

논문 2012-49TC-4-8

# IEEE 802.11p MAC 프로토콜에서 차량밀도에 따른 적응전송기법

( Adaptive Transmission Scheme According to Vehicle Density in IEEE  
802.11p MAC Protocol )

우리나라\*, 한 동 석\*\*

( Rinara Woo and Dong Seog Han )

## 요 약

지능형 교통시스템에서는 노변장치와 차량의 통신장치간 정보교환을 통해 차량의 정보를 수집한다. 그리고 한 노변장치의 통신범위 내의 차량밀도는 시간에 따라 바뀐다. 차량밀도가 높아지면 한 노변장치에서 수집되는 차량정보가 많아지고 패킷의 충돌 확률이 높아진다. 본 논문에서는 차량밀도에 따라 전송속도 및 전송주기를 변경하여 패킷 수신율을 높이는 IEEE 802.11p 기반 적응 전송 알고리즘을 제안한다. 차량 간 통신 프로토콜 표준인 IEEE 802.11p MAC 프로토콜을 ns-2.33으로 구현하여 차량밀도의 변화에 따른 성능을 평가하였다.

## Abstract

The roadside unit (RSU) collects vehicle information from vehicles in the intelligent transportation system (ITS). The vehicle density on the road within the communication range of a RSU is a time varying parameter. The higher the vehicle density, the more vehicle information can be collected. Therefore, the probability of packet collision will be raised. In this paper, an adaptive transmission scheme is proposed to improve the probability of packet reception rate by changing the data rate and transmission period according to the vehicle density. The performance of IEEE 802.11p MAC protocol that is a standard for vehicular communications is evaluated in terms of the vehicle density with the ns-2.33 simulator.

**Keywords:** 차량밀도, 차량정보 수집서비스, ITS(Intelligent Transportation System),  
MAC Protocol, WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments)

## I. 서 론

지능형 교통시스템에서는 차량의 정보 수집을 통해 도로의 교통정보를 파악하고 이를 이용하여 교통 정체

를 해결하는 등의 문제해결에 사용하고자 한다. 교통정보 서비스가 안정적으로 서비스되기 위해서는 먼저 실시간 교통정보 수집이 필요하다. 이를 위하여 도로상의 차량정보를 수용할 수 있는 통신환경이 필요하며 차량 정보를 수집하기 위하여 차량내 통신단말과 도로 상의 노변장치를 이용할 수 있다. 각 노변장치는 자신의 통신 범위 안에 있는 차량들의 차량 정보를 주기적으로 수집하여 교통정보센터로 전송한다. 교통정보센터에서는 수집된 정보를 이용하여 도로 상의 교통 상황을 파악하고 교통정보를 운전자에게 전달한다<sup>[1~2]</sup>.

도로 상에는 수많은 차량이 존재하므로 이 차량들로

\* 학생회원, \*\* 평생회원-교신저자,  
경북대학교 전자공학부  
(School of Electronics Engineering,  
Kyunpook National University)

※ “본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2012-H0401-12-1006)”

접수일자: 2011년12월5일, 수정완료일: 2012년4월17일

부터 수집되는 정보는 차량과 노변장치 간의 통신에서 상당한 트래픽을 유발시킬 수 있다. 따라서 데이터의 손실 없이 교통정보센터로 정보를 전달할 수 있는 통신 시스템을 고려하여야 한다.

차량밀도에 따라 차량의 주행속도가 달라지며 하나의 노변장치의 통신범위 안에 위치하는 차량의 수가 달라진다. 즉, 차량의 속도가 낮은 경우에는 고속 변조방식을 사용할 수 있으며 차량의 수에 따라 차선 변경을 구분하면서 통신수용용량을 높일 수 있는 적절한 전송 주기를 찾아 변경할 수 있다.

