

차량통신 환경에서의 적응적 클러스터링

*장철희 **이재홍

서울대학교 전기컴퓨터공학부 뉴미디어통신공동연구소

*ykikie83@snu.ac.kr

An Adaptive Clustering for Vehicle Communications

*Chulhee Jang **Jae Hong Lee

School of Electrical Engineering and INMC, Seoul National University

요약

최근 차량통신 환경에서의 위성/지상파 DMB 등 차량통신에 대한 관심이 증대되고, 전 세계적으로 기술개발이 활발하게 진행되고 있다. 그러나 좁고 긴 도로 내에 차량이 수시로 들락거려 일정한 통신 구심점을 찾는 것이 쉽지 않고, 빠르게 이동하는 차량의 특성으로 채널 특성이 좋지 않으며, 차량통신을 위한 인프라가 충분히 설치되지 않을 경우 V2I 통신의 어려움 등이 문제점으로 지적될 수 있다.

본 논문에서는 차량통신 네트워크의 효율적 운용을 위한 적응적 클러스터링(Clustering) 기법을 제안하도록 한다. 제안된 적응적 클러스터링 방법에서는 차량의 속도, 위치, 차량 간 거리에 의하여 수시로 클러스터가 적응적으로 재구성된다. 이를 위해 효율적인 클러스터헤드 선정이 이루어지며, 차량통신 인프라, 클러스터헤드를 중심으로 통신이 이루어진다. 제안된 기법은 제한된 인프라에서도 이중 홉 통신 및 적응적 클러스터 재구성을 통하여 차량의 네트워크 연결성을 높인다.

컴퓨터 모의실험을 통하여 적응적 클러스터링 방법의 성능을 알아보도록 한다. 모의실험을 통하여 빠른 속도로 움직이는 차량의 네트워크 접근성을 확인하고, 차량 밀도 및 인프라 간 거리에 따른 성능변화를 확인한다.

1. Introduction

미래의 차량기술은 단순 이동수단 뿐만 아니라 안전하고 편안함을 제공하기 위하여 차량 외부와의 다양한 정보 교환을 위한 고속의 통신 환경을 제공해야 한다. U.S. Federal Communications Commission (FCC)에서는 차량통신의 응용서비스를 크게 두 가지로 분류하고 있다. 첫 번째로 긴급 상황시 e-call(emergency call) 전송 등의 안전에 대한 응용(safety application)이며, 두 번째는 차량에서의 위성/지상파 DMB, 휴대인터넷을 통한 고용량 멀티미디어 서비스 제공, 도로 정보 시스템, 경로 안내 시스템 등 사용자 편의 도모를 위한 응용(comfort application)이다. 더욱이 우리나라의 초고속 인터넷망, 무선 통신망 및 높은 자동차 보급률은 고속으로 주행하는 차량에서의 통신 신뢰성과 효율성을 제공할 수 있는 데이터 통신 기술의 필요성을 증대시키고 있다.

한편 차량통신에 대한 관심이 급속한 증대와 함께 전 세계적으로 표준화 및 기술개발이 활발하게 진행되고 있다. WAVE(Wireless Access for Vehicle Environments) 규격이 정해졌으며, 미국 전기전자학회(IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers)에서는 자동차 통신을 위하여 TGp(Task Group p, IEEE 802.11p)를 만들어 표준화를 진행 중에 있다[1]. 또한 미국에서 자동차 메이커 컨소시엄 CAMP(Crash Avoidance Metrics Partnership), 통신기 메이커 컨소시엄 DIC(DSRC Industry Consortium), DOT(Department of Transportation)의 참여하에 VII(Vehicle Infrastructure Integration)프로젝트가 진행 중이며[2], 유럽

에서는 C2C-CC(Car-to-Car Communication Consortium) 프로젝트가 진행 중이다. 국내에서도 U-Transportation, Smart Highway 프로젝트 등에서 일부 연구를 진행 중이다.

