

IEEE 802.16m에서 이동 단말의 전력 절감 방안

종신회원 최 정 열*

Power Saving Mechanism for Advanced Mobile Station in IEEE 802.16m

JungYul Choi* *Lifelong Member*

요 약

다양한 서비스의 활성화로 인한 이동 단말의 사용 시간 및 트래픽의 증가로 인해 배터리로 구동되는 이동 단말의 전력 절감 기술이 주목받고 있다. 본 논문은 4G 기술 중의 하나인 Mobile WiMAX라 불리는 IEEE 802.16m의 전력 절감 기술에 대해서 기술한다. 먼저 IEEE 802.16m의 기초가 되는 IEEE 802.16e 전력 절감 방안과의 차이점 및 기술적 특징을 살펴본다. 이동 단말의 효율적인 전력 관리를 위해 패킷들의 도착 분포 정보를 기반으로 동적 수면 사이클 조절 방안을 제안한다. 제안한 방안을 에너지 절감 측면과 패킷 대기 지연 시간 측면에서 살펴본다.

Key Words : 수면 모드, 수면 사이클, 전력 절감 기술, 청취 천도우, IEEE 802.16m

ABSTRACT

As the usage of mobile stations increases thanks to various services, power saving mechanisms of mobile station operated by battery power have been gained much attention. This paper presents a power saving mechanism(PSM) of IEEE 802.16m, called Mobile WiMAX, for 4G mobile technology. This paper first presents different points of the PSM of IEEE 802.16m from IEEE 802.16e, which is a basis of IEEE 802.16m. This paper proposes a dynamic sleep cycle adjustment algorithm for improving the performance of IEEE 802.16m PSM by considering the arrival pattern of incoming packets from base station. Performance of the algorithm is analyzed in terms of energy consumption as well as waiting time of packets.

I. 서 론

스마트폰과 태블릿 PC 등과 같은 이동형 무선 단말기의 등장으로 인해 사용자는 이동 중에도 다양한 응용 서비스를 이용할 수 있게 되었다. 증강 현실 및 위치 기반 서비스, 트위터, 페이스북과 같은 소셜 네트워크 서비스 등에 대한 사용자의 욕구 증가로 인해 이동 단말의 사용 시간은 물론 트래픽도 눈에 띄게 증가하고 있다. 특히 동영상 트래픽의 증가는 다른 응용 서비스로 인한 트래픽 증가를 훨씬 뛰어 넘고 있으

며, 무선 이동 단말로부터의 총 트래픽이 2014까지 매년 2배씩 증가할 것으로 예견되고 있다^[1]. 이동 단말의 사용 시간 및 소요 트래픽의 증가는 곧 이동 단말 내에 있는 배터리의 급격한 소진에 영향을 미친다. 따라서 이동 단말의 배터리 사용량을 절감시킬 수 있는 전력 절감 기술(power saving mechanisms)이 주목을 받고 있다^[2-4].

본 논문은 모바일 와이맥스(Mobile WiMAX)라 불리는 IEEE 802.16m에서의 전력 절감 방안에 대해서 살펴본다. IEEE 802.16m은 LTE-Advanced와 더불어

* 본 연구는 성결대학교의 지원을 받아 수행되었음.

* 성결대학교 컴퓨터공학부(passjay@gmail.com)

논문번호 : KICS2011-10-437, 접수일자 : 2011년 10월 3일, 최종논문접수일자: 2011년 12월 2일

4G 기술의 양대 기술 중의 하나로서, IEEE 802.16e의 진화된 버전이다⁵⁾. 따라서 본 논문에서 소개하는 전력 절감 기술의 기본 동작 원리와 방식은 IEEE 802.16e에 기초하고 있다⁶⁾. 하지만 다음과 같은 점에서 IEEE 802.16e와 IEEE 802.16m에서의 전력 절감 기술은 차이가 있다.

- IEEE 802.16e는 서비스 특성에 따라 3개의 절전 등급(Power Saving Class)를 운영하고, 서비스 중인 연결(connection)의 특성과 개수에 따라 다수의 절전 등급을 유지하면서 수면 모드를 동작시킨다. IEEE 802.16m는 두 개의 절전 등급만을 운영하며, 실제 수면 모드(sleep mode)에서는 서비스 중인 연결의 특성과 개수에 관계없이 하나의 절전 등급만을 운영한다.

