

자율주행을 위한 이미지 기반 신호등 인식시스템 구현

김정민¹, 윤민형¹, 류병석², 김영균³
¹강원대학교 문화예술-공과대학 기계의용-메카트로닉스공학과
²연세대학교 공과대학 화공생명공학과
³융합소프트웨어랩

kkmin1007@naver.com, minh0430@naver.com, bsryu@yonsei.ac.kr, ygkim-2004@hanmail.net

Implementation of Traffic Light Recognition System based on Image for Autonomous Driving

Gyeongmin Kim¹, Minhyoung Yoon¹, Byeongseok Ryu², YoungGyun Kim³
¹Dept. of Mechanical & Biomedical, Mechatronics Engineering, Kangwon National University
²Dept. of Chemical & Biomolecular Engineering, Yonsei University
³Convergence Software Lab.

요 약

본 논문에서 다양한 환경적 요인에서 촬영한 이미지 데이터를 활용하여 신호등 위치의 정확한 탐지 및 신호등의 색상 인식을 통해 교통 신호를 판별하는데 사용되는 컴퓨터 비전 기반의 신호등 인식 시스템 알고리즘을 제안하였다. 이를 통해 기존에 신호를 인식하던 LiDAR 및 RADAR 센서를 대신해 카메라를 사용함으로써 자율주행 차의 제작비용 감소를 기대할 수 있다. 또한 다양한 환경의 이미지 데이터를 통해 실험을 진행하였고 이러한 실험결과를 분석하고 적용함으로써 악천후에서의 효과적인 신호등 인식 시스템을 구축하는데 기여하고자 한다.

1. 서론

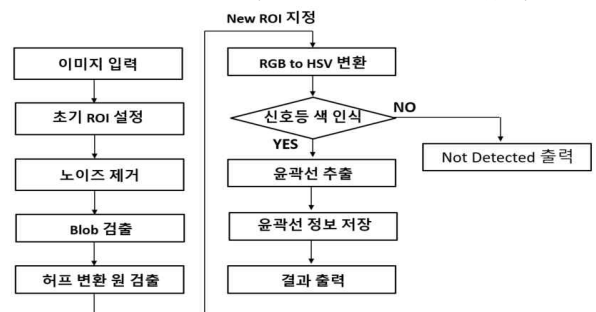
세계적으로 경제와 기술의 진보로 자동차 보유량이 급증하고 있고 이에 따라 차량정체 및 교통사고도 많이 늘어나고 있다[1]. 세계보건기구(World Health Organization; WHO)에서 발표한 ‘2023년 도로 안전에 관한 글로벌 현황 보고서’에 따르면 연간 교통사고로 인한 사망자 수는 119만 명이며 날마다 교통사고로 인한 사망자 수는 2,300명으로 나타났다[2]. 또한 미국 도로교통안전국(National Highway Traffic Safety Administration; NHTSA)의 기술 보고서에 따르면 교통사고의 94%는 운전자에 의한 것으로 나타났다[3]. 이러한 배경으로 미루어 보았을 때 자율주행 기술은 운전자의 불법 운전, 피로, 경험 부족, 노화, 음주 등 운전의 영향을 미치는 요소를 제거함으로써 교통사고를 줄일 수 있다는 잠재력이 있다[4]. 도심 환경에서의 자율주행을 구현하려면 주변 환경을 파악하고 위치를 정확히 파악하는 기능과 함께 실시간으로 환경을 인식, 계획 및 제어하는 여러 시스템이 원활하게 상호작용해야 한다[5]. 도심에서의 완전한 자율주행 기술은 정확한 신호등 인식이 선행되어야 가능하다. 즉 적색, 녹색 및 황색 등 신호등의 상태를 정확하게 감지하는 것이 매우 중요하다[6].

자율주행 시스템의 신호등 인식 모듈은 LiDAR, RADAR, 카메라 등의 센서로 구성된다[7]. LiDAR 및 RADAR 센서는 악천후나 야간 환경에서 거리 측정의 정확도가 높으며 객체 인식에 능하다[8-10]. 하지만 기존의 카메라 방식 대비 대량 생산을 위해 요구되는 비용이 많이 드는 단점이 존재한다[11].

