위치정보 기반의 Ad hoc 네트워크에서 방향성 안테나를 이용한 Dual-Channel MAC 프로토콜

한도형*, 강창남**, 좌정우***
제주대학교 공과대학 통신공학과

Dual-Channel MAC Protocol Using Directional Antennas in Location Aware Ad hoc Networks

Dohyung Han*, Changnam Kang**, Jeongwoo Jwa***
Telecommunication Engineering Department
Cheju National University
E-mail : *figure21@msn.com, **kcn4409@cheju.ac.kr, ***lcr02@cheju.ac.kr

Abstract

Ad hoc MAC protocols using directional antennas can be used to improve the network capacity. Directional antennas have a Deafness problem and decrease throughput of the network caused by increasing backoff duration. Dual channel protocols have been proposed to mitigate the Deafness and hidden node problems. In this paper, we propose a dual channel MAC protocol using a directional antenna to mitigate the Deafness problem and increase the network capacity. The performance of the proposed Ad hoc MAC protocol is confirmed by computer simulations using Qualnet ver. 3.8 simulator.

I. 서론

Ad hoc 네트워크에서 네트워크 용량을 증대시키기 위해 방향성 안테나와 두 개의 채널(Dual-Channel)을 사용하는 MAC 프로토콜들이 제안되고 있다[1-4]. 방향성 안테나는 채널의 재사용을 증가시키고 이웃 노드에 대한 간섭을 줄일 뿐만 아니라 소비전력을 줄이는 장점을 갖고 있다[2-3]. 방향성 안테나를 사용하는 Ad hoc MAC 프로토콜은 통신 중인 이웃 노드에 영향을 주지 않으면서 동시에 통신을 가능하게 한다. 제어채널과 데이터채널로 두 개의 채널을 사용하는 Ad hoc MAC 프로토콜은 RTS/CTS 는 제어채널로 전송하고 DATA/ACK 는 데이터채널을 전송하여 제어채널과 데이터채널 간 간섭을 줄인다 [4]. 방향성 안테나를 사용하는 Ad hoc MAC 프로토콜 중 DMAC 프로토콜[2]은 블로킹된 안테나 패턴이 존재할 때 방향성으로 RTS 를 전송하므로 전송노드로 데이터 전송요구에 대해 Deafness 문제가 발생할 수 있다. Deafness 문제는 백 오프 기간을 증가시키고 반복되는 재전송으로 인해 인접노드의 통신에 영향을 주게 되어 네트워크 성능을 저하시키는 원인이 된다. DMAC 프로토콜에서는 Overheard RTS/CTS 에 대해 해당노드를 블로킹 처리 하여 채널용량을 감소시킨다. DMAC 프로토콜에서 Overheard RTS/CTS 에 대해 DATA/ACK 커버리지에 있는 노드에 대해 해당 방향의 안테나패턴만 블로킹하면 채널용량을 증가시킬 수 있다. 두 개의 채널을 사용하는 프로토콜[4] 은 RTS/CTS 와 DATA 를 제어채널과 데이터채널로 분리하여 전송하므로 제어채널과 데이터채널간 간섭을 배제하지만 프레임을 전방향으로 전송하여 채널 재사용이 떨어진다. 본 논문에서는 두 개 채널을 갖는 MAC 프로토콜에서 제어채널을 전방향으로 전송하여 Deafness 문제를 해결하고 데이터채널은 방향성 안테나를 사용하여 채널용량을 증가시킨다. 제

"본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITA-2005-(4009-0502-4873-0009)).

안된 MAC 프로토콜의 성능은 Qualnet 3.8 시뮬레이터를 사용하여 확인하였다.

II. Ad hoc MAC 프로토콜

2.1 DMAC 프로토콜

DMAC 프로토콜[2]은 방향성 안테나를 사용하여 채널 재사용을 개선하는 방식이다. DMAC 프로토콜은 Overheard RTS/CTS 수신에 대해 해당 안테나 패턴을 블로킹 한다. RTS 를 전송할 때 블로킹된 안테나 패턴이 존재하지 않으면 ORTS(전방향 RTS)를 전송하고 블로킹된 안테나 패턴이 존재하면 DRTS(방향성 RTS)를 전송한다. 나머지 프레임은 OCTS, DDATA, DACK 로 전송한다. 그림 1 과 같이 노드 B 는 블로킹된 안테나 패턴이 없으므로 ORTS 를 전송하지만 노드 A 는 B 의 RTS 에 의해 안테나 패턴이 블로킹되므로 노드 D 에 DRTS 를 전송한다. 노드 A 가 B 와 통신을 하고자 할 때는 이미 그 방향의 안테나 패턴이 블로킹된 상태이므로 블로킹이 해제될 때까지 RTS 전송을 연기하여야 한다.

