

다중 마스크링과 무게중심법을 기반한 AGV용 가이드 센서 신호처리

이병로¹, 이주원^{2*}

¹경상국립대학교 융합전자공학부, ²안동과학대학교 전기자동화과

Signal Processing of Guide Sensor based on Multi-Masking and Center of Gravity Method for Automatic Guided Vehicle

Byeong-Ro Lee¹, Ju-Won Lee^{2*}

¹Division of Convergence Electronics Engineering, Gyeongsang National University

²Department of Electric and Automation, Andong Science College

요 약 AGV에서 가장 중요한 부품은 가이드 센서이며, 이 센서의 대표적인 기능은 정밀한 주행경로 추출이다. 가이드 센서의 정밀도에 낮거나 잘못된 주행 경로를 추출한다면 AGV가 충돌하거나 AGV 제어에서 좌우 흔들림이 발생되어 적재물이 낙하, 주행경로 이탈 등의 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 본 연구에서는 다중 마스크링과 무게중심법을 이용한 가이드센서 신호처리 기법을 제안하고 구현하여 그 성능을 평가하였다. 그 결과, 직진경로 및 좌/우 분기 경로 추출의 평균오차가 2.32[mm]를 보였으며, 특히 기존의 무게중심법 보다 27[%]이상의 성능개선을 보였다. 이와 같이 제안된 가이드 센서 신호처리 기법을 적용한다면 AGV 자세 제어와 주행 안정성이 향상될 것으로 사료된다.

• 주제어 : 무인 운반차, 마그네틱 가이드 센서, 다중 마스크링, 무게중심법, 경로 추출

Abstract The most important device of the AGV is the guide sensor, and the typical function of this sensor is high accuracy and extraction of the road. If the accuracy of the guide sensor is low or the sensor device is extracted the wrong track, this causes the problems such as the AGV collision, track-out, the load falling due to AGV swing. In order to improve these problems, this study is proposed a signal processing method of the guide sensor based on multi-maskings and the center of gravity method, and evaluated its performance. As a result, the proposed method showed that the mean error of absolute value is 2.32[mm] and it showed performance improvement of 27[%] than the center of gravity method of existence. Therefore, when the proposed signal processing method is applied, It is thought that the posture control and driving stability of the AGV will be improved.

• Key Words : Automatic Guided Vehicle, Magnetic Guide Sensor, Multi-Masking, Center of Gravity Method, Path extraction

Received 18 May 2021, Revised 29 June 2021, Accepted 30 June 2021

* Corresponding Author Ju-Won Lee, Department of Electric and Automation, Andong Science College, 189 Seoseon-gil, Andong-si, Gyeongsangbuk-do, Korea. E-mail: bioee52@empas.com

I. 서론

AGV(Automatic Guided Vehicle)는 자율 주행 로봇의 한 종류로서 스마트팩토리 현장에서 물류 운반을 위해 가장 많이 도입되는 사용되는 장비이다. 그 종류로는 마그네틱(magnetic) 가이드 센서에 기반한 AGV, LiDAR 센서를 이용한 AGV, 패턴마크와 영상카메라를 이용한 AGV 등으로 분류된다[1-2]. AGV 내부의 구성요소는 AGV 위치 및 속도를 판단하기 위한 센서부, 주어진 경로를 주행하기 제어부, 모터 구동부, AGV 상태 표시부, 배터리 충전 및 내부회로의 전원을 공급하는 전원부, PLC 및 네트워크 링크를 위한 통신부 등으로 구성되어 있다. 일반적으로 산업 현장에서 가장 많이 사용되는 AGV는 저가형인 마그네틱 가이드 센서 기반의 AGV이다. 이 AGV는 바닥에 설치된 자기(magnetic) 테이프에서 발생하는 자계의 세기를 8개 또는 16개 이상의 홀 소자(Hall sensor)를 일정 간격으로 배치하고 검출하여 주행과 자세제어를 한다[3]. 특히, AGV의 주행과 자세제어에 있어 주행 궤적인 자기 테이프의 중심을 정확하게 검출하여야 자세제어와 주행 안정성을 높일 수 있다. 그러나 홀 센서의 간격 차에 의한 오차로 인하여 AGV의 좌우 흔들림이 빈번하게 발생되며, 이로 인하여 적재물 또는 견인 물건이 낙하하는 사고가 발생 하거나 AGV가 주행 경로를 이탈하는 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 무게 중심법(centroid of gravity method)을 이용한 신호처리 방법이 연구되었다[4]. 이 방법은 직진 주행에서 높은 정밀도와 주행제어의 안정성을 제공하였으나, 여러 개의 자기 테이프가 겹쳐 있는 분기점에서는 정확한 마그네틱 중심과 주행 궤적을 검출하지 못하는 문제점이 발생하였다. 최근의 연구에서는 가이드 센싱 정밀도와 분기점 검출의 성능을 개선하기 위해 필터뱅크(filter bank)와 신경망(Neural Network)을 이용한 가이드센서 신호처리 기법이 제시되었다. 이 연구에서는 가이드 센서의 정밀도를 높이기 위해 필터뱅크 신호처리를 하였고, 주행 경로(직선 주행, 좌회전, 우회전, 3-방향 경로) 인식에 신경망을 적용하였다[5]. 이 방법은 높은 정밀도와 정확한 분기점을 검출하는 성능을 제공하였으나, 신경망의 학습을 위해 홀-센서의 오프셋(offset)이 없고 정확한 다량의 데이터가 필요로 하는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 다중 마스크(masking)와 무게중심법을 기

