

가시광 무선 통신을 이용한 LBS 서비스 및 위치 측정 기술 동향

황준호 | 김영석 | 유명식
 숭실대학교

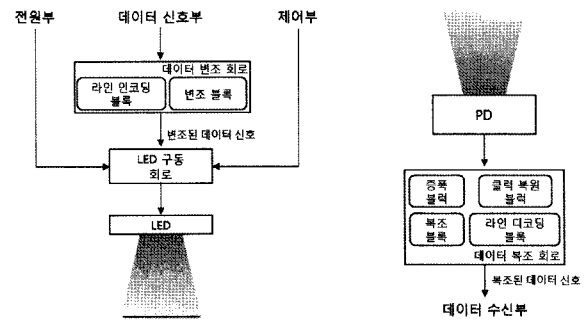
요 약

가시광 무선 통신 기술은 LED의 반도체 특성을 이용하여 디지털 신호를 송신하고, 빛의 유무를 판단할 수 있는 PD를 이용하여 광전 변환을 통해 디지털 데이터를 수신할 수 있는 차세대 무선 통신 기술로 평가 받고 있으며, 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 본고에서는 특히 가시광 무선 통신 기술을 활용할 수 있는 응용서비스 분야를 설명하고, 특히 실내/실외 위치 측정 기술의 국내외 연구 동향에 대해 소개한다.

1. 서 론

최근 들어 고효율 고성능의 조명기기 시장이 급격하게 성장하면서, 백열등이나 할로겐 램프 등의 조명기기에서 LED(Light Emitting Diode)로의 급격한 변화가 도래하였다. 이러한 LED에 대한 관심의 증가는 LED의 에너지 절약과 친환경적인 특성을 이용하여 조명설계, 빛의 발기 제어, 색깔 제어 및 조광에 대해 다양하게 응용할 수 있기 때문이다.

더욱이 LED의 보급을 위해 범세계적으로 친환경 제품에 대한 필요성이 강조되면서 국가 정책으로 반영되었으며, LED 조명에 대한 인프라 구축에 많은 연구를 수행하고 있다. 이중 LED의 발광 특성인 ON/OFF를 제어함으로써 LED 조명과 동시에 무선 통신을 수행할 수 있는 가시광 무선 통신 기술(VLC ; Visible Light Communication)이 등장



(그림 1) 가시광 무선 통신 기능 블록도

하였다 [1].

가시광 무선 통신 시스템의 LED가 발광하는 빛을 통해 디지털 데이터를 송신하고, 빛의 유무를 감지할 수 있는 PD (Photo Diode)와 광전 변환 회로를 이용하여 데이터를 수신하는 구조를 가지고 있다. (그림 1)은 가시광 무선 통신 시스템의 송수신 특성 및 요소 기능에 대해 도시하고 있다 [2].

이러한 가시광 무선 통신은 LED 조명 산업과 무선 통신 산업의 융합기술로써 다양한 응용 서비스에 대한 지원이 가능하다. 특히 실내 환경에서는 국방 방송서비스, 위치 기반 서비스(LBS ; Location Based Service), 가시광 무선 랜 서비스(Visible LAN) 그리고 실외 환경에서는 가로등, 신호등, 전광판 등을 이용한 ITS(Intelligent Transport System), 엔터테인먼트(Entertainments) 등에 적극 활용될 수 있다 [3]. 더욱이 LED 소자의 가시성을 기반으로 하기 때문에 통신 상태 확인이 용이하며, 빛의 도달하는 특정 범위에서는 통신이 가능하기 때문에 간섭이 최소화될 수 있다는 점에서 RF(Radio Frequency) 기반의 무선 통신들(e.g. WLAN, RFID, Zigbee,

Bluetooth)과 결합되거나 RF 통신의 어려운 환경에 적용이 가능하다.

특히 위치 기반 서비스에서는 GPS가 실내 환경에 적용하기 어렵다는 문제 그리고 실내 환경에서 NLOS(Non-Line of Sight)로 인한 기존 무선 통신의 측위 오차가 증가되는 문제 등을 해결하기 위해 가시광 무선 통신을 이용한 위치 측정 기술 부각되고 있다.

이에 본 고에서는 가시광 무선 통신을 이용한 위치 기반 서비스의 종류 및 운용 예를 살펴보고, 이들 가시광을 이용한 위치 기반 서비스 지원을 위해 국내외적으로 연구되고 있는 가시광 무선 통신 기반의 위치 측정 기술에 대해 소개한다.

