

## 차량통신을 위한 MAC 기술

강문수\* · 정일용\*\*

### 1. 서 론

VANET (Vehicular Ad hoc Networks)는 다수의 차량들이 무선통신을 이용하여 차량과 차량(V2V) 또는 차량과 도로 상의 기지국간(V2I)의 네트워킹을 자율적으로 형성하는 차세대 네트워킹 기술이다. VANET의 특징으로 각각의 노드가 고속으로 이동하여, 네트워크 토폴로지 및 노드 밀도의 급격한 변화, 이로 인한 잦은 네트워크 단절, 짧은 링크 연결 시간, 높은 패킷 손실률, 무선 채널의 불안정성 등이 있다.

VANET(Vehicular Ad Hoc Mobile Networks)의 최종적인 목적은 운전자와 차량의 안전 보호에 있다. 이를 위해 도로 상의 급작스러운 차량 사고를 후방에 전달하여, 추가적인 사고를 미연에 방지하거나, 도로 및 주변 교통 정보를 모니터링하여, 교통의 흐름을 원활하게 유지한다. 그러므로 VANET은 실시간으로 정확하게, 운전

자, 차량, 도로 및 교통의 상태를 다른 차량에 전송하여, 위험을 미리 대비할 수 있도록 해야 한다. 이와 동시에 외부 네트워크 및 인터넷과의 연결을 지원하여, 멀티미디어 서비스 등을 사용할 수 있어야 한다. 그림 1은 VANET 기술의 적용 예를 보여 준다.

VANET의 구현은 IEEE 802.11기반의 WiFi 뿐만 아니라 WiBro, 스마트 안테나 및 MIMO, SDR 기술 등 다양한 무선 통신 기술과 접목되어 다양한 서비스 및 응용분야를 창출할 수 있는 새로운 네트워킹 기술이라고 할 수 있다. 특히, VANET의 높은 이동성을 수용하기 위해 멀티홉 라우팅 및 자동 구성(auto-configuration), 자동 복구(auto-healing), 멀티홉 인터넷 게이트웨이 등과 같은 여러 기술들의 융합은 VANET의 실현에 매우 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.

이러한 높은 가능성을 가진 VANET의 모든 조건을 만족시키는 기술은 부분적으로 개발이 되어 있거나 아직 개발이 되어 있지 않아서 많은 부분 재설계가 필요한 상황이다. 대부분이 기존의 MANET(Mobile Ad hoc Networks) 네트워크 프로토콜을 응용하여 구현하고 있으나, MANET의 네트워크 프로토콜은 처음부터 VANET의 특성이 고려되지 않았기 때문에, 위험 상태를 전송하는 실시간 정보 전송 및 차량의 이동성 관리에

\* 교신저자(Corresponding Author): 정일용, 주소: 광주광역시 동구 서석동(501-759), 전화: 062)230-7712, FAX: 062)233-6896, E-mail: iyc@chosun.ac.kr

\* 조선대학교 컴퓨터공학부 전임강사  
(E-mail: mskang@chosun.ac.kr)

\*\* 조선대학교 컴퓨터공학부 교수

\*\* 본 논문은 정보통신기술지 2008년 5월호에 실렸던 논문, "V2I, V2V 차량 통신을 위한 MAC 기술"을 발췌, 요약했음. 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심원천 기술개발사업의 일환으로 수행되었음[2007-F-039-01, VMC 기술개발].

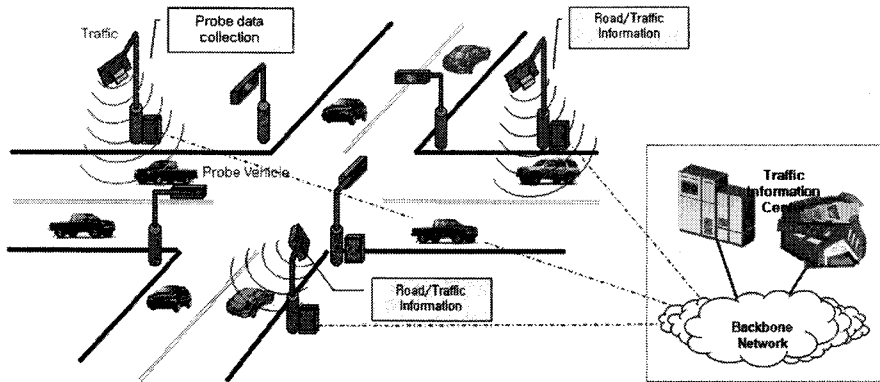


그림 1. VANET의 V2I, V2V 적용 예

적합하지 않다. 차량들이 고속 이동 또는 서행 및 정차 중에도, 신뢰적인 네트워크 연결을 보장 할 수 있는 새로운 VANET용 V2I, V2V 프로토콜의 개발이 필요하며, 이러한 네트워크 프로토콜 중 MAC 프로토콜 및 라우팅 프로토콜은 차량 간의 실시간 위험정보 전송시간을 직접적으로 결정하는 중요한 프로토콜로, 이 프로토콜들의 성능 향상이 VANET 전체 성능향상으로 연결된다.

본 논문에서는 VANET의 MAC 표준 규격인 WAVE를 간략히 살펴보고, WAVE가 가질 수 있는 근원적인 문제점에 대한 소개와 그 문제를 해결할 수 있는 새로운 VMAC을 소개한다.

## 2. 차량용 MAC 표준화 동향

유럽은 ADHOC MAC [1]을 Car TALK2000 프로젝트 [2]를 통해 VANET을 위한 네트워크 표준으로 추진하고 있다. ADHOC MAC은 RR-ALOHA [3]에 기반 한 TDMA기법을 사용하고 있다. TDMA를 사용함으로써 네트워크의 밀집도가 높을 때에도, 정상적인 네트워크 성능을 보장할 수 있으나, VANET과 같이 이동성이 빠른 네트워크에서 TDMA의 동기화 및 슬롯 할당이 정확히 하기가 힘들어지고, 이런 문제는 전체

적인 네트워크의 성능 저하로 연결된다.

