

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Improved Robustness for Brain Activity Decoding Based on Information Theoretic Learning
著者(和文)	LIYuanhao
Author(English)	Yuanhao Li
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12603号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小池 康晴,吉村 奈津江,金子 寛彦,SLAVAKIS KONSTANTINO,八木 透,小尾 高史
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12603号, Conferred date:2023/9/22, 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

(博士課程)

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	LI Yuanhao	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	小池 康晴	教授	八木 透	教授
	審査員	吉村 奈津江	教授	小尾 高史	准教授
		金子 寛彦	教授		
	スラヴァキス コンスタンティノス	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、脳計測ノイズの問題を解決するために、目的関数の観点からロバストな機械学習アルゴリズムを提案し、脳活動のデコーディング性能の向上を目指しており、「Improved Robustness for Brain Activity Decoding Based on Information Theoretic Learning(情報理論学習に基づく脳活動復号化のロバスト性の向上)」と題し英文6章から構成されている。

第1章「Introduction (序論)」では、従来の機械学習の学習規準が、既存の計測手法から得られる脳記録に内在する非ガウスノイズや外れ値によって著しく劣化する可能性があるという問題があることを指摘し、脳計測ノイズの問題を解決するために、目的関数の観点からロバストな機械学習アルゴリズムを提案し、より優れた脳活動デコーディング性能を実現することが本論文の目的であると述べている。

第2章「Technical Background (技術的背景)」では、脳活動デコーディングのための基本的な機械学習技術について概説している。はじめに、誤差エントロピー、コレントロピー、相互情報量などの情報理論記述子を機械学習の目的関数に利用する情報理論学習(ITL: Information Theoretic Learning)を用いた研究を紹介している。そして、分類、回帰、特徴選択など多くの機械学習タスクにおいてロバストなモデルを構築するために利用されている、最小誤差エントロピー(MEE: Minimum Error Entropy)と最大コレントロピー基準(MCC: Maximum Correntropy Criterion)について紹介している。

第3章「Restricted Minimum Error Entropy Criterion (制限付き最小誤差エントロピー基準)」では、分類課題に対するMEEの詳細な議論を行い、MEEの特殊なケースであるロバストな分類のための新しい学習基準を提案している。MEEの計算量を低減させるために提案された量子化MEE(QMEE: quantized MEE)は、ノイズの様式に性能が依存していることを実験的に確認している。このことから、脳活動計測におけるノイズの分布を調べ、QMEEの特殊な場合として、あらかじめ設定したパラメータを用いた制限付き最小誤差エントロピー基準(RMEE: Restricted MEE)を提案し、実験的にその性能を確認している。

第4章「Partial Maximum Correntropy Regression (部分最大コレントロピー回帰)」では、高次元のケースに焦点を当て、部分空間の次元削減のための一般的なアプローチである部分最小二乗法(PLS: partial least square)を、ロバストな実装のためにMCCに基づいて包括的に再定式化し、部分最大コレントロピー回帰(PMCR: Partial Maximum Correntropy Regression)を提案している。そして、提案するPMCRアルゴリズムについて、その最適化、収束解析、ハイパーパラメータの決定について議論すると共に、ノイズの多い脳活動データのデコーディングで従来の手法よりも良い予測性能を示すことを実験的に検証している。

第5章「Correntropy-Based Automatic Relevance Determination (コレントロピーに基づく自動関連性判定)」では、脳情報デコーディングにおける効果的な特徴選択を実現するロバスト性を向上させるために、スパースベイズ学習の枠組みでMCCを採用することが有効であると述べている。MCCはノイズの多いデータ解析に非常に有効であり、L1正則化や他の正則化項と統合したロバストなスパース学習にも利用されているが、正則化ハイパーパラメータを慎重に調整する必要があることを指摘している。そこで、階層的スパース事前分布であり、特徴選択のためのラプラシアン事前分布よりも適切であることが証明されている自動関連性決定(ARD)手法を利用することで、正則化パラメータを手動で調整する必要がない新しい手法を提案している。また、脳波やMRIなどのデータに対して提案手法を適応することで、従来よりも良い性能を示すことを実験的に確かめている。

第6章「Conclusion and Future Works (結論と今後の課題)」では、本論文をまとめるとともに、その意義と今後の展望について述べている。

以上を要するに、本論文は、脳計測ノイズの問題を解決するために、目的関数の観点からロバストな機械学習アルゴリズムを提案し、脳活動のデコーディング性能の向上を示したもので、学術上貢献するところが大きい。よって博士（学術）の学位論文として十分価値のあるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。