

# 스테레오 이미지 센서와 LED 조명을 이용한 실내 측위

문명근<sup>\*</sup>, 최수일<sup>°</sup>

## Indoor Position Estimation Using Stereo Image Sensor and LEDs

Myoung-geun Moon<sup>\*</sup>, Su-il Choi<sup>°</sup>

요 약

가시광 통신(VLC, Visible Lighting Communication) 시스템은 백색광 LED(Light Emitting Diode)와 스위칭 구동 회로를 이용한 변조 기법을 사용하여 조명 기능과 무선 디지털 통신 기능을 동시에 수행할 수 있는 차세대 통신 기술이다. 본 논문에서는 가시광 통신이 가능한 백색광 LED와 스테레오 이미지 센서를 이용한 실내 측위 알고리즘을 제안한다. 실내의 천장에 있는 백색광 LED는 자신의 위치 정보를 브로드캐스트하고, 이동체는 스테레오 이미지 센서에 맺히는 상과 전달받은 정보를 이용하여 이동체의 3차원 위치정보와 방위각을 구한다. 시뮬레이션을 통해 3차원 위치정보를 기존의 방안들과 비교하였다. 더불어, 제안한 알고리즘의 방위각 오차 특성을 분석하였다.

**Key Words** : optical wireless, visible light communication, white-light LED, stereo image sensor, indoor positioning

ABSTRACT

In recent year, along with the rapid development of LED technology, many applications using LEDs with Visible Light Communication(VLC) have been researched. Since it is easy to provide LOS communication environment along with cheap deployment cost, the indoor positioning system based on VLC has been actively studied. In this paper, we propose an accurate indoor positioning algorithm using a stereo image sensor and white-light LEDs with the visible light communication. Indoor white-light LEDs are located at the ceiling of a room and broadcast their position information by VLC technology. Mobile receiver with stereo image sensor receives LED position information by VLC and estimates its position and angle information. Simulation results are given to show the efficiency of proposed indoor positioning algorithm.

### I. 서 론

최근 많은 종류의 스마트 디바이스의 보급과 무선 통신 기술의 발전으로 위치정보기반 서비스(LBS, Location Based Service) 시장은 점점 범위를 넓혀가

고 있다. 위치정보기반 서비스란 사용자의 신원을 식별하며 사물의 위치 정보를 제공하는 서비스이며 사용자 간의 위치, 날씨나 건강을 확인하거나 엔터테인먼트와 같은 애플리케이션에 활용된다<sup>[1]</sup>. 위치 추정 시스템은 지난 20년 동안 GPS, IR, RFID, 블루투스,

※ 이 논문은 2013년도 전남대 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

• First Author : Chonnam National University, School of Electronics and Computer Engineering, ordvkd@naver.com, 학생회원

° Corresponding Author : Chonnam National University, School of Electronics and Computer Engineering, sichoi@jnu.ac.kr, 정회원  
논문번호 : KICS2014-07-274, Received July 22, 2014; Revised september 27, 2014; Accepted October 7, 2014

Wi-fi등의 형태로 연구가 활발하게 되고 있다. 그중 위성 기반 항법 장치(GPS, Global Positioning System)는 자동차 내비게이션, 모바일장비, 선박, 비행기 등에서 널리 사용되고 있다<sup>[2]</sup>. 그러나 GPS 시스템은 다중경로 페이딩 전파방해, 주파수 간섭 등 오차를 크게 발생시키는 요인으로 아직 3~10m 정도에 오차를 가지고 있어 실내위치추적 시스템에 사용하기는 적절하지 못하다.

가시광 무선통신 기술은 디지털 제어가 가능한 LED의 ON/OFF를 디지털 신호로 사용하며, 수광 소자인 PD(Photo Diode) 또는 이미지 센서(image sensor)를 이용하여 송출된 빛 신호를 인식하는 차세대 무선통신 기술이다<sup>[3]</sup>. 가시광 통신은 LOS(Line of Sight)환경에서 장애물로 인한 페이딩, 전파방해, 간섭 등의 영향을 적게 받아 기존의 방법들에 비해 고성능의 위치 추정이 용이하므로, 이를 이용한 측위 시스템 연구가 활발히 이루어지고 있다.

