

가시광 무선 통신을 이용한 TDoA 기반 실내 측위 시스템에서 파일럿 신호 인식 방식에 따른 측위 성능 분석

황 준 호*, 유 명 식^o

The Analysis on Positioning Error of Recognition Schemes of Pilot Signal in Indoor TDoA Positioning System using Visible Light Communication

Junho Hwang*, Myungsik Yoo^o

요 약

가시광 무선 통신 기술은 LED와 PD를 이용한 차세대 무선 통신 기술로서, LOS 통신 채널 확보의 용이성과 저렴한 인프라 구축 비용의 장점을 토대로 실내 측위 시스템 개발에 활발한 연구가 진행되고 있다. 하지만 기존 가시광 무선 통신 기반 측위 시스템은 복잡한 측위 계산 및 별도의 센서 설치에 따른 구축 비용이 증가하는 문제가 발생하였다. 이에 본 논문에서는 실내 가시광 무선 통신 환경에 TDoA 측위 기법을 적용하여 별도의 장치 없이 측위 시스템 구축이 가능한 VLC-TDoA 시스템을 제안한다. 또한 측위 시스템 운용에 필요한 LED 패널 제어 절차 및 단말기의 파일럿 신호 인식 방법을 제안한다. 이와 더불어 모의실험을 토대로 VLC-TDoA 측위 시스템의 측위 가능성 및 파일럿 신호 인식 방법에 따른 측위 오차를 분석하였다.

Key Words : Visible Light Communication, Indoor Positioning System, LED, Pilot Signal, TDoA

ABSTRACT

The visible light communication is considered as a next generation communication technology, when utilizes LED and PD for communication. Since it is easy to provide LOS communication environment along with cheap deployment cost, the positioning system based on VLC has been actively studied. However, the existing positioning system using VLC requires a complex computation and an additional deployment cost due to sensors for example. In this paper, we propose a new positioning system based on VLC which does not require additional complexity and the cost. In addition, the procedure for operating LED panels for positioning and the recognition schemes of pilot signal are proposed. The performance of recognition schemes of pilot signal is analyzed through the computer simulations.

I. 서 론

가시광 무선 통신 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 차

※본 논문은2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0011275)

♦ 주저자 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 통신망 설계 및 분석 연구실, jhwang@ssu.ac.kr, 정회원

o 교신저자 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 통신망 설계 및 분석 연구실, myoo@ssu.ac.kr, 중신회원

논문번호 : KICS2012-07-325, 접수일자 : 2012년 7월 19일, 최종논문접수일자 : 2012년 9월 4일

세대 무선 통신 기술이다^{1,2)}.

이와 같은 가시광 무선 통신 시스템의 특징에 따라 사용자의 위치 정보를 토대로 다양한 서비스를 제공할 수 있는 위치 기반 서비스에 활용될 가능성이 매우 높다. 특히, 넓은 범위의 서비스 영역을 가진 국부 방송 서비스를 시작으로 실내 네비게이션(Navigation) 서비스, 정밀 측위를 토대로 로봇 제어까지 다양한 위치 기반 서비스 분야에 활용 가능하다³⁾.

일반적으로 측위 시스템은 송신된 신호의 세기를 이용하는 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 기법, 유입 각도를 이용한 AoA(Angle of Arrival) 그리고 전송 시간을 이용한 ToA(Time of Arrival) 기법과 TDoA(Time Different of Arrival) 기법 등이 사용된다. 하지만 실내 환경에서는 송신 신호의 NLOS(Non-Line of Sight) 문제, 3개 이상의 수신 AP가 필요한 가청성(Hearability) 확보의 어려움, 동기화 오차 등의 문제로 인해 측위 정확도 보장되지 못한다. 따라서 기존의 측위 기법들은 WPAN(Wireless Personal Area Network) 기술로 사용되는 Zigbee나 RFID 그리고 적외선 기술 등과 결합된 Active Bats, RADAR, UWB 측위 시스템에 개발되었다. 하지만 기존 측위 시스템은 대부분 중앙 시스템이 사용자의 위치를 추적하는 구조를 가지고 있어, 중앙 시스템 계산에 필요한 불필요한 통신 오버헤드, 고가의 중앙 시스템, 측위 시스템 구축 및 유지 관리의 어려움 등이 존재한다⁴⁾. 또한 ISM 대역을 사용하는 복잡한 통신 기기가 공존하는 실내 환경에서의 통신 간섭으로 인한 문제가 발생한다.

이러한 기존의 무선 통신 기술 문제점을 해결하기 위해 LOS 통신 환경의 보장이 용이하며, 기기간 간섭이 없고, 조명 시스템과 연계되어 저렴한 통신 인프라 구축이 가능한 가시광 무선 통신 기술을 이용하여 측위 시스템 개발을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다⁵⁻⁹⁾.

