

Gyroscope Free 관성 항법 장치의 데이터 보정을 위한 퍼지 추론 시스템

Fuzzy Inference System for Data Calibration of Gyroscope Free Inertial Navigation System

김재용* · 김정민* · 우승범** · 김성신**

Jaeyong Kim*, Jungmin Kim*, Seungbeom Woo** and Sungshin Kim**

* 부산대학교 전자전기공학과

** 부산대학교 로봇협동과정

요 약

본 논문은 퍼지 추론 시스템(FIS: fuzzy inference system)을 이용하여 자이로스코프를 사용하지 않는 관성 항법 장치(GFINS: gyroscope free inertial navigation system)의 가속도계 데이터를 보정하는 방법에 관한 연구이다. 일반적인 관성 항법 장치(INS: inertial navigation system)는 주로 가속도계와 같은 병진운동을 감지하는 관성 센서와 자이로스코프와 같은 회전 운동을 감지하는 관성 센서를 이용하여 위치와 yaw각을 측정하는 장치이다. 하지만 INS는 자이로스코프를 사용하기 때문에 소형화 및 저전력 설계가 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 자이로스코프를 사용하지 않는 GFINS에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. GFINS에 사용되는 가속도계는 적분과 외란에 의한 오차가 시간이 지남에 따라 누적되는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 가속도계의 누적 오차 문제를 해결하기 위해, 레이저 내비게이션과 가속도계의 선속도 비율과 엔코더와 가속도계의 선속도 비율을 통해 GFINS의 데이터를 보정하는 FIS를 제안한다. 제안된 Fuzzy-GFINS를 평가하기 위해, 직접 제작한 메카넘 휠 AGV(autonomous ground vehicle)에 제안된 GFINS를 적용하였다. 실험 결과, 제안된 방법이 GFINS의 출력 데이터를 효과적으로 보정하는 것을 확인 할 수 있었다.

키워드 : 퍼지 추론 시스템, 가속도계, 자이로 프리, 관성 항법 장치, 관성 센서

Abstract

This paper presents a study on the calibration of accelerometer data in the gyroscope free inertial navigation system(GFINS) using fuzzy inference system(FIS). The conventional INS(inertial navigation system) which can measure yaw rate and linear velocity using inertial sensors as the gyroscope and accelerometer. However, the INS is difficult to design as small size and low power because it uses the gyroscope. To solve the problem, the GFINS which does not have the gyroscope have been studied actively. However, the GFINS has cumulative error problem still. Hence, this paper proposes Fuzzy-GFINS which can calibrate the data of an accelerometer using FIS consists of two inputs that are ratio between linear velocity of the autonomous ground vehicle(AGV) and the accelerometer and ratio between linear velocity of the encoders and the accelerometer. To evaluate the proposed Fuzzy-GFINS, we made the AGV with Mecanum wheels and applied the proposed Fuzzy-GFINS. In experimental result, we verified that the proposed method can calibrate effectively data of the accelerometer in the GFINS.

Key Words : fuzzy inference system, accelerometer, gyroscope free, inertial navigation system, inertial sensor

1. 서 론

최근, 물류 산업에서는 작업의 효율성을 증대시키기 위하여 양 바퀴 구동 방식이나 차축 구동 방식과 함께 로봇의

자세와 상관없이 전방향으로 주행 가능한 자율 주행 차량에 대한 관심이 증가하고 있다. 대표적인 전방향 구동 방식으로는 swerve drive와 holonomic drive, Mecanum drive 등이 있다. 이 중, Mecanum drive는 일반적인 바퀴 둘레에 45°로 기울어진 롤러가 다수 장착된 형태인 메카넘 휠을 사용하여 주행하는 방식이다. 메카넘 휠은 holonomic drive보다 강도가 우수하고, 동력에 대한 전달력이 높다[1-5]. 하지만 바퀴 둘레에 장착된 롤러로 인해 미끄러짐이 발생할 수 있기 때문에 엔코더만으로 위치를 측정하는 것이 어렵다. 따라서 롤러의 미끄러짐에 관계없이 AGV의 위치를 정밀하게 측정하기 위해서는 관성 항법 장치가 필요하다[6].

INS는 병진 운동에 대한 이동 관성과 회전 운동에 대한

접수일자 : 2011년 6월 7일

완료일자 : 2011년 8월 10일

+ Corresponding Author : sskim@pusan.ac.kr

본 연구는 지식경제부 융복합형 로봇인력양성 "특수환경 Navigation/Localization 로봇기술연구센터" 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-C7000-1001-0004)

회전 관성을 측정하여 물체의 상대적인 이동거리와 방향을 측정하는 장치이다. 일반적으로 INS는 이동 관성을 측정하기 위하여 가속도계를 사용하며 회전 관성을 측정하기 위하여 자이로스코프를 사용한다[7-10]. 하지만 INS의 연구 초기에는 고가의 자이로스코프로 인한 가격상승 문제가 대두되었고, 이러한 문제를 해결하기 위하여 자이로스코프를 사용하지 않은 GFINS에 대한 관심이 증대되었다. 하지만 최근에는 MEMS(micro-electromechanical systems)의 발달로 자이로스코프 가격이 저렴해지면서 GFINS의 가격적인 이점은 적어졌지만 소형화와 저전력의 이점을 가지고 있기 때문에 여전히 활발히 연구되고 있다[11].

