Check for updates

Journal of KIIT. Vol. 18, No. 7, pp. 21-27, Jul. 31, 2020. pISSN 1598-8619, eISSN 2093-7571
http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2020.18.7.21

신경회로망과 필터뱅크를 기반한 AGV용 가이드센서 설계

이병로*, 이주원**

Design of a Guide Sensor Based on Neural Networks and Filter Bank for Automatic Guided Vehicle

Byeong-Ro Lee*, Ju-Won Lee**

이 논문은 2020~2021년 경남과학기술대학교의 연구지원으로 수행되었음.

요 약

무인 운반차(AGV)에 사용되고 가이드 센서의 정밀도와 경로 검출 성능을 향상시키기 위해 본 연구에서는 필터뱅크와 신경회로망을 기반한 신호처리 기법을 제안하고 하드웨어로 구현하여 그 성능을 평가하였다. 성능 평가 결과에서 좌측 분기경로에 관한 신경회로망 출력의 최대오차가 1.8mm를 보였고, 우측 경로에 관한 오차는 0.2mm의 오차를 보였다. 그리고 이전의 연구인 퍼지추론을 이용한 방법과 성능을 비교 분석하였으며, 그 결과 제안된 기법의 결과가 퍼지추론의 방법보다 2배 이상의 정밀도를 보였다. 따라서 본 연구에서 제안한 기법을 가이드센서 설계에 적용한다면, 센서의 정밀도 향상으로 AGV의 주행 안정성과 경로 이탈의 문제점이 개선될 것으로 사료된다.

Abstract

In order to improve the accuracy and path detection performance of the guide sensor that is used in the AGV, this study is proposed the signal processing method based on filter bank and neural networks, and its performance were evaluated using by an implemented hardware device. In the results of the performance evaluation, the maximum error of the neural network's output for the left branch path was 1.8mm, and the error for the right path was 0.2 mm. And we compared and analyzed the performance of the proposed method and the method using the fuzzy inference method previously studied. As a result, the proposed method showed two times more precision than the previous method(fuzzy inference system). Therefore, if the proposed method in this study is applied to the design of the guide sensor, the problems of AGV driving that are the stability and out-of-track is thought to be improved.

Keywords

automatic guided vehicle, guide sensor, filter bank, neural networks, path recognition

* 경남과학기술대학교 전자공학과 교수
- ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0281-4994
** 안동과학대학교 전기자동화과 교수(교신저자)
- ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4402-0161

· Received: May 27, 2020 Revised: Jun. 16, 2020, Accepted: Jun. 19, 2020
· Corresponding Author: Ju-Won Lee
Dept. of Electric and Automation, Andong Science College, Korea,
Tel.: +82-54-851-3573, Email: bioee52@empas.com

Ⅰ. 서 론

스마트팩토리 산업에 도입되는 AGV(Automatic Guided Vehicle)는 노동력 감소와 품질 향상, 작업 환경과 안정성 개선, 물류 및 비용 관리 등을 위하여 개발된 주행로봇이다. AGV의 종류로는 마그네틱 로드를 이용하는 로봇, LiDAR 센서를 이용한 로봇, 패턴마크와 영상카메라를 이용한 로봇 등으로 분류된다[1][2].

현재, 가장 많이 도입되는 AGV는 마그네틱 로드 기반의 저가형 AGV이며, 이 AGV의 구조는 센서부와 제어부, 구동부, 상태 표시부, 전원부 등으로 구성되어 있다. 이 구조에서 가장 중요한 부분은 AG의 경로인 마그네틱 로드를 센싱 할 수 있는 가이드 센서부이며, 주로 바닥에 설치된 마그네틱 로드(자석 테이프)에서 발생하는 자계의 세기를 검출하여 길을 센싱하고 AGV의 자세를 제어 한다. 일반적으로 사용되는 가이드 센서는 8개 또는 16개의 홀 소자(Hall sensor)를 일렬(횡)로 배치하여 자기량을 검출하고, 검출된 자기의 세기가 일정량 이상이면 길이라고 판단하여 그 길(경로)의 정보를 제공하며, AGV는 이 경로를 바탕으로 주행한다[3]. 그리고 AGV가 길을 주행함에 있어 특정 지점에서 좌회전 또는 우회전, 스핀턴(Spin turn) 등을 수행하여 특정 목적지까지 주행한다. 이러한 마그네틱 가이드 센서는 홀 소자를 10mm 정도의 간격으로 배치하여 자기의 세기를 검출하여 AGV의 주행 경로 정보를 제공하도록 되어 있다.

