

엔코더와 자이로를 이용한 각속도 오차 최소화

Error Minimization of Angular Velocity using Encoders and Gyro

김정민 · 도주철 · 김성신*

Jungmin Kim, Joocheol Do and Sungshin Kim[†]

부산대학교 전자전기공학과

E-mail : {kjm16, colorhorse, sskim}@pusan.ac.kr

요 약

본 논문은 자율주행 장치(autonomous ground vehicle)를 위한 각속도의 오차 최소화에 관한 연구이다. 각속도의 오차 최소화는 자율주행 장치의 이동 거리를 측정하는 엔코더(encoder)와 관련하여 자율주행 장치의 가장 중요한 기반 기술인 위치 측정(localization)과 밀접한 관련이 있다. 기존에 각속도의 오차 최소화 방법들에는 이동관성을 측정할 수 있는 가속계(accelerometer)와 회전관성을 측정할 수 있는 자이로(yaw gyro), 방위각을 측정할 수 있는 자계 센서인 전자나침반(electronic compass) 센서들을 확률을 통해 상호 보완하는 형태로 활발한 연구가 이루어지고 있다. 하지만 각속도 측정을 위해 사용되는 센서들은 수학적 오차와 센서들의 자체 특성에 의해 누적 오차가 발생하게 되며, 여러 센서들을 이용하여 확률적인 오차 보정을 수행하여도 연산량과 비용이 증가되는 문제점을 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 자율주행 장치의 시스템 특성을 고려하여 엔코더와 자이로만을 이용한 각속도의 오차 최소화에 대한 연구를 수행하였다. 실험은 직접 설계·제작한 자율주행 장치를 이용하였으며, 자율주행 장치가 제어를 통해 주행하는 동안에 엔코더, 자이로를 통해 계산된 각각의 각속도 결과들과 엔코더와 자이로만을 이용한 제안된 각속도 측정 방법의 결과를 비교하였다. 실험 결과, 엔코더 혹은 자이로만을 이용한 각속도 측정 방법들에 비해 제안한 각속도 측정 방법의 누적 오차가 크게 줄었음을 확인하였다.

키워드 : 자율주행, 위치측정, 각속도, 엔코더, 자이로

Abstract

This paper is presented to study the error minimization of angular velocity for AGV(autonomous ground vehicle). The error minimization of angular velocity is related to localization technique which is the most important technique for autonomous vehicle. Accelerometer, yaw gyro and electronic compass have been used to measure angular velocity. And methods for error minimization of angular velocity have been actively studied through probabilistic methods and sensor fusion for AGVs. However, those sensors still occur accumulated error by mathematical error, system characters of each sensor, and computational cost are increased greatly when several sensors are used to correct accumulated error. Therefore, this paper studies about error minimization of angular velocity that just uses encoder and gyro. To experiment, we use autonomous vehicle which is made by ourselves. In experimental result, we verified that the localization error of proposed method has even less than the localization errors which we just used encoder and gyro respectively.

Key Words : autonomous, localization, angular velocity, encoder, gyro

1. 서 론

최근, 세계적으로 크게 성장하고 있는 로봇 시장은 본격적인 기술 경쟁이 시작되었으며, 로봇의 기반 기술인 자율주행 기술의 선점은 경제적/산업적 측면에서 매우 중요한 의미를 가진다. 자율주행 장치는 로봇의 한 종류로 상황을 인지하고, 상황에 따라 자율적으로 주행하는 장치를 말한다.

자율주행 기술들은 자율주행 장치의 현재 위치를 추정하는 위치측정(localization)과 주위 환경을 인지하는 지도생성(map-building), 효율적인 이동을 위한 경로계획(path-planning) 기술로 분류된다[1]. 그 중에서도 위치측정 기술은 지능형 로봇의 가장 기반이 되는 기술로 가장 활발히 연구되고 있는 분야이다.

