

BLE 및 WkNN 기반 이동 단말 실내 위치 측위 플랫폼 개발

김래현*, 오성현*, 김정곤^o

Development of an Indoor Positioning Platform for Mobile Devices Based on BLE and WkNN Method

Rae Hyeon Kim*, Sung Hyun Oh*, Jeong Gon Kim^o

요약

최근 사용자 단말 기반 LBS의 원활한 제공을 위해 다양한 무선통신 방식을 응용한 실내·외 위치 측위 기법들이 적용되고 있다. 실외 측위의 경우 GPS 신호를 수신하여 원활한 측위가 이루어지지만 실내 측위의 경우 GPS 신호가 정상적으로 수신되지 않는 문제점이 존재하여 WiFi 및 Bluetooth 등 다양한 무선 신호를 활용한 대체 기법들이 활발히 연구되고 있다. 본 논문에서는 BLE 비콘이 장착된 스마트 안전모와 실시간 위치 측위 PC 프로그램을 구현하였다. 스마트 안전모가 이동 시 측정된 RSS를 코사인 유사도 비교법, 삼각측량법, kNN 그리고 WkNN 방식에서 핑거프린트 맵 Sample Point의 기준 RSS와 비교하였다. 본 논문에서는 kNN 및 WkNN 방식 모두 측정된 RSS를 기반으로 해당 스마트 안전모 위치 좌표를 출력하고 측위 좌표 대비 실제 위치 좌표 간 평균 유클리드 거리 차를 Cosine Similarity 및 삼각측량법과 추가 비교 분석하였다. 실험 결과 상기 테스트베드 환경에서 WkNN 기반 측위 기법이 가장 우수한 측위 성능을 보여주었다. WkNN 기반 측위 기법은 kNN 기반 측위 기법 대비 약 20%, 삼각측량 기법 대비 약 34%, 코사인 유사도 비교방식 대비 약 41% 개선된 측위 성능을 보여주었다. 이를 통해 WkNN 기법이 비콘 단말 이동 환경에서 상대적으로 정확한 실내 측위 기법임을 확인하였다.

Key Words : LBS, Indoor Positioning, LoS, Bluetooth, WkNN Algorithm

ABSTRACT

Recently, indoor/outdoor positioning techniques using various wireless communication methods have been applied for the smooth provision of user Device-based LBS. In the case of outdoor positioning, GPS signal is received and positioning is performed smoothly, but in the case of indoor positioning, there is a problem that the GPS signal is not received normally, so alternative techniques using various wireless signals such as WiFi and Bluetooth are actively studied. In this paper, a smart-helmet equipped with a BLE beacon and a real-time positioning PC program were implemented. The RSS measured when the smart helmet is moved was compared with the standard RSS of the fingerprint map Sample Point in the cosine similarity comparison method, triangulation method, kNN and WkNN methods. In this paper, both the kNN and WkNN methods output the corresponding smart helmet position coordinates based on the measured RSS, and the average Euclidean

* 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2021R1F1A1063845)

• First Author : Tech University of Korea Department of Electronics Engineering, rhkim0314@tukorea.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : Tech University of Korea Department of Electronics Engineering, jgkim@kpu.ac.kr, 종신회원

* Tech University of Korea Department of Electronics Engineering, osh119@tukorea.ac.kr, 학생회원

논문번호 : 202205-100-D-RN, Received May 16, 2022; Revised June 30, 2022; Accepted July 2, 2022

distance difference between the positioning coordinates and the actual position coordinates is further compared and analyzed with cosine similarity and triangulation. As a result of the experiment, the WkNN-based positioning technique showed the best positioning performance in the test bed environment. The WkNN-based positioning technique showed improved positioning performance by about 20% compared to the kNN-based positioning technique, by about 34% compared to the triangulation technique, and by about 41% compared to the cosine similarity comparison method. Through this, it was confirmed that the WkNN technique is a relatively accurate indoor positioning techniques in a beacon terminal mobile environment.

I. 서론

최근 스마트폰 및 다양한 웨어러블 기기 그리고 특수 목적의 단말기들이 개발되면서 이에 따른 단말의 위치를 기반으로 한 LBS(Location Based Service) 관련 기술들이 다양한 산업 분야에서 적용되고 있다. LBS 범위는 크게 실외 영역 및 실내 영역 2가지로 나누어진다. 그림 1은 LBS 시스템의 개념도를 나타낸 것이다. 실외 영역의 측위 기술로서 GPS(Global Positioning System)가 가장 일반적으로 적용되고 있으며 실내 영역에서는 GPS 신호 수신에 불가능 하기 때문에 다른 방식이 적용된 위치 측위 기술 적용이 필요하다¹⁾.

현재 실내 위치 측위 기반 기술로서 활발히 연구 및 적용되고 있는 무선통신 기술은 WiFi, 초음파, 적외선, RF, UWB 그리고 BLE 비콘 등이 있다²⁾. 특히 2022년까지 블루투스 기술을 활용한 측위 서비스에 4,000여개의 단말이 사용될 것으로 예측되고 있다. 블루투스 기술을 적용한 위치 측위 기술은 BLE 비콘이 적용된 기술을 말하며, 이는 단말의 RSS(Received Signal Strength)를 측정하여 단말과의 거리를 추정하는 방식이다. 하지만 BLE 비콘의 경우, 다양한 실내 및 무선환경으로 인해 발생하는 RSS의 측정오차가 높으며 이에 따라 m급 정밀 위치 측정이 필요한 산업 분야에서 적용이 어렵다는 단점을 지니고 있다. 또한, BLE 비콘은 WiFi, Zigbee 등 기타 무선통신 환경과 중첩되는 주파수 사용대역 (ISM Band:2.4GHz)을 공

유하기 때문에 무선 신호 측정 간섭이 발생한다. 그러나, BLE 비콘은 통신을 위해 소모되는 전력을 낮추고 사용자의 접근성을 높였다. 이러한 특징은 동전 크기의 배터리로도 몇 년간 동작가능하며, 통신을 위해 서로 연결하는 페어링 시간이 매우 짧은 장점이 있다³⁾. 이에 따라 실내 환경에서 BLE 비콘을 기반으로 m급 측위 정확도를 달성하기 위해 다양한 위치 측위 기술 관련 연구가 활발히 진행되고 있다⁴⁾.

본 논문에서는 실내 LOS(Line Of Sight) 환경에서 BLE 비콘이 장착된 스마트 안전모 및 실시간 스마트 안전모 위치 측위를 위한 모니터링용 PC 프로그램을 구현하였다. 또한, 구현한 위치 측위 플랫폼의 측위 성능을 분석하기 위해 단일 유저 환경에서 기준 RSS를 수집하여 핑거프린트 맵을 구축하였으며 kNN(K-Nearest Neighbor) 방식 및 WkNN(Weighted K-Nearest Neighbor) 방식에서 산출된 각 스마트 안전모 위치 좌표 간 평균 유클리드 거리 차를 비교 분석하였다. 추가적으로 평균 측위오차와 평균 유클리드 거리 차를 코사인 유사도 비교법 및 삼각측량 기법과 비교 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 기존 실내 위치 측위를 위해 사용되는 관련 연구들을 간략하게 소개하고 3절에서 본 논문에서 구현한 실내 위치 측위 플랫폼의 위치 측위 알고리즘과 시스템 및 동작 절차를 살펴본다. 4절에서 실험 테스트베드 환경, 개발 H/W, S/W 구조 그리고 실험 시나리오 등을 포함한 시스템 모델을 소개하고 테스트 결과 및 고찰을 수행한다. 마지막 5절에서 결론 및 기대효과를 제시한다.

