

Ad hoc 네트워크에서 전력 제어 기법을 사용한 Dual-Channel MAC 프로토콜

*강창남 *한도형 *이은주 *좌정우 *임재윤

*제주대학교

*kcn4409@cheju.ac.kr

Power Controlled Dual-channel MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks

*Kang, Chang-Nam *Han, Do-Hyung *Lee, Eun-Ju *Jaw, Jeong-Woo *Lim, Jea-Yun

*Cheju National University

요약

Ad hoc 네트워크는 기반구조가 없는 무선네트워크이다. Ad hoc 네트워크는 재난지역, 군사지역, 홈 네트워킹 서비스, 텔레 매트릭스 서비스 같은 곳에서 응용될 수 있다. 최근 Ad hoc 네트워크의 처리량을 향상시키기 위해 방향성 안테나를 사용하거나 이중채널을 사용하는 MAC 프로토콜이 제안되고 있다. DUDMAC 프로토콜은 이중채널에 방향성 안테나를 사용하여 처리량 성능을 향상시킨 프로토콜이다. 본 논문에서는 DUDMAC 프로토콜에 전력 제어 기법을 적용하여 네트워크의 처리량을 향상시키는 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 새로운 블로킹 알고리즘을 사용하여 공간 재사용을 향상시킨다. 제안하는 블로킹 알고리즘은 RTS 또는 CTS 수신 시 블로킹 테이블에 저장된 수신세기를 사용하여 기존의 DUDMAC의 블로킹 영역을 FULL_BLOCKING 영역과 SEMI_BLOCKING 영역으로 구분하여 성능을 개선한다. 제안하는 MAC 프로토콜의 처리량 성능은 쉘넷 시뮬레이터 버전 3.8을 사용하여 확인하였다.

1. 서론

최근 제안되는 Ad hoc 네트워크의 MAC 프로토콜은 두 개의 채널을 사용하거나 방향성 안테나를 사용하여 성능을 개선하고 있다. 분리된 이중채널을 사용하는 DUCHA (dual-channel) MAC 프로토콜 [3]은 RTS/CTS는 제어 채널로, DATA는 데이터 채널로 전송하여 채널 간 간섭을 배제한다. 또한, busy tone을 사용하여 숨겨진/노출된 노드의 문제를 해결한다. 방향성 안테나를 사용하는 DMAC (directional MAC) 프로토콜[1]은 방향성 전송을 통해 공간 재사용을 향상시킨다. 하지만 방향성 전송은 이웃 노드에게 통신 시작을 알리지 못해 이웃 노드가 통신 중인 노드에 통신을 시도하는 deafness 문제[2]를 발생시킨다. 이는 이웃 노드가 deafness 상태의 노드로 반복적인 RTS 재전송으로 인해 백오프 기간을 기하급수적으로 증가시켜 네트워크 성능을 저하시키는 원인이 된다. DUDMAC (Dual-channel directional DMAC) 프로토콜[5]은 ORTS (omnidirectional RTS)와 OCTS (omnidirectional CTS)를 사용하여 deafness 문제를 해결한다. 또한 ORTS 전송은 방향성 전송에서 요구되는 이웃노드의 위치정보 결정 문제를 해결한다.

Ad hoc 네트워크를 구성하는 이동 노드들은 배터리를 전원으로 사용하는 경우가 많기 때문에 네트워크의 운용과 각 계층에서 에너지 소모량을 줄이기 위한 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜은 DUDMAC에 전력 제어 기법을 적용하여 에너지 소모량을 줄이고 공간 재사용을 향상시킨다. 이동 노드의 에너지 소모량을 줄이기 위해 최대전력으로 전송되는 ORTS 또는 OCTS의 수신세기를 바탕으로 DDATA (directional DATA)와 DACK (directional ACK)의 전송전력을 제어한다. 이를 위해 전력 제어 인자 β 를 OCTS와 DDATA의 헤더에 추가하였다. 또한 공간 재사용을 향

상시키기 위해 기존의 DUDMAC의 블로킹 영역을 FULL_BLOCKING 영역과 SEMI_BLOCKING 영역으로 구분하는 새로운 블로킹 알고리즘을 제안한다. FULL_BLOCKING 영역의 노드들은 기존의 블로킹 영역에서 노드처럼 동작하고 SEMI_BLOCKING 영역의 노드들은 블로킹 테이블에 저장된 수신세기와 RTS 또는 CTS 수신세기를 비교하여 통신가능 여부를 판단한다. 만약 SEMI_BLOCKING 상태의 방향성 안테나로 RTS 또는 CTS가 수신되었을 경우 수신세기가 블로킹 테이블에 저장된 수신세기와 비교하여 크면 수신 안테나를 통해 통신이 가능하게 하여 성능을 개선시켰다. 제안하는 프로토콜의 성능은 쉘넷 시뮬레이터 버전 3.8을 사용하여 확인하였다.

