Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 24, No. 1, February 2014, pp. 058-063
http://dx.doi.org/10.5391/JKIIS.2014.24.1.058

양극성 자기유도센서의 성능 향상을 위한 퍼지 추론 시스템

Improvement of Bipolar Magnetic Guidance Sensor Performance using Fuzzy Inference System

박문호* · 조현학** · 김광백*** · 김성신****†
Moonho Park, Hyunhak Cho, Kwangbaek Kim, and Sungshin Kim†

*부산대학교 전자전기컴퓨터공학과, **부산대학교 로봇관련 협동과정
***신라대학교 컴퓨터공학과, ****부산대학교 전기공학과
† Department of Electrical Engineering, Pusan National University

요 약

자기테이프를 사용하는 대부분의 경량무인운반차들(AGCs)은 디지털 자기유도센서를 사용한다. 디지털 자기유도센서는 On/Off 타입으로 자기테이프의 위치측정 정밀도가 10~50 mm의 오차를 가진다. 또한 경량무인운반차에 설치된 모터의 자기장이나 주변 환경의 외부 자기장, 지자기 등으로 인하여 정확한 위치를 추정하기 힘들다. 이러한 오차로 인하여 경량무인운반차의 주행 시에 잦은 흔들림이 발생하게 되고, 정도가 심할 경우 이탈현상이 발생하게 된다. 따라서 본 논문은 양극성 아날로그 자기유도센서에 퍼지 추론 시스템의 적용을 제안한다. 퍼지는 다른 알고리즘에 비하여 내고장성과 불확실성에 강인하고, 실시간 작동에 유리하며, 비선형시스템에 사용하기 적합하다. 선행과제에서 제작한 양극성 아날로그 자기유도센서로 threshold를 두어 디지털 자기유도센서를 형성하고, 이를 이용하여 자석위치 값을 계산한다. On으로 인식된 아날로그 Hall sensor의 출력을 이용하여 퍼지 추론 시스템을 설계하고, 그 출력으로 디지털출력 값을 개선한다. 실험 결과, 제안된 방법이 기존의 자기유도센서보다 성능이 향상된 것을 확인하였다.

키워드 : AGC, AGV, 디지털 자기유도센서, 아날로그 자기유도센서, 퍼지 추론 시스템

Abstract

Most of light duty AGVs(AGCs) using tape of magnetic for the guide path have digital guidance magnetic sensor. Digital guidance magnetic sensor using magnet-tape is on/off type and has positioning error of magnet-tape as 10 ~ 50 mm. AGC using this sensor doesn't induce accurate position of magnet-line which is magnet-tape because of magnetic field which motor in AGC creates, outer magnetic field, earth's magnetic field, etc. AGC when driving wobbles due to this error and this error can cause path deviation. In this paper, we propose fuzzy inference system for improvement of bipolar analog magnetic guidance sensor performance. Fuzzy is suitable in term of fault tolerance, uncertainty tolerance, real-time operation, and Nonlinearity as compared with other algorithms. In previous research, we produced bipolar magnetic guidance sensor and we set the threshold in order to calculate digital values of magnet position. Fuzzy inference system is designed using outputs of Analog hall sensors. Magnet position calculated by digital method is improved by outputs of this system. In result, proposed method was verified by improving performance of magnetic guidance sensor.

Key Words : AGC, AGV, Digital magnetic sensor, Analog magnetic sensor, Fuzzy inference system

1. 서 론

무인운반시스템(AGVS)은 무인운반차(AGV)를 이용하는 자동화 자재운반시스템(MHS)을 말한다. 정해진 경로를 따라 독립적으로 주행하는 차량인 무인운반차는 1950년대 이후로부터 소개되고 있다[1-2]. 융통성과 효율성의 이점 때문에 많은 무인운반시스템이 생산라인에 사용되고 있으며, 많은 양의 물품을 계속해서 운반하는 자동화 창고에서 무인운반차를 더욱 더 이용하고 있다[3-4]. 이러한 무인운반차를 유도하는 방법 중 하나인 자기유도시스템에 대해서 많은 연구가 이루어지고 있다[5]. 자석표시물을 이용하여 차량의 위치를 추정하는 방법, 자석표시물과 자기테이프 주위의자기장 특성을 이용하는 방법, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 위