먼저 [1]에서는 제안한 LED 핑거프린팅(fingerprinting) 시스템에서 K-NN(K-Nearest Neighbor) 알고리즘으로 데이터베이스 내부의 수집된 LED-ID와 비교하는 방법으로 실내 위치를 추정하였다. 더불어 기존의 Wi-fi 핑거프린팅을 사용하는 시스템보다 성능이 8.6%가 개선됨을 보였다. [2]는 LSM(Least Square Method)과 VEM(Vector Estimation Method)을 기반으로 4개의 LED와 스테레오 이미지센서를 이용하는 알고리즘을 제안했다. 여기서 LSM을 사용하는 경우, 4개의 LED가 같은 평면에 있으면 불안정한식이 되므로 4번째 LED 축에 작은 값을 더해줌으로써 실내위치를 추정한다. 따라서 LSM은 측 오차가 크게 나타나고 VEM을 사용하는 경우가 보다 고성능의 알고리즘임을 시뮬레이션을 통해 보였다. [4]는 가시광 무선통신 시스템을 기반으로 3개의 LED와 이미지 센서를 이용하여 모바일의 위치를 판단하는 알고리즘을 보였다. 이 경우는 LED의 위치좌표와 이미지 센서에 맺히는 상의 공선조건(collinearity condition)을 이용해 방정식을 세웠고, 주어진 수신기의 회전 각도와 측정을 통해 이미지 센서에 맺히는 상 좌표를 대입해 위치를 계산한다. 이미지 센서는 양자화 때문에 실제 값과 정확하게 일치하지 않아, 오차는 해상도가 증가함에 따라 증가와 감소의 모양으로 0에 수렴함을 보였다. 마지막으로 [5]는 4-DOF(Degrees of Freedom) 환경에서 단일 이미지 센서에 맺히는 상을 이용하는 벡터와 비콘(beacon) 벡터를 이용해 측 방위각을 계산하고, 실내 위치를 추정하는 시스템을 개발하였다.

본 논문에서는 3차원 Linear Equation과 VLC를 기반으로 스테레오 이미지센서를 사용하는 실내 측위 알고리즘을 제안한다. 그리고 [2]에서 4개의 LED를 이용하는 실내 측위 알고리즘을 2개의 LED를 이용해 측 방위각 정보와 실내 위치를 추정하는 방법으로 알고리즘을 개선했다. 더불어 시뮬레이션을 통하여 해상도의 변화에 따른 위치 측위 오차가 기존의 VEM를 기반으로 하는 시스템보다 우수함 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 위치 추정 모델을 제시하고, 2개의 LED와 스테레오 이미지 센서를 이용해 이동체의 측 회전성분인 방위각과 3차원 실내 위치 정보를 제공하는 알고리즘을 제안한다. III장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘과 기존 방안의 3차원 위치좌표의 오차정보를 비교하였으며, 제안한 알고리즘의 방위각 정보의 성능을 보이며, IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 본 론

실내 LED 조명을 이용한 실내 측위를 위하여 고려한 실내 룸 모델은 그림 1과 같다. 가로 세로가 각각 5m이고 높이가 3.5m이다. LED는 가로 세로로 1m씩 떨어져 있으며, 바닥에 위치하는 모바일 디바이스는 3차원 위치 좌표와 z축 방위각을 갖는 4-DOF환경에서 실내위치를 추정하므로 이미지 센서는 천장과 항상 수평이다.

본 논문에서 제안하는 VLC 위치 추정 시스템 모델은 그림 2와 같다. 그림 2에서  $P_A$ 와  $P_B$ 는 임의로 선택된 두 개의 송신 LED의 좌표,  $P_R$ 은 두 이미지 센서의 중심 좌표,  $\hat{u}$ 는 이미지 센서의 수평벡터,  $\hat{v}$ 는 이