2. 관련연구

가. DUDMAC 프로토콜

1) 메시지 교환과정

DUDMAC 프로토콜은 제어채널과 데이터채널로 구분된 이중채널과 N개의 안테나 패턴으로 이루어진 스위치드 빔 안테나를 사용한다. 제어채널을 통한 전송은 전방향으로 이루어지고 데이터채널을 통한 전송은 방향성으로 이루어진다. DUDMAC의 메시지 교환 과정은 제어채널을 통한 ORTS와 OCTS, 데이터채널을 통한 DDATA와 DACK로 이루어진다. ORTS 또는 OCTS의 수신 안테나의 상태가 블로킹 상태일 경우 통신이 불가능한 상태를 상대 노드에게 알리기 위해 NCTS (negative CTS)와 NDATA (negative DATA)를 제어 채널을 통해 전송한다.

2) 블로킹 알고리즘

DUDMAC의 방향성 안테나는 독립적으로 블로킹 또는 언블로킹 상태를 갖는다. 언블로킹 상태의 방향성 안테나는 데이터채널을 통해 송수신이 가능하고, 블로킹 상태의 방향성 안테나를 갖는 노드는 데이터 채널을 통해 송신이 불가능하다. 방향성 안테나의 상태를 결정하기 위한 블로킹 알고리즘은 ORTS와 OCTS를 동시에 수신하는 노드에서 ORTS를 수신한 방향성 안테나와 OCTS를 수신한 방향성 안테나를 블로킹 처리한다. 그림 1에서 노드 C는 노드 A의 ORTS와 노드 B의 OCTS를 수신하고 노드 A로부터 ORTS를 수신한 방향성 안테나와 OCTS를 수신한 방향성 안테나를 블로킹 상태로 설정한다.

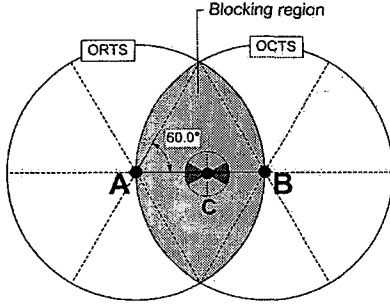


그림 1. DUDMAC의 블로킹 영역

나. 전력 제어 기법을 사용한 MAC 프로토콜

전력 제어 기법은 전송 세기를 조절하여 전력소모를 줄이는 것이다[4]. 이 기법에서 RTS와 CTS는 최대 전송 세기 P_{max} 로 전송되고 DATA와 ACK는 필요한 전력 레벨 $P_{desired}$ 로 전송된다. 전송 전력을 결정하는 방법은 두 가지 방법이 있다. 첫 번째 방법은 송신 노드가 RTS를 최대 전송 세기 P_{max} 로 전송하고, 수신 노드는 RTS를 신호 레벨 P_r 로 수신하고, DATA 수신에 필요한 최소의 전송 전력 레벨을 계산한다. 그 후 수신 노드는 송신 노드에게 CTS에 $P_{desired}$ 를 삽입하여 전송한다. CTS를 수신한 송신 노드는 $P_{desired}$ 의 전력으로 DATA를 전송한다. 두 번째 방법은 송신 노드가 $P_{desired}$ 를 계산 하는 것이다. RTS를 수신한 수신노드는 CTS를 P_{max} 로 전송한다. 이를 수신한 송신 노드는 CTS의 수신 전력을 사용하여 DATA 전송을 위한 $P_{desired}$ 를 결정한다. ACK의 송신 전력은 수신 노드가 RTS 수신 전력을 사용하여 결정한다. 식 (1)은 전력 제어된 신호의 계산방법을 나타낸 것이다.

$$P_{desired} = \frac{P_{max}}{P_r} \times R_{ct_{thresh}} \times c \quad (1)$$

여기서 P_{max} 는 최대 전송 세기, $R_{ct_{thresh}}$ 는 신호 수신을 위한 최소 세기, c 는 예기치 못한 간섭 신호의 세기를 대비한 상수이다. 송신 노드와 수신 노드 사이의 감쇠는 같다고 가정한다.

