논문 2011-48TC-3-9

# 실내 가시광 무선 통신 시스템의 수신 광도 변화 추적 기반 단말기 위치 및 수신각 추정 알고리즘

(Estimation Algorithm of Receiver's Position and Angle Based on Tracking of Received Light Intensity for Indoor Visible Light Communication Systems)

황 준 호\*. 이 지 수\*. 유 명 식\*\*

(Junho Hwang, Jisoo Lee, and Myungsik Yoo)

요 약

가시광 무선 통신은 반도체로 제조된 LED (light emitted diode)의 발광을 제어하여 데이터를 송신하고, 수광 소자인 PD (photo diode)를 통하여 데이터를 수신하는 차세대 무선통신 기술이다. 가시광 무선 통신 시스템의 전송 능력은 LED의 발광세기, PD의 수신 감도, 송수신기 간의 거리 및 송수신기가 이루는 수신각에 의해 결정된다. 특히, 수신기의 수직적 및 수평적이동에 따라 송수신기가 거리와 수신각의 변화가 발생하고, 이러한 변화는 수신기의 수신 감도에 영향을 주어 시스템의 전송능력이 저하될 수 있다. 이에 본 논문에서는 실내 가시광 무선 통신 시스템에서 LED AP (access point)의 통신 영역 내 수신광도에 따른 위치별 수신 광도 특성화 곡선과 주기적으로 측정된 단말기의 수신 광도 변화를 비교하는 특징을 가진 단말기의 위치와 수신각 추정 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘에 대한 성능 분석을 위해 모의실험을 수행하였고, 그 결과 수신 광도 정보를 이용한 위치 및 수신각 추정이 가시광 무선통신 시스템의 성능을 향상 시킬 수 있음을 확인하였다.

### Abstract

Visible light communication system transmits data by controlling light emission of LED and receives data through photo detecter, which is considered as one of strong candidates of next generation wireless communication systems. The transmission capacity of visible light communication system depends on light intensity emitted from LED, sensitivity of PD, distance between transmitter and receiver, angle of incidence at the receiver. In particular, the receiver's vertical and horizontal movement changes distance between transmitter and receiver and angle of incidence, which may degrades transmission capacity of system. In this paper, we propose an estimation algorithm of receiver's position and angle based on tracking of received light intensity for indoor visible light communication systems. The performance evaluation of proposed algorithm confirms that the estimation algorithm of receiver's position and angle is quite important for visible light communication system to improve its transmission capacity.

Keywords: Visible light communication, Estimation, Received light intensity, Position, Angle

(School of Electronic Engineering,

Soongsil University)

접수일자: 2011년2월19일, 수정완료일: 2011년3월17일

#### I. 서 론

최근 무선 통신 기술의 급속한 발전을 통해 실내 환경에서 다양한 응용 서비스들이 제공되고 있다. 하지만 대부분의 실내 응용 서비스를 지원하는 무선 통신 기술

<sup>&#</sup>x27;정회원 \*\* 평생회원-교신저자, 숭실대학교 정보통신전 자공학부

<sup>※</sup> 본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0011275).

이 비면허 대역을 사용함에 따라 기기 간 주파수 간섭으로 인해 통신 신뢰성의 문제가 야기된다. 특히 기기간의 간섭으로 인해 기기의 고장이나 오작동이 발생하여 심각한 문제를 발생시킬 수 있는 병원, 항공 분야에서는 그 활용분야가 제한적이다. 이에 따라 WPAN (wireless personal area network) 통신 영역에서 기존무선 통신 기기와 간섭이 발생하지 않는 새로운 무선통신 기술의 개발 필요성이 대두되었고, 이를 위해 가시광선 대역을 이용하여 디지털 데이터를 전송하는 가시광 무선통신 기술(VLC; visible light communication)이 소개되었다[1].

가시광 무선 통신은 반도체 소자인 LED (light emitted diode)의 ON/OFF의 반복을 통한 빛을 발산하는 특징과 이를 제어하여 조명의 역할 뿐만 아니라 디지털 신호를 전송할 수 있다는 특징을 이용한 것이다. 즉, LED가 초당 수백 ~ 수천 번 이상의 ON/OFF를 반복할 경우 사람의 눈에 악영향을 주지 않고, 디지털 신호를 표현할 수 있다는 특징을 이용한 것이다.

