

Deafness 문제를 해결하기 위한 지향성 MAC 프로토콜

안한순, 홍성필, 강현국
고려대학교 전자정보공학과
e-mail:han99@korea.ac.kr

A MAC Protocol using Directional Antenna to Solve Deafness Problem

Han-Soon An, Sung-Peel Hong, Hyun-Kook Kahng*
*Dept of Electronic and Information Engineering, Korea Univ.

요 약

무선 Ad-hoc 네트워크에서는 주로 IEEE 802.11 MAC 프로토콜을 이용한다. IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 제어 메시지인 RTS-CTS를 통해서 채널 예약을 하고 데이터를 전송하는 방식으로 모든 통신에 Omni-directional 안테나를 이용하여 전송한다. 본 논문에서는 기존 IEEE 802.11 MAC 프로토콜보다 성능을 향상시키기 위해서 directional 안테나를 이용한 MAC 프로토콜을 사용한다.

Directional 안테나를 사용한 MAC 프로토콜은 IEEE 802.11 MAC 프로토콜에 비해서 Spatial Reuse를 증가함으로써 채널 자원을 더욱 효율적으로 사용하는 것이 가능하다. 또한 Directional 안테나의 사용은 안테나의 지향성에 따른 안테나 이득 및 전송 범위의 증가 그리고 전송 범위를 Omni-directional 안테나와 동일하게 적용할 경우에는 저 전력 통신이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 Directional 안테나의 사용은 IEEE 802.11 MAC보다 좋은 성능을 갖기는 하지만 새로운 문제들이 발생한다. 이러한 문제들로는 New Hidden Terminal, Deafness, Capture, 그리고 위치 인식에 관련된 문제들이 발생한다.

본 논문에서 위에서 언급한 Directional 안테나의 이점과 그리고 문제점에 대해서 설명하고, 이러한 문제들 중에 Deafness 문제를 완화시킬 수 있는 방법을 제안한다. 그리고 QualNet 4.0을 이용한 시뮬레이션을 통해서 제안된 프로토콜의 성능을 평가한다.

1. 서론

무선 Ad Hoc 네트워크에서의 802.11 MAC 프로토콜의 Omni-directional 안테나를 사용하는 방식은 충돌 회피를 위해서 임의의 두 노드가 전송 중이면 주위의 이웃 노드들은 RTS, CTS Frame의 duration field 정보로 NAV 값을 책정하고, 전송이 끝날 때까지 기다리고 있어야 한다. 주위의 노드가 전송할 패킷이 있더라도 두 노드의 통신이 끝날 때까지 기다려야 함으로서, 자원 활용적인 면에서 비효율적이다. 이러한 자원 활용을 높이기 위해서 directional 안테나를 사용하여 성능을 향상시킬 수 있다.

Directional 안테나를 사용하는 MAC 프로토콜은 Spatial Reuse 증가, 안테나의 지향성에 따른 전송 범위의 증가와 안테나의 높은 이득, 그리고 Omni-directional 안테나와 전송범위를 같게 한 경우에 저 전력을 이용하는 장점을 갖는다. 그러나 Directional 안테나의 사용은 새로운 문제들이 발생시키게 된다.

본 논문에서 Directional 안테나를 이용하여 생기는 문제점을 설명하고, 이러한 문제들 중에서 Deafness를 완화시키는 방안을 제안한다. 그리고 시뮬레이션을 통해서 제안된 프로토콜의 성능을 평가한다.

2. 관련 연구

2.1 IEEE 802.11 MAC

IEEE 802.11 MAC은 두 노드의 통신은 RTS-CTS로 채널을 예약하고, DATA-ACK을 교환하는 4 hand-shake로 이루어진다. 이웃 노드들은 두 노드가 주고받는 제어 메시지의 duration field의 정보를 가지고 NAV 값을 설정하고 두 노드의 통신이 끝날 때까지 기다린다. 이 후에 보낼 패킷을 갖는 노드는 Backoff를 통해 경쟁하고, 그 경쟁에서 이긴 사람이 4 handshake를 통해서 통신을 한다.

IEEE 802.11 MAC에서는 Omni-directional 안테나를 사용하여 주위 노드에게 duration field 값을 제공하여

silent node를 형성하게 만든다.

Silent node의 형성으로 보낼 데이터가 있더라도 두 노드의 통신이 끝날 때까지 기다림으로서 채널의 자원을 낭비하게 된다. 채널의 자원을 효율적으로 사용하기 위한 방법 중에 하나로 제안된 것이 Directional 안테나를 사용하여 지향성을 갖는 것이다.

