

논문 2012-49-11-15

# VANET에서 적정 전송속도를 지원하는 MAC 설계

(Design of MAC Algorithm Supporting Adaptive Transmission Rate on VANET)

박 상 현\*, 김 남 일\*\*

(Sanghyun Park and Nam-il Kim)

## 요 약

VANET(Vehicular Ad-hoc Network)을 지원하기 위해 IEEE 802.11p 규격이 표준화 진행중에 있다. 802.11 MAC 프로토콜은 전송률에 관계없이 모든 노드들에 동일한 확률의 채널 획득 기회를 부여하므로, 전송률이 낮은 노드가 상대적으로 채널 점유시간이 길어져서 전송률이 높은 노드도 전송률이 낮은 노드의 전송률로 하향 평균화되는 문제와, 노드가 많아질 경우 충돌 확률이 높아지는 문제가 있다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 일단 채널을 획득한 단말기가 다른 노드와의 채널획득 경쟁의 우위를 일정 기간 유지하는 알고리즘에, 현재 전송률에 따라 적절히 연속전송 한계값을 정하는 TXOP 개념을 더했다. CW의 폭을 표준보다 더 넓게 설정여 효과적으로 충돌을 회피하면서도 대기시간을 최소화하면서 또한 채널 점유 시간에 따라 연속전송 한계값을 다르게 정하는 방법을 통해 전체 네트워크의 향상을 보이고 있다.

## Abstract

VANET(Vehicular Ad-hoc Network), standardization of IEEE 802.11p specification is in process. 802.11 MAC protocol grants all nodes equal opportunity to acquire channel without regard to their bit-rates, making it possible for lower bit-rate nodes to occupy communication channel for a fair amount of time thus keeping the higher bit-rate nodes from acquiring connection channel which downward-equalize the overall network performance. Also with the 802.11p MAC protocol, the probability of collision occurring increases as the number of nodes grow. The proposed algorithm is a new MAC protocol that guarantees nodes with acquired channel a firm priority over other nodes for a fixed amount of time with TXOP concept added to 'packet burst' according to the current transmitting speed. This newly designed algorithm allows the construction of wireless network with enhanced network throughput, decreased probability of collisions as well as providing the means to grant each node a fair chance of acquiring connection according to their channel conditions. The algorithm sets the CW's (Contention Window) width wider than the standard's and modulates the continuous transmitting threshold value depending on channel acquired time, thus improving the overall performance of the network.

**Keywords** : VANET, IEEE 802.11p, TXOP

## I. 서 론

VANET(Vehicular Ad-hoc Network)을 통한 차량의

무선 통신 기능이 중요해지고, 그에 근거해서 차량 간의 Ad-hoc 네트워크를 통해 차량 상호간의 돌발 상황 정보 교환 등을 구현하거나, 가로등에 설치된 RSU(Road Side Unit)를 통해 교통정보나 양방향 멀티미디어 서비스를 지원하려는 시도들이 계속되고 있다. 특히 IEEE 802.11<sup>[1]</sup>에서 파생된 IEEE 802.11p<sup>[2]</sup> 규격이 현재 표준화가 진행 중에 있다.

802.11p의 기반 기술인 802.11 MAC 프로토콜에 대한 효율을 향상시키는 알고리즘으로 ARF<sup>[3]</sup>와 같은 전송률

\* 정회원, (주)성우모바일  
(Sungwoo mobile)

\*\* 정회원, 가천대학교 에너지IT학과  
(Department of Energy and Information  
Technology, Gachon University)

접수일자: 2012년10월16일, 수정완료일: 2012년10월30일

선택(Rate-adaptive) 방식과 OAR<sup>[4]</sup>과 같은 TXOP (Transmission Opportunity) 방식이 연구되고 있는데, 이들은 정지 또는 보행 수준의 이동 환경만 고려되어 있다. VANET에 사용될 802.11p의 경우 802.11에서 사용되는 DCF 알고리즘이 그대로 사용되기 때문에, 앞서 언급된 전송률 선택 방식이나 TXOP 방식에 대해서도 차량의 고속 이동환경에 따라 생기는 급격한 채널 변화<sup>[6]</sup>, 차등 전송모드에 따른 전송속도 하향 평준화문제<sup>[4]</sup>, 노드 수 증가에 따른 충돌확률 증가문제<sup>[5]</sup>를 고려하는 연구가 필요하다.

