

A Wireless AP Power Saving Algorithm by Applying Sleep Mode and Transmission Power Coordination in IoT Environments

Kyeong Chae Jeong[†] · Won Seok Choi^{††} · Seong Gon Choi^{†††}

ABSTRACT

We have experienced an explosive increase of the IoT(Internet of Things) technology based devices including smart phones and the wireless communications. Also the growing power consumption in IEEE 802.11 WLANs(Wireless LANs) driven by these dramatic increases in not only mobile users and but also wireless APs(Access Points). To reduce the power consumption, this paper proposes a wireless AP power saving algorithm, which minimizes the transmission power without decrease the transmission and carrier sense ranges. A wireless AP which is use in our algorithm checks its own original coverage periodically for whether there is a new STA(Station) or not when its transmission power is decreased. Moreover, if there are no signaling message to connect the wireless AP, it changes its operation mode Wake-up to sleep. A Result shows that the proposed AP algorithm can reduce the total power consumption of the wireless AP approximated 18% and 35% compared to the conventional wireless AP with and without the existing power saving algorithm, respectively.

Keywords : IoT, Smart Devices, Wireless AP, IEEE 802.11 WLANs, Power Saving

사물 인터넷 환경에서 무선 AP의 수면 모드 운영 및 송출 전력 조절을 통한 전력 소비 절감 알고리즘

정 경 채[†] · 최 원 석^{††} · 최 성 곤^{†††}

요 약

최근 스마트폰을 포함한 사물 인터넷(IoT) 기술 기반의 스마트 기기의 급속한 확산에 따라 IEEE 802.11 무선 랜에서 전력 소비 또한 급격히 증가하고 있다. 특히 모바일 기기 사용자가 급격하게 증가하면서 가정이나 사무실 같은 실내 환경에서 사물 무선 AP(Access Point) 설치가 급증하고 있는 추세이다. 본 논문은 현재 무선 AP의 비효율적인 운영을 개선한 무선 AP의 전력 소비 절감 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘 동작은 STA(Station)의 무선 AP 접속 여부에 따라 구분되며, STA가 있을 경우는 STA로 전송할 데이터가 있을 때와 없을 때로 나뉜다. STA가 없는 경우, 수면 모드로 동작하여 불필요한 전력 소비를 최소화한다. 또한 추가적으로 STA가 접속을 하고 있는 경우에도 데이터를 수신하지 않을 경우에는 인증 및 결합이 유지된 상태로 수면 모드를 운영한다. STA로부터 데이터 요청이 있을 경우 STA의 거리와 전송률을 파악하여 STA의 전송률을 만족하는 최소의 송출 전력으로 패킷을 전송한다. 이때, STA와 최초로 스캔 과정을 하는 데 필요한 관리 프레임은 최대 송출 전력으로 전송한다. 본 논문에서 제시한 시나리오를 바탕으로 제안한 전력 소비 절감 알고리즘이 적용된 무선 AP에서의 전력 소비량은 기존 방안이 적용된 무선 AP와 비교하면 약 18%, 전력 소비 절감이 적용되지 않은 일반적인 무선 AP와 비교하면 약 35% 감소했다.

키워드 : 사물 인터넷, 스마트 디바이스, 무선 AP, IEEE 802.11 무선 랜, 전력 소비 절감

1. 서 론

최근 정보 통신 기술(ICT)은 스마트폰(iPhone, Android

휴대폰 등), 태블릿 PC(iPad, Galaxy tab, Kindle 등) 등 다양한 객체가 인터넷을 통해 무선으로 연결되어 서로 소통할 수 있도록 급격히 발전하고 있다. 이를 구성하는 핵심 개념인 사물 인터넷(IoT)은 고유의 주소 지정 체계를 통해 우리 주변에 널리 존재하는 사물 또는 객체를 서로 상호작용하고 이웃 객체와 협력하도록 하는 기술이다[1].

사물 인터넷 기술 기반의 스마트 기기의 급속한 확산에 따라 ICT산업에서의 에너지 소비 또한 매년 급격히 증가하고 있다. 최근 연구 자료에 따르면, 현재 전 세계 에너

※ 이 논문(도서, 작품)은 2013년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of Chungbuk National University in 2013).

† 준 회 원 : 충북대학교 전자통신공학 석사과정

†† 준 회 원 : 충북대학교 전자통신공학 석·박사통합과정

††† 종신회원 : 충북대학교 전자정보대학 부교수

Manuscript Received : September 3, 2014

Accepted : September 21, 2014

* Corresponding Author : Seong Gon Choi(sgchoi@cbnu.ac.kr)

지 소비의 약 4%를 ICT산업이 차지하고 있으며, 이 비율은 2015년도에 약 10%로 증가할 것으로 전망된다[2]. 또한, 융합기술 및 녹색기술이 주요 성장 동력원으로 급부상하고 있으며, 전 산업 분야에서 디지털화 확산이 가속화되고 있다. 이에 따라 ICT산업과 타 산업 간의 융합 가속화 및 에너지 절감을 위한 네트워크 관련 인프라에 대한 요구가 증가하고 있다[3].

특히 모바일 기기 사용자가 급격하게 증가하면서 무선인터넷 이용률 또한 매년 큰 폭으로 증가하고 있는 추세이다. 각 이동통신사는 이러한 증가세에 발맞춰 경쟁적으로 Wi-Fi 존 구축에 뛰어들고 있다. 또한, 일반 가정이나 상점, 기업 등에서도 무선 랜의 여러 편의성과 장점 때문에 사설 무선 AP(Access Point) 설치가 급증하고 있다[4].

이러한 무선 AP 설치가 급증하면서 전체 무선 AP의 전력 소비량 또한 빠르게 증가하고 있다. 무선 AP를 포함한 현재 대부분의 네트워킹 장비들의 에너지 효율성은 굉장히 낮은 것으로 보고되고 있으며, 전기 소모량이 현재 장비의 부하와 관계없이 항상 최고치에 가까운 값을 보여주고 있다. 특히 무선 AP의 경우 속도에 따른 전력 소모량이 가장 비효율적인 디바이스로 나타났다[5].

