

에너지 절약을 위한 위치측위 기반 조명 제어 시스템 개발

조경우 · 전민호 · 오창현*

Development of Lighting Control System Based on Location Positioning for Energy Saving

Kyoung-woo Cho · Min-ho Jeon · Chang-heon Oh*

Department of Electrical, Electronics & Communication Engineering, Korea University of Technology and Education, Cheonan 330-708, Korea

요 약

건물에 설치된 조명의 경우, 야간 통행자 및 광량이 부족한 곳을 위해 인체 감지센서를 이용하여 조명을 제어한다. 그러나 부적절한 센서 위치로 인한 오작동의 문제가 있으며, 대형 건물 통로의 경우 통행자 통과 후에도 장시간 조명 기구가 점등되어 있는 문제점이 존재한다. 본 논문에서는 실내 위치 측위를 통해 상주자의 위치에 따라 조명을 제어하는 위치측위 기반 조명 제어 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 위치측위 기술 중 하나인 fingerprinting 기술을 이용, 스마트 디바이스를 통해 수집된 RSSI (Received Signal Strength Indicator) 데이터를 토대로 측위 된 영역에 해당하는 조명만을 점등함으로써 불필요하게 소비되는 소비전력을 감소시킨다. 4인의 상주자가 존재하는 환경에서 실험 결과 개별 조명의 조도는 308 lux였으며, 기존 방식에 비해 49 Wh의 소비전력 절감 효과가 나타났음을 확인하였다.

ABSTRACT

When lighting has installed indoor, we control lighting using human-detecting sensors for people who pass at night and places that are lack of quantity of light. However, malfunction can be caused by positions of inappropriate sensors, and in the case of passages of big buildings, it is a problem that even after a person pass, light apparatuses are turned on for a long time. In this paper, we propose lighting control system based on location positioning for energy saving that control lighting in accordance with passers's position through indoor location positioning. This system use the fingerprinting technology that is one of the location positioning technologies and RSSI data that is collected by a smart device. Using those, it can turn on only lightings that are included in the positioned location and reduce unnecessary power consumption. As a result of experiment, on condition that four people were existing and illumination was 308 lux, we assured reduction effect of 49 Wh.

키워드 : 조명제어 시스템, 위치기반서비스, 실내위치측위, 핑거프린팅, 에너지 절약

Key word : Lighting control system, Location Based Service(LBS), Indoor positioning, Fingerprinting, Energy saving

접수일자: 2014. 10. 20 심사완료일자: 2014. 11. 15 게재확정일자: 2014. 11. 28

* **Corresponding Author** Chang-Heon Oh(E-mail:choh@koreatech.ac.kr, Tel:+82-41-560-1215)

Department of Electrical, Electronics & Communication Engineering, Korea University of Technology and Education, Cheonan 330-708, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.12.2968>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

전력 수요는 경제 성장의 지표로서 전력 소비 증가 감소에 따라 나라 경제에 타격을 줄 수 있는 중요한 지표이다. 산업 발달 및 생활수준의 향상으로 에너지 수요는 매년 급격하게 증가하고 있으며, 전력 수요 역시 급격하게 늘어나고 있다. 이에 한정적으로 발생하는 전력난을 해결하기 위해 다양한 수요 전력 관리 제도를 시행하고 있다. 현재 사용 수용가 중 계약전력 100 KW 이상을 사용하는 고압 수용가의 경우, 징수되는 기본요금은 사용량에 근거하기보다 디맨드 메터(Demand meter)로 기록되는 최대 수요 전력을 기준으로 산정하므로 대부분의 학교 및 대형 건물에서는 과다한 요금을 납부하게 된다.

전력 사용요금을 줄이기 위해 학교 및 대형건물에서는 LED 소자를 사용한 조명을 이용하는 추세이며, 중앙 통제실에서 건물에 사용되는 전력을 각각 제어할 수 있다. 하지만 중앙 통제실에서 모든 전자제품들을 제어하지는 못하기 때문에 실내조명과 같은 제품은 인체 감지 센서를 이용하여 제어하고 있다. 인체 감지 센서를 이용하여 실내조명을 제어할 경우, 부적절한 센서 위치 선정, 잘못된 장비 선택에 의해 제대로 동작하지 않는 상황이 존재하며, 이로 인해 낭비되는 전력이 존재한다[1]. 이러한 문제를 해결하는 방안 중 하나는 건물 내의 상황을 인지할 수 있는 환경에서 전자제품들을 중앙에서 직접 통제하는 것이다. 이를 위해 기존의 조명 제어 연구들의 경우, 직접적으로 CAN 통신이나 Zigbee 통신이 가능한 상태로 전등을 개조하거나, RS-485 등의 유선통신을 이용한 방법에 관하여 연구가 진행되고 있다[2]. 그러나 전등 개조로 인해 기존 조명의 사용이 불가하며, 유선 통신의 경우 제어를 위해 복잡한 배선이 필요한 문제점이 존재한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 실내 위치 측위 기술을 기반으로 실내 상주자의 위치에 따라 기존 건물에 설치된 실내조명을 각각 제어하는 조명 제어 시스템을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안하는 조명제어 시스템의 하드웨어 구성에 대해 설명하고 3장에서는 fingerprinting 기반 위치 측위 기술 및 조명제어 모니터링 시스템에 대해서 설명한다. 4장에서는 개발한 장비들을 이용하여 테스트베드를 구축

