creative commons

COMMONS DEED

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

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000294362

2020년 2월

박사학위논문

위치기반 서비스를 위한 실용적인 실내 측위 시스템 설계

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

강 희 선

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

위치기반 서비스를 위한 실용적인 실내 측위 시스템 설계

Design of Practical Indoor Positioning System for Location Based Service

2020년 2월 25일

조선대학교 대학원

정보통신공학과

강 희 선

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

위치기반 서비스를 위한 실용적인 실내 측위 시스템 설계

지도교수 변 재 영

이 논문을 공학 박사학위신청 논문으로 제출함

2019년 10월

조선대학교 대학원

정보통신공학과

강 희 선

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

강희선의 박사학위 논문을 인준함

위원장	조선대학교 교 수	황석승	(인)
위 원	조선대학교 교 수	변재영	(인)
위 원	조선대학교 교 수	이범식	(인)
위 원	순천대학교 교 수	강의성	(인)
위 원	순천대학교 교 수	박상현	(인)

2019년 12월

조 선 대 학 교 대 학 원

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

표 목 차 iii
그림목차 iv
ABSTRACT v

Ⅰ. 서 론 1
A. 연구 배경 및 목적 1
B. 연구의 목표 3
Ⅱ. 실내 측위 기술 4
A. 근거리 무선 기술을 이용한 측위 4
B. 센서를 이용한 측위 13
C. 영상처리를 이용한 비전 측위 16
D. 하이브리드 측위 17
Ⅲ. 제안하는 실내 측위 시스템 18
A. 실내 측위 시스템의 설계 목표 18
B. 제안 시스템의 동작 및 구성 20
C. 실내 측위를 위한 요소 기술 22
1. 저전력 블루투스 (BLE) 비콘 기반 측위 22
2. 보행자추측항법 (PDR) 25
3. 지자기장 기반 측위 26
4. 제안 요소기술: 밀리라디안 기반 비전 측위 28
D. 제안하는 하이브리드 측위 알고리즘 44

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1. 마케팅 서비스를 위한 하이브리드 측위 ····· 45
2. 내비게이션 및 위치 추적을 위한 하이브리드 측위 ····· 46
3. 엔터테인먼트 서비스를 위한 하이브리드 측위 ····· 48
Ⅳ. 성능 비교 및 평가 ····· 50
A. 테스트 환경 및 시나리오 ····· 50
B. 실험 결과 및 성능 평가 ····· 53
Ⅴ. 결론 및 향후 연구과제 ····· 59
참고문헌 ····· 60

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 목 차

표 1. LBS 어플리케이션과 요구 사항 및 측위 기술 ····· 18
표 2. 밀 측정을 이용한 거리 추정 실험 결과 ····· 35
표 3. 카메라의 관찰 각도별 밀 측정 결과 ····· 37
표 4. 마커와 참조 위치의 2차원 변환 좌표 ····· 40
표 5. 참조 위치별 거리 추정 결과 ····· 42
표 6. 참조 위치별 방향각 측정 결과 ····· 43
표 7. 실험 장소와 비콘 및 참조 위치 정보 ····· 51
표 8. 각 어플리케이션의 측위 데이터 비교 ····· 54

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그 림 목 차

그림1. BLE 주파수 대역 및 채널 할당 ····· 5
그림2. 수신된 BLE 비콘 신호의 RSSI ····· 5
그림3. 다중경로 환경에서 수신되는 IR-UWB 신호 예시 ····· 6
그림4. 다중경로 환경에서의 IR-UWB 채널 임펄스 응답 ····· 7
그림5. ToA를 이용한 측위 방법 ····· 8
그림6. Two-way Ranging ····· 9
그림7. TDoA를 이용한 측위 방법 ····· 10
그림8. 핑거프린팅 데이터 수집 ····· 11
그림9. 핑거프린팅 방식의 실내 측위 ····· 12
그림10. 실내 환경에서 시간 경과에 따른 자기장 세기 변화 측정 결과 ····· 15
그림11. 제안된 실내 LBS 시스템의 구조 ····· 20
그림12. BLE 비콘 핑거프린트 지도 데이터 수집 ····· 23
그림13. BLE 비콘 핑거프린트 지도의 데이터 형식 ····· 23
그림14. 제안 실내 측위 시스템에 사용된 비콘의 식별자 할당 예시 ····· 23
그림15. 관측 장비를 이용한 밀리라디안 측정 ····· 29
그림16. 카메라의 화각 ····· 30
그림17. QR 코드 마커와 위치 찾기 심볼 ····· 32
그림18. 밀 측정을 이용한 거리 추정 실험 ····· 35
그림19. 카메라의 관찰 각도별 마커의 형태 왜곡 ····· 36
그림20. QR 코드 마커를 이용한 스마트폰의 위치 추정 ····· 38
그림21. 밀 측정을 이용한 실내 측위 실험 ····· 39
그림22. 실내 측위 결과 ····· 41
그림23. 스마트폰을 이용한 실시간 실내 측위 ····· 43
그림24. 비콘과 PDR을 이용한 하이브리드 측위 알고리즘 (App. 1) ····· 45
그림25. 비콘, PDR과 지자기장을 결합한 하이브리드 측위 알고리즘 (App. 2) ····· 47
그림26. 비콘, PDR과 비전 측위를 결합한 하이브리드 측위 알고리즘 (App. 3) ····· 49
그림27. 3D 실내 지도 구축 ····· 50
그림28. 비콘과 마커가 배치된 실험 장소 ····· 51
그림29. 각 어플리케이션의 측위 성능 비교 ····· 53

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림30. 홀에서 사용자의 이동 경로 추정 결과 ····· 55
그림31. 복도에서 사용자의 이동 경로 추정 결과 ····· 56
그림32. 실내 위치 기반 서비스 ····· 58

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Design of Practical Indoor Positioning System for Location Based Service

Gang Hui-Seon
Advisor : Prof. Pyun Jae-Young, Ph.D.
Department of Information and Communication Engineering,
Graduate School of Chosun University

Location-based services (LBS) have become a part of daily life because of advances in GPS-based positioning technology, various short-range wireless technologies and sensors embedded in smartphone, and mobile processors with improved computing performance. However, as the majority of smartphone users spend more time indoors, there is an increasing demand for location-based services in indoor environments where the reception of the GPS signal is limited. This thesis proposes a practical smartphone-based LBS system for the indoor environment. To provide a user-friendly service, the proposed system consists of an LBS server and a smartphone application. Additionally, the infrastructure elements are limited to BLE beacons and paper-printed markers to propose a service model that is cost-effective and can be deployed in existing buildings. This dissertation uses BLE beacons, IMU sensor, the smartphone camera and proposes a hybrid algorithm that complements the limitations of positioning performance for individual technologies by complementing each other to estimates the accurate position while using limited infrastructure elements. The proposed hybrid algorithm was designed considering three types of indoor LBS applications, and it is verified that each positioning method maintains the desired accuracy in the indoor environment through positioning experiments. As the experimental results show that the suggested system can maintain positioning accuracy to within 2m 80% of the time, it is expected that the proposed system can be a real solution for various indoor LBS needs.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

I. 서 론

A. 연구 배경 및 목적

오늘날의 스마트폰은 진보된 센서 기술, 무선 통신 및 연산 능력을 기반으로 사용자들로 하여금 보다 많은 기능과 서비스를 이용할 수 있게 해주는 장치로 자리잡게 되었다. 멀티미디어 스트리밍, 헬스케어, 실외 내비게이션, 가상현실 및 증강현실 등의 서비스들이 스마트폰 하나로 가능해졌고 이외에도 다양한 서비스들이 지속적으로 등장하면서 인기를 얻고 있다. 특히, 실외 환경에서의 위치 기반 서비스 (Location-Based Service, LBS)는 GPS (Global Positioning System)의 정밀 측위 기술과 스마트폰의 결합을 통해 내비게이션, 지리정보, 스트리트 뷰 및 위성지도 등의 서비스를 많은 소비자들에게 손쉽게 제공하고 있다. 이러한 흐름에 따라, 오늘날은 실내 환경에서 이용 가능한 LBS에 대한 수요가 점점 증가하는 추세를 보이고 있다. 하지만, 기존의 GPS 기반 측위 기술은 터널, 지하 및 건물 내부와 같이 위성 신호의 수신이 제한되는 실내 환경에서는 정밀한 위치 정보 제공에 어려움이 있어 실내 환경을 대상으로 하는 LBS는 여전히 많은 제한이 있다. 이러한 문제점으로 인해, 여러 분야에서 실내 측위 시스템(Indoor Positioning System, IPS) 관련 기술 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

실내 환경에서 이용이 제한되는 GPS를 대체하기 위해 Wi-Fi, Bluetooth, UWB (Ultra Wide-Band), RFID, 초음파, 지자기장 및 관성측정장치(Inertial Measurement Unit, IMU)와 같은 다양한 기술이 실내 측위를 위한 기술로 사용되고 있다 [1][2]. 이러한 측위 기술들 가운데 일부는 스마트폰과 결합되어 실내 내비게이션, 인접 위치의 광고 정보 제공, 위치 기반 엔터테인먼트, 비상 시 탈출 정보 제공 등의 서비스에 부분적으로 접목되고 있다. 이와 같이 실내 LBS 제공을 위해 IPS 관련 기술에 대한 수요가 점점 증가하고 있으며, 관련 분야에서 측위 정밀도를 향상시키기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다 [3]. 특히, 학계 및 산업 분야의 연구 인력들은 오늘날 널리 보급 및 활용되고 있는 Wi-Fi 및 Bluetooth 기술에 중점을 둔 측위 기술 연구에 많은 노력을 기울이고 있는데, 이는 두 기술이 대부분의 스마트폰에 내장되어 있기 때문에 사용자를 위한 별도의 기기를 따로 개발하지 않아도 되는 장점이 있기 때문이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Wi-Fi, Bluetooth와 같은 기존의 RF 기반 측위 기술은 신호의 ToA (Time of Arrival), TDoA (Time Difference of Arrival), AoA (Angle of Arrival) 혹은 RSS (Received Signal Strength)를 이용하여 송신기와 수신기간 위치 차이를 계산하는 방식으로 사용자 단말기의 위치를 추정한다 [4]. 이 중에서, RSS 기반의 실내 전파 맵을 형성하고 이를 이용하여 단말기의 위치를 추정하는 핑거프린팅 측위 방법이 비교적 낮은 복잡도와 높은 측위 정밀도로 인해 오늘날 IPS 구현에 널리 활용되고 있다 [5]. 하지만 RSS 기반 핑거프린팅 측위의 정밀도는 송/수신기 사이의 신호 전달 과정에서 발생하는 간섭, 혼잡, 다중경로 및 페이딩과 같은 요인으로 인해 발생하는 신호 세기의 변화에 따라 달라지는 문제점이 있다 [6]-[8].

실내 측위에 적극 활용되고 있는 또 다른 기술로는 가속도계, 자기장 센서, 자이로스코프가 결합된 IMU 기반 추측 항법이 있다 [9][10]. IMU는 현재 스마트폰 및 차량용 내비게이션 시스템에서 보편적으로 사용되고 있는 센서로, 소형화 및 저비용 생산이 가능하고 외부 인프라 요소를 필요로 하지 않는다는 장점을 지니고 있다 [11]. 그러나 IMU 기반의 보행자 추측 항법(Pedestrian Dead Reckoning, PDR)은 이동 거리에 비례하여 위치 오차가 누적되는 드리프트 에러가 발생한다는 한계점이 있어 짧은 거리에 한정되는 측위 정밀도를 갖는다. 때문에, 이러한 드리프트 에러는 추가적인 신호 처리를 통해 제거해야 한다.

보행자 추측 항법 외에 또다른 센서 기반 실내 측위 기술로 지자기장 기반 핑거프린팅 측위를 이용한 연구 및 서비스 개발이 진행중에 있다. 각각의 건물 또는 구조물은 내부를 이루는 자재들과 내부 구조에 따라 각기 다른 패턴으로 지구 자기장을 왜곡시킨다. 지자기장 기반 핑거프린팅 측위는 자기장 센서를 통해 실내의 자기장 세기를 측정 및 수집하여 자기장 맵을 생성하고, 사용자는 자기장 맵을 이용하여 단말기의 위치를 추정할 수 있다. 지자기장 기반 측위는 스마트폰 IMU에 내장되어 있는 자기장 센서를 이용하는 방식으로 외부 인프라의 도움 없이 실내 측위 서비스를 제공할 수 있다는 장점이 있지만, 실내 환경의 변화와 강자성체를 포함하는 물체의 이동 등에 민감하여 장소에 따라 측위에 제한을 받을 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 딥 러닝과 같은 기계 학습 기술을 접목하여 정밀도를 높이는 등 다양한 자기장 기반 측위 기술에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다 [12][13].

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 연구 목표

전파를 이용하는 RF 기반 측위 기술 및 센서를 이용한 측위 기술들은 수신 신호 및 측정값에 영향을 주는 다양한 요소들로 인해 정밀한 위치 추정에 어려움을 지니고 있다. 각각의 측위 기술이 지니고 있는 문제점을 완화시키기 위해 둘 이상의 측위 기술을 결합하여 정밀도 향상을 도모하는 다양한 연구가 진행되고 있다. 이러한 방법은 둘 이상의 연산 과정이 함께 처리되어야 하므로 보다 높은 시스템의 성능을 요구하지만, 관련 연구 분야에서 RSSI 기반의 측위 기술과 보행자 추측 항법, 그리고 칼만 필터 및 파티클 필터 등의 신호 처리 기술을 접목하여 유의미한 측위 성능 개선을 보여주고 있다 [14]-[16].

본 논문에서는 효율적인 측위 기술들의 상호 보완을 통해 스마트폰 기반의 내비게이션, 마케팅, 엔터테인먼트 서비스와 같은 실내 LBS에 적합한 측위 시스템을 설계하였다. 시스템은 세 가지 실내 측위 기술을 각각 스마트폰 어플리케이션의 형태로 제공한다. 해당 어플리케이션들은 활용 목적에 따라 저전력 블루투스(Bluetooth Low Energy, BLE) 기반의 비콘, PDR, 지자기장, 그리고 스마트폰 카메라를 이용한 비전 측위 기술 중 둘 이상을 결합하여 동작한다. 각각의 측위 기술들은 조합에 따라 효과적인 상호 보완을 통해 측위 정밀도를 향상시킬 수 있지만, 여러 측위 기술이 동시에 사용됨에 따라 발생하는 연산량 증가를 최소화할 수 있는 방법 또한 필요하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IPS 관련 연구 분야에서 널리 이용되고 있는 기존의 실내 측위 기술에 대하여 서술하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 세 가지 IPS 어플리케이션에서 각각 이용되고 있는 측위 기술들의 결합 방법을 소개한다. 4장에서는 실험 결과를 통해 제안 시스템의 성능을 평가하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

II. 실내 측위 기술

A. 근거리 무선 기술을 이용한 측위

실내 측위 기술은 수십 년의 시간을 거치면서 다양한 방법으로 발전해 왔지만, 대다수의 실내 측위 연구는 Wi-Fi, BLE 비콘, IMU를 이용한 측위 혹은 이들을 조합한 측위 기술을 통해 측위 정밀도를 향상시키는 방법에 중점을 두고 있다. 선술한 바와 같이, 해당 기술들은 현재 널리 사용되고 있는 스마트폰에 내장되어 있는 기술들이며, Wi-Fi의 경우 오늘날 대부분의 건물 내에 AP가 설치되어 있기 때문에 서비스를 개발하는 데 있어 비용 효율과 소비자의 접근성이 가장 좋은 기술이기 때문이다.

Wi-Fi (Wireless Fidelity)는 무선 근거리 통신망 (Wireless Local Area Network) 표준으로, 무선 주파수 신호를 통해 좁은 공간에서 사용되는 장비를 연결하는 근거리 통신망의 일종이다. Wi-Fi는 장치의 상호 식별 및 광역통신망(Wide Area Network)과의 연결을 지원하는 무선 주파수 (RF) 기반의 통신 기술로, 전자기파를 반송파 신호로 사용하며 IEEE 802.11 계열 표준에 기술 사양이 정의되어 있다. Wi-Fi 신호는 높은 주파수를 갖는 반송파 (2.4 GHz 및 5 GHz) 및 짧은 전송 반경으로 (약 100m 이내) 인해 도시나 지역 단위의 넓은 범위를 커버하기가 어렵기 때문에 아파트, 사무실, 소규모 사업장과 같은 좁은 커버리지를 갖는 핫스팟 내에서 주로 활용되고 있다. 이처럼 Wi-Fi는 근거리 네트워크를 위해 개발되었지만, 선술한 바와 같이 Wi-Fi 기반 AP가 오늘날 대부분의 실내 환경에 배치되어 있고 소비자용 장치들 대다수가 Wi-Fi를 지원하고 있기 때문에, Wi-Fi를 통해 별도의 단말기 보급 없이 이용할 수 있는 실내 측위 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되어왔다 [7].

BLE (Bluetooth Low Energy) 기반의 비콘은 낮은 제작비용을 바탕으로 저전력 동작 및 소형화가 가능하여 오늘날 실내 측위용 기술로 널리 사용되고 있다. 저전력 동작을 기반으로 신호의 세기를 측정할 수 있다는 점에서 Wi-Fi에 비해 실내 환경을 대상으로 한 인프라의 설치 및 보수 측면에서 우수한 특성을 가지며, 소규모의 범위 내에서 정밀한 측위에 활용하기에 유리하다는 장점을 가지고 있다. BLE 비콘은 2.4 ~ 2.4835 GHz ISM 대역의 스펙트럼에서 동작하며 광고 패킷 (Advertising Packet) 전송 주기 및

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

송신 신호의 세기를 사용자가 조정할 수 있다. 주파수 대역은 2MHz 간격으로 40개의 채널이 존재하며, 이 중 3개의 채널은 광고 (Advertising) 모드로 사용된다[17].

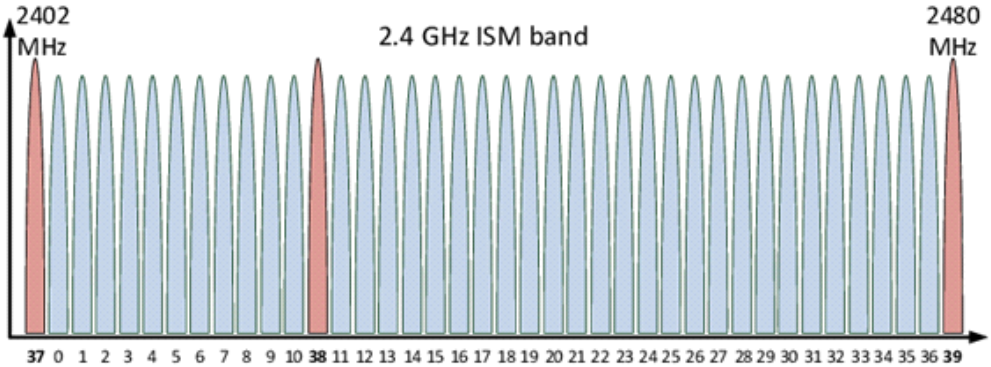


그림 1. BLE 주파수 대역 및 채널 할당

BLE 비콘은 광고 채널을 사용하여 광고 패킷을 지속적으로 브로드캐스팅하며, 단말기는 수신된 광고 패킷의 RSSI를 기반으로 비콘과 장치 사이의 거리를 추정할 수 있다. 그러나 거리 추정에 RSSI를 이용하는 것은 그림 2에 나타난 것처럼 다중경로 페이딩, 간섭 및 상쇄, 셰이딩과 같은 요인들로 인해 실제 성능이 제한된다.

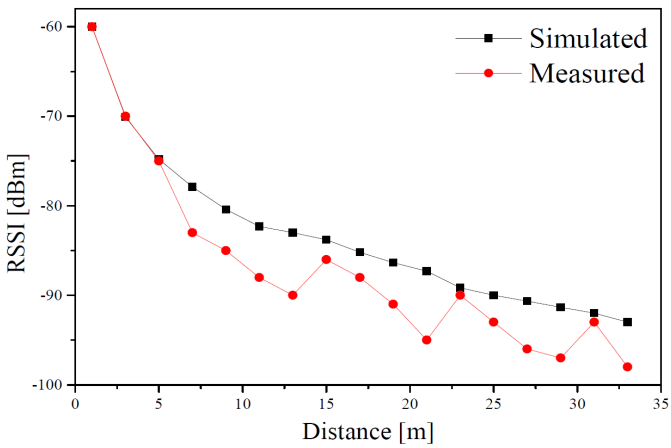


그림 2. 수신된 BLE 비콘 신호의 RSSI

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

근거리 무선 기술을 이용한 정밀 측위를 위해, UWB를 이용한 실내 측위 방법과 관련된 연구도 활발하게 진행되고 있다. UWB는 500MHz 이상의 대역폭을 가지거나 점유 대역폭이 중심 주파수의 20% 이상인 무선 기술로 정의되고 있다. 초기의 UWB 기반 레이더 기술은 군사적 목적으로 개발되었으나, 2002년 미국의 FCC (Federal Communications Commission)에서 상업 목적으로의 사용을 허용하였다. UWB 기술 표준은 IEEE 802.15.4a에 정의되어 있으며, 해당 표준에 제안된 UWB 기술로는 IR-UWB (Impulse Radio UWB), CSS-UWB (Chirp Spread Spectrum UWB) 등이 있다 [18]. UWB는 저전력의 광대역 신호를 사용하여 높은 에너지 효율성과 다중경로 페이딩에 강하며, IR-UWB의 경우 매우 짧은 펄스 신호를 사용하여 수 센티미터 이내의 정확도를 갖는 거리 추정이 가능하다. 특히, IR-UWB 신호는 투과성이 우수하여 실내 환경에서 벽이나 비금속 칸막이와 같은 장애물을 통과할 수 있고, 수신되는 신호의 LOS (Line of Sight)와 NLOS (Non-Line of Sight)를 추정할 수 있어 음영지역에서도 정밀한 측위가 가능하다는 장점을 지닌다.

