

전시 서비스를 위한 실내 측위 기술 분석 및 VLC/RF 결합 측위 적용 방안

김기윤*, 이민우*, 차재상^o

Analysis of Indoor Localization Technology for Exhibition Services and Application Method of VLC/RF Converged Localization

Ki-Yun Kim*, Min-Woo Lee*, Jae-Sang Cha^o

요 약

최근 스마트폰 보급이 확산되고 전시 및 관람 산업 시장이 급성장함에 따라 미래 전시관은 관람객에게 보다 큰 만족과 공감을 줄 수 있는 능동적, 실감형, 맞춤형, 인터랙티브 서비스를 제공하는 방향으로 진화하고 있다. 이를 실현하기 위해서는 실내 전시관내에서 관람객의 위치를 파악하는 일은 매우 중요하며, 측위 정밀도에 따라 제공 가능한 전시 서비스 품질도 달라진다. 본 논문에서는 최근 연구되고 있는 실내 위치 인식 기술을 분석하고 전시관에 적합한 측위 방법을 제안하였다. 이를 위해, 먼저 IT 기술과 접목된 미래 지향적 전시 서비스 형태를 도출하고, 최근 출시된 BLE(Bluetooth Low Energy) 기술 및 사양 비교 분석을 포함한 대표적인 측위 기술에 대해 분석하였다. 또한 RF 및 VLC의 두 가지 측면에서 채널 특성을 비교 분석하고 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 토대로 전시관을 위해 VLC 및 RF(Wi-Fi 및 BLE) 측위 기술이 결합된 측위 방안을 제안하였다.

Key Words : Indoor Localization, Exhibition, VLC, BLE, Wi-Fi, Smart Device

ABSTRACT

Recently, as the supply of smart phone is spreading and the exhibition industries are rapidly growing, future exhibitions are evolving toward active, customized, interactive, tangible services, which can give more satisfaction to visitors. To realize this services, the indoor localization in the exhibition of visitors is very important and according to the accuracy of localization the quality of services for exhibition are also different. In this paper, state-of-the art indoor localization techniques are investigated and new localization method are proposed. To achieve this goal, future exhibition service types are proposed, which are connected with IT technology. And also, BLE(Bluetooth Low Energy) technology including comparison of specifications and representative localization technologies are analysed. Furthermore we performed comparison study and simulation between RF and VLC channels. Finally based on this, we proposed converged VLC and RF(Wi-Fi and BLE) localization technique for exhibition.

* 본 논문의 일부는 산업통상자원부 국가표준기술력 향상사업의 LED-ID표준화 연구개발사업으로 지원된 연구결과입니다.

• First Author : Dept. of Electrical Eng., Myongji College, kkim@mjc.ac.kr, 종신회원

^o Corresponding Author : Dept. of Electronics & IT Media Eng., Seoul National University of Science and Technology, chajs@seoultech.ac.kr, 종신회원

* 서울과학기술대학교

논문번호 : KICS2014-11-469, Received November 24, 2014; Revised January 8, 2015; Accepted January 8, 2015

I. 서 론

스마트폰 보급이 확산되고 전시 및 관람 산업 시장이 급성장함에 따라 관련 서비스 수요가 증가하여, 사용자의 스마트 디바이스와 연동하는 다양한 실감형 전시공간 서비스와 이를 뒷받침할 기술이 절실히 요구되고 있다^[1]. 현재 대부분 전시관에서는 관람자에게 별도의 단말기를 제공하여 전시관의 일부 정보를 제공하는 방식으로 운영되고 있으며, 유비쿼터스(ubiquitous) 시대에 부응하는 원스탑 콘텐츠 서비스가 실현되지 못하고 있고, 관람자 편의 제공을 위한 토털 서비스 관리도 어려운 실정이다. 또한 관람자에게 제공하고 있는 단말기와 콘텐츠 제공을 위한 운영 비용이 상당하고, 관리상의 어려움도 나타나고 있어 이들의 해소 방안이 절실히 필요한 상황이다. 전시관에서 유비쿼터스 서비스 실현이 더디게 진행되는 이유 가운데 하나는 스마트 디바이스를 사용한 위치 인식 기술이 전시 및 관람이 주로 이루어지는 실내에서 만족할만한 수준에 있지 못하고 있기 때문이다. 실내에서는 GPS 신호 수신에 사실상 불가능하기 때문에 실내를 위한 다양한 측위 기술이 연구되어 왔으며, 대표적으로 Wi-Fi, Bluetooth, RFID, 적외선(IR)통신, UWB(Ultra Wide Band) 등이 있으나, 어느 것도 대세를 이루고 있는 실내 측위 기술은 아직까지는 없는 실정이다.