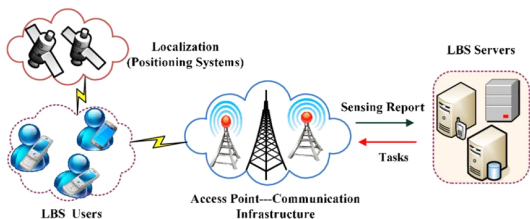


그림 1. LBS 시스템 개념도
Fig. 1. LBS System Concept

II. 관련 연구

2.1 삼각측량 기법

다수(보통 3개)의 기지국 또는 AP(Access Point)로부터 위치 및 신호를 받아 이를 통해 측위하는 측위 기법이다. 위치 파악이 정확하게 가능한 기지국이나 AP와 위치정보를 정확하게 파악하기 힘든 사용자 단

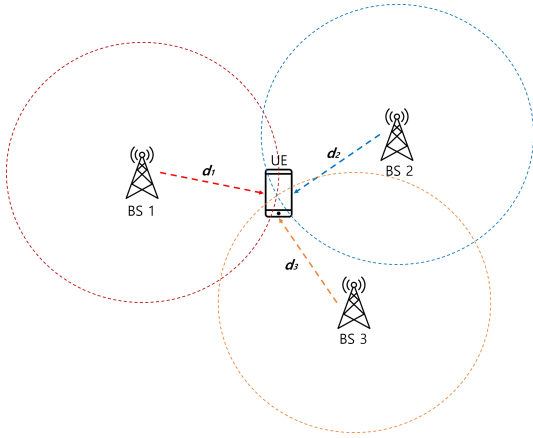


그림 2. 삼각측량 기반 위치 측위 시스템
Fig. 2. Triangulation-based Positioning system

말 간 거리정보를 기반으로 삼각측량법을 수행 후, 단말의 위치를 취득하는 기술이다⁵⁾. AoA(Angle of Arrival), ToA(Time of Arrival), TDoA(Time Difference Arrival) 방식들이 대표적이다⁶⁾. 그림 2와 같이 단말로부터 앵커 1까지의 거리가 d_1 , 앵커(기지국) 2까지의 거리가 d_2 , 앵커 3까지의 거리가 d_3 이라고 가정했을 때, 단말의 위치는 각 앵커를 중심 각 앵커로부터 반지름 거리만큼의 원의 교점을 찾는 방식으로 측위할 수 있다. 삼각측량을 활용하여 단말 위치 측위 시, N차원 공간에서 최소 N+1개 이상의 기지국이 필요하다.

삼각측량 기반 위치 측위 방식에서는 단말과 기지국 간 정확한 거리정보를 취득하는 것이 가장 중요하다. 단말과 기지국 간 거리는 기지국 및 단말이 송신하고 있는 무선 신호의 세기 및 전파지연시간 등을 측정하여 계산 가능하다. 무선 신호의 세기와 거리 간 관계는 일반적으로 (1)과 같이 경로감쇄모델로 정의 가능하다⁷⁾.

$$P_{RX} = P_O - 10 \log_{10}(d/d_0) \quad (1)$$

P_{RX} 는 단말 수신신호의 세기, P_O 는 참조 거리 d_0 에서 측정된 단말 수신신호 세기, a 는 경로감쇄지수, d 는 단말과 기지국 간 거리이다. 일반적인 실내 위치 시스템 구축 시, 각 기지국에 적합한 P_O , d_0 와 a 를 미리 매칭 후, 이후 단말이 기지국으로부터 수신하는 신호 세기 P_{RX} 를 (1)에 대입하여 해당 기지국까지의 거리를 계산할 수 있다. 최근 실내공간의 구조, 사람, 사물, 온도, 습도 등 복잡한 환경변수가 적용된 NLOS 환경 증가 추세로 인해 기존 경로 감쇄 모델을 활용한

거리 측정은 정확도에 한계를 보이고 있는 실정이다^{8,9)}. 따라서 최근에는 단말 위치에 따른 무선 신호 세기의 특성을 고려하여 단말의 위치를 찾는 핑거프린팅 기반 기술을 중점으로 연구가 진행되고 있는 추세이다¹⁰⁾.

2.2 핑거프린트 기법

핑거프린트 기법은 대상 환경 노이즈 등의 요인을 제거하지 않고 그대로 적용한 Radio Map을 활용하여 사용자 단말의 위치를 추정하는 방식이다. 이 기법은 데이터 수집 및 데이터베이스화 단계와 측위 단계로 구성된다. 그림 3은 핑거프린팅 기법 환경을 나타낸 것이며 사용자가 전체 적용할 공간에 임의로 격자 공간을 분할하고 각 격자에 해당하는 위치 좌표(x, y, z)에서 측정되는 모든 AP에서의 신호 세기를 수집하고 전부 데이터베이스화 한다. 단말이 수신하는 신호의 세기와 Radio map 기반 데이터베이스에서 가장 유사한 신호 세기 특성을 가지는 참조 위치 좌표를 단말의 위치로 판단하는 패턴인식 기술이다. 사용자가 수신한 신호 세기를 데이터베이스에 구축되어 있는 신호 세기와 비교하여 가장 근접한 격자를 사용자의 위치로 추정한다^{11,12)}. Radio map 상 단말 신호 세기를 x , 현재 단말이 측정된 신호 세기를 y 라고 가정 할 때, 두 신호 세기의 관계는 (2)와 같이 정의할 수 있다¹³⁾.

$$y = ax + b \quad (2)$$

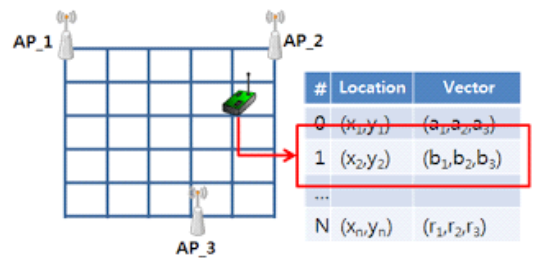


그림 3. 핑거프린트 기반 위치 측위
Fig. 3. Fingerprint-based Positioning

2.3 Cell-ID 기법

Cell-ID 기반 단말 위치 측위 기법은 단말이 위치한 현재 Cell 기지국의 위치를 단말의 위치로 판정하는 기법이다. 그림 4와 같이 일반 Cell-ID 기법과 기지국과 단말의 거리정보 및 단말 이동성 정보를 측위 정보로 추가하여 측위 정확도를 개선한 Enhanced Cell-ID 기법을 나타낸다. 일반 Cell-ID 기법의 경우 기지국 Cell에 해당하는 커버리지에서 단말 존재 여부

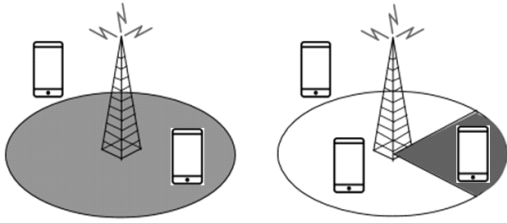


그림 4. 일반 Cell-ID 기법 및 Enhanced Cell-ID 기법
Fig. 4. General Cell-ID Technique and Enhanced Cell-ID Technique

를 확인하여 단말 존재 시, 해당 기지국 Cell 커버리지 내 임의 위치를 단말 위치로 판정한다. 반면 Enhanced Cell-ID 기법은 1차적으로 기지국 Cell 커버리지 내 단말 존재시 기지국과 단말의 거리정보를 획득하고 거리 정보 수집 주기별 단말의 이동 위치에 따른 이동 벡터를 활용하여 기지국 Cell 단말 위치를 추정한다. AP 또는 기지국의 커버리지가 증가할수록 단말의 위치 측위 오차 확률이 증가 함으로서 단말 측위 정밀도 및 정확도가 낮아진다는 단점이 존재한다. 따라서 AP 또는 기지국의 커버리지가 수십 m 또는 그 이상일 경우 낮은 단말 측위 정확도로 인하여 단독으로 Cell-ID 기법을 적용하는 사례는 드물고 다른 측위 기법과 혼용하여 사용되는 사례가 많다¹⁴⁾.

2.4 가시광 기반 측위 기법

또한 최근에는 WiFi 또는 Bluetooth 기반 실내 측위 기법들이 지니고 있는 회절, 투과 등의 전파 특성으로 인해 발생하는 단말의 낮은 위치 측위 정확도를 개선하기 위해 LED(Light Emitting Diode) 기반 VLC(Visible Light Communication) 기법도 실내 위치 측위 기법으로 고려되고 있다. 가시광 통신은 사람의 육안으로 인지하지 못할 정도로 LED를 빠르게 On/Off 함으로서 데이터 통신과 일반 조명의 역할을 동시에 수행하는 기법이다.

그림 5와 같이 각 LED AP에서는 고유 할당된 ID가 주기적으로 발산하고 단말은 전송된 각 LED AP

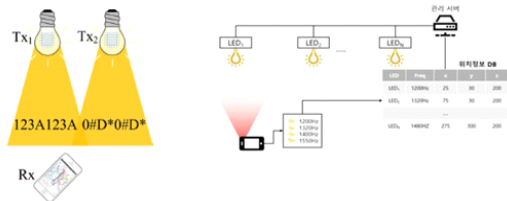


그림 5. 가시광 통신 기반 위치 측위 시스템
Fig. 5. Visible Light Communication-based Positioning System

ID를 구분하여 현재 자신의 위치 구분이 가능하다. 이러한 가시광 통신 기반 Cell-ID 기법을 적용한 실내 위치 측위 기법 연구도 활발히 이루어지고 있는 추세이다^{15,16)}.