2.2 Directional 안테나 사용의 문제점

Directional 안테나의 사용은 기존 IEEE 802.11 MAC보다 더 나은 장점을 갖는다. Directional 안테나의 사용은 Spatial reuse의 증가, 안테나의 이득 증가, 그리고 전송 범위 증가의 장점을 갖는다. 추가적으로 Omni-directional 안테나와 전송 범위를 갖게 하도록 한다면 저전력을 이용한다는 장점을 갖을 수 있다.

그러나 많은 장점을 갖는 반면에, 새로운 문제들을 발생하게 된다. 대표적인 문제들로는 New Hidden Terminal Problem, Deafness, 그리고 Capture에 대한 문제들이다.

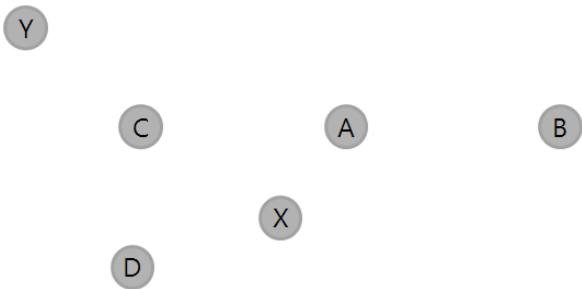


그림 1 Ad Hoc 네트워크

(가) New Hidden Terminal Problem

New Hidden Terminal Problem은 두 가지 경우에 발생한다. 첫 번째로, 송수신기의 안테나 이득의 불균형에 의해 발생하는 경우에 발생한다. 예를 들어 그림 1에서 A와 B가 통신 중인 경우에, C가 Omni-directional mode로 carrier sensing한다면, C의 sensing 거리로는 B의 CTS frame을 sensing하지 못하게 된다. 이 상태에서 C가 A에게 전송할 데이터가 있는 경우에 C는 A에게 RTS 메시지를 보낼 것이다. 이렇게 되면 충돌이 발생하게 된다. 이때에 C는 B의 hidden node가 되어 New Hidden Terminal Problem이 발생한다. 두 번째로, CTS 메시지를 듣지 못하는 경우에 발생하게 된다. 예로, 그림 1에서 X와 Y가 전송 중이고, 이후에 A와 B가 전송을 위해서 RTS-CTS 메시지로 채널 예약을 하는 경우에 X는 B의 CTS 메시지를 듣지 못하게 된다. 이 때에 X가 Y와 통신이 끝나고, B에게 데이터를 가지는 경우에 B에게 RTS 메시지를 보내게 되면 충돌이 발생하게 된다. 이로서 New Hidden Terminal Problem이 발생하게 된다.

New Hidden Terminal Problem은 [2]에서는 DNAV을 이용하여 해결하였고, [1]에서는 기존의 802.11 MAC에서와

같이 Omni-directional RTS/CTS을 이용하고 Directional DATA/ACK를 이용하여 해결하고 있다.

(나) Deafness

Deafness는 기존의 802.11 MAC 프로토콜의 Omni-directional 안테나를 사용할 때에는 발생하지 않고 Directional 안테나를 사용함으로써 발생하는 새로운 문제이다. 예를 들어, A와 B가 통신 중이라고 하자. 이 때에 D가 A에게 보낼 데이터를 가지고 있고, 이 데이터를 보내기 위해서 RTS 메시지를 A에게 보낼 것이다. 그리고 나서 CTS 메시지를 기다릴 것이다. D는 A와 B가 통신 중이라는 사실을 모르고 있으므로, CTS 응답을 기다리다가 Timeout이 되면, Backoff 값을 증가시키고 나서 다시 RTS를 메시지를 보낼 것이다. A와 B의 통신이 끝날 때까지 이렇게 반복된다 보면 D의 Backoff Window값이 증가되게 될 것이다. 이 때, A와 B의 통신이 끝나면 D는 A와 바로 통신을 시작할 수 있을까? 만약 주위에 어떤 노드도 A와 통신하려고 하지 않는다면 가능할 것이다. 그러나 D의 Backoff window 값이 크기 때문에, Backoff가 감소하는 동안에 주위에 다른 노드가 A와 통신할 경우가 더 높다. 그렇게 되면 D는 RTS threshold 값을 벗어나게 되고 데이터를 버리게 될 것이다. 이러한 경우에, A를 D의 Deaf node라고 한다. 그리고 이러한 현상이 Deafness Problem 현상이다.

