

실내 위치 추정 기법 기술 동향

김태국*

국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부 교수

Technology Trends of Indoor Localization Scheme

Tae-Kook Kim*

Professor, School of Computer and Artificial Intelligence Engineering, Pukyong National University

요약 실내에서 생활하거나 업무를 수행하는 시간이 증가하고 사물인터넷(IoT) 응용이 실내 중심으로 발전하면서, 건물 내에서 사람과 사물의 위치를 정밀하게 파악하려는 수요가 급증하고 있다. 이에 따라 실내에서 응용 서비스를 제공하기 위해 실내 위치 측위 기술이 많이 연구되어 왔다. 실외에서는 GPS(Global Positioning System)로 불리는 위성 항법 시스템을 활용하여 사용자의 위치 추정에 주로 활용되고 있다. 그러나 실내에서는 GPS 신호가 건물 내부까지 도달하기 힘들고, 다중 경로 등의 문제 등으로 위치 추정에 어려움이 있다. 이에 따라 실내에서의 위치 추정에는 와이파이(Wi-Fi), BLE(Bluetooth Low Energy), 초광대역(UWB, Ultra-Wideband), RFID(Radio Frequency Identification), 관성 측정 장치(IMU, Inertial Measurement Unit) 등을 활용한 기법들이 사용된다. 본 논문에서는 실내 위치 추정 기술의 개념을 살펴보고, 관련 기술의 최신 동향을 고찰하였다.

주제어 : 사물인터넷, 실내 위치 추정, 와이파이, Bluetooth Low Energy(BLE), Global Positioning System(GPS), Ultra-Wideband(UWB), Radio Frequency Identification(RFID), Inertial Measurement Unit(IMU)

Abstract As people spend more time living and working indoors, and as Internet of Things (IoT) applications increasingly focus on indoor environments, the demand for precise location tracking of people and objects within buildings is rapidly growing. Accordingly, indoor positioning technology has been extensively researched to provide application services within indoor environments. Outdoors, user location is primarily estimated using satellite navigation systems, such as the Global Positioning System (GPS). However, indoors, GPS signals have difficulty reaching the inside of buildings, and location estimation is difficult due to problems such as multipath. Accordingly, techniques utilizing Wi-Fi, BLE (Bluetooth Low Energy), UWB (Ultra-Wideband), RFID (Radio Frequency Identification), and IMU (Inertial Measurement Unit) are used for indoor location estimation. In this paper, we examine the concept of indoor positioning technology and review the latest trends in related technologies.

Key Words : Internet of Things(IoT), Indoor localization, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy(BLE), Global Positioning System(GPS), Ultra-Wideband(UWB), Radio Frequency Identification(RFID), Inertial Measurement Unit(IMU)

1. 서론

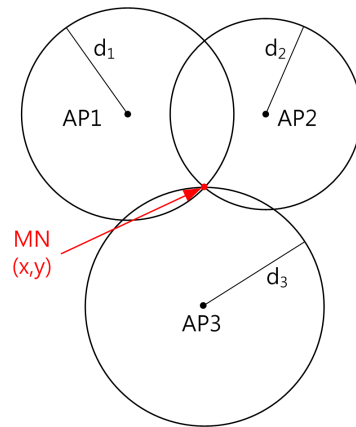
오늘날 스마트폰의 보급으로 인해 내비게이션 등 위치를 활용한 서비스가 급증하고 있다. 실외에서는 주로 GPS (Global Positioning System)로 대표되는 위성 항법 시스템을 활용하여 위치 인식이 활용되고 있다. GPS는 인공위성에서 송신된 신호를 수신하여 삼변측량의 원리를 이용해 위성과 수신기 사이의 거리를 측정하고, 이를 바탕으로 사용자의 위치를 추정한다. 그러나 GPS는 신호가 건물 내부에 도달하지 못하거나, 다중 경로 (Multipath) 등의 문제로 인해 정확도가 급격히 저하되는 문제가 있다[1,2]. 따라서 실내에서 위치를 추정하기 위해서 초음파, 가시광 통신(VLC, Visible Light Communication), 와이파이(Wi-Fi), RFID (Radio Frequency Identification), BLE (Bluetooth Low Energy), 초광대역(UWB, Ultra-Wideband), Zigbee, 관성 측정 장치(IMU, Inertial Measurement Unit), 적외선(infrared) 등을 활용한 여러 접근법이 제안되었다. 실내 위치 추정 기술은 실내에서의 내비게이션, 스마트 팩토리, 물류, 병원 환자 모니터링, 박물관, 스마트홈 자동화 등 다양한 분야에서 핵심 기반 기술로 주목받고 있다[3-11].