본 논문에서는 충돌 확률을 낮추고 TXOP방식의 OAR처럼 연속 전송방식을 적용하면서도 다른 노드의 경쟁 기회를 배제하지 않는 OFAR (Opportunistic Fast Auto Rate) 알고리즘을 제안한다. OFAR에서는 채널 상태가 좋은 노드에게 채널 점유의 확률을 높게 설정해 주기 위해 CWmin (Contention Window minimum)값을 작게 하여 채널을 점유한 노드의 백오프 시간(backoff time)을 줄이고, CWmax (Contention window maximum)를 크게 하여 충돌 확률을 낮추었다. 또한 OAR과 같은 TXOP 개념을 도입하면서도 QoS 지원이 가능하도록 CW 값을 허용하여 다른 긴급한 메시지를 전송할 노드가 채널을 획득할 기회를 제공하는 새로운 방식의 TXOP 방법을 사용했다.

이를 통해서 다양한 채널 상태의 차량들에게 채널 상태에 적합한 전송속도를 확보해주며 충돌 문제를 효과적으로 해결하고 동시에 QoS를 지원할 수 있어서 VANET 환경에 응용하기에 적합하다.

본 논문의 II장에서는 차등 전송모드와 관련된 기존 연구들과 VANET에서의 문제점들을 살펴보고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 OFAR (Opportunistic Fast Auto Rate)의 알고리즘과 동작 메커니즘을 통한 문제 해결을 논하였으며 시뮬레이션에 적용하기 위한 제안 알고리즘 구현과 새로운 802.11p 모듈을 구현하였다. IV장에서는 제안된 알고리즘의 성능 검증을 위해 실험을 수행하였으며 그 결과에 대해 고찰하였다. V장에서는 결론 및 향후 과제에 대해 논의하였다.

## II. 관련 연구

### 1. ARF

ARF(Auto Rate Fallback)<sup>[3]</sup>는 채널의 상태에 따라

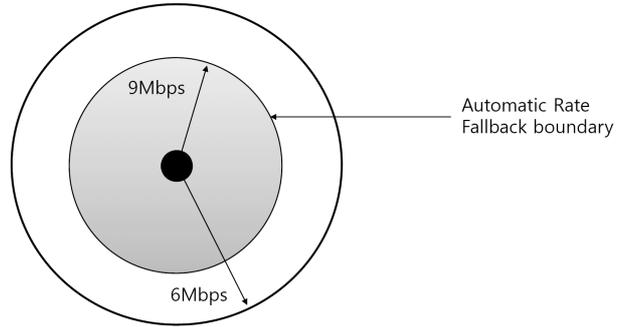


그림 1. 데이터 전송률과 셀 영역과의 관계  
 Fig. 1. The relation between data rate and cell regions.

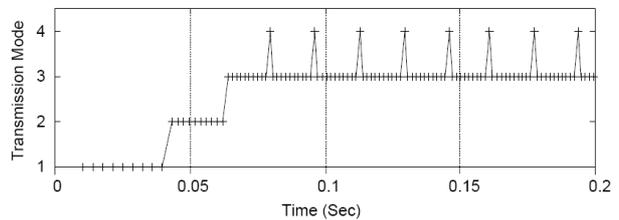


그림 2. ARF의 타임라인  
 Fig. 2. Timeline of ARF.

자동으로 적절한 전송률을 선택하는 알고리즘이다.

노드는 가장 높은 전송률부터 전송을 시도하게 되는데 두 번 연속으로 전송을 실패하면 한 단계 낮은 전송률로 전송을 시도하고 새로운 타이머를 예약하고, 그림 2와 같이 타이머가 종료될 때까지 10번 이상의 전송을 성공하였다면 이후엔 한 단계 높은 전송률로 전송을 시도하며 이 때 전송을 실패하면 바로 원래의 전송률로 내려가게 된다.

