DBpia

논문 17-42-08-20 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '17-08 Vol.42 No.08
https://doi.org/10.7840/kics.2017.42.8.1647

IEEE 802.11 모바일 액세스 포인트의 전력절감을 위한 트래픽 적응방식의 알고리즘 연구

정 우 혁◆, 이 승 형°

Traffic-Aware Dynamic Algorithm for Power Saving of IEEE 802.11 Mobile Access Point

Woo-Hyuk Jung◆, Seung-Hyong Rhee°

요 약

IEEE 802.11기반의 PSM(Power Saving Mode)은 무선 단말의 소모 전력 절감을 위해 데이터의 송수신이 가능한 Awake 상태와 Wi-Fi Interface의 전력을 차단하는 Sleep 상태를 정의한다. 하지만 AP(Access Point)에 대한 전력 절감 정책은 없기 때문에 AP는 Sleep에 들지 못하고 항상 Awake상태를 유지한다. 이에 더하여, AP는 외부 네트워크와 Client 사이의 Traffic Forwarding, Beacon 송신, Client와의 연결 등을 담당하기 때문에 많은 전력을 소모한다. 이는 MAP(Mobile Access Point)에도 똑같이 적용되어 테더링과 같은 환경에서 배터리 수명에 직접적인 영향을 끼친다. 본 논문에서는 MAP의 소비전력을 절감시키기 위하여 AP가 현재 무선 네트워크 트래픽에 적응하여 데이터가 발생하지 않을 것이라 예상되는 시간에 Sleep하는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 네트워크 시뮬레이터인 ns-3를 이용해 기존 방식과 제안된 방식을 시뮬레이션 하여 결과를 비교분석 하였다.

Key Words : Access Point, Power Saving, Traffic-Aware

ABSTRACT

Power Saving Mode(PSM) based on IEEE 802.11 defines Awake state in which data can be transmitted and received and Sleep state in which power of the Wi-Fi interface is cut off to reduce the power consumption of the wireless devices. But it has not been addressed for Access Point(AP), so the AP can not enter the Sleep state and always maintains the Awake state. Moreover, the AP consumes a great deal of power because it handles traffic forwarding between external network and the clients, beacon transmission, connection with clients, etc. This applies equally to MAP(Mobile Access Point), which directly affects the battery life in tethering-like environments. In this paper, we propose an algorithm that sleeps at a time when AP determines that data will not be generated due to adaptation to current wireless network traffic in order to reduce power consumption of mobile AP. We simulated the existing method and the proposed method using the network simulator ns-3, and analysis is performed on the results.

※ 본 연구는 한국연구재단 기본연구지원사업(2010-0023858)에 의하여 수행되었습니다.
◆ First Author : Kwangwoon University, Department of Electronics Convergence Engineering, shon4008@kw.ac.kr, 학생회원
° Corresponding Author : Kwangwoon University, Department of Electronics Convergence Engineering, rhee@kw.ac.kr, 종신회원
논문번호 : KICS2017-03-087, Received March 29, 2017; Revised July 17, 2017; Accepted July 17, 2017

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

IEEE 802.11[1] 기반의 무선 네트워크는 이동 제약 없이 외부 네트워크에 연결할 수 있다는 장점이 있지만, 무선 데이터의 통신을 담당하는 Wi-Fi Interface가 많은 전력을 소모하므로 전력 관리가 중요한 문제로 떠오르게 되었다.[2]

802.11[1]은 무선 단말의 소비전력절감을 위해서 PSM(Power Saving Mode)을 제공한다. PSM은 무선 단말의 상태를 Awake와 Sleep으로 나누는데, Awake 상태는 데이터 송수신이 가능한 일상적인 상태를 나타내고 Sleep 상태는 소모 전력을 줄이기 위해 일정 시간동안 Wi-Fi Interface에 공급되는 전력을 차단하는 것을 뜻한다. Sleep 상태의 무선 단말은 데이터 송수신이 불가능하기 때문에 PSM을 사용하는 단말이 다른 단말과 원활한 데이터 송수신을 위해서는 Synchronization이 중요시된다.