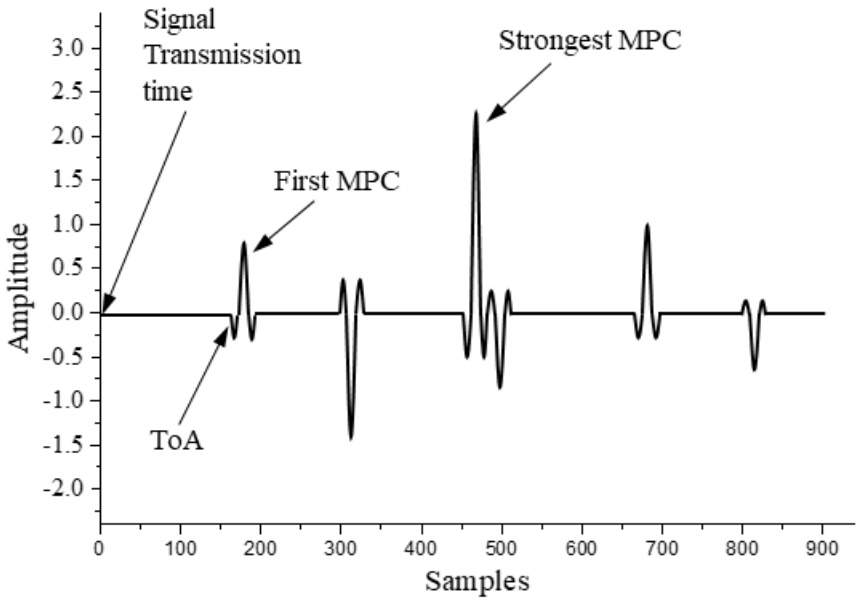
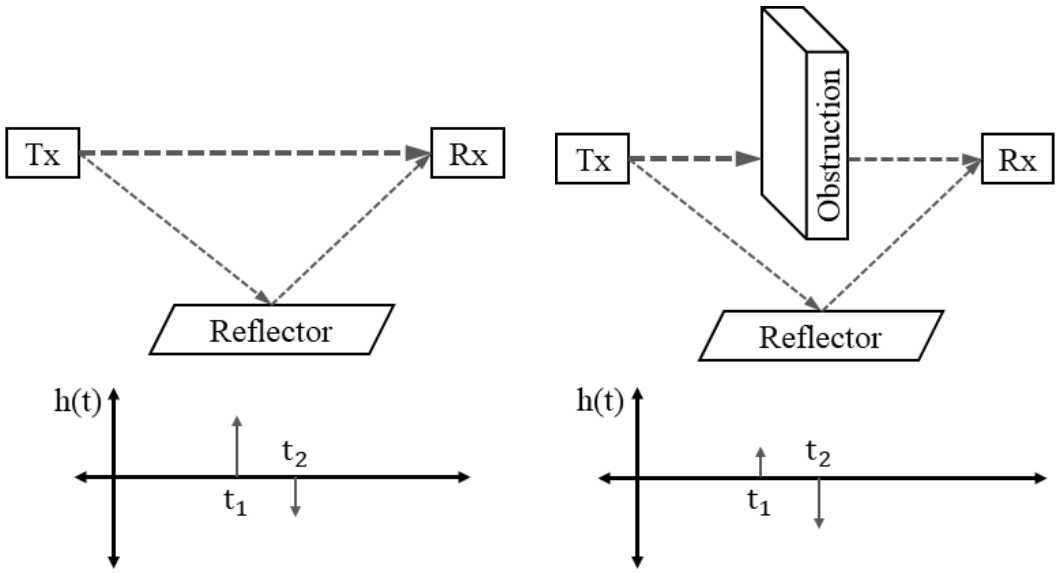


그림 3. 다중경로 환경에서 수신되는 IR-UWB 신호 예시

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) LOS (B) NLOS

그림 4. 다중경로 환경에서의 IR-UWB 채널 임펄스 응답

그림 3은 다중경로 환경에서 수신되는 IR-UWB 신호의 예시를, 그림 4는 LOS와 NLOS 상황에서의 IR-UWB 채널 임펄스 응답을 보여주고 있다. 다중경로 채널에서 수신된 신호는 다수의 MPC (Multipath Component)들을 포함하며, 송신기와 수신기 사이에 장애물이 없는 이상적인 상황에서는 그림 4(a)와 같이 신호의 세기가 가장 큰 MPC가 가장 먼저 도달하게 되지만, 그림 4(b)와 같이 다중경로 환경에서는 신호의 세기가 가장 큰 MPC가 수신기에 먼저 도달하지 않을 수도 있다 [19]. 이러한 특징을 이용하여, IR-UWB 기반 실내 측위 관련 연구에서는 NLOS 추정 기반 신호 도달 거리 보상을 통해 다중경로 환경에서 측위 정확도와 정밀도를 향상시킬 수 있는 방법들이 제안되고 있다 [20]. IR-UWB 기술이 가지는 에너지 효율, 센티미터 급의 측위 성능, 다중경로에 강인한 특성은 실내 환경에서 활용하기 매우 적합한 측위 기술로 평가되고 있지만, UWB 활용 가능 주파수 대역이 대부분의 국가에서 이미 다른 용도의 시스템에 할당되어 운용되고 있기 때문에 간섭 회피 기술이 요구되며, 기존 실내 환경에 이미 보급되어 사용되고 있는 Wi-Fi, BLE 방식에 비해 비용 효율 측면에서는 여전히 불리함을 지니고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

RF 기반의 실내 측위 방법으로는 주로 신호의 도달 시간을 의미하는 ToA, 도착 신호의 지연 시간을 의미하는 TDoA와 같은 시간적 특성을 이용하는 방법과 신호의 세기 (RSS)를 이용하는 방법이 사용되고 있다. 시간적 특성을 이용하는 측위 방식은 신호의 도달 시간을 AP와 수신기 사이의 거리로 환산하여 획득한 거리값을 측량에 이용하여 단말기의 위치를 추정하는 방식이다.

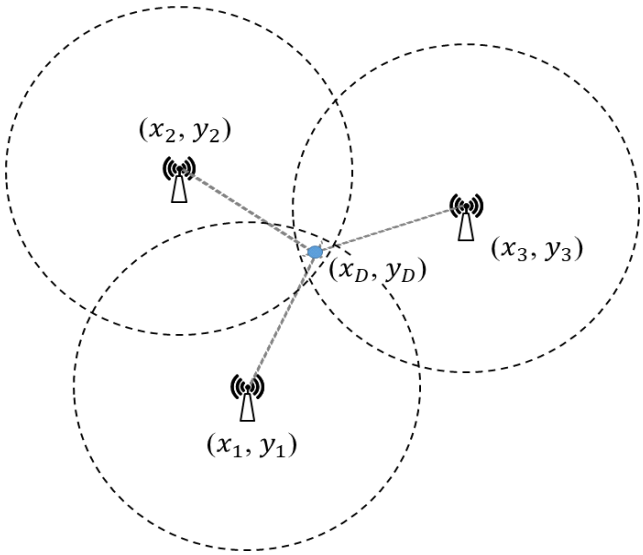


그림 5. ToA를 이용한 측위 방법

ToA를 이용한 측위 방법은 그림 5와 같이 위치정보가 주어진 AP들과 단말기 사이의 신호 도달 시간을 이용하여 거리를 측정한 후 최소자승법 (Least Square) 등을 이용하여 장치의 위치를 계산하는 삼각측량법으로, AP와 단말기 사이의 거리 측정을 위해 둘 사이의 정확한 시간 동기가 요구된다. 하지만 무선 기반의 실내 측위용 AP와 단말기는 저전력, 저비용, 소형화에 중점을 두고 제작되기 때문에 하드웨어적으로 시간 동기 정밀도에 한계가 있으며 모든 장치에 공통의 클럭을 공급할 수 없기 때문에 나노초 단위의 정확한 시간 동기를 맞추는 데 어려움이 있다. AP와 단말기 사이의 시간 동기 문제를 해결하기 위해, IR-UWB 기반 측위에서는 두 장치 사이의 메시지 교환을 통해 신호의 전파 시간을 추정하는 TWR (Two-way Ranging) 알고리즘이 사용되고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

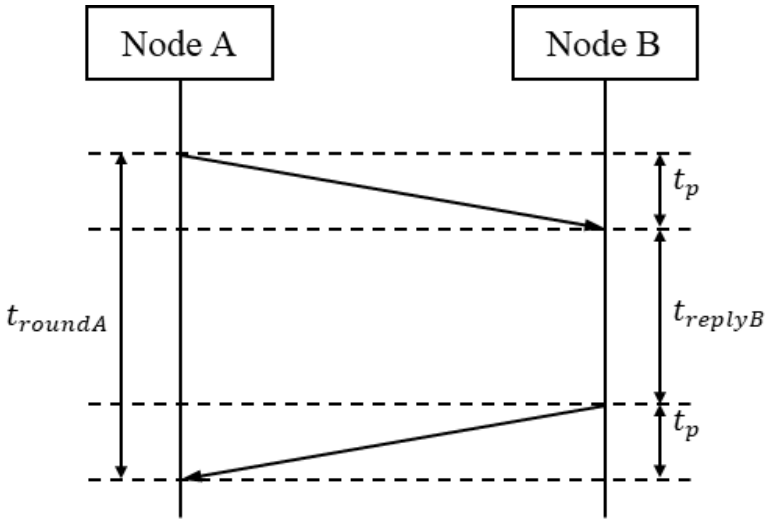


그림 6. Two-way Ranging

그림 6은 TWR 알고리즘의 동작 방식을 보여주고 있다. 노드 A가 노드 B로 측위용 메시지를 전달하면 노드 B는 노드 A로부터 수신한 메시지에 대한 응답 메시지를 송신한다. 노드 A는 측위용 메시지 송신 후 노드 B로부터 응답 메시지를 수신하면 측위용 메시지의 왕복시간과 노드 B의 응답시간을 알 수 있고, 두 값을 이용하여 신호의 도달시간 및 두 장치 사이의 거리를 추정할 수 있다.

$$TOA(t_p) = \frac{t_{roundA} - t_{replyB}}{2} \tag{1}$$

$$d = TOA \times c \tag{2}$$

메시지의 왕복시간 t_{roundA}에 노드의 응답시간 t_{replyB}를 빼면 신호가 두 장치 사이를 왕복하는데 걸린 시간을 알 수 있고, 신호의 왕복시간을 2로 나누면 신호의 단방향 도달 시간 t_p를 구할 수 있다. 따라서 t_p는 두 장치 사이의 ToA가 되며, 여기에 전파의 전파속도인 광속 c를 곱하면 두 장치 사이의 거리 d를 추정할 수 있다. TWR 방식은 주고받는 메시지의 왕복 및 응답 시간을 이용하므로 두 장치의 클럭 차이에 의한 오차를 해소할 수 있지만, AP와 단말기 사이의 양방향 통신이 이루어져야 하므로 다수의 장치들을 대상으로 실내 측위 서비스를 제공하기 위해서는 다중 접속을 위한 프로토콜

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이 적용되어야 한다 [21].

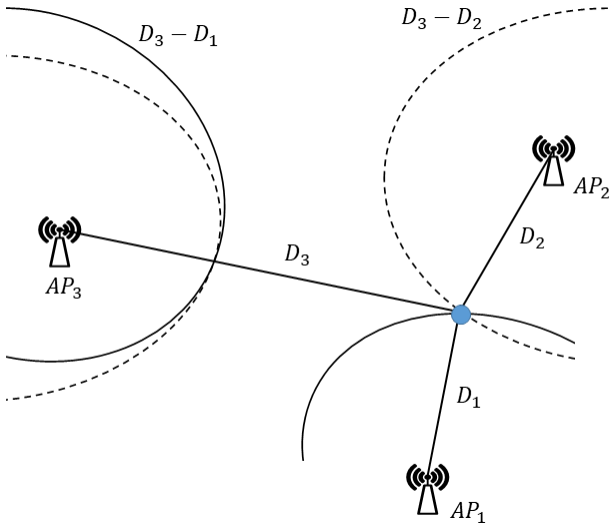


그림 7. TDoA를 이용한 측위 방법

TDoA를 이용한 측위 방법은 단말기에서 브로드캐스팅 하는 측위 신호를 주변 AP에서 각각 수신하여 측정된 수신 시간의 차이를 이용하는 방식으로, AP들 간의 정밀한 시간 동기를 필요로 한다. 단말이 브로드캐스팅한 측위 신호는 단말기와 근접한 순서로 각각의 AP에 도달하며 이때 발생한 수신 시간 차이는 그림 7과 같이 서로의 AP를 초점으로 하는 쌍곡선을 형성하고, 형성된 쌍곡선의 교점을 단말기의 위치로 추정한다. TDoA 방식은 각각의 AP 간의 유무선 시간 동기화 기술이 요구되나, 단말과 AP간의 측위 메시지를 교환하는 TWR 방식에 비해 채널을 점유하는 시간이 줄어들어 저전력화 및 다중 접속 서비스를 구현하는데 이점이 있다.

신호의 도달 시간을 이용하는 측위 방식은 주변 AP와 수신기 사이의 LOS가 확보된 경우 정확도 높은 위치 추정이 가능하지만, 실내 환경을 이루고 있는 각종 장애물과 인체 간섭 등 다양한 요인들로 인해 형성되는 다중경로 채널 환경에서는 LOS가 확보되지 않으므로 전파 지연이 발생하고, 이로 인해 교점이 제대로 형성되지 않아 위치 추정에 어려움이 발생할 수 있다. 때문에 ToA 및 TDoA를 이용한 측위 방법은 신호 세기 및 도달 시간에 영향을 크게 받는 Wi-Fi, BLE 기술보다는 다중경로 페이딩에 강

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

한 특성을 보이는 UWB 기술을 이용한 측위에서 주로 사용되고 있다 [22].

핑거프린팅은 확률적 모델링에 근거하여 노이즈 및 주변 환경으로 수집한 정보를 측위에 활용하는 방법으로, 확률적 모델링에 근거한 방식은 수집된 전파 특성 값이 전파 환경까지 포함되어 있기 때문에 기존의 알고리즘에 비해 우수한 측위 정확도를 제공한다. 이러한 특성으로 인해 핑거프린팅은 Wi-Fi 및 BLE 기술을 이용한 측위 시스템에서 널리 사용되고 있다. 먼저, 측위 대상이 되는 공간을 일정한 범위로 나누고, 단말기를 이용하여 각 참조 지점에서 위치 좌표와 함께 주변 AP로부터 수신한 신호의 세기를 측정하여 추출한 전파 특징 데이터를 데이터베이스에 저장한다. 이 과정은 그림 8과 같이 측위 대상이 되는 지역 내 모든 참조 지점에서의 측정값을 획득할 때까지 반복적으로 수행된다.

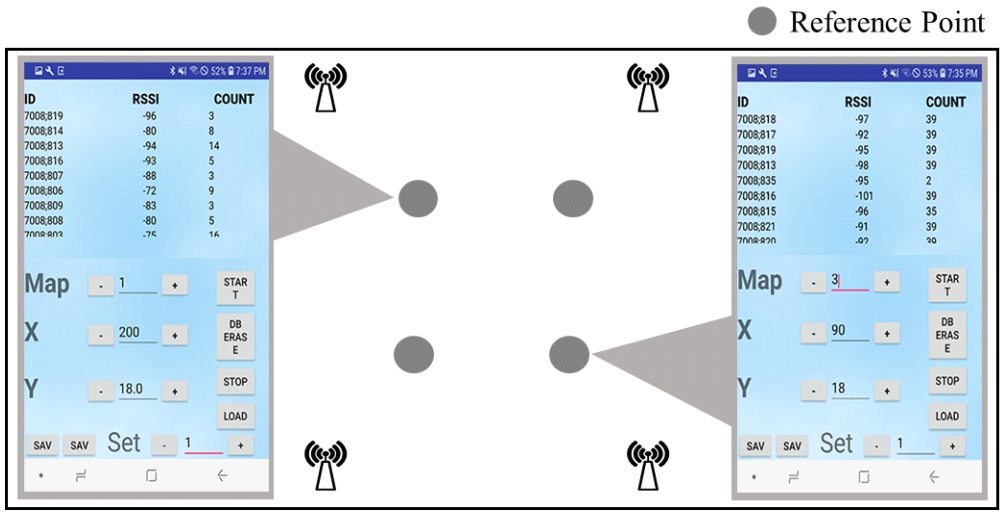


그림 8. 핑거프린팅 데이터 수집

데이터베이스를 구축한 후 단말기를 가진 사용자가 측위 대상 지역에서 주변 AP로부터 신호를 수신하여 측정값을 획득하면, 사용자의 단말기는 그림 9와 같이 서버의 데이터베이스에 저장된 전파 특징 데이터 중에서 측정값과 가장 유사한 특징 데이터를 탐색하고, 해당 특징 데이터의 위치 좌표를 단말기의 현재 위치로 결정하게 된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

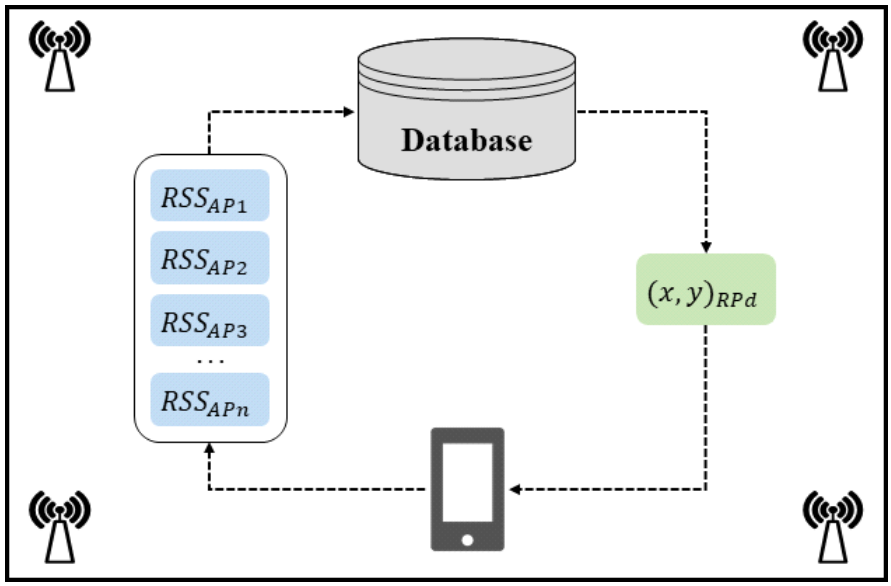


그림 9. 핑거프린팅 방식의 실내 측위

핑거프린팅 방식의 측위 해상도, 정확도, 정밀도와 같은 성능은 AP의 배치와 갯수, 참조 지점의 수와 각 참조 지점 간 간격에 의해 결정되므로 측위 대상이 되는 공간의 크기에 따라 AP와 참조 지점의 수가 달라진다. 때문에, 넓은 공간에 핑거프린팅 방법을 적용하기 위해서는 AP의 수의 증가에 따른 비용의 차이도 발생하지만, 참조 지점의 수가 증가함에 따라 신호 수집을 위한 반복 작업이 증가하게 되어 많은 시간과 노력을 요구하게 된다. 이러한 이유로, 오늘날 효율적인 핑거프린트 데이터 수집을 위한 관련 연구가 활발하게 이루어지고 있다 [17]. BLE 기반 실내 측위 관련 연구에서, [23]은 19개의 BLE 비콘을 사용하여 핑거프린트 지도를 생성하고 이를 이용하여 사용자의 위치를 추정하는 방법을 제안하였다. 해당 연구에서는 BLE 비콘이 Wi-Fi 기반의 측위보다 더 효과적으로 사용될 수 있음을 보여 주었지만, 선술한 바와 같이 신호의 감쇠 및 간섭, 다중 경로 및 페이딩과 같은 요인들이 측위 결과에 영향을 미치는 문제점 또한 보여주고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 센서를 이용한 측위

MEMs (Micro-Elctro Mechanical System) IMU는 사용자의 움직임을 측정하기 위해 개발된 센서로, 오늘날 스마트폰에 기본 내장된 형태로 널리 사용되고 있다. IMU는 중력가속도를 측정하는 가속도 센서, 회전 각속도를 측정하는 자이로스코프, 주변 지자기장의 세기를 측정하는 자기장 센서로 구성되어 있으며, 각 센서는 3축 직각좌표계 기준의 측정값을 출력한다. IMU를 구성하는 각각의 센서는 측정되는 값의 패턴에 따라 다양하게 활용될 수 있는데, 중력가속도를 측정하는 가속도 센서는 주로 센서가 내장된 장치의 자세 및 움직임을, 회전운동을 측정하는 자이로스코프는 장치의 회전각을 측정하는데 사용된다. 자기장 센서의 경우 장치 주변을 지나는 지자기장의 세기를 측정하는데, 측정값을 지자기장 기반 측위에 활용하거나 가속도 센서에서 추정한 장치의 자세와 결합하여 장치의 방향각(지구 자북 기준)을 추정하는 장치로 활용할 수 있다. 특히 IMU를 내장한 스마트폰의 경우 사용자가 늘 장치를 휴대한 채로 이동하기 때문에, 측정되는 각 센서의 출력값을 분석하여 사용자의 이동 경로를 추정하는 보행자 추측 항법을 활용하면 사용자의 위치를 추정할 수 있다. 하지만 보행자 추측 항법의 경우 상대적 이동 궤적을 추정하는 방식이므로 절대적인 초기 위치가 주어져야 이후의 위치들을 결정할 수 있고, 스마트폰의 경우 사용자에 따라 휴대하는 위치나 움직임 패턴이 달라지기 때문에 여러 가지 상황을 고려해야 한다 [24].

보행자 추측항법(PDR)은 IMU 데이터를 이용하여 장치의 상대적 이동 경로를 추정하는 데 사용되고 있다. 무선 송수신기가 아닌 센서 측정 데이터 기반이기 때문에, PDR은 외부 인프라의 도움 없이 사용자의 위치를 추정할 수 있다는 장점을 갖는다. PDR을 이용한 측위 기술은 이전 위치 정보가 존재할 때 이전 위치로부터 이동한 거리 및 방향을 적용하여 현재의 위치를 추정하는 방식으로 구현되기 때문에 IMU는 보행자의 신체에 부착하거나 신체와 가까운 위치에서 늘 휴대하는 장치에 주로 설치되며, 보행에 의해 발생되는 가속도, 각속도 그리고 자기장 측정치를 기반으로 보행자의 위치를 추정하게 된다 [25][26]. 이러한 특징으로 인해 PDR 기반 측위에서는 IMU의 휴대 위치와 센서 측정 데이터를 처리하는 알고리즘 및 필터 설계 방법에 따라 측위 데이터의 신뢰도가 달라진다. IMU는 휴대하고 있는 위치에 따라 각기 다른 패턴의 가속도,

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

각속도, 자기장 측정값을 제공하기 때문에 센서 데이터를 처리하는 알고리즘 및 필터를 설계할 때 측정치의 패턴을 고려해야 한다. 또한, 센서 기반의 이동 궤적을 추정하는 PDR 시스템에서 초소형, 저비용 IMU를 활용하는 경우 센서 데이터에 포함되어 있는 오차로 인해 이동 거리에 따라 위치 오차가 점차 누적되어 측위 데이터의 신뢰도가 달라진다. 때문에 PDR 기반 측위는 센서 데이터 자체의 오차를 줄일 수 있는 알고리즘 및 필터를 설계하는 방법과 주기적으로 위치 정보를 초기화할 수 있는 다른 측위 기술과 결합하는 방법이 주로 사용된다[27].

