

# IEEE 802.11b에서 가상비트맵을 제어하는 저전력 무선 접속 기법

정회원 송명렬\*

## Low Power Wireless Interfacing Scheme Controlling Virtual Bitmap in IEEE 802.11b

Myong-Lyol Song\* *Regular Member*

### 요 약

IEEE 802.11b 무선 네트워크에서 스테이션들이 저전력 모드로 동작할 때, 액세스 포인트(AP)가 주기적으로 비콘(beacon)을 전송하여 스테이션들을 관리한다. 비콘을 수신한 후 스테이션들이 전송매체에 대해 경쟁하고 전송매체가 이용 가능할 때까지 전송매체의 상태를 계속해서 검사한다. 따라서 각 스테이션에서 에너지 소모는 무선 네트워크의 부하에 따라 증가한다. 이 논문에서 다수의 스테이션들이 있는 무선 네트워크에서 가상비트맵을 제어하여 스테이션에서 에너지 소모를 줄이는 방법을 제안한다. IEEE 802.11b 무선 인터페이스의 저전력 모드의 문제점이 설명되었고 에너지 소모를 줄이기 위한 새로운 방법이 제안되었다. 네트워크 시뮬레이터인 ns2를 이용하여 제안된 방법에 대해 모의실험이 수행되었고 IEEE 802.11b의 저전력 모드와 비교했다. 스테이션이 깨어있는 시간으로 측정된 결과는 무선 네트워크에서 다수의 스테이션들이 AP를 점유하여 통신이 이루어질 때 에너지 소모가 개선되는 것을 보여준다.

**Key Words** : low power, wireless interface, contention, virtual bitmap, IEEE 802.11b

### ABSTRACT

In IEEE 802.11b wireless network, the access point(AP) sends beacons periodically to manage stations when they are running in low power mode. Stations contend for the transmission medium after they receive a beacon and continuously check its state until it becomes available. Thus the energy consumption of each station increases as the load of wireless network. In this paper, we propose a method to reduce energy consumption controlling virtual bitmap in wireless network with multiple stations. The problems of low power mode in 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 multiple stations are communicating through the AP in wireless network.

### 1. 서론

휴대용 단말기나 컴퓨터 시스템에서 전원의 용량

이 제한되어 있기 때문에 에너지 소모를 적게 하는 연구가 집중되고 있다. 특별히 PDA(personal digital assistant) 등과 같은 휴대장치에서는 CPU와 무선통

\* 호서대학교 정보통신공학과 (mlsong@office.hoseo.ac.kr)  
논문번호 : KICS2005-11-441, 접수일자 : 2005년 11월 1일

신 인터페이스에서 대부분의 에너지가 소모된다고 알려져 있다<sup>[11]</sup>. CPU에서는 처리해야 할 부하와 응용 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>[12][13]</sup>. 한편, 무선 LAN을 구성하는 휴대용 시스템의 무선 인터페이스는 다른 무선장치와 교환할 데이터가 있는 경우에만 깨어 있고 그렇지 않은 경우에는 저소비전력 모드를 유지하는 방법으로 에너지 소모를 줄인다<sup>[14][15]</sup>. 그런데 휴대장치에서 데이터를 송신할 경우에는 문제가 없지만 휴대장치로 향하는 데이터가 언제 발생할지 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. 휴대장치는 주기적으로 전송되는 각 비콘주기의 초기에 깨어서 데이터를 교환하기 위해 계속 깨어 있을지 또는 저소비전력 모드로 들어갈지를 결정한다. 그런데 IEEE 802.11b 표준에서는 각 비콘주기에서 두 개 이상의 휴대장치가 AP(access point)를 통해서 데이터를 교환하려 할 경우에는 충돌이 생기고 각 휴대장치는 데이터를 성공적으로 교환할 때까지 전송매체의 상태를 계속 깨어서 주시하므로 실제 데이터 전송기간 외에도 에너지가 소모되는 문제가 있다. 특히 휴대장치가 속해 있는 무선 네트워크에 부하가 클 경우에는 충돌 기간이 더욱 길어지므로 에너지 소모가 증가하여 저소비전력 모드의 의미가 없게 된다.