반한 가이드 센서 신호처리 기법을 제안한다. 제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 가이드 센서 하드웨어에 펌웨어 소프트웨어로 구현하였으며, 3-방향이 있는 주행 경로를 토대로 직진 경로, 좌-분기 경로, 우-분기 경로 등을 추출하는 성능과 센서의 정밀도를 평가하여 제안된 기법의 활용 가능성을 제시하였다.

II. 다중 마스크와 무게중심법을 이용한 가이드 센서 신호처리

2.1 주행경로 형태에 따른 가우스 세기 특성

AGV 주행 경로용으로 사용되는 자기 테이프는 30-50mm 폭으로 30mm 높이에서 최대 20[G] 정도의 가우스 양이 검출되며, 주행 경로의 형태(직선경로, 좌-분기, 우-분기)에 따라 자기장의 영역과 가우스 세기의 변화 된다. 즉, 그림 1과 같이 자기 테이프의 중심에서 멀어질수록 가우스 세기가 감소되지만, 분기점에서는 자기의 세기가 증가됨과 동시에 자기장의 영역이 넓어지는 현상이 나타난다[4-7].

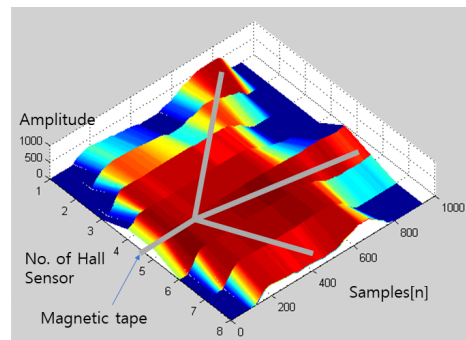


Fig. 1. Gauss strength for 3-way magnetic road.

이러한 특성 때문에 AGV의 주행 경로(직선 주행, 좌-분기, 우-분기)에 따른 자기 테이프의 중심과 궤적을 정확하게 검출하기가 어렵다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 주행경로의 형태에 따라 정확한 자기 테이프의 중심 위치를 검출하는 신호처리가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 AGV의 주행경로를 검출하기 위한 사용된 센서는 그림 2와 같이 32비트 RISC CPU인 STM32F103RCT와 16개의 Allegro A1389 홀 센서(hall sensor)로 구성된 가이드 센서를 토대로 마스크

(masking) 기반의 가이드 센서 신호처리 기법을 제안한다.

