

Modely topologie Internetu

Pavel Troubil

13. prosince 2011

Přehled prezentace

- ▶ Motivace
- ▶ Náhodné grafy
- ▶ Hierarchie
- ▶ Power law
- ▶ HOT model
- ▶ dK-řady

Proč se zabývat topologií Internetu?

- ▶ Ověřování výkonu a funkčnosti protokolů
- ▶ Šíření červů, botnetů
- ▶ Návrhy obranných mechanismů

Metody výzkumu topologie Internetu

Měření skutečné topologie

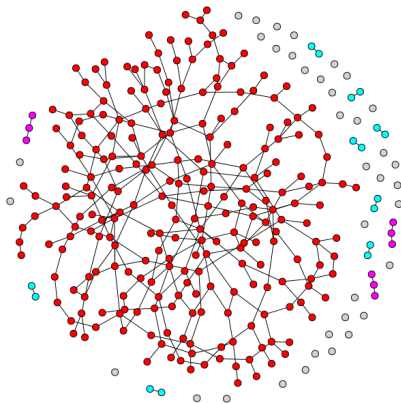
- ▶ Analýza traceroute, BGP
- ▶ Projekty Rocketfuel, Skitter

Teoretická práce

- ▶ Hledání charakteristických vlastností
- ▶ Návrh algoritmů pro generování náhodných sítí

Erdős–Rényi model

- ▶ Obecný model náhodných grafů
- ▶ $G(n, p)$
 - ▶ n – počet vrcholů
 - ▶ p – pravděpodobnost vzniku hrany
- ▶ Všechny hrany stejně pravděpodobné
- ▶ Průměrně $\binom{n}{2}p$ hran



Algoritmus

- ▶ Obdélníkový prostor
- ▶ Náhodně rozmístěné vrcholy
- ▶ Euklidovská vzdálenost
- ▶ $p(u, v) = \beta e^{\frac{-d(u,v)}{\alpha L}}$, $\alpha, \beta \in [0, 1)$
 - ▶ β - počet hran
 - ▶ α - poměr počtů krátkých/dlouhých hran

Transit-Stub model

Kritika Waxmana

- ▶ Grafy vizuálně nepodobné reálným sítím
 - ▶ Hierarchie
 - ▶ Páteř
 - ▶ Dlouhé linky skrz síť
- ▶ Nespojitost

Tři stupně hierarchie

- ▶ Tranzitní AS
- ▶ Koncové AS
- ▶ Lokální síť

Transit-Stub algoritmus

- ▶ Postup od nejvyšší úrovně dolů, pro každý prvek obdélníkový podregion
 - ▶ Vždy generuje souvislé (pod)grafy
1. Výběr umístění tranzitních AS, vytvoření hran mezi nimi
 2. Vytvoření uzlů v tranzitních AS a hran mezi nimi
 3. Výběr hraničních uzlů v tranzitních AS
 4. Výběr umístění koncových AS, vytvoření vnitřních uzlů a hran v AS
 5. Spojení koncových a tranzitních AS
 6. Výběr umístění lokálních sítí, topologie hvězda
 7. Připojení lokálních sítí ke koncovým AS

Power law v topologiích

Power law

- ▶ Mocninný vztah dvou veličin
- ▶ $f(x) = ax^k + o(x^k)$
- ▶ Obvykle $2 \leq k \leq 4$

Reálné příklady

- ▶ Síla zemětřesení
- ▶ Velikost kráterů na Měsíci
- ▶ Frekvence slov
- ▶ Velikost válek



Power law v Internetu

- ▶ Stupeň vrcholu vs. frekvence
 - ▶ mocnina $\approx 2,2$

- ▶ Počet hopů vs. počet dvojic uzlů v nejvýše této vzdálenosti
 - ▶ mocnina $\approx 4,7$

