

애드 혹 네트워크에서 전송파워 제어를 위한 MAC 프로토콜

황성호^{1*}

¹강원대학교 정보통신공학전공

A MAC Protocol for Transmission Power Control in Ad Hoc Networks

Sungho Hwang^{1*}

¹Dept. of Information & Communication Engineering, Kangwon National University

요 약 본 논문에서는 애드 혹 네트워크에서 데이터 프레임 전송할 때마다, 전송 파워를 동적으로 바꾸어 전달하는 MAC 프로토콜을 제안하였다. IEEE 802.11과는 달리, 주변 노드들의 전송을 방지하기 위한 RTS/CTS 프레임 사용하지 않았다. 그 대신에 송신 터미널과 수신 터미널 사이의 RTS/CTS 프레임 내에 채널이득과 거리 정보 넣어 전송하였다. 이들 정보는 동적으로 전송파워 값을 구하는데 사용된다. 시뮬레이션 결과, 제안한 MAC 프로토콜이 GMAC과 비교하여 프레임 평균 전달률은 증가했고, 평균 지연에서는 감소하는 성능을 보였다.

Abstract This paper presents a transmission power control MAC protocol that allows terminals to vary transmit power level on data frame basis in ad hoc network. Unlike the IEEE 802.11 approach, we do not use the RTS/CTS packets to silence the neighboring nodes. Instead, channel gain and distance information between transmitter and receiver terminal are inserted in the RTS/CTS packets. These informations are used to dynamically bound the transmission power. Simulation results indicate that, compared to the GMAC, the proposed MAC protocol achieves a increase in the average frame delivery ratio and a decrease in the average frame delay.

Key Words : Ad Hoc Networks, Transmission Power Control, IEEE 802.11

1. 서론

IEEE 802.11 표준의 ad hoc 모드는 가장 널리 사용되는 MAC 프로토콜이다. 이 프로토콜은 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 페러다임을 사용하고, 송신 터미널과 수신 터미널 사이에 RTS/CTS (Request-To-Send/Clear-To-Send) 프레임 교환을 수행한다. RTS/CTS 제어 프레임은 데이터 프레임과 ACK 프레임들을 위한 전송시간을 점유하기 위해 사용된다. 송신 터미널들은 고정된 최대 전송파워(Transmission Power)로 제어와 데이터 프레임들을 전송하며, RTS/CTS 교환으로 인해 데이터 프레임 송신하는 동안 다른 터미널들로부터의 간섭을 방지할 수 있다. RTS/CTS 프레

임을 수신한 다른 터미널들은 전송이 끝날 때까지 전송을 연기한다.

RTS/CTS 교환을 은닉 터미널 문제 (hidden terminal problem)를 줄일 수 있지만, 두 가지 단점이 있다. 첫 번째 RTS/CTS 교환으로 인한 예약된 전송시간 동안에는, 다른 터미널들이 동시전송을 할 수 없다. 두 번째 항상 고정된 최대전송파워를 사용하므로, 수신된 파워는 필요 이상의 파워를 사용하는 경우가 발생한다. 이것은 터미널 에너지 소모와 터미널 생존 시간을 줄이는 결과를 초래한다. 따라서 애드 혹 통신망에서의 TPC(Transmission Power Control) 관련 MAC 프로토콜들에 대해 많은 연구들이 이루어졌다[1].

본 논문에서는 기존의 논문에서 제안한 MAC 프로토

*Corresponding Author : Sungho Hwang (Kangwon National University)

Tel: +82-33-570-6403 email: shhwang@kangwon.ac.kr

Received January 9, 2013

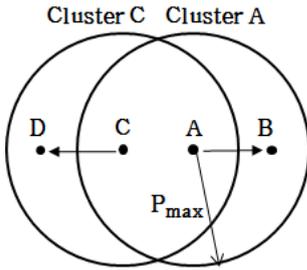
Revised (1st February 1, 2013, 2nd February 5, 2013)

Accepted February 6, 2013

콜들을 분석하였고, 이 중 성능이 좋은 GMAC [2]을 기준 모델로 하고 이를 개선한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 그리고 본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜과 GMAC을 비교 및 성능분석을 수행하였다.

