



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.

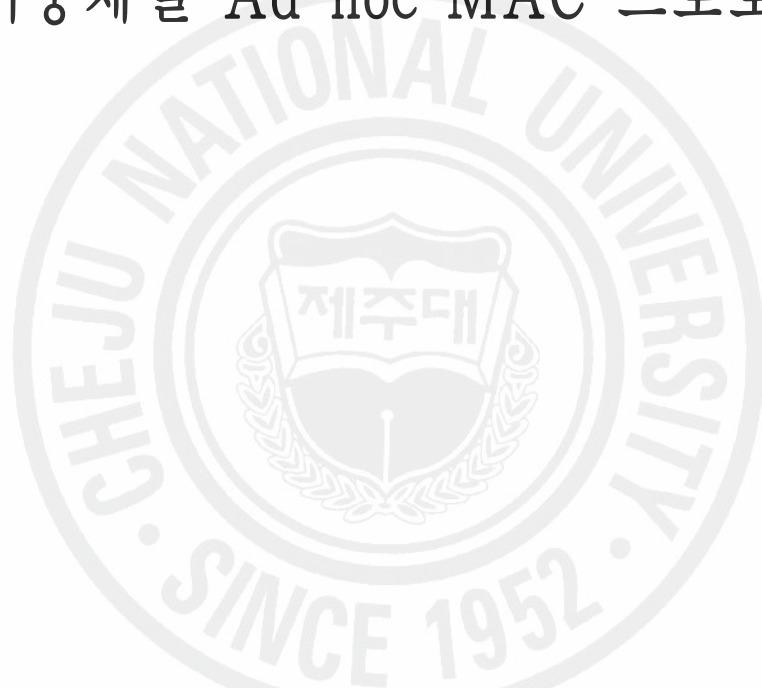
저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

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

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

전력제어기법을 사용한 위치정보 기반의
이중채널 Ad hoc MAC 프로토콜



濟州大學校 大學院

通信工學科

韓 到 亨

2006年 12月

전력제어기법을 사용한 위치정보 기반의
이중채널 Ad hoc MAC 프로토콜

指導教授 左政祐

韓到亨

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 梁斗榮 印

委 員 林載允 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 with Location
Awareness

Do-hyung Han

(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, Doo-yeong Yang, Prof. of Telecom. Eng.

Thesis director, Jea-yun Lim, 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. Ad hoc 네트워크	6
1. Ad hoc 네트워크	6
2. Ad hoc MAC 프로토콜 설계 시 고려해야 할 문제점	7
3. Ad hoc MAC 프로토콜	10
III. 방향성 안테나를 사용한 이중채널 Ad hoc MAC 프로토콜	17
1. DUDMAC 프로토콜	17
2. ToneDUDMAC 프로토콜	20
3. 전력제어기법을 사용한 MAC 프로토콜	22
IV. 성능평가	28
1. 시뮬레이션 환경	29
2. 시뮬레이션 결과	34
V. 결론	40
참고 문헌	42

Abstract

Ad hoc network is a wireless network without fixed base stations or any wired backbone infrastructure. Ad hoc networks are very useful in military and other applications such as disaster and rescue area, home networking, WLAN, group communication, personal area network (PAN) and wireless communication between vehicles in telematics service. Ad hoc medium access control (MAC) protocols using a directional antenna have many benefits. The directional transmission increases a spatial reuse as there can be multiple transmissions in the transmission range without the collision of the transmitted packets. But, directional transmission causes deafness because node in the directional transmission does not hear and respond with RTS from other nodes in the coverage. The ToneDMAC (directional MAC with an out-of-band tone) protocol uses an out-of-band tone to inform the end of directional transmissions to nodes in the coverages of the transmitting and receiving nodes. An out-of-band tone mitigates deafness and improves throughput of ad hoc networks. The DUCHA (dual-channel MAC) protocol is proposed to prevent collisions between control frames and data frames using the separated channels. In the DUCHA protocol, RTS and CTS are transmitted over control channel and DATA is transmitted over data channel. The NCTS (negative CTS) and an out-of-band busy tone are used to prevent collisions of DATA and ACK in data channel.

In this thesis, we propose the DUDMAC (dual-channel DMAC) protocol and the ToneDUDMAC (dual-channel DMAC protocol with an out-of-band tone) protocol for wireless communication between vehicles in telematics service. In the DUDMAC protocol, ORTS and OCTS in control channel overcome deafness and DDATA and DACK in data channel improve spatial reuse by using the efficient blocking algorithm for directional antennas. In the

ToneDUDMAC protocol, DRTS and DCTS in control channel and DDATA and DACK in data channel improve spatial reuse. An omnidirectional busy tone mitigates deafness when nodes use DRTS and DCTS. Also, we propose the PCDUDMAC (Power Controlled DUDMAC) and PCToneDUDMAC (power controlled ToneDUDMAC) protocols. In the PCDUDMAC and PCToneDUDMAC protocols, the power control of DATA/ACK in data channel reduces interference and saves transmission power. The power controlled DUDMAC and ToneDUDMAC protocols improve spatial reuse by reducing the coverages of DATA/ACK.

We confirm the throughput performance of the proposed MAC protocols in a single-hop random topology of 180 nodes and a 5-hop random topology of 60 nodes by using QualNet ver.3.8 simulator. The simulation results show that the DUDMAC protocol improves throughput by 436.5% and 65.2% relative to the DMAC protocol in the 5-hop and a single-hop topology, respectively. The ToneDUDMAC protocol improves throughput by 40.8% and 271.8% relative to the DUDMAC protocol and the ToneDMAC protocol in the 5-hop topology, respectively. In the single-hop topology, the ToneDUDMAC protocol improves throughput by 53.0% and 38.6% relative to the DUDMAC protocol and the ToneDMAC protocol in the 5-hop topology, respectively. The PCDUDMAC protocol and PCToneDUDMAC protocols improve throughput by 4.8% and 8.3% relative to the DUDMAC protocol and the ToneDUDMAC protocol in the single-hop topology, respectively. The PCDUDMAC protocol decreases average energy consumption by 22% relative to the DUDMAC protocol and the PCToneDUDMAC protocol decreases the average energy consumption by 16% relative to the ToneDUDMAC protocol in the single-hop topology.

I. 서론

Ad hoc 네트워크는 고정된 기지국이나 기반네트워크가 없는 무선 네트워크이다. Ad hoc 네트워크는 기반 네트워크 구축이 어려운 전쟁·재해 지역 또는 홈 네트워크, 무선 랜, 그룹통신, PAN(personal area network), 텔레매틱스 서비스에서의 차량 간 통신과 같은 소규모 또는 임시적으로 구성하는 네트워크로 사용된다.^[1] 현재까지 Ad hoc 네트워크에서 많은 매체 접근 제어(MAC : medium access control) 프로토콜들이 연구되어 왔다. 그러나 대부분 전방향 안테나를 사용하는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜을 기반으로 제안되었다. 전방향성 안테나의 사용은 공간 재사용율이 낮고 네트워크 처리 성능이 좋지 않다. IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 Virtual Carrier Sensing에서는 통신 중인 노드에 인접한 노드들은 패킷 충돌을 피하기 위해 통신이 끝날 때까지 기다려야하기 때문이다.

최근 Ad hoc 네트워크에서 공간 재사용을 증가시키기 위해 방향성 안테나를 사용하는 MAC 프로토콜들이 제안되었다.^{[2]-[8]} 방향성 안테나를 사용하는 Ad hoc MAC 프로토콜 중 DMAC(directional MAC) 프로토콜에서 모든 방향성 안테나는 블로킹 상태 또는 언 블로킹 상태를 갖는다. RTS 또는 CTS를 엿들은 노드는 충돌을 방지하기 위해 이를 수신한 방향성 안테나를 블로킹 상태로 설정한다. RTS 전송 시 노드는 방향성 안테나 모두가 언 블로킹 상태일 경우 ORTS(omnidirectional RTS)를 전송하고 한 개 이상의 블로킹된 방향성 안테나가 존재할 때는 DRTS(directional RTS)를 전송한다. DATA와 ACK는 방향성으로 전송한다. DRTS 전송에서 전송방향 이외의 인접 노드는 DRTS를 엿듣지 못해 전송중인 deafness 상태의 노드로 전송을 시도하는 deafness 문제가 발생한다. Deafness 문제는 deafness 상태의 노드로 재전송으로 인해 인접 노드의 백오프(backoff) 기간을 기하급수적으로 증가시키고 재전송으로 인한 간섭 패킷으로 인해 전체 네트워크 성능을 저하시키는 원인이 된다.^[2]

ToneDMAC(directional MAC with an out-of-band tone) 프로토콜은 방향성 전송에 의한 deafness를 해결하기 위해 제안되었다. ToneDMAC 프로토콜은

DRTS/DCTS/DDATA/DACK를 사용하고 DACK 송수신 후에 전방향으로 톤을 전송하여 인접 노드들에게 통신 종료를 알린다. 톤을 수신한 인접 노드는 deafness로 인해 증가된 백오프 기간을 초기화하여 deafness로 인한 성능 저하를 줄인다. 그러나 ToneDMAC 프로토콜은 통신 종료 후에 톤을 전송하기 때문에 deafness 상태인 노드로의 RTS 재전송을 방지하지 못한다.^[8]

이중채널(dual-channel) MAC 프로토콜은 RTS/CTS와 DATA/ACK 간의 간섭을 막기 위해 채널을 두 개로 분리하여 RTS와 CTS는 제어채널로 전송하고 DATA와 ACK는 데이터채널로 전송한다.^{[9][10]} 이중채널 MAC 프로토콜 중 DUCHA (dual-channel) MAC 프로토콜은 DATA를 수신 중인 노드가 수신 완료될 때 까지 톤을 전송하여 숨겨진 노드 문제를 해결한다. RTS를 수신한 노드는 데이터채널이 사용 중일 경우 CTS 대신 NCTS(negative CTS)를 전송하여 숨겨진 노드와 노출된 노드 문제를 해결한다.^[10] DUCHA MAC 프로토콜은 전방향성 안테나를 사용하기 때문에 공간 재사용율이 낮다.

Ad hoc 네트워크에서 노드들은 이동 환경에서 동작하기 때문에 배터리 소모 전력을 줄여야 한다. 노드의 전력소모를 줄이기 위한 많은 연구가 진행되고 있는데 기본적인 전력제어 MAC 프로토콜은 데이터 전송전력을 조절하여 에너지 소모를 개선한 MAC 프로토콜이다. 기본적인 전력제어 MAC 프로토콜에서 RTS와 CTS는 최대 전력으로 전송되고 RTS와 CTS의 수신 전력으로부터 DATA와 ACK의 전송전력을 결정한다.^[14]

본 논문에서는 공간 재사용을 증가시키고 동시에 deafness를 해결하는 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 방향성 안테나를 사용하며 제어채널로 RTS와 CTS를 전송하고 데이터채널로 DATA와 ACK를 전송하기 때문에 제어 프레임과 데이터 프레임 간 간섭이 없다. 제안하는 MAC 프로토콜은 전방향 톤의 사용여부에 따라 DUDMAC (dual-channel DMAC) 프로토콜과 ToneDUDMAC (dual-channel DMAC with an out-of-band tone) 프로토콜로 나눌 수 있다. DUDMAC 프로토콜은 제어채널로 ORTS와 OCTS를 전송하여 deafness를 해결한다. 공간 재사용을 증가시키기 위해 데이터채널로 DDATA/DACK를 전송하고 방향성 안테나에 대한 블로킹 알고리즘을 사용한다.^[11] ToneDUDMAC 프로토콜은 DUDMAC 프로토콜에서 ORTS와 OCTS로 인

한 제어채널의 낮은 공간 재사용율을 향상시키기 위해 DRTS와 DCTS를 사용하고 DRTS 또는 DCTS 전송 시 전방향 톤을 전송하여 deafness 문제를 해결한다. 제안하는 DUDMAC과 ToneDUDMAC 프로토콜에서 DDATA와 DACK는 항상 최대 전력으로 전송된다. 하지만 목적지 노드가 전송 노드의 최대 전송 거리보다 짧은 거리에 존재하는 경우 데이터채널의 커버리지를 목적지 노드까지로 조절하면 공간 재사용을 증가시킬 수 있다. 그래서 DUDMAC과 ToneDUDMAC 프로토콜에서 DDATA와 DACK의 전송전력을 제어하는 방식을 적용한 PCDUDMAC(power controlled DUDMAC)과 PCToneDUDMAC (power controlled ToneDUDMAC) 프로토콜을 제안한다. 제안하는 MAC 프로토콜에서 RTS와 CTS는 최대 전력으로 전송하고 RTS/CTS의 수신 전력으로부터 DDATA/DACK의 전송전력을 구한다. DDATA와 DACK의 전송전력을 제어하기 때문에 에너지 소비를 최소화하고 데이터채널의 커버리지가 감소되어 공간 재사용이 증가된다. 제안하는 MAC 프로토콜의 성능은 퀄넷(QualNet) 버전 3.8 시뮬레이터를 사용하여 확인하였다.^[12]

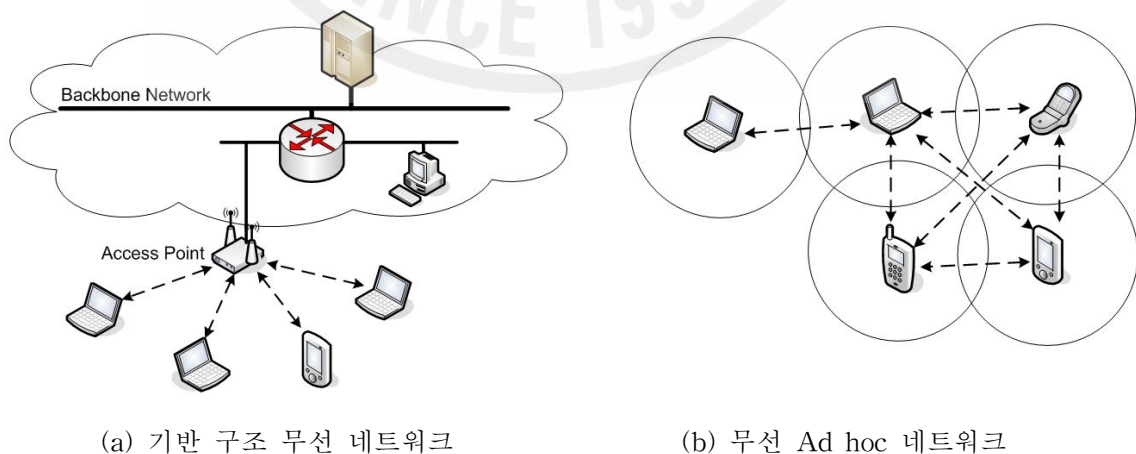
본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 Ad hoc 네트워크에 대해서 살펴보고, III장에서는 제안하는 MAC 프로토콜에 대해서 설명한다. 제안하는 MAC 프로토콜의 시뮬레이션 결과를 IV장에서 확인하고 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. Ad hoc 네트워크

본 장에서는 Ad hoc 네트워크와 현재 연구되고 있는 많은 Ad hoc MAC 프로토콜들의 기반이 되는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜에 대해서 설명한다. 또한 Ad hoc MAC 프로토콜 설계 시 고려해야 할 여러 가지 문제점들에 대해 설명한다.