수면 모드 중에 다수 개의 절전 등급을 운영하는 경우에는 등급별로 수면 윈도우의 시작 시간이 다를 수도 있고, 또한 수면 윈도우의 방식이 달라 겹치는 시간이 그다지 많지 않게 된다. 즉, 모든 절전 등급이 수면 윈도우 기간을 공유해야 주요 요소의 전원을 차단시켜 전력 소모를 줄일 수 있으며 수면 윈도우가 겹치지 않으면 전력을 절감할 수 없다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 IEEE 802.16m는 수면 모드에서는 절전 등급을 1개만 운영함으로써 수면 윈도우 겹침 문제를 해결하고, 보다 높은 절전 효과를 보일 수 있게 되었다.

- IEEE 802.16e는 수면 사이클(sleep cycle) 내의 청취 윈도우(listening window)의 크기가 고정되어 있으며, 기지국으로부터 수신할 트래픽이 있는지에 대한 여부만을 판단할 수 있다. IEEE 802.16m는 청취 윈도우의 크기를 조절할 수 있을 뿐더러 청취 윈도우 기간 동안 기지국으로부터 데이터를 수신할 수도 있다.

청취 윈도우 크기 조절에 따른 효과는 다음으로 설명된다. 예를 들어 웹서비스를 받고 있는 이동 단말은 한 페이지를 다운받은 뒤에 사용자가 해당 페이지를 읽는 동안에는 다른 데이터를 수신하지 않는다. 서비스를 이용 중이라도 데이터를 수신하지 않는 기간이 존재할 뿐더러 데이터가 버스티하게 수신되는 경향이 있다. IEEE 802.16e라면 이와 같이 버스티한 트래픽을 수신할 경우에는 반드시 수면 모드에서 웨이크 모드(wake mode)로 변경한 뒤에 트래픽을 수신하게 되

며, 이 과정에서 시그널링 오버헤드는 물론 전력 소모가 발생하게 된다. 하지만 IEEE 802.16m는 수면 모드를 유지한 상태에서도 트래픽을 수신할 수 있어 동작의 간편함과 더불어 효과적으로 전력을 절감할 수 있게 되었다.

본 논문은 IEEE 802.16m의 전력 절감 방안에 대해서 살펴보고, 그 성능을 향상시키기 위해서 동적 수면 사이클 크기 조절 방안을 제안한다. 이를 위해서 2장에서는 먼저 IEEE 802.16m가 전력을 절감하기 위해서 운영하는 수면 모드 동작 방식과 IEEE 802.16e에서는 제공하지 않은 청취 윈도우 조절 방식, 그리고 수면 사이클 크기 결정 방식에 대해서 살펴본다. 3장에서는 수면 모드로 동작하는 과정에서 유입되는 패킷의 도착 특성을 토대로 수면 윈도우 크기 조절 방안을 소개한다. 4장은 제안한 방식에 따른 IEEE 802.16m의 다양한 성능 분석 결과를 제시한다.

II. IEEE 802.16m의 전력 절감 방안

2.1 IEEE 802.16m의 수면 모드 동작 방식

IEEE 802.16e/m에서 이동 단말의 에너지 소비를 최소화시키려는 전력 절감 기술의 핵심은 서비스를 사용하지 않는 동안에 이동 단말이 수면 모드로 동작케 하고, 전력 소모의 주요인인 송수신과 관련된 주요 장치의 전원을 차단케 하는 것이다. 따라서 전력 절감 기술에서 이동 단말은 두 가지 상태 모드, 수면 모드(sleep mode)와 웨이크 모드(wake mode)로 동작한다.

IEEE 802.16m의 수면 모드의 시작은 이동 단말(Advanced Mobile Station) 또는 기지국(Advanced Base Station)으로부터 진행된다. 이동 단말은 AAI_SLP_REQ(Advanced Air Interface Sleep Request) 메시지를 기지국에 전달한 뒤에 AAI_SLP_RSP(Advanced Air Interface Sleep Response) 메시지 수신을 기다린다. 또는, 기지국이 단독으로 이동 단말에 AAI_SLP_RSP 메시지를 보냄으로써 수면 모드를 시동(initiation)시킬 수 있다. 이 두 메시지에는 수면 모드를 운영하는데 있어서 필요한 파라미터들을 포함하는데 예를 들어, 시작 프레임 번호(start frame number), 초기 수면 사이클(initial sleep cycle), 최종 수면 사이클(final sleep cycle), 그리고 기본 청취 윈도우(default listening window) 등이 있다. 이동 단말이 기지국으로부터 AAI_SLP_RSP 메시지를 수신하게 되면 수면 모드를 시작하게 된다.