Infrastructure PSM의 경우 Client는 AP에게 보낼 데이터가 없다면 이를 AP에게 알리고 청취 간격(Listen Interval)동안 Sleep에 들어간다. AP는 잠든 Client에게 전송할 데이터가 생기면 이를 버퍼에 저장하고, 비콘에 TIM(Traffic Indication Message)을 담아 전송한다. 잠들어 있다가 깨어서 비콘을 수신한 Client는 TIM을 통해 자신이 수신해야 할 데이터가 있는지 판단하는데, 수신할 데이터가 없는 Client는 다시 청취 간격 동안 잠들고, 받을 데이터가 있는 Client는 PS-Poll 프레임을 AP에게 전송해 AP로부터 데이터를 수신한다.[1]

Ad-hoc 환경에는 AP가 없기 때문에, 처음 네트워크를 만든 단말에게 비콘을 송신할 의무가 주어진다. Ad-hoc 네트워크에서 잠들어 있던 모든 단말은 비콘이 올 시간에 잠에서 깨어 비콘을 수신한다. 이후 ATIM(Announcement Traffic Indication Message) 기간 동안 잠들지 않고 대기하는데, 전송할 데이터가 있는 단말은 이 기간 내에 ATIM 프레임을 전송한다. 기간 내에 이 프레임을 수신한 단말은 다음 비콘 간격의 ATIM 기간이 끝날 때까지 잠들지 못한다. ATIM 기간이 끝나면, ATIM 프레임을 송수신하지 않은 단말은 잠들고, 남은 비콘 간격동안 깨어있는 단말들끼리 데이터를 주고받는다.[1]

반면, PSM은 AP에 대한 전력 절감 정책이 없기 때문에, AP는 항상 깨어있는 상태를 유지한다. 게다가 AP는 외부 네트워크와 Client간의 Traffic Forwarding, 비콘 송신, Client와의 연결 관리 등을 담당하기 때문에 많은 전력을 소모한다. 이러한 방식은 테더링(tethering)과 같이 MAP(Mobile Access Point)를 사용하는 환경에도 그대로 적용되기 때문에 AP 역할을 담당하는 무선 단말은 많은 전력을 소모하게 되며, 이는 배터리 수명에 직접적인 영향을 끼친다. 최근에는 MAP의 전력절감을 위한 연구가 시작되었다.[3,6-7]

본 논문에서는 MAP의 소비전력을 절감시키기 위하여 AP가 현재 무선 네트워크 트래픽에 적응하여 데이터가 발생하지 않을 것이라 예상되는 시간에 Sleep하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 네트워크 시뮬레이터인 ns-3를 이용해 기존 방식과 제안된 방식을 시뮬레이션 하여 결과를 비교분석 하였다.

Ⅱ. MAP의 전력절감

현재까지 IEEE 802.11 기반의 PSM을 개선하려는 시도의 대부분은 Client 단을 대상으로 삼았다. 3G와 LTE를 사용하는 단말의 전력절감을 위한 연구[4]에서는 Client의 에너지 소모를 줄이기 위하여, 데이터 송수신이 끝났을 때 일정 시간 높은 전력을 유지하는 'High Power Idle' 상태에서 가능한 빨리 Idle 상태로 전환하는 MakeIdle 알고리즘과, 데이터를 버퍼에 저장해두어 Active모드로의 전환을 지연시켜 한 번에 많은 데이터를 송수신하는 MakeActive 알고리즘을 제안하였다.

SAPSM에서는 자주 사용하지 않는 어플리케이션의 데이터도 PSM 동작에 영향을 미친다는 사실에 주목하였다. 논문에서 제안한 Application Priority Manager는 SVM(Support Vector Machine)을 이용해 어플리케이션마다 우선순위를 매겨, 우선순위가 낮은 어플리케이션의 데이터는 PSM 동작에 영향을 미치지 않도록 하였다.[5]

