

碩士學位論文

Ad Hoc 네트워크에서 방향성 안테나와
톤을 이용한 MAC 프로토콜 구현



濟州大學校 大學院

通信工學科

高 尙 甫

2005 年 6 月

Ad Hoc 네트워크에서 방향성 안테나와
톤을 이용한 MAC 프로토콜 구현

指導教授 左 政 祐

高 尙 甫

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2005 年 6 月

 제주대학교 중앙도서관
高尙甫의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 李 鎔 鶴 印

委 員 梁 斗 榮 印

委 員 左 政 祐 印

濟州大學校 大學院

2005 年 6 月

MAC protocols using directional antennas
and tones in Ad Hoc networks

Sang-Bo Ko

(Supervised by professor Jeong-Woo Jwa)

A thesis submitted in partial of the requirement for the degree of
Master of Engineering

2005. 6.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Yong-Hak Lee, Prof. of Telecom. Eng.

Thesis director, Doo-Yeong Yang, Prof. of Telecom. Eng.

Thesis director, Jeong-Woo Jwa, Prof. of Telecom. Eng.

(Name and signature)

2005. 6. 21.

Date

Department of Telecommunication engineering

GRADUATE SCHOOL

CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

Abstract	1
I. 서론	2
II. Ad Hoc MAC 프로토콜	5
1. Ad Hoc 네트워크	5
2. Ad Hoc MAC 프로토콜 설계에서 고려사항	8
3. 숨은 노드와 노출된 노드 문제	11
4. Deafness 문제	12
III. 방향성 안테나와 톤을 이용한 Ad Hoc MAC 프로토콜	14
1. 안테나 모델	14
2. Deafness 테이블을 이용한 MAC 프로토콜	15
3. 듀얼 톤을 이용한 MAC 프로토콜	25
IV. 성능평가 및 토론	31
1. 시뮬레이션 환경	31
2. 시뮬레이션 시나리오	32
3. 시뮬레이션 결과 및 토론	34
V. 결론	39
참고 문헌	40

Abstract

Ad hoc network is an autonomous system of mobile nodes which are typically equipped with omni-directional antennas. Recently, ad hoc networks using directional antennas have been proposed to improve the network capacity. There has been studied to solve the deafness and the hidden and exposed terminal problems in ad hoc medium access control (MAC) protocols with directional antennas. In this thesis, we proposed ad hoc MAC protocols using tones and directional antennas to improve the network capacity.

Deafness is a serious problem in ad hoc MAC protocols using directional antennas as deafness increases the backoff duration and thus decreases network throughput. A suitable MAC protocol must be used to improve the network capacity. Current MAC protocols, such as the IEEE 802.11 standard and etc, do not benefit when using directional antennas, because these protocols have been designed to exploit omni-directional antennas.

In this thesis, we proposed two Ad hoc MAC protocols using the deafness table and the dual (start-and-stop) tone to mitigate the deafness problem in directional antenna systems. The proposed MAC protocol using the deafness table manages neighbor deafness nodes by receiving RTS and CTS and avoids the increased backoff duration caused by a deafness node. The dual tone in the proposed ad hoc MAC protocol is similar to the start and stop bits in asynchronous serial communication. The first tone tells neighbor nodes about the start of communication and the second tone indicates the end of communication. Therefore, the proposed Ad hoc MAC protocol improves network throughput by mitigating the deafness problem. The performance of the proposed ad hoc MAC protocols is confirmed by computer simulations using QualNet simulator ver 3.8.

I. 서론

Ad Hoc 네트워크는 백본 망, AP(access point) 혹은 기지국과 같이 기반구조에 의존하는 기존의 네트워크와는 달리 모든 단말기가 이동하는 환경에서 서로 커버리지 내에 위치하지 않은 노드와의 원활한 데이터 전송을 위해 다중 홉 무선 링크로 구성되어 여러 개의 중간 노드들의 데이터 포워딩과 경로설정에 의존하여 임시적으로 구성되는 새로운 형태의 네트워크이다.(김종천 등 2002) 현재까지 Ad Hoc 네트워크에서 많은 MAC(media access control) 프로토콜들이 연구되어 오고 있다. 그러나 이들 대부분이 IEEE 802.11 MAC(IEEE standard 802.11 1999)과 같이 전방향 안테나의 사용을 기반으로 제안되었다. 이와 같이 전방향 안테나를 사용하는 MAC 프로토콜은 단일 채널에서 통신 중인 두 노드의 커버리지 내에서 다른 노드들의 통신을 제한하기 때문에 채널 재사용이 어려울 뿐만 아니라 방향성 안테나를 사용하는 프로토콜에 비해 채널 용량이 떨어진다.(A. Nasipuri 등 2000)

Ad Hoc 네트워크에서 방향성 안테나의 사용은 두 가지 장점을 갖는다. 첫째, 통신 중인 두 노드의 커버리지 내에서 전송되는 프레임의 충돌이 없이 동시 전송이 가능하므로 채널 재사용이 증가한다. 둘째, 방향성 전송은 특정 방향에 대해 지향성을 가지므로 주변 노드들에 대한 간섭이 적으며 커버리지가 증가하는 이점을 갖는다.(R. R. Choudhury 등 2002) 이와 같은 장점으로 인해 채널 용량이 증가하게 되어 최근 들어 Ad Hoc 네트워크에서 방향성 안테나를 사용하는 MAC 프로토콜에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 방향성 안테나의 사용은 Deafness와 같은 문제점을 유발한다. Deafness란 프레임 전송이 방향성으로 이루어지면서 발생하는 문제점으로 일반적으로 임의의 노드가 통신 중인 노드의 통신 상태를 모르고 반복적으로 통신요청을 시도하면서 발생하는 문제점이다. 이와 같은 Deafness 문제는 연속된 데이터 전송에서 버려지는 프레임의 증가로 네트워크의 성능을 현저히 저하시키는 원인이 되므로 Ad Hoc 네트워크에서 방향성 안테나를 사용하면서 발생하는 Deafness 문제로 인한 성능 저하를 줄이는 새로운

MAC 프로토콜이 요구된다. IEEE 802.11과 같은 MAC 프로토콜은 전방향 안테나의 사용을 기반으로 제안되었기 때문에 방향성 안테나를 사용하는 시스템에서 좋은 성능을 얻기 어렵다. Takai 등(2002)은 채널 재사용을 증가시키기 위한 새로운 DVCS(directional virtual carrier sensing) 메커니즘을 제안하였고 Roy Choudhury 등 (2002)은 DVCS 메커니즘을 적용하여 채널 재사용을 최대화하는 DMAC(directional MAC) 프로토콜을 제안하였다. 두 논문 모두 방향성 안테나의 사용으로 인한 Deafness 문제를 해결하지는 못하였다. Elabatt 등 (2003)은 방향성 안테나를 사용하면서 안테나의 정보를 포함한 전송요구(RTS : request to send) 프레임과 확인요구(CTS : clear to send) 프레임을 모든 방향으로 전송하는 프로토콜을 제안하였다. 통신 중인 노드의 이웃 노드들은 전송되는 프레임의 정보를 통해 자신의 통신에 사용할 안테나 패턴을 선택하게 된다. 그러나 노드들은 항상 전방향으로 전송요구 프레임과 확인요구 프레임을 전송할 수 없기 때문에 여전히 Deafness 문제를 갖고 있다. Bandyopadhyay 등(2001)은 자신의 트래픽 패턴을 이웃 노드들에게 알리는 방법을 제안하였지만 이를 위해 사용되는 추가적인 제어 메시지로 인한 오버헤드 문제를 갖고 있다. Korakis 등(2003)은 Deafness 문제와 같은 방향성 안테나를 사용하면서 발생하는 문제점들을 해결하기 위하여 안테나의 모든 방향에 대해서 순차적으로 전송요구와 확인요구 프레임을 전송하는 Circular-DMAC 프로토콜을 제안하였다. 이 방식은 하나의 데이터를 전송하기 위해 안테나 패턴의 수만큼 전송요구와 확인요구 프레임을 전송해야 하므로 너무 많은 프레임 전송이 요구되는 문제점을 가지고 있다.

이 외에도 톤을 기반으로 전방향 안테나를 사용하여 "busy 톤"을 전송하는 MAC 프로토콜들이 제안되어왔다. 그러나 방향성 안테나의 사용으로 인한 장점으로 인해 최근 들어 방향성 안테나를 사용하여 "busy 톤"을 전송하는 프로토콜들이 제안되고 있다. Deng 등 (1998)은 숨은 노드 문제를 해결하기 위해 전방향으로 톤을 송수신하는 DBTMA(dual busy tone multiple access) 프로토콜을 제안하였다. Huang 등(2002)은 DBTMA 프로토콜을 방향성 안테나에 적용하여 데이터와 같이 톤을 방향성으로 전송하는 방식을 제안하였다. 톤과 데이터를 동시에 전송하기 위해 다수의 송수신기를 가정하였지만 방향성 전송으로 인한 Deafness 문제는 해결하지 못하였다. Vaidya 등(2003)은 톤을 위한 채널을 분리하고 하나의 송수신

기를 통해 전송하는 ToneDMAC 프로토콜을 제안하였다. 이 방식은 톤을 사용하여 Deafness 문제로 인해 증가된 백오프 기간을 줄여 전체 네트워크 성능을 향상시키지만 근본적으로 Deafness 문제는 해결하지 못했다.

본 논문에서는 Ad Hoc 네트워크에서 방향성 안테나를 사용하면서 발생하는 Deafness 문제를 해결하기 위하여 Deafness 테이블과 듀얼 톤을 사용한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 기존의 DMAC 프로토콜과 ToneDMAC 프로토콜의 성능을 개선하여 네트워크 처리량을 증가시키는 새로운 Ad Hoc MAC 프로토콜로 제안된 MAC 프로토콜의 성능은 쉘넷 시뮬레이터 버전 3.8을 통해 확인하였다. 본 논문의 II장에서는 Ad Hoc 네트워크에서 방향성 안테나를 사용하는 MAC 프로토콜에서 발생하는 Deafness 문제점과 DMAC 프로토콜에 대해 기술한다. III장에서는 제안하는 Ad Hoc MAC 프로토콜의 동작원리에 대해 설명한다. IV장에서는 쉘넷 시뮬레이터를 사용하여 제안된 MAC 프로토콜의 성능을 확인하고 V장에서 결론을 맺는다.



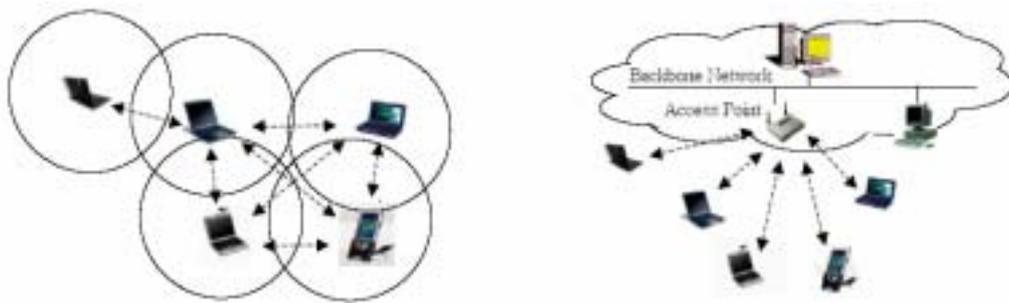
II. Ad Hoc MAC 프로토콜

본 장에서는 Ad Hoc 네트워크와 Ad Hoc MAC 프로토콜 설계에서 고려사항에 대해 살펴보고 제안하는 Ad Hoc MAC 프로토콜에서 해결하고자 하는 방향성 안테나를 사용하여 전송하면서 발생하는 Deafness 문제에 대해 기술한다.

1. Ad Hoc 네트워크

무선 네트워크는 Fig. 1과 같이 AP 또는 기지국과 같은 인프라의 지원 여부에 따라 인프라 기반 네트워크와 이동 Ad Hoc 네트워크로 분류할 수 있다. 인프라 기반 네트워크는 이동하는 노드들이 유선망에 의존하여 기지국이나 AP와 같이 인프라를 중심으로 네트워크가 구성된다. 이에 반해 이동 Ad Hoc 네트워크는 기지국이나 AP의 도움 없이 순수하게 이동하는 노드들로 네트워크가 구성된다.