1. Ad hoc 네트워크

무선 네트워크는 그림 1(a)와 같이 AP(access point) 또는 기지국으로 구성되는 기반 구조를 갖는 무선 네트워크와 그림 1(b)와 같이 기반 구조가 없는 Ad hoc 네트워크로 나눌 수 있다. Ad hoc 네트워크는 기반 구조의 도움 없이 이동노드로 구성되는 자율적이고 독립적인 네트워크이다. Ad hoc 네트워크에서는 임시적인 네트워크 구성이 가능하고 노드들은 자유롭게 네트워크에 참여하고 이탈할 수 있다. Ad hoc 네트워크는 군사용 네트워크나 긴급 구조, 재난과 같은 비상



(a) 기반 구조 무선 네트워크

(b) 무선 Ad hoc 네트워크

그림 1. 무선 네트워크

업용 네트워크에 대한 연구로 출발하였다. 그러나 최근 들어 모바일 단말기기의 발달과 함께 다양한 무선 인터넷 서비스가 요구됨에 따라 모바일 단말 간 상호 연결에 대한 요구가 증대되고 있다. Ad hoc 네트워크의 적용 분야는 전쟁, 재난 지역 또는 긴급 구조지역에서 기반구조가 존재하지 않아 무선통신 서비스를 제공받기 어려운 환경에 적용될 수 있으며 홈 네트워크, 센서 네트워크, PAN과 같이 소규모 네트워크 환경에 적용할 수 있다. Ad hoc 네트워크의 특징은 노드의 이동으로 네트워크 토폴로지가 지속적으로 변하고 배터리, 전송 대역폭, 노드의 처리속도 및 정보 저장 공간에 대한 제약을 갖는다. 또한 서로 확인 되지 않은 노드들 간의 통신으로 인해 보안에 취약하다. 이러한 제약 사항들로 인해 기존에 유선 네트워크나 기반 구조 무선 네트워크에서 사용되고 있는 데이터 링크, 네트워크, 전송 계층 프로토콜들을 Ad hoc 네트워크에 적용하는데 많은 어려움이 따른다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Ad hoc 네트워크의 각 계층 프로토콜에 대한 많은 연구가 활발하게 진행되고 있다.^[1]

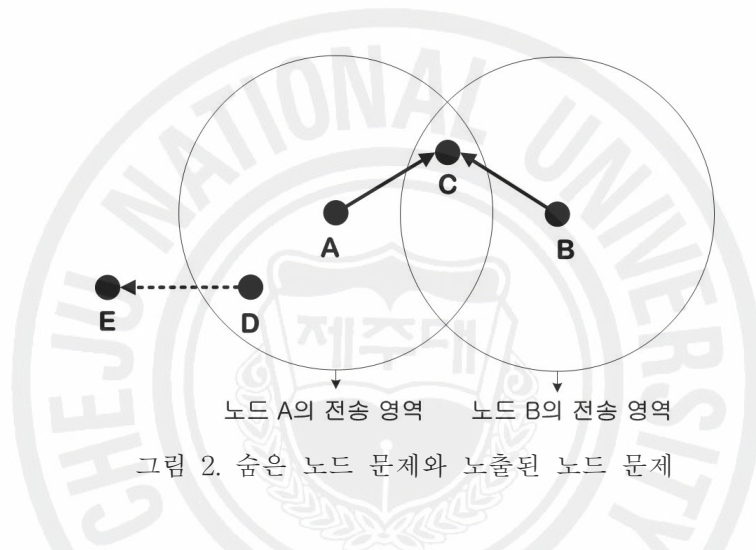
2. Ad hoc MAC 프로토콜 설계 시 고려해야 할 문제점

본 절에서는 Ad hoc MAC 프로토콜 설계 시 고려해야 할 숨은 노드와 노출된 노드 문제, deafness와 공간 재사용 간 트레이드오프, 에너지 소모 문제에 대해서 설명한다.

1) 숨은 노드 문제와 노출된 노드 문제

그림 2는 Ad hoc 네트워크에서 발생하는 숨은 노드와 노출된 노드 문제를 나타낸 것이다. 숨은 노드 문제는 수신 노드의 커버리지에 있는 노드들이 서로의 커버리지가 겹치지 않아 동시에 패킷을 전송하여 패킷 충돌이 일어나는 것을 말한다. 그림 2에서 노드 A와 노드 B는 서로의 커버리지에 속해있지 않지만 노드

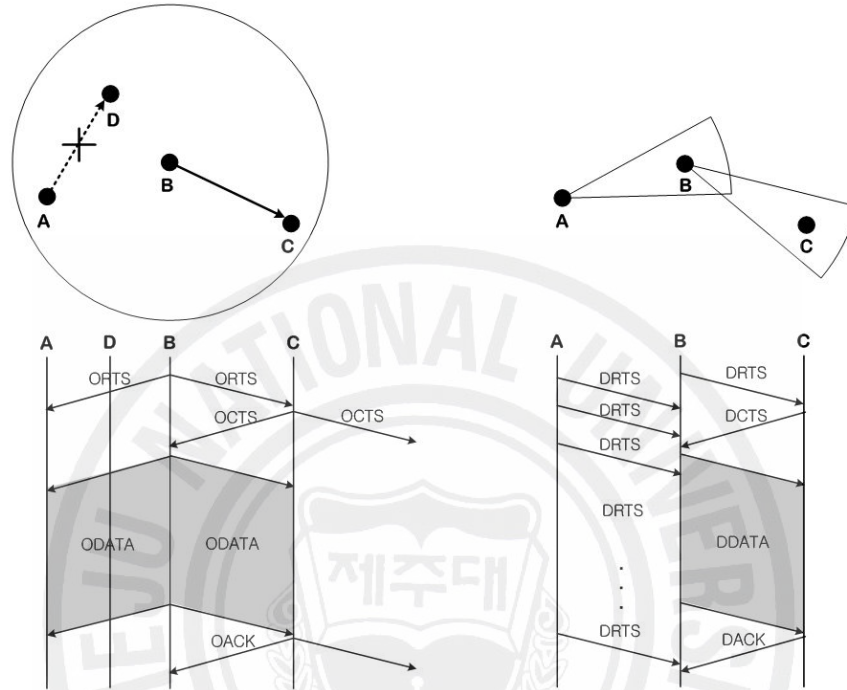
C의 커버리지에 속해있다. 이 때 노드 A와 노드 B는 서로의 통신 시도를 모르고 노드 C에게 동시에 패킷을 전송하면 노드 C에서 패킷 충돌이 발생한다. 여기서 노드 A와 노드 B는 서로에게 숨은 노드로 작용하게 된다. 노출된 노드 문제는 통신 중인 인접 노드로 인해 패킷을 송수신 할 수 없는 상태가 되는 문제이다. 그림 2에서 노드 A가 노드 C와 통신하고 있을 때 노드 D는 노드 E에게 패킷을 전송할 경우 충돌이 발생하기 때문에 노드 D는 노드 E로 패킷을 전송하지 못한다. 숨은 노드와 노출된 노드 문제는 네트워크의 트래픽이 증가할수록 전체 네트워크의 처리량에 크게 저하시킨다.



2) Deafness와 공간 재사용 간 트레이드오프

그림 3은 deafness와 공간 재사용 간 트레이드오프를 보여주고 있다. 그림 3(a)에서 노드 B와 노드 C는 프레임을 전방향으로 전송한다. 이 때 노드 A는 노드 B의 커버리지에 있기 때문에 노드 D에게 패킷을 전송할 수 없다. 방향성 안테나를 사용하면 노드 A와 노드 D는 통신이 가능하게 되고 공간 재사용이 향상된다. 그러나 방향성 안테나 사용은 deafness 문제를 발생시킨다. Deafness 문제는 방향성 전송으로 인해 인접 노드가 통신 중인 것을 모르고 deafness 상태인 노드로 전송을 시도하기 때문에 발생한다. 그림 3(b)에서 노드 B는 노드 C에게 방향성으로 프레임 전송하기 때문에 노드 B에게 패킷을 전송하려는 노드 A는 이를 알지 못한다. 노드 A는 노드 B에게 RTS를 전송하지만 CTS 응답이 오지 않는다. 노드 A는 RTS 충돌이 일어났다고 판단하고 백오프 주기를 두 배로 증

가시킴으로써 deafness 상태인 노드로 RTS를 재전송한다. Deafness로 인한 백오프 기간의 증가와 RTS 재전송으로 인한 간섭 프레임의 증가는 네트워크 처리량을 감소시킨다.



(a) 전방향 전송에 의한 공간 재사용 감소 (b) 방향성 전송에 의한 deafness

그림 3. 공간 재사용과 deafness 간 트레이드오프

3) 에너지 소모

Ad hoc 네트워크를 구성하는 이동 노드들은 배터리를 전원으로 사용하는 경우가 많기 때문에 네트워크 각 계층에서 에너지 소모량을 줄이는 방법에 관한 연구가 진행되고 있다. 불필요한 에너지 소모량을 줄이기 위한 방법은 크게 전력 절감 모드(PSM : power saving mode)와 전력제어(PCM : power control MAC) 프로토콜로 구분할 수 있다. 전력 절감 모드는 불필요한 에너지 소모량을 줄이기 위해 IEEE 802.11에 정의되었다. IEEE 802.11은 Awake와 Doze의 두 가지의 전력 상태를 정의하고 있다. Awake 상태는 에너지를 최대도 사용하는 상태이고 Doze 상태는 전송과 수신에 불가능하고 최소의 전력을 소비하는 상태이다. 그리

고 무선 단말의 전력 관리 모드를 AM(active mode)과 PS(power save) 모드로 정의한다. AM 모드에서 무선 단말은 awake 상태에 있다. PS 모드에서 무선 단말은 doze 상태에 있고 일정 시간 후 비콘을 수신하면서 awake 상태가 된다.

3. Ad hoc MAC 프로토콜

1) IEEE 802.11 DCF

IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 CSMA/CA(carrier sense multiple access/collision avoidance)를 사용하는 DCF(distributed coordination function)방식과 중앙 제어방식인 PCF(point coordination function)가 있다.^[13] 현재까지 제안된 대부분의 Ad hoc MAC 프로토콜은 IEEE 802.11 DCF 방식을 기반으로 하고 있다.

IEEE 802.11 DCF는 패킷을 전송하기 위해 RTS(request-to-send)와 CTS(clear-to-send)를 교환하여 채널을 예약한다. RTS를 수신한 노드는 RTS에 대한 응답으로 CTS를 전송한다. RTS/CTS 송수신이 끝나면 송신 노드는 DATA 전송을 시작하고 DATA 수신이 완료되면 수신 노드는 ACK(acknowledgement)를 전송한다. 모든 노드는 프레임을 전송하기 전에 interframe spacing이라는 짧은 시간 동안 기다렸다 데이터를 전송한다. RTS를 전송하기 전에는 DIFS(DCF interframe space) 만큼 기다리고 CTS, DATA, ACK를 전송하기 전에는 DIFS보다 짧은 SIFS(short interframe space) 만큼 기다린 뒤 메시지를 전송한다. RTS/CTS 송수신을 통한 매체접근방법을 Virtual Carrier Sensing이라고 한다. 모든 프레임에는 목적지 주소와 NAV(network allocation vector) 설정에 사용되는 duration field가 포함되어 있다. Duration field는 RTS/CTS를 수신한 인접 노드에게 통신이 종료되는 시간을 알려준다. 예를 들어, RTS의 duration field에는 CTS-DATA-ACK를 송수신 하는데 걸리는 시간정보를 갖는다. 노드들은 현재 NAV보다 더 큰 duration field 값을 갖는 프레임을 수신할 경우에만 NAV를 갱신한다. NAV가 0이 되면 노드들은 목적지 노드가 유희상태라고 판단

하고 DIFS 동안 기다리면서 채널이 유희 상태이면 RTS를 전송하고 채널이 사용 중이면 백오프를 시작하고 백오프 종료 후 RTS를 전송한다. 백오프 기간은 slot time에 CW (contention window) 범위 $[0, CW]$ 내에서 무작위로 선택한 값을 곱하여 결정한다. RTS 전송 후 CTS가 수신 되지 않는 경우에는 충돌이 발생했다고 판단하고 CW 값을 두 배로 늘려 다시 백오프를 한 후 RTS를 전송한다. 통신이 완료되면 CW 값은 최소값(CW_{min})으로 초기화된다. 그림 4는 IEEE 802.11 DCF의 동작과정을 나타낸 것이다. 노드 A는 노드 B에게 패킷을 전송하기 위해 DIFS 만큼 기다리면서 채널의 유희상태를 확인하고 노드 B에게 RTS를 전송한다. 이를 수신한 노드 B는 노드 A에게 CTS로 응답하고 DATA와 ACK를 송수신한다. 이때 노드 C는 노드 A의 RTS를 수신하고 NAV를 RTS의 duration field 값으로 설정한다. 노드 D는 노드 B의 CTS를 수신하고 NAV를 설정한다.

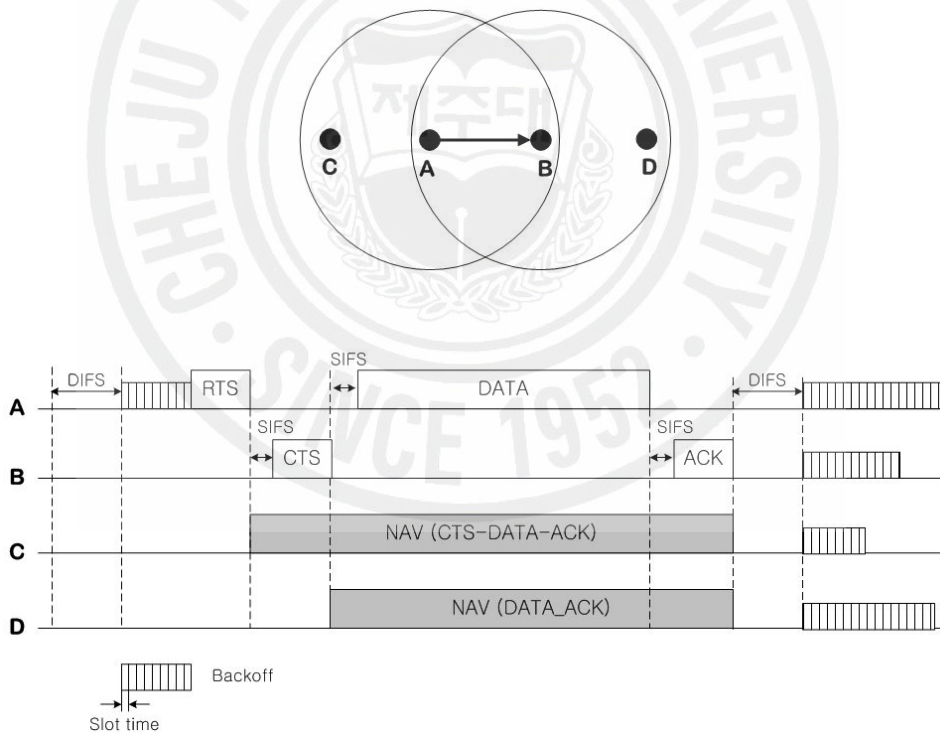


그림 4. IEEE 802.11 DCF의 동작과정

2) DMAC 프로토콜

DMAC 프로토콜은 공간재사용을 증가시키기 위해 방향성 안테나를 사용한

MAC 프로토콜이다. DMAC 프로토콜에서 모든 방향성 안테나는 블로킹 상태 또는 전송 가능 상태를 갖는다. 방향성 안테나는 RTS 또는 CTS를 엿들은 경우 블로킹 상태로 설정되는데 이는 DDATA, DACK 프레임의 충돌을 방지하기 위해서이다. 전송할 데이터가 있는 노드는 방향성 안테나 모두 전송 가능한 상태일 경우 ORTS를 전송하고 한 개 이상의 블로킹된 상태의 방향성 안테나가 있을 때는 DRTS를 전송한다. RTS를 전송하려는 방향성 안테나가 블로킹 상태일 경우 노드는 해당 방향성 안테나가 전송 가능 상태가 될 때 까지 RTS 전송을 연기한다. 그림 5는 DMAC 프로토콜의 동작과정을 나타낸 것이다. 모든 방향성 안테나가 전송 가능한 상태인 노드 A는 ORTS를 노드 B에게 전송하고 노드 B는 OCTS를 노드 A에게 전송한다. 그 후 DDATA와 DACK를 전송한다. 노드 A의 ORTS커버리지에 있는 노드 C는 노드 A의 ORTS를 수신하고 수신한 방향성 안테나는 블로킹 상태로 설정된다. 노드 C는 블로킹 상태의 방향성 안테나를 갖게 되어 노드 D에게 DRTS를 전송한다. 그러므로 방향성 전송은 공간 재사용의 증가를 가져오게 된다. 노드 E는 노드 C의 DRTS를 수신하지 못하였기 때문에 노

