

가시광 통신을 이용한 실내 사용자 단말 탐지 시스템

박영식*, 황유민*, 송유찬*, 김진영*

요약

Wi-Fi fingerprinting 시스템은 실내에서 사용되는 위치 측위 방법이며 AP(Access Point)에서 발생하는 RSS(Received Signal Strength)에 의존한다. AP로부터의 RSS는 벽, 장애물 그리고 사람에 의한 간섭과 다중경로 페이딩 효과에 의하여 변할 수 있기 때문에 Wi-Fi fingerprinting 시스템은 낮은 측위 정확도를 갖는다. 또한, Wi-Fi 신호는 벽을 통과하기 때문에 기존의 시스템은 사용자가 현재 위치해 있는 층을 구분하기 어렵다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 본 논문은 정확한 실내 측위를 위한 LED fingerprinting 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 LED로부터 발생하는 LED-ID와 LED의 광 파워를 사용한다. 본 시스템의 Training 단계에서는 각 장소에 해당하는 Fingerprinting을 데이터베이스에 기록한다. Serving 단계에서는 K-NN(K-Nearest Neighbor) 알고리즘을 적용하여 기존의 데이터와 새롭게 수신되는 사용자의 데이터를 비교한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 CDF(Cumulative Distribution Function) 형태로 본 시스템의 성능을 나타내었고, 시뮬레이션 결과로부터 제안된 시스템은 평균 측위 정확도보다 8.6% 높은 정확도를 얻을 수 있다.

키워드 : LED 핑거프린팅, LED-ID 시스템, 실내 단말 탐지, 가시광 통신, K-Nearest Neighbor 알고리즘

Performance of Indoor Positioning using Visible Light Communication System

Young-Sik Park*, Yu-Min Hwang*, Yu-Chan Song*, Jin-Young Kim*

Abstract

Wi-Fi fingerprinting system is a very popular positioning method used in indoor spaces. The system depends on Wi-Fi Received Signal Strength (RSS) from Access Points (APs). However, the Wi-Fi RSS is changeable by multipath fading effect and interference due to walls, obstacles and people. Therefore, the Wi-Fi fingerprinting system produces low position accuracy. Also, Wi-Fi signals pass through walls. For this reason, the existing system cannot distinguish users' floor. To solve these problems, this paper proposes a LED fingerprinting system for accurate indoor positioning. The proposed system uses a received optical power from LEDs and LED-Identification (LED-ID) instead of the Wi-Fi RSS. In training phase, we record LED fingerprints in database at each place. In serving phase, we adopt a K-Nearest Neighbor (K-NN) algorithm for comparing existing data and new received data of users. We show that our technique performs in terms of CDF by computer simulation results. From simulation results, the proposed system shows that a positioning accuracy is improved by 8.6 % on average.

Keywords : LED fingerprinting, LED-ID, Indoor positioning, Visible Light Communications, K-Nearest Neighbor algorithm

1. 서론

※ 교신저자(Corresponding Author): Jin-Young Kim
접수일:2014년 02월 13일, 수정일:2014년 02월 27일
완료일:2014년 02월 28일

* 광운대학교 전파공학과

Tel: +82-2-940-5567

email: youngsik@kw.ac.kr

최근 많은 종류의 스마트 디바이스의 보급과

■ 본 연구는 MKE/KEIT의 IT R&D 프로그램의 지원으로 만들어진 결과임” (10035362, Development of Home Network Tech. based on LED-ID)

무선통신 기술의 발전으로 위치정보기반 서비스(LBS, Location Based Service) 시장은 점점 범위를 넓혀가고 있다. 위치정보기반 서비스란 사용자의 신원을 식별하며 사물의 위치 정보를 제공하는 서비스이며 사용자 간의 위치, 날씨나 건강을 확인하거나 엔터테인먼트와 같은 어플리케이션에 활용된다[1, 2].