인프라 기반 네트워크는 기존에 설치된 기지국이나 AP를 통해서만 데이터 통신이 이루어지는 구조로 현재 많이 접하고 있는 이동전화망이나 무선 랜이 이에 속한다. 인프라 기반 네트워크는 인프라를 통해서만 통신이 가능하므로 지진과 같은



(a) Mobile ad hoc networks

(b) Infrastructure networks

Fig. 1. Wireless networks

자연재해, 테러, 전쟁과 같은 상황에서 기지국이나 AP의 고장 혹은 유선망의 단절과 같은 상황 발생 시 통신이 두절되는 단점을 갖는다. 이에 반해, 이동하는 노드들에 의해 구성되는 이동 Ad Hoc 네트워크는 인프라가 존재하지 않는 곳에서 이동하는 노드들의 라우팅을 통해 데이터 통신이 이루어진다. 이동 Ad Hoc 네트워크에서 이동하는 노드들은 기지국이나 AP의 도움 없이 라우터, 서버 등의 다중적인 역할을 담당해야 한다. Ad Hoc 네트워크는 인프라가 필요하지 않는 특성으로 인해 Fig. 2와 같이 임시 구성용 네트워크나 지진, 태풍, 테러 등에 의한 재해/재난 지역과 특히 전쟁터와 같은 기반 시설이 없는 환경에서 적용이 가능하도록 군사용 네트워크에 중점을 두어 연구 개발되고 있다.(David B. Johnson 등 1996),(Charles E. Perkins 2000)

대표적인 Ad Hoc 네트워크 모델은 미국의 DARPA(defense advanced research projects agency)에서 추진하고 있는 GloMo(global mobile information system) 프로그램으로 Ad Hoc 네트워크 개념을 잘 반영하고 있다. 최근에는 IETF(internet engineering task force)의 MANET(mobile Ad Hoc network) 작업 그룹

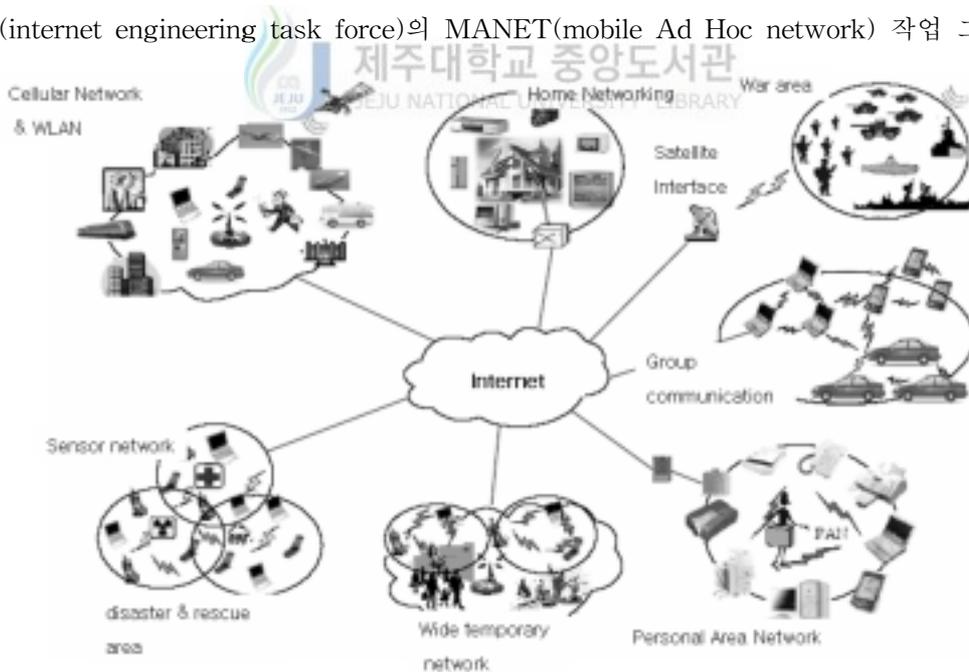


Fig. 2. Ad hoc network applications

에서 Ad Hoc 네트워크에 적합한 프로토콜 연구 및 표준화 활동을 활발히 진행하고 있다.(Barry M. Leiner 등 1996), (www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html) MANET 작업 그룹은 인터넷 기반 위에 Ad Hoc 네트워크에서 인터넷 프로토콜 지원 및 효과적인 라우팅에 대한 표준화를 목적으로 하고 있다. 현재 RFC(request for comments)와 인터넷 초안이 제출되어 Ad Hoc 네트워크에 대한 개방적이고 유연한 확장 구조를 도출하기 위한 작업이 진행 중이다. MANET 작업 그룹의 연구 분야는 라우팅 프로토콜 분야로 집중되어 있다. Ad Hoc 네트워크에서는 노드의 이동성을 지원하기 위하여 이동 경로에 따른 최적의 경로 계산과 수정에 많은 시간과 자원이 소비된다. 따라서 Ad Hoc 네트워크에서는 이동하는 노드 사이의 효율적인 통신을 위해 최적의 라우팅 기법이 요구되기 때문에 MANET 작업 그룹의 연구가 라우팅 프로토콜로 집중되어 왔으나 최근 들어 MAC 프로토콜에 관한 연구도 늘어가고 있는 실정이다. MAC 연구는 숨은 노드 문제, 노출된 노드 문제, 다수의 노드들에 대한 공평한 자원의 분배 문제에 초점을 두고 있다. 효율적인 자원 관리 및 에너지 사용에 관한 연구는 MAC 프로토콜과 라우팅 프로토콜에서 활발하게 연구가 수행되고 있다.

노드들이 이동하는 Ad Hoc 네트워크가 IP(internet protocol) 기반 프로토콜로 운용되면 많은 어플리케이션은 TCP(transmission control protocol) 프로토콜 위에 구현된다. Ad Hoc 네트워크에서는 토폴로지의 동적 변화로 인하여 트래픽의 지연이나 유실이 유선 네트워크에 비해 크기 때문에 일반 유선 네트워크에서 사용되는 TCP를 Ad Hoc 네트워크에 사용할 경우 안정적인 서비스 제공이 어렵고 네트워크 전체 성능이 저하되는 문제점이 있기 때문에 노드들이 이동하는 Ad Hoc 네트워크에 적합한 TCP의 설계 또한 주요 연구 대상의 하나가 되고 있다. 노드들이 이동하는 Ad Hoc 네트워크가 무선으로 구성되며 네트워크를 구성하는 노드들이 불확실하다는 점과 멀티 홉 라우팅이 사용된다는 점에서 보안 문제는 현실적으로 가장 해결이 필요한 분야 중의 하나이다. 그 외에도 Ad Hoc 네트워크에서 서비스 제공자의 위치 확인 및 서비스 제공 방법, 노드들간의 어드레싱 방법 등도 Ad Hoc 네트워크에서 주요 연구 분야이다.(신재욱 등 2002),(Murthy & Manoj 2004)

2. Ad Hoc MAC 프로토콜 설계에서 고려사항

MAC은 통신 중인 노드의 링크간 연결을 보장하고 공유 채널의 효율적인 사용을 위하여 다수의 사용자가 매체를 제어하는 메커니즘이다. 인프라를 기반으로 하는 기존의 네트워크에서는 CSMA/CD(carrier sensing medium access with collision detection) 방식의 프로토콜이 사용되어 왔다. 이 방식은 물리적인 반송과 감지를 통하여 채널의 상태가 휴지상태라고 판단될 경우 충돌이 없이 프레임을 전송하는 방식이다. 그러나 Ad Hoc 네트워크에서 데이터 전송 커버리지는 인프라를 기반으로 하는 네트워크에서 인프라(AP, 기지국 등)가 갖는 커버리지에 비해 전송 커버리지가 노드의 커버리지로 제한되기 때문에 위의 방식을 적용하기가 어렵다. 물리적인 반송과 감지를 통하여 채널의 상태를 확인한 후 프레임을 전송하였다 하더라도 노드의 커버리지 차이로 인해 데이터를 수신하는 노드에서 충돌의 원인되는 숨은 노드 문제와 채널의 사용을 저하시키는 노출된 노드 문제가 발생하기 때문이다. 이러한 이유로 Ad Hoc 네트워크에서는 충돌을 피하기 위한 CSMA/CA(carrier sensing medium access with collision avoidance) 방식의 프로토콜이 사용되고 있다. 또한 Ad Hoc 네트워크는 무선 단말들로 구성되기 때문에 기존의 네트워크에 비해 전력 소모 문제가 심각하고 노드들의 빠른 이동성은 Ad Hoc 네트워크에서 통신 링크 품질을 저하시키는 원인이 된다.

Ad Hoc 네트워크에서 MAC 프로토콜을 설계하는데 고려해야 할 사항으로 다음과 같은 사항들이 있다.(Murthy & Manoj 2004)

□ 분산 시스템

Ad Hoc 네트워크는 고정된 인프라가 없이 이동하는 노드들로 구성되는 네트워크이기 때문에 MAC 프로토콜 설계 시 분산된 노드들이 최소의 제어 오버헤드를 갖으면서 동작하도록 설계되어야 한다.

□ 동기화

동기화는 TDMA(time division multiple access)방식을 기반으로 한 시스템에서 송수신 슬롯 타임을 관리하는 기반 기술이다. 동기화를 위해서는 대역폭, 배터리 파워등과 같은 자원이 소비가 필요하고 동기화를 위한 제어 프레임의 사용은 네트워크에서 프레임 충돌의 증가를 유발한다.

□ 숨은 노드

숨은 노드 문제는 수신 노드의 커버리지 내에 있으면서 서로의 통신 상태를 모르는 두 노드가 서로에게 숨은 노드로 작용하여 수신 노드에서 프레임 충돌이 발생하는 경우이다. 숨은 노드 문제는 네트워크 처리량을 저하시키는 주된 원인으로 MAC 프로토콜 설계 시 반드시 고려되어야 한다.

□ 노출된 노드

노출된 노드 문제는 통신 중인 노드의 커버리지 내에 있는 노드는 진행 중인 통신이 완료될 때까지 프레임을 전송하지 못하기 때문에 발생한다. MAC 프로토콜의 효율을 증가시키기 위해서는 진행 중인 통신에 지장을 주지 않으면서 프레임 전송이 가능하도록 MAC 프로토콜을 설계하여야 한다.

□ 네트워크 처리량

Ad Hoc 네트워크에서 MAC 프로토콜은 시스템의 처리량을 최대화하도록 설계된다. 이를 위해서는 충돌의 발생과 제어를 위한 오버헤드를 최소화하고 채널의 사용을 최대화하도록 설계해야 한다.

□ 매체 제어 지연

제어 지연 시간은 전송된 프레임을 수신하는데 걸리는 평균 지연 시간으로 MAC 프로토콜은 지연 시간을 최소화하도록 설계해야 한다.

□ 채널 사용의 공정성

MAC 프로토콜은 모든 노드가 한정된 채널을 사용함에 있어 공정하고 효율적으

로 사용하도록 관리하여야 한다. 공평성은 노드기반과 프레임 흐름기반으로 분류가 가능한데 전자는 채널 사용에 위한 경쟁에 모든 노드에게 균등한 대역폭의 사용을 제공하며 후자는 데이터를 전송하는데 균등한 대역폭을 제공한다. Ad Hoc 네트워크에서는 노드들에 의해 다중 홉으로 데이터가 전송되기 때문에 채널 사용의 공평성 문제는 매우 중요하다.

□ 자원의 예약

대역폭, 지연 시간, 지터 등과 같은 QoS(quality of service)의 제공은 대역폭, 버퍼 용량, 소비 전력 등과 같은 자원의 예약이 요구된다. 그러나 Ad Hoc 네트워크에서 노드들의 이동성으로 인해 이러한 자원을 예약이 어렵다. 따라서 MAC 프로토콜은 자원 예약을 위한 메커니즘을 제공하여 QoS를 보장할 수 있어야 한다.

□ 소비 전력

Ad Hoc 네트워크는 무선 단말들로 구성되기 때문에 단말기의 전력 제어가 반드시 필요하다. 전력 제어 전송은 노드의 전력 소모를 줄임으로써 이웃 노드에 대한 간섭을 줄이고 채널 재사용을 증가시키기 때문에 MAC 계층에서 전력 제어는 매우 중요하다.

□ 방향성 안테나의 사용

Ad Hoc 네트워크에서 방향성 안테나의 사용은 채널 재사용을 증가시키고 이웃 노드에 대한 간섭을 줄일 뿐만 아니라 소비되는 전력을 줄이는 등 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 Ad Hoc 네트워크에서 대부분이 MAC 프로토콜들이 전방향 안테나의 사용을 기반으로 제안되었기 때문에 방향성 안테나의 사용이 어렵다. 따라서 Ad Hoc 네트워크에서 방향성 안테나를 사용하는 MAC 프로토콜 설계가 필요하다.

