

Indoor positioning technique using the landmark based on relative AP signal strengths

Hyunjung Kim*, Beakcheol Jang*

*Student, Dept of Computer Science, Sangmyung University, Seoul, Korea

*Professor, Dept. of Computer Science, Sangmyung University, Seoul, Korea

[Abstract]

In this paper, we propose an indoor positioning technique using the landmark based on relative Access Point (AP) signal strengths. The absolute values of AP signals are used to conventional indoor positioning technologies, but they may be different because of the difference of the measuring device, the measuring environment, and the timing of the measurements. However, we found the fact that the flow of the AP's RSSI in certain places shows almost constant patterns. Based on these characteristics, we identify the relative strength between the APs and store the certain places as landmarks where they show certain patterns. Once the deployment of the landmark map is complete, system calculate position of user using the IMU sensor of smartphone and calibrate it with stored landmarks. Our system shows 75.2% improvement over technology that used only sensors, and 39.6% improvement over technology that used landmarks that were selected with absolute values.

▶ **Key words:** Indoor positioning, Sensor, Landmark, Access Point, RSSI

[요 약]

본 논문에서는 상대적인 액세스 포인트의 신호 강도에 기초한 랜드마크를 사용하는 실내 위치 추적 기법에 대하여 제안한다. AP 신호의 절댓값은 기존의 실내 위치 추적 기술에 사용되었지만, 측정 기기, 측정 환경, 그리고 측정 시기의 변동으로 인해 달라질 수 있다. 그러나 우리는 특정 장소에서는 AP의 수신 신호 세기의 흐름이 거의 일정한 패턴을 나타낸다는 사실을 알아냈다. 그 특징에 따라, 우리는 AP들 간의 상대적 강도를 파악하고, 그들이 특정 패턴을 보이는 특정 장소를 랜드마크로서 저장한다. 랜드마크 맵 배치가 완료되면, 시스템은 스마트폰의 IMU 센서를 사용하여 사용자의 위치를 계산하고 저장된 랜드마크로 보정한다. 우리의 시스템은 센서만 사용한 기술에 비하여 75.2%의 개선을, 그리고 절댓값으로 선택된 랜드마크를 사용한 기술에 비하여 39.6%의 개선을 보인다.

▶ **주제어:** 실내 위치 추적, 센서, 랜드마크, 액세스 포인트, 수신 신호 세기

-
- First Author: Hyunjung Kim, Corresponding Author: Beakcheol Jang
 - *Hyunjung Kim (kjy28@naver.com), Dept. of Computer Science, Sangmyung University
 - *Beakcheol Jang (bjang@smu.ac.kr), Dept. of Computer Science, Sangmyung University
 - Received: 2019. 07. 29, Revised: 2019. 11. 09, Accepted: 2019. 11. 11.

I. Introduction

스마트폰의 보급에 확산에 따라, 스마트폰으로 획득한 사용자의 상태 정보를 활용한 다양한 서비스들이 개발되고 제공되고 있다 [1, 2]. 사용자의 위치 정보는 스마트폰 서비스에서 가장 많이 활용되는 사용자의 정보 중 하나이다. 사용자의 위치를 파악하기 위해서는 현재 사용자가 어디에 위치해 있는지 확인하는 위치 추적 기술이 필요하다. 이에 따라 위치 추적 기술의 중요성이 부각되었다. 위치 추적 기술은 크게 실외 위치 추적과 실내 위치 추적으로 나뉜다. 위치 정보를 이용하고자 하는 기술들은 실외 위치 추적을 위하여 Global Positioning System (GPS)를 사용한다 [3]. GPS는 위성의 전파를 이용한 위치 추적 방식으로, 높은 범용성과 정확성으로 실외 위치 추적에 사용되고 있다. 그러나 GPS에서 사용하는 위성 신호는 회절하지 않고 직진하려는 성질이 강하므로, 사용자가 건물이나 지하에 위치한 경우 건물의 외벽 등을 통과하지 못하고 반사된다. 이 때문에 실내에서는 GPS 신호가 거의 닿지 못해 실내 위치 추적 기술에 GPS를 사용할 수 없다 [4, 5]. 이에 연구자들은 GPS를 대체하기 위하여 다양한 데이터를 사용하는 실내 위치 추적 기술을 연구하였다.

