

RFID 기반 최단시간 알고리즘 라인트레이서

김철민* · 조희영* · 윤태성* · 신호준* · 박형근**

RFID-based Shortest Time Algorithm Line Tracer

Cheol-Min Kim* · Hee-Young Cho* · Tae-Sung Yun* · Ho-Jun Shin* · Hyoung-Keun Park**

요약

현대 기술의 발전으로 인해 인력을 대체할 수 있는 무인 자동화 설비의 사용이 증가하고 있다. 그러한 자동화 설비 중 하나인 무인 반송차(AGV)의 기술에는 적외선 센서를 통해 라인을 인식하여 정해진 경로를 주행할 수 있는 라인 트레이싱(Line Tracing)이 있다. 본 논문에서는 라인 트레이싱 기술에 아두이노를 이용한 최단 시간 알고리즘을 구성하여 효율적인 주행을 가능하게 하였다. 또한 여기에 RFID 태그를 사용하여 위치-시간 정보를 수집할 수 있도록 설계하였다.

ABSTRACT

With the development of modern technology, the use of unmanned automation equipment that can replace humans in logistics and industrial sites is increasing. The technology of one such automation facility, the Unmanned Carrier (AGV), includes Line Tracing, which allows you to recognize a line through infrared sensors and drive a predetermined route. In this paper, the shortest time algorithm using Arduino is configured in the line tracing technology to enable efficient driving. It is also designed to collect location and time information using RFID tags.

키워드

Line Tracer, Arduino, IR Sensor, RFID, Speed-based-Dijkstra Algorithm
라인 트레이서, 아두이노, 적외선 센서, RFID, 속도 기반-다익스트라 알고리즘

1. 서론

현대 사회의 급격한 기술 발전에 따라 단순 반복 작업에 자동화 기술이 투입되고 있으며 점차 인력을 대체할 방안으로 큰 비중을 차지하는 것이 물류용 로봇이다. 다양한 물류용 로봇 중에서 가장 빠르게 상용

화되고 있는 운반 로봇은 무인 육상 이동체(UGV)의 하나인 무인 반송차(AGV : Automatic Guided Vehicle)를 기반으로 한다[1-2]. 기존의 AGV는 유도용 전선을 바닥 하부에 설치했기 때문에 레이아웃이 자주 변경되는 환경에서는 불편한 점이 많았다. 그러나 센서 기술의 발전으로 테이프 전선, 자성 도료 등

* 남서울대학교 전자공학과 (cjfals75@gmail.com, whgmldud2000@naver.com, yunjts9895@naver.com, ghwns9009@daum.net)
* Received : Oct. 06, 2022, Revised : Nov. 08, 2022, Accepted : Dec. 17, 2022
* Corresponding Author : Hyoung-Keun Park
Dept. of Electronic Engineering, Namseoul University

** 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과
Email : phk315@nsu.ac.kr

• 접수일 : 2022. 10. 06
• 수정완료일 : 2022. 11. 08
• 게재확정일 : 2022. 12. 17

을 이용하여 바닥면에 운반경로를 설정할 수 있어 운반 패턴 변경이 유연해졌다. 또한 최근에는 지능형 물류 로봇이 등장했는데, 초음파센서, 스테레오비전 카메라, 레이저 및 무선통신 기술을 융합하여 로봇의 실시간 환경 정보를 통제시스템과 주고받으며 작업 명령을 수행한다[3-4]. AGV는 유도 경로의 형태에 따라 다음과 같이 분류된다. 지정된 경로를 연속적으로 추종하는 고정 경로식, 주행 경로상에 표식을 설치하고 AGV가 인식하는 반 경로식, 유도선이나, 설비 등 외부의 지원 없이 차체에 설치된 바퀴의 엔코더나 비전 시스템 등으로 측정하면서 스스로 주행 경로를 생성하는 자율주행 식으로 나눌 수 있다. 이런 분류 중에 고정 경로식의 형태를 갖춘 로봇인 라인트레이서는 센서 중 발광부와 수광부를 통해 빛을 반사 및 흡수하는 적외선 센서를 이용하여 자율적으로 흰색 바닥에 그려진 검은 선을 감지하여 목표지점으로 주행하며 운반 형태로는 적재형, 견인형이 있고 컨베이어 벨트나 지게차를 장착하는 등 여러 산업 분야에서 응용되고 있다[5-7].

