

# 저전력 무선접속에서 비콘 탐색

정회원 송명렬\*

## Search of Beacon in Low Power Wireless Interface

Myong-Lyol Song\* *Regular Member*

요 약

IEEE 802.11b 무선 네트워크에서 스테이션들이 저전력 모드로 동작할 때, 스테이션들은 액세스 포인트 (AP)가 주기적으로 전송하는 비콘(beacon)에 동기를 맞춘다. 잡음이나 이웃한 무선 네트워크의 트래픽으로 인해 비콘 수신에 장애가 발생하는 경우 다음 번 비콘까지 깨어서 에너지를 소모하게 된다. 이 논문에서 에너지를 적게 소모 하면서 다음 비콘을 탐지하기 위한 방법을 제안한다. IEEE 802.11b 무선 인터페이스의 저전력 모드에서 비콘 수신 장애 문제점이 설명되었고 에너지 소모를 줄이기 위한 새로운 탐지 방법이 제안되었다. 네트워크 시뮬레이터인 ns2를 이용하여 제안된 방법에 대해 모의실험이 수행되었고 IEEE 802.11b의 저전력 모드와 비교했다. 스테이션이 깨어있는 시간으로 측정된 결과는 무선 네트워크에서 프레임의 수신오류가 발생할 때 에너지 소모가 개선되는 것을 보여준다.

**Key Words** : Beacon Error, Low Power, Wireless Interface, Virtual Bitmap, IEEE 802.11B

ABSTRACT

In IEEE 802.11b wireless network, stations synchronize themselves to the beacons periodically sent by the access point(AP) when they are running in low power mode. In case of missing beacon due to noise or traffic from neighboring wireless network, stations must be awake until they get the next beacon, which causes energy consumption in stations. In this paper, we propose a scheme searching next beacon consuming little energy. The problems of missing beacon in low power mode of IEEE 802.11b wireless interface are described and a new method to reduce energy consumption is proposed. The proposed method is simulated with the network simulator, ns2, and compared with the low power mode of the IEEE 802.11b. The result measured in terms of station's wakeup time shows some enhancement in energy consumption when some errors occur in receiving frames.

### I. 서론

휴대용 단말기나 컴퓨터 시스템에서 전원의 용량이 제한되어 있기 때문에 에너지 소모를 적게 하는 연구가 집중되고 있다. 특별히 PDA(personal digital assistant) 등과 같은 휴대장치에서는 CPU와 무선통신 인터페이스에서 대부분의 에너지가 소모된다고 알려져 있다<sup>[1]</sup>. CPU에서는 처리해야 할 부하와 응

용 프로그램의 요구조건에 따라 클럭주파수와 공급 전압을 가변적으로 조절하는 방법으로 에너지를 절감하고 있다. 즉, 가능하다면 낮은 주파수와 낮은 전압으로 CPU를 동작시키거나 처리해야 할 일이 없는 경우에는 처리해야 할 일이 생길 때까지 동작을 중단하는 방법으로 에너지 소모를 줄이는 방법에 대해서 연구가 이루어지고 있다<sup>[5,7,8]</sup>. 한편, 무선 LAN을 구성하는 휴대용 시스템의 무선 인터페이스

\* 호서대학교 정보통신공학과 (mlsong@hoseo.edu)

논문번호 : KICS2007-02-044, 접수일자 : 2007년 2월 6일, 최종논문접수일자 : 2007년 4월 9일

는 다른 무선장치와 교환할 데이터가 있는 경우에만 깨어 있고 그렇지 않은 경우에는 저소비전력 모드를 유지하는 방법으로 에너지 소모를 줄인다<sup>1,6,9</sup>. 그런데 휴대장치에서 데이터를 송신할 경우에는 문제가 없지만 휴대장치로 향하는 데이터가 언제 발생될지 모르기 때문에 항상 깨어 있어야 한다. 휴대장치가 항상 깨어 있으면 송수신을 하지 않더라도 에너지 소모가 크기 때문에 평소에는 저전력모드로 있다가 휴대장치가 데이터의 교환을 위해 깨어날 시점을 예측하거나 정해야 한다. 휴대장치를 깨우기 위한 방법으로는 데이터를 교환하기 위한 무선 인터페이스에 비해서 상대적으로 소비전력이 적은 별도의 무선통신 인터페이스를 통해서 신호를 전송하는 방법이 있다<sup>2,10</sup>. 그러나 이 방법은 휴대장치가 제어신호를 위해 별도의 무선 인터페이스를 가지므로 하드웨어가 증가하는 문제와 역시 거리가 멀어지면 제어신호를 위한 무선 인터페이스에서 에너지 소모를 무시할 수 없는 문제점이 있다.

