

An Adaptive Vehicle Platoon Formation Mechanism for Road Capacity Improvement

Dongliang Su[†] · Sanghyun Ahn^{**}

ABSTRACT

In the road environment with lots of vehicles, we can increase the number of vehicles on the road (i.e., road capacity) and enhance the comfortability of drivers if vehicles are organized into platoons. In the traditional vehicle platooning mechanisms, a pre-determined set of vehicles are allowed to form a platoon and, among them, a specific vehicle is designated as the platoon leader. In this type of platoon mechanisms, platoon is limited in improving the road capacity because the vehicles allowed to involve into platooning are restricted. Therefore, in this paper, we propose an adaptive platoon formation mechanism that allows any vehicle to be a platoon leader from which a platoon is formed. In the proposed mechanism, a platoon leader is elected based on the relative velocity and location information of neighboring vehicles obtained through the periodic exchange of beacon messages among vehicles. Through the NS-3 based simulations, we show the performance of our proposed mechanism in terms of road capacity improvement.

Keywords : Road Capacity, Vehicle Platoon, Platoon Leader, Vehicle-to-Vehicle (V2V) Communication

도로 용량 증대를 위한 적응적 차량 플라톤 형성 기법

소 동 량[†] · 안 상 현^{**}

요 약

다수의 차량이 주행하는 도로 환경에서 차량들을 플라톤(platoon) 단위로 형성하면 도로의 수용 가능 차량 대수(도로 용량)가 증가할 뿐만 아니라 운전자의 운전 편의성이 제고될 수 있다. 기존 차량 플라톤 방식에서는 일부 한정된 차량들로 플라톤을 형성하고 그 중에서 특정 차량을 플라톤 리더(leader)로 지정한다. 이와 같은 플라톤 방법의 경우 플라톤에 참여 가능한 차량이 제한적이기 때문에 플라톤이 도로 용량 증가에 기여하는 것이 제한적이다. 따라서 본 논문에서는 임의의 차량이 플라톤 리더가 될 수 있도록 허용하며, 플라톤 리더로 선정된 차량을 기준으로 플라톤을 적응적으로 형성하는 방법을 제안한다. 제안 방식에서는 차량 간 주기적인 비콘(beacon) 메시지 교환을 통해 획득한 주변 차량의 상대 속도 및 위치 정보를 이용해서 플라톤 리더를 선정한다. 도로 용량 증대 측면에서 제안 방식의 성능을 NS-3 기반의 시뮬레이션을 통해 입증한다.

키워드 : 도로 용량, 차량 플라톤, 플라톤 리더, 차량 간 통신

1. 서 론

효율적인 교통 관리를 위해 전자, 정보 통신, 자동차 제어 등의 다양한 기술들이 교통체계에 접목된 지능형 교통 시스템(Intelligent Transportation System, ITS)에 대한 연구 및 개발이 지난 수 십 년 간 활발하게 진행되어 왔다. ITS 기술 중 일부는 현재 교통 시스템에 적용되어 사용되고 있으나, 실

질적인 차량 간 통신을 활용한 차세대 ITS 기술은 아직 본격적으로 적용되지 않고 있다. 차세대 ITS 기술은 차량 간 (Vehicle-to-Vehicle, V2V) 통신[1] 기능을 갖춘 자동차들을 활용하여 구현 가능하며(Fig. 1), 미국의 경우 2017년 이후 신차에 V2V 단말기 설치가 의무화될 것으로 예상된다.

본 논문에서는 도로에 수용 가능한 차량 대수를 최대한 높일 수 있도록 해주는 기술인 플라톤(platoon) 기술[2]에 대해서 다룬다. 도로의 최대 수용 가능 차량 대수를 도로 용량(road capacity)이라고 하며, 도로 용량은 차량 간 거리를 작게 유지함으로써 증대될 수 있다. 사람이 어떤 이벤트를 감지하고 브레이크를 밟기까지 약 1초 정도의 반응 지체 시간이 걸리며, 이로 인해 차들이 연속적으로 브레이크를 밟음으로써 반응 지체 시간이 누적되어 생기는 현상을 유령

* 이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2015R1A2A2A04005646).