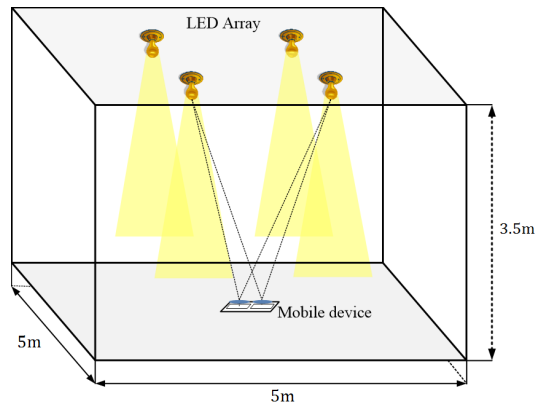


그림 1. 실내 룸 모델  
Fig. 1. The model room

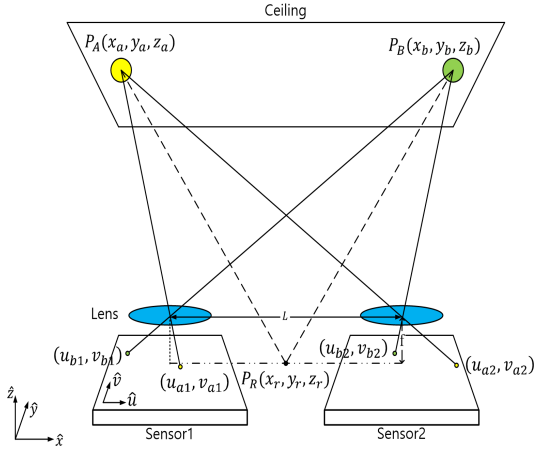


그림 2 VLC 위치 추정 시스템  
Fig. 2. VLC position estimation system

이미지 센서의 수직벡터,  $(u_{a1}, v_{a1})$ ,  $(u_{b1}, v_{b1})$ 은 이미지 센서1 위에 맺힌 수신 LED 상 좌표,  $(u_{a2}, v_{a2})$ ,  $(u_{b2}, v_{b2})$ 은 이미지 센서2 위에 맺힌 수신 LED 상 좌표,  $L$ 은 스테레오 이미지 센서의 중심 사이 거리,  $f$ 는 렌즈와 이미지 센서의 초점 거리를 의미한다.

이동체의 실내 위치를 추정하는 과정은 다음과 같다. 우선 이동체는 이미지 센서를 통해 송신 LED의 위치 정보를 수신한다. 이때, 이미지 프로세싱을 이용해 각각의 이미지 센서에 맺히는 여러 개의 LED를 검출한다. 그리고 이미지 센서에 3개 이상의 LED가 나타나는 경우, 각각의 이미지 센서에 동일한 LED ID가 반영되도록 임의의 두 지점을 선택한다. 다음으로 수신받은 정보와 이미지 센서에 맺힌 상을 이용해 이동체의  $z$ 축 회전 각도를 계산한다. 마지막으로 이동체와 LED사이의 거리를 계산하고 최종적으로 수신 받은 정보를 이용해 이동체의 실내 위치를 계산한다.

그림 3은 이미지 센서에 맺히는 LED의 매핑 모델을 나타낸다. 송신 LED는 렌즈를 통해 상하좌우 반전된 형태로 이미지 센서에 입사되고, 센서 내부에서 좌표  $(u_l, v_l)$ ,  $(u_k, v_k)$ 을 갖게 된다. 이때 두 좌표가 만드는 벡터  $\vec{s}$ 가 이미지 센서 내부 좌표계에서 이루는 각도를  $\theta$ 라고 할 때 다음과 같이 계산한다.

$$\theta = \text{atan2}(v_l - v_k, u_l - u_k) \quad (1)$$

여기에서  $\theta = \text{atan2}(x, y)$ 는  $\tan^{-1}(y/x)$ 을 계산하는 식으로  $x, y$ 의 부호를 이용해 어떤 사분면에  $\theta$ 가 존재하는지 구한다. 이동체가 VLC를 통해 수신받은 LED의 위치 정보를 이용해 두 LED가 절대 좌표계에

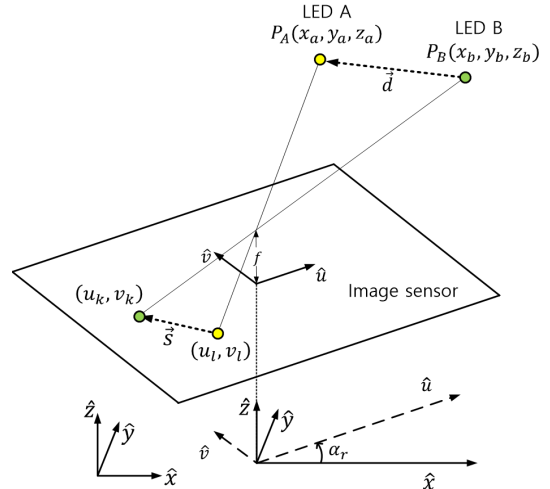


그림 3. 이미지 평면에 맺히는 LED 매핑  
Fig. 3. LED mapping on image plane.

서 이루는 각도  $w$ 를 계산하면 다음과 같다.

$$w = \text{atan2}(y_b - y_a, x_b - x_a) \quad (2)$$

그림 4는 절대 좌표계와 이미지 센서 내부 좌표계를 기준으로 방위각 정보를 나타낸다. 이동체의 회전량  $\alpha_r$ 은  $\theta$ 와  $w$ 를 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$\alpha_r = \theta - w \quad (3)$$

다음으로 실내 측위를 위해서는 송신 LED와 이미지 센서 사이 거리 계산이 필요하며, 이미지 센서에 맺히는 LED 상 좌표와 렌즈의 좌표를 이용해 만든 직선 방정식을 연립해 계산한다.

