
Global Report

자동화 및 협동 차량을 위한 실시간 최적 교차로 제어시스템

1. 개요
2. 모델 설정
3. 결과 및 검토
4. 결론

1. 개요

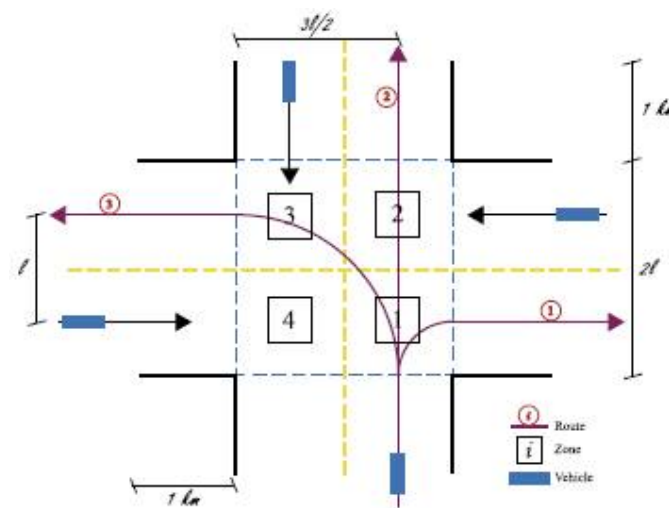
자동화가 도입된 이래로 인간의 개입이 필요 없는 자동차 제조 시스템, 지하철, 열차 및 AVs(Automated Vehicles) 등 다양한 시스템이 자동화 되고 있다. 최근에는 엔진 내 연소반응계수의 점액성계수를 충족하는 것은 물론 크루즈 컨트롤(cruise control)에 이르기까지 다양한 작업을 자동으로 처리하는 차량의 필수구성요소로 컴퓨터가 이용되고 있다. 그간 이와 관련된 많은 연구가 있었다. (de La Fortelle, 2015; Zohdy and Rakha, 2012; Li and Wang, 2012; Azimi et al., 2013; Rakha and Kamalanathsarma, 2011; Lee and Park, 2012; Le et al., 2013; Abdul Aziz et al., 2012; Ye et al., 2015; Roozmond, 2001) 이러한 추세에 궁극적인 목표는 차량을 자율적으로 운행할 수 있도록 하는 것이다. 아울러 주된 동기는 자율주행차량의 도입과 관련하여 예상되는 안전, 경제 및 이동성 등에 대한 이점이 있기 때문이다. 이 단계에서는 다양한 프로토타입이 존재한다. 그러나 구현된 기술은 아직은 실제 도로상황에 적용하기에는 약점들이 존재하고 있다. 이에 예측되지 않은 상황에 직면할 때 차량이 예상대로 안전하게 작동할 수 있도록 알고리즘의 개발이 필요하다. 아울러 교통사고 발생 시 누가 책임을 질 것이며, 자율주행자동차의 운전면허 제도는 어떻게 변경하느냐 등 매우 많은 과제를 안고 있다.

이 연구에서는 이를 위해 다양한 교통패턴(실제 운행데이터에서 얻은 가속제약조건, 도로의 형상에 따른 속도제한 등)에 따른 차량의 위치, 속도 및 가속도, 차량 지연, 정지 횟수, 연료소비 및 이산화탄소 배출량에 따른 후처리 단계 등을 고려한 포괄적이고 확장된 자동차 모델을 제시한다.

2. 모델 설정

2.1. 교차로 개념도

다양한 교통패턴에 따른 후처리 단계 등을 고려한 포괄적이고 확장된 자동차 모델을 제시하기 위해 [그림 1]과 같이 일반적인 교차로를 기본개념으로 설정한다. 교차로에서 각 차량들은 3가지 경로(직진/좌회전/우회전) 경로를 선택 운행할 수 있다.



* 자료 : Youssef Bichiou, Hesham A. Rakha, "Real-time optimal intersection control system for automated/cooperative vehicles", International Journal of Transportation Science and Technology 8 (2019) 1-12, p.3.

