



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

Wi-Fi Fingerprint 매칭 개선 및  
환경 내성 신호를 이용한  
실내 측위 기법

Indoor Positioning with  
Refined Wi-Fi Fingerprint Matching  
and Environment-Resistive Signals

2016년 8월

서울대학교 대학원

컴퓨터공학부

김 덕 주

## 초 록

스마트폰의 상용화와 함께 건물 내부의 Wi-Fi AP 보급도 증가하면서, 사용자의 위치 및 상황에 맞춰 각종 서비스를 제공하는 위치 기반 서비스에 대한 연구가 본격적으로 진행되기 시작했다. 이에 따라 기존 Wi-Fi 시설을 이용하면서 사용자의 위치를 정확하게 추정할 수 있는 Wi-Fi 기반 측위 기법이 중요하게 되었고, 이에 대한 연구도 진척되었다. 그러나 건물 구조 및 내부에 있는 기물이나 지나다니는 사람에 의하여 생기는 Wi-Fi 신호의 불안정성 및 위치 추적에 최적화가 되어있지 않은 Wi-Fi의 설계적 한계에 의해서 정확한 위치 추정이 어려움이 따르게 되어, 위치 기반 서비스에 사용될 수 있는 상용화 가능한 Wi-Fi 기반 측위 기법은 아직 실질적으로 나오지 않았다.

본 논문에서는 기존 Wi-Fi 기반 측위 기법이 가지는 한계점을 극복하기 위하여 Wi-Fi 신호의 특성 및 실내에서의 사람의 행동 양식을 파악하고, 이를 이용한 새로운 Wi-Fi 신호 매칭 기법과, Wi-Fi 신호에 비해서 실내 환경의 영향을 덜 받는 대체 신호를 통하여 측위 오차를 보정하는 방법을 합한 새로운 Wi-Fi 기반 실내 측위 기법을 제안한다. 이를 통해서 사용자가 익숙하지 않은 실내 환경에 있는 상황에서도 가고자 하는 목적지를 찾아낼 수 있도록 하였고, 이것이 정말로 목표하고자 하는 넓고 열린 실내 공간에서도 제대로 작동하는지를 실험을 통해서 검증해보았다.

주요어 : 실내 측위, Wi-Fi, BLE, 지자기

학번 : 2014-22680

# 목 차

<b>제 1 장 서론</b> .....	<b>5</b>
제 1 절 연구의 배경.....	5
제 2 절 논문의 구성.....	7
<b>제 2 장 기존 Wi-Fi 실내 측위 기법의 한계점</b> .....	<b>8</b>
제 1 절 Wi-Fi Fingerprint 매칭.....	8
제 2 절 Wi-Fi Time of Flight.....	9
<b>제 3 장 Wi-Fi “RSS Difference” Fingerprint 매칭</b> .....	<b>12</b>
제 1 절 “RSS Difference” Fingerprint.....	12
1. RDF 및 매칭 방식의 정의.....	12
2. 순수 RDF 매칭의 한계점.....	13
제 2 절 위치 선정 방식 개선.....	15
1. 매칭에 따른 AP 의 개수.....	15
2. 상위 후보 모으기.....	16
3. 거리에 따른 가중치 및 필터링.....	16
<b>제 4 장 Wi-Fi 기반 측위 보정 방법</b> .....	<b>18</b>
제 1 절 BLE Beacon 을 이용한 보정.....	18
1. Probability of Correct Decision.....	18
2. AP Count Ratio.....	21
3. BLE Beacon 설치 위치 선정 및 보정 방법.....	23
제 2 절 지자기를 이용한 보정.....	24

1. 실내 공간에서의 지자기 특성.....	24
2. 실내 측위에 사용할 지자기의 형태 .....	24
3. 지자기 매칭을 통한 보정 방법.....	26
<b>제 5 장 실내 측위 기법 분석 및 평가.....</b>	<b>28</b>
제 1 절 실험 환경.....	28
제 2 절 실내 측위 성능 평가.....	29
1. Wi-Fi RDF 매칭 .....	29
2. 측위 보정 .....	33
<b>제 6 장 결론 .....</b>	<b>36</b>
<b>참고 문헌.....</b>	<b>37</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>39</b>

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구의 배경

자신의 위치를 파악하는 일은 예로부터 중요한 작업으로 손꼽혀왔다. 현대에는 건물 내부 지도나 전국 도로 지도 등을 시작으로, 실외 공간에서는 인공위성에서 주기적으로 발신하는 마이크로파를 GPS 수신기에서 받아서 삼각측량법을 수행하는 방식으로 사용자의 위치를 추정하는 기술까지 발전했다. 이 GPS를 이용한 실외 측위 기법은 현재 상용화가 되어있는 상태로, 실제로 수많은 사용자가 목적지를 찾는 데에 활용하고 있다. 그러나 실내 공간에서는 건물에 의해서 GPS 신호를 전달받지 못하거나 위치를 추적하는데 사용하기에는 신호가 미약하여 GPS를 통한 측위 기법을 이용할 수 없다. 그리하여 GPS를 대신하여 실내 공간에서 활용할 수 있는 신호를 이용하여 사용자의 위치를 찾을 수 있는 실내 측위 기술의 연구가 이루어져왔다.

2010년대에 들어서 스마트폰의 상용화에 의해서, 사용자의 위치에 기반하여 각종 서비스를 스마트폰을 통해서 제공하는 위치 기반 서비스(Location Based Service, 이하 LBS)가 본격적으로 도입되기 시작했고, 이와 함께 건물 내부의 Wi-Fi Access Point (이하 AP) 개수도 폭발적으로 증가하게 되어, 추가적인 기기가 거의 필요없이 기존에 있는 Wi-Fi 시설을 이용할 수 있는 Wi-Fi 기반 실내 측위 기법의 중요성이 커지게 되었다.

Wi-Fi 등의 무선 신호를 이용한 실내 측위 연구가 진척되어

실내 측위 기술이 발전하면서, 일반적인 회사 사무실 정도 크기의 좁은 공간에서는 1m 정도, 또는 수십 cm 수준의 상당히 정확한 측위가 가능하게 되었다. 그러나 대형 마트, 공항 등의 넓은 공간의 경우는 보통 건물이 갖는 좁은 공간에 비해서 구획이 일정치 않아 사용자의 이동 경로 또한 다양하며, 기둥과 같은 건물 구조나 설치물에 의한 Multipath Fading과 내부 공간을 지나다니는 사람에 의한 무선 신호 감쇄가 일어날 확률이 높으므로 신호 수신 안정적이지 않아 측위 성능이 저하된다.

이러한 넓은 실내 공간에서의 측위 성능 저하는 Wi-Fi 신호 정보만으로는 극복하기 힘들며, 그 해결책 중 하나로써 BLE beacon, NFC 등 대체 센서 정보에 기반한 보정 방법을 들 수 있다. 이때 넓은 대상 공간 전체에 대체 센서를 설치하는데에는 고비용이 소요되므로, Wi-Fi 측위 성능이 떨어지는 구역에 한해서 대체 센서를 설치하는 방식을 도입하면 저비용으로도 전체 측위 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 기존 Wi-Fi 기반 측위 기법이 가지는 한계점을 극복하기 위하여 Wi-Fi 신호의 특성 및 실내에서의 사람의 행동 양식을 파악하고, 이를 이용한 새로운 Wi-Fi 기반 측위 기법을 제안한다. 더불어 Wi-Fi 신호에 비해서 실내 환경의 영향을 덜 받는 대체 신호를 통해서 Wi-Fi 기반 측위 성능이 상대적으로 떨어지는 구역 위주로 보정하는 기법을 더하여 최종적으로는 넓고 열린 공간에서도 사용자의 위치를 제대로 추정할 수 있는 실내 측위 기법을 제안한다.



## 제 2 절 논문의 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 기존 Wi-Fi 기반 실내 측위 기법을 소개하고 기법이 가지는 한계점에 대해서 간략히 설명하고, 3 장에서는 본 논문에서 새로운 Wi-Fi 기반 실내 측위 방법으로써 제시한 Wi-Fi RSS Difference Fingerprint 매칭 기법의 설계 및 구현에 대해 설명한다. 4 장에서는 순수한 Wi-Fi 기반 기법이 가지는 한계점을 더욱 보완하기 위해 제안한 여러 측위 성능 보정 방법을 설명한다. 5 장에서는 실험을 통해 제안한 Wi-Fi 매칭 기법 및 성능 보정 방법의 성능을 검증하고, 6 장에서 연구의 결론과 한계점, 그리고 향후 연구계획에 대해 논한다.