하지만 고정 경로식은 이동 경로가 미리 정해져 있어 경로를 정확하게 변경하기 힘들고 최단 시간의 경로를 찾는 데 있어 한계점을 가지고 있어 시간상으로 효율적인 사용이 어려운 단점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 교차로에서 방향별 회전으로 인해 발생하는 통행시간이 경로탐색 로봇의 주행시간에 큰 영향을 끼친다고 판단하여 이러한 단점을 보완하기 위해 실제 로봇 회전에 따른 지체시간을 고려한 경로탐색 알고리즘인 다익스트라 알고리즘을 적용하여 만든 속도기반-다익스트라 알고리즘을 이용해 라인트레이서가 이동 시 RFID 스티커 태그를 인식하여 위치, 시간 정보를 기록하고 주행 완료된 시간을 측정 및 데이터화하여 최단시간으로 원하는 위치로 이동 가능하도록 개발하는 것을 목표로 한다[8].

II. 시스템 구성

2.1 시스템 구성도

본 시스템을 구성하기 위해 TCRT5000 적외선 센서와 RFID 스티커태그, 리더기를 통해 위치정보와 현상정보를 수집하여 아두이노 메가에 전송하고 전송

받은 데이터를 기반으로 DC 모터, L298N 모터 드라이버 모듈을 이용하여 원하는 위치로 주행할 수 있도록 설계 하였다. 또한 블루투스 모듈을 사용하여 라인트레이서를 원격으로 동작 및 도착 위치 정보를 전달할 수 있도록 설계하였다.

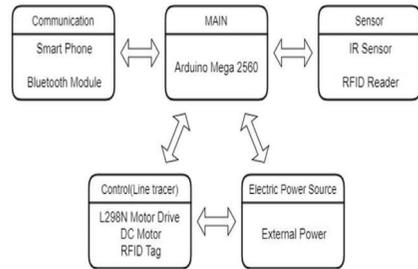


그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1 System configuration chart

2.2 라인트레이서의 적외선 센서 동작 원리

그림 2는 적외선 센서의 라인 인식 방식이다. 수광부와 발광부로 구성된 적외선 센서는 발광부에서 지면으로 적외선 신호를 보내면 검은 지면에서는 적외선이 흡수되어 수광부에 적외선이 수신되지 않는다. 반면에 하얀 지면에서는 적외선이 반사되어 수광부에 적외선이 감지되는 원리를 이용하여 라인트레이서가 지정된 라인을 따라가도록 양쪽 바퀴에 해당하는 모터를 조종하는 구조로 설계되었다[9-10].

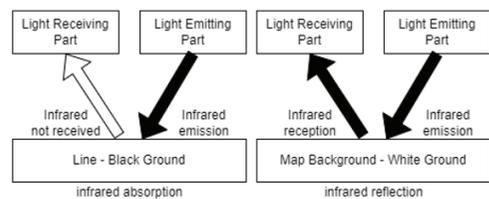


그림 2. 적외선 센서의 라인 인식 방식
Fig. 2 Line recognition method of IR sensor

그림 3은 적외선 센서의 동작 흐름에 관한 알고리즘이다. 적외선 센서는 양측에 2개씩 총 4개가 라인트레이서의 앞부분에 장착되어 있는데 양측의 적외선 센서가 라인을 감지하지 않을 때는 그대로 직진하고, 두 개의 센서가 모두 라인을 감지할 시 정지하게 된다. 또한 한쪽의 센서들만 감지하여 왼쪽 센서들만 작

동할 경우 왼쪽으로 회전하고, 그 반대일 경우에는 오른쪽으로 회전하도록 설계하여 라인에 따른 방향 조절을 가능하게 하였다[11].

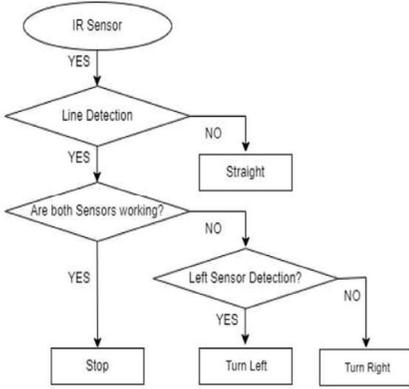


그림 3. 적외선 센서의 동작 흐름도
Fig. 3 Operation flowchart of IR sensor

2.3 RFID 태그

RFID(: Radio-Frequency Identification) 기술의 하나로 데이터 입력장치로 개발된 무선(RF : Radio Frequency)으로 고유의 ID를 인식하는 기술로서 태그 안에 물체의 ID를 담아 놓고, Reader와 Antenna를 이용해 태그를 부착한 동물, 사물, 사람들을 관독, 관리, 추적할 수 있는 기술이다. 본 논문에서는 RFID 스티커 태그를 경로의 교차지점에 설치하여 라인트레이서 하단에 RFID 리더기를 장착하여 라인트레이서의 실시간 경로 위치 정보를 수집한다[12].

