

# 차량 간 통신 환경에 적합한 방향성 안테나를 이용한 상태관리 MAC Protocol

준회원 박 상 옥\*, 정회원 정 성 대\*, 준회원 정 중 인\*, 정회원 이 상 선\*

## A State Management MAC Protocol for Vehicle to Vehicle Communication Using Directional Antenna

Sang-wook Park\* *Associate Member*, Sung-dae Jung\* *Reguler Member*,  
Jong-in Jung\* *Associate Member*, Sang-sun Lee\* *Reguler Member*

### 요 약

최근 Mobile Ad-hoc 네트워크의 다양한 연구범위 중에서 방향성 안테나를 사용하여 네트워크 throughput을 증대시키는 MAC 프로토콜들이 연구 되고 있다. 현재까지 제안된 방향성 안테나용 MAC 프로토콜은 일반적인 Mobile Ad-hoc 환경에서 spatial reuse의 향상과 통신 대역폭 증가 등의 장점을 가졌다. 하지만 이러한 Mobile Ad-hoc 네트워크에서 연구되었던 방향성 안테나 프로토콜들이 실제 차량환경에서는 어떻게 동작하는지에 대한 연구는 미흡한 실정이며 방향성 안테나를 사용하면서 나타나는 또 다른 문제점인 Deafness 현상도 차량환경에 Mobile Ad-hoc 네트워크를 적용하는데 있어서 문제점으로 지적되고 있다. 따라서 본 논문에서는 방향성 안테나 MAC 프로토콜들이 차량주행 환경에서 어떻게 동작하는지 기존에 제안되었던 방향성 안테나용 MAC 프로토콜(D-MAC)들을 차량 주행 환경에서 분석하여 문제점을 도출하고 도출된 문제점을 바탕으로 차량 간 통신을 위한 새로운 방향성 안테나용 MAC 프로토콜을 제안하고자 한다.

**Key Words** : V2V, Ad-hoc, MAC Protocol, Directional antenna, Deafness

### ABSTRACT

Recently, several MAC protocols using the directional antennas have been proposed for wireless mobile ad hoc networks. In the theory, it can improve spatial reuse and communication throughput in the Mobile Ad-hoc networks. But, or However even though direction transmissions using the Directional MAC protocol(D-MAC) are expected to provide significant improvements, they causes other problems such as deafness problem and fairness problem. In this paper, we analyze the D-MAC protocol in Mobile Ad-hoc network for Vehicle to vehicle(V2V) communication. Through the results of the analysis, We the fundamental problem of D-MAC protocol and finally we suggest new D-MAC protocol for V2V networks.

### I. 서 론

지능형교통시스템(ITS : Intelligent Transportation Systems)은 교통과 도로의 상태 정보들을 필요한

사람들에게 신뢰성 있고 정확하게 제공하여 교통 혼잡, 사고위험, 환경오염 등을 줄이고 생산성을 향상시키는 것을 목적으로 하는 차세대 교통시스템이다. 지능형교통시스템은 일반적인 교통시스템의 구

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행하였습니다.(IITA-2008-C1090-0801-0040)

\* 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 유비쿼터스 통신 연구실

(busisi20@hotmail.com, sdjung@hanyang.ac.kr, nbr179@hanyang.ac.kr, ssnlee@hanyang.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-12-560, 접수일자 : 2007년 12월 11일, 최종논문접수일자 : 2008년 5월 6일

성 요소인 도로, 차량 및 신호 체계에 전자, 제어, 정보, 통신 등의 첨단 기술이 융합되어 구성된다. 특히 이러한 ITS 기술 중, 무선 통신 기술은 도로 위의 운전자들에게 ITS 서비스를 효과적으로 제공하는 중요한 역할을 수행한다.

현재, ITS 서비스를 제공하기 위한 무선통신 기술로는 차량에 장치된 차량단말기와 도로변에 설치한 노변장치와의 통신방식을 이용한 노변장치-차량단말기 형태의 통신방식이 이용되고 있다. 그러나 현재의 노변장치-차량단말기 형태의 ITS 통신 방법으로는 점차 다양화되는 ITS 서비스와 고품질 서비스에 대한 사용자의 요구사항을 지원하는데 한계가 있다. 따라서 노드들에 의해 자율적으로 구성되는 기반 구조가 없는 Mobile Ad-hoc 네트워크가 기존의 노변장치-차량단말기 형태의 ITS 서비스의 한계점을 극복할 수 있는 차세대 ITS 무선통신 기술로 주목받고 있다.

Mobile Ad-hoc 네트워크는 노드(node)들에 의해 자율적으로 구성되는 기반 구조가 없는 네트워크로서 네트워크의 구성 및 유지를 위해 기지국이나 액세스 포인트(AP : Access Point)와 같은 기반 네트워크 장치를 필요로 하지 않는다. 고정된 기지국이나 유선의 백본(Backbone) 인프라가 없는 Mobile Ad-hoc 네트워크의 노드들은 무선 인터페이스를 사용하여 서로 간 직접적으로 통신하기 때문에 노드들의 이동이 자유롭고 네트워크 토폴로지가 동적으로 변화되는 특징이 있다.

하지만 IEEE 802.11 무선 랜 표준은 원래 노드의 이동성을 배제한 무선 랜 구성을 위해 만들어진 통신으로 이동성을 가진 차량이라는 특수한 환경을 가진 차량환경에 IEEE 802.11을 그대로 적용한다면 Mobile ad-hoc 네트워크가 원하는 통신 환경을 구축할 수 없다. 그러한 문제점을 해결하기 위한 노력으로 IEEE 802.11을 기반으로 효율적인 Mobile ad-hoc 네트워크 구성을 위한 다양한 프로토콜들이 제안되고 있다. 그 중 하나의 분야가 IEEE 802.11 표준에서 방향성 안테나를 사용하여 각 노드들의 전송방향을 가변적으로 조절함으로써 무선 채널 대역폭을 늘리고자하는 연구이다.

