

# IEEE 802.16e 시스템에서 이동 단말의 전력 소모 최소화를 위한 취적 휴면 기법

정회원 박재성\*, 준회원 김범준\*\*

## An Optimized Sleep Mode for Saving Battery Consumption of a Mobile Node in IEEE 802.16e Networks

Jaesung Park\* *Regular Member*, Beomjoon Kim\*\* *Associate Member*

### 요 약

본 논문에서는 IEEE 802.16e 기반 Wireless Metropolitan Area Network (WMAN) 이동 단말의 전력 소모 최소화를 위한 취적 휴면 기법 (sleep mode)을 제안한다. 802.16e 표준에 정의된 sleep 모드 단말은 항상 현재 접속 중인 기지국 (BS)과 상태 정보를 유지해야 하므로, 단말이 기지국을 이동할 때마다 새로운 기지국과 sleep 상태를 재 협상해야 한다. 따라서 sleep 모드는 단말의 이동성이 클수록 핸드오버 (handover)에 의해 불필요한 전력 소모가 증가한다. 이에 따라 본 논문에서는 단말의 이동성은 사용자의 호 사용 패턴과 무관하다는 것에 착안하여 핸드오버에 따른 불필요한 배터리 소모를 제거할 수 있는 최적 휴면 기법을 제안한다. 본 논문에서는 제안 기법의 성능을 전력 소모량과 착신 호의 초기 응답 시간 측면에서 수학적으로 분석하였고 모의 실험을 통해 제안한 분석 모델을 검증하였다. 또한 기존 sleep 모드와 제안 기법의 성능을 모의 실험을 통해 비교하여 제안 기법은 기존 sleep 모드에 비해 수용 가능할 만큼의 초기 응답 시간을 증가시키지만 전력 소모량을 보다 많이 줄일 수 있다는 것을 검증하였다.

**Key Words** : 802.16e 시스템, 휴면 모드, 성능 분석, 전력 모드.

### ABSTRACT

In this paper, we propose and analyze the optimized sleep mode for a mobile node (MN) in IEEE 802.16e wireless metropolitan area networks. Because a MN in a sleep mode specified in 802.16e specification should maintain state information with the base station currently attached, it must renew sleep state with a new base station after handover which leads to unnecessary waste of battery power. Noting that the mobility pattern of a MN is independent of call arrival patterns, we propose an optimized sleep mode to eliminate unnecessary standby period of a MN in sleep state after handover. We also propose an analytical model for the proposed scheme in terms of power consumption and the initial call response time. Simulation studies that compare the performance between the sleep mode and the optimized sleep mode show that our scheme marginally increases initial call response delay with the huge reduction in power consumption.

### 1. 서론

IEEE에서는 셀의 크기가 이동 전화 망과 유사한 광대역 무선 접속 표준인 802.16d 표준<sup>[1]</sup>을 이동성

지원이라는 측면에서 개선하여 사용자들이 고속 (최대 120km/h)으로 이동하는 환경에서도 광대역 데이터 서비스가 가능한 802.16e 표준을 최근에 확정하였다<sup>[2]</sup>. 이에 따라 국내에서는 802.16e 표준에 기반

\* 수원대학교 IT대학 인터넷정보공학과 (jaesungpark@suwon.ac.kr), \*\* 계명대학교 공과대학 전자공학과 (bkim@kmu.ac.kr)  
 논문번호 : KICS2006-04-169, 접수일자 : 2006년 6월 20일, 최종논문접수일자 : 2007년 3월 8일

을 둔 WiBro (Wireless Broadband) 시스템의 상업화가 금년 내로 이루어질 전망이다, 국제적으로는 WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) 포럼<sup>[3]</sup>을 중심으로 시스템 프로필을 (profile) 작성하여 802.16e 시스템의 국제적인 확산을 도모하고 있다.

비록 802.16e 표준은 확정되었으나 표준 규격은 아직 다중 접속 방법만을 명세하고 있으며, 자원 관리, 호 수락 제어 등 망의 제어 및 관리에 관한 상세한 기법들은 정의하지 않고 모두 구현 이슈로 남겨 두고 있어 성공적인 상용화를 위해서는 이들에 대한 연구가 이루어져야 한다. 이중 특히 이동 단말은 배터리 파워의 자원 제약성을 가지므로 802.16e 기반 시스템의 조속한 포설을 위해서는 단말의 전력 소모 최소화가 필요하다. 이에 따라 본 논문에서는 802.16e 단말의 저전력 기법을 분석하여 단말의 이동성에 따른 불필요한 전력 소모 요인을 찾아내고 이를 해결한 전력 소모 최적화 기법을 제안한다.

