DBpia

지향성 안테나 기반 경쟁 MAC 프로토콜의 성능 분석

준회원 나 웅 수*, 종신회원 조 성 래*

Performance Analysis of Contention based Directional MAC Protocol

Woongsoo Na* *Associate Member*, Sungrae Cho* *Lifelong Member*

요 약

최근 무선 Ad Hoc 환경에서 지향성 안테나를 사용하여 통신을 하는 기술은 초고속 통신을 위하여 각광받고 있는 기술이다. 하지만 지향성 안테나를 사용할 경우에는 난청 현상이 발생하는 문제점이 대두된다. 난청 현상은 한 노드가 전송을 시작하기 위해서 DRTS (Directional Request-to-Send) 프레임을 수신 노드에게 보낼 때, 수신 노드가 다른 노드와의 통신 때문에 DRTS 프레임을 듣지 못하는 현상이다. 이러한 난청 문제를 해결하기 위해서 현재까지 다양한 지향성 안테나를 위한 MAC 프로토콜 (DMAC : Directional MAC)이 제안되어왔다. 본 논문에서는 이러한 DMAC 프로토콜들을 1) 주변노드에 자신의 통신정보를 알려주는 방법, 2) 미래 통신노드를 지정하는 방법, 3) 실제 네트워크 실패를 알아내는 방법으로 크게 3가지로 나누어 보았다. 본 논문에서는 이러한 기법에 대해서 난청문제를 얼마나 효과적으로 해결하는지 다양한 시나리오들을 통하여 분석하고 성능 평가를 통하여 각 기법의 특징 및 네트워크 처리량을 측정해 본다.

Key Words : Directional MAC; Deafness problem; Ad hoc networks

ABSTRACT

Directional MAC protocols have drawn great attentions recently in super high speed wireless local/personal area networks due to their higher antenna gain, better spatial reuse, longer transmission range, and lower interference. Despite of these merits, directional MAC protocols suffer from deafness problem. The deafness problem occurs if a node does not answer an RTS frame addressed to it. To overcome this problem, directional MAC protocols have aimed at avoiding the deafness problem using multiple control frames or advance notice techniques or distinguishing deafness from collision. In this paper, we analyze the performance of these schemes in deafness environments with some scenarios. Through performance analysis, we compare the performance of these schemes through evaluating actual network throughput.

Ⅰ. 서 론

최근 무선 Ad hoc 환경에서 지향성 안테나를 사용하여 통신을 하는 기술은 여러 가지 이유 때문에 각광받고 있는 기술이다. 지향성 안테나를 사용하면 높은 안테나 수신도, 공간 재사용성의 용이, 빔 간의 간섭 빈도 저하 등 많은 이점이 존재한다. 하지만 지향성 안테나를 사용할 경우에 난청 문제, 숨은 노드 문제 등의 문제점들을 발생하게 된다.

특히, 난청 (Deafness) 문제는 지향성 안테나를 사

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (NRF-2010-0024669)
* 중앙대학교 컴퓨터공학부 유비쿼터스컴퓨팅 연구실 (wsna@uclab.re.kr, srcho@cau.ac.kr)
논문번호 : KICS2011-06-252, 접수일자 : 2011년 6월 14일, 최종논문접수일자 : 2011년 6월 27일

www.dbpia.co.kr

용했을 때 나타나는 대표적인 문제점으로 기존의 연구방법을 통하여 해결하기가 어려운 현실이다. 그림 1은 난청 문제를 나타내는 네트워크 상황을 보여준다. 노드 A는 노드 B와의 통신을 하기위해 DRTS (Directional Request to Send) 프레임을 노드 D를 향해서 전송한다. 이때, 노드 A 는 노드 B와의 통신을 위한 빔 번호 3번을 제외한 나머지 안테나 빔 들은 Block 된 상태로 만들게 된다. 노드 B는 노드 A의 DRTS 프레임을 듣게 되면 그에대한 응답으로써 DCTS(Directional Clear to Send) 프레임을 보낸다. 이때 노드 B 역시 노드 A와의 통신을 위한 빔 번호 1번 안테나를 제외한 모든 안테나 빔들은 Block을 시킨다. 노드 B의 DCTS 프레임을 받은 노드 A는 노드 B와의 통신을 시작하게 될 것이다. 만약 노드 S가 노드 D에게 데이터를 보낼 것이 있다면 위와 같은 방법을 통해 노드 D와의 통신을 시도 할 것이다.

