

혼성플래톤을 위한 효율적 메시지 중계 기법

정 동근*

Efficient Message Relaying Scheme for Heterogeneous Platoons

Dong Geun Jeong*

요 약

크기와 종류가 서로 다른 다양한 차량들로 구성된 혼성플래톤에서는 소형 차량의 송수신 신호가 대형 차량에 의해 차폐될 수도 있다. 이 경우, 메시지 송신 차량과 목적 차량 사이에 위치한 다른 차량이 메시지를 중계해 줄 필요가 있다. 본 레터에서는 플래톤의 특성이 선형 토폴로지라는 점을 감안하여, 혼성플래톤 내 통신을 위한 최적의 중계 차량을 효율적으로 찾는 방법을 설계하고 그 성능을 분석한다.

Key Words : Mobile Communications, VANET, Platoon, Heterogeneous, Message Relaying

ABSTRACT

In heterogeneous platoons, consisting of various size of vehicles, the signal from/to a small-size vehicle may be blocked by adjacent large-size ones. In this case, some vehicles in between the source and the destination should relay the messages. We design an efficient message relaying scheme for these platoons and evaluate its performance, taking the linear topology of platoons into account.

I. 서 론

플래톤(platoon)은 하나의 선도차량(PL: platoon leader)과 그를 따르는 다수의 차량(PM: platoon member)으로 이루어지는 차량행렬이다. 플래톤은 최근 연구 개발되고 있는 다양한 무인차량 및 지능형 교통

시스템(ITS: intelligent transportation system) 기술 중에서도 경제성과 실현성 측면에서 크게 각광받는 기술이다. 플래톤은 센서 기술과 통신기술을 사용하여 고속 도로에서도 수 m 수준의 짧은 차간 거리를 유지하면서 시속 100 km 이상의 안전한 고속 주행을 실현할 수 있다. 이럴 경우, 공기의 저항을 최소화할 수 있어서 연료 소모를 현저히 줄일 수 있다.

PL은 통상 숙련된 직업운전자가 운전한다. 반면 일반 PM은 PL의 제어에 따라 운행될 수도 있어서, PM 탑승자(운전자)는 다른 일을 하거나 휴식을 취하다가 필요한 경우에 운전자의 역할을 재개할 수 있다.

플래톤내 통신은 다수의 차량과 노변장치(roadside unit)로 구성되는 VANET (Vehicular Ad-hoc Network)을 기반으로 한다. VANET에 관한 수많은 연구가 있었으나, 그중 플래톤에 관련된 최근의 연구로는 PM의 효율적인 플래톤 참가에 관한 연구^[1], VANET을 위한 시분할 MAC(media access control) 기법에 관한 연구^[2], 한 VANET 내 PM 간의 연결성(connectivity)을 향상시키기 위한 연구^[3] 등이 있다.

차량통신의 MAC 표준으로는 802.11p가 대표적인데^[4], 이 표준을 따르는 VANET에서는 하나의 제어채널(control channel)과 다수의 서비스채널(service channel)이 사용된다. 시스템 시간은 동기구간(synchronous interval)으로 구분되며, 하나의 동기구간은 제어채널 액세스구간과 서비스채널 액세스구간으로 나뉜다.

제어채널로 전 달되는 가장 중요한 메시지는 PL/PM 들이 주기적으로 전송하는 비콘(beacon)이다. 비콘에는 각 차량의 상태와 도로 환경 등 차량운행에 있어서 핵심적인 내용이 포함된다. 한편 플래톤 운행 중에는 여러 가지 돌발 상황이나 차량 상태의 급격한 변화가 발생할 수 있고 이를 인지한 차량이 다른 차량에게 상황을 전파해야 한다^[5]. 이 목적의 메시지를 이벤트기반(ED: event-driven) 메시지라 한다. 서비스채널로는 다양한 정보/오락(infotainment) 트래픽이 전달된다.

