

센서기반 에너지 모니터링 프로토타입 시스템

(Development of Sensor Based Energy Management System)

엄대진* · 최중인 · 이인규**

(Dae-Jin Um · Jung-In Choi · Ingyu Lee)

Abstract

With the increasing interest of energy efficiency, several buildings and factories begin to monitor energy usages with a built-in energy management system. However, the built-in energy monitoring system does not reflect the dynamics of buildings and factories energy usage. To overcome the latter, we deploy several sensors to monitor the dynamics of buildings energy usage patterns. In this paper, we are proposing a framework of a sensor based energy monitoring system. Based on our limited experiments, we can monitor power usages by a person, device and time period. As a result, we can plan a better energy usage and improve energy efficiency by the monitored energy usage profile data.

Key Words : EMS, IoT, MBCx, Demand-Side Resource Management

1. 서 론

건물 및 공장의 에너지 효율화에 대한 관심이 증대됨에 따라서 에너지 사용 현황을 모니터링하고 전력 데이터를 수집하여 분석하는 기술이 활발히 연구되고 있다[1-3]. 동시에 다양한 센서 기술이 발전하여 이를 이용한 전력 및 비전력 데이터를 수집하고 저장하여

에너지 효율화를 위한 분석을 시도하고 있다[4]. 이때, 주로 사용하는 센서는 인체를 비접촉으로 감지하는 수단인 적외선 패시브 방식(PIR : Passive infrared Ray), 근적외선 액티브방식, 초음파, 마이크로파 등이 보급되어 있으며, 이산화탄소 센서, 열감지 센서, 무빙 센서 등을 활용해 에너지 활성화 및 비활성화를 감지하고 있다. 본 논문에서는 이러한 센서 디바이스를 기반으로 한 에너지 모니터링 시스템을 제안한다.

또한 각종 센서를 이용한 전력 사용량 모니터링 환경 및 비전력 데이터 수집 환경을 실험실에 구축하여 시스템 성능을 검증하였으며, 이를 기반으로 전력 및 비전력 데이터를 수집하여 데이터베이스로 저장하였다. 이렇게 저장된 에너지 사용 패턴 데이터를 분석하여 에너지 계획을 수립할 수 있는 프레임워크를 프로토타입 시스템으로 제작하였다. 센서 노드들을 부착해 정보를 수집 및 관리하고 분석된 결과에 따라서 디바

* 주저자 : (재)차세대융합기술연구원 책임연구원
** 교신저자 : (재)차세대융합기술연구원 책임연구원
* Main author : Principal Researcher, Advanced Institute of Convergence Technology
** Corresponding author : Principal Researcher, Advanced Institute of Convergence Technology
Tel : 031-888-9512, Fax : 031-888-9508
E-mail : inlee@snu.ac.kr
접수일자 : 2014년 6월 19일
1차심사 : 2014년 6월 27일
심사완료 : 2014년 9월 4일

이스를 제어함으로써 에너지 사용을 수치화하고 모니터링하여 에너지 효율화를 달성할 수 있으리라 판단한다[3].

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 에너지 모니터링 프로토타입과 실험실에 설치된 센서에 대하여 자세한 설명과 동작 방법을 기술하였고, 3장에서는 이러한 센서로부터 수집된 전력 데이터 관리 및 데이터 특성에 관하여 기술하였다. 결론과 향후 계획은 4장에 자세하게 기술되어 있다.

2. 프로토타입 모델

그림 1은 제안하는 모니터링 프로토타입 시스템의 구성을 보여준다. 센서를 이용하여 복도의 사람을 감지하거나, 서버미터링을 이용해 서버의 전력 사용을 모니터링할 수 있으며, 회의실에 사람이 입장하면 조명이 자동 조절되고, 빔프로젝트가 켜지면 커튼이 내려오면서 조명이 꺼진다. 또한 각 연구실의 전력 사용을 스마트 미터로 체크하기도 하고, 트위터나 페이스북의 키워드 및 반응도에 따라 조형물이 반응한다.