먼저 [5]에서는 가시광 무선 통신 시스템의 LOS 특성을 이용하여 조명 장치마다 조명식별번호(ID)를 부착하고, 통신 상황에서 조명 ID와 단말기를 맵핑시켜 위치를 판단하는 기술이며, [6]는 소형 이동 로봇을 이용하여 천장에 RGB 색상을 가진 LED 패널을 카메라를 통해 촬영하고, 이미지 센서와 가속 센서를 이용하여 로봇의 이동 및 위치를 측정하는 시스템을 개발하였다. 또한 [7]에서는 단말기 내부에 6개의 센서(방위각, 기울기 센서)와 조명 ID를 결합하여 단말기의 위치를 추정하였으며, [8]에서는

9개의 PD를 원형으로 배치한 수신기를 이용하여 천장에서 송출한 빛의 신호가 유입되는 각도에 따른 측위 시스템을 개발하였다. 마지막으로 [9]에서는 두 개의 이미지 센서에 유입된 LED 빛의 각도와 거리를 이용하여 실내 환경에서의 위치를 측정하였다.

하지만 조명 ID를 이용할 경우 조명 영역의 크기에 비례하게 측위 오차가 발생하며, 별도의 센서(이미지, 가속, 각도 센서)나 다수의 PD를 이용한 측위 시스템은 송수신 시스템 구축 비용 및 하드웨어적 복잡도 증가는 물론 LED 패널과 단말기 간의 유입각을 기반으로 하기 때문에 복잡한 측위 계산식을 사용하였다. 따라서 가시광 무선 통신 기술의 장점을 이용하여 정밀한 측위 정확도는 보장하면서 별도의 장비 없이 측위 시스템 제공할 수 있는 연구가 요구된다.

이에 본 논문에서는 측위 기술 중 실내의 다양한 측위 환경에 적용된 TDoA 기법을 가시광 무선 통신 환경에 적용하여 정밀한 측위 정확도 보장과 별도의 센서나 장비 없이 측위 시스템 구축이 가능한 VLC-TDoA 측위 기술을 제안하고, 측위 시스템 운용을 위한 시스템 구조 및 운용 방법 그리고 파일럿 신호(Pilot Signal) 인식 방법에 따른 측위 오차를 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 실내 가시광 무선 통신 시스템의 통신 환경 분석과 TDoA 기술 그리고 VLC-TDoA 시스템 개발 시 고려사항을 분석한다. 이어 3장에서는 본 논문에서 제안하는 VLC-TDoA 측위 시스템 구조 및 측위 방법에 대해 서술하고, 4장에서는 모의실험 및 성능 분석 결과를 서술한다. 마지막으로 5장에서는 향후 계획 및 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1. 실내 가시광 무선 통신 시스템의 통신 환경

실내 가시광 무선 통신 시스템의 통신 환경은 기존 적외선 통신 환경 분석 모델을 기반으로 설명될 수 있다. 특히 빛의 유무에 따라 0과 1을 구별해야 하는 통신 특성 상 수신된 빛의 수신 세기를 얼마나 정확히 구분할 수 있는지에 따라 통신 성능이 좌우될 수 있다. 일반적으로 실내 가시광 무선 통신 환경에서는 빛의 세기가 LOS(Line of Sight) 신호 성분과 NLOS(Non-Line of Sight) 신호 성분으로 구분된다¹⁰⁾.

먼저, LOS 신호 성분은 LED 송신기가 전송한 신호가 주변의 벽이나 다른 물체에 의해 반사되지 않고, 수신기인 PD로 입력된다. 따라서 LOS 신호의 수신세기(P_{r_LOS})는 수식 1과 같이 채널 경로 손실인 DC 이득($H(0)_{LOS}$)과 LED 소자의 송신 전력(P_t)으로 표현되며, $H(0)_{LOS}$ 는 수식 2^[11]과 같다.

$$P_{r_LOS} = H(0)_{LOS} \times P_t \quad (1)$$

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

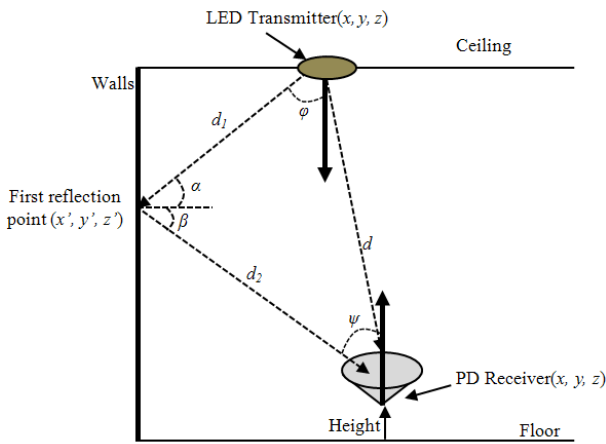


그림 1. 가시광 무선 통신 시스템의 LOS와 NLOS 반사 모델 개념도
Fig. 1. Geometry model of the LOS and NLOS with reflection in VLC systems