## 제 2 장 기존 Wi-Fi 기반 실내 측위의 한계점

### 제 1 절 Wi-Fi Fingerprint 매칭

Wi-Fi 기반 실내 측위 기법에 사용되는 Wi-Fi Fingerprint는 AP의 MAC 주소와 RSS의 순서쌍을 원소로 가지는 집합이다. Wi-Fi Fingerprint 매칭 기반 실내 측위 기법은 사전 환경 조사와 실제 서비스의 두 단계로 나뉘어진다. 먼저 사전 조사 단계에서는 대상 공간을 일정 크기로 나눈 Grid마다 대응되는 Fingerprint를 미리 수집하여 Fingerprint DB를 구축한다. 서비스 단계에서는 사용자가 관찰한 Fingerprint와, 사전 조사 단계에서 구축한 Fingerprint DB에 있는 Fingerprint를 비교하여, 가장 유사한 Fingerprint에 대응되는 위치로 사용자의 위치를 예측한다.[1]

두 Fingerprint 간의 유사성을 측정하는 방식으로 신호 공간에서의 Euclidean distance를 사용하는데, 두 Fingerprint에 포함된 AP의 교집합 또는 합집합의 원소 AP를 하나의 차원으로 삼고 각 AP의 RSS (Received Signal Strength)의 차이를 합산한 값이다. 이때 두 Fingerprint 사이에 공통되지 않은 AP가 생기는 경우가 있는데, 해당 AP의 RSS를 “감지할 수 있는” 최소값으로 주어서 계산하는 방식 [1] 과, 해당 AP를 계산 과정에서 배제하는 방식 [2] 이 있다. 전자는 사전 수집 단계에서는 AP가 감지되어 Fingerprint DB에 등록이 되었으나, 측위 서비스 단계에서 사용자가 비슷한 위치에서 수집하는 과정에서 감지되지 않았을 때

distance가 매우 커져서 매칭에 오류가 발생할 가능성이 높다는 결점을 가진다. 후자는 비슷한 위치에서 수집한 서로 다른 Fingerprint가 각각 다른 개수 또는 조합의 AP를 포함할 때, AP의 개수에 따른 가중치를 정해야 한다는 것과, 정해진 가중치에 따라 매칭 결과가 불안정해지는 문제점이 있다.

또한, 건물 구조 및 기물에 의한 Multipath propagation과 건물 내부를 지나다니는 사람에 의한 shadow fading 등에 의해서 수신하는 신호 세기가 불안정하여 사용자가 실제로 있는 목표 Grid가 아닌, 목표 Grid와 Fingerprint가 비슷하면서 약간 다른 이웃한 Grid로 예측할 가능성이 생기게 된다.[3] 넓고 열린 공간에서는 신호 감쇄 현상이 빈번해지고 비슷한 Fingerprint를 가지는 Grid의 모임이 많아지므로, 순수한 Wi-Fi Fingerprint 매칭 방식은 한계를 드러내게 된다.

## 제 2 절 Wi-Fi Time-of-Flight

Wi-Fi Fingerprint 매칭 기반 기법이 넓고 열린 공간에서 한계점을 드러내면서, Wi-Fi 신호의 Time-of-Flight (비행 시간, 이하 ToF) 을 이용한 삼변측량(Trilateration)을 기반으로 하는 여러 실내 측위 기법이 제안되었다. 여기서의 삼변측량은 세 AP의 위치를 알고 있는 상태에서 먼저 2개의 AP를 이용하여 2개의 후보 위치를 찾고, 나머지 하나의 AP로 하나의 위치로 결정하는 기법이다. 일반적인 실내 환경에서 AP로부터 나온 Wi-Fi 신호가

목표 Client까지의 직선 구간을 지나갈 때, 기둥, 벽, 기물, 사람 등의 비중은 공기보다 훨씬 적어서 그에 대한 속도의 영향을 무시할 수 있게 된다. 따라서, multipath propagation 및 shadow fading의 영향을 신호 세기 기반 기법에 비해서 상대적으로 적게 받는다는 이점이 있다.[4]

그러나 이러한 Wi-Fi ToF를 이용한 거리 및 위치 추정 기법은 Wi-Fi 관련 하드웨어의 내재적인 한계에 의해서 성능 문제를 가진다. AP가 보낸 패킷을 목표 Client가 응답하는 과정에서 SIFS(Short Interframe Space)가 생길 때, 이 SIFS에 따라붙는 SIFS offset 값이 client의 Wi-Fi chipset에 따라서 다르다.[5] 서로 다른 목표 기기의 위치를 추정할 때, 서로 다른 SIFS offset에 의해서 ToF의 계산을 어렵게 하여 거리 추정을 어렵게 만든다.[6] 또한, AP PHY layer에서 client가 응답하여 보낸 ACK를 받을 때 ACK의 신호 세기에 따라 아날로그 신호에서 디지털 신호로 변환(ADC)하는 과정에서 문제가 생기지 않도록 ACK를 감쇄시키거나 증폭시킬 수 있다.[4] 이러한 신호 정규화에 의해서 ToF를 통해서 추정한 거리가 실제 거리보다 현저히 길어질 수 있다. 게다가 서로 다른 AP가 서로 다른 chipset을 가질 수 있으므로, 신호 정규화에 의해서 길어지는 시간은 신호를 받는 AP에 따라 달라질 수 있다. 따라서 AP의 chipset을 서로 통일하지 않는한, 목표 기기의 거리 및 위치 추정이 어렵게 된다.

위의 내재적 문제를 모두 극복한 실내 측위 시스템을 만들었다고 해도, 사용 AP 및 내장 chipset을 통일하는 것과 더불어 chipset에

거리 추정 알고리즘을 구현하는 일에는 엄청난 설치 비용이 드는 단점이 있다. 더불어 넓고 열린 공간에서는 AP가 있는 위치의 높이가 서로 다른 경우가 많으므로, 삼변측량을 사용하기가 어렵다.

## 제 3 장 Wi-Fi “RSS Difference” Fingerprint 매칭

본 장에서는 기존 Wi-Fi 기반 측위 기법이 가지는 단점은 최소화하고, 장점을 가능한 살리는 새로운 Wi-Fi 기반 측위 기법을 설명한다.

### 제 1 절 “RSS Difference” Fingerprint

기존 Wi-Fi Fingerprint 매칭에서 사용된 RSS 비교를 그대로 사용하는 대신, 두 AP의 순서쌍 및 해당 순서쌍에 대해서 RSS의 차를 원소로 갖는 Wi-Fi RSS Difference Fingerprint (이하 RDF)를 사용한다. RDF는 기본적으로 기존 RSS 비교 매칭에 Wi-Fi AP 신호의 Time Difference of Arrival (TDoA)을 접목한 방식이다. 무선 신호는 공기 중에서 이동하면서 공기 저항에 의해 감쇄되는데, 감쇄하는 정도는 신호가 진행한 거리의 log를 취한 값에 비례하는 Path-loss model을 따른다고 알려져있다.[7] 신호 감쇄 계수가 비교적 균일한 환경이라면, 사용자로부터 두 AP 까지의 거리 차이를 잘 반영할 것이다.

#### 1. RDF 및 매칭 방식의 정의

두 AP를 AP\_1, AP\_2라 하고, 각각의 RSS를 RSS\_1, RSS\_2라 할때, RDF에 저장되는 값은 다음과 같이 정의한다.

$$\text{Diff}(AP_1, AP_2) = RSS_1 - RSS_2$$

사전 환경 조사에서 수집되어 DB의 저장되는 RDF의 경우, AP\_1과 AP\_2에 대해서 저장되는 RSS의 차이는 다음과 같이 정의한다.

$$\text{DiffAvg}(AP_1, AP_2) = \sum_{i=1}^n \frac{RSS_{1,i} - RSS_{2,i}}{n}$$

그러면 측위 서비스 단계에서 사용자가 수집한 샘플 RDF와 Fingerprint DB에 저장된 RDF를 서로 비교할 때, 두 RDF의 Euclidean distance를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$AP_{\text{Common}} = RDF_{\text{User}} \cap RDF_{\text{DB}}$$

$$(AP_i, AP_j) \in AP_{\text{Common}} (i \neq j)$$

$$\text{Distance} = \sqrt{\sum_{(i \neq j)}^{AP_{\text{Common}}} (\text{Diff}_{i,j} - \text{DiffAvg}_{i,j})^2}$$

## 2. 순수 RDF 매칭의 문제점

그러나 단순히 TDoA를 접목한 순수한 RDF 매칭 방식에는 분명한 한계점이 있다. 이것은 기존 RSS 값을 통한 매칭에 비해서, 같은 AP의 집합에 대해 비슷한 RSS 차이 및 Euclidean distance를 가지는 영역이 훨씬 많다는 점에서 비롯된다. 가장 단순한 상황인 2개의 AP만이 있는 경우를 생각해보자.