GFINS는 회전 관성을 측정하기 위하여 자이로스코프를 사용하지 않고, 가속도계나 기울기 센서만을 사용하여 회전 관성을 측정할 수 있는 장치이다[12]. GFINS에서는 주로 가속도계를 관성 센서로 사용하며, 계측된 관성 데이터를 적분하여 선속도와 yaw각을 계산한다. 하지만 가속도계는 시간이 지나면서 오차가 누적되는 문제가 있기 때문에 신뢰성이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 누적 오차 문제를 해결하기 위하여 퍼지 추론 시스템(FIS : fuzzy inference system)을 이용하여 가속도계의 데이터를 효과적으로 보정하는 Fuzzy-GFINS를 제안한다[13-14].

본 논문에서는 2장에서 제안된 Fuzzy-GFINS의 데이터를 계측하기 위한 메카넘 휠이 장착된 AGV를 설명하고, 3장에서 제안된 Fuzzy-GFINS에 대하여 설명한다. 4장에서는 실험을 통하여 제안된 Fuzzy-GFINS의 성능을 검증하고, 마지막 5장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대하여 기술한다.

2. 메카넘 휠이 장착된 AGV

메카넘 휠을 장착한 AGV의 시스템 구성도는 그림 1과 같다.

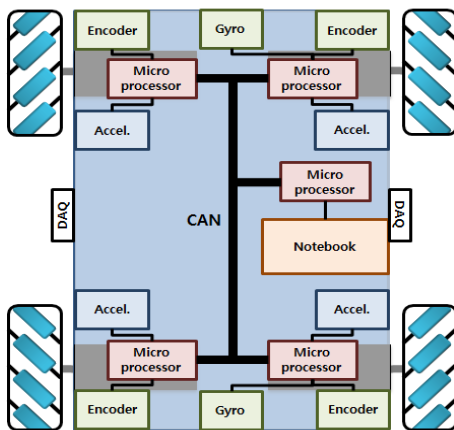


그림 1. 메카넘 휠이 장착된 AGV의 디자인
Fig. 1. Design of AGV with Mecanum wheel

설계된 메카넘 휠 AGV는 각 바퀴에 BLDC 모터가 연결되어 있으며, 모터를 제어하기 위하여 DAQ를 사용한다. 각 BLDC 모터에는 모터의 동작 조절을 위한 플래그 조절과 엔코더의 신호를 받아서 전달하는 모터 드라이브가 설치되어 있다. 엔코더 신호는 직각 파형으로 AVR의 인터럽트를 이용하여 모터의 회전량을 알 수 있다. 계측된 엔코더의 데이터는 CAN통신을 이용하여 주제어기로 취합되고, 주제어

기로 전송된 엔코더의 데이터는 기구학 방정식을 이용하여 선속도와 각속도로 변환된다. 메카넘 휠이 장착된 AGV의 기구학은 그림 2와 같다.

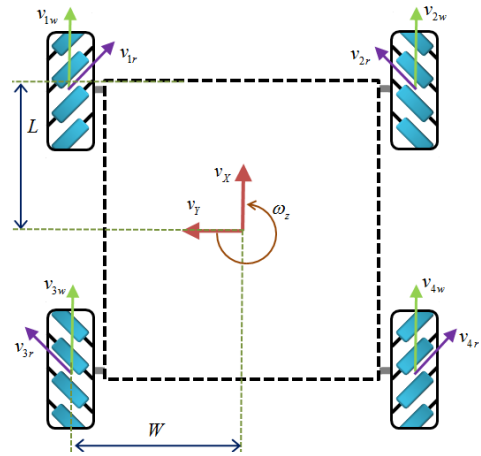


그림 2. 메카넘 휠이 장착된 AGV의 기구학
Fig. 2. Kinematics of AGV with Mecanum wheel

그림 2에서 L 은 AGV의 회전 중심축과 바퀴 중심까지의 세로 거리이며, W 는 AGV의 회전 중심축과 바퀴 중심까지의 가로 거리이다. v_{iw} 는 각 바퀴의 회전에 의한 선속도이고, v_{ir} 은 롤러에 의해 실제로 바닥에 작용하는 선속도이다. 실제로 각 바퀴에 작용하는 선속도 v_{iX} 와 v_{iY} 는 v_{iw} , v_{ir} 을 사용하여 식 (1)과 같이 유도될 수 있다.