이렇게 동기화된 충돌문제를 해결하기 위해

Takahashi는 트랙픽의 패턴과 버퍼크기를 기초로 하여 비콘주기를 가변적으로 하면서 하나의 비콘주기에 하나의 휴대장치만 전송할 수 있도록 조절한다. 매 비콘주기 마다 비콘 직후 하나의 휴대장치에 대해서만 우선권을 부여하고 다른 장치들에 대해서는 각각에 대해서 예정된 비콘주기까지 잠자고 있거나 전송매체 우선권이 부여된 트랙픽이 끝날 때까지 계속 깨어서 전송매체를 주시하게 한다. 그러나 이 방법은 무선랜의 AP가 다양한 휴대장치의 응용으로 향하는 트랙픽의 QoS (quality of service)에 따라 비콘주기와 비콘에 대한 할당을 담당해야 하므로 AP가 MAC (medium access control) 계층만 아니라 상위 계층의 일도 담당해야 하고 AP의 부하가 커지는 문제가 있다<sup>[12]</sup>.

이 논문에서는 IEEE 802.11b 표준을 채택하고 있는 휴대장치가 상호작용이 빈번한 응용 보다 단방향성이 큰 데이터를 수신하면서 저소비전력 모드로 동작할 때 발생할 수 있는 위와 같은 문제점을 해결하기 위해 AP가 전송하는 비콘의 부분가상비트맵에 설정되는 비트의 수를 한 비콘주기 이내에 처리할 수 있는 수로 제한한다. 그러면 AP의 버퍼에 전송되어야 하는 데이터가 대기 중일지라도 비콘에 부분가상비트맵에 설정되지 않은 스테이션들은 비콘 수신 직후 스스로 저전력 모드로 들어가서 다음 비콘 주기를 기다린다. 이렇게 하면 하나의 비콘주기에 처리될 수 없는 상황에서 전송매체를 획득하기 위한 경쟁에 참여하지 않으므로써 부분가상비트맵에 설정되는 스테이션 수가 줄어들게 되므로 설정된 부분가상비트맵을 수신한 직후부터 데이터를 수신할 때까지 깨어서 대기하는 시간이 줄게 되므로 스테이션에서 에너지 소모를 개선할 수 있게 된다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서 IEEE 802.11b의 저소비전력 모드 동작과 그 문제점에 대해서 설명한다. 3장에서는 IEEE 802.11b 표준의 저소비전력 모드에 비해 소비전력이 개선된 방법, 즉 축소된 가상비트맵을 사용하는 방법을 제안하고 설명한다. 4장에서는 제안된 방법의 에너지 개선효과를 모의실험을 통해서 기존의 방법과 비교 분석하고 5장에서 결론을 맺는다.

## II. IEEE 802.11b 저전력 모드에서 동기화된 충돌

### 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. 이때 해당 스테이션을 구분하기 위해서 개별 주소로 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 스테이션은 다음 번 비콘이 수신될 때까지 저전력 소비 상태인 doze 모드로 들어가 에너지 소모를 줄인다.

### 2.2 동기화된 충돌

앞에서 설명한 바와 같이 동작하는 IEEE 802.11b 표준의 저전력 모드는 무선 네트워크를 구성하는 스테이션의 수가 증가하고 동시에 전송하고자 하는 스테이션의 수가 많아져서 부하가 커질 경우에, 각 스테이션은 전송매체의 상태를 주시하느라 깨어있어서 에너지 소모가 증가하게 된다. 예를 들어 그림 1에 IEEE 802.11b 무선 인터페이스를 갖는 스테이션 M1, M2, M3, M4, ..., Mn이 저전력 모드로 동작할 때 무선 인터페이스의 상태를 시간의 진행에 따라 표현하였다.  $t_0$ 에서 AP가 비콘을 스테이션들에게 전송한다고 가정한다. 그림에서 데이터  $D_{M1}$ ,  $D_{M2}$ ,  $D_{M3}$ 가 각각 스테이션 M1, M2, M3로 향하는 데이터로서 시각  $t_0$  이전에 AP에 도착하면, 이 데이터는 즉시 전송되지 않고 AP의 버퍼에

