

# 50cm의 resolution을 가지는 LED 조명 기반의 실내 측위 시스템

정수용\*, 한수욱\*\*, 박창수\* 정회원

## Indoor positioning system of 50 cm resolution based on LED

Soo-Yong Jung\*, Swook Hann\*\*, Chang-Soo Park\* *Regular member*

### 요 약

본 논문에서는 LED 조명 기반의 실내 측위 시스템을 제안하였다. LED가 빛을 방출하며 고속의 switching이 가능하다는 반도체 조명이라는 특징을 이용하여 각각의 LED 조명에 고유한 8 비트 ID를 부여 후, 이를 방출되는 조명 빛에 변조하여 보내주었다. 수신기는 16 개의 LED 조명으로부터 조합된 정보를 수신하게 되고, 수신된 정보와 각각의 ID 정보 간의 correlation coefficient를 이용하여 4 m x 4 m x 2 m의 공간에서 100 cm 및 50 cm resolution을 가지는 위치인식 시스템을 시뮬레이션을 통해 구현하여 보았다. 제안된 측위 시스템은 간단한 알고리즘을 사용하였고, LED 조명 인프라를 사용하여 구축함으로써 설치비용 절감이 가능할 것이라 기대된다.

Key Words : Light Emitting Diode; Visible light communication; Positioning system; Correlation; Ubiquitous

### ABSTRACT

In this paper, we present an indoor positioning system based on light emitting diode (LED). Because LED is a semiconductor light emitting device, we can easily switch and modulate electrical signals into lightwave signals at high speed using LEDs. We assigned unique 8-bit ID address to each LED lights. Photo diode receives data from 16-LED lights and takes correlation coefficient between received data and each LED-ID. Using correlation coefficient, proposed positioning system shows resolution of 50 cm in dimensions of 4 m x 4 m x 2 m.

### I. 서 론

환경 친화적 기술에 대한 관심이 높아지면서, 친환경, 저 전력, 긴 수명 등의 장점을 지닌 LED (Light Emitting Diode)가 실내 조명분야를 포함한 광범위한 용도로 사용되기 시작하였다 [1]. 여기에 발맞추어, 유비쿼터스 네트워크를 위한 근거리 무선통신 기술로써 LED를 이용한 가시광 무선통신 (VLC, Visible Light Communication) 기술이 크게 부각되고 있는 실정이다 [2]-[5].

LED 조명을 이용한 가시광 무선 통신은 LED 조명 기구를 이용하여 조명과 동시에 통신이 가능하게 하는 근거리 무선 통신 기술로, 기본적으로 실내 공간의 천장에 LED 조명을 조밀하게 설치하고 가시광 무선통신으로 실

내 통신 시스템을 구축하는 것이다. 이는 천장에 설치된 LED 조명을 이용하는 것이기 때문에, 장치의 설치가 용이하고 저렴하며, 눈에 보이는 조명시설이므로 운용 및 유지보수가 편리하다는 장점이 있다 [6].

본 논문에서는 가시광 무선통신을 이용한 실내 위치인식 시스템을 제안하고자 한다. LED 조명 기반의 위치인식 시스템은 향후 사용자 환경에서 필수적으로 구축될 LED 조명과 이를 이용한 가시광통신, 그리고 실내에 구축되는 지능형 네트워크와 연계되어 이루어지므로 실내 위치측위를 위한 별도의 기지국 구현 및 설치가 필요 없으며, LED 조명 자체가 매우 조밀하게 설치되므로 단순한 측위 방식으로도 실내 위치인식 서비스를 제공할 수 있다.

\*광주과학기술원 정보통신공학과 초고속 디지털/광 통신 연구실 (csp@gist.ac.kr) \*\*한국광기술원 포토닉시스템 그룹 (swookhann@yahoo.com)

※ This work was supported by the IT R&D program of MKE/KEIT [10035362, Development of Home Network Technology based on LED-ID].