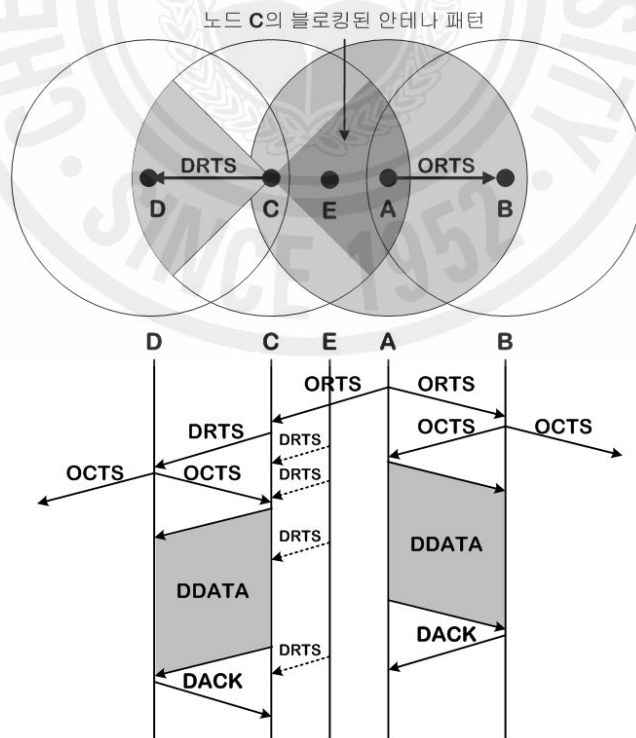


그림 5. DMAC프로토콜의 동작 과정과 deafness

드 C에 대한 전송을 연기하지 않고 노드 C에게 DRTS를 전송한다. 하지만 노드 C는 노드 E에게 응답을 하지 못한다. 그래서 노드 C는 backoff 후에 DRTS를 재전송을 한다. 노드 E의 백오프 기간이 재전송을 시도 할 때 마다 두 배씩 증가하는 deafness가 발생한다. Deafness는 네트워크 성능을 감소시키는 원인이 된다. 그러므로 방향성 전송은 공간 재사용과 deafness 간 트레이드오프를 갖는다.

3) ToneDMAC 프로토콜

ToneDMAC 프로토콜은 DMAC 프로토콜의 DRTS에 의한 deafness를 해결하기 위해 제안된 MAC 프로토콜이다.^[8] ToneDMAC 프로토콜은 DRTS/DCTS/DDATA/DACK를 사용하고 DACK 송수신 후에 전방향으로 톤을 전송하여 인접 노드들에게 통신 종료를 알린다. 전방향 톤을 수신한 인접 노드는 deafness로 증가된 백오프 기간을 초기화하여 deafness에 의한 성능 저하를 감소시킨다. 그림 6은 ToneDMAC 프로토콜의 동작을 나타낸 것이다. 노드 B는 노드 A에게 DRTS를 전송하고 노드 A는 노드 B에게 DCTS를 전송한다. 그 후 노드 B와 노드 A는 DDATA와 DACK를 송수신한다. 노드 A와 노드 B는 DACK 송수신이 종료된 후 각각 전방향으로 톤을 전송하여 인접 노드들에게 통신 종료를 알린다. 노드 C는 노드 A의 DRTS를 엿듣지 못하기 때문에 노드 A와 통신을 시도하기 위해 노드 A에게 DRTS를 전송한다. 그러나 노드 A는 노드 B로부터 DDATA를 수신하고 있기 때문에 노드 C는 DCTS를 수신하지 못하고 백오프 기간을 증가시켜 DRTS를 재전송한다. 노드 C는 노드 A의 톤을 수신할 때 까지 계속 DRTS를 재전송한다. 노드 C의 백오프 기간은 DRTS를 전송할 때마다 기하급수적으로 증가한다. 노드 C는 노드 A의 톤을 수신하면 증가된 백오프 기간을 초기화하고 노드 A로 DRTS를 전송한다. 그러나 ToneDMAC 프로토콜은 통신 종료 후에 전방향 톤을 전송하기 때문에 노드 C의 RTS 재전송을 막지는 못한다. 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 할당

되는 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 시간(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.

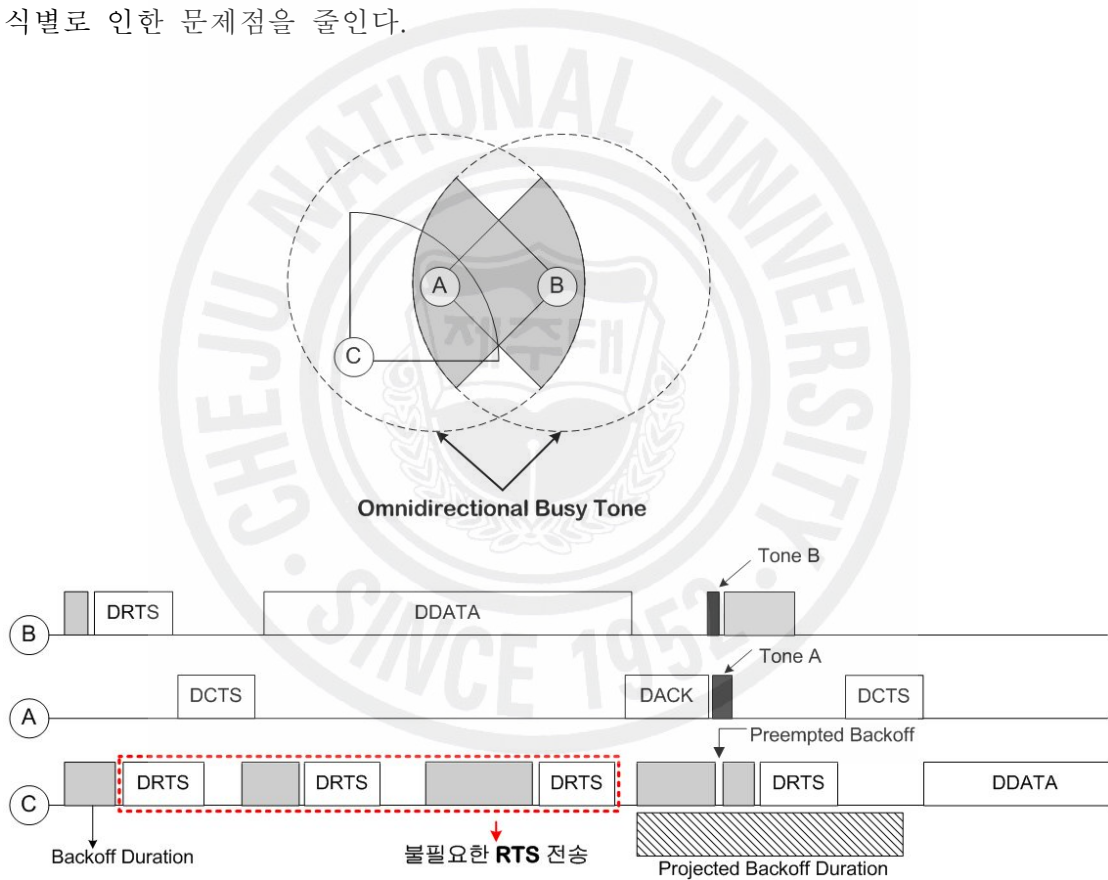


그림 6. ToneDMAC 프로토콜의 동작과정

4) DUCHA MAC 프로토콜

DUCHA MAC 프로토콜은 전방향성 안테나 기반으로 제안된 MAC 프로토콜이며 그림 7과 같이 제어채널과 데이터채널로 채널을 분리하고 톤을 사용한다.^[10]

RTS와 CTS는 제어채널로 전송되고 DATA는 데이터채널로 전송되어 제어 프레임과 데이터 프레임 간 간섭을 방지한다. DUCHA MAC 프로토콜은 톤과 NCTS를 사용하여 숨겨진 노드와 노출된 노드 문제를 해결한다. DATA 프레임을 수신 중인 노드는 수신이 끝날 때 까지 톤을 전송하여 숨겨진 노드 문제를 해결한다. DUCHA 프로토콜은 ACK 프레임을 사용하지 않는다. DATA가 성공적으로 수신되면 톤 전송을 멈추고 통신을 종료한다. 그러나 DATA 수신에 실패하면 일정한 시간 동안 톤 전송을 연장한다. 이 일정 시간을 NACK(negative ACK)기간이라고 한다. 전송노드는 DATA 전송이 끝난 후 이 NACK 기간 동안 톤이 수신되면 이를 NACK로 판단하며 재전송을 시도한다. 그림 8은 NCTS 메커니즘을 나타낸 것이다. 그림에서 노드 A는 노드 B로 DATA를 전송한다. 노드 A의 DATA 커버리지에 존재하며 노드 D로부터 RTS를 수신한 노드 C는 데이터채널이 사용 중이므로 충돌을 막기 위해 CTS대신 제어채널로 NCTS를 전송한다. 이를 수신한 노드 D는 NCTS 헤더에 표시된 시간만큼 전송을 연기하여 노출된 노드 문제를 해결한다.

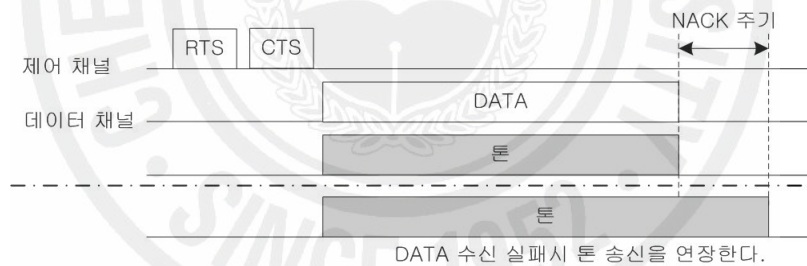


그림 7. DUCHA 프로토콜의 메시지 교환 순서와 채널의 분할

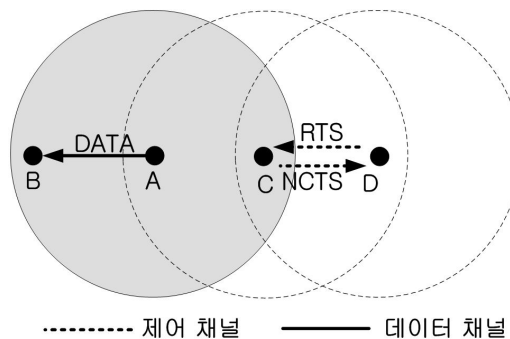


그림 8. DUCHA 프로토콜의 NCTS 메커니즘

5) 기본적인 전력제어 MAC 프로토콜

기본적인 전력제어 MAC 프로토콜은 전송 전력을 조절하여 전력소모를 개선시킨 전력제어 프로토콜이다.^[16] 기본적인 전력제어 MAC 프로토콜에서 RTS와 CTS는 최대 전송 전력 P_{max} 로 전송되고 DATA와 ACK는 필요한 전력 레벨로 전송된다. 이때 모든 노드는 최대 전송 전력 P_{max} 를 알고 있다고 가정한다. RTS와 CTS 교환 과정은 DATA와 ACK의 전력을 결정한다. 이것은 두 가지 방법을 사용해서 이루어진다. 첫 번째 방법은, 송신 노드가 RTS를 최대 전송 전력 P_{max} 로 RTS를 전송한다. 수신 노드는 RTS를 신호 레벨 P_r 로 수신한다. 수신 노드는 P_r , P_{max} , 수신 노드의 잡음 레벨을 사용하여 DATA 수신에 요구되는 전송 전력 레벨 $P_{desired}$ 를 계산한다. 그 후 수신 노드는 송신 노드에게 전송할 CTS 패킷에 $P_{desired}$ 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 전력 P_{max} 의 CTS로 응답하고 송신 노드는 CTS를 수신 전력을 사용하여 $P_{desired}$ 를 계산한다. ACK 패킷의 송신 전력은 수신 노드가 RTS 수신 전력을 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 전력 Rx_{thresh} 는 신호 수신을 위한 최소 세기, c 는 예상 하지 못한 간섭 신호를 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 Ad hoc MAC 프로토콜

본 장에서는 방향성 안테나를 사용한 이중채널 Ad hoc MAC 프로토콜에 대해서 설명한다. 2장에서 설명한 방향성 안테나를 사용하는 DMAC 프로토콜과 ToneDMAC 프로토콜은 모든 노드가 자신의 위치정보와 인접 노드의 위치정보를 알고 있다고 가정한다. 노드 자신의 위치정보는 GPS(global positioning system)에 의해서 얻을 수 있고 자신의 위치 정보는 주변 노드에게 알려 주어야 한다. 본 논문에서 제안하는 Ad hoc MAC 프로토콜에서는 DMAC, ToneDMAC 프로토콜과 같이 노드가 인접 노드의 위치정보를 알고 있다고 가정한다.

