

셀룰러 네트워크에서 CSI 지문 기반 실외 측위 기법의 성능

김성환

한국교통대학교

seonghwan.kim@ut.ac.kr

Performance of Outdoor Positioning based on CSI Fingerprints in Cellular Networks

Seong Hwan Kim

Korea National University of Transportation

요약

본 논문에서는 LTE 시스템의 CSI (channel state information)-지문을 기반으로 한 측위 기법 두 가지를 고려하고 이들의 성능을 평가한다. 첫 번째 기법인 고정위치 지문수집 방식에서는 제한된 공간에 위치 기준점을 일정한 간격으로 배치하고 위치 기준점과 동일한 지점에서 학습용 CSI-지문을 수집한다. 두 번째 방식인 분산위치 지문수집 방식에서는 일정하게 배치된 위치 기준점 주변의 분산된 지점들에서 학습용 CSI-지문을 수집한다. CSI-지문의 수집을 위해 ITU 채널 모델과 LTE 표준을 따르는 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 시스템을 컴퓨터 시뮬레이션으로 구현하며 단말들은 직선 상에 있다고 가정한다. 하나의 CSI-지문을 입력했을 때 올바른 위치 기준점의 레이블을 출력하도록 설계된 심층 신경망을 학습용 데이터로 학습하여 분류기로 사용한다. 특히, 위치 기준점 간 간격과 CSI의 품질이 각 기법의 측위 정확도에 미치는 영향을 분석한다.

I. 서론

대표적인 실외 측위 기술인 GPS (global positioning system)는 네비게이션에 적용되어 실생활에서 널리 쓰이고 있다. 그러나 GPS는 5~50m의 오차가 있으며 [1], 특히 도심의 빌딩 밀집지역에서 정확도가 떨어지고 실내에서는 동작되지 않는 문제가 있다 [2]. GPS보다 정밀한 실내의 측위기술에 대한 수요는 지속적으로 증가하고 있다. 자율주행차 및 로봇의 제어뿐만 아니라 스마트 팩토리, 드론 주행, 위치 기반 광고에 정밀 실내의 측위 기술이 필수적이다. 또한 재난상황에서 긴급 구조를 위해 스마트폰의 위치를 정밀하게 측정하는 기술이 표준으로 등장하고 있다.

GPS를 대체할 수 있는 기술로서, 3GPP LTE 표준은 다양한 실외 측위 기법을 제공한다. 강화된 셀 ID 측위, 무선망 연동형 위성항법 시스템, 둘 이상의 기지국의 PRS (positioning reference signal) 신호의 도착 시간차를 이용한 방식 등이 있으나 모두 수십 미터 이상의 오차를 나타낸다.

최근 CSI 지문에 기반한 측위 기법이 많이 연구되었다. CSI는 WiFi나 LTE와 같은 광대역 무선 통신 시스템에서 다중경로 채널로 인한 왜곡을 복원하기 위해 수신단에서 알아내야 할 정보이다. 이는 송신단에서 보내는 참조 신호와 이의 왜곡된 수신 신호를 통하여 수신단에서 알아낼 수 있다. OFDM 시스템에서 수십 또는 수백 개의 부반송파마다 CSI 값이 다를 수 있고, 특히 중심 주파수 파장의 절반 이상 떨어진 거리에서 CSI의 상관관계가 낮아지는 특성에 따라 일정한 간격 이상 떨어진 지점마다 CSI는 고유한 특성을 갖게 되어 지문으로 간주될 수 있다. 이러한 CSI-지문을 여러 위치 기준점에서 수집하고 특성신호로 처리한 후 분류 알고리즘에 적용하여 측위를 할 수 있다.

이 방식에서 위치 기준점간의 간격을 좁게 하면 세밀하게 측위할 수 있다. 논문 [4]에서는 $1\text{m} \times 0.675\text{m}$ 의 실내 영역에서 588개의 위치 기준점을 $2.5 \sim 5.0\text{cm}$ 간격으로 배치하여 8.71cm 의 평균 측위 오차를 달성하였다. 그러나 실내 측위와 달리 단말이 넓은 영역에 분포하는 실외 측위에서는 위치 기준점 간 간격을 지나치게 좁게 배치하면 CSI 신호 수집에 따른 비용이 너무 커져 실용성이 떨어진다. 반면 위치 기준점 간 간격이 너무 넓어지면 특정 위치 기준점을 중심으로 한 간격 내의 점들과 기준점의 CSI 사이에 상관도가 떨어져 측위가 정확히 안 될 우려가 있다. 또한 실내

와 달리 실외에서는 기지국과 단말 사이의 거리에 따라 CSI의 품질이 다르므로 신호 품질에 따라 측위 성능이 달라질 수 있다.

