

위치정보 기반의 Ad hoc 네트워크에서 전력제어기법을 사용한 이중채널 MAC 프로토콜

Power Controlled Dual-Channel MAC Protocol in Ad hoc Networks based on Location Awareness

이은주*, 이권익*, 김흥수*, 좌정우*, 양두영*, 이미경**
제주대학교 통신공학과*, 미래정보통신**

Eun-Ju Lee(ssamback18@cheju.ac.kr)*, Kwoun-Ig Lee(kwounig@cheju.ac.kr)*,
Heung-Soo Kim(sookh@cheju.ac.kr)*, Jeong-Woo Jwa(lcr02@cheju.ac.kr)*,
Doo-Yeong Yang(yeongyd@cheju.ac.kr)*, Mi-Kyoung Lee(halfmoon80@mtelecom.co.kr)**

요약

Ad hoc 네트워크는 고정된 기지국이나 기반네트워크가 없는 무선 네트워크이다. DUDMAC(dual-channel DMAC) 프로토콜에서, 제어 채널에서의 ORTS와 OCTS는 deafness 문제를 해결하고, 데이터 채널에서의 DDATA와 DACK는 방향성 안테나에 대한 효과적인 블로킹 알고리즘을 사용함으로써 공간 재사용을 향상시킨다. 본 논문에서는 DUDMAC 프로토콜에 전송전력을 제어하는 방식을 적용한 PCDUDMAC(power controlled DUDMAC)프로토콜을 제안한다. PCDUDMAC 프로토콜에서, 데이터 채널에서의 DATA와 DACK의 전력제어는 전송 전력 소모를 최소화하고, 공간 재사용을 증가시킨다. 제안하는 MAC 프로토콜의 성능은 퀄넷(QualNet) 버전 3.8 시뮬레이터를 사용하여 확인하였다.

■ 중심어 : | Ad hoc MAC 프로토콜 | 방향성 안테나 | Deafness | 이중 채널 |

Abstract

Ad hoc network is a wireless network without fixed base stations or any wired backbone infrastructure. In the DUDMAC protocol, ORTS and OCTS in control channel solve the problem of deafness and DDATA and DACK in data channel improve spatial reuse by using the efficient blocking algorithm for directional antennas. In this paper, we propose the PCDUDMAC (Power Controlled DUDMAC) protocols. In the PCDUDMAC protocol, the power control of DATA/DACK in data channel saves transmission power and improves spatial reuse. We confirm the throughput performance of the proposed MAC protocol by computer simulations using Qualnet ver.3.8 simulator.

■ keyword : | Ad hoc MAC Protocol | Directional Antennas | Deafness | Dual-Channel |

1. 서론

Ad hoc 네트워크는 고정된 기지국이나 기반네트워크

가 없는 무선 네트워크이다. Ad hoc 네트워크는 기반 네트워크 구축이 어려운 전쟁·재해 지역 또는 홈 네트워크, 무선 랜, 그룹통신, PAN(personal area network), 텔

* 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었습니다.

레매틱스 서비스에서의 차량 간 통신과 같은 소규모 또는 임시적으로 구성하는 네트워크로 사용된다[1].

최근 Ad hoc 네트워크에서 공간 재사용을 증가시키기 위해 방향성 안테나를 사용하는 MAC 프로토콜들이 제안되었다[2]. 방향성 안테나를 사용하는 Ad hoc MAC 프로토콜 중 DMAC(directional MAC) 프로토콜은 RTS 전송 시, 방향성 안테나 모두가 언 블로킹 상태일 경우 ORTS(omnidirectional RTS)를 전송하고 한 개 이상의 블로킹된 방향성 안테나가 존재할 때는 DRTS(directional RTS)를 전송한다. DRTS 전송에서 전송방향 이외의 인접 노드는 DRTS를 엿듣지 못해 전송중인 deafness 상태의 노드로 전송을 시도하는 deafness 문제가 발생한다. 이러한 deafness 문제를 해결하기 위해 ToneDMAC(Tone directional MAC) 프로토콜에서는 DACK 송수신 후에 전방향으로 톤을 전송하여 인접 노드들에게 통신 종료란 알린다[3]. 톤을 수신한 인접 노드는 deafness로 인해 증가된 백오프 기간을 초기화하여 deafness 문제를 해결한다. 이중채널(dual-channel) MAC 프로토콜은 RTS/CTS와 DATA/ACK 간의 간섭을 막기 위해 채널을 두 개로 분리하여 RTS와 CTS는 제어채널로 전송하고, DATA와 ACK는 데이터채널로 전송한다. 이중채널 MAC 프로토콜 중 DUCHA(dual-channel) MAC 프로토콜은 DATA를 수신 중인 노드가 수신이 완료될 때까지 톤을 전송하여 숨겨진 노드 문제를 해결한다[4]. DUDMAC(dual-channel DMAC) 프로토콜은 제어채널로 ORTS와 OCTS를 전송하여 deafness 문제를 해결하고, 데이터 채널을 통해 DDATA와 DACK를 전송함으로써 공간 재사용을 향상시킨다[5].

