

# 파티클 필터를 이용한 레이저 내비게이션의 위치측정 성능 향상

## Improvement of Positioning Accuracy of Laser Navigation System using Particle Filter

조현학\* · 김정민\*\* · 도주철\*\* · 김성신\*\*†

Hyunhak Cho\*, Jungmin Kim\*\*, Joocheol Do\*\*, Sungshin Kim\*\*†

\* 부산대학교 로봇관련협동과정

\*\* 부산대학교 전자전기공학과

### 요 약

본 논문은 파티클 필터(particle filter)를 이용한 레이저 내비게이션(laser navigation)의 위치측정 성능 향상에 관한 연구이다. 레이저 내비게이션은 무선험법장치(wireless navigation system)로써 무인 자율주행 장치(automatic guided vehicle)의 위치측정 및 제어에 주로 사용되며, 이는 기존의 유선유도장치(wired guidance system)들에 비해 유지보수에 유연하면서도 완전한 자율주행이 가능하다. 하지만 무선험법장치인 레이저 내비게이션은 반응속도가 느리며 고속주행 혹은 회전주행 시에 위치 정밀도가 크게 떨어지게 된다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해, 비선형(non-linear)/비가우시안(non-gaussian)의 시스템에서도 강인한 특성을 지닌 파티클 필터를 이용하여 위치 정밀도를 향상시키는 방법을 제안한다. 제안한 방법의 성능을 검증하기 위해, 레이저 내비게이션과 엔코더, 자이로가 장착된 지게차 AGV(automatic guided vehicle)를 사용하였으며, 제안된 방법과 상용화된 레이저 내비게이션의 위치측정 결과를 비교하였다. 실험 결과, 제안된 방법이 상용화된 레이저 내비게이션의 위치 정밀도에 비해 약 66.5% 향상됨을 확인하였다.

**키워드** : 파티클 필터, 레이저 내비게이션, 무선험법 장치, 무인 자율주행 장치

### Abstract

This paper presents a method for improving the positioning accuracy of the laser navigation. As a wireless navigation system, the laser navigation which is more flexible than a wired guidance system is used for the localization and control of an AGV(automatic guided vehicle). However, the laser navigation causes the large positioning error while the AGV turns or moves fast. To solve the problem, we propose the method for improving the positioning accuracy of the laser navigation using particle filter which has robust and reliable performance in non-linear/non-gaussian systems. For the experiment, we use the actual fork-type AGV. The AGV has a gyro, two encoders and a laser navigation. To verify the performance, the proposed method is compared with the laser navigation which is a product. In the experimental result, we verified that the proposed method could improve the positioning accuracy by approximately 66.5%.

**Key Words** : particle filter, laser navigation, wireless navigation system, automatic guided vehicle

접수일자 : 2011년 6월 7일

완료일자 : 2011년 8월 20일

†Corresponding Author : sskim@pusan.ac.kr

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 로봇 전문 인력양성 프로그램 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-(C7000-1001-0009)) AND

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 특수환경 Navigation/Localization 기술연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-(C7000-1001-0004)) AND

이 논문 또는 저서는 2011년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임

(지역첨연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

## 1. 서 론

위치측정 기술은 이동 개체의 물리적인 정보와 지리적 정보, 논리적 정보를 이용하여 위치를 측정하는 기술이다. 위치측정 기술은 크게 지역 위치측정(local localization)과 전역 위치측정(global localization)으로 나누어진다. 지역 위치측정은 주로 엔코더와 자이로를 이용하여 이동 개체의 상대좌표로 측정하는 것을 의미한다. 이는 반응속도가 빠르고 외란에 강하지만, 오차가 누적되어 위치측정의 정밀도가 낮아지는 단점이 있다. 이에 반해, 전역 위치측정은 DGPS, 레이저 내비게이션, 초음파 위성, RFID(radio frequency identification) 등을 이용하여 위치를 전역좌표로 측정하는 방법이다. 이는 측정오차가 예측 가능하고 오차 누적 문제가 발생하지 않는다. 하지만 반응 속도가 지역위치측정 장

치에 비해 느리고 주변 환경에 따라 수 미터에서 수십 미터의 오차가 발생된다[1-4].

