

# 저전력 무선접속에서 비콘 수신을 위한 타이머의 동적 제어

정회원 송명렬\*

## Dynamic Control of Timer for Receiving 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)을 수신하여 동기를 맞춘다. 예정된 시각에 무선채널이 사용 중인 경우 AP에서 비콘 전송이 지연되므로, 스테이션은 비콘을 수신하기 위해 충분한 시간 동안 깨어있어야 한다. 이 논문에서는 수신된 비콘의 지연시간을 측정하여 다음 비콘을 수신하기 위해 스테이션이 깨어있어야 할 시간을 결정하는 방법을 제안한다. AP에서 비콘의 전송지연에 대해 분석하였다. 제안된 방법에 대해 모의실험이 수행되었고 분석을 통해 제안된 방법의 특성을 설명하였다. 스테이션이 깨어있는 시간으로 측정된 결과는 에너지 소모가 개선될 수 있음을 보여준다.

**Key Words** : Beacon delay, Wake-up, Low power, Wireless LAN, 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. Stations stay awake for enough time to receive beacon because it is delayed in AP if the wireless channel has been being used by other traffic at each scheduled instant. In this paper, we propose a method that measures the delay of received beacons and calculates wake-up interval of station to receive the next one. Beacon transmission delay at the AP is analyzed. The proposed method is simulated and its characteristics are described in the analysis. The result measured in terms of station's wake-up interval shows some enhancement in energy consumption.

### I. 서 론

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 많은 에너지가 소모된다고

알려져 있다<sup>[10]</sup>. CPU에서는 처리해야 할 부하와 응용 프로그램의 요구조건에 따라 클럭주파수와 공급 전압을 가변적으로 조절하는 방법으로 에너지를 절감하고 있다<sup>[4][6][8]</sup>. 한편, 무선 LAN을 구성하는 휴대용 시스템의 무선 인터페이스는 다른 무선장치와 교환할 데이터가 있는 경우에만 깨어있고 그렇지 않은 경우에는 저소비전력 모드를 유지하는 방법이

\* 호서대학교 정보통신공학과(mlsong@hoseo.edu)

논문번호 : KICS2007-08-379, 접수일자 : 2007년 8월 23일, 최종논문접수일자 : 2007년 12월 5일

로 에너지 소모를 줄인다<sup>[15][9]</sup>.

저소비전력 모드를 지원하는 infrastructure 방식의 IEEE 802.11b 무선랜에서는, AP가 주기적으로 TBTT (target beacon transmission time) 마다 비콘을 전송하고 스테이션은 비콘을 수신하기 위해 잠시 깨어있다가 비콘에 포함된 TIM (traffic indication map)을 확인 후 AP와 데이터 교환을 위해 더 깨어있을지를 결정한다. 그런데 AP가 주기적으로 비콘을 전송해야 하는 시각을 의미하는 TBTT에 다른 스테이션이 채널을 사용하고 있는 경우 채널이 이용 가능할 때까지 비콘 전송이 지연된다<sup>[3][7]</sup>. 이 경우 AP가 전송하는 비콘은 스테이션에서 예정된 TBTT 보다 늦게 도착하게 된다. 따라서 비콘 수신 여부를 판정하기 위해 스테이션이 깨어있어야 하는 시간은 최대 비콘 지연시간 보다 크게 설정되어야 한다. 그런데 비콘 전송이 무선랜의 부하에 영향을 받으므로 TBTT로 부터 비콘의 지연시간은 긴 경우도 있고 짧은 경우도 있다. 그러므로 스테이션은 항상 최대 비콘 지연 보다 큰 일정시간을 비콘을 수신하기 위해 깨어있으면서 에너지를 소모할 필요는 없다.

따라서 본 논문에서는 스테이션이 비콘을 수신하기 위해 깨어있어야 할 시간을 비콘의 지연에 따라 동적으로 설정함으로써 스테이션이 깨어있는 시간을 줄이는 방법을 제안한다.

이 논문은 II장에서 IEEE 802.11b의 저소비전력 모드 동작과 비콘 전송이 지연됨에 따른 스테이션에서 에너지가 소모되는 문제점 대해서 설명한다. III장에서 스테이션에 수신된 비콘의 지연을 측정하여 비콘을 수신하기 위해 깨어있어야 할 시간을 가변적으로 조절하는 방법을 제안한다. IV장에서 비콘 전송지연 요소들을 분석하고 모의실험을 통해서 제안된 방법의 특성 및 에너지 개선효과를 설명하고 V장에서 결론을 맺는다.