대부분의 시간을 실내에서 사용하는 현대인들에게 위치정보기반 서비스는 굉장히 중요한 의미를 갖는다. 기존 위치정보 서비스는 위성기반항법 장치(GPS, Global Positioning System)나 이동통신 기지국 등을 활용한 실외 환경을 중심으로 연구개발이 이루어져 왔으나, 실내에서는 오차범위가 크고 고층건물이 밀집한 국내의 특성상 층간 위치정보 활용에 부적합하다. 실내 측위를 위해 Wi-Fi, Bluetooth, RFID, 적외선 통신을 이용한 방식들이 실내 측위 기술에 사용되었는데 이중 가장 많이 사용되는 것은 Wi-Fi를 이용한 것이며 주로 Wi-Fi fingerprinting을 사용한다. Wi-Fi fingerprinting은 식별 가능한 AP에서의 Wi-Fi의 전파 신호 세기를 의미하며 Fingerprinting에서의 측위 프로세스는 두 단계로 나뉜다. 첫 번째 Training 단계에서는 물리적인 위치와 Wi-Fi fingerprinting이 함께 매치되어 데이터베이스에 구축되며 Serving 단계에서 사용자의 RSS 측정치는 구축된 모든 데이터와 비교된다. 그 결과, 데이터베이스와 가장 부합되는 Fingerprinting으로부터 사용자의 위치가 판단된다. 그러나 Wi-Fi의 RSS는 벽, 장애물, 사람 등에 의한 간섭과 다중경로페이딩 효과에 의해 쉽게 변할 수 있다. 따라서 Wi-Fi Fingerprinting 시스템은 낮은 측위 정확도를 제공하며 사용자가 위치해 있는 층을 명확히 구분해 낼 수 없다[3, 4, 5].

본 논문의 목적은 실내 측위 정확도를 향상시키는 데 있으며 이 과정에서 LED fingerprinting 시스템을 이용한 새로운 실내 측위 방법을 제안한다. LED fingerprinting 시스템은 기본적으로 데이터베이스에서 데이터를 수집하기 위해 LED-ID와 LED의 빛의 세기를 사용한다. 가시광통신은 800~900nm를 사용하는 IrDA와 가장 유사한 파장을 사용하지만, 조명과 동시에 통신을 할 수 있다는 것이 특징이며 장점이다[6, 7]. 또한, LED는 습기가 많은 곳에서 높은 내구성,

낮은 전력소비 그리고 긴 수명을 가지고 있다. LED는 가시광을 통해 메시지를 전송하며 통신을 할 때, 조명이 On-Off되는 특성을 사용한다. 이는 굉장히 빠른 속도에서 일어나는 과정이며 사람의 눈으로는 인지 할 수 없고 데이터를 전송하는데 가시광을 사용하기 때문에 전파를 사용하는 통신에서 발생하는 여러 가지 문제들을 해결 할 수 있다. 더불어 이미 구축되어있는 LED 조명 인프라는 가시광을 활용하여 실내 측위를 하는 데 도움을 줄 수 있다[8, 9].

LED fingerprinting 시스템의 가장 큰 장점 중 하나는 빛은 벽을 통과 할 수 없다는 것이다. 이와 같은 성질을 사용하면 본 논문에서 제안하는 시스템에서 사용자가 위치해 있는 정확한 위치를 찾을 수 있다. 또한, 가시광은 Wi-Fi 신호와는 달리 LOS(Line of Sight) 환경에서 사람이나 사물들로 인해 빛의 세기가 변화되지 않는다. 따라서 Wi-Fi fingerprinting 시스템보다 LED fingerprinting 시스템이 사용자의 위치 정보를 파악하는 데에 있어서 훨씬 정확하다.

본 논문에서 II장에서는 VLC 채널 모델에 대해 알아볼 것이다. 또한 III장에서는 LED fingerprinting 시스템을 소개한 후 IV장에서 LED fingerprinting 시스템을 적용한 시뮬레이션 결과를 분석할 것이다. 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 내고 마친다.

