



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

전력제어기법을 사용한 이중채널  
Ad hoc MAC 프로토콜



濟州大學校 大學院

通信工學科

姜昌男

2006年 12月

기법전력제어기법을 사용한 이중채널

Ad hoc MAC 프로토콜

指導教授 左政祐

姜昌男

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2006年 12月

姜昌男의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 金興洙 印

委 員 康鎮植 印

委 員 左政祐 印

濟州大學校 大學院

2006 年 12 月

# Power Controlled Dual-channel Ad hoc MAC Protocols

Chang-nam Kang

(Supervised by professor Jeong-woo Jwa)

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

2006. 12.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Heung-soo Kim, Prof. of Telecom. Eng.

Thesis director, Jin-shig Kang, Prof. of Telecom. Eng.

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

(Name and signature)

2006. 12. 12

Date

Department of Telecommunication Engineering  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

Abstract .....	1
I. 서론 .....	3
II. 관련연구 .....	6
1. Ad hoc MAC 프로토콜 설계 시 고려사항 .....	6
2. 방향성 안테나를 사용한 MAC 프로토콜 .....	8
3. 이중채널 MAC 프로토콜 .....	12
4. 전력제어기법을 사용한 MAC 프로토콜 .....	13
III. 방향성 안테나를 사용한 이중채널 MAC 프로토콜 .....	14
1. 안테나 모델 .....	14
2. 방향성 안테나를 사용한 이중채널 MAC 프로토콜 .....	15
3. 방향성 안테나와 톤을 사용한 이중채널 MAC 프로토콜 .....	18
4. 전력제어기법을 사용한 DUDMAC 프로토콜 .....	20
5. 전력제어기법을 사용한 ToneDUDMAC 프로토콜 .....	25
IV. 성능평가 .....	27
1. 시뮬레이션 환경 .....	27
2. 시뮬레이션 토폴로지 .....	28
3. 이중채널의 채널 속도 할당 .....	30
4. 시뮬레이션 결과 .....	31
V. 결론 .....	38



## Abstract

Ad hoc network is a wireless network with out infrastructure. It is very useful in military and other application such as disaster and rescue area, home networking and wireless communication between vehicles in telematics service. Ad hoc MAC (medium access control) protocols with directional antennas have been proposed to improve throughput of Ad hoc Networks. But, directional transmissions have the problem of deafness and the problem of determination of neighbor's location. The ToneDMAC protocol with an omnidirectional out-of-band tone has been proposed to solve the problem of deafness. Also, the dual-channel (DUCHA) protocol has been proposed to solve the exposed terminal problem using the NCTS mechanism and the separated channels which prevent packet collisions.

In the dual-channel directional MAC (DUDMAC), omnidirectional transmission on the control channel overcomes deafness and solves the problem of determination of neighbor's location. Directional transmission on the data channel and the new blocking algorithm for directional antennas improve spatial reuse. The dual-channel directional MAC with an out-of-band tone (ToneDUDMAC) uses DDATA\_Tone and OCTS\_Tone to reduce blocking area and to improve spatial reuse.

In this thesis, the power controlled dual-channel directional MAC (PCDUDMAC) and the power controlled dual-channel directional MAC with an out-of-band Tone (PCToneDUDMAC) are proposed. In the proposed MAC protocol, the power control mechanism reduces energy consumption of nodes. And the blocking area in DUDMAC and ToneDUDMAC divides into the FULL\_BLOCKING area and the SEMI\_BLOCKING area to improve spatial reuse. The blocking table is used to decide whether a node is in its blocking

area or not. Nodes in the SEMI\_BLOCKING area can transmit data and therefore improve spatial reuse.

The throughput of the proposed MAC protocols is confirmed by computer simulations using the QualNet simulator ver 3.8. In simulations, we use the single-hop random topology of 180 nodes and the 5-hop random topology of 60 nodes. The simulation results show that the proposed MAC protocols improve throughput of nodes and reduce energy consumption of nodes. Relative to the ToneDMAC protocol, the DUDMAC protocol improves throughput by 62% and 77% in the 5-hop topology and the single-hop topology, respectively. Relative to the DUDMAC protocol, the ToneDUDMAC protocol improves throughput by 25% and 32% in the 5-hop topology and the single-hop topology, respectively. The PCDUDMAC protocol improves throughput by 38% and reduces energy consumption by 19% relative to the DUDMAC protocol in the single-hop topology. The PCToneDUDMAC protocol improves throughput 16% and reduces energy consumption by 18% relative to the ToneDUDMAC protocol in the single-hop topology.

Therefore, the power controlled MAC protocols proposed in this thesis improve throughput and reduce energy consumption of nodes. Because of the proposed MAC protocol have benefits above explained. It can be useful for mobile communication in Ad hoc networks and inter vehicle communication in telematics service.



## I. 서론

Ad hoc 네트워크는 기반구조의 도움 없이 이동 노드들로 구성된 다중 홉 무선 네트워크이다. Ad hoc 네트워크는 이동 노드들이 자유로운 네트워크의 참여와 이탈을 보장하고 임시적으로 네트워크를 구성할 수 있는 특징이 있다. 기존에 Ad hoc 네트워크에서 MAC(media access control) 프로토콜로 802.11과 같이 전방향 안테나를 사용하는 프로토콜이 제안되었다<sup>[1]</sup>. 그러나 전방향 안테나의 사용은 Ad hoc 네트워크의 다중 홉 네트워크에서 낮은 네트워크 처리량을 갖는다.

최근의 MAC 프로토콜들은 성능을 높이기 위해 이중채널을 사용하거나 방향성 안테나를 사용하는 MAC 프로토콜들이 제안되고 있다<sup>[2]-[10],[12]</sup>. 이중채널을 사용하는 MAC 프로토콜은 채널을 제어채널과 데이터채널로 분리 하여 제어패킷과 데이터패킷 간 충돌을 방지하고 NCTS 메커니즘을 사용하여 노출된 노드 문제(exposed node problem)를 해결한다<sup>[12]</sup>. 방향성 안테나의 사용은 공간 재사용을 향상시키고 처리량을 높이지만 노드의 위치 결정 문제와 deafness 문제를 발생시킨다<sup>[5][9]</sup>. 노드의 위치 결정 문제를 해결하기 위해 DMAC(directional MAC)에서는 GPS 수신기와 같은 추가적인 장비를 사용한다고 가정한다<sup>[6]</sup>. 그러나 제어패킷에 자신의 위치 정보를 넣어 전송해야 하기 때문에 오버헤드가 발생한다. Deafness 문제를 해결하기 위해 ToneDMAC(tone directional MAC)<sup>[5]</sup>에서는 deafness 노드들의 백오프를 종료시키기 위해 톤을 사용한다. 그러나 deafness 노드로의 재전송으로 인한 간섭 패킷을 방지 하지 못하는 문제가 있다.

DUDMAC(dual-channel directional MAC)<sup>[17]</sup> 프로토콜에서는 방향성 안테나의 사용으로 발생하는 문제들을 이중채널을 사용하여 해결하였다. 이웃 노드의 위치 결정 문제는 RTS를 전방향으로 전송하여 해결하였고, deafness 문제도 전방향 RTS와 CTS를 사용하여 해결하였다. 방향성 안테나를 사용하기 위한 새로운 블로킹 알고리즘을 통해 공간 재사용을 향상시키고 처리량을 개선하였다. ToneDUDMAC(dual-channel directional MAC with an out-of-band tone)<sup>[16][18]</sup>은 OCTS\_Tone과 DDATA\_Tone을 사용하여 DUDMAC 보다 공간 재사용을 향상시킨다.

본 논문에서는 전력제어기법을 사용하여 DUDMAC 프로토콜을 개선한 PCDUDMAC(power controlled dual-channel directional MAC) 프로토콜과 ToneDUDMAC 프로토콜을 개선한 PCToneDUDMAC(power controlled Dual-channel directional MAC with an out-of-band tone) 프로토콜을 제안한다. 위치정보를 모르는 경우 방향성 안테나 사용을 위한 블로킹 알고리즘을 사용하는 DUDMAC과 ToneDUDMAC에 전력제어기법을 적용하는 데에는 몇 가지 제약이 따른다. 위치정보를 모르기 때문에 RTS를 전력제어 할 수 없고 CTS를 전력제어 하는 경우는 블로킹 영역이 줄어들지만 통신에 영향을 줄 수 있는 방향성 안테나를 모두 블로킹 상태로 만들 수 없기 때문에 충돌이 발생할 수 있다. 그러므로 제안하는 프로토콜은 DATA 패킷과 ACK 패킷을 전력제어 한다. 제어 패킷 또는 톤을 최대전송세기로 전송하는 것은 방향성 안테나 사용을 위한 블로킹 알고리즘이 이들을 통해서 블로킹 상태를 결정하기 때문에 공간 재사용이 향상되지 않는다. 그러므로 제안하는 프로토콜은 공간 재사용을 향상시킬 수 있도록 새로운 블로킹 알고리즘을 사용한다.

제안하는 프로토콜에 사용되는 새로운 블로킹 알고리즘은 블로킹 테이블을 사용하여 DUDMAC과 ToneDUDMAC에서 블로킹 영역을 FULL\_BLOCKING 영역과 SEMI\_BLOCKING 영역으로 구분한다. FULL\_BLOCKING 영역의 노드들은 기존의 블로킹 영역에서 노드처럼 동작하고 SEMI\_BLOCKING 영역의 노드들은 블로킹 테이블에 저장된 수신세기와 RTS 또는 CTS 수신세기를 비교하여 통신가능 여부를 판단한다. 만약 SEMI\_BLOCKING 상태의 방향성 안테나로 RTS 또는 CTS가 수신되었을 경우 수신세기가 블로킹 테이블에 저장된 수신세기와 비교하여 크면 수신 안테나를 통해 통신이 가능하게 하여 성능을 개선시켰다.

본 논문에서는 제안하는 MAC 프로토콜의 성능을 쉘넷 시뮬레이터에서 시뮬레이션을 통해 확인한다. 시뮬레이션에 사용된 네트워크 토폴로지는 단일 홉 180 노드와 다중 홉 60 노드이다. 시뮬레이션 결과를 통해 이중채널과 방향성 안테나를 사용한 MAC 프로토콜이 기존의 방향성 안테나를 사용한 MAC 프로토콜보다 높은 네트워크 처리량을 갖는 것을 확인하고 전력제어기법을 사용한 MAC 프로토콜이 평균 처리량을 개선하고 에너지 소모량을 감소시키는 것을 확인한다.

본 논문의 구성은 II장에서 방향성 안테나를 사용한 MAC 프로토콜과 이중채널 MAC 프로토콜에 대해 설명한다. III 장에서는 안테나 모델, DUDMAC, ToneDUDMAC, PCDUDMAC, PCToneDUDMAC를 설명한다. VI장 성능 평가에서는 제안하는 프로토콜의 성능을 확인하고 V장에서 결론을 맺는다.



## II. 관련연구

### 1. Ad hoc MAC 프로토콜 설계 시 고려사항

#### 1) 숨은 노드와 노출된 노드 문제

Ad Hoc 네트워크에서 MAC 프로토콜 설계 시 항상 고려해야 하는 문제점으로 숨은 노드와 노출된 노드 문제가 있다. 숨은 노드 문제는 무선 네트워크에서 노드의 전송 거리 밖의 다른 노드의 전송으로 인해 충돌이 발생하는 문제이다. 그림 1에서 송신 노드 S1과 S2는 서로의 커버리지에 속해있지 않으면서 수신 노드 R1의 커버리지에 속해있다. 만약 노드 S1이 노드 R1으로 데이터를 전송하면, 노드 S1의 커버리지 밖에 있는 노드 S2는 노드 S1의 통신을 알지 못하여 노드 R1으로 패킷을 전송하기 때문에 노드 R1에서 충돌이 발생한다.

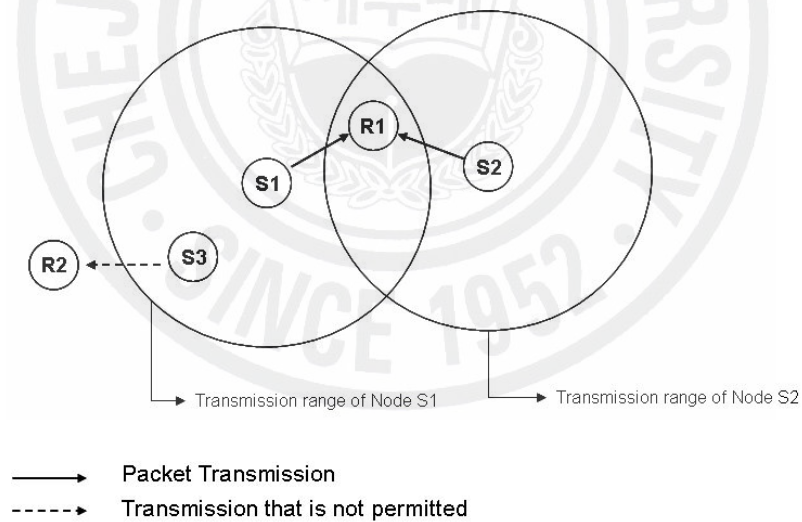


그림 1. 숨은 노드와 노출된 노드 문제

노출된 노드 문제는 통신 중인 인접 노드로 인해 패킷을 송신 하지 못해 발생하는 문제이다. 노드 S1과 R1이 통신 중이면 노드 S3은 노드 R2로 패킷을 전송하지 못한다. 숨은 노드와 노출된 노드 문제는 네트워크 트래픽이 증가할수록 전

체 네트워크의 처리량을 저하시키기 때문에 MAC 프로토콜 설계 시 해결하여야 한다.