$$v_{iX} = v_{iw} + \frac{v_{ir}}{\sqrt{2}}, \quad v_{iY} = -\frac{v_{ir}}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

식 (1)을 v_{iw} 에 대해 정리하면 식 (2)와 같다.

$$v_{iw} = v_{iX} + v_{iY} \quad (2)$$

그리고 AGV의 회전 중심축에 작용하는 x, y축의 속도 v_x , v_y 와 각속도 ω_z 를 이용하여 식 (3)과 같이 식 (2)와는 다른 형태의 각 바퀴에 작용하는 선속도 v_{iX} 와 v_{iY} 를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} v_{1X} &= v_x - W\omega_z, & v_{1Y} &= v_y + L\omega_z \\ v_{2X} &= v_x + W\omega_z, & v_{2Y} &= v_y + L\omega_z \\ v_{3X} &= v_x - W\omega_z, & v_{3Y} &= v_y - L\omega_z \\ v_{4X} &= v_x + W\omega_z, & v_{4Y} &= v_y - L\omega_z \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)을 식 (2)에 대입하여 정리하면 식 (4)와 같이 v_{iw} 를 v_x , v_y , ω_z 에 관한 식으로 표현가능하다.

$$\begin{aligned} v_{1w} &= v_x + v_y - (W-L)\omega_z \\ v_{2w} &= v_x - v_y + (W-L)\omega_z \\ v_{3w} &= v_x - v_y - (W-L)\omega_z \\ v_{4w} &= v_x + v_y + (W-L)\omega_z \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)를 각 바퀴에 대한 행렬식으로 표현하면 식 (5)와 같다.

$$\begin{bmatrix} v_{1w} \\ v_{2w} \\ v_{3w} \\ v_{4w} \end{bmatrix} = \frac{1}{F} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -(W-L) \\ 1 & -1 & (W-L) \\ 1 & -1 & -(W-L) \\ 1 & 1 & (W-L) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 (5)에서 F의 역행렬을 계산하여 양변에 곱해준 후 정리하면 식 (6)과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_X \\ v_Y \\ \omega_Z \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -D & D & -DD & DD \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{1\omega} \\ v_{2\omega} \\ v_{3\omega} \\ v_{4\omega} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$D = \frac{1}{(W-L)}$$

바퀴의 반지름을 R_{ω} , 바퀴의 회전 각속도를 $\dot{\theta}_i$ 라고 한다면 식 (6)의 $v_{i\omega}$ 를 $R_{\omega}\dot{\theta}_i$ 의 형태로 식 (7)과 같이 표현가능하다.

$$\begin{bmatrix} v_X \\ v_Y \\ \omega_Z \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -D & D & -DD & DD \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{\omega}\dot{\theta}_1 \\ R_{\omega}\dot{\theta}_2 \\ R_{\omega}\dot{\theta}_3 \\ R_{\omega}\dot{\theta}_4 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$D = \frac{1}{(W-L)}$$

식 (7)을 이용하면 바퀴의 회전 속도를 이용하여 AGV의 선속도를 계산할 수 있다. GFINS의 가속도계를 보정하기 위해 사용하는 엔코더의 선속도는 식 (7)에 적용하여 계산한다.

3. Fuzzy-GFINS

본 논문에서 사용하는 FIS의 입력은 2개이다. 첫 번째 입력은 AGV의 평균 선속도를 이용하여 가속도계를 비율적으로 보정하기 위한 AGV와 가속도계의 선속도들의 비율이다. 두 번째 입력은 가속도계의 선속도를 엔코더의 선속도와 유사하도록 변환하기 위한 엔코더와 가속도계의 선속도들의 비율을 사용한다.

3.1 AGV와 가속도계의 선속도 비율

AGV의 선속도를 측정하기 위하여 레이저 내비게이션을 AGV의 중심에 설치하였다. 레이저 내비게이션에서 측정된 AGV의 x, y축 선속도는 표 1과 같으며, 본 논문에서 AGV의 선속도와 가속도계의 선속도 비율을 계산하기 위해서 평균 선속도를 사용하였다. 직선과 측면은 각각 AGV를 y축, x축으로 주행하였을 때의 선속도이며, 대각은 x, y축 좌표 평면 상에서 대각으로 주행하였을 때의 선속도이다.

표 1. AGV의 선속도
Table 1. Linear velocity of AGV (unit: mm/s)

축	구분	직선	측면	대각
X축	평균	1.2	29.6	14.8
	최대	1.5	38.4	24.0
	최소	0.0	23.2	9.2
Y축	평균	29.6	2.4	16.0
	최대	38.0	9.2	25.2
	최소	22.0	0.0	5.2

FIS의 첫 번째 입력은 AGV의 평균 선속도와 가속도계

의 선속도의 비율을 식 (8)을 이용하여 계산한다.

$$n_{i,X}(t+1) = \frac{(Ar_{i,X}(t) - Cv_X)}{Cv_X} \quad (8)$$

$$n_{i,Y}(t+1) = \frac{(Ar_{i,Y}(t) - Cv_Y)}{Cv_Y}$$

식 (8)에서 $n_{i,X}$, $n_{i,Y}$ 는 각각 x, y축에 대한 AGV와 가속도계의 선속도 비율이며, $Ar_{i,X}$, $Ar_{i,Y}$ 은 t 시간에서의 가속도계의 x, y축 선속도이다. 그리고 Cv_X , Cv_Y 는 각각 AGV의 x, y축 평균 선속도이다.

