

복합형 카메라 시스템을 이용한 자율주행 차량 플랫폼

이은경*

Autonomous Driving Platform using Hybrid Camera System

Eun-Kyung Lee*

요약

본 논문에서는 자율주행 인지 기술의 핵심 요소인 객체 인식과 거리 측정을 위해 서로 다른 초점거리를 가진 다시점 카메라와 라이다(LiDAR) 센서를 결합한 복합형 카메라 시스템을 제안한다. 제안한 복합형 카메라 시스템을 이용해 장면 안의 객체를 추출하고, 추출한 객체의 정확한 위치와 거리 정보를 생성한다. 빠른 계산 속도와 높은 정확도, 실시간 처리가 가능하다는 장점 때문에 자율주행 분야에서 많이 사용하고 있는 YOLO7 알고리즘을 이용해 장면 안의 객체를 추출한다. 그리고 객체의 위치와 거리 정보를 생성하기 위해 다시점 카메라를 이용해 깊이맵을 생성한다. 마지막으로 거리 정확도를 향상시키기 위해 라이다 센서에서 획득한 3차원 거리 정보와 생성한 깊이맵을 하나로 결합한다. 본 논문에서는 제안한 복합형 카메라 시스템을 기반으로 주행 중인 주변 환경을 더욱 정확하게 인식함과 동시에 3차원 공간상의 정확한 위치와 거리 정보까지 생성할 수 있는 자율주행 차량 플랫폼을 제안하였으며, 이를 통해 자율주행 차량의 안전성과 효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a hybrid camera system that combines cameras with different focal lengths and LiDAR (Light Detection and Ranging) sensors to address the core components of autonomous driving perception technology, which include object recognition and distance measurement. We extract objects within the scene and generate precise location and distance information for these objects using the proposed hybrid camera system. Initially, we employ the YOLO7 algorithm, widely utilized in the field of autonomous driving due to its advantages of fast computation, high accuracy, and real-time processing, for object recognition within the scene. Subsequently, we use multi-focal cameras to create depth maps to generate object positions and distance information. To enhance distance accuracy, we integrate the 3D distance information obtained from LiDAR sensors with the generated depth maps. In this paper, we introduce not only an autonomous vehicle platform capable of more accurately perceiving its surroundings during operation based on the proposed hybrid camera system, but also provide precise 3D spatial location and distance information. We anticipate that this will improve the safety and efficiency of autonomous vehicles.

키워드

Autonomous Driving Platform, Multi-view Camera, Depth Information Matching, Hybrid Camera System
자율주행 플랫폼, 다시점 카메라, 깊이정보 매칭, 복합형 카메라 시스템

* 교신저자 : 호남대학교 미래자동차공학부
• 접수일 : 2023. 10. 23
• 수정완료일 : 2023. 11. 17
• 게재확정일 : 2023. 12. 27

• Received : Oct. 23, 2023, Revised : Nov. 17, 2023, Accepted : Dec. 27, 2023
• Corresponding Author : Eun-Kyung Lee
Dept. Automotive Engineering, Honam University
Email : ek.lee@honam.ac.kr

1. 서론

최근 자율주행 기술은 현대의 교통 및 운송 시스템의 변화에 큰 영향을 미치고 있으며, 이러한 기술의 발전은 교통 안전 및 효율성을 증대시키는 데 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 자율주행 시스템의 안전성은 여전히 중요한 과제로 남아있으며, 이에 따라 ISO/PAS 21448 SOTIF(Safety of the Intended Functionality)와 같은 자율주행 기술 안전 표준의 개발과 진화가 중요한 주제로 떠오르고 있다[1].

ISO/PAS 21448 SOTIF는 자율주행 시스템의 안전성을 평가하고 향상시키기 위한 표준으로, 의도된 기능의 안전성을 중점으로 하고 있다. 이 표준은 예기치 않은 사건 및 기능 오류로부터의 안전성을 다루며, 주행 시스템의 의도된 기능과 안전성 사이의 관계를 강조한다. 이는 자율주행 시스템의 안전성을 보장하기 위해 새로운 접근법과 체계적인 방법론을 제시하는 것이 중요하다는 것을 의미한다.

