Journal of KIIT. Vol. 17, No. 11, pp. 27-35, Nov. 30, 2019. pISSN 1598-8619, eISSN 2093-7571 27
http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2019.17.11.27

고속도로 ADAS 주행차량을 위한 종방향 자율주행 지원 시스템 시뮬레이터 개발

옥 민 환*

A Simulator Implementation of Highway Driving Guidance System for Longitudinal Autonomous Driving of ADAS-Driving Vehicles

Min-Hwan Ok*

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업(또는 자체사업)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

요 약

고속도로에서는 제한속도 이하로 차량들이 열을 지어 주행하는 것이 일반적인 주행형태이다. ADAS의 ACC는 선행차량을 안전거리 확보하며 추종하기에 선행차량과 평균적으로 같은 속도로 주행하게 한다. 현재 ACC로 주행제어되는 차량이 선두차량이 되기에는 목표속도를 탑승자가 수동으로 지정해야 하는 기술적 한계가 있다. 본 논문에서는 선두차량일 때 ADAS의 ACC에 V2I 통신으로 목표속도를 지정하는 체계를 제안한다. Partially autonomous 주행(SAE Level 2)으로의 V2I 통신을 이용하는 시스템의 역할 모델을 제시하고, 시스템 역할의 기대 수준과 관련 주요인자인 속도조정 소요시간을 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 고속도로 제한속도에 기반한 목표속도를 감속변경하여 지정하는 시뮬레이터를 개발하여 차로 사용률 50%에서는 평균 6초 미만, 차로 사용률 80%에서는 평균 11초 미만의 시간에 차량주행 가능속도대가 하향 이동되는 결과를 얻었다.

Abstract

Current ADAS technology has a shortcoming that the driver should assign target speeds manually to ACC when the vehicle is a leading vehicle being driven with ADAS. This work proposes a guidance system provides target speeds for leading vehicles being driven with ADAS. A framework is designed for the system functions pursuing partially autonomous driving(SAE Level 2) through V2I communication, and expected functionality with related conditions is evaluated through simulation. The proposed system conducted lowering speed range in average 6 seconds at 50% lane usage, and average 11 seconds at 80% lane usage in the simulation.

Keywords
adaptive cruise control, leading vehicle, target speed, speed range, V2I communication

* 철도기술연구원 HTX연구팀 선임연구원
- ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2498-058X

· Received: Sep. 18, 2019, Revised: Oct. 22, 2019, Accepted: Oct. 25, 2019
· Corresponding Author: Min-Hwan Ok
Dept. of HTX Research Team, Korea Railroad Research Institute, Korea,
Tel.: +82-31-460-5287, Email: panflute00@naver.com

Ⅰ. 서 론

자율주행을 추구하고 있는 현재 수준의 ADAS (Advanced Driver Assistance System, 첨단운전자보조시스템)는 운전자의 실수를 막는 정도의 보조적 역할을 목적으로 한다. 국제자동차공학회(SAE)에서 제시한 자율주행 Level 1인 최신 ADAS의 주행안전 기능상의 한계는 차량이 달리고 있는 주행로에서의 전후 차량간 거리와 차량 속도에 의한 차량간 안전 거리유지(가속 및 감속) 등과 도로 설비(Roadside Infrastructure)에서 알려 줄 수 있는 안전주행정보(제한속도위반 감시카메라 위치) 등이다. SAE Level 2의 ADAS로 발전하고 있는 기능들 중, 차량주행에 있어서 기본적인 ADAS 기능이 ACC(Adaptive Cruise Control)이다. ACC의 개량된 요즈음 형태인 SCC (Smart Cruise Control)와 HDA(Highway Driving Assist)는 공히 크게 두 가지 기능을 가지는데 선두차량일 때 미리 입력해 놓은 속도 주행하는 기능과 추종차량일 때 전방의 선행차량과의 거리를 유지하며 주행하는 기능이다. 추종차량일 때 안전하게 주행하는 방법 연구 및 기술개발은 다수 있으나, 선행차량일 때 미리 입력한 속도로 주행하는 방법 이외에는 연구된 바가 거의 없다. 현재 대부분의 차량이 운전자에 의해 제어되기 때문이지만, ADAS가 발전하여 선두차량으로 주행하는 경우가 잦아질 시기는 멀지 않았다. 선두차량으로서 미리 입력한 속도로 주행할 때의 속도 변경이 되는 경우는 제한속도위반 감시카메라 위치를 네비게이션으로부터 받아 감속하는 경우다[1].

네비게이션의 기능이 발전하여 고속도로 제한속도를 구간별로 받을 수 있어도 유동적인 교통상황을 고려하지 않은 제한속도를 그대로 선두차량의 목표속도로 사용하는 것은 주행안전 상 바람직하지 않다. 사례로써 터널을 돌아나가면 곧 다수의 차량들이 서행하고 있는 지점에 도달하게 되는데 제한속도 120km/h로 가속하는 경우가 있다. 본 논문에서는 선두차량일 때 ADAS의 ACC에 V2I 통신으로 속도를 지정하는 체계를 제안한다. 2019년 본격적으로 상업화된 5G 이동통신기술과 아울러 Partially autonomous 주행(SAE Level 2)으로의 V2I 통신을 이용하는 시스템의 역할 모델을 제시하고, 시스템 역할의 기대 수준과 관련 상황조건들을 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 이 체계에서는 모든 차량이 네비게이션을 이용하고 있고 각 차량의 행선지로의 분기 및 합류 전에 네비게이션에 의해 해당 구간에서의 진/출입 예정이 안전운행 인도시스템에 알려진다는 전제를 둔다.