## 2) Deafness 문제

Ad hoc 네트워크에서 방향성 안테나의 사용은 공간 재사용을 향상시켜 프로토콜의 성능을 높이지만 패킷 전송이 방향성으로 이루어지면서 Deafness 문제가 발생한다<sup>[5]</sup>. Deafness 문제는 채널의 이용률을 떨어뜨리고 이로 인해 네트워크의 처리량이 저하된다.

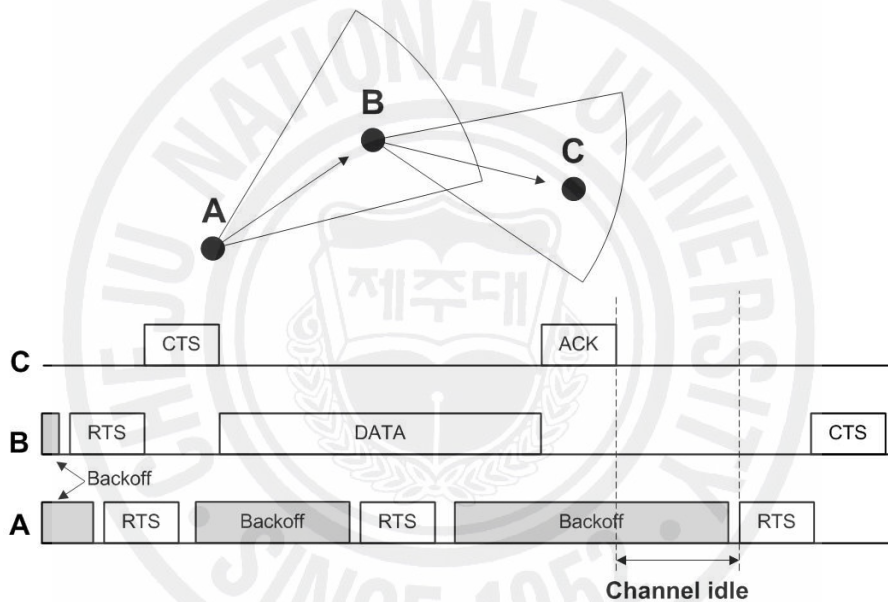


그림 2. Deafness 문제

그림 2는 Deafness 문제를 나타낸 것이다. 노드 A가 노드 B를 통해 노드 C와 통신 한다고 가정한다. 노드 B는 노드 A로부터 패킷을 수신한 후 노드 C로 패킷을 전송하기 위해 노드 C 방향의 방향성 안테나를 사용한다. 그러나 노드 A는 노드 B의 방향성 전송 커버리지 밖에 있기 때문에 노드 B와 노드 C가 통신 중이라는 것을 알 수 없다. 결과적으로 노드 A는 노드 B에게 다음 RTS를 전송하지만 노드 B로부터 CTS 응답을 받을 수 없게 되고, 노드 A는 패킷 충돌이 발생한 경우와 같이 CW(contention window)를 두 배 증가시킨 후 백오프한다. 이러

한 동작이 반복되면 노드 B가 노드 C로 패킷 전송을 완료하고 노드 A로 부터 다음 패킷을 수신할 준비가 되었을 때 노드 A는 증가된 백오프 기간 때문에 백오프 카운트를 세고 있을 가능성이 크다. 채널은 남은 백오프 기간 동안 사용되지 않고 노드 A는 백오프 기간이 끝난 후 통신이 다시 시작된다.

### 3) 에너지 소모

Ad hoc 네트워크를 구성하는 이동 노드들은 배터리를 전원으로 사용하는 경우가 많기 때문에 네트워크의 운용과 각 계층에서 에너지 소모량을 줄이기 위한 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. 불필요한 에너지 소모량을 줄이기 위한 방법은 크게 전력 절감 모드(PSM: power saving mode)와 전력제어(PCM: power control MAC) 프로토콜로 구분 할 수 있다.

전력 절감 모드는 불필요한 에너지 소모량을 줄이기 위해 IEEE 802.11에서 정의하였다<sup>[1]</sup>. IEEE 802.11은 Awake와 Doze의 두 가지 전력 상태를 정의하고 있다. Awake 상태는 에너지를 최대로 사용하는 상태이고 Doze 상태는 전송과 수신이 불가능하고 최소의 전력을 소비하는 상태이다. 그리고 무선 단말의 전력 관리 모드로 AM(active mode)과 PS(power save) 모드를 정의하고 있다. AM 모드에서 무선 단말은 Awake 상태에 있다. PS 모드에서 무선 단말은 Doze 상태에 있고 일정 시간 후 비콘을 수신하면서 Awake 상태가 된다.

고정된 전송 전력으로 데이터 전송을 하는 경우 무선 단말이 최대 전송 전력으로 전송하지 않아도 될 만큼 가까운 거리에 있는 경우 불필요한 전력소모가 생기며 채널 이용률이 낮아지게 된다. 전력제어 프로토콜은 전송 세기를 조절하여 에너지 소비량을 줄이고 무선 채널의 공간 재사용을 향상시킨다.

## 2. 방향성 안테나를 사용한 MAC 프로토콜

### 1) DMAC(directional MAC) 프로토콜

Ad hoc 네트워크에서 방향성 안테나를 사용하는 DMAC 프로토콜은<sup>[10]</sup>은 방향성 안테나를 사용하여 공간 재사용을 향상시킨다. 이 프로토콜의 블로킹 알고리

즘은 다른 노드로 향하는 RTS 또는 CTS를 엿들었을 때 방향성 안테나를 블로킹 상태로 설정한다. 안테나가 블로킹 상태인 경우 충돌을 피하기 위해 해당 방향성 안테나를 사용하지 않는다. 그리고 통신이 완료되면 해당 안테나를 언블로킹 상태로 설정한다. DMAC은 두 가지 RTS 전송 방법을 제시하였다. 첫 번째 방법은 DRTS(directional RTS) 만을 사용하는 방식이고 두 번째 방법은 블로킹 상태의 방향성 안테나가 존재하지 않을 때 ORTS(omnidirectional RTS)를 전송하고 블로킹 상태의 방향성 안테나가 존재할 때 DRTS를 전송하는 방법이다. 두 방법 모두 DRTS를 사용하기 때문에 노드의 위치 정보가 필요하다. 위치 정보를 교환하기 위해 RTS에 자신의 위치 정보를 CTS에 자신의 위치정보와 자신과 통신할 노드의 위치 정보를 넣어서 전송한다.

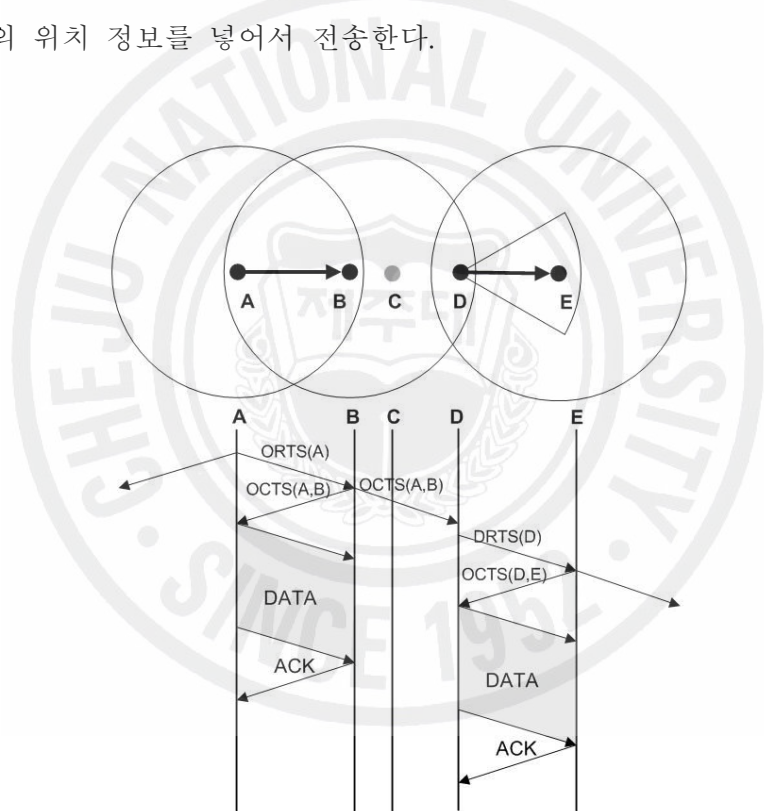


그림 3. DMAC 프로토콜의 동작과정

그림 3은 DMAC 프로토콜의 동작과정을 나타낸 것이다. 전방향 안테나를 사용하는 프로토콜의 경우 노드 B의 CTS를 수신한 노드 D는 통신이 끝날 때까지 기다리지만 DMAC 프로토콜에서는 DRTS를 사용하여 다른 노드에 방해를 주지 않고 노드 E와 통신이 가능하여 처리량 성능이 향상된다. DMAC 프로토콜에서

는 방향성 전송으로 인해 Deafness 문제가 발생한다. 그림 3 에서 노드 D와 노드 E가 통신 중일 때 노드 D의 RTS를 수신하지 못한 노드 C가 노드 D로 RTS를 전송하는 경우 Deafness 문제가 발생하게 된다.

DMAC 프로토콜은 DRTS를 전송하기 위해서 통신하려는 노드의 위치를 알고 있어야 한다. 이를 위해 GPS 수신기 또는 비콘을 사용하여 자신의 위치를 알아내고 이를 다른 노드들에게 알려주어야 한다. 하지만 제어패킷에 노드의 위치 정보를 삽입하여 전송하는 것은 네트워크에 오버헤드를 유발시키고 통신하기 전에 받은 이웃 노드의 위치 정보와 통신을 하려는 순간의 노드의 실제 위치가 다를 수 있는 문제가 있다.

## 2) ToneDMAC

ToneDMAC 프로토콜은 톤을 사용하여 DMAC 프로토콜에서 발생하는 deafness 문제를 해결한다. 이는 DRTS, DCTS(directional CTS), DDATA(directional DATA), DACK(directional ACK)를 사용하고 각 노드에 할당된 톤을 사용한다. 톤은 송수신 노드의 커버리지 안의 노드들에게 방향성 전송의 종료를 알리기 위해 전방향으로 전송되고 이를 수신한 인접 노드들은 남은 CW를 초기 값으로 설정하고 DRTS를 재전송한다.

ToneDMAC 프로토콜에서 사용하는 톤은 주파수와 전송 시간의 조합으로 해쉬 함수를 사용하여 각 노드에 할당된다. 사용 가능한 K개의 주파수가 있다면 노드 X에 부여되는 주파수  $f_x$ 는 K개의 주파수 중에서 선택되고 전송 시간  $t_x$ 는  $[t_{\min}, T]$  사이의 값을 선택한다. 여기서  $t_{\min} = 1\mu s$ 이다. 해쉬 함수를 통해 노드에 할당되는 톤 주파수와 전송 시간은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} f_x &= (x \bmod K) + 1 \\ t_x &= (x \bmod (T - 1)) + 2 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $x$ 는 노드의 식별자(identifier)이다. ToneDMAC에서는 주파수와 전송 기간( $f_x, t_x$ )의 조합으로 구성되는 구분자로 노드를 식별한다. 여기서 상위 계층은



네트워크에 다른 노드의  $(f_x, t_x)$  조합을 알고 있다는 가정을 두어 잘못된 톤의 식별로 인한 문제점을 줄인다.

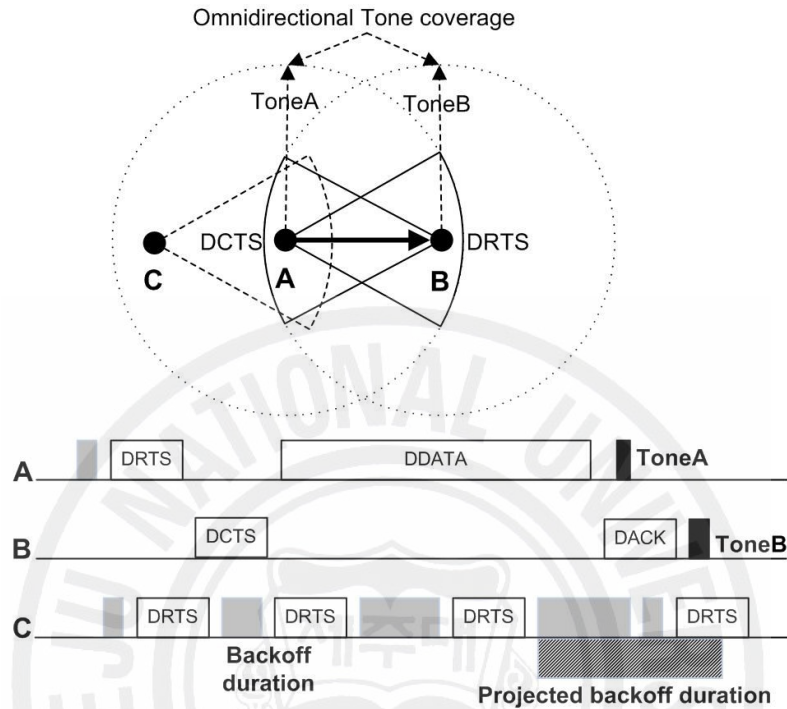


그림 4. ToneDMAC 프로토콜의 동작과정

그림 4는 ToneDMAC 프로토콜의 동작과정을 나타낸 것이다. 노드 A는 노드 B에게 DRTS를 전송하고 노드 B는 노드 A에게 DCTS로 응답한다. 노드 A는 DATA를 노드 B에게 전송하고 ToneA를 전송하여 통신을 종료 한다. 노드 B는 노드 A에게 DACK를 전송하고 ToneB를 전송하여 통신을 종료한다. 노드 A의 커버리지에 있는 노드 C는 노드 A의 DRTS를 수신하지 못하기 때문에 노드 A에게 DRTS를 전송할 수 있다. 노드 A는 방향성 안테나를 사용하여 통신 중이기 때문에 노드 C의 DRTS를 듣지 못해 Deafness 문제가 발생한다. 이때 노드 C는 ToneA가 수신될 때까지 CW를 두 배씩 증가시켜 DRTS를 재전송하게 되어 Deafness 문제가 발생한다. 하지만 노드 A가 통신 종료 후 ToneA를 하고 이를 수신한 노드C는 CW를 초기 값으로 설정하고 DRTS를 노드 A에게 재전송하여 Deafness 문제를 해결하게 되고 이로써 성능이 개선된다.