Client의 소모전력 절감에 대한 연구에 비해, AP를 대상으로 한 연구는 많지 않았다. DozyAP는 Sleep Request-Response 프로토콜을 개발하여 일정시간동안 채널이 비어있으면 AP가 Sleep Request를 Client에게 전송하고, 이것을 수신한 Client는 Sleep Response를 전송하여 AP가 잠들어도 되는지에 대해 합의한 후 잠들도록 하였다. 잠드는 시간의 결정에는 Adaptive Sleeping 알고리즘을 개발해 사용함으로써 잠들어있는 동안 외부 네트워크로부터 다운링크 데이터를 수신하면 Sleep 시간을 감소시키고, 잠들어있는 동안 다운링크 데이터가 도착하지 않았다면 Sleep 시간을 증가시키는 방법을 사용하였다.[6]

Mesh 네트워크에서의 AP 전력 절감에 대해 연구

www.dbpia.co.kr

한 논문에서는 하나의 비콘 기간을 CP, Sleep 기간으로 나누어 CP에는 데이터 송수신을, Sleep 기간에는 AP가 잠들도록 하였다. 또한 CP와 Sleep 기간의 경계를 M-boundary라 하고, 그 M-boundary를 이동시킴으로써 CP와 Sleep기간의 비중을 조절하였다. M-boundary의 조절에는 LMS(Least Mean Square) 알고리즘이 사용되었다. 해당 논문에서 실제 시스템은 CP동안 채널 사용률이 65%가 되는 것을 목표로 학습한다.[7]

Ⅲ. 제안하는 알고리즘

MAP를 잠들도록 하여 전력을 절감시키려 할 때 신경 써서 다뤄야 할 부분은 AP가 잠들었을 때 발생하는 데이터 지연 및 소실을 최소화 하는 것이다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 AP가 현재 무선 네트워크에서 다음 데이터 발생 시간을 예측한 다음, 그때까지 잠들도록 함으로써 AP의 전력을 절감시키면서도 데이터 지연을 최소화 하고자 하였다. AP는 잠들었다가 깨어나서 데이터를 송수신하고, 다시 다음 데이터가 도착할 시간을 예상해 잠든다. 여기서의 다음 데이터는 외부 네트워크로부터의 다운링크 데이터나, Client로부터의 업링크 데이터를 뜻한다. 주기적으로 발생하는 비콘 송신은 알고리즘의 동작에 영향을 미치지 않도록 한다. AP가 잠들면 다운링크 데이터에는 지연이 생길 수 있고 업링크 데이터는 소실될 수 있으므로, 데이터가 도착할 시간을 예측하는 것은 제안하는 알고리즘에서의 가장 중요한 작업이다. 다음 데이터의 도착 시간을 예측하기 위해서 LMS(Least Mean Square) 알고리즘을 사용한다. LMS 알고리즘을 사용하면 실제 시스템의 가중치를 목표하는 이상적인 시스템의 가중치에 가까워지도록 학습시킬 수 있다.[8]

그림 1 과 같이 AP가 데이터를 송수신한 후 다음 데이터가 도착할 시간을 예측하고 그 시간까지 Sleep 했다고 가정하면, Sleep하는 도중 데이터가 발생한 상황에서는 AP가 더 적은 시간동안 Sleep을 했어야 함에도 불구하고 긴 시간을 Sleep하여 데이터 송수신이 원활하지 못하게 된다. 반면, 예측한 시간 이후에 데이터가 발생했을 때 AP는 더 긴 시간을 Sleep할 수 있었음에도 불구하고 Idle 상태에서 불필요한 전력을 소모하게 된다. 예측한 시간 이전에 도착한 데이터가 양수 값의 지연을 가진다고 하고, 예측한 시간부터 다음 데이터가 도착할 때까지의 시간을 음수 값의 지연이라 한다면, 제안하는 알고리즘에서의 이상적인 시스템은 지연 값을 0으로 만드는 시스템이다.

