

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Non-Intrusive Hand Trajectory Estimation Framework Utilizing Channel State Information of commodity Wi-Fi devices
著者(和文)	KeerativorananNopphon
Author(English)	Nopphon Keerativoranan
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11630号, 授与年月日:2020年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:高田 潤一,高橋 邦夫,山下 幸彦,秋田 大輔,青柳 貴洋,齋藤 健太郎
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11630号, Conferred date:2020/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		Nopphon Keerativoranan	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	高田 潤一	教授	審査員	青柳 貴洋	准教授
	審査員	高橋 邦夫	教授		齋藤 健太郎	助教
		山下 幸彦	准教授			
		秋田 大輔	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、“Non-Intrusive Hand Trajectory Estimation Framework Utilizing Channel State Information of commodity Wi-Fi devices”と題し、英文 7 章からなる。

第 1 章 “Introduction” では、カメラを用いて実用化されている現行のモーションセンサは非接触で人体の動きを捕捉できる一方、見通しの遮蔽やプライバシーの侵害などが課題であるとして、これらの課題を克服できる電磁波を用いたモーションセンサの実現が望まれると述べている。特に手の動作を非接触で推定できれば、ヒューマンコンピュータインタラクション(HCI)用デバイスとしても有望であるとし、本研究の目的を、汎用無線 LAN の通信路情報(CSI)の時間変化を用いた手の動きの軌跡の推定技術の実現にあると述べている。

第 2 章 “Overview of Wi-Fi CSI based Motion Sensing Technology” では汎用無線 LAN の CSI を用いたモーションセンサ技術について概観している。直交周波数分割多重方式(OFDM)信号を用いた無線 LAN の CSI に適用可能な方式として、距離と速度を同時に推定する OFDM レーダ方式を説明し、特に動きの推定には CSI のマイクロドプラ変動を用いることができるとしている。また、既存の CSI を用いたモーションセンサの研究について概観している。

第 3 章 “Mitigation of Undesired Phase Rotation in Measurement CSI” では、汎用無線 LAN 装置を用いて CSI 測定する場合に、送信機と受信機の局部発振器が同期しておらず CSI に位相回転が生じてドプラ変動と区別できない問題を指摘し、無線 LAN で使用されている多入力多出力(MIMO)技術を応用して同期信号を 1 チャネルに割り当てる方法を提案し、送受信機の位相同期が実現されドプラ変動の取得が可能となることを、ベクトルネットワークアナライザとの比較測定により明らかにしている。

第 4 章 “Simulated Time-Variant CSI Model of Hand Gesture” では、再現性を担保することが難しい手の動きによる CSI 変化を電磁界シミュレーションにより模擬する方法を提案している。ロボットアームに用いられる上腕のモデルを用いて手の動きを再現するとともに、手によって生じる電磁波散乱を物理光学近似(PO)によりシミュレーションすることで、マイクロドプラ変動を含む動的な CSI 変化をモデル化することに成功している。さらにこの過程で新しい PO の実装方法として、ソリッドモデルへの適用が容易な円形メッシュモデルを提案し、その計算精度についても既存の手法と比較して遜色ないことを確認している。

第 5 章 “Temporal Profile Extraction of Hand Doppler Signature” では、上腕の動きによって生じるマイクロドプラ変動の特性について詳細に検討している。短時間フーリエ変換によりスペクトログラムを取得し、ドプラ周波数のもっとも高い成分が手の動きに対応することを確認した上で、手の動きだけをピーク検出に基づく手法で取り出すアルゴリズムを開発し、既存の CSI を用いた手法に比べ、実際の手の動きと抽出されたドプラ周波数の間の誤差が大きく改善されていることを明らかにしている。

第 6 章 “Utilizing Doppler Frequency for Hand Motion Trajectory Tracking” では、MIMO 技術を用いたマルチスタティックレーダの理論に基づき、ドプラ周波数の時変動を用いて手の位置と速度の再帰計算を行う軌跡推定方式を提案している。再帰計算による軌跡の誤差変動を軽減するためにカルマンフィルタ(KF)を使用し、軌跡全体の誤差を最小とするように初期位置を決定している。提案手法をシミュレーション及び汎用無線 LAN 装置を用いた測定により検証した結果、いずれの場合についても軌跡の形状をよく再現できること、一方で初期位置についてはあまり正確に推定できないが、値が不正確でも軌跡の形状にはあまり影響しないことを明らかにし、本論文で提案した手法が手の動きの軌跡の推定に有効であると述べている。

第 7 章 “Conclusion” では本論文の成果をまとめるとともに、本研究成果の応用範囲について述べている。以上を要するに、本論文は、汎用無線 LAN 装置により測定された CSI の変化から手の動きの軌跡を推定する方法を明らかにして、新たな非接触型モーションセンサの実現に先鞭をつけたものであり、工学上並びに工業上寄与するところが大きい。よって本論文が博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認める。