본 논문에서는 최근 전시 문화가 개인 스마트폰을 이용하여 활성화되고 있는 추세에 맞춰 이를 이용한 위치 인식 기술을 분석하고 전시관에 적합한 측위 방법을 제안하고자 한다. 현재 스마트폰의 내재 기능을 활용하여 활발히 연구되고 있는 실내 측위 기술은 2.4GHz ISM(Industrial Science Medical) 무선 전파(RF, Radio Frequency) 주파수 대역의 Wi-Fi 및 Bluetooth 기반 기술이다. Wi-Fi를 이용한 실내 측위 기법은 현재 가장 활발히 연구되고 있으며, 삼각측량법 및 fingerprinting 기법 등 복합적인 기법이 적용되어 측위 정확도 개선 연구가 진행되고 있으나 Wi-Fi가 설치된 환경은 여러 사물과 사람, 장애물, 벽 등이 존재하고 있어 다중경로 페이딩 및 간섭에 취약하여, 결국 전시관에서 사용될 만큼의 측위 정확도를 제공하지 못한다^[2]. 아울러 최근 소개된 Bluetooth를 활용한 실내 측위 방법은 비콘(beacon)이라는 밤알 크기의 작은 블루투스 송신 장치를 곳곳에 설치하고 해당 비콘에서 송신하는 고유 ID를 스마트폰이 수신하여 현재 위치를 알아내는 방식이나, 이것은 정확한 측위를 위해 곳곳마다 비콘을 설치해야 하므로 실내 내비

게이션 등에 적용하기에는 한계성이 있다^[3]. 따라서 본 논문에서는 현재의 RF 기반 위주의 측위기술의 한계성을 인식하고 새로운 통신 기술로 주목받고 있는 가시광 통신(VLC, Visible Light Communication)기반의 VLC/RF 결합 측위 기술을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 실내 측위를 포함한 IT 기술 기반의 전시 서비스를 제안하고 III 장에서는 전시 공간을 위한 Wi-Fi, BLE 및 VLC 측위 기술을 분석한다. IV장에서는 RF 및 VLC 채널 특성을 분석하고, V장에서는 전시 공간을 위한 VLC/RF 결합 측위 기술을 제안한다.

II. IT 기술 기반의 전시 서비스

최근 기하급수적으로 시장 규모가 팽창하고 있는 MICE, 박람회, 미술관, 박물관, 과학관 등의 전시 산업에서 세계적 주도권을 확보하기 위해 관람객의 스마트 기기가 전시관과 연동되고 관람객이 위치한 곳에 맞춤형 전시 콘텐츠를 실감있게 전달할 수 있는 기술이 요구되고 있다. 아울러 전시관 관리를 위해서는 관람객 위치 및 동선을 제공하고 운영관리를 효율적으로 할 수 있는 전시 공간 서비스 및 운영 관리 기술 개발이 필요하다. 이를 위해 전시 산업은 첨단 IT 기술과의 접목이 절실히 요구되고 있다. 그림 1은 본 논문에서 구상한 IT 기반의 전시공간 서비스 및 구성도를 나타낸 것이다.

전시 공간에서 요구되는 첨단 IT 기술 중의 하나인 실내 측위는 전시 서비스를 위한 핵심적 기술 중의 하나로서 이를 응용한 서비스 제공 분야는 다음과 같이 다양하다.

① 실내 내비게이션 서비스

전시 규모가 대형화되고 이에 따른 전시 공간 및

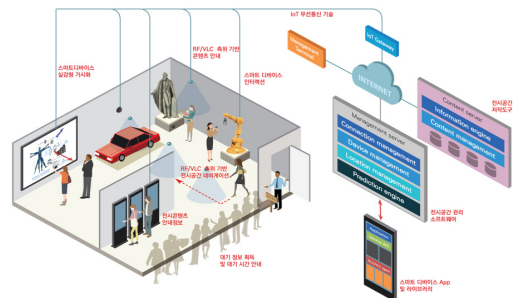


그림 1. 제안하는 실내 측위 기반 전시공간 서비스 및 구성도
Fig. 1. The proposed exhibition services and structures based on indoor localization

구조 역시 대형화 및 복잡화됨에 따라 건물내에 해당 전시물을 찾아가기 위한 실내 내비게이션 서비스가 필요하다. 이를 통해 고객에게 필요한 맞춤형 전시 시설물로의 동선 안내가 가능하고, 해당 전시물 또는 전시관으로의 길 찾기 안내가 가능하다. 아울러 전시관에 방문한 관람객의 주차 안내 서비스 제공도 가능하다. 내비게이션 서비스에는 이에 따른 실내 지도 및 앱(App.) 제작 등이 필요하다.

② 실감형 콘텐츠 서비스

실내 위치인식이 보다 정밀해질수록 스마트폰 등의 개인 기기와의 연동 및 개인화된 맞춤형 인터랙션이 가능해진다. 즉, 전시관내의 각종 전시물 및 디지털 콘텐츠와 연동하여 관람객이 직접 체험이 가능하며, 증강현실(AR, Augmented Reality) 및 사용자 위치 기반 3D 홀로그램 서비스 등이 가능해진다. 아울러 전시물의 보호를 위해 촬영 및 접근 시 훼손 방지를 위한 알림 서비스 등도 가능하다.