근래에는 지자기장을 이용한 실내 측위 관련 연구 및 서비스 개발이 활발하게 진행되고 있다. 지자기장은 센서를 이용하여 지구 자기장의 세기를 측정하는 방식으로 인해 외부 인프라를 요구하지 않는다는 이점이 있기 때문이다. 지구는 북극을 S극, 남극은 N극을 띄는 하나의 영구자석으로 나타낼 수 있으며, 지구표면에 분포되어 있는 자기장을 지구자기장(Earth's magnetic field), 혹은 지자기장(Geomagnetic)이라 한다. 지구자기장의 분포는 위도에 따라 20 ~ 70μT 정도이며, 지구자기장의 세기와 방향은 일정한 것이 아니라 지구의 내, 외적인 요인에 의하여 변화한다. 즉, 지구의 내부적 요인, 이온층의 전류, 자기권(magnetospheric) 내의 플라즈마 효과, 태양풍이나 인위적으로 구축된 건물, 도로, 차량 및 전력선 등의 외부 요인에 의하여 영향을 받게 된다. 지구 자기장은 벡터량으로 표현할 수 있으며, 지구자기장의 성분은 지리상의 북극인 진북과 자침의 N극이 가리키는 자북 사이를 이루는 각인 편각(Declination), 총 지구자기장(Total geomagnetic field)과 지구 표면이 만드는 각인 복각(Inclination), 지구자기장 의 벡터합을 나타내는 총지구자기장(F), 수평지구자기장(H) 및 수직지구자기장(Z) 등으로 나눌 수 있다. 지자기장의 분포는 지각의 구조, 즉 지층이나 지하 광물, 석유, 가스층, 지하수 등에 의해 부분적으로 교란되며, 특히 투자율(Magnetic permeability)의 분포가 균일하지 못하면 자기 선속 밀도(Magnetic flux density)의 분포도 균일하지 못하게 되는 국소적 지자기 교란이 발생한다. 특히 철근 및 H-빔 등 강자성을 띄는 자재를 사용하여 지어진 건축물의 내부와 같은 환경에서는 공간적인 자기장 교란이 크게 발생하는 것으로 알려져 있다. 게다가 실내 환경은 오늘날 조명 및 다양한 전기적 장치들의 사용을 위해 내부에 고전압의 교류가 흐르는 전력망이 구성되어 있으므로 전력을 활용하는 장치들과 전력 케이블에서 발생하는 자기장으로 인해 지자기장의 교란이 늘 발생하게 된

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다. 때문에, 자기장의 분포가 균일한 실외 환경에서의 자기장은 나침반이나 자기장 센서와 같은 측정 장치를 이용한 방위각 측정이 용이한 반면, 실내에서는 강자성체 및 전력망의 영향에 의해 균일하지 못한 자기장 분포를 보이기 때문에 방위각 측정에 어려움이 있다. 하지만 좁은 범위 내에서도 균일하게 발생하지 않는 자기장 분포의 특징으로 인해, 실내에서 측정되는 지자기장의 세기를 핑거프린트 데이터로 활용한 실내 측위 기술에 대한 연구 및 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

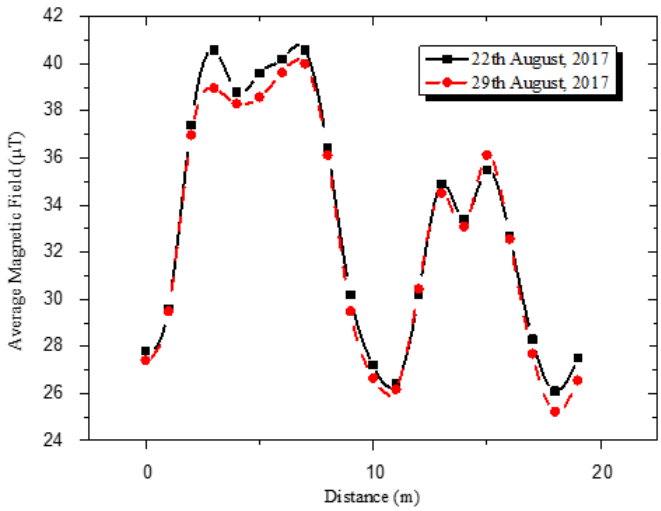


그림 10. 실내 환경에서 시간 경과에 따른 자기장 세기 변화 측정 결과

관련 연구 [28] 에서는 자기장 측정치가 시간의 흐름에 대하여 안정적이며 지자기장 기반 측위가 실내에서 활용될 수 있음을 보여주었고, [29] 에서는 실제로 지자기장을 이용한 측위 방법을 제안하였다. 해당 연구에서는 파티클 필터와 같은 신호처리 방법을 지자기장 측위에 활용하여 측위 성능을 개선할 수 있음을 보여주기도 하였다. 하지만 자기장이 건물 내부 각각의 지점에서 항상 고유한 세기를 보이는 것은 아니기 때문에 측위 성능이 제한될 수 있다는 문제점을 여전히 지니고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

C. 영상처리를 이용한 비전 측위

무선 기술과 센서 기술 이외에도 카메라를 이용한 비전 측위 기술 또한 연구가 진행되고 있다. 비전 측위 기술은 카메라를 통해 관측된 랜드마크로부터 기준 위치를 획득하고, 랜드마크와 카메라 사이의 상대적 위치 차이를 계산하여 현재 위치를 추정한다. 때문에, 랜드마크는 기준 위치를 알 수 있도록 고유한 형태를 지니고 있거나 랜드마크 자체에 위치 정보를 포함하고 있어야 한다. 고유 형태 기반 랜드마크 위치 정보 추출은 핑거프린팅과 같이 관측된 랜드마크 영상 데이터와 미리 구축해둔 영상 데이터베이스의 데이터를 비교하는 과정을 필요로 하기 때문에 시스템 구축에 많은 비용이 소요되고 영상 데이터 정합 과정에서 매우 많은 연산량을 요구하게 된다. 이러한 이유로, 비전 측위를 위한 랜드마크로는 QR 코드, 바코드와 같이 검출이 쉽고 랜드마크 자체에 위치 정보를 포함시킬 수 있는 마커가 주로 사용된다. 상대적 위치 차이는 카메라와 마커 사이의 거리 및 방향각을 의미하는데, 이러한 정보를 얻기 위해 카메라에서 입력되는 방대한 양의 픽셀 데이터를 분석하고 비교하는 과정 또한 고성능의 연산장치를 필요로 하게 된다. 특히, 초점거리를 이용하여 카메라와 랜드마크 사이의 거리를 추정하기 위해 둘 이상의 카메라를 사용할 경우 처리할 데이터의 양은 카메라의 수만큼 증가하게 되며, 단일 카메라에서 둘 이상의 랜드마크를 동시에 관측하고 분석하여 위치를 추정하는 경우 알고리즘의 복잡도가 증가하게 된다.

단일 카메라와 단일 랜드마크를 이용한 비전 실내 측위를 위해, 관련 연구 [30] 에서는 호모그래피 [31] 기반 영상처리 알고리즘을 이용하여 로봇에 설치된 카메라와 QR (Quick Response) 코드 마커 사이의 거리를 계산하고 자이로스코프를 이용하여 로봇의 방향각을 계산하여 실시간으로 위치를 추정하는 방법이 제안되었다. 제안된 방법은 이동식 로봇에서 실시간 비전 측위가 가능함을 실험을 통해 보여주고 있지만, 모바일 보다는 PC에 가까운 성능의 프로세서를 이용하여 로봇의 위치를 추정하는 것을 확인할 수 있었다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

D. 하이브리드 측위

단일 측위 기술을 이용하는 방법 외에, 각각의 기술이 지니고 있는 한계를 극복하기 위해 둘 이상의 측위 기술을 결합하는 하이브리드 측위 방법 또한 관련 연구가 활발하게 진행되고 있다. 관련 연구 [32][33]에서, IMU 기반의 PDR 측위 기술과 Wi-Fi 기반 측위 기술이 함께 사용되는 것을 볼 수 있다. 해당 연구에서는 Wi-Fi 기반 RSSI 핑거프린팅을 통해 PDR의 드리프트 에러를 제거하는 방법이 제안되고 있다. PDR 측위는 짧은 거리에 대해서만 정밀도를 가지기 때문에, Wi-Fi 측위를 통해 주기적으로 현재의 위치를 보정하면 PDR에서 발생하는 오차가 누적되는 것을 막을 수 있기 때문이다. 이외에도 관련 연구 [34][35]에서 IMU의 측정 오차를 줄이기 위해 다양한 방법이 제안되었지만, 이동 거리에 비례하여 누적되는 위치 오차는 완전히 제거되지 않기 때문에 IMU 기반의 PDR 만으로는 실내 측위에 어려움이 있다. 이러한 이유로, PDR은 단일 측위 시스템 보다는 하이브리드 시스템에서 널리 사용되고 있는 실정이다. 그 외에도, [36]에서는 PDR과 광원 및 자기장 센서를 결합하여 실내 위치를 추정하는 방법을 제안하였으며, [37]에서는 PDR과 Wi-Fi 측위 기술에 확장 칼만 필터를 결합한 측위 방법, [38]에서는 PDR과 IEEE 802.15.4a 기반의 비콘을 결합한 측위 방법 등이 제안되었다. 이렇게 무선 기반 측위 기술과 결합된 하이브리드 방법은 건물 내부의 넓은 공간 내에서는 측위 정밀도가 향상되는 반면, 복도와 같은 좁은 공간에 대해서는 정밀도가 다소 떨어지는 결과를 보인다. 추가적으로, 하이브리드 방식의 측위 기술이 스마트폰에 적용될 경우, 배터리 용량 및 연산 성능이 제한되는 스마트폰에서 둘 이상의 측위를 동시에 수행하기 때문에 정밀도가 향상되는 만큼 배터리의 사용량도 함께 증가하게 된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

III. 제안하는 실내 측위 시스템

A. 실내 측위 시스템의 설계 목표

스마트폰 기반의 IPS는 주변 환경의 상태를 감지하는 사용자 단말기, 건물 내부에 설치되어 위치 정보를 제공하는 RF 인프라 노드 및 현재 위치를 추정하고 실내 지도 및 위치 정보를 제공하기 위해 사용자 단말기와 통신하는 LBS 서버의 세 가지 요소로 구성된다. 본 논문에서는 실내 소셜 마케팅 서비스를 위한 어플리케이션 (App. 1), 실내 내비게이션 및 위치 추적 서비스를 위한 어플리케이션 (App. 2), 실내 위치 기반 엔터테인먼트 서비스를 위한 어플리케이션 (App. 3)의 세 가지 LBS 어플리케이션을 지원하는 스마트폰 기반 실내 측위 시스템을 소개한다. 표 1에는 각각의 실내 LBS 어플리케이션의 측위 요구 사항 및 조건과 함께 제안 시스템에서 지원하는 세 가지 유형의 어플리케이션을 제시하고 있다. 즉, App. 1은 약 2 ~ 4m의 측위 정밀도를 필요로 하는 소셜 마케팅, 광고 및 실내 모니터링 서비스를 위한 LBS 어플리케이션, App. 2는 약 1.5 ~ 3m의 보다 정밀한 측위 성능을 필요로 하는 실내 내비게이션 및 위치 추적 서비스를 LBS 어플리케이션에 해당되며, App. 3은 스마트폰 카메라를 결합하여 실내 엔터테인먼트 서비스와 높은 측위 정밀도를 제공하기 위한 어플리케이션을 의미한다.

표 1. LBS 어플리케이션과 요구 사항 및 측위 기술

LBS 서비스	활용 분야	요구 사항	측위 기술
마케팅 (App. 1)	소셜 마케팅, 광고 정보 제공, 실내 모니터링	측위 정밀도 2~4 m	BLE 비콘 PDR
내비게이션 및 위치 추적 (App. 2)	보행자 실내 경로 안내, 위치 추적	측위 정밀도 1.5~3 m	BLE 비콘 PDR 지자기장 측위
엔터테인먼트 (App. 3)	소셜 네트워킹 증강현실 컨텐츠	측위 정밀도 1.5~3 m 카메라	BLE 비콘 PDR 비전 측위

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

본 논문에서는 각 응용 분야에서 필요로 하는 측위 정밀도를 충족하는 하이브리드 측위 기술을 제공하기 위해 BLE 비콘, 지자기장, PDR, 그리고 비전 측위의 네 가지 측위 기술을 결합하고 각각의 측위 기술이 갖는 문제점을 상호 보완하도록 설계하였다. 일반적으로 Wi-Fi 및 BLE 비콘 기반 측위가 실내 환경에서 GPS를 대체하기 위해 널리 사용되고 있는데, 본 논문에서는 몇 가지 이유로 Wi-Fi 대신 BLE 비콘을 RF 측위 기술로 선택하였다. 우선, Wi-Fi 측위는 일반적으로 비용대비 BLE보다 더 나은 정밀도를 제공하지 못하기 때문이다. 실내 측위 관련 연구에서, [39]의 성능 비교 결과는 BLE 비콘이 매 초당 신호의 스캔이 가능한 데 비해 Wi-Fi 측위는 3~4초마다 신호를 스캔할 수 있음을 보여주었다. 또한, [40]에서는 BLE 비콘 측위가 Wi-Fi 측위에 비해 신호 해상도가 더 우수함을 보여주었다. 무엇보다, 전력망을 필요로 하는 Wi-Fi AP에 비해 소형 배터리만으로 길게는 수년까지 동작 가능한 BLE 비콘이 정전 및 응급 상황에서도 위치 기반 서비스를 유지하기 용이하며 비용 측면에서도 유리하기 때문이다.

제안 시스템은 하이브리드 실내 측위 기술을 통해 정밀도를 최대화하면서 인프라 구축에 소요되는 비용을 최소화하기 위해 실내 측위 시스템 구성 요소를 BLE 비콘과 종이로 인쇄되는 비전 마커로 제한하였다. BLE 비콘과 마커는 외부 전원을 필요로 하지 않고 건물의 형태와 내부 구조에 영향을 받지 않기 때문에 어느 곳에나 손쉽게 적용이 가능한 장점이 있다. 이를 통해, 제안하는 LBS 시스템은 사용자가 별도의 단말기 없이 스마트폰을 통해 실시간으로 서비스를 제공받을 수 있고 서비스 지역에 실내 측위 시스템 구축을 위한 인프라 투자 비용을 최소화할 수 있다는 특징을 갖는다.

본 논문에서는 각각의 제안 어플리케이션에 사용된 하이브리드 측위 방법을 소개하고 실험을 통해 실제 구현된 시스템의 성능을 평가하고자 한다. 개발 어플리케이션이 각 응용 분야에서 요구하는 측위 정밀도를 충족하면서 소비자용 스마트폰에서의 실시간 동작을 보장하기 위해, 각각의 실내 측위 기술들을 효율적으로 결합하는 하이브리드 측위 알고리즘이 제안되었다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 제안 시스템의 동작 및 구성

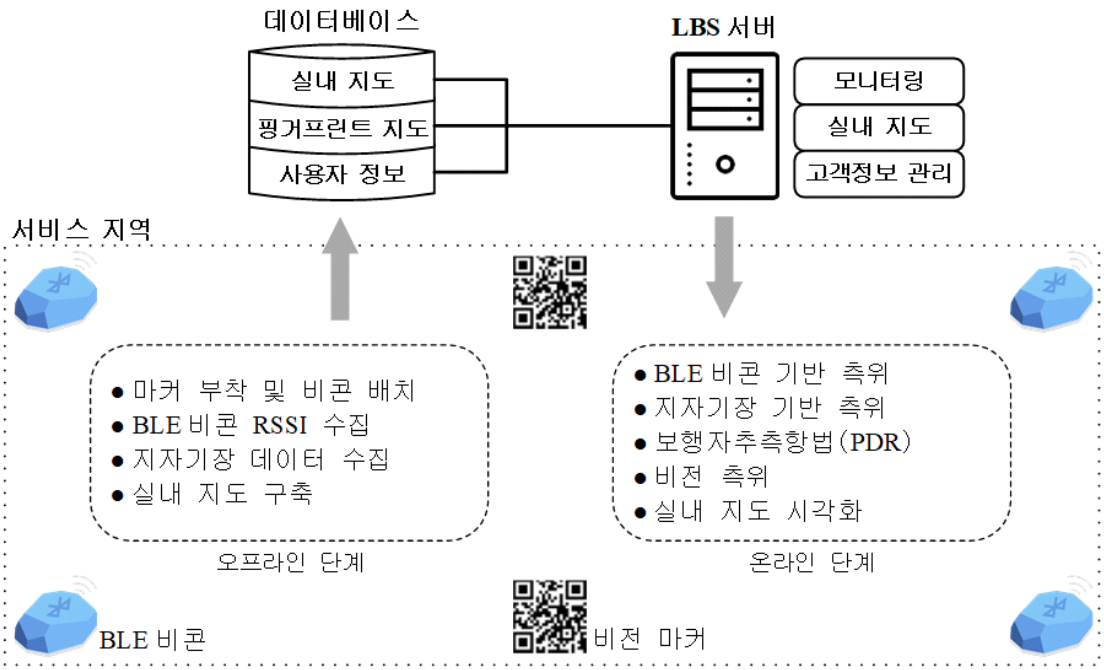


그림 11. 제안된 실내 LBS 시스템의 구조

본 논문에서 제안하는 LBS 시스템의 구조 및 동작 방식은 그림 11과 같다. 시스템의 동작은 비콘과 마커를 배치하고 실내 지도 및 핑거프린트 지도를 생성하는 오프라인 단계와 스마트폰을 이용하여 사용자의 위치를 실시간으로 추정하는 온라인 단계로 나뉜다. 오프라인 단계에서는 사용자 스마트폰이 실내 측위를 할 때 이용할 핑거프린트 지도와 사용자에게 서비스 지역과 위치를 시각적으로 보여줄 실내 지도가 필요한데, 핑거프린트 지도의 경우 서비스 지역을 일정 간격을 갖는 그리드 셀로 분할한 다음 각 지점을 참조 위치로 설정한 뒤 각각의 참조 위치에서 Bluetooth 모듈과 자기장 센서를 이용하여 비콘 신호의 RSSI와 실내 지자기장 세기를 수집하는 방식으로 구축한다. 비콘 신호의 RSSI와 지자기장의 세기를 측정할 때 신호의 세기가 측정 장치의 방향에 따라 달라질 수 있기 때문에 참조 위치마다 네 군데의 방향 (0°, 90°, 180°, 270°) 별로 각각 데이터를 수집하였다.

온라인 단계에서는 스마트폰이 현재의 위치에서 BLE 비콘 신호, 지자기장의 세기,

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그리고 카메라와 마커가 마주보고 있다면 마커의 정보까지 획득한 다음 오프라인 단계에서 구축해놓은 핑거프린트 지도를 이용하여 스마트폰의 현재 위치를 추정한다. 현재 위치가 추정되면 스마트폰은 실내 지도를 이용하여 사용자가 현재 위치를 볼 수 있도록 스마트폰의 위치를 시각화한다. 온라인 단계에서 스마트폰이 이용하는 핑거프린트 지도 및 실내 지도, 그리고 사용자의 정보는 모두 LBS 서버로부터 전송받는다. 온라인 단계에 있는 스마트폰은 실시간으로 현재 위치를 계속 업데이트하며, 현재 위치를 기반으로 다양한 서비스를 이용하게 된다. 내비게이션 서비스의 경우, 사용자가 스마트폰에 목적지를 설정할 경우 Dijkstra [41] 알고리즘을 이용하여 목적지까지의 최단 경로를 탐색한 뒤 실내 지도에 다음 진행 방향을 표시하여 경로를 안내한다. 실내 관리자의 사용자 모니터링 기능의 경우, 관리자가 LBS 서버에 관리자 모드로 접속하면 인증된 사용자들의 실시간 위치를 웹 인터페이스를 통해 볼 수 있게 된다. LBS 서버는 사용자들의 위치를 실시간으로 전달받고 있기 때문에, 해당 위치 정보를 기반으로 광고 정보 및 엔터테인먼트 등의 부가 서비스를 제공할 수 있게 된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

C. 실내 측위를 위한 요소 기술

1. 저전력 블루투스 (BLE) 비콘 기반 측위

RF 신호의 수신 안정성으로 인해, RSSI 기반의 측위는 대략적인 위치를 추정하는 용도로 사용된다. RF 신호의 RSSI는 다음의 전파 모델을 통해 산출해낼 수 있다 [42].

$$RSSI = P_t - PL(d_0) - 10\eta \log_{10}\frac{d}{d_0} + A \tag{1}$$

식 (1)에서 P_t는 송신 전력, $PL(d_0)$는 특정 기준 거리에서의 경로 손실을 의미하는데, d_0는 일반적으로 1m를 기준으로 한다. 그리고 d는 수신기와 비콘과의 거리, η는 경로 손실 지수 (Path loss exponent), A는 가우시안 랜덤 변수를 의미한다.

BLE 비콘 측위의 경우 온라인 단계에서 관측된 RSSI와 오프라인 단계에서 구축한 RSSI 핑거프린트 데이터를 비교하는 방식으로 이루어진다. RSSI 핑거프린트 데이터는 오프라인 단계에서 서비스 지역 내 각각의 기준 위치에서 측정한 평균 RSSI 값들의 집합으로, LBS 서버의 데이터베이스 안에 저장된다. RSSI 핑거프린트 지도 M_{ij}는 데이터베이스 내에서 다음과 같은 형태로 저장되어진다.

$$M_{ij} = [F, X_i, B_j, R_{ij}] \tag{2}$$

식 (2)에서 F는 실내 서비스 지역의 층수를 의미하고, X_i는 i번째 참조 위치의 2차원 좌표 $[x, y]$, B_j는 비콘 식별자, R_{ij}는 i번째 참조 위치에서 j번째 비콘 신호로부터 획득한 100개의 RSSI 샘플의 평균값을 의미한다. 그림 12와 같이, 비콘 신호의 세기는 수신 장치의 방향을 0°, 90°, 180°, 270°로 전환하며 전방향으로 수신한 신호 세기의 평균을 산출하였다. RSSI 핑거프린트 지도 내 각 참조 지점별 데이터가 저장되는 형식은 그림 13과 같다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

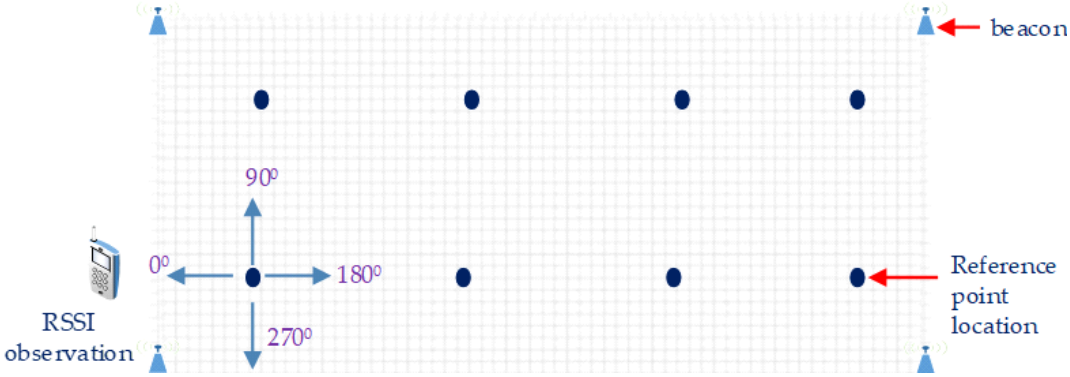


그림 12. BLE 비콘 핑거프린트 지도 데이터 수집

RSSI 핑거프린트 지도 식별자	층 번호	*X*-좌표	*Y*-좌표	비콘 식별자	평균 RSSI

그림 13. BLE 비콘 핑거프린트 지도 데이터 형식

그림 14는 서비스 지역에 배치되는 각각의 비콘이 고유한 값을 갖도록 비콘 식별자 번호를 할당하는 방법을 보여준다.