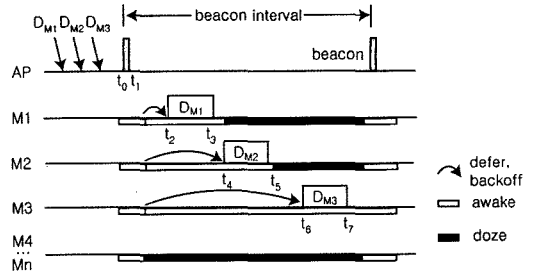


그림 1. IEEE 802.11b 저전력 모드에서 AP와 스테이션의 동작

보관된다. 각 스테이션들은 자기에게 향하는 데이터가 AP에 저장되어 있는지 판단하기 위해 시각  $t_0$ 에서 전송되는 비콘을 수신하기에 충분한 시간 전에 깨어난다. 비콘과 함께 전송되는 TIM에는 스테이션 M1, M2, M3로 향하는 데이터가 AP에 저장되어 있다는 정보가 포함되어 있다. 따라서 스테이션 M1, M2, M3를 제외한 나머지 스테이션으로 향하는 데이터는 없기 때문에 스테이션 M4, ..., Mn는 TIM 수신 직후 doze 모드로 들어가서 다음 비콘까지 에너지 소모를 줄인다. 반면에 스테이션 M1, M2, M3에게는 시각  $t_0$ 에서 시작하는 비콘 주기 동안 데이터가 두 개 이상의 스테이션으로 전송되어야 하는 것을 의미하므로 각 스테이션은 정의된 프레임들간의 지연(defer)과 난수에 의해 선택된 시간 동안 지연(backoff) 후 AP로부터 데이터를 받는다.

그런데 이와 같은 지연시간 동안에도 스테이션 M1, M2, M3는 전송매체가 이용가능한지 주시하고 있어야 하므로 비콘주기 시작부터 데이터를 교환할 때까지 깨어 있어야 한다. 그림에서 스테이션 M1, M2, M3는 각각 구간  $(t_1, t_2)$ ,  $(t_1, t_4)$ ,  $(t_1, t_6)$ 에서 데이터의 교환이 없이 단순히 전송채널을 확보할 때까지 지연하고 있는 동안에도 깨어 있으므로 에너지가 소모되는 문제가 발생한다. 이러한 현상을 동기화된 충돌(synchronized contention)이라 부른다. 그리고 무선 네트워크에 스테이션들이 많을수록 확률적으로 충돌이 많아지고 그에 따른 시간지연이 더욱 길어지므로 데이터를 교환할 때까지 대기하는 시간동안의 에너지 소모는 증가된다.

### III. 축소된 가상비트맵을 이용한 저전력 무선 인터페이스 기법

기존의 IEEE 802.11b의 저전력 모드에서 스테이션들에게 전송할 데이터가 AP의 버퍼에 저장되어 있을 때, AP는 이 사실을 스테이션들에게 알리기

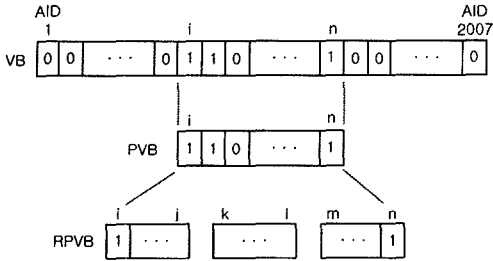


그림 2. 가상비트맵

위해 비콘의 TIM 필드에 그림 2와 같은 부분가상 비트맵 PVB를 만들어 전송한다. 가상비트맵(VB : virtual bitmap)에서 비트 위치  $i$ 는 스테이션에게 할당된 AID값을 의미한다. 그리고  $VB[i]$ 이 1인 경우에는 AP의 버퍼에 AID 값이  $i$ 인 스테이션으로 전송할 데이터가 있다는 사실을 의미하고  $VB[i]$ 이 0인 경우에는 데이터가 없다는 것을 의미한다. 그리고 PVB는 VB의 일부분으로서 VB에서 최초로 1이 나타나는 위치가 속해 있는 바이트 부터 시작하여 마지막으로 1이 나타나는 위치가 속해 있는 바이트의 비트맵으로 구성되어 있고, 비콘에 실려서 전송된다. 따라서 비콘을 수신하는 스테이션들은 PVB를 해석하여 자신에 부여된 AID 위치에 해당하는 PVB값이 1인 경우 계속 깨어서 PSpoll(저전력 모드에서 스테이션이 AP에게 데이터 전송을 요청하는 기능)메시지를 전송하여 AP의 버퍼에 저장되어 있는 자신의 데이터를 전달받고 자신의 PVB값이 0인 스테이션들은 다음 번 비콘을 수신할 때까지 doze 모드로 들어가서 에너지 소모를 줄인다<sup>4)</sup>.