레이저 내비게이션은 반사체가 설치된 공간에서 반사체의 정보를 이용하여 위치를 측정하는 장치로, 설치된 반사체의 위치를 미리 알고 있어야 한다. 더 자세하게는 레이저 내비게이션의 헤더가 360° 회전하면서 레이저를 송신한 뒤 반사체에 반사되어 되돌아오는 레이저를 수신해 반사체의 거리를 측정하고 이미 알고 있는 반사체 정보와의 매칭을 통해 위치와 방향을 계산하는 장치이다. 이는 정밀도가 높은 레이저를 이용하여 다른 전역 위치측정 장치들에 비해 외란에 강인하며 정밀도가 높다. 또한, 반사체의 위치와 개수를 조절하여 작업 공간을 간단하게 확장 및 변경을 할 수 있는 장점이 있다. 하지만 헤더가 회전하며 레이저로 반사체를 인식하는 특성으로 인해, 회전 및 고속 주행 시에 오차가 크게 발생되고 반사율이 높은 물체를 반사체로 인식하는 문제가 있다. 또한, 주행 장치에 적용 시에 목표 회전 중심 축 상의 위치와 레이저 내비게이션의 위치가 다른 경우, 이를 보정하기 위한 좌표 변환 과정에서 위치 오차가 증폭되는 문제가 있다. 이에, 레이저 내비게이션의 문제들을 해결하기 위한 확률론적 기법을 통해 반사체 매칭과 위치측정 오차를 보정하는 연구가 활발히 이루어졌다[5-9]. 대표적인 확률론적 기법으로는 칼만 필터(Kalman filter)를 통한 센서 융합(sensor fusion) 기술이다. 하지만 이러한 연구들은 주로 레이저 내비게이션을 관측자로 하여 다른 센서들을 보정하는 방식으로, 단지 백색 잡음(white noise)인 시스템의 잡음만을 보정해주는 방법이었다[10-14]. 즉, 레이저 내비게이션의 본래 문제인 반사체 매칭 문제와 회전 및 고속 주행 중에 측정 오차 문제를 해결할 수 없었다.

본 논문에서는 비가우시안 형태의 시스템에 강점을 가지는 파티클 필터를 이용하여 위치측정 정밀도를 향상시키는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 엔코더와 자이로를 이용하여 작업 공간에 분포된 파티클들의 위치 및 방향의 변화를 예측하고 레이저 내비게이션으로부터 받은 반사체 정보를 이용해 각 파티클의 가중치를 계산한다. 가중치가 계산되면 이를 통해 파티클을 재분배(resampling)하고 이동 물체의 위치를 추정하는 방법이다.

본 논문에서 2장은 실험에 사용된 시스템을 설명하고 3장에서는 제안한 방법인 파티클 필터를 이용한 위치측정 정밀도 향상 방법에 대해 기술한다. 4장에서는 실험 및 결과를 기술하고 5장에서는 결론 및 향후 연구에 대해 논한다.

## 2. 시스템 구성

### 2.1 테스트 AGV

제안된 방법의 실험을 위해, 지게차 타입의 AGV(automatic guided vehicle)를 사용하였다. 실험에 사용된 AGV는 주행과 조향이 동일한 위치에서 이루어지는 차축 구동 방식이다. AGV의 지역 위치측정은 선속도와 각속도 측정을 위해 엔코더와 자이로를 설치하여 계측하였으며, 전역 위치측정은 SICK사의 레이저 내비게이션을 이용하였다. 레이저 내비게이션은 레이저가 주변 사물에 의한 영향을 최소로 받도록 AGV에서 가장 높은 위치인 2.1m 상단에 설치하였으며, 엔코더는 포크 아래의 보조 바퀴에 설치하였다. 그리고 자이로는 구동 바퀴 부근에 설치를 하였다. 사용된 AGV는 그림 1과 같다.



그림 1. 테스트 AGV  
Fig. 1. Test AGV

사용된 AGV의 시스템은 위치측정부와 제어부, 구동부로 구성된다. 위치측정을 위한 계측은 레이저 내비게이션과 자이로, 엔코더를 이용하여 이루어지며, 계측된 정보들은 MCU(micro controller unit)를 통해 100 ms 마다 주제어기로 전송된다. 주제어기는 전송된 정보들을 토대로 AGV의 위치를 계산하고 구동부를 제어한다. 그림 2는 AGV의 전체 시스템의 구성도를 보여준다.

