

1. 주제

교통 정체 완화 및 교통 안전을 위한 적응형 신호등(Adaptive Traffic Light) 시스템 설계 및 구현

오픈소스기초설계(나), 1팀, 20201245, 곽준성

2. 요약

본 프로젝트의 목표는 교차로의 차량 및 보행자 수요를 실시간으로 감지하여 신호 주기를 자동으로 조절하는 '적응형 신호등 시스템'을 구현하는 것이다.

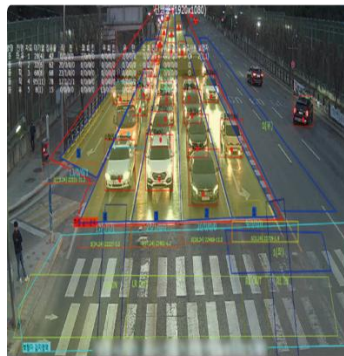
공개된 데이터셋을 활용하여 교차로의 차량 및 보행자에 대한 영상 데이터를 수집하고, OpenCV 및 YOLO 기반 객체 인식 모델을 통해 차량과 보행자 수를 실시간으로 확인한다. 수집된 객체 정보를 바탕으로 신호 전환에 대한 수요를 계산한다. 이때, 차량 및 보행자 수, 평균 대기 시간, 도로 교통 상황 등을 점수화하여 신호 주기를 동적으로 결정함으로써 교통 정체 완화와 교통 안전을 목표로 한다.

본 시스템은 고정 주기 신호 제어 방식의 한계를 극복하며, 스마트시티 교통 인프라의 핵심 구성요소로 확장 가능할 것을 기대한다.

3. 대표 그림

- 개발 배경: 기존 교차로의 신호 시스템은 고정된 시간 기반으로 동작하기 때문에, 실제 교통량 및 도로 상황과 무관하게 신호가 유지되어 비효율적이다.

- 예상 결과: 실시간 교통량에 따라 신호가 적응적으로 변함으로써, 교차로에서 차량 및 보행자의 평균 대기 시간이 단축될 것이다.



차로		횡단보도	
개수	30	개수	1
대기 시간	10	대기 시간	30
	⋮		⋮
총점	176	총점	91
	●		●

그림 1. YOLO 기술 기반 객체 추적 및 점수화

4. 서론

도시 교차로의 대부분은 여전히 고정 주기 신호 제어 방식(Fixed-Time Signal Control)으로 운영되고 있다. 이러한 방식은 시간대별, 방향별 교통 수요 변동을 충분히 반영하지 못하여, 불필요한 대기시간 증가와 교차로 용량 저하의 원인이 되고 있다. 실제로 서울시 교통정보센터[1]에 따르면, 출퇴근 시간대 교차로의 평균 대기시간은 평상시 시간대보다 최대 1.8배 이상 길며, 이는 고정식 제어가 교통 수요 변화에 탄력적으로 대응하지 못하기 때문으로 분석된다.

이에 따라 최근에는 차량 흐름을 실시간으로 반영하는 검지기 기반(Actuated) 또는 적응형 신호 제어(Adaptive Signal Control) 기술이 도입되고 있다. 예를 들어, 국토교통부[2]는 2021년부터 "스마트 교통체계(ITS) 고도화 사업"을 통해 주요 도심 교차로에 영상 검지기 및 레이더 센서를 설치하고 있으며, 교통량에 따라 신호 주기를 자동 조정하는 시스템을 단계적으로 확대 중이다.

또한, 해외의 대표적인 사례로는 영국의 SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique), 호

주의 SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) 등이 있으며, 이들은 실시간 차량 검지 데이터를 바탕으로 교차로 간 연동 제어를 통해 교통 효율을 향상시키고 있다. [3], [4]

그러나 이러한 기존 시스템들은 대부분 차량 중심적 제어에 초점을 맞추고 있어, 보행자의 수요나 복합 교통 환경(자전거 등)을 함께 고려하지 못하는 한계가 있다. 또한 고성능 센서나 통신 인프라를 필요로 하기 때문에, 비용과 유지보수 부담이 크고, 소규모 도시나 연구·교육 환경에서의 재현성이 낮다.

최근 딥러닝 기반 영상 인식 기술의 발전으로, 단일 카메라만으로도 차량 및 보행자 객체를 동시에 인식·추적할 수 있는 기술적 기반이 마련되었다. 특히 YOLO(You Only Look Once) 계열의 객체 탐지 모델과 DeepSORT, ByteTrack 등의 경량 추적 알고리즘을 활용하면, 비교적 저사양의 하드웨어에서도 실시간 다중 객체 인식이 가능하다.

이에 따라 본 프로젝트에서는 교차로 영상 내 다양한 객체(차량·보행자 등)를 검출 및 추적하고, 각 객체의 대기시간과 밀도를 기반으로 점수를 산정하여 신호 제어에 반영하는 “점수 기반 적응형 신호 제어 시스템”을 제안하고자 한다.

5. 본론

본 프로젝트에서 제안하는 적응형 신호등(Adaptive Traffic Light) 시스템은 영상 인식 기반의 실시간 객체 탐지 및 신호 제어 알고리즘으로 구성된다. 카메라를 통해 입력된 교차로 영상에서 차량 및 보행자 객체를 탐지하고 추적한 후, 이를 바탕으로 교통 수요를 점수화하여 신호 주기를 동적으로 조정한다. 전체 시스템 개요는 아래 그림 2와 동일하다.