③ 전시 관람 통합 운용 관리 서비스

관리자 측면에서 전시장의 디지털 콘텐츠, IoT 기기의 상태 및 운용, 관람객의 현재 상황을 파악하고 활용할 수 있는 통합적 운용관리 기술 개발이 필요하다. 실내 측위가 가능해지면 전시물과 연동되는 IoT 기기 및 관람객 스마트 기기로부터 수신한 위치 정보를 바탕으로 실시간으로 관리 서버가 현재의 전시장 상황을 종합적으로 분석할 수 있게 되며, 서버에 집약된 정보를 실시간으로 분석하여 전시 콘텐츠 대기자 수 및 관람 소요시간 등의 유용한 데이터를 추출하여 통합 운용관리 서비스가 가능해진다.

III. 전시 공간을 위한 측위 기술 분석

3.1 Wi-Fi 측위 기술

Wi-Fi 를 이용한 실내 측위 기술은 무선 공유기(AP, Access Point)로부터 송출되는 신호를 스마트 디바이스 등 사용자 단말기가 측정하여 전파 수신 강도(RSSI, Received Signal Strength Indicator)를 계산하고, 이를 바탕으로 위치를 추정하는 방식이다. 이 방식은 기존 Wi-Fi AP가 설치된 것을 활용하는 측면에서 새로운 추가 구축 비용 부담이 줄어드는 장점이 있으나, 정확한 위치 추정을 위해서는 추가적인 다수의 AP 구축이 필요하고 전파의 간섭으로 인해 정확도가 떨어진다는 단점이 있다⁴⁾. Wi-Fi를 이용한 위치 인식 기술은 크게 삼각 측량법(triangulation)과 위치

지문(location fingerprinting) 기법으로 나눌 수 있다.

3.1.1 삼각측량법

삼각 측량은 3개 이상의 AP로부터 송신된 신호를 단말기가 받아 그림 2와 같이 신호 강도에 따른 거리를 측정하고 이로부터 반경을 계산하여 3개 이상의 원이 만나는 점을 잇고 위치를 추정해 내는 기법이다. 전시물 및 관람객 이동이 많은 실내 환경은 다양한 사물과 사람, 그리고 다양한 재질로 구성되어 있기 때문에 난반사 및 굴절 등이 발생하여 신호 세기가 일정하지 않으므로 사실상 정밀 측위가 어렵다.

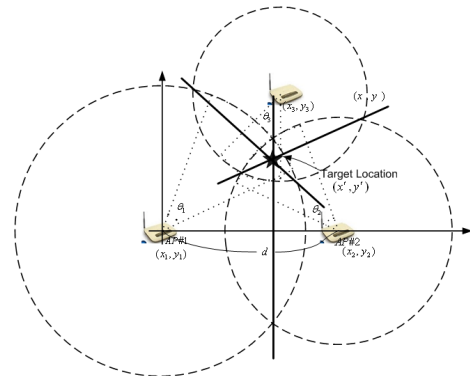


그림 2. Wi-Fi AP를 이용한 삼각 측량법
Fig. 2. Triangulation method using Wi-Fi APs

3.1.2 위치지문(Location Fingerprinting)

여러 AP로부터 RSSI 값들을 수신한 뒤 미리 저장된 데이터베이스(DB, database)와의 비교를 통해 오차가 최소가 되는 기준점을 추정 위치로 결정한다. 실내 공간 전체를 작은 구역으로 나누고 구역별로 신호를 분석해 DB를 구축한 것 역시, 전시관과 같은 벽, 사물, 사람 등이 위치한 복잡한 환경일 경우는 간섭과 다중경로페이딩 영향에 의해 정밀한 측위 성능을 기대하기 어렵다.

3.2 Bluetooth 측위 기술

현재 근거리 무선통신 기술의 대표주자로 널리 활용되고 있는 블루투스(Bluetooth) 기술은 1999년에 처음으로 Version 1.0이 소개된 이래 성능 개선을 거듭하여 2010년 6월 Bluetooth SIG(Special Interest Group)에서 Version 4.0이 채택되었고, 이 표준 안에 소개된 기술 중 하나의 기술인 LE(Low Energy) 기술이 적극적으로 연구되어, 최근에는 미국 애플사의 i-beacon 및 국내 SK 텔레콤의 WIZTURN 등으로 사업화가 추진되고 있다. BLE(Bluetooth Low Energy)

기술은 상업적으로는 Bluetooth Smart라는 이름으로 알려져 있으며 전기관에서는 관람객이 비콘 센서가 설치된 곳에 진입하면, 자동으로 블루투스 4.0 이상이 설치된 스마트 단말이 관람객의 TPO(Time Place Occasion)를 인식하여 관람객에게 맞춤형 정보와 서비스를 제공하는 서비스가 시도되고 있다⁵⁾. 이 기술은 기존의 Classic Bluetooth 기술인 BR(Basic Rate), EDR(Enhanced Data Rate), 2.0+EDR, 2.1+EDR, 3.0+HS(High Speed) 등과 비교하여 상대적으로 저속 전송 속도로 동작하며 버튼 셀 배터리를 채용할 경우 1년 이상 동작이 가능할 정도로 전력소모가 적고 저 가격으로 생산이 가능하도록 설계되었다. 본 논문에서는 기존 Classic Bluetooth와 최근 새롭게 부각되고 있는 BLE의 주요 기술적 특징을 표 1에 비교 분석하였다.

