OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Building Robust Deep Models of Stress-Related Psycho-Physiological Signals
Author(s)	Hagad, Juan Lorenzo Mutia
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/85429
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (Juan Lorenzo Mutia Hagad)	
Title	Building Robust Deep Models of Stress-Related Psycho-Physiological Signals (ストレスに関する心理-生理学的信号の頑健な深層モデル構築)

Abstract of Thesis

Recent years have witnessed the rapid proliferation of wearable technologies in consumer markets and the rise of practical machine learning (ML) applications spearheaded by deep learning (DL) models. Many of these advancements have already realized practical application in medical fields, particularly those that use visual data. Another field that stands to benefit from this is human-computer interactions (HCI), where one of the primary goals is to find ways to understand users' psychological states better. One way to achieve this is by building DL models that can detect emotional states through non-invasive physiological measurements such as electrocardiography (ECG) and electroencephalography (EEG). However, the main challenge in training models using these signals is the prevalence of external noise, which can severely limit the generalization performance of most DL models. This dissertation proposes various approaches for building noise-robust DL models using ECG and EEG data. Specifically, it proposes (1) a method to more efficiently discover features based on heart rate variability (HRV) from ECG using DL by employing a spectral data representation based on Lomb-Scargle periodograms, (2) a method for training robust EEG-trained models by utilizing spatial-spectral EEG representations together with visual DL models, and (3) a subject-invariant bi-lateral variational domain adversarial neural network (BiVDANN) that simultaneously tackles the data constraints and subject variability limitations that are common to most EEG-based models. Results indicate that existing DL architectures are susceptible to common types of signal noise and benefit from the increased robustness introduced by the proposed methods. This is reflected by the improved classification performance of the optimized models on their respective target psychological states. Furthermore, detailed analysis of the model activations and embedding spaces of specific models demonstrate how existing architectures could be optimized to counteract common weaknesses of ECG and EEG signals. Overall, these studies demonstrate some of the limitations of existing DL architectures when applied to modeling psychological phenomena using ECG and EEG data and proposes a number of approaches for optimizing model architectures.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名 (Juan Lorenzo HAGAD)		
	(職)	氏　名
論文審査担当者	主 査　教授	沼尾 正行
	副 査　教授	谷田　純
	副 査　教授	藤崎 泰正
	副 査　准教授	福井 健一

論文審査の結果の要旨

近年、消費者市場におけるウェアラブルテクノロジーの急速な普及と、深層学習モデルが主導する実用的な機械学習アプリケーションの台頭が見られる。これらの進歩の多くは、医療分野、特に視覚データを使用する分野での実用化をすでに実現している。さらに、恩恵を受けるもう一つの分野として、ヒューマンコンピュータインタラクションがある。

本論文の主な目標の一つは、ユーザーの心理状態をよりよく理解する方法を見つけることである。それを実現する一つの方法は、心電図や脳波などの非侵襲的な生理学的信号を介して感情状態を検出する深層学習モデルを構築することである。これらの信号を使用してモデルを訓練する際の主な課題は、外部ノイズの蔓延であり、ほとんどの深層学習の一般化能力を大幅に制限する可能性がある。本論文は、心電図および脳波データを使用してノイズに強い深層学習モデルを構築するためのさまざまな手法、具体的には次の三つを提案している。

(1) Lomb-Scargleピリオドグラムに基づくスペクトルデータ表現。これを用いた深層学習により、心電図から心拍変動に関連するような特徴をより効率的に発見する。

(2) 脳波の空間-周波数表現。これを用いた深層学習により、堅牢な脳波モデルを得る。

(3) 脳の左右半球の両側変分ドメイン敵対ニューラルネットワーク(Bi-lateral Variational Domain Adversarial Neural Network)。これを被験者に依存しないように構築することにより、多くの脳波モデルに共通するデータ制約を得て、被験者毎の変動の限界に挑む。

本論文の結果は、既存の深層学習アーキテクチャが一般的なタイプの信号ノイズの影響を受けやすいことを示している。それに対して、提案された方法を導入することで、堅牢性向上の恩恵が受けられる。これは、それぞれの目標心理状態でモデルが最適化され、分類性能が向上するためである。さらに、モデルの活性化と特定モデルの埋め込み空間の詳細な分析により、心電図および脳波信号の一般的な弱点を和らげ、既存手法を最適化する方法も示している。

以上を要するに、これらの研究は、心電図および脳波データを使用した心理的現象のモデリングにおいて、既存の深層学習手法のいくつかの制限を示すことで、モデル化手法を最適化するための方法を提案したものである。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。