1. DUDMAC 프로토콜

DUDMAC 프로토콜은 ORTS와 OCTS를 제어채널로 전방향으로 전송하고 DDATA와 DACK는 데이터채널로 방향성으로 전송한다.^[11] DMAC 프로토콜은

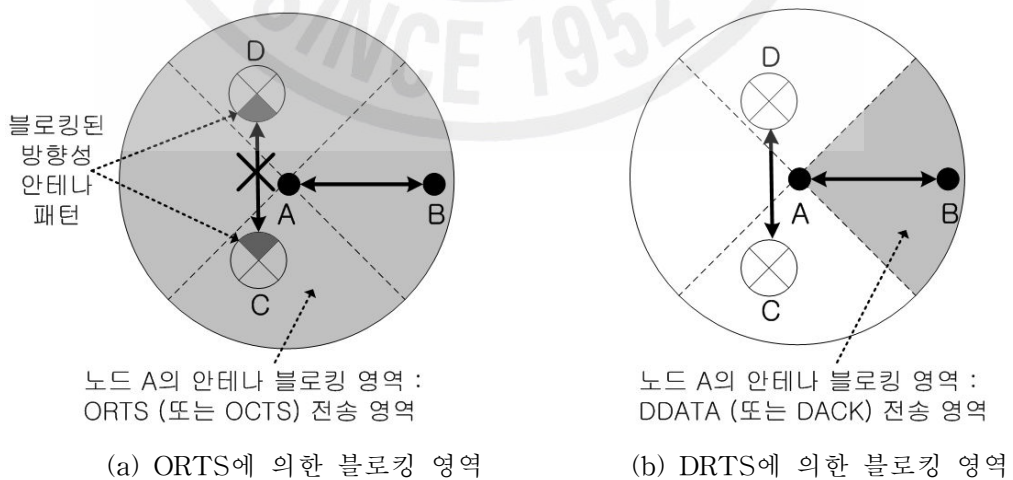


그림 9. ORTS와 DRTS의 블로킹 영역 비교

블로킹 상태의 방향성 안테나가 존재하면 DRTS를 전송한다. DUDMAC 프로토콜에서는 제어채널로 ORTS를 전송하여 deafness 문제를 해결한다. 그러나 ORTS 전송은 공간 재사용을 감소시킨다. 그림 9는 ORTS와 DRTS에 의한 블로킹 영역을 나타내고 있다. 그림 9(a)에서 노드 C와 D는 노드 A의 ORTS를 엿듣고 충돌을 방지하기 위해 수신 안테나를 블로킹 상태로 설정한다. 그림 9(b)는 DRTS를 사용하는 경우 블로킹 영역을 나타낸 것이다. 노드 C와 D는 노드 A의 DDATA 커버리지에 있지 않아서 수신 방향성 안테나가 블로킹 되지 않는다. 노드 C와 D가 노드 A의 DDATA 커버리지에 있는지 판단하기 위한 효율적인 방향성 안테나에 대한 블로킹 알고리즘이 요구된다.

1) 방향성 안테나에 대한 블로킹 알고리즘

그림 10은 제안하는 방향성 안테나에 대한 블로킹 알고리즘을 나타낸 것이다. 그림에서 노드 A는 노드 B로 ORTS(또는 OCTS)를 전송한다. 노드 C와 D가 노드 A의 ORTS(또는 OCTS)를 엿들었을 때 노드 A의 DDATA(또는 DACK) 커버리지에 있는지 판단한다. 이를 위해, 노드 A가 ORTS(또는 OCTS) 프레임 헤더에 정북방향을 기준으로 DDATA(또는 DACK) 전송에 사용되는 방향성 안테나의 중심각을 넣어서 전송한다. 노드 C와 노드 D는 아래와 같은 과정을 통해 노드 A의 DDATA(또는 DACK) 커버리지 안에 있는지 판단한다.

- ① 노드 A는 ORTS(또는 OCTS) 헤더에 방향성 안테나의 중심각을 포함하여 전송한다. 그림 10과 같이 사용되는 방향성 안테나 수가 4개이면 중심각이 ϕ 일 때 방향성 안테나의 블로킹 영역은 $\phi - 45^\circ \sim \phi + 45^\circ$ 가 된다.
- ② 그림 10에서 노드 C와 D는 노드 A의 좌표를 바탕으로 정북방향에 대해 각 θ_1 와 θ_2 를 구한다.
- ③ 노드 C는 θ_1 이 $\phi - 45^\circ \sim \phi + 45^\circ$ 에 포함되지 않기 때문에 방향성 안테나를 블로킹하지 않지만 노드 D는 θ_2 가 $\phi - 45^\circ \sim \phi + 45^\circ$ 에 있기 때문에 수신 방향성 안테나를 블로킹 상태로 설정한다.

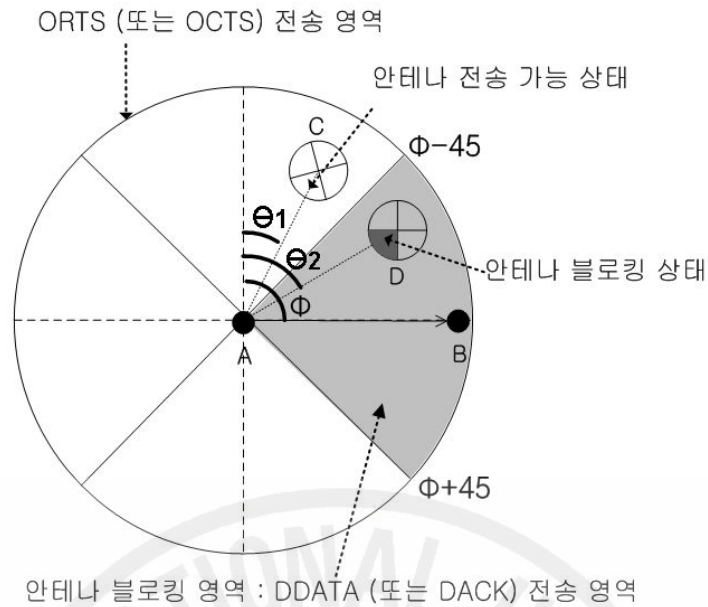


그림 10. 엿들은 ORTS(또는 OCTS)를 통한 안테나 블로킹 영역 판단

2) ORTS 전송과 NCTS 메커니즘

노드가 ORTS 전송 시 목적지 노드가 블로킹 방향성 안테나의 커버리지에 있다면 해당 안테나가 전송 가능 상태로 될 때 까지 ORTS 전송을 지연한다. 반대로 블로킹된 방향성 안테나로 ORTS가 수신되면 블로킹된 안테나가 전송가능 상태가 될 때까지의 시간을 계산하고 이 값을 NCTS의 필드에 넣어서 전송 노드로 전송한다. NCTS를 수신한 노드는 NCTS의 헤더에 저장된 시간만큼 ORTS 전송을 연기한다. 식 (3)은 ORTS에 의해 방향성 안테나가 블로킹된 경우 전송 지연시간이고 식 (4)는 CTS에 의해 방향성 안테나가 블로킹된 경우 전송지연시간이다.

$$DelayTimeRts = OverhearTime + CtsDataAckDuration - CurrentTime \quad (3)$$

$$DelayTimeCts = OverhearTime + DataAckDuration - CurrentTime \quad (4)$$

3) deafness 테이블

제안하는 MAC 프로토콜에서는 그림 11과 같은 deafness 테이블을 사용한다. ORTS 또는 OCTS를 엿듣게 되면 ORTS와 OCTS의 목적지 주소, 전송노드의

주소, 프레임 종류(RTS 또는 CTS), 수신 시간을 deafness 테이블에 저장하고 이를 바탕으로 노드의 커버리지에 존재하는 노드들의 deafness 여부를 판단한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 공간 재사용 증가를 위해 노드가 블로킹 영역에 있는 경우에만 수신방향성 안테나를 블로킹 상태로 설정하기 위해 deafness 테이블을 사용해야한다. 노드가 ORTS를 전송할 때 deafness 테이블에 목적지 노드의 주소가 존재하면 목적지 노드가 통신을 종료할 때까지 ORTS 전송을 지연하고 목적지 노드의 통신이 종료되면 deafness 테이블에서 목적지 노드의 정보를 삭제하여 테이블을 갱신하고 ORTS를 전송한다. 전송지연시간은 식 (3), (4)와 같다.

Destination Address	Source Address	Frame Type	Receive Time
---------------------	----------------	------------	--------------

그림 11. deafness 테이블

2. ToneDUDMAC 프로토콜

DUDMAC 프로토콜은 DMAC 프로토콜의 deafness 문제를 해결하기 위해 제어채널로 ORTS와 OCTS를 전송한다. 본 절에서는 DUDMAC 프로토콜에서 제어채널의 공간 재사용을 개선한 ToneDUDMAC 프로토콜에 대해 설명한다. ToneDUDMAC 프로토콜의 기본적인 동작은 DUDMAC 프로토콜을 기반으로 한다. 그림 12는 DRTS를 사용하는 경우 ORTS에 대해 제어채널에서 공간 재사용이 증가됨을 보여주고 있다. 그림 12(a)에서 노드 A는 노드 C로 ORTS를 전송한다. 노드 B는 노드 A의 커버리지에 있기 때문에 노드 D로 ORTS를 전송할 수 없다. 그림 12(b)는 ToneDUDMAC에서 DRTS를 사용하는 경우를 나타낸 것이다. 그림에서 DRTS를 사용하기 때문에 노드 A와 노드 B는 각각 노드 C와 노드 D로 DRTS를 동시에 전송할 수 있다. DRTS 사용으로 인한 deafness 문제는 전

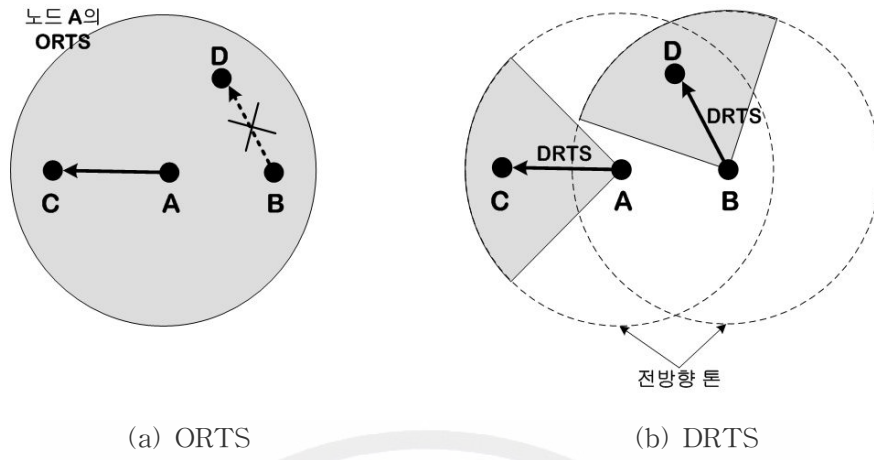


그림 12. 제어채널에서의 공간 재사용

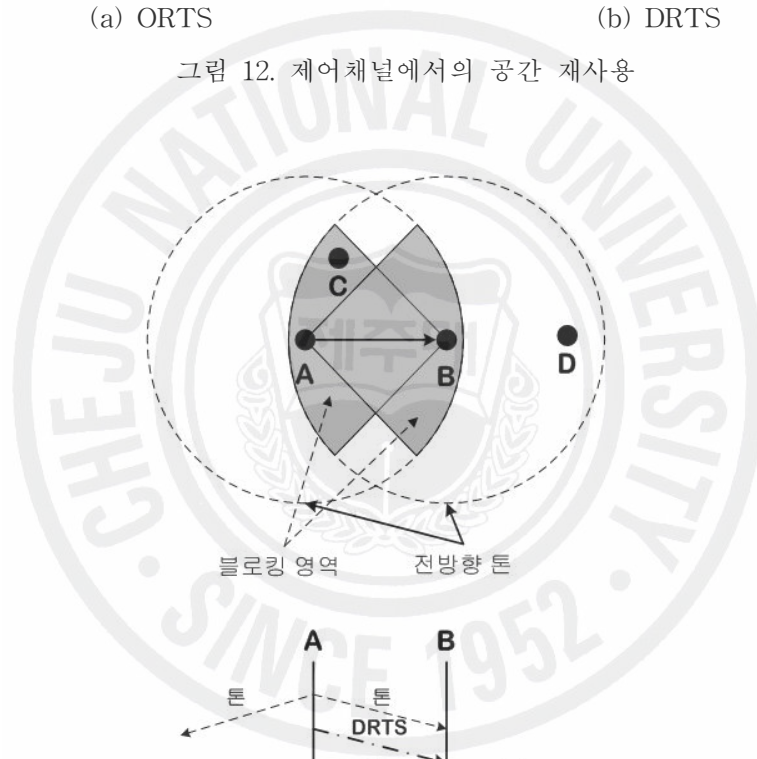


그림 13. ToneDUDMAC 프로토콜의 동작

방향 톤을 사용하여 해결한다. DUDMAC 프로토콜에서 ORTS와 OCTS를 엮은 노드들은 자신의 위치정보와 ORTS 또는 OCTS의 헤더의 DDATA와 DACK 전송에 사용 될 방향성 안테나의 중심각을 사용하여 방향성 안테나의 블로킹 영역을 계산한다. ToneDUDMAC 프로토콜에서는 DRTS와 DCTS에 의해 방향성 안테나의 블로킹 영역이 결정된다. 그림 13은 ToneDUDMAC 프로토콜의 동작을 나타낸 것이다. 노드 A는 노드 B로 DRTS를 전송하기 전에 전방향 톤을 전송하여 인접 노드들에게 통신 시작을 알린다. 그 후 제어채널로 DRTS를 전송한다. DRTS를 수신한 노드 B는 전방향 톤을 전송 한 후 DCTS를 노드 A로 전송한다. DRTS와 DCTS는 제어채널의 공간 재사용을 증가시키고 전방향 톤은 deafness 문제를 해결한다. 노드 A와 노드 B는 DRTS와 DCTS 전송 후에 데이터채널로 DDATA와 DACK를 송수신한다. 노드 B의 DCTS를 수신한 노드 C는 수신 방향성 안테나를 블로킹 상태로 설정하며 노드 B의 톤을 수신한 노드 D는 deafness 테이블에 노드 B를 등록하여 노드 B가 현재 통신 중임을 기록한다.

3. 전력제어기법을 사용한 MAC 프로토콜

2절에서 설명한 DUDMAC과 ToneDUDMAC 프로토콜에서는 DDATA와 DACK를 최대(고정) 전력으로 전송한다. 그러나 목적지 노드가 전송 노드의 최대 전송 거리 보다 짧은 거리에 있는 경우 데이터채널의 커버리지를 목적지 노드까지로 조절하면 에너지 소비를 줄이고 공간 재사용을 증가시킬 수 있다. 본 절에서는 2절에서 설명한 DUDMAC과 ToneDUDMAC 프로토콜에 DDATA와 DACK의 전송전력을 제어하는 방법을 적용한 PCDUDMAC과 PCToneDUDMAC에 대해 설명한다. 전력제어 방식은 제어채널에서 RTS와 CTS는 최대(고정) 전력으로 전송하고 DDATA와 DACK는 제어된 전력으로 전송한다. 데이터채널에서 전력제어는 DDATA와 DACK를 에러가 발생하지 않는 최소 전력으로 전송하여 데이터 커버리지를 최소화하므로 공간 재사용이 증가 된

다. 제안하는 MAC 프로토콜의 방향성 안테나에 대한 블로킹 알고리즘은 DUDMAC과 ToneDUDMAC의 방향성 안테나에 대한 블로킹 알고리즘을 기반으로 하고 있지만 DDATA와 DACK의 커버리지가 감소된 경우를 위해 추가적인 방법이 적용되어야 한다. 그림 14는 DUDMAC 프로토콜에서 데이터채널의 전송 영역이 줄어 공간 재사용이 개선되는 것을 보여주고 있다. 그림에서 노드 A와 B가 통신 중일 때 노드 C와 D는 노드 A와 B의 데이터채널 커버리지에 있지 않기 때문에 통신이 가능하게 된다. 블로킹 상태의 방향성 안테나로 데이터를 전송할 수 있기 때문에 공간 재사용이 증가한다.