802.16e 표준에서는 휴면 (sleep) 모드를 기본 저전력 모드로 정의하고 있다. sleep 모드 단말은 항상 서빙 기지국 (Serving Base Station)과 접속 상태를 유지하고 있으므로 현재 셀 영역을 이동하여 새로운 기지국에 접속하게 되면 sleep 모드를 종료하고(wakeup) 핸드오버 (Handover: HO) 과정을 수행한 후 새로운 기지국과 새로운 sleep 모드를 협상하게 된다. 즉, 단말은 HO 이후에는 이전 sleep 상태를 무시하며 새로운 sleep 상태로 천이하기 위해 일정 시간 (sleep 구동 시간) 동안 다운링크 (Downlink: DL) 트래픽을 모두 수신한 후 새로운 트래픽이 없는 경우 새로운 기지국에 sleep 상태 천이를 요구한다. 그러나 단말의 이동은 트래픽 발생과 무관하므로 sleep 상태의 단말은 HO 이후에도 sleep 상태를 지속할 확률이 매우 높다. 따라서 802.16e 표준 sleep 모드는 HO 이후 불필요한 DL 트래픽 수신 및 sleep 파라미터 초기화로 인해 불필요한 전력을 소모하게 되어 이동 단말에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 이와 같은 sleep 모드의 비효율성을 극복하기 위한 최적 sleep 모드를 제안한다. 제안 기법은 단말이 HO 할때 HO 이후에도 기존 sleep 상태를 유지하겠다는 의도를 HO 과정에서 기지국에 전달하여 이전 기지국과 새로운 기지국 사이에 단말의 sleep 상태 정보를 교환하게 한다. 새로운 기지국은 단말과 HO 절차를 종료한 후 단말에게 sleep 상태로 즉시 천이 하라는 메시지를 전송함으로써 불필요한 DL 디코딩과 sleep 상태 초기화

를 야기하지 않는다. 제안 기법은 HO에 필요한 메시지에 새로운 인자를 추가하기 때문에 구현의 복잡성을 증가시키지 않으며 802.16e 표준에 기고하여<sup>[9]</sup>, Vanover의 기고<sup>[10]</sup>와 함께 802.16e 최종 표준<sup>[2]</sup>에 채택되었다.

본 논문에서는 제안 기법의 타당성을 검증하기 위한 수학적 분석 모델을 제안하고 모의실험을 통한 sleep 모드와의 성능 분석을 통해 제안 기법의 우수성을 검증한다. 현재까지 802.16e sleep 모드에 대한 성능 분석은 Xiao의 연구<sup>[4]</sup>가 유일하다. 그러나 [4]는 호 발생을 만을 고려하고 있으므로 단말의 이동성이 전력 소모량에 미치는 영향을 알려주지 못한다. 따라서 본 논문에서는 사용자의 이동성, 호 사용율 및 sleep 운영 파라미터들을 모두 고려하여 제안 기법의 성능을 전력 소모 측면과 초기 응답 시간의 측면에서 분석하고 모의 실험을 통해 타당성을 검증하였다. 모의 실험 결과 제안 기법은 sleep 모드에 비해 단말의 이동성이 큰 경우 초기 응답 시간을 증가시키지만 증가량은 최대 0.3초 정도로서 수용가능하며 트래픽 발생 빈도수가 낮은 경우 전력 소모량을 최대 36배 절감할 수 있었다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 802.16e 표준에 정의된 sleep 모드의 동작을 설명하고 단말이 이동하는 경우 sleep 모드의 비효율성을 분석한다. 3장에서는 이동 환경에서 sleep 모드의 전력 소모 최적화를 위해 본 논문에서 제안하는 최적 sleep 모드를 기술한 후 4장에서 제안 기법의 성능을 수학적으로 분석한다. 5장에서는 모의 실험을 통해 제안 기법과 sleep 모드와의 성능을 전력 소모와 초기 응답 시간 측면에서 비교한 후 6장에서 결론을 맺는다.

## II. Sleep Mode의 동작

그림 1은 802.16e 표준에서 기본 저전력 모드로 정의하고 있는 sleep 모드의 동작을 보여준다. 단말은 sleep 구동 시간 (Sleep Trigger Time: ST) 동안 송, 수신 트래픽이 없으면 현재 접속중인 기지국에 sleep 모드 전환을 요청한다 (MOB-SLP-REQ). 이때 단말은 sleep 모드 동작에 필요한 여러 파라미터들을 (최소 sleep 인터벌, 최대 sleep 인터벌, listening 인터벌 등) 기지국과 협상하게 된다. Sleep 모드로 천이한 단말은 sleep 인터벌과 listening 인터벌로 구성되는 sleep cycle을 반복하게 되며 (그림 1-(b)) sleep 인터벌 동안에는 송,수신 인터페이