### 2.1 이동체의 방위각

우선 이동체는 4-DOF 환경에서 동작한다고 가정한다. 이동체의  $z$ 축 회전성분과 3차원 위치정보를 포함하는 4-DOF 정보를 구하기 위해 이동체의 스테레오 이미지를 이용하여 다음과 같이  $z$ 축 회전성분을 먼저 구한다.

이동체의 이미지 센서에 맺힌 상의 좌표  $(u_b, v_l)$ ,  $(u_k, v_k)$ 를 이용하는 벡터  $\vec{s}_r$ 는 아래와 같다.

$$\vec{s}_r = \begin{pmatrix} u_k - u_l \\ v_k - v_l \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

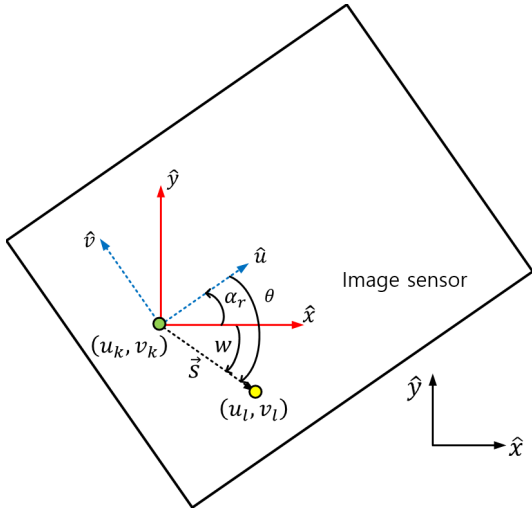


그림 4. 절대좌표에서의 LED 매핑과 방위각  
Fig. 4. LED mapping and global azimuth angle.

이미지 센서 내부 좌표계에서 표현된 벡터  $\vec{s}_r$ 은 회전에 대한 보정을 통해 절대 좌표계에서 계산될 수 있다. 따라서 식(4)에 회전행렬  $R(\alpha_r)$ 을 곱하여 다음과 같이 벡터  $\vec{s}$ 를 구한다.

$$\vec{s} = \begin{pmatrix} (u_k - u_l)\cos\alpha_r - (v_k - v_l)\sin\alpha_r \\ (u_k - u_l)\sin\alpha_r + (v_k - v_l)\cos\alpha_r \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

천장에 있는 LED는 렌즈를 통해 이미지 센서에 평행하게 입사하므로, 그림 3에서 이미지 센서에 맺히는 상 좌표로 생성된 벡터  $\vec{s}$ 는 송신 LED  $P_A$ 와  $P_B$ 에 의해 구해지는 벡터  $\vec{d} = P_A - P_B$ 와 방향이 일치한다. 따라서 서로 평행한 두 벡터의 외적의 값이  $\vec{s}^T \times \vec{d} = 0$  인 조건을 전개하면 아래와 같다.

$$\vec{s}^T \times \begin{pmatrix} x_1 - x_2 \\ y_1 - y_2 \\ z_1 - z_2 \end{pmatrix} = 0 \quad (6)$$

식(6)을 전개한 삼각함수 방정식은 다음과 같다.

$$a \cos \alpha_r - b \sin \alpha_r = 0 \quad (7)$$

$$a = (x_1 - x_2)(v_1 - v_2) + (y_1 - y_2)(u_1 - u_2) \quad (8)$$

$$b = (y_1 - y_2)(v_1 - v_2) - (x_1 - x_2)(u_1 - u_2) \quad (9)$$

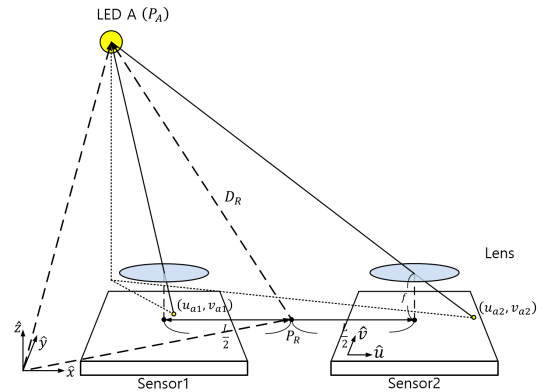


그림 5. LED 매핑을 이용하는 거리추정  
Fig. 5. Location estimation using LED mapping

이동체의  $z$ 축 회전성분 추정치  $\tilde{\alpha}_r$ 을 식(7)-(9)를 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$\tilde{\alpha}_r = \text{atan2}(a, b) \quad (10)$$