사용자가 <그림 1>에 표시되어 있는 직선 경로를 지나갈 때,

AP1과 AP2로 이루어진 기존 Fingerprint는 경로에 있는 점에 따라 대부분 다른 형태로 수집되고 비슷한 경우가 적으나, AP1과 AP2로 이루어진 RDF는 경로 대부분의 점에서 거의 일정한 형태를 갖게 될 것이다. 따라서 그림에 있는 두 AP에 가까운 곳을 지나갈 때, 두 AP와 상당히 멀리 떨어진 곳에 매칭될 가능성이 현저히 높아지는 문제를 갖게 된다.

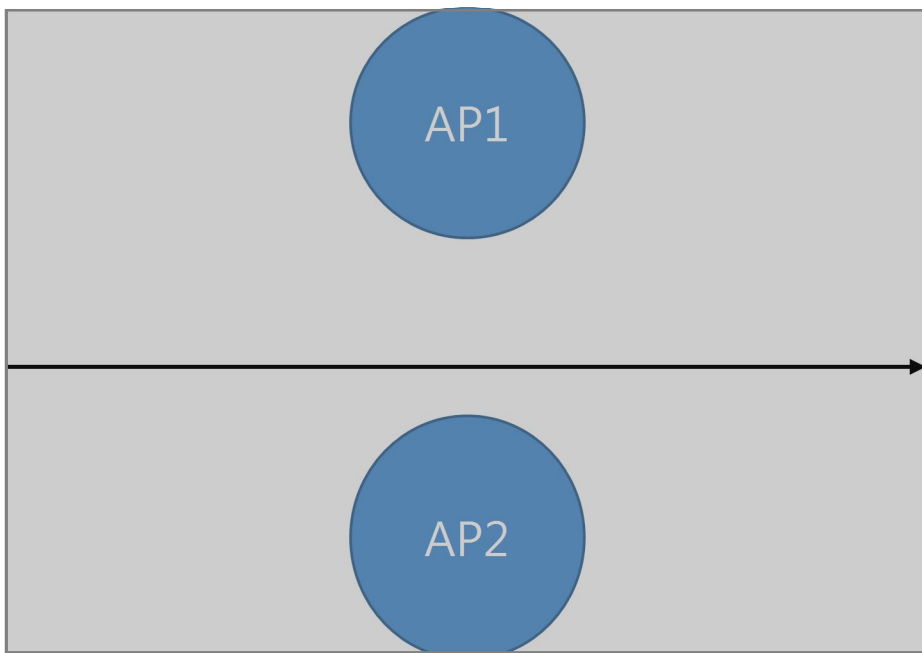


그림 1. 2개의 AP와 사용자가 다니는 경로

이렇게 하나의 순서쌍에 대해서 비슷한 RSS Difference를 가지는 위치가 직선 또는 곡선으로 정해지기 때문에, 비슷한 RDF Distance를 가지는 영역이 사용자가 있는 위치 근처 뿐만이 아니라 멀리 떨어진 곳에서도 나타날 가능성이 생기게 된다. 이러한 불안정성이 심화되어, RDF Distance가 가장 적은 곳이 사용자의



실제 위치와 멀리 떨어진 곳일 경우 심각한 성능 저하를 초래하게 된다.

## 제 2 절 위치 선정 방식 개선

앞 절에서 설명한 RDF 매칭 성능 저하 현상을 예방 또는 최소화하기 위해서, 매칭을 통한 위치 선정 방식 등에 변화를 주었다.

### 1. 매칭에 사용되는 AP의 개수

두 Fingerprint에 공통적으로 포함된 AP의 개수를  $N$ , 전체 Fingerprint의 개수를  $M$ 이라 할때, 기존 Fingerprint 매칭에 걸리는 시간은  $O(M*N)$ 인데 반해, RDF 매칭에 걸리는 시간은 순서쌍의 개수가  $N*(N-1)/2$ 이므로  $O(M*N^2)$ 이 된다. 이것은 많은 수의 Fingerprint와 더불어, 스캐닝 한번에 감지되는 AP가 상대적으로 많은 넓고 열린 공간에서 실시간으로 사용자의 위치를 추적하는데는 어려움이 따를 수 있는 수준이다. 또한, 멀리 떨어져 있거나 건물 구조 및 지나다니는 사람의 영향으로 감지될 확률이 낮은 AP를 고려했을 때 매칭에 오차가 발생할 가능성이 크다. 따라서, 전체 AP를 다 보는 것이 아닌 일부 AP만을 보는 방식으로 변경하였다. 실제 매칭할 때는, 세기가 강하고 자주 보일 수록 들어오는 신호가 안정적일 것으로 보고, 각 Grid별로 RSS 세기 순으로 정렬 후에 상위 몇 개의 AP 만을 반영하도록 하였다.

매칭에 반영되는 AP의 개수는 Fingerprint에 저장되어 있는 Grid의 Fingerprint에 포함된 AP의 개수에 따라 결정할 필요가 있다.

## 2. 상위 후보 모으기

RDF Distance가 가장 작은 위치가 실제 사용자의 위치로부터 굉장히 멀리 떨어져있을 위험성이 있으므로, 단순히 RDF의 Distance가 가장 작은 Grid를 선정하는 것이 아닌, 상위 몇 개의 후보 위치를 먼저 추려낸 후 2차 선정 작업을 한다. 고려하는 상위 후보의 개수가 너무 적으면 더 좋은 후보를 놓칠 가능성이 생기고, 반대로 개수가 너무 많으면 뒤의 2차 선정 과정에서 직전 추정 위치와 너무 가까운 후보를 선정할 가능성이 높아져서 직전 추정에서 오차가 어느 정도 생겼을 때 만회할 가능성이 줄어든다. 따라서, 실험을 통해서 적절한 후보의 개수를 찾을 필요가 있다.

## 3. 거리에 따른 가중치 및 필터링

위의 작업을 거쳐서 모은 후보 위치는 사용자의 실제 위치와 가까울 수도 멀 수도 있다. 그러므로 직전 측위 위치와 해당 후보 위치 사이의 거리를 계산하여, 그에 따라 해당 후보 위치의 적합성을 판단한다.

실내에서 사람들은 정말로 급박한 경우가 아니면 뛰는 경우가

거리 없기 때문에, 걷는 속력을 통해서 1차적인 적합성 판단 기준을 세울 수 있다. 대체로 빠른 걸음으로 다닐 경우, 6km/h 정도의 속력을 갖게 된다. Wi-Fi 스캐닝 주기는 3~3.5초 정도로, 빠른 걸음으로 다닐 때는 그 주기 동안 5~6m 정도를 이동하게 된다. 사용자가 뛰지 않는다고 가정했을 때, 사용자의 위치를 완벽하게 맞히는 측위 알고리즘이 있다면, 직전 주기에 추정된 위치와 현재 주기에 추정된 위치 사이의 거리는 6m를 넘기지 않을 것이다. 그러나 실제 측위 서비스 상황에서는 오차가 생기게 되므로, 직전 측위에서 어느 정도 오차가 생기는 경우를 감안해서 추가로 몇 m 정도까지는 그대로 허용하는 것이 좋을 것이다. 이렇게 해서 세운 기준 거리를 해당 후보가 넘어서게 될 경우, 직전 추정 위치와의 거리에 비례하여 Distance에 패널티를 부여한다.

후보 중에서는 직전 추정 위치로부터 지나치게 떨어지는 경우가 있을 것이다. 이 경우는 사람의 이론적인 한계 속력을 고려하여 사용자가 있을 수 있는 위치인지를 판단할 수 있다. 사람이 한번의 Wi-Fi 스캐닝 주기 동안 다닐 수 있는 최대 거리는 대략  $10\text{m/s} * 3\text{s} = 30\text{m}$  정도이므로, 직전 추정 위치로부터 30m 이상 떨어진 후보는 실제로는 사용자가 있을 수 없는 위치가 되어, 해당 후보를 배제할 수 있게 된다.