차량통신은 차량과 인프라간(V2I : Vehicle-to-Infrastructure) 통신과 차량 간(V2V : Vehicle-to-Vehicle) 통신으로 구분되며, 차량통신 응용서비스를 제공하기 위해서는 빠른 속도, 높은 신뢰성과 효율성을 제공하여야 한다. 이를 구현하기 위해 차량과 인프라 또는 차량 간의 대용량 데이터 통신을 위한 네트워크 프로토콜 연구 및 가변적인 도로 상황에 실시간으로 적용할 수 있는 다양한 이동통신 기술을 이용한 최적의 무선 통신 지원 시스템에 대한 연구가 필요하다. 그러나 차량통신 환경은 기존의 이동통신 및 방송의 환경과 달리 좁고 긴 도로 내에 차량이 수시로 들락거려 일정한 통신 구심점을 찾는 것이 쉽지 않다. 또한 빠르게 이동하는 차량의 특성으로 채널 특성이 좋지 않고, 차량통신을 위한 인프라가 충분히 설치되지 않을 경우 V2I 통신에도 어려움이 따를 수 있다.

본 논문에서는 V2I통신의 차량통신 네트워크의 효율적 운용을 위한 적응적 클러스터링(Clustering) 기법을 제안하도록 한다. 제안된 기법은 제한된 인프라에서도 이중 홉 통신 및 적응적 클러스터 재구성을 통하여 차량의 네트워크 연결성을 높인다.

2. System Model

본 논문에서는 1차원의 좁고 긴 도로를 고려하도록 한다. 도로 상

에는 신호등과 같은 속도에 제한을 주는 외부요인이 없으며, 차량통신을 위한 인프라가 D의 거리마다 설치되어 있다고 가정한다. 차량의 분포는 [3],[4]에서와 같은 equivalent queueing model을 따르도록 한다. 도로 상의 임의의 지점을 생각 할 때, 단위시간 동안 그 점을 지나는 차량 수의 분포가 평균이 λ 인 Poisson process를 따른다고 가정한다. 이 때 traffic flow는 λ (vehicles per hour)와 같이 정해지며, 임의의 지점에서의 차량의 inter-arrival time은 평균 $1/\lambda$ 인 exponential distribution을 따르게 된다. 그러면 인접차량 간 거리(inter-vehicle distance) L 은

$$P(L > x) = \exp\left(-\lambda x \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} \frac{f_V(v)}{v} dv\right) \quad (1)$$

와 같은 분포를 갖는다[3]. 이 때 $f_V(v)$ 는 차량 속도의 분포이며, v_{\min} 과 v_{\max} 는 도로 상에서 차량의 운행속도의 한계값이다. 차량 속도의 분포는 전형적인 차량 속도 분포를 가정하여, 다음의 Table 1의 평균과 표준편차를 갖는 정규분포(normal distribution)를 갖는 모델을 갖는다고 가정한다[5],[6].

Table 1. 정규분포를 갖는 차량 속도 분포의 평균과 표준편차

평균(km/h)	표준편차(km/h)
70	21
90	27
110	33
130	39
150	45

또한 차량 및 인프라에서의 전송 출력은 0, 10, 20, 28.8 dBm의 WAVE 규격을 따른다고 가정한다. 차량-인프라간 및 차량 간 통신 채널은 path-loss exponent가 n 이며, quasi-static Rayleigh fading channel을 갖는다고 가정한다. 또한 차량 간 통신의 delay 제한조건 만족을 위해 이중 홉 통신까지만 가능하다고 가정한다.

3. Adaptive Clustering

적응적 클러스터링은 차량 및 인프라의 고유한 ID를 가지고 이루어진다고 가정하며, 초기 클러스터링은 다음과 같은 방법에 의해 수행된다.