이러한 문제점을 개선하기 위한 기존 방안으로는 [5, 6]이 있다. [5]는 전체 무선 AP의 이용률을 주기적으로 모니터링하는 관리자를 이용하는 방안을 제안하고 있다. 자신이 관리하는 중첩된 무선 AP들에 대하여 최대한 많은 수의 무선 AP를 수면 모드로 운영하여 전체 무선 AP의 전력 소비를 감소시킨다. 하지만 실제 무선 랜 환경에서는 여러 무선 AP들의 셀 범위가 중첩되어있어도 사업자별로 구분되어있거나 보안이나 요금 문제 등으로 인해 이용할 수 있는 무선 AP가 제한적이다.

[6]은 무선 AP의 전력효율을 개선하기 위해 STA(Station)의 연결 상태에 따라 무선 AP를 수면 모드로 운영하는 방안을 제안하였다. 그러나 무선 AP에 STA가 있는 경우에도 송출 전력 조절을 통하여 무선 AP의 전력 소비를 절감할 수 있는 부분이 여전히 남아있다.

본 논문에서는 앞서 언급한 기존 연구들의 문제점을 개선하기 위해 무선 AP의 송출 전력 조절 및 수면 모드를 운영하는 전력 소비 절감 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안한 무선 AP 전력 절감 알고리즘은 STA가 없을 때에는 수면 모드를 운영하여 전력 소비를 절감한다. 또한 추가적으로 STA가 접속을 하고 있는 경우에도 데이터를 수신하지 않을 경우에는 인증 및 결합이 유지된 상태로 수면 모드를 운영한다. STA로부터 데이터 요청이 있을 경우에는 거리에 따라 송출 전력을 조절한다. 결과적으로 STA가 없을 경우는 기존 연구와 동일하게 수면 모드로 운영된다. 또한 STA가 무선 AP와 접속하고 있을 경우 데이터를 전송할 때 송출 전력을 조절하고, 전송할

데이터가 없을 때는 수면 상태로 운영하여 전력 소비를 절감한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 IEEE 802.11 무선 랜 환경에서 기존 전력 절감을 위한 기법들에 대해서 분석하고 IEEE 802.11 표준에서 제공하는 전력 절감 기법들을 기술한다. 3절에서는 본 논문에서 고려한 실내 무선 랜 환경, 전송 전력 절감을 위한 수식 및 제안한 알고리즘에 대하여 설명한다. 4절에서는 본 논문에서 제안한 전력 절감 알고리즘이 적용된 무선 AP의 전력 소비 절감 효과의 성능에 대해 분석하고, 마지막으로 5절에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

본 절에서는 IEEE 802.11 무선 랜 환경에서 기존 전력 절감을 위한 기법들에 대해서 분석하고 IEEE 802.11 표준에서 제공하는 전력 절감 기법들을 기술한다.

2.1 802.11 MAC 프레임

Fig. 1은 IEEE 802.11 MAC 프레임의 일반적인 프레임 구성이다. IEEE 802.11 표준에서는 MAC 프레임 형태를 역할에 따라 관리/제어/데이터 프레임으로 구분하고 있다 [7].

Frame Control	Duration ID	Address 1	Address 2	Address 3	Sequence Control	Address 4	QoS Control	HT Control	Frame Body	FCS
2	2	6	6	6	2	6	2	4	0-7951	4

Fig. 1. IEEE 802.11 MAC frame format[7]

관리 프레임은 STA와 무선 AP 사이 초기 통신을 확립하기 위하여 스캔/인증/결합 등을 하는 프레임이며, 제어 프레임은 실제 데이터 프레임의 전달을 돕는 데 사용되고, 데이터 프레임은 실제 정보가 들어있는 프레임을 말한다.

본 논문에서는, STA와 최초로 스캔 과정을 하는데 필요한 관리 프레임은 최대 송출 전력으로 전송하는 것을 유지하며, 제어/데이터 프레임에 대해서는 STA와의 거리 및 전송률 정보를 기반으로 송출 전력을 최소로 조절한 후 전송하는 방안을 제안한다.

2.2 IEEE 802.11k

IEEE 802.11k는 WLAN의 유지와 관리를 가능하게 하기 위해 무선 AP와 STA 간에 신호강도, 안테나 정보, 채널 부하, 접속점 부하 등 무선 랜의 각종 정보들을 수집하는 방법 및 이를 위한 패킷 형식들을 정의하여 제공하고 있다[7].

IEEE 802.11k에서는 관리 리포트를 제공하는데 주파수 관리 또는 라디오 자원 측정에 사용되며, 구성요소 형식은 Fig. 2와 같다.

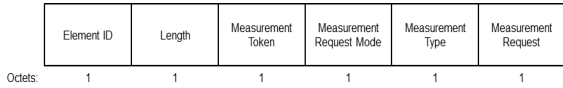


Fig. 2. Measurement report element format[7]

Table 1은 IEEE 802.11k에서 제공하는 관리 리포트의 종류이다. 본 논문에서는 이와 같은 라디오 자원 측정 정보를 이용하여 무선 AP와 STA 간의 거리를 구하는 데 이용한다.

Table 1. Measurement Type definitions for measurement requests[7]

Name	Type	Use
Basic request	0	Spectrum Management
CCA(Clear Channel Assessment) request	1	
RPI(Receive Power Indication) histogram request	2	
Channel load request	3	Radio Measurement
Noise histogram request	4	
Beacon request	5	
Frame request	6	Radio Measurement and WNM
STA statistics request	7	
LCI(Location Configuration Information) request	8	Radio Measurement
Transmit stream/category measurement request	9	
Multicast diagnostics request	10	WNM
Location civic request	11	Radio Measurement and WNM
Location identifier request	12	
Reserved	13~254	N/A
Measurement pause request	255	Radio Measurement

2.3 무선 랜 환경에서 전력 절감 방안 관련 연구

IEEE 802.11e에서 정의한 전력 절감 방안으로는 APSD(Automatic Power Save Delivery)가 있다. APSD는 Unscheduled 방식과 Schedule 방식으로 나뉜다. U-APSD(Unscheduled-APSD)는 STA가 트리거 프레임을 보내면 무선 AP가 프레임을 보내고 STA는 ACK를 보낸 후 무선 AP에 프레임을 전송한다. S-APSD(Scheduled-APSD)는 U-APSD와 달리 트리거 프레임 없이 AP와 STA 간 미리 정의된 스케줄 대로 Wake-up 하고 데이터를 전송하는 방식이다[7].