결론적으로 Ad Hoc 네트워크를 구성하는 모든 노드가 이동이 가능하고 이동하는 노드들의 협력에 의한 독립적인 시스템임을 고려하여 제한된 대역과 열악한 채널환경에서 무선 매체를 공평하고 효율적으로 관리하여 링크간 통신을 보장하는

효율적인 MAC 프로토콜에 대한 연구가 필요하다.(Murthy Manoj, 2004),(A. Nasipuri 등 2000)

3. 숨은 노드와 노출된 노드 문제

Ad Hoc 네트워크에서 MAC 프로토콜 설계 시 항상 고려해야 하는 문제점으로 위에서 언급한 숨은 노드와 노출된 노드 문제가 있다. 숨은 노드와 노출된 노드 문제는 Ad Hoc 네트워크에서 전송 커버리지가 노드의 커버리지로 제한되면서 발생하는 문제점이다. 숨은 노드 문제는 수신 노드의 커버리지에 위치하는 노드들이 동시에 프레임 전송을 시도하면서 발생하는 프레임 충돌이 그 원인으로 Fig. 3에서 보듯이 송신 노드 S1과 S2는 서로의 커버리지에 속해있지 않으면서 수신 노드 R1의 커버리지에 속해있다. 이러한 경우 두 노드 S1과 S2가 서로의 상태를 모르고 동시에 프레임을 전송하면서 노드 R1에서 충돌이 일어나게 된다. 이러한 충돌은 두 노드 S1과 S2가 서로의 커버리지에 속해있지 않아 서로에게 숨은 노드로 작용하기 때문이다. 노출된 노드 문제는 통신 중인 주변 노드로 인해 프레임을 송수신 할 수 없게 되는 문제점이다. 노드 S1이 노드 R1과 이미 통신이 진행 중이

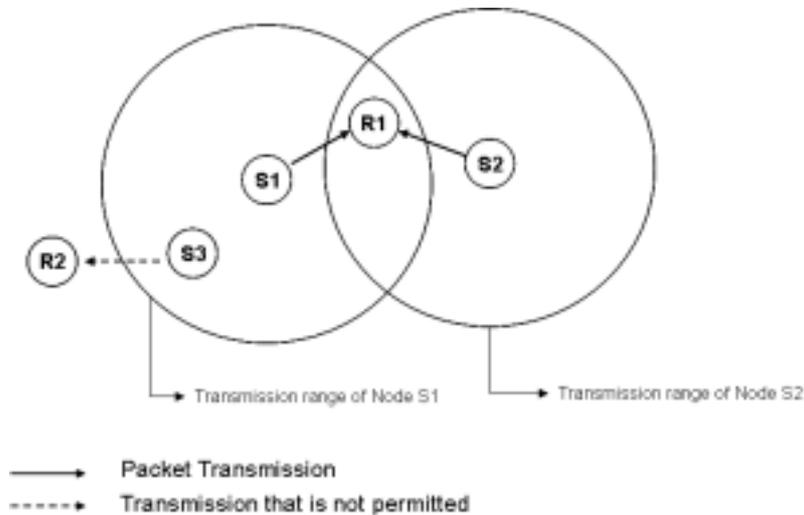


Fig. 3. Hidden and exposed terminal problems

라면 노드 S3의 프레임 전송 시도는 이미 진행 중인 통신에 영향을 주기 때문에 노드 S3는 노드 R2로 프레임을 전송하지 못한다.

숨은 노드와 노출된 노드 문제는 네트워크 트래픽이 증가할수록 전체 네트워크의 처리량에 크게 영향을 미치기 때문에 MAC 프로토콜 설계 시에는 반드시 숨은 노드와 노출된 노드 문제를 해결하여야 한다. Ad Hoc 네트워크에서 방향성 안테나의 사용은 노출된 노드 문제를 해결하여 준다. 방향성 안테나를 이용한 방향성 전송은 특정 방향에 대해 지향성을 갖기 때문에 통신 중인 노드의 커버리지 내에 존재하는 노드도 진행 중인 통신에 영향을 주지 않으면서 통신이 가능하게 되어 노출된 노드 문제를 해결하여 준다. 그러나 숨은 노드 문제는 전송요구와 확인요구 프레임 교환을 통하여 이웃 노드들에게 자신의 통신 상태를 알려 핸드러링이 가능하지만 방향성 전송으로 인한 Deafness라는 새로운 문제점으로 나타나게 된다.

4. Deafness 문제



Deafness는 프레임 전송이 방향성으로 이루어지면서 발생하는 문제점으로 일반적으로 임의의 노드 X가 임의의 노드 Y로 프레임 전송을 시도하지만 노드 Y가 다른 노드와 통신 중이기 때문에 응답을 할 수 없음에도 불구하고 노드 X가 반복적으로 통신요청을 하면서 발생하는 문제이다.(Hrishikesh Gossain 등 2004),(R. R. Choudhury 등 2004) 이로 인해 노드 X의 백오프 기간이 지속적으로 증가하고 재전송을 시도하는 횟수가 많아지면서 결국 네트워크 성능을 떨어뜨리는 결과를 초래한다. Fig. 4에서 노드 A는 노드 B로 통신 요청을 위한 전송요구 프레임을 전송한다. 하지만 노드 B는 노드 C와 통신이 진행 중이기 때문에 노드 A가 전송한 전송요구 프레임을 수신하지 못한다. 노드 A는 자신이 전송한 전송요구 프레임이 충돌이 일어났다고 판단하여 지속적으로 백오프 기간을 증가시키면서 전송요구 프레임을 재전송한다. 이러한 과정을 반복하면서 노드 A는 결국 프레임 전송을 실패하게 되고 전체 네트워크의 성능을 저하시키는 요인으로 작용한다. 이러한 Deafness

문제는 노드 B가 연속적인 데이터 프레임을 전송하는 경우에 심각한 문제점으로 작용한다. 이렇듯 방향성 전송은 채널 재사용을 증가시키고 주변 노드에 대한 간섭을 줄일 수 있지만 전송 실패로 버려지는 프레임의 증가와 재전송 횟수의 증가를 초래한다. 이는 근원적으로 전방향 안테나를 사용하는 시스템에서 발생하는 숨은 노드 문제와 유사하다.

Deafness 문제를 해결하기 위한 방법으로 측파대역에 정보 채널을 두어 이웃노드들에게 통신이 진행 중임을 알리는 등의 다양한 방법들이 제안되었다. 그러나 대부분의 해결방안들은 기존의 802.11을 기반으로 하는 RF 하드웨어에 적용이 불가능하여 추가적인 하드웨어 혹은 물리계층의 수정이 요구되었다. 802.11 MAC 계층은 Deafness 문제를 경감시키고 숨은 노드문제를 제어하기 위한 전송요구와 확인요구 프레임 교환 메커니즘이 있다. 그러나 전송요구와 확인요구 프레임은 데이터 프레임에 비해 아주 짧은 프레임이기 때문에 물리적인 반송파 감지를 통해서도 두드러진 효과를 기대하기가 어렵다. 또한 노드는 이웃 노드에 대한 NAV(network allocation vectors)를 꾸준히 갱신해야 하기 때문에 전송요구와 확인요구 프레임 교환을 통한 VCS(virtual carrier sensing) 과정에 전송요구 프레임과 확인요구 프레임의 충돌 가능성을 지니고 있다. 본 논문에서는 이러한 Deafness 문제를 해결하기 위하여 VCS 알고리즘을 적용한 전송요구-확인요구-데이터-긍정응답의 4 프레임 교환 방식에 Deafness 테이블을 통한 다중 전송요구 프레임 전송과 듀얼 톤을 이용한 Deafness 문제 해결 방안을 제시한다.

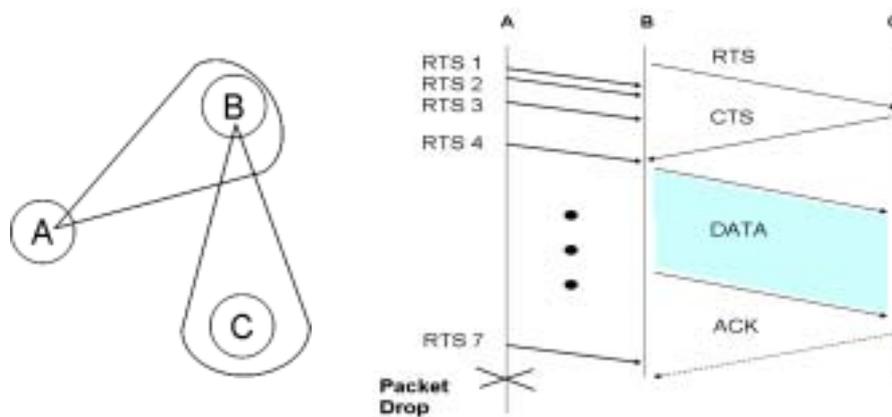


Fig. 4. Deafness problem

III. Deafness 테이블과 톤을 이용한 MAC 프로토콜

본 장에서는 제안하는 프로토콜의 안테나 모델과 Deafness 문제를 해결하기 위한 방안에 대해서 소개한다. Deafness를 해결하기 위한 방안으로 방향성 안테나를 사용하는 시스템에서 Deafness 테이블을 이용한 성능 개선 방안과 듀얼 톤을 이용한 성능개선 방안에 대해 소개한다.

1. 안테나 모델

제안하는 프로토콜은 스위치드 빔 안테나를 사용한다. 사용하는 안테나의 패턴은 Fig. 5과 같이 8개의 패턴으로 하나 이상의 패턴을 선택하여 전송이 가능하여야 한다. 예를 들어, 전방향 모드인 경우는 안테나 8개 패턴이 모두 선택된 경우를 의미한다. 사용하는 안테나 시스템은 전방향과 방향성의 두 가지 모드로 동작하며 어떠한 모드에서도 송수신이 가능하며 특정 방향에 대한 안테나의 최대 이득은 16.563 dBi이다. 일반적으로 방향성 모드에서 특정 방향에 대한 이득 G^d 는 전방향성 이득 G^o 보다 크다. 이는 방향성 안테나가 갖는 원추형 빔 패턴을 통해 원하는

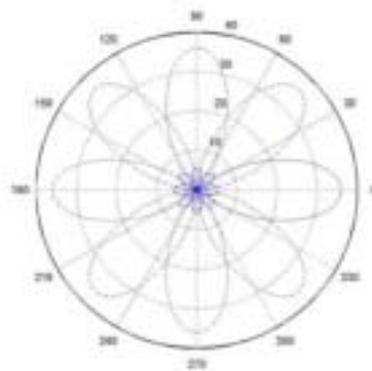


Fig. 5. Antenna model

방향의 신호를 수신하기 때문에 전방향 안테나에 비해 방향성 안테나가 높은 이득을 갖도록 설계된다. 그러나 본 논문에서는 방향성 전송과 전방향 전송에 동일한 커버리지를 갖도록 안테나를 통해서 전송되는 EIRP(effective isotropic radiated power)를 동일하게 한다.

2. Deafness 테이블을 이용한 MAC 프로토콜

본 절에서는 DMAC(directional MAC) 프로토콜(Y. Ko 등 2000),(A. Nasipuri 등 2000)에 대해서 자세하게 설명하고 DMAC 프로토콜을 개선하여 DMAC 프로토콜에서 해결하지 못한 Deafness 문제를 해결하여 전체 네트워크 처리량을 증가시키는 새로운 MAC 프로토콜을 제안한다.

2.1 DMAC 프로토콜



DMAC 프로토콜은 IEEE 802.11과 많은 부분에서 유사한 방식으로 전송요구-확인요구-데이터-긍정응답의 4 프레임 교환방식으로 모든 노드는 N개의 방향성 안테나가 필요하다. DMAC 프로토콜은 802.11에서처럼 데이터 프레임의 전송이 끝나는 즉시 그에 대한 응답으로 긍정응답 프레임을 전송한다. 그러나 802.11은 긍정응답 프레임을 전방향으로 전송하는 대신 DMAC 프로토콜에서는 방향성으로 전송한다. 또한 802.11과 같은 전방향 MAC 프로토콜에서는 통신 중인 노드의 커버리지 내에서 전송요구 프레임 또는 확인요구 프레임을 수신한 노드는 통신이 끝날 때까지 통신이 불가능하다. 이러한 문제를 해결하여 채널 재사용을 증가시키기 위하여 DMAC 프로토콜에서는 802.11과 동일한 알고리즘을 각각의 안테나에 적용한다. 다시 말해, 임의의 노드 X의 안테나 T가 주변의 진행 중인 두 노드 사이의 통신에 지장을 준다면 노드 X는 안테나 T로 어떠한 전송도 하지 않을 것이다. 여기서 안테나 T는 “차단된 상태(blocked state)” 라고 칭하며 진행 중인 통신이 완료

될 때까지 차단된 상태를 유지하고 수신된 전송요구 프레임 또는 확인요구 프레임의 정보를 통해 통신이 완료될 시점에 "전송 가능한(unblocked state)" 상태로 전환한다. 하나의 방향성 안테나가 차단된 상태인 경우, 차단된 안테나를 제외한 나머지 다른 안테나들은 사용이 가능하다. 결국 DMAC은 전송이 가능한 안테나를 이용하여 진행 중인 통신에 영향을 주지 않으면서 동시에 통신이 가능하도록 한다. DMAC에서 전방향 전송은 모든 방향성 안테나를 사용하여 전송하는 경우를 의미하며 모든 안테나가 전송이 가능한 경우 전방향성 모드로 동작하고 차단된 상태의 안테나가 하나 이상 존재할 경우 방향성으로 동작한다. 그러나 Fig. 6에서 보듯이 CTS 프레임은 항상 전방향으로 전송한다. CTS를 전송한 노드는 데이터 프레임을 수신할 노드이기 때문에 데이터 프레임을 수신할 노드의 커버리지 내에 존재하는 모든 노드의 안테나를 차단 시켜 데이터의 성공적인 전송을 보장한다. 하지만 Fig. 7에서 보듯이 DMAC 프로토콜에서는 노드 B의 방향성 전송으로 인한 Deafness 문제를 해결하지 못하고 있다. 이런 Deafness 문제는 2.3절에서 언급했듯이 노드 A의 지속적인 백오프 기간의 증가와 반복되는 재전송으로 결국 데이터를 유실할 우려가 있으며 이로 인해 전체 네트워크 성능을 저하시키게 된다.