### 3. 이중채널 MAC 프로토콜

DUCHA(dual-channel MAC) 프로토콜은 제어채널과 데이터채널로 분리된 채널과 톤을 사용한다<sup>[12]</sup>. 이 프로토콜은 RTS와 CTS는 제어채널로 DATA와 ACK는 데이터채널로 전송한다. 이중채널과 NCTS(negative CTS) 메커니즘은 노출된 노드 문제를 해결하여 불필요한 RTS 전송을 줄인다. 그리고 DUCHA는 DATA 전송 시 톤을 전송하여 숨은 노드 문제를 해결한다.

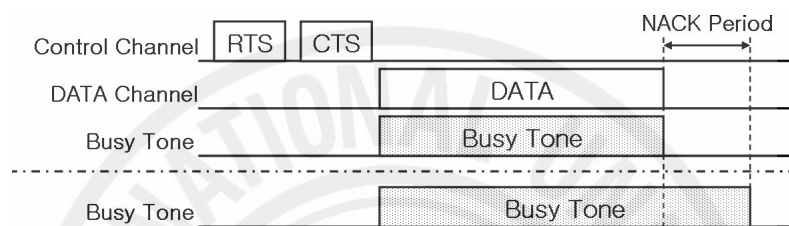


그림 5. DUCHA 프로토콜의 동작 과정

그림 5는 DUDCHA 프로토콜의 동작과정을 나타낸 것이다. 통신을 원하는 노드는 제어채널이 사용 중이지 않고 톤 신호가 검출되지 않으면 제어채널을 통해 RTS를 전송한다. RTS를 수신한 노드는 데이터채널이 사용 중이지 않으면 CTS를 전송하고 데이터채널이 사용 중이고 제어채널이 사용 중이지 않으면 NCTS의 Duration 필드에 데이터 전송에 남은 시간을 넣어 전송하고 이를 수신한 노드는 Duration 필드만큼 기다리게 된다. 만약 데이터채널과 제어채널이 모두 사용 중이면 수신된 RTS는 무시된다. RTS를 전송하고 CTS를 수신한 노드는 톤 신호가 검출되지 않으면 데이터채널을 통해 DATA를 전송한다. DATA를 수신하는 동안 노드는 톤을 전방향으로 전송한다. 그리고 DATA 수신이 성공적으로 완료되면 톤 전송을 종료하고 그렇지 않으면 NACK(negative ACK) 기간 동안 톤을 전송한다. 송신 노드는 NACK 기간 동안 톤이 수신되면 재전송을 시도하고 그렇지 않으면 통신을 종료한다.

#### 4. 전력제어기법을 사용한 MAC 프로토콜

기본적인 전력제어기법은 전송 세기를 조절하여 전력소모를 개선시킨다<sup>[15]</sup>. 기본적인 전력제어기법에서 RTS와 CTS는 최대 전송 세기  $P_{max}$ 로 전송되고 DATA와 ACK는 필요한 전력 레벨로 전송된다. RTS와 CTS 교환 과정을 통해서 DATA와 ACK의 전력을 결정한다.

기본적인 전력제어기법은 두 가지 방법을 사용해서 전력을 결정한다. 첫 번째 방법은, 송신 노드가 RTS를 최대 전송 세기  $P_{max}$ 로 RTS를 전송하고, 수신 노드는 RTS를 신호 레벨  $P_r$ 을 측정했을 때 DATA 수신에 필요한 최소의 전송 전력 레벨  $P_{desired}$ 를 계산한다. 그 후 수신 노드는 송신 노드에게 전송할 CTS에  $P_{desired}$ 를 삽입해 전송한다. 송신 노드는  $P_{desired}$ 를 사용해서 DATA를 전송한다. 두 번째 방법은 송신 노드가  $P_{desired}$ 를 계산 하는 것이다. RTS를 수신한 수신노드는 최대 전송 세기  $P_{max}$ 로 CTS를 응답하고 송신 노드는 CTS를 수신 전력을 사용하여  $P_{desired}$ 를 계산한다. ACK의 송신 전력은 수신 노드가 RTS 수신전력을 사용하여 결정된다. 식 (2)는  $P_{desired}$ 의 계산방법을 나타낸 것이다.

$$P_{desired} = \frac{P_{max}}{P_r} \times Rx_{thresh} \times c \quad (2)$$

여기서  $P_{max}$ 는 최대 전송 세기  $Rx_{thresh}$ 는 신호 수신을 위한 최소 세기,  $c$ 는 예기치 못한 간섭 신호의 세기를 대비한 상수이다. 식 (2)에서 송신 노드와 수신 노드 사이의 감쇠는 같다고 가정한다. 그리고 수신 노드에서 잡음 레벨은 미리 정의된 임계값 보다 작다고 가정한다.

### Ⅲ. 방향성 안테나를 사용한 이중채널 MAC 프로토콜

#### 1. 안테나 모델

제안하는 프로토콜은 스위치드 빔 안테나를 사용한다. 시뮬레이션에 사용된 안테나의 빔 패턴은 그림 6과 같이 8개로 이루어진다. 방향성 전송은 특정 패턴을 선택하여 전송되고 전방향 전송은 모든 패턴을 선택하여 전송된다. 특정 방향에 대한 안테나의 최대 이득은 15 dBi로 둔다.

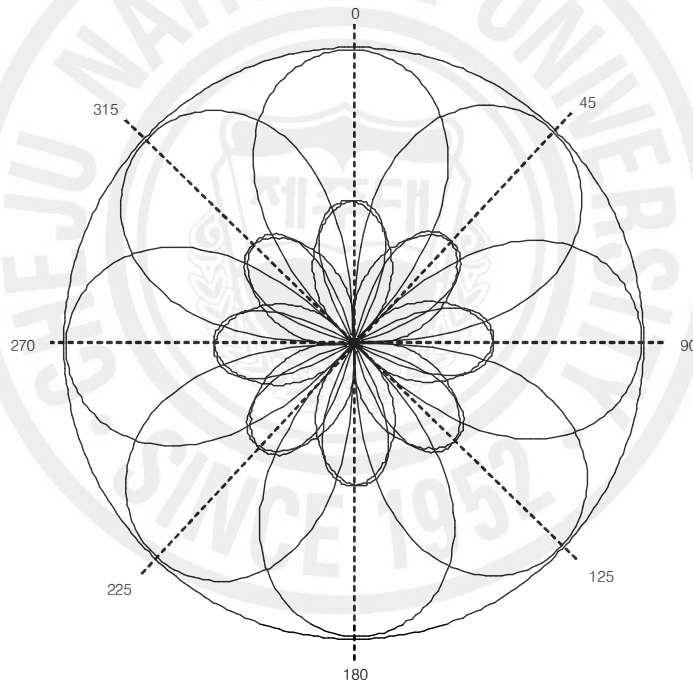


그림 6. 방향성 안테나의 빔 패턴

스마트 안테나 시스템은 방사패턴과 수신패턴을 최적화하는 신호 처리가 가능한 다수의 안테나 요소들로 이루어져 있다. 스마트 안테나는 빔 성형 방법에 따라 스위치드 빔 안테나와 어댑티브 어레이 안테나 두 가지로 구분된다. 스위치드 빔 안테나는 제한된 수의 고정된 송수신 패턴을 가지고 있고 계산량이 적다는

장점이 있다. 어댑티브 어레이 안테나는 실시간으로 최적화가 가능한 송수신 패턴을 가지고 있고 신호대잡음비가 스위치드 빔 안테나 보다 좋다는 장점이 있다.

제안하는 알고리즘은 GPS와 같은 추가 장비 없이 이웃 노드의 위치 정보 문제를 해결한다. 이를 위해, 송신 노드는 RTS를 전방향으로 전송하고 수신 노드는 RTS를 수신하면서 송수신 패턴을 결정하게 된다. 이를 위해 사용되는 방향성 안테나는 신호의 수신 방향을 검출할 수 있어야 한다.

## 2. 방향성 안테나를 사용한 이중채널 MAC 프로토콜

DUDMAC(dual-channel directional MAC) 프로토콜은 제어채널과 데이터채널로 구분된 두 개의 채널과 N개의 안테나 패턴으로 이루어진 스위치드 빔 안테나를 사용한다. 제어채널을 통한 전송은 전방향으로 이루어지고 데이터채널을 통한 전송은 방향성으로 이루어진다. DUDMAC의 메시지 교환 과정은 제어채널을 통한 ORTS와 OCTS, 데이터채널을 통한 DDATA와 DACK로 이루어진다. ORTS 또는 OCTS의 수신 안테나의 상태가 블로킹 상태일 경우 통신이 불가능한 상태를 상대 노드에게 알리기 위해 NCTS와 NDATA(negative DATA)를 사용한다. 방향성 안테나는 독립적으로 블로킹 또는 언블로킹 상태를 갖는다. 언블로킹 상태의 방향성 안테나는 데이터채널을 통해 송수신이 가능하고, 블로킹 상태의 방향성 안테나를 갖는 노드는 데이터 채널을 통해 송신이 불가능 하다.

ORTS 또는 OCTS를 수신 할 경우 수신 안테나를 블로킹 처리하는 것은 방향성 안테나 사용으로 인해 얻을 수 있는 공간 재사용 향상 효과를 줄인다. 공간 재사용을 향상시키기 위한 DUDMAC의 방향성 안테나를 사용하기 위한 블로킹 알고리즘은 ORTS와 OCTS를 동시에 수신하는 노드에서 ORTS를 수신한 방향성 안테나와 OCTS를 수신한 방향성 안테나를 블로킹 처리한다.

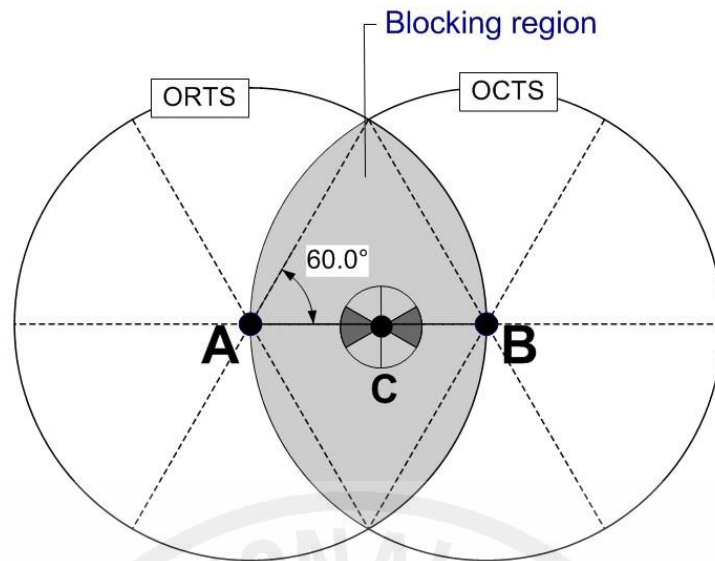


그림 7. DUDMAC의 블로킹 영역

그림 7에서 노드 C는 노드 A의 ORTS와 노드 B의 OCTS를 수신하고 노드 A로부터 ORTS를 수신한 방향성 안테나와 OCTS를 수신한 방향성 안테나를 블로킹 상태로 설정한다. 안테나 모델은 고정된 빔 패턴을 사용하는 스위치드 빔 안테나를 사용한다고 가정하였다. 안테나 모델에 블로킹 알고리즘을 적용하기 위해서는 사용하는 안테나의 빔폭이 60도 이하가 되어야 한다. 그렇지 않을 경우 다른 노드의 ORTS 만을 수신하거나 OCTS 만을 수신한 노드들 중에서 다른 노드의 통신을 방해하는 노드들이 발생할 수 있기 때문이다.

블로킹 상태는 해당 방향성 안테나의 방향으로 데이터채널이 사용 중임을 나타낸다. DUDMAC에서는 제어채널과 데이터채널로 분리된 채널을 사용하기 때문에 ORTS 또는 OCTS를 전송할 노드는 자신의 안테나의 블로킹 상태에 관계 없이 전송 할 수 있다. 만약 ORTS가 수신된 안테나가 블로킹 상태일 경우 NCTS를 전송하고 OCTS를 수신한 방향성 안테나가 블로킹 상태일 경우 NDATA를 전송한다.