3. 전력 제어 기법을 적용한 DUDMAC 프로토콜

본 논문에서 제안하는 PCDUDMAC (power controlled

dual-channel directional MAC) 프로토콜은 DUDMAC 프로토콜에 전력 제어 기법을 사용한 프로토콜이다. 제안하는 프로토콜은 ORTS와 OCTS는 최대 전력으로 전송되고 DDATA와 DACK는 전송 전력을 제어하여 전송된다.

가. 헤더에 추가되는 필드

제안하는 MAC 프로토콜에서는 전력 제어와 블로킹 상태 결정을 위해 DUDMAC의 OCTS와 DDATA헤더에 식 (2)에 의해 계산된 전력 제어 인자 β 를 삽입하기 위한 필드를 추가하였다. 이 값을 통해 DDATA와 DACK의 전력 세기가 결정된다.

$$\beta = \frac{Pr}{Pr_{min}} \quad (2)$$

여기서 Pr 은 ORTS 또는 OCTS의 수신세기를 의미하고 Pr_{min} 은 식 (3)과 같이 현재 DDATA 채널의 간섭 신호 세기 I_D , 잡음 평균전력 N_0 , 패킷 에러가 발생하지 않는 최소의 SINR 값 $SINR_{Threshold}$ 를 고려하여 계산된 값이다.

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

OCTS 또는 DDATA를 수신한 노드는 β 값을 사용하여 식 (4)로부터 DDATA또는 DACK의 전송세기 $P_{transmit}$ 를 구한다.

$$P_{transmit} = \frac{P_{fixed}}{\beta \times G^2} \times c \quad [mW] \quad (4)$$

여기서 $P_{transmit}$ 값은 ORTS와 OCTS에 대해 미리 정의 된 값 또는 최대전송 세기를 의미한다. G 는 송수신 안테나의 이득을 나타내고 c 는 예기치 못한 간섭 신호의 세기를 대비한 상수다.

나. 블로킹 테이블

제안하는 프로토콜에서는 ORTS 또는 OCTS를 수신하였을 경우 통신 가능여부를 판단하기 위해서 블로킹 테이블을 사용한다. 제안하는 프로토콜은 최대 세기로 전송되는 ORTS와 OCTS의 도달거리와 전력 제어된 세기로 전송되는 DDATA와 DACK의 전송거리의 차이에 의해 생기는 영역 안의 노드들이 통신을 가능하게 하기 위해서 사용한다. 블로킹 테이블은 방향성 안테나 별로 관리되고 방향성 안테나에 대한 블로킹 테이블은 그림 2와 같이 구성된다.

RTS address	CTS address	OH_RTSSrxpw	OH_CTSrpxpw	Expiration Time	State
-------------	-------------	-------------	-------------	-----------------	-------

그림 2. 블로킹 테이블

테이블의 RTS address 필드와 CTS address 필드에는 통신하려는 두 노드의 주소가 저장된다. 그리고 OH_RTSSrxpw (overheard RTS rx power)와 OH_CTSrpxpw (overheard CTS rx power) 필드에는 각각 RTS 수신세기와 OCTS 수신세기가 저장된다. Expiration time 필드에는 통신이 완료될 시점의 시간이 저장된다. 통신이 완료되는 시간은

ORTS 수신 시 OCTS 수신을 기다리는 시간이고 OCTS 수신 시의 경우는 두 노드의 통신 종료 시간이 된다. State 필드는 FULL_BLOCKING 또는 SEMI_BLOCKING 값이 저장된다. State 값의 결정은 OCTS 수신 시 OCTS 필드에 있는 필드 값을 이용하여 식 (5)에 의해 결정된다.

다. 전력 제어 동작 과정

PCDUDMAC에서 DDATA와 DACK의 전송 전력은 채널의 간섭 신호의 세기와 수신되는 신호의 세기에 의해 결정된다. 그림 3은 PCDUDMAC의 전력 제어 과정을 나타낸 것이다. 그림에서 노드 A는 노드 B에게 제어채널을 통해 ORTS를 최대 전력으로 전송한다. 노드 B가 이를 Pr의 세기로 수신하게 되면 노드 B는 데이터채널의 간섭 신호의 세기를 측정 후 식 (2)에 의해 β 값을 계산하고 OCTS에 삽입하여 전송한다. OCTS를 수신한 노드 A는 식 (4)에 의해 DDATA의 전송 세기를 Pr_{transmit}으로 설정한다. 그리고 DDATA에 삽입할 β 값을 계산하고 DDATA를 의 세기로 전송한다. DDATA를 수신한 노드 B는 DDATA의 헤더로부터 β 값을 얻은 후 DACK의 전송세기를 결정하여 DACK를 전송한다.

