

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 徐 雅明

本論文は、視覚刺激と脳波計測に基づく計算機への英字入力を目的とした Brain-computer interface (BCI) の研究において、視覚刺激の最適化とそれに基づくインタフェースの提案、および脳波解析に有効な分析手法について提案するものである。まず、ディスプレイによる視覚刺激の最適パラメータについて検討し、それに基づく多段レイヤー視覚刺激インタフェースを提案し、入力速度の向上を確認した。また、計測した脳波解析手法において、ノイズのガウス分布と信号の重なりを統計的に考慮した安定性の高い手法を提案した。提案手法は、学習信号を時系列に分割して統計をとり、入力信号の解析時には学習信号を再構成して比較し判定する。一般的な脳波解析手法と比較し、有効性を示した。さらに、脳波解析手法にベイズ推定に基づく入力文字予測機構を実装し、BCI システムの性能を向上させた。

第 1 章では、本論文の背景と導入について述べている。BCI 技術を必要とする分野、BCI の歴史と基礎、および最新のトピックを紹介している。

第 2 章では、BCI における脳波信号解析について述べている。事象関連電位 (event related potential (ERP)) の紹介から始まり、本研究の目的には ERP として視覚刺激による P300 と N200 が妥当であること、およびそれらを用いた従来手法とそれらの課題について述べている。

第 3 章では、視覚刺激のための新しい手法として、 3×3 matrix を 2 つのレイヤーで表現することで英字入力に必要な 64 文字を表現した two-level predictive (TLP) matrix 法を提案している。ディスプレイを用いた視覚刺激に関する物理パラメータが視覚刺激の大きさと刺激間の距離であることを整理し、それらの最適値について検討するとともに、その結果に基づく 3×3 matrix paradigm を提案している。通常の 8×8 matrix paradigm と同じ情報伝達の自由度を持ちつつ、 3×3 matrix paradigm を実現するために、two-level layered strategy に基づく TLP matrix 法を提案している。実験により、本手法が視覚

刺激と脳波解析による文字入力において優位であることを示している。

第4章では、ERPの解析手法について述べている。キャリブレーションにかかる時間を無視した場合の理想的な脳波信号解析では全ての刺激パターンである $9 * 9!$ のパターンをユーザに呈示して脳波信号をサンプリングすることになるが、これには1サンプリングあたり0.25秒で計算しても7.56日必要であり、現実的でない。また、BCIにおいて使われている信号解析手法である正規化相関(NCC), linear discriminant analysis (LDA), あるいは support vector machine (SVM) などに基づく手法は、キャリブレーションおよび脳波信号計測時における信号の重なりを考慮しておらず、必ずしも計測信号に含まれる情報を有効活用していない。提案手法では、ノイズをガウス分布と仮定し、また信号の重なりを統計的に考慮し、キャリブレーション時の信号を刺激のタイミングで分割して学習させ、また信号解析時には学習データの重なりを統計的に考慮しながら推定を行う。これにより、キャリブレーションに必要なパターンを9まで減らし脳波解析において現実的な手法のひとつであることを示すとともに、NCC, LDA および SVM に基づく従来法と比較してもより安定に脳波を解析できることを確認している。また、提案手法とそれに加えて入力文字推定アルゴリズムをBCIシステムに実装し、現実的な環境下での動作を確認した。

以上をまとめると、本研究では、最適化結果に基づいた視覚刺激インタフェースである TLP matrix 法を提案し、その有効性を示した。また、脳波信号キャリブレーションおよび解析において、ノイズのガウス分布と信号の重なりを統計的に考慮した手法を提案し、従来の NCC, LDA および SVM に基づく手法と比べて高い識別精度と安定性を誇ることを確認した。また、これらの手法と入力文字予測アルゴリズムをBCIシステムに実装し、現実的な環境で動作することを確認した。これらの成果より、本研究はバイオエンジニアリング分野に貢献していると判断できる。

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。