3.2 엔코더와 가속도계의 선속도 비율

엔코더는 롤러의 미끄러짐으로 인하여 위치를 정확하게 측정하지는 못하지만 바퀴의 회전은 정확하게 측정 가능하다. 그리고 가속도계는 누적오차가 존재하지만 미끄러짐에 관계없이 위치 변화량의 근사 측정이 가능하다. 따라서 가속도계의 데이터를 엔코더의 변화에 맞추어 가속도계의 데이터를 보정할 수 있다. 본 논문에서는 식 (9)에서 계산한 엔코더와 가속도계의 선속도 비율을 FIS의 두 번째 입력으로 사용한다.

$$R_{i,X}(t+1) = \frac{(r_{i,X}(t) - e_{i,X}(t))}{\sqrt{(R_{i,X}(t), e_{i,X}(t))}} \quad (9)$$

$$R_{i,Y}(t+1) = \frac{(r_{i,Y}(t) - e_{i,Y}(t))}{\sqrt{(R_{i,Y}(t), e_{i,Y}(t))}}$$

식 (9)에서 $R_{i,X}$, $R_{i,Y}$ 는 x, y축에 대한 엔코더와 가속도계의 선속도 비율이고, $r_{i,X}$, $r_{i,Y}$ 는 각각 가속도계의 x, y축 선속도를 엔코더의 x, y축 선속도로 변화시킨 값이다. 그리고 $e_{i,X}$, $e_{i,Y}$ 는 각각 엔코더의 x, y축 선속도이다.

$$r_{i,X} = \frac{(a_{i,X} + a_{i,Y})e_{i,X}}{(e_{i,X} + e_{i,Y})} \quad (10)$$

$$r_{i,Y} = \frac{(a_{i,X} + a_{i,Y})e_{i,Y}}{(e_{i,X} + e_{i,Y})}$$

식 (10)의 $a_{i,X}$, $a_{i,Y}$ 는 각각 x, y축에 대한 가속도계의 선속도와 FIS를 사용하여 보정된 가속도계의 선속도 차이로 식 (11)을 이용하여 계산한다.

$$a_{i,X}(t) = |Ar_{i,X}(t)(2-m) - Af_{i,X}(t-1)m| \quad (11)$$

$$a_{i,Y}(t) = |Ar_{i,Y}(t)(2-m) - Af_{i,Y}(t-1)m|$$

식 (11)에서 Af 는 이전 시간에 FIS를 사용하여 보정한 가속도계의 선속도이다. 모멘트 m 은 이전 선속도가 현재 선속도에 일정하게 영향을 미친다는 점을 이용하여 실험을 통하여 구할 수 있다. 본 논문에서는 AGV를 380 mm/s로 반복 주행하는 사전 실험을 통해 1.657의 값을 획득하였다.

3.3 가속도계의 보정을 위한 FIS

가속도계의 보정을 위한 FIS의 입력은 두 가지로 3.1절에서 구한 AGV의 선속도와 가속도계의 선속도 비율 n 과 3.2절에서 구한 엔코더의 선속도와 가속도계의 선속도 비율 R 이다. 두 입력은 모두 0에서 1사이의 비율 값이며, 출력은 가속도계를 보정하기 위한 0에서 1사이의 보정 비율이다. 본 논문에서 사용된 FIS의 소속 함수는 휴리스틱 기법을 이용하여 실험적으로 설계하였다. FIS의 소속 함수는 그림 3과 같다.

