

Cognitive Radio 환경을 고려한 에너지 효율적인 MAC 프로토콜

An Energy-efficient MAC Protocol in Cognitive Radio Environment

김 병 부* 이 승 형**
(Byungboo Kim) (Seung-Hyong Rhee)

요 약

현재 무선 환경통신에서 점차 고갈되어가는 주파수를 효율적으로 사용하기 위해서 새로운 접근 방법이 개발되었다. Cognitive Radio는 디바이스가 동작하는 환경의 정보에 근거하여 자신의 송수신 방법을 바꿀 수 있는 장비를 말한다. 현재 무선 모바일 디바이스를 대상으로 하는 무선통신표준들은 절전모드에 대해서 다루고 있으며, 대부분 전력절감을 위하여 데이터 송신과 수신에 대한 전원을 차단하는 방법을 이용한다. 하지만 Cognitive Radio 환경에서는 모든 디바이스들이 채널을 검색하기 위해서 Quiet Period를 두고 있으며, 기존의 에너지 절감 방법으로는 Cognitive Radio 환경에 응용하기에는 적합하지 않다. 본 논문에서는 Cognitive Radio 환경에서 무선 모바일 디바이스를 위한 에너지 효율적인 MAC 프로토콜을 제안하고, 시뮬레이션을 통하여 일반적으로 사용되는 에너지관리 방법과 제안한 방법을 비교하여 성능이 향상되었음을 확인한다.

Abstract

In mobile wireless communications, there is a new approach that uses the lacking spectrum efficiently. A cognitive radio is a device that can changes its transmitter parameters based on interaction with the environment in which it operates. At present, the wireless communication standard for wireless device contains power-saving modes or energy efficient mechanisms which cuts off the power of transmitter and receiver for power-saving. However, in cognitive radio environment, every device has the Quiet Period for searching channel and existing energy-saving method is not appropriate to be adjust to cognitive radio environment. In this paper, we propose an energy-efficient MAC protocol of mobile device in cognitive radio environment and prove the improvement of proposed method.

Key words : Cognitive radio, MAC protocol, power-saving modes, IEEE 802.22

본 논문은 2006년도 광운대학교 연구년 및 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 지식경제부의 유비쿼터스컴퓨팅및네트워크원천기반기술개발사업의 08B3-B2-12T 과제로 지원된 것임

* 주저자 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 교수

† 논문접수일 : 2008년 2월 22일

I. 서 론

최근 무선 네트워크 표준화와 무선 단말의 개발은 무선 단말의 이동성에 초점을 맞추고 있다[1]. 그로인해 무선 디바이스들이 사용할 수 있는 한정된 자원의 효율적인 사용은 매우 중요한 연구 분야로 관심 받고 있다. 무선 이동 노드의 중요 자원인 배터리의 에너지절감은 중요한 이슈가 되고 있다. 특히 네트워크를 관리하는 AP (Access Point)가 없는 ad-hoc 네트워크에서는 에너지 보전 효율이 낮으므로, 무선 디바이스들에 의해서 소모되는 에너지의 양을 줄이기 위한 기술은 중요하다. 무선 디바이스에 사용되는 에너지를 줄이기 위한 기술은 PHY (Physical) 계층에서 꾸준히 연구되고 있지만 MAC (Multiple Access Control) 계층에서도 에너지절감을 위한 많은 연구가 진행되어 왔다[2, 3]. 본 논문에서는 CR (Cognitive Radio) 환경에서 사용할 수 있는 에너지절감 메커니즘에 대해서 제안한다.

주파수 자원은 무형의 자원으로서 무선 통신이 발전함에 따라 주파수 자원의 가치는 더욱 커지고 있으며, 전자 정보화 사회에서는 새로운 형태의 자원으로 인식되고 있다.

우리나라의 무선 통신 기술은 아날로그 세대인 1980년대까지는 매우 제한적으로 사용되었으나 1990년대 CDMA (Code Division Multiple Access) 이동 통신의 상용화 이후 비약적으로 발전하여 현재는 유비쿼터스 정보화 사회를 눈앞에 두고 있다. 하지만 유비쿼터스 정보화 사회로 가는 현재에는 주파수 자원의 수요가 공급에 비해서 매우 많기 때문에 주파수 부족 현상이 심각하게 대두된다. 하지만 무선 디바이스들의 주파수 이용 효율은 항상 100%가 아닌 평균 30% 정도이므로 나머지 잉여 70%를 사용하는 기술이 제안되었다. 주파수 사용효율이 낮거나 사용되지 않는 주파수 자원의 이용효율을 획기적으로 높이기 위하여 최근 각광을 받고 있는 기술은 CR이다. CR을 기초로 한 IEEE 802.22 WRAN (Wireless Regional Area Network)에서는 현재 주파수 공유에 대한 표준화 작업이 진행 중에 있다. 현재 AP가 있는 고정 디바이스에 대한 표준이 진행 중에 있고 무선 단말의

이동성과 관련한 표준화는 진행되지 않고 있다. 하지만 CR 기능은 주파수가 고갈되어가는 현시점에서 주목받는 기술 중에 하나이며, 앞으로 발전가능성이 매우 높은 기술이므로 어떤 형태로든 이동성으로 응용될 것이다.

현재 무선 모바일 디바이스를 대상으로 하는 무선통신표준들은 절전모드에 대해서 다루고 있으며, 대부분 전력절감을 위하여 데이터 송신과 수신에 대한 전원을 차단하는 방법을 이용한다. 송수신 전원을 차단한다고 해도, 버퍼링을 통하여 throughput을 보전해주는 방식을 채택하고 있다. 본 논문에서는 모바일 환경에서 CR을 적용하여 동작하는 MAC을 제안하고, CR 환경에 적합한 절전 모드 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 CR의 개념과 CR을 기본으로 한 WRAN 서비스를 목적으로 하는 IEEE 802.22 MAC의 동작에 대해서 기술하기로 한다. III장에서는 무선 네트워크 중 절전모드를 지원하는 IEEE 802.11과 IEEE 802.15.3의 동작과정에 대해서 설명한다. IV장에서는 CR에서 무선 모바일 환경에서 동작하는 MAC에 대해서 각각 설명하고, 절전 모드를 적용하는 방법에 대하여 알아본다. V장에서는 IV장에서 설명한 절전 모드를 ns-2 시뮬레이터를 사용하여 구현하고, 여러 환경과 모델을 적용하여 시뮬레이션을 수행하고 그 결과로 throughput과 delay를 구함으로써 성능평가를 한다. 마지막으로 제 VI장 결론에서는 본 논문의 결론과 향후 연구방향에 대해 기술한다.