한편, IEEE 802.11b 표준에서는 하나의 무선 인터페이스를 통해 휴대장치가 데이터를 수신하기 위해 깨어 있기 위한 방법으로 비콘의 TIM(traffic indication map)을 이용한다<sup>4</sup>. 휴대장치는 주기적으로 전송되는 각 비콘주기의 초기에 깨어서 수신된 비콘의 TIM의 내용에 따라 데이터를 교환하기 위해 계속 깨어 있을지 또는 저소비전력 모드로 들어갈지를 결정한다. 그런데 IEEE 802.11b 표준에서 AP(access point)가 전송하는 비콘을 수신하기 위해 각 스테이션들이 일시적으로 깨어 있어야 하는데, AP가 전송한 비콘이 스테이션으로 수신되는 과정에서 잠음이나 인접한 무선 네트워크에서 전송된 신호와 충돌이 발생할 경우 스테이션이 비콘을 정상적으로 수신하지 못하게 된다. 그리고 AP는 하나의 비콘주기 동안 전송한 비콘을 재전송하지 않고 비콘을 수신하지 못한 스테이션은 비콘을 정상적으로 수신할 때까지 계속 깨어 있기 때문에 스테이션의 에너지가 소모되는 문제가 발생한다.

이 논문에서는 IEEE 802.11b에서 매 비콘주기마다 비콘을 수신하기 위해 스테이션이 doze 모드(저소비전력 상태)로부터 깨어나는데, 정상적으로 비콘을 수신했는지 여부를 판단하기 위해 깨어날 때마다 타이머를 가동시키고 이 타이머에 time-out이 발생하면 일정시간이 경과할 때까지 비콘이 수신되지 않은 경우로 판단하여 계속 깨어서 비콘을 기다리지 않고 다음 번 비콘이 수신되리라 예측되는 시간까지 doze 모드로 들어감으로써 비콘수신오류 발

생시 에너지 소모를 개선하는 방법을 제시하였다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서 IEEE 802.11b의 저소비전력 모드 동작과 스테이션에서 비콘수신오류가 발생될 때 새롭게 비콘을 탐색하기 위해 에너지가 소모되는 문제점 대해서 설명한다. 3장에서는 IEEE 802.11b 표준의 저소비전력 모드에 비해 소비전력이 개선된 방법, 타이머를 이용하여 비콘수신오류를 판정하고 다음 번 비콘수신 예정시각까지 저소비전력상태로 들어가는 방법을 제안하고 설명한다. 4장에서는 제안된 방법의 에너지 개선효과를 모의실험을 통해서 기존의 방법과 비교 분석하고 5장에서 결론을 맺는다.

## II. IEEE 802.11b 저전력 모드에서 비콘 수신오류

### 2.1 IEEE 802.11b의 저전력 모드

IEEE 802.11b의 저전력 모드에서는 AP가 100 msec 간격으로 비콘을 전송하여 휴대용 장치들을 비콘에 동기화 시킨다. AP는 휴대 장치로 전송할 데이터가 있는 경우에 즉시 전송하지 않고 버퍼에 저장시켜둔 후, 다음 비콘주기가 시작될 때, 데이터가 저장된 버퍼에 대응하는 휴대장치들에게 전송할 데이터가 있음을 표시하는 TIM을 포함하는 비콘을 휴대장치들에게 브로드캐스트(broadcast) 주사로 동시에 전송한다. 이때 해당 스테이션을 구분하기 위해서 개별 주사로 하지 않고 각 스테이션에 부여된 AID(association identifier)를 하나의 비트 위치로 정의한 가상비트맵이 사용된다. AP의 버퍼에 전송할 데이터가 저장되어 있는 경우 가상비트맵에서 해당 스테이션 위치의 비트가 1로 설정되고 없는 경우에는 0이 된다.

각 스테이션은 각 비콘주기가 시작되기 전에 깨어서 AP가 전송하는 비콘을 수신하고 비콘 속에 들어 있는 TIM을 해석하여 자기에게 전송되는 데이터가 있는가를 확인한다. TIM의 구성요소인 부분 가상비트맵(PVB : partial virtual bitmap)에서 스테이션 자신의 AID에 해당하는 위치에 비트 값이 설정되어 있는 경우에는 무선 전송매체를 이용하기 위한 권한을 획득하기 위해 계속 깨어서 전송매체의 상태를 주시한다. 그리고 전송매체의 사용권을 얻었을 때 AP에게 요청하여 AP의 버퍼에 저장되어 있는 데이터를 전달 받는다. 만일 PVB에 스테이션 자신의 비트 값이 0인 경우에는 AP에 자신에게로 향하는 데이터가 없다는 것을 의미하므로 스테이션

은 다음 번 비콘이 수신될 때까지 저전력 소비 상태인 doze 모드로 들어가 에너지 소모를 줄인다.

