

Wi-Fi Fingerprinting 기반 실내측위의 하이퍼파라미터 최적화

김준수, 김보경, 고윤호, 이예훈*

서울과학기술대학교

{19101473, qhrud3950, 19101444, y.lee*}@seoultech.ac.kr

Hyperparameter Optimization in Wi-Fi Based Indoor Positioning

Jun-Su Kim, Bo-Kyoung Kim, Yun-Ho Go, Ye Hoon Lee*

Seoul National Univ. of Science and Technology

요약

본 논문에서는 Wi-Fi Fingerprinting 기술을 활용한 실내측위에서 하이퍼파라미터를 최적화하여 추정오차를 최소화하는 방법을 제안하고 그 성능을 분석한다. 특히, Weighted KNN 알고리즘의 K값, 거리 계산방식, 그리고 가중치 방식을 최적화하여 위치추정의 정확도를 향상시키는 것을 목표로 한다. 하이퍼파라미터 간 상관관계를 고려하여 K값을 고정된 상태에서 거리 계산방식과 가중치 방식을 조합하여 실험을 진행한다. 이를 통해 각 조합의 성능을 평가하고, 최상의 결과를 나타내는 거리 및 가중치 조합을 도출한다. 이후, 이 조합을 기반으로 K값을 변화시켜 최적의 K값을 결정하는 후속과정을 수행한다. 실험 결과를 통하여 하이퍼파라미터 최적화를 통하여 Wi-Fi Fingerprinting 기반 실내측위 시스템의 성능 향상에 기여할 수 있음을 보인다.

I. 서론

실내 위치추정 기술은 최근 스마트폰, IoT 기기 및 다양한 모바일 애플리케이션의 발전과 함께 점점 더 중요해지고 있다[1]. GPS(Global Positioning System)는 야외 환경에서는 우수한 성능을 발휘하지만, 실내에서는 벽, 기둥 등 다양한 장애물로 인해 정확한 위치추정이 어려워진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Wi-Fi Fingerprinting 기술이 주목받고 있다[2]. Wi-Fi Fingerprinting은 Wi-Fi 신호의 세기를 기반으로 특정 위치에 대한 지도를 생성하고, 이를 통해 사용자의 위치를 추정하는 방법이다. Wi-Fi를 이용한 실내 위치추정 시스템은 인프라 구축 비용이 상대적으로 적고, 기존의 Wi-Fi 네트워크를 활용할 수 있어 경제적인 솔루션으로 주목받고 있다[3].

Wi-Fi Fingerprinting 기반의 실내 위치추정 시스템은 여러가지 알고리즘을 통해 위치를 추정할 수 있으며, 그 중 KNN 방식에 가중치를 부여한 Weighted KNN 알고리즘은 간단하면서도 효과적인 방법으로 널리 사용된다[4]. 그러나 Weighted KNN의 성능은 하이퍼파라미터인 K값, 거리 계산방식, 그리고 가중치 방식에 따라 달라진다[5]. 따라서 이러한 하이퍼파라미터를 최적화하는 것은 위치추정의 정확도를 향상시키기 위한 핵심 요소로 작용한다. 이 연구는 하이퍼파라미터 최적화가 Wi-Fi Fingerprinting 기반 실내측위의 성능을 향상시킬 수 있음을 보여주며, 향후 연구자들이 유사한 시스템을 구축하고 최적화하는 데 기여할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 본론

1. 실험 환경

본 연구는 서울과학기술대학교 창학관 2층(92m × 54m) 복도를 대상으로 실내 위치추정 실험을 진행하였다. 실험 구역은 총 66개의 셀로 분할하였으며, 각 셀에서 수신 가능한 Wi-Fi 신호를 15회 측정하여 데이터 수집을 수행하였다. 수집된 신호는 칼만

필터(Kalman Filter)를 사용하여 노이즈를 제거하고, 하나의 대표 신호세기 값으로 산출하였다. 이후 각 셀에서 수신된 Wi-Fi 신호 중 상위 20개의 강한 신호만을 데이터베이스에 저장하였다.

위치추정 단계에서는 실시간으로 측정된 Wi-Fi 신호와 사전에 구축된 데이터베이스의 신호를 비교하여 유사도가 높은 셀을 식별한다. 그 후, 유사도가 높은 셀들의 좌표에 가중치를 부여하여 가중 평균을 계산함으로써 사용자의 위치를 추정하였다.