위치측정 기술은 주로 전역위치측정 센서와 지역위치측정 센서의 융합을 통해 연구가 수행 되었으며, 최근에는 위치측정과 지도생성 기술을 함께 수행하는 SLAM(simultaneous localization and mapping)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2]. SLAM 기술에 사용되는 특징 추출 센서는 크게 비전 센서와 거리 측정 센서로 분류되고, 특징 추출 방식에 따라 SLAM의 방식이 달라진다. 비전 센서는 일반적으로 단일 카메라(monocular camera), 스테레오 카메라(stereo camera), 적외선 카메라(infrared cam-

접수일자 : 2010년 7월 8일

완료일자 : 2010년 11월 20일

[†]Corresponding Author : sskim@pusan.ac.kr

이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)로부터 지원받아 수행된 연구임

(지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

era)들이 사용되며, 거리 측정 센서로는 일반적으로 LRF(laser range finder), 초음파, 적외선 센서들이 사용된다. SLAM의 일반적인 정의는 자율주행 장치가 작업하는 공간에서 특징들의 모양과 위치를 알고 있을 때, 지역위치 측정 센서를 통해 자율주행 장치의 위치를 추정하고 주행하는 동안에 계속된 특징들의 위치를 이용하여 확률적으로 자율주행 장치의 위치를 추정하면서 특징들의 상관관계를 통해 지도를 생성하는 기술을 말한다[4]. 하지만 거리 측정 센서를 이용한 SLAM은 특징들의 모양과 위치를 자율주행 장치가 주행 중에 계속할 수 있기 때문에 특징들의 모양과 위치를 알고 있지 않아도 SLAM이 가능하고, 위치추정 성능에 의해 특징의 모양과 위치가 결정되기 때문에 정밀한 위치추정 기술이 필요하다[4-5].

지역위치추정 센서는 일반적으로 로봇의 이동 거리 측정을 위한 엔코더(encoder)와 이동관성을 측정할 수 있는 가속계(accelerometer), 회전관성을 측정할 수 있는 자이로(yaw gyro), 방위각을 측정할 수 있는 자계 센서인 전자나침반(electronic compass)이 이용되고 계측 방식에 따라 장·단점을 가지게 된다. 엔코더는 정밀한 계측이 가능하지만 바닥과 자율주행 장치의 바퀴, 구동부 특성 등에 따라 슬립(slip)에 의한 오차가 발생되고, 가속계 센서는 중력에 의한 가속도를 측정하므로 이동 중에는 계측이 불가능하다. 또한 자이로는 시스템 온도와 수학적 예러에 의해 드리프트(drift) 현상이 일어나 바이어스(bias)와 비정렬 오차(misalignment error)를 가지게 되고, 자기 센서인 전자나침반은 자율주행 장치의 구동부에 의한 자기장에 의해 오차가 발생하게 된다.

누적 오차를 지닌 지역위치추정 센서들의 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 이루어졌고, 가장 보편적인 방법으로는 가속계와 자이로, 전자나침반 센서들을 확률적으로 상호 보완하는 관성측정장치(inertial measurement unit: IMU)가 있다[6-7]. 또한 자이로 센서와 가속계 센서만을 융합하여 자세를 보정하는 ARS(attitude reference system)와 ARS에 전자나침반을 추가한 AHRS(attitude and heading reference system)에 대한 연구가 있다[8]. 하지만 여러 센서들을 이용하여 확률적인 오차 보정을 수행하므로 연산량과 비용이 증가되는 문제를 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 연산량과 비용을 줄이면서 오차 누적을 해결하기 위하여 자율주행 장치의 시스템 특성을 고려하여 엔코더와 자이로만을 이용한 오차 최소화에 대한 연구를 기술하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 오차 최소화 실험을 위해 사용된 시스템을 소개하고, 3장에서는 각속도의 오차 최소화 방법에 대해 제안한다. 4장에서는 엔코더, 자이로를 통해 각각 계산된 각속도와 제안된 각속도 측정 방법의 성능 비교 실험 및 결과에 대해 다루고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대하여 기술한다.

2. 측정 시스템

2.1 기구부

실험에 사용된 자율주행 장치는 주행제어를 용이하게 하기 위해 두 개의 바퀴가 독립적으로 구동되는 양바퀴 구동 방식으로 제작하였다. 이러한 기구부는 순간 회전 중심(instantaneous center of rotation: ICR)이 양바퀴 축에 위치한 직선 위에서 이동하고, 그 위치는 양 바퀴의 회전 속도비에 의해 결정된다. 그림 1은 자율주행 장치의 기구부를 보여준다.