현재 가장 많이 연구되고 실내 위치 추적 기술에 많이 사용되는 데이터 중 하나는 스마트폰의 관성 측정 장치 (Inertial Measurement Unit, IMU) 센서 데이터이다 [6]. IMU 센서는 사용자의 움직임을 효과적으로 감지할 수 있는 장치로, 많은 기술들이 IMU를 활용한 실내 위치 추적 기술을 제안하였다. 그러나 IMU 센서는 시간이 지날수록 오차가 누적된다는 문제점을 가지고 있다 [7, 8]. 센서의 오차가 누적될 경우, 사용자의 이동 거리나 진행 방향을 정확히 아는 것이 불가능해져, 사용자의 현재 위치를 정확히 알 수 없게 된다. 이러한 센서의 오류 누적을 보정하기 위하여 연구자들은 다양한 보완책을 사용하였다. 랜드마크는 이렇게 연구된 보완책 중 하나이다.

랜드마크는 실내의 다른 지점과 차별화될 수 있는 실내의 특별한 지점으로, 센서의 오류로 어긋난 사용자의 현재 상태나 위치의 보정을 돕는다 [9, 10]. 다양한 데이터가 실내의 랜드마크를 결정하는 기준으로 사용될 수 있는데, 일반적으로 실내에 설치되어 있는 Access Point(AP)의 Received Signal Strength Indicator(RSSI)의 절댓값을 사용한다. 그러나 RSSI의 절댓값을 사용하는 것은 치명적인 문제점이 존재한다. 실내에서는 RSSI의 절댓값이 일정하지 못하다. RSSI의 값은 실내에 존재하는 사람이나 장애물에 의해 달라질 수 있으며, 측정하는 기기에 따라 측

정값이 다르다. 심지어 같은 장소에서 같은 기기로 측정하더라도 측정된 RSSI의 값이 달라지는 경우도 발생한다.

본 논문에서는 이러한 RSSI의 절댓값을 사용하는 대신 RSSI의 변화 흐름을 랜드마크로 사용하는 기술을 제안한다. RSSI의 절댓값은 기기나 시간에 따라 변화할 수 있지만, RSSI의 강도의 변화 양상은 기기나 시간에 크게 영향을 받지 않는다 [11]. 이를 이용하여 본 논문에서는 스마트폰의 IMU 센서를 이용하여 사용자의 움직임을 파악하고 이를 통해 사용자의 현재 위치를 계산하고, 계산된 현재 위치를 실내에 존재하는 랜드마크를 이용하여 보정하는 실내 위치 추적 시스템을 설계하고 구현하여 실험한다. 본 시스템은 센서만을 사용한 기술에 비하여 75.2%의 성능 향상을 보였고, 절댓값으로 선별한 랜드마크를 이용한 기술에 비하여 39.6%의 성능 향상을 보였다.

본 논문은 실내 위치 추적의 정확성을 높이기 위해 연구된 다른 기술에 대하여 서술한다. 그 후, 본 논문의 시스템의 구조와 알고리즘에 대하여 설명하고 실험 결과로서 이를 증명하고, 이를 결론 내린다.

II. Preliminaries

1. Related works

AP의 RSSI의 절댓값을 사용하는 가장 대표적인 기법은 실내를 셀로 나누어 해당 셀의 RSSI 값을 저장하여 이를 이용하는 핑거프린팅 기법이다 [12]. 그러나 핑거프린팅 기법은 실내에서 일정하지 않은 AP의 RSSI 절댓값의 특성 때문에 실제로 실내에서 감지한 값과 저장된 값에 잘 맞지 않는다는 문제점이 발생하였다. 많은 연구자들이 이를 극복하고자 다양한 대처법을 개발하였다.

WiSLAM은 PlaceSLAM과 FootSLAM이라는 두 가지 SLAM 기술을 사용하여 사용자의 위치를 추적하는 기술이다 [13-15]. WiSLAM은 저장한 랜드마크의 유형에 따라 각각의 SLAM을 사용함으로써, 저장된 랜드마크를 효과적으로 사용한다. 그러나 WiSLAM은 두 가지의 알고리즘을 동시에 사용하기 때문에 계산시간의 증가가 발생하고, 이 때문에 모바일 기기에서는 계산 과정을 적용하기 어렵다.

