

LED 조명과 스마트 디바이스의 이미지 센서를 이용한 실내 측위 기법

김재훈[◦], 김병섭^{*}, 전현민^{*}, 강석연^{**}

An LED Positioning Method Using Image Sensor of a Smart Device

Jae-Hoon Kim[◦], Byoung-Sup Kim^{*}, Hyun-Min Jeon^{*}, Suk-Yon Kang^{**}

요약

무선인터넷과 이동통신 기술의 발달 및 스마트폰의 급속한 확산으로 인해 사용자의 현재 및 과거의 위치 정보를 사용하여 다양한 부가정보를 제공하는 위치기반 서비스에 대한 관심이 급증하고 있다. 위치기반 서비스의 본격적인 활성화를 위해서는 정확한 측위가 기본이 된다. GPS (Global Positioning System)와 WPS (Wi-Fi Positioning System)가 상용화 되면서 측위 기술에 일대 혁신을 가져왔으나 실내환경에서 많은 제약을 가졌고 스마트폰에 일반적으로 설치되는 관성센서 (IMU: Inertia Motion Unit)를 사용한 네비게이션 (Navigation)기술을 실내 환경에서 응용하는 시도도 일정부분 성과를 거두었다. LED 조명을 이용한 실내 측위는 LED 조명으로부터 특정 신호를 수신하여 해석을 하는 Li-Fi (Light Fidelity) 통신의 부가 서비스의 한 형태로 조명 받았으나, LED 조명으로부터 신호를 수신하기 위한 수신기를 갖추어야 하는 실제적인 문제가 있다. 본 논문에서는 부가 장비 없이 스마트폰의 이미지 센서만을 이용하여 LED 조명으로부터 신호를 수신하여 해석하는 방식을 제시하고 이를 실내 측위에 이용하는 응용 서비스 기술을 제안한다.

Key Words : LBS, LED, image processing, smart device, CMOS

ABSTRACT

The drastic growth of mobile communication and spreading of smart phone make the significant attention on Location Based Service. The one of most important things for vitalizations of LBS is the accurate estimating position for mobile object. Focusing on an image sensor deployed in smart phone, we develop a LED based positioning estimation framework. The developed approaches can strengthen the advantages of independent indoor applicability of LED. The estimation of LED based positioning is effectively applied to any indoor environment. We put a focus especially on the algorithmic framework. of image processing of smart phone. From LED lighting, we can obtain a typical signal image which contains the unique positioning information. Furthermore test-bed based on smart phone platform is practically developed and all data have been harvested from the actual measurement of test indoor area. This can approve the practical usefulness of proposed framework.

※ 본 논문은 2014년도 정부(교육부) 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2014-056716)

◦ First Author and Corresponding Author: Ajou University Department of Industrial Engineering, jayhoon@ajou.ac.kr, 정희원

* Ajou University Department of Industrial Engineering, {ajouinkbs, jhmwizard}@ajou.ac.kr

** SK Telecom Convergence Tech. Lab., sukyon.kang@sk.com

논문번호 : KICS2014-10-444, Received October 31, 2014; Revised January 26, 2015; Accepted January 26, 2015

1. 서론

사용자가 현재 위치한 지리적 위치를 고려하여 사용자에게 유용한 정보를 결합하여 제공하는 서비스인 LBS (Location Based Server)는 무선인터넷과 이동통신 기술의 발달 및 스마트폰의 급속한 확산으로 인해 관심이 급증하고 있다. 위치기반 서비스에 대한 사회/경제적 요구가 증가하는 배경에는 첫째, 공공 및 개인의 안전과 관련된 긴급 상황에 대한 신속한 대처, 둘째, 경제적 자원관리, 셋째 다양한 정보통신 서비스 지원을 위한 기반기술 확충에 그 의의가 있다. 다양한 형태의 사회/경제적 요구를 만족하기 위한 위치기반 서비스를 제공하기 위해서는 다양한 기술적 요소가 결합된 다층 구조의 시스템이 필요하다. 아래 그림 1은 이와 같은 다층 구조의 시스템을 표현한 것으로 최하단의 측위 시스템 (Positioning System)으로부터 개별 응용 프로그램 (Application)까지의 기술 요소들이 적절히 융합되어야 함을 보이고 있다.