본 논문에서는 실내 위치 추정 기법 기술의 개념을 살펴보고, 최신 학술 연구와 산업 동향을 바탕으로 향후 기술 발전 방향을 전망한다.

2. Wi-Fi 기반 위치 추정 기술

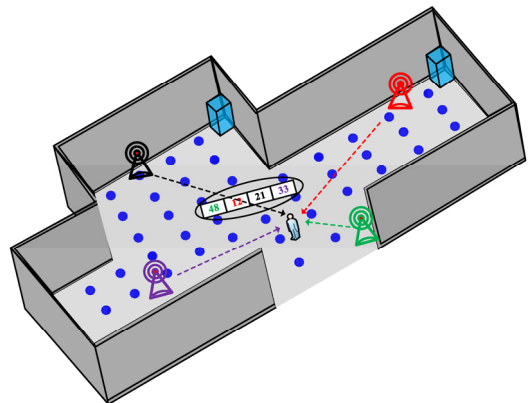
Wi-Fi는 건물 내에 이미 광범위하게 설치된 무선랜 인프라를 활용할 수 있다는 장점 때문에 오늘날 가장 널리 사용되고 있다. Wi-Fi 기반 측위는 주로 수신 신호 세기 지표(RSSI, Received Signal Strength Indicator)를 이용한 거리 추정과 삼변측량(trilateration), 또는 무선 지도 fingerprinting 기법을 활용한다. 다수의 AP(Access Point)로부터 측정된 RSSI 값을 미리 구축된 신호 지도와 비교하여 단말의 위치를 추정하거나, 거리-신호 감쇠 모델을 통해 AP와의 거리를 계산한 뒤 삼변측량 방식으로 위치를 산출한다[1,2,4].

[Fig. 1]은 삼변측량을 사용한 위치 추정을 나타낸다. 삼변측량은 MN(Mobile Node)와 세 개의 알려진 기준점 사이의 거리를 이용하여 위치를 추정하는 방법이다. MN과 기준점 사이의 거리는 RSSI를 통해 추정한다[2].



[Fig. 1] Trilateration

Fingerprinting 기법은 지문인식처럼 각 참조 지점에서의 Wi-Fi 신호 정보를 데이터베이스(DB)로 구축하고, 비교하여 위치를 추정하는 방법이다. [Fig. 2]는 fingerprinting 기법을 나타낸다. 사용자 위치에서 수신된 Wi-Fi 신호의 세기(AP1 48, AP2 12, AP3 21, AP4 33)를 DB와 비교하여 사용자의 위치를 추정할 수 있다[12].



[Fig. 2] Fingerprinting

최근에는 IEEE 802.11mc 표준에 따라 Round Trip Time (RTT) 측정 기능이 도입되었다(정밀 시간 측정). 이를 통해 AP와 단말 사이의 왕복 지연 시간을 거리로 환산함으로써 기존 RSSI 방식보다 향상된 약 1~2m 수준의 정확도를 제공한다[13]. 또한, 다중 안테나를 이용한 AoA(입사각) 측정 기법이나 CSI (Channel State Information) 분석을 통한 정교한 채널 특성 fingerprinting 등, Wi-Fi 신호를 활용한 다양한 고정밀화 기법들이 연구되고 있다[14].

