



Title	A Study on Wireless Sensing for Indoor Environments: From Open Resource Foundations to Deployment-Aware Methods
Author(s)	加藤, 空知
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/105503
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 （ 加藤 空知 ）	
論文題名	A Study on Wireless Sensing for Indoor Environments: From Open Resource Foundations to Deployment-Aware Methods (実環境制約を考慮した屋内環境ワイヤレスセンシングに関する研究)
論文内容の要旨	
無線センシングは、電波信号を用いて人の状態や行動を推定する技術である。プライバシー保護性と環境耐性に優れ、カメラやウェアラブルデバイスに代わる知覚手段として注目されている。また照明条件や遮蔽の影響を受けず、装着や充電を必要としないという特性から、特に屋内環境における非侵襲的かつ継続的な人間認識に適している。この分野における無線の信号源として、既存の通信インフラを活用するWi-Fiと、高精度な計測を可能にするミリ波レーダという二つの主要なアプローチが発展してきた。 一方で、無線センシングの実環境展開は依然として限定的であり、その背景にはデータ基盤と手法設計の双方にまたがる根本的な課題が存在する。第一に、利用可能なセンシングデータの取得容易性と代表性が不足している。Wi-Fiセンシングでは詳細な伝搬情報を含むChannel State Information(CSI)が広く用いられてきたが、その取得には特殊なハードウェア構成やファームウェア改変が必要であり、大規模かつ再現可能なデータ収集を困難にしている。レーダセンシングにおいても、専用機材や制御された計測環境への依存が依然として高い。さらに、既存の公開データセットは規模や環境多様性、注釈の粒度に限界があり、モデルの汎化性能や再現性を制約している。第二に、こうした制約下で得られる現実的な無線データや注釈条件を前提とした手法論が十分に確立されていない。 本論文では、これら二つの課題に対して、データ取得基盤の整備とセンシング手法の設計という両面から体系的に取り組む。まずデータアクセス性の観点から、IEEE 802.11ac/axで標準化された圧縮ビームフォーミングレポートに着目して、汎用機器からCBRを取得・再構成可能なWiPiCapを開発することで、Wi-Fiセンシングの敷居を大幅に低減する。また、レーダセンシングにおいては、検出・姿勢推定・セグメンテーションの同期アノテーションを備えた大規模多視点データセットMMVRを構築し、複雑な屋内環境におけるレーダベースの人物認識研究の基盤を提供する。 さらに、現実的に取得可能な無線データを前提とした手法論を展開する。CBRを用いた軽量な行動推定手法CBR-ACEや、CBRから空間的表現を生成するCSI2Imageを提案して、標準化信号の持つ表現能力を検証する。加えて、弱教師ありで3次元姿勢推定を実現するRAPTRや、異なる周波数帯の無線信号を統合するNeural Dynamic Fusionを通じて、実環境に適した動的センシングの新たな方向性を示す。本論文は、Wi-Fiとレーダの両モダリティを横断し、無線センシングを実世界展開可能な技術へと近づける体系的な貢献を行うものである。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (加藤 空知)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 猿渡 俊介
	副 査	教授 猪俣 敦夫
	副 査	教授 小泉 佑揮
	副 査	教授 下西 英之
	副 査	教授 山口 弘純

論文審査の結果の要旨

ワイヤレスセンシングとは、電波を介して人間の状態や振る舞いを推定する計測技術である。プライバシー侵害の懸念が小さく、周囲環境の変化にも比較的頑健であることから、カメラやウェアラブル機器に代替しうる知覚手段として関心を集めてきた。特に、照明条件や遮蔽物の影響を受けず、身体への装着や電源管理を必要としない点において、屋内空間での非接触・長時間の認識に適した特性を有する。この分野では、既存の通信設備を活用可能なWi-Fiと、高い空間分解能を実現できるミリ波レーダを中心とした二系統の無線信号源が主に用いられてきた。

しかしながら、ワイヤレスセンシング技術の実利用は未だ限定的であり、その要因としてデータ基盤と手法設計の両面に共通する本質的な問題が存在する。第一に、利用可能なデータの入手性が十分とは言えない。Wi-Fiセンシングでは、詳細な電波伝搬情報を含むChannel State Information (CSI) を情報源として用いる手法が主流であるものの、その取得には特殊なハードウェア設定やファームウェアの変更を要する場合が多く、大規模かつ再現性のあるデータ収集を阻害している。レーダセンシングにおいても、専用装置や制御された計測環境への依存度は依然として高い。さらに、既存の公開データセットは規模、環境多様性、あるいはアノテーションの詳細度に制約があり、モデルの汎化性や検証可能性を制限している。第二に、こうした制約下で現実的に取得される無線データと限定的な注釈条件を前提とした方法論が、十分に体系化されていない点が挙げられる。

本論文では、これら二つの課題を踏まえて、ワイヤレスセンシングを実世界で展開可能な技術へと前進させる体系的な貢献を行うものである。具体的には、Wi-Fiとレーダという二つのモダリティを横断して、データ取得基盤の拡充と、実環境に展開可能なセンシング手法の設計という二つの観点から包括的に取り組んだ。まずデータ取得の容易性に着目して、IEEE 802.11ac/axで標準化された圧縮ビームフォーミングレポートを活用することで、汎用的な無線機器からCBRを取得・再構成可能なWiPiCapを開発し、Wi-Fiセンシングの導入障壁を大きく引き下げた。またレーダ分野では、検出・姿勢推定・セグメンテーションを同期的に注釈した大規模多視点データセットMMVRを構築して、複雑な屋内環境におけるレーダベース人物認識研究のための基盤を整備した。

さらに、本研究では現実的に取得可能な無線データを前提とした手法論を、アプリケーションを横断する形で複数提示した。CBRを用いたセンシングに関して、軽量の行動認識手法であるCBR-ACEや、CBRから空間的表現を生成するCSI2Imageを通じて、標準化信号が有する空間表現能力を検証した。ミリ波レーダによるセンシングに関して、弱教師ありで三次元姿勢推定を可能とするRAPTRを提案して、高コストな3Dアノテーションに依存しないセンシングのあり方を示した。また、異なる周波数帯の無線信号を統合するNeural Dynamic Fusionを提案して、離散的かつ非同期な無線信号の連続空間上での融合と、センシングでの優位性を示した。

本学位論文を構成する一連の研究は、IEEE Transactions on Wireless Communications、Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)、European Conference on Computer Vision (ECCV)など、分野を代表する国際的トップレベルの学術誌・国際会議に採択されており、その新規性および学術的意義は既に第三者によって高く評価されている。これらを総合的に勘案すると、本論文は博士（情報科学）の学位論文として十分に価値あるものと認められる。