그러나 홀 센서 소자의 간격 오차로 인하여 AGV가 자세 제어함에 좌·우 흔들림이 빈번하게 발생되며, 특히 곡선 주행에서 주행경로 이탈 현상이 발생하는 경우가 발생한다. 또한 분기점 위치에서는 여러 개의 마그네틱테이프가 겹쳐 있거나 근접되어 있어 분기점의 자기장 영역이 증가되어 정확한 주행경로를 검출하기가 어렵다. 이로 인하여 AGV가 경로를 오인식 하거나 이탈하는 문제가 빈번하게 발생한다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 보다 정밀한 센서가 요구되어 여러 연구가 진행되었다[4][5].

이들 연구 중에서 홀 센서를 이용한 자기 위치측정에 관한 연구로 정밀도가 평균 4.76mm의 성능을 보인 가이드 센서가 개발되었으며, 다른 연구에서는 양극성 홀 센서 값을 디지털화하고 자석위치 값을 계산하며, 퍼지 추론 시스템을 이용하여 센서 성능을 개선한 연구로서 평균 정밀도 오차가 4.9mm의 성능을 보인 센서도 개발되었다. 이들의 연구결과는 상품화 되어 있는 센서(정밀도 10mm) 보다 우수한 보였으나, 분기 경로에 관한 연구가 진행되지 되지 못했다.

따라서 본 연구에서는 센서의 정밀도와 분기경로 관한 검출 성능을 향상시키기 위해 필터뱅크(Filter bank)[6]와 신경회로망[7]을 이용하여 가이드센서 설계법을 제안한다. 필터뱅크는 센서의 정밀도 향상을 위해 업샘플링(Up-sampling)와 인터폴레이션 처리로 센서의 정밀도를 향상시켰으며, 분기 경로의 검출을 위해서 신경회로망을 적용하였다. 그리고 제안된 기법의 성능을 검증하기 위해 8채널 가이드 센서를 구현하고 다양한 AGV 주행경로(직선 주행, 좌회전, 우회전, 3-방향경로)에 대하여 성능을 평가하고 그 효용성을 제시하였다.