Deafness 문제는 방향성으로 패킷을 전송하기 때문에 발생한다. DUDMAC은 ORTS와 OCTS를 전방향으로 전송하고 그림 8과 같은 Deafness 테이블을 이용해 방향성 안테나 사용으로 인한 Deafness 문제를 해결한다. Deafness 테이블은 ORTS 또는 OCTS를 수신할 때마다 갱신되며 노드는 이 테이블을 통해 이웃 노드들의 Deafness 여부를 판단한다.

Soucce Address	Destination Address	Frame type	Received time
----------------	---------------------	------------	---------------

그림 8. Deafness 테이블

그림 8의 Deafness 테이블에서 Source Address 필드는 RTS 또는 CTS를 전송한 노드의 주소이고, Destination Address 필드는 패킷의 목적지 노드의 주소이다. Frame type은 'ORTS' 또는 'OCTS'이고 Received time은 패킷 수신 시간이다. deafness 테이블의 갱신은 ORTS 또는 OCTS가 수신되었을 때 이루어지며 삭제는 DACK 수신했거나 시간이 만료된 경우 삭제된다.

그림 9는 DUDMAC 프로토콜의 동작 과정을 나타낸 것이다. 노드 A는 제어채널을 통해 ORTS를 노드 B에게 전송한다. 그러면 노드 B는 OCTS를 노드 A에게 전송한다. 그 후 데이터채널을 통해 DDATA와 DACK를 전송한다. 블로킹 영역에 있는 노드 D와 E는 ORTS와 OCTS를 수신하고 ORTS를 수신한 안테나와 OCTS를 수신한 방향성 안테나를 블로킹 상태로 설정한다. 만일 노드 C가 ORTS를 노드 D에게 전송하고 노드 D는 블로킹 상태의 방향성 안테나를 통해서 이를 수신하게 되면 노드 D는 노드 C에게 NCTS를 전송하여 통신을 종료한다. 만일 노드 E가 노드 F에게 ORTS를 전송하고 블로킹 상태의 방향성 안테나를 통해 노드 F의 OCTS를 수신하게 되면 노드 E는 노드 F에게 NDATA를 전송하고 통신을 종료하게 된다.

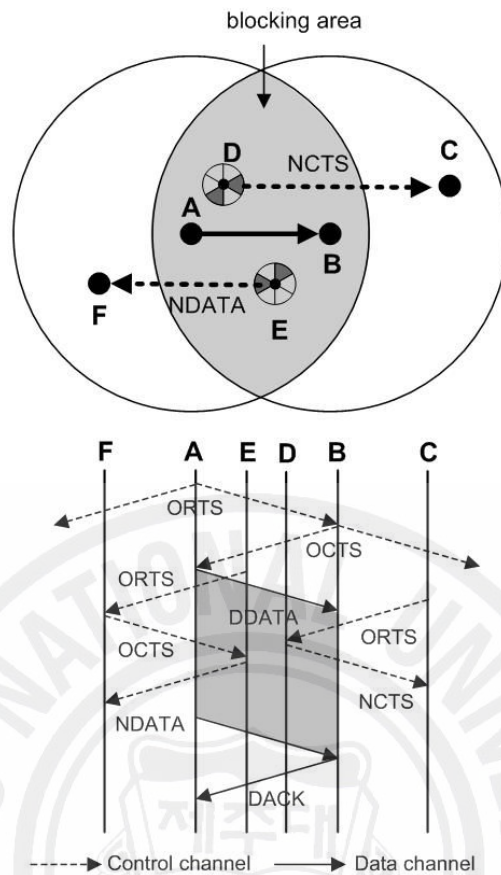


그림 9. DUDMAC 프로토콜의 동작 과정

### 3. 방향성 안테나와 톤을 사용한 이중채널 Ad hoc MAC 프로토콜

ToneDUDMAC(DUDMAC with an out-of-band tone) 프로토콜은 공간 재사용이 향상되도록 톤을 사용하였다. 메시지 교환 과정은 ORTS, DCTS, DDATA, DACK로 이루어지고 통신이 불가능한 상태임을 상대 노드에게 알리기 위해 NCTS와 NDATA를 사용한다. 그리고 Deafness 문제 해결을 위한 OCTS\_Tone과 공간 재사용 향상을 위한 DDATA\_Tone을 사용한다.



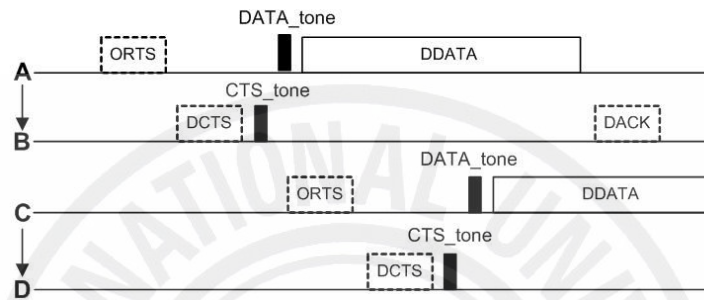
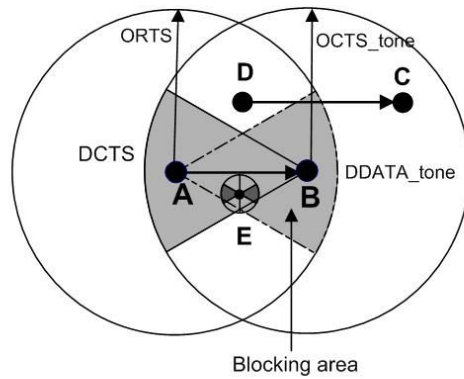


그림 10. ToneDUDMAC 프로토콜의 동작 과정

그림 10은 ToneDUDMAC 프로토콜의 동작 과정을 나타낸 것이다. 노드 A가 노드 B에게 DATA를 전송하기 위해 ORTS를 전송하고 노드 A의 커버리지에 있는 노드 D는 이를 수신하고 자신의 Deafness 테이블에 저장한다. ORTS를 수신한 노드 B는 노드 A에게 DCTS를 전송한다. 노드 B는 Deafness 해결을 위해 OCTS\_Tone을 전송한다. 노드 E는 노드 B의 DCTS가 수신된 방향성 안테나를 블로킹 상태로 설정한다. 또한 노드 B의 ORTS\_Tone을 수신한 노드 C, D는 노드 B를 자신의 Deafness 테이블에 저장한다. 노드 B의 DCTS를 수신한 노드 A는 DDATA\_Tone을 전송하고 DDATA를 전송한다. 노드 E는 DDATA\_Tone이 수신된 방향성 안테나를 블로킹 상태로 설정한다.

#### 4. 전력제어기법을 사용한 DUDMAC 프로토콜

PCDUDMAC(power controlled dual-channel directional MAC) 프로토콜은 DUDMAC 프로토콜에 전력제어기법을 사용한 프로토콜이다. 제안하는 프로토콜은 ORTS와 OCTS는 최대 전력으로 전송되고 DDATA와 DACK는 전송 전력을 제어하여 전송된다. DDATA와 DACK의 전력제어를 위해 OCTS와 DATA의 헤더에 전력제어에 사용하기 위한 필드가 추가된다. 제안하는 프로토콜은 새로운 블로킹 알고리즘을 통해 공간 재사용을 향상시켜 네트워크의 처리량을 개선한다. 블로킹 알고리즘은 블로킹 테이블을 사용하여 DUDMAC의 블로킹 영역을 FULL\_BLOCKING 영역과 SEMI\_BLOCKING 영역으로 구분한다. SEMI\_BLOCKING 영역의 노드는 ORTS 또는 OCTS 수신 시 수신세기를 블로킹 테이블에 저장된 수신세기와 비교하여 통신여부를 결정한다.

##### 1) 헤더에 추가되는 필드

제안하는 프로토콜에서는 전력제어와 블로킹 상태 설정을 위해 DUDMAC의 OCTS와 DDATA헤더에 식 (3)의 전력제어인자  $\beta$ 를 삽입하기 위한 필드를 추가하였다. 이 값을 통해 DDATA와 DACK의 전력 세기가 결정된다.

$$\beta = \frac{P_r}{P_{r_{\min}}} \quad (3)$$

여기서  $P_r$ 은 ORTS 또는 OCTS의 수신세기를 의미하고  $P_{r_{\min}}$ 은 식 (4)와 같이 현재 DDATA 채널의 간섭 신호 세기  $I_D$ , 잡음 평균전력  $N_0$ , 패킷 에러가 발생하지 않는 최소의 SINR  $SINR_{Threshold}$  값을 고려하여 계산된 값이다.

$$P_{r_{\min}} = SINR_{Threshold} \times (I_D + N_0) \quad [mW] \quad (4)$$

OCTS 또는 DDATA를 수신한 노드는  $\beta$ 값을 사용하여 식 (5)으로부터 DDATA 또는 DACK의 전송세기  $P_{t_{transmit}}$ 를 구한다.

$$P_{t_{transmit}} = \frac{P_{t_{fixed}}}{\beta \times G^2} \times c \quad [mW] \quad (5)$$

여기서  $P_{t_{fixed}}$  값은 ORTS와 OCTS에 대해 미리 정의된 값 또는 최대전송 세기를 의미한다.  $G$ 는 송수신 안테나의 이득을 나타내고  $c$ 는 예기치 못한 간섭 신호의 세기를 대비한 상수다.

## 2) 전력제어 동작 과정

PCDUDMAC은 DDATA와 DACK의 전송 전력을 제어하여 전송한다. 전력제어된 전송의 크기는 채널의 간섭 신호의 세기와 수신되는 신호의 세기의 함수이다. 그림 11은 PCDUDMAC의 전력제어 과정을 나타낸 것이다. 그림에서 노드 A는 노드 B에게 제어채널을 통해 ORTS를 최대 전력으로 전송한다. 노드 B가 이를  $P_r$ 의 세기로 수신하게 되면 노드 B는 데이터채널의 간섭신호의 세기를 측정 후 식 (3)에 의해  $\beta$  값을 계산하고 OCTS에 삽입하여 전송한다. OCTS를 수신한 노드 A는 식 (5)에 의해 DDATA의 전송 세기를  $P_{t_{transmit}}$ 으로 설정한다. 그리고 DDATA에 삽입할  $\beta$  값을 계산하고 DDATA를  $P_{t_{transmit}}$ 의 세기로 전송한다. DDATA를 수신한 노드 B는 DDATA의 헤더로부터  $\beta$  값을 얻어온 후 DACK의 전송세기를 결정하여 DACK를 전송한다.

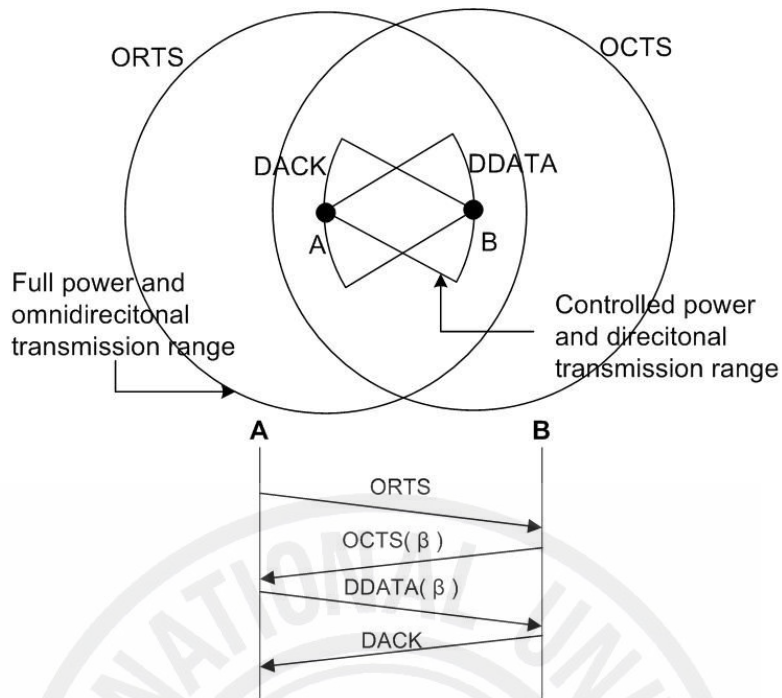


그림 11. PCDUDMAC 프로토콜의 전력제어 동작 과정

### 3) 블로킹 테이블

제안하는 프로토콜에서는 ORTS 또는 OCTS를 수신하였을 경우 통신 가능여부를 판단하기 위해서 블로킹 테이블을 사용한다. 제안하는 프로토콜은 최대 세기로 전송되는 ORTS와 OCTS의 도달거리와 전력제어된 세기로 전송되는 DDATA와 DACK의 전송거리의 차이에 의해 생기는 영역 안의 노드들이 통신을 가능하게 하기 위해서 사용한다. 블로킹 테이블은 방향성 안테나 별로 관리되고 방향성 안테나에 대한 블로킹 테이블은 그림 12와 같이 구성된다.

