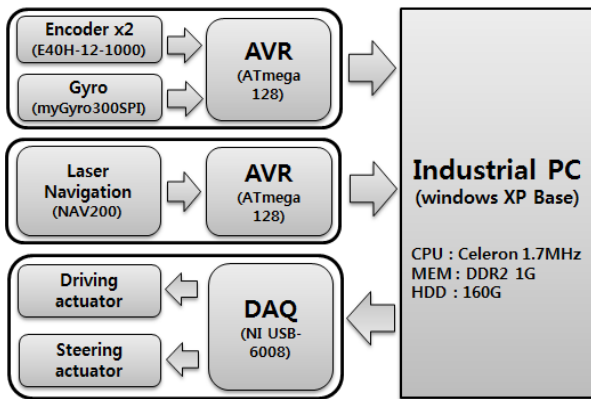


그림 1. 시스템 구성
Fig. 1. System composition

AGV의 주행 속도와 조향 각을 제어하기 위해, 아날로그 출력과 디지털 입·출력이 가능한 DAQ를 이용하였다. 전역 위치측정 센서인 레이저 내비게이션과 지역위치측정 센서인 엔코더와 자이로는 각각 425 ms와 100 ms 마다 ATmega128을 통해 계측하였고 RS-232 통신을 통해 산업용 PC로 전송되도록 하였다. 표 1은 AGV에 설치된 장비들의 주요 사양들을 보여준다.

사용된 AGV의 구동부는 주행과 조향이 함께 이루어지는 차축 구동부 방식으로[3-4], 수동·자동 조작으로 변경

가능한 타입이다.

표 1. 주요 사양
Table 1. Major specifications

Item	Specification
Laser navigation (NAV200)	power supply: 24 V
	field of view: 360°
	scanning frequency: 8 Hz
	operating range: 1.2 - 28.5 m
Encoder (Insider forklift)	angular resolution: 0.1°
	power supply: 5 V
Gyro (myGyro300SPI)	resolution: 64 pulse
	power supply: 5 V
	sensitive: -300 - +300 %/s
MCU (ATmega128)	noise: 0.1 %/s/g
	temperature: -40 - +85 %/C
	power supply: 5V
DAQ (USB-6008)	clock: 16 MHz
	RAM: 35 kbyte
	power supply: 5V
DAQ (USB-6008)	resolution: 12 bit
	power supply: 5V
	sampling time: 10 kS/s

3. UKF를 이용한 센서융합

UKF는 EKF(extended Kalman filter)와 달리 선형화 기법 같은 인위적인 조작이 필요 없어 비선형 시스템에서 효과적이며, 비선형 모델의 평균과 분산을 이용해 구해진 시그마 포인트를 사용하기 때문에 상태변수의 평균과 분산을 이용한 선형화 기법보다 정확한 추정이 가능하다 [6-9].

3.1 UKF(unscented Kalman filter)

UKF는 임의의 비선형 함수를 근사화하지 않고 가우시안 분포를 근사화하는 Unscented 변환을 이용한다[10]. 그림 2는 UKF의 Unscented 변환을 보여준다.

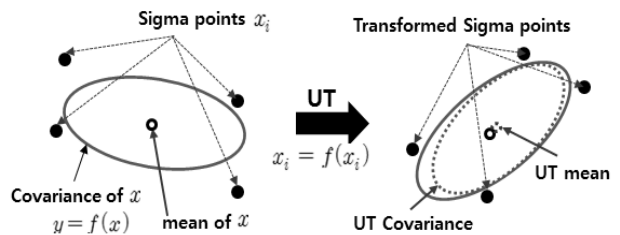


그림 2. UKF의 Unscented 변환
Fig. 2. Unscented transform of UKF

Unscented 변환은 비선형 방정식을 이용하여 랜덤변수의 통계적 특성을 계산하고 이용한다[11-13]. 비선형 방정식 $y=f(x)$ 의 평균(xm), 공분산(Px)을 가질 때 시그마 포인트(x_i)는 평균(xm)에서 거리 $+ui, -ui$ 만큼 떨어진 지점을 나타내며 이를 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} x_i &= x_m \\ x_{i+1} &= x_m + u_i \quad i = 1, 2, \dots, n \\ x_{i+1+1} &= x_m - u_i \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