방향성 안테나 사용을 위해 제안된 새로운 D-MAC 프로토콜은 DBTMA/DA과 RI-DMAC가 있다. 본 논문에서 제시할 프로토콜의 기존 연구라 할 수 있으며 DBTMA/DA 프로토콜은 D-MAC에서의 Deafness 문제를 예방하기 위해서 방향성 안테나 MAC protocol에 DBTMA(Directional Busy

Tone-Based MAC Protocol)을 적용한 protocol이며<sup>4)</sup>, 기본적으로 6\*6 mesh topology를 가지고 평가를 하였으며, DD, DO, OD, OO (D: Directional Antenna, O:OmniDirectional Antenna)의 4가지 scheme을 통해 성능을 비교하였고, 그 결과 DD형태의 scheme이 가장 좋은 Throughput을 나타냈다.

RI-DMAC는 각각의 노드가 자신에게 데이터 전송을 원하는 노드들의 목록을 작성하고 그러한 목록에 따라 우선순위를 가지고 패킷전송을 실시한다. 각각의 노드는 다른 노드들과 통신 중에서도 자신에게로 패킷 전송을 원하는 노드들의 ID와 패킷길이, 수신된 시간 등을 Polling Table로써 관리하고 이러한 Table 정보를 바탕으로 다음 통신의 통신 우선순위를 결정하는 프로토콜이다<sup>5)</sup>.

RI-DMAC에서는 성능 비교를 위해 random topology에서 중단간의 평균 delay를 보여주고 있다.

기존 DMAC을 2가지 안테나를 이용한 D/OPCS(Directional/Omnidirectional Physical Carrier Sensing) 형태의 scheme과 RI-DMAC을 비교하였으며, 그 결과로 RI-DMAC가 DMAC와 OPCS(Omnidirectional Physical Carrier Sensing)보다 좀 더 낮은 delay를 볼 수가 있었다.

그 원인은 deafness(병목현상)으로 인한 불필요한 backoff 때문에 idle 시간이 감소하였기 때문이라고 분석하였다<sup>5)</sup>.

본논문에서는 앞서 소개한 두가지 프로토콜을 좀 더 자세한 내용 파악을 위해 장단점을 들어 II장에서 소개하고자 한다.

또한, 기존 프로토콜들이 가진 문제점을 분석하여 Mobile ad-hoc 네트워크 구성을 위한 요구사항을 도출하고 III장에서 보다 더 효율적인 새로운 방향성 안테나 MAC 프로토콜을 제안한다. IV장에서는 제안한 프로토콜을 차량환경에 적용 및 검증하기 위해 시뮬레이션 환경을 구현하여 검증하고자 한다.

## II. 관련 연구

지금까지 Mobile Ad-hoc 네트워크를 실현하기 위한 노력으로 IEEE 802.11을 기반으로 방향성 안테나를 사용한 Directional MAC(D-MAC) 프로토콜들이 제안되었고 이 장에서는 기존에 제안된 D-MAC 프로토콜들에 대해 분석한다.

### 2.1 방향성 안테나

Switched beam 안테나 시스템은 그림 1과 같이

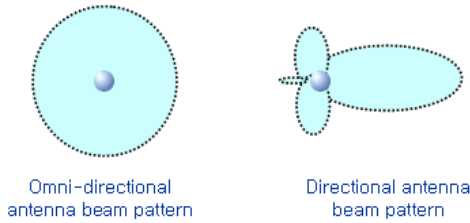


그림 1. 방향성 안테나의 전송 패턴

고정된 빔 패턴을 가지고 전방향성 모드(Omni-directional mode)와 방향성 모드(directional mode)의 2가지 모드로서 동작한다.

Idle 상태의 노드는 전 방향 안테나를 사용하여 모든 방향에 동일한 안테나 이득  $G^0$ 으로 신호를 기다리며, 전 방향 안테나모드의 신호대기 상태에서 신호를 수신하면 신호가 감지된 방향으로 최대의 안테나 이득으로 신호를 송신한다. 이때 방향성 안테나가 가지는 안테나 이득을  $G^d (> G^0)$  이라 한다. 현재 발표된 대부분의 방향성 안테나 MAC Protocol은 위에서 설명한 방향성 안테나를 사용하여 동작한다는 것을 가정하고 있으며 우리가 본 논문을 통해 제안하고자 하는 새로운 방향성 안테나 MAC 프로토콜에서도 동일한 안테나를 사용하여 신호 수신시에는 전 방향 안테나 패턴으로 신호를 수신하고 신호 송신 시에는 방향성으로 전송하는 것을 가정한다.

## 2.2 방향성 안테나를 이용한 MAC Protocol

전방향성 안테나를 사용한 MAC 프로토콜의 경우 그림 2의 (a)와 같이 노드 A가 B와 서로 통신 중에 있다면 A의 통신 범위 안에 있는 D는 CSMA/CA의 특성상 C가 전송하는 어떠한 데이터도 수신 받을 수 없다. 노드 D와 같은 노드들 Exposed 노드라고 하며, 이와 같이 다른 노드들의 통신으로 인하여 백 오프 대기상태로 들어가게 되는 것을 블로킹(Blocking)이라고 한다. 만약 위 시나리오에서 노드 C와 통신을 원하는 다른 노드가 존재한다면 더욱 심각한 ‘블러킹 전달(Blocking Propagation)’ 현상을 불러올 수 있다. 이러한 블러킹 전달은 해당 Ad-hoc 네트워크에 적어도 특정기간동안 Deadlock을 가져올 수 있으며<sup>[6]</sup> 이것을 Exposed terminal problem이라고 한다.

