

2D 라이다를 이용한 실내 구조 스캐너 개발

김기준* · 박재형* · 문현민* · 이하은* · 이승대**

Development of Indoor Structure Scanner using 2D LIDAR

Ki-Jun Kim* · Hyun-Min Moon* · Jae-Hyoung Park* · Ha-Eun Lee* · Seung-Dae Lee**

요약

실내 공간과 관련된 정보는 도시화의 가속과 기술의 발달로 인하여 그 중요성이 증가하고 있으며, 건물 내부의 다목적 활용을 위하여 다양한 스캐닝 기술이 개발되고 있다. 본 논문에서는 스캐닝에 2D 라이다를 이용하여 지면과 수직인 방향으로 라이다를 회전 및 이동시키며 2차원 데이터의 집합을 얻은 후 이를 취합하여 3차원의 실내 공간 정보를 얻는 시스템을 제안하였다. 최종적으로 오차 보정 등의 알고리즘을 적용하여 실내 구조를 입체적으로 시각화하여 출력하였다.

ABSTRACT

Due to the acceleration of urbanization and advancements in technology, the importance of information related to indoor spaces has been increasing. Various scanning technologies are being developed to enable versatile utilization of the interior of buildings. In this paper, a system is proposed that utilizes 2D LIDAR for scanning, rotating, and moving LIDAR in the vertical direction to obtain a collection of 2D data, which is then aggregated to acquire 3D indoor spatial information. Finally, algorithms, including error correction, are applied to visualize the indoor structure in three dimensions and generate an output.

키워드

DC Motor, IMU, LIDAR, 3D Map
DC 모터, 관성 센서, 라이다, 3D 지도

1. 서론

정보통신 기술과 건축 기술의 발달로 실내 공간에서 다양한 활동을 수행할 수 있게 되면서 건물 내부 공간은 다양한 용도에 맞게 조정 및 활용되고 있으며 실내 공간에 대한 서비스 수요들이 나타나게 되었다

[1]. 2차원 실내 지도가 가지는 공간의 깊이를 파악할 수 없다는 한계점으로 인하여 실내 구조의 형상을 3차원에서 입체적으로 파악하는 것은 건축정보모델(BIM: Building Information Modeling), 건설 현장, 구조물 유지관리 등 다양한 분야에서 중요한 역할을 하게 되었다[2-3]. 이에 따라 다양한 스캐닝 시스템이

* 남서울대학교 전자공학과
(junkim1010@nsu.ac.kr, engineer74@nsu.ac.kr,
joojoo882@nsu.ac.kr, eahaeun@nsu.ac.kr)

** 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과

• 접수일 : 2023. 09. 12
• 수정완료일 : 2023. 10. 27
• 게재확정일 : 2023. 12. 27

• Received : Sep. 12, 2023, Revised : Oct. 27, 2023, Accepted : Dec. 27, 2023

• Corresponding Author : Seung-Dae Lee

Dept. of Electronic Engineering, Namseoul University

Email : seungdae@nsu.ac.kr

개발되었는데, 그 중 대표적인 레이저 스캐닝에 일반적으로 이용되는 센서는 라이다(LIDAR: Light Detection and Ranging)이다.

라이다 센서는 ToF:(Time of Flight) 방식을 이용하여, 레이저가 펄스 신호를 방출하여 측정 범위 내 물체들로부터 반사된 신호가 수신기에 도달하기까지의 시간을 측정함으로써 거리를 측정한다[4].

2D 라이다는 레이저 빔을 수평으로 방출하기 때문에 단일 평면에서의 거리만 측정 가능하여 장애물 감지 자율주행에 주로 활용된다[5]. 반면에 3D 라이다는 높이와 같은 수직 요소를 포함하여 정보를 얻어낸다[6]. 수집된 데이터는 포인트 클라우드로 표현되고, 이를 입체적으로 재구성할 수 있으나 3D 라이다는 다수의 채널을 필요로하여 가격이 높다[7]. 또한 막대한 양의 포인트 클라우드 데이터를 처리하기 위한 복잡한 압축 알고리즘 등 직접 활용하기에 어려움이 있다[8-9].