이때, $T_s(\psi)$ 는 광 필터 이득이고, Ψ_c 는 수신 PD의 FOV (field of view) 그리고 ϕ 는 수신기의 유입각을 의미한다. 또한 A는 수신 PD 점과 면적, d는 송신기의 중심과 수신기의 중심을 연결하는 직선거리, m은 Lambertian 반사 계수, 그리고 $g(\psi)$ 는 광 집광 이득을 의미하며, m과 $g(\psi)$ 는 각각 수식 3과 4와 같이 정의된다^[2]. 이때 n은 수신 PD의 반사 계수이다.

$$m = -\frac{\ln 2}{\ln(\cos \Phi_{1/2})} \quad (3)$$

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2 \Psi_c}, & 0 \leq \psi \leq \Psi_c \\ 0, & \psi > \Psi_c \end{cases} \quad (4)$$

이와 달리 NLOS 신호 성분은 LED 송신기가 전송한 신호가 주변 벽이나 물체에 의해 반사되어 PD로 유입되는 신호이다. 이러한 NLOS 신호의 수신

세기 P_{r_NLOS} 는 수식 5와 같이 LOS 신호 수신 세기에 반사된 빛의 신호세기가 결합된 형태로 나타난다. 이때 $dH(0)_{NLOS}$ 는 반사된 신호의 경로 손실인 DC 이득을 의미하며, 첫 번째 반사 신호만을 고려할 경우 수식 6과 같다^[11].

$$P_{r_NLOS} = \sum_{LEDs} \left\{ H(0)_{LOS} \times P_t + \int_{walls} dH(0)_{NLOS} \times P_t \right\} \quad (5)$$

$$dH(0)_{NLOS} = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2\pi d_1^2 d_2^2} \rho dA_{wall} \cos^m(\phi) \cos(\alpha) \cos(\beta) T_s(\psi) g(\psi) \cos \psi, & 0 \leq \psi \leq \Psi_c \\ 0, & \theta > \Psi_c \end{cases} \quad (6)$$

수식 6에서 d_1 과 d_2 는 각각 그림 1에서와 같이 송신기와 반사지점 (Reflection Point)간의 거리와 반사지점과 PD와의 거리를 의미하며, ρ 는 반사계수, dA_{wall} 은 반사면적, 그리고 α β 는 각각 송신기와 반사지점이 이루는 각과 반사지점과 수신기가 이루는 각을 의미한다.

2.2. TDoA 측위 기법

TDoA 측위 기법은 AP(Access Point) 간의 동기화를 토대로 3개 이상의 측위 신호를 수신받은 후 각 신호의 도착 시간의 차를 이용하여 단말기의 위치를 추정하는 기법이다. 그림 2와 식 7에서 볼 수 있듯이 AP와 단말 사이의 거리 차는 도착 시간의 차를 토대로 산출된 쌍곡선의 교차점을 계산함으로써 단말기의 위치를 구할 수 있다. 이때 ρ 은 AP와 단말기 사이의 거리를 의미하며, x와 y는 AP 및 단말기의 2차원 좌표를 의미한다.

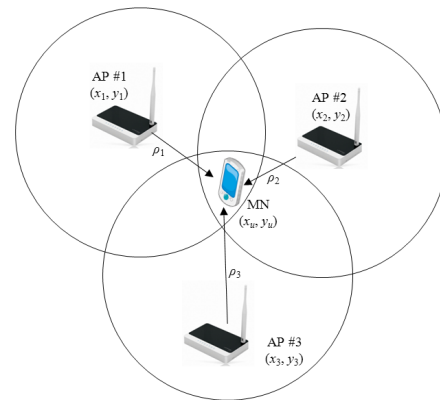


그림 2. TDoA 무선 측위 기법
Fig. 2. TDoA position estimating technique

$$\begin{aligned} \rho_1 - \rho_2 &= \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2} \\ &\quad - \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2} \quad (7) \\ \rho_1 - \rho_3 &= \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2} \\ &\quad - \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2} \end{aligned}$$

2.3. VLC-TDoA 시스템 고려사항

가시광 무선 통신의 송신기는 LED 소자의 FoV (Field of View)의 영향으로 인해 전송 영역의 제한이 따른다. 따라서 단말기가 전송한 파일럿 신호의 AP 도착 시간의 차를 이용하는 상향 TDoA 적용이 어렵다.