Wi-Fi 기반 측위 기술의 가장 큰 장점은 기존 인프라

활용성이다. 별도의 전용 장비 없이도 건물 내 설치된 AP와 스마트폰 등의 단말만으로 구현 가능하므로 구축 비용이 낮다. 그러나 일반적인 Wi-Fi 신호 세기를 활용한 위치 추정은 약 5m 내외의 오차를 가지며, 건물 구조와 사람 이동에 따른 신호 다중경로 및 환경 변화에 민감하여 정확도가 쉽게 저하된다. 이러한 문제로 인해 무선 지도 기반 fingerprinting 방식은 주기적인 데이터 보정과 현장 캘리브레이션 작업이 필요하며, 이에 따른 비용 부담이 크다. 또한 단말의 전파 수신 특성에 따라 오차가 발생하는 등 실사용에서 제약이 존재한다.

3. Bluetooth Low Energy(BLE) 기반 위치 추정 기술

BLE는 Bluetooth Low Energy를 뜻하며, Bluetooth 4.0부터 도입된 저전력 근거리 통신 기술로 실내 위치 인식에서 비콘(beacon)이라 불리는 소형 BLE 송신기를 공간에 설치하고 스마트폰 등 수신 단말이 그 신호를 받아 거리를 추정하는 방식이 주로 사용된다. BLE 비콘은 주기적으로 고유 ID가 담긴 신호를 브로드캐스트하며, 수신 단말은 RSSI 신호 세기를 기반으로 해당 비콘과의 거리를 계산하거나 근접 여부를 판단한다. 하나의 공간에 여러 BLE 비콘을 배치하면, 단말은 다수 비콘으로부터 수집한 신호 세기 정보(fingerprint)를 활용해 실내 위치를 추정할 수 있다[6,15].

BLE 기반 측위의 주요 장점은 저전력과 저비용이다. 동전형 배터리로 수년 이상 동작 가능한 소형 비콘을 설치하는 방식이므로 유지보수 부담이 적으며, 비콘 한 개당 가격이 저렴해 대량 설치에 용이하다. 또한 BLE 신호는 전파 특성상 옷이나 가방 등을 일정 부분 투과하므로 가시선(LOS, Line of Sight)이 약간 가려져도 수신이 가능해 설치 유연성이 높다. BLE는 스마트폰을 포함한 대부분의 휴대기기에 기본적으로 탑재되어 있어 별도의 추가 수신기가 필요하지 않다는 점도 강점이다.

이러한 이유로 BLE 비콘은 소매점이나 쇼핑몰에서 고객 동선을 파악하고 위치 기반 쿠폰을 전송하는 마케팅, 병원에서 환자나 장비 태그 추적, 전시관에서 위치 연동 안내 등 다양한 서비스에 활용되고 있다. 그러나 BLE 측위의 대표적인 단점은 정확도의 한계이다. 일반적인 BLE 비콘의 신호 범위는 수십 미터에 달하지만, RSSI 기반 거리 추정의 오차가 커서 위치 정확도는 약 2~5m 수준

에 머무르는 것으로 알려져 있다.

이를 개선하기 위해 Bluetooth SIG는 5.1 버전에서 AoA(Angle of Arrival)와 AoD(Angle of Departure) 기반 방향탐지 기능을 표준화하여 BLE 측위 정밀도를 높이고 있다. 다수의 안테나 배열을 갖춘 수신기를 통해 신호 입사각을 측정하면 1~2m 이하의 정확도를 달성할 수 있으며, 일부 솔루션(AoA 안테나를 활용한 실시간 위치 추적 시스템)은 1m 내외의 정밀도를 보고하고 있다. 그럼에도 불구하고 BLE는 UWB와 같은 고정밀 기술에 비해 정밀도가 낮은 편이다. 따라서 고정밀도가 요구되는 산업현장보다는 실내 내비게이션, 근접 마케팅, 자산 위치 모니터링 등 비교적 완화된 정확도 요구사항을 가진 분야에서 주로 사용되고 있다.