† 비 회 원 : 서울시립대학교 컴퓨터과학과 석사

** 중 심 회 원 : 서울시립대학교 컴퓨터과학부 교수

Manuscript Received : August 9, 2016

First Revision : August 29, 2016

Accepted : August 31, 2016

* Corresponding Author : Sanghyun Ahn(ahn@uos.ac.kr)

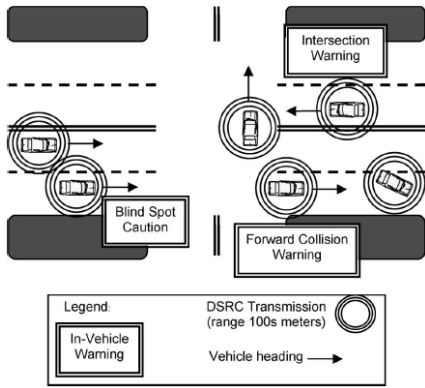


Fig. 1. V2V Communications Based on DSRC [1]

체중(phantom jam) 현상이라고 한다. 플라톤은 다수의 차량이 대열을 이루고 주행하는 일련의 차량 행렬을 의미한다. 플라톤은 차량들이 센싱이나 통신 기술을 활용해서 차간 거리를 최대한 작게 유지함으로써 교통 흐름을 개선하고, 궁극적으로 도로 용량을 증대시켜 줄 수 있다.

플라톤은 일반적으로 선두에 리더 차량이 있고 그 뒤로 차량들이 일정한 간격을 유지하고 따라가는 형태로 구성된다. 기존 방식에서는 트럭이나 버스와 같이 지정된 차량들로 플라톤을 형성하고, 그 중 한 차량을 리더 차량으로 지정해서 운행한다. 이와 같은 방식으로 플라톤을 형성하는 방법은 도로 용량 증대 측면에서 바람직하지 않다. 따라서 본 논문에서는 특정 차량으로 한정하지 않고 플라톤 기능을 갖춘 임의의 일반 차량들이 교통 환경에 적응적으로 플라톤을 형성하는 방법을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 소개하며, 3장에서는 제안하는 적응적 플라톤 형성 기법에 대해 설명하고, 4장에서 NS-3 시뮬레이션을 통해 제안 기법의 성능을 분석한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

차량들이 플라톤을 형성할 수 있도록 해주는 것과 밀접하게 관련된 ITS 기술로는 AHS(Automated Highway System) [3] 또는 스마트 도로(Smart Road)가 있다. AHS는 지능형 기능이 갖춰진 고속도로 기반시설(infrastructure)과 차량이 통신을 통해 자동 주행이나 교통 관리 등을 효율적으로 할 수 있도록 해주는 시스템이다(Fig. 2). 그러나 AHS의 경우 도로 기반시설에 해당 기능이 갖추어져 있어야 하기 때문에 비용이 증가할 뿐만 아니라 플라톤 적용이 AHS 종속적으로 실현되어야 하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 AHS의 도움없이 플라톤을 형성하는 방법을 제안한다.

플라톤이 실현되기 위해서는 선행(preceding) 및 후행(following) 차량 간 거리를 적절하게 유지할 수 있게 해주는 기술이 필요하다. 이와 관련된 기술로는 ACC(Adaptive Cruise Control)와 CACC(Cooperative Adaptive Cruise Control)[4]가 있다. ACC는 인접한 선행 차량과의 거리를 차량에 장착된

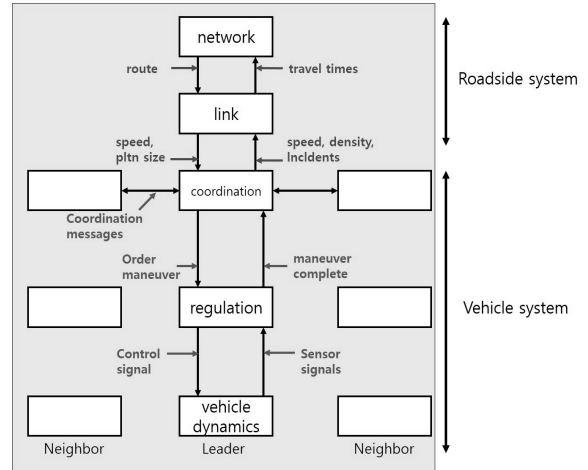


Fig. 2. AHS Functional Architecture [2]

레이더(radar)나 라이더(lidar) 센서를 이용해서 측정하고 이를 기반으로 차량 간 거리를 조절한다. CACC는 ACC의 성능을 향상시키기 위해서 위성이나 노변 비콘 등의 통신 기술, DSRC(Dedicated Short-Range Communications)나 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments)[1]와 같은 V2V 통신 기술 등을 사용해서 서로 인접하지 않은 선행 차량에서 후행 차량으로 자신의 정보를 전송할 수 있도록 해준다. 따라서 CACC의 경우 플라톤 리더 차량이나 인접하지 않은 선행 차량으로부터 V2V 통신을 이용해서 선행 차량의 정보(속도, 위치, 가속도 등)를 후행 차량이 획득할 수 있기 때문에 CACC가 ACC보다 플라톤 내 차량 간 거리를 더욱 안정적으로 유지할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 방식에서는 CACC를 사용해서 플라톤 내 차량 간 거리를 유지한다고 가정한다.