접수일자: 2013년 9월 1일
심사(수정)일자: 2013년 9월 7일
게재확정일자 : 2013년 11월 21일
† Corresponding author
본 연구는 산업통상자원부 및 정보통신산업진흥원 융복합형 로봇전문인력양성 특수환경 Navigation/Localization 로봇기술연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.(H1502-13-1001)
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

그림 1. 자기테이프를 이용하는 연구용 AGC
Fig. 1. AGC for research using magnet-tape

성항법장치(GPS)의 절대위치측정과 자기유도시스템을 기반으로 한 자동조타시스템이 있다[6]. 이러한 방법 중 물류산업에서 많이 쓰이는 무인운반차인 경량무인운반차(AGC)는 자기테이프를 이용하는 방법을 많이 사용하고 있다[2][7]. 자기테이프를 주행 경로에 맞춰 바닥에 설치하면, 자기유도 경량무인운반차는 설치한 자기테이프를 계측하는 자기유도센서를 이용하여 따라가게 된다. 산업현장에서 사용하는 자기유도 경량무인운반차는 대부분 디지털 자기유도센서를 사용한다[8-10]. 그림 1은 연구를 목적으로 제작한 자기테이프를 이용하는 AGC이다.

디지털 자기유도센서는 On/Off 타입으로 자기테이프의 위치측정 정밀도가 10~50 mm의 오차를 가진다. 또한 경량무인운반차에 설치된 모터의 자기장이나 주변 환경의 외부자기장, 지자기 등 때문에 간섭현상이 발생하여 정확한 위치를 추정하기 힘들다. 이러한 오차로 인하여 경량무인운반차의 주행 시에 각도 계산의 오차가 생겨 잦은 흔들림이 발생하게 된다. 또한 오차가 누적될 경우 실제 주행 경로에서 이탈현상이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 양극성 아날로그 자기유도센서에 퍼지 추론 시스템의 적용을 제안한다. 퍼지는 다른 알고리즘에 비하여 내고장성과 불확실성에 강인하고, 실시간 작동에 유리하며, 비선형시스템에 사용하기 적합하다[11]. 퍼지 추론 시스템을 통해 디지털 측정값을 보정한다.

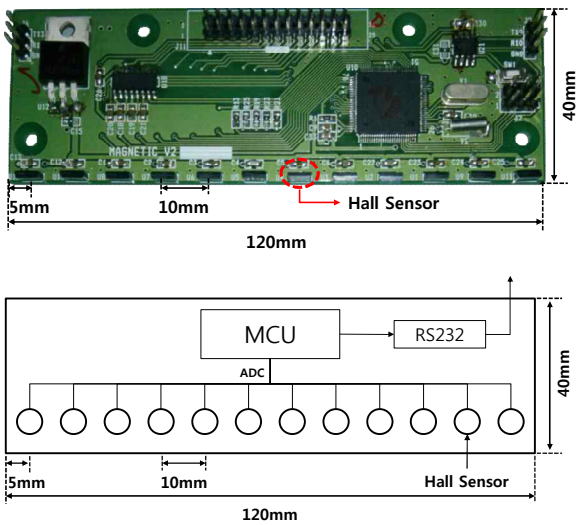

그림 2. 양극성 아날로그 자기유도센서
Fig. 2. Bipolar analog magnetic guidance sensor

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 선행과제에서 제작한 양극성 아날로그 자기유도센서에 대해서 설명한다. 3장에서는 논문에서 사용한 퍼지 추론 시스템에 관하여 설명하고 4장에서는 성능 비교를 위한 실험에 대하여 설명한다. 끝으로 5장에서는 결론에 대하여 설명한다.