수면 모드는 그림 1에서 보듯이 다수의 수면 사이클들로 구성된다. 각 수면 사이클(W)은 청취 윈도우

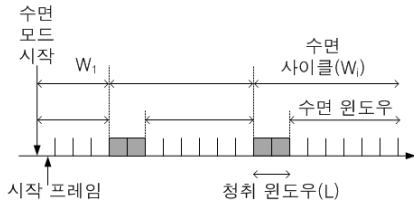


그림 1. 다수의 수면 사이클로 구성된 수면 모드의 동작
Fig. 1. Operation of Sleep-mode with sleep cycles

(L)과 수면 윈도우로 구성이 된다. 다만, 첫 번째 수면 사이클에는 청취 윈도우가 없다. 각 사이클은 다수의 프레임들로 이루어진다. 초기 수면 사이클(W_1)은 수면 모드로 동작했을 때 최초로 수면 상태를 유지하는 기간을 말한다. 한 수면 사이클이 종료되고 청취 윈도우가 도래했을 경우에 수신 데이터나 송신 데이터가 없으면 다음 수면 사이클이 진행된다. 새로운 수면 사이클이 진행될 때마다 수면 사이클(W_i)의 크기가 달라질 수 있다. 최종 수면 사이클(W_F)은 수면 사이클이 가질 수 있는 가장 큰 값을 나타낸다. 최종 수면 사이클에 도달하게 되면 그 이후에 진행되는 수면 사이클은 그 크기를 변화시키지 않고 최종 수면 사이클의 크기를 유지한다. 수면 사이클 크기 조정은 2.3절에서 보다 상세하게 설명한다.

이동 단말이 수면 윈도우 상태에 있으면 기지국으로부터 어떠한 데이터도 수신하지 못한다. 이는 이동 단말이 전력 소모를 최소화하기 위해서 데이터 송수신을 위한 주요 요소의 전원을 차단시키기 때문이다. 이것이 바로 이동 단말이 전력을 절감시킬 수 있는 핵심이다. 만약 기지국이 이동 단말로 전송하려는 데이터가 있다면 버퍼에 잠시 보관해 두었다가 이동 단말이 청취 윈도우 상태에 있을 때에 해당 데이터를 전송할 수 있다. 이를 위해서는 기지국이 이동 단말로 전송할 데이터가 있다는 신호로 긍정 AAI_TRF-IND (positive Advanced Air Interface Traffic Indication) 메시지를 청취 윈도우의 첫 번째 프레임일 때 전송해야 한다. 한편 기지국이 이동 단말로 전송할 데이터가 없으면 이를 알리기 위해서 부정 AAI_TRF-IND (negative AAI TRF IND) 메시지를 전송한다. 부정 AAI-TRF-IND 메시지를 보내지 않더라도 청취 윈도우에 기지국으로부터 아무런 메시지를 수신하지 못한 이동 단말은 청취 윈도우가 다 끝난 이후에는 다시 수면 윈도우 상태로 들어가게 된다.

2.2 청취 윈도우의 탄력적 조정

IEEE 802.16m의 전력 절감 방안의 구별되는 특징

중의 하나가 청취 윈도우의 크기를 조절할 수 있다는 점이다. IEEE 802.16e에서는 청취 윈도우의 크기가 고정되어 있으며 기지국으로부터 수신할 데이터가 있는지만을 확인할 수 있다. 청취 윈도우가 2개 이상의 프레임으로 구성되었다고 가정하자. 기지국이 이동 단말로 송신할 데이터가 없을 때 부정 AAI_TRF-IND을 청취 윈도우의 첫 번째 프레임에 전송하게 되면, 이를 수신한 이동 단말은 청취 윈도우를 즉시 종료하고 바로 수면 윈도우를 시작하게 된다. 청취 윈도우의 크기를 줄임으로써 전력을 절감하게 된다. 하지만 명시적으로 부정 AAI_TRF-IND를 수신하지 못했다면, 이동 단말은 청취 윈도우의 크기를 줄이지 않는다.

한편, 청취 윈도우에서 긍정 AAI_TRF-IND를 수신할 경우에는 IEEE 802.16e에서와 같이 웨이크 모드로 천이하지 않고 수면 모드에서 청취 윈도우의 크기만을 증가시켜 데이터를 수신케 한다. 수면 모드 중에서 수신할 데이터가 많지 않은 경우에는 수면 모드를 유지하면서 청취 윈도우 기간 동안 데이터를 수신할 수 있게 되어 IEEE 802.16e 보다 높은 전력 절감 효과를 얻을 수 있다. 청취 윈도우의 크기는 해당 수면 사이클의 크기로 제한된다.