차량정보서비스를 안정적으로 제공하기 위한 최적의 전송속도와 전송주기를 도출하기 위해서는 몇 가지 사항을 고려하여야 한다. 먼저, 차량정보를 이용하여 차선 구분이 가능하여야 한다. 차선 구분이 가능해야 차선별 교통량이 측정 가능하며, 진입 램프 구간에서의 교통 상황 서비스, 차선 변경 시 주위 차량에게 알릴 등 다양한 서비스를 제공할 수 있다. 차세대 지능형 교통시스템(ITS)의 국제표준인 IEEE 802.11p에서는 통신반경을 약 1km 이상이 되도록 규정한다<sup>[3]</sup>. 실제 통신반경은 통신채널환경 및 안테나 종류 등에 따라 달라지게 되며 변조방식에 의해서도 달라지므로 이에 대한 고찰이 필요하다. 하나의 인프라가 수용할 수 있는 차량 정보 역시 고려해야 되며 이에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 먼저 차량밀도에 따른 차량의 속도변화관계를 기존에 연구된 교통흐름모형을 통해 나타낸다. 그리고 차량의 수와 차량속도에 따라 차선변경 구분, 통신 거리, 통신유리율을 분석한다. 이를 통해 차량 정보의 수용용량을 개선하기 위한 최적의 차량정보 전송 주기, 변조방식을 도출한다. 즉, 변화하는 차량의 수와 차량속도를 고려하여 교통정보 수집을 위한 차량에서의 전송방법을 제안하고, 성능 평가를 통해 교통정보 수집서비스에서의 적용가능성을 확인한다.

서론에 이어 II장에서는 이미 검증된 교통흐름모형에 따라 차량밀도와 차량속도와의 관계를 살펴본다. 그리고 차량정보수집서비스를 제공하기 위한 요구 조건에 따라 패킷 전송속도와 전송주기를 변경하는 전송방법을 살펴본다. 분석 결과를 이용하여 차량밀도에 따라 최적의 전송속도와 전송주기로 전송하는 알고리즘을 제안한다. III장에서는 제안된 전송방법에 대한 성능을 평가하고, IV장에서 결론을 내린다.

## II. 교통량에 따른 적응 전송기법

### 1. 교통흐름모형

교통흐름의 특성을 파악하기 위하여 교통량, 속도, 밀도를 척도로 사용하며 이들 변수간 상호 관계식을 나타낸 것을 교통흐름모형이라 한다. 도로 상에 주행 중인 차량이 많아지게 되면 밀도가 증가하고 운전자는 속도를 줄여야 한다. 차량 밀도와 속도와의 관계에 대한 다양한 연구가 오랜 기간 진행되어 왔다. 교통흐름모형은 단일구간모형(single regime models)인 Greenshields형 모형, Underwood형 모형, Greenberg형 모형 등 과 다중구간모형(multi-regime models)인 Ellis 모형, Edie 모형, 수정된 Greenberg 모형 등이 있다<sup>[4-5]</sup>. 단일구간 모형은 비교적 간단한 장점이 있으나 특정 밀도 구간에서 속도와 밀도의 관계를 정확하게 산출할 수 없거나 실제 도로 상에서 관측된 자료와 일치하지 않는 경우가 발생한다. 다중구간모형은 밀도구간을 나누어 제시한 모형으로, 모든 구간에서 속도와 밀도관계를 정확하게 산출할 수 있고 실제 도로상에서 관측된 자료와 거의 일치한다.

본 논문에서는 복잡성과 정확성을 고려하여 단일구간모형인 Greenberg형 모형을 다중구간모형으로 수정한 Greenberg 모형을 사용하여 차량밀도와 속도와의 관계를 나타내었다. 수정된 Greenberg 모형은 교통류 상태를 2중 구간으로 구분하여 자유 교통류 영역은 직선모형, 자유 교통류 영역 이외 영역은 로그모형으로 제시한 모형이다<sup>[4-5]</sup>. 수정된 Greenberg 모형에서의 속도와 밀도관계를 식 (1)에, 상관관계 그래프를 그림 1에 나타내었다.

$$v = \begin{cases} v_f \\ v_m \cdot \ln\left(\frac{k_j}{k}\right) \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $v$ 는 차량속도(km/h),  $k$ 는 차량밀도(veh/km),  $v_f$ 는 자유속도(km/h),  $v_m$ 은 임계속도(km/h),  $k_j$ 는 혼잡밀도(veh/km)를 나타낸다. 자유속도는 자유밀도 시 속도, 임계속도는 최대 교통류를 일 때의 속도, 혼잡 밀도는 교통이 혼잡하여 정체가 발생할 때의 밀도를 나타낸다.