### 2.2 이동체의 실내 위치 측정

다음으로 이동체의 스테레오 이미지 센서에 맺히는 상을 이용해 송신 LED와 스테레오 이미지 센서의 중심과의 거리를 구하고 이동체의 실내 위치를 구하고자 한다. 그림 5는 LED A와 스테레오 이미지 센서를 이용하는 실내 측위 방법을 보인다.  $P_R$ 을 원점으로 했을 때, 스테레오 이미지 센서 위에 맺힌 LED 상 좌표와 렌즈 좌표를 이용하여 직선의 방정식을 세우면 다음과 같다.

$$\frac{x + L/2}{-L/2 - u_{a1}} = \frac{y}{-v_{a1}} = \frac{z - f}{f} \quad (11)$$

$$\frac{x - L/2}{L/2 - u_{a2}} = \frac{y}{-v_{a2}} = \frac{z - f}{f} \quad (12)$$

식 (11)은 좌측 이미지 센서 위의 LED 좌표  $(u_{a1}, v_{a1}, 0)$ 와 렌즈의 좌표  $(-L/2, 0, f)$ 가 이루는 3차원 직선의 방정식을 나타내고 식 (12)는 우측 이미지 센서 위의 LED 좌표  $(u_{a2}, v_{a2}, 0)$ 와 렌즈의 좌표  $(L/2, 0, f)$ 가 이루는 직선의 방정식을 나타냈다.

두 직선의 방정식은 LED A와 렌즈에 의해 생긴 방정식이라고 볼 수도 있으므로, 두 직선의 방정식이 만나는 좌표는  $P_A(x_a, y_a, z_a)$ 이다. 두 직선의 방정식이 하나의  $x$ 축에서 만난다고 가정하고, 식 (11)과 식 (12)의  $x$ 에 관한 식을 연립하면 다음과 같다.

$$x_d = \frac{L(u_{a2} + u_{a1})}{2(u_{a1} - u_{a2} + L)} \quad (13)$$

여기에서  $x_d$ 는 이동체와 송신 LED의  $x$ 축 거리에 해당한다. 식(13)에서  $u_{a2} - u_{a1} > L$  이므로 분모는 0이 되지 않으므로 값이 항상 존재한다. 다음으로 구한  $x_d$ 을 식 (11)과 식 (12)의  $x$ 에 대입하면 다음과 같이  $y, z$ 축 거리를 구할 수 있다.

$$y_{d_n} = -v_{an} \times \frac{(2x_d + (-1)^{n-1}L)}{((-1)^n L - 2u_{an})} \quad (n=1,2) \quad (14)$$

$$z_{d_n} = f \times \frac{(2x_d + (-1)^{n-1}L)}{((-1)^n L - 2u_{an})} + f \quad (n=1,2) \quad (15)$$

여기에서  $n = 1$  인 경우는 식 (11)에  $x_d$ 값을 대입한 경우이고,  $n = 2$ 인 경우는 식(12)에  $x_d$ 값을 각각 대입한 경우의 값이다. 양자화로 인해 각각의 이미지 센서에서 다른  $y, z$ 의 값을 구할 수 있고 최종  $y_d, z_d$ 는 두 값의 평균으로 계산하였다.

이동체는 회전에 대한 보정으로 절대 좌표계에서 스테레오 이미지 센서의 중심과 LED사이의 거리를 계산해야 한다. 이를 위해  $z$ 축 방위각 추정치  $\tilde{\alpha}_r$ 를 이용한 회전행렬  $R(\tilde{\alpha}_r)$ 를 곱하면 다음과 같다.

$$\tilde{D}_R = R(\tilde{\alpha}_r) \times \begin{pmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_d \cos \tilde{\alpha}_r - y_d \sin \tilde{\alpha}_r \\ x_d \sin \tilde{\alpha}_r + y_d \cos \tilde{\alpha}_r \\ z_d \end{pmatrix} \quad (16)$$

최종적으로 이동체의 실내 위치는 LED로부터 수신받은 LED의 좌표 정보와 식(16)에서 구한 근사적인  $\tilde{D}_R$ 을 이용해 모바일의 실내 위치 추정치인  $\tilde{P}_R$ 을 아래와 같이 구한다.

$$\tilde{P}_R = P_A - \tilde{D}_R \quad (17)$$

### III. 시뮬레이션

#### 3.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 제안하는 알고리즘과 기존의 LSM과 VEM의 성능 분석을 위해 Matlab을 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다. VLC용 LED는 두 개가 고려되었고, LED는 각각 (2m, 2.5m, 3.5m), (3m, 2.5m,