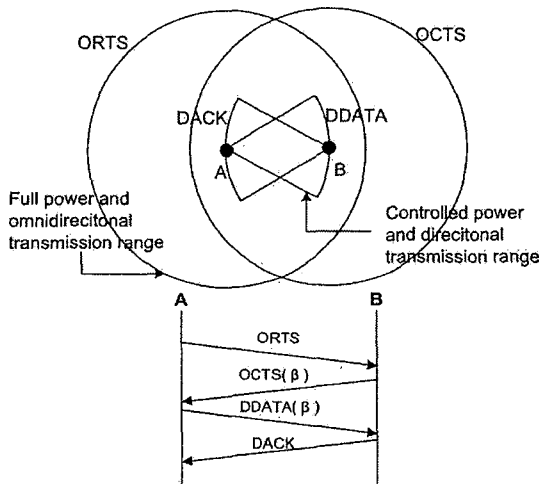
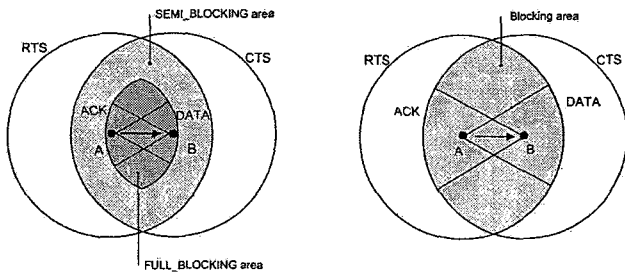


그림 3. PCDUDMAC 프로토콜의 전력 제어 동작 과정



(a) PCDUDMAC의 블로킹 영역 (b) DUDMAC의 블로킹 영역

그림 4. PCDUDMAC의 블로킹 영역(a)와 DUDMAC(b)의 블로킹 영역의 비교

라. 블로킹 영역

기존 DUDMAC에서 ORTS와 OCTS를 수신한 노드는 RTS를 수신한 방향성 안테나와 OCTS를 수신한 방향성 안테나를 블로킹 상태로 설정한다. 방향성 안테나가 블로킹 상태로 설정되는 노드는 그림

4(b)와 같이 ORTS의 커버리지와 OCTS의 커버리지가 겹치는 영역에 존재한다. DDATA와 DACK의 전송 전력을 제어하는 경우 ORTS와 OCTS에 의한 블로킹 영역과 DDATA와 DACK에 의한 블로킹 영역에 차이가 발생한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 공간 재사용을 향상시키기 위해 그림 4(a)와 같이 DUDMAC의 블로킹 영역을 FULL_BLOCKING과 SEMI_BLOCKING으로 구분한다.

방향성 안테나에 대한 블로킹 상태 결정 과정은 다음과 같다. 노드가 ORTS를 엿들으면 블로킹 테이블에 새로운 레코드를 생성하고 RTS Address 필드, CTS Address 필드, OH_RTSrxpw 필드, Expiration time 필드에 값을 저장한다. 노드가 OCTS를 엿들면 RTS address와 CTS Address 필드 값에 OCTS에 대응되는 ORTS의 주소가 저장되어 있는지 확인한다. 만약 대응되는 주소가 있으면 OH_CTSrxpw 필드와 Expiration time 필드를 업데이트하고 식 (5)와 같이 수신된 OCTS 헤더의 전력 제어인자 β 값을 블로킹 테이블의 OH_RTSrxpw 값을 Pr_{min}으로 나눈 값, OH_CTSrxpw 값을 Pr_{min}으로 나눈 값과 각각 비교한다. 식 (5)를 만족하면 노드는 FULL_BLOCKING 영역 안에 있다고 판단하고 ORTS를 수신한 방향성 안테나와 OCTS를 수신한 방향성 안테나 FULL_BLOCKING 상태로 설정한다. 식 (5)를 만족하지 않으면 노드는 SEMI_BLOCKING 영역 안에 있다고 판단하고 ORTS를 수신한 방향성 안테나와 OCTS를 수신한 방향성 안테나를 SEMI_BLOCKING 상태로 설정한다.