차량 정보 수집 서비스에서는 차량의 차선 변경을 구분할 수 있어야 하며, 고속 주행 시에도 구분이 가능해야 하기 때문에 서비스에서는 패킷 전송 주기를 100

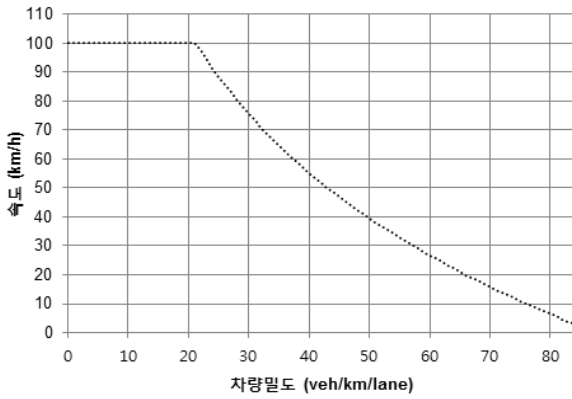


그림 1. 차량밀도-속도와 관계 (수정된 Greenberg 모형)

Fig. 1. Relationship between vehicle density and velocity (modified Greenberg model).

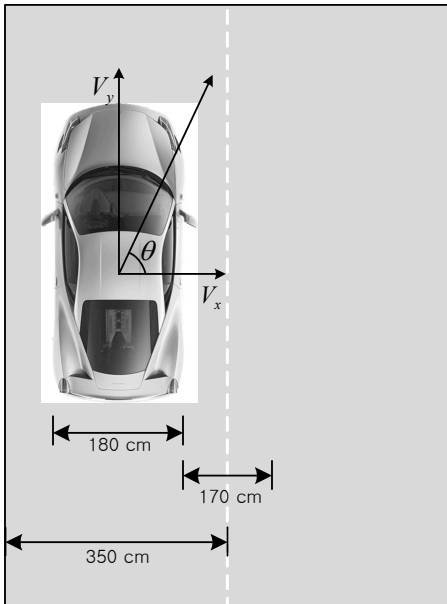


그림 2. 차량의 차선 변경 속도

Fig. 2. Lane changing speed of vehicle.

ms 로 한다<sup>[1]</sup>. 전송주기가 100 ms 보다 짧아지면 패킷 충돌확률이 증가하고 100 ms 보다 길어지면 고속 주행 시 차선 구분이 힘들어 진다.

그림 2는 차량의 차선 변경을 인식하기 위한 이동 거리를 나타낸다. 한국도로의 도로 폭은 3.5 m ~ 3.6 m 이고, 준중형 ~ 중형 차량의 평균 차량 폭은 약 1.8 m 이다. 차량이 차선 변경을 한다는 것을 구분하기 위한 이동 폭을 1.7 m 로 하였다.

차량의 속도를  $V_y$  라 하면 차선 변경 방향으로의 속도  $V_x$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_x [km/h] = V_y \cot\theta [km/h] \tag{2}$$

차량의 속도와 운전자가 차선을 변경할 때 핸들을 돌리는 정도에 따라  $\theta$ 가 결정된다. 본 논문에서는 차량 속도에 따른 차선 변경 방향으로의 이동거리 계산을 간략화하기 위하여  $\theta$ 를 고정하기로 한다.

차량이 차선변경 시 걸리는 시간을  $T_x$ 라 하면, 차선 변경 여부를 알기위해서 사용 가능한 최대 전송 주기  $T_p$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$T_p [s] < T_x = \frac{1.7}{V_x} [s] \tag{3}$$

통신 모듈간의 통신에서는 송신모듈과 수신모듈의 변조 방식이 서로 같아야 된다. 모듈에서 변조방식을 변경하는 프로세싱 시간이 걸리며 두 모듈의 변조방식의 변경이 동시에 되어야 하므로 변조방식을 자주 변경하는 것은 좋지 않다.

