

氏 名	ささかわ だい 笹川 大
本籍（国籍）	岩手県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博 第295号
学位授与年月日	平成31年3月22日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当 課程博士
研究科及び専攻	工学研究科電気電子・情報システム工学専攻
学位論文 題目	マイクロ波を用いたヒトセンシングに関する研究
学位審査委員	主査 教授 本間 尚樹 副査 教授 恒川 佳隆 副査 教授 小林 宏一郎 副査 教授 菊間 信良

論文内容の要旨

近年の高齢化社会の進展および安全・安心への関心の高まりを受け、ヒトセンシングによる快適かつ安全な生活の実現への期待が高まっている。ヒトセンシングの技術も多岐にわたるが、近年の無線機器の発達や普及により非通信用途の無線技術によって生体計測を行う研究が盛んに行われている。また、ヒトセンシングにおいて観測の対象となる要素は多岐にわたるが、見守りやセキュリティの重要な要素としてヒトの位置や状態・行動を推定する手法が報告されている。報告されている技術は受信信号強度や広帯域レーダを使用するものが提案されているが、前者は1 m オーダーの誤差があること、後者は周波数リソースを多く使うため実用化は難しいという問題があった。

本研究では、MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) アンテナで観測したマイクロ波の伝搬チャネルに生体を与える影響を観測することによって生体の位置を推定する手法を提案する。また、この推定した生体位置に加えて生体変動成分に対応する Doppler RCS (Radar Cross Section: 散乱断面積) を計算し、それらの関係によって生体の状態・行動を推定する手法を提案し、これらの手法について実験により精度評価を行う。また、生体は身体の高さや形状およびバイタルサインのクセによって伝搬チャネルに与える影響に個人差があるため、それらを特徴として使用することによって個人識別する手法を提案し、実験によりマイクロ波を用いた生体認証が可能であることを実証している。

第1章「序論」は研究の背景としてヒトセンシングの需要増加と電波および電波以外のセンシング技術について述べ、本研究の位置づけと目的について述べている。

第 2 章「時間差分チャネルを用いた高速生体位置推定法」は本研究の基本となる MIMO センサの概念と MIMO レーダにおける信号について述べた後、MIMO アレーアンテナを用いた生体位置推定アルゴリズムを説明する。各実験環境における精度評価を行い、本アルゴリズムの有効性について検討している。

第 3 章「生体の推定高さ と Doppler RCS を用いた生体状態識別法」は MIMO レーダを用いた推定する生体の高さ と Doppler RCS を用いた生体状態識別法を提案する。第 2 章で提案するアルゴリズムを 2 次元アレーに拡張した MIMO レーダにより生体の位置を 3 次元で推定する。また、生体の変動成分から計算した Doppler RCS が生体の状態によって異なることを用い、推定された生体の高さおよび Doppler RCS の分布から生体の状態を識別する手法を提案する。提案手法について述べた後、実験により提案法が生体状態推定に有効であることが述べられている。

第 4 章「生体の推定高さ と Doppler RCS の軌跡を用いた生体行動識別法」は推定した生体の高さおよび Doppler RCS を用いた生体行動識別法について述べる。第 2 章の生体位置推定法や第 3 章の生体状態識別法は静止した状態の対象のみの検討に留まっており、転倒のような行動を推定することができないという問題があった。第 4 章では、第 3 章で用いた推定された生体の高さおよび Doppler RCS が生体の行動時に描く軌跡に対し軌跡認識アルゴリズムを適用し、教師データとなる行動と比較することによって生体の行動を識別する手法を提案する。提案法である推定された生体の高さおよび Doppler RCS に軌跡認識アルゴリズムを適用する方法について述べた後、行動の前後における生体の状態から行動識別に補正をかけ精度を向上させる手法について述べる。さらに、実験により提案法が生体の行動識別に有効であることを示している。

第 5 章「MIMO アレーを用いた個人識別法」は MIMO アレーを用いた生体識別法について述べる。生体は身体の形状・大きさやバイタルサインの個人差によって電波伝搬チャネルに与える影響に差異が現れる。提案法は、生体の周囲に配置した MIMO アンテナを用いることで身体の形状による空間的特徴を観測し、伝搬チャネルの時変動を観測することでバイタルサインによる時間的特徴を観測する。これらの MIMO チャネルの空間・時間的特徴を使用し、あらかじめ取得した教師データと識別用データの相関を計算し、最大値をとった登録者と識別する。また、他人のなりすましを防ぐため識別に用いる相関に閾値を設けることで誤識別を除外する手法を提案する。実験により提案手法が高い識別精度であることや、他者のなりすましによる誤認識に強いことを示している。

