

# Wi-Fi 채널 상태 정보 분산 수집을 통한 보행자 탐지 기법

최영진, 주수민, 최정식

경북대학교 전자공학부

hillary356@naver.com, cleonn7878@gmail.com, jeongsik.choi@knu.ac.kr

## Distributed Wi-Fi Channel State Information Acquisition for Pedestrian Detection

Youngjin Choi, Sumin Joo, and Jeongsik Choi

School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University

### 요 약

본 논문에서는 다수의 단말에서 Wi-Fi 신호의 채널 상태 정보 (CSI: Channel State Information)를 수집하고 이를 중앙의 서버에 전송하여 실시간으로 보행자를 감지하는 센싱 기법을 연구하였다. 이를 위해 라즈베리파이를 이용하여 주위 Wi-Fi 액세스 포인트로부터 송신된 비콘 프레임에서 CSI를 추출한 후 무선으로 중앙의 서버에 전송하도록 구성하였다. 서버에서는 합성곱 신경망 (CNN: Convolutional Neural Network)을 이용하여 보행자를 감지한 후 현재 위치를 출력하도록 시스템을 구축하였다. 제안한 기법의 성능을 실험을 통해 검증하였다.

### I. 서 론

사물을 감지하는 센싱 기술은 다양한 응용분야에 적용될 수 있다는 특성 때문에 그 중요성이 계속해서 증가하고 있다. 이미 비전과 적외선 센서 등을 이용한 센싱 기술이 존재하지만 감지해야 할 대상과 센서 사이에 가시경로가 확보된 상황에서만 동작 가능하다는 단점이 있고, 특히 비전 기반의 센싱 기술은 사생활에 민감한 장소에서는 도입이 어렵다는 단점이 있다.

이를 보완하기 위하여 본 논문에서는 벽 등의 장애물을 투과할 수 있는 무선 신호를 이용하여 보행자의 움직임을 인지하고 위치를 추정하는 센싱 기법에 대한 연구를 수행하였다. 특히 쉽게 이용 가능한 Wi-Fi 시스템을 이용하여 연구를 수행하였으며 송수신기 사이 무선 채널의 특성을 파악할 수 있는 채널 상태 정보 (CSI: Channel State Information)를 수집하여 연구에 이용하였다. 임의의 장소에서 CSI 수집을 수행하기 위하여 단말에는 배터리를 설치하였으며, CSI 수집을 수행하는 Wi-Fi 인터페이스 외에 통신용 인터페이스를 추가 설치하여 인접의 액세스 포인트와 무선 통신이 가능하도록 구성하였다.

이렇게 제작된 다수의 단말을 보행자 감지가 필요한 장소에 여러 대 분산 배치하고 각 단말이 수집한 CSI 데이터를 중앙의 서버가 실시간으로 수집하도록 구성하였다. 서버에서는 모든 단말에서 전송한 CSI 데이터를 합성곱 신경망 (CNN: Convolutional Neural Network)에 학습시켜 현재 보행자의 위치를 출력하도록 구성하였다.

본문에서는 보행자 감시 시나리오, 실험 및 데이터 수집 환경, 연구에 사용된 CNN 모델 및 학습 결과에 대해 소개한다.

### II. 본 론

#### 2.1 보행자 감지 시나리오

그림 1은 실내에 기 설치된 Wi-Fi 액세스 포인트와 분산적으로 도입된 다수의 단말을 보여준다. 일반적으로 액세스 포인트는 SSID (Service Set Identifier), MAC (Medium Access Control) 주소 등과 같은 시스템 매개변수를 전달하기 위하여 주기적으로 비콘 프레임을 전송하고 (예: 100ms 간격), 단말은 해당 프레임을 수신함으로써 20 MHz 대역폭에 해당하는 56개의 CSI 데이터를 획득할 수 있다. 이렇게 획득한 CSI 데이터는 액세스 포인트를 거쳐 실시간으로 서버로 전송되고 서버에서는 모든 단말에서 제공한 CSI 데이터를 이용하여 2차원 평면상의 보행자의 위치를 추정하는 시나리오를 고려하였다.

