DBpia

IEEE 802.16e 단말의 저전력 모드 성능 평가에 관한 연구

정회원 박 재 성*, 준회원 김 범 준**

A Performance Analysis of Power Saving Modes on IEEE 802.16e Mobile Terminal

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

요 약

IEEE 802.16e 표준은 sleep 모드와 idle 모드의 두 저전력 모드를(power saving mode: PSM) 정의하고 있다. 이들은 모드 천이시 단말과 망간 상태 정보 유지 여부에 따라 소모 전력 측면에서 성능이 달라진다. 따라서 802.16e 단말의 전력 소모 최적화를 위해서는 각 기법의 성능에 영향을 주는 요소들을 모두 고려한 상세한 성능 분석이 필요하다. 본 논문에서는 단말의 이동성과 호 사용 빈도를 고려하여 소모 전력 측면에서 두 PSM의 성능 분석 모델을 제안하고, idle 모드가 전력 소모 측면에서 sleep 모드보다 우수하다는 것을 보인다. 또한 분석 결과와 모의실험과의 비교를 통해 제안한 분석 모델의 타당성을 검증하였다.

Key Words : sleep 모드, idle 모드, 802.16e 네트워크, 성능분석

ABSTRACT

IEEE 802.16e specifies two different power saving modes(PSM). One is sleep mode and the other is idle mode. These modes are different in that whether a mobile node maintains its state information with the serving base station or not. This difference results in different efficiency in consuming battery power of a mobile terminal. Therefore, it becomes important to analyze the performance of each power saving mode considering the parameters affecting the power consumption. In this paper, we propose a performance modeling framework of sleep mode and idle mode in terms of power saving efficiency. The analytical results are verified by computer simulations that idle mode is superior to sleep mode in power consumption of mobile node.

Ⅰ. 서 론

최근 IEEE에서는 셀의 크기가 이동 전화 망과 유사한 광대역 무선 접속 표준인 802.16d 표준[1]을 이동성 지원이라는 측면에서 개선하여 사용자들이 고속(최대 120km/h)으로 이동하는 환경에서도 광대역의 데이터 서비스가 가능한 802.16e 표준을 확정하였다[2]. 이에 따라 국내에서는 802.16e 표준에 기반을 둔 WiBro(Wireless Broadband) 시스템의 상업화가 금년 내로 이루어질 전망이며, 국제적으로는 WiMax(Worldwide Interoperability for Microwave Access) 포럼[3]을 중심으로 시스템 프로파일을(profile) 작성하여 802.16e 시스템의 국제적인 확산을 도모하고 있다.

그러나 비록 802.16e 표준이 확정되었으나 이는 오직 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 있다. 따라서 802.16e 기반 시스템의 성공적인 상업화를 위해서는 각 요소 기법들의 성능 분

* 수원대학교 IT대학 인터넷정보공학과 (jaesungpark@suwon.ac.kr), ** 계명대학교 공과대학 전자공학과 (bkim@kmu.ac.kr)
논문번호 : KICS2006-04-169, 접수일자 : 2006년 4월 13일, 최종논문접수일자 : 2006년 7월 27일