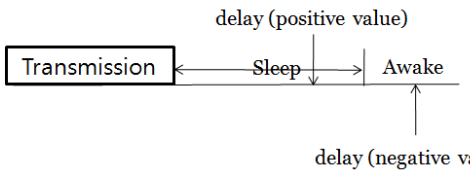

그림 1. 데이터 지연
Fig. 1. Data Delay

관련 연구에서 하나의 비콘 기간을 데이터 송수신 기간, Sleep 기간으로 나누고 다음 송수신 기간의 채널 사용률이 65%가 되도록 그 비중을 조절하는데 LMS 알고리즘이 사용된 바 있으며,[7] 그 방법을 이용하여 다음과 같이 $(i+1)$번째 데이터의 도착시간을 예측 할 수 있다. 지난 데이터가 도착할 것이라고 예상했던 시간 값을 $t_{expect}(i)$, 실제로 이전 데이터가 도착한 시간을 $t_{arrival}(i)$라고 한다면, 에러 값은

$$e(i) = t_{expect}(i) - t_{arrival}(i) \tag{1}$$

가 된다. LMS 알고리즘에 따르면 $(e(i))^2$을 최소화 시켜야 시스템의 가중치가 최적화 되므로, 이를 위해 Gradient Descent 방법을 사용한다.

$$\begin{aligned} &\frac{\partial}{\partial t_{expect}(i)} e(i)^2 = 2e(i)\frac{\partial e(i)}{\partial t_{expect}(i)} \\ &= 2(t_{expect} - t_{arrival})\frac{\partial e(i)}{\partial t_{expect}(i)} \end{aligned} \tag{2}$$

식 (2) 에서의 편도함수는 상수 2와 함께 아래 LMS 알고리즘에 기반을 둔 t_{expect} 업데이트 수식에서 하나의 변수로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} &t_{expect}(i+1) \\ &= t_{expect}(i) - \mu(t_{expect}(i) - t_{arrival}(i)) \end{aligned} \tag{3}$$

식 (3) 에서 μ는 수렴속도를 의미한다. μ의 값이 높으면 t_{expect}의 값이 네트워크 트래픽에 따라 빠르게 증가하거나 감소하고, μ의 값이 낮으면 t_{expect}의 값은 느리게 변화한다. 긴 주기의 burst한 트래픽이 발생할 때에는 데이터를 송수신한 뒤 Sleep 시간을 빠르게 증가시키는 것이 에너지 절감 면에서 효율적이기

www.dbpia.co.kr

때문에 높은 μ값이 유리하다 할 수 있고, 데이터가 짧은 주기로 발생할 때에는 짧은 Sleep 시간을 가지더라도 데이터를 원활히 처리하는 것이 데이터 지연 면에서 효율적이기 때문에 낮은 μ값이 유리하다.

AP가 t_{expect}값을 결정하면 그때까지 잠들기에 들어가고, 수면 이후 다시 깨어났을 때 데이터가 한동안 도착하지 않는다면 AP는 t_{expect}값이 업데이트 되지 않기 때문에 Idle상태에서 계속 대기해야 한다. 이 문제를 해결하기 위하여 Sleep 이후 깨어나면 $t_{expect}(i)$ 시간값 만큼 Idle상태에서 대기하다가 데이터가 발생하지 않으면 $t_{arrival}(i) = 2t_{expect}(i)$로 놓고 $t_{expect}(i+1)$값을 업데이트해 잠들도록 하였다. 이것은 데이터가 긴 시간동안 발생하지 않았으므로, 앞으로도 데이터가 발생할 확률이 낮다고 판단해 오랫동안 잠들겠다는 의미이다.

데이터가 짧은 주기로 계속해서 발생하는 상황이라면 t_{expect}값만큼 반드시 잠드는 방식은 다운링크 데이터의 지연 발생, Client로부터의 데이터 소실 등의 문제를 발생시킬 수 있다. 그러므로 AP가 Sleep에 들었다가 Awake하는 시간을 t_{switch}라 할 때, $t_{switch} < t_{expect}$인 경우에만 수면에 들도록 한다. 이것은 다음 데이터가 도착할 것이라 예상되는 시간이 너무 짧아서, Wi-Fi interface가 꺼졌다가 바로 켜져 Sleep 하지도 못하고 데이터 지연 면에서만 손해를 보게 될 것이라 예상되는 경우 잠들지 않고 Idle 상태를 유지하겠다는 의미이다. t_{switch}는 각 기기들마다 잠들었다가 깨어나는데 소요되는 시간이 다르므로, 알고리즘 구현 전에 측정을 통해 구해야 한다.