따라서 본 논문에서는 2D 라이다를 지면과 수직인 방향으로 세워 이동시키는 주행 기기를 이용하여 얻은 2차원 데이터를 통합하여 3차원으로 확장시키는 방법으로 3D 라이다를 통한 스캐닝보다 절감된 비용으로 3차원 실내 구조 형상을 재구성하는 시스템을 제안한다. 또한 실외가 아닌 실내이기 때문에 GNSS:(Global Navigation System)을 사용하여 정밀 측위를 할 수 없기 때문에 라이다 이동 장치의 모터를 제어하는 데 IMU:(Inertial Measurement Unit)를 이용하여 이동 궤적을 확실하게 하고자 하였다[10].

II. 실내 구조 스캐너 설계

2.1 시스템 구성

그림 1은 3차원 실내 공간 정보 취득 시스템의 전체 구성을 나타낸다. 2D 라이다를 지면과 수직인 방향으로 360° 회전하며 이동하는 기기를 실내에서 주행시켜 라이다 송수신부의 각도와, 그에 따른 거리 데이터를 얻는다. 실내 주행을 완료한 후 얻어진 원시 데이터는 노이즈와 오차가 포함된 데이터이므로 보정 알고리즘을 적용하여 실제 값과 거리가 먼 데이터를 배제한 후 2차원 평면상의 점 데이터 집합을 바탕으로 3차원 실내 지도를 시각화하여 출력한다.

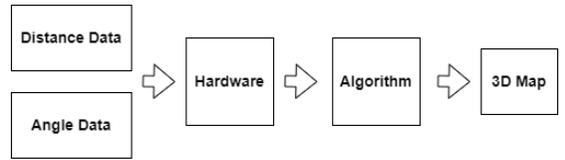


그림 1. 실내 구조 스캐너 시스템 구성도
Fig. 1 System configuration diagram of Indoor structural scanner

2.2 하드웨어 구성

제작한 실내 구조 스캐너의 측면도가 그림 2와 같다. 그림 3에 나타낸 것과 같이 라즈베리파이, 아두이노, IMU 센서, 라이다 센서, DC 모터, 바퀴, 블루투스 모듈로 구성된다. 바퀴 위에 아두이노 우노, 라즈베리파이를 올리고 철관을 고정해 다음 라이다를 지면에 수직인 방향으로 부착한다. 바퀴는 DC 모터를 이용하여 주행이 가능한 시스템을 설계하였다.

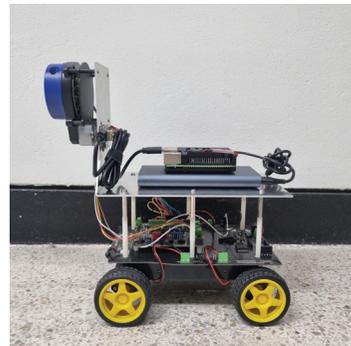


그림 2. 실내 구조 스캐너 측면도
Fig. 2 Side view of Indoor structure scanner

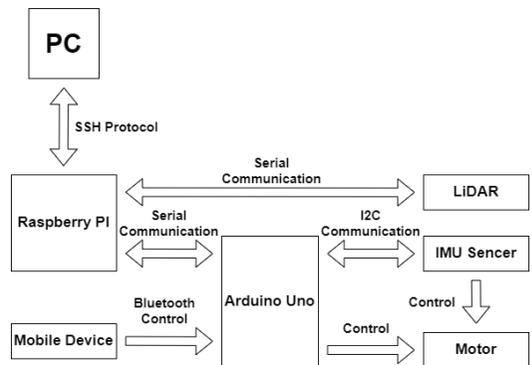


그림 3. 하드웨어 구성도
Fig. 3 Hardware configuration diagram

2.3 소프트웨어 구성

윈도우에서 SSH 프로토콜(:Secure Shell Protocol)을 이용하여 라즈베리파이에 원격 접속을 한 후 파이썬 코드를 실행하면 아두이노 우노, 라이다를 동작시킨다. 아두이노 우노는 IMU와 블루투스 모듈을 동작시키고, DC 모터를 조정한다.

기기가 주행하며 라이다 스캔을 완료하고 나면 그림 4와 같이 각도와 거리, 그리고 바퀴 수로 이루어진 txt 파일이 출력되어 라즈베리파이에 저장된다. 이후에 이를 원시 데이터로 삼아 보정 알고리즘을 적용한다.

