

碩士學位論文

Ad Hoc 네트워크에서
Tri-채널 MAC 프로토콜 구현



濟州大學校 大學院

通信工學科

康 訓 哲

2006年 6月

Ad Hoc 네트워크에서
Tri-채널 MAC 프로토콜 구현

指導教授 左政祐

康訓哲

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2006年 6月



康訓哲의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 金興洙 印

委 員 梁斗榮 印

委 員 左政祐 印

濟州大學校 大學院

2006 年 6 月

Tri-channel MAC Protocol in Ad Hoc networks

Hoon-Chul Kang

(Supervised by professor Jeong-Woo Jwa)

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

2006. 6.

This thesis has been examined and approved.

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

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

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

(Name and signature)

2006. 6. 20

Date

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

Abstract	1
I. 서론	3
II. Ad Hoc MAC 프로토콜	7
1. Ad Hoc MAC 프로토콜 설계에서 고려사항	7
2. IEEE 802.11 MAC 프로토콜	9
3. 방향성 MAC 프로토콜	11
4. 이중채널 MAC 프로토콜	13
III. Tri-채널 Ad Hoc MAC 프로토콜	16
1. 전방향 안테나를 사용하는 Tri-채널 MAC 프로토콜	16
2. 방향성 안테나를 사용하는 Tri-채널 DMAC 프로토콜	19
3. 방향성 안테나와 톤을 사용하는 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜	25
IV. 성능평가	31
1. 시뮬레이션 환경	31
2. 시뮬레이션 시나리오	36
3. 시뮬레이션 결과 및 고찰	38
V. 결론	48
참고 문헌	51

Abstract

In this thesis, we propose tri-channel MAC protocol with the separated RTS, CTS, and data channels. In the proposed MAC protocol, the separated RTS and CTS channels reduce packet collisions on control channel in the dual-channel MAC protocol. In the dual- and tri-channel MAC protocols, the channel speed allocation for the separated channels is an important design parameter to obtain a good throughput performance of ad hoc networks. In this thesis, we divide the data rate of 2Mbps to the RTS channel speed of 0.6Mbps, the CTS channel speed of 0.4Mbps, and the data channel speed of 1Mbps by using simulation results.

In the proposed MAC protocol, the negative CTS mechanism solves the exposed terminal problem as that in the dual-channel MAC protocol. We also propose the tri-channel MAC protocol with directional antennas to improve spatial reuse. In the directional tri-channel MAC protocol, we apply an out-of-band tone to reduce the packet collision probability on the RTS and CTS channels. In this thesis, average throughputs of the proposed MAC protocols are confirmed by simulations using QualNet Ver. 3.8 simulator.

Simulation results show that the proposed MAC protocol improves average throughput by 150% and 32% relative to IEEE 802.11 MAC protocol and DUCHA MAC at the traffic load of 1Mbps in a single hop random topology, respectively. In a 5-hop random topology, the proposed MAC protocol improves average throughput by 84% and 21% relative to IEEE 802.11 MAC protocol and DUCHA MAC at the traffic load of 0.5Mbps. In directional transmissions, the proposed MAC protocol improves 20% in location unaware ad hoc networks and 18% in location aware ad hoc networks relative to DUDMAC at the traffic load of 1Mbps in a single hop random topology, respectively. The

proposed MAC protocol improves 14% in location unaware ad hoc networks and 9% in location aware ad hoc networks relative to DUDMAC at the traffic load of 0.5Mbps in a 5-hop random topology. The proposed DMAC with an out-of-band tone improves throughput by 13% in location unaware ad hoc networks and 15% in location aware ad hoc networks relative to ToneDUDMAC at the traffic load of 1Mbps in a single hop random topology, respectively. The proposed DMAC with an out-of-band tone improves throughput by 2% in location unaware ad hoc networks and 25% in location aware ad hoc networks relative to ToneDUDMAC at the traffic load of 0.5Mbps in a 5-hop random topology.

In this thesis, we propose a tri-channel MAC protocol with the separated RTS, CTS, and data channels. We discuss effects of channel speed allocation on throughput performance of ad hoc networks relative to node density. Simulation results show that the proposed MAC protocol has a good throughput performance relative to the single channel and dual-channel MAC protocols at high node density ad hoc networks.

I. 서론

Ad Hoc 네트워크는 백본(Backbone)망, AP(Access Point), 기지국과 같이 기반 구조를 갖는 네트워크와는 달리 데이터 포워딩/경로설정(Forwarding/Routing) 기능을 갖는 노드와 이동 단말로 구성되는 인프라가 없는 네트워크이다.(김중천 등 2002). Ad Hoc 네트워크는 기존의 기반구조를 갖는 네트워크에 비해 빠른 네트워크 구성과 구축비용이 저렴하다는 장점을 갖는다. Ad Hoc 네트워크는 전쟁지역, 재난지역 등에서 임시 네트워크와 센서 네트워크 등으로 응용된다.

Ad Hoc 네트워크에서 처리량 향상을 위해 매체 접근 제어(MAC) 프로토콜에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 전방향 안테나를 사용하는 IEEE 802.11 MAC(IEEE Standard 802.11 1999) 프로토콜이 Ad Hoc 네트워크의 MAC 프로토콜로 제안되었다. IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 패킷 간 충돌을 피하기 위해 데이터 전송기간 동안 통신 노드의 서비스 영역에 있는 노드들에게 데이터 전송을 못하게 한다. MAC 프로토콜에서 전방향 안테나의 사용은 낮은 공간 재사용율을 갖고 패킷 간 충돌 확률을 높게 한다(A. Nasipuri 등 2000). 최근에는 방향성 안테나를 사용하여 공간 재사용을 증가시키는 방식들이 제안되고 있다. 또한, 패킷 간 충돌을 방지하여 처리량을 향상시키기 위한 분리된 채널을 갖는 MAC 프로토콜들에 대한 연구가 이루어지고 있다.

Ad Hoc 네트워크에서 방향성 안테나의 사용은 두 가지 장점을 갖는다. 첫째, 통신 중인 두 노드의 커버리지 내에 있는 인접 노드들도 사용 중인 방향성 안테나의 커버리지 내에 있지 않으면 통신이 가능하게 되어 공간 재사용이 향상된다. 둘째, 방향성 전송은 특정 방향에 대해 지향성을 가지므로 커버리지 내 인접 노드들에 대한 간섭이 적어 패킷 충돌 확률을 줄일 수 있다.(R. R. Choudhury 등 2002). 그러나 방향성 안테나의 사용은 인접 노드들에게 통신 중임을 알릴 수 없어 인접 노드가 방향성으로 통신 중인 노드에 통신을 시도하여 RTS를 재전송하는 Deafness 문제가 발생한다. Deafness 문제는 특히 다중-홉 Ad Hoc 네트워크에서 처리량 성능을 현저하게 저하시키는 원인이 된다. Takai는 공간 재사용을

증가시키기 위한 새로운 DVCS(Directional Virtual Carrier Sensing) 메커니즘을 제안하였고 Roy Choudhury는 DVCS 메커니즘을 적용하여 공간 재사용을 향상시키는 DMAC(Directional MAC) 프로토콜을 제안하였다.(M. Takai 등 2002), (R. R. Choudhury 등 2002). 그러나 방향성 안테나의 사용으로 인한 Deafness 문제를 해결하지는 못하였다. Elabatt는 방향성 안테나를 사용하면서 안테나의 정보를 포함한 RTS/CTS 패킷을 모든 방향으로 전송하는 방안을 제안하였다. 전송되는 패킷의 정보를 통해 통신 중인 노드의 이웃 노드들은 자신의 통신에 사용할 안테나 패턴을 선택하게 된다. 그러나 노드들은 항상 모든 방향으로 RTS/CTS 패킷을 전송할 수 없기 때문에 여전히 Deafness 문제가 남아있다.(T. Elabatt 등 2003). Bandyopadhyay는 자신의 트래픽 패턴을 이웃 노드들에게 알리는 방안을 제안하였다. 그러나 추가적인 제어 메시지 사용으로 인한 오버헤드 문제가 있다.(S. Bandyopadhyay 등 2001). Korakis는 Deafness 문제와 같은 방향성 안테나를 사용하면서 발생하는 문제점들을 해결하기 위하여 안테나의 모든 방향에 대해서 순차적으로 RTS/CTS 패킷을 전송하는 Circular-DMAC 프로토콜을 제안하였다. 그러나 하나의 데이터를 전송하기 위해 안테나 패턴의 수만큼 RTS/CTS 패킷을 전송해야 하므로 너무 많은 패킷 전송이 요구된다는 문제점을 가지고 있다.(T. Korakis 등 2003). 또한, Deng은 숨은 노드 문제를 해결하기 위해 전방향으로 Busy Tone을 송수신하는 DBTMA(Dual Busy Tone Multiple Access) 프로토콜을 제안하였다.(J. Deng 등 1998). 그리고 Huang은 DBTMA 프로토콜을 방향성 안테나의 경우에 적용하여 데이터와 같이 Busy Tone 또한 방향으로 전송하는 방식을 제안하였다. 그러나 톤과 데이터의 동시 전송을 위해 다수의 송수신기를 사용해야 하고 방향성 전송으로 인한 Deafness 문제를 해결하지 못하였다.(Z. Huang 등 2002). Vaidya은 Busy Tone 사용을 위한 채널을 분리하여 하나의 송수신기를 통해 전송하는 Tone DMAC 프로토콜을 제안하였다. 이 방식은 DATA와 ACK 전송 후에 인접 노드들에게 전방향 톤을 전송하여 통신이 완료되었음을 알려 Deafness 문제로 인해 증가된 Back-off 기간을 초기화하도록 한다. 그러나 톤 사용은 Deafness 문제로 인해 패킷 충돌이 증가하는 문제는 해결하지 못한다.(R. R. Choudhury 등 2003)

이중-채널(Dual-channel : DUCHA) MAC 프로토콜은 제어채널과 데이터채널

로 분리된 채널을 사용하는 방식으로 NCTS(Negative CTS) 메커니즘을 사용하여 패킷 충돌을 줄이고 노출된 노드(Exposed Node Problem)를 해결하고 있다.(H. Zhai 등 2004). DUCHA MAC 프로토콜은 전체 대역폭을 제어채널과 데이터채널로 분리하여 사용해야 하는데 제어채널의 속도를 줄이면 패킷 충돌이 증가하고 데이터채널의 속도를 감소시키면 처리량 성능이 저하되므로 최적의 채널속도 배분 방식이 요구된다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 제어채널과 데이터채널에 대한 배분 값을 결정하였다.

본 논문에서는 DUCHA MAC 프로토콜에서 제어채널을 RTS채널과 CTS채널로 분리한 RTS, CTS, 데이터 채널을 갖는 Tri-채널 MAC 프로토콜을 제안한다. DUCHA MAC 프로토콜에서는 채널을 제어채널과 데이터채널로 분리하고 NCTS 메커니즘을 사용하여 숨은 노드 문제를 해결하였다. 그러나 노드의 밀도가 증가하면 제어채널에서 RTS와 CTS간 충돌이 증가하여 처리량 성능이 저하된다. 본 논문에서는 제어채널을 RTS와 CTS채널을 분리하고 시뮬레이션 통해 최적으로 RTS와 CTS 속도를 배분하여 패킷 충돌 확률을 줄여 처리량 성능을 향상시킨다. 방향성 안테나의 사용은 공간 재사용을 증가시키지만 Deafness 문제를 발생시킨다. 제안하는 프로토콜에서는 RTS와 CTS를 전방향으로 전송하면서 Deafness 문제를 해결하고, 데이터는 방향성으로 전송하여 공간 재사용을 향상시킨다. 또한 방향성 안테나와 톤을 사용하여 RTS와 CTS도 방향성으로 전송하고 RTS와 CTS를 방향성으로 전송하면서 발생하는 Deafness 문제를 톤을 사용하여 해결한 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜도 제안한다. 제안하는 프로토콜의 성능은 180노드 단일-홉 랜덤 토폴로지, 60노드 다중-홉 랜덤 토폴로지와 6×6, 5-홉 랜덤 토폴로지에서 트래픽이 증가함에 따른 네트워크 평균 처리량을 쉘넷 시뮬레이터 버전 3.8을 통해 확인한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 Ad Hoc MAC 프로토콜 설계할 때 고려해야 할 사항에 대해서 기술하고 IEEE 802.11 MAC 프로토콜에 대해 기술한다. 또한, Ad Hoc MAC 프로토콜에서 방향성 안테나를 사용한 DMAC(Directional MAC) 프로토콜과 제어채널과 데이터채널을 분리한 이중-채널 MAC 프로토콜에 대해 기술한다. III장에서는 본 논문에서 제안하는 전방향 안테나를 사용한 Tri-채널 MAC 프로토콜, 방향성 안테나를 사용한 Tri-채널

DMAC 프로토콜, 방향성 안테나와 톤을 사용한 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜에 대해 설명한다. IV장에서는 쉘넷 시뮬레이터를 통해 제안된 MAC 프로토콜의 성능을 확인하고 V장에서 결론을 맺는다.



II. Ad Hoc MAC 프로토콜

1. AD Hoc MAC 프로토콜 설계에서 고려사항

본 절에서는 Ad Hoc MAC 프로토콜 설계 시 고려해야 할 사항 중 가장 중요한 사항인 숨은 노드와 노출된 노드 문제, 그리고 방향성 안테나를 사용함으로써 생기는 Deafness 문제에 대해서 설명한다.

1) 숨은 노드와 노출된 노드 문제

Ad Hoc 네트워크에서 MAC 프로토콜 설계 시 항상 고려해야 하는 문제점으로 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 패킷 전송을 시도하면서 발생하는 패킷 충돌이 그 원인으로 Fig. 1에서 보듯이 송신 노드 S1과 S2는 서로의 커버리지에 속해있지 않으면서 수신 노드 R1의 커버리지에 속해있다. 이러한 경우 두 노드 S1과 S2가 서로의 상태를 모르고 동시에 패킷을 전송하면 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 패킷을 송수신 할 수 없게 되는 문제점이다. 노드 S1이 노드 R1과 이미 통신이 진행 중이라면 노드 S3의 패킷 전송 시도는 이미 진행 중인 통신에 영향을 주기 때문에 노드 S3은 노드 R2로 패킷을 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 안테

나의 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 RTS/CTS 교환을 통하여 이웃 노드들에게 자신의 통신 상태를 알려 핸들링이 가능하지만 방향성 전송으로 인한 Deafness라는 새로운 문제점이 나타난다.

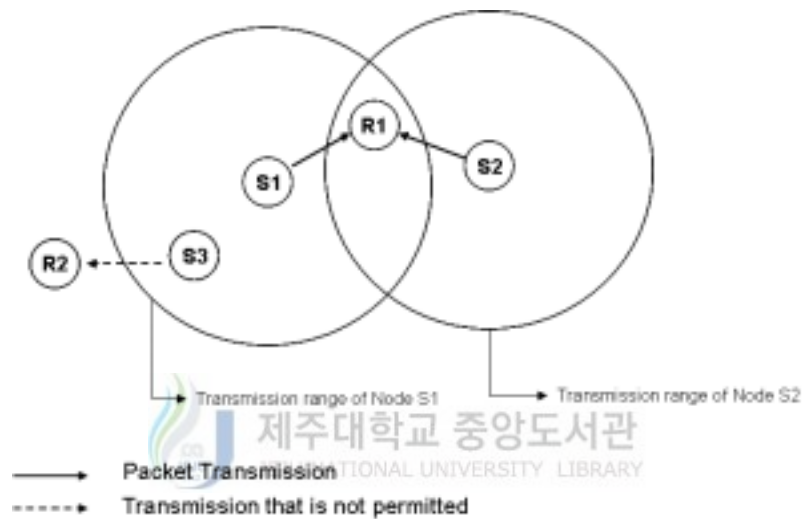


Fig. 1. Hidden and exposed terminal problems.

