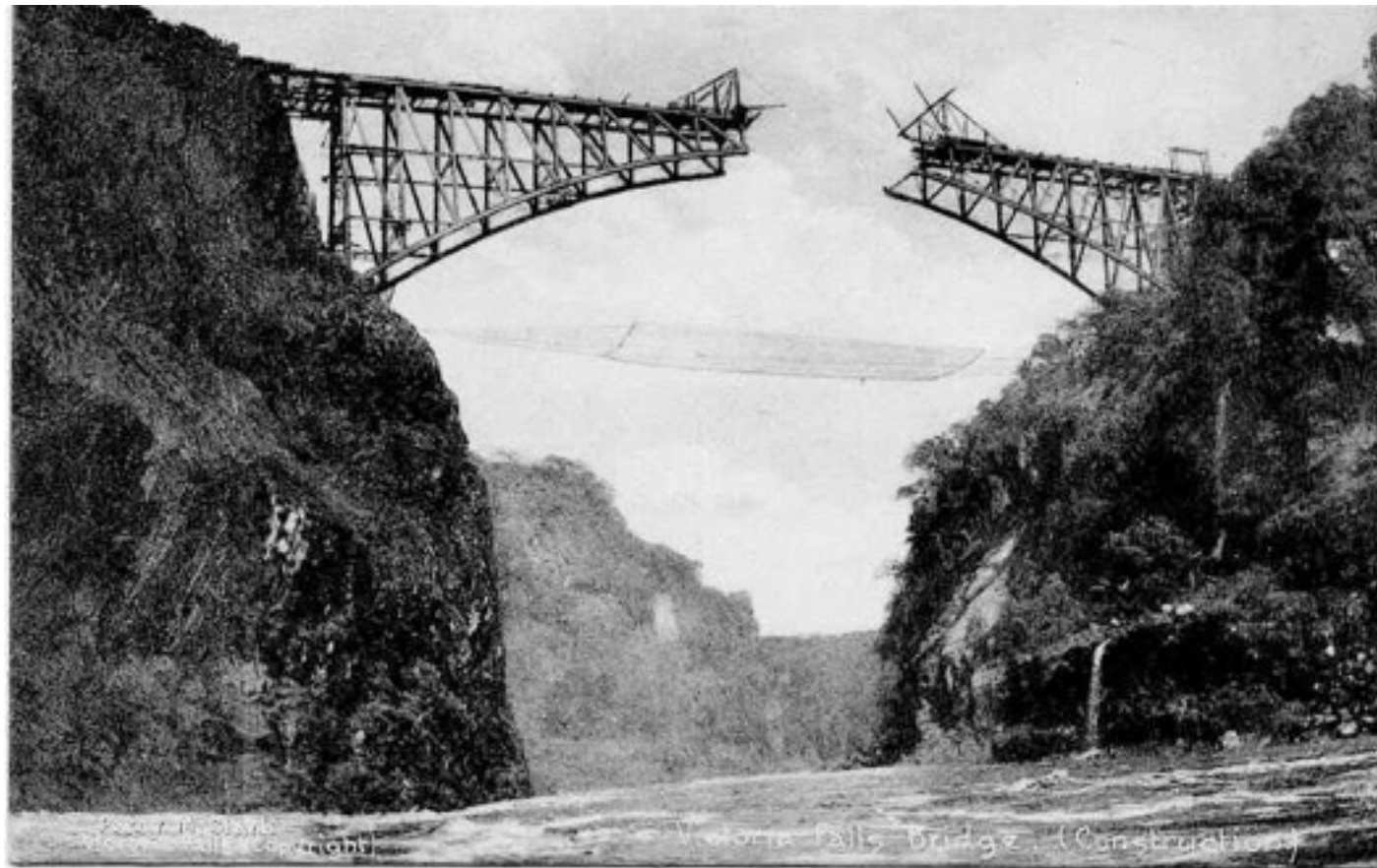


Probabilisztikus funkcionális modellek idegrendszeri adatok elemzésére

Bányai Mihály
MTA Wigner FK
Computational Systems Neuroscience Lab

KOKI-VIK szeminárium
2014. február 11.