3.5m)에 위치하고 있다. 그리고 기존의 VEM을 사용하는 실내위치추정 알고리즘보다 성능의 우수함을 증명하기 위해 [2]에서 사용한 이미지 센서(APS-C type 6 Mega pixel)과 동일한 성능으로 시뮬레이션을 진행하였다. 스테레오 이미지 센서의 크기는  $23.7 \times 15.8 \text{mm}^2$ 이고, 두 이미지 센서의 중심사이 거리  $L$ 은 10cm이며 시뮬레이션 파라미터는 표 1에 정리되어 있다. 동작 범위는 이미지 센서의 FOV와 LED 배열 때문에 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$p = h \times \tan \varphi \quad (18)$$

$$r = p + (p - q) \quad (19)$$

여기서  $\varphi$ 는 이미지 센서의 FOV의 절반,  $q$ 는 LED 사이의 거리(1m),  $h$ 는 LED와 이미지 센서의 높이 차 (3.5m)를 나타낸다. 4개의 LED를 이용하는 방정식으로 실내위치를 추정하는 기존의 방법 LSM과 VEM은 측정범위는 대략  $1.8 \times 1.8 \text{m}^2$ 이다. 본 논문에서 2개의 LED를 사용하는 방정식으로 실내위치를 추정하므로, LED가 수직 또는 수평으로 최소 1m의 간격으로 배치된다고 했을 때 대략  $2.8 \times 1.8 \text{m}^2$ 이다.

표 1의 시뮬레이션 환경을 기반으로 본 논문에서 제안하는 알고리즘과 [2]에서 제안한 LSM과 VEM을 사용한 알고리즘의 성능을 분석하였으며, 누적분포함수(cumulative distribution function)를 통해 제안하는

표. 1 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation Parameters

Parameter		Value
Envi ron men ts	Positioning area	$1.8 \times 1.8 \text{ m}^2$
	Vertical distance between image sensor and LED array	3.5m
	Distance between adjacent positioning in x-axis	1cm
	Distance between adjacent positioning in y-axis	1cm
	Total estimating position	32761
Tx	Distance between two LEDs	1m
	The number of LED transmitter	2
Rx	Image sensor dimension	$23.7 \times 15.8 \text{mm}^2$
	FOV	$45^\circ$
	Focal length of lens	2.5cm
	Distance between center of two lenses	10cm

알고리즘의 측위 오차 분포를 확인한다. 이때 측위 오차는 각 축의 유클리드 거리(Euclidean distance)를 이용해 아래와 같이 계산한다.

$$E_{position} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad (20)$$

### 3.2 측위 성능 분석

그림 6은 해상도를 600에서 3000까지 200간격으로 증가시키며, 본 논문에서 제안하는 알고리즘과 [2]에서 제안한 LSM과 VEM을 사용한 알고리즘을 이용한 측위 오차 그래프를 나타내고 있다. 표 2는 해상도 변화에 따른 측위 오차의 평균과 표준 편차 정보를 나타낸다. 그림6과 표2에서 볼 수 있듯이 LSM를 사용하는 경우는 모든 해상도에서 나머지 두 방법에 비해 오차와 표준편차가 크게 발생한다. 그 이유는 LSM를 사용하는 경우, 4개의 LED가 같은  $z$ 평면에 있으면 불안정한 식이 되므로 4번째 LED  $z$ 축에 작은 값을 더해줌으로써 실내위치를 추정한다. 따라서  $z$ 축에 대한 오차가 크게 발생하여, 측위 오차가 크게 나타난다. VEM를 사용하는 경우는 해상도가 1000에서 측위 오차가 31cm로 가장 컸으며, 해상도가 2800에서 1.07cm로 가장 작은 평균 측위 오차를 보인다. 반면에 제안하는 알고리즘을 사용하는 경우는 해상도가 800에서 최대 오차 3.2cm를 갖으며 해상도가 3000에서 1.41cm로 가장 작은 평균 측위 오차를 보인다. 이를 통해, 제안하는 알고리즘은 해상도의 변화에 따라 약 1.79cm의 차이를 나타내고, VEM를 사용하는 경우는 차이가 18.23cm로 보다 큰 폭을 갖을 것을 알 수 있다.