LBS를 위한 다양한 시스템 중에서 측위의 품질을 결정하는 핵심시스템은 측위 시스템(Positioning System)이며 주로 유무선 통신 기술 등을 이용하여 대상 물체 (Target Object) 의 측위값을 측정하고 그 값을 위경도값의 형태로 제공하게 된다. 즉, 측위시스템의 목표는 측위 시스템에 의해 측정된 (measured) 측위 값과 대상 물체의 실제 위치값 의 오차를 최대한 줄여 위치기반 서비스를 이용하는 사용자의 사용자 경험 (User Experience)을 극대화하는데 있다. 대표적인 측위 시스템에는 이동통신 인프라구조를 이용하는 네트워크 기반 측위, 위성을 이용하는 위성 기반 측위, 대상 물체 (대부분 이동 단말) 의 내부 센서를 이용하는 센서기반 측위, 그리고 근거리 통신 인프라를 이용하는 전파지문 방식 등이 실용화되어 있다 (그림 2).

위성 기반 측위로는 Global Positioning System (GPS)^[1]가 가장 일반적으로 사용되고 있다. GPS는

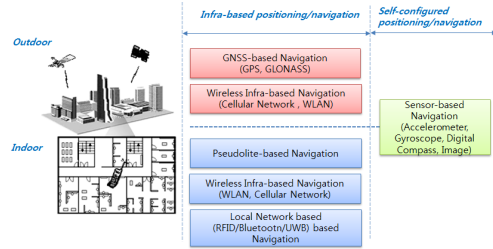


그림 2. 정위 기법
Fig. 2. Positioning Techniques

미국이 제공하는 인공위성 기반 측위데이터 제공 시스템으로 GPS 수신 장치는 위성 전파를 참조하여 위성에서 송신한 신호가 수신 장치에 도달하는데 걸리는 시간(TOA : Time of Arrival)을 계산하여 거리를 계산한다^[2]. GPS는 직진성이 강한 전파의 특성상 수신장치와 가시성 (LOS: Line Of Sight)을 유지한 상태에서만 통신이 가능하여 실내 같은 특정한 환경에서는 측위가 어렵다는 단점이 있다. WPS (Wi-Fi Positioning System) 방식의 핵심은 실내 및 실외에 위치하는 Wi-Fi AP (Access Point)로부터 사용자 단말기에 측정되는 전파수신강도(RSSI : Received Signal Strength Index)를 이용하여 대상 물체의 위치를 추정한다는 것이다^[3,4]. WPS는 근거리 통신에 쓰이는 무선 AP를 측위에 활용함으로써 실/내외에 새로운 인프라 구축비용이 필요없다는 장점을 지니고 있고 무선 AP의 수가 매우 많아서 전파의 가시성 확보가 GPS에 비해 상대적으로 덜 문제가 된다^[5].

센서기반 방식은 IMU(Inertial Measurement Unit)를 이용한다. IMU는 ‘관성 측정 장치’로써 이동 물체의 속도와 방향, 중력, 가속도를 측정하는 장치를 뜻한다. IMU 기반의 위치추정은 가속도계, 각속도계, 지자기계 및 고도계를 이용하여 보행자 및 이동 물체의 움직임 상황을 인식하는 방식이다^[6,7]. 스마트폰에 삽입된 IMU 관성 계측장치에는 일반적으로 3축 가속도계와 3축 각속도계가 내장되어 있어 진행 방향, 횡방향, 높이 방향의 가속도와 롤링(roll), 피칭(pitch), 요(yaw)각속도의 측정이 가능하며, IMU로부터 얻어지는 가속도와 각속도를 적분하여 이동물체(보행자)의 속도와 자세 각의 산출이 가능하다. 또한 실내공간에서 위치를 보다 정밀하게 측위하기 위한 여러 기술들, 즉 무선랜 인프라, 의사위성(Pseudolites), 레이저, 음파, RFID(Radio Frequency Identification), 블루투스 등을 이용하여 특정 보정점 (Waypoint)를 지정하여 IMU 측위의 누적오차를 보정하는 시도가 이루어졌다.