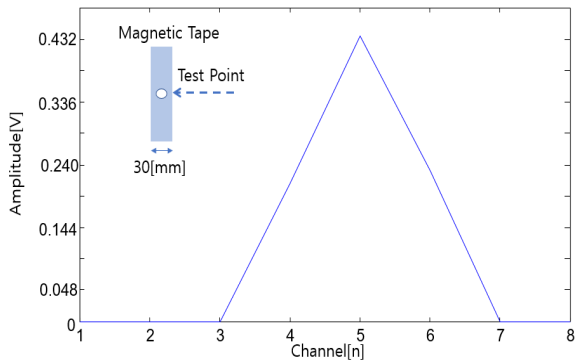
Ⅱ. AGV 가이드 센서 설계

2.1 주행 경로별 자기의 세기 특성

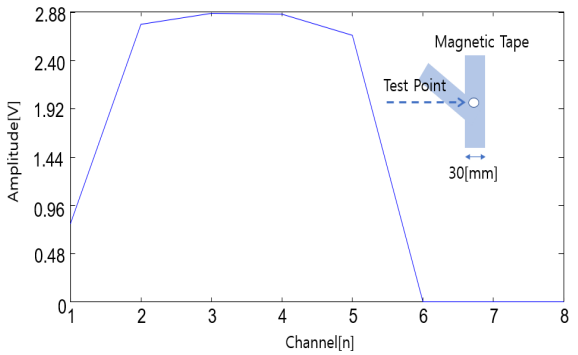
일반적으로 산업현장에서 AGV 주행경로용으로 사용되는 마그네틱테이프는 30~50mm 폭이며, 가우스 양은 30mm 높이에서 최대 20G 정도이다[8][9]. 보다 정확한 분석을 위해 본 연구에서는 실험으로 10mm 간격으로 20mV/G 감도를 갖는 홀 센서(WSH202) 8개를 일렬로 배치하여 다양한 AGV 주행경로에 따라 30mm 폭의 마그네틱테이프를 부착하여 50mm 높이에서 각 채널별 자기장 세기를 10배 증폭한 전압으로 측정하여 분석하였다. 측정된 자기장의 세기는 그림 1과 같으며, AGV의 주행경로 및 분기점의 형태에 따라 자기장의 영역이 변화됨이 확인되었다.

특히, 직선 경로인 그림 1(a)에서는 각 채널별 자기의 세기가 마그네틱테이프의 중심에서 멀어질수록 감소되는 현상이 관측되었지만, 그림 1(b)~(c)에

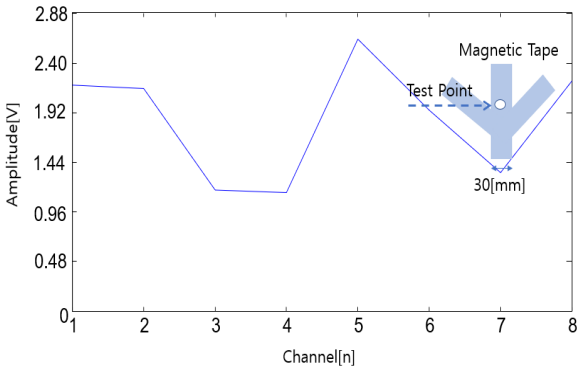
서는 좌회전 분기점과 3-방향 분기점에서는 전체적으로 자기의 세기가 증가됨과 동시에 자기장의 영역이 넓어지는 현상을 보였다. 이와 같이 이러한 특성 때문에 AGV의 위치 추정과 분기경로 검출에서 오류가 발생하는 것으로 판단된다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 정확한 위치 검출과 분기경로 추출 처리가 필요함을 알 수 있다.



(a) 단일 경로(직선)
(a) Straight route



(b) 좌회전 분기점
(b) Left turn branch



(c) 3-방향 분기점
(c) 3-way route branch

그림 1. 주행경로별 자기장의 세기
Fig. 1. Magnetic field strength by driving route

2.2 필터뱅크와 신경회로망을 기반한 센서 설계

본 연구에서는 센서의 정밀도 향상과 효과적인 경로추출을 위해 그림 2의 구조를 갖는 신호처리 기법을 제안한다. 제안된 기법의 구조는 그림 2와 같이 가이드센서 정밀도 향상을 위해 필터뱅크는 사용하고, 보다 정확한 경로추출을 위해 신경회로망을 사용하였다. 즉, 센서의 정밀도 향상을 위해 10mm 간격으로 배치 배치된 8개의 홀 센서의 출력 신호 s[n]을 A/D(Analog to Digital)변환한 후 업샘플링과 인터폴레이션(Interpolation)하여 신경회로망에 입력하고 입력된 신경회로망은 학습된 정보를 토대로 AGV 주행경로를 추출하여 출력하도록 한 것이다.

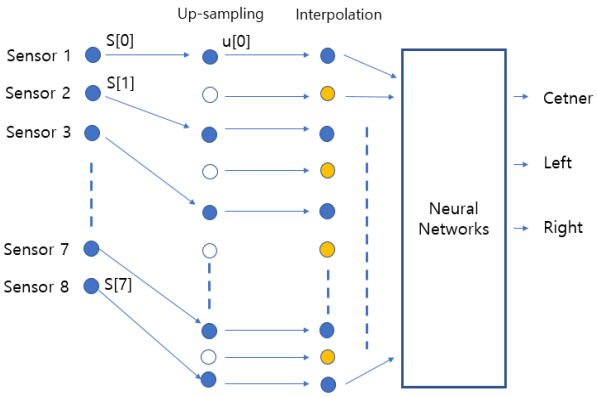


그림 2. 필터뱅크를 기반한 가이드 센싱 처리 알고리즘
Fig. 2. Sensing algorithm of guide sensor based on filer bank

