

IEEE 802.11 WLAN 환경에서 전력 절감 방식 연구 동향

진성근
대구대학교

요약

IEEE 802.11 Wireless Local Area Network (WLAN)을 위한 전력 절약 방식에 관한 연구는 오랫동안 연구 되었음에도 불구하고 계속 발전하고 있다. 본 고는 최근 진행된 IEEE 802.11 WLAN을 위한 전력절약방식에 관해 알아보고 향후 진행될 관련 연구 방향에 대해서 논의해 본다.

I. 서론

IEEE 802.11 Wireless Local Area Network (WLAN)은 상업적으로 가장 성공한 근거리 무선 네트워크 기술 중 하나가 되었다. IEEE 802.11b 기술 표준이 개발된 이래로 지속적인 발전을 거듭하면서 시장과 수요를 넓혀 왔다. IEEE 802.11 무선랜 기술 표준의 발전은 주로 전송속도의 향상에 맞춰져 있었다. IEEE 802.11b에서 제공한 최고 전송 속도는 11 Mbps 였으나 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) 방식을 채택한 802.11a/g가 개발되면서 최대 54 Mbps를 지원하게 되었다. 이후 MIMO (Multiple Input Multiple Output)기술과 channel bonding 기술을 도입한 IEEE 802.11n에 와서 최고 600 Mbps의 속도를 제공할 수 있게 되었으며 최근에는 MU (Multi-User) MIMO기술과 20 MHz 대역의 채널 8개를 묶어서 단말당 최고 3.39 Gbps를 제공하는 IEEE 802.11ac가 개발되면서 전송 성능 면에서 한계 속도라 할 수 있는 수준에 까지 도달하였다.

한편, 전송 성능의 비약적인 발전과는 별개로 이동 단말이 필연적으로 가지는 제약이 있다. 즉 배터리를 이용하여 동작해야 하기 때문에 소모전력을 줄여서 단말이 재충전 없이 오랜 시간 동안 동작해야 하는 것은 매우 중요한 요구 조건이다. 그러므로 단말의 전력절감을 위한 노력은 언제나 중요하게 여겨졌다. 무선랜 기술 표준이 주로 전송 성능을 개선하는데 맞춰져 있었으나 소비전력을 절감하기 위한 다양한 동작 방식 또한

기술표준을 통해서 함께 발전되었다. 가장 단순한 형태의 전력 절감 방식은 IEEE 802.11 무선랜이 처음 등장할 때 함께 소개된 Power Saving Mode (PSM)이다. 비이컨 전송 주기마다 단말은 주기적으로 수면동작에서 깨어나서 단말에게 전송될 트래픽을 Access Point (AP)가 버퍼링하고 있는지 확인하고 AP가 트래픽을 버퍼링하고 있다면 버퍼링하고 있는 트래픽을 수신한 후 다시 수면동작으로 들어가는 동작을 반복하게 된다. 이후 Voice over IP (VoIP) 트래픽과 같이 짧은 주기로 전송되는 특성을 가진 트래픽을 수신하기 위해 Automatic Power Save Delivery (APSD) 방식이 소개되었고 이후 업링크와 다운링크 트래픽의 전송 스케줄 정보를 할당하여 스케줄 정보를 확인함으로써 다른 단말이 수면동작을 취할 수 있도록 하는 Power Save Multi-Poll (PSMP) 방식이 개발되었다.

최근까지 IEEE 802.11 무선랜의 전력절감기법에 관한 표준과 관련한 연구가 많았다. 이러한 연구들을 통해서 표준에서 정의한 동작을 분석하고 특성을 이해할 수 있었다. 그러나 최근에 와서 무선랜의 사용이 일반화 되면서 도심 지역 어느 곳에 있더라도 쉽게 무선랜 서비스 영역을 발견할 수 있게 되었다. 이렇게 무선랜의 서비스 영역의 밀집도가 높아지면서 예전에 볼 수 없었던 새로운 문제점들이 발견되었다. 즉, 밀집도가 높을수록 채널을 잡기 위한 지연이 발생할 확률이 높아지고 이에 따라 전력소모도 함께 증가하는 것이다. 최근, 이러한 문제를 해결하기 위한 연구가 하나의 큰 흐름을 형성하였다. 본 고는 이와 관련하여 최근 진행된 연구들을 소개한다.

본 고는 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서 무선랜의 기본적인 전력절감방식인 PSM 방식에 대해서 소개하고 3장에서 최근에 진행된 단말의 소비전력절약을 위한 다양한 연구들에 대해서 소개한다. 그리고 4장에서 결론을 맺는다.