본 고의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 가시광 무선 통신의 기술 표준화를 주도했던 IEEE 802.15.7 [4]에서 고려하는 다양한 응용 서비스 중 가시광 위치 기반 서비스 및 주요 요구 사항에 대해 정리하였으며, 3장에서는 앞서 소개한 가시광 기반 위치 기반 서비스를 제공하기 위한 국내외 측위 기술에 대해 소개한다. 마지막으로 4장에서는 결론 및 가시광 무선 통신 측위 시스템의 성능 향상을 위한 기술적 이슈들에 대해 논한다.

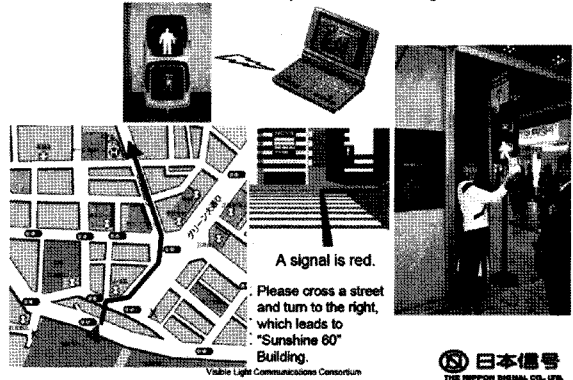
II. 가시광 무선 통신을 이용한 LBS

가시광 무선 통신을 이용한 응용 서비스는 수kbps에서 수십Mbps에 이르는 다양한 범위의 전송속도를 요구한다. 특히 위치 기반 서비스에서는 응용 서비스의 요구 사항에 따라 저속부터 고속의 통신 환경을 제공해야한다. 이중 저속 통신 환경을 기반으로 하는 것이 네비게이션(Navigation) 서비스가 대표적이며, 고속의 통신 환경이 요구되는 것이 국부 방송 서비스가 대표적이다.

먼저, 가시광 무선 통신 기반의 네비게이션 서비스는 서비스 제공자가 관리하는 모든 기기에 ID를 부여하고, ID 배치 경로에 따라 도착지까지의 경로를 알려주는 시스템이다. (그림 2)는 일본에서 시연한 VLC ID 기반의 네비게이션 시스템 구성 예를 보여주고 있다 [5].

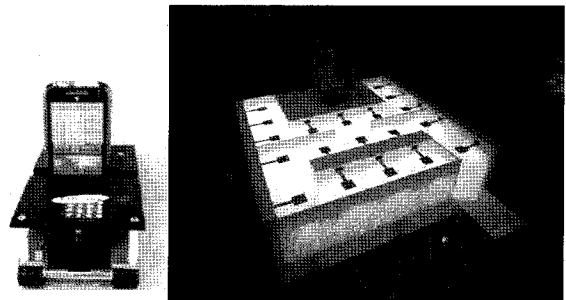
Visible light ID system

The neighbor information distribution system from a traffic light



(그림 2) VLC ID 기반 네비게이션 시스템 (일본)

그림에서 볼 수 있듯이 도로에 설치된 신호등에 각각 ID를 부여하고, 단말기가 설정한 목적지까지 도보로 이동할 수 있는 경로를 신호등의 ID를 이용하여 알려주는 시스템이다. 이와 더불어 (그림 3)은 삼성전자에서 개발한 실내 네비게이션 시스템 예를 도시하고 있다. 실내 건물 내부를 축소시켜, 각 전등에 부여된 ID에 따라 단말기를 부착한 소형 자동차가 목적지까지 움직일 수 있도록 하는 시스템을 시연하였다 [6].



(그림 3) VLC ID 기반 네비게이션 시스템 (삼성전자)

이러한 저속 환경의 네비게이션 시스템과 달리 국부 방송 서비스는 단말기의 위치 정보를 이용하여 해당 사용자의 위치에 적합한 음성 또는 영상 정보를 전송해야 하기 때문에 고속의 데이터 통신 시스템이 요구된다. (그림 4)는 가시광 LBS를 이용한 국부 방송 서비스의 예를 도시하고 있다 [7].