2.3 수면 사이클의 크기 조정

IEEE 802.16e는 응용 서비스 트래픽의 종류에 따라 3가지 절전 등급(power saving class, PSC)을 운영한다⁶⁾. 하지만 IEEE 802.16m은 최선형 서비스 트래픽(best effort traffic)과 실시간 트래픽(real time traffic)의 2가지 종류에 따른 수면 사이클 갱신 방식이 존재한다⁵⁾. 실시간 트래픽을 위한 연결에서의 수면 사이클은 초기 수면 사이클(W_1)의 크기와 동일하며 증가하거나 감소되지 않는다. 이는 수면 윈도우의 크기를 과도하게 증가시키지 않고 데이터 미수신에 따른 지연 시간을 최소화하기 위한 조치이다. 반면에 지연 시간에 그다지 민감하지 않은 최선형 서비스를 위한 연결에서의 수면 사이클은 다음과 같은 수식에 따라서 그 크기가 달라진다.

$$W_i = \min(2 * W_{i-1}, W_F) \quad (1)$$

여기서 W_{i-1} 는 직전 수면 사이클의 크기를, W_F 은 최종 수면 사이클의 크기를 의미한다. 다시 말하면, 수면 모드에서 매 수면 사이클은 기지국으로부터 데이터를 수신하지 않는 한 최종 수면 사이클의 크기에 이를 때까지 2배씩 그 크기를 증가시킨다. 이는 IEEE 802.16e에서의 절전 등급 I과 동일하다. 이와 같이 수

면 사이클의 크기를 증가시키는 이유는 각 수면 사이클의 크기 대비 청구 윈도우의 크기를 감소시켜 전력 소모를 감소시키는데 그 목적이 있다.

한편, 만약 청구 윈도우에서 기지국으로부터 데이터를 수신하면 다음 수면 사이클에서의 수면 사이클의 크기는 다음의 세 가지 경우로 재설정된다.

- 1) 초기 수면 사이클로 설정
- 2) $\min(2 \cdot W_{i-1}, W_F)$
- 3) 별도의 크기로 지정

2.4 기존 연구 동향

IEEE 802.16e/m의 전력 절감과 관련한 주목할 만한 연구 결과를 살펴보면 다음과 같다. Xiao 등은 16e에서의 전력 절감 기술에 대한 초기 연구 결과물로서 패킷 도착에 따른 초기 및 최종 윈도우 사이클의 영향을 분석하였다^[2]. Kim 등은 이동 단말의 배터리 잔여량에 따라서 전력 절감 수준을 조절하여 패킷 전송 지연 시간과 에너지 절감 효과를 균형있게 얻을 수 있도록 하였다^[3]. Kim 등은 이에 더 나가서 초기 및 최종 윈도우 값을 배터리 잔여량과 직전 수면 윈도우 크기를 동시에 고려하여 보다 높은 성능 향상을 이루었다^[7]. Chen 등은 상향링크 트래픽과 하향 링크 트래픽을 고려하여 수학 모델을 제시하여 16m의 성능을 분석하였다^[8]. Hwang 등은 지연 시간과 전력 소비량과 같은 QoS 성능 한계를 만족시키는 최적의 시스템 파라미터를 찾기 위해 다양한 성능 인자들에 대한 성능을 분석하였다^[9]. 특히 주기적으로 트래픽 전송 여부를 알려줌으로써 보다 성능 향상이 이루어질 수 있음을 보였다. 16m은 16e와 달리 청구 윈도우에서 데이터를 수신할 수 있기 때문에 그 크기가 에너지 절감에 미치는 영향이 크다. Park 등은 주어진 수면 모드에서 청구 윈도우 크기에 대한 영향을 분석하였다^[10]. FTP와 HTTP 등과 같은 응용 서비스 트래픽 특성에 따라 청구 윈도우의 영향도 분석하였다. Jin 등은 실시간 서비스와 비실시간 서비스를 동시에 제공하는 경우에 전력 절감 효과와 비실시간 서비스의 전송 지연 시간에 대해서 분석하였다^[11]. 16m은 16e와 달리 하나의 전력 등급만을 제공하기 때문에 다른 특성의 서비스 연결이 제공되는 상황에서의 성능 분석은 중요한 의미를 갖는다.

III. 동적 수면 사이클 크기 조절 방안

본 장에서는 IEEE 802.16m의 전력 절감 기술의

효율성 향상을 위해 동적인 수면 사이클 크기 조절 방안을 제안한다. 제안한 알고리즘은 크게 패킷의 최근 도착 분포를 산출하는 부분과 그 결과에 따라 수면 사이클의 크기를 결정하는 부분으로 나뉜다.