반면, 하향 TDoA를 사용할 경우 동기화된 AP가 동시에 파일럿 신호를 전송하고, 단말기가 수신받은 시간 차를 사용할 경우 빛의 중복으로 인해 각 AP의 파일럿 신호 구분이 불가능하다는 문제가 발생한다. 더욱이 이러한 빛의 중복은 LED AP들이 연속적으로 파일럿 신호를 전송하게 되면 지속적인 동일한 패턴의 빛이 인식되기 때문에 LED AP간의 파일럿 신호 구분이 어렵다는 문제점이 발생한다.

이와 같은 실내 가시광 무선 통신 환경의 통신 특성과 측위 기술 적용을 위해 문제점을 토대로 본 논문에서는 TDoA 적용을 위한 시스템 구조 및 운용 방법을 제안하고, 제안 측위 시스템을 기반으로 측위를 위한 파일럿 신호의 인식 방법에 따른 측위 오차 등을 분석하였다.

III. 제안 VLC-TDoA 측위 시스템

3.1. VLC-TDoA 측위 시스템 구조

앞서 가시광 무선 통신 시스템의 TDoA 기술을 적용한 실내 측위 기술 개발을 위한 요구 사항 및 통신 환경 분석 결과를 토대로 본 논문에서는 VLC-TDoA 측위 시스템을 다음과 같이 제안한다.

VLC-TDoA 측위 시스템은 그림 2와 같이 측위 서버와 LED AP 그리고 PD가 내장한 수신기로 구성된다. 먼저, 측위 서버는 LED AP의 파일럿 신호 송출을 제어하며, LED AP는 측위 서버가 지시한 파일럿 신호를 전송하는 역할을 담당한다. 이때 LED AP는 측위 서버와 유선으로 연결되어 있어 정확한 동기화를 제공할 수 있다고 가정한다. 마지막으로 수신 단말기는 파일럿 신호 인식을 위한 PD 및 오실레이터(Oscillator) 기반 파일럿 신호 샘플 인식기를 장착하고 파일럿 신호의 인식 방법에 따라 TDoA를 이용하여 위치를 측정한다.

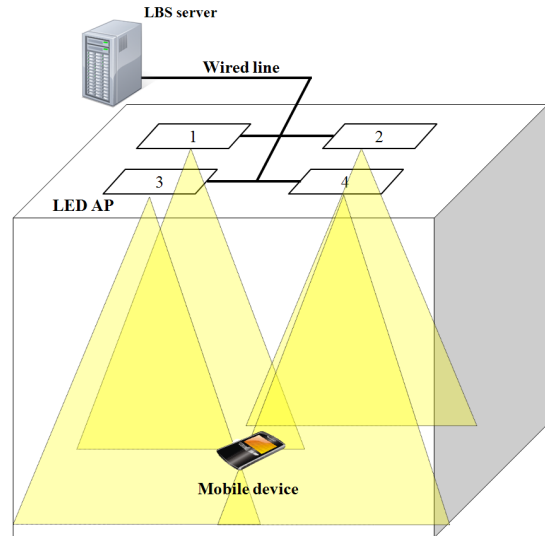


그림 2. 제안 VLC-TDoA 시스템 구조
Fig. 2. Architecture of proposed VLC-TDoA System

3.2. VLC-TDoA 측위 시스템 운용 방법

앞서 정의한 VLC-TDoA 시스템 구조를 기반으로 TDoA 측위 기법 운용 방법을 자세히 살펴보면 다음과 같다. 먼저 측위 서버는 LED AP를 통한 파일럿 신호의 순차적인 전송을 위해 각 LED AP와의 RTT(Round Trip Time)를 측정하고, RTT 정보를 기반으로 LED AP 1번부터 순차적으로 파일럿 신호를 전송한다. 이때 파일럿 신호는 PN 코드(Pseudo Noise Code)나 골드 코드(Gold code) 등의 복잡한 신호 형태를 가질 수 있으나 본 논문에서는 측위 시스템의 간편화를 위해 디지털 신호 1로 표현되는 한 개의 LED ON 신호를 사용하였다.