(그림 4) 가시광 LBS 기반 국부 방송 서비스

III. 가시광 무선 통신 기반의 위치 측정 기술

가시광 무선 통신 시스템을 이용한 위치 측정 기술은 실외 환경과 실내 환경으로 구분된다. 이중 실외 환경은 주로 ITS 분야를 중심으로 차량간 거리 측정, 네비게이션 시스템 등에 적용하기 위한 자동차의 LED라이트를 이용한 차량간 거리 측정, 신호등을 이용한 거리 측정 그리고 이미지 센서를 이용한 거리 측정 기술이 연구되고 있다. 이와 달리 실내 환경에서는 지능형 로봇, 쇼핑 및 국부 방송을 위한 단말기 위치 확인, 실내 측위 시스템 개발을 위해 조명 ID 기반 측위 기술, 이미지 센서와 가속 센서, 기울기 센서 등을 이용한 측위 기술, 9개의 광 센서를 운용하는 전용 단말기를 이용한 측위 기술 그리고, TDoA 측위 기법을 가시광 무선 통신 환경에 적용한 기술들이 연구되고 있다.

1. 실외 측위 기술

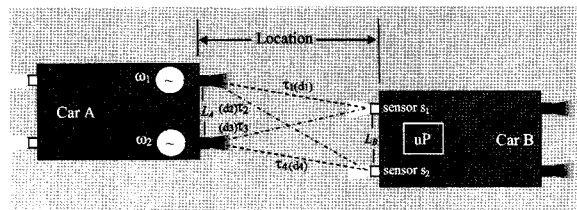
• 차량용 LED 라이트를 이용한 차량간 거리 측정 [8]

[8]은 자동차의 2개의 비상등의 깜빡임을 이용하여 차량의 자신의 위치를 전송하고, 그 빛을 받는 뒤 차량이 자신을 기준으로 빛이 들어오는 위치와 단방향 시간차를 통해 거리를 측정하는 기술이다. (그림 5)는 두 자동차 간의 거리 측정 개

념도를 도사하고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 Car A가 전송하는 비상 깜빡임 신호가 Car B의 센서로 유입되면, Car B는 두 차량 간의 거리를 판단하기 위해 식 1을 이용한다.

$$\Delta_{d12} = d_1 - d_2 = \frac{\phi_{\Delta 12}}{\omega_1} v \quad (1)$$

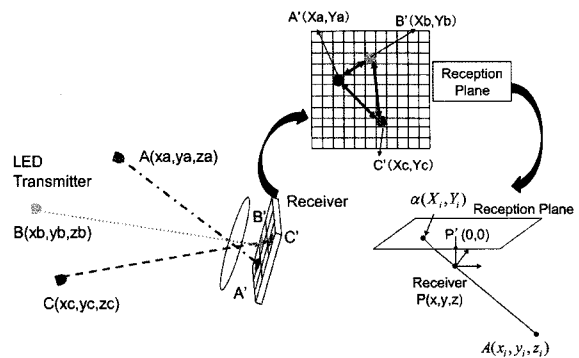
$$\Delta_{d34} = d_3 - d_4 = \frac{\phi_{\Delta 34}}{\omega_2} v$$



(그림 5) 차량용 LED 라이트를 이용한 거리 측정 기술

• 렌즈와 이미지 센서를 이용한 실외 측위 [9]

[9]에서는 신호등이나 가로등에서 전송하는 신호를 렌즈 투과 시 굴절되는 위치와 각 위치를 이미지 센서의 평면 상에 표시하여 단말기의 위치를 추정할 수 있는 기술을 제안하였다. 이를 보다 자세히 살펴보면, 각 LED 송신기가 전송한 신호는 수신 센서 앞에 존재하는 렌즈를 통해 굴절되고, 굴절된 신호의 위치가 이미지센서를 이용한 수신 평면 (Reception Plane)에 표시된다. 이와 같이 수신 평면 상에 표시된 각 LED 송신기의 좌표를 이용하여 수신 단말기의 위치를 계산한다.