또한 가시광 무선 통신 기술은 LED가 발산하는 빛이 도달하는 특정 영역에서만 데이터 인식이 가능하기때문에 자체적으로 보안성이 매우 뛰어나며, LED 수요증가와 가격 감소로 인해 조명 기기가 점차 LED로 변경되어가고 있다는 점에서 근거리 고속 통신을 위한 차세대 무선 통신 기술로 인식되고 있으며, IEEE 802.15.7 WG을 통해 표준화가 활발히 진행되고 있다<sup>[2]</sup>.

가시광 무선 통신 기술은 조명 기기가 설치된 곳이면 조명과 통신을 동시에 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히, 실내 환경에서는 기존 무선 기기간의 간섭이 발생하지 않고, 고속의 데이터 통신이 가능하기 때문에 실내 측위, VLAN (visible LAN), 박물관과 미술관 등에서 전시물에 대한 음성 및 영상 서비스를 제공하는 국부 방송 등의 다양한 서비스를 제공할 수 있다. 그림 1은 이러한 가시광 무선 통신 기술을 이용한 다양한 응용 서비스 종류를 도시하고 있다<sup>[3]</sup>.

이와 같은 가시광 무선 통신의 다양한 응용 서비스들을 보다 효과적이고, 안정적으로 제공하기 위해서는 통신 신뢰성을 향상시키는 것이 매우 중요하다. 더욱이가시광 무선 통신 시스템은 가시광을 통해 데이터를 전송하기 때문에 수신기에 수신되는 빛 세기가 가시광 무선 통신 시스템의 성능과 밀접한 관계를 갖는다. 특히, 송신기와 단말기가 반드시 LOS (line of sight) 환경에 있을 때 안정적인 통신 성능을 제공할 수 있으며, 통신



그림 1. 가시광 무선 통신 기반 응용 서비스 종류 Fig. 1. VLC applications.

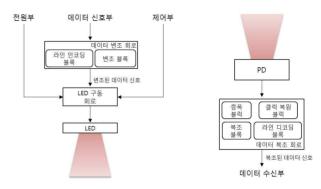


그림 2. 가시광 무선 통신 송신기와 수신기 구조 Fig. 2. Structures of VLC transmitter and receiver.

영역 내 수신 광도 (received light intensity)는 송신기와 수신기 사이의 거리와 PD로 유입되는 수신각에 따라 매우 급격하게 변화된다. 더욱이 수신기가 이동성을 가질 경우 수신기의 위치 및 수신각을 파악하는 것이 매우 어렵다.

이에 본 논문에서는 실내 가시광 무선 통신 시스템에서 LED AP (access point)의 통신 영역 내 수신 광도에 따른 위치별 수신 광도 특성화 곡선과 주기적으로 측정된 단말기의 수신 광도 변화를 비교하는 특징을 가진 단말기의 위치와 수신각 추정 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 관련 연구로서 가시광 무선 통신의 송수신 구조와 기본 채널환경 및 수신 광도의 감쇄 요인을 분석하고, Ⅲ장에서는 수신 광도 특성화 모델과 수신 광도 추적 기반의 단말기 위치 및 수신각 추정 알고리즘을 설명한다. 이어 Ⅳ장에서는 모의실험 환경 및 성능 평가 결과를 분석하고, 마지막으로 Ⅴ장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## Ⅱ. 관련 연구

### 가. 가시광 무선 통신의 송수신기 구조

가시광 무선 통신 시스템은 LED의 ON/OFF 반복을 제어하여 디지털 신호를 전송한다. 이를 위해서 가시광무선 통신에서 LED는 디지털 신호를 전송하는 송신기의 역할을 수행하며, 빛을 깜박임을 판별할 수 있는 PD가 수신기의 역할을 담당한다. 이러한 LED와 PD를 제어하면서, 무선 통신을 수행하기 위해서는 그림 2와 같은 송신기와 수신기의 기능 및 구조를 가져야 한다<sup>[3]</sup>.

이를 보다 자세히 살펴보면, 송신기의 경우 전원부, 데이터 신호부, 제어부로 구성되며, 단말기는 빛을 수광 하는 수광 블럭인 PD (photo diode)와 수신된 광 신호 를 복조하기 위한 데이터 복조 회로로 구성된다. 먼저 송신기의 전원부는 LED 구동 회로의 전원을 인가하여 LED의 ON/OFF에 사용되는 전력을 제공하며, 데이터 신호부는 외부에서 유입되는 디지털 신호를 데이터 변 조회로에 전달하여 데이터 변조 회로 내 라인 인코딩 블록과 변조 블록을 통해 데이터를 변조하는데 사용된 다. 이렇게 변조된 데이터 신호는 제어부에 연결된 LED 드라이버를 통해 LED를 통해 전송될 수 있도록 제어된다. 반면, 수신기의 경우 PD를 통해 송신기의 가 시광원인 LED가 전송한 광원을 수신하고, 수신된 광 신호는 데이터 복조 회로 내 증폭 블록, 클럭 복원 블 록, 복조 블록, 라인 디코딩 블록을 거쳐 데이터 수신부 로 전달한다.