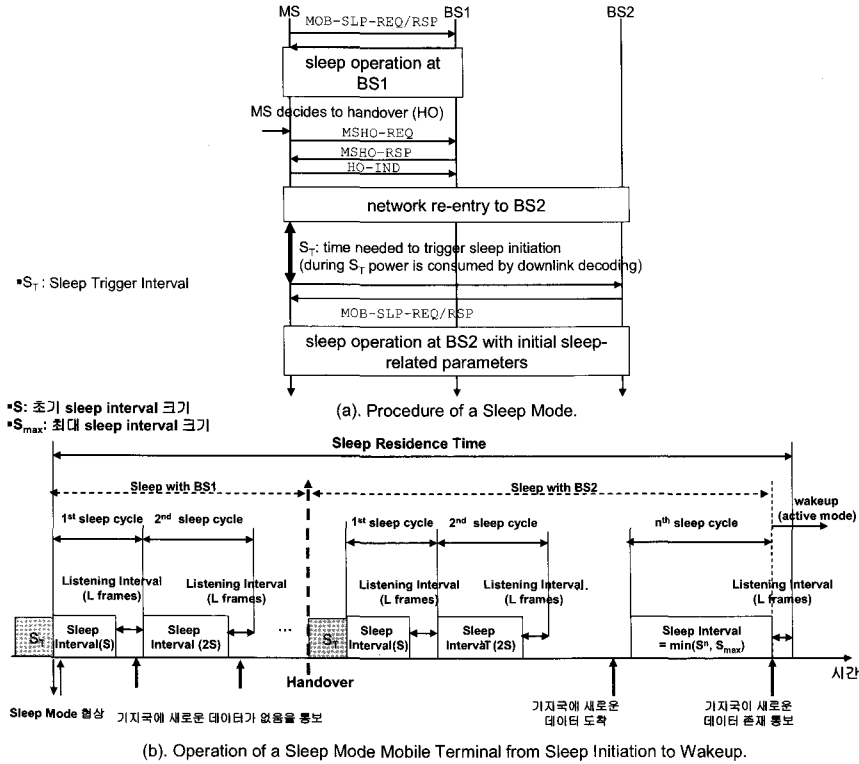


그림 1. Sleep Mode

스 전력을 차단하고 listening 인터벌 동안에는 기지국으로부터 새로운 데이터의 존재 여부를 통보받기 위해 DL 프레임을 수신한다. Listening 인터벌 동안 기지국으로부터 새로 수신할 데이터가 없다는 것을 통보 받으면 (negative notification) 단말은 다시 sleep 인터벌로 친이하며 이때 sleep 인터벌의 길이는 이전 sleep 인터벌의 2배와 협상된 최대 sleep 인터벌 중 작은 값으로 결정된다. 기지국으로부터 수신할 데이터가 있다는 것을 통보받은 단말은 sleep 모드를 중지하고 정상 모드로 전환된다 (wakeup).

단말이 이동하여 망에 접속하는 기지국이 BS1에서 BS2로 바뀌게 되면 (그림 1-(a)) 단말은 핸드오버 절차에 따라 새로운 기지국에 접속하게 된다. HO가 완료된 후 새로운 기지국은 단말이 이전 기지국에서 sleep 모드로 친이할 때 협상한 파라미터들을 알 수 없으므로 단말은 이전 기지국과의 sleep 모드를 종료하고 새로운 기지국과 또 다시 sleep 모드를 협상해야 한다. 즉, 단말은 HO할 때 마다 sleep 구동 시간 동안 DL 트래픽을 모두 수신하여

야 하며, 이 시간 동안 새로운 트래픽이 없는 경우 sleep 모드를 새로운 기지국에 다시 요청해야 한다. 따라서 sleep 모드는 단말이 HO할 때마다 DL 트래픽 수신과 sleep 인터벌 초기화를 야기시키므로 불필요한 전력 소모를 유발시킨다.

### III. 최적 Sleep Mode

그림 2는 제안 기법인 최적 sleep 모드의 동작을 나타낸다. 제안 기법은 단말의 이동성과 사용자의 호 사용 패턴은 무관하며 현재 sleep 상태인 단말이 HO 이후에도 sleep 상태를 유지할 확률은 매우 높다는 사실을 이용한다.

최적 sleep 모드는 sleep 모드와 같이 접속한 기지국에서 sleep 인터벌과 listening 인터벌을 반복한다 (그림 2-(b)). 그러나 다른 기지국으로 핸드오버하는 경우 새로운 기지국에게 핸드오버 이후에도 현재의 sleep 모드 상태를 지속할 것을 핸드오버 과정에서 필요한 RNG-REQ 메시지에 명시한다. 이후 새로운 기지국은 이전 기지국과 백본 메시지 교환

