

자기-자이로 유도 장치를 위한 MEMS형 자이로의 민감도 최적화

Sensitivity Optimization of MEMS Gyroscope for Magnet-gyro Guidance System

이 인 성¹, 김 재 용¹, 정 은 국², 정 경 훈², 김 정 민², 김 성 신[†]

Inseong Lee¹, Jaeyong Kim¹, Eunkook Jung², Kyunghoon Jung²,
Jungmin Kim², Sungshin Kim[†]

Abstract This paper presents a sensitivity optimization of a MEMS (microelectromechanical systems) gyroscope for a magnet-gyro system. The magnet-gyro system, which is a guidance system for a AGV (automatic or automated guided vehicle), uses a magnet positioning system and a yaw gyroscope. The magnet positioning system measures magnetism of a cylindrical magnet embedded on the floor, and AGV is guided by the motion direction angle calculated with the measured magnetism. If the magnet positioning system does not measure the magnetism, the AGV is guided by using angular velocity measured with the gyroscope. The gyroscope used for the magnet-gyro system is usually MEMS type. Because the MEMS gyroscope is made from the process technology in semiconductor device fabrication, it has small size, low-power and low price. However, the MEMS gyroscope has drift phenomenon caused by noise and calculation error. Precision ADC (analog to digital converter) and accurate sensitivity are needed to minimize the drift phenomenon. Therefore, this paper proposes the method of the sensitivity optimization of the MEMS gyroscope using DEAS (dynamic encoding algorithm for searches). For experiment, we used the AGV mounted with a laser navigation system which is able to measure accurate position of the AGV and compared result by the sensitivity value calculated by the proposed method with result by the sensitivity in specification of the MEMS gyroscope. In experimental results, we verified that the sensitivity value through the proposed method can calculate more accurate motion direction angle of the AGV.

Keywords: gyroscope, sensitivity, magnet-gyro, guidance system, automated guided vehicle

1. 서론

일종의 대형 모바일 로봇인 무인운반차(automated guided vehicle: AGV)는 정해진 경로를 무인으로 자율주행하며 운반물을 운송·하역하는 장치를 말한다. 이는 제조 공

장이나 물류 창고에서 인력을 대체하여, 비용 및 사고를 줄이고 정시에 정확한 위치로 운반물을 운송한다^{1,2}. 무인운반차의 핵심 기술은 크게 유도 기술과 주행제어 기술로 나뉜다. 유도 기술은 무인운반차를 정해진 경로로 정확히 이송시키기 위한 위치측정 시스템으로 볼 수 있는데, 이는 크게 유선유도(wire guidance)와 무선유도(wireless guidance)로 나뉜다. 일반적인 유선유도 장치는 바닥에 유도선 혹은 자석을 매설하고 그것으로부터 흘러나오는 자기를 계측하여 무인운반차를 유도하는 장치를 말한다^{3,4}. 유도선으로 무인운반차를 유도하는 장치를 전자기 유도(inductive guidance)라고 하며, 자석으로 유도하는 장치는 자기 유도(magnetic guidance)라고 한다. 상기 유선유도 방식들은 안정성이 매

Received : Oct. 5. 2012; Reviewed : Nov.6. 2012; Accepted : Dec. 4 2012

※ This research was supported by the MKE(The Ministry of Knowledge Economy), Korea, under the Human Resources Development Program for Special Environment Navigation/Localization National Robotics Research Center support program supervised by the NIPA(National IT Industry Promotion Agency). (NIPA-2012-H1502-12-1002)

† Corresponding author: Professor, Department of Electrical Engineering, Pusan University, Pusan, Korea (sskim@pusan.ac.kr)

¹ Course of Master, Department of Electrical Engineering, Pusan University

² Course of Doctor, Department of Electrical Engineering, Pusan University

우 뛰어나 많은 현장에서 사용되고 있지만, 바닥 시공을 통해 유도선 혹은 자석을 바닥에 매설해야하기 때문에 설치 및 유지보수가 어려우며 새로운 주행 경로를 만들기 위해서는 추가적인 바닥 시공을 필요로 한다. 이에, 최근에는 자석 테이프, 색깔 테이프, SUS(steel use stainless) 테이프를 이용한 유선유도 방식들이 대두되고 있다. 이 방식들은 바닥 시공이 필요 없기 때문에 주행 경로의 추가·삭제가 쉽다는 장점을 가진다. 하지만 자기 유도 장치에 사용되는 자석 테이프는 두께가 두꺼워 훼손이 매우 쉽게 일어나며, 색깔 테이프와 SUS 테이프를 이용하는 광학 유도 방식(optical guidance system)은 외부의 빛과 바닥상태에 따라 외란에 취약한 문제를 가지고 있다.