Deafness의 해결방안으로는 [1]에서는 RTS/CTS는 Omni-directional 안테나를 이용하고, DATA/ACK는 Directional 안테나를 이용하여 초기에 Deafness 환경을 없애주어서 해결하는 방법과 [3]의 ToneDMAC은 DATA/ACK 이후에 Out-of-Band busy tone을 이용하여 Backoff CW를 초기화함으로써 Deafness 문제를 해결하였다. 그리고, [4]의 SDMAC는 두 가지 형태의 RTS/CTS로 Deafness 문제를 해결하고 있다.

(다) Capture

Capture는 노드에 예정되지 않은 패킷이 수신되어 발생하는 문제로, 사용 가능한 통신 시간을 활용하지 못하여 성능 감소를 가져오게 된다. 예를 들어 그림 1에서 A는 D에게 보낼 데이터가 있고, X는 Y에게 보내 데이터가 있다고 할 경우에, A와 D가 먼저 채널 예약을 위해서 RTS-CTS 메시지를 주고받게 되면 X는 보낼 데이터가 있더라도 silent node가 되어서 두 노드 간의 통신이 종료될 때까지 기다려야 한다. 이 때에 X를 capture node라고 한다. 이러한 현상이 바로 Capture 현상이다. X는 보낼 데이터가 있음에도 불구하고 A와 D의 통신이 종료될 때까지 기다리고 있어야 함으로서 자원 활용을 못하고 있게 되는 것이다.

Capture의 해결방안은 [5]에서 CaMAC과 CaDMAC를 이용한다. CaMAC은 On-duration과 Off-duration의 time

-cycle를 사용하여, On-duration동안에, capture traffic이 발생하는 beam의 블랙리스트를 작성하여, Off-duration동안에 블랙리스트의 beam을 작동시키지 않음으로서 Capture 문제를 해결할 수 있다.

CaDMAC은 통신 시에는 하나의 beam을 이용하고, 통신 이후의 Idle 시에는 멀티 beam을 이용과 함께 DNAV를 이용하여 Capture 문제를 해결하고 하지만, Deafness 문제가 발생하고 있다.

위와 같이 Directional 안테나를 사용함으로써 새로운 문제들이 나타나고 있지만 Omni-directional 안테나를 사용하는 경우보다 자원 활용적인 면에서 성능 향상을 이룰 수 있다.

본 논문에서는 새롭게 발생하는 문제들 중에서 Deafness 문제를 해결할 수 있는 프로토콜을 제안했다. 다음 장에서 제안된 프로토콜에 대해서 설명한다.

3. 제안 프로토콜

본 논문에서는 제안한 DIDMAC(Deafness Information for Directional MAC)은 Directional 안테나를 사용하는 MAC 프로토콜에서 발생하는 문제들 중에 Deafness 문제를 완화시켜 성능을 향상시킬 수 있는 프로토콜이다.

안테나모델은 Switched Beam 안테나를 사용하여 Omni-direction mode와 Direction mode 두 가지 형태로 Data를 전송할 수 있도록 하였으며, 안테나 패턴은 M=8의 패턴을 사용한다.

본 논문에서의 두 노드 간의 데이터 전송을 위해서 제어 메시지인 DRTS-OCTS로 채널을 예약하고 DDATA-DACK로 데이터 전송과 데이터 전송의 응답을 한다. 이후에 주위의 노드가 deafness에 걸리지 않도록 Deafness 정보를 Omni-direction 모드로 DI 메시지를 보낸다.

기존 IEEE 802.11에 추가된 부분은 ACK 이후에 DI(Deafness Information) Frame을 추가하였고, CTS Frame에는 Source Address field를 추가하였다.

각 노드는 Deafness Table과 DNAV Table을 가지며, RTS, CTS, DI Frame을 통해서 정보를 각 테이블에 저장시킨다.

RTS를 보내기 전에, 자신의 노드에 Deafness Table과 DNAV Table의 정보를 확인하고 자신이 보내고자 하는 목적지 노드가 각 테이블 정보에 해당되지 않으면 전송을 시작한다. 만약에 Deafness 테이블 또는 DNAV 테이블에 보내고자 하는 데이터의 목적지 주소가 한 테이블에라도 속하면 해당 목적지 노드가 통신이 끝날 때까지 기다려야 한다.

