

WiFi CSI를 활용한 머신러닝 기반 신원 확인 시스템

모형근, 김승구*

*충북대학교

okgudrms2@cbnu.ac.kr *kimsk@cbnu.ac.kr

Machine Learning-Based Identification System Using WiFi CSI

Mo Hyung Geun, Kim Seungku*

*Chungbuk National Univ.

요약

본 논문은 WiFi AP(Access Point)를 센서로 사용하여 CSI(Channel State Information)를 수집한다. CSI는 AP가 사용하는 채널의 신호세기, 다중경로 등의 정보를 갖고 있다. 이러한 CSI는 사람 및 물체에 영향을 받는다. 본 논문은 이러한 특징 활용하여, 특정 실내 구간에서 신원 확인 시스템을 구현한다. 본 논문의 신원확인 시스템은 AP로부터 수집되는 CSI의 노이즈를 제거하고, 특징을 추출하여 머신러닝 모델을 통한 비시각 기반 시스템이다. 사용되는 머신러닝 모델은 SVM(Support Vector Machine) 모델이며, PCA(Principal Component Analysis)를 사용해 차원을 축소된 특징을 입력한다.

I. 서론

WiFi 산업이 급격히 발전하며, WiFi AP는 어디에든 존재한다. 이러한 WiFi AP를 상업적으로만 사용하는 것이 아닌 WiFi 신호의 작은 변화를 측정하여 사람과 같이 움직이는 물체로 인한 주변 환경의 변화를 감지할 수 있다. 현재, WiFi AP를 활용하여 실내 위치 추적, 행동 인식, 신원확인 등 스마트 서비스가 많이 발전하고 있다. 본 논문에서는 WiFi AP를 사용하여 사람의 보행으로 인한 CSI 변화를 수집하여 사람을 인식할 수 있는 WIID를 제안한다.

현재 상업적으로 이용되는 신원확인 시스템은 카메라를 이용한 시스템 [1], 라이더를 이용한 시스템 [2] 등이 존재한다. 하지만 이러한 기술들은 시스템을 구축하기 위해 추가적인 설치비용이 발생하며 사생활 침해, 충분한 조명 환경을 요구하는 등의 문제가 발생한다. 본 논문에서는 위와 같은 문제를 극복하기 위해 기존에 설치된 AP만을 활용하는 신원확인 시스템을 제안한다.

II. 연구 방법

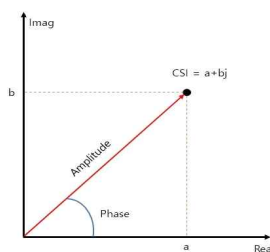


그림 1. CSI

A. Channel State Information(CSI)

WiFi 통신에서 CSI는 채널의 여러 서브 캐리어를 통해 한 쌍의 송수신 안테나 사이의 채널 이득을 측정한다. 이 정보는 신호가 송신기에서 수신기로 전파되면서 거리에 따른 산란, 감쇠, 회절과 같은 정보를 나타낸다. CSI는 그림 1과 같이 WiFi 시스템에서 각 안테나별로 측정한 서브 캐리어들의 정보로 표현된다. M개의 송신 안테나, N개의 수신 안테나와

20MHz 대역으로 전송되는 패킷은 $M \times N \times 56$ 개의 CSI로 구성된다. 대역이 40MHz인 경우 $M \times N \times 114$ 가 된다. WIID는 AP 용 OpenWrt 기반의 새로운 펌웨어를 개발하여 20MHz 대역에서 $2 \times 2 \times 56$ 개의 CSI를 수집한다. 수집된 k번째 서브캐리어에 대하여 CSI는 $H_k = \|H_k\| e^{j\angle H_k}$ 로 표시되며, 여기서 $\|H_k\|$ 는 진폭이고, $\angle H_k$ 는 위상을 나타낸다.

