

액세스 포인트의 위치 변화에 강인한 실내 측위 방안

이병호, 박경민, 이은지, 김성철

서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어통신공동연구소

{bhlee, rudals319, ej9309, sckim}@maxwell.snu.ac.kr

Indoor Localization Method Robust to Change in Location of Access Point

Lee Byeong-ho, Park Kyoung-Min, Lee Eunji, Kim Seong-Cheol

Department of Electrical and Computer Engineering and Institute of New Media & Communication, Seoul National University

요 약

본 논문은 실내에서 와이파이 통신을 이용하여 기기의 위치를 추정할 때, 기준점으로 삼는 액세스 포인트(AP)의 위치가 변화하여 발생하는 측위 오차를 분석하고 이를 줄이기 위한 방안을 제시하였다. 와이파이 통신 규격에서 제공하는 fine time measurement 프로토콜을 이용하여 AP와 기기 간 거리를 표준편차 1미터 이내의 오차로 측정한다 가정했을 때, AP의 위치 변화가 3m 이상일 때에는 해당 AP로부터의 정보를 이용하지 않는 것이 더 높은 측위 정확도를 보장함을 모의실험을 통해 확인했으며, 이를 위해서 부정확한 AP를 검출하는 방안을 제안하고 제안한 방안의 측위 정확도 개선 성능을 분석하였다. 제안한 방안은 AP 하나가 5m 이동한 환경에서 측위 오차를 약 26.9% 감소시킬 수 있음을 확인했다.

I. 서 론

다양한 위치 기반 서비스 제공을 위해 전자 장비 및 사용자의 위치를 추정하기 위한 연구는 꾸준히 진행되고 있다. 특히 GPS 등의 위성항법시스템을 이용하기 어려운 실내에서의 위치를 추정하기 위해 널리 이용되는 스마트폰과 Wi-Fi 규격 통신을 이용하여 기기의 위치를 추정할 수 있다.

통신 신호 세기를 이용하여 거리를 추정하는 방안은 대부분의 장비에서 지원하기 때문에 구현이 쉽고 추가적인 비용이 들지 않는 장점이 있으나, 실내의 복잡한 채널 환경 때문에 거리 추정 정확도가 낮다. IEEE 802.11 표준에 포함된 통신 지연시간 기반 거리 측정을 이용하면 보다 정확한 거리 추정이 가능하다. 신호의 왕복 시간을 바탕으로 한 fine timing measurement (FTM) 프로토콜을 이용하여 실내에서 액세스 포인트(AP)와 기기 사이의 거리를 신호 세기에 비해 정확히 추정할 수 있다[1].

FTM 프로토콜을 이용한 거리 측정을 위해서는 AP와 기기 모두 해당 프로토콜을 지원해야 한다. 현재 이를 지원하는 상용 장비들이 늘어나고 있기 때문에, 앞으로 실내에서 위치 추정에 이용 가능한 AP가 증가할 것으로 예상할 수 있다. 하지만 위치가 고정된 AP들과 달리 위치가 변화할 수 있는 AP들도 기기의 위치 추정에 이용하려고 할 때에, 잘못 알려진 AP의 위치 정보로 인해 측위 정확도가 하락하는 문제가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 잘못 알려진 AP 위치가 기기의 위치 추정 정확도에 미치는 영향을 분석하고 이를 완화하기 위한 검열 알고리즘을 제안한다.