2. VLC 채널 모델

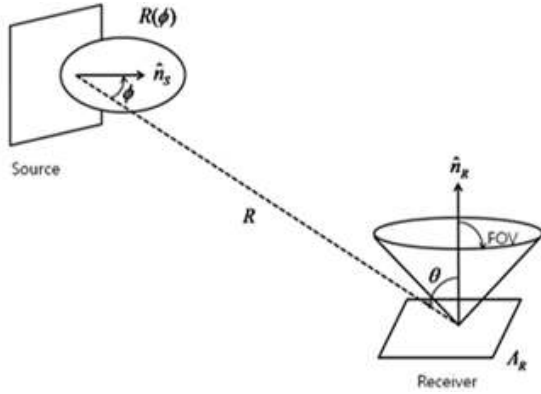
광 무선통신에서 가시광 채널은 선형 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 채널로 모델화 할 수 있으며 이 때 가시광 통신의 수신기는 협대역 광 필터를 이용한다. 광 채널에서의 전송 데이터는 Shot noise에 의해 많은 영향을 받는다. Shot noise의 높은 강도 때문에 이는 가우시안 프로세스로 모델화 될 수 있다. 광 무선 채널은 식 1과 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = \alpha \cdot s(t) \otimes h(t) + G_n \quad (1)$$

이때, $r(t)$ 는 수신 신호, α 는 PD(Photo Diode)의 Conversion efficiency, $s(t)$ 는 전송된 광 펄스, 심벌 “ \otimes ”은 Convolution, $h(t)$ 는 채널 임펄스

응답 그리고 G_n 은 AWGN을 나타낸다. LOS 환경의 경우 빛의 반사는 일어나지 않고 소스와 수신기의 Separation squard는 수신지역보다 크다고 가정한다.

(그림 1) VLC 시스템에서의 송신기와 수신기의 구조



(Figure 1) Structure between receiver and transmitter in VLC systems

(그림 1)에서 채널 임펄스 응답은 도착시간과 크기의 변화를 고려하여 Dirac delta 함수로 근사화 할 수 있다[10].

$$h(t;S,R) \approx \frac{m+1}{2\pi} \cos^m(\phi) \cdot d\Omega \cdot \text{rect}\left(\frac{\theta}{FOV}\right) \delta\left(t - \frac{R}{c}\right) \quad (2)$$

여기서 m 은 소스의 방향성을 결정하는 Radiation lobe의 모드 수이고, c 는 빛의 속도, $d\Omega$ 은 $A_R \ll R^2$ 라는 가정하에 수신기의 미분 면적에 대응하는 입체각으로 정의되며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$d\Omega \approx \cos(\theta) \frac{A_R}{R^2} \quad (3)$$

식 3에서 θ 는 \hat{n}_R 과 $(r_s - r_R)$ 사이의 각으로 나타내며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\cos(\theta) \approx \hat{n}_R \cdot \frac{(r_s - r_R)}{R} \quad (4)$$

여기서 R 은 수신기와 송신기 사이의 거리이며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \|r_s - r_R\| \quad (5)$$

식 2에서 ϕ 는 \hat{n}_R 과 $(r_R - r_s)$ 사이의 각도를 나타내고 다음 식으로부터 얻어질 수 있다.

$$\cos(\phi) \approx \hat{n}_R \cdot \frac{(r_R - r_s)}{R} \quad (6)$$

Rectangular function은 다음 식으로 표시된다.

$$\text{rect} = \begin{cases} 1 & \text{for } |x| \leq 1 \\ 0 & \text{for } |x| \geq 1 \end{cases} \quad (7)$$

반사면을 지니고 있는 실내에서 소스로부터 방출된 빛은 수차례 반사한 후에 도달할 수 있으므로 멀티 바운스 임펄스 응답은 다음과 같이 계산된다[11, 12].