# 나. 가시광 무선 통신 시스템의 채널 모델

가시광 무선 통신 시스템은 LED를 이용한 광 신호를 통해 무선 영역의 데이터 전송을 수행하기 때문에이와 유사한 적외선 통신 채널 모델을 사용한다<sup>[4]</sup>. 이를보다 자세히 살펴보면, 먼저 수신 광도  $P_r$ 은 수식 1과같이 송신 광도  $P_t$ 와 LOS 모델의 경로 손실  $H(0)_{LOS}$ 의곱에 의해 결정된다.

$$P_r = P_t \cdot H(0)_{LOS} \tag{1}$$

이때,  $P_t$ 는 LED 조명의 밝기로 표현되는데, 이러한 광도는 식 2와 같이 계산되며, 광속  $\Phi$ (luminous flux)는 식 3과 같이 계산된다.

$$I = \frac{d\Phi(V)}{d\Omega(R)} \tag{2}$$

$$\Phi = K_m \int_{380}^{780} V(\lambda) \Phi_e(\lambda) d\lambda \tag{3}$$

이때,  $V(\lambda)$ 는 표준 감도 특성 (standard luminosity curve)을 의미고,  $K_m$  은 최대 가시 광도를 의미하는데 최대 가시 광도는 가시광 파장이 555nm일 때 최대 683lm/W의 값을 갖는다. 이에 따라 LED 조명에서 송출되는 광 전력 세기는 식 4와 같이 계산된다. 이때  $\Phi_e$ 는 LED의 에너지 광속을 의미하며,  $\Lambda_{\max}$ 와  $\Lambda_{\min}$ 은 PD가 감지할 수 있는 파장의 민감도를 나타낸다. 따라서 LED 에너지 총 광속을  $2\pi$ 영역으로 적분하면, 모든 방향으로 발광되는 LED 전력의 세기를 측정할 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$P_t = \int_{A_{\min}}^{A_{\max}} \int_{0}^{2\pi} \Phi_e d\theta d\lambda \tag{4}$$

한편, LOS 광-무선 채널의 경로 손실을 의미하는  $H(0)_{LOS}$ 는 식 5와 같이 계산된다.

$$H(0) = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) T_s(\psi) g(\psi) \cos \psi, & 0 \le \psi \le \Psi_c \\ 0, & \psi > \Psi_c \end{cases} \tag{5}$$

이때,  $T_s(\psi)$ 와  $g(\psi)$ 는 각각 광 필터 이득, 집광 이득이고,  $\Psi_c$ 는 수신 PD의 FOV (field of view), A는 수신 PD 검파 면적, d는 LED AP의 중심과 단말기의 중심을 연결하는 직선거리, m은 Lambertian 반사 계수를 의미한다. 또한  $\phi$ ,  $\psi$ 는 각각 d와 기준으로 송신기와 단말기의 중심축이 이루는 각도를 의미한다. 이때 m과  $g(\psi)$ 는 각각 수식 6과 7에 의해 정의된다. 이때 n은 수신 PD의 반사 계수이다. 그림 3은 가시광 무선 통신 시

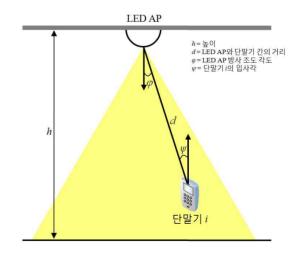


그림 3. 가시광 무선 통신 채널 모델 Fig. 3. Channel model of VLC.