방향성 안테나를 사용하면 기존의 전방향성 안테나를 사용해서 일어나는 Exposed terminal problem을 해결할 수 있다. 그림 2의 (b)에서 각각의 노드가 이웃한 노드들의 정확한 위치정보를 파악할 수

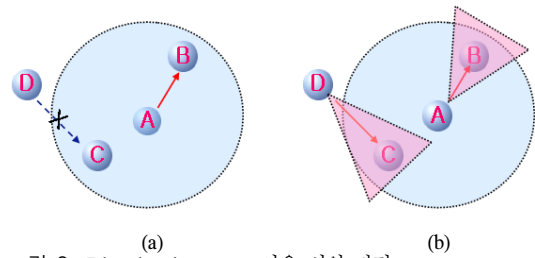


그림 2. Directional antenna 사용 시의 장점

있고 각각의 노드가 방향성을 가지고 자신이 전송하고자 하는 방향으로만 패킷 전송이 가능하다고 가정 했을 때 노드A는 DRTS(Directional Request to Send)를 B로 전송하고 B는 DRTS 수신 후 자신이 A로부터 수신이 가능하다는 것을 알리기 위해 A로 DCTS(Directional Clear to Send)를 전송한다. 이러한 방식으로 방향성 안테나를 이용하여 DRTS-DCTS-DDATA-DACK의 4way hand shake 방식으로 데이터를 교환하며 이 경우 노드 A가 B로 데이터를 전송 중에도 D는 C로부터 데이터를 전송받을 수 있다는 장점을 갖는다<sup>[1]</sup>. 또한 각각의 노드가 이웃한 노드들의 정확한 위치정보를 파악할 수 없다는 가정 하에 RTS-CTS만 기준과 같이 전 방향으로 전송하고 통신 방향을 결정한 후에 실제 데이터 패킷만 방향성 안테나를 사용하여 전송하는 ORTS-OCTS-DDATA-DACK 4way hand shake 방식의 D-MAC 프로토콜도 제안되었다<sup>[2]</sup>.

D-MAC 프로토콜은 기존의 전 방향 안테나 방식과 비교해서 Spatial reuse로 인해 Channel capacity의 향상과 Exposed 노드 문제 해결 등에 기여하였지만 방향성 안테나 사용으로 인해 발생하는 Deafness 문제를 발생시키는 단점이 있다. Deafness 현상은 서로 통신 중인 노드로 패킷 전송을 원하는 하나의 노드가 목적지 노드가 통신 중인 것을 인지하지 못하고 계속된 RTS 패킷을 전송하는 것으로서 RTS 재전송 횟수가 최대인 7번을 넘겨 Packet drop이 발생하거나 재전송 전송 실패에 따른 경쟁윈도우의 증가로 longer backoff 상태로 빠지게 되는 현상을 말한다<sup>[5, 10]</sup>. 그림 3은 Deafness 문제의 예를 보여주고 있다. 노드 B와 C가 통신하고 있는 중에 B는 A의 RTS받았다더라도 B와 C의 통신이 끝난 이후 C와 D의 통신으로 인해 A는 B와 통신을 하지 못하고 계속해서 RTS만 재전송하다 통신을 취소하는 Deafness 현상에 빠지게 된다. 이러한 Deafness 문제는 A, C노드에서 알 수 있듯이 노드 간의 Fairness 문제를 야기 시킨다.

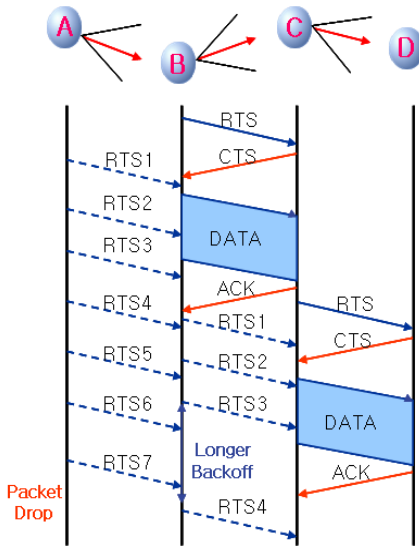


그림 3. Deafness 현상

DBTMA/DA<sup>[4]</sup>는 앞서 설명한 D-MAC에서의 Deafness 문제를 예방하기 위해서 방향성 안테나 MAC 프로토콜에 DBTMA(Directional Busy Tone-Based MAC Protocol)을 적용한 프로토콜로서 통신 채널을 자신이 다른 노드와 통신 중인 것을 나타내는 신호를 전송하는 제어채널과 실제 데이터를 전송하는 데이터 채널로 구분하여 Spatial reuse와 채널 용량을 개선시킨 프로토콜이다. CTS와 DATA 전송 시 BTr (Receive busy tone)과 BTt(Transmit busy tone)의 2가지의 Busy Tone 신호를 발생시켜 데이터를 수신시에는 BTr을 on 시키고 데이터를 송신 시에는 BTt를 on 시켜 자신의 이웃한 노드들이 송신중인지 수신중인지를 판단하고 노드 자신이 현재 데이터 송·수신이 가능한지 확인한다.

DBTMA/DA를 사용하면 각각의 노드가 이웃한 노드들이 통신 중인지 아닌지를 판단할 수 있기 때문에 D-MAC에서와처럼 이웃한 노드가 통신 중인 노드들에게 계속해서 RTS보내는 Deafness 현상을 극복할 수 있는 장점이 있다. 하지만 이러한 DBTMA/DA는 RTS-CTS-DATA-ACK 등의 데이터 전송과 Busy tone 신호 전송이 동시에 이루어져야 하기 때문에 시스템 하드웨어적으로 데이터 신호와 Busy tone 신호를 발생시키는 2개의 안테나가 필요한 단점이 있다.