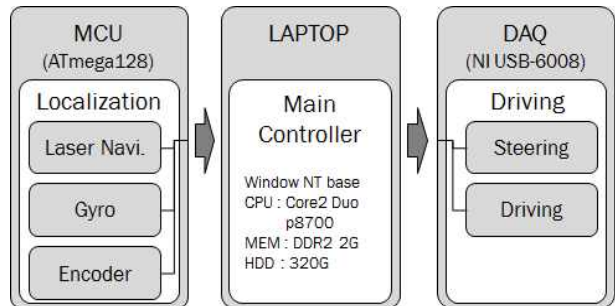


그림 2. 시스템 구성도  
Fig. 2. System configuration

### 2.2 센서 분석

레이저 내비게이션은 헤더가 360° 회전하면서 레이저를 송신하고, 반사체에 반사되어 수신되는 시간차를 이용해 반사체와의 거리를 측정한다. 그리고 측정된 반사체들의 위치 정보와 미리 알고 있는 반사체의 위치 정보를 매칭시켜 현재 위치를 계산하게 된다. 표 1은 사용된 레이저 내비게이션 제품의 주요 사양을 보여 준다.

표 1. 레이저 내비게이션의 주요 사양  
Table 1. Major specifications of laser navigation

| Item(model)               | Specification                 |
|---------------------------|-------------------------------|
| Laser navigation (NAV200) | power supply: 24 V            |
|                           | accuracy: ± 0.4 mm - ± 25 mm  |
|                           | scanning frequency: 8 Hz      |
|                           | operation range: 1.2 - 28.5 m |
|                           | angular resolution: 0.1 °     |

AGV의 각속도와 선속도를 측정하기 위해 사용된 엔코더는 LIB-49B 모델로 1000 pulse 의 분해능(resolution)을 가지며, 자이로는 myGyro300SPI 모델로  $\pm 300$  °/s의 민감도(sensitivity)를 가진다.

### 2.3 기구학

그림 3은 실험에 사용된 차축 구동부를 가지는 AGV의 기구학 모델을 나타낸 것이다.

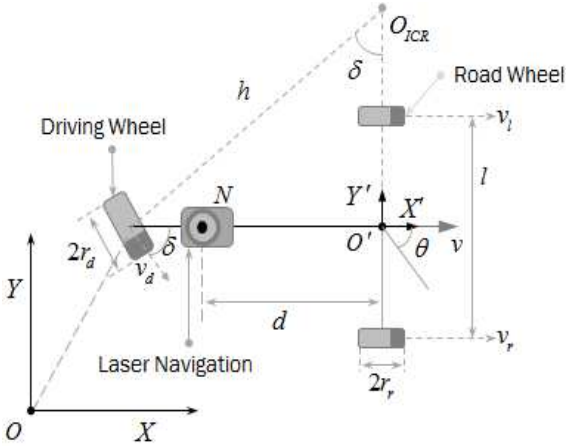


그림 3. 기구학  
Fig. 3. Kinematics

그림에서  $h$ 는 회전 중심축  $O_{ICR}$ 과 구동바퀴의 중심과의 거리이며, 이를 이용하여 구동부의 각속도  $\dot{\delta}$ 와 선속도  $v_d$ , 선속도  $v$ 를 식(1)을 통해 계산할 수 있다.

$$\dot{\delta} = \frac{v_d}{h} = \frac{v}{h \cos \delta}, \quad v_d = r_d \omega_d, \quad v = v_d \cos \delta \quad (1)$$

본 논문에서는 보조바퀴에 두 개의 엔코더를 설치하여 각 바퀴의 각속도  $\omega_l$ 과  $\omega_r$ 을 계측한다. 각 바퀴의 선속도는 식 (2)와 같이 계산되고, AGV의 선속도  $v$ 와 각속도  $\omega$ 는 식 (3)과 같이 계산한다.

$$\begin{cases} v_l = \omega_l \times 2r_l \\ v_r = \omega_r \times 2r_r \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} v = \frac{v_r + v_l}{2} \\ \omega = \tan^{-1} \left( \frac{v_r - v_l}{l} \right) \end{cases} \quad (3)$$