이렇게 직전 추정 위치로부터의 거리에 따른 패널티 및 필터링을 통해서, 최종적으로 수정된 Distance가 가장 낮은 후보를 최종 추정 위치로 선정한다.

## 제 4 장 Wi-Fi 기반 측위 보정 방법

Wi-Fi 신호의 성질로부터 비롯되는 Wi-Fi 기반 측위 기법의 태생적 한계점에 의해서, Wi-Fi 신호를 이용하는 것만으로는 앞으로 나올 위치 기반 서비스(LBS)에서 요구할 것으로 예상되는 평균 1m 내외 또는 이내 수준의 정확도를 만족하는 것은 현재로서는 불가능하다.[8][9][10] 본 장에서는 Wi-Fi 기반 측위 기법이 요구 정확도를 만족할 수 있도록 보조해줄 몇 가지 보정 방법에 대해서 설명한다.

### 제 1 절 BLE Beacon을 이용한 보정

비교적 간단하게 보정할 수 있는 방법으로 Wi-Fi 이외의 다른 종류의 신호를 송출하는 기기를 설치하여, 해당 신호를 받았을 때 측위 보정을 하는 기법을 꼽을 수 있다. 단, 많은 기기를 도입하는 일에는 높은 비용이 수반되므로, 가급적 Wi-Fi 측위 성능이 상대적으로 떨어지는 구역 위주로 소량의 기기만을 설치하면 상대적으로 적은 비용으로도 좋은 성능 개선을 이끌어낼 수 있을 것이다.

#### 1. Probability of Correct Decision

Wi-Fi Fingerprint 매칭을 직관적으로 봤을 때, 어떤 목표 Grid에서 수집된 Fingerprint와 유사한 Fingerprint를 가지는

이웃한 Grid가 많으면, 목표 Grid가 아닌 이웃한 Grid를 추정 위치로 잘못 지정할 가능성이 높을 것이다. <그림 2>의 왼쪽에 있는 Grid  $i$ 의 경우, 비슷한 Fingerprint를 가지는 이웃한 Grid가 오른쪽 그림의 Grid  $k$ 에 비해서 상대적으로 많으므로, 측위 오차를 가지게 될 가능성이 높다. 사용자가 Grid  $i$ 에 있는 상황에서, 비슷한 Fingerprint를 가지는 이웃한 Grid  $j$ 로 틀리게 예측할 확률을 다음과 같이 정의할 수 있다.[3]

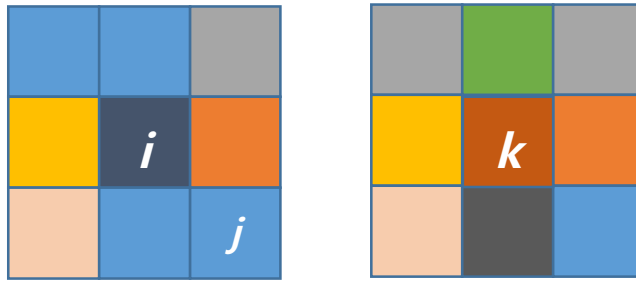


그림 2. 사용자가 있는 두 Grid  $i, k$ 와 그에 이웃한 Grid

Wi-Fi Fingerprint 매칭을 직관적으로 봤을 때, 어떤 목표 Grid에서 수집된 Fingerprint와 유사한 Fingerprint를 가지는 이웃한 Grid가 많으면, 목표 Grid가 아닌 이웃한 Grid를 추정 위치로 잘못 지정할 가능성이 높을 것이다. 왼쪽 그림의 Grid  $i$ 의 경우, 비슷한 Fingerprint를 가지는 이웃한 Grid가 오른쪽 그림의 Grid  $k$ 에 비해서 상대적으로 많으므로, 측위 오차를 가지게 될 가능성이 높다. 사용자가 Grid  $i$ 에 있는 상황에서, 비슷한 Fingerprint를 가지는 이웃한 Grid  $j$ 로 틀리게 예측할 확률인 pairwise error probability (PEP)를 다음과 같이 정의할 수 있다.[3]

$R_i$ : 사용자가 Grid i에서 수집한 Fingerprint

$\tilde{R}_i, \tilde{R}_j$ : Fingerprint DB에 저장된 Grid i와 Grid j의 Fingerprint

$$\begin{aligned} \text{PEP}(\tilde{R}_i, \tilde{R}_j) &= P\left\{\left\|\tilde{R}_j - R_i\right\| < \left\|\tilde{R}_i - R_i\right\|\right\} = \int_{x=\frac{sd_{ij}}{2}}^{x=\infty} \frac{e^{-x^2/2\sigma^2}}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} dx \\ &= Q\left(\frac{sd_{ij}}{2\sigma}\right) \end{aligned}$$

$\|\cdot\|$ 는 두 Fingerprint 사이의 Distance,  $Q(x)$ 는 Gaussian 분포에서 임의의 변수 값이  $x$ 보다 클 확률이다. 이것을 Grid i와 이웃한 모든 Grid에 대해서 각각 적용하면, 최종적으로 사용자가 위치한 Grid i로 정확하게 추정하는 확률은 다음과 같다.

$$\text{Prob}\{\text{Correct Decision}\} = P(\text{CD}) = \prod_{\substack{i \text{와 이웃한 } k \\ k \neq i}} \{1 - \text{PEP}(\tilde{R}_i, \tilde{R}_j)\}$$

실제 측위 서비스 상황에서는 이웃한 Grid와 사용자가 있는 Grid 사이의 거리가 멀 수록, 잘못 추정했을 때 성능에 미치는 영향이 크기 때문에,  $P(\text{CD})$ 를 이용하여 점수를 계산하는 과정에서 Grid 사이의 거리에 따른 가중치를 두었다. 이렇게 구한  $P(\text{CD})$ 와 평균 측위 오차 사이의 관계를 구하였다.

<그림 3>에 나와 있듯이, 직관적으로 예상한 대로  $P(\text{CD})$ 가 낮을 수록 측위 오차가 커지는 경향을 보였다. 따라서  $P(\text{CD})$ 는 BLE beacon의 위치를 선정하는 과정에 활용될 수 있다.

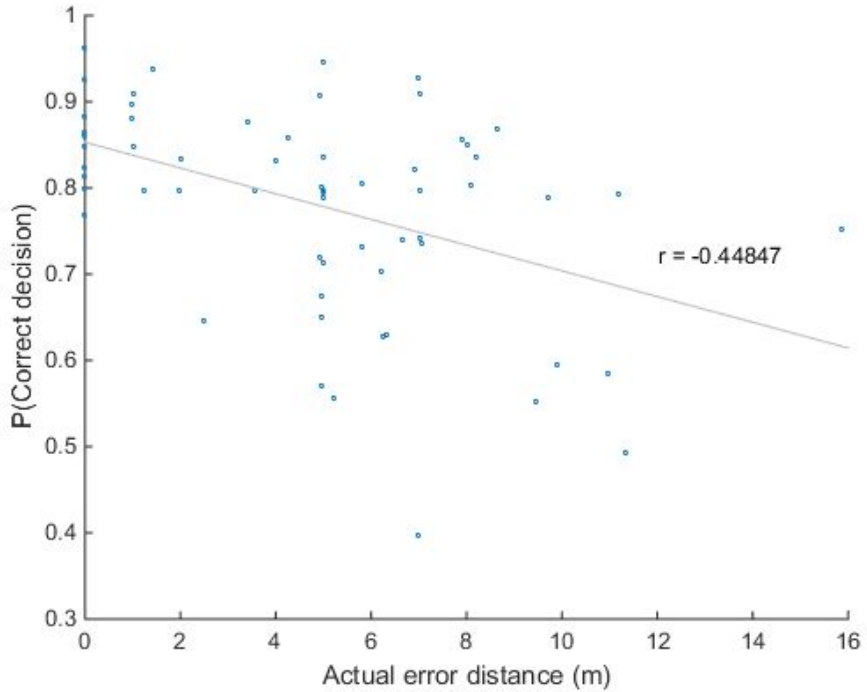


그림 3. Grid의 P(CD)와 평균 측위 오차 사이의 관계

## 2. AP Count Ratio

Wi-Fi 신호가 건물 내부 환경에 의해 여러 경로를 따라 전파되는 Multipath propagation과, 약한 신호가 강한 신호에 의해서 감지되지 않는 Capture effect에 의해서 어떤 위치에서 상대적으로 감지되는 확률이 낮은 AP가 있을 수 있다. 그러한 AP는 사전 환경 조사 단계에서는 어느 정도 보여서 Fingerprint DB에는 저장되어 있으나, 사용자가 비슷한 위치에서 수집했을 때는 감지가 되지 않는 경우가 있다. 이러한 AP가 많을 경우에는 Fingerprint 매칭에 영향을 미칠 가능성이 높을 것이다. 이를

반영하고자 Grid의 Count Ratio를 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{Count Ratio}(i) = \frac{\text{감지된 비율이 일정 이상인 AP의 개수}}{\text{Grid } i \text{에서 감지된 총 AP의 개수}}$$

여기서 감지된 비율의 기준은 건물 내부의 환경, RDF 매칭에서 고려하는 AP의 개수 또는 비율에 따라 달라질 수 있는데, 실제 실험에서는 50%를 사용하였다. 이렇게 구한 Count Ratio와 평균 측위 오차 사이의 관계를 알아보았다.

