

# IEEE 802.11 Ad Hoc Network에서의 비동기식 전력 관리 MAC 프로토콜

박상수<sup>o</sup>, 이승형<sup>\*</sup>, 최충철<sup>\*\*</sup>, 정광수<sup>\*\*\*</sup>, 이장연<sup>\*\*\*\*</sup>, 조진웅<sup>\*\*\*\*</sup>

광운대학교 전파공학과<sup>\*</sup>, 광운대학교 컴퓨터과학과<sup>\*\*</sup>, 광운대학교 전자통신공학과<sup>\*\*\*</sup>, 전자부품연구원<sup>\*\*\*\*</sup>  
shorewall@explore.kw.ac.kr, {shrhee, wchoi}@daisy.kw.ac.kr, kchung@kw.ac.kr, {jylee136, chojw}@keti.re.kr

## Asynchronous Power Saving MAC Protocol in IEEE 802.11 Ad Hoc Network

Sangsu Park<sup>o</sup>, Seung Hyong Rhee<sup>\*</sup>, WoongChul Choi<sup>\*\*</sup>, Kwang Sue Chung<sup>\*\*\*</sup>,  
Jang-Yeon Lee<sup>\*\*\*\*</sup>, Jin-Woong Cho<sup>\*\*\*\*</sup>

Dept. of Radio Science & Engineering<sup>\*</sup>, Dept. of Computer Science<sup>\*\*</sup>, Dept. of Electronics Engineering<sup>\*\*\*</sup>,  
Kwangwoon University, KETI(Korea Electronics Technology Institute)<sup>\*\*\*\*</sup>

### 요 약

Ad hoc network는 무선 네트워크 환경에서 AP(Access Point)와 같은 infrastructure없이 STA(Station)들끼리 통신이 가능한 형태의 network이다. Ad hoc network에서는 전력 관리가 중요한 문제를 가운데 하나인데 표준에서는 동기식 전력 관리에 관하여서만 정의하고 있다. 동기식 전력 관리의 경우에는 STA들 사이에 동기가 맞아야 잘 동작한다는 점과 이러한 동기화를 위한 기술적 어려움 그리고 STA들 사이에 독립적인 전력관리가 불가능하다는 점을 단점으로 가지게 된다. 이러한 점을 해결하기 위하여 일반적인 비동기식 전력 관리 방법을 적용시키게 되면 energy saving 측면에서는 효율적이지만 throughput이 현저하게 감소하게 되는 문제가 발생하게 되는데 본 논문에서는 이러한 점을 해결하기 위하여 새로운 비동기식 전력 관리 프로토콜을 제안한다.

### 2. 비동기식 전력 관리

#### 2.1 IEEE 802.11의 power saving 모드

Ad Hoc network에서의 동기식 전력 관리는 infrastructure network에서처럼 TIM에 기반 하여 이루어진다. Ad hoc network는 중앙 집중 관리자가 없기 때문에 분산 시스템을 사용해야 하는데 ad hoc network의 STA는 다른 STA가 잠드는 것을 방지하기 위하여 ATIM(Ad hoc TIM) 메시지를 사용한다. Ad hoc network의 모든 STA들은 비콘 전송 후에 ATIM window 기간동안 sleep 모드로 전환하지 않고 ATIM 프레임을 듣는다. STA가 다른 STA를 위하여 버퍼링 된 프레임들 가지고 있다면 그것을 알려주기 위하여 ATIM 프레임을 보낼 수 있다. ATIM은 전송을 기다리는 데이터가 있다는 의미로 사실상 STA들을 wake up 상태로 유지하게 만드는 것이다.

### 1. 서 론

IEEE 802.11 Wireless LAN(Local Area Network)[1]의 표준은 Local Area에서 STA(Station)들 사이에 통신이 이루어지게 하기 위한 PHY(Physical)와 MAC(Medium Access Control)의 규격이다. 표준에서는 두 가지의 BSS(Basic Service Set) 모델을 정의하고 있는데 하나는 AP(Access Point)와 같은 STA를 사용하여 DS(Distribution System)와 연결되어 distribution service를 제공하는 Infrastructure BSS이고 다른 하나는 STA들끼리 독립적으로 통신을 하는 Independent BSS(IBSS or Ad Hoc Network)이다. IEEE 802.11 표준에서의 전력 관리 방법은 동기식의 전력 관리만 정의하고 있다. Infrastructure BSS의 경우에는 통신이 AP를 통하여 이루어지고 전력 관리 또한 AP에서 보내주는 beacon 메시지 안에 포함 되어있는 TIM(Traffic Indication Map) 메시지를 이용하여 관리하게 된다. Ad hoc network의 경우에는 이러한 TIM 메시지와 유사한 ATIM(Ad hoc TIM) 메시지를 사용하여 STA들 간에 동기화를 이루고 전력 관리를 하게 되고 이렇게 표준에서 정의된 동기식 전력 관리 방법을 ad hoc network에 적용시킬 경우 STA들 사이에 동기화가 이루어져야 잘 동작한다는 점과 이러한 동기화를 이루기 위한 기술적인 어려움 그리고 STA들이 자신의 energy상태에 따른 독립적인 전력 관리 방법을 사용할 수 없다는 단점을 가지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 일반적인 비동기식 전력 관리 방법을 적용시키게 되면 동기가 맞지 않은 STA의 경우에 throughput이 현저하게 감소하는 문제가 발생하게 된다. 지금까지 이러한 문제를 해결하기 위하여 여러 논문들이 발표되고 있는 상황이다 [2],[3]. 본 논문에서는 이러한 비동기식 전력 관리 방법의 단점을 해결하기 위하여 새로운 비동기식 전력 관리 프로토콜을 제안한다.