무선유도 장치는 유선유도 장치의 단점을 해결하기 위해 개발된 유도 장치이다. 이는 바닥에 유도선을 시공하지 않고 천장이나 벽면, 기둥에 부착된 인공표식(artificial landmark)을 인식하여 무인운반차의 위치를 계산하고 유도하는 방법이다. 대표적인 무선유도 장치로는 레이저 내비게이션(laser navigation)과 천장광학 유도(ceiling based optical guidance)가 있다⁵⁻⁷⁾.

자기-자이로 유도 장치(magnet-gyro guidance system)는 유선유도와 무선유도 장치의 중간 형태이다. 이는 자기 위치측정 장치(magnet positioning system)와 자이로(gyroscope)를 이용한다. 자기-자이로 유도 방식은 자이로로 측정한 각속도를 이용하여 무인운반차를 유도한다. 이때, 자기 위치측정 장치가 바닥에 매설된 원통형 자석을 계측하면 이를 통해 무인운반차의 위치와 각도를 보정하는 방식이다. 이는 기존의 유선유도 방식에 비해 15~30배 이상 설치비를 감소시킬 수 있으며 주행경로의 추가 및 유지보수가 쉽다. 또한, 정밀한 주행이 필요한 장소에서는 바닥에 자석을 추가적으로 설치하는 것만으로 정밀한 주행을 가능하게 한다^{8,9)}.

자기-자이로에 사용되는 자이로의 형태는 기계식 자이로인 소형전자기계시스템(microelectromechanical systems: MEMS)형을 주로 사용한다. 이는 유체식과 광파이버, 링레이저 자이로 방식들에 비해 소형·저전력이며 무엇보다 가격이 매우 저렴하다. 하지만 MEMS형 자이로는 각속도 정밀도와 드리프트(drift), 직선성 성능이 크게 떨어지기 때문에 자기-자이로 유도 장치에 적용하기 위해서는 고정밀 ADC (analog to digital converter)와 정확한 민감도(sensitivity) 값이 필요하다. 민감도는 자이로의 원데이터(raw data)를 각속도로 변환하기 위한 척도인자(scale

factor)를 의미한다. 일반적으로 MEMS형 자이로의 민감도 값은 자이로 칩의 사양서에서 제시하고 있지만 자이로가 설치된 위치나 기술기에 따라 민감도 값이 변하게 되므로, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 자이로가 설치된 환경에서 최적화된 민감도 값을 찾아야한다. 하지만 기존의 최적화 기법(optimization method)은 연산량이 많고 알고리즘이 복잡하기 때문에 마이크로컨트롤유닛(MCU)에 적용하는 것은 어렵다. 이에, 본 논문은 비용함수(cost function)의 미분 정보를 사용하지 않고 계획된 컴퓨터 연산만으로 비용함수의 전역 최적해를 탐색하는 동부호화 최적화 기법(dynamic encoding algorithm for searches: DEAS)을 이용한 민감도 최적화 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 자이로 민감도 실험을 위한 계측 시스템에 대해 소개하고, 3장에서는 동부호화 최적화 기법과 제안된 민감도 최적화 방법에 대해 자세히 설명한다. 4장에서는 실험 및 결과에 대해 다루고, 마지막으로 5장에서는 결론에 대하여 기술한다.

2. 계측 시스템

2.1 무인운반차

본 연구에서는 제안된 방법을 실험하기 위해 정밀한 위치측정이 가능한 레이저 내비게이션이 장착된 지게차형 무인운반차(fork-type AGV)를 이용하였다. 그림 1은 실험을 위해서 사용된 무인운반차를 보여준다.