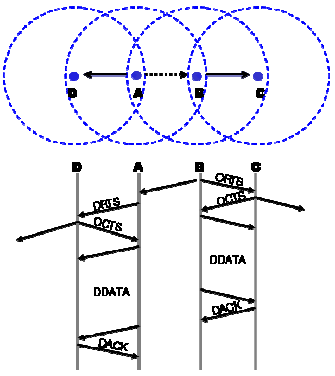


그림 1. DMAC 프로토콜의 신호 흐름도

2.2 두 채널 MAC 프로토콜(DUCHA)

두 채널 MAC 프로토콜[4]은 그림 2 와 같이 802.11 에서 제어채널과 데이터채널을 분리하고 Busy Tone 을 사용하여 Hidden/Exposed 터미널 문제와 Deafness 문제를 해결하고 채널 재사용을 증가시켜 네트워크 성능을 개선하는 방식이다. 노드가 RTS 를 수신했을 때 데이터 채널이 사용 중이면 CTS 대신 데이터 채널이 Idle 상태가 될 때까지 전송을 연기하는 NCTS(Negative CTS)를

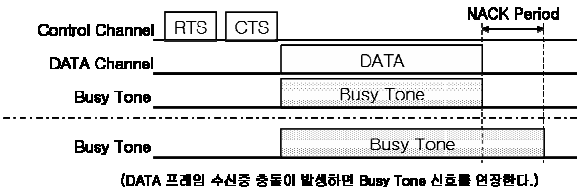


그림 2. 두 채널 MAC 프로토콜 신호 다이어그램

전송한다. 노드가 DATA 를 수신하면 Deafness 문제를 해결하기 위해 Busy Tone 을 전송하고 DATA 수신이 성공적으로 완료되면 통신을 종료하고 그렇지 않으면 NACK 를 전송한다. DATA 송신 노드에서는 DATA 전송을 완료하고 NACK 타이머 시간 동안 NACK 가 수신되면 재전송을 시도하고 그렇지 않으면 통신을 종료한다.

III. 전방향/방향성 안테나를 사용하는 두 채널 프로토콜

본 논문이 제안하는 전방향/방향성 안테나를 갖는 두 채널 MAC 프로토콜은 RTS/CTS 를 제어채널로 전방향 안테나로 전송하고 DATA/ACK 는 데이터채널로 방향성 안테나로 전송한다. 제안된 프로토콜에서 Overheard RTS/CTS 를 수신하는 노드는 블로킹 알고리즘을 통해 데이터채널에서 충돌이 발생할 위치에 있다고 판단을 경우에만 수신 안테나 패턴을 블로킹 한다. 노드에서 RTS 를 전송할 때 블로킹된 안테나 패턴에 목적지 노드가 있으면 블로킹 타이머를 동작시키고 타이머가 종료된 후 RTS 를 전송한다. 반대로 블로킹된 안테나 패턴으로 RTS 가 수신되면 CTS 대신 이웃 통신이 완료될 때까지 기다리라는 NCTS(Negative CTS)를 전송한다. NCTS 를 수신한 노드는 주어진 시간만큼 타이머를 동작시키고 타이머가 종료되면 다시 RTS 를 전송한다.

3.1 블로킹 알고리즘

제어채널에서 RTS 와 CTS 는 Deafness 문제를 해결하기 위해 전방향 안테나로 전송한다. 그러므로 Overheard RTS/CTS 를 수신한 노드는 RTS/CTS 를 전송한 노드의 데이터채널로 전송되는 DATA/ACK 의 커버리지에 속하는지 판단할 수 없다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 RTS/CTS 를 전송할 때 프레임 헤더에 정북방향을 기준으로 송신하는 안테나 패턴의 중심각을 포함해서

전송한다. 그림 3 에서 노드 C 와 노드 D 는 노드 A 의 Overheard RTS(또는 CTS)를 수신한다. 그러면 노드 C, D 는 A 의 데이터 전송 커버리지 안에 있는지를 판단해야 한다.

① 노드 A 는 RTS(또는 CTS) 헤더에서 전송 안테나의 중심각도를 포함하여 전송한다. 그림 3 과 같이 안테나 패턴수가 4 개이면 중심각이 ϕ일 때 전송패턴의 범위는 $\phi-45^\circ \le$패턴 범위$\le \phi+45^\circ$ 가 된다.

