

IV124 Komplexní sítě

Eva Výtvarová, Eva Hladká

Fakulta informatiky, Masarykova univerzita

2. května 2019

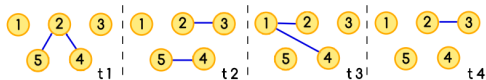
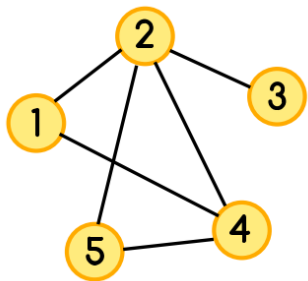
Temporální síť

Motivace

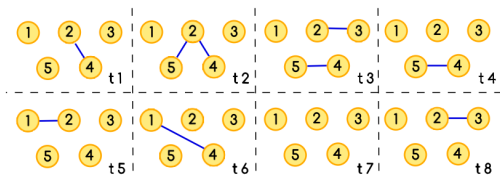
- reálné síť sestávají z kontaktů, které se v čase proměňují
- statická síť nezachycuje informaci o posloupnosti a vzdálenosti v čase

komunikační síť, *face-to-face* interakce, neurální síť, ekologické síť a interakce mezi druhy, ...

Temporální síť – motivace¹



a)



b)

$T = 240$ min, a) $\Delta t = 60$ min, b) $\Delta t = 30$ min



2

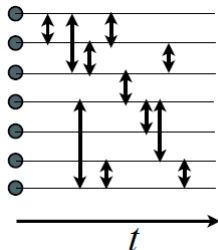
- **struktura sítě** = řečiště
- **dynamická síť** = změny řečiště (síť přátel)
- **temporální síť** = říční tok (síť setkávání a komunikace)

Sítě temporální, časově proměnné

$\mathcal{G}_{[0,T]} \equiv \mathcal{G} = \{G_1, G_2, \dots, G_M\}$,
 G_m – *snapshot* (řez, snímek) sítě.

Zpravidla ekvidistantní řezy

$$t_{m+1} = t_m + \Delta t, m = 1, \dots, M.$$



\mathcal{G} plně popsán

- maticemi sousedností $A(t_m)$
- výčtem událostí (událost $e = (i, j, t, \delta t)$ mezi uzly i, j , počátek kontaktu $0 \leq t \leq T$ a jeho trvání δt)

Temporální měřítko

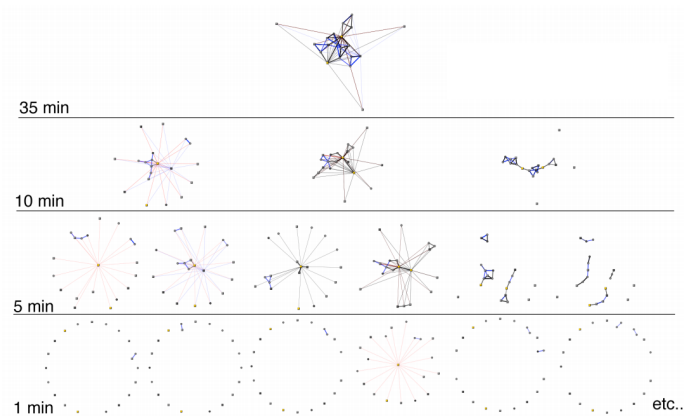
časové okno velikosti Δt

- $\Delta t = T \dots$ statická síť
- $\Delta t \rightarrow 0 \dots$ nekonečná sekvence okamžitých sítí
- doporučeně: maximální možné časové rozlišení

? víceškálové systémy

→ využití poznatků zpracování signálů, teorie informace, analýz časových řad, granularity modelu, segmentace časových řad, ...