식 (2)와 식 (3)을 이용해 AGV의 좌표와 각도의 변화량은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} v \cos \omega \\ v \sin \omega \\ \omega \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서, 식 (4)는 목표 회전 중심축인  $O$ 의 변위이며, 레이저 내비게이션을 통해 계측된 위치는  $N$ 이다. 일반적으로 지게차 AGV는 목표 회전 중심축을 기준으로 제어를 하므로 레이저 내비게이션에서 측정된 위치를 식 (5)를 이용해 목표 회전 중심축으로 변환하였다. 식 (5)에서 POS는 레이

저 내비게이션에서 측정된 AGV의 위치이고, POS'은 목표 회전 중심축으로 변환된 위치이다.

$$\begin{aligned} POS'_x &= POS_x d \cos(POS_\theta) \\ POS'_y &= POS_y d \sin(POS_\theta) \end{aligned} \quad (5)$$

## 3. 위치측정을 위한 파티클 필터

파티클 필터는 잡음이 많은 입력으로부터 동적 시스템 상태를 예측하는 베이즈 필터를 확률론적으로 접근한 기법으로, 비선형 또는 비가우시안 시스템에서 높은 효율성을 보여준다. 이는 또한, 다른 전역 위치측정 기법과는 달리 관측 데이터의 발생 가능성도(likelihood)가 높은 상태에 집중하여 효율적인 예측이 가능하다.

### 3.1 베이즈 필터

베이즈 필터는 센서의 측정값으로부터 시스템의 상태를 재귀적으로 추정하는데 널리 사용되는 기법이다. 그림 4는 베이즈 필터의 추정 과정을 보여준다.

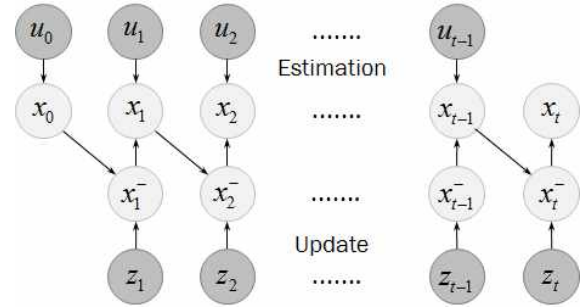


그림 4. 베이즈 필터  
Fig. 4. Bayes Filter

그림 4에서  $x_t^-$ 는  $t-1$  시간에서 예측한  $t$  시간의 상태를 의미하고,  $x_t$ 는 최종적으로 추정된  $t$  시간의 상태이다. 그리고 시스템 모델의 제어 입력은  $u_t$ , 관측 데이터는  $z_t$ 를 나타낸다. 시간  $t$ 에서의 최종 추정치인 사후확률  $x_t^-$ 는 식(6)과 같이 표현할 수 있다.

$$Bel(x_t) = p(x_t | z_t, u_t, z_{t-1}, u_{t-1}, \dots, z_0, u_0) \quad (6)$$

이는 다음과 같이 두 단계로 표현할 수 있다.

$$Bel^-(x_t) \leftarrow \int p(x_t | x_t^-, u_t) Bel(x_t^-) dx_t^- \quad (7)$$

$$Bel^-(x_t) \leftarrow \alpha p(z_t | x_t) Bel^-(x_t) \quad (8)$$

시스템 모델을 이용해 이전 사후 추정치로부터 다음 상태 추정치를 예측하는 예측단계는 수식 (7)과 같이 표현되며, 관측데이터를 이용해 예측된 추정치를 보정하는 보정단계는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다. 식(8)에서 alpha는 정규화 상수이다. 식 (7), (8)에서  $p(x_t/x_t^-, u_t)$ 은 시스템 모델을 표현하며,  $p(z_t/x_t)$ 는  $t$ 시간에서 관측 데이터의 발생 가능성을 나타낸다.

**3.2 제안된 위치추정 방법**

레이저 내비게이션의 측정 위치가 AGV의 목표 회전 중심축과 다른 경우, AGV를 효과적으로 제어하기 위해서 식 (4)와 같은 좌표변환 과정을 거쳐야 한다. 하지만 이 과정에서 오차를 포함하는 정보를 이용하여 좌표 변환을 하므로 오차가 증폭될 수 있다. 제안된 방법에서는 각 파티클의 좌표를 AGV의 목표 회전 중심축으로 설정함으로써 이와 같은 단계가 불필요하여 좌표 변환 과정에서 발생하는 오차 증폭 문제를 해결할 수 있다.