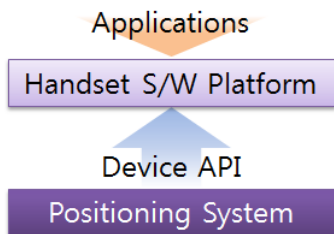


그림 1. LBS 계층구조
Fig. 1. Layered Structure for LBS

가시광 통신 (VLC: Visible Light Communication) 은 오래 전부터 그 가능성이 알려진 통신방식이다. 빛 역시 전자기파의 일종이고 빛을 매개체로 하는 통신이 이론적으로 가능하나 일반적인 전자기파에 비해 간섭에 취약하고 직진성이 너무 강해 실험실에서의 단거리 통신이 우선 시도되었다. 아래 그림 3은 가시광 통신을 적용한 사무실 공간의 예이다. 모든 조명 하나하나가 정보 전송 노드가 되어 공간의 통신 시스템을 구성한다.

가시광 통신은 여러 취약성에도 불구하고 실용화 가능성을 꾸준히 탐색해 왔다. 지능형 교통시스템 (가로등, 신호등), 고화질 전송을 위한 고속 단대단 통신, 박물관등 특정 지역에서의 지역 콘텐츠 전송 등의 서비스가 검토되었다. 측위는 가시광 통신이 적용이 가능한 유망한 분야 중 하나이다. 실내환경에는 조명기구가 촘촘히 설치되어 있고, 이들 조명기구가 자신의 위치를 표시하는 특정신호를 전송하면 개인의 정보기기 (스마트폰, 태블릿PC 등)는 이들 신호를 검출하여 자신의 위치를 측정하는 것이 가능하다. 가시광 통신을 이용한 측위의 가장 큰 난점 중 하나는 가시광을 검출하기 위한 전용의 포토센서가 필요하다는 것이다^[9]. 전용의 포토센서를 이용하지 않는 방식은 가시광 통신을 이용한 측위의 가장 큰 도전 중 하나이다. 미국의 벤처기업인 ByteLight는 전면 카메라만을 이용해 측위를 시도하는 시스템을 설계하고 시제품을 개발해 제공하였다^[10]. 전면 카메라 센서를 이용하여 특정한 주파수의 깜박임 (Flickering) 을 갖는 LED 광원을 검출하여 위치 서버에 미리 저장된 LED 광원의 위치 정보를 스마트 디바이스에 전송한다. 그러나 Bytelight는 LED 광원의 깜박임 주파수 (Flickering Frequency)를 직접 검출하기 위해 푸리에 변환 (Fourier Transform)을 시도하는 복잡한 기구를 도입

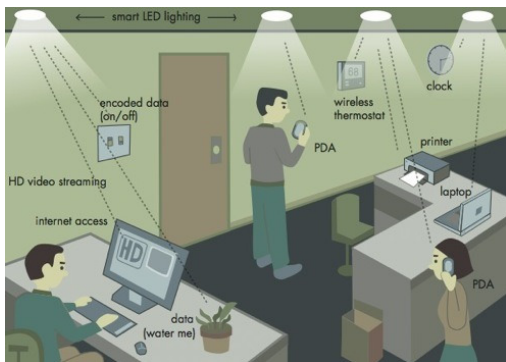


그림 3. VLC 환경
Fig. 3. VLC Environment[8]

하였다.

본 논문에서는 LED 광원으로부터 이미지를 얻어 이들 이미지를 분석함으로써 특정한 패턴을 검출하고 이 패턴에 해당하는 LED 광원의 위치 정보를 검출하는 일련의 프레임워크를 구축한다. 위치 정보를 표현하는 LED 지문 지도 (Light Fingerprint Map)를 구성하여 LED 광원의 위치를 직관적으로 표현하고, 서로 구분 가능한 깜박임 주파수 이격을 정하며 이미지 패턴을 단순하게 얻어낼 수 있는 과정을 기술한다. 이들 일련의 프레임워크로부터 실내 환경에서 LED 광원을 이용한 측위 기술의 실용화 가능성을 실증한다.