1) Send pilot symbol : 채널 상태 정보를 위한 pilot symbol을 전송한다. 각 차량 및 인프라에서는 수신된 정보를 바탕으로 QoS를 만족

할 수 있는 차량을 알 수 있다. 이 때 채널 상태에 따라 작은 전력으로도 QoS를 만족할 수 있으며, 큰 전력을 사용해야 QoS를 만족할 수 있는 경우도 있다. 이 차량들을 “neighbor car”라고 정의하며, $NC(a,b)$ 를 ID가 a 인 차량이 b 의 전력레벨을 사용했을 때 QoS를 만족하는 통신이 가능한 차량들의 ID 집합으로 정의한다.

2) Send neighbor car ID : 각 차량은 1)단계에서 수집된 정보를 인프라로 전송하게 된다.

3) Select CH(Cluster Head) : 인프라는 2)에서 수신된 정보를 바탕으로 인프라에서 직접 통신이 불가능한 차량들을 확인할 수 있다. 그 차량들과 통신이 가능한 차량들을 CH로 선택한다. 이 때, 인프라와 직접 통신이 불가능한 차량들에게 최소의 전력으로 전송할 수 있는 차량들을 CH로 정하되 중복을 피하여 CH의 수를 최소화한다.

4) Cluster ID(CID) decision : 인프라의 ID를 ID_i , CH의 ID를 ID_{CH} 라 하고, 인프라 및 CH의 CID는 자신의 ID와 같도록 정의한다. Q_{all} 을 모든 차량의 ID 집합, $Q(CID)$ 는 주어진 CID를 갖는 차량들의 집합이라 하고, 인프라가 모든 CH에 QoS를 만족하며 전송을 하기 위한 전력을 P_i 라고 하자. 우선 $Q(ID_i) = NC(ID_i, P_i)$ 와 같이 초기화한다. 그러면, $Q_{all} - Q(ID_i)$ 는 인프라에서 직접 통신이 불가능한 차량들의 집합이다. 이 집합의 차량들의 CID는 가장 작은 전력으로 통신 가능한 CH의 ID와 같도록 정의한다. 각 CH의 전력은 P_{CH} 는 $Q(ID_{CH})$ 내의 모든 차량과 통신을 가능하도록 하는 전력으로 정한다. $NC(ID_{CH}, P_{CH}) \cap Q(ID_i)$ 에 속하는 차량들은 인프라보다 작은 전력으로 CH와 통신할 수 있다면 해당 CH의 ID로 CID를 바꾸도록 한다.

5) Send $Q(ID_i)$ and $Q(ID_{CH})$: 4)의 결과 및 클러스터링을 수행한 인프라의 ID를 CH 및 각 차량에 전송한다. 이 때 차량들은 자신의 CID와 인프라의 ID를 알게 된다.

그림 1에 이상과 같이 클러스터링 결과의 예시를 보이고 있다. 이와 같이 클러스터가 초기화된 후 차량의 유입/유출 등에 의하여 클러스터 재구성이 필요하다. 이러한 재구성은 차량의 이동으로 인하여 $Q(ID_i)$ 에 속하던 차량이 해당 인프라의 통신범위를 벗어나고, 새로운 인프라의 통신범위에 들게 되는 과정에서 발생한다. 그 과정에서 클러스터링을 수행한 인프라의 ID를 두 곳에서 전송받을 경우 진행방향을 고려하여 새로운 인프라의 ID를 보낸 CH(혹은 인프라)와 통신을 수행하며, 기존에 속하던 네트워크의 CH(혹은 인프라)에는