ARF는 무선 네트워크 장치에 적용하기가 쉬우며 부가적인 장치가 필요 없기 때문에 널리 사용되고 있다. 하지만 채널 상태가 개선되지 않는 경우에도 10번의 전송 성공 이후에 매번 상위 전송률의 전송을 시도하다가 전송 실패를 하게 되어 오버헤드가 된다. 또한 ARF는 패킷 손실이 발생했을 때 채널 상태 문제가 아니라 충돌(collision) 때문에 일어난 것이어도 그 점을 구분하지 못하고 무조건 전송률을 낮추는 선택을 하게 되므로 노드가 많아질 경우 성능이 떨어지게 된다.

### 2. OAR

OAR(Opportunistic Auto-Rate)<sup>[5]</sup>은 높은 전송률을 가지고 있는 노드에게 기본 전송속도와 비례하여 연속 전송 횟수를 결정하여 fragment들을 연이어 보낸다. 따

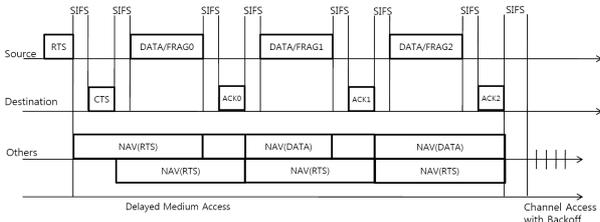


그림 3. OAR의 타임라인  
Fig. 3. Timeline of OAR.

라서 그림 3과 같이 채널 상태가 좋은 노드가 다른 노드보다 더 많은 fragment를 연속적으로 전송하게 된다. 예를 들어서 IEEE 802.11a에서 54Mbps 전송률로 전송 가능한 노드는  $54 \div 6 = 9$ 개의 fragment를 연속으로 보낸다.

그러나 일단 채널을 점유한 노드는 연속 전송을 마치지까지 다른 노드의 전송을 허용하지 않으므로 긴급메시지 전송이 필요한 VANET에 적합하지 않으며, 채널 상태가 급격히 저하되거나 링크에러가 발생시 기존에 전송했던 fragment들을 모두 폐기해야 하므로 throughput이 크게 저하되는 문제가 있다<sup>[6]</sup>.

### III. 제안 알고리즘

VANET 환경에서는 대량의 노드에 따른 충돌 확률 증가문제, 연속전송의 QoS 장애문제와 fragment 손실 문제를 동시에 해결하기 위한 연구가 필요하다. 제안하는 OFAR에서는 채널 상태가 좋은 노드에게 채널 점유의 확률을 높게 설정해주기 위해 CWmin 값을 작게 하여 채널을 점유한 노드의 백오프 시간을 줄이는 것과, CWmax를 크게 하여 충돌 확률을 낮추었다. 또한 TXOP 개념을 도입하면서도 QoS 지원이 가능한 새로운 방식의 TXOP 방법을 사용했다.

#### 가. 전송률에 따른 연속전송 알고리즘

OAR에서 사용되는 TXOP방식은 어떤 노드가 채널을 획득하면 주변 노드들에 NAV가 설정되게 하여 QoS나 긴급 메시지를 지원할 수 없는 한계가 있다. OFAR은 연속전송 한계값(TXOP threshold)을 정할 때 OAR의 경우처럼 전송속도의 비율로 결정하지 않고, 한 패킷을 전송할 때 소요되는 시간 길이에 대해 기본 전송률로 전송할 때와 현재 전송률로 전송 했을 때의 시간의 비율을 통해 연속적으로 전송 가능한 데이터의 개

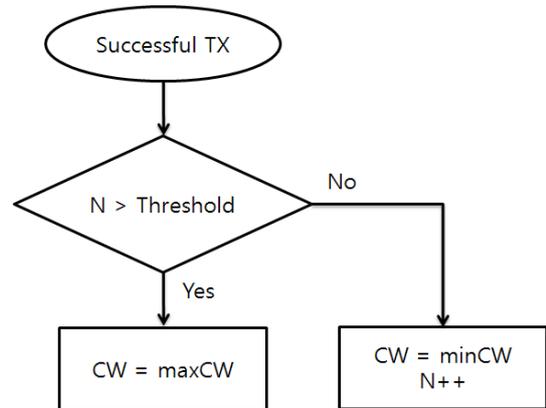


그림 4. 연속전송의 한계값  
Fig. 4. Tx bursting threshold.