여기서 필터뱅크 처리는 센서의 오프셋(Offset) 전압제거, 업샘플링, 인터폴레이션 등의 과정으로 이루진다. 오프셋 처리는 식 (1) 같이 측정된 센서 신호의 최소값을 추출하여 오프셋 전압을 제거하며, 제거된 신호 s[n]는 업샘플링 과정의 입력신호로 사용된다.

$$s[n] = s_i[n] - \min(s_i[0], \ldots, s_i[7]), \quad n = 0, 1, 2, \ldots, 7 \tag{1}$$

업샘플링처리는 식 (2)의 과정으로 8채널 신호를 16 채널로 확장하며, 인터폴레이션은 식 (3)과 식 (4)의 처리로 확장된 신호 u[n] 사이에 비어있는 값은 식 (3)과 같이 u[n]과 u[n-2]의 기울기를 구하여

추정하고 식 (4)인 이동평균필터 처리를 하게한 것이다. 이 과정을 통하여 센서 정밀도를 2배 이상으로 높일 수 있다.

$$u[n]=\begin{cases} s[n/L], & \text{for } n=0,L,2L,.... \\ 0, & else \end{cases} \tag{2}$$

$$\hat{s}[n]=u[n]+\frac{1}{2}(u[n]-u[n-2]) \tag{3}$$
$$i=0,1,...,K-1$$

$$s_F[n]=\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1}s[n-i] \tag{4}$$

한편, 이 과정의 출력인 $s_F[n]$는 센서의 중심점과 분기 경로를 추출하기 위하여 신경회로망 처리 과정에 입력하였다. 여기서 사용된 신경망은 그림 3과 같이 3층의 구조(입력층 뉴런 3개, 은닉층 3개, 출력층 뉴런 3개)로 활성화 함수를 선형함수로 설정하였으며, 신경망의 입력은 필터뱅크의 출력 $S_F[n]$을 3개의 그룹으로 식 (5)에서 식 (7)의 과정으로 재구조화하고 신경회로망에 입력하였다.

$$S_L=\left\{\sum_{x=0}^{10}S_F[x](x+1)\right\}/\sum_{x=0}^{10}S_F[x] \tag{5}$$

$$S_C=\left\{\sum_{x=0}^{15}S_F[x](x+1)\right\}/\sum_{x=0}^{15}S_F[x] \tag{6}$$

$$S_R=\left\{\sum_{x=5}^{15}S_F[x](x+1)\right\}/\sum_{x=5}^{15}S_F[x] \tag{7}$$

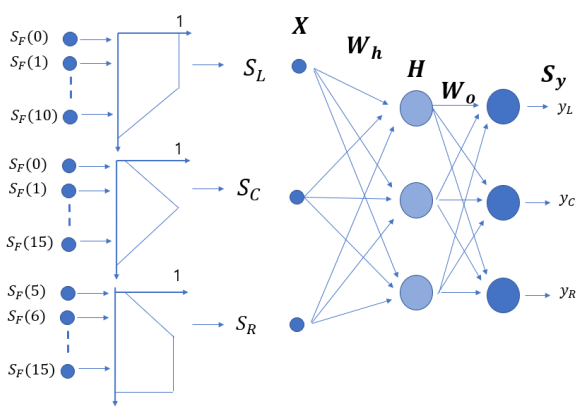


그림 3. 신경회로망의 구조
Fig. 3. Structure of neural networks

이 3개의 그룹은 직선, 좌회전, 우회전 등의 경로를 AGV가 주행할 때 가장 많이 센싱되는 영역을 설정하여 그 설정 영역의 센서값을 토대로 센서의 중심값 위치를 무게중심법(Center of gravity)으로 값을 구하여 입력하였다. 즉, 이 무게 중심값은 관심영역(좌측, 중앙, 우측)에 분포되어 있는 값들의 중심 위치를 추정한 것이다. 이들 신호는 신경회로망의 입력벡터로 사용되며, 이 입력 벡터 X는 식 (8)와 같이 표현된다.