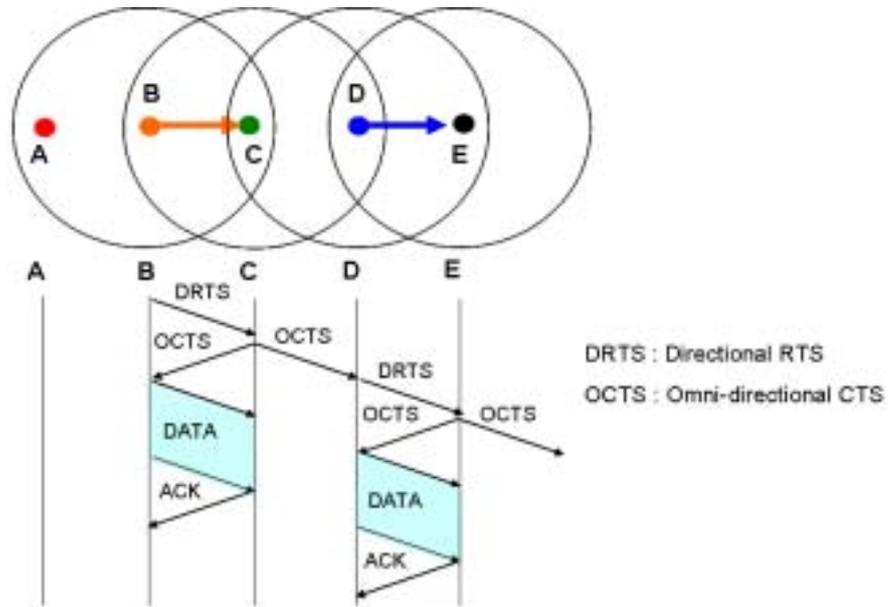


Fig. 6. The operation of the DMAC protocol

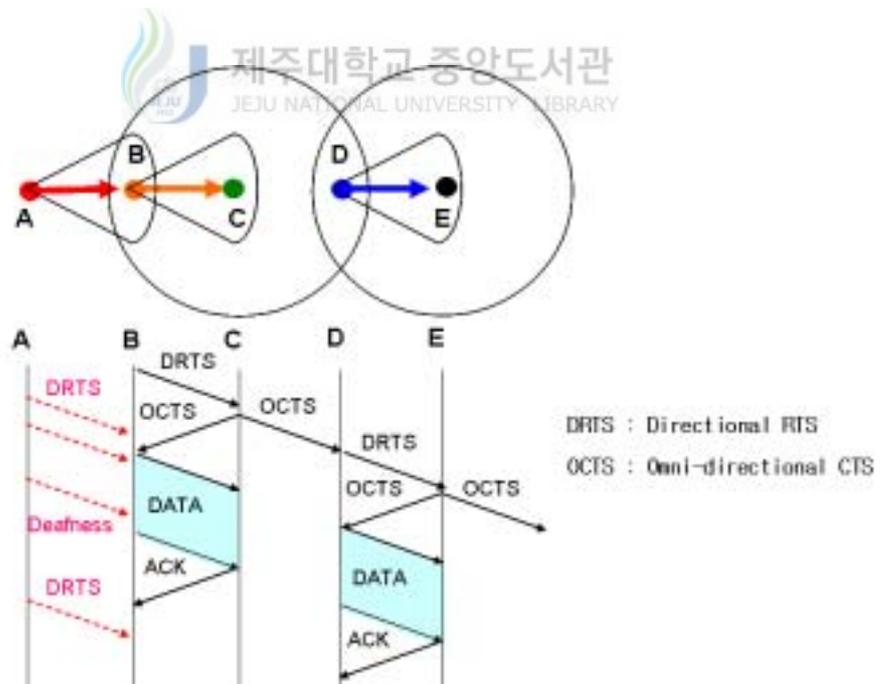


Fig. 7. Deafness problem in the DMAC protocol

2.2 제안하는 MAC 프로토콜

방향성 전송으로 발생하는 Deafness 문제는 통신 중인 노드의 이웃 노드들이 통신을 원하는 노드가 통신 중임을 모르기 때문이다. 이를 해결하기 위해 제안하는 MAC 프로토콜은 노드의 Deafness 테이블을 통해 전송요구 프레임 전송을 전송 가능한 모든 방향으로 전송하여 Deafness 노드로 전송요구 프레임 전송을 지연시킴으로써 Deafness 문제를 해결한다. 예를 들어, 임의의 노드 X가 주변의 두 노드의 통신 중임을 알고 차단된 상태인 경우 Fig. 8에서와 같이 나머지 7개의 전송 가능한 방향에 대해서 전송요구 프레임 전송을 수행한다. 이는 통신 요청을 위해 방향성 전송요구 프레임을 전송으로 인한 Deafness 문제를 해결한다.

1) 수행 과정

제안하는 MAC 프로토콜은 방향성 전송요구 프레임-확인요구-데이터-긍정응답의 4 프레임 교환 방식으로 전송요구 프레임 전송은 전송 가능한 모든 방향으로 전송되며 나머지 확인요구-데이터-긍정응답 프레임 교환은 방향성으로 수행한다. 제안하는 MAC 프로토콜에서 사용하는 프레임은 다음과 같다.

- ① 전송요구(RTS) 프레임
 - 데이터를 전송하기 위한 전송요구 프레임
- ② 확인요구(CTS) 프레임
 - 데이터를 수신하기 위한 데이터 전송 확인요구 프레임
- ③ 데이터(DATA) 프레임
 - 전송되는 데이터 프레임
- ④ 긍정응답(ACK) 프레임
 - 성공적으로 데이터를 수신했다는 긍정응답 프레임

□ 전송요구 프레임 송수신

전송요구 프레임 전송은 현재 전송 가능한 모든 방향에 대해서 수행하며 전방향 모드는 안테나의 모든 방향이 전송 가능한 경우를 의미한다. 노드 B가 전방향 모드에서 통신을 요청하기 위하여 전송 가능한 모든 방향으로 전송요구 프레임을 전송하면 노드 B의 커버리지 내에서 전송요구 프레임을 수신한 노드 A는 자신의 Deafness 테이블에 노드 B를 Deafness 노드로 등록하여 노드 B의 통신이 완료되기 전에 노드 B와 통신을 원하게 되면 전송요구 프레임을 전송할 시점에 Deafness 체크를 통해 노드 B와 노드 C의 통신이 끝날 때까지 전송을 지연한다.

□ 확인요구 프레임 송수신

확인요구 프레임은 노드가 전송요구 프레임을 성공적으로 수신하여 전송요구 프레임에 대한 응답으로 전송한다. 노드 B의 전송요구 프레임을 수신한 노드 C는 노드 B의 방향으로 확인요구 프레임을 전송한다. 그러나 확인요구 프레임의 방향성 전송으로 인해 확인요구 프레임이 전송되는 커버리지 내에서 노드 C의 통신을 모르는 노드 D의 Deafness 문제가 발생한다. 그러나 확인요구 프레임은 수신 노드로 하여금 안테나의 사용의 블로킹을 유발하기 때문에 채널 재사용을 떨어뜨린다. 이에 제안하는 MAC 프로토콜에서는 확인요구 프레임의 전송 커버리지 내에서 발생하는 Deafness 문제를 채널 재사용을 증가시키기 위하여 묵인한다. 노드 C의 확인요구 프레임을 수신한 노드 B는 노드 C로 데이터 프레임 전송을 시작하고 노드 F는 노드 C의 방향을 차단한다.

□ 데이터/긍정응답 프레임 송수신

긍정응답 프레임 전송은 데이터 프레임을 수신한 노드 C가 데이터 프레임의 에러여부를 판별하고 성공적으로 데이터 프레임을 수신한 경우 즉시 긍정응답 프레임을 전송한다. 에러가 검출되면 노드 C는 긍정응답 프레임 전송을 포기하고 긍정응답 프레임 응답을 받지 못한 노드 B는 데이터 프레임의 재전송을 위해 전송요

구 프레임을 전송한다. 그러나 노드 C가 성공적으로 데이터 프레임을 수신하여 긍정응답 프레임을 전송했다 하더라도 노드 B가 무선 환경의 요인으로 인해 긍정응답 프레임을 수신하지 못하는 경우가 발생할 수도 있다. 이러한 경우에 노드 C는 노드 B의 전송요구 프레임에 대한 응답으로 긍정응답 프레임을 전송한다.

여기서 노드 B는 Fig. 9에서와 같이 연속된 데이터 프레임 전송을 위해 전송요구 프레임을 전송하는 동안 다중 홉으로 구성되는 Ad Hoc 네트워크의 특성으로 인하여 노드 C의 전송요구 프레임을 수신하지 못하는 경우가 발생한다. 이러한 문제 네트워크 트래픽이 대략 150Kbps 이상의 경우에 발생하게 되며 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 프레임 통신이 완료되면 주변 노드의 Deafness를 파악하기 위한 전송 지연 시간을 둔다. 제안하는 MAC 프로토콜에서 사용하는 전송 지연 시간은 높은 트래픽에서 이웃 노드의 전송요구 프레임 수신을 보장하여 프레임 단위 통신이 완료될 때마다 노드의 Deafness 테이블을 갱신하게 한다.

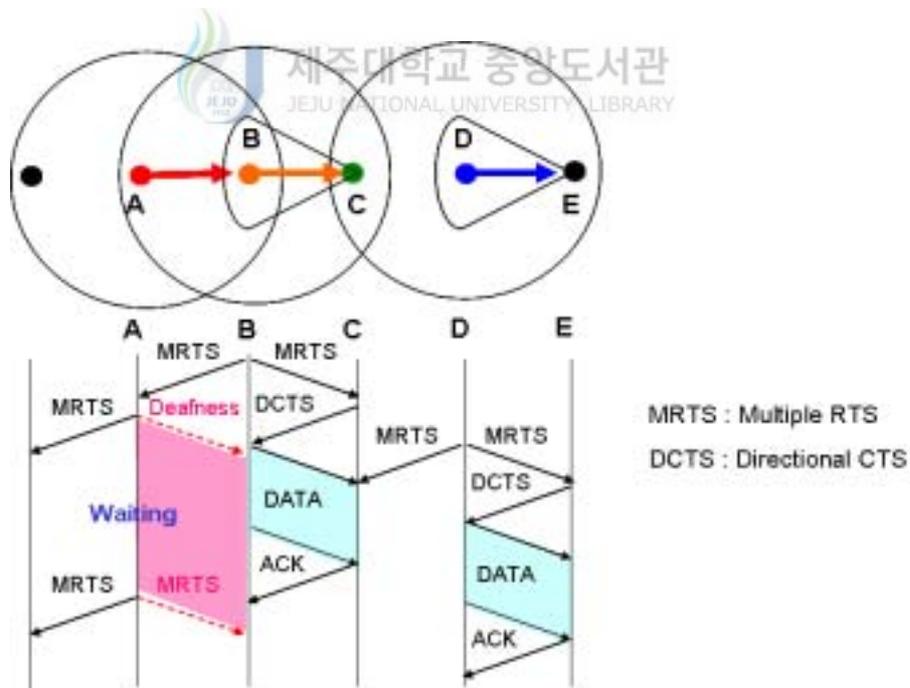


Fig. 8. The operation of the proposed MAC protocol with the deafness table

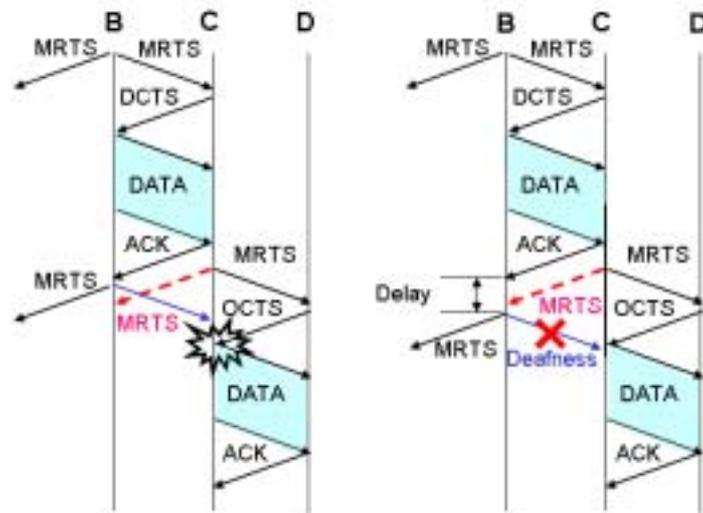


Fig. 9. The operation of the proposed MAC protocol with the deafness table and the delay time

