

신호 순서에 대한 교통신호 성능 영향도 분석에 관한 연구

주현진*, 박혜빈*, 임유진*

*숙명여자대학교 IT 공학과

hjjoo8@sookmyung.ac.kr, hb0390@sookmyung.ac.kr, yujin91@sookmyung.ac.kr

A Study on the Effect of Signal Order on Traffic Signal Performance

Hyunjin Joo*, Hyebin Park*, Yujin Lim*

*Dept. of IT Engineering, Sookmyung Women's University

요 약

스마트 시티에서 교차로의 통행을 관리하는 교통신호 시스템 분야의 목표는 교통 혼잡 최소화 및 처리량 최대화이다. 현재, 신호 제어 시스템은 고정형 시스템을 사용하고 있으며, 효율적이고 유동적으로 교통을 제어하기 위해 적응형 방식의 교통신호 제어 연구가 활발히 진행 중이다. 적응형 방식의 교통신호 방식 중에서 고정된 신호 순서에 상황에 맞는 신호시간을 할당하는 방법이 있다. 본 논문은 고정된 신호 순서가 교통 신호 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과, 신호 순서가 교통신호 성능에 미치는 영향도가 크지 않다는 것을 확인할 수 있었다.

1. 서론

최근 4 차 산업혁명 시대의 혁신기술을 활용한 스마트 도시에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 스마트 도시는 ICT(information and communication technology) 기술을 도시기반시설과 결합하여 다양한 도시서비스를 제공한다 [1]. 스마트 시티에서 제공하는 서비스는 행정, 환경, 에너지, 안전, 의료, 그리고 교통 등 다양한 분야로 구성되어 있다.

지능형 교통 시스템 ITS(intelligent transport system)는 스마트 시티에서 교통분야를 일컫는 단어로, 첨단 기술을 통해 교통 정보를 수집하여 교통 체계를 관리한다. 이에 따라, 교통의 효율성과 안정성을 향상시킨다. 교통 혼잡(traffic congestion)은 가장 빈번하게 발생하는 대표적인 교통문제로, 현재 많은 도시에서 최우선으로 해결하고자 하는 문제이다. 이는 자동차의 이동 속도를 느리게 하고 연료 낭비를 유발할 뿐만 아니라 매연을 추가적으로 발생시켜 환경 오염을 악화시킨다. 이러한 교통 혼잡 문제를 해결하기 위해 교통관리 시스템은 다양한 방식으로 연구되고 있다.

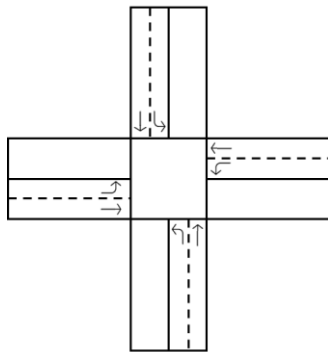
현재 사용되고 있는 교통신호 시스템은 고정형(fixed) 신호이다. 고정형 신호는 사전에 입력한 신호 순서대로 고정된 시간을 도로에 할당하는 방식으로 이는 교통량이 정적이고 예측가능한 교차로에서 유용하다. 그러나 고정된 순서와 시간 길이로 교차로에

신호를 할당하는 고정형 신호 제어는 동적으로 변하는 교통 환경에 효율적으로 신호를 제공할 수 없다는 한계가 있다. 이에 따라, 적응형(adaptive) 방식의 교통신호 제어 연구가 활발히 진행되고 있다. 적응형 방식은 크게 두 가지로 나뉜다. 첫 번째로는 상황에 따라 신호 순서를 할당한다 [2, 3]. 이는, 신호 시간은 고정되었으나, 신호 순서를 동적으로 결정함으로써 교통 상황에 유연하게 대처할 수 있는 장점이 있다. 두 번째로는 신호 시간을 조정한다 [4, 5]. 이는 신호 순서는 고정하고 이동방향별 교통량에 맞는 시간을 할당해서 낭비되는 신호를 줄일 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 순서에 따라서 녹색 신호를 할당하기 때문에 신호의 순서가 교통 신호 성능에 영향을 줄 수 있다. 따라서 본 논문은 신호 순서는 고정되었고 신호 시간을 조정하는 제어방법에서 신호 순서가 교통 신호 성능에 영향을 주는지에 대해 실험을 통해 분석하고자 한다.