Bezškálové (scale-free) sítě

Model Barabási-Albert

Aspekty reálných sítí

- ▶ Růst sítě
- ▶ Preferované uzly

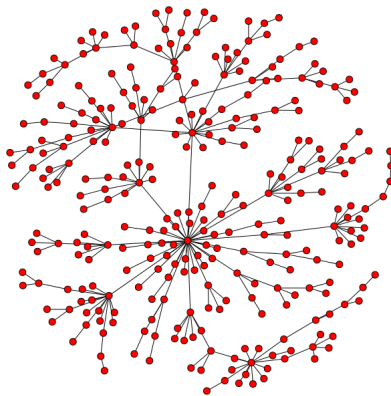
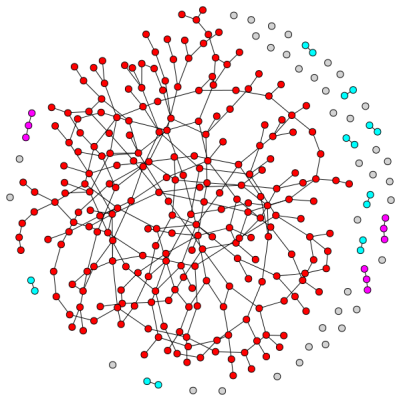
Algoritmus

- ▶ Začni s m_0 uzly
- ▶ Přidávej uzly s $m \leq m_0$ hranami

Vytváří bezškálové sítě

- ▶ Oba předpoklady nutné

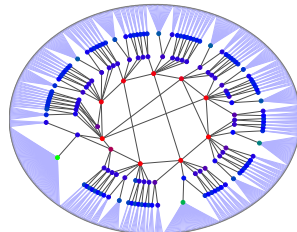
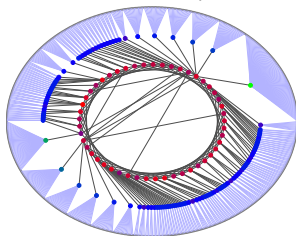
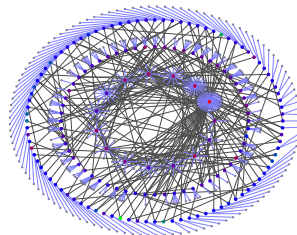
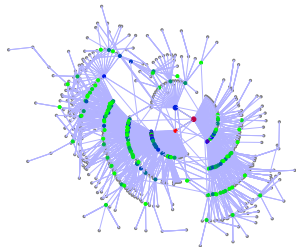
Srovnání Barabási-Albert a Erdős-Rényi



Kritika bezškálových sítí

Omezení na posloupnost stupňů

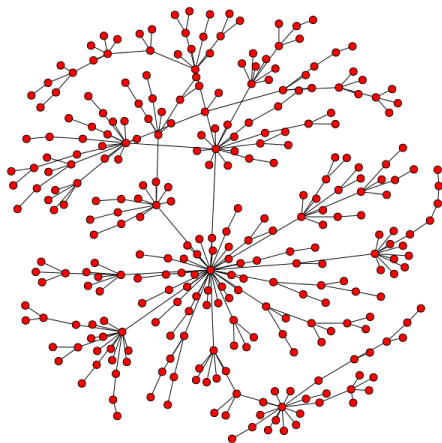
- ▶ Mnoho grafů různých vlastností se stejnou posloupností



Kritika bezškálových sítí

Vznik hubů

- ▶ Kritické uzly sítě, kterými prochází většina provozu
- ▶ Spojují síť dohromady



$L(g)$ metrika

$$l(g) = \sum_{(i,j) \in \text{Edges}(g)} d_i d_j$$

- ▶ Uvažujme jednu posloupnost vrcholů
- ▶ Množina takových grafů G

$$l_{max} = \max\{l(g) : g \in G\}$$

- ▶ Normalizovaná metrika:

