

## Walsh code를 이용한 Manchester code 기반 가시광 통신 실내 위치인식에 대한 연구

김원열<sup>1</sup> · 박상국<sup>2</sup> · 조응호<sup>3</sup> · 노덕수<sup>4</sup> · 서동환<sup>†</sup>

(Received November 12, 2015 ; Revised November 25, 2015 ; Accepted November 25, 2015)

### A study on indoor visible light communication localization based on manchester code using walsh code

Won-yeol Kim<sup>1</sup> · Sang-gug Park<sup>2</sup> · Woong-ho Cho<sup>3</sup> · Duck-soo Noh<sup>4</sup> · Dong-hoan Seo<sup>†</sup>

**요약:** 본 논문에서는 Walsh code를 이용하여 중첩된 Light emitting diode(LED) 송신신호들을 수신부에서 각각의 LED 송신신호로 식별하고 조명의 깜박임 현상을 제거할 수 있는 Manchester code 기반 가시광 통신 실내 위치인식 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 고정된 LED 광원의 위치정보들과 수신부에서 그들로부터 수신된 신호들을 람버시안 방사 특성과 삼변 측량법을 이용하여 수신부의 상대적인 위치를 추정할 수 있다. 제안한 논문의 타당성을 검증하기 위하여 16개의 LED 조명을 설치한  $6 \times 6 \times 1.5 \text{ m}^3$ 의 실내 공간에서 모의실험을 수행하였다. 그 결과, 중첩된 송신신호들은 수신부에서 분리가 가능하고 측위 오차는 최대 0.2977 m, 평균 오차 0.0536 m로 정밀한 위치 인식이 가능하였다.

**주제어:** 가시광 통신, 실내 위치인식, 삼변 측량법, Walsh code, Manchester code

**Abstract:** In this paper, we propose an indoor visible light communication(VLC) localization using Walsh code which can identify overlapped signals transmitted from the different LED sources as each of orthogonal signal at a receiver and using Manchester code which can eliminate the flicker of LED light and maintain a constant brightness. The proposed system can estimate the relative position of the receiver by using Lambertian radiation properties and trilateration method that are applied to the location information of fixed LED sources and the received signals from them. In order to verify the feasibility of the proposed system, we carried out the simulation in an indoor space with  $6 \times 6 \times 1.5 \text{ m}^3$  installed LED lamps of 16. The simulation result shows that the proposed method achieves an average positioning error of 0.0536 m and a maximum positioning error of 0.2977 m.

**Keywords:** Visible light communication, Indoor localization, Trilateration, Walsh code, Manchester code

## 1. 서론

최근 주거 및 생활공간이 육상뿐만 아니라 플로팅 건축물과 선박 등의 해상 구조물로 확대되고 그에 따른 다양한 형태의 재난 사고에 대한 대처 방안 연구가 진행되고 있으며 아울러 사용자들의 안전성과 편의성을 제공하기 위한 위치 기반 서비스(LBS: Location based service)와 같은 다양한 애플리케이션이 요구되고 있다[1]-[10]. 이러한 LBS는 실내·외의 위치 측위가 필수적이이지만 측위 방식에 대한 표준이 없어 다양한 통신이 활용되고 있다.

실외 위치측위는 위성기반 항법 장치인 GPS(Global

Positioning System) 또는 이동통신 기지국 등을 이용하여 연구가 되어 왔다. 그러나 실내 위치 측위는 고층건물 및 시설물들이 위성 신호에 영향을 주게 되고 오차범위가 커지게 되어 새로운 기술 개발 및 연구가 필요하다.

실내 측위에 사용되는 기술은 RFID[11], UWB(Ultra-wide band)[12], CSS(Chirp Spread Spectrum), Bluetooth[13], WLAN (Wireless Local Area Network)[14]와 같은 근거리 무선 통신 인프라를 이용한 방법이 있다[15]-[23]. 이러한 근거리 무선 통신 기술을 이용한 측위 방법은 보안성, 다른 전자파들의 간섭으로 인한 오차 및 주파수 용량의 한계 등

<sup>†</sup> Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-3610-0356>): Division of Electronics and Electrical Information Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 606-791, Korea, E-mail: dhseo@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4412

1 Department of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: kwy00@naver.com, Tel: 051-410-4822

2 Division of Steel-IT Engineering, Uiduk University, E-mail: skpark@uu.ac.kr, Tel: 054-760-1656

3 Digital Electronics and Information, Daegu Technical University, E-mail: whcho@tte.ac.kr, Tel: 053-560-3912

4 Department of Electronics Engineering, Kyungil University, E-mail: dsnoh@kiu.ac.kr, Tel: 053-600-5547

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.

문제점이 있다.

이를 보완하기 위하여 LED 조명을 이용한 가시광 통신 기반 실내 위치인식 기술이 새로운 해결책으로 각광 받고 있다[24]-[28]. 가시광 통신기반 실내 위치인식 기술은 가시광 대역의 주파수를 사용하기 때문에 큰 용량을 가지고 있으며, 벽이나 외부의 물체에 인한 물리적인 보완이 가능하며, 실내 공간에서 외부 신호와 차단되어 방과 방의 사이, 층간 구분에 있어 적합하다. 가시광 통신은 실내 위치추위 기술은 AoA(Angle of Arrival), ToA(Time of Arrival)[29], TDoA(Time Difference of Arrival)[30], RSSI(Received signal strength indication)[31] 등의 원리를 이용한 방법이 있다. AoA는 각도를 유입각을 이용한 방법으로 추가적인 설치가 필요하고, ToA는 전송시간을 이용하기 때문에 송·수신부에 동기화가 필요하여 가격이 비싸다. RSSI는 송신된 신호의 세기를 이용하는 기법으로 LED 조명들의 신호의 식별이 필요하다.