이러한 파일럿 신호의 전송은 파일럿 신호의 중첩을 방지하기 위해 하나의 LED AP가 파일럿 신호 전송할 때 다른 LED AP들은 모두 OFF로 설정되며, 파일럿 신호 전송 구간 이후 보호 시간(Guard

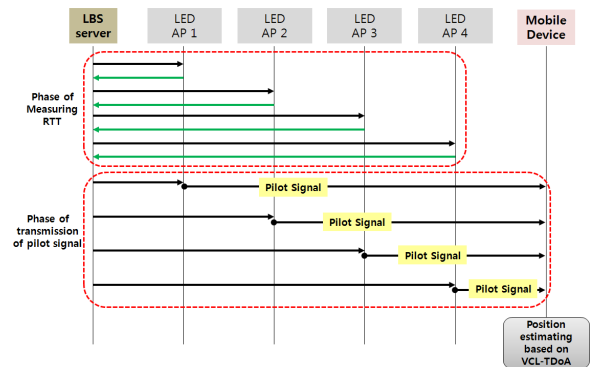


그림 3. VLC-TDoA 기반 위치 측정 흐름도
Fig. 3. Flow chart of position estimation based on VLC-TDoA

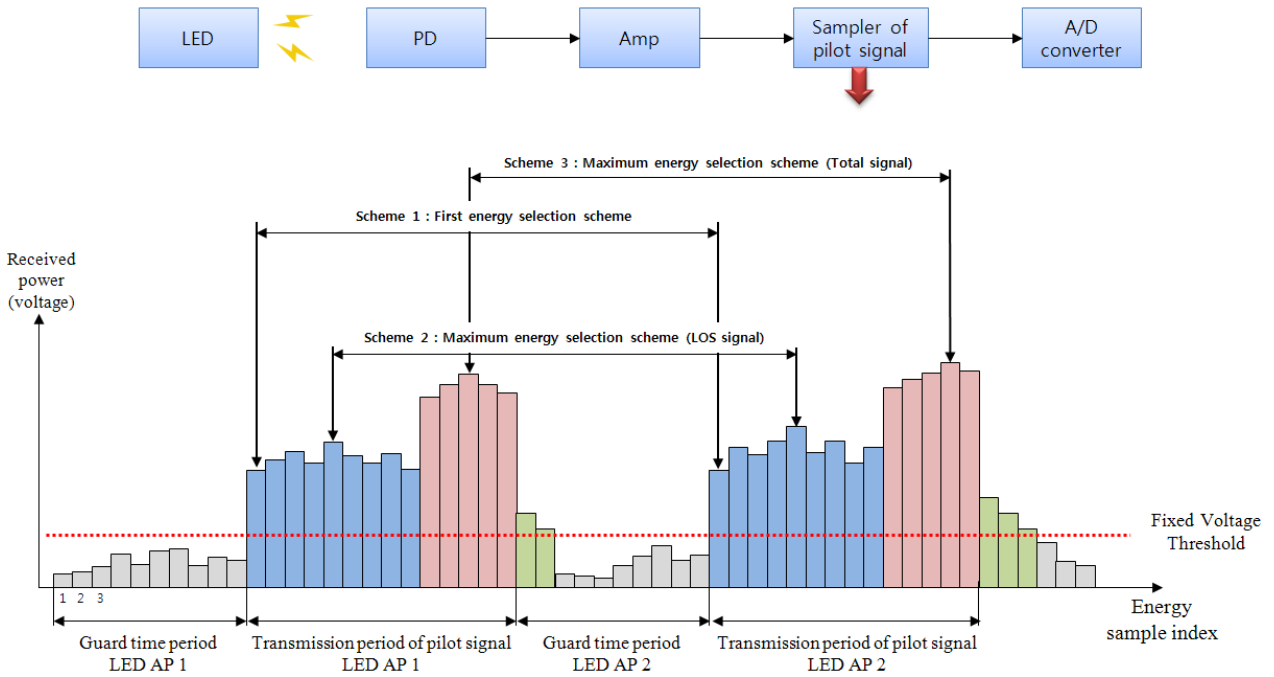


그림 4. VLC-TDoA 시스템의 파일럿 신호 인식 방법
Fig. 4. Recognition schemes of pilot signal in VLC-TDoA

time)으로 이루어진다.

이후 VLC-TDoA 수신 단말기는 각 LED AP가 전송한 파일럿 신호 도착 시간을 인식하는데, 이를 위해 오실레이터 기반의 파일럿 신호 샘플기를 동작시킨다. 즉, TDoA 측위 오차의 주요 발생 원인이 파일럿 신호 인식 시간에 있기 때문에 매우 짧은 시간 간격으로 샘플링하여 측위 오차 최소화한다. 이때 파일럿 신호 샘플기는 매 주기마다 측정된 수신 신호 세기를 저장한다.

이후 수신 단말기는 파일럿 신호의 인식 방법을 기반으로 TDoA 기법을 적용하여 수신 단말기의 위치를 측정하게 된다. 그림 3은 본 논문에서 제안하는 VLC-TDoA 측위 시스템 운용 방법의 흐름도를 도시하고 있다.