II. IEEE 802.11 Power Saving Mode

<그림 1>은 PSM 동작의 예를 나타내고 있다. PSM은 IEEE

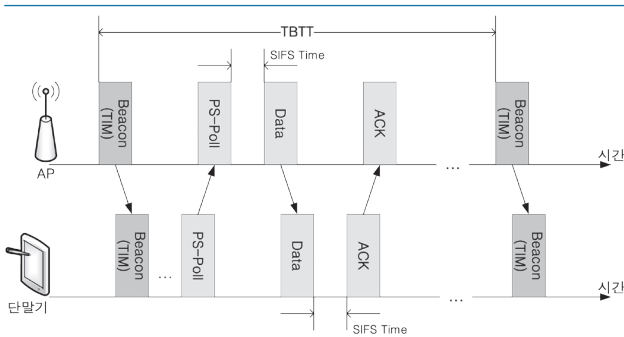


그림 1. Power Saving Mode의 동작 예

802.11 무선랜이 처음 등장했을 때부터 기술규격에 포함되어 있던 동작방식이다. 일반적으로 AP는 약 100 ms 마다 비이컨을 전송하는데 PSM을 수행하는 단말이 있는 경우 비이컨에 Traffic Indication Message (TIM)을 추가하여 전송한다. PSM을 수행하는 단말은 비이컨 전송주기 (TBTT)마다 수면동작에서 깨어나서 비이컨을 수신하고 TIM을 확인한다. TIM은 수면동작중인 단말로 향하는 트래픽을 AP가 버퍼링하고 있음을 나타낸다.

만약 TIM을 확인한 후 해당 단말로 전송되길 기다리는 트래픽이 있는 경우 단말은 Power Save Poll (PS-Poll) 메시지를 경쟁을 통해서 AP로 전송한다. PS-Poll 메시지를 수신한 AP는 PS-Poll에 대한 응답으로 패킷을 전송하고 단말이 패킷을 제대로 수신하면 ACK을 전송하여 데이터 수신을 종료한다. AP가 하나 이상의 패킷을 버퍼링하고 있다면 AP는 PS-Poll에 대한 응답으로 패킷을 보낼 때 하나 이상의 패킷을 버퍼링하고 있음을 나타내는 비트(More data bit)를 1로 변환한 후 데이터를 보낸다. More data bit가 1로 되어 있으면 단말은 경쟁을 통해 PS-Poll 메시지를 보내는 동작을 반복하게 된다. 경우에 따라 PS-Poll에 대한 응답으로 ACK을 보내고 나중에 해당 단말로 데이터를 보내는 방식도 허용된다.

설명한 바와 같이 PSM은 매우 단순한 동작 방식이다. 그럼에도 불구하고 효과적으로 소비전력을 절감할 수 있었다. 이러한 단순성은 구현과 운용에서 큰 장점을 가진다. 이러한 이유로 이후 기술표준에서 APSD나 PSMP와 같은 새로운 전력절감방식이 개발되었음에도 불구하고 여전히 계속해서 가장 많이 활용되는 전력절감 방식이 되었다.

III. 전력절감방식 연구동향

무선랜이 많이 활용되지 않던 초기에는 PSM이 다른 AP와 상호 운용에서 문제가 발생할 가능성이 매우 적었다. 그러나 현재

와 같이 무선랜이 많이 보급되고 네트워크를 관리하기 위한 메시지와 서비스들이 다양해지면서 이전에는 예상하지 못한 다양한 문제점들이 발견되기 시작했다. 본 고에서는 이러한 문제점들에 대해서 설명하고 이를 해결하기 위한 다양한 노력들에 대해서 계속해서 설명한다.

PSM동작을 수행하는 단말의 소비전력을 불필요하게 증가시키는 여러 가지 문제 중 하나로 background traffic을 들 수 있다. 무선랜 환경에서 multicast나 broadcast로 전송되는 IP 패킷이 실제로 단말에게 활용이 되는 것인지를 수신하기 전에는 활용할 수 없다. 그러므로 단말은 multicast나 broadcast되는 단말을 일단 수신해야 한다. Multicast나 broadcast되는 트래픽의 양이 많아질수록 트래픽 수신을 통한 불필요한 전력소비가 증가하게 된다. [1]의 연구는 multicast나 broadcast되는 트래픽의 양과 종류를 실측을 통해 보여주었다. <표 1>은 실측내용을 나타낸다.