Temporální měřítko – příklad³



Hodnocení topologie – souvislost

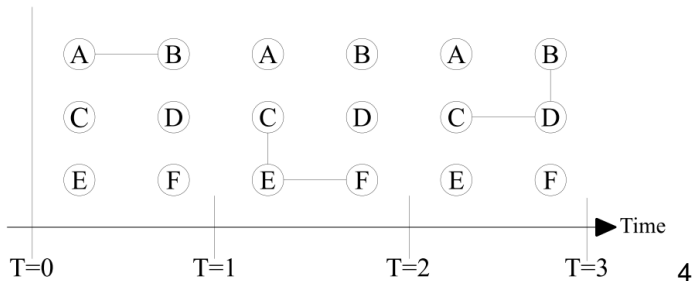
- **temporálně silně souvislá komponenta uzlu i :**
v orientovaném grafu uzel i temporálně dosažitelný z ostatních uzlů komponenty v čase $[0, T]$, všechny uzly komponenty dosažitelné z i
- **temporálně slabě souvislá komponenta uzlu i :**
 i temporálně dosažitelný z ostatních uzlů komponenty a naopak; v příslušné neorientované temporální síti

Metriky – temporální cesty I.

$$\mathcal{P}_{ij} = \{e_{ik}(t_1), e_{kl}(t_2), \dots, e_{xj}(t_L) \mid t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_L\}$$

- topologická / temporální délka cesty = počet kontaktů / čas mezi i a j
- temporální vzdálenost (latence) d_{ij} = temporální délka nejkratší temporální cesty
- temporální diametr sítě $D = \max_{ij} d_{ij}$
- NE reciprocita, NE tranzitivita, časová závislost

Metriky – temporální cesty II.



uzel často temporálně nedosažitelný z jiného, tj.
 $d_{ij} = \infty$, proto

temporální (globální) efektivita $\mathcal{E} = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{ij} \frac{1}{d_{ij}}$

Metriky – shlukovací koeficient

= schopnost událostí perzistovat napříč snímky

- $C_i(t_m, t_{m+1})$ topologický překryv okolí uzlu

• lokální shlukovací koeficient

$$C_i = \frac{1}{M-1} \sum_{m=1}^{M-1} C_i(t_m, t_{m+1})$$

• globální shlukovací koeficient

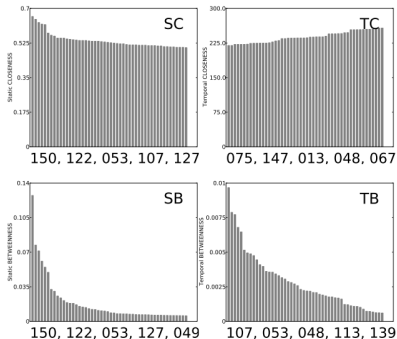
$$C = \frac{1}{N} \sum_i C_i$$

Metriky – centralita⁵

- **mezilehlost:** $C_i^B = \sum_{j \in V} \sum_{k \in V, k \neq j} \frac{\sigma_{jk}(i)}{\sigma_{jk}}$
Užitečné vzít v úvahu interval, během kterého informace čeká v uzlu před posláním dál
- **blížkost:** $C_i^C = \frac{N-1}{\sum_j d_{ij}}$
- **broadcast, receive centralita:** ne vše se šíří po nejkratších cestách; odhalení šířitelů a hlavních příjemců informace

⁵Nicosia V., 2013, Holme & Saramäki, 2013

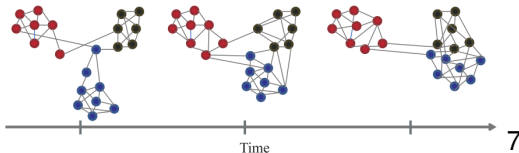
Statická vs. temporální centralita ENRON⁶