Ⅱ. 관련 연구

2.1 ADAS의 ACC가 제어하는 종방향 자율주행

개량된 ACC인 SCC나 HDA로 주행 중 제한속도가 다른 도로 구간을 가게 되어서 목표속도가 주행 중 탑승자에 의해 변경되어야 하면 다음과 같은 단점이 있다.

- 주행 중 모든 선두차량에서 ACC 조작시 탑승자가 '실수 없이' 목표속도 변경을 해야 한다.
- 목표속도 변경 시점이 적정해야 한다. 변경을 시점보다 앞에 하면 주행속도가 제한속도보다 높아져 버려 후행차량들에게 혼란을 주는 경우가 발생할 수 있고, 변경을 시점보다 뒤에 하면 주행속도가 제한속도보다 훨씬 낮아져 불필요한 정체를 일으키는 경우가 발생할 수 있다.
- 새로운 목표속도가 이전 목표속도와 차이가 크면 급작스런 속도 변경으로 후행차량들에게서 주행 안전문제를 일으킬 수 있다.

ACC가 제어하는 주행차량에서 탑승자가 운전에 개입하면 주행안정성과 승차감을 저하시키며 주변 차량과의 안전성도 저하될 것으로 예상된다[2].

기존 연구는 대부분 추종차량들의 제어가 연구대상이며[3], 실제 주행데이터에 가까운 결과를 얻을 수 있는 추종모델 제안 등의 Cooperative ACC 연구가 주류를 이룬다[4]. ADAS의 ACC 기능 시험도 추종차량일 때의 주행제어에 초점을 두어왔다[5]. 본 논문에서 제안하는 속도 변경방식의 근간을 이루는 '가능속도'는 완전히 새로운 개념은 아니다. ITS에서 고속도로의 교통상황을 개선시키기 위한 VSL (Variable Speed Limit)[6]이 연구되고 있다. 제한속도

만 가변적인 VSL과는 다른, 차로별 가능속도를 ACC 제어로 주행 중인 차량에 적용시키는 방법이 본 논문의 주안점이다.

2.2 차로별 가능속도 주행도로 모델의 예

제한속도 120km/h인 고속도로에서 정보 서버가 차로별로 가능속도를 제시한 예가 그림 1에 나와 있다. 본 논문에 적용된 대표적인 원리로 가능속도는 차로의 사용률에 반비례한다. 이것은 시내도로의 제한속도가 평균 50km/h인 이유로 이해할 수 있다. 그림 1의 차량 간 거리는 실제 비율보다 십여배 줄여져 그려져 있다. 차량들은 주행 중 자연스럽게 열을 이루는데 그 열의 선두차량이 차로별 가능속도를 지키지 않으면 그 선두차량은 다른 차로로 인도된다. 그림 1의 하부에 보이는 차로 사용률과 차로별 가능속도는 모든 차량에 안내된다. 이 시스템으로 안내 받기 위해서는 차량주행용 정밀지도를 모든 차량에서 이용하고 있어야 하며 구간의 모든 차량이 적어도 1초에 한번씩 차량의 속도와 위치를 시스템에 보고해야 한다.