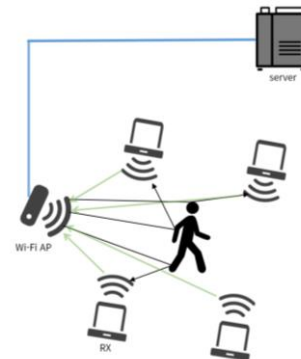


그림 1. 도식화한 대상 감지 환경

#### 2.2 실험 환경 및 데이터 수집

그림 2(a)는 라즈베리파이 4B를 이용하여 제작된 CSI 수집 단말을 보여준다. Nexmon 프로젝트를 이용하여 내장 Broadcom 프로세서로 CSI 수집이 가능하였으며 [1], 추가로 Tplink 사의 USB Wi-Fi 인터페이스를 설치하여 무선 통신이 가능하도록 구성하였다. 실험을 위해 CSI를 수집하여 서버로 전송하는 프로그램을 제작하였고, 이를 오픈소스 프로젝트로 공개하였다 [2].



(a) CSI 수집 단말



(b) 어플리케이션

그림 2. 실험에 사용된 단말과 어플리케이션

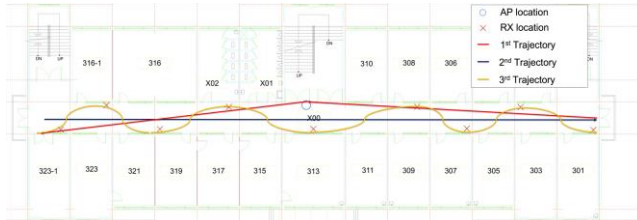


그림 3. 실험 환경에서의 액세스 포인트와 단말 위치

9개의 단말기를 그림 3과 같이 실내 환경에 일정한 간격을 두고 설치하였으며 학습 데이터를 수집하기 위해 두 실험 참가자가 실험 장소를 자유롭게 이동하였다. 이때 관성 센서로 보행자의 이동 궤적을 추정하는 보행자 항법 기법 (PDR: Pedestrian Dead Reckoning)을 이용하여 두 지점 사이의 이동경로를 획득하는 식으로 매시간 사용자의 절대 위치를 수집하였다. 그림 2(b)는 실험에 사용된 안드로이드 어플리케이션을 보여준다 [3].

### 2.3 모델 설계 및 학습

그림 4는 수집된 CSI를 효율적으로 처리하기 위하여 제안된 CNN 구조를 보여준다. 각 단말에서 가장 최근에 수집된 4개의 CSI 데이터에 절대값을 취하여  $4 \times 56$  크기의 입력 이미지를 구성하였으며 순서대로  $4 \times 4$ ,  $1 \times 4$ ,  $1 \times 4$  커널을 이용하여 특징 벡터를 추출하였다. 커널의 개수는 32개로 설정하였으며  $1 \times 2$  풀링 (pooling) 레이어를 각 커널 이후에 적용하여 출력 데이터의 크기를 줄이도록 구성하였다.

이렇게 구성된 CNN을 이용하여 각 단말에서 수집한 CSI 데이터로부터 특징 벡터를 추출하였으며, 다수개의 특징 벡터를 하나의 벡터로 통합한 후 3개의 FC (Fully-Connected) 레이어를 적용하여 최종 결과인 x, y 좌표를 출력하도록 구성하였다.