IEEE에서는 802.11p [4]와 IEEE1609 [5]를 WAVE(wireless access in vehicular environments)라 칭하고 이것을 텔레매틱스 무선 인프라의 표준 규격으로 추진하고 있다. 유럽도 기본적으로 이것과 유사한 규격으로 진행될 것으로 예상되어 WAVE가 세계 표준 규격으로 확립될 가능성이 높아지고 있다. IEEE 802.11p는 WAVE 시스템의 물리층과 MAC 층을 정의하고 있으며, 상위 계층에 해당하는 IEEE 1609는 MAC 층의 일부와 네트워크층 이상을 정의한다. 그러나 이러한 random contention 기반의 프로토콜은 네트워크의 밀집도가 낮을 때는 네트워크를 정상적으로 운용할 수 있으나, 밀집도가 높을 때는 전송 충돌이 빈번하여, 네트워크의 성능이 저하되는 현상이 발생한다.

V2I, V2V의 통신 표준을 정의하는 WAVE는 IEEE 1609.1, 1609.2, 1609.3 및 1609.4와 IEEE 802.11p로 구성된다. IEEE 1609.1은 OSI 7계층에서 응용 계층 및 세션에 대응되는 부분으로, ITS에 관한 여러 가지 서비스 및 응용에 대한 표준을 정의하고 있다. IEEE 1602는 V2I, V2V의 무선 통신에서 발생할 수 있는 여러 가지 보안 문제에 대해 정의하며, IEEE 1609.3은 전송계층과 네트

표 1. WAVE와 Ad hoc MAC의 표준 기술 비교

	WAVE (IEEE 802.11p)	Ad hoc MAC
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IEEE에서 Wireless Access in Vehicular Environment의 V2V, V2I 통신 표준</li> <li>• 차량 사고 시, 500ms이내 반경 500m안의 차량에 메시지 전달</li> <li>• CSMA/CA 기반</li> <li>• 하나의 control channel과 다수의 data channel을 사용</li> <li>• 5.850~5.925GHz대역사용(Licensed ITS Radio Service Band)</li> <li>• OFDM(V2V, V2I)사용, 반경 1km, 시속 200km의 속도까지 지원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• European project CarTALK2000에서 표준화[5]</li> <li>• TDMA를 사용하기 위한, slotted frame의 구조</li> <li>• UMTS UTRA_TDD (Terrestrial Radio Access Time Division Duplex)</li> <li>• <b>Reliable R-ALOHA (RR-ALOHA)</b>기반</li> <li>• Dynamic TDMA</li> <li>• Two hop neighbors' data transmission schedule</li> </ul>
기술의 성숙도	• 거의 표준화가 완료되었으며, 보완 중	• 표준화가 진행 중이며, 개발 중
실시간 데이터	• CSMA 기반으로 실시간 전송이 완전히 보장되지 않음. 통계적 실시간 전송 보장	• TDMA 기반으로 일정 이상 실시간 전송 보장
이동성	• 높은 이동성을 지원	• TDMA 슬롯 스케줄링의 제약으로 높은 이동성을 지원하는데 한계
신뢰성 멀티캐스트 브로드캐스트	• 수신자의 신뢰적 데이터 수신을 보장하지 못함	• TDMA스케줄링을 통해 전송 충돌을 사전에 제거하므로 신뢰적 데이터 수신을 보장함
시간 동기화	• 불필요	• 필요

워크 계층에 대응되는 부분으로 addressing과 네트워킹 서비스에 대한 정의를 하고 있다.

IEEE 1609.4는 멀티채널 컨트롤, IEEE 802.11p는 물리계층의 멀티채널 및 OFDM과 CSMA기반의 MAC계층에 대한 정의를 하고 있다. 구체적으로 5.850~5.925GHz의 대역폭을 10MHz 씩 7개의 채널로 나누고, 각각을 하나의 control채널과 6개의 service채널로 사용한다. 그러나 표준에서는 멀티 수신 안테나와 단일 수신 안테나 모두 허용하기 때문에 서로 다른 채널을 동시에 사용하지 못한다. 대신 WAVE 디바이스는 시간에 따라, control 채널, service 채널, 다시 control 채널, service채널의 순서로 채널이 변경한다. 각각의 service 채널 사이에 control 채널이 반복적으로 들어가는 이유는 충돌 경고와 같은 실시간 전송 메시지를 시간 내에 전송하기 위해서이며, 시간적 제약이 덜한 응용 서비스의 메시지는 service채널

을 통해 전송된다. 또, 각 채널은 메시지를 우선순위에 따라 차등 전송하기 위해, IEEE 802.11e의 원리를 적용하여, 메시지의 클래스를 4개로 나누고, 상위 클래스로 갈수록 contention window를 작은 값으로, 하위 클래스로 갈수록 contention window를 큰 값으로 설정한다. MAC 알고리즘은 기존의 802.11의 CSMA/CA를 동일하게 사용하고 있다.

V2I의 경우, 차량의 고속 이동을 지원하기 위해, 기존의 Infrastructure 모드 및 Ad hoc 모드와 달리, 별도의 WAVE 모드를 정의하고 있다. WAVE 모드에서는 BSS의 설정이 적용되지 않으며, WAVE BSS (WBSS) 설정만으로 WAVE 디바이스간 통신이 가능하다. WBSS는 WAVE 모드로 동작하는 하나의 WAVE 서비스 제공자와 복수의 WAVE 서비스 사용자로 구성되며, authentication과 association과정 없이, join과정

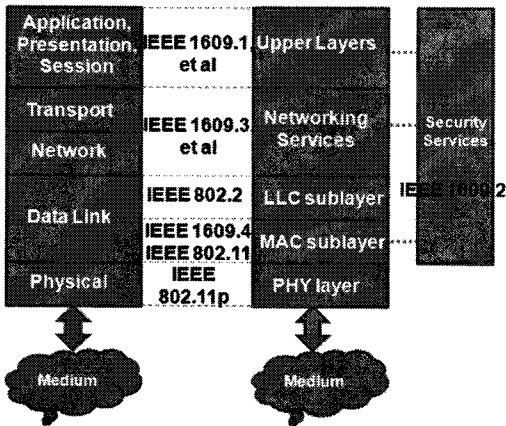


그림 2. WAVE 표준 구성도

만으로 WBSS의 서비스 사용이 가능하다. authentication과 association이 과정이 생략되어 있으므로, fast handoff가 가능하며, 차량의 고속 이동 지원에 용의하다. WBSS 모드에서는 WAVE advertisement에 사용되는 beacon, RTS/CTS 및 데이터 프레임 등이 사용되며, beacon은 필요시에만 생성된다.