Index	Distance	Value
1	269.81	1
2	269.0	1
3	268.46	1
4	269.57	1
5	271.14	1
6	268.33	1
7	269.0	1
8	269.66	1
9	270.25	1
10	271.0	1
11	272.5	1
12	274.0	1
13	275.25	1
14	276.5	1
15	277.0	1
16	278.07	1
17	281.07	1
18	282.90	1
19	286.92	1
20	291.0	1

그림 4. 출력 텍스트 파일
Fig. 4 Printed text file

한편, IMU는 3축(x, y, z)방향의 가속도와, 3축을 기준으로 하는 각속도를 측정한다. 각도 변화를 측정하려면 각속도를 시간에 대하여 적분하는 과정이 필요하다. 그러나 노이즈에 의하여 필연적으로 측정값에 오차가 발생하는데, 적분 시에는 오차가 누적되어 최종적으로 출력하는 값이 드리프트 되는 현상이 발생하고 시스템의 위치에 대한 불확실성이 급격히 증가한다[11]. 따라서 짧은 시간 동안의 각도 변화량을 이용하여 DC 모터를 제어한다.

아두이노 IDE에서 IMU의 가속도 값, 자이로스코프 값을 이용하여 실험적으로 임계각을 도출하고, 임계각과 각도 변화량을 비교 후 좌, 우 바퀴의 모터 속도를 조정하여 최대한 직선으로 주행할 수 있도록 한다. 예를 들어, 왼쪽으로 꺾어 진행할 때는 왼쪽 바퀴의 DC 모터 속도를 빠르게 하고, 그 반대의 경우에는 오른쪽 바퀴의 DC 모터 속도를 빠르게 한다.

2.4 데이터 처리 및 보정 알고리즘

원시 데이터는 오차 보정 알고리즘을 거쳐 3차원으

로 시각화한다. 빛의 직진 경로를 방해하는 대기 중 먼지, 연기, 습기 등의 불순물들은 빛을 산란시켜 여러 방향으로 분산시키므로 레이저 수신부로 되돌아오는 빛의 강도가 약해져 라이다에서 측정한 거리와 실제 거리 간의 오차를 유발할 수 있으며, 라이다와 측정 대상 사이의 거리가 멀어질수록 오차가 누적되고, 측정 환경에 따라 추가적인 오차가 발생할 가능성이 있다[12]. YDLIDAR X4의 데이터 시트에 따르면 물체와의 거리가 1m 이상 6m 이하일 때 상대오차(Relative error)는 3.5%로 나타난다. 계산식은 식 (1)과 같다.

$$Error = \frac{D_{measured} - D_{actual}}{D_{actual}} * 100\% \quad \dots (1)$$

Error은 상대오차를, D는 거리를 나타낸다. 물체와의 거리에 따른 오차를 실험적으로 밝히기 위하여 거리를 300mm에서 3000mm까지 50mm씩 증가시키며 라이다에서 측정한 거리와 실제 거리를 비교하였다. 실제 거리보다 라이다에서 측정한 거리가 더 큰 값으로 나타났으므로, 자로 측정한 실제 거리에서 라이다의 측정 거리를 뺀 값을 오차로 규정한다. 200mm 구간마다 오차의 평균값을 나타낸 값이 표 1에 나타나 있다.

표 1. 물체와의 거리에 따른 평균 오차
Table 1. Average error with distance from object

Distance(mm)	Average Error(mm)
300~500	2.8
550~750	5.0
800~1000	9.3
1050~1250	13.6
1300~1500	20.6
1550~1750	28.2
1800~2000	37.2
2050~2250	47.2
2300~2500	57.0
2550~2750	70.4
2800~3000	86.2

이를 보정하여 더욱 정확한 실내 맵을 작성하기 위하여 측정된 데이터 값을 이용한다. 그림 5와 같이 50mm의 균일한 간격을 가지는 포인트의 집합에 매트랩의 polyfit, polyval 함수를 이용하여 2차 다항식 곡선을 피팅하였다. 다항식 곡선의 식은 식 (2)와 같다.