최근 RSSI 기반 가시광 통신 실내 위치 인식에서 신호의 식별은 Overlapped RSSI[32], DTMF(Dual-tone multi-frequency)[33], OOC(Optical orthogonal code)[34] 등의 원리를 이용한 여러 방법이 제안 되었다. Overlapped RSSI를 이용한 방법은 R-D 특성 곡선을 이용한 가상 가시광 중첩 방식의 RSSI 측위 방법으로 외부 빛(햇빛, VLC가 되지 않는 조명 등)의 간섭에 영향을 많이 받는다. DTMF를 이용한 방법은 각각의 신호마다 저주파수와 고주파수의 ID를 가지고 있는 LED 조명에서 DFT(discrete-time Fourier transform)을 통하여 주파수 별로의 세기를 측정하여 측위하는 방법으로 많은 연산량을 가지고 있다. OOC를 이용한 방법은 신호가 직교성을 가지고 있어 측위가 가능하지만 코드의 길이가 길다.

이러한 문제점들을 보완하기 위하여 본 논문에서는 Walsh code를 이용하여 중첩된 Light emitting diode(LED) 송신신호들을 수신부에서 각각의 LED 송신신호로 식별하고 조명의 깜박임 현상을 제거할 수 있는 Manchester code 기반 가시광 통신 실내 위치인식 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 고정된 LED 광원의 위치정보들과 수신부에서 그들로부터 수신된 신호들을 램버시안 방사 특성과 삼변 측량법을 이용하여 수신부의 상대적인 위치를 추정할 수 있다. 제안한 논문의 타당성을 검증하기 위하여 16개의 LED 조명을 설치한  $6 \times 6 \times 1.5 \text{ m}^3$ 의 실내 공간에서 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과, 중첩된 송신신호들은 수신부에서 분리가 가능하고 측위 오차는 최대 0.2977 m, 평균 오차 0.0536 m로 정밀한 위치 인식이 가능하였다.

## 2. 관련 이론

### 2.1 가시광 통신의 채널 모델

Figure 1은 자유 공간에서  $(0, h)$ 에 VLC 송신 기능이 있는 LED 조명이 설치되어 있고,  $(r_1, 0)$ 에 PD가 있다. 수신된 광 전력  $P_{Rx}$ 은 송신된 광 전력  $P_{Tx}$ 과  $H(0)$ 는 식 (1) 관

계를 가지고 램버시안 방사 특성을 따르는 가시광 무선 채널의 특징은 식 (2)로 해석할 수 있다[35].

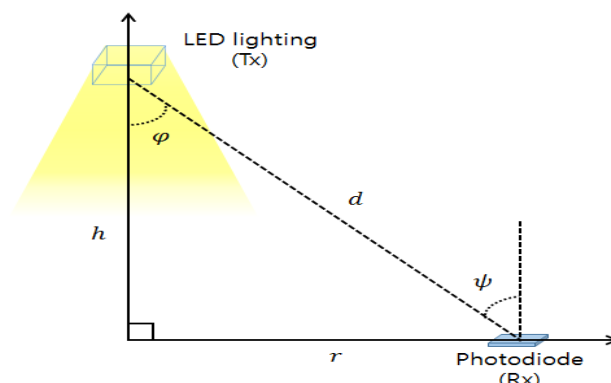


Figure 1: Visible light communication channel model

$$P_{Rx} = H(0) \times P_{Tx} \quad (1)$$

$$H(0) = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2\pi d^2} \cos^m(\varphi) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi), & 0 \leq \psi \leq \Psi_c \\ 0, & \psi > \Psi_c \end{cases} \quad (2)$$

여기에서,  $A$ 는 PD의 물리적 검출 영역이고,  $D_d$ 는 송신기와 수신기의 거리,  $\psi$ 는 입사각,  $\varphi$ 는 방사각,  $T_s(\psi)$ 는 광학 필터의 이득,  $g(\psi)$ 는 광학 집중도의 이득을 표현한다.  $\Psi_c$ 는 수신기의 FOV(Field of view)를 나타낸다.  $m$ 은 LED의 방사의 반각으로  $m = \ln 2 / \ln(\cos \Phi_{1/2})$ 로 나타낼 수 있다. 예를 들어  $\Phi_{1/2} = 60^\circ$  일 경우  $m = 1$ 이다. 광학 집중도  $g(\psi)$ 는 식 (3)과 같다.

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2 \Psi_c}, & 0 \leq \psi \leq \Psi_c \\ 0, & 0 \geq \Psi_c \end{cases} \quad (3)$$

이때  $n$ 은 반사 계수이다. 식 (2)에서 PD와 LED가 수평을 이루고, 천장에서 높이를  $h$ 라고 했을 때,  $\cos(\phi) = \cos(\psi) = h/d$ 가 된다. 다시 식을 정리하면 식 (4)과 같다.

$$H(0) = \begin{cases} \frac{(m+1)Ah^{m+1}}{2\pi(h^2+r^2)^{(m+3)/2}}, & 0 \leq \psi \leq \Psi_c \\ 0, & \psi > \Psi_c \end{cases} \quad (4)$$

식 (4)를 이용하면 광도(Luminous intensity)와 높이가 일정하다면 수평거리  $r$ 을 구할 수 있게 되고 삼변측량을 이용하여 PD의 상대적인 위치를 구할 수 있다.