$$\left(\frac{OH_RTS_{rxpw}}{Pr_{min}} > \beta \right) \&\& \left(\frac{OH_CTS_{rxpw}}{Pr_{min}} > \beta \right) \quad (5)$$

$$(Pr > OH_RTS_{rxpw}) \&\& (Pr > OH_CTS_{rxpw}) \quad (6)$$

FULL_BLOCKING 상태의 방향성 안테나는 DUDMAC의 블로킹 상태와 동일한 동작을 한다. 하지만 SEMI_BLOCKING 영역내의 노드는 수신한 ORTS 또는 OCTS의 수신세기를 블로킹 테이블에 저장된 OH_RTSrxpw와 OH_CTSrxpw 값과 비교하여 통신 가능 여부를 결정한다. 만일 어떤 노드가 SEMI_BLOCKING 상태의 방향성 안테나로 ORTS 또는 OCTS를 임의의 세기 Pr로 수신하게 되면 노드는 식 (6)을 통해 통신 가능 여부를 판단한다. 만약 식 (6)을 만족하면, 전력 제어된 DDATA와 DACK는 다른 노드의 통신에 방해를 주지 않으므로 노드는 OCTS 또는 DDATA를 전송한다.

4. 컴퓨터 시뮬레이션

제안하는 프로토콜의 네트워크 처리량과 에너지 소모량을 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 시뮬레이션을 통해 확인하였다. PCDUDMAC 프로토콜의 네트워크 처리량은 기존에 Ad hoc 네트워크를 위해 제안된 802.11, DUCHA MAC, DMAC, DUDMAC 프로토콜과 비교하였고 PCDUDMAC의 에너지 소모량을 DUDMAC과 비교하였다.

가. 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 시뮬레이션 환경으로 IEEE 802.11b 물리 계층을 사용하였으며 수신 감도는 -89 dBm이며, 경로 손실 모델은 two-ray 모델을 사용하였다. 안테나 모델은 8개의 패턴으로 이루어진 스위치

빔 안테나 모델을 사용하였다. 전력 제어를 위해 계산에서 c 는 1.2로 사용하였고 $SINR_{threshold}$ 는 10.79 dB를 사용하였다. 시뮬레이션 토폴로지는 그림5와 같이 180 노드를 갖는 단일 홉 랜덤 토폴로지에 대해 수행하였다. 180개의 노드를 $1000m^2$ 지역에 무작위로 배치하고 목적지 노드는 전송 거리 내에서 무작위로 선택하였다.

IEEE 802.11b의 전송 속도는 2 Mbps이다. 시뮬레이션에서 DUDMAC의 제어채널과 데이터채널의 속도를 할당하기 제어채널과 데이터채널의 최적의 속도를 결정하기 위해 제어채널의 속도를 0.1에서 1.9까지 변화시키면서 시뮬레이션을 통해 네트워크의 처리량을 구하였다. 그 결과 제어채널의 속도는 0.6 Mbps로 데이터 채널의 속도는 1.4 Mbps로 할당하였다.

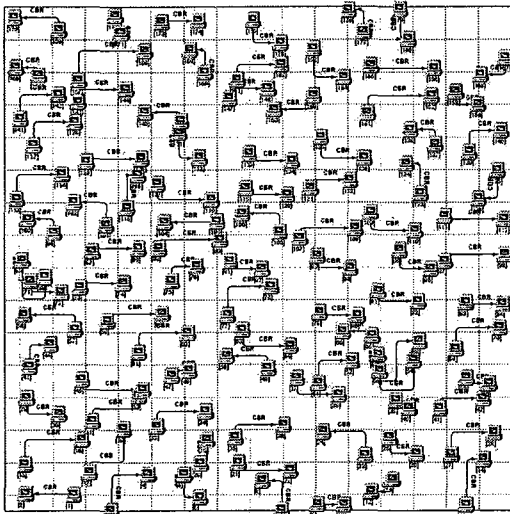


그림 5. 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지

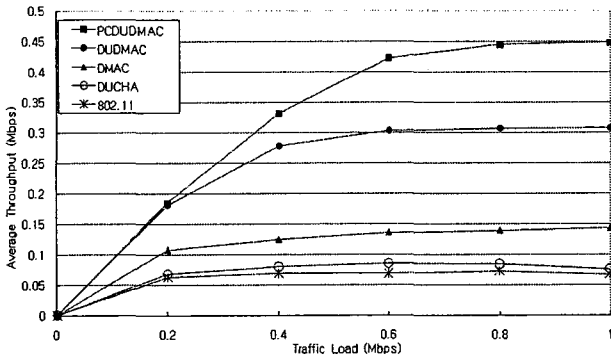


그림 6. 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 DUDMAC과 PCDUDMAC의 평균 처리량