스템의 채널 모델을 설명하기 위한 파라미터 개념을 하고 있다.

$$m = -\frac{\operatorname{In} 2}{\operatorname{In} \left(\cos \Phi_{1/2}\right)} \tag{6}$$

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2 \Psi_c}, 0 \le \psi \le \Psi_c \\ 0, & \psi > \Psi_c \end{cases}$$
 (7)

이와 같은 채널 모델을 토대로 기존 연구에서는 LED AP와 단말기의 위치 변화에 따라 발생하는 경로 손실 정도를 분석하였다<sup>[6~7]</sup>. 이를 위해 그림 4와 같이 수직적 이동 모델과 수평적 이동 모델을 제안하였고. 단말기 이동에 따른 수신 광도 변화를 측정하였다. 그 결과 수직적 이동 모델의 경우 50cm에서 225cm로 이 동할 경우 약 13dB의 광 전력 세기의 감쇄가 발생하는 데, 이는 10cm 이동 시 평균 약 0.8dB의 감쇄가 발생하 였다. 하지만 수평적 이동 모델의 경우 수직 거리 100cm에서 수평으로 0에서 20cm 까지는 약 0.5dB 그 리고 20cm에서 50cm로 이동할 경우 약 4.5dB의 광 전 력 세기의 감쇄가 발생하였다<sup>[6]</sup>. 이러한 수평 이동 시 구간별 차이가 발생하는 원인은 단말기인 PD의 민감도 특성에 의해 발생하는 것이다. 그림 5는 가시광 무선 통신 시스템의 단말기인 PD<sup>[8]</sup>의 민감도 특성을 도시하 고 있다.

그림에서 볼 수 있듯이 PD의 유입각  $\psi$ 가  $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 일 경우 거의 손실 없이 빛의 ON/OFF를 정확히 인식할 수 있다. 그러나 유입각이  $20^{\circ}$ 를 초과하면서 인식률이 점차 떨어지고,  $40^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 사이일 때 민감도가 매우급격하게 저하되는 것을 볼 수 있다. 따라서 수평적 이동 시 PD로 유입되는 수신각이 거리 이동 보다 수신

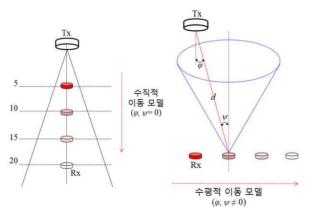


그림 4. 단말기 이동 모델

Fig. 4. Receiver's movement model.

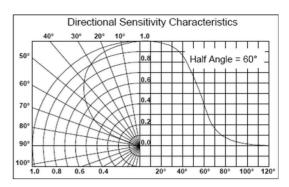


그림 5. PD의 민감도 특성

Fig. 5. Sensitivity characteristics of PD.

광도 변화에 더 큰 영향을 끼치기 된다. 이와 같은 실내 가시광 무선 통신 시스템은 조명 영역 내에서 거리와 단말기의 수신각에 의해 수신 광도의 변화가 매우 급격 하게 변화하기 때문에 신뢰적인 통신을 수행하기 위해 서는 단말기의 위치와 단말기의 수신각을 토대로 채널 상태를 파악하는 것이 중요하다.

이에 본 논문에서는 실내 가시광 무선 통신 환경에서 LED AP와 단말기 사이의 수신 광도 특성화 곡선을 이용하여 단말기 *i*로부터 주기적인 수집되는 수신 광도 정보와 비교를 통해 단말기의 위치와 수신각을 추정할 수 있는 알고리즘을 제안하다.

## Ⅲ. 단말기 위치 및 수신각 추정 알고리즘

본 논문에서 제안하는 단말기 위치 및 수신각 추정 알고리즘은 LED AP와 단말기 위치 추정 메시지 교환 과정, 수신 광도를 기반으로 단말기의 위치와 수신각 변화에 따른 수신 광도 특성화 곡선 산출 과정, 단말기 의 주기적인 수신 광도 측정 정보를 이용한 위치 및 수 신각 추정 과정 그리고 수신각 변화 통보 과정으로 구 성된다.

#### 가. 실내 가시광 무선 통신 시스템 구조

본 논문에서 고려하고 있는 실내 가시광 무선 통신 시스템 환경은 LED AP가 단말기로 데이터를 전송하는 하향 링크와 단말기가 LED AP로 데이터를 전송하는 상향 링크 전송이 가능하다. LED AP는 하나 이상의 LED 소자가 결합되어 실내조명으로써의 역할도 병행하는데, LED AP의 통신 영역은 LED 소자가 가진 조명 영역에 따라 결정된다.