각각의 노드가 자신에게 패킷전송을 원하는 노드들을 알고 있다면 D-MAC에서 발생한 Deafness 문제를 해결 할 수 있을 것이다. RI-DMAC<sup>[5]</sup>는 각각의 노드가 자신에게 데이터 전송을 원하는 노드들

의 목록을 작성하고 그러한 목록에 따라 우선순위를 가지고 패킷전송을 실시한다. 각각의 노드는 다른 노드들과 통신 중에서도 자신에게로 패킷 전송을 원하는 노드들의 ID와 패킷길이, 수신된 시간 등을 Polling Table로써 관리하고 이러한 Table 정보를 바탕으로 다음 통신의 통신 우선순위를 결정한다. 송신측 노드는 데이터를 전송 시 보내려고 하는 전체 데이터의 길이 정보를 단편화된 첫 데이터 프레임에 포함시켜 전송하고 수신측 노드는 이러한 길이 정보와 데이터를 수신한 시간을 이용하여 Polling Table을 작성한다. 따라서 단편화된 각각의 통신이 끝난 이후에는 자신이 가지고 있는 Polling Table을 바탕으로 다음에 통신이 이루어질 노드를 결정하고 자신이 데이터를 수신 받을 준비가 되었다는 의미의 RTR(Ready to Receive) 프레임을 전송한다.

RI-DMAC 역시 Polling Table과 RTR 프레임을 이용하여 Deafness 상태에 있을 노드들을 미리 예측하고 예측된 노드들에게 송신 권한을 부여해 줌으로써 Deafness 현상을 극복 할 수 있는 장점이 있다. 하지만 RTR이라는 표준에 위배된 기형적인 프레임의 필요와 패킷 길이와 수신시간에 따른 노드 내부의 복잡한 패킷 스케줄링 알고리즘은 보완이 필요한 상태이다.

### III. DMAC/NT Protocol 제안

앞서 살펴본 기준에 제안된 D-MAC 프로토콜 중에서 DBTMA/DA과 RI-DMAC은 채널 이원화와 polling table 관리를 통해 방향성 안테나 사용에 따른 Deafness 현상을 해결하였지만 현재의 표준과는 위배되는 시스템의 하드웨어적인 추가 및 기형적인 프레임 등이 필요한 구현상의 문제점을 드러내었다. 따라서 우리는 방향성 안테나환경을 고려한 효율적인 D-MAC프로토콜을 구현하기 위하여 현재의 표준에 위배되지 않는 범위 내에서 Deafness 현상을 극복할 수 있는 새로운 D-MAC 프로토콜을 제안한다. 지금부터 우리는 새로운 D-MAC 프로토콜을 DMAC/NT(Directional MAC Protocol using NAV table)라 명명한다.

#### 3.1 DMAC/NT를 위한 안테나 모델

논문에서 가정한 방향성 안테나의 경우 노드가 자신을 목적으로 하지 않은 RTS나 CTS 패킷을 수신하면 RTS, CTS 패킷 내에 존재하는 Duration

field를 이용해서 수신한 안테나 방향의 각도에 Duration 값만큼의 NAV(Network allocation vector)를 설정한다. 즉, 자신과의 통신을 원하지 않는 노드들의 통신을 방해하지 않기 위해서 해당 노드가 존재하는 방향의 각도에 NAV를 설정하여 통신 중인 노드로 RTS를 전송하는 것을 방지한다. 이러한 방식은 전 방향 안테나를 사용하는 CSMA/CA 방식처럼 MAC의 상태를 NAV상태로 설정하여 이웃노드가 통신 시에 통신을 할 수 없는 방식과 차이가 있다. 하지만 Spatial reuse를 위해 고안된 이러한 방향성 안테나의 안테나 각도 NAV 설정 방식은 토폴로지가 거의 일정한 차량환경에서는 문제를 발생 시킬 수 있다. 그림 4와 같이 차량환경에서 노드 A가 노드 B로 전송을 할 때 노드 A의 방향성 안테나 범위에 있는 노드 D역시 노드 A가 전송하는 RTS를 수신한다. RTS를 수신한 노드 D는 자신에게 보낸 RTS가 아니라는 것을 인지한 후 노드 A와 노드 B의 통신을 방해하지 않기 위해 노드 A 방향의 안테나 각도에 NAV를 설정한다. 하지만 차량 주행환경의 특성상 NAV를 설정한 노드 D가 자신과 통신을 원하는 노드 C의 위치로 이동을 했을 경우 자신이 안테나 각도에 설정한 NAV로 인해 노드 C가 보내는 RTS를 듣지 못하는 상태가 발생한다.

따라서 우리는 방향성 안테나의 각도에 NAV값을 설정하는 방법 대신 CSMA/CA의 방식과 같이 MAC의 상태를 관리하는 방법을 사용하였다. 하지만 CSMA/CA의 방법과 같이 MAC의 상태를 하나만 관리한다면 이웃한 노드들이 통신 중에 다른 노드들과 통신을 할 수 없기 때문에 노드 내부에 이웃노드들에 따라 상대적으로 NAV상태를 관리하는 NAV Table을 만들었다.