표 1. Multicast/Broadcast 트래픽의 종류

Protocol	%	Protocol	%
ARP request	67.27	UDP(SSDP)	9.56
UDP (LLMNR)	5.33	IGMP	4.92
UDP(WSD)	4.60	UDP(unknown)	3.58
UDP(802.11 iAPP)	2.74	DNS	1.15

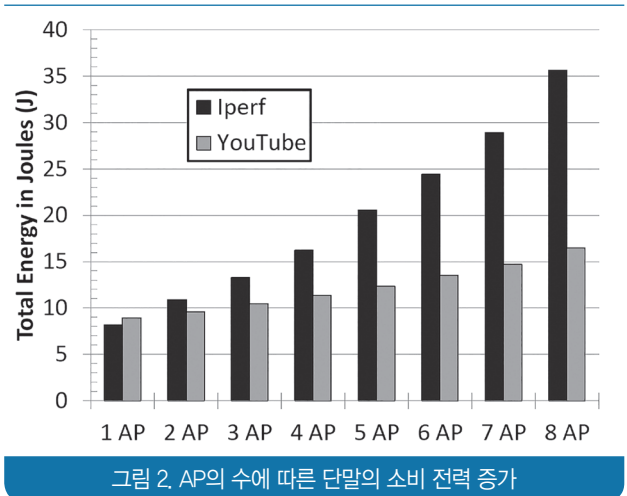
<표 1>을 통해서 우리는 Address Resolution Protocol (ARP) 요구 메시지가 많은 부분을 차지함을 알 수 있다. 이 경우에 전송되는 ARP 메시지는 동적으로 할당된 주소를 회수하거나 관리하기 위해서 사용된다. 이와 같은 multicast와 broadcast로 인한 소비전력을 줄이기 위해서 [3][5]의 저자들은 TIM을 수정하여 multicast와 broadcast 메시지를 위해 특정한 식별자를 부여함으로써 단말이 multicast와 broadcast 메시지를 수신하기 전에 식별 가능하게 함으로써 선별적으로 수신할 수 있도록 하였다. 이러한 연구들은 IEEE 802.11v¹의 기술 표준을 제정하는데도 반영이 되었다[4].

IEEE 802.11v 규격은 ARP 요구 메시지를 단말에게 방송되지 않도록 하기 위해 ARP Proxy를 운용할 수 있도록 한다. ARP Proxy는 동적으로 단말에게 할당된 주소를 AP가 관리하여 ARP 요구 메시지가 도착하면 ARP 요구 메시지를 방송하는 대신 AP가 응답하도록 함으로써 방송 메시지를 현저하게 줄일 수 있다. 또한 multicast나 broadcast 메시지를 unicast로 바꾸어 보낼 수 있도록 함으로써 다른 단말이 불필요하게 multicast나 broadcast 메시지를 수신하지 않도록 하여 불필요한 메시지 수

1 2011년에 IEEE 802.11 무선랜 규격으로 통합되었다.

신으로 인한 전력 소비를 줄일 수 있도록 하였다.

최근 무선랜 사용이 보편화 되면서 무선랜을 서비스 영역이 점점 더 많이 겹치게 되었다. 일정 지역 내에 점점 더 많은 수의 무선랜 AP가 분포함에 따라서 무선랜 AP들이 서비스하는 영역 내에 다른 AP가 존재하는 경우가 많아졌고 이에 따라 채널에 접근하기 위해 AP들 사이에 경쟁이 발생하게 되었다. AP는 단말에게 서비스를 제공 해야 하는 중요한 기능을 수행한다. 이러한 AP가 채널을 점유하기 위해 경쟁으로 인한 지연이 발생하면 AP와 연결되어 있는 단말들도 트래픽을 수신하기 위한 지연이 길어진다. 뿐만 아니라 AP와 연결되어 있는 단말들 사이에도 경쟁이 발생하므로 이러한 전송 지연으로 단말은 불필요한 전력을 소비하게 된다. [2]의 연구는 이러한 현상을 실험적으로 보여주었다.



〈그림 2〉는 [2]의 저자들이 실험을 통해 측정한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 서로 영향을 미치는 범위 내에 AP의 수가 증가할 때 이에 따라 단말이 소비하는 전력도 함께 증가하는 것을 볼 수 있다. [2]의 연구에서 저자들은 AP들이 서로 이웃해 있는 경우 이웃한 AP들의 동작을 모니터링해서 이웃한 AP들 및 이와 연결된 단말들이 경쟁하지 않도록 비이컨 전송 시점을 조정함으로써 채널 점유를 위한 경쟁을 완화하고 이에 따라 소비전력을 줄여가는 방법을 제시하였다.

앞서 설명한 바와 같이 PSM을 수행하는 단말은 비이컨에 포함된 TIM을 확인하기 위해서 비이컨 전송 주기마다 깨어서 비이컨을 수신한다. 그러나 단말의 수가 많은 경우 비이컨이 전송될 때 많은 수의 단말이 한꺼번에 깨어나서 TIM을 확인하게 되고 TIM을 확인한 단말들이 트래픽 수신을 위해서 PS-Poll 메시지를 전송하게 되면 많은 단말들이 서로 경쟁하게 되므로 이로 인한 지연이 발생한다. AP들이 밀집된 영역에서 AP들의 비이컨 전송주기가 비슷하다면 단말들과 AP들 사이의 경쟁으로

인한 지연이 가중되어 결국 전력소비는 더 큰 비율로 증가하게 된다.