가중치(W_i)를 식 (2)을 이용해 계산한다.

$$\begin{aligned} W_i &= \frac{k}{n+k} \\ W_{i+1} &= \frac{1}{2(n+k)} \quad i = 1, 2, \dots, n \\ W_{i+n+1} &= \frac{1}{2(n+k)} \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (2)$$

식 (1)에서 u_i 는 식 (3)을 이용해 구한다.

$$u = \sqrt{(n+k)P_x} \quad (3)$$

식 (1)을 이용해서 구한 시그마 포인트를 운동 모델의 비선형 식 $f(x)$ 을 이용하여 새로운 운동 모델의 시그마 포인트(Ax_i)를 다음 식과 같이 구한다.

$$Ax_i = f(x_i) + w \quad (4)$$

식(4)에서 w 는 지역위치 센서인 엔코더와 자이로에서 측정된 각속도와 선속도에 대한 오차이다. 평균(Ax_m)과 오차 공분산(AP_x)을 식 (5)을 이용해 구한다.

$$\begin{aligned} Ax_m &= \sum_{i=1}^{2n+1} W_i Ax_i \\ AP_x &= \sum_{i=1}^{2n+1} (Ax_i - x_m)(Ax_i - x_m)^T \end{aligned} \quad (5)$$

Unscented 변환은 몬테카를로 시뮬레이션과 비슷한 개념이지만 샘플과 각 샘플의 가중치를 선정하고 이용하므로 몬테카를로 시뮬레이션에서 계산양이 많아 서 실시간 계산에 적합하지 못하였던 것을 가능하게 한다.

관측모델의 비선형 식 $h(x)$ 을 이용하여 관측모델의 시그마 포인트를 구한다. 아래 식 (6)과 같다.

$$Bx_i = h(x_i) + v \quad (6)$$

식(6)에서 v 는 레이저 내비게이션에서 측정된 x , y , θ 에 대한 오차이다. 식 (6)에서 나온 시그마 포인트를 이용하여 평균(Bx_m)과 오차공분산(BP_x)을 식 (7)을 이용하여 구한다.

$$\begin{aligned} Bx_m &= \sum_{i=1}^{2n+1} W_i Bx_i \\ BP_x &= \sum_{i=1}^{2n+1} (Bx_i - x_m)(Bx_i - x_m)^T \end{aligned} \quad (7)$$

앞서 나온 수식들을 이용해 구한 가중치 평균을 이용해 운동 모델 x 와 관측모델 z 에 대한 공분산(P_{xz})을 식 (8)을 이용해 구한다.

$$P_{xz} = \sum_{i=1}^{2n+1} W_i (Ax_i - AP_x) \times (Bx_i - BP_x)^T \quad (8)$$

수식 (8)에서 나온 공분산(P_{xz})을 이용해 칼만 이득을 다음 식과 같이 구한다.

$$K = P_{xz} \times BP_x^{-1} \quad (9)$$

공분산과 칼만 이득(K)을 이용해 추정 값(x)과 오차 공분산(P)을 식 (10)을 이용해 구한다.

$$x = Ax_m + K \times (z - BP_x) \quad (10)$$

$$P = AP_x - K \times BP_x \times K^T$$

여기서, z 는 측정값으로 관측모델로부터 얻어지는 값이다. 추정 값 x 와 공분산 P 의 초기 값은 레이저 내비게이션에서 측정된 위치측정 데이터이고, 지역위치센서의 각

속도와 선속도의 오차를 이용한다.