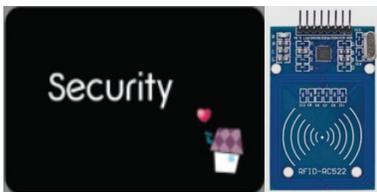


그림 4. 적외선 센서의 라인 인식 방식
Fig. 4 Line recognition method of IR sensor

2.4 하드웨어 설계

라인트레이서의 기본적인 하드웨어 설계 구성은 각 위아래 판을 기준으로 상단부, 하단부로 구성되었다.

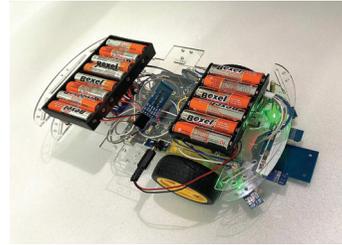


그림 5. 라인트레이서의 외형
Fig. 5 Appearance of line tracer

라인트레이서의 하단부는 그림 6과 같이 주행할 수 있는 2개의 DC 모터와 앞바퀴 2개, 캐스터 휠 1개가 있으며 라인을 감지할 수 있는 적외선 센서 4개가 있다. 또한 하단부의 바닥 앞부분에는 RFID 리더기가 장착되어 있어 라인트레이서의 위치 정보를 수집한다.

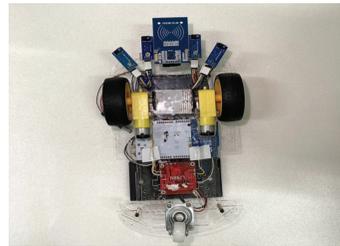


그림 6. 라인트레이서의 하단부
Fig. 6 Lower part of line tracer

상단부는 그림 7과 같이 라인트레이서 전체 제어를 담당하는 아두이노 메가를 중심으로 모터에 12V, 아두이노 보드에 9V를 인가하는 전원 장치가 달려있다. 또한 앞바퀴에 달린 DC 모터를 제어하여 방향 조절을 할 수 있도록 하는 모터 드라이브가 장착되어 있으며 각 부품을 연결하는 브레드보드와 블루투스 모듈을 설치하여 원격 조종이 가능하게 설계하였다.

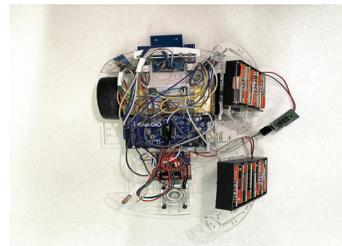


그림 7. 라인트레이서의 상단부
Fig. 7 Upper part of line tracer

III. 최단시간 알고리즘

3.1 최단 시간 알고리즘

그림 8은 실제 물류 공장 구성을 참고하여 제작한 라인트레이서의 기본 주행 경로이다. 라인트레이서의 최단 시간 알고리즘은 속도기반-다익스트라 알고리즘을 기반으로 1단계 ‘왼쪽 우선’, 2단계 ‘최단 거리’, 3단계 ‘회전 빈도’와 같이 총 3단계의 기준으로 간선의 가중치를 설계했다[13].

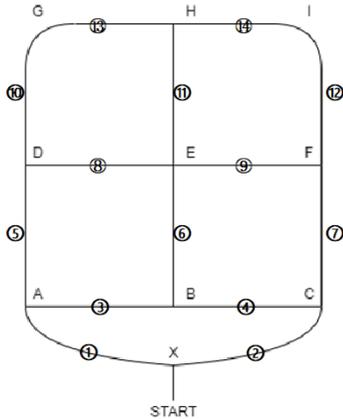


그림 8. 라인트레이서의 주행 경로
Fig. 8 Driving route of line tracer

1단계의 ‘왼쪽 우선’ 부분은 라인트레이서가 주행할 때 갈림길 X를 무조건 지나가게 되는데, X를 기준으로 왼쪽, 오른쪽 어느 방향으로 주행하여도 중앙 열에 있는 목적지 B, E, H로 이동하는 경로가 같기에 X에서 왼쪽을 우선으로 주행하도록 설정하였다.

