



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

지자기 랜드마크와 PDR을 활용한
클라우드소싱 기반 WiFi 라디오맵
관리 기법

Crowdsourcing Based WiFi Radio Map
Management with Magnetic Landmark and PDR

2015년 8월

서울대학교 대학원
전기·컴퓨터공학부
김 병 훈

지자기 랜드마크와 PDR을 활용한 클라우드소싱 기반 WiFi 라디오맵 관리 기법

지도교수 권태경

이 논문을 공학석사학위논문으로 제출함

2015년 7월



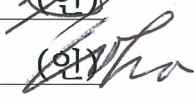
서울대학교 대학원

전기·컴퓨터공학부

김병훈

김병훈의 석사학위논문을 인준함

2015년 7월

위원장	신현식	
부위원장	권태경	
위원	전화숙	

초 록

모바일 디바이스를 이용하는 사용자들이 급격하게 늘어나면서 사용자의 위치나 상황에 알맞은 서비스를 제공하기 위한 위치 기반 서비스(LBS, Location Based Service)가 활발하게 연구되고 있다. 실외에서는 GPS 신호를 이용하여 신뢰성 있는 측위 서비스가 가능한 반면, 실내에서는 GPS 신호를 수신하기에 어려움이 있어, 다른 측위 자원들을 활용하여 측위를 수행한다.

WiFi 는 고속 무선통신을 위하여 많은 AP 들이 존재 실내에 많이 설치가 되어 있어서, 서비스 지역에서의 라디오맵을 수집하는 핑거프린팅(Fingerprinting) 기법을 활용할 경우 안정적인 성능을 보인다 [1][2]. 하지만, 시간이 지남에 따라 환경적인 요인에 의해서 신호의 특성이 변할 수 있기 때문에, 지속적으로 전체 서비스 지역의 라디오맵을 재수집하는 등의 관리가 필요하다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 클라우드소싱을 기반으로 WiFi 라디오맵을 지속적으로 관리하기 위한 시스템을 제안한다. 사용자들의 위치에서 관찰한 핑거프린트를 이용하여 라디오맵의 양상이 변하는 것을 감지하여 최종적으로 업데이트까지 수행한다. 사용자의 추정된 위치를 기반으로 라디오맵의 관리를 수행하기 때문에 라디오맵의 오염이 발생할 수 있다. 이러한 오염을 최소화하기 위해서 PDR 및 지자기 랜드마크 기법을 활용하여 신뢰성 있는 사용자 위치 추정을 할 수 있다.

주요어 : 실내측위, 클라우드소싱 기반 라디오맵 관리, WiFi 기반
실내측위, 지자기 랜드마크, PDR(Pedestrian Dead-reckoning)

학 번 : 2013-23103

목 차

제 1 장 서 론.....	8
제 1 절 연구의 배경.....	8
제 2 절 논문의 구성.....	13
제 2 장 WiFi 신호에 대한 분석.....	14
제 1 절 비컨 프레임.....	14
제 2 절 무선 신호 손실.....	14
제 3 절 문제 정의 및 해결.....	18
제 3 장 클라우드소싱 기반 라디오맵 관리 시스템.....	20
제 1 절 구조 및 시스템.....	20
1. 초기 라디오맵 구축.....	20
2. 클라이언트.....	21
3. 서버.....	23
제 2 절 측위 환경 변화 감지.....	23
4. AP 제거 감지.....	26
5. AP 변화 감지.....	27
제 3 절 랜드마크를 이용한 에러 보정.....	28
제 4 절 라디오맵 품질 추정.....	30
제 4 장 시스템 분석 및 평가.....	33
제 1 절 데이터 수집.....	33
제 2 절 시뮬레이션 설정.....	34
1. 초기 라디오맵 구축.....	34
2. 이동 및 센서 시뮬레이션.....	34
3. AP 추가/제거/변화 시뮬레이션.....	35
제 3 절 성능 평가.....	36

1. 랜드마크 효용성.....	36
2. AP 양상 변화 감지 성능.....	38
3. 라디오맵 품질 추정 성능.....	41
제 5장 결론.....	43
참고 문헌.....	44
Abstract.....	47

그림 목차

그림 1. 서울 삼성병원에서 서로 다른 시간에 같은 경로를 이동하면서 관찰한 지자기 세기.....	10
그림 2. 동일한 경로를 6 미터 거리를 두고 서로 다른 장비로 이동했을 때, 턴이 될 때까지의 경로 상에서 관찰된 지자기 값을 zero-mean 으로 나타낸 그래프.....	11
그림 3. 한 위치에서 하루동안 수집한 약 26000 개의 AP 샘플들의 스캔당 관찰된 AP 의 개수를 나타낸 PDF.....	15
그림 4. 서울역 지하철 내부 전체를 탐색하여 관찰된 각 채널별 AP 의 개수.....	16
그림 5. 한 위치에서 하루동안 관찰한 특정 AP 의 스캔에 따른 신호 양상 (평균 53.587, 표준편차 3.158).....	17
그림 6. 클라이언트 개괄 구조.....	21
그림 7. 클라우드소싱 서버 개괄 구조.....	23
그림 8. 시뮬레이터를 통해 서울대입구역에서 300 명이 10 분씩 WiFi 측위를 수행했을 때의 에러 거리 CDF.....	24
그림 9. <i>Distance score</i> 의 예.....	31
그림 10. <i>DTW Score</i> 의 예.....	32
그림 11. 지자기 랜드마크를 이용하여 보정을 한 경우와 보정을 하지 않은 경우의 결과.....	36

그림 12. 지자기 랜드마크의 정확도 CDF	37
그림 13. 서비스지역에서 10 분 동안 각기 다른 사용자 수에 따른 실내측위 정확도 (각 환경 5 회 시행의 평균)	38
그림 14. 각 환경에서 그리드 별 방문 횟수를 비교한 그래프	39
그림 15. 서로 다른 라디오맵을 이용하여 추정된 라디오맵 품질 점수(<i>Distance Score</i> , <i>DTW Score</i>)들과 실제 WiFi 핑거프린팅 측위 오차와의 상관 관계.....	41

수식 목차

수식 1. 라디오맵 구성 방식.....	21
수식 2. 그리드에서 핑거프린트 샘플 횟수를 기준으로 확률 p 이상 관찰 가능한 AP 추가하기 위한 조건.....	25
수식 3. n 번 연속 보이지 않을 확률 k 를 만족하는 최소 n 값.....	26
수식 4. 사용자들이 전달한 특정 AP 의 평균을 라디오맵의 핑거프린트 신뢰구간을 기준으로 변화 감지를 수행하기 위한 조건.....	27
수식 5. 랜드마크 맵의 구성 방식.....	29

표 목차

표 1. 라디오맵 품질을 추정하기 위한 제안하는 2 가지 지표.....	30
---	----

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경

최근 스마트폰의 활발한 보급에 힘입어 많은 사용자들이 모바일 디바이스를 소지하게 되었고, 이에 힘입어 사용자에게 편의를 제공하는 다양한 응용에 대한 수요 또한 증가하고 있다. 이러한 응용 중 하나로 사용자의 위치에 기반하여 각종 서비스를 제공하는 위치 기반 서비스(LBS, Location Based Service)를 들 수 있는데, 위치 기반 서비스를 제공하기 위해서는 스마트폰에 탑재된 여러가지 센서를 분석하여 사용자의 위치를 추정하는 측위 기술(Localization)의 개발이 필수적이다.

일반적으로 실외 공간에서는 인공위성에서 주기적으로 마이크로파를 송출하고, 이를 GPS 수신기에서 전달받아 삼각측량법을 수행하는 방식으로 사용자 위치를 쉽게 추정할 수 있다. 그러나 실내 공간에서는 위성이 송출하는 GPS 신호를 전달받을 수 없거나 위치를 추정하기에는 전달 받은 정보가 충분하지 않아 GPS 를 통한 측위를 수행할 수 없다. 따라서 최근 몇년 간 대부분의 시간을 실내 공간에서 보내는 스마트폰 사용자들에게 GPS 신호를 사용하지 않고도 위치 기반 서비스를 제공할 수 있도록 하는 실내 측위 기술의 연구 및 개발이 활발하게 이루어져 왔다.

실내 측위에 사용 가능한 다양한 측위 자원들 중에 가장 활발히 연구 개발이 이루어진 것은 WiFi 신호이다. 실내 공간에는 WiFi 에 기반한 무선 통신을 지원하기 위한 수많은 AP(Access Point)들이 존재하고 이

AP 들은 일반적인 경우 100ms 마다 주기적으로 비컨 프레임(Beacon frame)을 송출하기 때문에, 단말에서 이 비컨 프레임을 감지함으로써 AP 의 존재를 알 수 있다. 또한 단말에서 비컨 프레임에 적힌 정보를 이용하여 AP 들의 신호 양상을 알 수 있다.

이러한 특성에 기반해 실내 측위에 많이 이용하는 방식으로 핑거프린팅(Fingerprinting) 기법이 있다 [1]. 이 기법은 사전 단계(Offline phase)에서 서비스 대상 공간 내의 위치들을 작은 공간(이하 그리드, Grid)로 분할하고 관찰되는 AP 별 신호 세기를 저장하여 그 지역을 대표하는 지문(Fingerprint)들로 구성된 라디오맵을 생성한다. 온라인 단계(Online Phase)에서는 서비스를 제공받을 사용자가 관찰한 AP 들의 양상과 사전 단계에서 수집해놓은 라디오맵 상에서 가장 유사한 위치를 최종 사용자의 위치로 추정하는 기법이다.

WiFi 기반 실내 측위 방식에는 몇 가지 문제점들이 있다. 첫 번째로, 사용자가 수신하는 WiFi 의 신호의 세기(RSS, Received Signal Strength)신호 세기가 안정적이지 않아 오차가 발생한다. 더불어 시간이 흐름에 따라 서비스 대상 공간 내의 환경이 변하면서 신호 특성이 바뀌게 된다. 예를 들면, WiFi AP(Access point)는 설치, 철거가 간편하여 지속적으로 새로운 신호가 발견이 되고 기존의 관찰되던 신호가 제거되는 등의 현상이 자주 발생할 수 있다. 또한, 건물 내의 환경이 변하거나 안테나의 위치, 방향이 변하는 등의 환경이 변할 경우 측위의 오차를 높이는 영향을 줄 수 있다. 이러한 주변 환경의 변화로 인해서 기존의 사전 단계에서 수집해놓은 정보가 노후화되면서 측위가 부정확해지는 한계를 가지고 있다 [3].