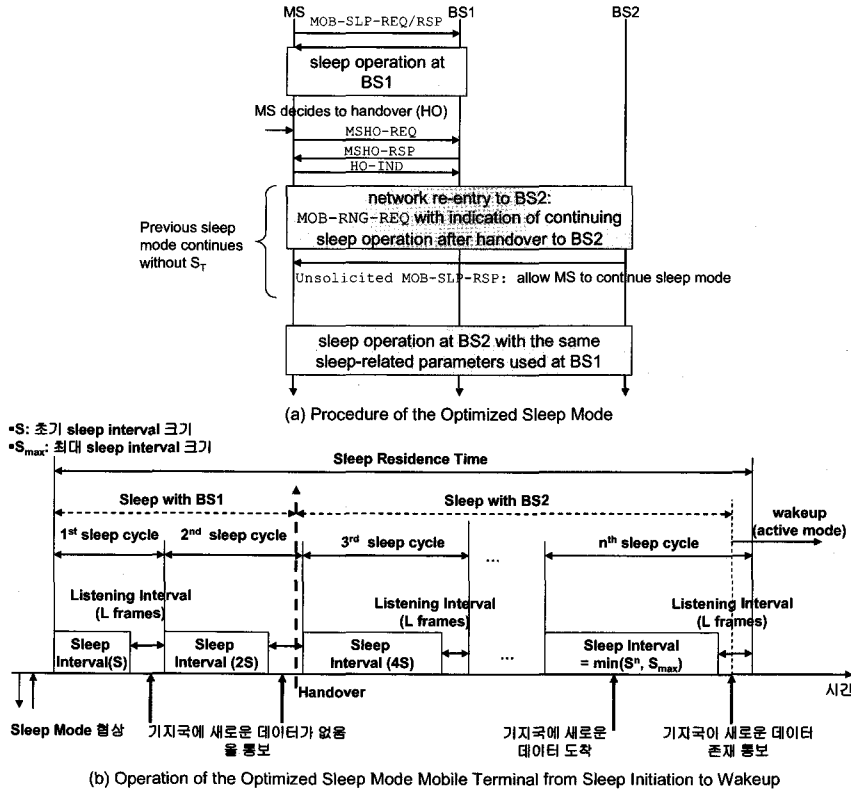


그림 2. 최적 Sleep Mode

을 통해 단말의 sleep 상태를 알게 되고 핸드오버 과정이 종료하는 즉시 unsolicited MOB-SLP-RSP 메시지를 단말에 전송하여 단말이 현재의 sleep 상태를 지속하도록 한다 (그림 2-(a)). 즉, 단말은 기존 sleep 모드와는 달리 핸드오버 이후에 sleep 구동 시간 동안 DL 트래픽의 존재 여부를 검사할 필요가 없으며 sleep 인터벌의 길이는 초기화 되지 않고 핸드오버 이전 sleep 인터벌의 2배와 sleep 모드 천이시 협상한 최대 sleep 인터벌 중 작은 값으로 설정된다.

따라서 제안 기법은 이동성과 트래픽 입력 특성을 분리함으로써 핸드오버 이후 불필요한 sleep 구동 시간을 제거하고 sleep 인터벌을 초기화 시키지 않으므로 단말의 배터리 소모량을 줄일 수 있다.

#### IV. 성능 분석

본 절에서는 제안한 최적 sleep 기법의 소모 전력과 초기 응답 시간을 수학적으로 분석한다. 초기

응답 시간은 sleep 중인 단말로 전송된 트래픽이 기지국에 도착한 후 단말에게 통보될 때까지의 시간으로 정의되며 망 사업자의 중요한 서비스 품질 요구 사항인 착신 지연을 구성하는 중요한 인자로서 sleep에 의한 전력 소모량과 상관관계를 가진다.

##### 4.1 소모 전력

3장에서 설명한 바와 같이 최적 sleep 모드 단말은 listening 인터벌에서 DL 트래픽 디코딩과 기지국 이동시 핸드오버 메시지 송수신을 위해 전력을 소모한다. 이들 각각의 소모 전력을  $C_{DL}$ 과  $C_{HO}$ 로 나타내면 제안 기법에 의한 단말의 소모 전력은 다음과 같이 주어진다.

$$C_{sleep-opt} = C_{DL} + C_{HO} \quad (1)$$

##### 4.1.1 DL 트래픽 디코딩 소모 전력

초기 sleep 인터벌의 크기를  $S$ , 최대 sleep 인터벌의 크기를  $S_{max}$ , listening 인터벌의 크기를  $L$ 이라

고 하면  $i$ 번째 sleep cycle의 크기는 다음과 같이 주어진다.

$$N_i = \begin{cases} 2^{i-1}S + L, & 2^{i-1}S < S_{\max} \\ S_{\max} + L, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

트래픽 입력율이 평균  $\lambda$ 인 포아송 분포를 따른다고 가정하고, 현재 sleep cycle에서 새로운 데이터의 도착 여부를 나타내는 인디케이션 (indication) 함수를  $I$ 로 표시하면,  $i$ 번째 sleep cycle에서 최소한 한번 이상 데이터가 도착할 확률은  $(\Pr(I_i = 1)) 1 - e^{-\lambda N_i}$ 가 되므로 단말이  $i$ 번째 sleep cycle에서 wakeup하게 될 확률은 다음과 같이 유도된다.

$$\Pr(i) = \Pr(I_1 = 0; I_2 = 0; \dots; I_i = 1) \quad (3)$$

$$= e^{-\lambda \sum_{j=1}^{i-1} N_j} (1 - e^{-\lambda N_i}).$$

단위 프레임 시간 (5msec) 동안 다운링크 트래픽 수신을 위해 필요한 전력을  $C_i$ 이라고 하면 모든 sleep cycle에서 listening 인터벌의 길이는 동일하므로 단말이 wakeup 할 때까지 다운링크 트래픽 수신에 의한 평균 소모 전력은 다음과 같이 구해진다.

$$C_{DL} = \sum_{j=1}^{\infty} \left( \sum_{k=1}^j L \cdot C_k \right) \cdot \Pr(j). \quad (4)$$

#### 4.1.2. 핸드오버를 위한 소모 전력

핸드오버에 필요한 소모 전력을 구하기 위해서는 단말의 핸드오버율을 ( $p_{HO}$ ) 이용한다. 기존 단말의 이동성 모델에 관한 연구를 통해 단말이 셀에 머무는 평균 시간은 단말의 이동 속도와 이동 방향 및 셀의 반지름에 대한 함수라는 것을 알 수 있다 [6][7][8]. 예를 들어 셀 환경이 균일한 경우 단말이 핸드오버할 때 이동 방향을  $[0, 2\pi)$ 에서 동일하게 결정하면 단말의 평균 셀 거주시간과 ( $T_h$ ) 단말의 이동 속도 및 셀 반지름 사이에는 식 (5)와 같은 관계가 성립한다[7].