II. Cognitive Radio

현재 무선통신에 있어서 새로운 차세대 무선 플랫폼 및 하드웨어 구현기술은 빠르게 발전하고 있다. 하지만 급속도로 발전하는 무선통신 기술은 기존 기술과 주파수 공존의 문제로 인해서 신규 주파수 자원은 거의 고갈되어 있는 상태이다. 또한 면허가 필요 없이 저출력 무선기기의 통신이 허가되는 ISM(Industrial Scientific Medical) 대역폭 조차도 다양한 WPAN(Wireless Personal Area Network)기술 및

소 출력 무선기기 간 간섭이 큰문제가 되어 있는 상태이다[4].

CR은 주파수 자원을 최대한 효율적으로 이용하기 위한 기술로서, 수시로 변화하는 유휴 스펙트럼을 찾아내어 기존의 주파수를 사용하고 있는 디바이스와의 충돌 없이 통신한다. 또한 CR 기술은 주파수 변화 상황에 따른 인지 능력과 적절한 대처능력 그리고 학습능력이 포함된 획기적인 신기술이다[5].

CR의 장점 중의 하나는, 가격적인 측면에서 보면 무선 주파수 대역을 돈을 내지 않고 사용함으로써 기존의 셀룰러 형태의 무선 통신 서비스보다 가격이 저렴해지는 것이다. 하지만, CR 단말을 구현하기 위한 복잡도의 증가, 그리고 VHF 대역을 사용할 경우의 수신기의 안테나 크기 문제, 공용 주파수 사용으로 인한 서비스의 안정성(QoS) 등도 고려되어야 할 사항이다. 앞서 설명한 바와 같이 CR에서 사용되는 기술은 단지 IEEE 802.22뿐만 아니라 다중 채널에 대한 무선 채널 관리와 분배, 간섭 검출 기술로서 향후 차세대 무선 통신과 연동하여 서로 상호 보완적으로 사용될 가능성이 높다. 예를 들어서, 셀룰러 환경에서 발생하는 음영 지역이나 셀의 크기를 키워야 하는 도시 외곽 지역 등에서 CR은 주파수 간섭을 일으키지 않고 효과적으로 고속 데이터를 전송할 수 있는 좋은 대안 기술이다.

III. 무선 네트워크의 절전 모드 방법

무선 네트워크를 구성하고 있는 대다수의 디바이스들은 이동성을 갖고 있으므로, 디바이스에서 사용할 수 있는 에너지의 양이 정해져 있다. 무선 네트워크에서 기본적인 절전모드 방법은 전파를 수신하는 시간을 줄여서 에너지를 보전하는 방법이 보편적이다. 본 논문에서도 기본적으로 전파를 수신하는 시간을 줄이는 방법을 사용하지만, 기존의 방식보다 효율적인 에너지 절감 방법을 제안한다.

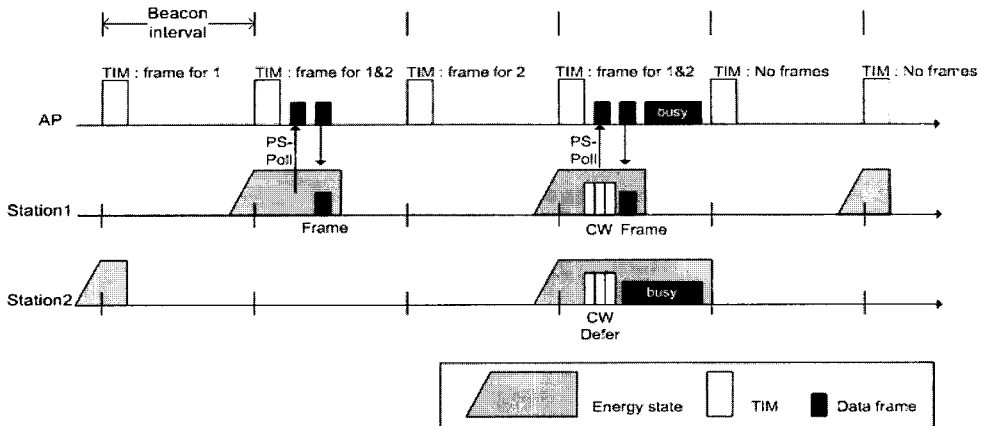
1. IEEE 802.11의 에너지 절감 방법

네트워크 디바이스가 에너지 절감을 하기 위해서

디바이스의 송신기의 전원을 끄는 방법을 사용한다. 송신 디바이스의 전원이 꺼져있는 상태를 SLEEP 또는 DOZE 상태라고 하며, 절전 (power saving) 모드에 있다고 한다. 반대로 송신 디바이스의 전원이 켜진 상태는 AWAKE, ACTIVE 상태로 나뉘게 된다. IEEE 802.11에서 네트워크를 구성하는 방법에 따라서 AP를 사용하여 네트워크를 조정하는 PCF (Point Coordination Function)와 CDMA/CA 매커니즘을 사용하여 통신이 이루어지는 DCF (Distributed Coordination Function)으로 나뉜다[6].

