

Uporaba odvisnosti višjih redov za zaznavanje karakteristik prometa v računalniških omrežjih

Tadej Matek

Fakulteta za računalništvo in informatiko, UL

25. 1. 2018

Odvisnosti višjih redov

D, A, B, B

D, A, C

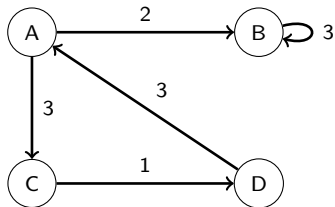
A, C, D

D, A, B, B, B

A, C

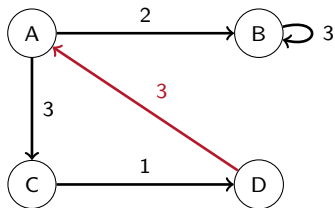
Odvisnosti višjih redov

D, A, B, B
D, A, C
A, C, D
D, A, B, B, B
A, C



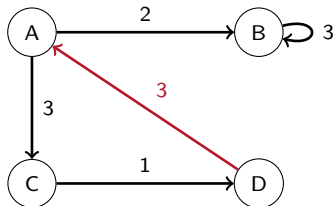
Odvisnosti višjih redov

D, A, B, B
D, A, C
A, C, D
D, A, B, B, B
A, C



Odvisnosti višjih redov

D, A, B, B
D, A, C
A, C, D
D, A, B, B, B
A, C



Naključni sprehajalec kot napovedni model

Markovska veriga

$$M = \begin{array}{c} \\ A \\ B \\ C \\ D \end{array} \begin{array}{cccc} & A & B & C & D \\ \left(\begin{array}{cccc} 0 & 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$\vec{p}_t = M \cdot \vec{p}_{t-1} = M^t \cdot \vec{p}_0$$

Markovska veriga

$$M = \begin{array}{c} \\ A \\ B \\ C \\ D \end{array} \begin{array}{cccc} A & B & C & D \\ \left(\begin{array}{cccc} 0 & 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \end{array}$$

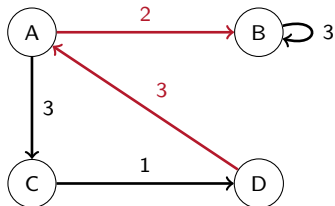
$$\vec{p}_t = M \cdot \vec{p}_{t-1} = M^t \cdot \vec{p}_0$$

Markovska lastnost (implicitno upoštevana):

$$\begin{aligned} Pr(X_{t+1} = x_{t+1} \mid X_t = x_t, X_{t-1} = x_{t-1}, \dots) \\ = Pr(X_{t+1} = x_{t+1} \mid X_t = x_t) \end{aligned}$$

Odvisnosti višjih redov

D, A, B, B
D, A, C
A, C, D
D, A, B, B, B
A, C



$$Pr(X_{t+1} = B \mid X_t = A) = 0.4$$

$$Pr(X_{t+1} = B \mid X_t = A, X_{t-1} = D) = \frac{w_{DAB}}{w_{DA}} = 0.66$$

Odvisnosti višjih redov

Verige k -tega reda:

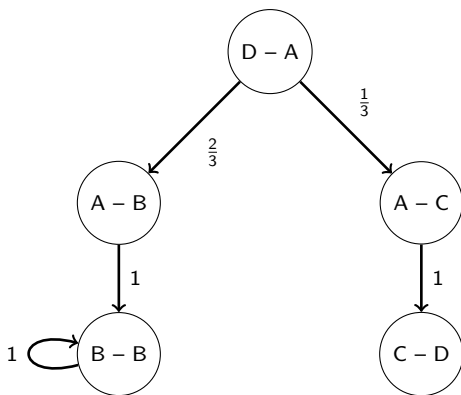
$$\begin{aligned} Pr(X_{t+1} = x_{t+1} \mid X_t = x_t, X_{t-1} = x_{t-1}, \dots) = \\ Pr(X_{t+1} = x_{t+1} \mid X_t = x_t, \dots, X_{t-k+1} = x_{t-k+1}) \end{aligned}$$