3.3. VLC-TDoA 파일럿 신호 인식 방법

4개의 LED AP가 파일럿 신호 전송을 종료한 후 수신 단말기는 파일럿 신호의 수신 신호 세기 정보를 토대로 수신 파일럿 신호 시간을 산출한다. 이를 위해 수신 단말기는 고정된 임계치(Fixed Voltage Threshold)를 토대로 파일럿 신호의 수신 여부를 산출하게 되는데, 이는 파일럿 신호 전송 구간은 보호 시간 구간 보다 높은 수신 신호 세기를 갖는다는 특성을 이용한 것이다.

표 1. 파일럿 신호 인식 방법

Table. 1. Recognition schemes of pilot signal

Recognition scheme	Sampling method of time difference
1	First energy selection
2	Maximum energy selection in LOS signal
3	Maximum energy selection in total pilot signal

따라서 두 개의 LED AP가 수신 단말기에 도착한 시간차를 이용한 TDoA 측위 기술을 적용하기 위해 표 1과 같이 세 가지의 파일럿 신호 인식 방법을 사용한다. 먼저, 인식 방법 1(Scheme 1)은 파일럿 전송 시간에서 임계치를 초과하는 첫 번째 샘플 시간을 토대로 LED AP간의 시간차를 계산하는 것이고, 인식 방법 2(Scheme 2)는 LOS 신호 구간 중 가장 높은 신호 세기를 갖는 샘플 시간을 인식하는 것이다. 이때 이중 인식 방법 2에서 LOS 신호 구간은 보호 시간 이후 일정 시간 동안 임의의 값으로 설정할 수 있는데, 본 논문에서는 첫 파일럿 신호를 수신한 시간부터 파일럿 신호 수신 구간의 1/3을 LOS 신호 구간으로 설정하였다. 마지막으로 인식 방법 3(Scheme 3)은 파일럿 신호 인식 구간 중 가장 높은 신호 세기를 갖는 샘플을 기준으로 각 LED AP간의 도착 시간차를 산출하는 방식이다.

IV. 모의실험 및 성능 분석

4.1. 모의실험 환경

본 논문에서 제안하는 VLC-TDoA 기술의 성능 분석을 위해 다음과 같이 MATLAB를 사용해 표 2와 같은 모의실험 환경을 구성하였다. 먼저 통신 환경에 파라미터로서 방의 크기는 가로, 세로, 높이를 각각 5m로 가정하였으며, 실내 환경에는 4개의 LED 패널이 3,600개의 LED 소자로 구성되었다고 가정하였다. 이때 각 LED 소자의 간격은 1cm로 설정하였으며, NLOS의 DC 이득을 산출하기 위해 송신 신호는 백색 잡음(AWGN : Additive White Gaussian Noise)를 포함하며, 통신 채널 환경의 변화를 주기 위해 SNR (Signal Noise Ratio)를 10 ~ 50dB으로 변화시켰으며, 외벽의 반사계수는 천연 백색광의 최대 포함 파장 성분인 440nm를 고려하여 Plaster wall의 반사 계수인 0.7로 설정하였다¹⁰⁾. 또한 송신기 측면에서 하나의 LED의 송신 전력은 20mW를 가정하였고, 파일럿 신호 전송 주기와 보호 시간은 동일하게 1usec로 설정하였다. 마지막으로 수신기 측면에서는 초기 수신기의 위치를 사무실의 중심에 0.8m의 높이로 설정하였고, 파일럿 신호 샘플기의 샘플 주기는 1nsec로 설정하였다. 이와

표 2. 모의실험 파라미터
Table. 2. Simulation parameters

Parameter		Value
Environments	Room size[m]	5 × 5 × 5
	Number of LED AP	4개
	Number of LED chips in single LED AP	3600 (60×60)
	Interval of LED chips [m]	0.01
	SNR [dB]	10 ~ 50
	Indoor reflection factor(ρ) (@440nm)	0.7
Tx	Tx power [mW]	20
	LED FOV [deg]	120
	Period of pilot signal [usec]	1
	Period of guard time [usec]	1
Rx	PD FoV [deg]	60
	PD area (A) [m ²]	0.01
	Gain of optical filter($T_s(\psi)$)	1
	Gain of concentrate light($g(\psi)$)	1
	Init position of mobile node (x, y, z)	2.5, 2.5, 0.8
	Sampling interval [nsec]	1

더불어 VLC-TDoA에 적용되는 TDoA 기술은 Least Square 알고리즘을 이용하였다¹²⁾.

이와 같은 VLC-TDoA 모의실험 환경을 기반으로 세 가지 파일럿 신호 인식 방법에 대해 각각 10,000번의 반복 실험을 통해 측위 성능을 분석하였으며, 성능 분석을 위해 SNR별 측위 오차 누적 분포와 SNR 변화에 따른 신호 인식 방법별 평균 측위 오차, 측위 오차 분산 등을 측정하였다. 이때 측위 오차는 설정된 단말기의 위치와 TDoA 측위 기법을 통해 추정된 위치와의 직선거리의 차를 의미한다.