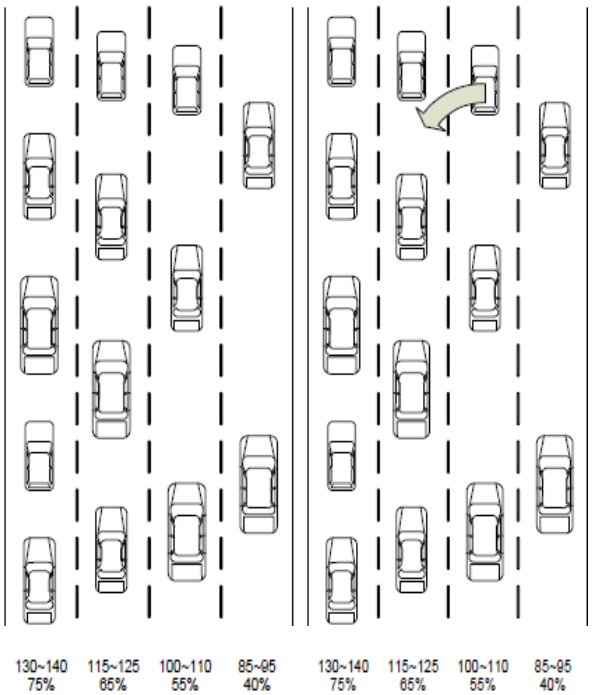


그림 1. 차로 사용률과 차로별 가능속도대
Fig. 1. Lane usage and speed ranges along the lanes

2.3 정보 서버 간의 차량 이양으로 인한 정보 전달

정보 서버는 고속도로 도로변에 전국에 걸쳐 배치되어 있다고 가정한다. 고속도로 일정 거리마다 정보 서버가 배치되어 있다고 전제하며 차량으로부터의 정보가 무선링크에서 수신되면 인터넷을 경유하지 않고 바로 정보 서버에 수신된다고 가정한다. 2019년에 공식 상용화 개시된 5G 이동통신의 대표격인 IMT-2020은 전송속도 최대 20Gbps, 최대 500km/h의 고속 이동성, 그리고 전송지연 1~2ms의 데이터 통신을 지원한다[7]. 상대적으로 도로 제한속도가 낮게 지정되어 있는 시내에서는 Wimax나 4G 통신으로 차량과 통신하는 방안이 제안되어 있다[8]. 고속도로에서 IMT-2020의 성능 중 가장 주요한 것이 전송지연과 고속 이동성이다. 주행속도 120km/h의 차량은 1초에 33.33m를 주행하기 때문에 고속도로 상 주행상태를 최대한 낮은 전송지연으로 정보 서버로 전송하는 것이 중요하다. 전송지연 1ms면 차량이 0.033m 이동한 후 주행상태를 서버에서 수신할 수 있다. 전송속도도 매우 높아 수십 대의 차량 정보도 매우 짧은 시간에 전송된다.

도로변 지원시스템의 통신 및 처리의 절차는 그림 2에 나와 있다. 그림 2의 절차를 위에서 아래 방향으로 매 1초마다 반복 수행한다.

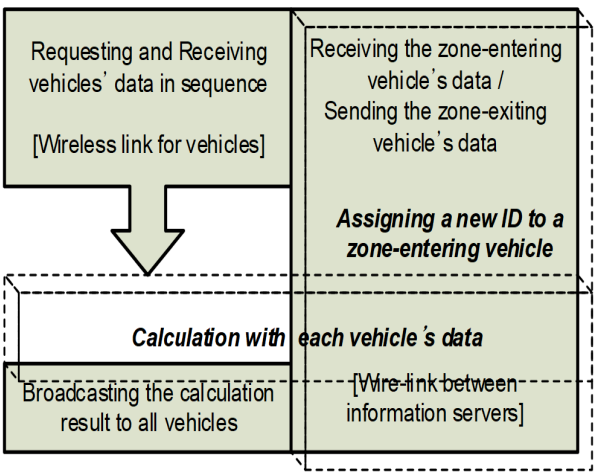


그림 2. 차량 정보 통신 및 연산 플레인
Fig. 2. Data communication plane and computation plane for vehicles in a zone

그림 2는 통신 플레인과 연산 플레인, 두 플레인이 겹쳐 있으며, 유색의 통신 플레인에는 좌측에 차량과 통신하는 무선통신과 우측에 정보 서버 간의 유선통신이 나타나 있다. 통신 플레인 위에 올라와 있는 무색의 연산 플레인(이탤릭체)은 점선으로 되어 있는데 정보 서버에서의 「ID 부여」와 「차량 정보 처리」가 겹쳐져 있다. 각 차량에 대한 정보 통신 및 처리 순서는 다음과 같다.

① 차량이 한 정보 서버의 구간으로 들어올 때, 이전 구간의 정보 서버로부터 차량 정보를 이양받는다. (서버 간의 유선 통신으로 전달)

② 차량에게 차량 정보(속도, 위치, 목표속도 등)를 요청하여 받는다.

③ 구간 내의 차량들 정보를 모두 받은 뒤, 구간 내의 차량들 정보와 계산된 목표속도를 방송한다.

④ 차량이 현재 구간을 떠날 때 다음 구간의 정보 서버에게 차량 정보를 이양한다.

차량 정보가 구간을 넘어갈 때 유선을 통하여 이양되며 초기 차량 정보의 생성은 고속도로로 진입하는 경로에서 차량에서 요청하여 별도의 정보 서버에 무선을 통해 이루어지고, 유선으로 다음 정보 서버로 전달된다. 정상적 상황에서는 필요 없으나 비정상적 상황에서 고속도로 상에서의 차량 정보 생성도 허용한다.

각 차량은 정보 서버와 동기식 통신으로 “서버 요청→차량 데이터 전송” 형태로 ‘서버 ID+차량 ID’ 형식의 순서에 의거, 차량 정보를 송신하게 된다. 이것은 비동기적으로 차량들이 차량 정보를 송신하면 발생할 수 있는 통신상의 충돌로 인한 손실을 방지하기 위해서다[9]. 각 차량은 서버로 전송할 정보를 매 초 미리 준비해둔다. 그림 2에서 차량의 수가 적더라도 정보처리의 시각은 이르게 당겨지지 않고 마지막 처리되는 정보 방송시각 전에 고정적인 시각에 수행된다.

한 서버에서 다른 서버로 다수의 고속주행 차량이 이양되는 경우, 정해진 1초 내에 해당 차량들의 정보를 다음 서버가 같이 처리하여 모두 방송해줄 수 있어야 한다. 서버 간 이양될 때 차량별로 고유한 ID가 재부여 되고, 이양 받은 서버에서 해당 차량들이 방송에 포함되어야 한다.

새로 차량 ID는 구간에서 차량들의 순서 상 제일 뒤이며 구간을 떠나는 차량의 수만큼 순서가 일러진다. 이양되는 차량 중 처리시간 제한이 가장 큰 경우는 현재 구간의 관할 서버에 차량정보를 보내고 처리된 정보를 방송 받기 직전에 다음 구간으로 들어서 다른 관할 서버에서 처리된 정보를 받게 되는 차량의 경우일 것이다. 이러한 경우에 대비하여 각 구간은 일정 영역이 서로 겹쳐져 관할된다.