ED 메시지와 정보/오락 메시지 중 모든 PM이 알아야 하는 메시지는 브로드캐스트(broadcast) 방식으로 전달하면 된다. 그러나 특정 PM에게만 전달하면 되는 메시지는 유니캐스트(unicast) 방식으로 전달하는 것이 효율적이다. 그런데 메시지 송신 PM과 목적 PM 간의 직접통신이 불가능할 경우에는, 그 사이에 위치한 다른 PM이 메시지를 중계해 줄 필요가 있다. 본 레터에서는 이러한 플래톤 환경에서 최적의 중계 PM을 효율적으

* 본 연구는 한국외국어대학교 교내학술연구비의 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : Hankuk University of Foreign Studies, Dept. of Electronics Engineering, dgjeong@hufs.ac.kr, 정회원
논문번호 : KICS2016-01-013, Received January 20, 2016; Revised January 27, 2016; Accepted January 28, 2016

로 찾는 방법을 설계하고 그 성능을 분석한다.

II. 시스템 모델과 중계 정책

대부분의 기존 연구는 비슷한 크기를 가진 동일한 종류의 차량(예를 들어 대형트럭)들로만 구성되는 동종(homogeneous)플래톤을 연구대상으로 하였기 때문에, 각 차량이 서로 직접통신이 가능하다고 가정하였다. 그러나 가까운 장래, 진보된 플래톤 기술을 바탕으로 구성 차량의 크기와 종류가 다양한 혼성(heterogeneous)플래톤도 널리 사용될 것이다.

그림 1은 혼성플래톤의 예를 보여준다. 각 PM의 아래 숫자는 그 PM의 플래톤내 주소를 나타낸다. PL의 주소는 0이고, 다른 PM의 주소는 플래톤의 구성이 변경될 때마다 갱신된다. 대형차량은 상부에 설치된 안테나를 사용하여, 소형 차량에 비해 송수신 거리가 훨씬 길다. 플래톤의 토폴로지는 거의 항상 선형이어서 소형 차량의 송수신 신호가 대형 차량에 의해 차폐될 수도 있다. 이때는 해당 대형 PM이 소형 PM의 메시지를 중계할 필요가 있다.

본 레터가 제안하는 플래톤을 위한 중계정책은 다음과 같다. 한 송신 PM 관점에서 자신으로부터 가장 멀리 떨어져 있는 직접통신이 가능한 PM을 FDR-PM (farthest directly reachable PM)이라 하자. 전방과 후방에 각각 하나씩 FDR-PM가 존재한다. 선형 토폴로지이므로 FDR-PM보다 가까운 PM은 모두 직접통신 가능한 것으로 간주한다. 한 PM이 메시지의 중계를 요청받으면, 자신이 그 메시지의 목적 PM과 직접 통신할 수 있을 때는 그 PM으로, 그렇지 않은 경우에는 목적 PM 방향의 FDR-PM에게 전송한다.

도로의 상황과 플래톤 구성 상태(예컨대 차량 사이의 거리 등)의 변화에 따라 PM 간 연결 상태는 느리지만 계속 변한다. 그러므로 각 PM은 자신의 FDR-PM을 지속적으로 갱신해야 한다. 본 레터에서는 다음과 같은 효율적 갱신 기법을 제안한다.

III. FDR-PM 갱신 기법

가장 간단한 갱신 방법은 각 PM이 다른 모든 PM에게 연결확인메시지(이후, 본 논문에서는 핑(ping) 메시지라 부른다)를 보내고 그 응답을 받아서

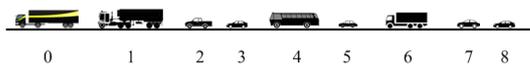


그림 1. 혼성플래톤의 예.
Fig. 1. Example of heterogeneous platoon

FDR-PM을 결정하는 것이다. 그러나 이 방법을 사용하면 관리트래픽이 폭증할 우려가 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해, 실제 플래톤에서 FDR-PM이 급속히 바뀌지 않는다는 점과 망토폴로지가 선형이라는 점을 고려하여, 현재의 FDR-PM을 기준으로 그 앞뒤의 몇 개 PM만 새로운 FDR-PM 후보로 시험해 보는 방법을 제안한다.