제안된 위치추정 방법의 과정은 초기화와 예측, 보정, 재분배 단계로 나누어진다. 초기화 단계는 작업 환경 전역에 파티클의 초기 위치를 설정하는 단계로 위치추정에서 파티클의 개수가 작으면 국부 최소점(local minimum)에 수렴할 가능성이 높으며, 파티클의 개수가 많으면 성능은 향상되지만, 계산 시간이 너무 오래 걸리기 때문에 실시간 시스템에서는 부적합하다. 따라서 제안된 시스템에서 파티클의 개수는 실험을 통해 위치추정 정밀도와 계산 시간이 가장 효율적인 150개로 설정하였으며, 작업 환경 전역에 고르게 분포시켰다.

예측 단계에서는 시간  $t-1$  에서의 파티클 분포 정보와 엔코더, 자이로 센서로부터 측정된 제어 입력 데이터를 기구학에 의거한 식 (9)에 적용하여 시간  $t$ 에서의 AGV의 상태 변화를 예측한다.

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ \theta_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{t-1} + v_t \cos(\theta_{t-1} + \omega_t) \\ y_{t-1} + v_t \sin(\theta_{t-1} + \omega_t) \\ \theta_{t-1} + \omega_t \end{bmatrix} \quad (9)$$

예측단계 이후, 시스템 상태를 보정하기 위해 파티클의 위치에서 레이저 내비게이션이 계측한 반사체 위치를 직교 좌표계로 변환하여 그림 5와 같이 이미 알고 있는 반사체와의 거리 차이(e1, e2, e3, e4)를 계산하고 계측된 반사체를 매칭한다.

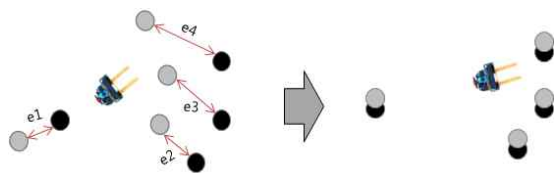


그림 5. AGV의 상태 추정 과정  
Fig. 5. Process to state estimation of AGV

위 그림에서 회색 원은 측정된 반사체이고, 검은색 원은 실제 반사체 정보이다. 실제 반사체와의 거리 차이는 0에 근접할수록 해당 파티클에 실제 AGV가 위치할 가능성이 매우 높다. 따라서 거리 값에 따른 가중치를 구하기 위해 평균이 0이고 편차가 1인 표준 정규 분포에 거리 값들의 합을 적용하여 파티클들의 가중치를 식 (10)과 같이 계산한다. 식에서  $z_t$ 와  $\hat{z}_t$ 은 각 실제 반사체와 측정된 반사체의 위치이다.

$$w_t = \det(2\pi\Sigma)^{-\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{1}{2}(\hat{z}_t - z_t)^T \Sigma^{-1}(\hat{z}_t - z_t)\right) \quad (10)$$

계산된 각 파티클의 가중치를 이용해 현재 상태를 보정하기 위해 외란에 강하고 오차 확률이 적은 가중치 평균

(weighted mean)을 이용하여 현재 상태를 보정하였다. M개의 파티클을 가지는 시스템에서 가중치 평균은 식 (11)과 같이 계산한다.

$$x_t = \frac{\sum_{m=1}^M w_t^m x_t^m}{\sum_{m=1}^M w_t^m} = \sum_{m=1}^M w_t^m x_t^m \quad (11)$$