자율주행 기술은 보행자, 자전거, 차량 등 다양한 도로 사용자와의 상호작용에서 안전성 문제를 다루어야 하며, SOTIF는 이러한 문제를 다루는데 필수적인 요소로 부상하고 있다. 이 표준은 자율주행 시스템의 예측 능력, 오류 처리, 주변 환경 이해 등과 관련해 안전성을 개선하기 위한 방법론을 제시하고 있으며, 이를 통해 자율주행 시스템이 실제 도로 환경에서 안전하게 운행할 수 있도록 도움을 주고 있다.

따라서, 본 논문에서는 자율주행 시스템의 안전성 향상을 위한 새로운 자율주행 차량 플랫폼을 제안하고자 한다. 현재 자율주행 기술의 발전으로 인해 도로 안전성과 운전 편의성은 이전과 비교해서 크게 향상되었다. 그러나 주행 중 꼭 필요한 정보인 자동차 또는 보행자와 같은 주변 환경에 대한 정확한 객체 인식 및 거리 측정은 여전히 과제로 남아있다[2-3].

최근 딥러닝 기반의 객체 인지 기술은 자율주행 시스템에서 핵심적인 역할을 하고 있으며, 특히 YOLO (: You Only Look Once)와 같은 실시간 객체 인식 알고리즘이 자율주행 분야에서 널리 사용되고 있다 [4-5]. 하지만 이러한 2차원 학습 데이터를 이용한 딥러닝 기반의 객체 인식 기술은 실제 주행 중인 3차원 공간에서의 정확한 거리 측정에서는 많은 한계를 가지고 있다[6].

본 논문에서는 자율주행의 안전성 향상을 위해서 서로 다른 초점 거리를 가진 다시점 카메라를 이용해 스테레오 정합과 객체 인식을 수행한다. 다시점 카메라는 1대의 광각 카메라와 2대의 협각 스테레오 카메라를 결합하여 시스템을 구성하였다. 광각 카메라는 측면에서 갑작스럽게 다가오는 보행자나 차량을 감지하기 위한 목적으로 사용되며, 협각 스테레오 카메라는 주행 중인 환경에서 객체 인식 및 깊이맵을 생성하는 것을 목적으로 하고 있다. 생성한 깊이맵을 이용해 인식한 객체의 거리 정보를 계산하는데 이때 라이다에서 획득한 3차원 포인트 클라우드와 생성한 거리 정보를 하나로 결합하여 거리 정확도를 한 단계 더 향상시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 제안하는 복합형 카메라 시스템의 구성을 소개하고, 객체 인식 및 깊이 정보를 생성하는 방법을 단계적으로 설명한다. III장에서는 제안한 시스템을 통해 생성한 인식 결과와 깊이 정보 생성 결과를 분석하고 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 복합형 카메라 시스템

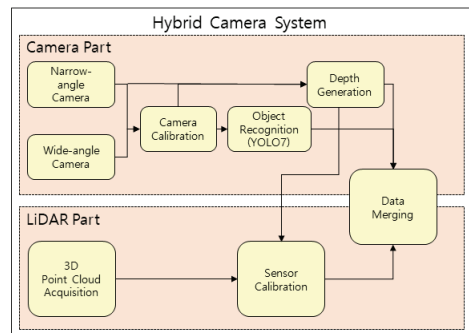


그림 1. 자율주행 플랫폼 시스템 흐름도
Fig. 1 Overall framework of autonomous driving platform

그림 1은 제안하는 복합형 카메라 시스템을 이용한 자율주행 플랫폼의 전체 시스템 흐름도를 보여준다. 제안하는 복합형 카메라 시스템은 크게 카메라 파트와 라이다 파트로 구성되어 있다. 먼저 카메라 파트에서는 각각의 카메라에서 획득한 패턴 영상을 이용해서 카메라 보정(Camera Calibration)[7]을 수행하고,

영상 평활화(Image Rectification)[8]와 스테레오 정합(Stereo Matching)을 수행하여 깊이 정보를 생성한다. 각 카메라에서는 YOLO 7 알고리즘을 이용해서 자동차, 보행자, 신호등과 같은 자율주행에 필요한 정보를 추출한다. 라이다 파트에서는 센서를 통해 주행 중인 주변 환경의 실시간 3차원 정보를 획득한다. 카메라에서 생성한 깊이 정보와 라이다에서 획득한 3차원 포인트 클라우드(Point Cloud)를 하나로 통합하기 위해서 센서 간의 보정을 수행하고, 거리 데이터를 하나로 정합한다. 표 1은 제안한 복합형 카메라 시스템의 구성과 상세정보를 보여준다.