### 3. IEEE 802.11기반 MAC 프로토콜

WAVE에서 정의하고 있는 MAC프로토콜은 기존의 무선 랜의 표준인 CSMA 기반의 MAC 프로토콜을 정의하고 있는데 기존 논문[6]에서 지적되었듯이 CSMA 기반의 MAC프로토콜은 노드수의 증가에 따른 throughput의 저하가 대표적인 문제점으로 지적되고 있다. 이는 contention 기반을 사용하는 MAC protocol에서 노드의 증가에 따라 contention의 확률이 높아지게 되는 현상이기 때문이다. 차량 간 통신 환경은 중앙 집중적인 제어장치가 없는 Ad hoc network을 구성하게 되며 동일한 범위 내에서도 차량의 수에 따른 네트워크의 node density가 수시로 변화하는 특성을 나타낸다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결할 수 있

는 새로운 MAC 프로토콜을 소개한다.

#### 3.1 기본 동작

VANET용 MAC 프로토콜인 IEEE 802.11p는 802.11 계열의 MAC 프로토콜[7]로 물리계층의 전송 방법이 기존의 802.11계열과 다를 뿐(멀티채널의 사용), 무선 채널의 사용권을 획득하는 방법은 동일하며, 무선 채널의 사용권 획득(Media Access Control: MAC)이란 측면에 초점을 맞추어 분석한다.

• IEEE 802.11 MAC의 패킷 전송 과정 개요

(1) 전송할 패킷이 있는 경우, 그리고 그 패킷이 첫번째 패킷이 경우, 노드는 DIFS(distributed interframe space)라는 시간 동안 채널이 idle 상태인지 확인한다. DIFS동안 사용이 되지 않으면, 채널을 아무도 사용하지 않는 것으로 생각하고, 패킷을 전송한다.

(2) DIFS 동안 채널이 사용되는 것(busy)을 감지하면, 채널이 idle상태가 될 때까지 기다린다. 채널이 idle 상태가 된 직후부터, DIFS 만큼 idle이 유지되는 지를 다시 확인한다. 이것은 임의의 노드의 채널 사용이 완전히 끝났음을 확인하는 것이다. 채널이 DIFS만큼 idle하다는 것이 확인되면, 패킷을 전송하고자 하는 각각의 노드들은 임의의 시간 동안 패킷 전송을 지연 시키는 위해, 랜덤한 값( $cw \in 0 \sim CW (=CW_{min})$ )을 선택(random backoff)한다. 이것은 동시에 패킷을 전송함으로

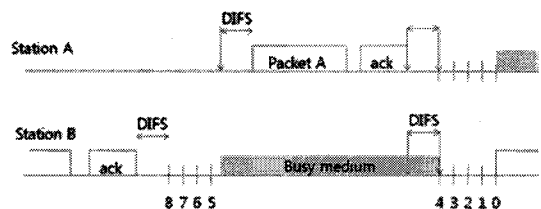


그림 3. CSMA 무선 채널 접근 방법

써 발생하는 패킷 충돌을 막기 위해서이다. 여러 노드들 중 최소의 cw를 선택한 노드가 채널을 점유하여 패킷을 전송하게 된다.

(3) 각 노드는 backoff 도중, 패킷 전송이 감지되면, backoff 과정을 중단한다. 패킷 전송이 끝나게 되면, DIFS만큼 기다린 뒤, 남은 시간 동안 backoff를 수행하여 전송한다.

(4) 각 노드는 backoff 과정이 끝나 패킷 전송을 시도하여, 패킷 전송 실패를 감지하게 되면, CW B CW\*2로 contention window를 증가시킨 뒤, 다시 cw를 선택하여, 패킷 전송을 위한 backoff를 시작한다.

(5) 직전에 패킷을 전송했던 노드는 항상 DIFS + CW만큼의 시간 뒤에 패킷 전송을 시도한다. 이것은 하나의 노드가 채널을 독점적으로 점유하는 것을 방지하기 위한 것이다.

그림 4는 RTS/CTS를 사용하였을 때, 채널을 점유하는 과정을 보여주는 그림이다. backoff 과정은 기본적인 전송과정과 동일하고, backoff 종료 시, 각 노드가 DATA를 바로 보내는 것이 아니라, RTS (Request to send)를 먼저 보낸다. 수신자는 그에 대한 응답으로 CTS (Clear to send)를 보내고, 송신자는 이를 수신하게 되면, DATA를 송신하게 되고, 수신자는 성공적으로 DATA를 수신하였다는 것을 ACK를 보냄으로 송신자에게 알리게 된다. RTS/CTS 메시지는 DATA에 비해

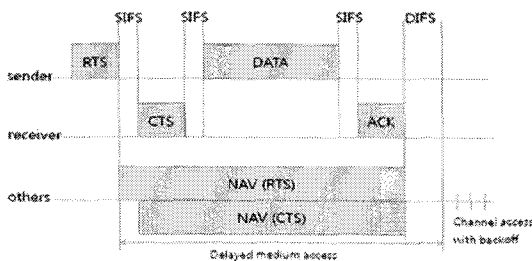


그림 4. RTS/CTS를 사용한 채널 접근 방법

그 길이가 아주 작기 때문에 충돌이 발생했을 때, 그 사실을 빨리 인지 할 수 있다. 또, 멀티 홉에서 hidden node problem을 해결할 수 있다.

### 3.2 시뮬레이션을 통한 본 IEEE 802.11의 문제

802.11계열의 MAC프로토콜은 주로 수학적 모델링 및 시뮬레이션을 통해 그 성능이 분석/평가 되어 왔다. 802.11계열의 맥 프로토콜은 랜덤 접근을 기본으로 하기 때문에 네트워크의 saturation point, 즉, 네트워크가 전송할 수 있는 최대 대역폭이 가해지는 overload의 비율에 따라 변화한다는 문제점과 그러한 saturation point가 일정하게 나타나질 못하고, 상황에 따라, 불규칙적으로 변화한다는 문제점을 가지고 있다[6].