SmartLight는 LED 광원이 점멸적으로 발생하는 디지털적 신호를 보조적인 광원 센서가 감지하여 사용자의 위치를 측정하는 기술이다 [16]. SmartLight는 기본적으로 사용되는 보조 센서 대신 디바이스의 광원 센서를 사용할 수 있을 뿐만 아니라, 광원을 발생시킬 인프라를 따로 설치하는 대신에 실내의 조명을 변경함으로써 인프라를 설치할 비용을 절

감할 수 있다. 하지만 광원을 통한 위치 추적을 진행하는 기술의 특성상 디바이스가 빛을 받지 못하는 곳에 있다면 위치 측정이 아예 불가능하다. 이는 광원이 거의 없는 비상 상황 같은 때에는 치명적인 단점으로 작용한다.

vSLAM은 모바일 디바이스의 카메라 영상을 통한 물체 인식 알고리즘을 통하여 시각적 랜드마크 지도를 제작하는 기술이다 [17]. vSLAM은 타 기술들과 달리 추가로 설치해야 할 인프라나 보조장치를 요구하지 않는다는 장점이 존재한다. 하지만 영상을 랜드마크로 삼는 특성 때문에 vSLAM의 랜드마크 데이터베이스는 쇼핑몰이나 경기장과 같은 대형 환경에서는 거대해 지기 때문에 너무 큰 공간이나 건물에서는 사용하기 힘들어진다. 또한, 시각적인 랜드마크에 의존하기 때문에, 실내의 요소가 실시간으로 빠르게 변화하는 쇼핑몰과 같은 건물에서 역시 적용하기 힘들다.

이 밖에도 많은 연구들이 다른 센서를 랜드마크로 삼거나 알고리즘의 다양화를 통하여 문제를 해결하고자 하였다. 그러나 추가 인프라의 설치나 환경의 복잡성, 그리고 알고리즘의 계산 부하로 모바일 환경에서의 사용에 문제점들이 발생하였다. 본 논문에서는 인프라나 알고리즘의 추가 없이 환경에서 안정적인 요소를 사용하여 이러한 문제들을 극복하고자 하였다.

III. The Proposed Scheme

1. System Architecture & Algorithm

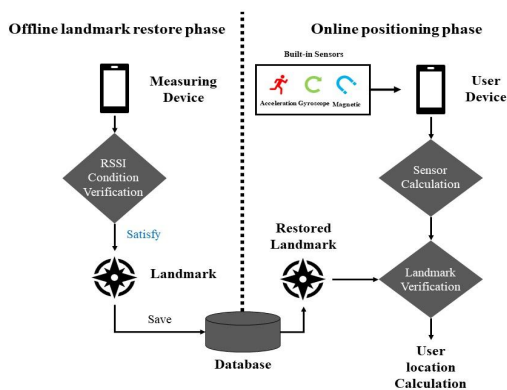


Fig. 1. System Architecture

Fig. 1은 시스템의 구조를 보여주고 있다. 시스템은 크게 오프라인 랜드마크 저장 단계와 온라인 위치 추적 단계로 나뉜다. 오프라인 랜드마크 저장 단계에서는 실내의 AP의 RSSI를 확인하여 랜드마크로 활용할 수 있는 지점을 선택하여 데이터베이스에 저장한다. 온라인 위치 추적

단계에서는 사용자의 움직임을 스마트폰의 IMU 센서를 이용하여 감지하고, 이를 이용하여 사용자의 현재 위치를 계산한다. 이후 오프라인 랜드마크 저장 단계에서 사전에 저장해 둔 랜드마크들의 정보를 이용하여, 사용자의 현재 위치와 이동 방향을 보정한다.