본 논문에서는 LTE 시스템의 CSI-지문 기반 측위에 있어 고려할 수 있는 두 가지 CSI-지문 수집 기법의 성능을 평가한다. 특히, 위치 기준점 간 간격과 CSI 품질이 정확도에 미치는 영향을 분석한다. 분류 알고리즘은 심층 신경망을 지도학습하여 사용한다.

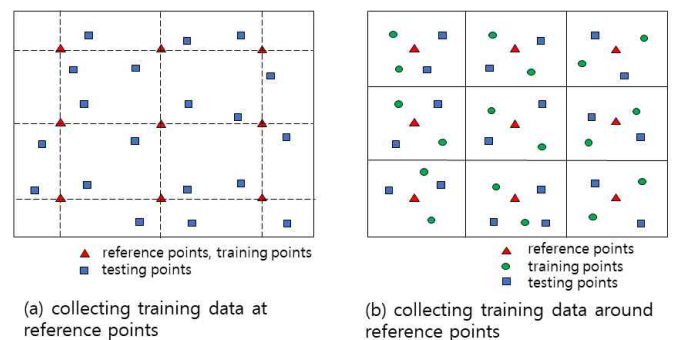


그림 1. 두 가지 CSI 지문 수집 방법에서 위치 기준점, 훈련 데이터 수집점, 테스트 데이터 수집점.

II. LTE-CSI 지문 기반 실외 측위 기법

II.A 고정위치 지문수집 기법

그림 1(a)는 직사각형 영역에서, 위치 기준점(적색 삼각형)과 테스트 지점(청색 사각형)의 배치를 보여준다. 위치 기준점은 일정한 간격으로 배치하고 위치는 다른 방법으로 정확히 측정하여 기록하며 각 점에서 학습용 데이터로 사용할 CSI-지문을 수집한다. 즉, 위치 기준점과 학습 데이터 수집 지점이 동일하다. 테스트용 데이터로 사용할 CSI-지문은 위치 기준점과 같은 지점에서 수집하는 방법 [3]과 위치 기준점과 다른 지점에서 수집하는 방법 [4][5]이 있으나, 전자의 경우 실제 단말의 행동과 다르기 때문에 본 논문에서는 후자의 방법을 고려하며 이를 고정위치 지문수집 기법이라 칭한다.

II.B 분산위치 지문수집 기법

그림 1(b)는 그림 1(a)와 동일하게 위치 기준점을 배치하나, 학습 데이터 수집 지점은 위치 기준점을 중심으로 분산된 형태로 배치한다. 이러한 학습점의 위치, 즉 라벨은 가장 가까운 위치 기준점으로 하며, 이에 따라 학습용 데이터에 샘플에 이미 오차가 존재한다. 이 방법을 분산위치 지문수집 기법이라 칭하며, 저자의 지식 범위에서는 본 논문에서 처음 제안된 CSI-지문 수집 방식이다.

III. 시뮬레이션 환경

본 실험에서는 200m 길이의 직선 상에 위치 기준점을 일정한 간격, d_{ref} , 로 배치 하였다. 무선채널 모델로서 표 1의 지연 프로파일과 평균전력 프로파일을 갖는 ITU Pedestrian B 채널 모델을 고려한다. 모든 채널 구현 시에 동일한 지연 프로파일을 사용하며 각 지연 탭의 값은 이동 속도 3km/s 에서의 Jakes 모델로부터 발생시켰다. OFDM 시스템을 고려하며 하나의 OFDM 심볼에서 CRS(channel reference signal)은 6개의 부반송과 당 1개씩 배치된다고 가정하였다. 대역폭은 10MHz로 하여 601개의 부반송과가 존재하며 이 중 100개의 부반송과에서 CSI를 얻을 수 있다. 중심 주파수는 900MHz를 고려하였다.

tab index	0	1	2	3	4	5
delay (μsec)	0	0.2	0.8	1.2	2.3	3.7
Avg. power (dB)	0	-0.9	-4.9	-8.0	-7.8	-23.9

표 1. ITU Pedestrian B 모델의 전력/지연 프로파일

분류기로 사용된 심층 신경망은 FNN (fully-connected neural network)이며, 입력과 출력 계층 사이에 6개의 계층을 사용하였고, 각 계층의 노드 수는 256으로 하였다. 활성화 함수는 ReLu (rectified linear unit) 을 사용하였다.