2. 관련 연구

에드 혹 네트워크에서 4개의 터미널이 Fig. 1처럼 전송한다고 가정하자. 터미널 A와 C는 각각 터미널 B와 D로 전송한다. 터미널 A가 터미널 C보다 먼저 RTS를 보냈고, 터미널 A와 C 최대 전송파워 내에 같이 존재한다. IEEE 802.11에서는 항상 최대 전송파워로 전송하므로, 터미널 A와 C가 최대전송파워 범위 내에 존재하므로 동시에 전송할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대표적인 논문들은 다음과 같다.



[Fig. 1] Two concurrent transmissions

POWMAC [3]은 single-channel과 single-transceiver 구조를 사용하고, 제어와 데이터 프레임들이 하나의 채널 상에서 동작한다. 동시 데이터 프레임 전송 시작 전에 RTS/CTS 교환을 허용하기 위해 AW(Access Window)가 사용된다. CTS내의 충돌회피정보는 전송 파워를 범위를 결정하기 위해 사용된다. 그러므로 공간 채널 사용이 향상되었다. POWMAC은 IEEE 802.11 보다 통신량 수율(throughput)을 상당히 증가시켰다.

Single-channel에서 전송파워 제어를 하는 대표적인 POWMAC과 비교 분석하는 많은 논문들이 발표되었다. 그 중 무선통신 환경 하에서 경쟁과 협력의 문제를 효율적으로 해결할 수 방법으로 게임 이론(Game Theory)을 적용한 논문들이 나타났다. 게임 이론을 적용한 논문 중에서 GMAC [2]은 수율(throughput)에서 IEEE 802.11보다 70% 그리고 POWMAC 보다는 25% 정도 높은 수율을 달성하였다. GMAC은 IEEE COMMUNICATION SURVEYS & TUTORIALS에서 대표적인 MAC 중 하나로 다루어지고 있고[4-5], 다른 논문들에서도 인용되고

있다[6-8].

POWMAC [3]에서, 터미널 A는 최소 전송파워를 계산하고, 이 최소 전송파워에 간섭 마진(interference margin)을 더한 전송파워 값을 계산하였다. 간섭 마진의 값에 따라 동시전송이 가능하다. d_{ij} 를 터미널 i와 터미널 j사이의 거리라고 하자. 터미널 A가 전송하고 있을 때, 터미널 C가 동시에 전송가능하려면, $d_{AC} > 0.7d_{AB}$ 일 경우 가능하다. 만약, 터미널들 사이의 거리가 $0.7d_{AB} \geq d_{AC} \geq 0.3d_{AB}$ 이면, POWMAC에서는 동시에 하나의 터미널만이 전송이 가능하다. 그러나 POWMAC에서는 MTI(Maximum Tolerable Interference) 값을 고정시켜서 비효율적으로 동작한다. MTI 값이 너무 크면, 네트워크 내에서 불필요한 간섭과 에너지 소비가 일어난다. MTI 값이 너무 작으면 가능한 동시전송을 방해한다.

GMAC [2]은 CSMA/CA를 사용하지만 IEEE 802.11과는 다른 매커니즘을 사용한다. 클러스터(cluster)내에 매스터(Master) 터미널을 둔다. 매스터 터미널은 클러스터내의 이웃하는 터미널들의 전송파워, SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio), 터미널들 사이의 채널이득(channel gain)을 수집한다. GMAC은 이웃한 터미널들로부터 수신한 정보를 이용하여, 내쉬균형(NE : Nash Equilibrium)에 따른 전송파워 값을 구한다. GMAC과 POWMAC의 성능 분석 결과 GMAC이 프레임 전달률과 에너지 소비에서 좋은 성능을 보여주었다.

GMAC에서 동시전송이 가능한지에 대한 판단과 전송파워 값 결정이라는 두 가지 관점에서 보면 다음과 같다.

동시전송 가능한지에 대한 판단은, GMAC이 CSMA/CA하는 과정에서 터미널들 간의 채널이득(channel gain)을 교환함으로써 동시전송이 가능한지 판단한다.

전송파워 값 결정은 매스터 터미널이 클러스터 내에서 수집한 정보를 이용하여 내쉬균형(NE)에 따라 전송파워 값을 계산한다. 전송파워를 계산한 이후에 같은 클러스터내의 이웃하는 터미널들에게 계산한 전송파워 값을 전달하고, 같은 클러스터내의 이웃한 터미널들은 수신한 전송파워를 기준으로 동일한 크기의 전송파워 값으로 데이터 프레임을 전달한다.

