Kvantifikovanie kauzálnych vzťahov v distribuovanom systéme

Úvod k téme diplomovej práce

Bc. Anton Vančo
vedúci: doc. Ing. Igor Farkaš, PhD.

obsah

- kauzalita v komplexných sústavách
- formy analýzy časových radov
- metóda Grangerovej kauzality
  - jednorozmerné dáta (univariate)
  - viacrozmerné dáta (multivariate)
- ukážka analýzy – GCCA toolbox

kauzalita

- vplyv jedného prvku systému na iný
- (ne)činnosť jedného elementu priamo podmieňuje činnosť druhého
- *intra-level kauzalita*
- *inter-level kauzalita* - top-down, bottom-up

formy analýzy

- identifikácia *orientovanej* funkčnej konektivity
- analýza fMRI, EEG, MEG údajov
- 3 perspektívy:
  - efektívna konektivita
  - funkčná konektivita
  - <u>*kauzálna*</u> konektivita

kauzálna konektivita

- nutne nemodeluje fyziologické vlastnosti
- pokus o identifikáciu *dynamických* vzorov a vzťahov
- 3 dôvody:
  - *same brain, different task*
  - *don't tell me everything ... just the important stuff*
  - *they keep messing up my neural connections!*

meranie zložitosti

- kvantifikovanie správania sa distribuovaného systému
- 3 miery:
  - *neurálna komplexnosť* – segregácia vs. integrácia
  - *integrácia informácií* – podobná NK, sleduje orientované kauzálne interakcie – *effective information*
  - *kauzálna hustota* – zachytáva kauzálne vzťahy naprieč celým systémom

Grangerova kauzalita

- premenná Y je kauzálna *(Granger-causes)* na premennú X, ak sa predpoveď hodnôt X (pomocou jej minulých hodnôt) *zlepší* zakomponovaním minulých hodnôt Y.
- *zlepšenie* = štatisticky signifikantné informácie v Y
- autoregresné modely – OLS, Yule-Walker
  - pôvodný model

$$X_t = A.\boldsymbol{X}_{t-1}^{(m)} + \varepsilon_t$$

  - rozšírený model

$$X_t = A'.(\boldsymbol{X}_{t-1}^{(m)} \oplus \boldsymbol{Y}_{t-1}^{(m)}) + \varepsilon'_t$$

- zlepšenie, ak rozptyl ε' je signifikantne menší ako ε

$$\mathcal{F}_{\boldsymbol{Y}\rightarrow X} = ln\frac{var(\varepsilon_t)}{var(\varepsilon'_t)}$$

Grangerova kauzalita

- *podmienená kauzalita* – prítomnosť tretej premennej
- $$X_t = A.\left(\boldsymbol{X}_{t-1}^{(m)} \oplus \boldsymbol{Z}_{t-1}^{(m)}\right) + \varepsilon_t$$

  $$X_t = A'.(\boldsymbol{X}_{t-1}^{(m)} \oplus \boldsymbol{Y}_{t-1}^{(m)} \oplus \boldsymbol{Z}_{t-1}^{(m)}) + \varepsilon'_t$$

- opäť porovnanie rozptylu – **Geweke (1982)**

  $$\mathcal{F}_{\boldsymbol{Y}\to X|\boldsymbol{Z}} = ln\frac{var(\varepsilon_t)}{var(\varepsilon'_t)}$$

- potenciálne *top-down* kauzalita

Grangerova kauzalita

- jednorozmerné dáta
  - pomer rozptylov reziduálnych hodnôt
- viacrozmerné dáta
  - *trace* (stopa) kovariačnej matice residuálov
  - determinant kovariačnej matice residuálov, Gewekeho metóda
  - *bottom-up* kauzalita

kauzálna hustota

- miera kauzálne signifikantných vzťahov v systéme
- *normalizovaná* – hodnoty v [0,1]

$$C_d(X) = \frac{\alpha}{N(N-1)}$$

- *nenormalizovaná (váhovaná)*– hodnoty v celom *R*

$$C_{dw}(X) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \mathcal{F}_{j \to i}$$

- vysoké hodnoty znamenajú globálnu koordinovanosť prvkov a zároveň ich dynamickú odlišnosť

ďalšie pojmy

- *causal flow* – rozdiel medzi počtom vstupných a výstupných interakcií na danom prvku
  - causal source – zdroj, vysoký *flow*
  - causal sink – záporný *flow*
- *causal hub* – prvok s veľkou kauzálnou hustotou