2) Deafness 문제

Deafness는 패킷 전송이 방향성으로 이루어지면서 발생하는 문제점으로 임의의 노드 X가 임의의 노드 Y로 패킷 전송을 시도하지만 노드 Y가 다른 노드와 통신 중이기 때문에 발생하는 문제이다.(Hrishikesh Gossain 등 2004),(R.R. Choudhury 등 2004). 노드 X가 노드 Y로 재전송을 시도하게 되고 재전송으로 인해 백오프 기간(backoff period)이 지수적으로 증가하고 재전송으로 인해 패킷 충돌로 인해 처리량 성능이 저하된다. Fig. 2에서 노드 A는 노드 B로 통신 요청을 위한 RTS

를 전송한다. 하지만 노드 B는 노드 C와 통신이 진행 중이기 때문에 노드 A가 전송한 RTS를 수신하지 못한다. 노드 A는 자신이 전송한 RTS가 충돌이 일어났다고 판단하여 지수적으로 백오프 기간을 증가시키면서 RTS를 재전송한다. 이러한 과정을 반복하면서 노드 A는 결국 패킷 전송을 실패하게 되고 전체 네트워크의 성능을 저하시키는 요인으로 작용한다. 이러한 Deafness 문제는 노드 B가 연속적인 데이터를 전송하는 경우에 심각한 문제점으로 작용한다. 이렇듯 방향성 전송은 공간의 재사용을 증가시키고 주변 노드에 대한 간섭을 줄일 수 있지만 전송 실패로 버려지는(dropped) 패킷의 증가와 재전송 횟수의 증가를 초래한다. 이는 전방향 안테나를 사용하는 시스템에서 발생하는 숨은 노드 문제와 유사하다.

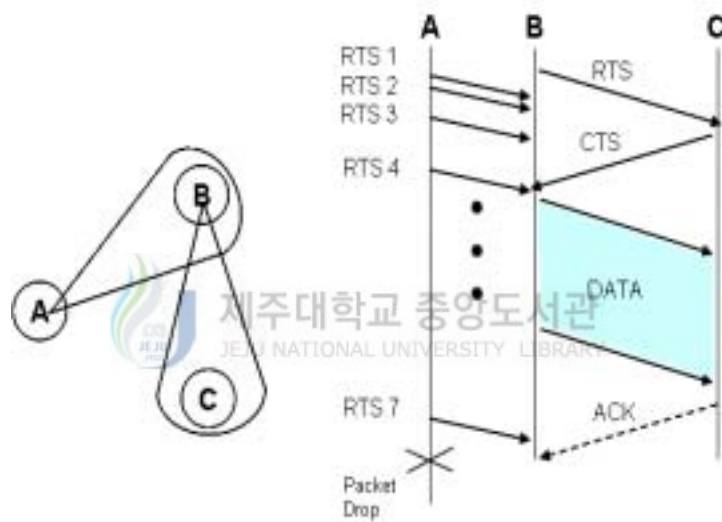


Fig. 2. The problem of deafness: Node A retransmits RTS to node B in deafness and retransmissions exponentially increases node A's backoff period.

2. IEEE 802.11 MAC 프로토콜

1980년대 말 FCC가 비 허가대역을 개인 용도로 활용할 수 있도록 허가한 것을

시작으로 1990년대 군수용 무선기기 업체인 Proxim사와 Symbol사에 의해서 Wireless LAN 시장이 개척된 뒤 1997년 6월 미국 IEEE에 의한 IEEE 802.11이 표준안으로 채택되며 체계적 연구가 이루어지게 되었다. 무선랜 방식의 표준안은 IEEE 802.11, 유럽 ETSI의 BRAN 위원회의 하이퍼랜 규격, 일본 MMAC-PC의 규격이 있다. IEEE 802.11은 인가 없이 사용할 수 있는 ISM(industrial, scientific and medical)밴드의 2.4 GHz를 사용하여 2Mbps까지 전송할 수 있는 IEEE 802.11, 기존 802.11 변복조 기술을 일부 변경하여 전송속도를 11Mbps까지 고속화한 802.11b, 5 GHz대역에서 6~54Mbps의 전송속도를 제공하는 OFDM 방식의 IEEE 802.11a 규격이 있다.

IEEE 802.11의 MAC 방식은 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)를 사용하는 DCF(Distributed Coordination Function) 방식과 유선 LAN에는 거의 사용되지 않는 여러 개의 무선 노드가 기지국을 통해 연결된 경우에 적합한 중앙제어방식인 PCF(Point Coordination Function)가 있다. CSMA/CA 방식은 무선 LAN의 일반적인 MAC 알고리즘으로서 송신측에서 CTS를 받지 못하면 일정횟수만큼 RTS를 보낸 다음, 그래도 CTS를 받지 못한다면 일정시간 대기한 후 다시 RTS를 보냄으로써 통신의 신뢰성을 높이는 방식이다.

1) IEEE 802.11 MAC 프로토콜

IEEE 802.11 DCF는 실제 데이터를 전송하기 전에 RTS와 CTS를 교환하여 채널을 예약한다. RTS 프레임에는 데이터를 전송하는 송신지 주소와 NAV 설정에 사용되는 Duration Field가 포함되어 있다. RTS 패킷을 수신한 노드는 RTS 패킷에 대한 응답으로 CTS 패킷을 전송하고 나머지 노드들은 자신의 NAV를 RTS 패킷에 포함된 Duration Field의 값으로 설정한 뒤, NAV를 줄여가면서 매체접근을 시도한다. RTS/CTS 패킷의 끝나면, 송신 노드는 데이터 전송을 시작하고 수신 노드는 ACK를 전송한다. 모든 패킷에는 Duration Field가 포함되어 있고, 노드들은 현재 NAV보다 더 큰 Duration Field를 수신할 경우에만 NAV를 갱신한다. NAV가 0이 되면 노드들은 목적지 노드가 유희상태라고 판단하고 DIFS 동안 기다린 뒤 자신의 Back-off 시간을 줄여가면서 매체접근을 시도한다. RTS/CTS

의 사용을 통한 Virtual Carrier Sensing은 숨은 노드 문제를 해결한다.

Fig. 3은 802.11 DCF의 동작과정을 나타낸 것이다. 통신을 하고자 하는 노드가 사용 중일 때는 Back-off 시간을 실행시킨다. 각 노드의 Contention Window는 (CW_{max})와 (CW_{min}) 사이의 값을 갖고 통신에 성공하면 CW 값을 CW_{min} 으로 초기화한다. Back-off 시간이 0에 도달하면 노드는 통신을 시도하고 만약 충돌이 발생하면 Back-off 시간을 두 배로 늘려 충돌확률을 줄인다. 노드는 데이터를 통신하기 전에 메시지의 우선순위를 정하기 위해서 Interframe Spacing이라는 짧은 시간 동안 기다렸다 데이터를 전송한다. RTS를 보내기 전에는 DIFS, CTS나 ACK를 보내기 전에는 DIFS보다 짧은 SIFS 구간만큼 기다린 뒤 메시지를 보낸다.

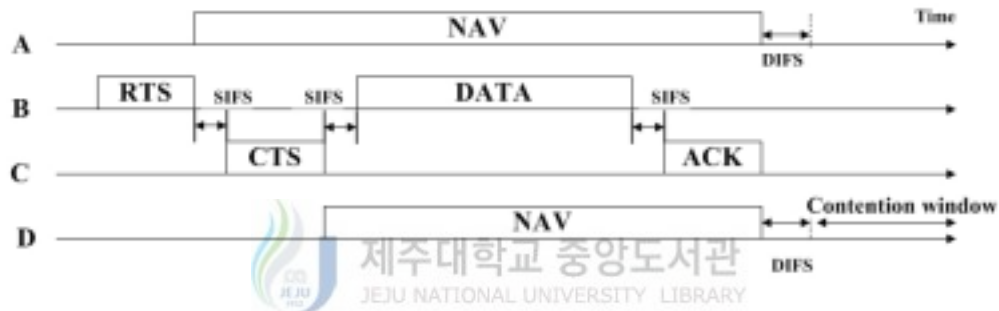


Fig. 3. The operation of IEEE 802.11 MAC protocol.

3. 방향성 MAC 프로토콜

방향성 MAC(Directional MAC : DMAC) 프로토콜은 IEEE 802.11과 많은 부분 유사하고 RTS, CTS, DATA, ACK 메커니즘을 사용하고 각 노드는 전방향 안테나와 N-패턴의 방향성 안테나를 사용한다. DMAC 프로토콜은 공간 재사용을 증가하면서 Deafness 문제를 최소화하기 위해 각 노드의 블로킹 상태에 따라 전방향 RTS(Ominidirecitonal RTS : ORTS) 또는 방향성 RTS(Directional RTS : DRTS)를 사용한다. 각 노드는 통신을 시도중인 노드로부터 RTS 또는 CTS를 엿

들으면 노드의 해당 방향성 안테나의 상태를 블로킹 상태로 설정한다. 노드가 데이터 전송을 시도할 하나 이상의 방향성 안테나가 블로킹 상태로 확인되면 방향성 안테나를 사용하여 공간 재사용을 위해 DRTS를 전송한다. 노드의 방향성 안테나들이 블로킹 상태가 아니면 Deafness 문제를 해결하기 위해 ORTS를 전송한다.

Fig. 4는 DMAC 프로토콜의 동작과정을 나타낸 것이다. 노드 B는 방향성 안테나들이 블로킹되지 않아 ORTS를 전송한다. 노드 C는 OCTS로 응답하고 노드 B와 C간 방향성 DATA(DDATA)와 방향성 ACK(DACK)를 주고받아 데이터 전송을 완료한다. 노드 C의 커버리지내에 있는 노드 D는 노드 C의 OCTS를 엿들어 해당 방향성 안테나를 블로킹 상태로 설정한다. 노드 D가 노드 E로 데이터를 전송할 때 하나의 방향성 안테나가 블로킹 상태이므로 DRTS를 노드 E로 전송한다. 이와 같은 과정을 통해 공간 재사용을 증가시키고 처리량 성능을 향상시킨다.

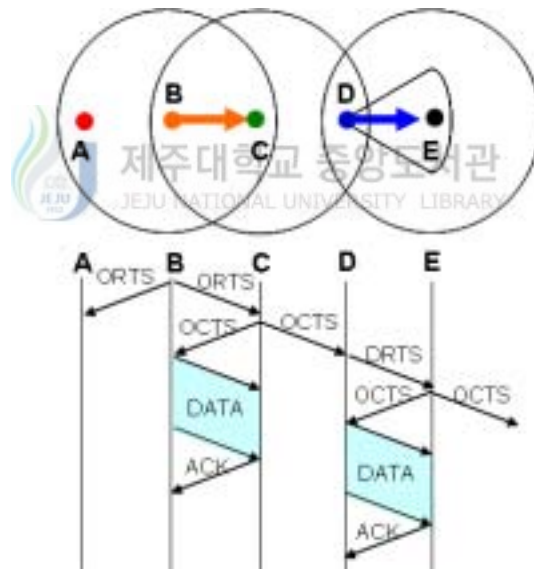


Fig. 4. Operation of D-MAC protocols.

Fig. 5는 방향성 전송으로 인해 발생하는 Deafness 문제를 나타낸 것이다. 노드 B가 블로킹된 방향성 안테나를 갖고 있어 DRTS를 노드 C로 전송하는 경우 노드 A는 노드 B가 통신 중임을 알 수 없다. Deafness 상태인 노드 A가 노드 B로 RTS를 전송하면 노드 B로부터 어떠한 메시지도 수신하지 못한다. 노드 A는

Back-off 시간 이후에 RTS를 재전송하게 되고 재전송할 때 마다 지수적으로 Back-off 구간을 증가시킨다. Deafness 문제는 Back-off 구간을 증가시켜 처리량 성능을 저하시킨다. 또한, RTS 재전송은 인접 노드에 간섭신호로 작용하여 패킷 충돌을 증가시킨다.

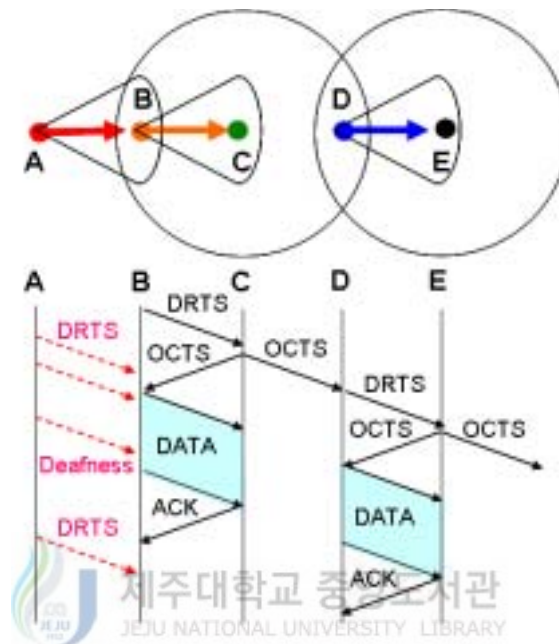


Fig. 5. Deafness problems of D-MAC.

4. 이중채널 MAC 프로토콜

이중-채널 MAC(Dual-channel MAC : DUCHA MAC) 프로토콜은 컨트롤 채널과 데이터 채널로 분리된 채널과 Busy Tone을 사용한다. DUCHA MAC 프로토콜에서는 RTS 패킷과 CTS 패킷은 컨트롤 채널을 통해서 데이터 패킷은 데이터 채널을 통해서 전송한다. 분리된 채널과 negative CTS(NCTS) 메커니즘은 공간 재사용을 증가시키고 데이터 채널에서 패킷의 충돌을 줄일 수 있다.

Fig. 6은 DUCHA MAC 프로토콜의 동작과정을 나타낸 것이다. 노드는 제어채

널로 RTS를 전송하고 CTS를 수신하고 데이터채널로 DATA를 전송한다. 수신 노드는 DATA를 수신하는 동안 Busy Tone를 전방향으로 전송한다. DATA 수신 이 성공적으로 완료되면 Busy Tone 전송을 종료하고 그렇지 않으면 Busy Tone 을 NACK 기간 동안 전송하여 NACK 신호로 사용한다. 송신 노드는 NACK 기간 동안 Busy Tone이 수신하면 되면 재전송을 시도하여 숨은 노드 문제를 해결한다.

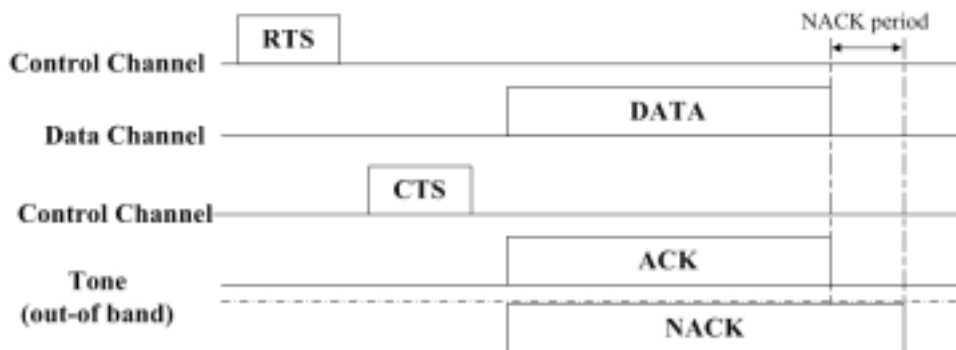


Fig. 6. The operation of the DUCHA MAC protocol with separated control and data channels.



Fig. 7은 노출된 노드 문제를 해결하기 위한 NCTS 메커니즘의 동작과정을 나타낸 것이다. 노드 A는 제어채널로 RTS를 전송하고 노드 B는 제어채널로 CTS를 전송한다. 노드 A의 커버리지에 있는 노드 D는 노드 A의 RTS를 엿듣게 되고 노드를 블로킹 상태로 설정한다. 노드 D가 노드 C로부터 RTS를 수신하면 자신이 블로킹 상태이므로 CTS 대신에 NCTS를 전송한다. NCTS를 수신한 노드 C는 타이밍 정보를 이용하여 일정시간 기다린 후에 RTS 전송을 시도한다. 이와 같은 과정으로 노출된 노드 문제를 해결한다.