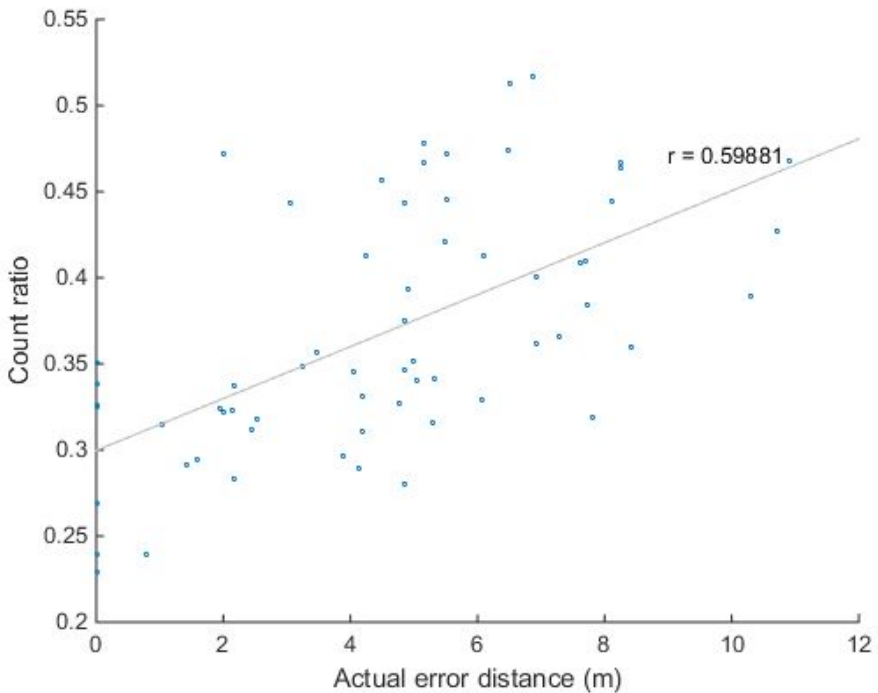


그림 4. Grid의 Count Ratio와 평균 측위 오차 사이의 관계

<그림 4>에 따르면, 예상과는 반대로 Grid의 count ratio가 높을수록 사용자가 해당 Grid에 있을 때의 측위 오차가 커지는 경향을 보였다. 실내 측위에 있어서 감지된 AP의 숫자가 어느 정도 이상



커지면 측위 성능의 향상이 정체되는, 이른바 한계 효용의 법칙을 따라가게 된다고 한다.[11] 안정적으로 감지될 확률이 높은 AP의 개수가 필요 이상으로 많아지면, 다수의 AP들 사이에서 경쟁이 일어나 상대적으로 약한 신호가 감지되지 않는 현상이 심화되어 측위 성능이 오히려 떨어지는 효과를 가져온다고 할 수 있다.

### 3. BLE Beacon 설치 위치 선정 및 보정 방법

앞에서 설명한 측위 성능과 관계된 두 가지 metric을 기반으로, BLE 신호를 송출할 beacon을 설치할 위치를 선정한다. 먼저 P(CD)를 이용하여 상대적으로 낮은 점수를 가지는 Grid를 뽑는다. 이렇게 뽑힌 Grid를 Count Ratio가 높은 순으로 정렬하여 기본적으로 가장 Count Ratio가 높은 순서대로 5개의 Grid를 선정하되, 이미 beacon을 설치할 위치로 선정된 곳과 가까운 구역은 배제하고 차상위 위치를 선정하는 방식으로 진행한다.

BLE beacon의 신호 출력인 Tx Power는 설정이 가능한데, 가장 낮은 출력인  $-23\text{dBm}$  기준으로 신호를 잡을 수 있는 범위는 반경 5m 정도이다. 사용자가 beacon이 설치된 구역에 들어와서 BLE 신호를 잡았을 때, Wi-Fi RDF 매칭을 전체 Grid 대상으로 하는 대신, beacon이 설치된 구역 근처의 Grid만을 대상으로 수행한다.

## 제 2 절 지자기를 이용한 보정

본 절에서는 BLE에 비해서 좀더 복잡하지만, 더욱 정확한 보정 수단으로 지구 자기장(지자기)의 유사성을 이용한 기법을 제안한다.

### 1. 실내 공간에서의 지자기 특성

건물 자재로 포함되어 있는 금속이나, 금속으로 이루어진 기물에 의해서 측정되는 자기장의 세기 및 방향이 변화한다. 이 변화하는 정도가 주변 금속의 비율 및 분포에 따라서 달라지기 때문에, 건물 내부의 위치에 따라서 서로 다른 형태의 자기장을 검출할 수 있다.[12] 또한 일반적인 실내 공간에서는 건물 구조가 거의 그대로 남기 때문에, 장기간에 걸쳐서도 지자기 분포가 거의 바뀌지 않는다는 이점이 있다. 따라서, 지자기는 실내 측위에 적극적으로 활용될 수 있다.

### 2. 실내 측위에 사용할 지자기의 형태

기본적으로, 스마트폰에서 측정되는 자기장은  $x, y, z$ 의 3개의 차원으로 구성된다.  $x$ 축은 기기 화면의 가로 방향,  $y$ 축은 기기의 세로 방향,  $z$ 축은 기기의 두께 방향으로 통과한다.[13] 그러나 이렇게 측정된 자기장은 사용자가 기기를 잡는 방향에 의존하게 되기 때문에, 사용자가 기기를 잡는 방향에 따라 지자기의 유사성을 잘 잡지 못하는 문제가 생길 수 있다. 그 대신, 측정된 자기장을

중력 방향으로 돌리면 중력에 의존하는 2개의 성분 ( $B_v$ ,  $B_h$ )로 바꾸어서 사용자가 기기를 잡는 방향에 따른 영향을 최소화할 수 있다.[12] 실제 측위 실험에서는 자기장의 세기나  $B_h$ 보다 환경 변화의 영향을 상대적으로 덜 받고, 금속으로 된 기물에 가까운 곳에서 뚜렷하게 변하는  $B_v$ 만을 활용하였다. <그림 5>는 같은 복도에서 1주일 간격으로 측정한 2개의 지자기 패턴으로, 2개의 패턴 사이에 상당한 유사도를 보인다는 것을 알 수 있다.

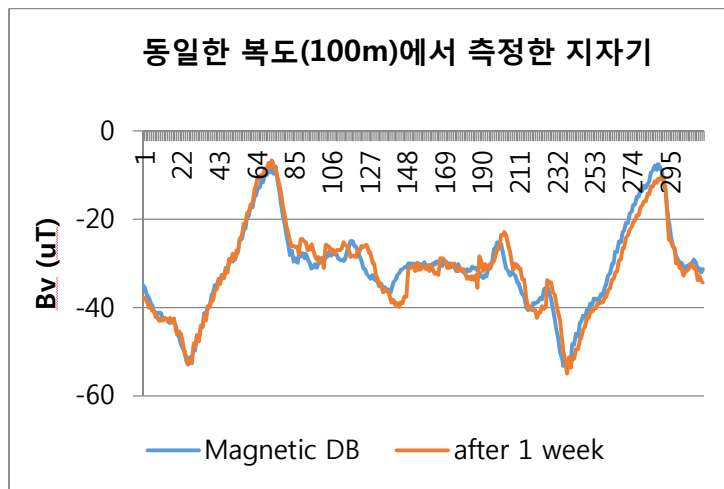


그림 5. 같은 복도에서 1주일 간격으로 측정한 2개의 지자기 패턴

여기에 덧붙여, 실시간으로 지자기 매칭을 할 수 있도록 지자기 패턴을 그대로 올리는 대신 지자기 샘플링 기법을 도입한다. 한 걸음마다 일정한 개수(샘플링 rate)의 지자기 data만을 남기는 방식으로, 샘플링 rate를 바꿔가면서 실험한 결과 한 걸음마다 3개의 지자기 data만을 남겨도 지자기 매칭하기에 충분하다는 것을 확인할 수 있었다. <그림 6>은 지자기 data를 걸음 당 3개의

샘플로 샘플링을 하는 것을 보여준다. 이 기법을 통해서, 3번에서 설명할 시간에 따라 변하는 data 사이의 비교를 걸음에 따라 변하는 data 사이의 비교로 변환할 수 있다.