## II. IEEE 802.11b 저전력 모드에서 비콘 전송

### 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) 주소로 동시에 전송한다.

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 AID (association identifier)에 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 자신의 비트 값이 0인 경우 스테이션은 다음 비콘이 수신될 때까지 저전력 소비 상태인 doze 모드로 들어가 에너지 소모를 줄인다.

### 2.2 무선 채널 상태에 따른 비콘 전송지연

그림 1에 infrastructure 방식으로 동작하는 어떤 BSS (basic service set)에 속해있는 AP와 저전력모드로 동작하는 스테이션 사이에 비콘의 송수신 관련된 동작과 비콘 지연 현상을 나타냈다. TBTT<sub>1</sub>에 무선 채널의 상태는 AP가 이용 가능한 상태이므로 비콘 B<sub>1</sub>은 지연되지 않고 즉시 무선채널로 전송된다. 반면에 TBTT<sub>2</sub>와 TBTT<sub>3</sub>에서는 무선채널을 다른 스테이션이 사용하고 있으므로 비콘 B<sub>2</sub>와 B<sub>3</sub>는 각각 TBTT<sub>2</sub>, TBTT<sub>3</sub> 보다 BD<sub>2</sub>, BD<sub>3</sub> 만큼 지연되어 전송된다. 한편, 스테이션들은 AP에서 전송되는 비콘을 수신하기 위해 매 비콘 주기마다 TBTT를 전후로 깨어서 대기한다. 그런데 앞에서 설명한 바와 같이 각 비콘주기의 TBTT에서 다른 스테이션이 무선채널을 점유하고 있으면 AP에서 무선채널로 비콘의 전송이 지연되므로 스테이션에서는 이러한 상

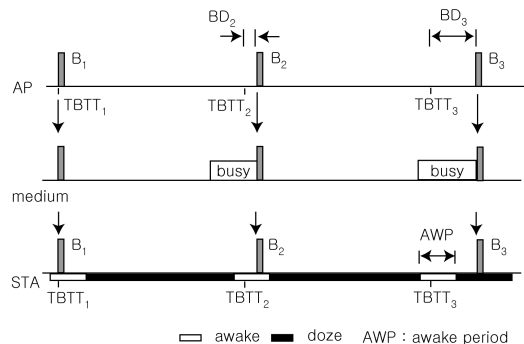


그림 1. 비콘 전송지연

황을 고려하여 AP가 전송한 비콘을 수신하기 위해서는 TBTT 전후로 충분한 시간 동안 깨어있어야 한다. 그림 1에서 비콘  $B_1$ 은 무선채널에서 지연되지 않으므로 TBTT<sub>1</sub>에 스테이션에 도착한다. 반면에 비콘  $B_2$ 와  $B_3$ 는 전송이 지연되므로 각각 TBTT<sub>2</sub>, TBTT<sub>3</sub> 이후에 스테이션에 도착한다. 그림에서 비콘  $B_2$ 는 전송이 지연되지만 TBTT<sub>2</sub> 전후로 스테이션이 깨어있을 동안 스테이션에 도착하므로 정상적으로 스테이션이 수신할 수 있다. 반면에, 비콘  $B_3$ 는 전송지연시간이 커서 TBTT<sub>3</sub> 이후 스테이션이 이미 doze 모드로 들어간 상태에서 스테이션에 도착하므로 스테이션이 비콘  $B_3$ 를 수신할 수 없는 문제가 발생한다. 그러므로 비콘을 수신하기 위해 스테이션이 doze 상태에서 깨어있는 시간은 무선채널의 상태로 인한 AP에서 비콘 전송 지연을 고려할 정도로 충분히 커야 한다. 또한 스테이션이 깨어있는 시간이 너무 크면 비콘 수신 오류가 발생하는 경우 스테이션이 그것을 판단하기 까지 긴 시간 동안 깨어있으므로 에너지가 소모되는 문제가 발생한다.

### III. 지연을 고려한 비콘 수신 기법

#### 3.1 지연을 고려한 비콘 수신 기법

본 논문에서는 IEEE 802.11b 표준에 표현된 바와 같이 AP는 매 TBTT마다 타임스탬프 (time stamp)값과 비콘간격(beacon interval)을 비콘에 실어서 전송하고 이 비콘을 수신하는 스테이션들은 수신된 비콘에 포함된 타임스탬프값을 자신의 타이머 TSFTIMER에 갱신시키고 TSF (time synchronization function)을 이용하여 AP와 동기를 유지시킨다고 가정한다.