접수일자 : 2010년 9월 20일, 수정완료일자 : 2010년 10월 6일, 최종게재확정일자 : 2010년 10월 20일

## II. 가시광 통신의 채널 모델

본 장에서는 가시광 통신의 채널 모델에 대해 기술하고자 한다. 사용된 조명용 백색 LED 칩은 램버시안 방사 형태 갖는다. 일반화된 램버시안 방사 형태의 수식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R(\varphi) = \frac{m+1}{2\pi} \cos^m \varphi \quad (1)$$

위 수식에서  $\varphi$ 는 LED의 수직축에 대한 수신기와와 방사각을 의미하고 차수  $m$ 은 LED의 semiangle,  $\Phi_{1/2}$ , 과 관계가 있으며,  $m = -\ln 2 / \ln(\cos \Phi_{1/2})$ 로 표현될 수 있다. 그림 1은 LED 조명을 이용한 채널모델의 파라미터를 나타내고 있다.

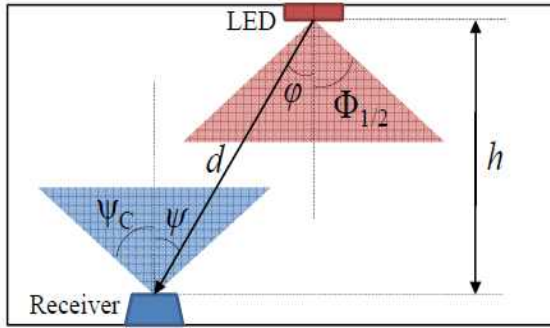


그림 1. LED 조명을 사용한 채널 모델의 파라미터

가시광 무선 통신에서 사용되는 수신부는 주로 발광되는 빛을 수신하여 전류로 변환하는 Photodetector (PD)와 노이즈가 되는 태양광이나 다른 주변의 빛을 차단하기 위한 광필터 그리고 LED로부터 방사되는 빛을 효율적으로 수광하기 위해 concentrator를 사용한다. 다음 수식은 effective signal-collection area를 나타낸다.

$$A_{eff}(\psi) = \begin{cases} AT_s(\psi)g(\psi)\cos\psi, & 0 \leq \psi \leq \Psi_C \\ 0, & \psi > \Psi_C, \end{cases} \quad (2)$$

위 수식에서  $A$ 는 detector window area,  $\psi$ 는 수신기의 수직축에 대한 LED 광의 입사각,  $\Psi_C$ 는 수신부의 FOV (Field of View)를 의미한다. 그리고  $TS(\psi)$ 는 광필터의 이득이며  $g(\psi)$ 는 concentrator의 이득을 나타낸다. LED 광의 전송 파워를  $P_T$ , 무선 채널의 임펄스 응답을  $h(t)$ 라고 하였을 때, 수신된 광파워의 평균을  $PR = H(0)P_T$ 로 나타낼 수 있으며,  $H(0) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)dt$ 가

된다.  $H(0)$ 은 Channel DC Gain 으로 아래와 같이 표현된다 [7].

$$H(0) = \begin{cases} A_{eff}(\psi)R(\varphi)/d^2, & 0 \leq \psi \leq \Psi_C \\ 0, & \psi > \Psi_C, \end{cases} \quad (3)$$

위 수식에서  $d$ 는 LED와 수신기 사이의 거리를 의미한다.

## III. 위치인식 시스템

본 장에서는 위치인식 시스템의 방식에 대해서 설명하고자 한다. 실내 측위 시스템의 모델은 그림 2와 같이 구성되어 있다. 그림 2에서 보듯이 전체적인 공간은  $4 \times 4 \times 2$  m<sup>3</sup>로 구성되어 있고, LED 조명 사이의 간격은 1 m로 설정하였다. 그림 3는 천장에 장착되어 있는 LED 조명의 위치를 보여준다.