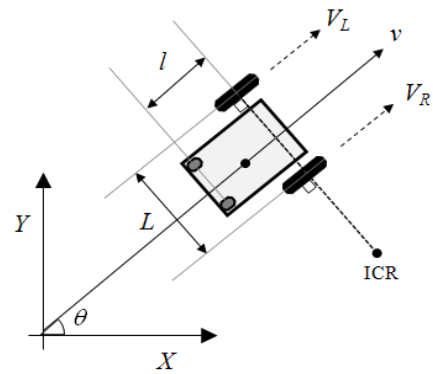


그림 1. 자율주행 장치의 기구학
Fig. 1. Kinematics of autonomous vehicle

자율주행 장치의 오른쪽과 왼쪽 바퀴의 선속도 v_R 와 v_L 은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_R = r w_R, v_L = r w_L \quad (1)$$

단, r 은 바퀴의 반지름

위 식에서 w_R, w_L 은 양 바퀴의 각속도를 나타낸다. 식 (1)을 이용하여 자율주행 장치의 중심 선속도 v 와 각속도 w 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$w = \tan^{-1}\left(\frac{v_R - v_L}{2L}\right)$$

$$v = \frac{v_R + v_L}{2} \quad (2)$$

단, L 은 양 바퀴 사이의 거리

2.2 사용된 센서

본 논문에서는 엔코더, 자이로를 이용하여 오차 최소화 연구를 수행한다. LRF를 사용하는 이유는 자율주행 장치를 이용한 실험 시에 발생할 수 있는 사고를 방지하기 위해 사용하였다. 사용된 센서들의 모델명은 각각 LIB-49B, myGyro300과 LMS200이고, 그림 2는 실험에 사용된 자율주행 장치와 센서들을 보여준다.

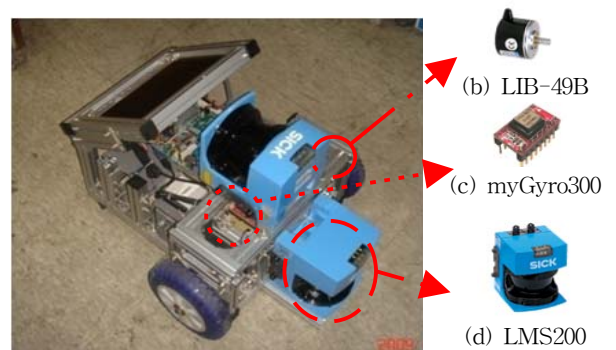


그림 2. 구현된 시스템
Fig. 2. Implemented system

표 1은 사용된 센서들의 주요사양을 보여준다.

표 1. 주요 사양

Table 1. Major specification

Item (model)	Specification
Encoder (LIB-49B)	Voltage : 5
	Resolution : 480 pulse
Gyro (myGyro300)	Voltage : 5
	Dynamic range : 300°/s
	Filter bandwidth : 0.87Hz
Laser range finder (LMS200)	Voltage : 24
	Resolution : 10mm/±15mm
	Scanning angle : 180°

센서를 계측하기 위해 ATmega128을 이용하였고, LRF는 RS-232 통신을 통해 산업용 PC로 계측하였다. 엔코더는 ATmega128의 내부 인터럽트를 이용해 펄스를 계측하였고, 자이로는 자체 내장된 12bit ADC (analog to digital converter)를 이용하여 디지털 출력과 온도 값을 SPI(serial peripheral interface) 통신을 통해 계측 받았다. 그림 3은 센서들의 계측과 자이로 중심값을 계산 알고리즘을 보여준다.