그러므로 [2]의 연구에서 저자들은 AP들이 이웃한 AP의 비이컨 전송주기를 관찰하여 AP들 사이의 경쟁이 가장 적게 일어나는 시간 영역 비이컨 전송 시점을 옮기게 한다. 이렇게 하면 AP와 연결되어 있는 단말들이 깨어나서 TIM을 확인하는 시점도 변화된 AP의 비이컨 전송 시점으로 이동하게 되어 단말들이 동시에 깨어나서 PS-Poll을 보내기 위해 경쟁하게 되어 그 만큼 소비전력이 늘어나는 효과를 줄일 수 있게 된다. [2]의 연구에서 저자들이 제안한 방식을 sleep well이라고 한다.

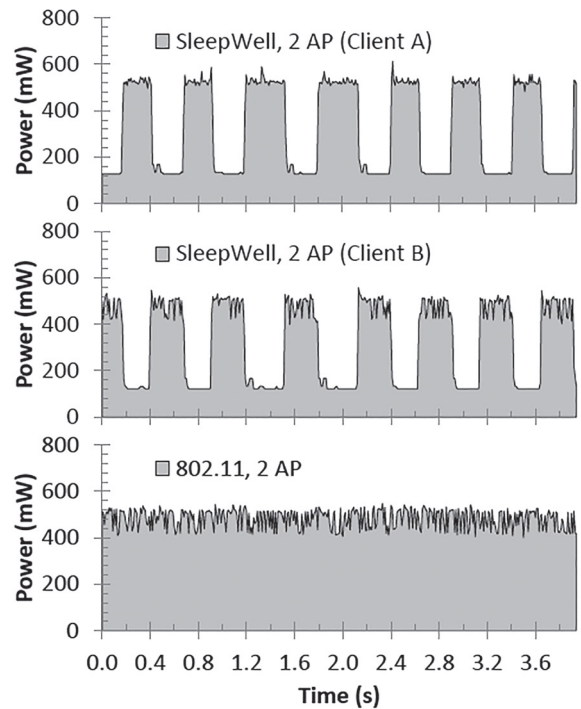


그림 3. Sleep well 동작 실험 결과

〈그림 3〉은 sleep well을 실험한 결과를 나타낸다. 이 그림에서 AP는 두 개가 사용되었고 각 AP 마다 하나의 단말이 연결되어 있다. 각 단말은 비이컨 송신주기로 깨어나 트래픽을 수신하고 수신이 끝나면 수면동작으로 들어가는 것을 반복한다. 트래픽 수신은 비이컨 전송주기의 약 절반정도에 해당된다. 그러므로 각 AP는 비이컨 전송 시점을 조정하여 두 단말의 트래픽 수신이 겹치지 않도록 조정한다. 세 번째 그림에서 비이컨 전송 시점 조정이 잘 이루어져 전체적으로 전력 소비가 골고루 분산되어 있음을 볼 수 있다.

[6]의 연구는 이와 같은 문제를 다른 방식으로 해결한다. 저자들은 하나의 물리적 AP를 이용하여 가상의 AP를 생성한다. 가상의 AP는 고유의 Basic Service Set Identification (BSSID)

를 가지고 독립적으로 동작한다. 이때 각각의 가상 AP는 비이컨 전송 시점이 서로 다르다. 단말들은 가상 AP들로 분산시켜 연결 시킨다. 그러므로 단말들이 TIM을 확인하기 위해서 일어나는 시점이 가상 AP의 비이컨 전송 시점에 따라 분산되므로 PS-Poll 메시지를 전송하기 위한 채널 경쟁이 줄어들게 된다. 결과적으로 경쟁을 통해 채널에 접근하기 위해 발생하는 지연이 줄어들어 그에 상응하는 전력 소비 또한 줄어들게 된다.

이와 같이 TIM을 확인하기 위해 많은 단말이 한꺼번에 깨어나서 PS-Poll 전송을 위해 경쟁하는 상황을 벗어나기 위한 연구는 IEEE 802.11ah 기술 표준을 만드는데 영향을 주었다. IEEE 802.11ah 기술 표준은 전송거리가 1 km에 이르므로 매우 넓은 지역을 서비스할 수 있다. 하지만 그로 인해 매우 많은 수의 단말을 수용해야만 한다. IEEE 802.11ah는 모두 8191개의 단말을 수용할 수 있다. 만약 이렇듯 수 천 개의 단말이 수면 동작에 있다가 한꺼번에 깨어 TIM을 확인하고 PS-Poll을 전송하기 위해 경쟁하게 된다면 매우 큰 지연이 발생하고 이로 인해 소비전력 또한 매우 크게 증가할 것이 분명하다. [2][6]의 연구와 같이 단말이 수면 동작에서 깨어나는 시점을 분산시켜 경쟁을 통한 지연을 줄이는 동작이 필요하다. 저자들은 가상 AP를 구현하기 위해 잘 알려진 공개코드인 madwifi를 활용하였다. Madwifi는 Atheros 칩셋을 장착한 무선랜 카드를 구동하는 디바이스 드라이버이며 연구가 진행될 당시에는 하나의 무선랜 카드를 이용하여 최대 4개의 가상AP를 만들어 동작시킬 수 있었다.