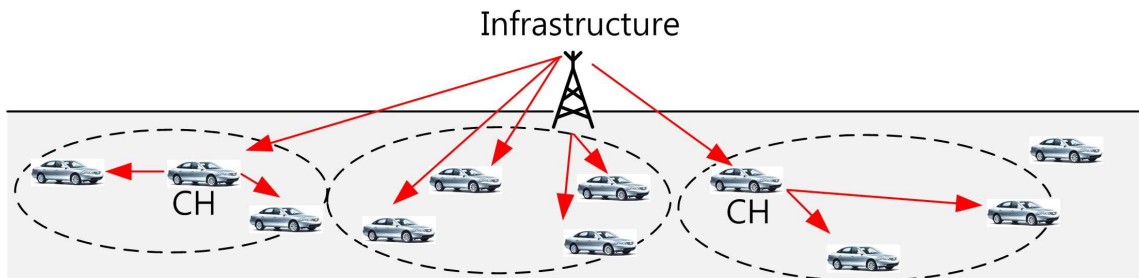


그림 1. 클러스터링 결과의 예시

disconnection 신호를 보낸다. 이 때 disconnection 신호를 받은 인프라는 해당 정보를 바탕으로 해당 차량에게 전송을 담당하던 CH의 정보의 재구성, CH 재선택, 전력 레벨 재설정 등을 수행하게 된다. 만약 disconnection 신호를 전송한 차량이 CH라면 해당 차량이 통신을 담당하던 차량들의 정보를 바탕으로 새로운 CH를 선택하게 된다.

4. Simulation Results

본 장에서는 제안된 클러스터링 기법의 성능을 확인한다. 차량의 속도는 Table 1의 두 번째 경우인 평균이 90km/h , 표준편차가 27km/h 인 경우를 가정하였으며, v_{\min} 과 v_{\max} 는 각각 (평균 $\pm 2 \cdot$ 표준편차)로 설정하였다. 또한 path-loss exponent는 2로 가정하였다.

그림 2에서는 Traffic flow에 따른 차량의 network connectivity rate를 보이고 있다. 이 때 인프라 사이의 거리는 3km 로 가정하였다. Traffic flow의 증가에 따라 network connectivity rate가 향상됨을 확인할 수 있으며, 이중 홉을 사용하지 않고 인프라에서 차량으로 직접 통신을 하는 기존의 시스템과 비교하여 향상된 성능을 제공함을 확인할 수 있다.

그림 3에서는 Traffic flow에 따른 connectivity distance를 보이고 있다. 위와 마찬가지로 인프라 사이의 거리는 3km 로 가정하였으며, 그림 2의 결과와 마찬가지로 Traffic flow의 증가에 따라 connectivity distance가 향상되며, 기존의 시스템과 비교하여 향상된 성능을 제공함을 확인할 수 있다.

그림 4에서는 인프라 사이의 거리에 따른 network connectivity rate를 보이고 있다. 이 때 Traffic flow는 600vehicle/h 로 가정하였다. 모의실험 결과를 통하여 인프라가 충분히 설치되어 있지 않은 환경에서도 제안된 기법을 통하여 충분히 높은 network connectivity rate를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 V2I통신 차량통신 네트워크의 효율적 운용을 위한 적응적 클러스터링 기법을 제안하였다. 제안된 적응적 클러스터링 방법에서는 차량 간 거리, 차량의 위치, 채널정보 등에 의하여 Cluster Head 설정 및 클러스터 구성을 하게 되며, 이중 홉 통신을 통하여 네트워크 연결성을 높인다. 또한 차량의 속도, 차량의 이동에 의한 네트워크 유/출입시 수시로 클러스터가 적응적으로 재구성된다. 모의 실험 결과를 통하여 traffic flow 및 인프라 간 거리에 따른 성능변화를 살펴보았다. 또한 제안된 기법의 을 통하여 인프라가 충분하지 않은 상황에서도 높은 네트워크 연결성을 유지할 수 있으며, 이중 홉을 사용하지 않는 경우와 비교하여 뛰어난 성능을 보임을 확인하였다.