본 절에서는 시뮬레이션을 이용해 802.11계열의 MAC 프로토콜이 가지는 문제점을 분석해 본다. Network Simulator 2[8]를 시뮬레이터로 사용하였다. 이 시뮬레이션의 목적은 single hop 내의 노드들이 데이터를 전송할 때 네트워크가 최대 전송할 수 데이터의 대역폭, 즉, saturation throughput의 변화를 측정하는 것이다. 이러한 성능을 평가하는 이유는 VANET상에서 single hop (transmission range)에 들어오는 차량의 수가 도로의 상태에 따라 가변적으로 달라지고 그 수가 급격하게 증감하기 때문에 이러한 변화를 잘 수용할 수 있는지를 분석하기 위함이다. 이러한 변화를 잘 수용한다는 것은 saturation throughput이 네트워크에 존재하는 노드들의 수의 증감에 상관없이 일정한 값을 유지하는 것이며, 이러한 일정한 saturation throughput을 각각의 노드들이 공평하게 나누어 갖는 것을 의미한다.

그림 5는 분석에 사용된 시뮬레이션 토폴로지를 보여준다. n개의 송신 노드들이 각각 800kbps CBR traffic(패킷 사이즈: 1024byte)을 하나의

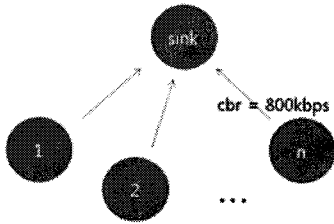


그림 5. 시뮬레이션 토폴로지

sink 노드로 전송을 한다. 이 때, 무선링크는 capacity는 2Mbps로 설정되어 있고, RTS/CTS를 사용하지 않는 기본적인 채널 접근 방법을 사용한다. 시뮬레이션 시간은 30초를 수행하였으며, saturation throughput은 시뮬레이션을 여러 번 수행하여, 그 평균값을 계산한 것이다.

그림 6은 네트워크에 참여하는 각각의 노드의 수 별로 네트워크가 처리할 saturation throughput이 어떠한지를 보여주는 그림이다. 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128은 sink노드로 데이터를 전송하는 노드의 수를 나타낸다. 이 그림을 보면, 네트워크가 처리할 수 있는 최대 대역폭은 1.6Mbps임을 알 수 있다(2는 1.6Mbps까지 전송할 수 있음을 알 수 있다). 이것은 무선 링크의 대역폭인 2Mbps의 80%에 해당되는 양이다. 이것은 데이터 전송에 필요한 헤더 및 backoff에 필요한 최소 시간을 고

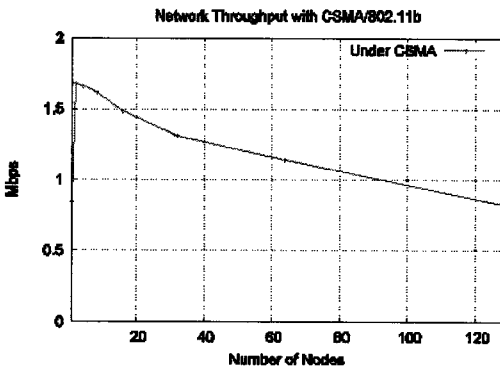


그림 6. 네트워크에 참여하는 노드 수에 따른 saturation throughput

려했을 경우, 물리적인 최대 대역폭을 100% 다 사용할 수 없음을 의미한다.

그러나 노드의 수가 증가할수록 네트워크의 saturation throughput은 감소함을 알 수 있다. 노드 4, 8까지는 감소의 폭이 미미하나, 16을 기점으로 급격하게 감소하여, 128의 경우는 50%까지 감소함을 알 수 있다. 이것은 네트워크가 처리할 수 있는 최대 대역폭이, 네트워크에 참여하는 노드의 수에 안정적(stable)하지 못한 것으로 노드 간 데이터를 보내기 위한 경쟁으로 인해, 네트워크의 대역폭을 충분히 사용하지 못하는 문제점을 나타낸다.

VANET에서 사용되는 802.11p의 경우, 전송 반경이 일반적으로 500m~1km로 되어 있기 때문에 single hop안에 들어 올 수 있는 차량의 수는 차량의 정체를 고려했을 경우, 대략 100대 이상 200대 미만으로 추정된다. 그러므로, 안정적인 네트워크를 유지하기 위해서는 차량, 즉 네트워크에 참여하는 노드의 수에 영향을 받지 않고, 네트워크의 saturation throughput을 안정적으로 유지할 수 있어야 한다.

그림 7는 그림 5의 평균 saturation throughput 측정에 사용된 값들 중 하나의 실시간 throughput을 그린 것이다. 이 그림에서 알 수 있는 또 다른