2단계의 ‘최단 거리’는 표 1과 같이 목적지 사이의 거리를 구한 다음, 목적지를 설정하였을 때 각 거리의 길이가 짧을수록 이동시간이 줄기 때문에 목적지로 향하는 각 구간의 길이 합이 짧은 거리를 우선으로 주행할 수 있도록 간선의 가중치를 설정하였다. 마지막 3단계 ‘회전 빈도’는 라인트레이서가 회전하는데도 시간이 소요되므로 목적지로 도달할 수 있는 경로 중에서 회전 빈도가 낮은 경로를 우선으로 주행할 수 있도록 설계하였다.

표 1. 각 목적지 사이의 거리
Table 1. Distance between each destination

Section	Distance(cm)
①, ②	80
③, ④, ⑧, ⑨	64.5
⑤, ⑥, ⑦	58.5
⑩, ⑫	63
⑬, ⑭	64
⑪	67

IV. 실험 및 고찰

4.1 블루투스 연결 실험

스마트폰을 통해 목적지 설정 및 원격 조종할 경우 블루투스 모듈과 스마트폰의 연결 거리에 따른 라인트레이서 동작 여부를 확인하기 위한 실험을 진행하였다[14].

표 2. 블루투스 모듈의 거리에 따른 연결 및 동작
Table 2. Connections and operation according to the distance of bluetooth module

Distance(m)	Action	Reconnect/ No. of attempts
30	○	10/10
60	○	10/10
75	○	7/10
90	○	2/10
120	X	0/10

실험 결과, 표 2와 같은 결과가 나온 것을 확인할 수 있다. 스마트폰과 라인트레이서의 거리가 120m를 넘어가면 블루투스 연결이 완전히 끊겨 라인트레이서의 동작이 멈추게 된다. 또한 의도치 않게 연결이 끊겼을 경우에는 60m 안으로 돌아가야만 재연결이 가능하였다. 실험 결과에 의해 블루투스로 원활한 원격 조종하기 위해서는 약 60m 이내의 거리가 이상적이라는 것을 확인할 수 있다.

4.2 RFID 태그 거리에 따른 인식률 실험

라인트레이서의 위치 정보를 수집하기 위해서는 경로위에 있는 RFID의 인식 범위를 확인할 필요가 있으므로 주행 중 RFID 리더기와 태그가 인식되는 거리를 측정하는 실험을 진행하였다.

표 3. RFID 거리별 인식률
Table 3. Recognition rate by RFID distance

Distance(cm)	Recognition(%)
1	100
1.5	95
2	80
2.5	70
3	55
more than 4	0

실험 결과, 표 3을 보면 약 3cm까지는 RFID 인식이 되었으나 4cm 이상의 거리에서부터는 인식이 되지 않는 결과를 확인할 수 있다. RFID 시스템이 이상적으로 동작하기 위해서는 100%인 1cm가 최상의 조건이었으나 라인트레이서가 주행 시 바닥에 있는 장애물에 부딪힐 수 있는 사고를 예방하기 위해 본 논문에서는 95%의 높은 인식률을 보이는 1.5cm의 거리 간격에 맞추어 라인트레이서의 RFID 리더기를 설치하였다[15].

4.3 회전 빈도에 따른 각 경로의 시간 차이 실험

최단 시간 알고리즘에서의 3단계 ‘회전 빈도’에 따라 주행 시간이 달라지는 점을 입증하기 위하여 중앙 열에 위치한 목적지 E, H로 갈 수 있는 경우의 수를 구하여 경로마다 주행하는 시간을 측정하여 실험을 진행하였다.

표 4. 목적지 E의 회전 빈도에 따른 주행 시간 실험
Table 4. Driving time experiment according to the rotation frequency of destination E

Route	No. of Turns	Time(s)
X→A→B→E	2	12.5
X→A→D→E	1	11.5

목적지 E로 주행하는 실험을 진행하였을 때 이동할 수 있는 경우의 수는 표 4와 같이 ‘X→A→B→E’, ‘X→A→D→E’ 총 2가지 경로가 나온다. 거리상으로는 같은 두 가지 경로로 주행하는 시간을 측정하였을 때 회전 횟수가 한 번인 경우가 두 번인 경우보다 단시간으로 목적지로 도착하는 것을 확인할 수 있다.

