

Ad-hoc 무선 망에서 directional antennas를 사용한 새로운 MAC protocol

정용재, 정지웅, 김종권
서울대학교 정보통신연구소

{yjung0, jwjeong, ckim}@popeye.snu.ac.kr

A new MAC protocol for ad-hoc wireless Network using directional antennas

Yongjae Jung, Jiwoong Jeong, Chongkwon Kim
Dept. of Computer Science, Seoul National University

요약

Ad-hoc 무선 망에서 directional antenna의 사용은 interference를 감소시키고 spatial reuse의 증가, 그리고 네트워크 전체의 capacity 증가 등의 장점을 제공한다. 하지만 기존의 IEEE 802.11 MAC protocol은 omnidirectional antenna를 고려하여 디자인되었기 때문에 기존의 MAC protocol이 directional antennas에 사용될 경우 directional antennas의 장점을 효율적으로 제공하지 못한다. Directional antenna는 이러한 장점을 가지는 반면에 RTS/CTS를 방향성 있는 전송을 하기 때문에 hidden terminal과 이웃 노드의 위치를 파악하는데 있어서 많은 문제를 가지고 있다. 이 논문에서 우리가 제안하는 MAC protocol은 directional antennas 특성상의 문제점을 해결하여 directional antennas의 장점을 최대한 이용한다.

1. 서론

최근 들어 이용성의 편리함과 휴대의 용이함으로 인해 무선 장비에 대한 사용자들의 요구가 증대되고 있다. 이러한 요구에 의해 IEEE 802.11에서는 무선 랜 환경에 맞는 표준을 제정하였다. 하지만 이 표준은 무선 랜에서 적합하게 제정되었기 때문에 ad-hoc 무선 망 환경에서는 효율적으로 작동하지 못한다. 따라서 우리는 이 문제를 해결하고자 ad-hoc 무선망에 적합한 새로운 MAC protocol을 제안하고자 한다. 우리가 제안하는 protocol은 directional antennas의 상태를 확인하고 주위 이웃노드로부터 오는 프레임을 통하여 이웃노드의 위치와 안테나의 상태를 나타내는 AOA(Antenna of arrival) table을 구성한다. 이러한 안테나의 상태와 AOA table을 통해 효율적인 RTS/CTS를 전송함으로써 directional antennas의 장점을 최대한 이용하고, spatial reuse와 부분적인 exposed terminal 문제를 해결할 수 있다. 따라서 우리가 제안하는 MAC protocol은 system의 capacity를 증대시키고 전송 시 interference를 줄이는데 목적이 있다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어있다. Section 2에서 그동안 제안되었던 방법들을 소개하였으며 3장에서는 우리가 제안하고자 하는 새로운 MAC protocol에 대해 자세히 설명하고 있다.

2. 관련 연구

802.11 MAC protocol은 omnidirectional을 위해 제안되었기 때문에 directional에는 새로운 방법이 필요하게 되었다. A. Nasipuri, S. Ye, J. You와 R. E. Hiromoto[1]는

RTS/CTS를 omnidirectional로 전송하고 data를 directional로 전송함으로써 interference를 줄이고 throughput을 향상시키는 방안을 제안하였지만 여기서는 spatial reuse에 대한 고려를 하지 않았다. Ko Young-Bae와 Vinaychandra[3]는 GPS를 사용하여 목적 노드의 위치를 파악하여 RTS를 방향성으로 전송함으로써 spatial reuse를 향상시키는 방법을 제안하였다. 또한 directional NAV를 이용하여 각 antenna의 전송을 관리하는 방안을 Mineo Takai와 Jay Martin[4]에 의해 제안되었다. 하지만 이 논문에서는 단지 directional 전송만을 사용하므로 hidden terminal, deafness 문제의 증가와 이웃 노드의 위치 결정에 문제점을 해결하지 못하고 있다. T.Korakis, G.Jakllari와 L.Tassiulas[6]는 RTS 전송시 1번째 안테나부터 m번째 안테나까지 따라 차례로 전송해서 omnidirectional 전송의 기능을 할 수 있는 방안을 제안하였다.