제안하는 기법은 제어채널을 이용한 PM 간 교신을 통해 구현된다. 이 기법은 802.11p를 비롯해 어느 제어채널 MAC을 사용하더라도 그에 맞추어 구현할 수 있으나, 본 레터에서는 개념 설명의 편의상 slotted random 액세스를 가정한다. 핑메시지를 비롯한 각 제어 메시지는 한 슬롯 동안 전송된다. 이와 함께, 짧은 길이의 미니슬롯(mini-slot)도 정의된다. 한 미니슬롯의 길이는 D 이고 일반슬롯의 길이는 $L \cdot D$ 이다. 또 이 채널의 부하가 크지 않아서 메시지 충돌은 무시할 수 있다고 가정한다.

다음은 PM k ($0 \leq k < K$, 단 K 는 플래톤 내 PL 포함 전체 차량 수)가 자신의 후방 FDR-PM인 FDR-PM(k)를 갱신하는 절차이다(전방의 경우에도 동일한 절차가 적용된다). 설명에서 현재의 FDR-PM(k)는 PM n 이라 가정한다. 또, PM n 주위의 $2m$ 개의 PM을 시험 대상으로 한다. 아래 절차에서 Ping()은 핑메시지, Ping_ACK()은 핑메시지에 대한 수신자의 응답이다. Ping_Conf()은 Ping_ACK()에 대응한 발신자의 확인 메시지를 나타내는데, 이를 사용하는 이유는 양방향의 연결 상태가 서로 달라서 Ping_ACK()이 전달되지 않는 경우를 대비하기 위함이다. (a, b) 는 제어 메시지의 헤더에 포함되는 주소를 의미하며, 핑메시지 발신자가 a 이고 수신자가 b 임을 나타낸다.

[PM k 의 동작]

(1) PM k 가 Ping(k, n)를 발신하고 $(n+m-k) \cdot D$ 시간 동안 Ping_ACK(k, j) ($n-m \leq j \leq n+m$)을 기다린다.

(2-A) Ping_ACK(k, j)가 수신되면 Ping_Conf(k, j)를 발신하고 FDR-PM(k)를 PM j 로 설정한다.

(2-B) (1)의 시간동안 Ping_Conf가 수신되지 않으면 $n-(2 \cdot m+1)$ 을 n 의 값으로 재설정하여 (1)의 과정부터 되풀이한다.

[PM j ($n-m \leq j \leq n+m$)의 동작]

(1) Ping(k, n)을 수신하면 $(n+m-j) \cdot D$ 시간 동안 해당 핑메시지에 대한 다른 PM의 반응을 기다린다.

(2-A) (1)의 시간을 기다리는 동안 자신의 후방 PM으로부터 해당 핑메시지에 대한 아무런 반응이 없으면 Ping_ACK(k, j)를 전방으로 발신한다.

(3-A) PM k 로부터 D 시간 내에 Ping_Conf(k, j)를

수신하면 자신이 PM k 의 FDR-PM로 선정되었음을 인식한다.

(2-B) (1)의 시간을 기다리는 동안 자신의 후방 PM i 로부터 Ping_ACK(k,i)가 수신되면 D 시간 동안 Ping_Conf(k,i)를 기다린다.

(3-B) (2-B)의 D 시간 동안 Ping_Conf(k,i)를 수신하지 못하면 Ping_ACK(k,j)를 전방으로 발신하고 (3-A) 과정을 시행한다.

IV. 성능 및 토론

제안된 기법의 성능은 FDR-PM 갱신에 소요되는 시간(update delay)과 선정된 FDR-PM의 타당성을 기준으로 평가할 수 있다. 이 타당 정도는 하나의 유니캐스트 전송에 필요한 중계횟수, 즉 홉수(hop count)로 대표된다. 여기서는 시뮬레이션을 통해 평균 홉수와 평균 갱신지연시간 성능을 보인다. 이후 모든 시간은 D , 즉 미니슬롯 길이로 정규화한 시간이다. 제안된 기법의 우수성을 보이기 위해, 가장 가까운 PM부터 가장 먼 PM까지 차례로 시험하여 FDR-PM을 결정하는 단순한 기법의 성능도 함께 나타내었다.