제안된 방법은 매 비콘주기마다 TBTT에서 AP가 전송하고, 스테이션이 AP와 동기가 이루어져 있을 경우, 저전력 모드로 동작하는 스테이션은 전송된 비콘을 수신하기 위해 TBTT 전부터 깨어서 비콘을 기다린다. 비콘이 도착하면 TBTT로부터 스테이션에 비콘이 도착하는 순간까지의 시간지연의 크기를 근거로 하여 그 다음 비콘주기에서 비콘을 수신하기 위해 스테이션이 깨어 대기해야 할 시간의 크기를 결정하는 방식이다.

그림 2에 제안된 방법에 따른 스테이션의 동작을 나타냈다. 비콘 전송지연이 없는 경우에 그림에서 매 비콘주기의 TBTT 위치에 표시된 점선이 스테이션에 도착하는 비콘을 의미한다. 만일 다른 스테이션들이 무선채널을 사용하고 있기 때문에 AP에서

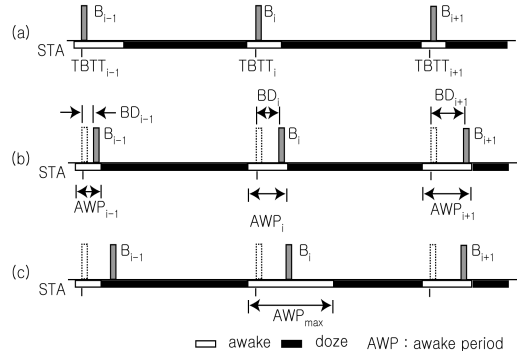


그림 2. 지연을 고려한 비콘 수신 기법

비콘 전송지연이 발생한 경우 스테이션에는 시간적으로 TBTT 보다 지연된 위치에서 실선으로 스테이션에 도착하는 비콘을 표시하였다.

그림 2(a)는 비콘 전송지연이 발생하지 않아 비콘  $B_{i-1}$ ,  $B_i$ ,  $B_{i+1}$ 이 각각 스테이션에 예정시간 TBTT<sub>i-1</sub>, TBTT<sub>i</sub>, TBTT<sub>i+1</sub>에 도착하는 경우이다. 비콘  $B_{i-1}$ ,  $B_i$ ,  $B_{i+1}$ 을 수신하기 위해 스테이션이 doze 모드로부터 깨어있는 시간을 AWP<sub>i-1</sub>, AWP<sub>i</sub>, AWP<sub>i+1</sub>로 표시하였는데, 비콘이 지연되지 않고 예정시간 TBTT<sub>i-1</sub>, TBTT<sub>i</sub>, TBTT<sub>i+1</sub>에 도착하므로 스테이션은 깨어있는 시간을 AWP<sub>i-1</sub> ≥ AWP<sub>i</sub> ≥ AWP<sub>i+1</sub> ≥ AWP<sub>min</sub> 과 같이 비콘주기마다 줄여나간다.

그림 2(b)는 비콘 전송지연이 발생하는 경우이다. 비콘  $B_{i-1}$ 이 TBTT<sub>i-1</sub>에 스테이션에 수신될 예정인데 AP에서 전송지연으로 인해 TBTT<sub>i-1</sub>로부터 BD<sub>i-1</sub>만큼 지연된 후 스테이션에 수신된다. 스테이션은 지연 BD<sub>i-1</sub>와 깨어있는 시간 AWP<sub>i-1</sub>를 근거로 하여 다음 비콘  $B_i$ 를 수신하기 위해 깨어있는 시간 AWP<sub>i</sub> 값을 결정한다. AWP<sub>i+1</sub>도 같은 방법으로 BD<sub>i</sub>와 AWP<sub>i</sub>를 근거로 결정된다.

그림 2(c)에서는 깨어있는 시간이 상대적으로 비콘지연 보다 짧아서 지연된 비콘을 수신하지 못한 경우이다. 스테이션이 TBTT<sub>i-1</sub>를 전후로 깨어있는 시간 AWP<sub>i-1</sub> 동안 비콘  $B_{i-1}$ 을 수신하지 못했으므로 다음 비콘  $B_i$ 에 대해서는 AWP<sub>i</sub>를 충분히 크게 설정하여 비콘을 수신한다. 비콘  $B_{i+1}$ 에 대해서는 스테이션이  $B_i$ 이 수신되었으므로  $B_i$ 에 대한 지연시간 BD<sub>i</sub>와 깨어있는 시간 AWP<sub>i</sub>를 이용하여 AWP<sub>i+1</sub>를 결정한다.