기본적으로 기존의 Classic Bluetooth와 BLE는 동일한 2.4GHz ISM 대역을 사용하고, FH(Frequency Hopping) GFSK(Gaussian Frequency Shift Keying) 변조 방식을 사용한다. 그러나 변조 지수(Modulation Index)측면에서 BLE는 0.5로써 Classic의 0.35보다 커졌다. 이것은 전력 소비를 낮게 하고 동작 범위를 향상시킬 수 있게 한다.

또한 기존 Classic에서는 1MHz 대역폭 79개 채널을 사용한 반면, BLE는 2MHz 대역폭 40 채널을 사용하는데, 이와 같이 상대적으로 대역폭을 넓히고 채널수를 줄임으로써 구현상에 정교함을 낮춰 저렴한 칩셋을 구현할 수 있게 된다. BLE의 40개의 채널 할

표 1. Classic Bluetooth 및 Bluetooth Low Energy의 사양 비교
Table 1. Comparison between Classic Bluetooth and BLE

Technical Specification	Classic Bluetooth	Bluetooth Low Energy
Frequency Band	2400 to 2483.5 MHz	2400 to 2483.5 MHz
Modulation	FH/GFSK	FH/GFSK
Modulation Index	0.35	0.5
Number of Channels	79	40
Channel Bandwidth	1 MHz	2 MHz
Data Rate	1~3Mbps	1Mbps
Node/Active Slaves	7	Unlimited
Power	<30mA	<15mA
Topology	Scatter net	Star
Security	56 to 128 bit	128-bit AES
Voice	Capable	Not Capable

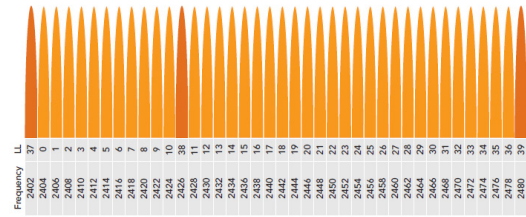


그림 3. BLE 채널 할당
Fig. 3. BLE channel allocation

당을 그림 3에 나타내었다. 여기서 광고(advertising)라고 불리는 3개의 채널(진한 오렌지색, 37, 38, 39번 채널)을 주목할 필요가 있다. 이것은 BLE를 사용하는 장치 탐색 및 연결 설정에 사용되는데 기존 Wireless LAN 채널간 사이에 할당되어 중복을 회피하고 있다. 다른 장치를 찾거나 연결을 원하는 다른 장치에 자신의 존재를 알리는데 사용되며, 다른 장치의 존재를 스캔하는데 0.6~1.2ms 가 소요된다. 반면에 기존 Classic 에서는 32개의 채널을 사용하여 장치를 탐색하며 22.5ms 의 탐색시간이 소요된다.

BLE 기술이 적용된 비콘은 블루투스 디바이스간 페어링을 하지 않고 advertising 채널을 이용하여, 일방적인 single mode로 방송형태의 송신을 한다. 스마트 디바이스는 수신기로서 앱을 설치하고, 블루투스를 켜 상태에서 비콘이 설치된 장소에 진입하면 BLE 신호를 수신하게 된다. 이 경우 비콘을 이용한 실내 측위는 비콘에 설정된 고유 ID를 스마트 디바이스가 전송받고, 이를 스마트 단말에 설치된 앱을 통해 서버에 전송하면, ID 기반으로 관람객의 위치를 파악한다. 따라서 이 경우는 정확한 측위를 위해 곳곳에 비콘을 설치해야하고 정밀 측위가 불가능하다는 점에서 한계가 있다.

3.3 VLC 측위 기술

조명과 통신의 융합 기술로서 최근 부각되고 있는 가시광 통신(VLC, Visible Light Communication)은 가시광 즉, 실내 조명의 빛을 이용하여 무선으로 데이터를 전송하고 위치를 추정하는 기술이다. VLC는 375~780nm 사이의 가시광 영역 파장을 사용하게 되는데 주로 LED 조명을 사용하여 구현하며, 그 밖에 디스플레이, 사이니지, 컴퓨터 스크린, 휴대폰 LED 등도 광원으로 활용가능하다. 이와 같이 VLC 측위는 기존의 조명 및 디스플레이 장치 등을 그대로 재활용하고 현재 포화상태에 있는 RF 주파수 자원을 대체할 수 있다는 측면에서 큰 장점이 있다고 할 수 있다⁶⁾⁹⁾.

LED 측위는 RF 측위 방식과 원리가 거의 비슷하

다. 송신된 LED 신호의 세기, 빛의 수신 각도, 광원에서 제공하는 ID 정보 데이터 등이 활용될 수 있다. VLC 측위가 무선 RF 방식에 비해 몇 가지 장점이 있는데 이를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 대부분의 RF 통신에 비해 램프를 교체하면 되므로 장치가 쉽다.
- (2) RF 측위 기술은 주변 전자파 간섭을 항상 고려해야 하지만 가시광을 이용할 경우 전자파 간섭 등을 일으키지 않으며 주파수 대역 허가가 필요 없다.
- (3) VLC는 RF 신호와는 달리 벽이나 사물을 투과하지 못하므로 빌딩이나 방에 한정된 신호를 보내게 되어 보안성을 확보할 수 있으며, 다른 영역에서의 신호와 간섭 영향이 없어 성능 저하가 적다.
- (4) 실내 공간에 충분한 광원 확보시 RF 방식에 비해 음영 효과(shadowing effect)를 줄일 수 있다.
- (5) LED 조명 등의 설치 비용이 여타 RF 장치 설치 비용보다 저렴하다.