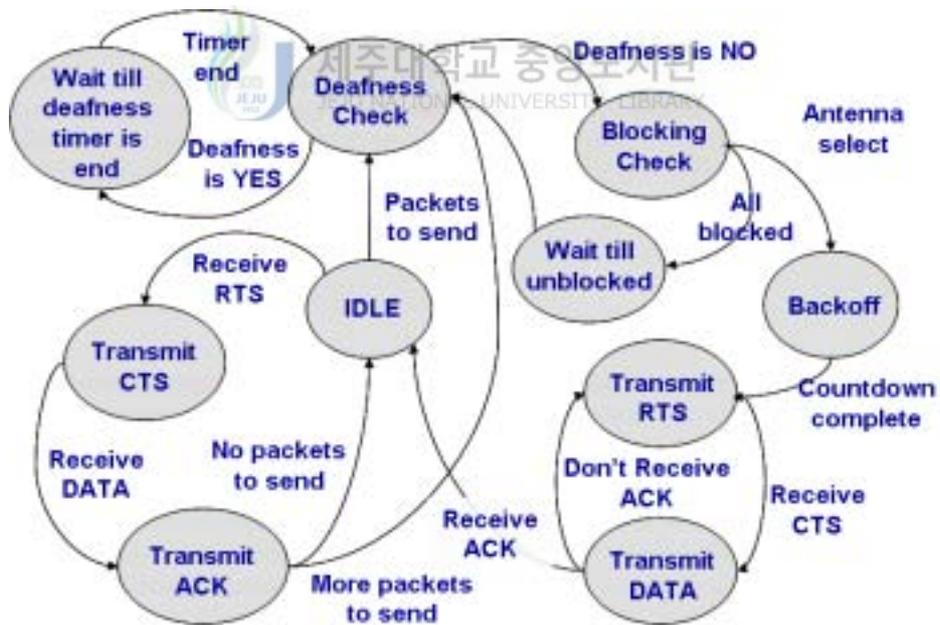


Fig. 10. The flow diagram of the proposed MAC protocol with the deafness table

2) Deafness 테이블

노드의 Deafness 테이블은 전송요구 프레임을 수신할 때마다 갱신되며 이웃 노드들의 Deafness 여부를 판단하기 위하여 사용한다. 테이블에는 Fig. 11의 전송요구 프레임 구조에서 보듯이 수신된 전송요구 프레임의 소스 노드 주소와 전송할 데이터 프레임 크기와 전송요구 프레임이 수신된 시간을 저장한다. 위의 정보를 통해 노드는 소스 노드를 Deafness 노드로 저장하고 전송요구 프레임 수신 시간을 이용해 Deafness 체크에 필요한 시간을 계산한다. 그리고 전송할 데이터 프레임의 페이로드 크기를 통해서 저장된 Deafness 노드로 통신이 가능한 시점을 예측한다.

Deafness 체크는 노드가 전송요구 프레임을 전송하기 전에 이루어지며 다음의 2단계를 거쳐 수행된다. 첫째, 노드의 Deafness 테이블을 갱신한다. Deafness 테이블의 갱신은 테이블에 저장된 데이터 프레임의 페이로드 크기를 다음의 식1을 통해 통신이 완료될 시점에 대한 예측치인 Deafness 체크 시간 D_{ct} 를 계산한다. 계산된 D_{ct} 는 현재 전송요구 프레임을 전송하려는 노드의 시점이 전송요구 프레임 수신한 시점으로부터 예측치 이상 경과했는지를 판단하여 경과된 모든 Deafness 노드를 테이블에서 삭제한다.

$$D_{ct} = \frac{((3 \times H_s) + P_s) \times sec \times (1/B)}{3 \times (M_d + P_d + T_d + P_{fd})} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 H_s 는 헤더크기, P_s 는 페이로드 크기, sec 는 $1\eta s$, B 는 대역폭, M_d 는 MAC 지연시간, P_d 는 물리계층 지연시간, T_d 는 전송 지연시간, P_{fd} 는 프레임 전달 지연 시간을 의미한다. 둘째, Deafness 테이블에 남은 Deafness 노드들을 현재 전송

Destination Address	Source Address	Frame Type	Payload Size	Priority
---------------------	----------------	------------	--------------	----------

Fig. 11. RTS frame format

하려는 전송요구 프레임의 목적지 노드와 동일한지를 판단한다. Deafness 테이블에 동일한 노드가 존재하는 경우 노드는 전송요구 프레임 Deafness 대기 시간 D_{wt} 만큼 전송을 지연한다. D_{wt} 는 다음의 식으로부터 계산된다.

$$D_{wt} = D_{ct} - (C_t - R_{rt}) \dots \dots \dots (2)$$

여기서 D_{wt} 는 Deafness 대기 시간, D_{ct} 는 Deafness 체크 시간, C_t 는 현재 시간, R_{rt} 는 전송요구 프레임 수신 시간을 의미한다. 노드는 전송하려는 전송요구 프레임의 목적지 노드가 Deafness 노드가 아닌 경우 전송 가능한 모든 방향으로 전송요구 프레임을 전송한다. Fig. 12은 노드의 전송요구 프레임 전송 순서도이다.

3) 블로킹

노드는 확인요구 프레임과 긍정응답 프레임을 수신할 때마다 안테나의 상태를



Fig. 12. The procedure of a RTS frame transmission

전환한다. 확인요구 프레임을 전송한 노드의 커버리지 내에서 확인요구 프레임을 전송한 노드의 방향으로 전송되는 프레임은 노드의 데이터 수신에 영향을 준다. 따라서 확인요구 프레임을 수신하면 노드는 해당 방향을 차단하여 데이터의 성공적인 수신을 보장한다. 확인요구 프레임은 전송요구 프레임과 동일한 프레임 구조를 갖으며 노드는 수신된 확인요구 프레임이 자신이 전송한 전송요구 프레임에 대한 응답일 경우 즉시 데이터 프레임 전송을 시작하고 다른 노드로부터 전송된 확인요구 프레임일 경우 수신된 신호의 DOA(direction of arrival)를 계산하여 상태를 전환한다.

차단된 상태의 전송 가능한 상태로 전환은 긍정응답 프레임의 수신을 통해 수행한다. 하지만 무선 환경의 요인으로 인해 긍정응답 프레임을 수신하지 못하는 경우 차단된 상태가 다음의 성공적인 긍정응답 프레임 수신이 이루어질 때까지 차단된 상태로 남게 되고 최악의 경우 차단된 상태를 전송이 가능한 상태로 전환할 수 없게 된다. 이러한 문제를 해결하기 제안하는 MAC 프로토콜에서는 Deafness 체크 과정 이후에 안테나의 상태를 체크한다. 이 과정은 앞서 계산된 D_{ct} 를 적용하여 확인요구 프레임을 수신한 시점에서 D_{ct} 만큼 시간이 경과했음에도 상태가 전환되지 않는 경우 전송 가능한 상태로 복구한다.

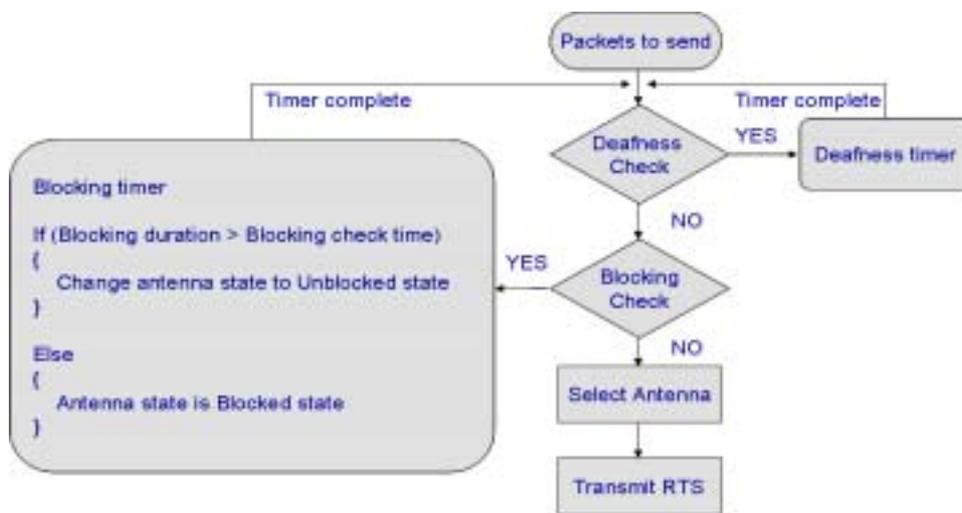


Fig. 13. The procedure of blocking operation

3. 듀얼 톤을 이용한 MAC 프로토콜

본 절에서는 ToneDMAC 프로토콜(R. R. Choudhury 등 2004)에 대해서 설명하고 ToneDMAC 프로토콜에서 해결하지 못한 Deafness 문제를 해결하기 위한 방안을 제시한다. 제시하는 해결 방안을 통해 Deafness 문제로 인해 발생하는 불필요한 전송요구 프레임전송을 줄여 전체 네트워크 처리량을 개선하는 새로운 Ad Hoc MAC 프로토콜을 제안한다.

3.1 ToneDMAC 프로토콜

ToneDMAC 프로토콜은 II장에서 설명한 Deafness 문제로 증가되는 백오프 기간을 톤을 이용하여 줄임으로써 데이터 전송의 완료 시점을 이웃 노드들에게 알리는 방식이다. ToneDMAC에서는 제어 프레임의 사용으로 발생하는 오버헤드를 줄이기 위하여 톤의 사용을 제안하였는데 기존의 톤 기반의 Ad Hoc MAC 프로토콜의 “busy 톤”과는 달리 ToneDMAC에서 사용하는 톤은 데이터 프레임의 전송과 동시에 전송하지 않음으로써 하나의 송수신기에서 동작이 가능하도록 하고 있다.

① 반송과 감지 및 백오프

노드의 반송과 감지는 방향성으로 수행되며 채널이 휴지상태(사용중인 노드가 없는 경우)라고 판단되면 백오프를 수행한다. 노드가 백오프를 수행하고 있는 동안 안테나는 전방향 모드로 전환되어 백오프 기간동안 안테나의 방향성으로 인한 데드락의 가능성을 줄인다. 데드락은 안테나의 방향성으로 인해 Deafness 노드가 확산 되면서 전체 네트워크가 마비되는 현상을 말한다. 노드는 백오프 카운터가 완료되면 채널 예약을 위한 전송요구 프레임과 확인요구 프레임을 전송하고 데이터 프레임 전송을 시작한다.

② 채널 예약 및 데이터 전송

채널의 예약은 전송요구와 확인요구 프레임 교환을 통해 이루어진다. 두 노드 A와 B의 커버리지에 존재하면서 노드 A와 B의 방향성 전송요구와 확인요구 프레임을 수신한 노드는 자신의 채널 할당 벡터를 통해 두 노드 사이의 통신이 완료될 때까지 기다린다. 그러나 방향성 전송요구 프레임과 확인요구 프레임을 수신하지 못한 노드 C는 Deafness 문제가 발생하게 된다.

③ 톤 전송

데이터 전송이 완료되면 노드 A와 B는 최근 노드가 사용(송/수신) 중이었다는 톤을 전방향으로 전송한다. 제어 프레임의 사용은 프레임 크기가 아무리 작다고 하여도 물리계층에서 수신된 프레임을 처리할 때 마다 많은 슬롯 시간이 소요되기 때문에 채널 대역폭의 낭비를 초래한다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 ToneDMAC 프로토콜에서는 제어 프레임의 사용 대신 톤을 전송한다. 그러나 톤은 어떠한 정보도 포함되지 않기 때문에 송신자를 구분하는데 어려움이 있다. 톤의 구분을 위해 ToneDMAC 프로토콜에서는 서로 다른 전송 기간을 갖는 그룹 톤을 사용하여 톤을 전송한다.

④ 톤 체크

노드는 톤을 수신하면 수신된 톤의 DOA를 계산하고 주파수와 전송 기간을 통해 소스 노드를 식별한다. 노드 A와 B가 통신 중인 경우에 노드 C는 두 노드의 방향성 전송요구 프레임과 확인요구 프레임을 수신하지 못하여 발생하는 Deafness 문제로 인해 전송요구 프레임 전송을 반복한다. 그러나 노드 A의 톤을 수신하면서 진행 중인 백오프를 중단하고 경쟁 윈도우를 최소화하여 다시 백오프를 수행한다. 이러한 과정을 통해 노드 C는 노드 A와 통신이 가능하게 되고 채널 사용의 공정성을 증가시킨다.

⑤ 경쟁 윈도우의 재선택 및 백오프

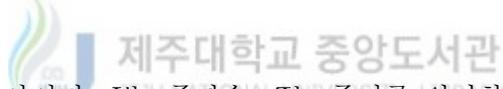
경쟁 윈도우의 최소화는 Deafness 문제가 있는 노드 C로 하여금 채널 사용에

대한 공평성을 제공한다. Fig. 14에서와 같이 노드 C는 Deafness로 인해 톤의 수신 없이 Fig.14의 하단에 명시된 계획된 백오프 기간(projected backoff duration)동안 백오프를 수행하게 된다. 그러나 노드 A의 톤을 수신함으로써 백오프 기간을 줄여 채널 사용에 대한 경쟁에서 이길 수 있게 된다. 즉, 채널 사용의 공평성을 증가시키고 Deafness로 인한 프레임 손실을 예방한다.

ToneDMAC 프로토콜에서 사용하는 그룹 톤은 주파수와 전송 시간의 조합으로 해쉬 함수를 통해 노드에 할당된다. 임의의 노드 X가 사용가능한 K개의 주파수가 있다면 노드 X가 선택하는 주파수 f_x 는 K개의 주파수 중 하나를 선택하게 되고 전송 시간 t_x 는 인터벌 $[t_{min}, T]$ 사이의 값을 취하게 된다. $t_{min} = 1\mu s$ 이고 노드 식별자의 정적 해쉬 함수를 통해 노드에 할당되는 톤의 주파수와 전송 시간은 다음과 같다.

$$f_x = (x \bmod K) + 1$$

$$t_x = (x \bmod (T - 1)) + 2 \dots\dots\dots (3)$$



여기서 x 는 노드의 아이디, K 는 주파수, T 는 주기를 의미한다.