$$E[T_h] = \frac{\pi R}{2E[v]}. \quad (5)$$

여기서  $R$ 은 셀의 반지름을 나타내며,  $E[v]$ 는 단말의 평균 이동속도이다. 따라서 단말의 핸드오버율은  $p_{HO} = 1/E[T_h]$ 이 되고, 식 (2) 와 식 (3)에 의해 단말이 sleep 상태로 천이하여 wakeup할 때 까지 평

균 시간은 다음과 같이 주어지므로

$$\bar{n} = \sum_{j=1}^{\infty} N_j \Pr(j), \quad (6)$$

단말이 wakeup할 때까지 평균 핸드오버 횟수는 다음과 같이 구해진다.

$$\bar{n}_{HO} = p_{HO} \cdot \bar{n}. \quad (7)$$

핸드오버를 위해 단말과 기지국 간 메시지 교환에 필요한 소모 전력을  $C_{ho}$ 라고 하면 단말이 sleep 모드로 천이하여 wakeup하는 동안에 핸드오버로 인해 발생하는 평균 소모 전력은 식 (8)과 같이 주어진다.

$$C_{HO} = \bar{n}_{HO} \cdot C_{ho}. \quad (8)$$

따라서 식 (4)와 식 (8)에 의해 sleep 모드 단말이 sleep 상태를 시작하여 wakeup할 때까지 소모하는 총 전력은 식 (9)와 같이 된다.

$$C_{sleep-opt} = \sum_{j=1}^{\infty} [jLC_j \Pr(j)] + \bar{n}_{HO} C_{ho}. \quad (9)$$

#### 4.2 최적 sleep Mode의 초기 응답 시간

최적 sleep 모드 단말의 초기 응답 시간은 새로운 데이터가 기지국에 도착한 시간과 단말의 sleep cycle에 의해 결정된다. 에어 구간의 패킷 손실이 없고, 기지국은 새로운 호의 첫번째 프레임을 수신 하면 해당 단말의 다음번 listening 인터벌에 이를 통보한다고 가정하면, 호 발생은 포아송 분포를 따르므로 길이  $N_i$ 인  $i$ 번째 sleep cycle의  $j$ 번째 frame 시간에 새로운 호가 기지국에 도착할 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$p_c(j) = e^{-(j-1)\lambda} (1 - e^{-\lambda}). \quad (10)$$

따라서 새로운 호가  $i$ 번째 sleep cycle에 도착한 frame 시간에 따라 초기 응답 시간은 다음과 같이 결정 된다 (그림 3).

case 1:  $1 \leq j < N_i - L$ 인 경우

기지국이 단말의  $i$ 번째 sleep 인터벌에 호를 수신하면 단말은  $i$ 번째 listening 인터벌의 첫번째 frame 시간에 새로운 호 도착 사실을 통보 받으므로 평균 초기 호 응답 시간은 다음과 같다.

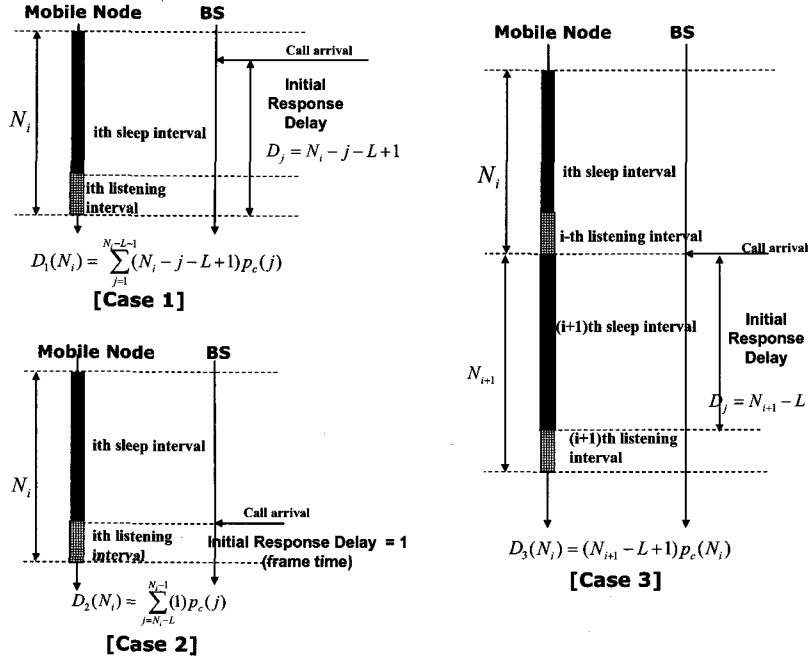


그림 3. 최적 Sleep Mode

$$D_1 = \sum_{j=1}^{N_i-L-1} (N_i - j - L + 1) p_c(j). \quad (11)$$

case 2:  $N_i - L \leq j < N_i - 1$  인 경우

새로운 호가 단말의 listening 인터벌에 도착하면 기지국은 바로 다음 frame 시간에 호 도착 사실을 통보하므로 이 경우 평균 초기 호 응답 시간은 다음과 같이 주어진다.