Odvisnosti višjih redov

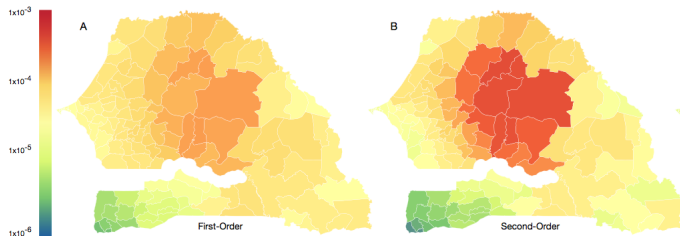
Verige k -tega reda:

$$\Pr(X_{t+1} = x_{t+1} \mid X_t = x_t, X_{t-1} = x_{t-1}, \dots) = \\ \Pr(X_{t+1} = x_{t+1} \mid X_t = x_t, \dots, X_{t-k+1} = x_{t-k+1})$$

D, A, B, B
 D, A, C
 A, C, D
 D, A, B, B, B
 A, C

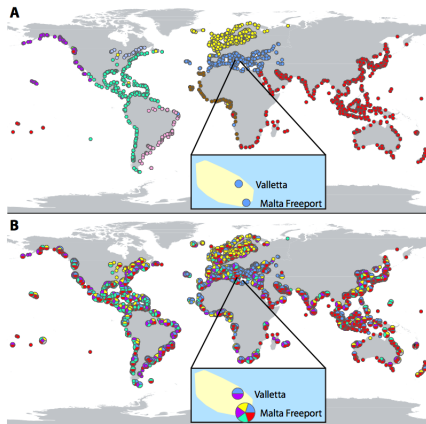


Vpliv na difuzijske procese



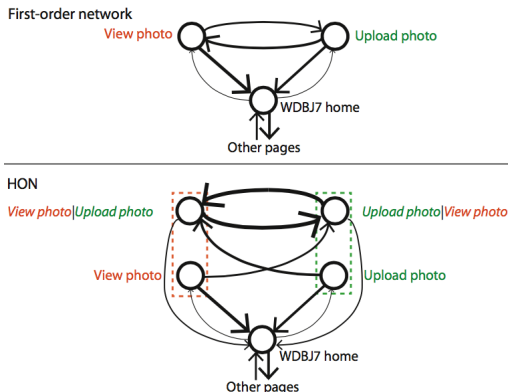
J. T. Matamalas, M. De Domenico, A. Arenas, Assessing reliable human mobility patterns from higher order memory in mobile communications, *Journal of The Royal Society Interface* 13 (121) (2016) 20160203

Vpliv na skupine vozlišč



J. Xu, T. L. Wickramaratne, N. V. Chawla, Representing higher-order dependencies in networks, Science advances 2 (5) (2016) e1600028

Vpliv na pomembnost vozlišč



J. Xu, T. L. Wickramaratne, N. V. Chawla, Representing higher-order dependencies in networks, Science advances 2 (5) (2016) e1600028

Reševanje kombinatorične eksplozije

Kombinatorična eksplozija parametrov: $|V|^{k+1} - |V|$

Modeli z **variabilno** velikostjo spomina M_K - do največ reda K

Reševanje kombinatorične eksplozije

Kombinatorična eksplozija parametrov: $|V|^{k+1} - |V|$

Modeli z **variabilno** velikostjo spomina M_K - do največ reda K

$$s = (a, a, b, a, a, b, a, a, \dots)$$

$$K = 3$$

$$\begin{aligned} Pr(s) = & Pr(a) \cdot Pr(a | a) \cdot Pr(b | a, a) \\ & \cdot Pr(a | a, a, b) \cdot Pr(a | a, b, a) \cdot \dots \end{aligned}$$

I. Scholtes, When is a network a network? multi-order graphical model selection in pathways and temporal networks, arXiv preprint arXiv:1702.05499

Statistično značilni vzorci

Množica poti S , opazovan vzorec $v^{(l)} = (v_1 \rightarrow \dots \rightarrow v_l) \in S$

Empirična verjetnost vzorca:

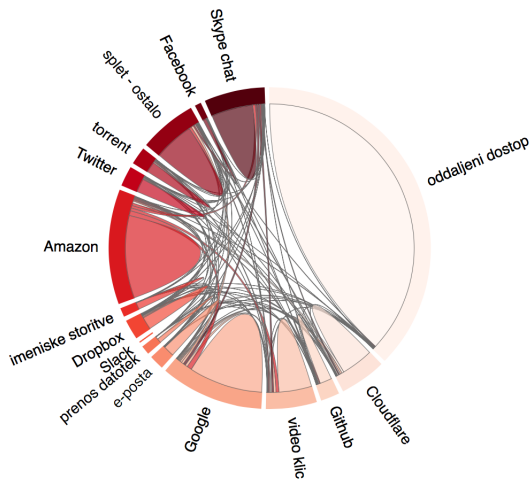
$$Pr_e = \frac{|\{v^{(l)} \in S\}|}{|\{x^{(l)} \in S\}|}$$