$$h(t;S,R) = \sum_{n=0}^{\infty} h^{(n)}(t;S,R) \quad (8)$$

여기서 $h^{(n)}(t)$ 는 n 번 반사한 후 도달하는 임펄스 신호의 응답이며, $n=0$ 일 때 위의 식 8은 식 2와 같고, n 이 0보다 큰 고차항은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$h^n(t;S,R) = \int_S h^{(0)}\left(t;S,r,r,\hat{n},\frac{\pi}{2},dA\right) \otimes h^{(n-1)}(t;s,r,\hat{n},1,R) \quad (9)$$

식 9는 식 2를 통해 다음과 같이 나타내어진다.

$$h^{(n)}(t;S,R) = \frac{m+1}{2\pi} \int_S \frac{\rho_r \cos^m(\phi) \cos(\theta)}{R^2} \text{rect}\left(\frac{\theta}{FOV}\right) \cdot h^{(n-1)}\left(t - \frac{R}{c}; r, \hat{n}, 1, R\right) dA \quad (10)$$

3. 시스템 모델

LED fingerprinting 시스템의 측위 과정은 다음과 같은 두 과정으로 나뉘어진다.

(그림 2)는 LED fingerprinting 시스템의 알고리즘을 나타낸다. Training 단계에서의 LED fingerprinting은 LED-ID와 각각의 LED-ID를 이용해 구분된 광 파워 P_r 으로 구성된다. LED-ID는 LED가 위치해있는 곳을 나타내고 제안된 시스템은 각 위치에 대응하는 광 수신파워 P_r 을 수집한다. 그리고 LED fingerprinting과 RP(Reference Point)를 서로 매치시켜 데이터베이스를 구축하게 된다. 광학 기기는 LED-ID를 사용해 다수의 LED로부터 수신되는 가시광선을 분리할 수 있다. LED는 간섭을 피하기 위해 서로 다른 sub-carrier를 사용한다. LED-ID는 LED를 구분할 수 있는 정보뿐만 아니라 층에 대한 정보를 함께 포함하고 있기 때문에 사용자의 정확한 위치를 파악 할 수 있다.

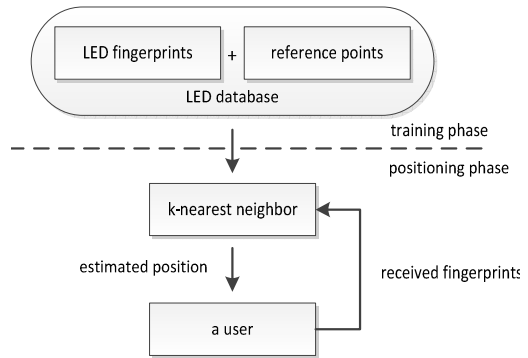
우리는 LOS환경의 각 RP로부터 수신되는 광 파워 P_r 을 계산할 수 있다. LOS 링크를 고려해 볼 때, 수신되는 광 신호 세기는 일반적으로 다음과 같이 결정된다[13, 14].

$$P_r = P_t \cdot G(0) \quad (11)$$

이 때, P_t 는 송신 광 신호 세기이고 $G(0)$ 는 채널의 DC gain이다. NLOS(Non-Line-of-Sight)의 경우에는 빛이 벽이나 장애물로부터 반사된다. LOS와 NLOS의 경우를 함께 고려해 볼 때, 수신되는 광 신호 세기는 다음과 같이 정의된다.