Ad hoc 네트워크에서 노드들은 이동 환경에서 동작하기 때문에 배터리 소모 전력을 줄여야 한다. 노드의 전력 소모를 줄이기 위한 많은 연구가 진행되고 있는데 기본적인 전력제어 MAC 프로토콜은 데이터 전송전력을 조절하여 에너지 소모를 개선한 MAC 프로토콜이다[6].

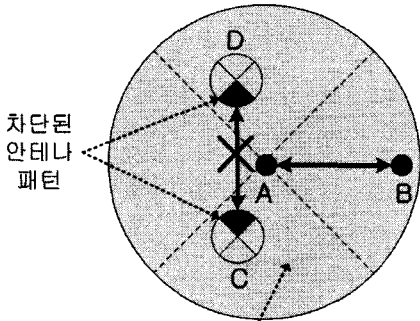
본 논문에서는 공간 재사용을 증가시키고 동시에 deafness를 해결하는 기존의 DUDMAC 프로토콜에서 DDATA와 DACK의 전송전력을 제어하는 방식을 적용한 PCDUDMAC(power controlled DUDMAC) 프로토콜

을 제안한다. 제안하는 MAC 프로토콜에서 RTS와 CTS는 최대 전력으로 전송하고, RTS/CTS의 수신 전력으로부터 DDATA/DACK의 전송전력을 구한다. DDATA와 DACK의 전송전력을 제어하기 때문에 에너지 소비를 최소화하고 데이터채널의 영역이 감소되어 공간 재사용이 증가된다. 제안하는 MAC 프로토콜의 성능은 퀄넷(QualNet) 버전 3.8 시뮬레이터를 사용하여 확인하였다.

II. 관련연구

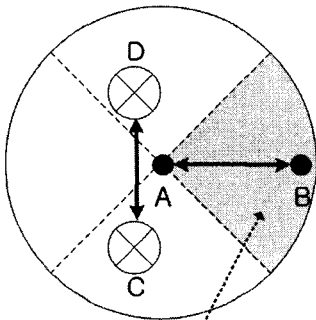
1. DUDMAC 프로토콜

DUDMAC 프로토콜은 RTS와 CTS를 제어채널로 전 방향으로 전송하고, DATA와 ACK는 데이터채널로 방향성으로 전송한다[5]. DMAC 프로토콜은 차단된 안테나가 존재하는 경우 DRTS를 전송한다[2]. 이는 차단된 안테나로 전송을 하지 않기 때문에 충돌을 방지하지만 deafness 문제가 발생한다[3]. DUDMAC 프로토콜에서는 제어채널로 ORTS를 전송하여 DATA와 ACK 충돌을 방지하면서 deafness 문제를 해결한다. 하지만 ORTS는 불필요하게 안테나를 차단하는 문제를 갖고 있다. [그림 1]은 이러한 문제를 나타내고 있다. [그림 1]에서 노드 C와 D는 노드 A의 ORTS를 엿듣고 충돌을 막기 위해 수신 안테나를 차단한다. 그러나 노드 A는 ORTS 전송 후 DDATA는 노드 B를 향하는 안테나를 사용하여 전송하므로 노드 C와 D는 불필요하게 안테나가 차단된 것이다. 그러므로 노드 A의 안테나 차단 영역은 [그림 2]와 같이 노드 A의 DDATA 전송 영역이어야 한다. 노드 C와 D는 노드 A의 DDATA 전송 영역에 존재하지 않으므로 수신 안테나는 차단되지 않는다. 그러므로 노드 C와 D가 노드 A의 DDATA 전송 영역에 존재하는지 아닌지를 판단하기 위해서 효율적인 안테나 차단 알고리즘이 필요하다.



노드 A의 안테나 차단 영역 :
ORTS (또는 OCTS) 전송 영역

그림 1. ORTS에 의한 블로킹 영역



노드 A의 안테나 차단 영역 :
DDATA (또는 DACK) 전송 영역

그림 2. DRTS에 의한 블로킹 영역

1.1 방향성 안테나에 대한 블로킹 알고리즘

[그림 3]은 DUDMAC 프로토콜에서 방향성 안테나에 대한 블로킹 알고리즘을 나타낸 것이다. [그림 3]에서 노드 A는 노드 B로 ORTS(또는 OCTS)를 전송한다. 노드 C와 D가 노드 A의 ORTS(또는 OCTS)를 엿들었을 때 노드 A의 DDATA(또는 DACK) 영역에 있는지 판단한다. 이를 위해, 노드 A가 ORTS(또는 OCTS) 프레임 헤더에 정북방향을 기준으로 DDATA(또는 DACK) 전송에 사용되는 방향성 안테나의 중심각을 삽입하여 전송한다. 노드 C와 노드 D는 [그림 3]과 같은 과정을 통해 노드 A의 DDATA(또는 DACK) 영역에 있는지 판단한다.