### 2.2 맨체스터 코드

Manchester code는 NRZ(Non return to zero)로 만들어진

신호와 Clock 신호를 XOR연산하여 만든다. 식은

$$Clk(t) = \sum_{n=0}^{\infty} u(t-2nT_0) - u(t-(2n+1)T_0) \quad (5)$$

$$NRZ(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \begin{cases} u(t-2nT_0) - u(t-(2n+2)T_0), & (If \text{ bit}_n = 1) \\ 0, & (2nT_0 < t < (2n+2)T_0), \\ u(t-2nT_0) - u(t-(2n+2)T_0), & (Elseif \text{ bit}_n = 0) \end{cases} \quad (6)$$

$$M(t) = Clk(t) \oplus NRZ(t) \quad (7)$$

와 같이 정리되며, 식 (7)에서 ‘ $\oplus$ ’는 XOR 연산을 의미한다.  $T_0$ 는 비트의 주기를 나타내며, 결과적으로  $bit_n = 0$ 일 때, High-Low로 표현되고,  $bit_n = 1$ 일 때, Low-High로 표현되는 신호가 만들어진다. 하나의 데이터 심벌 안에서 ‘0’과 ‘1’의 비율이 같으므로 조명의 밝기를 일정하게 해주며, 조명의 flicker 현상을 방지할 수 있는 변조 방식이다. NRZ 방식에 비해 대역폭을 2배 사용하지만 매 비트마다 펄스의 변화가 있어 수신기에서 동기 타이밍을 쉽게 찾을 수 있다.

### 2.3 Walsh code

Walsh code 생성법은 “Hadamard Matrix”에 의해 생성되며, 행렬은 식 (8)과 같이 정의된다[36][37].

$$H_2^N = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

이때  $H_1$ 은 1이면,  $N$ 은 2의 거듭 제곱수를 의미한다. 예를 들어 Hadamard 행렬을 이용한  $4 \times 4$  행렬은 식 (9)와 같다.

$$H_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_0 \\ W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix} \quad (9)$$

행이나 열로 순서대로  $W_0, W_1, W_2, W_3$ 으로 정의된다. Hadamard 행렬의 각 행은 식 (10)의 특성을 갖는다.

$$\frac{1}{T_L} \sum [W_i \times W_j^T] = \begin{cases} 0, & i \neq j \\ 1, & i = j \end{cases} \quad (10)$$

이 때  $T_L$ 는 Hadamard 행렬의 행 크기이며,  $W_j^T$ 는  $W_j$ 의 전치행렬을 나타낸다. 위 수식과 같이 4개의 Walsh code( $W_0, W_1, W_2, W_3$ )는 모두 직교성을 가지고 있다.

## 3. 제안하는 실내 위치인식 방법

본 논문에서는 개별 신호 구분이 가능한 Walsh code를 이

용한 조명들의 밝기를 일정하게 유지 시켜주는 Manchester code 기반 가시광 통신 실내위치 인식 시스템의 송신신호 생성방법과 수신신호의 복원 방법에 대해 제안한다.

### 3.1 시스템구조

Figure 2는 실내 측위 시스템을 표현한 것으로 자유 공간에서 가로 2m 세로 2m 간격으로  $4 \times 4$  사각형 격자 패턴으로 높이 1.5m에 설치된 VLC 송신 기능이 있는 LED 조명과 광 출력을 전력으로 변환 시켜주는 수신기를 나타낸다. 각각의 LED 조명의 위치는 미리 알고 있다고 가정하고, 아래 왼쪽에서 오른쪽으로 LED-ID가 부여되며, ID는 “Hadamard matrix”에 의해 생성된  $16 \times 16$  행렬에서 (0, 1)로 부호화 된  $W_0, W_1, W_2, \dots, W_{15}$  이다. 수신기에서 받는 신호는 중첩된 LED 조명의 신호가 들어온다. 신호를 생성하고 중첩된 신호를 복원하는 방법 및 수신기의 위치를 찾는 방법에 기술한다.

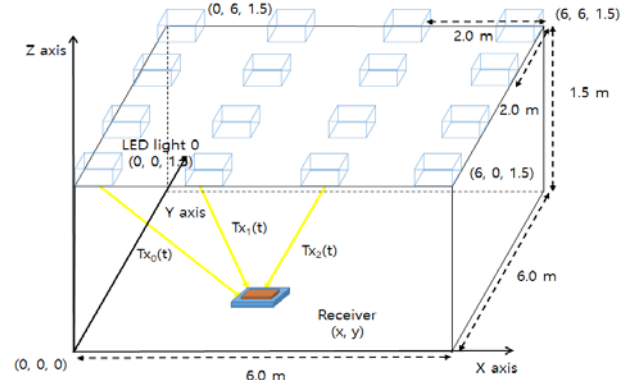


Figure 2: Indoor localization system

### 3.2 송신 신호 생성 방법

Walsh code를 이용하여 중첩된 Light emitting diode(LED) 송신신호들을 수신부에서 각각의 LED 송신신호로 식별이 가능하나 조명의 깜박임 현상이 생긴다. 이러한 현상을 제거하기 위해 Manchester code 기반 가시광 통신을 사용하여 송신 신호를 생성한다.