가중치 평균을 계산한 후, 다음 예측 단계에서 사용할 파티클의 집합을 새로 생성하는 재분배 과정을 수행한다. 재분배 과정은 가중치에 따라 파티클을 복제하거나 삭제하여 파티클들이 최적해(optimal solution)로 수렴하도록 한다. 파티클의 가중치가 높은 경우 해당 위치에 AGV가 위치할 가능성이 높은 것을 의미한다. 따라서 제안된 방법에서는 실험에 의해 상위 20% 이상의 파티클의 주변 위치에 90%의 파티클을 분포시키며, 파티클을 분포할 때 그 범위는  $\pm 20$  cm로 설정하였다. 실험에서 사용된 AGV의 주행속도는 36 cm/s이고, 레이저 내비게이션이 500 ms 마다 데이터를 측정하기 때문에 레이저 내비게이션이 데이터를 측정받는 시간 동안에 AGV가 움직일 수 있는 최대의 거리는 18 cm이다. 따라서 이 값과 측정오차를 고려하여 파티클의 재분배 범위를  $\pm 20$  cm로 설정하였다. 그리고 최적해를 수렴하지 않는 가능성을 배제하기 위해 하위 10% 이하의 파티클들은 작업 환경 전역에 고르게 분포시켰다. 그림 6은 이 과정을 보여준다.

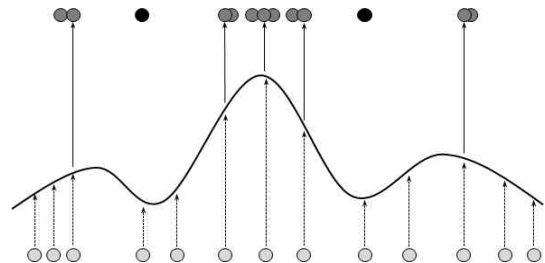


그림 6. 재분배 단계  
Fig. 6. Resampling Step

그림에서 회색의 원은 현재 파티클이고 진한 회색 원은 가중치에 따라 재분배된 파티클이며 검은색 원은 국부 최소점을 수렴할 가능성을 배제하기 위해 작업 환경 전역에 임의적으로 생성된 파티클이다. 초기화와 예측, 보정, 재분배 단계 이후에는 다음 상태를 추정하기 위해서 재분배 단계에서 예측 단계로 재귀적으로 AGV의 위치를 추정한다.

**4. 실험 및 결과**

**4.1 실험 환경**

실험에 사용된 반사체의 반사율을 극대화하기 위해 지름이 9 cm에 높이 80 cm 원통에 부착하여 벽에 15개를 설치하였다. 반사체가 설치된 환경의 크기는 20 m × 15 m이고 주로 사용된 실험 공간의 크기는 8.4 m × 11 m이다. 실험 방법은 AGV의 주행 속도와 조향 각을 각각 36 cm/s와 60°로 고정된 상태에서 10회 반복 회전 주행하는 동안의 위치 추정 정밀도를 보았다. 또한, 제안된 방법의 성능을 비교 분석하기 위해서 레이저 내비게이션의 위치추정 결과와 비교하였다.



4.2 실험 결과

표 2와 그림 7은 각각 전체 실험 결과의 RMSE와 오차 분산의 결과들과 전체 실험 중 하나의 회전주행의 궤적을 보여준다.

제안된 방법과 레이저 내비게이션의 RMSE 평균은 각각 22.5049 mm와 67.3343 mm를 나타내었고 분산 평균은 각각 134.7566 mm과 571.1625 mm를 확인할 수 있었다. 표 2에서 보는 것과 같이 전체적으로 제안된 방법의 위치측정의 정밀도가 높은 것을 확인할 수 있다.

표 2. RMSE와 분산 (mm)

Table 2. RMSE and variance (mm)

| #    | Laser Navigation |          | Particle Filter |          |
|------|------------------|----------|-----------------|----------|
|      | RMSE             | var.     | RMSE            | var.     |
| 1    | 67.7796          | 545.3667 | 19.4104         | 92.8821  |
| 2    | 63.4151          | 552.2572 | 24.6081         | 160.5565 |
| 3    | 67.6146          | 528.1289 | 17.1101         | 82.8151  |
| 4    | 65.2057          | 524.7548 | 26.0940         | 217.5783 |
| 5    | 67.9498          | 732.3450 | 18.0068         | 86.9788  |
| 6    | 70.4384          | 580.2745 | 23.4204         | 89.5000  |
| 7    | 67.4334          | 607.5042 | 26.3332         | 176.6941 |
| 8    | 72.1348          | 577.4653 | 24.2201         | 106.9110 |
| 9    | 65.1114          | 523.3142 | 23.5945         | 165.1958 |
| 10   | 66.2611          | 540.2137 | 22.2522         | 168.4547 |
| AVG. | 67.3343          | 571.1625 | 22.5049         | 134.7566 |