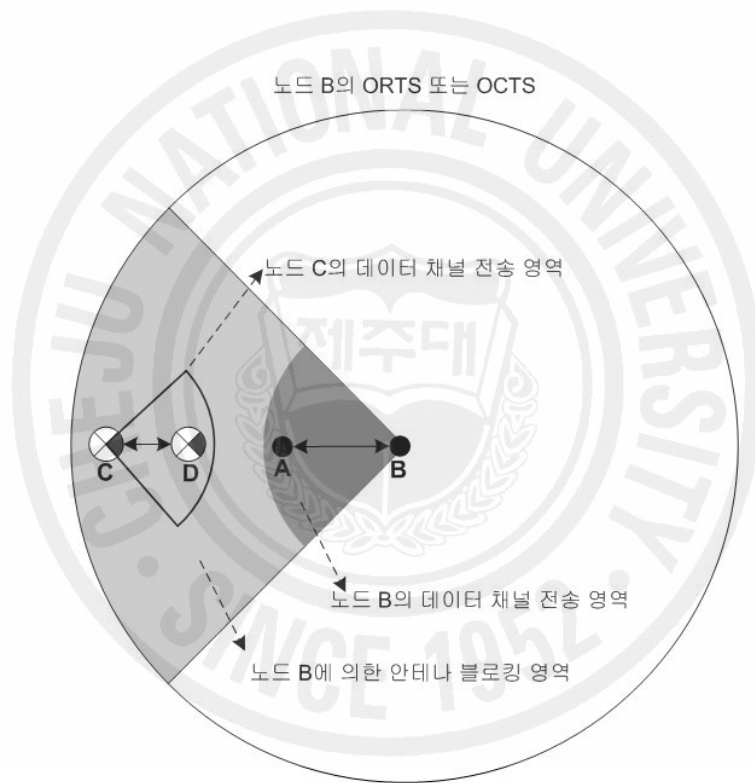


그림 14. DUDMAC 프로토콜에서 전력제어를 통한 공간 재사용 증가

1) 전력제어 방법

DDATA와 DACK의 제어된 전송전력은 RTS, CTS의 수신 전력, SINR 임계값, 데이터채널의 간섭신호 세기에 의해 결정된다. 전력제어에 사용되는 파라미터는 다음과 같다.

- P_{T_fixed} : 제어채널에서 RTS와 CTS의 전송전력

- P_{R_C} : 제어채널에서 RTS와 CTS의 수신 전력
- I_D : 데이터채널에서 간섭 신호의 전력
- P_{Margin} : 전송전력 마진, 현재 시점에서 구한 간섭 신호 세기 외에 이후에 더해질 수 있는 간섭신호에 대비하여 제어된 전송전력에 더해지는 값
- N_0 : 잡음 신호 평균 전력
- $SINR = \frac{P_{R_C}}{I_D + N_0}$: 신호 대 간섭 잡음비
- $SINR_{Threshold}$: $SINR$ 임계값, 패킷 에러가 발생하지 않는 최소 $SINR$ 값
- G : 안테나 이득

$$P_{R_MIN} = SINR_{Threshold} \times (I_D + N_0) [mW] \quad (5)$$

$$P_{T_D} = \frac{P_{T_fixed}}{P_{R_C} \times G^2} \times P_{R_MIN} \times P_{Margin} [mW] \quad (6)$$

$SINR_{Threshold}$ 를 만족하는 최소 수신 전력은 식 (5)와 같이 구한다. DDATA와 DACK의 전송전력은 식 (6)과 같이 계산한다.

그림 15는 DUDMAC 프로토콜에 전력제어 과정을 나타낸 것이다. 노드 A는 노드 B에게 ORTS를 P_{T_fixed} 의 전력으로 전송한다. ORTS를 수신한 노드 B는 ORTS의 P_{R_C} 을 구하고 안테나 패턴을 노드 A의 방향으로 설정한 후 I_D 를 구한다. 그리고 식 (5),(6)에서와 같이 I_D 로부터 P_{R_MIN} 을 구하고 P_{R_C} 와 P_{R_MIN} 으로부터 P_{T_D} 을 구하고 이 값을 OCTS의 헤더에 넣은 후 노드 A로 전송한다. 노드 A는 OCTS 헤더의 P_{T_D} 값으로 DDATA 전송전력을 설정한다. 노드 A는 OCTS의 P_{R_C} 와 I_D 로부터 P_{T_D} 을 구하고 이 값을 DDATA 헤더에 넣어서 노드 B로 전송한다. 노드 B는 DDATA 헤더의 P_{T_D} 값으로 DACK 전송전력을 설정한 후 노드 A에게 DACK를 전송한다.

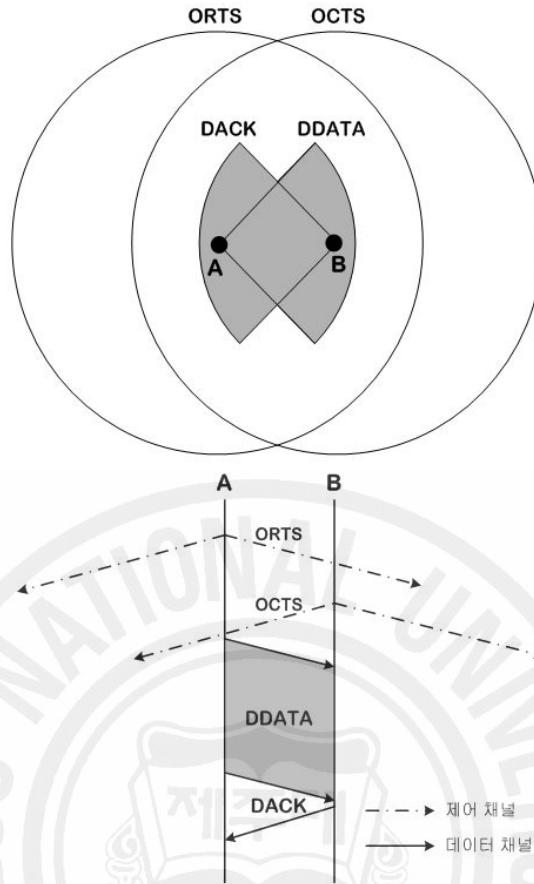


그림 15. DUDMAC 프로토콜에서 전력제어 동작과정

2) 전력제어를 적용한 방향성 안테나를 위한 블로킹 알고리즘

전력제어를 적용한 방향성 안테나를 위한 블로킹 알고리즘은 DUDMAC과 ToneDUDMAC 프로토콜의 방향성 안테나를 위한 블로킹 알고리즘은 동일하지만 블로킹 상태의 방향성 안테나를 사용한 통신 가능여부는 다음 두 단계로 결정된다.

- 1단계 : 방향성 안테나를 블로킹 상태로 만든 노드의 데이터채널에서 전송신호가 도달하는지 확인한다. 즉, 그림 16에서 노드 B의 데이터채널 커버리지에 노드 C가 들어가는지 확인한다.
- 2단계 : 데이터채널 신호가 방향성 안테나를 블로킹 상태로 만든 노드의 데이터채널에서 수신에 영향을 주는지 확인한다. 즉 그림 16에서 노드 C의 데이터채널 커버리지에 노드 B가 들어가는지 확인한다.

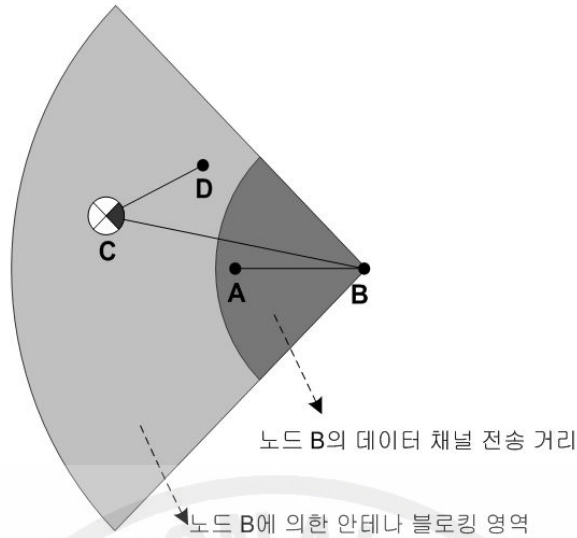
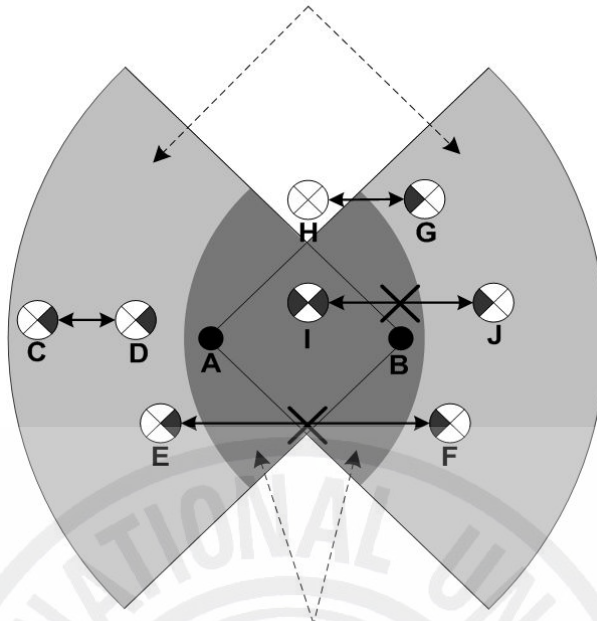


그림 16. 전력제어가 적용된 안테나 블로킹 알고리즘

그림 16에서 노드 D를 향하는 노드 C의 방향성 안테나는 노드 B에 의해서 블로킹된 상태이다. 노드 C가 노드 D로 RTS를 전송하는 경우 인접노드의 위치정보를 이용하여 \overline{CB} 와 \overline{AB} , \overline{CD} 을 계산하여 $\overline{CB} > \overline{AB}$ 이고 $\overline{CB} > \overline{CD}$ 인 경우 RTS를 전송한다. 그렇지 않으면 해당 방향성 안테나가 전송 가능한 상태로 될 때까지 RTS 전송을 연기한다. 노드 C가 노드 D로부터 CTS를 수신한 경우도 동일하게 $\overline{CB} > \overline{AB}$ 이고 $\overline{CB} > \overline{CD}$ 인 경우 CTS 전송하고 그렇지 않으면 NCTS를 전송한다. 그림 17은 통신을 하고자 하는 노드가 블로킹 상태의 방향성 안테나 방향에 있을 때 노드의 동작 예를 나타낸 것이다.

- 노드 C ↔ 노드 D : C에서 $\overline{CB} > \overline{AB}$ 이고 $\overline{CB} > \overline{CD}$ 이기 때문에 D와 통신이 가능
- 노드 E ↔ 노드 F : E에서 $\overline{EB} > \overline{AB}$ 이지만 $\overline{EB} > \overline{EF}$ 이기 때문에 F와 통신이 불가
- 노드 G ↔ 노드 H : G에서 $\overline{GA} > \overline{AB}$ 이고 $\overline{GA} > \overline{GH}$ 이기 때문에 H와 통신이 가능
- 노드 I ↔ 노드 J : I에서 $\overline{IB} > \overline{AB}$ 이기 때문에 J와 통신이 불가

노드 A와 B에 의한 안테나 블로킹 영역



노드 A와 B의 데이터 채널 전송 영역

그림 17. 블로킹 상태의 방향성 안테나를 이용한 통신의 예

IV. 성능평가

본 장에서는 제안하는 MAC 프로토콜의 성능은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 위해 SNT(Scalable Networks Technologies)^[12]의 네트워크 시뮬레이션 툴인 쉘넷 버전 3.8을 사용하였다. 쉘넷 시뮬레이터는 사용자 그래픽 인터페이스(graphical user interface)를 기반으로 MANET(mobile ad hoc network), QoS, IPv6, Cellular, Satellite 등 다양한 라이브러리가 제공되며 네트워크 모델링, 무선 네트워크, 유선 네트워크 등의 성능확인을 위해 사용된다. 시뮬레이션 시나리오는 60 노드를 갖는 다중 홉 랜덤 토폴로지와 180 노드를 갖는 단일 홉 랜덤 토폴로지를 사용하였다. 제안하는 MAC 프로토콜의 평균 처리량은 ToneDMAC, DMAC, DUCHA 프로토콜, IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 처리량과 비교하였다.

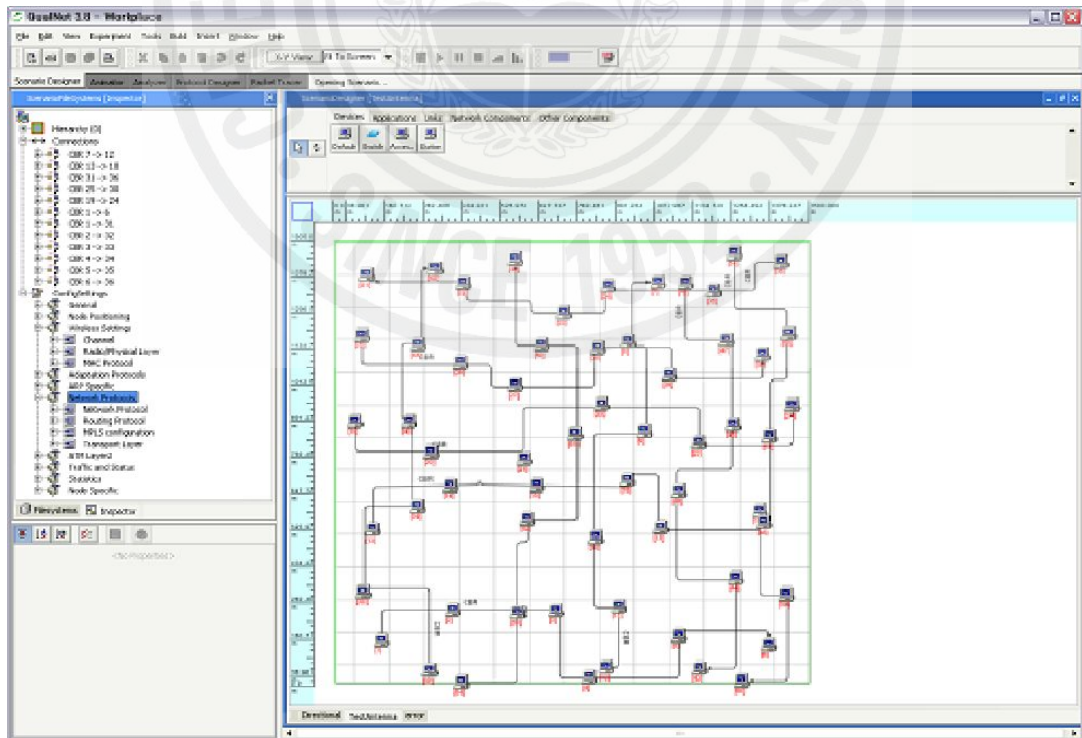


그림 18. 쉘넷 버전 3.8 시뮬레이터

1. 시뮬레이션 환경

물리계층 프로토콜은 IEEE 802.11b 표준을 사용하였고 수신 감도 -89dBm 이며 다중 경로 손실 모델은 two-ray 모델을 사용하였다. 전송속도는 2Mbps 이며 최대 전송거리는 약 250m 이다. 또한 라우팅 프로토콜은 미리 경로가 설정된 정적 라우팅(static routing protocol)을 사용하였으며 네트워크 트래픽 부하 모델은 CBR (constant bit rate) 트래픽을 사용하였다. 데이터 패킷의 크기는 1000byte 이다. PCDUDMAC와 PCToneDUDMAC의 DATA와 ACK의 전송전력을 구하기 위해 SINR 임계값과 전송전력 마진은 실험적으로 구하였다. 식 (5), (6)에서 SINR 임계값은 10.79dB , 전송전력 마진은 1dBm 으로 하였다. 표 1은 시뮬레이션에서 사용되는 주요 파라미터를 나타낸 것이다. 하나의 데이터 패킷을 전송하는데 걸리는 시간은 노드의 이동 속도에 비해 매우 짧아 상대적으로 노드의 위치 변화가 매우 작기 때문에 노드가 이동하지 않는 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다. 각 노드들은 자신의 커버리지 250m 반경에 존재하는 인접노드들의 위치 정보 테이블을 각각 갖고 있게 하였다. 위치 정보는 각 노드의 x, y 좌표로 나타낸다. 표 2는 시뮬레이션을 수행한 MAC 프로토콜들의 특징을 나타낸 것이다. IEEE 802.11 MAC 프로토콜과 DUCHA MAC 프로토콜은 전방향 안테나를 사용하며 나머지 MAC 프로토콜은 방향성 안테나를 사용한다. IEEE 802.11 MAC 프