3. Proposed MAC protocol

directional antenna는 Interference의 감소, spatial reuse의 증가등 많은 이점을 가지고 있는 반면에 여러 가지 문제가 발생할 수 있다. 다양한 문제점으로 인해 directional antenna의 사용에 제약이 있으며 여기서 우리는 발생 가능한 문제점을 해결하고 이점을 최대한 높일 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

Directional antenna의 사용 시 고려해야 할 점들은 다음과 같다.

- signal 사이의 interference의 최소화
- exposed terminal 문제로 인한 spatial reuse 해결
- 이웃 노드들의 위치 파악

-RTS/CTS를 directional 전송시 hidden terminal 문제

3.1 directional antenna의 개요

각 노드는 m개의 directional antenna(m=4)와 AOA(antenna of arrival) table을 가지고 있으며 같은 이웃 노드로부터 새로운 프레임을 받을 때마다 AOA를 갱신한다. RTS/CTS의 수신시 각 안테나는 자신의 DNAV(directional NAV)를 갱신한다.

각 directional antenna의 상태는 다음과 같이 정의한다.

unblocked : 초기 상태로 RTS/CTS를 send/receive를 할 수 있다.

blocked : 자신이 목적지가 아닌 RTS/CTS를 받은 노드의 antenna로 receive만 가능하다.

active : RTS/CTS handshake로 연결이 이루어진 sender와 receiver 노드의 antenna로 data와 ack을 send/receive를 할 수 있다.

passive : sender와 receiver 노드중 active/blocked 상태가 아닌 모든 다른 antenna로 send/receive 모두 불가능하다.

한 node는 각 directional antenna에 대한 DNAV(directional network allocation vector)를 관리한다. DNAV는 sender와 receiver사이에 전송이 완료될 때까지의 시간으로 설정된다. 여기서 사용하는 DNAV는 [4]논문에서 제시한 DNAV(Directional NAV)와 같다. 또한 각 노드는 AOA(antenna of arrival) table을 관리하며 AOA에는 표1과 같은 항목으로 구성되어 있다. Neighbor는 packet을 받은 이웃노드를 나타내고 antenna number는 이웃 노드로부터 packet이 도착한 antenna를 나타낸다. 마지막 항목인 status는 각 antenna의 상태를 나타내며 위에서 설명한 4 상태(unblocked, blocked, active, passive)중 하나의 상태를 가진다.

표1. E 노드가 관리하는 AOA(antenna of arrival) table

neighbor	antenna number	status
A	3	blocked
B	4	blocked
D	1	unblocked

3.2 RTS/CTS의 전송 원리

각 노드는 data를 보내기 전에 hidden terminal 문제를 해결하고 전송매체를 예약하기 위해 RTS(request to send)를 전송한다. RTS를 받은 노드 중 목적노드는 RTS를 받은 안테나의 DNAV(CTS+DATA+ACT의 전송 완료 시간)를 설정하고 CTS(clear to send)를 전송한다. CTS 전송 후 RTS를 받은 안테나는 active 상태로 나머지 안테나(unblocked)는 passive상태로 설정한다. RTS를 전송한 노드가 CTS를 받으면 CTS를 받은 안테나를 active로 설정하고 나머지 안테나를 passive로 설정한다. 각각의 노드는

RTS/CTS 전송 전에 각 directional antenna의 상태를 확인하고 unblocked인 안테나로만 전송한다. 목적지가 아닌 노드들은 RTS/CTS를 수신한 안테나의 DNAV를 설정하고 상태를 blocked으로 만든다.