또한, IEEE 802.11n에 정의된 PSMP(Power Save Multi-Poll) 방식이 있다. 이 방식은 무선 AP에서 각 STA의 하향

링크와 상향링크 전송 스케줄을 알려주면 이에 따라 STA들이 wake-up과 수면 상태에 들어간다. 그러나 표준에서 정의한APSD는 STA의 전력 소비 절감을 고려한 방법이다. 따라서 무선 AP는 실제 사용여부와 관계없이 wake-up 상태를 유지하여 비효율적으로 운영되는 문제점을 가진다.

[8]에서는 기존 표준에서 정의한 TPC(Transmit Power Control)를 개선한 다양한 부호화율 및 TPC를 결합한 SP-TPC(Self-Protective TPC) 기법을 제안했다. 저자가 제안한 알고리즘은 PHY 계층에서 제공하는 PLCP(Physical Layer Convergence Procedure) 헤더의 정보를 이용하여 전송 전력을 제어한다. 이 논문에서는 각각의 부호화율에 대하여 서비스가 가능한 최대 경로 손실 및 이에 따라 필요한 최소 송출 전력을 계산하여 최적의 송출 전력을 구하는 알고리즘을 제안했다. 결과적으로 PHY 계층에 PLCP 헤더를 전송할 때에는 최고 전력을 사용하지만 그 이후 데이터에 대해서는 적용된 송출 전력으로 전송해준다. 그러나 위 논문은 STA의 전력 소비 절감을 고려한 방법으로서, 여전히 무선 AP는 실제 사용여부와 관계없이 wake-up 상태를 유지하여 비효율적으로 운영되는 문제점이 있다.

무선 AP의 전력 소비 절감을 고려한 연구는 [5, 6]이 있다. [5]에서는 필요 이상의 무선 AP 사용으로 인한 전력 낭비를 감소시키기 위해 관리자의 범위 내 중첩된 무선 AP의 이용률을 주기적으로 모니터링하는 방안을 제안했다. 관리자는 이용률이 저조한 특정 무선 AP들을 수면 모드를 위한 준비과정을 수행하도록 지시한다. 관리자가 선택한 최적의 주변 무선 AP쪽으로 STA를 핸드오버 시키고 수면 모드로 전환하는 방안을 제안했다. 제안한 알고리즘을 통해 저자는 최대한 많은 수의 무선 AP를 수면 모드로 운영시켜 전체 무선 AP의 에너지 효율을 증가시켰다. 그러나 실제 무선 랜 환경에서 여러 무선 AP들의 셀 범위가 중첩되어있어도 사업자별로 구분되어있거나 보안이나 요금 문제 등으로 인해 이용할 수 있는 무선 AP가 제한적이다.

[6]은 무선 AP의 전력효율을 높이기 위해 STA의 연결 여부에 따른 전력 소비 절감 알고리즘을 제안했다. 현재 가정이나 사무실처럼 특정한 시간대에만 무선 AP가 사용되는 환경에서 무선 AP는 사용 여부에 관계없이 계속 wake-up 상태를 유지한다. 무선 AP의 불필요한 전력 소비를 절감하기 위해 STA가 없을 경우에는 무선 AP를 수면 상태로 운영하는 방안을 제안했다.

그러나 무선 AP는 STA가 없을 경우에만 적용되기 때문에 사용이 제한적이다. 무선 AP가 STA가 존재하는 경우에 전력 소비를 절감할 수 있는 부분이 여전히 남아있다.

본 논문에서는 STA가 있는 경우에도 무선 AP가 패킷을 전송할 때 STA와의 거리 및 요구 전송률 정보를 기반으로 경로 손실을 고려한 송출 전력을 조절하는 방안을 제안한다. 또한 STA가 접속만 유지하고 패킷 요청이 없을 경우에

수면 상태로 무선 AP를 운영하여 STA가 접속 중일 때에도 전력 소비를 최소화하는 알고리즘을 제안한다.

3. 시스템 모델 및 무선 AP 전력 절감 알고리즘

본 절에서는 본 논문에서 고려한 실내 무선 랜 환경, 전송 전력 절감을 위한 수식 및 제안한 알고리즘에 대하여 설명한다.

3.1 실내 무선 랜 환경

본 논문에서는 일반 가정이나 사무실과 같이 보통 1대의 사설 무선 AP를 사용하는 환경을 고려한다.

Fig. 3은 사설 무선 AP를 이용하는 실내 무선 랜 환경이다. $P_t(STA_1)$ 와 $P_t(STA_2)$ 는 각 STA별로 조절된 송출 전력을 나타낸다.

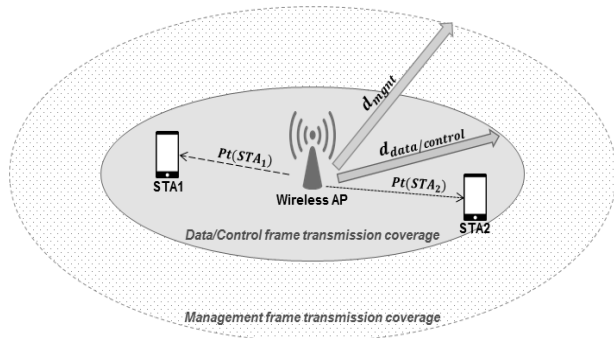


Fig. 3. Indoor IEEE 802.11 WLAN environment

또한 $d_{data/control}$ 는 데이터 및 제어 프레임의 전송 범위이며, Fig. 3에서는 가장 먼 STA인 STA2를 기준으로 조절된다. d_{mngt} 는 관리 프레임의 전송 범위이며, 무선 AP의 원래 범위이다. 실내 무선 랜 환경에서 내부 STA들은 다른 사설 무선 AP로 접근하려고 시도하는 경우가 거의 없으며, 외부에서는 보안 등의 설정으로 접근이 제한적인 특징이 있다.

Fig. 3에 무선 AP는 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 통하여 STA별로 송출 전력을 조절한다. 예를 들어 STA1은 $P_t(STA_1)$, STA2는 $P_t(STA_2)$ 로 조절한다. 가장 멀리 떨어져있는 STA2에 맞추어 데이터/제어 프레임의 전송 범위 $d_{data/control}$ 가 설정된다. 또한, 송출 전력 감소로 인해 발생할 수 있는 숨겨진 노드 문제를 해결하기 위하여 관리 프레임 전송할 경우에는 원래의 범위 d_{mngt} 까지 브로드캐스팅한다.