그러나 이러한 내재적인 장점에도 불구하고 VLC 측위는 Wi-Fi 및 Bluetooth보다 연구가 미진한 상황이다. 최근 IEEE 802.15.7a 등에 국제적 표준화 활동이 이루어지고 있으며 스마트 디바이스에 적용되기 위해서는 향후 개발되어야 할 과제가 많다.

IV. 채널 특성 분석

전시 공간 실내 측위의 적합성을 분석하기 위해서는 RF 신호 및 VLC 채널 특성을 비교하여 살펴볼 필요가 있다. 일반적으로 실내 사무실에 적합한 RF 채널 모델은 WINNER II 채널 모델로서 다음 식 (1)과 같은 경로손실 모델을 정의할 수 있다^[10].

$$PL[dB] = A \log(d[m]) + B + C \log_{10}\left(\frac{f_c[GHz]}{5}\right) + X \quad (1)$$

여기서, d 는 송신기(Tx)와 수신기(Rx) 사이의 거리이며, f_c 는 반송파(carrier) 주파수 [GHz]를 의미하며, A , B 및 C 는 채널 모델에 따른 상수, X 는 환경-특정 상수이다.

그림 4는 실내 환경에서 ISM 대역 주파수(900MHz, 2.4GHz, 5.7GHz) 및 거리에 따른 경로 손실을 나타낸 것이다. 여기서 파라미터 상수값은 $A = 18.7$, $B = 46.8$, $C = 20$ 으로 가정하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 RF 무선채널은 실내에서 거리

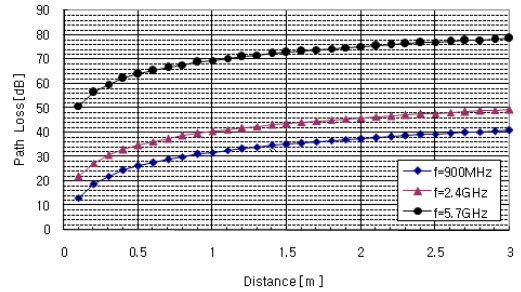


그림 4. ISM 대역 주파수의 실내 경로 손실 시뮬레이션
Fig. 4. Path loss simulation for ISM band indoor environment

및 주파수가 증가할수록 경로 손실이 커지는 것을 알 수 있다. Wi-Fi 및 Bluetooth가 사용되는 2.4GHz 대역 실내에서는 전파 거리가 1m에서 2m로 늘어날 경우 경로손실이 40.42 dB에서 46.05 dB로 약 5.6dB 증가함을 알 수 있다. 이로써 RF 전파는 주파수 및 거리에 상당히 의존적인 것을 알 수 있으며, 특히 같은 주파수 대역을 사용하는 AP간 주파수간 간섭이 발생할 수 있어 NLOS(Non Line of Sight) 성분 및 다중 경로 성분까지 고려할 경우 더 큰 성능 열화를 예상할 수 있다.

반면에 일반적인 RF 송수신 채널에서는 송수신 안테나의 방사 패턴 범위내에 송수신기가 존재하면 앞서 시뮬레이션 한 바와 같이 거리 및 주파수가 주요 신호 감쇠 원인으로 작용하지만 VLC의 경우는 LED 광원과 가시광 신호를 받는 PD(Photo Diode)가 수직 경로에서 이루는 각도가 수신 감도를 좌우한다. VLC 채널을 분석하기 위해 그림 5와 같은 채널 모델을 가정하였다^[6,8,11,12].

VLC 무선 채널의 LOS(Line of Sight) 경로만을

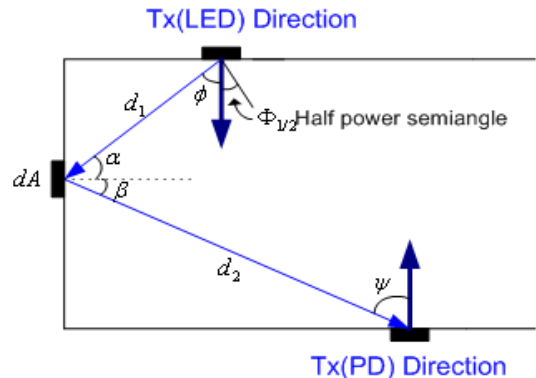


그림 5. VLC 채널 모델
Fig. 5. VLC channel model

고려했을 때 얻어지는 채널 이득은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$G_{LOS} = \frac{(m+1)A}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi) \quad (2)$$

여기서, A 는 수신기 PD의 검출 면적을 나타내고, d 는 LED와 PD 간의 직선 거리를 나타낸다. ϕ 는 송신기 측면에서의 방사각을 나타내며, ψ 는 수신기 측면에서의 입사각을 나타낸다. $T_s(\psi)$ 함수는 수신기에서의 광학필터 함수를 나타내며, 본 논문에서의 값은 이상적으로 1로 가정한다. m 은 Lambertian 방사 차수이며, $g(\psi)$ 는 집중 이득(concentraor gain)으로서 이상적인 이득은 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서, Ψ_c 는 수신기의 FOV(Field of View)를 나타내며, n 은 내부 굴절 계수(refractive index)를 나타낸다. Lambertian 방사 차수는 송신 전력이 반으로 줄어드는 각도인 세미앵글(semi-angle) $\phi_{1/2}$ 과 관련되며, $m = -\ln(2)/\ln(\cos(\phi_{1/2}))$ 값을 가진다.