PCF를 이용한 infrastructure 네트워크에서는 모든 디바이스의 트래픽이 AP를 통해서 지나가므로, AP에서는 트래픽을 저장하기 위한 버퍼가 구현되어 있다. 또한 절전 모드를 지원하기 위해서는 AP는 항상 AWAKE 상태를 유지하고 있으며, 모바일 디바이스는 AP와 절전 모드에 관하여 통신을 한다. IEEE 802.11의 절전 모드에서는 PS-polling 프레임과 TIM (Traffic Indication Map)이 사용된다. PS-polling 프레임은 디바이스가 AP에게 해당 디바이스에게 전송되어 버퍼링된 데이터 프레임을 받기 위해서 AP에게 전송한다. TIM은 AP가 디바이스에 버퍼링된 프레임의 정보를 작성한 것으로 비콘 프레임에 TIM을 포함하여 디바이스에게 전송된다.

AP는 절전 모드를 관리하기 위해서 크게 프레임을 버퍼링하는 기능과 비콘을 브로드캐스팅 하는 기능으로 나뉜다. AP는 네트워크에 소속된 디바이스의 절전 상태를 알고 있으므로, 디바이스의 상태에 따라 프레임이 디바이스에게 전달되어야 할지 판단한다. 만약 디바이스가 절전 모드라면, 프레임들은 AP가 버퍼링하여 저장하고, PS-polling 프레임과 TIM 메시지를 이용하여 디바이스는 AP에 버퍼링되어 있는 프레임을 받는다. AP는 정기적으로 어떤 디바이스의 프레임이 버퍼링되어 있는지 디바이스들에게 알려준다. 에너지 소모 측면에서 송신 디바이스의 동작보다는 수신 디바이스의 동작의 에너지 소모가 적기 때문에 AP는 버퍼링 정보를 디바이스들에게 정기적으로 브로드캐스팅하며, 디바이스들은 버퍼링 정보를 듣기 위해서 수신 디바이스의 상태를 ACTIVE 모드를 유지한다.



<그림 1> TIM 메시지를 이용한 전력관리
 <Fig. 1> Power management using TIM message

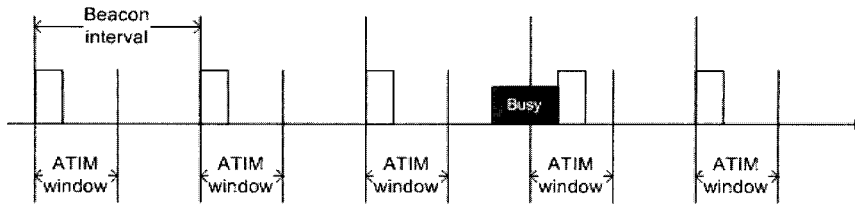
<그림 1>에서 AP는 비콘 간격마다 TIM을 포함하는 비콘 프레임을 전송하고 디바이스들이 PS-polling 프레임을 이용하여 AP 버퍼링된 데이터 프레임을 전송받는 과정을 표현하고 있다. 절전 모드가 가능한 모든 디바이스들은 AP의 TIM을 받기 위하여 정기적으로 TIM을 수신하며, 버퍼링된 프레임을 받기 위하여 ACTIVE 모드로 전환한다.

<그림 1>에서 디바이스 1은 정기적으로 2번의 비콘 간격마다 TIM을 수신하고 디바이스 2는 3번의 비콘 간격마다 TIM을 수신하며, 디바이스들이 수신 디바이스를 켜기 위한 에너지 소모 상태를 볼 수 있다. 첫 번째 TIM에는 디바이스 1을 위한 버퍼링된 프레임이 존재함을 알리고 있다. 그러므로 디바이스 1의 비콘 수신 간격이 2이므로 디바이스 1은 그래도 SLEEP 상태를 유지하고 디바이스 2는 TIM을 받아본 결과 버퍼링된 프레임이 없음을 확인하고 바로 절전 모드로 전환한다. 두 번째 TIM에서는 디바이스 1과 2에 버퍼링된 프레임이 있음을 알리고, TIM을 받은 디바이스 1은 active 모드로 전환하여 PS-polling 프레임을 전송하고 버퍼링된 프레임을 전송받는다. 전송이 끝나면 해당 디바이스는 다시 절전 모드로 전환한다. 4번째 비콘 프레임의 경우, 디바이스 1과 2는 동시에 깨어나서 TIM을 수신하며 ACTIVE 모드로 전환한다. 디바이스 1과 2는 충돌을 방지하기 위하여 경쟁 윈도우의 backoff 알고리즘을 통하여 PS-polling 프레임을 전송하고,

먼저 점유한 디바이스가 데이터 전송을 시작한다. 그림 1에서 디바이스 2는 먼저 통신매체를 점유한 디바이스 1의 데이터 전송이 끝날 때까지 ACTIVE 모드를 유지하면서 연기한다. 만약 디바이스 1의 전송이 끝난 후 다른 제 3의 디바이스가 통신매체를 점유했다면 디바이스 2는 다시 연기한다.

DCF를 이용한 Ad-hoc 네트워크에서는 AP가 관리하는 infrastructure 네트워크보다 에너지 관리 측면에서 효율적이지 못하다. Ad-hoc 네트워크에서는 ATIM (Announcement Traffic Indication Message)을 사용하여 절전 모드를 관리한다. ATIM은 절전 모드가 가능한 모든 디바이스들이 전송할 수 있으며, ATIM 메시지를 받은 디바이스는 비콘 간격동안 ACTIVE 모드를 유지하고 있어야 한다. 디바이스가 다른 디바이스를 위한 데이터를 버퍼링하고 있을 경우, 목적지 디바이스가 SLEEP 모드로 전환하는 것을 방지하고자 ATIM 메시지를 전송한다. 모든 디바이스들은 ATIM 메시지를 듣기 위해서 특정시간마다 수신 상태를 유지하며, ATIM 메시지를 수신하지 않는 디바이스는 디바이스 스스로 절전 모드로 전환할 수 있다. ATIM 메시지는 용도에 따라서 유니캐스트 데이터 프레임에 대한 ATIM과 멀티캐스트 데이터 프레임에 대한 ATIM 메시지를 갖고 있으며, 유니캐스트 ATIM 메시지를 받은 디바이스는 ACK 프레임을 전송해야 한다.

