

INFLUENCE OF REGION COORDINATES SELECTION ON DYNAMIC CAUSAL MODELLING RESULTS

Jana Klímová

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xklimo00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Martin Lamoš

E-mail: lamos@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper deals with functional magnetic resonance imaging, in particular with dynamic causal modelling as one of the methods for effective brain connectivity analysis. Dynamic causal modelling has been carried out on real measured data. Attention has been focused on the effect of region coordinates selection designated for the dynamic causal modelling on its results.

Keywords: Functional magnetic resonance imaging (fMRI), dynamic causal modelling (DCM), effective brain connectivity, coordinates selection

1. ÚVOD

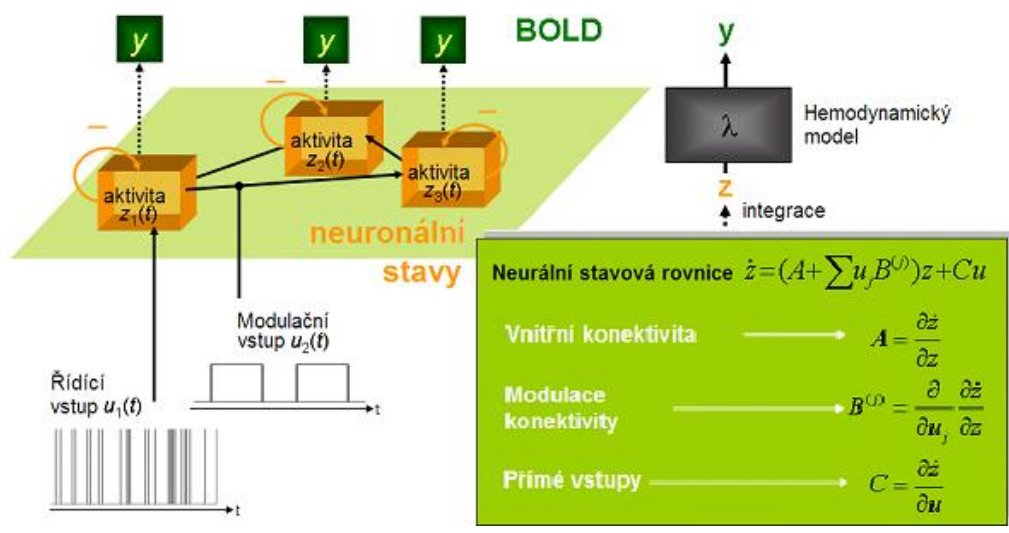
V poslední době nachází magnetická rezonance uplatnění ve zkoumání funkce centrální nervové soustavy metodou nazývanou funkční magnetická rezonance (fMRI). Pro zobrazování pomocí fMRI se využívá principu změny poměru oxy-/deoxyhemoglobinu v krvi (blood oxygenation level dependent, BOLD). Data získaná fMRI měření lze po statistickém zpracování použít k analýze mozkové konektivity, která se zabývá organizací regionů mozku a předáváním informací mezi jednotlivými oblastmi. Rozlišujeme tři typy konektivity: anatomickou, funkční a efektivní. Za nejpokročilejší se považuje efektivní konektivita, která vypovídá o tom, jak jeden neuronální systém ovlivňuje jiný. Stanovení efektivní konektivity vyžaduje model, který zkoumá příčiny těchto interakcí. Jednou z metod pro stanovení efektivní konektivity je dynamické kauzální modelování.

2. DYNAMICKÉ KAUZÁLNÍ MODELOVÁNÍ

Dynamické kauzální modelování (DCM) se snaží odhadnout vazby mezi oblastmi mozku a vyhodnotit, jak jsou tyto vazby ovlivněny experimentem. Stavový model DCM sestává ze dvou úrovní modelu. První, „skrytá“, úroveň modeluje, jak je neuronální dynamika řízena externími stimuly. Druhou úroveň DCM představuje hemodynamický model, který popisuje převedení neuronální aktivity na BOLD odezvu. [3]

Na obrázku 1 je znázorněno modelování metodou DCM [1]. Dynamika vzájemně reagujících neuronálních populací (oranžové krychle) je modelována pomocí stavových rovnic (zelený rámeček), kde matice A značí vnitřní konektivitu, matice B modulační vstupy (např. učení) a matice C řídící vstupy (např. vizuální stimulace). Tyto propojené neuronové populace spolu se vstupy znázorňují první úroveň DCM (model neuronální dynamiky). Integrací stavových rovnic dostaneme predikovanou neuronální dynamiku z , která vstupuje do modelu hemodynamické odpovědi. Z tohoto modelu získáme predikovaný BOLD signál y (zelené čtverce).

Základní myšlenkou je odhadnout parametry modelu reálného neuronálního systému tak, že predikovaný BOLD signál odpovídá co nejlépe naměřenému BOLD signálu. DCM není exploratorní metoda. Musíme si tedy stanovit hypotézu zahrnující informace o vstupech a propojeních mozkových oblastí zahrnutých do analýzy.



Obrázek 1: Schéma základního principu DCM [1].

2.1. ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT

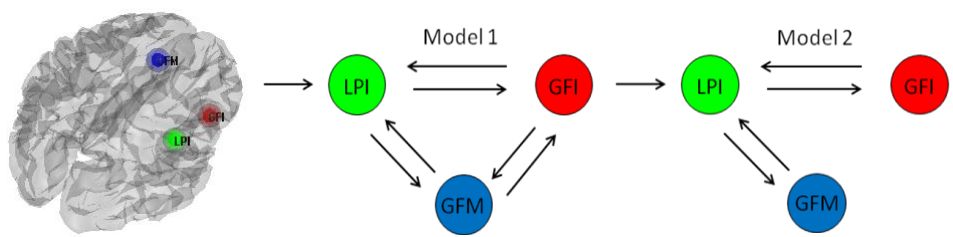
Byla provedena DCM analýza na vzorových datových sadách v toolboxu SPM8 v programovém prostředí MATLAB[®]. Data pocházela z vizuálního oddball experimentu [2]. Naměřená data byla předzpracována v toolboxu SPM8. Byla provedena korekce pohybu prostorovým zarovnáním funkčních skenů k prvnímu skenu v sérii. Funkční snímky byly koregistrovány s anatomickými a prostorově normalizovány do MNI prostoru [4]. Dále bylo provedeno vyhlazení Gaussovým filtrem o šířce 8 mm v FWHM.

Po předzpracování následovala analýza dat na úrovni jednotlivců aplikací obecného lineárního modelu. Tento model představuje mnohonásobnou lineární regresi. Obecný lineární model je maticově zapsán jako [4]:

$$Y = X\beta + \epsilon \tag{1}$$

Kde Y je matice naměřených BOLD signálů v jednotlivých voxidech, X reprezentuje modelovou matici obsahující regresory, β matici vah (příspěvky jednotlivých regresorů) a matice ϵ nevyčerpanou variabilitu. Účelem je najít experimentální parametry β pro modelovou matici X tak, aby součet modelovaných průběhů co nejlépe odpovídal naměřenému signálu Y při minimalizaci ϵ .

Výsledky analýzy jednotlivců sloužily jako vstup pro skupinovou analýzu realizovanou jednovýběrovým t-testem. Oblasti mozku určené pro analýzu DCM byly specifikovány neurology na základě statistické parametrické mapy skupinové aktivace. Reprezentanti vybraných oblastí jsou představovány prvním vlastním vektorem z časových průběhů BOLD signálů z voxelů umístěných v kouli o poloměru 8mm se středem ve vybraných souřadnicích. Byly vytvořeny dvě varianty modelu s lišícími se spoji mezi cílovými mozkovými oblastmi. Obě varianty modelu spolu s názorným umístěním oblastí v mozku jsou uvedeny na obrázku 2.



Obrázek 2: Vlevo: Cílové mozkové oblasti pro DCM (LPI-Lobus parietalis inferior, GFI-Gyrus frontalis inferior, GFM-Gyrus frontalis medius); vpravo: Varianty modelu spojů pro DCM.

2.2. VÝSLEDKY ANALÝZY

Získané výsledky jsou k dispozici v tabulce 1. V tabulce jsou uvedeny pravděpodobnosti obou modelů pro vyšetřované osoby, dále počet aktivních voxelů v jednotlivých oblastech mozku a maximální posun souřadnic v regionu. Podle výsledků osob 1, 2 a 5 je specifický model 2 (obrázek 2 vpravo) věrohodnější než univerzální model 1 (obrázek 2 uprostřed), což bylo předpokládáno.

Výsledky osob 3 a 4 (podbarveno šedě) nevykazují významný rozdíl mezi modely. To by mohlo být způsobeno tím, že u těchto osob nevykazují voxelů v alespoň jedné z cílových oblastí žádnou aktivitu. V tomto případě se souřadnice oblasti extrakce signálu automaticky posunou a signály tak nepochází z předem určené oblasti. To vede ke snížení významnosti modelů pro většinu situací, protože signály použité v DCM analýze pochází z mozkových oblastí, které nebyly zahrnuty v experimentu. Velký posun souřadnic lze pozorovat zejména u osoby č. 4, u které je nízký počet aktivovaných voxelů ve všech oblastech.

Osoby	Bayesovské porovnání modelů		Aktivní voxelů v GFM, LPI, GFI	Max. posun v oblasti [mm]
	Pravděpodobnost modelu 1	Pravděpodobnost modelu 2		
1	0.05	0.95	35, 15, 22	3
2	0.06	0.94	14, 13, 24	9
3	0.45	0.55	32, 27, 28	9
4	0.50	0.50	4, 2, 4	37
5	0.25	0.75	36, 28, 10	13

Tabulka 1: Výsledky DCM analýzy (šedě jsou zvýrazněny výsledky s nevýznamným rozdílem mezi modely).

3. ZÁVĚR

Byla provedena DCM analýza na reálných naměřených fMRI datech. Byl zkoumán vliv posunu souřadnic pro extrakci dat vstupujících do DCM analýzy na její výsledky. Pokud signály nepocházejí z předem stanovených regionů, je významnost modelů snížena. Vliv výběru souřadnic na výsledky DCM nelze jednoznačně určit na základě reálných dat, protože nemůže být objektivně změněn. Proto je v současné době vytvářen simulátor dat, na kterých bude prováděna DCM analýza a zhodnocen vliv posunu souřadnic pro extrakci signálů na její výsledky.

REFERENCE

- [1] Ashburner, J. *SPM8 Manual* [online]. Dostupné z: <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/doc/manual.pdf> [cit. 2013-2-25]
- [2] Brázdil, M., Mikl, M., Mareček, R., Krupa, P., Rektor, I. Effective connectivity in target stimulus processing: A dynamic causal modeling study of visual oddball task. *NeuroImage*, 2007, roč. 35, č. 2, s. 827-835
- [3] Friston, K. J., Harrison, L., Penny, W. Dynamic causal modelling. *NeuroImage*. 2003, roč. 19, č. 4, s. 1273-1302
- [4] Huettel, S. A., Song, A. W., McCarthy, G. *Functional Magnetic Resonance Imaging*. Second Edí vyd. Sunderland: Sinauer Associates, Inc, 2009. ISBN 978-0-87893-286-3.