만약 물체에 반사되어 들어오는 NLOS 경로를 포함할 경우 이득은 식 (4)와 같다.

$$G_{NLOS} = \frac{A\rho(m+1)dA}{2\pi d_1^2 d_2^2} \cos^m(\phi) \cos(\alpha) \cos(\beta) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi) \quad (4)$$

여기서 dA 는 반사벽의 미분 면적을 의미하며, ρ 는 반사계수, d_1 은 송신기와 반사점 사이의 거리, d_2 는 반사점과 수신기 사이의 거리, α 는 송신기와 반사점 사이의 각도, β 는 수신기와 반사점 사이의 각도를 나타낸다.

그림 6은 광원(LED)과 수신기(PD)가 이루는 각도에 따른 VLC 이득을 나타낸 것이다. 광원과 수신기간의 이루는 각도에 따른 이득을 광원이 수직 방향과 이루는 각도(ϕ)별로 나타낸 것이다. 광원이 수직으로 수신기를 비춘다고 할 때, 수신기의 PD가 LED 광원을 약 60° 각도로 수신하게 되면 전력 이득은 반으로 줄게 됨을 알 수 있다. 이와 같이 VLC 채널에서는 RF

표 2. VLC통신을 위한 주요 설계 파라미터
Table 2. Main design parameter for VLC

Main Parameter	Value	Unit
LED semiangle $\Phi_{1/2}$	60	degree
LED Center luminous intensity	57.7	cd
Refractive index	1.5	
FOV at LED	120	degree
Wall reflectance ρ	0.54	
Detector Physical Area A	1	cm^2
Receiver FOV Ψ_c	70	degree
Optical Filter Gain $T_s(\psi)$	1	

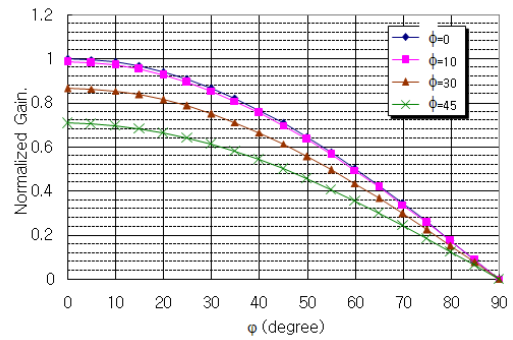


그림 6. 실내 환경에서의 VLC 채널 이득 시뮬레이션
Fig. 6. VLC channel gain simulation for indoor environment

채널에서 거리와 주파수가 채널 이득에 좌우했던 것과는 달리, 광원을 수신기가 수신하는 각도가 수신감도를 좌우함을 알 수 있다.

V. 전시 공간을 위한 VLC/RF 결합 측위 방안 제안

본 장에서는 실내 전시 공간을 위해 VLC 및 RF 결합 측위 방안을 제안하고자 한다. 국제적으로 실내 측위 방법이 아직 표준화 및 널리 보급화되지 않은 상황에서 한 가지 방식만을 고려한 측위 기법 선정 및 운용은 무리가 따른다. 즉, 관람객이 소지한 스마트폰이 블루투스 4.0 이상을 지원하지 않을 수 있으며, 전시관 상황에 따라 측위를 위한 Wi-Fi AP 구축이 어려울 수 있고, VLC 를 위한 조명 설치가 여의치 않을 수도 있기 때문에 전시관과 같은 실내에서는 다양한 형태의 측위 방식을 지원하는 결합형 측위 기술 적용 도입이 고려될 필요가 있다. 아울러 화재 등 재난상황

발생시 탈출 등을 위해서는 어느 한가지 측위 기술만 지원되는 것보다 융복합된 측위 기술이 지원될 경우 비상 안전차원에서 더욱 바람직한 해결책이 된다.