① 노드 A는 ORTS(또는 OCTS) 헤더에 전송 안테나

- 의 중심각을 포함하여 전송 한다. [그림 3]과 같이 방향성 안테나의 수가 4개이면 중심각이 ϕ 일 때 안테나 차단 범위는 $\phi - 45^\circ \sim \phi + 45^\circ$ 가 된다.
- ② [그림 3]에서 노드 C와 D는 노드A의 좌표를 바탕으로 정북방향을 기준으로 각 θ_1 와 θ_2 를 각각 구한다.
- ③ 노드 C는 θ_1 이 $\phi - 45^\circ \sim \phi + 45^\circ$ 에 포함되지 않기 때문에 수신 안테나를 차단하지 않지만 노드 D는 θ_2 가 $\phi - 45^\circ \sim \phi + 45^\circ$ 에 존재하기 때문에 수신 방향의 안테나를 차단한다.

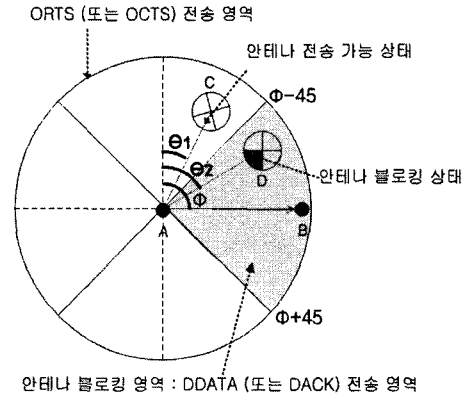


그림 3. 안테나 차단 알고리즘

1.2 ORTS 전송과 NCTS 메커니즘

노드가 ORTS 전송 시 목적인 노드가 블로킹 방향성 안테나의 영역에 있다면 해당 안테나가 전송 가능 상태로 될 때 까지 ORTS 전송을 지연한다. 반대로 블로킹된 방향성 안테나로 ORTS가 수신되면 블로킹된 안테나가 전송가능 상태가 될 때까지의 시간을 계산하고 이 값을 NCTS의 필드에 넣어서 전송 노드로 전송한다. NCTS를 수신한 노드는 NCTS의 헤더에 저장된 시간만큼 ORTS 전송을 연기한다. 식 (1)은 ORTS에 의해 방향성 안테나가 블로킹된 경우 전송지연시간이고 식 (2)는 OCTS에 의해 방향성 안테나가 블로킹된 경우 전송지연시간이다.

$$\text{DelayTimeRts} = \text{OverhearTime} + \text{CtsDataAckDuration} - \text{CurrentTime} \quad (1)$$

$$\text{DelayTimeCts} = \text{OverhearTime} + \text{DataAckDuration} - \text{CurrentTime} \quad (2)$$

1.3 deafness 테이블

DUDMAC 프로토콜에서는 [그림 4]와 같은 deafness 테이블을 사용한다. ORTS 또는 OCTS를 엿듣게 되면 ORTS와 OCTS의 목적지 주소, 전송노드의 주소, 프레임 종류(RTS 또는 CTS), 수신 시간을 deafness 테이블에 저장하고 이를 바탕으로 노드의 영역에 존재하는 노드들의 deafness 여부를 판단한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 공간 재사용 증가를 위해 노드가 블로킹 영역에 있는 경우에만 수신방향성 안테나를 블로킹 상태로 설정하기 위해 deafness 테이블을 사용해야한다. 노드가 ORTS를 전송할 때 deafness 테이블에 목적지 노드의 주소가 존재하면 목적지 노드가 통신을 종료할 때까지 ORTS 전송을 지연하고 목적지 노드의 통신이 종료되면 deafness 테이블에서 목적지 노드의 정보를 삭제하여 테이블을 갱신하고 ORTS를 전송한다. 전송지연시간은 식 (1), (2)와 같다.