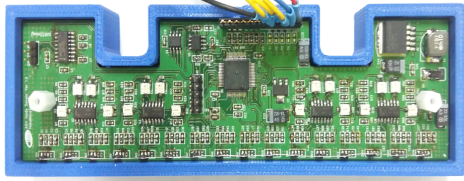


Fig. 2. Magnetic guide sensor

2.2 가이드 센서 신호처리

본 연구에서는 AGV의 주행 경로(직선 주행, 좌-분기, 우-분기)에 따른 자기 테이프의 중심을 정확하게 검출하여 AGV의 주행 안정성을 향상시키기 위해 그림 3의 구조를 갖는 가이드 센서 신호처리 기법을 제안한다. 제안된 방법은 AGV의 주행 경로에 따른 홀 센서의 출력을 선택된 경로 추출 지령에 따라 적응(adaptive)으로 마스킹 처리를 하여 주행 궤적에 따른 경로의 중심을 출력하는 것이며, 이 출력은 AGV 주행 제어의 기준 신호(reference)로 사용된다.

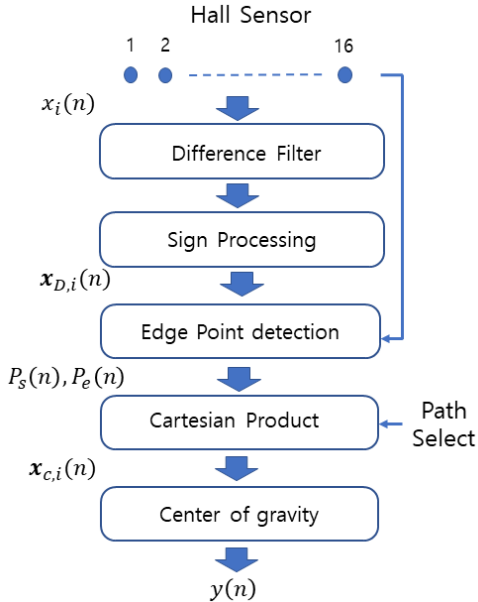


Fig. 3. Proposed signal processing for the magnetic guide sensor

제안된 신호처리 구조를 살펴보면, 첫 번째 단계는 그림 4와 같이 먼저 16개의 홀센서의 출력인 $x_i(n)$ 의

진폭이 분기점(좌-분기 또는 우-분기, 3-방향 경로)에 따라 진폭 변화를 검출하는 단계이며, 식(1)과 식(2)의 차분필터(difference filter)와 식(3)의 2진화 함수를 사용하였다. 여기서 식(1)은 좌측에서 우측으로 차분 필터링을 한 것이고, 식(2)는 우측에서 좌측으로 차분 필터링을 한 것이다.

$$x_{D_a,i}(n) = \begin{cases} f_{sign}(x_i(n) - x_{i+1}(n)), & 1 < i < N \\ f_{sign}(x_i(n)), & i = 1, i = N \end{cases} \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

$$x_{D_b,i}(n) = \begin{cases} f_{sign}(x_i(n) - x_{i-1}(n)), & 1 < i < N \\ f_{sign}(x_i(n)), & i = 1, i = N \end{cases} \quad (2)$$

$$i = N, N-1, \dots, 1$$

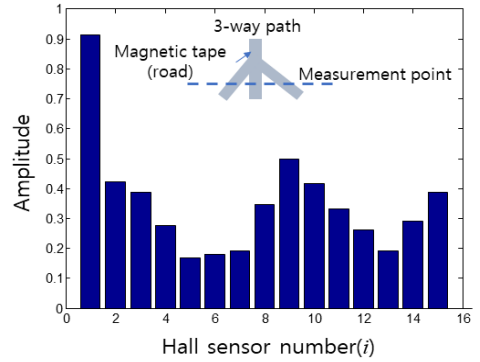


Fig. 4. Output of the i -th hall sensor (3-Way path)

이는 필터링 방향에 따라 자기장 변화점이 다르기 때문에 양방향으로 자기장의 변화를 검출하고 식(4)의 논리합(\oplus) 연산처리를 함으로 해서 마그네틱 로드 의 폭을 보다 정확하게 검출할 수 있다. 여기서 식(1)에서 부터 식(4)까지 사용된 i 는 홀 센서의 번호이고, N 은 홀 센서의 최대 수, n 은 샘플링 번호이다. 그리고 식 (3)은 차분 필터링 된 결과를 2진화하기 위한 함수이다.

$$f_{sign}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

$$x_{D_i}(x) = x_{D_a,i}(n) \oplus x_{D_b,i}(n), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

이러한 처리과정을 통하여 그림 5와 같이 AGV의 경로의 형상을 검출할 수 있으며, 또한 각각의 마그네틱

로드(road)에서 발생하는 자기장의 경계를 검출할 수 있다.

