

모바일 단말의 PSM 성능 향상을 위한 적응적 패킷 스케줄링 기법

박영덕*, 정경학*, 서영주^o

Adaptive Packet Scheduling Scheme for Enhancing the PSM Performance of Mobile Devices

Young Deok Park*, Kyoung-Hak Jung*, Young-Joo Suh^o

요 약

무선랜 인터페이스는 스마트폰, 태블릿과 같은 모바일 단말의 배터리를 급격히 소비하는 주된 요인 중의 하나이다. 이에, 대부분의 상용 모바일 단말은 네트워크 트래픽이 없을 때에 무선랜 인터페이스를 SLEEP 상태를 유지하여 배터리를 절약하는 power saving 기법을 사용하고 있다. 하지만 Access Point (AP)는 단순히 서버로부터 수신한 데이터 패킷을 해당 모바일 단말 측으로 즉시 전송하려 하기 때문에, 경우에 따라 모바일 단말이 항상 AWAKE 상태를 유지하여 배터리가 급격하게 소모되는 문제를 일으킬 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 지적하고, AP의 적응적 패킷 스케줄링 기법을 통해 모바일 단말의 배터리를 절약할 수 있는 새로운 기법을 제안한다. 또한 테스트 베드 기반의 실험 결과로부터 제안된 기법이 기존 기법보다 power saving 성능을 50% 이상 향상 시킴을 확인하였다.

Key Words : IEEE 802.11, S-PSM, A-PSM, Tail-energy, EWT

ABSTRACT

Wireless LAN (WLAN) interface is one of the major sources drastically depleting the battery power of mobile devices such as smartphones and tablets. Most commercial mobile devices employ a power saving technique putting their WLAN interface into a sleep state when there is no network traffic, and thereby, save the battery power. However, since an access point (AP) just transmits the packet(s) received from a server to the corresponding mobile device immediately, it may cause a problem that the mobile device constantly remains in an awake state so that its battery power is rapidly drained. In this paper, we point out this problem and propose a new scheme that can save the mobile device's battery power with an adaptive packet scheduling at the AP side. From the experimental results based on a testbed, we found that the proposed scheme outperforms existing schemes over 50% in terms of power saving.

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013-H0301-13-3002).

※ 본 연구는 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0024938).

※ 본 연구는 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 것임(2011-0029034).

◆ 주저자 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과, ydpark@postech.ac.kr, 학생회원

° 교신저자 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과/정보전자융합공학부, yjsuh@postech.ac.kr, 종신회원

* 포항공과대학교 컴퓨터공학과, yeopki81@postech.ac.kr

논문번호 : KICS2013-03-152, 접수일자 : 2013년 2월 16일, 최종논문접수일자 : 2013년 8월 6일

I. 서 론

스마트폰, 스마트패드와 같이 제한적인 배터리를 사용하는 모바일 단말에서의 효율적인 에너지 관리 기법은 모바일 단말의 사용성 향상을 위한 중요한 요소로 여겨지고 있다. 특히, 공공장소, 사무실 및 가정 내에 무선랜의 보급이 광범위하게 이루어지고, 이를 통해 모바일 단말에서 VoIP, 동영상 스트리밍과 같은 다양한 서비스를 이용 가능해짐에 따라, 무선랜 인터페이스로 인해 소비되는 에너지가 모바일 단말의 전체 에너지 소비량에 미치는 비중이 높아지고 있다^{3,4)}. 이에, IEEE 802.11 표준을 비롯한 많은 연구에서 무선랜 인터페이스의 사용으로 인해 소비되는 에너지를 줄이기 위한 다양한 Power Saving Mode (PSM) 기법이 제안되었다¹⁻⁶⁾.

IEEE 802.11 PSM 기법은 크게 Static PSM (S-PSM)^[1]과 Adaptive PSM (A-PSM)^[2]으로 구분된다. S-PSM 기법에서는 기본적으로 수신할 데이터 패킷이 없는 경우에 모바일 단말이 SLEEP 상태를 유지한다. 이를 통해 수신할 데이터 패킷의 존재여부와 상관없이 항상 AWAKE 상태를 유지하는 Constantly Awake Mode (CAM)에 비해 많은 에너지를 절약하는 장점을 제공한다. 그러나 S-PSM 기법에서는 모바일 단말이 SLEEP 상태에 머무르는 동안 Access Point (AP)에 도착한 데이터 패킷이 모바일 단말 측으로 전송되지 못하고, 다음 비콘 주기가 되었을 때 전송되기 때문에 많은 전송지연이 발생한다. 이러한 이유로 최근 대부분의 상용 모바일 단말에서는 A-PSM 기법이 사용되고 있다.

A-PSM은 네트워크 트래픽에 따라 CAM과 S-PSM을 적응적으로 사용한다. 즉, 기본적으로 S-PSM의 SLEEP 상태를 유지하며 비콘 주기마다 AP에 저장된 데이터 패킷의 존재여부를 확인하며, 만일 패킷이 존재하는 경우 CAM의 AWAKE 상태로 이동하여 저장된 패킷을 즉시 수신한다. 이후 일정 시간동안 추가 트래픽이 발생하지 않는 경우, S-PSM의 SLEEP 상태로 돌아감으로써 배터리의 소모를 줄인다. 하지만 이러한 A-PSM 기법은 경우에 따라 SLEEP 상태로 돌아가지 못하고 항상 AWAKE 상태를 유지함으로써 많은 에너지를 낭비하는 문제를 야기할 수 있다. 예를 들어, 모바일 단말이 SLEEP 상태로 전이하기 직전에 매번 하나의 데이터 패킷이 AP에 도착할 수 있다. 이 경우 기존 기법에서는 AP가 데이터 패킷을 수신하는 즉시 해당 패킷을 모바일 단말로 전송하고, 이로 인해 모바일 단말은 AP로부터 데이터 패킷을 수신할 때까

다 계속해서 CAM 유지시간을 연장해야 한다. 결국 이러한 특성으로 인해 모바일 단말은 수신해야 할 데이터 패킷이 많지 않음에도 불구하고 SLEEP 상태로 돌아가지 못하고 계속해서 AWAKE 상태를 유지하게 된다.