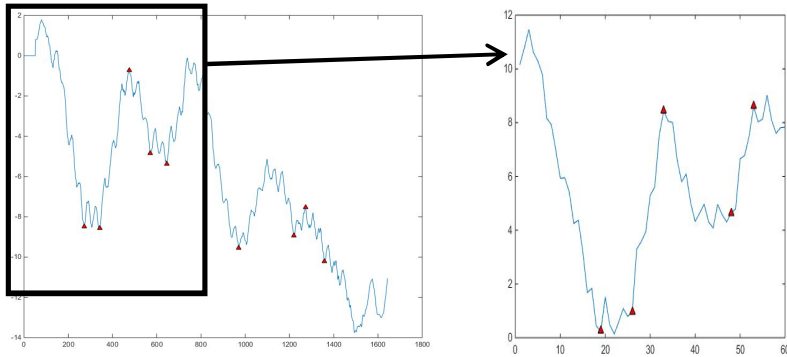


그림 6. Peak가 감지된 지자기 data를 걸음 당 3개의 샘플로 샘플링을 하는 예시

### 3. 지자기 매칭을 통한 보정 방법

먼저 사전 환경 조사 단계에서, 사람이 주로 이동하는 복도를 중심으로 지자기 패턴을 수집하여 Wi-Fi RDF와는 별도의 매칭용 DB를 구성한다. 실제 측위 서비스 단계에서는 스마트폰에 있는 가속계 및 자이로스코프도 같이 활용하여 사용자가 수집하는 지자기 패턴이 일정 거리 이상(최소 5걸음)이 된 이후로 주기적으로 지자기 DB에 있는 지자기 패턴과 비교한다. 이때, 일정 이상의 유사도를 보이는 지자기 패턴이 발견되면 가장 유사한 지자기 패턴에 대응되는 위치로 측위한다.

넓고 열린 공간에서는 사람마다 이동하는 형태가 다양하기 때문에, 사용자에 따른 이동 속도가 다양하면서도, 사전에 수집했던 경로와 동일하게 이동하지 않는 경우가 생기게 된다. 시간에 따른 지자기 패턴 수집량은 동일하기 때문에, 이동 속도가 다른 경우에는 같은 경로를 이동했더라도 서로 다른 지자기 패턴이 나타날 수 있다. 이를 극복하는 방법으로 Dynamic Time Warping (DTW) 알고리즘을 사용한다.[14] <그림 7>은 DTW 알고리즘을 이용한 패턴 매칭 과정으로, 시간이나 속도에 따라 변하는 데이터 간의 유사도를 측정할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

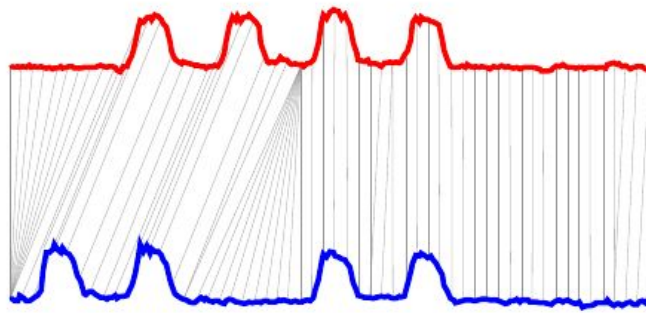


그림 7. DTW 알고리즘을 통한 패턴 매칭 예시

또한 다양한 이동 경로에 대해서도 매칭을 할 수 있도록 방향 전환을 감지했을 때 그때까지 5걸음 이상을 감지했을 때만 수집했던 지자기 패턴의 매칭을 수행하고, 누적된 지자기 패턴은 초기화시킨다. 여기에 더해서 보정 주기 단축을 위해 20걸음 이상 누적된 이후로도 5걸음 마다 주기적으로 패턴 매칭을 수행한다. 단, 정확성을 보장하기 위해서 일정 이상의 유사도를 가지는 패턴이 발견되었을 때만 보정을 하고, 그렇지 않았을 때는 지자기를

수집했던 구역에 있지 않다고 판단하여 보정하지 않는다. 그림 8은 사용자가 수집한 지자기 data와 지자기 DB에 있는 한 지자기 패턴과 비교하는 과정을 보여준다.

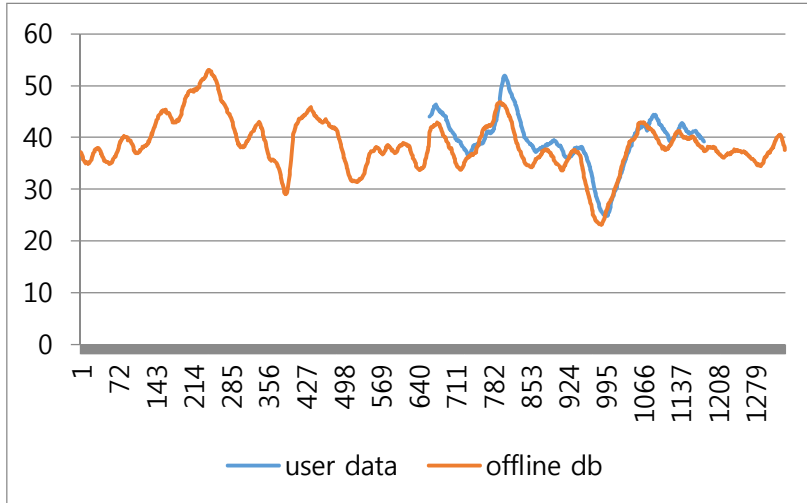


그림 8. 지자기 패턴 매칭 과정

## 제 5 장 실내 측위 기법 분석 및 평가

### 제 1 절 실험 환경

서울대학교 관악캠퍼스 제 1 공학관(301동) 2층에서 지하 1층까지 이어지는 50m \* 65m의 공간에서 Wi-Fi RDF 수집, BLE 설치, 지자기 수집 및 그에 기반한 측위를 수행하였다. Wi-Fi RDF는 주어진 실내 공간을 5m \* 5m 크기의 Grid로 나누고, 각 Grid의 중앙에서 Fingerprint를 50회 수집하여 평균을 내어 만들어낸 Wi-Fi RDF를 이용하여 측위용 RDF DB를 구성하였다.

지자기는 RDF와는 별도로 수집하여 지자기 Landmark DB를 따로 구성하였다.

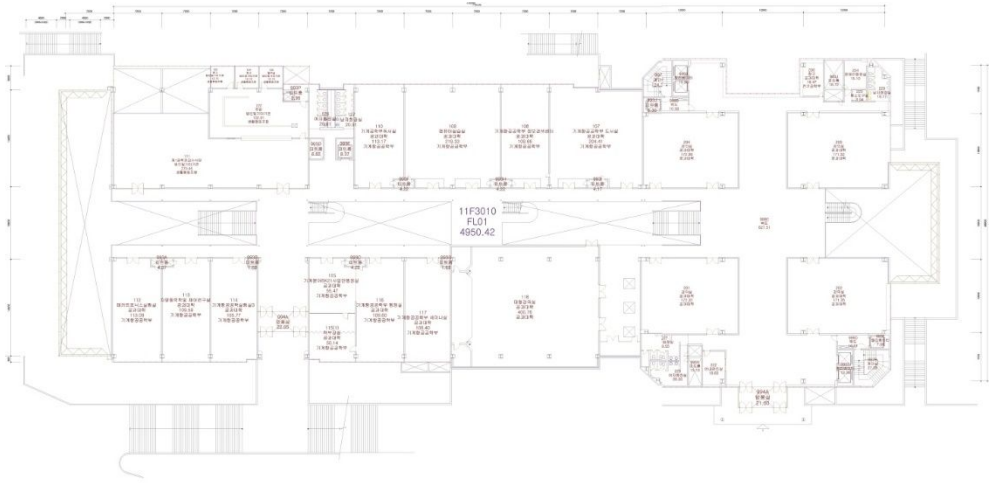


그림 9. 제 1 공학관 지하 1층~지상 2층 구간의 도면

본 실험에서 사용된 Grid의 개수는 87개, BLE beacon은 3~5개, 지자기 시계열은 47개이다. 측위 서비스 실험 경로의 개수는 7개이며, 일부는 복도 중앙으로, 나머지는 복도 왼쪽편 또는 오른쪽편으로 치우쳐서 이동하였다.