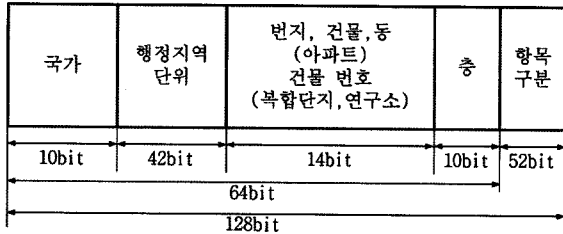


(그림 6) 렌즈와 이미지 센서를 이용한 실외 측위 개념도

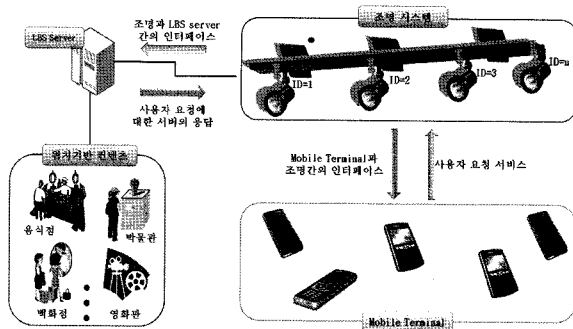
2. 실내 측위 기술

• 조명 ID를 이용한 위치 측정 기술 [10,11]

조명 ID를 이용한 위치 측정 기술은 가시광 무선 통신 시스템의 LOS(Line of Sight) 특성을 이용하여, 각 조명 기기마다 유일한 조명식별번호인 ID를 부여하고, 단말기와 통신 상황에서 이들 단말기 ID와 조명기기의 ID를 맵핑시켜 위치를 측정하는 기술이다. 이러한 조명 ID를 이용한 위치 측정 기술은 기존 RF 기술과 달리 가시광선이 벽을 투과하지 못한다는 특징을 이용한 것으로 앞서 설명한 네비게이션 시스템 및 위치 기반 서비스에 활용될 수 있다. 이와 같은 조명 ID를 이용한 위치 측정 서비스를 제공하기 위해 국내 기술 표준화 단체인 TTA에서는 가시광 무선 통신 조명 식별체계 기본 구조를 표준화 [10]한 바 있으며, 이를 보다 자세히 살펴보면 (그림 7)과 같다.



(그림 7) TTA의 조명식별체계 프레임 구조



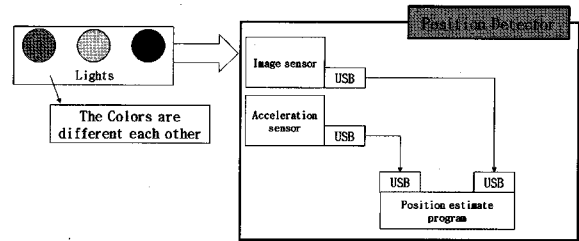
(그림 8) 능동형 위치기반 서비스 시스템 모델

그림에서 보는 바와 같이 가시광 조명식별 체계는 가시광 조명 ID 프레임 규격에 따라 구분되는데, 국가, 행정지역 단위, 번지, 건물 층 그리고 항목 구분의 총 128bit의 크기를 가지고 조명 식별 체계를 운용한다. 이와 같은 조명 ID를 이용하여 능동형 위치 기반 서비스를 제하기 위한 시스템 모델

은 (그림 8)과 같이 정의되어 있다 [11].

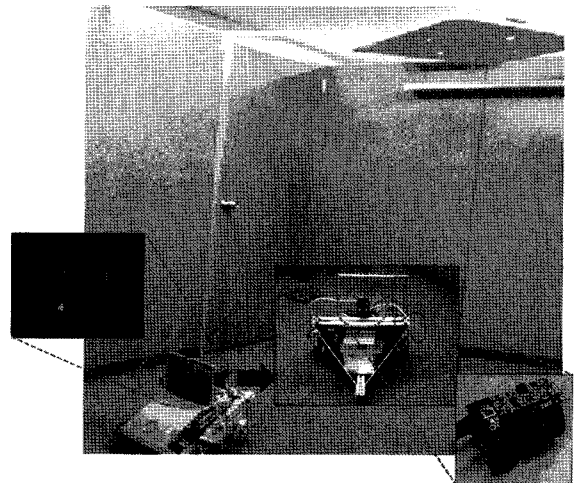
• 이미지와 가속 센서를 이용한 위치 검출 기술 [12]

[12]는 이미지 센서(Image sensor)와 가속 센서(Acceleration Sensor)를 이용한 위치 검출장치(Position Detector)에 촬영된 영상을 이용하여 색상을 구분하고, 해당 색상에 따라 위치를 검출하는 기술이다.