3. 적응적 플라톤 형성 기법

교통 상황에 맞게 플라톤을 형성할 수 있도록 하기 위해서는 차량에 GPS(Global Positioning System)가 설치되어 있다고 가정한다. 또한 각 차량은 비콘(beacon) 메시지를 주기적으로 브로드캐스트함으로써 1-홉 이웃 차량들에게 자신의 위치, 속도, 진행 방향 등의 정보를 제공한다. 따라서 각 차량은 자신의 1-홉 이웃 차량들의 평균 속도, 평균 위치를 계산할 수 있다. 이들 정보로부터 각 차량은 자신이 플라톤 리더로서 선정될 수 있는 가능성을 계산하며, 이 가능성 값을 기반으로 자신의 타이머 값을 설정한다. 타이머가 종료되기 전에 선행 차량으로부터 리더 광고(Leader_Advertisement) 메시지를 수신하면 리더가 되는 것을 포기하고(즉, 타이머를 멈추고 리더 광고 메시지를 전송하지 않고), 해당 선행 차량이 리더로서의 역할을 수행하는 플라톤의 구성원으로 참여한다. 만일 타이머가 종료될 때까지 어떤 선행 차량으로부터도 리더 광고 메시지가 오지 않으면, 자신이 리더가 되었음을 알리기 위해서 리더 광고 메시지를 브로드캐스트 한

다. 타이머 값은 IEEE 802.11 DCF(Distributed Coordination Function)[5] 프로토콜의 경쟁 윈도우(contention window) 값을 정하는 데 사용된다. 즉, 리더로서의 가능성이 큰 차량이 작은 경쟁 윈도우 값을 갖게 된다. 타이머 값 WaitTime 은 다음 Equation (1)에 의해서 정해진다.

$$Waittime = \frac{D_{max} - W}{D_{max}} \times [(CW_{max} - CW_{min}) + CW_{min}] \quad (1)$$

여기서 CW_{min} 과 CW_{max} 는 각각 최소 경쟁 윈도우 크기와 최대 경쟁 윈도우 크기를, D_{max} 는 최대 전송 반경을 의미한다. W 는 해당 차량의 리더로서의 가능성을 나타내며, D_{max} 보다 작거나 같다. 따라서 W 가 클수록 타이머 값은 작아진다. 다음 Equation (2)에 의해서 차량 X의 W 값이 계산된다.

$$W = d \times e^{-\alpha V(X)} \quad (2)$$

여기서 α 는 $V(X)$ 가 W 에 미치는 영향도를 나타내는 가중치로서 0과 1 사이의 값을 가진다. 즉, α 가 0이면 $V(X)$ 는 W 에 영향을 미치지 않는다. d 는 1-홉 이웃 차량들의 평균 위치로부터의 거리를, $V(X)$ 는 1-홉 이웃 차량들의 평균 속도와 X 의 속도 차이를 정규화한 값으로 Equation (3)에 의해서 구해진다.

$$V(X) = \left| \frac{v_{cur}(X) - v_{avg}(X)}{\sigma_{V(X)}} \right| \quad (3)$$

여기서 $v_{cur}(X)$ 는 X 의 현재 속도를, $v_{avg}(X)$ 는 X 의 1-홉 이웃 차량들의 평균 속도를, $\sigma_{V(X)}$ 는 X 의 1-홉 이웃 차량들의 속도의 표준 편차를 의미한다.

Fig. 3 ~ 5에 제안하는 적응적 플라톤 형성 기법의 동작 과정이 도시되어 있다. Fig. 3에서 리더 차량이 리더 광고 메시지를 브로드캐스트하면 리더 차량의 선행 차량은 해당 메시지를 무시하고 후행 차량들만 해당 플라톤의 구성원으로 가입한다. Fig. 4와 5는 각각 리더 광고 메시지를 전송한 차량이 1대, 2대인 경우를 보여준다. 리더 광고 메시지를 전송한 차량이 1대인 경우에는 후행 차량들이 해당 차량을 리더로 하는 플라톤에 가입한다(Fig. 4). 반면 리더 광고 메시지를 전송한 차량이 2대인 경우에는 가장 앞 쪽에 있는 차량이 리더 역할을 수행하고 있는 플라톤에 가입한다(Fig. 5).

