

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 後藤 征士郎

本論文は、「Higher-order tensor independent component analysis: General framework construction and development of application systems for MIMO remote sensing of vital signs (高階テンソル独立成分分析：一般化枠組みの構築と生体信号の MIMO リモートセンシングのための応用システムの構築)」と題し、高階テンソル独立成分分析(HOT-ICA)と名付けた新しい独立成分分析(ICA)の手法を提案するとともに、それに基づき複数の対象信号の分離を行い呼吸と心拍を頑健に検出するマイクロ波多入力多出力(MIMO)レーダシステムを構築したことを述べている。HOT-ICA は、情報の独立性だけでなく計測の物理状況を有効に利用することで、分離テンソルの自己組織化において高い頑健性を実現する。そして数値実験および実伝搬実験を行い、これまで困難であった障害物の影響を受ける環境においても、生体信号を効果的に分離できることを示している。本論文は、英文で書かれ全 6 章からなる。

第 1 章は「Introduction」であり、HOT-ICA とレーダシステムの概要、および HOT-ICA により実現される対象位置推定や、偏波を用いた HOT-ICA のさらなる応用について述べるとともに、本論文の構成を述べている。

第 2 章は「Background」と題し、まずこれまでの非接触測定に関する研究について紹介し、そして MIMO アンテナ構成を用いた電波による呼吸心拍測定について例をあげる。障害物や複数のターゲットが存在する環境では、ターゲット信号を他のターゲットやノイズから分離する必要がある。そこで例としてビームフォーミングを用いた信号分離実験を紹介している。加えて、強力な信号源分離手法として周波数領域におけるオンライン ICA や多重線形 ICA (MICA)などの従来手法にも触れている。また、本論文の目的を述べている。

第 3 章は「Higher-order tensor independent component analysis」と題し、まず ICA の理論について、特に白色化と独立性最大化という二つの課題について説明している。そして従来手法であるオンライン複素数周波数領域 ICA と MICA を説明している。そして HOT-ICA を提案し、その理論を構築している。HOT-ICA は計測環境の物理を反映させた高階テンソルデータを用いそれを活かす方式を採ることにより、頑健性の高い信号分離をオンラインで実現する。また HOT-ICA では効果的な自己組織化感度調整を実現しており、自己組織化の更新重みを物理チャネルごとに分解して自動で感度調整を行える。従来法と提案

手法の比較実験を行い、HOT-ICA の有効性を示している。

第 4 章は「Target location estimation based on higher-order tensor independent component analysis」と題し、HOT-ICA に基づく到来方向推定および対象位置推定の手法を提案し、実験によりその高い性能を実証している。従来行われてきた到来方向推定手法は、所望信号のレプリカや信号の到来方向に関する事前知識を必要とする。しかし、本シナリオではこれまでの信号源分離と同様に、所望信号の到来方向を事前知識なしで推定しなければならない。HOT-ICA ではチャンネル情報を含む分離テンソルの要素と分離結果を用いて、混合信号がどの送受信アンテナを用い、どのターゲットで後方散乱したかを推定できる。ビームフォーミング同様、位相の情報から距離を算出し、幾何的にターゲットへの方向角を求めることができる。方向角への直線を複数用い交点を得ることでターゲットの位置を推定できる。それにより、HOT-ICA による信号分離後のスペクトルに現れるピーク信号がどのターゲットのものなのかを特定することができることを示し、実験によってその性能を評価している。

第 5 章は「Quaternion higher-order tensor independent component analysis for dealing with polarization information」と題し、偏波情報を用いた四元数 HOT-ICA (QHOT-ICA) を提案し、その性能とポアンカレ球上に現れる偏波情報について考察を述べている。HOT-ICA により信号源分離を行い、そこで分離されたピーク信号を散乱波として扱い、ストークスベクトルを求める。フェーザクォータニオンの枠組みで、クォータニオン部について解析を行う。HOT-ICA により分離されたピーク信号がどのターゲットのものなのか特定したいときに、そのピーク信号を用いた偏波情報からどのターゲットの体型、身体の動きなのかを特定できることを、ポアンカレ球表現で定性的に示した。また実験によりポアンカレ球上に現れたそれぞれのターゲット固有の偏波情報について考察している。

第 6 章は「Conclusions」と題し、本論文をまとめている。

以上、これを要するに、本論文は高階テンソル独立成分分析(HOT-ICA)と名付けた新しい独立成分分析の手法を提案し、分離テンソルの自己組織化において高い頑健性を実現する理論的枠組みを構築するとともに、それに基づき呼吸と心拍を検出する MIMO レーダシステムを構築してその有用性を実証し、加えて対象位置推定および偏波情報利用の新手法を提案してそれらの性能を議論したものであり、バイオエンジニアリングへの貢献が少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。