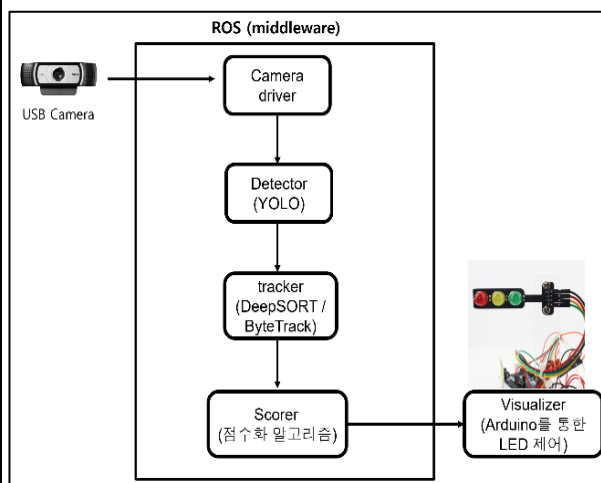


그림 2. Adaptive traffic light 시스템 개요도

본 프로젝트에서 제안하는 적응형 신호등 시스템은 USB 카메라로부터 입력된 실시간 영상을 ROS(Robot Operating System) 환경에서 처리하여 차량 및 보행자 객체를 탐지 및 추적하고, 이를 기반으로 교통 상황 점수를 계산하여 신호 상태를 시각적으로 표시하는 구조로 설계되었다. LED제어를 직접 진행하거나 OpenCV 라이브러리를 이용한 시각화를 통해 신호 전환을 표현함으로써 교통 데이터 처리 로직을 직관적으로 검증할 수 있도록 구성하였다.

전체 시스템은 영상 입력, 객체 탐지, 객체 추적, 점수 계산, 시각화의 다섯 단계로 구성된다. USB 타입 카메라에서 수신된 영상은 ROS의 cv_bridge 패키지를 통해 OpenCV 이미지로 변환되며, 해당 데이터는 Detector 노드가 수신한다. Detector 노드에서는 YOLOv8 [5]에서 제공하는 사전 학습 모델을 사용하며, 교차로 환경에 맞게 차량과 사람 클래스를 중심으로 탐지를 수행한다. 이후 Tracker 노드는 DeepSORT (Deep Simple Online and Realtime Tracking) [5] 알고리즘을 통해 동일 객체를 여러 프레임에 걸쳐 추적하며, 이를 통해 객체별 ID를 부여하고 중복 탐

지를 방지한다. Tracker 노드는 각 객체가 교차로에 진입한 시점과 이탈한 시점을 기록하여 대기시간을 계산하며 이러한 과정을 통해 차량 및 보행자의 평균 대기시간과 객체 수를 실시간으로 집계한다. 이러한 정보를 가지고 Scorer 노드에서 교통 상황 점수를 산출한다. 점수 계산은 차량 수 N_v , 보행자 수 N_p , 평균 대기시간 T_k 을 각각 정규화한 뒤 가중치를 부여하여 산출된다. 또한, 교통 사고, 응급 상황 등 다양한 교통 상황을 반영하여 안전성은 높이고, 차량 및 보행자의 대기시간은 최소화할 수 있도록 점수 산출 수식을 정의할 계획이다. 최종적으로 Visualizer 노드에서는 차로와 횡단보도에 대한 점수를 수신하며 OpenCV를 이용해 영상 하단에 해당 색상(빨강, 초록)을 오버레이하여 표시하며, 시간 및 비용적 여유가 있다면 Arduino를 이용한 LED 제어를 진행해볼 계획이다.

각 노드는 ROS 미들웨어 상에서 동작하며, ROS의 표준 메시지를 이용해 노드 간의 데이터 교환이 이루어진다. 이러한 구조를 통해 각 기능 모듈(탐지, 추적, 점수화, 시각화)을 팀원들이 개별적으로 개선하거나 확장할 수 있는 유연한 개발이 가능할 것으로 예상된다.

6. 결론

본 프로젝트에서는 교차로의 실시간 교통 상황을 반영하여 신호 주기를 자동으로 조정하는 적응형 신호등(Adaptive Traffic Light) 시스템의 설계 및 구현 방안을 제시하였다. 기존의 고정 주기 신호 제어 방식이 시간대별 교통량 변동을 충분히 반영하지 못한다는 문제를 해결하기 위해, 본 프로젝트에서는 영상 기반 객체 인식 및 추적 기술을 활용하여 차량과 보행자의 수요를 동적으로 점수화할 수 있도록 구성하였다.

향후 YOLO와 DeepSORT를 활용하여 객체 탐지 및 추적을 먼저 진행할 예정이다. 이 부분에서 일정 수준 이상의 정확도가 확보가 된 후에 탐지된 객체 정보를 바탕으로 점수화하는 알고리즘을 고안할 예정이다. 최종적으로 이들을 시스템 구성도에 맞게 하나의 시스템으로 구성하여 기능을 구현하며, 평균 대기시간, 최대 대기시간 등 다양한 성능 지표를 고려하며 기존 고정 주기 신호 제어 방식과의 성능 비교를 진행할 예정이다.

7. 출처

- [1] 서울특별시 교통정보센터(TOPIS), *2023 서울시 교통운영 보고서*, 서울특별시, 2023.
- [2] 국토교통부, *스마트교통체계(ITS) 고도화 기본계획(2022-2026)*, 2022.
- [3] Hunt, P. B., Robertson, D. I., Bretherton, R. D., & Winton, R. I. (1982). *SCOOT—A traffic responsive method of coordinating signals*. TRRL Laboratory Report 1014, Transport and Road Research Laboratory, UK.
- [4] Lowrie, P. R. (1990). *SCATS—Sydney Coordinated Adaptive Traffic System: A traffic responsive method of controlling urban traffic*. Roads and Traffic Authority of NSW, Australia.
- [5] <https://github.com/MuhammadMoinFaisal/YOLOv8-DeepSORT-Object-Tracking>