$$D_2(N_i) = \sum_{j=N_i-L}^{N_i-1} p_c(j). \quad (12)$$

case 3:  $j = N_i$  인 경우

호가 단말의 i번째 listening 인터벌의 마지막 frame 시간에 기지국에 도착하면 단말은 (i+1)번째 sleep 인터벌로 천이하여 기지국의 메시지를 수신할 수 없게 된다. 따라서 호 도착은 (i+1)번째 sleep cycle의 첫번째 listening 인터벌 frame 시간에 통보된다. 즉, 이 경우 평균 호 응답 시간은 다음과 같이 구해진다.

$$D_3(N_i) = (N_{i+1} - L + 1) p_c(N_i). \quad (13)$$

따라서 식 (3), (11), (12), (13)에 의해 최적 sleep 모드의 초기 응답 시간은 식 (14)와 같이 주어진다.

$$D_{call} = \sum_{i=1}^{\infty} (D_1(N_i) + D_2(N_i) + D_3(N_i)) Pr(i). \quad (14)$$

## V. 최적 Sleep Mode

본 절에서는 다양한 사용자 변수 및 시스템 변수 환경에서 모의 실험을 통해 제안 기법의 성능 분석 모델을 검증하고 전력 소모와 초기 응답시간 측면에서 제안 기법과 sleep 모드를 비교 평가 한다. 실험에 사용된 시스템 파라미터들은 표 1에 명시한 바와 같이 WiMax 포럼에서 논의 중인 값을 이용하였다.

현재 802.16e 표준을 따르는 상용화된 네트워크 인터페이스 카드는 없기 때문에 WLAN NIC에 대한 송,수신 전력 소모 연구<sup>[5]</sup>에 따라 UL 전송에 필요한 전력 소모 ( $C_s$ )와 DL 수신에 필요한 전력 소모 ( $C_r$ )의 비율을 동일하다고 가정하였다. 따라서 전력 소모는 프레임 송,수신 횟수에 비례하게 된다. 예를 들어 HO를 위해 레인징, 기능 협상, 사설 키 교환

및 등록을 위해 4번의 메시지 교환이 필요하므로  $C_{ho} = 8C_i$  이 된다. 그러나 향후 상용 NIC에 대한 전력 측정을 통해 이 비율은 변경될 수 있으며 변경된 값은 본 논문에서 제안한 분석 프레임워크에 쉽게 반영될 수 있다.

표 1. 모의 실험을 위한 파라미터들.

기호	의미	값
$S$	최소 sleep interval	2 (frames)
$S_{max}$	최대 sleep interval	1024 (frames)
$L$	listening interval	2 (frames)
$S_T$	sleep 구동 시간	variable
$C_i$	frame 수신 cost	1 (unit cost)
$C_s$	frame 송신 cost	1 (unit cost)
$R$	cell 반지름	1km

### 5.1 사용자 특성에 따른 전력 소모

그림 4는 하루 평균 호 발생율이 48회일 때 평균 셀 거주 시간에 따른 각 sleep 모드의 전력 소모를 보여준다. 셀 거주 시간에 영향을 많이 받는 기존 기법과는 달리 제안 기법의 경우 소모 전력은 셀 거주 시간에 거의 영향을 받지 않는다. 또한 기존 sleep 모드는 sleep 구동 시간이 길수록 평균 소모 전력도 증가하게 된다. 연속된 두 호 사이의 시간이 동일한 경우 셀 거주 시간이 작으면 (즉, 단말의 이동성이 큰 경우) HO 횟수가 증가하게 된다. 따라서 기존 sleep 모드의 경우 sleep 구동 시간으로 천이하는 빈도수가 높아지게 되고 이에 따라 전력 소모가 증가한다. 반면 제안 기법은 sleep 구동 구간이 없기 때문에 단말의 이동성이 높아지더라도

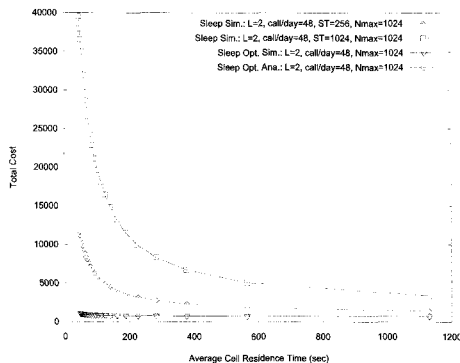
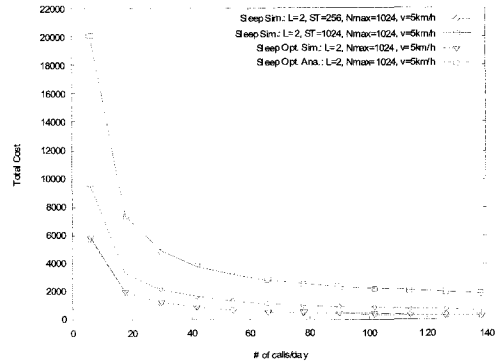


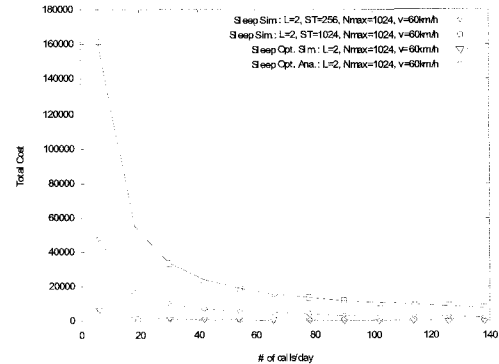
그림 4. 이동성에 따른 소모 전력 비교

소모 전력은 거의 증가하지 않게 된다.