#### 3.2 비콘 수신을 위한 타이머의 제어

제안된 방법을 일반적으로 설명하기 위해 그림 2

에서 정의한 표기법을 이용한다. AW(awake) 타이머는 스테이션이 doze 모드로부터 깨어날 때 바로 전 비콘 주기에서 계산된 값으로 초기화되는데, 비콘을 수신하면 정지하고 time-out이 발생하면 비콘을 수신하지 못한 것으로 판정한다. 그림 2에서  $TBTT_{i-1}$  과  $TBTT_i$  이 지나갔다고 할 때,  $TBTT_{i+1}$  에서 비콘을 수신하기 위해 스테이션이 깨어있어야 할 시간  $AWP_{i+1}$  는 다음과 같은 방법으로 결정한다.

가.  $TBTT_i$  에서 비콘을 수신하지 못한 경우

$$AWP_{i+1} = AWP_{max} \quad (1)$$

AW 타이머에 time-out이 발생하는 동안 비콘을 수신하지 못했으므로 비콘 수신지연  $BD_i$  값을 이용할 수 없다. 따라서  $TBTT_{i+2}$  에서  $AWP_{i+2}$  을 계산할 때 활용하기 위해  $BD_i = BD_{max}$  로 설정한다. 여기서  $BD_{max}$  는 최대 비콘 지연을 의미하고  $AWP_{max} > BD_{max}$  의 관계를 갖는다.

나.  $TBTT_i$  에서 비콘을 수신한 경우

비콘 지연의 증가 또는 감소 추세를 반영하기 위해 식 (2)와 같이  $\Delta BD_i$  를 구하고,

$$\Delta BD_i = BD_i - BD_{i-1} \quad (2)$$

$\Delta BD_i \leq 0$  이면 식 (3)과 같이,  $\Delta BD_i > 0$  이면 식 (4)와 같이 AW 타이머 값을 계산한다.

$$AWP_{i+1} = (W_g + BD_i) + \alpha \cdot (AWP_i - (W_g + BD_i)) \quad (3)$$

$$AWP_{i+1} = W_g + BD_i + \beta \cdot \Delta BD_i \quad (4)$$

여기서  $W_g$  는 스테이션이 TBTT 전에 미리 깨어 있어야 하는 시간을 의미하고,  $0 < \alpha < 1$ ,  $\beta > 1$  이다. 그리고  $AWP_{i+1}$  가 최대치와 최소치를 벗어나는 경우는 식 (5)와 같이 구한다.

$$AWP_{i+1} = \begin{cases} AWP_{max} & \leftarrow (AWP_{i+1} > AWP_{max}) \\ AWP_{min} & \leftarrow (AWP_{i+1} \leq AWP_{min}) \end{cases} \quad (5)$$

#### IV. 모의실험 및 결과

##### 4.1 비콘 전송지연 시간 분석

매 TBTT마다 AP에 의해 전송될 예정인 비콘은

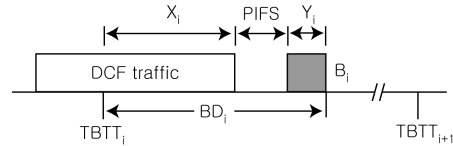


그림 3. 비콘 전송지연 모델

예정된 시각에 무선채널이 사용 중인 경우 즉시 전송되지 않고 무선채널이 이용 가능할 때까지 전송이 지연된다. 그림 3에 비콘 전송 예정시각  $TBTT_i$  에서 비콘  $B_i$  의 지연 요소들을 표현하였다. AP가 속해있는 BSS 밖의 요소들이 무선채널에 영향을 주지 않는다고 가정하면, 무선채널을 점유하고 있는 트래픽은 시각  $TBTT_i$  직전에 무선채널을 점유한 DCF기능의 스테이션들에 의해 발생하는 프레임들이므로 비콘은 이 프레임들의 교환절차가 끝나고 PIFS (point coordination function interframe space) 후에 무선채널로 전송된다. 따라서 IEEE 802.11b 표준에 의하면, 비콘 전송 예정시각  $TBTT_i$  에서 이미 무선채널을 점유하고 있는 DCF 트래픽이  $X_i$  시간 경과 후 종료된다고 할 때,  $X_i$  의 최대치는 식 (6)과 같이 RTS, CTS, MPDU, ACK 프레임을 모두 교환하는데 소요되는 시간으로 볼 수 있다 [23][24].

$$X_{i,max} = T_{RTS} + SIFS + T_{CTS} + SIFS + T_{MPDU,max} + SIFS + T_{ACK} \quad (6)$$