IEEE 802.11p는 3~27Mbps의 전송속도와 10MHz 채널 대역폭을 지원한다. 고속 이동시 높은 변조방식을 사용하면 비트 오류가 증가하여 통신 성능이 저하된다. 전송율에 따라 통신성능의 변화를 보기위하여 전송거리에 따른 패킷 수신율을 그림 3에 나타내었다.

그림 3에서와 같이 전송거리가 멀어짐에 따라 수신 전력이 감소하기 때문에 패킷 수신율은 낮아진다. 전송율이 높아지면 패킷 수신이 가능한 전송거리가 현저히 낮아지는 것을 볼 수 있다. 채널 환경과 안테나의 성능에 따라 패킷 수신 가능한 전송거리 및 비트 오류율이 달라지지만 고려하는 인프라가 약 1km 이상의 전송거리

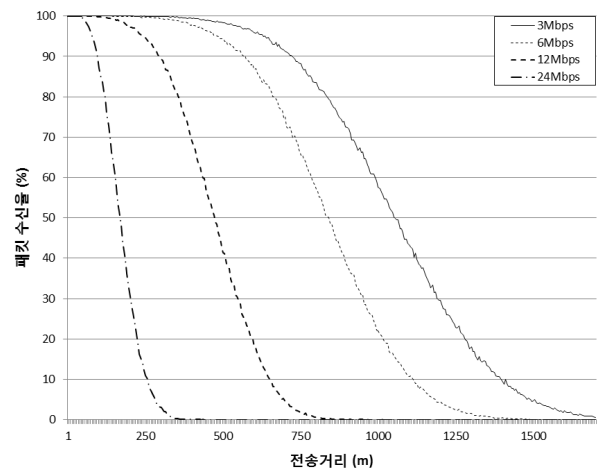


그림 3. 전송거리에 따른 패킷 수신율

Fig. 3. Packet reception rate with transmission range.

를 가져야하므로 12 Mbps와 24 Mbps 의 변조방식은 신뢰도 관점에서 사용하기 힘든 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 BPSK와 QPSK 변조 방식의 기본 전송속도인 3 Mbps와 6 Mbps 만을 고려하기로 한다.

2. 적응 전송 기법

앞서 분석된 내용을 토대로 차량 밀도에 따른 적응 전송알고리즘을 제안하고자 한다. 차량 밀도가 높아져 차량 속도가 낮아지면 패킷의 전송속도를 높이고 전송 주기를 길게 하여 노변장치의 패킷 수용능력을 높인다. 차량 밀도가 낮아져서 차량의 속도가 빨라지면 전송속도를 낮추고 차량 정보의 전송 주기를 짧게 하여 패킷 오류율을 낮춘다.

고속도로 환경을 나타내기 위하여 수정된 Greenberg 모형 변수로서  $v_f$ 는 100 km/h,  $v_m$ 은 54.5 km/h,  $k_f$ 는 87.6 로 설정한다. 수정된 Greenberg 모형을 사용하여 차량밀도에 따른 속도의 상관관계를 도출한다. 차선 변경 여부를 알기위해 필요한 최대 전송주기  $T_p$  를 정하기 위하여 전송주기가 100ms, 200ms, 300ms 일 때의 차량속도에 따른 차량의 이동거리 관계 그래프를 그림 3에 나타내었다.

차량이 차선 변경 시 이동하는 거리를 1.7 m로 하면, 각 전송주기마다 차량 속도에 따른 이동거리가 1.7 m 보다 작아야 차선구분이 가능하다. 그림 4 에서 차량 속도가 30 km/h 이하일 때, 전송주기가 300 ms 이하이면 차선 구분이 가능하다. 차량속도가 30 km/h ~ 50 km/h 일 때는 전송주기가 200 ms 이하이면 차선 구분이 가능하고, 차량속도가 50 km/h ~ 100 km/h 일 때는 전송주기가 100 ms 이하이면 차선 구분이 가능하다.