각 LED 조명의 송신 신호  $Tx_i(t)$ 는 Clock 신호를 나타내는 식 (5)와 “Hadamard matrix”에 의해 생성된 행렬에서 (0, 1)로 부호화 된 Walsh code 식 (11)과 XOR 연산하여 생성되어 식 (12)로 표현된다.

$$W_i(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \begin{cases} u(t-2nT_0) - u(t-(2n+2)T_0), & (If W_i \text{ bit}_{n \bmod T_L} = -1) \\ 0 & (2nT_0 < t < (2n+2)T_0), \\ u(t-2nT_0) - u(t-(2n+2)T_0), & (Elseif W_i \text{ bit}_{n \bmod T_L} = 1) \end{cases} \quad (11)$$

$$Tx_i(t) = P \times Clk(t) \oplus W_i(t) \quad (12)$$

$P$ 는 송신된 광원을 나타내고,  $T_0$ 는 bit의 주기,  $i$ 는 LED 조명

과 Walsh code의 행 번호이고,  $n$ 은 bit의 번호,  $T_L$ 는 Walsh code에서 행 개수를 나타낸다. 예를 들어 “Hadamard matrix”에 의해 생성된  $16 \times 16$  행렬에서  $W_i$ 에서  $i$ 는 ‘16’이다. ‘ $A \bmod B$ ’는  $A \div B$ 의 나머지를 나타낸다. ‘ $\oplus$ ’는 XOR 연산을 의미한다. 결과적으로, 송신 신호  $Tx_i(t)$ 는 광 전력  $P$ 를 가지는 ‘ $bit_n = 1$ ’일 때 High-Low 신호와, ‘ $bit_n = -1$ ’일 때 Low-High 신호로 표현되는 신호가 만들어진다.

### 3.3 수신 신호 복원 방법

송신 신호는 Walsh code의 직교성을 이용하여 식별이 가능하다. 그러나 생성된 송신 신호는 Manchester 기반의 통신이기 때문에 그에 따른 복원 방법이 필요하다. PD로 수신된 신호  $Rx_{total}(t)$ 는 식 (13)과 같이 표현되며,

$$Rx_{total}(t) = \sum_{i=0}^{LED_N-1} (Tx_i(t) \otimes h_i(t) + n_i(t)) \quad (13)$$

LED 조명  $i$ 번째에서 송신된 신호  $Tx_i(t)$ 와 채널 임펄스 응답  $h_i(t)$ , 잡음  $n_i(t)$ 를 나타낸다. 기호 ‘ $\otimes$ ’는 Convolution을 의미하고,  $LED_N$ 은 LED 조명의 개수이다. 각 LED 광원으로 부터 수신된 신호 복원 방법은 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_R^i = H_i(0) \times P_T^i + N_i \quad (14)$$

$$= \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0 T_L} Rx_{total}(t) \times S(t) \times W_i^h(t) dt$$

식 (14)에서  $P_R^i$ 은  $i$ 번째 수신된 전력,  $P_T^i$ 는  $i$ 번째 송신된 전력,  $H_i(0)$ 는  $i$ 번째 LED 조명에서 수신기까지의 Channel DC gain,  $N_i$ 는  $n_i(t)$ 의 전력 변환 잡음을 나타낸다.  $S(t)$ ,  $W_i^h(t)$ 는 식 (15)와 식 (16)으로 나타낼 수 있다. Walsh code의 직교성을 이용하여 중첩되어 있던 신호  $Rx_{total}(t)$ 는 각 LED 조명으로부터 수신된 전력  $P_R^i$ 를 “Hadamard matrix”에 의해 생성된 행렬을 이용하여 구할 수 있게 된다.

$$S(t) = \sum_{n=0}^{\infty} (u(t-2nT_0) - 2u(t-(2n+1)T_0) + u(t-(2n+2)T_0)) \quad (15)$$

$$W_i^h(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \begin{cases} u(t-2nT_0) - u(t-(2n+2)T_0), \\ (If, W_i \text{ bit}_{n \bmod T_L} = -1) \\ u(t-(2n+2)T_0) - u(t-2nT_0), \\ (Elseif W_i \text{ bit}_{n \bmod T_L} = 1) \end{cases} \quad (16)$$

$S(t)$ 는 짝수 번째 비트 주기에서 양의 부호 신호를 음의 부호 신호로 변환을 해주고  $W_i^h(t)$ 는 LED 조명의 ID에 부

합하는 (1, -1)로 이루어진 Walsh code 신호이다.

### 3.4 거리 계산 방법

각 LED 조명의 송신된 광 출력이 PD에 수신되어 전력으로 나타내면 식 (1)에 채널 특성을 나타내는 식 (4)를 대입하면 식 (17)과 같이 표현이 된다.

$$P_R^i = \frac{(m+1)Ah^{m+1}}{2\pi(h^2+r^2)^{(m+3)/2}} \times P_T^i, \quad (0 \leq \psi \leq \Psi_c) \quad (17)$$

이 식을 이용하여 수평거리  $r$ 을 구할 수 있다. 식을 다시 정리하면

$$r = \sqrt{\left( \frac{(m+1) \times A \times h \times P_T^i}{2\pi P_R^i} \right)^{\frac{1}{m+3}} - h^2}, \quad (0 \leq \psi \leq \Psi_c), \quad (18)$$

식 (18)과 같이 LED 조명과 수신기의 수평거리  $r$ 을 구할 수 있다.  $r$ 을 구한 후 삼변 측량법을 이용하여 수신기의 위치 측위가 가능하다.

## 4. 실험 및 분석

가시광 통신으로 인한 백색 잡음에 대하여 설명하고 제안한 방법의 타당성을 검증하기 위해 3가지로 나누어 시뮬레이션을 수행하였다.