여기서,  $T_{RTS}$ ,  $T_{CTS}$ ,  $T_{MPDU}$ ,  $T_{ACK}$  는 각각 무선채널에서 관찰되는 RTS, CTS, MPDU, ACK 프레임의 전송시간이다. 그리고 SIFS (short interframe space)는 무선채널을 점유하고 프레임들을 교환 중인 두 스테이션 사이에서 프레임들의 교환이 끝날 때까지 연속된 프레임들 간에 유지되어야 하는 간격을 의미한다. 무선채널로 전송되는 MAC 프레임의 전송시간은  $T_{MAC}$  은 식 (7)과 같이 PLCP (physical layer convergence procedure) preamble과 header가 추가되는 것을 고려해야 한다.

$$T_{MAC} = T_{PLCP} + N/R \quad (7)$$

여기서  $T_{PLCP}$  는 PLCP의 preamble과 header의 전송 시간이고  $N$ 은 RTS, CTS, MPDU, ACK의 크기고  $R$ 은 전송율을 의미한다. 따라서 802.11b MAC계층이 2.4 GHz DSSS (direct sequence spread spectrum) PHY를 사용한다고 가정할 때,  $T_{PLCP} = 192\mu s$  이고

RTS, CTS, ACK의 크기는 각각 20 byte, 14 byte, 14 byte이고 MPDU 크기의 최대치는 2344 byte이므로,  $T_{RTS} = 206.5\mu s, T_{CTS} = 202.5\mu s, T_{MPDU, max} = 1,896.7\mu s, T_{ACK} = 202.5\mu s$ 이다. 그리고 SIFS =  $10\mu s$ 이므로 식 (6)에서  $X_{i, max} = 2,538\mu s$ 와 같이 계산된다.

한편, 비콘은 “Supported rates”, “TIM”과 같이 길이가 가변적인 요소들을 포함하고 있으므로, 비콘의 크기는 최소 68 bytes에서 최대 326 bytes가 될 수 있다. 따라서 PLCP를 고려한 비콘 전송시간  $T_{beacon}$ 는  $241.5\mu s \leq T_{beacon} \leq 429.1\mu s$ 이 된다.

그림 3에서 무선채널을 이미 점유하고 있는 DCF 관련 프레임들로 인해 비콘  $B_i$ 의 전송예정 시각  $TBTT_i$ 로부터 무선채널이 이용가능하게 된 후 비콘이 실제로 전송될 때까지의 지연시간은 식 (8)과 같이 표현된다.

$$BD_i = X_i + PIFS + Y_i \quad (8)$$

여기서  $Y_i$ 는 비콘  $B_i$ 의 전송시간을 의미하므로  $241.5\mu s \leq Y_i = T_{beacon} \leq 429.1\mu s$ 이고  $PIFS = 30\mu s$ 이다. 따라서 비콘 전송지연은 식 (9), (10)과 같이 계산된다.

$$BD_{i, max} = X_{i, max} + PIFS + Y_{i, max} = 2,997.1\mu s \quad (9)$$

$$BD_{i, min} = PIFS + Y_{i, min} = 271.5\mu s \quad (10)$$

식 (10)은 비콘 전송지연의 최소치에 대한 계산으로서 시각  $TBTT_i$ 에서 무선채널을 점유하고 있는 DCF 트래픽이 없으므로 PIFS와 비콘 전송시간으로만 구성되는 경우이다.

그러므로 비콘 전송지연을 고려하여 임의의  $TBTT_i$ 에서 비콘을 수신하기 위해 스테이션이 깨어 있어야 하는 시간의 최대치  $AWP_{max}$ 는 비콘 전송지연시간의 최대치  $BD_{i, max}$ 보다 크게 설정되어야 한다. 그런데, 저전력 모드로 동작하는 스테이션들은 AP와 송수신하는 데이터가 없을 경우에는 doze mode를 유지하다가  $TBTT_i$  직전에 깨어서 스테이션의 무선 하드웨어를 프레임 수신할 수 있는 상태로 만들어야 하므로 이에 필요한 시간  $W_g$ 를 고려하면  $AWP_{max}$ 는 식 (11)을 만족하도록 설정되어야 한다.