그림 3에서 양 서버에서 공동으로 관할되는 겹침 영역을 보여주고 있는데, 이 겹침영역의 이전 영역에 가까운 시점에서 차량이 정보를 보내고 나서 다음 영역에 가까운 시점에서 처리결과를 받는 경우를 보자. 이전 서버로 보내진 정보는 유선 통신으로 다음 서버로도 보내어져, 양 서버 모두에서 처리 결과를 받을 수 있다. 모두 수신된 경우 이전 서버의 처리결과를 사용하고 다음 서버의 것은 버린다.

III. 고속도로 주행안전 속도지정 체계

3.1 주행 창과 차량 열

차량의 주행속도가 높아질수록 차량 간 안전거리는 더 길게 규정되어 있다. 도로 상의 상황변화에 대응할 시간이 속도에 반비례하기 때문이며 규정된 안전거리가 차량 간의 버퍼공간에 해당되는 셈이다. 본 논문에서는 안전거리에 해당하는 ‘주행 창(Running Window)’을 버퍼공간으로 잡는다.

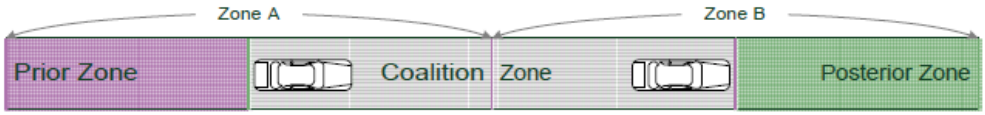


그림 3. 이전 구간과 다음 구간 및 겹침 영역
Fig. 3. Coalition zone between the prior zone A and the posterior zone B

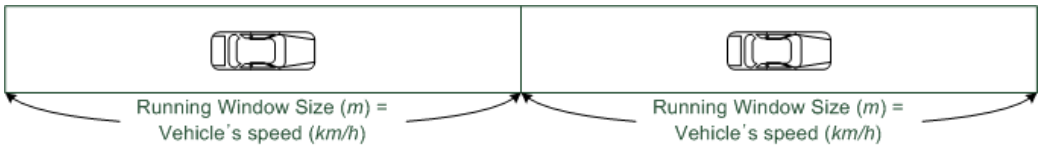


그림 4. 차간 안전거리 및 차로 사용률
Fig. 4. Safe distance between vehicles and usage of the lane

그림 4는 주행 창 길이가 어떻게 결정나는지를 보여주고 있다. 주행 창 길이는 속도에서 수치만 가져와 m를 단위로 한 것으로, 본 논문에서 지칭되는 모든 차량이라 함은 그 차량의 주행 창을 말한다. 속도 100km/h의 차량은 도로 상에서 100m의 주행 창이며, 실제 차량은 거의 모든 시간 주행 창의 중간에 있다고 간주한다. 따라서 차로 사용률의 계산은 이 주행 창으로 한다.

차로에 차량 수가 늘어나면 차량 간 거리가 가까워져 자연스럽게 '차량 열'이 형성된다. 본 논문에서는 두 차량 간의 거리가 주행 차로의 주행 창 길이의 절반 이하면 두 차량은 같은 차량 열에 속한다고 결정한다. 아니면 두 차량은 서로 다른 차량 열들에 각각 속하는 것이다. 차량 열에서 한 차량은 그 차량의 선행 차량과 일정 간격을 유지하며 달리게 된다. 그래서 그 차량의 속도는 선행차량의 속도에 수렴하게 된다. 이 때 주행 창은 상호 침범하지 않아야 규정 안전거리 이상의 거리이기에 차량간 일정 간격이란 주행 창들 사이의 거리이다.

3.2 차로별 가능속도와 차로 사용률

차로 사용률은 차로에 차들의 주행 창(Running Window)들 사이에 빈 공간이 없을 때를 100%로 한다. 한 차량은 현재 속도(km/h)에 해당하는 길이(m)의 주행 창 내에 있다. 예로 속도 120km/h의 차량은 120m 길이의 주행 창 내에 위치한다. 주행 차량은 거의 대부분의 시간 동안 주행 창의 중앙에 위치하게 된다. 그림 4에서 차로 폭인 가로와 시속인 세로로 형성된 주행 창들이 모두 맞닿은 채로 차량들이 운행되고 있는 상태의 차로 사용률이 100%인 것이다. 차로 사용률을 100%로 하면 해당 차로로 차량 유입이 안 되므로 80%를 초과하면 가능속도를 낮추어 주행 창 길이(Running Window Length)를 줄인다. 구간의 길이를 1km를 기준으로 할 때, 주행 창 길이가 100m가 넘으면, 90% 차로 사용률에서 빈 공간이 100m에 불과하여 차로 변경이 불가하게 된다.

80% 허용한도는 차량 수를 z km 당으로 허용하는 수치로 계산된다. 차량 C의 주행 창 길이를 W_C, 속도를 V_C, 전방 선행차량과의 거리를 G_C라 하자. 허용한도 80%에서 수용가능 차량 수 y와 빈 공간 크기 x는,

$$y = \frac{z}{W_C} \times 0.80 \tag{1}$$

$$x = z - W_C \times y \tag{2}$$

고속도로 제한속도 120km/h, 100km/h, 80km/h를 예로 들면, 1km 구간의 차로에서 수용가능 차량 수와 빈 공간 크기는 표 1과 같다. 120km/h의 경우 빈 공간 280m에 120m 길이의 주행 창 2대가 가능하다. 이 공간은 차량유입을 위한 여유 공간이다. 100km/h와 80km/h의 두 경우 200m의 빈 공간이며 주행 창 2대씩 가능하다.