본 논문에서는 모바일 단말의 추가적인 AWAKE 상태인 Tail-energy 구간을 활용하여 이러한 문제를 해결하는 새로운 PSM 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 데이터 패킷의 수신 인터벌에 따라 패킷 인터벌이 작은 데이터 패킷은 EWT 구간을 통해 전송하여 전송지연을 최소화하고 반대로 패킷 인터벌이 큰 데이터 패킷은 Tail-energy 구간을 통해 전송함으로써 상대적으로 적은 지연과 함께 에너지 소비 효율을 증가시킨다. 또한 테스트 베드 상에서 진행된 실험을 통해서 제안된 기법이 기존 PSM 기법 대비 50%이상 향상된 성능을 보임을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 IEEE 802.11이 정의하고 있는 PSM 기법에 대해 알아본다. 3장에서는 PSM과 관련된 선행 연구들의 결과를 알아보고, 4장에서는 상용 모바일 단말의 PSM 기법이 지닌 문제점 및 Tail-energy 특성에 대해 알아본다. 이어서 5장에서는 제안하는 새로운 PSM 기법을 설명하고, 6장에서는 테스트 베드 상에서의 실험을 통해 제안하는 기법의 성능을 평가한다. 마지막으로, 7장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 배경 지식

모바일 단말의 무선랜 인터페이스는 트래픽 여부에 따라 AWAKE 또는 SLEEP 상태에 머무를 수 있다. AWAKE 상태에서는 데이터 패킷의 전송 및 수신을 위해 많은 에너지를 소비하며 active 상태를 유지한다. 반대로, SLEEP 상태에서는 AWAKE 상태에 비해 매우 적은 에너지를 소비하지만 데이터 패킷의 전송 및 수신을 수행할 수 없다. 따라서 AP는 모바일 단말이 SLEEP 상태에 머무르는 동안 서버로부터 수신한 데이터 패킷을 자신의 큐에 버퍼링한다. 이후 주기적 (e.g, 100ms) 으로 전송하는 비콘의 traffic indication map (TIM) 필드를 활성화시킴으로써 저장된 데이터 패킷의 존재를 해당 단말에게 알린다.

한편 S-PSM이 적용된 모바일 단말은 AP가 전송하는 비콘을 수신하기 위해 비콘 주기마다 AWAKE 상태로 전이한다. 해당 비콘을 수신한 모바일 단말은 비콘의 TIM 필드를 통해 AP에 저장된 자신의 데이터

패킷의 존재를 확인 후, 만일 AP에 데이터 패킷이 저장되어 있다고 판단될 경우 AP에게 PS-POLL 메시지를 전송함으로써 데이터 패킷의 전송을 요청한다. 모바일 단말로부터 PS-POLL 메시지를 수신한 AP는 이에 대한 응답으로 데이터 패킷을 모바일 단말에게 전송한다. 이때, AP는 전송하는 데이터 패킷 외에 추가 데이터 패킷이 남아있는 경우, 패킷 헤더의 MoreData 비트를 활성화하여 이를 알린다. 이에, 모바일 단말은 추가 PS-POLL을 전송하여 AP에 남아있는 데이터 패킷을 요구한다. 반면, MoreData 비트가 비활성화된 경우, 즉시 SLEEP 상태로 전이하여 다음 비콘 주기까지 이를 유지한다.

S-PSM 기법은 모바일 단말이 대부분의 시간 동안 SLEEP 상태를 유지하기 때문에 CAM 방식에 비해 많은 에너지를 절약할 수 있다. 하지만 모바일 단말이 SLEEP 상태를 유지하는 동안 AP에 도착한 데이터 패킷은 다음 비콘 주기까지 버퍼링되기 때문에 많은 전송지연이 발생할 수 있다^[2]. 또한, AP에 저장된 각 데이터 패킷에 대해 PS-POLL을 전송해야 하기 때문에 데이터 패킷이 많은 경우 PS-POLL 전송으로 인한 오버헤드가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 S-PSM과 CAM 상태를 상황에 따라 전이할 수 있는 A-PSM 기법이 제안되었다.

A-PSM이 적용된 모바일 단말은 패킷 내 PwrMgt 비트를 이용하여 자신의 power 상태를 AP에게 알린다. 그림 1은 A-PSM의 동작과정을 보여준다. 그림에서와 같이, 비콘의 TIM 필드가 활성화 되어있는 경우 CAM 상태로 전이한다. 이때, 모바일 단말은 PwrMgt 비트가 비활성화된 Null 데이터 패킷을 AP로 전송하고, 일정 시간의 Extended Waiting Timer (EWT)가 만료되기 전까지 CAM 상태를 유지한다. 만일 EWT가 만료되기 전, 모바일 단말이 새로운 데이터 패킷을 수신할 경우 새로운 EWT가 시작된다. 이는, 모바일 단말이 AP로부터 데이터 패킷을 수신할 때마다 CAM의 유지 시간이 EWT만큼 연장됨을 의미한다. 결국, 이러한 CAM 유지 시간의 연장을 통해 모바일 단말은 S-PSM에서 발생할 수 있는 전송지연 문제를 완화할 수 있다. 만일, EWT 시간동안 데이터 패킷을 수신하지 못한 경우 PwrMgt가 활성화된 패킷을 AP에게 전송한 뒤 SLEEP 상태로 전이한다.