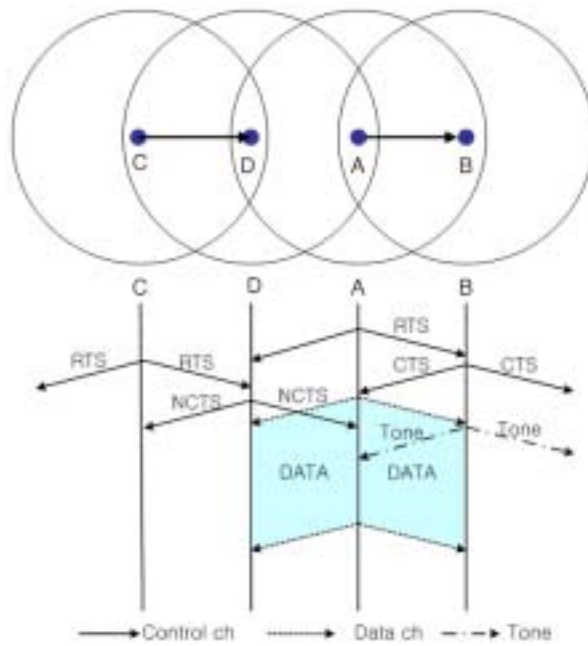


Fig. 7. The NCTS mechanism to solve the exposed terminal problem.

III. Tri-채널 Ad Hoc MAC 프로토콜

DUCHA MAC 프로토콜에서는 채널을 제어채널과 데이터채널로 분리하고 NCTS 메커니즘을 사용하여 노출된 노드 문제를 해결하여 RTS 재전송으로 인한 패킷 충돌을 줄인다. DUCHA MAC에서 노드의 밀도가 증가하면 제어채널에서 RTS와 CTS간 충돌이 증가하게 된다. 본 장에서는 RTS와 CTS간 충돌을 피하기 위해 DUCHA MAC 프로토콜에서 제어채널을 RTS와 CTS 채널로 분리한 Tri-채널 MAC 프로토콜에 대해 설명한다. 제안하는 Tri-채널 MAC 프로토콜은 주어진 대역폭을 RTS, CTS, 데이터 채널에 최적으로 할당하여 제어채널에서 패킷 충돌을 줄이면서 처리량을 향상시킨다. DUCHA MAC 프로토콜에서와 같이 각 채널에 대한 대역폭의 할당은 처리량 성능 향상을 위한 중요한 설계 파라미터이다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 최적의 RTS, CTS, 데이터 채널 속도를 구하여 시뮬레이션에 사용하였다. 본 논문은 전방향 안테나를 사용하는 Tri-채널 MAC 프로토콜, Deafness 문제를 해결하면서 공간 재사용 향상을 위한 방향성 안테나를 갖는 Tri-채널 DMAC 프로토콜, 제어채널의 공간 재사용을 향상시키기 위한 튜닝된 Tri-채널 DMAC 프로토콜을 제안하고 있다.

1. 전방향 안테나를 사용하는 Tri-채널 MAC 프로토콜

본 절에서는 제어채널을 RTS, CTS 채널로 분리한 Tri-채널(Tri-channel: TRICHA) MAC 프로토콜에 대해 설명한다. 제안하는 MAC 프로토콜에서는 RTS는 RTS 채널로, CTS는 CTS 채널로, DATA와 ACK는 DATA채널로 전송된다. 제어채널을 RTS와 CTS 채널로 분리하여 RTS와 CTS간 충돌을 줄여 노드의 밀도가 증가하는 경우 처리량 성능을 향상시킨다. 노드의 밀도가 증가함에 따라 Tri-채널 MAC, 이중-채널 MAC, 단일-채널 MAC 프로토콜 순으로 처리량 성능

을 갖게 된다.

Fig. 8은 제안하는 Tri-채널 MAC 프로토콜을 나타낸 것이다. MAC 계층에서 패킷전송을 요청하면 물리계층에서는 RTS를 전송하기 전에 RTS채널을 센싱한다. 만약 RTS 채널이 사용 중이면 다른 노드와의 충돌을 피하기 위해 Back-off 시간 동안 기다린다. RTS 채널이 휴지상태이면 노드 A는 노드 B로 RTS 채널로 RTS를 전송하고 노드 B는 CTS채널로 CTS를 전송한다. CTS를 수신한 노드 A는 데이터채널로 DATA를 전송하고 노드 B는 DATA를 정상적으로 수신하면 ACK를 전송하여 데이터 전송이 완료된다. 제안하는 MAC 프로토콜에서는 DUCHA MAC 프로토콜에서와 같이 NCTS 메커니즘을 사용하여 노출된 노드 문제를 해결한다.

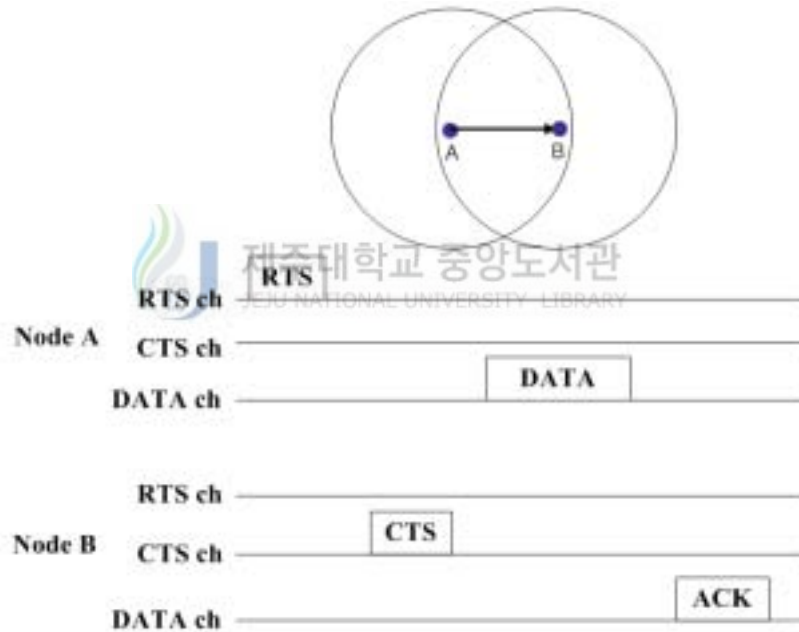


Fig. 8. The operation of the tri-channel MAC protocol with the separated RTS, CTS and DATA channel.

Fig. 9는 제안된 프로토콜의 동작과정을 나타낸 것이다. Fig. 9(a)는 DUCHA MAC 프로토콜에서 RTS와 CTS간 충돌을 나타내고 있다. 노드 A가 노드 B로 제

어채널로 RTS를 전송하고 노드 B는 CTS를 전송한다. 이때 노드 C가 노드 D로 RTS를 전송하면 노드 D에서 노드 C의 RTS와 노드 B의 CTS간 충돌이 발생하고 데이터가 손실된다. Fig. 9(b)는 본 논문에서 제안하는 Tri-채널 MAC 프로토콜에서 RTS와 CTS간 충돌을 피하는 동작을 나타낸 것이다. Fig 9(a)와 같이 노드 A는 노드 B로 RTS 채널로 RTS로 전송하고 노드 B는 분리된 CTS채널로 CTS를 전송한다. 이때 노드 C가 노드 D로 RTS 채널로 RTS를 전송하여도 노드 D에서 노드 C의 RTS와 노드 B의 CTS간 충돌이 발생하지 않는다. 노드의 밀도가 증가하면 제안한 MAC 프로토콜은 RTS와 CTS간 충돌을 현저하게 감소시키고 처리량을 향상시킨다.

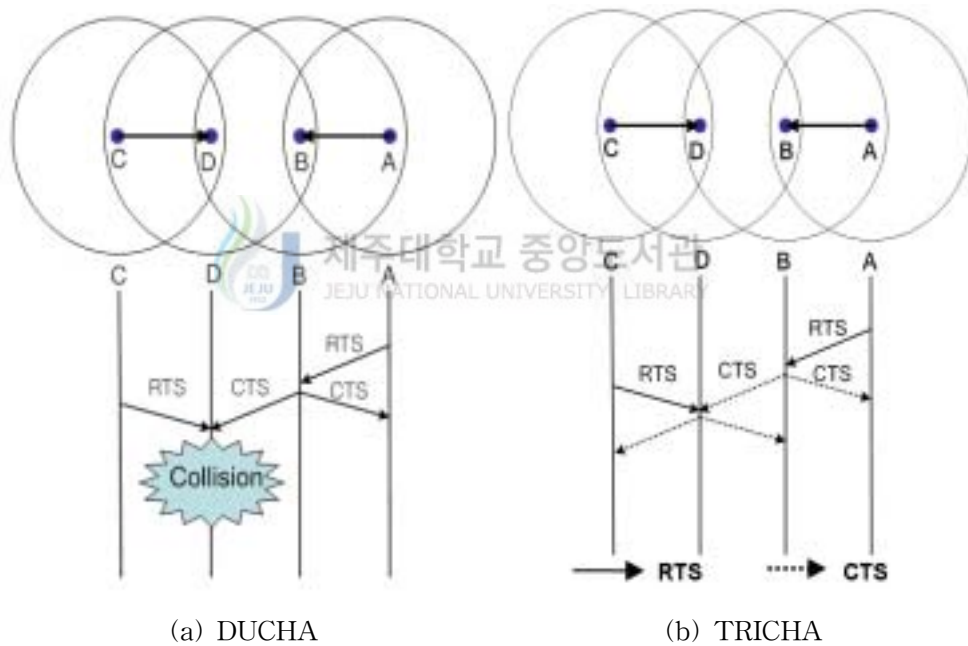


Fig. 9. The operation of the tri-channel MAC protocol with the separated RTS and CTS channels : the proposed MAC protocol reduces RTS and CTS collisions.

2. 방향성 안테나를 사용하는 Tri-채널 DMAC 프로토콜

1) 위치정보를 모르는 Ad Hoc 네트워크를 위한 MAC 프로토콜

Fig. 10은 방향성 안테나를 사용하는 방향성 안테나를 사용하는 Tri-채널 DMAC 프로토콜을 나타낸 것이다. 방향성 안테나를 사용하는 Tri-채널 DMAC 프로토콜은 Deafness 문제를 해결하기 위해 RTS 채널로 RTS를 전방향 안테나를 사용하여 전송하고 CTS는 CTS 채널로 전방향 전송한다. DATA와 ACK는 공간 재사용을 향상시키기 위해 DATA채널을 통해 방향으로 전송한다. 노드가 블로킹 상태이면 NCTS와 NDATA를 CTS 채널로 전송하며 통신이 불가능함을 알리는데 사용한다. 통신을 원하는 노드는 안테나 패턴의 블로킹 상태에 상관없이 전방향으로 RTS를 전송한다. RTS를 수신한 목적지 노드는 RTS를 수신한 방향성 안테나가 언블로킹일 경우 전방향으로 CTS를 전송한다. CTS를 수신한 발신 노드는 CTS를 수신한 방향성 안테나가 언블로킹 상태일 경우 데이터채널을 통해 DATA를 방향으로 전송하고 수신 노드는 DATA가 정상적으로 수신되면 ACK를 전송하고 통신을 종료한다. RTS 또는 CTS를 수신한 방향의 안테나가 블로킹인 경우 NCTS 또는 NDATA를 각각 전송하게 된다. Fig. 11은 NCTS와 NDATA 메커니즘의 동작과정을 나타낸 것이다. 노드 A와 노드 C는 서로 통신 중이다. 이때 노드 B는 블로킹 알고리즘을 통해 노드 A를 향한 안테나 패턴과 노드 C를 향한 안테나 패턴을 블로킹 상태로 설정한다. Fig. 11(a)에서 노드 D가 RTS를 전송하면 이를 수신한 노드 B는 블로킹된 방향성 안테나로 방향으로 RTS를 수신하였기 때문에 데이터채널로 전송을 할 수 없게 된다. 이 경우 노드는 NCTS를 전송하여 통신을 할 수 없음을 수신 노드에 알리고 통신을 종료한다. NCTS를 수신한 노드는 NCTS 필드 정보를 이용하여 통신종료 시간을 예측하고 RTS를 재전송한다. Fig. 11(b)에서 노드 B가 노드 D로 RTS를 전송하고 CTS를 수신한다. 노드 B는 블로킹된 방향성 안테나 방향으로 CTS를 수신하여 DATA 채널로 전송할 수 없음을 알리기 위해 NDATA를 전송하고 통신을 종료한다.

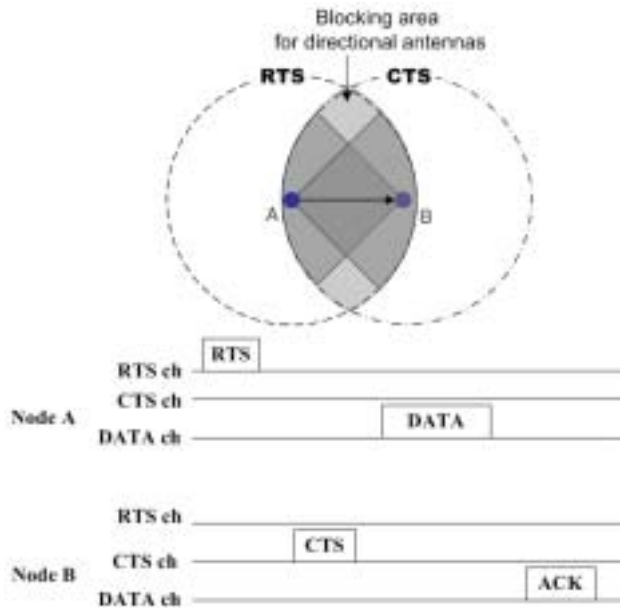


Fig. 10. The operation of the tri-channel DMAC protocol for location unaware ad hoc networks.

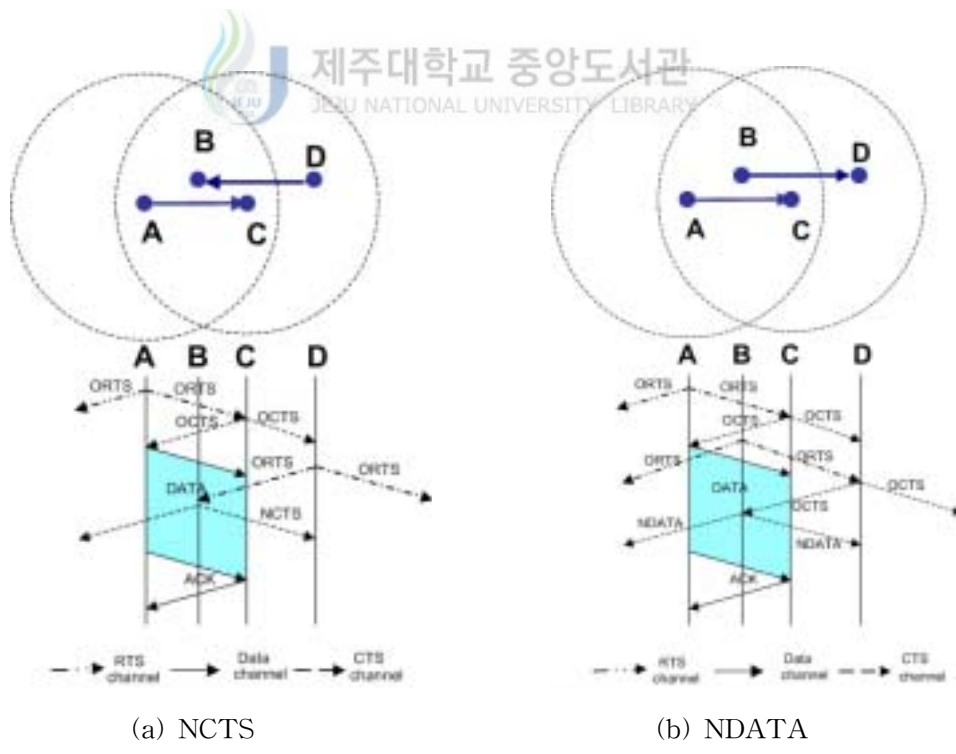


Fig. 11. The operation of the NCTS and NDATA mechanisms.