3.2 경로 전파 모델

무선 AP로부터 수신하는 STA의 SNR(Signal to Noise Ratio)값은 equation (1)과 같이 표현되며 단위는 dB이다.

$$SNR = P_t - PL_d - N_0 \tag{1}$$

여기서 P_t 는 무선 AP의 송출 전력이고, PL_d 는 STA와 무선 AP 사이의 거리에 따른 경로 손실값이며, N_0 는 잡음 전력이다.

equation (2)는 실내 무선 환경에서 경로 손실을 구하는 식이며 단위는 dB이다[9].

$$PL_d = PL_0 + \begin{cases} 20\log_{10}d, & 1m < d \leq 10m \\ 20 + 30\log_{10}(d/10), & 10m < d \leq 20m \\ 29 + 60\log_{10}(d/20), & 20m < d \leq 40m \\ 47 + 120\log_{10}(d/40), & d > 40m \end{cases} \tag{2}$$

여기서 d 는 STA와 무선 AP와의 거리를 나타내고, PL_0 는 무선 AP와의 거리가 1m에서의 경로 손실값이며 본 논문에서는 60dB로 가정하였다.

3.3 무선 AP 전력 절감 알고리즘

제안한 무선 AP 전력 절감 알고리즘은 Fig. 4와 같이 동작한다. 최초 wake-up 주기를 기본 beacon 주기로 설정(보통 100ms[7]) 및 wake-up 주기 임계값을 설정한다. 이때 wake-up 주기 임계값은 현재 무선 AP가 제공하는 beacon 주기의 최댓값인 1000ms로 가정한다. 그 후 beacon 주기에 따라 beacon 신호를 주기 내 1ms 동안 브로드캐스팅 한다. 이때 beacon 신호는 최대 송출 전력으로 전송한다. Listen 상태는 현재 wake-up 주기의 12.5%로 설정한다[10]. 본 논문에서 설정한 beacon 주기, beacon 신호 전송 시간, listen state, 임계값은 구현 이슈(Implementation issue)로써 설계자 또는 무선 AP 사업자에 따라 다르게 설정할 수 있다.

초기 설정이 완료된 후 전송할 데이터가 있는지 혹은 접속할 STA가 있는지 beacon 프레임을 전송한 후 listen 상태 동안 확인한다. 전송할 데이터나 접속할 STA가 없을 경우 무선 AP는 수면 상태로 운영된다. 한 번의 wake-up 주기가 완료되면 무선 AP는 wake-up 주기를 현재 주기에서 100ms만큼 늘린다. 이 과정은 미리 설정한 임계값이 되기 전까지 반복된다.

이후 새로 접속할 STA가 감지되거나 전송할 데이터가 존재하면, STA로부터 RTS(Request-to-Send) 프레임의 수신 여부를 확인한다. RTS 프레임을 수신한 경우에는 Fig. 4의 A 부분이 동작된다. STA로부터 라디오 정보를 바탕으로 연결 무선 AP는 STA와의 거리 및 요구 전송률을 확인한다. STA의 정보를 확인한 후에 STA가 데이터를 수신받

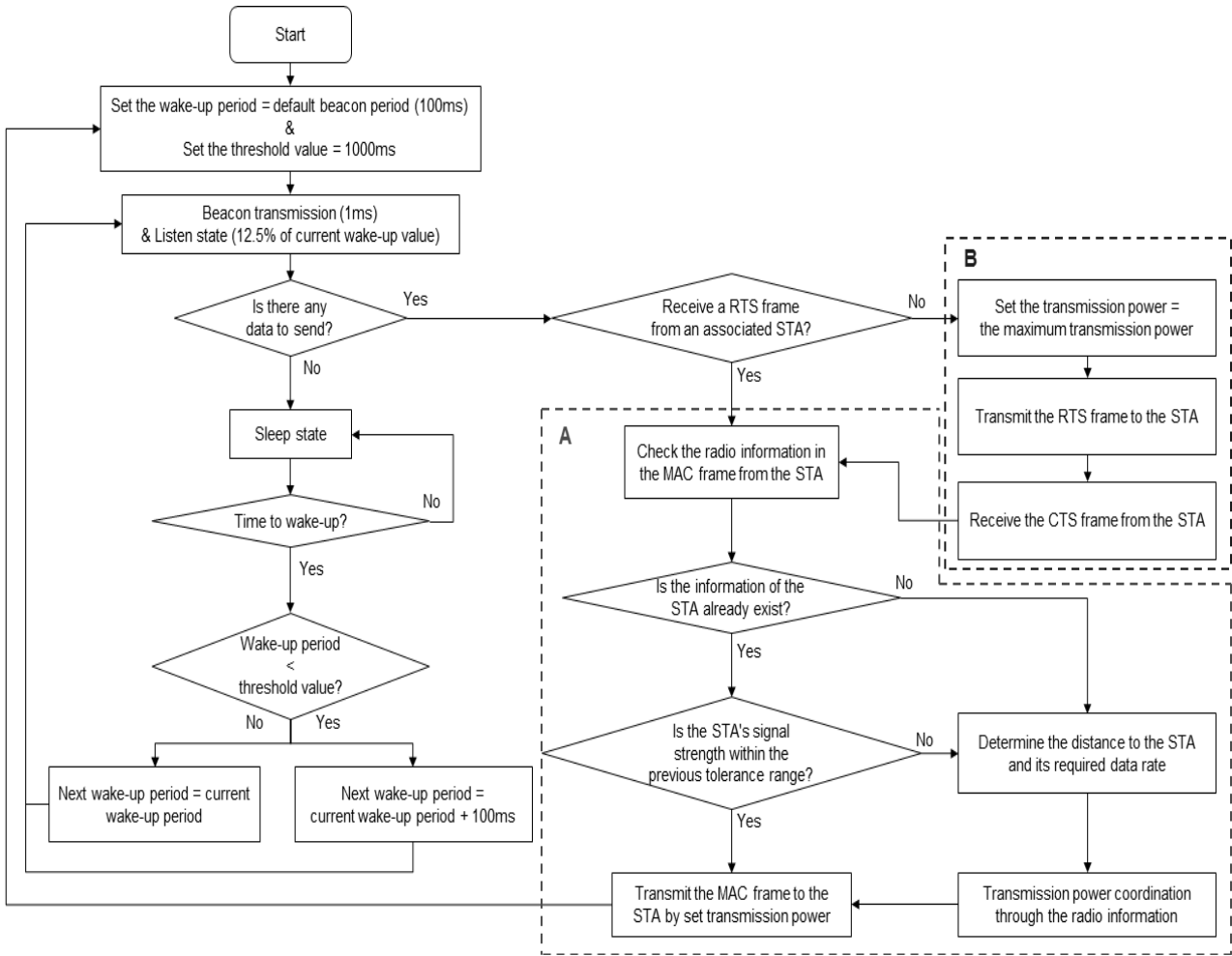


Fig. 4. Flowchart of the proposed wireless AP power saving algorithm

기를 원하면, 무선 AP는 송출 전력을 조절하여 STA로 데이터를 전송한다. 전송이 완료되면 무선 AP의 wake-up 주기는 초기화된다.