3.2 운동모델 및 관측모델

현재의 엔코더와 자이로 입력 데이터를 이용해 선속도(v_k)와 각속도(ω_k)를 계산한다. 선속도는 엔코더와 기구학을 통해 도출된 값을 이용하며 각속도는 자이로 센서에서 측정된 정보를 이용한다. 운동 모델은 식 (11)과 같이 시스템 오차(w)을 가지는 형태로 표현 할 수 있다.

$$x = \begin{bmatrix} x_k^{pos} \\ y_k^{pos} \\ \theta_k^{pos} \end{bmatrix} + w = \begin{bmatrix} x_{k-1}^{pos} + v_k \cos(\theta_{k-1} + \omega_k) \\ y_{k-1}^{pos} + v_k \sin(\theta_{k-1} + \omega_k) \\ \theta_{k-1}^{pos} + \omega_k \end{bmatrix} + w \quad (11)$$

여기서 x_k^{pos} , y_k^{pos} , θ_k^{pos} 는 현재 AGV의 위치이고, 관측 모델 z 는 레이저 내비게이션의 현재 위치(x , y , θ)를 이용한다. 관측된 데이터는 전역위치를 나타내므로 변환하지 않은 채로 사용하였다. 관측 모델을 운동 모델과 같이 시스템 오차(v)을 가지는 형태로 표현하면 다음 식과 같다.

$$z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k^{nav} \\ y_k^{nav} \\ \theta_k^{nav} \end{bmatrix} + v \quad (12)$$

4. 실험 및 결과

4.1 실험 환경

제안된 방법의 실험을 위한 환경은 2200 cm × 2130 cm 크기의 공간에서 수행하였고, 이는 그림 3과 같다.

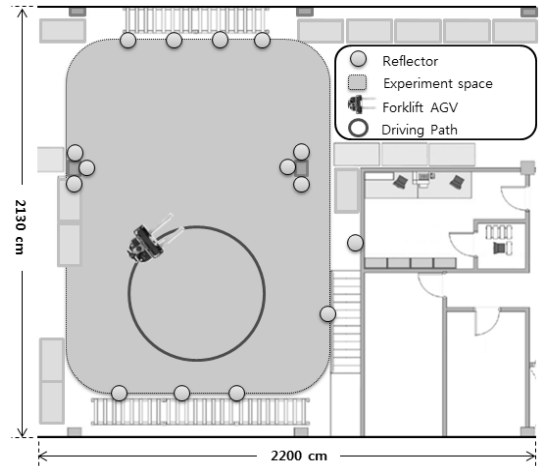


그림 3. 실험 환경

Fig. 3. Experiment environment

실험 환경에는 레이저 내비게이션을 위해서 반사체를 설치하였으며, 반사율을 극대화하기 위해서 지름이 9 cm에 높이 80 cm인 원통에 부착하여 15개를 설치하였다.

제안된 방법의 성능을 비교 분석하기 위해서 실험은 주행 속도와 조향 각에 따른 레이저 내비게이션의 위치측정 결과들과(①)과 제안된 방법의 위치측정 결과들과(②)을 비교

분석하였다. 제안된 방법의 실험을 위해 지역 위치센서인 엔코더와 자이로의 데이터를 분석하여 시스템 오차 w 로 사용하였고, 측정 오차 v 는 레이저 내비게이션의 스펙에 명시된 오차 값을 이용하였다.

4.2 주행 속도에 따른 위치측정 실험

헤더가 360° 회전하며 반사체를 인식하는 레이저 내비게이션은 주행 속도가 빨라짐에 따라 반사체의 인식 정밀도가 떨어지게 된다. 본 논문에서는 주행 속도에 따른 위치측정을 위해, AGV의 조향 각을 50°로 고정된 상태로 주행 속도를 12 cm/s에서 44 cm/s까지 4 cm/s씩 증가시키며 실험하였다. 표 2는 주행 속도에 따른 전체 실험 결과를 보여준다.