### 4.1 실험

VLC 채널에서 잡음  $P_N$  요인은 shot noise, thermal noise, inter symbol interference이고 백색 잡음이다. 잡음 전력의 총합은

$$P_N = \sigma_{shot}^2 + \sigma_{thermal}^2 + \gamma^2 P_{rISI}^2 \quad (19)$$

식 (19)와 같다. 식 (20) ~ (22)은 잡음을 식으로 표현한 것이다.

$$P_{rISI} = \frac{1}{T_0} \int_{T_0 T_L}^{\infty} Rx_{total}(t) dt \quad (20)$$

$$\sigma_{shot}^2 = 2q\gamma(P_r + P_{rISI})B + 2qI_b I_2 B, \quad (21)$$

$$\sigma_{thermal}^2 = \frac{8\pi k T_k}{G} \eta A I_2 B^2 + \frac{16\pi^2 k T_k \Gamma}{g_m} \eta^2 A^2 I_3 B^3 \quad (22)$$

식 (21)은 shot noise를 나타내고,  $q$ 는 전자 전하,  $B$ 는 등가 잡음 대역폭,  $I_b$ 는 배경 잡음 전력을 의미한다. 식 (22)은 thermal noise로 feedback-resistor noise와 FET channel noise의 합으로 나타나고,  $k$ 는 볼츠만 상수,  $T_k$ 는 절대온도,  $G$ 는 전압 이득,  $\eta$ 은 지역 단위당 PD의 고정된 정전 용량,  $\Gamma$ 은 FET 채널 잡음,  $g_m$ 은 FET 컨덕턴스,  $I_3 = 0.0868$ 을 나타낸다.

첫 번째 시뮬레이션은 2차원에서 한 개의 LED 조명과 수신기의 거리  $r$ 에 따른 이상적인 수신 광 전력  $P_{desired\_Rx}$ , 백색 잡음이 추가된 수신 광 전력  $P_{AWGN\_Rx}$  및 복원된 광 전력  $P_{recoverd\_Rx}$ 의 특성 관계를 비교 및 분석하고, 외부 빛에 의한 광 전력의 영향을 미치는 경우를 실험 하였다. 두 번째 시뮬레이션은 2차원에서 세 개의 2 m 간격으로 설치된 LED 조명과 수신기의 거리  $r$ 에 따른 이상적인 수신 광 전력  $P_{desired\_Rx}$ , 잡음이 추가된 수신 광 전력  $P_{AWGN\_Rx}$  및 복원된 광 전력  $P_{recoverd\_Rx}$ 를 비교 및 분석하였다. 마지막으로 세 번째는 Figure 2와 같은 3차원에서의 제안한 시스템을 이용한 위치 측위를 시뮬레이션 하여 실제 위치와 비교하였다. 시뮬레이션의 파라미터는 기존의 연구[33]를 참조하였으며 Table 1과 같다.

Table 1: Parameters of simulation

Parameter	Value
transmitted optical power	30 [W]
semi-angle at half power	60 [deg.]
FOV at a receiver	180 [deg.]
detector physical area of a PD	0.5 [cm <sup>2</sup> ]
gain of an optical filter	1.0
refractive index of a lens at a PD	1.5
O/E conversion efficiency	0.53 [A/W]
open-loop voltage gain	10
fixed capacitance	112 [pF/cm <sup>2</sup> ]
FET channel noise factor	1.5
FET transconductance	30 [mS]
absolute temperature	298 [K]
background light current	5100 [uA]
data rate	100.0 [Mb/s]

#### 4.2 실험 결과

첫 번째 시뮬레이션 결과는 Figure 3, 4에 나타내었고, Figure 3은 수평거리에 따른 수신된 전력 분포를 나타낸 것으로 Figure 3 (a)는 이상적인 수신 광 전력  $P_{desired\_Rx}$  특성 곡선, Figure 3 (b)는 백색 잡음이 추가된 수신 광 전력  $P_{AWGN\_Rx}$  특성 곡선이고, Figure 3 (c)는 복원된 광 전력  $P_{recoverd\_Rx}$  특성 곡선을 나타낸다. 복원된 광 전력  $P_{recoverd\_Rx}$  특성 곡선과 백색 잡음이 추가된 수신 광 전력  $P_{AWGN\_Rx}$  특성 곡선을 이상적인 수신 광 전력  $P_{desired\_Rx}$  특성 곡선과의 오차를 계산한 결과는 약간의 차이는 보이나 거의 유사하였다.

Figure 4는 신호에 외부 빛에 의한 수신된 광 전력을 나타낸다. 수신된 광 전력은 외부 빛에 의하여 변화되어 Figure 4 (a)와 같이 나타나게 된다. 이러한 신호를 Figure 4 (b)는 복원된 광 전력을 나타내며 외부 빛의 영향을 받게 되더라도 강인한 모습을 보여준다.