IEEE 802.11ah 기술 표준은 많은 수의 단말이 수면 동작을 수행할 수 있도록 하는 새로운 기술을 정의하고 있다. 기존의 PSM 방식은 단말을 깨우기 위해서 TIM에 단말의 Association ID (AID)와 상응하는 비트를 세팅하여 단말로 향하는 트래픽을 AP가 버퍼링하고 있음을 나타내었는데, 최대 2007개의 단말을 지원할 수 있다. 그러나 지원 해야 하는 단말의 수가 8191개로 늘어나면서 기존의 방법으로 수천 개의 단말을 지원하는 것은 큰 낭비 요소가 될 수 있다. 수천의 단말을 지원하기 위해 IEEE 802.11ah는 AID를 페이지, 블록, 서브블록, 서브블록내의 단말의 인덱스로 나눈다. 일반적으로 모든 단말이 한꺼번에 수면 동작에서 깨어나는 일은 없고 비슷한 동작을 수행하는 단말들을 블록이나 서브블록 단위로 묶어서 관리할 수 있기 때문에 효과적이다. 물론 개별 단말에 대해서 수면 동작에서 깨어나도록 할 수 있다[10].

[2][6]의 연구에서 밝혀진 바와 같이 동시에 많은 수의 단말이 수면 동작에서 깨어나서 채널 접근을 시도하는 경우 불필요한 소비전력이 늘어나게 된다. 이러한 문제를 감안하여 Restricted Access Window (RAW)와 Target Wake Time (TWT)를 정의

하고 있다. Restricted Access Window는 TIM을 확인하여 수면 동작에서 깨어나는 단말들이 채널에 접근하기 위한 시간 범위를 미리 한정하여 정해진 범위 내에서만 채널 접근을 시도하는 동작방식이다. 채널에 접근하는 시간 범위를 미리 설정함으로써 많은 단말이 특정 시간대에 몰려서 경쟁하는 것을 막을 수 있다.

그러나 단말로 향하는 트래픽의 도착 빈도가 매우 낮은 경우 주기적으로 수면 동작에서 깨어 TIM을 확인하는 동작도 불필요한 전력을 소비하게 된다. 이처럼 긴 주기로 수면 동작에서 깨어나는 단말들을 위해 TWT가 정의되었다. TWT를 활용하는 수면 단말은 주기적으로 깨어나서 TIM을 확인하지 않는다. 대신 경쟁을 통해 직접 PS-Poll 메시지를 전송하고 AP로부터 응답을 기다린다. AP가 응답하는 메시지의 종류에 따라서 단말은 AP가 버퍼링하고 있는 트래픽을 수신하거나 혹은 다음 TWT까지 다시 수면 동작을 취한다. 이처럼 IEEE 802.11ah는 많은 수의 단말의 수면 동작을 관리할 수 있도록 설계되었으며 낮은 전송률로 넓은 범위를 서비스하므로 센서네트워크와 Internet of Thing (IoT)를 위한 통신 기술로 각광받을 것으로 예상된다.

무선랜 환경에서 단말이 실제 패킷의 송수신에 사용하는 전력 외에도 많은 부분을 센싱과 수신 대기를 위해서 사용한다. [8]의 연구에서 이처럼 직접적인 트래픽의 송수신이 아닌 다른 목적을 가지고 동작하는 대기 상태를 idle listening으로 부르는데 저자들은 이러한 관찰을 바탕으로 idle listening 동안 소비 전력을 줄일 수 있는 방법을 제시하고 Software Defined Radio (SDR) 기술을 이용하여 검증하였다.