자기장의 경계를 검출함에 있어 식(5)에서부터 식(9)의 과정을 이용하였다. 이 과정으로부터 마그네틱 로드의 시작점과 끝점을 추출할 수 있으며, 이를 이용하여 카테시안(Cartesian) 연산과 무게중심법(Center of gravity method)으로 궤적의 중심을 추정할 수 있다.

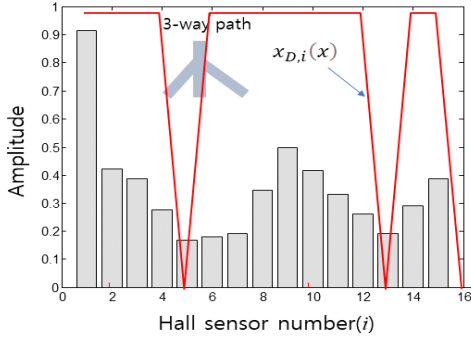


Fig. 5. Output of sign processing

여기서 식(5)에서부터 식(12)의 과정은 3-방향 경로에 대하여 마그네틱 로드의 경계를 추출한 것으로 식(6)과 식(7)는 좌측에 존재하는 마그네틱 로드의 폭의 시작점 $x_{LS}(n)$ 과 끝점 $x_{LE}(n)$ 의 위치를 추출하는 것이고,

$$\mathbf{x} = [0, x_{D1}(n), x_{D2}(n), \dots, x_{DN}(n), 0] \quad (5)$$

$$x_{LS}(n) = \begin{cases} i, & \text{until } x(i) > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, N+1$$

$$x_{LE}(n) = \begin{cases} i, & \text{until } x(i) = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$i = x_{LS}(n) + 1, \dots, N+1$$

식(8)과 식(9)의 $x_{RS}(n)$ 과 $x_{RE}(n)$ 는 우측에 존재하는 마그네틱 로드의 시작점과 끝점을 나타낸 것이다.

$$x_{RE}(n) = \begin{cases} i, & \text{until } x(i) > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

$$i = N+1, N, \dots, 0$$

$$x_{RS}(n) = \begin{cases} i, & \text{until } x(i) = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

$$i = x_{RE}(n) - 1, \dots, 0$$

그리고 3-방향의 로드에서 직선 주행 경로는 N-채널의 홀 센서값 모두를 식(10)의 무게 중심을 구하고 그 무게중심인 i_c 을 토대로 식(11)과 식(12)를 이용하여 마스크 영역 x_{CL} , x_{CR} 를 구하였다.

$$i_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N x(i)i}{\sum_{i=1}^N x(i)} \right] \quad (10)$$

$$x_{CL}(n) = \begin{cases} i, & \text{until } x(i) = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

$$i = i_c - 1, i_c - 2, \dots, 0$$

$$x_{CR}(n) = \begin{cases} i, & \text{until } x(i) = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

$$i = i_c + 1, \dots, N+1$$

식(5)에서부터 식(12)의 과정에서 추출된 값은 자기장의 넓게 분포된 분기점(좌-분기, 우-분기, 3-방향 분기)에서는 추출된 마스크의 영역이 마그네틱 로드의 폭 w_G 를 초과하는 경우가 발생하며, 이를 보정하기 위해 식(13)~식(16)과 같이 마그네틱 로드의 폭을 초과하지 못하도록 하였다.

$$x_{LE}(n) = \begin{cases} x_{LE}(n) + w_g, & [x_{LE}(n) - x_{LS}(n)] > w_G \\ x_{LE}(n), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

$$x_{RS}(n) = \begin{cases} x_{RS}(n) - w_g, & [x_{RE}(n) - x_{RS}(n)] > w_G \\ x_{RS}(n), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

$$x_{CL}(n) = \begin{cases} i_c(n) - w_g/2, & [x_{CR}(n) - x_{CL}(n)] > w_G \\ x_{CL}(n), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

$$x_{CR}(n) = \begin{cases} i_c(n) + w_g/2, & [x_{CR}(n) - x_{CL}(n)] > w_G \\ x_{CR}(n), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