$$AWP_{max} > W_g + BD_{i, max} \quad (11)$$

## 4.2 모의실험

III장에서 제안된 방법의 특성을 알아보기 위해 비콘지연  $BD_i$ 를 입력으로 할 때 스테이션이 깨어있는 시간  $AWP_{i+1}$ 을 모의실험으로 계산하였다. 먼저, 제안된 방법에서  $\alpha, \beta$ 에 대해 스테이션이 깨어있는 시간이 비콘 지연시간 변화를 얼마나 빠르게 동적으로 반영하는지 그림 4에 나타났다. 비콘지연  $BD_i$ 는 최대값이  $2.0ms$ , 최소값이  $0.2415ms$ 인 구형과 형태를 이루는 값들을 입력으로 사용하였다.  $AWP_{max} = 4ms, AWP_{min} = 1.25ms$ 로 설정하였고  $\alpha$ 값이 0.2, 0.5, 0.8인 경우에 대해 모의실험을 수행한 결과인데,  $\alpha$ 값이 0.2 경우가 가장 빠르고 0.8인 경우가 가장 느린 응답특성을 보이고 있다. 즉,  $\alpha$ 값이 클수록 변화하는 비콘에 대해 깨어있어야 하는 시간은 느리게 반응하고, 작을수록 빠르게 반응한다. 그림에서 비콘지연이 스테이션이 깨어있는 시간 보다  $1ms$  정도 차이를 유지하는 것은 스테이션이  $TBTT$  보다  $W_g = 1ms$ 전부터 깨어서 무선 하드웨어를 수신상태로 준비하는데 필요한 시간을 고려하기 때문이다.

그림 5, 6은  $\beta = 2.0$ 이고 각각  $\alpha = 0.2, \alpha = 0.8$ 인 경우에 제안된 방법을 지수분포를 갖는 난수를 발생시

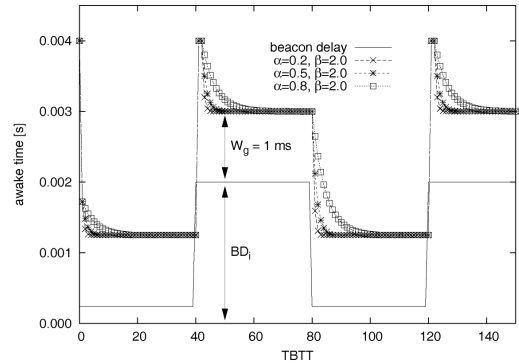


그림 4.  $\alpha$ 에 따른 제안된 방법의 특성

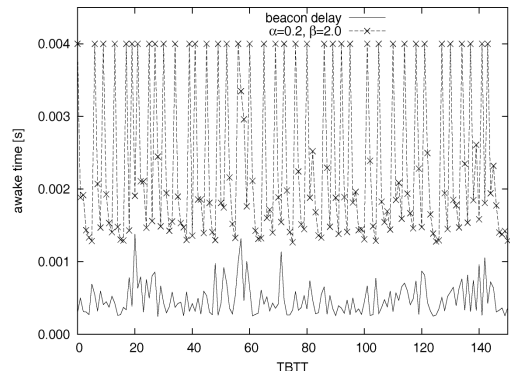


그림 5.  $\alpha = 0.2, \beta = 2.0$ 인 경우 스테이션의 AWP

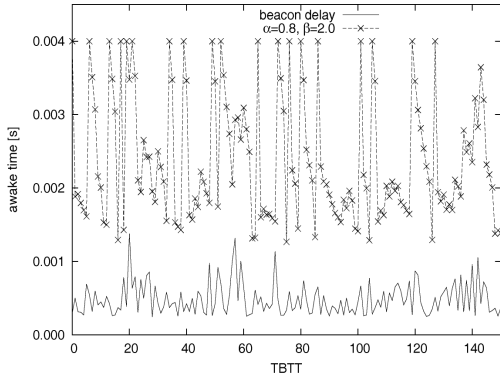


그림 6.  $\alpha=0.8, \beta=2.0$ 인 경우 스테이션의 AWP

킨 모의실험 결과이다. 그림에서 실선은 지수분포를 갖는 비콘지연이고 점선은 이에 대응하여 계산된 스테이션이 깨어있는 시간을 나타낸다. 점선 중에서 최대치 0.004s는 스테이션의 깨어있는 시간이 비콘지연보다 짧아서 비콘을 놓치는 경우이므로 다음 TBTT에서 스테이션이 깨어있는 시간을  $AWP_{max}$ 로 계산한 경우이고, 최대치 아래의 점들은 비콘을 정상적으로 수신한 경우를 의미한다.

그림 5는  $\alpha=0.2$ 인 경우인데, 비콘지연의 변화에 대해  $\alpha=0.8$ 인 경우 보다 빠르게 쫓아가지만 비콘을 놓치는 경우( $AWP = AWP_{max}$ )가 많이 발생한다.