표 1. 시뮬레이션에서의 사용되는 주요 파라미터

	60 노드 다중 홉	180 노드 단일 홉
CBR 트래픽 부하	$0.2 \sim 1.0\text{Mbps}$	$0.1 \sim 0.5\text{Mbps}$
노드간 거리	약 250m	$0 \sim 250\text{m}$
물리 계층 프로토콜	IEEE 802.11b	
수신감도	-89dBm	
다중 경로 손실 모델	two-ray 모델	
전송속도	2Mbps	
최대 전송 거리	250m	
라우팅 프로토콜	정적 라우팅	
DATA 패킷 크기	1000byte	
SINR 임계값 ($SINR_{Threshold}$)	10.79dB	
전송전력 마진 (P_{Margin})	1dBm	

로토콜, DMAC 프로토콜, ToneDMAC 프로토콜은 단일채널을 사용하며 DUCHA MAC 프로토콜과 제안하는 MAC 프로토콜은 이중채널을 사용한다. NACK를 사용하는 DUCHA MAC 프로토콜을 제외하고 나머지 MAC 프로토콜은 ACK를 사용한다. PCDUDMAC 프로토콜과 PCToneDUDMAC 프로토콜을 제외한 나머지 MAC 프로토콜은 DATA와 ACK를 최대 전력으로 전송한다.

표 2. 시뮬레이션을 수행한 MAC 프로토콜의 특징 비교

	안테나 형태	사용 채널 수	ACK 사용여부	전력제어
IEEE 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

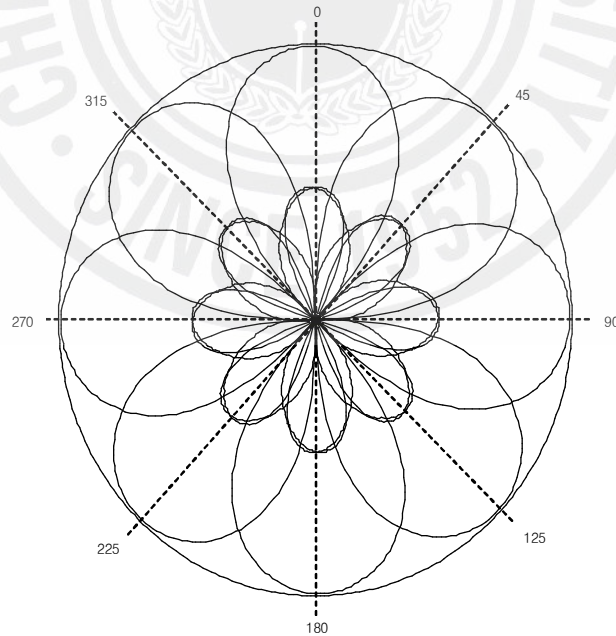


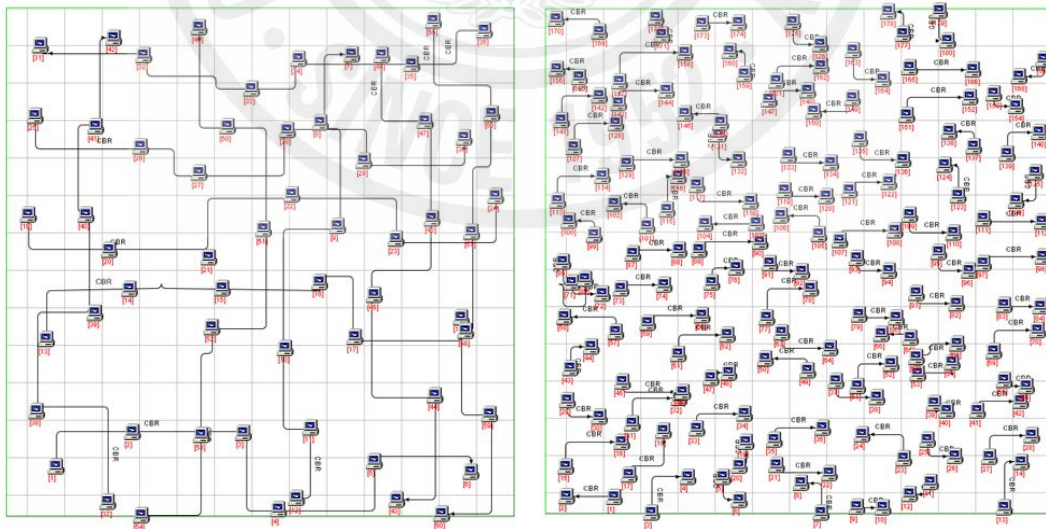
그림 19. 안테나 모델

1) 안테나 모델

제안하는 MAC 프로토콜, DMAC, ToneDMAC 프로토콜에서 방향성 안테나는 스위치드 빔 안테나를 사용한다. 그림 19는 시뮬레이션에 사용된 스위치드 빔 안테나의 패턴을 나타낸 것이다. 특정 방향성 안테나를 선택하면 방향으로 프레임 전송할 수 있고 모든 패턴을 선택하면 전방향으로 전송이 가능하다. 특정 방향에 대한 안테나 패턴의 최대 이득은 15dBi이다.

2) 시뮬레이션 토폴로지

본 논문의 시뮬레이션에 사용된 네트워크 토폴로지는 60 노드를 갖는 다중 홉 랜덤 토폴로지와 180 노드를 갖는 단일 홉 랜덤 토폴로지이다. 그림 20(a)는 60 노드의 다중 홉 랜덤 토폴로지를 보여주고 있다. 60개의 노드를 $1000m^2$ 지역에 무작위로 배치하였으며 10개의 5홉 토폴로지를 갖는다. 다중 홉 토폴로지는 deafness 문제의 개선 여부를 확인할 수 있는 환경이다. 그림 20(b)는 180 노드의 단일 홉 랜덤 토폴로지를 보여주고 있다. 180개의 노드를 $1000m^2$ 지역에 무작위로 배치하였고 목적지 노드는 최대 전송 거리 내에서 무작위로 선택되었다. 단일 홉 토폴로지는 공간 재사용 개선 여부를 확인할 수 있는 환경이다.



(a) 60 노드 다중 홉 랜덤 토폴로지 (b) 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지

그림 20. 시뮬레이션 네트워크 토폴로지

3) 이중채널 MAC 프로토콜의 채널 속도 할당

단일 채널 MAC 프로토콜의 전송 속도는 2Mbps이고 제안하는 이중채널 MAC 프로토콜은 2Mbps의 전송 속도를 제어채널과 데이터채널로 효율적으로 나누어 사용한다. 최적으로 채널 할당을 위해 60 노드 다중 홉 랜덤 토폴로지에서 0.5Mbps의 트래픽 부하를 부가하고 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서는 1.0Mbps의 트래픽 부하를 부가하여 DUDMAC 프로토콜과 ToneDUDMAC 프로토콜에 대해 각각 제어채널의 속도를 0.1Mbps에서 1.9Mbps로 변화시키면서 처리량을 구하였다. 그림 21은 DUDMAC에서 각 네트워크 토폴로지에서 제어채널 속도 변화에 따른 평균 네트워크 처리량을 나타낸 것이다. 60 노드 다중 홉 랜덤 토폴로지에서는 제어채널의 속도가 0.5Mbps일 때 평균 네트워크 처리량이 최고값(171.7kbps)을 갖고 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서는 제어채널의 속도가 0.8Mbps일 때 최고값(425.3kbps)을 갖는다. 그림 22는 ToneDUDMAC에서 각 네트워크 토폴로지에서 제어채널 속도 변화에 따른 평균 네트워크 처리량을 나타낸 것이다. 60 노드 다중 홉 랜덤 토폴로지와 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에

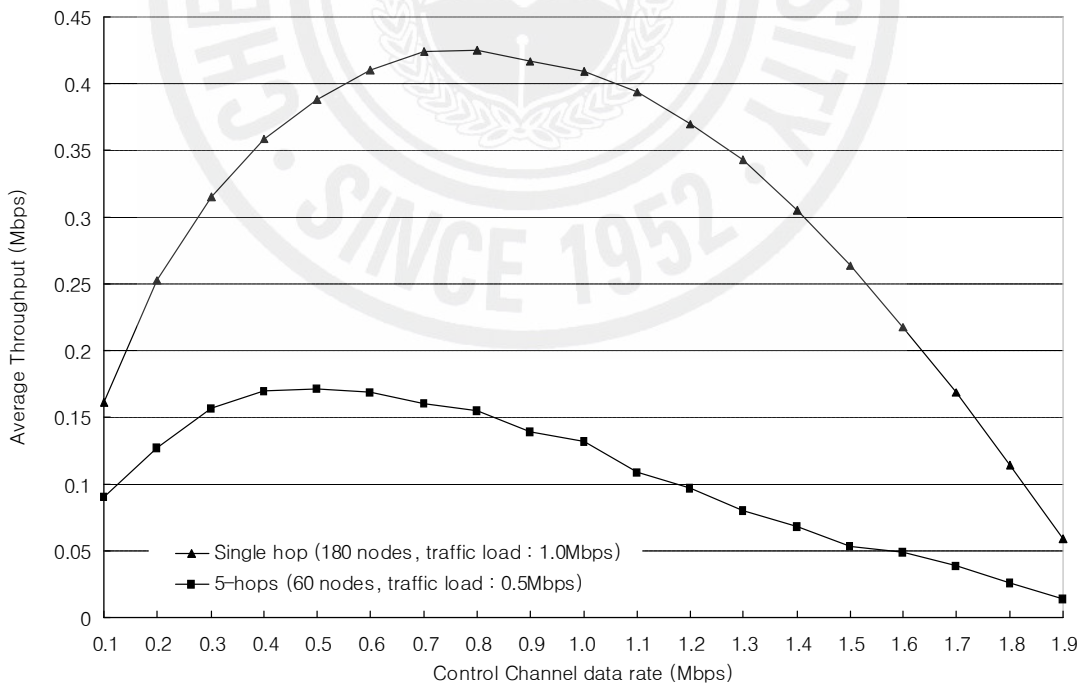


그림 21. DUDMAC 프로토콜의 제어채널 속도에 따른 평균 네트워크 처리량 변화

서 제어채널의 속도가 0.3Mbps일 때 평균 네트워크 처리량이 최고값(각각 238.5kbps, 628.4kbps)을 갖는다. ToneDUDMAC에서 평균 네트워크 처리량이 최고값을 갖는 제어채널 속도가 DUDMAC에 비해 더 낮다. 그 이유는 다음과 같다. DUDMAC은 ORTS와 OCTS를 사용하지만 ToneDUDMAC은 DRTS와 DCTS를 사용하기 때문에 제어채널에서의 공간 재사용은 DUDMAC에 비해 ToneDUDMAC이 높다. 그러므로 DUDMAC은 평균 네트워크 처리량이 제어채널 속도가 ToneDUDMAC 보다 높은 속도에서 최고값을 갖는다. 그림 21과 22의 결과를 바탕으로 표 3과 같이 DUDMAC, ToneDUDMAC의 채널 속도를 할당하였다.

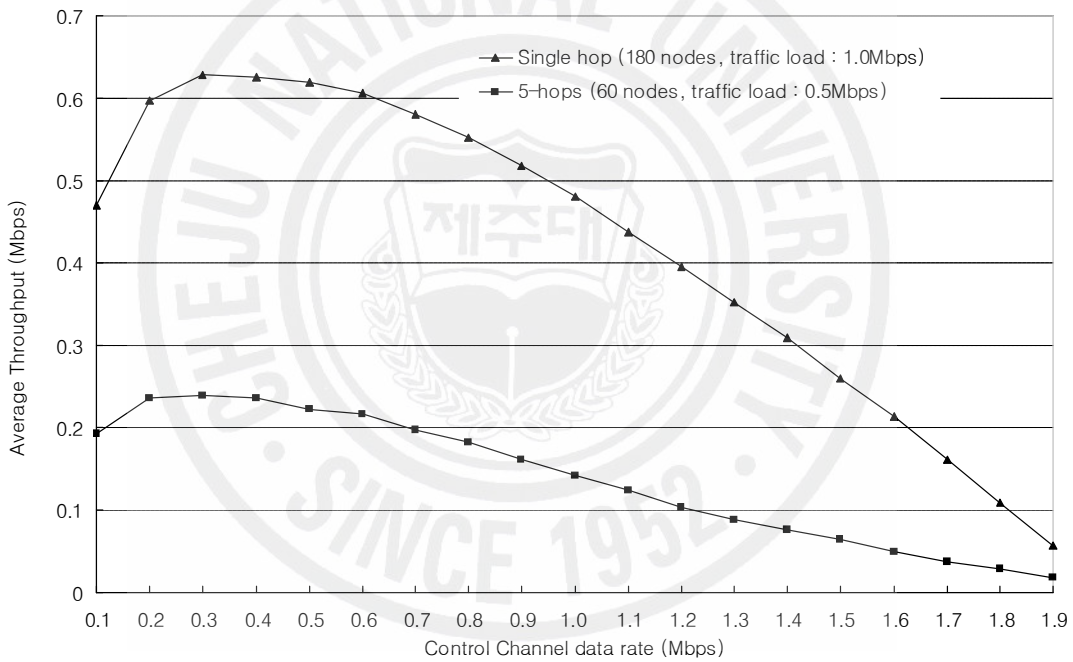


그림 22. ToneDUDMAC 프로토콜의 제어채널 속도에 따른 평균 네트워크 처리량 변화

표 3. DUDMAC과 ToneDUDMAC에서 채널 속도 할당

	제어채널	데이터채널
DUDMAC	0.6 Mbps	1.4 Mbps
ToneDUDMAC	0.3 Mbps	1.7 Mbps

2. 시뮬레이션 결과

1) DUDMAC 프로토콜과 ToneDUDMAC 프로토콜

그림 23은 60 노드 다중 홉 토폴로지에서 DUDMAC 프로토콜과 ToneDUDMAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량 성능을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 방향성 안테나를 사용하는 MAC 프로토콜이 전방향성 안테나를 사용하는 IEEE 802.11 MAC과 DUCHA MAC 프로토콜에 비해 높은 처리량을 갖는다. 다중 홉 환경에서 방향성 전송은 deafness의 원인이 되고 Ad hoc 네트워크의 성능을 저하시킨다. DUDMAC 프로토콜은 DMAC 프로토콜에 비해 우수한 성능을 갖고 있음을 확인할 수 있다. DUDMAC 프로토콜은 제어채널에서 전방향으로 전송하여 DMAC 프로토콜에서 발생하는 deafness 문제를 해결하기 때문에 평균 네트워크 처리량이 증가하였다. ToneDUDMAC 프로토콜에서는 전방향