2. 양극성 아날로그 자기유도센서

그림 2은 상용화된 디지털 자기유도센서와의 성능비교 실험을 위해 선행과제에서 제작한 양극성 아날로그 자기유도센서이다[12]. 12개의 hall sensor가 부착된 양극성 아날로그 자기유도센서는 각 hall sensor의 아날로그 출력 값에 threshold를 두어 On/Off type으로 동작하는 디지털 자기유도센서의 역할을 한다. threshold를 구하기 위해서 선행과제에서 수행한 것과 같이 각 hall sensor의 출력 gauss을 자석의 유무에 각각 100회씩 측정하여 그 평균 gauss을 계산한다. 그리고 각 hall sensor마다 그 차이 gauss를 기준으로 하여 threshold를 생성한다. 계측된 gauss가 threshold보다 크게 되면 On으로 인지하게 되고, 작으면 Off로 인지하게 되어 그림 3과 같은 원리로 디지털 자기유도센서를 형성한다.

자석위치 측정값의 기준은 자기유도센서의 중심(6번 hall sensor와 7번 hall sensor 중간값)을 0 mm로 두고 1번 hall sensor의 중심을 -55mm, 12번 hall sensor의 중심을 55mm로 한다. 이에 측정되는 디지털 자기유도센서의 자석위치 계산식은 식 (1)과 같다.

$$P=\left(\frac{1}{m-n+1}\sum_{i=n}^{m}(2i-1)-12\right)*5 \qquad (1)$$

여기서 P는 디지털로 계산된 자석의 위치이다. n은 인지된 hall sensor중 가장 좌측 hall sensor의 번호이고, m은 인지된 hall sensor중 가장 우측 hall sensor의 번호이다. hall sensor마다 좌측부터 홀수 값을 지정한다. 인지된 hall sensor의 지정한 값을 전부 더하고, 인지된 hall sensor의 개수로 나눈 다음 기준값인 12를 빼주고 간격 5 mm를 곱함으로써 위의 식과 같이 디지털로 계산된 자석의 위치가 성립하게 된다.

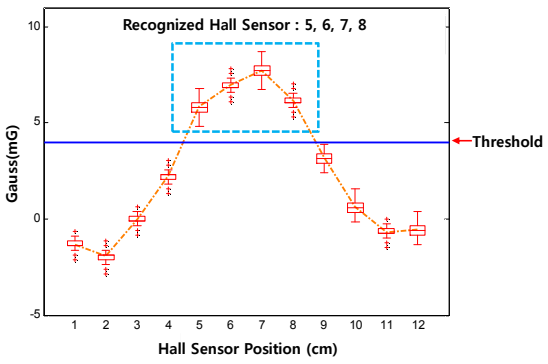

그림 3. 디지털 자기유도센서 작동원리
Fig. 3. Performance property of digital induction magnetic sensor

예를 들어 그림 3와같이 측정이 되었을 경우 5번 hall sensor부터 8번 hall sensor까지 On으로 판단하면 디지털 측정값은 0 mm를 자석의 위치로 계산한다. 그러나 실제 자석의 위치는 6번 hall sensor보다 7번 hall sensor의 gauss 값이 큰 것으로 보아 7번 hall sensor에 더 가까이 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 디지털 측정값을 이용하여 자석의 위치를 계산하면 실제 자석의 위치와의 오차가 생긴다는 것을 알 수 있다. 이러한 오차를 개선하기 위해 인지된 hall sensor의 아날로그 출력 gauss값을 이용하여 퍼지 추론 시스템을 적용한다.

3. 퍼지 추론 시스템

퍼지는 서론에서 언급한 바와 같이 다른 알고리즘에 비해 내고장성과 불확실성에 강인하고, 실시간 작동과 비선형 시스템 문제에 강하다. 또한 지식을 표현하는 것에 있어 강한 면모를 보이기 때문에 다른 알고리즘에 비해 이해하기 쉬운 강점이 있다. 이런 이유로 실제 퍼지 추론 시스템은 산업현장에서 많이 응용된다. MISO(다중입력단일출력) 퍼지 시스템의 경우, 다음과 같은 표현으로 나타낸다.

$$\mathrm{R}^j:\ \mathrm{IF}\ x_1\ \mathrm{is}\ A_1^j\ \mathrm{AND}\ x_2\ \mathrm{is}\ A_2^j\ \cdots\ x_n\ \mathrm{is}\ A_n^j \\ \mathrm{THEN}\ y = B$$

여기서 n항 변수인 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, ..., x_n)^T$ 는 다중입력을 나타내고, y는 단일출력을 나타낸다. 그리고 A_k^m, B^m는 퍼지 집합이다.