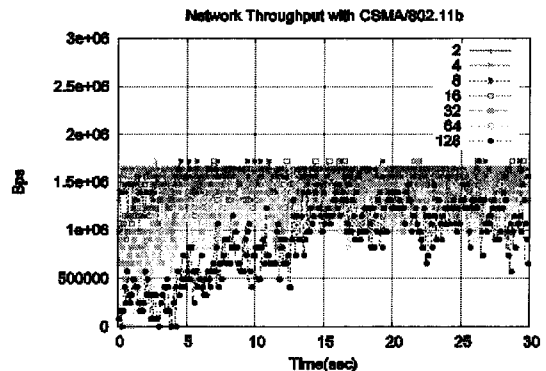


그림 7. 시간에 따른 전송 속도의 변화

사실은 네트워크에 참여하는 노드의 수가 증가할수록 saturation throughput이 감소함과 동시에 네트워크가 수용할 수 있는 대역폭이 아주 불안정해진다는 것을 알 수 있다. 2, 4의 경우, saturation throughput을 평균 1.6Mbps로 유지하면서도, 그 값이 일정하게 유지된다. 그러나 8의 경우, saturation point가 조금 떨어짐과 동시에 평균값을 중심으로 불안정하게 분포하게 되고, 노드의 수가 16, 32, 128로 늘어날수록, saturation throughput의 평균값이 떨어짐과 동시에 아주 불안정한 상태를 나타내게 된다. 이것은 노드의 수가 많아질수록 channel access에 대한 contention이 증가하여, random backoff를 많이 함으로써, channel의 idle상태가 상대적으로 늘어나기 때문이다. 또 각각의 노드의 입장에서 생각할 경우, 하나의 노드가 하나의 패킷을 보내기 위해 겪어야 되는 지연시간(delay)가 불규칙적이며, 상대적으로 길어진다. 이것은 emergency 상황에서 메시지를 보내야 하는 VANET의 경우, 치명적인 약점으로 작용하게 될 것으로 예상되며, VANET의 MAC 표준으로 적용되고 있는 802.11p에서 동일한 문제가 발생할 것으로 예상된다.

802.11p에서는 802.11e와 같이 메시지의 타입에 따라, 차등적으로 채널 접근 권한을 부여한다. 예를 들어, 응급 상태를 알리는 emergency message의 경우, random backoff시 빠른 전송을 위해, cw를 평균적으로 작게 선택하게 하고, 일반적인 메시지의 경우, 평균적으로 큰 cw를 선택하게 한다. 그러나, cw가 작은 emergency message의 경우, 메시지들 간 충돌 확률은 증가하고, 네트워크가 그림 7처럼 unstable하게 될 가능성이 높아지게 된다. 그러므로, 안정적인 VANET 유지하기 위해서는, 노드의 수가 증가하여 노드 간의 contention이 증가하더라도, 네트워크의 satu-

ration throughput을 최대한 일정하게 유지시켜 주며, 안정적으로 데이터를 전송할 수 있는 MAC 프로토콜이 필요하다.

#### 4. 차량 통신을 위한 Vehicular MAC (VMAC)

WAVE에기존의 802.11은 네트워크내의 노드의 수가 적을 때 70~80%의 채널 사용률을 보이지만 노드의 수가 증가할수록 채널 사용률이 급감하는 것을 알 수 있다. 이는 주어진 대역폭 이상의 채널 요청이 존재하면 802.11의 특성인 random access에 의해 그만큼 데이터 전송 시에 충돌이 일어날 확률이 증가하기 때문이다. TDMA와 같은 자원 할당 프로토콜이 대안이 될 수 있지만, 고속도로와 같은 빠른 속도로 노드가 움직이는 환경에서 네트워크 토폴로지(Topology)의 변화가 심해지면 대역폭의 낭비를 가져올 수 있다. 이러한 환경에서는 어떠한 노드도 사용하지 못하는 타임 슬롯(time slot)수가 증가할 수 있으므로 사용할 수 있는 대역폭을 효과적으로 활용하지 못하게 된다.

본 절에서는 VANET 환경에서 효과적으로 사용할 수 있는 VMAC (Vehicular Media Access Control)이라 불리는 CSMA와 TDMA를 결합한 하이브리드(Hybrid) MAC을 소개한다. VMAC은 기존 802.11 프로토콜과 TDMA의 단점을 상호 보완하고 장점을 최대한 활용하도록 설계되었다. 네트워크내의 노드의 수가 적을 때에는 802.11과 동일하게 random access를 허용하여 채널 사용률을 높이고, 노드의 수가 많아져 경쟁이 심해질 때에는 TDMA와 같이 노드가 기존의 할당된 슬롯만을 사용하게 하여 노드 간의 전송 충돌을 줄여 채널 사용률을 증가시킨다. 즉, VMAC은 CSMA를 기본적으로 사용하면서 동시에 TDMA

슬롯 스케줄링을 통해, 노드 간의 과도한 경쟁을 해결하고자 한다.

• 슬롯 할당

VMAC을 구현하기 위해서는 TDMA가 가지고 있는 근본적인 문제를 해결해야만 한다. 타임 슬롯을 어느 노드에 어떻게 할당하는가는 TDMA의 성능 문제와 관련이 있기 때문에 간과할 수 없다. Z-MAC의 DRAND [9]는 2-hop내 노드간의 슬롯이 겹치지 않음으로써 슬롯 할당을 효율적으로 하기 위한 알고리즘이지만 센서 네트워크와 같이 네트워크가 처음 구성될 때만 유용하다는 점과 알고리즘의 수행시간이 비교적 길다는 점이 단점이다. 또 다른 슬롯 할당 알고리즘인 VeSOMAC [10]은 VANET 환경에서의 슬롯 할당 방식을 언급했지만, 노드간의 브로드캐스팅(broadcasting)을 통해 비어있는 슬롯을 찾는 방식이기 때문에 네트워크내에 과도한 패킷을 유발할 수 있으며 토폴로지의 변화가 심한 환경에서는 슬롯 할당이 빠른 시간 내에 이루어지지 않는 단점이 있다. VMAC은 VANET에 노드가 추가될 때마다 랜덤하게 슬롯을 할당하는 방식을 사용한다. 그림 8과 같이 노드 A~F는 첫번째와 두번째 슬롯에 랜덤하게 나뉘어서 들어가게 된다. (TDMA의 라운드가 2개의 슬롯으로 구성되었다고 가정할 경우)

이 방식의 장점은 DRAND와 같이 슬롯 할당에 많은 시간을 들일 필요가 없으며 VeSOMAC과 같이 패킷을 교환함으로써 발생할 수 있는 과도한 패킷 생성을 줄일 수 있다는 점이다. 랜덤하게 슬롯을 할당하기 때문에 모든 슬롯이 할당되리라는 보장은 없지만, 뒤에서 설명할 패킷 전송 방법에 의해, VMAC은 할당되지 않은 슬롯도 임의의 노드들이 사용할 수 있는 기회를 부여한다. 이로 인해, 슬롯 할당 방식이 간단하면서도 유휴 슬롯을

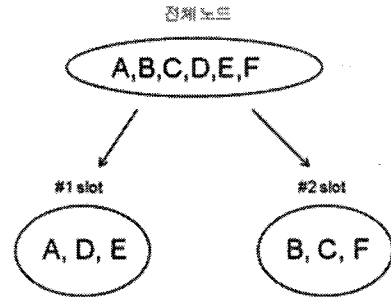


그림 8. 타임슬롯 할당

허용하지 않아 채널 사용률을 높이는 효과를 가져오게 된다.