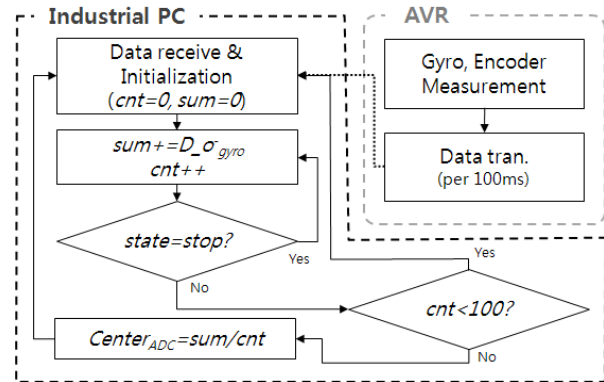


그림 3. ADC의 중심값 계산 알고리즘
Fig. 3. Algorithm to calculate center of ADC

계측 알고리즘에서 ADC의 중심값 $Center_{ADC}$ 을 계산하는 이유는 자이로의 드리프트 현상으로 인한 자이로의 오차를 해결하기 위해서이다. 알고리즘의 순서는 시스템이 시작하게 되면, 자이로와 엔코더를 계측하고 100ms 주기로 RS-232 통신을 통해 산업용 PC에 전송한다. 이 때, 자이로는 출력과 온도를 디지털 값으로 받게 되고 디지털 출력값이 100번 이상 누적되면 그 평균값을 ADC의 중심값으로 이용한다. 자이로의 온도값은 ADC의 온도에 따른 자이로의 디지털 출력값을 보정하기 위한 것이고, 이는 식 (3)과 같다.

$$D_{o_{gyro}^+} = D_{o_{gyro}^-} - ((2^{12}/2) - D_{t_{gyro}}) \times 0.08 \quad (3)$$

위 식에서 $D_{o_{gyro}^-}$ 와 $D_{t_{gyro}}$ 는 각각 자이로의 디지털 출력과 온도 값을 의미하고, 0.08은 온도 보상 이득으로 상수이다. 보상된 자이로의 디지털 출력과 중심값이 계산되면, 각속도는 다음 식을 통해 계산된다.

$$Res_{gyro} = \pm 300^\circ / s / 5V = \pm \frac{30^\circ}{100ms \times 5000mV}$$

$$Res_{ADC} = \frac{5000mV}{2^{12}bit}$$

$$Sensitivity = Res_{gyro} \times Res_{ADC}$$

$$= \frac{60deg}{100ms \times 5000mV} \times \frac{5000mV}{4096bit} = \frac{60}{4096} \left[\frac{deg}{100ms \times bit} \right]$$

$$\Delta\theta = (ADC_{center} - D_{o_{gyro}^+}) \times Sensitivity \quad (4)$$

Res_{gyro} 와 Res_{ADC} 는 각각 자이로와 ADC의 분해능을 의미하고, $Sensitivity$ 는 자이로의 민감도를 의미한다. ADC의 온도에 따라 보정된 자이로 값과 보정되지 않은 자이로 값의 오차를 분석해 보았다. 표 2는 자율주행 장치의 오른쪽과 왼쪽의 속도 값에 따라 4번의 원운동을 하는 동안의 각속도 오차를 보여준다.

표 2. 자이로 계측 방법에 따른 오차 분석

Table 2. Error analysis according to gyro measurement

Velocity [mm/s]		Error [deg]		Velocity [mm/s]		Error [deg]	
left	right	gyro ⁻	gyro ⁺	left	right	gyro ⁻	gyro ⁺
250	150	-31.10	12.40	150	250	34.53	-17.88
300		-31.60	11.45	300		25.50	-22.59
350		-19.17	9.37	350		23.39	-8.49
400		-10.88	3.89	400		16.18	-10.91
350	210	-20.29	23.20	210	350	22.95	-5.22
400		-6.25	4.64	400		11.56	-0.17
450		11.32	8.14	450		-11.63	-16.19
500		2.04	-5.72	500		-16.04	-11.78

$gyro^-$ 와 $gyro^+$ 는 각각 보정되지 않은 자이로의 누적 오차와 보정된 자이로의 누적 오차를 의미하며, 굵은 글자는 오차가 더 적은 결과를 보여준다. 실험 결과, ADC 온도에 따라 보정된 자이로가 좋은 성능을 보였다.

3. 센서 특성 분석

3.1 자이로 특성 분석

자이로는 센서의 자체 오차와 계측 시스템 오차에 의한 누적 오차가 발생되고, 각속도의 오차를 최소화하기 위해서는 자이로의 오차분석이 필요하다. 그림 4는 자이로를 3시간 동안 정지시켜두고 계측 받은 결과를 보여준다.

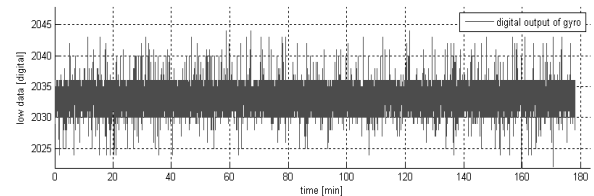


그림 4. 자이로 계측 결과
Fig. 4. Result of measured gyro

정지 상태의 12bit ADC 자이로는 그 중심인 2048을 값을 보내야한다. 하지만 실험 결과, ADC의 온도영향에 따라 2030~2035의 중심 값을 가졌고 자이로 자체 오차에 의해 2020~2045 사이의 값이 계측되었다. 그림 5(a)는 그림 4의 결과의 분포를 보여주고, 그림 5(b)는 식 (4)를 통해 계산된 각속도의 시간에 따른 누적 각도의 변화를 보여준다.

