Westfälische
Wilhelms-Universität
Münster

Konnektivität im Gehirn

Lutz Althüser, Tobias Frohoff-Hülsmann, Victor Kärcher,
Lukas Splitthoff, Timo Wiedemann

NiMoNa 2016

08. Juni, 2016

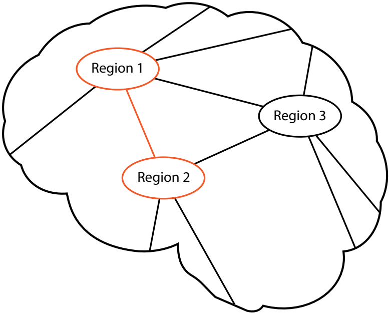
Überblick

- Motivation und Ziel
- Die Modelle
  - Lineares Modell
  - Bilineraes Modell
    - Hämodynamisches Modell
- Numerische Methoden
  - Euler-Verfahren
  - Runge-Kutta-Verfahren (4. Ordnung)
- Theoretische Experimente
  - linear
  - bilinear
  - hemodynamisch
- Literatur

```
from programs import RK4 as RK4
from programs import Euler as RK1
from programs import hemodynamicModel as HM
from programs import bilinearModel as BM
#----------------------------------------------------------------
# Parameter Beispiel 1
T = 100.                              # Endzeit
t0 = 0.                               # Anfangszeit
dt = 0.1                              # Zeitschrittlaenge
t = np.arange(t0,T+dt,dt)             # Zeitarray
A = np.array([[-1.,0.,0. ],
              [0.3,-1,0.2],
              [0.6,0.,-1.]]) # Kopplung
B1 = np.zeros((3,3))                  # Induzierte Kopplung
B2 = np.array([[0  , 0, 0  ],
               [0  , 0, 0.8],
               [0.1, 0, 0  ]])
np.array([B1, B2])                    # Zusammenfassen der ind. Kopplung in ei
          0],
          0],
          ]])
                                      # äußerer Einfluss auf Hirnaktivität
                 len(t)))
                 = 10.                # Stimulus u1
u[1,451:550] = 2.                     # Stimulus u2
u[1,251:350] = 5.                     # Stimulus u2
u[1, 691:910] = 2.                    # Stimulus u2
# Anfangsbedingungen
x_0 = np.ones(15)
x_0[0:6] = 0.

# Zusammenfassen der Parameter für das "hemodynamicModel"
theta = np.array([A,B,C])
```

Einleitung in DCM - Dynamic Causal Model



Interaktion zwischen verschiedenen Hirnregionen

Konnektivität im Gehirn

Über die **Mathematische** Modellierung von Interaktionen zwischen mehreren Regionen des Gehirns.

Ziel

Das Aufstellen eines einfachen und realistischen neuronalen Modells aller interagierenden Gehirnregionen.

Einleitung in DCM - Dynamic Causal Model

[Hier ein nettes Bild]

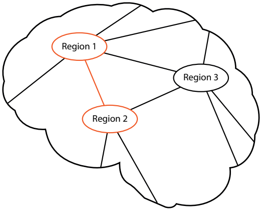
Ziel

Das Aufstellen eines einfachen und realistischen neuronalen Modells aller interagierenden Gehirnregionen.

- Rückschlüsse auf die Verschaltung von Hirnregionen
- Einfluss der Veränderungen in der neuronalen Aktivität

Datengrundlage des DCM sind funktionelle Magnetresonanztomographien.

Lineares Modell



Vernetzung von Hirnregionen

u Inputs $\rightarrow$ z Outputs pro Hirnregion

Inputs

- direkten Input: Veränderung des neuronalen Zustands
- latenten Input: Veränderung der Vernetzung

Outputs

- neuronale Aktivität in der Hirnregion
- ...

