

엔코더를 이용한 Gyro-Free 관성 항법 장치의 가속도 센서 보정

김재용* · 김정민* · 우승범* · 김성신**

*부산대학교

Calibration of Accelerometer in Gyro-Free Inertial Navigation System using Encoders

Jaeyong Kim* · Jungmin Kim* · Seungbeom Woo* · Sungshin Kim**

*Pusan National University

E-mail : {arioner, kjm16, rhei, sskim*}@pusan.ac.kr

요 약

GFINS(gyro-free inertial navigation system)는 가속도 센서에서 계측된 데이터를 2차 적분하여 yaw를 계산한다. 하지만 가속도 센서는 외란과 적분 오차에 의한 누적오차가 지속적으로 커지는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 퍼지 추론 시스템(FIS: fuzzy inference system)을 이용해 가속도 센서의 데이터를 보정함으로써 누적오차를 줄이는 방법을 제안한다. 제안된 방법의 성능평가를 위해, 직접 설계한 전방향 AGV를 이용하여 직선과 측면, 대각에 대해 반복 실험하였다. 실험 결과, 제안된 방법이 가속도 센서의 데이터를 효과적으로 보정하는 것을 확인하였다.

키워드

Fuzzy, FIS, Gyro Free, Accelerometer

I. 서 론

기존의 바퀴에 롤러(roller)가 장착되어 전방향 주행이 가능한 AGV는 롤러의 잦은 미끄러짐으로 인하여 알 수 없는 오차가 크게 발생한다. 따라서 미끄러짐에 관계 없이 AGV의 이동거리와 방향을 측정할 수 있는 INS(inertial navigation system)를 필요로 한다. INS는 roll, pitch에 대한 관성을 측정하고, yaw에 대한 회전 관성을 측정하여 물체의 이동거리와 방향을 측정하는 장치이다. 일반적인 INS는 yaw를 측정하기 위해 자이로 센서를 함께 이용하는데, 이는 전력낭비, 가격 상승 문제와 더불어 INS의 응답속도를 느리게 한다[1-4]. 최근에는 자이로 센서를 사용하지 않는 INS인 GFINS에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

GFINS는 자이로 센서를 사용하지 않고 가속도 센서와 기울기 센서를 사용하여 yaw각을 측정할 수 있는 장치이다. GFINS는 주로 관성센서인 가속도 센서를 사용하며, 계측된 데이터를 2차 적분하여 yaw를 계산한다. 하지만 가속도 센서에서 발생하는 오차가 지속적으로 누적되는 문제가 있기 때문에 자이로 센서가 사용된 INS에 비하여 신뢰성이 떨어지는 단점이 있다[3].

따라서 본 논문에서는 FIS를 이용하여 가속도 센서의 데이터를 효과적으로 보정할 수 있는 방법을 제안한다.

II. 가속도 센서의 데이터 보정 방법

본 논문에서 사용되는 FIS는 2개의 입력을 가진다. 입력으로 사용되는 값은 AGV와 가속도 센서의 선속도 비율과 엔코더와 가속도 센서의 선속도 비율이다. FIS의 입력에 비율 값을 사용한 이유는 AGV의 평균 선속도를 이용하여 가속도 센서를 비율적으로 보정하고, 가속도 센서의 선속도를 엔코더의 선속도와 유사하도록 변경하기 위해서이다.

2.1 AGV의 선속도를 이용한 센서 보정

표 1은 AGV의 x, y축 선속도 평균과 최대, 최소이다. AGV의 선속도는 25 mm/마다 측정하는 가속도 센서와 같이 측정되지만 표 1에서는 알아보기 용이하도록 1초 단위로 변환하여 표시하였다.

표 1. AGV의 선속도 (unit: mm/s)

		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

표 1의 데이터를 이용하여 AGV와 가속도 센서의 선속도 비율을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} n_{i,X}(t+1) &= (a_{i,X}(t) - Ca_X) / Ca_X \\ n_{i,Y}(t+1) &= (a_{i,Y}(t) - Ca_Y) / Ca_Y \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 $a_{i,X}$, $a_{i,Y}$ 는 각각 x, y축 가속도 센서를 사용하여 계산한 선속도 값이며, Ca_X , Ca_Y 는 각각 AGV의 x, y축 선속도 평균값이다.