Ad-hoc 네트워크의 절전 모드에서 사용되는 ATIM



<그림 2> Ad-hoc network에서의 ATIM window
<Fig. 2> ATIM window in an ad-hoc network

윈도우 동안에는 모든 디바이스들은 절전 모드로 전환할 수 없다. ATIM 윈도우의 목적은 비콘 프레임이 지연될 경우를 대비하여 미리 설정해놓은 구간이므로 <그림 2>의 4번째 비콘 간격에서 비콘 프레임이 지연되었을 때 상황처럼 사용된다. 모든 디바이스들은 ATIM window 동안은 항상 active 상태를 유지해야 하며, ATIM 프레임을 송신하거나 전송하는 디바이스는 다음 비콘 시간동안 ACTIVE 상태로 깨어 있어야 한다. ATIM 윈도우 동안에는 비콘, RTS/CTS, ACK, ATIM과 같은 콘트롤 프레임은 전송될 수 있지만 데이터 프레임은 전송될 수 없다.

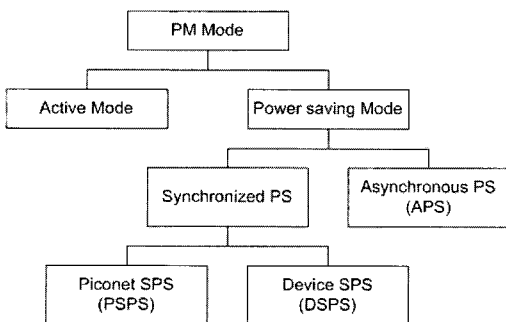
2. IEEE 802.15.3의 energy saving 방법

IEEE 802.15.3 High-rate WPAN에서는 <그림 3>과 같이 ACTIVE, APS (Asynchronous PS), PSPS (Piconet Synchronous PS), DSPS (Distributed Synchronous PS)의 네 종류의 전력 관리 기법이 존재한다[7]. 이들 가운데 ACTIVE 모드를 제외한 나머지 모드들은 절전 모드이다. AWAKE 상태는 DEV가 송신이나 수신을 할 수 있는 상태이고, SLEEP 상태는 DEV가 송수신을 할 수 없

는 상태이다. DEV는 어떤 PM 모드에 있던지 자신이 송신자 또는 수신자의 역할을 하지 않는 CTA(Channel Time Allocation) 구간동안은 SLEEP 상태로 들어간다. 또한 DEV가 PS모드에 있을 경우 일정시간 동안에 AWAKE 상태로 변경하여 PNC와과 접속 정보를 교환하여 접속 상태를 유지한다. IEEE 802.15.3 WPAN에는 크게 동기식 절전모드와 비동기식 절전모드가 있다.

PSPS 모드와 DSPS 모드는 DEV가 PNC 또는 다른 DEV에게 동기를 맞추는 방법의 절전 모드이다. PSPS 모드를 사용하는 DEV는 SLEEP 상태로 들어가기 전에 PNC의 콘트롤 정보를 수신하여 PNC와 동기를 맞추게 된다. DSPS 모드에서는 DEV가 절전 모드의 동기를 맞추는데, 에너지 소비가 많은 DEV가 다른 DEV들과 AWAKE 상태를 동기화 한다. DSPS에서는 에너지 상태가 비슷한 DEV들끼리 여러 DSPS 집합을 형성하여 절전 모드로 동작한다. 이때 DSPS 집합은 PNC가 관리하지만 DSPS 집합의 여러 조건은 DEV들이 결정한다.

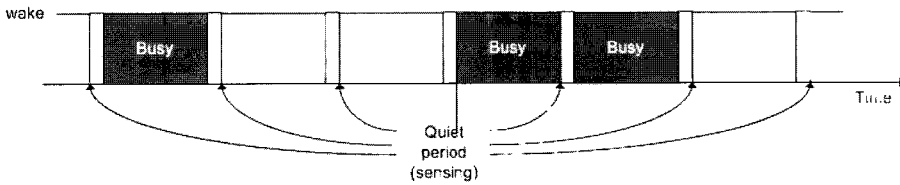
APS 모드는 비동기식 절전모드로 장시간 SLEEP 상태를 유지할 때 사용하는 방식이다. APS모드로 동작하는 DEV는 일정시간동안 통신이 없어 piconet과 멤버십이 끊어지는 것을 방지하기 위해 ATP구간 안에 PNC와 접속 유지를 해야 한다. APS모드에서 DEV는 자신의 상태가 ACTIVE로 돌아오거나 혹은 다른 절전 모드로 바뀌기 전에는 어떤 비콘 프레임이나 트래픽을 듣지 않는다.



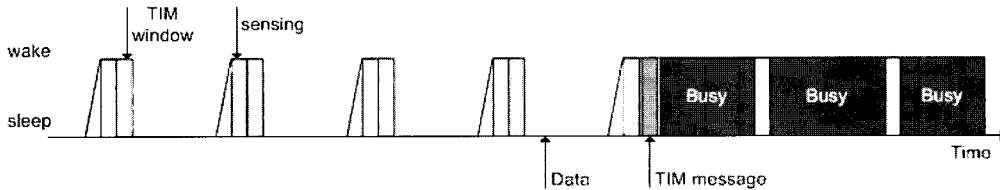
<그림 3> IEEE 802.15.3의 전력관리
<Fig.3> Power management in IEEE 802.15.3

IV. CR을 고려한 에너지 절감 방법

CR 환경에서는 모든 디바이스들은 채널을 센싱하고, 그 결과에 따라서 채널의 이동, 데이터 전송



<그림 4> Energy saving을 사용하지 않는 상태
<Fig. 4> Non energy saving mode



<그림 5> TIM message를 사용한 normal PS 모드
<Fig. 5> Normal PS mode using TIM message

의 방법의 변경 등 여러 상황이 발생한다. 이동성을 가진 CR 디바이스는 지속적인 전력 공급이 없으므로 한정된 배터리 자원을 효율적으로 사용해야 한다. 본 장에서는 이와 같은 CR 환경을 고려한 에너지 절감 방법에 대해서 3가지 제안하고 각각의 방식의 동작을 설명한다.