□ 블로킹 알고리즘

제안하는 프로토콜은 N개의 안테나 패턴으로 이루어진 스위치드 빔 안테나를 사용한다. RTS와 CTS 채널에서는 전방향 전송이 이루어지고, 데이터채널에서는 방향성 전송이 이루어진다. 각 방향성 안테나는 다른 노드로부터 RTS 또는 CTS를 엿듣는 결과에 따라 블로킹 또는 언블로킹 상태로 설정된다. 방향성 안테나가 블로킹 상태이면 데이터채널을 사용할 수 없게 된다.

제안하는 MAC 프로토콜은 수신 노드의 위치를 모르기 때문에 DRTS 대신에 ORTS를 사용해야 한다. 본 논문에서는 제어채널에서 공간 재사용을 향상시키기 위해 OCTS를 사용하고 ORTS와 OCTS가 겹치는 영역을 블로킹 영역으로 정의하였다. RTS와 CTS 채널에서 전방향 전송은 Deafness 문제를 해결한다. Fig. 12는 6-개 패턴을 갖는 방향성 안테나를 위한 블로킹 영역을 나타낸 것이다. 노드 A와 노드 B가 통신을 시도할 때 인접 노드들 중 블로킹 영역에 위치하면 RTS 또는 CTS를 수신한 방향성 안테나를 블로킹으로 설정한다. RTS와 CTS가 겹치는 영역으로 설정하여 RTS 또는 CTS를 엿듣는 인접 노드들의 방향성 안테나의 블로킹을 줄여 제어채널에서 공간 재사용을 향상시킬 수 있다.

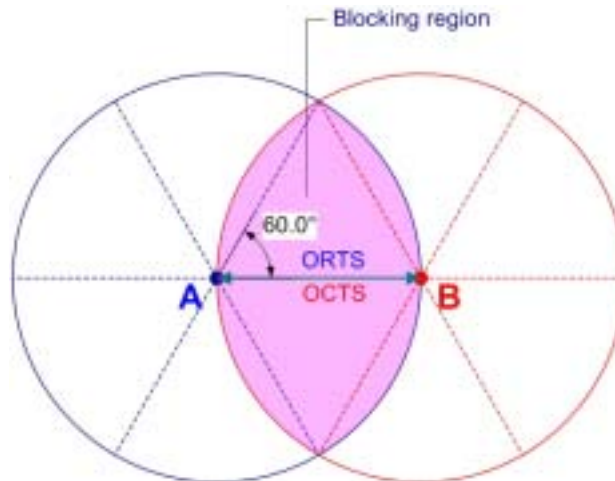


Fig. 12. Blocking area for 6-pattern directional antenna used on data channel.

2) 위치정보 인지 Ad Hoc 네트워크를 위한 MAC 프로토콜

Fig. 13은 위치정보를 아는 Ad Hoc 네트워크를 위한 방향성 안테나를 사용하는 Tri-채널 DMAC 프로토콜을 나타낸 것이다. 방향성 안테나를 사용하는 Tri-채널 DMAC 프로토콜은 ORTS, OCTS, DDATA, DACK 메커니즘을 사용한다. 제안한 MAC 프로토콜에서 RTS 또는 CTS를 엿들은 노드는 블로킹 알고리즘을 통해 데이터채널에서 충돌이 발생할 경우에만 해당 방향성 안테나를 블로킹으로 설정한다. 노드에서 RTS를 전송할 때 블로킹된 방향성 안테나에 목적지 노드가 있으면 블로킹 타이머를 동작시키고 타이머가 종료되면 RTS를 전송한다. 반대로 블로킹된 방향성 안테나로 RTS가 수신되면 CTS 대신 NCTS를 전송한다. NCTS를 수신한 노드는 주어진 시간만큼 타이머를 동작시키고 타이머가 종료되면 RTS를 재전송한다.

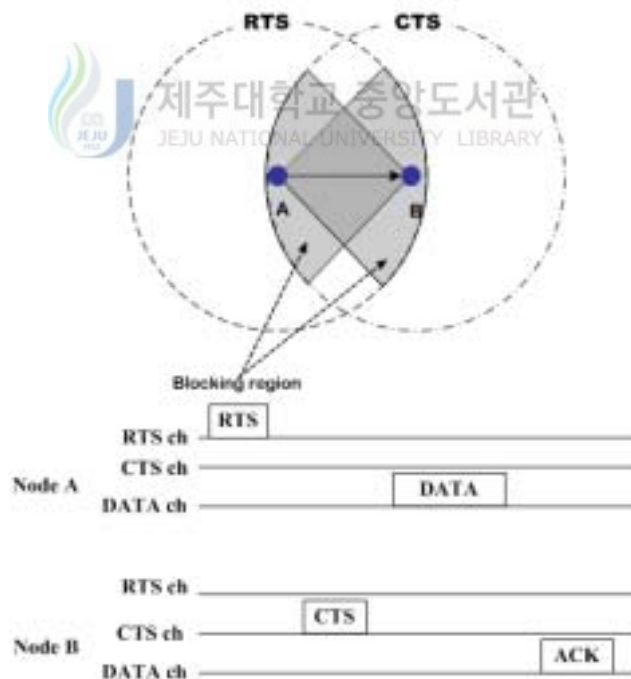


Fig. 13. The operation of the tri-channel DMAC protocol for location aware ad hoc networks.

□ 블로킹 알고리즘

RTS와 CTS 채널에서 Deafness 문제를 해결하기 위해 전방향으로 RTS와 CTS를 전송한다. RTS 또는 CTS를 엿듣는 노드는 자신이 데이터채널로 전송되는 DATA 또는 ACK의 커버리지에 속하는지 판단한다. 이를 위해 RTS 또는 CTS를 전송할 때 프레임 헤더에 정북방향을 기준으로 송신하는 방향성 안테나 패턴의 중심각을 포함해서 전송한다.

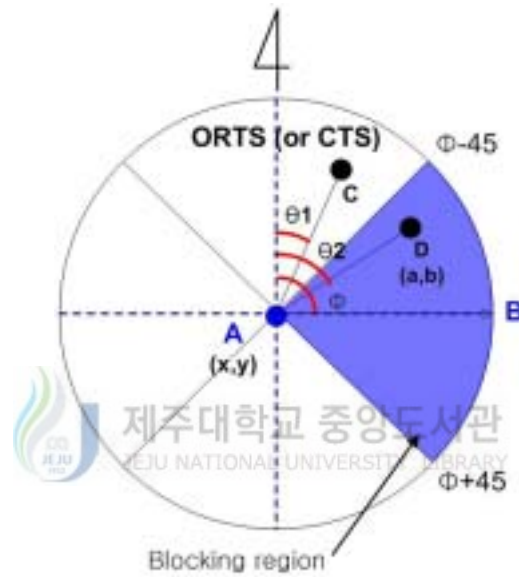


Fig. 14. The node C and D overheard RTS/CTS determine the blocked directional antenna.

Fig. 14에서 노드 A가 노드 B로 RTS 또는 CTS를 전송할 때 이를 엿듣는 노드 C와 D는 RTS 또는 CTS의 정보를 이용하여 노드 A의 블로킹 영역에 포함되는지 결정한다.

- ① 노드 A는 RTS(또는 CTS) 헤더에서 정북방향을 기준으로 한 전송 안테나 패턴의 중심 각도를 포함하여 전송한다. Fig. 14와 같이 안테나 패턴수가 4개이면 중심각이 ϕ 일 때 DATA(또는 ACK)를 전송하는 방향성 안테나의 전송 패턴이

범위는 $\phi - 45^\circ \leq \text{패턴범위} \leq \phi + 45^\circ$ 가 된다.

- ② 노드 C와 D는 Fig. 14에처럼 노드 A의 좌표를 바탕으로 정북방향을 기준으로 각도 θ_1 과 θ_2 를 계산한다.

if ($a - x \geq 0$ AND $b - y > 0$)

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{b-y}{a-x}\right)$$

if ($a - x > 0$ AND $b - y \leq 0$)

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{-(b-y)}{a-x}\right) + 90$$

if ($a - x \leq 0$ AND $b - y < 0$)

$$\theta = \tan^{-1}\left(-\frac{b-y}{a-x}\right) + 180$$

if ($a - x < 0$ AND $b - y \geq 0$)

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{b-y}{-(a-x)}\right) + 270$$

- ③ 노드 D와 같이 상대각도 θ 가 $\phi - 45^\circ \leq \text{패턴범위} \leq \phi + 45^\circ$ 에 존재하면 노드 A의 옆들은 RTS(또는 CTS) 수신 방향의 안테나 패턴을 블로킹으로 설정한다.

□ Deafness 테이블

Deafness 문제를 해결하기 위해 Fig. 15와 같은 Deafness 테이블을 사용한다. overheard RTS/CTS를 수신하면 Deafness 테이블에 등록하고 이를 바탕으로 노드의 커버리지에 존재하는 노드들의 Deafness 여부를 판단한다. RTS를 전송할 때 블로킹되지 않은 안테나 패턴에 목적지 노드가 존재하는 경우 목적지 노드가 Deafness 테이블에 있으면 목적지 노드가 통신을 종료할 때까지 Deafness 타이머를 동작시키고 ACK를 수신하거나 타이머가 종료되면 Deafness 테이블에서 해당 노드의 정보를 삭제하여 Deafness를 해제하고 RTS를 전송한다.

Source Address	Destination Address	Frame Type	RxTime
----------------	---------------------	------------	--------

Fig. 15. Deafness Table

3. 방향성 안테나와 톤을 사용하는 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜

1) 위치정보를 모르는 Ad Hoc 네트워크를 위한 MAC 프로토콜

위치정보를 모르는 Ad Hoc 네트워크를 위한 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜은 Fig. 16과 같이 ORTS, DCTS, DDATA, DACK 메커니즘을 사용한다. 제안하는 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜은 이웃 노드의 위치정보를 모르기 때문에 ORTS를 사용하고 DCTS를 사용하여 패킷 충돌을 줄이고 있다. DCTS 사용으로 발생할 수 있는 Deafness 문제를 해결하기 위해서 OCTS_Tone를 사용한다.

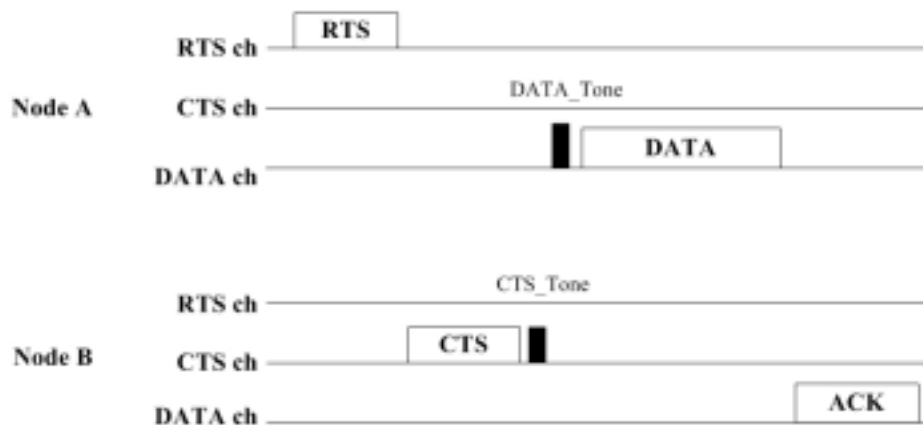


Fig.16. The operation of the tone tri-DMAC protocol with the separated RTS, CTS and DATA channels.

Fig. 17은 제안하는 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜의 동작과정을 나타낸 것이다. 노드 A는 ORTS를 전송하고 노드 B는 DCTS를 전송한다. 이때 DCTS 전송으로 발생할 수 있는 Deafness 문제를 해결하기 위해 OCTS_Tone를 전송한다. 이를 엿듣는 노드 C, D, E는 노드 B를 Deafness 테이블에 등록된다. 노드 A는 DCTS를 수신한 후 DDATA_Tone을 전송하는데 이는 블로킹 영역을 줄이고, 공간 재사용을 가능하게 한다.

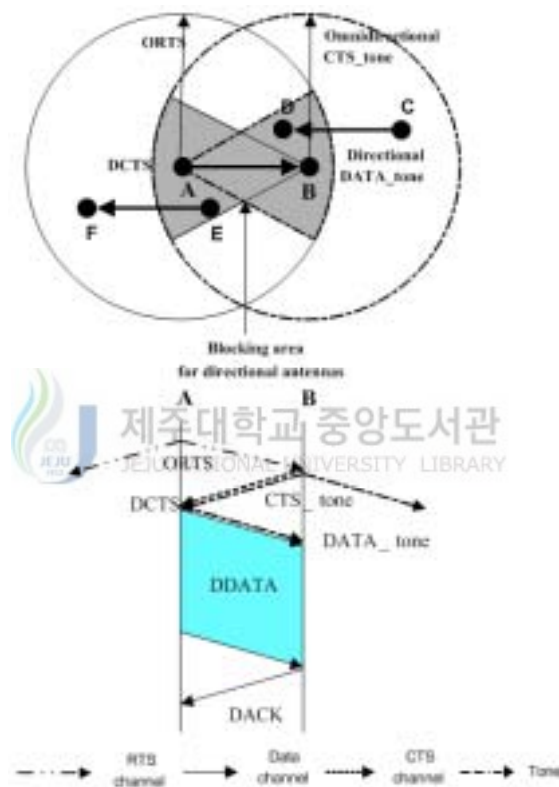


Fig. 17. The operation of the tone tri-DMAC protocol for location unaware ad hoc networks.

Fig. 18은 Fig. 17의 노드 C, D, E, F의 동작과정을 보여준다. 노드 D는 노드 A의 DDATA_Tone을 엿듣고 해당 방향성 안테나를 블로킹으로 설정한다. 또한, 노드 E는 노드 B의 DCTS를 엿듣고 해당 방향성 안테나를 블로킹으로 설정한다. 노

드 C가 노드 D의 블로킹된 방향성 안테나로 RTS를 전송하면 DUCHA MAC 프로토콜과 같이 NCTS를 전송하여 노출된 노드 문제를 해결한다. 또한, 노드 E가 ORTS를 노드 F로 전송하고 블로킹된 방향성 안테나로부터 DCTS를 수신하면 NDDATA를 전송하여 데이터채널을 사용할 수 없음을 알린다. NCTS와 NDATA 메커니즘은 숨은 노드 문제를 해결하여 패킷 충돌을 줄인다.

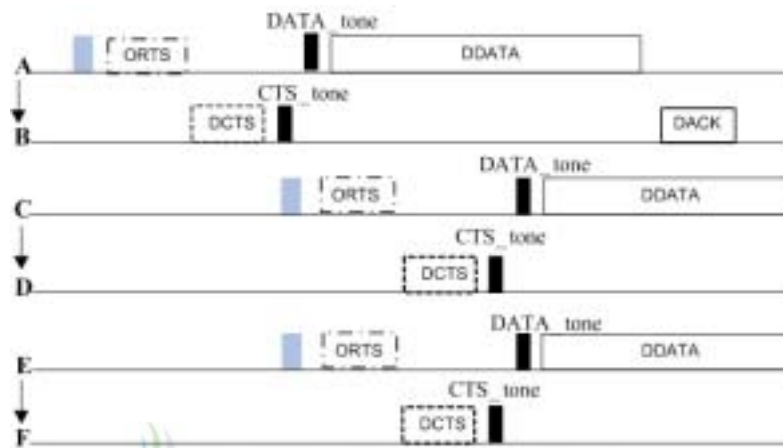


Fig. 18. The operation of the nodes C, D, E and F in Fig. 17.

2) 위치정보 인지 Ad Hoc 네트워크를 위한 MAC 프로토콜

Fig. 19는 위치정보를 인지하는 Ad Hoc 네트워크를 위한 제안된 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜을 나타낸 것이다. 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜은 DRTS, DCTS, DDATA, DACK 메커니즘을 사용한다. 또한, 방향성 안테나를 사용하는 Tri-채널 DMAC 프로토콜에 대해 ORTS와 OCTS 대신에 DRTS와 DCTS를 사용하여 제어채널에서 공간 재사용을 증가시키고 있다. 방향성 전송으로 인한 Deafness 문제를 해결하기 위해 Fig.19와 같은 전방향 톤을 사용한다.

