

Oponentský posudek

disertační práce Ing. René Labounka

Název disertační práce: Simultaneous EEG-fMRI data fusion with generalized spectral patterns

Předložená práce se zabývá fúzí EEG a fMRI dat s cílem vhodně zkombinovat výhody poskytnuté jednotlivými modalitami, tj. vysokého časového rozlišení u EEG signálu, což umožňuje detailní časově-frekvenční analýzu, a relativně vysokého prostorového rozlišení u fMRI signálu. Nalezení vhodné kombinace dvou modalit registrujících odlišné vlastnosti mozkové aktivity je vědecky velmi aktuální a nesnadná úloha. I když byla v minulosti představena celá řada možných řešení, stále neexistuje ověřená metoda, jak fúzi provést. Proto nové postupy využívající přesnějších modelů, které jsou pak testovány na různých datových sadách, jsou velmi vítány. Svým zaměřením je tato práce velmi interdisciplinární. Zahrnuje oblasti zpracování a analýzy digitálních signálů, matematické a statistické analýzy, i fyziologii mozkové činnosti.

V disertační práci se autor vydává směrem „data-driven“ metod, které charakterizují EEG signál pomocí spektrogramů, jejichž časový průběh se stává podkladem pro modelování fMRI-BOLD signálu. Po důkladném přehledu teoretických základů a současného stavu metodologie autor navrhuje několik vylepšení klasického frekvenčního heuristického modelu a systematicky testuje a srovnává tyto nové postupy na třech různých datových sadách. Konkrétně, ve třetí kapitole je představen zobecněný frekvenční heuristický model, který oproti klasickému modelu uvažuje rozložení výkonového spektra do více frekvenčních pásem. Kromě dosažení vyšší statistické významnosti při použití nového zobecněného modulu autor také dochází k cennému závěru, že v některých případech, zejména pak v případě aktivace způsobené úkolem, je relativní výkon lepším prediktorem pro EEG-fMRI fúzi než absolutní výkon. Ve čtvrté kapitole je zobecněný frekvenční heuristický model rozšířen o prostorovou komponentu reprezentující jednotlivé EEG kanály. Tento model využívá prostorově-frekvenční rozklad EEG signálů pomocí skupinové analýzy nezávislých komponent (ICA). Hlavní přínos této kapitoly vidím v podrobné a systematické analýze stability rozkladu na jednotlivé komponenty. Autor zde úspěšně demonstruje vysokou stabilitu, tj. reprodukovatelnost, odhadnutých prostorově-frekvenčních komponent EEG signálu napříč různými datovými soubory, což je velmi důležitý výsledek pro navazující výzkumnou práci.

Autor vychází ze spolehlivých teoretických základů. Použité techniky se zdají být vhodné pro řešení problém a jejich posouzení vesměs správné. Práce splňuje své vytyčené cíle a přináší nové významné poznatky, viz výše. Kvalita a originalita dosažených výsledků je doložena publikací dvou původních prvoautorských článků v impaktovaných časopisech, avšak jejich publikační potenciál nebyl zcela vyčerpán – další dva články jsou připravovány k podání. V neposlední řadě, autor aktivně prezentoval své výsledky na mezinárodních konferencích.

Témata pro diskusi a připomínky:

- 1) Modely představené ve třetí a čtvrté kapitole, včetně jejich schopnosti reprezentovat měřená data, jsou vzájemně porovnány a autor dochází k závěru, že přinejmenším v případě experimentálních dat s úlohou, použití prostorově-frekvenčního heuristického modelu vede k robustnější detekci aktivovaných oblastí. Nicméně, tento výsledek by mohl být zcela vysvětlen skutečností, že při EEG-fMRI fúzi s využitím prostorově-frekvenčního modelu byla navíc modelovaná proměnlivost tvaru hemodynamické odezvy v jednotlivých voxelech, což z neznámého důvodu nebylo uváženo při testování frekvenčního heuristického modelu. Je třeba zmínit, že autor si je plně vědom tohoto problému interpretace výsledků. Vzhledem k tomu, že vědecký článek související s touto částí práce má být již v přípravě a rovnocenné porovnání modelů bude v tom případě zcela zásadní, chtěl bych se zeptat, jestli má autor k dispozici aktuálnější výsledky porovnání modelů, kde byla proměnlivost hemodynamické odezvy uvážena také u prvního modelu.
- 2) Samotná fúze EEG-fMRI je provedena pomocí obecného lineárního modelu (GLM), kde v případě frekvenčního heuristického modelu je hlavní prediktor formulován jako časový vývoj výkonu např. alfa pásma. Vychází se zde z předpokladu, že hemodynamická aktivita v jednotlivých voxelech vzniká důsledkem neuronální aktivity, jejíž charakter by se dal nejlépe popsat časovým vývojem jednoho (zvoleného) frekvenčního pásma. Toto je relativně rozumné, ale také dosti zjednodušující řešení. Ve skutečnosti, díky časově proměnlivé interakci mezi excitačními a inhibičními neuronálními populacemi, se přispění frekvenčních pásem v daném voxelu dynamicky mění (například v počáteční stimulační fázi může dominovat jiné frekvenční pásmo než v pozdější fázi či klidovém stavu):
 - a. Dokážete si představit, jak by se tato vlastnost smíšeného přispění různých frekvenčních pásem do obsahu jednotlivých voxelů dala realizovat pomocí matematického modelování?
 - b. Autor v disertační práci neposkytuje názornou ukázkou jak vypadají modelované časové průběhy neuronální aktivity pro různá frekvenční pásma. Zajímalo by mě do jaké míry spolu odvozené neuronální časové průběhy z různých frekvenčních pásem korelují.
- 3) Příklad: V názvu práce autor používá slova „Simultaneous“, ale v textu je pak vždy použito „Simultaneous“. Verze s dvojitým „n“ není běžná a prakticky se v dané problematice nepoužívá.

Disertační práce Ing. René Labounka je na velmi dobré úrovni, metodické postupy včetně závěru jsou nové a původní, a proto ji doporučuji k obhajobě.

Ing. Martin Havlíček, Ph.D.

*Assistant Professor
Dept. of Cognitive Neuroscience, Maastricht University
Maastricht, The Netherlands*