표 1. 복합형 카메라 시스템 구성
Table 1. Configuration of hybrid camera system

Device	Information	
LiDAR	Channel	64 Channels
	Max. Distance	100m
	Degree	90
Wide-angle Camera	Resolution	1920(h) X 1080(v)
	Focal Length	3.5mm
Narrow-angle Camera	Resolution	1920(h) X 1080(v)
	Focal Length	6.0mm

자율주행을 위한 카메라 시스템을 구성할 때 무엇보다 중요한 요소 중 하나는 카메라 간의 거리를 정의하는 방법이다. 본 논문에서는 얼마나 멀리 떨어져 있는 차량 또는 보행자를 검출할 것인지 대상 목표 거리를 먼저 정의하고, 그 거리에 있는 자동차 또는 보행자를 검출하기 위해 필요한 카메라 간의 거리를 역추정하는 방법으로 카메라 시스템을 구성하였다.

제안한 시스템에서는 생성하고자 하는 목표 거리를 최대 100m로 정의하였고, 스테레오 정합을 통해서 100m 떨어져 있는 물체의 깊이 정보를 생성하기 위해서는 카메라 간의 거리를 어떻게 정의하여야 하는지 식 (1)과 식 (2)를 통해서 계산하였다.

$$d = \frac{fB}{Z} \quad \dots (1)$$

$$B = \frac{dZ}{f} \quad \dots (2)$$

스테레오 정합을 통해서 각 객체의 변이값(disparity value)을 계산할 수 있고, 변이값을 계산하

는 방법은 식 (1)과 같다. d 는 스테레오 정합을 통해 생성한 변이값, f 는 카메라의 초점거리, B 는 두 카메라 간의 거리를 의미한다. 식 (1)을 거리 정보 Z 에 대한 식으로 재정의하면 식 (2)와 같다. 제안한 시스템은 이미 카메라 보정을 통해서 초점거리 f 를 알고, 스테레오 정합을 통해 카메라 간격별 d 와 Z 의 비례식을 계산하였기 때문에 최대 목표 거리 100m를 위해서 필요한 카메라 간의 거리를 정의할 수 있었다. 제안한 카메라 시스템의 경우 각 카메라 간 거리가 18cm일 때 최대 100m 거리 객체의 깊이 정보를 생성할 수 있었다.

2.1 카메라 보정 단계

각기 다른 위치에 고정되어있는 다시점 카메라를 이용해서 객체를 인식하고, 결과를 공유하기 위해서는 각 카메라 간의 상대적인 관계를 알아야 한다. 카메라 보정은 일정한 격자 패턴 영상을 여러 차례 다른 위치에서 획득하고, 이 패턴 영상을 이용해서 카메라의 내부 파라미터와 외부 파라미터를 추정하는 과정이다. 카메라 보정을 통해 각 카메라의 내부 행렬 K_n , 회전 행렬 R_n , 이동 행렬 t_n 을 계산한 후에 각 카메라에 대한 투영 행렬인 P_n 을 계산한다. 식 (3)은 내부 행렬, 회전 행렬, 이동 행렬을 이용해 투영 행렬을 계산하는 과정을 정리한 식이다.

$$P_n = K_n [R_n | t_n] \quad \dots (3)$$

2.2 영상 평활화 단계

카메라 보정 후, 영상 평활화를 통해서 다시점 영상 간의 수직 위치가 일치하도록 교정한다. 다시점 영상을 이용해 스테레오 정합을 하기 위해서는 먼저 모든 카메라의 수직 위치가 동일하다는 가정 하에 수행한다. 그러나 실제 영상 획득 과정에서는 모든 카메라는 사람에 의해 수동적으로 정렬되기 때문에 수직 방향에도 변이가 존재하게 된다.