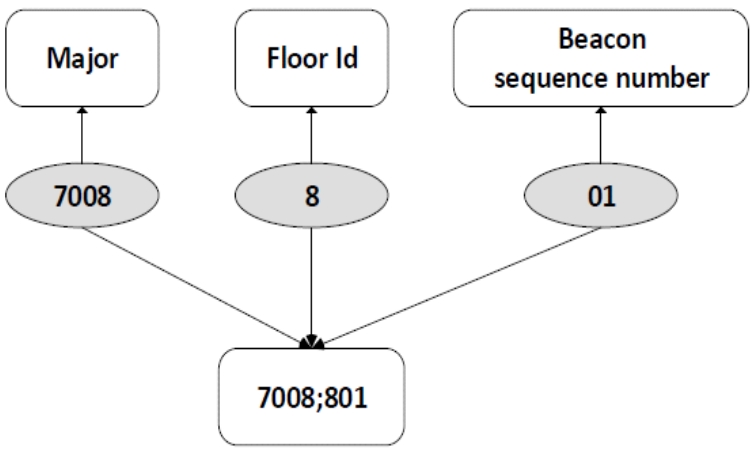


그림 14. 제안 실내 측위 시스템에 사용된 비콘의 식별자 할당 예시

스마트폰은 온라인 단계에 있는 동안 지속적으로 주변 비콘으로부터 RSSI 값을 수

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

신하고 핑거프린팅 방식으로 현재 위치 정보를 업데이트한다. 핑거프린팅 방식은 알고리즘 자체의 낮은 복잡도와 높은 측위 정밀도를 갖기 때문에, IPS 구현에 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 핑거프린팅 데이터와 스마트폰에서 수신한 RSSI 값을 매칭하는 단계에서 효과적으로 활용될 수 있는 방법으로 Weighted K nearest neighbor (WKNN) 알고리즘을 활용하였다 [43][44]. 오프라인 데이터 내 i번째 참조 위치의 RSSI (R_{ij})와 온라인 단계에서 획득한 RSSI ($\widetilde{R}_j$) 사이의 유클리디언 거리 D_i는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$D_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{M}(R_{ij} - \widetilde{R}_j)^2}, D_i = \{\mathrm{D}_1, \mathrm{D}_2, \ldots, \mathrm{D}_\mathrm{N}\} \tag{3}$$

식 (3)에서 i는 참조 위치의 수를 의미하며, j는 RSSI 비교에 사용된 비콘의 수 ($1 \le i \le N, 1 \le j \le M$)를 의미한다. 본 논문에서는 참조 위치별 유클리디언 거리(D_i) 산출을 위해 m개의 가장 큰 수신 신호 세기를 갖는 비콘을 선택하였다. 여기서, m은 M 값보다 낮은 것을 전제로 한다. RSSI 핑거프린트 매칭 단계에서는 비콘의 수를 제한해야 핑거프린트 과정에서 발생하는 연산량을 줄일 수 있고 제한된 용량의 배터리로 구동되는 스마트폰 기반 IPS 어플리케이션에서 빠른 측위 속도를 실현할 수 있기 때문이다. 이후, 스마트폰의 현재 위치를 추정하기 위한 참조 위치들은 유클리드 거리 값을 기준으로 오름차순 정렬되고 WKNN 기반 위치 추정을 위한 첫 번째 K 참조 위치를 선정한다. 여기서, 비콘 측위의 위치 좌표 (X_{BLE}, Y_{BLE})는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$(X_{BLE},\ Y_{BLE}) = \left(\frac{\sum_{i=1}^{i=k} w_i x_i}{\sum_{i=1}^{i=k} w_i}, \frac{\sum_{i=1}^{i=k} w_i y_i}{\sum_{i=1}^{i=k} w_i} \right), \text{ where } w_i = \frac{1}{D_i} \tag{4}$$

식 (4)에서 w_i는 i번째 참조 위치에 할당된 가중치를 의미하며, (x_i, y_i)는 i번째 참조 위치의 좌표를 나타낸다. 참조 위치에 할당되는 가중치를 결정하기 위해 유클리디언 거리 D_i의 역수가 사용된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 보행자추측항법 (PDR)

PDR은 일반적으로 스마트폰에 내장되어 있는 IMU를 이용하여 장치의 이동 속도 및 방향을 추정한다. 측위 과정은 걸음검출[45], 보폭 검출[46], 그리고 방향 추정의 단계로 구분된다. 걸음검출은 보행자의 이동 여부를 판단하는 과정으로, 걸음으로 판단된 경우 보폭 추정과 방향 추정을 수행하게 된다. 보폭과 방향이 얻어지면 보행자가 이동한 거리와 방향이 결정되는데, PDR의 위치 정보는 상대적인 위치 변화를 의미하기 때문에 이전 위치에 이동 거리와 방향을 적용하여 현재의 위치를 추정할 수 있다. 따라서 PDR은 절대 좌표 형태의 초기 위치가 주어져야 하며, 이동 거리와 방향을 기준 좌표계에 맞게 변환하여 현재 위치를 추정한다. 추가로, 내비게이션과 같이 PDR 기반 측위에 맵 정보를 결합할 경우 사용자의 이동 속도 및 이동 가능한 범위를 고려하여 PDR 시스템의 이동 경로를 제한하는 방법으로 위치정확도를 높이는 방법이 사용되고 있다. PDR 기반의 추정 위치는 다음과 같이 구해진다.

$$x^{t+1} = x^{t} + SL^{t}\cos\theta^{t},\ \mathrm{y}^{t+1} = \mathrm{y}^{t} + \mathrm{SL}^{t}\sin\theta^{t} \tag{5}$$

식 (5)에서 SL^{t}는 보폭을 의미하고 θ^{t}는 시간 t에서 장치가 향하고 있는 방향각을 의미한다. 즉, PDR 측위로 추정한 현재의 위치 좌표 (X_{PDR}, Y_{PDR})는 (X^{t+1}, Y^{t+1})을 의미하며, PDR 측위의 신뢰성은 이전 시점 t에서의 위치 정보에 의존적이다. 또한, 측위 정밀도는 센서의 정밀도, 건물 내부의 지자기장 교란, 스마트폰의 자세와 방향 등에 의해 제한될 수 있다. 스마트폰 내장 IMU의 정확도가 과거에 비해 증가하고는 있지만, 자이로스코프 바이어스로 인한 방향각 측정 과정에서 누적되는 오차로 인해 넓은 지역의 실내 내비게이션 서비스를 제공하는 데 있어 여전히 많은 어려움이 남아있는 실정이다. 그러나 PDR은 제한적인 범위 내에서 단기 측위를 수행함에 있어서는 유용함이 있기 때문에 넓은 범위에서 장기 측위를 수행할 수 있는 여타 기술 요소와 결합된다면 실용성있는 측위 시스템 설계가 가능할 것으로 판단된다.

PDR 측위 과정에서 추정하는 걸음, 보폭, 방향은 다음과 같이 구할 수 있다.

- 걸음 검출: 걸음 검출은 지면에 대한 중력 가속도계의 수직 센싱 값을 기반으로

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이루어진다. 수직 중력가속도는 스마트폰의 기울기에 영향을 받기 때문에 본 논문에서는 가속도의 평균 크기 (a_{mag})를 이용하였다 [47]. 한 걸음은 다음의 조건을 만족할 때 검출될 수 있다.

$$||a_{mag} - g|| \geq a_{th} \tag{6}$$

식 (6)에서 g는 지구의 중력 가속도, a_{th}는 임계 가속도를 의미한다.

- 보폭 추정: 보폭은 사용자의 연령, 키, 성별 등과 같은 다양한 외적 요인에 따라 달라진다. 따라서 스마트폰 센서만으로는 개별 보행자의 보폭을 결정할 수 없다. 본 논문에서는 보폭 길이 추정 단계에서의 오차를 최소화하기 위해 보편적으로 많이 사용되고 있는 Weinberg approach [48] 방식을 이용하여 방정식을 형성하였다.

- 방향 추정: 사용자가 스마트폰을 잡고 가리키는 방향이 항상 직선일 수는 없기 때문에, 방향 추정은 실내 측위 과정에서 매우 중요한 부분을 차지한다. 방향 추정 과정에서는 스마트폰에서 지원하는 합성 센서인 방향 센서를 이용하고 측정된 방향각을 서비스 지역의 좌표계에 맞춘 방향각(0° ~ 360°)으로 변환한다.

3. 지자기장 기반 측위

비 인프라 기반의 실내 측위 기술로 활용 가능한 방법 중 하나로 지자기장을 이용한 측위 방법이 있다. 스마트폰 내장 IMU에 포함되어 있는 자기장 센서는 스마트폰 주변의 지구 자기장을 감지할 수 있기 때문에 이를 이용한 다양한 측위 방법들이 관련 연구 분야에서 개발되고 있다. 일반적으로 자기장은 현대식 건물을 구성하는 철강, 철근 콘크리트 등의 강자성체 및 전력망, 전기 및 전자 장비들로 인해 특정한 자기장 왜곡을 발생시킨다 [49]. 이러한 자기장 왜곡 요소들은 건물 내부의 위치마다 다르게 분포되어 있기 때문에, 자기장의 세기 (Magnetic Field Intensity, MFI) 값은 건물 내부의 위치에 따라 고유한 값을 가질 수 있다. 이러한 실내 MFI의 분포는 실내 위치 추정 어플

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

리케이션에 접목시키기 적합한 센서 데이터를 제공할 수 있다. 선술한 바와 같이, 자기장 기반 측위는 외부 인프라 구축을 필요로 하지 않으므로 비용 효율이 매우 좋은 측위 수단으로 각광받고 있다.

실내 측위 시스템 구성을 위해, 오프라인 단계에서 건물 내부에서의 자기장 핑거프린트 데이터를 수집할 때 스마트폰의 자기장 센서를 활용할 수도 있다. 자기장 센서는 3축(m_x, m_y, m_z)에 대한 MFI 값을 측정한다. 비콘 핑거프린팅 측위에서와 같이, 각 참조 지점에서 관측되는 MFI 데이터는 해당 참조 위치의 좌표와 함께 데이터베이스에 저장된다. 데이터베이스에 저장된 핑거프린트 데이터는 $M_{(x,y)} = [X, Y, m_x, m_y, m_z, M_A]$와 같은 형식으로 저장되는데, 여기서 m_x, m_y, m_z는 각각 x, y, z의 3차원 축에서 관측되는 MFI 값을 의미하며, M_A는 평균 자기장 세기를 의미한다. 또한, 비콘 측위에서와 동일하게, 각 참조 지점에서 MFI 값을 수집할 때 장치의 방향을 네 방향으로 변경해 가면서 핑거프린트 데이터를 수집하였다.

$$M_A = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} \tag{7}$$

온라인 단계에서는 자기장 센서로부터 얻은 MFI 값을 핑거프린트 데이터와 비교하여 가장 유사한 값을 찾게 된다. 오프라인 데이터와 온라인 데이터 사이의 평균 자기장 세기 M_A의 평균 제곱근 편차 (RMSD) 값이 인접한 위치를 탐색하는 데 사용된다 [50]. 이때, 가장 낮은 RMSD 값을 가지는 참조 위치가 현재 위치로 선택된다. i번째 참조 위치에서의 RMSD 값 D_i는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$D_i = \sqrt{\frac{\sum(D_x^2 + D_y^2 + D_z^2 + D_A^2)}{4}} \tag{8}$$

$$D_x = (m_{x_i} - \widetilde{m_x}),\ \mathrm{D_y} = (\mathrm{m_{y_i}} - \widetilde{\mathrm{m_y}}),\ \mathrm{D_z} = (\mathrm{m_{z_i}} - \widetilde{\mathrm{m_z}}),\ \mathrm{D_A} = (\mathrm{m_{A_i}} - \widetilde{\mathrm{m_A}}) \tag{9}$$

식 (9)에서 m_{x_i}, m_{y_i}, m_{z_i} 및 m_{A_i}는 오프라인 단계 중 i번째 참조 위치에서 관측된 MFI를 의미하며 $\widetilde{m_x}$, $\widetilde{m_y}$, $\widetilde{m_z}$ 및 $\widetilde{m_A}$는 온라인 단계에서 사용자 스마트폰으로 관찰한 MFI를 의미한다. 본 논문에서는, 핑거프린트 데이터를 수집한 참조 위치들을 비콘 측

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

위 과정에서의 참조 위치들과 동일하게 설정하였다. 가장 낮은 D_i 값을 가지는 참조 위치를 탐색함으로써, 자기장 핑거프린팅 측위는 스마트폰의 현재 위치 $(X_{Mag},\ Y_{Mag})$를 추정할 수 있다.

4. 제안 요소기술: 밀리라디안 기반 비전 측위

비전 측위는 스마트폰에 내장되어 있는 카메라를 이용하여 관측되는 물체의 시각적 특성을 이용하여 현재 위치를 추정하는 기술에 해당한다. 비전 측위는 관측 대상과 카메라 사이의 가시선이 확보되어야 하며, 관측된 대상이 자신의 위치를 나타낼 수 있는 고유한 특징을 지니고 있어야 한다는 전제조건을 갖는다. 또한, 적용 대상이 제한된 용량의 배터리와 제한된 연산 능력을 갖는 스마트폰일 경우 영상 처리에 복잡도가 높은 알고리즘이 사용될 경우 실시간 동작 및 장시간 서비스의 이용이 불가능해진다. 즉, 측위를 위한 관측 대상은 낮은 복잡도를 갖는 알고리즘을 이용하여 검출이 가능해야 하며, 관측 대상이 위치해 있는 위치 정보를 빠르고 정확하게 추출할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 초소형 및 저비용 카메라, 제한된 연산 능력으로도 신속한 관측 대상 검출 및 위치 정보 추출이 가능하도록 QR 코드 형태로 인쇄된 마커를 비전 측위에 활용하였다 [51]. 또한, 마커 검출 이외에 추가적인 영상 처리 알고리즘을 사용하지 않고 마커로부터 추출한 좌표 데이터와 밀리라디안 공식을 이용하여 카메라와 마커 사이의 거리를 간단하면서도 정밀하게 추정할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

밀리라디안(milliradian)은 주로 관측 장비에서 사용되는 평면각의 단위로 mrad 혹은 Mil 이라는 단위를 사용하며, 1밀(밀리라디안)은 1/1000 라디안을 의미한다. 라디안을 단위로 사용하므로 1밀은 $360/2000\pi \fallingdotseq 0.0573^{\circ}$를 의미하며 원주는 6283밀이 되지만, 야전에서 군사용으로 밀을 사용할 때는 계산상의 편의를 위해 근사값인 6000분의 1, 6300분의 1, 6400분의 1등의 값이 사용되기도 한다 [52][53]. 밀은 기관총의 조준경, 망원경, 쌍안경 등 관측 장비의 눈금에 표시되어 사용되며, 다음의 간단한 공식을 통해 관찰 대상의 거리 혹은 크기를 빠르게 계산해낼 수 있다.

$$Mil = L_{target}[m] \div D[km] \tag{10}$$

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$D_{target}[km] = L_{target}[m] \div Mil \tag{11}$$

$$L_{target}[m] = D_{target}[km] \times Mil \tag{12}$$

식 (10)-(12)에서, Mil은 관측 장비를 통해 관찰되는 대상이 차지하는 눈금의 수를 의미하며, D는 관찰자로부터 대상 사이의 거리, L은 대상의 실제 크기를 의미한다. 수식을 통해 알 수 있듯이, 밀 측정 공식을 이용할 경우 대상의 실제 크기와 거리 중 하나의 정보가 주어졌을 때 주어지지 않은 다른 하나의 정보를 전문 계측 장비나 복잡한 계산 과정 없이 신속하게 추정할 수 있다.

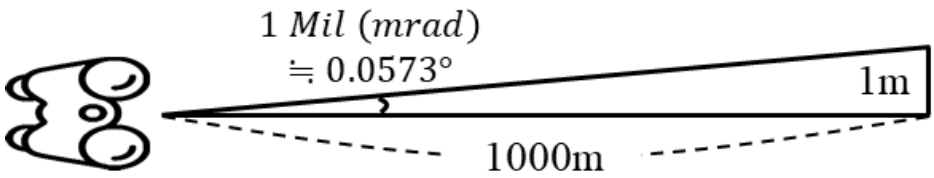


그림 15. 관측 장비를 이용한 밀리라디안 측정

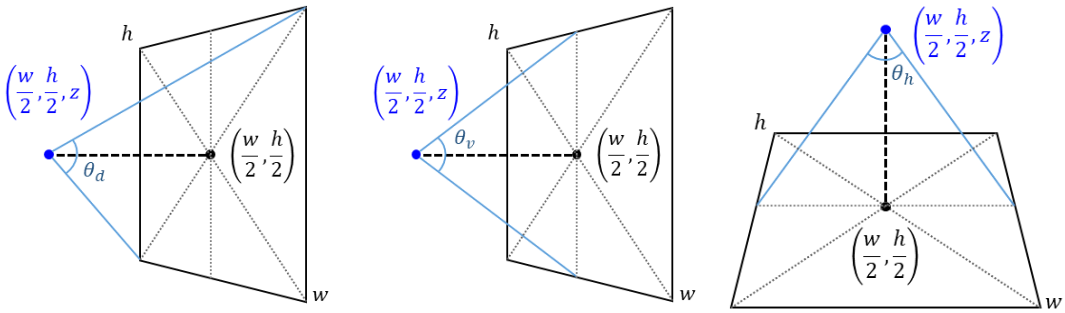
그림 15는 밀 측정 공식의 실제 활용 예시를 보여주고 있다. 쌍안경과 같은 관측 장비의 렌즈에는 1밀 단위의 눈금이 각인되어 있는데, 만약 길이가 1m로 알려져 있는 대상을 관측하였을 때 눈금 길이가 1밀로 관측될 경우 대상은 관측 장비로부터 1km 떨어진 거리에 있음을 직관적으로 유추해낼 수 있다. 반대로, 대상의 길이가 주어지지 않은 상태에서 1km 떨어진 곳을 관측할 경우, 관측 대상의 눈금 길이가 1밀로 관측될 경우 대상의 길이가 1m 임을 유추해낼 수도 있다.

밀 측정을 이용하는 조준경 및 쌍안경과 같은 장비들은 렌즈상에 밀 눈금이 정밀하게 각인되어 있어 관찰된 대상의 밀을 쉽게 측정할 수 있다. 하지만 우리가 일반적으로 쓰는 소비자용 스마트폰에 내장되어 있는 카메라 장치들은 영상 데이터 획득만을 목적으로 제작되었기 때문에 밀 눈금이 표시되어 있지 않고, 카메라 장치마다 렌즈의 화각이 달라 획득한 영상의 전체 평면각이 제각각이므로 밀 측정을 지원하지 않는다. 본 연구에서는 스마트폰을 이용한 밀 측정 기능을 구현하기 위해, 제조사에서 공시한 카메라의 화각과 해당 카메라 장치로부터 획득한 영상의 화소 수 및 종횡비를 이용하

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

여 가상의 밀 단위를 산출하는 방법을 제시하고자 한다.

스마트폰에 내장된 디지털 카메라 장치는 육안과는 달리 이미지 센서에 빛을 모아주는 렌즈의 종류 및 특성에 따라 시야각이 달라진다. 카메라 장치의 화각이 주어지지 않은 경우 촬영 위치와 카메라 화면상 각 끝점들의 위치를 이용하여 측정하는 방법이 있지만, 셀 수 없이 많은 종류의 스마트폰들이 모두 동일한 사양의 카메라 모듈을 내장하고 있진 않으므로 모든 장치들에 대해 직접 화각을 측정하는 것은 현실성이 떨어진다. 이러한 이유로 제조사에서 공시한 카메라 화각 정보를 이용하였는데, 제조사에서는 촬영면의 대각선 기준 화각을 공시하고 있다. 때문에 본 연구에서는 우선 대각선 화각 정보, 카메라로부터 획득한 영상의 화소 수와 종횡비를 이용하여 수평과 수직 화각을 산출하였다.



(a) 대각선 (b) 수직 (c) 수평

그림 16. 카메라의 화각

그림 16은 제조사에서 공시한 카메라의 화각과 이를 이용하여 계산한 가상의 초점을 나타내고 있다. 주어진 대각선 화각과 사각형 형태의 촬영면을 이용하면 가상 초점의 위치를 구할 수 있다. 촬영면의 형태는 카메라를 통해 획득한 영상 데이터의 종횡비를 기준으로 하였다.

$$L_d = \frac{\sqrt{w^2+h^2}}{2},\ H_v = \frac{CP}{\sin(\theta_d/2)} \tag{13}$$

$$z = H_v \cos(\theta_d/2) \tag{14}$$

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

식 (13)에서, L_d는 촬영면의 중심점으로부터 대각선 끝점까지의 길이, H_v는 가상 초점으로부터 해당 대각선 끝점까지의 길이를 의미한다. 가상 초점으로부터 대각선 끝점까지의 각도는 제조사에서 공시한 대각선 화각인 θ_d의 절반이므로 가상 초점의 위치는 식 (14)를 이용하여 구할 수 있다. 가상 초점의 위치가 주어지면 수직, 수평 화각은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$FOV_v = \tan^{-1}(\frac{h/2}{z}) \times 2,\ FOV_h = \tan^{-1}(\frac{w/2}{z}) \times 2 \tag{15}$$

식 (15)에서, FOV_v는 수직 화각, FOV_h는 수평 화각을 의미한다. 가상 초점과 중심점을 기준으로 한 삼각함수를 통해 절반의 화각을 계산하였으므로, 산출된 화각의 두 배가 상하(수직) 및 좌우(수평) 화각이 된다.