www.dbpia.co.kr

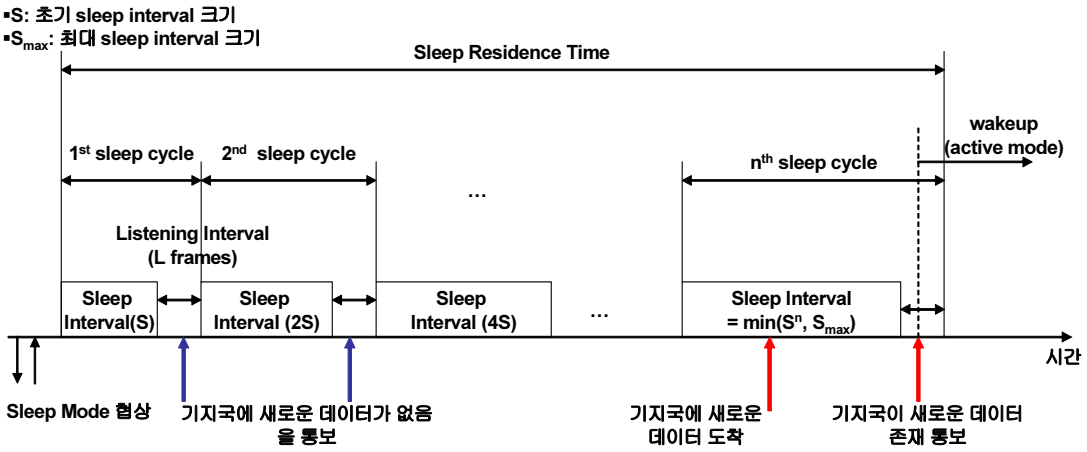


그림 1. sleep 모드 단말의 동작

석, 설계, 개발 및 최적화에 대한 연구가 조속히 이루어 져야 하지만 이들에 관한 연구 결과는 미흡한 실정이다. 특히 이동 단말은 베터리 파워의 자원 제약성을 가지므로 단말의 전력 소모 최적화 기법은 802.16e 기반 시스템의 조속한 포설을 위해 반드시 선행되어야 할 연구 분야이다. [4]에서는 처음으로 802.16e sleep 모드의 성능을 분석했으나 이 연구는 오직 사용자의 호 패턴에 관한 단순한 가정을 통해 간략한 성능 평가만을 하고 있다. 그러나 802.16e 표준에는 또 다른 저전력 모드(power saving mode: PSM)가 존재하며 이들의 효용성은 사용자의 호 사용 패턴뿐만 아니라 사용자의 이동 패턴 및 시스템 운영 파라메터에 따라서도 크게 영향을 받으므로 이들 모두를 고려한 종합적인 성능 분석이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 802.16e 표준에서 정의하고 있는 두 가지 저전력 모드인 sleep 모드와 idle 모드의 성능을 사용자의 이동성과 호 사용 패턴 및 시스템 파라메터 모두를 고려하여 분석한다. 이 두 모드는 송,수신 트래픽이 없는 구간에서 단말의 송, 수신 파워를 끔으로써 전력 소모를 줄이고 데이터 수신을 보장한다는 점에서 동일하지만 망과의 연결 유지 여부와 이동성 지원 측면에서 다음과 같은 차이점을 보인다. Sleep 모드의 경우 망과 단말은 상태 정보를 유지하며 단말이 기지국을 이동할 때 마다 단말은 망과 sleep 상태를 재협상하는 반면, idle 모드 단말은 망과의 연결 상태를 모두 해지하므로 다수의 기지국으로 구성되는 페이징 영역을 이동할 경우에만 위치 갱신을 하게 된다.

이처럼 망과의 상태 정보 유지 여부에 따라 다르게 동작하는 두 PSM은 사용자의 호 사용 패턴과 이동 특성에 따라 상이한 성능을 나타내게 되므로, 이들 특성을 고려한 PSM 선택 방법이 필요하게 된다. 따라서 본 논문에서는 전력 소모 절감의 측면에서 두 PSM의 분석 기법을 제안하고 이를 통한 성능 평가를 통해 두 기법의 근본적인 상반관계를 분석한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 IEEE 802.16e 표준에서 정의된 sleep 모드와idle 모드의 동작을 설명하고 3장에서는 각 모드의 성능을 소모 전력 측면에서 수학적으로 분석한다. 4장에서는 모의 실험을 통해 분석 모델의 정확도를 검증하고 두 PSM의 근본적인 상반관계를 밝힌 후 5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. IEEE 802.16e 저전력 모드

이 장에서는 802.16e 표준[2]에 정의된 두 PSM의 (sleep 모드와 idle 모드) 동작에 대해 간략하게 설명한다. 이들은 모드 천이시 망과의 접속 상태 유지 여부에 따라 구분되며, 단말의 이동 속도와 데이터 송/수신 빈도수에 따라 성능의 차이를 나타낸다.

2.1 Sleep Mode

그림 1은 단말이 sleep 모드 천이 후 active 모드로 복귀하는 동안(sleep residence time) 단말의 동작 상태를 나타낸다. Sleep 모드 천이를 결정한 단말은 우선 MOB-SLP-REQ 메시지를 현재 접속중인 기지국에 전송한다. 이때 단말은 sleep 모드 동작에 필요한 여러 파라메터들을(최소 sleep 인터벌, 최대 sleep 인터벌, listening 인터벌 등) 기지국과 협상하