실험에 사용된 무인운반차는 수동형 전동지게차를 개조한 것으로 half-EPS (electric power steering)을 위치제어형 full-EPS로 변경하여 개조하였다. 무인운반차의 위치측

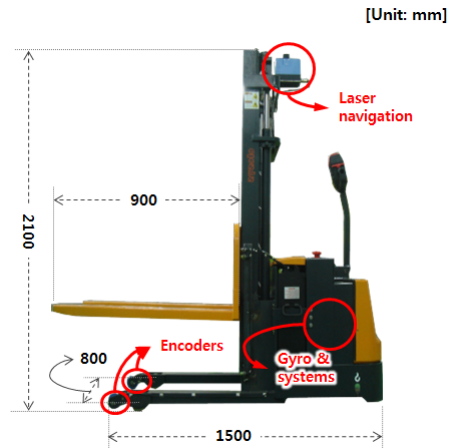


Fig. 1. Fork-type AGV used for experiment

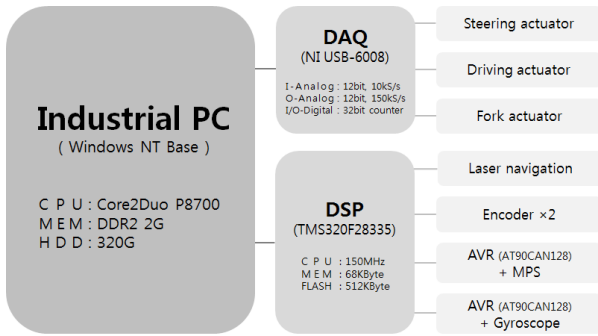


Fig. 2. System configuration of fork-type AGV

정을 위해서 레이저 내비게이션을 장착하였으며, 낮은 반응 속도를 가지는 레이저 내비게이션을 보완하기 위해 고정형 캐스터 바퀴(caster wheel)에 로터리 엔코더 (rotary encoder)를 장착하였다. 그림 2는 지게차형 무인운반차의 주요 시스템 구성을 보여준다.

빠른 연구·개발을 위해 산업용 PC를 이용하였으며 센서들의 계측을 위해서 DSP (digital signal processing)를 사용하였고, DAQ (data acquisition)를 통해 구동부들을 제어하도록 설계·제작 하였다. 실험을 위해 사용된 센서는 레이저 내비게이션과 엔코더 2개, 자이로, 자기 위치측정 장치이다.

레이저 내비게이션은 전역 위치에서 무인운반차의 각도를 측정하고, 엔코더는 응답속도가 느린 레이저 내비게이션을 보상하기 위해서 사용한다. 자기위 측정장치는 향후 연구를 위해 설치되었고, 본 논문에서는 사용되지 않는다. 표 1은 사용된 센서들의 주요 사양을 보여준다. 레이저 내비게

Table 1. specification of sensors

Item (model)	Specification
Laser navigation (NAV200)	Input voltage : 24 V
	Resolution : approx. ±4mm / ±0.1°
	Typical range : 1.5 m ~ 28.5 m
Encoder (RIB-40)	Input voltage : 5 V
	Resolution : 1000 P/R
	Max. speed : 7,000 rpm
Gyro (ADXRS613)	Input voltage : 5 V
	Range : ± 150 °/s
	Drift : ± 3 %
	Nonlinearity : 0.1 % of FS
Magnet positioning system (our own)	Input voltage : 5 V
	Sensitivity : 10 mV/G
	Polarity : Bipolar (N/S)

이션은 ±4mm의 위치 정밀도와 ±0.1°의 각도 정밀도를 가지는 정밀 위치측정 시스템이다. 하지만, 이는 이상적인 환경에서의 정밀도이고 고속·회전 주행 시에는 정밀도가 떨어지게 된다. 자기 위치측정 장치는 직접 개발하여 설치하였으며, 본 실험에 사용된 자이로는 ADXRS613와 AT90CAN128, 12bit ADC를 이용하여 설계하였다.

2.2 자이로를 통한 각속도 계산

앞서 설명한 바와 같이, MEMS형 자이로는 드리프트 현상과 디지털 계산 오차로 인해 누적오차가 발생한다. 누적오차를 최소화하기 위해서는 온도에 따른 ADC의 오차 보정이 필요하다. 본 논문에서는 25ms 마다 ADC를 통해 자이로의 출력과 온도 값을 계측하고 온도 값에 따른 자이로의 출력을 다음 식을 통해 보정하였다

$$O^+ = O^- - ((2^{12}/2) - T) \times CA \quad (1)$$

여기서, O^- 와 T 는 각각 자이로의 출력과 온도 값을 의미하고 CA 는 온도 보상 이득 상수이다. 본 논문에서는 ADC의 온도 상승에 따른 출력을 실험하여 0.08을 이용하였다. 보정된 자이로의 출력으로 각속도는 식 (2)를 통해 계산된다.

$$\Delta\theta = (C - O^+) \times S \quad (2)$$

여기서, C 는 ADC의 중심값을 나타내고 S 는 자이로의 민감도를 나타낸다.