1.1 Offline landmark restore phase

오프라인 랜드마크 저장 단계의 주 목표는 실내에 존재하는 랜드마크의 분류 및 저장이다. 측정자는 측정 기기를 가지고 실내를 이동하며 실내에서 감지되는 AP의 RSSI의 흐름을 체크한다.

```

distanceMatrix[][]=new matrix[numOfDetectedAP][numOfDetectedAP]
apNameMatrix[] = new matrix[numOfDetectedAP]
for(int i=0; i<numOfDetectedAP; i++){
    apNameMatrix[i] = APList[i].BSSID
    for(int j=i; j<numOfDetectedAP; j++){
        float distance = sqrt((APList[i].RSSI - APList[j].RSSI)2)
        distanceMatrix[i][j]=distance
    }
}

mainAP="", maxDistance =0, minDistance=0
for(int i=0; i<distanceMatrix.lengthOfX-1; i++){
    int firstMax, firstMin = distanceMatrix[i][0]
    int secMax, secNum = distanceMatrix[i+1][0];
    for(int j=i; j< distanceMatrix.lengthOfY; j++){
        if(distanceMatrix[i][j] > firstMax)
            firstMax = distanceMatrix[i][j]
        if(distanceMatrix[i][j] < firstMin)
            firstMin = distanceMatrix[i][j]
        if(distanceMatrix[i+1][j] > secMax)
            secMax = distanceMatrix[i+1][j]
        if(distanceMatrix[i][j] < sec.Min)
    }
}
    
```

Fig. 2. Pseudo code

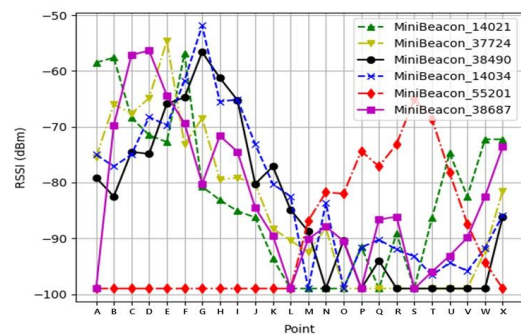


Fig. 3. RSSI flow

Fig. 2는 실내의 특정 위치를 랜드마크로 분류하는 조건을 보여주는 슈도 코드이다. 본 시스템은 한 지점에서 감지되는 모든 AP들의 RSSI 간의 상대적인 ‘거리’를 구한

다. 여기서 시스템은 RSSI 값이 최소값인 -99를 초과하는 AP만을 선택한다. 모든 거리를 계산하면, 시스템은 각 AP에서 다른 AP의 최소 거리와 최대 거리를 구한다. 만약 한 AP의 최소 간격이 다른 모든 AP의 최대 간격 보다 클 경우, 해당 위치는 한 AP의 경향이 특별히 강한 장소라는 것을 뜻한다. 시스템은 해당 위치를 랜드마크로서 저장한다. 예를 들어, Fig. 3에서는 A, C, E, J, L, O, P, S, T, 그리고 W가 랜드마크로 지정된다. i 번째 랜드마크 LM_i 는 다음과 같은 속성을 지닌다.

$$LM_i = \{APLIST_{LM_i}, x_{LM_i}, y_{LM_i}, h_{LM_i}\}$$

$APLIST_{LM_i}$ 는 LM_i 에서 감지한 AP의 목록을 포함한다. (x_{LM_i}, y_{LM_i}) 는 LM_i 의 x, y 좌표이다. h_{LM_i} 은 LM_i 에 사용자가 도달했을 때의 진행 방향을 나타낸다. 위의 속성들을 하나의 랜드마크로 생성이 완료되면, 시스템은 랜드마크를 데이터베이스로 전송하여 저장한다.

1.2 Online positioning phase

오프라인 랜드마크 저장 단계가 완료되면, 시스템은 온라인 위치 추적 단계를 시작한다. 사용자가 실내에 진입할 경우, 시스템은 먼저 스마트폰의 IMU 센서를 이용하여 사용자의 이동 상태를 측정한다. 사용자의 이동 상태는 이동 거리와 이동 방향의 두 가지 속성을 지닌다. 이동 거리는 사용자가 한 걸음 동안 이동한 거리를 보여주며, 이동 방향은 현재 사용자의 정면이 향하고 있는 방향을 보여준다.

이동 거리는 스마트폰의 IMU 센서 중 가속도 센서의 값을 이용하여 계산된다. 우리는 다음과 같은 식을 이용하여 사용자의 이동 거리 d 를 계산한다.

$$d = \int_{t-1}^t \alpha \quad (1)$$

α 는 시간 $t-1$ 에서 t 까지 측정된 가속도 센서의 값이다. 가속도를 적분할 경우 속도값이 나오게 되며, 속도값을 한 번 더 적분할 경우 이동 거리 d 를 계산할 수 있다.