II. 측위 알고리즘 및 AP 검열 알고리즘

실내에 설치된 N 개의 AP 중 i 번째 AP의 위치를 (x_i, y_i) , 추정하고자 하는 기기의 위치 좌표를 (x, y) , 각 AP와 기기간의 측정된 거리를 d_i 라 할 때, 타깃의 추정 위치 (\hat{x}, \hat{y}) 는 다음의 목적함수를 만족하는 최적화 문제로 나타낼 수 있다.

$$\epsilon = \sum_{i=1}^N \sqrt{(d_i - |(x_i - \hat{x}, y_i - \hat{y})|_2)^2} \quad (1)$$

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \arg_{(x, y)} \min(\epsilon) \quad (2)$$

식 (1)에서 $|\cdot|_2$ 은 2차 norm 연산을 의미한다. 즉, AP들과 기기 사이의 측정된 거리와, 추정된 거리 사이의 잔여 오차 합이 최소가 되는 위치를 추정한다. 비선형적인 문제를 풀기 위해 Iterative least square (ILS) 알고리즘을 이용할 수 있다[2]. 본 연구에서는 특정 AP 1개의 위치가 변화하여, 잘못된 위치를 바탕으로 기기의 위치를 추정하는 상황을 가정한다.

기기의 위치를 추정할 때, 위치가 부정확한 AP에 의한 영향을 배제하기 위하여 식 (1)의 잔여 오차 합을 이용한 검열 알고리즘을 적용한다. N 개의 AP 중 1개씩을 제외하고 기기의 위치를 ILS 알고리즘을 이용해 위치를 추정하였을 때 추정되는 $N-1$ 개의 위치 중 식 (1)의 잔여 오차 합이 최소가 되는 위치를 기기의 위치로 추정한다. 이 때, 위치가 정확한 AP가 검열되는 문제를 막기 위해 $N-1$ 개 조합의 잔여 오차 합들의 분산을 계산하여 일정 수치 이상일 때에만 조건부로 AP를 검열한다.

III. 시뮬레이션 및 결과 분석

AP의 위치가 변화한 상황을 모사하여 분석하기 위해, 가로 40 m, 세로 30 m의 사각형 공간을 가정한다. 2차원 공간 내에 5개의 AP를 가정하고, 공간 내의 균일하게 분포한 지점들에 대해 위치 추정 모의 실험을 진행했다. 거리 측정 오차는 실제 거리에 평균 0, 표준편차 1의 정규 분포를 가정하였다. 그림 1. (좌)는 AP의 위치가 정확할 때의 측위 결과를, 그림 1. (우)는 특정 AP 1개 위치를 5미터 떨어진 지점으로 잘못 알고 있을 때의 측위 결과를 나타낸다. 잘못 알고 있는 AP 근처에서의 측위 결과가 특히 많이 부정확해짐을 확인할 수 있다.

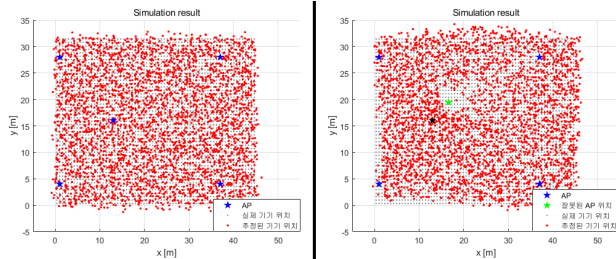


그림 1. AP 위치가 부정확할 때의 측위 시뮬레이션 결과

보다 일반적인 성능 평가를 위하여, AP 1개의 위치가 임의의 방향으로 특정 거리만큼 이동했을 때의 환경에 대해 몬테카를로 시뮬레이션을 진행하였다.