본 논문에서 ADC의 중심값은 정지상태의 자이로 출력의 평균 값을 사용하였고, 그 분포는 2034~2042이었으며 평균 2039을 나타내었다. 사용된 자이로의 사양서에 따른 민감도 값은 0.01125~0.013745V/°/s이며 평균 값은 0.0125V/°/s이다. 하지만 민감도는 자이로가 설치된 위치·기울기와 계측 시스템의 특성에 따라 변하게 된다. 이에, MEMS형 자이로를 자기-자이로 유도 장치에 적용하기 위해서는 자이로의 민감도 값을 계측 시스템 상에서 직접 보정해주어야 한다.

3. 제안된 MEMS형 자이로의 민감도 최적화

MEMS형 자이로의 정밀도를 높이기 위해서는 자이로가 설치된 위치·기울기와 계측 시스템의 특성을 반영하여야 하기 때문에 자이로를 계측하는 마이컴에서 직접 최적화

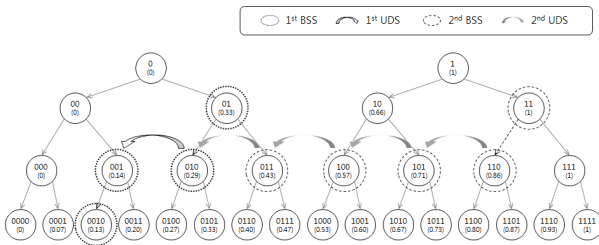


Fig. 3. Dynamic encoding algorithm for searches

가 이루어져야한다. 하지만 최적화 기법인 확률 탐색 (probabilistic search) 혹은 직접 탐색(direct search) 방법들은 연산량이 많고 알고리즘이 복잡하기 때문에 사양에 따른 비용문제 뿐만 아니라, 복잡한 알고리즘으로 인해 마이컴의 오작동을 야기 시킬 수 있다. 이에, 본 논문에서는 비용함수 (cost function)의 미분 정보를 사용하지 않고 계획된 컴퓨터 연산만으로 비용함수의 전역 최적해를 빠르게 탐색할 수 있는 동부호화 최적화 기법을 이용한 자이로의 민감도 최적화 방법을 제안한다.

3.1 동부호화 최적화 기법

동부호화 최적화 기법은 비선형 최적화 문제의 해결 방법을 제시한다. 이는 미분을 이용하여 목적 함수의 최적해를 찾는 방법들과는 달리, 잘 계획된 컴퓨터 연산만을 이용하여 지역 및 전역 최적해를 찾는 방법이다. 이는 구현이 쉬우며, 연산 시간 대비 뛰어난 최적화 성능을 가진다. 또한, 해를 이진수로 표현함으로 소스코드가 최적화되어 낮은 사양으로 빠른 최적해의 탐색이 가능하다. 동부호화 최적화 기법은 크게 지역탐색 계획과 전역탐색 계획으로 나누어진다^[10,11].

3.1.1 지역탐색 계획

이진 스트링은 최하위비트(least significant bit: LSB)에 0을 붙여 복호화 하면 실수 값이 감소하고, 1을 붙여 복호화 하면 실수 값이 증가하는 특성을 가진다. 이러한 이진 스트링의 특성을 이용하여 지역탐색 계획에서는 이진 스트링의 최하위비트나 이진 행렬의 우측 열에 0 또는 1을 붙여 탐색 방향을 결정하는 BSS (bisectional search) 단계와 비용 함수의 값이 최적이 될 때까지 증가(increment addition) 및 감소(decrement subtraction)를 수행하여 주변 지역을 탐색하는 UDS (unidirectional search) 단계로 나누어진다. BSS와 UDS는 세션(session)이라 통칭된다.

BSS는 현재 탐색 위치에서 서로 상반된 이웃 탐색 위치들을 생성하고 생성된 이웃의 값으로 계산된 비용 함수 값을 비교하여 최적해를 도출하는 과정이다.