www.dbpia.co.kr

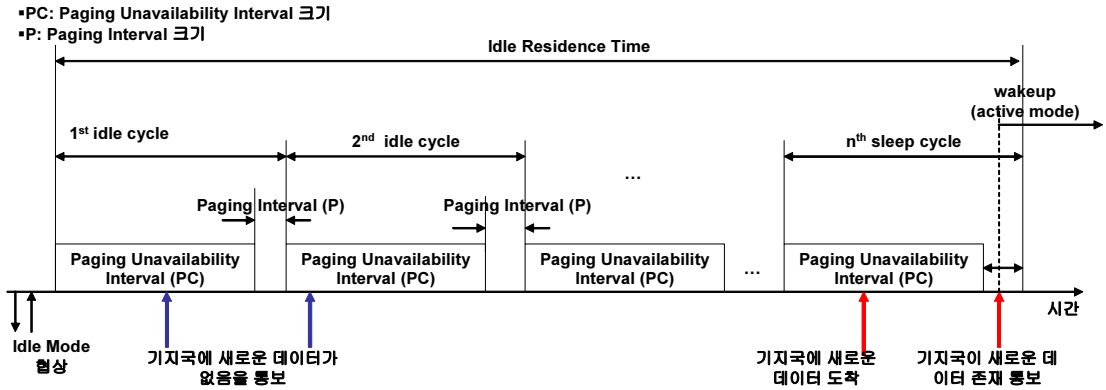


그림 2. idle 모드 단말의 동작

게 된다. Sleep 모드로 천이한 단말은 sleep 인터벌과 listening 인터벌로 구성되는 sleep cycle을 반복하게 되며 sleep 인터벌 동안에는 송,수신 인터페이스 전력을 차단하고 listening 인터벌 동안에는 기지국으로부터 새로운 데이터의 존재 여부를 통보받기 위해 수신기의 전력을 켠다.

만일 새로운 데이터가 존재하지 않는 경우 단말은 다시 sleep 인터벌 동안 sleep 하게 되고, 새로운 데이터가 존재하는 경우 단말은 sleep 모드를 종료하고 active 모드로 천이한다. 802.16e 표준에서는 listening 인터벌 이후 sleep 인터벌의 길이를 결정하는 방법 및 트래픽 종류에 따라 sleep 모드의 타입을 3가지로 정의하고 있다. 그러나 타입 2, 타입 3 sleep 모드는 기지국에서 새로운 트래픽을 통보하는 기능이 없고, sleep 중에도 데이터나 주기적인 제어 메시지 전송이 가능하므로[2] 본 논문에서는 idle 모드와의 공정한 비교를 위해 최선형 트래픽과 비실시간 가변 전송율 트래픽을 위한 타입 1 sleep 모드만 고려한다. 타입 1 sleep 모드의 경우 단말이 현재 sleep 모드를 유지하면 새로운 sleep 인터벌의 길이는 이전 sleep 인터벌의 2배수와 최대 sleep 인터벌 중 작은 값으로 결정된다.

2.2 Idle Mode

그림 2는 단말이 idle 모드로 천이한 후 기지국에서 새로운 데이터 도착을 통보 받아 active 상태로 천이하기 까지(idle-residence-time) 단말의 동작 상태를 보여준다.

단말이 idle 모드로 천이를 결정하면 단말과 망은 Paging 인터벌, Paging 사이클, Paging offset과 같이 idle 모드 동작에 필요한 파라메터들을 협상한다. 이후 단말은 송/수신 파워를 차단하는 페이징 불가구간과(paging unavailability interval) 새로운 데이터의 존재를 망으로부터 통보 받거나 혹은 위치 갱신(location update: LU) 요구를 망에 전송하기 위한 페이징 구간(paging interval)으로 구성되는 idle cycle을 wakeup할 때까지 반복하게 된다.

2.3 Sleep Mode와 Idle Mode의 차이점

sleep 모드와 idle 모드는 송,수신기의 전력을 차단하는 구간과 수신 트래픽의 유무를 통보받기 위해 다운 링크(downlink) 트래픽을 수신하는 구간을 반복한다는 점에서 동일하지만 구체적인 동작에 있어서는 다음과 같은 차이점을 가진다.