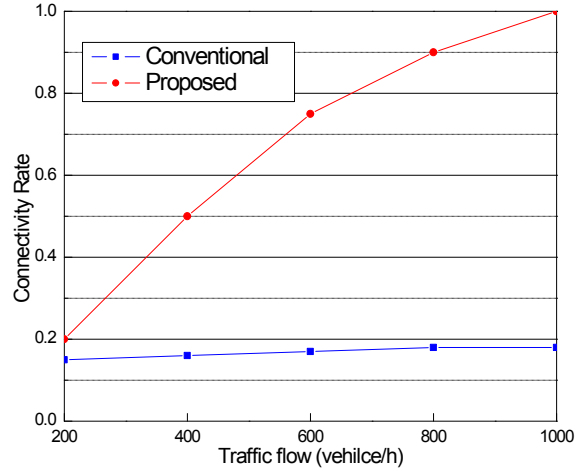


그림 2. Traffic flow에 따른 차량의 network connectivity rate

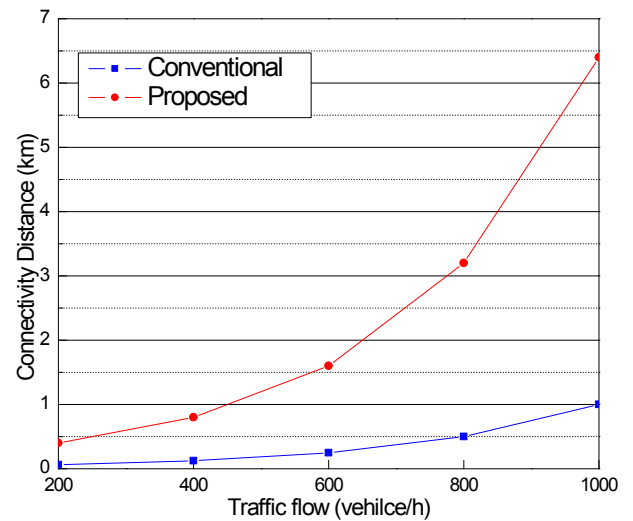


그림 3. Traffic flow에 따른 connectivity distance

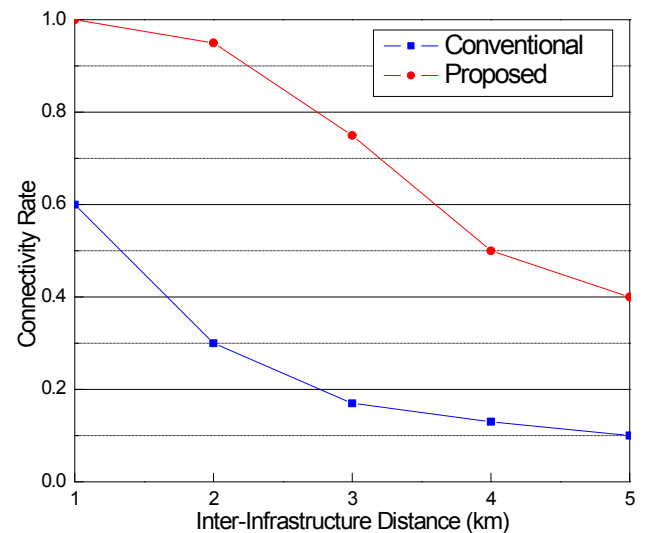


그림 4. 인프라 사이의 거리에 따른 network connectivity rate

참고문헌

- [1] IEEE, *IEEE Std. 802.11p Draft Amendment. Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications: Wireless Access in Vehicular Environments(WAVE)*, 2005.
- [2] *VII Project*. Available: <http://www.its.dot.gov/vii/>
- [3] S. Yousefi, E. Altman, R. E. Azouzi, and M. Fathy, "Analytical model for connectivity in vehicular ad hoc networks," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 57, no. 6, pp. 3341-3356, Nov. 2008.
- [4] D. Miorandi and E. Altman, "Connectivity in one-dimensional ad hoc networks: A queuing theoretical approach," *Wireless Netw.*, vol. 12, no. 6, pp. 573 - 587, 2006.
- [5] R. P. Roess, E. S. Prassas, and W. R. McShane, *Traffic Engineering*, 3rd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2004.
- [6] M. Rudack, M. Meincke, and M. Lott, "On the dynamics of ad hoc networks for inter-vehicles communications (IVC)," in *Proc. ICWN*, 2002, pp. 40-48.