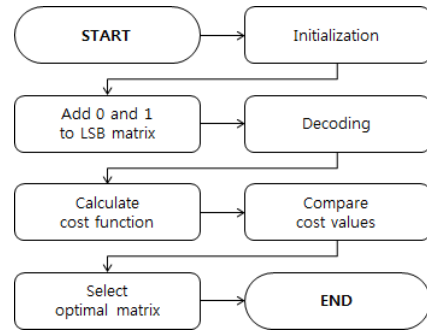


Fig. 4. Flow chart of BBS

여기서, 상반된 이웃 탐색 위치를 생성하는 것은 이진 스트링의 길이를 강제적으로 늘려줌으로써 해공간(solution space)의 분해도를 높여 최적화 성능을 높일 수 있도록 한다. 그림 4는 BSS의 순서도를 보여준다. 이전 세션에서 탐색된 최적의 이진 스트링 이외의 데이터를 초기화하고 탐색된 이진 스트링의 최하위비트에 0과 1을 추가하여 2ⁿ개의 이웃 탐색 위치를 생성한다. 생성된 이웃 탐색 위치의 이진 스트링을 다음 식을 적용하여 복호화 시킨다.

$$f_d(b_{m-1}b_{m-2} \dots b_1b_0) = \frac{1}{2^m - 1} \sum_{i=0}^{m-1} b_i 2^i \quad (3)$$

복호화된 값은 비용 함수에 대입되고 계산된 비용 함수 값을 비교하여 최적해를 선택하는 과정이다. 선택된 최적해는 최적해의 이진 스트링과 방향벡터를 UDS로 넘겨준다.

BSS는 스트링의 길이를 변화시켜 분해도를 높이고 최적해를 찾는 집중 탐색 과정이라면, UDS는 스트링의 길이를 변화 시키지 않고 넓은 범위를 탐색하는 광역 탐색의 특성을 갖는다. UDS는 BSS와 달리 이진 스트링의 길이가 고정되어 있으며 BSS가 하나의 세션 당 한 번만 수행되는 반면에 UDS는 목적 함수 값이 개선되지 않을 때까지 반복 수행한다. 그림 5는 UDS의 순서도를 보여준다.

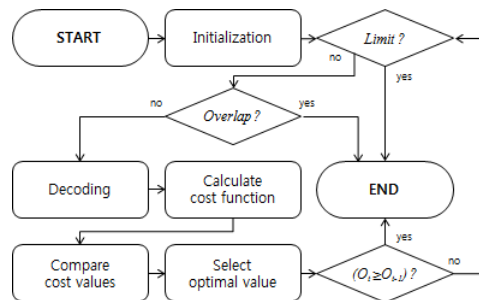


Fig. 5. Flow chart of UDS

그림 5에서 O_i 는 현재 선택된 최적해이며 O_{i-1} 은 이전에 선택된 최적해이다. UDS는 BSS와 다르게 한계(limit)와 중복(overlap) 확인을 가진다. 한계 확인은 이전 스트링이 표현할 수 있는 최대와 최소를 제외시키는 작업으로 일련의 이전 스트링에서 행진체가 모두 0 혹은 1인 스트링을 찾아서 UDS 수행단계에서 제외시킨다. 그리고 중복 확인은 한번 계산 되었던 탐색 위치를 탐색에서 제외하는 것으로 이전 최적해와 탐색해야하는 최적 탐색 위치의 값을 비교한다.

3.1.2 전역탐색 계획

전역탐색 계획은 다중시작 방법을 사용한다. 다중시작 방법은 임의로 설정한 시작점으로부터 지역 최적해를 찾는 방법을 반복 수행하여 최적해를 찾는 방법이다. 그림 6은 전역탐색의 순서도를 보여준다.

그림 6에서 t 는 전역 탐색 횟수를 나타내며, n 은 지정한 탐색 횟수를 나타낸다. 여기서는 동일 지점의 탐색을 막기 위해 지역 탐색 계획 시에 탐색했던 지점을 히스토리에 저장하여 재탐색을 막는다.