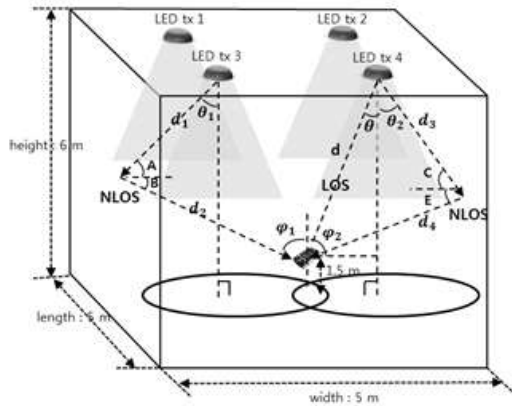
$$P_r = P_t \times G(0)_{LOS} + \sum_{LEDs} P_t \times G(0)_{NLOS} \quad (12)$$

(그림 2) LED fingerprinting 시스템 알고리즘



(Figure 2) LED fingerprinting algorithm

(그림 3) LOS와 NLOS link를 고려한 VLC 채널모델



(Figure 3) LOS and NLOS VLC channel model

NLOS 신호의 성분은 벽이나 장애물에 반사되는 신호까지 포함한다. LOS와 NLOS의 환경을 동시에 고려한 수신 광 파워 P_r 은 LOS의 path $G(0)_{LOS}$ 와 NLOS의 path $G(0)_{NLOS}$ 의 채널 DC gain으로부터 결정된다.

(그림 3)은 LOS와 NLOS link의 VLC 채널모델을 보여준다. LOS path만을 고려했을 때 얻어지는 채널 DC gain $G(0)_{LOS}$ 는 다음과 같다.

$$G(0)_{LOS} = \begin{cases} \frac{A(n+1)}{2\pi d^2} \cos^n(\theta) T_s(\psi) C(\psi) \cos(\psi), & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \text{elsewhere,} \end{cases} \quad (13)$$

$$n = -\frac{\ln 2}{\ln(\cos \theta_{\frac{1}{2}})} \quad (14)$$

여기서 n 은 order of Lambertian emission이고, A 는 수신기 PD의 물리적 범위이며, d 는 전송단과 수신단 사이의 거리, θ 는 조도의 각도, ϕ 는 전송단과 수신기 사이의 입사각, $T_s(\psi)$ 는 Optical filter gain, $C(\psi)$ 는 Optical concentrator gain, ψ_c 는 수신기의 FOV(Field Of View), $\theta_{\frac{1}{2}}$ 은 송신기의 half power angle 이다. Optical concentrator gain $C(\psi)$ 는 다음과 같다.

$$C(\psi) = \begin{cases} \frac{r^2}{\sin^2(\psi_c)}, & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \psi > \psi_c \end{cases} \quad (15)$$

여기서 r 은 PD 내부의 refractive index 이다. NLOS의 path만을 고려할 때, $G(0)_{LOS}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$G(0)_{NLOS1} = \begin{cases} dA_{wall} \frac{A\rho(n+1)}{2\pi d_1^2 d_2^2} \cos^n(\theta_1) T_s(\psi_1) C(\psi_1) \cos(A) \cos(B), & 0 \leq \psi_1 \leq \psi_c, \\ 0, & elsewhere, \end{cases} \quad (16)$$

$$G(0)_{NLOS2} = \begin{cases} dA_{wall} \frac{A\rho(n+1)}{2\pi d_3^2 d_4^2} \cos^n(\theta_2) T_s(\psi_2) C(\psi_2) \cos(C) \cos(E), & 0 \leq \psi_2 \leq \psi_c, \\ 0, & elsewhere, \end{cases} \quad (17)$$

여기서 dA_{wall} 반사면의 위치에서의 미분면소, ρ 는 반사계수, d_1 은 송신기와 반사점 사이의 거리, d_2 는 반사점과 수신기 사이의 거리, A 는 송신기와 반사점 사이의 각도, B 는 수신기와 반사점 사이의 각도이다. k^{th} 의 반사를 고려한 총 DC이득 $G(0)_{NLOS}$ 는 다음과 같이 계산되어진다.