주행시 관성 영향과 차량의 가속/감속에 의한 약간의 속도 변화 등을 감안하여, 본 논문에서는 차로 가능속도는 목표속도의 ±5km/h의 범위로 주어지며 가능속도대라 부른다.

표 1. km당 한 차로 주행 창 길이와 허용한도 80%에 의한 주행 창 수(차량 수)
Table 1. Number of windows comprised in a 1-km lane by running window length with lane usage

Running Window size (m)	# of running Windows(car)	# in 80% of Windows(car)	Free space (m)
120	8.33	6.66	200
100	10	8	200
80	12.5	10	200

3.3 차로 가능속도대 조정과 차로별 선두차량 목표속도 지정

차로별 가능속도에 따라 허용한도 80%에 의한 차량 수가 한도가 있으므로 차량이 km 구간 당 대수가 늘어나면 주행 창 길이가 줄도록 하여 늘어나는 대수를 수용하도록 한다. 주행 창 길이가 준다는 것은 가능속도가 낮아진다는 것이며 가능속도대가 하향 이동된다. 주행 중인 차량들의 속도를 낮추는 과정은 탑승자가 느끼지 못할 수준으로 이행되어야 하며, 본 논문에서는 가능속도대를 한 번에 1km/h 단위로 하향 이동시키는 방법을 보인다.

그림 5에서 두 차로를 달리는 차량들이 왼쪽 차량들은 높은 가능속도대로, 오른쪽 차량들은 낮은 가능속도 범위로 달리고 있다. 그림 5 좌측면의 세부를 보면 왼쪽 차로의 차량들은 하나의 열로서 L1이 선두차량, F1이 추종차량이다. 추종차량의 ADAS의 ACC 기능으로 선행차량과의 거리를 일정하게 유지하도록 속도 조절을 하므로 평균적으로 선행차량의 목표속도에 속도가 맞추어지게 된다. 선행차량인 L1이 선두차량이므로 L1의 목표속도를 가능속도로 지정하여 해당 차로 가능속도대에 맞도록 차량 열의 속도조정을 하는 방법이다. 오른쪽 차로의 차량들은 하나하나가 차량 열로서 L1과 L2가 각각 단독 선두차량이다. L2의 전방부터 점선까지가 주행 창 W_{L2}의 절반크기이다. L1과 L2의 목표속도를 가능속도로 지정하여 해당 차로 가능속도대에 맞도록 속도조정을 한다. 그림 5 좌측면에서 보듯이 왼쪽 차로의 주행 창 길이가 오른쪽 차로의 주행 창 길이보다 길어 두 차로의 가능속도 차이가 있다. 왼쪽 차로의 추종차량 F1의 속도조절이 되는 순차를 그림 5 우측면에서 볼 수 있다.

우측면의 왼쪽 차로의 가능속도대를 1km/h 단위로 하향 이동시킨다. 선두차량들 목표속도를 동시에 1km/h 감속변경하여 지정한다. 왼쪽 차로의 선두차량 L1의 주행 창 길이가 1km/h 감속분만큼 줄어들고 추종차량 F1이 선두차량과의 거리가 가까워짐을 감지하고 감속한다. 선두차량과의 거리를 감속전인 G_{F1}과 같도록 확보하면 F1의 속도가 L1의 목표속도와 같아진다. F1 뒤에 추가로 후행차량이 생겨 F2, F3 등이 추종하여도 추종차량들의 속도들은 평균적으로 F1의 목표속도와 같아진다. 목표속도 감속이 되어 L1, F1 등의 해당 차로 주행 창 길이가 줄어든 상태가 그림 5 우측면의 시간이 지난 오른쪽 부분에 나타나 있다. 왼쪽 차로 차량들의 속도가 1km/h씩 감소하였으나 오른쪽 차로의 차량들 속도보다 빠른 목표속도이기에 왼쪽 L1이 오른쪽 L1보다 앞서 주행하고 있다.

왼쪽 차로 각 차량 열의 속도가 모두 1km/h씩 감속이 확인되면 1km/h 목표속도 감속변경을 또 지정한다. 이런 식으로 바라는 목표속도까지 여러 회를 거듭하여 목표속도를 변경, 가능속도대를 하향 이동시킨다. 이렇게 하는 것은 우선적으로 안전하게 목표속도대를 변경하여 주행 창 길이를 줄이면서 탑승자가 속도 변화를 느끼지 못할 정도로 부드럽게 이행하기 위함이다.

두 차로를 주행하는 모든 차량의 목표속도를 가능속도로 지정하지 않는 것은 차량의 대수에 비례하여 제어 대상이 많아져서 통신에 의한 실시간성에 불리하며 ADAS의 ACC가 선두차량 주행과 추종차량 주행 두 가지 주행제어를 하기 때문이다.

