

氏名	しらき のぶゆき 白木 信之
本籍（国籍）	北海道
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	理工博 第4号
学位授与年月日	令和4年3月23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	理工学研究科システム創成工学専攻
学位論文 題目	複数局協調型レーダを用いた生体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

論文内容の要旨

近年、高齢者数の増加に伴う見守りシステムの需要が増加しており、一人暮らしの高齢者の安否確認や高齢者施設での介護負担軽減のための行動把握等への使用が期待されている。見守りシステムにはカメラや赤外線を用いた手法が使われているがプライバシーの観点から浴室やトイレ等に使用することは難しい。そこで、近年ではプライバシー問題を軽減させるため電波を用いた生体センシングに関する研究が盛んに行われている。生体センシングの一例として生体測位法が挙げられ、見守りシステムや高齢者施設での運用を考慮すると同時多人数かつリアルタイムな測位が求められる。これまでの報告では、複数送受信局配置による測位精度の向上法や未来データ予測によるリアルタイムな位置追従法が提案されているが、前者は3名までの測位に留まっており、後者は数秒の遅延を生じる問題がある。

本研究では、複数の送受信局に MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) アンテナを搭載した複数局協調型 MIMO レーダを用いて多人数測位精度の評価を行う。複数送受信局の配置の違いや対象とアンテナとの距離による影響を実験により評価する。また、生体が移動する場合には連測的に測位を行うことで対象の位置追従が可能となるが、測定時間内に移動した中心位置に推定される問題があった。そこで、チャンネル時間応答の線形予測と対象の移動速度を組み合わせたリアルタイムな位置追従手法を提案し、シミュレーションおよび実験により評価を行う。

本論文は6章から構成され、各章についての概要を以下にまとめる。

第1章は序論であり、本論文の背景、目的、概要を述べる。まず、本論文の背

景として生体センシングの需要について述べる。次に、カメラや赤外線等，生体センシングに使用されている技術について述べ，従来技術と比較し電波を用いた生体センシングの有用性を示す。最後に，電波を用いた生体センシングの従来技術の問題点を示し，本研究の目的と概要を述べる。

第 2 章では，複数局協調型 MIMO レーダを用いた多人数測位法について述べる。まず，伝搬チャンネルのモデルについて説明し，呼吸や心拍等の生体由来の成分から到来波方向推定法の 1 つである MUSIC (Multiple Signal Classification) 法を用いた生体測位法について説明する。その後，複数送受信局の合成方法について述べ，送受信局の配置の違いによる測位結果をシミュレーションにより評価する。最後に，1~8 名存在する環境においてシミュレーションおよび実験により多人数測位精度の評価を行う。

第 3 章では，距離重みづけ関数を用いた生体測位法について述べる。MIMO レーダには生体がアンテナから離れるほど測位精度が劣化する問題があった。そこで，生体と送受信局の距離を関数として重みづけを行う。まず，距離重みづけ関数を用いた生体測位法の原理について述べ，実験により測位精度の評価を行う。

第 4 章では，固有ベクトル重みづけ関数を用いた生体測位法について述べる。従来の生体測位法では，事前に人数が既知である必要があった。しかし従来の人数推定法では，3 名時の推定成功率は 75%程度であり，4 回に 1 回は全対象の位置推定が困難となる。そこで，ノイズ由来のピークは生体位置のピークに対して小さい値をとることに着目し，最小人数から最大人数までの MUSIC スペクトラムを算出し，合成する手法について述べる。最後に，実験により人数が未知の場合であっても高精度に位置が推定可能であることを示す。

第 5 章では，チャンネル時間応答線形予測と移動速度を考慮した生体位置追従法について述べる。第 2~4 章では観測対象が静止している場合の検討を行ったが，実環境では生体は移動するため移動対象の位置追従を行う必要がある。連続的に対象の位置を推定することで位置の追従が可能であるが，測定時間内に対象が等速で移動する場合，移動経路の中間位置に推定されるため実際の位置との誤差を生じる。また，未来のデータを線形的に予測することで測位誤差を低減させる手法が提案されているが数秒間の遅延を生じる。そこで，実際の位置と推定位置との誤差を補正するためにチャンネル時間応答の線形予測に加え，対象の移動速度を考慮した生体位置追従法を提案する。提案法について述べた後，シミュレーションにより位置追従精度評価を行う。最後に，実験室において 8 パターンのルートを歩行する実験によりリアルタイムな位置追従が可能であることを明らかにする。