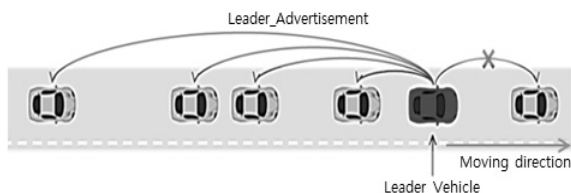


Fig. 3. The Leader_Advertisement Message Received at the Preceding (Rightmost) Vehicle is Ignored

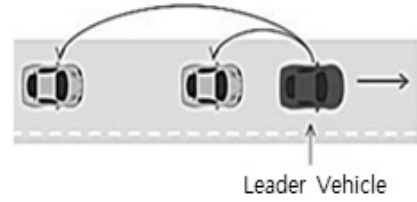


Fig. 4. A single Leader_Advertisement Message; Both of the Following Vehicles Accept the Message

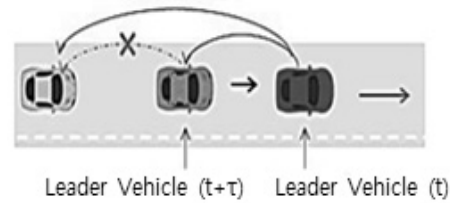


Fig. 5. Two Leader_Advertisement Messages at Time t and $t+\tau$; the Foremost (Rightmost) Vehicle is Chosen as the Leader Vehicle

4. 성능 평가

제안한 플라톤 형성 기법의 성능을 평가하기 위해 NS-3[6] 시뮬레이터를 이용하였다. 차량 통신을 위한 MAC 프로토콜로는 IEEE 802.11p[5]를 사용했으며, 총 시뮬레이션 시간은 500s로 하였다. 10km 단일 차선의 고속도로 환경을 설정하였고, 총 100대의 차량을 생성하였다. 차량의 제한 속도는 35m/s, 평균 속도는 30m/s로 하였다. 데이터 전송률은 6Mbps, 비콘 전송 주기는 100ms, 전송 반경은 60m, 100m, 150m, 200m로 설정하였다.

성능 평가 요소로는 본 논문의 목적에 부합하도록 최대 도로 용량을 채택했으며, [7]에 의하면 도로 용량 C 는 평균 플라톤 크기(플라톤 내 평균 차량 수) $AvgPlSize$ (vehicles/platoon), 평균 속도(km/hr) v , 플라톤 내 차량 간 거리 h (m), 평균 차량 길이 s (m), 두 인접 플라톤 간 최소 시간 간격 T (s)에 의해서 다음 Equation (4)와 같이 계산할 수 있다.

$$C = \frac{3600 AvgPlSize \cdot v}{3.6[(AvgPlSize - 1)h + AvgPlSize \cdot s] + Tv} \quad (4)$$

$AvgPlSize$ 를 구하기 위해 전송 반경에 따른 플라톤 개수를 구한 결과가 Fig. 6에 도시되어 있으며, 그 결과로서 얻어진 평균 플라톤 크기가 Fig. 7에 나타나 있다. Fig. 7의 평균 플라톤 크기를 이용해서 Equation (4)에 의해 구해진 최대 도로 용량을 Fig. 8에 도시하였다. Fig. 8로부터 평균 8대의 차량이 플라톤에 존재할 때 최대 도로 용량이 4,500대 정도에 도달함을 알 수 있었다.