(그림 9) 이미지 센서를 이용한 위치 검출 시스템 구조

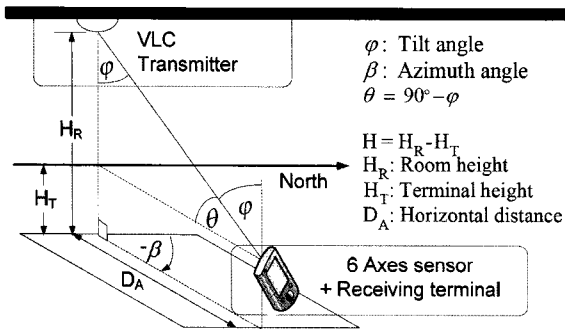
(그림 9)는 이러한 위치 검출 시스템의 구조를 도시하고 있는데, 그림에서 보는 바와 같이 위치 검출장치는 이미지 센서와 가속 센서를 통해 수집된 영상 정보를 이용하여 위치 추정 프로그램(Position Estimation Program)에 해당 측정 정보를 전달하고, 이를 토대로 색상별의 좌표를 검출하게 된다. (그림 10)은 구현된 위치 검출 장치와 이를 소형 이동 로봇에 장착한 실험 환경을 보여주고 있다.



(그림 10) 이미지 센서를 이용한 위치 검출 장치

• VLC ID와 6개의 방위각과 기울기 센서를 이용한 위치 측정 기술 [13]

[13]에서는 가시광 무선 통신 시스템에서 사용하는 조명 식별 번호인 VLC ID와 단말 장치의 방위각(Azimuth)과 기울기 각도(Tilt Angulation)을 측정할 수 있는 6개의 센서를 이용하여 (그림 11)과 같이 위치를 측정하였다.

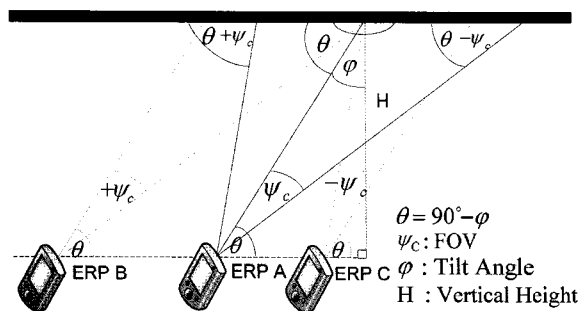


(그림 11) VLC ID와 6개의 센서를 이용한 위치 측정 기술

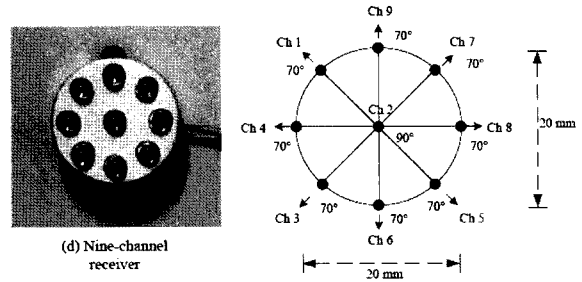
먼저 단말기 내부에는 6개의 센서가 존재하며, 이들 센서를 통해 측정된 단말기의 방위각(β)과 기울기 각도(ϕ) 정보 그리고 VLC ID를 이용하여 수식 2와 같이 단말기의 위치 $[X_\delta, Y_\delta]$ 를 판단한다.

$$[X_\delta, Y_\delta]^T = [D_\delta \cos\beta, D_\delta \sin\beta]^T + [X_{Tx}, Y_{Tx}]^T \quad (2)$$

이때 단말기와 송신기와 단말기의 수평적 거리를 나타내는 D는 (그림 12)에서와 같이 두 기기간의 이루는 각도에 따라 변화되는데, 이는 수식 3과 같이 계산된다.



(그림 12) 송신기와 단말기 간의 위치에 따른 각도 변화



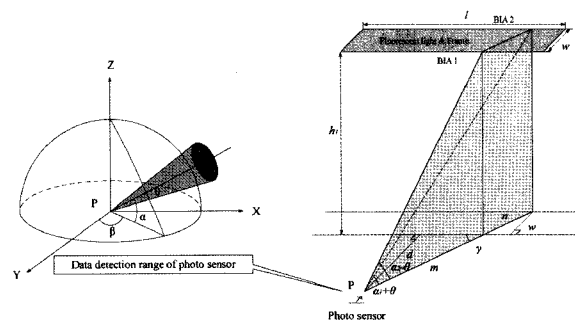
(그림 13) 9채널 광 센서로 구성된 위치 측정 전용 단말

$$\begin{aligned} D_{ERPA} &= H \cdot \cot\theta \\ D_{ERP B} &= H \cdot \cot(\theta - \psi_c) \\ D_{ERP C} &= H \cdot \cot(\theta + \psi_c) \end{aligned} \quad (3)$$