Struktúra és funkció

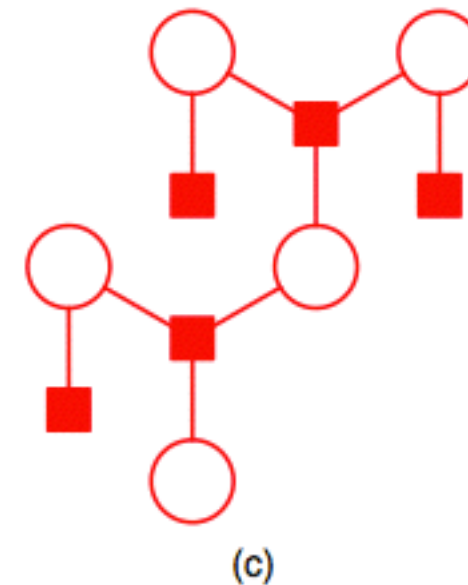
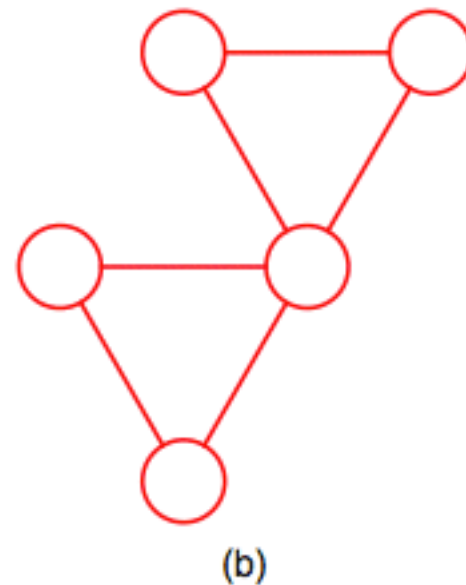
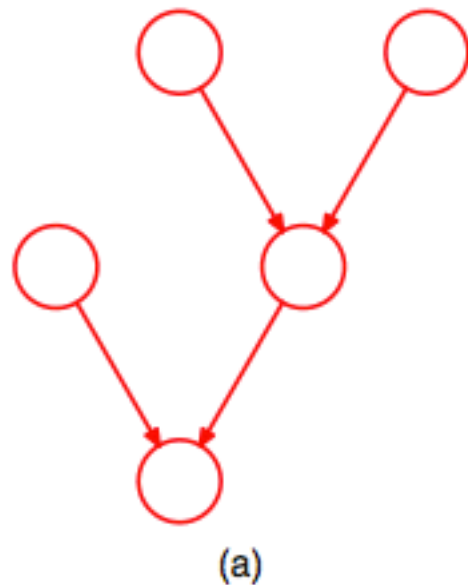


- Mechanisztikus modellezés: emergens funkció
- Barlow: “A wing would be a most mystifying structure if one did not know that birds flew”

Probabilisztikus modellek

- Cél a bizonytalanság kvantifikálása
- A megfigyelt és rejtett változók együttes eloszlását modellezzük
- Paraméterek vs. látens változók
- Szintetikus adatok generálása
- Prediktív eloszlások

Grafikus modellek



- A lehető legexplicitebb feltételezések
- A változók közötti függetlenségi viszonyokat írják le
- Különböző előnyei és hátrányai vannak az irányított, irányítatlan és faktorgráf modelleknek

Inferencia

- A rejtett változók eloszlását keressük fix paraméterek mellett a megfigyelésekre kondicionálva

$$p(x \mid \theta, y)$$

- Ha analitikusan nem tudjuk megadni a poszteriort (vagy annak a várható értékét), akkor mintavételezéssel közelíthetjük

- MCMC

- Csak annyi kell, $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)p(x)dx \approx \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L f(x^l)$
hogy ki tudjuk
értékelni az eloszlást

Tanulás

- Paraméterek eloszlását keressük a megfigyelésekre kondicionálva

$$p(\theta \mid D, M) = \frac{p(D \mid \theta, M)p(\theta \mid M)}{p(D \mid M)}$$