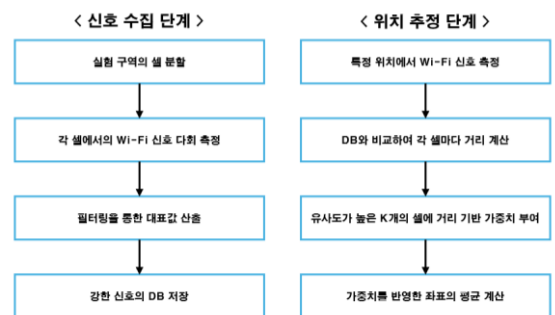


그림 1. Wi-Fi Fingerprinting 기반 실내 위치추정 과정

2. Weighted KNN 알고리즘의 하이퍼파라미터

우선, 거리 계산방식으로는 맨해튼 거리와 유클리드 거리 방식을 비교하였다. 유클리드 거리는 맨해튼 거리에 비해 신호 간 차이를 더 크게 반영하여 정확도를 높일 수 있지만 노이즈에 더 취약하고 계산이 더 복잡하다.

가중치 부여 방식에서는 거리의 역수와 거리 제곱의 역수를 고려하였다. 거리 제곱의 역수의 경우, 거리의 역수 방식보다 가까운 셀에 더 큰 가중치를 부여하지만, 거리 차이가 조금만 커져도 가중치가 급격히 작아져 가까운 셀 입에도 무시될 수 있다.

마지막으로, KNN 알고리즘에서 K값이 작을수록 소수의 셀에만 의존하여 노이즈에 민감할 수 있으나, 가까운 셀의 데이터를 중점적으로 반영한다. 반면, K값이 커질수록 더 많은 셀의 정보를 반영하여 위치추정이

안정적일 수 있지만, 너무 큰 K값은 비교적 먼 셀의 정보까지 포함하여 정확도가 떨어질 수 있다.

3. 실험 결과

본 연구에서는 거리 계산방식과 가중치 부여 방식이 상호 연관성이 있다고 판단하여, 4가지 조합에 대한 실험을 진행하였다. 그 결과, 유클리드 거리가 대체로 맨해튼 거리에 비해 편차가 작게 나타났다. 맨해튼 거리는 모든 차이값에 대해 동일한 영향력을 가지지만, 유클리드 거리는 차이값을 제공하여 차이가 클수록 더 큰 영향력을 가진다. 따라서, 유클리드 거리에서는 신호 세기 차이가 큰 AP(Access Point)가 하나라도 있을 경우, 해당 AP로 인해 거리값이 매우 커져 최종 추정 위치를 계산할 때 제외될 가능성이 높아진다. 이러한 특성으로 인해, 유클리드 거리 방식이 맨해튼 거리 방식보다 오차의 편차를 줄이는 데 유리한 것으로 판단된다.