이동 방향은 스마트폰의 IMU 센서 중 자기장 센서와 회전 센서의 값을 이용하여 계산된다. 각 센서는 각기 다른 성질을 가지고 있다. 자기장 센서로 계산되는 방향을 같은 위치를 재방문 하더라도 거의 일정한 값을 보여준다. 그러나 자기장 센서는 실내의 환경이나 기기의 영향을 많이 받는다. 회전 센서는 사용자의 회전과 같은 사용자의 움직임

을 정확히 감지할 수 있다. 그러나 회전 센서는 사용자의 움직임에 영향을 받기 때문에 그만큼 오류가 쉽게 누적된다. 따라서 시스템은 회전 센서로 구해진 각도값 θ_t^{gyro} 와 자기장 센서로 구해진 각도값 θ_t^{mag} 을 이용하여 다음과 같은 식에 따라 이동 방향 θ_t 을 계산한다.

$$\theta_t = \begin{cases} \frac{\theta_t^{mag} + (\theta_{t-1} + \theta_t^{gyro})}{2} & (\theta_t^{gyro} > l^{gyro}, \Delta\theta^{mag} > l^{mag}) \\ \theta_{t-1} + \theta_t^{gyro} & (\theta_t^{gyro} > l^{gyro}, \Delta\theta^{mag} \leq l^{mag}) \\ \theta_{t-1} & (\theta_t^{gyro} \leq l^{gyro}) \end{cases} \quad (2)$$

$\Delta\theta^{mag}$ 는 시간 $t-1$ 와 t 에서 측정된 자기장 센서의 각도값의 차이이다. l^{gyro} 와 l^{mag} 는 사용하는 회전 센서와 자기장 센서의 임계값으로, 본 시스템에서는 각각 2도와 3도로 설정하였다. 첫 번째 조건은 회전 센서가 유의미한 회전을 감지하였고, 자기장 센서의 변화가 크게 일어나는 조건이다. 이는 사용자가 유의미한 회전을 보여주었다는 것으로, 자기장 센서와 회전 센서의 값을 모두 이용하여 이동 방향을 계산한다. 두 번째 조건은 회전 센서가 유의미한 회전을 감지하였지만, 자기장 센서의 변화가 작게 일어나는 조건이다. 이는 자기장 센서가 환경의 영향을 받아 사용자의 움직임을 제대로 감지하지 못하는 경우이다. 이에 따라 회전 센서만을 이용하여 현재 이동 방향을 계산한다. 마지막 조건은 회전 센서가 유의미한 회전을 감지하지 못한 것으로, 바로 이전 방향과 동일한 방향으로 사용자의 위치를 계산한다.

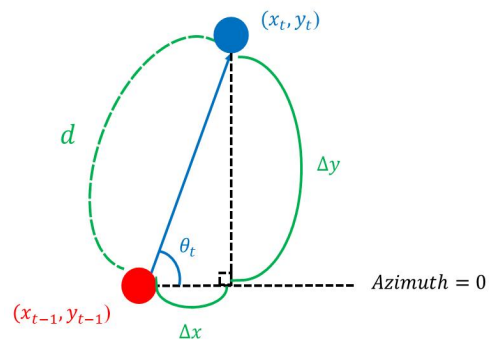


Fig. 4. User Position Calculation

이동 거리와 이동 방향을 전부 계산되면, 시스템은 두 값을 이용하여 사용자의 위치를 계산한다. Fig. 4는 이동 거리와 이동 방향을 이용하여 사용자의 위치를 계산하는 방법을 보여준다. 사용자의 현재 위치값 (x_t, y_t) 는 바로 이전의 위치 값인 (x_{t-1}, y_{t-1}) 를 다음 식에 대입하여 계산한다.

$$(x_t, y_t) = \begin{cases} x_{t-1} + \Delta x \\ y_{t-1} + \Delta y \end{cases} \quad (3)$$

여기서 이동 거리 d 와 이동 방향 θ_t 를 이용하여 Δx 와 Δy 의 관계식을 만들 수 있다.

$$\cos \theta_t = \frac{\Delta x}{d} \quad (4)$$

$$\sin \theta_t = \frac{\Delta y}{d} \quad (5)$$

이를 이용하여 식을 정리하면, 최종적으로 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$(x_t, y_t) = \begin{cases} x_{t-1} + d^* \cos \theta_t \\ y_{t-1} + d^* \sin \theta_t \end{cases} \quad (6)$$

