

논문 2012-07-36

스마트 아웃렛 시스템을 위한 무선 센서네트워크 프로토콜 설계 및 구현

(Design and Implementation of a Wireless Sensor Network
Protocol for a Smart Power Outlet System)

정 한 수, 문 정 호, 박 성 욱, 이 형 봉, 박 래 정, 정 태 윤*

(Han-Su Chung, Jung-Ho Moon, Sung-Wook Park, Hyung-Bong Lee, Lae-Jeong Park, Tae-Yun Chung)

Abstract : This paper deals with the design and implementation of wireless sensor network protocol for smart power outlet system capable of fire detection, power monitoring, standby power cutoff, and home automation. The proposed protocol integrates both the CSMA and the TDMA protocols for low power consumption and good scalability. A prototype smart power outlet system employing the proposed protocol and a simple home automation network including the power outlet system have been implemented for evaluating the feasibility of the proposed protocol. The result shows that the proposed protocol allows the power outlet system to be scalable with high power efficiency.

Keywords : WSN, IMSN, AMI, Smart Outlet, Home Automation

I. 서론

오늘날 전기기기의 사용이 급증함에 따라 전기 화재 발생 빈도가 높아져 많은 재산피해와 인명피해가 잇따르고 있다. 더욱이 전기화재를 예방하고 신속히 대처할 수 있는 소방시설이 없는 일반 가정이나, 기존 소방시설의 보완이 필요한 노래방과 고시원 같은 다중이용시설 등은 전기화재에 더욱 취약한 상황에 노출되어 있다. 또한, 저탄소 녹색성장 정책에 따라 가정, 사무실, 산업현장 등에서 대기전력 차단 및 제어 등을 통한 에너지 절감에 대한 필요성이 증가하고 있다. 에너지관리공단에서 조사한 ‘대기전력 소비형태’의 자료에 의하면 대기전력 사

용량이 평균 전력사용량의 10~ 15%를 차지하고 있으며, 통계적으로 한 가정 당 대기전력은 66.1W를 소비하여 국가 전체적으로는 1,500만 가구가 해마다 약 5,000억원 정도를 낭비하고 있는 것으로 분석하고 있다[1]. 스마트그리드 관련 파일럿 연구에 의하면 일반 가정의 전기 소비에 대한 실시간 정보 제공만으로 전기 사용량은 9.1%, 사용요금은 13.5% 절감되었다[2].

위와 같은 화재 예방 및 에너지 절약 필요성에 따라, 기존의 단순 전원 접속 장치였던 콘센트에 절전이나 화재 예방을 위한 전원 모니터링 기능이 부가된 멀티탭 개념이 일반화되는 추세[3]이나, 이 또한 각 방마다 멀리 떨어져 있는 멀티탭들을 개별적으로 제어하는 일이 번거롭기 때문에 그 활용성에 한계를 가지고 있었다. 이러한 한계를 극복하기 위해 최근에는 멀티탭에 통신 기능이 추가되어 중앙통제가 가능할 뿐만 아니라 홈 오토메이션 기능도 수행하는 ‘스마트 콘센트’ 혹은 ‘스마트 아웃렛’이라는 개념이 빠르게 확산되고 있다.

최근 스마트 아웃렛은 기존의 개별 동작하던 스마트 아웃렛에 무선 센서 네트워크를 접목하는 형태로 발전하고 있다[4]. 무선 센서네트워크의 개발은 원래 전장 감시 같은 군사목적으로 시작되었으

* Corresponding Author (tychung@gwnu.ac.kr)

Received: 28 July 2012, Revised: 06 Sep. 2012, Accepted: 25 Sep. 2012.

H.S. Chung, J.H. Moon, S.W. Park, H.B. Lee, L.J. Park, T.Y. Chung: Gangneungwonju National Univ.

※ 본 논문은 교육과학기술부, 강원도, 강릉시, 강릉과학산업진흥원의 연구개발사업으로 수행된 연구 결과임.

나[5], 이후 제어 및 모니터링 분야에 널리 적용함으로써 전력 소비를 줄이면서도 이들 시스템을 보다 편리하게 관리할 수 있게 하였다.

본 연구에서는, 전기화재, 전력모니터링, 및 대기 전력 자동 차단이 가능한 복수 개의 스마트 아웃렛으로 구성된 시스템을 효율적으로 동작시키고 관리하기 위한 무선 센서 네트워크 프로토콜을 제안하고, 이를 장착한 스마트 아웃렛 플랫폼을 구현하고 그 성능을 평가한다.