Destination Address	Source Address	Frame Type	Receive Time
---------------------	----------------	------------	--------------

그림 4. deafness 테이블

III. 전력제어기법을 사용한 MAC 프로토콜

전력제어 방식은 제어채널에서 RTS와 CTS는 최대(고정) 전력으로 전송하고 DDATA와 DACK는 제어된 전력으로 전송하는 방식이다. 데이터채널에서 전력제어는 DDATA와 DACK를 여러가 발생하지 않는 최소 전력으로 전송하여 데이터 영역을 최소화하므로 공간 재사용을 증가시킨다. 제안하는 MAC 프로토콜의 방향성 안테나에 대한 블로킹 알고리즘은 DUDMAC의 방향성 안테나에 대한 블로킹 알고리즘을 기반으로 하고 있지만 DDATA와 DACK의 영역이 감소된 경우를 위해 추가적인 방법이 적용되어야 한다. [그림 5]는 DUDMAC 프로토콜에서 데이터채널의 전송영역이 줄어 공간 재사용이 개선되는 것을 보여주고 있다. [그림 5]에서 노드 A와 B

가 통신 중일 때 노드 C와 D는 노드 A와 B의 데이터채널 영역에 있지 않기 때문에 통신이 가능하게 된다. 이는 블로킹 상태의 방향성 안테나로 데이터를 전송할 수 있기 때문에 공간 재사용이 가능하다.

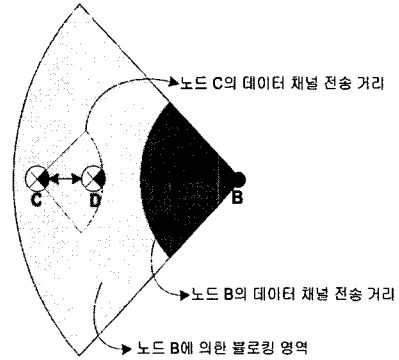


그림 5. 전력제어를 통한 공간 재사용 증가

1. 전력제어 방법

DDATA와 DACK의 제어된 전송전력은 RTS, CTS의 수신 전력, SINR 임계값, 데이터채널의 간섭신호 세기에 의해 결정된다. 전력제어에 사용되는 파라미터는 다음과 같다.

- $P_{T, fixed}$: 제어채널에서 RTS와 CTS의 전송전력
- $P_{R, C}$: 제어채널에서 RTS와 CTS의 수신 전력
- I_D : 데이터채널에서 간섭 신호의 전력
- P_{Margin} : 전송전력 마진, 현재 시점에서 구한 간섭신호 세기 외에 이후에 더해질 수 있는 간섭신호에 대비하여 제어된 전송전력에 더해지는 값
- N_0 : 잡음 신호 평균 전력
- $SINR = \frac{P_{R, C}}{I_D + N_0}$: 신호 대 간섭 잡음비
- $SINR_{Threshold}$: SINR 임계값, 패킷 여러가 발생하지 않는 최소 SINR 값
- G : 안테나 이득
- $P_{R, MIN}$: $SINR_{Threshold}$ 를 만족하는 최소 수신 전력
- $P_{T, D}$: DDATA와 DACK의 전송전력

$$P_{R_MIN} = SINR_{Threshold} \times (I_D + N_0) [mW] \quad (3)$$

$$P_{T_D} = \frac{P_{T_fixed}}{P_{R_C} \times G^2} \times P_{R_MIN} \times P_{Margin} [mW] \quad (4)$$

$SINR_{Threshold}$ 를 만족하는 최소 수신 전력은 식 (3)와 같이 구한다. DDATA와 DACK의 전송전력은 식 (4)과 같이 계산한다. [그림 6]은 DUDMAC 프로토콜에 전력 제어 과정을 나타낸 것이다. 노드 A는 노드 B에게 ORTS를 P_{T_fixed} 의 전력으로 전송한다. ORTS를 수신한 노드 B는 ORTS의 P_{R_C} 을 구하고 안테나 패턴을 노드 A의 방향으로 설정한 후 I_D 를 구한다. 그리고 식 (3), (4)에서와 같이 I_D 로부터 P_{R_MIN} 을 구하고 P_{R_C} 와 P_{R_MIN} 으로부터 P_{T_D} 을 구하고 이 값을 OCTS의 헤더에 넣은 후 노드 A로 전송한다. 노드 A는 OCTS 헤더의 P_{T_D} 값으로 DDATA 전송전력을 설정한다. 노드 A는 OCTS의 P_{R_C} 와 I_D 로부터 P_{T_D} 을 구하고 이 값을 DDATA 헤더에 넣어서 노드 B로 전송한다. 노드 B는 DDATA 헤더의 P_{T_D} 값으로 DACK 전송전력을 설정한 후 노드 A에게 DACK를 전송한다.

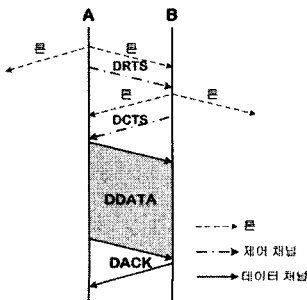
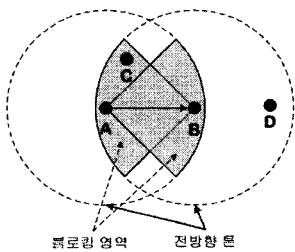


그림 6. DUDMAC 프로토콜에서 전력제어 동작과정

2. 전력제어를 적용한 방향성 안테나의 블로킹 알고리즘

전력제어를 적용한 방향성 안테나의 블로킹 알고리즘은 DUDMAC 프로토콜의 방향성 안테나의 블로킹 알고리즘과 동일하지만 블로킹 상태의 방향성 안테나를 사용한 통신 가능여부는 다음 두 단계로 결정된다.