\*본 연구는 유비쿼터스 컴퓨팅 사업단(CUCN : National Center of Excellence in Ubiquitous Computing and Networking)의 지원에 의해 수행 되었습니다.

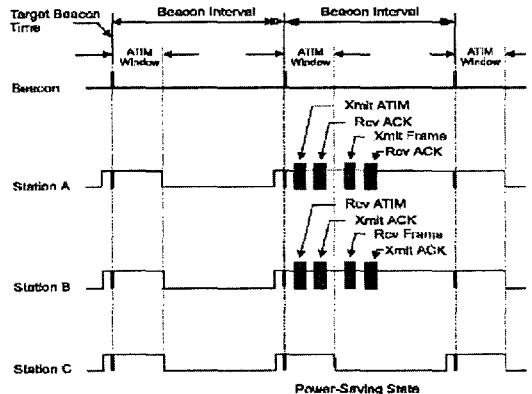


그림 1 Ad hoc network에서의 전력 관리

Ad hoc network에서의 전력 관리의 예를 그림 1에 나타내었다. 그림 1의 경우에는 STA A가 STA B에게 보낼 데이터가 있기 때문에 ATIM window기간에 STA B에게 ATIM 프레임을 전송하고 그에 대한 응답으로 STA B가 ACK 프레임을 전송하여 ATIM window가 끝난 후 STA A와 STA B가 서로 통신을 하는 장면을 나타낸 그림이다. STA B가 STA A에게 보내는 ATIM 프레임에 대한 ACK 프레임은 반드시 ATIM window 기간 안에 전송되어야 하는데 이것은 STA A가 STA B가 sleep 모드로 들어가지 않았다는 것을 확신할 수 있는 유일한 방법이기 때문이다.

2.2 비동기식 전력 관리 프로토콜의 제한

기존의 ad hoc network에서의 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 매체 접근 방법은 RTS(Request-to-Send)->CTS(Clear-to-Send)->Data->ACK의 atomic operation으로 이루어져 있다. STA들이 비동기식으로 각각 자신의 energy 상태에 따라서 독립적으로 전력 관리를 하는 경우에 만약 두 STA사이에 동기화가 이루어지지 않는다면 데이터를 전달하고자 하는 STA가 보낸 RTS 메시지를 수신측 STA가 동기가 맞지 않기 때문에 계속하여 수신하지 못하는 상황이 발생하게 되고 이러한 상황이 계속 될 경우, 이로 인하여 throughput이 현저하게 감소하는 상황이 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 기존에 사용하던 비동기식 전력 관리 방법의 매체 접근 방법의 atomic operation에 RRTS(Request-to-RTS) 메시지를 하나 더 추가한다. 이렇게 RRTS 메시지를 추가함으로써 STA들은 RRTS -> RTS -> CTS -> Data-> ACK의 atomic operation을 가지게 된다. 모든 STA들은 sleep 모드에서 깨어났을 때 자신에게 다른 STA에 보낼 데이터가 없는 경우에는 적어도 하나의 atomic operation이 이루어질 정도의 시간을 대기한 후에 RRTS 메시지를 보내게 되고, 다른 STA에 보낼 데이터가 있는 경우에는 수신 STA가 wake up상태인지 sleep 상태인지를 파악하기 위하여 RTS 메시지를 한번 보내게 된다. 일정 기간을 대기하는 이유는 hidden node problem을 해결하기 위해서이다. 그때 CTS 응답이 오게 되면 바로 통신이 가능하지만 응답이 오지 않는다면 Random Binary Backoff algorithm을 사용하여 다시 한번 RTS 메시지를 보내게 된다. 그래도 응답이 오지 않는다면 수신 STA가 sleep모드에 들어갔다는 것을 인식하게 되고 송신 STA는 sleep 모드로 들어가지 않고 wake up 상태를 유지하며 수신 STA로부터 RRTS 메시지가 오기를 기다리게 된다. Wake up 상태를 유지하는 이유는 비동기식 power saving에서 동기가 맞지 않아 STA들이 각각 독립적으로 power saving 동작을 할 경우 sleep 모드로 들어가서 RRTS 메시지를 받지 못하게 되는 경우를 방지하기 위한 것이다.