第 6 章は本論文のまとめである。

論文審査結果の要旨

本論文は、学位申請者が行ってきた位相可変無給電アレーアンテナを用いた無線通信品質制御法に関する一連の研究をまとめたものである。

近年、高齢者数の増加に伴う見守りシステムの需要が増加しており、一人暮らしの高齢者の安否確認や高齢者施設での介護負担軽減のための行動把握等への使用が期待されている。特に、プライバシーの観点から電波を用いた生体センシングに関する研究が盛んに行われている。生体センシングの一例として生体測位法が挙げられ、見守りシステムや高齢者施設での運用を考慮すると同時多人数かつリアルタイムな測位が求められる。これまでの報告では、複数送受信局配置による測位精度の向上法や未来データ予測によるリアルタイムな位置追従法が提案されているが、前者は少人数での測位に留まっており、後者は数秒の遅延を生じる問題がある。

本研究では、複数の送受信局に MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) アンテナを搭載した複数局協調型 MIMO レーダを用いて多人数測位精度の評価を行う。複数送受信局の配置の違いや対象とアンテナとの距離による影響を実験により評価した。また、生体が移動する場合には連測的に測位を行うことで対象の位置追従が可能となるが、測定時間内に移動した中心位置に推定される問題があった。そこで、チャンネル時間応答の線形予測と対象の移動速度を組み合わせたリアルタイムな位置追従手法を提案し、シミュレーションおよび実験により評価を行った。

本論文は 6 章から構成され、各章についての概要を以下にまとめる。

第 1 章は序論であり、本論文の背景、目的、概要を述べている。まず、本論文の背景として生体センシングの需要について述べている。次に、カメラや赤外線等、生体センシングに使用されている技術について述べ、従来技術と比較し電波を用いた生体センシングの有用性を示している。これらに基づき、電波を用いた生体センシングの従来技術の問題点を示し、本研究の目的と概要を述べている。

第 2 章では、複数局協調型 MIMO レーダを用いた多人数測位法について述べている。まず、伝搬チャンネルのモデルについて説明し、呼吸や心拍等の生体由来の成分から到来波方向推定法の 1 つである MUSIC (Multiple Signal Classification) 法を用いた生体測位法について説明している。その後、複数送受信局の合成方法について述べ、送受信局の配置の違いによる測位結果をシミュレーションにより評価している。最後に、1~8 名存在する環境においてシミュレーションおよび実験により多人数測位精度の評価を行っている。

第 3 章では、距離重みづけ関数を用いた生体測位法について述べている。MIMO レーダには生体がアンテナから離れるほど測位精度が劣化する問題があった。そこで、生体と送受信局の距離を関数として重みづけを行う。まず、距離重みづけ関数を用いた生体測位法の原理について述べ、実験により測位精度の評価を行っている。

第 4 章では、固有ベクトル重みづけ関数を用いた生体測位法について述べている。従来の生態測位法では、事前に人数情報が必要であり、少人数の検出に留まってい

た。そこで、MUSIC 法を改良し事前の波数情報を用いずにスペクトラムを算出する手法を提案している。最後に、実験により人数が未知の場合であっても高精度に位置が推定可能であることを示している。

第5章では、チャンネル時間応答線形予測と移動速度を考慮した生体位置追従法について述べている。連続的に対象の位置を推定することで位置の追従が可能であるが、測定時間内に対象が等速で移動する場合、移動経路の中間位置に推定されるため実際の位置との誤差を生じる。また、未来のデータを線形的に予測することで測位誤差を低減させる手法が提案されているが数秒間の遅延を生じる。そこで、実際の位置と推定位置との誤差を補正するためにチャンネル時間応答の線形予測に加え、対象の移動速度を考慮した生体位置追従法を提案している。シミュレーションおよび実験により、様々なルートを歩行するターゲットに対してリアルタイムに位置追従が可能であることを明らかとしている。

第6章は結論であり、本学位論文の内容をまとめ、総括されている。

以上のように、本論文は、複数局協調型レーダを用いた生体センシングに関する原理について多角的に考察を行っており、実験および数値解析により良好なセンシング特性を実現できることを明らかにしている。本研究では空間軸と時間軸を融合したセンシング手法という新たな技術分野を開拓しており、得られた知見は今後の電子・通信システム工学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）

□ □ Estimation Method of the Number of Targets Using Cooperative Multi-Static MIMO Radar

□ □ □ (□ □) □ □ □ □ , □ □ □ □ , □ □ □ □ □ , □ □ □ □ , □ □ □ □

□ □ □ □ □ □ IEICE Transactions on Communications

(□ , □ , ページ) Vol. E104-B, No. 12, pp. 1539-1546

□ □ □ □ 2021 □ 12 □