이러한 상황에서 그림 2처럼 노드 S와 노드 D와의 통신이 노드 A와 노드 B와의 통신보다 일찍 끝마쳤다고 가정하자. 이때, 노드 D가 노드 A에게 전송할 데이터가 생기게 되면 노드 D는 같은 방법으로 DRTS를 노드 A에게 보내려고 시도 할 것이다. 하지만 노드 A는 노드 B와의 통신을 위해 빔 2번을 Block 시킨 상

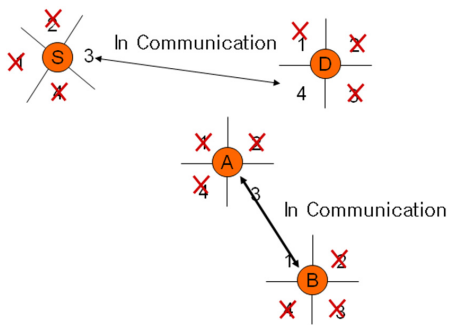

그림 1. 무선 Ad hoc 환경에서의 난청 문제 발생 상황(안테나 빔 개수 = 4)

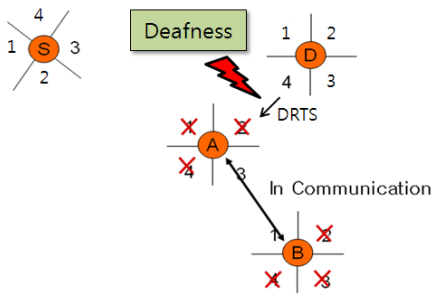

그림 2. 무선 Ad hoc 환경에서의 난청 문제 발생 상황

태이다. 따라서 노드 A는 노드 D의 DRTS 프레임을 듣지 못하고 그에 대한 아무런 응답을 하지 못하는 난청 문제가 발생하게 된다. 노드 D의 입장에서 보면 노드 A가 난청 문제가 발생하였다는 것을 모르기 때문에 자신의 DRTS 프레임이 단순히 다른 노드와의 충돌로 인해 노드 A에게 전달되지 않았다고 여기게 된다. 따라서 계속해서 Backoff window 사이즈를 지수적으로 증가시키면서 노드 A에게 DRTS를 전송하려고 할 것이다. 이 문제점은 전체적으로 네트워크 처리량의 감소를 야기할 뿐만 아니라 자신의 통신기회를 잃어버리는 치명적인 문제점을 야기하게 된다. 최근 몇 년간 이러한 문제를 해결하기 위해서 많은 지향성 안테나를 위한 MAC 프로토콜 (DMAC Protocol)들이 제안되어 왔다. 이러한 DMAC 프로토콜들은 주로 주변의 노드들에게 자신의 통신정보를 알려주는 기법, 미래의 통신노드를 지정하는 기법, 실제 네트워크 실패의 이유를 찾아내는 방법 등 을 통하여 난청 문제를 극복하는 방법이 제안되어 왔다. 하지만 난청 문제는 네트워크 토폴로지를 쉽게 예상하지 못하는 Ad hoc 환경에서 더욱더 빈번하게 발생한다. 따라서 Ad hoc 환경에서의 DMAC 프로토콜의 성능은 그 기법들의 특징 및 토폴로지의 구성에 따라서 성능 차이가 많이 일어날 수 있다. 본 논문에서는 난청 문제가 발생하는 네트워크 토폴로지를 크게 1) 통신중인 노드의 난청 문제, 2) 통신 중이지 않은 노드의 난청 문제로 분류하고 이러한 난청 문제를 해결하려고 하는 기법들을 적용해봐 각 기법들의 특징 및 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 난청 문제가 일어날 수 있는 네트워크 토폴로지를 좀 더 자세히 소개한 뒤, 3장에서는 이러한 난청 문제를 해결하려고 했던 기존의 DMAC 알고리즘을 소개한다. 4장에서는 2장에서 소개한 네트워크 토폴로지를 기반을 두어 기존의 제안된 DMAC 알고리즘에 대한 성능 평가 및 분석을 한다. 마지막으로 5장에서는 결론으로 논문을 맺는다.

