

가시광통신을 이용한 로봇 위치확인 시스템

김응수[†]

부산외국어대학교 디지털미디어공학부

Position Detection System of Robot by using Visible Light Communication (VLC)

Eung Soo Kim[†]

Division of Digital Media Engineering, Busan Unievsity of Foreign Studies, 65, Geumsaem-ro 485beon-gil,
Geumjeong-gu, Busan 46234, Korea

(Received December 19, 2016: Corrected December 23, 2016: Accepted December 26, 2016)

초 록: 본 논문에서는 이동 로봇의 위치 추정을 위해 LED를 이용한 가시광 통신에 의해 로봇의 위치를 확인하고 광 센서를 이용하여 로봇의 이동 경로를 추정하는 시스템을 제작 하였다. 제작된 위치확인 시스템은 외부 빛인 태양광과 형광등의 영향은 없었으며, 실험에 사용된 4개의 LED는 다른 신호를 전송하므로 로봇의 위치를 확인할 수 있었고, 광센서를 사용하여 로봇의 이동경로를 실시간으로 추적 할 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

Abstract: In this paper, we have fabricated the position detection system with LED and optical sensor to detect a position and trace of robot through visible light communication (VLC). The fabricated position detection system did not have been affected by sunlight in outdoor and a fluorescent light in building. Because 4 LEDs, respectively, transmitted different signals, we have known the position of robot. And we have also observed a trajectory of robot in real time.

Keywords: position detection system, visible light communication (VLC), optical sensor, LED, robot

1. 서 론

현재 로봇은 산업용 로봇, 가정용 로봇, 의료용 로봇, 군사용 로봇, 우주 로봇, 재난구조용 로봇, 해양 로봇 등으로 구분되어 여러 분야에서 활용되고 있다.¹⁻⁴⁾ 이렇게 다양한 분야에 적용되는 로봇은 각 분야의 요구조건에 맞는 특성에 맞게 개발되어야 한다. 일반적으로 산업용 로봇과 의료용 로봇은 대형이고 고정된 경우가 많으므로 통신과 모터구동 및 정밀제어, 센서 기술이 필요하다. 반면, 군사용 로봇과 해양 로봇, 재난구조용 로봇, 가정용 로봇 등은 이동해야 하므로 에너지효율관리, 모터 구동 및 제어기술, 통신기술, 위치추정 기술, 센서기술이 요구된다. 이 중에서 군사용 로봇은 외부에서 이동하는 경우가 많고, 위치추적이 필요하므로 GPS를 이용하여 위치 추정 및 이동 경로 파악이 가능하다. 반면, 재난 구조용 로봇은 외부에서 이동하는 경우도 있지만, 화재나 지진등의 자연재해나 인재에 의해 파손된 건축물 내에 갇혀 있는 피해자들을 구해야 하는 목적이 있으므로, 빌딩과 같은 건축

물내에서 이동해야 한다. 특히, 요즈음은 전 세계에서 발생하는 지진이나 화산활동, 테러 등에 의한 재난이 많이 발생하므로 인명 구조를 위해 재난구조용 로봇에 대한 관심이 많이 증가하면서, 이에 대한 연구도 이루어지고 있다.¹⁾ 하지만, 대부분의 연구는 로봇의 자율이동에 관련된 논문이 많은데,⁵⁻⁸⁾ Park 등은 불확실한 주변 환경에서 원하는 작업을 수행하도록 근거리 무선통신 네트워크로 로봇 간 서로 교신을 하여 위치 및 상태 등의 정보 공유를 통한 자율 주행에 대하여 발표하였다. Song 등은 스마트폰으로 제어되는 무인 이동체를 구현하기 위해 주행 알고리즘에 따라서 설정된 지점을 주행하기 위해 GPS 센서 및 지자기 센서를 내장한 자율로봇 관련 연구이다. Lee 등은 탐사로봇의 위치를 실시간으로 확인하고 자세보정을 통해 이동방향까지 제시하는 알고리즘에 관한연구로 외부에 별도의 측정 장치 없이 로봇에 부착된 가속도 센서와 자이로 센서를 이용하여 로봇의 자세를 제어하고 이동거리를 추정한 논문이다.

이와같이 이동 로봇을 제어, 통제, 관리 하기 위해서는

[†]Corresponding author
E-mail: eskim@pufs.ac.kr

© 2016, The Korean Microelectronics and Packaging Society

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.