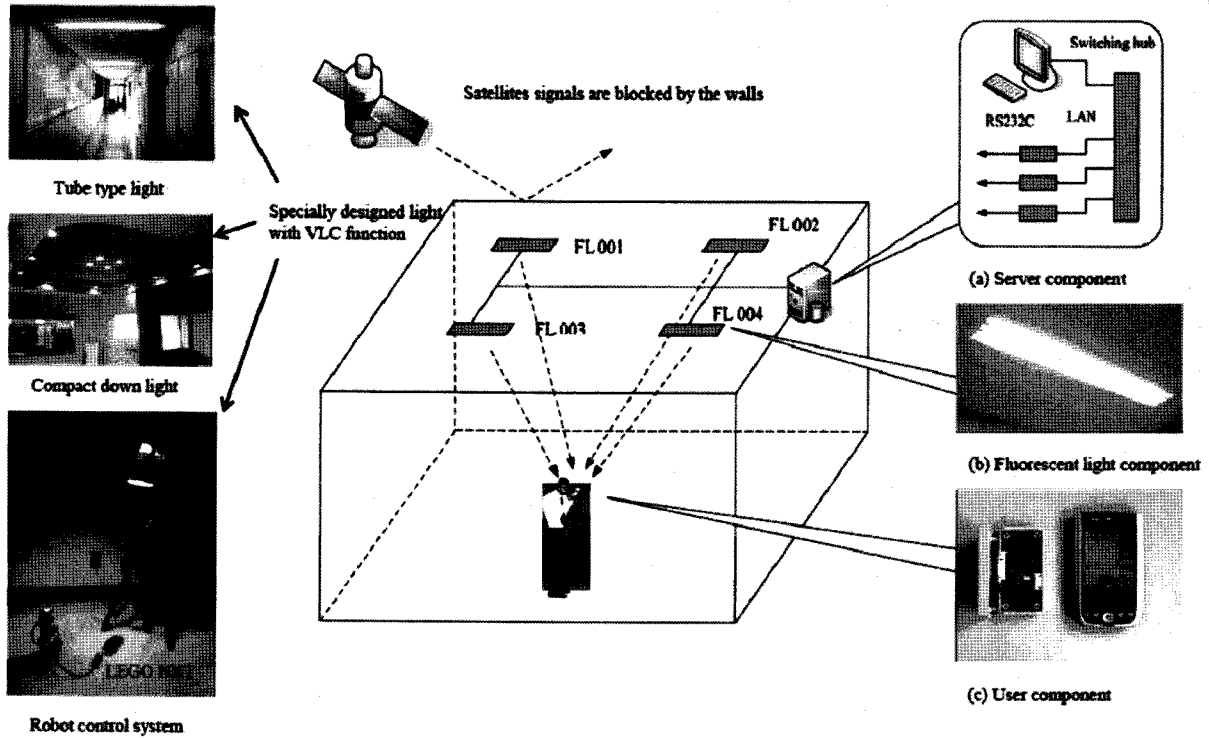
• 9 채널 광 센서(Nine-Channel Photo Sensor)를 이용한 단말기 기반 위치 측정 시스템 [14,15]

[14,15]에서는 실내 가시광 무선 통신 환경에서 지능형 로봇 제어 또는 사용자 위치 측정을 위해 9개의 광 센서를 이용한 전용 단말기를 개발하였다. 이러한 위치 측정 시스템은 LED 뿐만 아니라 형광등이 설치된 환경에서도 측위가 가능하다. 이를 보다 자세히 살펴보면, 개발 측위 전용 단말기는 (그림 13)과 같이 9개의 광 센서로 구성되는데, 각 광 센서는 $70^\circ, 90^\circ$ 두 종류의 기울기를 가지고 있으며, 원형의 단말기 외곽에 70° 의 기울기를 갖는 8개의 광센서가 설치되며, 중심에는 90° 즉, 천장(Ceiling)을 바라보는 센서가 이용되었다.

이러한 9 채널 광 센서를 기반으로 빛이 각 센서로 유입되는 각도를 기준으로 (그림 14)와 단말기의 위치를 판단하며, 균일하게 배치된 조명기기의 시스템 환경에서 단말기의 이



(그림 14) 각 센서와 천장간의 거리 판단 기술 개념도



(그림 15) 9 채널 광 센서를 이용한 실내 측위 기술 시스템 구조

동에 따라 거리 오차 등을 분석하였다. 이때 (그림 15)는 [15]에서 고려한 측위 시스템의 구조를 도시하고 있다.