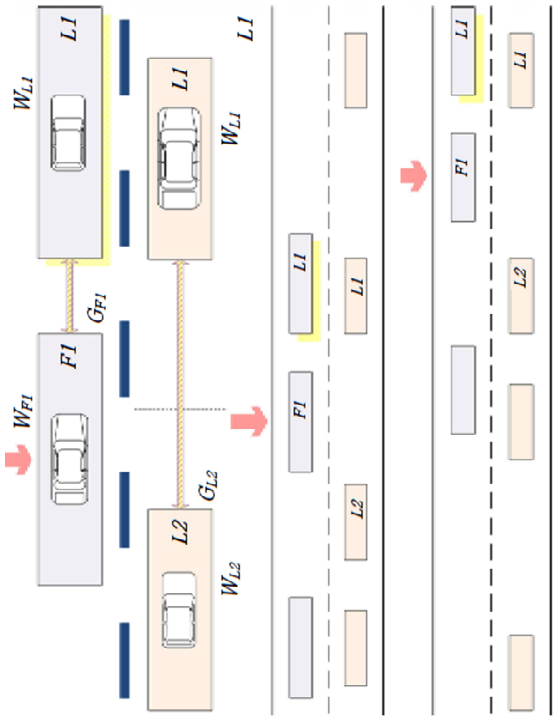


그림 5. 선두차량 목표속도를 변경된 가능속도로 조정
Fig. 5. Adjusting target speed to the changed median of speed range on the lane

Ⅳ. 차로별 가능시간대 조정 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 구성

제안하는 체계의 시뮬레이션은 이전 연구[10]에서 구현한 시뮬레이터를 개선하여 수행하였고, 본 논문은 전체적인 시스템 구조를 향상시킨, 이전 연구에서 이어진 연구이다.

구간의 차로들을 관할하는 정보 서버들이 시뮬레이션에서 차량정보 통신하는 상황을 그림 6에 보였다. 각 구간에 정보 서버가 하나씩 있으며 이전 구간에서 이양되는 차량들의 정보를 겹침 영역을 지날 때 처리한다(그림 3). 시뮬레이션은 크게 두 부분으로 구성되며 서버 사이드에 정보 서버들이, 클라이언트 사이드에 차량들이 구현되어 있다. 정보 서버 하나마다 쓰레드를 생성하여 총 10개의 정보 서버들을 작동시켜서 10km의 구간을 관할하였다. 시뮬레이션이라 10km의 양 끝을 이어 일정한 차량 수로는 무한의 거리를 주행시킬 수 있다. 차량 한 대마다 쓰레드를 생성시켜 10개의 정보 서버들이 관할하는 도로 구간들을 주행시켰다.

시뮬레이션을 시작하면 구간 당 한 대씩 차량을 출발시킨다. 차로 사용률에 따라 차량이 모든 구간에서 계속 출발되어 시간이 지날수록 정보 서버와 차량의 비율이 1:m에 가까워진다. m은 표 1의 주행창 수(차량 수)에 상응한다. 비율이 1:m에 도달하면 모든 구간에서 차량이 더 이상 출발되지 않는다. 차량들은 등속 종방향 주행만 하게 한다.

정보 서버 쓰레드와 차량 쓰레드가 서로 통신하며 차량 주행이 진행되는 과정을 그림 7에 보이고 있다. 그림 2의 통신 플레인과 연산 플레인을 실행 순차적으로 표현한 그림 7에는 Information Server Thread가 차량과 무선통신하며 정보 처리하는 좌측과 인접 정보 서버와 유선통신하며 정보 처리하는 우측으로 구성되어 있음을 보였으며 Vehicle Thread는 Information Server Thread와 통신하며 목표속도로 주행을 수행한다.

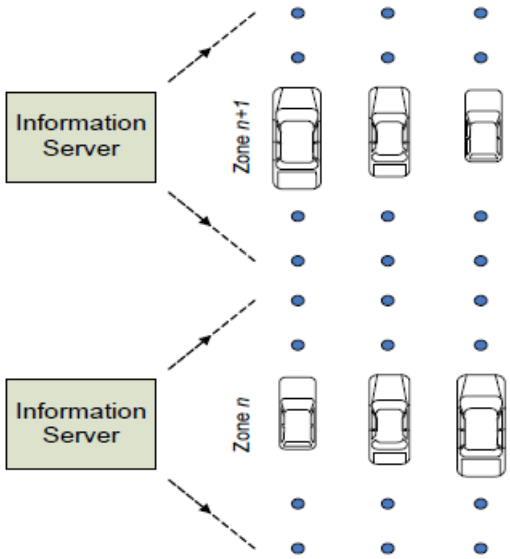


그림 6. 구간별 차량 정보처리를 수행하는 정보 서버들
Fig. 6. Information servers processing zone vehicles' data