첫째, Sleep 모드의 경우 sleep cycle을 반복할 때 다음번 sleep 구간의 길이는 이전 sleep 구간의 2배로 증가하는 반면 idle 모드에서 페이징 불가 구간의 길이는 매 idle cycle마다 변화하지 않고 초기에 협상된 값을 사용한다. 두번째로 sleep 모드의 경우 단말은 항상 망과 상태 정보를 유지해야 하므로 기지국간 이동시 매번 핸드오버(handover: HO) 해야 한다. 따라서 sleep 모드 단말이 wakeup하는 경우 추가적인 절차 없이 기지국과 데이터 교환이 가능한 반면, idle 모드의 단말이 wakeup하여 데이터를 수신받기 위해서는 우선 망에 재진입 절차를 수행해야 한다. 이와 같은 동작의 차이는 idle 모드의 경우 단말의 정보는 sleep 모드에서와는 달리 기지국별로 유지되는 것이 아니라 다수의 기지국을 하나의 페이징 영역으로 관장하는 페이징 제어기에 의해 페이징 영역별로 관리되기 때문이다. 즉, 단말은 idle 모드로 천이하면 현재 페이징 영역의 위치 정보를 페이징 제어기에게 통보하고 망과의 연결상태를 해지한다. 따라서 단말이 동일 페이징 영역내의 기지국 사이를 이동하는 경우 단말은 핸드오버할

www.dbpia.co.kr

표 1. 성능 분석을 위한 기호들

기호	의 미
N_i	i번째 sleep cycle의 길이
M_i	i번째 idle cycle의 길이
λ	평균 호 발생율
p_{HO}	평균 handover율
p_{PA}	위치 갱신 확률
C_{HO}	sleep residence time 동안 handover에 의한 평균 소모 전력
C_{LU}	idle residence time 동안 위치 갱신에 의한 평균 소모 전력
C_{NR}	망 재진입을 위한 소모 전력
C_S	sleep residence time 동안 다운링크 트래픽 수신을 위한 평균 소모 전력
C_I	idle residence time 동안 다운링크 트래픽 수신을 위한 평균 소모 전력

필요가 없으며 오직 새로운 수신 데이터가 존재하는 경우에만 idle 모드에서 깨어나서 망과의 연결 획득을 위한 망 재진입 절차를 수행하게 된다.

Ⅲ. 성능 분석

본 장에서는 sleep 모드와 idle 모드의 성능을 전력 소모 측면에서 수학적으로 분석한다. 표 1은 이후 분석을 위해 사용된 기호들과 의미를 나타낸다.

3.1 Sleep Mode 성능 분석

2장에서 기술한 바와 같이 sleep 모드에서 단말의 전력은 listening 인터벌 동안 새로운 데이터의 존재 여부를 통보 받기 위한 경우와 헨드오버를 위해 메시지를 교환하는 경우에 소모된다. 즉, 단말이 sleep 모드로 동작하는 동안 소모하는 평균 전력을 P_S라고 하면 이는 다음과 같이 주어진다.

$$P_S = C_S + C_{HO} \tag{1}$$

1) sleep residence time 동안 다운링크 트래픽 수신을 위한 평균 소모 전력

초기 sleep 인터벌의 크기를 S, 최대 sleep 인터벌의 크기를 S_{max}, listening 인터벌의 크기를 L이라고 하면 i번째 sleep cycle의 크기는 다음과 같이 주어진다.

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

트래픽 입력율이 평균 λ인 포아손 분포를 따른다고 가정하고, 현재 sleep cycle에서 새로운 데이터의 도착 여부를 나타내는 인디케이션(indication) 함수를 I로 표시하면, i번째 sleep cycle에서 최소한 한 번 이상 데이터가 도착할 확률은 $1-e^{-\lambda N_i}$가 되므로 단말이 i번째 sleep cycle에서 wakeup하게 될 확률은 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} \Pr(i) &= \Pr(I_1 = 0; \ldots; I_{i-1} = 0; I_i = 1) \\ &= e^{-\lambda \sum_{j=1}^{i-1} N_j} (1 - e^{-\lambda N_i}) \end{aligned} \tag{3}$$

단위 프레임 시간(5msec) 동안 다운링크 트래픽 수신을 위해 필요한 전력을 C_{listen}이라고 하면 모든 sleep cycle에서 listening 인터벌의 길이는 동일하므로 sleep residence time 동안 다운링크 트래픽 수신을 위한 평균 소모 전력은 다음과 같이 구해진다.

$$C_S = \sum_{j=1}^{\infty} jLC_{listen} \Pr(j) \tag{4}$$

2) 헨드오버에 필요한 소모 전력

헨드오버에 필요한 소모 전력을 구하기 위해서는 단말의 헨드오버율을(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 알수 있다[7-9]. 예를 들어 동일 셀에서 동일한 이동 속도를 가지고, 셀 진입시 이동 방향이 균일한 경우 단말의 평균 셀 거주시간과(T_h) 단말의 이동 속도 및 셀 반지름과는 식 (5)와 같은 관계가 성립한다[7].