B. CSI의 CIR(Channel Impulse Response)

WiFi의 신호는 다중 경로를 통해 전달되므로 신호는 각 경로의 특성에 따라 지연되는 신호 성분을 갖는다. 특히, CSI는 물체나 사람으로 인해 반사 또는 굴절되어 지연되는 신호의 성분을 포함한다. 신원확인 시스템은 사람의 보행패턴의 미세한 움직임을 분석해야 하므로 이러한 지연 신호는 제거할 필요가 있다. 수집된 CSI를 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 통해 신호의 수신 지연 프로파일(Delay profile of signal)을 변환 후, 지연된 신호 성분을 제거한다. 제거해야 지연 성분의 임계값은 이전 연구 [3]에서 제공된 다중 경로 지연 특성에 따라 그림 2와 같이 0.5us로 선택한다. 그림 2의 임계값 이후의 성분들은 제거된다. 제거된 수신 지연 프로파일을 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용하여 CIR을 CFR로 변환한다.

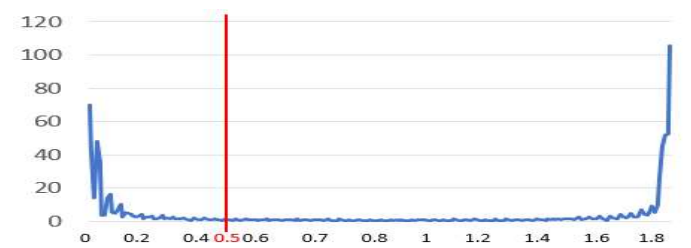


그림 2. Delay profile과 임계값

C. Butter Worth Filter

지연 성분 외에도 WiFi 신호는 본질적으로 다중경로, 회절 및 AP 장치 내부 상태의 기인한 고주파 잡음이 섞여있다. WIID는 Butterworth 필터를

사용한다. Butterworth 필터를 사용하여 WiFi 신호의 정보를 크게 왜곡하지 않고 통과대역에서 최대한 평탄하게 신호를 필터링한다. 사람의 보행으로 인한 CSI 시계열 변화의 주파수는 약 10Hz이므로, 이를 Butterworth 필터에 반영한다. 그림3의 주황 실선이 WIID에서 설계한 Butterworth 필터를 통과한 CSI의 시간에 따른 진폭의 변화다.

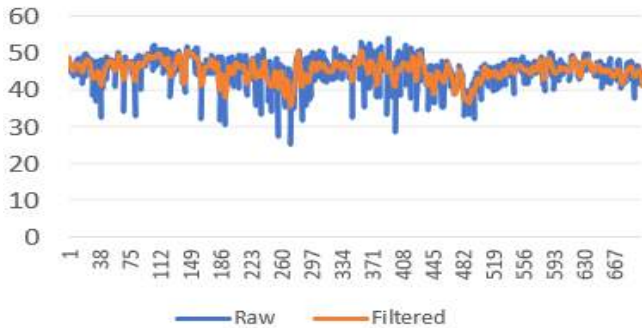


그림 3. Raw CSI와 Filtered CSI의 시간(7초)에 동안 #1번 서버캐리어의 진폭 변화

D. PCA(Principal Component Analysis)

수집되는 Packet의 CSI는 224개 서브캐리어로 구성된다. 224개에 대한 서브캐리어는 너무 많은 특징을 나타낸다. 각 차원마다 사람을 인식하는데 기여가 다르며 불필요한 정보를 내포하므로 필요한 특징만을 추출해야 할 필요가 있다. WIID는 PCA를 사용하여 차원을 축소시켜 머신러닝에 입력한다. WIID는 224개에 대한 서브캐리어를 PCA를 활용함으로써 20개에 대한 특징으로 줄인다. 224개에서 20개로 차원을 축소하면 머신러닝에 사용하기 더 적합하다.

III. 실험 방법

A. 실험장소와 실험장치

실험이 진행된 실내 환경은 그림 4와 같다. 실험에 사용된 WiFi AP는 TL-WDR 4300으로 2.4GHz 송수신 안테나를 각각 2개 사용하고 그림 4의 Tx, Rx 위치에 놓인다. WiFi AP는 OpenWrt 기반의 업그레이드 된 펌웨어가 설치되어 20MHz 대역의 2.4GHz 주파수로 100packet/s로 송수신한다. 하나의 패킷 당 총 224개의 subcarrier에 대한 CSI정보가 존재한다. 경로를 사람이 지나갈 때 평균 5.5초가 발생한다. WIID는 실험자들이 경로를 지나갈 때 생성되는 7초 동안의 송수신 패킷들을 하나의 샘플로 지정한다.

