

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	予測誤差デコーディングに基づく汎用性のあるブレインコンピュータ インターフェイス技術之探究
Title(English)	Investigation of universal brain-computer interface technology utilizing prediction error decoding
著者(和文)	SHIYuxi
Author(English)	Yuxi Shi
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12602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,中本 高道,金子 寛彦,葭田 貴子,永井 岳大
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12602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		施 宇曦	
		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
論文審査 審査員	主査	小池 康晴	教授	審査員	永井 岳大	准教授	
	審査員	中本 高道	教授				
		金子 寛彦	教授				
		葭田 貴子	准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、誰もが特別なトレーニングを行わなくても多自由度の制御が実現できるブレインコンピュータインタフェース (BCI : Brain Computer Interface) の開発を目標とし、「Investigation of universal brain-computer interface technology utilizing predictive error decoding」と題し英文5章から構成されている。

第1章「Introduction and Overview (序論と概要)」では、BCIの役割、これまでの研究など、BCIに関連する背景とデコーディング手法、また、脳の運動制御に関する知見や、BCIで利用する脳波 (EEG : Electroencephalography) について概説している。さらに、現在の研究における基本的なデコーディングにおける問題点と、本研究で用いている予測誤差について概説している。まず、運動想起を用いたのBCIにおける問題点と、内部モデルにおける予測誤差生成の原理について説明している。既存のGVS誘発予測誤差復号化技術の問題点を指摘し、予測誤差を誘発するための感覚刺激として直流前庭電気刺激 (GVS) を多自由度の動きに適応しチャンネル最適化手法の提案を行うことで、誰もが利用可能なBCIを構築することが本研究の目的だと述べている。

第2章「Common Materials and Methods (共通の材料と方法)」では、すべての実験で使用した実験装置、実装方法、スパース・ロジスティック回帰 (SLR : Sparse Logistic Regression) 分類アルゴリズム、EEGのデータ処理、およびデコーディングの性能評価方法について述べている。

第3章「Investigation of Prediction Error Decoding for Planar Multi-Degree-of-Freedom Control (水平面多自由度制御における予測誤差復号化の検討)」では、運動想起中のGVSによって誘発される予測誤差について検討を行い、多自由度の制御に必要な刺激提示手法の検討を行なっている。左右と前後の運動感覚を生起させるためのGVSの刺激パターンについて検討を行い、4チャンネルのGVSにより、左右だけでなく、前後の運動を誘発することができたと述べている。また、左右の運動を誘発する刺激に関しては、異なる二つの刺激方法を比較し、予測誤差によるデコーディング結果が良い刺激パターンを特定している。また、GVSの刺激強度に関しても検討を行い、実験参加者が気がつかないレベルの刺激であっても予測誤差によるデコーディングができることを実験的に明らかにしている。さらに、左右方向と前後方向の二つのデコーダの組み合わせについても検討を行い、短時間に精度良く方向を特定できるアルゴリズムを提案し、推定制度の評価を行なっている。

第4章「Channel Optimization Technique for Universal BCI (ユニバーサルBCIのためのチャンネル最適化手法)」では、デコーディング処理に含まれる重みの数に基づいてチャンネルを最適化する、SLRベースのチャンネル最適化アルゴリズム (SLRCO : sparse logistic regression-based EEG channel optimization algorithm) を提案している。相関係数に基づくチャンネル選択法 (CCS) と比較し、冗長なチャンネルを大幅に削減し、参加者全体に対して少ない電極で識別が可能であることを示している。さらに、第3章で用いたデータとは異なるデータにおいても、提案手法が、少ないチャンネル数でより良い結果を得られることを確認している。個人内だけでなく、グループデータに対しても少ない数のチャンネル数で良い精度を示していることから、実験参加者ごとに電極位置を調整することなく、高い精度で識別できると述べている。

第5章「Conclusion and Future Work (結論と今後の課題)」では、本論文をまとめるとともに、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、運動想起を利用したBCIの精度向上のため、トレーニングを行うことなく識別が可能な予測誤差を利用した多自由度のシステムを提案し、実験参加者ごとに調整が必要がない電極位置を推定するアルゴリズムを提案するもので、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、東工大リサーチリポジトリ(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。