논문 구성은 다음과 같다. II장에서 관련 연구를 살펴보고, III장에서 스마트 아웃렛을 위한 무선 센서 네트워크 프로토콜을 제안한다. IV장과 V장에서는 제안된 프로토콜을 기반으로 하는 스마트 아웃렛의 구현과 평가 결과를 소개하며, VI장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. 스마트 아웃렛 시스템

[6]은 전력량 모니터링을 위해 스마트 플러그를 제안하였는데, 홀(Hall) 센서를 이용하여 실시간으로 소모되는 전류를 측정하고 센서 네트워크를 이용하여 홈 게이트웨이에 전달하여 일별, 월별 전력량을 확인할 수 있도록 모니터링 프로그램을 설계하였다. [7]은 기존 멀티탭의 단점을 개선하여 사용전력의 측정값을 바탕으로 자동으로 대기전력을 차단한 후에 적외선 리모콘 센서를 통해 유저가 원하는 경우, 가전기기의 전력 사용을 허용해주는 Hybrid 형태의 멀티탭 시스템을 구현하였다. 또한 멀티탭을 이더넷(Ethernet)을 통해 서버와 연동하여 원격으로 가전기기의 on/off를 제어하고 전력 사용량을 실시간으로 확인할 수 있는 기능도 추가하였다. [8]에서는 대기 전력 자동차단 및 누전전류 차단 기능을 갖는 지능형 멀티콘센트를 개발하였으며, 자동 차단된 대기전력을 리모컨으로 전원공급을 재개할 수 있도록 하였다. 이 시스템에서는 RS-232 시리얼 통신을 통하여 PC에서 on/off 제어나 실시간 모니터링이 가능하다.

여러 대의 스마트 플러그를 동시에 연결하여 2,000Hz의 높은 샘플링으로 실시간 전류 사용량을 측정하고, 측정된 데이터를 블루투스를 이용하여 PC에 저장함으로써 실시간 전력량 모니터링이 가능

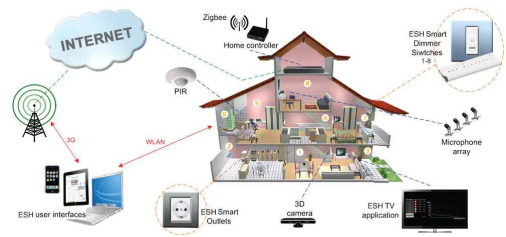


그림 1. ESH 개요
Fig. 1 ESH overview

한 AMI(Advanced Metering Infrastructure)[9]와, 가전제품 원격제어를 위한 무선 아웃렛[10]이 제안되기도 하였는데, 특히 이 제안에서는 아웃렛 구조물에 ZigBee를 추가하여 메시 네트워크를 가능하게 하고 여러 개의 모듈을 설치하여 여러 센서 노드들이 자체 망을 구성하게 하였다. 이 망의 기본 기능은 PIR(Pyroelectric Infrared Ray) 센서 노드가 인체의 움직임을 감지하면 앞에 있는 아웃렛 노드에 무선으로 명령을 내려 각 구별로 on/off 스위치를 가능하게 하여 설치된 가전제품을 제어한다.

가정 내 에너지 사용량을 모니터링하고 사람이 없는 곳은 자동 차단할 수 있는 기능을 갖춘 ESH(The Ecosystem for Smart Home) - Home controller 시스템[11]은 그림 1과 같이 여러 아웃렛에서 사용되는 전력량 모니터링이 가능하고 아이들이 TV를 보고 있는지, 사람이 없는 부엌에 오븐이 켜져 있는지 등 여러 가지 상황을 인지할 수 있다. 또한, 카메라(Kinect), PIR 센서를 장착하여 사람의 존재 및 움직임 여부를 판단하여 스마트 아웃렛과 전동 스위치의 자동 제어가 가능하며 인터넷

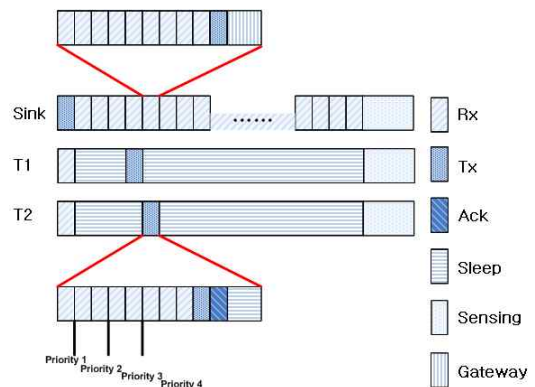


그림 2. IMSN 구성도
Fig. 2 IMSN architecture

1) 대기 전력 절감과 화재 발생 시 신속한 알람을 위하여 저전력과 빠른 응답 특성은 스마트 아웃렛의 중요한 요구 사항이다.

이나 스마트폰을 통한 외부 수동 제어도 가능하다.

위 시스템들은 통신 수단으로 유선을 사용하여 관리가 불편하거나 경쟁 기반 다중 접속 방식인 ZigBee 무선 통신 프로토콜을 사용하기 때문에 전력 소모가 많다. 따라서 본 연구에서는 CSMA(경쟁 기반 다중 접속) 방식보다 전력 소모가 상대적으로 적고, 노드간의 전송 대기시간(latency)이 짧은¹⁾ TDMA(시분할 기반 다중 접속) 방식을 주 기반으로 하는 네트워크 프로토콜을 제안하고, 이에 기반한 스마트 아웃렛인 u-SafeOutlet을 구현한다.