Ⅱ. 난청 문제

무선 Ad hoc 네트워크 환경에서 지향성 안테나를 위한 MAC 프로토콜을 사용하면 난청 문제가 발생할 수 있다. 난청 문제가 발생하게 되면 Backoff window 값이 지수 적으로 계속해서 증가시키며 DRTS 프레임을 재전송하기 때문에 Backoff 시간만큼의 시간을 낭비하게 되며 그 결과 전체적인 네트워크 처리량의 저하를 야기한다.

www.dbpia.co.kr

이러한 무선 Ad hoc 네트워크 환경에서 난청 문제는 네트워크 토폴로지를 쉽게 예상치 못하기 때문에 해결하기가 더욱더 어려운 실정이다. 하지만 난청문제는 크게 2가지 케이스로 나눌 수 있다. 본 장에서는 난청 문제가 나타나는 케이스를 예시를 통하여 설명하도록 한다.

2.1 통신 중인 노드의 난청 문제

본 절에서는 통신 중인 노드의 난청 문제에 대해서 논의한다. 통신 중인 노드의 난청 문제는 노드자신이 다른 노드와 통신 중이기 때문에 다른 빔에서 들어오는 정보를 듣지 못함으로써 발생하는 문제이다.

그림 3은 통신 중인 노드의 난청 문제를 보여주는 네트워크 토폴로지이다. 노드 A는 노드 B에게 통신을 하기위해 DRTS 프레임을 전송한다. 이때, 노드 A는 다른 방향에서 오는 빔을 차단하기 위해서 3번 빔 안테나를 제외한 모든 빔 안테나를 Block 시킨다. 그 후 노드 B는 DCTS를 안테나 빔 1번을 통하여 전송하게 되고 노드 A와 B의 통신이 이루어 지게 된다. 이때 만약 노드 X가 노드 A에게 데이터를 보낼 것이 있다면 빔 2번을 통해 노드 A에게 DRTS를 전송하게 될 것이다. 하지만 노드 A는 현재 노드 B와 통신 중이므로 노드 X의 DRTS 프레임을 전혀 듣지 못하는 상황 즉, 난청 문제에 빠지게 될 것이다. 이에 따라 노드 X는 DRTS를 전송하는데 실패한 것으로 인식하며 자신의 Backoff Window 크기를 지수 적으로 늘려가며 재전송을 시도 할 것이다.

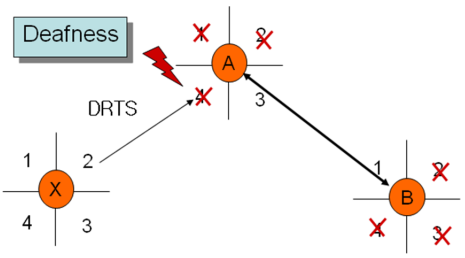

그림 3. 통신 중인 노드의 난청 문제

2.2 통신 중이지 않은 노드의 난청 문제

본 절에서는 통신 중이지 않은 노드의 난청 문제에 대해서 논의한다. 통신 중이지 않은 노드의 난청 문제는 노드가 실제로 통신을 하지 않고 있음에도 불구하고 DRTS/DCTS 프레임으로 인해 Block 된 안테나 때문에 다른 프레임을 듣지 못하는 문제 때문에 발생한다.