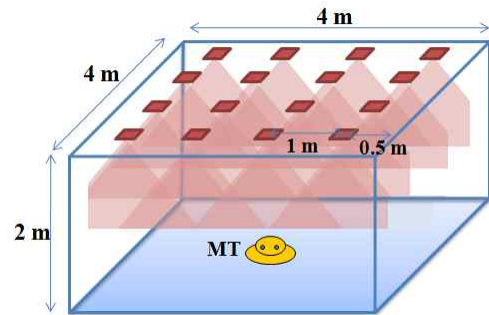


그림 2. LED 조명 기반의 실내 측위 시스템 모델

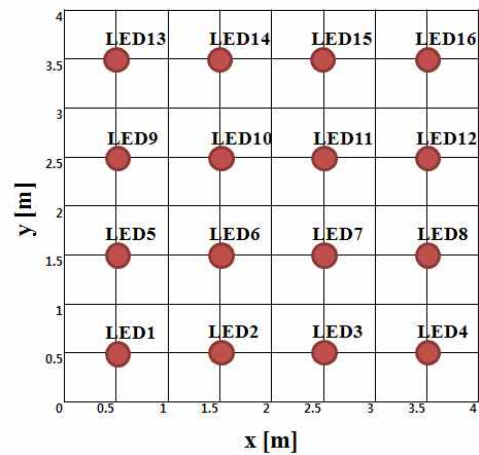


그림 3. LED 조명 등의 위치

시스템 모델에서 사용된 주요 파라미터의 수치는 다음의 표 1에 기술되어 있다.

표 1. 시스템 모델의 파라미터

|                      |  |                         |
|----------------------|--|-------------------------|
| Transmitter<br>(LED) | Transmitted optical power (Pt)               | 20 [mW]                 |
|                      | Semi-angle at half power ( $\Phi_{1/2}$ )    | 50 [deg.]               |
|                      | Data rate (B)                                | 1.0 [Mb/s]              |
| Receiver             | FOV at a receiver ( $\Psi_c$ )               | 60 [deg.]               |
|                      | Detector physical area of a PD<br>(A)        | 1.0 [cm <sup>2</sup> ]  |
|                      | Gain of an optical filter<br>( $T_s(\psi)$ ) | 1.0                     |
|                      | Refractive index of a lens at a<br>PD (n)    | 1.5                     |
| Room                 | Room size                                    | 4x4x2 [m <sup>3</sup> ] |
|                      | Distance between LED lights                  | 1 [m]                   |
|                      | Number of LED lights                         | 16                      |

LED는 반도체 조명이기 때문에 빛을 방사하는 동시에 빠른 속도로 switching 하는 것이 가능하다. 따라서 본 논문에서는 각각의 LED 조명등에 고유의 ID 주소를 할당하여, LED에서 방출되는 빛에 할당된 ID 정보를 변조하여 발산하도록 하였다. 따라서 수신부인 Mobile Terminal (MT)는 무선 채널 환경을 통해 전송한 ID 정보를 수신하게 된다.

다음의 표 2는 각각의 LED 조명등에 할당되어 있는 8비트 ID 주소를 나타낸다. 최상위 4비트는 x축을 나타내기 위한 것이고 나머지 4비트는 y축을 나타내기 위한 것이다.

표 2. 각 LED 조명에 할당된 ID 주소

| LED # | ID        | LED #  | ID        |
|-------|-----------|--------|-----------|
| LED 1 | 0001 0001 | LED 9  | 0001 0100 |
| LED 2 | 0010 0001 | LED 10 | 0010 0100 |
| LED 3 | 0100 0001 | LED 11 | 0100 0100 |
| LED 4 | 1000 0001 | LED 12 | 1000 0100 |
| LED 5 | 0001 0010 | LED 13 | 0001 1000 |
| LED 6 | 0010 0010 | LED 14 | 0010 1000 |
| LED 7 | 0100 0010 | LED 15 | 0100 1000 |
| LED 8 | 1000 0010 | LED 16 | 1000 1000 |