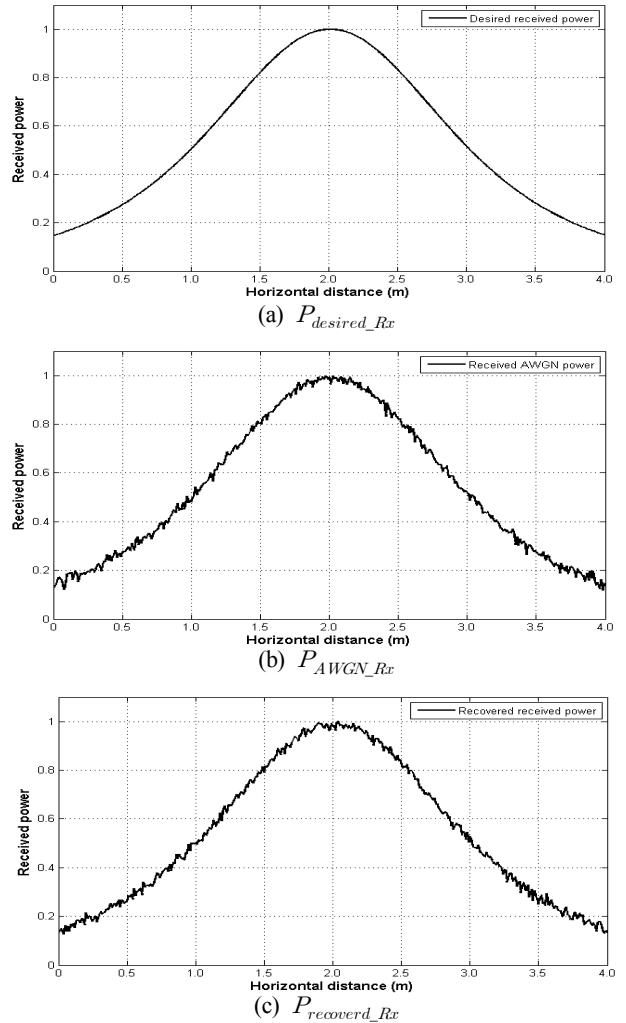


Figure 3: Received power distribution for horizontal distance

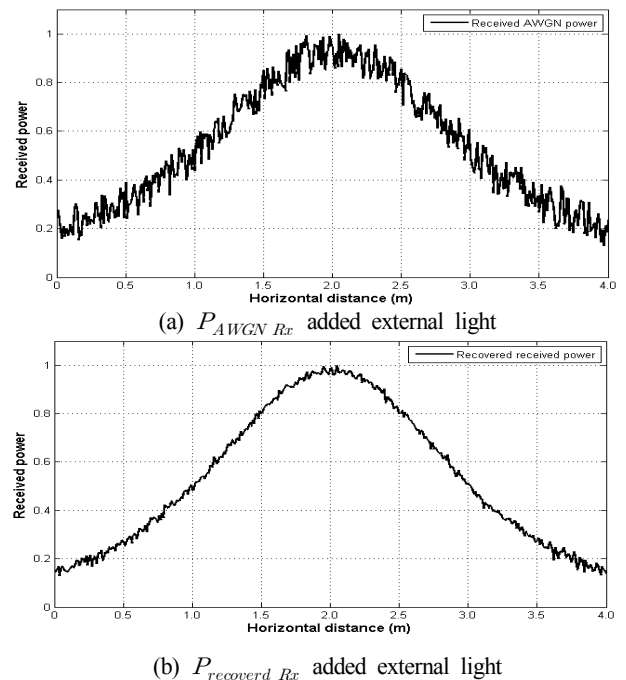
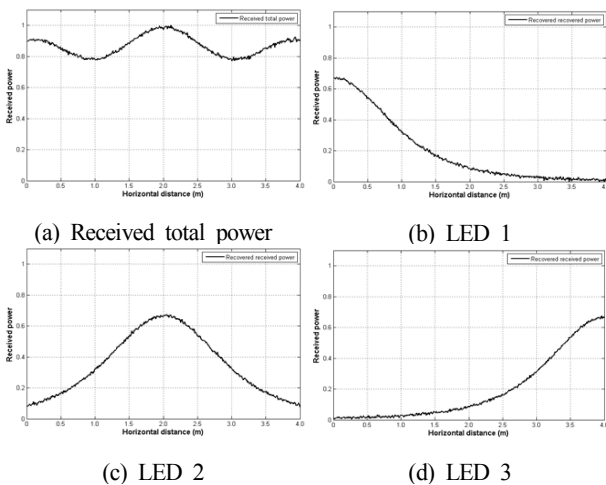


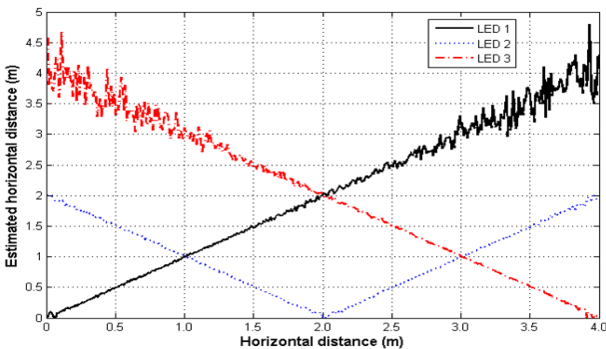
Figure 4: Received power distribution for external light power

두 번째 시뮬레이션 결과는 **Figure 5, 6**에 나타내었다. **Figure 5 (a)**는 측정된 수신 광 총 전력  $P_{total\_Rx}$  특성 곡선, **Figure 5 (b)**는 복원된 광 전력  $P^1_{recovered\_Rx}$  특성 곡선, **Figure 5 (c)**는 복원된 광 전력  $P^2_{recovered\_Rx}$  특성 곡선이며, **Figure 5 (d)**는 복원된 광 전력  $P^3_{recovered\_Rx}$  특성 곡선을 나타내었다. **Figure 6**은 각각의 복원된 수신 전력을 거리로 계산한 결과를 나타낸다. LED 1은 복원된 광 전력  $P^1_{recovered\_Rx}$ 에 따라 계산된 거리  $r^1_{calculated}$ 의 특성 곡선, LED 2는 복원된 광 전력  $P^2_{recovered\_Rx}$ 에 따라 계산된 거리  $r^2_{calculated}$ 의 특성 곡선 및 LED 3은 복원된 광 전력  $P^3_{recovered\_Rx}$ 에 따라 계산된 거리  $r^3_{calculated}$ 의 특성 곡선을 표현한다. 복원된 광 전력은 LED 조명과 수신기의 거리  $r$ 이 2 m 까지 선형적인 특성을 보이나 2 m 이후 잡음에 의하여 측정 오차가 점차 심해지는 특성을 보였다.

