



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Towards high performance and efficient brain computer interface character speller : convolutional neural network based methods

Shan, H.

Citation

Shan, H. (2020, February 25). *Towards high performance and efficient brain computer interface character speller : convolutional neural network based methods*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/85675>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/85675>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/85675> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Shan, H.

Title: Towards high performance and efficient brain computer interface character speller : convolutional neural network based methods

Issue Date: 2020-02-25

Samenvatting

Een P300-gebaseerde Brain Computer Interface (BCI) karakter speller, ook bekend als P300-speller, is een belangrijk communicatiepad, dat uitgebreid onderzocht wordt, voor mensen die motorisch vermogen verliezen, zoals patiënten met Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS) of letsel aan de ruggengraat, omdat een P300-speller mensen in staat stelt om karakters rechtstreeks te spellen met behulp van een blik, waardoor de communicatie tussen het menselijk brein en de computer wordt opgebouwd. Helaas worden P300-spellers nog steeds niet gebruikt in het dagelijks leven van de mens en blijven ze in een experimenteel stadium in onderzoekslaboratoria. De reden voor deze situatie is dat de prestaties en de efficiëntie van huidige P300-spellers onacceptabel laag zijn voor BCI-gebruikers in hun dagelijks leven. Daarom richten we ons in dit proefschrift op het ontwikkelen van krachtige en efficiënte P300-spellers om P300-spellers praktisch in gebruik te nemen. Meer specifiek, om de prestaties van een P300-speller te verbeteren, ontwikkelen we methoden om de spelling van tekens en de Information Transfer Rate (ITR) te verbeteren. Om de efficiëntie van een P300-speller te verbeteren, ontwikkelen we methoden om het aantal sensoren dat nodig is om EEG-signalen te verkrijgen te verminderen en om de complexiteit van de classifier die in een P300-speller wordt gebruikt te verminderen zonder de prestaties te verliezen.

In het eerste deel van dit proefschrift richten we ons op het verbeteren van de prestaties en de efficiëntie (i.a.w. het verminderen van de complexiteit van de classifier) van een P300-speller. We stellen een eenvoudige, maar effectieve CNN-architectuur voor, genaamd One Convolution Layer Neural Network (OCLNN), voor de P300-speller. Onze OCLNN heeft slechts één convolutie laag en kan effectief zeer nuttige P300-gerelateerde gezamenlijke ruimtelijke-temporele kenmerken leren van ruwe EEG-signalen. In vergelijking met de andere geavanceerde methoden voor de P300-speller, verbetert onze OCLNN de prestaties, in termen van de spellingsnauwkeurigheid en de ITR, van de P300-speller, evenals de aanzienlijke verbetering van de efficiëntie, d.w.z. dat de complexiteit van het CNN dat wordt gebruikt in de P300-speller is verminderd.

De door onze OCLNN behaalde ITR kan echter nog steeds niet de theoretisch

haalbare maximale ITR bereiken. Om de ITR van een P300-speller te verhogen om deze dichterbij de theoretisch haalbare maximale ITR te brengen, stellen we daarom een ensemble van CNNs voor de P300-speller voor. Ons ensemble van CNNs heet Ensemble of Convolutional Neural Networks (EoCNN). EoCNN gebruikt twee nieuwe CNNs die we hebben bedacht, One Spatial Layer Network (OSLN) en One Temporal Layer Network (OTLN) genoemd. OSLN en OTLN leren respectievelijk P300-gerelateerde afzonderlijke ruimtelijke kenmerken en P300-gerelateerde afzonderlijke temporele kenmerken. Onze EoCNN combineert OSLN en OTLN samen met OCLNN, waardoor meer nuttige P300-gerelateerde functies worden geëxtraheerd dan alleen OCLNN. In vergelijking met OCLNN verbetert onze EoCNN de prestaties, in termen van de spellingsnauwkeurigheid en de ITR, van de P300-speller, maar we beïnvloeden de efficiëntie op een negatieve wijze. Zo is de complexiteit van het CNN dat wordt gebruikt in onze op EoCNN gebaseerde P300-speller toegenomen.

Om de efficiëntie van onze op EoCNN gebaseerde P300-speller te verbeteren, richten we ons in het tweede deel van dit proefschrift op het verminderen van het aantal sensoren dat nodig is om EEG-signalen in onze op EoCNN gebaseerde P300-speller te verkrijgen. We stellen een sensor-reductiemethode voor, genaamd Spatial Learning based Elimination Selection (SLES), om het aantal sensoren te verminderen dat wordt gebruikt in de EoCNN-gebaseerde P300-speller zonder de state-of-the-art prestaties te verliezen. Onze SLES gebruikt een nieuw, door ons bedacht, geparametriseerd CNN, om de sensoren te evalueren en te rangschikken tijdens het sensorselectieproces. Deze methode is voorzien van een iteratief algoritme voor achterwaartse eliminatie om sensoren te elimineren en te selecteren. Door onze SLES-methode te gebruiken, verbeteren we de efficiëntie, d.w.z. we verminderen het aantal sensoren voor de acquisitie van EEG-signalen in de EoCNN-gebaseerde P300-speller zonder de state-of-the-art prestaties te verliezen.

Helaas moeten we, door alleen de SLES-methode te gebruiken, in de meeste gevallen nog steeds meer dan 16 sensoren gebruiken om EEG-signalen te verkrijgen in de EoCNN-gebaseerde P300-speller om de state-of-the-art prestaties te behouden. Populaire lage complexiteit en relatief goedkope (betaalbare) BCI-systemen gebruiken echter minder dan of exact 16 sensoren voor het verkrijgen van EEG-signalen. Daarom voeren we een onderzoek uit naar het bereiken van de state-of-the-art prestaties voor de EoCNN-gebaseerde P300-speller met minder dan of exact 16 sensoren om EEG-signalen te verkrijgen. Deze studie laat zien dat EoCNN het probleem heeft evenveel belang te hechten aan OSLN, OTLN en OCLNN bij het combineren van de uitkomsten van OSLN, OTLN en OCLNN ongeacht het aantal sensoren dat wordt gebruikt om EEG-signalen te verwerven. Om dit probleem op te lossen, stellen we een verbeterde EoCNN voor, genaamd PEoCNN, voor de P300-speller. In PEoCNN parametriseren we eerst het proces voor het combineren van de uitkomsten van OSLN,

OTLN en OCLNN. Vervolgens gebruiken we de Sequential Model-based Algorithm Configuration (SMAC) om automatisch waarden voor de parameters te vinden en in te stellen, afhankelijk van het aantal sensoren dat in de P300-speller wordt gebruikt. Op deze manier configureert PEOCNN het belang van de uitkomsten van OSLN, OTLN en OCLNN voor de P300-speller, afhankelijk van het aantal sensoren dat wordt gebruikt om EEG-signalen te verkrijgen. Als gevolg hiervan kan de op PEOCNN gebaseerde P300-speller worden gebruikt in populaire BCI-systemen met een lage complexiteit met minder dan 16 sensoren om EEG-signalen te verkrijgen zonder de state-of-the-art prestaties te verliezen.