II. 본 론

2.1 LED 실내 측위 프레임워크 및 센서 기구

LED 광원을 이용하는 실내 측위 프레임워크의 일반적인 프로세스 흐름은 그림 4와 같다. 사용자 디바이스는 카메라 모듈을 LED 광원 아래서 구동시켜 LED 광원으로부터 이미지를 얻는다. 얻어진 이미지로부터 패턴을 추출하는데, 패턴 추출에 성공하게 되면 원거리에 있는 위치 서버에 저장된 LED 지문 지도 (Light Fingerprint Map) 상의 지문 (Light Fingerprint)의 패턴 데이터와 비교하여 카메라 모듈이 촬영하고 있는 LED 광원의 위치를 얻어낸다. 이 위치가 바로 현재 사용자의 디바이스의 실내 위치가 된다.

LED 광원의 깜박임을 통해 신호를 전송하고자 한다면 LED 광원과 이 광원을 제어하는 제어칩이 필요하다. 아래 그림 5는 이를 위한 LED 광원과 카메라 모듈의 일반적 구조로서, LED 광원은 조도 조절을 위해 깜박임의 빈도(Frequency)와 흑백 비율(Dimmer Rate)을 조절할 수 있는 제어칩을 채용하고 있다. 본 연구에서는 리시버 측에서는 카메라 모듈로부터 얻어

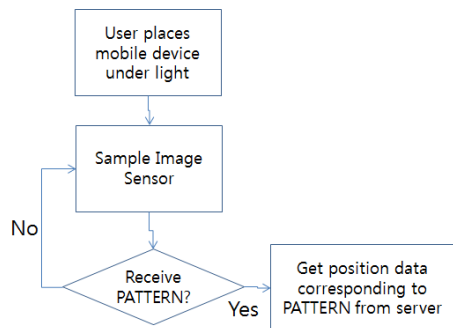


그림 4. LED 실내측위 프레임워크
Fig. 4. LED Positioning Framework

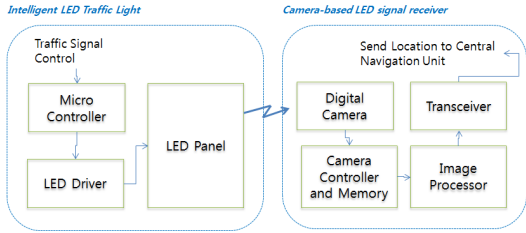


그림 5. LED 이미지 신호 송수신 기구
Fig. 5. LED Image Transfer Structure

지는 이미지를 프로세스 수 있는 S/W 기구에 중심을 둔다. 1) 카메라 모듈이 촬영한 LED 조명으로부터 패턴 데이터를 얻어내는 과정과 2) 위치 서버에 저장된 LED 지문 지도의 적절한 구성을 위한 방식을 제공한다.

2.2 Pattern Recognition

전통적인 LED 광원을 이용한 신호 전송은 광원의 패턴을 아래 그림의 격자와 같이 쪼개서 특정 패턴에 정보를 대응하는 방식을 이용한다. 아래 그림 6의 예는 9개의 패턴을 생성해 각각에 대해 디지털 신호를 대응하여 전송하는 방식을 표현한다.

위 방식은 신호 수신기의 감도가 격자 패턴을 검출할 만큼 섬세해야 한다는 제한 조건이 있다. 일반 카메라 모듈보다 빛 감도가 뛰어난 전용 카메라 모듈을 사용하여 신호검출이 용이하며, 또한 전용의 LED 패턴을 제작하여야 하고 이 패턴을 제어할 컨트롤 보드가 따로 필요하다.

본 연구에서는 CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) 카메라의 특징을 이용한 패턴 데이터 검출을 사용한다. CMOS 카메라는 롤링 셔터 (Rolling Shutter) 라는 방식 (그림 7)으로 동작한다. 즉 제작비 절약을 위해 빛을 검출하는 센서 영역이 하나의 띠 형태로 구성되며 이 띠 형태의 센서 영역이 아래 위로 움직이며 전체 이미지 센서 부분을 커버하게 된다. 이러한 센싱 방식은 LED 광원의 특징 깜박임 (Flickering) 으로부터 흑백 밴드 (Black-and-White Band)를 생성해 내게 된다.