### 2.2 비콘 수신 오류

그림 1에서 무선 LAN BSS1은 스테이션 AP1, M1, M2, M3로 구성되어 있고 BSS2는 AP2, Mx로 구성되어 있는데 두 무선 LAN이 동일한 무선 채널을 사용하고 있다. 그리고 스테이션 M2는 전파가 전달되는 범위의 관점에서 볼 때 공간적으로 BSS1과 BSS2이 중첩되는 곳에 놓여있다고 가정한다. 따라서 BSS2에서의 송수신이 BSS1에 속해 있는 스테이션 M2에 충돌과 같은 영향을 줄 수 있다. 또한 infrastructure 방식으로 동작하는 BSS1은 저전력 모드로 동작하는 스테이션 M1, M2, M3와 액세스 AP로 구성되어 있고 스테이션들의 AID값을 각각 1, 2, 3이라 한다. 그림 2에 그림 1의 BSS1과 같이 비콘수신오류가 발생하는 스테이션을 포함하는 무선 LAN에서 스테이션들의 동작을 나타냈다. 여기서  $B_j(i, \dots, n)$ 은 j번째 비콘에서 PVB값이 1인 스테이션들의 AID값이  $i, \dots, n$ 을 의미한다. 이 그림에서 AP로 부터 100 msec 마다 전송되는 비콘을  $B_1()$ ,  $B_2()$ 로 표현하였다.

유선의 네트워크로부터 무선 LAN의 스테이션 M1, M2로 향하는 데이터  $D_{M1}$ ,  $D_{M2}$ 가 AP에 도착하면 AP는 이 데이터를 버퍼에 저장해 두고 비콘  $B_1(1,2)$ 를 브로드캐스트로 전송함으로써 스테이션들

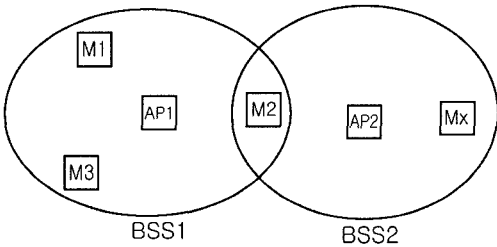


그림 1. 영역이 부분적으로 중첩된 무선 LAN

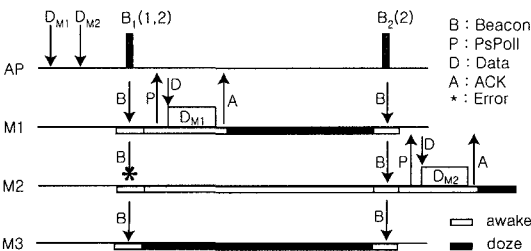


그림 2. 비콘 수신오류가 발생하는 무선 LAN에서 스테이션의 동작

에게 알린다. 한편, 각 스테이션들은 AP가 비콘을 전송하기 전에 깨어서 비콘의 수신을 기다리고 있다. AP가 전송한 비콘  $B_1(1,2)$ 가 스테이션 M1과 M3에게는 정상적으로 수신되었지만 M2는 정상적으로 수신하지 못하는 상황이 발생했다고 가정한다. 그러면 스테이션 M3는 자신에게로 향하는 데이터가 없는 것으로 판단하고 바로 doze 모드로 들어서 에너지를 절약한다. 그리고 스테이션 M1은 자신에게로 향하는 데이터가 있다고 판단하므로 비콘을 수신한 후에도 계속 깨어서 PsPoll 프레임을 AP에게 전송하여 AP에 버퍼에 저장되어 있는 데이터  $D_{M1}$ 을 전달받은 후 저전력 상태인 doze 모드로 들어간다. 반면에 스테이션 M2는 비콘  $B_1(1,2)$ 을 정상적으로 수신하지 못했으므로 계속 깨어 있어야 한다. 그러다가 다음 비콘주기에서 전송되는 비콘  $B_2(2)$ 를 수신하고 PsPoll을 AP에게 전송하여 AP에 저장된 데이터  $D_{M2}$ 를 전달받은 후 doze 모드에 들어가게 된다.

그러므로 비콘을 정상적으로 수신하지 못한 스테이션 M2는 비콘  $B_1(1,2)$ 를 수신하기 위해 깨는 순간부터 비콘  $B_2(2)$ 를 수신하여 데이터를 교환할 때까지 계속 깨어 있으므로 에너지가 소모되는 문제가 발생하게 된다.