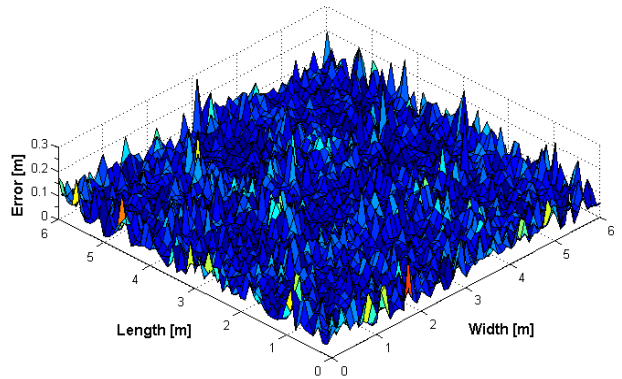
마지막으로, 세 번째 시뮬레이션 결과는 **Figure 7**에 나타난다. 제안한 알고리즘의 실내 위치 인식의 측위 오차 결과는 최대 오차 0.2977 m, 평균 0.0536 m로 높은 측위 정밀도를 보인다. LED 조명과 수신기 사이의 거리가 멀어지게 되면 수신된 신호의 세기가 약해져서 신호대비 잡음비가 커지게 되어 오차가 발생한다.



**Figure 5:** Received power distribution for horizontal distance



**Figure 6:** Estimated horizontal distance for real horizontal distance



**Figure 7:** Result of proposed indoor localization error

## 5. 결 론

본 논문에서는 Walsh code를 이용하여 중첩된 Light emitting diode(LED) 송신신호들을 수신부에서 각각의 LED 송신신호로 식별하고 조명의 깜박임 현상을 제거할 수 있는 Manchester code 기반 가시광 통신 실내 위치인식 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 고정된 LED 광원의 위치정보들과 수신부에서 그들로부터 수신된 신호들을 램버시안 방사 특성과 삼변 측량법을 이용하여 수신부의 상대적인 위치를 추정할 수 있었다. 16개의 LED 조명을 설치한  $6 \times 6 \times 1.5 \text{ m}^3$ 의 실내 공간에서 시뮬레이션을 수행하여 제안한 논문의 타당성을 검증하였다. 아울러 외부 빛에 대한 간섭으로 인한 영향에서도 기존의 방식보다 제안한 시스템이 강인한 모습을 보여주었다. 이 연구를 통하여 건물, 공장과 공공장소 등의 실내에서도 LED 조명 인프라만 구축 되어 있다면 향후 정밀한 위치 인식이 가능하여 LBS에 적용에 유용하게 쓰일 것으로 기대된다.

## 후 기

“이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2014R1A1A4A01008081)”

## References

- [1] J. H. Koo and K. I. Hwang, “A Koreans’ consciousness survey on the onboard safety of domestic passenger ship,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 38, no. 4, pp. 495-501, 2014 (in Korean).
- [2] K. I. Hwang, “Comparative study on predictions of passengers’ evacuation performances before and after the remodelling of MV SEWOL,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no.1, pp. 105-114, 2014 (in Korean).
- [3] W. O. Kim, J. S. Kim, and W. C. Park, “Improvement of citadel structure on board ship using