그림 6은  $\alpha=0.8$ 인 경우인데, 비콘 지연의 변화에 대해 느리게 쫓아가지만 비콘을 놓치는 경우는 줄어드는 것을 볼 수 있다.

그림 7은  $\alpha=0.8, \beta=2.0, AWP_{max} = 4.0\mu s$ 인 상태에서  $AWP_{min}$  값에 설정에 따른 스테이션이 깨어있는 시간을 나타낸 것이다. 그림 7의 첫 번째 그림에 나타난 비콘지연은 평균이  $0.1 \cdot (BD_{i,max} - BD_{i,min})$ 인 지수분포를 갖는 난수에  $BD_{i,min}$ 을 더한 값을 사용했다. 그리고 나머지 그림은 이러한 비콘지연에 대해  $AWP_{min}$  값이 각각 1.5ms, 2.0ms, 2.5ms인 경우에 스테이션이 깨어있는 시간을 나타낸 것이다. 그림에서 스테이션이 비콘을 놓치는 경우는,  $AWP = AWP_{max}$ 인 경우로서,  $AWP_{min}$  값이 각각 1.5ms, 2.0ms, 2.5ms인 경우에 15회, 2회, 1회로 관찰된다. 즉,  $AWP_{min}$  값이 작을수록 비콘을 놓치는 경우가 증가하고, 클수록 비콘을 놓치는 경우가 감소한다.

그러면, 스테이션이 비콘을 놓치지 않기 위해서는  $AWP_{min}$  값을 크게 설정해야하지만 비콘을 수신하기 위해 깨어있는 시간도 증가하므로 소비전력의

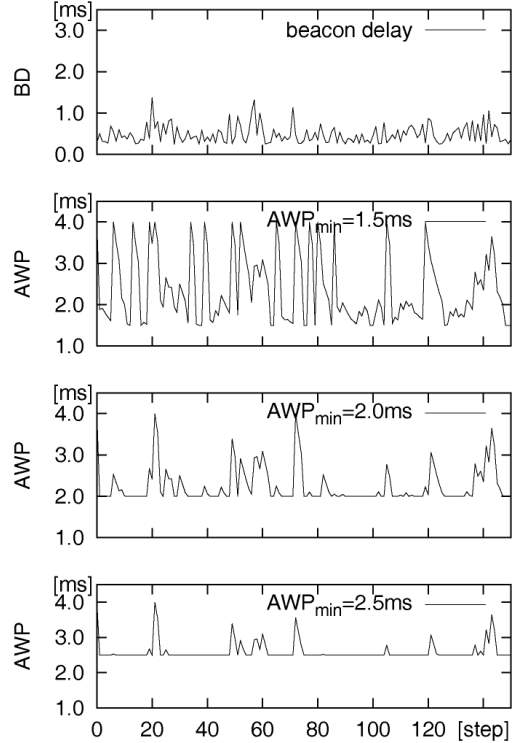


그림 7.  $AWP_{min}$ 에 따른 스테이션의 AWP

관점에서 보면  $AWP_{min}$ 을 무조건 크게 설정할 수는 없는 문제를 고려해야 한다.

그림 8에  $AWP_{min}$ 에 따른 스테이션이 평균적으로 깨어있는 시간을 나타냈다.  $AWP_{min}$ 의 값을 1.5ms, 2.0ms, 2.5ms, 3.0ms, 3.5ms로 설정한 후 깨어있는 시간은 각각 2.363ms, 2.257ms, 2.598ms, 3.032ms, 3.508ms이다. 스테이션이 비콘을 수신하기 위해 깨어있는 시간은  $AWP_{min} = 2.0ms$ 에서 최소가 되었다가  $AWP_{min}$ 이 증가함에 따라 점차로 증가함을 보이고

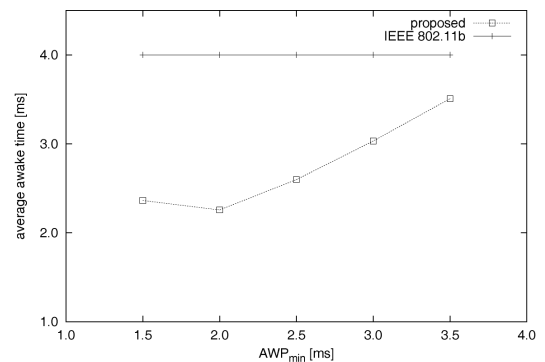


그림 8. 평균 AWP 비교

있다.  $AWP_{min} = 1.5ms$ 에서 깨어있는 시간이  $AWP_{min} = 2.0ms$ 인 경우 보다 큰 이유는 그림 7로 부터 생각할 수 있는 것처럼 비콘을 놓쳐서 그 다음 비콘 수신시 깨어있어야 하는 시간을  $AWP_{max}$ 로 설정하는 경우가 많기 때문이다. 따라서 제안된 방법에 대한 모의실험을 통해 스테이션이 비콘을 수신하기 위해 에너지를 적게 소모하면서 깨어있어야 하는 시간은  $AWP_{min} = 2.0ms$ 로 설정하는 것이 좋다.