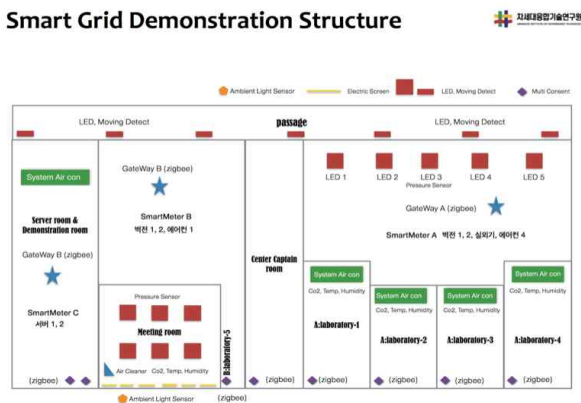


그림 1. 센서 설치 조감도
Fig. 1. System diagram for installed sensors

2.1 센서 프로토타입 모델

프로토타입은 크게 4가지 센싱 모델을 포함하고 있는데, 1) 복도에서의 모션 감지, 2) 전체 에너지 사용 현황 및 이벤트 진행을 볼 수 있는 스마트 클라우드

조형물 제어, 3) 각 연구동의 에어컨 및 4) 미팅 룸 제어가 포함된다. 센싱 시나리오는 다음에 자세하게 기술되어 있다.

대상 1.
복도 무빙센서(Moving Sensor)설치를 통한 LED 점멸

- 제어 대상 : LED(줄띠)
- 센서 : 무빙 감지 센서
- 작동 시나리오 : 사람이 지나 갈 경우 우측 하단에 LED가 점멸되면서 사람의 움직임을 표시해 따라가면서 LED 등이 들어오도록 한다.

대상 2.
스마트 클라우드(Smart Cloud)

트위터의 Open API를 이용해 특정 키워드(정전, 전력, 전기 등)를 통한 소셜 미디어의 데이터와 날씨 정보 등을 이용해 그룹이 실시간으로 반응한다. Open API를 이용하여 데이터를 읽어 올수 있는 서버단의 Node.js로 프로그래밍을 구성하고 LED를 직접 제어할 수 있는 게이트웨이(Bridge-Gateway)를 이용하여 소셜미디어의 반응에 따라 LED별로 제어한다[6-7].

- 제어 대상 : 필립스 휴(Philips HUE)
- 센서 : 필립스 휴 게이트웨이와 LED 약 10개
- 작동 시나리오 : 서버 프로그램을 Node.js로 구성한 후 소셜미디어에 특정키워드가 탐지되면 조명이 반응한다.

Node.js는 서버사이드에서 동작이 가능한 Javascript로 보통 서버사이드 자바스크립트라고 한다[8]. Node.js는 구글의 크롬 V8 자바스크립트 엔진을 기반으로 한 고성능 네트워크 서버로 Single Thread 기반의 Event Loop를 기반으로 하고 있으며, File, Network 등에 대해서 비동기 IO 처리를 하는 서버 미들웨어이다. 그림 2에 동일 네트워크 환경에서 게이트웨이를 검색하는 코드 세그먼트를 보여주는데, 이와 같이 검색된 게이트웨이를 이용하여 그림 3에서처럼 이벤트 발생 시 실제로 LED를 제어한다[6-7].

```

var hue = require("node-hue-api");

var displayBridges = function(bridge) {
  console.log("Hue Bridges Found: " + JSON.stringify(bridge));
};

// -----
// Using a promise
hue.locateBridges().then(displayBridges).done();

// -----
// Using a callback
hue.locateBridges(function(err, result) {
  if (err) throw err;
  displayBridges(result);
});

```

그림 2. 게이트웨이 검색 코드
Fig. 2. Code for searching gateway

```

var hue = require("node-hue-api"),
    HueApi = hue.HueApi,
    lightState = hue.lightState;

var displayResult = function(result) {
  console.log(result);
};

var displayError = function(err) {
  console.error(err);
};

var host = "192.168.2.129",
    username = "033a6feb77750dc770ec4a4487a9e8db",
    api = new HueApi(host, username),
    state = lightState.create();

// -----
// Using a promise

// Set the Lamp with id '2' to on
api.setLightState(2, state.on())
  .then(displayResult)
  .fail(displayError)
  .done();

// Now turn off the Lamp
api.setLightState(2, state.off())
  .then(displayResult)
  .fail(displayError)
  .done();

// -----
// Using a callback
// Set the Lamp with id '2' to on
api.setLightState(2, state.on(), function(err, result) {
  if (err) throw err;
  displayResult(result);
});

// Now turn off the Lamp
api.setLightState(2, state.off(), function(err, result) {
  if (err) throw err;
  displayResult(result);
});

```

그림 3. LED 점멸 코드
Fig. 3. LED On/OFF code

대상 3.