III. 관련 연구

S-PSM과 A-PSM 외에도 무선랜 인터페이스 사용으로 인한 모바일 단말의 에너지 소모를 줄이기 위한

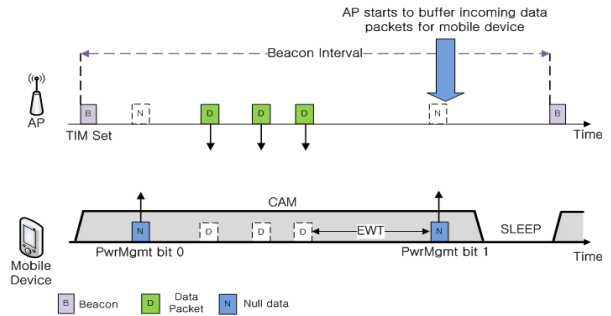


그림 1. A-PSM의 동작과정
Fig. 1. Operation of A-PSM

많은 연구가 진행되어왔다. 논문 [2]에서는, 트래픽이 거의 없는 환경에서 비콘 수신을 위한 에너지 소모의 발생이 S-PSM 기법의 성능을 저하시키는 것을 지적하였다. 이를 위해 모바일 단말이 비콘 수신 후 일정 시간 동안 AWAKE 상태를 유지하면서 수신 트래픽 양에 따라 적응적으로 비콘 수신 주기를 변경하는 BSD알고리즘을 제안하였다. 논문 [3]에서는 PSM 패킷에 대한 불공평한 스케줄링으로 인해, 모바일 단말이 AP에 버퍼링된 데이터 패킷을 수신하기까지 오랜 시간 동안 AWAKE 상태를 유지해야 하는 문제를 지적하고, 이를 해결하기 위해 패킷의 공평성을 보장하는 NAPman을 제안하였다.

논문 [4]에서는 모바일 단말이 데이터 패킷을 수신 시 패킷 간 발생하는 짧은 idle time 동안 모바일 단말을 SLEEP 상태로 동작하게 함으로써 단말의 에너지 소모를 줄였다. 논문 [5]에서는 모바일 단말에 의해 수신되는 모든 데이터 패킷이 동일한 가중치를 갖는 데서 비롯되는 불필요한 에너지 소비를 지적하였다. 이에, 어플리케이션의 특성에 따라 데이터 패킷에 가중치를 할당하여 A-PSM 기법의 성능을 향상시킨 SAPSM을 제안하였다.

IV. 기존 PSM 기법의 문제점 및 Tail-energy

4.1. 기존 PSM 기법의 문제점

앞서 언급된 것과 같이 A-PSM이 적용된 모바일 단말은 데이터 패킷을 수신할 때마다 EWT를 초기화하여 AWAKE 상태 유지 시간을 연장한다. 이러한 방식은 모바일 단말이 후속 데이터 패킷을 지연 없이 수신 가능하게 하지만, 수신 시점과 패킷의 양에 상관없이 동일한 길이의 EWT를 새로 시작하는 특성으로 인해 수신되는 데이터 패킷이 많지 않은 경우에도 장시간 CAM상태를 유지해야 하는 문제를 야기할 수 있다. 예를 들어 EWT가 70ms인 모바일 단말이 1ms 간

격으로 5개의 데이터 패킷을 수신할 경우 약 74ms 동안 CAM상태를 유지하는 반면, 40ms 간격으로 5개의 데이터 패킷을 수신하는 경우 약 230ms 동안 CAM 상태를 유지하게 된다. 만약 무선랜의 채널 에러 및 재전송율의 증가로 인해 데이터 패킷 수신 간격이 증가할 경우 이러한 문제는 더욱 심해지며 불필요한 에너지의 소비가 커질 수 있다.

4.2. Tail-energy

우리는 실험을 통해서, 모바일 단말이 CAM 상태에서 실제 SLEEP 상태로 전이하기 직전 약 10ms 전후의 시간 동안 추가적인 AWAKE 상태가 지속되는 특성을 발견하였다. 이와 더불어, 이러한 추가적인 AWAKE 상태에서는 데이터 패킷 수신에 따른 EWT의 초기화가 발생하지 않는다는 사실을 알 수 있었다 (본 논문에서는 추가적인 AWAKE 상태가 유지되는 이 구간을 Tail-energy 구간이라 일컫는다).

이러한 Tail-energy의 필요성은 다음과 같다. 일반적으로 모바일 단말이 AWAKE 상태에 머무르는 동안 AP에 도착한 모든 데이터 패킷은 전송 큐를 통해 즉시 단말로 전송된다. 만일 전송 큐에 많은 백그라운드 데이터 패킷으로 인해 해당 모바일 단말을 향한 데이터 패킷이 전송되기 전에 모바일 단말의 EWT가 만료되어 SLEEP 상태로 전이하는 경우, 전송 큐에 남아있는 데이터 패킷은 여러 번 재전송을 시도한 뒤 결국 discard되는 문제가 발생할 수 있다. 반면, 모바일 단말의 EWT가 만료된 후에도 일정시간 AWAKE 상태를 유지한다면 이러한 문제는 어느 정도 완화될 수 있으며, 이와 같은 이유로 여러 상용 무선랜 인터페이스는 Tail-energy 구간을 다양하게 적용하고 있다.

그림 2는 Monsoon power monitor^[7]를 이용해 측정된 iPhone4의 Tail-energy 구간을 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이, CAM 상태로 동작하는 모바일 단말은 Null 데이터 패킷 전송 뒤 약 10ms의 시간 동안 추가적인 AWAKE 상태, 즉 Tail-energy 구간을 유지 후 SLEEP 상태로 전이함을 알 수 있다.