수를 계산한다.

그림 4의 한계값을 정하는데 OFAR에서는 식(1)에 근거해서 패킷전송 시간길이를 구하고 식(2)와 같이 한계값을 전송률 별로 다르게 두어서 높은 전송률의 노드일수록 더 많은 데이터를 연속적으로 전송할 수 있게 한다.

$$T_s(\text{Mode}) = T_{DIFS} + T_{idle} + T_{DATA}(\text{Mode}) + T_{SIFS} + T_{ACK} \quad (1)$$

$$TXOP_{OFAR}(\text{Mode}) = \frac{T_s(\text{Base Mode})}{T_s(\text{Mode})} \times K \quad (2)$$

이와 같이 OFAR에서는 전송속도의 비율을 기준으로 하지 않고, 전송 소요 시간의 비율을 통해 연속적으로 전송하는 데이터의 개수를 계산한다.

노드 개수를 1, 10, 50, 100으로 4가지 경우로 나누어

표 1. 전송률에 따른 OFAR 한계값  
Table 1. OFAR threshold by transfer rate.

Rate		$TXOP_{OFAR}(\text{Mode})$			
Mode	bitrate (Mbps)	노드 개수(N)			
		1	10	50	100
0	3	12	12	12	12
1	4.5	18	18	18	18
2	6	23	23	23	23
3	9	33	33	33	33
4	12	41	42	42	42
5	18	59	60	60	60
6	24	70	71	71	71
7	27	76	77	77	77

구한 전송률에 따른 OFAR의 연속전송 한계값을 표 1에 정리하였다. UDP에 상수 K를 12로 하였는데, 노드 개수에 관계없이 TXOP 값은 거의 비슷함을 알 수 있다. 이는 OFAR의 CW 처리방식에 의해 충돌 가능성을 낮추었기 때문에 얻게 된 결과이다. 상수 K는 여러 차례의 시뮬레이션을 통해 UDP의 경우 12, TCP의 경우 50을 택하는 것이 최적이었다.

$TXOP_{OFAR}(Mode)$ 를 해당 전송 mode에서 연속적으로 보낼 수 있는 최대 데이터 개수라고 할 때 각 mode에 해당하는 평균전송률은 식(3)과 같이 계산할 수 있다.

$$Throughput(Mode) = \frac{B_{PAYLOAD}}{T_S(Mode) \times TXOP_{OFAR}(Mode) + T_C(Mode) \times P_C} \quad (3)$$

연속적인 전송 이후에는 모든 노드들이 동등하게 다 시 경쟁하므로 해당 mode로 전송하려는 노드의 개수를  $N(Mode)$ 라고 할 때 전체 네트워크의 throughput은 식(4)와 같이 이끌어 낼 수 있다.

$$Throughput_{TOTAL} = \frac{\sum_{Mode=0}^7 Throughput(Mode) \times N(Mode)}{\sum_{Mode=0}^7 N(Mode)} \quad (4)$$

$Throughput_{TOTAL}$  값은 네트워크의 토폴로지 상황에 따라 매우 다양한 결과가 나오게 되고 이론적으로 산출하기가 곤란하다. 따라서 시뮬레이션을 통해 그 값을 도출하고 성능을 평가할 수 있다.

#### 나. 충돌회피 기법

VANET 환경에서 나타나는 노드 증가에 따른 충돌 확률 증가를 피하기 위해 CWmax 값을 정상 값인 255 대신 1023으로 변경하였다. CW의 범위가 커지므로 그만큼 충돌 가능성이 낮아진다.

전송 획득 확률은 식(5)와 같다.

$$p = 1 / (E[B] + 1) \quad (5)$$

여기에서  $E[B]$ 는 백오프 평균시간으로 식(6)과 같다.