본 논문에서는 스테레오 영상에 존재하는 수직 변이를 제거하기 위해 최적의 기준선을 정의하고, 2차원 영상 워핑(Image Warping)을 통해 카메라의 방향을 보정하는 영상 평활화 방법을 적용하였다. 두 카메라는 반드시 평행해야 하기 때문에 두 카메라의 내부 행렬과 회전 행렬은 같고, 카메라 간의 간격을 의미하는 이동 행렬만 다르게 정의한

다. 영상 평활화를 위한 스테레오 카메라의 투영 행렬을 생성하는 과정을 수식으로 나타내면 식 (4), 식 (5)와 같다.

$$P_{vl} = K_v [R_v | t_{vl}] \quad \dots (4)$$

$$P_{vr} = K_v [R_v | t_{vr}] \quad \dots (5)$$

P_{vl} 은 시스템 왼쪽에 위치한 협각 카메라에 대응하는 투영 행렬이고, P_{vr} 은 시스템 오른쪽에 위치한 협각 카메라에 대응하는 투영 행렬이다. K_v 와 R_v 는 두 카메라에 공통으로 적용되는 내부 행렬과 회전 행렬이고, t_{vl} 과 t_{vr} 은 스테레오 카메라 각각의 이동 행렬이다. 이렇게 생성한 카메라 파라미터를 이용해 영상 평활화를 수행한다. 그림 2는 제안한 복합형 카메라 시스템을 이용해 획득한 카메라 보정용 패턴 영상이다.

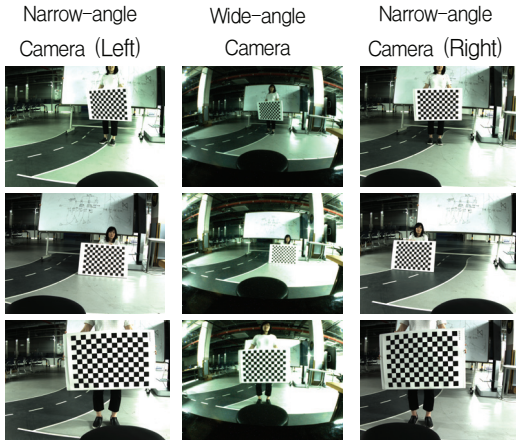


그림 2. 카메라 보정을 위한 패턴 영상 획득
Fig. 2 Pattern image acquisition for camera calibration

2.3. 깊이 정보와 인식 결과 정합 단계

본 논문에서는 영상 평활화를 마친 스테레오 영상을 이용해서 깊이맵을 생성한다. 자율주행 시스템에서 무엇보다 중요한 것은 실시간 처리이다. 제안한 시스템도 향후 실시간 처리를 구현하는 것을 목표로 구현하고 있기 때문에 GPU를 이용한 병렬처리 구현에 적합한 방법인 SGM(Semi-Global Matching) 방법을 선택하였다[9]. 이렇게 생성한 깊이 정보를 3차원 공간 상에 투영하고 생성한 깊이 정보와 라이다를 통해 획득한 포인트 클라우드 간의 데이터 정합을 수행한다. 데이터 정합을 위해서 ICP(Iterative Closest

Point) 방법[10]을 사용한다. 본 논문에서는 딥러닝 기반 YOLO7 알고리즘을 통해서 높은 정확도를 갖는 차량 인식, 보행자 인식 결과를 얻을 수 있었고, 스테레오 정합을 통해서 이 물체들의 깊이 정보도 생성할 수 있다. 마지막으로 생성한 깊이 정보와 라이다 센서를 통해 획득한 3차원 정보를 결합하여 안전한 자율주행에 꼭 필요한 거리 정보까지 생성할 수 있었다.

III. 실험 결과

본 논문은 안전한 자율주행 플랫폼을 구현하기 위해서 3대의 서로 다른 초점거리를 갖는 다시점 카메라 시스템을 구성하였고, 정확한 3차원 정보를 획득하기 위해서 라이다 센서를 결합하였다. 그림 3은 본 논문에서 제안하고 있는 자율주행 플랫폼으로 왼쪽 그림은 카메라와 라이다가 설치된 자율주행 플랫폼 전체 모습을 보여주고, 오른쪽 그림은 제안한 다시점 카메라 시스템을 보여주고 있다.