Model M_{K-1} proti modelu M_K

Uporaba računalniških protokolov

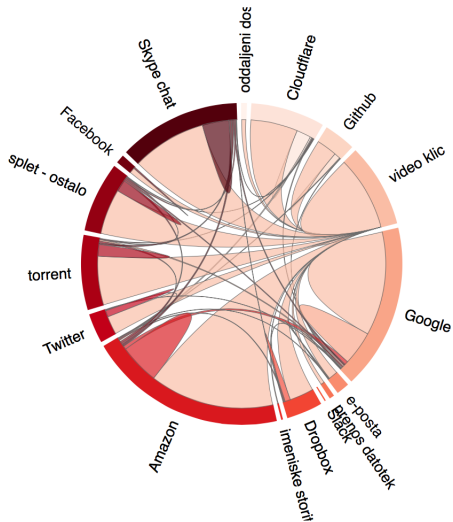
- Video klici (Skype, Viber, ...)
- Imeniške storitve (iskanje naprav v lokalnem omrežju, identifikacija uporabnikov)
- E-pošta
- Prenos datotek (na strežnike in druge naprave)
- Oddaljen dostop do naprav (preko konzole)
- Torrent
- Dostop do spletnih strani (Amazon, Dropbox, Facebook, Google, Twitter, ...)

Pretok v tradicionalnem omrežju



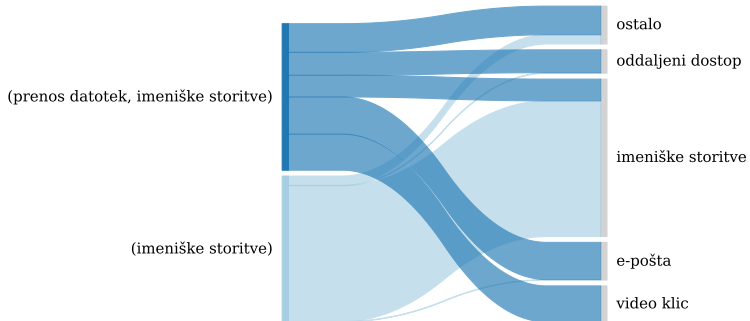
Poti oblike $X \rightarrow X$

Upoštevanje odvisnosti višjih redov



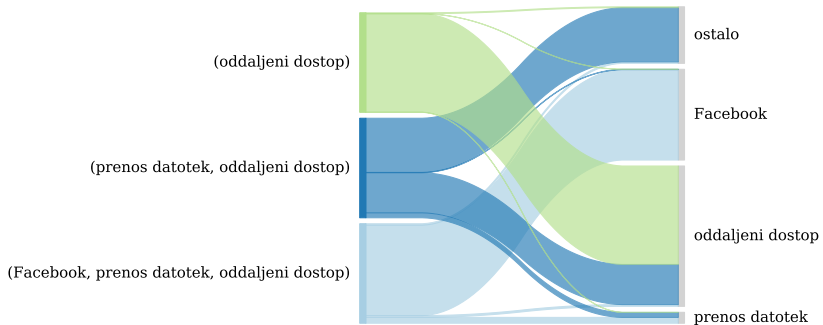
Poti oblike $X \rightarrow \text{Videoklic} \rightarrow X$

Rezultati



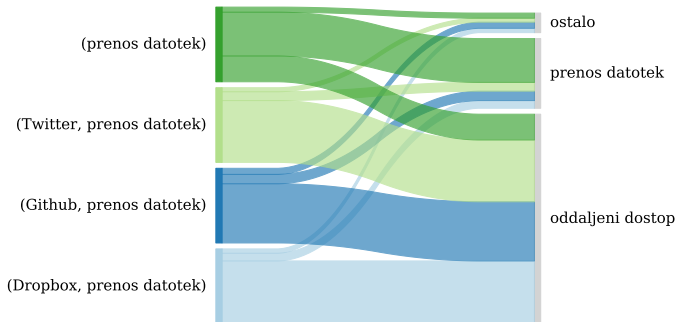
Porazdelitev pretoka med storitve

Rezultati



Vpliv prejšnjih lokacij na naslednje

Rezultati



Preusmeritev pretoka na oddaljen dostop

Povzetek

Vpliv odvisnosti višjih redov na natančnost metod

Razširitev tradicionalnega koncepta grafov

Statistična metoda za filtriranje odvisnosti