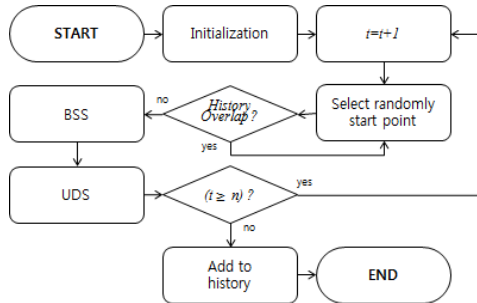


Fig. 6. Flow chart of global search

3.2 자이로 민감도 최적화

본 논문에서 제안하는 자이로의 민감도 최적화는 레이저 내비게이션과 자이로가 장착된 무인운반차를 레이저 내비게이션의 각도 데이터로 360° 회전 유도시킨 후, 동부도화 최적화 기법으로 왼쪽과 오른쪽의 민감도 값을 각각 탐색하는 것이다. 그림 7은 민감도 최적화 순서도를 보여준다. 여기서 S_r 과 S_l 은 각각 오른쪽과 왼쪽의 민감도 값을 나타내고 E_{sr} 과 E_{sl} 은 각각 민감도 오차들을 나타낸다.

E_{sr} 과 E_{sl} 의 값을 계산하기 위한 비용 함수는 다음 식과 같다.

$$f(x) = \sum_{i=0}^N \left(\frac{360 - x \times O^+}{N} \right) \quad (4)$$

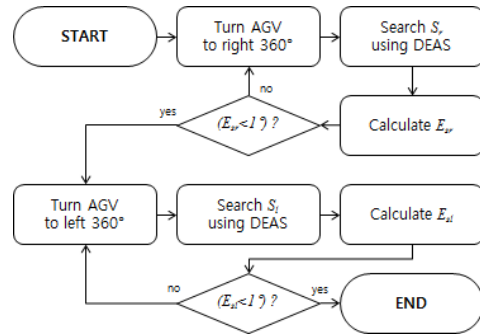


Fig. 7. Flow chart of sensitivity optimization for MEMS gyro

여기서 O^+ 은 식 (1)을 통해 계산된 자이로의 출력이고 N 은 데이터의 개수를 나타낸다.

4. 실험 및 결과

본 논문에서는 제안된 방법의 성능을 분석하기 위해, SICK사의 레이저 내비게이션인 NAV200으로 측정된 무인운반차의 각도 값을 참조 값(reference value)으로 이용한다. 그림 8은 실험 환경을 보여준다.

레이저 내비게이션의 성능을 극대화하기 위해, 길이 600mm와 지름 120mm의 원기둥형 반사체를 19개를 840×2010cm 크기의 실험 공간에 설치하였다.

실험은 무인운반차가 정지하고 있을 때, 레이저 내비게이션으로 계산된 무인운반차의 초기 각도를 저장하고 무인운반차의 조향을 고정해놓은 상태에서 레이저 내비게이션으로 360° 회전주행을 유도한다. 360° 회전 주행 중에 자이로의 원데이터는 저장되고 유도가 완료되면, 무인운반차는

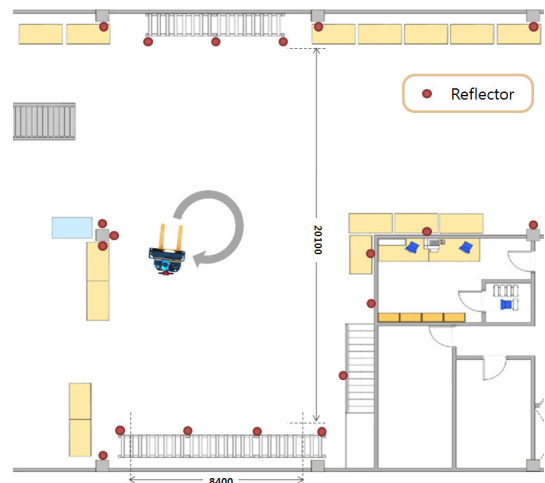


Fig. 8. Experiment environment

정지하고 레이저 내비게이션이 계산한 무인운반차의 최종 각도를 저장한다. 무인운반차의 360° 회전 주행은 오른쪽 방향과 왼쪽 방향 각각 2번 유도된다. 저장된 무인운반차의 초기 각도와 최종 각도를 참조 값으로 저장된 자이로의 원 데이터와 동부호화 최적화 기법을 이용하여 오른쪽 방향과 왼쪽 방향에 대한 2개의 자이로 민감도를 계산한다. 성능 평가는 제안된 방법의 민감도 값과 자이로 사양서 상의 민감도 값으로 계산한 360° 회전각도의 오차를 비교하였다. 표 2는 오른쪽 360° 회전 주행의 각도 오차 결과를 보여준다.