- 1단계 : 방향성 안테나를 블로킹 상태로 만든 노드의 데이터채널에서 전송신호가 도달하는지 확인한다. 즉, [그림 7]에서 노드 B의 데이터채널 영역에 노드 C가 들어가는지 확인한다.
- 2단계 : 데이터채널 신호가 방향성 안테나를 블로킹 상태로 만든 노드의 데이터채널에서 수신에 영향을 주는지 확인한다. 즉, [그림 7]에서 노드 C의 데이터채널 영역에 노드 B가 들어가는지 확인한다.

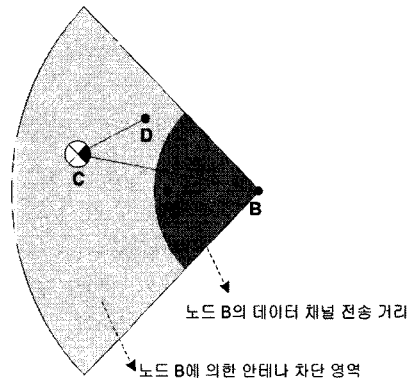


그림 7. 전력제어가 적용된 안테나의 블로킹 알고리즘

[그림 7]에서 노드 D로 향하는 노드 C의 방향성 안테나는 노드 B에 의해서 블로킹된 상태이다. 노드 C가 노드 D로 RTS를 전송하는 경우 인접노드의 위치정보를 이용하여 \overline{CB} 와 \overline{AB} , \overline{CD} 을 계산하여 $\overline{CB} > \overline{AB}$ 이고 $\overline{CB} > \overline{CD}$ 인 경우 RTS를 전송한다. 그렇지 않으면 해당 방향성 안테나가 전송 가능한 상태로 될 때까지 RTS 전송을 연기한다. 노드 C가 노드 D로부터 CTS를 수신한 경우도 동일하게 $\overline{CB} > \overline{AB}$ 이고 $\overline{CB} > \overline{CD}$ 인 경우 CTS 전송하고 그렇지 않으면 NCTS를 전송한다.

[그림 8]은 통신을 하고자 하는 노드가 블로킹 상태의 방향성 안테나 방향에 있을 때 노드의 동작 예를 나타낸 것이다.

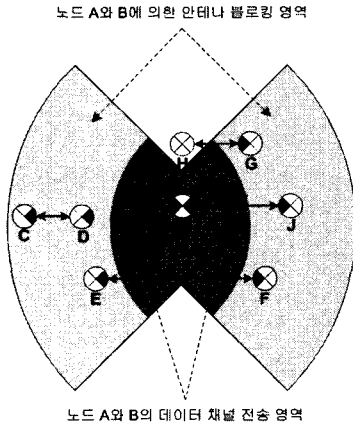


그림 8. 블로킹 상태의 방향성 안테나를 이용한 통신의 예

노드 C ↔ 노드 D : C에서 $\overline{CB} > \overline{AB}$ 이고 $\overline{CB} > \overline{CD}$ 이기 때문에 D와 통신이 가능

노드 E ↔ 노드 F : E에서 $\overline{EB} > \overline{AB}$ 이지만 $\overline{EB} > \overline{EF}$ 이기 때문에 F와 통신이 불가

노드 G ↔ 노드 H : G에서 $\overline{GA} > \overline{AB}$ 이고 $\overline{GA} > \overline{GH}$ 이기 때문에 H와 통신이 가능

노드 I ↔ 노드 J : I에서 $\overline{IB} > \overline{AB}$ 이기 때문에 J와 통신이 불가

IV. 성능평가

1. 시뮬레이션 환경

[표 1]은 시뮬레이션에서 사용되는 주요 파라미터를 나타낸 것이다. 물리계층 프로토콜은 IEEE 802.11b 표준을 사용하였고, 수신 감도는 -89dBm이며 다중 경로 손실 모델은 two-ray 모델을 사용하였다. 전송속도는 2Mbps이며 최대 전송거리는 약 250m이다. 또한 라우팅 프로토콜은 미리 경로가 설정된 정적 라우팅(static routing protocol)을 사용하였으며 네트워크 트래픽 부하

모델은 CBR (constant bit rate) 트래픽을 사용하였다. 데이터 패킷의 크기는 1000byte이다. PCUDMAC의 DATA와 ACK의 전송전력을 구하기 위해 SINR 임계값과 전송전력 마진은 실험적으로 구하였다.