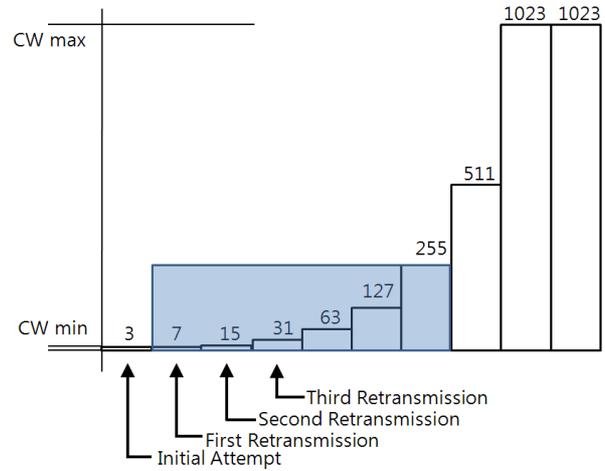


그림 5. OFAR의 CW 이진 지수적 증가  
Fig. 5. CW Binary exponential increment of OFAR.

$$E[B] = (E[CW] - 1) / 2 \quad (6)$$

$E[CW]$ 는 전송 패킷의 평균 CW 크기로서, 정리하면 패킷 전송의 확률은 식(7)과 같이 정리된다.

$$p = 2 / (E[CW] + 1) \quad (7)$$

따라서 CW의 범위를 늘리면 충돌하지 않고 패킷을 획득할 확률이 그만큼 높아지게 된다.

## IV. 성능평가 및 고찰

### 1. 노드 개수에 따른 성능평가

시뮬레이션에 구성된 노드들의 토폴로지는 그림 6, 그림 7과 같다. 802.11p의 전송거리에 맞게 RSU를 중심으로 1000m 거리에서부터 5, 10, 20, 30, 50개의 노드를

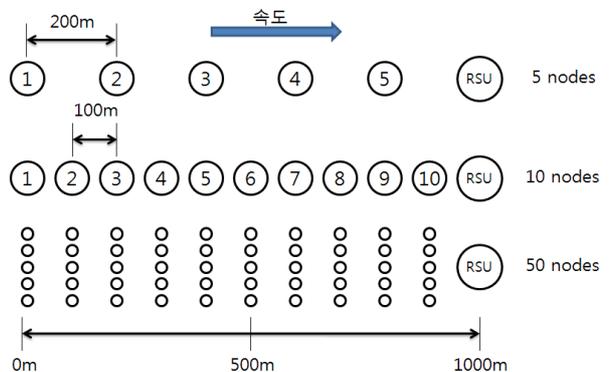


그림 6. 노드 개수별 토폴로지  
Fig. 6. Topology by amount of nodes Throughput.

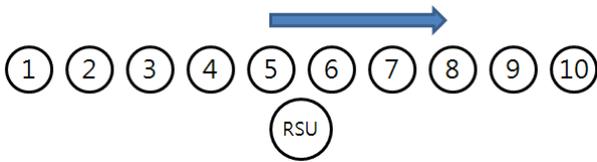


그림 7. 고정된 RSU를 관통하며 지나가는 이동 노드들  
Fig. 7. Moving nodes bypassing fixed RSU.

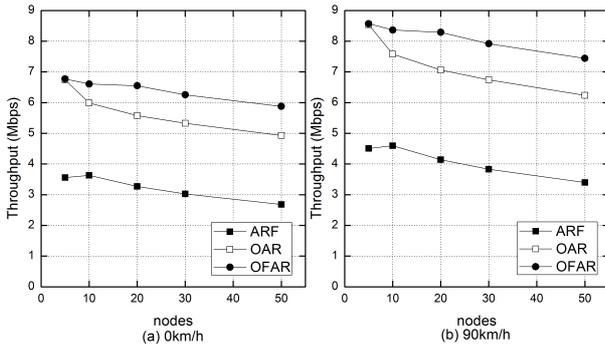


그림 8. 노드 개수별 throughput  
Fig. 8. Throughput of node number.