VMAC도 TDMA가 가지고 있는 시간 동기화(Time Synchronization) 문제에서 벗어날 수 없다. 하지만 앞서서 언급했듯이 VMAC은 CSMA를 기본적인 채널 접근 방법으로 사용하기 때문에 시간 동기화 메커니즘이 존재하지 않더라도 최소한 CSMA 만큼의 성능을 기대할 수 있다. 만약에 도로에서 GPS기기를 장착한 차들이 많아진다면 GSP를 이용해 차들간의 시간 동기화 문제를 해결할 수 있다. 일반적으로 GSP 위성에는 지극히 안정도가 높은 원자시계를 탑재하고 있기 때문에 차량 간의 시간 동기화를 해결하기 용이하다.

• 패킷 전송 방법

VMAC에서 슬롯 소유자(slot owner)는 슬롯 비소유자(slot non-owner)에 비해 더 작은 CW(Contention Window)을 가짐으로써 패킷 전송에 대한 우선권을 확보할 수 있도록 한다. 이를 통해 슬롯의 소유자에게 패킷을 먼저 전송할 수 있도록 해주고, 슬롯 소유자들이 전송할 패킷이 없으면 비소유자들이 패킷을 보낼 수가 있다. 이로 인해, 유휴 슬롯을 사전에 방지할 수 있으며 사용 가능한 대역폭을 충분히 활용할 수가 있다.

그림 9는 VMAC의 패킷 전송의 예를 보여주고 있다. 1번째 슬롯의 순서가 되면 1번 슬롯의 소유



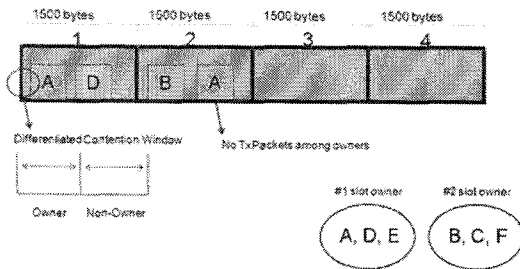


그림 9. VMAC 의 패킷 전송의 예

자들은 우선적으로 패킷을 보낼 기회를 얻게 된다. 즉 이러한 방법으로 노드 A와 노드 D는 패킷 전송 우선권을 확보하여 다른 노드보다 먼저 패킷을 보내게 된다. 1번째 슬롯이 끝나고 2번째 슬롯으로 넘어가면 2번째 슬롯의 소유자중 노드 B가 패킷을 우선적으로 보낸다. 하지만 그 후에 슬롯 소유자 중 보낼 패킷이 없다면, 비 소유자 중에 한 노드가 패킷을 보낼 기회를 얻게 된다. 그로 인해 1번 슬롯의 소유자인 노드A가 다시 2번째 슬롯에서 패킷을 보낼 수가 있다.

그림 10은 VMAC의 순서도를 나타낸다. VMAC의 전송 메커니즘은 기본적으로 802.11와 같으며 한 가지 차이점은 직전의 패킷 전송이 끝

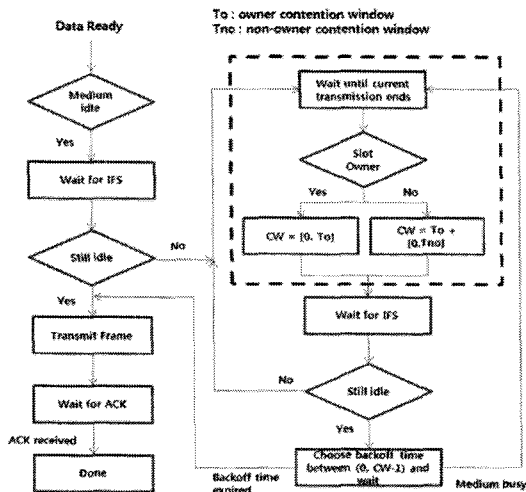


그림 10. VMAC의 순서도

나면 모든 노드들이 CW를 다시 선택하는 것이다. 이때 직전 패킷의 전송이 끝났음은 ACK를 over-hearing함으로 알 수 있다. 또 CW를 랜덤하게 선택할 때 CW의 값이 슬롯의 소유자와 비소유자의 구분에 따라 달라지는 점이다. 순서도에서 보는 바와 같이, 앞선 노드의 전송이 끝났을 때 각 노드는 슬롯 소유자인지 아닌지 구분하여 소유자이면 CW를  $T_o$ 값으로 그렇지 않으면  $T_{no}$ 값으로 설정한다. 이러한 방법으로 슬롯 소유자는 패킷 전송에 대한 우선권을 확보할 수 있으며 채널에 대한 random access를 허용하면서도 자원을 균등하게 분배하는 효과를 얻을 수 있다.

### 5. VMAC 성능평가

제안된 MAC의 성능 분석을 위해 ns-2를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 각 노드의 MAC은 802.11 MAC으로 PHY는 802.11b로 설정하였다. MAC, PHY 계층별 파라미터 설정값은 표 2과 같다.

그림 11은 시뮬레이션 시나리오를 나타낸다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

	CSMA/CA	VMAC
data rate(link)	2Mbps	2Mbps
PHY	802.11b	802.11b
MAC scheme	CSMA/CA	TDMA+CSMA/CA

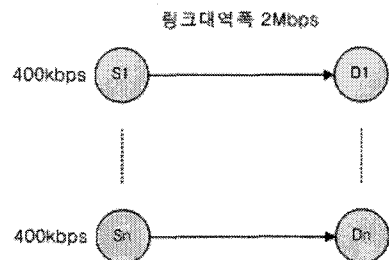


그림 11. 시뮬레이션 토폴로지

전송 노드(S)와 수신 노드(D)가 하나의 쌍(pair)을 이루고 그러한 쌍들이 n개로 구성되어 있는 네트워크를 구성한다. 각각의 노드들은 다른 노드들의 전송범위 내에 존재한다. 따라서 동시에 복수개의 노드가 전송하는 경우는 없다. 시뮬레이션은 전송 노드/수신 노드 쌍(flow)의 수를 변화시키면서 그 때의 전체 네트워크의 throughput의 변화를 관찰하였다. 프레임은 512byte이고 CBR 트래픽으로 400kbps이다.