위의 과정이 그림1에 나타나 있다. 먼저 초기 상태로 모든 노드들의 안테나의 상태는 unblocked된 상태이다. node B는 모든 안테나의 상태가 unblocked이므로 RTS를 모든 방향으로 전송한다. 목적노드인 A는 RTS를 받은후 모든 안테나의 상태가 unblocked이므로 모든 방향으로 CTS를 전송한다. node A는 CTS 전송 후 RTS를 받은 안테나(1번)의 상태를 active로 설정하고 나머지 2,3,4번 안테나의 상태를 passive로 설정한다. node B는 3번 안테나로 CTS를 받게 되고 active로 설정하고 다른 1,2,4 안테나를 passive로 만든다. 다음 node A의 1번째 안테나(active)와 node B의 3번째 안테나(active) 사이에서 데이터 프레임이 이루어지게 된다. RTS를 받은 node C의 2번 안테나는 blocked 상태가 된다.(node E의 3번 4번, node F의 4번 안테나의 상태는 blocked, 또한 각 안테나의 DNAV를 세팅)

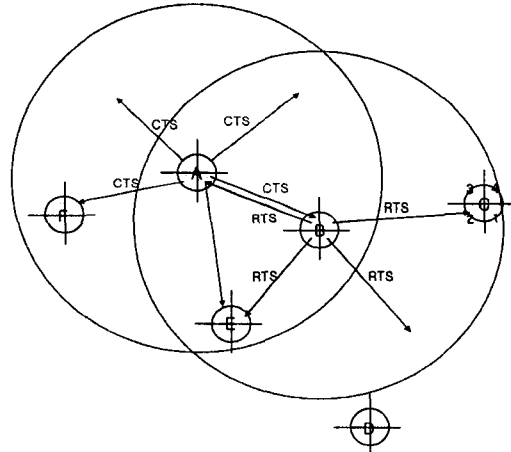


그림1. node B와 node A 사이의 communication

Node B와 node A의 전송 중에 node E가 node D로 전송을 시도하는 것은 기존 omnidirectional antenna를 사용하는 MAC protocol에서는 불가능하였다. 하지만 directional antenna 사용시 node E와 node D간의 전송이 가능하다. node E는 RTS 전송 전 안테나의 상태를 확인한다. node E의 3,4번 안테나는 blocked 상태이므로 unblocked 상태인 1,2번 안테나로만 RTS를 전송한다. Node D는 node E의 1번 안테나로 전송되는 RTS를 받게 되고 이 안테나를 통해 CTS를 전송하게 된다. 이로 인해 node B-node A와 node E-node D사이의 전송이 동시에 이루어진다. 따라서 omnidirectional antenna가 해결할 수 없었던 spatial reuse를 directional antenna의 사용으로 증가시킬 수 있다. 또한 unblocked인 모든 안테나로 RTS/CTS를 전송하므로 RTS를 directional antenna로 전송할 때 발생할 수 있는 hidden terminal 문제를 해결하고 다른 장비의 도우없

이 이웃 노드의 위치를 파악할 수 있다.

3.3 AOA table을 이용한 효율적인 RTS/CTS/ 전송

각 노드는 AOA(antenna of arrival) table을 이용하여 불필요한 RTS의 전송을 줄일 수 있다. 표1은 노드 E가 가지고 있는 AOA table을 나타내고 있다. node A와 node B사이엔 전송이 이루어지고 있다고 가정하자. 또한 node D와 D 아래에 있는 node X(암의의 노드 X를 가정)와의 전송이 완료되었으며 표1은 이 시점의 AOA table이다. node E는 3번째 안테나로 node A의 CTS, 4번째 안테나로 node B의 RTS를 받고, node D로부터 RTS를 1번째 안테나로 받아 AOA table을 구성하였다. node A와 node B는 아직 전송중이라 3, 4번째 안테나는 blocked 상태이며 node D와 node X와의 전송은 종료하였기 때문에 1번째 안테나는 unblocked 상태이다. 이와 같은 상태에서 node E가 node A로의 전송을 시도할 때 AOA table을 확인하게 되며 node A로 향하는 3번째 안테나가 blocked상태이므로 전송을 미루게 된다. 하지만 node D로의 전송을 시도할때는 1번째 안테나가 unblocked 상태이므로 RTS를 전송하게 된다. 이웃 노드의 위치에 대한 정보를 가지고 있으므로 RTS 전송이 불가능할 경우 전송을 미루게 된다.

