

A Stable Access Point Selection Method Considering RSSI Variation in Fingerprinting for Indoor Positioning

DongYeop Hwang[†] · Kangseok Kim^{††}

ABSTRACT

Recently, an RSSI-based fingerprinting localization technology has been widely used in indoor location-based services. In the conventional fingerprinting method, as many APs as possible are used to increase the accuracy of location estimation. In another study, a part of APs having the strongest RSSI signal intensity are selected and used to reduce the time spent for positioning. However, it does not reflect the influence of RSSI occurred from the changes of the surrounding environments such as human movement or moving obstacles in a real environment. The environmental changes may cause the difference between the predicted RSSI signal strength value and the measured value, and thus occur an unpredictable error in the position estimation. Therefore, in order to mitigate the error caused by environmental factors, it is necessary to select APs suitable for indoor positioning estimation considering the changes in the surrounding environments. In this paper, we propose a method to select stable APs considering the influence of surrounding environments and derive a suitable positioning algorithm. In addition, we compare and analyze the performance of the proposed method with that of the existing AP selection methods through experiments.

Keywords : Indoor Positioning, Fingerprinting, AP Selection, RSSI

실내측위를 위한 핑거프린팅에서의 RSSI 변동을 고려한 안정된 AP 선출방법

황 동 엽[†] · 김 강 석^{††}

요 약

최근, RSSI 기반의 핑거프린팅 위치추정 기술은 실내 위치 기반 서비스에 널리 사용되고 있다. 기존의 핑거프린팅 기법에서는 위치추정 정확도를 높이기 위해 수신 되는 최대한 많은 수의 AP들을 사용하거나, 측위에 소요되는 시간을 줄이기 위해 RSSI 신호의 세기가 가장 강한 일부의 AP만을 선택하여 사용하였다. 그러나 실제 환경에서 발생하는 사람의 움직임이나 이동하는 장애물등의 주변 환경 변화에 따른 RSSI의 오차가 반영되지 않았다. 이러한 환경변화는 RSSI 신호 세기의 예측값과 실측값과의 차이를 발생시키는 원인이 되며, 위치추정에 예측할 수 없는 오차를 발생시키게 된다. 따라서, 환경요인에 의한 오차 발생을 완화하기 위해서 주변 환경 변화를 고려하여 실내 측위에 적절한 AP들을 선택하여 사용하는 기술이 필요하다. 본 논문에서는 주변 환경의 영향을 고려하여 안정적인 AP만을 선택하는 방식과 이에 적합한 측위 알고리즘을 제안한다. 또한 실험을 통하여 제안한 방식과 기존의 AP 선출 방식의 성능을 비교 분석하였다.

키워드 : 실내측위, 핑거프린팅, AP 선출, RSSI

1. 서 론

최근 스마트폰을 비롯한 개인 이동통신 장비가 일반화 되

고 ICT(Information and Communication Technology) 기술이 발달하면서 실내 측위 기술에 대한 관심이 날이 커지고 있다[1]. 실외 측위 기술로써 자주 사용되는 GPS(Global Positioning System)은 건물이나 벽 등에 의해 신호가 차단되기 때문에 실내 측위에는 사용하기 어렵다[2-3]. 이러한 이유로 실내 위치 측위에는 WiFi(Wireless Fidelity), Bluetooth, RFID(Radio Frequency Identification) 등과 같은 기술을 사용하는 방법들이 연구[4-6]되고 있으며, 기 구축된 기반시설로 인한 손쉬운 접근성이 특징인 WiFi기반의 실내위치 측

※ 이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 지원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2015R1D1A1A01060236).

† 준 회 원 : 아주대학교 컴퓨터공학과 석·박사 통합과정

†† 정 회 원 : 아주대학교 사이버보안학과 부교수

Manuscript Received : April 7, 2017

First Revision : June 14, 2017

Accepted : July 5, 2017

* Corresponding Author : Kangseok Kim(kangskim@ajou.ac.kr)

위 기술이 특히 각광을 받고 있다.

WiFi를 사용한 실내 위치 측위는 다양한 기술들이 존재하지만 크게 삼각측량과 핑거프린팅으로 나눌 수 있다[6]. 삼각측량의 경우 각 AP(Access Point)로 부터 측정되는 신호의 강도를 거리로 변환하여 수학적 계산을 통해 자신의 위치를 추정하는 방법이다. 그러나 삼각측량의 경우 실내의 벽이나 장애물에 의해 신호의 세기가 변화하는 실내측위에는 적합하지 않다. 반면에 핑거프린팅은 각 구역별로 수신된 AP의 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 사람이 가지고 있는 고유의 '지문'처럼 사용하여 위치를 판별하는 방법으로 비교적 실내 측위에 적합하다[7-10].

기존의 핑거프린팅 기반 위치 측위 기술은 오차율을 낮추기 위해, 수신 되는 최대한 많은 수의 AP들을 사용하여 데이터베이스를 구성해왔다[11]. 따라서 실내에서 수신되는 AP의 개수가 늘어날수록 데이터베이스의 크기 역시 증가하게 된다. 핑거프린팅 기술은 매 위치 측위시마다 데이터베이스의 모든 데이터와 매칭 작업을 진행한다. 이러한 핑거프린팅 기술의 고유 특성으로 인하여 데이터를 처리하는 시간이 증가하는 시공간 복잡성(Time-Space Complexity) 문제가 발생한다[12].