실험은 각각의 조향 각도와 주행 속도에 따라 5번씩 수행하였으며, 표 2에 나타난 각 오차 값들은 5번의 실험에 대한 평균 오차들이다. 제안된 방법의 민감도 값과 자이로 사양서의 민감도 값 차이는 약 0.24772V°/25ms 이었으며, 360° 회전의 평균 오차는 각각 1.9432°와 43.1753°로 제안된 방법의 민감도 값이 더 최적화되었음을 확인할 수 있었다. 표 3은 같은 조건에서 왼쪽 360° 회전 주행의 각도 오차 결과이다.

표 3에서 제안된 방법의 민감도 값과 자이로 사양서의 민감도 값의 차이는 약 0.24473V°/25ms 이며, 360° 회전의 평균 오차는 각각 2.3603°와 42.7232°로 제안된 방법의 성능이 더 좋은 것을 확인할 수 있다. 그림 9는 표 2와 표 3에 사용된 전체 데이터에 대한 오차를 박스 플롯(box plot)으로 보여준다.

그림 9에서 최대와 최소 오차 값을 보면 최대 8°의 오차를 보이는 것을 확인할 수 있고, 1사분위수(lower percentile)와 3사분위수(upper percentile)를 살펴보면 제안

Table 2. Results of right turn driving

Steering angle	Driving speed	Error (unit : degree)	
		DEAS : 0.0250065 (unit : V°/25ms)	Specification : 0.0312 (unit : V°/25ms)
40°	48cm/s	1.5115	43.0419
	43cm/s	1.4628	42.6188
	38cm/s	0.4630	42.8508
	33cm/s	0.5051	43.5871
	28cm/s	3.6019	39.2470
	23cm/s	2.2793	40.7287
	Average	1.6373	42.0123
30°	48cm/s	1.9276	45.4413
	43cm/s	0.9710	43.2850
	38cm/s	4.0457	47.8142
	33cm/s	3.1163	46.7731
	28cm/s	2.9316	39.9979
	23cm/s	0.5034	42.7181
Average	2.2492	44.3382	
Total average		1.9432	43.1753

Table 3. Results of left turn driving

Steering angle	Driving speed	Error (unit: degree)	
		DEAS: 0.02508175 (unit: V°/25ms)	Specification: 0.0312 (unit: V°/25ms)
40°	48cm/s	1.7027	43.5772
	43cm/s	2.3198	46.2812
	38cm/s	1.2157	45.0432
	33cm/s	1.2125	44.7940
	28cm/s	7.6233	35.1317
	23cm/s	6.3567	36.5519
	Average	3.4051	41.8965
30°	48cm/s	1.3038	44.3587
	43cm/s	1.6253	45.5025
	38cm/s	1.9141	41.5336
	33cm/s	2.0005	41.4367
	28cm/s	0.1366	43.7647
	23cm/s	0.9130	44.7037
Average	1.3155	43.5499	
Total average		2.3603	42.7232

된 방법의 통한 자이로의 오차는 ±2°를 나타냄을 확인할 수 있다. 각 방향의 오차 중심값은 거의 영(zero)에 가까운 것을 확인할 수 있다.

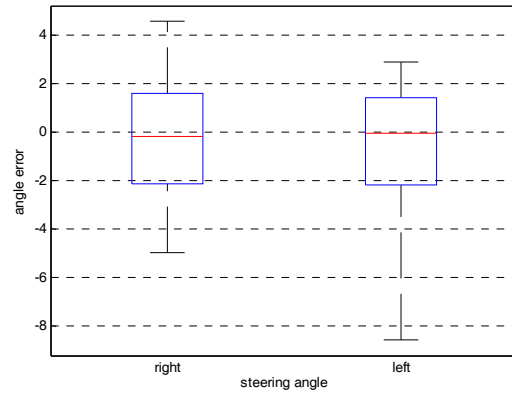


그림 9. box plot of total errors according to each direction

5. 결론

본 논문에서는 자기-자이로 유도 장치를 위한 MEMS형 자이로의 민감도 방법에 대해 이야기 하였다. 각속도 정밀도와 드리프트, 직선성 성능이 나쁜 MEMS형 자이로를 자기-자이로 유도 장치에 적용하기 위해서는 정확한 민감도의 최적화가 필요하다. 자이로의 민감도를 최적화하기 위해서는 마이컴 상에서 최적화 되어야하는 데, 기존의 최적화 기법은 연산량이 매우 많고 알고리즘이 복잡하기 때문에 마이컴에 적용이 어려웠다. 이에, 본 논문에서는 동부호화 최적