이와 더불어 보다 정확하게 Tail-energy 존재 유무 및 그 길이를 측정할 필요가 있기에 다음과 같은 추가적인 실험을 진행하였다. 먼저, AP가 A-PSM 모바일 단말 측으로 1024-byte UDP 데이터 패킷을 5초 동안 1ms 간격으로 전송하도록 하였다. 이는 S-PSM에서 CAM 상태로 전이한 모바일 단말이 데이터 패킷을 수신할 때마다 EWT를 연장하도록 한다. 이후 EWT 시간 만료 후에 AP가 모바일 단말로부터 SLEEP 상태로의 전이를 알리는 Null 데이터 패킷을 수신하는 즉

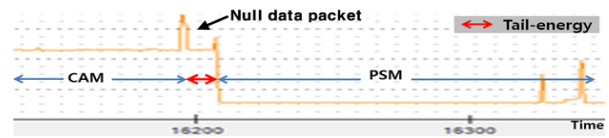


그림 2. 측정된 iPhone4의 Tail-energy
Fig. 2. Measured Tail-energy of iPhone4

표 1. 상용 모바일 단말의 Tail-energy length 및 EWT
Table 1. The Tail-energy length and EWT of commercial mobile devices

Model	WiFi Chipset	Tail-energy length (ms)	EWT (ms)
iPhone3GS	BCM4325	7~12	75
iPhone4	BCM4329	7~12	70
iPhone5	BCM4334	10~12	75
Galaxy A	SWB T30	10~15	350~400
Galaxy S3	BCM4334	12~15	300~350
Nexus one	BCM4329	15~18	300~450
DEFY	wl1271	10~15	1300~1400

시, UDP 데이터 패킷 전송을 재개하도록 하였다. 실험을 통해, EWT가 만료된 이후 7~18ms 동안 모바일 단말로 전송한 UDP 데이터 패킷에 대하여 ACK 프레임을 성공적으로 수신하는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 모바일 단말이 일정시간 Tail-energy를 갖고 있음을 의미한다. 본 실험에서는 총 7개(4개 제조사)의 상용 스마트폰이 사용되었으며 측정된 결과는 표 1과 같다.

V. 제안 기법

이 장에서는 기존 기법과 지닌 반복적 EWT 초기화 문제를 해결하기 위해, 데이터 패킷의 수신 시점에 따라 데이터 패킷의 전송 시점을 조절하는 새로운 PSM 기법을 제안한다.

그림 3과 같이, 제안하는 기법에서의 AP는 임계값 *Thresh_EWT*를 기준하여 모바일 단말의 EWT를 Fore EWT 구간과 Rear EWT 구간으로 구분한다. 이후, 그림 4에서와 같이 AP는 Fore EWT 구간동안 서버로부터 수신되는 데이터 패킷들을 곧바로 모바일 단말 측으로 전송한다. 만일 Fore EWT 내에 수신되는 패킷이 없는 경우, 이후 수신되는 패킷들, 즉 Rear EWT 구간동안 수신되는 데이터 패킷들을 버퍼링한 후 Tail-energy 구간을 이용해 해당 패킷들을 전송함으로써 모바일 단말로 하여금 추가적인 EWT의 초기화가 발생하지 않도록 한다. 이러한 방식은 데이터 패

킷 수신에 따른 EWT 초기화를 더 적게 발생시키고, 모바일 단말이 보다 오랫동안 SLEEP 상태를 유지할 수 있도록 한다. 이와 더불어, Rear PSM 구간에서 버퍼링된 데이터 패킷들은 곧바로 이어지는 Tail-energy 구간동안 전송되기 때문에 비교적 적은 전송지연이 발생하는 것을 알 수 있다.

한편, Fore EWT 구간의 길이가 데이터 패킷의 수신 인터벌에 비해 불필요하게 큰 경우 기존 A-PSM에서 발생하는 것과 동일한 문제가 발생하며, 반대로 Fore EWT 구간의 길이가 상대적으로 너무 작은 경우에는 많은 데이터 패킷에 대한 전송지연이 발생한다. 이에, Fore EWT 구간의 길이를 결정하는 $Thresh_EWT$ 값은 해당 모바일 단말의 EWT와 수신 트래픽의 예상 데이터 패킷 인터벌 Γ 에 따라 적응적으로 조절되어야 한다. 즉, 패킷 수신 인터벌이 비교적 짧은 데이터 패킷들의 경우 Fore EWT 구간을 상대적으로 크게 할당하여 버퍼링에 의한 전송지연을 최소화하고, 상대적으로 패킷 수신 인터벌이 긴 데이터 패킷들의 경우 Fore EWT 구간을 작게 할당하여 간헐적인 데이터 패킷들의 수신으로 인해 긴 시간 AWAKE 상태가 유지되는 것을 막는다.

AP는 데이터 패킷 인터벌에 따른 임계값을 구하기 위해 아래와 같은 과정을 거친다. 먼저 AP는 다음의 수식을 통해 모바일 단말 m 이 갖는 EWT의 길이 EWT_m 을 구한다.

$$EWT_m = T_{NULL} - T_{lastACK} \quad (1)$$

수식 (1)에서 T_{NULL} 은 해당 모바일 단말이 SLEEP 상태로의 전이를 알리기 위해 전송한 Null 데이터 패킷의 수신 시점을 의미하며, $T_{lastACK}$ 은 해당 모바일 단말 측으로 전송한 마지막 데이터 패킷에 대한 ACK을 수신한 시점을 의미한다.

이어서, 아래의 수식을 통해 $i + 1$ 번째 Fore EWT 구간동안 수신될 패킷들의 예상 패킷 인터벌 Γ_{i+1} 을 구한다.

$$\Gamma_{i+1} = \beta\gamma_i + (1 - \beta)\Gamma_i \quad (2)$$

수식 (2)에서 β 는 $0 \leq \beta \leq 1$ 의 값을 가지며, γ_i 는 i 번째 Fore EWT 구간에서 수신한 트래픽의 평균 패킷 인터벌을 의미한다.