현재의 로봇 위치 확인이 중요하며, 로봇 위치를 확인하기 위한 기술로는 GPS를 이용하는 방법, wifi를 이용하는 방법, bluetooth를 이용하는 방법, RFID를 이용하는 방법에 대한 연구가 이루어졌다. GPS를 이용한 방법은 비용이 비싸며 실내에서는 사용할 수 없다는 단점이 있으며, 그 외 방법도 인체유해성이나 주파수대역의 제한으로 어려움이 있다.

이런 단점을 극복하기 위한 방법으로 본 논문에서는 친환경적이며 저렴한 LED (light emitting diode)를 이용하여 로봇의 초기위치를 인식하고 로봇의 경로를 추적할 수 있는 시스템을 제작하여 실험으로 검증하였다.

2. 시스템 구성

2.1. LED 이용한 가시광 통신

1960년대 상업용 LED가 처음 판매된 후, 실험실용과 디스플레이에 많이 사용되었지만, 석유자원의 고갈과 친환경적 이슈로 인하여 최근에는 조명용으로 주목을 받고 있다. 그래서 교통신호등, 가로등, 가정 조명으로도 많이 사용되고 있고, 관련 산업도 급속도로 발전하고 있다.⁹⁻¹¹⁾ LED는 Fig. 1에 보이듯이 직접천이형 반도체재료를 이용하여 제작된 p-n 접합구조를 가지고 있으며, 외부 전원 공급에 의해 p형(p-type)에서 주입된 정공과 n형(n-type)에서 주입된 전자의 재결합(recombination)에 의해 발광하는 소자이다. LED소자에서 방출되는 빛의 파장은 사용되어지는 반도체 재료의 밴드갭(bandgap)에 의해 결정되어지며, 조명용으로는 백색 LED가 사용되어진다. 백색 LED는 색의 3원색인 빨강, 녹색, 파랑의 각각의 LED를 조합하여 만들거나, blue LED나 UV LED와 형광체를 이용하여 만들 수 있다. 백색LED는 가정의 조명용, 가로등, 자동차의 전조등에 많이 사용되고 있으며, 이러한 백색 LED는 소형이고 수명이 길며, 형광등이나 백열등에 비해 에너지효율이 좋으며, 친환경적이며, 시인성이 좋으며, 인체에 무해하며, EMI특성이 좋은 장점을 가지고 있다. 그래서 LED는 조명과 통신을 동시에 할 수 있는 장점이

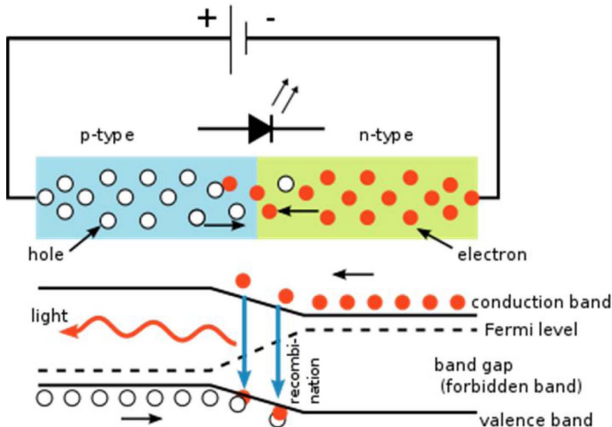


Fig. 1. LED 구조 및 동작 원리.¹³⁾

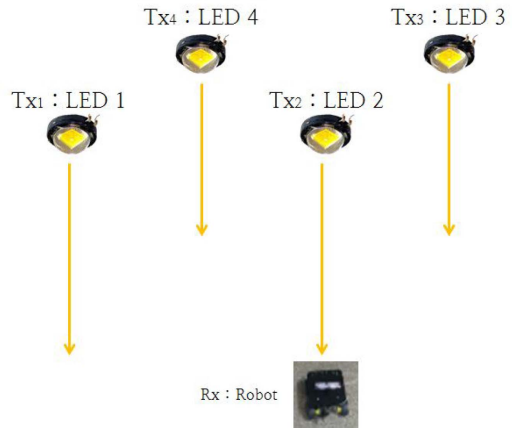


Fig. 2. 가시광 통신을 위한 시스템 구성도.