ToneDMAC에서는 이러한 주파수와 전송 기간(f_x, t_x)의 조합으로 구성되는 톤을 전송하고 수신된 톤을 식별하여 네트워크 성능을 개선하고 있다. 여기서 상위 레이어는 노드에 할당되는 톤을 모두 알고 있다는 가정을 두어 잘못된 톤의 식별로 인한 문제점을 줄인다.

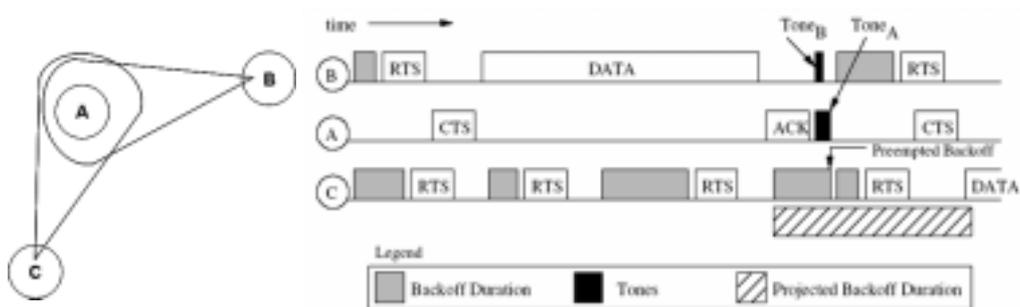


Fig 14. An example scenario and time-line of the ToneDMAC protocol

3.2 제안하는 MAC 프로토콜

Tone DMAC에서는 데이터 전송 후 톤을 전송하여 이미 Deafness 문제가 있는 노드의 증가된 백오프 기간을 줄여 네트워크 처리량을 증가시키고 채널 사용의 공평성을 보장하고 있다. 그러나 근본적으로 방향성 전송으로 인한 Deafness 문제를 해결하지는 못하였다. 본 논문에서는 시작과 종료로 구분되는 듀얼 톤을 사용하여 ToneDMAC 프로토콜에서 해결하지 못한 Deafness 문제를 해결하여 Deafness 문제로 인해 발생하는 불필요한 전송요구 프레임 전송을 줄여 전체 네트워크 성능을 개선한다. 제안하는 MAC 프로토콜의 동작은 다음과 같다.

① 반송과 감지 및 백오프

제안하는 MAC 프로토콜에서 사용하는 반송과 감지는 ToneDMAC 프로토콜과 같다. 또한 노드가 백오프를 수행하는 동안 안테나의 방향성으로 인한 데드락을 예방하기 위해 방향성 반송과 감지 후 노드의 안테나는 전방향 모드로 전환한다.

② 시작 톤 전송

통신을 시작하기 전, 노드 A와 B는 채널 사용을 알리는 시작 톤을 전송한다. 시작 톤의 전송은 톤을 수신하는 이웃 노드로 하여금 deafness 문제를 해결한다. 시작 톤을 수신한 노드 C는 채널 사용이 완료되었다는 종료 톤이 수신될 때까지 전송을 지연한다.



③ 채널 예약 및 데이터 전송

채널 예약은 방향성 전송요구와 확인요구 프레임 교환을 통해 이루어진다. 방향성 프레임 교환을 통해 채널이 예약되면 노드는 방향성으로 데이터 프레임 전송을 시작한다.

④ 종료 톤 전송

데이터 프레임 전송이 완료되면 노드는 노드의 통신이 완료되었다는 종료 톤을 전송하여 시작 톤을 수신하여 대기 중인 노드로 하여금 통신을 허가한다. 시작 톤

을 수신하여 대기 중인 노드는 자신의 경쟁 윈도우를 최소화하여 백오프 기간을 재설정하고 통신을 위한 절차를 수행한다.

⑤ 톤 체크

제안하는 MAC 프로토콜에서는 두 차례에 걸친 톤의 체크과정을 통해 수신된 톤의 종류와 송신 노드를 식별한다. 1차 체크과정은 수신된 톤의 종류를 시작 톤과 종료 톤으로 구분하고 2차 체크과정에서 송신 노드를 식별하여 톤의 종류에 따른 다음 동작을 수행한다. 수신된 톤이 시작 톤인 경우 노드는 송신 노드가 통신 중이라고 판단하여 송신노드로부터 종료 톤을 수신될 때까지 기다린다. 수신된 톤이 종료 톤인 경우 노드는 송신 노드가 통신이 완료되었다고 판단하여 최소화된 백오프를 수행하고 통신을 위한 절차를 수행한다.

⑥ 시작 톤 전송 및 백오프

시작 톤이 수신되고 대기 모드로 들어간 노드가 전송 종료를 알리는 종료 톤을 수신하면 최소화된 경쟁 윈도우를 가지고 백오프를 거쳐 채널 사용에 대한 경쟁을 시작한다. 이러한 과정은 ToneDMAC 프로토콜에서와 같이 노드로 하여금 채널 사용에 대한 공평성을 보장한다.



Fig. 15. The procedure of the proposed MAC protocol with dual tone

제안하는 MAC 프로토콜은 듀얼 톤을 사용하여 방향성 전송으로 인한 Deafness 문제를 해결한다. 이로 인해 Deafness 문제로 발생하는 노드의 불필요한 전송요구 프레임 전송을 줄여 전체 네트워크의 성능을 개선한다. 그러나 ToneDMAC 프로토콜과는 달리 듀얼 톤을 사용하기 때문에 ToneDMAC 프로토콜에 비해 2배의 자원을 필요로 한다. 이는 무선 환경의 한정된 자원으로 인해 많은 제약을 받게 되고 전체 네트워크 처리량과 트레이드오프로 작용하게 된다.

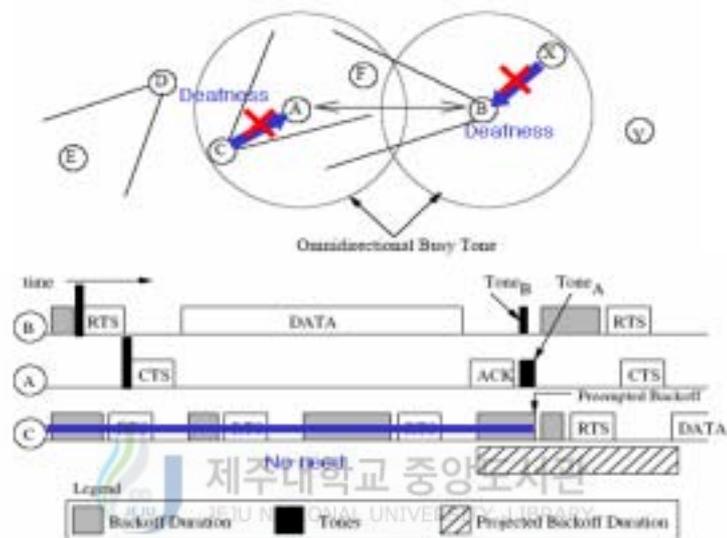


Fig. 16. The deafness solution of the proposed MAC protocol with dual tone

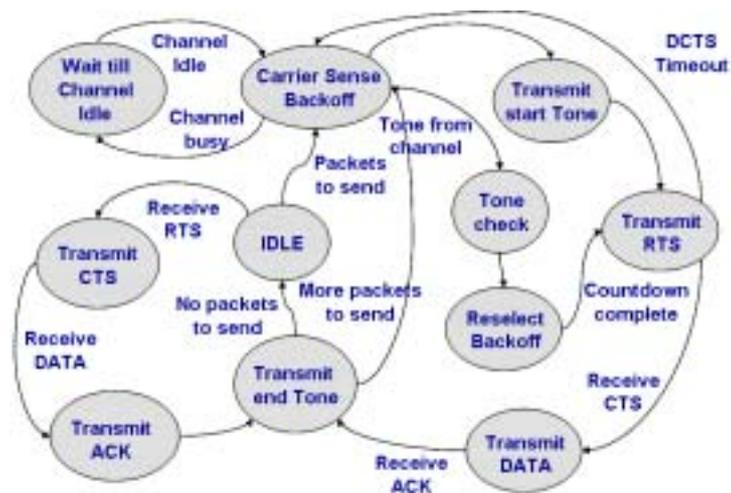


Fig. 17. The flow diagram of the proposed MAC protocol with dual tone

IV. 성능 평가

본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜의 성능은 전방향 MAC 프로토콜(MACA, 802.11)과 방향성 MAC 프로토콜(DMAC, ToneDMAC)과의 성능을 비교하였다. 시뮬레이션 시나리오는 6 x 6 토폴로지(Fig. 19)에서 네트워크 평균 처리량과 종단 간 평균 지연 시간을 통해 그 성능을 확인한다. Ad Hoc 네트워크에서 사용되는 라우팅 프로토콜들은 대부분 전방향 전송을 기반으로 브로드캐스트를 통해 이루어진다. 따라서 전방향 MAC 프로토콜과 방향성 MAC 프로토콜을 비교함에 있어 라우팅 프로토콜로 인한 성능 차이를 배제하기 위하여 본 논문에서는 사전에 미리 경로를 계산한 정적인 라우팅을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 사용한 네트워크 트래픽 로드 모델은 CBR(constant bit rate) 트래픽을 사용하여 시뮬레이션을 수행한다.

1. 시뮬레이션 환경



본 논문에서는 SNT에서 제공하는 네트워크 시뮬레이션 도구인 쉘넷 시뮬레이터 버전 3.8(Fig. 18)을 사용하여 제안하는 MAC 프로토콜의 성능을 확인하였다. 쉘넷 시뮬레이터는 사용자 그래픽 인터페이스를 기반으로 MANET, QoS, IPv6, 셀룰러, 위성 등의 다양한 라이브러리를 제공하며 이중간의 네트워크 모델링, 무선 네트워크, 실시간 시뮬레이션, 방향성/스마트 안테나 시스템, 유선 네트워크 등의 시뮬레이션에 널리 이용되고 있다.

시뮬레이션 환경으로 안테나 모델은 II장에서 설명한 스위치드 빔 안테나 모델을 사용하였으며 IEEE 802.11 물리 계층을 적용하였다. 시뮬레이션 시나리오는 Fig. 18과 같이 36개의 노드로 구성된 6 x 6 토폴로지에서 시뮬레이션을 수행하였으며 시나리오의 노드와 노드 사이의 거리는 240m, 노드의 송신 전력은 13dBm,

수신 문턱 전압은 -89.0dBm 으로 설정하였다. 전송 경로 손실은 “two-ray” 모델을 사용하였고 채널의 데이터 전송율은 2Mbps 이다. 전송하는 프레임 사이즈는 512bytes 이고 CBR 트래픽 전송 인터벌을 500ms 에서 15ms 까지 조절하면서 120초 동안 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과는 시드값을 변화하면서 5차례에 걸친 시뮬레이션 결과에 대한 평균값을 의미한다.

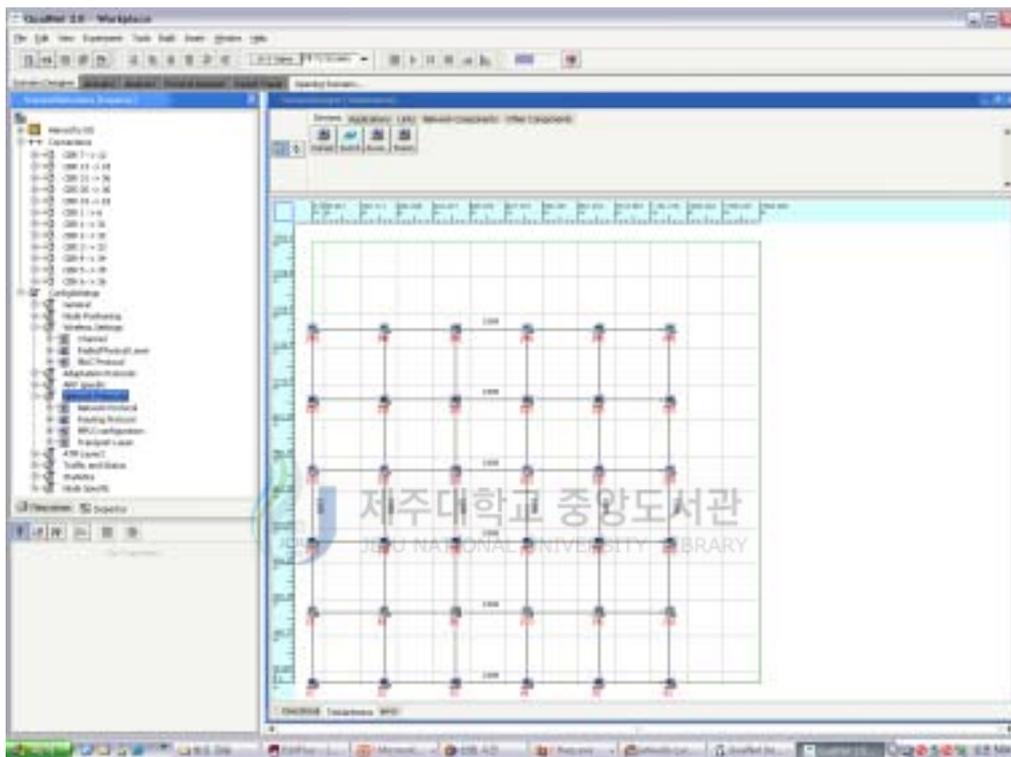


Fig. 18. QualNet ver. 3.8 simulator

2. 시뮬레이션 시나리오

다중 홉 Ad Hoc 네트워크에서 제안하는 MAC 프로토콜의 성능은 Fig. 19과 같은 6×6 토폴로지 시나리오에서 시뮬레이션을 수행한다. 데이터 전송은 5개의 홉을 거쳐 전송되며 총 12개의 CBR 트래픽으로 시나리오가 구성된다.