III. 스마트 아웃렛 시스템을 위한 WSN 프로토콜 IMSN 설계

1. IMSN(Intelligent Mobile Sensor Network) 개요

무선센서네트워크 MAC은 크게 경쟁기반의 CSMA와 비경쟁기반의 TDMA로 나눌 수 있다. CSMA는 CCA(Clear Channel Assessment)를 체크하고 백오프(backoff)하기 위해 전력낭비가 큰 단점이 있고, TDMA는 자신만의 고유한 채널을 확보할 수 있어 저전력이지만 엄격한 시간동기화 유지와 노드 수의 유연성에 한계가 있다[12].

이를 해결하기 위해 분산된 TDMA 방식을 갖는 BiWSP(Bidirectional Wireless Sensor Line Protocol)이 개발되었다[13]. 멀티홉이 필요한 야외 환경에서 다양한 처리를 할 수 있는 BiWSP가, 소규모 가정내처럼 유연하게 노드 추가와 제거가 요구되는 환경에서 오버헤드가 될 수 있다.

이를 해결하기 위해, 소규모 가정 내에 저전력, 확장성이 요구되는 스마트 아웃렛을 위해 IMSN을 제안한다. IMSN은 경쟁기반과 비경쟁 기반을 혼합하여 저전력, 확장성을 확보하였고, 메시지 유형(긴급, 일반)과 노드 주소(ID)에 따라 우선순위를 부여하여 QoS를 이루며 싱크 노드는 수신 즉시 Ack 신호를 보내 신뢰성을 높인다. 그림 2는 싱크 노드와 u-SafeOutlet 노드 그룹(T1, T2) 간의 송수신을 위한 시간 슬롯을 나타낸다.

IMSN은 싱크 노드와 일반 노드가 원홉(one-hop) 스타 토폴로지로 망을 구성하고 TDMA 방식으로 저전력, 충돌 제어가 가능하다. 싱크 노드는 주기적으로 비컨 메시지를 송신하고 나머지 타임 슬롯은 수신 구간으로 할당하며 메시지를 수신받으면 즉시 Ack 처리 후, 게이트웨이에 전달하고 받을 명령이 있는지 확인한다. 일반 노드들은 비컨 구간, 송신 구간, 센싱 구간을 제외하고 슬립(sleep)

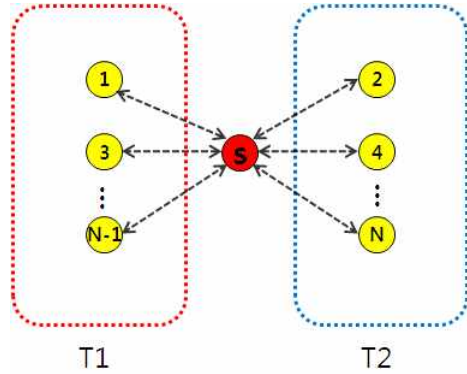


그림 3. 슬롯 할당 예

Fig. 3 Example of time slot assignment

함으로써 저전력을 실현한다. 이하 각 세부적인 사항에 대해 상세히 설명한다.

2. 타임 슬롯 할당

총 T1 ~ Tn까지 타임 슬롯이 구성되어 있고 일반적인 TDMA 방식과 다르게 한 슬롯에 2 개 이상의 노드가 동시에 할당 될 수 있다. 같은 슬롯의 노드들이 송신을 원할 경우는 서로 경쟁하여 슬롯을 할당 받은 노드가 우선적으로 기회를 얻는다. 그림 3에서 보는 바와 같이 1, 3번 노드가 T1 슬롯에 같이 할당되어 있다가 동시에 송신할 메시지가 발생할 경우 T1 내에서 다시 세분화된 우선순위 타임 슬롯에서 경쟁을 하여 만약 1 번 노드가 이긴다면 바로 보내고, 3 번 노드는 그 다음 주기에 다시 시도한다.

우선순위는 1차적으로 메시지 중요도에 따라 긴급 제어 명령어, 긴급 센싱 데이터, 일반 제어 명령어, 일반 센싱 데이터 등으로 구분한 후 같은 우선 순위 내에서는 랜덤하게 슬롯을 할당 받는다. 할당 받은 슬롯까지 수신 모드를 유지한 후 선점 메시지가 없으면 우선순위를 획득한 것으로 판단하고 메시지를 송신하며, 같은 타임 슬롯에 할당된 다른 노드들은 그 메시지를 선점 메시지로 인식한다.

송신 후 싱크 노드로부터 Ack 신호를 수신하면 성공한 것으로 판단하여 전송한 메시지를 큐에서 삭제하고 수신하지 못하면 다음 주기에 다시 시도한다. 또한 같은 우선순위에서 실패 횟수가 임계값을 넘으면 우선순위를 한 단계 올려주어 큐가 넘치는 것을 방지한다.