WiFi 이외에도 단말에서 탑재하고 있는 다양한 측위 자원들로 가속도계, 자이로스코프, 지자기 센서, 블루투스, 셀룰러 신호 등이 있다.

가속도계, 자이로스코프, 지자기 센서를 활용하여 유저의 이동 방향, 속도를 지속적으로 추정하는 방식인 PDR(Pedestrian Dead-reckoning) 기법이 있다. 이 기법은 사용자의 이전 상태들과 관찰된 센서들의 정보들을 기반으로 현재 위치를 추정하는 방식이다 [4][5][6]. 각 센서에서 단위 시간 동안 많은 관측한 값들을 전달해주기 때문에 짧은 주기로 사용자의 위치를 추정할 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 이 기법은 단말에서 측정하는 모듈 자체가 가지는 관측 에러로 인해서 사용자의 위치를 지속적으로 추정하다 보면 에러가 누적되어 실제 위치와의 오차가 늘어난다는 한계가 있다.

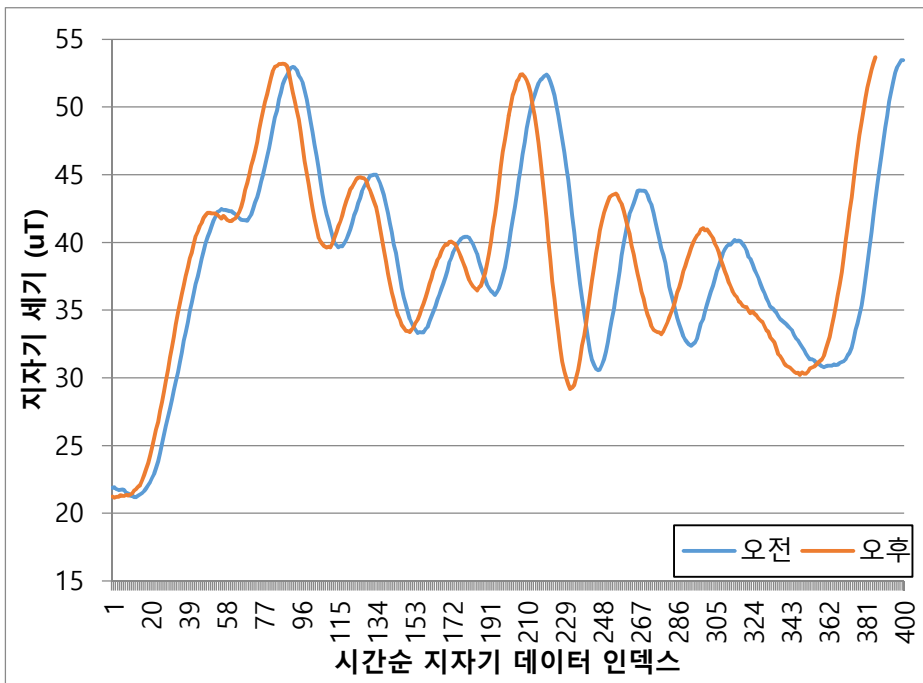


그림 1. 서울 삼성병원에서 서로 다른 시간에 같은 경로를 이동하면서 관찰한 지자기 세기

지자기 센서를 이용하여 경로상의 지자기 패턴 유사도 비교를 통한 유저의 위치를 추정하는 방식이 있다 [7][8]. 실외에서는 지자기가 정북 방향을 가리키는 것이 일반적이지만, 실내 환경에서는 건물의 철골이나 자성을 띠는 물체들에 의해서 위치마다 다른 패턴의 지자기 형태를 띄게 된다. 따라서 오랜 시간이 지나더라도 비슷한 지자기 양상을 보이게 된다. 그림 1 은 동일한 경로를 서로 다른 시간에 이동하면서 관찰한 지자기 세기를 나타낸 것이다. 많은 시간이 지나도 비슷한 패턴을 띠는 특성이 있으며 샘플링 되는 지자기의 개수가 초당 수십에서 수 백 개가 된다는 장점이 있다. 또한, 그 지점과 일정한 거리에 떨어지더라도 비슷한 지자기 패턴을 보인다는 특성이 있다.

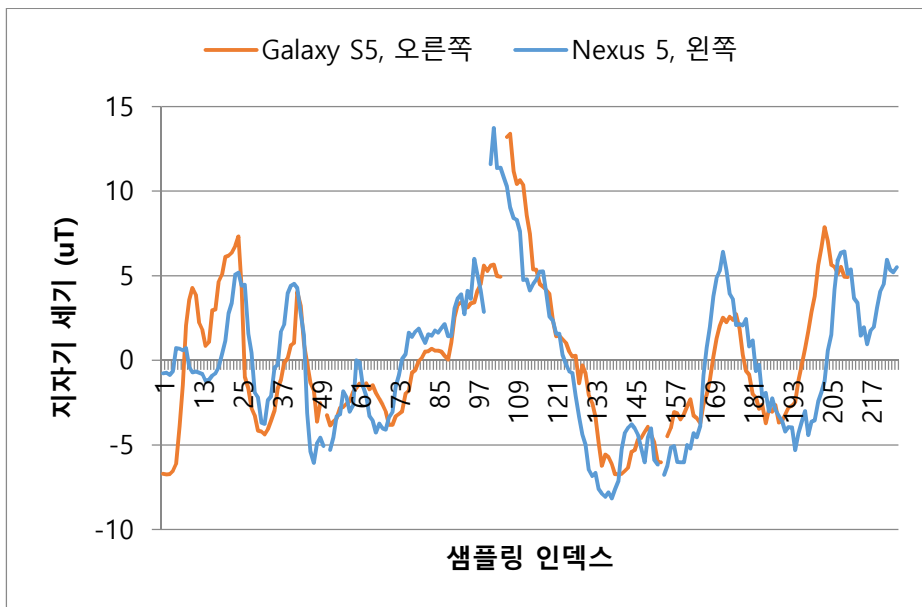


그림 2. 동일한 경로를 6 미터 거리를 두고 서로 다른 장비로 이동했을 때, 턴이 될 때까지의 경로 상에서 관찰된 지자기 값을 zero-mean 으로 나타낸 그래프

하지만 지자기 센서 자체가 오염에 취약해서 강한 자성을 띠는 물체에 노출되면 부정확한 값으로 관측되게 된다.

기존 연구에서 블루투스 노드, RFID 등의 추가적인 장비를 서비스 지역에 설치하여 측위 오류를 줄이는 시도가 있었다 [9][10][11]. 이러한 방식은 측위 오류를 줄이는데 효과적일 수 있으나, 추가적인 장비를 설치하는데 드는 비용이 존재한다는 단점이 있다.

본 논문에서는 WiFi 기반 측위 방식이 가지는 한계점인 측위 대상 공간의 환경이 변하면서 WiFi 신호 양상이 지속적으로 변하면서 측위가 부정확해지는 문제를 해결하기 위해 다양한 측위 자원을 활용한 크라우드소싱(Crowdsourcing) 기법을 제안한다. WiFi 측위에 기반이 되는 라디오맵을 이용하여 사용자가 측위 서비스를 수행하고, 사용자가 서비스를 받기 위해 관찰한 WiFi 신호 양상을 활용하여 지속적으로 라디오맵을 상황에 맞게 변화시키는 방식을 제시한다.

추정된 위치를 기반으로 신호 변화를 감지하기 때문에 고도화된 측위 방식이 수반되어야 한다. 추가적인 PDR 을 이용한 보정을 통해서 사용자의 위치를 짧은 주기로 사용자의 위치를 정확하게 추정하는 것이 가능하다. 또한, 연속적인 지자기 값들을 이용해 정확한 위치를 식별하는 랜드마크(Landmark)로 활용하여, 부정확한 위치에서 라디오맵을 업데이트하면서 발생하는 오염을 최소화 할 수 있다. 이러한 복합적인 센서를 활용한 크라우드소싱 기반 라디오맵 관리를 통해 기존의 시간의 흐름에 따라 달라진 환경에 의해 라디오맵의 품질이 저하되는 것을 효과적으로 대응할 수 있다.

제 2 절 논문의 구성

제 2 장에서는 실내 공간에서 측위에 성능에 영향을 줄 수 있는 WiFi 신호에 대한 분석에 대해 설명한다. 제 3 장에서는 WiFi 기반 측위 방식이 가지는 한계를 극복하기 위한 구체적인 클라우드소싱 기법에 대한 설명을 한다. 제 4 장에서는 논문의 결과와 향후 연구 방향에 대해 논한다.

제 2 장 WiFi 신호에 대한 분석

제 1 절 비컨 프레임

비컨 프레임은 일반적으로 AP 에서 100ms 마다 주기적으로 무선 네트워크의 정보를 알리는 방송 프레임(Advertising frame)이다. 비컨은 기본적으로 타임스탬프, 비컨 주기(Beacon Interval), SSID(Service Set Identifier), 지원되는 대역폭(Supported rate) 등의 AP 를 이용하기 위한 정보들을 담고 있다 [12]. 이와 더불어 WiFi 수신기에서 비컨 신호를 받을 때의 신호 세기(RSS, Received Signal Strength)를 알려준다. 각 AP 의 신호세기는 WiFi 기반 실내 측위에서 필수적인 지표로 사용되고, 서비스 공간 내의 지역들에서 특징적인 신호 양상을 띄게 하는 요소이다.

제 2 절 무선 신호 손실

무선 신호는 통신 매체의 특성상 신호의 손실이 자주 일어난다. 송신기와 수신기 사이의 거리가 멀어질수록 페이딩(Fading) 현상으로 신호의 세기가 약해지게 되고 노이즈가 더 많이 발생하게 된다. WiFi 기반 실내 측위에서는 비컨 신호의 RSS 정보를 이용하기 때문에 특정 위치에서 관찰되는 AP 들의 신호 양상 자체가 측위에 이용되므로, 신호가 감쇄되는 현상에 의해 품질이 떨어진다고 생각하지 않을 수 있다.