#### 나. 단말기 위치 및 수신각 추정 알고리즘

## (1) 위치 추정 메시지 교환 과정

단말기 위치 및 수신각 추정 알고리즘을 적용하기 위해서는 본 논문에서는 데이터 전송 이외의 별도의 위치추정 메시지를 사용하여 단말기의 수신 광도 정보를 획득한다. 이를 위해 LED AP는 자신의 ID와 송신 광도 정보 그리고 측정 주기 정보가 담긴 위치 추정 요청 메시지를 단말기에게 전송하고, 요청 메시지를 전송받은시간 t를 기준으로 수신 광도 측정 주기  $\Delta t$  마다 측정샘플 수 k까지 수신 광도를 수집하여, 위치 추정 응답메시지를 LED AP로 전송한다. 그림 6은 이러한 위치추정 메시지 교환 과정의 예를 도시하고 있다.

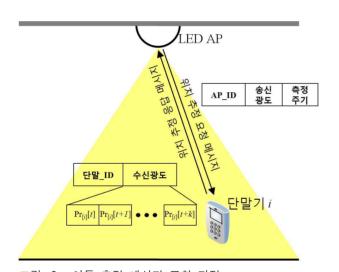


그림 6. 이동 추정 메시지 교환 과정 Fig. 6. Exchange procedure of position tracking messages.

### (2) 수신 광도 특성화 곡선 산출 과정

수신 광도 특성화 곡선은 LED AP 통신 영역 내에서 단말기의 모든 위치 후보와 각 위치에서 단말기 수신 각도의 변화에 따른 수신 광도 변화 추이를 정리한 것이다. 이러한 특성화 곡선을 산출하기 위해 먼저, LED AP는 단말기 i로부터 위치 추정 응답 메시지를 전송받은 후  $Pr_{[i]}[t]$ 를 토대로  $\phi$ 와  $\psi$ 가 0인 수직적 이동 모델에서 단말기 i의 후보 위치  $d_{\psi=0}$ 를 추정한다. 이후 단위 각도 변화에 따라 수식 8을 이용하여 거리  $d_{\psi=단위각}$ 를 추정한다.

$$d_{\psi=\frac{1}{2};\mathbb{P}^2} = \sqrt{\frac{(m+1)A\cos^m(\phi)\,T_s(\psi)g(\psi)\cos\psi}{2\pi P_r}} ~\bullet~ P_t$$

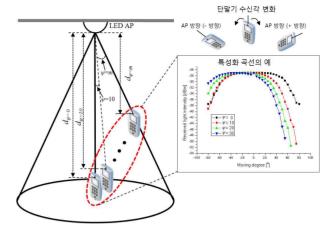


그림 7. 특성화 곡선 산출 예

Fig. 7. Example of characteristics curve computation.

이때 단위 각도는  $Pr_{[i]}[t]$ 값은 동일하면서 단위 각도 만큼 단말기가 이동하였을 때의 위치를 말한다.

이후 각 단위 각도 변화에 따라 계산된 위치에서 단말기의 수신각을 LED AP 방향에 따라 움직였을 경우와 반대로 움직였을 때 수신 광도 변화 추이를 산출한다. 이때 수신각의 방향은 LED AP 방향으로 움직일경우 +방향, 반대 방향으로 움직일경우 -방향으로 설정하였다. 그림 7은 이러한 LED AP에서 단말기 i의 수신 광도 특성화 곡선 산출의 개념을 도시하고 있다.

한편, 단위 각도는 추정 거리의 오차와 밀접한 관계가 있으며, 단위 각도 크기에 따라 발생하는 오차를 양자화 오차 (quantization error)라 한다. 따라서 위치 추정 기반 서비스를 제공할 경우 응용 서비스 오차 허용치에 따라 단위각을 설정하는 것이 요구된다.

## (3) 위치 및 수신각 추정 과정

위치 및 수신각 추정 과정은 단말기가 수신 광도 측정 주기  $\Delta t$ 를 기반으로 매 주기마다 측정한 다수의 샘플 수신 광도 정보와 각 샘플의 수신 광도 차이를 이용하여 수신각을 산출하는 과정과 수신 광도 특성화 곡선 과의 일치율을 비교하여 단말의 위치와 수신각을 추정하는 과정으로 구성된다.

먼저, 수신각 산출 과정은  $\Delta t$ 마다 측정한 k개의 샘플 수신 광도 정보를 이용하여  $Pr_{[i]}[t+1] - Pr_{[i]}[t]$ 와 같이 k-1개 만큼 매  $\Delta t$ 마다 변화된 수신 세기를 계산하고, 식 9를 이용하여  $\Delta t$  마다 변화된 각도를 계산한다. 이때  $\Delta t$ 를 계산하는 두 개의 샘플 간에는 거리 변화가 발생하지 않는다고 가정한다.