본 논문에서 제안하는 측위 시스템의 기본 아이디어는 correlation을 이용하는 방식이다. 각 LED 조명이 동기를 시킨 후 할당된 주소를 보내게 되면 MT는 각 위치에 따라서 서로 다른 8비트의 수신된 데이터를 가지게 된다. 따라서 이 수신 데이터와 각각의 LED 조명의 할당된 8비트 ID 주소와의 correlation coefficient를 얻을 수 있다. Correlation coefficient는 아래와 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$\rho_{XY} = \frac{C_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E\{(X - m_X)(Y - m_Y)\}}{\sqrt{E\{(X - m_X)^2\}} \sqrt{E\{(Y - m_Y)^2\}}}$$

$$m_X = E\{X\} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 x_i$$

$$m_Y = E\{Y\} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 y_i = 0.25 \quad (4)$$

여기서 X는 8비트의 수신 데이터를, Y는 LED 조명의 8비트 ID 주소를 나타내며,  $m_X$ 와  $m_Y$ 는 각각 X와 Y의 평균값을 나타낸다. Correlation coefficient는 두 신호의 상관관계를 나타내는 척도이기 때문에, 두 신호가 유사할수록 큰 값을 가진다. 따라서 MT가 correlation을 취하는 LED 조명과 가까이 있을수록 해당 LED의 ID 주소값을 더 많이 획득할 수 있기 때문에 correlation coefficient는 큰 값을 가지게 된다.

#### IV. 시뮬레이션

MT는 16개의 LED 조명의 ID와 correlation을 취하기 때문에, 각각의 위치에서 16 개의 correlation coefficient를 얻게 된다. 이 중 가장 큰 correlation coefficient 값을 추출 한 후 그것의 변화를 3D로 plot해 보았을 때, 그림 4와 같은 결과를 보여주었다.

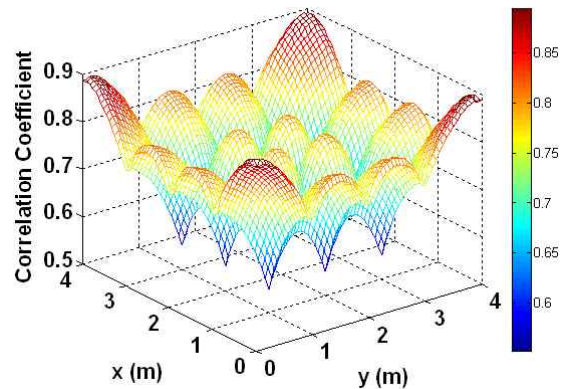
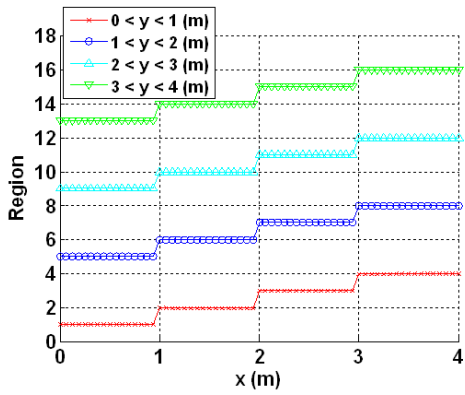


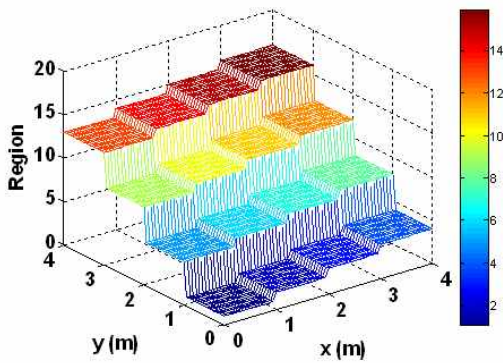
그림 4. 각 위치에서의 correlation coefficient의 최대값

그림 3의 결과를 보면 correlation coefficient의 최대값은 각 LED 조명의 위치 부근에서 peak를 가짐을 알 수 있다. 다만, 가장자리 부근, 특히 모서리 부근에서는 가장 큰 값을 가지는 correlation coefficient의 peak와 LED 조명의 위치가 차이가 있음을 볼 수 있다. 이것은 가장자리이기 때문에, 해당 LED 조명에서 획득되는 ID 값이 줄어드는 비율 이상으로 다른 LED 조명에서 보내는 ID 값도 줄어들기 때문에, 가장자리 또는 모서리로 들어갈수록 상대적으로 해당 LED와의 correlation coefficient는 큰 값을 가지게 되는 것이다. 하지만, 각 LED 조명마다 correlation coefficient의 최대값이 명확히 구분 되므로, correlation coefficient의 최대값을 이용하여 1 m의 resolution을 가지는 측위 시스템을 구성할 수 있었다. 다

음의 그림 5는 시뮬레이션 결과를 보여준다.