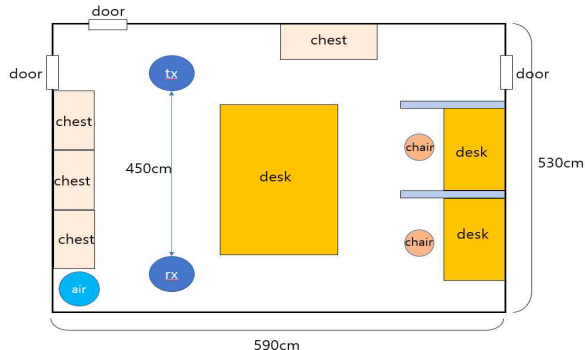


그림 4. 실험장소

B. 실험 순서

실험의 순서는 그림 5와 같이 진행된다. 우선 AP를 통해 CSI를 수집한다. 이후, 지연 성분을 제거하기 위해 IFFT시켜 0.5us 이후의 성분들을 제

거한다. 다음으로는 고주파 성분의 잡음을 제거하기 위해 Butterworth 필터를 사용하여 신호의 노이즈를 제거한다. 전처리가 완료된 CSI는 많은 차원을 형성하므로 PCA를 통해 차원축소를 통해 적은 수의 특징으로 추출한다. 이후 SVM 모델을 사용하여 7명에 대한 분류작업을 진행한다.

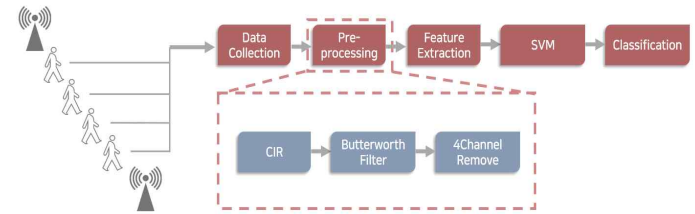


그림 5. 시스템 아키텍처

V. 결론

본 논문에서는 WiFi의 신호에서 CSI를 수집하여 전처리 작업을 거친 후 SVM 모델에 학습했다. 7명에 대한 신원확인 결과는 약 75%의 정확도를 나타내었고, F1-score는 75%가 나왔다. 표1은 본 논문에서 구축한 모델의 성능을 평가하는 지표를 표로 나타낸 것이다. 실험은 실험자 한 명당 50개의 Train set, 10개의 Test set으로 진행했다.

	Precision	Recall	F1-score	Support
사람1	0.78	0.70	0.74	10
사람2	1.00	0.70	0.82	10
사람3	0.71	0.50	0.59	10
사람4	0.69	0.90	0.78	10
사람5	0.71	0.80	0.77	10
사람6	0.90	0.90	0.90	10
사람7	0.40	0.40	0.40	10
acc			0.75	70
macro avg	0.76	0.75	0.75	70
weighted avg	0.76	0.75	0.75	70

표 1. 4명에 대한 신원확인 결과

ACKNOWLEDGMENT

이 (성과물)은 산업통상자원부 ‘산업전문인력역량강화사업’의 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행된 연구임. (2020년 임베디드SW 전문인력 양성사업, 과제번호 : N0001884)

참 고 문 헌

- [1] V. L. Erickson, M. A. Carreira-Perpinán, and A. E. Cerpa, “Occupancy modeling and prediction for building energy management,” ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), vol. 10, no. 3, p. 42, 2014.
- [2] 최덕선 외. “야지 환경에서 3D 라이다와 CNN을 활용한 사람 인식” 제로봇시스템학회 국내학술대회 논문집, pp. 490-491, 2018.
- [3] Y. Jin, W.-S. Soh, and W.-C. Wong, “Indoor localization with channel impulse response based fingerprint and nonparametric regression,” IEEE Trans. on Wireless Communications, vol. 9, no. 3, pp. 1120 - 1127, March 2010.