

IEEE 802.16e에서의 에너지 절약을 위한 적응적 최소 수면 구간 결정 알고리즘

Adaptive Minimum Sleep Window Algorithm for Saving Energy Consumption in IEEE 802.16e

정 우 진* 이 태 진** 정 윤 원*** 정 민 영****
Woo Jin Jung Tae-Jin Lee Yun Won Chung Min Young Chung

요 약

IEEE 802.16e는 고속의 이동성을 지원하는 이동단말들의 전력소모를 최소화시키기 위하여 수면 모드(sleep mode)를 정의하고 있다. 수면 모드를 적용한 MSS(Mobile Subscriber Station)들은 수면 구간 사이에 존재하는 청취(Listening) 구간 동안 BS(Base Station)으로 부터 수신할 데이터 프레임이 존재하지 않는다는 메시지를 수신하면, 자신의 수면 구간 값을 이전 수면 구간 값의 두 배로 증가시킨다. 수면 구간 값이 최대 수면 구간 값에 도달하면, 수면 구간 값을 최대 수면 구간 값으로 고정함으로써 전력사용을 억제한다. 그러나 이러한 방식은 MSS가 최소 수면 구간 값에서 시작한 후 BS로부터 수신할 데이터 프레임이 존재하여 수면 모드를 종료할 때 까지 다수의 수면 구간과 청취 구간을 반복하게 되어 스위치 온, 오프에 의한 전력 소모 증가를 야기 시킨다. 본 논문에서는 MSS의 에너지를 효과적으로 사용하기 위하여 현재 수면 모드 종료 시 사용되었던 수면 구간 값을 다음 수면 모드의 최소 수면 구간 값으로 사용하는 최소 수면 구간 결정 알고리즘을 제안한다. 또한, 시뮬레이션을 통해 제안 방식과 기존 IEEE 802.16e 수면 모드 방식에 대하여 에너지 소모량 및 막힘확률에 대한 성능을 비교 평가한다. 제안하는 알고리즘은 기존 IEEE 802.16e 수면 모드 알고리즘과 비교하여 막힘확률은 동일한 성능을 보이나, 에너지 소모량은 약 30%의 절감효과를 보인다.

Abstract

IEEE 802.16e has adopted sleep mode to minimize energy consumption of mobile nodes with high speed mobility. If the Base Station (BS) has no data to be sent to a Mobile Subscriber Station (MSS) at the instant of ending sleep window of the MSS, the MSS increases its sleep window interval by double until the window interval reaches to the maximum sleep window interval. Thus, during the operation of sleep mode, MSS repeatedly performs switch on/off action until there exist frames to be received from BS. The switch on/off operation significantly consumes energy of MSS. To effectively deal with the energy of the MSS, this paper proposes an algorithm which decides the minimum sleep window interval that will be used in next sleep mode based on the current sleep window interval. We evaluate the performance of IEEE 802.16e sleep mode algorithm and our proposed algorithm in terms of energy consumption and blocking probability. Compared with the current sleep mode algorithm used in IEEE 802.16e, the proposed algorithm decreases the energy consumption by about 30% without increasing blocking probability.

☞ Key Words : IEEE 802.16e, MSS, BS, sleep mode

1. 서 론

* 정 회 원 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정 jwj0107@ece.skku.ac.kr

** 정 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부 부교수 tjlee@ece.skku.ac.kr

*** 정 회 원 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 조교수 ywchung@ssu.ac.kr

**** 종신회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 부교수 mychung@ece.skku.ac.kr(교신저자)

[2007/01/24 투고 - 2008/01/29 심사 - 2007/03/24 심사완료]

최근 이동전화 서비스와 초고속인터넷 서비스가 활성화되면서, 각 서비스의 장점인 이동성과 고속데이터 전송을 결합한 휴대 인터넷이 제안되었다[1]. 사용자들은 휴대 인터넷 기술의 등장에 따라 MP3, 카메라, 동영상 플레이어, PDA 등 다양한 모바일 컨버전스 제품의 확산과 서비스 제공을 기대하게 되었다[1][2].

사용자들의 기대에 부응하고 시장 창출을 하기 위하여 휴대인터넷 기술은 기존에 강조하던 이동 중 고속데이터 전송기술 뿐만 아니라 CDMA, DMB등과 연동하여 음성, 영상등의 실시간 멀티미디어 서비스를 제공하는 방향으로 기술적 진화를 하고 있다. 이런 기술적 진화는 사용자들에게 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하지만, 단말기의 에너지 소모를 증가시키는 문제를 부각시켰으며 이에 관련한 연구가 진행되어졌다[2]-[6].