GMAC은 IEEE 802.11과 POWMAC에 비교하여 좋은 성능을 보여주고 있지만, 다음과 같은 문제점들이 있다. 첫 번째 클러스터 내에 있는 매스터 터미널 링크에서 전송파워를 결정하므로, 같은 클러스터 내의 각 터미널들은 서로 다른 위치 환경에 존재하더라도 똑같은 전송파워로 전송해야 한다. 두 번째 매스터 터미널이 오동작을 할 경우, 클러스터 내에 모든 터미널들에 나쁜 영향을 미칠 수 있다.

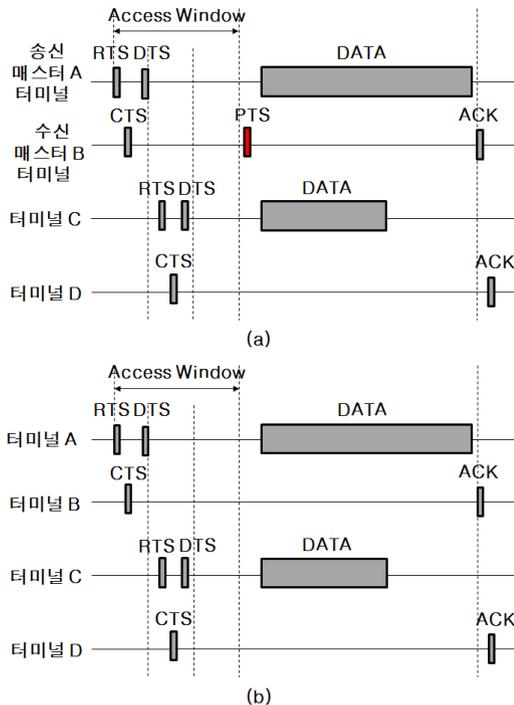
본 논문에서는 동시전송 결정 부분과 전송파워 값 결정이라는 두 가지 관점에서, 동시전송 결정 부분은 GMAC과 동일하게 설정하고, 전송파워 결정 부분에서는 GMAC과 다른 방식을 사용한다. GMAC에서처럼 매스터 터미널을 두지 않는다. 그리고 클러스터마다 터미널들이 각기 다른 위치에 존재하므로, 전송파워는 송신 터미널이 수신 터미널 간의 거리를 기준으로 전송파워 값을 결정하여 전송한다.

3. 전송파워 제어 시나리오

본 논문에서는 다음과 같은 가정 하에 시나리오를 작성하였다. 하나의 데이터 프레임 보내는 전송시간 동안에는 채널이득(channel gain)의 변화가 없고, 두 터미널 사이의 채널이득은 양방향 전송 모두 똑같다.

3.1 동시전송 결정

본 논문에서의 동시전송 결정은 GMAC의 방식을 사용하였다.



[Fig. 2] Exchange of control and data frames
(a) GMAC (b) Proposed

GMAC은 IEEE 802.11과는 달리, 주변 터미널들이 동시전송을 못하게 하는 RTS/CTS를 사용하지 않는다. GMAC은 Fig. 2(a)처럼 AW(Access Window) 시간 동안 RTS/CTS 제어 프레임을 송수신한다. AW 시간동안 터미널들은 동시전송을 할 것인가를 결정한다. 송신 매스터 터미널은 현재 AW에서 남아있는 시간을 RTS 프레임에 첨부하여 브로드캐스트 한다. RTS를 수신한 수신 매스터 터미널은 계산한 채널이득을 CTS 프레임에 첨부하여 전송한다. CTS 프레임을 수신한 송신 매스터 터미널은 DTS (Decide-To-Send) 프레임 내에 송신 매스터 터미널과 수신 매스터 터미널의 채널이득을 넣어서 브로드캐스트 한다. RTS/CTS/DTS를 수신한 주변 터미널들은 동시전송이 가능한지를 계산하여 결정한다.

GMAC에서 수신 매스터 터미널에서는 데이터 전송을 위한 전송파워 값을 내쉬균형(NE)에 따라 계산한다. 그리고 수신 매스터 터미널이 클러스터 내의 주위 터미널들에게 계산한 전송파워 값을 PTS(Power-To-Send) 프레임에 넣어서 송신한다. PTS를 수신한 주변 터미널들은 수신한 전송파워 값으로 데이터 프레임을 전송한다.