배치했다. 100m 간격으로 그룹을 지었고, 5개 노드의 경우 200m간격으로 두어서 전송모드를 고르게 분포하게 했다. 속도를 0, 90km/h로 하고, 전체가 1000m의 거리를 이동하도록 실행하였다.

그림 8은 노드가 각각 5, 10, 20, 30, 50개 일 때의 throughput이다. 노드의 수가 많아질수록 전체적인 전송률은 저하되는 모습을 보인다. ARF는 약 50% 이하의 전송률을 나타내는데, 이는 가장 먼 노드의 낮은 전송모드에 의해 전송속도 하향 평준화 문제를 겪는 것이다. OFAR의 경우 충돌과 오버헤드가 최소화되면서도 높은 전송률을 확보한 노드에게 더 많은 전송기회를 줌으로써 전반적인 네트워크의 평균전송률은 향상되는 결과가 나타난다. 속도가 90km/h인 경우 정지상태보다 오히려 Throughput이 향상되게 나타났는데, 이는 속도에 의한 패킷 손실보다는 그림 7과 같이 노드들의 위치가 RSU에 가깝게 스치면서 이동해가는 과정이기 때문에 그만큼 채널상태가 더 나아져서 나타나게 되는 결과이다. 그 밖의 다른 특성은 정지상태일 때와 거의 비슷하게 나타난다.

2. 노드 속도에 따른 성능평가

VANET은 차량용 네트워크이므로 고속 이동에 대한 고려가 필요하다. ns-2 시뮬레이션에서는 이동 속도에 따른 PER(Packet Error Rate)이 제공되지 않기 때문에

표 2. 속도에 따른 PER  
Table 2. PER by velocity.

Velocity(km/h)	PER (%)
90	2.45
100	4.11
110	4.62
120	6.67
130	8.93
140	9.8

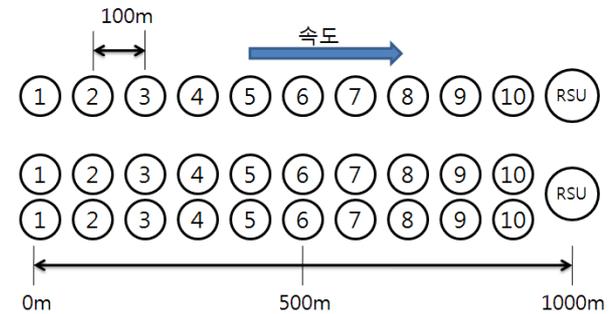


그림 9. 100m 간격의 10개와 20개의 노드  
Fig. 9. 10 and 20 nodes of 100m interval.

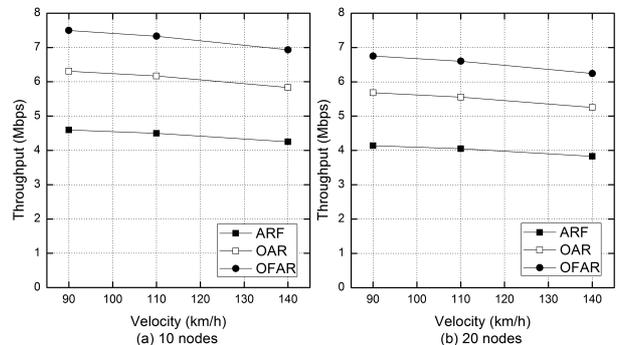


그림 10. 노드 속도별 throughput  
Fig. 10. Throughput of node velocity.

표 2에 따른 PER 값을 별도로 산출해서 PER 확률로 Packet Loss가 발생하도록 시뮬레이션을 구성했다.

토폴로지는 그림 9와 같이 노드를 10개인 경우와 20개인 경우로 구성하였고, 채널 분포를 균등하게 하기 위해서 노드 간격을 100m로 설정하였다.

이 절에서는 노드가 10개인 경우와 20개인 경우 각각 90km/h, 110km/h, 140km/h로 이동시키면서 얻은 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

그림 10은 90km/h, 110km/h, 140km/h로 이동할 때의 throughput이다.