IEEE 802.16e에서는 MSS의 에너지를 효율적으로 관리하기 위하여 수면 모드 알고리즘을 도입하였다[2]. MSS가 수면 모드(sleep mode)로 진입하게 되면 고정된 최소 수면 구간을 지난 이후, 현재 수면 구간 값을 이전 수면 구간 값의 두 배씩 증가시키고, 최대 수면 구간까지 이 과정을 반복한다. 현재 수면 구간이 최대 수면 구간 값에 도달하면, 수면 구간 값은 더 이상 증가하지 않고 최대 수면 구간 값으로 유지시켜 MSS의 전력소모를 줄이고 있다[3]-[6]. 또한 MSS는 각 수면 구간 사이에 BS로부터 전송되어질 프레임이 존재하는지 확인하는 청취(Listening) 구간을 두어 프레임이 존재하면, 수면 모드를 종료시키고 어웨이크 모드(awake mode)로 전환하여 프레임 수신을 시도한다[7][8].

Park등은 수면 모드 알고리즘을 채택한 IEEE 802.16e 시스템의 에너지 소모량과 막힘확률에 대한 성능을 평가하기 위하여 M/GI/1/K의 큐잉 기법을 도입하고, 시뮬레이션을 통하여 제안된 성능 평가 모델을 검증 하였다[3]. 그러나 현재 적용 중인 수면 모드에서는 다수의 수면 구간과 청취 구간이 반복될 경우, 에너지 사용량이 가장 큰 동작인 스위치 온/오프로 인하여 수면 모드동안 절약되는 에너지보다 소모되는 에너지가 더 증가하는 문제점이 있다[3][9].

본 논문에서는 MSS의 에너지를 보다 효율적으로 사용하기 위하여, 수면 모드 종료하는 시점의 수면 구간 값을 다음 수면 모드의 최소 수면 구

간 값으로 결정하는 최소 수면 구간 결정 알고리즘을 제안한다. 또한, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안 알고리즘과 IEEE 802.16e 수면 모드 알고리즘의 에너지 소모량, 막힘 확률 및 지연시간에 대한 성능을 비교, 분석 한다. 고정된 최소 수면 구간을 사용하는 기존 알고리즘과는 달리 제안 알고리즘은 현재 수면 모드에서 종료된 수면 구간 값과 어웨이크 모드로 전환하는 시점에서 BS에서 MSS로 전송할 데이터양을 이용하여 다음 수면 모드에서 사용될 최소 수면 구간을 현재 종료된 수면 구간 값 혹은 이전 수면 구간 값으로 결정한다. 제안 알고리즘은 MSS가 BS로부터 수신할 데이터의 발생시점까지 반복되는 스위치 온/오프 동작 횟수를 줄여 에너지 소모를 줄일 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IEEE 802.16e 수면 모드 동작방식에 대하여 설명하고, 3장에서 제안하는 알고리즘인 최소 수면 구간 결정 방법에 대하여 논의한다. 4장에서 IEEE 802.16e 수면 모드 알고리즘에 대해 수학적 분석 결과와 시뮬레이션 결과를 비교하여 타당성을 검증하고, 시뮬레이션을 통하여 제안하는 알고리즘과 기존 IEEE 802.16e 수면 모드의 에너지 소모량과 막힘확률에 대한 성능을 평가한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. IEEE 802.16e 수면 모드 알고리즘

IEEE 802.16e에서 MSS는 어웨이크 모드와 수면 모드의 두 가지 모드를 정의한다. 수면 모드는 수면 구간과 청취 구간으로 구성되어 있으며, 수면 구간은 BS로부터(BS로) 수신(송신) 할 패킷이 없는 MSS가 전력을 최소한으로 유지하는 시구간이고, 청취 구간은 각 수면 구간 사이에 BS로부터 수신할 패킷의 유/무를 확인하는 시구간을 나타낸다. 어웨이크 모드는 BS와 MSS가 데이터를 송/수신하는 구간으로, MSS가 청취 구간동안 BS로부터 수신할 패킷이 존재한다는 메시지를 받게 되면, 수면 모드를 종료하고 어웨이크 모드로 전

환한다.

그림 1은 IEEE 802.16e 시스템에서 수면 모드 동작방식의 예를 보여준다. MSS는 데이터 통신 종료로 알리는 플래그를 수신하면, 수면 모드로 전환하기 위하여 BS로 MOB_SLP-REQ(sleep request message) 메시지를 전송한다. BS는 MOB_SLP-REQ를 받은 이후, MSS의 수면 모드 시작시점과 최소 수면 구간(T_{min}), 청취 구간(L), 최대 수면 구간(T_{max})에 대한 정보를 포함한 MOB_SLP-RSP(sleep response message)를 MSS에게 전송한다. MSS는 MOB_SLP-RSP를 수신한 후 4 가지 변수를 시스템에 할당한다. 또한, MSS는 최소 수면 구간을 보내고, 고정된 청취 구간 동안 BS로부터 MSS로 전송 되어질 데이터가 존재하는 지 확인한다. 만약 데이터가 없으면 BS로부터 부정적 지시 메시지를 받게 되고, 이진 지수적으로 이전 수면 구간을 두 배 증가시켜 수면 구간을 보낸다. 만약 데이터가 존재한다면 BS로부터 긍정적 지시 메시지를 받게 되고, MSS는 수면 모드를 종료시킨 후 데이터 통신을 위하여 어웨이크 모드로 전환한다. MSS의 수면 구간이 최대 구간을 지나게 되면, 이진 지수적으로 증가하던 수면 구간을 최대 구간으로 유지시키며, MSS는 수신할 데이터가 있는지 주기적으로 관찰한다.