있으므로 10여년 전에 가시광통신에 대한 연구가 시작되었다.¹²⁾ LED를 이용하여 가시광 통신을 위해서는 가시광을 수신할 수 있는 수광소자 필요하다. 발광소자에서 나오는 광 파장을 잘 수신할 수 있는 파장특성이 있어야 하며, 구조는 발광소자와 같은 p-n 접합구조로 이루어진다. 따라서 본 논문에서는 여러 가지 장점이 있는 LED를 이용하여 실내에서 이동하는 로봇의 위치를 추정할 수 있는 시스템을 제작하였다.

2.2. 시스템 구성

2.2.1. 가시광통신 시스템

본 논문에서는 LED를 사용하여 가시광통신에 의해 로봇의 위치를 검출하고자 한다. 이를 위해서는 Fig. 2와 같이 신호를 전송하는 송신부(Tx)와 신호를 받아들이는 수신부(Rx)가 필요하다. 송신부에는 LED를 사용하여 조명과 동시에 통신신호를 보내게 된다. 신호를 송신하기 위한 송신광원으로는 Peck Wavelength가 450nm인 1W 백색 LED를 사용하였다. 송신부에는 광원인 LED와 LED를 구동하기 위한 구동회로로 구성하였다. 로봇의 위치를 파악하기 위해 LED 4개를 사용하여 각각 다른 신호를 전송하게 된다. 일반적으로 조명용 백색 LED는 다른 파장을 가지는 빛의 3원색인 빨강, 녹색, 파랑색의 성분으로 이루어지므로, 이들 각각 파장에 다른 신호를 보내어 전송하게 되면 더 많은 정보를 효율적으로 전송할 수 있는 장점도 있다.

2.2.2. 송신회로 구성도

가시광을 이용하여 통신을 실현하기 위해서는 송신부와 수신부가 필요하다. 송신부에는 빛을 전송하는 광원과 광원을 구동하기 위한 드라이브가 필요하다. 본 논문에서는 송신부에 4개의 LED를 사용하였으며, 각 LED에서 수신부로 송신신호를 보내게 된다. 이때 LED로부터 나오는 송신 신호는 반전기를 사용하여 파형을 반전시켰다. 그래서 LED가 조명용으로 사용되면서 신호를 전송하게 되더라도 LED 빛의 깜빡임이 육안으로도 구분이 되

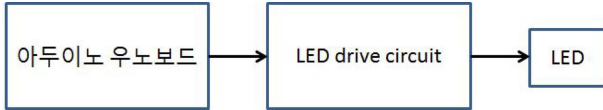


Fig. 3. 송신회로 구성도.

지 않도록 하였다. LED로 실내위치를 확인하기 위하여 4개 LED로 실험구성을 하였으며, 각각의 LED로부터 기준위치를 파악하는 16진수의 데이터를 전송하고, 수광소자에서 수광된 데이터를 기반으로 자율주행 로봇의 위치를 파악할 수 있다. 송신 신호는 아두이노 우노 보드를 사용하여 16진수 데이터로 전송함으로써 데이터의 정확성과 이동 로봇의 위치 정보를 효율적으로 활용할 수 있었다. LED를 구동하기 위한 구동회로는 Fig. 3(a)와 같이 구성하였으며, 반송주파수는 38kHz로 해서 ASK 변조시켜 LED로 발신하였다. 송신신호 데이터 포맷은 Fig. 4와 같이 데이터 전송 폭이 짧고 반복표시용 코드를 사용하지 않는다는 장점이 있는 IrDA 포맷을 수정하여 사용하였다.

2.2.3. 수신회로 구성도

가시광통신에서는 사람 눈에 보이는 백색광 LED를 송신기로 사용하므로 LED로부터 전송되어 오는 광을 수신할 수 있는 수광소자(photodiode, PD)를 사용하여야 한다. 일반적으로 수광소자는 파장에 대한 수신감도가 다르므로 각 송신 파장에 반응하는 수광소자를 선택하여야 한다. 본 논문에서는 LED의 송신 신호를 수신하기 위해 가시광을 받아들이는 있는 수광소자를 사용하였다. 본 논문에서 사용한 수신단의 구성은 Fig. 5(a)와 같다. 수광소자에서 수신된 광신호는 전기신호로 변환되어 증폭되고, 복조기를 통해 원래의 신호로 복원된다. 이를 통해 로봇은 자신의 위치를 알 수 있게 된다. 수신부의 MCU는 HIGH 신호와 LOW 신호로 구성된 리드코드를 읽고 난 후, 데이터를 수신하게 된다.