(a) MT의 위치에 따른 영역 변화



(b) MT의 위치에 따른 영역 구분

그림 5. 1 m의 resolution을 가지는 측위 시스템의 시뮬레이션 결과

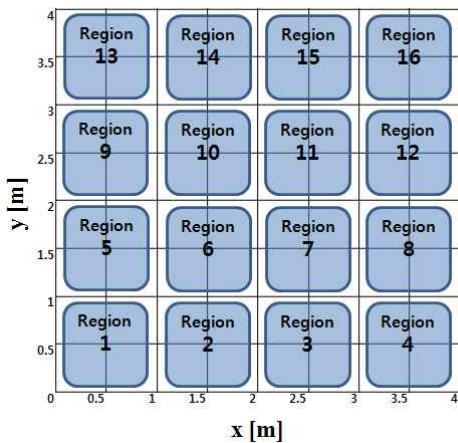
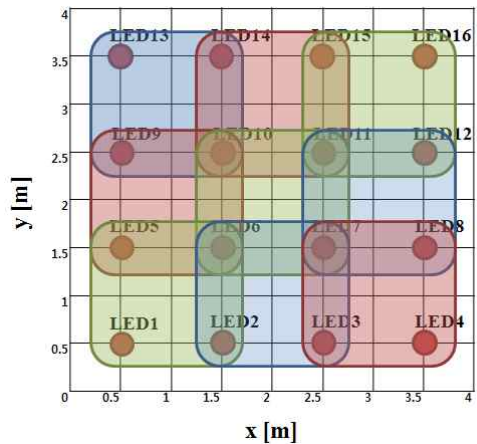


그림 5. 1 m resolution 시스템의 각 영역의 구분

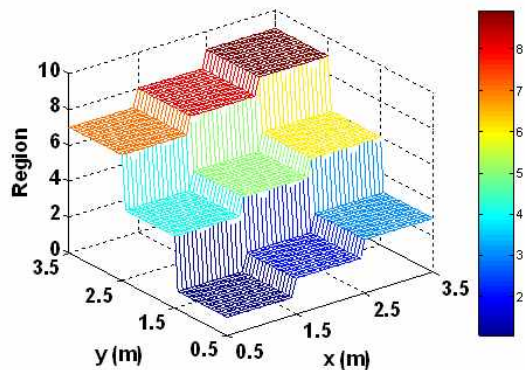
그림 5(a)는 시뮬레이션을 통해 MT를 움직였을 때, 각 지점에서 인식된 MT의 위치 영역(Region)을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 MT의 y 좌표가 0 에서 1 m 사이에 있을 때, x 좌표가 6.25 cm 간격으로 0에서 4 m 까지 움직임에 따라 MT는 1 m 간격으로 위치 영역을 Region 1, 2, 3 4 로 인식하고 있음을 볼 수 있다. MT의 y 좌표

가 1 m에서 2 m 사이에 있을 때는, x 좌표에 따라 Region 5, 6, 7, 8 로 위치를 인식하고 있으며, MT의 y 좌표가 2 m에서 3 m 사이에 있을 때는, x 좌표가 증가함에 따라 Region 9, 10, 11, 12로, y 좌표가 3 m에서 4 m 사이에 있을 때는, x 좌표가 증가함에 따라 Region 13, 14, 15, 16 으로 각각 위치를 인식하고 있음을 볼 수 있었다. 그림 5(b)는 바닥에서의 MT의 위치에 따라서 시스템이 인식하는 MT의 위치 영역을 3D로 나타내고 있다. 그림 6은 바닥에서의 MT의 위치에 따른 각 영역의 구분을 표시하고 있다. 시뮬레이션 결과를 통해서 이 시스템이 1 m의 resolution을 가지고 MT의 위치를 인식할 수 있음을 알 수 있었다.