RTS address	CTS address	OH_RTsrpxpw	OH_CTsrpxpw	Expiration Time	State
-------------	-------------	-------------	-------------	-----------------	-------

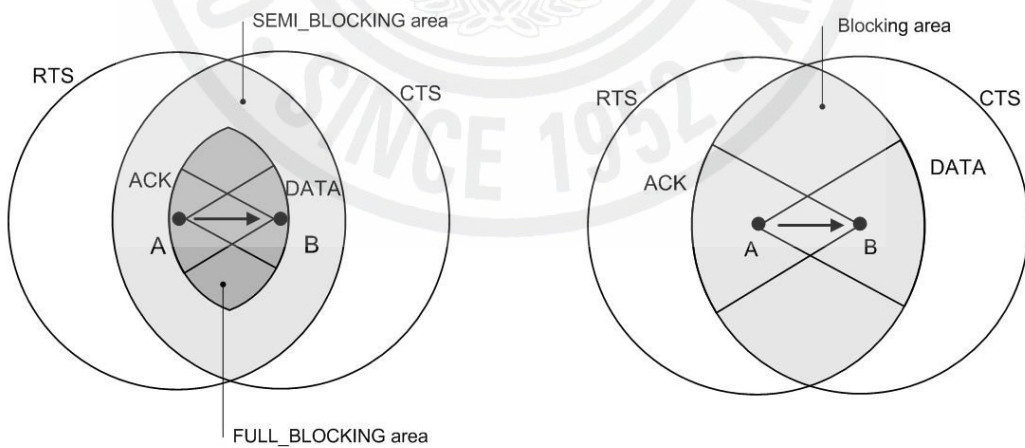
그림 12. 블로킹 테이블

테이블의 각 필드에 저장되는 값은 다음과 같다. RTS address 필드와 CTS address 필드에는 통신하려는 두 노드의 주소가 저장된다. 그리고 OH\_RTsrpxpw(overheard RTS rx power)와 OH\_CTsrpxpw(overheard CTS rx

power) 필드에는 각각 RTS 수신세기와 OCTS 수신세기가 저장된다. Expiration time 필드에는 통신이 완료될 시점의 시간이 저장된다. 통신이 완료되는 시간은 ORTS 수신인 경우는 OCTS 수신을 기다리는 시간이고 OCTS 수신인 경우는 두 노드의 통신 종료 시간이 된다. State 필드는 FULL\_BLOCKING 또는 SEMI\_BLOCKING 값이 저장된다. State 값의 결정은 OCTS 수신 시 OCTS 필드에 있는  $\beta$  필드 값을 이용하여 식 7에 의해 결정된다.

#### 4) SEMI\_BLOCKING

기존 DUDMAC에서 ORTS와 OCTS를 수신한 노드는 RTS를 수신한 방향성 안테나와 OCTS를 수신한 방향성 안테나를 블로킹 상태로 설정한다. 방향성 안테나가 블로킹 상태로 설정되는 노드는 그림 13(b)와 같이 ORTS 커버리지와 OCTS의 커버리지에 겹치는 영역에 존재한다. DDATA와 DACK의 전송 전력을 제어하는 경우 ORTS와 OCTS에 의한 블로킹 영역과 DDATA와 DACK에 의한 블로킹 영역에 차이가 발생한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 공간 재사용을 향상시키기 위해 그림 13(a)와 같이 DUDMAC의 블로킹 영역을 FULL\_BLOCKING과 SEMI\_BLOCKING으로 구분한다(그림 13(a)).



(a) PCDUDMAC의 블로킹 영역

(b) DUDMAC의 블로킹 영역

그림 13. PCDUDMAC의 블로킹 영역(a)와 DUDMAC(b)의 블로킹 영역의 비교

방향성 안테나에 대한 블로킹 상태 결정 과정은 다음과 같다. 노드가 ORTS를 엿들으면 블로킹 테이블에 새로운 레코드를 생성하고 RTS Address 필드, CTS Address 필드, OH\_RTSSrxpw 필드, Expiration time 필드에 값을 저장한다. 노드가 OCTS를 엿들으면 RTS address와 CTS Address 필드 값에 OCTS에 대응되는 ORTS의 주소가 저장되어 있는지 확인한다. 만약 대응되는 주소가 있으면 OH\_CTSsrxpw 필드와 Expiration time 필드를 업데이트하고 식 (6)과 같이 수신된 OCTS 헤더의  $\beta$  필드의 값과 블로킹 테이블의 OH\_RTSSrxpw 값을  $Pr_{min}$ 으로 나눈 값과 비교하고  $\beta$  필드의 값과 OH\_CTSsrxpw 값을  $Pr_{min}$ 으로 나눈 값과 비교한다. 식 (6)을 만족하면 노드는 FULL\_BLOCKING 영역 안에 있다고 판단하고 ORTS를 수신한 방향성 안테나와 OCTS를 수신한 방향성 안테나 FULL\_BLOCKING 상태로 설정한다. 식 (6)을 만족하지 않으면 노드는 SEMI\_BLOCKING 영역 안에 있다고 판단하고 ORTS를 수신한 방향성 안테나와 OCTS를 수신한 방향성 안테나를 SEMI\_BLOCKING 상태로 설정한다.

$$\left( \frac{OH\_RTS_{rxpw}}{Pr_{min}} > \beta \right) \&\& \left( \frac{OH\_CTS_{rxpw}}{Pr_{min}} > \beta \right) \quad (6)$$

FULL\_BLOCKING 상태의 방향성 안테나는 DUDMAC의 블로킹 상태와 동일하다. 그리고 SEMI\_BLOCKING 영역내의 노드는 수신한 ORTS 또는 OCTS의 수신세기를 블로킹 테이블에 저장된 OH\_RTSSrxpw와 OH\_CTSsrxpw 값과 비교하여 블로킹 설정 여부를 결정한다. 만일 어떤 노드가 SEMI\_BLOCKING 상태의 방향성 안테나로 ORTS 또는 OCTS를 임의의  $Pr$ 로 수신하게 되면 노드는 식 (7)을 통해 통신 가능 여부를 판단한다. 만약 식 (7)을 만족하면, 전력제어된 DDATA와 DACK는 다른 노드의 통신에 방해를 주지 않으므로 노드는 OCTS 또는 DDATA를 전송하고 그렇지 않으면 데이터 패킷의 충돌이 발생할 수 있으므로 NCTS 또는 NDATA를 전송해 통신을 종료한다.

$$(Pr > OH\_RTS_{rxpw}) \&\& (Pr > OH\_CTS_{rxpw}) \quad (7)$$

## 5. 전력제어기법을 사용한 ToneDUDMAC 프로토콜

PCToneDUDMAC 프로토콜은 ToneDUDMAC 프로토콜에 4절에서 설명한 전력제어기법을 사용하여 공간 재사용을 향상시킨다. 전력제어를 위해서 DCTS와 DDATA의 헤더에  $\beta$  필드를 추가하고 방향성 안테나에 대한 블로킹 테이블을 사용한다.

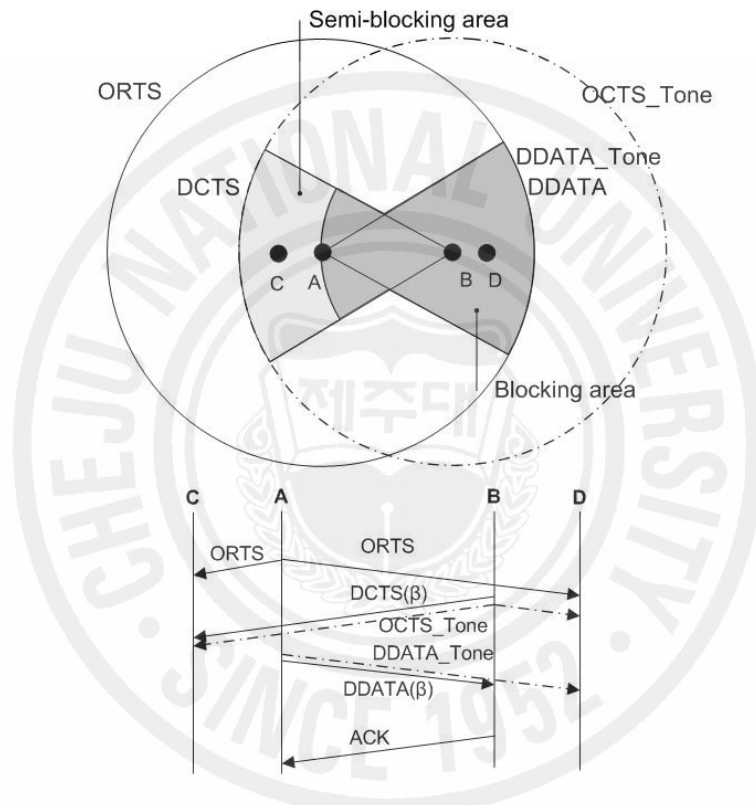


그림 14. PCToneDUDMAC의 블로킹 영역과 동작 과정

전력제어기법을 사용하여 공간 재사용을 향상시키기 위해서는 블로킹 영역을 FULL\_BLOCKING 영역과 SEMI\_BLOCKING 영역으로 구분해야 한다. 영역 구분을 위해서는 DCTS 헤더의  $\beta$  필드 값이 필요하다. 그러나 ToneDUDMAC에서는 DCTS를 사용하기 때문에 DCTS를 수신 하지 못하는 영역의 노드들은 식 (6)의 비교과정을 수행할 수 없다. 그렇기 때문에 DDATA\_Tone이 수신된 방향성 안테나는 FULL\_BLOCKING 처리를 하고 DCTS를 수신한 노드만 식 (6)의

비교과정을 거쳐 방향성 안테나를 FULL\_BLOCKING 또는 SEMI\_BLOCKING으로 설정한다.

그림 14는 PCToneDUDMAC의 블로킹 영역과 동작과정을 나타낸 것이다. 노드 A가 노드 B로 ORTS를 전송한다. 이를 엿들은 노드 C와 노드 D는 자신의 블로킹 테이블과 Deafness 테이블에 ORTS 정보를 저장한다. 이때 블로킹 테이블의 해제 시간은 DCTS가 수신 될 것으로 예측되는 시간을 저장한다. ORTS를 수신한 목적지 노드 B는 식 (3)를 이용하여  $\beta$ 값을 구하고 이를 DCTS에 넣어서 전송한다. DCTS를 수신한 노드 C는 자신의 블로킹 테이블을 갱신하고 DCTS 정보를 Deafness 테이블에 저장한다. 이때 블로킹 테이블의 해제 시간은 통신이 종료되는 시간을 예측하여 저장한다. DCTS를 수신한 노드 A는 식 (3)를 이용해  $\beta$  값을 계산하여 DDATA의 헤더에 삽입하고 식 (5)을 이용해 전송전력을  $P_{t_{transmit}}$ 로 설정한다. 이후 노드 A는 DDATA\_Tone을 전송하고 DDATA를 전송한다. DDATA\_Tone을 엿들은 노드 D는 수신된 방향성 안테나를 블로킹 상태로 설정한다.



## IV. 성능평가

본 논문에서 제안하는 프로토콜의 성능을 시뮬레이션을 통해 네트워크 처리량과 에너지 소모량에 대해 확인하였다. DUDMAC 프로토콜과 ToneDUDMAC 프로토콜의 성능은 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 평균 처리량을 기존에 Ad hoc 네트워크를 위해 제안된 802.11, DUCHA MAC, DMAC, ToneDMAC 프로토콜과 비교하였다. PCDUDMAC과 PCToneDUDMAC은 평균 처리량과 에너지 소모량에 대해 각각 DUDMAC과 ToneDUDMAC과 비교하였다.

Ad hoc 네트워크에서 사용되는 라우팅 프로토콜들은 대부분 전방향 전송을 기반으로 브로드캐스팅을 통해 이루어진다. 따라서 전방향 MAC 프로토콜과 방향성 MAC 프로토콜 비교에서 라우팅 프로토콜로 인한 성능 차이를 배제하기 위하여 본 논문에서는 사전에 미리 경로를 설정한 정적 라우팅(static routing)을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

### 1. 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 SNT에서 제공하는 네트워크 시뮬레이션 도구인 쉘넷 시뮬레이터 버전 3.8을 사용하여 MAC 프로토콜의 성능을 확인하였다. 쉘넷 시뮬레이터는 사용자 그래픽 인터페이스(GUI)를 기반으로 MANET(mobile Ad hoc network), QoS, IPv6, 셀룰러, 위성 등의 다양한 라이브러리를 제공하며 이기종 간의 네트워크 모델링, 무선 네트워크, 실시간 시뮬레이션, 방향성 안테나 시스템, 유선 네트워크 등의 시뮬레이션에 널리 사용되고 있다.

본 논문에서는 시뮬레이션 환경으로 IEEE 802.11b 물리 계층을 사용하였으며 수신 감도는  $-89\text{dBm}$ 이며, 경로 손실 모델은 two-ray 모델을 사용하였다. 안테나 모델은 8개의 패턴으로 이루어진 스위치드 빔 안테나 모델을 사용하였다. 전력제어를 위해  $\beta$ 계산에서  $c$ 는 1.2로 사용하였고  $SINR_{Threshold}$ 는 10.79 dB를 사용

하였다. 표1은 시뮬레이션에서 사용되는 중요한 파라미터를 나타낸 것이다. 표2는 시뮬레이션을 수행한 프로토콜들의 특징을 보여준다.