본 논문에서 제안한 방식을 Proposed 방식이라 한다. Fig. 2(b)에서는 GMAC과 같이 RTS/CTS/DTS를 사용하여, 동시전송을 시작할 것인지를 결정한다. 차이점은 GMAC과는 달리 매스터 터미널을 두지 않고 모두 동등한 터미널로 동작한다. 따라서 Proposed 방식에서는 PTS 프레임을 사용하지 않는다.

Proposed 방식의 세부 동작은 다음과 같다. 여기서 터미널 i와 터미널 j 사이의 채널 이득을 h_{ij} 라고 하자.

1) 터미널 A

터미널 A가 전송할 데이터 프레임이 있으면, 먼저 채널이 사용 중인지를 감시한다. 만약 채널이 사용 중이지 않으면, 최대 전송파워로 전송한다. 터미널 B로부터 CTS 프레임을 수신한 후, 터미널 A는 DTS 프레임에 h_{AB} 를 첨부하여 브로드캐스트 한다.

2) 터미널 B

터미널 A로부터 RTS를 수신한 터미널 B는 계산한 채널 이득 h_{AB} 와 터미널 B의 위치정보를 CTS 프레임에 첨부하여 전송한다.

3) 터미널 C

터미널 A와 터미널 B사이의 RTS/CTS/DTS 프레임을 수신한, 클러스터 내의 터미널 C는 채널이 비어 있으면 RTS 프레임을 전송한다. 터미널 A와 터미널 B 사이의

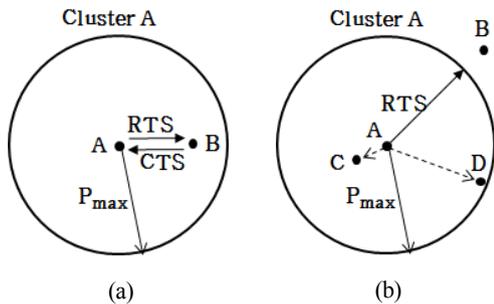
RTS/CTS/DTS 교환과정에서 수신한 h_{AB} 와 h_{CB} 를 터미널 C는 RTS 프레임에 첨부하여 전송한다. 터미널 D로부터 CTS를 수신한 후에, h_{CD} 와 h_{AD} 를 첨부한 DTS를 전송한다.

4) 터미널 D

터미널 C로부터 수신한 RTS 프레임을 수신한 후, 먼저 h_{CD} 를 계산한다. 만약 터미널 D가 터미널 A의 DTS를 수신하였다면 h_{AD} 를 계산하고, 수신하지 못했다면 h_{AD} 를 0으로 한다. 터미널 A와 터미널 B 사이의 전송과 터미널 C와 터미널 D 사이의 전송이 동시에 일어날 수 있는 지를 계산한다. 동시 전송이 가능하면, 터미널 D는 CTS 프레임에 h_{CD} , h_{AD} 와 터미널 D의 위치정보를 첨부하여 전송한다.

3.2 전송파워 결정

Proposed 방식에서 전송파워 결정은, 송신 터미널 A가 최대 전송파워로 RTS를 송신한다. 수신 터미널이 수신 범위 내에 있으면, Fig. 3(a)처럼 수신 터미널이 CTS 프레임에 수신 터미널의 위치 정보를 넣어 전송한다. 송신 터미널은 송신 터미널과 수신 터미널 사이의 거리를 계산하고, 거리에 따른 전송파워 값을 계산하여 데이터 프레임을 전송한다. 수신 터미널 주변에 있는 터미널들은 CTS 프레임 내의 수신위치 정보를 저장한다.



[Fig. 3] Example that illustrates how to compute transmission power control according to P_{max} and receiver (a) A terminal (B) in cluster (b) A terminal (B) out of cluster

Fig. 3(b)처럼 송신 터미널 A가 최대 전송파워로 RTS를 송신하였을 때, 응답이 없는 경우에는 수신 터미널이 수신 범위 내에 없는 것으로 간주한다. 이러한 경우, 세 가지 시나리오 가능하다. 첫 번째 송신 터미널의 주변 터

미널들 중에 가장 가까운 터미널의 위치를 기준으로 전송파워를 계산하여 데이터프레임을 전송한다. 두 번째 송신 터미널에서 주변 터미널들과의 거리를 전부 합하고 평균을 내어 전송파워를 계산한다. 세 번째 송신 터미널이 주변 터미널들 중에 가장 멀리 떨어진 터미널의 거리를 기준으로 전송파워를 계산하는 것이다.