카메라의 수직 및 수평 화각이 주어지면 카메라를 통해 획득한 영상 데이터의 화소 수와 화각을 이용하여 카메라 영상에 가상의 밀 단위를 적용시킬 수 있다. 카메라 영상의 단위 밀 당 화소 수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Mils_h = \frac{FOV_h}{\theta_{Mil}},\ Mils_v = \frac{FOV_v}{\theta_{Mil}} \tag{16}$$

$$PPM_h = \frac{P_w}{Mils_h},\ PPM_v = \frac{P_h}{Mils_v} \tag{17}$$

식 (16)에서, $TotalMils$는 카메라의 전체 밀을 의미한다. 예를 들어, 카메라의 수평 화각이 57.3도일 때 밀각 θ_{Mil}는 약 0.0573 이므로 해당 카메라는 수평으로 1000밀까지 측정 가능함을 의미한다. 카메라의 전체 밀과 촬영 영상의 화소 수가 결정되었으므로, 1밀 당 화소 수 (PPM_h, PPM_v)는 식 (17)과 같이 전체 화소 수 (가로 P_w, 세로 P_h)에 전체 밀을 나누어 구할 수 있다.

밀 측정 알고리즘의 활용은 밀 눈금이 정밀하게 각인되어 있는 관측 장비와 대상의 크기 혹은 거리 중 하나의 정보가 있어야 한다는 전제조건이 있다. 그럼에도 불구하고

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

별도의 계측장비나 고성능 연산 장치의 도움 없이 신속하면서도 비교적 근사치에 가까운 결과 값을 산출해낼 수 있다는 장점으로 인해 군사 목적이나 실생활에서 유용하게 쓰이고 있다. 본 연구에서는 관측 장비 대신 오늘날 널리 쓰이고 있는 스마트폰을 통해 밀 측정을 활용할 수 있는 알고리즘을 개발하고 실험을 통해 성능을 입증하고자 한다.

오늘날의 스마트폰은 보급형, 고급형에 관계없이 모두 고해상도의 카메라 모듈을 내장하고 있다. 스마트폰 내장 카메라의 렌즈에는 밀 눈금이 각인되어 있지는 않지만 앞서 산출해낸 카메라의 화각과 1밀 당 화소 수, 관찰 대상의 실제 크기와 영상 데이터에서 관찰 대상이 차지하는 화소 크기를 구할 수 있다면 스마트폰으로부터 대상까지의 거리를 산출해낼 수 있다. 본 연구에서는 마커 자체에 고유한 정보들을 담을 수 있는 QR코드 형식의 마커를 이용하여 스마트폰으로 마커를 검출한 다음 밀 측정을 이용하여 거리를 계산하였다. 마커 검출을 위해, 대부분의 마커 검출 프로그램에서 널리 이용되고 있는 오픈소스 라이브러리 중 하나인 Zxing [54]을 활용하였다.

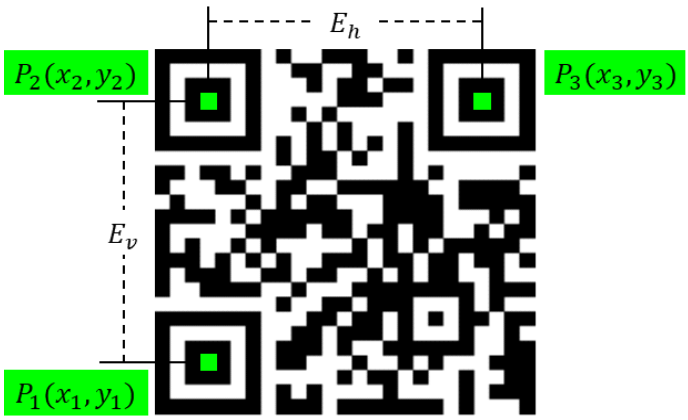


그림 17. QR 코드 마커와 위치 찾기 심볼

그림 17은 관측에 사용된 마커와 이를 이용한 밀 측정 방법을 나타내고 있다. QR코드 안에는 문자열 형태의 정보를 포함시킬 수 있는데, 본 연구에서는 실내 측위 응용을 위해 P_1와 P_2 사이의 실제 길이인 L_v, P_2과 P_3 사이의 실제 길이인 L_h, 설치 각도 θ_M, 그리고 마커 설치 장소의 좌표 (x_M, y_M) 등의 정보를 포함시켜 제작하였다. 본 연

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

구에서 개발한 어플리케이션은 스마트폰 카메라의 프리뷰 영상을 실시간으로 입력받아 주기적으로 화면에 표시하고, 카메라의 시야 안에 마커가 위치하게 되면 QR 코드 리더를 이용하여 마커를 검출하고 마커에 담겨있는 정보를 읽어온다. QR코드 안에는 좌측 하단, 좌측 상단, 우측 상단에 마커 인식을 위해 사용되는 3개의 위치 찾기 심볼이 포함되어 있으며, 코드 안에 포함시킬 데이터의 양에 따라 선택적으로 4번째 심볼(우측 하단)이 포함되기도 한다. 4번째 심볼은 데이터의 양에 따라 존재하지 않을 수도 있으므로 본 연구에서는 3개의 위치 찾기 심볼의 중심 좌표(P_1, P_2, P_3)를 이용하였다. QR코드 리더는 검출된 심볼들의 중심 좌표 (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)를 제공하므로, 제공된 좌표를 이용하여 각 점 간 유클리디언 거리 (E_h, E_v)를 계산할 수 있다.

$$E_h = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2},\ E_v = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \tag{18}$$

QR코드의 네 번째 심볼은 나머지 심볼과 위치가 다르기 때문에, 3개의 심볼의 중심 좌표(P_1, P_2, P_3)는 카메라의 회전 각도와 무관하게 검출이 가능하다. 따라서 마커의 화면 내 세로 길이를 의미하는 E_v는 P_2와 P_1 사이의 유클리디언 거리, 가로 길이를 의미하는 E_h는 P_3와 P_2 사이의 유클리디언 거리로 구할 수 있다. 마커의 각 심볼 간 실제 길이와 화소 길이가 주어졌으므로, 밀 측정을 이용하면 거리 산출이 가능하다.

$$L_M = \begin{cases} L_h & \text{if } E_h > E_v \\ L_v & else \end{cases},\ Mils_M = \begin{cases} \dfrac{E_h}{PPM_h} & \text{if } E_h > E_v \\ \dfrac{E_v}{PPM_v} & else \end{cases} \tag{19}$$

$$D[m] = \frac{L_M[mm]}{Mils_M} \tag{20}$$

식 (19)에서, L_h는 P_3과 P_2 사이의 실제 길이를 의미하고 L_v는 P_2와 P_1 사이의 실제 길이를 의미한다. 카메라를 통해 관측되는 마커의 형태는 카메라가 마커를 바라보는 각도와 위치에 따라 그 형태가 변화한다. 때문에 정사각형 마커를 사용하더라도 관측하는 위치에 따라 마커의 실제 길이는 변하지 않더라도 각각의 유클리디언 거리는

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

변할 수 있다. 본 연구에서는 마커의 형태 변화에 의한 측정 오차를 최소화하기 위해, 두 개의 유클리디언 거리 중 더 큰 값을 이용하여 거리를 추정하였다. 즉, 수평 유클리디언 거리 E_h가 E_v보다 큰 경우, 수평 값에 대한 변수 (L_h, E_h, PPM_h)가 거리 추정에 사용되고 그렇지 않을 경우 수직 값에 대한 변수 (L_v, E_v, PPM_v)가 거리 추정에 사용된다. 최종적으로, 카메라에서 마커까지의 거리는 식 (20)과 같이 마커의 실제 길이 L_M을 마커의 밀 수 $Mils_M$로 나누어 추정한다.

밀 측정의 계산 과정을 다수의 식으로 세분화하여 전개하였지만, 식 (13)-(17) 단계는 프로그램의 초기화 과정에서 단 한번만 수행되고, 스마트폰이 실시간으로 밀 측정을 수행하는 과정은 QR코드 리더가 마커를 검출하는 단계와 식 (18)-(20)의 단순한 계산 식들만으로 이루어지기 때문에 제안 알고리즘은 추가적인 영상처리 과정을 요구하지 않아 복잡도가 매우 낮고 구현이 쉽다는 장점을 갖는다. 하지만 관련 연구 분야에서 이미 충분히 다루어진 비콘, PDR, 지자기장 기반의 측위와는 달리 밀 측정을 이용한 측위 기술의 성능은 알려져 있지 않은 상태이다. 따라서, 본 연구에서는 하이브리드 측위 시스템 설계에 앞서, 밀 측정 기반의 거리 추정 및 실내 측위 기술의 성능을 실험을 통해 사전 평가를 진행하였다.

스마트폰을 이용한 밀 측정 알고리즘의 성능 평가를 위해, 본 연구에서 개발한 어플리케이션을 두 제조사의 스마트폰에 설치하여 측정을 진행하였다. 실험은 조선대학교 IT융합대학 건물 내에 가로 30cm, 세로 30cm 크기로 인쇄한 QR코드를 배치한 다음 스마트폰을 들고 마커의 거리를 측정하는 방식으로 진행하였다. 실험에 사용된 제품은 삼성전자의 SM-N950N (갤럭시 노트8), LG전자의 LM-G710N (G7) 두 모델이다. 메인 내장 카메라의 화각은 N950의 경우 77°, G710은 71°로 각기 다르며 광각 카메라 및 망원 카메라와 같은 보조 카메라는 사용하지 않았다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

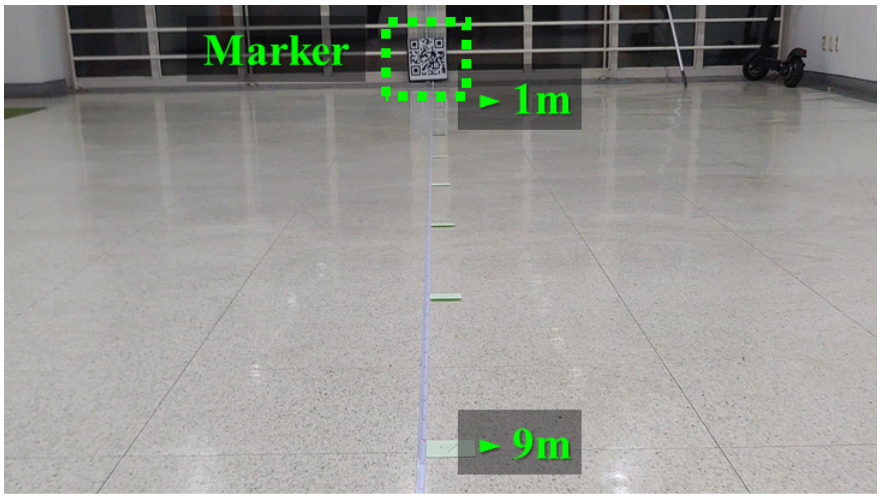


그림 18. 밀 측정을 이용한 거리 추정 실험

그림 18은 스마트폰을 이용한 밀 측정 실험 환경을 나타내고 있다. 건물 내 한쪽 벽에 마커를 설치한 뒤 줄자를 이용하여 마커로부터의 실제 거리를 미터 단위로 표시해 두고, 각각의 위치에서 스마트폰을 이용하여 마커를 스캔한 결과를 스마트폰 내부 저장소에 측정값들을 기록하였다.

표 2. 밀 측정을 이용한 거리 추정 실험 결과

거리 [m]	N950				G710			
	측정 거리	거리 오차	최고점	최저점	측정 거리	거리 오차	최고점	최저점
1	1.003	0.003	0.010	-0.006	0.989	-0.011	-0.006	-0.015
2	2.018	0.018	0.024	0.009	1.964	-0.036	-0.029	-0.045
3	3.037	0.037	0.050	0.021	2.945	-0.055	-0.034	-0.076
4	3.996	-0.004	0.026	-0.023	3.927	-0.073	-0.047	-0.091
5	5.038	0.038	0.082	-0.013	4.939	-0.061	-0.022	-0.105
6	6.117	0.117	0.190	0.070	5.956	-0.044	0.058	-0.128
7	7.053	0.053	0.091	-0.023	6.922	-0.078	0.024	-0.150
8	8.038	0.038	0.144	-0.053	7.931	-0.069	0.010	-0.184
9	9.088	0.088	0.108	-0.024	8.842	-0.158	-0.068	-0.280
10	10.077	0.077	0.168	-0.067	9.982	-0.018	-0.005	-0.078

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 2는 두 기종의 스마트폰을 이용한 밀 측정 기반의 거리 추정 결과를 나타내고 있다. 두 기종 모두 동일한 해상도 (1920×1080 픽셀)의 설정과 QR 코드 리더를 이용하여 마커를 검출하였지만, 마커 인식 거리는 N950의 경우 11미터, G710의 경우 10미터로 차이가 있었다. 측정 오차범위 또한 N950의 경우 -0.075m ~ +0.2m, G710의 경우 -0.28m ~ +0.58m로 관측되어 두 기기의 측정 결과가 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 두 스마트폰 모두 센티미터 단위의 낮은 거리 오차로 비교적 정확하게 거리를 추정하고 있음을 확인할 수 있었다.

앞선 밀 측정 실험은 카메라가 마커를 정면으로 바라보는 상황, 즉 마커가 카메라 화면의 가운데에 위치하도록 했을 때의 측정 결과를 나타낸 것이다. 이는 QR 코드 리더가 마커를 정면으로 바라보았을 때 가장 인식률이 높기 때문인데, 마커를 정면으로 바라보고 있지 않은 상황에서 마커의 인식률 외에 밀 측정 결과에 미치는 영향도 측정해 보았다.

(a) 좌측 (b) 중앙 (c) 우측

그림 19. 카메라의 관찰 각도별 마커의 형태 왜곡

그림 19는 마커의 정면 앞에 서서 카메라가 마커를 각각 화면의 중앙, 좌측, 우측에 보이도록 스마트폰을 회전시켜 촬영한 결과를 보여주고 있다. 동일한 위치에서 카메라의 회전 각도만 바꾸었음에도, 마커의 위치와 형태가 변형되었음을 직관적으로 알 수 있다.

표 3은 마커를 스캔하는 각도에 따라 나타나는 밀 측정 결과 값을 보여주고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

스캔 각도가 0에 가까울수록 카메라 화면의 중앙에 위치한 것이고, 음으로 커질수록 화면의 좌측에, 양으로 커질수록 화면의 우측에 위치함을 의미한다. 여기서, 스캔 각도는 QR코드의 중심점과 화면의 중심점 간 밀 거리에 밀각을 곱하여 구할 수 있다.

$$\theta_{screen} = \frac{CP_{marker} - CP_{screen}}{PPM_h} \times \theta_{Mil} \tag{21}$$

표 3. 카메라의 관찰 각도별 밀 측정 결과

스캔 각도	평균 거리[m]	수평 밀 거리[m]	수직 밀 거리[m]	E_h	E_v
-24.268	1.716	1.857	1.574	218	202
0.090	1.868	1.955	1.782	176	175
+23.173	1.807	1.990	1.624	210	187

표 3에 나온 스캔 각도는 마커의 정면에 서서 카메라의 시야를 벗어나지 않으면서 마커가 최대한 카메라의 미리보기 화면의 좌측, 우측에 위치하도록 한 뒤 마커를 관측한 결과이다. 밀 측정을 이용한 거리 산출 실험에서와 마찬가지로, 동일한 조건임에도 두 기기 간 마커 인식이 가능한 최대 각에 차이가 있음을 알 수 있었다. 다만, 두 기기 모두 동일한 위치에서 관측했음에도 검출된 마커의 점들 간 화소 길이가 표에 나타난 것과 같이 다르게 관측되며, 이로 인해 밀 측정을 통한 거리 값 또한 달라지면서 측정 오차가 커짐을 알 수 있었다. 이러한 결과는 원근법에 의한 형태 변화 및 곡면으로 제작된 렌즈를 통해 빛을 받아들이는 카메라 장치에서 나타나는 방사 왜곡에 기인한 것으로, 카메라의 회전 방향에 따른 오차를 최소화하기 위해서는 원근법 및 방사 왜곡을 고려하여 마커의 형태를 보정하는 방법에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제안하는 스마트폰을 이용한 밀 측정 알고리즘은 마커와 스마트폰 사이의 거리라는 상대적 위치 차이를 계산하기 위해 고안되었다. 때문에, 마커가 자신의 절대적 위치 정보를 가지고 있다면 밀 측정 알고리즘은 스마트폰의 현재 위치를 추정하는 용도로도 활용이 가능해진다. 마커와 스마트폰 간 거리 측정 실험에서, 카메라의 성

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

능과 QR 코드의 크기에 따라 마커의 인식 거리가 달라짐을 확인하였는데, 30cm 크기의 마커를 사용하였을 때 인식 거리가 10m 가량이었음을 감안하면 해당 크기의 마커를 각 방향의 벽 간 거리가 10m를 넘지 않는 보편적인 실내 환경에서 위치 추정 용도로 활용할 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 본 연구에서는 밀 측정과 2D 좌표계를 이용한 측위 기능을 추가로 구현한 뒤 실내 환경에서 실험을 진행하였다.

스마트폰의 위치를 추정하기 위해서는, 마커로부터 참조(절대적) 위치를 얻어온 후, 마커와 스마트폰 사이의 상대적 위치 차이를 계산하여 최종 위치를 추정해야 한다. 본 연구에서는 QR 코드를 마커로 사용하였으므로, QR 코드에 해당 마커가 설치될 참조 위치 정보를 포함하여 스마트폰이 참조 위치를 얻어올 수 있게 하였다. 스마트폰과 마커 간 상대적 위치 차이는 둘 사이의 거리와 각도의 차이를 필요로 하는데, 거리 정보는 밀 측정을 통해서 계산할 수 있지만 각도의 차이는 카메라의 위치가 마커의 정면에 있는 상황이 아닌 경우 추가적인 수단을 통해 알아내야 한다. 이러한 이유로 본 연구에서는 PDR 측위 단계에서 사용되고 있는 자기장 센서로부터 스마트폰의 방향각을 얻어오고 이를 통해 스마트폰과 마커 사이의 각도 차이를 계산하는 기능을 추가하였다. 최종적으로, 참조 위치와 상대적 위치가 산출되면 둘을 결합한 현재 위치는 그림 20과 같이 2차원 좌표의 형태로 변환하도록 하였다.

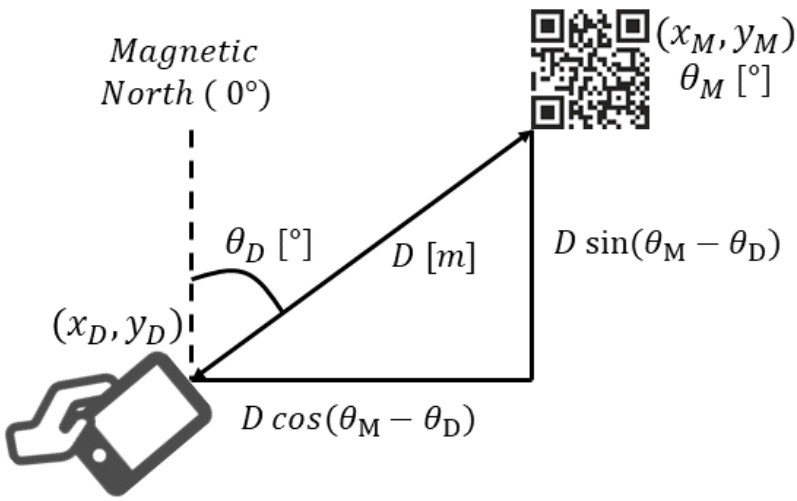


그림 20. QR 코드 마커를 이용한 스마트폰의 위치 추정

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$\theta_D = \theta_{heading} + \theta_{screen} \tag{22}$$

$$x_D = x_{marker} + \frac{D}{Size_{grid}}\cos(\theta_M - \theta_D),\ y_D = y_{marker} - \frac{D}{Size_{grid}}\sin(\theta_M - \theta_D) \tag{23}$$

참조 위치와 상대 위치를 결합한 위치 좌표 (x_D, y_D)는 식 (22), (23)을 통해 계산할 수 있다. 여기서 $\theta_{heading}$은 스마트폰이 현재 향해 있는 방향각을, θ_{screen}은 화면의 중앙과 화면 내 마커의 위치 사이의 스캔 각을 의미하며, 이 둘을 더하여 실험 환경 내에서 카메라가 마커를 스캔한 각도인 θ_D를 구할 수 있다. 참조 위치 좌표, 거리와 각도 차이가 모두 구해지면, 거리 값에 변환할 좌표계의 그리드 사이즈를 나눈 뒤 이를 이용하여 최종 위치 좌표를 얻을 수 있게 된다. 추가적으로, 최종 위치 좌표를 계산하는 단계에서 x축과 y축 모두 상대 위치를 양의 방향으로 계산하면 기준점 (0, 0)은 좌측 상단이 되며, 식 (23)과 같이 y축의 상대 위치를 음의 방향으로 계산하면 기준점은 본 논문에서의 실험과 같이 좌측 하단이 된다.