최종적으로, 모바일 단말 m 을 위한 $i + 1$ 번째

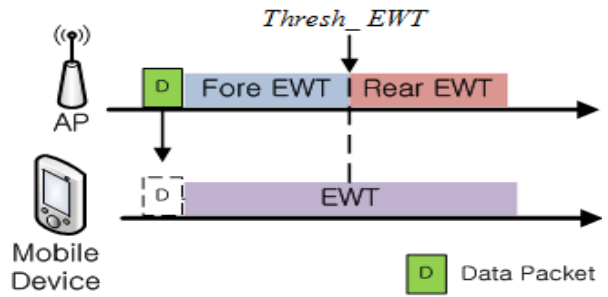


그림 3. 제안 기법에서의 Fore EWT와 Rear EWT
Fig. 3. Fore EWT and Rear EWT in proposed mechanism

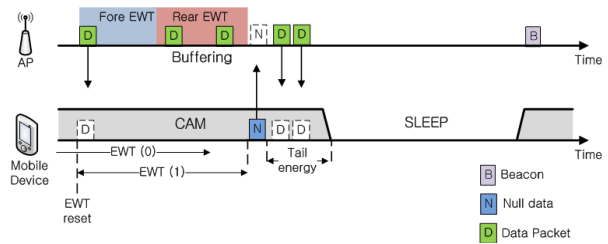


그림 4. 제안된 PSM 기법의 동작과정
Fig. 4. Operation of the proposed mechanism

EWT에서의 임계값 $Thresh_EWT_{i+1}$ 는 아래 식을 통해 구해진다.

$$Thresh_EWT_{i+1} = 1 - \frac{\Gamma_{i+1}}{EWT_m} \quad (3)$$

트래픽의 예상되는 수신 패킷 인터벌에 따라 적응적으로 변하는 $Thresh_EWT$ 를 통해 해당 EWT 내에서 Fore EWT 구간이 차지하는 비율이 결정되며, 이 값은 매 패킷 수신마다 위 과정을 거쳐 업데이트 된다.

앞서 설명한 것처럼, AP는 Fore EWT 구간 동안 서버로부터 수신되는 모든 데이터 패킷을 모바일 단말에게 지연 없이 전송하며, Rear EWT 구간동안 수신되는 데이터 패킷은 버퍼링 후 Tail-energy 구간을 통해 전송한다. 또한, Rear EWT 구간동안 버퍼링된 데이터 패킷이 Tail-energy 구간을 통해 전송될 때, 버퍼링된 해당 데이터 패킷 중 AP에 도착한 시점이 전송 큐에 담겨있는 백그라운드 패킷보다 먼저인 경우에 한하여 보다 높은 우선순위로 전송함으로써, 비교적 짧은 Tail-energy 구간 내에서 더 많은 패킷이 전송되도록 하고, 다른 트래픽과의 공평성을 보장한다. Tail-energy 구간 이후 이어지는 SLEEP 구간은 A-PSM의 SLEEP 구간과 동일하게 동작한다. 즉, AP는 모바일 단말이 SLEEP 상태에 머무르는 동안 서버로부터 수신되는 해당 모바일 단말을 목적으로 하는

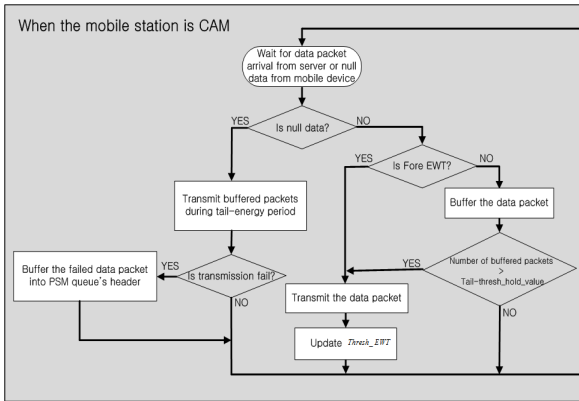


그림 5. 제안 기법의 동작 순서도
Fig. 5. Flowchart of proposed PSM mechanism's operation

데이터 패킷들을 버퍼링 후, 비콘 내 TIM 필드를 이용해 모바일 단말에게 이를 알린다.

한편, Rear EWT 구간에서 수신되는 데이터 패킷의 양이 Tail-energy 구간동안 전송될 수 있는 패킷의 양을 초과할 경우 AP가 Tail-energy 구간을 이용해 데이터 패킷을 정상적으로 전송하는 것이 보장되지 않을 우려가 있다. 이를 해결하기 위해 제안하는 기법에서는 Tail-threshold를 두어 Rear EWT 구간동안 전송할 수 패킷의 수보다 많은 패킷을 수신하는 경우 기존의 A-PSM과 같이 수신되는 데이터 패킷을 버퍼링 없이 모바일 단말 측으로 즉시 전송한다.

또한, 버퍼링된 패킷이 Tail-energy 구간동안 높은 우선순위로 전송되더라도 채널상황에 따라 성공적으로 전송되지 못할 경우 재전송으로 인한 추가 에너지의 소모 뿐만 아니라 대역폭의 낭비를 불러올 수 있다. 따라서 제안 기법에서는 Tail-energy 구간에서 데이터 패킷 전송이 실패하였을 경우 모바일 단말이 이미 SLEEP 상태로 전이하였다고 판단, Tail-energy 구간에서의 전송을 중지함으로써 Tail-energy 구간에서의 패킷 전송 실패에 따른 성능저하를 최소화한다. 이와 더불어 전송 실패한 데이터 패킷을 다시 PSM 큐의 맨 앞에 위치시킴으로써 해당 패킷이 discard되는 것을 방지한다. 그림 5는 제안 기법에서 CAM 상태인 모바일 단말을 목적지 주소로 갖는 데이터 패킷을 AP가 수신하거나, 모바일 단말로부터 Null 데이터 패킷을 수신하였을 때의 순서도를 나타낸다. 순서도 내에서 Null data는 모바일 단말이 SLEEP 상태로의 전이할 때 AP측으로 전송한 Null 데이터 패킷을 의미한다.

기존 A-PSM이 지닌 반복적 EWT 초기화 문제는 모바일 단말이 CAM으로 동작하고 있는 경우, AP가

서버로부터의 패킷 수신 시점을 고려하지 않고 수신 즉시 모바일 단말 측으로 전송하는데서 비롯된다. 제안하는 기법을 통해 AP는 패킷의 수신 시점에 따른 패킷의 전송 시점을 조절하여 반복적인 EWT 초기화를 방지하여 보다 많은 에너지를 절약할 뿐만 아니라, 버퍼링된 데이터 패킷을 Tail-energy 구간을 이용해 즉시 전송함으로써 Rear EWT 구간에서의 버퍼링에 의한 패킷 전송지연을 최소화할 수 있다.

