

WiFi를 활용한 실제 주거 공간 내 재실 추정 방안 적용

An Implementation of Occupancy Estimation Methods in Residential Spaces Using WiFi

○정 민 영* 권 단 비* 김 태 연**
Jung, Minyoung Kwon, Danbi Kim, Taeyeon

Abstract

Estimating actual occupancy information is an essential prerequisite for OCC(Occupant Centric Control), which can satisfy indoor air quality and occupant comfort while reducing energy consumption in buildings. Room-specific mechanical equipment control in residential spaces also falls under this category. This study aims to present the utilization of WiFi's Channel State Information (CSI) as a means to address the limitations of existing occupancy estimation methods. Experiments were conducted in real residential spaces with multiple rooms under Non-Line-of-Sight (NLOS) conditions. Two distinct domain experiments were conducted in each room, with one set used as training data and the other as experimental data for the occupancy classification model. The average accuracy obtained from the models for each room was approximately 95.2%. Future research will focus on developing algorithms that consider the influence between multiple rooms to enhance the accuracy of estimating actual occupancy information on a room-by-room basis.

키워드 : 와이파이, 채널 상태 정보, 기계 학습, 재실 감지

Keywords : WiFi, CSI, Machine Learning, Occupancy detection

1. 연구의 필요성

OCC(Occupant Centric Control) 연구는 재실자의 열적 쾌적, IEQ(Indoor Environment Quality), 그리고 건물 에너지 소비 사이의 최적 균형을 모색하는 것을 목표로 한다. 주거 공간 내 공조 설비의 실별 제어 또한 OCC 연구에 포함되며, 효율적인 운영을 위해 실시간 실별 재실 정보 추정 과정이 선행되어야 한다.

주거 공간에서의 재실 추정은 잠재적인 프라이버시 문제를 고려해야 할 뿐만 아니라 주거 공간 내 재실자의 예측 불가능한 행동 패턴에 대한 신속한 감지 속도 및 유연성이 요구된다. 다중 구역으로 이루어진 주거 공간의 특징 중 하나인 NLOS(Non-Line-of-Sight) 환경에서의 재실 감지 성능 또한 중요한 요소이다. 이러한 요구 사항을 충족하기 위해 RF(Radio Frequency) 센싱 기술이 주목받고 있다. RF 기반 센싱 기술 중 WiFi를 활용한 방안은 상용화된 무선 공유기를 활용하여 초기 인프라 구축 비용을 절감할 수 있어 실제 건물에서 적용 가능한 유망한 방안이다. 또한 WiFi 신호의 물리 계층을 분석하여 추적 장치를 별도로 요구하지 않는 재실 정보 추정이 가능하게 되었다.

WiFi CSI를 활용한 재실자 감지에 관한 기존 연구들은

주로 단일 구역에서 단일 실험을 통하여 정확도를 평가하였다. 이러한 방식은 실제 주거 공간에서의 적용성을 평가하지 않았으며 재실자의 무작위한 움직임이나 환경 역학(Environment Dynamic)에 의한 데이터 도메인 차이를 고려하지 않은 한계점이 있다 [1].

본 연구에서는 주거 공간 내 WiFi 신호의 물리 계층 데이터를 활용한 재실 추정 방안을 적용하여 새로운 도메인 데이터에 대한 정확도를 평가하였다.

2. 연구 방법

2.1 CSI (Channel State Information)

CSI는 WiFi에 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)기술이 적용되면서 추출할 수 있는 무선 신호의 물리 계층이다. CSI에는 신호의 회절, 반사, 산란 등의 다중 경로 효과(Multipath effect)가 포함된다 [2].

CSI 데이터는 일련의 변화를 통해 주파수 영역에서 복소수 형태로 나타낼 수 있으며 식 1과 같다. H_i 는 i 번째 부반송파(Subcarrier)의 CSI를 나타내고 $|H_i|$ 와 $\angle H_i$ 는 각각 i 번째 부반송파의 진폭과 위상을 나타낸다.

$$H_i = |H_i|e^{j\angle H_i} \quad \dots \quad (1)$$

2.2 실험 및 데이터 수집

본 연구는 경기도 부천시에 위치한 공동주택의 한 세대를 대상으로 실험하였다. 해당 세대는 주방 1개, 거실 1개, 방 3개로 구성되어 있다. 실험은 비어있을 때의 데이

* 연세대 대학원 석사과정

** 연세대 건축공학과 교수, 공학박사

(교신저자 : tkim@yonsei.ac.kr)

이 성과는 정부(국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS202200144050)

터와 실험자 한 명이 각실에 재직하며 임의의 행동을 하는 조건에서의 데이터를 수집하였다. 한 번의 실험 당 6세트의 데이터를 추출했다. 실험은 각각 혼련 데이터와 실험 데이터를 얻기 위해 12월 9일과 1월 13일에 진행하였다.

각 센서는 그림 1과 같이 배치하였다. 중앙의 송신기(Tx)는 TP-link C50을, 각 실별 수신기(Rx)는 Raspberry Pi를 사용하였다. CSI 데이터 수집은 Nexmon CSI extractor tool [3]을 사용하였다. WiFi 채널(Channel) 44번, 대역폭(Bandwidth) 20MHz, 패킷 추출 속도(Sampling rate)는 25Hz로 지정하였고, 실별로 5분씩 실험을 진행하여 약 270,000개의 CSI 패킷을 수집하였다.