2.3절에서 소개한 것처럼 수면 모드로 동작시 패킷이 도착하면 다음 수면 사이클의 크기를 3가지 중에서 하나를 선택하도록 되어 있다. 보다 효율적인 수면 모드 동작을 위해서는 패킷의 도착 분포를 고려하여 수면 사이클의 크기를 조절할 필요가 있다. 즉, 최근에 도착한 패킷들의 도착 간격 정보를 활용하여 패킷이 도착한 직후 다음 수면 사이클의 크기를 조절함으로써 패킷 도착율이 수시로 바뀌는 상황에서도 높은 성능을 얻을 수 있다. 최근에 도착한 패킷들의 도착율은 이동 평균(moving average)을 활용할 수 있다. 그림 2는 최근에 도착한 N개의 패킷들의 도착 간격(pkt_inter)을 이동 평균으로 구하는 알고리즘을 보인다. 패킷 도착 분포가 급변하는 경우는 N을 작은 값으로 적용하고, 그렇지 않은 경우는 N 값을 증가시켜 최근의 도착 패턴에 적절히 적용할 수 있다. 최근에 도착한 패킷에 가중치를 부여하는 가중형 이동 평균(weighted moving average) 알고리즘을 적용할 수도 있다.

그림 3은 제안한 동적 수면 사이클 조절 알고리즘을 포함한 IEEE 802.16m의 수면 모드 동작 매커니즘을 나타낸다. 수면 모드가 가동되면 새로운 수면 사이클이 시작된다. 패킷의 도착 여부에 따라서 다음 수면 사이클의 크기가 결정된다. 패킷이 도착하지 않은 상태에서 청구 윈도우에 부정 AAI_TRF_IND가 도착하면 청구 윈도우를 축소하고 다음 수면 사이클의 크기를 갱신한다. 본 알고리즘에서는 절전 등급 I을 가정한다. 즉, 다음 수면 사이클은 현재 수면 사이클 크기의 2배이거나 최종 수면 사이클보다 작은 것에서 결정한다. 패킷이 도착하면 이전에 도착한 패킷들의 도착 시간을 고려하여 평균 패킷 도착 간격을 산출한다.

```

pkt_inter(0) = 0
while(packet arrival)
    pkt_inter(i) = pkt_arr(i) - pkt_arr(i-1)
    if i <= N // 최근에 도착한 i 패킷들의 평균 도착 간격
        avg_pkt_inter = sum(pkt_inter(1: i)) / i
    else // 최근에 도착한 N 패킷들의 평균 도착 간격
        avg_pkt_inter = sum(pkt_inter(i-N: i)) / N
    end
end
end
    
```

그림 2. 최근에 도착한 패킷들의 도착 간격에 대한 이동 평균을 구하는 알고리즘
 Fig. 2. Moving Average Calculation Algorithm for Packet Interarrival Time

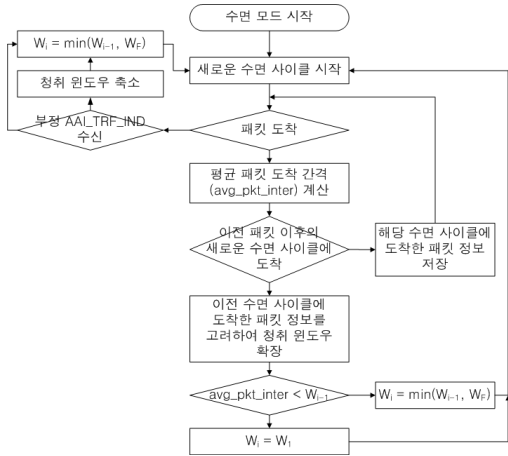


그림 3. 제안한 동적 수면 윈도우 크기 조절 알고리즘을 포함한 IEEE 802.16m의 수면 모드 메커니즘
 Fig. 3. Proposed Sleep Mode Mechanism of IEEE 802.16m with Dynamic Adjustment of Sleep Window

이 값은 다음 수면 사이클의 크기를 결정하는데 활용된다. 새로 도착한 패킷이 이전에 도착한 패킷과 동일한 수면 사이클에 도착하면 그 사실을 별도의 자료에 저장하고 다음 패킷이 도착하기를 기다린다. 만약 새로 도착한 패킷이 이전에 도착한 패킷의 다음 수면 사이클에 도착하면, 이전 수면 사이클에 도착했던 모든 패킷들의 정보를 토대로 청취 윈도우를 확장한다. 예를 들어 하나의 패킷을 수신하는데 하나의 프레임 시간이 소요되고 청취 윈도우의 크기가 2 프레임이라고 가정할 때, 이전 수면 사이클에 패킷이 3개 도착했다면 청취 윈도우의 크기를 2 프레임에서 3 프레임으로 확장하게 된다.