그림 2의 VB에서 비트의 값이 1인 첫 번째와 마지막 스테이션의 AID값을 각각  $i$ 와  $n$ 이라 하면, AP가 전송하는 비콘에 포함되어 있는 PVB에서 각 비트의 값이 1인 스테이션의 개수는 최대  $(n - i + 1)$ 개가 된다. 그러므로 이러한 PVB가 포함되어 있는 비콘을 수신한 스테이션들은 최대  $(n - i + 1)$ 개가 계속 깨어서 무선 채널의 전송권을 획득하기 위해서 서로 경쟁하게 된다. 그런데 경쟁하는 스테이션 수가 충분히 많을 경우에는 스테이션들이 AP에 저장되어 있는 데이터를 전달받기까지 깨어서 대기하는 시간이 길어져서 데이터 전송 외에 대기하는 시간동안 소비하는 에너지가 커지게 된다.

이러한 문제를 개선하기 위해 이 절에서 제시하는 개선된 기법은 그림 2와 같이 PVB를 비콘에 실어서 전송하는 대신, PVB를 좀 더 세분하여 축소된 가상부분비트맵(RPVB: reduced partial virtual bitmap)을 만들어 비콘에 실어서 전송하는 기법이다.

축소된 가상부분비트맵을 전송하면, 이를 수신하여 전송매체에 대한 전송권을 획득하기 위해 깨어 있는 스테이션의 수가 가상부분비트맵을 전송할 때보다 적게 된다. 따라서 축소된 가상부분비트맵을 수신한 스테이션들이 AP로부터 성공적으로 데이터를 전달받을 때까지 깨어 있는 시간이 짧아지므로 에너지 소모를 개선할 수 있게 된다.

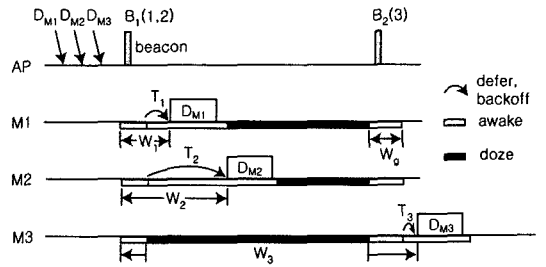


그림 3. 제안된 RPVB 사용시 AP와 스테이션의 동작

예를 들어 그림 3에 축소된 가상비트맵 RPVB를 사용하는 경우 스테이션들의 동작을 나타냈다. 그림 3에서 AP가 첫 번째 비콘  $B_1()$ 을 전송하기 전에 스테이션 M1, M2, M3로 향하는 메시지가 AP에 도착하고 이 스테이션의 AID값을 각각 1, 2, 3이라 가정한다. 그리고  $B_j(i, \dots, n)$ 은  $j$ 번째 비콘에서 PVB 값이 1인 스테이션들의 AID값이  $i, \dots, n$ 을 의미한다고 하자. 그러면 기존의 IEEE 802.11b의 저전력 모드에서는 AP가  $B_1(1, 2, 3)$ 을 전송하지만, 이 논문에서 제안된 방법에서는 AP가 이를 적절히 분배하여  $B_1(1, 2)$ ,  $B_2(3)$ 로 나누어 전송한다. 그러면 비콘  $B_1(1, 2)$ 로 시작되는 비콘 주기에서는 스테이션 M1과 M2가 전송매체를 확보하기 위해 경쟁하고,  $B_2(3)$ 로 시작되는 비콘 주기에서는 스테이션 M3만이 남게 된다. 이때 스테이션들이 AP로부터 데이터를 전달받기 직전까지 깨어 있어야 하는 시간은 식 (1), (2), (3)과 같이 표현된다.