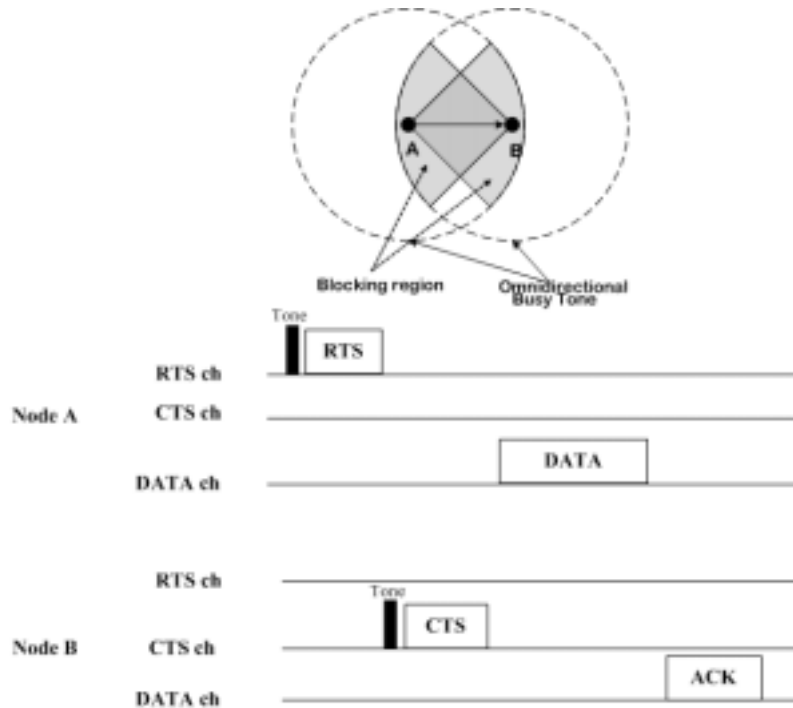


Fig. 19. The operation of the tone tri-DMAC protocol with the separated RTS, CTS and DATA channels.

Fig. 20은 제안된 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜의 동작과정을 나타낸 것이다. 노드 A와 B는 DRTS와 DCTS를 전송하기 전에 전방향 톤을 전송한다. 톤을 엿들은 인접 노드들은 수신한 노드의 정보를 자신의 Deafness 테이블에 저장한다. 노드가 통신을 하고자 할 때는 먼저 목적지 노드가 Deafness 테이블에 있는지 확인한다. 목적지 노드가 Deafness 테이블에 있으면 노드는 통신이 완료될 때까지 전송을 연기하여 Deafness 문제를 해결한다. 또한 ToneDMAC 프로토콜과 달리 DRTS와 DCTS를 전송하기 전에 전방향 톤을 전송하여 Deafness 노드로 재전송에 의한 간섭 신호를 막아 처리량 성능을 개선하고 있다.

제안된 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜은 이중-채널 MAC과 방향성 안테나를 사용하는 Tri-채널 DMAC 프로토콜과 같이 NCTS 메커니즘을 사용한다. 또한, 제어채널에서 공간 재사용을 향상시키기 위해 방향성 안테나를 위한 블로킹 알고리즘도 사용한다. 방향성 안테나를 위한 블로킹 알고리즘은 Tri-채널 MAC 프로토

콜과 같이 엿들은 DRTS와 DCTS 정보를 이용하여 수신한 방향성 안테나의 블로킹을 결정한다.

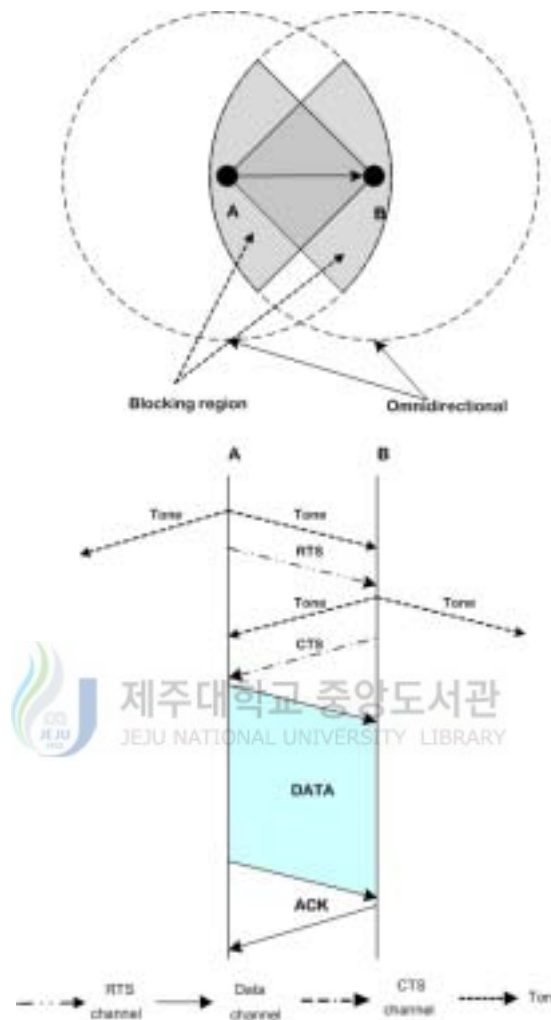


Fig. 20 The operation of the tone tri-DMAC protocol for location aware ad hoc networks.

Fig. 21은 NCTS 메커니즘의 동작과정을 나타낸 것이다. 노드 A 와 B가 통신 중일 때 RTS 또는 CTS를 수신한 노드 C의 방향성 안테나는 블로킹 상태가 된다. 이때 노드 D나 노드 E로부터 블로킹된 안테나로 DRTS를 수신하면 노드 C는

데이터채널에서 패킷 충돌을 막기 위해 NCTS를 전송한다. NCTS를 수신한 노드 D나 노드 E는 A와 B의 통신을 끝날 때까지 전송을 연기한다.

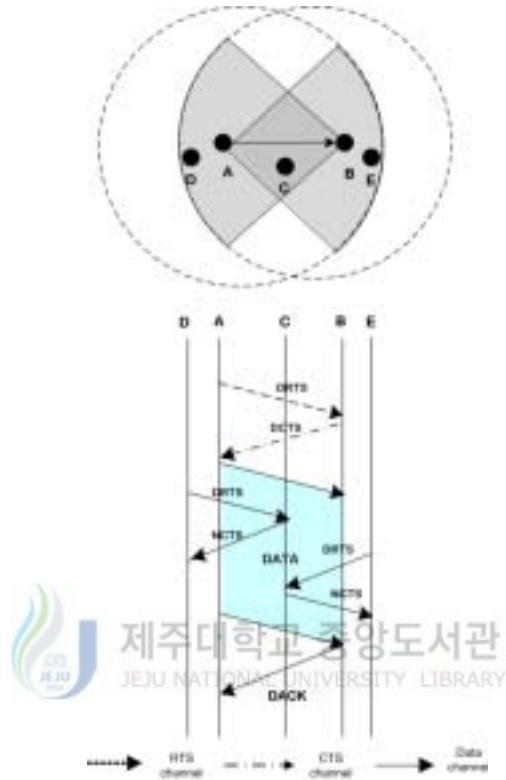


Fig. 21. The NCTS mechanism on CTS channel reduces the interference packets caused by retransmissions to node in the blocking area.

IV. 성능 평가

본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜의 성능은 기존에 Ad Hoc 네트워크를 위해 제안된 802.11, DUCHA MAC, DMAC, ToneDMAC, DUDMAC, ToneDUDMAC 프로토콜과 비교하였다. 시뮬레이션 시나리오는 180노드 단일-홉 랜덤 토폴로지, 60노드 다중-홉 랜덤 토폴로지와 6×6, 5-홉 mesh 토폴로지에서 네트워크 평균 처리량을 통해 그 성능을 확인한다. Ad Hoc 네트워크에서 사용되는 라우팅 프로토콜들은 대부분 전방향 전송을 기반으로 브로드캐스트(broadcast)를 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(static) 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 3.8을 사용하여 제안하는 MAC 프로토콜의 성능을 확인하였다. 쉘넷 시뮬레이터는 사용자 그래픽 인터페이스를 기반으로 MANET, QoS, IPv6, 셀룰러, 위성 등의 다양한 라이브러리를 제공하며 무선 네트워크, 실시간 시뮬레이션, 방향성/스마트 안테나 시스템, 유선 네트워크 등의 시뮬레이션에 널리 이용되고 있다. 시뮬레이션 환경으로 IEEE 802.11 물리 계층을 적용하였으며, 안테나 모델은 스위치드 빔 안테나 모델을 사용하였다. 시뮬레이션 시나리오는 Fig. 24, Fig. 25, Fig. 26과 같이 180개의 노드로 구성된 단일-홉 랜덤 토폴로지, 60개의 노드로 구성된 다중-홉 랜덤 토폴로지, 그리고 36개의 노드로 구성된 6×6, 5-홉 mesh 토폴로지에

서 시뮬레이션을 수행하였으며 시나리오의 노드와 노드 사이의 거리는 랜덤 토폴로지는 0 ~ 240m, mesh 토폴로지는 240m로 정하였다. 전송 경로는 “two-ray” 모델을 사용하였고, 이때 시스템 손실은 1.47dB이고 수신 threshold는 -89dBm이므로 전송 범위를 250m로 맞추기 위해 송신 전력을 7.9dBm으로 설정하였고, 채널의 데이터 전송률은 2Mbps이다. 전송하는 패킷 사이즈는 1000 bytes이고 CBR 트래픽 전송 간격을 8ms에서 80ms까지 조절하면서 120초 동안 시뮬레이션을 수행하였다.

Table 1. Default values used in the computer simulations.

	Random topology	Mesh topology	
CBR traffic	0.2 ~ 1.0Mbps	0.1 ~ 0.5Mbps	
Distance between nodes	0 ~ 240m(random)	240m(fixed)	
Data Rate : 2Mbps	RTS channel	CTS channel	DATA channel
	0.6Mbps	0.4Mbps	1.0Mbps
Transmission range	250m		
DATA packet size	1000byte		
Simulation time	120sec		

1) RTS, CTS, DATA 채널속도 할당

Tri-채널과 이중-채널 MAC 프로토콜의 처리량은 각 채널에 할당되는 채널 속도에 따라 다른 성능을 나타낸다. Fig.22는 $1000 \times 1000m^2$ 내에 무작위로 노드의 수를 달리하면서 배치하여 시뮬레이션으로 얻은 Tri-채널 MAC, 이중-채널 MAC, IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 평균 처리량을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 노드의 밀도가 높아질수록 패킷 충돌 확률이 높아져서 평균 처리량이 감소함을 알 수 있다. Tri-채널과 이중-채널 MAC 프로토콜에서 처리량 향상을 위해서는 노드 밀도에 따라 최적으로 채널 속도를 할당하여야 한다. 노드의 밀도가 낮은 경우에는 채널 예약이 되지 않은 상태에서 여러 노드들이 동시에 RTS를 전송했을 때 충돌할 확률이 노드의 밀도가 높은 경우 보다 낮다. 그러므로 제어 채널 보다 데이터채널에 높은 전송속도를 할당하는 것이 전체 네트워크 성능을 좋게 한다. 반

대로 노드의 밀도가 높은 경우에는 채널 예약을 위해 여러 노드들이 동시에 RTS를 전송했을 때 충돌할 확률이 증가하게 된다. 그러므로 제어 채널에 노드의 밀도가 낮을 때 보다 높은 전송 속도를 할당해야 한다.

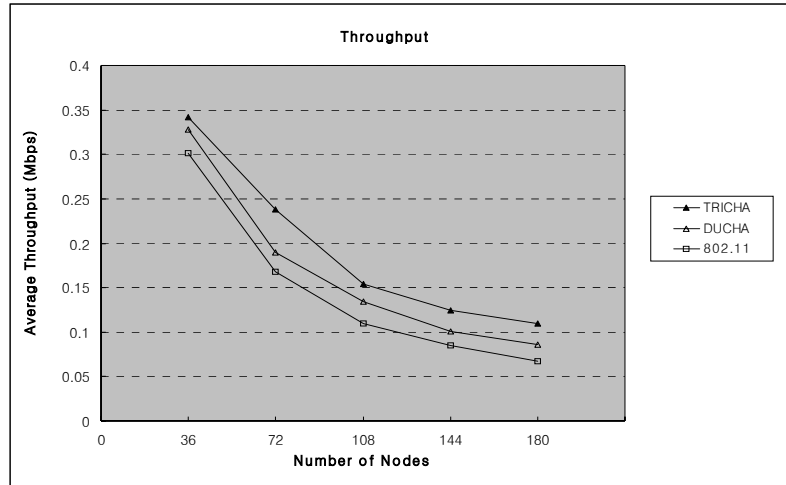


Fig. 22. Average throughput of the proposed MAC protocol relative the number of nodes randomly arranged in the square area of $1000 \times 1000m^2$.



Table. 2. Average throughput of the dual-channel MAC protocol relative to the control and data channel speed.

node 수	Control	DATA	Control	DATA	Control	DATA	Control	DATA
	0.3Mbps	1.7Mbps	0.4Mbps	1.6Mbps	0.5Mbps	1.5Mbps	0.6Mbps	1.4Mbps
36	328.1Kbps	339.8Kbps	328.2Kbps	312.9Kbps				
72	189.3Kbps	200.3Kbps	189.4Kbps	187.9Kbps				
108	121.8Kbps	128.8Kbps	134.8Kbps	131.1Kbps				
144	93.9Kbps	97.7Kbps	100.5Kbps	102.5Kbps				
180	77.1Kbps	79.9Kbps	84.8Kbps	85.9Kbps				
node 수	Control	DATA	Control	DATA	Control	DATA	Control	DATA
	0.7Mbps	1.3Mbps	0.8Mbps	1.2Mbps	0.9Mbps	1.1Mbps	1.0Mbps	1.0Mbps
36	311.1Kbps	299.4Kbps	284.0Kbps	270.3Kbps				
72	182.2Kbps	176.0Kbps	166.7Kbps	160.8Kbps				
108	133.3Kbps	124.1Kbps	119.5Kbps	113.6Kbps				
144	102.2Kbps	99.7Kbps	94.3Kbps	89.0Kbps				
180	85.7Kbps	83.6Kbps	79.5Kbps	76.8Kbps				

표 2는 DUCHA MAC 프로토콜에서 트래픽이 1Mbps에서 노드의 밀도와 채널의 전송속도에 따른 네트워크 처리량을 보여주고 있다. 데이터채널의 전송속도를 1.0Mbps에서 1.7Mbps까지 변화시키면서 네트워크 처리량을 비교하였다. 노드의 밀도에 따라 가장 좋은 성능을 보이는 채널 전송 속도 값이 다르다. 노드 수가 36이나 72에서는 제어채널의 전송속도가 0.4Mbps일 때 가장 좋은 성능을 보이지만 노드 수가 108이나 144일 때는 0.5Mbps, 180일 때는 0.6Mbps일 때 가장 좋은 성능을 보인다. 이것은 노드의 밀도가 높아질수록 패킷의 충돌 확률이 높아지기 때문에 제어채널의 전송속도가 낮을 경우 채널 예약 시 RTS의 전송시간이 길어져 충돌이 많이 발생하기 때문이다.