### III. 오류로 인한 비콘의 저전력 탐색 기법

앞 절에서 설명한 바와 같이 infrastructure 방식으로 동작하는 무선 LAN에서 AP가 비콘을 전송할 때, 잡음 또는 인접한 영역의 프레임과 충돌 등과 같은 이유로 어떤 스테이션이 비콘을 정상적으로 수신하지 못했을 경우에 다음 번 비콘을 수신하기 까지 계속해서 깨어 있으므로 에너지가 소모되는 문제가 있다. 이 절에서는 이러한 상황에서 비콘을 수신하지 못했을 경우 타이머가 종료되는 이벤트가 생기면 비콘을 정상적으로 수신하지 못한 것으로 판단한다. 그리고 해당 비콘주기에서 더 이상 수신되지 않는 비콘을 기다리지 않고 즉시 doze 모드로 들어갔다 다음 번 비콘의 수신이 예정된 시각에 다시 깨어남으로써 다음 번 비콘을 탐색하는데 소모되는 에너지를 줄일 수 있는 방법을 제안한다.

#### 3.1 타이머를 이용한 비콘 수신 오류 판단

본 논문에서는 IEEE 802.11b 표준에 표현된 바와 같이 AP는 매 TBTT(target beacon transmission time)마다 타임스탬프 (time stamp)값과 비콘간격

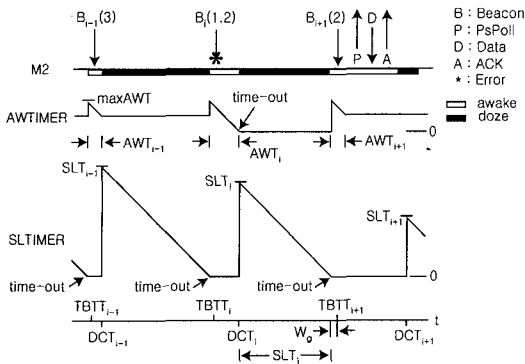


그림 3. 제안된 방법에서 타이머의 동작

(beacon interval)을 비콘에 실어서 전송하고 이 비콘을 수신하는 스테이션들은 수신된 비콘에 포함된 타임스탬프값을 자신의 타이머 TSFTIMER에 갱신시키고 비콘간격에 기록된 값을 이용하여 AP와 동기를 유지시킨다고 가정한다.

제안된 방법은 IEEE 802.11b 표준에 정의된 타이머 TSFTIMER 외에 비콘을 수신하기 위해 깨어서 대기해야 하는 시간을 나타내는 타이머 AWTIMER와 doze 모드로 들어가서 다음 번 비콘을 수신할 때까지 잠자야 하는 시간을 나타내는 타이머 SLTIMER를 필요로 한다. 그림 3에 저전력으로 비콘을 탐색하기 위해 제안된 방법이 적용된 스테이션 M2의 동작을 나타냈다. 타이머 AWTIMER와 SLTIMER는 하향 카운터인데, 타이머 AWTIMER는 maxAWT로 초기화되고 AP로부터 비콘을 정상적으로 수신하거나 time-out이 발생할 때마다 동작을 멈추고 SLTIMER가 가동된다. 그리고 타이머 SLTIMER가 종료되면 다시 타이머 AWTIMER가 가동되는 동작을 반복한다. 여기서 maxAWT 값은 스테이션이 깨어난 순간부터 비콘을 수신하기에 충분한 정도의 시간으로 설정한다.

그림 3에 스테이션 M2에 비콘  $B_{i-1}(3)$ ,  $B_i(1,2)$ ,  $B_{i+1}(2)$ 이 도착하는 상황을 표현하였다. 비콘  $B_{i-1}(3)$ 과  $B_{i+1}(2)$ 는 정상적으로 수신되므로 타이머 AWTIMER는 time-out이 발생하지 않은 상태에서 정지하고 스테이션은 doze mode로 들어간다. 한편, 비콘  $B_i(1,2)$ 에 대해서는 스테이션이 정상적으로 수신하지 못한 경우이므로 타이머 AWTIMER에서 maxAWT만큼 경과한 후에 time-out이 발생한다. 스테이션은 타이머 AWTIMER의 time-out이 발생하는 순간 비콘을 수신하지 못한 것으로 판단하고, 깨어 있는 상태에서

더 이상 비콘을 기다리느라 에너지를 소모하지 않고 즉시 doze 모드로 들어감으로써 에너지 소모를 줄인다.