STA로부터 RTS 프레임을 수신하지 않은 경우는 외부 망으로부터 무선 AP에 연결된 STA으로 전송할 데이터가 생겼을 경우이다. 이때는 Fig. 4의 B 부분으로 무선 AP가 동작하게 된다. 무선 AP는 최초로 데이터를 전송할 때 송출 전력을 최대로 하여 전송하게 된다. 이후 STA로부터 수신한 라디오 정보를 바탕으로 거리 및 전송률을 파악하고, 송출 전력을 조절하여 다음 데이터 전송부터는 조절된 송출 전력으로 데이터를 전송한다.

송출 전력을 조절한 무선 AP는 관리 프레임, 즉 beacon 신호 등은 원래의 셀 범위만큼 서비스를 유지하기 위하여 최대 송출 전력값으로 브로드캐스팅 한다.

만약 STA가 접속 중인데도 불구하고 데이터 요청이 없으면 무선 AP는 다시 수면 상태로 들어간다. 이때, STA가 없을 때와는 달리 wake-up 주기는 항상 초기화가 되어 100 ms를 유지한다. 데이터를 보낸 후 wake-up 주기를 초기화

하지 않으면 listen 상태가 길어져 이후 데이터 전송 시 지연이 발생할 수 있기 때문이다. Fig. 4의 알고리즘은 무선 AP의 전원이 꺼질 때까지 반복된다.

4. 성능 분석

본 절에서는 STA와 무선 AP 간의 거리에 따른 경로 손실값 및 STA의 전송률에 따라 적응적으로 달라지는 송출 전력값을 보여준다. 또한 각 상황에 따라 1) 무선 AP에 STA가 존재하지 않는 경우, 2) 무선 AP에 STA가 존재하

Table 2. Simulation Parameters

Parameter	Value(Unit)
P_t	[2,5,8,11,14,17,20,23,26](dBm)
N_0	-93(dBm)
PL_0	60(dB)
SNR	[4,6,8,10,12,18,25](dB)
Data Rate	[1,2,6,12,24,36,54](Mbps)

며, 패킷 전송 요청이 있는 경우, 3) 무선 AP에 STA가 존재하지만, 패킷 전송 요청이 없는 경우에 대하여 본 논문에서 제안한 알고리즘이 적용되었을 때, 전력 절감 알고리즘이 적용되지 않았을 때, [6]에서 제안한 알고리즘이 적용되었을 때의 전력 소비량을 비교한다. 처음 beacon 주기와 beacon 신호 전송 시간은 각각 100ms, 1ms로 설정하였고, AP의 최대 전력 소비량은 8.2W이고, listen 상태일 때는 최대 전력 소비의 66%, 수면 상태일 때는 1.6%를 소비한다 [6]. 또한 wake-up 주기의 임계값은 1000ms로 가정한다. 성능분석을 위한 파라미터값은 Table 2와 같다.

Fig. 5는 STA와 무선 AP 간의 거리에 따른 경로 손실 값을 보여준다. 이때 경로 손실은 실내 무선 환경에 적합한 equation (2)를 이용했다. 거리에 따른 경로 손실은 로그 함수 특징을 보인다.

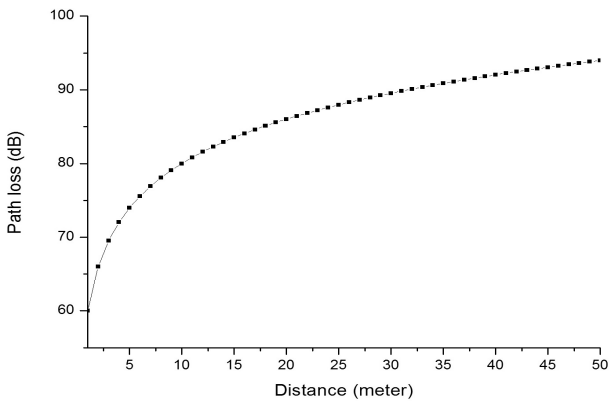


Fig. 5. Path loss according to the distance between an associated STA and a wireless AP

Fig. 6은 STA의 요구 전송률에 따른 경로 손실 대비 필요한 최소 송출 전력값을 보여준다. 이때 송출 전력은 equation (1)을 이용한 각 전송률별로 요구되는 최소 SNR을 만족하는 값이다. Table 3은 STA의 요구 전송률별 요구되는 최소 SNR값이다.

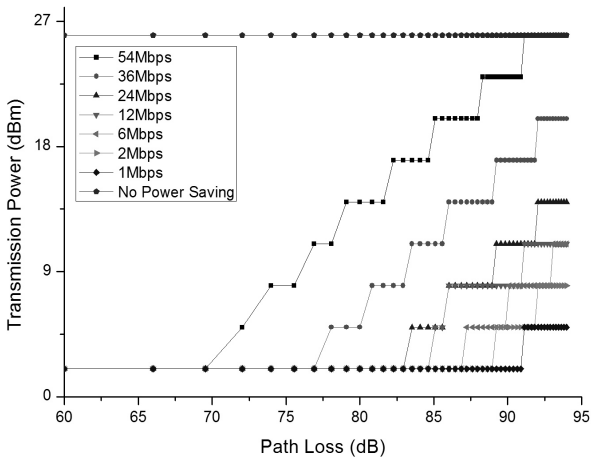


Fig. 6. Path loss vs. transmission power according to data rates

Table 3. Required SNR for each data rate

Data rate	Required SNR
54 Mbps	25 dB
36 Mbps	18 dB
24 Mbps	12 dB
12 Mbps	10 dB
6 Mbps	8 dB
2 Mbps	6 dB
1 Mbps	4 dB

만약 STA가 동일한 전송률을 요구할 경우 Fig. 6과 같이 무선 AP와 가까우면 송출 전력을 감소시키고, 멀리 떨어지면 증가시켜 전송률에 따른 STA의 최소 SNR을 유지한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘이 적용되지 않은 무선 AP의 송출 전력은 항상 최대 송출 전력값을 보여준다.