2.5 Cosine Similarity 기반 벡터 비교

그림 6과 같이 코사인 유사도 분석 기반 벡터 비교법은 핑거프린트 기반 방식이며 서로 다른 두 벡터 간의 cosine 각도를 이용하여 구할 수 있는 두 벡터의 유사도를 비교하는 것을 의미한다¹⁷⁾. 서로 다른 두 단말이 지니고 있는 두 벡터의 방향이 완전히 동일한 경우에는 1의 값을 가지며, 90°의 각으로 수직을 이루면 0, 180°로 서로 반대 방향을 가지면 -1의 값을 갖게 된다. 즉 -1 이상 1 이하의 값을 가지며 값이 1에 가까울수록 높다고 판단한다. 값이 클수록 벡터 간의 각도 차가 작아지며 유사도가 높다는 것을 의미한다. 즉 Cosine의 값이 최댓값 일 때의 좌표를 자신의 위치로 결정한다. 핑거프린트 기반 코사인 유사도 비교법은 2차원을 활용함으로써 보다 정확도가 높지만 처리 과정이 복잡하고 높은 연산시간의 단점이 존재한다. (3)은 코사인 유사도 계산식이다.

$$\cos\theta = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i)^2}} = \frac{A \cdot B}{\|A\| \|B\|} \quad (3)$$

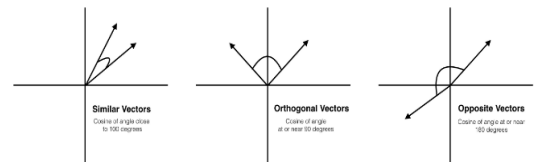


그림 6. 코사인 유사도 기법 개념
Fig. 6. Cosine Similarity Technique Concept

2.6 kNN 및 WkNN 알고리즘

kNN(K-Nearest Neighbor) 알고리즘은 거리 기반 분류분석 모델이며 데이터로부터 거리가 가까운 k개의 다른 데이터의 레이블을 참조하여 분류하는 알고리즘이다. 데이터 간 거리를 측정하는 방법으로는 유클리드 거리 계산법을 활용한다.

그림 7은 kNN 알고리즘의 도식도를 나타낸 것이다. 그래프에서 데이터 특성이 서로 다른 Class A와 Class B가 주어지고 k=3인 경우, k와 인접한 거리에 위치한 Class B 데이터가 2개가 선택되고, Class A 데이터가 1개 선택된다. 이 때, 기준 데이터(빨간 점)

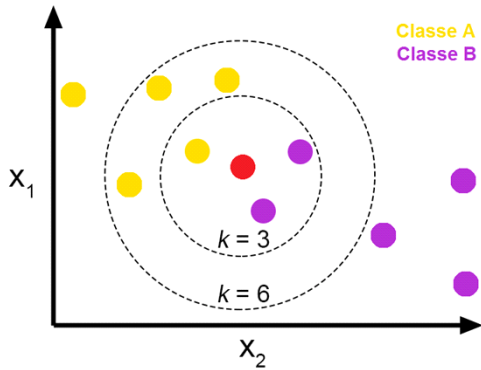


그림 7. kNN 알고리즘 도식도
Fig. 7. kNN Algorithm Schematic

가 속하는 그룹은 Class B가 Class A보다 많은 데이터의 매핑이 이루어졌기 때문에 Class B가 된다. 하지만 만약 k=6인 경우, k와 인접한 거리에 위치한 Class B 데이터는 2개가 선택되고 Class A 데이터는 4개가 선택된다. 따라서 기준 데이터(빨간 점)는 Class A 그룹으로 속하게 된다.

일반적으로 인접한 거리의 데이터를 탐색하는 k의 개수는 홀수로 하는 것이 바람직하다. 만약 k=짝수일 경우, 비교하는 서로 다른 두 그룹의 데이터 2개가 기준 데이터로부터 동일한 유클리드 거리에 위치해 있다면 k=2일 경우 2:2 동점 스코어가 발생함으로 인해서 그룹 분류가 불가능하다. kNN 알고리즘을 위치 측위 분야에서 적용할 경우, 주변 AP로부터 수집한 단말 신호 세기를 데이터베이스에 존재하는 다수의 Sample Point와 비교하고 가장 작은 차이를 나타내는 Sample Point를 현재 위치로 추정하게 된다. kNN 알고리즘은 기억 기반 추론 기법 중 하나로 패턴인식에 주로 활용되고 있다. kNN은 Estimation 단계에서 측정된 SNR 데이터가 주어졌을 때 유사도 함수에 기반하여 학습 단계에서 핑거프린팅 map 데이터베이스에 구축되어 있는 Sample Point를 활용한다. Sample Point의 SNR 데이터 집합에서 측정된 SNR 데이터와 가장 유사한 k개 Sample Point의 SNR 데이터들을 선택한다^[18]. 거리를 산출하는 과정은 (4)와 같다.

$$D_i = \sum_{j=1}^L |RSS_j - RP_{i,j}| \quad (4)$$

$$(x', y', z') = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (x_i, y_i, z_i) \quad (5)$$

(4)에서 D_i 는 RP_i 와 현재 수신된 RSS와의 거리이고 RSS_j 는 j번째 AP에서 수신된 RSS이다. $RP_{i,j}$ 는 i번째 RP 에서 j번째 RP 에 저장되어 있는 RSS이다. DB에 저장되어 있는 모든 RP 와의 거리를 계산하고 최소 거리를 나타내는 RP 를 현재 단말 위치로 추정하며 이는 NN(Nearest Neighbor) 알고리즘이다. NN 알고리즘은 가장 작은 거리를 나타내는 RP 를 선택할지라도 정확한 현재 위치라고 판단을 내릴 수 없기 때문에 RP 들 중에서 거리가 가까운 k개의 RP 를 선택하여 단말의 위치를 추정 하는 방식이 kNN 알고리즘이다. (4)를 이용하여 계산된 거리 값들 중에서 가장 가까운 거리 값을 k개만큼 선정 가능하며 (5)를 적용하여 최종 단말의 위치를 추정 가능하다. (5)에서 (x_i, y_i, z_i) 는 i번째 Sample Point의 좌표이고, (x', y', z') 는 추정된 단말의 위치 좌표이다.

추가적으로 단말과의 거리가 작은 Sample Point에 상대적으로 높은 가중치를 부여하고 단말 측위를 수행하는 방식이 WkNN(Weighted K-Nearest Neighbor) 알고리즘이다^[19]. WkNN 알고리즘에서는 공간 상 유클리드 거리가 가장 가까운 Sample Point도 선택이 되지만 가중 평균이 적용된다. 단말의 실제 위치들과 측위 위치들의 거리가 각각 상이하기 때문에 기준점 대비 부여되는 가중치가 다르다. 실제 단말 위치에 해당하는 Sample Point 대비 측위 위치 Sample Point 기준 부여되는 가중치 w_{iT} 는 (6)과 같이 도출할 수 있다. 가중치는 공간 거리 D_{iT} 에 반비례한다. (7)은 WkNN 알고리즘에서 공간 거리 D_{iT} 에 따른 가중치 w_{iT} 가 적용된 최종 단말 측위 위치 좌표를 나타낸다.

일반 kNN 알고리즘의 경우 단순히 공간 상 유클리드 거리가 가까운 k개의 Sample Point를 선정하고 이중 가장 가까운 Sample Point가 적용되어 최종 단말 위치 측위가 수행되는 반면 WkNN 알고리즘의 경우, 가장 가까운 Sample Point를 산출하는 과정은 kNN과 동일하지만 공간거리 특성에 따른 가중치 적용으로 kNN 대비 우수한 단말 위치 측위 정확도를 나타내며 단말 위치 측위 분야에서 가장 많이 사용되는 알고리즘이기도 하다^[20].

$$w_{iT} = \frac{1}{D_{iT}} / \sum_{i=1}^K \frac{1}{D_{iT}} \quad (6)$$

$$(x', y', z') = \sum_{i=1}^K w_{iT} (x_i, y_i, z_i) \quad (7)$$

III. 실내 위치 측위 제작 방안

본 논문에서 구현한 실내 위치 측위 플랫폼은 핑거프린트 맵을 기반으로 WkNN 기법을 적용하여 BLE 비콘이 부착된 스마트 안전모의 위치를 측위하는 시스템이며 그림 8과 같다. 그림 9는 본 논문에서 구현한 실내 위치 측위 플랫폼 중 하드웨어 부분인 스마트 안전모 및 BLE AP의 구조 및 기능 블록도를 나타낸 것이다. 스마트 안전모에 부착된 비콘 모듈은 소형 배터리(3.7V, 300mAh)를 전원으로 사용하며 스마트 안전모 전면에 부착된 PLA 재질 케이스에 내장되어 있다.