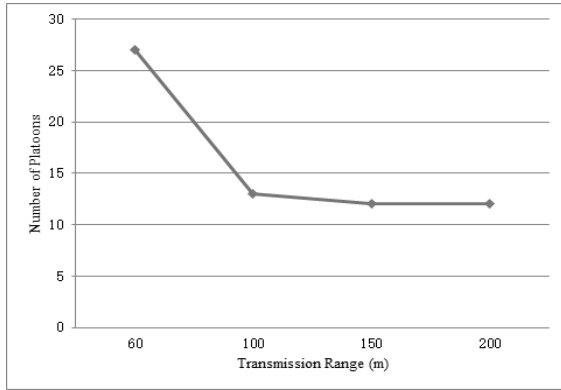


Fig. 6. The Number of Platoons for Various Transmission Ranges

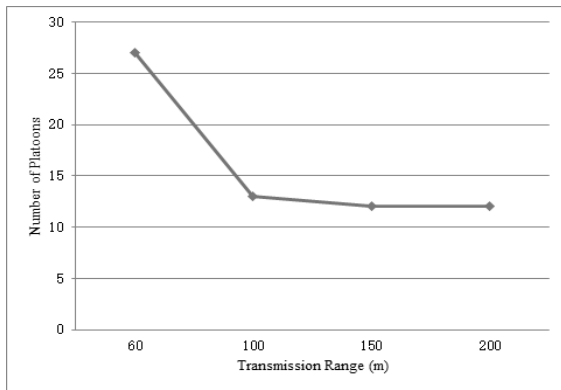


Fig. 7. Average Platoon size for Various Transmission Ranges

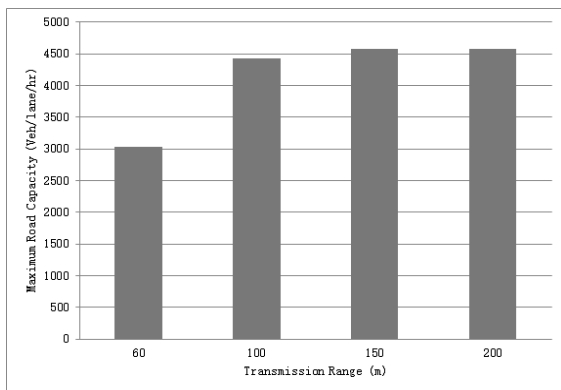


Fig. 8. Maximum Road Capacity for Various Transmission Ranges

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 가능한 한 많은 차량을 도로가 수용할 수 있도록 하기 위해서 기존 플라톤 방식의 한계를 극복한 새로운 플라톤 형성 방법을 제안하였다. 기존 플라톤 방식에서는 일부 특정 차량들로만 플라톤을 형성하기 때문에 도로 용량을 증가시키는 데 있어서 매우 제한적이다. 따라서 본 논문에서는 플라톤 기능을 갖춘 임의의 일반 차량들이 비콘 메시지를 교환함으로써 교통 상황에 적응적으로 플라톤을 형성할 수 있도록 하는 방법을 제안하였다. 제안 방식에서

는 차량들 간의 상대적인 속도 및 위치 정보를 이용해서 플라톤 리더를 정하고 선택된 리더를 선두로 해서 플라톤을 형성한다. 도로 용량 증대 측면에서 제안 방식의 우수성을 NS-3 시뮬레이션 수행을 통해 보였다.

향후에는 플라톤 소속 차량의 이탈이나 기존 플라톤에 신규 차량의 진입 등 동적인 플라톤 유지에 대한 연구를 수행할 계획이다.

References

- [1] J. B. Kenney, "Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States," *Proceedings of the IEEE*, 2011.
- [2] Y. Chen and P. Kavathekar, "Vehicle Platooning: A Brief Survey and Categorization," *ASME International Design Engineering Technical Conference*, 2011.
- [3] M. Broucke and P. Varaiya, "The Automated Highway System: A Transportation Technology for the 21st Century," *Control Engineering Practice*, 1997.
- [4] E. Shladover, J. Spring, and C. Nowakowski, "Cooperative Adaptive Cruise Control in Real Traffic Situations," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2014.
- [5] "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments," IEEE 802.11p Published Standard, 2010.
- [6] The Network Simulator, NS-3 [Internet], <http://www.nsnam.org>.
- [7] T. Dao, "A Decentralized Approach to Dynamic Collaborative Driving Coordination," *PhD thesis, University of Waterloo*, 2008.



소 동 량

e-mail : darrelsu@naver.com
 2014년 순천대학교 정보통신공학과,
 중국청해사범대학교(학사)
 2016년 서울시립대학교 컴퓨터과학과(석사)
 관심분야: VANET, MANET, WSN,
 인터넷 프로토콜, 라우팅



안 상 현

e-mail : ahn@uos.ac.kr
 1986년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)
 1988년 서울대학교 컴퓨터공학과(석사)
 1993년 University of Minnesota
 컴퓨터학과(박사)
 1994년~1998년 세종대학교 컴퓨터학과
 교수
 1998년~현 재 서울시립대학교 컴퓨터과학부 교수
 관심분야: MANET, VANET, WSN, 인터넷 프로토콜, 라우팅