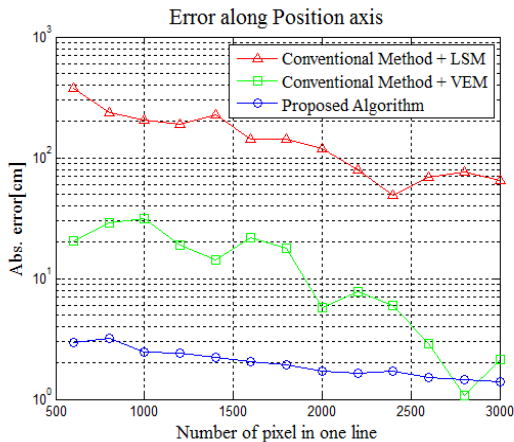


그림 6. 기존의 방법과 제안한 알고리즘의 평균오차.  
Fig. 6. Mean positioning error of conventional method and proposed algorithm

그림 7은 해상도가 3000인 경우의 오차 누적 분포를 통해 제안하는 알고리즘의 세부 오차 정보를 보여준다. 제안하는 알고리즘을 사용하는 경우는  $z$ 축 오차 분포가 다른 축의 오차에 비해 크게 나타난다. 그 이유는 식 (13)-(15)를 살펴보면,  $x, y$ 축의 위치 추정은 각각 축과 관련된  $u-v$  평면의 좌표를 이용해 계산되는 반면에  $z$ 축의 위치 추정은 다른 축에 의존하기 때문이다. 또한 그림 7을 통해 측위 오차가 1cm 미만인 경우는 약 53%, 2.5cm 미만인 경우가 약 90%를 차지하고 최대 4.36cm의 오차로 실내위치를 추정함을 알 수 있다.

그림 8은  $\alpha_r$ 을  $-180^\circ$  에서  $175^\circ$  까지  $5^\circ$  씩 증가시키면서 해상도의 변화에 따른 측위 오차 정보를 보

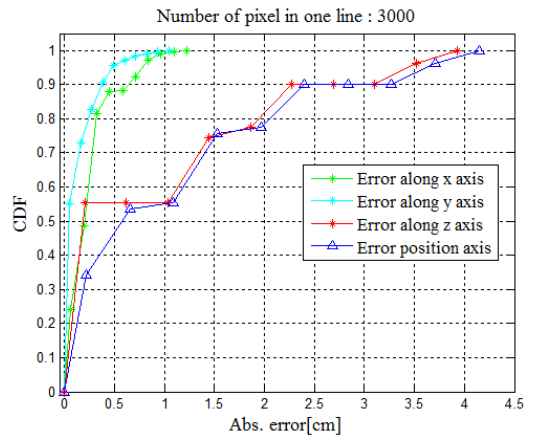


그림 7. 해상도가 3000에서 측위 오차의 누적 분포 함수  
Fig. 7. CDF of positioning error for 3000 resolution.

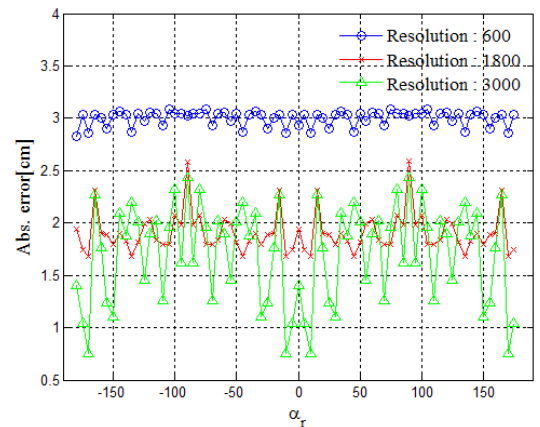


그림 8. 제안하는 알고리즘의  $\alpha_r$ 에 따른 평균 측위 오차  
Fig. 8. mean positioning error of proposed algorithm with  $\alpha_r$

표. 2 해상도 변화에 따른 평균 측위 오차 및 표준편차.  
Table 2. Average positioning error and standard deviation with Number of pixel in one line(cm)

Number of pixel in one line		600	1200	1800	2400	3000
Conventional +LSM	Avg	361.4	180.9	134.5	50.8	57.15
	Std	147.8	150.4	62.37	46.32	33.92
Conventional +VEM	Avg	20.36	18.93	17.88	5.98	2.13
	Std	26.84	15.23	9.58	7.94	4.71
Proposed Algorithm	Avg	2.93	2.39	1.94	1.7	1.41
	Std	2.64	1.15	0.9	1.22	1.13

