

대기열 이론과 객체 감지 기술을 활용한 실시간 교통흐름 최적화

박상수, 손병훈, 김승현, 정종문*

연세대학교 전기전자공학과, 연세대학교 전기전자공학과, 연세대학교 전기전자공학과,

*연세대학교 전기전자공학과

sspark@yonsei.ac.kr, sonhun99@yonsei.ac.kr, kim_ashley@yonsei.ac.kr, *jmc@yonsei.ac.kr

Real-time traffic flow optimization using Queueing theory and Object detection

Sangsoo Park, Byounghoon Son, Sunghyun Kim, Jong-Moon Chung*

Yonsei Univ Electrical and Electronic Engineering, Yonsei Univ Electrical and
Electronic Engineering, Yonsei Univ Electrical and Electronic Engineering,

*Yonsei Univ Electrical and Electronic Engineering

요 약

본 논문에서는 교통 체증이 심각한 지역에서 실시간 교통 흐름을 최적화하기 위한 새로운 방법을 제시한다. 이를 위해 CCTV 영상을 활용하여 자동으로 차량 수를 파악하고, 이 데이터를 바탕으로 대기 이론(Queueing Theory)을 적용해 교통 신호를 효율적으로 조절하는 방법을 탐구한다. 본 연구는 기존 교통량 분석 방식과 달리 각 신호 주기마다 교통량을 분석하여 신호 시간을 조정하는 방식을 제안한다. 이 방법은 교통 체증을 감소시키고 전반적인 교통 흐름을 개선하는 데 중요한 기여를 할 것으로 기대된다.

I. 서론

효율적인 교통 관리는 교통 체증 해결의 핵심적인 요소이다. 교통 흐름이 시간에 따라 변동하기 때문에 신호 관리 알고리즘은 실시간 상황을 반영해야 한다. 교차로 CCTV의 발전으로 이제 실시간 영상이 확보 가능하게 되었다. 본 논문은 교통 체증이 심한 지역에서 실시간 교통 흐름을 최적화하는 새로운 접근 방식을 소개한다. 이는 CCTV 영상에서 YOLO(You Only Look Once) 기술을 활용해 차량 수를 정확히 파악하고, 대기열 이론을 적용하여 최적의 교통 신호 주기를 계산하는 방법을 제안한다. 이 연구는 교통 신호 관리의 수동 작업을 줄이고 교통 흐름 개선에 기여할 것으로 예상된다.

II. 본론

1. 차량 인식

실시간 차량 감지에 효과적인 YOLO(You Only Look Once) 모델을 적용하여[1][2][3], 교차로 CCTV 영상에서 차량을 인식하고 수를 계산한다.

그림 1은 교통 흐름에 영향을 미치지 않는 영역에 대해 마스크 처리를 하여 모델에 반영하지 않는다.

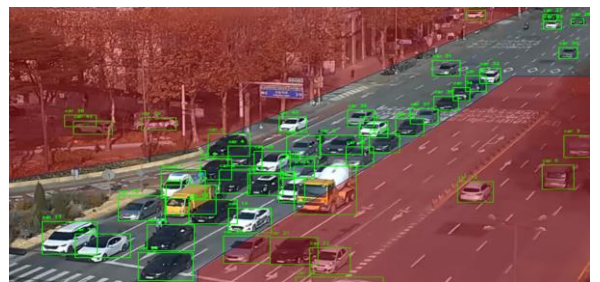


그림 1. 적색 신호 구간 CCTV 영상

2. 교통신호 주기 확인 및 최적 신호 모델링

CCTV 영상을 통해 녹색 신호등과 적색 신호등의 주기를 확인하고, 대기 이론에 기반하여 차량의 도착률과 서비스률을 도출하여 최적의 녹색 신호등 시간을 산출한다. 그림 2는 적색 신호 2.3분(140초) 동안 36대의 차량이 교차로에 진입하여 대기하는 것을 보여준다.