2.2 FIS를 이용한 가속도 센서 보정

엔코더는 바닥이나 바퀴의 상태로 인하여 바퀴에 장착된 롤러가 미끄러져 오차가 발생할 수 있으며, 가속도 센서는 외란으로 인한 오차가 시간이 지남에 따라 커지는 문제가 있다. 따라서 두 센서 중 하나의 센서만으로 정확하게 지역위치를 측정하는 것은 어렵다. 하지만 엔코더는 바퀴의 회전량을 정확하게 측정 가능하며, 가속도 센서는 AGV의 미끄러짐에 관계없이 AGV의 위치 변화량이 측정 가능하다. 이러한 특징을 가진 두 센서를 융합하기 위하여 식 (2)와 식 (3)을 이용한다.

$$\begin{aligned} R_{i,X}(t+1) &= (r_{i,X}(t) - e_{i,X}(t)) / \vee (R_{i,X}(t), e_{i,X}(t)) \\ R_{i,Y}(t+1) &= (r_{i,Y}(t) - e_{i,Y}(t)) / \vee (R_{i,Y}(t), e_{i,Y}(t)) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} r_{i,X} &= (a_{i,X} + a_{i,Y}) \cdot e_{i,X} / (e_{i,X} + e_{i,Y}) \\ r_{i,Y} &= (a_{i,X} + a_{i,Y}) \cdot e_{i,Y} / (e_{i,X} + e_{i,Y}) \end{aligned} \quad (3)$$

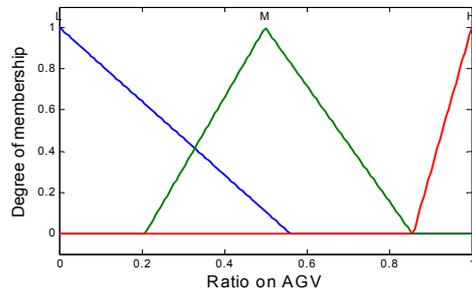
식 (2)에서 $R_{i,X}$, $R_{i,Y}$ 는 각각 x, y축에 대한 엔코더와 가속도 센서의 선속도 비율이다. 그리고 $r_{i,X}$, $r_{i,Y}$ 는 각각 x, y축으로 엔코더와 가속도 센서의 선속도 변화 비율이다, $e_{i,X}$, $e_{i,Y}$ 는 각각 엔코더의 x, y축 선속도이다. 식 (3)에서 $a_{i,X}$, $a_{i,Y}$ 는 각각 FIS를 사용하여 보정된 데이터와 가속도 센서 데이터 사이의 차이로 식 (4)를 이용하여 계산한다.

$$\begin{aligned} a_{i,X}(t) &= |Ar_{i,X}(t) \cdot (2-m) - Af_{i,X}(t-1) \cdot m| \\ a_{i,Y}(t) &= |Ar_{i,Y}(t) \cdot (2-m) - Af_{i,Y}(t-1) \cdot m| \end{aligned} \quad (4)$$

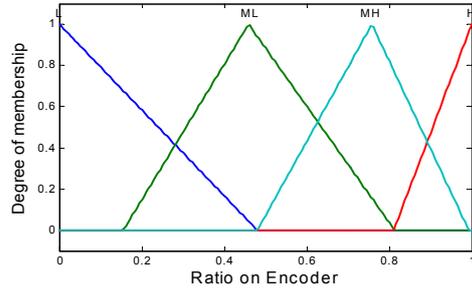
Ar 은 가속도 센서의 원 데이터로 계산한 선속도이며, Af 는 FIS를 사용하여 보정한 이전 시간의 선속도이다. 이 때, 이전 선속도는 현재 선속도에 일정하게 영향을 미치므로 실험을 통하여 모멘트 m 을 구할 수 있다. 본 논문에서 사용된 모멘트 m 은 AGV를 380 mm/s로 반복 주행하여 획득하였으며, 획득된 모멘트 m 은 1.657이었다.