본 논문에서는 카메라 이미지 데이터로부터 신호등을 인식함으로써 LiDAR 센서 기반 시스템 대비 우수한 경제성을 지닐 수 있는 자율주행 시스템을 구축하고자 하였다. 또한, 일몰 이후 혹은 악천후 속에서도 원활하게 신호등을 인식할 수 있는 알고리즘을 도입함으로써 기존의 카메라 기반 신호등 데이터 분석 시스템이 지닌 한계점을 극복하고자 하였다.

2. 구현

본 연구는 Python 3.11.5 버전에서 OpenCV 4.6.0 라이브러리를 사용하여 구현하였다. 전체 알고리즘의 개요는 그림 1과 같이 나타내었다. 우선 초기 관심 영역(Region of Interest; ROI)을 지정한다. 그 후 밝기 및 명암비를 조절한 뒤 Grayscale로 변환 및 Gaussian Blurring 처리를 하는 노이즈 제거 과정을 거친다. 그 후 Blob 검출 및 허프 변환을 거친 뒤 RGB 이미지를 HSV로 변환해 신호등의 색 인식을 진행하였다.



(그림 1) 전체 알고리즘 개요

2.1 데이터 전처리

본 연구에서는 AI Hub(aihub.or.kr)으로부터 다운로드 가능한 ‘자율주행차의 다양한 주행 환경에서의 신호등 신호정보 인지 영상 데이터’의 이미지 데이터를 사용하였다[12].

신호등 검출 및 색 검출 모두 초기에 설정한 ROI 영역 내에서 실시한다.

데이터 전처리의 첫 번째 단계는 노이즈 제거이다. 우선 밝기를 낮추고 명암비를 높여 객체 인식 효과를 높이고자 한다. 따라서 전체적인 픽셀값을 감소시켜 이미지를 어둡게 만든 후 명암비를 높여 픽셀값의 분포를 넓게 만들어 밝은 픽셀과 어두운 픽셀 사이의 간격을 넓혀 객체와 배경 간의 경계를 뚜렷하게 함으로써 객체의 윤곽을 더 잘 드러나게 한다.

그 후 GrayScale 변환을 통해 각 픽셀을 흑백으로 변환함으로써 1차원의 색 공간에서 연산을 하게 되어 연산량이 감소해 영상처리 속도가 빨라진다. 또한 임계값을 흑과 백으로 구분을 지어 마스크 영상을 생성했을 때 쉽게 색을 인식할 수 있게 해준다. 이어서 Gaussian Blurring을 통해 노이즈를 제거해 세부적인 텍스처의 변화에 영향을 받지 않고 안정적으로 Key points를 검출할 수 있도록 하였다. Gaussian Blurring은 선형 필터이기 때문에 연산이 비교적 빠르고 간단하여 실시간 응용에도 사용 가능하기에 채택하게 되었다.

두 번째로는 RGB 색 공간의 이미지를 HSV 색 공간으로 변환하는 프로세스이다. RGB 색 공간은 적색(R), 녹색(G) 및 청색(B)을 0부터 255까지의 신호 강도를 수치로 조합을 하여 특정 색을 표현한다. 이를 색상(H), 채도(S) 및 명도(V)로 이루어진 HSV색 공간으로 변환시킴으로써 단순히 색으로만 조합된 RGB 대비 HSV의 순수 색 정보를 기반으로 색상을 분류하도록 하였으며, 이는 RGB 데이터 대비 색 인식에 용이한 장점을 지닌다[13].

2.2 신호등 검출

신호등 검출은 총 두 단계로 진행된다. 첫 번째 단계에서는 다양한 크기의 원들을 검출하고 빠르게 신호등 후보군을 확보하기 위해 초기 ROI로부터 Blob(Binary Large Object)을 검출하였다. 이후 검출된 Blob의 주변 영역을 그림 2(a)와 같이 새로운 ROI로 지정해 주었다.

두 번째 단계는 더 정확하게 원을 구별하기 위해 새롭게 지정된 ROI에서 히프 변환 후 원 검출이 진행된다. 그 후 그림 2(b)와 같이 원의 중심점을 기준으로 새롭게 ROI를 지정해 주었다.



