

RSSI 전파지문 기반 실내 측위 기술의 위치 정확도 한계에 대한 연구

주호성, 양현종
포항공과대학교

zxcqa123@postech.ac.kr, hyunyang@postech.ac.kr

A Study on the Uncertainty Bounds of Positions for Indoor Localization based on RSSI Radio Fingerprints

Hosung Joo, Hyun Jong Yang
POSTECH

요 약

본 논문에선 수신신호 세기 값(RSSI)을 전파의 지문으로 활용해 위치를 추정하는 기술의 한계를 분석하였다. 실내 환경에서는 채널 상태의 변수 중 신호 세기가 통신 환경 변화에 가장 무관하므로, 다수의 액세스포인트에 접근해 RSSI 벡터를 측위에 활용하는 기술이 가장 널리 활용된다. 그러나, RSSI 기반 측위 기술을 구성하는 전파 지도의 핵심 요소가 무엇인지는 잘 알려져 있지 않으므로, 일반적인 실내 통신 상황에서 공개된 RSSI-위치 데이터를 활용한 전파지문 기반 실내 측위 방법의 위치 정확도를 분석하였다.

I. 서 론

측위는 사용자의 위치를 추정하는 기술이다. 미래의 6G 통신망은 측위를 포함한 여러 종류의 탐지 및 센싱 기술의 구현과 보급을 목표로 하고 있으며, 특히 측위 기술은 단순히 네비게이션 경로 안내 뿐만 아니라 공공 안전 및 지역 기반 서비스 제공, 사람 또는 동물 위치 추적, 그리고 망 관리 등에 폭넓게 활용된다. 이와 같은 사용자 위치 기반 부가가치망을 실제 서비스하기 위해 3GPP의 최신 통신 표준에서 요구하는 가장 정밀한 위치 정확도는 10m 수준이다. 현행 표준에서 제시한 수준의 측위 기술은 현재 개발되어 있으며, 미국 등에서 실제로 부가가치망이 운용되고 있다.[1]

한편, 측위 기술이 더 발전한다면 현재 표준에 정립되지 않은 부가가치도 추가적으로 창출될 수 있다. 예를 들어, 향후 실내 측위가 주로 필요한 지능형 공장(Smart Factory)의 관리 기술이나 실외 및 실내 측위가 모두 필요한 차량 및 드론의 자율 주행 기술과 같이 더 개선된 측위 기술을 요구하는 고급 응용 기술들이 있으므로, 더 정확한 측위 기술이 개발 및 보급될 필요가 있다. 이러한 고급 응용은 위치 정확도 10cm 에서부터 더 정밀하게는 1cm 까지, 기존 대비 1,000 배 개선된 정밀 측위 성능을 요구한다.[2]

요구 성능을 달성하는 방법은 실내와 실외에서 크게 다르다. 실외에서 측위할 경우에는 GNSS-RTK 등, 위성 기반의 측위 시스템을 활용해 목표 정확도에 근접할 수 있다. 하지만, 실내에서 측위가 필요한 많은 경우엔 위성 신호에 Line of Sight (LoS)를 확보하지 못해 사용할 수 없다. 실내 측위에서는 기존에 설치된 통신망을 활용해 획득한 Received Signal Strength Indicator (RSSI)와 사용자 위치 사이의 연관성을 통해 RSSI 에서부터 현재

사용자의 위치를 추정하는 RSSI 전파지문 방식의 측위가 가장 자주 활용된다.

RSSI는 수신된 통신 신호의 세기를 표현한 값으로서, MIMO 및 수신기 다이버시티에도 영향을 받는 기초 통신 파라미터다. 디지털 통신에는 수신 신호의 세기가 신호 검파 수행에 중요하므로, 통신기기에는 이미 RSSI를 추정하는 기능이 있다. 그러므로 RSSI를 추정하기 위해 기술 구현에 추가 소요되는 비용이 없어 기술 가격이 저렴하다.[3] 또한, RSSI는 채널 딜레이나 전파 수신 각도와 같은 특성 정보에 비해 채널의 환경 변화나 하드웨어 온도 변화 또는 미시적인 배치 차이에 대해 강인하여 쉽게 변하지 않으므로, RSSI 기반 측위는 안정적인 측위 성능을 기대할 수 있다. 그러나, 10여년 전에 주로 제안되던 수신 시간차를 통한 측위나 전파 수신 각도를 통한 측량 기법 및 측위에 비해 그 위치 정확도가 실제로 어떻게 나타날지 예측하기는 어렵다.