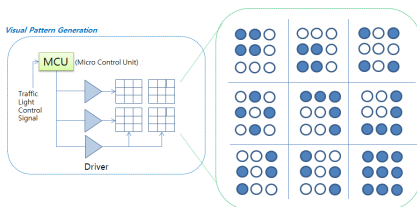


그림 6. LED 광원을 이용한 패턴 전송
Fig. 6. Pattern Transfer using LED Lighting

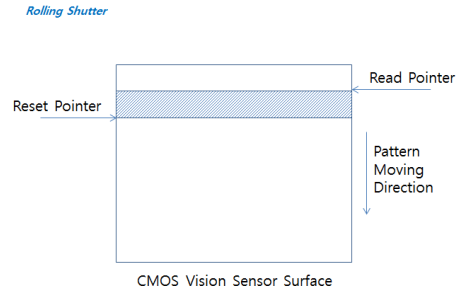


그림 7. Rolling Shutter 방식의 이미지 센서
Fig. 7. Rolling Shutter Image Sensor

카메라 모듈로부터 얻어지는 이미지의 샘플은 아래 그림 8과 같다. 카메라 모듈과 LED 광원과의 사이 거리에 따라 이미지의 선명도가 차이가 나는데, 이미지로부터 패턴 데이터를 얻어내기 위해서는 아래 그림 8의 (a)에서 선명히 보이는 흑백 밴드를 보다 명확히 검출해야 하는 문제를 해결해야 한다.

원형 이미지 (Original Image) 로부터 흑백 밴드의 검출은 일련의 이미지 프로세싱 단계를 거친다. 이미지 프로세싱은 (1) Grayscale화, (2)Black-White화, (3)Band Averaging 과정을 거친다. 컬러로 촬영되는 이미지를 그레이스케일로 변화 시킨후 화면을 구성하는 그레이스케일의 특정 명도(회색의 밝기)를 결정하여 이 명도를 기준으로 하여 흑과 백으로 이미지 화면을 단순화 시키게 된다. 단순화된 흑백 화면은 수평 방향의 평균화를 거쳐 최종적으로 흑백 밴드를 형성하게 된다.

Grayscale화는 흑백밴드를 검출하기 위한 최초단계로서 불필요한 컬러정보를 삭제하여 프로세싱에 필요한 계산량을 줄이는 작업을 의미한다. Grayscale을 위

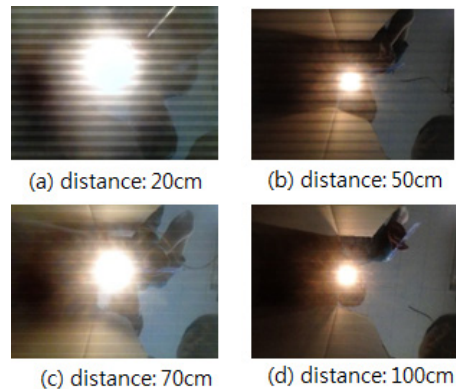


그림 8. 촬영 거리에 따른 Raw Image
Fig. 8. Raw Image Gathering with Picturing Distance

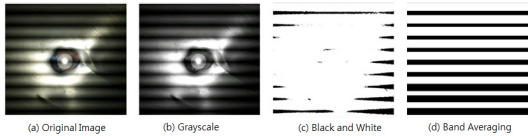


그림 9. 흑백 밴드의 검출
Fig. 9. Detection for Black-White Band

해서 일반적인 이미지 필터를 채용하여도 무방하다. Black-White화는 흑백밴드를 검출하기 위한 중요한 부분이다. 특정 Grayscale값을 정하여 (특정 Grayscale값은 주변의 조도에 의해 결정된다) 이 보다 밝은 부분은 흰색으로, 이 보다 어두운 부분은 검은색으로 처리한다. Black-White화를 거치게 되면 이미지에에는 흰색과 검은색 부분만 남게 된다. 이제 최종적으로 밴드를 검출하기 위해 이미지의 수평선 (Horizontal Line) 별로 흑백을 결정하게 된다. 즉 수평선 상의 어느 한 점이라도 검은점이 Black-White화를 통해 나타나게 되면 그 점을 포함한 한 Line 전체를 검은색으로 채우게 된다.