두 PM 간의 연결 가능 여부는 사용된 변조 및 부호화 방식, 전송 전력 안테나 높이, 송수신기 감도, 거리, 속도, 중간에 위치한 차량의 종류와 크기 및 수, 등에 따라 달라진다. 시뮬레이션에서는 이들 요소가 모두 반영된 연결성(connectivity) 계수 q 를 다음과 같이 정의하여 사용하였다.

$C(i,j)$ 를 PM i 와 PM j 사이의 연결성 지수라 하자. PM k 를 기준으로 볼 때, 시뮬레이션에서는 $C(k,k+1)$ 는 1로, 임의의 n 에 대해 $C(k,n)$ 은 $[0, C(k,n-1)]$ 사이에 (명목상) 유니폼 분포한다고 가정한다. 또 $C(i,j) \geq q$ 일 때 PM i 와 PM j 는 서로 직접 통신할 수 있다고 가정한다. 즉, q 가 작은 값일수록 품질(연결성)이 좋은 채널임을 의미한다.

그림 2는 $L=10, K=15$ 일 때 채널의 품질(q)에 따른 시스템의 성능을 보여준다. 제안된 방법은 비교대상 방법에 비해 갱신지연이 훨씬 짧으면서도 비슷한 평균 홉수 성능을 나타낸다. 또 K 가 크지 않을 때 m 의 크기에 따른 영향은 크지 않음을 알 수 있다.

그림 3은 $m=2, q=0.2$ 일 때 플레톤 내 차량의 수에 따른 시스템의 성능을 보여준다. 하나의 메시지를 전송하는데 걸리는 시간이 슬롯시간 L 이므로, 동일한 길이의 메시지를 전송할 때 전송속도가 높을수록 L 값이 작다. 그림 3은 L 의 차이에 의한 성능 차이도 함께 보여준다.

제안된 기법은 위에서 살펴본 바와 같은 우수한 성

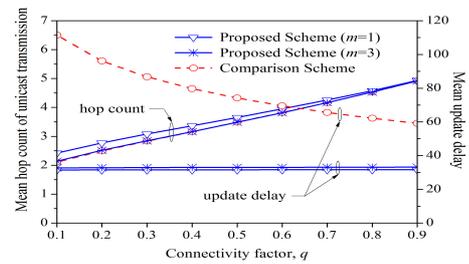


그림 2. 연결성 계수(q)에 따른 시스템의 성능.
Fig. 2. System performance according to the connectivity factor q .

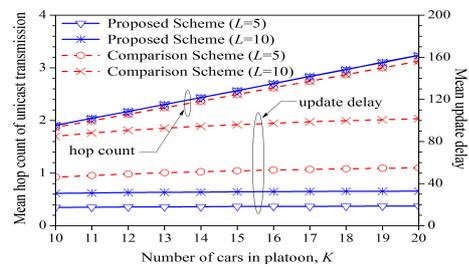


그림 3. 플레톤 내 차량 수에 따른 시스템의 성능.
Fig. 3. System performance according to the number of cars in platoon.

능을 가지며, 노변장치의 도움을 필요로 하지 않기 때문에 ITS 시설이 갖추어지지 않은 기존의 도로 상에서도 활용될 수 있다.

References

- [1] M. Khaksari and C. Fischione, "Performance analysis and optimization of the joining protocol for a platoon of vehicles," in *Proc. ISCCSP*, pp. 1-6, Rome, Italy, May 2012.
- [2] H. A. Omar, et al., "VeMAC: A TDMA-based MAC protocol for reliable broadcast in VANETs," *IEEE Trans. Mob. Comp.*, vol. 12, no. 9, pp. 1724-1736, Sept. 2013.
- [3] C. Shao, et al., "Performance analysis of connectivity probability and connectivity-aware MAC protocol design for platoon-based VANETs," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 64, no. 12, pp. 5596-5609, Dec. 2015.
- [4] D. Jeong, "Modeling of the distributed broadcasting in IEEE 802.11p MAC based vehicular networks," *J. KICS*, vol. 38B, no. 11, pp. 924-933, Nov. 2013.
- [5] L.-N. Hoang, et al., "An efficient message dissemination technique in platooning applications," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 19, no. 6, pp. 1017-1020, Jun. 2015.