표 5. 목적지 H의 회전 빈도에 따른 주행 시간 실험
Table 5. Driving time experiment according to the rotation frequency of destination H

Route	No. of Turns	Avr. Time(s)
X→A→B→E→H	2	14
X→A→D→E→H	2	14
X→A→D→G→H	0	12.3

추가로 목적지 H로 주행하는 실험을 진행하였을 때 이동할 수 있는 경우의 수는 표 5와 같이 ‘X→A→B→E→H’, ‘X→A→D→E→H’, ‘X→A→D→G→H’ 총 3가지 경로가 나온다. 각 경로로 주행하는 시간을 측정하였을 때 회전 횟수가 없는 경우가 회전 횟수가 두 번인 나머지 경로들에 비해 단시간으로 목적지로 도착하는 것을 확인할 수 있다.

이처럼 실험을 진행한 결과 회전 빈도가 낮을수록 주행 시간이 단축된다는 사실을 확인하였으며 이 사실을 바탕으로 최단 시간 알고리즘의 3단계 ‘회전 빈도’ 부분을 입증하였다.

4.4. 목적지별 주행 시간 측정 실험

표 6은 최단 시간 알고리즘을 통해 구한 최단 시간 경로를 통해 라인트레이서를 출발지 X로부터 각 목적지로 향하는 주행 시간을 측정한 실험 결과이다.

표 6. 출발지 X로부터 각 목적지 주행 시간
Table 6. Travel time from origin X to each destination

Destination	Route	Average Time(s)
A	X→A	6
B	X→A→B	9.8
C	X→C	6
D	X→A→D	8.5
E	X→A→D→E	11.5
F	X→C→F	8.4
G	X→A→D→G	10.5
H	X→A→D→G→H	12.3
I	X→C→F→I	10.5

V. 결 론

본 논문에서는 아두이노를 기반으로 최단 시간 알고리즘을 이용한 라인트레이서를 제작하였다. 적외선

센서를 이용하여 라인을 인식하고 DC 모터를 작동시켜 본 작품이 동작할 수 있도록 하였다. 추가로 라인 경로의 교차로 지점에 RFID 스티커 태그를 설치하여 위치 정보를 수집하고 라인트레이서를 원하는 목적지로 주행할 수 있도록 제작하였다.

또한 장거리 무선 조종을 위해 블루투스 시리얼 컨트롤러를 사용하여 원격으로 라인트레이서를 조종할 수 있는 애플리케이션을 사용하였으며 블루투스 모듈의 거리에 따른 연결 및 동작 실험을 통해 라인트레이서와 스마트폰의 거리가 60m 이내에서 가장 원활하게 원격 사용이 가능하다는 것을 확인하였다. 또한 RFID의 경우 약 3cm 이내의 간격에서는 대체로 인식되었기에 시스템 하단부의 RFID 리더기와 경로상에 있는 RFID 스티커 태그의 간격을 1.5cm로 설정해 시스템이 이동 중에도 RFID 태그를 인식하여 위치 정보를 수집할 수 있도록 하였다.

최단 시간 알고리즘은 속도기반-다익스트라 알고리즘을 이용하여 총 3단계를 기준으로 간선의 가중치를 제작했다. 1단계 '왼쪽 우선'과 각 목적지 사이의 거리의 합을 구해 짧은 거리를 우선으로 주행하는 2단계 '최단 거리' 그리고 실험을 통해 회전 빈도가 낮을수록 목적지로 도달할 수 있는 시간이 적어지는 사실을 입증한 3단계 '회전 빈도'를 통해 최단 시간 알고리즘을 설계하였고, 이중 목적지 기능을 추가하여 이중 목적지를 설정하여도 최단 시간으로 이동이 가능하도록 제작하였다.

작품 제작을 진행하면서 한 개의 아두이노 보드에 여러 기능을 추가함으로써 많은 점프 선을 연결했더니 작품을 실행시킬 때 로딩이 길어져 많은 시간 소요 및 배터리 소모가 빠르다는 단점이 있었다. 추가로 각 센서 간의 반복되는 횟수 차이로 인한 동작 불가로 인해 기존에 넣으려 하였던 기능을 넣지 못한 점에 있어 아쉬움이 남아있다. 다음에 이러한 문제를 해결할 방안을 찾아 무게 측정, 표지판 및 신호등 인식 등 여러 기능을 추가하고자 한다.