Table 3. Average throughput at the CTS channel speed of 0.3Mbps.

node 수	RTS	CTS	DATA	RTS	CTS	DATA	RTS	CTS	DATA	RTS	CTS	DATA
	0.3 Mbps	0.3 Mbps	1.4 Mbps	0.4 Mbps	0.3 Mbps	1.3 Mbps	0.5 Mbps	0.3 Mbps	1.2 Mbps	0.6 Mbps	0.3 Mbps	1.1 Mbps
36	365.5Kbps			375.2Kbps			354.8Kbps			351.5Kbps		
72	216.3Kbps			231.1Kbps			228.4Kbps			239.2Kbps		
108	128.9Kbps			142.2Kbps			154.4Kbps			162.0Kbps		
144	102.3Kbps			114.21Kbps			117.2Kbps			130.0Kbps		
180	82.2Kbps			92.2Kbps			96.8Kbps			105.4Kbps		

Table 4. Average throughput at the DATA channel speed of 1.0Mbps.

node 수	RTS	CTS	DATA	RTS	CTS	DATA	RTS	CTS	DATA	RTS	CTS	DATA
	0.5 Mbps	0.5 Mbps	1.0 Mbps	0.6 Mbps	0.4 Mbps	1.0 Mbps	0.7 Mbps	0.3 Mbps	1.0 Mbps	0.8 Mbps	0.2 Mbps	1.0 Mbps
36	347.7Kbps			340.6Kbps			341.7Kbps			333.7Kbps		
72	224.6Kbps			234.2Kbps			237.6Kbps			234.4Kbps		
108	144.6Kbps			154.3Kbps			154.5Kbps			150.4Kbps		
144	109.3Kbps			121.8Kbps			124.8Kbps			123.1Kbps		
180	92.4Kbps			109.7Kbps			106.0Kbps			105.0Kbps		

표 3과 표 4는 TRICHA MAC 프로토콜에서 트래픽이 1Mbps일 때 노드의 밀도와 채널의 전송속도에 따른 네트워크 처리량을 보여주고 있다. 표 3은 CTS채널의 전송속도를 0.3Mbps로 고정시키고 RTS와 데이터채널의 전송속도를 변화시키면서 네트워크 처리량을 비교하였고, 표 4는 데이터채널의 전송속도를 1.0Mbps로 고정시키고 RTS와 CTS채널의 전송속도를 변화시키면서 네트워크 처리량을 비교하였다. 그 결과 노드 밀도가 낮을수록 네트워크 처리량이 증가함을 알 수 있다. 노드 밀도 낮은 36노드에서는 RTS채널의 전송속도가 0.4Mbps일 때 네트워크 처리량이 가장 높지만 나머지 경우에는 RTS채널의 속도가 0.6Mbps일 때 가장 높다. RTS 채널의 전송속도를 0.8Mbps이상 증가 시키면 CTS채널의 전송속도가 0.2Mbps 이하로 감소하여 네트워크 처리량이 감소함을 알 수 있다. 노드의 밀도가 낮을 때는 채널 예약 시 RTS의 충돌 확률이 낮기 때문에 데이터채널의 전송속도를 높임으로써 네트워크 처리량을 증가시킬 수 있다. 그러나 노드의 밀도가 높을 경우에는 데이터채널의 전송속도를 높여도 네트워크 처리량이 감소하고 있다. 이것은 노드의 밀도가 높을 경우에는 제어채널의 전송속도가 낮아서 채널 예약 시 RTS의 전송시간이 길어져 충돌이 많이 발생하기 때문이다.

본 논문에서 제안 방식에 대한 시뮬레이션 수행 시 데이터채널을 1Mbps로 할당하였고 RTS 채널과 CTS 채널에는 각각 0.6, 0.4Mbps를 할당하였다. RTS 채널의 전송속도가 CTS 채널의 전송속도 보다 높은 이유는 RTS 채널의 사용 빈도가 CTS 채널 사용 빈도 보다 높기 때문이다. 즉, 노드는 RTS 프레임을 성공적으로 수신했을 때만 CTS를 전송하게 된다. RTS 프레임은 채널이 예약되지 않은 상태에서 전송되기 때문에 다른 프레임에 비해 충돌이 가장 많이 일어난다. 그러므로 RTS 프레임을 성공적으로 수신한 후 전송되는 CTS 프레임의 수는 RTS 프레임에 비해 크게 적다. 그러므로 제어채널에 할당된 1Mbps 중 RTS 채널에 0.6Mbps를 할당하고 CTS 채널에 이보다 낮은 0.4Mbps를 할당하였다.

2) 안테나 모델

제안하는 프로토콜에 사용되는 안테나 시스템은 전방향과 방향성의 두 가지 모드로 동작하며 어떠한 모드에서도 송수신이 가능하여야 한다. 방향성의 경우의 안

테나 패턴은 Fig. 23과 같이 8개의 패턴을 가지며 이때 안테나의 최대 이득은 15dBi이다. 일반적으로 방향성 모드에서 특정 방향에 대한 이득 G^d 는 전방향성 이득 G^o 보다 크다. 그러나 본 논문에서는 방향성 전송과 전방향 전송에 동일한 커버리지를 갖도록 안테나의 EIRP(effective isotropic radiated power)를 동일하게 한다.

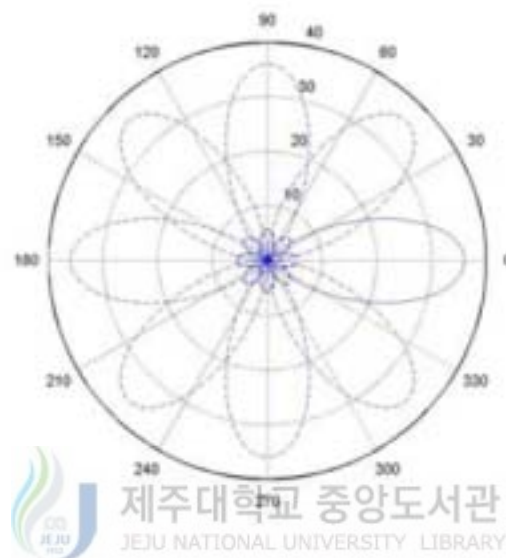


Fig. 23. Radio coverages of an omnidirectional antenna and 8-pattern directional antennas.

2. 시뮬레이션 시나리오

제안하는 MAC 프로토콜의 성능은 Fig 24, Fig 25, Fig 26과 같이 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지, 60노드 다중 홉 랜덤 토폴로지, 그리고 36 노드 6×6, 5-홉 mesh 토폴로지 시나리오에서 시뮬레이션을 수행한다. 단일 홉 토폴로지는 $1000 \times 1000m^2$ 안에 노드들이 랜덤하게 위치해있다. 데이터 전송은 250m의 전송범위 안에서 랜덤하게 전송된다. 60노드 다중 홉 랜덤 토폴로지는 $1000 \times 1000m^2$ 안에 랜덤하게 위치해 있

고, 36 노드 6×6 5-홉 토폴로지는 $1500 \times 1500m^2$ 안에 일정하게 위치해있고, 데이터 전송은 5개의 홉을 거쳐 전송되며 총 12개의 CBR 트래픽으로 시나리오가 구성된다.

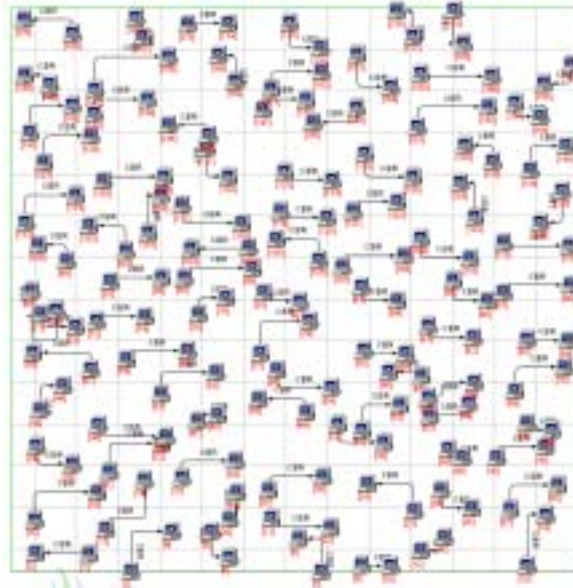


Fig. 24. Single-hop random topology of 180 nodes

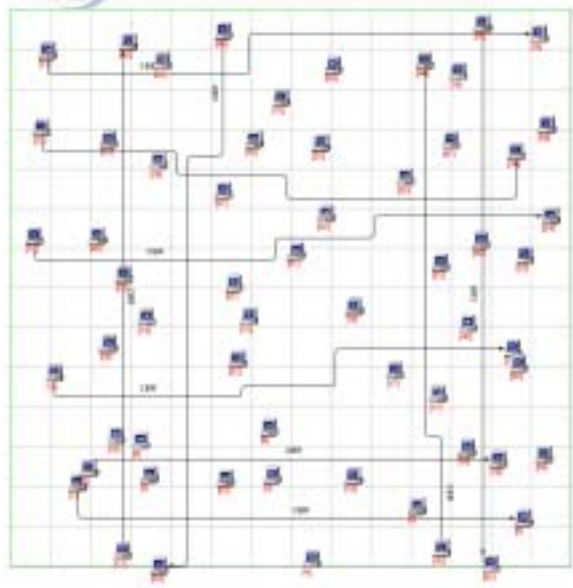


Fig. 25. Multi-hop random topology of 60 nodes

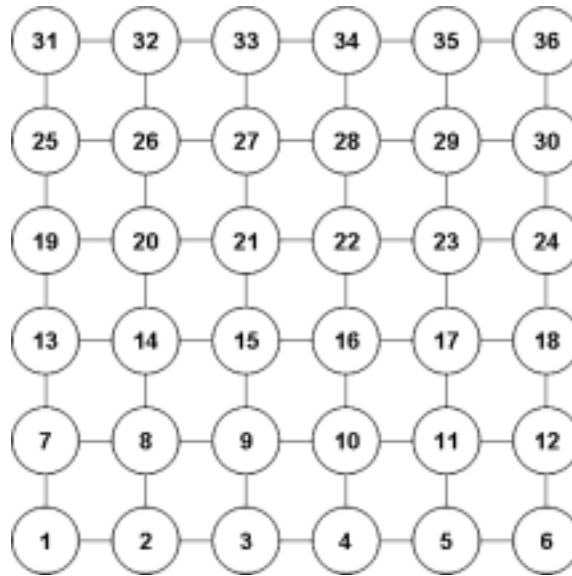


Fig. 26. 6×6 5-hop mesh topology.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰



Table 5. Comparison between characteristics of protocols in simulation.

Protocol Name	Antenna Type	Carrier Sensing	Virtual Sensing	With ACK	Backoff Algorithm
802. 11	OMNI	YES	YES/NO	YES	BEB
DUCHA	OMNI	NO	YES	NO	BEB
DMAC	DIR	NO	YES	YES	BEB
ToneDMAC	DIR	NO	YES	YES	BEB
DUDMAC	DIR	NO	YES	YES	BEB
ToneDUDMAC	DIR	NO	YES	YES	BEB
Proposed Protocol	DIR/OMNI	NO	YES	YES	BEB

시뮬레이션은 네트워크 평균 처리량을 표 5에 정리되어 있는 MAC 프로토콜들에 대해서 수행하였다. 표 4에서 OMNI는 “Omnidirectional Antenna”를 나타내고, DIR은 “Directional Antenna”, BEB는 “Binary Exponential Backoff” 알고리즘을 말한다. 시뮬레이션 결과를 Fig. 27 ~ Fig. 38에 나타내었다.

1) 전방향 안테나를 사용하는 Tri-채널 MAC 프로토콜

Fig. 27과 Fig. 28은 전방향 안테나를 사용하는 Tri-채널 MAC 프로토콜에서 트래픽에 따른 평균 처리량에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. Fig. 27은 단일-홉 랜덤 토폴로지에서 평균 처리량의 성능을 나타낸 것이다. 트래픽 1Mbps에서 TRICHA MAC, DUCHA MAC, IEEE 802.11 프로토콜의 평균 처리량은 각각 100.5Kbps, 75.7Kbps, 39.7Kbps이다. 제안하는 MAC 프로토콜은 DUCHA MAC, IEEE 802.11에 비해 평균 처리량이 32%, 150% 향상됨을 알 수 있다. Fig. 28은 5-홉 mesh 토폴로지에서 평균 처리량을 나타낸 것이다. 트래픽 0.5Mbps에서 TRICHA MAC, DUCHA MAC, 802.11 프로토콜의 평균 처리량은 각각 31.9Kbps, 26.3Kbps, 17.3Kbps이다. 제안하는 MAC 프로토콜은 DUCHA MAC, IEEE 802.11에 대해 평균 처리량이 21%, 84% 향상됨을 확인할 수 있다.

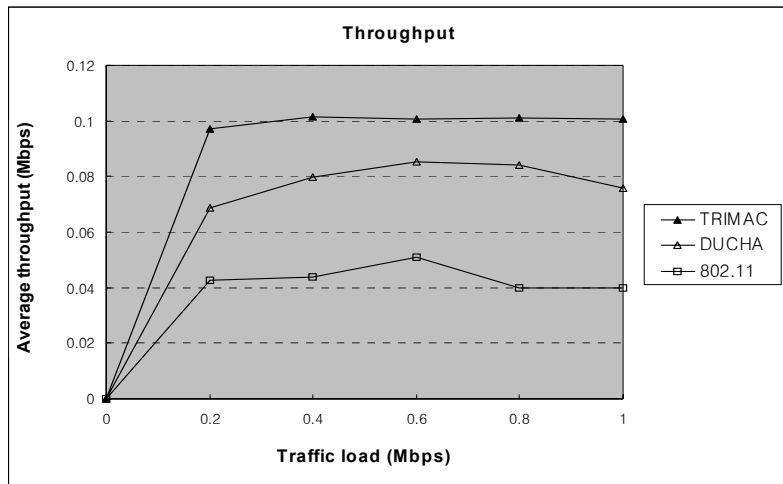


Fig. 27. The average throughput of the TRICHA MAC protocol in a single-hop topology.

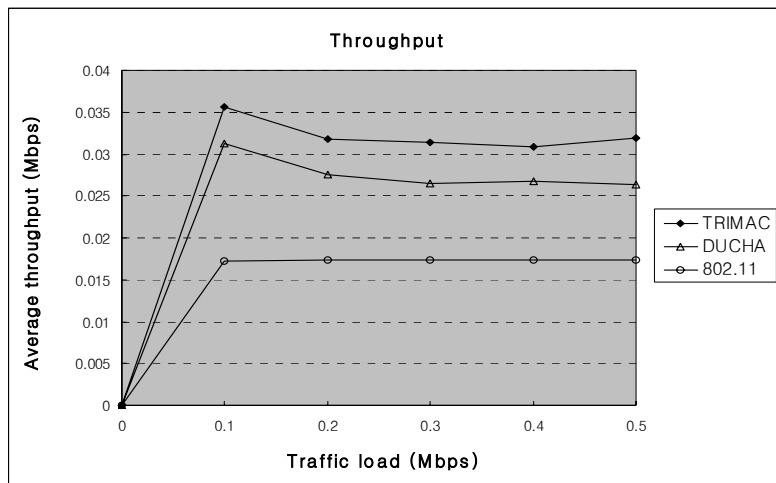


Fig. 28. The average throughput the TRIMAC MAC protocol in a 5-hop mesh topology.

시뮬레이션 결과 네트워크 트래픽이 증가하면 채널을 분리한 프로토콜이 단일-채널 프로토콜에 비해 우수한 성능을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 이는 채널 분리로 제어채널에서 NCTS 메커니즘을 사용하여 패킷 충돌을 줄여 처리량이 증가하였기 때문이다. 또한, 제한한 프로토콜이 DUCHA MAC 프로토콜에 비해 처리량이 우수함을 확인 하였다. 이는 RTS와 CTS로 채널 분리가 DUCHA MAC 프로토콜의 제어채널에서 RTS와 CTS간 충돌을 피하여 처리량을 향상시키기 때문이다.