실내 측위를 위해 RSSI를 활용한다면, 먼저 RSSI 전파지문을 위치에 따라 수집해 전파 지도를 만들어야 한다. 그러나 얼마나 정밀하게 전파 지도를 만들어야 하는지 알기 어렵다. 현재 RSSI 전파지문에 의한 측위 성능이 액세스포인트 개수가 많을수록 좋다는 사실 외에 어떤 변수에 의해 성능을 조절하고 어떤 환경에서 요구 성능을 달성할 수 있는지에 대한 연구가 미진하다.[4] 그간, 실내 측위 분야에 대한 기술 분석이 수 차례 진행되었지만, 민간 활용이 가능하도록 공개된 실내 측위 데이터셋[5-9]에 대한 비교 분석도 없어서 어떤 조건을 가진 전파 지도를 만들어야 측위 기술 구현이 용이한지 알려지지 않았다. 그러므로 본 논문에서는 일반적인 통신 상황에서 RSSI 전파지문 기반 실내 측위 방법의 위치 정확도를 전파 지도에 따라 비교 분석하였다.

II. 결론

세기 값인 RSSI 를 기준으로 측위함에도, 물리적인 한계를 뛰어넘을 수 있는지, 즉, 파장보다 짧은 간격을 측위할 수 있을지에 대한 의문이 제기된다. RSSI 기반 측위의 위치 정확도에 한계가 없다면, 통신 상황에서 phase 또는 delay 로 나타나는 현상을 RSSI 값을 통해 감지할 수 있다는 뜻이므로, 채널 사운딩(Channel sounding) 과정 역시 딜레이 값을 정확하게 나타낼 수 있다는 뜻이며, 또한, 위치 정보에서부터 채널 상태 정보(Channel State Information; CSI)를 복원할 수 있다는 뜻이니 기대효과가 크다.

최신 연구결과들을 토대로 위치 추정 정확도가 파장에 비해 어떻게 나타나는지 조사하였다. 학계에서 다룬 실내 측위 상황과 최신 연구 결과를 반송파 주파수를 기준으로 파장 단위로 정리하여 Table 1 에 나타냈다. AP 는 액세스포인트(Access Point)를, RP 는 참조위치(Reference Point)를 나타낸다. Table 1 의 정확도 값은 작을수록 좋으며, λ 보다 작아야 본 논문의 본문에서 던진 질문에 대한 답이 참일 수 있을 것이다.

Table 1 전파 지도 성능별 위치 정확도

| 기존 결과 | 정확도 | AP | 공간크기 | RP 간격 |
|------------------------------|-----------------|------|-------------------------------------|-----------------------|
| [3] (2023) | < 3.6 λ | 18 개 | 296 λ ×256 λ | 10.8 λ |
| [10] (2017); [4] (2015) | 132 λ | 3 개 | (1000 λ ×1000 λ 이상) | 28 λ |
| [5] (2018); UJILoc (2014) | 75 λ | >10 | 물리적 방 구별 | 연속측정 |
| [6] (2021) | 76.8 λ | - | - | 연속측정 |
| [7] (2023) | - | 1 개 | 133 λ ×86 λ | - |
| [9] (2024); [8] (2022) | > 0.6 λ | 4 개 | 128 λ ×100 λ | 연속측정 < 2 λ |

Table 1 을 보면 AP 개수는 정확도에 큰 영향을 미치지 못하며, RP 간격이 주요한 영향을 미치는 것으로 파악된다. 또한, 기존 대비 최신 연구 트렌드를 보면 딥러닝을 활용하고 있으며 이때 정확도 결과가 가장 좋다.