$$W_1 = W_g + T_1 \tag{1}$$

$$W_2 = W_g + T_2 \tag{2}$$

$$W_3 = W_g + W_g + T_3 \tag{3}$$

여기서  $T_1, T_2, T_3$ 에는 각 스테이션의 defer와 backoff 지연이 포함되어 있고,  $W_g$ 는 각 스테이션이 AP로부터 비콘을 수신하기 위해 비콘의 도착 전부터 비콘 도착 직후까지 깨어 있어야 하는 시간을 의미한다. 이 방법은 기존의 방법에서 보다 적은

수의 스테이션들이 전송매체를 확보하기 위한 경쟁을 하므로 각 스테이션의 관점에서 그리고 통계적으로 볼 때, 전송매체를 확보할 때까지 깨어있어야 하는 시간  $W_1, W_2, W_3$ 가 줄어들게 되므로 그만큼 에너지의 소모가 줄게 되는 것이다. 특히, 그림 3과 같은 예에서 스테이션 M3의 경우에는  $W_8$ 가 추가 되더라도  $T_3$ 가 줄어들므로 데이터를 받기까지 깨어 있는 시간  $W_3$ 가 상당히 줄게 된다.

#### 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 저전력 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 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.

데이터 패킷의 발생을 위하여 스테이션들은 UDP (user datagram protocol)을 이용하는 CBR(constant bit rate) 데이터를 서버로부터 AP를 거쳐 무선 인

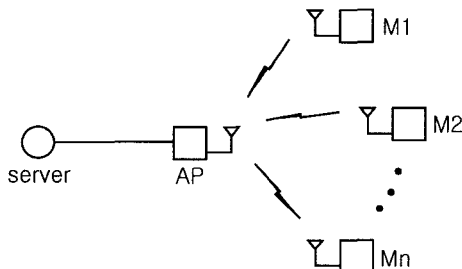


그림 4. 모의실험을 위한 무선 네트워크 모델

터페이스로 수신한다. 이때 각 스테이션과 서버 사이의 CBR 접속은 패킷크기가 16 byte이고 패킷들 간의 간격이 0.2 sec으로 설정되었다. 위와 같이 시뮬레이션을 위한 네트워크의 표현, 각 노드 내에서 프로토콜의 계층구조 표현, CBR 데이터의 발생은 OTCL 언어로 표현되고 각 계층의 프로토콜의 세부 동작은 C++ 프로그램 언어로 구현한다.

서버에서 발생된 CBR 데이터를 포함하는 패킷들은 AP에 전달되어 무선 인터페이스를 통해 스테이션으로 전송되기 전에 AP의 버퍼에 저장된다. 이 때 AP에서는 도착한 패킷의 목적지에 따라 각각의 버퍼에 저장한다. 그리고 AP는 이 버퍼들에 패킷이 저장되어 있는지를 확인하여 축소된 부분가상비트맵을 만들어 비콘에 실어서 스테이션들에게 전송함으로써 데이터 패킷이 AP의 버퍼에 대기 중임을 알린다.

AP에서 유지되는 버퍼는 선입선출(FIFO: first come first out) 방식으로 관리된다. 그리고 축소된 가상비트맵에는 스테이션들에게 공정한 전송기회를 보장하기 위해 각 버퍼에 연관되어 있는 스테이션의 AID값이 순차적으로 반영되도록 해당 비트값이 설정된다. 축소된 가상비트맵에 비트가 설정된 스테이션들이 PSpoll 메시지를 AP에게 전송하여 저장된 데이터의 전송을 요청할 때 AP는 해당 버퍼에서 패킷을 한 개씩 읽어서 전송한다. 비콘 전송시 축소된 가상비트맵에 설정된 비트의 최대 갯수는 제안된 방법의 동작 및 에너지 절감효과를 검증하기 위해 임의로 세 개로 정했다. 따라서 한 비콘 주기에서 최대 세 개의 스테이션까지 AP의 버퍼에 저장되어 있는 데이터를 전달받을 수 있고 나머지 스테이션들은 다음 비콘 주기 이후에 데이터를 전달받을 수 있게 된다.