표 1. 시뮬레이션에서 사용되는 주요 파라미터

	60노드 5홉	180노드 단일홉
CBR 트래픽 부하	0.1 ~ 0.5 Mbps	0.2 ~ 1.0 Mbps
노드간 거리	약 250m	0 ~ 250 m
물리 계층 프로토콜	IEEE 802.11b	
수신감도	-89dBm	
다중 경로 손실 모델	two-ray 모델	
전송속도	2 Mbps	
최대 전송 거리	250m	
라우팅 프로토콜	정적 라우팅	
DATA 패킷 크기	1000 byte	
SINR 임계값	10.69dB	
전송전력 마진	1dBm	

본 논문에서 시뮬레이션에 사용된 네트워크 토폴로지는 60 노드를 갖는 5 홉 랜덤 토폴로지와 180 노드를 갖는 단일 홉 랜덤 토폴로지이다. [그림 9]는 60 노드의 5 홉 랜덤 토폴로지를 보여주고 있다. 60개의 노드를 1000m² 지역에 무작위로 배치하였으며, 10개의 5홉 토폴로지를 갖는다. [그림 10]은 180 노드의 단일 홉 랜덤 토폴로지를 보여주고 있다. 180개의 노드를 1000m² 지역에 무작위로 배치하였고, 목적지 노드는 최대 전송 거리 내에서 무작위로 선택되었다.

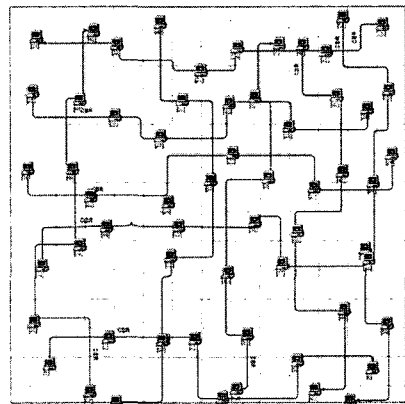


그림 9. 60 노드 5 홉 랜덤 토폴로지

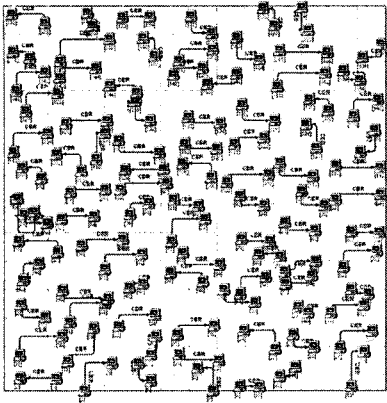


그림 10. 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지

단일 채널 MAC 프로토콜의 전송 속도는 2Mbps이고, 이중채널을 사용하는 DUCHA MAC, DUDMAC, PCDUDMAC 프로토콜은 2Mbps의 전송 속도를 제어채널과 데이터채널로 효율적으로 나누어 사용한다. 최적으로 채널 할당을 위해 60노드 5 홉 랜덤 토폴로지에서는 0.5Mbps의 트래픽 부하를 부가하고, 180노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서는 1.0Mbps의 트래픽 부하를 부가하여 제어채널의 속도를 0.1Mbps에서 1.9Mbps로 변화시키면서 처리량을 구하였다. [표 2]는 시뮬레이션에서 할당한 제어채널과 데이터채널의 속도를 나타낸 것이다.

표 2. 이중채널 MAC 프로토콜의 채널 속도 할당

	제어채널	데이터채널
DUCHA MAC	0.3 Mbps	1.7 Mbps
DUDMAC	0.6 Mbps	1.4 Mbps
PCDUDMAC	0.6 Mbps	1.4 Mbps

2. 시뮬레이션 결과

[그림 11]과 [그림 12]는 60 노드 5 홉 랜덤 토폴로지와 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지서 제안하는 MAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량을 나타낸 것이다. 시뮬레이션 결과를 통해서 방향성 안테나를 사용하는 MAC 프로토콜이 전방향성 안테나를 사용하는 프로토콜에 비해 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 또한 DUDMAC 프로토콜이 DMAC 프로토콜에 비해 우수한 성능을 갖고 있음을 보여주고 있다. 이는 DUDMAC 프로토콜은 채널

을 분리하여 제어채널과 데이터채널 간 간섭을 없앴고, 효율적인 안테나 차단 알고리즘을 사용하여 채널 재사용을 증가시키기 때문이다.