Deafness Problem은 위에서 이야기 했듯이, 데이터를 전송하고자 하는 목적지주소가 통신 중이라는 것을 모르고, RTS Frame을 전송함으로써 Timeout에 의한 Backoff Windows의 크기가 커져서, 결국에는 데이터를 Drop하게 되는 현상이다. 이를 해결하기 위해서 CTS Frame으로 자

신이 Deaf node임을 밝히고, 이후에 듣지 못한 노드에 대한 DI Frame으로 Deaf node라는 것을 알림으로서 Backoff Window의 크기를 재설정하여 데이터를 Drop을 하지 않게 하고, RTS Frame을 지속적으로 보냄으로서 생기는 Overhead를 줄일 수 있다.

그림 2는 제안된 프로토콜의 전송 과정이다. Direction mode로 RTS를 보내고 CTS로 응답하는 경우에는 Omni-direction mode로 보냄으로서 목적지 노드의 주위의 이웃에게 전송 중인 것을 알려준다. 이후에 DATA-ACK를 direction mode로 보낸다. 이후에 DI Frame을 Omni-direction mode로 보냄으로서 주위에 Deaf node 정보를

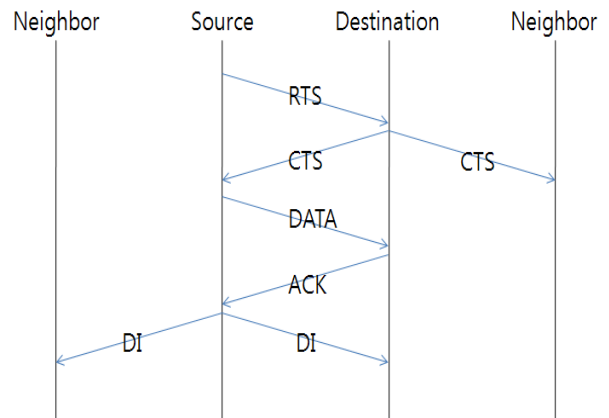


그림 2 프로토콜 전송 과정

보내어 deaf node에 RTS를 보내고 있던 이웃 노드에게 Backoff Window를 재설정을 하도록 한다.

이와 같은 방법으로 Directional 안테나를 사용한 MAC 프로토콜에서 생기는 Deafness 문제를 해결함으로써 Deaf node에 RTS Frame을 지속적으로 전송함으로써 생기는 Overhead을 해결하고, 데이터의 손실을 방지할 수 있다.

4. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 QualNet 4.0을 이용하여 제안한 프로토콜과 IEEE 802.11 그리고 DMAC의 성능을 비교하였다. 실험환경은 Deafness가 발생할 수 있는 환경의 토폴로지를 구성하였고 구체적인 실험 환경은 표 1에 기술하였다.

표1. 시뮬레이션 환경 변수

Factor	Value
시뮬레이션 시간	30초, 60초, 90초
전송범위	339.33m
패킷 크기	512byte
안테나모델	Switched Beam 안테나
SIFS	10μs
DIFS	50μs
CWmin	31
CWmax	1023