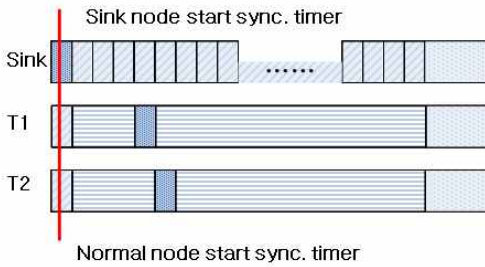


그림 4. 시간 동기화

Fig. 4 Time synchronization

3. 시간 동기화

TDMA 방식에서는 정확한 시간동기화는 매우 중요한 요소이며 이를 위하여 RF 모듈의 SFD (Start of Frame Delimiter)²⁾를 이용한다. 송신할 때는 SFD 바이트가 보내진 직후 인터럽트로 SFD 신호를 알려주고, 수신할 때는 SFD 바이트를 받은 직후 인터럽트로 SFD 신호를 알려준다. 2.4GHz 대역을 사용하는 CC2420[14]은 송수신 SFD 차이가 2us 이내이며, 400MHz 대역을 사용하는 CC1120 [15]은 약 770us 이다. 본 논문에서는 CC1120을 사용하여 그 오차만큼 보정해주면 정확히 시간동기화를 이룰 수 있다.

그림 4와 같이, 첫 번째 타임 슬롯인 비컨 구간에서 싱크 노드는 비컨 메시지를 송신할 때 SFD 인터럽트에 시간동기화 타이머를 시작하고 일반 노드는 비컨 메시지를 수신할 때 SFD 인터럽트에 시작한다. 매 주기 시작마다 오차는 평균을 구하여 그만큼 보정함으로써 시간동기화를 유지시킨다.

만약 비컨 메시지를 수신하지 못 하였을 경우는 비컨 구간 종료시점에 타이머를 시작하여 미리 계산된 시간만큼 동작시킨다. 정해진 임계 횟수 이상 수신 하지 못하였을 경우 시간동기화가 어긋날 수 있으므로 초기상태로 돌아간다.

4. 상태 변이

싱크 노드는 그림 5와 같이, 네트워크 스캔을 한 후 채널이 비어있으면 비컨 메시지를 송신하면서 Sync. 상태를 계속 유지한다. 일반 노드는 Init 상태에서 채널을 스캔하여 비컨 메시지가 있으면 시간동기화를 이루어 Sync. state로 천이하고, 없으면

2) 프레임 시작부근에서 프리앰블 바로 뒤에 붙어지는 것으로, 그 다음부터는 바이트 단위로 구성되어 있다는 사실을 알리는 프레임 동기용 비트열이다.

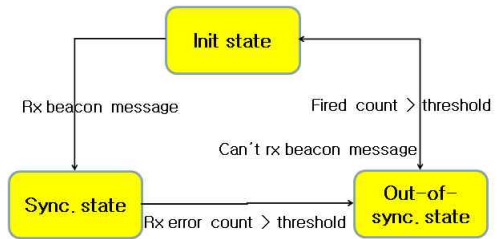


그림 5. 상태 변이도

Fig. 5 State diagram

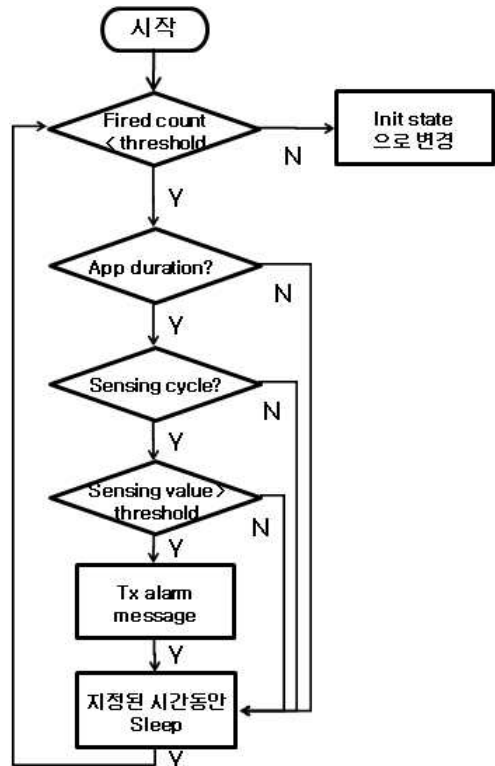


그림 6. Out-of-sync. state에서의 순서도

Fig. 6 Flowchart in the Out-of-sync. state

Out-of-sync. 상태로 천이한다. Out-of-sync. 상태에서 미리 정해진 임계값 이상 횟수가 증가하면 Init state로 가서 다시 스캔한다.

싱크 노드에 문제가 발생한 경우에도, 탐지된 이상 징후의 알람 동작을 보장하기 위해서, 그림 6에서 보는 바와 같이, 기본적인 이상 징후 감지와 상황 전파를 할 수 있게 설계하였다. 싱크 노드가 없거나 문제가 발생하였을 경우, Init. state와 Out-of-sync state를 정해진 주기로 반복하게 된