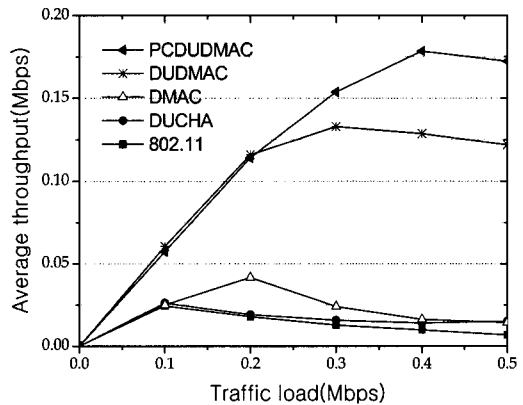


그림 11. 60노드 5 홉 랜덤 토폴로지서 MAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량

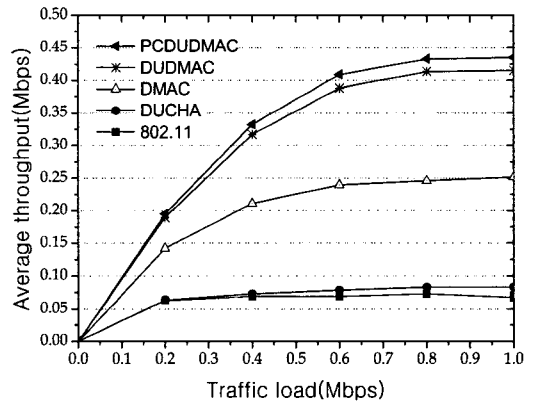


그림 12. 180노드 단일 홉 랜덤 토폴로지서 MAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량

[그림 11]에서 트래픽 부하가 0.5Mbps일 때 제안하는 MAC 프로토콜과 DUDMAC, DMAC, DUCHA MAC, IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량은 각각 172.2kbps, 121.9Kbps, 14.2Kbps, 15.0Kbps, 6.7Kbps이다. PCDUDMAC 프로토콜이 DUDMAC 프로토콜에 비해 평균 네트워크 처리량이 약 41% 향상됨을 알 수 있다. [그림 12]에서 트래픽 부하가 1.0Mbps일 때 제안하는 MAC 프로토콜과 DUDMAC, DMAC,

DUCHA MAC, IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량은 각각 435.3Kbps, 415.3Kbps, 251.3Kbps, 82.8Kbps, 67.6Kbps이다. PCDUDMAC 프로토콜이 DUDMAC 프로토콜에 비해 평균 네트워크 처리량이 약 48% 향상됨을 알 수 있다.

제안하는 PCDUDMAC 프로토콜은 데이터채널의 영역을 목적지 노드까지로 줄이기 때문에 블로킹 상태의 방향성 안테나로 통신이 가능한 경우가 있다. 그러므로 DUDMAC 프로토콜보다 공간 재사용이 증가하여 우수한 성능을 갖는다. [그림 13]과 [그림 14]는 60 노드 5 홉 랜덤 토폴로지와 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서, 제안하는 PCDUDMAC 프로토콜에서 하나의 패킷을 전송하는데 소모되는 평균 에너지를 DUDMAC 프로토콜과 비교하여 나타낸 것이다. PCDUDMAC 프로토콜에서 RTS와 CTS는 DUDMAC과 동일하게 최대 전력으로 전송하지만 RTS와 CTS의 수신 전력과 데이터채널의 간섭신호 세기를 이용하여 DATA와 ACK의 최적의 전송 전력을 결정하여 사용한다. 그러므로 [그림 13]에서 60 노드 5 홉 랜덤 토폴로지에서 PCDUDMAC 프로토콜의 평균 에너지 소모량은 DUDMAC 프로토콜에 비해 약 22% 감소함을 확인할 수 있다. 또한 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 [그림 14]에서와 같이 PCDUDMAC 프로토콜의 평균 에너지 소모량은 DUDMAC 프로토콜에 비해 약 27.9% 감소함을 확인할 수 있다.

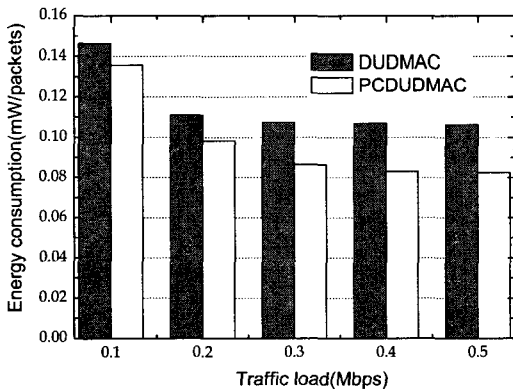


그림 13. 60 노드 5 홉 랜덤 토폴로지에서 PCDUDMAC 프로토콜의 평균 에너지 소모량

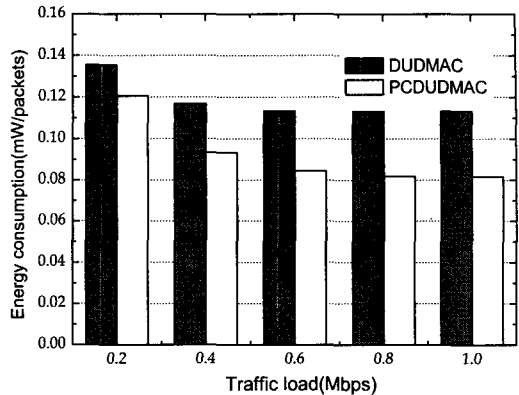


그림 14. 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 PCDUDMAC 프로토콜의 평균 에너지 소모량