그림 4는 통신 중이지 않은 노드의 난청 문제를 보

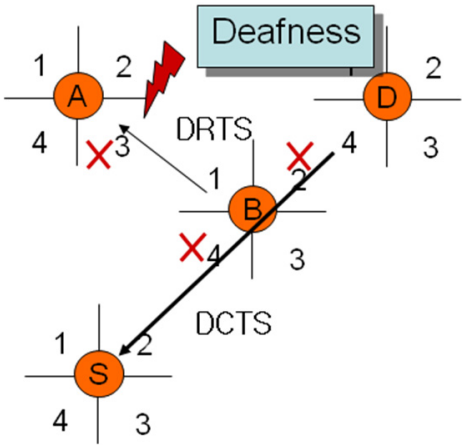

그림 4. 통신 중이지 않은 노드의 난청 문제

여주는 네트워크 토폴로지이다. 노드 S는 노드 D에게 통신을 하기위해 DRTS 프레임을 전송한다. 이때, 중간에 있는 노드 A 및 노드 B는 노드 S의 DRTS 프레임을 듣게 된다. 만약 DRTS 프레임이 자신을 향하는 프레임이 아니라면 그 방향에 대해서 통신의 가능성이 있기 때문에 안테나를 Block 시켜야 한다. 따라서, 노드 A의 경우에는 빔 3번을 통하여 DRTS 프레임을 들었기 때문에 빔 3번 안테나를 Block 시키고 노드 B의 경우에는 빔 4번 안테나를 Block 시킬 것이다. 노드 D는 노드 S의 DRTS 프레임을 듣고 그에 대한 응답으로써 DCTS 프레임을 빔 4번을 통해 전송한다. 이때, 위의 경우와 마찬가지로 중간에 있는 노드 B는 2번 빔을 통하여 DCTS를 들었기 때문에 2번 빔 안테나를 Block 시킨다. 노드 S는 노드 D의 DCTS 프레임을 받으면 Data 프레임을 전송하며 노드 S와 D의 통신이 시작된다. 이때, 만약 노드 B가 노드 A에게 보내려는 데이터가 있다면 노드 B는 빔 1번을 통해 DRTS 프레임을 전송할 것이다. 하지만 노드 A는 3번 빔 안테나가 Block 되어 있기 때문에 노드 B의 DRTS를 듣지 못하게 되고 아무런 응답을 하지 못하게 된다. 즉 노드 A는 실제로 아무런 통신을 하지 않음에도 불구하고 노드 B의 DRTS를 듣지 못하는 난청 문제에 빠지게 된다. 이와 같은 경우에는 실제로 노드 A와 B가 통신을 해서는 안되는 상황이지만 (노드 A와 노드 B의 통신이 노드 S와 노드 D와의 통신을 방해할 수 있음) 노드 B가 노드 A의 3번 안테나가 Block 되었다는 사실을 알지못하고 계속해서 DRTS를 재전송하려고 하는데 문제가 있다. 만약 노드 B의 대기 큐에 다른 목적지로 보낼 패킷이 있다면 노드 A에게 계속해서 보내려고 하는 시간 만큼 다른 목적지에게 보낼

www.dbpia.co.kr

수 있는 기회 시간을 낭비하는 결과를 야기하게 된다.

Ⅲ. 난청 문제를 해결하기 위한 관련 연구들

본 장에서는 2장에서 소개한 난청문제를 해결하기 위한 DMAC 프로토콜들을 기법의 특징에 따라 분류하며 각 기법들을 앞서 언급한 토폴로지에 적용시켜 얼마나 성능을 개선할 수 있는지 알아본다. 현재까지 무선 Ad hoc 네트워크 환경에서의 지향성 안테나를 위한 경쟁 기반 MAC 프로토콜은 그 기법에 따라 크게 3가지로 나뉠 수 있다. 각각의 기법들은 네트워크 토폴로지에 따라 난청 문제를 완벽히 해결하기도 하고 혹은 부분 적으로 해결하는 등의 차이가 있을 수 있다.