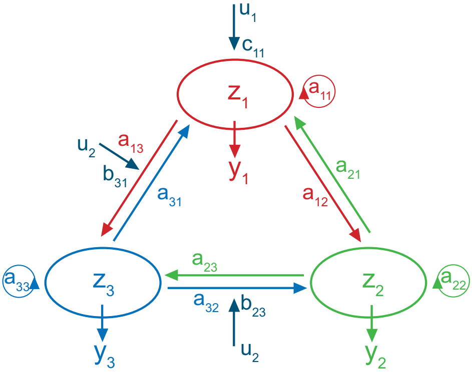
$$\dot{z} = A + Cu$$

Matrix A: Konnektivitätsmatrix - Verschaltung der Hirnregionen

Matrix C: Einfluss der Inputs auf die neuronale Aktivität einer Hirnregion

Bilineares Modell

Gehirn als nicht-lineares, deterministisches, dynamisches System



$$\dot{z} = (A + \sum_j u_j B^j)z + Cu$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \\ c_{31} & c_{32} \end{pmatrix}$$

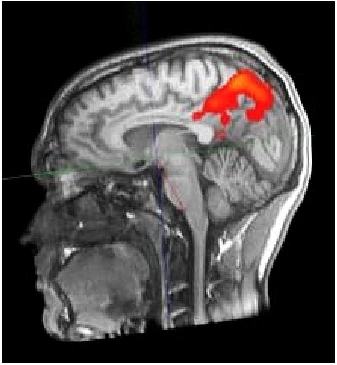
Vergleichbarkeit

Bilineare Modell $\Rightarrow$ Gehirnaktivitäten $z_i(t)$

Vergleichbarkeit

Bilineare Modell $\Rightarrow$ Gehirnaktivitäten $z_i(t)$

Experiment (funktionelle MRT)$\Rightarrow$ BOLD-Signal/Kontrast $y_i(t)$
$\approx$ Sauerstoffgehalt der roten Blutkörperchen



Hämodynamisches Modell

4 biophysikalische Zustandsvariablen übermitteln $z_i(t) \rightarrow y_i(t)$:
$s_i(t)$: Zusammenfassung mehrerer neurogener Signale
$f_i^{in}(t)$: (sauerstoffreicher) Blutzufluss
$v_i(t)$: Venenvolumen
$q_i(t)$: Desoxyhämoglobinkonzentration

Biophysikalisch:
$\dot{s}_i = z_i - \kappa s_i - \gamma(f_i^{in} - 1)$
$\dot{f}_i^{in} = s_i$
$\dot{v}_i = \frac{1}{\tau}(f_i^{in} - f_i^{out}) = \frac{1}{\tau}(f_i^{in} - v_i^{1/\alpha})$
$\dot{q}_i = \frac{1}{\tau}(f_i^{in} E_i/\rho - v_i^{1/\alpha} q_i/v_i)$

BOLD-Signal (fMRT):
$y_i = V_0(k_1(1 - q_i) + k_2(1 - q_i/v_i) + k_3(1 - v_i))$

Euler-Verfahren

explizites Verfahren

Runge-Kutta-Verfahren (4. Ordnung)

Analyse der effektiven Konnektivität

Numerisches Experiment - linear

Analyse der effektiven Konnektivität

Numerisches Experiment - bilinear

Analyse der effektiven Konnektivität

Numerisches Experiment - hämodynamisch

Analyse der effektiven Konnektivität

Literatur

- *Dynamic causal modelling*
  K.J. Friston et al. / NeuroImage 0 (2003)
  `web.mit.edu/swg/ImagingPubs/connectivity/Dcm_Friston.pdf`

Designfeatures

Hervorhebungen

Wenn man Dinge hervorheben möchte nutzt man entweder Fettdruck, *kursive Schrift* oder das Schlüsselwort älert". Auch ïtemizeUmgebungen werden von der Stilvorlage überschrieben:

Designfeatures

Hervorhebungen

Wenn man Dinge hervorheben möchte nutzt man entweder Fettdruck, *kursive Schrift* oder das Schlüsselwort älert". Auch ïtemizeUmgebungen werden von der Stilvorlage überschrieben:

- So wird sichergestellt,
- dass alle Elemente der Präsentation
- dieselbe Farbe nutzen.

Achtung!

Hier kommt Rot ins Spiel!

Beispiel

Hier kommt Grün ins Spiel!