

WiFi 신호 기반 Human Mobility 탐지를 위한 IEEE 802.11n 무선 LAN 환경에서의 CSI 수집 및 분석

오영우, 강정태, 이슬람 헬미, 이프티카르 아마드, 마날 모샤라프, 최우열

조선대학교

{ywo, kjt, islam.helmy, iftikhar, manal, wyc}@chosun.ac.kr

CSI Collection and Analysis in IEEE 802.11n Wireless LAN for WiFi Signal-based Human Mobility Detection

Youngwoo Oh, Jungtae Kang, Islam Helmy, Iftikhar Ahmad, Manal Mosharaf, Wooyeol Choi

Chosun University

요약

기존 모빌리티 탐지 기술은 카메라, 라이다, 레이더 장치를 복합적으로 활용하여 통합된 센서 정보를 수집하고, 이를 학습 및 예측하는 deep learning 기술을 적용하는 연구가 활발히 수행되고 있다. 그러나, 이러한 복합 센서 활용은 카메라로 인한 개인정보 문제와 더불어 비용, 환경 변화에 따른 성능 편차가 크게 발생하는 한계를 지닌다. 본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위한 WiFi-카메라 데이터 쌍을 활용하는 multi-modal AI 모델 기반의 모빌리티 탐지 기술의 선행 연구로서, WiFi 신호를 수집하고, 객체의 움직임에 따른 특성을 분석한다. 본 실험에서는 IEEE 802.11n 무선랜 환경에서의 TP-Link 1750 라우터와 Intel WiFi Link 5300 무선랜 카드를 활용한다. 이후, 두 단말 간의 WiFi 신호를 탐지하고 CSI(Channel State Information) 정보를 효과적으로 추출 및 분석하기 위해, 라우터의 펌웨어 및 드라이버 수정을 통한 CSI toolkit을 구현한다. 실험 결과를 통해, 객체의 움직임에 대한 WiFi 신호 특성이 CSI 정보에 효과적으로 반영되는 것을 확인하였다. 후속 연구에서는 CSI와 카메라로부터 수집된 데이터 쌍을 구축하고, multi-modal AI 모델을 설계 및 구현할 예정이다.

I. 서론

기존의 모빌리티 탐지 기술은 카메라, 라이다, 레이더 등과 같은 장치를 통해 수행되었다. 그러나, 카메라의 활용은 개인정보 문제를 야기하며, 라이다와 레이더는 비용과 더불어 환경 요인에 따른 성능 편차가 존재하는 한계를 지닌다. 이를 해결하기 위해, 최근 WiFi 신호를 활용한 객체 탐지 및 추적 기술 연구가 활발히 수행되고 있다 [1,2]. WiFi 신호의 활용은 기존 복합 센서 장치를 활용한 방안에서 야기되는 비용, 개인정보, 정확도 등의 문제를 보완할 수 있는 방안이다. 특히, WiFi 신호의 투과성을 통해, 벽, 장애물 등에 의해 가려진 객체에 대한 탐지를 효과적으로 수행할 수 있다 [3]. 그러나, 기존 연구의 경우, deep learning 활용 방안에 대해 강조하며, 객체 특성에 대한 WiFi 신호를 분석한 결과가 제시되지 않았다. 이에 따라, 본 논문에서는 모빌리티 탐지를 위한 기초연구의 일환으로, 객체의 동작 및 변화에 따른 WiFi 신호 및 CSI(Channel State Information)를 분석 및 평가를 수행한다.

II. 본론

2.1 WiFi 신호 및 CSI 정보 분석을 위한 실험 환경 구성

본 논문에서는 WiFi 신호 생성을 위해 TP-Link AC 1750 라우터와 IWL5300 (Intel WiFi Link 5300)를 활용하였다. 이때, 각각의 라우터와 IWL5300 장치는 3개의 안테나를 지닌다. 이때, 기존 연구들의 경우, WiFi 신호를 생성 및 추출하기 위해, 배포되고 있는 CSI tool을 활용한다 [3]. 그러나, 이는 Ubuntu 생명 주기의 종료 및 장치에 따른 호환성 문제가 존재한다. 본 실험에서는 이를 해결하기 위해, 라우터 펌웨어 및 IWL5300 드라이버 수정을 통해, CSI toolkit을 설계 및 구현하였다. 본 논문에서 고려하는 IEEE 802.11n 환경은 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)

OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) 시스템으로 구성된다. 이때, 중심 주파수는 2.4GHz, 대역폭 20MHz, 그리고 OFDM 변조에 활용되는 subcarrier의 개수는 30으로 설정된다. 따라서, 구현된 toolkit을 통해 실시간으로 수집되는 CSI 정보는 subcarrier 그룹으로 별로 묶인 30개의 연속된 3×3 의 크기를 지닌다. CSI 내 존재하는 복소수 원소 값이 $z = a + bi$ 라고 가정할 때, amplitude A 와 phase ϕ 는 각각 $A = |a + bi|$, $\phi = \text{atan}(b/a)$ 와 같이 계산된다. 이때, phase 정보는 amplitude 대비 환경적 요인에 의한 신호 감쇠에 강건한 특징을 지니므로, 본 논문에서는 phase 정보를 활용한 객체 움직임에 대한 특징 분석을 수행한다. 여기서, atan 함수에 의한 phase 계산은 $-\pi$ 와 π 범위로 제한되므로, 해당 범위의 위상값에서 불연속적인 특징을 지닌다. 이를 해결하기 위해, 본 논문에서는 계산된 phase 정보를 unwrapping 처리하여 활용하였다 [3].

2.2 객체에 따른 CSI 특징 분석을 위한 신호처리 방안

본 실험에서는 IEEE 802.11n 환경에서 발생하는 간섭, 잡음에 의해 발생하는 phase 신호의 이상치를 제거하기 위해, moving average filter와 수식 1과 같은 linear fitting을 적용하였다.

$$\alpha_0 = \frac{1}{F} \sum_1^F \phi_f, \alpha_1 = \frac{\phi_F - \phi_1}{2\pi F} \quad (1)$$
$$\hat{\phi}_f = \phi_f - (\alpha_1 f + \alpha_0),$$

이때, α_0 , α_1 은 각각 전체 위상에 대한 평균과 위상 변화율을 의미하며, f 와 F 는 subcarrier의 현재와 마지막 인덱스를 나타낸다. 따라서, f 번째 위상 ϕ_f 와 linear fitting을 통해 추정된 직선을 기반으로 이상치를 효과적으로 제거할 수 있으며, 처리된 위상은 $\hat{\phi}_f$ 로 표현된다.