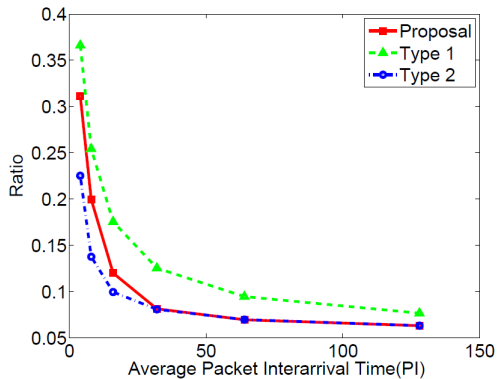
다음으로 평균 패킷 도착 간격 정보를 활용하여 다음 수면 사이클의 크기를 갱신한다. 만약 평균 패킷 도착 간격이 현재 수면 사이클보다 작다면, 다음 수면 사이클의 크기를 초기 수면 사이클의 값으로 설정한다. 이는 최근의 패킷들이 자주 도착하므로 패킷들의 대기 지연 시간을 감소시키기 위함이다. 패킷의 대기 지연 시간은 기지국에서 이동 단말로 전송할 데이터가 있지만 이동 단말이 수면 모드로 동작하고 있어 이동 단말로 패킷을 전송하지 않고 기지국이 버퍼에 보관했다가 이동 단말이 청취 윈도우일 때 전송하기 때문에 발생한다. 즉, 패킷이 도착해서 청취 윈도우의 시작 시간까지의 시간이 대기 지연 시간이다. 만약 평균 패킷 도착 간격이 현재 수면 사이클보다 크다면, 다음 수면 사이클의 크기를 현재 수면 사이클의 2배 또는 최종 수면 사이클보다 작은 값에서 결정한다. 이는 최근의 패킷들이 자주 도착하지 않기 때문에 에너

지 절감을 위해서 수면 윈도우의 크기를 증가시키기 위함이다. 평균 패킷 도착 간격이 현재 수면 사이클보다 작다면, 다음 수면 사이클을 초기 수면 사이클로 설정한다. 이는 패킷이 자주 도착하는 상황으로 판단하여 대기 지연 시간을 감소시키기 위함이다.

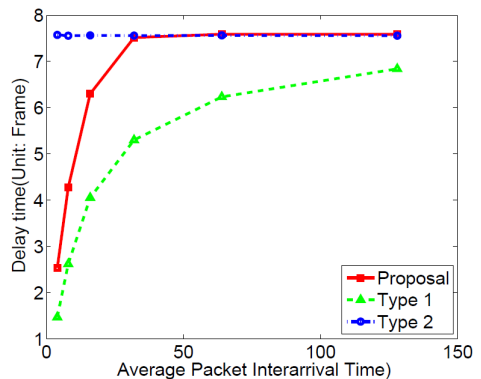
IV. 성능 분석

본 장에서는 3장에서 제안한 동적 수면 사이클 크기 조절 알고리즘을 적용한 IEEE 802.16m의 전력 절감 기술에 대한 성능 분석 결과를 제시한다. 성능 지수로는 패킷의 대기 지연 시간과 청취 윈도우 대비 수면 윈도우의 비율을 사용한다. 이동 단말의 배터리 소모량 대신에 후자를 성능 지수로 선택한 이유는 IEEE 802.16m이 수면 모드에서도 패킷을 수신할 수 있기 때문에 수면 모드에서의 청취 윈도우와 수면 윈도우의 비율이 전력 절감 효과를 더 잘 이해할 수 있기 때문이다. 또한 수면 모드에서 청취 윈도우의 크기가 변경되고 패킷 도착 분포에 따라 다음 수면 윈도우의 크기를 조절하는 알고리즘의 효과가 더 잘 드러나기 때문이다. 패킷의 도착 분포는 Poisson Arrival Process을 따르는 것을 가정하였다.