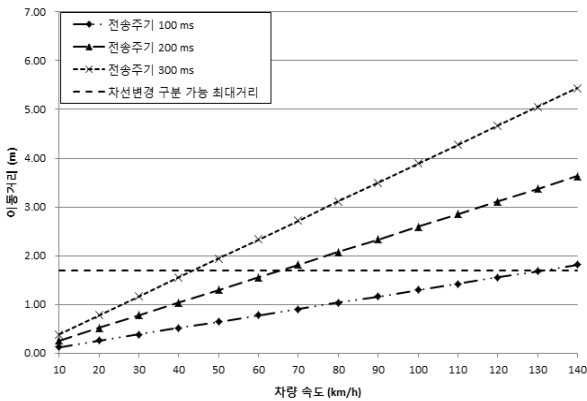


그림 4. 차량밀도에 따른 처리량  
Fig. 4. Throughput in terms of vehicle density.

표 1. 전송주기와 전송속도 변경 방법  
Table 1. Method for adjusting transmission period and datarate.

차량밀도	0~35	35~50	50~
전송주기	100 ms	200 ms	300 ms
전송속도	3 Mbps	3 Mbps	6 Mbps

그림 2와 그림 3에서 분석한 내용을 토대로 표 1과 같이 차량 밀도에 따라 전송주기와 전송속도를 변경하도록 하였다.

III. 실험

본 장에서는 제안한 분석결과에 따라 노드의 전송속도, 전송주기, 차량 밀도가 수신노드의 수신율 및 처리량에 미치는 영향을 ns-2 시뮬레이터를 이용하여 정량적으로 평가한다. 시뮬레이션 환경은 왕복 4차선 도로로 설정하고 그림 5에 나타내었다.

성능 평가를 위해 네트워크 시뮬레이터인 ns-2.33을

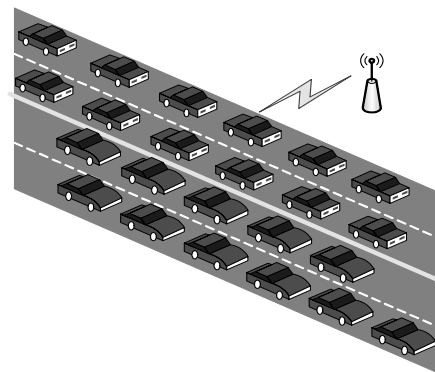


그림 5. 시뮬레이션 토폴로지  
Fig. 5. Simulation topology.

표 2. 시뮬레이션 파라미터  
Table 2. Simulation parameters.

파라미터	값
주파수	5.8 GHz
프로토콜	IEEE 802.11p
통신방식	브로드캐스트
통신 도달 거리	약 800m
패킷 사이즈	100 bytes
패킷 전송 주기	100 ~ 300 ms
변조방식 및 전송 속도	BPSK : 3 Mbps QPSK : 6 Mbps
차량밀도(veh/km/lane)	10, 20, ..., 80

사용하였으며, 시뮬레이션 파라미터는 표 2에 나타내었다.

IEEE 802.11p 프로토콜 규격에 따라 주파수는 5.8GHz로 설정한다. 전송 전력 값은 국내에서 허용된 최대 전력인 20dBm으로 설정하고, 안테나 이득은 실제 구현 시 적용 가능한 안테나 모델의 안테나 이득 값으로 설정하였다. 시뮬레이션 환경을 좀 더 실제 환경과 비슷하게 하기 위해 전파 모델은 Nakagami 모델을 사용하였고, 이 모델에 사용되는 파라미터 값은  $m = 3$ 으로 설정하여 중간 정도의 페이딩 환경으로 설정하였다 [6~7].