그림 21. 밀 측정을 이용한 실내 측위 실험

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

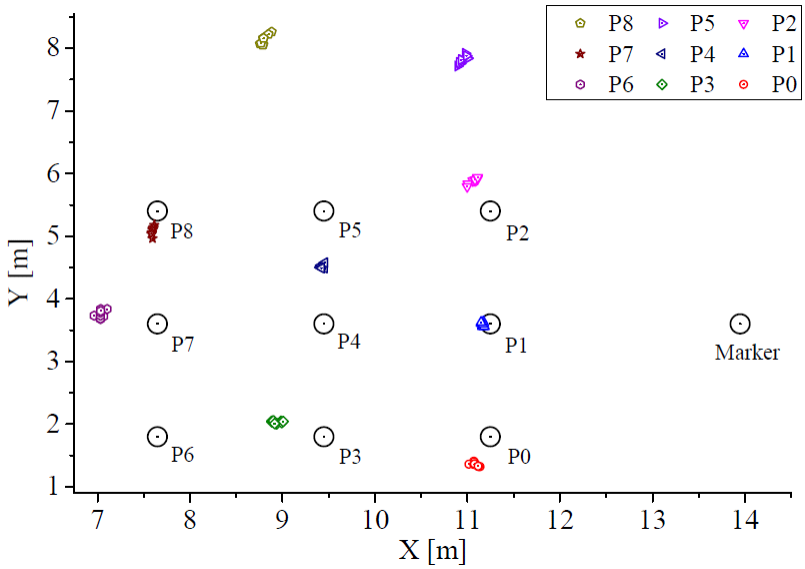
그림 21은 실내 환경에서 스마트폰과 마커를 이용한 위치 추정 실험 환경을 나타내고 있다. 실험 장소인 조선대학교 IT 융합대학 3층 내 복도 한쪽 벽에 위치 정보가 포함되어 있는 마커를 부착해 두고, 스마트폰이 마커를 인식할 수 있는 범위 내에서 9개의 참조 지점을 선정 후 해당 위치에서 밀 측정을 이용한 2D 좌표를 산출하여 측정 결과를 기록하였다. 위치 좌표계는 실내 바닥에 깔려있는 타일(45cm×45cm)을 그리드의 격자 단위로 가정하였으며, 마커로부터의 타일의 수를 좌표 거리로 변환하여 위치 정보를 표시하였다. 실제 마커와 참조 지점들의 변환 좌표 및 거리와 각도 정보를 표 4에 정리하였다. 마커 및 참조 위치들의 좌표(X, Y)를 그리드 격자 단위로 설정한 것은 핑거프린팅 과정에서 참조 위치들의 간격에 맞춰 좌표를 표현하기 위함이며, 실제 거리를 고려한 미터 단위의 좌표는 여기에 그리드의 격자 간격을 곱하여 ($X[m]$, $Y[m]$)과 같이 표현할 수 있다. 제안 알고리즘은 측위 단계에서 스마트폰의 방향각을 함께 이용하기 때문에, 측위 실험의 시작점인 P1 지점에서 스마트폰을 8자 회전을 시켜 자기장 센서를 보정한 뒤 실험을 진행하였다.

표 4. 마커와 참조 위치의 2차원 변환 좌표

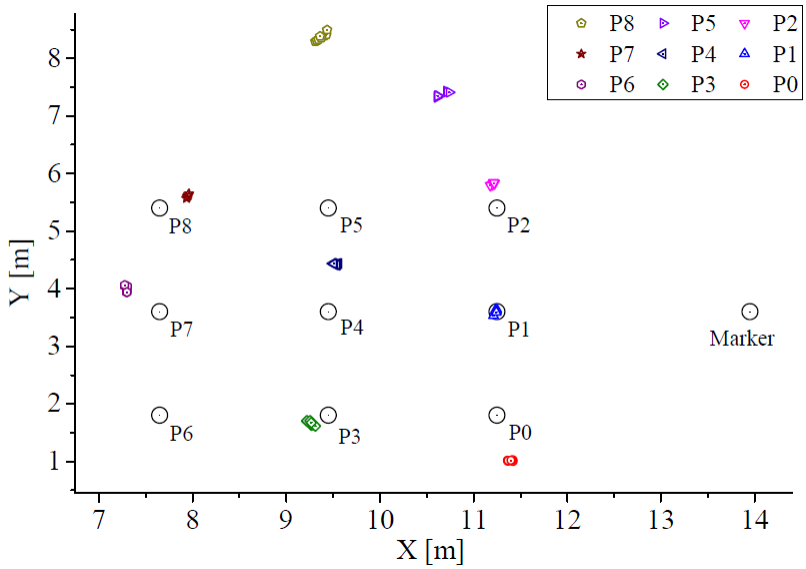
	실제 거리	실제 각도	X	Y	X[m]	Y[m]
마커	0	180	31	8	13.95	3.6
P0	3.245	146.310	25	4	11.25	1.8
P1	2.700	180.000	25	8	11.25	3.6
P2	3.245	-146.310	25	12	11.25	5.4
P3	4.847	158.199	21	4	9.45	1.8
P4	4.500	180.000	21	8	9.45	3.6
P5	4.847	-158.199	21	12	9.45	5.4
P6	6.552	164.055	17	4	7.65	1.8
P7	6.300	180.000	17	8	7.65	3.6
P8	6.552	-164.055	17	12	7.65	5.4

그림 22는 실험에 사용된 두 기기로부터 수집한 실내 환경에서의 측위 결과를 시각

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) N950



(b) G710

그림 22. 실내 측위 결과

화한 것이다. 모든 참조 지점마다 스마트폰을 들고 측정 결과를 수집한 뒤 각 지점마다 수집한 데이터 샘플을 좌표계에 표시한 결과, 손떨림으로 인한 약간의 값의 변화는

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

존재했지만 측정값들이 발산하지 않고 같은 지점에 모이는 것을 볼 수 있었다. 다만, 두 그림에서 공통적으로 보이듯이 자기장 보정을 수행했던 시작 지점에서 멀어질수록 참조 위치들에서 거리와 방향각의 오차로 인해 실제 위치와는 다른 측위 결과가 나타남을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 참조 위치별 추정 거리 오차와 방향각 오차를 확인해 보았다.

표 5는 두 기기를 통해 각 참조 지점에서 수집한 밀 측정 기반 거리 추정 결과를, 6은 두 기기를 통해 각 참조 지점에서 수집한 기기의 방향각과 실제 마커의 설치 각도와의 오차를 나타낸 것이다. 실험 결과를 통해, 거리 오차는 마커의 정면 보다는 측면으로 갈수록 오차가 커지는 것을 알 수 있었고, 방향각 오차는 시작 지점인 P1에서 멀어질수록 커지는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 2차원 좌표를 이용한 실내 측위에서는 거리에 의한 오차보다 방향각에 의한 오차가 결과에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 그림 23은 거리와 방향각을 이용한 실시간 측위 결과를 나타내고 있다.

표 5. 참조 위치별 거리 추정 결과

	N950						G710					
	평균		수평 밀		수직 밀		평균		수평 밀		수직 밀	
	거리	오차	거리	오차	거리	오차	거리	오차	거리	오차	거리	오차
P0	3.63	-0.39	3.50	-0.26	3.76	-0.51	3.653	-0.408	3.497	-0.252	3.810	-0.565
P1	2.77	-0.07	2.89	-0.19	2.65	0.05	2.708	-0.008	2.811	-0.111	2.605	0.095
P2	3.70	-0.45	3.45	-0.21	3.94	-0.70	3.530	-0.285	3.306	-0.061	3.754	-0.509
P3	5.26	-0.41	5.35	-0.50	5.17	-0.32	5.061	-0.214	5.109	-0.262	5.012	-0.166
P4	4.58	-0.08	4.81	-0.31	4.36	0.14	4.481	0.019	4.657	-0.157	4.305	0.195
P5	5.18	-0.33	5.19	-0.34	5.17	-0.32	5.014	-0.167	4.980	-0.134	5.048	-0.201
P6	6.92	-0.37	7.08	-0.53	6.76	-0.21	6.689	-0.136	6.843	-0.291	6.534	0.018
P7	6.53	-0.23	6.81	-0.51	6.25	0.05	6.328	-0.028	6.558	-0.258	6.099	0.201
P8	6.88	-0.33	7.01	-0.46	6.76	-0.20	6.658	-0.106	6.725	-0.173	6.592	-0.040

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 6. 참조 위치별 방향각 측정 결과

	N950		G710	
	방향각	오차	방향각	오차
P0	142.042	4.268	135.165	11.145
P1	-180.000	0.000	-180.000	0.000
P2	-141.893	-4.417	-140.649	-5.661
P3	163.326	-5.127	157.357	0.842
P4	-167.882	-12.118	-169.044	-10.956
P5	-124.621	-33.577	-131.490	-26.708
P6	-178.341	-17.605	-175.954	-19.991
P7	-165.544	-14.456	-160.880	-19.120
P8	-137.613	-26.442	-132.459	-31.595

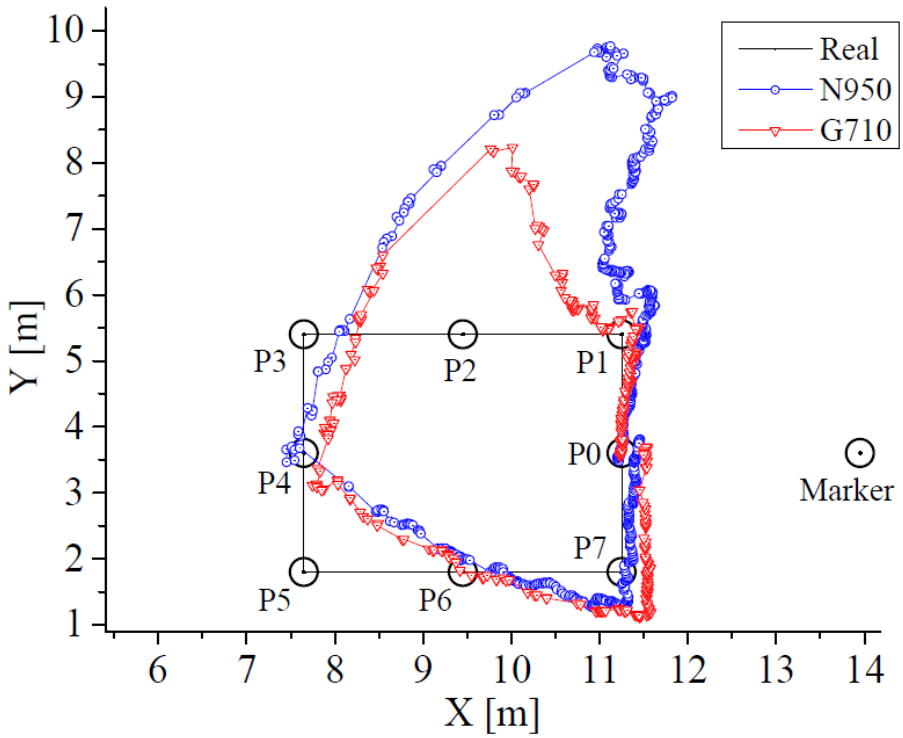


그림 23. 스마트폰을 이용한 실시간 실내 측위

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

D. 제안하는 하이브리드 측위 알고리즘

선술한 바와 같이, 비콘 기반 측위는 다중 경로 페이딩, 간섭 및 상쇄, 셰이딩과 같은 요인들에 의한 RF 신호의 변동으로 인해 대략적인 위치 추정에 주로 사용되고 있다. 그리고 지자기장 측위는 송수신기 사이의 경로가 없기 때문에 페이딩, 간섭, 셰이딩과 같은 요인들에 의한 영향을 받지 않지만 주변에 강자성체를 포함한 물체 및 장치들이 이동하게 되면 주변 자기장이 왜곡될 수 있다. 또한, 지자기장 측위의 경우 동일한 MFI 값이 주변 여러 위치에서 관측될 수 있기 때문에 시스템이 실제 위치와는 다른 위치를 추정할 수 있다는 한계점을 지니고 있다. 본 논문에서는, 각각의 측위 기술이 가지고 있는 단점을 보완하기 위해 이들을 상호 보완할 수 있도록 결합하는 하이브리드 방식의 측위 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안된 스마트폰 기반 하이브리드 측위 알고리즘은 비콘, 지자기장, PDR 및 비전 측위를 결합하여 각각의 요소 기술들이 지니고 있는 한계점들을 극복하는 것을 목표로 하고 있다. 하지만 여러 측위 기술들을 결합하는 것은 시스템의 복잡도 증가를 초래하므로 하이브리드 알고리즘은 각각의 측위 기술들의 복잡도를 최소화하도록 설계하는 것이 중요하다. 특히, 비콘 및 지자기장 측위는 복잡도가 낮은 핑거프린팅 방식을 이용하여 동작하지만, 현재 위치를 추정하는 단계에서 두 개의 핑거프린팅 데이터베이스로부터 전수조사 방식으로 참조 위치를 탐색하게 되면 데이터베이스의 트랜잭션 양이 증가하여 스마트폰의 배터리 소모량 및 응답 시간이 증가하게 된다. 두 핑거프린트 데이터를 사용하면서도 배터리 소모와 연산량의 증가를 최소화하기 위해, 본 논문에서는 이전 위치와 PDR 기반의 추정 위치를 기반으로 두 핑거프린팅 데이터의 탐색 범위를 제한하도록 알고리즘을 설계하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1. 마케팅 서비스를 위한 하이브리드 측위

상업용 마케팅 서비스를 고려하여, 제안하는 시스템의 어플리케이션 1 (App. 1)의 하이브리드 측위 알고리즘은 최소한의 복잡도를 가지면서 실시간으로 대략적인 위치 추정이 가능하도록 설계되었다. 최소한의 복잡도와 배터리 소모량을 갖는 어플리케이션 개발을 위해, App. 1은 측위 단계에서 비콘과 PDR을 결합하였다. 알고리즘은 초기 위치 정보가 주어져야 하고 좁은 범위 내에서 위치 정밀도를 갖는 PDR과 대략적이지만 넓은 범위에서 절대 위치 좌표를 추정할 수 있는 비콘이 상호 보완할 수 있도록 설계되었다. 그림 24는 비콘과 PDR을 결합한 하이브리드 알고리즘의 측위 방법을 보여주고 있다.

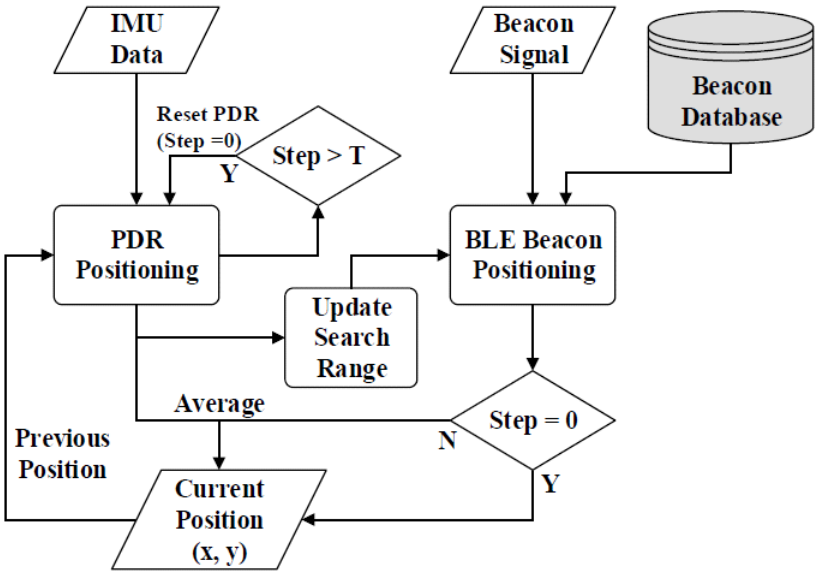


그림 24. 비콘과 PDR을 이용한 하이브리드 측위 알고리즘 (App. 1)

App. 1의 측위 알고리즘은 비콘과 PDR 측위에서 얻은 두 세트의 위치 좌표를 결합하여 스마트폰의 현재 위치를 추정한다. 제안 알고리즘은 시간의 경과 및 이동 거리의 증가에 따른 PDR의 누적 위치 오차를 최소화하기 위해 비콘 측위에서 얻은 위치 좌표를 이용하여 PDR을 주기적으로 리셋한다. App. 1의 측위 절차는 다음과 같다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(1) WKNN 기반 핑거프린팅 측위를 통해 비콘 측위 좌표 (X_{BLE}, Y_{BLE})를 추정한다. 시스템의 초기화 직후에는 초기 위치가 주어져 있지 않고 PDR의 스텝 또한 0이므로 첫 비콘 측위 좌표가 현재 위치가 된다.

(2) PDR은 사용자의 걸음을 검출하고, 보폭과 방향을 산출한 다음 이전 위치에 이동거리와 방향을 적용하여 PDR 측위 좌표 (X_{PDR}, Y_{PDR})를 추정한다.

(3) PDR 측위 좌표를 이용하여 이후 비콘 핑거프린팅 단계의 위치 탐색 범위를 조정한다. 즉, 비콘 측위 좌표의 탐색 과정은 PDR 추정 좌표를 기반으로 제한된 범위의 데이터 내에서 이루어지므로 위치 추정을 위한 연산량을 효과적으로 줄일 수 있다.

(4) 스마트폰의 현재 위치 좌표는 비콘 및 PDR 측위 단계에서 추정된 두 좌표의 평균을 계산하여 결정된다.

$$(x, y) = \left\{ \frac{X_{BLE} + X_{PDR}}{2}, \frac{Y_{BLE} + Y_{PDR}}{2} \right\} \tag{24}$$

(5) PDR 측위 단계에서 누적 걸음 수가 임계치 T를 초과하게 되면, 시스템은 PDR의 누적 위치 오차를 제거하기 위해 누적 걸음 수를 0으로 리셋하고 비콘 측위 좌표 (X_{BLE}, Y_{BLE})를 이용하여 PDR 측위 좌표 (X_{PDR}, Y_{PDR})를 초기화한다.

App. 1 측위 단계 중 (5)에서 사용되는 임계치 T는 PDR 측위의 위치 정밀도를 변화시킬 수 있는 변수이기 때문에, 시스템과 적용 환경에 따라 적절한 값을 사용해야 한다. 본 논문에서는, 구현된 제안 시스템을 이용하여 실험 장소에서 시행했던 반복 실험을 통해 경험적으로 얻게 된 값으로 10을 사용하였다.

2. 내비게이션 및 위치 추적을 위한 하이브리드 측위

실내 내비게이션 및 위치 추적과 같은 서비스는 적용 대상이 복잡한 내부 구조와 많은 통로가 있는 건물처럼 목적지를 찾기가 어려운 곳일수록 높은 측위 정밀도를 필요

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

로 한다. 이러한 환경에서 신호 간섭 및 다중경로 페이딩과 같은 RF기반 측위의 성능을 저해하는 요소들은 비콘 측위 기술의 성능을 제한한다. 또한, Wi-Fi 및 UWB와 같은 추가 RF 기반 측위 기술을 활용하려면 인프라 구축 비용과 인력이 소요되어 비용 효율이 감소한다. 따라서, App. 2의 측위 알고리즘은 비콘 및 PDR의 측위 성능을 보완하기 위해 비 인프라 기반 측위 기술인 지자기장 측위 기술을 결합하였다. 그림 25는 App. 2 하이브리드 알고리즘의 측위 방법을 보여주고 있다.

제안 알고리즘의 비콘 및 PDR 측위 방법은 App. 1의 알고리즘과 동일하지만, 추가적으로 IMU의 자기장 센서로부터 획득한 MFI 값을 지자기장 핑거프린트 데이터와 비교하여 보다 정밀하게 위치를 탐색하도록 설계하였다. App. 2에서는 두 개의 핑거프린트 데이터를 이용하기 때문에 자기장 핑거프린트 데이터에서 위치를 탐색할 때에도 비콘과 PDR을 통해 추정된 위치를 기반으로 탐색 범위를 제한하는 방법으로 스마트폰의 배터리 소모량 및 연산량 증가를 최소화하였다. 게다가, 자기장 핑거프린팅 측위 단계에서 탐색 범위를 제한하면 현재 위치에서 다소 거리가 있는 다른 지역들에 존재할 수 있는 유사한 MFI 값들을 회피할 수 있어 위치 오차를 효과적으로 줄일 수 있다 [13].

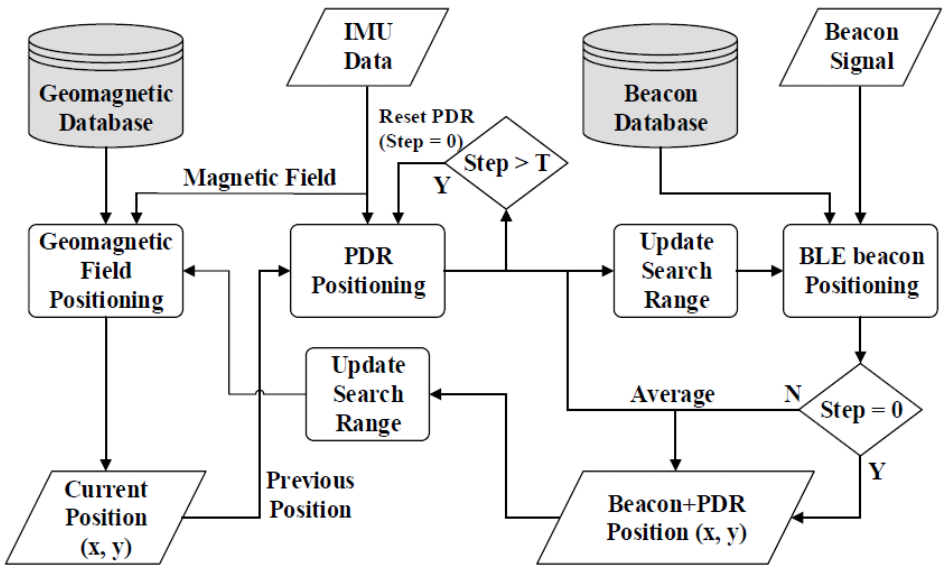


그림 25. 비콘, PDR과 지자기장을 결합한 하이브리드 측위 알고리즘 (App. 2)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 엔터테인먼트 서비스를 위한 하이브리드 측위

멀티미디어, 게임, 쇼핑 가이드와 같은 사용자 친화적인 컨텐츠와 결합된 가상현실 (Virtual Reality, VR), 증강현실 (Augmented Reality, AR), 그리고 VR과 AR을 결합한 혼합현실 (Mixed Reality, MR) 등의 시각 정보 기반 서비스에 대한 수요가 증가하는 추세에 있다. 이러한 서비스들은 GPS 기반 측위를 바탕으로 실외 환경을 대상으로 한 서비스 모델들의 성공에 힘입어 적용 대상을 점차 실내로 확장해 가려는 추세를 보이고 있지만, 실내를 대상으로 하는 시각 정보 기반 서비스는 사용자의 위치와 그 주변에 요청한 컨텐츠를 정확하게 시각화할 수 있어야 하므로 매우 정밀한 측위 기술을 필요로 하고 있다. 그러나 지자기장 및 비콘 신호에 영향을 주는 많은 요소들이 혼재해 있는 실내 환경에서는 정밀한 위치 추정에 어려움이 있다. 예를 들어, 전시장이나 행사장과 같은 장소에서 비콘 신호는 서비스 지역을 돌아다니는 수많은 사람들과 장애물들에 의한 영향으로 측위 성능이 제한될 수 있다. 지자기장 측위의 경우, 지하철역이나 주차장, 혹은 다수의 전기 및 전자 관련 장비들이 이동하는 장소에서는 자기장 왜곡에 의한 영향으로 측위 성능이 제한될 수 있다.