핑거프린팅 방식의 데이터베이스 구성 시 발생하는 단점을 해결하기 위해 기존연구에서는 핑거프린팅 기반 데이터베이스 구성을 위한 AP 선출 방법을 제안하고 있다[3]. 그러나 유동인구가 많은 장소나 장애물의 움직임이 발생하는 환경에서는 AP의 RSSI가 민감하게 반응하여 측위의 오차가 발생 할 수 있다. 이러한 환경에서는 선출된 AP가 환경요인의 영향을 받아 측정 시기에 따라 RSSI가 변동 할 수 있으며 측위 정확도에 영향을 미치게 된다. 따라서 본 논문에서는 주변 환경의 영향을 고려하여 RSSI 변동 폭이 작은 안정적인 AP만을 선택하는 방식과 이에 적합한 측위 알고리즘을 제안한다. 그리고 가상실험을 통하여 기존의 AP 선출 방식과의 성능을 비교한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 핑거프린팅 기법과 AP 선출기법의 특징을 살펴본다. 3장에서는 안정적인 AP 선출기법을 포함한 핑거프린팅 실내측위 준비단계를 제안하며, 4장에서는 본 연구의 핑거프린팅 실내측위에 적합한 추정단계를 제안한다. 5장에서는 실험을 통하여 제안한 방식과 기존의 AP 선출방식의 성능을 비교하고, 6장에서 결론을 맺는다.

2. 핑거프린팅과 AP선출 기법

2.1 핑거프린팅 측위 기법

WiFi를 사용한 핑거프린팅 기법은 마이크로소프트 리서치에서 제안한 방식으로 각 구역별로 수신된 AP의 RSSI값을 사람이 가지고 있는 고유의 '지문'처럼 사용하여 위치를 판별하는 방법이다[1, 2, 13]. 실제 측위 지점에서 발생하는 RSSI 정보를 토대로 측위를 하는 방식이기 때문에 기존의 삼각측량 방식에 비하여 장애물의 영향을 덜 받게 된다. 이러한 특성 때문에 문이

나 벽과 같은 장애물이 많은 실내위치 측위에 적합하다.

핑거프린팅은 데이터베이스를 구성하는 준비단계(off-line)와 실제 측위를 하는 추정단계(on-line)를 거쳐 측위가 이루어진다. 준비단계에서는 각 측량 지점에서 수신되는 AP들의 신호를 모으는 작업을 수행하는데, 이 과정에서 위치 측위에 사용할 AP를 선출하는 작업을 진행한다. 이후 선출된 AP로부터 RSSI 정보를 수집하여 데이터베이스를 구성한다. 추정단계에서는 현재 수신되는 AP들의 신호와 데이터베이스의 신호들을 비교하여 위치를 추정하게 된다. 이 단계에서는 실제 사용자의 모바일 디바이스가 주변의 AP로부터 RSSI를 측정하고, 준비단계에서 구성한 데이터베이스와의 비교작업을 거쳐 위치를 추정한다.

2.2 AP 선출 기법

기존의 핑거프린팅에서 가장 많이 사용하는 AP 선출기법은 각 참조위치에서 신호수신이 가능한 모든 AP를 사용하는 방식이다[1, 2, 13]. 이후 본 논문에서는 이 방식을 AAP(All Access Point)라 명명한다. AAP는 준비단계에서 모든 AP의 RSSI 정보를 데이터베이스로 구성하기 때문에 추정단계에서 모바일 디바이스가 측정한 RSSI값과의 유사도를 비교할 수 있는 경우의 수가 많다는 특징이 있다. 이러한 특징으로 인해 AP의 수가 많아질수록 측위의 정확도가 높아지지만, 그만큼 비교 대상이 많아져 측위에 소요되는 시간 또한 증가한다.

IAP(Important Access Point) [3] 방식은 기존의 핑거프린팅의 정확도 저하를 최소화 하면서 측위 시 소요되는 시간을 단축시키는 AP 선출 방법이다. RSSI 신호의 세기가 가장 강한 일부의 AP만을 선택하여 사용하기 때문에 측위에 소요되는 시간을 줄일 수 있다. 그러나 사람이 움직이거나 이동하는 장애물이 발생하는 등의 주변 환경에 따라 변화하는 RSSI의 오차를 반영하지 않기 때문에 위치 추정에 오차가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구는 위치 추정의 오차를 줄이면서도 짧은 소요시간을 유지할 수 있는 AP 선출 방안을 제안하고자 한다.

3. 안정된 AP 선출방식 기반의 핑거프린팅 실내측위 준비단계

본 장에서는 안정된 AP 선출방식 기반의 핑거프린팅 실내측위를 위한 준비단계(Off-Line Process)를 제안한다. 준비 단계에서는 Fig. 1과 같은 3가지 단계를 거쳐 RSSI 데이터베이스를 구축한다. 구축된 RSSI 데이터베이스는 다음 장에서 언급되는 위치추정 단계에서 측정한 RSSI값과 비교하기 위한 기준이 되는 핑거프린팅 맵(Fingerprinting Map)으로 사용한다. 위치추정의 기준으로 사용하기 때문에, 핑거프린팅 맵이 어떻게 구성되는가에 따라 추정 결과에 영향을 미치게 된다. 따라서 본 장에서는 핑거프린팅 맵을 구성하기 위한 AP를 RSSI 신뢰도에 따라서 선별적으로 사용하는 방식을 제안한다.