- Pontbecslések
 - Maximum likelihood
 - Maximum a posteriori
 - Numerikus közelítés: Expectation Maximisation
- Paraméterek teljes eloszlásának becslése
 - Numerikus közelítés: variációs módszerek

Egységesítő keretrendszer

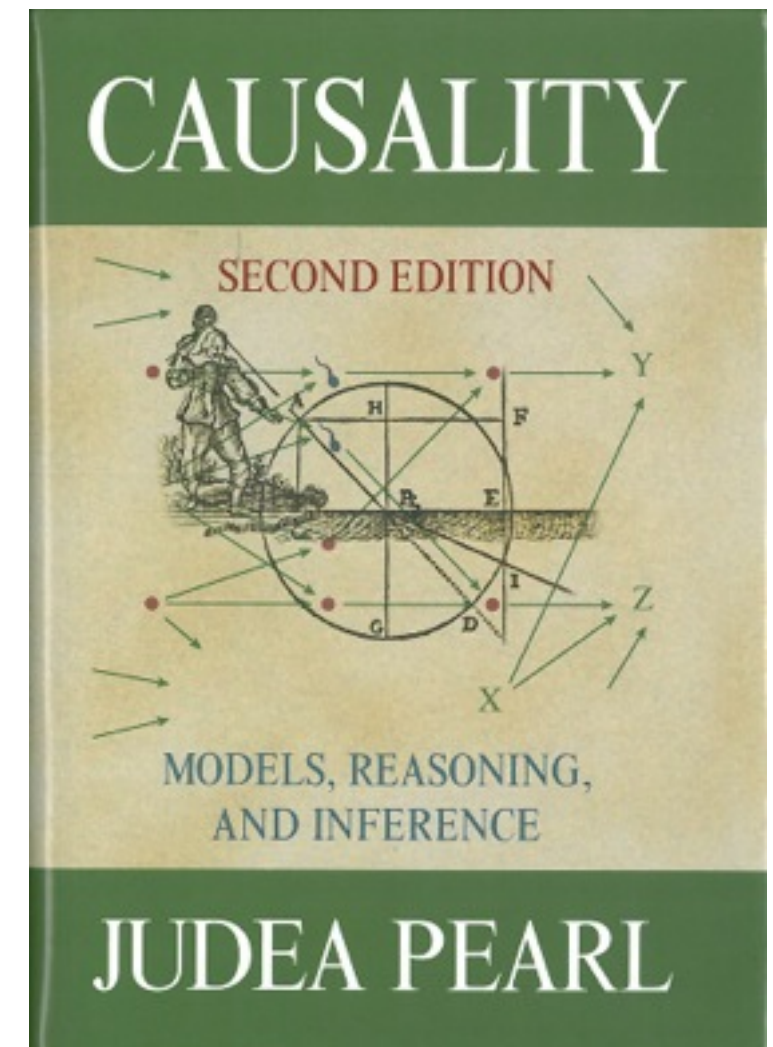
- Sok adatelemzési módszer előáll speciális esetként
 - görbeillesztés: legkisebb négyzetek
 - klaszterezés: k-means
 - dimenzióredukció: PCA, ICA
 - dinamikus modellek: HMM, Kálmán
- Sok algoritmus is egységes keretbe foglalható
 - Expectation Maximisation (közelítő maximum likelihood becslés): Baum-Welch, k-means
 - Sum-product (inferencia): Kálmán-szűrés
 - Max-sum (rejtett változók legvalószínűbb értékkombinációja): Viterbi algoritmus

Modellkiválasztás

- hierarchikus modell
 - rejtett változónak tekintjük azt is, hogy melyik modell generálta az adatokat
- evidence maximisation
$$p(D \mid M) = \int_{-\infty}^{\infty} p(D \mid \theta, M) p(\theta \mid M) d\theta$$
 - a marginal likelihood a modell valószínűsége az adatokra kondicionálva
- információs kritériumok
 - AIC, BIC,...
 - komplexitás és illeszkedés egyensúlya