양극성 아날로그 자기유도센서의 위치측정 성능 향상을 위해 입력이 2개이고, 출력이 1개인 MISO 퍼지 시스템을 이용한다. 입력 변수는 인지된 hall sensor들 중 가장 좌측 hall sensor의 gauss, 가장 우측 hall sensor의 gauss를 각각을 계측된 최대 gauss로 나눈 값(Left, Right)을 입력 변수로 하고, 디지털 측정값으로 계산된 자석의 위치를 보상할 값(Output)을 출력 변수로 한다. 입력은 3단계(Low, Medium, High)로 분류하였고, 출력 또한 3단계(Left, Center, Right)로 분류한다.

두 개의 입력변수인 Left와 Right가 같은 입력 단계를 가지고 있다면 디지털 측정값으로 계산된 자석의 위치와 실제 자석의 위치가 서로 근접해 있다고 할 수 있다. 또한 자석의 위치가 중심에서 왼쪽으로 치우친 상태라면 Left가 Right보다 더 높은 단계에 있게 되어 Right 방향으로 보상

표 1. 실험에 사용한 퍼지 룰
Table 1. Fuzzy rule used in experiment.

Left \ Right	Low	Medium	High
Low	Center	Right	Right
Medium	Left	Center	Right
High	Left	Left	Center

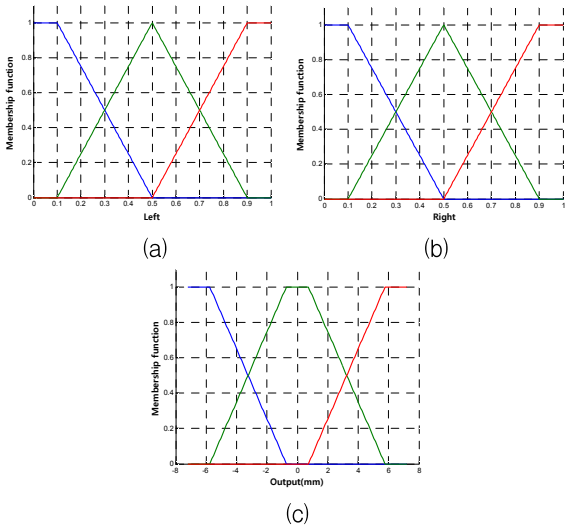

그림 4. 실험에 사용한 퍼지 소속 함수
(a)Left 입력 함수 (b) Right 입력 함수
(c) Output 출력 함수
Fig. 4. Membership functions used in experiment
(a) Left MF (b) Right MF (c) Output MF

하게 되고, 오른쪽으로 치우친 상태라면 Right가 Left보다 더 높은 단계에 있게 되어 Left 방향으로 보상하게 된다.

이와 같은 상태를 퍼지 룰로 세워 표 1과 같이 나타내었다. 그림 4는 사용한 퍼지 소속 함수(membership function)를 나타낸다. 그림 4의 (a)는 앞서 말한 입력변수 중 Left의 퍼지 소속 함수를 의미하고, (b)는 입력변수 중 Right 퍼지 소속 함수를 의미한다. (c)는 출력변수인 Output의 퍼지 소속 함수를 의미하며, 자석위치를 보상해야하는 값이기 때문에 단위가 mm로 주어진다. 9가지의 퍼지 룰을 이용하여 제안된 제어기의 입출력 관계를 3D로 보여주는 3D surface는 그림 5와 같다. 양극형 아날로그 자기유도센서를 이용하여 자기를 측정하고, Threshold를 이용하여 인지된 Hall sensor를 분류한다. 그리고 Hall sensor의 아날로그 출력을 이용하여 Left와 Right를 계산하게 한다. 인지된 Hall sensor의 위치를 이용한 디지털 출력값을 통해 자석의 위치를 계산하고, Left와 Right를 입력한 퍼지 추론 시스템을 통해