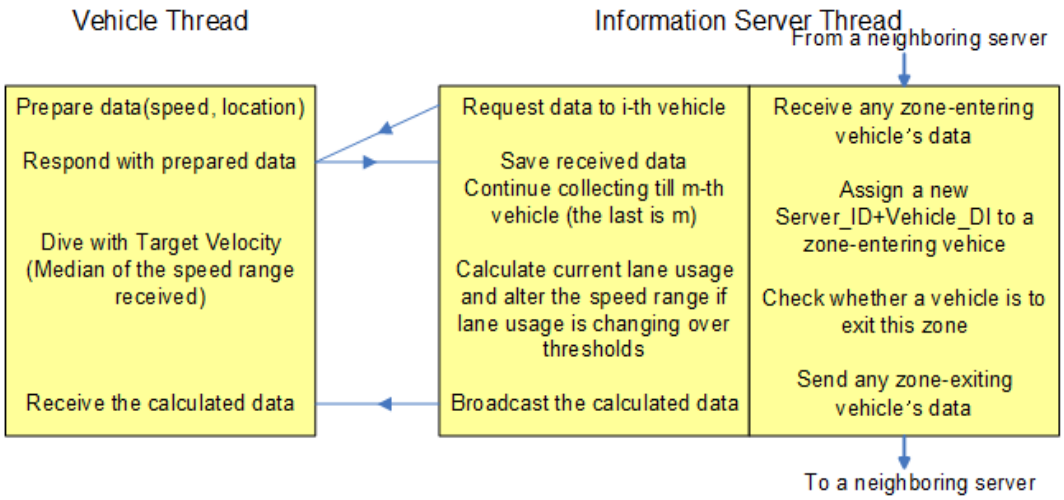


그림 7. 차량 thread들과 정보 서버 thread의 유/무선 통신 및 주행 수행
Fig. 7. Wire-/wireless communication and vehicle-driving of an information server threads between vehicle threads

4.2 차로별 선두차량 목표속도 지정에 의한 가능속도대 조정 소요시간

시뮬레이션에서 각 차로에 가능속도대 내에서 다수의 차량들이 주행하고 있으며 이 차량들은 차량열의 선두차량의 목표속도 조정에 의해 가능속도대 내의 속도로 주행한다. 차량 열 선두차량의 목표속도는 가능속도대의 중앙값이 주어져 있다. 이 선두차량의 목표속도를 1km/h씩 감속변경하여 가능속도대를 하향 이동시킨다. 해당 차로를 주행하는 차량열들의 모든 추종차량들의 속도가 연이어 선두차량 목표속도에 맞추어지는데는 시간이 걸린다. 이 목표속도 감속변경이 완료되는데에 소요되는 시간을 시뮬레이션에서 알아보았다.

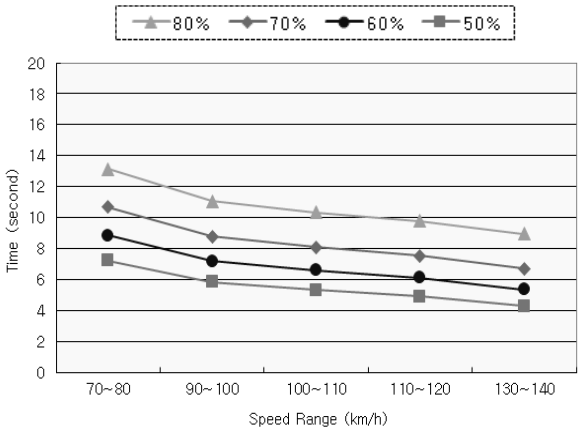


그림 8. 차로별 가능속도대 조정 평균소요시간 (초)
Fig. 8. Average times for altering the speed ranges of lanes (seconds)

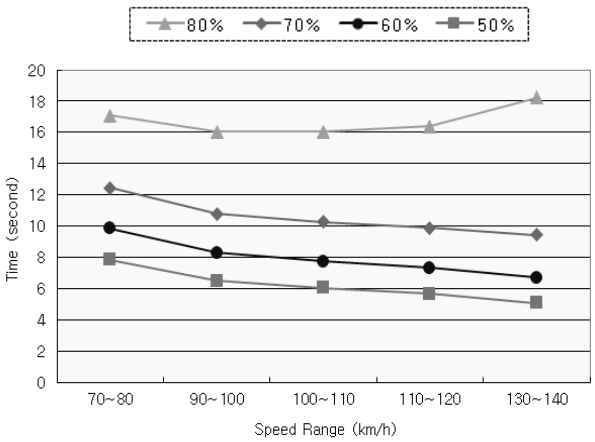


그림 9. 차로별 가능속도대 조정 최대소요시간 (초)
Fig. 9. Longest times for altering the speed ranges of lanes (seconds)

선두차량 목표속도가 75km/h, 95km/h, 105km/h, 115km/h, 135km/h인 5개의 차로에서 차로 사용률 50%, 60%, 70%, 80%인 네 가지 경우로 구해 보았으며 130~140km/h의 차로는 추월 차량으로 지속주행 차로가 아니나 타 주행 차로와 동일하게 취급하였다. 그림 8에서 선두차량 목표속도 감속변경이 완료되는데에 걸리는 평균소요시간을 보여주고 있다. 차로 사용률이 높을수록, 즉 차량이 많을수록 길게 걸리는 것을 볼 수 있는데, 차량이 많아질수록 차량열의 길이가 길어지게 되어 나타는 결과이다. 가능속도대가 높을수록 평균소요시간이 짧아지는데 일정거리당, 즉 km당 주행 창의 길이가 길어져 차량대수가 적어지게 되어 나타나는 결과이다. 차로 사용률 70%의 경우 가능속도대를 100~110km/h에서 1km/h 낮은 99~109km/h로 하향 이동하는데 평균 8.08초 걸린데 비해 110~120km/h를 109~119km/h로 하향 이동하는데 평균 7.53초가 걸린다. 반면, 가능속도대를 90~100kh/h를 89~99km/h로 하향 이동하는데에는 평균 8.75초가 걸린다.