표 1. 시뮬레이션 중요 파라미터

	60 노드 다중 홉	180 노드 단일 홉
CBR 트래픽 부하	0.1 ~ 0.5Mbps	0.2 ~ 1.0Mbps
노드간 거리	225 ~ 250m	0 ~ 250m
폴리 계층 프로토콜	802.11b	
수신감도	-89dBm	
전송 경로 손실 모델	two-ray 모델	
전송속도	2Mbps	
최대 전송 거리	250m	
$c$	1.25	
$SINR_{Threshold}$	10.79 dB	
라우팅 프로토콜	정적 라우팅	
DATA 패킷 크기	1000byte	
시뮬레이션 시간	120sec	

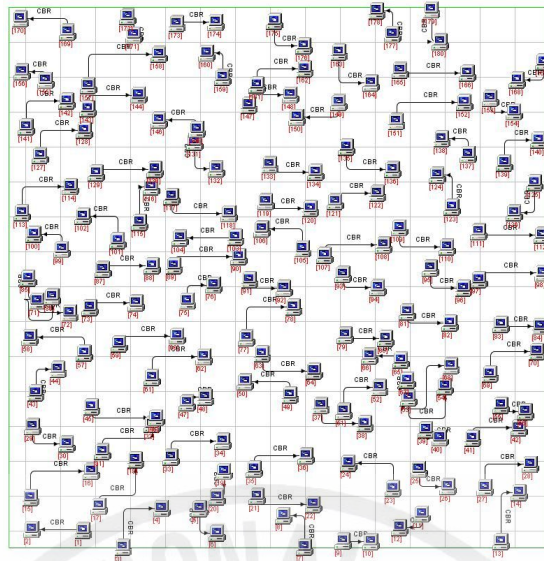
표 2. 시뮬레이션을 수행한 MAC 프로토콜의 특징 비교

	안테나 형태	사용 채널 수	ACK 사용여부	전력제어
802.11 MAC	OMNI	Single	YES	NO
DUCHA MAC	OMNI	Dual	NO (NACK 사용)	NO
DMAC	DIR	Single	YES	NO
ToneDMAC	DIR	Single	YES	NO
DUDMAC	DIR	Dual	YES	NO
PCDUDMAC	DIR	Dual	YES	YES
ToneDUDMAC	DIR	Dual	YES	NO
PCtoneDUDMAC	DIR	Dual	YES	YES

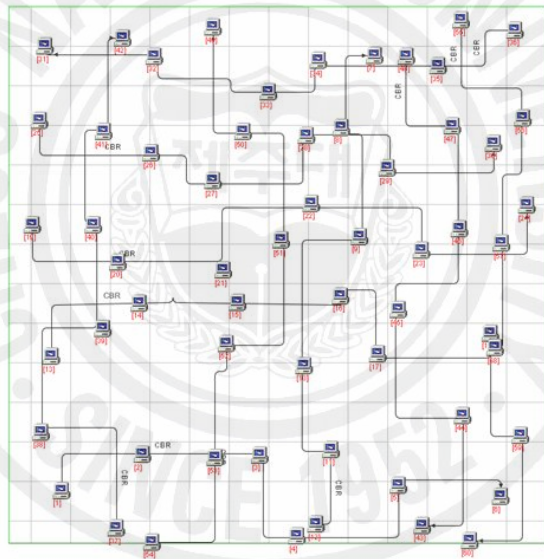
OMNI : 전방향성 안테나, DIR : 방향성 안테나

## 2. 시뮬레이션 토폴로지

본 논문에서 시뮬레이션은 60 노드를 갖는 다중 홉 랜덤 토폴로지와 180 노드를 갖는 단일 홉 랜덤 토폴로지에 대해 수행하였다.



(a) 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지



(b) 60 노드 다중 홉 랜덤 토폴로지

그림 15. 시뮬레이션 네트워크 토폴로지

그림 15(a)는 180 노드의 단일 홉 랜덤 토폴로지를 나타낸 것이다. 180개의 노드를  $1000m^2$  지역에 무작위로 배치하고 목적지 노드는 전송 거리 내에서 무작위로 선택되었다. 그림 15(b)는 60 노드를 갖는 다중 홉 랜덤 토폴로지를 나타낸 것이다. 이 토폴로지는 60개의 노드를  $1000m^2$  지역에 무작위로 배치하였고 10개의 5 홉으로 구성되었다.

### 3. 이중채널의 채널 속도 할당

IEEE 802.11b의 전송 속도는 2Mbps이다. 시뮬레이션에서 DUDMAC과 ToneDUDMAC의 제어채널과 데이터채널의 속도를 할당하기 위해 다중 홉과 단일 홉 토폴로지에서 제어채널과 데이터채널의 최적의 속도를 결정하기 위해 제어채널의 속도를 0.1~1.9까지 변화시키면서 네트워크의 처리량을 구하였다. 그림 16과 17은 각각 DUDMAC에서 제어채널 속도에 따른 평균 처리량의 변화와 ToneDUDMAC에서 제어채널 속도에 따른 평균 처리량의 변화를 나타낸 것이다. 제어채널 속도가 0.6 Mbps인 경우에 다중 홉과 단일 홉의 평균 처리량의 합이 가장 컸다. 표 3은 시뮬레이션에서 할당한 제어채널과 데이터채널의 속도를 나타낸 것이다.

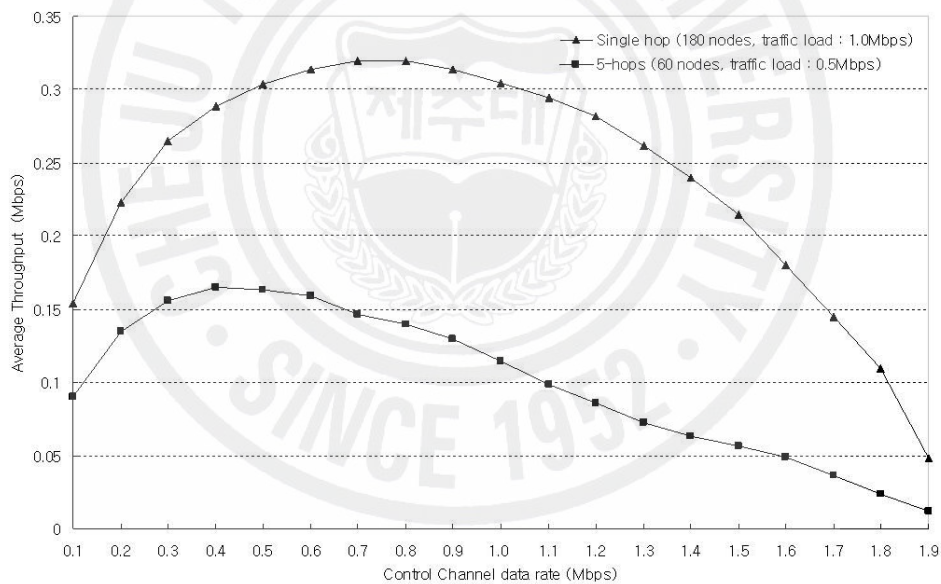


그림 16. DUDMAC에서 제어채널 속도에 따른 평균 처리량 변화

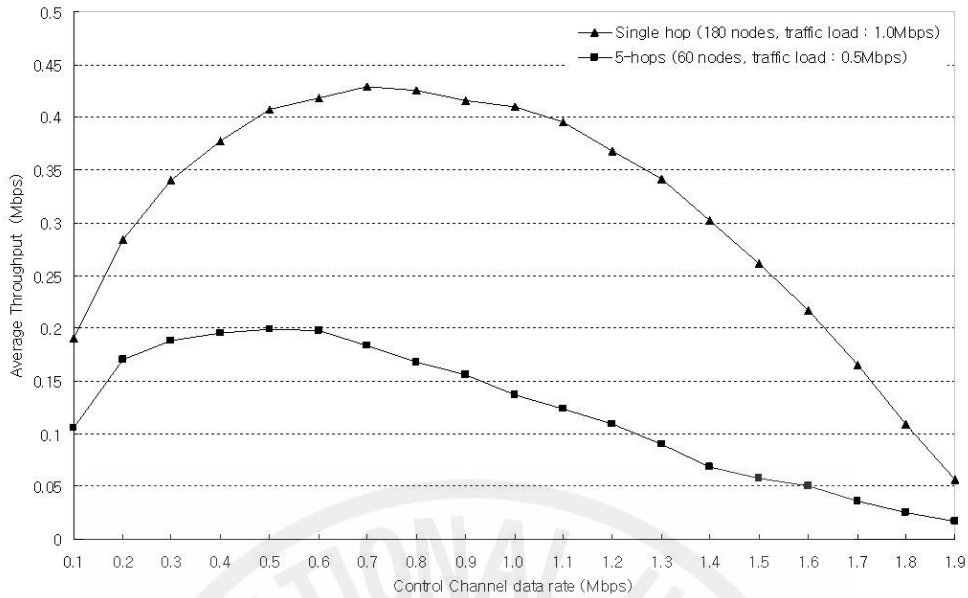


그림 17. ToneDUDMAC에서 제어채널 속도에 따른 평균 처리량 변화

표 3. DUDMAC과 ToneDUDMAC의 채널 속도 할당

	제어채널	데이터채널
DUDMAC	0.6 Mbps	1.4 Mbps
ToneDUDMAC	0.6 Mbps	1.4 Mbps

#### 4. 시뮬레이션 결과

##### 1) 방향성 안테나를 사용한 이중채널 DMAC 프로토콜

DUDMAC의 시뮬레이션은 평균 처리량을 ToneDMAC, DMAC, DUCHA, IEEE 802.11 MAC과 비교하였다. 그림 18은 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에 서 DUDMAC의 평균 처리량을 보여준다. DUDMAC, ToneDMAC, DMAC, DUCHA 그리고 IEEE 802.11의 평균 처리량은 네트워크의 트래픽 부가가 1Mbps에서 각각 308 kbps, 179 kbps, 143 kbps, 83 kbps, 68 kbps이다. DUDMAC 프로토콜의 처리량은 ToneDMAC 프로토콜에 비해 약 71% 증가하였 다.

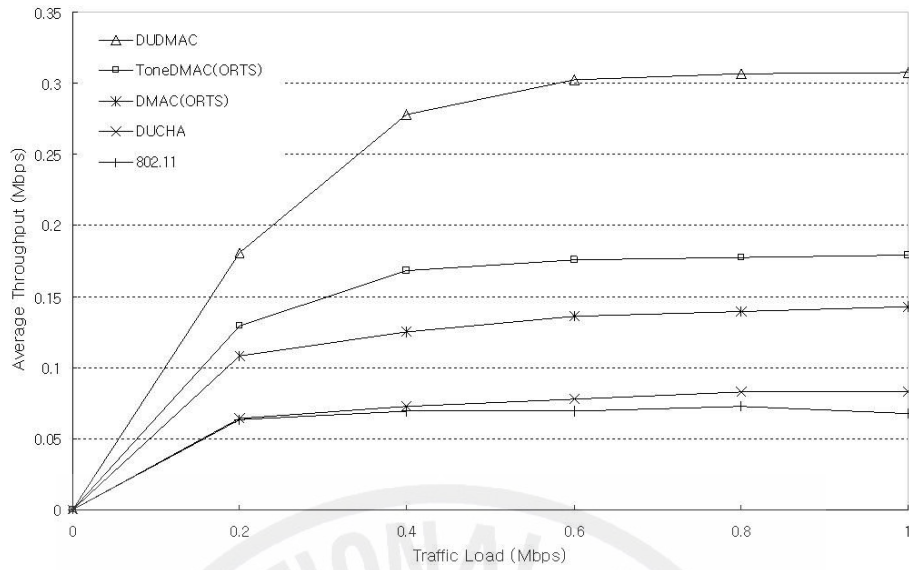


그림 18. 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 DUDMAC의 평균 처리량 비교

그림 19는 60노드 다중 홉 랜덤 토폴로지에서 DUDMAC의 평균 처리량을 보여 준다. 시뮬레이션 결과 DUDMAC과 ToneDMAC이 단일 홉에서보다 더욱 개선된 성능을 보이는 이유는 deafness 테이블과 톤을 사용해 deafness 문제를 해결하기 때문이다. DUDMAC, ToneDMAC, DMAC, DUCHA, IEEE 802.11의 평균 처리량은 네트워크의 트래픽 부가가 0.5Mbps에서 각각 159 kbps, 70 kbps, 32 kbps, 18 kbps, 8 kbps이다. DUDMAC 프로토콜의 처리량은 ToneDMAC 프로토콜에 비해 약 62% 증가하였다. 시뮬레이션 결과 방향성 안테나를 사용하는 DUDMAC, ToneDMAC, DMAC 프로토콜의 성능이 전방향 안테나를 사용하는 802.11 MAC 프로토콜과 DUCHA 프로토콜의 성능보다 우수함을 확인할 수 있다. 이는 방향성 안테나의 사용이 공간 재사용을 향상시켜 네트워크의 처리량을 증가시키고 있기 때문이다.