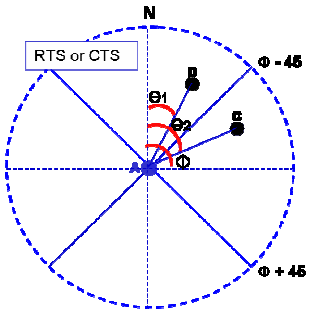


그림 3. Overheard RTS 로부터 DATA 커버리지 판단 방법

② 그림 3 에서 노드 C 와 D 는 노드 A 의 좌표를 바탕으로 정북방향을 기준으로 각도 θ를 아래와 같이 구한다.

$$\text{If } (x-a\ge 0 \text{ AND } y-b>0)\quad \theta=\tan^{-1}\left(\frac{x-a}{y-b}\right)$$

$$\text{else if } (x-a>0 \text{ AND } y-b\le 0)\quad \theta=\tan^{-1}\left(\frac{x-a}{-(y-b)}\right)+90$$

$$\text{else if } (x-a\le 0 \text{ AND } y-b<0)\quad \theta=\tan^{-1}\left(-\frac{x-a}{y-b}\right)+180$$

$$\text{else if } (x-a<0 \text{ AND } y-b\ge 0)\quad \theta=\tan^{-1}\left(\frac{-(x-a)}{y-b}\right)+270$$

③ 노드 C 와 같이 θ가 $\phi-45^\circ \le$패턴 범위$\le \phi+45^\circ$ 에 존재하면 노드 A 의 Overheard RTS(또는 CTS) 수신 방향의 안테나 패턴을 블로킹 한다.

3.2 제안하는 프로토콜의 동작

▫ RTS 전송

그림 4 에서 노드 C 가 노드 E 로 데이터를 전송할 때 안테나 패턴이 블로킹 상태가 아니므로 RTS 를 전송한다. 노드 C 와 노드 D 로 통신할 때는 노드 D 방향으로 안테나 패턴이 블로킹 상태이므로 블로킹 타이머를 동작시키고 타이머가 종료될 때까지 기다렸다 타이머가 완료되면 노드 D 로 RTS 를 전송한다.

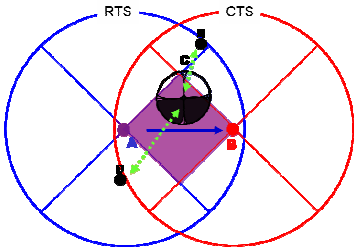


그림 4. 안테나 패턴의 상태에 따른 RTS 의 전송 방법

▫ RTS 수신

블로킹 된 안테나 패턴으로 RTS 를 수신하면 NCTS 를 전송하고 NCTS 를 수신한 노드는 NCTS 를 타이머를 동작시켜 타이머가 완료되면 RTS 를 재전송한다. 그림 4 에서 노드 C 는 블로킹되지 않은 안테나 패턴으로 RTS 를 수신하면 CTS 를 전송하지만 블로킹된 안테나 패턴으로 RTS 를 수신하면 CTS 를 전송하지 못하고 노드 A 와 B 간 통신이 완료된 이후에 RTS 를 재전송하라는 NCTS 를 전송한다.

▫ Deafness 문제 해결

Deafness 문제를 해결하기 위해 그림 5 와 같은 Deafness 테이블을 사용한다. Overheard RTS /CTS 를 수신하면 Deafness 테이블에 등록하고 이를 바탕으로 노드의 커버리지에 존재하는 노드들의 Deafness 여부를 판단한다. RTS 를 전송할 때 블로킹되지 않은 안테나 패턴에 목적지 노드가 존재하는 경우 목적지 노드가 Deafness 테이블에 있으면 목적지 노드가 통신을 종료할 때까지 Deafness 타이머를 동작시키고 ACK 를 수신하거나 타이머가 종료되면 Deafness 테이블에서 해당 노드의 정보를 삭제하여 Deafness 를 해제하고 RTS 를 전송한다.

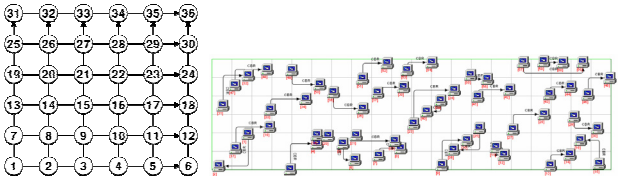
Source Addr	Dest Addr	Frame Type	Rx Time

그림 5. Deafness 테이블

IV. 성능평가 결과 및 토론

4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제안하는 ad hoc MAC 프로토콜의 성능은 QualNet 3.8 시뮬레이터를 사용하여 수행하였다. 시뮬레이션 시나리오는 그림 6(a)와 같이 5 홉의 6x6 토