IMU 센서를 통한 사용자 위치 계산이 완료될 경우, 시스템은 오프라인 저장 단계에서 저장하였던 랜드마크를 이용하여 위치와 이동 방향을 보정한다. 시스템은 사용자의 현재 AP 목록과 각각의 RSSI의 상대적인 세기를 확인한 후 서버의 데이터베이스에 저장된 랜드마크 리스트의 랜드마크들과 비교한다. 만약 좌표적 거리가 멀지 않고, 기기가 감지한 AP들의 경향이 저장된 랜드마크와 비슷하다면, 시스템은 사용자의 현재 위치를 랜드마크의 좌표로 옮기는 동시에 랜드마크에 저장된 이동 방향을 현재 이동 방향으로 바꾸어 사용자의 현재 위치와 이동 방향을 보정한다.

2. Evaluation & Result

우리는 시스템의 검증을 위하여 상명대학교 제1공학관의 한 층에서 실험을 진행하였고, 실험 기기는 삼성 갤럭시 A7 2017을 사용하였다. 우리는 실험 기기를 가슴높이에서 든 상태로 실험 장소를 이동하며 RSSI의 절댓값을 이용하여 선택되는 랜드마크인 V-랜드마크와 상대적 세기를 이용하여 선택되는 랜드마크인 F-랜드마크를 조사하였다. 시스템은 한 지점에서 특정 AP의 RSSI가 일정 수치를 넘을 경우 해당 지역을 V-랜드마크로 선택하였다. 동시에, 사전에 설명한 알고리즘에 따라 해당 지역의 한 AP의 RSSI가 다른 AP의 RSSI에 비하여 큰 차이를 보이는 값을 보여줄 경우, 해당 지역을 F-랜드마크로 선택하였다. 그 결과 실험 장소에서 4개의 V-랜드마크와 10개의 F-랜드마크를 선택하였다. Fig. 5는 실험 장소의 구조와 실험 경로, 그리고 실험에 사용된 랜드마크들의 위치를 보여준다.

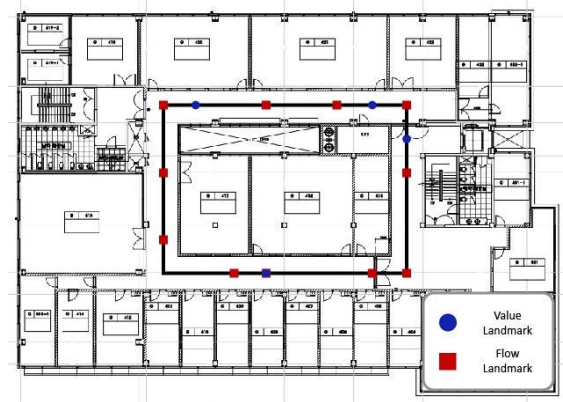


Fig. 5. Evaluation field

랜드마크 선택 후, 2번의 실내 이동 실험이 진행되었다. 실험자는 실내를 이동하였고, 동시에 시스템은 스마트폰의 내장 센서 데이터를 이용하여 실험자의 이동 경로를 탐색하였다. 이 때, 시스템은 사전에 생성된 랜드마크를 사용하여 이동으로 발생하는 센서 데이터의 오류를 보정하였다. 첫 번째 이동에서는 F-랜드마크를 이용하여 센서 데이터의 오류를 보정하였고, 두 번째 이동에서는 V-랜드마크를 이용하였다. 시스템은 실험 결과로서 사용자의 위치에서의 진행 방향과 거리 오류를 보여준다.