[그림 1] 일반적인 교차로 개념도

이러한 경로는 교통사고 발생률이 높은 분쟁지역에 적용할 수 있다. 많은 차량이 이를 공유함으로써 발생된 문제에 대한 해결책으로 각 영역에 대한 점유시간 슬롯 할당 등을 설정할 수 있다. 이 연구에서는

교차로에서 직진차량 트래픽이 70%, 우회전 차량의 트래픽이 20%, 좌회전 차량의 트래픽이 10%라고 가정하고 문제를 해결하고자 한다. 제안된 접근방식은 모든 차량운행을 처리할 수 있으며, 출발지-도착 행렬(origin-destination matrix)에 대한 모션방정식은 식(1~4)와 같이 계산할 수 있다:

$$x(t)=V(t) \cos \theta(t) \dots\dots\dots (1)$$

$$y(t)=V(t) \sin \theta(t) \dots\dots\dots (2)$$

$$V(t)=\alpha_1(t) \dots\dots\dots (3)$$

$$\theta(t)=\alpha_2(t) \dots\dots\dots (4)$$

여기서 α_1 및 α_2 는 수평축에 대한 차량속도(v) 및 방향전환속도(h)를 제어하는 스칼라 제어 입력신호이다.

2.2. 가속 제약 조건

일반적인 차량의 경우 최대 차량가속은 식(5)와 같이 계산할 수 있다:

$$\alpha_{\max}=(F-R)/m\dots\dots\dots (5)$$

여기서 F는 견인력이고, R은 저항력으로 공기역학적 저항(R_a), 구름 저항(R_r) 및 경사 저항(R_g)의 합으로 구할 수 있다. ($R=R_a+R_r+R_g$), m은 차량 질량을 의미한다. 식(5)와 같은 계산방법은 <표 1>에 제시한 차량의 물리적 모델과 관련된 각종 수치파라미터를 이용하여 다른 블록화도 가능하다.

<표 1> 차량의 물리적 모델 수치파라미터

기호	값	단위	기호	값	단위
ζ_d	0:92	—	G	0	deg.
P	177	hp	$d_{\max}$	5	ms^{-2}
m_{ta}	785	kg	v_f	60	km/h
g	9:8067	N kg^{-1}	v_c	38	km/h
μ	0:6-1	—	k_j	150	veh/km
ρ	1:225	kg m^{-3}	qc	1700	veh/h
C_d	0:3	—	e	0	—
C_h	1:0	—	f	s	0:18
A_f	2:32	m^2	f_p	0.4-1.0	—
C_{r0}	1:75	—	—	—	—
C_{r1}	0:0328	—	—	—	—
C_{r2}	4:575	—	—	—	—
C_{r2}	4:575	—	—	—	—

* 자료 : Youssef Bichiou, Hesham A. Rakha, “Real-time optimal intersection control system for automated/cooperative vehicles”, International Journal of Transportation Science and Technology 8 (2019) 1-12, p.5.

3. 결과 및 검토

다양한 수준의 교통 혼잡을 고려하여 교차로에 대한 시뮬레이션을 수행하기 전에 Dt값을 먼저 결정할 필요가 있다. 교차로를 통과하는 차량과 관련된 다양한 Dt 값에 대한 속도/시간 값을 제시하여 앞서가는 차량이 없는 곳에 표시한다. 이 경우 차량이 허용하는 최대속도에 도달할 수 있을 것으로 예상된다. 이 예시에서의 주행속도는 10m/s이며, Dt 값이 0:3을 초과하는 경우 속도프로파일이 왜곡된 것으로 판