기본적으로 idle listening을 위해서 단말의 수신장치가 사용하는 클럭을 낮추어서 동작시킨다. 클럭을 낮추어서 동작시키는 만큼 소비전력은 줄어들게 되지만 다른 단말이 전송하는 시

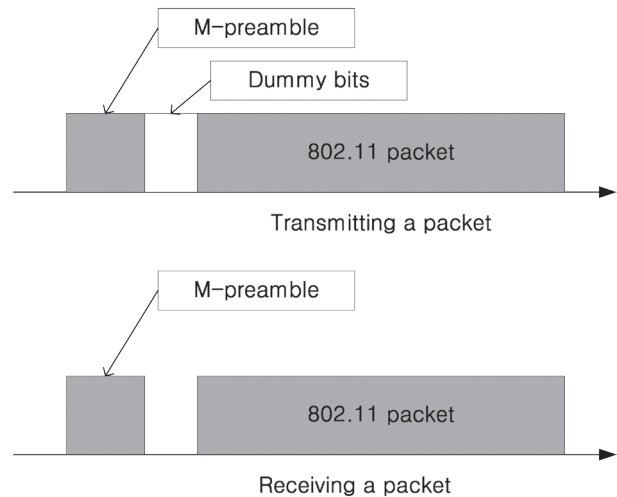


그림 4. M-preamble을 이용한 패킷 전송

간 동안 신호의 에너지 수준을 검출하여 채널이 점유되어 있음을 확인하는 동작을 수행하거나 혹은 다른 단말이 전송하는 패킷의 프리앰블을 정확하게 해석하는데 한계가 생긴다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 저자들은 특별한 프리앰블을 802.11 패킷을 전송하기 전에 전송하는 방법을 제시하였다.

제안된 방식으로 동작하는 단말은 무선랜 패킷을 수신할 때 낮은 클럭으로 동작하고 있으므로 무선랜 패킷의 프리앰블을 직접 검출할 수 없다. 낮은 클럭으로 동작하고 있는 수신단말이 무선랜 패킷을 검출할 수 있도록 패킷을 전송할 때 M-preamble를 붙인다. 그리고 수신단말이 클럭을 높일 수 있는 동작 변환 시간을 주기 위해서 일정시간 동안 여유를 주게 되는데 이 시간 동안 신호 검출이 없다면 다른 무선랜 단말이 채널이 비어있는 것으로 판단하고 M-preamble과 무선랜 패킷의 전송구간 사이에 끼어들게 된다. 이를 방지하기 위해서 M-preamble과 정상 패킷 사이에 잉여비트를 추가하여 전송한다. 수신 단말은 먼저 M-preamble을 검출하는 동작을 계속한다. 이때 낮은 클럭으로 동작하므로 전력소비가 현저히 적다. M-preamble이 검출되면 곧이어 정상적인 무선랜 패킷이 뒤따라 온다는 뜻이므로 동작클럭을 높이고 무선랜 패킷을 수신하게 된다. 제안된 방식은 Software Defined Radio (SDR) 툴킷인 USRP-E100을 이용하여 시험적으로 구현하였다. 실험을 통하여 많은 전력소비를 줄일 수 있음을 보여주었다.

[9]의 저자들은 사용자의 운동성과 무선랜 단말의 소비전력과 관계에 주목하였다. 사용자가 AP 방향으로 이동하면 신호는 좋아지고 같은 양의 데이터를 전송해도 전송하는 시간이 짧아진다. 반대로 사용자가 AP 에서 멀어지는 방향으로 이동하면 신호의 품질은 떨어지고 같은 양의 데이터를 전송하는데 더 오랜 시간이 걸리게 된다. 그러므로 사용자의 이동방향을 정확하게 예측할 수 있어서 AP 방향으로 진행하는 것으로 예측되면 트래픽 전송을 가능한 지연하여 신호가 좋아지길 기다린 후 전송하고 AP 방향에서 멀어지는 것으로 예측되면 트래픽 전송을 가능한 일찍 시작하여 불필요한 전력 소비를 줄이도록 한다.

[9]의 연구에서 사용자의 이동 방향을 예측하는 것은 성능

에 크게 영향을 주기 때문에 매우 중요하다. 저자들은 AP가 전송하는 비이컨을 수신하여 통계적으로 비이컨의 세기가 커지는 것인지 작아지는 것인지를 추정한다. 이러한 통계적 추론으로 AP 방향으로 진행하는 것으로 예측되면 패킷전송을 가능한 지연하고 AP로부터 멀어지는 것으로 판단되면 가능한 패킷전송을 빨리한다. [9]의 연구를 통해 저자들은 실험을 통해 단말이 많은 소비전력을 실제로 절감할 수 있음을 보여 주었다. 이와 비슷한 연구가 Long Term Evolution (LTE) 환경에서 진행되었다[11]. 이 연구에서 저자들은 사용자의 이동성을 파악하기 위해서 사용자가 자주 다니는 이동 경로상에 존재하는 기지국 신호의 크기와 형태를 축적해 두었다가 나중에 이동 경로를 다시 지나갈 때 축적된 데이터를 통해서 신호가 좋아질 것인가 혹은 나빠질 것인가를 예측하고 이에 따라 트래픽 송수신을 미룰 것인지 즉시 처리할 것인지를 결정하였다. 즉 finger print를 이용한 방법으로 무선랜 환경에도 적용 가능한 방법이다.