기존 IEEE 802.16e 수면 모드는 n 번째 수면 구간(T_n)을 다음과 같이 결정한다.

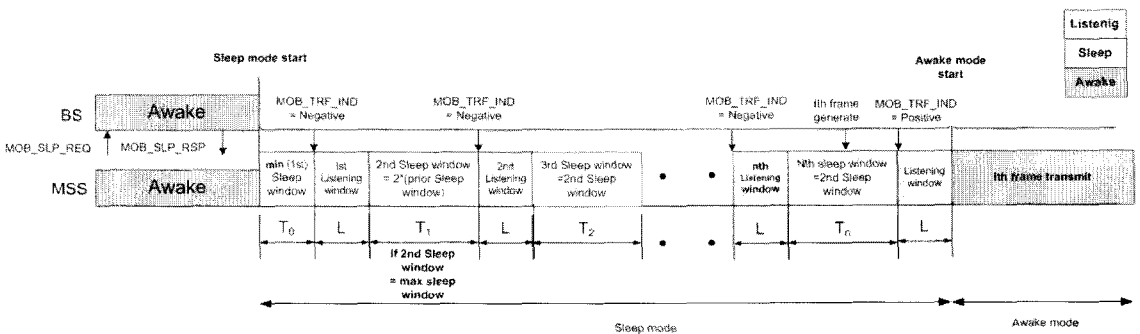
$$T_n = \min(2^n T_{min}, T_{max}) \quad (1)$$

여기서, $T_{min} \leq T_{max}$ 이다.