단한다. Dt 값이 0:3 이하로 낮을 때는 속도/시간 값을 실제 속도프로파일에 수렴하는 것으로 판단한다. 그러나 $Dt=0:1::0:3$ 일 경우 $V(t=0)=1\text{m/s}$ 인 초기조건이 정확히 캡처되지 않은 것으로 판단한다. 이는 i) 관련 정밀도의 허용치, ii) 차량에 통합된 시스템의 기능, iii) 획득한 시스템의 크기 등에 의해 동기를 부여할 수 있다. 이 연구에서 교차로는 주도로와 소도로로 구성하며, 소도로의 도착률은 주 도로 차량흐름의 50%로 설정하였다. 주도로의 교통흐름은 500~1200 veh/h 사이였으며, 그 중 10%는 좌회전 차량으로, 20%는 우회전 차량으로 모델링하였다. 도로의 기본 포화 유량은 1700 veh/h였다. 용량이 포화 유량보다 훨씬 적게 나타났기 때문에 이 교차로는 여러 시나리오에서 과포화 지연을 초래할 수 있는 것으로 나타났다. 이에 교차로에서 교통신호의 제어동작을 최소화하는 동시에 지연을 줄이는 솔루션을 제시하기 위해 OCERT(Optimal Control Effort Real Time)에 중점을 두었다.

4. 결론

자동 및 커넥티드 차량의 제어를 위해 최적의 제어 이론에서 파생된 새로운 교차로 관리 알고리즘의 성능이 점차 향상되고 있다. 개발된 알고리즘을 원형교차로, 모든 방향정지 표지판 및 교통신호제어 교차로를 포함한 교차로 제어방안과 비교하여 테스트하였다. 아울러 비선형 최적화 알고리즘과 비교하였다. 이 결과, 정밀도에 대한 미미한 감소치는 계산비용의 감소로 정당화할 수 있는 것으로 간주하였다. 또한 제안된 알고리즘이 다른 교차로 제어방안을 능가하는 것으로 나타났다, 최적의 교차로 제어방안에 비해 각각 최대 55%와 40%의 감소와 낮은 지연을 얻을 수 있었으며, 이산화탄소 배출량도 줄일 수 있는 것으로 확인되었다. 그간의 교차로 제어 최적화에 대한 객관적인 기능은 이동시간과 가속에너지를 줄이는 데에만 초점을 맞추고 있다. 이 연구를 통해 낮은 지연과 가속이 원활한 교통흐름 솔루션을 제시할 수 있었다. 특히 차량의 연료소비와 이산화탄소 배출량 감소는 이러한 최적화에 따른 또 다른 효과로 간주할 수 있다. 이는 무분별한(공격적인) 급가속을 지양함으로써 정당화될 수 있으며, 차량의 연료소비를 명백하게 감소시킬 수 있을 것이다. 다른 가중 목표함수는 차량 지연, 급정지, 탄소배출 및 연료소비 등 다양한 파라미터를 최적화함으로써 구현될 수 있을 것으로 예상된다. 이는 것은 향후 연구에서 구현할 것이다. 그러나 이러한 연구에서 한 가지 단점은 볼록 최적화를 통해 실시간 솔루션을 얻을 수는 있지만, 도착시간에 대한 초기추정치는 기록 데이터를 기반으로 추정할 수 있다는 점이다. 이 역시 향후 연구에서 개선해야 할 사항이다.

자동차 산업에서 AVs(Automated vehicles) 기술이 주목받고 있다. 이 연구에서는 다양한 교통패턴에 따른 후처리 단계 등을 고려한 포괄적이고 확장된 자동차 모델을 제시하고 있다. 이를 통해 교차로에서 AV의 운행계획을 최적화하여 교통 혼잡도 감소, 이동성 향상, 차량 배기가스 감소 등을 구현하고자 하는 것이다. 나아가 교통안전성을 향상시키고, 대기환경보호에 기여할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 이 연구결과는 국내 대도시의 도심, 고속도로 및 자동차 전용 도로에서의 원활한 교통흐름을 위한 정책에 벤치마킹 자료로 활용할 수 있을 것이다.

[참고문헌]

- [1] Youssef Bichiou, Hesham A. Rakha, "Real-time optimal intersection control system for automated/cooperative vehicles", International Journal of Transportation Science and Technology 8 (2019) 1-12, p.5.

<원문제목> Real-time optimal intersection control system for automated/cooperative vehicles

<원문출처> International Journal of Transportation Science and Technology 8 (2019) 1-12