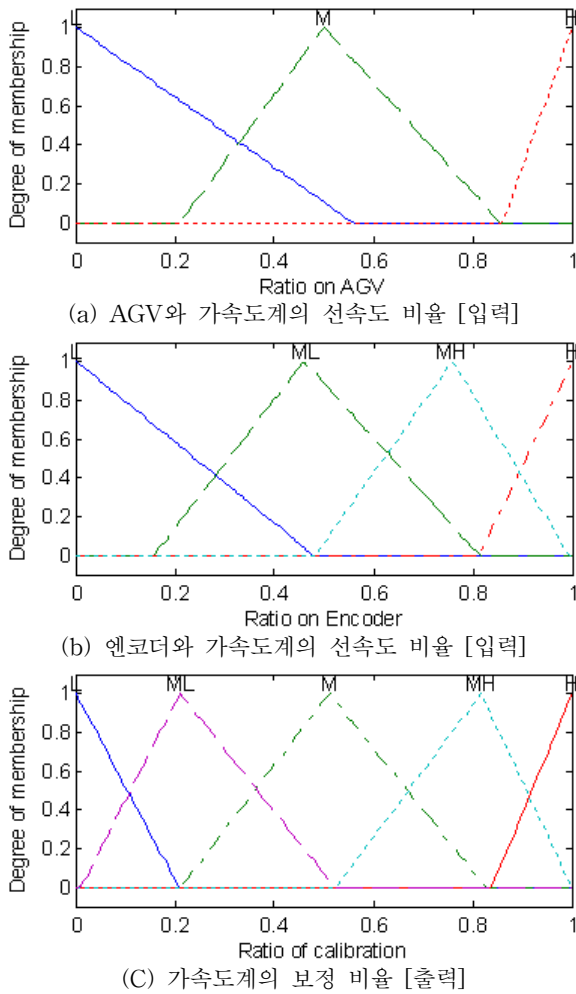


그림 3. FIS의 소속 함수
Fig. 3. Membership function of FIS

그림 3.(C)의 출력 함수를 통해 출력된 값을 가속도계의 선속도를 보정하는데 사용한다. 사용된 퍼지 룰(rule)은 다음 표와 같다.

표 2. 사용된 퍼지 룰
Table 2. Used fuzzy rule

		Ratio on Encoder			
		L	ML	MH	H
Ratio on AGV	L	L	L	ML	M
	M	L	ML	M	MH
	H	L	ML	MH	H

4. 실험 및 결과 분석

실험은 300 cm × 300 cm 공간에서 380 mm/s의 속도로 직선과 측면, 대각의 방향으로 각각 10회 반복 주행하였으며, 제안된 Fuzzy-GFINS와 실제 AGV의 움직임을 비교하기 위하여 전역 위치 측정 센서인 레이저 내비게이션을 AGV의 중심에 부착하였다. 레이저 내비게이션은 리플렉터가 설치된 공간에서 오차범위 4 mm - 20 mm 이내로 전역

위치가 측정가능한 장치이다. 제안된 Fuzzy-GFINS의 성능을 평가하기 위하여 그림 4와 같은 메카넘 휠을 장착한 AGV를 직접 제작하였다.

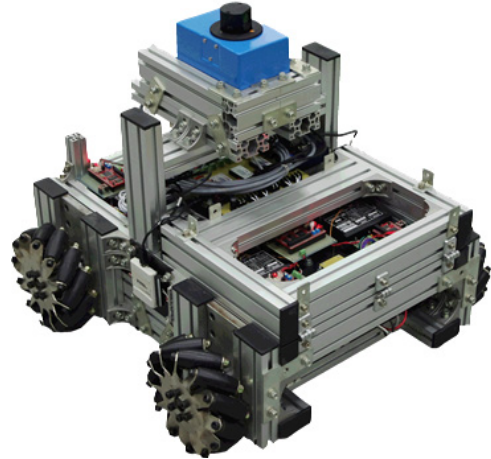


그림 4. 메카넘 휠이 장착된 AGV
Fig. 4. AGV with Mecanum wheel

본 논문에서는 제안된 Fuzzy-GFINS의 성능을 평가하기 위하여 엔코더, 가속도계의 데이터로 계산된 선속도 및 yaw각을 레이저 내비게이션으로 측정된 선속도 및 yaw각과 비교하였다.

4.1 yaw각 비교 실험

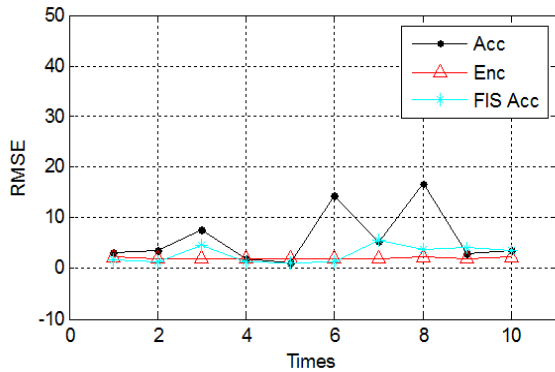
각 센서들로부터 yaw각을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\theta = \text{atan}\left(\frac{Y(t) - Y(t-1)}{X(t) - X(t-1)}\right) \quad (12)$$