2.3 가속도 센서의 보정을 위한 FIS

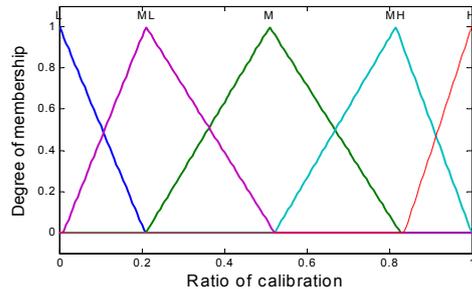
FIS의 입력은 2.1절과 2.2절에서 계산한 n 과 r 을 사용하며, 입력과 출력은 0~1사이의 실수이다. 제안된 방법의 FIS 멤버 함수는 그림 1과 같고, 추론 규칙은 표 2와 같다.



(a) AGV와 가속도 센서의 선속도 비율



(b) 엔코더와 가속도 센서의 선속도 비율



(c) 가속도 센서의 데이터 보정 비율
그림 1. FIS의 멤버쉽 함수

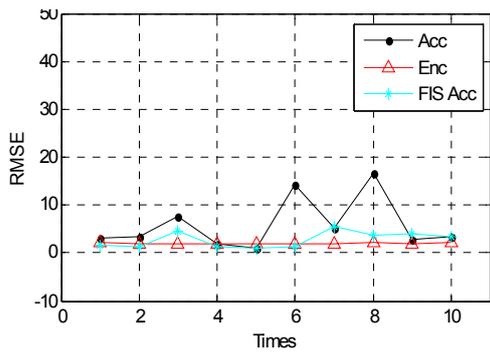
표 2. 퍼지 추론 규칙

	표 2. 퍼지 추론 규칙			
A \ B	Low	Middle Low	Middle High	High
Low	L	L	ML	M
Middle	L	ML	M	MH
High	L	ML	MH	H

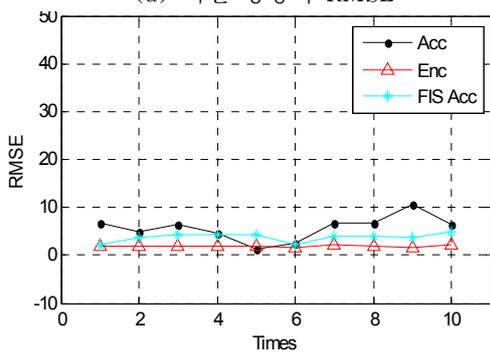
표 2에서 A는 AGV와 가속도 센서의 선속도 비율이며, B는 엔코더와 가속도 센서의 선속도 비율이다.

III. 실험 및 결과

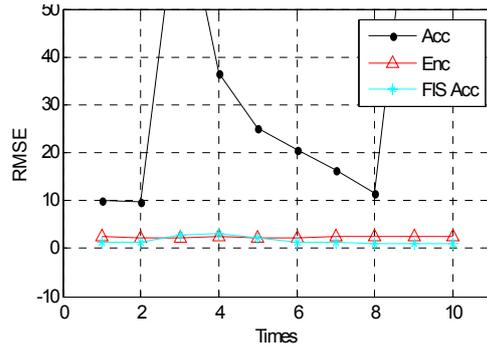
제안된 가속도 센서 데이터 보정 방법의 성능을 평가하기 위하여, 전방향 AGV에 제안한 방법을 적용하였다. 제안된 방법이 적용된 전방향 AGV를 직선과 측면, 대각으로 10회 반복 실험하였다. 측정 결과를 비교하기 위하여 제안된 방법과 엔코더, 가속도 센서로 yaw를 측정하고, 엔코더나 가속도 센서에 비하여 오차 범위가 작은 레이저 내비게이션(NAV200, SICK inc.)을 기준으로 RMSE(root mean square error)를 계산하였다.