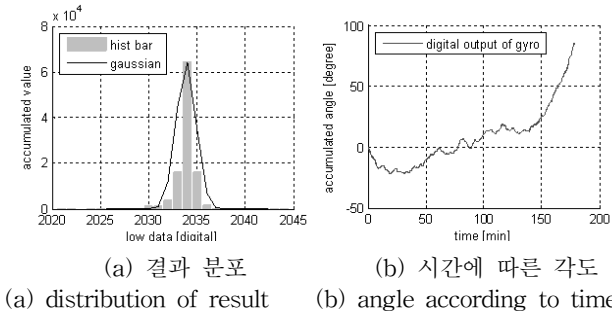


그림 5. 자이로 분석 결과
Fig. 5. Analysis result of gyro

그림 5(a)에서 자이로 계측 결과는 평균과 표준편차가 각각 2033.9, 1.0189을 가짐을 확인하였으며, 평균값인 2033.9를 자이로 중심값으로 하여 계산한 누적 각도 오차는 85.3170°가 발생함을 확인하였다.

3.2 자이로와 엔코더의 각속도 실험

자이로와 엔코더만을 이용한 각속도의 오차를 최소화하기 위해서 자이로와 엔코더의 정밀도를 비교하였다. 실험 방법은 자율주행 장치를 (0m, 0m) 위치에 0°로 두고, (9m, 0m) 위치에 0°로 자율적으로 주행을 하는 동안 엔코더를 통한 각속도 w (식 (2))와 자이로를 통한 각속도 $\Delta\theta$ (식 (4))의 누적 각도 오차를 비교 분석하였다. 그림 6은 대표적인 실험 결과를 보여준다.

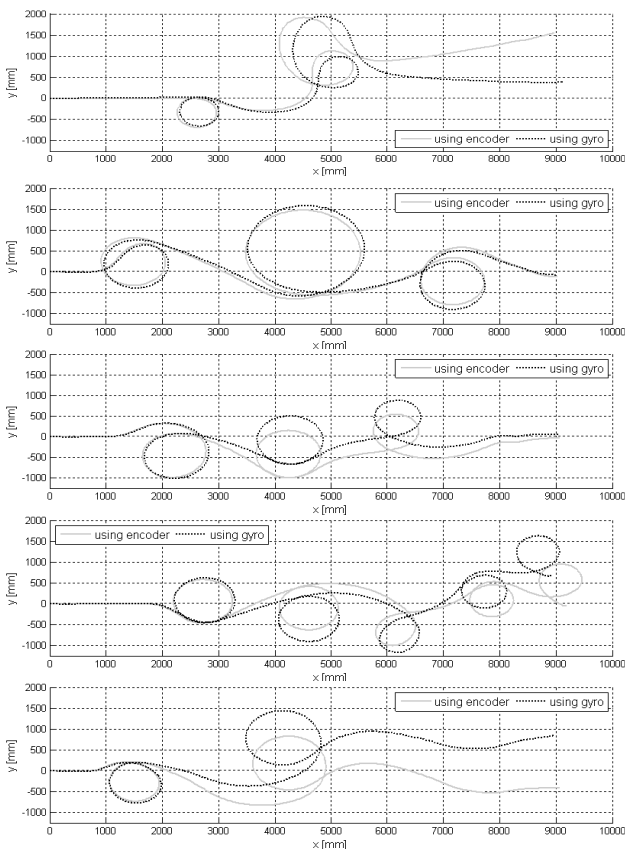


그림 6. 주행한 궤적들
Fig. 6. Driving trajectories

표 3은 그림 6과 같이 주행한 후, 자율주행 장치의 누적 각도 오차와 거리 오차를 보여준다.

표 3. 각도와 거리 오차 분석
Table 3. Error analysis of angle and dist.