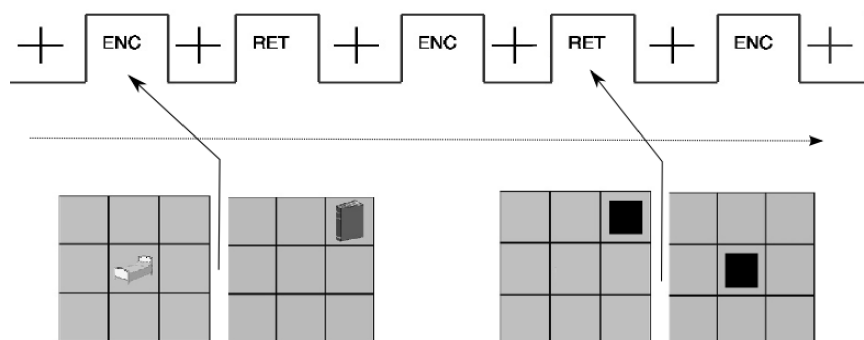
Kauzalitás

- A valószínűségi keretrendszerben csak kookkurencia szerepel
- Ki lehet egészíteni kauzális modellekké
- A modellkeresés speciális esete, amikor azt keressük, hogy hol figyelhető meg kauzális kapcsolat

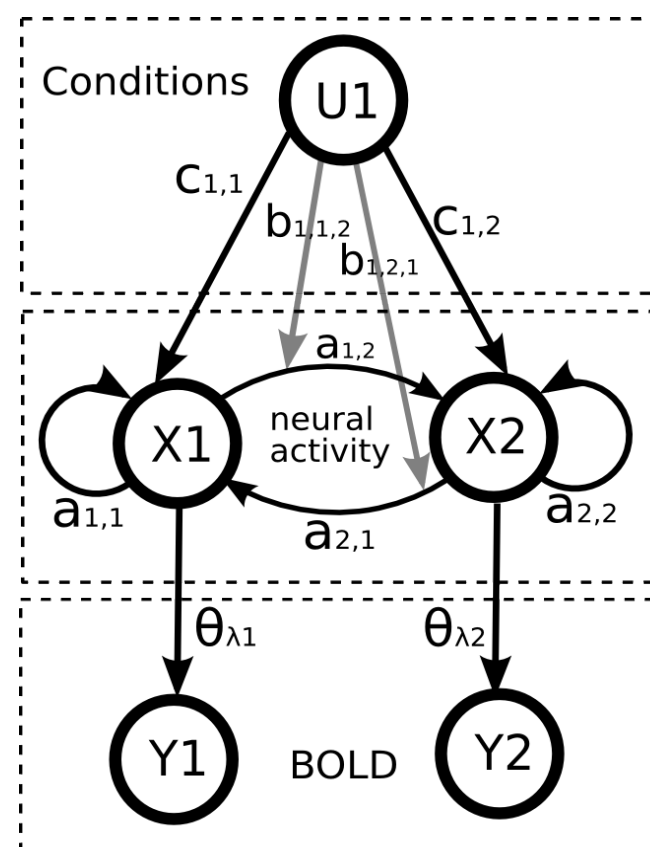
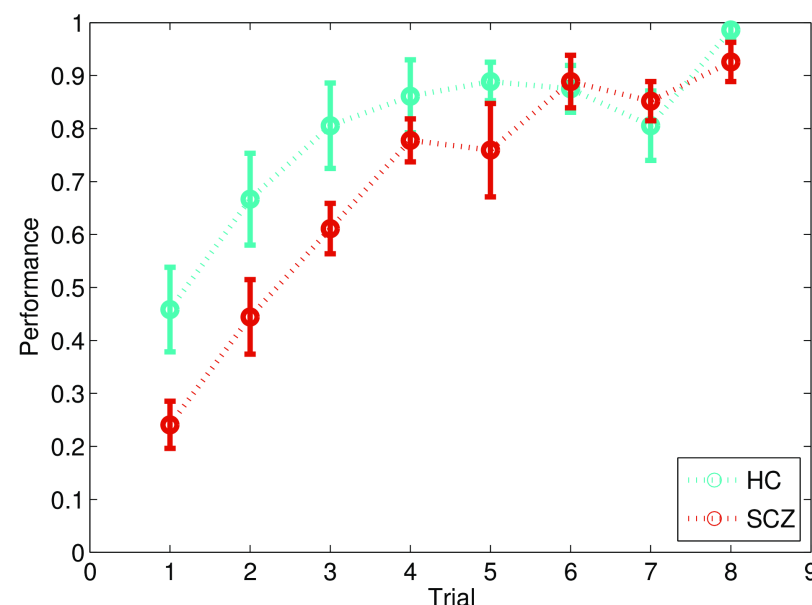