위의 모든 과정은 다양한 형태의 이미지필터와 비트맵 프로세싱을 통해 수행하게 된다.

2.3 LED 지문 지도

LED 광원의 위치는 아래 그림 10과 같이 LED 지문 지도의 형태로 위치 서버에 저장된다. 깜박임 주파수를 기준으로 지문 지도가 구성되며 카메라 모듈에서 촬영된 이미지에 II.2절의 프로세싱을 거쳐 깜박임



그림 10. LED 지문 지도
Fig. 10. LED Fingerprint Map

주파수를 검출하면 그 깜박임 주파수가 감지된 장소를 지도 정합 (Map Matching)을 통해 알려준다. 지문 지도에서 사용되는 깜박임 주파수 영역은 인간이 깜박임을 느낄 수 없는 수준인 200Hz이상이므로 모두 설정한다.

III. 실험

3.1 가용 깜박임 주파수 (Flickering Frequency)의 획득

LED 광원을 특징짓는 흑백 밴드는 LED 광원의 깜박임 주파수 (Flickering Frequency) 와 흑백비율 (Dimmer Rate)에 의해 결정된다. 아래 그림 11은 깜박임 주파수와 흑백비율의 변화에 따른 흑백 밴드의 검출을 보인다.

흑백비율은 흑백 밴드의 폭과 밀접한 관계가 있다. 흑백비율이 높아질수록 (즉, 백(white)의 비율이 높아질수록) 검은 밴드의 폭은 좁아지고, 하얀 밴드의 폭이 넓어진다. 깜박임 주파수는 흑백 밴드의 수에 직접적인 연관이 있다. 깜박임 주파수가 높아질수록 흑백 밴드의 수가 늘어난다. Bytelight는 흑백밴드의 폭으로부터 깜박임 주파수를 검출하는 푸리에 트랜스폼을 도입하였다. 그러나 이 실험결과에서 보듯이 흑백밴드의 폭은 LED 광원의 흑백비율 (Dimmer Rate)에 연관되기 때문에, 밴드의 폭을 깜박임 주파수의 결정자로 사용하기에는 한계가 있다. 따라서 본 논문은 깜박임 주파수와 직접적 관계가 있는 흑백 밴드의 수를 깜박임 주파수의 유일한 결정자로 사용한다.

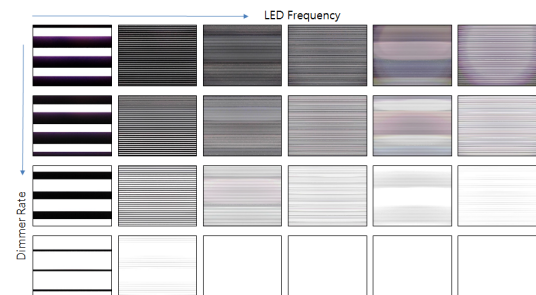


그림 11. 깜박임 주파수와 흑백 밴드의 검출
Fig. 11. Band Detection and Flickering Frequency

3.2 테스트 베드와 실험 결과

LED 광원으로부터 다양한 깜박임 주파수와 흑백 비율을 사용하여 이미지를 얻고 이를 처리하여 위치 정보와 정합하기 위해 아래 그림 12와 같은 실험 장비를 준비하였다. LED 광원은 원형과 막대형의 두가지 형태를 준비하였고 광원의 깜박임 주파수와 흑백비율

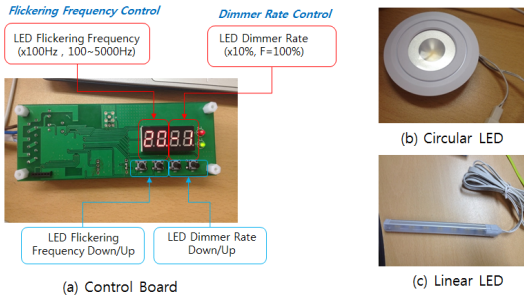


그림 12. 조명 장치
Fig. 12. Lighting Tool

을 조정하기 위한 콘트롤 보드를 제작하였다.