4. 실험 및 고찰

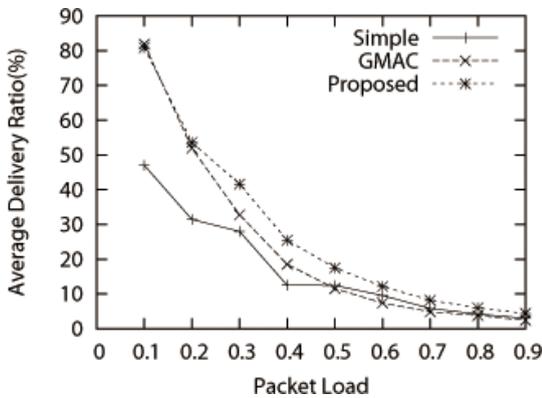
본 논문에서 사용된 시뮬레이션 도구는 분산 객체 네트워크 시뮬레이터인 NS-2를 사용하였다. 사용한 파라미터는 Table 1과 같다.

[Table 1] Simulation Parameters setting

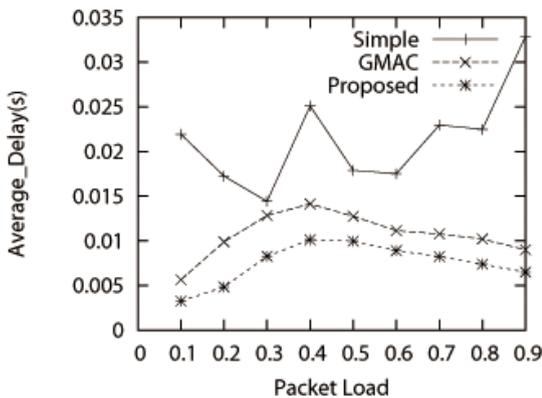
Data Packet Size	512 bytes
Maximum Transmission Range	250 meters
Maximum Carrier-Sense Range	550 meters
Offered Load	0.1 - 0.9
Simulation Time	3,000 sec

성능 평가는 다음과 같이 3개의 MAC 방식으로 수행하였다.

- Simple : 동시전송과 전송파워 제어가 없이 최대 전송파워로만 동작하는 MAC 방식
- GMAC : 두 가지 단계로 동작한다. 첫 번째 단계는 협상단계로 브로드캐스트 프레임을 이용하여, 송신 터미널과 수신 터미널 사이에서 RTS/CTS/DTS 교환함으로써, 동시전송을 할 것인지 결정한다. 두 번째 단계는 수신 매스터 클러스터에서 계산한 전송파워를 가지고, 클러스터내의 터미널들은 동일한 전송파워로 데이터 프레임을 전달한다.
- Proposed : GMAC과 같이 두 단계로 동작한다. 첫 번째 협상 단계에서는 브로드캐스트 프레임을 이용하여, 송신 터미널과 수신 터미널 사이의 RTS/CTS/DTS 주고 받으면서, 동시전송을 할 것인지 결정한다. 두 번째 데이터전송 단계에서는 CTS 프레임에서 수신 터미널 위치 정보를 이용하여, 송신 터미널과 수신 터미널의 거리를 계산하고, 거리에 따른 전송파워를 계산한다.



[Fig. 4] Frame average delivery ratio with different MAC protocol



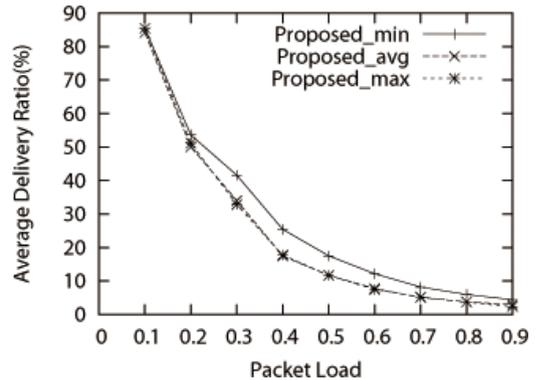
[Fig. 5] Frame average delay with different MAC protocol

Fig. 4에서는 제공된 부하에 따른 프레임의 평균 전달률을 보여주고 있다. Proposed 방식이 Simple 방식보다 평균 153% 그리고 GMAC 보다는 평균 16% 향상하였다. Fig. 5에서는 제공된 부하에 따른 프레임의 평균 지연시간을 보여준다. Proposed 방식이 Simple 방식보다 평균 65% 그리고 GMAC 보다 평균 30% 지연이 감소하였다. Simple 방식은 동시전송과 전송파워제어를 하지 않으므로, GMAC이나 Proposed 방식에 비해 성능이 많이 떨어진다.