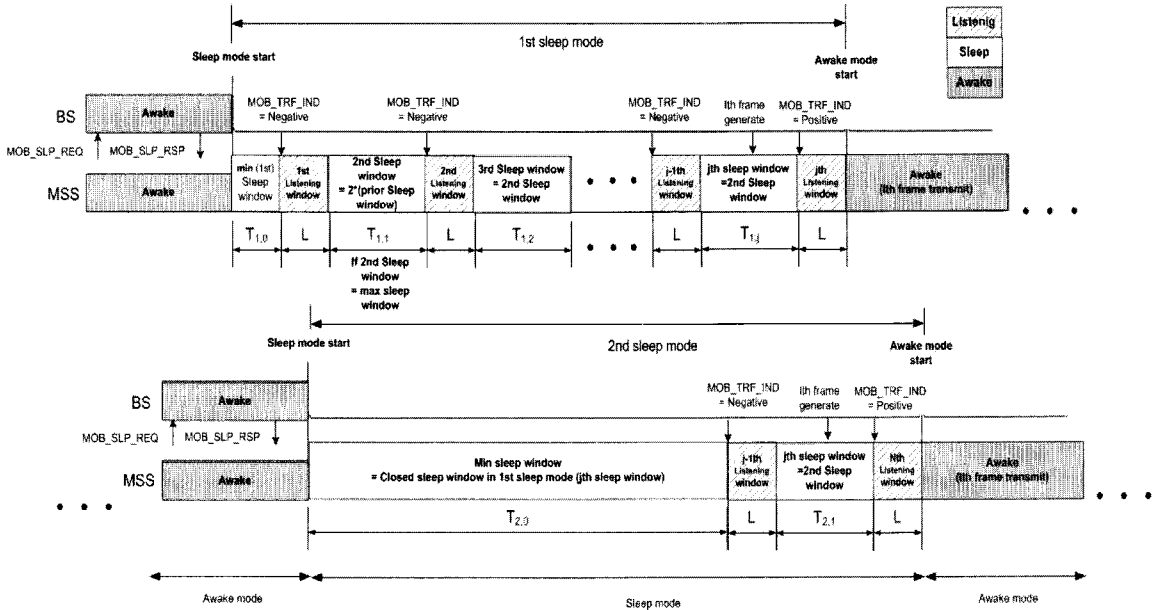
3. 제안하는 알고리즘

제안하는 알고리즘은 수면 모드와 어웨이크 모드를 IEEE 802.16e에서 도입한 수면 모드 알고리즘과 동일하게 사용하고, i 번째 수면 모드에서 사용하는 최초 수면 구간($T_{i,new,min}$)을 정의한다. $T_{i,new,min}$ 은 MSS의 수면 모드가 종료된 시점에서 BS로부터 MSS로 전송할 데이터 패킷의 개수가 한 개이면 이전 수면 모드에서 사용한 마지막 수면 구간으로 결정되고, MSS로 전송할 데이터 패킷의 수가 두 개 이상이면 이전 수면 모드에서 사용한 마지막 수면 구간의 이전 수면 구간으로 결정된다. 이 값은 수면 모드 종료 시 BS에서 설정되며, BS는 통신 종료 플래그를 수신한 MSS가 수면 모드로 전환하기 위하여 MOB_SLP-REQ 메시지를 보내면, MOB_SLP-RSP 메시지에 $T_{i,new,min}$ 을 표시하여 전송한다. 본 논문에서는 통신 종료 플래그를 기존 알고리즘과 제안하는 알고리즘에 동일하게 적용하며, 통신 종료 플래그는 구현이므로 다른 사항에 대해서는 고려하지 않는다.

그림 2는 제안하는 알고리즘의 동작과정을 나타낸다. MSS는 BS로부터 마지막 데이터 전송이라는 상황 플래그 1을 수신하게 되면 수면 모드로 전환할 것을 인지한다. MSS는 수면 모드로 전환하기 위하여 BS에게 MOB_SLP-REQ를 전달한다. MOB_SLP-REQ 메시지를 받은 BS는 MSS의



(그림 1) 기존 IEEE 802.16e 수면 모드 동작방식



(그림 2) 제안하는 알고리즘의 수면 모드 동작 방식

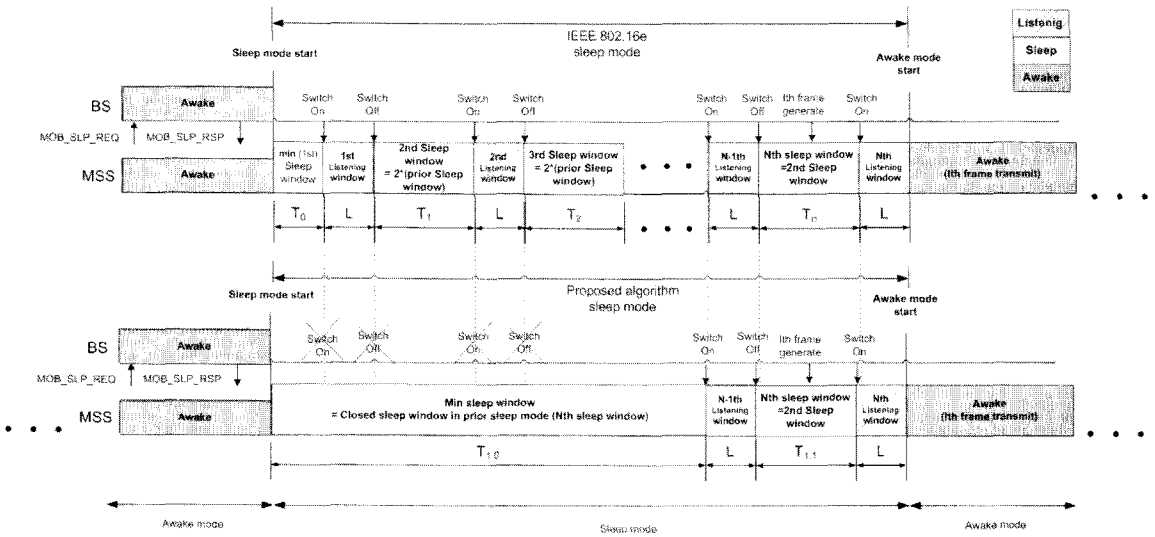
수면 모드 시작시점과 T_{min} , L , T_{max} 를 결정하며, T_{i,new_min} 을 MOB_SLP-RSP에 표시한 후 MSS에게 전송한다. MSS는 수면 모드로 전환하기 위하여 BS로부터 할당받은 5가지 매개변수를 시스템에 할당하며, T_{min} 을 보내고, 고정된 L 시간동안에 BS로부터 MSS로 보내질 데이터가 존재하는지 확인한다. 만약 데이터가 없으면 이전 지수적으로 수면 구간을 두 배씩 증가시킨다. 만약 데이터가 존재하여 L 에서 긍정의 MOB_TRF-IND 메시지를 받았을 경우, 수면 모드를 종료시키고 어웨이크 모드로 전환 후 통신한다. 이때, BS에서는 MSS로 전송할 데이터 패킷의 개수와 현재 수면 구간을 확인하여 다음 수면 모드에서 사용할 T_{i,new_min} 을 결정한다. BS는 상기 결정된 T_{i,new_min} 을 MOB_SLP-RSP 메시지에 포함하여 MSS로 전송한다. 제안한 알고리즘의 i 번째 수면 모드에서 n 번째 수면 구간은 다음과 같다.