AP를 Sleep 상태로 전환할 때 가장 중요하게 고려해야할 문제는, AP가 Sleep 상태일 때 Client가 보내는 데이터는 모두 소실된다는 것이다. 이 문제를 완전히 방지하기 위한 대책으로는 NAV값을 이용해 AP가 Sleep하는 동안 Client의 송신을 제한하는 방법[3], Client단의 펌웨어 수정 등이 있다. 본 논문에서는 AP가 한 번에 너무 오래 Sleep하지 않도록 $t_{threshold}$라는 t_{expect}의 최댓값을 지정함으로써 문제를 방지하고자 하였다.

Ⅳ. 시뮬레이션

제안한 방법을 네트워크 시뮬레이터인 ns-3[9]에 구현하고 간단한 시뮬레이션을 통해 데이터 발생 시 알고리즘이 어떻게 동작하는지 확인하였다. 표 1 은 시뮬레이션에 사용한 여러 가지 파라미터 값을 나타낸다. AP역할의 노드 하나와, Client 역할의 노드 하나를 가깝게 설치하고 0~30초 까지는 3초에 한번씩, 30~60초까지는 10초에 한번씩 AP가 Client에게 UDP 패킷을 송신하도록 하였다. t_{switch}는 관련 연구에서 측정한 값인 1.2초를 사용하였고,[5] t_{expect}의 초기 값은 0, 수렴속도 μ는 0.3과 0.5를 사용했을 때를 각각 시뮬레이션 하였다.

표 1. 시뮬레이션에 사용한 파라미터
Table 1. Simulation Parameters

Distance	5(m)
Tx/Rx Current	0.38(A) / 0.313(A)
Idle Current	0.273(A)
Sleep Current	0.033(A)
Supply Voltage	3(V)
Packet Size	2000(Byte)
Packet Interval	3, 10(s)
Simulation Time	60(s)
μ	0.3, 0.5
t_{switch}	1.2 (s)
$t_{threshold}$	10 (s)

그림 2 는 μ=0.5로 시뮬레이션 했을 때, 0초부터 30초까지 알고리즘의 작동과정을 나타낸 것이다. AP는 매 패킷 송신이 끝나면 t_{expect}값을 결정한 뒤 그만큼 잠들었다. t_{expect}의 초기 값이 0이므로, 처음 데이터가 발생했을 때는 데이터 발생 주기인 3초보다 작은 값으로 업데이트 된다. 그 이후 2~3개의 패킷을 송신할 때 t_{expect}의 값은 데이터 발생 주기인 3초와의 차이로 인해 빠르게 증가하며, 그 이후의 패킷송신부터는 차이가 작기 때문에 조금씩만 증가한다. 10번째 패킷을 송신한 뒤에는 2.994초로 3초에 근접한 값을 보였다.

그림 3 은 30초에서 60초까지, 10초에 한번 패킷을 송신하도록 했을 때 제안한 방법의 동작을 나타낸 것이다. AP가 t_{expect}값에 따라 Sleep한 시간을 회색 도형으로 도식하였다. 30초에 t_{expect}의 값은 이전에 3

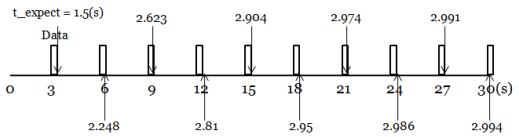

그림 2. 0에서 30초까지의 알고리즘 동작
Fig. 2. Algorithm Operation from 0 to 30 Seconds

www.dbpia.co.kr

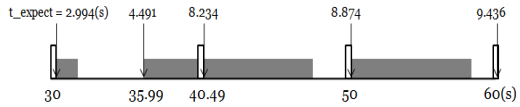

그림 3. 30에서 60초까지의 알고리즘 동작
Fig. 3. Algorithm Operation from 30 to 60 Seconds

초 간격의 데이터가 발생했었기 때문에 2.994의 값을 가진 상태이다. 잠에서 깬 뒤, $2t_{expect}$의 시간동안 데이터가 발생하지 않았기 때문에 t_{expect}값을 늘려 다시 잠든다. 이로 인해 AP는 데이터 발생시간인 40초에 여전히 잠들어 있는 상태가 되는데, 40초에 전송했어야 할 데이터는 AP가 잠에서 깨어난 후 송신되기 때문에 작은 지연이 발생한다.