1. Normal PS 모드

디바이스가 에너지를 보전하기 위해서 송수신기의 전력을 끈 상태를 SLEEP 상태라고 하고, 송수신기의 전력을 켜 상태를 WAKE 상태라고 한다. 또한 디바이스가 송수신하고 있는 상태를 ACTIVE 라고 하며 송수신하지 않는 상태를 IDLE 이라고 한다 [8]. <그림 4>는 절전 모드를 적용하지 않아 디바이스가 항상 WAKE 상태를 유지하는 것을 보여준다.

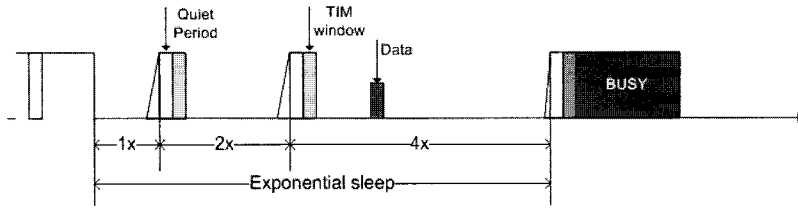
기본적인 절전 모드는 일정주기마다 디바이스들이 WAKE, SLEEP 하여 에너지를 보전하는 방법이다. 절전 모드를 사용하지 않는 경우는 디바이스가 송수신 과정이 IDLE 상태와 ACTIVE 상태에서도 에너지를 계속 소모한다.

효율적인 에너지 사용을 위해서는 디바이스가 IDLE 상태일 때 최대한 전력 소모를 줄여 SLEEP 상태로 유지하게 함으로써 불필요한 에너지 낭비를 줄일 수 있다. 본 절에서 제안하는 normal PS 모드

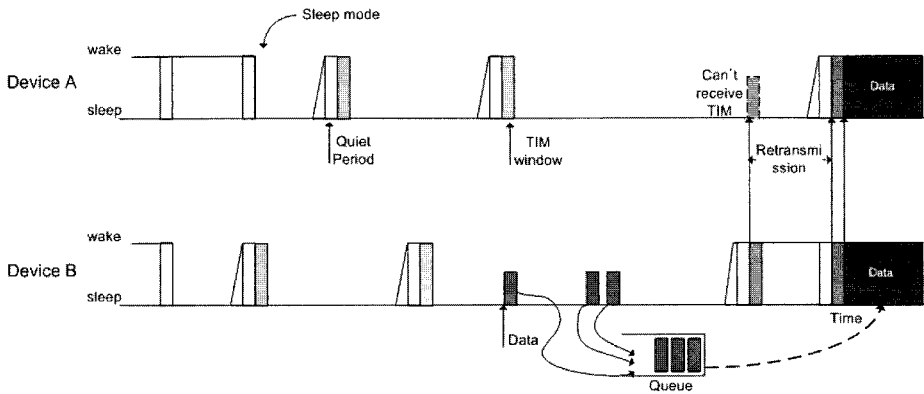
는 디바이스는 송수신이 없는 IDLE 상태일 때, SLEEP 모드를 유지하고 송수신이 필요한 ACTIVE 상태이면 WAKE 상태로 돌아오는 방법이다.

<그림 5>는 기본적인 normal PS 모드를 나타내고 있다. 그림에서 CR 디바이스가 SLEEP 모드에서 데이터를 보내기 위해서 TIM (Traffic Indication Map) 메시지를 전송하고 데이터를 송신하는 과정을 나타내고 있다. 모든 CR 디바이스들은 동기를 맞춰서 주기적으로 채널을 센싱하고 먼저 채널상태를 확인한 후 SLEEP 모드로 들어갈지를 결정한다. 채널 센싱 구간이후에 일정시간 WAKE 상태를 TIM 윈도우라고 하고, 이 구간동안에는 모든 디바이스가 데이터를 전송하지 않으므로 충돌은 일어나지 않는다. 만약 채널 상태가 IDLE 상태라면 TIM 윈도우 이후에 TIM 메시지의 내용에 따라 SLEEP 모드를 결정한다.

TIM 메시지는 데이터를 송신할 디바이스가 수신할 디바이스에게 전달하는 것으로, 메시지는 1-hop 거리에 있는 모든 디바이스들에게 브로드캐스팅 된다. 메시지를 받은 디바이스는 TIM을 분석하고 자신이 수신해야 될 데이터의 유무 확인한 후, 수신할 데이터가 있을 경우 ACTIVE 상태로 전환한다. TIM 메시지를 받기 위해서 TIM 윈도우 동안은 모든 디바이스는 WAKE 상태를 유지하여 해야 한다.



<그림 6> Exponential한 sleep 방법
<Fig. 6> Exponential sleep



<그림 7> TIM 메시지의 재전송
<Fig. 7> Retransmission of the TIM message

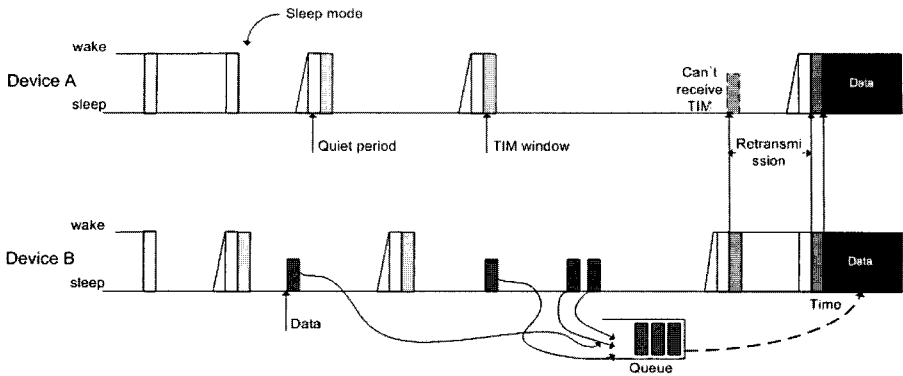
Normal PS 모드를 적용한다면 PS mode를 사용하지 않는 디바이스에 비해서 SLEEP 상태를 유지하는 구간만큼의 에너지 절감을 기대할 수 있다.