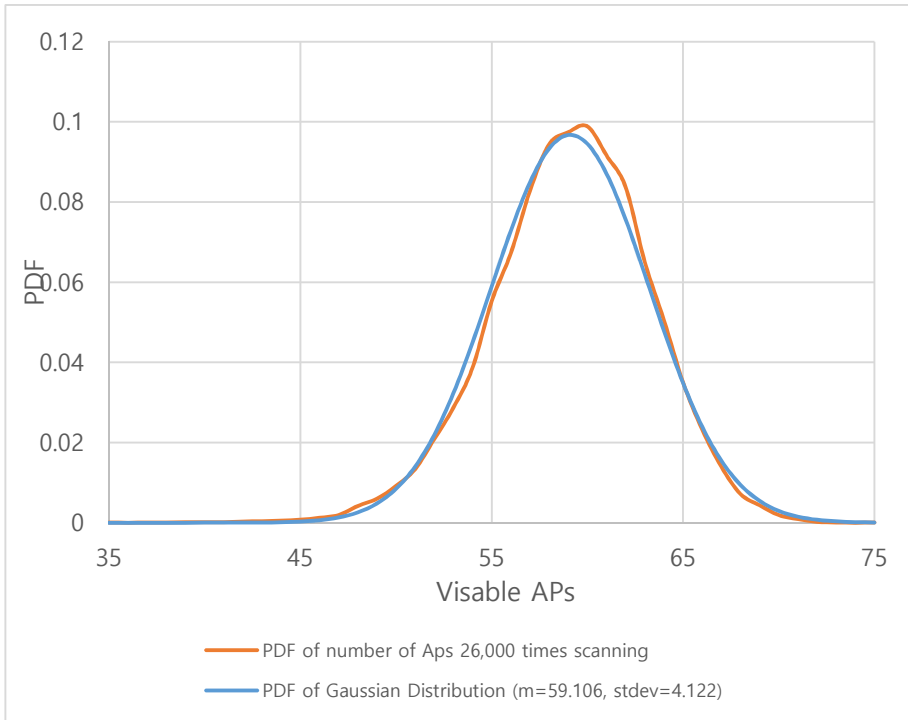


그림 3. 한 위치에서 하루동안 수집한 약 26000 개의 AP 샘플들의 스캔당 관찰된 AP 의 개수를 나타낸 PDF

하지만, 비컨 신호의 세기가 약한 경우 수신기 입장에서 노이즈로 인지하는 캡처 효과(Capture effect)가 발생한다. 이러한 경우 실제로는 같은 위치에서 관찰되어야 하는 신호인데도 불구하고 일정 스캐닝을 수행하는 도중에 관찰이 되지 않는 현상이 발생한다 [13]. 그림 3 은 한 위치에서 하루 동안 약 26000 번의 AP 스캐닝을 수행했을 때 각 스캔마다 관찰된 AP 의 수를 PDF 로 나타낸 것이다. 평균 59.106, 표준편차 4.122 인 정규분포와 비교했을 때 거의 비슷한 양상의 그래프를 띄는 것을 확인 할 수 있다. 이를 통해 관찰되는 AP 의 수는 정규분포로 예측할 수 있다는 것을 알 수 있다.

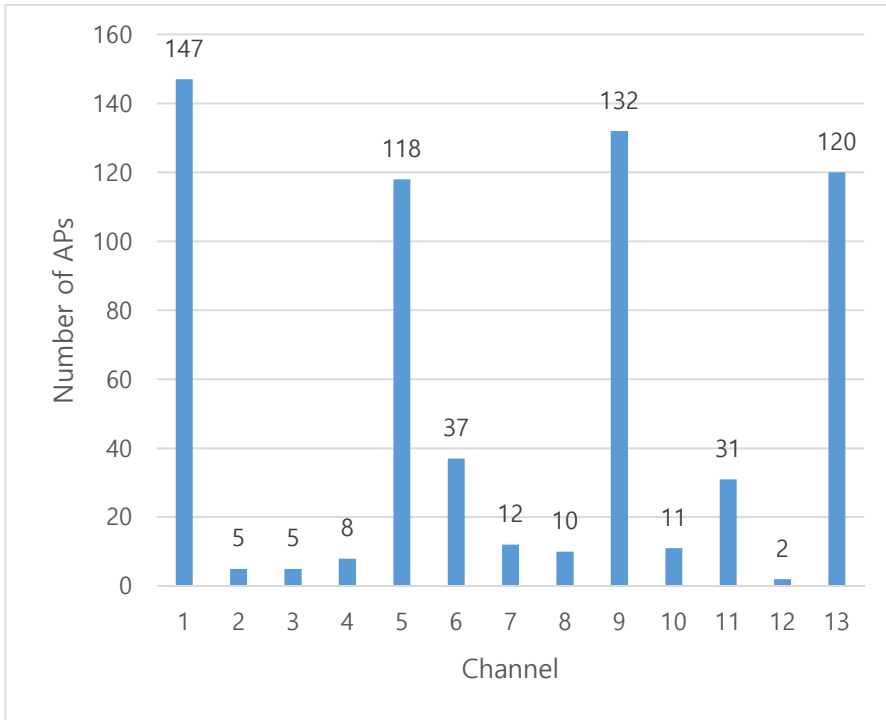


그림 4. 서울역 지하철 내부 전체를 탐색하여 관찰된 각 채널별 AP의 개수

WiFi의 표준인 802.11b/g/n이 이용하는 2.4GHz 대역에서 채널 간의 간섭을 최대한 줄이기 위해서 우리나라에서는 1, 5, 9, 13 번의 주요 채널을 이용할 것을 권장하고 있다. 그림 4는 지하철 서울역의 대부분의 공간에서 수집한 각 채널별 관찰된 AP들의 개수이다. 그림에서 채널 간의 간섭을 피하기 위해서 주요 채널들을 이용했다는 것을 알 수 있다. 하지만, 각 주요 채널마다 많은 AP들이 존재하기 때문에 채널 내의 각 AP 간의 신호 간섭이 심해진다. 따라서 비컨 신호 캡처 효과에 의해서 관찰되지 않을 확률이 더 높아지게 된다.

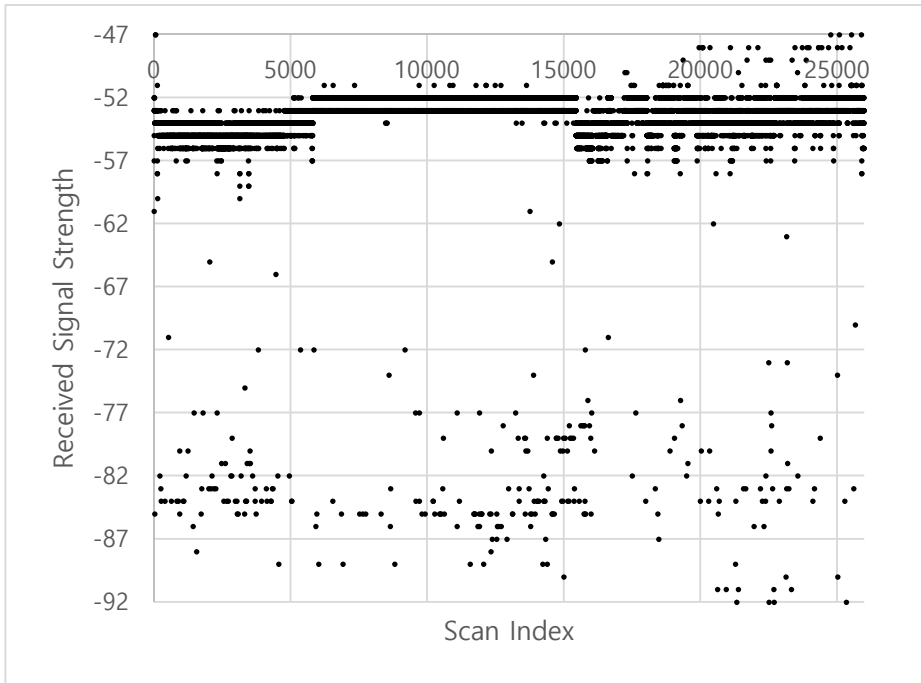


그림 5. 한 위치에서 하루동안 관찰한 특정 AP 의 스캔에 따른 신호 양상 (평균 53.587, 표준편차 3.158)

그림 5 는 하루 동안 관찰한 스캐닝 샘플들 중에서 하나의 특정 AP 의 신호 세기를 시간 순서대로 나타낸 것이다. 주변의 간섭이나 사람의 활동이 없는 새벽부터 아침까지인 약 6000~15000 사이의 스캔 인덱스에서는 거의 신호세기가 일정한 반면, 사람들이 활동하는 시기에는 평균을 기준으로 변동폭을 가지고 있다. 가끔 RSS 가 환경의 영향을 받지 않고도 평균적으로 나타나는 신호 양상에서 많이 벗어나는 경우도 발생한다. 수집된 RSS 는 평균 53.587, 표준편차 3.158 정도로 관찰되었고, 신호가 지속적으로 불안정하게 요동치는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 사용자가 관찰한 AP 신호가 오차가 존재하기 때문에 관찰 당시의 AP 양상을 부정확하게 표현한다.

제 3 절 문제 정의 및 해결

제 2 절에서 논하였던 무선 신호들 간의 간섭으로 인한 비컨 신호 손실로 인해서 사용자는 존재하는 모든 AP 들 중 몇 개의 정보를 손실하게 된다. 또한, 전달 받은 WiFi 핑거프린트 정보가 가지고 있는 오차로 인해서 이 정보를 완전히 신뢰할 수 없다. 따라서, 제안하는 클라우드소싱 기반 라디오맵 관리 기법에서 AP 정보가 추가/제거/변경되는 이벤트를 확률적으로 접근하여 라디오맵의 변화 양상을 감지하고 업데이트를 수행한다.

사용자의 위치로 추정되는 지점에서 관찰한 WiFi 핑거프린트를 기준으로 라디오맵을 갱신하기 때문에, 추정된 위치가 가지고 있는 불확실성으로 라디오맵의 오염을 일으킬 수 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 위치를 항상 신뢰성 있게 알아낼 수 있는 랜드마크를 이용한다. 지자기 정보는 사용자 단말에서 3 개의 축으로 표현이 되고 초당 많은 샘플을 관찰할 수 있다. 또한, 일정한 경로를 움직였을 때 비슷한 지자기 패턴을 띄게 된다. 따라서 이러한 장점들을 활용하여 지자기를 랜드마크로 활용하여 클라우드소싱 과정에서 생기는 오류를 보정한다.