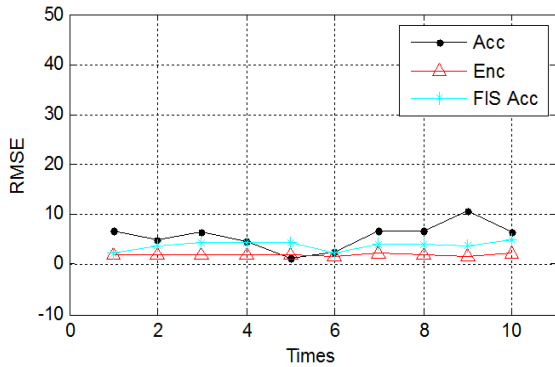
여기서, θ 는 yaw각이며, X 와 Y 는 각각 센서로부터 계측된 x, y 축 위치이다. 하지만 메카넘 휠이 장착된 AGV는 주행 방향에 따라서 각 바퀴의 회전 속도와 방향이 다르기 때문에 계산된 yaw각을 바로 비교할 수 없다. 따라서 제안된 Fuzzy-GFINS와 각 센서들로부터 계산된 yaw각을 비교하기 위하여 각 주행 방향에 대해 레이저 내비게이션과의 RMSE를 계산하였다. 그림 5는 시간에 따라 yaw각의 RMSE 변화를 나타낸 그래프이다.

그림 5와 같이 제안된 Fuzzy-GFINS가 직선과 측면의 경우 엔코더와 유사한 성능을 보이지만 대각의 경우 성능이 향상된 것을 확인할 수 있었다. 그림 5의 데이터를 이용하여 각 방향에 대한 계산된 RMSE의 평균과 최대, 최소는 표 3과 같다.

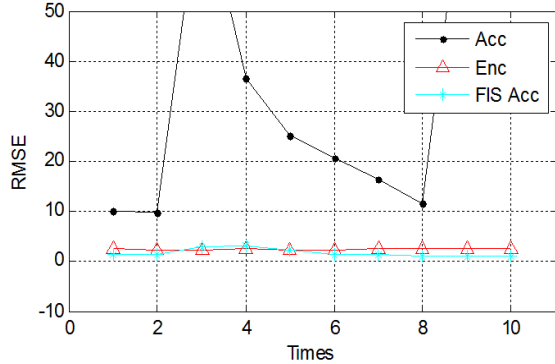
그림 5와 표 3에서 확인할 수 있듯이, 가속도계는 누적오차로 인하여 직선과 측면, 대각으로 주행할 때 시간이 지남에 따라 오차가 증가하였으며, 그로 인하여 매 실험마다 결과가 다르게 도출되는 문제가 있었다. 하지만 제안된 Fuzzy-GFINS는 가속도계의 누적오차를 보정하여 가속도계만을 사용한 GFINS에 비해 오차가 작은 것을 확인할 수 있었다. 그리고 제안된 Fuzzy-GFINS는 직선과 측면 주행 경우 엔코더와 유사한 결과가 나왔으며 대각 주행의 경우 엔코더보다 향상된 것을 확인할 수 있었다. 이것은 메카넘 휠의 특성 상 바퀴에 장착된 롤러의 미끄러짐이 직선과 측면 주행에 비하여 대각 주행일 때 더 많이 발생하기 때문에 계측오차가 커지기 때문이다.



(a) 직선 방향에 대한 RMSE



(b) 측면 방향에 대한 RMSE



(c) 대각 방향에 대한 RMSE

그림 5. yaw각의 RMSE 비교

Fig. 5. Comparison of RMSE on yaw

표 3. yaw각에 대한 RMSE의 평균과 최대, 최소

Table 3. Average, Max. and Min. of RMSE on yaw

	구분	직선	측면	대각
평균	가속도계	5.9525°	5.7445°	36.6534°
	엔코더	1.9939°	1.9106°	2.3480°
	Fuzzy-GFINS	2.8091°	3.7815°	1.6049°
최대	가속도계	16.6789°	10.5229°	84.2484°
	엔코더	2.2177°	2.1753°	2.5177°
	Fuzzy-GFINS	5.6420°	4.8645°	2.9387°
최소	가속도계	1.1465°	1.3473°	9.6444°
	엔코더	1.7761°	1.7531°	2.1065°
	Fuzzy-GFINS	1.0073°	2.3188°	0.9056°

4.2 선속도의 비교 실험

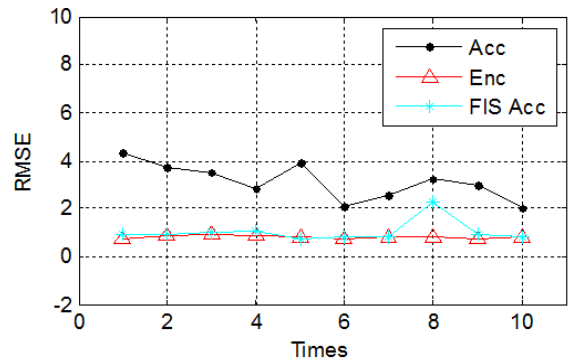
가속도계에서 측정된 데이터를 이용하여 선속도를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$V = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$$