그림 4 는 동일한 트래픽에서 기존의 PSM과 제안된 방법을 사용했을 때 AP의 에너지소모량을 나타낸 것이고, 표 2 는 그에 따른 시뮬레이션 결과를 AP의 에너지 소모량, AP가 Sleep한 시간, Sleep함으로써 발생한 데이터 지연으로 나타낸다. 기존의 PSM에서 AP는 Sleep하지 않으므로 에너지소모량은 시간의 흐름에 따라 선형으로 증가하는 것을 볼 수 있다.

반면 μ=0.3을 사용한 제안된 방법의 경우 t_{expect}가 데이터 주기에 맞게 증가하는 처음 3초를 제외하고는 데이터를 송신한 뒤 Sleep함으로써 기존 방식과 비교했을 때 소모 에너지를 57.31% 줄였다. 데이터를 주기적으로 발생시켰기 때문에 AP가 데이터 주기를 인식해 t_{expect}값이 학습된 구간에서는 데이터를 송신할 때에만 깨어남으로써 에너지소모량이 거의 증가하지 않는 것을 볼 수 있다. 반면 데이터 발생 주기가 변했을 때는 t_{expect}의 학습으로 인해 Idle 상태를 유지하는 시간이 생기기 때문에 에너지소모량이 늘어나는 것을 확인할 수 있다. μ=0.5를 사용했을 때는 μ=0.3을 사용했을 때보다 데이터 주기에 빨리 적응하여 시뮬레이션 시간의 대부분을 Sleep하면서 기존 PSM 대비 에너지소모량을 71.18% 줄였지만, Sleep 시간을 급격히 늘림에 따라 데이터 지연이 발생하였다.

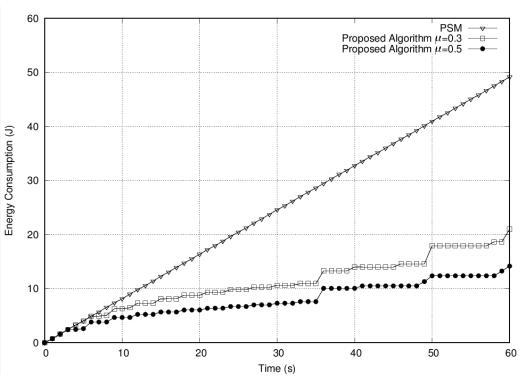

그림 4. 에너지 소모량
Fig. 4. Energy Consumption

표 2. 알고리즘 성능
Table 2. Algorithm Performance

	PSM	μ=0.3	μ=0.5
Energy Consumption(J)	49.17	20.99	14.17
Sleep Time(s)	0	47.11	58.02
Delay(s)	0	0	0.4828

다음으로, 데이터 발생이 주기적이지 않은 랜덤트래픽에서 제안한 방법을 시뮬레이션 하였다. AP와 Client 노드를 하나씩 설치하고, 서로에게 임의의 발생 간격(0~5초)으로 임의의 크기(10~4000 Bytes)를 가지는 TCP 데이터를 전송하도록 하였다. 시뮬레이션에서 데이터 발생 간격 최소값을 0초로 설정하는 것이 가능한 이유는, 실제 데이터 전송을 데이터의 크기를 data rate로 나눈 시간 값만큼 지연시키도록 했기 때문이다. 시뮬레이션은 180초 동안 진행되었고 이외의 시뮬레이션 파라미터는 표 1 과 동일한 값을 사용하였다.