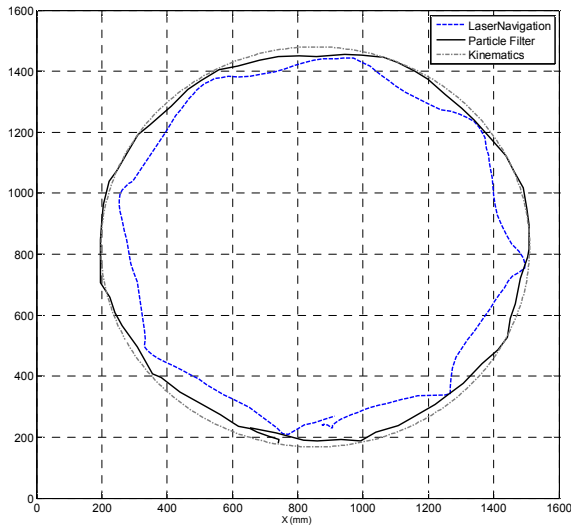


그림 7. 위치측정 결과  
Fig. 7. Result of Localization

그림에서 실선과 점선은 각각 제안된 방법과 레이저 내비게이션을 이용해 측정된 AGV의 주행 궤적이며, 파선은 기구학을 통해 계산된 궤적으로 AGV의 주행 속도와 조향 각이 각각 36 cm/s와 60°로 고정되어 주행할 때에 이상적인 궤적이다. 실험은 조향 각이 미리 정해진 상태에서 주행을 하므로 원에 가까운 형태가 나올수록 더 좋은 결과이다. 레이저 내비게이션의 결과를 보면, AGV의 목표 회전 중심축으로 좌표변환 과정에서 많은 오차가 발생하여 원의 형태가 많이 일그러진 부분을 확인할 수 있다. 그에 반해, 제안

된 방법의 결과는 원과 유사한 형태를 확인할 수 있다.

그림 8은 제안된 방법과 레이저 내비게이션의 위치측정 결과를 기구학을 이용해 계산된 궤적과 비교하여 각각의 오차를 구한 결과이다. 제안된 방법의 결과가 레이저 내비게이션의 결과에 비해 눈에 띄게 오차가 줄어든 것을 확인할 수 있다.

총 10회 실험 결과, 제안된 방법과 레이저 내비게이션의 위치측정 결과로 38.8070 mm - 50.5045 mm의 오차가 감소하였으며, 결과적으로 레이저 내비게이션의 위치측정 결과에 비해 약 66.5%의 성능 향상을 확인할 수 있었다.