$$T_{i,n} = \min(2^n T_{i,new_min}, T_{max}), \quad i = 1, 2, \dots \quad (2)$$

여기서, T_{i,new_min} 은 i 번째 수면 모드에서의 최소 수면 구간을 나타내며, $i-1$ 번째 수면 모드에서 어웨이크 모드로 변할 때 BS에서 MSS로 전송될 데이터 패킷의 수(M)와 수면 구간 j 에 따라 다음과 같이 결정된다.

$$T_{i,new_min} = \begin{cases} T_{min}, & i = 1, \\ T_{i-1,j} & i > 1, M = 1, \\ T_{i-1,j-1} & i > 1, M > 1. \end{cases} \quad (3)$$

위와 같이 제안하는 알고리즘은 MSS가 수면 모드로 전환한 후 BS로부터 수신할 데이터가 발생할 때까지 수면 구간과 청취 구간의 반복 횟수를 줄여 스위치 온/오프에 의한 에너지 낭비를 최소화 할 수 있다. 그림 3은 기존 알고리즘과 비교하여 제안하는 알고리즘 동작 예를 보여준다.

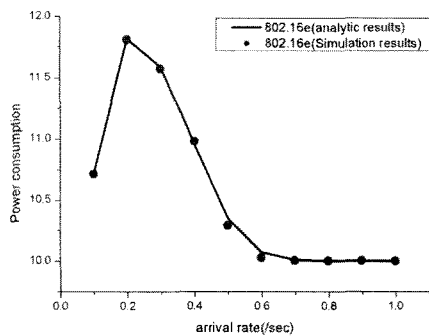


(그림 3) 기존 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 동작 과정 예

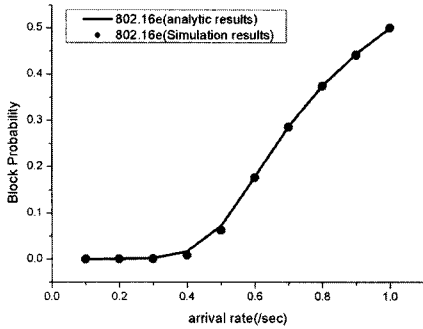
4. 성능평가

제안하는 알고리즘의 성능평가를 위해, BS에서의 입력 트래픽은 도착률이 λ 인 포아송 프로세스를 가정하였다. IEEE 802.16e TDD(Time Duplex Division) 프레임 길이는 5ms, 프레임 전송 시간은 2 프레임으로 가정한다. T_{min} 과 T_{max} 는 각각 2-16, 256-1024 사이에서 결정한다. L 은 2 프레임으로 가정한다. K 는 BS에서의 버퍼 크기로 5-25 사이에서 변화시키며, E_s , E_L , E_w 는 각각 수면 구간, 청취 구간, 어웨이크 모드에서 소모되는 에너지양에 대한 비로써 1:10:10으로 가정한다. $E_{on-switch}$ 는 수면 모드에서 수면 구간을 지나고 청취 구간으로 전환 될 때, 혹은 수면 모드를 종료하고 어웨이크 모드로 전환을 위하여 사용되는 에너지 소모량에 대한 비율이고, $E_{off-switch}$ 는 MSS가 수면 모드에서 청취 구간을 마치고 다시 수면 구간으로 진입 할 때 혹은 어웨이크 모드를 마치고 수면 모드로 전환할 때 소모되는 에너지양에 대한 비이다. $E_{on-switch}$ 와 $E_{off-switch}$ 는 E_s 를 기준으로 30:20으로 사용한다[3][4][11].

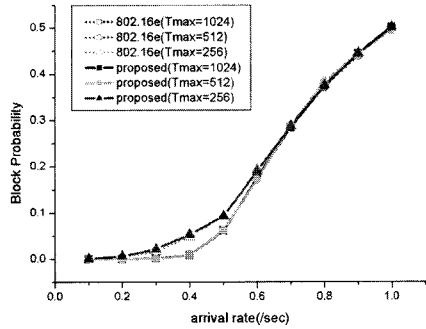
그림 4와 5는 $T_{min}=2$, $T_{max}=1024$, $K=10$ 일 때, 에너지 소모 및 막힘확률에 대한 해석적 결과와 시뮬레이션의 결과를 보여준다. 해석적 결과는 M/GI/1 큐잉 모델을 이용한 성능평가 모델을 참조하였다[3]. 결과에서 패킷 도착률이 0.1-0.2에서는 에너지 소모량이 증가한다. 이는 패킷 도착률이 증가함에 따라 수면 모드의 시구간이 급격히 감소하고, 어웨이크 모드의 시구간은 서서히 증가함에 따라 사이클(수면 모드의 시구간 + 어웨이크