Schizophrenia fMRI study: experiment and methods

Task: learning of object-location associations over repeated encoding and retrieval periods



Subjects: 11 diagnosed with schizophrenia and 11 healthy controls

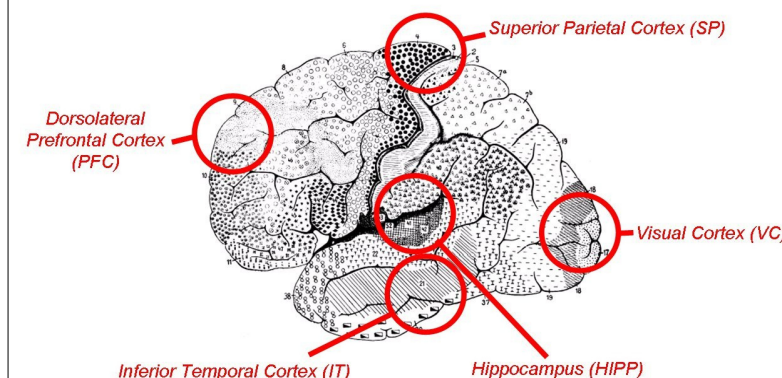


DCM: generative model of the BOLD signal, parameters estimated by Bayesian statistics

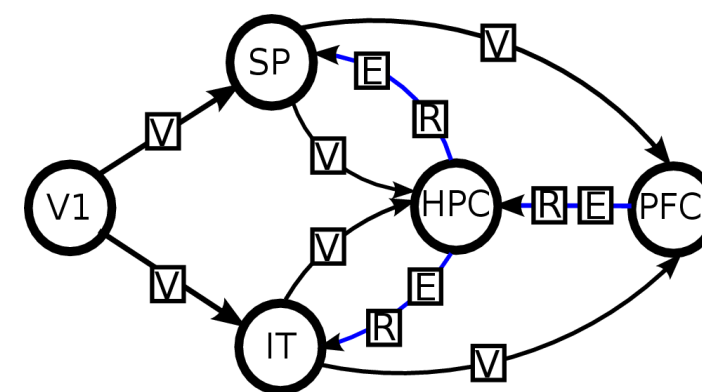
$$\dot{x} = \left(A + \sum_{j=1}^N u_j B^j \right) x + Cu$$