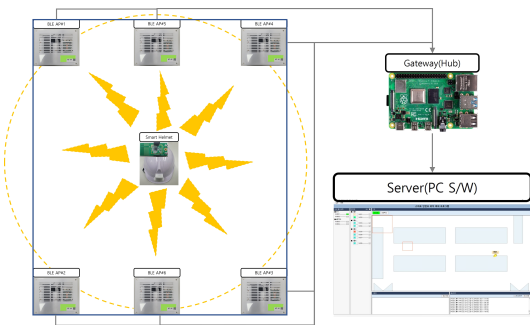


그림 8. 제안하는 스마트 안전모 위치 측위 시스템
Fig. 8. Proposed smart-helmet positioning system

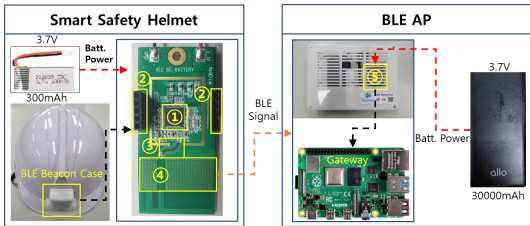


그림 9. 스마트 안전모 & BLE AP H/W 구조 및 기능 블록도
Fig. 9. Smart-helmet & BLE AP H/W structure and function block diagram

3.1 하드웨어 구조 및 기능 블록도

스마트 안전모에 부착된 비콘 모듈은 소형 배터리(3.7V, 300mAh)를 전원으로 사용하며 스마트 안전모 전면에 부착된 PLA 재질 케이스에 내장되어 있다. 세 부적인 비콘 모듈의 신호 송출 사양은 4절 실험 및 결과에서 소개한다. 해당 비콘 모듈은 BLE 신호의 생성, 송출 모드 및 송출 주기 그리고 소모 전력 등을 설정하는 BLE 모듈(9-①), BLE 모듈의 F/W를 업로드하는 JTAG 다운로더(9-②), BLE 모듈에서 발생한 비콘

신호를 USART 통신을 활용하여 패턴 안테나쪽으로 전달하는 패턴(9-③) 그리고 비콘 신호를 무선 형태로 전송하는 패턴 안테나(9-④)로 구성되어 있다. 라즈베리파이 4B(9-⑤)를 컨트롤러로 활용하고 있는 BLE AP는 보조배터리(3.7V, 3000mAh)를 전원으로 사용하였으며, 스마트 안전모 비콘 모듈의 패턴 안테나에서 전송한 비콘 신호를 수신하여 신호 RSS를 안정화한다.

3.2 소프트웨어 구조 및 기능 블록도

그림 10은 스마트 안전모의 비콘 신호를 수신하고 정제하여 게이트웨이로 전송하는 BLE AP와 게이트웨이의 S/W 구조 및 기능 블록도를 나타낸 것이다. 컨트롤러 보드는 모두 라즈베리파이 4B를 적용하였다. 스마트 안전모 BLE 비콘 신호를 스캔하고 수신하기 위해 blescan 헤더파일(10-①)을 파이썬 라이브러리에서 다운로드하여 적용하였으며 정제한 스마트 안전모 비콘 신호를 게이트웨이로 전송하기 위해 파이썬 라이브러리에서 무선 소켓 통신 헤더파일(10-②)을 다운로드하여 적용하였다. 데이터 송신을 위해 Client(BLE AP 6개) 및 데이터 수신 측(게이트웨이) Host를 설정(10-③)하였다.

BLE AP 6개에서는 모두 실시간으로 스마트 안전모 비콘 신호를 수집하고 정제하여 게이트웨이로 전송한다. 게이트웨이에서는 BLE AP 6개로부터 수신한 스마트 안전모 비콘 신호를 각 BLE AP 별 변수 설정 및 메모리를 할당하여 저장하고 kNN 알고리즘 및 WkNN 알고리즘을 모두 순차적으로 적용하여 각각 최종 스마트 안전모 위치 측위 좌표를 도출한다. 도출된 최종 스마트 안전모 위치 좌표는 Wireless Socket 통신 인터페이스가 적용되어 위치 측위 모니터링 PC 프로그램으로 전송된다. 그림 11은 스마트 안전모 위치 측위 및 모니터링을 수행하는 PC 프로그램을 나타낸 것이다. 게이트웨이에서 전송한 최종 스마트 안전모 위치 좌표를 프로그램 맵 상에 포인팅

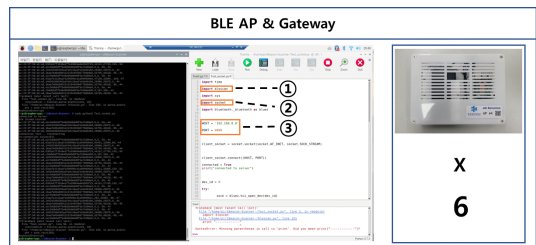


그림 10. BLE AP S/W 구조 및 기능 블록도
Fig. 10. BLE AP S/W structure and function block diagram

(11-①)하고 멀티 유저 환경에서 스마트 안전모 그룹 생성 및 정보 관리(11-④) 그리고 게이트웨이와의 무선 소켓 통신 상태 모니터링(11-⑤) 및 통신 로그 모니터링(11-②)을 수행한다. 부가 기능으로는 스마트 안전모가 위험지역 진입 시, 별도의 이벤트 알림 제공 기능(11-③)이 있다.

스마트 안전모는 100ms 주기로 비콘 신호를 송출하고 테스트베드 환경에 배치된 6개의 BLE AP들은 실시간에 가깝게 스마트 안전모 비콘 신호측정을 위해 10ms 주기로 설정되었다. 이때, 환경요소로 인해 RSS 값이 급격히 변화하는 문제를 최소화하기 위해 최초 수집한 10개의 UE RSS 값 중, 최대값과 최소값에 해당하는 UE RSS 값 2개를 제거하고 나머지 8개의 UE RSS 값들을 배열에 저장한다.

이 후, 8개의 UE RSS 값들의 평균 값을 도출하고 이동평균 필터(MA filter)를 적용하여 이전 주기에 평균 값과 현재 주기 평균 값 변화 폭을 일정한 범위 내에서 제한한다. 이동평균 필터를 적용한 값들 중에서 초기 수집한 비콘 RSS 10개가 비정상적으로 수집되어 부정확한 평균 값이 도출되었을 가능성까지 배제하기 위해 S/W LPF(Low Pass Filter)를 적용하였다.

S/W LPF는 도출된 UE RSS 값들 중, -80dB를 초과하는 UE RSS 값은 삭제하고 다음 수집 주기에서 위 과정을 반복 후, 도출된 UE RSS(<-80dB) 값을 저장하여 게이트웨이로 전송한다. -80dB를 기준으로 UE RSS 값이 기준 값 대비 이상이면 삭제하고 이하이면 저장하는 이유는 테스트베드 환경에서 가장 거리 차이가 큰 AP에서 측정된 UE 비콘 신호의 RSS가 -80dB이기 때문에 -80dB를 초과하는 값은 테스트베드 외 영역이기 때문이다.

각 BLE AP들은 앞서 언급한 과정을 수행 후, Wireless Socket 통신 인터페이스를 활용하여 안정화된 비콘 신호를 게이트웨이로 전송한다. 게이트웨이는 6개의 AP가 전송한 UE RSS 값들을 수신하고 이 중,

RSS 평균 변화량을 초과하는 값은 제거(RSS 평탄화)한다. 이 후, 1차적으로 kNN 알고리즘(k=4)을 적용하여 핑거프린팅 맵 데이터베이스에 저장되어 있는 각 Sample Point(AP 포함) RSS 값과 비교하고 가장 근접한 Sample Point 좌표 매칭 후, 위치 측위 프로그램 상에 해당하는 좌표에 최종 UE 포인팅을 수행한다.

본 시스템에서는 WkNN 및 kNN 알고리즘의 성능 평가 및 분석을 위해 위 kNN 알고리즘 과정 수행 후, 가장 가까운 Sample Point 좌표에 해당하는 방향으로 가중치를 부여하여 WkNN 알고리즘을 동시에 비교 분석하였다.