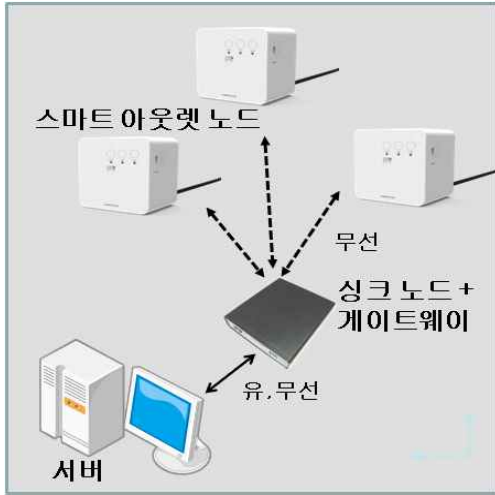


그림 7. u-SafeOutlet 시스템 구성도
Fig. 7 u-SafeOutlet system architecture

다. Init state에서는 비컨 메시지 및 이상 징후 메시지 수신을 체크하고, Out-of-sync state에서는 센싱 주기에 맞추어 센싱한 후 미리 정해진 임계값보다 클 경우 이상 징후 메시지를 송신한다. 이때는 각 u-safeOutlet 노드들이 시간동기화가 이루어지지 않은 상태이므로, 다음 Init state가 반복될 때까지 이상 징후 메시지를 지속적인 브로드캐스트 방식으로 송신한다. 다른 u-SafeOutlet 노드들은 Init state에서 이상 징후 메시지를 수신하여 정해진 동작을 수행한다. 즉, 각 방마다 u-SafeOutlet 노드만 설치되어 있는데 한쪽 방에서 화재가 발생했을 경우 그것을 감지하고 옆방 노드에 이상상황을 전파하고 전원 차단 할 수 있는 기능을 포함시켰다.

IV. u-SafeOutlet 시스템 구현

1. 전체 시스템 구성

제안하는 스마트 아웃렛의 전체 시스템은 그림 7에서 보는 바와 같이, 크게 전력량 측정, 화재 감지센서 등을 갖춘 스마트 아웃렛 노드, 싱크 노드가 부착되어 무선 센서네트워크와 인터넷망 사이에서 센싱 데이터, 명령어 전달 역할을 하는 게이트웨이, 모니터링 및 제어 명령어를 보낼 수 있는 서버로 구성되어 있다.

3) On 시에는 지속적으로 전류를 소모하기 때문에 이후에는 on/off 동작할 때만 전류를 소모하는 Latch 릴레이 형식을 사용할 예정이다.



그림 8. u-SafeOutlet 노드
Fig. 8 u-SafeOutlet node

표 1. u-SafeOutlet 노드 사양
Table 1. Spec. of u-SafeOutlet node

항목	사양 (모델)
MCU	Atmega2560(8bit, 7.3728MHz)
RF	CC1120 (447MHz)
전력측정 센서	CS5463 (0.1 ~ 2,400W)
릴레이	HC3-1AT-5S(1 Form A)
충전 IC	LTC3552 (최대 2A까지 충전)
온도센서	SHT20(-40~ 125C, 0.5C 오차)
음성 경고	aP89170 (255 voice group)
연기 센서	XFire (광전식 센서)

2. u-SafeOutlet 노드

그림 8과 표1은 각각 IMSN기반 스마트 아웃렛 시스템 u-SafeOutlet을 위해 개발된 스마트 아웃렛 노드 플랫폼의 모습과 사양을 나타낸 것이다.

MCU는 저전력(Active: 8mA, Sleep: 15uA) 이면서 여러 센서와 액츄에이터를 장착하기위해 인터페이스가 풍부한 Atmel사의 Atmega2560으로 선택하였다.

RF는 일반적으로 아웃렛이나 멀티탭이 하단 구석에 위치하는 점과 2.4GHz 무선인터넷과의 혼잡 위험을 고려하여 400MHz 대역의 CC1120을 선택하였는데, 447.8625MHz ~ 447.9875MHz까지 총 11개의 채널 사용이 가능하며 규정상 최대 10dBm까지의 송신이 가능하다.

전력측정 센서는 선형 에러율이 0.1% 이하로 우수하면서 규정을 만족시키는 CS5463으로 선정했고, 릴레이는 제어가 간편하면서 Off시 코일에 전류를 공급하지 않아도 되는 HC3-1AT-5S로 선택하였다.³⁾

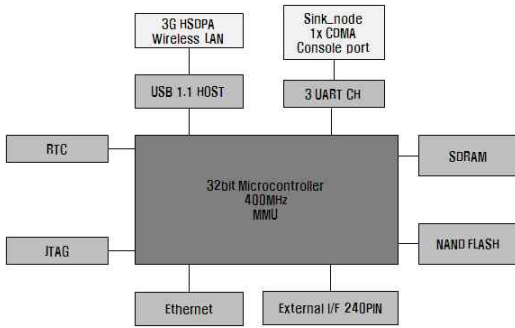


그림 9. 게이트웨이 블럭도
Fig. 9 Gateway block diagram

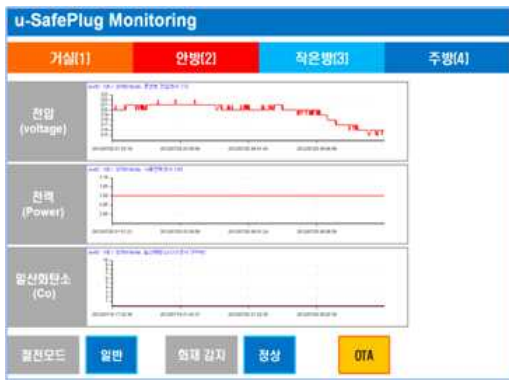


그림 10. 모니터링 화면
Fig. 10 Screenshot of the monitoring application

정전 발생 시에도 화재 감지의 안정적인 동작을 위해 540mAh 리튬폴리머 충전지와 듀얼 레귤레이터를 적용하여 충전 시스템을 구현하였고, 온도센서로는 분해능(14bit)이 우수한 SHT20을 채택하였다. 또한, 알람 상황을 LED 뿐만 아니라 즉각 경고 할 수 있는 음성 경고부를 부착하였다. 연기센서로는 인터럽트 방식으로 인터페이스 되어있는 광전식 연기 감지기인 XFire를 사용하였다.