No.	angle Error [deg]		Dist. Error [mm]	
	w	$\Delta\theta$	w	$\Delta\theta$
1	-19.85	-2.31	1542.6	403.9
2	-3.32	-1.421	122.2	70.6
3	2.67	-0.29	68.9	72.6
4	-3.89	7.77	184.4	676.8
5	4.01	8.19	508.2	839.9

그림 6과 같이 실험을 하였을 때, 바퀴의 미끄러짐에 의해 엔코더보다 자이로가 효과적인 것이라고 예상하였지만, 실제 실험에서는 엔코더와 자이로를 이용한 각속도의 성능 비교가 어려웠다. 그러나 표 3에서와 같이, 자이로의 각속도 오차는 일정한 범위에서 발생되었지만, 엔코더의 각속도 오차는 자이로에 비해 더욱 크게 발생하는 경우가 있었다. 이러한 현상을 분석하기 위해 자이로에 비해 엔코더를 이용한 각속도 오차가 더욱 크게 발생될 때의 엔코더의 시간에 따른 변화량을 비교하였다. 그림 7은 그림 6의 1번과 5번 실험의 오른쪽과 왼쪽 바퀴의 엔코더 변화량을 보여준다.

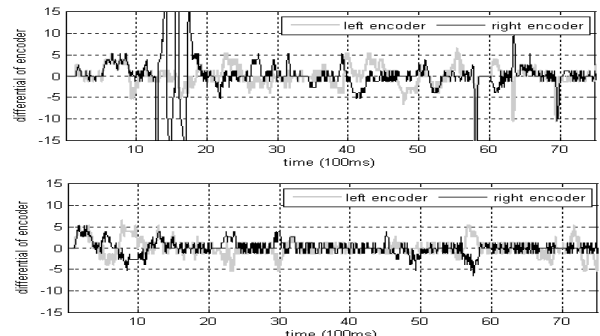


그림 7. 첫 번째와 다섯 번째 실험의 엔코더 변화량
Fig. 7. Encoder variations of 1st and 5th experiment

1번째 실험에서는 엔코더의 변화가 크게 일어나는 구간을 확인할 수 있었다. 하지만 엔코더의 변화가 크게 일어나는 구간이 없는 5번째 실험에서는 자이로보다 엔코더를 이용한 각속도가 더욱 좋은 성능을 가짐을 확인할 수 있었다.

3.3 엔코더의 변화량에 따른 각속도 오차 보정

자이로를 통한 각속도 오차의 누적 문제와 엔코더의 계측 오차를 최소화하기 위해, 본 연구에서는 양 바퀴의 회전 변화량에 의해 엔코더의 각속도 오차가 크게 발생하는 구간을 실험을 통해 찾고, 그 구간에서만 자이로의 각속도를 이용하여 각속도 오차를 최소화하였다.

양 바퀴의 회전 변화량은 다음 식과 같이 이용된다.

$$\Delta v_{enc_left} = \max(enc_left_{t+1} - enc_left_{t-i})^2_{i=1 \text{ to } 5}$$

$$\Delta v_{enc_right} = \max(enc_right_{t+1} - enc_right_{t-i})^2_{i=1 \text{ to } 5}$$

$$\Delta v_{enc} = \sqrt{\max(\Delta v_{enc_left}, \Delta v_{enc_right})} \quad (5)$$

시간 $t=1$ 부터 5에 계측된 왼쪽과 오른쪽의 엔코더 펄스 변화량인 Δv_{enc_left} , Δv_{enc_right} 중 가장 큰 값 변화량인 Δv_{enc} 을 찾고, 다음 알고리즘을 통해 보정한다.

```

if  $\Delta v_{enc} \leq T_{min}$ 
    Rate=0;
else if  $T_{min} < \Delta v_{enc} < T_{max}$ 
    Rate= $\Delta v_{enc} / (T_{max} - T_{min})$ 
else
    Rate = 1;
 $\Delta \theta_t = (1 - Rate) \times w + Rate \times \Delta \theta_t - 1$ 
    
```

그림 8. 각속도의 오차 보정을 위한 알고리즘
Fig. 8. Proposed algorithm to minimize error

T_{min} , T_{max} 는 각각 최소 문턱치와 최대 문턱치를 나타내고, 실험을 통해 최소 3와 최대 10 펄스로 사용하였다. Rate는 문턱치에 따른 엔코더의 각속도 w 와 자이로의 각속도 $\Delta \theta_t - 1$ 의 가중치 비율을 나타낸다.