$$y = \lambda(x, \theta_\lambda)$$

$$p(\theta|y, M) = \frac{p(y|\theta, M) p(\theta|M)}{p(y|M)}$$

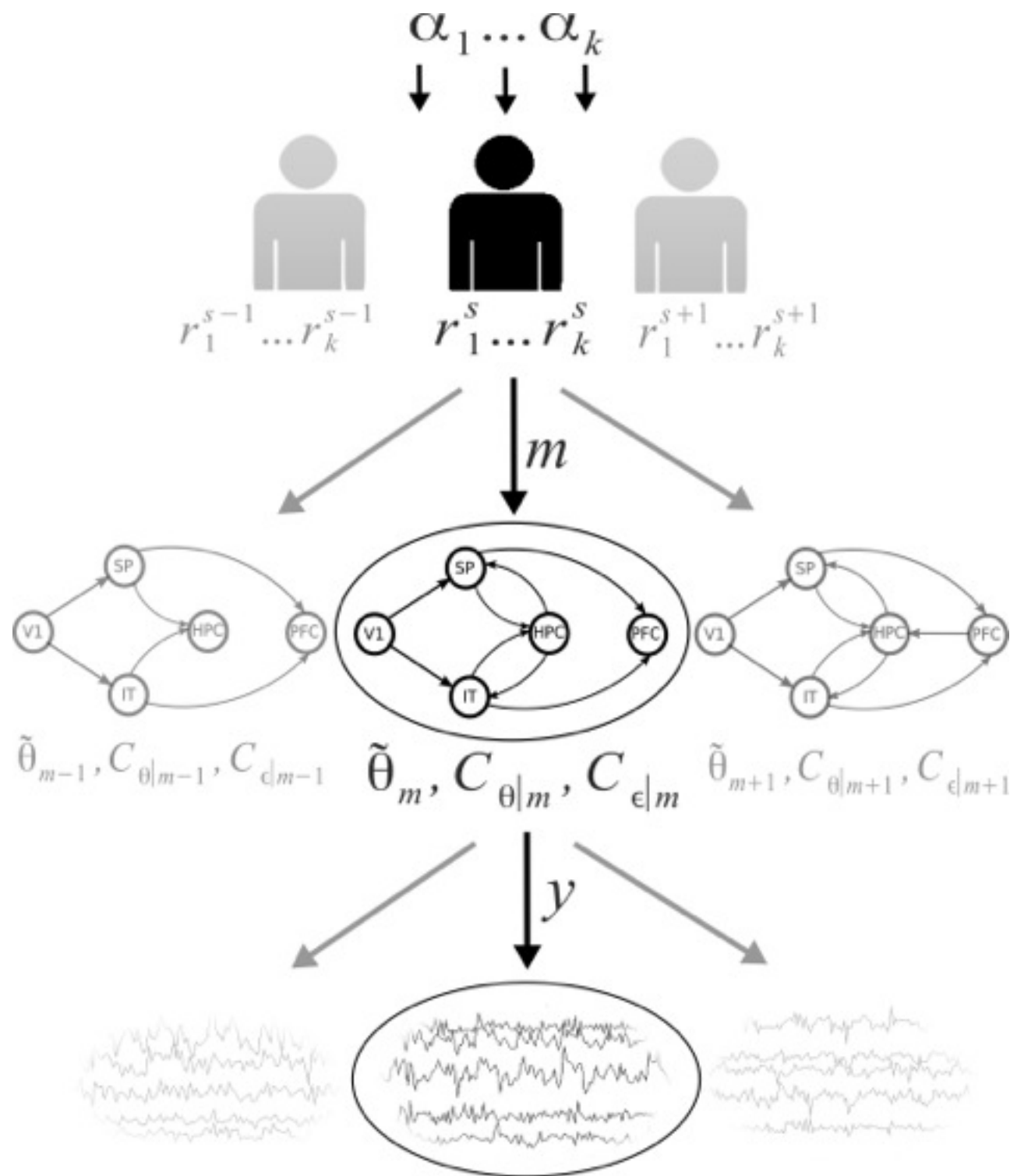


Model space: five areas involved, two sets defined by varying connections and the effects of conditions