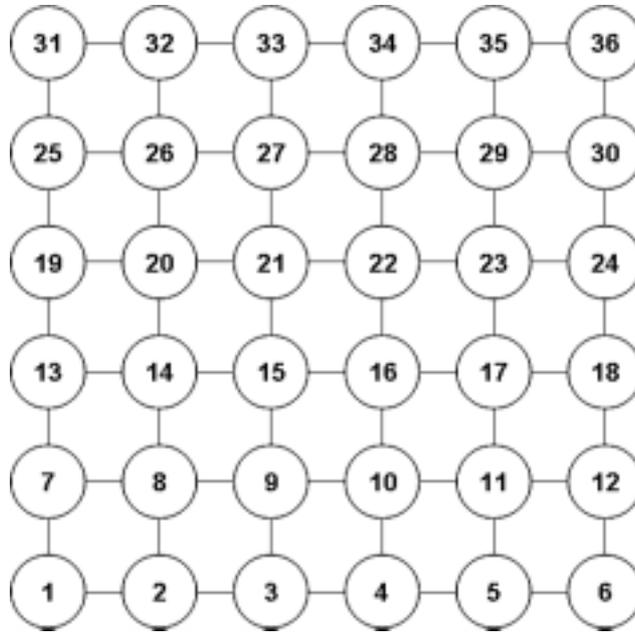


Fig. 19. 6 X 6 Mesh topology

Table. 1. CBR 12 traffic 5-hop

CBR traffic	5 - Hop	CBR traffic	5 - Hop
1	1 → 31	7	1 → 6
2	2 → 32	8	7 → 12
3	3 → 33	9	13 → 18
4	4 → 34	10	19 → 24
5	5 → 35	11	25 → 30
6	6 → 36	12	31 → 36

3. 시뮬레이션 결과 및 토론

시뮬레이션은 네트워크 처리량과 중단 간 평균 지연 시간을 다음의 표 2에 정리되어 있는 MAC 프로토콜들에 대해서 수행하였다. 시뮬레이션을 수행한 결과는 Fig. 20, Fig. 21, Fig. 22, Fig. 23, Fig. 24에서 보여준다.

Table. 2. Ad Hoc MAC protocols

Protocol Name	Antenna Type	Carrier Sensing	Virtual Sensing	With ACK	Backoff Algorithm
802. 11	OMNI	YES	YES/no	YES	BEB
MAC/DA (ORTS)	DIR	NO	YES	YES	BEB
MAC/DA (ORTS-OCTS)	DIR	NO	YES	YES	BEB
MACA/ACK	OMNI	NO	YES	YES	BEB
ToneDMAC	DIR	YES	YES	YES	BEB
Proposed Protocols	DIR	NO	YES	YES	BEB

OMNI : Omnidirectional antenna

DIR : Directional antenna

BEB : Binary exponential backoff

Fig. 20는 시뮬레이션 시나리오에서 12개의 CBR 트래픽에 따른 네트워크 평균 처리량에 대한 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 결과 네트워크 트래픽이 증가함에 따라 방향성 MAC 프로토콜들이 전방향 MAC 프로토콜들에 비해 우수한 성능을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 이는 방향성 전송이 주변 노드에 미치는 간섭이 줄어들고 채널 재사용을 증가시키는 장점으로 인해 네트워크 처리량이 증가하

있기 때문이다. 또한 Deafness 테이블을 이용하는 제안된 MAC 프로토콜의 성능은 기존의 DMAC 프로토콜을 포함한 시뮬레이션을 수행한 모든 MAC 프로토콜에 비해 네트워크 처리량이 우수함을 확인할 수 있다. 이는 방향성 전송으로 인해 발생하는 Deafness 문제를 노드의 Deafness 테이블을 통해 해결함으로써 네트워크 처리량을 증가시키고 있기 때문이다. 그러나 프레임 전송이 끝나고 주변 노드의 Deafness 여부를 갱신하기 위한 전송 지연으로 인해 트래픽이 150kbps 이상 증가할 경우 점차 네트워크 처리량이 감소함을 보였다.

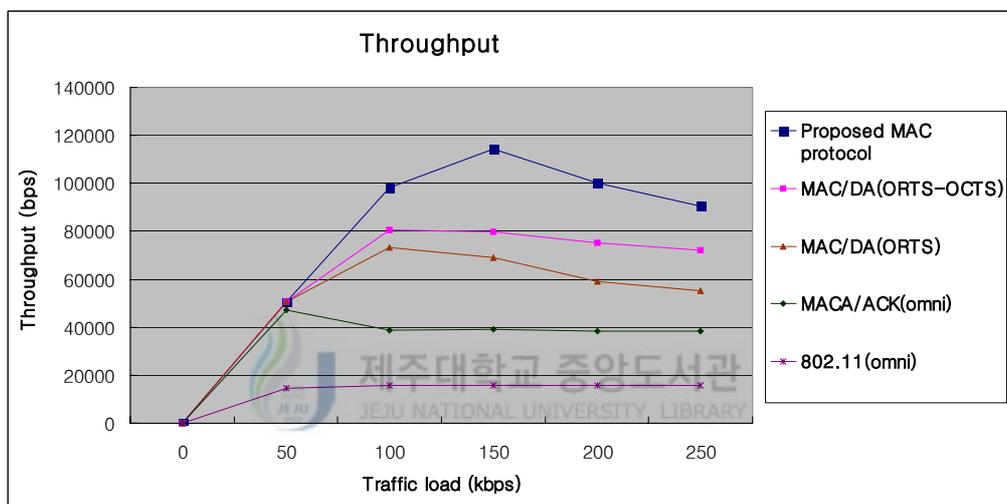


Fig. 20. Throughput of the proposed MAC protocol with the deafness table

Fig. 21은 전송 지연 알고리즘이 없이 프레임 전송을 수행하면서 감소하게 되는 Deafness의 영향에 비해 전송 지연 알고리즘의 적용함으로써 네트워크 처리량에 있어 개선되는 성능을 보이고 있다. 전송 지연 알고리즘은 노드의 전송요구 프레임 수신을 보장하여 Deafness 테이블을 통한 Deafness 문제의 해결에 도움을 주고 있다. 수신된 전송요구 프레임을 통해 관리되는 Deafness 테이블은 전송요구 프레임을 수신할 때마다 테이블이 갱신되기 때문에 Deafness 테이블을 통한 성능 개선을 최대화하기 위해서는 꾸준한 테이블의 갱신이 필요하다. 전송 지연 알고리즘은 이러한 Deafness 테이블의 갱신을 가능하게 하고 있다.

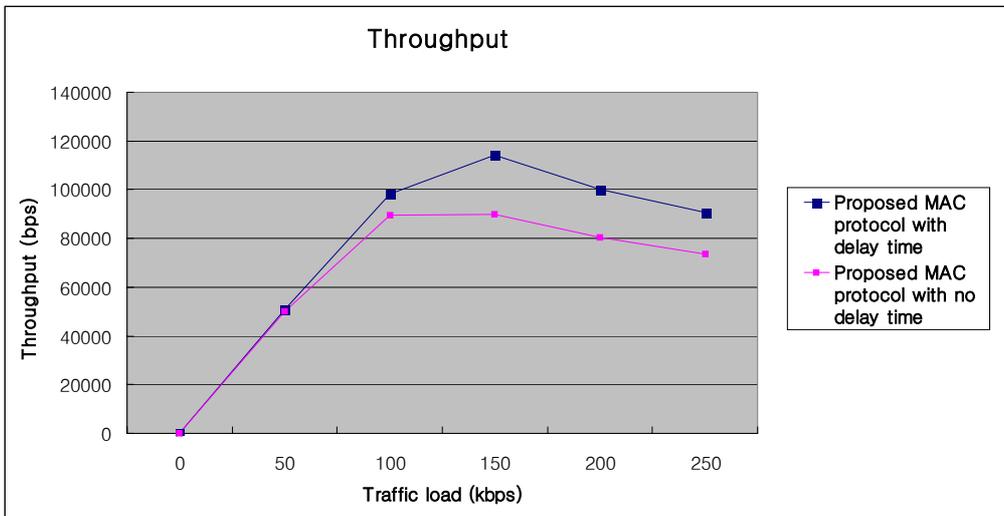


Fig. 21. Throughput of the proposed MAC protocol with the deafness table and the delay time

Fig. 22는 트래픽 중단 간 평균 지연 시간에 대한 시뮬레이션 결과이다. 제안하는 프로토콜의 평균 지연 시간은 전송 지연 알고리즘을 적용하였으나 Deafness 문제 해결함으로써 네트워크 처리량을 증가시켰기 때문에 다른 MAC 프로토콜들에 비해 보다 단축된 지연 시간이 소요됨을 확인할 수 있다.

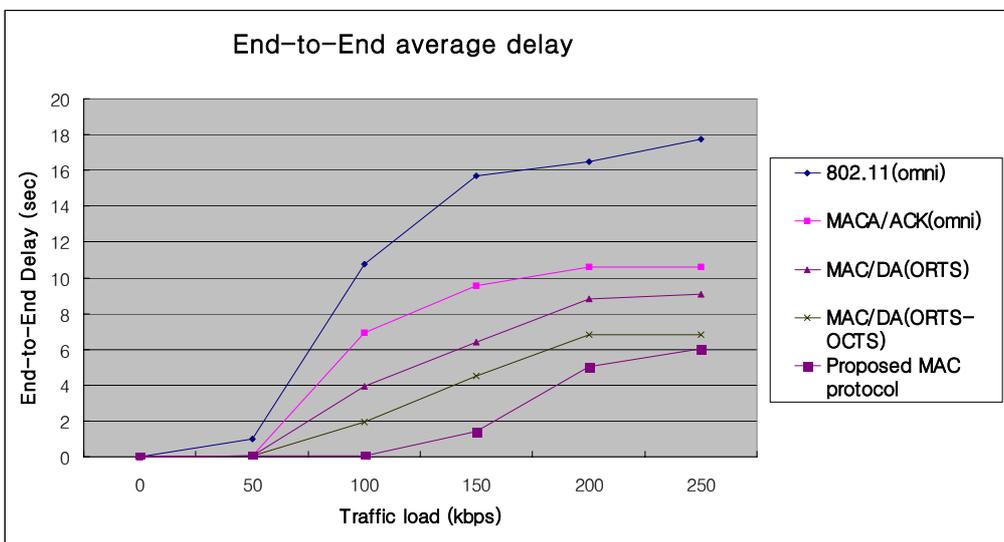


Fig. 22. End-to-end delay of the proposed MAC protocol with the deafness table

전송 지연 알고리즘을 적용한 경우와 적용하지 않는 경우에 대해 트래픽 중단간 평균 지연 시간을 시뮬레이션 한 결과 Fig. 23에서와 같이 링크간 전송을 지연함에도 불구하고 Deafness 문제 해결을 통한 네트워크 처리량의 증가로 트래픽 중단간 평균 지연 시간 또한 단축되는 것을 확인할 수 있다.