4. 실험 결과

제안한 각속도 오차 최소화 방법의 성능 분석을 위해서 그림 9와 같은 공간에서 실험을 수행하였으며, 사용된 공간은 ①~④ 구간으로 총 주행 길이는 약 50m이다.

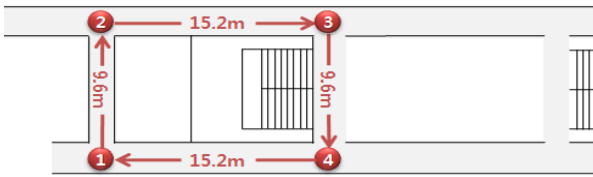


그림 9. 실험 환경
Fig. 9. Experimental environment

실험 방법은 주행 평균속도 별로 ①~④ 구간을 5회씩 반복 주행 후에 위치측정 정밀도를 분석하였다. 또한, 각속도 오차의 누적 실험을 명확히 하기 위해서 주행 시작 위치인 ①에서 360° 회전 후에 주행하였다. 이는 자이로는 바이어스 오차를 가졌기 때문에 디지털 출력 값의 중심에 의한 드리프트 오차를 확인하기 위해서이다. 실험에 사용한 주행 평균 속도는 약 10, 20, 30cm/s 이며, 주행 중에 만나는 코너에서는 급정지 후에 제자리 회전을 수행하여 엔코더의 변화량을 크게 하였다. 그림 10은 20cm/s의 평균속도로 주행할 때에 ①~④ 구간을 처음 1회 주행하는 동안의 엔코더의 변화량을 보여주며, 그림 11과 12는 주행 결과를 보여준다.

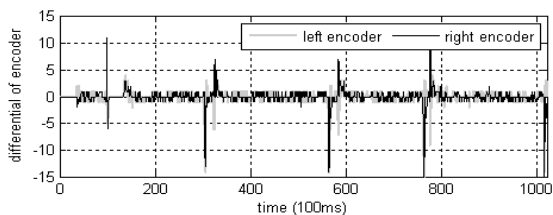
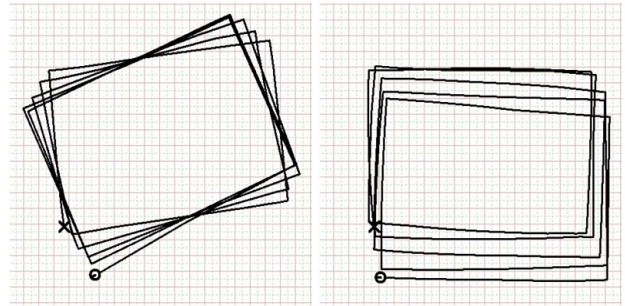


그림 10. 주행 중 엔코더들의 변화량
Fig. 10. Variance of encoders during driving



(a) 엔코더만 사용 (a) using encoder
(b) 자이로만 사용 (b) using gyro

그림 11. 실험 결과
Fig. 11. Experimental results

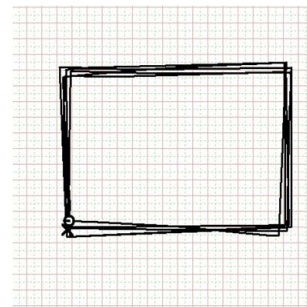


그림 12. 제안된 방법의 실험 결과
Fig. 12. Experimental result of proposed method

그림 11과 12는 실제 자율주행 장치의 제어 프로그램의 화면이며, 그림의 x와 o는 각각 주행 시작 위치와 로봇의 위치를 나타낸다. 엔코더만 사용한 실험(그림 11(a))은 엔코더의 변화량이 큰 코너 부분에서 오차가 크게 누적되었으며, 자이로만 사용한 실험(그림 11(b))은 드리프트 현상인 오차가 누적 되었다. 하지만 제안된 방법을 사용한 그림 12는 ①~④ 구간(약 50m)으로 5회 반복(약 250m) 주행하는 동안에도 자이로나 엔코더만을 이용한 실험에 비해 오차가 크게 줄었음을 확인할 수 있다. 표 4는 각 평균속도 별 최종 각도와 거리 오차의 결과들을 보여준다.