(그림 14)에서 볼 수 있듯이 하나의 센서는 조명 장치가 위치한 천장과의 거리를 측정하기 위해 거리 d 를 식 4과 같이 계산한다. 이때 거리 m 과 n 은 각각 수식 5, 6와 같다.

$$d = m \times \sin \gamma \quad (4)$$

$$m = h_1 \times \cot(\alpha_2 - \theta) = h_1 \times \cot(\alpha_1 + \theta) - n \quad (5)$$

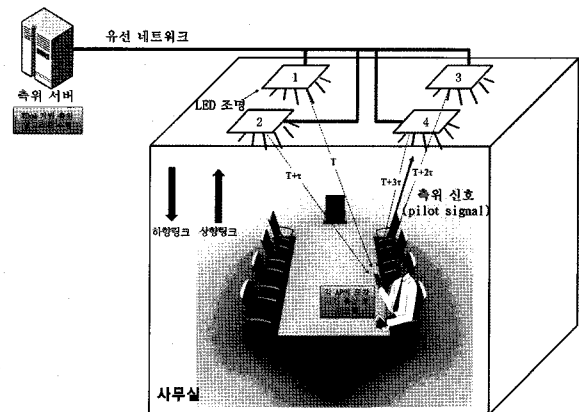
$$n = \omega / \sin \gamma \quad (6)$$

• VLC-TDoA 기술을 이용한 위치 측정

TDoA(Time Difference of Arrival) 기술은 측위 신호의 도착 시간 차를 이용한 측위 기법이다. 일반적으로 TDoA 기술은 상향 링크 TDoA와 하향 링크 TDoA로 구분되는데, 가시광 무선 통신 환경에서는 단말기가 전송하는 LED 소자의 발광 각도 제한으로 인해 단말기가 전송한 측위 신호를 차를 이용하는 상향 링크 TDoA 적용이 어렵다. 따라서

AP(Access Point) 또는 기지국이 전송한 측위 신호의 시간 차를 이용하는 하향 링크 TDoA 기술 적용이 용이하다.

이러한 하향 링크 TDoA를 적용할 때 고려되어야 되는 것이 측위 신호의 중복 문제이다. 이는 가시광 무선 통신 시스템에서 사용하는 수신 장치인 PD가 빛의 유무에 따라 0과 1을 감지하기 때문에 다수의 AP가 송출한 측위 신호가 동시에 PD



(그림 16) VLC-TDoA 위치 측정 기술 개념도

〈표 1〉 가시광 무선 통신 기반 위치 측정 기술 비교

	[8]	[9]	[10-11]	[12]	[13]	[14]	VLC-TDoA
핵심 기술	차량 조명을 이용한 시간차	렌즈와 이미지 센서	가시광 ID	이미지 센서와 가속 센서	방위각 센서와 기울기 센서	9개의 PD로 구성된 수신기	TDoA 측위 기술 적용
측위 오차 성능	성능 평가 미수행	0.5m 이내	Cell 영역	평균 46mm	약 298mm, 336mm, 629mm (FOV(deg) = 10, 17.5, 25)	0.2m 이내	성능평가 미수행
측정 규모	실외	실외	-	1m x 1m	5m x 1m	4m x 3m	실내
개발 상태	Algorithm	Simulation	Test-bed	Test-bed	Simulation	Test-bed	Algorithm
시스템 구축 비용	Low	Middle	Low	Very High	Middle	High	Low

로 유입되게 되면, 각 AP의 도착 시간 차를 산출할 수 없게 된다. 따라서 실내 통신 환경에서 다수의 LED 조명 장치를 관장하는 측위 서버와 LED 조명 장치의 순차적인 측위 신호 전송을 통해 각 LED 조명 장치간의 시간 차 정보를 획득하게 되면, 가시광 무선 통신 환경에서 TDoA 기술 적용이 가능하다. (그림 16)은 이러한 가시광 무선 통신 시스템에서 TDoA 기술이 적용된 위치 측정 기술의 개념도를 도시하고 있다.

이와 같은 가시광 무선 통신 기술을 이용한 실외/실내 위치 측정 기술들의 성능 및 특징 등에 대해 정리하면 〈표 1〉과 같다.