LED를 이용하여 로봇의 초기 위치를 인식하고 난 후, 로봇의 이동경로를 추적하기 위해 로봇에 설치된 광센서를 이용하여 로봇의 이동데이터를 Zigbee 통신을 이용하여 컴퓨터에 전송하여 실시간 경로추적이 가능하게 된다. 실시간으로 로봇의 위치확인을 위한 전체 시스템 구성은 Fig. 6과 같다.

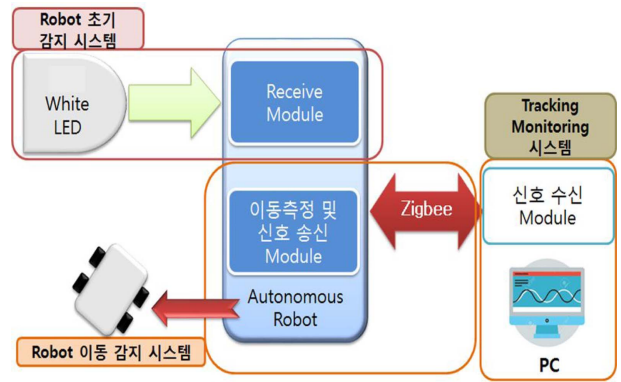


Fig. 6. 가시광통신을 이용한 로봇위치 인식과 경로추적 시스템 구성도.

3. 실험 및 결과

본 논문에서는 이동 로봇의 위치 추정을 위해 LED 조명등을 이용한 가시광 통신 시스템을 구현하여 로봇의 위치를 확인하고 로봇의 이동 경로를 추정하는 시스템을 제작 하였다. 가시광통신은 우리눈에 보이는 광원을 사용하므로 일반적으로 실내에서 사용하는 형광등이나 낮시간에 실내로 들어오는 태양광의 영향을 조사하였다. 외부 빛인 태양광과 실내 형광등의 영향을 조사하기 위해 실외와 실내에서 실험을 한 결과, 대낮의 태양광 아래에서도 LED신호를 수신할 수 있음을 확인하였다. 실외의 태양광 아래의 실험에서는 LED의 power로 인해 광원과 수신기 사이 거리를 30 cm 정도로 하였지만, LED 파워가 크다면 더 먼 거리에서도 통신이 가능할 것으로 생각



Fig. 7. 가시광 통신을 이용한 로봇의 위치확인 실험사진.

Leader code	Custom code(16bit)	data code(8bit)	data code (8bit)	stop bit
-------------	--------------------	-----------------	------------------	----------

Fig. 4. 송신 데이터 포맷.

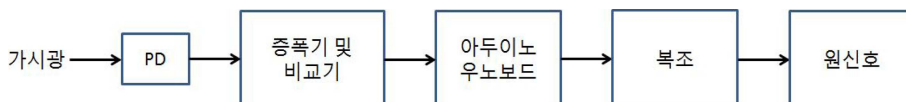


Fig. 5. (a) 수신회로 구성도.

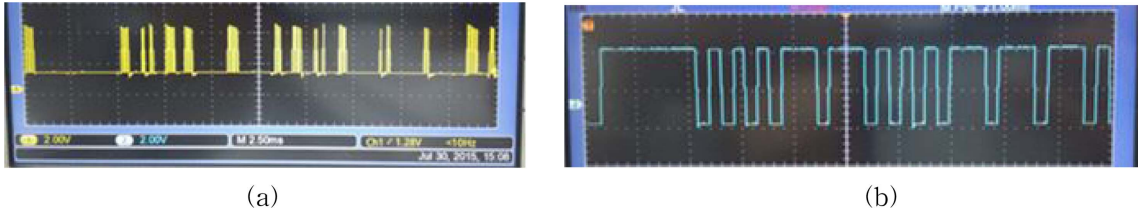


Fig. 8. 오실로스코프에서 관찰한 (a) 송신신호와 (b) 수신신호 파형.

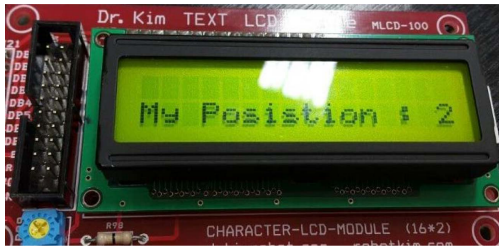


Fig. 9. LCD디스플레이에 표시된 로봇 위치 표시.