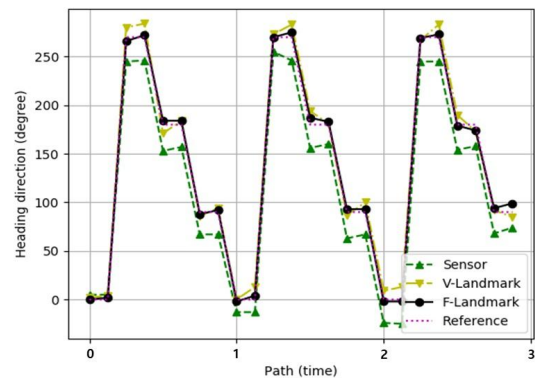


Fig. 6. Heading direction error

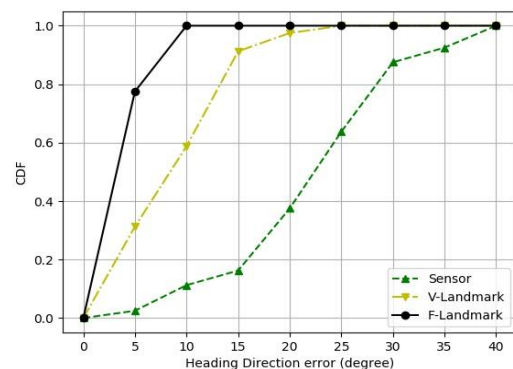


Fig. 7. Heading direction CDF

Fig. 6은 실험 결과로 도출된 진행 방향 오류를, Fig. 7은 진행 방향의 누적 확률 분포를 보여주고 있다. 센서만을 이용한 실험에서는 평균 21.525도의 오차를 보여주었고, 최대 44도의 오차를 보였다. V-랜드마크를 이용한 실험에서는 평균 8.2도의 오차를 보여주었고, 최대 22도의 오차를 보였다. F-랜드마크를 이용한 실험에서는 평균 3.0875도의 오차를 보여주었고, 최대 9도의 오차를 보여주었다.

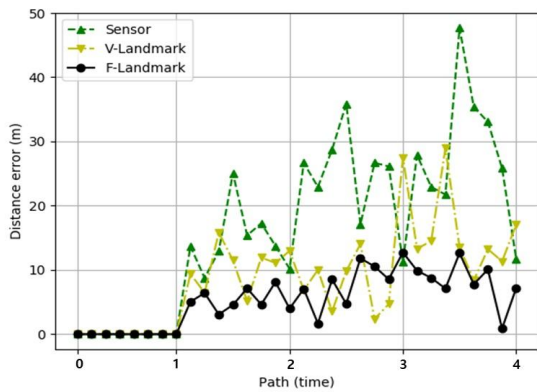


Fig. 8. Distance error

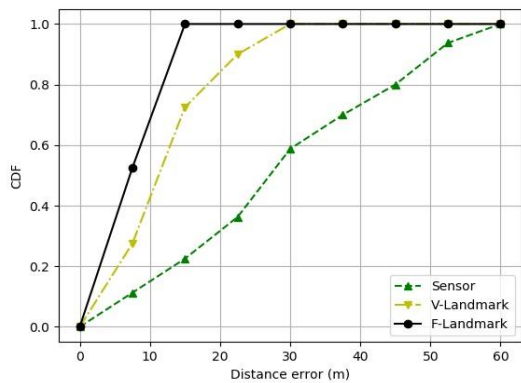


Fig. 9. Distance CDF

Fig. 8은 실험 결과로 도출된 거리 오류를, Fig. 9는 거리의 누적 확률 분포를 보여주고 있다. 센서만을 이용한 실험에서는 평균 28.19556m의 오차를 보여주었고, 최대 65.8185m의 오차를 보였다. V-랜드마크를 이용한 실험에서는 평균 11.58478m의 오차를 보여주었고, 최대 28.93717m의 오차를 보였다. F-랜드마크를 이용한 실험에서는 평균 6.993621m의 오차를 보여주었고, 최대 14.10151m의 오차를 보여주었다.

Table 1. Error value of the techniques

	Average direction error	Max direction error	Average distance error	Max distance error
Sensor	21.525°	44°	28.195m	65.818m
V-Landmark	8.2°	22°	11.584m	28.937m
F-Landmark	3.0875°	9°	6.993m	14.101m

IV. Conclusions

본 시스템은 AP들의 상대적인 RSSI로 측정된 랜드마크를 이용한 위치 추적 기술에 대하여 서술하였다. F-랜드마크를 이용한 기술은 센서만을 이용한 기술에 비하여 75.2%의 성능 향상을 보였고, V-랜드마크를 이용한 기술에 비하여 39.6%의 성능 향상을 보였다. F-랜드마크는 RSSI의 절댓값이 아닌 상대적 세기를 이용하여 선택되기 때문에 V-랜드마크에 비하여 더 많은 개수를 획득할 수 있을 뿐만 아니라 RSSI의 흐름은 거의 일정하기 때문에 더 높은 견고성을 보인다.