서비스 전지역을 라디오맵으로 관리할 경우 데이터의 양이 방대해지기 때문에 가장 유사한 위치를 추정하기 위해서 라디오맵을 검색하는데 드는 비용이 많이 든다. 또한, 핑거프린팅 기법 자체가 안정적으로 사용자의 대략적인 위치를 추정할 수는 있지만, 정확하지 않아서 좁은 간격으로 핑거프린트 맵을 구축하더라도 더 좋은 성능을 기대하기 힘들다. 따라서, 계산 시간의 편이와 더불어 측위 성능의

향상을 위해서 서비스 지역 내의 공간에 대해서 그리드로 분할하고, 각 그리드 내에 존재하는 핑거프린트를 융합하여 그리드를 대표하는 하나의 핑거프린트로 구축한다. 이를 통해 주변 환경에 따라 쉽게 변하는 WiFi 신호세기를 더 신뢰할 수 있는 값으로 만들 수 있다.

제 3 장 클라우드소싱 기반 라디오맵 관리 시스템

제 1 절 구조 및 시스템

본 절에서는 클라우드소싱 기반 라디오맵 관리를 위한 시스템에 대해서 개괄하도록 한다. 크게 클라이언트, 서버 부분으로 나뉜다.

클라이언트는 측위를 수행하기 위해 WiFi 핑거프린팅 기반 측위를 수행하고, 관성 센서(자이로스코프, 가속도계)와 지자기 센서를 활용한 PDR 을 통해서 사용자의 위치를 지속적으로 추적하고, 지자기 센서에서 연속적으로 관찰되는 패턴을 분석하여 랜드마크를 확인한다.

서버에서는 사용자들이 전달한 WiFi 핑거프린트 정보에 기반하여 추가/제거/변화된 AP 들에 대한 처리를 수행하여 라디오맵을 지속적으로 보수한다. 또한, 라디오맵의 품질을 추정하여 새로운 라디오맵을 점수화한다.

1. 초기 라디오맵 구축

측위를 위한 초기 라디오맵은 다음과 같이 구성한다. 수식 1 에서 M 은 서비스 지역의 라디오맵이고, F 는 각 n 개 그리드를 대표하는 핑거프린트이다. 또, 각 핑거프린트 F 는 그리드의 위치 P 에서 관찰된 m 개의 AP 의 RSS 를 의미한다.

수식 1. 라디오맵 구성 방식

$$M = \{F_1, F_2, \dots, F_{n-1}, F_n\}$$

$$F = (P, R)$$

$$P = (x, y), \quad R = (RSS_1, RSS_2, \dots, RSS_m)$$

2. 클라이언트

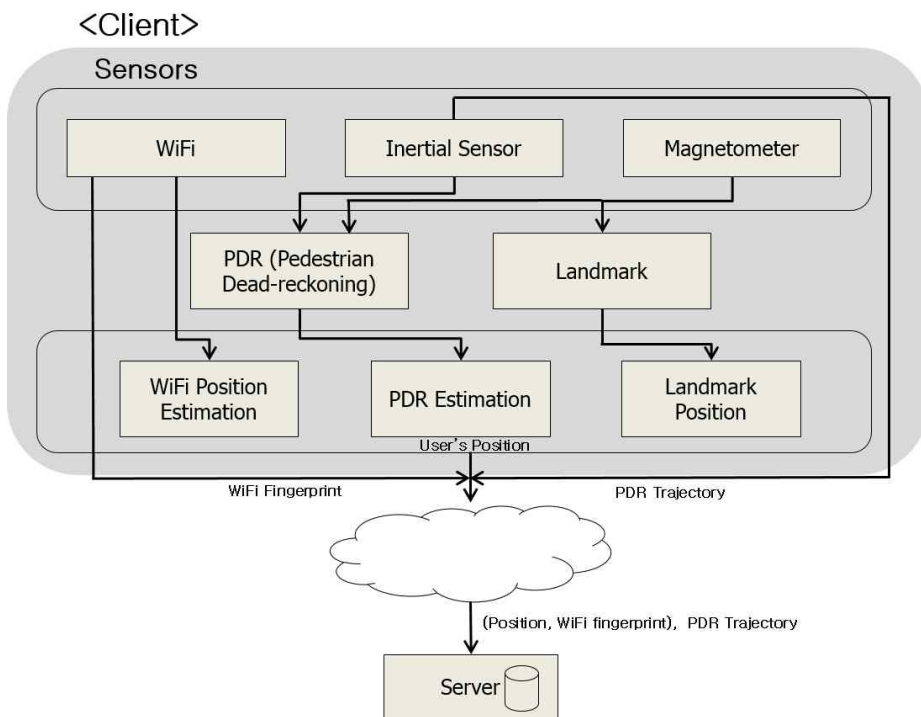


그림 6. 클라이언트 개괄 구조

그림 6 는 클라이언트의 전체적인 모듈들을 나타낸 것이다. 기본적으로 WiFi 스캐닝 결과를 이용하여 WiFi 핑거프린트를 이용한 측위를 지속적으로 수행한다 [1].

WiFi 의 경우 스캐닝 주기가 길어서 (일반적인 2.4/5GHz 를 지원하는 안드로이드 스마트폰의 경우 약 3~4 초 소요) 측위 주기가 길어진다는 단점이 있다 [15]. 이러한 기술적 단점을 보완하기 위하여, 관성 센서의 가속도계를 이용해 사용자의 스텝을 감지하고 [4], 지자기 센서를 통해서 사용자의 방향을 설정하고, 자이로스코프를 이용하여 사용자의 방향 전환을 감지한다 [16]. 이러한 PDR 기술을 이용하면 짧은 주기로 사용자의 위치를 지속적으로 추정할 수 있다. 더불어 PDR 을 이용한 위치 정보가 서버로 전달되어 라디오맵의 측위 품질을 추정하는데 사용된다. 관련된 내용은 제 3 절에서 설명한다.

측위의 정확도를 높이기 위하여 지자기 랜드마크를 이용한다. 연속적으로 관찰되는 지자기 정보를 이용하여 사용자가 방향 전환을 하기 전까지의 직선 경로가 충분히 긴 경우 (본 논문에서는 약 15 미터를 기준으로 함), 관찰된 지자기 랜드마크 맵에 존재하는 가장 유사한 위치를 사용자의 위치로 추정한다. 랜드마크로 보정된 시점 근처에서 관찰된 Fingerprint 는 보정하고 보정하였다는 마크를 하여 서버로 전달하도록 한다. 랜드마크와 관련한 상세는 제 4 절에서 자세히 설명한다.

최종적으로, 관찰한 WiFi 핑거프린트와 함께 서버에서 라디오맵 품질을 추정하는데 필요한 PDR 경로를 같이 서버로 보낸다. 품질 추정과 관련한 상세는 제 4 절에서 설명한다.

3. 서버

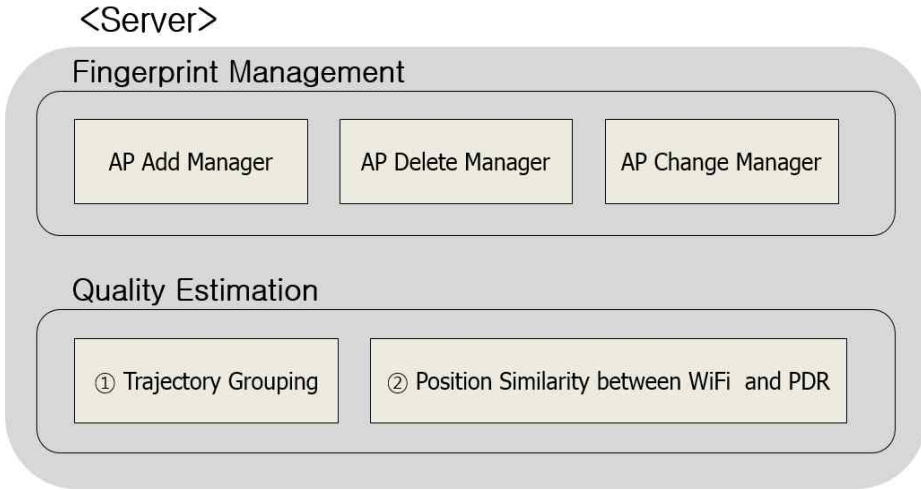


그림 7. 클라우드소싱 서버 개괄 구조

그림 7는 클라우드소싱 서버의 모듈들을 나타낸 것이다. 핑거프린트 관리 모듈에서는 사용자들로부터 전달받은 핑거프린트 정보를 이용하여 라디오맵의 보수를 수행한다. 관련한 상세는 제 2 절에서 설명한다.

변화된 라디오맵의 품질을 추정하여 점수화하기 위해서 품질 추정 모듈을 이용한다. 관련한 상세는 제 4 절에서 설명한다.

제 2 절 측위 환경 변화 감지

본 절에서는 새로운 AP 의 추가 감지, 기존에 존재하던 AP 의 철거 감지, 기존의 AP 의 신호세기가 일정 이상 변화를 감지 하는 방식을 확률적인 접근을 통해 신뢰성 있게 예측하는 방식을 제시한다.

WiFi 측위 성능이 신뢰할 만큼 좋은 경우, 사용자들이 WiFi 측위를 수행하기 위해 관찰한 핑거프린트를 이용할만하다.