3.1 Circular Transmit Approach

난청 문제를 해결하기 위한 연구 중 하나는, 주변 노드들에게 자신의 통신 정보를 알려주는 방법이 있다[3,6,8]. 이 방법은 자신의 주변노드들에게 자신의 통신정보를 알려줌으로써 자신이 통신하는 기간에는 다른 노드로 하여금 자신에게 통신을 시도하지 못하도록 하는 방법이다. 즉, 노드가 통신을 하기 전에 DRTS를 목적지 노드가 있는 방향뿐만 아니라 모든 방향에 대해서 전송을 하게 된다. DRTS를 받은 수신 노드도 마찬가지로 DCTS를 모든 방향에 대해서 전송을 하게 된다. DRTS 혹은 DCTS를 받은 일반 노드는 그 프레임에 있는 통신 정보를 토대로 DNAV를 설정하여 DRTS/DCTS 송신노드에 대한 통신을 막게 된다. 이 기법의 경우에는 2장에서 소개한 통신 중인 노드의 난청 문제는 효과적으로 해결이 가능하다. 그림 3에서 노드 A가 노드 B와 통신을 하기 전에 DRTS 프레임을 전 방향에 대해서 전송한다면 노드 X는 노드 A에 대한 통신을 뒤로 미룸으로써 난청 문제를 해결 할 수 있다. 하지만 통신 중이지 않은 노드의 난청 문제는 여전히 해결하지 못한다. 그림 4에서 위의 기법을 적용한다면, 노드 S는 노드 D와의 통신을 위해서 전 방향에 대해서, 즉 빔 1,2,3,4를 통해 DRTS를 전송한고 노드 D도 그에 대한 응답으로 DCTS를 빔 1,2,3,4를 통해 전 방향으로 전송할 것이다. 하지만 이 경우에도 마찬가지로 중간에 있는 노드 A의 빔 3번이 Block 되는 것은 마찬가지 이므로 노드 B가 노드 A를 향하는 DRTS를 듣지 못할 것이다. 게다가 이 방법의 경우에는 다수의 DRTS/DCTS를 전송하기 때문에 컨트롤 프레임의 오버헤드가 존재하는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점은 다수의 안테나를 사용해 전 방향으로 동시에 전송하는 방법[8], DRTS/DCTS의 전송 스케줄링 재조정을 통한 오버헤드 감소하는 방법 등의 기법[6]이 제안되었지만 여전히 통신 중이지 않은 노드의 난청 문제는 해결되지 않은 부분이다.

3.2 Advanced Notice Strategy

난청 문제를 해결하기 위한 노력으로 두 번째 방법은 자신의 미래 통신노드에게 특별한 프레임을 전송함으로써 문제를 해결하려는 방법이 있다[2,7]. 이 방법들은 노드가 통신을 시작하기 전에 자신의 전송대기 큐를 확인한 후, 미래 통신노드를 확인하여 그 노드로 하여금 자신이 미래에 통신할 수도 있다는 정보를 알려줌으로써 난청 문제를 예방하는 방법이다. 즉, 미래 통신노드로 지목받은 노드는 자신이 난청 노드가 될 수 있다는 사실을 알게 되고 자신이 통신을 시작할 때 자신을 지목한 노드로 하여금 자신이 얼마동안 통신한다는 사실을 알려줌으로써 난청 문제를 방지한다. 이 경우에는 통신 중인 노드에 대해서는 어느 정도 난청 문제를 해결이 가능하다. 그림 3에서 만약 노드 X가 미래의 통신 노드 A라는 것을 알려주는 프레임을 A에게 전송한 상태라면 노드 A는 노드 B와 통신하기 전에 노드 A에게 노드 B와 통신을 시작 할 것이라고 알려줌으로써 난청 문제가 해결이 된다. 하지만 노드 A가 노드 X의 미래의 통신노드라는 것을 지목 받기 전에 노드 B와 통신을 한다면 여전히 해결이 불가능하다. 게다가 이러한 기법은 통신 중이지 않은 노드의 난청 문제 역시 해결이 불가능하다. 그림 4에 위의 기법을 적용시켜봤자, 노드 A의 3번 빔은 여전히 Block 된 상태이므로 노드 B의 DRTS 프레임을 전혀 받지 못하는 상태가 된다. 이 기법의 문제점 중 하나는 미래의 통신노드를 지목하는 프레임이 네트워크 오류로 인해 전달되지 못하면 여전히 난청 문제를 해결하지 못하는 결과를 초래하게 된다. 게다가 이런 지목하는 프레임에 대한 오버헤드 역시 존재하는 문제점이 있다.