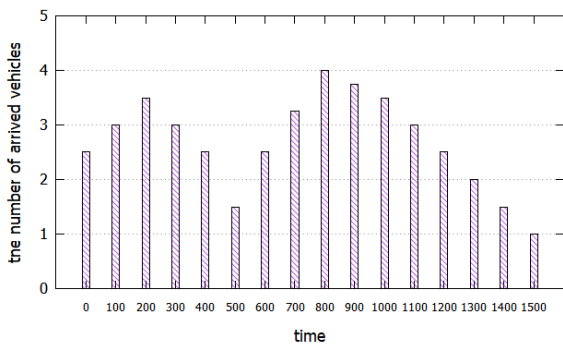
2. 신호 순서에 대한 교통 신호 성능 영향도 분석

신호 교통신호 성능에 대한 실험은 그림 1 과 같은 4-way 교차로에서 진행한다. 하나의 4-way 교차로는 동, 서, 남, 북, 총 4 개의 방향으로 이루어져 있다. 한 방향에 두 개의 차선이 있다. 하나는 좌회전이 가능하고 다른 하나는 직진 또는 우회전이 가능하다고 가

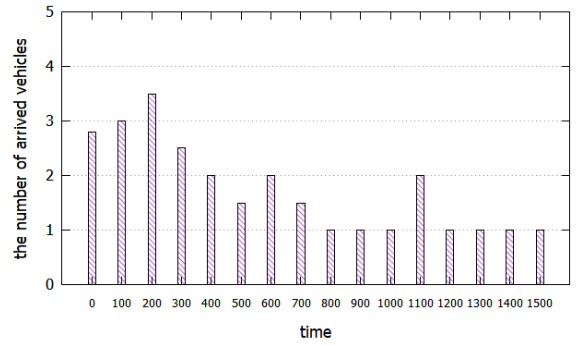
정하였다. 실험은 SUMO(simulation of urban mobility)라는 시뮬레이션 환경에서 진행하였다. 차량 분포 데이터는 SUMO 에서 차량 도착률을 의미하는 period 파라미터, 반복률을 의미하는 p 파라미터와 랜덤화를 의미하는 binomial 파라미터를 이용해서 제작하였다. 먼저, period 파라미터의 범위는 0 과 1 사이로, 1 보다 작은 값 p 로 지정을 하면, 도착률은 1/p (초)로 설정된다. 즉, 값이 0 에 가까워질수록, 동시에 더 많은 차량이 도착한다. P 파라미터의 범위는 0 과 1 사이로, 반복적으로 특정 사건이 발생할 확률을 의미한다. 그리고 binomial 파라미터의 범위는 1 보다 큰 정수 값으로, 반복률을 의미하는 p 파라미터와 함께 이용하면 데이터 분포를 생성할 수 있다. 즉, 이항분포에서 실행횟수는 binomial 파라미터로 정의하고, 확률은 p 파라미터로 정의하면 이항분포 형태로 랜덤하게 만들 수 있다. period, binomial, 그리고 p 이렇게 3 개의 파라미터를 이용해서 다음과 같이 두 가지의 차량 분포 데이터를 제작하였다. 그림 2 에서 보이는 데이터는 두 번 교통량이 증가하는 분포의 데이터로, 평상시 주중 출퇴근 시간대에 교통량이 늘어나는 상황에 대응가능한 차량 분포 환경(distribution1)이다. 그림 3 은 중간에 갑자기 교통량이 증가하는 데이터 분포로, 교통사고와 같은 예기치 못한 상황으로 교통량이 급격히 증가하는 상황과 비슷한 차량 분포 데이터(distribution2)로 볼 수 있다. 이 두 차량 분포 환경을 기반으로 실험을 진행했다.



(그림 1) 4-way 교차로.



(그림 2) 차량 데이터 분포 1: distribution1.



(그림 3) 차량 데이터 분포 2: distribution2.

일반적으로 교통신호 체계는 두 개의 차선이 동시에 녹색신호를 받는다. 예를 들어, 같은 방향의 직진과 좌회전이 동시에 녹색 신호를 받거나, 마주보는 방향의 직진 또는 좌회전 신호가 동시에 녹색 신호를 받는다. 그 이유는, 녹색신호를 최대한 활용해서 자동차 통행의 효율성을 높이기 위해서이다. 하지만, 본 실험은 신호 순서에 대한 영향을 최대한 적용시키기 위해 동시 신호를 배제하여 그림 4 와 같이 8 개의 단일 신호를 교차로에 적용하였다. 또한, 보행자는 고려하지 않는다.