그림 3. 자율주행 플랫폼
Fig. 3 Autonomous driving platform

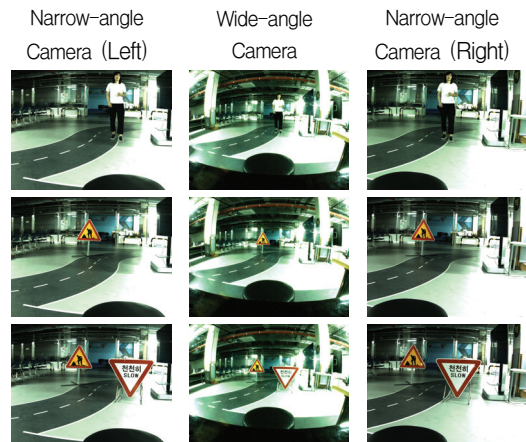


그림 4. 다시점 카메라 시스템 입력 영상
Fig. 4 Input images of multi-view camera system

그림 4는 제안한 다시점 카메라 시스템을 이용해 획득한 입력 영상들을 보여주고 있고, 그림 5는 카메라 보정을 통해 생성한 카메라 파라미터를 이용해 영상 평활화를 수행한 결과 영상이다. 결과에서 보는 것과 같이 두 영상의 수직 위치 보정 뿐만 아니라 렌즈 왜곡도 보정된 것을 확인할 수 있었다.

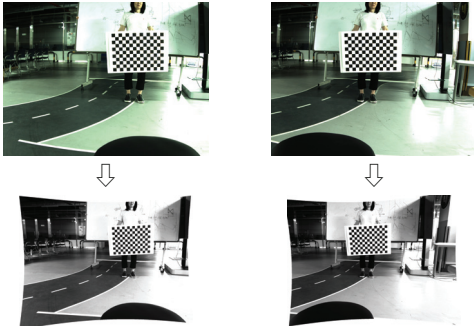


그림 5. 영상 평활화 결과 영상
Fig. 5 Image rectification results



그림 6. YOLO7를 이용한 객체 인식 결과
Fig. 6 Object detection results using YOLO7

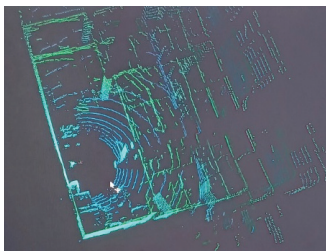


그림 7. 라이다를 이용해 획득한 3차원 점 데이터
Fig. 7 3D point cloud using LiDAR sensor

그림 6은 딥러닝 기반의 대표적인 알고리즘인 YOLO7을 적용하여 보행자를 인식하고 있는 결과 영상을 보여주고 있고, 그림 7은 라이다 센서를 이용해 센서 주변 환경의 3차원 포인트 클라우드 정보를 획득한 결과를 보여주고 있다.

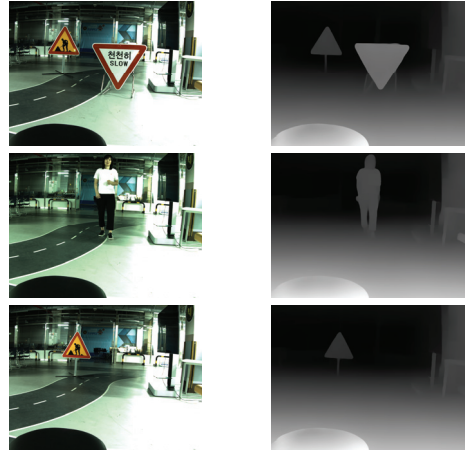


그림 8. 스테레오 정합을 통해 생성한 깊이맵
Fig. 8 Depth map results using stereo matching

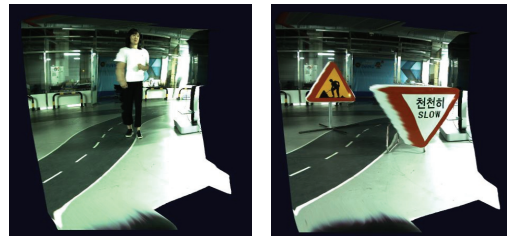


그림 9. 데이터 정합을 통해 생성한 3차원 장면
Fig. 9 3D scene using data merging

그림 8은 제안한 시스템을 이용해 생성한 깊이맵 결과 영상을 보여주고 있고, 그림 9는 라이다 센서와 깊이맵을 결합한 결과를 이용해 3차원 장면으로 렌더링한 결과 영상이다. 생성한 깊이 정보는 머리카락과 같이 주변 배경과 유사한 색상을 가진 영역이나 주변 사물이 복잡한 영역에서도 좋은 결과를 보였다.