$$X=[S_L\ S_C\ S_R] \tag{8}$$

입력벡터 X로부터 신경회로망은 식 (9)에서 식 (10)의 연산처리의 과정을 통하여 마그네틱테이프 상에 센서 중심위치를 추정하게 하였다. 여기서 식 (9)과 식 (10)에서 W_h과 W_o는 입력층과 은닉층 사이, 은닉층과 출력층 사이의 가중치(Weight) 행렬이며, H는 은닉층 뉴런의 출력이다. 그리고 은닉층과 출력층 뉴런의 활성화함수는 마이크로컨트롤러의 연산처리 시간을 고려하여 기울기가 λ인 선형함수(Linear function)를 사용하였다.

$$H=\lambda W_h X^T=\lambda\begin{bmatrix} w_{11}\ w_{12}\ ....\ w_{j8} \\ w_{21}\ w_{22}\ ....\ w_{j8} \\ :\ \ :\ \ ....\ \ : \\ w_{j1}\ w_{j2}\ ....\ w_{j8} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ : \\ x_7 \end{bmatrix} \tag{9}$$

$$S_y=\lambda W_o H=\lambda\begin{bmatrix} w_{11}\ w_{12}\ ....\ w_{1J} \\ w_{21}\ w_{22}\ ....\ w_{2J} \\ w_{31}\ w_{32}\ ....\ w_{3J} \end{bmatrix}H \tag{10}$$

그리고 신경회로망의 학습을 위해 오류역전파(Error back propagation) 알고리즘을 사용하였다[4]. 이 학습 알고리즘은 가중치의 변화량을 식 (11)과 식 (12)로부터 구하여 최적의 가중치를 구한다. 학습 데이터는 마그네틱테이프를 AGV 주행경로의 종류(직선, 좌회전, 우회전, 3-방향경로)에 따라 지면에 부착하고 그 중심값과 센서값을 측정하여 학습 데이터로 사용하였다. 즉, 학습을 통하여 목표값(Desired value) S_D와 신경망의 출력 S_y의 학습오차 E가 최소가 되는 최적의 W_h와 W_o를 구할 수 있다.

$$E=\frac{1}{2}(S_D-S_y)^2 \tag{11}$$

$$W_O=W_O+\eta\frac{\partial E}{\partial W_o},\quad W_h=W_h+\eta\frac{\partial E}{\partial W_h} \tag{12}$$

여기서 η는 학습상수이다. 이와 같이 제안된 기법의 과정으로 보다 높은 정밀도와 주행경로를 얻을 수 있으며, AGV의 주행 안정성도 높아 질 것으로 사료된다.

III. 실험 및 결과

본 연구에서는 제안한 가이드센서 알고리즘을 8비트 RISC CPU인 Atmega32와 WSH202 홀센서를 사용하여 그림 4와 같이 구현하였고, 알고리즘은 표 1의 파라미터인 필터뱅크와 이동평균필터를 사용하였다. 실험에서 사용된 신경회로망은 Matlab의 nntool을 사용하여 신경회로망을 설계하고 학습시켰다. 여기서 사용된 학습상수 0.01이며, 학습이 완료된 후, 가중치만 CPU에 업로드 하였다. 그리고 CPU는 업로드된 신경망의 가중치 정보를 가지고 전방향(Feed forward) 연산처리를 하게 프로그램 하였다. 또한 신경회로망의 출력(중심점 값, 좌측 중심값, 우측 중심값)을 38400bps 속도의 직렬통신과 0.01[s] 샘플링 간격으로 PC에서 전송받아 제안된 가이드 센서의 성능을 평가 하였다.