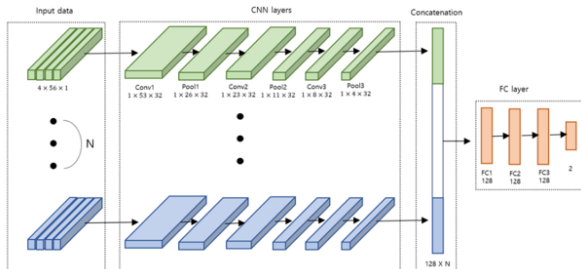


그림 4. 인간 감지를 위해 제안된 CNN 구조

제안한 인공지능 모델 학습을 위한 손실함수는 예측된 좌표와 학습 데이터로 수집된 좌표 사이의 평균 제곱 오차 (MSE: Mean Squared Error)를 이용하였다. 수집된 3,900개의 데이터 중 70%는 인공지능의 파라미터 학습에 나머지는 검증에 사용하였다.

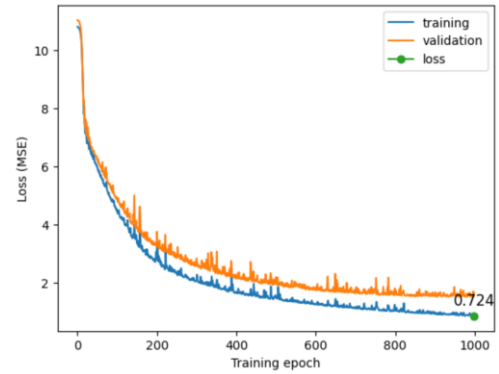


그림 5. CNN 모델 학습 결과

그림 5는 제안한 인공지능의 학습 결과를 나타낸 것이다. 학습이 진행될수록 학습 및 검증 데이터 모두에 대해 손실함수 값이 감소하는 것을 보여준다. 1000회의 epoch이 종료되었을 때 학습 데이터에 대한 손실은 0.724의 MSE 값을 가지는 것을 확인하였다.

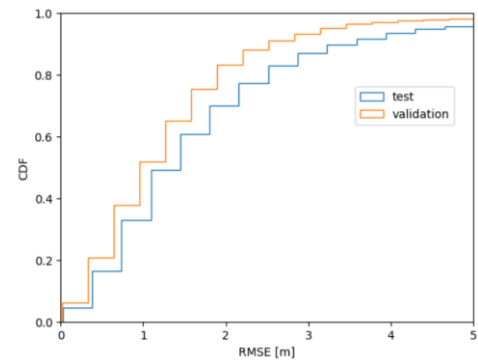


그림 6. CNN 모델 예측 오차

그림 6은 제안된 모델의 예측 오차를 CDF로 나타낸 것이다. 오차가 커질수록 발생할 확률이 기하급수적으로 감소하는 모습을 보여주고, 평균적으로 2m의 오차가 측정됨을 확인하였다.

### III. 결론 및 후속 연구

본 논문에서는 Wi-Fi 신호를 수신하여 CSI 데이터를 획득하는 다수의 단말을 도입한 후 수집 데이터를 서버로 실시간 전송하는 시스템을 구축하였다. 서버에서는 제안된 CNN 모델을 이용하여 1명의 보행자의 위치를 평균 2m 정도로 정확하게 추정 가능함을 검증하였다. 본 연구를 확장하여 다수의 보행자를 Wi-Fi CSI 데이터를 이용하여 실시간으로 추정할 계획이며, 보행자의 위치 뿐만 아니라 자세나 몸짓 등을 감지할 수 있도록 연구를 확장 시킬 예정이다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2022R1F1A1074502).

### 참고 문헌

- [1] Francesco Gringoli, Jakob Link, Matthias Schulz, Matthias Hollick. Free Your CSI: A Channel State Information Extraction Platform For Modern Wi-Fi Chipsets. *WiNTECH '19, October 25, 2019, Los Cabos, Mexico*
- [2] CSI Collector. [https://github.com/knu-wcsl/csi\\_collector](https://github.com/knu-wcsl/csi_collector)
- [3] Android application. [https://github.com/knu-wcsl/app\\_collector](https://github.com/knu-wcsl/app_collector)