연구동의 에어컨 제어 (총 4개의 실 공통)

- 제어 대상 : 에어컨
- 센서 : 적외선 인체감지 패시브센서(PIR : Passive infrared Ray, 이하 PIR 인체감지센서)

- 작동 시나리오 : 센서를 이용해 사람의 이동을 감지하며 온도 및 습도 센서를 설치하여 현재의 상태를 체크하여 에어컨을 최적의 온도를 유지할 수 있도록 자동으로 제어한다. 센서 모듈은 RS485로 연결하여 게이트웨이에 수집한 온도, 습도 및 온도 데이터를 보내고 게이트 웨이는 데이터 포털 (DP Data Portal) 서버에 데이터를 전송하여 데이터베이스로 저장하도록 구성하였다. 필요시 데이터 포털에서 제어 명령을 받아서 게이트웨이가 에어컨 및 실내등을 제어한다.

대상 4.

미팅룸의 조명, 빔프로젝터, 전동 커튼 제어

- 제어 대상 : LED조명, 에어 클리너, 빔프로젝터 + 커튼 스크린
- 센서 : PIR인체감지센서, 단상 미터, 커튼 및 빔프로젝트 제어기
- 작동 시나리오 : 사람의 출입을 감지하는 PIR 인체감지센서가 설치되어 움직임이 감지되면 천정의 LED등이 자동으로 점등된다. 또한 빔 프로젝트에 전원이 들어오면 LED 등이 디밍되면서 커튼이 내려오도록 구성하였다. 전원이 꺼지면 반대로 LED 등이 복원되면서 커튼이 올라간다. 또한 DP(Data Portal) 서버와 RS485로 연동되어 자동으로 LED 등을 점등 및 소등할 수 있도록 구성하였다.

2.2 서브미터링 모델

에너지 사용현황 모니터링을 위하여 멀티탭 및 서브미터링을 구성하였다. 그림 4의 멀티탭은 게이트웨이와 무선통신 방식인 지그비(Zigbee)로 전력 사용량 데이터를 수집하여 전송한다. 스마트 멀티탭은 연구실에 각 7개, 서버실 2개, 미팅룸 1개로 구성하였다. 그림 6의 게이트웨이는 각각의 멀티탭과 센서에서 수집한 데이터를 데이터 포털 서버에 전송하는 역할을 하며, 프로토콜은 모드버스(Modbus), 달리(DALI), 지그비(Zigbee), RS485의 통신방식을 수용하고 있다. 또한 서브미터링이 그림 7에서처럼 구성되어 연구실의 전력사용 현황을 모니터링한다.



그림 4. Zigbee방식의 멀티탭 전력 측정
Fig. 4. Zigbee support power measure



그림 5. 게이트웨이
Fig. 5. Gateway

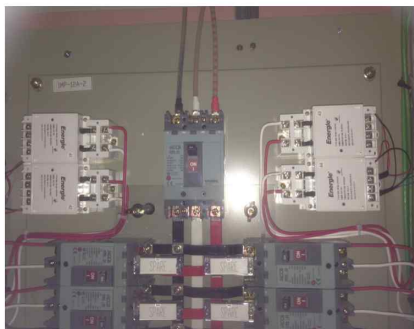


그림 6. RS485방식의 분전반 단상 미터
Fig. 6. Submetering with RS485

3. 전력 데이터 수집 및 분석

3.1 전력 데이터 수집

센서 및 서브미터링 기술을 이용하여 수집된 전력 데이터 정보 및 환경 정보는 데이터 포털 서버에 데이터베이스로 저장된다. 이를 관리자 컴퓨터에서 현황

을 자유롭게 볼 수 있으며 불필요한 디바이스에 전원을 차단하거나 수요반응 이벤트 발생 시 디바이스를 제어할 수 있도록 구성하였다. 그림 7은 수집된 데이터를 금일과 한달 간의 전력량 및 순시전력을 표시해주는 화면인데, 이를 통하여 관리자는 현재 사용전력 및 누적 전력 사용량을 확인할 수 있다.