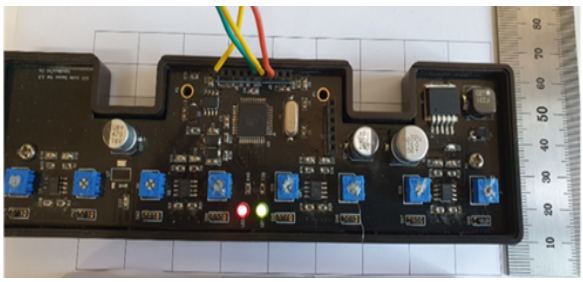
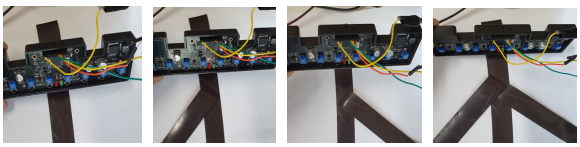


그림 4. 구현된 가이드 센서 장치
Fig. 4. Implemented guide sensor unit

표 1. 이동평균 필터와 신경회로망의 파라미터
Table 1. Parameters of moving average filter and neural networks

Items	Constant
Order of moving average filter	4
Learning rate of neural networks	0.01

실험에서 사용된 학습데이터는 각 0.5cm 간격으로 마그네틱테이프의 중심값(폭표값)과 그림 5와 같이 직선, 좌회전, 우회전, 3-방향 경로 등의 형태에 따라 측정된 각 채널의 센서 값들로 구성된 120개의 데이터를 사용하였다.