이를 통해 도착률을 구할 수 있다

$$\text{Arrival rate}(\lambda) = (\text{도착한 차량 수} / \text{빨간불 시간})$$

$$= \frac{36}{2.33} = 15.423 \text{ [vehicle / min]}$$

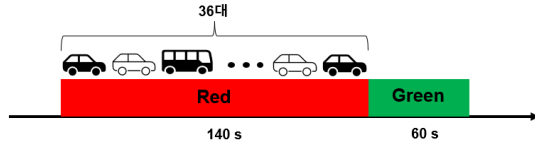


그림 2. 교통신호 주기

도심 제한 속도 50km/h 기준으로 한 차선당 통과차량 대수는 23 대/min 이다. 이를 통해 서비스율을 구할 수 있다.

$$\text{Service rate}(\mu) = 23 * 4 = 92 \text{ [vehicle / min]}$$

이를 바탕으로 M/M/1 대기열 모델을 적용한다. 대기열이 0 이 되는 데 필요한 시간, 즉, 교차로에 대기 중인 차량이 없어지고 바로 통과할 수 있는 환경이 되는 데 필요한 시간을 계산하여, 해당 시간만큼 녹색등이 켜지도록 한다. 이는 다른 방향의 적색 신호 대기시간을 최소화한다.

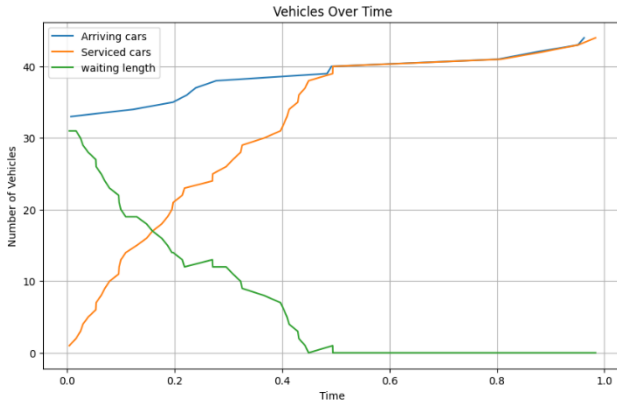


그림 3. 시간에 따른 대기열의 차량 대수

그림 3 은 녹색등 점등 시간에 따른 대기 차량 수를 나타낸다. “Waiting length”는 교차로에 진입하여 대기하고 있는 차량 수를 나타낸 것으로 녹색등 변경 후 0.5 분이 지나면 대기 차량 수가 '0'이 되는 것을 확인할 수 있으며, 이는 해당 교차로에서 0.5 분 이상의 녹색 신호 시간이 대기열 감소에 기여하지 않음을 의미한다. 반면, 더 긴 녹색 신호는 다른 방향의 대기 시간을 증가시킨다. 실시간 차량 수를 모니터링하여 최적화된 신호 주기를 도출하는 방법의 효과를 입증하였다.

III. 결론

본 논문에서는 실시간으로 측정된 대기 차량 수를 바탕으로 대기열 이론을 활용해 대기열이 '0'이 되는 시간으로 신호 주기를 조정하는 방법을 제시하였다.

이 접근 방식을 통해 불필요한 신호 시간을 줄이고, 다른 도로의 대기 차량 수를 감소시키는 효과를 얻었다. 이는 전체 도로 시스템의 유기적인 신호 체계 관리에 기여할 수 있으며, 궁극적으로 도로 흐름의 최적화를 달성할 수 있음을 시사한다.

참 고 문 헌

- [1] R Nurcahyo " Comparative Analysis of Deep Learning Models for Vehicle Detection," JOSEIT Vol. 1 No.1 27-32, March 2022
- [2] A John, "Comparative study of Various Algorithms for vehicle detection and counting in traffic" ASCIS Advancements in Smart Computing and Information Security pp 271-286, January 2023
- [3] A Dodia "A comparison of YOLO based vehicle detection algorithms" International Conference on Artificial Intelligence and Applications (ICAIA) Alliance Technology Conference (ATCON-1), April 2023