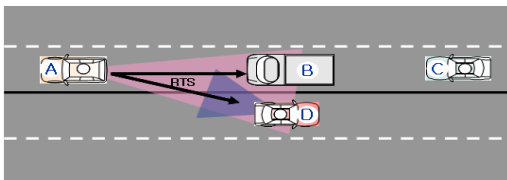


그림 4. D노드의 RTS 수신

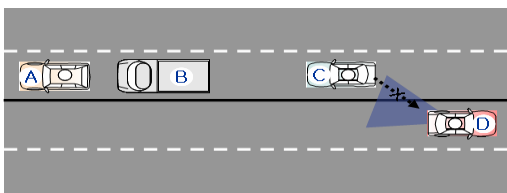


그림 5. 방향성 안테나 각도에 NAV 설정

### 3.2 NAV Table

NAV Table은 CSMA/CA 방식에서 하나의 MAC의 상태를 관리하던 것을 주변 이웃노드들에 따라 NAV 상태를 관리 하도록 도와준다. 표 1과 같이 각각의 노드는 NAV Table을 가지고 있고 그림 4와 같은 상황에서 자신에게로 의도하지 않은 RTS나 CTS 패킷이 수신되면 해당 패킷을 보낸 소스 주소와 해당 패킷의 NAV값을 Table에 기록한다. 이러한 NAV Table을 바탕으로 주변 이웃노드들에 따라 상대적인 NAV 값을 가진다. 만약 NAV Table에 기록되어 있는 목적지 노드로 패킷을 보내야만 한다면 NAV Table에 기록되어진 NAV 시간만큼 대기한 후에 해당노드로 전송요청을 시작한다.

NAV Table을 사용함으로써 이웃노드들의 NAV를 관리하여 CSMA/CA방식과 같이 Deafness 문제를 미리 예방 할 수 있고 기존 시스템에서 사용하던 방향성 안테나에 NAV 각도 설정으로 인한 단점을 극복 할 수 있다.

표 1. NAV Table의 예

Node address	NAV duration
A	Ta
B	Tb
C	Tc
D	Td

### 3.3 DMAC/NT 메커니즘

각각의 모든 노드들은 이웃노드들의 정확한 위치 정보를 알고 있다는 가정 하에 DMAC/NT의 전송원리는 기본적으로 D-MAC과 같다. 하지만 D-MAC 프로토콜과 다르게 방향성 안테나 사용 시 자신에 해당되지 않은 패킷 수신시 방향성 안테나 각도에 대한 NAV 상태 설정 대신에 NAV Table을 사용하여 이웃 노드들의 NAV 상태를 유지함으로써 주변 노드들의 통신 상태를 확인한다.

또 이러한 상태를 NAV Table에 업데이트하기 위하여 RTS, CTS 등의 제어 패킷은 전방향으로 전송한다. 그림 6은 DMAC/NT 프로토콜의 동작을 나타낸다. 그림과 같이 노드 C와 통신을 원하는 노드 B는 노드 C를 목적지로 한 RTS 프레임을 전방향으로 전송한다. 만약 노드 B가 전송한 RTS 프레임을 노드 A가 수신한다면 노드A는 RTS의 목적지를 검사해서 자신에게 의도된 프레임이 아닐 경우 해당 RTS의 소스 주소와 Duration field 안의 NAV 값을 NAV Table에 저장한다. 노드 B의 RTS를 수



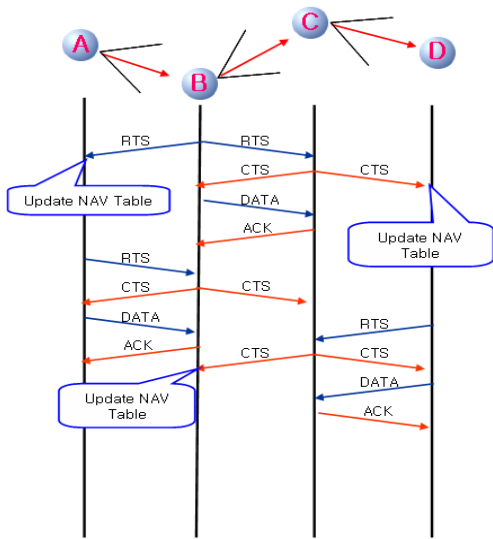


그림 6. DMAC/NT의 동작

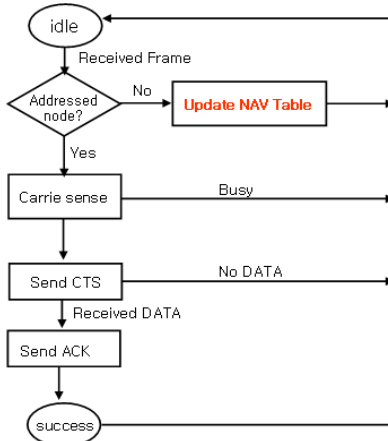


그림 7. DMAC/NT의 송신측 flow chart

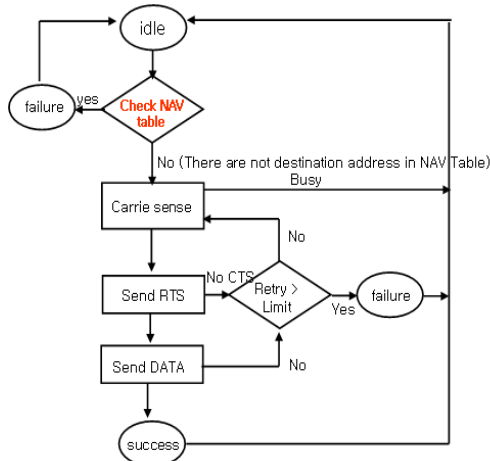


그림 8. DMAC/NT의 수신측 flow chart

신한 노드 C는 DATA 수신을 위해 CTS를 전송하고 이러한 CTS를 수신한 노드 D역시 노드 A와 마찬가지로 CTS 내의 Duration field를 보고 노드 C의 주소와 NAV값을 NAV Table에 기록한다. 기록된 NAV Table을 바탕으로 각각의 노드는 자신의 통신을 결정하게 되는데 노드 A의 경우 만약 자신이 노드 B로 패킷을 전송해야할 때 우선 NAV Table을 검사해서 목적지 노드가 존재하지 않는다면 RTS를 전송하고 만약 그림 6과 같이 목적지 노드가 자신의 NAV Table에 존재한다면 NAV Table의 NAV 시간만큼 대기한 후에 RTS를 전송한다. 이러한 NAV Table활용 메커니즘을 이용하여 이웃노드들의 통신 상태를 관리함으로써 Deafness 현상을 예방할 수 있고 또 차량 주행 환경에서 나타났던 기존의 방향성 각도 NAV 설정 방법에 따른 단점을 해결할 수 있다. 그림 7과 그림 8은 DMAC/NT의 송신측과 수신측의 Flow chart를 나타낸다.