그림 7에 제안하는 결합형 VLC/RF 측위 방안에 대한 flow-chart를 나타내었다. 본 논문에서는 스마트폰을 이용한 결합 측위 기술으로써 VLC 기술과 RF 기반의 BLE 및 Wi-Fi가 결합한 측위 기술을 제안한다. 전시관 운용자는 측위 정밀도 향상 및 관람객 만족도를 위해 VLC 및 RF가 결합된 측위 송신기, 즉 VLC의 경우는 LED 광원, BLE의 경우는 비콘, Wi-Fi의 경우는 AP를 설치한다. 이 경우 전시관은 VLC 및 RF 측위가 가능하도록 전시관 상황에 맞게 선택적으로 시스템을 구축할 수 있다. 관람객은 해당 전시관과 관련된 앱 및 실내 지도를 다운로드 받아 스마트폰에 설치한다. 스마트폰은 관람객의 위치에 따라 설치된 VLC, BLE, Wi-Fi의 송신기들을 탐색하여, 각각의 송신기에 매칭된 수신기로 신호를 수신하고 각각의 측위 방식에 걸맞는 측위 절차를 진행해 나간다. LED 조명 및 비콘에서 고유의 식별 가능한 ID를 송신하는 경우는 해당 앱에서 참조하고 곧바로 현재의 위치 추정 가능성이 가능하므로 실내 내비게이션 맵상에 현재 관람객의 위치를 표시할 수 있으며, RF 신호의 RSSI 나, TDOA 정보, AP 정보를 이용한 삼각측량법, fingerprinting, 데이터베이스 참조 등의 기법을 사용할 경우는 이들의 정보를 무선 네트워크를 통해 서버

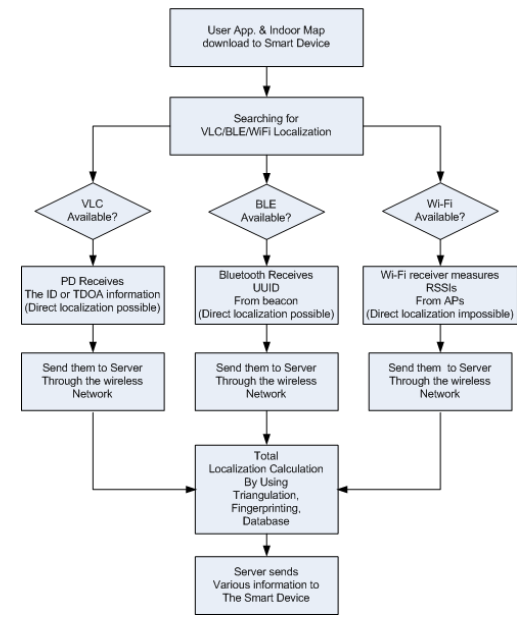


그림 7. 제안하는 VLC/RF 결합형 측위 flowchart
Fig. 7. Flowchart for VLC/RF converged localization

로 전송하여 서버에서 위치를 분석한 후 스마트 디바이스로 위치 정보 및 전시관에 대한 관련 서비스 정보 (음성, 비디오, 텍스트)를 전송한다. 이와 같은 제안 방식의 장점을 정리하면 첫째, 결합 방식으로 측위가 보다 정밀해진다는 점, 둘째 전시 서비스 운영자 측면에서 시설물에 따라 VLC 및 RF 기술 기반으로 전시 공간 상황에 맞게 다양한 조합의 결합 기술을 적용할 수 있어서 편리하다는 점, 셋째, 사용자 측면에서 소유한 스마트폰의 기종에 따른 기능 제공 환경에 맞춰 사용할 수 있다는 점, 넷째 재난이나 비상 또는 다양한 환경에서 한 가지 기술에 의존적이지 않아서 활용 폭이 넓다는 점 등이 있다.

스마트 폰을 이용하여 VLC 측위 시스템을 구축하기 위해서는 기본적으로 PD를 장착해야 하지만 최근에는 PD 대신 스마트폰에 장착된 카메라의 이미지 센서를 활용한 기술 연구가 IEEE 802.15.7a SG(Study Group)를 중심으로 표준화 연구가 진행되고 있다. 따라서 제안 기술은 앞으로 실용화가 더욱 용이해질 것으로 판단된다.

그림 8에 VLC 및 RF가 결합된 측위 기법 적용 내비게이션 서비스를 나타내었다. 기존 한 가지 측위 기술에 의존하는 경우보다 복수의 측위 기법에 의해 실내 위치를 추정할 경우가 보다 정확한 정밀도를 가지기 때문에 해당 전시물에 대한 길 안내는 물론 개인 스마트폰과 전시물간의 다양한 인터랙션 서비스도 가능해진다. 또한 운용자 입장에서는 고객의 위치를 파악하여 전시장 상황을 종합적으로 분석할 수 있다.

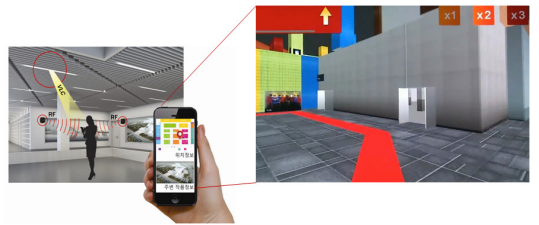


그림 8. VLC/RF 결합 내비게이션 서비스
Fig. 8. Navigation service using VLC/RF converged localization

VI. 결 론

최근의 전시관 형태는 다양화되고 관람객이 직접 체험할 수 있는 공간으로 진화하고 있다. 즉, 예술, 건축, 그리고 최첨단 과학 기술이 융합하여 서로 공감하고 교류하는 인터랙션 전시관으로 변화하고 있다. 이를 위해 전시관내에서 관람객의 위치를 파악하는 일

은 매우 중요하며, 측위 정밀도에 따라 구현 가능한 인터랙션 전시 서비스의 품질도 달라진다. 본 논문에서는 전시관과 같은 실내에 적합한 측위 방법 제시를 위해, 먼저 IT 기술과 접목된 미래 지향적 전시 서비스 형태를 도출하고, 최근 출시된 BLE 기술 및 사양 비교 분석을 포함한 대표적인 미래 스마트폰 활용 측위 기술에 대해 분석하였으며 RF 및 VLC의 두 가지 측면에서 채널 특성 분석을 수행하였다. 이를 토대로 전시관을 위해 VLC 및 RF 가 결합된 측위 기술 도입을 제안하였다.