표 2. 주행 속도에 따른 RMSE 와 variance
Table 2. RMSE and variance according to speed
(unit: mm)

#	speed (cm/s)	①		②	
		RMSE	variance	RMSE	variance
1	12	13.2497	176.0837	8.8979	79.2447
2	16	15.4527	239.8331	10.3287	105.5021
3	20	19.0328	317.7305	13.9669	156.5077
4	24	20.6258	413.4871	16.1481	233.4338
5	28	24.5145	575.2661	21.0632	421.8435
6	32	26.0100	613.2459	23.1765	419.1357
7	36	30.3140	821.1629	27.0919	650.6005
8	40	30.3484	853.2760	27.6818	719.7574
9	44	34.4541	959.3002	30.5575	759.3094
average		22.44	501.26	18.54	348.25

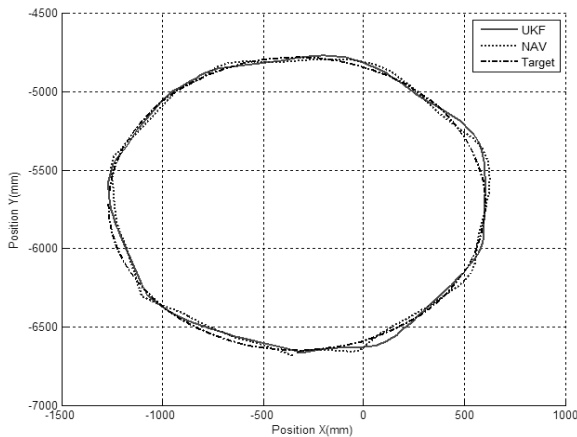


그림 4. 주행 궤적의 비교 결과
Fig. 4. Comparison result of the driving trajectory

실험 결과, 주행 속도가 빨라짐에 따라 RMSE와 오차 분산이 커지는 것을 확인할 수 있다. ①의 결과를 보면, RMSE와 오차 분산의 평균이 각각 23.78 mm와 501.26 mm를 가짐을 확인할 수 있으며, ②는 각각 18.54 mm와 348.25 mm로 ①의 성능과 평균적으로 3.8988 mm의 RMSE와 153.01 mm의 오차 분산의 차이가 있음을 확인할 수 있다.

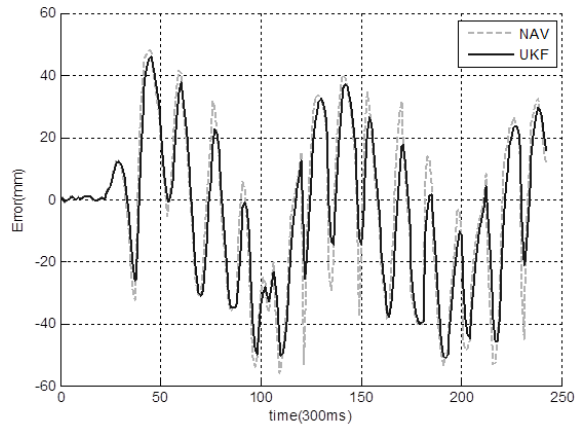


그림 5. 시간에 따른 오차 변화
Fig. 5. Error transition according to time

그림 4와 5은 각각 AGV의 조향 각이 50°로 고정된 상태에서 44cm/s 속도로 주행할 때 레이저 내비게이션과 제안된 방법의 주행 궤적 결과와 시간에 따른 오차 변화를 보여준다. 그림 4의 검정색 선은 실제로 목표로 하는 궤적을 나타내었다. AGV의 조향 각이 고정된 속도로 주행을 하므로 실제 주행 목표는 원에 가깝게 나오는 것이 좋은 결과로 볼 수 있다. 제안한 방법인 붉은색 선을 보면 파란색 선인 레이저 내비게이션의 궤적 보다 원에 근접하는 것을 확인할 수 있다.

4.3 조향 각에 따른 위치측정 실험

AGV의 속도를 36 cm/s로 고정시켜 놓고 조향 각을 달리하여 실험하였다. 표 3은 조향 각에 따른 RMSE와 오차 분산의 결과를 보여준다.