#### IV. 시뮬레이션

차량 간 통신에 영향을 미치는 대표적인 통신 외적인 요소로는 차량의 상대 속도와 방향성, 도로 환경, 차량의 종류 및 크기, 그리고 기후 조건 등을 들 수 있을 것이다. 본 논문에서는 이러한 외부적 환경 요소의 영향성을 최소한으로 줄이기 위해 도로 환경, 차량의 종류 및 크기, 기후 조건 등의 환경 변수들을 모두 동일한 조건으로 설정하였고, 차량 간 상대속도와 방향성은 토폴로지의 변화에 직접적인 영향을 끼치는 요소이므로 시뮬레이션 구성 시 차량 간의 상대속도와 방향성의 요소를 고려하여 토폴로지를 설계하였다. 성능 분석을 위한 시뮬레이터는 Qualnet 3.9를 사용하였다<sup>12)</sup>.

시뮬레이션 시간은 30s로 하였고, 사용된 응용인 CBR의 패킷 크기는 512bytes로 고정하였으며 각각의 노드 간거리는 250m이다. 또한 해당 CBR의 트래픽을 시뮬레이션 시간동안 계속해서 발생시킴으로써 토폴로지상의 노드들이 경쟁하는 환경을 구성하였다.

##### 4.1 성능분석

성능분석은 네트워크의 전체 효율 판단을 위한 CBR throughput 측정과 매체 접근시간에 따른 지연지터의 측정을 통해 차량 통신환경에서 방향성 안테나를 사용한 MAC 프로토콜들이 어떠한 영향을 미치는지 확인하였다.

4.1.1 시나리오(i)

시나리오(i)는 노드①이 노드②를 경유하여 노드③으로 CBR을 전송하는 2홉 CBR 전송 시나리오이다. 앞에서 언급하였듯이 노드②가 노드③으로 패킷을 전송하는 중에 노드①이 Deafness problem을 겪어 long time back-off에 빠지거나 RTS 최대 전송횟수를 넘겨 패킷 drop이 발생할 수 있는 시나리오를 구성하였다. 각 노드간의 거리는 250m이고 CBR 전송주기를 5msec~0.25msec로 변경하면서 IEEE 802.11과 DRTS-DCTS-DATA-DACK의 DMAC 그리고 제안한 DMAC/NT를 비교하여 데이터 throughput 과 jitter를 측정하였다. 그림 10은 CBR 전송 주기에 따른 시나리오(i)의 throughput 결과를 나타내며 그림 11은 jitter를 나타낸다. 시나리오 결과 Deafness현상을 겪지 않는 전방향성 안테나를 사용하는 IEEE 802.11이 전체 throughput에서 가장 우수한 성능을 보였다.

DMAC/NT가 IEEE 802.11보다 성능이 낮게 나온 이유는 IEEE 802.11은 전방향으로 전송된 RTS, CTS, DATA, ACK들에 의해 주변노드들의 NAV 갱신이 보다 정확하게 자주 일어나는데 반해 제안한 DMAC/NT의 경우 초기의 RTS, CTS만 전 방향으로 전송되므로 IEEE 802.11에 비해 상대적으로 NAV갱신이 정확하지 못하기 때문이다.

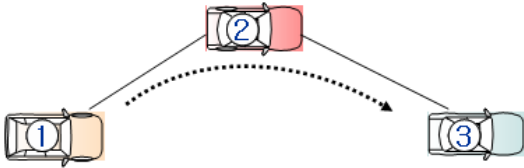


그림 9. 시나리오(i)

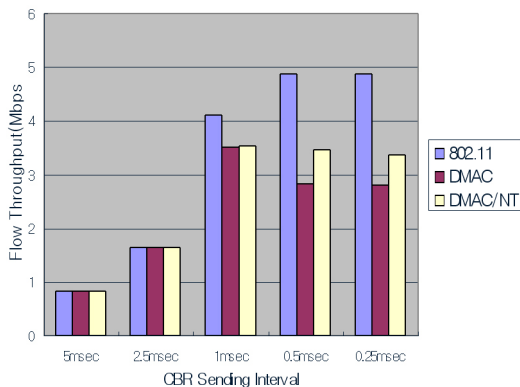


그림 10. 시나리오(i)의 throughput

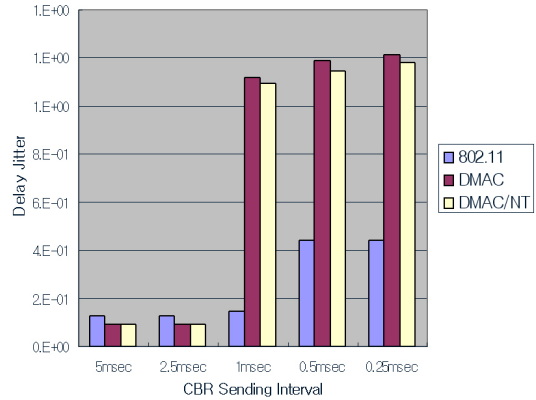


그림 11. 시나리오(i)의 지연 지터

따라서 NAV 값이 완벽하지 않은 노드가 통신 중인 노드로 계속해서 RTS를 전송하게 되고 이러한 결과로 IEEE 802.11에 비해 DMAC/NT도 Deafness현상을 겪을 수 있다. 하지만 시나리오(i)에서 우리는 방향성 안테나의 장점인 Spatial reuse를 고려하지 않았다. IEEE 802.11처럼 완벽하지는 않지만 RTS, CTS의 수신에 의한 NAV Table관리로서 Deafness를 극복하게 설계된 DMAC/NT는 Spatial reuse를 고려하지 않은 시나리오에서 기존의 DMAC 보다 성능이 우수하게 나왔다. 그 이유는 기존의 방향성 안테나의 경우 노드②와 노드③의 통신을 모르는 노드①에서 Deafness현상이 발생하는데 반해 DMAC/NT는 노드②가 노드③으로의 통신 초기 시에 전송하는 RTS의 수신으로 NAV Table을 생성하기 때문에 노드 ②와 노드③의 통신을 인지할 수 있고 이로 인해 Deafness 현상을 극복한 것을 알 수 있다.