BLE AP 및 게이트웨이와 게이트웨이 및 서버 간 데이터 전송은 모두 Wireless Socket 통신 인터페이스를 통해 이루어지는데 이는 스마트 안전모(UE)의 비콘 신호 전송 시 BLE 인터페이스로 전송되기 때문에 상호 간 간섭을 제거하기 위함이다. 또한 게이트웨이나 서버에서 전원 공급 중단 또는 시스템 종료 등의 무선 소켓 통신 환경이 연결 해제 되었을 때, BLE AP는 무선 소켓 연결을 즉시 해제하지 않고 무한 대기 상태를 유지하고 지속적으로 스마트 안전모(UE)의 비콘 RSS를 수집한다.

이후 다시 게이트웨이 또는 서버의 시스템 구동 시 무선 소켓 통신 연결을 시도하고 서버 Host 주소 (192.168.0.133) 및 게이트웨이 Host 주소 (192.168.0.83) 비교 매칭 후 재연결된다. 각 6개의 BLE AP에서 UE RSS를 수신한 게이트웨이는 RSS 평균 변화량 대비 이상의 값은 제거하고 핑거프린팅 맵 데이터베이스 상 각 Sample Point와 비교 후 각각 kNN 및 WkNN 알고리즘을 수행하여 최종 UE 좌표를 도출한다. 게이트웨이는 서버(스마트 안전모 위치 측위 프로그램)와 무선 소켓 통신 Host 및 Client IP 설정 후 최종 스마트 안전모(UE)의 위치 좌표를 서버로 전송한다. 테스트베드 핑거프린팅 맵 데이터베이스 구축 시 진행되는 Sample Point 획득과정과 서버 PC 프로그램의 자세한 사양 및 전체 시스템 동작 절차는 4절 실험 및 결과에서 기술하였다.

IV. 실험 및 결과

4.1 하드웨어

그림 12는 스마트 안전모 위치 측위를 위해 사용된 (주)와이파이브 社 BLE 비콘모듈을 나타낸 것이다. 해당 모듈 신호 송출 파워는 0dBm이고 신호 송출 주기는 100ms이며 Battery 용량은 300mAh이다. 그림 13은 BLE 비콘이 내장된 케이스가 부착되어 있는 스마

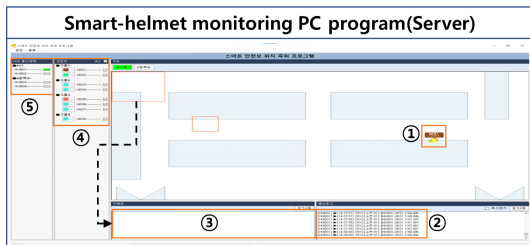


그림 11. 스마트 안전모 위치 측위 및 모니터링 PC 프로그램
Fig. 11. Smart-helmet positioning and monitoring PC program

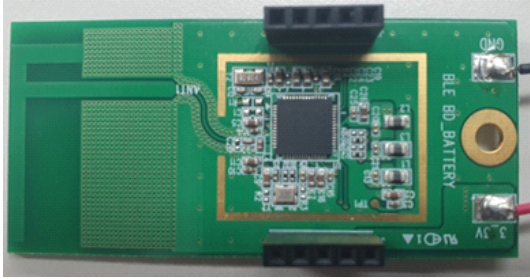


그림 12. 스마트 안전모 부착용 BLE 비콘 모듈
Fig. 12. BLE beacon module for smart-helmet attachment



그림 13. 비콘 모듈이 내장된 스마트 안전모 및 BLE AP
Fig. 13. Smart-helmet with beacon module and BLE AP

트 안전모와 스마트 안전모 비콘 신호를 수신하기 위해 자체 제작한 BLE AP를 나타낸 것이다. BLE AP의 메인 컨트롤러 보드는 라즈베리파이 4B를 적용하였으며 전원 공급을 위해 3.7V, 용량은 3000mAh 보조배터리를 적용하였다. BLE 비콘 신호 수집 주기는 10ms로 설정하였다.

4.2 소프트웨어

4.2.1 스마트 안전모 위치 측위 프로그램

그림 14는 스마트 안전모가 전송하는 BLE 비콘 모듈의 신호를 수신하여 최종적으로 스마트 안전모 위치를 나타내는 위치 측위 프로그램이다. PC 프로그램의 주요 기능으로는 다음과 같다.

(1) 스마트 안전모(BLE 단말) 별 Group 설정

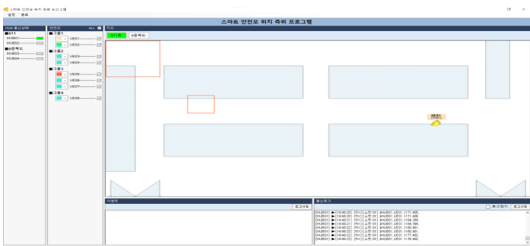


그림 14. Windows 기반 스마트 안전모 위치 측위 프로그램
Fig. 14. Windows-based smart-helmet positioning program

- (2) 스마트 안전모 위치 측위 실시간 로그데이터 수집
- (3) 실시간 통신 모니터링을 통한 위치 측위 상태 파악
- (4) 실시간 BLE RSS 수집 및 위치 포인팅
(업데이트 주기 = 10 ~ 20ms)

4.2.2 BLE AP 및 게이트웨이

라즈베리파이 4B를 활용하여 스마트 안전모에서 주기적으로 송신하는 비콘 모듈 신호를 수집하는 BLE AP 및 BLE AP에서 수집한 스마트 안전모 비콘 신호 데이터를 전 처리 하기 위해 적용된 게이트웨이 컨트롤러를 구성하였으며 컨트롤러 환경설정을 위한 프롬프트 창을 활성화하여 Python compiler 설치와 블루투스 환경 설정, WiFi 설정, 버전 업데이트 및 각종 환경 제어 업데이트 등을 수행할 수 있다. 본 시스템에서는 Python 3.7 환경에서 BLE 호환 패키지 설치와 BLE AP 및 게이트웨이 그리고 스마트 안전모 위치 측위 프로그램 간 데이터 전송을 위해 Wireless Socket 통신 패키지를 설치하였다. 라즈베리파이 4B에서 실행되는 Python 컴파일러 중 하나인 Thonny를 활용하여 해당 컴파일러를 통해 BLE AP 신호 수집 환경 및 게이트웨이 데이터 전처리 프로세스를 구축하였으며 위치 측위 모니터링 PC 프로그램으로 데이터를 전송하기 위한 무선 소켓 통신환경도 구현하였다.

4.3 실험 파라미터 및 환경

그림 15는 제안하는 위치 측위 플랫폼 실험을 진행한 실내 LOS 환경 기반 테스트베드이다. 테스트베드 환경은 한국공학대학교 산학융합관 611호(통신실험 및 실습실)를 활용하였다. 테스트베드 넓이는 가로 15.6m, 세로 11.6m 실내 환경을 적용하였으며 테스트



그림 15. 스마트 안전모 위치 측위 테스트베드
Fig. 15. Smart-Helmet Positioning Testbed

베드에 위치한 각 실험 테이블의 높이는 1.3m, 가로 5.1m, 세로 1.8m이다. 스마트 안전모 BLE 비콘 신호를 수집하는 BLE AP는 총 6개가 사용되었으며, BLE AP의 배치 간격은 가로 세로 5m고 BLE AP 단위 Coverage 반경은 AP 기준 15m이다. 정확한 비콘 단말의 위치 측위를 위해 다수의 모듈이 혼재된 환경이 아닌 단일 비콘 단말을 활용하였으며 간섭을 감소시키기 위해 테스트베드에 설치되어 있는 WiFi AP의 전원을 차단한 상태에서 실험을 진행하였다. 그림 16은 스마트 안전모 비콘 신호의 핑거프린팅 맵 데이터베이스 구축을 위해 측정한 14개 Sample Point 및 6개 AP 총 20개 측정 포인트의 공간 좌표를 나타낸 것이다. 모든 Sample Point 좌표에서 3000개 씩 스마트 안전모(UE) 비콘 RSS를 수집하여 평균 값을 도출하였으며 이 값을 전체 핑거프린팅 맵 데이터베이스에 적용하였다.

각 Sample Point 측정 간격은 가로 4m, 세로 2m로 설정하였다.