1	2	3	4	5	6	7	8
↑	↓	↶	↷	←	→	↗	↘

(그림 4) 단일 신호.

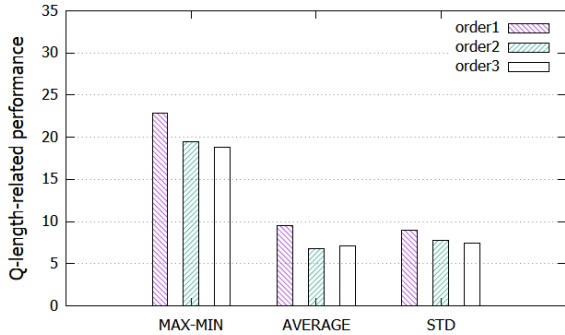
실험에 사용한 교통 순서는 그림 5 와 같이 총 3 개로 분류하였다: order1, order2, 그리고 order3. 실험은 3 개의 척도로 성능을 비교하였다. 첫번째는 해당 성능 지표에 대하여 8 개의 차선에서의 최대값과 최소값의 차이, 두번째는 레인의 평균 값, 그리고 세번째는 8 개의 차선의 표준편차 값이다.

	1	2	3	4	5	6	7	8
order1	↓	↷	↑	↶	←	↘	→	↗
order2	↑	↓	→	←	↷	↶	↗	↘
order3	↑	↶	→	↗	↓	↷	←	↘

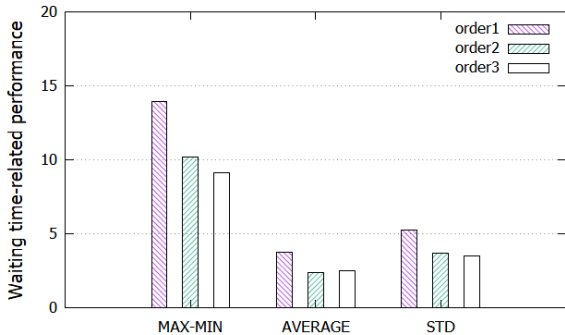
(그림 5) 교통 신호 순서.

그림 6 과 7 은 distribution1 환경에서 성능을 측정한 결과이다. 그림 6 은 교차로에서 큐 길이, 그림 7 은 대기시간 성능을 측정하였다. 큐 길이는 교차로 차선에 대기 중인 차량의 개수를 큐 길이로 정의하였고, 대기 시간은 교차로 차선에 대기 중인 차량의 대기 시간을 측정하였다. 큐 길이와 대기시간 그래프에

서 교통신호의 순서가 order1 방식일 때, 최대-최소값의 차이가 다른 교통순서에 비해 각각 약 20%, 약 30% 더 높았다. 평균과 표준편차 척도에서도 order1 방식의 교통신호가 약 20% 더 높은 큐 길이와 대기 시간을 가졌다.



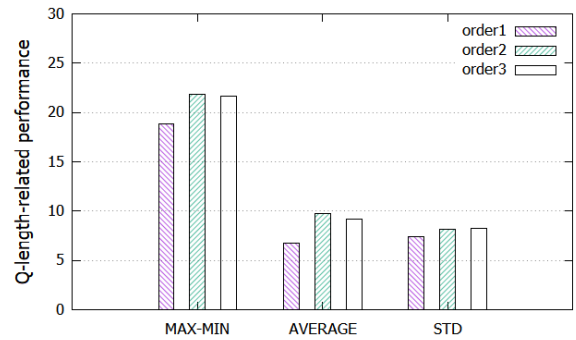
(그림 6) 큐 길이 결과 그래프: distribution1.



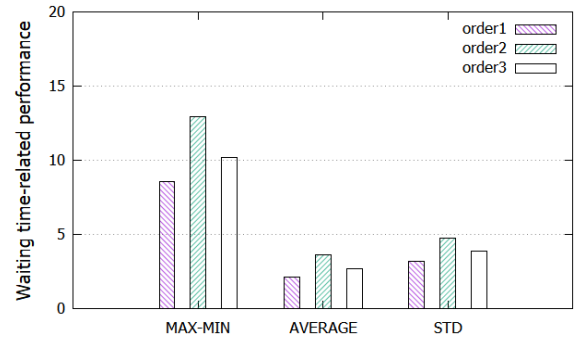
(그림 7) 대기시간 결과 그래프: distribution1.