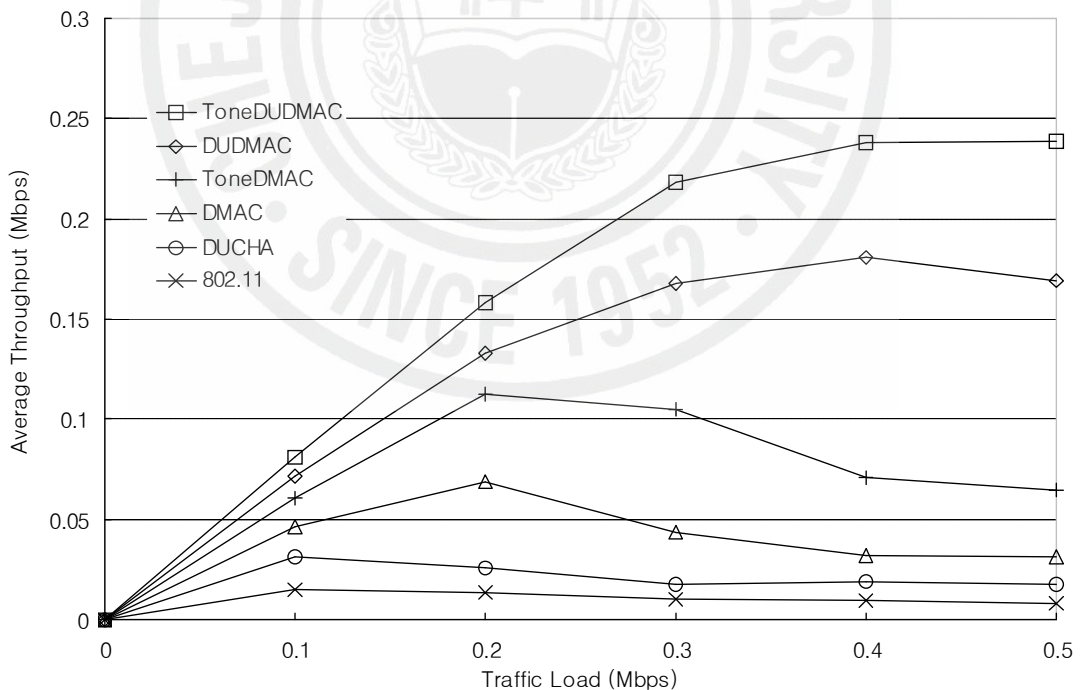


그림 23. DUDMAC 프로토콜과 ToneDUDMAC 프로토콜의 60 노드 다중 홉 랜덤 토폴로지에서 평균 네트워크 처리량

톤을 사용하여 deafness 문제를 해결하여 제안하는 MAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량은 ToneDMAC 프로토콜과 DMAC 프로토콜에 비해 좋은 성능을 갖는다. ToneDUDMAC 프로토콜은 전방향 톤을 사용으로 제어채널에서 방향성 전송이 가능하여 DUDMAC 프로토콜에 대해 제어채널에서의 공간 재사용율이 높기 때문에 DUDMAC 프로토콜보다 좋은 성능을 갖는다. 트래픽 부하가 0.5Mbps 일 때 ToneDUDMAC 프로토콜, DUDMAC, ToneDMAC, DMAC, DUCHA MAC, IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량은 각각 238.5kbps, 169.0kbps, 64.4kbps, 31.5kbps, 17.6kbps, 8.1kbps 이다. DUDMAC 프로토콜은 DMAC 프로토콜에 비해 평균 네트워크 처리량이 약 436.5% 향상되었고 ToneDUDMAC 프로토콜은 DUDMAC 프로토콜과 ToneDMAC 프로토콜에 비해 평균 네트워크 처리량이 각각 약 40.8%, 271.8% 향상되었다. 그림 24는 180노드 단일 홉 토폴로지에서 제안하는 MAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량을 나타낸 것이다. 다중 홉에서와 같이 방향성 안테나를 사용하는 MAC 프로토콜이 전방향성 안테나를 사용하는 MAC 프로토콜에 비해 우수한 성능을 갖는다. DUDMAC 프로토콜이 DMAC 프로토콜에 비해 우수한 성능을 갖고 있음을 보여주고 있다. 이는 DUDMAC 프로토콜은 분리된 제어채널과 데이터채널 간 간섭이 없고 효율적인 방향성 안테나를 위한 블로킹 알고리즘을 사용하여 채널 재사용율이 증가하였기 때문이다. ToneDUDMAC 프로토콜은 제어채널에서 방향성 전송에 의해 DUDMAC 보다 제어채널에서 공간 재사용율이 높기 때문에 DUDMAC 프로토콜보다 좋은 성능을 갖는다. 그리고 채널을 분리하여 제어프레임과 데이터프레임 간 간섭이 없고 NCTS 메커니즘으로 노출된 노드 문제를 해결했기 때문에 ToneDMAC 프로토콜보다 우수한 성능을 보인다. 그림 24에서 트래픽 부하가 1.0Mbps일 경우 제안하는 MAC 프로토콜, DUDMAC, ToneDMAC, DMAC, DUCHA MAC, IEEE 802.11 MAC 프로토콜에서 평균 네트워크 처리량은 각각 635.4kbps, 415.3kbps, 458.6.7kbps, 251.3kbps, 82.8kbps, 67.6kbps이다. DUDMAC 프로토콜은 DMAC 프로토콜에 비해 평균 네트워크 처리량이 약 65.2% 향상되었고 ToneDUDMAC 프로토콜은 DUDMAC 프로토콜과 ToneDMAC 프로토콜에 비해 평균 네트워크 처리량이 각각 약 53.0%, 38.6% 향상됨을 알 수 있다.

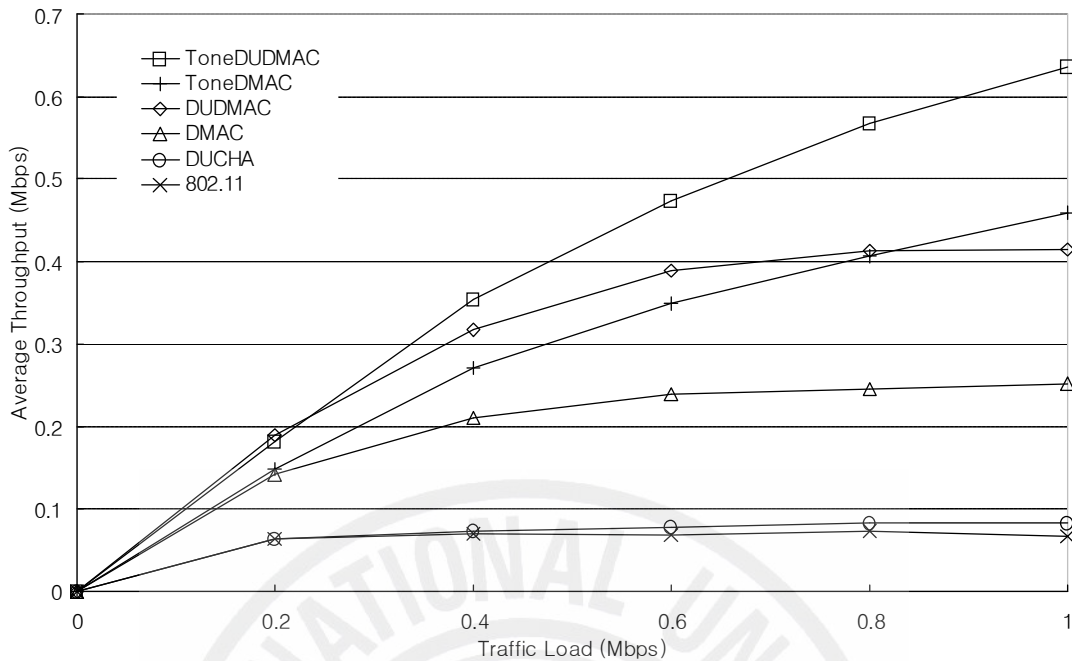


그림 24. DUDMAC 프로토콜과 ToneDUDMAC 프로토콜의 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 평균 네트워크 처리량

2) PCDUDMAC, PCToneDUDMAC 프로토콜

PCDUDMAC 프로토콜과 PCToneDUDMAC 프로토콜은 180노드 단일 홉 토폴로지에서만 시뮬레이션을 수행하였다. 60노드 다중 홉 토폴로지는 노드간 거리가 250m이기 때문에 전력제어 방식을 적용하더라도 기존 DUDMAC, ToneDUDMAC 프로토콜에 대해 소모 전력에 변화가 없는 환경이다. 그러므로 PCDUDMAC 프로토콜과 PCToneDUDMAC 프로토콜의 성능을 확인하기 위해 180노드 단일 홉 토폴로지를 사용하였다. 그림 25는 180노드 단일 홉 토폴로지에서 PCDUDMAC 프로토콜과 DUDMAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량을 나타낸 것이다. PCDUDMAC 프로토콜은 데이터채널의 커버리지를 목적지 노드까지 줄이기 때문에 블로킹 상태의 방향성 안테나로 통신이 가능한 경우가 있다. 그러므로 DUDMAC 프로토콜보다 공간 재사용이 증가하여 우수한 성능을 갖는다. 그림 25에서 트래픽 부하가 1.0Mbps일 때 PCDUDMAC 프로토콜과 DUDMAC의 평균 네트워크 처리량은 각각 435.3kbps, 415.3kbps이다. PCDUDMAC 프로토콜이 DUDMAC 프로토콜에 비해 평균 네트워크 처리량이

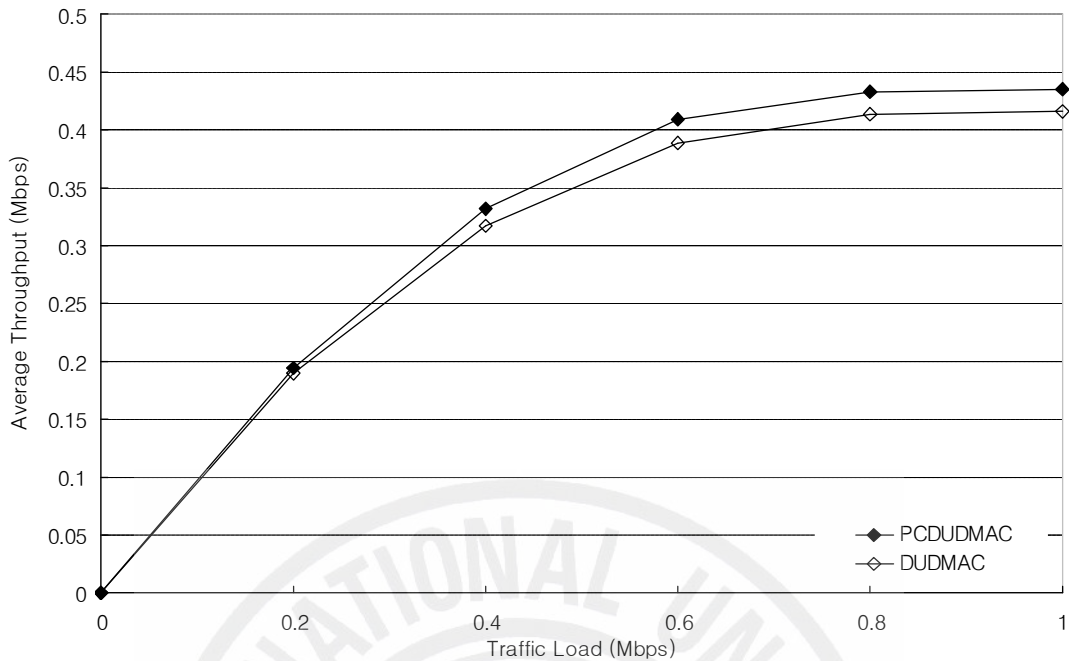


그림 25. PCDUDMAC 프로토콜의 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 평균 네트워크 처리량

약 4.8% 향상됨을 알 수 있다.

그림 26은 180노드 단일 홉 토폴로지에서 PCToneDUDMAC 프로토콜과 ToneDUDMAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량을 나타낸 것이다. ToneDUDMAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량은 트래픽 부하가 1.0Mbps에서 포화되지 않기 때문에 트래픽 부하를 0.4Mbps에서 2.0Mbps까지 부가하면서 시뮬레이션을 수행하였다. PCDUDMAC 프로토콜과 같이 PCToneDUDMAC 프로토콜은 데이터채널의 커버리지를 목적지 노드까지로 줄이기 때문에 블로킹 상태의 방향성 안테나로 통신이 가능한 경우가 있다. 그러므로 ToneDUDMAC 프로토콜보다 공간 재사용이 증가하여 우수한 성능을 보인다. 그림 26에서 트래픽 부하가 2.0Mbps일 때 PCToneDUDMAC 프로토콜과 ToneDUDMAC의 평균 네트워크 처리량은 각각 699.6kbps, 645.4kbps이다. PCToneDUDMAC 프로토콜은 ToneDUDMAC 프로토콜에 비해 평균 네트워크 처리량이 약 8.3% 향상됨을 알 수 있다.