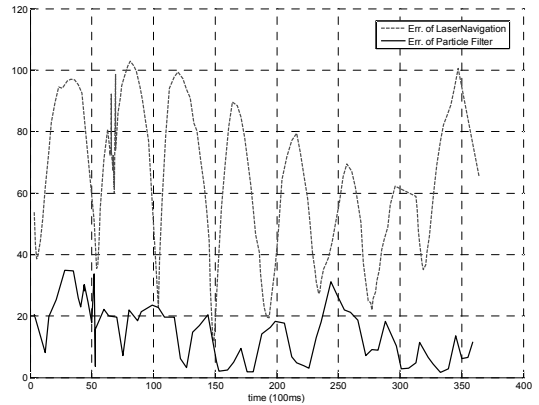


그림 8. 위치측정과 오차 결과  
Fig. 8. Localization and Error Result

5. 결론

본 논문은 파티클 필터를 이용한 레이저 내비게이션의 위치측정 성능 향상 방법에 관한 연구이다. 기존의 레이저 내비게이션은 고속 및 회전 주행에서 매우 큰 오차가 발생하는 문제와 센서의 위치와 AGV의 회전 목표 중심축이 일치하지 않아 오차가 증폭되는 문제가 있었다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 파티클 필터를 이용하여 레이저 내비게이션의 위치측정 성능을 향상시키는 방법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 좌표변환 문제를 해결하기 위해서 각 파티클을 AGV의 회전 목표 중심축의 위치로 설정하였다. 또한, 자이로와 엔코더를 통해 측정된 AGV의 각 속도와 선속도에 기구학을 적용하여 각 파티클의 위치 및 방향 변화를 예측하였다. 이후, 레이저 내비게이션을 통해 측정된 반사체 정보를 이용하여 파티클의 가중치를 결정하고 최종적으로 AGV의 위치를 추정하는 관측 모델을 설계하였다. 제안된 방법을 검증하기 위해 직접 설계 및 제작한 AGV를 이용하였으며, 레이저 내비게이션의 위치측정 오차가 크게 발생하는 회전 주행 실험으로 제안된 방법과 상용화된 레이저 내비게이션의 위치측정 결과를 비교하였다. 실험 결과, 제안된 방법이 레이저 내비게이션에 비해 66.5% 정도의 성능이 향상된 것을 확인할 수 있었다. 향후에는 제안된 방법의 성능을 향상시키기 위해, 현재 파티클의 분포와 주행 상태를 고려하여 파티클의 수와 재분배 범위를 동적으로 최적화하는 연구를 진행할 계획이다.

### 참 고 문 헌

[1] J. Do, J. Kim, S. Kim, "Localization error correction for mobile robot using laser range finder," *11th SCIS-ISIS*, pp. 904-907, 2010.

[2] R. Brooks, "A robust layered control system for a mobile robot," *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. 2, No. 1, pp. 14-23, 1986.

[3] S. Lenser, M. Veloso, "Sensor resetting localization for poorly modelled mobile robots," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 2, pp. 1225-1232, 2000.

[4] S. Jung, J. Kim, S. Kim, "Simultaneous localization and mapping of a wheel-based autonomous vehicle with ultrasonic sensors," *Artificial Life and Robotics*, Vol. 14, No. 2, pp. 186-190, 2009.

[5] D. Lee, K. Alfriend. "Precise real-time orbit estimation using the unscented kalman filter," *Advances in the Astronautical Sciences*, Vol. 114, No. 3, pp. 1853-1872, 2003.

[6] F. Dellaert, D. Fox, W. Burgard, S. Thrun, "Monte carlo localization for mobile robots," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1322-1328, 1999.

[7] 박정재, 김정민, 도주철, 김성신, 배선일, "레이저 유도 시스템을 이용한 AGV의 경로추적," *로봇학회 논문지*, Vol. 5, No. 2, pp. 120-125, 2010.

[8] J. Castellanos, R. Martinez-Cantin, J. Tardos, J. Neira, "Robocentric map joining: improving the consistency of EKF-SLAM," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 55, No. 1, pp. 21-29, 2007.

[9] 김정민, 도주철, 김성신, "엔코더와 자이로를 이용한 각 속도 오차 최소화," *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 20, No. 6, pp. 815-819, 2010.

[10] P. Vadakkepat, J. Liu, "Improved particle filter in sensor fusion for tracking randomly moving object," *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, Vol. 55, No. 5, pp. 1823-1832, 2006.

[11] D. Fox, J. Hightower, L. Liao, "Bayesian filtering for location estimation," *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 2, No. 3, pp. 24-33, 2003.

[12] M. Vossiek, L. Wiebking, P. Gulden, I. Wieghardt, C. Hoffmann, P. Heide, "Wireless Local Positioning," *Microwave Magazine*, Vol. 4, No. 4, pp. 77- 86, 2003.

[13] D. Evans, L. Hu, "Localization for mobile sensor networks," in *Proceedings of the 10th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 45-57, 2004.

[14] D. Glas, T. Miyashita, H. Ishiguro, N. Hagita, "Laser-based tracking of human position and orientation using parametric shape modeling," *Advanced Robotics*, Vol. 23, No. 4, pp. 405-428, 2009.

### 저 자 소 개



#### 조현학(Hyunhak Cho)

2011년 : 신라대학교 컴퓨터정보공학부 (공학사)

2011년~현재 : 부산대학교 로봇관련협동 과정 석사과정

관심분야 : 영상처리, 지능 시스템, 지능형 로봇  
E-mail : darkruby1004@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



#### 도주철(Joocheol Do)

2010년 : 부산대학교 정보컴퓨터공학부 (공학사)

2010년~현재 : 동대학원 전자전기공학과 석사과정

관심분야 : 신호처리, 지능 시스템, 지능형 로봇  
E-mail : colorhorse@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