$$E[T_h] = \pi R / 2E[v] \tag{5}$$

여기서 R은 셀의 반지름을 나타내며, E[v]는 단말의 평균 이동속도이다. 따라서 단말의 헨드오버율은 $p_{HO} = 1/E[T_h]$이 되고 식 (2)와 (3)에 의해 단말이 sleep 상태로 천이하여 wakeup할 때까지의 평균 시간은 다음과 같이 주어지므로

$$\bar{n} = E[i] = \sum_{j=1}^{\infty} N_j \Pr(j) \tag{6}$$

단말이 wakeup할 때 까지 평균 헨드오버 횟수는 $\overline{n_{HO}} = p_{HO} \cdot \bar{n}$이 된다.

헨드오버를 위해 단말과 기지국 간 메시지 교환에 필요한 소모 전력을 C_{ho}라고 하면 단말이 sleep residence time 동안 헨드오버로 인해 소모하는 평

www.dbpia.co.kr

균 전력은

$$C_{HO} = \overline{n_{HO}} \cdot C_{ho} \tag{7}$$

가 된다.

식 (4)와 식 (7)에 의해 sleep 모드 단말이 sleep residence time 동안 소모하는 총 전력은 식 (8)과 같이 구해진다.

$$P_S = \sum_{j=1}^{\infty} jLC_{listen} \Pr(j) + \overline{n_{HO}} C_{ho} \tag{8}$$

3.2 Idle Mode 성능 분석

Idle 모드의 단말이 idle residence time 동안 소모하는 전력은 페이징 구간에서 수신 트래픽 존재 여부를 통보받기 위한 다운링크 디코딩 전력, 페이징 영역 갱신을 위한 위치 갱신 전력 및 wakeup하는 순간 망 재진입을 위한 전력이다. 즉, idle 모드에서의 평균 소모 전력을 P_I라고 하면 이는 다음과 같이 주어진다.

$$P_I = C_I + C_{LU} + C_{NR} \tag{9}$$

1) idle residence time 동안 다운링크 트래픽 수신을 위한 평균 소모 전력

페이징 구간의 길이와 페이징 불가 구간의 길이를 각각 P와 PC로 나타내면 idle cycle이 증가하더라도 이 값들은 변하지 않으므로, i번째 idle cycle의 길이는 다음과 같이 주어진다.

$$M_i = P + PC \tag{10}$$

Sleep 모드에서와 같이 호 도착 프로세서를 평균 λ인 포아손 프로세서로 가정하고, 임의의 idle cycle에서 새로운 데이터가 한번 이상 도착한 사건을 인디케이션 함수 I로 나타내면 i번째 idle cycle에서 트래픽이 발생할 확률은 다음과 같이 구해지고

$$\Pr(I_i = 1) = 1 - e^{-\lambda M_i} \tag{11}$$

이에 따라 단말이 i번째 idle cycle에서 wakeup할 확률은 식 (12)와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \Pr(i) &= \Pr(I_1 = 0; \ldots; I_{i-1} = 0; I_i = 1) \\ &= e^{-\lambda(i-1)(PC+P)}(1 - e^{-\lambda(PC+P)}) \end{aligned} \tag{12}$$

따라서 idle residence time 동안 평균 idle cycle의 횟수는

$$\overline{m} = E[i] = \sum_{j=1}^{\infty} jPr(j) \tag{13}$$

이 되며, idle cycle에서 단위 프레임 시간 동안 다운링크 트래픽 수신에 필요한 전력은 sleep cycle listening 인터벌에서 다운링크 수신에 필요한 전력과 동일하므로 idle 구간에서 페이징 구간에 의해 소모되는 평균 전력은 다음과 같이 주어진다.

$$C_I = \sum_{j=1}^{\infty} (P \cdot C_{listen}) j \cdot \Pr(j) \tag{14}$$

2) 위치갱신을 위한 소모 전력

위치 갱신을 위한 소모 전력을 구하기 위해, 본 논문에서는 [5]에서 제시한 랜덤 워크(random walk) 이동 모델을 사용한다. 그림 3과 같이 다수의 셀들은 페이징 영역 단위로 통합되며, 한 페이징 영역에서 기지국들은 중심 셀에서의 거리에 따라 레벨-1, 레벨-2 등과 같이 그룹화되고 모든 페이징 영역들은 동일한 레벨 수를 가진다고 가정한다. 랜덤 워크 모델에서 사용자의 다음 위치는 $[0,2\pi)$에서 균일 하게 선택되므로 레벨-i 셀에 위치한 사용자의 이동 결과가 상위 레벨 셀(p_{up}^i), 하위 레벨 셀(p_{dn}^i), 동일 레벨 셀(p_{stay}^i)일 확률은 각각 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} &p_{up}^i = \frac{1}{3} + \frac{1}{6i},\ p_{dn}^i = p_{stay}^i = \frac{1}{3} - \frac{1}{12i},\ \text{if } i \neq 0 \\ &p_{up}^i = 1,\ p_{dn}^i = p_{stay}^i = 0,\ \text{if } i = 0 \end{aligned} \tag{15}$$