ukážka analýzy

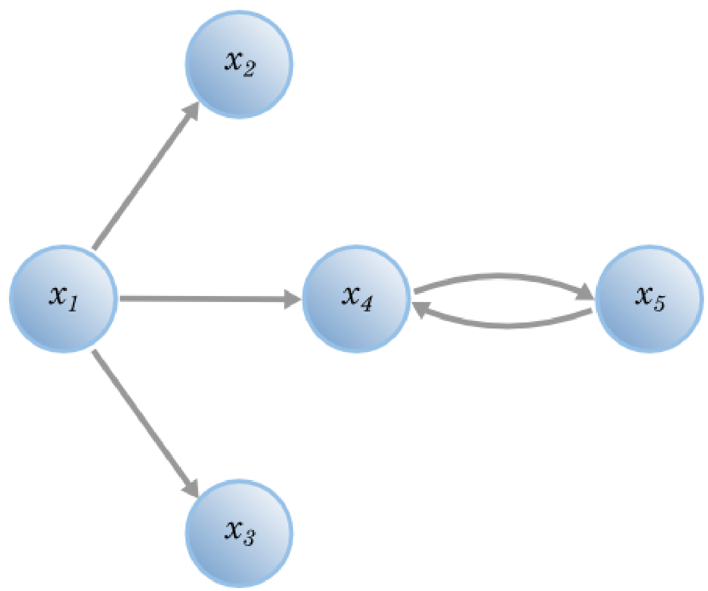
- 5 premenných **(Baccala & Sameshima, 2001)**
- $x_1(n) = 0.95\sqrt{2}x_1(n-1) - 0.9025x_1(n-2) + w_1(n)$

  $x_2(n) = 0.5x_1(n-2) + w_2(n)$

  $x_3(n) = -0.4x_1(n-3) + w_3(n)$

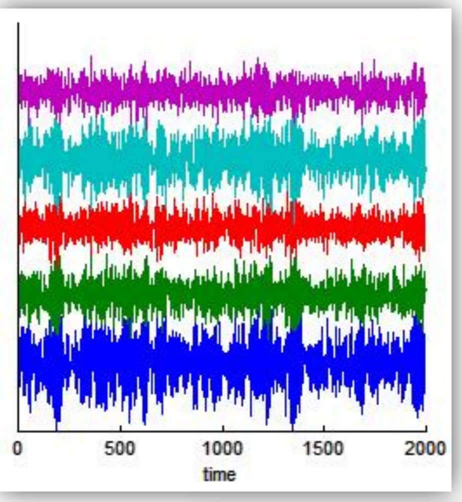
  $x_4(n) = -0.5x_1(n-2) + 0.25\sqrt{2}x_4(n-1) + 0.25\sqrt{2}x_5(n-1) + w_4(n)$

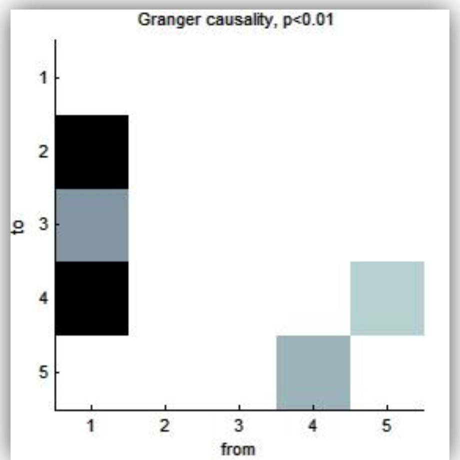
  $x_5(n) = -0.25\sqrt{2}x_4(n-1) + 0.25\sqrt{2}x_5(n-1) + w_5(n)$
- graf

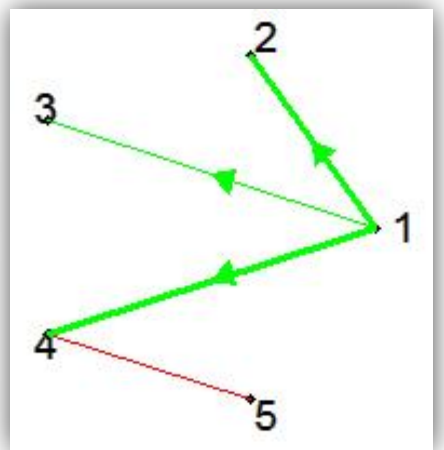


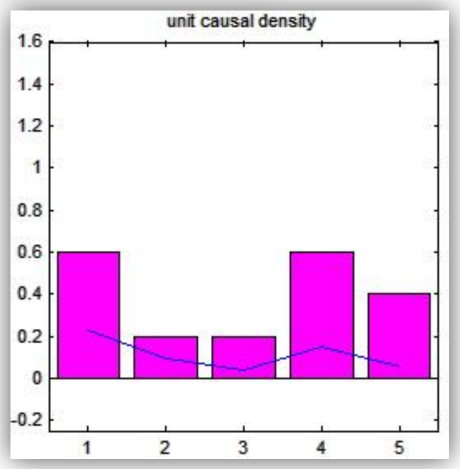
ukážka analýzy

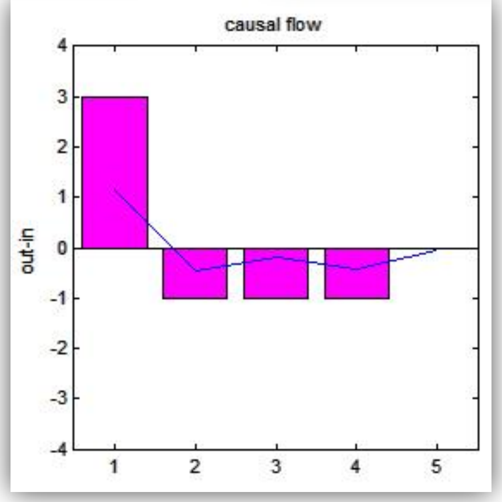
- GCCA toolbox pre MATLAB **(Seth, 2005 – dnes)**











Ďakujem za pozornosť