비콘과 자기장을 이용한 측위 과정에서 큰 위치 오차가 발생 가능한 환경에서는 비전 측위가 함께 활용될 수 있다. 위치 오차를 최소화할 수 있는 측위 시스템을 개발하기 위해, App. 3의 하이브리드 알고리즘은 비콘, PDR에 비전 측위를 결합하여 사용자의 위치를 추정한다. 서비스 지역 내에 사용자의 이동 경로를 따라 비전 마커를 부착해 두면, 사용자는 스마트폰의 카메라를 통해 마커를 스캔하여 현재 위치를 추정할 수 있다. 카메라를 통해 마커가 관측되면, 스마트폰은 본 논문에서 제안된 밀 측정 기반 측위 알고리즘을 통해 정밀하게 위치를 추정할 수 있다. 하지만 비전 측위는 카메라와 마커 간의 시야가 확보되어야 하는 전제조건을 가지고 있어 마커가 항상 관측되지 않을수도 있으므로, App. 3의 하이브리드 알고리즘은 마커가 관측되지 않을 때는 비콘과 PDR을 이용하여 현재 위치를 추정한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

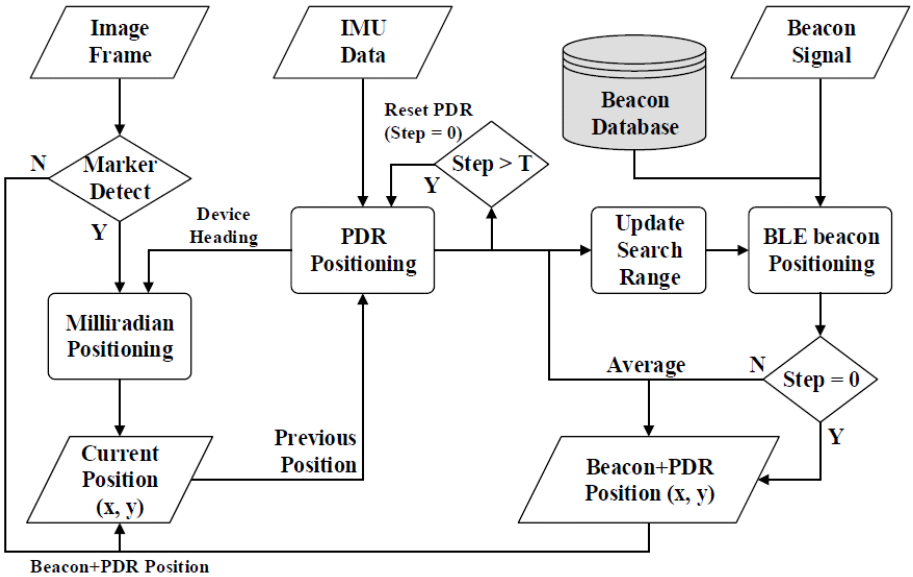


그림 26. 비콘, PDR과 비전 측위를 결합한 하이브리드 측위 알고리즘 (App. 3)

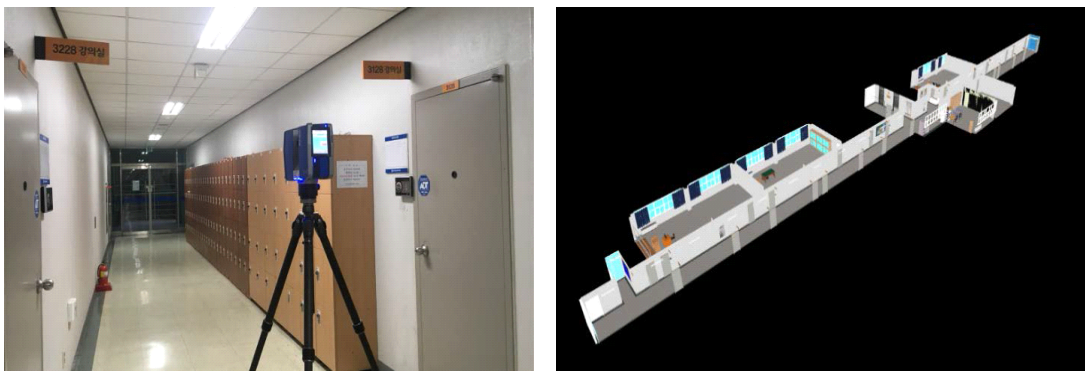
그림 26은 App. 3의 하이브리드 알고리즘의 측위 방법을 나타내고 있다. 비콘과 PDR을 이용한 측위 방법은 App. 1의 알고리즘과 동일하며, 카메라가 마커를 관측하였을 때에는 밀 측정을 통해 현재 위치를 추정하게 된다. 사용자가 이동 중에 카메라를 통해 마커를 관측하게 되면, 스마트폰은 카메라로부터 획득한 영상 데이터에서 QR 코드를 감지하고, 감지된 QR 코드로부터 마커에 포함되어있는 정보를 읽어들인다. QR 코드에 제안 시스템을 위한 위치 정보가 포함되어 있다면, 스마트폰은 마커의 위치 정보와 밀 측정 알고리즘을 통해 계산된 마커와 스마트폰 사이의 거리, 자기장 센서를 통해 추정된 스마트폰의 방향각을 이용하여 최종 위치를 추정한다. App. 3의 하이브리은 알고리즘은 비콘, PDR, 그리고 비전 측위의 세 가지 추정 위치 정보들을 얻게 되는데, 비전 측위를 통해 추정한 위치의 정밀도에 가장 높은 우선순위를 부여하여 현재 위치를 결정하도록 설계하였다. 따라서, PDR 단계에서 필요로 하는 초기 위치 또한 마커가 관측되면 비전 측위 데이터를 이용하여 초기 위치를 갱신하게 된다. 선술한 바와 같이, 이동 중에 마커가 관측되지 않는 시간 동안에는 비콘과 PDR을 이용하여 현재 위치를 지속적으로 갱신한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

IV. 성능 비교 및 평가

A. 테스트 환경 및 시나리오

본 논문에서는 제안하는 실내 측위 시스템을 구현한 뒤 실내 LBS 모델을 고려하여 실제로 많은 사람들이 이용하는 장소 내에 비콘과 마커를 설치하여 실험을 진행하였다. 실험은 조선대학교 IT 융합대학 내 3층의 넓은 홀과 8층의 좁고 긴 복도의 두 가지 유형의 공간에서 진행되었다. 홀의 면적은 가로 세로로 각각 14m × 6.5m, 복도의 면적은 가로 세로로 각각 100m × 2.25m이다. 스마트폰 기반 LBS를 대상으로 하는 제안 시스템의 특성상 LBS 서버는 사용자에게 실내 공간을 시각화하여 보여줄 수 있는 실내 지도와 측위를 위한 핑거프린트 지도를 포함하고 있어야 하므로, 다음과 같이 실내 지도를 구축하였다. 우선, 실내 지도를 구축하기 위해 서비스 지역을 3D 레이저 스캐너 (Faro Focus3D X 330)를 이용하여 3D 포인트 클라우드 데이터를 수집하고 그림 27과 같이 3D 실내 지도를 렌더링하였다.



(a) 실내 공간 스캔 (b) 스캔 데이터 렌더링

그림 27. 3D 실내 지도 구축

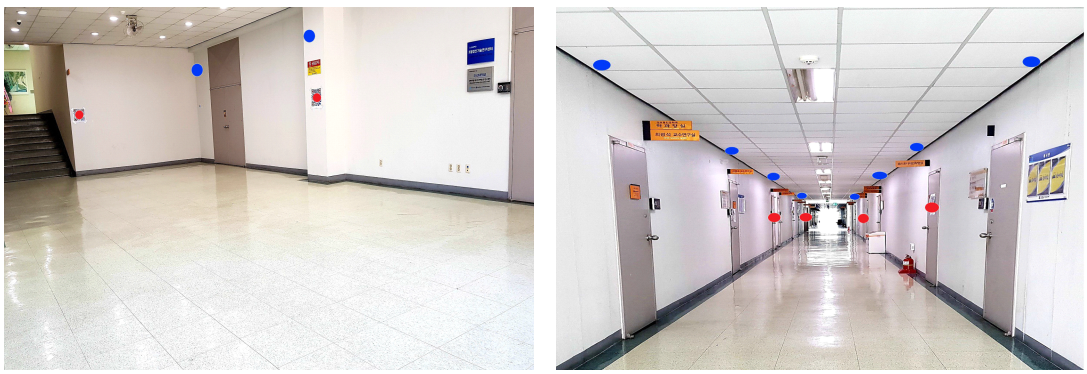
비콘 측위 기능을 제공하기 위한 핑거프린트 지도 데이터를 구축하려면, 서비스 지역 내에 일정 간격으로 비콘이 설치되어 있어야 하고 핑거프린트 데이터를 수집할 참조 위치들이 선정되어야 한다. 비콘의 경우, 설치 간격을 좁게 설정하면 측위의 정확도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

및 정밀도는 향상될 수 있지만 서비스 지역의 면적 대비 설치할 비콘의 수량이 증가하므로 비용 효율이 감소하며, 지나치게 좁은 간격으로 설치할 경우 적정 간격으로 설치할 때에 비해 측위 정밀도가 유의미하게 개선되지 않으므로 비효율적이다. 반대로, 지나치게 넓은 간격으로 비콘을 설치하게 되면 설치 비용은 감소하겠지만 측위 정밀도가 떨어지고 서비스 음영 지역이 발생할 수 있다. 비콘이 설치되고 나면, 비콘의 설치 간격을 고려하여 적정 간격으로 참조 위치들을 선정하여 각 참조 위치에서 주변 비콘의 RSSI를 수집하는 방식으로 비콘 핑거프린트 지도 데이터를 생성할 수 있다. 지자기장 측위를 위한 핑거프린트 지도 데이터를 구축하는 단계에서는 실내에 인프라를 요구하지 않기 때문에 데이터 수집을 위한 참조 위치를 선정하여 각 참조 위치에서 MFI 값을 수집하면 된다. 본 논문에서는 비콘과 지자기장 핑거프린트 데이터 수집을 위한 참조 위치를 동일하게 설정하였다.

표 7. 실험 장소와 비콘 및 참조 위치 정보

	비콘 수량	참조 위치 수	비콘 설치 간격	참조 위치 설정 간격	면적 $[m^2]$
홀	6	35	6.75	1.8	225
복도	35	125	6.75	1.8	91



(a) 홀 (b) 복도

그림 28. 비콘과 마커가 배치된 실험 장소

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

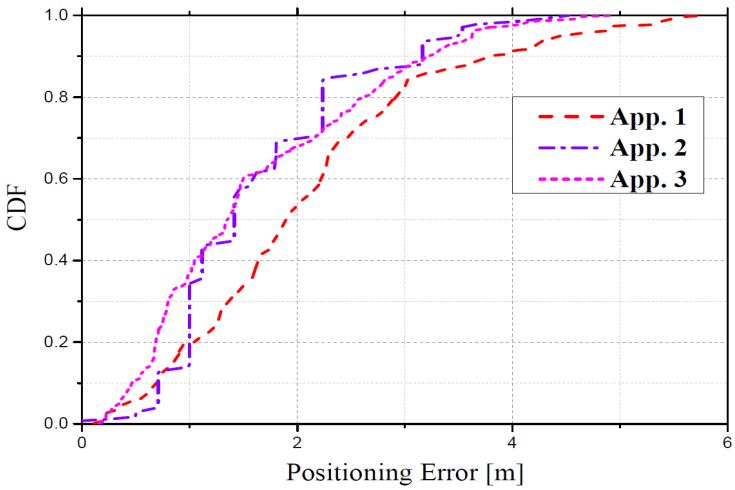
표 7은 실험 장소 내 비콘과 참조 위치의 설정값을 보여주고 있다. 비콘과 스마트폰 사이의 거리가 5m 이상 멀어지면 2m 이상의 추정 거리 오차가 발생하여 전반적인 측위 성능의 하락을 초래하므로[55], 본 실험에서 비콘의 설치 간격은 6.75m로 설정하였다. 참조 위치의 간격은 좁을수록 측위 해상도는 증가하지만 핑거프린트 맵을 구성하는 데이터의 사이즈와 데이터를 수집하는데 소요되는 시간과 인력이 함께 증가하게 되므로[56], 본 실험에서는 참조 위치 사이의 간격을 1.8m로 설정하였다.

그림 28은 실험 장소와 비콘 및 마커의 설치 위치를 보여주고 있다. 그림 상에서 파란색 점은 비콘의 설치 위치, 빨간색 점은 마커의 부착 위치를 나타낸다. 비콘은 Estimote사의 블루투스 4.0 BLE 방식의 제품을 사용했으며 비콘의 광고 패킷 전송 주기는 300ms, 신호 송신 전력은 -8dBm으로 설정하였다. 비콘의 배치는 두 실험 장소 모두에서 벽면에 부착하는 방식으로 이루어졌는데, 홀의 경우 한쪽 벽에 가까워지면 다른 방향에 설치된 비콘으로부터 5m 이상 멀어져 강한 세기의 신호와 약한 세기의 신호가 함께 수신되는 상황에서의 측위 성능을 확인하기 위해 천장에는 비콘을 설치하지 않은 채로 실험을 진행하였다. 마커는 가로 세로 동일 30cm 크기의 QR 코드 형태로 종이에 인쇄하여 벽면에 부착하였다. 실험은 피실험자가 스마트폰을 휴대한 채 홀과 복도에서 일반적인 보행 속도 (약 $1.3m/s$)로 이동하면서 측위 결과 데이터를 수집하여 기록하였다. 측위 실험 결과는 두 가지 유형의 실험 장소를 실험자가 일정한 속도로 동일한 이동 경로를 따라 움직이면서 세 가지 어플리케이션을 통해 수집한 데이터를 정리하여 얻어진다. 측위 성능 평가는 비콘과 PDR의 측위 동작 부분이 세 가지 어플리케이션 모두에서 동일하므로 어플리케이션 1을 기준으로 제안하는 어플리케이션 2와 3의 정확도와 정밀도를 비교하는 방식으로 이루어진다.

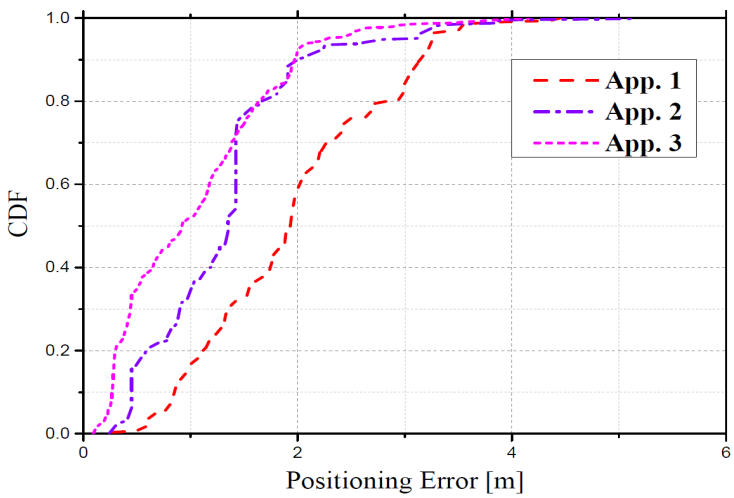
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 실험 결과 및 성능 평가

제안 시스템의 실내 측위 실험은 홀과 복도의 두 장소에서 실시되었고 수집된 위치 데이터를 기반으로 각각의 어플리케이션의 위치 오차의 누적 분포 함수 (CDF)를 비교하였다. 실험 데이터는 각 위치에서 50번 수집하여 평균값을 산출한 후 각각의 어플리케이션의 CDF를 계산하는 방식으로 산출하였다.



(a) 홀



(b) 복도

그림 29. 각 어플리케이션의 측위 성능 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 8. 각 어플리케이션의 측위 데이터 비교

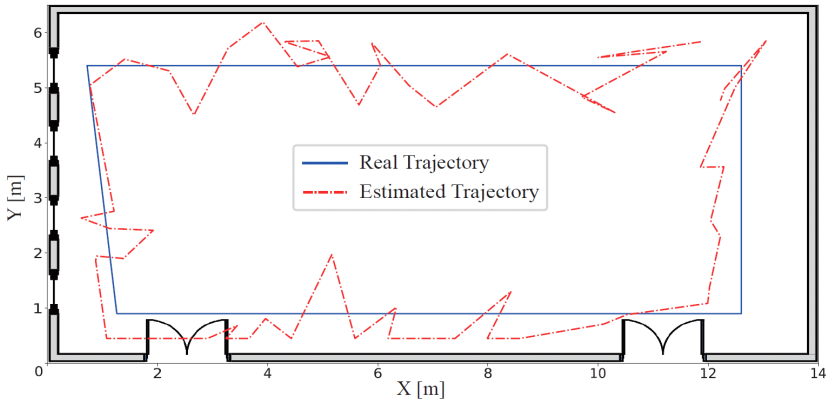
	실험 장소	정확도 [m]	정밀도(2m)	정밀도(4m)	표준 편차
App. 1	홀	1.82	0.54	0.96	1.191
	복도	1.44	0.58	0.99	0.705
App. 2	홀	1.65	0.70	0.98	0.891
	복도	1.31	0.90	0.99	0.734
App. 3	홀	1.61	0.68	0.97	1.051
	복도	1.03	0.92	0.99	0.740

그림 29와 표 8은 각 실험 장소에서 수행된 세 가지 하이브리드 측위 알고리즘(App. 1-3)을 이용한 위치 추정 데이터를 나타낸다. 표에서 볼 수 있듯이, 측위 정확도는 App. 1의 경우 홀과 복도에서 각각 1.82m, 1.44m로 나타났고, App. 2는 1.65, 1.31로 줄어들었으며 App. 3는 1.61, 1.03까지 줄어든 것을 볼 수 있었다. 측위 정밀도 측면에서, 기준이 되는 비콘+PDR 방식의 측위 알고리즘(App. 1)의 경우 오차범위 2m의 정밀도가 홀과 복도에서 각각 54%, 58%로 나타났다. 이를 App. 2와 비교해보면, 비콘+PDR 측위와 지자기장 측위의 상호 보완 알고리즘을 이용하였을 때 오차범위 2m의 정밀도가 각각 70%, 90%로 향상되었음을 확인할 수 있었다. 마찬가지로, 비콘+PDR 측위에 밀 측정 기반의 비전 측위를 결합한 결과 오차범위 2m의 정밀도는 각각 68%, 92%로 향상된 것도 확인할 수 있었다. 측위 결과만을 보았을 때는 App. 1이 가장 낮은 측위 성능으로 실사용에 유리하지 않을 것처럼 보일 수 있으나, App. 1의 경우 서비스 구축에 소요되는 비용과 노력, 그리고 스마트폰의 배터리 소모 측면에서는 가장 유리한 방법에 속한다. 따라서, 제안하는 어플리케이션들은 표 1에 분류해놓은 서비스와 같이 서비스 대상 및 적용 장소를 고려하여 용도에 맞는 어플리케이션이 필요할 때 고를 수 있는 선택지로 보는 것이 바람직하다.

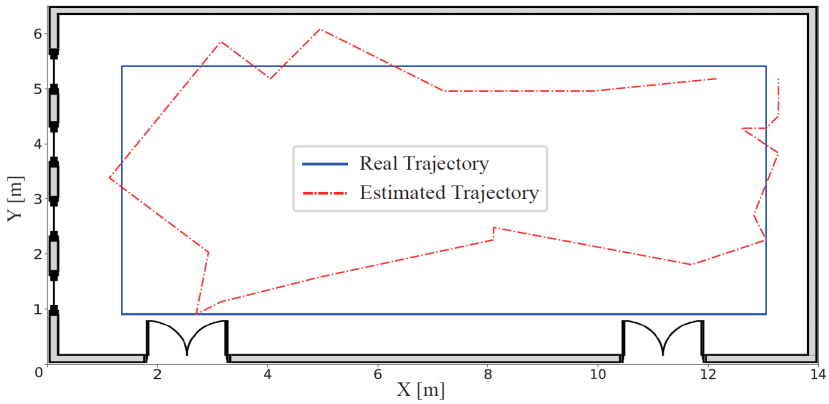
제안 시스템의 실사용 예를 보이기 위해, 본 논문에서는 스마트폰을 이용하여 실제로 구현된 서비스를 이용하는 실험을 수행하였다. 본 실험에서, 피실험자는 안드로이드

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

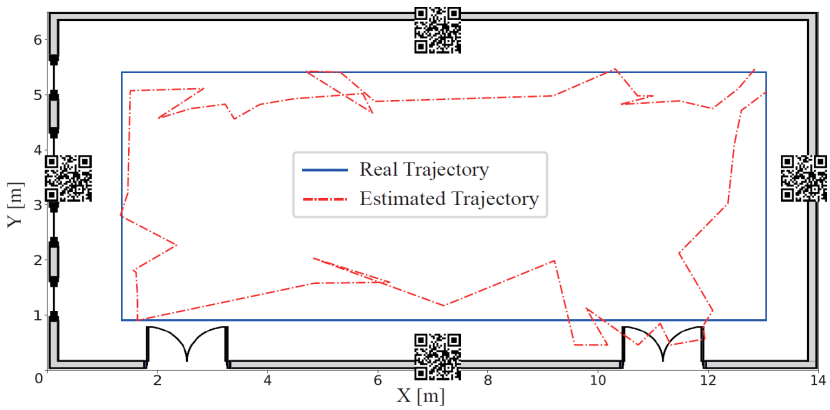
기반 스마트폰 (N950)에 App. 1, App. 2, App. 3을 설치하여 실행한 뒤 스마트폰을 휴대한 채로 실험 장소를 돌아다니며 위치 데이터를 수집하였다.