IV. 성능 비교

그림 2는 SNR=20dB 일 때, 위치 기준점 간 간격을 3.125 cm부터 2배씩 늘려 4m 까지 증가시켰을 때 정확도의 변화를 그린 것이다. 'baseline'은 CSI-지문 입력에 대해 위치 기준점을 무작위로 선택하는 경우로, 1/[위치 기준점의 수] 이다. 'fixed'는 고정위치 지문수집 기법을 'spread'는 분산위치 지문수집 기법을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 'fixed'는 d_{ref} 가 증가할수록 정확도가 급격히 감소하였고, 특히 $d_{ref}=0.125$ m 일 때,

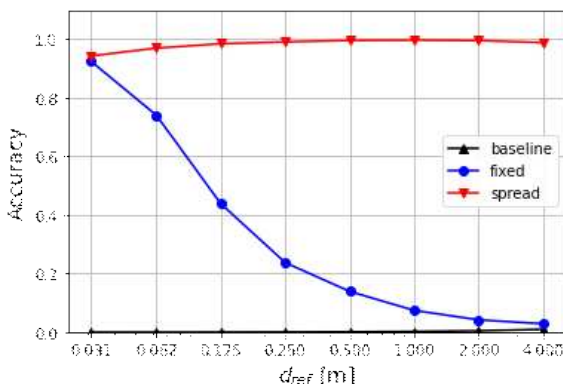


그림 2. 고정 측정 기법과 분산 측정 기법의 d_{ref} 에 따른 정확도. SNR = 20dB.

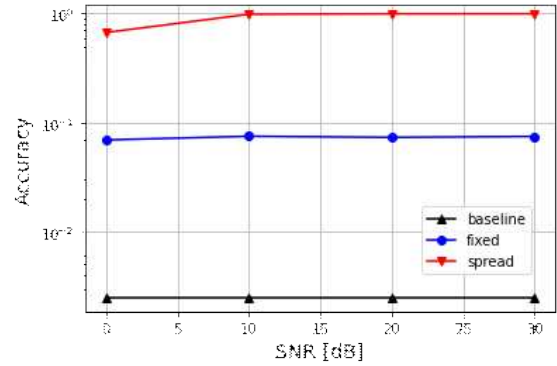


그림 3. 고정 측정 기법과 분산 측정 기법의 SNR (dB)에 따른 정확도 성능. $d_{ref} = 1$ m.

0.44의 정확도를 얻었다. 반면, 'spread'는 $d_{ref}=0.031$ m에서 0.94로 가장 낮은 정확도를 보였고, $d_{ref}=0.125$ m 이상에서 0.98 이상의 정확도를 보였다. 그림 3은 $d_{ref}=1$ m 일 때, SNR의 변화에 따른 정확도를 관찰한 것인데 'spread'는 SNR = 10dB 이상에서 0.98 이상의 정확도를 보였고, SNR=0dB에서 0.67의 정확도를 보였으며, 전 구간에서 'fixed'를 압도하였다.

V. 결론

본 논문에서는 LTE 시스템의 CSI-지문을 기반으로 한 고정위치 지문수집 기법과 분산위치 지문수집 기법을 고려하였고 이들의 성능을 평가하였다. ITU 채널 모델과 LTE 표준을 따르는 OFDM 시스템을 시뮬레이션으로 구현하여 CSI-지문을 수집하였으며 심층 신경망을 분류기로 사용하였다. 전 구간에서 분산위치 지문수집 기법이 고정위치 지문수집 기법을 정확도 측면에서 압도하였다. 고정위치 지문수집 기법은 위치 기준점 간 간격이 증가할 때, 급격한 성능 저하를 보였으나 분산위치 지문수집 방식은 SNR=20dB 일 때, $d_{ref}=0.125$ m 이상에서 0.98 이상의 정확도를 보였다. 또한 $d_{ref}=1$ 일 때, 분산위치 지문수집 기법은 SNR=10dB 이상에서 0.99의 정확도를 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 2020년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020R1C1C1008804)

참고 문헌

- [1] 조용현, "위치정보 정확도 개선을 위한 기술 동향," 정보통신기술진흥센터 2014.
- [2] J. Soubielle, et. al, "GPS positioning in a multipath environment," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 50, no. 1, pp. 141-150, Jan. 2002.
- [3] C. Chen, et. al., "Achieving centimeter-accuracy indoor localization on WiFi platforms: a frequency hopping approach," IEEE Internet of Things Journal, vol. 4, no. 1, pp. 111-121, Feb. 2017.
- [4] Y. Wang, et. al, "Is centimeter accuracy achievable for LTE-CSI fingerprinting-based indoor positioning," IEEE Access, vol. 8, pp. 75249-75255, Apr. 2020.
- [5] H. Zhang, Z. Zhang, S. Zhang, S. Xu and S. Cao, "Fingerprint-based localization using commercial LTE signals: a field-trial study," 2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall), 2019.