그림 12는 기존 방식인 CSMA/CA 방식과 VMAC의 flow 수의 변화에 따른 throughput의 변화를 나타낸 것이다. VMAC의 경우 전체 프레임이 4개의 slot으로 이루어져 있고 그래프에서 slot1은 4개 중 하나의 slot을 사용하는 것을 의미하고 slot4는 4개 중 4개 모두를 사용하는 것을 의미한다. flow의 수가 증가함에 따라 CSMA/CA의 경우 VMAC-slot1에 비해 throughput이 저하됨을 볼 수 있다. 이 경우 노드 수의 증가에 따라 전송을 위한 contention이 증가 하고 이에 따른 재전송이 증가함에 따라 전체 throughput이 저하됨을 볼 수 있다. VMAC의 경우 자신이 전송할 slot을 선택함에 따라 전체 노드들이 동시에 전송을 하는 경우 보다 contention의 확률이 낮아지고

이에 따른 재전송 횟수의 감소가 throughput 향상으로 나타남을 볼 수 있다.

그림 13은 시간에 따른 flow 수를 변화에 대한 throughput의 변화를 나타낸다. VMAC의 경우 전송 노드들이 slot 4개를 다 사용하는 경우이다. 이 경우 CSMA/CA 방식과의 차이는 back off 알고리즘이 다른 것이다. flow의 수가 작은 경우 즉 전체 네트워크의 load가 작은 경우에는 CSMA/CA 방식과 비슷한 성능을 나타낸다. 그러나 load가 증가된 경우 즉, flow의 수가 많은 경우는 CSMA/CA 방식보다 다소 좋은 성능을 보여주나 시간이 지남에 따라 CSMA/CA 방식과 마찬가지로 throughput이 저하되는 결과를 보여주고 있다.

그림 14는 그림 13과 같은 환경에서 전송 노드들이 프레임 내의 전체 slot 중 하나의 slot만을 사용하는 경우이다. network의 load가 작은 경우 즉, flow의 수가 작은 경우 CSMA/CA 방식에 비해 성능이 좋지 않음을 볼 수 있다. 이것은 노드가 전송에 사용할 slot의 수를 제한함으로써 네트워크가 수용할 수 있는 load임에도 불구하고 제한된 전송 시도를 함으로써 나타나는 현상이다. 그러나 load가 증가한 경우 CSMA/CA 방식에 비해 향상되고 안정된 throughput을 나타냄을 볼 수 있다.

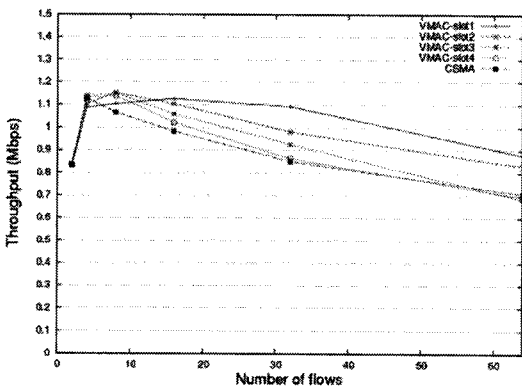


그림 12. flow 수에 따른 throughput의 변화

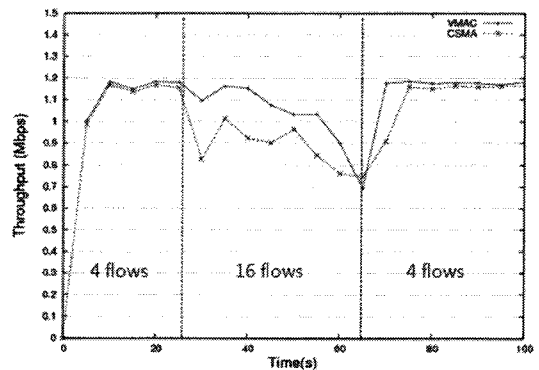


그림 13. flow수에 따른 throughput의 변화(slot 4개 사용)

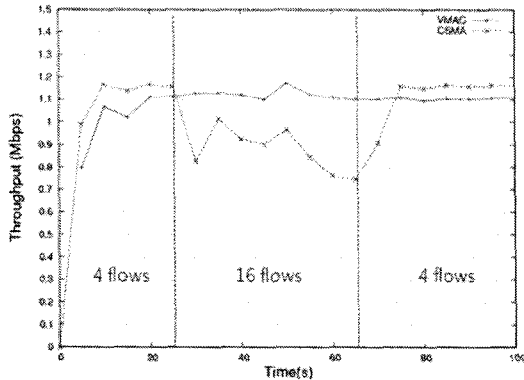


그림 14. flow수에 따른 throughput의 변화(slot 1개 사용)

이는 시간을 나누어 전송 시도를 함으로써 contention의 확률을 줄이는 VMAC의 특성을 보여주는 것이다.

그림 15는 시간의 변화에 따라 할당된 slot의 수를 변화시킨 경우 throughput의 변화를 나타낸 것이다. flow의 수가 작은 경우는 4개의 slot을 모두 사용하고 flow의 수가 많은 경우는 slot을 하나만 사용하여 전송하도록 설정되었다. flow 수의 변화에 적응하도록 함으로써 그림 13와 그림 14에서 나타나는 flow 수에 따른 VMAC의 성능 저하가 보완됨을 볼 수 있다.