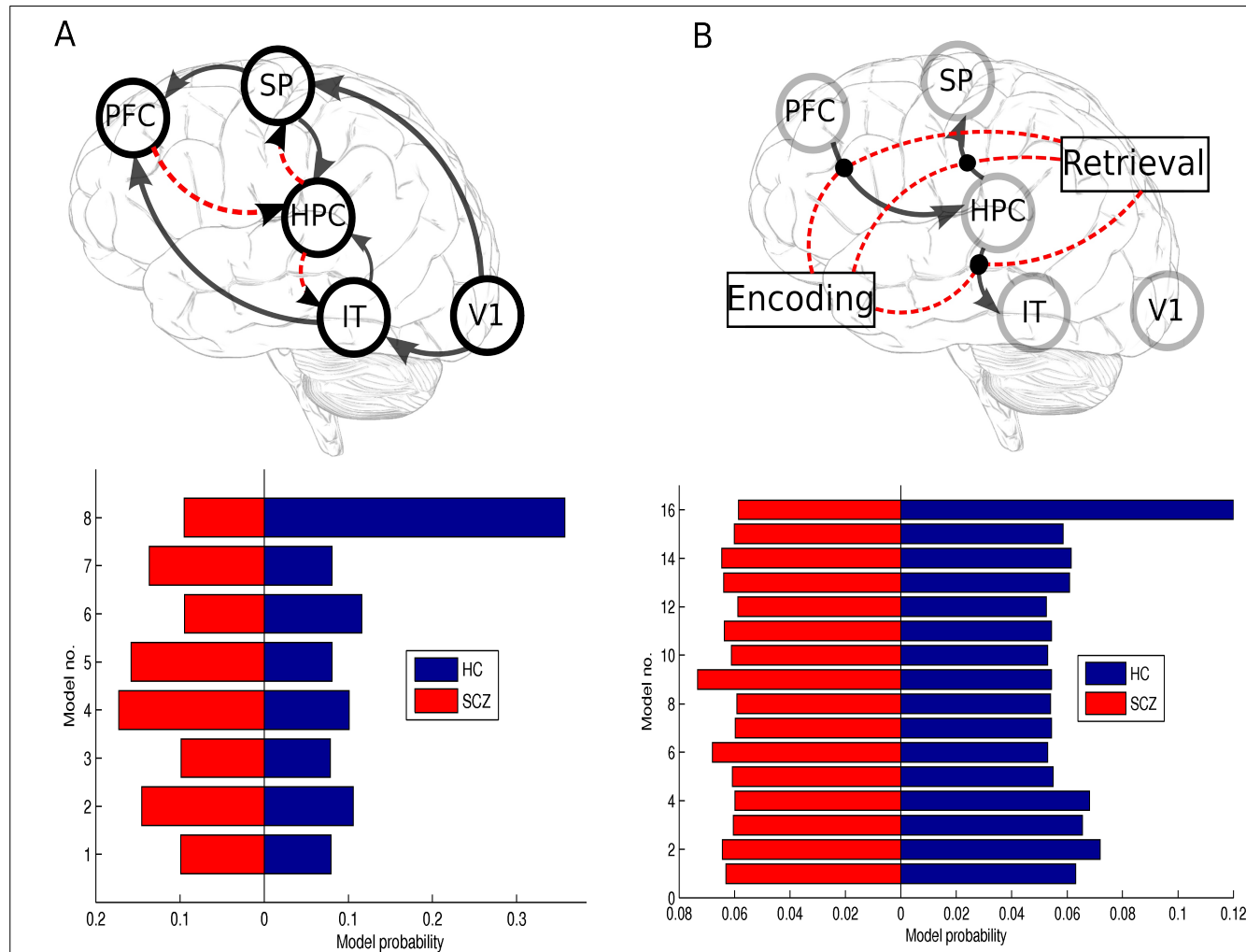
Model selection: by the estimation of the Bayesian evidence