위 실험장비를 이용해 깜박임 주파수 별 흑백밴드 검출율을 측정하였다. 이미지 수신에 사용된 카메라 모듈은 일반적인 스마트폰에 채용된 전면 카메라 모듈로 모든 설정치는 자동으로 설정하였다. 아래 그림 13은 카메라 모듈과 LED 광원 사이의 거리에 따른 흑백밴드 검출율을 측정하여 본 논문에서 제시한 이미지 프로세싱의 효과적인 적용 범위를 보인다. 각 측정거리 및 깜박임 주파수의 짝 (예를 들어, {1000hz,60cm} 짝) 에서 20회씩의 흑백밴드 검출을 시도하였다. 의미있는 흑백밴드 검출율은 대략 60cm 측정 거리에서 1200Hz이하의 깜박임 주파수를 사용해야 얻어지는 것을 확인할 수 있다. 측정 거리가 짧을수록 높은 흑백밴드 검출율을 보이며 깜박임 주파수가 작을수록 높은 흑백밴드 검출율을 가진다.

측정거리가 멀어짐에 따라 검출률이 일반적으로 떨어지나 일정 깜박임 주파수 안에서는 검출률이 감소하는 정도는 미미하다가, 특정 깜박임 주파수 이후에 급격히 떨어지는 형태를 보인다. 대략 1200~1600Hz 정도에서 검출률이 감소하기 시작하여 이후의 주파에서는 급격히 감소하게 된다. 이는 카메라 모듈의 해상도에 기인하는 바가 큰데, 카메라 모듈의 해상도가 높을수록 검출률은 보다 높아질 수 있다.

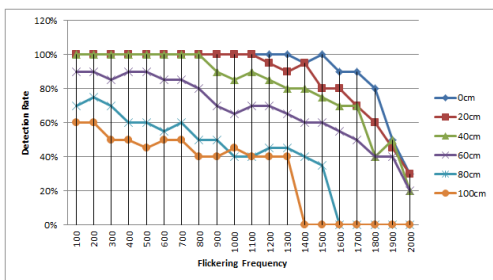


그림 13. 측정 거리에 따른 패턴 검출율
Fig. 13. Patten Detection Rate by Picturing Distance

또한 측정거리에 따른 검출률의 변화는 이미지 프로세싱을 통한 측위정확도에 가장 큰 이슈이다. 상용적으로는 100cm 이상의 실험치가 제공되어야 하나, 현재의 실험 조건으로는 100cm이상에서는 검출이 어렵다. 검출거리를 높이기 위해서는 첫째로 LED광원의 조도를 높이는 방법이 있고, 카메라모듈의 포커싱 기능을 사용하는 방법이 있다. 특히 카메라 모듈의 오토 포커싱은 주변의 빛 간섭 요소를 제거하고 LED광원에 집중할 수 있는 효과를 주어 검출 거리를 늘릴 수 있을 거라고 예상된다.

IV. 결 론

GPS (Global Positioning System)과 WPS (Wi-Fi Positioning System)이 상용화 되면서 측위 기술에 일대 혁신을 가져왔으나 실내환경에서 많은 제약을 가지고 있다. 이에 스마트 디바이스에 장착된 이미지 센서 (즉, 카메라 모듈)와 깜박임 주파수를 특징지은 LED 광원을 이용한 실내 측위 시스템은 그 응용도가 크다. LED 광원을 통해 특정 신호를 송신하고 이를 스마트 디바이스가 수신하여 위치 정보를 해독하는 통신 형태의 측위는 많은 부분에서 연구되어 왔으나, 특정 수신기를 추가하여야 하는 부담이 있어 범용적인 상용화에는 한계가 있다. 본 논문에서 제시하는 LED 광원의 깜박임 주파수를 다양하게 변화시켜 각 광원에 특정 지음으로서 스마트 디바이스에 기본적으로 내장되어 있는 CMOS 카메라 모듈만으로 현재 스마트 디바이스에 근접한 LED 광원의 위치를 정합하는 방식은 추가적인 수신기가 필요치 않고 S/W 모듈의 추가만으로 충분한 장점이 있다. 또한 본 논문에서 제시한 이미지 프로세싱 기법은 최종적으로 LED 광원의 깜박임 주파수에 직접 연관된 흑백밴드의 개수만으로 위치정보와 정합하므로 푸리에 변환이 필요한 기존의 이미지 프로세싱에 비해 훨씬 간단하고도 빠른 위치 정보의 정합이 가능케 하였다. 즉 비교적 공간이 제한적인 실내에서는 외부 위치 서버의 도움이 없이 스마트 디바이스에 어플리케이션 (공간의 LED 지문 정보를 포함한 어플리케이션) 을 단순히 다운받는 것만으로도 실내 측위 기능을 제공할 수 있다. 본 기법을 보다 정밀하게 하기 위해서는 그레이스케일 이미지에서 흑백 이미지를 정하기 위한 명도값의 동적 결정 기법과 미세한 흑백 밴드 분리 현상을 해결할 수 있는 개선된 평균화 기법이 필요하겠다.