3.3 Detecting Network Failure

세 번째 방법은 DRTS 프레임을 보냈을 때 응답이 안 오는 현상, 즉 네트워크 실패를 충돌 및 난청 문제 두 가지로 구분지어 송신자가 이를 확인 할 수 있는 방법이다[1]. 이 경우에는 추가적인 오버헤드로 컨트롤 채널이 필요로 하다. DRTS, DCTS. DATA, ACK 프레임을 전송하는 데이터 채널 외에 Tone을 전송하는 컨트롤 채널이 있다. 이 방법은 노드가 통신을 끝마친 뒤에 즉, DATA 프레임이 전송되고 ACK프레임을 받게 되면 Tone을 전송하게 된다. 이 Tone은 전송이 끝

www.dbpia.co.kr

났다는 표시이며 Omni 하게 전송된다. 이러한 Tone을 받게 되면 주변 노드의 통신이 끝났다는 것을 알게 되고 난청 문제에 빠진 노드는 자신의 Backoff window 크기를 초기화 시켜서 다시 DRTS 프레임 전송을 시도하게 된다. 이러한 방법은 난청 문제를 근본적으로 해결하지는 못하지만 난청 문제로 생기는 문제점을 경감하는 것이 목적이다. 그림 3에서 노드 X는 노드 A가 통신 중인 사실을 몰라서 Backoff window 크기를 지수 적으로 증가 시키며 DRTS를 전송하려 시도하고 있지만 노드 A는 노드 B와의 통신이 끝나면 Tone을 전송하게 된다. 이러한 Tone을 받은 노드 X는 자신의 네트워크 실패가 난청 문제라고 파악하게 되며 자신의 Backoff window 크기를 초기화 시켜 노드 A가 다시 노드 B와의 통신을 시작하기 전에 공정하게 경쟁에 참여함으로써 난청 문제에 의한 피해를 경감시킬 수 있다. 하지만 통신 중이지 않은 노드의 난청 문제는 여전히 해결이 가능하지 않다. 그림 4에서 노드 S와 노드 D간의 통신이 끝나서 노드 S가 Tone을 전송한다고 하여도 중간에 있는 노드 B는 그 Tone이 노드 A의 Tone이 아니므로 무시하게 되고 계속해서 Backoff 과정을 수행하게 된는 문제점이 발생한다. 따라서 이 방법역시 통신 중이지 않은 노드의 난청 문제는 여전히 해결이 불가능 하다고 할 수 있다.

Ⅳ. 성능평가

본장에서는 난청 문제를 해결하기 위한 다양한 DMAC 프로토콜을 시뮬레이터를 통해서 비교 분석해 본다. 성능평가는 OPNET 16.0a 시뮬레이터[10]를 사용하여 다양한 DMAC 프로토콜을 구현했으며 각각의 기법은 CRCM[3], AN-DMAC[2], Tone-DMAC[1]을 선택하여 구현하였다. 표 1과 같은 성능 평가 파라미터를 사용했다.

성능평가에 이용되는 토폴로지는 그림 3 및 그림 4처럼 구성되어있는 토폴로지를 사용 했으며 평가 항목으로는 네트워크 처리량 및 평균 전송 대기시간을 분석함으로써 각각의 DMAC 프로토콜의 성능을 분석하도록 한다.