2) 방향성 안테나를 사용하는 Tri-채널 DMAC 프로토콜

Fig. 29에서 Fig. 33은 방향성 안테나를 사용하는 Tri-채널 MAC 프로토콜에서 트래픽에 따른 평균 처리량에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 제안하는 MAC 프로토콜의 평균 처리량은 DUDMAC, DMAC, DUCHA MAC, IEEE 802.11의 성능과 비교하였다. Fig. 29는 노드의 위치정보를 모르는 Ad Hoc 네트워크에서 단일-홉 랜덤 토폴로지에서 평균 처리량을 나타낸 것이다. 트래픽 1Mbps에서 방향성 안테나를 사용하는 Tri-채널 DMAC, DUDMAC, DMAC, DUCHA MAC,

IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 평균 처리량은 각각 313Kbps, 259.7Kbps, 117.8Kbps, 75.7Kbps, 39.7Kbps로, 제안하는 MAC 프로토콜은 DUDMAC보다 평균 처리량이 20% 향상되었다. Fig. 30은 위치정보를 모르는 경우에 다중-홉 랜덤 토폴로지에서 평균 처리량을 나타낸 것이다. 트래픽 0.5Mbps에서 제안하는 MAC 프로토콜, DUDMAC, DMAC, DUCHA MAC, 802.11의 평균 처리량은 각각 106Kbps, 94.6Kbps, 25.3Kbps, 21.9Kbps, 10.5Kbps이다. 제안하는 MAC 프로토콜은 DUDMAC 보다 평균 처리량이 12% 향상되었다. Fig. 31은 5-홉 mesh 토폴로지에서 평균 처리량을 나타낸 것이다. 트래픽 0.5Mbps에서 제안하는 MAC 프로토콜, DUDMAC, DMAC, DUCHA MAC, IEEE 802.11의 평균 처리량은 각각 79.9Kbps, 70Kbps, 54.1Kbps, 26.3Kbps, 17.3Kbps이다. 제안하는 MAC 프로토콜은 DUDMAC 보다 평균 처리량이 14% 향상되었다.

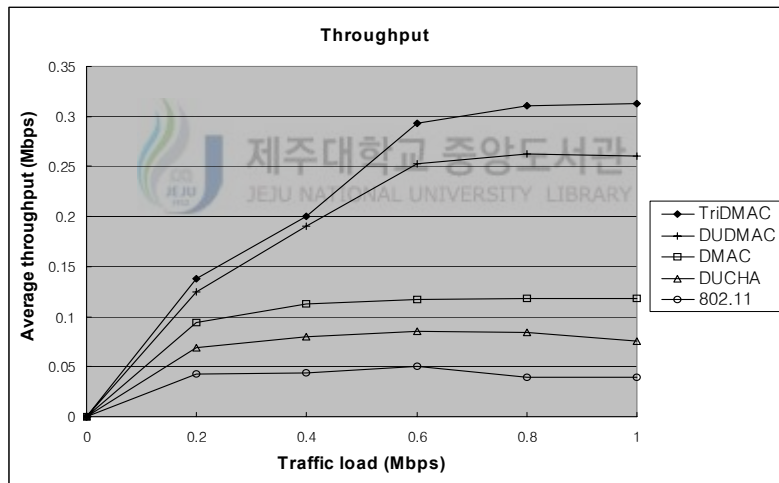


Fig. 29. Average throughput of the TriDMAC protocol in the single-hop random topology for location unaware ad hoc networks.

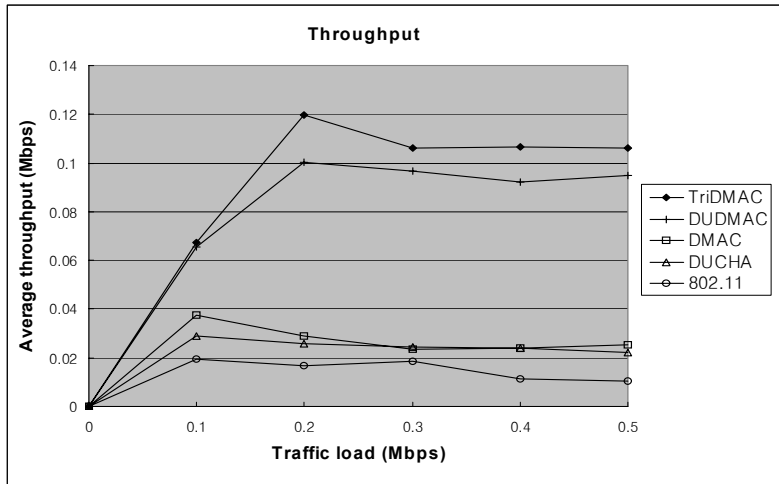


Fig. 30. Average throughput of the TriDMAC protocol in the multi-hop random topology for location unaware ad hoc networks.

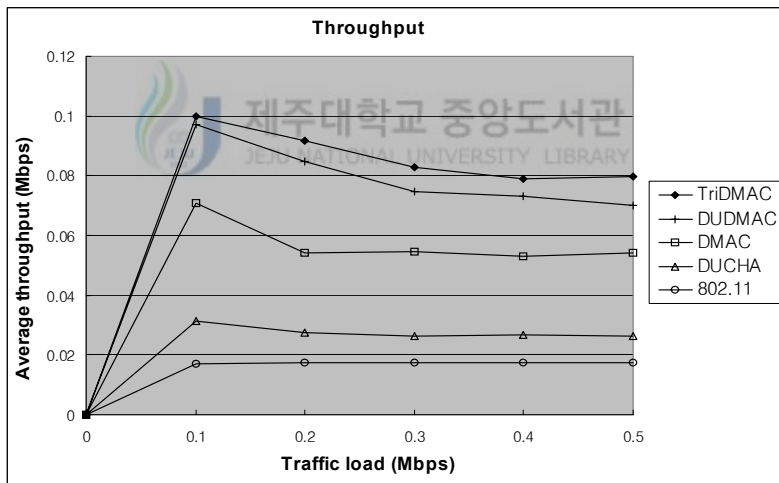


Fig. 31. Average throughput of the TriDMAC protocol in the 5-hop mesh topology for location unaware ad hoc networks.

Fig. 32는 위치정보를 인지하는 Ad Hoc 네트워크에서 단일-홉 랜덤 토폴로지에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 트래픽 1Mbps에서 제안하는 MAC 프로토콜, DUDMAC, DMAC, DUCHA MAC, IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 평균 처

리량은 각각 330.8Kbps, 279.4Kbps, 147.4Kbps, 75.7Kbps, 39.7Kbps로, TriDMAC 이다. 제안하는 MAC 프로토콜은 DUDMAC 보다 평균 처리량이 18% 향상되었다. Fig. 33은 5-홉 mesh 토폴로지에서 평균 처리량을 나타낸 것이다. 트래픽 0.5Mbps에서 제안하는 MAC 프로토콜, DUDMAC, DMAC, DUCHA MAC, IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 평균 처리량은 각각 86.6Kbps, 79Kbps, 53.3Kbps, 26.3Kbps, 17.3Kbps이다. 제안하는 MAC 프로토콜은 DUDMAC 보다 평균 처리량이 9% 향상되었다.

시뮬레이션 결과 트래픽이 증가함에 따라 TriDMAC, DUDMAC, DMAC처럼 방향성 안테나를 사용하는 MAC 프로토콜이 DUCHA MAC, IEEE 802.11처럼 전방향 안테나를 사용하는 MAC 프로토콜에 비해 우수한 처리량 성능을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 이는 방향성 전송이 인접 노드에 대한 간섭을 줄이고 공간 재사용을 증가시키기 때문이다. 또한, TriDMAC은 채널을 분리하여 노출된 노드 문제를 해결하고 RTS와 CTS간 충돌을 줄여 DUDMAC이나 DMAC 프로토콜에 비해 우수한 처리량 성능을 갖고 있음을 확인할 수 있다.

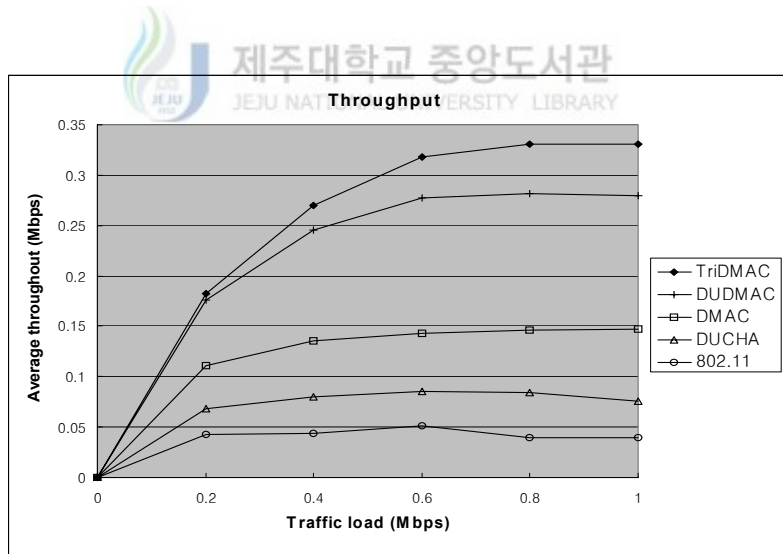


Fig. 32. Average throughput of the TriDMAC protocol in single-hop random topology for location aware ad hoc networks.

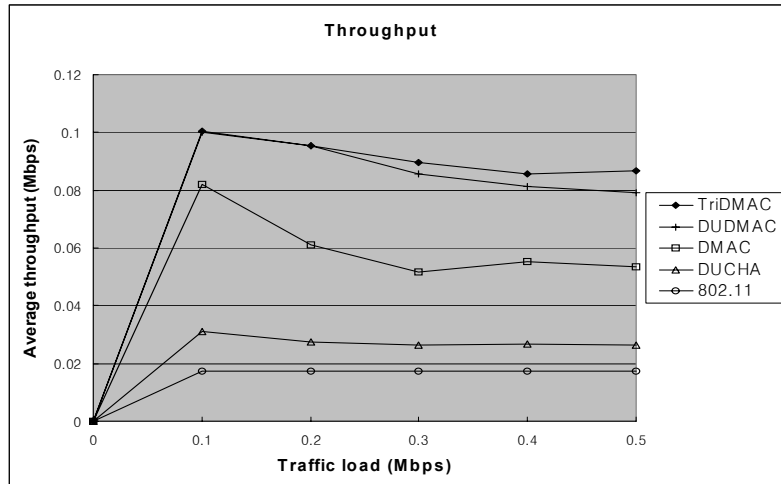


Fig. 33. Average throughput of the TriDMAC protocol in the 5-hop mesh topology for location aware ad hoc networks.

3) 방향성 안테나와 톤을 사용하는 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜

Fig. 34에서 Fig. 38은 방향성 안테나와 톤을 사용하는 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜에서 트래픽에 따른 평균 처리량에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 제안하는 ToneTriDAMC 프로토콜의 평균 처리량은 ToneDUDMAC, DUDMAC, ToneDMAC, DMAC의 성능과 비교하였다. Fig. 34는 노드의 위치정보를 모르는 Ad Hoc 네트워크에서 단일-홉 랜덤 토폴로지에 대한 평균 처리량을 나타낸 것이다. 트래픽 1Mbps에서 제안하는 MAC 프로토콜, ToneDUDMAC, DUDMAC, Tone DMAC, DMAC의 평균 처리량은 각각 382.2Kbps, 336.7Kbps, 259.8Kbps, 157.2Kbps, 117.8Kbps이다. 제안하는 MAC 프로토콜은 ToneDUDMAC 보다 평균 처리량이 13% 향상되었다. Fig. 35는 다중-홉 랜덤 토폴로지에서 평균 처리량을 나타낸 것이다. 트래픽 0.5Mbps에서 제안하는 MAC 프로토콜, ToneDUDMAC, DUDMAC, Tone DMAC, DMAC의 평균 처리량은 각각 201.2Kbps, 110.2Kbps, 94.6Kbps, 57.6Kbps, 25.3Kbps이다. 제안하는 MAC 프로토콜은 ToneDUDMAC에 비해 평균 처리량이 82% 향상된다. Fig. 36은 5-홉 mesh 토폴로지에서 평균 처리량을 나타낸 것이다. 트래픽 0.5Mbps에서 제안하는 MAC 프로토콜,

ToneDUDMAC, DUDMAC, Tone DMAC, DMAC의 평균 네트워크 처리량은 각각 77.4Kbps, 75.2Kbps, 70Kbps, 60.4Kbps, 54.1Kbps이다. 제안하는 MAC 프로토콜은 ToneDUDMAC 보다 평균 처리량이 2% 향상된다.

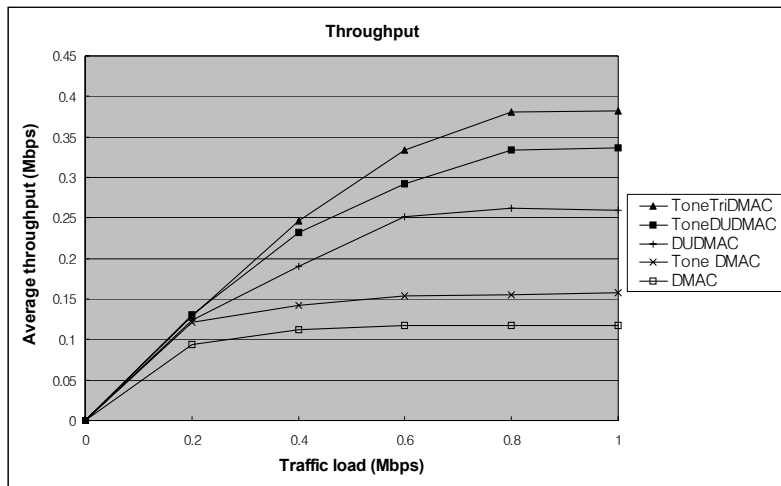


Fig. 34. Average throughput of the ToneTriDMAC protocol in the single-hop random topology for location unaware ad hoc networks.

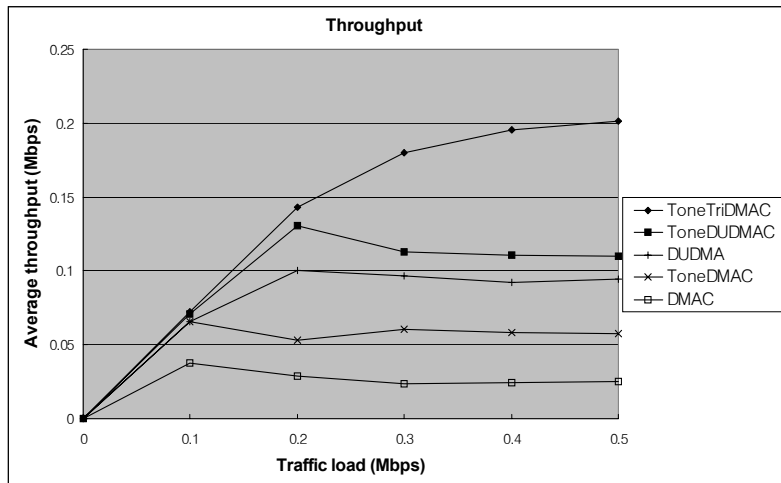


Fig. 35. Average throughput of the ToneTriDMAC protocol in the multi-hop random topology for location unaware ad hoc networks.

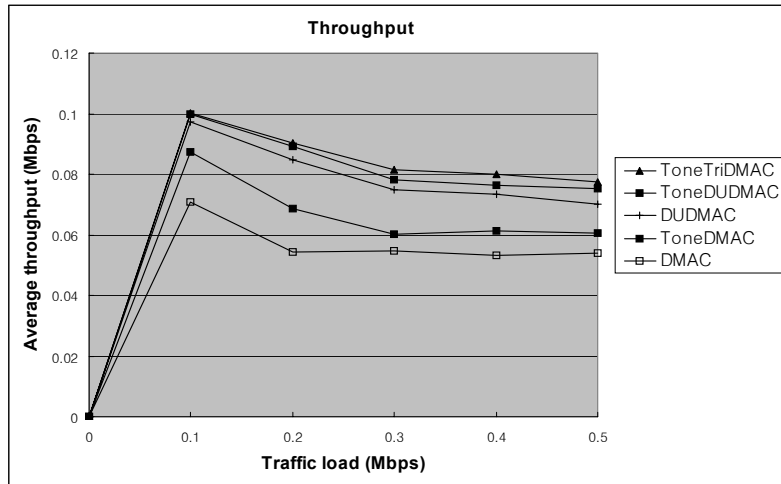


Fig. 36. Average throughput of the ToneTriDMAC protocol in the 5-hop mesh topology for location unaware ad hoc networks.