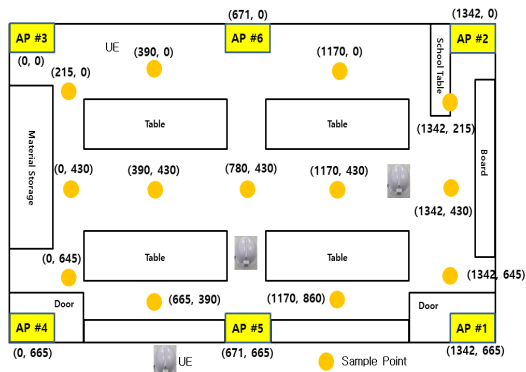


그림 16. 핑거프린팅 맵 데이터베이스 구축 위한 Sample Point 좌표
Fig. 16. Sample Point Coordinates to Build a Fingerprint Map Database

4.4 테스트 시나리오

테스트 시나리오는 동일한 측정자가 스마트 안전모를 장착한 후 테스트베드를 이동하므로, 이때 스마트 안전모의 높이는 1.7m로 동일하다. 그림 17은 스마트 안전모 비콘 신호 수집 및 처리 프로세스를 나타낸 것이다. 그림 18과 같이 비콘 모듈이 부착된 스마트 안전모를 장착한 실험자가 이동을 하면서 100ms 주기마다 비콘 신호가 송출된다. 각 BLE AP는 10ms 주기마다 스마트 안전모 비콘(UE) 신호를 수집하고 이를 RSS로 변환한다. 수집된 비콘 신호는 BLE 무선 신호 특성상 수치가 일정하지 않고 작은 거리 변화에

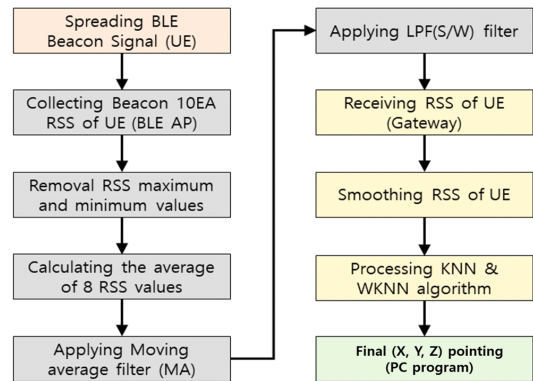


그림 17. 스마트 안전모 비콘 신호 수집 및 처리 프로세스
Fig. 17. Smart-helmet beacon signal collection and processing process



그림 18. 스마트 안전모 비콘 신호 측정 및 위치 측위 테스트
Fig. 18. Smart-helmet beacon signal measurement and positioning test

도 매우 민감하게 변동하기 때문에 본 시스템에서는 UE RSS 초기 안정화를 위해 이동평균 필터를 적용함으로써 초기 UE RSS 값의 안정화를 진행한다.

게이트웨이에서는 테스트베드 환경에서 구축한 핑거프린팅 데이터베이스상에 저장된 모든 Sample Point 별 비콘 RSS와 실시간 측정된 비콘 RSS를 비교하여 kNN 및 WkNN 방식에 대해 각각 측위 좌표를 도출한다. 게이트웨이는 최종적으로 도출된 각 방식 별 UE 측위 좌표들을 Wireless Socket 통신 인터페이스를 통해 모니터링 PC 프로그램으로 전송하고 모니터링 PC 프로그램에서는 해당 스마트 안전모 측위 좌표를 프로그램 상에 포인팅 된다.

그림 19는 스마트 안전모 위치 측위 테스트 시나리오 진행시 실험자 이동에 따른 측위 정확도 테스트를 위해 측정한 포인트(2개의 Sample Point 사이) 및 UE 이동 방향을 나타낸 것이다. 핑거프린팅 맵 데이터베이스

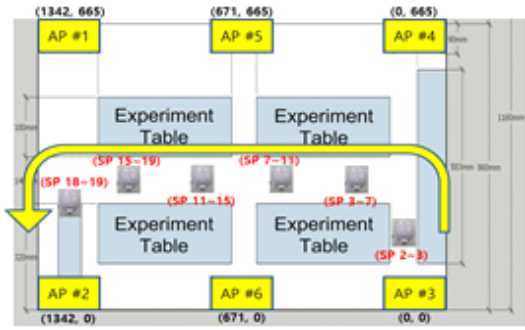


그림 19. 스마트 안전모 위치 측위 테스트 이동 방향
Fig. 19. Smart-helmet positioning test movement direction

이 상 UE는 AP #3번 측에서 출발하여 Sample Point(2~3), Sample Point(3~7), Sample Point(7~11), Sample Point(11~15), Sample Point(15~19), Sample Point(19~18)를 거쳐 AP #2번 측으로 도착하는 형태로 위치 측위 테스트가 수행되었다. 각 측정 포인트 당 1500개의 UE RSS를 수집하여 평균 값을 도출하였고 위 과정을 kNN 알고리즘 적용 기법과 WkNN 알고리즘 기법 모두 순차적으로 적용하여 최종 UE 위치 측위 좌표 도출을 진행하였다. 측위 좌표 대비 실제 UE 좌표의 거리 차이는 유클리드 거리를 통해 적용하였다.

수집된 각 측정 포인트 당 비콘 RSS 값들은 측정과 동시에 위치 측위 모니터링 PC 프로그램에 위치 측위 좌표 형태 (x, y, z)로 저장되고 CSV 형태의 로그파일로 저장되게 된다. 로그파일에서는 각 측정 포인트에서 도출된 위치 좌표 값을 활용하여 연산된 각 알고리즘 별 평균 측위 좌표 값, 실제 측정 좌표, 평균 측위 오차, 평균 측위 유클리드 거리를 확인할 수 있다.

4.5 스마트 안전모 위치 측위 테스트 결과

제안하는 시스템에서 측위 오차 분석을 위해 적용한 유클리드 거리 산출 수식^[21]은 아래와 같다.

$$d = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2} \quad (8)$$

(8)에서 d는 UE 측위 좌표 대비 실제 UE 좌표 간 유클리드 거리이고 x, y, z는 실제 UE 좌표 x', y', z'는 측위된 UE 좌표이다. 표 1과 표 2는 각각 kNN 및 WkNN 알고리즘 적용시 각 위치 측정 포인트 당 UE의 측위 좌표, 실제 좌표, 측위 오차 그리고 유클리드 거리를 나타낸 것이다.

이때 앞서 언급했듯이 스마트 안전모의 높이인 z 값은 모든 위치에서 1.7m로 동일하며, z'는 z 값과 동

일하다고 가정하였다. 표 1과 표 2를 살펴보면 Sample Point(2~3) 및 Sample Point(19~18)을 제외한 나머지 측정구간에서 모두 일정하게 측위 오차가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 초기 UE 위치 탐색 및 포인팅 좌표가 BLE AP 커버리지가 많이 겹치는 테스트베드 내 중심에 위치할수록 증가하는 양상을 나타내었다. 테스트베드 내 UE의 테스트 이동 방향을 고려하였을 때, UE 측위 좌표가 측면일수록 상대적으로 구석 BLE AP #3(Sample Point 2~3) 및 BLE AP #2(Sample Point 19~18)에서 강한 UE RSS를 조기에 수신하고 초기 위치를 탐색 및 포인팅하는데 소요되는 시간이 짧다. 따라서 초기 UE 측위 오차가 발생하는 빈도가 적게 발생한다.

표 1. 위치 측위 테스트 정확도 결과 (kNN)
Table 1. Positioning Test Accuracy Results (kNN)

단위: m

측위 구간	측위 좌표	실제 좌표	측위 오차	유클리드 거리
SP(2~3)	(0.93, 2.604)	(0.61, 2.45)	(0.32, 0.154)	0.35
SP(3~7)	(2.62, 5.05)	(2.86, 3.17)	(0.24, 1.88)	1.89
SP(7~11)	(4.46, 3.15)	(5.54, 3.20)	(1.08, 0.05)	1.08
SP(11~15)	(8.41, 4.29)	(8.25, 3.20)	(0.16, 1.009)	1.1
SP(15~19)	(12.57, 2.97)	(11, 3.2)	(1.58, 0.23)	1.60
SP(19~18)	(13.31, 2.77)	(14.04, 2.38)	(0.73, 0.39)	0.83

표 2. 위치 측위 테스트 정확도 결과 (WkNN)

Table 2. Positioning Test Accuracy Results (WkNN)

단위: m

단위: cm	측위 좌표	실제 좌표	측위 오차	유클리드 거리
SP(2~3)	(0.79, 2.37)	(0.61, 2.45)	(0.18, 0.07)	0.2
SP(3~7)	(2.56, 4.78)	(2.86, 3.17)	(0.30, 1.61)	1.64
SP(7~11)	(4.72, 3.23)	(5.54, 3.20)	(0.81, 0.038)	0.81
SP(11~15)	(8.34, 4.22)	(8.25, 3.20)	(0.095, 102.11)	1.02
SP(15~19)	(9.67, 3.65)	(11, 3.2)	(1.31, 0.45)	1.39
SP(19~18)	(13.52, 2.76)	(14.04, 2.38)	(0.52, 0.38)	0.64

반면 UE 위치가 테스트베드 중심일수록 UE와 BLE AP들 간 공간거리가 모두 유사하기 때문에 BLE AP 6개가 UE 초기 위치 탐색 및 좌표 포인팅 시 많은 시간이 소요되고 측정되는 UE RSS variance도 증가한다. 표 3은 각 측정 포인트에서 계산된 측위 오차 및 유클리드 거리를 평균화한 것이다. 측위 오차는 실제 UE 좌표 및 측정된 UE 좌표 $(x-x')$, $(y-y')$, $(z-z')$ 의 거리 차이 (x, y, z) 이며, 유클리드 거리는 (8)을 통해 계산된 두 포인트(측위 좌표 및 실제 좌표) 간 실제 거리 차이이다.