$$103540*(D_{measured})^2 - 0.0012*(D_{measured}) + 1.6668 \dots (2)$$

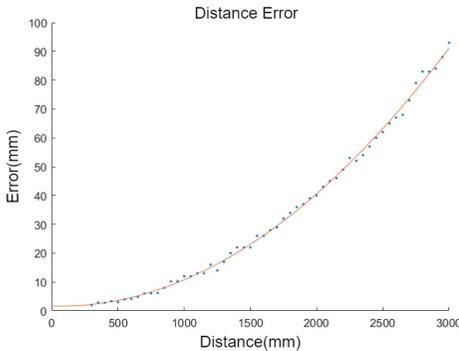


그림 5. 거리에 따른 오차 그래프
Fig. 5 Error graph with distance

이를 바탕으로 측정된 거리를 다항식에 대입하여 거리 오차를 알아낼 수 있고, 이를 측정된 거리에서 빼면 실제 거리를 알아낼 수 있다. 거리 보정 알고리즘을 거친 데이터를 직각 좌표계로 변환하기 위하여 식 (3), 식 (4)와 같이 삼각함수를 이용한다[13]. 본 논문에서는 진행 방향을 x, 지면과 평행한 축을 y, 지면과 수직인 축을 z로 설정하였으므로 식 (3), (4)를 통하여 y, z 평면에서 그려진 점들의 집합을 이어서 3D 맵을 제작한다.

$$y = D_{actual} * \sin(\text{angle}) \dots (3)$$

$$z = D_{actual} * \cos(\text{angle}) \dots (4)$$

한편, 라이다가 실내 공간을 스캔할 때 모서리 부분은 표면 곡률이 높기 때문에 물체 표면에 도달하는 빛의 입사각이 달라지고, 빛이 여러 방향으로 반사되어 라이다가 수신하는 신호의 세기가 불규칙적으로 변할 수 있다[14]. 이러한 원시 데이터를 불러와 시각화할 경우에는 왜곡된 지도를 작성하게 되므로 알고리즘을 통해 데이터를 보정할 필요가 있다.

따라서 기울기가 큰 성분들에 인접한 데이터의 평

균값을 적용하고, 0을 출력하는 데이터는 이전 값으로 대체하여 급격한 기울기 성분들을 제거하고 오류 데이터를 배제하였다. 이와 같은 알고리즘의 흐름도가 그림 6에 나타나 있다.

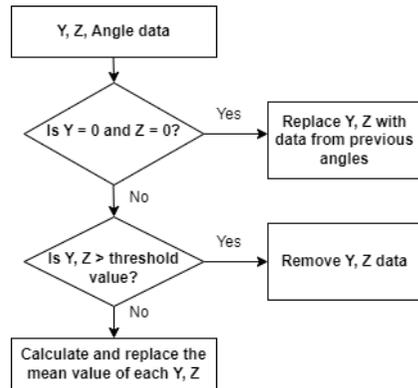


그림 6. 데이터 보정 알고리즘
Fig. 6 Data calibration algorithm

III. 실험 및 고찰

실내 구조 스캐너를 통한 3차원 공간정보 구축을 위하여 실험 대상 공간으로 남서울대학교 공학 1관 2층 복도와 5층 복도를 선정하였다.

실험을 진행한 공간의 정면 사진이 그림 7에 나타나 있으며, 바닥에 제작한 기기를 놓고 라이다를 100바퀴 회전하는 동안 주행하며 얻은 원시 스캔 데이터로 나타낸 맵이 그림 8에 나타나 있다.



그림 7. 실험 복도 사진
Fig. 7 The photo of the corridor

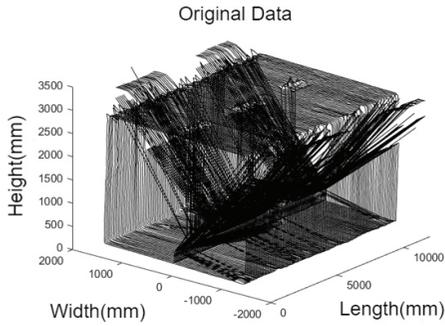


그림 8. 원시 데이터 맵
Fig. 8 Raw data map

라이다에서 방출된 레이저가 벽 혹은 물체에 부딪히면 반사되어 수신부로 되돌아오지만, 창문의 투명한 유리에서는 반사되지 못하고 통과하여 벽 너머의 실내 공간의 천장을 스캔하여 큰 거리를 출력한다. 혹은 거리를 인식하지 못해 0을 출력하는 데이터 때문에 원시 맵은 매끄럽지 않은 3차원 지도를 보인다.

유의미한 데이터만을 선정하여 보기 위하여 보정 알고리즘을 거친 후 다시 시각화하여 나타낸 맵이 그림 9에 표현되어 있다.