4. 초광대역(UWB) 기반 위치 추정 기술

UWB는 초광대역을 뜻하며, 3.1~10.6GHz 대역의 넓은 주파수 대역폭을 사용하는 무선 기술로 나노초 단위의 짧은 펄스 신호를 송수신하여 비행 시간(ToF, Time of Flight)을 측정함으로써 정밀한 거리 측정을 수행한다. UWB의 펄스 기반 거리 측정은 펄스 전파 시간을 직접 측정하거나 송수신 간 시간차(TDOA, Time Difference of Arrival)를 계산하는 방식으로 이루어지며, 전파 속도를 이용해 수십 cm 이하의 오차로 두 지점 간 거리를 산출할 수 있다[7,16].

UWB는 넓은 주파수 대역을 낮은 전력 밀도로 사용하므로 다른 무선기기와 간섭을 일으킬 가능성이 적고, 펄스 신호 특성상 벽이나 장애물을 어느 정도 투과하거나 회절하여 비가시거리영역(NLOS, Non-Line-of-Sight) 환경에서도 비교적 안정적인 측정을 제공한다. 더불어 UWB 표준에는 Scrambled Time Sequence (STS) 등의 보안 메커니즘이 포함되어 있어 거리 측정에 대한 위조나 스푸핑 공격을 어렵게 하며 높은 보안 수준을 제공한다.

이러한 이유로 UWB는 산업용 실시간 위치추적(RTLS) 시스템에서 각광받고 있으며, 제조 공장과 물류창고에서 차량 및 자재 추적, 광산 및 건설현장에서 작업자 안전 모니터링, 스포츠 경기에서 선수 위치 트래킹 등 다양한 분야에 응용되고 있다. 최근에는 애플 AirTag나 삼성 SmartTag와 같은 소비자용 분실물 추적 장치에도 UWB가 적용되어 스마트폰으로 열쇠나 가방 등의 위치를 수십 cm 단위로 찾아낼 수 있는 시대가 열렸다.

5. RFID 기반 위치 인식

RFID는 Radio Frequency Identification를 뜻하며, 전자태그를 무선으로 식별하는 기술로 저렴한 태그를 사람이나 사물에 부착하고 고정식 RFID 리더기가 해당 태그의 존재를 인식함으로써 실내에서 객체의 위치나 이동 경로를 추적하는 데 활용된다. RFID는 태그의 전원 공급 방식에 따라 능동형(Active)과 수동형(Passive)으로 나뉜다. 수동형 RFID 태그는 자체 배터리가 없으며, 리더기가 보낸 전자기파를 수신하여 그 에너지를 전력으로 변환해 응답 신호를 되돌려보낸다. 반면, 능동형 태그는 배터리를 내장하고 있어 자체적으로 신호를 송신할 수 있으며, 더 긴 통신 거리와 추가적인 센서 데이터를 제공하는 용도로 사용된다[5,17].

실내 위치 추적에서는 비용이 매우 낮은 수동형 RFID 태그가 대량으로 활용되는 경우가 많다. 천장이나 출입구 등에 설치된 안테나형 리더기를 통해 특정 구역에 태그가 존재하는지를 파악하거나, 여러 안테나에 수신된 태그 신호 세기를 비교해 대략적인 위치를 추정한다.