$$G(0)_{NLOS} = G(0)_{NLOS1} + G(0)_{NLOS2} + \dots + G(0)_{NLOS_k} \quad (18)$$

Serving 단계에서는, 사용자의 스마트 디바이스를 이용하여 사용자가 현재 위치한 장소의

LED fingerprinting 값을 얻는다. 사용자의 LED fingerprinting 값을 수신 받은 시스템은 LED-ID를 이용해 사용자가 위치해 있는 층을 구별할 수 있게 된다. 사용자의 층을 확인하고 나서 수신된 LED fingerprinting은 K-NN(K-Nearest Neighbor) 알고리즘을 사용하여 데이터베이스 내부의 수집된 LED fingerprinting과 비교하게 된다. K-NN 방법은 K개의 가장 가까운 RP를 찾아 그 좌표의 평균을 사용자의 현재 위치로 판정하는 방법이다. 이 거리는 다음과 같이 주어진다.

$$D = \left(\sum_{j=1}^n |P_j - P_{ij}|^q \right)^{\frac{1}{q}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (19)$$

이때 m 은 RP의 개수, n 은 LED의 개수, q 는 거리의 유형이다. 이때 파라미터 q 는 다양한 환경에 따라 다양한 값들이 할당된다. 알고리즘의 복잡도 및 정밀도를 고려했을 때 Manhattan($q=1$), Euclidean($q=2$) 거리유형을 사용할 수 있다. P_j 는 Serving 단계에서 j 번째 LED에서 수신된 광 신호 세기이고 P_{ij} 는 데이터베이스의 i 번째 RP에서의 j 번째 LED에서 수신된 광 신호 세기를 나타낸다. 식 19를 이용하여 최소거리에 따른 K의 RP집합을 선택할 수 있고, 결국 사용자의 위치는 다음과 같이 계산된다.

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (x_i, y_i), \quad (20)$$

(x_i, y_i) 는 i 번째 RP의 위치, (\hat{x}, \hat{y}) 는 사용자 위치의 추정값을 나타낸다.

4. 시뮬레이션 결과

<표 1>은 LED fingerprinting 시스템의 시뮬레이션 파라미터를 보여주며, 시뮬레이션을 통해 기존의 Wi-Fi fingerprinting 시스템과 LED fingerprinting 시스템의 성능을 비교해보았다. 통신환경은 $5m \times 5m \times 6m$ 로 이루어진 실내 공

간으로 구성하였다.

<표 1> 시뮬레이션 파라미터

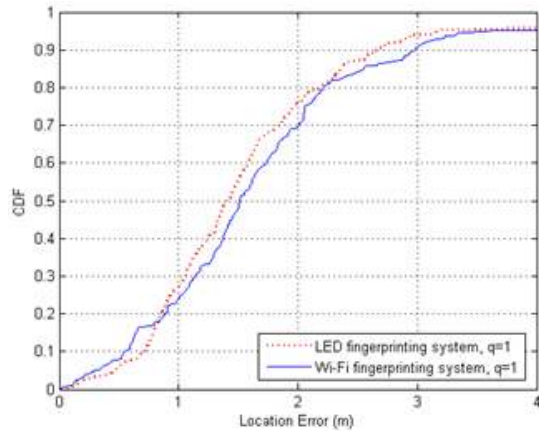
Parameter		Value
Environments	Room size	5 x 5 x 6 [m^3]
	Reflection Index	Wall : 0.9
	Channel	Multiple-bounce impulse response channel
Tx	Tx power	1 [W]
	Radiation lobe's mode number	1
	FOV at LEDs	120 [deg]
Rx	Detector physical area of PD	1.0 [cm^2]
	PD conversion efficiency	0.53 [A/W]
	Gain of an optical concentrator	1
	Signal transmission coefficient of an optical filter	1
	FOV at PD	60 [deg]

<Table 1> Simulation parameters

실험에서 송신기의 LED의 송신파워는 1W, LED-ID 송신 주기 $1\mu sec$, FOV 120°로 설정한다. 수신기는 높이 1.5m, FOV 60°, 광 필터의 전송신호계수와 광 필터의 이득 그리고 집광기의 이득은 모두 1이다. 제안된 시스템의 평가를 위해 사용자의 위치는 1000번 서로 다른 임의의 위치에서 실험을 수행하였다.