본 논문에서는 Fig. 4의 알고리즘에 따라 Fig. 5와 Fig. 6을 기반으로 STA로 패킷을 전송하는 경우 송출 전력을 적응적으로 변경한다.

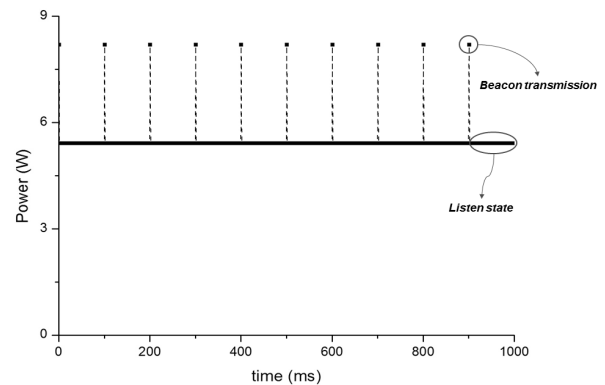


Fig. 7. Power consumption pattern in the wireless AP when there are no STAs(No Power Saving)

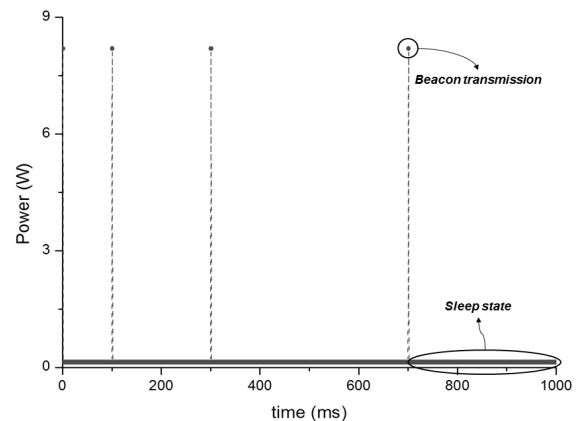


Fig. 8. Power consumption pattern in the wireless AP when there are no STAs([6])

4.1 연결된 STA가 없는 경우

Fig. 7과 Fig. 8, Fig. 9는 무선 AP에 연결된 STA가 없을 때의 무선 AP 동작에 대하여 1000ms 동안의 전력 소비 패턴을 비교한 결과이다.

Fig. 7은 무선 AP에 전력 소비 절감 알고리즘이 적용되지 않았을 때의 전력 소비 패턴을 보여준다. STA가 없음에도 불구하고 무선 AP는 주기적으로 beacon 신호를 보낸 후 항상 Listen 상태로 동작하여 전력 낭비가 발생한다.

Fig. 8은 [6]에서 제안한 알고리즘이 적용된 무선 AP의 전력 소비 패턴을 보여준다. 주기적으로 beacon 신호를 전송하고, 접속 중인 STA가 없기 때문에 wake-up 주기를 2배로 늘린다. Beacon 신호 전송 후에는 수면 상태로 운영하여 전력 낭비를 절감했다. 하지만 STA가 최초 접속을 할 경우에 프로브 요청 프레임을 통하여 직접 스캔하기 전까지 무선 AP를 확인할 수 없는 문제점이 있다.

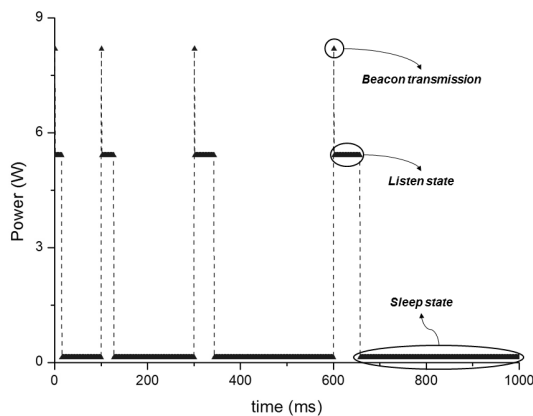


Fig. 9. Power consumption pattern in the wireless AP when there are no STAs(Proposed AGM)

Fig. 9는 본 논문에서 제안한 알고리즘이 적용된 무선 AP의 전력 소비 패턴을 보여준다. Beacon 신호 전송 후 wake-up 주기 중 일정한 비율로 listen 상태로 동작하여 무선 AP가 주변에 새로운 STA가 있는지 능동적으로 스캔할 수 있는 장점이 있다. 또한 [6]에서 제안한 수면 상태를 운영하여 전력 낭비를 최소화한다. Listen 상태 동안 연결된 STA가 없으면 다음 wake-up 주기를 최초 beacon 신호 주기인 100ms만큼 늘린다.

Table 4는 연결된 STA가 1시간 동안 없을 때의 무선 AP의 전력 소비량을 보여준다. 결과적으로 [6]에서 제안한 알고리즘을 사용했을 때 무선 AP의 전력 소비가 가장 적게 나타났다. 하지만 본 논문에서는 listen 상태 동안 새로 연결될 STA를 능동적으로 무선 AP가 찾을 수 있는 장점이 있다. 하지만 [6]은 STA가 프로브 요청 프레임을 통하여 직접 검색해야 하는 문제점이 있다.

Table 4. Power consumption in the wireless AP when there areno associated STAs for an hour

Details(Unit)	No Power Saving	[6]	Proposed AGM
Beacon transmission(s)	36	4.4991	3.7045
Listen state(s)	3564	0	461.9375
Sleep state(s)	0	3595.5009	3134.358
Power consumption(W)	5.44	0.14	0.82

Fig. 10은 STA와 무선 AP의 거리가 10m 떨어져있을 경우를 가정한 전송률에 따른 송출 전력을 보여준다. 초록색 실선으로 나타난 부분은 기존 방법들의 송출 전력 소비량을 나타낸다. 검정, 빨강, 파랑색 실선은 본 논문에서 제안한 STA의 거리 및 요구 전송률에 따라 적응적으로 변경된 송출 전력 소비량을 나타낸다. 또한 Fig. 10의 점선은 주기적으로 beacon 신호를 전송하는 시간이며 기존 무선 AP와 동일하게 최대 송출 전력으로 전송한다.