ID	Name	Role	Notes
9	Stephanie Panus	(Unknown)	
13	Marie Heard	Legal	Senior Legal Specialist
17	Mike Grigsby	Manager	
48	Tana Jones	Executive	
53	John Lavorato	Trader	
54	Greg Whalley	President	Former Head of Trading
67	Sara Shackleton	Vice President	Enron Wholesale Services
73	Jeff Dasovich	Trader	
75	Gerald Nemeč	Director of Trading	
107	Louise Kitchen	Trader	Head of Online Trading
122	Sally Beck	Managing Director	
127	Kenneth Lay	Chairman & CEO	
139	Mary Hain	Director	
147	Carol Clair	Trader	
150	Liz Taylor	Secretary	Assistant to Greg Whalley

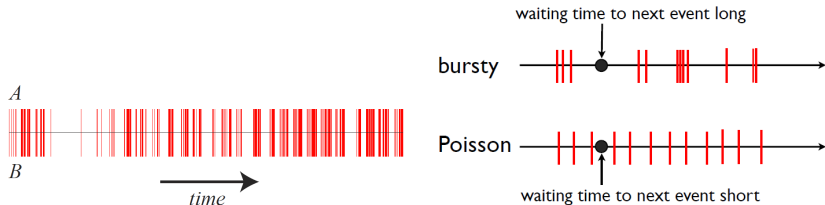
Metriky – komunitní struktura

- přeskupení soudržných skupin
- formování nových skupin
- fragmentace existujících



- maximalizace optimalizační funkce, parametry prostorového a temporálního rozlišení

Výbušnost (*burstiness*)⁸



- temporální nehomogenita
- události se v čase shlukují
- $B = \frac{\sigma_{\tau} - m_{\tau}}{\sigma_{\tau} + m_{\tau}}$, m_{τ} ... průměrný čas mezi událostmi, σ_{τ} ... std časů
 $B = -1$: periodické, $B = 0$: Poissonovo, $B = 1$: maximálně výbušné

⁸Saramäki, 2014, Goh K.-L., 2008

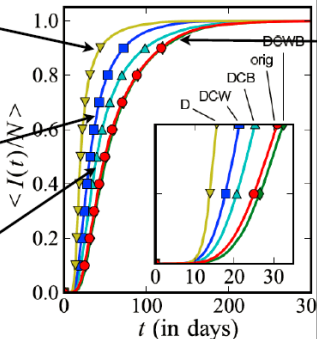
Small but slow world: how network topology and burstiness slow down spreading⁹

Šíření po síti v čase: reálný systém a nulové modely

odstranění
většiny
korelací

odstranění
výbušnosti

odstranění úzkých
míst, výbušnost
ponechána

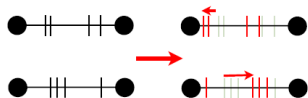
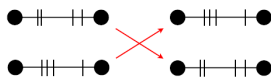
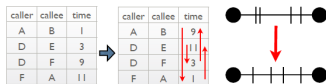


originální sekvence
telefonních hovorů

Výbušná dynamika
výrazně zpomaluje
šíření!

Referenční (nulové) modely

- náhodně permutované časy
- náhodné prohození celých sekvencí
- náhodně posunutá časy v sekvenci
- náhodné časy v sekvenci

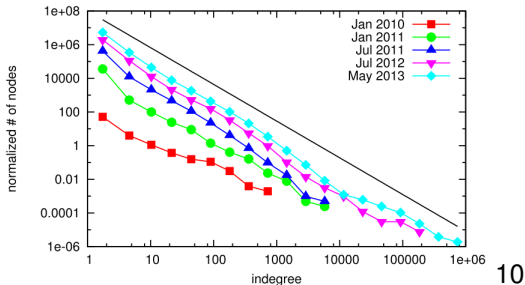


Shrnutí

- topologie a vlastnosti sítě s ohledem na čas
- množina řezů sítě sledující tok času
- rychlé temporální měřítko
- porovnatelné s temporálním měřítkem procesů na síti
- čas respektující cesty
- reálné systémy charakter malého světa a výbušného časování událostí

Zachycení časové složky

- analýza statických sítí v plovoucím okně



- analýza temporálních sítí