IV. 결론

본고에서는 LED와 PD를 이용하여 무선 통신을 수행하는 가시광 무선 통신 시스템과 가시광 무선 통신을 이용한 위치 기반 서비스의 예와 이와 같은 서비스 제공을 위해 국내 외적으로 개발되고 있는 가시광 기반 실외/실내 위치 측정 기술에 대해 살펴보았다.

위치 기반 서비스의 중요성과 그 시장성이 확대됨에 따라 보다 정밀하고, 사용자의 요구 사항에 적합한 위치 기반 서비스를 제공하는 것이 매우 중요하다. 이런 요구 사항을 만족시키기 위해 가시광 무선 통신 시스템은 측정 오차, 시스템 인프라 구축 등에서 기존 무선 통신 시스템 보다 많은 장점을 가지고 있다. 하지만 데이터의 전달 매체가 빛이기 때문에 외부 조명 간의 간섭, 위치 측정 신호의 안정적인 수신

을 위한 조명 기기의 배치 기술, PD 수광 소자의 간섭 제거 기술 등과 관련하여 다양한 응용 서비스의 요구 사항을 부합할 수 있는 위치 측정 성능 확보에 계속적인 연구가 필요하다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- [1] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama and M. Nakagawa, "Indoor Visible Light Data Transmission System Utilizing White LED Lights," IEICE Transactions on communications, vol. E86-B, pp.2440-2454, 2003
- [2] TTAK.KO-10.0286, "가시광 무선 통신 송신 물리계층 기본 구조," 2008년 12월
- [3] 김대호, 임상규, 강태규, "LED 조명 통신 융합 가시광 무선통신 응용 서비스 모델," 한국통신학회지 정보와 통신, vol. 25, no.5, pp. 3-9, 2009년 4월
- [4] <http://www.ieee802.org/15>
- [5] Toshiba, "LED 조명 및 kiosk 전시회," 일본, 2007년 10월
- [6] 박성범, 정대광, 신흥석, 최정석, 이 경우, 송기욱, "VLC 기반 Indoor Navigation 개발현황," 가시광 무선통신 및 LED 융합 제어 기술 세미나, TTA, 2009년 12월 8일

- [7] 강태규, 박성희, 장일순, 김인수, 한동원, “녹색성장 LED 융합 기술 동향 분석,” 전자통신동향분석, Vol. 24, No. 5, pp. 30-37, 2009년 10월
- [8] Richard Roberts, Praveen Gopalakrishnan and Somya Rathi, “Visible Light Positioning: Automotive Use Case,” In proc. of IEEE Vehicular networking conference, pp. 309 - 314, Dec. 2010
- [9] 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
- [10] TTA, KO-10.0291, “가시광 무선 통신 조명 식별체계 기본 구조,” 2008년 12월
- [11] TTA, KO-10.0290, “가시광 무선통신 조명의 위치 정보 제공 기본 구조,” 2008년 12월
- [12] Toshiya Tanaka and Shinichiro Haruyama, “New Position Detection Method using Image Sensor and Visible Light LEDs,” In proc. of Second International Conference on Machine Vision, pp.150-153. Dec. 2009
- [13] 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
- [14] Xiaohan Liu, Eri Umino and Hideo Makino, “Basic Study on Robot Control in an Intelligent Indoor Environment using Visible Light Communication,” In proc. of IEEE international Symposium on Intelligent Signal Processing, pp. 323-325, Aug. 2009
- [15] Xiaohan Liu, Hideo Makino and Kenichi Mase, “Improved Indoor Location Estimation Using Fluorescent Light Communication System with a Nine-Channel Receiver,” IEICE Transactions on communications, Vol. E93-B, No. 11, pp. 2936-2944, Nov. 2010

약 려



황 준 호

2004년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사
 2008년 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사
 2006년 - 현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 박사과정
 관심분야 : Optical Access Network, Wireless MAC Protocol, Visible Light Communication, Wired/Wireless Fieldbus System



김 영 석

2005년 - 현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 재학
 관심분야 : Visible Light Communication



유 명 식

1989년 고려대학교 전자공학과 학사
 1991년 고려대학교 전자공학과 석사
 2000년 SUNY at Buffalo Dept. of EE 박사
 2000년 - 현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수
 관심분야 : Optical Networks, MANET, RFID/USN, Cognitive Radio Networks, Visible Light Communication, Wired/Wireless Fieldbus System