VI. 성능 평가

제안 기법의 성능평가를 위해, Madwifi driver^[8]를 수정하여 AP를 구성하였다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 모바일 단말로는 iPhone4 (iOS 6)가 사용되었으며, 모바일 단말의 평균 소비 에너지 측정을 위해 monsoon power monitor가 사용되었다. 해당 모바일 단말은 70ms의 EWT와 7~12ms의 Tail-energy 구간을 가지며, 제안 기법의 파라미터인 β 는 0.5로 설정하였으며 tail-threshold값은 10으로 설정하였다. 이와 더불어, 제안 기법의 성능 비교를 위해, 논문 [3]의 NAPman을 추가로 구현하였다.

6.1. 단일 모바일 단말에서의 실험

먼저 하나의 AP에 단일 모바일 단말이 접속한 경우에 대하여 실험을 진행하였다. 해당 실험에서는 환경의 다양성을 위해 서버로부터 전송되는 데이터 패킷의 크기를 128-byte, 256-byte, 512-byte, 1024-byte로 다양하게 변화시키며 실험하였으며 각 실험은 10분씩 20회에 걸쳐 진행하였다.

그림 7의 (a)~(d)는 실험에 의해 측정된 데이터 패킷 인터벌의 변화에 따른 단말의 평균 소비 에너지와 나타낸다. 그림을 통해 알 수 있듯이 수신되는



그림 6. iPhone4의 소비 에너지 측정을 위한 monsoon power monitor
Fig. 6. The monsoon power monitor for measuring the consumed energy of iPhone4

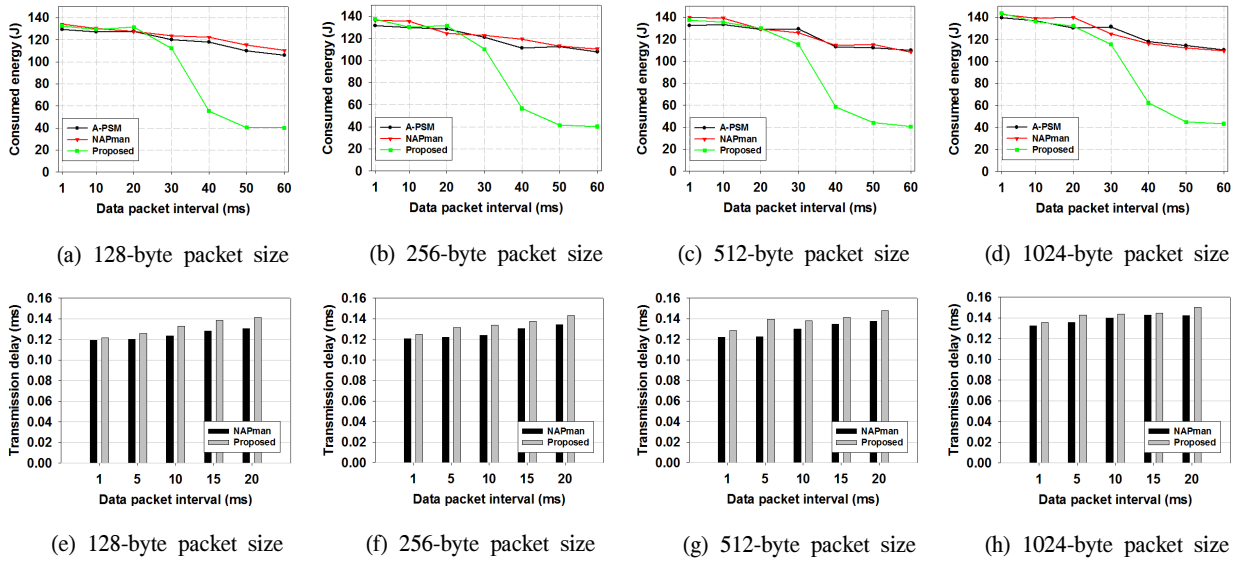


그림 7. 데이터 패킷 사이즈별 패킷 인터벌에 따른 모바일 단말의 평균 소비 에너지와(a~d) A-PSM기법 대비 전송지연(e~h)
 Fig. 7. The average of consumed energy on mobile device according to the data packet interval depending on the data packet size (a~d) and transmission delay compared with A-PSM mechanism (e~h)

데이터 패킷의 사이즈는 실제 모바일 단말이 소비하는 에너지에 크게 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 이는 상용 모바일 단말의 PSM 동작은 수신되는 패킷의 크기가 아닌 수신되는 패킷의 수에 의해 결정되기 때문이다. 이와 더불어 A-PSM과 NAPman의 경우 데이터 패킷 인터벌에 상관없이 모든 실험에서 비교적 많은 에너지를 소비하며, 제안된 기법의 경우 역시 비교적 짧은 데이터 인터벌(1~30ms)에 대해서 기존 기법과 비슷한 약 110~140J의 에너지를 소비하는 것을 알 수 있다. 이는 데이터 패킷의 인터벌이 짧을 경우 Rear EWT 구간에서의 버퍼링에 의한 전송지연을 줄이기 위해 Fore EWT 구간을 상대적으로 크게 할당하기 때문이다. 반면, 비교적 긴 데이터 패킷 인터벌(40~60ms)을 갖는 트래픽이 발생할 경우 제안하는 기법은 약 40~60J의 적은 에너지를 소비하며, 이는 기존 기법들에 비해 50%이상 향상된 결과임을 알 수 있다.