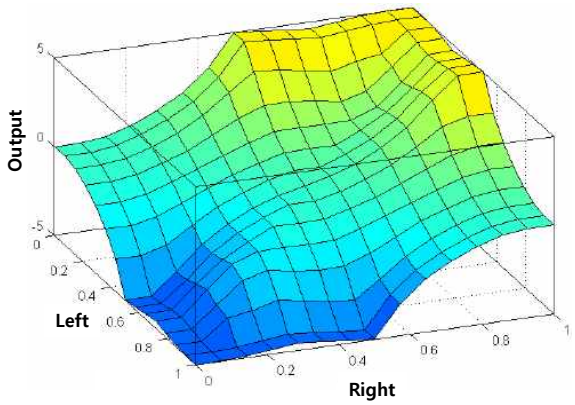

그림 5. 3D surface 상의 입출력 관계
Fig. 5. I/O relation on the 3D surface

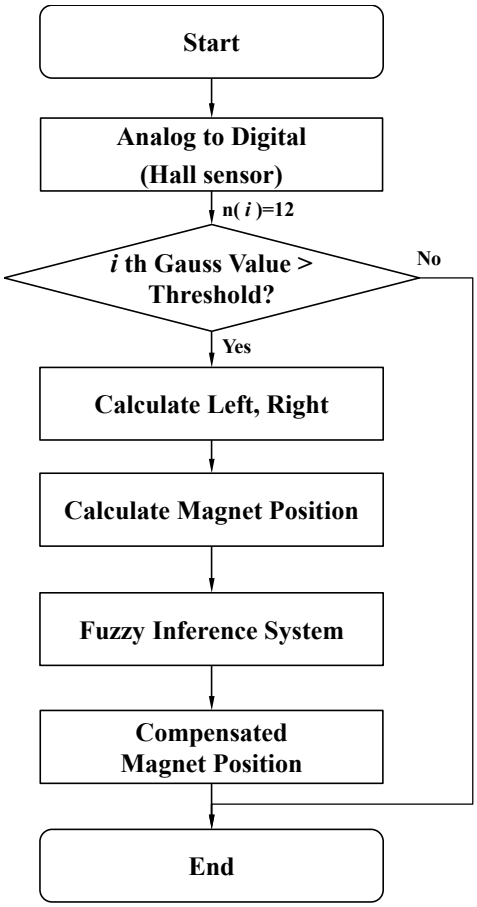

그림 6. 1사이클 동안의 자기유도센서 시스템
Fig. 6. Magnetic guidance sensor on 1 cycle

자석의 위치를 보상하여 개선한다. 그림 6은 앞서 설명한 내용인 자기유도센서의 1사이클에 해당하는 자기유도센서 시스템을 나타낸다.

4. 실험

제안된 방법을 검증하기 위해 경량무인운반차의 주행경로에 사용되는 자석테이프를 이용하였다. 또한 실험은 퍼지 추론 시스템의 유무에 따른 성능 비교실험이기 때문에 영향을 줄 수 있는 다른 조건들을 제약하였다. 동일한 양극형 자기유도센서를 이용하였고, 동일한 자석 테이프를 이용하