第 6 章「結論」では本研究の内容をまとめるとともに、本技術に関わる展望について述べている。

論文審査結果の要旨

本論文は、学位申請者が行ってきたマイクロ波を用いたヒトセンシングに関する一連の研究をまとめたものである。高齢者人口の増加に伴い、見守りシステムの需要が高まっている。また、日常の生活においても、ヒトセンシングにより情報を集め、快適かつ安全な生活を達成することへの期待が高まっている。ヒトセンシングの技術も多岐にわたるが、近年の無線機器の発達や普及により非通信用途の無線技術によって生体計測を行う研究が盛んに行われている。電波によるヒトセンシングの用途としては特に、見守りやセキュリティ応用が期待されており、ヒトの位置だけではなく状態や行動を推定する手法が報告されている。また、個人を識別することは見守りやセキュリティの精度を向上させる手段として非常に有効である。本論文では、電波のなかでも特に、マイクロ波を用いた単一周波数の時変動チャネルの測定による生体の高速な位置推定アルゴリズムの提案を行っている。また、同アルゴリズムを使用し、2次元アレーアンテナで取得した時変動チャネルから生体の状態や行動を識別する手法について述べている。また、生体の電波伝搬に与える影響の個人差を測定し、個人識別を行う手法について述べている。

第1章では研究背景と目的について説明されている。

第2章では、屋内環境における高速な生体位置推定を行うことを目的とし、本研究の基本となる MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) センサの概念と伝搬チャネルについて述べた後、時間差分チャネルを用いた高速生体位置推定法を提案している。同手法は時変動チャネルを生体の変動周期に対応する時間で差分をとることにより、時間的に変動しない不要な波を除外し、かつ短い観測時間で複数の対象位置を推定可能である。屋内環境にて行った実験で、従来法である高速フーリエ変換と比較評価を行っており、提案法が高速な生体位置推定に有効であることを明らかとしている。

第3章では、静止時の生体の状態を識別することを目的とし、MIMO アレーを用いた生体状態識別法を提案している。提案法は、2次元アレーアンテナで測定した時変動チャネルに第2章のアルゴリズムを適用することによって3次元的に生体の位置を推定している。その後、生体の方向に強調した受信信号と推定座標から生体変動成分の反射断面積 (Doppler RCS) を計算し、生体の高さ と Doppler RCS の分布から生体の状態を識別する手法である。屋内環境にて行われた実験により、直立、椅子座位、安座、仰臥の4状態の識別により提案法の評価を行っている。はじめに各状態の3次元位置推定精度の評価を行い、全状態の水平面における位置推定の平均二乗誤差が0.25 m以内であることを確認している。同時に、状態によって推定される生体の高さが異なることも明らかとしている。その後、生体状態識別精度の評価を行い、実験を行った4状態を平均95.0%と高精度に識別可能であることを明らかとしている。

第4章では、生体の行動識別を行うことを目的とし、第3章で使用した3次元位置推定結果および Doppler RCS の軌跡に対し軌跡認識アルゴリズムを用いた行動識別法の提案、および行動前後の状態遷移を考慮した行動識別の精度向上法について提案している。同手法は、MIMO アレーを用いて推定される Doppler RCS と生体の推定された高さによって描かれる軌跡をコード化し、軌跡認識アルゴリズムを適用することによる行動識別法を提案している。また、行動前後の状態を考慮することにより行動識別率を向上する手法を述べている。屋内家屋の2階を使用した伝搬チャネル測定実験により、6行動の識別率評価が行われている。提案法により、平均識別率が94.8%と高い確率で生体の行動を識別可能であることを明らかにしている。

第5章では、MIMO アレーを用いた個人識別法を提案し、実験により提案法の識別精度の評価を行っている。提案手法は、生体周囲に配置したアンテナによりヒトの身体の形状による空間的な特徴およびバイタルサインの時間的な特徴を観測し、データベースとの相関により識別を行っている。8人の登録者と4人の非登録者を想定した実験により、8x8 MIMO 構成で識別チャネルを5回以上測定することによって誤識別率0%を達成している。本検討により、マイクロ波で観測したヒトの空間・時間的特徴を利用した高精度な個人識別を実現している点を高く評価できる。

第6章は結論であり、今後の課題についても述べている。

以上のように、本論文は、マイクロ波を用いたヒトセンシングとして、位置推定、状態・行動識別、個人識別法について新たな手法を提案しており、実験評価により従来手法を超える良好な性能が得られることを明らかにしている。本研究では電波を用いたヒトセンシング手法として新たな技術分野を開拓しており、得られた知見はセンシング技術の発展に大きく貢献するものである。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。

原著論文名（1編を記載）

題 目 Fast Living-Body Localization Algorithm for MIMO
Radar in Multi-path Environment

著者名（全員） 笹川大，本間尚樹，中山武司，飯塚翔一

学術雑誌等名 IEEE Transactions on Antennas and Propagation
（巻，号，ページ） Vol. 66, No.12, pp.7273 – 7281.

発行年月 2018年 12月

Date of Publication: 17 Sep. 2018.