4.2 STA가 접속 중이며, 패킷 요청이 있을 경우

본 논문에서 제안한 알고리즘을 제외한 방법들은 STA가 요구하는 전송률에 관계없이 항상 송출 전력을 최고치로 전송하기 때문에, 불필요한 전력 소비가 발생한다.

반면, 제안한 알고리즘이 적용된 무선 AP는 STA와의 경로 손실을 기반으로 요구된 전송률을 맞추기 위한 최소의 송출 전력으로 전송한다.

Table 5는 1시간 동안 연결된 STA로 데이터를 전송할 경우 무선 AP의 송출 전력 소비량을 보여준다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 전송률에 따라 송출 전력이 조절되어 전송되는 것을 확인할 수 있다.

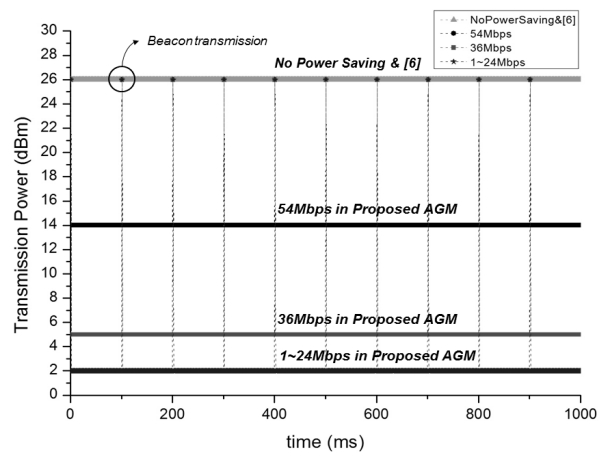


Fig. 10. Transmission power consumption in the wireless AP with and without applying the proposed AGM(1000ms)

Table 5. Transmission power consumption in the wireless AP for an hour

Details(Unit)	No Power Saving & [6]	Proposed AGM		
		54Mbps	36Mbps	1~24Mbps
Transmission power consumption(W)	0.4	0.0288	0.007	0.0055

4.3 STA는 접속 중이지만 패킷 요청이 없을 경우

STA는 무선 AP에 접속 중이지만, STA로부터 요청된 패킷이 없을 경우 본 논문에서 제안한 알고리즘을 통하여 수면 상태에 들어간다.

Fig. 11과 Fig. 12는 무선 AP에 연결된 STA가 있지만 패킷 요청이 없을 때의 무선 AP 동작에 대하여 1000ms 동안의 전력 소비 패턴을 비교한 결과이다.

Fig. 11은 [6]에서 제안한 알고리즘이 적용된 무선 AP와 일반 무선 AP의 전력 소비 패턴을 보여준다. STA가 접속을 한 후에 패킷 요청이 없음에도 불구하고 항상 Listen 상태로 대기하여 전력 낭비가 발생한다.

Fig. 12는 본 논문에서 제안한 알고리즘이 적용된 무선 AP의 전력 소비 패턴을 보여준다. STA로부터의 패킷 요청이 없을 경우 수면 상태가 적용되며, 무선 AP의 wake up 주기는 100ms로 항상 초기화되면서 유지된다. Wake-up 주기를 초기화하지 않으면 listen 상태가 길어져 이후 데이터 전송 시 지연이 발생할 수 있기 때문이다.

Table 6은 1시간 동안 STA가 무선 AP에 접속 중이지만 요청하는 패킷이 없을 경우의 무선 AP의 전력 소비량을 나타낸다. 제안한 알고리즘을 통하여 STA로부터 패킷 요청이 없으면 수면 상태로 들어가게 된다. 기존 기법과 동일하게 주기적으로 beacon 신호를 전송하여 STA로부터 패킷 요청이 있는지 확인한다.

위의 3가지 경우에 대한 분석을 토대로, 하루 동안의 무선 AP의 전력 소비량을 계산하여 제안한 알고리즘의 효과를 알아본다. STA와 무선 AP의 거리가 10m, 요구되는 전송률은 54Mbps, 무선 AP에 STA가 없는 경우를 하루 중 5시간, STA가 있지만 패킷 전송 요청이 없는 경우를 5시간, STA가 패킷 전송하는 시간을 총 14시간으로 가정한다.

Table 6. Power consumption in the wireless AP when there are no requested packets for an hour

Details(Unit)	No Power Saving & [6]	Proposed AGM
Beacon transmission(s)	36	36
Listen state(s)	3564	450
Sleep state(s)	0	3114
Power consumption(W)	5.44	0.87

Fig. 13은 위 시나리오를 바탕으로 무선 AP에서의 하루 동안의 총 전력 소비량을 보여준다. 위와 같은 시나리오를 가정할 경우 전력 절감 알고리즘이 적용되지 않은 무선 AP보다 본 논문에서 제안한 전력 절감 알고리즘이 적용된 무선 AP의 전력 소비량이 약 35% 감소하였으며, [6]에서 제안한 알고리즘이 적용된 무선 AP와 비교하면 약 18% 감소했다. 무선 AP에 연결되어있는 STA가 데이터 요청을 하지 않는 시간이 길어질수록 전력 소비 절감률은 더 커진다.