그러나 본 연구에서는 단순한 실내 구조와 패턴화된 이동으로 인하여 사용자의 급격한 이동, 복잡한 실내 환경 등으로 인한 변수의 창출이 적었다. 추후 연구에서 우리는 F-랜드마크를 이용하여 위치 추적 기술의 정확성을 높이는 동시에 다수의 사용자로부터 데이터를 받는 클라우드 소싱이나 기압이나 빛, 소리 등 기타 센서를 활용하여 센서 오류를 줄이고 측정 결과의 정밀도를 높이는 것을 목표로 한다.

REFERENCES

- [1] Liebner, Martin, Felix Klanner, and Christoph Stiller. "Active safety for vulnerable road users based on smartphone position data." 2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). IEEE, 2013.
- [2] Kelly, Daniel, Barry Smyth, and Brian Caulfield. "Uncovering measurements of social and demographic behavior from smartphone location data." IEEE Transactions on Human-Machine Systems 43.2 (2013): 188-198.
- [3] Misra, Pratap, and Per Enge. "Global Positioning System: signals, measurements and performance second edition." Global Positioning System: Signals, Measurements And Performance Second Editions, (2006).
- [4] Martín, Eladio, et al. "Precise indoor localization using smart phones." Proceedings of the 18th ACM international conference

on Multimedia. ACM, 2010.

- [5] Djuknic, Goran M., and Robert E. Richton. "Geolocation and assisted GPS." *Computer* 34.2 (2001): 123-125.
- [6] Gädeke, Tobias, et al. "Smartphone pedestrian navigation by foot-IMU sensor fusion." 2012 Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation, and Location Based Service (UPINLBS). IEEE, 2012.
- [7] Zhou, Baoding, et al. "Activity sequence-based indoor pedestrian localization using smartphones." *IEEE Transactions on Human-Machine Systems* 45.5 (2014): 562-574.
- [8] LE MASURIER, GUY C., SARAH M. LEE, and C. A. T. R. I. N. E. Tudor-Locke. "Motion sensor accuracy under controlled and free-living conditions." *Medicine & Science in Sports & Exercise* 36.5 (2004): 905-910.
- [9] Zhou, Baoding, et al. "ALIMC: Activity landmark-based indoor mapping via crowdsourcing." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 16.5 (2015): 2774-2785.
- [10] Chen, Yingying, et al. "A practical approach to landmark deployment for indoor localization." 2006 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks. Vol. 1. IEEE, 2006.
- [11] Shen, Guobin, et al. "Walkie-Markie: Indoor pathway mapping made easy." Presented as part of the 10th {USENIX} Symposium on Networked Systems Design and Implementation ({NSDI} 13). 2013.
- [12] Jang, Beakcheol, and Mihail L. Sichitiu. "IEEE 802.11 saturation throughput analysis in the presence of hidden terminals." *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)* 20.2 (2012): 557-570.
- [13] Bruno, Luigi, and Patrick Robertson. "Wislam: Improving footslam with wifi." 2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation. IEEE, 2011.
- [14] Robertson, Patrick, and Luigi Bruno. "Method for localisation and mapping of pedestrians or robots using wireless access points." U.S. Patent Application No. 14/345,284.
- [15] Angermann, Michael, and Patrick Robertson. "FootSLAM: Pedestrian simultaneous localization and mapping without exteroceptive sensors—Hitchhiking on human perception and cognition." *Proceedings of the IEEE 100.Special Centennial Issue* (2012): 1840-1848.
- [16] Liu, Song, and Tian He. "Smartlight: Light-weight 3d indoor localization using a single led lamp." *Proceedings of the 15th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems*. ACM, 2017.
- [17] Karlsson, Niklas, et al. "The vSLAM algorithm for robust localization and mapping." *ICRA*. 2005.

Authors



Hyunjung Kim is a MS student in the department of Computer Science, Sangmyung University, Seoul, South Korea. He received B.S. degree from Department of Computer Science at Sangmyung University

He is interested in indoor positioning, Internet of Things, bigdata and computer networks.



Beakcheol Jang received the B.S. degree from Yonsei University, in 2001, the M.S. degree from the Korea Advanced Institute of Science and Technology, in 2002, and the Ph.D. degree from North Carolina State University,

in 2009, all in computer science. He is currently an Associate Professor with the Department of Computer Science, Sangmyung University. His primary research interests include wireless networking, big data, the Internet of Things, and artificial intelligence. He is a member of the ACM and IEEE.