Resolution을 보다 향상시키기 위하여 각각의 위치에서 얻게 되는 총 16 개의 correlation coefficient 값들 중 큰 순서로 상위 4 개의 correlation coefficient를 추출하였다. 추출한 상위 4개의 correlation coefficient는 그림 7(a)와 같이 9 개의 조합으로 나타낼 수 있으며, 그림 7(b)의 시뮬레이션 결과에서 보듯이 MT의 위치에 따라 각각의 조합이 결정되고 이를 영역으로 구분할 수 있다.



(a) 상위 4개의 correlation coefficient의 조합

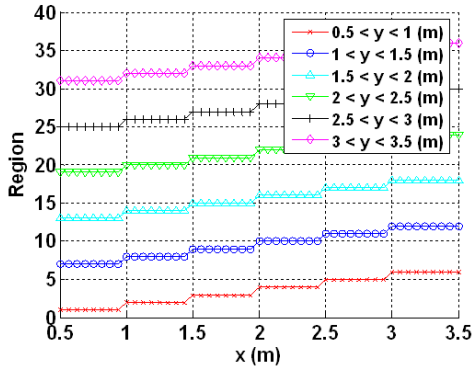


(b) correlation coefficient의 조합에 의한 영역의 구분

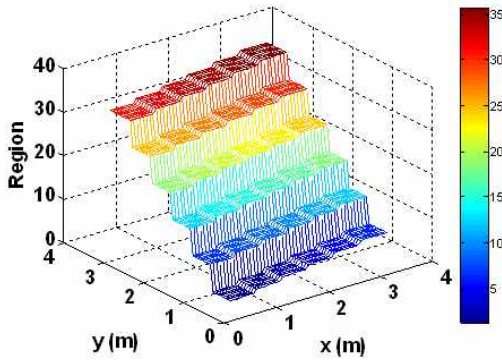
그림 7. 상위 4 개의 correlation coefficient의 조합에 의한 위치인식

따라서 correlation coefficient의 최대값을 이용해서

먼저 1 m의 resolution으로 MT의 위치를 인식한 후, 상위 4 개 correlation coefficient의 조합이 나타내는 영역과 공통되는 영역을 취하면, resolution이 50 cm 인 측위 시스템을 구성할 수 있게 된다. 그림 8은 50 cm resolution을 가지는 측위시스템의 시뮬레이션 결과를 보여준다.



(a) MT의 위치에 따른 영역변화



(b) MT의 위치에 따른 영역구분

그림 8. 50 cm resolution을 가지는 측위 시스템의 시뮬레이션 결과

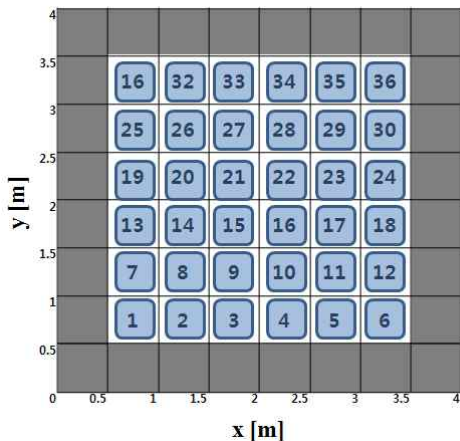


그림 9. 50 cm resolution 시스템의 각 영역의 구분

그림 8은 MT의 움직임에 따라, 각 지점에서 인식된 MT의 위치 영역(Region)을 나타낸 것이다. 8(a)에서 보듯이 MT의 y 좌표를 고정시켰을 때, x 좌표가 6.25 cm