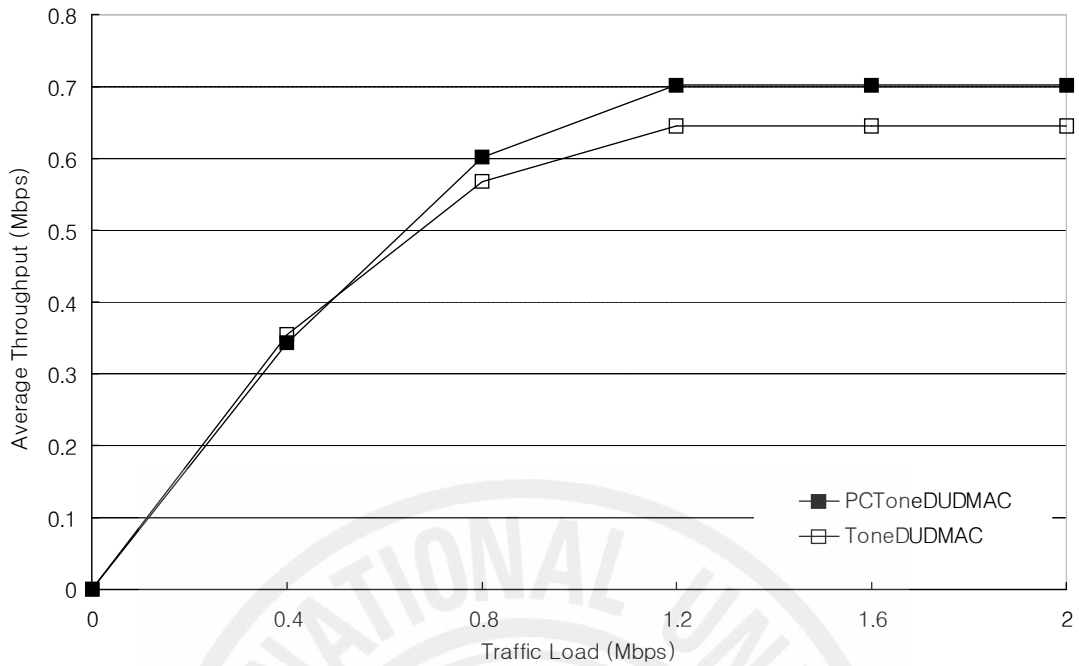


그림 26. PCToneDUDMAC 프로토콜의 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 평균 네트워크 처리량

그림 27은 180노드 단일 홉 토폴로지에서 PCDUDMAC 프로토콜과 DUDMAC 프로토콜에서 하나의 패킷을 전송하는데 소비되는 평균 에너지를 나타낸 것이다. PCDUDMAC 프로토콜에서 RTS와 CTS는 DUDMAC과 동일하게 최대 전력으로 전송하지만 RTS와 CTS의 수신 전력과 데이터채널의 간섭신호 세기를 이용하여 DATA와 ACK의 최적의 전송 전력을 결정하여 사용한다. 그러므로 그림 27에서와 같이 패킷 전송 시 소비되는 에너지는 약 22% 감소함을 확인할 수 있다. 그림 28은 PCToneDUDMAC 프로토콜의 180 노드 단일 홉 토폴로지에서 하나의 패킷을 전송하는데 소비되는 평균 에너지를 ToneDUDMAC 프로토콜과 비교하여 나타낸 것이다. PCDUDMAC과 동일하게 DATA와 ACK를 최적의 전력으로 전송하기 때문에 ToneDUDMAC에 비해 소비 에너지가 약 16% 감소한다.

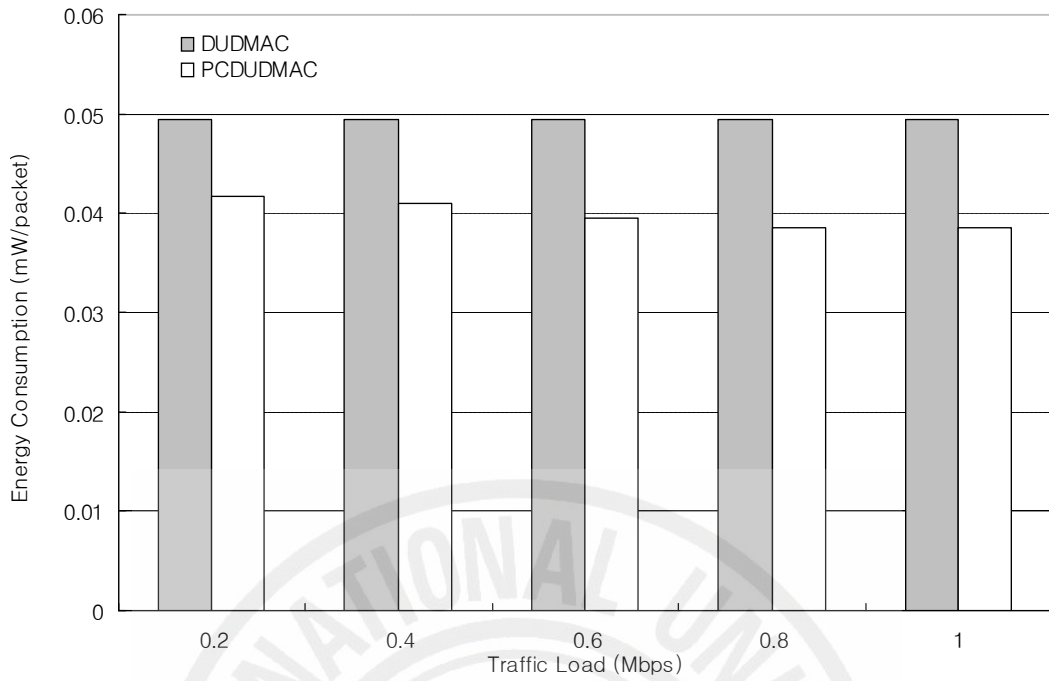


그림 27. PCDUDMAC 프로토콜의 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 평균 에너지 소비

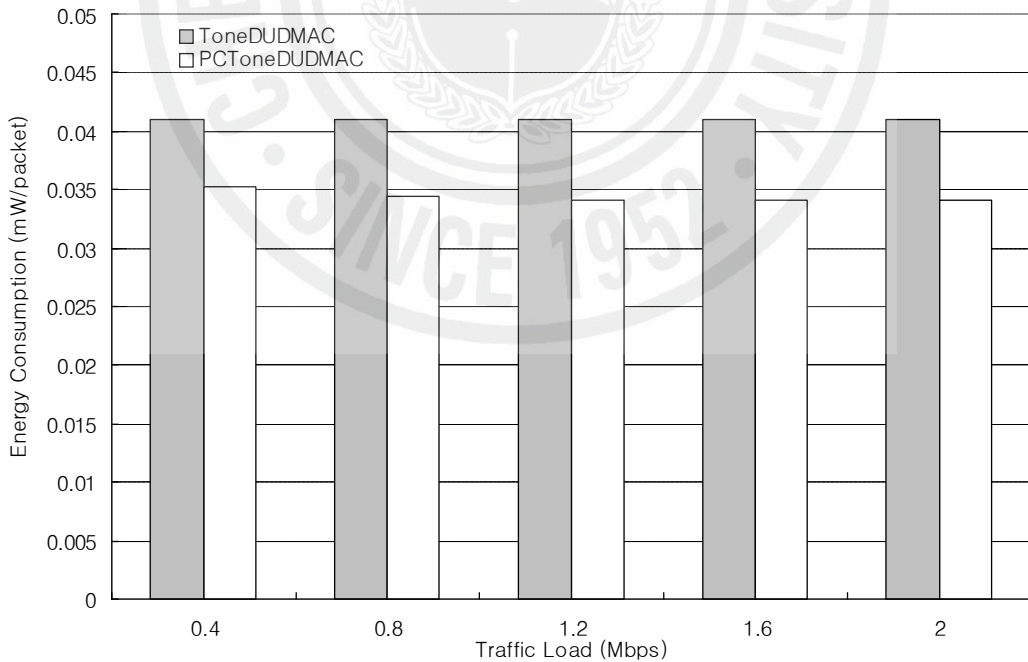


그림 28. PCToneDUDMAC 프로토콜의 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 평균 에너지 소비

V. 결론

본 논문은 차량 간 통신 기반의 텔레매틱스 서비스에 적용하기 위한 Ad hoc MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 Ad hoc MAC 프로토콜은 Ad hoc 네트워크에서 deafness를 해결하고 공간 재사용을 증가시키기 위해 방향성 안테나, 톤, 이중채널을 사용하며 전방향 톤의 사용여부에 따라 DUDMAC과 ToneDUDMAC으로 나눌 수 있다. DUDMAC 프로토콜은 제어채널로 ORTS와 OCTS를 전송하고 데이터채널로 DDATA와 DACK를 전송한다. ORTS와 OCTS로 DMAC 프로토콜에서 발생하는 deafness를 해결하였고, 인접노드의 위치정보를 이용한 효율적인 방향성 안테나를 위한 블로킹 알고리즘을 사용하여 공간 재사용을 증가시켰다. ToneDUDMAC 프로토콜은 제어채널로 DRTS와 DCTS를 전송하고 데이터채널로 DDATA와 DACK를 전송한다. DUDMAC에서 제어채널에서의 ORTS, OCTS에 인한 공간 재사용 감소를 해결하기 위해 DRTS, DCTS를 사용한다. 또한, DRTS, DCTS에 의한 deafness는 전방향 톤을 사용하여 해결하였다. DUDMAC과 ToneDUDMAC 프로토콜에서는 DDATA와 DACK를 최대(고정) 전력으로 전송한다. 이는 노드 간 거리가 짧은 경우 DDATA와 DACK의 커버리지가 커지기 때문에 DUDMAC과 ToneDUDMAC 프로토콜에 DDATA와 DACK의 전송 전력을 제어하는 방식을 적용한 PCDUDMAC 프로토콜과 PCToneDUDMAC 프로토콜을 제안하였다. 데이터채널에서 DDATA와 DACK에 에러가 발생하지 않는 최적의 전력으로 전송하기 때문에 DDATA와 DACK 커버리지가 최적화된다. 그러므로 에너지 소비가 최적화되고 공간 재사용이 증가된다.

제안하는 Ad hoc MAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량과 전력 소모량은 60 노드의 다중 홉 토폴로지와 180 노드의 단일 홉 토폴로지에서 쉘넷 버전 3.8 시뮬레이터를 사용하여 확인하였다. 시뮬레이션 결과 DUDMAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량은 다중 홉과 단일 홉 환경에서 DMAC 프로토콜에 비해 각각 436.5%, 65.2% 증가하였다. ToneDUDMAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량은

다중 홉 환경에서 DUDMAC 프로토콜과 ToneDMAC 프로토콜에 비해 각각 40.8%, 271.8% 증가하였고, 단일 홉 환경에서 DUDMAC 프로토콜과 ToneDMAC 프로토콜에 비해 각각 약 53.0%, 38.6% 증가하였다. 전력제어를 적용한 MAC 프로토콜에서는 PCDUDMAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량은 DUDMAC 프로토콜에 비해 약 4.8% 증가하였다. PCToneDUDMAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량은 ToneDUDMAC 프로토콜에 비해 약 8.3% 증가하였다. 평균 에너지 소비는 PCDUDMAC 프로토콜이 DUDMAC 프로토콜에 비해 약 22% 감소하였고 PCToneDUDMAC 프로토콜은 ToneDUDMAC 프로토콜에 비해 약 16% 감소함을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안하는 전력제어기법을 사용한 이중채널 Ad hoc MAC 프로토콜은 deafness 문제를 해결하고 공간 재사용을 증가시키고 전송 전력을 최적으로 제어하여 기존의 Ad hoc MAC 프로토콜에 비해 네트워크 처리량이 향상되고 에너지 소모가 감소됨을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있었다. 따라서 본 논문이 제안하는 Ad hoc MAC 프로토콜은 텔레매틱스 서비스의 차량 간 통신에서 보다 우수한 네트워크 성능을 제공할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] M. Manoj, *Ad hoc Wireless Networks - Architectures and Protocols*, Prentice Hall, pp. 191-298, 2004.
- [2] Y. Ko, V. Shankarkumar, N. H. Vaidya, "Medium access control protocols using directional antennas in Ad hoc networks," *IEEE INFOCOM 2000 vol1*, pp. 13-21, 2000.
- [3] R. R. Choudhury, X. Yang, N. H. Vaidya, R. Ramanathan, "Using directional antennas for medium access control in Ad hoc networks," *MOBICOM 2002*, pp. 57-90, 2002.
- [4] L. Bao, J. Garcia-Luna-Aceves, "Transmission scheduling in Ad hoc networks with directional antennas," *MOBICOM 2002*, pp. 48-58, 2002.
- [5] S. Yi, Y. Pei, S. Kalyanaraman, "On the capacity improvement of Ad hoc wireless networks using directional antennas," *Mobihoc 2003*, pp. 108-116, 2003.
- [6] M. Sanchez, T. Giles, J. Zander, "CSMA/CA with beam forming antennas in multi-hop packet radio", *Proceeding of Swedish Workshop on Wireless Ad hoc Networks*, pp. 63-69, 2001.
- [7] T. Korakis, G. Jakllari, L. Tassiulas, "A MAC protocol for full exploitation of directional antennas in Ad hoc wireless networks", *Mobihoc 2003*, pp. 98-107, 2003.
- [8] R. R. Choudhury, N. H. Vaidya, "Deafness : A MAC problem in Ad hoc networks when using directional antennas", *Proceedings of ICNP 2004*, 2004.
- [9] A. Muqattash, M. Krunz, "Power controlled dual-channel (PCDC) medium access protocol for wireless Ad hoc networks", *IEEE*

- INFOCOM 2003*, pp. 470–480, 2003.
- [10] 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 2004*, pp. 27–32, 2004.
- [11] D. H. Han, J. W. Jwa, H. I. Kim, “A dual-channel MAC protocol using directional antennas in location aware Ad hoc networks”, *LNCS3983, ICCSA 2006*, pp. 594–602, 2006.
- [12] Scalable Network Technologies, Qualnet simulator version 3.8, www.scalable-networks.com.
- [13] IEEE Standards, *Information technology- Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition (R2003)*, 2003
- [14] E. S. Jung, N. H. Vaidya, “A power control MAC protocol for Ad hoc networks”, *Proceeding of ACM MOBICOM 2002*, pp. 36–47, 2002.

본 논문과 관련된 저자의 발표 논문

1. 학술대회논문집

- 강훈철, 한도형, 좌정우, “홈네트워크 서비스를 위한 WIPI 어플리케이션 개발”, 대한전기학회 · 대한전자공학회 · 한국통신학회 제주지부 합동발표대회 논문집, 2004. 8.
- 한도형, 강훈철, 고상보, 좌정우, “Ad Hoc 네트워크에서 톤을 이용한 MAC 프로토콜 구현”, 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, 2005. 6.
- 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”, 전자정보통신 학술대회, 2006. 12.
- 이은주, 한도형, 좌정우, “위치 정보 기반의 Ad hoc 네트워크에서 Tone을 사용한 Dual-Channel DMAC 프로토콜”, 대한전자공학회 하계학술대회, 2006. 6.

2. 게재 논문집

- 한도형, 좌정우, 박근현, “홈 네트워크 모바일 서비스를 위한 XML을 이용한 맥내 가전기기 자동 설정 방식”, 한국 콘텐츠학회 논문지 제5권 제5호, pp. 26-32, 2005.
- D. H. Han, J. W. Jwa, H. I. Kim, “A dual-channel MAC protocol using directional antennas in location aware Ad hoc networks”, *LNCS3983, ICCSA 2006*, pp. 594-602, 2006.

감사의 글

학위 논문이 결실을 맺기까지 많은 분들의 도움이 있었습니다. 부족하나마 이 글을 통해 그 분들에게 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

먼저, 저의 부족한 논문을 살펴주시고 부족한 점을 일깨워 주시고 항상 논리적인 사고를 갖도록 지도해 주신 좌정우 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 바쁘신 일정에서도 저의 논문을 검토해 주시고 심사해 주신 양두영 교수님과 임재운 교수님께 감사드립니다. 학부과정부터 대학원 석사과정을 졸업하기까지 많은 가르침을 주신 이용학 교수님, 문건 교수님, 김홍수 교수님, 임재운 교수님, 강진식 교수님께도 감사드립니다.

대학원 선배로서 많은 조언과 격려를 해주신 부식이형, 성욱이형, 권익이형, 봉수형, 상보형, 훈철이형 감사드립니다. 그리고 항상 제게 힘이 되어준 대학원 동기 창남, 지윤아 고맙다. 대학원 후배, 정현이형, 은주야 고맙다. 그리고 연구실 후배 동현, 창표, 종민, 경보 모두 고맙다. 통신공학과 조교선생님 진호형과 윤희에게도 감사의 마음을 전합니다.

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