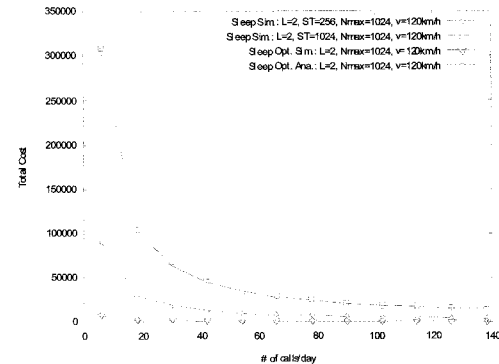
그림 5는 단말의 이동 속도와 호 발생 빈도에 따른 각 sleep 모드별 소모 전력을 보여준다. 본 논문에서는 단말이 sleep 모드로 천이한 후 wakeup할 때까지 소모하는 전력을 분석하였다. 따라서 호 발생 빈도가 커지면 연속한 두 호 사이의 구간이 짧아지므로 소모 전력은 감소하게 된다. 그림에서 보는 바와 같이 단말의 이동 속도와 무관하게 제안



(a) 저속 단말 (v=5km/hr)



(b) 중속 단말 (v=60km/hr)



(c) 고속 단말 (v=120km/hr)

그림 5. 호 사용율에 따른 소모 전력 비교

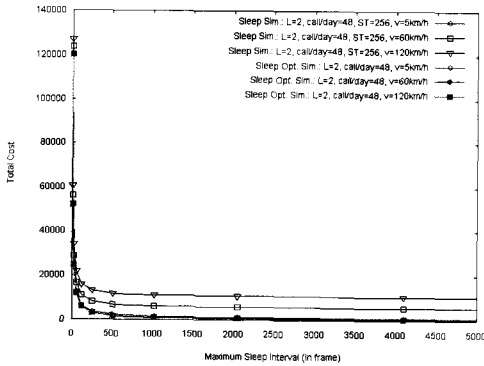


그림 6. 최대 sleep interval에 따른 소모 전력.

기법은 기존 sleep 모드 보다 전력 소모가 작다는 것을 알 수 있다. 특히 호 발생 빈도가 낮은 경우 (6calls/ day) 제안 기법은 sleep 구동 시간이 1024 frame 시간인 sleep 모드 보다 소모 전력을 최대 36배 절감할 수 있다. 또한 두 경우 모두에서 본 논문에서 제안한 분석 모델과 모의 실험 결과는 일치하는 것을 볼 수 있다.

### 5.2 시스템 파라미터의 영향

그림 6은 평균 호 발생율이 하루에 48호인 경우, 단말의 이동속도와 시스템 파라미터인 최대 sleep 인 터벌에 따른 소모 전력을 보여준다. 두 기법 모두 최대 sleep 구간이 증가하면 sleep cycle에서 listening 구간이 차지하는 비율이 상대적으로 감소하므로 소모되는 전력이 작아진다. 이 경우에도 sleep 구동 시간의 유무에 따라 최적 sleep 기법이 sleep 기법 보다 전력소모가 작다. 그러나 두 기법 모두 최대 sleep 구간이 어느 정도 이상이 되면 단말이 최대 sleep 구간만큼 sleep 하기 전에 wakeup 하게 되므로 전력 소모는 크게 줄어들지 않는다.

### 5.3 초기 응답 시간

그림 7은 각 기법별 초기 응답 시간의 변화를 보여준다. 초기 응답 시간은 sleep 상태에 있는 단말로 향하는 트래픽이 기지국에 도착한 후 이를 단말이 통지받을 때까지의 시간으로 정의된다. 기존 sleep 모드의 경우 단말의 sleep 구동 시간에 트래픽이 도착하면 기지국은 바로 다음 frame 시간에 이와 같은 사실을 단말에게 통보한다. 따라서 기존 sleep 모드의 경우 초기 응답 시간은 sleep 구동 시간에 반비례하는 반면 제안 기법은 sleep 구동 시간이 없으므로 새로운 트래픽의 통지는 단말이 listening

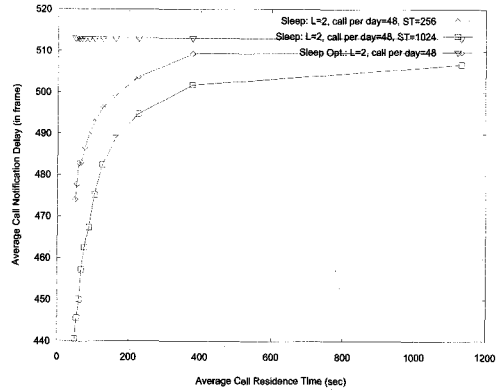


그림 7. 단말의 이동성에 따른 초기 응답 시간.