### 3.2 타이머 제어

이 절에서는 제안된 방법에서 사용되는 타이머의 제어방법을 일반적으로 설명하기 임의로  $i$ 번째 비콘 주기를 중심으로 설명한다. 각 스테이션의  $TBTT_i$ 는 이전에 수신된 비콘에 포함되어 있는 타임스탬프 값을 기초로 동기가 유지되고 계산된다. 그림 3에서  $AWT_i$ 는 스테이션이 비콘을 수신하기 위해 깨어난 순간부터 doze mode로 들어가기 위해 타이머 SLTIMER를 가동시키는 시각  $DCT_i$ 까지 걸리는 시간을 의미한다.  $SLT_i$ 는 시각  $DCT_i$ 에서 doze 모드로 들어가기 위해 가동되는 타이머 SLTIMER의 초기값을 의미하는데 식 (1)과 같이 계산한다.

$$SLT_i = (TBTT_{i+1} - W_g) - DCT_i \quad (1)$$

여기서,  $W_g$ 는 스테이션이 비콘을 수신하기 위해 비콘 수신 예정 시각 보다 미리 깨어있어야 하는 시간이다.  $TBTT_{i+1}$ 는 스테이션에  $i+1$ 번째 비콘이 도착할 것으로 기대되는 시각이고  $T_{BP}$ 를 비콘주기로 할 때 식 (2)와 같이 표현된다.

$$TBTT_{i+1} = TBTT_i + T_{BP} \quad (2)$$

## IV. 모의실험 및 결과

이 절에서는 제안된 기법의 에너지 절감효과를 알아보기 위해 네트워크 시뮬레이터인 ns2 version 2.28을 이용하여 그림 4와 같은 네트워크 모델을 표현하였다. 또한 ns2 version 2.28 시뮬레이터에 구현되어 있는 IEEE 802.11b 기능에 저전력 기능을 추가로 구현하였다<sup>[3]</sup>. ns2 version 2.28에서 IEEE 802.11b 프로토콜은 무선 인터페이스를 통한 데이터의 전송 절차에 포함되는 부분만 구현이 되어 있지만 저전력과 관련된 부분의 기능은 구현되어 있지 않은 상태이다. 따라서 이 논문에서 제안된 기법의 에너지 개선효과를 IEEE 802.11b 표준과 비교하기 위해 IEEE 802.11b 표준에 따른 에너지 절감기법과 관련된 MAC 계층 프레임들을 정의하고 이들 프레임들이 AP와 스테이션들 사이에 교환될 때 프로토콜의 동작을 구현한 후 제안된 기법을

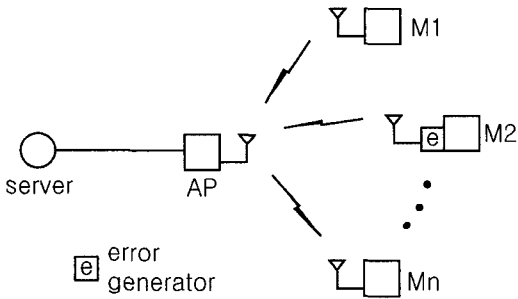


그림 4. 시뮬레이션을 위한 네트워크 모델

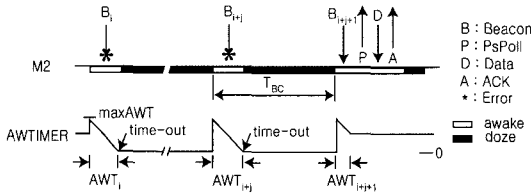


그림 5. 비콘을 탐색하기까지 스테이션이 깨어 있는 시간의 구성요소

추가로 구현하였다.

그림 4에서 서버와 AP 사이의 link는 Internet과 같은 네트워크인데 이 실험에서는 유선의 데이터 링크로 표현하였다. 그리고 AP와 스테이션들 {M1, M2, ..., Mn} 사이에는 IEEE 802.11b의 무선 인터페이스를 사용하여 통신이 이루어진다.

시뮬레이터에서 잡음으로 인한 오류나 인접한 영역의 스테이션들로부터 전송된 프레임들과 충돌로 인하여 특정한 스테이션에 비콘 수신오류가 발생하는 현상은 그림 4에서 스테이션 M2에 붙어 있는 에러발생기에서 확률로 표현하였다. 즉, 무선 MAC 계층에 프레임이 수신될 때, 그 프레임을 선택하여 MAC의 나머지 프로토콜 처리를 하거나 오류로 판단하여 프레임을 버리는 동작을 난수를 발생시켜 설정된 기준값과 비교하여 결정하는 방식으로 프레임 수신오류를 ns2 시뮬레이터에 구현한다.