2. Exponential PS 모드

Normal PS 모드에서 SLEEP 구간에 보낼 데이터를 상위 계층으로부터 전달 받는다면 디바이스는 다음 구간에서 즉시 TIM 메시지를 보내고 송수신 디바이스들은 WAKE 모드로 전환하여 데이터를 전송한다. 만약 전달하는 데이터의 패턴이 작은 단위로 수시로 내려오게 되면 디바이스의 SLEEP 구간이 줄어들면서, 에너지 절감의 효율이 적어지는 단점이 발생한다. 본 절에서 제안하는 exponential PS 모드는 SLEEP 구간을 최대한 늘리는데 중점을 맞춘 방식이다.

<그림 6>에서 처럼 exponential PS 모드는 normal PS 모드 방식을 바탕으로 SLEEP 구간의 길이를 지수함수에 따라 증가시킨다. Normal PS 모드 방법은

매 센싱 구간마다 WAKE 상태로 전환하여 채널의 상태를 살피지만, exponential PS 모드는 WAKE 상태로 전환하는 센싱 구간의 주기를 exponential하게 증가시켜서 SLEEP 구간을 증가시키는 방법이다. 하지만 무제한적인 SLEEP 구간의 증가를 막기 위해서 최대값(MAX_EXP_SLEEP)을 지정하여 토폴로지 상에서의 노드들은 동시에 SLEEP 모드로 변경되는 상황은 발생하지 않는다. <그림 7>은 이와 같은 상황에서 동작하는 exponential PS 모드에 대해서 나타낸다. 디바이스 B가 디바이스 A에게 TIM 메시지를 전송했지만 디바이스 A로부터 TIM ACK를 받지 못하는 경우 디바이스 B는 WAKE 상태를 유지하며 TIM 메시지를 재전송하게 된다. TIM 메시지의 재전송 횟수(MAX_RE_TIM)는 최대 5를 넘지 못하도록 하며, 재전송 시도가 5번이 넘은 경우에는 해당 데이터를 버리도록 한다. 해당 데이터를 버린 뒤에는 다른 노드에게 전송할 데이터가 있다면 계속 전송을 시도하며, 전송할 데이터가 없는 경우에는 다시 SLEEP 모드를 유지한다.



<그림 8> Cumulative PS 모드의 예
 <Fig. 8> Example of cumulative power saving mode

3. Cumulative PS 모드

Cumulative PS 모드는 exponential PS 모드 방식에서 SLEEP 구간을 조금 더 늘리면서 데이터를 누적하는 기능을 추가한다. Cumulative PS 모드와 앞절에서 설명한 exponential PS 모드 방식을 비교하면 전송할 데이터를 인식하면 다음 센싱 구간에서 센싱을 하고 WAKE 상태로 변경하는 대신 SLEEP 구간을 하나 더 거쳐서 WAKE 하게 된다. 그러므로 좀 더 많은 구간을 SLEEP 상태로 유지할 수 있게 되어 에너지를 절약할 수 있다. 추가로 SLEEP 상태를 유지하는 구간 동안에는 데이터 프레임을 누적하면서 저장하여 다음 구간에서 한 번에 보내게 된다. Cumulative PS 모드와 exponential PS 모드를 비교하면 데이터를 누적해서 보내기 때문에 전송 지연에 비교적 민감하지 않은 데이터나 간헐적으로 전송되는 데이터가 많은 경우에 효율적으로 절전 모드를 동작할 수 있다.

V. 시뮬레이션

시뮬레이션은 NS-2 시뮬레이터에서 실시하였다 [9]. 시뮬레이션 방법은 절전모드를 사용하지 않고 정상적으로 에너지를 소모하는 MAC 프로토콜과 일반적으로 사용되는 TIM 메시지를 이용하여 매 구간마다 SLEEP 구간과 채널을 스캔하는 MAC 프로토콜 그리고 본 논문에서 제안하는 exponential

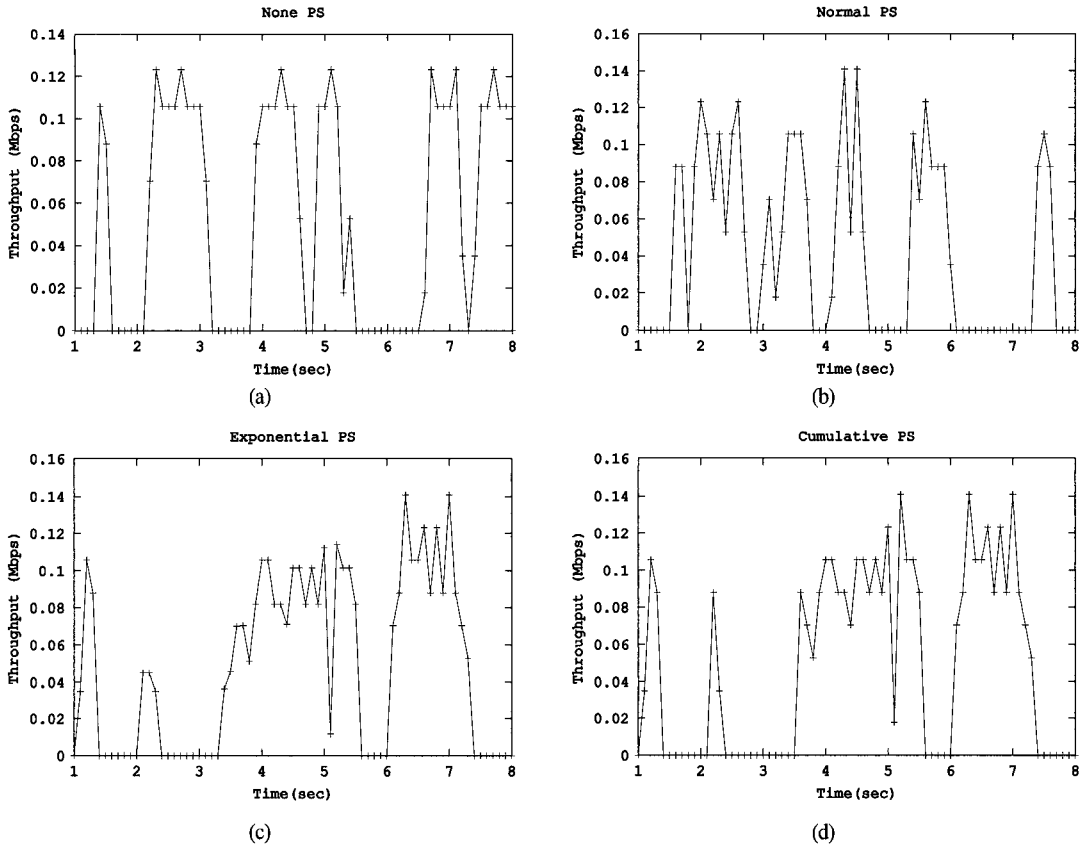
PS 모드 그리고 cumulative 한 sleep 모드로 동작하는 MAC을 구현하여 시뮬레이션 한다. 본 시뮬레이션에서는 하나의 채널을 사용하였으며, 채널의 상태는 수시로 on/off 할 수 있도록 랜덤함수를 사용하였다. IU(Incumbent User)가 출현할 경우 채널의 상태는 OFF가 되며, IU의 채널 사용이 끝난 경우 채널의 상태는 ON이 되어 CR 디바이스가 통신을 계속할 수 있다.