3. 게이트웨이 및 서버

그림 9는 게이트웨이의 구성도이다. 싱크 노드로부터 수신한 센싱 데이터를 서버와 LAN, Wi-Fi, CDMA, 3G HSDPA 등 다양한 경로를 통하여 송신할 수 있다. S3C2440 ARM9 400MHz MCU[16]를 사용하며 터치스크린을 지원하는 LCD를 장착할 수 있다.

서버 DB에 저장되어 있는 데이터는 웹이나 스

표 2. IMSN 타임 슬롯 설정
Table 2. Configuration of IMSN time slot

항목	사양 (ms)
전체 수퍼프레임	2,000ms
비컨 구간	200ms
송신 구간	300ms * 6개
경쟁 슬롯	16ms * 7개

마트폰을 통하여 어디에서나 모니터링 할 수 있으며 대기전력 차단, 해지, 이상징후 알람 해지 등의 u-SafeOutlet 제어 명령어를 실시간 전송 할 수 있다. 전압, 전력량, 일산화탄소 모니터링이 가능하며 연기감지 센서를 통하여 화재 경보가 가능하다. 그림 10에 서버 모니터링 화면 일부를 보였다.

V. u-SafeOutlet 실험 및 평가

1. IMSN 에너지 효율성

u-SafeOutlet 시스템의 가장 기본적인 핵심 기능은 대기전력을 차단하여 불필요한 에너지 낭비를 막는 것이지만, u-SafeOutlet 노드 자체의 전력소모도 중요시 된다. IMSN은 비컨 구간, 송신 구간, 센싱 구간을 제외하고 슬립함으로써 에너지 효율성을 높였다. 또한 송, 수신 구간에서도 완료 후 RF를 off 함으로써 저전력 실현에 기여하도록 하였다.

CC1120 전송속도 자체는 200kbps까지 가능하지만, 국내 전파법에서 Rx filter 대역폭을 12.5kHz 이하로 제한하기 때문에 4kbps로 설정하여 테스트 하였다. 따라서, 표2에 보듯이, 전송속도가 낮아서 각 타임 슬롯이 다소 길게 설정되었으며, 화재나 과전류 같은 긴급 메시지를 전송해야 할 필요성이 있어서 수퍼프레임은 다소 짧게 2,000ms로 설정하였다. 비컨 구간은 최대 64byte 송신을 위해 필요한 약 150ms와 메시지 처리 시간을 포함 해 총 200ms로 설정하였다. 경쟁슬롯은 Tx 명령을 내리고 실제 SFD 바이트가 전송 완료되는 시간인 약 15ms를 참조하여 16ms로 설정했고, 송신 구간은 총 경쟁슬롯 7개, 메시지 송신, Ack 수신을 위해 300ms로 설정하였다. 따라서 전체 수퍼프레임 2,000ms에 총 6개의 송신 구간 할당이 가능하다.

Duty cycle은 $(200 + 300) / 2,000 * 100 = 25\%$ 로서 항상 RF를 작동시키는 방식에 비하여 1/4 수준이며, 최소한의 RF 작동으로 전력소모를 극소화시켰다. 송신할 데이터가 있을 경우 약 7mAh, 없을 경우 약 4mAh 정도가 소모되었다. 그림 11은 송신

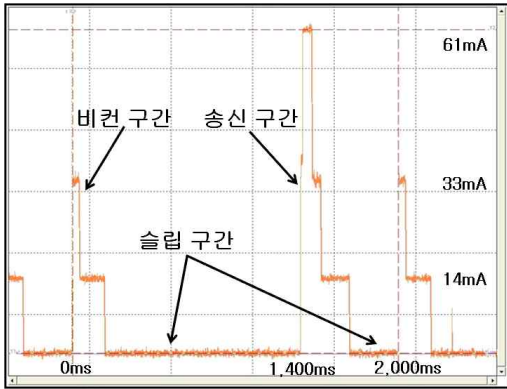


그림 11. IMSN 전력 소모량 측정
Fig. 11 Measurement of IMSN power consumption



그림 12. 대기전력 차단 그래프
Fig. 12 Graph of standby power off

할 데이터가 있을 경우 전력 소모량 측정된 그래프이다. 좌측 첫 번째 부분이 비컨 구간, 그다음 슬립 구간, 가장 높이 올라간 부분이 송신 구간이다. 그다음 비컨 구간이 다시 반복되는 모습이다. 이로부터 전력 소모 측면에서, 상시 대기상태를 유지해야 하는 경쟁 기반인 ZigBee 방식에 비해 우수함을 알 수 있다.