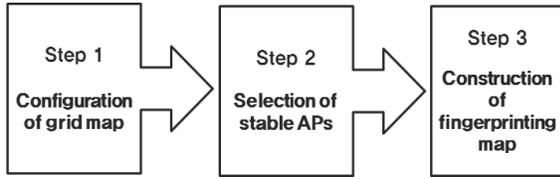


Fig. 1. Three Steps of Off-Line Process

3.1 그리드 맵 구성

가장먼저 측위의 대상이 되는 공간을 다수의 사각형으로 분할하며, 이 사각형을 참조위치(RP: Reference Point)라고 정의한다. 각 참조위치마다 RSSI 정보를 수집하여 데이터베이스화하고, 수집된 정보를 위치추정의 기준으로 사용하기 때문에, 참조위치를 정하는 방식에 따라 측위의 성능에 영향을 미칠 수 있다. 본 논문에서는 핑거프린팅의 AP 선택 기법간의 성능 비교를 위해 일반적인 그리드 맵 구성 방식을 사용하여 참조위치를 설정하도록 한다.

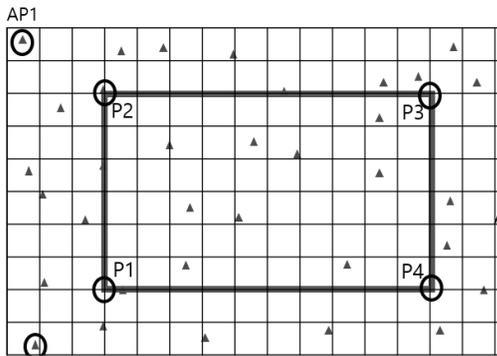


Fig. 2. A Grid Map Example of Localization Area

Fig. 2는 위치 추정 대상지역의 그리드 맵을 구성하는 예를 보여준다. 전체 구간을 다수의 정사각형으로 분할하고 좌측 상단의 구획부터 우측 하단의 구획까지 총 160개의 참조 위치를 정의하고 있다. 그리드 맵 구성이후 수행되는 준비단계들을 통하여, 각 참조위치별로 RSSI 정보를 수집해 데이터베이스화 한다. 이렇게 수집된 데이터베이스를 핑거프린팅 맵으로 사용한다.

3.2 안정된 AP 선출

본 절에서는 위치 추정의 오차를 줄이기 위해 환경의 영향을 비교적 적게 받는 안정된 AP들을 선출하는 방안을 제안한다. 동일한 참조위치에서 같은 AP로부터의 RSSI를 여러 번 측정하면 균일한 값을 얻어낼 수 있다. 하지만 환경에 영향을 많이 받는 AP들은 측정할 때 마다 RSSI 변동의 폭이 클 수밖에 없다. 이렇게 변동의 폭이 큰 불안정한 AP들이 네트워크에 다수 포함되어 있을 경우 위치 추정의 정확도를 저하시킬 수 있다. 그러므로 RSSI 변동의 폭이 큰 AP들을 제외한 나머지 AP들만을 사용하여 핑거프린팅 맵을 구성하는 방안을 제안한다. 본 논문에서는 이와 같이 선별된 AP를 안정된 AP(SAP: Stable Access Point)라고 한다.

안정된 AP를 선별하기 위해서는 여러 번 측정된 RSSI의 변동을 수치화 할 필요가 있다. RSSI 신호 감쇠 수식을 통하여 특정 참조 위치에서의 거리에 따른 RSSI 신호를 도출할 수 있다. 하지만 불안정한 AP들은 수신거리 외에도 다른 환경 요인의 영향을 받기 때문에 실제 측정된 RSSI 신호와 신호감쇠 수식을 통해 도출한 RSSI 신호 사이의 유사도가 떨어진다. 이러한 특징을 이용하면 기댓값에 대한 관측값의 통계학적 유사도를 분석하는 방식인 카이제곱 검정(Chi-Square Test)을 통한 안정된 AP 선출이 가능하다.

본 논문에서는 특정 참조위치와 AP의 거리를 고려하여 계산한 RSSI 신호를 기댓값(E, Expectation)으로, 동일 참조위치에서 실측한 RSSI 신호를 관측값(O, Observation)으로 사용한다. 거리에 따른 RSSI 신호를 계산하기 위해 신호 감쇠 수식을 사용한다. 아래 Equation (1)은 자유공간 손실 모델[14-16](free space propagation model)을 활용하여 거리(d)에 따른 신호 감쇠(L_d)를 도출한 수식이다. 또한 Equation (2)와 같이 특정 AP의 최초 송신 시 RSSI 세기(P_{AP})에서 참조 위치의 거리에 따른 신호 감쇠를 제외한 값이 기댓값이다.

$$L_d = 20 \log_{10} \cdot 4\pi d / \lambda \text{ [dB]} \quad (1)$$

$$E = P_{AP} - L_d \quad (2)$$

계산된 기댓값(E)과 실제로 측정된 관측값(O)과의 유사도를 분석하기 위하여 아래 Equation (3)과 같이 카이제곱 값을 구한다. 앞서 언급한바와 같이 안정된 AP를 선별하기 위해서는 같은 참조위치에서 동일한 AP를 대상으로 RSSI를 여러 번 측정하며 이 횟수를 n 이라 정의한다. 이때 참조위치와 AP의 구분에 따라서 측정된 횟수가 유동적일 수 있기 때문에 n 역시 달라진다. 관측값의 변동 가능한 데이터의 범주가 n 개이기 때문에 카이제곱 검정을 위한 자유도는 $n-1$ 이다.