이 논문에서 제안된 방법의 에너지 절감효과를 기존의 IEEE 802.11b의 저전력 기법과 비교하기 위해 실행되는 모의실험에서는 그림 5와 같이 각 스테이션이 AP로부터 비콘을 수신한 순간부터 통신 매체를 확보하기 위한 defer와 backoff 지연을 거치고 PSpoll, DATA, ACK를 교환할 때까지 깨어 있어야 하는 시간  $T_D$ 를 측정하였다.

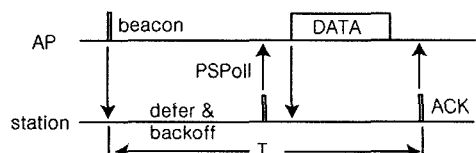


그림 5. 저전력 모드에서 AP와 스테이션의 상호작용

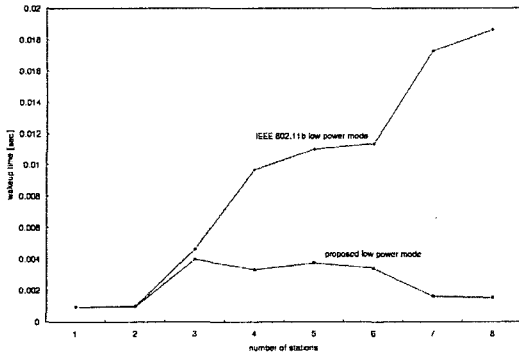


그림 6. 스테이션의 wakeup time

그림 6에 스테이션이 데이터를 수신하기까지 깨어있는 시간을 스테이션의 갯수에 따라 나타냈다. 그림 6에서 스테이션의 수가 세 개 이하인 경우에 스테이션이 깨어있는 시간이 기존의 IEEE 802.11b 저전력 모드와 제안된 기법이 서로 차이가 없게 나타난다. 그러나 스테이션의 수가 네 개인 경우부터, 기존 방법은 스테이션의 수가 증가할수록 깨어 있는 시간이 계속해서 증가하지만 제안된 기법에서는 증가하지 않고 일정한 수준을 넘지 않고 있다. 이와 같이 제안된 기법에서 스테이션의 수가 네 개 이상인 경우에도 깨어 있는 시간이 계속 증가하지 않는 이유는 AP에서 축소된 가상비트맵을 만들 때 비트맵에 1로 기록되는 스테이션의 수를 제한하여 전송매체에 대해 경쟁하는 스테이션 수를 줄이기 때문이다. 본 논문에서 수행된 모의실험에서는 이 값이 3으로 설정되어 있기 때문에 세 개 이상의 스테이션으로 향하는 패킷들이 AP의 버퍼에 대기하고 있을지라도 축소된 가상 비트 맵에는 최대 세 개까지의 비트만 1로 설정된다. 그리고 나머지 스테이션에 대한 비트들은 다음 번 비콘 송신시 1로 설정될 수 있으므로 어떠한 비콘 주기에서도 전송매체를 확보하기 위해 경쟁하는 스테이션의 수가 항상 세 개 이하이다. 따라서 어떤 스테이션이 수신된 비콘에 축소된 가상 비트 맵에 자신의 비트가 1로 설정되어 있는 경우, 비콘이 수신된 직후부터 AP로부터 데이터를 전달받을 때까지 깨어 있는 시간은 기존 IEEE 802.11b 저전력 모드에서 스테이션 수가 세 개인 경우 보다 같거나 작게 되는 것이다.

### V. 결론

이 논문에서 무선통신 인터페이스로서 IEEE 802.11b를 채택하고 있는 무선 네트워크에서 AP로

부터 다수의 스테이션으로 전송할 데이터가 있을 경우 발생할 수 있는 동기화된 충돌로 인하여 발생하는 문제, 즉 각 스테이션의 전송매체를 확보하기 위해 경쟁하느라 깨어있는 시간이 증가함으로 인한 에너지 소모를 개선할 수 있는 방법이 제시되었다. 기존의 IEEE 802.11b 표준의 저전력 모드에서는 전송해야 할 데이터가 AP의 버퍼에 저장되어 있다는 것을 나타내는 가상비트맵을 비콘과 함께 전송하고 가상비트맵에 1로 표시되어 있는 모든 스테이션들이 경쟁하므로 전송매체를 확보하고 AP로부터 데이터를 전달받을 때까지 깨어있어야 하는 시간이 부하에 따라 길어진다.