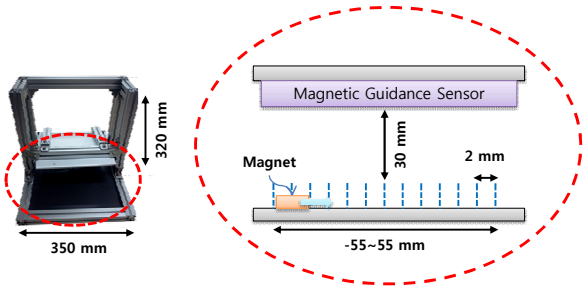

그림 7. 측정한 자석위치와 실제 자석위치
Fig. 7. Measured magnet position and real position

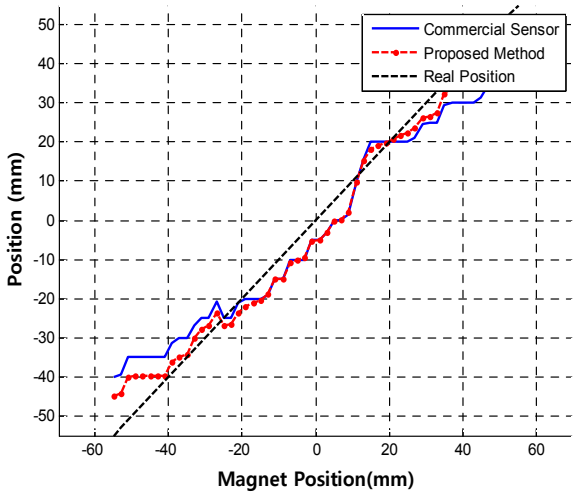

그림 8. 측정한 자석위치와 실제 자석위치
Fig. 8. Measured magnet position and real position

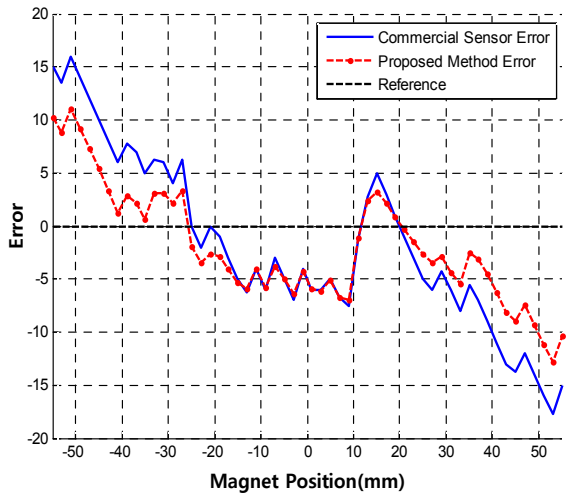

그림 9. 두 방법과 실제 자석위치간의 오차
Fig. 9. Error between reference and two methods

였으며, 퍼지 추론 시스템의 유무에만 차이를 두었으며, 같은 실험 장비를 사용하여 실험하였다. 실험장비는 그림 7과 같고 그림에서 나타난 것과 같이 자기유도센서의 중심으로부터 -55~55 mm사이를 2 mm간격으로 100회씩 퍼지 추론 시스템을 사용하지 않은 방법과 퍼지 추론 시스템을 사용한 방법을 각각 측정하였다. 그리고 그림 8은 상용화된 센서(퍼지 추론 시스템을 사용하지 않은 방법)와 제안한 방법(퍼지 추론 시스템을 사용한 방법)으로 각각 측정한 자석위치와, 실제 자석위치를 그림으로 나타낸 것이다. 그리고 그림 9은 각각의 방법과 실제 자석위치간의 오차를 보여준다. 퍼지 추론 시스템을 적용하지 않은 상용화된 자기유도센서와는 달리 제안된 방법인 퍼지 추론 시스템을 적용한 방법이 실제 자석위치와 오차가 더 적어진 것을 확인하였다.

표 2는 측정된 데이터와 평균 오차를 나타낸다. 실험 결

표 2. 실험 결과
Table 2. Result in experiment

Position (mm)	Error using Non-FIS (mm)	Error using FIS (mm)
-55	15	10.2826
-53	13.5	8.8723
-51	16	11.1019
	⋮	
51	16	12.8392
53	17.75	12.8392
55	15	10.3035
Avg.Err (mm)	7.0446	4.9082

과, 퍼지 추론 시스템을 사용하지 않은 디지털방식의 위치 측정 정밀도는 7.0446 mm로 측정되었고, 퍼지 추론 시스템을 사용한 방법은 4.9082 mm로 측정되었다. 퍼지 추론 시스템을 적용하여 2.1364 mm만큼 성능이 향상된 것을 확인하였다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 양극성 자기유도센서의 성능 향상을 위해 퍼지 추론 시스템을 적용하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 선행연구에서 제작한 양극성 자기유도센서를 이용하여 디지털 자기유도센서를 구현하고 그 측정값을 퍼지 추론 시스템을 이용하여 개선한다. 그 결과 성능이 2.1364 mm만큼 향상된 것을 확인하였다.

향후 연구에서는 실제로 AGC에 부착하여 위치정밀도 측정 실험을 할 예정이다. 자기유도센서의 양끝지점에서 오차가 크게 발생한다는 것을 알 수 있으므로, 원인을 분석하여 이를 줄일 수 있는 방법을 검토할 것이다. 또한 자기유도센서에 영향을 주는 부수적인 요소의 간섭을 줄이는 연구와 퍼지 추론 시스템의 입력을 추가하여 더 정밀한 측정을 할 수 있는 방향으로 연구를 진행할 것이다.