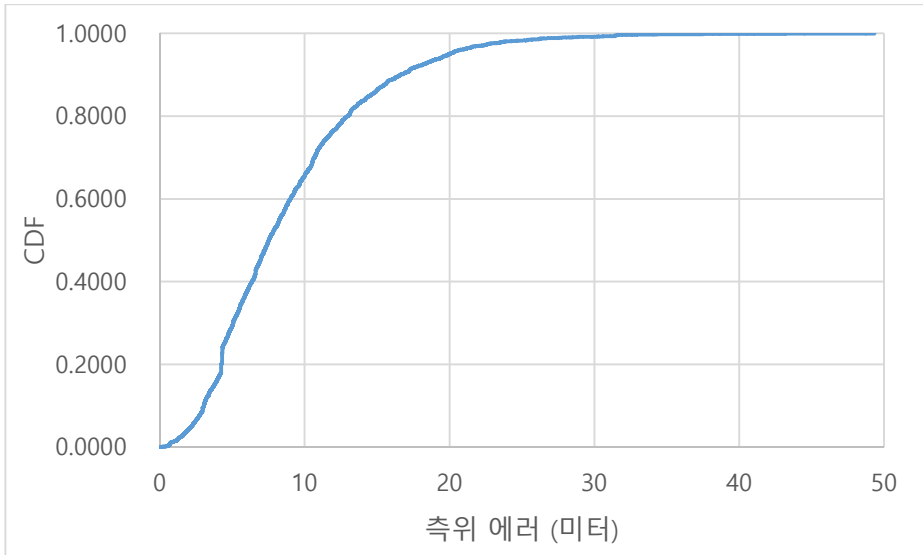


그림 8. 시뮬레이터를 통해 서울대입구역에서 300 명이 10 분씩 WiFi 측위를 수행했을 때의 에러 거리 CDF

그림 8 은 서비스 지역에서 300 명이 각자 10 분 동안 WiFi 측위를 시뮬레이터로 수행했을 때 AP 의 측위 에러를 CDF 로 나타낸 그래프이다. 한 그리드가 약 5 미터 정도라고 할 때, 자신의 그리드를 정확하게 찾은 것은 약 6.42% 정도이다. 따라서 WiFi 측위만으로 관찰된 핑거프린트를 라디오맵을 보정하는데 이용하게 되면 오히려 라디오맵이 더 오염하는 결과를 낳을 수 있다. 따라서, 사용자의 위치로 특정할 수 있는 지자기 랜드마크에서 관찰된 핑거프린트만을 이용해 보정한다.

사용자의 추정된 위치에서 관찰된 WiFi 핑거프린트의 특정 AP 가 해당 지역에서 새로운 AP 로 관찰되었다면 새롭게 추가된 AP 이다.

하지만, 특정 그리드에서 샘플한 횡수에 비해 관찰된 횡수가 적은 AP 의 경우에 일반적으로 관찰 횡수가 적은 AP 는 신호의 세기가 약하기 때문에 거리를 구분하기에 적절하지 못하고 [14], 관찰될 확률이 낮을수록 실제로 측위를 수행할 때 상대적으로 관찰이 적게 되기 때문에 측위에서 중요도가 떨어진다. 또한, 이동형 무선 AP 는 잠시 보이고 사라지는 AP 는 측위에 부적절하기 때문에 노이즈로 취급하여 필터링 할 필요가 있다.

수식 2. 그리드에서 핑거프린트 샘플 횡수를 기준으로 확률 p 이상 관찰 가능한 AP 추가하기 위한 조건

$$f(c_{AP_{g,i}}) = \begin{cases} add, & \text{if } c_{AP_{g,i}} \geq |F_g| \times p, \\ drop, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

수식 2 는 해당 조건에 만족하는 AP 를 라디오맵에 추가하는 방식을 나타낸다. 특정 그리드(g)에서 핑거프린트가 샘플된 횡수($|F_g|$)를 기준으로 AP 가 관찰된 횡수($c_{AP_{g,i}}$)가 확률 p 보다 큰 경우에 추가한다. 이를 통해, 짧은 시간 동안 관찰되는 이동형 AP 를 제거할 수 있고, 확률 p 값을 통해 관찰 횡수가 적은 AP 들을 필터링하여 측위의 유리함과 더불어 라디오맵의 크기를 줄일 수 있다.

4. AP 제거 감지

제 2 절에서 설명한 무선 신호의 손실로 인해서, 단말에서 AP 의 비컨 신호를 전달받지 못하는 현상이 발생한다. 이러한 환경적인 문제를 고려하였을 때, 사용자의 위치에서 전달된 AP 의 정보들 중 보이지 않은 AP 들을 신뢰성있게 제거하기 위하여 확률적인 접근이 필요하다.

특정 그리드에서 전체 AP 스캐닝 횟수 중 특정 AP 가 몇 번 관찰되었는지 알 수 있다. 이것을 확률로 나타내 그리드에서 AP 가 관찰될 확률이 이것을 따른다고 가정한다. 이 때, AP 의 관찰될 확률을 p_{AP_i} , 연속 스캐닝 횟수를 n_{AP_i} , n_{AP_i} 번 연속 관찰되지 않을 확률을 k 라고 할 때 수식 3 의 조건으로 표현할 수 있다.

수식 3. n 번 연속 보이지 않을 확률 k 를 만족하는 최소 n 값

$$f(c_{AP_i}) = \begin{cases} delete, & \text{if } c_{AP_i} \geq n_{AP_i}, \text{ where } \arg \min_{n \in \mathbb{R}} ((1 - p_{AP_i})^{n_{AP_i}} \leq k) \\ keep, & \text{otherwise} \end{cases}$$

수식 3 에 따라서 연속으로 관찰되지 않은 AP 의 횟수(C_{AP_i})가 n_{AP_i} 보다 많은 경우, 기존의 라디오맵에 존재하는 AP_i 를 제거한다.

5. AP 변화 감지

특정 AP 가 환경의 변화로 기존과는 다른 신호 양상을 보일 수 있다. 예를 들면, 건물 내부의 구조물이 변하거나 사람이 영향을 준다거나 AP 안테나의 방향이 변하는 등의 변화가 이러한 요인이 될 수 있다. 이 경우 AP 는 달라진 양상을 인식하여 업데이트가 필요하다.

사용자들의 위치에서 전달된 핑거프린트의 특정 AP 의 신호가 라디오맵 상에서의 AP 의 신호 양상 대비 이상점(Outlier)으로 판단하기 위해서 신뢰도 수식을 활용한다. 특정 라디오맵에 존재하는 그리드 상의 특정 AP(i)의 평균(m_i), 표준편차(σ_i), 샘플 횟수(n_i)를 이용하여 신뢰구간을 정하고, 사용자들이 전달한 핑거프린트 스캐닝 결과로부터 구한 AP 들의 평균(m_{ui})을 구한다. 수식 4 와 같이 사용자들이 관찰한 AP 들의 평균이 신뢰구간을 벗어나는 경우 AP 의 양상이 변화되었다고 감지할 수 있다.

수식 4. 사용자들이 전달한 특정 AP 의 평균을 라디오맵의 핑거프린트 신뢰구간을 기준으로 변화 감지를 수행하기 위한 조건

$$f(m_{u,AP_i}) = \begin{cases} \text{unchange, if } m_{AP_i} - Z \frac{\sigma_{AP_i}}{\sqrt{n_{AP_i}}} \leq m_{u,AP_i} \leq m_{AP_i} + Z \frac{\sigma_{AP_i}}{\sqrt{n_{AP_i}}} \\ \text{change, otherwise} \end{cases} .$$

제 3 절 랜드마크를 이용한 에러 보정

제 2 절에서 AP 의 추가/제거/변화를 감지할 때 측위된 사용자의 위치를 신뢰한다고 가정하고 AP 양상 변화를 감지하였다. 하지만, 실제로 서비스를 할 때는 사용자의 측위된 위치는 실제 사용자의 위치와 오차가 있어서 라디오맵을 오염시킬 우려가 있다. 또한, PDR 은 시간이 갈수록 에러가 점점 누적되는 현상이 있어서 라디오맵 오염을 가속화시킬 수 있다.

이러한 측위 에러를 보정하여 오염을 최소화 시키기 위해서 지자기 랜드마크를 활용한다. 지자기 센서는 세 축의 벡터만을 전달해주고, 초당 수 개에서 수십 개까지 얻을 수 있다. 따라서 연속적인 지자기 값의 패턴을 분석하기에 적합하고, 비슷한 형태의 벡터가 서비스 지역에 많이 존재한다는 한계를 연속적인 지자기 패턴을 통해서 극복할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 사용자가 수집된 경로의 지자기 패턴과 수 미터 떨어진 지점에서 비슷하게 이동하더라도 비슷한 지자기 양상을 보이기 때문에 사용자가 존재하는 그리드의 위치를 신뢰성 있게 찾을 수 있다.

본 논문에서는 지자기를 랜드마크로 사용하기 위해서 사용자들이 자주 이동하는 경로를 간선으로 표현하고 간선 상의 지자기 패턴을 저장하여 지자기 랜드마크 맵을 구성한다. 간선의 길이를 설정할 때 너무 짧게 잡으면 비슷한 패턴이 랜드마크 맵상에 많이 존재할 수 있고, 너무 길게 잡을 경우 정확하게 위치를 찾을 수는 있으나 랜드마크가 측위 오류를 보정하는데 자주 관여하지 못한다는 문제가 존재한다. 본

논문에서는 직선 길이 20 미터 이상이 되는 가능한 간선들을 데이터베이스로 구축하여 저장한다.

수식 5 는 랜드마크 맵의 구성 방식으로 랜드마크 맵 L 은 i 개로 구성된 두 좌표 a, b 사이의 간선 l 과 지자기 세기(s)의 패턴을 나타낸 S 로 표현된다.

수식 5. 랜드마크 맵의 구성 방식

$$L = (l_i, S_i)$$
$$l_i = (x_a, y_a, x_b, y_b), \quad S_i = (s_1, s_2, \dots, s_{m-1}, s_m)$$

실제 서비스할 때 사용자가 관찰한 지자기 패턴을 지자기 랜드마크 맵에 매칭해보는 시점을 정하는 것이 문제가 된다. 사용자가 직선으로 이동하다가 (자이로스코프 센서를 통해) 사용자의 방향 전환이 감지되었을 때, 지자기 랜드마크 추정을 하게 된다. 만약 PDR 로 추정된 사용자의 이동거리가 사전에 구축한 랜드마크 맵의 간선길이와 비교해 매칭하기에 충분한 경우에는 패턴 매칭을 위해서 DTW(Dynamic Time Warping) 알고리즘을 수행한다 [17][18]. DTW 알고리즘은 시간이나 속도에 따라 변하는 데이터 간의 유사도를 측정할 수 있다. 이 알고리즘을 통해서 가장 유사한 위치를 사용자의 최종 위치로 추정한다. 비슷한 길이를 가지는 랜드마크 맵 내의 가능한 모든 간선에 대해서 유사도를 측정 후, 가장 유사한 위치를 사용자의 위치로 추정한다. 만약에 가장 비슷하다고 알려진 유사도 점수가 정해진 수준이 되지 않을 경우, 랜드마크가 아니라고 판단한다.