그림 5는 랜덤트래픽이 발생하는 상황에서 AP의 에너지소모량을 그래프로 나타낸 것이며, 표 3은 그에 따른 시뮬레이션 결과를 AP의 에너지 소모량, AP가 Sleep한 시간, Sleep함으로써 발생한 데이터 지연으로 나타낸다. 랜덤트래픽으로 인해 언제, 어떤 크기의 데이터들이 발생했는지에 대해서는 본 논문에 표현하기에 가독성이 너무 떨어져 생략한다. 직관적으로 랜덤트래픽의 경우 기존 PSM을 사용하는 AP의 에너지소

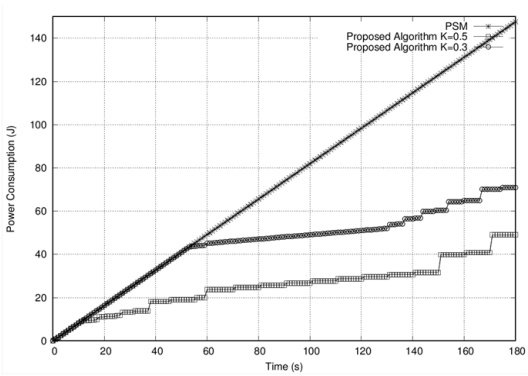

그림 5. 랜덤트래픽 에너지 소모량
Fig. 5. Random Traffic Energy Consumption

www.dbpia.co.kr

표 3. 랜덤트래픽 알고리즘 성능
Table 3. Random Traffic Algorithm Performance

	PSM	μ=0.3	μ=0.5
Energy Consumption(J)	147.6	70.93	49.04
Sleep Time(s)	0	100	135.3
Delay(s)	0	32.46	32.25

모량이 선형으로 증가하지 않을 거라 생각할 수 있으나, Idle 상태에서 소모하는 전력량이 데이터를 송수신 할 때와 크게 차이나지 않으므로 이 경우에도 에너지소모량은 시간의 흐름에 따라 선형으로 증가한다.

시뮬레이션 초반 55초 인근까지는 대부분의 데이터가 최대 3.5초, 최소 0.006초의 발생 간격을 가졌는데, μ=0.3을 사용한 경우 몇 개의 데이터들이 긴 간격으로 발생하더라도 t_{expect}의 값이 크게 바뀌지 않으므로, t_{expect}가 t_{switch}의 값을 넘지 못하면서 계속해서 Awake 상태를 유지하였다. 따라서 55초 인근까지는 AP가 Sleep하지 않아 기존 PSM과 같은 에너지소모량을 보인다. 56초에서 Idle 상태가 3초 이상 지속되는 상황이 발생하였는데, 이때 t_{expect}값이 충분히 증가하여 AP가 Sleep하기 시작한다. 시뮬레이션 간에 AP가 Sleep함으로 인해서 Client 데이터가 소실된 경우는 없었으며, 데이터가 burst하게 발생한 구간을 제외하고는 시뮬레이션이 끝날 때까지 비슷한 t_{expect}값을 유지하였다. 3분간의 시뮬레이션에서 수렴속도 0.3을 사용한 제안된 방법은 기존 PSM 대비 48.05%의 에너지를 소모하였지만, 32.46초의 데이터 지연이 발생하였다.

μ=0.5를 사용한 경우 t_{expect}값의 변동 폭이 크기 때문에, 데이터 간격이 3.5초로 벌어진 10초 인근에서부터 Sleep하기 시작하였다. 낮은 수렴속도를 사용한 경우와 달리 시뮬레이션 동안 많은 Client 데이터가 소실되었다. 시뮬레이션 시간의 대부분인 135.3초를 Sleep하면서 기존 PSM 대비 33.22%의 에너지를 소모하였지만, 32.25초의 데이터 지연이 발생하였다. μ=0.3이었을 때와 비교해 Sleep 시간이 더 긴데도 불구하고 데이터 지연 시간이 비슷한 이유는 Client 데이터가 대부분 소실되어 AP의 데이터 발생에 근거해 t_{expect} 값을 조절했기 때문이다. AP의 데이터는 임의의 시간 간격으로 발생하지만 이 역시 0~5초의 범위로 고정되어 있는 값이므로, Client의 데이터도 t_{expect}값에 관여하는 μ=0.3 방법보다는 다음 AP 데이터 발생을 추측하는데 더 유리하게 된다. 하지만 이때 소실된 Client 데이터의 개수는 75개 중 57개로, 높은 수렴속도는 이와 같이 불규칙한 트래픽에서 적합하지 않다고 할 수 있다. 낮은 수렴속도를 사용하면 에너지소모량을 줄임과 더불어 원활한 데이터 송수신을 기대할 수 있다.