(a)Blob 검출 (b)히프변환 원 검출

(그림 2) 신호등 추출 과정

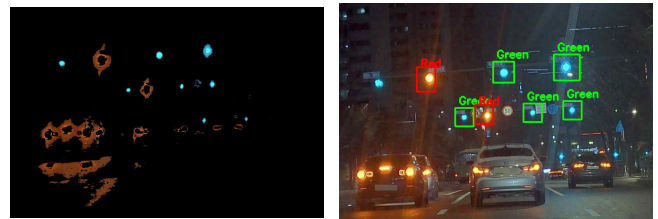
이처럼 두 단계로 진행되는 원 검출 방법을 통해 효율적이고 정확하게 신호등 내 원을 검출하고자 하였다. 이는 첫 초기 후보를 빠르게 선정하고 이로부터 정확하게 원을 검출할 수 있다.

2.3 색 검출

색 검출은 HSV 색 공간에서 진행된다. 표 1과 같이 초기에 설정해 둔 HSV 범위에 속한 색들에 대한 마스크를 생성한다. 이후 생성된 마스크에 윤곽선을 검출한 뒤 각각 색에 맞는 정보를 시각화하여 표현해 주었다(그림 3).

<표 1> 신호별 OpenCV의 HSV 범위 설정 값

	H	S	V
적색	0~10 or 150~180	200~255	100~255
녹색	50~100	150~255	150~255
황색	15~35	150~255	150~255



(a)마스크 이미지 생성 (b)검출 결과

(그림 3) 색 검출 과정

3. 결과

실험 결과는 표 2와 같이 도심의 야간 도로 환경, 눈이 오는 날, 비가 오는 도로 환경의 이미지 데이터를 각각 100장씩 선별하여 진행하였으며 항목별 정확도는 식 1과 식 2와 같이 계산하였다. 첫 번째 신호등과 두 번째 신호등은 각각 가까운 위치와 먼 위치의 신호등을 나타내며, 이는 카메라와 신호등 간 거리에 대한 정확도 차이를 파악하기 위한 구분이다. 각 신호에 따른 검출 결과는 그림 4와 같다.

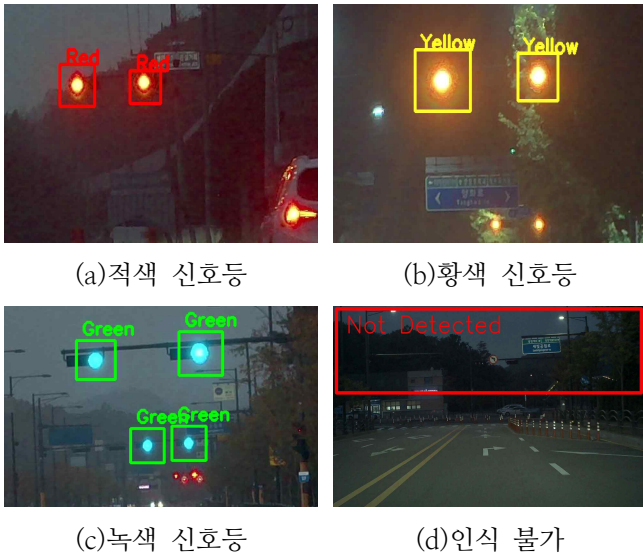
<표 2> 각 항목별 정확도 비교

ROI	대상	분류	실제 신호등 수	자동 처리된 신호등 수	정확도 (%)
			야간 도로	1번째 신호등	216
automation	비 오는 도로	2번째 신호등	64	38	84
		1번째 신호등	237	216	91
	눈 오는 도로	2번째 신호등	73	58	79
		1번째 신호등	210	191	91
	대상	2번째 신호등	73	35	47
		분류	검출된 신호등 수	실제 신호와 동일한 수	정확도 (%)
Detection results	야간 도로	녹색	162	162	100
		적색	69	47	68
		황색	15	10	67
	비 오는 도로	녹색	173	173	100
		적색	87	65	74
		황색	14	13	93
눈 오는 도로	녹색	159	159	100	
	적색	51	36	71	
	황색	14	6	43	