각 차로에서 선두차량 목표속도 감속변경이 완료되는데에 걸리는 최대소요시간을 그림 9에서 보여주고 있다. 최대소요시간은 각 차로의 차량들이 차량열로 묶인 경우가 많아져서 차량 열 개수는 적고 차량 열의 길이는 길어진 경우에 나타났다. 차량 열이 길어질수록 추종차량들이 연이어 감속하게 되어 시간이 더 걸리는 것이다. 차로 사용률 80%에서는 가능속도대가 높아서 주행 창이 길어질수록 소요시간이 길어지는 결과가 나왔는데 주행 창이 길어지면 차량대수가 줄어들어 소요시간이 짧아지는 경향과 반대되는 결과이다. km당 차로 사용률 80%이면 800m는 주행 창에 사용되고 200m는 빈 공간이 되는 배정방식 상 주행 창 길이가 길어진만큼 주행 창 길이의 절반인 차량 열 포함 조건도 성립되기 유리하여 차량 열 길이가 많이 길어진 일례로 나타난 결과이다. 다른 차로 사용률에서는, 70%의 차로 사용률의 경우는 가능속도대를 90~100km/h에서 89~99km/h로 하향 이동시키는데 최대 10.78초, 100~110km/h에서 99~109km/h로 하향 이동시키는데 최대 10.25초, 110~120km/h에서 109~119km/h로 하향 이동시키는데 최대 9.87초가 걸린다. 같은 차로 사용률에서 가능속도대가 높으면 주행 창 길이가 길어져

차량 대수는 적어지므로 시간이 짧게 걸리는 것을 보여주고 있다.

V. 결론 및 향후 과제

ADAS의 종방향 자율주행을 Partially autonomous 주행(SAE level 2)으로 발전시키기 위한 V2I 통신을 이용하는 시스템의 역할 모델을 제시하고, 시스템 역할의 기대 수준과 관련 주요인자인 속도조정 소요시간을 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 시뮬레이션을 통해 알아본 가능속도대 하향 이동이 완료되는데 걸리는 시간은 동시에 모든 차량 열의 선두차량에 목표속도 감속변경을 지정하는 것으로 차량 열이 길면 길수록 긴 소요시간이 걸렸다. 가능속도대 하향 이동으로 주행 창 길이가 줄어든 만큼 차로 사용률은 낮아지게 되어 이전보다 많은 수의 차량이 차로에서 주행할 수 있게 된다. 차량 열이 길어질수록 가능속도대 하향 이동이 오래 걸리는 것은 자연스러운 결과이나 차후 개선하게 될 것이다.

References

[1] CarTech, https://post.naver.com/viewer/postView.nhn?memberNo=46260553&volumeNo=23217942. [accessed: Sept. 15, 2019]

[2] Jiwon Park, JiYong Jang, and Cheol Oh, "Analysis of Characteristics of Driver's Intervention on Adaptive Cruise Control Systems and Driving Stability", Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 36, No. 6, pp. 480-492, Dec. 2018.

[3] Ziran Wang, Guoyuan Wu, and Matthew J. Barth, "A Review on Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC) Systems: Architectures, Controls, and Applications", 21st Int. Conf. on Intelligent Transportation Systems, Hawaii, USA, pp. 2284-2891, Nov. 2018.

[4] Vicente Milanes and Steven E. Shladover, "Modeling cooperative and autonomous adaptive cruise control dynamic responses using experimental data", Transportation Research. Part C, Elsevier, Vol. 48, pp. 285-300, Nov. 2014.

[5] Bong Ju Kim and Seon Bong Lee, "A Study on Evaluation Method of the Adaptive Cruise Control", Journal of Drive and Control, Vol. 14, No. 3, pp. 8-17, Sep. 2017.

[6] Soobin Jeon, Young Tak Han, Dong Mahn Seo, and Inbum Jung, "Improved Real-Time Variable Speed Limits for a Stable Controlling of the Freeway", KIISE Transactions on Computing Practices, Vol. 22, No. 9, pp. 405-418, Sep. 2016.

[7] Hyeong-Jin Choi, "Standardization and International Collaboration Trend of ITU-R IMT-2020(5G)", Special Report, TTA Journal, Vol. 184, pp. 58-67, Jul.-Aug. 2019.

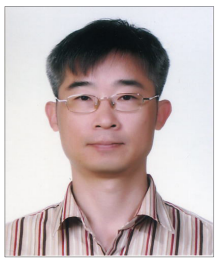
[8] Linghe Kong, Muhammad Khurram Khan, Fan Wu, Guihai Chen, and Peng Zeng, "Millimeter-Wave Wireless Communications for IoT-Cloud Supported Autonomous Vehicles: Overview, Design, and Challenges", IEEE Communications Magazine, Vol. 55, No. 1, pp. 62-68, Jan. 2017.

[9] Soonbae Ji, Junghyun Kim, and Cheolwoo You, "An Efficient Directional MAC Protocol for Vehicular Ad-hoc Networks", Journal of IEIE, Vol. 52, No. 4, pp. 621-628, Apr. 2015.

[10] Min-Hwan Ok, "Implementation of a Simulator of Load-shift in Distributed Server System for Near Real-time Processing of Data from Vehicles Run on Highways", Journal of KIIT, Vol. 13, No. 12, pp. 151-161, Dec. 2015.

저자소개

옥 민 환 (Min-Hwan Ok)



1999년 2월 : 부산대학교 전자계산학과(이학석사) 졸업
2009년 2월 : 고려대학교 컴퓨터학과(이학박사) 수료
2004년 3월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원
관심분야 : 자율주행, 스마트카, 텔레매틱스