제 4 절 라디오맵 품질 추정

라디오맵이 만들어진 알고리즘과 모듈들에 의해서 새롭게 구성되기 때문에, 생성된 라디오맵의 품질을 수치화하는 것이 필요하다. 이러한 기능을 통해서 품질이 오히려 나빠지는 등의 문제가 발생했을 때, 수치화된 품질 점수를 통해서 다시 과거의 라디오맵으로 회귀할 수 있다. 본 논문에서는 라디오맵의 품질을 수치화하는 것을 다시 정의하면 WiFi 측위 위치의 정확도를 구하는 것으로 나타낼 수 있다.

사용자가 연속적으로 측위 서비스를 이용할 때 나타난 PDR 경로를 기준으로 경로를 구분한다. 예를 들면, 오전에 한번 일정시간 측위 서비스를 사용한 사용자가 오후에 한번 더 측위서비스를 이용할 경우, 해당 사용자의 PDR 경로는 2 개로 나눌 수 있다. 이렇게 나뉜 PDR 이동 경로를 단위로 WiFi 로 측위된 결과와의 관계를 이용하여 품질을 추정할 수 있다. 본 논문에서는 두 가지 방식을 제안한다.

표 1. 라디오맵 품질을 추정하기 위한 제안하는 2 가지 지표

Indicator	Metric	Variable declaration
<i>Distance score</i>	$\left 1 - \frac{d_{Wi}^i}{d_{PDR}^i} \right $	i : user index d_{Wi}^i : distance of subsequent WiFi estimated position d_{PDR}^i : trajectory distance
<i>DTW score</i>	$\frac{DTW(s_{Wi}^i, s_{PDR}^i)}{ s_{PDR}^i }$	i : user index s_{Wi}^i : set (sequence) of WiFi coordinates s_{PDR}^i : set (sequence) of PDR coordinates $ s_{PDR}^i $: cardinality of PDR coordinates set

첫 번째, 해당 경로(i)에서 PDR 이동거리(d_{PDR}^i)를 구한다. 이것은 걸음 수와 걸음 길이를 통해서 알 수 있다. 다음으로, 해당 경로를

이동하면서 관찰한 WiFi 측위 지점들의 연속된 위치간의 거리(d_{Wi})를 구한다. 두 거리간의 차이를 PDR 이동거리로 정규화 시킨 것을 *Distance Score* 로 정의한다. 그림 9 에서 검정색 라인으로 표현된 경로를 사용자가 PDR 을 통해서 추정된 사용자의 경로이고, 빨간색 점을 WiFi 기반 추정 위치라고 한다. 각 점들을 잇는 간선의 길이와 PDR 을 통해 이동한 경로의 차이를 *Distance score* 라고 할 수 있다.

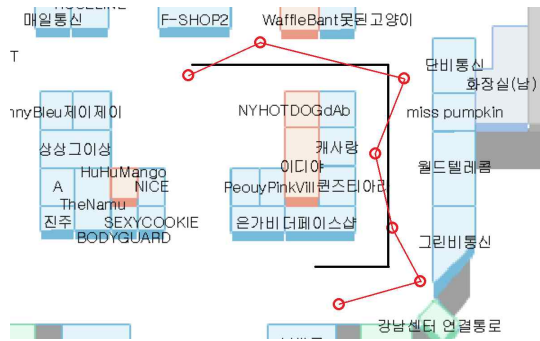


그림 9. *Distance score* 의 예

두 번째, 해당 경로(i)에서 PDR 의 좌표 (x_{PDRi}, y_{PDRi})와 WiFi 의 좌표(x_{Wi}, y_{Wi})간의 DTW Distance 에서 PDR 인덱스로 정규화시킨 값을 구한다. 이 값을 *DTW Score* 로 정의한다. 그림 10 에서 검정색 라인으로 표현된 것이 사용자가 실제로 이동한 경로라고 하고, 빨간색 점이 WiFi 기반 추정 위치이다. 마지막으로 파란색 라인의 경로가 PDR 을 통해 추정된 사용자의 이동경로이다. PDR 경로와 WiFi 기반 추정 위치 간의 DTW 알고리즘을 이용한 유사도를 통해서 PDR 대비 WiFi 측위 결과가 얼마나 차이가 나는지 알 수 있다.

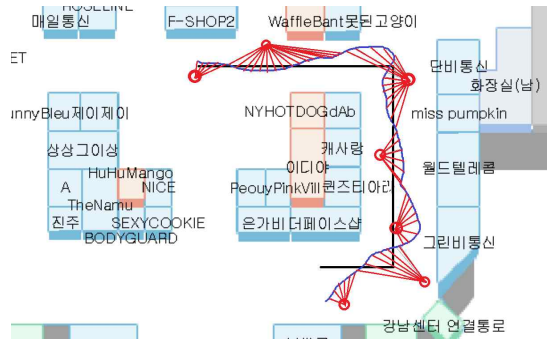


그림 10. DTW Score 의 예

두 가지 방식을 통해서 사용자들에게 서비스되는 WiFi 라디오맵의 품질을 추정할 수 있다.

제 4장 시스템 분석 및 평가

본 절에서는 제 3 절에서 설명한 클라우드소싱 기반 라디오맵 관리 시스템의 효용성을 검증한다. 클라우드소싱 환경에서 정해진 알고리즘 및 모듈들의 테스트를 수행하기에 실제로 사용자들을 동원하여 테스트하기에 많은 비용과 시간이 들기 때문에, 시뮬레이션을 통해서 시스템을 검증하였다.

제 1 절 데이터 수집

시뮬레이션의 서비스 지역은 서비스 지역은 지하철역 서울대입구에서 수행하였고, AP 핑거프린트는 2015 년 2 월 23 일에서 2015 년 3 월 16 일까지 서울대입구역 내부에서 수집하였다. 총 수집한 WiFi 핑거프린트 샘플의 수는 7888 개이다.

서비스 지역의 노이즈를 주기 위해서 비슷한 공간의 형태를 띄고 있는 을지로입구역을 선정하였다. 핑거프린트 수집은 2015 년 2 월 25 일부터 2015 년 2 월 27 일까지 수집하였고, 총 7791 개의 WiFi 핑거프린트를 수집하였다.

제 2 절 시뮬레이션 설정

1. 초기 라디오맵 구축

제 3 장의 제 1 절에서 설명한 방식대로 라디오맵을 구성한다. 수집해놓은 WiFi 핑거프린트 샘플들을 기준으로, 정해진 그리드에서 관찰된 모든 AP 의 정보를 융합(AP 별 평균, 표준편차, 개수)하여 라디오맵 데이터베이스로 관리한다.

2. 이동 및 센서 시뮬레이션

사용자 개개의 움직임을 시뮬레이팅하기 위해서 특정 사용자를 그리드 중 임의로 한 지점을 선택하여 시작지점으로 하였다. 또한 첫 시작 방향은 동일한 확률로 방향을 선택하도록 한 후 이동을 시작한다. 이동 중인 방향을 기준으로 동일 방향을 선택할 확률은 0.72, 좌/우로 이동할 확률은 각각 0.12, 뒤로 이동할 확률은 0.03 로 설정했다. 사용자는 인접한 그리드 사이의 상/하/좌/우 간선으로만 이동한다고 가정한다.

WiFi 관찰을 시뮬레이팅하기 위해서 수집해놓은 데이터를 사용자가 정해진 차등 확률로 위치를 이동하면서 AP 의 관찰을 수행한다. 일반적인 안드로이드 스마트폰의 경우 스캐닝 주기가 약 4 초정도 이므로 동일하게 시뮬레이팅 스캐닝 주기를 4 초로 설정하였다. 관찰 데이터는 특정 그리드 내에서 관찰된 WiFi 핑거프린트 샘플들 중에서 하나의 샘플을 무작위로 선택하도록 하였다.

사용자가 이동하면서 관찰하는 지자기는 이동하는 그리드와 그리드 사이에 존재하는 하나의 직선 경로 지자기 데이터를 선택하도록 하였다.

PDR 을 이용한 사용자의 위치는 일반적인 스마트폰의 경우 가우시안 에러를 수반한 센서 값이 모듈로 전달이 된다 [19]. 시뮬레이팅하기 위해서 사용자의 실제 이동방향을 기준으로 임의의 가우시안 노이즈를 주었다.

3. AP 추가/제거/변화 시뮬레이션

이동 및 센서의 시뮬레이션이 완료되면 동일한 WiFi 핑거프린트로부터 초기 WiFi 핑거프린트 맵과 사용자 센서 시뮬레이션을 수행했기 때문에 AP 의 양상이 변하지 않은 상태이다. 따라서 핑거프린트의 변조가 필요하다.

사용자 센서 모듈에서 관찰되는 WiFi 의 양상에 변화를 주기 위해서 상대적으로 공간의 형태가 비슷한 을지로입구역(페어 지역)에서 관찰되는 핑거프린트 정보를 이용해 AP 추가될 AP 를 선정한다.

사용자가 관찰한 특정 그리드에서의 정해진 비율만큼 AP 들을 제거하기 위해 우선 지금까지 제거된 AP 들의 리스트를 확인한다. 관찰된 샘플들 중에 제거 리스트에 존재하는 경우에 우선적으로 제거하고, 정해진 비율을 다 채우지 못한 경우에는 남은 개수만큼 임의로 AP 를 선택하여 제거하고 제거 리스트에 추가한다. 다음으로, 제거된 만큼 AP 를 추가하기 위해서 페어 지역에서 대응되는 그리드의 샘플을 무작위로 선택하여 추가하고 추가 리스트에 등록한다.

AP 변화의 경우 페어 지역에서 대응되는 그리드의 샘플을 무작위로 선택하여 임의 AP 를 페어링시켜서 RSS 를 페어링된 RSS 로 변경시킨다. 다른 그리드에서 관찰될 핑거프린트 샘플들에도 적용되게 하기 위해서 변화 리스트에 추가하여 관리한다.