따라서 페이징 영역의 셀 레벨을 상태로 나타내면 단말의 이동은 마코프 체인(Markov Chain)으로 모델링 할 수 있으며 핸드오버율이 p_{HO}이므로 단말이 상위 레벨로 천이할 확률 $a_{i,i+1}$, 하위 레벨로 천이할 확률 $b_{i,i-1}$ 및 현재 레벨 셀로 이동할 확률 $c_{i,i}$은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} a_{i,i+1} &= p_{HO} \cdot p_{up}^i \\ b_{i,i-1} &= p_{HO} \cdot p_{dn}^i \\ c_{i,i} &= p_{HO} \cdot p_{stay}^i + (1 - p_{HO}) \end{aligned} \tag{16}$$

마코프 체인 모델에 따라 정상 상태에서 단말이 레벨 i 셀에 위치할 확률 π_i는

$$\pi_i = \prod_{j=0}^{i} \frac{a_{i-1,i}}{b_{i,i-1}} \pi_0 \tag{17}$$

이 되고, $\sum_{i=0}^{n} \pi_i = 1$이어야 하므로,

www.dbpia.co.kr

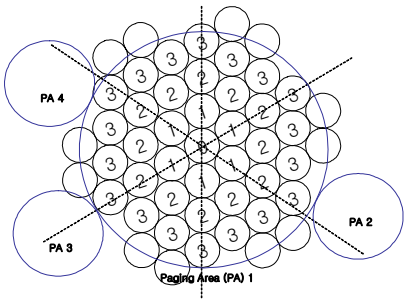


그림 3. 페이징 영역

$\pi_0 = 1/(1+\sum_{i=1}^{n}\prod_{j=0}^{i} a_{i-1,i}/b_{i,i-1})$이 된다.

각 페이징 영역의 최대 레벨을 n이라고 하면, 위치 갱신은 레벨-n에 위치한 단말이 이웃 페이징 영역의 레벨-n 셀로 천이하는 경우에 발생하므로 이웃 페이징 영역의 레벨-n 셀을 n'으로 나타내면 페이징 영역 변경 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$p_{PA} = \pi_n a_{n,n'} \tag{18}$$

따라서 평균 idle cycle $\overline{m}$ 동안 단말이 i번 위치 갱신할 확률은

$$p_l(i) = (\overline{m}_i) p_{PA}^i (1-p_{PA})^{\overline{m}} - i \tag{19}$$

이 되며 $\overline{m}$동안 평균 위치갱신 횟수는 다음과 같이 주어진다.

$$\overline{m_{LU}} = \sum_{j=1}^{\overline{m}} j p_l(j) \tag{20}$$

802.16e 표준은 단말이 페이징 영역을 바꾸지 않더라도 일정 시간이 지나면 자동으로 위치 갱신을 하도록 규정하고 있다. 위치 갱신 타이머를 T_l이라고 하면, 타이머 만료에 의해 위치 갱신이 발생하는 평균 회수는 다음과 같이 된다.

$$\overline{m_{LU}^t} = \lceil \overline{m}/T_l \rceil \tag{21}$$

여기서 $\lceil x \rceil$는 x를 넘지 않는 최대 정수를 나타낸다.

위치 갱신을 위해 기지국과의 메시지 교환에 필요한 소모 전력을 C_{lu}라고 하면 식 (20)과 식 (21)에 의해 idle residence time 동안 위치 갱신을 위한 평균 소모 전력은 식 (22)와 같이 구해진다.

$$C_{LU} = [\overline{m_{LU}} + \overline{m_{LU}^t}(1-p_{PA})^{T_l}] C_{lu} \tag{22}$$

표 2. 시뮬레이션 파라메터.