된다. 또한 실내의 형광등 아래에서도 실험을 하였지만 가시광통신을 이용한 신호전송과 수신에는 전혀 문제가 되지 않았다. 위와 같은 실험결과를 바탕으로 제작된 가시광 통신시스템을 이용하여 실내에서 Fig. 7과 같이 4개의 LED를 가로 82.5 cm, 세로 80 cm 간격으로 배치하여 실험하였다.

본 논문에서 송신과 수신 신호를 처리하기 위해 아두이노 우노보드를 사용하였으며, 송신과 수신을 위해 아두이노 프로그램으로 코딩하였다. 로봇의 위치 추정을 위해 LED로부터 송신되는 신호로 16진수 데이터를 전송하여 로봇에 있는 수광소자가 신호를 받아서 로봇의 위치를 확인 할 수 있었다. Fig. 8(a)는 LED로부터 송신되는 파형을 오실로스코프로 관측한 사진이고, Fig. 8(b)는 수광소자에서 수신된 되는 파형을 오실로스코프로 관측한 사진이다. 만약 로봇이 Fig. 2와 같이 LED 2의 송신기 아래에 위치하게 되면 로봇 위치가 Fig. 9와 같이 “My position : 2”라고 화면에 표시됨을 알 수 있다.

본 논문에서는 1W급의 백색 LED를 사용하였으므로 4m까지 신호 전송이 가능하여 일반적인 실내에서는 충분히 사용할 수 있을 것으로 생각된다. 이렇게 제작된 가시광 시스템을 이용하여 로봇의 초기 위치에 대한 실험을 하였다. 각 LED는 아두이노 우노보드를 사용하여 송신되는 데이터가 서로 다르므로 특정 LED의 신호가 로봇에 수신되면 로봇의 위치정보를 알 수 있다. 실험을 위해서 LED 4개를 설치하였으며, LED가 설치된 곳에 이동 로봇이 있다면 임의의 위치에서 가시광 신호를 수신하는 위치를 기준위치로 설정하게 된다. 로봇이 LED 바로 아래에 있지 않더라도 강한 신호를 수신하게 되므로 간섭에 의한 영향은 별로 없었다. 만약 LED앞에 렌즈를 설치한다면 신호를 더 멀리 송신 할 수 있으며, 빔경을 조절할 수도 있다. 이후 로봇이 이동하게 되면 변화되는 거리 정보를 로봇에 있는 광센서를 이용하여 로봇 이동경

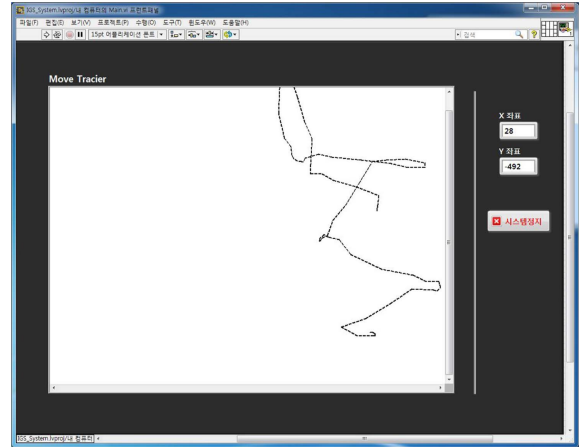


Fig. 10. 로봇의 이동 경로 추적 결과 화면.

로를 추적할 수 있다. Robot의 이동 경로를 추적하기 위해 광 센서를 사용하여 X, Y 변위데이터를 생성한다. 가시광통신에 의해 로봇이 기준위치를 인식 한 후, 로봇의 이동방향에 따라 2차원 평면의 X와 Y축의 +와 - 방향으로 변환되어 출력이 된다.

로봇의 이동에 의해 검출된 광센서 데이터는 Zigbee 통신으로 서버에 보내게 된다. 본 논문에서는 아두이노 Xbee Pro 모듈을 통하여 기존의 모듈과 비교하여 효율을 높여 서버에 전송된다. 로봇의 이동경로를 추적하기 위해 Zigbee 모듈로 수신받은 X, Y 이동 데이터는 National Instrument 사의 LabVIEW를 사용하여 Robot의 이동경로를 추적할 수 있는 시스템을 구축하였다.