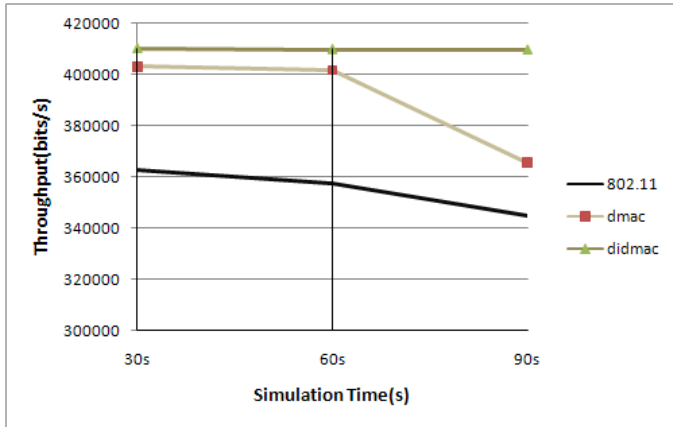


그림 3 Throughput

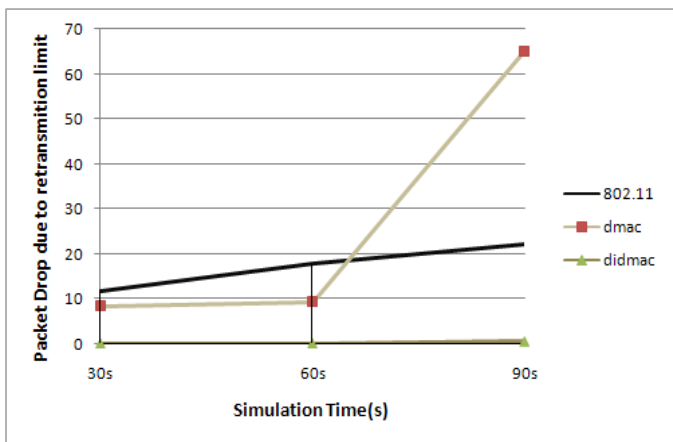


그림 4 Packet Drops due to Retransmission Limit

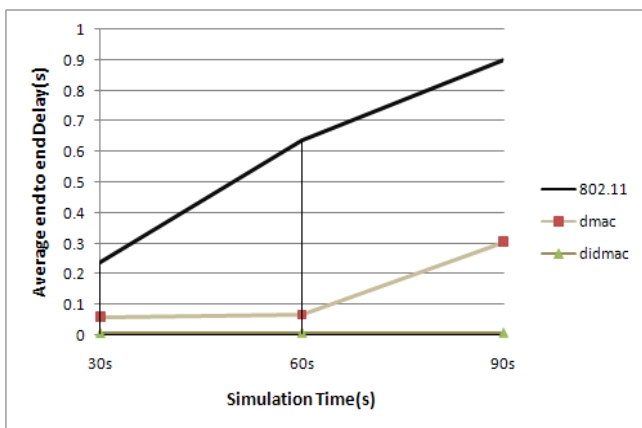


그림 5 End-to-End Delay

그림 3은 시뮬레이션 시간에 따라서 802.11, DMAC, 제안 프로토콜의 처리량의 성능을 비교한 것이다. 평균적으로 제안된 프로토콜이 802.11보다 성능이 좋고, DMAC과는 거의 유사한 것을 볼 수 있다. 제안된 프로토콜에서는 Deafness 문제를 완화시켜줌으로서 평균적으로 안정된 처리량 성능을 보여주고 있다.

그림 4는 MAC에서 재전송 제한으로 생성되는 패킷의

손실을 보여주고 있다. 여기서의 특이점은 DMAC을 보면 시뮬레이션 시간을 증가됨으로서 Deafness 문제가 증가됨에 따라 패킷의 손실이 많아지는 것을 볼 수 있다. 평균적으로 제안된 프로토콜에서 Deafness에 의한 재전송을 방지함으로써 패킷의 손실이 적은 것을 볼 수 있다.

그림 5에서는 종단 간 지연을 보여준다. Deafness에 의해 생기는 평균적인 지연을 줄여줌으로서 종단 지연이 낮은 것을 볼 수 있다.

결과적으로 제안된 프로토콜인 DIDMAC은 Deaf node를 주위의 노드에게 알려주어 Deafness 문제를 완화시켜줌으로서 Directional 안테나의 이점을 살리고 Deafness에 의해 발생하는 패킷의 손실을 줄여주어 안정된 성능을 보여주는 것을 볼 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서 제안된 프로토콜 DIDMAC은 IEEE 802.11에 Omni-directional 안테나가 아닌 Directional 안테나를 사용함으로써 Spatial Reuse를 증가시켜서 자원을 효율적으로 활용하고, Directional 안테나를 사용함으로써 발생하는 Deafness 문제를 완화시켜줌으로서 안정된 성능 및 재전송 제한에 의해 발생하는 패킷 손실을 줄여줌으로서 성능이 향상되는 것을 볼 수 있다.

추후에 위치 기반의 라우팅 프로토콜을 추가한다면 성능이 더 향상될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] A. Nasipuri, S. Ye, and R. E. Hiromoto, A MAC protocol for mobile ad hoc networks using directional antennas. In IEEE WCNC 2000.
- [2] M. Takai, J. Martin, and R. Bagrodia, and A. Ren Directional virtual carrier sensing for directional antennas in mobile ad hoc network. ACM MobiHOC 2002.
- [3] R. R. Choudhury and N. H. Vaidya, Deafness: a MAC problem in ad hoc networks when using directional antennas. ICNP 2004.
- [4] Pan Li, H. Zhai, and Y. Fang, A Directional MAC Protocol for Ad Hoc Networks, IEEE MILCOM 2006.
- [5] R. R. Choudhury and N. H. Vaidya Capture-Aware Protocols for Wireless Multi-hop Networks Using Multi-Beam Directional Antennas, Technical Report, March 2005.
- [6] Y. B. Ko, V. Shankarkumar, and N. H. Vaidya. Medium access control protocols using directional antennas in ad hoc networks. In the Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2000), pages 13 - 21, Tel Aviv, Israel, 2000.
- [7] C. S. Z. Huang, C.-C. Shen and C. Jaikao. A busy-tone based directional MAC protocol for ad hoc networks. In The Military Communication Conference (MILCOM 2002), 2002.