V. 결 론

IEEE 802.11 기반 무선 네트워크에서 사용되는 AP는 PSM의 전력절감대상이 아니기 때문에 많은 전력을 소모한다. 본 논문에서는 AP가 현재 네트워크의 트래픽을 바탕으로 다음 데이터가 도착할 시간을 예측해 그때까지 잠드는 알고리즘을 제안하였다. 다음 데이터 도착시간을 예측하는 데에는 LMS 알고리즘이 사용되어 데이터 발생이 잦을 경우 짧은 Sleep 시간을, 데이터 발생이 뜸할 경우 긴 Sleep 시간을 가지도록 하였다.

시뮬레이션 결과를 통해, 일정한 주기로 데이터가 발생하는 경우 제안된 방식이 Sleep시간을 트래픽 패턴에 맞게 조절할 수 있음을 보였다. 제안된 방식은 낮은 학습속도를 사용할 경우 기존 PSM 대비 소모 에너지를 57.31%, 높은 학습속도를 사용할 경우 71.18% 절감하면서도 데이터 지연은 거의 발생하지 않는 좋은 성능을 보였다. 반면 데이터가 불규칙하게 발생하는 상황에서 높은 학습속도를 사용했을 때는 기존 PSM 대비 소모 에너지를 66.78%까지 절감하였으나, 데이터 송신이 지연되고 Client의 데이터가 소실되어 원활한 통신이 불가능하였다. 이와 같은 경우에는 낮은 학습속도를 사용하면 에너지소모량을 줄임과 동시에 원활한 데이터 송수신을 기대할 수 있다.

References

[1] Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Std 802.11, 2007.

[2] A. Garcia-Saavedra, P. Serrano, A. Banchs and G. Bianchi, "Energy consumption anatomy of 802.11 devices and its implication to modeling and design," in *Proc. 8th CoNEXT'12*, pp. 169-180, ACM, New York, Dec. 2012.

[3] K.-H. Jung, Y. Qi, C. Yu, and Y.-J. Suh, "Energy efficient wi-fi tethering on a

www.dbpia.co.kr

smartphone," in *Proc. IEEE INFOCOM 2014*, pp. 1357-1365, Apr. 2014.

[4] S. Deng and H. Balakrishnan, "Traffic-aware techniques to reduce 3G/LTE wireless energy consumption," in *Proc. 8th CoNEXT'12*, pp. 181-192, ACM, New York, Dec. 2012.

[5] A. J. Pyles, X. Qi, G. Zhou, M. Keally, and X. Liu, "SAPSM: Smart adaptive 802.11 PSM for smartphones," in *Proc. 13th UbiComp'12*, Sept. 2012.

[6] H. Han, et al., "Design, realization, and evaluation of DozyAP for power-efficient Wi-Fi tethering," in *Proc. IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 22, no. 5, pp. 1672-1685, Oct. 2014.

[7] Y. Li, T. D. Todd, and D. Zhao, "Access point power saving in solar/battery powered IEEE 802.11 ESS mesh networks," in *Proc. IEEE QShine'05*, pp. 5-49, 2005.

[8] Wikipedia, Least mean squares filter, Retrieved May 30, 2017, from "https://en.wikipedia.org/wiki/Least_mean_squares_filter"

[9] ns-3, Retrieved May 30, 2017, from "https://www.nsnam.org"

정 우 혁 (Woo-Hyuk Jung)

2016년 : 광운대학교 공학사
2016년~현재 : 광운대학교 대학원 석사과정
<관심분야> 무선/모바일 보안, 무선 네트워크 프로토콜

이 승 형 (Seung-Hyong Rhee)

1988년 : 연세대학교 공학사
1990년 : 연세대학교 공학석사
1999년 : University of Texas at Austin 공학박사
1990년~1995년 : 국방과학연구소 연구원
1999년~2000년 : 삼성종합기술원 전문연구원
2000년~현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수
2010년~현재 : 한국통신학회 상임이사
<관심분야> 무선 LAN/PAN, 무선/모바일 보안, IoT

www.dbpia.co.kr