Fig. 37은 위치정보를 인지하는 Ad Hoc 네트워크에서 단일-홉 랜덤 토폴로지에 대한 시뮬레이션 결과이다. 트래픽 1Mbps에서 제안하는 MAC 프로토콜, ToneDUDMAC, DUDMAC, Tone DMAC, DMAC의 평균 처리량은 각각 552.5Kbps, 479.5Kbps, 279.4Kbps, 316.7Kbps, 147.7Kbps이다. 제안하는 MAC 프로토콜은 ToneDUDMAC 보다 평균 처리량이 15% 향상된다. Fig. 38은 5-홉 mesh 토폴로지에서 평균 처리량을 나타낸 것이다. 트래픽 1Mbps에서 ToneTriDMAC, ToneDUDMAC, DUDMAC, Tone DMAC, DMAC의 평균 처리량은 각각 119.9Kbps, 95.3Kbps, 79Kbps, 60.2Kbps, 53.3Kbps이다. ToneTriDMAC이 ToneDUDMAC에 비해 처리량이 25%정도 향상된다. ToneTriDMAC은 DRTS와 DCTS를 사용하고 블로킹 영역을 줄여 채널 재사용을 향상시키고 전방향 톤을 사용하여 Deafness 문제를 해결하여 처리량 성능을 향상시키고 있다.

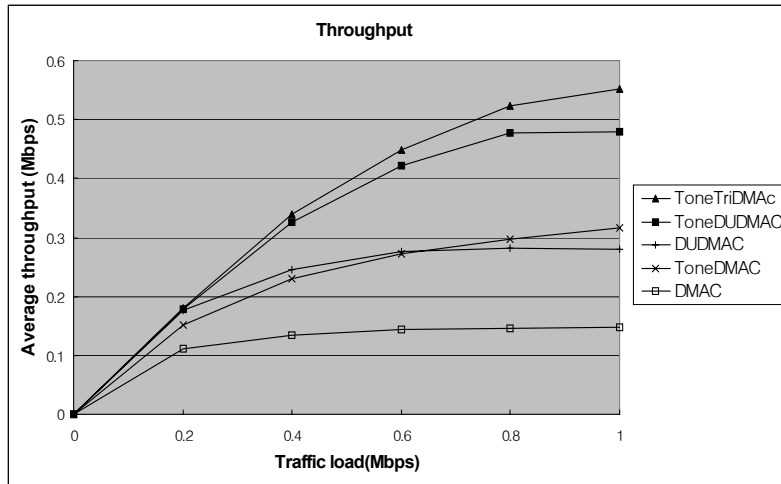


Fig. 37. Average throughput of the ToneTriDMAC protocol in single-hop random topology for location aware ad hoc networks.

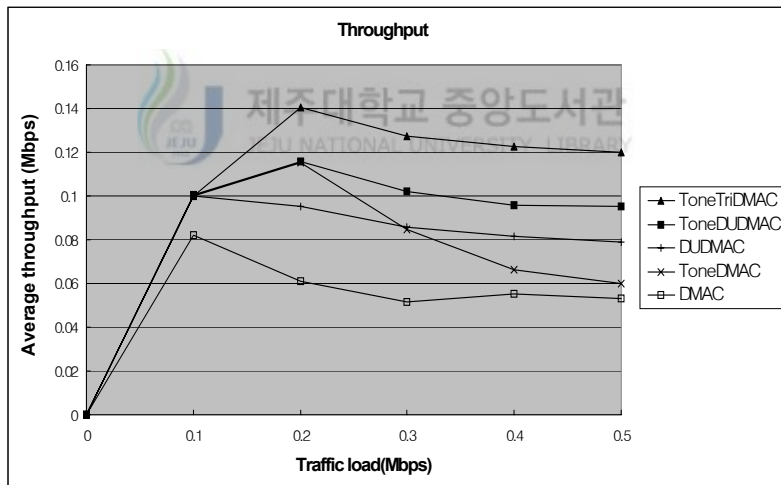


Fig. 38. Average throughput of the ToneTriDMAC protocol in the 5-hop mesh topology for location aware ad hoc networks.

V. 결론

Ad Hoc 네트워크에서 MAC 프로토콜은 패킷 충돌을 최소화하면서 숨긴 노드 문제와 노출된 노드의 문제를 해결하여 처리량을 최대화하여야 한다. MAC 프로토콜의 처리량 향상을 위해 전방향 안테나를 사용하는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜에서 방향성 안테나를 사용하는 DMAC 프로토콜, 방향성 안테나 사용으로 인한 Deafness 문제를 해결하기 위한 ToneDMAC 프로토콜, NCTS 메커니즘을 사용하여 노출된 노드 문제를 해결하는 이중-채널 MAC 프로토콜 등이 제안되었다. 본 논문은 Ad Hoc 네트워크에서 이중-채널 MAC 프로토콜에서 제어채널을 RTS, CTS 채널로 분리하여 RTS, CTS, 데이터채널을 갖는 Tri-채널 MAC 프로토콜을 제안하였다. 그리고 제안한 MAC 프로토콜은 쉘넷 시뮬레이터를 버전 3.8을 사용하여 성능을 확인하였다.

제안한 MAC 프로토콜은 제어채널을 RTS와 CTS 채널로 분리하여 RTS와 CTS간 충돌을 줄여 처리량 성능 향상시키고 있다. MAC 프로토콜에서 채널 분리를 통한 처리량 향상을 위해서는 이중-채널 MAC 프로토콜에서와 같이 전송 대역폭을 각 채널에 최적으로 배분하는 채널 속도 배분방식이 요구된다. 이 과정에서 제어채널에서 패킷 충돌을 줄이려면 제어채널에 높은 속도를 배분해야 하고 처리량을 극대화하기 위해서는 데이터 채널 속도를 최대로 해야 하는 문제가 발생한다. 제어채널에서 패킷 충돌 확률은 랜덤 다중접속 방식의 성능과 같이 노드의 밀도에 의존하게 된다. 본 논문에서는 $1000 \times 1000m^2$ 영역에 36노드에서 180 노드까지 노드 수(밀도)를 변화하면서 시뮬레이션을 수행하여 RTS 채널 속도는 0.6Mbps, CTS 채널속도는 0.4Mbps, 데이터 채널속도는 1Mbps로 설정하였다. 이중-채널 MAC 프로토콜에서 제어채널 속도는 1Mbps, 데이터채널 속도는 1Mbps로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

본 논문에서는 전방향 안테나를 사용하는 Tri-채널 MAC 프로토콜, 방향성을 사용하는 Tri-채널 DMAC 프로토콜, 톤을 사용한 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜을 제안하였다. 방향성 안테나를 사용하는 Tri-채널 DMAC 프로토콜은 GPS 수신

기와 같은 별도의 장치를 이용하여 노드의 위치를 아는 위치 인지 Ad Hoc 네트워크와 각 노드의 위치를 모르는 위치 비인지 Ad Hoc 네트워크 각각에 대한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 위치 인지 Ad Hoc 네트워크에서는 ORTS, OCTS, DDATA, DACK 메커니즘을 사용하여 RTS와 CTS 채널에서 Deafness 문제를 해결하고 데이터 채널에서 공간 재사용을 향상시키고 있다. 또한, ORTS와 OCTS로 DDATA와 DACK에서 사용될 방향성 안테나의 방위각을 인접 노드에 전송하여 블로킹 영역을 줄여 RTS와 CTS에서 공간 재사용을 향상시키고 있다. 위치 비인지 기반 Ad Hoc 네트워크를 위한 방향성 안테나를 사용하는 Tri-채널 MAC 프로토콜에서는 ORTS와 OCTS가 중첩되는 영역을 블로킹 영역으로 하여 RTS와 CTS에서 공간 재사용을 향상시키고 있다. 방향성 안테나를 사용하는 Tri-채널 MAC 프로토콜에서 RTS와 CTS의 공간 재사용을 증가시키기 위해 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜을 제안하였다. 위치 인지 Ad Hoc 네트워크를 위한 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜에서는 DRTS, DCTS, DDATA, DACK 메커니즘을 사용하여 공간 재사용을 향상시키고 전방향 톤을 사용하여 Deafness 문제를 해결하였다. 위치 비인지 기반 Ad Hoc 네트워크를 위한 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜에서는 ORTS, DCTS, DDATA, DACK 메커니즘을 사용하고 방향성 DATA 톤과 전방향 ACK 톤을 사용하여 처리량을 향상시키고 있다.

제안하는 MAC 프로토콜은 C 언어로 구현하여 데스크 탑에서 쉘넷 시뮬레이터를 사용하여 처리량 성능을 확인하였다. 시뮬레이션 결과 전방향 안테나를 사용하는 Tri-채널 MAC 프로토콜은 기존의 IEEE 802.11이나 이중-채널 MAC 프로토콜에 비해 단일-홉 랜덤 토폴로지에서 트래픽 1Mbps에서 평균 처리량이 150%, 32% 각각 향상됨을 확인하였다. 5-hop mesh 토폴로지에서는 트래픽 0.5Mbps에서 84%, 21% 각각 향상됨을 확인하였다. 방향성 안테나를 사용하는 Tri-채널 MAC 과 톤 Tri-채널 DMAC 프로토콜의 평균 처리량도 기존의 DUDMAC이나 ToneDUDMAC 프로토콜에 대해 단일-홉 랜덤 토폴로지에서 트래픽 1Mbps인 경우 노드의 위치를 모르는 Ad Hoc 네트워크에서 각각 20%, 13% 향상되었다. 또한, 노드의 위치를 아는 Ad Hoc 네트워크에서는 각각 18%, 15% 향상되었다. 5-hop Mesh 토폴로지에서 트래픽 0.5Mbps인 경우 노드의 위치를 모르는 Ad Hoc 네트워크에서는 각각 14%, 2% 향상되었고 위치를 아는 Ad Hoc 네트워크에

서는 각각 9%, 25% 개선됨을 확인할 수 있었다.

본 논문은 Ad Hoc 네트워크에서 단일-홉, 다중 홉 네트워크 토폴로지에 적용 가능한 MAC 프로토콜을 제안하고 쉘넷 시뮬레이터를 사용하여 처리량 성능을 확인하였다. 본 논문에서는 데이터 전송속도가 짧아 그 동안 단말기의 이동속도가 상대적으로 아주 적어 움직임이 거의 없는 네트워크를 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 향후, 이동성을 고려한 다양한 네트워크 환경에서 제안한 MAC 프로토콜에 대한 성능 개선, 라우팅 알고리즘, 마이크로와 매크로 이동성에 관한 연구를 차량과 차량 간 통신에 중점을 두고 연구를 진행할 것이다.



참 고 문 헌

- ANSI/IEEE Standard 802.11, 1999 Edition.
- A. Nasipuri, S. Ye, J. You, and R. Hiromoto, 2000, A MAC protocol for mobile ad hoc networks using directional antennas, ACM MobilHo, pp.1214-1219.
- Barry M. Leiner, Robert J. Macker and Ambatipudi R. Sastry, 1996, Goals and Challenges of the DARPA Glomo program, IEEE Personal Communications, pp.34-43.
- Charles E. Perkins, 2000, AD HOC NETWORKING, Addison Wesley.
- C-K. Toh, 2000, 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.
- D. H. Han, J. W. Jwa and H. I. Kim, 2006, A Dual-channel MAC Protocol Using Directional Antennas in Location Aware Ad-Hoc Networks, ICCSA 2006, pp.594-602.
- Eun-Ju Lee, Chang-Nam Kang, Do-Hyung Han, Doo-Yeong Yang, and Jeong-Woo Jwa, 2006, A Tone Dual-Channel DMAC Protocol in Location Unaware Ad Hoc Networks, CIC'06.
- Hrishikesh Gossain, Carlos Cordeiro, Dave Cavalcanti and Dharma P. Agrawal, 2004, The Deafness Problems and Solutions in Wireless Ad Hoc Networks using Directional Antennas, pp108-113.
- H. Zhai, J. Wang, Y. Fang, and D. Wu, 2004, A Dual-cannel MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks, IEEE Workshop on Wireless Ad Hoc and Sensor Networks, in conjunction with IEEE Globecom, pp.27-32.
- IEEE 802.11 Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, IEEE 1997.
- 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.
- 강창남, 한도형, 좌정우, 2005, Ad hoc 네트워크에서 방향성 안테나를 이용한

Dual Channel MAC 프로토콜, CEIC 2005.

- 김종천, 김영용, 2002, Ad Hoc 통신망 프로토콜 개발 동향, Telecommunication review, vol. 12. No. 3, pp.220-225.
- 이은주, 한도형, 좌정우, 2006. 위치 정보 기반의 Ad hoc 네트워크에서 Tone을 사용한 Dual-Channel DMAC 프로토콜, 대한전자공학회.
- M. Takai, J. Martin, R. Bagrodia, and A. Ren. 2002, Directional virtual carrier sensing for directional antennas in mobile ad hoc networks, ACM MobiHoc, pp. 39 - 46.
- 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, pp.36-45.
- R. R. Choudhury and N. H. Vaidya, 2004, Deafness : A MAC problem in Ad Hoc Networks when using Directional Antennas, ICNP 2004, pp.283-292.
- 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, pp.57-90.
- 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, pp.243-246.
- 신재욱, 권혜연, 남상우, 임선배, 1996, 이동 Ad Hoc 네트워크 실현을 위한 무선 접속 기술, Telecommunications review, vol. 12. No. 3, pp.322-335.
- T. Elbatt, T. Anderson and B. Ryu, 2003, Performance evaluation of multiple access protocols for ad hoc networks using directional antennas, WCNC 2003.
- T. Korakis, G. Jakllari and L. Tassiulas, 2003, A MAC protocol for full exploitation of directional antennas in ad hoc wireless networks, MobiHoc, pp.98-107.
- Y. Ko, V. Shankarkumar and N. H. Vaidya, 2000, Medium access control protocols using directional antennas in ad hoc networks, IEEE INFOCOM, pp.13-21.
- Z. Huang, C. Shen, C. Srisathapornphat and C .Jaikaeo, 2002, A Busy-Tone based directional MAC protocol for ad hoc networks, Milcom, pp.1233 - 1238.

URL :

- <http://www.ietf.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 추계종합학술대회 논문집, 2003. 11.
- 강훈철, 좌정우, “WIPI 플랫폼을 이용한 홈네트워크 어플리케이션 개발”, 한국콘텐츠학회 춘계종합학술대회 논문집, 2004. 5.
- 강훈철, 고상보, 좌정우, “두 단계 IDFT/DFT를 갖는 TC 8PSK/OFDM를 위한 RSSE 방식”, 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, 2004. 6.
- 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.

2. 게재 논문집

- 고상보, 강훈철, 좌정우, “트렐리스 부호화된 8PSK/CPSC를 위한 RSSE 방식”, 제주대학교 첨단기술연구소 논문집 제 14권 2호, pp165~169, 2003. 11.

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 진지한 사고를 갖도록 지도해 주신 좌정우 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 바쁘신 일정에서도 저의 논문을 검토해 주시고 심사해 주신 김홍수 교수님과 양두영 교수님께 감사드립니다. 학부과정부터 대학원 석사과정을 졸업하기까지 많은 가르침을 주신 이용학 교수님, 문건 교수님, 임재윤 교수님, 강진식 교수님께도 감사드립니다.

대학원 선배로서 많은 조언과 격려를 해주신 부식이형, 성욱이형, 권익이형, 봉수형 감사드립니다. 그리고 항상 제게 힘이 되어준 창윤이형, 은진누나, 광식이형, 영길이형, 부성이형, 상보형, 진아, 성태, 정말 감사합니다. 연구실 후배들, 도형, 창남, 은주, 동현, 창표, 종민, 경보 모두 고맙다. 그리고 대학원 후배, 정현, 지윤아 고맙다. 통신공학과 조교선생님 진호형과 윤희에게도 감사의 마음을 전합니다.

논문을 쓸 수 있도록 물심양면으로 도와주신 김동춘 과장님, 김용규 선생님께도 감사드립니다. 그리고 항상 옆에서 힘이 되어준 승건, 창우, 영준, 정수, 영훈, 성주, 용표, 경봉, 정수 모두들 고맙다.

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