나. 시뮬레이션 결과

제안하는 PCDUDMAC 프로토콜의 성능을 확인하기 위해 시뮬레이션을 통해 평균 처리량과 에너지 소모량을 DUDMAC과 비교하였다. 그림 6은 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 PCDUDMAC의 평균 처리량을 보여준다. PCDUDMAC, DUDMAC, DMAC, DUCHA 그리고 IEEE 802.11의 평균 처리량은 네트워크의 트래픽 부하가 1 Mbps에서 각각 448 kbps, 308 kbps, 143 kbps, 76 kbps, 68 kbps이다. PCDUDMAC 프로토콜의 평균 처리량은 DUDMAC 프로토콜에 비해 약 46% 증가하였다. 그림 7은 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서

DUDMAC과 PCDUDMAC 프로토콜을 사용하는 노드가 하나의 DATA를 전송하기 위해 소모하는 전력을 보여준다. DUDMAC 프로토콜은 DATA를 전력 제어 하지 않기 때문에 DATA 패킷 하나를 전송하는데 0.0494 mW로 일정하다. PCDUDMAC 프로토콜은 전력 제어의 영향으로 DATA 패킷 하나를 전송하는데 소모되는 전력이 DUDMAC에 비해 약 19% 정도 감소하였다.

시뮬레이션 결과 PCDUDMAC의 평균 처리량이 DUDMAC 보다 높음을 알 수 있다. 이는 PCDUDMAC에서 SEMI_BLOCKING 영역의 노드들이 수신 세기 비교 과정을 통해 통신 가능한 경우가 발생하여 공간 재사용이 향상되기 때문이다.

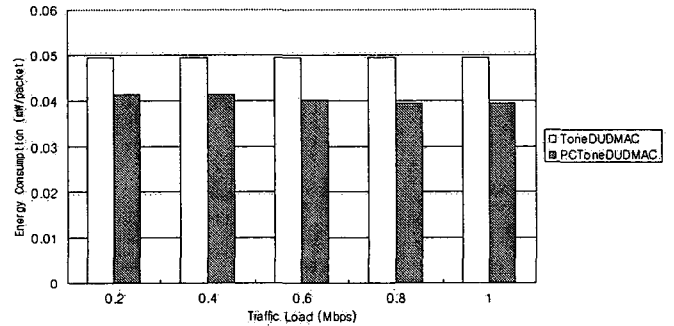


그림 7. 180 노드 단일 홉 랜덤 토폴로지에서 DUDMAC과 PCDUDMAC의 에너지 소모량 비교

5. 결론

본 논문에서는 방향성 안테나를 사용하는 이중채널 MAC 프로토콜에 전력 제어 기법을 사용하여 공간 재사용을 향상시키고 에너지 소모량을 줄이는 PCDUDMAC 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 MAC 프로토콜은 전력 제어 기법 사용으로 DUDMAC에 대해 19% 에너지 소모를 감소시킬 수 있다. 또한 DUDMAC의 블로킹 알고리즘을 개선하여 공간 재사용을 증가시켜 DUDMAC에 대해 평균 처리량을 46% 향상시킬 수 있다. 따라서 제안하는 프로토콜은 방향성 안테나를 사용하는 Ad hoc 네트워크에서 이동 노드 간 통신 또는 텔레메틱스에서 차량 간 통신에 적용될 수 있을 것이다.

[참고 문헌]

- [1] Y. Ko, V. Shankarkumar, and N. H. Vaidya, "Medium Access Control Protocols Using Directional Antennas in Ad Hoc Networks," in proc. Of IEEE INFOCOM, pp.13-21, 2000.
- [2] R. R. Choudhury and N. H. Vaidya. 2004. "Deafness : A MAC problem in Ad Hoc Networks when using Directional Antennas", ICNP, pp.283-292, 2004
- [3] H. Zhai, J. Wang, and Y. Fang, "A Dual-Channel MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", IEEE Transactions on Wireless Communications, pp.27-32, 2004
- [4] E. S. Jung, N. H. Vaidya, "A power control MAC protocol for ad-hoc networks", ACM MOBICOM, pp.36-47, 2002.
- [5] 강창남, 한도형, 좌정우, "Ad hoc 네트워크에서 방향성 안테나를 이용한 dual-channel MAC 프로토콜", CEIC 2005, pp.29-32, 2005.