WkNN 알고리즘 기반 측위 방식이 kNN 알고리즘 기반 측위 방식 대비 약 20% 수준으로 UE 위치 측위 정확도가 개선된 것을 확인할 수 있다. 또한 실험을 통해 WkNN 알고리즘 기반 측위 방식이 삼각측량 방식 대비 약 34% 수준으로 UE 위치 측위 정확도가 개선되었으며 코사인 유사도 방식 대비 약 41% 수준으로 UE 위치 측위 정확도가 개선되었다. 실험을 통해 WkNN > kNN > 삼각측량 > 코사인 유사도 순으로 평균 측위 오차 및 평균 유클리드 거리 오차 성능이 나타나는 것을 확인하였다. 삼각측량 기법의 경우 모든 BLE AP는 UE가 위치한 측위 좌표로부터 수신한 UE RSS 값을 비교하여 가장 강한 UE RSS를 수신하는 상위 3개의 BLE AP를 선별한다. 상위 3개의 각 BLE AP들은 UE로부터 수신한 RSS를 거리로 환산한다. 각 BLE AP는 환산된 UE로부터의 거리를 반경으로 설정하고 서로 상이하게 측정된 UE 측위 좌표를 도출한다. 이때 랜덤하게 임의의 BLE AP에서 측정된 UE 측위좌표를 최종 포인팅한다. 따라서 각 BLE AP마다 측정된 UE 측위 좌표가 상이할 뿐만 아니라 기본적으로 실제 위치와 측위 좌표의 측위 오차가 넓은 범위에서 발생한다. 코사인 유사도 비교 방식의 경우 모든 BLE AP가 측정된 UE RSS를 측위 좌표로 환산한 후 핑거프린트 DB의 측위 좌표와 비교한다.

이때 가장 차이가 적은 측위 좌표로 최종 UE 측위

좌표가 포인팅된다. 하지만 UE에서 수신하는 RSS 특성 상 실제 인접한 BLE AP가 아닌 다른 BLE AP가 가장 인접한 BLE AP로 판정되어 UE의 좌표가 측위될 수 있다.

그림 20은 제안하는 실내 위치 측위 플랫폼의 스마트 안전모(UE) 실내 위치 측위 모니터링 PC 프로그램에서 각 방식 별로 좌표가 포인팅되는 알고리즘을 나타낸 것이다. 파란색 원은 테스트베드 내 UE의 측정 포인트이고 노란색 원은 핑거프린트 맵 데이터베이스에 구축된 Sample Point이다. MP는 최종 포인팅되는 좌표이다. 동일한 포인트에서 측정이 이루어져도 MP 좌표는 상이하게 포인팅이 되는 것을 확인할 수 있다. kNN의 경우 k=4이므로 인접한 유클리드 거리를 나타내는 Sample Point 4개를 선정하고 이 중, 가장 가까운 Sample Point 좌표에 UE 위치를 포인팅한다.

반면 WkNN의 경우, k=4이므로 kNN과 동일하게 인접한 유클리드 거리를 나타내는 Sample Point 4개를 선정하지만 가장 가까운 Sample Point 좌표에 UE 위치를 포인팅하지 않고 가중치를 부여하여 4개의 Sample Point 영역 내부에서 포인팅이 이루어진다. 따라서 본 논문에서 구현한 실내 위치 측위 모니터링 PC 프로그램에서는 핑거프린트 맵 데이터베이스 상 Sample Point RSS와 동일한 측정 포인트에서 각 방식 별로 측위된 RSS가 UE 위치 좌표로 변환 시 상이하게 나타난다.

따라서, kNN의 경우 측위된 UE 좌표가 실제 Sample Point 상에 위치하여 있는 경우 가장 정확한 측위 정확도를 나타낼 수 있다. 하지만 AP와 Sample Point 간격이 일정하지 않고 측위 오류가 크게 발생한 경우 위치 측위 수행 시 선별된 4개의 Sample Point들이 실제 인접한 Sample Point가 아닐 확률이 증가하게 되고, 가장 가깝지 않은 Sample Point에 좌표 포인팅이 이루어지게 될 확률이 발생한다. 이에 따라 최대 유클리드 거리 d는 $d = \sqrt{20}$ m까지 측위 오차가 발

표 3. 평균 측위 오차 및 유클리드 거리 오차
Table 3. Mean Positional Error and Euclidean Distance Error

단위: m

측위 방식	평균 측위 오차	평균 유클리드 거리 오차
kNN	(0.69, 0.63)	1.14
WkNN	(0.55, 0.58)	0.95
코사인 유사도	(0.93, 1.08)	1.34
삼각측량	(0.85, 0.81)	1.28

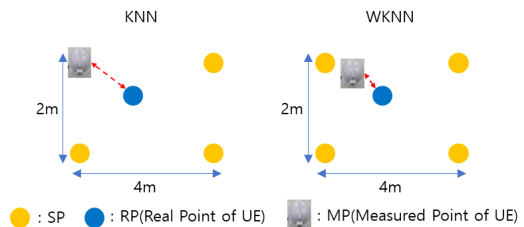


그림 20. kNN 및 WkNN UE 위치 좌표 생성 알고리즘
Fig. 20. kNN and WkNN UE Position Coordinate Generation Algorithm

생활 수 있다.

WkNN 알고리즘의 경우, 초기 인접 Sample Point 4개를 선별하는 탐색 과정은 kNN 알고리즘과 동일하다. 따라서 측위된 UE 좌표가 실제 Sample Point 상에 위치하여 있는 경우 kNN 알고리즘과 마찬가지로 가장 정확한 측위 정확도를 나타낼 수 있다. 반대로 AP와 Sample Point 간격이 일정하지 않고 측위 오류가 크게 발생한 경우 위치 측위 수행 시 선별된 4개의 Sample Point들이 실제 인접한 Sample Point가 아닐 확률은 kNN 알고리즘과 동일하게 증가한다. 하지만 WkNN 알고리즘의 경우 측위된 UE 좌표를 가장 가까운 Sample Point 좌표 그대로 포인팅 하는 것이 아닌 가중치를 부여하여 4개 인접 Sample Point 영역 안에서 가장 인접한 Sample Point 측위로 좌표 포인팅을 하기 때문에 실제 UE 좌표 대비 측위 UE 좌표가 가장 거리 차이가 심한 Sample Point 좌표 측위로 포인팅 되었다 할지라도 최대 유클리드 거리 d 는 $4 < d < \sqrt{20}$ m 범위에서 측위 오차가 발생한다. 결과적으로 본 논문에서 구현한 측위 플랫폼에서 WkNN 알고리즘 적용 기법이 일반 kNN 알고리즘 적용 기법보다 우수한 UE 위치 측위 정확도를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 BLE AP를 포함한 Sample Point 20개를 측정하여 핑거프린팅 맵 데이터베이스를 구축하고 이를 기반으로 BLE 기반 실내 위치 측위 시 WkNN 알고리즘과 일반 kNN 알고리즘의 성능 분석 및 비교를 수행하였다. 추가적으로 평균 측위 오차 및 평균 유클리드 거리 오차를 코사인 유사도 비교법과 삼각측량기법과 비교 분석하였다. 동일한 핑거프린팅 맵 데이터베이스를 적용할 경우 WkNN 알고리즘 기반 스마트 안전모 위치 측위 기법이 kNN 알고리즘 기반 위치 측위 기법 대비 20% 우수한 위치 측위 성능을 나타내었다. 또한 제한된 테스트베드 내에서 UE 측정 좌표에 따라 위치 측위 오차 변동성이 발생하는 것을 확인하였다.