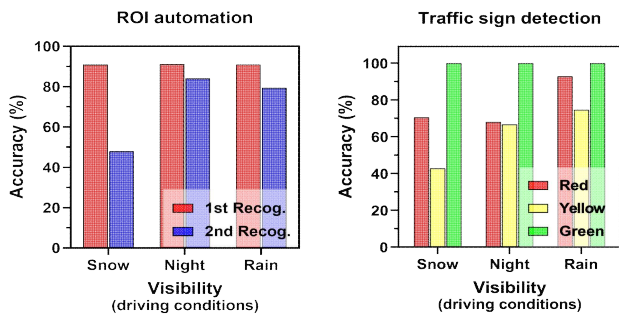
$$ROI \text{ Automation 정확도}(\%) = \frac{\text{자동처리된 신호등 검출 갯수}}{\text{실제 신호등 갯수}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{신호 검출 정확도}(\%) = \frac{\text{실제 색과 동일하게 검출한 갯수}}{\text{검출된 신호등 갯수}} \times 100 \quad (2)$$

신호등 추출 결과는 그림 5과 같이 1번째 신호등은 세 개의 환경 모두 91%의 인식률을 보여줬으며 2번째 신호등은 야간 도로에서 84%, 비 오는 도로에서 79%, 눈 오는 도로에서 47%의 정확도를 나타냈다. 이때 녹색 신호는 적색과 황색의 Hue 수치 범위와 인접하지 않기 때문에 명확하게 검출할 수 있었으나 황색과 적색은 서로 인접한 범위를 지님으로써 오인식의 사례를 다소 나타내었다.



(그림 4) 각 신호에 따른 검출 결과



(a) 신호등 인식률 (b) 신호등 색 인식률

(그림 5) 상황별 정확도 비교

4. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 AI Hub에서 다운로드 받은 이미지 데이터로 OpenCV 라이브러리를 사용하여 자율주행을 위한 다양한 도로 환경에서의 신호등 인식 시스템을 구현하였다.

향후 연구에선 더 많은 데이터를 활용해 딥러닝 및 머신러닝을 적용하여 정확하게 인식할 수 있도록 알고리즘을 개선할 것이다. 또한 실시간 영상 처리를 통해 실제 주행에서 적용할 수 있도록 할 것이다.

참고문헌

[1] Wang, Pengwei, et al. "Research on driving behavior decision making system of autonomous driving vehicle based on benefit evaluation model." Archives of transport, pages 1-3, 2020.

[2] "Global status report on road safety 2023", World Health Organization, 2023, <https://www.who.int/publications/i/item/9789240086517>

[3] Yurtsever, Ekim, et al. "A survey of autonomous driving: Common practices and emerging technologies." IEEE access, 2020

[4] Nastjuk, Ilja, et al. "What drives the acceptance of autonomous driving? An investigation of acceptance factors from an end-user's perspective." Technological Forecasting and Social Change, 2020

[5] Levinson, Jesse, et al. "Towards fully autonomous driving: Systems and algorithms." 2011 IEEE intelligent vehicles symposium (IV). IEEE, 2011.

[6] Levinson, Jesse, et al. "Traffic light mapping, localization, and state detection for autonomous vehicles." 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2011.

[7] Li, Ziyue, et al. "An improved traffic lights recognition algorithm for autonomous driving in complex scenarios." International Journal of Distributed Sensor Networks, 2021

[8] Sudhakar, P., K. Anitha Sheela, and M. Satyanarayana. "Imaging Lidar system for night vision and surveillance applications." 2017 4th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS). IEEE, 2017.

[9] Kutila, Matti, et al. "Automotive LiDAR performance verification in fog and rain." 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). IEEE, 2018.

[10] Y. Li and J. Ibanez-Guzman, "Lidar for Autonomous Driving: The Principles, Challenges, and Trends for Automotive Lidar and Perception Systems," in IEEE Signal Processing Magazine, vol. 37, no. 4, pp. 50-61, July 2020

[11] Wang, Peide. "Research on comparison of LiDAR and camera in autonomous driving." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 2093. No. 1. IOP Publishing, 2021.

[12] This research used datasets from 'The Open AI Dataset Project (AI-Hub, S. Korea)'. All data information can be accessed through 'AI-Hub (www.aihub.or.kr)'.

[13] Ong, Prane Mariel B., and Eric R. Punzalan. "Comparative analysis of RGB and HSV color models in extracting color features of green dye solutions." DLSU Research Congress. 2014.