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E)^2}{E} \quad (3)$$

Algorithm 1은 카이제곱 검정을 이용하여 안정된 AP를 선별하는 방식을 보인다. 가장 먼저 각각의 참조 위치별로 통신 신호 수신에 가능한 AP들을 선별한다. 선별된 AP별로 수신된 RSSI 정보들의 카이제곱 값을 구하여 유사도를 분석한다. 카이제곱 검정에서 일반적으로 사용하는 유의수준인 0.05와 자유도인 $n-1$ 을 기준으로 도출한 분포표의 카이제곱 값을 안정된 AP가 되기 위한 최소한계 값인 THRESHOLD 값으로 사용한다. 유의수준이 0.05 이하로 분석된 AP를 안정된 AP로 분류하며, 그중에 RSSI 신호의 세기가 가장 큰 k 개의 AP만을 선출하도록 한다. 이 방법을 통해 수신된 RSSI의 산포도가 큰 특정 AP를 해당 참조위치의 핑거프린팅 맵 형성 과정 이전에 원천적으로 제외함으로써 최종 형성된 핑거프린팅 맵의 신뢰도를 높일 수 있다.

Algorithm 1. Stable AP Selection Algorithm

```

RP : Reference Point
APRP : AP that can receive communication signals at RP
THRESHOLD : Limit value of  $\sigma$  to be selected as stable AP

for each RP in localization area do
  for each APRP in RP do
    calculate  $X^2$  (Chi-Square Value)
    if the  $X^2$  is less than THRESHOLD then
      list up the APRP in a stable AP list
    end if
  end for
end for
select the first k strongest APRP in the stable AP list
return true
    
```

3.3 핑거프린팅 맵 구축

핑거프린팅 맵을 구축하기 위해서는 이전의 과정들을 통하여 k개의 안정된 AP를 선출한 후 각 AP별로 수신된 RSSI 정보를 데이터베이스화 해야 한다. 하지만 참조 위치마다 장애물, 거리, 유동인구와 같은 환경요인들이 모두 상이하여 수신이 가능한 AP의 조합이 달라지며, 신호 수신이 가능 하더라도 안정된 AP 선별의 결과가 다를 수 있다. 이러한 요인들로 인해 핑거프린팅 맵을 구성할 k개의 안정된 AP 리스트가 각 참조 위치별로 달라지므로, 데이터베이스 구성을 위한 색인(Database Indexing) 방법을 정의하는 것이 필요하다.

G(1,1)	1,-75db	4,-56db	5,-110db	11,-30db
G(1,2)	2,-85db	8,-90db	17,-34db	18,-47db
G(1,3)	4,-25db	15,-99db	17,-115db	28,-97db
⋮				
G(2,1)	2,-70db	3,-110db	4,-98db	5,-100db

Fig. 3. A Fingerprinting Map

Fig. 3은 k가 4인 핑거프린팅 맵의 데이터베이스 구성의 예를 보여준다. 첫 번째 열은 참조위치를 식별할 수 있는 그리드 맵의 좌표를 표시한다. 두 번째 열부터 k+1번째 열까지는 선출한 안정된 AP들의 RSSI 정보를 저장한다. RSSI 정보는 “,”를 구분자로 하여 AP의 식별자와 RSSI를 기록한다. Fig. 3의 그리드 맵을 예로 들면, (1,1)좌표의 참조위치를 G(1,1)로 표시하여 데이터베이스를 구성한다. 3번째 열의 “4,-56db”는 4번 AP의 RSSI가 -56db임을 의미한다.

4. 안정된 AP 선출방식기반의 핑거프린팅 실내측위추정단계

본 장에서는 앞서 구축한 RSSI 데이터베이스를 활용하여 실제 모바일 디바이스의 위치를 구하는 방법을 기술한다. 핑거프린팅의 위치 추정을 위해서는 데이터베이스의 유사성 비교가 필요한데, KNN(K-Nearest Neighbor)[16]과 같이 최근접 노드를 선정하는 다양한 방법들이 존재한다. 이러한 방법들은 유클리드 거리(Euclidean Distance)와 같은 수학적 기법을 활용하여 지점간의 유사도를 도출하는데, 본 논문에서는 핑거프린팅 특징 벡터[18] 방식을 적용한 코사인 유사도(Cosine Similarity)를 사용해 모바일 디바이스의 위치를 추정하고자 한다. 핑거프린팅 특징 벡터 방식을 사용한 위치 추정은 Fig. 4와 같이 3단계를 갖는다.