LabVIEW에서는 Serial 설정을 사용하여 Zigbee Port에서의 데이터를 받아들 수 있어 실시간 신호처리에 용이한 장점이 있다. 이를 사용하여 수신받은 데이터를 Robot 초기 감지 시스템에서 설정된 위치를 기반으로 주기적인 Signal Processing 과정을 통해 Fig. 10과 같이 컴퓨터화면에서 이동 궤적을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

요즘 로봇에 관한 관심이 증가하면서 가정용로봇, 군사용로봇, 재난용로봇 등 여러 분야에서 사용할 로봇이 연구되고 개발되고 있다. 이들 로봇은 고정형이 아니고 이동형이므로 로봇의 위치확인이 중요한 요소이다. 본 논문에서는 이동 로봇의 위치를 확인하기 위해 가시광통신을 이용하였다. 실내에 설치되어 있는 LED는 조명역할

하면서 신호를 보낼 수 있으며, 각각의 LED는 서로 다른 신호를 보낼 수 있으므로 로봇의 기준 위치를 확인 할 수 있다. 로봇 위치가 확인된 후, 광센서를 사용하여 로봇의 이동경로를 실시간으로 추적 할 수 있었다. 본 논문에서 제작한 로봇 위치확인 시스템은 태양이나 형광등과 같은 조명등에 영향을 받지 않았으며 로봇 위치추적에 적합함을 확인 하였으며, 본 시스템은 재난현장에 활동중인 로봇의 위치추적에 적용가능하며, 또한 LED 가로등이 설치된 장소에서 사람의 위치추적에도 사용할 수 있어 미야 방지나 치매노인등의 위치 확인시스템에도 적용 가능할 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2016년도 부산외국어대학교 학술연구조성비에 의해 연구되었음.

References

1. C. Li, A. O. Pullin, D. W. Haldane, H. K. Lam, R. S. Fearing and R. J. Full, "Terradynamically streamlined shapes in animals and robots enhance traversability through densely cluttered terrain", *Bioinspiration & Biomimetics*, 10(4), 046003 (2015).
2. H. Y. Kim, "Speed-Adaptive Location Estimation Approach in a Wireless LAN-based RTLS System", *Telecommunications Review*, 16(4), 580 (2006).
3. Y. S. Cho, S. Y. Cho, B. D. Kim, S. H. Lee, J. C. Kim and W. S. Choi, "Technical Trend of Indoor/Outdoor Seamless Positioning", *Electronics and Telecommunications Trends*, 22(3), 20 (2007).
4. J. S. Lee, G. C. Shin, Y. H. Kim, M. S. Lee and Y. J. Kim, "Technology Trend of High Rate Close Proximity Communications", *Electronics and Telecommunications Trends*, 31(5), 21 (2016).
5. H. G. Park, H. G. Lee and S. H. Kwon, "Design of Autonomous Navigation System based on Wireless Networks", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, 22(4), 435 (2012).
6. H. B. Song, J. S. Cho and L. K. Hwang, "The Implementation of Unmanned Patrol Vehicle with Multi-sensors Controlled by Smartphone", *J. of KIIT.*, 11(12), 1 (2013).
7. J. H. Lee and J. K. Choi, "A Study on Self-localization for Autonomous Mobile Robot", *J. of KIIT.*, 11(12), 29 (2013).
8. G. Y. Kim, M. S. Chae and J. E. Yu, "Case Study on Location Tracking System using RFID Active Tag and Improvement of Scheduling System in Semiconductor Manufacturing", *IE interfaces*, 21(2), 229 (2008).
9. N. Zheludev, "The life and times of the LED: a 100-year history", *Nature Photonics*, 1(4), 189 (2007).
10. W. J. Kim, H. S. Kim, D. G. Shin and H. C. Lee, "Effects of ZnO Composition on the Thermal Emission Properties for LTCC Type of High Power LED Package", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 19(4), 79 (2012).
11. T. Y. Lee, K. H. Kim, M. S. Kim, E. S. Ko, J. H. Chio, K. S. Moon, M. S. Kim and S H Yoo, "Light Efficiency of LED Package with TiO₂-nanoparticle-dispersed Encapsulant", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 21(3), 31 (2014).
12. T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 50(1), 100 (2004).
13. Wikipedia, Wikipedia Foundation. Inc. from https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode.