



Title	ニューラルネットワークモデルによる眼電位信号を用いたサッカードオフセットの自動推定-脳波を使用した実環境下における認知状態推定を目指して-
Author(s)	嵯峨, 拓真
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/96358
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (嵯 峨 拓 真)

論文題名

ニューラルネットワークモデルによる眼電位信号を用いたサッカードオフセットの自動推定
-脳波を使用した実環境下における認知状態推定を目指して-
(Prediction of Saccadic Offset Using Electrooculogram Data with Neural Network Model
-Toward the Estimation of Cognitive States in Real Environments Using Electroencephalograms-)

論文内容の要旨

生体信号処理は、定量化が困難な人間の精神状態などの個人が自覚していない情報も検出・活用することが可能となるため、近年、注目を集めている。特に、脳波を用いた生体信号処理は、運転中のドライバーの認知状態の推定などに利用されている。脳波には、自発活動や事象関連電位など様々な成分があるが、この推定には、事象関連電位の一種である眼球停留関連電位 (Eye Fixation Related potential: EFRP) が用いられている。EFRPは、サッカードオフセット (Saccade Offset: SO) に時間的に同期する事象関連電位であり、外部刺激との同期なしに測定可能である。このEFRPの平均振幅の変動を分析することで、作業負荷による認知状態の変化を実環境下で推定できる。しかし、EFRPの観測には、ミリ秒単位でのSO時点の正確かつ一貫した検出が必要となる。SO時点の一貫性が低いと、EFRPの平均振幅が減少する。従来、脳波と同時に測定される眼電図 (Electrooculogram: EOG) からのSO時点の視覚的決定法 (Visual Determination: VD法) でEFRPを観察してきたが、この方法は慣れや疲労により一貫性に欠ける可能性がある。そこで、Wunderlichら (2021) は、EOG信号からサッカードのピーク速度を閾値ベースで算出し、加算平均を行う自動観察手法を提案した。しかしこの手法では、EFRPがSO時点に同期しているにもかかわらず、ピーク速度時点で加算平均しているため、EFRPの平均振幅の低下が懸念される。近年、生体信号処理においてNeural network (NN) を適用により、既存の手法よりも精度の向上が複数報告されている。本研究ではEOG信号からSO時点を自動的に一貫して検出するNNを使用したモデル (NNモデル) を提案する。

本研究では初めに、最も簡単な課題として、NNモデルを用いて、EOG信号から一方向のサッカードのSO時点を予測する”SO時点予測モデル”を開発した。このモデルは、Recurrent neural networkの一種であるGated recurrent Unitで構成されている。学習データとして、左から右へ視野角27° のサッカードを行う課題をした際の2500試行の水平・垂直方向のEOG信号を50名分使用した。また、精度の評価にはこれらのEOG信号と対応している脳波データを使用した。研究の結果、提案手法に基づくEFRPの振幅は、VD法や従来手法よりも有意に大きかったことが示された。VD法では、SO検出は長時間の作業が必要であり、慣れや飽き、疲労などにより一貫性が低下した可能性がある。また従来手法との比較からは、従来手法がSO時点ではなく、サッカードのピーク速度時点を検出していることが、EFRPのピーク時点との時間の一貫性のなさの原因だと考えられる。最後に提案手法は、VD法による一貫性の低いSO時点学習しているが、特に一貫性の低いSO時点ノイズとみなし、大量のデータを使用して学習を行った結果、ノイズに強くロバストな予測が可能になったと考えられる。

次に、実環境下の条件に近づけるために、異なる眼球運動(瞬目など)を含むデータや、異なる大きさや方向のサッカードのSO時点を検出する拡張を行った。異なる特性のサッカードに対応するため、従来手法を参考にして入力データを水平・垂直方向のEOG信号の二乗平均平方根の値を正規化したものに変更した。また、SO時点予測モデルはSOを必ず含むデータからSO時点を予測していたため、データ内にSO時点が含まれているか分類する必要があった。この目的のために、新たにTransformer encoderを使用した”SO分類モデル”を提案した。”SO時点予測モデル”及び”SO分類モデル”の学習には、EOG信号左から右への視野角27° のサッカードを2500試行を行った際のEOG信号を使用した。学習したモデルを、視野角10° のサッカードを、36方向 (10° 刻みで360°) に合計720試行 (1方向あたり20試行) 行った19名分の実験データに適用した。その結果、提案手法に基づくEFRPの振幅はVD法よりも有意に大きかった。VD法では長時間作業による一貫性の低下が原因だと考えられる。さらに、従来手法ではサッカードのピーク速度時点基準として、-0.6~0.6秒の範囲にわたるEFRPの平均振幅が低下した。これは、従来手法がサッカードに関連しない時点を誤検出し、加算平均による平滑化が原因で平均振幅が低下していることを示唆している。

これらの研究結果から、提案手法は、一貫したSO時点の予測を行うことで、EFRP振幅の減少を防ぐことができることが示唆される。これにより、実環境におけるEFRPを用いた認知作業負荷推定の適用性が高まる可能性がある。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (嵯 峨 拓 真)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	西本 伸志
	副 査	教授	堀江 健生
	副 査	教授	八木 健
	副 査	教授	七五三木 聡

論文審査の結果の要旨

ヒトがどのような認知状態にあるかをモニタリングすることは、病気の診断やスポーツ分野における運動の最適化、また自動車の運転や各種作業中の注意状態の推定など、様々な分野において注目されている。これらのモニタリングを効果的に行うためには、日常的で多様な利用場面に対応可能かつ簡便な計測法で、できるだけ多くの情報を得ることが期待される。審査対象者である嵯峨氏は、成瀬康招へい准教授の主指導のもと、脳波から認知状態の推定を行う信号源として眼球停留関連電位（EFRP）に着目し、眼電位（EOG）データと機械学習手法を用いることで従来法より効果的にEFRPの検出を行う手法を開発した。またこの手法をより一般的な条件における任意の眼球運動に対応させるべく開発を進めている。上記の成果の一部はApplied Sciences誌に掲載された。嵯峨氏の研究は生体計測による認知状態推定の可能性を広げるものであり、博士の学位を授与するに値するものと認める。

なお、チェックツール“iThenticate”を使用し、剽窃、引用漏れ、二重投稿等のチェックを終えていることを申し添えます。