제안된 기법을 시험하기 위해 서버에서 CBR(constant bit rate) 데이터를 발생시켜 UDP(user datagram protocol)을 이용하여 전송하면, 이 데이터가 포함된 패킷은 AP의 버퍼에 저장된다. 이 데이터는 수신된 비콘의 가상비트맵을 통해 이를 인식한 스테이션이 PsPoll 메시지를 이용하여 AP에 요청하면 스테이션으로 전달된다. 시뮬레이션을 위한 네트워크의 표현, 각 노드 내에서 프로토콜의 계층구조 표현, CBR 데이터의 발생은 OTCL 언어로 표현되고 각 계층의 프로토콜의 세부동작은

C++ 언어로 구현한다. 시뮬레이션에서 각 스테이션과 서버 사이의 CBR 접속은 패킷크기가 16 byte이고 패킷들 간의 간격이 0.2 sec으로 설정되었다.

이 논문에서는 스테이션에서 비콘 수신오류가 발생할 경우 제안된 방법의 에너지 절감효과를 기존의 IEEE 802.11b의 저전력 기법과 비교한다. 실행되는 모의실험에서는 그림 5와 같이 각 스테이션에서 수신된 비콘에 오류가 발생했다는 것을 판단하는 순간부터 다시 정상적으로 비콘을 수신하기까지 소모되는 에너지를 측정한다. 제안된 방법을 적용하면 이 기간 동안 스테이션의 상태는 doze 모드에 있거나 비콘을 수신하기 위해 깨어 있게 된다. 이 논문에서는 스테이션이 doze 모드 동안 소비하는 전력이 깨어있는 동안 소비하는 전력에 비해서 상당히 작다고 가정한다. 비콘을 수신하기 위해 깨어있는 동안 스테이션은 수신상태를 유지하므로 소비 전력이 일정하다고 생각할 수 있고 소비되는 에너지는 시간과 소비전력의 곱으로 표현된다. 따라서, 이 논문에서는 스테이션에 수신되는 프레임의 수신 오류가 발생할 확률값이 주어질 때 어떤 스테이션에서 비콘 수신오류가 발생했다고 판단되는 순간부터 정상적으로 비콘을 수신할 때까지 스테이션이 깨어있는 시간  $T_D$ 를 측정한다. 그림 5에  $T_D$ 를 구성하는 요소들을 나타내었다. 그림 5에서 비콘  $B_j$ 가 수신될 때 오류가 발생하기 시작해서  $B_{j+1}$ 까지 오류가 계속되다가 비콘  $B_{j+1}$ 에서 정상적으로 스테이션이 정상적인 비콘을 수신한다고 가정하면,  $AWT_j$ 가 종료되는 순간 비콘수신오류가 발생했다고 판단하므로,  $T_D$ 는 일반적으로 식 (3)과 같이 표현된다.

$$T_D = AWT_{i+1} + \dots + AWT_{i+j} + AWT_{i+j+1} \quad (3)$$

여기서  $AWT_i$ 는 비콘  $B_i$ 를 수신하기 위해 스테이션이 깨어있는 시간을 의미한다. 그런데 비콘을 수신하지 못하는 비콘주기마다 스테이션에서  $maxAWT$ 로 초기화된 AWTIMER에 time-out이 발생하므로  $maxAWT$ 동안 깨어있고 나머지 시간은 doze 모드로 들어가므로 식 (3)은 식 (4)와 같이 정리될 수 있다.

$$T_D = j \cdot maxAWT + AWT_{i+j+1} \quad (4)$$

한편, 기존의 IEEE 802.11b에서는 비콘을 수신

하지 못하는 때 비콘주기에서 비콘주기 만큼 깨어 있어야 하므로  $T_{BC}$ 를 비콘주기라 할 때 정상적인 비콘  $B_{i+j+1}$ 을 수신하기까지 스테이션이 깨어 있어야 하는 시간은 식 (5)와 같이 표현된다.

$$T_D = j \cdot T_{BC} + AWT_{i+j+1} \quad (5)$$

그리고 식 (5)는  $T_{BC}$ 가  $\max AWT$  보다 충분히 큰 경우에 제안된 방법 식 (4)와 비교할 때 크게 되므로 제안된 방법이 IEEE 802.11b의 방법 보다 에너지 개선효과를 기대할 수 있는 것이다.