이러한 신호처리 기법을 토대로 경로 선택의 명령 (path select)에 따라 식(17)의 무게중심법을 적용하여 경로 중심을 추출하게 하였다. 즉, 예로 좌-분기를 검출하고자할 경우 $x_s = x_{LS}(n)$, $x_e = x_{LE}(n)$ 으로 대입하여 추출하게 하였다.

$$y(n) = \left[\sum_{i=x_s}^{x_e} x(i)i \right] / \sum_{i=x_s}^{x_e} x(i) \quad (17)$$

위와 같이 제안한 신호처리 기법은 신경망 기법 보다 학습데이터를 요구하지 않으며, 센서의 오프셋을 고려할 필요가 없다. 그리고 참고문헌 [5]에서 제안한 무게중심법의 단점을 다중 마스크킹 기법으로 개선하였다. 따라서 제안된 기법으로 보다 높은 정밀도와 정확한 주행 궤적을 얻을 수 있으며, 이를 통하여 AGV의 주행 안정성도 높아 질 것으로 사료된다.

III. 실험 및 결과

본 연구에서 제안한 가이드 센서 신호처리 기법의 성능을 평가하기 위해 그림 2에서 제시된 가이드 센서 (홀 센서 16개, 10[mm] 간격으로 배치)에 제안된 신호처리 기법을 펌웨어로 구현하였으며, 3[cm]폭을 가진 마그네틱 로드를 3-방향 경로형태로 구성하고 경로(궤적) 선택 명령(좌-경로, 우-경로, 직진)에 따라 신호처리한 결과를 38400[bps]의 직렬통신 속도와 0.1[s]의 샘플링 간격으로 PC로 전송하게 하였다. 실험 데이터 측정은 노면에서 50[mm] 높이에서 좌측에서 우측방향으로 가이드센서를 연속적으로 이동시키면서 측정하였다. 그리고 제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 직선 경로, 좌-분기 경로, 우-분기 경로, 3-방향 경로에 대한 경로 추출 결과를 시리얼 통신으로 데이터를 받아 기존의 무게중심법(COG Method)과 비교하였다. 센서의 정밀도를 평가하기 위해 Ref값은 가이드센서를 이동시킬 때 마그네틱테이프의 중앙값을 측정하여 사용하였다. 성능평가는 오차의 절댓값을 평가하였으며 그 결과를 그림 6과 표 1에 나타내었다. 실험 결과인 그림 6과 표 1의 결과를 살펴보면, 직진 경로 검출에서는 제안된 방법은 최소 오차가 2.67[mm], 기존의 무게중심법의 오차가 최소 1.53[mm]로 나타나 무게중심법이 제안된 방법보다 정밀도가 높았다. 그러나 그림 6에서 분기의 시작점에서 일정 구간까지 관찰하면 제안된 방

법이 기존의 무게중심법 보다 안정적임을 확인 하였다. 이 구간에서 오차가 발생할수록 AGV는 좌우로 크게 흔들리는 현상이 발생한다. 이에 제안된 방법은 AGV의 흔들림 현상이 작을 것으로 사료된다. 좌/우 분기 경로를 검출하는 실험 결과에서는 기존의 무게중심법으로는 좌/우 분기경로를 검출할 수 없었으나 제안된 방법이 최대 2.5[mm]의 오차인 성능으로 원활하게 경로를 검출함을 할 수 있었다. 이 실험의 결과를 전반적으로 살펴보면 제안된 방법의 평균 오차가 2.32[mm]로 산출되어 기존으로 방법보다 27[%] 이상의 성능개선과 주행안정성을 보였다. 이 결과로부터 제안된 신호처리 알고리즘이 AGV의 주행 안정성을 향상시킬 것으로 사료된다.