(a) 격자형 토폴로지(다중 홉) (b) 랜덤 토폴로지(1 홉)

그림 6. 시뮬레이션 네트워크 토폴로지

최대전송거리	랜덤 토폴로지	격자형 토폴로지
CBR 트래픽(개수)	0.2 ~ 2.0Mbps (30 개)	0.1 ~ 1.0 Mbps (12 개)
노드간 거리	0~250m	240m
전송속도	제어 채널	데이터 채널
	1Mbps	1Mbps
최대전송거리	250m	
DATA 프레임 크기	1000byte	
시뮬레이션 시간	120sec	

표 1. 시뮬레이션 환경

폴로지와 그림 6(b)와 같은 같이 1 홉의 60 개의 노드를 갖는 랜덤 토폴로지에 대해 CBR 트래픽을 부가하여 이루어졌다. 시뮬레이션 환경은 표 1 과 같고 안테나는 8 개의 안테나 패턴을 갖는 스위치드 빔(switched beam) 안테나를 사용하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과는 DMAC, DUCHA, 802.11 과 평균 트래픽 처리량으로 비교하였다. 그림 7 은 랜덤 토폴로지에서 제안된 Ad hoc MAC 프로토콜의 평균 트래픽 처리량을 나타낸 것이다. 그림에서 제안된 MAC 프로토콜이 DMAC, DUCHA, 802.11 에 비해 우수한 성능을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 그림에서 DMAC 에 비해 제안하는 MAC 프로토콜의 성능이 트래픽이 증가함에 따라 보다 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다. 이는 Deafness 문제를 해결함과 동시에 효율적인 블로킹 알고리즘을 사용하여 채널 재사용을 증가시키기 때문이다. 그림 8 은 6 홉의 6x6 토폴로지에서 제안된 Ad hoc MAC 프로토콜의 성능을 나타낸 것이다. 그림에서 제안된 프로토콜이 DMAC, DUCHA, 802.11 에 비해 우수한 성능을 갖고 있음을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 전방향/방향성 안테나를 사용하는

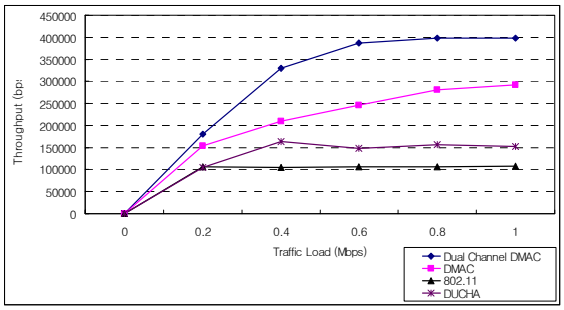


그림 7. 랜덤 토폴로지(1 홉)에서의 평균 처리량

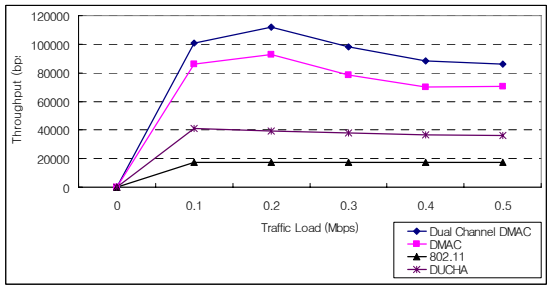


그림 8. 격자형 토폴로지(다중 홉) 평균 처리량

두 채널 Ad hoc MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안된 방식에서는 제어채널로 전송하는 RTS/CTS 는 전방향 안테나를 사용하여 Deafness 문제를 해결하고 데이터 채널로 전송되는 DATA/ACK 는 방향성 안테나로 전송하여 채널용량을 증가시켰다. 또한, Overheard RTS/CTS 수신노드에서 DATA/ACK 커버리지 속할 때 만 해당 안테나 패턴을 블로킹처리 하여 DMAC 의 성능을 개선하였다.

참고문헌

[1] Murthy Manoj, "Ad Hoc Wireless Networks – Architectures and Protocols", Prentice Hall, pp.227-298, 2004.

[2] Y. Ko, V. Shankarkumar, and N. H. Vaidya, “Medium Access Control Protocols Using Directional Antennas in Ad Hoc Networks,” in proc. of IEEE INFOCOM, 2000.

[3] R. R. Choudhury, X. Yang, N. H. Vaidya & R. Ramanathan, "Using directional antennas for medium access control in ad hoc networks", Proceedings of ACM MOBICOM, 2002.

[4] H. Zhai, J. Wang, Y. Fang, and 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.