### V. 결 론

이 논문에서는 infrastructure 방식의 802.11b 무선 랜에서, 어떤 TBTT에 무선채널을 점유하고 있는 DCF 트래픽으로 인해 AP에서 비콘 전송이 지연되는 현상으로 인해 스테이션에 수신된 비콘의 지연을 측정하여 그 다음 TBTT에서 스테이션이 비콘을 수신하기 위해 깨어있어야 할 시간을 가변적으로 조절하는 방법을 제시하였다. 스테이션이 비콘을 수신하기 위해 깨어있어야 할 시간의 범위를 결정하기 위해, 2.4 GHz DSSS PHY를 사용하는 802.11b MAC 프로토콜의 프레임들을 조사하여 비콘 전송지연에 대해 분석하였다. 제안된 방법에 대한 특성을 확인하기 위해 모의실험을 수행하였다. 제안된 방법이 비콘을 수신하기 위해 충분히 긴 일정시간 동안 깨어있는 기존의 IEEE 802.11b에 비해 비콘의 지연에 따라 깨어있는 시간이 결정되므로 에너지 소모를 개선할 수 있는 장점도 있고 비콘을 놓치는 경우가 발생할 수는 있는 가능성이 있는 것으로 관찰되었다. 스테이션이 깨어있어야 할 최소시간의 설정값이 작을수록 지연되는 비콘을 놓치는 경우가 증가하여 에너지 소모가 증가한다. 반면에 설정값이 클수록 비콘을 놓치는 경우는 감소하지만 깨어있는 시간이 증가하므로 역시 에너지 소모가 증가하는 현상을 보이고 있다. 이에 따라 에너지 소모를 줄일 수 있는 적절한 값의 스테이션이 깨어있어야 하는 시간의 최소치를 구하였다.

앞으로의 연구는 TBTT 부근에서 정확한 트래픽의 특성분석과 비콘의 지연에 따라 깨어있는 시간을 가변적으로 설정하면서도 비콘을 놓치는 가능성을 줄이기 위한 연구가 수행되어야 한다. 또한 공간적인 영역이 일부 중첩되며 동일한 무선채널을 갖는 다른 무선 랜의 트래픽에 의해 영향을 받는 비콘지연에 대한 분석과 이에 대한 대응 방법도 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] P. Chatzimisios, V. Vitsas and A. C. Boucouvalas, "Throughput and delay analysis of IEEE 802.11 protocol", *Proc. 5th IEEE Workshop Networked Appliances*, pp.168-174, Oct. 2002.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] R. Kravets and P. Krishnan, "Application-driven power management for mobile communication", *Wireless Networks*, vol. 6, Issue 4, pp.263-277, Jul. 2000.
- [6] 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.
- [7] S. Mangold, S. Choi, P. May, O. Klein, G. Hiertz, and L. Stibor, "IEEE 802.11e wireless LAN for quality of service", *Proc. European Wireless, Florence, Italy*, pp.32-39, Feb. 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 hand-

held devices”, *Proc. of the 11th ACM International Conference on Multimedia*, pp.582-591, Nov. 2003.

- [10] 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.
- [11] S. Vasudevan, K. Papagiannaki, C. Diot, J. Kurose and D. Towsley, “Facilitating access point selection in IEEE 802.11 wireless networks”, *In ACM Sigcomm Internet Measurement Conference*, Berkeley, Oct. 2005.

송 명 렬 (Myong-Lyol Song)

정회원



1985년 2월 연세대학교 전자공학과(학사)  
1988년 2월 연세대학교 전자공학과(석사)  
1996년 2월 연세대학교 전자공학과(박사)  
1984년 12월~1986년 2월 삼성전

자 연구원

1988년 12월~1991년 7월 육군사관학교 전자과 전임강사  
2004년 2월~2005년 1월 UCSD visiting scholar  
1996년 3월~현재 호서대학교 정보통신공학과 부교수  
<관심분야> 컴퓨터 통신, 통신시스템, 임베디드 시스템 설계, 저전력 무선랜