표 3. 조향 각에 따른 RMSE 와 variance
Table 3. RMSE and variance according to steering
(unit: mm)

#	steering (°)	①		②	
		RMSE	variance	RMSE	variance
1	35	17.9798	323.1121	15.9602	255.9971
2	40	19.4683	365.4732	15.6023	229.4908
3	45	24.4551	627.7915	22.1381	521.9972
4	50	24.4965	575.2670	21.0456	421.8445
5	55	26.1740	494.0550	24.8197	320.8542
6	60	26.6826	560.5426	21.8747	291.9845
average		23.21	491.04	20.24	340.36

실험 결과, ②의 결과가 ①에 비해 RMSE가 평균적으로 2.97 mm 줄어 든 것을 확인할 수 있다. 그림 6와 7은 각각 AGV의 조향 각과 속도가 60°와 44cm/s로 고정하여 주행할 때 레이저 내비게이션과 제안된 방법의 주행 궤적 결과와 시간에 따른 오차 변화를 보여준다. 그림 6의 검정색 선은 실제로 목표로 하는 궤적을 나타내며 AGV의 조향 각이 60°일 때 도 제안된 방법인 붉은색 선이 파란색 선보다 원에 근접하는 것을 확인할 수 있다.

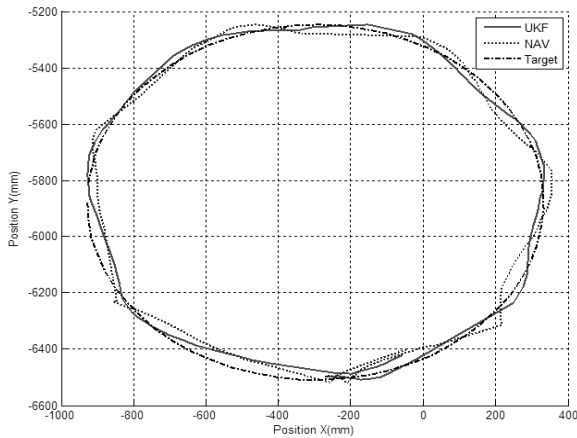


그림 6. 주행 궤적의 비교 결과
Fig. 6. Comparison result of the driving trajectory

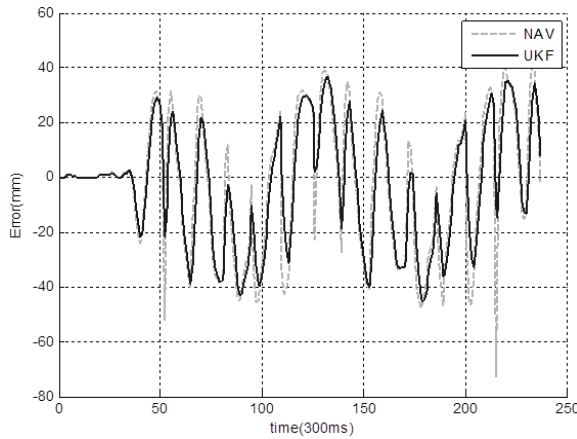


그림 7. 시간에 따른 오차 변화
Fig. 7. Error transition according to time

전체적인 실험 결과, 그림 4와 6의 주행 궤적은 AGV의 조향 각이 고정된 상태에서의 주행이기 때문에 원에 가까울수록 위치측정 오차가 적다는 것을 의미하고 제안된 방법(②)이 원에 더 가깝다는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 5와 7을 보면, 제안된 방법의 오차 변화가 레이저 내비게이션(①)의 오차 변화에 비해 안정된 것을 확인할 수 있다. 표 2와 3을 보면, 제안된 방법의 위치측정 RMSE가 레이저 내비게이션의 RMSE보다 약 16.2% 향상되었음을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 AGV의 위치측정 정밀도를 향상시키기 위해 UKF를 이용한 센서 융합에 대해 이야기 하였다. 제안된 방법의 실험을 위해, 직접 설계한 차축구동방식의 지게차 AGV를 이용하였고 제안된 방법인 UKF를 적용하기 위해 운동 모델과 관측 모델을 설계하였다. 성능 분석을 위해, AGV의 조향 각과 주행 속도에 따른 제안된 방법의 RMSE와 레이저 내비게이션의 RMSE 비교하였다. 실험 결과, 제안된 방법의 위치측정 정밀도 성능이 레이저 내비게이션에 비해 약 16.2% 향상됨을 확인할 수 있었다.