(286)

(8)

$$\cos \psi = \sqrt{\frac{2\pi d^2 P_r}{(m+1)A T_s(\psi)g(\psi)} \cdot \frac{1}{P_t}}$$
 (9)

이후 수신각 산출 과정을 통해 계산된 단말기 i의 거리 변화와 수신각 변화 정보를 앞서 LED AP가  $Pr_{[i]}[t]$  값을 기반으로 산출한 수신 광도 특성화 곡선에 대입하여 가장 높은 일치율을 갖는 특성화 곡선을 선정하는 위치 및 수신각 추정 과정을 수행한다. 이때 단말기의 위치는 앞서 일치율이 가장 높은 특성화 곡선의 산출한 거리  $d_{\psi=d_{\overline{\partial}}$ 단위각</sub>가 되며, 단말기의 수신각은 해당 위치가 LED AP와 이루는 각도를 수신각  $\psi$ 으로 산정한다.

이러한 일치율은 단위 각도를 기반으로 산출된 특성화 곡선 수신 광도와 단말기 i의 측정 수신 광도 샘플의 차이를 구하고, 각 샘플별 차이를 산술 평균한 값을 의미한다. 즉, 일치율은 산술 평균값이 작을수록 높은 일치율을 가지고 있다고 할 수 있다.

이와 같은 추정 과정에서  $\Delta t$ 는 추정 거리 오차를 결정하는 중요한 요소이다. 즉,  $\Delta t$ 의 작을 경우 단말기의 위치 이동을 세밀하게 측정하여 수신 광도 변화 특성을 명확하게 파악할 수 있지만,  $\Delta t$ 가 증가할 경우 수신 광도의 변화 특성을 파악하기 어렵다. 더욱이 단말기가 높은 이동성을 가질 경우  $\Delta t$ 는 추정 거리 오차에 더영향을 끼치게 된다.

# (4) 수신각 변화 통보 과정

수신각 변화 통보 과정은 단말기의 위치 및 수신각 추정 과정을 통해 파악된 위치에서 수신 광도 향상을 위해 사용된다. 이러한 수신 광도 향상은 앞서 단말기의 추정된 수신각만큼 LED AP 방향으로 단말기를 기울여 수신각 ψ를 0에 근접시킬 경우, PD 민감도 특성으로 인해 손실되는 수신 광도를 최소화할 수 있다는 점을 이용한 것이다. 따라서 수신 광도는 거리에 따른 영향만을 받게 되고, 이를 기반으로 수신 성능 향상 효과를 얻을 수 있다. 이에 따라 LED AP는 해당 단말의 추정 위치를 통해 산출된 수신각 정보를 단말에게 전송한다.

## Ⅳ. 모의실험

본 논문에서 제안하는 실내 가시광 무선 통신 시스템의 단말기 위치 및 수신각 추정 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 다음과 같은 실내 가시광 무선 통신 환경

표 1. 모의실험 파라미터 Table 1. Simulation parameters.

파라미터	값
가로 × 세로 × 높이 [ <i>cm</i> ]	115 × 115 × 200
단말기 $FOV(\Psi_c)$	60
송신기 FOV (Φ)	120
송신기 LED 개수	9
송신 광도 $(P_t)$ $[m W]$	51
필터 이득 $(T_s(\psi))$	1
집광 이득 $(g(\psi))$	1
단위 각도 [deg]	5
수신 광도 측정 주기 [msec]	1, 3, 5
검파 면적 A (mm²)	9.8
단말기 이동 속도 $(m/\text{sec})$	0.0 ~ 2.0
수신각 변화 / msec [deg]	3 ~ 11
수신 광도 측정 샘플 개수 (k)	1 ~ 5

을 고려하였다. 먼저, LED AP는 다수의 LED가 배열 격장 형태로 구성되며, 단말기는 직선 방향의 이동성을 가지고 있으나, 무작위 (random)로 위치한다고 가정하 였다.