2. 대기전력 차단 성능

u-SafeOutlet은 가전기기를 사용하지 않을 경우 대기전력의 손실을 막기 위해 릴레이를 사용하여 차단한다. u-SafeOutlet 노드에 사용할 가전기기를 설치하고 대기전력 측정 버튼을 누르면 대기전력 임계값을 설정하고 일정시간동안 그 임계값 이하로 유지하면 릴레이를 off 시켜 차단한다.

차단을 해제할 경우 차단 해제 버튼을 누르거나 클라이언트에서 제어 명령어를 통하여 해제 가능하다. 그림 12는 블루레이 플레이어 대기전력 차단 실험의 결과이다. 대기전력 시 약 15W를 소모하다가 임계값 설정 후 자동으로 대기전력이 차단되어 0W로 모니터링 되는 상황이다. 다시 차단 해제하면 기기를 사용할 수 있게 된다.

표 3. 에너지 효율 테스트 결과

Table 3. Result of energy efficiency test

항목	일반 콘센트	u-SafeOutlet	절감효율
컴퓨터	3W	0.6W	80%
전자레인지	3W		80%
블루레이 플레이어	15W		96%
LCD TV	0.7W		14%



그림 13. IMSN 통신을 테스트
Fig. 13 Test of IMSN packet error rate

대기 전력 차단 성능을 검증하기 위하여 다양한 가전기기(표3)를 사용하여 측정하였다. 컴퓨터와 전자레인지는 u-SafeOutlet으로 80% 절감효과를 보였고, 대기전력이 상대적으로 높은 블루레이 플레이어는 96%의 효율을 보았다. 그러나 최근 저전력 기능이 향상되어 출시된 TV, 모니터 같은 경우 대기전력이 상대적으로 낮아 효과가 높지 않았다.

3. IMSN 통신 효율성

u-SafeOutlet 시스템은 전형적으로 아파트 형 가정에서의 사용이 예상되므로 실제 환경과 유사한 장소에서 통신 기능 테스트를 진행하였다.

그림 13의 실험 장소에서 위치 S와 N사이에는 콘크리트 벽과 가구 등의 장애물이 있으며 직선 거리는 약 13m 이다. 위치 S와 N에 싱크 노드와 u-SafeOutlet 노드를 각각 설치한 후, 송수신 테스트를 아침, 낮, 저녁 등 총 3회에 걸쳐 각각 300번씩 테스트한 결과 세 번 모두 100% 성공률을 보였다. 이는 400MHz 특성상 콘크리트 벽을 상대적으로 잘 통과하고 전송속도가 낮아(4kbps) 수신 감도(Rx sensitivity)가 -110dBm 이상이기 때문인 것

으로 판단된다.

VI. 결론

이 논문에서는 스마트 아웃렛을 위한 효율적인 무선 센서 네트워크 프로토콜 IMSN을 제안하였고, 제안한 프로토콜을 장착한 전력모니터링, 대기전력 차단, 전기화재 감지가 가능한 스마트 아웃렛 프로토타입, u-SafeOutlet을 구현 제작하고, 소모 전력, 대기 전력 차단 성능 등을 평가하였다. 실험으로부터 전력 소모가 ZigBee의 1/4 수준인 IMSN은 정확한 시간 동기화 및 RF 제어로 안정적인 스마트 아웃렛 시스템 운영에 적합함을 검증하였고, 구현된 u-SafeOutlet은 대기전력 차단으로 14% ~ 96%의 에너지를 절감할 수 있음을 보였다.

앞으로 계속될 연구에서는, u-SafeOutlet 노드의 자체 소요 전력을 최소화하는 연구와 함께, 멀티탭 형태의 u-SafeOutlet을 개발할 예정이다. 또한, 시스템을 월패드(Wall-Pad) 스타일로 더 간소화하기 위해 서버 기능 및 GUI 환경을 통합한 u-SafeOutlet 시스템을 개발하고자 한다.