하고 실험한 결과를 설명한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 조명 제어 모듈 설계

본 논문에서는 효율적인 실내조명 제어를 위해 조명 제어시스템을 설계하였다. 그림 1은 본 논문에서 조명 제어를 위해 구상한 제어시스템의 전체 맵으로, 각 조명 제어 모듈과 중앙의 서버와 연결된 시스템을 통해 통신이 가능한 다양한 장소의 조명을 모두 제어할 수 있다는 것을 나타내며, 아래와 같은 시스템을 구축할 경우 배선이 중앙 통제실에 모두 배치될 필요가 없다.

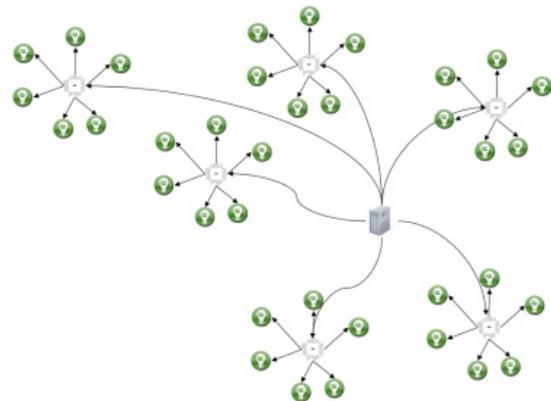


그림 1. 효율적인 조명 제어를 위한 시스템 전체 맵
Fig. 1 The entire map of efficient lighting control system

조명 제어 시스템은 서버 혹은 인근 센서에서 수신한 데이터를 이용하여 자신과 연결된 조명을 on/off 하게 되며, on/off에 대한 정보를 서버로 전송하게 된다. 그림 2는 개발한 조명 제어 모듈이다. MCU로는 ATmega128A를 사용하였으며, 고전압의 서지 노이즈 및 조명의 돌입 전류로 인한 오작동을 방지하기 위해 SSR 릴레이를 사용하여 조명 전원을 각각 제어한다. 또한 소규모 공간에서의 제어 시 bluetooth를 이용할 수 있도록 하였고, 대형 건물의 경우 건물의 wi-fi망을 이용하여 조명의 정보를 송·수신하도록 uart - wi-fi 변환 모듈을 사용하였다.

본 논문에서는 off-line 단계에서 90cm의 격자 간격으로 그림 5와 같은 스마트 디바이스 어플리케이션을 이용하여 각 셀의 RSSI 데이터를 수집하고, MySQL을 이용하여 fingerprinting DB를 구축하였다.

On-line 단계에서는 주로 K-NN 알고리즘을 사용한다. 해당 알고리즘은 먼저 저장된 RSSI DB 중, 실제 측정된 RSSI와 근접한 값을 갖는 DB를 선택한다. 이후, 선택된 DB 내에서 측정된 RSSI와 근사한 데이터를 추출하기 위해 수식 (1)과 같은 euclidean distance를 사용하여 근사치를 추출 한 뒤, 다수의 유사 값 중 AP 신호가 가장 센 위치를 최종적으로 선택하는 방법이다.

$$D_i = \sqrt{\sum_{i=1}^k (M_AP_{n+i} - R_AP_{n+i})^2} \quad (1)$$

3.2. 조명제어 모니터링 시스템

조명제어 시, 사용자가 편리하게 제어가능하고 건물 내 조명의 상태를 확인할 수 있도록 그림 6과 같은 실내 조명 모니터링 시스템을 개발하였다. 건물의 내부 단면도를 이용하여 조명이 설치되어 있는 장소의 조명 on/off 상황을 보여주도록 설계하였으며, 수동으로 조명을 제어할 수 있도록 TCP/IP를 이용하여 조명제어 모듈과 접속할 수 있게 설계하였다. 또한 RSSI 수집 어플리케이션을 통해 수집된 RSSI 데이터를 전송받고, 서버에 구축된 fingerprinting DB를 이용해 상주자의 위치를 측위 하여 조명을 제어하도록 하였다.