(그림 4) 해석적 결과 및 시뮬레이션 결과(에너지 소모)



(그림 5) 해석적 결과 및 시뮬레이션 결과(막힘확률)

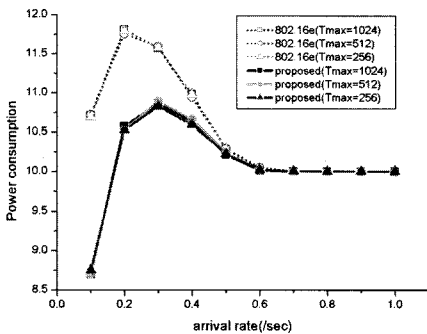


(그림 7) T_{max} 의 변화에 따른 막힘확률 ($T_{min}=2, K=10$)

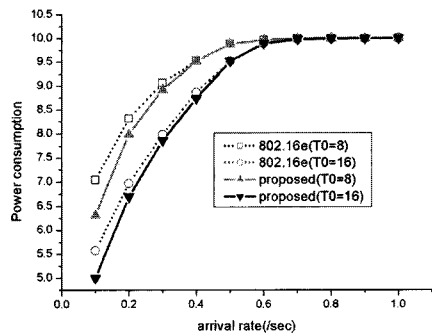
크 모드(의 시구간)이 짧아지게 되어, 에너지 소모량이 증가하는 특성을 보인다. 패킷 도착률 0.2-0.6 사이에서는 패킷 도착률이 증가하면서 수면 모드(의 시구간)는 짧아지지만 어웨이크 모드(의 시구간)는 급격히 증가함에 따라 사이클 시간이 길어지게 되어 에너지 소모량이 감소하는 특성을 나타낸다. 막힘확률은 수면 구간이 짧아지고, 어웨이크 모드(의 시구간)가 증가함에 따라 그 확률이 높아진다.

그림 6은 $T_{min}=2$ 와 $K=10$ 일 때, T_{max} 의 변화에 따른 에너지 소모량에 대한 시뮬레이션 결과이다. 제안하는 알고리즘의 에너지 소모량은 T_{max} 의 변화에 상관없이 기존 알고리즘보다 낮다. 고정된 T_{min} 을 사용하는 기존 알고리즘은 각 수면 모드

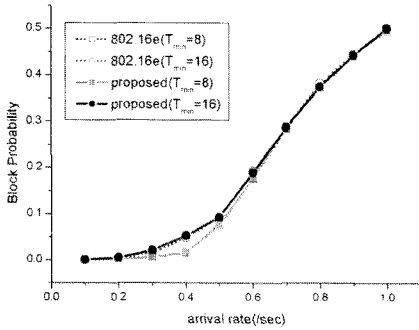
종료 시점까지 다수의 스위치 온/오프 동작이 반복되기 때문에 제안하는 알고리즘보다 에너지 소모량이 증가한다. 제안하는 알고리즘은 수면 모드로 전환한 이후 최소 수면 구간 값의 조정을 통하여 수면 모드 종료 시까지 다수의 스위치 온/오프 동작을 줄이기 때문에 기존 알고리즘과 비교하여 최대 30%의 에너지 소모량이 감소된다. 패킷 도착률이 0.5 이상부터는 기존 알고리즘과 제안하는 알고리즘 모두 어웨이크 모드에서 동작하므로 같은 결과를 보인다. T_{min} 과 K 가 각각 2, 10이고, T_{max} 를 변화시켰을 때의 막힘확률을 그림 7에서 보여준다. 패킷 도착률이 0.5이하에서는 MSS로 전송될 데이터량의 비율이 낮기 때문에



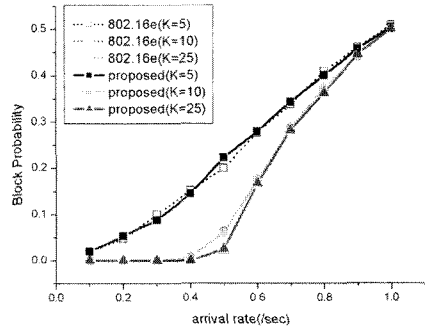
(그림 6) T_{max} 의 변화에 따른 에너지 소모량 ($T_{min}=2, K=10$)



(그림 8) T_{min} 의 변화에 따른 에너지 소모 ($T_{max}=1024, K=10$)



(그림 9) T_{min} 의 변화에 따른 막힘확률 ($T_{max}=1024, K=10$)