RFID 기반 측위의 장점은 태그의 저렴함과 간편한 식별에 있다. 일회성에 가까운 저가 태그를 사물에 부착해 두고, 사람들이 들고 다니는 리더기나 문 게이트 리더기를 통해 해당 사물이 어느 구역에 있는지 근접 검출하는 데 주로 활용된다. 예를 들어, 대형 물류창고에서 입고되는 상품 상자에 RFID 태그를 부착하면, 창고 게이트 통과 시 자동으로 인식되어 재고 관리에 활용할 수 있다. 이처럼 RFID는 재고 관리와 공급망 추적 분야에서 거의 필수적인 기술로 자리 잡았으며, 월마트 등 대형 유통업체에서 대규모로 채택하면서 상용화가 활발히 진행되었다.

6. IMU(관성 측정 장치) 기반 위치 인식

IMU는 Inertial Measurement Unit를 뜻하며, 관성 측정 장치로 가속도계, 자이로스코프, 자력계 등을 조합하여 물체의 힘, 각도, 방향 등을 측정하는 전자 장치이다. 관성 측정 장치 기반 위치 인식은 GPS 신호가 닿지 않는 실내 환경에서 사용자의 위치를 추정하기 위해 관성 센서 데이터를 활용하는 기술이다. 관성 측정 장치 데이터를 기반으로 사용자의 걸음 수, 보폭, 이동 방향 등을 추정하여 위치를 계산하는 방식이다. 보행 감지(Step Detection)는 가속도 데이터의 주기성으로부터 걸음을 감지한다. 보폭 추정(Step Length Estimation)은 속도

나 사용자 특성 기반 모델로 보폭을 예측한다. 방향 추정(Heading Estimation)은 자이로스코프와 자력계로 이동 방향 추정한다. 이를 통해 이전 위치로부터 보폭과 방향을 기반으로 새로운 위치를 계산할 수 있다[9,18].

관성 측정 장치는 스마트폰, 웨어러블 기기 등에 이미 포함된 센서 활용 가능하므로 저비용으로 구현할 수 있다. 그러나 시간이 지남에 따라 오차가 누적되어 실제 위치와 차이가 커지는 문제가 있다. 또한, 자력계가 철제 구조물, 전자기 간섭 등에 영향을 받아 방향 추정 정확도가 낮아질 수 있고, 보폭, 걸음 패턴 등에서 개인차가 존재하는 한계를 가진다.

7. 결론

본 논문에서는 Wi-Fi, BLE, UWB, RFID, IMU 기술 등 다양한 실내 위치 인식 기술의 원리와 최신 기술 동향을 고찰하였다. 각 기술은 발전 과정에서 고유한 장점과 한계를 가지고 있으며, 응용 분야의 요구사항에 따라 여러 분야에 활용될 수 있다. Wi-Fi와 BLE는 경제성과 설치 편의성으로 인해 폭넓게 사용되고 있으며, UWB는 높은 정밀도로 인해 전문 분야에서 주목받고 있다. RFID는 물류 및 객체 식별에 강점을 보였고, IMU는 스마트폰을 활용하여 실내 내비게이션에 활용할 수 있다. 향후 연구에서는 인공지능을 융합한 실내 위치 추정 기술들에 관해 연구할 예정이다.

REFERENCES

- [1] T.K.Kim, "IoT-based Indoor Localization Scheme," *Journal of Internet of Things and Convergence*, Vol.2, No.4, pp.35-39, 2016.
- [2] T.K.Kim, E.J.Kim, "A novel 3D indoor localization scheme using virtual access point. *International Journal of Distributed Sensor Networks*," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol.10, No.4, 2014.
- [3] J.Luo, L.Fan, H.Li, "Indoor positioning systems based on visible light communication: State of the art," *IEEE communications surveys & tutorials*, Vol.19, No.4, pp.2871-2893, 2017.
- [4] X.Song, X.Fan, C.Xiang, Q.Ye, L.Liu, Z.Wang, X.He, N.Yang, G.Fang, "A novel convolutional neural network based indoor localization framework with WiFi fingerprinting," *IEEE access*, Vol.7, pp.110698-110709, 2019.