표 1. 시뮬레이션 성능 평가 파라미터

환경변수	값
Omni 전송 거리	150m
Directional 전송 거리	200m
Max Backoff Size	1024
Packet Size	512Bytes
Inter-Arrival Time	0.003 msec
Data Rate	11Mbps
빔의 갯수	4개

4.1 네트워크 처리량

그림 5는 그림 3과 같은 네트워크 토폴로지에서 3장에서 소개한 지향성 안테나를 위한 MAC 프로토콜의 처리량을 보여준다. 그림에서 관찰한 결과 Tone-DMAC이 가장 우수한 성능을 보여주었다. CRCM의 경우에는 전 방향에 대해서 DRTS/DCTS를 보내는 컨트롤 오버헤드 때문에 가장 낮은 성능을 나타내었다. AN-DMAC의 경우에는 이 시나리오에서는 완벽히 해결이 되지 않기 때문에 난청 문제를 완벽히 해결하지는 않지만 그 피해를 경감시키는 Tone-DMAC 보다 낮은 성능이 측정되었다.

그림 6은 그림 4와 같은 네트워크 토폴로지가 구성되었을 때의 네트워크 처리량을 보여준다. 그림 5의 결과와 비슷하게 Tone-DMAC의 결과 값이 가장 좋

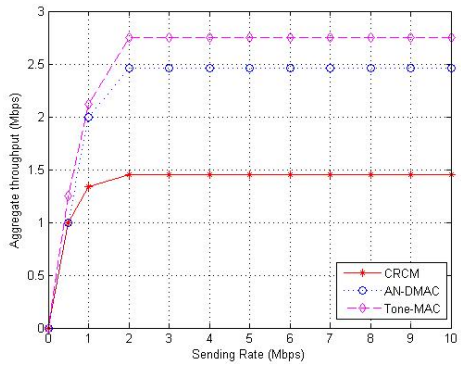

그림 5. 제안된 DMAC 프로토콜의 네트워크 처리량(그림 3 시나리오)

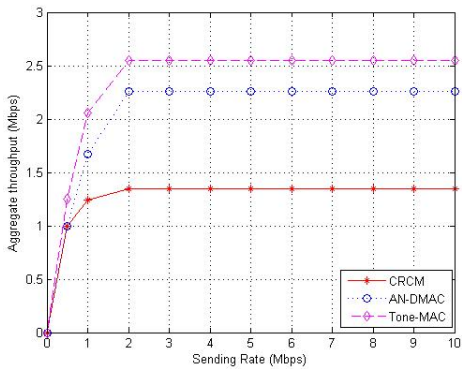

그림 6. 제안된 DMAC 프로토콜의 네트워크 처리량(그림 4 시나리오)

www.dbpia.co.kr

은 결과를 나타내었다. 이 시나리오의 경우에는 모든 기법들이 난청문제를 해결하지 못하기 때문에 난청 문제에 의한 피해를 경감시키는 Tone-DMAC이 가장 좋은 결과 값을 나타낸 것으로 보인다. CRCM의 경우는 마찬가지로 컨트롤 오버헤드 때문에 현저히 낮은 결과 값을 나타내었다. 게다가 이 시나리오에서는 CRCM으로도 난청 문제를 해결하지 못하기 때문에 그림 5보다 낮은 성능을 나타내었다.

4.2 평균 전송 대기시간

표 2는 그림 4의 시나리오에서의 평균 전송 대기시간이다. 표에서 보다시피, 그림 4의 경우에는 모든 기법이 난청문제를 해결하지 못하기 때문에 비슷한 성능을 보인다. 하지만 Tone-DMAC의 경우에는 하나의 커뮤니케이션 플로가 끝나게 되면 난청 문제를 알아낼 수 있기 때문에 조금 더 낮은 결과가 나타났다.