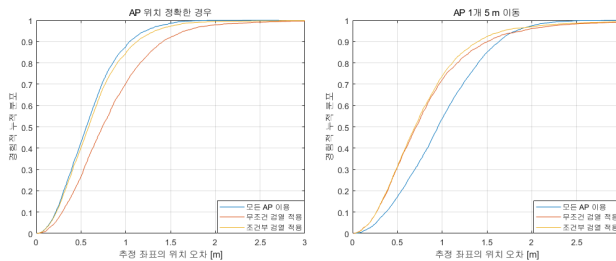


그림 2. AP 위치 오차에 따른 측위 오차 누적 분포

그림 2는 그림 1에 대응되는 상황에 대한 측위 시뮬레이션 결과를 경험적 누적 분포 함수로 나타낸 것이다. 5개 AP의 위치가 정확히 알려져 있을 때, 시뮬레이션 환경에서의 측위 오차 중앙값은 0.600 m이다. 이 중에서 AP 1개를 잘못 검출하였을 때의 측위 오차 중앙값은 0.739 m로 32.1% 증가한다. 잔여 오차 합들의 분산 기준을 0.5로 하였을 때 조건부 검열 방안을 적용하면 오차 중앙값 0.586 m로 4.7% 증가한 결과를 보인다. 제안한 검열 알고리즘은 AP 위치가 정확히 알려져 있을 때에는 위치 추정 정확도가 다소 하락하지만, 그림 2. (우)에서 볼 수 있듯이 특정 AP의 위치가 5 m 변화했을 때에는 측위 오차를 크게 감소시킨다. 무조건 검열 및 조건부 검열 알고리즘을 적용했을 때, 중앙값을 기준으로 각각 24.6% 및 26.9% 감소된 측위 오차를 보인다.

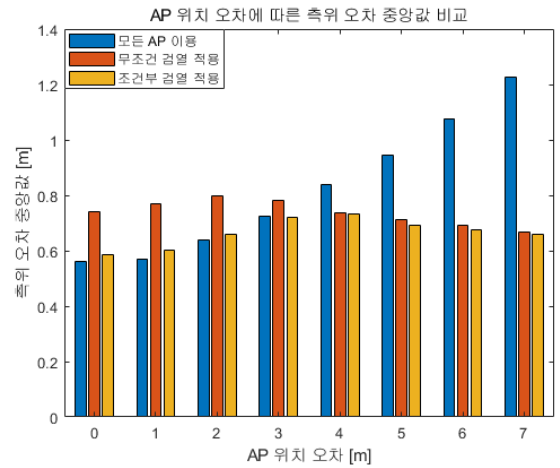


그림 2. AP 위치 오차에 따른 측위 오차 중앙값 비교

그림 3은 AP 1개의 위치가 변화한 거리에 따른 측위 오차 중앙값을 나타낸다. 파란색 막대그래프의 변화로부터 볼 수 있듯이, AP의 위치 오차가 커짐에 따라 평균적인 측위 오차가 증가함을 확인할 수 있다. 무조건적인 검열 알고리즘은 AP의 위치 변화가 4미터보다 작을 때에는 측위 정확도를 크게 하락시켰다. 이에 비해 조건부 검열 방안을 적용하면, AP 위치 오차가 작거나 없을 때에도 측위 오차를 5% 이내로 증가시키면서 AP 위치가 3미터 이상일 때 효과적으로 해당 AP를 검출하여 약 0.7 m 수준의 위치 추정 정확도를 보장하는 결과를 보였다.

IV. 결론

실내에서 Wi-Fi FTM 거리 추정을 가정한 측위 알고리즘을 이용할 때, AP 1개의 위치가 4미터 이상 변화하였다면 해당 AP는 기기의 위치 추정에 이용하지 않는 것이 더 나음을 확인하였다. 조건부 검열 알고리즘을 적용하면 3미터 이상의 AP 위치 변화가 있을 때에 해당 AP를 효과적으로 검출하여 측위 정확도를 높일 수 있음을 확인했다. 추후 해당 원리를 확장하여 2개 이상의 AP 위치가 변화했을 때의 문제를 해결하기 위한 일반화된 알고리즘을 연구할 필요가 있다. 또한 변화한 AP의 위치 또한 추정하여 실내 위치 추정에 활용하는 방안을 후속 연구로 계획하고 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 두뇌한국 21 플러스사업에 의하여 지원되었음.

참고 문헌

- [1] 최정식, "와이파이 FTM 프로토콜을 이용한 측위 기술," 한국통신학회지 (정보와통신) 37.12 (2020): 43-50.
- [2] Y. He and A. Bilgic, "Iterative least squares method for global positioning system," Advances in Radio Science: ARS, vol. 9, p. 203, 2011.