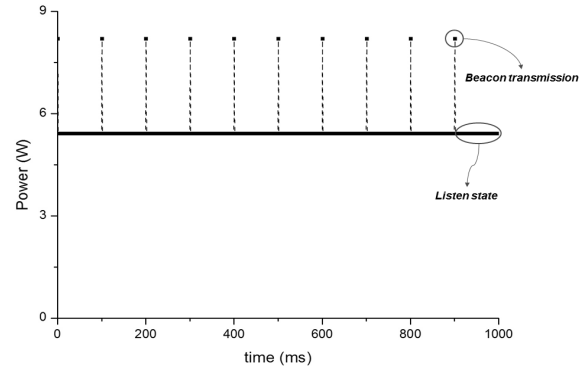


Fig. 11. Power consumption pattern in the wireless AP when there are no requested packets(No power saving & [6])

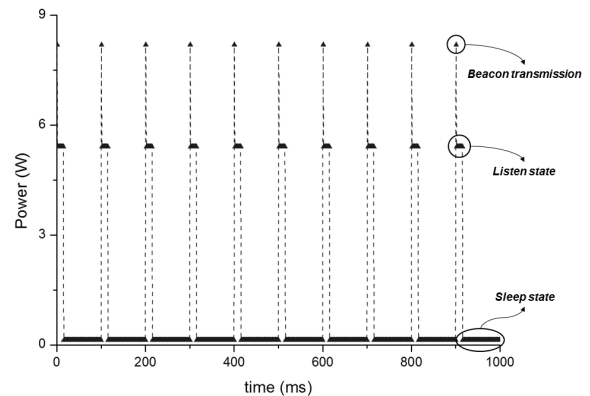


Fig. 12. Power consumption pattern in the wireless AP when there are no requested packets(Proposed AGM)

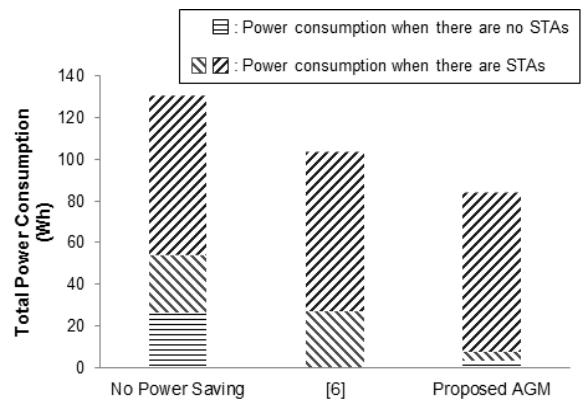


Fig. 13. One-day power consumption in the wireless AP

5. 결 론

최근 IoT기술 기반의 다양한 객체가 인터넷을 통해 무선으로 연결되어 서로 소통할 수 있는 환경으로 급격히 발전하고 있다. 이로 인해 무선 AP의 사용량이 증가하였으며 그에 따라 전력 소비 역시 증가했다. 따라서 무선 AP 관점에서 전력 소비 절감 방안이 필요한 실정이며, 본 논문에서는 무선 AP에 대한 전력 소비 절감 알고리즘에 대하여 제안하였다. 무선 AP의 송출 전력 조절 및 수면 모드를 운영하는 무선 AP의 전력 소비 절감 알고리즘을 제안했다. 제안한 알고리즘은 STA가 없을 때에는 수면 모드를 운영하여 전력 소비를 절감한다. 추가적으로 STA가 접속을 하고 있는 경우에도 데이터를 수신하지 않을 경우에는 인증 및 결합이 유지된 상태로 수면 모드를 운영한다. STA로부터 데이터 요청이 있을 경우에는 거리에 따라 송출 전력을 조절한다. 본 논문에서 제시한 시나리오를 바탕으로 무선 AP에서의 전력 소비가 기존 논문에서 제안한 전력 소비 절감 알고리즘이 적용된 무선 AP와 비교했을 때 약 18% 감소, 전력 절감 알고리즘이 적용되지 않은 일반적인 무선 AP와 비교했을 때는 약 35% 감소했다.

References

[1] Atzori, Luigi, Antonio Iera, and Giacomo Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Computer networks*, Vol.54, Issue.15, pp.2787-2805, 2010.

[2] Morosi, Simone, Pierpaolo Piunti, and Enrico Del Re, "Improving cellular network energy efficiency by joint management of sleep mode and transmission power," *Digital Communications-Green ICT(TIWDC), 2013 24th Tyrrhenian International Workshop on. IEEE*, 2013.

[3] Won Seok Choi, Seong Gon Choi, "에너지 절감을 위한 네트워크 관련 기술 동향," *Information and Communications Magazine 29.12*, pp.44-48(in Korean), 2012.

[4] Hye-Rim Cheon, Ji-Su Kim, and Jae-Hyun Kim, "WLAN AP Power Consumption Research," *Proceedings of the ITFE Summer Conference*, pp.275-277(in Korean), 2011.

[5] Hye-Jin Kang, Yu-Hwa Suh, and Yong-Tae Shin, "Research of efficient energy improvement plan through IEEE 802.11k based Wireless LAN AP," *2013 40th The Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, pp.917-919(in Korean), 2013.

[6] Hye-Rim Cheon, Jae-Hyun Kim, "Power Saving Algorithm for WLAN AP According to the Associated STAs," *The 22th Joint Conference on Communications and Information(in Korean)*, 2012.

[7] LAN/MAN standards Committee, "Part 11: Wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer (PHY) specifications," *IEEE-SA Standards Board*, 2012.

[8] Kim, Youngsoo, Jeonggyun Yu, and Sunghyun Choi, "SP-TPC: a self-protective energy efficient communication strategy for IEEE 802.11 WLANs," *Vehicular Technology Conference, 2004, VTC2004-Fall. 2004 IEEE 60th. Vol.3, IEEE*, 2004.

[9] Mardeni, R., Y. Solahuddin, "Path loss model development for indoor signal loss prediction at 2.4 GHz 802.11 n network," *Microwave and Millimeter Wave Technology(ICMMT), 2012 International Conference on. Vol.2. IEEE*, 2012.

[10] Anastasi, Giuseppe, et al., "Reliability and energy efficiency in multi-hop IEEE 802.15. 4/ZigBee wireless sensor networks," *Computers and Communications(ISC), 2010 IEEE Symposium on. IEEE*, 2010.



정 경 채

e-mail : jkc@cbnu.ac.kr

2013년 충북대학교 정보통신공학(학사)

2014년~현 재 충북대학교 전파통신공학 석사과정

관심분야: Energy-Saving Networks, Smartgrid, and IoT



최 원 석

e-mail : wschoi@cbnu.ac.kr

2008년 충북대학교 정보통신공학(학사)

2008년~현 재 충북대학교 전파통신공학 석·박사통합과정

관심분야: Energy-Saving Networks, Broadband Convergence Networks, Mobility, MPLS, and QoS



최성곤

e-mail : sgchoi@cbnu.ac.kr

1999년 KAIST 네트워크(석사)

2004년 KAIST 네트워크(Ph.D.)

2004년 ETRI

2004년~현재 충북대학교 전자정보대학
부교수

관심분야: Energy-Saving Networks, Broadband Convergence
Networks, Mobility, MPLS, QoS, and Smartgrid