이러한 성능 향상은 다음과 같이 설명할 수 있다. A-PSM과 NAPman의 경우 AP가 서버로부터 데이터 패킷을 수신시 모바일 단말이 현재 CAM 상태이면 수신 시점에 대한 고려 없이 곧바로 모바일 단말 측으로 데이터 패킷을 전송한다. 따라서, 모바일 단말이 CAM 상태를 유지하는 동안 간헐적으로 수신하는 적은 양의 패킷에 의해 매번 EWT가 초기화되고 모바일 단말은 상대적으로 오랜 시

간 동안 AWAKE 상태를 유지한다. 이에 반해 제안 기법의 경우 Rear EWT 구간 동안 서버로부터 수신되는 데이터 패킷을 버퍼링 후 Tail-energy 구간을 통해 전송함으로써 단말이 지속적으로 AWAKE 상태를 유지하는 것을 막는다. 이로 인해 제안 기법이 기존 기법보다 power saving 관점에서 향상된 성능을 보인다. 한편, 제안하는 기법에서는 Rear EWT 구간에서의 버퍼링에 의한 추가적인 전송지연이 발생할 수 있다. 만일, 데이터 패킷 인터벌이 짧은 트래픽에 대해 상대적으로 큰 전송지연이 발생한다면 이러한 지연은 사용자의 QoS를 저하시키는 주된 요인이 된다.

우리는 이러한 전송지연, 특히 데이터 패킷 인터벌이 비교적 짧은 트래픽에 대한 전송지연을 측정하였으며 그 결과는 그림 7의 (e)~(h)와 같다. 여기서 전송지연은 데이터 패킷이 서버로부터 AP에 수신된 시점으로부터 AP가 모바일 단말 측으로 해당 데이터 패킷을 전송하는 시점까지 소요된 시간을 의미한다. 그림에서 알 수 있듯이 제안 기법에서 추가적으로 발생하는 전송지연은 NAPman 과 비교하여 0.05ms이하로 거의 없으며, A-PSM 대비 최대 0.2ms이하로 매우 작다. 더불어 이러한 지연 역시 데이터 패킷 사이즈에 크게 영향을 받지 않는 것을 알 수 있는데, 이 역시 앞서 언급한 것과 같이 모바일 단말의 PSM 동작은 수신되는 패킷의 크기가 아닌 수신되는 패킷의 수에 의해 결정되기 때문이다.

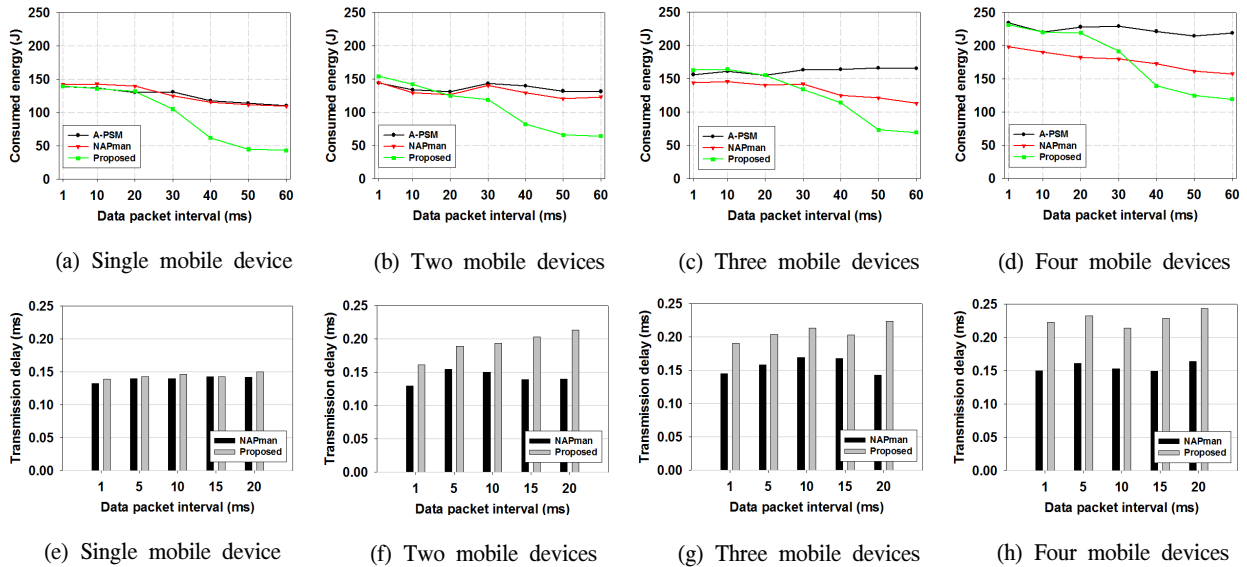


그림 8. 모바일 단말 수 별 패킷 인터벌에 따른 모바일 단말의 평균 소비 에너지(a~d)와 A-PSM 기법 대비 전송지연(e~h)
 Fig. 8. The average of consumed energy on mobile device according to the data packet interval depending on the number of mobile device³

6.2. 다수의 모바일 단말에서의 실험

우리는 앞서 단일노드의 실험을 통해 제안된 기법이 기존기법에 비해 큰 전송지연 없이 상당한 양의 에너지를 절약함을 확인하였다. 이에 더하여 AP에 다수의 모바일 단말이 접속한 환경에서의 성능평가를 위해 모바일 단말의 수를 1개에서 4개로 증가시키며 성능평가를 진행하였다. 모바일 단말은 앞서 실험과 동일하게 iPhone4가 사용되었으며 10분씩 20회에 걸쳐 반복적으로 실험을 진행하였다. 앞서 실험에서 데이터 패킷사이즈는 성능에 크게 영향을 미치지 않는다는 사실에 기인하여 데이터 패킷 사이즈는 1024-byte로 고정하였다.

그림 8의 (a)~(d)는 각 모바일 단말이 소비한 평균 에너지를 보여준다. 그림에서와 같이 모바일 단말 수의 증가에도 불구하고 각 모바일 단말별 평균 소비에너지는 제안된 기법이 기존 A-PSM 및 NAPman과 비교하여 전체적으로 나은 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 특히, 모바일 단말이 4개인 경우에도 전체적인 에너지 소비가 다소 증가하지만, 패킷 인터벌이 상대적으로 큰 경우(40ms~60ms) A-PSM과 NAPman은 각각 215~221J, 180~195J의 에너지를 소비하는 반면, 제안된 기법은 119~132J의 에너지를 소비함을 알 수 있다. 이는 NAPman 대비 약 18% 향상된 성능이며 A-PSM 대비 약 40% 향상된 성능이다.