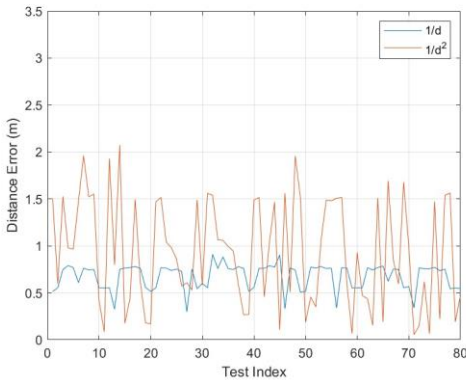


그림 2. 유클리드 거리일 때 가중치에 따른 오차

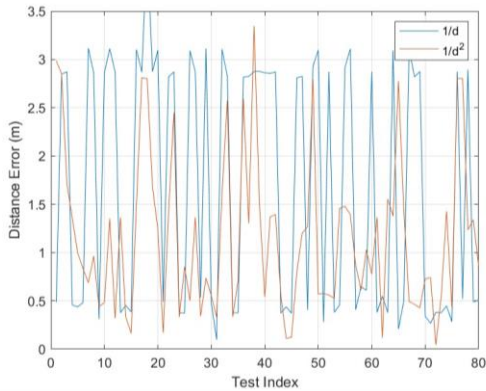


그림 3. 맨해튼 거리일 때 가중치에 따른 오차

유클리드 거리와 거리의 역수 가중치 조합에서 가장 낮은 오차율과 안정적인 성능을 확인할 수 있었다. 이 조합은 다른 방식들에 비해 평균 오차가 훨씬 적었을 뿐만 아니라, 오차 편차도 가장 작아 일관된 위치추정 결과를 보여주었다. 기본적으로 거리는 K개의 후보 셀을 선택하는 역할과, 가중치를 부여하여 최종 좌표를 계산하는 역할을 한다. 거리 제곱의 역수 가중치는 거리 차이에 따른 가중치의 변동 폭이 커져, 오차가 크게 증폭될 가능성이 있다. 실제 실험 결과에서도 역수의 제곱 가중치를 사용했을 때, 최소 오차는 더 작았지만, 오차의 분산이 더 크게 나타나 노이즈가 많이 반영된 결과임을 알 수 있었다. 이러한 결과를 종합해볼 때, 안정적인 위치추정을 위해서는 거리의 역수 가중치를 사용하는 것이 적합하다고 판단된다.

이후, 최적의 거리 계산방식과 가중치 부여 방식을 바탕으로 K값에 대한 실험을 진행하였다. K=3일 때 가장 낮은 오차와 편차를 기록하였는데, 이는 적절한 수의 이웃셀을 고려함으로써, 위치추정의 정확성을 높이고, 동시에 노이즈에 대한 민감도를 적절히 제어할 수 있음을 보여준다. 특히, 본 실험의 환경이 복도 구조로 셀이 일렬로 배열되어 있기 때문에, K값이 짝수일 경우 대칭적으로 선택되지 않은 셀들로 인해 오차가 발생할 가능성이 높다. 따라서 너무 크지 않은 홀수값을 사용함으로써, 이러한 비대칭성으로 인한 오차를 줄일 수 있었다고 판단된다.

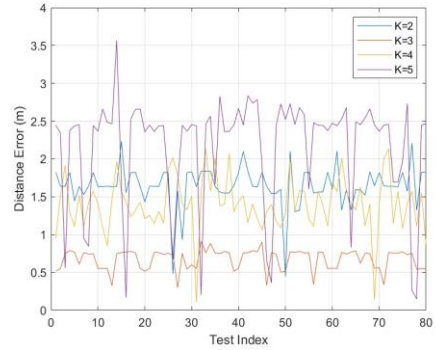


그림 4. K값에 따른 오차

III. 결론

본 연구에서는 Wi-Fi Fingerprinting 기반 실내 위치추정에서 Weighted KNN 알고리즘의 하이퍼파라미터 최적화를 통해 실내측위 성능을 개선하였다. 거리 계산방식과 가중치 부여 방식의 4가지 조합을 비교한 결과, 유클리드 거리와 거리의 역수 가중치 방식이 가장 낮은 오차율과 편차를 기록하였고, K값은 K=3일 때 최적의 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

ACKNOWLEDGMENT

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학협력 선도대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구결과입니다. (과제번호: 1345370639)

참고 문헌

- [1] R. Zekavat and R. M. Buehrer, *Handbook of Position Location: Theory, Practice and Advances*. Wiley, 2011.
- [2] C. Zeng, S. Zhao, Y. Zhong, Z. Yuan and X. Luo, "An improved method for indoor positioning of Wi-Fi based on location fingerprint", *The 7th International Conference on Digital Home (ICDH)*, pp. 280-285, 2018.
- [3] Y. Mao, X. Wang, Z. Wu and Y. Hui, "Research on fast location of WKNN Indoor WiFi fingerprint based on double search," *The 20th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD)*, pp. 1-6, 2024.
- [4] B. Wang, Y. Zhao, T. Zhang and X. Hei, "An improved integrated fingerprint location algorithm based on WKNN," *The 29th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, pp. 4580-4584, 2017.
- [5] X. Wang, C. Zhu, Y. Tian, X. Wang, Y. Lin and W. Li, "Optimization and performance analysis of Wi-Fi indoor fingerprint localization algorithm," *The 5th International Conference on Frontiers Technology of Information and Computer (ICFTIC)*, pp. 24-29, 2023.