V. 결론

본 논문에서는 방향성 안테나를 사용하는 이중채널 MAC 프로토콜에 전력 제어 기법을 사용한 PCDUDMAC 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 Ad hoc MAC 프로토콜의 평균 네트워크 처리량과 전력 소모량은 60 노드의 5 홉 랜덤 토폴로지와 180 노드의 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 쉐넛 버전 3.8 시뮬레이터를 사용하여 확인하였다. 시뮬레이션 결과 제안하는 MAC 프로토콜 방식인 PCDUDMAC 프로토콜에서 평균 네트워크 처리량은 DUDMAC과 비교하여, 60 노드 5 홉 랜덤 토폴로지에서 약 41%, 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서는 약 48% 증가하였다. 또한 평균 에너지 소모는 60 노드 5 홉 랜덤 토폴로지에서 DUDMAC 프로토콜에 비해서 약 22% 감소하였고, 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 약 27.9% 감소함을 확인할 수 있었다. 이는 제안하는 MAC 프로토콜이 전송 전력을 최적으로 제어하여 에너지 소비를 최소화하고, 데이터채널의 영역을 줄여 공간 재사용을 증가시켰기 때문이다. 따라서 본 논문이 제안하는 MAC 프로토콜은 위치 정보 기반의 Ad hoc 네트워크에서 처리량 향상을 위한 MAC 프로토콜로 적용이 가능하다.

참고문헌

[1] M. Manoj, *Ad hoc Wireless Networks - Architectures and Protocols*, Prentice Hall, 2004.

[2] Y. Ko, V. Shankarkumar, and N. H. Vaidya, "Medium access control protocols using directional antennas in Ad hoc networks," *IEEE INFOCOM 2000 Vol.1*, pp.13-21, 2000.

[3] R. R. Choudhury and N. H. Vaidya, "Deafness: A MAC problem in Ad hoc networks when using directional antennas," *Proceedings of ICNP 2004*, pp.283-292, 2004.

[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*, pp.27-32, 2004.

[5] D. H. Han, J. W. Jwa, and H. I. Kim, "A dual-channel MAC protocol using directional antennas in location aware Ad hoc networks," *LNCS3983, ICCSA 2006*, pp.594-602, 2006.

[6] E. S. Jung and N. H. Vaidya, "A power control MAC protocol for Ad hoc networks," *Proceeding of ACM MOBICOM 2002*, pp.36-47, 2002.

저자소개

이 은 주(Eun-Ju Lee)

준회원



- 2006년 2월 : 제주대학교 통신공학과(공학사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 통신공학과(공학석사과정)

<관심분야> : 네트워크, 컴퓨터시스템, 이동통신 프로토콜

이 권 익(Kwoun-Ig Lee)

정회원



- 1992년 2월 : 제주대학교 통신공학과(공학사)
- 1997년 2월 : 제주대학교 통신공학과(공학석사)
- 2005년 2월 : 제주대학교 통신공학과(공학박사)

<관심분야> : 모바일 및 RFID 프로토콜, 임베디드 시스템

김 흥 수(Heung-Soo Kim)

정회원



- 1980년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학석사)
- 1990년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학박사)
- 1987년 ~ 현재 : 제주대학교 통신컴퓨터공학부 통신공학전공 교수

<관심분야> : 마이크로파 능동회로, 안테나, RF 회로 설계 기법

좌 정 우(Jeong-Woo Jwa)

정회원



- 1985년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학사)
- 1987년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과(공학석사)
- 2001년 8월 : KAIST 정보 및 통신공학과(공학박사)

• 2002년 10월 ~ 현재 : 제주대학교 통신컴퓨터공학부 통신공학전공 조교수

<관심분야> : 무선인터넷 BM, 이동통신 프로토콜, 이동통신 시스템

양 두 영(Doo-Yeong Yang)

정회원



- 1984년 2월 : 제주대학교 통신공학과(공학사)
- 1989년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학석사)
- 1992년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학박사)

• 1992년 ~ 현재 : 제주대학교 통신컴퓨터공학부 통신공학전공 교수

<관심분야> : RF회로 및 RFID, 이동통신, 위성통신

이 미 경(Mi-Kyoung Lee)

정회원



- 2003년 2월 : 제주대학교 정보수학전산통계학과(공학사)
- 2004년 2월 ~ 현재 : 미래정보통신 연구원

<관심분야> : 영상보안, 영상처리기술