그림 6. 조명제어 모니터링 및 RSSI 수집 시스템
Fig. 6 Lighting control monitoring and RSSI collection system

IV. 실험 및 평가

본 논문에서 제안한 조명제어 시스템의 성능을 테스트하기 위해 실험환경 구축 후 실험을 진행하였다. 그림 7은 조명제어 시스템 실험 환경을 나타낸 것이다.



그림 7. 실험환경
Fig. 7 Experimental environment

천장에 기존 형광램프와 동일하게 30 W의 소비전력을 갖는 상용 LED 조명을 부착한 후 2장과 3장에서 구현한 조명 제어모듈과 모니터링 시스템을 이용하여 상주자의 위치에 따라 조명을 제어하는 실험을 하였다. 실험환경은 그림 7의 공간을 좌, 우로 등분하여 A, B구역으로 설정하고, 구역별로 하나의 조명제어 모듈을 배치하였다. 하나의 조명제어 모듈 당 LED 조명 6개를 배치하였고, 배치 간격은 2m당 1개의 LED 조명을 설치하여 4인의 자리 중앙에 조명을 비출 수 있도록 하였다. 통신은 wi-fi 모듈을 사용하였으며, 해당 장소에 설치된 공유기의 wi-fi 망을 이용하여 각 모듈에 IP를 할당하였다.



그림 8. 조도 테스트 환경
Fig. 8 Illumination test environment

전체 조명 점등과 부분 조명 점등에 대한 조도 테스트를 위해 그림 8과 같이 기존 건물에 부착된 형광램프 15쌍을 모두 소등한 채로 실험에 사용될 조명 12개만을 이용하여 동일한 장소에서 전체 전원 및 부분 조명제어 시의 조도, 소비전력 측정 실험 환경을 구축하였다. 소비전력 측정의 경우, 기존 건물에 부착되어 있는 형광램프의 소비전력을 측정할 수 없어, 부착한 LED 조명을 통해 실험을 진행하였다.

위치 측위를 통한 조명제어를 실험하기 위해 야간에 상주자의 위치에 따라 조명을 점등하는 실험을 진행하였다. 실험 결과 그림 9와 같이 위치에 따라 조명제어가 가능함을 확인하였으며, (a)는 모니터링 시스템에서 나타난 조명의 on/off 상태를 나타내며, (b)는 실험환경의 조명 동작을 나타낸 그림이다.



(a)



(b)

그림 9. 상주자 위치에 따른 조명제어 결과 (a) 위치에 따른 모니터링 시스템 화면 (b) 조명제어 결과

Fig. 9 A result of the lighting control according to the position of the resident (a) A monitoring system screen by a position (b) A result of lighting control

표 1. 조명 점등에 대한 조도 비교 데이터

Table. 1 Illumination comparing data of light

환경	조도값
기존 조명	520 lux
조명 제어 모듈을 이용한 전체 전원	330 lux
조명 제어 모듈을 이용한 부분 전원	308 lux

조명 점등 및 소등의 경우, 위치 측위를 위한 평균 값 연산을 취하는 과정에서 초기에 약 4초의 시간이 소요되어 위치 진입 시에 즉각적으로 점등하지는 못하였으나, 개인 작업 공간에 대한 조명제어 서비스가 가능하여 야간에 불필요하게 소모되는 전력을 줄일 수 있음을 확인하였다.

또한 본 논문의 방식과 실제 건물 조명과의 조도 차이를 확인하기 위한 조도 값 실험결과 표 1과 같이 조명을 점등하였을 경우, 컴퓨터실 조도 기준인 300~600 lux[5]를 만족하여 원활하게 사무 작업을 진행할 수 있음을 확인하였다. 소비전력 측정 실험의 경우, A구역의 실험환경에서 야간에 상주자 4인이 존재하는 1시간 동안의 누적 소비전력을 측정하여 비교하였다. 그림 10은 기존 건물에 설치된 조명과 제안하는 조명제어 시스템의 소비전력 측정 결과이다. 기존 조명의 경우 A구역에 상주자가 모두 존재하지 않아도 계속해서 모든 전등을 점등하였으며, 제안 방식의 경우 상주자의 위치에 따라 4개의 전등만을 점등하였다. 소비전력의 경우 기존 조명이 145 Wh, 제안 방식이 96 Wh로 측정되었으며, 49 Wh의 소비전력 절감 효과가 나타나는 것을 확인하였다. 또한 A구역 중앙에서 조도 측정 결과 330 lux의 조도 값을 얻을 수 있었다.