## 제 2 절 실내 측위 성능 평가

### 1. Wi-Fi RDF 매칭

3 장에서 구현한 Wi-Fi RDF 매칭 기법과, 기존 Wi-Fi Fingerprint 매칭 기법의 성능을 서로 비교하였다. 먼저 후보의 개수 및 후보에 패널티를 부여하는 거리 기준을 바꿔가면서 적정한

후보의 개수 및 패널티 기준을 찾는 실험을 하였다. 패널티 거리 기준을 3m 단위로 바꾼 것은, 이웃한 Grid의 중점 사이의 거리가 2.5m 또는 약 3.5m로, 이것의 중간 정도인 3m로 맞춘 것이다.

단위: m	고려한 후보의 개수					(Baseline)
경로	1	2	3	4	5	기준_FP
1	3.66	2.96	4.72	3.95	5.02	3.53
2	3.27	3.26	2.94	5.79	6.60	5.40
3	3.86	4.78	3.45	2.96	3.70	4.57
4	5.48	5.57	6.07	7.41	7.30	8.08
5	4.31	5.56	5.21	4.96	5.74	4.90
6	2.76	3.75	5.47	6.36	6.47	3.44
7	3.58	3.64	3.77	5.63	5.63	5.16
평균 오차	3.85	4.22	4.52	5.29	5.78	5.01

표 1. 후보 패널티 부여 기준이 6m일 때의 측위 오차 비교

단위: m	고려한 후보의 개수					(Baseline)
경로	1	2	3	4	5	기준_FP
1	3.66	2.73	2.73	2.67	2.67	3.53
2	3.27	3.48	3.48	4.14	4.14	5.40
3	3.86	4.08	3.28	3.32	3.32	4.57
4	5.48	5.23	5.23	5.23	5.16	8.08
5	4.31	4.80	4.28	3.69	3.69	4.90
6	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76	3.44
7	3.58	3.31	3.31	3.31	3.31	5.16
평균 오차	3.85	3.77	3.58	3.59	3.58	5.01

표 2. 후보 패널티 부여 기준이 9m일 때의 측위 오차 비교



먼저 현재 추정 위치의 후보가 직전 추정 위치와 떨어진 거리가 6m 이상일 때 패널티를 부여하는 경우는 <표 1>에 나와있듯이 기존 매칭 방식과 성능 차이가 별로 나지 않는 것으로 나타났다. 이전 측위에서 오차가 어느 정도 누적된 상황에서, 실제로는 해당 후보 위치가 이전보다 더욱 정확하게 사용자 위치를 반영할 수 있는데도 불구하고 패널티에 의해 최종적으로 선정되지 못하여 오차를 바로잡지 못하는 일에서 비롯된 것으로 보여진다.

<표 2>에 따르면, 패널티 부여 기준을 9m로 조금 완화했을 때는 6m에 비해서 RDF 매칭의 성능이 어느 정도 향상된 것으로 나타났다. 너무 보수적이어서 이전 측위의 오차를 바로잡기 어려웠던 6m 기준에 비해서, 가끔씩 측위가 어긋나는 불안정성이 좀더 높지만 바로잡는 상황이 더 많이 일어나서 종합적으로 성능에 이득을 봤다고 할 수 있다.

단위: m	고려한 후보의 개수					(Baseline)
경로	1	2	3	4	5	기존_FP
1	3.66	2.73	2.68	2.67	2.67	3.53
2	3.27	3.31	3.31	3.31	3.93	5.40
3	3.86	3.93	3.89	4.03	4.03	4.57
4	5.48	5.33	5.33	5.33	5.33	8.08
5	4.31	3.80	3.44	3.44	3.44	4.90
6	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76	3.44
7	3.58	3.31	3.77	5.63	5.63	5.16
평균 오차	3.85	3.60	3.53	3.55	3.64	5.01

표 3. 후보 패널티 부여 기준이 12m일 때의 측위 오차 비교

단위: m	고려한 후보의 개수					(Baseline)
경로	1	2	3	4	5	기준_FP
1	3.66	2.73	2.68	2.67	2.67	3.53
2	3.27	3.31	3.31	3.31	4.05	5.40
3	3.86	3.68	3.68	3.85	3.85	4.57
4	5.48	5.33	5.33	5.33	5.33	8.08
5	4.31	3.80	3.44	3.44	3.44	4.90
6	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76	3.44
7	3.58	3.31	3.31	3.31	3.31	5.16
평균 오차	3.85	3.56	3.50	3.52	3.63	5.01

표 4. 후보 패널티 부여 기준이 15m일 때의 측위 오차 비교

<표 3>과 <표 4>에서 패널티 부여 기준을 좀더 완화했을 때 9m에 비해서 근소하게 향상이 더 이루어진 것으로 확인할 수 있다. 실험을 통해서 검증한 결과, 직전 추정 위치와의 거리에 따른 패널티 부여 기준은 12~15m, 후보의 개수는 3개로 잡는 것이 가장 적합하다고 할 수 있다.

그 다음은 각 Grid의 RDF에서 매칭에 사용되는 AP의 개수를 50, 60, 70, 80, 90, 100, 모든 AP(평균 약 110개)로 바뀌가면서 적정한 AP의 개수를 찾는 실험을 하였다. <표 5>와 <표 6>에 따르면 매칭에 실제로 사용하는 AP의 개수는 각 Grid에서 감지되었던 AP의 절반 정도로 잡는 것이 가장 적합하다고 할 수 있다.

단위: m	매칭에 사용된 AP 의 개수							(Baseline)
경로	50	60	70	80	90	100	all	old_FP
1	3.36	2.68	2.28	2.74	2.91	3.02	3.93	3.53
2	2.86	3.31	3.49	4.23	4.24	4.49	5.05	5.4
3	4.38	4.04	4.29	4.64	3.89	4.13	4.31	4.57
4	5.48	5.33	5.53	6.66	5.97	5.9	7.03	8.08
5	3.04	3.44	4.53	4.73	3.74	3.52	5.24	4.9
6	3.28	2.76	4.15	4.41	3.82	4.55	4.58	3.44
7	3.71	3.31	3.08	3.24	3.69	3.81	4.97	5.16
평균 오차	3.73	<b>3.55</b>	3.91	4.38	4.04	4.2	5.02	5.01

표 5. 후보 패널티 부여 기준이 12m일 때의 측위 오차 비교

단위: m	매칭에 사용된 AP 의 개수							(Baseline)
경로	50	60	70	80	90	100	all	old_FP
1	3.36	2.68	2.28	2.74	2.91	3.02	3.93	3.53
2	2.86	3.31	3.49	4.23	4.24	4.49	5.05	5.4
3	4.17	3.68	3.64	4.64	3.89	4.13	4.31	4.57
4	5.66	5.33	6.17	6.98	5.53	5.9	6.65	8.08
5	3.04	3.44	4.53	4.73	3.74	3.52	5.24	4.9
6	2.78	2.76	4.69	4.41	3.83	4.99	4.58	3.44
7	3.71	3.31	3.08	3.24	3.69	3.81	4.97	5.16
평균 오차	3.65	<b>3.5</b>	3.98	4.42	3.98	4.27	4.96	5.01

표 6. 후보 패널티 부여 기준이 15m일 때의 측위 오차 비교

## 2. 측위 보정

앞에서 언급한 Wi-Fi RDF 매칭에 더해, 4 장에서 설명한 BLE 및 지자기를 이용한 보정 방법이 들어간 Wi-Fi 기반 실내 측위

기법의 성능을 알아보았다. Wi-Fi RDF 매칭에 BLE 및 지자기 보정 기법을 넣은 것, 보정 기법을 넣지 않은 Wi-Fi RDF 매칭, 그리고 기존 Wi-Fi Fingerprint 매칭 기법을 비교하였다.