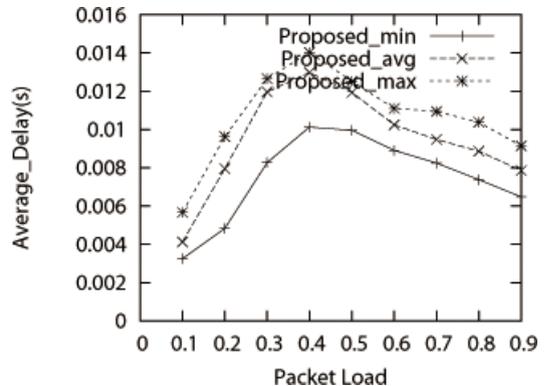
GMAC에 비해 Proposed 방식이 더 좋은 성능분석 결과를 볼 수 있었다. 그 이유는 첫 번째 동시전송을 결정할 때, GMAC과 Proposed 방식은 똑같이 때문에 거의 차이가 없지만, 전송파워 값을 결정할 때는 차이가 발생한다. GMAC은 수신 마스터 터미널에서 전송파워 값을 계산하지만, Proposed 방식에서는 마스터 터미널을 사용하지 않고 완전히 각자 터미널들이 전송파워 계산을 수행한다. 따라서 GMAC은 클러스터 내에서 터미널들의 위치에 상관없이 동일한 전송파워 값을 사용하는 반면,

Proposed 방식에서는 각각의 송신 터미널마다 수신 터미널과의 거리를 계산하여 전송파워를 결정하기 때문에 더 좋은 성능을 보여주고 있다.

Proposed 방식에서 송신 터미널의 전송 범위 내에 수신 터미널이 존재할 경우, 송신 터미널과 수신 터미널 사이의 거리를 계산하여 전송파워 값을 결정하여 데이터 프레임을 전송한다.



[Fig. 6] Frame average delivery ratio with different Proposed method



[Fig. 7] Frame average delay with different Proposed method

송신 터미널의 전송범위 밖에 수신 터미널이 존재하는 경우, 세 가지로 나누어서 시뮬레이션을 수행하였다. 첫 번째 송신 터미널 클러스터 내에서, 송신 터미널과 가장 가까운 터미널까지의 거리를 기준으로 전송파워 값을 결정하는 것이다. 두 번째 송신 터미널이 주변 터미널들과의 거리를 전부 합하고 평균을 내어 전송파워 값을 결정한다. 세 번째 송신 터미널 클러스터 내에서, 송신 터미널과 가장 먼 터미널까지의 거리를 기준으로 전송파워 값을 결정하는 것이다. 첫 번째 방식을 Proposed_min이라고 하고, 두 번째 방식을 Proposed_avg, 세 번째 방식을

Proposed_max 라고 하였다.

Fig. 6에서는 제공된 부하에 따른 프레임의 평균 전달률을 보여주고 있다. Proposed_min 방식이 Proposed_max 방식보다 17.3% 그리고 Proposed_avg 방식보다 16.9% 향상되었다. Fig. 7에서는 제공된 부하에 따른 프레임의 평균 지연시간을 보여준다. Proposed_min 방식이 Proposed_max 방식보다 30% 그리고 Proposed_avg 방식보다 21% 지연이 감소하였다. 이러한 결과는 Proposed_avg나 Proposed_max와 같이 전송거리가 멀어질수록 다른 터미널들과 충돌이 발생할 확률이 많아지기 때문이다. 본 논문에서는 Proposed_min 방식 성능이 가장 우수한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 에드 혹 네트워크에서 전송파워 제어를 위한 MAC 프로토콜들을 분석하였다. 그 중에서 성능이 우수한 GMAC 프로토콜을 개선한 새로운 MAC 프로토콜인 Proposed 방식을 제안하였다. Proposed 방식은 첫 번째 협상 단계에서 브로드캐스트를 이용하여, 송신 터미널과 수신 터미널 사이의 RTS/CTS/DTS 주고 받으면서, 동시전송을 할 것인지 결정한다. 두 번째 데이터전송 단계에서는 CTS 프레임 내의 수신 터미널 위치 정보를 이용하여, 송신 터미널과 수신 터미널의 거리를 계산하고, 거리에 따른 전송파워 값을 계산하였다. Proposed 방식의 성능 분석을 위해 NS-2 시뮬레이터를 사용하였다.