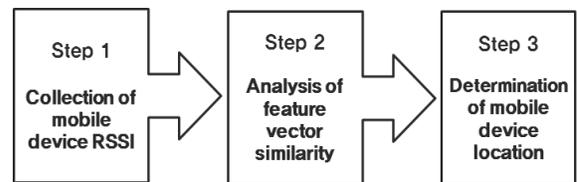


Fig. 4. Three Steps of On-Line Process

4.1 모바일 디바이스의 RSSI 정보 수집

모바일 디바이스는 현재 자신에게 수신되는 AP들의 실시간 RSSI 정보들과 준비단계에서 만들어진 핑거프린팅 맵의 유사성을 비교함으로써 자신의 위치를 추정한다. 이를 위해서는 유사성 비교 단계에 이르기 전에 모바일 디바이스에서 수신되는 AP들의 RSSI 정보를 수집하여 핑거프린팅 맵과 비교가 가능한 형태로 만들어야 한다.

가장 먼저 모바일 디바이스에서 수신되는 모든 AP들의 RSSI 벡터의 집합을 V 라 하고 핑거프린팅 특징 벡터 방식으로 표현한다. 모바일 디바이스에서 수신되는 AP의 수를 n 이라 할 때, 특징벡터 방식에서 정의하는 V 는 Equation (4)와 같다.

$$V = (RSSI_1, RSSI_2, RSSI_3, \dots, RSSI_n) \quad (4)$$

기존의 방식대로 정의된 V 에서는 수신되는 모든 AP에 대하여 특징벡터를 생성하였으나 본 논문에서 제안하는 방식에서는 k개의 안정된 AP만을 선택하기 때문에 이에 맞추어 V 를 변형해야 한다. 하지만 모든 참조 위치별로 선정된 AP의 구성이 다르기 때문에 통합된 특징벡터를 가지고 유사성을 비교하기는 어렵다. 이를 해결하기 위해 각각의 참조 위치별로 특징벡터를 따로 구성하도록 한다. 각 참조 위치의 특징벡터를 $V_{x,y}$ 라고 정의하며, 이때 x 와 y 는 해당 참조위치의 좌표를 의미한다. $V_{x,y}$ 는 핑거프린팅 맵의 $G(x,y)$ 에 존재하는 AP의 종류와 순서대로 특징벡터를 구성한다. 예를 들어 Fig. 3의 G(1, 3)의 경우 4, 15, 17, 28번의 AP가 안정

된 AP로 선출되어 있다. 이 경우 V 에서 4, 15, 17, 28번 AP의 RSSI 정보만을 추출하여 $V_{1,3}$ 의 특징벡터를 구성한다. 이 때 모바일 디바이스에서 수신되지 않는 AP의 식별자가 특정 참조 위치의 핑거프린팅 맵에는 존재 할 수 있는데, 이 경우 측정되지 않은 AP의 벡터가 있는 참조 위치는 위치 추정 대상에서 제외한다.

4.2 특징벡터 유사성 분석과 위치판정

최종적인 위치판정을 위해서는 모바일 디바이스의 참조 위치별 특징벡터를 구성한 뒤 핑거프린팅 맵과 유사성을 분석하여 유사도가 가장 높은 참조 위치를 현재 모바일 디바이스가 존재하는 위치로 추정한다. 모바일 디바이스의 참조 위치별 특징벡터는 $V(md)_{x,y}$ 라 하고 해당 참조위치의 핑거프린팅 맵의 특징벡터는 $V(fm)_{x,y}$ 라 정의한다.

$$\cos(V(md)_{x,y}, V(fm)_{x,y}) = \frac{\sum_{i=1}^k (V(md)_{x,y})_i (V(fm)_{x,y})_i}{\left(\sum_{i=1}^k (V(md)_{x,y})_i^2\right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^k (V(fm)_{x,y})_i^2\right)^{1/2}} \quad (5)$$

Equation (5)는 안정된 AP가 k 개 일 때, $V(md)_{x,y}$ 와 $V(fm)_{x,y}$ 의 유사성 분석을 위해 기존의 핑거프린팅 특징벡터에서 사용하는 유사도 도출 수식을 적용한 모습이다. 이 수식은 두 변수간의 코사인 유사도를 계산하고 있다. 모든 참조위치에 대하여 유사도를 도출하여 최댓값을 가지는 참조위치를 모바일 디바이스의 위치로 판정한다.

5. 실험 및 결과 분석

5.1 실험 환경 및 방법

본 논문에서는 제안한 방식의 성능을 평가하기 위해 앞서 기술한 기존의 핑거프린팅 방식 두 가지와 제안한 방식을 시뮬레이션 환경에서 비교하였다. 이를 위하여 제안한 방식을 포함한 세 가지 핑거프린팅 기법을 MATLAB R2015a 8.5.0[19] 환경에서 구현하였다.