단위: m	Wi-Fi RDF + 보정	Wi-Fi RDF only	기존 Wi-Fi FP
경로 1	1.7	2.68	3.53
경로 2	1.61	3.31	5.4
경로 3	2.24	3.68	4.57
경로 4	2.75	5.33	8.08
경로 5	1.89	3.44	4.9
경로 6	1.39	2.76	3.44
경로 7	1.52	3.31	5.16
평균	<b>1.87</b>	<b>3.5</b>	<b>5.01</b>

표 7. 보정 방법에 따른 측위 성능 비교

<표 7>에 따르면, BLE와 지자기를 모두 사용한 최종적인 Wi-Fi 기반 측위 기법이 평균 2m 이내의 오차를 기록하고, 지자기 Landmark에서 어느 정도 떨어진 곳으로 이동한 경로 3 및 경로 4의 경우에도 3m 이내의 오차를 기록한 것을 확인할 수 있다. 실험한 공간의 넓이 차이 등을 감안하면, 최근 Microsoft에서 주최하는 실내 측위 대회의 2D 측위 부문에서 입상한 실내 측위 시스템과 맞먹는 수준의 성능을 가졌다고 볼 수 있다.[9] [10]

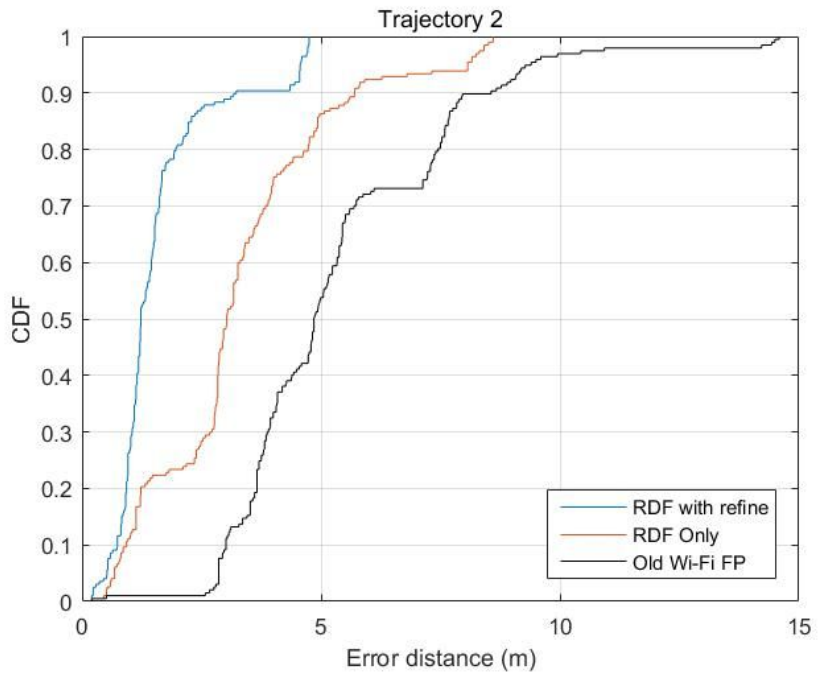


그림 10. 실내 측위 기법의 경로 2의 측위 오차 비교

## 제 6 장 결 론

본 논문에서는 Wi-Fi 신호의 특성에 의해 기존 Wi-Fi 기반 측위 기법이 넓고 열린 공간에서 가지는 성능의 한계점을 극복하고자 Wi-Fi 신호의 TDoA 및 실내에서의 사람의 행동 패턴을 이용한 Wi-Fi RDF 매칭과, BLE 및 지자기를 이용하여 Wi-Fi 매칭을 보조해주는 보정 기법을 제안하였다. 제안한 실내 측위 알고리즘을 바탕으로, 사용자가 실내 환경에 익숙하지 않은 상황에서도 가고자 하는 목적지를 찾아낼 수 있도록 유도할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 연구 기간의 문제로 실내 공간의 환경 변화가 일어나지 않는다고 가정하고 실험을 진행하였다. 실제로는 내부 공사 등에 의해서 장기간에 걸친 실내 공간의 환경 변화에 따라 Wi-Fi RDF 및 지자기 DB가 실내 환경을 잘 반영하지 못하게 되는 문제가 존재하여, 거기에 따라 Wi-Fi RDF 및 지자기 DB를 갱신해야할 필요가 있다. 추후 Wi-Fi 기반 실내 측위 알고리즘의 실용화를 위해서 적은 비용으로도 꾸준히 변화하는 실내 환경을 잘 반영할 수 있도록, 환경 변화 감지를 통해서 자동적으로 Wi-Fi RDF 및 지자기 DB를 갱신하는 알고리즘에 대한 연구를 진행할 예정이다.

## 참고 문헌

- [1] P. Bahl and V. N. Padmanabhan. RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System. In Proceedings of IEEE INFOCOM 2000.
- [2] S. Jeon et al. Fast and Accurate Wi-Fi Localization in Large-Scale Indoor Venues. In Proceedings of MOBIQUITOUS 2013.
- [3] N. Swangmuang and P. Krishnamurth. Location Fingerprint Analyses Toward Efficient Indoor Positioning. In Proceedings of IEEE PerCom 2008.
- [4] S. Sen et al. Bringing CUPID Indoor Positioning System to Practice. In Proceedings of WWW 2015.
- [5] D. Giustiniano et al. Deep Inspection of the Noise in WiFi Time-of-Flight Echo Techniques. In Proceedings of MSWiM 2015.
- [6] D. Giustiniano and S. Mangold. CAESAR: Carrier Sense-Based Ranging in Off-The-Shelf 802.11 Wireless LAN. In Proceedings of CoNEXT 2011.
- [7] Log Distance Path Loss or Log Normal Shadowing Model. <http://www.gaussianwaves.com/2013/09/log-distance->

path-loss-or-log-normal-shadowing-model/

- [8] D. Lymberopoulos et al. A Realistic Evaluation and Comparison of Indoor Location Technologies: Experiences and Lessons Learned. In Proceedings of IPSN 2015.
- [9] Microsoft Indoor Localization Competition – IPSN 2015.  
<http://research.microsoft.com/en-us/events/indoorlocompetition2015/>
- [10] Microsoft Indoor Localization Competition – IPSN 2016.  
<http://research.microsoft.com/en-us/events/msindoorlocompetition2016/>
- [11] N. Brouwers et al. Incremental Wi-Fi Scanning for Energy-Efficient Localization. In Proceedings of IEEE PerCom 2014.
- [12] H. Xie et al. Maloc: A Practical Magnetic Fingerprinting Approach to Indoor Localization using Smartphones. In Proceedings of UbiComp 2014.
- [13] Android Position Sensors.  
[https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors\\_position.html](https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_position.html)
- [14] M. Muller. Dynamic Time Warping. In Information Retrieval for Music and Motion, Berlin, Germany: Springer, 2007, pp. 69–84.



# Abstract

## Indoor Positioning with Refined Wi-Fi Fingerprint Matching and Environment-Resistive Signals

Duck Ju Kim

College of Computer Science & Engineering

The Graduate School

Seoul National University

As number of Wi-Fi APs inside buildings increases as well as smartphones has commercialized, researches about location-based services (LBSs) has drastically emerged. Therefore, Wi-Fi based indoor positioning techniques which can accurately estimate users' positions using existing Wi-Fi infrastructures are essential. However, instability of Wi-Fi signal propagations due to structure of buildings, stuffs or walking people inside buildings, and limitations of Wi-Fi design which is not optimized to indoor positioning make difficulties to accurate estimation.

Hence, Wi-Fi based indoor positioning can be used effectively in commercial LBSs still not appeared yet.

In this paper, I propose a new Wi-Fi based indoor positioning using a new Wi-Fi signal matching method and other signals which are robust to environmental changes inside the buildings. This method uses intuitions and insights from a study of characteristics of Wi-Fi signals and people's behavior indoors to address limitations of Wi-Fi based techniques. With this new method, users can find their destinations even in unfamiliar indoor environment, especially in large and open spaces.

**Keywords** : Indoor Positioning, Wi-Fi, BLE, Geomagnetism

**Student Number** : 2014-22680