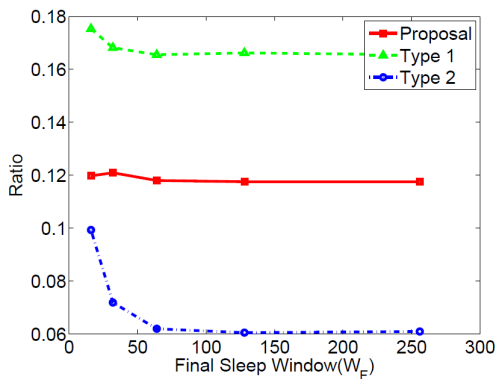
그림 4는 이동 단말이 수면 모드로 동작할 때 전체 수면 모드 동작 기간 대비 청취 윈도우의 비율을 나타낸다. 결과는 제안한 방식(Proposal), 패킷 도착 이후의 수면 사이클의 크기를 초기 수면 사이클로 설정하는 방식(Type 1), 그리고 최종 수면 사이클로 설정하는 방식(Type 2)에 대해서 각각 보인다. 패킷의 도착 간격이 증가함에 따라 청취 윈도우의 비율이 급격히 감소하다가 어느 정도 정체됨이 보인다(그림 4(a)). 처음에 설정한 초기 수면 사이클과 최종 수면 사이클보다 큰 간격으로 패킷이 도착할 경우에는 청취 윈도우의 크기가 아주 낮음을 볼 수 있다. 즉, 에너지 소비량이 최소화되는 것이다. 제안한 방식은 패킷 도착 간격이 작을 때는 방식 2보다 약간 높지만 곧 방식 2에 근접하는 성능을 나타냄을 확인할 수 있다. 그림 4(b)와 같이 최종 수면 사이클의 크기에 따라 청취 윈도우의 비율을 보면 방식 1과 방식 2는 최종 수면 사이클이 작을 때는 높다가 최종 수면 사이클이 증가함에 따라 그 비율이 감소함을 알 수 있다. 하지만 제안한 방식은 거의 변화가 없어 주어진 상황에서 최적의 성능을 나타냄을 확인할 수 있다. 수면 모드에서 에너지 소비량의 대부분이 청취 윈도우에서 발생한다는 점을 감안하면, 제안한 방식을 통한 청취 윈도우 비율의 감소는 에너지 절감이 잘 이루어지고 있다는 것을 의미



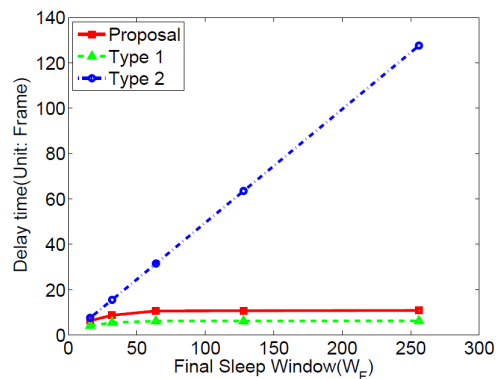
(a) 평균 패킷 도착 간격(PI)에 따라($W_1=2, W_F=16, L=2$)
 (a) For Average Packet Interarrival Time($W_1=2, W_F=16, L=2$)



(a) 평균 패킷 도착 간격(PI)에 따라($W_1=2, W_F=16, L=2$)
 (a) For Average Packet Interarrival Time($W_1=2, W_F=16, L=2$)



(b) 최종 수면 사이클 크기에 따라($PI=16, W_1=2, L=2$)
 (b) For Final Sleep Window($PI=16, W_1=2, L=2$)



(b) 최종 수면 사이클 크기에 따라($PI=16, W_1=2, L=2$)
 (b) For Final Sleep Window ($PI=16, W_1=2, L=2$)

그림 4. 수면 모드에서의 청취 윈도우의 비율
 Fig. 4 Ratio of Listening Window in Sleep Mode

그림 5. 수면 모드에서의 패킷 대기 지연 시간
 Fig. 5 Waiting Time of Packet in Sleep mode

한다.

그림 5는 수면 모드에서 패킷의 대기 지연 시간을 나타낸다. 패킷의 도착 간격이 증가함에 따라 대기 지연 시간이 급격히 증가하다가 어느 정도 정체됨을 볼 수 있다. 제한한 방식과 방식 2의 최대값은 최종 수면 사이클 크기의 약 절반 보다 작은 값이다. 방식 1은 패킷이 도착한 이후에 새로운 수면 윈도우의 크기를 무조건 초기 수면 사이클로 설정하기 때문에 패킷 지연 시간은 전체적으로 낮은 것을 확인할 수 있다. 최종 수면 사이클의 크기에 따른 패킷 지연 시간을 보면, 그림 5(b)와 같이 제한한 방식과 방식 1은 어느 정도 지연 시간이 증가하다가 정체되는 것을 볼 수 있으나, 방식 2는 최종 수면 사이클 크기의 증가에 따라 지속적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉, 지연 측면에서 방식 2는 최악의 성능을 보인다.