- FDS,” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 39, no. 3, pp. 306-311, 2015 (in Korean).
- [4] W. O. Kim, J. S. Kim, and W. C. Park, “A study on the improvement of survival rate of the passengers and crews according to FDS Analysis,” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 39, no. 3, pp. 312-317, 2015 (in Korean).
- [5] H. J. Kwon, H. S. Yang, and S. G. LEE, “Site monitoring of crews and passengers on board by the BLE and PLM combination,” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 39, no. 4, pp. 463-467, 2015 (in Korean).
- [6] G. W. Yim, S. H. Lee, S. Y. Kim, and N. S. Kang, “Development of unified communication for marine VoIP service,” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 39, no. 7, pp. 744-753, 2015 (in Korean).
- [7] H. J. Kwon, M. G. Kim, Y. S. Kim, and S. G. Lee, “Lifetime test of batteries for BLE modules for site identification of vessel’s crews and passengers (SIVCP),” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 39, no. 7, pp. 754-759, 2015 (in Korean).
- [8] F. Donovan, “Indoor location market to reach \$4 billion in 2018,” *Online. FierceMobileIT*. [Online]. Available: <http://www.fiercemobileit.com/story/indoor-location-market-reach-4-billion-2018-predicts-abi/2013-10-18>, Accessed November 28, 2013.
- [9] P. Harrop, *Online. IDTechEx*. [Online]. Available: <http://www.idtechex.com/research/articles/mobile-phone-indoor-positioning-systems-create-10bn-market-00006207.asp>, Accessed September 15, 2014.
- [10] Daryl C. Plummer, *Top 10 Strategic Predictions for 2015 and Beyond Digital Business Is Driving ‘Big Change, Gartner* [Online]. Available: <https://www.gartner.com/doc/2864817/ref=unauthrdr&srclid=1-3478922254>, Accessed October 16, 2015.
- [11] H. Koyuncu and S. H. Yang, “A survey of indoor positioning and object locating systems,” *International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 10, no. 5, pp. 121-128, 2010.
- [12] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, “Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, 2007.
- [13] I. Bisio, F. Lavagetto, M. Marchese, and A. Sciarone, “Performance comparison of a probabilistic fingerprint-based indoor positioning system over different smartphones,” *International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS)*, pp. 161-166, 2013.
- [14] L. Pei, R. Chen, J. Liu, T. Tenhunen, H. Kuusniemi, and Y. Chen, “Inquiry-based bluetooth indoor positioning via rssi probability distributions,” *Second IEEE International Conference on Advances in Satellite and Space Communications (SPACOMM)*, pp. 151-156, 2010.
- [15] J. H. Seong, T. W. Lim, J. S. Kim, S. G. Park, and D. H. Seo, “An improvement algorithm for localization using adjacent node and distance variation analysis techniques in a ship,” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 37, no. 2, pp. 213-219, 2013 (in Korean).
- [16] J. H. Kim, S. G. Lee, J. S. Kim, J. W. Kim, and D. H. Seo, “A study on indoor navigation system using localization based on wireless communication,” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 37, no. 1, pp. 114-120, 2013 (in Korean).
- [17] J. H. Seong, J. S. Park, S. H. Lee, and D. H. Seo, “Indoor localization algorithm based on WLAN using modified database and selective operation,” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 37, no. 8, pp. 932-938, 2013 (in Korean).
- [18] H. J. Cho, J. S. Kim, S. G. Lee, J. W. Kim, and D. H. Seo, “Fixed node reduction technique using relative coordinate estimation algorithm,” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 37, no. 2, pp. 220-226, 2013 (in Korean).
- [19] J. H. Kim, H. J. Kim, J. S. Kim, S. G. Lee, and D. H. Seo, “An indoor localization approach using RSSI and LQI based on IEEE 802.15.4,” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 38, no. 1, pp. 92-98, 2014 (in Korean).
- [20] J. H. Kim, H. J. Kim, J. S. Kim, S. G. Lee, and D. H. Seo, “Relative azimuth estimation algorithm using rotational displacement,” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 38, no. 2, pp. 188-194, 2014.
- [21] H. J. Cho, S. G. Lee, W. H. Cho, D. S. Noh, and D. H. Seo, “Self-positioning fusion system based on estimation of relative coordinates,” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 38, no. 5, pp. 566-572, 2014.
- [22] J. H. Kim, J. H. Sung, Y. S. Ha, and D. H. Seo, “Improved Adaptive Smoothing Filter for Indoor



- Localization Using RSSI,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 2, pp. 179-186, 2015.
- [23] H. J. Cho, W. Y. Kim, Y. I. Joo, and D. H. Seo, “Robust Relative Localization Using a Novel Modified Rounding Estimation Technique,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 2, pp. 187-194, 2015.
- [24] K. R. Sohn, “A study on the short-range underwater communication using visible LEDs,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 37, no. 4, pp. 425-430, 2013 (in Korean).
- [25] K. R. Sohn, “Performance analysis of the visible light communication in seawater channel,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 37, no. 5, pp. 527-532, 2013 (in Korean).
- [26] M. S. Kim and K. R. Sohn, “Implementation of underwater visible light communication system inter-linked with bluetooth,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 38, no. 7, pp. 923-928, 2014 (in Korean).
- [27] M. S. Kim and K. R. Sohn, “Performance Investigation of Visible Light Communication Using Super Bright White LED and Fresnel Lens,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 1, pp. 63-67, 2015 (in Korean).
- [28] K. R. Sohn, “Implementation of the Equalization Circuits for High Bandwidth Visible Light Communications Using Phosphorescent White LED,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 4, pp. 473-477, 2015 (in Korean).
- [29] K. Pahlavan, X. Li, and J. P. Makela, “Indoor geolocation science and technology,” IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 2, pp. 112-118, 2002.
- [30] T. H. Do and M. Yoo, “TDOA-based indoor positioning using visible light,” Photonic Network Communications, vol. 27, no. 2, pp. 80-88, 2014.
- [31] S. H. Yang, D. R. Kim, H. S. Kim, Y. H. Son, and S. K. Han, “Visible light based high accuracy indoor localization using the extinction ratio distributions of light signals,” Microwave and Optical Technology Letters, vol. 55, no. 6, pp. 1385-1389, 2013.
- [32] D. Y. Kim and K. Y. Yi, “RSSI-Based Indoor Localization Method Using Virtually Overlapped Visible Light,” The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers vol. 63, no. 12, pp. 697-1703, 2014 (in Korean).
- [33] P. Luo, Z. Ghassemlooy, H. L. Minh, A. Khalighi, X. Zhang, M. Zhang, and Y. Changyuan, “Experimental demonstration of an indoor visible light communication positioning system using dual-tone multi-frequency technique,” 3rd IEEE International Workshop in Optical Wireless Communications (IWOW), pp. 55-59, 2014.
- [34] S. Yamaguchi, V. V. Mai, T. C. Thang, and A. T. Pham, “Design and performance evaluation of VLC indoor positioning system using optical orthogonal codes,” 5th IEEE International Conference on Communications and Electronics (ICCE), pp. 54-59, 2014.
- [35] T. Komine and M. Nakagawa, “Fundamental analysis for visible-light communication system using led lights,” IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 50, no. 1, pp. 100-107, 2004.
- [36] TIA/EIA/IS-95 Interim Standard, “Mobile station-base station compatibility standard for dual-mode wide-band spread-spectrum cellular system,” Telecommunications Industry Association, 1993.
- [37] H. J. Kim, D. H. Seo, K. I. Hwang, and T. W. Lim, “Hierarchical security system using real-valued data and orthogonal code in Fourier domain,” Optics communications, vol. 313, pp. 15-21, 2014.