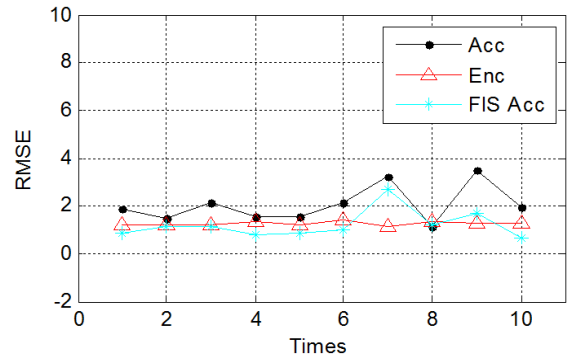
$$\Delta X = \iint_{t-1}^t acc_x dt$$

$$\Delta Y = \iint_{t-1}^t acc_y dt$$
(13)

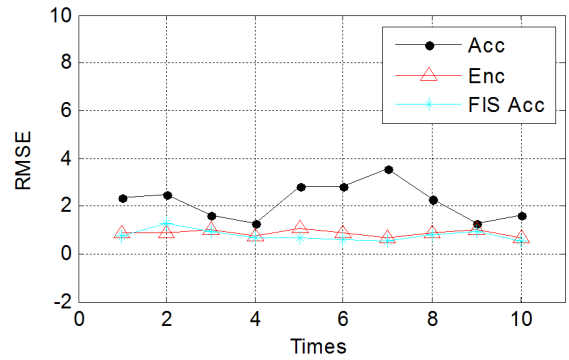
식 (13)에서 V 는 x, y축 위치 변화량으로 계산한 선속도이다. ΔX , ΔY 는 각각 x축과 y축의 위치 변화량이며, acc_x , acc_y 는 x, y축의 가속도이다. 각 센서들로부터 계산된 선속도를 비교하기 위하여 yaw각과 같이 레이저 내비게이션에 대한 RMSE를 계산하였다. 그림 6은 시간에 따르는 선속도의 RMSE의 변화를 나타낸 그래프이다.



(a) 직선 방향에 대한 RMSE



(b) 측면 방향에 대한 RMSE



(c) 대각 방향에 대한 RMSE

그림 6. 선속도의 RMSE 비교

Fig. 6. Comparison of RMSE on linear velocity

그림 6에서 볼 수 있듯이, 선속도의 경우에 yaw각과 유사하다. 제안된 Fuzzy-GFINS는 직선과 측면, 대각 주행 방향에 대하여 가속도계만을 사용한 GFINS에 비해 오차가 적은 것을 확인할 수 있다. 이는 가속도계만을 사용한 GFINS의 누적오차를 효과적으로 보정한 것을 의미한다. 그리고 직선과 측면 방향에 대하여 제안된 Fuzzy-GFINS와 엔코더의 RMSE는 유사하였으며, 대각으로는 제안된 Fuzzy-GFINS의 RMSE가 낮은 것을 확인할 수 있었다. 이는 메카닉 휠에 부착된 롤러의 미끄러짐을 엔코더가 인식할 수 없기 때문이다. 하지만 제안된 Fuzzy-GFINS는 미끄러짐에 상관없이 선속도를 측정하기 때문에 엔코더에 비하여 비교적 오차가 적었다. 표 4는 그림 6의 데이터로 표현한 각 방향에 대한 RMSE의 평균, 최대, 최소이다.

표 4. 선속도에 대한 RMSE의 평균과 최대, 최소
Table 4. Average, Max. and Min. of RMSE on velocity (unit: mm/s)

	구분	직선	측면	대각
평균	가속도계	3.1010	2.0595	2.2064
	엔코더	0.8050	1.2660	0.8613
	Fuzzy-GFINS	1.0203	1.2107	0.7656
최대	가속도계	4.2940	3.4745	3.5725
	엔코더	0.9455	1.4192	1.0733
	Fuzzy-GFINS	2.2543	2.7155	1.2601
최소	가속도계	2.0001	1.1438	1.2649
	엔코더	0.7081	1.1609	0.6353
	Fuzzy-GFINS	0.6996	0.6791	0.5062

실험 결과, yaw각과 유사하게 직선과 측면 방향에 대하여 제안된 Fuzzy-GFINS의 RMSE가 가속도계보다 낮으며 엔코더와는 유사하였다. 또한, 대각의 경우 엔코더보다 성능의 향상된 것을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 FIS와 엔코더의 데이터를 이용하여 GFINS의 가속도계 데이터를 보정하는 Fuzzy-GFINS를 제안하였다. 제안된 Fuzzy-GFINS는 메카닉 휠이 장착된 AGV에 적합하도록 연구되었다. 메카닉 휠은 바퀴에 45°로 기울어진 롤러가 장착된 형태로, 롤러의 미끄러짐이 발생하기 때문에 엔코더만으로는 지역 위치 측정의 신뢰도가 낮다. 따라서 메카닉 휠이 장착된 AGV에는 롤러의 미끄러짐과 관계없이 위치를 측정하기 위하여 INS가 사용된다. 하지만 일반적인 INS에 사용되는 자이로스코프로 인하여 저전력, 소형화 설계가 어렵다는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 자이로스코프를 사용하지 않는 INS인 GFINS에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 하지만 GFINS에서 위치를 측정하기 위하여 사용하는 가속도계는 시간이 지날수록 오차가 누적되는 문제가 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 제안된 Fuzzy-GFINS는 AGV와 가속도계의 선속도 비율과 엔코더와 가속도계의 선속도 비율을 입력으로 하는 FIS를 사용하여 가속도계의 데이터를 보정한다. 제안된 Fuzzy-GFINS의 성능을 평가하기 위하여 레이저 내비게이션을 기준으로 직선과 측면, 대각 방향에