References

- [1] LG Economic Research Institute, "AVR·AMR, a transport robot that changes the logistics industry," *Technical report*, Mar. 2022.
- [2] J. Lee, T. Lee, J. Ahn, and J. Back, "Automatic Vehicle Warning Triangle using Line-tracer," In *Proc. ICROS/KROS/KIIS joint Conf.*, Busan, Korea, Aug. 2014, pp. 26-27.
- [3] H. Jang and Y. Lee, "Logistics Robot (AGV) Trends," *The Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 67, 2018, pp. 8-12.
- [4] D. Woo, M. Vinayagam, Y. Kim, and J. Cha, "A Study on the Straight Path Prediction Technology of White LED Marker-based AGV in Indoor Environment," *J. of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 17, no. 5, 2018, pp. 48~54.
- [5] S. Lee, W. Choi, and I. Song, "A study on the Driving Algorithm for Line-Tracer Robot," In *Proc. Korean Institute of Electrical Engineers Summer Conf.*, Pyeongchang, Korea, July 2003, pp. 2504-2506.
- [6] H. Lee, N. Ryu, M. Park, E. Kim, and J. Jeong, "Design and Implementation of Information Guidance System using IR Line in Line Tracer," In *Proc. Korea Institute of Communications and Information Sciences Winter Conf.*, Pyeongchang, Korea, Feb. 2011, pp. 560-561.
- [7] H. Lee, H. Kang, and Y. Kim, "High-speed line tracer using infrared sensors," In *Proc. Korea Institute of information technology Conf.*, Cheongju, Korea, Oct. 2020, pp. 216-218.
- [8] G. Kim, "An speed-based dijkstra path searching algorithm for linetracer robot," Master's Thesis, *Yeungnam University Graduate School*, 2010.
- [9] J. Jeon, H. Lim, B. Hwang, K. Lee, and Y. Lee, "Line tracer along the specified line," In *Proc. Korean Society of Mechanical Engineers Spring Conf.*, Seogwipo, Korea, Apr. 2018, pp. 308-309.
- [10] S. Choi, S. Kim, J. Choi, and H. Kim, "The study of the linetracer-development for the Automatic Guided Vehicle using Infrared LED," In *Proc. Korean Institute of Electrical Engineers Summer Conf.*, Pyeongchang, Korea, July 2003, pp. 1967-1969.
- [11] S. Kim, Y. Sunwoo, S. Lee, J. Lee, and S. Lee, "An Implementation for Oil Mixing Preventive Device and Time Indicator," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication*

- Sciences*, vol. 14, no. 1, 2019, pp. 191-198.
- [12] K. Yoo, "Current Limitation and Future Directions of the RFID System," Master's Thesis, *Hanyang University Graduate School of Engineering*, 2009.
- [13] W. Keon, and D. Yun, "a Feasibility study of Autonomous Driving and Unmanned Technology of Self-Propelled Artillery, K-9", *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 16, no. 5, 2021, pp. 889-898.
- [14] J. Lee, S. Ruy, J. Lim, T. Chou, and Y. Han, "Smart Harness for Preventing Pet Loss Outdoors", *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 16, no. 4, 2021, pp. 709-718.
- [15] T. Kim, Y. Kim, H. Jeong, Y. Kim, and Y. Park, "Study of Autonomous Navigation for Path Guide System Using RFID," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 1, 2019, pp. 213-218.

저자 소개



김철민(Cheol-Min Kim)

2017년 3월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 4학년 재학중

※ 관심분야 : 마이크로프로세서



조희영(Hee-Young Cho)

2019년 3월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 4학년 재학중

※ 관심분야 : 프로그래밍, 전자회로



윤태성(Tae-Sung Yun)

2016년 3월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 4학년 재학중

※ 관심분야 : 디스플레이, 전력전자



신호준(Ho-Jun Shin)

2017년 3월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 4학년 재학중

※ 관심분야 : 자율주행



박형근(Hyoun-Keun Park)

2005년 3월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 부교수

※ 관심분야 : 마이크로프로세서 응용, 반도체공정