그림 7. 에너지 모니터링 대쉬보드
Fig. 7. Energy monitoring dashboard

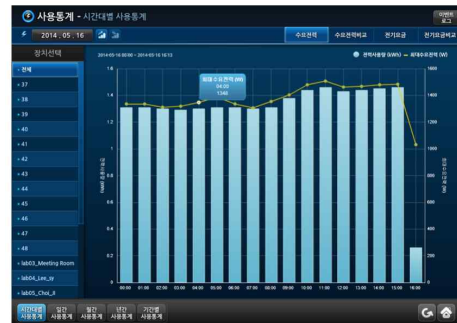


그림 8. 에너지의 사용통계 그래프
Fig. 8. Energy usage graph

번호	장비명	순시전력 (kW)	누적 전력 (kWh)	누적 사용량 (kWh)	제어상태	제어유형	제어유형	제어유형
1	부 37	1.3851	18.09	415.66	ON	수동	수동	수동
2	부 38	70.5	1.07	24.54	ON	수동	수동	수동
3	부 39	0.0	0.00	0.00	ON	수동	수동	수동
4	부 40	0.0	0.00	0.00	ON	수동	수동	수동
5	부 41	0.0	0.00	0.00	ON	수동	수동	수동
6	부 42	0.0	0.00	0.00	ON	수동	수동	수동
7	부 43	0.0	0.00	0.00	ON	수동	수동	수동
8	부 44	0.0	0.00	0.00	ON	수동	수동	수동
9	부 45	0.0	0.00	0.00	ON	수동	수동	수동
10	부 46	0.0	0.00	0.00	ON	수동	수동	수동
11	부 47	0.0	0.00	0.00	ON	수동	수동	수동
12	부 48	0.0	0.00	0.00	ON	수동	수동	수동
13	부 49	59.4	0.01	0.25	ON	수동	수동	수동
14	부 50	61.7	0.36	4.50	ON	수동	수동	수동

그림 9. 장비별 제어 그리드
Fig. 9. Device control grid

장치별, 시간대별, 일별, 월별 전력 사용량에 대한 사용통계는 그림 8에서와 같이 그래프로 보여준다. 이로 인해서 현재 에너지 사용량 및 향후 에너지 사용량 예측이 가능하다. 또한 그림 9에서 보이는 것처럼 장치별 또는 센서 장비별 상태 체크가 가능하도록 구성하였으며, 새로운 장비의 추가 및 불필요한 장비의 삭제 가능하다. 특히 수요반응 이벤트가 발생할 경우 필요한 수요 자원을 확보하기 위하여 디바이스를 직접 제어할 수 있도록 구성하였다.

3.2 전력 데이터 분석

실시간으로 수집되는 데이터는 관계형 데이터베이스를 이용하여 데이터 포털 서버에 저장된다. 이를 다시 5분 단위의 데이터로 변형하여 빅데이터 시스템에 적재한다. 따라서 5분단위로 100여개 센싱 디바이스

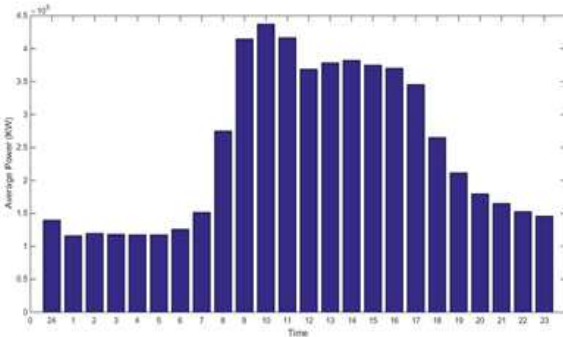


그림 10. 시간대별 평균 전력 사용량
Fig. 10. Power usage by time period

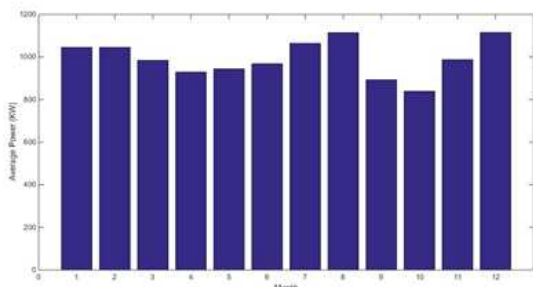


그림 11. 월별 평균 전력 사용량
Fig. 11. Power usage by month

로부터 수집되는 데이터는 하루에 대략 3만개의 레코드가 된다. 데이터가 장기간 수집되면 관계형 데이터베이스로 저장하거나 분석하기에는 어려움이 있다. 이러한 대용량의 데이터는 빅데이터 시스템으로 저장하고 하둡의 병렬처리 기능을 이용하여 에너지에 대한 패턴 분석 알고리즘을 통해 효율성 분석이 가능하다[9-10].