4.1.2 시나리오(ii)

시나리오(ii)는 방향성 안테나를 이용한 MAC Protocol의 최대 장점인 Spatial reuse를 고려한 시나리오로써 실제 차량환경에서 빈번히 일어나는 도로주행 토폴로지를 구현하였다.

각 노드간의 간격은 250m이고 노드②와 노드③이 이미 CBR 통신 링크가 설정이 되어 있는 상태에서 노드 ⑤가 30km, 60km, 90km, 120km의 상

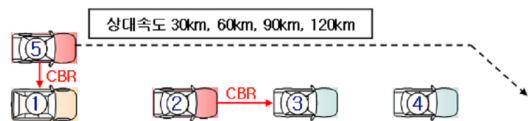


그림 12. 시나리오(ii)

대속도를 가지면서 노드 ①로 CBR을 전송하는 시나리오이다. 그림 12는 시나리오(ii)의 구성을 나타내고 있고, 그림 13은 시나리오(ii)의 throughput 결과를 나타낸다. 성능분석결과 Spatial reuse의 장점을 가지는 방향성안테나를 이용한 DMAC과 DMAC/NT가 IEEE 802.11보다 우수한 성능을 보였다. 네트워크 토폴로지 변화가 가장 심한 120Km/h의 상대속도에서 전방향성 안테나를 사용하는 IEEE 802.11보다 DMAC은 9.95%, DMAC/NT는 15.3% 우수한 성능을 보였다. 이러한 이유는 전방향성 안테나를 사용하는 IEEE 802.11의 특성상 노드①과 통신 중이었던 노드⑤가 노드③으로 패킷을 전송중인 노드②의 왼쪽 영역으로 이동하면 기존의 노드②와 노드③의 통신에 새롭게 이동한 노드로 인한 패킷 충돌이나 간섭이 발생하기 때문이다. 반면에 방향성 안테나를 이용한 Protocol의 경우 노드⑤가 노드②의 왼쪽 영역으로 이동하여도 노드②의 안테나는 방향성 안테나의 특성상 패킷을 보내는 방향인 노드③으로 안테나의 빔 포인터가 설정되어있으므로 기존의 노드⑤와 노드①의 통신에 영향을 받지 않게 되고, 따라서 방향성 안테나를 사용한 Protocol이 전방향성 안테나를 사용하는 IEEE 802.11보다 수신 throughput이 우수한 성능을 보인 것이다.

방향성 안테나 중에서도 NAV Table을 사용한 DMAC/NT가 DMAC보다 상대 속도가 빨라질수록 상대적으로 높은 throughput을 보였다. 시나리오(ii)에서 DMAC Protocol 적용 시에는 이동성을 가진 노드⑤가 노드①과의 통신에서 통신반경을 벗어나 다른 노드를 이용해서 패킷을 전송하는 멀티

홉의 위치로 이동하였을 때 즉, 노드②와 노드③의 중간위치나 노드③과 노드④의 중간위치로 이동하였을 때는 노드⑤는 노드①과의 통신을 위해서 중간 노드들을 이용하여야한다. 이 경우 이미 노드②와 노드③이 통신 중이고, 이들 노드가 통신 중인 것을 알지 못하는 노드⑤는 노드①로 패킷을 전송하기 위해 노드②와 노드③으로 RTS를 계속해서 전송하게 되고 이러한 RTS 전송으로 인해 Deafness 문제가 발생한다. 하지만 DMAC/NT의 경우에는 노드②와 노드③에서 전방향으로 전송되는 RTS와 CTS를 이용하여 노드⑤가 NAV Table을 구성할 수 있기 때문에 Deafness현상을 예방할 수 있고 그 결과 수신 throughput이 DMAC보다 5.3% 우수한 성능을 보였다.

### V. 결 론

본 논문에서는 Mobile Ad-hoc 네트워크에서 방향성 안테나를 사용한 MAC Protocol들을 소개하고 기존에 연구되었던 방향성 안테나용 MAC Protocol을 차량환경에 적용하였을 때의 문제점을 분석하여 차량환경에 보다 적합한 새로운 방향성 안테나를 이용한 MAC Protocol을 제안하였다. 시뮬레이션 결과 DMAC/NT Protocol이 멀티 홉 시나리오에서 DRTS-DCTS-DDATA-DACK를 사용하는 DMAC Protocol보다 10.44%의 높은 throughput 향상을 보였으며 방향성 안테나를 이용한 MAC Protocol의 Spatial reuse의 장점을 활용한 이동성 모델에서도 DMAC/NT가 802.11보다 15.30%, DMAC보다 5.30% 우수한 성능을 보였다. 이러한 결과는 기존의 방향성 안테나용 MAC Protocol에서 문제점으로 분석되었던 Deafness현상이나 방향성 안테나 각도에 따른 NAV Time 설정에 따른 단점을 새로 제안한 DMAC/NT가 보완하였다는 것을 보여준다.