성능 분석은 Simple, GMAC, Proposed 방식으로 나누어서 수행하였다. 성능 분석 결과 Proposed 방식이 Simple 방식보다 평균 전달률에서는 153% 향상과 평균 지연 시간은 65% 감소로 훨씬 좋은 성능을 보였다. 또한 GMAC 방식과 비교하여 평균 전달률에서는 16% 향상과 평균 지연 시간은 30% 감소로 좋은 성능을 보였다. 이것은 GMAC은 클러스터 내에서는 터미널들의 위치에 상관없이 동일한 전송파워 값을 사용하지만, Proposed 방식에서는 각각의 터미널마다 송신 터미널과 수신 터미널사이의 거리를 계산하여 전송파워 값을 결정하기 때문에 더 좋은 성능을 보여주고 있다. 그리고 Proposed 방식에서 수신 터미널이 송신 터미널 전송 범위 밖에 있을 경우에는 Proposed_min 방식의 성능이 가장 우수한 것으로 나타났다. Proposed_min 방식이 Proposed_max 방식보다 평균 전달률에서는 17.3% 향상과 평균 지연 시간은 30% 감소로 좋은 성능을 보였다. 또한 Proposed_avg 방식과 비교하여 평균 전달률에서는 16.9% 향상과 평균 지연 시간은 21% 감소로 좋은 성능을 보였다.

향후 연구 방향은 본 논문에서 제안한 Proposed 방식을 싱글채널(single channel)이 아닌 다중채널(multi-channel) 환경과 다양한 다중클러스터(multi-cluster) 환경 하에서도 적용해 볼 계획이다.

References

- [1] M. Krunz, A. Muqattash, and S.-J. Lee, "Transmission power control in wireless ad hoc networks: Challenges, solutions, and open issues", *IEEE Network*, 18(5) pp.8 - 14, September-October, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MNET.2004.1337730>
- [2] F. Wang, O. Younis and M. Krunz, "GMAC: A Game-theoretic MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", *Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks*, April, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/WIOPT.2006.1666458>
- [3] A. Muqattash and M. Krunz, "POWMAC: A single-channel powercontrol protocol for throughput enhancement in wireless ad hoc networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 23(5) pp.1067 - 1084, May, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JSAC.2005.845422>
- [4] A. D. Domenico, E. C. Strinati, and M-G D. Benedetto, "A Survey on MAC Strategies for Cognitive Radio Networks", *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, 14(1), pp.21-44, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/SURV.2011.111510.00108>
- [5] M. Ghazvini, N. Movahedinia, K. Jamshidi and N. Moghim, "Game Theory Applications in CSMA Methods", *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, ACCEPTED FOR PUBLICATION.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/SURV.2012.111412.00167>
- [6] W. Li, P. Fan, J. Li, and K. B. Letaief, "A Game Theory Based Wireless Data Access in Energy-limited Networks", *Wireless Communications and Mobile Computing Conference, 2008. IWCMC '08. International*, pp.718-723, August, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IWCMC.2008.124>
- [7] Q. Wang, P. Fan, and K. B. Letaief, "On the Log-normal Fading Networks: Power Control and Spatial Reuse", *Proceedings of IEEE International Conference on Communications, ICC 2009, Dresden, Germany*, 14-18 June 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICC.2009.5199256>
- [8] J. Song, and K. Liu, "A novel game-theoretic MAC

protocol for wireless networks", *Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), 2012 2nd International Conference*, April, 2012.

황 성 호(Sungho Hwang)

[정회원]



- 1991년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1997년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 공학대학 정보통신공학전공 교수

<관심분야>

컴퓨터네트워크, WSN, Ad Hoc Network