4.2. 측위 성능 분석

표 3은 SNR 변화에 따른 각 인식 방법별 측위 오차의 평균과 분산을 정리한 표이다. 이때 단말기는 모의실험 100번마다 초기 위치 좌표 (2.5, 2.5, 0.8)에서 반경 5cm 이내에서 무작위로 위치를 변경한다. 표에서 볼 수 있듯이 인식 방법 1의 경우 SNR 10dB로 수신 신호의 잡음이 가장 많은 환경에서도 약 19cm의 평균 오차를 보였다. 더욱이 SNR이 증가하여 파일럿 신호의 잡음 작아질수록 측위 정확도는 증가하여 정확한 위치 추정이 가능함을 확인할 수 있었다. 반면, 인식 방법 2의 경우 SNR이 10dB에서 50dB로 증가하게 되면 측위 오차가 약 30%이상 향상되는 것으로 볼 수 있다. 마지막으로 인식 방법 3의 경우 주로 NLOS 성분을 가지고 측위가 이루어지기 때문에 측위 오차는 인식 방법 1이나 인식 방법 2에 비해 현저하게 증가된 것을 볼 수 있다.

표 3. SNR 변화에 따른 평균 측위 오차 및 분산
Table. 3. Average positioning error and variation with SNR (cm)

SNR(dB)		10	20	30	40	50
Scheme 1	Avg.	19	1	0	0	0
	Var.	6	3	0	0	0
Scheme 2	Avg.	75	65	62	57	40
	Var.	68	29	27	26	25
Scheme 3	Avg.	757	740	730	700	680
	Var.	440	430	447	443	442

그림 5는 SNR이 20dB일 경우 각 인식 방법별 측위 오차에 대한 누적 분포 함수를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 임계치를 초과하는 첫 번째 파일럿 신호를 토대로 TDoA 측위를 수행하는 인식 방법 1의 경우 측위 오차가 10cm 이내에 측위되는 경우가 95%에 이르며, 30cm 이내에서는 100% 측

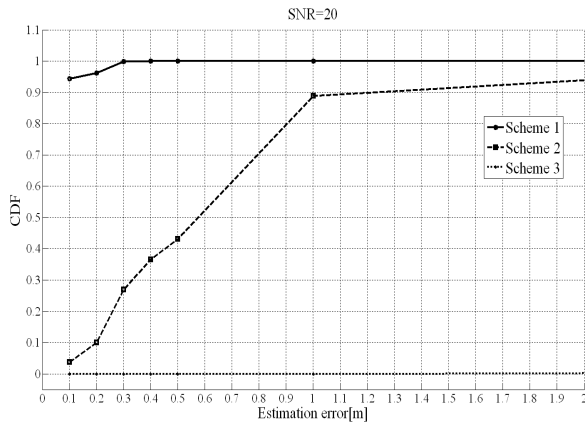


그림 5. 인식 방법별 측위 오차의 누적 분포 함수
Fig. 5. CDF of positioning error for each scheme

위가 되는 것을 확인할 수 있다. 반면 SNR 신호 성분 중 최대값을 이용해 TDoA 측위를 수행하는 인식 방법 2의 경우 1m 이내의 측위 오차가 90% 이내로 나타났다. 마지막으로 파일럿 신호 성분 중 가장 높은 신호 세기를 갖는 샘플을 이용해 TDoA로 측정하는 경우 2m 이내로 측위가 불가능한 것으로 나타났다.

이와 같은 3개의 인식 방법에 대한 측위 오차를 분석한 결과 인식 방법 1이 수신 신호의 잡음이 심한 환경에서도 가장 낮은 측위 오차를 보였으며, 채널 환경에 개선될수록 정확한 측위가 가능함을 확인할 수 있었다. 이는 가시광 무선 통신 시스템의 특성상을 고려하였을 때 보호시간과 파일럿 신호 구간이 명확하게 구분되기 때문인데 즉, 보호 시간 구간에서는 PD로 유입되는 빛의 세기는 0에 근접한 반면 보호 시간 구간 후 파일럿 신호 시간 구간에는 이전 샘플보다 임계치 이상의 빛의 세기가 PD에 인식되기 때문이다. 따라서 다수의 LED AP가 전송한 파일럿 신호의 도착 시간에 대한 정확한 분석이 가능하며, 이를 토대로 높은 측위 정확도를 보인 것으로 분석된다.