그림 6에 IEEE 802.11b에서 사용되는 기존의 방법과 제안된 방법에 대해 시물레이션을 수행하여 비콘수신오류가 발생했다고 판단되는 순간(타이머 AWTIMER에 time-out이 발생하는 순간)부터, 정상적인 비콘을 수신할 때까지 스테이션이 깨어있는 시간  $T_D$ 를 측정하여 나타냈다. 여기에서  $T_{BC}$ 는 100 msec,  $\max AWT$ 는 40 msec로 설정하고, 패킷 수신시 에러발생률  $P_e$ 가 0.1과 0.2인 경우에 대해서 시물레이션을 수행하였다. 그림 6에서 수평선을 이루는 점들은 기존의 IEEE802.11b와 제안된 방법에서 각각  $T_D$ 가 0.0748 sec와 0.0148 sec로 측정된 결과들인데, 비콘 수신오류가 발생한 후 바로 그 다음 비콘주기에서 비콘을 정상적으로 수신하는 경우이다. 그리고 간헐적으로 중간에 수평선 보다 위에 표시된 점들은 비콘을 정상적으로 수신하기까지 연속적으로 여러 차례 비콘수신오류가 발생한 경우를 의미한다. 이러한 측정 결과들은 식

(4)와 (5)로 부터 예측될 수 있는 결과로서 동일한 에러 발생사건에 대해 제안된 방법이 기존의 방법 보다 깨어 있는 시간이 적게 나타나고 있는 것을 보여주고 있다. 그림 6의 (a)와 (b)는 각각  $P_e$ 가 0.1과 0.2인 경우에 대해  $T_D$ 를 측정한 결과인데, IEEE 802.11b와 제안된 방법에서  $T_D$ 의 평균  $E(T_D)$ 는  $P_e = 0.1$ 인 경우 각각 0.0906 sec와 0.0214 sec이고  $P_e = 0.2$ 인 경우 각각 0.1207 sec와 0.0338 sec로 나타나고 있다. 직관적으로 생각할 수 있는 것처럼, 에러발생율이 더 큰 그림 6 (b)의 경우에는 수평선 보다 위쪽에 표시되는 점들이 더 많이 나타나고 있고 그림 6 (a)와 마찬가지로 제안된 방법이 IEEE 802.11b에 비해서 깨어 있는 시간이 적게 나타나는 현상이 관찰되고 있다. 그리고 패킷수신 에러발생율이 증가하면 비콘수신오류가 발생했을 경우 두 방법 모두 정상적인 비콘을 수신하기 까지 스테이션이 깨어있는 시간이 증가하는 것으로 관찰된다. 그리고 비콘수신오류가 연속적으로 발생할 경우 제안된 방법은 깨어 있는 시간이 AWTIMER에 설정되는 초기값 40 msec씩 증가하는 반면 IEEE 802.11b에서는 비콘주기인 100 msec씩 증가하므로, 제안된 방법의 깨어있는 시간의 증가율이 낮아서 스테이션에서 비콘수신오류가 클수록 에너지의 소모가 상대적으로 개선되는 효과를 보이고 있다.

### V. 결론

이 논문에서는 무선통신 인터페이스로서 IEEE 802.11b를 채택하고 있는 무선 네트워크에서 AP가 전송하는 비콘이 스테이션으로 수신되는 과정에서 발생하는 오류로 인하여 비콘을 정상적으로 수신하지 못하는 경우 스테이션이 정상적인 비콘을 수신할 때까지 계속 깨어 있기 때문에 발생하는 에너지가 소모되는 문제를 개선할 수 있는 방법이 제시되었다.

이 논문에서는 IEEE 802.11b에서 매 비콘주기마다 비콘에 포함되어 있는 TIM을 수신하기 위해 스테이션이 doze 모드로부터 깨어나는데, 정상적으로 비콘을 수신했는지 여부를 판단하기 위해 깨어날 때마다 타이머를 가동시키고 이 타이머에 time-out이 발생하면 일정시간이 지나도록 비콘이 수신되지 않은 경우로 판단하여 계속 깨어서 비콘을 기다리지 않고 다음 번 비콘이 수신되리라 예측