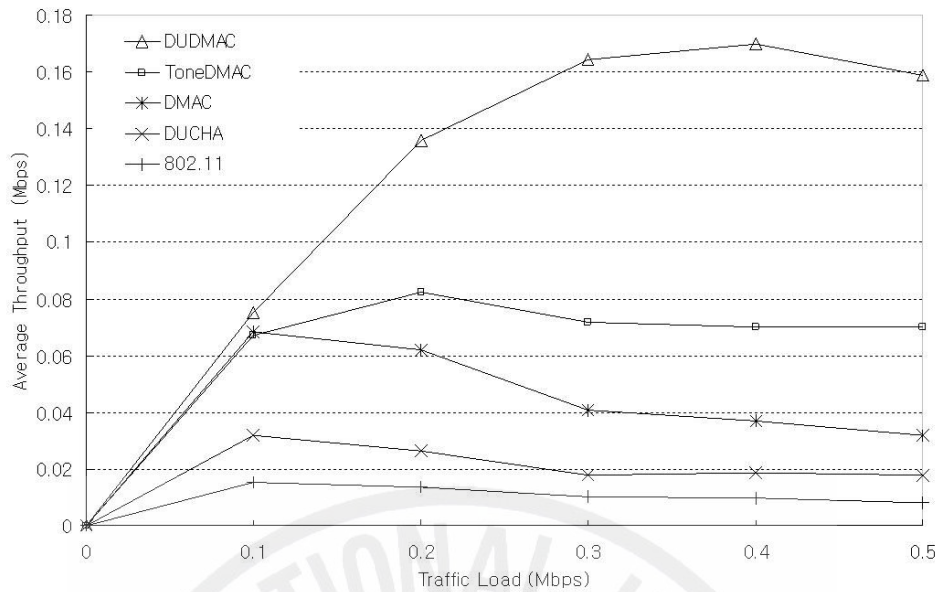


그림 19. 60 노드 다중 홉 랜덤 토폴로지에서 DUDMAC의 평균 처리량 비교

## 2) 방향성 안테나와 톤을 사용한 이중채널 DMAC 프로토콜

ToneDUDMAC의 시뮬레이션은 평균 처리량을 DUDMAC, DMAC, DUCHA IEEE 802.11 MAC과 비교하였다.

그림 20은 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 ToneDUDMAC의 평균 처리량을 보여준다. 시뮬레이션 결과 ToneDUDMAC의 평균 처리량이 다른 프로토콜들 보다 높음을 알 수 있다. 이는 ToneDUDMAC이 톤을 사용해 DUDMAC보다 블로킹 영역을 줄임으로서 공간 재사용을 향상되었기 때문이다. ToneDUDMAC, DUDMAC, ToneDMAC, DMAC, DUCHA, IEEE 802.11의 평균 처리량은 네트워크의 트래픽 부가가 1Mbps에서 각각 410 kbps, 307 kbps, 179 kbps, 143 kbps, 83 kbps, 68 kbps이다. ToneDUDMAC 프로토콜의 처리량은 DUDMAC 프로토콜에 비해 약 34% 증가하였다.

그림 21은 60 노드 다중 홉 랜덤 토폴로지에서 ToneDUDMAC의 평균 처리량을 보여준다. 시뮬레이션 결과 ToneDUDMAC의 평균 처리량이 다른 프로토콜들 보다 높음을 알 수 있다. 이는 ToneDUDMAC이 톤을 사용해 DUDMAC보다 블로킹 영역을 줄임으로서 공간 재사용이 향상되었기 때문이다. ToneDUDMAC, DUDMAC, ToneDMAC, DMAC, DUCHA 그리고 IEEE 802.11의 평균 처리량은

네트워크의 트래픽 부가가 0.5Mbps에서 각각 198 kbps, 159 kbps, 70 kbps, 32 kbps, 18 kbps, 8 kbps이다. ToneDUDMAC 프로토콜의 처리량은 DUDMAC 프로토콜에 비해 약 25% 증가하였다.

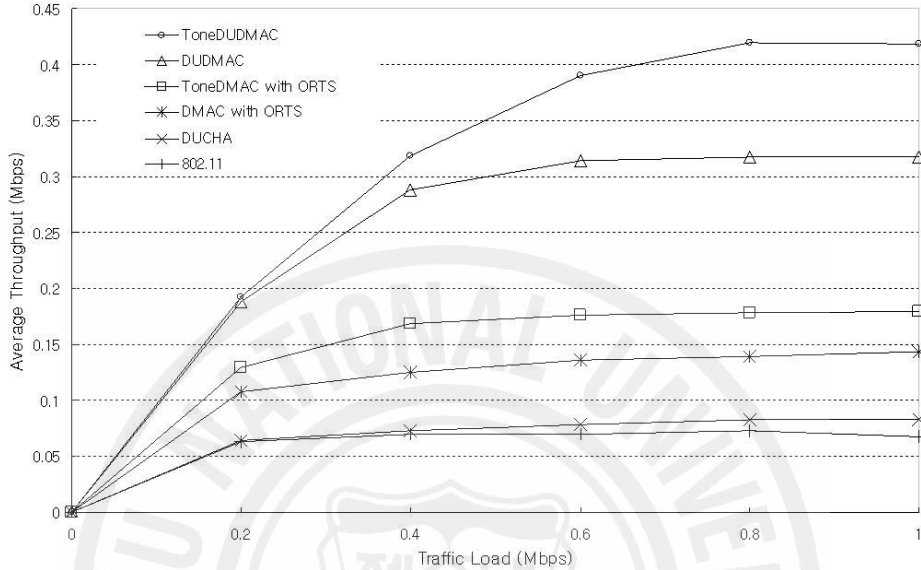


그림 20. 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 ToneDUDMAC의 평균 처리량 비교

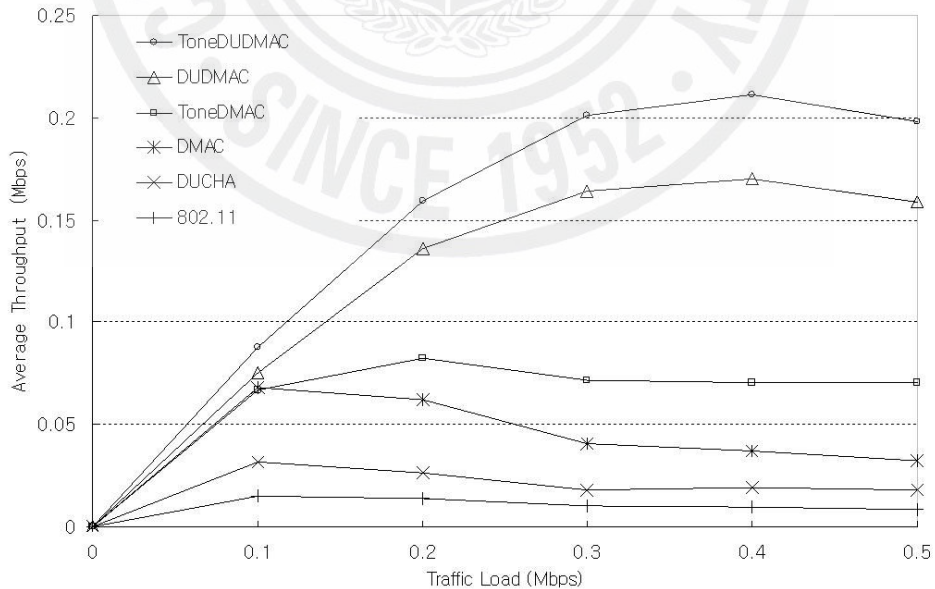


그림 21. 60 노드 다중 홉 랜덤 토폴로지에서 ToneDUDMAC의 평균 처리량 비교



### 3) 전력제어기법을 사용한 DUDMAC 프로토콜

PCDUDMAC의 성능을 확인하기 위해 PCDUDMAC과 DUDMAC의 평균 처리량과 에너지 소모량을 비교하였다. 그림 22는 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 PCDUDMAC과 DUDMAC의 평균 처리량을 보여준다. PCDUDMAC과 DUDMAC의 평균 처리량은 트래픽 부하가 1Mbps에서 각각 438 kbps와 317 kbps이다. PCDUDMAC 프로토콜의 평균 처리량은 DUDMAC 프로토콜에 비해 약 38% 증가하였다. 그림 23은 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 DUDMAC과 PCDUDMAC 프로토콜을 사용하는 노드가 하나의 DATA를 전송하기 위해 소모하는 전력을 보여준다. DUDMAC 프로토콜은 DATA를 전력제어 하지 않기 때문에 DATA 패킷 하나를 전송하는데 0.0494 mW로 일정하다. PCDUDMAC 프로토콜은 전력제어의 영향으로 DATA 패킷 하나를 전송하는데 소모되는 전력이 DUDMAC에 비해 약 19% 정도 감소하였다.

시뮬레이션 결과 PCDUDMAC의 평균 처리량이 DUDMAC 보다 높음을 알 수 있다. 이는 PCDUDMAC에서 SEMI\_BLOCKING 영역의 노드들이 수신 세기 비교 과정을 통해 통신 가능한 경우가 발생하여 공간 재사용이 향상되기 때문이다.

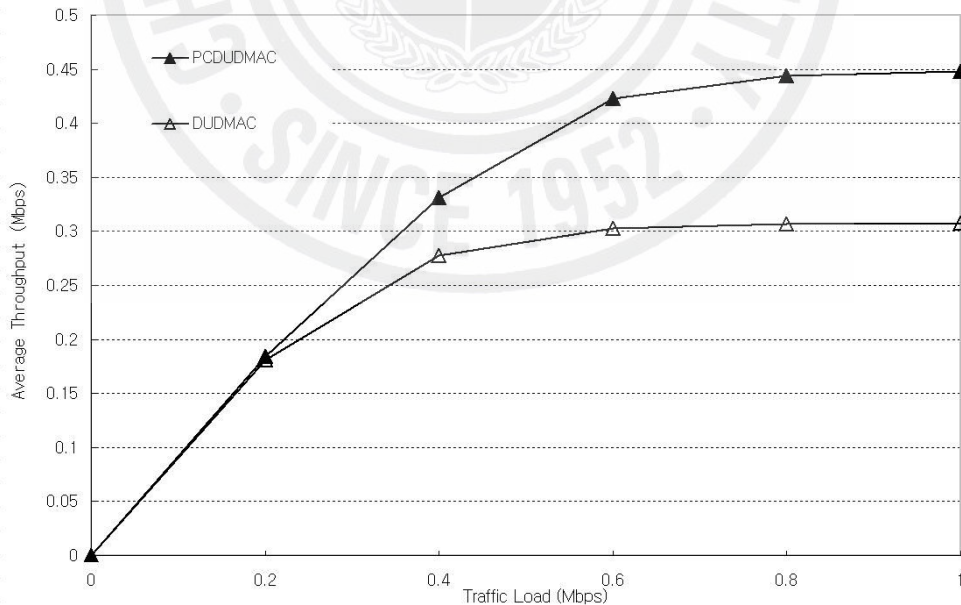


그림 22. 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 DUDMAC과 PCDUDMAC의 평균 처리량 비교

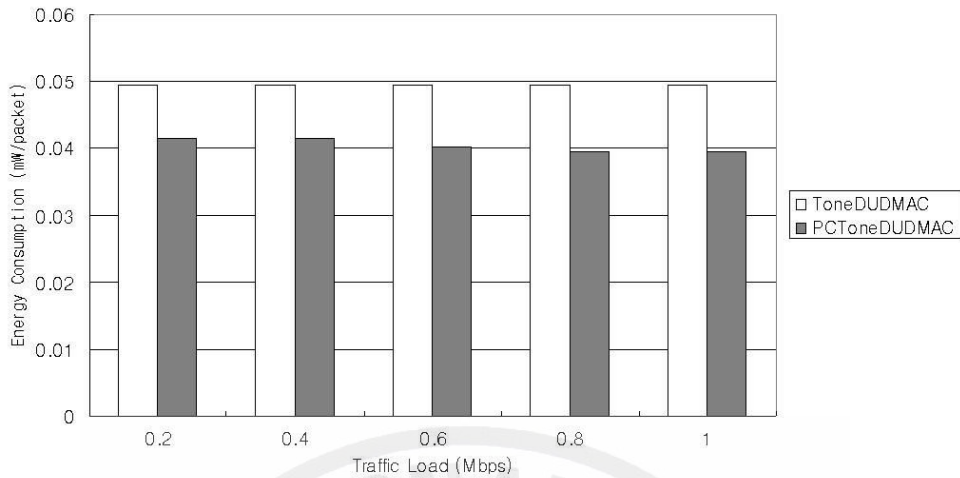


그림 23. 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 DUDMAC과 PCDUDMAC의 에너지 소모량 비교

#### 4) 전력제어기법을 사용한 ToneDUDMAC 프로토콜

PCToneDUDMAC의 성능을 확인하기 위해 PCToneDUDMAC과 ToneDUDMAC의 평균 처리량과 에너지 소모량을 비교하였다. 그림 24는 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 PCToneDUDMAC와 ToneDUDMAC의 평균 처리량을 보여준다. PCToneDUDMAC와 ToneDUDMAC의 트래픽 부하가 1Mbps에서 각각 488 kbps와 410 kbps이다. PCToneDUDMAC 프로토콜의 평균 처리량은 ToneDUDMAC 프로토콜에 비해 약 19% 증가 하였다. 시뮬레이션 결과 PCToneDUDMAC의 평균 처리량이 ToneDUDMAC 보다 높음을 알 수 있다. 그림 25는 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 ToneDUDMAC과 PCToneDUDMAC 프로토콜을 사용하는 노드가 하나의 DATA를 전송하기 위해 소모하는 전력을 보여준다. ToneDUDMAC 프로토콜은 DATA를 전력제어 하지 않기 때문에 DATA 패킷 하나를 전송하는데 0.0494 mW로 일정하다. PCToneDUDMAC 프로토콜은 전력제어의 영향으로 DATA 패킷 하나를 전송하는데 소모되는 전력이 ToneDUDMAC에 비해 약 18% 정도 감소하였다.