제 3 절 성능 평가

1. 랜드마크 효용성

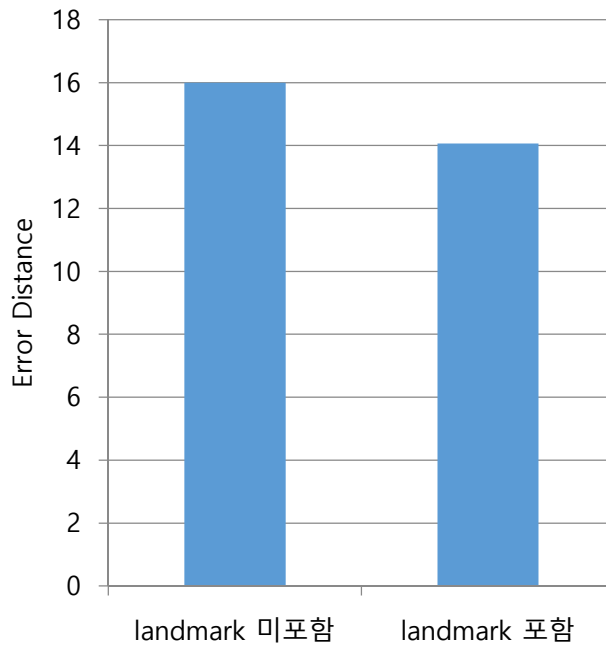


그림 11. 지자기 랜드마크를 이용하여 보정을 한 경우와 보정을 하지 않은 경우의 결과

그림 11 은 300 명의 사용자가 5 분동안 초기 라디오맵을 이용하여 측위를 수행할 때 랜드마크를 이용하여 보정을 한 경우과 보정을 하지

않은 경우 각각에 대해서 측위 에러를 나타낸 것이다. 평균 약 16.0 미터의 결과를 가져왔고, 랜드마크로 보정한 경우 약 14.1 미터의 측위 결과를 보였다. 랜드마크가 전체 측위 중 약 13.50% 정도 보정에 관여하였기 때문에, 보정 자체는 간간히 일어나지만 보정을 통해서 측위 오류를 줄이는데 큰 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 또한, 서비스 지역 내의 모든 그리드 수를 기준으로 랜드마크로 판단된 개별 그리드의 수의 비율은 약 90% 정도이다. 따라서 대부분의 그리드에서 랜드마크가 정상적으로 동작하였다.

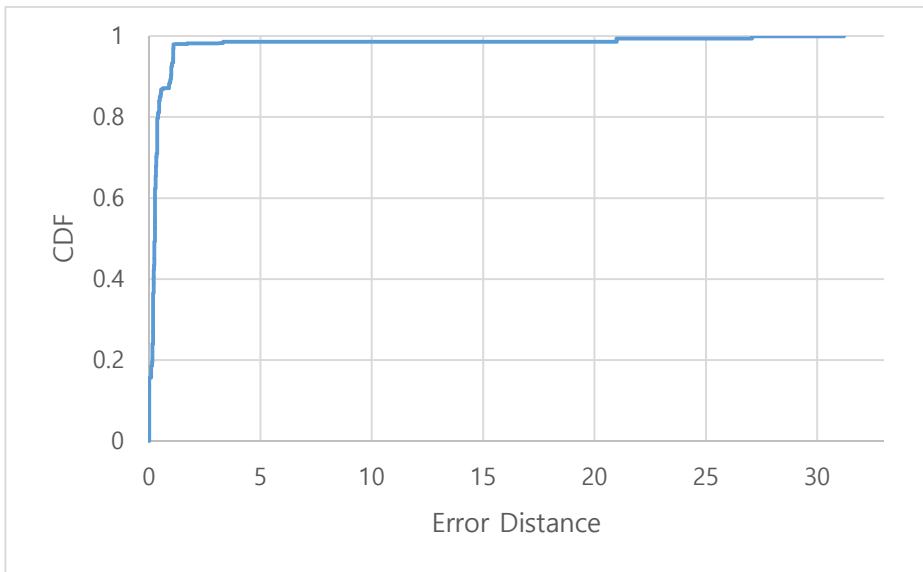


그림 12. 지자기 랜드마크의 정확도 CDF

그림 12 는 지자기 랜드마크의 추정 정확도를 나타낸 것이다. 약 98.5%는 약 3.3 미터 안으로 추정하였고, 이는 자신의 그리드를 거의 정확하게 찾는다는 것을 뜻한다. 따라서, 지자기 랜드마크를 이용하여 거의 정확하게 사용자의 위치를 추정한다는 것을 알 수 있다.

2. AP 양상 변화 감지 성능

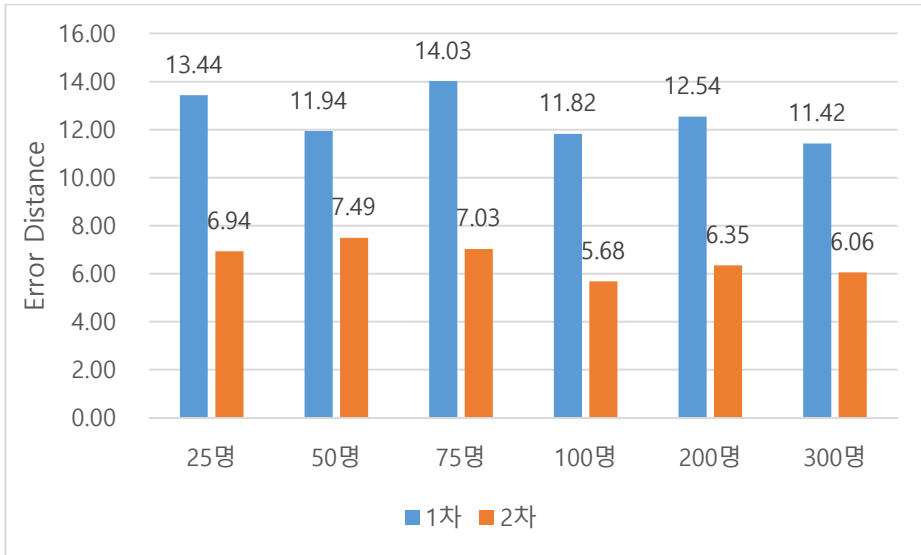


그림 13. 서비스지역에서 10 분 동안 각기 다른 사용자 수에 따른 실내측위 정확도 (각 환경 5 회 시행의 평균)

그림 13 은 서비스 지역에서 10 분 동안 각기 다른 사용자 수에 따른 실내측위 정확도를 나타낸 것이다. 1 차 결과는 초기 라디오맵을 이용한 측위 결과이고, 2 차 결과는 1 차에서와 동일한 경로로 사용자들이 이동하고, 1 차 라디오맵을 환경 변화를 감지/보정한 것을 이용한 측위 결과이다. 동일한 인원수의 2 차 결과는 1 차때 사용자들이 이동한 패턴과 동일한 패턴으로 서비스 지역을 이동한 것이다. 같은 환경에서도 시뮬레이션 시행에 따른 에러가 다르게 나오는 것은 그림 5 와 같이 AP 들의 양상이 지속적으로 변하기 때문에 측위할 때 결과가 다르게 나올 수 있다. 전체적으로 랜드마크 지역에서의 핑거프린트 정보를 이용하여 효과적으로 측위 품질을 높여주는 것을 확인할 수 있다. 25 명과 같이 모수가 적을 때는 핑거프린트의 수가 적기 때문에

실제 신호의 양상을 표현하지 못한다. 하지만, 사용자들이 수집한 핑거프린트의 모수가 충분히 많아지면서 에러의 값이 특정한 값으로 수렴하는 양상을 보인다.

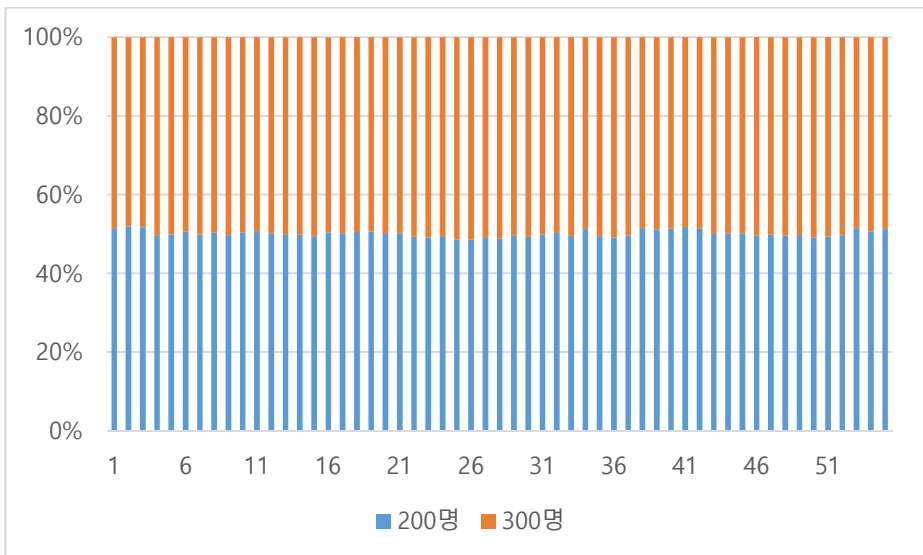
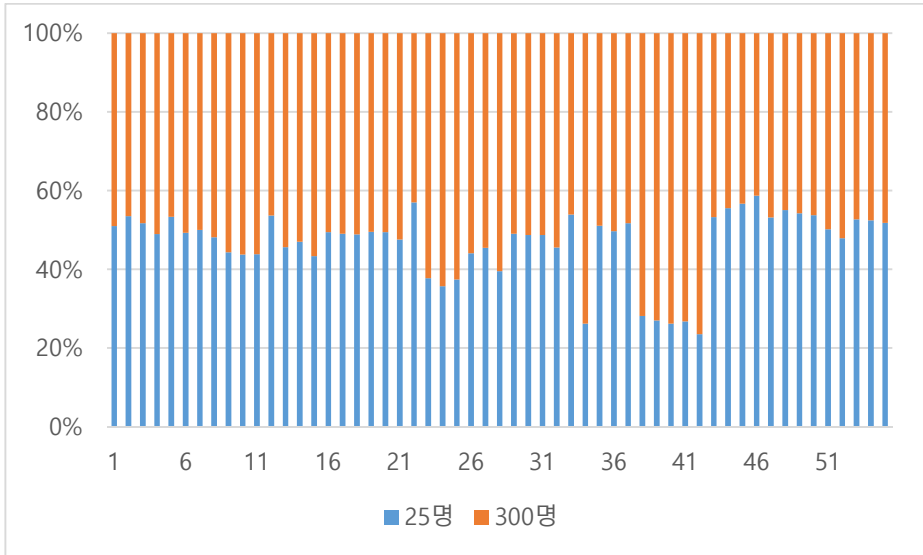


그림 14. 각 환경에서 그리드 별 방문 횟수를 비교한 그래프

그림 14 는 시뮬레이터 상에서 사용자들의 이동 경로 상에 있는 그리드의 방문 횟수를 환경에 따라 비교한 그래프이다. 200 명과 300 명은 많은 사용자들이 서비스 지역을 이동하기 때문에 거의 비슷한 양상을 보이는 반면, 25 명과 300 명을 비교하면 25 명일 때 사용자들의 그리드별 방문횟수가 특정 지역에 불균형하게 모여있는 것을 확인할 수 있다. 구체적으로 그래프에서 38~42 그리드를 25 명일 때 더 적게 방문한 것을 알 수 있다. 만약 해당 그리드들이 다른 그리드들에 비해서 측위품질이 좋지 않으면, 적은 사용자들이 라디오맵 보정에 참여했음에도 불구하고 좋은 결과를 가져올 수 있다.