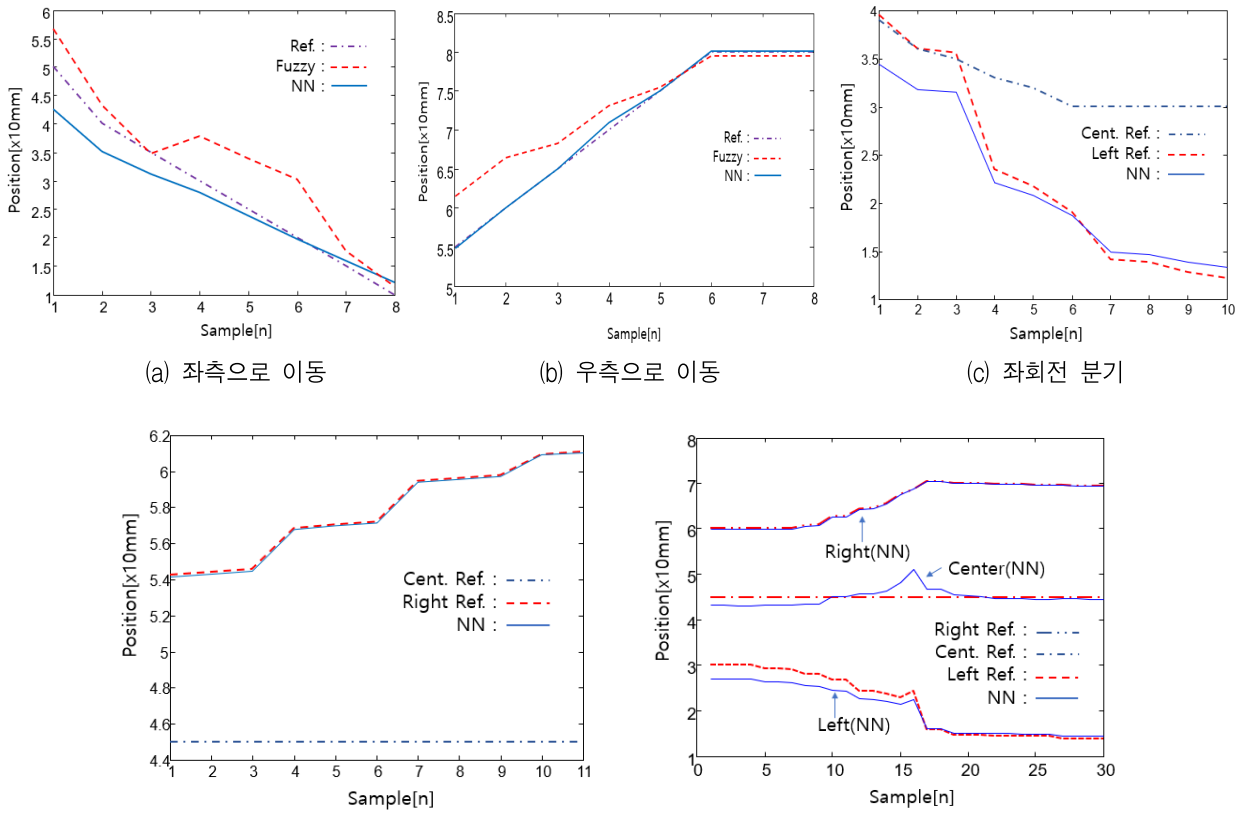


(a) 직선 (b) 좌회전 (c) 우회전 (d) 3-방향경로
그림 5. 실험에 사용된 주행경로 형태
Fig. 5. Types of path used in experimentation, (a) Straight, (b) Left turn branch, (c) Right turn branch, (d) 3-way route

그리고 중심점 추출과 분기경로 추출의 실험에서는 센서 높이 50mm에서 4종류의 경로각각 각각 10회씩 실험 실시하여 실험하고 성능평가를 하였으며, 그 대표적인 결과를 그림 6과 표 2에 나타내었다. 그림 6의 결과에서 Ref.는 측정된 가이드 센서의 중심값, NN은 신경회로망의 출력값, Sample[n]은 5mm 간격으로 이동한 샘플링 순서이다. 실험의 결과를 살펴보면, 그림 6(a)와 6(b)는 개발된 가이드 센서 중심(50mm)에 좌측으로 이동시키면서 얻은 결과이며, 초기에는 신경회로망이 좌측의 추정오차가 0.7mm 나타났으나, 전체적인 정밀도는 표 2(Straight left)에 제시된 의 평균 것과 같이 2.8mm 오차가 나타났으며, 이는 이전의 연구결과[5]인 4.3~4.9mm보다 성능이 향상되었다.

표 2. 센서 정밀도 실험에서 제안방법의 결과
Table 2. Results of the proposed method in experimentation for sensor accuracy

Route type		Average of absolute error[mm]	
		Fuzzy method	Proposed method
Straight	Left	5.1	2.8
	Right	3.4	0.2
Left turn branch		-	1.8
Right turn branch		-	0.2
3-way route	Left	-	1.2
	Center	-	1.3
	Right	-	0.1
Total Average		4.25	1.1



(a) 좌측으로 이동 (b) 우측으로 이동 (c) 좌회전 분기

(d) 우회전 분기 (e) 3-방향 경로

그림 6. 주행경로별 신경회로망의 출력

Fig. 6. Outputs of neural networks about route types, (a) Move left, (b) Move right, (c) Left turn branch, (d) Right turn branch, (e) 3-way route

우측으로 이동에서는 표 2(Straight right)와 같이 0.2mm의 오차를 보여 좌측보다 높은 정밀도 성능을 보였다. 그림 (b)보다 그림 (a)와 그림 6(c)에서 발생된 오차(Center(NN)와 Ref.간의 오차)는 신경회로망의 학습 데이터를 생성과정에서 오차가 발생된 것으로 사료되며, 보다 정확하고 많은 학습데이터를 사용한다면 우측과 같은 성능을 보일 것으로 사료된다. 또한 분기 경로 추출에 관한 실험에서는 그림 6의 (c)~(d)는 표 2(Left turn branch, Right turn branch)와 같이 경로 추정 오차가 최대 1.8mm의 성능을 보였다. 그리고 그림 6의 (e)는 가이드센서를 3-방향 경로가 있는 마그네틱테이프 로드에 직진으로 주행하였을 때 좌측과 우측, 중앙값을 신경회로망이 추정한 결과이다. 이 결과는 표 2(3-way rout: Left, Center, Right)와 같이 최대 1.3mm(표 2)의 오차를 보였으며, 그림 6(d)의 3-방향 경로 추정에서도 최대 1.3mm의 오차 성능을 보였다.