그림 10은 시간대별 평균전력 사용량을 보여주고 있다. 9시부터 6시까지인 근무 시간대에 피크전력량을 사용하고 있으며, 퇴근 이후에 사용량이 급격히 감소하는 것을 알 수가 있다. 그림 11는 월별 평균 전력 사용량을 보여주는 그래프로 월별로 비슷한 평균 전력량을 사용하나 겨울철인 12월과 1월, 여름철인 7월과 8월에 다소 높은 전력 사용량을 보여주고 있다. 여름과 겨울철에 냉난방을 위하여 봄과 가을보다 다소 높은 전력사용량을 보여준다.

4. 결 론

본 논문에서는 센서 기반의 에너지 모니터링을 위한 프로토타입을 제안하였으며, 전체에너지 사용을 모니터링할 수 있는 스마트 클라우드와 각 연구실과 미팅룸, 서버실의 PIR인체감지 센서 및 제어보드 또는 Zigbee와 RS485 통신 방식인 유무선 에너지 서브미터링을 통해 데이터를 수집하는 방안을 제시하였다. 또한 수집된 데이터를 빅데이터로 연결하여 전력 에너지 사용 패턴을 분석하였다.

현재의 에너지 사용 데이터 분석은 데이터 특성 분석 및 회귀모델을 이용한 분석으로 매우 제한적이다. 향후 좀 더 많은 센서를 설치하여 보다 많은 데이터를 수집하고 이를 기반으로 빌딩 및 공장 모델을 기반으로 한 분석으로 확장할 계획이다. 또한 현재의 알고리즘은 온도, 습도 및 조도 등의 환경 요인을 고려하지 않고 있으나, 향후 이러한 요소를 고려한 에너지 분석 알고리즘으로 확장하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 산업통산자원부의 재원으로 한국 에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No. 20132010101800)

References

- [1] Demand Reductions from the Application of Advanced Metering Infrastructure, Pricing Programs, and Customer-Based Systems - Initial Results, SmartGrid.gov, 2013.
- [2] Ultra Large-Scale Power System Control Architecture, SmartGrid.gov, October 2012.
- [3] Demand response methods using ICT, Ministry of Trade, Industry and Energy, August, 2013.
- [4] The Internet of Things, MIT Technology Review, 2014.
- [5] The Cloud of Things Empowered Smart Grid Cities, S. Karnouskos, Internet of Things, 2014.
- [6] Phillips Hue Website, <http://meethue.com>
- [7] Phillips Hue Lighting Controller, <http://channel9.msdn.com>
- [8] Web Development with Node and Express, Ethan Brown, O'Reilly, 2014.
- [9] A Study on Big Data System to Analyze Smart Grid Energy Data, Wonjin. Lee, Ingyu. Lee, Byung-Won On, Jung-In Choi, Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Sep. 2014.
- [10] A Big Data Management System for Energy Consumption Prediction Models, Wonjin Lee, Byung-Won On, Ingyu Lee, Jungiin Choi, Proceedings of International Conference of Digital Information Management (ICDIM), 2014.

◆ 저자소개 ◆



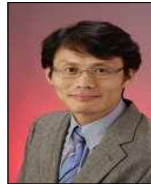
엄대진(嚴大振)

2008년 서울디지털대학교 졸업. 2011년 건국대 기술경영 졸업(석사). 2013년~현재 차세대융합기술원 스마트그리드 연구센터 책임연구원.



최중인(崔重仁)

1987년 메사추세츠 대학교 졸업(박사). 1987년~2014년 2월 가천대학교 교수. 2013년 6월~현재 차세대융합기술원 스마트그리드 연구센터 센터장.



이인규(李仁奎)

2007년 펜실베이니아 주립대 졸업(박사). 2007년 1월~2013년 5월 미국 알라바마주 트로이 주립대 교수. 2013년 8월~현재 차세대융합기술원 스마트그리드 연구센터 책임연구원.