(a) 비콘+PDR 복합측위 알고리즘 (App. 1)



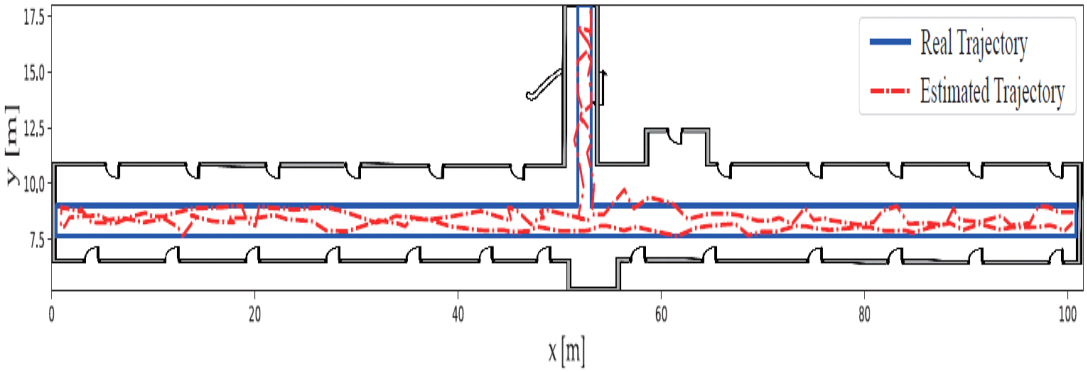
(b) 제안하는 비콘+PDR과 지자기장의 상호 보완 알고리즘 (App. 2)



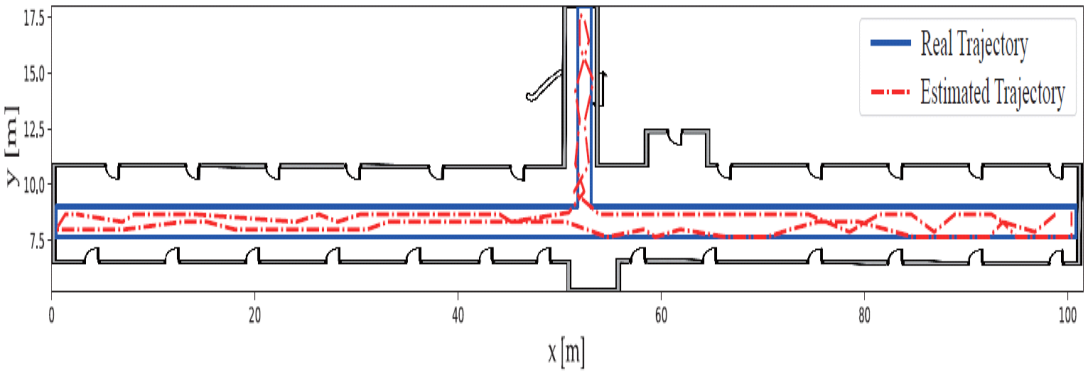
(c) 제안하는 비콘+PDR과 비전 측위의 상호 보완 알고리즘 (App. 3)

그림 30. 홀에서 사용자의 이동 경로 추정 결과

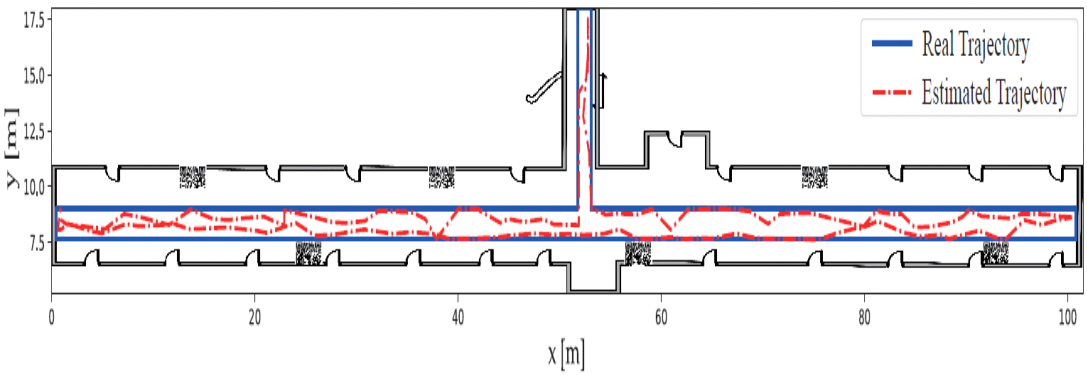
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 비콘+PDR 복합측위 알고리즘 (App. 1)



(b) 제안하는 비콘+PDR과 지자기장의 상호 보완 알고리즘 (App. 2)



(c) 제안하는 비콘+PDR과 비전 측위의 상호 보완 알고리즘 (App. 3)

그림 31. 복도에서 사용자의 이동 경로 추정 결과

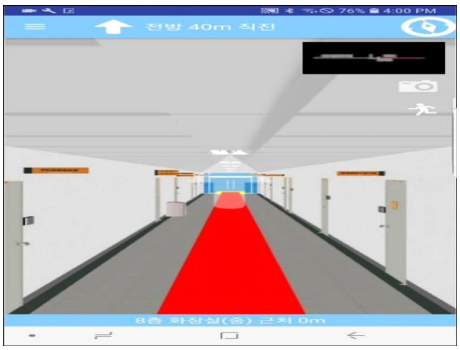
그림 30, 31은 사용자가 스마트폰을 휴대한 채로 실험 장소를 이동한 궤적을 보여주고 있다. 그림 내 파란 선은 실제 사용자가 이동한 경로를 나타내며, 빨간 선은 각각의

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

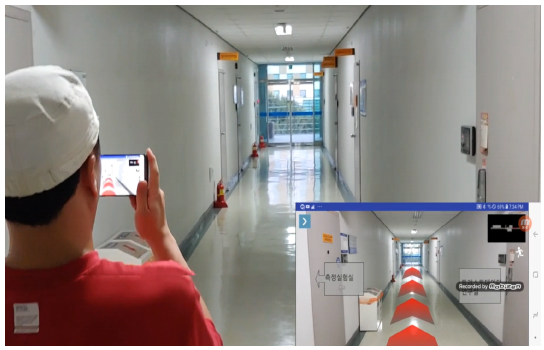
어플리케이션에서 사용자의 위치를 추정한 결과를 나타낸다. 이동 궤적을 그린 결과에서 직관적으로 어플리케이션 간의 성능 차이를 보는 것은 어렵지만, 경로 안내 및 위치 추적과 같은 서비스 이용에 있어서는 스마트폰의 위치가 급격하게 변화하지 않고 완만한 선을 그리는 App. 2의 측위 기능이 실내 지도상에서 사용자의 위치를 시각화함에 있어 가장 적합한 것을 확인하였다. 또한, 측위의 오차 범위 측면에서는 여전히 App. 3가 가장 나은 결과를 보여주는 것을 확인할 수 있었다. 세 가지 어플리케이션 모두 실내에서 자기장 센서로부터 추정된 장치의 방향각에서 크게 발생하는 오차에 의해 실시간 위치 데이터가 다소 불안정하게 움직이는 것을 볼 수 있었으나, 밀 측정의 우수한 거리 추정 정밀도에 의해 스마트폰이 마커를 보는 순간에는 위치 오차가 줄어들었기 때문이다.

본 논문에서는 제안 시스템을 구성 요소 및 IPS에 필요한 측위 정밀도에 따라 세 가지 유형의 어플리케이션으로 분류하여 소개하였다. 각각의 어플리케이션이 가지는 측위 정밀도 및 복잡도 사이의 트레이드오프를 고려하면, 제안 시스템의 어플리케이션은 다양한 서비스 유형에서 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 마지막으로, 그림 32의 실사용 예시를 통해 제안 시스템이 실내 LBS 시스템으로써 유용하게 활용 가능함을 보이고자 한다. 그림 32(a)는 복잡한 실내 환경에서 목적지까지의 경로 안내, 그림 32(b)는 실내 공간 정보와 위치 정보를 결합한 시설 정보 제공, 그림 32(c)는 사용자 위치 모니터링 기반의 사고 방지, 그림 32(d)는 사용자 방문 기록을 이용한 통계 정보 제공의 기능적 활용 예시를 나타내고 있으며, 이러한 기능을 활용하면 다양한 실내 위치 기반 서비스를 개발할 수 있을 것으로 판단된다.

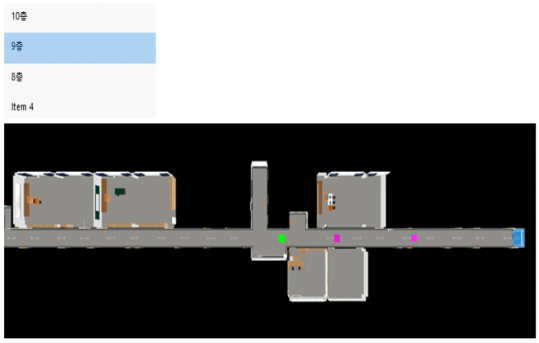
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



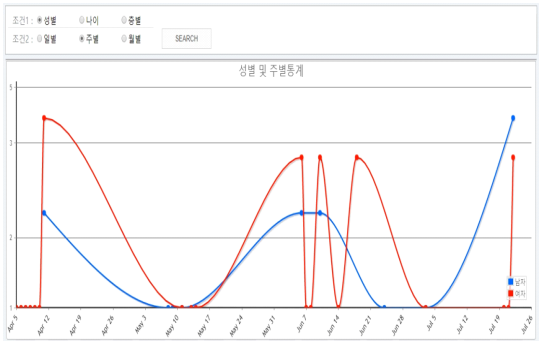
(a) 실내 내비게이션



(b) AR 모드 내비게이션



(c) 실내 모니터링 및 위치 추적



(d) 통계 자료 제공

그림 32. 실내 위치 기반 서비스

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

V. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 인프라 구성 요소를 최소화하면서 높은 정밀도를 갖는 실내 LBS용 시스템을 제안하였고, 실험을 통해 성능 평가를 진행하였다. 제안 시스템은 IPS의 구성 요소를 비콘과 마커로 제한하되, 비 인프라 기반 측위 기술인 PDR과 지자기장 측위 기술을 함께 사용하였다. 각각의 측위 기술들이 갖는 한계점을 극복하기 위해, 본 논문에서는 실내 측위 단계에서 둘 이상의 측위 기술을 서로 상호 보완하도록 결합한 하이브리드 알고리즘을 제안하였다. 하이브리드 기반 측위 알고리즘은 세 가지 유형의 서비스를 대상으로 세분화하여 각각의 용도 및 목적에 맞게 설계되었으며, 각각의 하이브리드 알고리즘은 사용자 스마트폰용 어플리케이션 (App. 1-3)에 각각 구현되었다. App. 1은 소셜 마케팅 및 광고정보제공과 같이 대략적인 위치 추정을 필요로 하는 서비스를 위해 개발되었고, 4m 이하의 추정 위치 오차를 가지는 것을 확인하였다. App. 2는 실내 내비게이션 및 위치 추적과 같은 정밀 측위가 필요한 서비스를 위해 App. 1과 같이 비콘과 PDR을 이용하되 추가적으로 지자기장 측위를 결합함으로써 추정 위치 오차를 2m 이하로 줄였다. App. 3는 VR, AR 혹은 MR과 같이 사용자 및 사용자 주변 위치에 정확하게 컨텐츠를 표시해야 하는 서비스를 위해 비콘과 PDR, 그리고 비전 측위를 결합하여 추정 위치 오차를 App. 2보다 조금 더 낮은 수준까지 줄였다. 특히, 비전 측위에 사용된 밀 측정 기반의 측위 알고리즘 스마트폰과 마커 간 거리를 정밀하게 추정하여 App. 3의 측위 정밀도 향상에 기여하였음을 확인하였다. 추가로, 본 논문에서는 실제 응용 예시를 통해 제안 시스템이 실내 LBS용 시스템으로써 유용하게 활용 가능함을 보여주었다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참고 문헌

[1] R. Harle, "A survey of indoor inertial positioning systems for pedestrians," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 15, no. 3, pp. 1281-1293, 2013.

[2] W. Sakpere, M. A. Oshin, and N. B. Mlitwa, "A State-of-the-Art Survey of Indoor Positioning and Navigation Systems and Technologies," South African Computer Journal, vol. 29, no. 3, pp. 145-197, 2017.

[3] G. Deak, K. Curran, and J. Condell, "A survey of active and passive indoor localisation systems," Computer Communications, vol. 35, no. 16, pp. 1939-1954, 2012.

[4] X. Li and K. Pahlavan, "Super-Resolution TOA Estimation With Diversity for Indoor Geolocation," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 3, no. 1, pp. 224-234, 2004.

[5] M. H. Habaebi, R. O. Khamis, A. Zyoud and M. R. Islam, "RSS Based Localization Techniques for ZigBee Wireless Sensor Network," 2014 International Conference on Computer and Communication Engineering, Kuala Lumpur, 2014, pp. 72-75.

[6] S. Mahfouz, F. Mourad-chehade, P. Honeine, J. Farah, and H. Snoussi, "Non-Parametric and Semi-Parametric RSSI/Distance Modeling for Target Tracking in Wireless Sensor Networks," IEEE Sensors Journal, vol. 16, no. 7, pp. 2115-2126, 2016.

[7] S. Xia, Y. Liu, G. Yuan, M. Zhu, and Z. Wang, "Indoor Fingerprint Positioning Based on Wi-Fi: An Overview," International Journal of Geo-Information, vol. 6, no. 5, p. 135, 2017.

[8] R. Ma, Q. Guo, C. Hu, and J. Xue, "An improved WiFi indoor positioning algorithm by weighted fusion," Sensors (Switzerland), vol. 15, no. 9, pp. 21824-21843, 2015.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[9] H. Wang, H. Lenz, A. Szabo, J. Bamberger, and U. D. Hanebeck, "WLAN-Based Pedestrian Tracking Using Particle Filters and Low-Cost MEMS Sensors," In Proceedings of the 2007 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication, vol. 2007, pp. 1-7, 2007.

[10] V. Renaudin and C. Combettes, "Magnetic, acceleration fields and gyroscope quaternion (MAGYQ)-based attitude estimation with smartphone sensors for indoor pedestrian navigation," Sensors (Switzerland), vol. 14, no. 12, pp. 22864-22890, 2014.

[11] A. R. Jimenez, F. Seco, F. Zampella, J. C. Prieto, and J. Guevara, "PDR with a foot-mounted IMU and ramp detection," Sensors, vol. 11, no. 10, pp. 9393-9410, 2011.

[12] K. P. Subbu, B. Gozick, and R. Dantu, "LocateMe: Magnetic-fields-based indoor localization using smartphones," ACM Trans. on Intelligent Systems and Technology, vol. 4, no. 4, pp. 1-27, 2013.

[13] H. J. Jang, J. M. Shin and L. Choi, "Geomagnetic Field Based Indoor Localization Using Recurrent Neural Networks," GLOBECOM 2017 - 2017 IEEE Global Communications Conference, Singapore, 2017, pp. 1-6.

[14] G. Chen, X. Meng, Y. Wang, Y. Zhang, P. Tian, and H. Yang, "Integrated WiFi/PDR/Smartphone Using an Unscented Kalman Filter Algorithm for 3D Indoor Localization," Sensors, vol. 15, no. 9, pp. 24595-24614, 2015.

[15] Z. Wu, E. Jedari, R. Muscedere, and R. Rashidzadeh, "Improved particle filter based on WLAN RSSI fingerprinting and smart sensors for indoor localization," Computer Communications, vol. 83, pp. 64-71, 2016.

[16] Z. Chen, H. Zou, H. Jiang, Q. Zhu, Y. C. Soh, and L. Xie, "Fusion of WiFi, smartphone sensors and landmarks using the kalman filter for indoor localization," Sensors (Switzerland), vol. 15, no. 1, pp. 715-732, 2015.

[17] S. Subedi and J.-Y. Pyun, "Practical fingerprinting localization for indoor positioning system by using beacons," Journal of Sensors, vol. 2017, 2017.

[18] S. Gezici et al., "Localization via ultra-wideband radios: a look at

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

positioning aspects for future sensor networks," in IEEE Signal Processing Magazine, vol. 22, no. 4, pp. 70-84, July 2005.

[19] Z. Sahinoglu, S. Gezici, and I. Gvenc, "Ultra-wideband Positioning Systems: Theoretical Limits, Ranging Algorithms, and Protocols," Cambridge University Press, USA, 2011.

[20] N. Dwek et al., "Improving the Accuracy and Robustness of Ultra-Wideband Localization Through Sensor Fusion and Outlier Detection," in IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 5, no. 1, pp. 32-39, Jan. 2020.

[21] H. Kim, "Double-sided two-way ranging algorithm to reduce ranging time," in IEEE Communications Letters, vol. 13, no. 7, pp. 486-488, July 2009.

[22] A. A. D'Amico, U. Mengali and L. Taponecco, "TOA Estimation with the IEEE 802.15.4a Standard," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 9, no. 7, pp. 2238-2247, July 2010.

[23] R. Faragher and R. Harle, "Location Fingerprinting With Bluetooth Low Energy Beacons," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 33, no. 11, pp. 2418-2428, Nov. 2015.

[24] 김도윤, 최린. (2017). 보행자 추측 항법 성능 향상을 위한 스마트폰 전용 모션 센서 보정 알고리즘. 정보과학회 컴퓨팅의 실제 논문지, 23(3), 148-155.

[25] N. Yu, Y. Li, X. Ma, Y. Wu and R. Feng, "Comparison of Pedestrian Tracking Methods Based on Foot- and Waist-Mounted Inertial Sensors and Handheld Smartphones," in IEEE Sensors Journal, vol. 19, no. 18, pp. 8160-8173, 15 Sept.15, 2019.

[26] L. E. Díez et al., "Signal processing requirements for step detection using wrist-worn IMU," 2015 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA), Turin, 2015, pp. 1032-1035.

[27] 정재영, 김한실. "파티클 필터를 이용한 GPS 위치보정과 GPS/INS 센서 결합에 관한 연구.", 전자공학회논문지, 50(6), 267-275, Jun. 2013.

[28] B. Gozick, K. P. Subbu, R. Dantu, and T. Maeshiro, "Magnetic maps for indoor navigation," IEEE Transactions on Instrumentation and

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Measurement, vol. 60, no. 12, pp. 3883-3891, 2011.

[29] J. Haverinen and A. Kemppainen, "Global indoor self-localization based on the ambient magnetic field," Robotics and Autonomous Systems, vol. 57, no. 10, pp. 1028-1035, 2009.

[30] P. Nazemzadeh, D. Fontanelli, D. Macii, S. Member, and L. Palopoli, "Indoor Localization of Mobile Robots Through QR Code Detection and Dead Reckoning Data Fusion," IEEE/ASME Transactions On Mechatronics, vol. 22, no. 6, pp. 2588-2599, 2017.

[31] Y. Ma, S. Soatto, J. Kosecka, and S. S. Sastry, "An Invitation to 3-D Vision: From Images to Geometric Models," Springer, vol. 26, 2012.

[32] O. Woodman and R. Harle, "Pedestrian localisation for indoor environments," In Proceedings of the 10th international conference on Ubiquitous computing, 2008, pp. 114-123.

[33] L. Klingbeil and T. Wark, "A Wireless Sensor Network for Real-Time Indoor Localisation and Motion Monitoring," 2008 International Conference on Information Processing in Sensor Networks (ipsn 2008), St. Louis, MO, 2008, pp. 39-50.

[34] E. Foxlin, "Pedestrian Tracking with Shoe-Mounted Inertial Sensors," IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 25, no. 6, pp. 38-46, Nov. 2005.

[35] S.-W. Lee and K. Mase, "Recognition of walking behaviors for pedestrian navigation," Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Control Applications (CCA'01) (Cat. No.01CH37204), Mexico City, Mexico, 2001, pp. 1152-1155.

[36] Q. Zeng, J. Wang, Q. Meng, X. Zhang, and S. Zeng, "Seamless Pedestrian Navigation Methodology Optimized for Indoor/Outdoor Detection," IEEE Sensors Journal, vol. 18, no. 1, pp. 363-374, Jan. 2018.

[37] Y. Zhuang and N. El-Sheimy, "Tightly-Coupled Integration of WiFi and MEMS Sensors on Handheld Devices for Indoor Pedestrian Navigation," IEEE Sensors Journal, vol. 16, no. 1, pp. 224-234, Jan. 2016.

[38] S. Lee, B. Kim, H. Kim, R. Ha and H. Cha, "Inertial Sensor-Based Indoor

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Pedestrian Localization with Minimum 802.15.4a Configuration," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 7, no. 3, pp. 455-466, Aug. 2011.

[39] H.-H. Liu and C. Liu, "Implementation of wi-fi signal sampling on an android smartphone for indoor positioning systems," Sensors, vol. 18, no. 1, p. 3, 2018.

[40] X. Tong, K. Liu, X. Tian, L. Fu, and X. Wang, "Fineloc: A fine-grained self-calibrating wireless indoor localization system," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 18, pp. 2077-2090, 2018.

[41] M. Wei, and Y. Meng, "Research on the optimal route choice based on improved Dijkstra," 2014 IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA), pp. 303-306, 2014.

[42] S. Subedi, H. S. Gang, N. Y. Ko, S. S. Hwang, and J. Y. Pyun, "Improving Indoor Fingerprinting Positioning With Affinity Propagation Clustering and Weighted Centroid Fingerprint," IEEE Access, vol. 7, pp. 31738-31750, 2019.

[43] S. Amirisoori et al, "WI-FI Based Indoor Positioning Using Fingerprinting Methods (KNN Algorithm) in Real Environment," International Journal of Future Generation Communication and Networking, vol. 10, no. 9, pp. 23-36, 2017.

[44] Q. Wang, R. Sun, X. Zhang, Y. Sun, and X. Lu, "Bluetooth positioning based on weighted K-nearest neighbors and adaptive bandwidth mean shift," International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 13, no. 5, pp. 1-8, 2017.

[45] S. Y. Park, S. J. Heo and C. G. Park, "Accelerometer-based smartphone step detection using machine learning technique," 2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON), Pattaya, 2017, pp. 1-4.

[46] W. Beibei, C. Tao and Z. Zhao, "An Improved in Stride Estimation Algorithm of Pedestrian Dead Reckoning," 2017 9th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), Changsha, 2017, pp. 154-157.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[47] R. K. Yadav, B. Bhattarai, H. S. Gang, and J. Y. Pyun, "Trusted K Nearest Bayesian Estimation for Indoor Positioning System," IEEE Access, vol. 7, pp. 51484-51498, 2019.

[48] A. R. Jim, "A comparison of Pedestrian Dead-Reckoning algorithms using a low-cost MEMS IMU," In Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, pp. 37-42, 2009.

[49] B. P. Misra and P. Enge, "Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance Second Edition," Ganga-Jamuna Press, 2011.

[50] J. Chung, M. Donahoe, C. Schmandt, I.-J. Kim, P. Razavai, and M. Wiseman, "Indoor Location Sensing Using Geo-magnetism," In Proceedings of the 9th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, pp. 141-154, 2011.

[51] A. Basiri, P. Amirian, and A. Winstanley, "The Use of Quick Response (QR) Codes in Landmark-Based Pedestrian Navigation," International Journal of Navigation and Observation, vol. 2014, pp. 1-7, 2014.

[52] Wikipedia, "Milliradian," https://en.wikipedia.org/wiki/Milliradian, accessed: 2019-10-01.

[53] R. J. Simeone, "Mils / MOA & The Range Estimation Equations," Scribd, 2015.

[54] Google, "ZXing," https://opensource.google.com/projects/zxing, accessed: 2019-10-01.

[55] S.-H. Lee, I.-K. Lim, and J.-K Lee, "Method for improving indoor positioning accuracy using extended kalman filter", Mobile Information Systems, vol. 2016, 2016.

[56] S. Subedi and J.-Y. Pyun, "Lightweight workload fingerprinting localization using affinity propagation clustering and gaussian process regression," Sensors, vol. 18, no. 12, p. 4267, 2018.