Item	Value
Smax(max. sleep interval)	1024 frames
L(listening interval)	2 frames
P(paging interval)	2 frames
PC(paging unavailability interval)	1024 frames
n(paging area level)	3

망 재진입에 필요한 소모 전력은(C_{NR}) 망 재진입 절차에 따라 단말과 기지국간 교환되는 메시지 수에 의해 결정되므로 식 (14)과 식 (22)에 의해 idle residence time 동안 단말이 소모하는 총 소비 전력은 다음 식과 같다.

$$P_S = \sum_{j=1}^{\infty}(PC_{paging}) j Pr(j) + [\overline{m} + \overline{m}(1-p_{PA})^{T_l}] C_{lu} + C_{NR} \tag{23}$$

Ⅳ. 모의실험 및 결과고찰

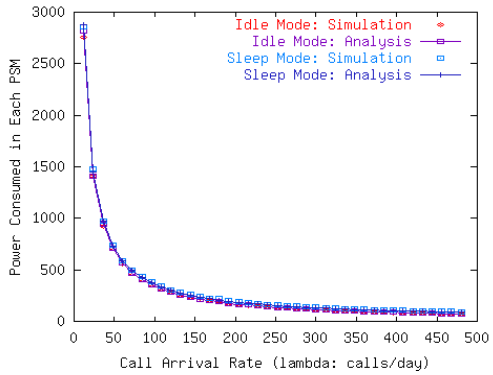
본 장에서는 모의 실험을 통해 sleep 모드와 idle 모드의 성능을 수학적 분석 결과와 비교하고, 단말의 이동성, 호 빈도수가 각 PSM 성능에 미치는 영향을 분석한다. 신뢰성 있는 모의실험을 위해 시스템 파라메터들은 표 2와 같이 WiMax 포럼에서 현재 논의 중인 값들을 사용하였으며[3] 셀 반지름은 1km로 가정하였다.

sleep 모드와 idle 모드에서 소모되는 전력을 (식 (8)과 식 (23)) 계산하기 위해서는 단위 프레임 시간 동안 다운링크 트래픽 수신을 위한 소모 전력(C_{listen}), 핸드오버 메시지 교환을 위한 전력(C_{ho}), 위치 갱신을 위한 메시지 교환 전력(C_{lu}) 및 망 재진입을 위한 메시지 교환 소모 전력(C_{NR}) 이 필요하다. 현재까지 802.16e를 기반으로 한 상업적인 네트워크 인터페이스 카드는 없으므로 WLAN에서의 측정 결과인 [6]에 따라 본 논문에서는 메시지 송/ 수신에 필요한 소모 전력을 단위 비용 1로 동일하다고 가정한다. 추후 이 값의 변동량은 제안한 분석 모델에 간단히 반영될 수 있다. 핸드오버와 위치 갱신 및 망 재진입을 위해서는 레인징, 기능 협상, 보안 및 등록 절차를 거치므로 [1][2] 이들은 C_{listen}보다 8배 많은 단위 비용이 소모된다.

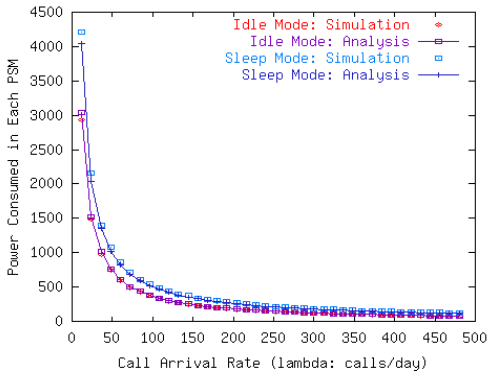
4.1 호 빈도수가 미치는 영향

그림 4는 sleep 모드와 idle 모드의 소모 전력을

www.dbpia.co.kr



(a) 저속 단말(v=5km/h).



(b) 고속 단말(v=120km/h).

그림 4. 호 사용빈도에 따른 PSM별 총 소모 전력.

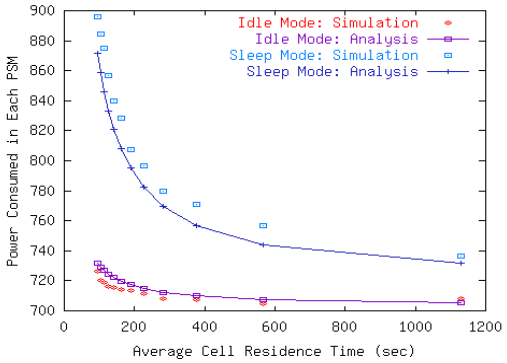


그림 5. 평균 셀 거주 시간에 따른 PSM별 총 소모 전력.