향후 연구로는 UKF를 적용할 때 운동 모델과 관측 모델을 비교하여 오차 공분산을 조절함으로써 위치측정 정밀도를 향상 시킬 것이다.

참 고 문 헌

- [1] H. Durrant-Whyte and T. Bailey, "Simultaneous Localization and Mapping: Part I," *IEEE Robotics and Automation Magazine*, Vol. 13, No. 2, pp. 99-110, 2006.
- [2] 박정제, 김정민, 도주철, 김성신, 배선일, "레이저 유도 시스템을 이용한 AGV의 경로추적," *로봇학회 논문지*, Vol. 5, No. 2, pp. 120-126, 2010.
- [3] 정경훈, 김정민, 박정제, 김성신, 배선일, "센서융합을 이용한 AGV의 라인 트래킹 방법," *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 20, No. 1, pp. 54-59, 2010.
- [4] 김정민, 박정제, 전태룡, 김성신, "퍼지와 비례 제어를 이용한 지게차 AGV의 주행제어," *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 19, No. 5, pp. 699-705, 2009.
- [5] 우승범, 정경훈, 김정민, 박정제, 김성신, "중량물 운송을 위한 AGV의 주행 제어 방법," *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 20, No. 3, pp. 394-399, 2010.
- [6] L. Jetto, S. Longhi and G. Venturini "Development and Experimental Validation of an Adaptive Extended Kalman Filter for the Localization of Mobile Robots," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 15, No 5, pp. 219-229, 1999.
- [7] E. A. Wan and R. Van Der Merwe, "The Unscented Kalman Filter for Nonlinear Estimation," *Proceedings of Symposium 2000 on Adaptive Systems for Signal Processing (AS-SPCC)*, pp.153-158, 2000.
- [8] D. Lee and K. T. Alfriend. "Precise Real-Time Orbit Estimation Using The Unscented Kalman Filter," *Advances in the Astronautical Sciences*, Vol. 114, No. 3, pp. 1853-1872, 2003.
- [9] J. A. Castellanos, R. Martinez-Cantin, J. D. Tardos and J. Neira, "Robocentric map joining: Improving the Consistency of EKF-SLAM," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 55, No. 1, pp. 21-29, 2007.
- [10] S. J. Julier and J. K. Uhlmann, "A New Extension of the Kalman Filter to Nonlinear System," *11th Int Symposium Aerospace/Defense Sensing*, Vol. 3068, pp. 54-65, 1997.
- [11] B. Ristic, S. Arulampalam and N. Gordon, "Beyond the Kalman Filter," *Aritech House Publishers*, pp. 115-117, 2004.
- [12] S. Chen, B. Mulgrew and S. McLaughlin, "Adaptive Bayesian equalizer with decision feedback," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 41, pp. 2918-2927, 1993.
- [13] S. Julier, J. Uhlmann and H. F. Durrant-Whyte, "A new method for the nonlinear transformation

of means and covariances in filters and estimators," *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 45, No. 3, pp. 477 - 482, 2000.

저 자 소 개



이준하 (Junha Lee)

2011년: 동명대학교 컴퓨터공학과 (공학사)

2011년~현재: 부산대학교 로봇협동관련 과정 석사과정

관심분야 : 지능제어, 지능형로봇
E-mail : hattie@pusan.ac.kr



정경훈(Kyunghoon Jung)

2008년: 신라대학교 컴퓨터공학과 (공학사)

2009년~현재: 부산대학교 로봇협동과정 석사 과정

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



김성신(Sungshin Kim)

1986년: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)

1996년: Georgia Inst. of Technology, 전기및컴퓨터공학부 (공학박사)

1998년~현재: 부산대학교 전자전기공학부 교수

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