차량의 수에 따른 네트워크의 평균 수신율을 그림 6에 나타내었다. 차량 밀도가 증가함에 따라 평균 수신율은 감소한다. 3Mbps 전송속도로 100ms 주기로 전송할 경우 차량의 수가 많아지면서 패킷 전송시 충돌이 많이 일어나기 때문에 차량밀도가 40이 넘어가면 수신율이 현저히 떨어진다. 동일한 3Mbps 전송속도에 패킷 전송 주기를 200ms로 늘이면 차량밀도가 70일 때 패

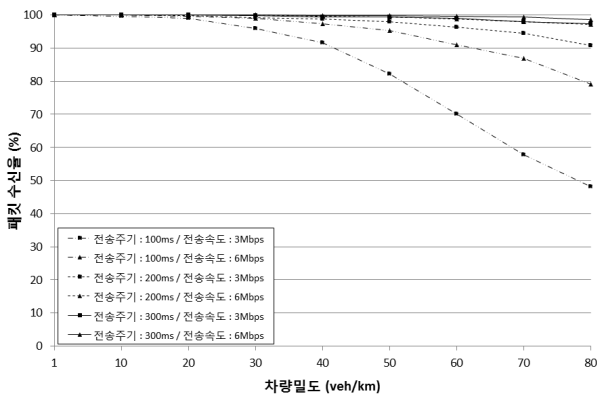


그림 6. 차량밀도에 따른 패킷 수신율  
Fig. 6. Packet reception rate with vehicle density.

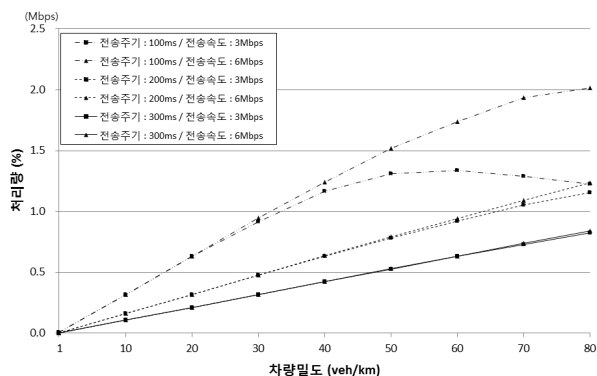


그림 7. 차량밀도에 따른 처리량  
Fig. 7. The throughput with vehicle density.

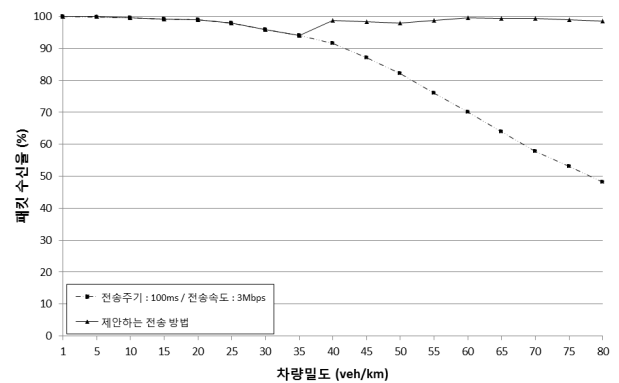


그림 8. 차량밀도에 따른 패킷 수신율  
Fig. 8. Packet reception rate with vehicle density.

킷 수신율이 약 30% 정도 높아진다. 또한 전송속도를 6Mbps로 높이고 100ms 주기로 전송할 경우 전송주기를 늘릴 때 보다 높은 수신율을 보이며, 전송속도와 전송주기를 모두 높일 경우 조금 더 향상되는 것을 볼 수 있다.

차량의 수에 따른 네트워크의 처리량을 그림 7에 나타내었다. 그림과 같이 차량 밀도가 증가함에 따라 처리량은 증가하고 일정시점 부터는 포화상태가 된다. 전송주기가 100 ms 이고, 전송속도가 3 Mbps 이면 차량 밀도가 50veh/km 일 때 처리량이 포화된다. 그 외의 전송주기와 전송속도로 설정할 때는 직선 형태의 처리량 그래프를 나타낸다.

앞서 분석된 패킷 수신율과 처리량 결과를 토대로 차량 밀도 변화에 따른 수신율 성능을 제안 전송기법을 적용하여 실험해 보았다.