표 4. 각도와 거리 오차 분석
Table 4. Error analysis of angle and distance

Avg. speed	Error unit	Encoder	Gyro	Proposed method
10cm/s	angle [deg]	37.77	-28.54	-6.35
	distance. [m]	2.80	7.68	1.52
20cm/s	angle [deg]	45.58	-8.54	-9.61
	distance. [m]	3.59	3.14	1.23
30cm/s	angle [deg]	85.87	-12.42	-17.14
	distance. [m]	6.12	2.52	1.40

실험 결과, 표 4만을 보았을 때에는 제안된 방법이 다른 두 방법들에 비해 거리 오차가 적지만, 자이로만을 이용한 방법에 비해서 각도 오차가 큰 것을 확인할 수 있다. 하지만 그림 11과 12에서와 같이, 제안된 방법이 전체적인 각속도 오차가 적기 때문에 다른 두 방법에 비해 거리 오차가 더 적다는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 연산량과 비용을 줄이면서 오차 누적을 해결하기 위하여 자율주행 장치의 시스템 특성을 고려하여 엔코더와 자이로만을 이용한 오차 최소화에 대한 연구를 이야기하였다. 각속도 오차를 최소화 연구를 수행하기 위해서 여러 실험 방법을 통해 자이로와 엔코더의 각속도 분석 실험을 수행하였지만 정확한 성능을 분석이 어려웠다. 하지만 엔코더의 변화에 따라 크게 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있었고, 이를 토대로 엔코더의 변화에 따른 엔코더의 각속도 오차를 분석하고 자이로와의 융합을 통해 각속도 오차 보정 알고리즘을 제안하였다. 제안된 각속도 오차 보정 알고리즘의 실험을 위해 직접 설계·제작한 자율주행 장치를 이용하였으며, 자율주행 장치가 제어를 통해 주행하는 동안에 엔코더, 자이로를 통해 계산된 각각의 각속도 결과들과 엔코더와 자이로만을 이용한 제안된 각속도 측정 방법의 결과를 비교하였다. 실험 결과, 간단한 방법이지만 각속도 오차를 크게 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 김정민, 김연태, 김성신, “확장 칼만 필터를 이용한 로봇의 실내위치측정,” *한국지능시스템학회*, vol. 18, no. 5, pp. 706-7011, 2008.
- [2] 김정민, 정승영, 전태룡, 김성신, “자율주행 장치를 위한 특징 맵 기반 SLAM,” *한국해양정보통신학회*, vol. 13, no. 7, 2009.
- [3] 김정민, 허정민, 정승영, 김성신, “자율주행 장치를 위한 수정된 유전자 알고리즘을 이용한 경로계획과 특징 맵 기반 SLAM,” *한국지능시스템학회*, vol. 19, no. 3, pp. 381-387, 2009.
- [4] Bailey, T., Durrant-Whyte, H. , “Simultaneous localization and mapping (SLAM): part I,” *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 13, pp. 99-110, 2006.
- [5] Bailey, T., Durrant-Whyte, H. , “Simultaneous localization and mapping (SLAM): part II,” *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 13, pp. 108-117, 2006.
- [6] Cardarelli, D., “An Integrated MEMS Inertial Measurement Unit,” *IEEE Position Location and Navigation Symposium*, pp. 314-319, 2002.
- [7] Gebre-Egziabher, D., Hayward, R.C., Powell, J.D., “A Low-Cost GPS/Inertial Attitude Heading Reference System (AHRS) for General Aviation Applications,” *IEEE Position Location and Navigation Symposium*, pp. 518-525, 1998.
- [8] Hasegawa, R., “A Study on Rotation and Its Application for Attitude Reference System,” *Trans. Japan Soc. Aero. Space*, vol. 44, no. 144, pp. 111-118, 2001

저 자 소 개



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 : 지능형 로봇, 지능 시스템
 E-mail : colorhorse@pusan.ac.kr



김성신(Sungshin Kim)

1986년 : 연세대학교 전기공학과(공학석사)
 1996년 : Georgia Inst. of Technology, 전기및컴퓨터공학과 (공학박사)
 1998년~현재 : 부산대학교 전자전기공학과 교수

관심분야 : 지능 시스템, 지능형 로봇, 고장예측 및 진단
 Phone : +82-51-510-2374
 Fax : +82-51-513-0212
 E-mail : sskim@pusan.ac.kr