시뮬레이션에 대한 환경은 <표 1>과 같다. 시뮬레이션 과정에서 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽을 사용하였으며, 전체 노드의 개수는 2개로 하였다. IEEE 802.22 표준 문서를 참조하여 센싱 시간과 프레임 시간을 적용하여 시뮬레이션을 하였다. 그리고 시뮬레이션의 결과는 각각 MAC 프로토콜에 따라 throughput와 전송지연 그리고 에너지의 변화를 측정하여 분석하였다.

시뮬레이션은 다음의 가정 하에 수행되었다. IU의 등장에 따라 채널의 상태가 On-Off 되며 실제

<표 1> 시뮬레이션 파라미터
 <Table 1> Simulation parameters

Attribute	Value
무선 단말 개수	2
트래픽 종류	UDP
CBR 패킷 크기	200
시뮬레이션 시간	10 sec
센싱 구간의 길이	20 μ s
프레임 구간의 길이	10ms



<그림 9> (a) Non-PS 모드 처리율 (b) Normal PS 모드 처리율 (c) Exponential PS 모드 처리율 (d) Cumulative PS 모드 처리율

<Fig. 9> (a) Throughput of non-PS mode (b) Throughput of normal-PS mode (c) Throughput of exponential PS mode (d) Throughput of cumulative PS mode

IU 디바이스는 생성하지 않는다. 채널의 상태는 500ms 단위로 ON/OFF로 변경되며, CR 노드들은 서로 동기를 맞추어 채널의 스캔과 데이터의 전송을 수행한다.

1. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 절에서는 3장과 4장에서 설명한 CR 환경에서의 에너지 효율적인 MAC의 시뮬레이션 결과를 설명한다. 다른 에너지 절약형 MAC의 시뮬레이션 결과와 함께 성능의 차이를 보고 분석한다.

1) CR 환경에서의 throughput 분석

전체 네트워크에서 2개의 노드를 설정하고 CBR

트래픽을 설정하였다. 각각의 절전 모드 MAC 프로토콜에 대해서 시뮬레이션을 실시하였고, 전체 네트워크의 시간대별 throughput을 계산하였다. Throughput의 경우 매 0.1 초당 수신되는 데이터의 양을 계산하여 평균한 것으로 단위는 Mbps이고 수식 (1)과 같이 계산했다.

$$Throughput = \frac{(Total\ received\ bits\ during\ 0.1s) \times 8}{100000} \quad (1)$$

<그림 9>를 보면 PS 모드를 적용하지 않는 경우, Normal PS 모드를 적용한 경우, Exponential PS 모드를 적용한 경우, Cumulative PS 모드를 적용한 경우의 throughput을 차례로 나타내고 있다.

<표 2> 평균 처리량

<Table 2> Average throughput

PS mode	Average throughput
Non	46.4176 kbps
Normal	32.2989 kbps
Exponential	30.1714 kbps
Cumulative	28.1011 kbps

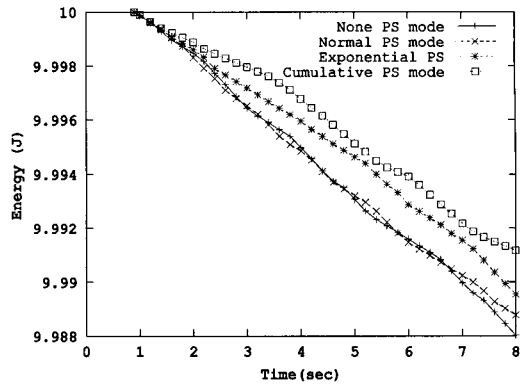
Throughput 그래프의 중간마다 전송이 없음을 나타내는데, 이는 채널의 상태가 OFF 되었을 때, 노드들은 채널을 스캔한 결과에 따라 IU와 충돌을 방지하기 위해 전송을 멈추고 대기하기 때문이다. PS 모드에 따른 평균 throughput은 SLEEP 구간을 얼마나 많이 설정하느냐에 따라서 성능 저하가 일어나는데, 이는 <표 2>에서 확인할 수 있다.