AP 자체가 수면동작을 통해 전력절감을 이루고자 하는 연구는 이미 [12,13,14]을 통해서 소개되었다. 그러나 당시에는 AP가 주로 고정장치로써 인식되었기 때문에 전력절감방식에 대한 연구가 활발하게 진행되지 않았다. 최근에 와서 스마트폰과 같은 스마트 기기의 보급과 활용이 증가 되면서 이와 관련한 연구가 본격화 되기 시작했다. 대표적으로 스마트폰이 테더링 서비스를 통해서 무선랜 AP로써 동작할 수 있게 됨에 따라 AP가 수면동작을 취함으로써 전력절감효과를 얻어 스마트폰의 동작시간을 연장해야 할 필요성이 제기되었다. [15]의 연구는 이러한 필요성에 의해서 시작되었다.

[15]의 연구에서 저자들은 스마트폰이 테더링 서비스를 제공할 때 스마트폰은 AP로써 동작하고 다른 스마트폰이 AP와 연결되어 인터넷 서비스를 제공받는 상황을 고려한다. 현재 안드로이드 계열의 스마트폰은 'PM_FAST'로 불리는 전력절감방식을 제공하는데 PM_FAST를 수행할 때 테더링 서비스를 제공하기 위해 AP로 동작하는 스마트폰은 곧 수면동작으로 들어감을 알리는 패킷을 전송하고 AP와 연결된 다른 단말들이 확인 응답을 주면 전력절감을 위해 수면동작으로 들어간다. [15]의 연구에서 조사한 바와 같이 인터넷 트래픽은 연속적으로 도착하지 않고 단속적으로 한꺼번에 도착한 뒤 잠시 멈추었다가 다시 한꺼번에 도착하는 과정으로 이루어진다. 그러므로 트래픽의 도착과정에서 중간 중간 전력절감을 위해 수면동작에 들어갈 수 있다.

그러나 인터넷 트래픽의 패턴은 정형화 되어 있지 않기 때문에 특정한 형태로 수면동작을 취하기 보다 현재의 트래픽 도착 형태를 관찰해가면서 적응적으로 수면동작을 취하는 것이 효율적이다. 이를 위해서 [15]의 연구에서는 주기적으로 일정시

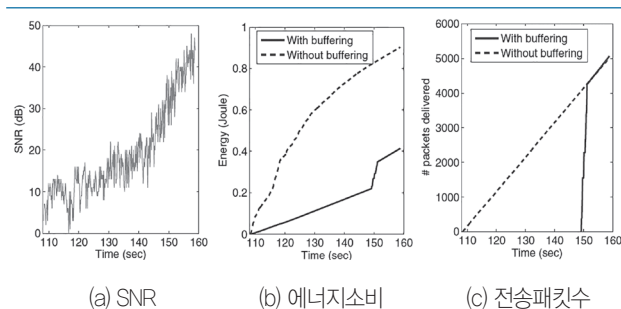


그림 5. 버퍼링을 이용한 전력소비 효과 측정

간 동안 AP가 수면동작을 취하지 않고 바로 직전 주기에서 수면 시간과 현재 수면 시작시점 사이의 트래픽 도착 상황을 고려해서 조금씩 수면시간을 늘려간다. 그러다 수면시간의 길이가 정해진 기준 값을 넘어가면 긴 주기 동안 수면동작을 수행한다. [15]의 저자들은 제안된 방식을 안드로이드 스마트폰 환경에서 직접 구현하고 실험을 통해 제안된 방식이 기존의 방식보다 효율적임을 증명하였다.

본 고를 통해 현재에도 활발히 진행 중인 무선랜 환경에서 소비전력절감 방식에 관한 연구에 대하여 살펴보았다. 전력 절감 방식에 관한 주된 연구는 전력소비를 유발 시키는 요인을 찾아 분석하고 이를 효과적으로 관리하기 위한 방법을 찾아 제시하는 것이었다. 본 고를 통해 소개된 연구를 예로 들면, background 트래픽이 소비전력에 미치는 영향을 예측하고 이를 관리하는 방식, AP나 단말이 밀집된 환경에서 채널 접근 지연이 소비전력에 미치는 영향을 분석하고 이를 회피하기 위한 방법, 트래픽의 송수신이 아닌 동작을 위해 불필요하게 소비되는 전력을 확인하고 이를 줄이기 위한 방법, 사용자의 이동이 전력소비에 미치는 영향을 분석하고 이를 이용하는 방법, 트래픽의 도착 경향을 파악하고 적응적으로 소비전력을 관리하는 방법 등이 있다. 향후 가까운 미래에 모든 작은 장치와 단말이 무선으로 통신을 하게 되는 때가 도래하게 될 것으로 예상된다. 이러한 환경의 변화는 무선랜의 소비전력관리 방식에도 큰 변화를 줄 것으로 예상되며 많은 연구가 진행될 것이다.