- [5] A.Papapostolou, H.Chaouchi, "RFID-assisted indoor localization and the impact of interference on its performance. Journal of Network and Computer Applications," Journal of Satellite, Information and Communications (koss), Vol.34, No.3, pp.902-913, 2011.
- [6] P.Kriz, F.Maly, T.Kozel, "Improving indoor localization using bluetooth low energy beacons," Mobile information systems, Vol.1, 2016.
- [7] F.Mazhar, M.Gufran Khan, B.Sällberg, T.Kozel, "Precise indoor positioning using UWB: A review of methods, algorithms and implementations," Wireless Personal Communications Mobile information systems, Vol.97, No.3, pp.4467-4491, 2017.
- [8] J.Niu, B.Wang, L.Shu, T.Q.Duong, Y.Chen, T.Kozel, "ZIL: An energy-efficient indoor localization system using ZigBee radio to detect WiFi fingerprints," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.33, No.7, pp.1431-1442., 2015.
- [9] S.G.Leitch, Q.Z.Ahmed, W.B.Abbas, M.Hafeez, P.I.Laziridis, P.Sureephong, T.Alade, "On indoor localization using wifi, ble, uwb, and imu technologies," Sensors, Vol.23, No.20, 2023.
- [10] D.Arbula, S.Ljubic, "Indoor localization based on infrared angle of arrival sensor network," Sensors, Vol.20, No.21, 2020.
- [11] Y.Kyung, H.Ko, J.Lee, S.Pack, N.Park, and N.Ko, "Location-Aware B5G LAN-Type Services: Architecture, Use Case, and Challenges," IEEE Communications Magazine, Vol.62, No.1, pp.88-94, 2024.
- [12] H.Zhang, Z.Zhang, N.Gao, Y.Xiao, Z.Meng, Z.Li, "Cost-effective wearable indoor localization and motion analysis via the integration of UWB and IMU," Sensors, Vol.20, No.2, pp.344, 2020.
- [13] O.Hashem, K.A.Harras, M.Youssef, "Accurate indoor positioning using IEEE 802.11 mc round trip time," Pervasive and Mobile Computing, Vol.75, 2021.
- [14] G.Escudero, J.G.Hwang, J.G.Park, "An indoor positioning method using IEEE 802.11 channel state information. Journal of Electrical Engineering and Technology," Pervasive and Mobile Computing, Vol.12, No.3, pp.1286-1291, 2017.
- [15] S.He, S.G.Chan, "Wi-Fi fingerprint-based indoor positioning: Recent advances and comparisons," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol.8, No.1, pp.466-490, 2015.
- [16] S.H.Yoo, "A Study on the Characteristics of Distributed Node-Based Anchor-less UWB Positioning Systems," Journal of Internet of Things and Convergence, Vol.10, No.4, pp.71-76, 2024.
- [17] B.H.Kim, "Development of Crop Management Technology through Implementation of Heterogeneous Integrated Sensor-type Smart Tag Function," Journal of Internet of Things and Convergence, Vol.10, No.2, pp.61-67, 2024.
- [18] D.Feng, C.Wang, C.He, Y.Zhuang, X.G.Xia, "Kalman-filter-based integration of IMU and UWB for high-accuracy indoor positioning and navigation," IEEE Internet of Things Journal, Vol.7, No.4, pp.3133-3146, 2020.

김 태 국(Tae-Kook Kim)

[중심회원]



- 2004년 8월 : 고려대학교 전기전자전파공학부(공학사)
- 2006년 8월 : 고려대학교 메카트로닉스학과(공학석사)
- 2014년 8월 : 고려대학교 모바일솔루션학과(공학박사)

- 2016년 3월 ~ 2022년 2월 : 동명대학교 AI학부 교수
- 2022년 3월 ~ 현재 : 국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부 교수

〈관심분야〉

사물인터넷(IoT), 콘텐츠 전송 네트워크(CDN), 이동성, 인공지능(AI), 빅데이터, 모바일 서비스