향 후 다수의 단말이 존재하는 환경에서 AI 알고리즘을 활용하여 상호 간섭으로 인해 발생한 RSS 변동 특성을 분석하고 이를 통해 핑거프린트 맵 DB에서 RSS가 급격히 변화하는 특성을 감소시키기 위한 연구를 진행할 것이다.

References

- [1] H. J. Kim, Y. K. Seo, J. H. Kim, C. M. Yeom, and Y. J. Won, "Mechanism for minimizing positional errors using bluetooth packet information," in *Proc. KIPS Conf.*, pp. 769-772, Korea, Nov. 2020. (<https://doi.org/10.3745/PKIPS.y2020m11a.769>)
- [2] Y. S. Cho, S. Y. Cho, B. D. Kim, S. H. Lee, J. C. Kim, and W. S. Choi, "Technical trend of indoor/outdoor seamless positioning," *Electron. and Telecommun. Trends*, vol. 22, no. 3, p. 20, Jun. 2007. (<https://doi.org/10.22648/ETRI.2007.J.220303>)
- [3] J. H. Jung, Y. M. Hwang, S. G. Hong, T. W. Kim, and J. Y. Kim, "Position error correction algorithm for improvement of positioning accuracy in BLE beacon systems," *J. Satellite, Inf. and Commun. (kosst)*, vol. 11, no. 4, pp. 63-67, Dec. 2016. (<https://uci.or.krG704-SER000001520.2016.11.4.012>)
- [4] J. H. Uhm and S. J. Hwang, "Low-power bluetooth-based AoA wireless positioning technology trend," *J. KICS*, vol. 36, no. 8, pp. 32-39, Jul. 2019.
- [5] S. Mazuelas, A. Bahillo, R. M. Lorenzo, P. Fernandez, F. A. Lago, E. Garcia, J. Blas, and E. J. Abril, "Robust indoor positioning provided by real-time RSSI values in unmodified WLAN networks," *IEEE J. Sel. Topics in Sign. Process.*, vol. 3, no. 5, pp. 821-831, Oct. 2009. (<https://doi.org/10.1109/JS-TSP.2009.2029191>)
- [6] J. G. Park, M. A. Jung, S. R. Lee, and S. K. Yoon, "System design for location determination inside the ship," *J. Commun. Netw. (JCN)*, vol. 38, no. 2, pp. 181-188, Feb. 2013. (<https://doi.org/10.7840/kics.2013.38C.2.181>)
- [7] A. Coluccia and F. Ricciato, "RSS-based localization via Bayesian ranging and iterative least square positioning," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 18, no. 5, pp. 873-876, Apr. 2014. (<https://doi.org/10.1109/LCOMM.2014.040214.132781>)
- [8] Y. G. Kim, H. J. Shin, Y. H. Chon, and H.

- J. Cha, "Smartphone-based Wi-Fi tracking system exploiting the RSS peak to overcome the RSS variance problem," *Pervasive and Mob. Comput.*, vol. 9, no. 3, pp. 406-420, Jun. 2013.(<https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2012.12.003>)
- [9] C. Laoudias, R. Piché, and C. G. Panayiotou, "Device self-calibration in location systems using signal strength histograms," *J. Location Based Serv.*, vol. 7, no. 3, pp. 165-181, Mar. 2013.(<https://doi.org/10.1080/17489725.2013.816792>)
- [10] K. Kasantikul, C. Xiu, D. Yang and M. Yang, "An enhanced technique for indoor navigation system based on WIFI-RSSI," *2015 Seventh Int. Conf. Ubiquitous and Future Netw.*, pp. 513-518, Jul. 2015. (<https://doi.org/10.1109/ICUFN.2015.7182597>)
- [11] S. He and S. H. G. Chan, "Wi-Fi fingerprint-based indoor positioning: Recent advances and comparisons," *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, vol. 18, no. 1, pp. 466-490, Aug. 2015. (<https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2464084>)
- [12] D. Y. Kim, J. K. Park, and J. T. Kim, "An improved fingerprint localization system using k-NN algorithm and the distance variance," *ICEIC 2017 Int. Conf. Electron., Inf., and Commun.*, pp. 489-491, Busan, Korea, Jun. 2017.
- [13] A. W. Tsui, Y.-H. Chuang, and H.-H. Chu, "Unsupervised learning for solving RSS hardware variance problem in WiFi localization," *Mob. Netw. and Appl.*, vol. 13, no. 5, pp. 677-691, Jan. 2009.(<https://doi.org/10.1007/s11036-008-0139-0>)
- [14] <http://www.skyhookwireless.com/>
- [15] P. Luo, M. Zhang, X. Zhang, G. Cai, D. Han, and Q. Li, "An indoor visible light communication positioning system using dual-tone multi-frequency technique," *2013 2nd IWOW*, pp. 25-29, Newcastle Upon Tyne, UK, Oct. 2013. (<https://doi.org/10.1109/IWOW.2013.6777770>)
- [16] J. H. Hwang, Y. S. Kim, and M. S. Yu, "LBS service and location measurement technology trend using visible light wireless communication," *J. KICS*, vol. 28, no. 12, pp. 61-68, Nov. 2011. (<https://doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.12.2836>)
- [17] J. Y. Son, "Vector-based relative azimuth algorithm using indoor localization system of mobile nodes," *J. Korean Navig. and Port Res.*, vol. 38, no. 5, pp. 457-462, Oct. 2014. (<https://doi.org/10.5394/KINPR.2014.38.5.457>)
- [18] J. J. Lee, M. A. Jung, and S. R. Lee, "KNN/PFCM hybrid algorithm for indoor location determination in WLAN," *J. IEK Sample Point*, vol. 47, no. 6, pp. 146-153, Nov. 2010.
- [19] O. B. Kwon and K. S. Kim, "The design and implementation of location information system using wireless fidelity in indoors," *J. Digital Convergence*, vol. 11, no. 4, pp. 243-249, Apr. 2013. (<https://doi.org/10.14400/JDPM.2013.11.4.243>)
- [20] X. Peng, R. Chen, K. Yu, F. Ye, and W. Xue, "An improved weighted K-Nearest neighbor algorithm for indoor localization," *MDPI Electronics*, vol. 9, no. 12, 2117, Dec. 2020. (<https://doi.org/10.3390/electronics9122117>)
- [21] Y. Liu, H. C. Baek, S. W. Hong, J. H. Park, and S. B. Kim, "User authentication service model using euclidean distance baesd on encryption," *J. Knowledge Inf. Technol. and Syst.*, vol. 13, no. 6, pp. 695-703, Dec. 2018. (<https://doi.org/10.34163/jkits.2018.13.6.006>)

김 래 현 (Rae Hyeon Kim)



2014년 2월: 한국공학대학교 전자공학과 졸업 (학사)
2017년 2월: 한국공학대학교 신기술융합학과 (석사)
2021년 3월~현재: 한국공학대학교 IT반도체융합공학과 (박사과정)

<관심분야> 실내위치측위, 인공지능, VLC 통신
[ORCID:0000-0003-4219-6729]

김 정 곤 (Jeong Gon Kim)



1991년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 졸업 (학사)
1993년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 졸업 (석사)
1998년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 졸업 (박사)
1998년 6월~1999년 5월: 하와

이주립대학교 전자공학과 Post Doc.
1999년 7월~2001년 3월: LG텔레콤 선임연구원
2001년 4월~2003년 2월: 삼성전자 통신연구소 표준연구팀 책임연구원
2010년 3월~2011년 2월: 미국 USC 전기공학과 Visiting Scholar
2018년 3월~2019년 2월: 미국 산호세 주립대학교 글로벌 책임교수
2003년 3월~현재: 한국공학대학교 전자공학부 교수
<관심분야> 5G이동통신, 간섭제거, 무선자원할당
VLC, 위치측위, 기지국 협력통신, UDN
AI, 협업로봇, WPAN, WBAN 설계 및 응용분야
[ORCID:0000-0002-9349-2846]

오 성 현 (Sung Hyun Oh)



2019년 2월: 남서울대학교 전자공학과 졸업 (학사)
2021년 2월: 한국공학대학교 전자공학과 졸업 (석사)
2021년 3월~현재: 한국공학대학교 정보통신학과 박사과정

<관심분야> 실내위치측위, 인공지능, 5G 이동통신
[ORCID:0000-0002-1974-8612]