단말의 호 빈도수에 따라 도시한 것이다. 저속인 경우와 고속인 경우 모두 분석 결과는 모의 실험 결과와 일치하였다. 통화 빈도수가 높아짐에 따라 전력 소모는 작게 나타나며 이는 제안한 분석 모델이 sleep 모드 혹은 idle 모드로 천이한 후 wakeup 할 때까지 소모되는 전력을 나타내므로 호 빈도수가 커질수록 sleep/idle residence time이 작아지기 때문이다. 단말의 이동 속도가 높아지면 헨드오버 횟수가 증가하지만 셀간 이동시 이동 방향은 균일하게 선택되므로 헨드오버 횟수의 증가율이 위치 갱신 횟수의 증가율보다 커진다. 따라서 동일한 통화 빈도에 대해 단말의 이동 속도가 높을수록 idle 모드가 sleep 모드보다 전력 소모가 적다는 것을 볼 수 있다.

4.2 호 빈도수가 미치는 영향

그림 5는 평균 호 발생율이 48calls/day인 경우 단말의 평균 셀 거주 시간에 따른 각 PSM의 소모 전력을 보여 준다. 예상 결과와 마찬가지로 소모 전력은 idle 모드가 sleep 모드보다 항상 낮게 나타났으며, 소모 전력의 차이는 단말의 이동성이 클수록 즉, 평균 셀 거주 시간이 작을수록 크게 나타났다. 이와 같은 현상도 평균 셀 거주 시간이 작아지는 경우 헨드오버 빈도 수는 커지지만, 단말이 균일하게 이동 방향을 선정하므로 위치 갱신 횟수는 헨드오버 횟수만큼 증가하지 않기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.16e 표준에서 정의하고 있는 저전력 기법인 sleep 모드와 idle 모드의 성능 분석 모델을 제안하고 모의실험과의 비교를 통해 제안 모델의 성능을 검증하였다. sleep 모드의 경우 단말이 이동하면 망과의 상태 정보 유지를 위해 헨드오버를 해야 하는 반면 idle 모드의 경우 새로운 트래픽이 수신되어 wakeup 할때까지 저전력 모드를 유지하므로 동일 이동성과 호 발생율을 가진 단말의 경우 idle 모드로 동작하는 것이 전력 손실 면에서 유리하다. 그러나 idle 모드는 wakeup시 망에 재진입 절차를 거쳐야 하므로, 새로운 호의 착신 지연은 길어지게 된다.

본 논문에서는 사용자 파라메터와 시스템 파라메터가 PSM 성능에 미치는 관계를 분석하였다. 사용자별로 호 사용 빈도수와 이동 패턴은 다르지만 분석모델에 따라 시스템 파라메터를 조절하여 단말의 전력 소모량을 조절할 수 있다. 따라서 단말 전력 소모 최적화를 위한 알고리즘 개발을 위해 각 사용자 파라메터의 정확한 예측 및 이를 이용한 시스템 파라메터 제어 방법에 관한 연구를 수행중이다.

참 고 문 헌

[1] IEEE Std 802.16-2004, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Network - Part 16:

www.dbpia.co.kr

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", in the *IEEE Communications Letters*, Vol 9., No. 7, 2005, pp. 295-297.
〔5〕 I. F. Akyildiz and W. Wang, "A Dynamic Location Management Scheme for Next Generation Multitier PCS Systems", in the *IEEE Transactions of Wireless Communications*, Vol.1, No.1, 2002, pp. 178-189.
〔6〕 M. Stemm and R. Katz, "Measuring and Reducing Energy Consumption of Network Interfaces in Hand-held Devices" in the *IEICE Transactions on Communications* E80, pp.1125-1131, No.8, 1997.
〔7〕 K. L. Yeung and S. Nanda, "Optimal Mobile-Determined Micro-Macro Cell Selection", *IEEE PIMRC'95*, pp.294-299, 1995.
〔8〕 Hai Xie and David J. Goodman, "Mobility Models and Biased Sampling Problem", *IEEE ICUPC'93*, Ottawa, Canada, pp.804-807, Oct., 1993.
〔9〕 Mahmood M. Zonoozi and Prem Dassanayake, "User Mobility Modeling and Characterization of Mobility Patterns", *IEEE JSAC,* Vol.15, No.7, pp.1239-1252, Sept., 1997.

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.
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 연세대학교 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

www.dbpia.co.kr