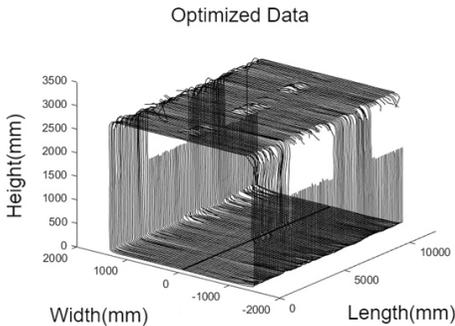


그림 9. 알고리즘 적용 맵
Fig. 9 Algorithm application map

점 데이터 집합을 이어 선으로 나타내는 과정에서 기기를 주행하는 바닥 표면이 평탄하지 못하거나, 기기에 진동이 가해질 때 스캔 데이터에 섞인 노이즈로 인하여 거리를 0으로 출력하는 데이터가 포함되어 중앙 원점으로 모이는 형태의 그래프가 개선되었음을 확인하였다. 또한 창문을 통과하여 과도하게 큰 값을

출력하는 데이터가 배제되어 창문 영역을 직관적으로 알아볼 수 있게 되었고, 급격한 기울기를 갖는 성분들은 알고리즘을 거쳐 평활화 되었음을 확인하였다. 천장의 형광등이 있는 부분의 굴곡까지 나타나 있는 모습으로써 2차원 실내 지도가 갖는 한계점을 극복할 수 있음을 보였다.

또한 직각으로 꺾이는 실내 구조에 대하여 실험을 진행한 공간의 정면 사진이 그림 10에 나타나 있다. 직선 경로를 두 번 주행하여 취합하고, 보정 알고리즘을 적용한 맵이 그림 11과 같다. 첫 번째 주행 데이터에서 왼쪽 벽 앞에 물체 구조가 스캔되어 표시되었으며, 직각으로 꺾인 후 복도 양옆의 문은 라이다의 신호가 벽의 벽보다 과도하게 큰 데이터를 출력하므로 보정 알고리즘에 의하여 잘려나간 맵이 출력되었다. 또한 앞의 실험과 마찬가지로 천장의 형광등 구조가 표현이 된 모습을 확인할 수 있다.



그림 10. 꺾이는 구조 복도 사진
Fig. 10 The photo of the corridor

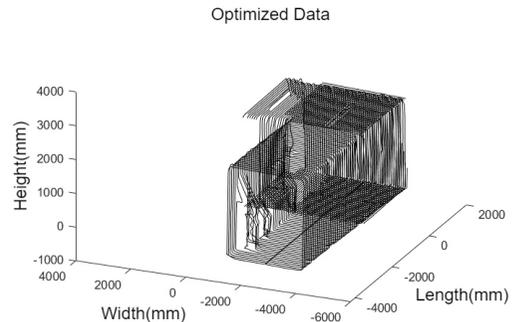


그림 11. 알고리즘 적용 맵
Fig. 11 Algorithm application map

IV. 결 론

실내 공간 정보 제공의 중요성은 기술의 발전에 따라 증가하고 있으며, 이에 따라 다양한 스캐닝 기술이 등장하고 있다. 2D 라이다를 이용한 2D 실내 지도는 실제 공간이 가지는 깊이 등의 정보를 포함할 수 없다는 한계점이 존재한다. 또한 입체 구조 형상을 취득하기 위하여 가장 일반적으로 이용되는 3D 라이다는 높은 가격과 복잡한 알고리즘으로 인하여 직접 구매하여 사용하기에 어려움이 있다.

본 논문에서는 2D 라이다를 이용하여 터널, 복도 구조에 적합한 실내 구조 스캐너를 개발하여 3D 지도를 재구성하는 시스템을 연구하였다. 주 제어 장치로 라즈베리 파이를 이용하여 아두이노 우노와 라이다 센서를 제어하고, 아두이노 우노에서 IMU 센서의 데이터를 읽어와 DC 모터를 제어한다. 원시 데이터의 오차를 배제하기 위하여 보정 및 평면 평활화 알고리즘을 적용하였다. 실험을 통하여 복도의 천장, 바닥을 포함하여 3차원의 실내 구조를 재구성하였다. 이는 3D 라이다에 비하여 저비용으로 2차원 실내지도의 한계점을 해결할 수 있다는 이점을 가진다.

본 논문을 기반으로 향후 추가적인 센서를 도입하여 시스템을 보완하면 더욱 높은 활용도를 가지는 시스템을 개발할 수 있을 것으로 생각된다.