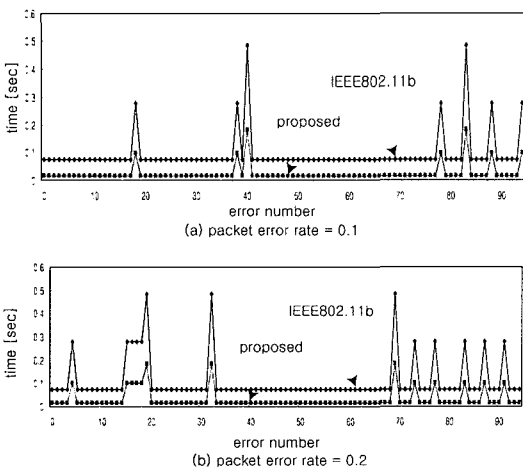


그림 6. 비콘수신오류시 정상비콘 수신까지 스테이션이 깨어 있는 시간 측정

되는 시간까지 doze 모드로 들어감으로써 비콘수신 오류 발생시 에너지 소모를 개선하는 방법을 제시 하였다. 기존의 IEEE 802.11b의 방법과 제안된 방법을 비교하기 위해, ns2 version 2.28에 기존의 IEEE 802.11b 저전력 모드와 이 논문에서 제안된 기법을 추가로 구현하고 CBR 트래픽을 발생시켜 모의실험을 수행하였다. 스테이션에서 비콘수신오류 발생시 제안된 방법의 에너지 개선효과를 평가하기 위해 스테이션에서 비콘수신오류가 발생했다고 판단 되는 순간부터 정상적인 비콘을 수신하기까지 스테이션이 깨어있는 총 시간을 측정하였다. 모의실험 결과 비콘 수신 오류가 증가할수록 비콘수신오류가 발생했을 경우 두 방법 모두 정상적인 비콘을 수신 하기까지 스테이션이 깨어있는 시간이 점점 증가하는데 제안된 방법은 IEEE 802.11b에 비해서 깨어 있는 시간의 증가율이 낮아서 스테이션에서 비콘수신오류가 클수록 에너지의 소모가 상대적으로 개선 되는 효과를 보이고 있다.

앞으로 스테이션에서 매 비콘주기 마다 비콘수신 여부를 판단하기 위한 타이머에 대해 적절한 초기 값을 구하는 연구가 수행되어야 한다. 그리고 스테이션에서 비콘수신오류의 발생으로 다음 번 비콘 수신까지 doze 모드로 들어가야 하는 시간에 대한 예측치를 계산하는 방법에 대해서도 연구가 수행되어야 한다. 갈수록 무선 네트워크가 많이 사용되면서 영역이 부분적으로 중첩되는 서로 다른 무선 네트워크로 인한 영향과 대처방법에 대한 연구가 이루어져야 한다.

### 참 고 문 헌

[1] A. Acquaviva, T. Simunic, and V. Deolalikar, "Server controlled power management for wireless portable devices", Hewlett Packard Laboratories Technical Report, HPL-2003-82, 2003.

[2] C. F. Chiasserini and R. R. Rao, "Combining paging with dynamic power management", IEEE INFOCOM 2001, pp. 996-1004, 2001.

[3] K. Fall and K. Varadhan, The ns Manual, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>, March 2, 2005.

[4] LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY)

specifications, ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition, 1999.

[5] R. Jejurikar and R. Gupta, "Energy aware task scheduling with task synchronization for embedded real time systems", Proc. of the International Conference on Compilers, Architectures and Synthesis for Embedded Systems, pp.164-169, Oct. 2002.

[6] R. Kravets and P. Krishnan, "Application-driven power management for mobile communication", Wireless Networks, vol. 6, Issue 4, pp.263-277, Jul. 2000.

[7] Y. H. Lu, L. Benini and G. D. Micheli, "Power-aware operating systems for interactive systems", IEEE Trans. on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol. 10, no. 2, pp.119-134, Apr. 2002.

[8] S. M. Martin, K. Flautner, T. Mudge, and D. Blaauw, "Combined dynamic voltage scaling and adaptive body biasing for lower power microprocessors under dynamic workloads", Proc. of International Conference on Computer Aided Design (ICCAD-2002), pp.721-725, Nov. 2002.

[9] S. Mohapatra, R. Cornea, N. Dutt, A. Nicolau, and N. Venkatasubramanian, "Integrated power management for video streaming to mobile handheld devices", Proc. of the 11th ACM International Conference on Multimedia, pp.582-591, Nov. 2003.

[10] A. Salkintzis and C. Chamzas, "An outband paging protocol for energy-efficient mobile communications", IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 48, no. 3, pp. 246-256, Sep. 2002.

[11] T. Simunic, L. Benini, G. D. Micheli, "Energy-efficient design of battery-powered embedded systems", IEEE Trans. on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol. 9, no. 1, pp.15-28, Feb. 2001.

[12] E. S. C. Takahashi, "Application aware scheduling for power management on IEEE 802.11", Proc. of IEEE International Performance, Computers, and Communications Conference, pp. 247-253, Feb. 2000.

송 명 렬 (Myong-Lyol Song)

정회원



1985년 2월 연세대학교 전자공  
학과 학사

1988년 2월 연세대학교 전자공  
학과 석사

1996년 2월 연세대학교 전자공  
학과 박사

1984년 12월~1986년 2월 삼성

전자 연구원

1988년 12월~1991년 7월 육군사관학교 전자과 전임  
강사

2004년 2월~2005년 1월 UCSD visiting scholar

1996년 3월~현재 호서대학교 정보통신공학과 부교수

<관심분야> 컴퓨터 통신, 통신시스템, 임베디드 시스템  
설계, 저전력 무선랜