[8-9]의 결과를 보면, 1.25GHz 의 대역에서 8×4 평면 어레이 안테나로 구성된 액세스 포인트를 4 개 사용할 경우, 특정한 딥러닝 및 센서 퓨전 방법에서 1 개 파장 길이보다 작은 정확도 한계인 0.15m 가 평균 오차로 제시된다. [8]은 1024 개의 반송파를 활용한 OFDM 통신을 통해 추정된 위치별 CSI 데이터셋인데, 민간 공개 되어있으며 총 47GB 의 용량으로 다운로드가 오래 걸린다.

본 논문의 후속연구로 [8]의 데이터셋을 분석해, 어떤 전파지도에서 낮은 정확도를 달성할 수 있는지 면밀히 분석하고자 한다.

III. 결론

본 논문에선 수신 신호의 세기(RSSI)가 위치에 따라 다르며, 이 특성을 활용해 측위하는 방법에 대한 위치 정확도의 한계를 연구 동향을 통해 분석하였다. [9]에 의하면 RSSI 전파지문 기반의 실내 측위 기술 성능은 정확도 15cm 까지 확보할 수 있는데, 이때 사용한 주파수가 1.25GHz 였으므로 파장보다 짧은 양의 위치 이동을 탐지할 수 있다는 단서를 얻었다. 본 논문의 후속연구로, 해당 데이터셋을 분석하고 전파 지도를 실측하여 어떤 전파 지도를 만들어야 측위 결과가 정확해지는지 정리할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program(IITP-2023-2021-0-02048) supervised by the IITP(Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation), also by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (RS-2024-2023-00250191) and by IITP grant funded by MSIT as (RS-2023-00229541, Development of Big Data and Artificial Intelligence Based Radio Monitoring Platform).

참고 문헌

- [1] 3GPP TS 22.071, v18.0.1, "Location Services (LCS), Service Description, Stage 1," Rel. 18, 2024-03.
- [2] H. Wymeersch, A. Pärssinen, T. E. Abrudan, A. Wolfgang, K. Haneda, M. Sarajlic, M. E. Leinonen et al., "6G radio requirements to support integrated communication, localization, and sensing," in *IEEE EuCNC & 6G Summit*, pp. 463-469, 2022.
- [3] Sulaiman, Batoul, Saed Tarapiah, Emad Natsheh, Shadi Atalla, Wathiq Mansoor, and Yassine Himeur. "Radio Map Generation Approaches for an RSSI-Based Indoor Positioning System," *Systems and Soft Computing* 5 (December): 200054, 2023.
- [4] Wen, Yutian, Xiaohua Tian, Xinbing Wang, and Songwu Lu. "Fundamental Limits of RSS Fingerprinting Based Indoor Localization." In *IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, pp. 2479-2487, IEEE, 2015.
- [5] Kim, Kyeong Soo, Sanghyuk Lee, and Kaizhu Huang, "A Scalable Deep Neural Network Architecture for Multi-Building and Multi-Floor Indoor Localization Based on Wi-Fi Fingerprinting," *Big Data Analytics* 3(1): pp. 1-17, 2018.
- [6] Sanchez-Belenguer, Carlos, Erik Wolfart, Alvaro Casado-Coscolla, and Vitor Sequeira. "RISEdb: A Novel Indoor Localization Dataset." In *25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, pp. 9514-9521, IEEE, 2021.
- [7] Bravenec, Tomáš , Joaquín Torres-Sospedra, Michael Gould, and Tomas Fryza. "UJI Probes: Dataset of Wi-Fi Probe Requests." In *13th International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, pp. 1-6. IEEE, 2023.
- [8] Euchner, Florian and Gauger, Marc, "CSI Dataset dichasus-cf0x: Distributed Antenna Setup in Industrial Environment, Day 1," DaRUS, doi:10.18419/darus-2854, 2022.
- [9] Foliadis, Anastasios, Mario H. Castañeda, Richard A. Stirling-Gallacher, and Reiner S. Thomä. "Deep Learning Based Positioning with Multi-Task Learning and Uncertainty-Based Fusion." arXiv [eess.SP]. <http://arxiv.org/abs/2403.08565>. 2024.
- [10] Tian, Xiaohua, Ruofei Shen, Duowen Liu, Yutian Wen, and Xinbing Wang. "Performance Analysis of RSS Fingerprinting Based Indoor Localization," *IEEE Transactions on Mobile Computing* 16(10): 2847-2861, 2017.