Table 1. Simulation Parameters

Parameters	Values
Movement range of a mobile device	80 m * 80 m
Transmission range (APs)	10 m
Minimum distance between APs	5 m
Entire map size	120 m * 120 m
Reference point size	8 m * 8 m
The number of reference points	100 (10 * 10)
The number of movements of a mobile device	49 times

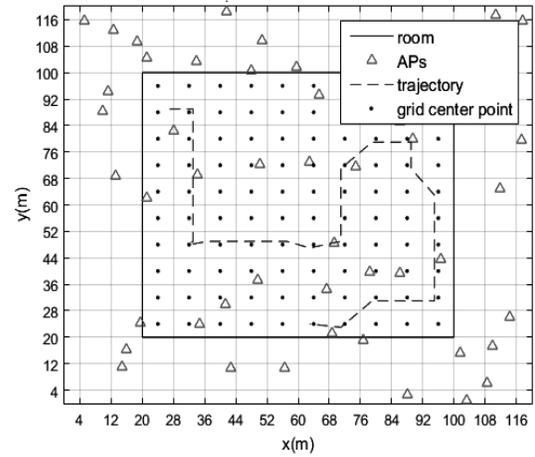


Fig. 5. An Experimental Setup

Table 1과 Fig. 5는 실험을 위한 환경을 보인다. AP들은 120m*120m 공간에 임의로 분포되고, 하나의 모바일 디바이스가 80m*80m의 공간 안에서 이동한다. 모바일 디바이스가 이동할 수 있는 공간은 총 100개의 참조위치로 나뉜다. 모바일 디바이스는 Fig. 5의 파란 점선을 따라서 이동하며 총 49회의 위치 측위를 수행 하였으며 성능 분석을 위해 매회 측위시마다 오차와 소요시간을 측정하였다. 성능 분석을 수행한 컴퓨팅 환경은 다음 Table 2와 같다.

Table 2. Computing Environment

Elements	Values
CPU specifications	Intel(R) Core(TM) i5-4670 CPU 3.40GHz
The number of cores	4
Memory size	16 GB
OS specifications	Windows 10 Pro x64

위치 추정 정확도를 측정하기 위해서 모바일 디바이스의 추정 좌표와 실제 이동경로상의 좌표사이의 오차를 파악하는 것이 필요하다. 이를 위해 두 점 사이의 거리를 계산하는 유클리드 거리를 이용하여 모바일 디바이스의 위치 추정 좌표 (x_l, y_l) 와 실제 좌표 (x_r, y_r) 사이의 거리를 계산해 비교한다.

5.2 선출된 AP의 수

Fig. 6은 핑거프린팅 방식별로 위치추정을 위해 선출된 AP의 수를 나타낸다. AAP 방식은 해당 참조위치에서 수신 가능한 모든 AP들을 사용한다. AAP 그래프는 10 단위의 참조위치에서 선출된 AP의 수가 줄어드는 현상이 나타나는데, 이 참조위치들은 모바일 디바이스가 이동할 수 있는 공간의 모서리 부분이기 때문에 수신할 수 있는 AP의 수가 적다.

AAP와는 다르게 IAP 방식과 제안하는 SAP 방식은 RSSI

의 세기가 강한 k개의 AP만을 선출한다. 본 논문의 실험에서는 k를 8개로 설정하였기 때문에 IAP 그래프는 참조위치에 관계없이 8개의 AP를 선출한다. 그러나 제안하는 SAP 방식의 경우 선출 가능한 AP 중에서 안정된 AP의 수가 8개가 되지 않는 경우가 있어서 8개 이하의 AP를 선출하는 참조위치가 존재한다. 이러한 현상은 수신 가능한 AP의 수가 적은 참조위치에서 주로 발생하고 있다.

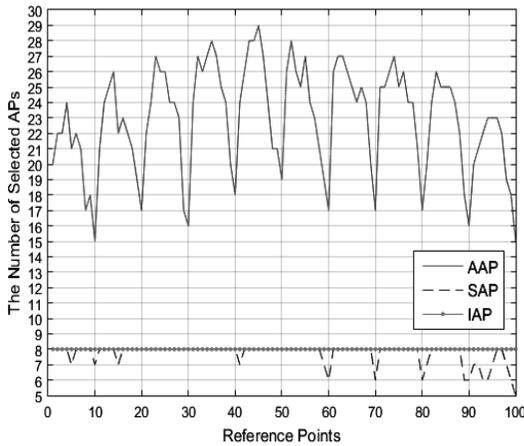


Fig. 6. The Number of Selected APs

5.3 위치 측위의 정확도

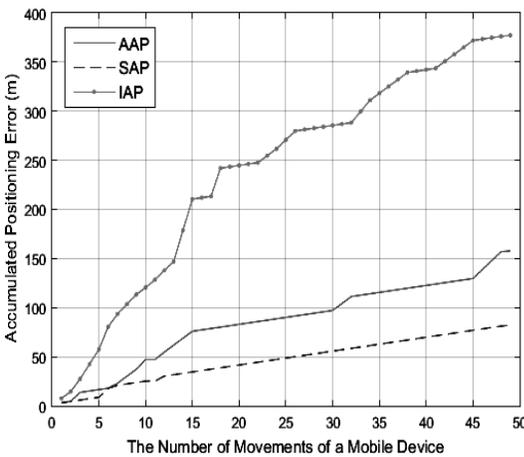


Fig. 7. An Accumulated Positioning Error (AAP vs. SAP vs. IAP)

Fig. 7은 제안된 SAP 방식의 위치추정 정확도를 평가하기 위해서 실제 이동경로와 측정된 위치의 오차를 축적그래프로 보이고 있다. X축은 49회를 이동한 모바일 디바이스의 경로를 의미하며, Y축은 1회에서 49회까지의 측위 오차를 축적한 값이다.