Modellkiválasztás



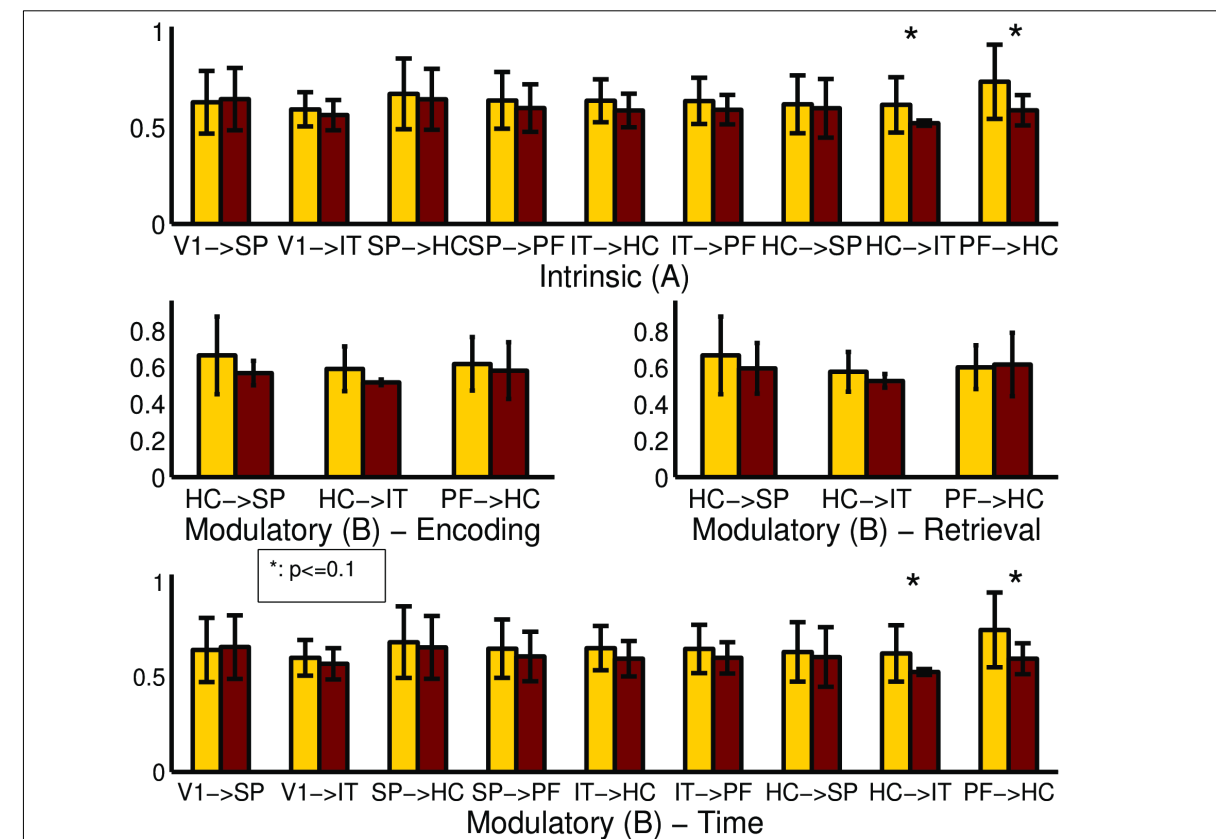
- Hierarchikus modell
- Minden alanyhoz hozzárendelünk M-1 paraméteret, ami megmondja, mennyire valószínű, hogy az a modell írja le az adatait
- A paraméter becslése és csoportok fölötti átlagolása során megkapjuk a modellter fölötti eloszlást

Schizophrenia fMRI study: results



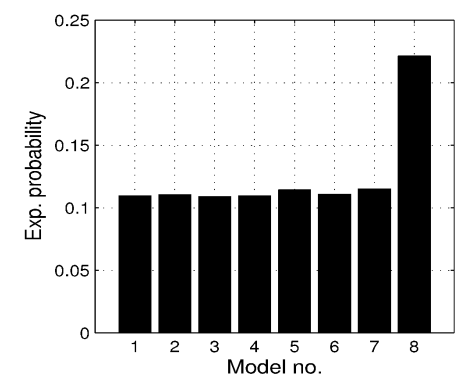
Model comparison: top-down information flow and the modulatory effects of conditions are less likely to be present in schizophrenia

Bányai M, Diwadkar V, Érdi P. *Model-based dynamical analysis of functional disconnection in schizophrenia*. *NeuroImage* 58(3): 870-877, 2011



Parameter level comparison: connections between PFC and HPC and HPC and IT are impaired

Slow learning: differentiated from the illness by model probability distribution



Mikroszkopikus modellek

- Szenzori rendszerek
- Látókérgi reprezentáció
 - Feltételezés: a bemenetet felépítő generatív modellt próbálja reprezentálni a neurális hálózat, tehát ami jó modellje a bemenetnek, az releváns lehet idegrendszeri szempontból is
- Gaussian Scale Mixtures modell
 - kontrasztváltozó
 - jól visszaadja a V1 sejtek korrelációit
 - mechanizmus, ami megvalósítja: divizív normalizáció