V. 결 론

본 연구에서는 복합형 카메라 시스템을 이용해 주행 중인 주변 환경에 대한 객체 인식과 그에 상응하는 거리 정보를 생성하는 방법을 제안하였다. 다시점 카메라 중 협각 카메라 간의 스테레오 정합을 통해서 깊이맵을 생성하였고, 이를 라이다 센서 데이터와 결합하여 정합하는 방법을 제안하였다. 2차원 영상에서

추출된 인식 결과를 기반으로 거리를 예측하는 기존 객체 인식 방법이 가진 문제점을 제안한 시스템을 통해서 해결할 수 있었다. 실험 결과에서도 확인할 수 있듯이, 기존의 객체 인식 알고리즘보다 위치 및 거리 정확도가 향상된 객체 인식 결과를 얻었다. 최종적으로 복합형 카메라 시스템을 이용한 자율주행 플랫폼을 이용해 안전성이 향상된 자율주행 객체 인식 방법을 제시하였다. 본 논문은 향후 좀 더 다양한 시나리오에서 제안한 시스템의 결과가 신뢰성이 있는지에 대한 체계적인 분석을 통해 시스템을 업데이트할 예정이며, 자율주행에서 꼭 필요한 요소인 실시간 처리를 위해 GPU를 이용한 고속화 방법에 대한 연구를 계속적으로 진행할 예정이다.

감사의 글

이 논문은 2022년도 호남대학교 학술연구비 지원을 받아 연구되었음.

References

[1] Road vehicles – Safety of the intended functionality, ISO 21448:2022, Dec. 2022.

[2] J.-S. Kim, Y.-T. Ju, and E.-K. Kim, "Object Recognition Technology using LiDAR Sensor for Obstacle Detection of Agricultural Autonomous Robot," *The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences*, vol. 13, no. 3, pp. 565 - 570, Jan. 2021.

[3] Y. Yangyang, C. Houjin, Z. Chi, H. Xiaoli, and Z. Zhaoxiang, "SARPNET: Shape Attention Regional Proposal Network for LiDAR-based 3D Object Detection," *The Journal of Neurocomputing*, vol. 379, no. 28, pp. 53 - 63, Feb. 2020.

[4] E. Alibek, and K.-C. Kim, "Metal Surface Defect Detection and Classification using EfficientNetV2 and YOLOv5," *The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences*, vol. 17, no. 4, pp. 577 - 586, Aug. 2022.

[5] A. Pedro, and S. Vitor, "YOLO-Based Object Detection and Tracking for Autonomous Vehicles

Using Edge Devices," in *Proceedings of ROBOT2022: Fifth Iberian Robotics Conference*, Zaragoza, Spain, 2022.

[6] J. Behley, M. Garbade, A. Milioto, J. Quenzel, S. Behnke, and C. Stachniss, "CNN-Based Object Detection and Distance Prediction for Autonomous Driving Using Stereo Images," *International Journal of Automotive Technology*, vol. 24, 2023, pp. 773-786

[7] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, Nov. 2000, pp. 1330-1334.

[8] F. Andrea, T. Emanuele, and V. Alessandro, "A compact algorithm for rectification of stereo pairs," *Machine Vision and Applications*, vol. 12, Mar. 2000, pp. 16-22.

[9] H. Hirschmuller, "Accurate and Efficient Stereo Processing by Semi-Global Batching and Mutual Information," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2, 2005, pp. 807-814.

[10] S. Arun, S. Thomas, and D. Huang, "Least-square fitting of two 3-D point sets," *IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 9 no. 5, 1987, pp. 698-700.

저자 소개

이은경(Eun-Kyung Lee)



2002년 호남대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)
 2004년 호남대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

2011년 광주과학기술원 대학원 정보기전공학부 졸업(공학박사)
 2020년 ~ 현재 호남대학교 미래자동차공학부 조교수
 2021년 ~ 현재 한국전자통신학회 회원
 ※ 관심분야 : 자율주행SW, 인공지능