향후 다양한 형태로 나타나게 될 ITS 및 텔레매틱스 서비스를 위해서는 기존의 노변장치 차량 단말기 서비스형태가 아닌 차량 주행환경에 보다 적합한 통신기술이 필요할 것이다. 따라서 본 논문에서는 차후 ITS의 통신으로 사용될 수 있는 IEEE 802.11을 사용하여 차량환경에서 필요한 통신기술의 문제점 분석과 새로운 형태의 프로토콜을 제시하였고 시뮬레이션을 통해 제안한 프로토콜이 차량환경에서 우수한 성능을 나타내는 것을 검증하였다.

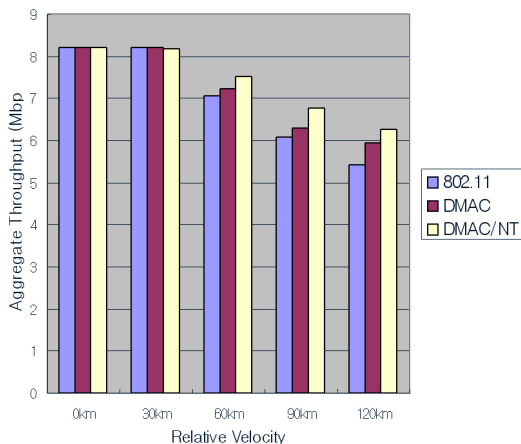


그림 13. 시나리오(ii)의 throughput



참 고 문 헌

- [1] Y. B.Ko, V.Shankarkumar, and N.H.Vaidya, "Medium access control protocols using directional antennas in ad hoc networks", In Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), volume1(3), pages 13-21 Tel Aviv, Israel, Mar. 26-30 2000
- [2] M. Takai, J.Martin, A.Ren, R.Bagrodia, "Directional Virtual Carrier Sensing for Directional Antennas in Mobile Ad Hoc Networks", ACM MobiHoc, June 2002
- [3] A.Nasipuri, S.e.J.You, R.E.Hiromoto, "A MAC PROTOCOL FOR MOBILE AD-HOC NETWORKS USING DIRECTIONAL ANTENNAS", In Proceeding of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Chicago, IL, Sep.23-28 2000
- [4] Zhuochuan Huang, Chien-Chung Shen, Srisathapornphat, C,Jaikaeo, "A busy-tone based directional MAC protocol for ad hoc networks" MILCOM 2002. Proceedings Volume 2, Page(s):1233 - 1238 Oct. 2002
- [5] Takata, M, Bandai, M, Watanabe. T, "A Receiver-Initiated Directional MAC Protocol for Handling Deafness in Ad Hoc Networks" Communications, 2006 IEEE International Conference on Volume 9, Page(s):4089 - 4095 June 2006
- [6] Saikat Ray, Jeffrey B. Carruthers, David Starobinski, "RTS/CTS-Induced Congestion in Ad Hoc Wireless LANs", IEEE WCNC 2003, New Orleans, March 2003.
- [7] Zhuochuan Huang, Chien-Chung Shen, "A comparison study of omnidirectional and directional MAC protocols for ad hoc networks" Global Telecommunications Conference, 2002. GLOBECOM '02. IEEE Volume 1, 17-21 Page(s):57 - 61 vol. Nov. 2002
- [8] J. Deng and Z. J. Haas, "Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA) : A New Medium Access Control for Packet Radio Networks," Proceedings of IEEE ICUPC 1998, vol. 1, Page(s) : 973-977, October 1998
- [9] C. Siva Ram Murthy and B.S.Manoj "Ad Hoc Wireless Networks Architectures and Protocols" PRENTICE HALL Professional Technical Reference Upper Saddle River. NJ 07458 www.phptr.com Page(s):227 - 298
- [10] R. R. Choudhury and N. H. Vaidya, "Deafness : A MAC Problem in Ad Hoc Networks when using Directional Antennas," Proc. IEEE International Conference on Network Protocols(ICNP), Page(s):283 - 292, October. 2004
- [11] Das et al., "DMesh: Incorporating Practical Directional Antennas in Multichannel Wireless Mesh Networks," Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, Volume 24, Issue 11, Page(s):2028 - 2039 November. 2006
- [12] QualNet Forum  
[http://www.scalable-networks.com/training\\_and\\_support/support/forums/index.php](http://www.scalable-networks.com/training_and_support/support/forums/index.php)

박 상 욱 (Sang-wook Park)

준회원



2002년 2월 울산대학교 전자공학과 졸업  
 2004년 8월~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 석사과정  
 <관심분야> ITS 및 텔레매틱스 통신, 통신네트워크, 임베디드 시스템

정 성 대 (Sung-dae Jung)

정회원



2003년 2월 부경대학교 제어 계측공학과 졸업  
 2005년 2월 한양대학교 전자통신 컴퓨터공학과 석사  
 2006년 3월~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> ITS 및 텔레매틱스 통신, 통신 네트워크, 임베디드 시스템, 국내의 표준화

정 종 인 (Jong-in Jung)

준회원



2005년 2월 수원대학교 전기 공  
학과 졸업  
2005년 2월~현재 한양대학교 전  
자통신컴퓨터공학과 석박사  
통합과정  
<관심분야> ITS 및 텔레매틱스  
통신, MAC Chip 구현, 국내  
외 표준화

이 상 선 (Sang-sun Lee)

정회원



1978년 2월 한양대학교 전자공학  
과 졸업  
1983년 2월 한양대학교 전자공학  
과 석사  
1990년 8월 University of Florida  
전기공학과 박사  
1991년 4월~1991년 11월 생산기  
술연구원 선임연구원겸 조교수  
1991년 11월~1993년 2월 전자부품종합기술 연구소 선  
임연구원  
1993년 3월~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부  
정교수  
<관심분야> ITS 및 텔레매틱스 통신, 통신망 통합 및  
연동, 통신네트워크