불안정한 AP들이 네트워크에 다수 포함되어 있을 경우 측위의 오차가 커지게 된다. 모바일노드의 이동 경로 중 1번부터 15번 구간에서의 오차 증가율이 상대적으로 높은 것

을 볼 수 있는데, 해당구간에 불안정한 AP의 분포가 높기 때문이다. 그러나 제안한 SAP 방식의 경우 AAP나 IAP 방식에 비하여 그래프의 기울기가 비교적 완만하게 증가한다. 이는 전체 구간에서 고르게 오차를 발생시키고 있는 것으로 불안정한 AP의 영향을 적게 받기 때문이다.

전체 구간에서 발생한 측위 오차의 평균은 IAP가 7.698(m)로 가장 높고, 선출된 k개의 AP중 불안정한 AP가 포함되면 유사도를 저하시키기 때문이다. AAP 방식의 경우 평균 오차가 3.219(m)로 IAP 보다 낮은 수치를 보인다. AAP는 모든 AP를 사용하여 유사도를 평가하기 때문에 IAP 방식에 비하여 불안정한 AP로 기인하는 영향력이 완화되지만 이로부터 완전히 독립적일 수는 없다. 반면에 제안한 SAP의 경우 평균 오차가 1.679(m)인데, 핑거프린팅 맵을 안정된 AP만으로 구성하기 때문에 유사도 평가 시에 불안정한 AP의 영향을 받지 않게 되어 상대적으로 균일하면서 적은 양의 오차 발생을 보이고 있다.

5.4 위치 측위의 소요시간

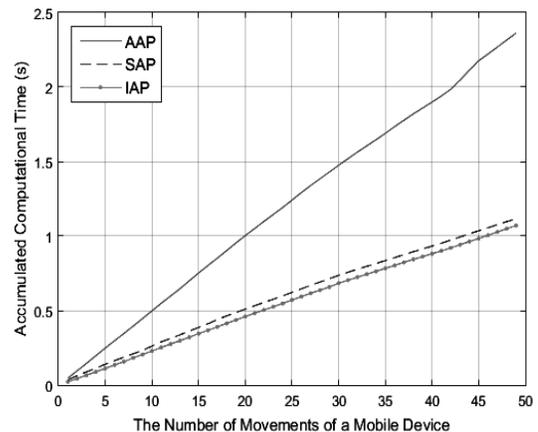


Fig. 8. An Accumulated Computation Time During On-line Process (AAP vs. SAP vs. IAP)

Fig. 8의 경우 위치 측위에 걸리는 소요시간을 측정한 모습이다. X축은 49회를 이동한 모바일 디바이스의 경로를 의미하며, Y축은 1회에서 49회까지의 측위 소요시간을 축적한 값이다. 평균 소요시간은 AAP, SAP, IAP 순으로 0.048, 0.023, 0.022초를 기록하였다. AAP의 경우는 수신 가능한 모든 AP의 유사도를 계산하고 비교해야 하기 때문에 소요시간이 가장 길다. 반면에 IAP와 제안한 SAP의 경우 선출된 AP의 유사도만을 계산하면 되기 때문에 상대적으로 적은 시간이 소요된다. 하지만 제안한 SAP 방식에서는 정해진 k개 이하의 AP가 선출되는 경우가 발생한다. 이 경우 핑거프린팅 맵을 구성하는 AP의 수가 일괄적이지 않기 때문에 참조 위치별로 유사도 도출 수식에 적용 할 AP의 개수를 판별하는 과정을 거쳐야 한다. 이러한 추가적인 과정을 수행하는 시간으로 인하여 IAP 방식에 비하여 약간의 시간이 더 소모된다.

6. 결론 및 향후계획

본 논문에서는 핑거프린팅 위치추정을 위한 안정된 AP 선출방법과 이를 바탕으로 적절한 핑거프린팅 특성벡터를 사용하여 위치추정을 하는 방법을 제안하였다. 제안한 방식은 자유공간 손실 모델을 적용하여 도출한 RSSI 세기와 실제 측위한 RSSI세기의 차이로 안정적인 AP와 불안정한 AP를 판정하며, 이 과정은 카이제곱 검정을 통하여 이루어진다. 이러한 방법을 통해 변동 폭이 안정적인 AP들만을 선출하여 핑거프린팅 맵을 구성함으로써 불안정한 AP의 영향을 최소화 하였다.

본 논문에서는 제안한 방식의 성능을 평가하기 위해 기존의 핑거프린팅 방식과 제안한 방식을 시뮬레이션 환경에서 비교하였다. 제안한 방식은 기존의 RSSI 세기가 큰 AP만을 선출하여 측위 하는 방식과 비슷한 수준의 소요시간을 보이면서 위치측위 정확도는 더 높은 결과를 보였다. 이는 장애물, 거리, 유동인구와 같은 환경요인에 따라 RSSI 세기의 변동이 발생할 수 있는 실제 실내 환경에서 안정적이면서도 낮은 오차를 기대할 수 있다.