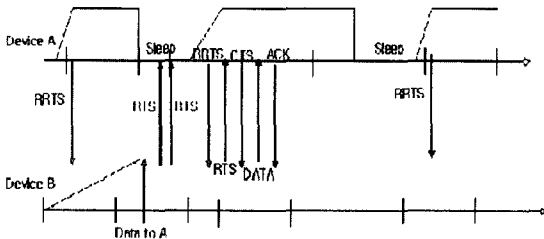


그림 2. 비동기식 전력관리 프로토콜 예

그림 2의 경우에는 STA B가 STA A에게 보낼 데이터가 있는

경우를 나타낸 그림이다. 그림 2에서 STA B는 보낼 데이터가 있기 때문에 일정시간 대기후에 RTS 메시지를 보내고 CTS 응답을 받지 못하여 다시 한번 RTS 메시지를 보낸 후 그래도 CTS응답을 받지 못하자 STA A가 sleep 모드에 들어가 있다는 것을 인식하고 STA A가 깨어난 후에 RRTS 메시지를 보낼 때까지 wake up 상태를 유지하게 되고 STA B의 경우에는 sleep 모드에서 깨어난 후에 자신에게는 다른 STA에게 보낼 데이터가 없기 때문에 RTS 메시지가 아닌 RRTS 메시지를 보내서 다른 STA가 자신에게 보낼 데이터가 있는지 확인하게 되고 이 RRTS 메시지로 인하여 STA B와 STA A가 서로 통신이 가능하게 되는 것을 나타내고 있다. 이렇게 함으로 각각의 STA들이 자신들의 energy 상태에 따라서 비동기식으로 전력 관리를 하더라도 throughput의 큰 감소를 가져오지 않고 STA들 각각은 독립적인 전력 관리를 사용할 수 있게 된다.

3. 시뮬레이션

3.1 IEEE 802.11 Wireless LAN의 power saving 모드

이번 장에는 IEEE 802.11환경에서의 power saving에 대한 시뮬레이션과 비동기식 power saving에 대한 시뮬레이션 수행결과를 나타내었다. 시뮬레이션은 NS-2[4]를 사용하였으며 시뮬레이션 환경은 STA는 2개를 사용하였고 traffic은 TCP traffic을 사용하였으며 초기 Energy 값은 100J를 사용하였다.

Mode	Power Consumption
Transmit mode	660 mW
Receive Mode	395 mW
Idle Mode	35 mW
Sleep Mode	5 mW

표 1. 각각의 state 변화에 따른 power consumption

각각의 state에 따른 power 소모 값은 표 1에 나타낸 것처럼 transmit mode에서 가장 많은 power를 소모하며 sleep mode에서는 power를 거의 소모하지 않도록 하는 환경에서 시뮬레이션을 수행 하였다.

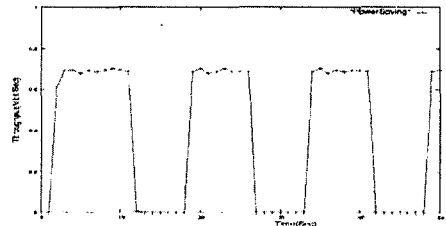


그림 3. IEEE 802.11 환경에서의 throughput

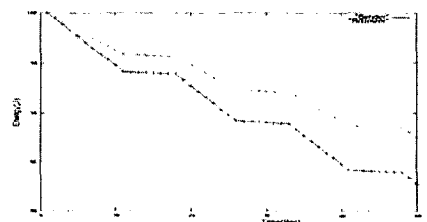


그림 4. IEEE 802.11 환경에서의 에너지 소모

그림 3과 그림 4는 각각 IEEE 802.11 환경에서의 throughput과 energy의 소모를 나타낸 그래프이다.