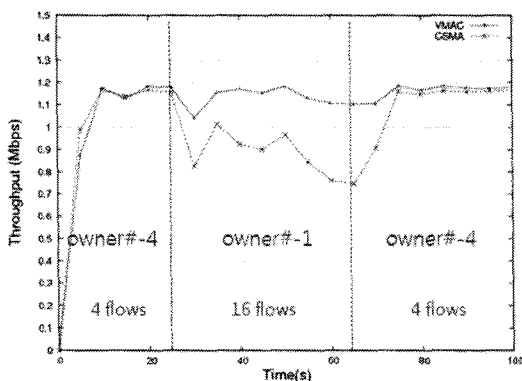


그림 15. flow 수에 따른 throughput의 변화(slot 수 가변)

## 6. 결 론

본 논문에서는 운전자와 차량의 안전 보호를 위한 VANET의 구현에 필요한 실시간 메시지 전송 및 확장성과 효율성을 지니는 VANET용 MAC 프로토콜 및 시뮬레이션을 통한 검증을 소개하였다. VANET용 MAC 프로토콜은 효율성 (efficiency)을 지니면서, VANET의 다양한 네트워크 상태에 적응할 수 있는 확장성 (scalability)을 가지면서도, 경량화된 프로토콜 (light-weight protocol)이어야 한다.

CSMA/802.11기반의 MAC 프로토콜이 VANET과 같이 네트워크 밀도가 시간에 따라 급격하게 변화하는 네트워크상에서, 네트워크에 참여하는 노드의 수가 많아질수록 네트워크의 saturation throughput이 감소한다는 것을 보여준다. 이것은 random contention기반의 802.11의 근본적인 문제로 random backoff가 contention이 증가함에 따라, contention window를 무조건적으로 binary exponential 하게 증가시키기 때문에 발생하는 문제이다.

VANET의 안정적인 네트워크로 유지하기 위해서는 네트워크에 참여하는 노드의 수가 증가하더라도, 네트워크의 saturation throughput을 일정하게 유지시켜 줄 수 있는 새로운 형태의 MAC 프로토콜이 필요하다. 이를 위해, CSMA기반의 MAC프로토콜은 네트워크에 참여하는 노드의 수가 적을 때 안정적인 상태를 유지한다는 점에 착안하여, 네트워크 전체 노드의 수가 많을 경우, 단위 시간당, 경쟁에 참여하는 노드의 수를 우선 순위로 두어 제한하는 느슨한 형태의 TDMA를 CSMA에 가미한 VMAC 프로토콜을 소개하였다.

시뮬레이션을 통해 그 성능을 측정한 결과, 동일 조건 상에서, 노드의 수가 증가할수록 VMAC

이 CSMA에 비해 최대 29%의 saturation throughput의 향상을 보였다. 또 이동 환경의 멀티 홉 네트워크 통신에서도 CSMA보다 낮거나 동일한 성능을 보임으로, VANET의 환경, 즉, 노드의 밀도가 감소/증가하는 환경에 CSMA에 비해 나은 성능을 보임을 알 수 있다.

그러나 이러한 MAC 프로토콜 이외에도 VANET은 기존의 WLAN이나 MANET과는 다른 특징을 가지고 있기 때문에, 기존의 MAC이나 라우팅 프로토콜을 개선을 넘어 다양한 연구들이 필요하다. MAC 및 라우팅 프로토콜을 다중 홉 분산 환경에서 효율적이고 확장성이 있으면서 경량화 되도록 개발하여야 하며, 프로토콜의 최적화를 위해 PHY 특성을 고려한 MAC 설계와 PHY/MAC의 특성을 고려한 라우팅 설계 등의 계층 간 최적화 설계에 초점이 맞추어져야 한다.

**참 고 문 헌**

[1] F. Borgonovo, A. Capone, M. Cesana, L. Fratta, "ADHOC MAC: NEW MAC Architecture for Ad Hoc Networks Providing Efficient and Reliable Point-to-Point and Broadcast Services", Wireless Networks, pp. 359-366, 2004.

[2] D. Reichardt, M. Miglietta, L. Moretti, P. Morsink, and W. Schulz, "CarTALK 2000: safe and comfortable driving based upon inter-vehicle-communication," IEEE Intelligent Vehicle Symposium, Vol.2, pp. 545-550, 2002.

[3] F. Borgonovo, A. Capone, M. Cesana, L. Fratta, "RR-ALOHA, a reliable R-ALOHA broadcast channel for ad-hoc inter-vehicle communication networks", in Proc. Med-Hoc-Net 2002, 2002.

[4] Task Group p, IEEE P802.11p: Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE), draft standard ed., IEEE Computer Society,

2006.

[5] Committee SCC 32, IEEE P1609.4 Standard for Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE)-Multi-Channel Operation, draft standard ed. IEEE Intelligent Transportation System Council, 2006.

[6] Bianchi Giuseppe, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," IEEE Journal on Selected Areas in Communications. pp. 535-547, 2000.

[7] IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, Nov. 1997. P802.11.

[8] "Network Simulator 2. "http://www.isi.edu/nsnam/ns/."

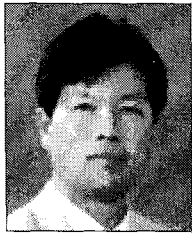
[9] I. Rhee, A. Warriar, L. Xu, "Randomized dining philosophers to TDMA scheduling in wireless sensor networks," Technical report, Computer Science Department, North Carolina State University, Raleigh, NC, 2004.

[10] F. Yu, S. Biswas, "A Self-Organizing MAC Protocol for DSRC based Vehicular Ad Hoc Networks," in Proc. 27th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2007.



강 문 수

- 1998년 한국과학기술원(KAIST) 전산학과 (학사)
- 2000년 한국정보통신대학교(ICU) 공학부 (석사)
- 2008년 한국정보통신대학교(ICU) 공학부 (박사)
- 2008년~현재 조선대학교 컴퓨터공학부 전임강사
- 관심분야 : Transmission Control Protocol (TCP), Mobile Networks, VANET



정 일 용

- 1983년 한양대학교 공학사
  - 1987년 (미)뉴욕시립대학원 전산학석사
  - 1991년 (미)뉴욕시립대학원 전산학박사
  - 1991년~1994년 한국전자통신연구소 선임연구원
  - 1994년~현재 조선대학교 컴퓨터공학부 교수
  - 관심분야 : 네트워크보안, 알고리즘, 분산시스템
-