이와 같이 실제 환경에서는 AP들은 다양한 특성을 가지며 RSSI 신호 역시 근처 장애물 등의 환경적 요소에 크게 영향 받는다. 이러한 문제점 때문에 특정 AP를 선택하게 될 경우 위치 추정에 영향을 줄 가능성이 높다. 따라서 향후 연구에서는 환경요인과 AP가 가지는 특성과의 관계를 분석하여 좀 더 안정적이고 효율적인 핑거프린팅 기반 위치추정 방안 연구를 진행할 계획이다.

References

- [1] S. He and S. H. G. Chan, "Wi-fi fingerprint-based indoor positioning: Recent advances and comparisons," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, Vol.18, No.1, pp.466-490, 2016.
- [2] X. Li, J. Wang, C. Liu, L. Zhang, and Z. Li, "Integrated wifi/pdr/smartphone using an adaptive system noise extended kalman filter algorithm for indoor localization," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol.5, No.2, pp.8, 2016. <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi5020008>
- [3] P. Jiang, Y. Zhang, W. Fu, H. Liu, and X. Su, "Indoor mobile localization based on wi-fi fingerprint's important access point," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol.11, 2015. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/429104>
- [4] K. S. Bok, Y. H. Park, and J. I. Pee, "Location acquisition method based on RFID in indoor environments," *Computer Graphics and Broadcasting (MulGraB '11) in Proceedings of the International Conference on Multimedia*, pp.310-18, 2011.
- [5] S. Feldmann, K. Kyamakya, A. Zapater, Z. Lue, "An indoor Bluetooth-based positioning system: concept, implementation and experimental evaluation," *International Conference on Wireless Networks*, 2003.
- [6] Song, Chunjing, Jian Wang, and Guan Yuan, "Hidden Naive Bayes Indoor Fingerprinting Localization Based on Best-Discriminating AP Selection," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol.5, No.10, 2016.
- [7] Sun, W., Liu, J., Wu, C., Yang, Z., Zhang, X., and Liu, Y., "MoLoc: On distinguishing fingerprint twins," *IEEE 33rd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, pp.226-235, 2013.
- [8] Z. Xiao, H. Wen, A. Markham, N. Trigoni, P. Blunsom, and J. Frolik, "Non-line-of-sight identification and mitigation using received signal strength," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.14, No.3, pp.1689-1702, 2013.
- [9] Y. Kim, H. Shin, Y. Chon, and H. Cha, "Smartphone-based Wi-Fi tracking system exploiting the RSS peak to overcome the RSS variation problem," *Pervasive and Mobile Computing*, Vol.9, No.3, pp.406-420, 2013.
- [10] C. Laoudias, R. Pich, and C. G. Panayiotou, "Device self-calibration in location systems using signal strength histograms," *Journal of Location Based Services*, Vol.7, No.3, pp.165-181, 2013.
- [11] S. C. Yeh and Y. J. Peng, "Designing on indoor positioning system based on the WiFi fingerprinting mechanism," *Technical Report in Ming Chung University*, 2006.
- [12] D. M. Hawkins, "The problem of overfitting," *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, Vol.44, No.1 pp.1-12, 2003.
- [13] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System," *Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, Vol.2, pp.775-784, 2000.
- [14] O. Pathak, P. Palaskar, R. Palkar, and M. Tawari, "Wi-Fi Indoor Positioning System Based on RSSI Measurements from Wi-Fi Access Points—A Tri-lateration Approach," *International Journal of Scientific & Engineering Research (IJSER)*, Vol.5, No.4, pp.1234-1238, 2014.
- [15] F. Lassabe, P. Canalda, P. Chatonnay, F. Spies, and O. Baala, "A Friis-based calibrated model for WiFi terminals positioning," in *Proceedings of the Sixth IEEE International Symposium on a World of Wireless Mobile and Multimedia Networks*, pp.382-387, 2005.
- [16] I. K. Eltahir, "The Impact of Different Radio Propagation Models for Mobile Ad hoc NETWORKS (MANET) in Urban Area Environment," in *Proceedings of the The 2nd International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications*, p.30, 2007.
- [17] L. Kanaris, A. Kokkinis, G. Fortino, A. Liotta, and S. Stavrou, "Sample size determination algorithm for fingerprint-based indoor localization systems," *Computer Networks*, Vol.101 pp.169-177, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.015>.
- [18] A. Zhang, Y. Yuan, Q. Wu, S. Zhu, and J. Deng, "Wireless localization based on RSSI fingerprint feature vector," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2015.
- [19] Matlab version 8.5.0 (r2015a): *The Mathworks Inc.*, 2015. [Internet], <http://www.mathworks.com>.



황 동 엽

e-mail : bc8c@ajou.ac.kr

2010년 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학
(학사)

2010년~현 재 아주대학교 컴퓨터공학과
석·박사 통합과정

관심분야: 센서 네트워크, 모바일 컴퓨팅,
모바일 보안



김 강 석

e-mail : kangskim@ajou.ac.kr

2007년 인디애나대학교 컴퓨터공학(박사)

2010년~2016년 아주대학교

지식정보공학과 연구교수

2016년~현 재 아주대학교

사이버보안학과 부교수

관심분야: 클라우드 컴퓨팅, 유비쿼터스 컴퓨팅, 모바일 보안,
IoT 협업시스템