속도에 따라 PER이 증가하면서 throughput이 떨어

짐을 볼 수 있다. 속도는 각각 다르지만 측정 시간은 속도에 반비례하여 노드의 이동경로가 동일하기 때문에 PER 확률에 따른 패킷 손실이 반영된 값이 나오고 있다. OAR의 경우 채널의 변화에 따라 발생하는 단편화 패킷 손실 문제로 더욱 성능이 떨어짐을 나타내고 있는데 비해, 단편화 방법을 사용하지 않는 OFAR은 높은 성능을 유지함을 볼 수 있다. 20노드의 경우 전체적으로 10노드의 경우에 비해 throughput이 낮아진 것을 볼 수 있다. 노드가 늘어나서 채널 경쟁이 더 심해지고 충돌확률이 높아진 것이다.

## V. 결 론

본 논문에서 제안한 알고리즘에서는 채널 상태가 좋은 노드에게 채널 점유의 확률을 높게 설정해주기 위해 CWmin 값을 작게 하여 채널을 점유한 노드의 백오프 시간을 줄이는 것과, CWmax를 크게 하여 충돌 확률을 낮추었다. 또한 OAR과 같은 TXOP 개념을 도입하면서도 QoS 지원이 가능하도록 CW 값을 허용하여 다른 긴급한 메시지를 전송할 노드가 채널을 획득할 기회를 제공하는 새로운 방식의 TXOP 방법을 사용해 전체 네트워크의 향상을 보였다.

노드 개수에 따른 시뮬레이션을 통해서도 노드의 증가로 인해 충돌확률이 높아지는 문제를 충돌회피 알고리즘을 통해 OFAR이 효과적으로 해결함을 확인했고, 노드의 이동 속도에 따른 시뮬레이션을 통해 RSU와 노드와의 급변하는 거리에 따른 채널변화에 적절히 대응하는 알고리즘임을 보였다.

본 논문에서는 IEEE 802.11p의 초안(draft) 버전을 적용하였는데, 802.11p 표준규격(specification)을 토대로 알고리즘을 추가적으로 연구하는 것이 필요하리라 생각된다. 또한 더 다양한 시뮬레이션 토폴로지와 그에 맞는 PER 모델을 새롭게 설계하고 QoS를 고려한 시나리오를 통해 MAC 프로토콜 알고리즘을 더욱 최적화시킬 수 있으리라 기대된다.

## 참 고 문 헌

[1] IEEE 802.11 Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, IEEE, Aug. 1999.

[2] IEEE P802.11p/D3.0, Draft Amendment for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE), IEEE, Jul. 2007.  
[3] A. Kamerman and L. Monteban, "WaveLAN-II: A high-performance wireless lan for the unlicensed band," AT&T Bell Laboratories Technical Journal, pp. 118-133, 1997.  
[4] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel, and A. Duda, "Performance Anomaly of 802.11b," IEEE INFOCOM 2003, Vol. 2, pp. 836-843, Mar. 2003.  
[5] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl, "A rate-adaptive MAC protocol for multi-hop wireless networks," in Proc. ACM/IEEE Mobicom, Jul. 2001.  
[6] Zhai H, Wang J, Chen X, and Fang Y, "Medium access control in mobile ad hoc networks: challenges and solutions," Wiley InterScience WIRELESS COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING Magazine, Vol. 6, pp. 151-170, Mar. 2006.

— 저 자 소 개 —



**박 상 현**(정회원)  
 1998년 건국대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2001년 건국대학교대학원 전자  
 정보통신공학과 석사졸업.  
 2009년 건국대학교대학원 전자  
 정보통신공학과 박사졸업.

2012년 현재 (주)성우모바일 책임연구원  
 <주관심분야 : 컴퓨터네트워크, 센서네트워크, 임  
 베디드시스템>



**김 남 일**(정회원)-교신저자  
 2000년 건국대학교 전자공학과  
 박사 졸업.  
 2012년 현재 가천대학교 에너지IT  
 학과 교수

<주관심분야 : 컴퓨터네트워크,  
 트래픽제어, 유비쿼터스, 유헬스케  
 어, BcN >