인터벌로 천이할 때에만 가능하다. 그러나 제안 기법과 기존 기법의 초기 응답 시간 차이는 그렇게 크지 않다. 예를 들어 그림 7에서 보는 바와 같이 sleep 구동 시간이 1024 frame 시간이고 평균 호 발생율이 하루 48회이며 평균 셀 거주 시간이 100 초인 경우 기존 기법의 초기 응답 시간은 440 frame 시간 (2.25초)인 반면 제안 기법은 513 frame 시간 (2.56초)으로서 차이는 0.31초 정도이다. 이동통신 망에서 호 착신 지연은 최대 10초인 점을 감안하면 최적 sleep 기법으로 인한 초기 응답 시간의 소폭 증가는 제안 기법의 장점인 전력 소모 절감을 상쇄하지 않는다.

## VI. 결론

본 논문에서는 단말의 이동성에 취약한 sleep 모드의 성능을 개선하기 위한 최적 sleep 모드를 제안 하고, 사용자 측면의 변수인 이동성, 호 사용 빈도와 시스템 변수인 최대 sleep 구간, listening 구간, 셀 반경을 고려한 수학적 분석 모델을 제시하였다. 또한 모의 실험을 통해 sleep 구동 시간의 제거로 인해 제안 기법은 고속단말의 경우 sleep 모드보다 초기 응답 시간이 다소 길어지지만 그 차이는 그리 크지 않으며, 모든 환경에서 제안 기법이 기존 sleep 모드 보다 단말의 전력 소모량을 줄일 수 있음을 검증하였다. 특히, 제안기법은 단말의 이동성이 높은 경우에 기존 sleep 모드보다 소모 전력이 보다 작다는 것을 보였다. 제안 기법은 또한 기존 802.16e 핸드오버 절차에 간단한 메시지를 추가함으로써 쉽게 구현이 되므로 추가적인 구현상의 어려움은 발생하지 않는다.



참 고 문 헌

[1] IEEE Std 802.16-2004, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Network - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems", 2004.

[2] IEEE Std 802.16e-2005, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Network - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems - Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Band and Corrigendum 1", 2006.

[3] The WiMax Forum, <http://www.wimaxforum.org>

[4] Y. Xiao, "Energy Saving Mechanism in the IEEE 802.16e Wireless MAN", *IEEE Communications Letters*, Vol 9., No. 7, pp. 295-297, July 2005.

[5] M. Stemm and R. Katz, "Measuring and Reducing Energy Consumption of Network Interfaces in Hand-held Devices" *IEICE Transactions on Communications* E80, No. 8, pp. 1125-1131, August 1997.

[6] K. L. Yeung and S. Nanda, "Optimal Mobile-Determined Micro-Macro Cell Selection" in the Proc. of IEEE PIMRC'95, pp. 294-299, 1995.

[7] Hai Xie and David J. Goodman, "Mobility Models and Biased Sampling Problem", in the Proc. of IEEE ICUPC'93, pp. 804-807, October 1993.

[8] Mahmood M. Zonoozi and Prem Dassanayake, "User Mobility Modeling and Characterization of Mobility Patterns", *IEEE JSAC* Vol. 15, No. 7, pp.1239-1252, September 1997.

[9] Beomjoon. Kim et al., "Sleep-Window Optimization for Handover", a contribution submitted to IEEE 802.16 TGe, Nov. 2004, available at [http://ieee802.org/16/tge/contrib/C80216e-04\\_435.pdf](http://ieee802.org/16/tge/contrib/C80216e-04_435.pdf).

[10] V. Yanover, et. al., "Sleep Mode Generic Mechanism", a contribution submitted to IEEE 802.16 TGe, Nov. 2004, available at [http://ieee802.org/16/tge/contrib/C80216e-04\\_459r2.pdf](http://ieee802.org/16/tge/contrib/C80216e-04_459r2.pdf).

박 재 성 (Jaesung Park)

정회원



1995년 2월: 연세대학교 전자 공학과 졸업  
 1997년 2월: 연세대학교 전자 공학과 석사  
 2001년 2월: 연세대학교 전기, 전자공학과 박사  
 2001년 3월~2002년 4월: U of M.

PostDoc.

2001년 3월~2002년 4월: U of M. PostDoc.  
 2002년 6월~2005년 2월: LG전자 선임연구원  
 2005년 3월~현재: 수원대학교 인터넷정보학과 전임강사  
 <관심분야> WiBro System, Mobility Management, Wireless Mesh Network

김 범 준 (Beomjoon Kim)

준회원



1996년 2월: 연세대학교 전자 공학과 졸업  
 1998년 8월: 연세대학교 전자 공학과 석사  
 2003년 8월: 연세대학교 전기, 전자공학과 박사  
 2003년 6월~2004년 1월: 연세대

학교 IT사업단 Post Doc.

2004년 1월~2006년 2월: LG전자 선임연구원  
 2006년 3월~현재: 계명대학교 전자공학과 전임강사  
 <관심분야> IEEE 802.16 Wireless MAN, IEEE 802.21 Media Independent Handover, TCP Enhancement