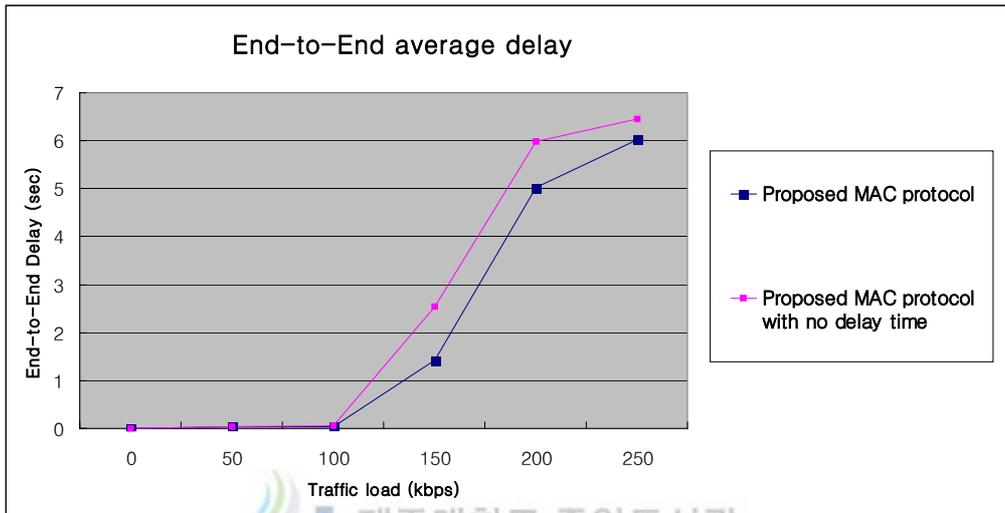


Fig. 23. End-to-end delay of the proposed MAC protocol with the deafness table and the delay time

듀얼 톤을 이용한 MAC 프로토콜의 성능은 기존의 ToneDMAC 프로토콜과 그 성능을 비교하였다. 시뮬레이션은 방향성 안테나를 이용한 MAC 프로토콜의 시뮬레이션 환경과 동일한 시나리오에서 수행하였다. 시뮬레이션 결과 제안하는 MAC 프로토콜의 네트워크 처리량이 ToneDMAC 프로토콜에 비해 더욱 개선된 성능을 보이고 있다. 듀얼 톤의 사용은 기존의 ToneDMAC 프로토콜에서 해결하지 못한 Deafness 문제를 해결함으로써 불필요한 전송요구 프레임 전송을 줄여 네트워크 처리량을 개선하였기 때문이다. 그러나 ToneDMAC 프로토콜에 대해 제안하는 MAC 프로토콜은 듀얼 톤을 사용하기 때문에 2배의 자원이 요구된다. 이는 제한된 채널 환경에서 네트워크 처리량과 트레이드오프 관계를 갖는다.

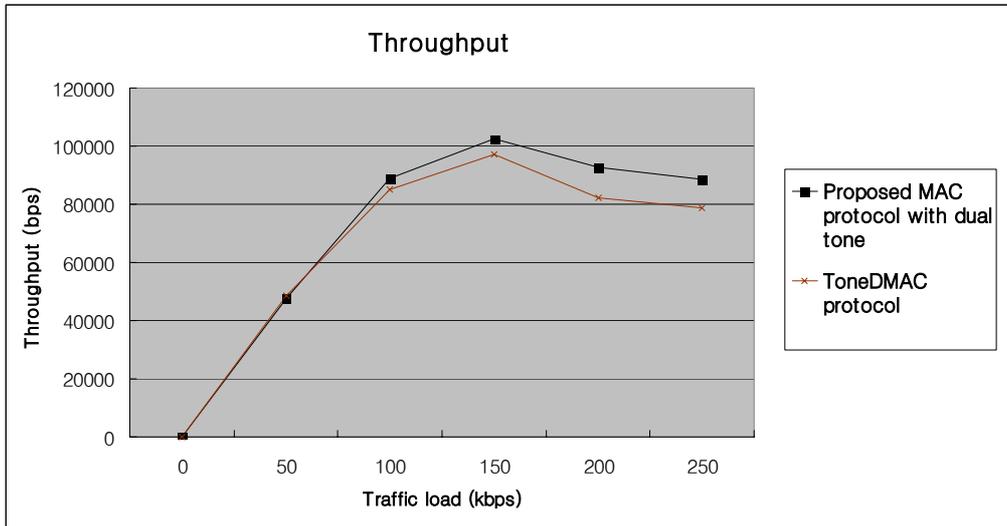


Fig. 24. Throughput of the proposed MAC protocol with dual tone

V. 결론

본 논문은 Ad Hoc 네트워크에서 방향성 전송으로 인한 Deafness 문제를 해결하기 위해 새로운 MAC 프로토콜을 제안하고 구현하였다. 이를 위해 Deafness 테이블을 통한 Deafness 해결 방안과 듀얼 톤을 이용한 해결 방안을 제안하였다. 제안된 MAC 프로토콜은 쉘넷 시뮬레이터를 통해 그 성능을 확인하였다.

이를 수행하면서, Ad Hoc 네트워크에서 MAC 계층과 문제점들에 대해서 살펴 보았으며 문제점들을 해결하기 위한 관련 연구들에 대해 검토하였다. 이를 토대로 네트워크 전체 데드락을 유발하는 방향성 전송으로 인한 Deafness 문제를 해결하여 네트워크 처리량을 개선하는 새로운 MAC 프로토콜을 설계하였다. 프로토콜 설계에 있어 Deafness 테이블을 두어 Deafness 노드에 대한 전송 지연을 통해 Deafness 문제를 해결하였으며 듀얼 톤을 이용하여 ToneDMAC 프로토콜에서 해결하지 못한 Deafness 문제를 해결하였다.

제안하는 MAC 프로토콜은 C 언어로 구현하여 데스크 탑에서 쉘넷 시뮬레이터를 통해 시뮬레이션 한 결과, Deafness 테이블을 이용한 MAC 프로토콜에서 기존의 Ad Hoc MAC 프로토콜에 대해 네트워크 처리량이 증가되는 성능을 확인하였고 듀얼 톤을 사용하는 MAC 프로토콜의 성능도 ToneDMAC 프로토콜에 대해 성능이 개선됨을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 Ad Hoc 네트워크에서 트래픽 중단 간이 아닌 링크간 통신을 보장하고 Deafness 문제를 해결하는 새로운 MAC 프로토콜을 제안하고 구현하였다. 그러나 Deafness 테이블을 이용한 MAC 프로토콜은 채널 재사용을 증가시키기 위하여 방향성 확인요구 프레임 전송을 통한 Deafness 문제를 트레이드오프로 남겨두었다. 노드들이 이동하는 Ad Hoc 네트워크에서 제안하는 MAC 프로토콜은 방향성 안테나를 사용하는 시스템에 있어 기존의 MAC 프로토콜에 대해 네트워크 처리량을 향상시키기 위한 MAC 프로토콜로 적용이 가능할 것으로 사료된다. 추후, 보다 다양한 네트워크 환경에서 제안된 MAC 프로토콜의 성능 개선 효과에 대한 검증이 보완될 것이며 노드들의 이동성에 중점을 둔 Ad Hoc 네트워크에서 차량과 차량 사이의 통신에 적용을 위한 연구를 진행할 것이다.

참고 문헌

- ANSI/IEEE Standard 802.11. 1999 Edition.
- A. Nasipuri, S. Ye, J. You, and R. Hiromoto. A MAC protocol for mobile ad hoc networks using directional antennas. *ACM MobiHoc*.
- Barry M. Leiner, Robert J. Macker and Ambatipudi R. Sastry. 1996. Goals and Challenges of the DARPA Glomo program. *IEEE Personal Communications*.
- Charles E. Perkins, 2000. Ad Hoc Networking. Addison Wesley.
- C-K, Toh. 1997. Wireless ATM and Ad-Hoc Networks. Kluwer Academic Publishers.
- David B. Johnson and David A. Maltz. 1996. Mobile Computing-Dynamic Source in Ad-hoc Wireless Networks. Kluwer Academic Publishers. pp.153~181
- Hrishikesh Gossain, Carlos Cordeiro, Dave Cavalcanti and Dharma P. Agrawal. 2004. The Deafness Problems and Solutions in Wireless Ad Hoc Networks using Directional Antennas.
- International Standard ISO/IEC 8802-11:1999(E).
- J. Deng and Z. J. Haas. 1998. Dual Busy Tone Multiple Access(DBTMA): A New Medium Access control for Packet Radio Networks. *IEEE ICUPC*. vol. 1, pp.973~977
- 김종천, 김영용. 2002. Ad Hoc 통신망 프로토콜 개발 동향. *Telecommunication review*. vol. 12, No. 3.
- M. Takai, J. Martin, R. Bagrodia, and A. Ren. 2002. Directional virtual carrier sensing for directional antennas in mobile ad hoc networks. *ACM MobiHoc*.
- Murthy and Manoj. 2004. Ad Hoc Wireless Networks. Prentice Hall.
- Rohit Dube and et al. 1997. Signal Stability-Based Adaptive Routing(SSA) for Ad-hoc Mobile Networks. *IEEE Personal Communications*.
- R. R. Choudhury and N. H. Vaidya. 2004. Deafness : A MAC problem in Ad Hoc Networks when using Directional Antennas. *ICNP*.
- R. R. Choudhury, X. Yang, N. H. Vaidya and R. Ramanathan. 2002. Using directional antennas for medium access control in ad hoc networks. *ACM MOBICOM*.

- S. Bandyopadhyay, K. Hausike, S. Horisawa and S. Tawara. 2001. An adaptive MAC and directional routing protocol for ad hoc networks using ESPAR antenna. *ACM MobiHoc*.
- 신재욱, 권혜연, 남상우, 임선배. 1996. 이동 Ad Hoc 네트워크 실현을 위한 무선 접속 기술. *Telecommunications review*. vol. 12. No. 3.
- T. Elbatt, T. Anderson, and B. Ryu. 2003. Performance evaluation of multiple access protocols for ad hoc networks using directional antennas. *WCNC*.
- T. Korakis, G. Jakllari, and L. Tassiulas. 2003. A MAC protocol for full exploitation of directional antennas in ad hoc wireless networks. *MobiHoc*.
- Y. Ko, V. Shankarkumar, and N. H. Vaidya. 2000. Medium access control protocols using directional antennas in ad hoc networks. *IEEE INFOCOM*.
- Z. Huang, C. Shen, C. Srisathapornphat, and C .Jaikaeo. 2002. A Busy-Tone based directional MAC protocol for ad hoc networks. *Milcom*.

URL :

- <http://www.itef.org/html.charters/manet-charter.html>



본 논문과 관련된 저자의 발표 논문

1. 학술대회논문집

- 고상보, 강훈철, 좌정우, “트렐리스 부호화된 8PSK/CPSC를 위한 RSSE 방식”, 대한전자공학회 추계종합학술발표대회 논문집, 2003. 11
- 고상보, 좌정우, “WIPI platform기반 LBS 맵 브라우저 클라이언트”, 한국컨텐츠학회 춘계종합학술발표대회 논문집, 2004. 5
- 고상보, 좌정우, “XML 기반 지도 서비스를 위한 GML 게이트웨이 설계”, 대한전기학회 · 대한전자공학회 · 한국통신학회 제주지부 합동발표대회 논문집, 2004. 8
- 한도형, 강훈철, 고상보, 좌정우, “Ad Hoc 네트워크에서 톤을 이용한 MAC 프로토콜 구현”, 대한전자공학회 하계종합학술발표대회 논문집, 2005. 6
- 강창남, 고상보, 좌정우, “ Ad Hoc 네트워크에서 방향성 안테나를 이용한 MAC 프로토콜 구현”, 대한전자공학회 하계종합학술발표대회 논문집, 2005. 6

2. 게재 논문집

- 고상보, 강훈철, 좌정우, “트렐리스 부호화된 8PSK/CPSC를 위한 RSSE 방식”, 제주대학교 첨단기술연구소 논문집 제14권 2호, pp165~169, 2003. 11

감사의 글

학위 논문이 결실을 맺기까지 항상 옆에서 배움의 길을 넓혀주시고 삶의 진리를 가르쳐 주신 좌정우 교수님께 가장 먼저 감사드립니다. 연구실에 대학원 선배님이 없어 교수님께서 선배님 역할과 교수님 역할까지 도맡아 하시며 그동안 저에 대해 쏟아주신 관심과 애정에 대해 다시 한번 감사드립니다. 앞으로 사회에 나가서도 교수님 가르침을 절대 잊지 못할 것입니다. 그리고 바쁘신 일정에서도 부족한 논문을 보완하는데 도움을 주신 이용학 교수님과 양두영 교수님께 감사드립니다. 학부 과정부터 대학원 석사과정을 수료하기까지 항상 따뜻한 얼굴로 맞아주시고 많은 가르침을 주신 문건 교수님, 임재운 교수님, 강진식 교수님께도 감사드립니다.

대학원 선배로서 많은 조언과 격려를 해주신 부식선배님, 성욱선배님, 권익선배님, 봉수선배님께 감사드립니다. 그리고 학부과정부터 힘들 때 항상 옆에서 힘이 되주셨던 김창윤 사장님, 진경이형, 은진누나, 광식이형, 영길이형, 부성이형, 성태정말 감사합니다. 논문이 나오기까지 정말 도움을 많이 준 군선이형과 진아, 현미에게 진심어린 고마움을 전합니다. 대학원 과정 동안 항상 옆에서 수발이 되어준 연구실 후배들, 훈철, 도형, 창남, 경봉, 경언, 동민, 재환, 상훈, 원철, 창표, 동민, 은주, 미현, 지연아 정말 고맙다. 졸업동기이자 조교선생님이신 이진호, 양윤희 선생님께도 감사드립니다.

대학원 과정 동안 도움을 주신 디지털 콘텐츠 연구소 DMB분과 연구원 이권익, 김정현, 강진아, 강성민 연구원들께 감사드리고 (주)인터에프씨, (주)지호텔, (주)유비스티 직원분들께도 고개숙여 감사드립니다. 그리고 항상 옆에서 힘이 되어주는 우리 영아와 경진, 승환, 유진, 경희, 미용, 강은정, 대전형님, 이은정 모두들 고맙습니다.

끝으로 오늘이 있기까지 말없이 믿어주시고 사랑과 희생으로 보살펴 주신 부모님께 감사드리고 항상 든든한 후원자가 되어준 형님과 형수님, 그리고 누님께도 감사의 말을 전합니다.