성능 분석 결과를 정리하면 다음과 같다. 방식 1은 패킷 대기 지연 시간 측면에서는 우수한 성능을 보이 나 청취 윈도우 비율 측면에서 보면 가장 나쁜 성능을 보였다. 방식 2는 청취 윈도우 비율 측면에서는 우수한 성능을 보였으나 패킷 대기 지연 시간 측면에서는 가장 나쁜 성능을 보였다. 하지만 제한한 방식은 기존의 방식과는 달리 패킷의 도착 분포를 기초로 동작하기 때문에 청취 윈도우 비율은 방식 2에 근접한 우수한 성능을 보였을 뿐 더러 패킷의 대기 지연 시간도 방식 1에 비견할 수 있는 우수한 성능을 보였다. 성능 분석은 패킷의 도착 분포를 고정하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 얻은 결과이므로 시간에 따라 패킷의 도착율이 달라지는 환경에서는 제한한 방식이 트래픽 상황을 잘 반영할 수 있으므로 더 우수한 성능을 보일 것이다.

V. 결 론

본 논문은 IEEE 802.16m에서 이동 단말의 전력 절감 기술을 소개하였다. IEEE 802.16m의 전신인 IEEE 802.16e에서의 전력 절감 기술과의 차이점을 소개하였으며, IEEE 802.16m의 전력 절감 기술의 특징인 청취 윈도우와 수면 사이클 크기 조절 방안에 대해서 살펴보았다. 최근에 도착한 패킷의 도착 시간 분포를 고려하여 차기 수면 사이클의 크기를 동적으로 조절하는 방안을 제안하였다. 표준에서 제시한 수면 사이클 조절 방안과 비교하여 볼 때, 수면 모드에서의 청취 윈도우의 비율을 감소시킴으로써 에너지를 절감 효과를 얻을 수 있었으며, 패킷의 대기 지연 시간도 감소시켰다.

참 고 문 헌

- [1] Cisco Visual Networking Index, 2010.
- [2] Y. Xiao, "Energy saving management in the IEEE 802.16e wireless MAN", *IEEE Communications Letters*, 9(7), pp.595-597, Jul., 2005.
- [3] M. Kim, J. Choi, B. Jung, and M. Kang, "Adaptive Power Management Mechanism Considering Remaining Energy in IEEE 802.16e", *IEICE Transactions on Communication*, E90-B(9), pp.2621-2624, Sep., 2007.
- [4] R. Kim and S. Mohanty, "Advanced Power Management Techniques in Next-Generation Wireless Networks", *IEEE Communications Magazine*, 40(3), pp.94-102, May, 2010.
- [5] IEEE 802.16m System Description Document
- [6] IEEE Std 802.16e-2005, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Feb., 2006.
- [7] M. Kim, J. Choi, and M. Kang, "Enhanced Power-Saving Mechanism to Maximize Operational Efficiency in IEEE 802.16e Systems", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 8(9), pp.4710-4719, Sep., 2009.
- [8] C. Chen, C. Hsu, and K. Feng, "Performance Analysis and Comparison of Sleep Mode

Operation for IEEE 802.16m Advanced Broadband Wireless Networks", *Proc. of IEEE Int'l Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications*, pp.1425-1430, 2010.

- [9] E. Hwang, K. Kim, J. Son, and B. Choi, "The Power-Saving Mechanism With Periodic Traffic Indications in the IEEE 802.16e/m", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 59(1), pp.319-334, Jan., 2010.
- [10] Y. Park, H. Leem, and D. Sung, "Power Saving Mechanism in IEEE 802.16m", *Proc. of Vehicular Technology Conference (VTC 2010)*, May, 2010.
- [11] S. Jin, M. Choi, and S. Choi, "Performance Analysis of IEEE 802.16m Sleep Mode for Heterogeneous Traffic", *IEEE Communications Letters*, 14(5), May, 2010.

최 정 열 (JungYul Choi)

종신회원



2000년 2월 인하대학교 전자공학과 공학사

2002년 2월 한국과학기술원 정보통신공학과 공학석사

2006년 8월 한국과학기술원 정보통신공학과 공학박사

2006년 9월~2011년 2월 KT

네트워크연구소 선임연구원

2011년 3월~현재 성결대학교 컴퓨터공학부 전임강사
<관심분야> 그린 통신망, 미래네트워크, 컴퓨터네트워크