화 기법을 이용한 자이로의 민감도 최적화 방법을 제시하였다. 제안된 방법의 성능을 분석하기 위해, 무인운반차를 이용하였으며 자이로 사양서에 명시된 민감도 값과 성능을 비교하였다. 실험 결과, 제안된 방법인 마이컴에서 효과적이고 효율적으로 자이로의 민감도를 최적화시킬 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] M.P. Groover, "Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing", sigma press, 2002.
- [2] J.C. Do, J.M. Kim, K.H. Jung, S.B. Woo, S.S. Kim, "Path Planning for AGVs with Path Tracking", Journal of Korea Robotic Society, Vol. 5, No. 4, pp. 332-338, 2010.
- [3] J. Borenstein, "The OmniMate: A Guide wire-and Beacon-free AGV for highly Reconfigurable Applications", International Journal of Production Research, vol. 38, no. 9, pp. 1993-2010, 2000.
- [4] C.Y. Chan, "A System Review of Magnetic Sensing System for Ground Vehicle Control and Guidance", California PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2002-20, 2002.
- [5] J.J. Park, J.M. Kim, J.C. Do, S.S. Kim, S.I. Bae, "Path Tracking for AGV using Laser guidance system", Journal of Korea Robotic Society, Vol. 5, No. 2, pp. 120-126, 2010.
- [6] J.M. Kim, J.J. Park, T.R. Jeon, S.S. Kim, "Fuzzy and Proportional Controls for Driving Control of Forklift AGV", Journal of Korean Institute of Intelligent System, Vol. 19, No. 5, pp. 699-705, 2009.
- [7] H.H. Cho, J.M. Kim, J.C. Do, S.S. Kim, "Improvement of Positioning Accuracy of Laser Navigation System using Particle Filter", Journal of Korean Institute of Intelligent System, Vol. 21, No. 5, pp. 755-760, 2011.
- [8] Y. Pang, "Bipolar magnetic positioning system for automated guided vehicles", Intelligent Vehicles Symposium 2008 IEEE, pp. 883-888, 2008.
- [9] J.M. Kim, K.H. Jung, E.K. Jung, H.H. Cho, S.S.

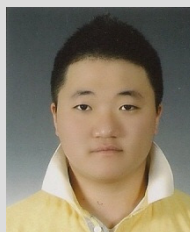
Kim, "Positioning Accuracy Improvement of Analog-type Magnetic Positioning System using Fuzzy Inference System", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 22, No. 3, pp. 367-372, 2012.

- [10] J.W. Kim and S.W. Kim, "Parameter identification of induction motors using dynamic encoding algorithm for searches", IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 20, no. 1, pp. 16-24, 2005.
- [11] J.W. Kim and S.W. Kim, "Numerical method for global optimization: dynamic encoding algorithm for searches", IEE Proc.-Control Theory Appl., vol. 151, no. 5, pp. 661-668, 2004.



이인성

2011 부산대학교 전자전기통신공학부(공학사)
2011~현재 부산대학교 전자전기공학과 석사과정
관심분야: 지능시스템, 지능형로봇



김재용

2011 신라대학교 컴퓨터정보공학부(공학사)
2011~현재 부산대학교 전자전기공학과 석사과정
관심분야: 지능제어, 로봇



정은국

2010 신라대학교 자동차기계전자공학부(공학사)
2012 부산대학교 로봇협동과정(공학석사)
2012~현재 동대학원 전자전기공학과 박사과정
관심분야: 신호처리, 지능제어, 지능형로봇



정 경 훈

2010 신라대학교 컴퓨터정보
공학부(공학사)

2012 부산대학교 로봇협동과
정(공학석사)

2012~현재 동대학원 전자전
기공학과 박사과정

관심분야: 신호처리, 지능제어, 지능형 로봇



김 성 신

1986 연세대학교 전기공학과
(공학석사)

1996 Geogia Inst. of Technology,
전기 및 컴퓨터공학과
(공학박사)

1998~현재 부산대학교 전기공
학과 교수

관심분야: 지능시스템, 고장예측 및 진단



김 정 민

2006 신라대학교 컴퓨터공학
과(공학사)

2008 부산대학교 전기공학과
(공학석사)

2009~현재 부산대학교 전자
전기공학과 박사과정

관심분야: 신호처리, 영상처리, 지능제어, 로봇