그림 8의 (e)~(h)는 패킷의 전송지연을 보여준다. 그림에서와 같이, 모바일 단말의 수가 증가함에 따

라 제안 기법의 전송 지연 또한 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 이 역시 모바일 단말이 4개인 경우에 NAPman과 비교하여 최대 0.08ms 이하에 불과하며 A-PSM과 비교하여 0.3ms 이하로 매우 작음을 알 수 있다.

이러한 다수의 모바일 단말에서의 성능향상 및 적은 전송지연 다음과 같이 설명될 수 있다. 비록 모바일 단말의 수가 증가하더라도 상대적으로 긴 패킷 인터벌을 갖는 데이터 패킷들만이 버퍼링되기 때문에 버퍼링되는 패킷의 수 자체가 적고, 앞 절에서 설명한 바와 같이 Tail-threshold 값보다 많은 양의 데이터 패킷이 Rear EWT 구간에 수신될 경우 전송을 재개하여 더 이상의 성능저하를 막기 때문에 Rear EWT 구간에서 버퍼링으로 인한 성능저하를 완화하게 된다. 또한, 다수의 단말이 존재하더라도 Tail-energy 구간의 크기가 상대적으로 매우 작기 때문에 여러 모바일 단말의 Tail-energy 구간이 동시에 발생하기란 쉽지 않다. 따라서 Tail-energy 구간 내에서 여러 모바일 단말로의 패킷 전송으로 인한 성능저하는 매우 작다. 더불어, 각 모바일 노드의 EWT 및 Tail-energy는 고정적인 값을 갖기 때문에 모바일 단말의 수에 따른 각 모바일 단말의 EWT관리를 위해 요구되는 오버헤드가 상대적으로 크지 않다. 따라서 모바일 단말의 수가 증가하더라도 제안하는 기법의 성능저하 역시 크지 않다.

VII. 결 론

본 논문에서는 기존 PSM의 동작을 분석하고, 모바일 단말의 EWT가 반복적으로 초기화될 경우에 발생할 수 있는 에너지의 낭비 문제를 지적하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해, AP에 도착한 데이터 패킷의 수신 수점에 따라 전송 시점을 적응적으로 조절하고, 단말의 Tail-energy 구간을 통해 버퍼링된 데이터 패킷을 높은 우선순위로 전송함으로써 단말의 에너지를 절약할 수 있는 새로운 PSM 기법을 제안하였다. 또한, 테스트 베드 상에서의 성능평가를 통해 제안 기법이 기존의 PSM 기법보다 높은 에너지 효율성을 보임을 알 수 있었다.

향후 이번 연구의 결과를 바탕으로 추가적인 분석적 모델을 통한 성능평가를 통해 제안된 기법의 성능평가 및 최적화 방안에 대한 연구를 진행할 것이다.

References

[1] IEEE, *IEEE Standard Part 11: Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer specifications*, IEEE 802.11-2007, June 2007.

[2] R. Krashinsky and H. Balakrishnan, "Minimizing energy for wireless web access with bounded slowdown," *Wireless Networks*, vol. 11, no. 1-2, pp. 135-148, Jan. 2005.

[3] E. Rozner, V. Navda, R. Ramjee, and S. Rayanchu, "NAPman: Network-Assisted Power management for WiFi devices," in *Proc. Int. Conf. Mobile Syst., Applicat., Services (MobiSys '10)*, pp. 91-106, San Francisco, U.S.A., June 2010.

[4] J. Liu and L. Zhong, "Micro power management of active 802.11 interfaces," in *Proc. Int. Conf. Mobile Syst., Applicat., Services (MobiSys '08)*, pp. 146-159, Breckenridge, U.S.A., June 2008.

[5] A. J. Pyles, X. Qi, G. Zhou, M. Keally, and X. Liu. "SAPSM: Smart Adaptive 802.11 PSM for Smartphones," in *Proc. ACM Conf. Ubiquitous Computing (UbiComp '12)*, pp. 11-20, Pittsburgh, U.S.A., Sep. 2012.

[6] Y. D. Park and Y. J. Suh, "An enhanced IEEE 802.11 PSM on Wi-Fi enabled mobile devices," in *Proc. KICS 2013 Winter Conf.*, pp. 221-222, Yongpyeong, Korea, Jan. 2013.

[7] Monsoon solutions inc., Power Monitor,

Retrieved Mar., 20, 2013, from <http://www.msoon.com>.

[8] Madwifi, madwifi source, Retrieved Mar., 20, 2013, from <http://madwifi-project.org>.

박 영 덕 (Young Deok Park)



2012년 2월 성균관대학교 정보통신공학부
2012년 3월~현재 포항공과대학교 컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> 무선랜, 무선 네트워크, IEEE 802.11 PSM

정 경 학 (Kyoung-Hak Jung)



2007년 2월 단국대학교 전기전자컴퓨터공학부
2008년 3월~현재 포항공과대학교 컴퓨터공학과 통합과정
<관심분야> 무선랜, 무선 네트워크, 애드혹 네트워크

서 영 주 (Young-Joo Suh)



1985년 2월 한양대학교 전자공학과
1987년 2월 한양대학교 전자공학과 석사
1996년 미국 조지아 공대 (Georgia Tech) 컴퓨터공학 박사

1988년~1990년 LG전자 연구원
1990년~1993년 충청대학 교수
1996년~1997년 미국 Georgia Tech 연구원
1997년~1998년 미국 University of Michigan 연구원
1998년~현재 포항공과대학교 컴퓨터공학과/정보전자융합공학부 교수
<관심분야> 무선랜 프로토콜, 이동 IP, 이동 멀티캐스트, ad-hoc/sensor 네트워크, 차세대 이동 네트워크