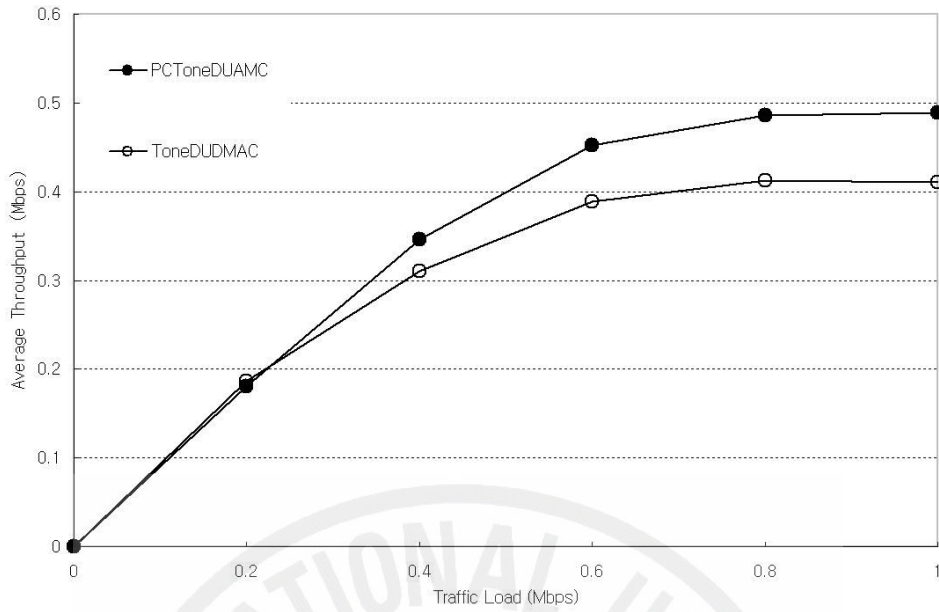


그림 24. 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 ToneDUDMAC과 PCToneDUDMAC의 평균 처리량 비교

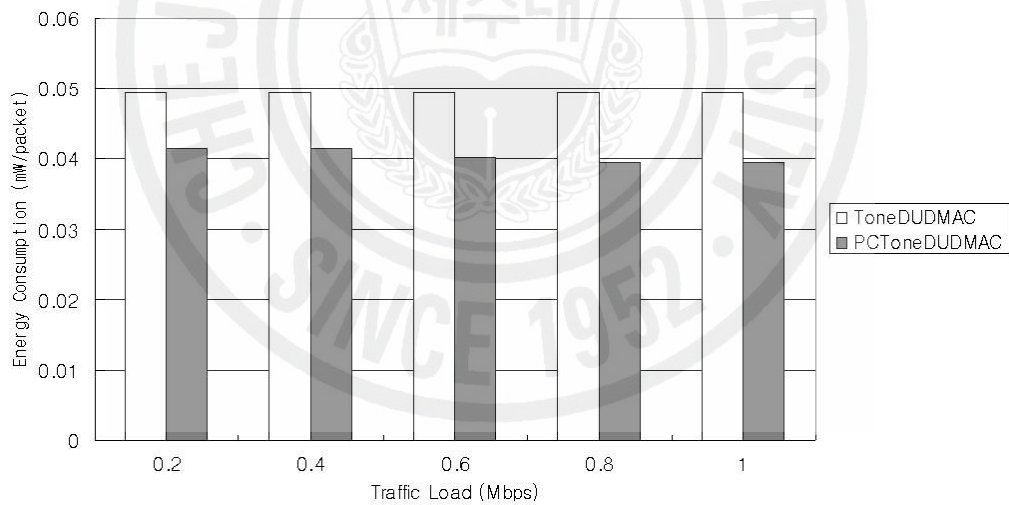


그림 25. 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 ToneDUDMAC과 PCToneDUDMAC의 에너지 소모량 비교

## V. 결론

본 논문은 차량 간 통신 기반의 텔레매틱스 서비스에 적용하기 위한 Ad hoc MAC 프로토콜을 제안하였다. 본 논문에서는 방향성 안테나를 사용하는 이중채널 MAC 프로토콜에 전력제어기법을 사용하여 공간 재사용을 향상시키고 에너지 소모량을 줄였다. DUDMAC 프로토콜은 방향성 안테나의 사용으로 발생하는 deafness 문제와 이웃 노드의 위치 결정 문제를 ORTS와 OCTS를 사용하여 해결한다. 그리고 이중채널을 사용하여 데이터 패킷들의 충돌을 줄이고 방향성 안테나를 사용하기 위한 새로운 블로킹 알고리즘과 NCTS와 NDATA를 사용하여 공간 재사용을 향상시킨다. ToneDUDMAC 프로토콜은 DCTS와 DDATA\_Tone을 사용하여 DUDMAC 프로토콜보다 블로킹 영역을 줄여 공간 재사용을 향상시킨다.

PCDUDMAC와 PCToneDUDMAC에서는 에너지 소모량을 줄이기 위해 DATA와 ACK를 전력제어된 세기로 전송하였다. 그리고 공간 재사용을 향상시키기 위해 전력제어를 위한 새로운 블로킹 알고리즘을 사용하여 DUDMAC과 ToneDUDMAC의 블로킹 영역을 FULL\_BLOCKING 영역과 SEMI\_BLOCKING 영역으로 구분하였고, 블로킹 테이블을 사용하여 SEMI\_BLOCKING 상태의 방향성 안테나에서 RTS 또는 CTS를 수신하였을 경우 수신세기 비교를 통해서 통신 가능여부를 결정하였다.

본 논문에서 제안한 이중채널과 방향성 안테나를 사용한 MAC 프로토콜의 성능을 쉘넷 시뮬레이터에서 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 시뮬레이션에 사용된 네트워크 토폴로지는 단일 홉 180 노드와 다중홉 60 노드이다. 시뮬레이션 결과 제안하는 이중채널과 방향성 안테나를 사용한 MAC 프로토콜은 802.11, 이중채널 프로토콜, 기존의 방향성 안테나를 사용한 MAC 프로토콜에 대해 높은 네트워크 처리량을 갖는 것을 확인하였다. 이중채널과 방향성 안테나를 사용하는 DUDMAC의 처리량은 ToneDMAC에 비해 약 62% 정도 개선되었고, ToneDUDMAC은 DUDMAC에 비해 약 34% 정도 개선되었다. 전력제어기법이 사용된 PCDUDMAC 프로토콜은 DUDMAC 프로토콜에 비해 약 38% 정도 평균

처리량이 증가하였고 에너지 소모량은 19% 정도 감소하였다. PCToneDUDMAC 프로토콜은 ToneDUDMAC 프로토콜에 비해 약 19% 정도 평균 처리량이 증가하였고 에너지 소모량은 18 % 정도 감소하였다. 이는 데이터채널의 전력제어를 통해 공간 재사용이 향상되었고 패킷 전송 시 전력을 절감할 수 있었기 때문이다.

본 논문에서는 전력제어를 위한 블로킹 알고리즘을 통해 방향성 안테나와 이중채널을 사용하는 Ad hoc 프로토콜의 처리량을 개선하고 패킷 전송 시 소모되는 에너지를 줄일 수 있는 방법을 제시하였고 시뮬레이션을 통해 성능을 확인하였다. 따라서 제안하는 프로토콜은 방향성 안테나를 사용하는 Ad hoc 네트워크에서 이동 노드 간 통신 또는 텔레매틱스에서 차량 간 통신에 적용될 수 있을 것이다.



## 참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.11 wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, IEEE 1999 Edition.
- [2] A. Nasipuri, S. Ye, J. You, R. Hiromoto, "A MAC protocol for mobile ad hoc networks using directional antennas", *WCNC2000 vol.3*, pp.1214-1219, 2000.
- [3] H. Gossain, C. Cordeiro, D. Cavalcanti, D. P. Agrawal, "The deafness problems and solutions in wireless ad hoc networks using directional antennas", *IEEE GLOBECOM'04*, pp.108-113, 2004.
- [4] M. Takai, J. Martin, R. Bagrodia, A. Ren, "Directional virtual carrier sensing for directional antennas in mobile ad hoc networks", *ACM MobiHoc 2002*, pp.183 - 193, 2002.
- [5] R. R. Choudhury, N. H. Vaidya, "Deafness: a MAC problem in ad hoc networks when using directional antennas", *ICNP 2004*, pp.283-292, 2004.
- [6] R. R. Choudhury, X. Yang, N. H. Vaidya, R. Ramanathan, "Using directional antennas for medium access control in ad hoc networks", *ACM MOBICOM*, pp.57-90, 2002.
- [7] T. Elbatt, T. Anderson, B. Ryu, "Performance evaluation of multiple access protocols for ad hoc networks using directional antennas", *WCNC 2003 vol.2*, pp.981-987, 2003.
- [8] Z. Huang, C. Shen, C. Srisathapornphat, C. Jaikaeo, "A busy-tone based directional MAC protocol for ad hoc networks", *Milcom 2002 vol.2*, pp.1233-1238, 2002.
- [9] T. Korakis, G. Jakllari, L. Tassiulas, "A MAC protocol for full exploitation of directional antennas in ad hoc wireless networks", *MobiHoc*, pp.98-107, 2003.

- [10] Y. Ko, V. Shankarkumar, N. H. Vaidya, "Medium access control protocols using directional antennas in ad hoc networks", *IEEE INFOCOM 2000 vol.1*, pp.13-21, 2000.
- [11] J. Deng, Z. J. Haas, "Dual busy tone multiple access(DBTMA): a new medium access control for packet radio networks", *IEEE ICUPC vol.1*, pp.973-977, 1998.
- [12] H. Zhai, J. Wang, Y. Fang, D. Wu, "A dual-channel MAC protocol for mobile ad hoc networks", *IEEE Workshop on Wireless Ad Hoc and Sensor Networks, in conjunction with IEEE Globecom*, pp.27-32, 2004.
- [13] X. Zhou, J. Li, D. Zhao, "A novel power control multiple access protocol for ad hoc networks with directional antennas.", *AINA'06 vol.2*, pp.822-826, 2006.
- [14] D. Saha, S. Roy, S. Bandyopadhyay, T. Ueda, S. Tanaka, "A power-efficient MAC protocol with two-level transmit power control in ad hoc network using directional antenna", *IWDC 2003*, pp.235-244, 2003.
- [15] E. S. Jung, N. H. Vaidya, "A power control MAC protocol for ad-hoc networks", *ACM MOBICOM*, pp.36-47, 2002.
- [16] E.J Lee, C.N Kang, D.H Han, D.Y Yang, J.W Jwa, "A tone dual-channel DMAC protocol in location unaware ad hoc networks", *CIC'06*, pp.91-96, 2006.
- [17] 강창남, 한도형, 좌정우, "Ad hoc 네트워크에서 방향성 안테나를 이용한 dual-channel MAC 프로토콜", *CEIC 2005*, pp.29-32, 2005.
- [18] 이은주, 강창남, 좌정우, "위치 정보를 모르는 ad hoc 네트워크에서 공간 재사용 증가를 위해 tone을 사용한 dual-channel DMAC 프로토콜", *대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집I 제29권 제1호*, pp.55-56, 2006.

## 본 논문과 관련된 저자의 발표 논문

### 1. 학술대회논문집

- 한도형, 강창남, 좌정우, “위치정보 기반 Ad hoc 네트워크에서 방향성 안테나를 이용한 Dual-Channel MAC 프로토콜”, 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집, 2005. 11
- 강창남, 한도형, 좌정우, “Ad hoc 네트워크에서 방향성 안테나를 이용한 dual-channel MAC 프로토콜”, 2005. 12
- 이은주, 강창남, 좌정우, “위치 정보를 모르는 ad hoc 네트워크에서 공간 재사용 증가를 위해 tone을 사용한 dual-channel DMAC 프로토콜”, 대한전자공학회 하계종합학술대회 2006. 6



## 감사의 글

학위 논문이 결실을 맺기까지 많은 분들의 도움이 있었습니다. 부족하나마 이 글을 통해 그 분들에게 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 먼저, 저의 논문을 살펴 주시고 부족한 점을 일깨워 주시고 항상 진지한 사고를 갖도록 지도해 주신 좌정우 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 바쁘신 일정에서도 저의 논문을 검토해 주시고 심사해 주신 김홍수 교수님과 강진식 교수님께 감사드립니다. 학부과정부터 대학원 석사과정을 졸업하기까지 많은 가르침을 주신 이용학 교수님, 문건 교수님, 임재운 교수님, 양두영 교수님께도 감사드립니다.

대학원 선배로서 많은 조언과 격려를 해주신 권익선배님, 봉수선배님, 상보형, 훈철이형 감사드립니다. 연구실에서 제게 힘이 되어준 도형이, 지윤이, 정현이형, 은주 정말 감사드립니다. 통신공학과 조교선생님 진호형과 윤희에게도 감사의 마음을 전합니다. 항상 옆에서 힘이 되어준 재열, 승후, 승규, 경진, 강혁, 승보, 승철, 경봉, 우성, 승일 모두들 고맙다. 그리고 연구실 후배들 동현, 창표, 종민, 경보 고맙다.

끝으로 오늘이 있기까지 말없이 지켜봐 주신 부모님과 가족 모두에게 깊은 감사를 드립니다.