그림 8은 고정된 전송속도와 전송주기를 가질 때와 차량밀도의 변화에 따라 패킷 전송 주기와 전송 속도를 변경하는 전송방법을 사용할 때의 비교그래프를 나타낸다. 전송 속도와 전송 주기를 변경하는 차량 밀도 값은 표 1과 같이 35veh/km 와 50veh/km 이므로, 그림과 같이 차량 밀도가 35일 때 까지는 전송주기 100ms, 전송 속도 3Mbps 의 그래프 곡선을 따른다. 이후 구간에서는 전송 주기와 전송 속도가 바뀌면서 해당 그래프 곡선을 따르면서 차량밀도가 높아져도 전체적으로 90 % 이상의 수신율을 유지하는 것을 확인할 수 있다.

제안 적용 전송방법은 차량의 차선변경을 감지가 가능한 전송주기 내에서 차량밀도에 따라 전송방법을 변경하므로 차량밀도가 높아져도 정보의 신뢰도를 유지하는 동시에 높은 수신율을 나타낼 수 있었다.

## IV. 결 론

교통정보 수집 시스템에서는 인프라를 통해 도로상의 차량으로부터의 교통정보를 수집하여 교통상황을 파악해야 한다. 본 논문에서는 차량이 주기적으로 자신의 차량정보를 전송하는 환경에서 차량밀도에 따른 최적의 통신방식을 제시하고, 이를 바탕으로 차량 밀도 변화에 따라 최적의 전송속도와 전송주기로 차량정보를 전송하는 적응형 전송기법을 제안하였다.

차량밀도에 따른 최적의 전송속도 및 전송주기는 차선 구분, 인프라의 차량 수용용량, 에러율 등을 고려하여 도출하였다. 전송속도와 전송주기를 고정하여 전송하면 차량밀도가 높아짐에 따라 패킷 수신율이 낮아짐에 반해 제안하는 전송알고리즘을 사용하면 차량밀도가 높아져도 90% 이상의 수신율을 나타내었다.

## 참 고 문 헌

- [1] 배정규, 한동석, "u-TSN 시스템의 교통정보 수집을 위한 차량 이동속도에 따른 패킷 전송 방안", 전자공학회 논문지, 제 47권, TC편 제6호, 35 - 41 쪽, 2010년 06월.
- [2] Hassnaa Moustafa and Yan Zhang (Editors), "Vehicular Networks - Techniques, Standards and Applications", Auerbach Publications, Taylor & Francis Group, LLC, 2009, ISBN 978-1-4200-8571-6 (Hardcover),
- [3] IEEE P802.11p/D11.0, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical layer (PHY) Specification: Amendment: Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE), Draft 11.0, Mar 2010.
- [4] Boris S. Kerner, Daimler AG, Sindelfingen, "Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control", Springer, 2009.
- [5] May, A. D. Traffic Flow Fundamentals, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990.
- [6] Nakjung Choi, Sungjoon, Younho Seok, Taekyoung Kwon, and Yanghee Choi, "A solicitation-based IEEE 802.11p MAC protocol for roadside to vehicular networks," Proc. of 2007 Mobile Networking for Vehicular Environments, Anchorage, AK, May 11, 2007.
- [7] A. Leon-Garcia, Indra Widjaja, "Communication networks", New York, McGRAW-HILL, 2004.

## 저 자 소 개



우리나라(학생회원)  
2009년 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 학사 졸업  
2011년 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 공학석사 졸업  
2011년~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 박사과정  
<주관심분야 : 통신신호처리, 지능형 교통시스템>



한 동 석(평생회원)-교신저자  
1987년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업  
1989년 KAIST 전기 및 전자공학과 공학석사 졸업  
1993년 KAIST 전기 및 전자공학과 공학박사 졸업  
1987년~1996년 삼성전자 기술총괄 신호처리 연구소 선임연구원  
1996년~현재 경북대학교 IT대학 교수  
2006년~2008년 정보통신연구진흥원 디지털 TV/방송사업단 단장  
2011년~현재 경북대학교 IT·자동차 융합연구센터장  
<주관심분야 : 통신신호처리, 지능형 교통시스템>