이와 더불어 수신 광도 특성화 곡선을 산출하기 위한 단위 각도는 5도로 설정하였으며, 단말기의 이동 속도를 0.0m/sec ~ 2.0m/sec로 설정하였다. 이때 0.0m/sec는 총 측정 주기 동안은 단말기의 이동이 발생하지 않는 상태를 의미하며, 1.3m/sec는 실내 환경에서 성인이 걷는 속도이다. 또한 수신 광도 측정 주기를 1ms ~ 5ms 까지 변화시켰으며, 단말기가 수신 광도 측정 샘플의 개수는 1 ~ 5개를 사용하였다. 또한 1msec당 단말기 수신각은 3 ~ 11도 까지 변화할 수 있다고 가정하였다. 이와 같이 본 논문에서 사용한 모의실험 파라미터는 표 1과 같다.

제안 알고리즘의 성능 분석을 위해 단말기가 고정된 위치를 갖는 환경과 일정 속도로 이동성이 발생하는 환 경에서 수신각 변화, 수신 광도 측정 주기 그리고 샘플 수 변화에 따라 추정 거리 오차를 분석하였다.

먼저 그림 8은 단말기가 고정된 위치를 갖는 환경에서 수신각 변화에 따른 추정 거리 오차를 측정한 것이다. 이때 수신 광도 측정 주기는 1msec으로 설정하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 단말기의 수신각 변화가 1msec 당 7도씩 변화할 경우 약 30mm의 추정 거리 오차가 나타났으며, 11도 증가할 경우 약 350mm의 측정거리 오차가 발생하였다.

그림 9는 수신 광도 측정 주기 변화에 따른 추정 거리 오차를 측정한 것이다. 이때 수신각 변화는 1msec

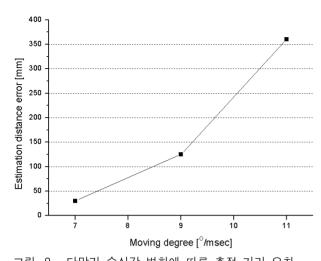


그림 8. 단말기 수신각 변화에 따른 추정 거리 오차 Fig. 8. Estimation distance error with moving degree of device.

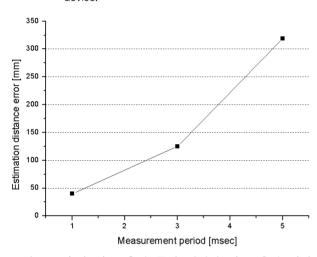


그림 9. 수신 광도 측정 주기 변화에 따른 추정 거리 오차

Fig. 9. Estimation distance error with measurement period.

당 3도씩으로 가정하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 하나의 수신 광도를 측정하는 주기인 △t가 증가할수록 추정 거리의 오차가 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 결과를 토대로 단말기의 위치가 고정된 상태에서도 수신 광도 측정 주기와 수신각의 변화가 추정거리 오차에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 따라서 단말기의 수신각 변화가 클수록 수신 광도 측정 주기는 짧아야 추정 거리 오차를 줄일 수 있다.

그림 10은 단말기 이동 속도 변화에 따라 수신 광도 측정 주기를 변화시켰을 경우 추정 거리 오차를 분석한 것이다. 이때 측정 샘플의 개수는 5개이다. 수신 광도 측정 주기는 단말기가 이동성을 가질 경우 고정 상태보다 추정 거리 오차에 더 큰 영향을 끼친다. 이는 이동

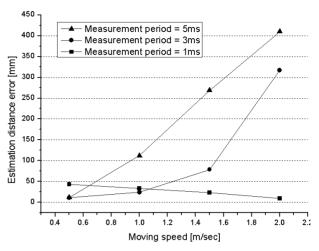


그림 10. 단말기 이동 속도와 측정 주기 변화에 추정 거 리 오차

Fig. 10. Estimation distance error with moving speed and measurement period.

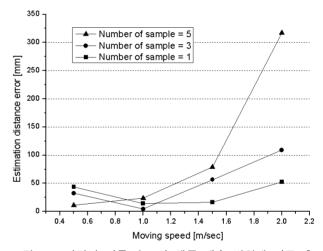


그림 11. 단말기 이동 속도와 샘플 개수 변화에 따른 추 정 거리 오차

Fig. 11. Estimation distance error with moving speed and number of sample.

성이 큰 상태에서 측정 주기가 길 경우 샘플링 되는 수 신 세기 정보로는 그 이동성을 따라가지 못하기 때문인 데, 결과에서도 볼 수 있듯이 측정 주기를 5ms로 할 경 우 단말기의 이동 속도가 증가할수록 추정 거리 오차가 점점 커지는 것을 볼 수 있다.