3.4 directional antenna 상태의 변화

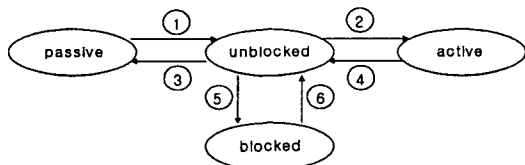


그림2. directional antenna의 상태 변화도

위 그림2와 같이 각 node의 directional antenna는 각각의 상황에 따라 antenna의 상태가 변화하며 이 변화된 상태는 프레임 전송시 이용되게 된다.

1. sender/receiver 노드의 전송 완료
2. RTS/CTS의 전송 완료
3. RTS/CTS의 전송 완료
4. sender/receiver 노드의 전송 완료
5. RTS 또는 CTS를 전송받은 후
6. DNAV 가 만료

초기 unblocked 상태에 있는 안테나는 RTS/CTS의 전송 후 (송신자와 수신자사이의) 데이터를 보내고 받을 안테나(RTS/CTS를 주고 받은 안테나)를 active로 설정하고 송신자와 수신자노드의 unblocked노드는 passive로 설정한다. RTS/CTS를 받은 주위의 다른 노드들은 RTS/CTS를 받은 안테나를 blocked로 설정한다. 노드의 blocked 된 안테나는 NAV가 만료하면 다시 unblocked 상태로 돌아온다. 송신자와 수신자는 전송이 끝난 후

active와 passive 상태인 안테나를 unblocked 상태로 되돌린다.

4. 결론

이 논문에서 우리는 directional antenna 사용의 효율을 높일 수 있는 새로운 MAC protocol을 제안하였다. 기존의 802.11 MAC protocol은 omnidirectional antenna를 고려하여 디자인 되었기 때문에 directional antenna의 사용에는 적합하지 않다. 방향성 안테나를 고려해서 제안한 새로운 MAC protocol은 각 노드가 이웃 노드로부터 받은 정보를 이용하여 AOA table을 구성하고 각 antenna의 상태를 RTS/CTS 전송시 이용하므로 불필요한 RTS 전송을 막을 수 있다. directional antenna의 특성을 활용하여 spatial reuse의 증가와 system의 capacity를 증가시킬 수 있다.

5. 참고 문헌

- [1] A.Nasipuri, S.Ye,J.You,R.E.Hiromoto, "A MAC protocol for mobile ad-hoc networks using directional antennas", In Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference(WCNC), Chicago, IL, Sep.23-28 2000
- [2] A. Nasipuri, Jothsna Mandava, Hanumantha Manchala and Robert E. Hiromoto, "On-demand Routing Using Directional Antennas in Mobile Ad Hoc Networks"
- [3] Y.B.Ko, V.Shankarkumar, and N.H.Vaidya, "Medium access control protocols using directional antennas in ad hoc networks", In Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications(INFOCOM), volume1(3), pages 13-21, Tel Aviv, Israel, Mar. 26-30 2000
- [4] M. Takai, J.Martin, A.Ren, R.Bagrodia, "Directional Virtual Carrier Sensing for Directional Antennas in Mobile Ad Hoc Networks", ACM MobiHoc, June 2002
- [5] R. Roy Choudhury, X.Yang R.Ramanathan, and N.H.Vaidya, "Using Directional Antennas for Medium Access Control in Ad Hoc Networks", Mobicom, 2002
- [6] T.Korakis, G.Jakllari, L.Tassiulas, "A MAC protocol for full exploitation of Directional antennas in Ad-hoc Wireless Networks", ACM MobiHoc, 2003