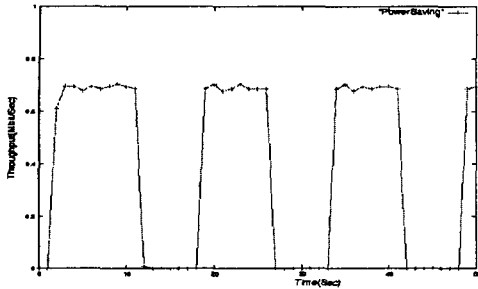


그림 5 Power saving을 사용한 경우 throughput

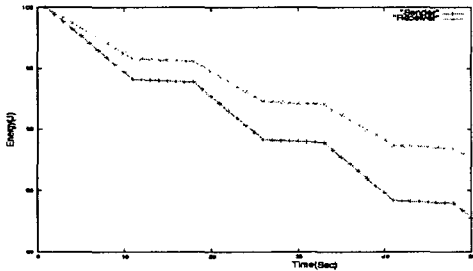


그림 6 Power saving을 적용한 경우 에너지 소모

그림 5와 그림6의 경우에는 802.11 환경에 power saving을 적용한 경우의 throughput과 에너지의 소모를 그래프로 나타낸 것이다. sleep interval은 5초로 설정하였으며 10초간 통신을 한 후 5초 동안 sleep 모드로 들어가는 것을 보여준다.

### 3.2 비동기식 power saving 모드

그림 7과 그림 8의 경우에는 비동기식 power saving에서의 throughput을 나타낸 그래프이다. Sender의 경우에는 30초마다 5초의 sleep interval을 가지고 동작을 하게 되고 그림 7의 경우에는 receiver는 30초마다 10초의 sleep interval을 가진 경우를 그림 8의 경우에는 30초마다 20초의 sleep interval의 가진 경우의 시뮬레이션 결과 그래프이다. 비동기식의 경우에는 그림에서 볼 수 있는 것처럼 두 STA가 모두 wake up 상태에 있어야만 서로 간에 통신이 가능하다는 것을 보여주고 있다.

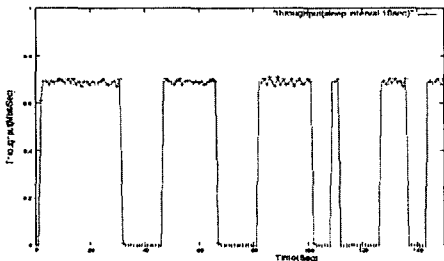


그림 7 비동기식 power saving을 적용한 경우의 throughput(sleep interval : 10sec)

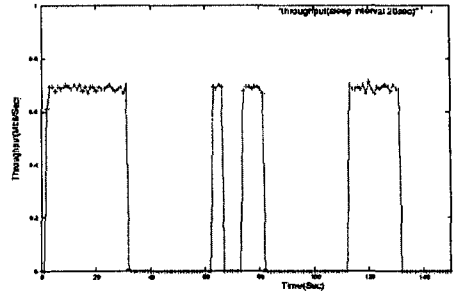


그림 8 비동기식 power saving을 적용한 경우의 throughput(sleep interval : 20sec)

그림 9는 sleep interval의 변화에 따른 총 데이터 전송량을 표시한 그래프이다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 sender와 receiver가 서로 동기가 맞지 않게 동작을 한다면 sleep interval이 5초인 경우와 20초인 경우는 두 배 이상의 총 데이터 전송량의 차이가 남을 알 수 있다.

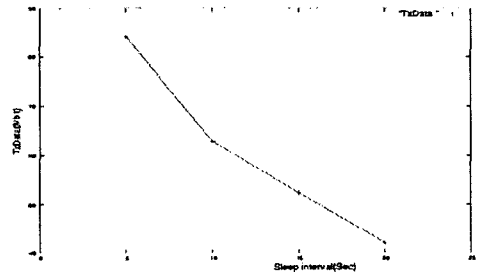


그림 9 Sleep interval의 변화에 따른 전체 TxData

### 4. 결론

본 논문에서는 ad hoc network에서 동기식 전력 관리를 사용할 경우의 단점과 비동기식 전력 관리를 사용할 경우 나타나는 문제점을 살펴보고 그 문제점을 해결하기 위하여 새로운 비동기식 전력 관리 프로토콜을 제안하였다. 그리고 기존의 IEEE 802.11 환경에서의 간단한 시뮬레이션을 하였고 거기에 동기식 power saving을 적용시킨 경우와 비동기식 power saving을 적용시킨 경우에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 본 논문에서 제안하는 비동기식 전력 관리 방법은 STA이 각각의 독립적인 전력 관리가 가능하고 그로 인하여 나타나는 throughput 감소 현상과 데이터의 전송 지연 현상도 해결할 수 있게 된다.

#### 참고 문헌

- [1] LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, "IEEE Std 802.11-1999, Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications," IEEE 1999.
- [2] W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin, "An Energy-efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," in INFOCOM, volume 3, pages 1567~1676, June 2002.
- [3] Y. Tseng, C. Hsu, and T. Hsieh, "Power-Saving Protocols for IEEE 802.11-Based Multi-Hop Ad Hoc Networks," in INFOCOM, volume 1, pages 200~209, June 2002.
- [4] NS-2 "Network Simulator," <http://www.isi.edu/nsnam/ns>