간격으로 움직임에 따라 MT는 50 cm 간격으로 위치 영역을 인식하고 있음을 볼 수 있었다. 그림 8(b)는 바닥에서의 MT의 좌표에 따라서 시스템이 인식하는 MT의 위치 영역을 3D로 나타내고 있다. 그림 9는 바닥에서의 MT의 위치에 따른 각 영역의 구분을 표시하고 있다. 시뮬레이션 결과를 통해서 이 시스템이 50 cm의 resolution을 가지고 MT의 위치를 인식할 수 있음을 알 수 있었다. 가장자리 영역에서는 LED의 정보가 부족하여 영역 설정에 포함되지 않았다. MT가 가장자리 영역에 위치 시 가장 가까운 영역의 정보와 일치하게 된다.

#### IV. 논문의 인용 및 참고문헌 작성

본 논문에서는 LED 조명 기반의 실내 측위 시스템을 제안하였다. LED가 빛을 방출하며 고속의 switching이 가능하다는 반도체 조명이라는 특징을 이용하여 각각의 LED 조명에 고유의 8 비트 ID를 부여 후, 이를 방출되는 조명 빛에 변조하여 보내주었다. 수신기는 16 개의 LED 조명으로부터 조합된 정보를 수신하게 되고, 수신된 정보와 각각의 ID 정보 간의 correlation coefficient를 이용하여 100 cm 및 50 cm resolution을 가지는 위치인식 시스템을 시뮬레이션을 통해 구현하여 보았다. 제안된 측위 시스템은 간단한 알고리즘을 사용하였고, LED 조명 인프라를 사용하여 구축함으로써 설치비용 절감이 가능할 것이라 예상된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] T. Tamura, T. Setomoto and T. Taguchi, "Fundamental characteristics of the illuminating light source using white LED based on InGaN semiconductors," Trans.IEEJapan, vol. 120-A, no.2, pp. 244-249 (2000).
- [2] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 50, no. 1, pp. 100-107 (2004).
- [3] H. L. Minh, D. O'Brien, G. Faulkner, L. Zeng, K. Lee, D. Jung and Y. Oh, "High-speed visible light communications using multiple-resonant equalization," IEEE Photon. Tech. Lett., vol. 20, no. 14 (2008).
- [4] M. Akanegawa, Y. Tanaka and M. Nakagawa, "Basic study on traffic information system using LED traffic lights," IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, vol. 2, no. 4, pp. 197-203 (2001).
- [5] M. Yoshino, S. Haruyama and M. Nakagawa,

“High-accuracy positioning system using visible LED lights and image sensor,” Radio and wireless symposium, pp. 439-442 (2008).

- [6] J. Grubor, S. Randel, K.-D. Langer, and J. W. Walewski, "Broadband information broadcasting using LED-based interior lighting," IEEE J. Lightw. Technol., vol. 26, no. 24. pp. 3883-3892 (2008).
- [7] J. M. Kahn and J. R. Barry, "Wireless infrared communication," Proc. IEEE, vol. 85, pp. 265-298 (1997).

**저 자**

정 수 용(Soo-Yong Jung) 정회원



2006년 2월 : 한동대학교 전산전자공학부 학사졸업  
 2008년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사졸업  
 2008년 3월~현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> Optical sensor technology, LED communication systems

한 수 옥(Swook Hann) 정회원



2005년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사졸업  
 2006년~현재 : 한국광기술원 포토닉스 시스템 그룹 Senior research scientist

<관심분야> Optical device and systems include high speed systems, LED communication systems, high power fiber laser

박 창 수(Chang-Soo Park)

정회원



1979 : Hanyang University (B.S-Electronic Engineering)  
 1981 : Seoul National University (M.S-Electrical Engineering)  
 1990 : Texas A&M University (Ph.D-Electrical Engineering)

1982~1987 : Senior Member of Technical Staff, ETRI  
 1987~1990 : Research Assistance, Engineering Research Center in Texas A&M University  
 1991~2000 : Principal member of Technical Staff, ETRI  
 2000~ : Professor, Department of Information and Communication, GIST

<관심분야> Optical Communication System Topology, Microwave Photonics Technology, Optical Signal Processing