대한 yaw각과 선속도의 평균 RMSE를 계산하였다. 제안된 Fuzzy-GFINS의 RMSE는 직선과 측면, 대각 순으로 yaw각은 각각 2.80°, 3.76°, 1.60°를 보였으며, 선속도는 각각 1.08 mm/s, 1.12 mm/s, 0.94 mm/s를 가짐을 확인할 수 있었다. 실험 결과, 본 논문에서 제안한 Fuzzy-GFINS가 가속도계를 효과적으로 보정하여 yaw각과 선속도를 엔코더나 가속도계보다 비교적 정확하게 출력되는 것을 확인할 수 있었다. 향후 연구 과제로는 일정한 방향과 속도를 가질 때에만 효과적으로 보정되는 제안된 Fuzzy-GFINS를 동적인 방향과 속도에 대해서도 적용 가능한 방법을 연구할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김정민, 김연태, 김성신, “확장 칼만 필터를 이용한 로봇의 실내위치추정,” *퍼지 및 지능 시스템학회 논문지*, 제18권, 5호, pp. 706-711, 2008.
- [2] S. Kim, J. Kim, S. Kim, “Simultaneous localization and mapping of a wheel-based autonomous vehicle with ultrasonic sensors,” *14th AROB*, vol. 14, no. 2, pp. 186-190, 2009.
- [3] J. Do, J. Kim, S. Kim, “Localization error correction for mobile robot using laser range finder,” *11th SCIS-ISIS*, pp. 904-907, 2010.
- [4] R. A. Brooks, “A robust layered control system for a mobile robot,” *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol. 2, no. 1, pp. 14-23, 1986.
- [5] M. Betke, L. Gurvits, “Mobile robot localization using landmarks,” *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 13, no. 2, pp. 251-263, 1997.
- [6] J. Kim, J. Park, S. Kim, “Inertial navigation system for omni directional AGV with mecanum wheel,” *MIME 2011*, pp. 270-273, 2011.
- [7] J. Farrell, “*The Global Positioning system & Inertial Navigation*,” McGraw-Hill, 1998.
- [8] 장욱, 강경호, 최은석, 방원철, Alexy Potanin, 김동윤, “저가격 관성 센서를 이용한 펜 형 입력 장치의 개발,” *퍼지 및 지능 시스템학회 논문지*, 제13권, 2호, pp. 247-258, 2003.
- [9] J. Yi, H. Wang, J. Zhang, D. Song, S. Jayasuriya, J. Liu, “Kinematic modeling and analysis of skid-steered mobile robots with applications to low-cost inertial measurement unit based motion estimation,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 25, no. 5, pp. 1087-1097, 2009.
- [10] F. Li, Z. Xin, “Design of inertial navigation system based on miromechanical gyroscope and accelerometer,” *Control and Decision conference*, pp. 1351-1354, 2009.
- [11] A. Li, F. Qin, J. Xu, S. Jiang, “Gyroscope Free Strapdown Inertial Navigation System using rotation modulation.” 2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, pp. 611-614, 2009.
- [12] Z. Shi, J. Yang, P. Yue, Z. Cheng, “A new calibration and compensation method for installation

errors of accelerometers in gyroscope free strap-down inertial navigation system," *IEEE Proceedings International conference on Information and Automation*, pp. 924-929, 2010.

[13] 김정민, 박정제, 전태룡, 김성신, "퍼지와 비례 제어를 이용한 지게차 AGV의 주행제어," *퍼지 및 지능 시스템학회 논문지*, 제19권, 5호, pp. 699-705, 2009.

[14] T. Kim, J. Do, E. Jung, G. Baek, S. Kim, "Adaptive tuning of a kalman filter using fuzzy logic for attitude reference system," *16th AROB*, pp. 310-313, 2011.

저 자 소 개



김재용(Jaeyong Kim)
2011년 : 신라대학교 컴퓨터정보공학부 (공학사)
2011년~현재: 부산대학교 전자전기공학과 석사과정

관심분야 : 지능제어, 지능 시스템, 지능형 로봇
E-mail : arioner@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



우승범(Seungbeom Woo)
2009년 : 신라대학교 컴퓨터정보공학부 (공학사)
2010년~현재: 부산대학교 로봇협동과정 석사과정

관심분야 : 지능 제어, 지능 로봇, 시스템 모니터링
E-mail : rhei@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