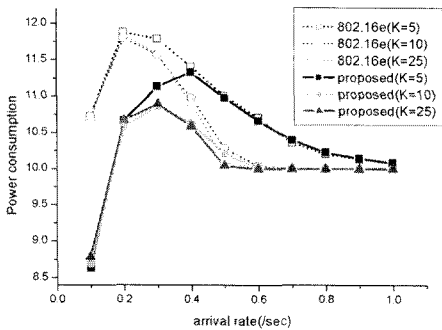
(그림 11) K의 변화에 따른 막힘확률 ($T_{min}=2, T_{max}=1024$)

두 알고리즘 모두 버퍼 오버플로우가 발생하지 않으나, 패킷 도착률이 0.5보다 높은 구간에서는 두 알고리즘 모두 어웨이크 모드에서 동작함으로써, 막힘확률이 증가한다. 제안하는 알고리즘은 동일한 막힘확률 환경아래 더 낮은 에너지 소모량을 보인다.

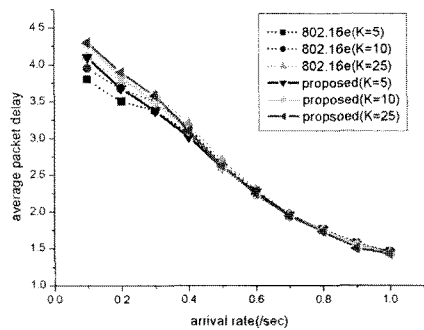
그림 8은 $T_{max}=1024, K=10$ 일 때, T_{min} 의 변화에 따른 에너지 소모량에 대한 시뮬레이션 결과이다. 기존 알고리즘과 제안하는 알고리즘은 T_{min} 이 증가함에 따라 스위치 온/오프의 횟수가 감소하기 때문에 전체 에너지 소모량이 감소된다. 그러나 제안하는 알고리즘은 $T_{i,new,min}$ 을 MSS로 전송되는 트래픽 양에 따라 결정하는 반면 기존 알고리즘

은 T_{min} 를 고정적으로 사용하게 되므로 트래픽 양에 적응적이지 못하는 단점이 있다. 그림 9는 $T_{max}=1024, K=10$ 일 때, T_{min} 의 변화에 따른 막힘확률을 보여준다. 기존 알고리즘과 제안하는 알고리즘은 T_{min} 이 증가함에 따라, 최소 수면 구간에서 누적되는 데이터의 양이 증가하는 특성이 같기 때문에 비슷한 성능을 보인다.

T_{min}, T_{max} 가 각각 2, 1024일 때, K의 변화에 따른 에너지 소모량 및 막힘확률은 그림 10과 11에서와 같이 나타난다. 기존 알고리즘은 패킷 도착률이 낮을 때 버퍼에 누적되는 데이터양이 적기 때문에 버퍼의 크기 변화에 영향을 받지 않는다. 패킷 도착률 0.4-0.5이상에서 기존 알고리즘은 수



(그림 10) K의 변화에 따른 에너지 소모량 ($T_{min}=2, T_{max}=1024$)



(그림 12) K의 변화에 따른 지연시간 ($T_{min}=2, T_{max}=1024$)

면 모드에서보다 어웨이크 모드에서 동작하는 시간이 증가하여 버퍼가 작을수록 데이터 전송 시간이 줄어들기 때문에 전체 사이클 시간이 줄어든다. 이는 에너지 소모량에서 많은 부분을 차지하는 수면 모드에서의 스위치 온/오프의 동작을 반복시켜 에너지 소모량을 증가시킨다. 제안하는 알고리즘은 반복되는 스위치 온/오프 동작의 횟수를 줄였기 때문에 버퍼의 크기에 상관없이 기존 알고리즘보다 최대 30%의 성능향상을 보인다. 그림 12는 $T_{min}=2$, $T_{max}=1024$ 일 때, K의 변화에 따른 평균 패킷 지연시간을 나타낸다. 최소 수면 구간을 증가시킨 제안하는 알고리즘은 패킷 도착률이 0.1-0.3사이에서 증가된 수면 구간만큼 BS에서 전송되지 못하는 데이터 패킷에 대한 지연시간이 증가되는 단점이 있다.

5. 결론

본 논문에서는 기존 IEEE 802.16e 수면 모드 동작 방식에서의 단점인 다수의 스위치 온/오프에 의한 에너지 낭비를 해결하기 위해 현재 수면 모드에서 종료된 수면 구간과 MSS가 수면 모드를 종료하고 어웨이크 모드로 전환하는 시점에서 MSS로 전송되어질 데이터양을 기반으로 최소 수면 구간 값을 결정하는 알고리즘인 적응적 최소 수면 구간 결정 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘의 성능 검증을 위해 기존 IEEE 802.16e와의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용해 비교 분석하였다. 에너지 소모 측면에서 제안하는 알고리즘은 기존 IEEE 802.16e 수면 모드 알고리즘과 비교하여 막힘확률은 동일한 성능을 보이고, 에너지 소모량은 최대 30%의 절감효과를 보였다. 제안하는 알고리즘에 대한 향후 연구 과제로는 패킷 도착률이 낮을 때 지연시간을 줄이는 방법에 대한 연구, 개발이 요구된다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2008년도 정부(과학기술부)의 재원

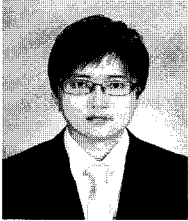
으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R01-2006-000-10402-0). 교신저자: 정민영.