표 2. 각 기법별 평균 통신 대기시간(그림 4 시나리오)

CRCM	AN-DMAC	Tone-DMAC
5 sec	4.9 sec	4 sec

V. 결 론

최근 무선 Ad hoc 네트워크 내에서 지향성 안테나를 사용한 MAC 프로토콜이 다양하게 연구되어오고 있다. 이러한 연구는 DMAC 프로토콜에서 나타나는 난청 문제를 해결하기 위한 방향으로 진행되어 오고 있다. 난청 문제는 크게 통신 중인 노드의 난청문제, 통신 중이지 않은 노드의 난청 문제 2가지로 나뉘는데 이러한 문제를 해결하기 위한 기법으로 크게 3가지로 구분이 된다. 즉 주변노드에 자신의 통신정보를 알려주는 방법, 2) 미래 통신노드를 지정하는 방법, 3) 실제 네트워크 실패를 알아내는 방법이다. 본 논문에서는 이러한 기법들은 통신 중인 노드의 난청 문제는 해결이 어느 정도 되지만 통신 중이지 않은 노드의 난청 문제는 해결이 힘들다는 것을 예를 통하여 검증 하였다. 또한 OPNET 시뮬레이터를 통하여 각 기법의 성능을 분석하였다.

참 고 문 헌

〔1〕 R. R. Choudhury, and N. H. Vaidya, "Deafness: A MAC Problem in Ad Hoc Networks when using Directional Antennas," *in Proc of ICNP*, 2004.

〔2〕 J. Feng, P. Ren, and S. Yan, "A deafness free MAC protocol for ad hoc networks using directional antennas," *in Proc. of ICIEA*, 2009.

〔3〕 G. Jakllari, I. Broustis, T. Korakis, S. V. Krishnamurthy, and L. Tassiulas,"Handling asymmetry in gain in derectional antenna equipped ad hoc networks," *in Proc of PIMRC*, 2005.

〔4〕 Y. B. Ko, V. Shankarkumar, and N. H. Vaidya, "Medium access control protocols using directional antennas in ad hoc networks," *in Proc. of INFOCOM*, 2000.

〔5〕 T. Korakis, G. Jakllari, and L. Tassiulas, "A MAC protocol for full exploitation of directional antennas in ad hoc wireless networks," *in Proc. of Mobihoc*, 2003.

〔6〕 P. Li, H. Zhai, and Y. Fang, "SDMAC : Selectively Directional MAC protocol for wireless mobile ad hoc networks," *International Journal of Wireless Networks*, vol.15, pp. 805 - 820, 2009.

〔7〕 M. Takata, M. Bandai, and T. Watanabe, "RI-DMAC: a receiver-initiated directional MAC protocol for deafness problem," *International Journal of Sensor Networks*, Vol.5, pp.79-89, 2009.

〔8〕 E. Ulukan, and O. Gurbuz, "Angular MAC: a framework for directional antennas in wireless mesh networks," *International Journal of Wireless Networks*, Vol.14, pp.259-275, 2008.

〔9〕 T. Viero, K. Rounioja, T. Sipila, R. Verkasalo, J. Takala, and J. Lilleberg, "Dual Antenna Receivers for High Data Rate Terminals," *Journal of Wireless Personal Communications*, vol. 43, no 2, 2007.

〔10〕 OPNET Technologies, Inc., http://www.opnet.com/

www.dbpia.co.kr

나 웅 수 (Woongsoo Na) 준회원

2010년 2월 중앙대학교 컴퓨터공학부 학사 졸업
2010년 3월~~현재 중앙대학교 컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> 무선네트워크, 지향성 MAC 프로토콜

조 성 래 (Sung Rae Cho) 종신회원

1992년 2월 고려대학교 전자전산공학과 학사
1994년 2월 고려대학교 전자공학과 석사
2002년 12월 미국 조지아공대 전기및컴퓨터공학과 박사
1994년 2월~1996년 8월 한국전자통신연구원 연구원
2003년 1월~2003년 7월 삼성 종합기술원 전문연구원
2003년 8월~2006년 7월 미국 조지아서던대학교 컴퓨터학과 조교수
2006년 9월~현재 중앙대학교 컴퓨터공학부 부교수
<관심분야> 무선네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅

www.dbpia.co.kr