제안된 방법을 이용하면 기존의 자기유도센서를 이용하여 제어되고 있는 산업용 AGC에 적용할 수 있을 것이며, 더 나아가 자기유도센서뿐만 아니라 이와 비슷한 입출력을 가지는 다른 센서 및 계측장비에 응용할 수 있을 것이라고 기대한다.

References

[1] TaeSeok Jin, "Position Estimation of Mobile Robots using Multiple Active Sensors with Network," *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, vol 11, no. 4, 2011.

[2] Waifoong Tham. "Automatic Guided Cart," *UTeM*, 2009.

[3] Jongyeon Lee, Changho Hyun, "Torque Control of DC Motor using Velocity Profile Based Acceleration/Deceleration Control," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 22, no. 1, pp. 36-41, 2012.

[4] Quan Nguyen Van, Hyuk-Min Eum, Jeisung Lee, Chang-Ho Hyunl. "Vision Sensor-Based Driving Algorithm for Indoor Automatic Guided Vehicles," *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, vol. 13, no. 2, 2013.

[5] Xing Wu, Peihuang Lou, Qixiang Cai, Chidong Zhou, ke Shen, chen Jin. "Design and Control of Material Transport System for Automated Guided Vehicle." *Control 2012 UKACC International Conference*, 2012.

[6] Youngjae Ryoo, Janghyun Park, "Design and Development of Magnetic Position Sensor for Magnetic Guidance System of Automated Ground Vehicle," *Control, Automation and Systems (ICCAS)*, 2012.

[7] Dengshan Huang, Guanghua Zhang. "Scheduling Control of AGV System based on Game Theory," *Advanced Infocomm Technology (ICAIT)*, 2013.

[8] *http://www.agv-tech.com/product/apc4.html*, (Accessed: 8th November 2013).

[9] *http://www.hana-techno.com/pro/na/agv/agv_main.htm*, (Accessed: 8th November 2013).

[10] *http://agve.web.pin.se/magnet-gyro-guidance*, (Ac-cessed: 8th November 2013).

[11] Chinteng Lin, C. S. Lee. *Neural fuzzy systems: a neuro-fuzzy synergism to intelligent systems*. Prentice-Hall, Inc., 1996.

[12] Hajun Song, et al. "Pattern Recognition of Landm-ark using Bipolar Magnetic Localization Sensor," *Institute of Control, Robotics and Systems (ICROS)*, 2013.

저 자 소 개

박문호(Moonho Park)

2013년 : 부산대학교 전자전기공학부 공학사

2013년 ~ 현재 : 부산대학교 대학원 전자전기컴퓨터공학부 석사과정

관심분야 : Fuzzy, Pattern Recognition, Control

Phone : +82-010-9301-4722

E-mail : 82akakak@pusan.ac.kr

김성신(Sungshin Kim)
1986년: 연세대학교 전기공학과 공학석사
1996년: Georgia Inst. of Technology 전기 및 컴퓨터공학부 공학박사
1998년～현재: 부산대학교 전기공학부 교수

관심분야 : Intelligent System, Intelligent Robot, Fault Diagnosis and Prediction
Phone : +82-51-510-2374
Fax : +82-51-513-0212
E-mail : sskim@pusan.ac.kr

조현학(Hyunhak Cho)
2011년 : 신라대학교 컴퓨터정보공학부 공학사
2013년 : 부산대학교 대학원 로봇관련협동과정 공학석사
2013년～현재 : 부산대학교 대학원 로봇관련협동과정 박사과정

관심분야 : Image Processing, Intelligent System, Intelligent Robot
Phone : +82-010-3300-7643
E-mail : darkruby1004@pusan.ac.kr

김광백(Kwangbaek Kim)
1999년 : 부산대학교 전자계산학과 이학박사
1997년～현재 : 신라대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : Fuzzy Neural Networks, Medical Image Processing, Support Vector Machines, Bioinformatics and Biomedical System.
Phone : +82-051-999-5052
E-mail : gbkim@silla.ac.kr