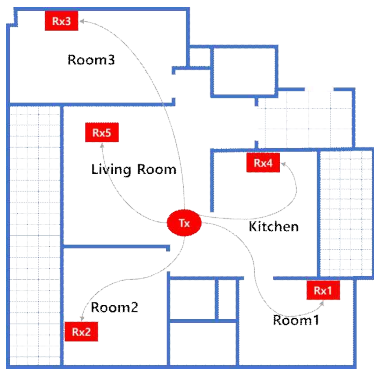


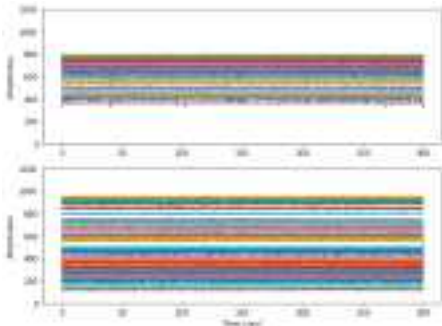
그림 1 실험 환경

2.3 데이터 처리

추출한 CSI 데이터는 노이즈에 대한 필터링 이후에 손실된 데이터에 대한 보간을 통해 일정한 데이터 배열로 조정하는 전처리 과정을 거쳤다. 이후 CSI 진폭의 절대값과 CSI 진폭의 차분값을 모두 활용하여 통계적인 특징을 각각 추출하였다. 이를 활용하여 SVM(Support Vector Machine) 분류 모델에 훈련시킨 후에 실별로 성능을 비교하였다.

3. 연구 결과

그림 2는 서로 다른 도메인의 CSI 데이터를 시간과 진폭을 축으로 나타낸 그래프이다. 같은 구역에서 동일하게 재직하지 않은 상황일지라도 CSI 데이터 분포에 차이를 보였다. 이는 여러 환경 요인에 의한 데이터 도메인 차이로 예상할 수 있다.



a. 12월9일(상) b. 01월13일(하)
그림 2 비어있을 때의 CSI 진폭 그래프(Rx1)

CSI 진폭의 절대값과 차분값을 활용한 분류 모델의 교차 검증 정확도 및 새로운 도메인의 테스트 데이터에 대한 정확도를 표 1에 나타내었다. CSI 진폭의 절대값을 그대로 모델에 활용하게 될 경우 여러 환경 요인에 의하여 데이터 간 일관성이 떨어지게 되고 이는 새로운 데이터에 대한 모델의 성능 저하를 초래할 수 있다. 이에 비해 시간 상대적인 변화량을 포착하기 위해 CSI 진폭의 차분값을 활용한 경우 새로운 도메인의 데이터에 대해서 높은 정확도의 재직 여부 추정 성능을 보여준다. 그림 3은 차분값을 활용한 모델의 정오분류표(Confusion Matrix)이다.

표 1 모델 정확도 결과

	Test Accuracy (for different domain)	
	Absolute Values	Difference Values
Room1	21.7%	98.4%
Room2	25.0%	94.8%
Room3	23.6%	96.2%
Kitchen	27.3%	93.7%
Living Room	20.8%	92.8%
Average	23.7%	95.2%

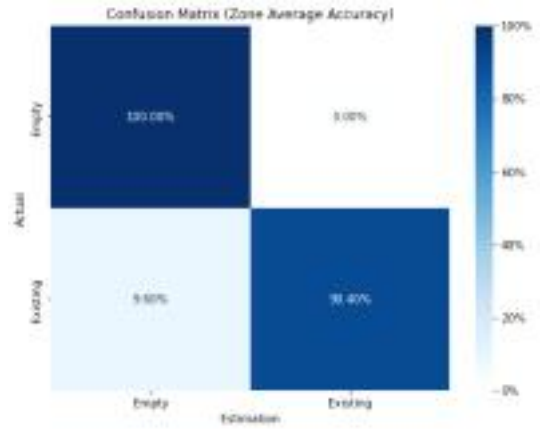


그림 3 Confusion Matrix (Difference Values Model)

4. 결론

본 연구에서는 실제 주거 공간에서 WiFi CSI를 활용한 재직 추정 방안을 적용해보았다. 분류 모델의 일반화를 고려하여 CSI 진폭 데이터의 절대값과 차분값을 활용하여 성능을 비교하였다. 도메인 변화에 덜 민감한 차분값을 활용한 실별 분류 모델이 새로운 도메인 데이터에 대해 평균 약 95.2%의 정확도로 재직 여부를 추정할 수 있었다.

참고문헌

- Chen et al. "Cross-domain wifi sensing with channel state information: A survey." ACM Computing Surveys 55.11 (2023).
- Yang et al. "From RSSI to CSI: Indoor localization via channel response." ACM Computing Surveys 46.2 (2013).
- Gringoli et al. "Free Your CSI: A Channel State Information Extraction Platform For Modern Wi-Fi Chipsets." Proc. in WiNTECH (2019).