References

- [1] Y. Masumoto, *Global positioning system*, US Patent, May 1993.
- [2] J. Michael Watters, L. Strawczynski, and D. G. Steer, *Combining GPS with TOA/TDOA of cellular signals to locate terminal*, US Patent, May 1998.
- [3] Skyhook Wireless, *Estimation of positioning using WLAN access point radio propagation characteristics in a WLAN Positioning System*, World Intellectual Property Organization, May 2007.
- [4] J. del Prado Pavon, "Link adaptation strategy for IEEE 802.11 WLAN via Received Signal Strength measurement," *IEEE Int. Conf. Commun. (ICC '03)*, vol. 2, pp. 1108-1113, Anchorage, AK, May 2003.
- [5] Skyhook Wireless, *Skyhook Wireless technology used in revolutionary iPhone and iPod touch*, http://www.skyhookwireless.com/press/skyhook_apple.php, Jan. 16. 2008.
- [6] Y. Gu, A. Lo, and I. Niemegeers, "A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks," *IEEE Commun. Surveys & Tutorials*, vol. 11, no. 1, 2009.
- [7] 조성윤, 신승혁, 박찬국, "Seamless 보행자 항법을 위한 MEMS 센서기반 보행 움직임 상황인식기술 및 결합항법," *Telecommun. Rev.*, vol. 19, no. 1, pp. 148-164, 2009.
- [8] NIPA, "ICT Spot ISSUE," 2014.1.
- [9] OLEDCOMM, "<http://www.oledcomm.com/LiFi.html>."
- [10] P. Staats, R. Sumner, and D. Ryan, *Method and system for demodulating a digital pulse recognition signal in a light based positioning system using Fourier transform*, US Patent 8,436,896 B2, Jul. 2013.
- [11] H. S. Liu and G. Pang, "Positioning beacon system using digital camera and LEDs," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 52, no. 2, pp. 406-419, Feb. 2003.

김 재 훈 (Jae-Hoon Kim)



1996년 2월 : 한국과학기술원 산업경영학과 졸업

1998년 2월 : 한국과학기술원 테크노경영대학원 석사

2003년 8월 : 한국과학기술원 테크노 경영대학원 박사

2003년 2월~2005년 6월 : 삼성 전자 네트워크 사업부 책임연구원

2005년 7월~2008년 2월 : SK 텔레콤 네트워크 연구원 매니저

2008년 3월~현재 : 아주대학교 산업공학과 조교수/부교수

<관심분야> 이동통신 시스템, 측위 시스템, 근거리 통신망, 사물지능통신

김 병 섭 (Byoung-Sub Kim)



2013년 9월 : 아주대학교 산업공학과 졸업

2013년 9월~현재 : 아주대학교 산업공학과 대학원 재학

<관심분야> 이동통신 시스템, 측위 시스템, 사물지능통신

전 현 민 (Hyun-Min Jeon)



2013년 2월 : 아주대학교 산업공학과, 경영학과 졸업

2013년 3월~현재 : 아주대학교 산업공학과 대학원 재학

<관심분야> 이동통신 시스템, 측위 시스템, 근거리 통신망.

강 석 연 (Suk-Yon Kang)



2003년 2월 : 한국과학기술원 테크노 경영대학원 박사

2003년 2월~현재 : SK 텔레콤 융합기술원 매니저

<관심분야> 이동통신 시스템, 측위 시스템, 근거리 통신망.