IV. 결론

본 고를 통해 우리는 최근 진행된 무선랜 환경에서 소비전력을 줄이기 위한 여러 가지 연구에 대해서 살펴보았다. 최근의 연구들은 변화하는 무선랜 환경에서 새롭게 발견된 소비전력을 증가시키는 요인을 발견하고 이를 효과적으로 관리하기 위한 방법을 연구하는데 맞춰져 있다. 그리고 제안된 방법을 구현과 비교 실험을 통하여 효율성을 증명하였다. 무선랜에 기반한 통신 환경은 앞으로도 계속해서 변화하고 발전할 것으로 예상된다. 현재의 연구 동향을 살펴봄으로써 앞으로 진행될 연구에 대한 방향을 찾는데 많은 도움이 될 것으로 기대한다.

참고 문헌

- [1] Sunggeun J., Kwanghun H., and Sunghyun C., “Idle Mode for Deep Power Save in IEEE 802.11 WLANs,” *Journal of Communications and Networks (JCN)*, vol. 12, no. 5, pp. 480–491, October 2010.
- [2] Justin M. and Romit R. C. “Avoiding the Rush Hours: WiFi Energy Management via Traffic Isolation,” in *Proc. ACM MobiSys’11*, June–July 2011.
- [3] Yong He, Ruixi Y., Xiaojun Ma, and Jun Li, “A Novel Scheduled Power Saving Mechanism for 802.11 Wireless LANs,” *IEEE Transactions on Mobile Computing (TMC)*, vol. 8, no. 10, pp. 1368–1383, October 2009.
- [4] IEEE 802.11v, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Wireless Network Management, November 2010.
- [5] Yong He, Ruixi Y., Xiaojun Ma, Jun Li, and Charles W., “Scheduled PSM for Minimizing Energy in Wireless LANs,” in *Proc. ICNP*, October 2007
- [6] Eric R., Vishnu N., Ramachandran R., and Shrvan R., “Napman: Network-Assisted Power Management for WiFi Devices,” in *Proc. ACM MobiSys’10*, May 2010.
- [7] IEEE std. IEEE 802.11ah/D1.1, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Amendment 6: Sub 1 GHz License Exempt Operation, November 2013.
- [8] Xinyu Z., and Kang G. S., “E-mili: Energy-Minimizing Idle Listening in Wireless Networks,” *IEEE Transactions on Mobile Computing (TMC)*, vol. 11, no. 9 pp. 1441–1454, September 2012.
- [9] Xi C., Sunggeun J., and Daji Q., “M-PSM: Mobility-aware Power Save Mode for IEEE 802.11 WLANs,” in *Proc. IEEE Distributed Computing Systems (ICDCS)’11*, June 2011.
- [10] Weiping S., Munhwan C., and Sunghyun C., “IEEE 802.11 ah: A Long Range 802.11 WLAN at Sub 1 GHz,” *Journal of ICT Standardization*, vol. 1, 2013.
- [11] Aaron S., Vishnu N., Ramachandran R., Neil S., Pralhad D., Calvin G., Kamal J., and Venkata N. P., “Bartendr: a practical approach to energy-aware cellular data scheduling,” in *Proc. ACM MobiCom’10*, September 2010.
- [1] Sunggeun J., Kwanghun H., and Sunghyun C.,

- [12] Munhwan C., Sunggeun J., and Sunghyun C., "Power Saving for Multi-Radio Relay Nodes in IEEE 802.11 Infrastructure Networks," in Proc. IEEE APWCS'07, August 2007.
- [13] Feng Z., Terence D. T., Dongmei Z., and Vytas K., "Power saving Access Points for IEEE 802.11 Wireless Network Infrastructure," in Proc. IEEE WCNC'04, March 2004.
- [14] Zhang, Feng, Terence D. Todd, Dongmei Zhao, and Vytas Kezys, "Power Saving Access Points for IEEE 802.11 Wireless Network Infrastructure," IEEE Transactions on Mobile Computing (TMC), vol. 5, no. 2, pp. 144–156, February 2006.
- [15] Hao H., Yunxin L., Guobin S., Yongguang Z., and Qun Li, "Dozyap: Power-efficient Wi-Fi Tethering," in Proc. ACM MobiSys'12, June 2012.

약 력



진 성 근

1996년 경북대학교 공학사
 1998년 경북대학교 공학석사
 2008년 서울대학교 공학박사
 1998년~2013년 전자통신연구원 선임연구원
 2013년~현재 대구대학교 컴퓨터공학부 조교수
 관심분야: 무선랜, 전력절감방식, 음파통신, 핸드오버