그림 8 과 9 는 distribution2 환경에서 성능을 측정 한 결과이다. Distribution2 환경에서는 distribution1 환경과 반대의 성능 결과가 나왔다. 큐 길이와 대기시간 측면에서 order1 방식 다른 방식보다 약 20% 더 나은 성능을 보여줬다.

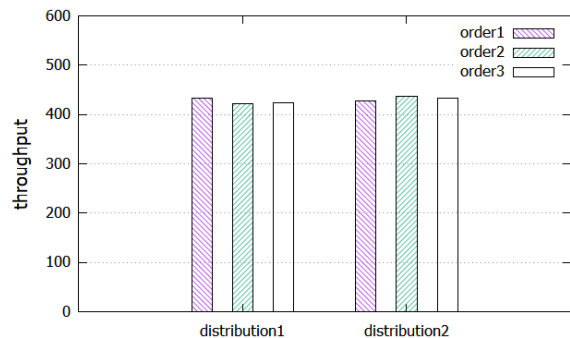
그림 10 는 distribution1 과 distribution2 환경에서 처리량 성능을 측정하였다. 처리량은 실험 시간동안 교차로에서 빠져나간 차량의 수로 정의하였다. 결과적으로 두 분포에서의 처리량은 차이가 거의 없었다. 앞선 큐 길이와 대기시간 관련 그래프는 각 방식마다 성능의 차이를 보였지만, 처리량의 차이는 약 5%로, 비슷한 결과가 나왔다. 이는, 차량 분포에 따라 각자 최적의 신호 순서가 존재하기 때문에 큐 길이와 대기 시간 성능에서는 차이가 생겼다. 하지만, 신호 주기 1 회당 모든 차선은 신호 순서에 따라 녹색 신호를 할당 받기 때문에 처리량 관련 성능에는 차이가 거의 나타나지 않은 것으로 해석된다.



(그림 8) 큐 길이 결과 그래프: distribution2.



(그림 9) 대기시간 결과 그래프: distribution2.



(그림 10) 처리량 결과 그래프.

3. 결론

본 논문은 고정된 신호 순서가 교통 신호 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 실험 결과, 분포에 따라 큐 길이와 대기시간 관련 성능의 차이가 보였다. 이는 차량 분포에 따라 각자 최적의 신호 순서가 존재한다는 의미로 해석이 된다. 하지만 처리량 관련 성능의 차이는 거의 없었다. 즉, 교통 순서에 따른 교통신호 성능은 교차로의 전체적인 처리량에는 영향을 주지 않았다. 이는 신호 순서에 따라 모든 차선에 공평하게 녹색 신호를 할당하기 때문에 처리량 성능에는 영향이 크지 않았다. 또한, 본 실험은 동시 신호를 배제한 실험이기 때문에 동시 신호체계를 사용하는 실제

환경에서는 큐 길이와 대기시간의 차이가 더 안 날 것이다. 따라서, 신호 순서가 교통신호 성능에 미치는 영향도는 미비하다는 결론이 도출되었다.

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021R1F1A1047113).

참고문헌

- [1] Narmeen Z. Bawany, and Jawwad A. Shamsi "Smart City Architecture: Vision and Challenges," International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 6, no. 11, 2015.
- [2] Li L., Yisheng L., and Fei-Yue W. "Traffic Signal Timing via Deep Reinforcement Learning," IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, vol. 11, no. 7, 2017.
- [3] Seyed S. Mousavi, Michael S., and Enda H. "Traffic Light Control Using Deep Policy-gradient and Value-function-based Reinforcement Learning," IET Intelligent Transport Systems, vol. 11, no. 7, 2017.
- [4] Ehsan A., Naser P., and M. Bagher N. Sistani "A Novel Fuzzy Model and Control of Single Intersection at Urban Traffic Network," IEEE Systems Journal, vol. 4, no. 5, 2010.
- [5] Jinghong Z., Jianming H., and Yi Z. "Adaptive Traffic Signal Control with Deep Recurrent Q-learning," IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Suzhou, 2018.