

Dynamické kauzální modelování ve fMRI

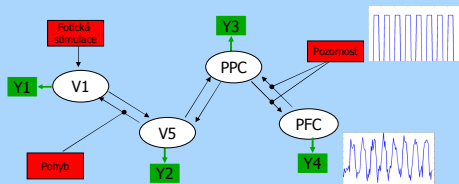
Michal Mikl

Historie a souvislosti

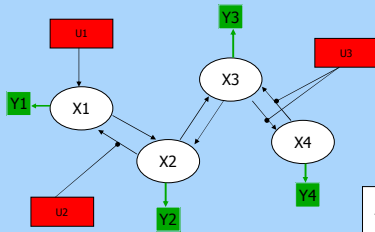
- **DCM = Dynamické kauzální modelování**
 - metoda představena v roce 2003 (Friston et al.)
 - je součástí programů SPM2, SPM5, SPM8
 - neurobiologicky relevantní model dynamiky neurálních populací kombinovaný s biofyzikálně vhodným dopředným modelem popisujícím transformaci neurální aktivity na měřený signál
 - Interakce mezi regiony modelovány na neurální úrovni (ve srovnání téměř se všemi metodami mimo PPI a některých variant GC)
 - původně DCM představeno pro fMRI, následně i pro EEG/MEG
 - metoda se postupně vyvíjí a je doplňována o nové možnosti (nelinearita, stochastické DCM, ...)

Princip DCM

- K modelování vnitřní dynamiky používá DCM stavový popis systému
 - Vstupem jsou jednotlivé experimentální stimuly (psychologické podmínky)
 - Výstupem jsou časové průběhy měřeného signálu
 - Vnitřními stavy jsou vlastní stavy neurálních populací
- Koncepce DCM uvažuje dva druhy vstupů
 - Přímý nebo také řídicí vstup ovlivňuje přímo neurální aktivitu v dané oblasti (např. v primárních senzoryckých oblastech)
 - Kontextuální vstup ovlivňuje sílu vazeb mezi oblastmi (např. změna pozornosti, efekt učení, zpracování odlišné kategorie podnětu atd.).



Stavový popis systému



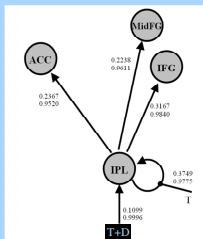
DCM v původní variantě využívá bilineární model (bilineární aproximací nelineárního systému)

$$\frac{dx}{dt} = \left(A + \sum_{j=1}^n u_j \cdot B^{(j)} \right) \cdot x + C \cdot u.$$

A ... matice základní konektivity
B ... matice indukovaných změn v konektivitě
C ... matice přímých vlivů na neuronální aktivitu

Odhad parametrů modelu

- Odhad parametrů se provádí iteračním EM algoritmem s předdefinovanými apriorními parametry
- Následně jsou spočítány aposteriorní pravděpodobnosti, že příslušné síly vazeb jsou větší než zvolený práh (obvykle 0)

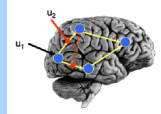


Experimentální design a inference

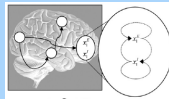
- DCM není exploratorní metoda. Používá se k testování určité hypotézy (nutnost specifikovat poměrně konkrétní hypotézu)
- Nejlepší využití pro multifaktorový design
 - jeden faktor moduluje např. senzorní vybuzení
 - další faktory manipulují s kontextem evokovaných odpovědí
- Odhad parametrů využívá apriorní předpoklady (hodnoty parametrů)
- V případě významných odlišností reálného systému od apriorních předpokladů můžeme získat nepřesný odhad systému.
- Při použití DCM můžeme testovat dva druhy hypotéz.
 - Sledujeme významnost konkrétních vazeb (vyjádřenou pomocí aposteriorní pravděpodobnosti)
 - Srovnáváme vhodnost různých modelů lišících se strukturou povolených vazeb a z nich vybíráme pomocí Bayesovského výběru (BMS, Bayesian model selection) nejvhodnější model

DCM v průběhu času

- Zabudován model časování (respektuje skutečný čas akvizice jednotlivých řezů) (Kiebel et al. 2007)
- Rozšíření modelu o nelineární prvek (Stephan et al. 2008)
 - přidává možnost ovlivnění vazby aktivitou neuronální populace
- Dvoustavový model (Marreiros et al. 2008)
 - modeluje vnitřní konektivitu v regionu
- Představeno BMS pro skupinové srovnání (Stephan et al. 2009)
 - možnost fixed-effects a random-effects skupinových porovnání modelů a Bayesian model averaging
- DEM = Dynamic Expectation Maximization (Friston et al. 2008)
 - umožňuje stochastické pojetí DCM



$$\frac{dx}{dt} = \left(A + \sum_{i=1}^n u_i B^{(i)} + \sum_{j=1}^m D^{(j)} \right) x + C u$$



Doporučený postup pro DCM