여준다. 모든 그래프가 0° 에 좌우 대칭이며, -90° 와 90° 에서 상대적으로 큰 오차를 보인다. 하지만 제안하는 알고리즘은 각도에 상관없이 약 4cm 이내의 낮은 평균 측위 오차를 갖는다. 또한 평균 측위 오차는 각도의 변화보다는 해상도에 많은 영향을 받음을 확인할 수 있다. 이와 같이 기존의 LSM, VEM 방법을 사용하는 경우와 제안하는 알고리즘의 성능을 분석한 결과, 제안하는 방안은 LSM 방법보다 평균 98%, VEM 방법보다 평균 68%가 개선된다. 따라서 제안하는 알고리즘을 사용하는 경우 해상도의 변화에 영향을 받지 않고 고성능의 위치정보와 방위각 정보를 함께 제공하므로 다양한 애플리케이션의 영역에 응용이 가능하다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 가시광 통신 기능을 갖는 LED 조명과 스테레오 이미지 센서를 이용하여 3차원 위치정보와 방위각 정보를 포함하는 4-DOF 측위가 가능한 실내 위치 추정 알고리즘을 제안하였다. Matlab 시뮬레이션을 통해 제안하는 알고리즘과 기존의 방안인 LSM, VEM의 평균 측위 오차를 구했고, 제안하는 알고리즘이 기존의 방법보다 우수한 위치 정보를 제공할 수 있음을 보였다. 더불어 방위각 정보의 변화에 큰 영향을 받지 않으며, 제안하는 알고리즘의 평균 측위 오차는 해상도가 증가할수록 작아짐을 보였다. 그리고 본 논문에서 제안한 가시광 무선통신 기반의 측위 기법은 향후 위치 기반 서비스 환경에 적용 활용될 수 있을 것이라 기대된다.

추후 연구 내용은 고속의 이미지 정보처리를 통한 실시간 측위 정보제공 시스템과 CDM을 이용하여 양방향 통신이 가능한 실내 측위 시스템을 개발코자 한다.

#### References

- [1] Y. S. Park, Y. M. Hwang, Y. C. Song, and J. Y. Kim, "Performance of indoor positioning using visible light communication system," *J. Digital Contents Soc.*, vol. 5, no. 1, pp. 129-136, Feb. 2014.
- [2] M. S. Rahman and K. D. Kim, "Indoor location estimation using visible light communication and image sensors," *Int. J. Smart Home*, vol. 7, no. 1, pp. 99-113, Jan. 2013.
- [3] J. H. Hwang and M. S. Yoo, "The analysis on positioning error of recognition schemes of pilot signal in indoor TDoA positioning system using visible light communication," *J. KICS*, vol. 37B, no. 9, pp. 787-794, Sept. 2012.
- [4] M. Yoshino, S. Haruyama, and M. Nakagawa, "High-accuracy positioning system using visible LED lights and image sensor," *IEEE Radio and Wirel. Symp.*, pp. 439-442, Orlando, USA, Jan. 2008.
- [5] S. HeiBmeyer, L. Overmeyer, A. M. Haft, and W. AG. Hanover, "Indoor positioning of vehicles using an active optical infrastructure," *2012 Int. Conf. Indoor Positioning and Indoor Navig.*, Sydney, Aus, Nov. 2012.
- [6] S. I. Choi, "Quality analysis of wireless communication channel based on the shapes of LED-based interior lighting," *J. KICS*, vol. 37B, no. 7, pp. 606-612, Jul. 2012.
- [7] S. H. Cho, S. K. Han, C. W. Roh, S. S. Hong, and B. J. Jang, "Implementation of visible light communication system modulated by a switching driver circuit of lighting LED," *The J. Korea Electromagnetic Eng. Soc.*, vol. 21, no. 8, pp. 905-910, Oct. 2010.
- [8] J. B. Jeon and S. M. Kim, "Experimental demonstration of long-reach 2x2 multiple-input multiple-output (MIMO) visible light communications using an image sensor receiver," *J. KICS*, vol. 37B, no. 8, pp. 706-711, Oct. 2012.
- [9] Short-range Wireless Optical Communication



Using Visible Light, *IEEE P802.15.7*, 2011.

- [10] Y. U. Lee and Y. Kang, "Performance analysis and design of a carrier-based visible light communication circuit for LED IT service," *J. KICS*, vol. 38C, no. 9, pp. 787-796, Sept. 2013.

문 명 근 (Myoung-geun Moon)



2013년 8월: 전남대학교 전자  
컴퓨터 공학부 전자공학과  
학사

2013년 9월~현재: 전남대학교  
전자컴퓨터 공학부 전자공학  
과 석사과정

<관심분야> 유/ 무선 광통신,  
광가입자망, 신호처리

최 수 일 (Su-il Choi)



1990년 2월: 전남대학교 전자  
공학과 학사

1992년 8월: 한국과학기술원 전  
기및전자공학과 석사

1999년 8월: 한국과학기술원 전  
기및전자공학과 박사

1999년~2004년: 한국전자통신  
연구원 광대역통합망연구단 선임연구원

2004년 8월~현재: 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교  
수

<관심분야> 유무선 광통신, 차세대 광가입자망,  
QoS