3. 라디오맵 품질 추정 성능

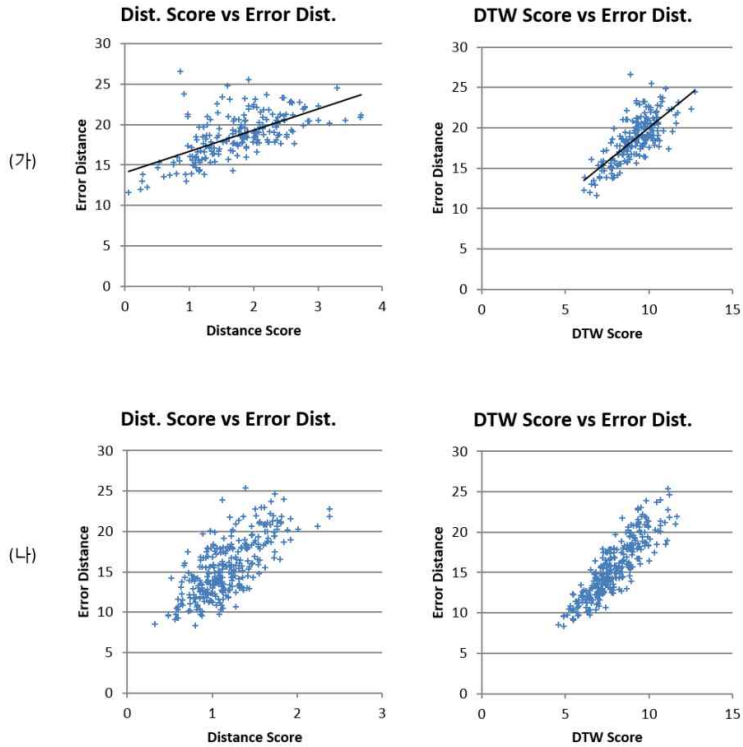


그림 15. 서로 다른 라디오맵을 이용하여 추정한 라디오맵 품질 점수(*Distance Score*, *DTW Score*)들과 실제 WiFi 핑거프린팅 측위 오차와의 상관 관계

그림 15 은 라디오맵 품질 점수와 실제 측위 오차를 나타낸 그래프이다. 결과 (가)는 200 명의 사용자가 임의의 시간에 5 분동안 초기 라디오맵을 이용하여 서비스 지역에서 이동하는 시나리오이고, 결과 (나)는 300 명의 사용자가 임의의 시간에 5 분동안 한번 수정 배포된 라디오맵을 이용하여 해당 지역에서 이동하는 시나리오이다. 각 점들은 한 사용자에게 대한 품질 점수와 측위 에러를 나타낸다. 그림에서

알 수 있듯이 제안한 두 가지 품질 추정 방식인 Distance Score 와 DTW Score 에서 강한 양의 상관관계를 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서 새롭게 구성된 WiFi 라디오맵의 성능을 지속적으로 수치화하여 서비스 제공자가 제공하는 서비스의 품질을 쉽게 알 수 있다.

제 5장 결론

본 논문에서는 기존의 WiFi 핑거프린팅 기반 실내 측위 기법이 가지고 있던 문제인 지속적인 라디오맵 유지, 보수에 따른 문제를 해결하기 위해 PDR 과 랜드마크를 활용한 클라우드소싱 기반 WiFi 라디오맵 관리 기법을 제안했다. 사용자의 추정된 위치에서 관찰된 WiFi 핑거프린트를 이용하기 때문에 발생 가능한 라디오맵 오염 문제를 지자기 랜드마크를 이용하여 에러를 보정하는 방식으로 오염을 최소화 하였다. 또한, PDR 기법을 활용하여 사용자의 상대적인 이동 경로와 WiFi 측위 결과 간의 유사도를 통한 라디오맵 품질을 점수화하는 방식을 제안하였다.

제안한 기법을 활용하여 사용자들이 보고하는 WiFi 핑거프린트 정보들을 활용하여 라디오맵을 지속적으로 관리함으로써 사용자들에게 안정적인 측위 품질을 제공할 수 있다. 또한, 서비스 제공자가 서비스 지역의 지속적으로 라디오맵 전체를 수집해서 적용하는데 드는 비용을 최소화할 수 있다.

본 논문에서 초기 서비스 지역의 전체 라디오맵을 수집하는 것을 가정(Supervised approach)하고 있다. 이러한 가정을 넘어서 서비스 지역의 WiFi 핑거프린트의 수집을 최소화(Unsupervised approach)하면서도 좋은 측위 품질을 제공할 수 있는 기법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

참고 문헌

- [1] Bahl, Paramvir, and Venkata N. Padmanabhan. "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system." INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE. Vol. 2. Ieee, 2000.
- [2] Youssef, Moustafa, and Ashok Agrawala. "The Horus WLAN location determination system." Proceedings of the 3rd international conference on Mobile systems (MobiSys), applications, and services. ACM, 2005.
- [3] Kim, Yungeun, et al. "Crowdsensing-based Wi-Fi radio map management using a lightweight site survey." Computer Communications (2014).
- [4] Li, Fan, et al. "A reliable and accurate indoor localization method using phone inertial sensors." Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp). ACM, 2012.
- [5] Rai, Anshul, et al. "Zee: zero-effort crowdsourcing for indoor localization." Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking (MobiCom). ACM, 2012.
- [6] Wang, He, et al. "No need to war-drive: unsupervised indoor localization." Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services. ACM, 2012.
- [7] Xie, Hongwei, et al. "MaLoc: a practical magnetic fingerprinting approach to indoor localization using smartphones." Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp). ACM, 2014.
- [8] Byunghun Kim, Myungchul Kwak, et al. "A Multi-pronged Approach for Indoor Positioning with WiFi, Magnetic and Cellular Signals",

- Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2014
- [9] Baniukevic, Artur, et al. "Improving wi-fi based indoor positioning using bluetooth add-ons." Mobile Data Management (MDM), 2011 12th IEEE International Conference on. Vol. 1. IEEE, 2011.
- [10] Baniukevic, Artur, Christian S. Jensen, and Hua Lu. "Hybrid indoor positioning with Wi-Fi and Bluetooth: Architecture and performance." Mobile Data Management (MDM), 2013 IEEE 14th International Conference on. Vol. 1. IEEE, 2013.
- [11] Ni, Lionel M., et al. "LANDMARC: indoor location sensing using active RFID." Wireless networks 10.6 (2004): 701-710.
- [12] "Beacon frame", http://en.wikipedia.org/wiki/Beacon_frame.
- [13] Jeon, Seokseong, et al. "Fast and Accurate Wi-Fi Localization in Large-Scale Indoor Venues." Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking, and Services. Springer International Publishing, 2014. 129-141.
- [14] "Log-distance path loss model", http://en.wikipedia.org/wiki/Log-distance_path_loss_model.
- [15] Brouwers, Niels, Marco Zuniga, and Koen Langendoen. "Incremental wi-fi scanning for energy-efficient localization." Pervasive Computing and Communications (PerCom), 2014 IEEE International Conference on. IEEE, 2014.
- [16] Philipp, Damian, et al. "Mapgenie: Grammar-enhanced indoor map construction from crowd-sourced data." Pervasive Computing and Communications (PerCom), 2014 IEEE International Conference on. IEEE, 2014.

- [17] "Dynamic time warping",
http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_time_warping.
- [18] "FastDTW", <https://code.google.com/p/fastdtw/>.
- [19] Roy, Nirupam, He Wang, and Romit Roy Choudhury. "I am a smartphone and I can tell my user's walking direction." Proceedings of the 12th annual international conference on Mobile systems (MobiSys), applications, and services. ACM, 2014.

Abstract

Crowdsourcing Based WiFi Radio Map Management with Magnetic Landmark and PDR

Byunghun Kim

School of Computer Science & Engineering

The Graduate School

Seoul National University

Recently, the portion of people using smartphone are continuously increasing, applications of location-based services (LBS) have been exploding to release and studied. Outdoor positioning may not be a big deal by exploiting triangulation of GPS signals, which offers reliable service in general. However, in indoor, GPS signal does not reachable inside of building or not enough to estimating a position with triangulation. Therefore, other sensor modules should be used to indoor localization.

As WiFi is popular wireless communication technology, a lot of APs (Access Points) are deployed in building. For example, average of observable APs on a scan is about 36.8 in Seoul station located in South Korea. Thus, WiFi may be a good source of estimating position due to its technological infrastructure. WiFi fingerprinting schemes has a good performance when it comes to performing positioning at initial site survey moment. Localization

accuracy depends on radio map similarity of positioning moment. Therefore, continuous survey of radio map is required to accurate localization.

In this paper, motivated by these limitation, we suggest crowdsourcing based WiFi radio map management system. Users observe WiFi APs' information to estimating position and transfer the fingerprint (estimated position and corresponding AP information) to fingerprint management server. Then, the server manages reported fingerprints to add/delete/change to radio map. Because management of fingerprints is based on estimated position, however, the radio map could be polluted by un-accurate position. Therefore, we adapt landmark by using magnetic field sequence to calibrate user's position. Moreover, PDR (Pedestrian dead-reckoning) trajectory coordinates reported by user are used to scoring quality of radio map. Finally, our system reduce the cost of continuous site survey.

Keywords : Crowdsourcing, Indoor Localization, WiFi Fingerprint Map Management, Magnetic Landmark, Pedestrian Dead-reckoning

Student Number : 2013-23103