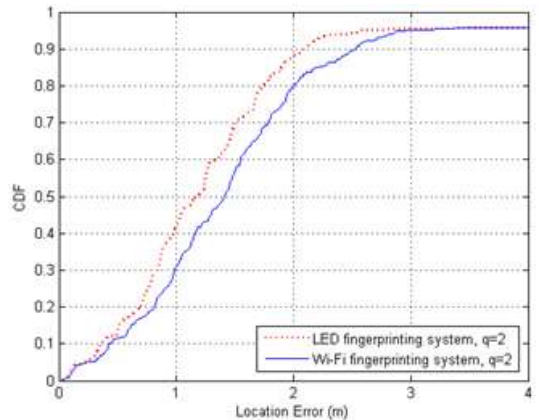
식 19와 식 20의 q와 k에 따라 K-NN의 성능은 다양한 결과를 나타낸다. 본 논문의 실험 환경에서 모든 K의 RP는 3으로 설정한다, q의 값이 1 일 때, 최소한 0.8m의 측위 오차가 발생하고, LED fingerprinting system 보다 Wi-Fi fingerprinting system이 보다 더 나은 성능을 보여줬다. 제안된 LED fingerprinting system은 2m의 오차범위 내에서 88.6%의 정확도를, Wi-Fi fingerprinting system은 2m의 오차범위 내에서 80%의 정확도를 갖는다. 결과적으로, Wi-Fi fingerprinting 시스템은 Wi-Fi의 RSS는 벽이나 장애물, 사람을 거치면 변하기 때문에 복잡한 실내 환경에서 정확한 측위가 불가능하다.

(그림 4) k=3, q=1 일 때, LED fingerprinting 시스템과 Wi-Fi fingerprinting 시스템의 측위 정확도 비교



(Figure 4) Positioning accuracy comparison of LED fingerprinting system and Wi-Fi fingerprinting system when k equals 3 and q equals 1

(그림 5) k=3, q=2 일 때, LED fingerprinting 시스템과 Wi-Fi fingerprinting 시스템의 측위 정확도 비교



(Figure 5) Positioning accuracy comparison of LED fingerprinting system and Wi-Fi fingerprinting system when k equals 3 and q equals 2

그러나 전파 간섭이 없는 LED fingerprinting 시스템은 수신 광 신호 세기가 복잡한 환경에서도 변하지 않기 때문에 정확한 측위를 제공한다.

5. 결론

본 논문에서는 정확한 실내 위치추위를 위해 새로운 LED fingerprinting 시스템을 제시하였다. 제안된 시스템은 K-NN 알고리즘, 수신 광 파워 그리고 LED-ID로 구성된다. 수신된 광 파워는 복잡한 실내의 환경에서 Wi-Fi RSS와 다르게 변하지 않으며 벽을 통과하지 않는 특성 때문에 사용자의 층을 구별하는데 장점이 있다. 이를 증명하기 위해, 기존의 LED fingerprinting 시스템과 기존의 Wi-Fi fingerprinting 시스템을 비교하였으며 실험 결과로서, 제안된 시스템이 2m의 오차 범위 내에서 8.6% 향상된 정확도를 얻을 수 있다. 결과적으로, 새로 제안된 시스템이 실내 측위에서 더 효율적인 시스템을 확인할 수 있다.