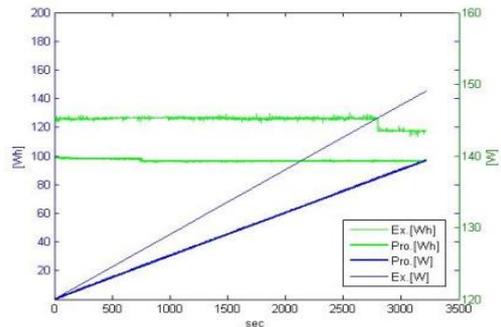
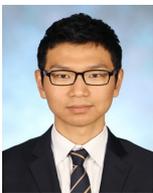


그림 10. 기존 방식과 제안 방식의 소비전력 측정 결과
Fig. 10 A result of the power consumption measurement of the proposed scheme and existing scheme

V. 결 론

본 논문에서는 실내 위치측위 기술을 이용하여 상주자의 위치에 따라 조명을 제어하는 위치기반 조명 제어 시스템을 개발하였다. 이를 위해 측위 기술 중 하나인 fingerprinting을 기반으로 하여 스마트 디바이스를 통해 RSSI DB를 구축하고, K-NN 알고리즘을 통해 위치를 측위 하였다. 또한 조명 수동 제어 및 건물 내 조명의 점등, 소등 상태를 확인할 수 있도록 실내조명 모니터링 시스템을 개발하였다. 1개 강의실을 대상으로 실험한 결과, 위치 측위의 평균 연산으로 인해 초기에 약 4초의 시간이 소요되었으나, 상주자 위치 별 조명제어가 가능함을 확인하였다. 조도 측정의 경우, 조명의 부분점등 상황에서도 308 lux의 조도 값을 나타내어 컴퓨터실 조도 기준인 300~600 lux의 조도 확보가 가능하였다.

야간 4인의 상주자가 존재하는 실험환경에서 1시간의 소비전력 측정 결과, 기존 145 Wh에 비해 96 Wh의 소비전력을 나타냄으로써, 사용자 위치에 따라 조명이 제어 가능하고, 효율적으로 소비 전력을 감소시킬 수 있으며, 작업환경에 적합한 조도량을 확보하는 것을 확인하였다. 대형 건물 등의 환경에서 본 연구의 조명 제어 시스템을 적용할 경우, 통로, 화장실 등과 같은 센서에 의존하는 기존 조명 제어 방식과 비교하여 소비전력 감소효과가 나타날 것으로 기대된다.



조경우(Kyoung-Woo Cho)

2013년 3월 ~ 현재 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 석사과정
 2013년 2월 공주대학교 전기전자제어공학부 전자공학나노정보공학전공 전자공학트랙 공학사
 ※관심분야 : 실내 위치 측위, Fingerprinting, Bluetooth beacon, 사물지능통신

감사의 글

본 연구는 2013년도 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT/SW창의연구과정의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다. (NIPA-2013-H0502-13-1082)

REFERENCES

- [1] C. Y. Park, S. K. Hur, J. M. Lim, S. H. Chun, J. B. Ko, D. H. Kim, and J. H. Seo, "A Study on LED Sensor Luminaries with Built-in Sensor," in *Proceeding of The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, pp. 47-48, 2011.
- [2] K. S. Ko, J. H. Lee, and J. S. Cha, "A Study on LED Control System for Object Detecting Based on Zigbee Network in BEMS," *Journal of Korea Society of Space Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 17-21, 2013.
- [3] K. Kaemarungsi and P. Krishnamurthy, "Modeling of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting," *INFOCOM 2004. Twenty third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, vol. 2, pp. 1012-1022, 2004.
- [4] I. W. Kang, K. S. Kim, S. Ronesh, J. S. Bae, S. W. Min, M. A. Jeong, Y. W. Lee, and S. R. Lee, "Optimized Kalman Filter Fingerprinting for Efficient Indoor Location," in *Proceeding of The Korean Institute of Communication and Information Sciences*, pp. 111-112, 2011. 11.
- [5] Korean industrial standard Rec. KSA 3011, "Recommended levels of illumination," 2013. 12.



전민호(Min-Ho Jeon)

2009년 8월 ~ 현재 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 석박사통합과정
2009년 2월 극동대학교 게임디지털컨텐츠학과 공학사
※ 관심분야 : 무선통신, Wireless Sensor N/W, 빅데이터, 사물지능통신, 상황인지



오창현(Chang-Heon Oh)

1999년 2월 ~ 현재 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수
2006년 8월 ~ 2007년 7월 방문교수(University of Wisconsin-Madison)
1993년 10월 ~ 1999년 2월 삼성전자(주) CDMA 개발팀 선임연구원
1990년 2월 ~ 1993년 8월 한진전자(주) 기술연구소 전임연구원
1996년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과 공학박사
1990년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 공학석사
1988년 2월 한국항공대학교 항공통신공학과 공학사
※ 관심분야 : 이동통신, 무선통신, Wireless Sensor N/W, CR