(a) 직선 방향의 RMSE



(b) 측면 방향의 RMSE



(c) 대각 방향의 RMSE

그림 2. yaw각의 RMSE 비교 결과

그림 2는 제안된 방법을 이용하여 계산한 yaw와 다른 센서들로부터 계산된 yaw를 비교한 것으로, yaw는 식 (4)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$\theta = \text{atan}\left(\frac{X(t) - X(t-1)}{Y(t) - Y(t-1)}\right) \quad (4)$$

식 (4)에서 θ 는 yaw이며, X 와 Y 는 각각 x, y축의 위치이며, t 는 시간이다. 하지만 주행 방향에 따르는 각 바퀴의 회전 속도와 방향이 다르기 때문에 각 주행 방향에 대하여 RMSE의 평균, 최대, 최소를 계산하였다. 표 3은 각 주행 방향에 따른 RMSE의 평균과 최대, 최소이다.

표 3. 각 주행 방향의 yaw각에 대한 RMSE

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

표 1에서 직선과 측면 주행의 경우 제안된 방법을 적용하여 계산된 yaw는 엔코더로 계산된 yaw의 RMSE와 비슷하거나 조금 높다. 그리고 대각 주행의 경우에는 엔코더보다 낮은 것을 확인할 수 있다. 이는 직선과 측면 주행의 경우 바퀴에 장착된 롤러의 미끄러짐이 적어 엔코더의 계측 오차가 적지만, 대각 주행의 경우 바퀴에 장착된 롤러의 미끄러짐이 직선 주행보다 많기 때문에 계측 오차가 크므로 제안된 방법의 결과가 낮은 것을 확인할 수 있다. 따라서 제안된 방법이 가속도 센서의 데이터를 효과적으로 보정하였음

을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 FIS를 이용하여 가속도 센서의 계측 데이터를 보정하는 방법을 제안하였다. 제안된 FIS를 이용한 가속도 센서 보정 방법은 AGV와 가속도 센서의 선속도 비율과 엔코더와 가속도 센서의 선속도 비율을 FIS의 입력으로 하여 0~1사이의 가속도 센서 보정 비율을 구하는 방법이다. 제안된 방법의 성능을 평가하기 위하여 전방향 AGV를 직선과 측면, 대각 방향으로 380 mm/s의 속도로 10회 반복 주행한 결과, 레이저 내비게이션을 기준으로 직선과 측면, 대각의 yaw에 대한 RMSE의 평균은 각각 2.80도와 3.76도, 1.60도로 계산되었다. 실험 결과, 본 논문에서 제안한 가속도 센서의 보정 방법이 효과적으로 가속도 센서를 보정하는 것을 확인할 수 있었다. 향후 연구과제로는, 제안된 방법이 일정한 방향과 속도를 가질 때만 효과적으로 보정되는 문제를 해결하기 위하여 속도와 방향에 관계없이 적용 가능한 방법을 연구할 것이다.

감사의 글

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

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

“이 논문 또는 저서는 2011년 교육과학기술부로 부터 지원받아 수행된 연구임”
(지역접연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

참고문헌

- [1] F. Li, Z. Xin, “Design of inertial navigation system based on micromechanical gyroscope and accelerometer,” Control and Decision conference, pp. 1351-1354, 2009.
- [2] J. Kim, J. Park, S. Kim, “Inertial navigation system for omni-directional AGV with mecanum wheel,” MIME 2011, pp. 270-273, 2011.
- [3] N. Park, J. Kim, W. Kim, “A study on s-INS for small and medium-sized ships,” International Journal of Maritime Information and Communication Sciences, Vol. 5, No. 3, pp. 289-294, 2007.
- [4] 장재동, “GPS/INS와 LIDAR자료를 이용한 자동 항공영상 정사보정 개발,” 한국해양정보통신 학회논문지, Vol. 10, No. 4, pp. 693-699, 2006.
- [5] 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,” Proc. IEEE Int. Conf. Information and Automation, pp. 924-929, 2010.