References

- [1] A. Hatami and K. Pahlavan, "Comparative statistical analysis of indoor positioning using empirical data and indoor radio channel models," *Proc. IEEE CCNC 2006*, Vol. 2, pp. 1018-1022, Jan. 2006.
- [2] B. Skalar, "Rayleigh fading channels in mobile digital communication systems part I: Characterization," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 35, no. 7, pp. 90-100, July 1997.
- [3] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEEE trans. Consum. Electron.*, vol. 50, no. 1, pp. 100-107, Feb. 2004.
- [4] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system," *Proc. IEEE INFOCOM 2000*, TEL Aviv, Israel, Vol. 2, pp. 775-784, March 2000.
- [5] W.H. Kang, S. H. Nam, Y. N. Han and S. J Lee, "Improved heading estimation for smartphone-based indoor positioning systems," *Proc. IEEE PIMRC 2012*, Sydney, New South Wales, pp. 2449-2453, Sept. 2012.
- [6] M. Roshanaei and M. Maleki, "Dynamic-KNN: A novel locating method in WLAN based on angle of arrival," *IEEE ISIEA 2000*, Kuala Lumpur, Malaysia, Vol. 2, pp. 722-726, Oct. 2009.
- [7] H. J. Kang, "A Study on the Visible Light of the Wireless Communication and Its Application," *Journal of Digital Contents Society*, Vol.8, No.4, pp.425-430 Dec. 2007.
- [8] E. Laitinen, E. S. Lohan, J. Talvitie and S. Shrestha, "Access point significance measures in WLAN-based location," *Positioning Navigation and Communication*, Dresden, pp. 24-29, Mar, 2012.
- [9] N.T.H. Thuy, H. X. Huan and N. N. Ky, "an efficient method for fingerprint matching based on local point model," *Computing, Management and Telecommunications 2013*, Ho Chi Minh, Vietnam, pp. 21-24, Jan. 2013.
- [10] C. Koweerawong, K. Wipusitwarakun and K. Kaemarungsi, "Indoor localization improvement via adaptive RSS fingerprinting database," *Information Networking 2013*, Bangkok, pp. 412-416, Jan. 2013.
- [11] B. Altintas and T. Serif, "Indoor location detection with a RSS-based short term memory technique(KNN-STM)," *IEEE PERCOM Workshops 2012*, Luga no, pp. 794-798, Mar. 2012.
- [12] S. Hossain, S. H. S. Ariffin, C. K. Neng, N. S. A. Hassan and L. A. Latiff, "Accuracy enhancement of fingerprint indoor positioning system," *Intelligent Systems, Modelling and Simulation 2012*, Kota Kinabalu, pp. 600-605, Feb. 2012.
- [13] Z. Jia, "A visible light communication based hybrid positioning method for wireless sensor networks," *Intelligent System Design and Engineering Application*, Sanya, Hainan, pp. 1367-1370, Jan. 2012.
- [14] H.S. Kim, D. R. Kim, S. H. Yang, Y. H. Son and S. K. Han, "An indoor visible light communication positioning system using a RF carrier allocation technique," *J. Lightw. Technol.*, vol. 31, no. 1, pp. 134-1

44, Jan. 2013.



박 영 식

2013년 2월 : 광운대학교
전과공학과 졸업
2013년 3월~현재 : 광운대학교
전과공학과 석사과정

관심분야 : 위치공학, 유헬스, 가시광 통신



김 진 영

1991년: 서울대학교 전자공학과
학사
1993년: 서울대학교 전자공학과
석사
1998년: 서울대학교 전자공학과
박사

2001년~현재: 광운대학교 전자융합공학과 교수
관심분야 : 디지털 통신, 무선통신, 채널부호화

황 유 민



2012년 2월 : 광운대학교 전과
공학과 졸업
2012년 3월~현재 : 광운대학교
전과공학과 석박통합과정

관심분야 : 디지털 통신, 무선통신, 채널부호화

송 유 찬



2014년 2월 : 광운대학교
전자융합공학과 졸업
2014년 3월~현재 : 광운대학교
전과공학과 석박통합과정

관심분야 : 디지털 통신, 무선통신, 채널부호화