참고 문헌

- [1] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems Oct. 2004
- [2] IEEE 802.16e/D5-2004, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems - Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1, Feb. 2006.
- [3] Park, Y. and Hwang, G. U., "Performance Modelling and Analysis of the Sleep Mode in IEEE 802.16e WMAN," in Proceedings of IEEE VTC, pp. 2801-2806, 2007
- [4] Zhang, Y. and Fuisse, M., "Energy Management in the IEEE 802.16e MAC," IEEE Communications Letters, Vol. 10, No. 4, pp. 311-313, 2006.
- [5] Xiao, Y., "Energy Saving Mechanism in the IEEE 802.16e Wireless MAN," IEEE Communications Letters, Vol. 9, No. 7, pp. 595-597, 2005.
- [6] Xiao, Y. "Performance Analysis of an Energy Saving Mechanism in the IEEE 802.16e Wireless MAN," in Proceedings of IEEE CCNC, Vol. 1, pp. 406-410, 2006.
- [7] Seo, J. -B., Lee, S. -Q., Park, N. -H., Lee, H. -W., and Cho, C. -H., "Performance Analysis of Sleep Mode Operation in IEEE 802.16e," in Proceedings of IEEE VTC, Vol. 2, pp. 1169-1173, 2004.
- [8] Han, K. H., and Choi, S. H., "Performance Analysis of Sleep Mode Operation in IEEE 802.16e Mobile Broadband Wireless Access

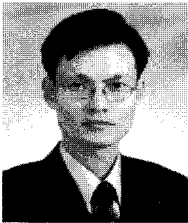
- Systems,” in Proceedings of IEEE VTC, Vol. 3, pp. 1141-1145, 2006.
- [9] Mukherjee, S., Leung K. K., and Rittenhouse, G. E., “Protocol and Control Mechanisms to Save Terminal Energy in IEEE 802.16 Networks,” in Proceedings of IEEE PACRIM, pp. 5-8, 2005.
- [10] Lee, N. -H., and Bahk, S., “MAC Sleep Mode Control Considering Downlink Traffic Pattern and Mobility,” in Proceedings of IEEE VTC, Vol. 3, pp. 2076-2080, 2005.
- [11] Tseng, H. -W., Yang, S. -H., Chuang, P. -Y., Wu, H. -K., and Chen, G. -H. “An Energy Consumption Analytic Model for a Wireless Sensor MAC Protocol,” in Proceedings of IEEE VTC, Vol. 6, pp. 4533-4537, 2004.

◎ 저자 소개 ◎



정 우 진 (Woo Jin Jung)

2006년 연세대학교 전산학과 졸업
2006년 ~ 현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정
관심분야 이동통신망, Mobile IP
E-mail : jwj0107@ece.skku.ac.kr



이 태 진 (Tae-Jin Lee)

1989년 2월 연세대학교 전자공학과 학사
1991년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
1995년 12월 University of Michigan, Ann Arbor, EECS (M.S.E.)
1999년 5월 University of Texas, Austin, ECE (Ph.D.)
1999년 5월 ~ 2001년 2월 삼성전자 중앙연구소 책임연구원
2001년 3월 ~ 현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수
관심분야 통신 네트워크 성능 분석 및 설계, 무선 LAN/PAN/MAN, ad-hoc/센서 네트워크, 무선 통신 시스템, 광 네트워크
E-mail: tjlee@ece.skku.ac.kr



정 윤 원 (Yun Won Chung)

1995년 한국과학기술원 전기및전자공학과 학사
1997년 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
2001년 한국과학기술원 전자전산학과 박사
2001년 ~ 2002년 영국 런던대학 (King's College London) Visiting Postdoctoral Research Fellow
2003년 ~ 2005년 한국전자통신연구원 연구원
2005년 ~ 현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 조교수
관심분야 이동통신망, Mobile IP, MANET, 이동성관리
E-mail: ywchung@ssu.ac.kr



정 민 영 (Min Young Chung)

1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사
1994년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1999년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
1999년 ~ 2002년 한국전자통신연구원 선임연구원
2002년 ~ 현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수
관심분야 유/무선 홈 네트워크, 무선 LAN/PAN, 이동통신 네트워크, IP 라우터 시스템, 광 네트워크
E-mail: mychung@ece.skku.ac.kr