현재 실내 측위 기술은 성장 단계에 있으며, 표준화 및 정밀도 향상을 위한 연구가 필요하며, 향후 활용 가능성이 매우 높은 기술로 판단된다. 전시관뿐만 아니라 실내 측위 기술은 건물의 대형화에 따라 대형 백화점, 쇼핑몰, 대형 할인점, 지하 쇼핑몰, 대형 공공기관 등에도 널리 활용될 수 있을 것이다. 또한 실내외 도보용 내비게이션, 위치 추적, 소셜 네트워킹 분야에서 실내 위치 인식은 핵심 기능 및 기술로 자리매김할 것이다. 아울러 실내 측위 기술 서비스 측면에서는 정보관리 및 통신, 무선 공유, 정보 보안 관리 등도 검토가 필요할 것으로 사료된다.

References

[1] Y. H. Cho and Y. K. Choi, "The design of smart phone application design for intelligent personalized service in exhibition space," *J. Intell. Inf. Syst.*, vol. 17, no. 2, pp. 109-117, Jun. 2011.

[2] 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. 15, no. 1, pp. 129-136, Feb. 2014.

[3] S. Lim, J. M. Kang, and B. M. Heo, "Mobile phone positioning technique trend for location based service," *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, vol. 12, no. 1, pp. 220-231, Jul. 2014.

[4] B. M. Choi, J. S. Kim, J. I. Jeong, J. K. Hong, and S. S. Lee, "The practical use of the accelerometer sensor and gyro sensor for Wi-Fi based real time indoor wireless positioning system," *KICS Winter Conf.*, pp. 525-526, Feb. 2011.

[5] http://www.litepoint.com/wp-content/uploads/2014/02/Bluetooth-Low-Energy_WhitePaper.pdf. Retrieved Oct. 1, 2014.

[6] T. H. Do, J. H. Hwang, and M. S. Yoo, "Enhanced VLC-TDoA algorithm for indoor positioning without LED-ID," *J. KICS*, vol. 38B, no. 8, pp. 672-678, Aug. 2013.

[7] Y. U. Lee and J. H. Park, "Realization of hybrid localization system with lighting LEDs and Ad-Hoc wireless network," *J. KICS*, vol. 37C, no. 9, pp. 774-783, Sept. 2012.

[8] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 50, no. 1, pp. 100-107, Feb. 2004.

[9] S. Ayub, M. Honary, S. Kariyawasam, and B. Honary, "A practical approach of VLC architecture for smart city," *2013 Loughborough Antennas Propag. Conf. (LAPC)*, pp. 106-110, Nov. 2013.

[10] I. Stefan, H. Burchardt, and H. Haas, "Area spectral efficiency performance comparison between VLC and RF Femtocell Networks," *IEEE Int. Conf. Comm.(ICC)*, pp. 3825-3828, Jun. 2013.

[11] C. Chen, D. Tsonev, and H. Haas, "Joint transmission in indoor visible light communication downlink cellular networks," *2013 IEEE Globecom Workshops(GC Wkshps)*, pp. 1127-1132, Dec. 2013.

[12] V. Jungnickel, V. Pohl, S. Nonnig, and C. V. Helmolt, "A physical model of the wireless infrared communication channel," *IEEE J. Selected Areas in Commun.*, pp. 631-640, Apr. 2002.

김 기 윤 (Ki-Yun Kim)



2002년 2월 : 성균관대학교 전
기전자컴퓨터공학과 박사
2006년~2007년 : 미국 Univ.of
California, Los Angeles
(UCLA) 전기공학부 박사후
연구원
2001년~2008년 : 삼성탈레스
기술연구소 책임연구원

2008년~현재 : 명지전문대학 공학·정보학부 전기과
부교수

<관심분야> 통신/영상 신호처리, 군통신, 이동통신,
LED 응용 시스템, 의용 공학 시스템 등

차 재 상 (Jae-Sang Cha)



2000년 : 일본 東北대학교 전자
공학과 공학박사
2002년 : ETRI 이동통신연구소
무선전송기술팀 선임연구원
2008년 : 미국 플로리다 대학교
방문교수
2009년~현재 : 서울과학기술대학
교 전자IT미디어공학과 교수

<관심분야> OCC(Optical Camera Communication)기
술, 차세대 이동통신기술, LED-IT 응용기술, 무선
홈 네트워크 기술, 조명IT융합기술, 대역확산기술

이 민 우 (Min-Woo Lee)



2013년 2월 : 군산대학교 정보통
신공학과 학사졸업

2013년 3월~현재 : 서울과학기술
대학교 NID융합기술대학
원 석사과정

<관심분야> LED-IT 응용기술,
무선통신기술, 대역확산기술