References

- [1] H. Choi, "Trends in Interior Information in Korea," *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 34, no. 4, 2017, pp. 39-46.
- [2] B. Zhang, M. Kaneko, and H. Lim, "Robust 2D Mapping Integrating with 3D Information for the Autonomous Mobile Robot Under Dynamic Environment," *electronics*, vol. 8, no. 12, 2019, pp. 1-11.
- [3] B. Lee and T. Kim, "Utilization of 3D Scanner and BIM for Uprising 4th Industrial Revolution," *J. of the Korean Association for Spatial Structures*, vol. 18, no. 3, 2018, pp. 19-26.
- [4] J. Kim, K. Kwon, and S. Lee, "Trends and Applications on Lidar Sensor Technology," *Electronics and telecommunications trends*, vol. 27, no. 6, 2012, pp. 134-143.
- [5] E. Kim, J. Kim, and Y. Ju, "Object Recognition Technology using LiDAR Sensor for Obstacle Detection of Agricultural Autonomous Robot," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 3, 2021, pp. 565-570.
- [6] D. Jia, A. Hermans, and B. Leibe, "2D vs. 3D LiDAR-based Person Detection on Mobile Robots," *Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Kyoto, Japan, 2022, pp. 3604-3611.
- [7] J. Kwon, D. Kim, T. Hwang, and H. Park, "A Development of effective object detection system using multi-device LiDAR sensor in vehicle driving Environment," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 2, 2018, pp. 313-320.
- [8] R. Abbasi, A. K. Bashir, H. J. Alyamani, F. Amin, J. Doh, and J. Chen, "Lidar Point Cloud Compression, Processing and Learning for Autonomous Driving," *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 24, no. 1, Jan. 2023, pp. 962-979.
- [9] W. Hyun, "A remote control of robot arm based on 2D vision sensor," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 5, 2022, pp. 933-940.
- [10] J. Park and K. Choi, "Overview of sensor fusion techniques for vehicle positioning," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 2, 2016, pp. 139-144.
- [11] C. Park and S. Park, "A calibration algorithm for the bias of sensor axis in pedestrian dead reckoning system," *Proc. of the Korea Information Processing Society Conf.*, Jeju, Korea, Oct. 2015, pp. 493-495.
- [12] H. Lee, "The Effect of Mist on the Scattering and Absorption Characteristic of Urban Aerosols in Seoul," Master's Thesis, *Yonsei University Graduate School of Atmospheric Sciences*, 2010.
- [13] H. F. Murcia, M. F. Monroy, and L. F. Mora, "3D Scene Reconstruction Based on a 2D Moving LiDAR," *First Int. Conf. on Applied Informatics*, Bogotá, Colombia, 2018, pp. 209-308.

[14] K. Tan and X. Cheng, "Specular Reflection Effects Elimination in Terrestrial Laser Scanning Intensity Data Using Phong Model," *remote sensing*, vol. 9, no. 8, 2017, pp. 1-15.

저자 소개



김기준(Ki-Jun Kim)

2018년 3월 ~ 현재 남서울대학교
전자공학과 재학
2023년 2월 남서울대학교 전자공
학과 졸업 예정

※ 관심분야 : 자동제어, 통신시스템



문현민(Hyun-Min Moon)

2018년 3월 ~ 현재 남서울대학교
전자공학과 재학
2023년 2월 남서울대학교 전자공
학과 졸업 예정

※ 관심분야 : 자동제어, 반도체공학



박재형(Jae-Hyoung Park)

2018년 3월 ~ 현재 남서울대학교
전자공학과 재학
2023년 2월 남서울대학교 전자공
학과 졸업 예정

※ 관심분야 : 소프트웨어, 통신시스템



이하은(Ha-Eun Lee)

2020년 3월 ~ 현재 남서울대학교
전자공학과 재학
2023년 2월 남서울대학교 전자공
학과 졸업 예정

※ 관심분야 : 회로이론, 통신시스템



이승대(Seung-Dae Lee)

1990년 단국대학교 전자공학과
졸업(공학사)
1992년 단국대학 대학원 전자공
학과 졸업(공학석사)
1999년 단국대학교 대학원 전자
공학과 졸업(공학박사)

1995년 ~ 현재 남서울대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 유무선통신시스템, 네트워크 보안