그림 11은 수신 광도 측정 주기는 3msec로 고정하고, 단말기의 이동 속도와 수신 광도 측정 샘플의 개수변화에 따른 추정 거리 오차를 분석한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 단말기의 이동 속도가 작을 경우에는샘플 개수에 따른 영향을 크지 않으나 단말기 이동 속도가 증가할 경우 샘플의 개수에 따른 영향이 커지는것을 확인할 수 있다.

## Ⅴ. 결 론

가시광 무선 통신은 LED의 발광을 제어하여 데이터를 전송하고, PD로 데이터를 수신하는 차세대 무선 통신 기술이다. 하지만 실내조명의 역할로 인해 송신 세기의 제한을 가지고 있으며, 이에 따라 전송 거리와 단말기의 수신각에 따라 수신 성능이 매우 급격하게 변화한다. 이에 단말기의 채널 상태를 고려하여 데이터 전송 및 오류 정정 기술을 사용하는 것이 바람직하다. 이를 위해 가장 먼저 선행되어야 하는 기술이 단말기의 위치와 수신각을 정확히 추정하는 기술이다.

이에 본 논문에서는 단말기가 보고하는 수신 광도 정보를 토대로 LED AP가 수신 광도 특성화 곡선을 산출하고, 주기적으로 단말기의 수신 광도 변화 추적을 통해 단말기의 위치와 수신각을 추정할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 모의실험을 통해 단말기의 위치가 고정된 환경과 이동성을 가지는 환경에서 수신 광도 측정주기, 수신각 변화, 측정 샘플 수 등에 따른 추정 거리오차를 측정하였다. 그 결과 실내 가시광 무선 통신 시스템에서 수신 광도를 이용한 위치 및 수신각 추정 기술의 성능과 수신각 변화를 통해 성능 향상이 가능함을입증하였다. 이러한 위치 및 수신각 추정 기술의 성능과 수신각 변화를 통해 성능 향상이 가능함을입증하였다. 이러한 위치 및 수신각 추정 알고리즘은실내 가시광 무선 통신 시스템에서 통신 신뢰성을 향상시킬 수 있으며, 이를 기반으로 다양한 응용 서비스 지원에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama and M. Nakagawa, "Indoor Visible Light Data Transmission System Utilizing White LED Lights," *IEICE Trans. Communication*, vol. E86-B, pp.2440-2454, 2003.
- [2] http://www.ieee802.org/15
- [3] 김대호, 임상규, 강태규, "LED 조명 통신 융합 가 시광 무선통신 응용 서비스 모델," 한국통신학회지 정보와 통신, vol. 25, no.5, pp. 3-9, 2009년 4월
- [4] J. M. Kahn and J. R. Barry, "Wireless Infrared Communications," in proc. of IEEE, vol. 85. pp. 265–298, Feb. 1997.
- [5] T. Komine, M. Nakagawa, "Integrated system of white LED visible-light communication and power-line communication," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 49, no. 1, pp.71–79, Feb. 2003.

- [6] H. Elgala, R. Mesleh and H. Haas, "Indoor Broadcasting via White LEDs and OFDM," *IEEE Trans. on Comsumer Electronics*, vol. 55, no.3, pp.1127–1133. Aug. 2009.
- [7] K. Cui, G. Chen, Z. Xu and R. D. Roberts, "Line-of-sight Visible Light Communication System Design and Demonstration," in proc. of CSNDSP, pp.621-625. Jul. 2010.
- [8] http://www.alldatasheet.com (SLD-70BG2)

## - 저 자 소 개 -



황 준 호(정회원)

2004년 숭실대학교 정보통신전자 공학부 (공학사)

2006년 숭실대학교 정보통신전자 공학부 (공학석사)

2006년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 (박사과정)

<주관심분야 : OBS, Optical Access Network, Wireless MAC Protocol, Visible Light Communication>



이 지 수(정회원)

2009년 숭실대학교 정보통신전자 공학부 (공학사) 2009년 9월~현재 숭실대학교

2009년 9월~먼재 궁설대막고 정보통신전자공학부 석사과정

<주관심분야 : Wireless Mesh Network, Optimization, Visible Light Communication>



유 명 식(평생회원)

1989년 고려대학교 전자전산 공학과 (공학사)

1991년 고려대학교 전자공학과 (공학석사)

2000년 SUNY at Buffalo Dept. of EE (공학박사)

2000년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학 부 부교수

<주관심분야 : Optical Network, Optical Access Network, Wireless MAC protocol, Ad-hoc routing protocol, Visible Light Communications>