2) CR 환경에서의 전송지연 분석

전체 네트워크에 2개의 노드를 설정하고 CBR 트래픽을 발생시켰을 때, 각각의 PS mode 따라 시뮬레이션을 수행하고 전체 네트워크의 평균 전송 지연 시간과 시간대별 전송 지연 시간을 계산했다. PS 모드를 사용하지 않는 경우는 전송 지연 시간의 증가가 거의 없고, 채널이 Off 되었을 때 전송하지 못한 데이터가 출력 큐에 저장되어 채널이 On 되었을 때만 전송 지연이 발생했다. 하지만 normal PS 모드와 exponential PS 모드 그리고 cumulative PS 모드는 전송지연이 PS 모드를 적용하지 않을 때 보다 높게 되었다. 표 3은 평균 전송지연 시간을 보여주며, cumulative PS 모드를 사용할 경우 가장 높다.

3) CR 환경에서의 에너지 소모 분석

전체 네트워크에 2개의 노드를 설정하고 CBR 트래픽을 발생시켰을 때의 에너지 소모를 계산하였다. 에너지 소모는 NS-2에서 제공하는 Energy Model 모듈을 사용하였으며, rxPower와 txPower는 0.3w로 설정하고 네트워크의 모든 노드들은 초기 에너지 값으로 10J로 설정하여 시뮬레이션 했다. <그림 10>은 PS 모드를 사용하지 않은 경우, normal PS 모드를 사용한 경우, exponential PS 모드를 사용한 경우, cumulative PS 모드에 대한 에너지 소모를 나타낸다.



<그림 10> 에너지 소모
<Fig. 10> Energy consumption

<표 3> 평균 전송지연 시간

<Table 3> Average delay

PS mode	Average delay
Non	0.111024 ms
Normal	5.75569 ms
Exponential	5.89616 ms
Cumulative	6.15997 ms

전체적으로 보았을 때, cumulative PS 모드를 사용했을 때, 가장 많은 에너지 절약을 하는 것을 볼 수 있다. cumulative PS 모드는 에너지 절약을 위해서 가장 큰 SLEEP 구간을 갖게 되기 때문에 가장 많은 에너지 절약이 가능하다. 이 cumulative PS 모드는 데이터의 양이 많지 않아 간헐인 전송이 이루어지는 경우 보다 높은 성능을 기대할 수 있다. 또한 무선 단말의 배터리 잔류량에 따라 잔류량이 많이 않은 단말에게 보다 긴 동작 시간을 유지할 수 있게 한다. 실험 결과와 같이 전송지연의 증가와 평균 throughput의 감소는 에너지 사용량과 trade-off관계에 있기 때문에 적절한 조정이 필요하다.

VI. 결 론

본 논문에서는 CR 환경에서 무선 단말의 에너지 소모를 줄이기 위해서 전송이 없는 프레임 구간을 SLEEP 상태로 유지하는 에너지 절감형 MAC 프로토콜을 제안하였다. 논문에서는 다양한 절전 모드를 제안하여 무선 단말의 배터리 사용 시간을 증가시키는 방법에 대하여 설명하고 이를 시뮬레이션을

통하여 검증하였다. SLEEP 상태 구간에 송신할 데이터가 발생할 경우 큐에 저장하고 TIM 메시지를 이용하여 수신 단말을 WAKE 상태로 전환시키는 방법으로 절전모드가 동작된다. 제안된 방법은 간헐적인 데이터 전송이 빈번하게 일어나는 서비스에 응용하여 무선 단말의 배터리 자원을 효율적으로 사용할 수 있다.

현재 CR 환경에서 무선 단말의 전력소모 및 이동성에 대한 연구 결과는 많지 않다. 하지만 CR을 사용한 스펙트럼 접근 방법은 앞으로 많은 관심과 발전이 예상된다. 그러므로 향후 무선 모바일 CR 단말의 효율적인 전송을 위해 절전 모드에 관련한 연구는 필수적이다. 향후 다양한 트래픽의 전송할 경우 에너지 소모에 대한 시뮬레이션을 추가하여 트래픽의 패턴에 따른 절전모드에 대하여 연구하고 여러 개의 CR 단말이 있는 경우에 대해 실험과 분석을 추가할 계획이다.

참고문헌

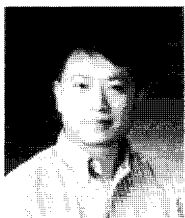
- [1] IEEE 802.16 Working Group on Broadband Wireless Access, <http://www.ieee802.org/16/>
- [2] J. P. Ebert, B. Stremmel, E. Wiederhold, and A. Wolisz. "An energy-efficient power control approach for WLANs," *J. Communications and Networks*, vol. 2, no. 3, pp. 197 - 206, Sept. 2000.
- [3] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," *Proc. IEEE Computer and Communications*, vol. 3, pp. 1567-1676, June 2002.
- [4] Federal Communications Commission (FCC), *Spectrum Policy Task Force*, ET Docket no. 02-135, Nov. 15, 2002.
- [5] J. Mitola and G. Q. Maguire, Jr., "Cognitive radios: making software radios more personal," *IEEE Personal Communications*, vol. 6, no. 4, Aug. 1999.
- [6] IEEE Std. 802.11-1999, Part 11: *Wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specification*, IEEE Std. 802.11, 1999.
- [7] IEEE Std. 802.15.3-2003, Part 15.3: *Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPAN)*, IEEE Std. 802.15.3, 2003.
- [8] E. S. Jung and N. H. Vaidya. "An energy efficient MAC protocol for wireless LANs," *Proc. IEEE Computer and Communications*, vol. 3, pp. 1756-1764, June 2002.
- [9] The CMU Monarch Project, *Wireless and mobile extension to ns*, Snapshot Release 1.1.1, Carnegie Mellon University, Aug. 1999.

저자소개



김 병 부 (Kim, Byungboo)

2006년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정
1999년 3월 ~ 2006년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 졸업



이 승 형 (Rhee, Seung-Hyong)

2002년 ~ 현재 : 국가정보원/국방연구원 기술자문
2000년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 교수
1996년 1월 ~ 1999년 5월 : Univ. of Texas at Austin 공학박사
1988년 9월 ~ 1990년 8월 : 연세대학교 전자공학과 석사
1984년 3월 ~ 1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업