V. 결 론

가시광 무선 통신 시스템은 LED 소자가 발광하는 빛을 통해 디지털 신호를 전송하고, 빛의 도달 영역이 통신 영역이 된다는 특징을 가지고 있다. 이러한 특징은 기존 실내 환경에서의 위치 측정 정확도를 향상시킬 수 있는 특징으로서 다양한 실내 위치 기반 서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

이에 본 논문에서는 가시광 무선 통신 기술과

TDoA 기술을 접목시켜 실내 환경에서 별도의 인프라 구축 없이 정확한 실내 측위가 가능한 측위 시스템 구조 및 운용 방법을 제안하였다. 또한 파일럿 신호의 인식 방법에 따른 측위 오차 성능을 분석함으로써 가시광 무선 통신 시스템과 TDoA 기술의 접목을 통한 측위 시스템 구축이 가능함과 동시에 수 cm 이하의 정밀 측위가 가능함을 입증하였다.

이와 같은 가시광 무선 통신 기술과 TDoA 기법의 접목은 높은 측위 정확도를 기반으로 가시광 무선 통신을 이용한 실내 위치 기반 서비스의 개발 가능성을 제시하였다는 점에서 높은 의의를 갖는다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] T.G. Kang, S.H. Park, I. S Jang, I. S. Kim, and D.W. Han, "The Convergence Technology Analysis of Green Growth LED Illumination," *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 24, no. 5, pp. 30-37, Oct. 2009 <번역>
- [2] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama and M. Nakagawa, "Indoor Visible Light Data Transmission System Utilizing White LED Lights," *IEICE Trans. Communication*, E86-B, pp. 2440-2454, 2003
- [3] D. H. Kim, S.K. Lim, T.G. Kang, "Application Service Model of the Visible Light Comm.," *Info. & Comm. Magazine*, vol. 25, no. 5, pp. 3-9, Apr. 2009 <번역>
- [4] Krzysztof W. Kolodziej and Johan Hjelm, "Local Positioning Systems ; LBS Applications and Services," Taylor & Francis, 2006
- [5] TTA.KO-10.0290, "Basic Configuration of Light Location Information Service Model using Visible Light Communication," Dec. 2008 <번역>
- [6] Masaki Yoshino, Shinichiro Haruyama and Masao Nakagawa, "High-accuracy Positioning System using Visible LED Lights and Image Sensor," in *proc. of IEEE Radio and Wireless Symposium*, pp. 439-442, Jan. 2008
- [7] Sertthin, C., Tsuji, E., Nakagawa, M., Kuwano, S. and Watanabe, K., "A Switching Estimated Receiver Position Scheme For

Visible Light Based Indoor Positioning System
Wireless Pervasive Computing,” in *proc. of
International Symposium on Wireless
Pervasive Computing*, pp. 1-5, Feb. 2009

- [8] Xiaohan Liu, Hideo Makino and Kenichi Mase, “Improved Indoor Location Estimation Using Fluorescent Light Communication System with a Nine-Channel Receiver,” *IEICE Trans. on comm.*, vol. E93-B, no. 11, pp. 2936-2944, Nov. 2010
- [9] Mohammad Shaifur Rahman, Md. Mejbaul Haque and Ki-Doo Kim, “Indoor Positioning by LED Visible Light Comm. and Image Sensors”, *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 1, no. 2, pp. 161~170, Dec. 2011
- [10] K. Lee, H. Park, and J. R. Barry, “Indoor Channel Characteristics for Visible Light Communications,” *IEEE Comm. Letters*, vol. 15, pp. 217~219, Mar. 2011
- [11] T. Komine and M. Nakagawa, “Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights,” *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, vol. 50, no. 1, pp. 100- 107, Feb. 2004.
- [12] Hyonmim Kong, Taekyung Sung, and Youngmi Kwon, “Comparison of TDOA Location Algorithms for Indoor UWB Positioning,” *The Institute of Electronics Engineers of Korea-Telecommunications*, vol. 42, no. 1, pp. 9-15, Jan. 2005 <번역>

황 준 호 (Junho Hwang)



2004년 2월 숭실대학교
정보통신전자공학부 학사
2006년 2월 숭실대학교
정보통신전자공학부 석사
2006년 9월~현재 숭실대학교
정보통신전자공학부 박사수료
<관심분야> Optical Access
Network, Wireless MAC Protocol, Visible Light
Communication, Wired/ Wireless Fieldbus
System

유 명 식 (Myungsik Yoo)



1989년 2월 고려대학교 전자
공학과 학사
1991년 2월 고려대학교 전자
공학과 석사
2000년 6월 SUNY at
buffaloDept. of EE 박사
2000년 09월~현재
숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수
<관심분야> Optical Network, OBS, EPON, QoS,
Wireless MAC Protocol, MANET, RFID, USN,
CR, Visible Light Communication, Wired/
Wireless Fieldbus System