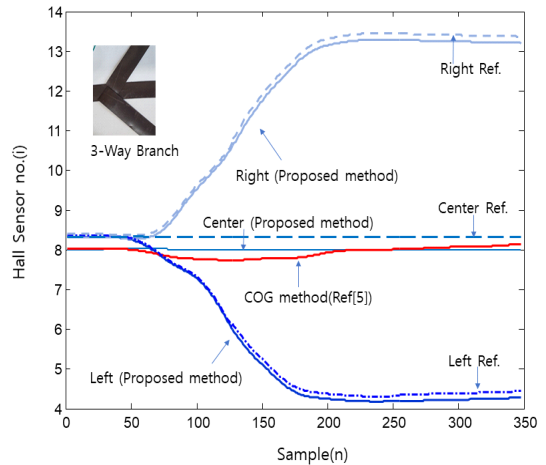


Fig. 6. Results of track extraction for straight(center), left path and right path in experimentation.

Table 1. Performance of the proposed method

Absolute value of Error[mm]	Proposed Method			COG Method(Ref[5])
	Left	Right	Center	
Max	2.50	2.50	3.00	5.71
Min	1.50	1.50	2.67	1.53
Max-Min	1.0	1.0	1.67	4.18
Mean	1.99	2.00	2.97	3.61

III. 결론

스마트팩토리를 위해 도입되는 마그네틱 가이드센서 기반의 AGV에서 가장 중요한 부품은 가이드 센서이며, 이 센서의 대표적인 기능은 정밀한 주행경로 추출이다. 센서의 정밀도에 낮거나 잘못된 주행 경로를 추출한다면 AGV가 충돌하거나 좌우 흔들림이 빈번하게 발생되어 적재물이 낙하 또는 주행경로 이탈 등의 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 본 연구에서는 다중 마스킹과 무게중심법을 이용한 가이드 센서 신호처리 기법을 제안하고 그 성능을 평가하였다. 실험에서 제안된 알고리즘의 성능이 기존의 무게중심법 보다 27% 이상의 성능개선을 보였다. 따라서 제안된 신호처리 기법을 마그네틱 가이드 센서의 설계에 적용한다면 AGV 자세 제어와 주행 안정성이 향상될 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 논문은 2020년도 경상국립대학교 교원연구활성화 지원사업의 예산지원으로 수행되었음.

REFERENCES

- [1] Seong-Hoon Lee, "An Analysis on the Changes of Logistics Industry using Internet of Things", Journal of Advanced Information Technology and Convergence, vol. 9, no. 1, pp. 57-66, Sept, 2019.
- [2] Ruwen Chen, Fei Hao, and Zifan Fei. "Design of magnetic navigation automatic guided vehicle system", Journal of Physics: Conference Series. vol. 1311. no. 1. 2019, pp. 1-7.
- [3] J. W. Lee, B. R. Lee, "Design of Automatic Guided Vehicle Controller with Built-in Programmable Logic Controller", Journal of the Institute of Convergence Signal Processing, Vol. 204, No. 3, pp. 118-124, 2019.
- [4] J. W. Lee, B. R. Lee, "Design of a Guide Sensor Based on Neural Networks and Filter Bank for Automatic Guided Vehicle", Journal of Korean Institute of Information Technology, vol. 18, no. 7, pp. 21-27. 2020

- [5] H. H. Tack, S. G. Kwon, "Driving Control of Automated Guided Vehicle Using Centroid of Gravity Method", Journal of the Korea Society Industrial Information System, vol. 19, no. 2, pp. 59-66, 2014.
- [6] logiworks, (2021, Jan, 2), LWM50-1 magnetic tape manual, [Online]. Available: <http://logiworks.net>
- [7] bhtech, (2021, Jan, 2), introduction of production, [Online]. Available: <http://bh-tech.co.kr>

저자소개

이 병 로 (Byeong-Ro Lee)



1999년 2월 : 경상국립대학교
전자공학과(공학박사)
2000년 3월~현재 : 경상국립대학교
융합전자공학과 교수
관심분야 : 시스템 신호처리,
영상처리, 전자응용 시스템

이 주 원 (Ju-Won Lee)



2003년 2월 : 경상국립대학교
전자공학과(공학박사)
2009년 9월~현재 : 안동과학대학교
전기자동화과 부교수
관심분야 : 시스템 신호처리,
영상처리, 지능제어