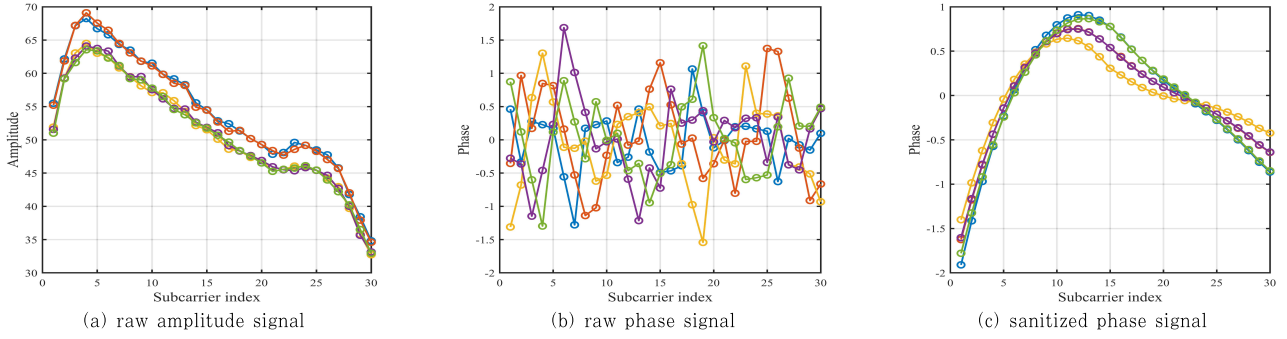


그림 1. Moving average filter 및 linear fitting 적용에 따른 phase 신호 분석

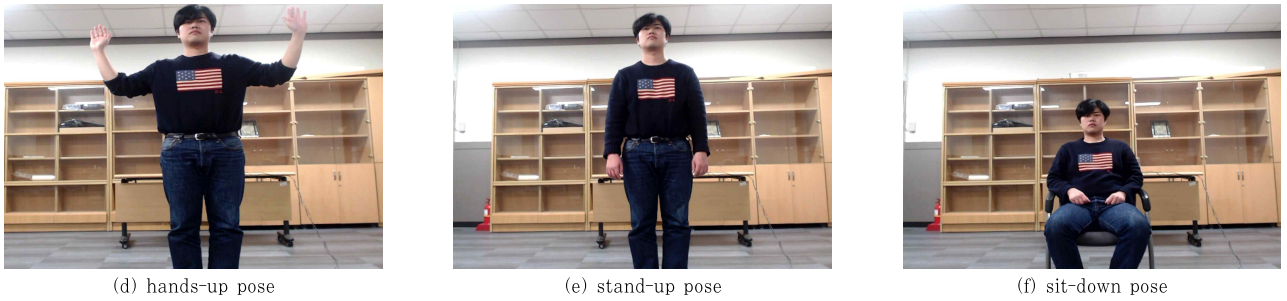
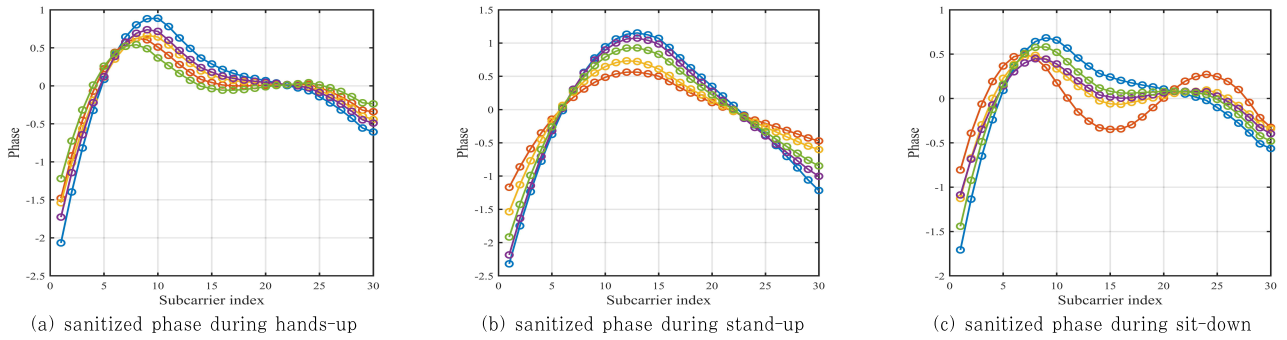


그림 2. IEEE 802.11n 무선 LAN 환경에서의 객체 동작에 따른 phase 신호 분석 및 평가

2.3 객체의 동작 변화에 따른 CSI 분석 및 평가

그림 1은 5개의 연속된 CSI 샘플 내 존재하는 amplitude, phase, 그리고 이상치가 제거된 phase 신호의 결과를 보여준다. 이때, 그림 1(a), (b)는 jitter 및 noise로 인해, 객체에 대한 특성을 분석하기 위한 방안으로 적합하지 않다. 반면, 그림 1(c)는 moving average filter 및 linear fitting을 통해, 5개의 연속된 샘플이 그림 1(b)와 달리 각각의 CSI 샘플 간의 유사성을 지닐 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 2는 hands-up, stand-up, sit-down으로 구성된 3가지 동작에 따른 phase 신호의 분석 및 평가 결과를 나타낸다. 이때, 그림 2(a),(b)는 객체의 동작이 유사함에도 불구하고, phase 신호 내 이러한 움직임의 변화에 대한 특성이 효과적으로 반영되는 것을 확인할 수 있다. 특히, 그림 2(c)는 그림 2(a),(b)의 결과와 달리 30개의 subcarrier에 대한 phase 신호가 $-1.7 \sim 0.6$ 사이의 범위를 지닌다. 이는 객체의 크고, 작은 움직임의 변화에도 서로 다른 신호의 특징을 지니므로, 모빌리티 탐지 기술을 위한 학습 데이터로 활용될 수 있음을 의미한다.

III. 결론

본 논문에서는 모빌리티 탐지 기술의 기초연구로서, 객체 동작에 따른 WiFi 및 CSI 특성을 비교 및 분석하였다. IEEE 802.11n 무선랜 환경에서의 WiFi 신호 생성 및 취득을 위해, 라우터 펌웨어 및 무선랜 카드 드라이

버 수정을 통한 CSI toolkit을 설계 및 구현하였다. 실험 결과를 통해, noise 및 jitter가 제거된 phase 신호는 객체의 크고, 작은 움직임에 대한 특성을 효과적으로 반영할 수 있음을 확인하였다. 추후, 후속 연구에서는 해당 결과를 기반으로 멀티모달 AI 모델을 설계 및 구현할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 성과물은 중소벤처기업부에서 지원하는 2023년도 맞춤형 기술파트너 지원사업(No. RS-2023-00254489) 및 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학연협력 선도대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구수행으로 인한 결과물입니다.

참고 문헌

[1] Fang, et al. "A Lightweight Passive Human Tracking Method using WiFi," *Sensors*, Vol. 22, no. 2 pp. 541-566, 2022.

[2] M. Xu, Z. Guo, L. Gui, B. Sheng and F. Xiao, "WiSPE: A COTS Wi-Fi-Based 2-D Static Human Pose Estimation," *IEEE Systems Journal*, vol. 17, no. 3, pp. 3560-3571, 2023.

[3] Geng, Jiaqi, Dong Huang, and Fernando De la Torre. "DensePose From WiFi," *arXiv preprint arXiv:2301.00250*, 2022.