그리고 참고문헌 [5]에서 연구된 퍼지추론의 방법과 성능을 비교 분석 하였다. 이 퍼지 추론에 의한 기법은 단일 경로에 대한 연구이기 때문에 분기 경로를 제외한 단일 경로만 성능을 비교하였으며, 그 결과를 표 2에 나타내었다. 표 2와 같이 제안된 기법은 퍼지 추론의 기법보다 최소 2배 이상의 정밀도를 보였다. 이와 같이 제안된 설계법을 AGV 가이드 센서 설계에 적용한다면 보다 정밀한 센싱 성능을 제공할 것으로 사료된다.

Ⅳ. 결 론

스마트팩토리를 위해 산업현장에 도입되는 AGV는 가이드센서 기반의 AGV이다. 이 AGV에 가장 중요한 센서는 가이드 센서이며, 가이드 센서의 정밀도에 낮은 경우에 AGV가 자세 제어할 때 좌·우 흔들림이 빈번하게 발생되며, 특히 곡선 주행에서 주행경로 이탈 현상이 발생하는 경우가 발생한다.

이러한 문제점을 개선하기 위해 본 연구에서는 무인 운반차(AGV)용 필터뱅크와 신경회로망을 이용한 신호처리 기법을 제안하고 구현하여 그 성능을 평가하였다. 실험에서 제안된 알고리즘을 적용한 센서의 평균 정밀도 1.1mm로 높은 정밀도를 보였다. 이와 같이 제안된 기법의 센서를 AGV에 적용함에 따라 자세제어 및 주행 안정성이 향상될 것으로 사료된다.

References

[1] Iris F. A. Vis, "Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems", European Journal of Operational Research, Vol. 170, No. 3 pp. 677-709, May 2006.

[2] L. Gao, P. Yuan, T. Wang, Z. Shi, S. Cao, and X. Ji, "Automatic recognition about Pallet based on tracking algorithm of lidar and SLAM", 2016 International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM), Macau, China, pp. 196-201, Aug. 2016.

[3] R. Chen, F. Hao, and Z. Fei, "Design of magnetic navigation automatic guided vehicle system", Journal of Physics: Conference Series, Nanjing, China, Vol. 1311. No. 1. article id. 012040, Sep. 2019.

[4] Hyunhak Cho and Sungshin Ki, "Development of Magnet Position Device for Outdoor Magnet Guidance Vehicle", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 24, No. 3, pp. 259-264, Jun. 2014.

[5] Moonho Park, Hyunhak Cho, Kwangbaek Kim, and Sungshin Ki, "Improvement of Bipolar Magnetic Guidance Sensor Performance using Fuzzy Inference System", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 24, No. 1, pp. 058-063, Feb. 2014.

[6] N. J. Flieget, "Multirate digital signal processing: multirate systems, filter banks, wavelets", Chichester Wiley, 1994.

[7] M. W Gardner and S. R. Dorling, "Artificial neural networks (the multilayer perceptron)—a review of applications in the atmospheric sciences", Atmospheric environment, Vol. 32. No. 14-15, pp. 2627-2636, Aug. 1998.

[8] logiworks, LWM50-1 magnetic tape manual, http://logiworks.net [accessed: Dec. 02. 2019]

[9] bhtech, "Introduction of production", http://bh-tech.co.kr/ [accessed: Dec. 02. 2019]

저자소개

이 병 로 (Byeong-Ro Lee)

1999년 2월 : 경상대학교 전자공학과 (공학박사)
2000년 3월 ~ 현재 : 경남과학기술대학교 전자공학과 교수
관심분야 : 신호처리, 전자응용시스템

이 주 원 (Ju-Won Lee)

2003년 2월 : 경상대학교 전자공학과 (공학박사)
2008년 9월 ~ 현재 : 안동과학대학교 전기자동화과 부교수
관심분야 : 신호처리, 전자응용시스템