이 논문에서는 가상비트맵 대신 축소된 가상비트맵을 전송하여 매 비콘주기 마다 전송매체를 확보하기 위해 경쟁하는 스테이션 수를 줄여서 스테이션들이 깨어 있어야 하는 시간이 단축되게 함으로써 스테이션의 에너지 소모를 개선하는 방법을 제시하였다. 기존의 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. 모의실험 결과 기존의 IEEE 802.11b 저전력 모드에서는 무선 인터페이스를 통해 통신에 가담하고 있는 스테이션의 수가 증가할수록 전송매체에 대한 경쟁이 심해져서 전송매체를 확보한 후 데이터를 교환할 때까지 깨어 있는 시간이 증가한다. 그러나 제안된 축소된 가상비트맵을 사용하는 경우에는 스테이션의 수가 증가하더라도 깨어있는 시간이 계속 증가하지 않고 축소된 가상비트맵에 1로 설정될 수 있는 스테이션 수의 최대치 수준을 유지하는 것으로 관찰되었다. 따라서 이 논문에서 제안된 축소된 가상비트맵을 사용하는 기법은 무선 인터페이스를 통해 통신하는 스테이션 수가 적은 경우에는 기존의 방법과 에너지 소모가 비슷하지만, 스테이션 수가 충분히 많은 경우에는 에너지 소모가 개선되는 효과를 얻을 수 있다. 제안된 기법은 전송되는 비콘에 포함되어 있는 가상비트맵 대신 축소된 가상비트맵을 AP가 작성하여 스테이션들에 전송하는 방법이므로 제안된 방법의 구현을 위해 각 스테이션을 변경할 필요가 없고 AP에서 버퍼관리 및 축소된 가상비트맵의 작성 기능만 구현하면 되므로 기존의 스테이션들과는 호환성이 유지된다.

앞으로 AP에서 축소된 가상비트맵에 설정될 비트 수의 상한을 어떻게 정할 것인가에 대한 연구가 수행되어야 한다. 또한 제안된 축소된 가상비트맵을

이용할 때 다음 비콘주기로 전송이 지연된 스테이션들에 대한 전송율의 변화에 대해 기존의 방법과 비교가 이루어져야 한다. 그리고 제안된 방법을 PDA와 같은 휴대용 기기에 구현하고 서로 다른 특성이 요구되는 다양한 응용 프로그램들을 실행시킴으로써 MAC계층에서 에너지 절감기법이 기존의 응용 프로그램에 어떻게 영향을 주는가에 대해서 연구해야 한다. 그리고 실제로 다수의 무선 네트워크가 동일한 영역에 공존하여 신호들이 서로 다른 무선 네트워크에 영향을 주는 경우 제안된 에너지 개선 기법에 미치는 효과에 대해서도 분석이 이루어져야 한다.

### 참 고 문 헌

[1] Andrea Acquaviva, Tajana Simunic, and Vinay 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] Kevin Fall and Kannan 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] Ravindra Jejurikar and Rajesh 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] Robin Kravets and P. Krishnan, "Application-driven power management for mobile communication", *Wireless Networks*, vol. 6, Issue 4, pp.263-277, Jul. 2000.

[7] Yung-Hsiang Lu, Luca Benini and Giovanni De 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] Steven M. Martin, Krisztian Flautner, Trevor Mudge, and David 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] Shivajit Mohapatra, Radu Cornea, Nikil Dutt, Alex Nicolau, and Nalini 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.

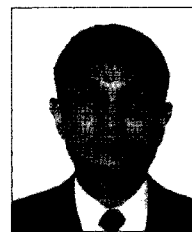
[10] A. Salkintzis and C. Chamzas, "An outband paging protocol for energy-efficient mobile communications", *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 48, no. 3, pp. 246-256, Sep. 2002.

[11] Tajana Simunic, Luca Benini, Giovanni De 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] Eduardo 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 전자공학  
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, 통신 시스템, 임베디드 시스템  
설계, 저전력 무선랜