참고 문헌

- [1] <http://www.kemco.or.kr>, KEMCO.
- [2] Omnipas, "Provide Real-time Information on the Home's Electricity Consumption Feedback Effects Empirical Studies Report," 2010 (in Korean).
- [3] I.W. Lee, W.G. Park, K.R. Park, S.W. Son, "Smart Grid Technology Trends," Journal of The Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 26, No. 9, pp.24-33, 2009 (in Korean).
- [4] H.S. Chun, Y.W. Ha, B.S. Cho, "A Study on the Policy Trends of Smart Grid in Major Nations," Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 25, No. 3, pp.89-98, 2010 (in Korean).
- [5] K. Romer, F. Mattern, "The design space of wireless sensor networks," IEEE Wireless Communications, Vol. 11, No. 6, pp.54-61, 2004.
- [6] M.G. Lee, Y.G. Park, K.K. Jung, J.J. Yoo, H.G. Sung, "Design and Implementation of Smart Plug using Sensor Networks in Smart House," Proceedings on Korea Computer Congress Vol. 37, No. 1, pp.412-415, 2010 (in Korean).
- [7] S.M. Wang, Y.S. Kim, S.I. Oh, B.H. Han, H. Huh, Y.H. Yee, .H.S. Chang, "Development of the Smart Metering System Using a Power Strip," Proceedings on KIEE Summer Conference, pp.121-122, 2011 (in Korean).
- [8] S.J. Yun, J.I. Jeong, J.W. Choi, J.B. Hwan, Y.O. Han, "The Development of Smart Concent," Proceedings on The Korea Institute of Electronic Communication Sciences Fall Conference, Vol. 5, No. 2, pp.198-203, 2011 (in Korean).
- [9] S.H. Bae, B.K. Kang, S.T. Kim, H.K. Lee, J.W. Park, "A Study on Smart-Plug for Electric Power Monitoring System Based on AMI," Proceedings on KIEE Summer Conference, pp.612-613, 2011 (in Korean).
- [10] G. Song, F. Ding, W. Zhang, A. Song, "A Wireless Power Outlet System for Smart Homes," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 54, No. 4, pp.1688-1691, 2008.
- [11] B. Mrazovac, M.Z. Bjelica, N. Teslic, I. Papp, "Towards Ubiquitous Smart outlets for Safety and Energetic Efficiency of Home Electric Appliances," Proceedings on 2011 IEEE International Conference on Consumer Electronics(ICCE), pp.322-326, 2011.
- [12] T.Y. Chung, H.S. Chung, H.B. Lee, L.J. Park, J.H. Moon, "Implementation of a Remote Fire Monitoring System Based on Bidirectional USN," Journal of IEMEK, Vol. 2, No. 2, pp.107-115, 2007v(in Korean).
- [13] H.B. Lee, L.J. Park, J.H. Moon, T.Y. Chung, "Desing and Implementation of a TDMA-based Bidirectional Linear Wireless Sensor Network," Journal of KIISE: Computing Practices and Letters, Vol. 14, No. 4, pp.341-351, 2008 (in Korean).
- [14] <http://www.ti.com/product/cc2420>, Texas Instruments, "2.4 GHz IEEE 802.15.4 / ZigBee-Ready RF Transceiver (Rev. B)", 2007.

- [15] <http://www.ti.com/product/cc1120>, Texas Instruments, "High Performance RF Transceiver for Narrowband System (Rev. C)", 2012.
- [16] <http://www.samsung.com/global/business/semiconductor>, Samsung electronics, "S3C2440A 32-bit microprocessor user's manual", 2004.

저 자 소 개

정 한 수



2000년 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 학사.
 2004년~현재, 강원 임베디드소프트웨어 연구센터 선임연구원.
 관심분야: 센서 네트워크, IoT, 빅데이터.

Email: chans2@gwnu.ac.kr

문 정 호



1991년 서울대학교 제어계측공학과 학사.
 1993년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사.
 1998년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사.

1998년~2002년 삼성전자 중앙연구소 및 휴맥스 연구소 책임연구원.
 2003년~현재, 강릉원주대학교 전자공학과 교수.
 관심분야: 임베디드 시스템, 센서 네트워크, 디지털 제어.
 Email: itsmoon@gwnu.ac.kr

박 성 욱



1993년 연세대학교 전자공학과 학사.
 1995년 연세대학교 전자공학과 석사.
 1998년 연세대학교 전자공학과 박사.

1998년~2009년 삼성전자 DM연구소 수석연구원.
 2009년~현재, 강릉원주대학교 전자공학과 조교수
 관심분야: 임베디드 소프트웨어, 센서 네트워크, 영상 부호화.
 Email: swpark@gwnu.ac.kr

이 형 봉



1984년 서울대학교 계산통계학과 학사.
 1986년 서울대학교 계산통계학(전산과학)과 석사.
 2002년 강원대학교 컴퓨터과학과 박사.

1986~1994년 LG전자 컴퓨터연구소 선임연구원.
 1999년~2003년 호남대학교 조교수.
 2004년~현재, 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 교수
 관심분야: 임베디드 소프트웨어, 센서 네트워크, 운영체제
 Email: hblee@gwnu.ac.kr

박래정

1991년 서울대학교 전기
공학과 학사.

1993년 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 석사.

1997년 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 박사.

1997년~2000년 LG 중
합기술원 선임연구원.

2000년~현재 강릉원주대학교 전자공학과
교수.

관심분야: 기계학습, 최적화, 임베디드 시스템,
센서 네트워크

Email: ljpark@gwnu.ac.kr

정태윤

1987년 연세대학교 전기
공학과 학사.

1989년 연세대학교 전기
공학과 석사.

2000년 연세대학교 전기
컴퓨터공학과 박사.

1989년~1996년 삼성중
합기술원 선임연구원.

1996년~2001년 삼성전자 중앙연구소 책
임연구원.

2001년~현재, 강릉원주대학교 전자공학과
교수, 강원 임베디드 소프트웨어 연구센터
센터장.

관심분야: 임베디드 시스템, 센서 네트워
크, 영상 부호화.

Email: tychung@gwnu.ac.kr