$$L(g) = (l(g) - l_{min}) / (l_{max} - l_{min})$$

$$L(g) \in [0, 1]$$

- ▶ Vyšší $L(g) \Leftrightarrow$ uzly vysokých stupňů spojeny

L(g) konkrétně

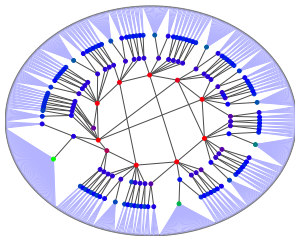
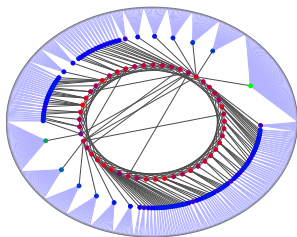
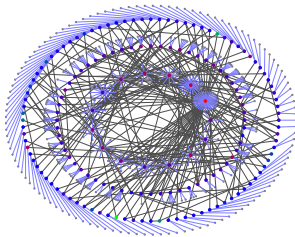
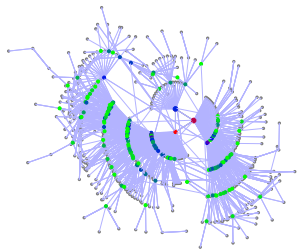
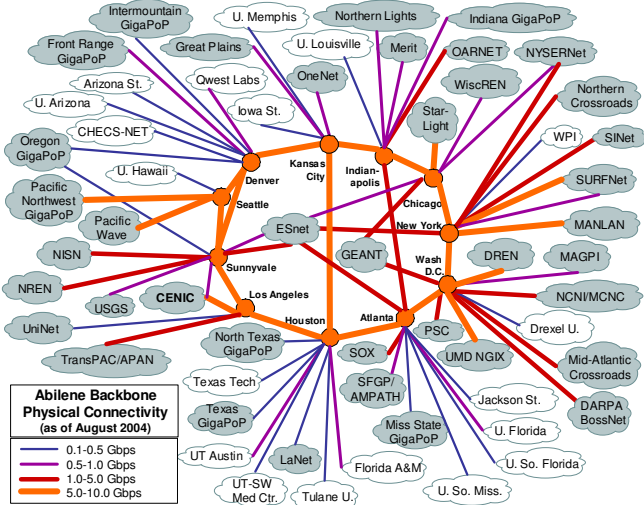


Schéma páteřní sítě Abilene



Přístup First-Principle

- ▶ Technologická omezení
- ▶ Ekonomický imperativ
- ▶ HOT - Heuristicky Optimální Topologie

Přepojení grafu z Barabási-Albert modelu

- ▶ Výběr uzlů nižšího stupně do jádra
- ▶ Jejich sousedi vyšších stupňů jakožto brány
- ▶ Redistribuce hran mezi branami a jádrem
- ▶ Přepojení okrajových uzlů

dK -rozdělení

dK -rozdělení – pravděpodobnostní rozdělení na podgrafech velikosti d

- ▶ $0K$ – průměrný stupeň vrcholu
- ▶ $1K$ – rozdělení stupňů vrcholu
- ▶ $2K$ – pravděpodobnost spojení vrcholů o daných stupních
- ▶ $3K$ – rozdělení podgrafů o 3 vrcholech



dK -grafy

- ▶ množina grafů se stejným dK -rozdělením jako vstupní graf
- ▶ $3K(g) \subseteq 2K(g) \subseteq 1K(g) \subseteq 0K(g)$
- ▶ nK – identický graf

Vstup vs. 0K



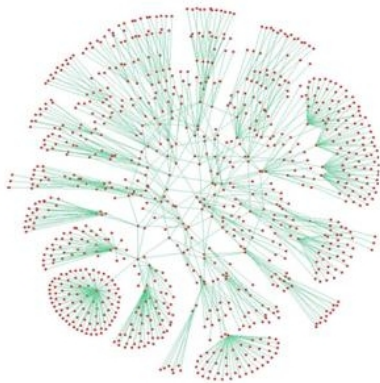
Vstup vs. 1K



Vstup vs. 2K



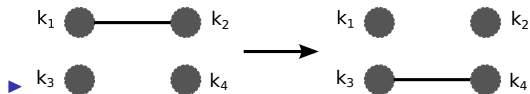
Vstup vs. 3K



Generování dK -grafů

Přepojování

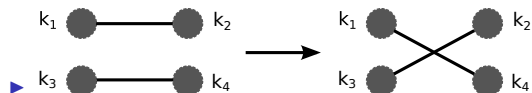
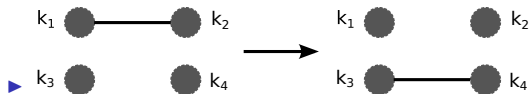
- ▶ Obecná metoda pro libovolné d



Generování dK -grafů

Přepojování

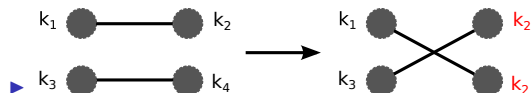
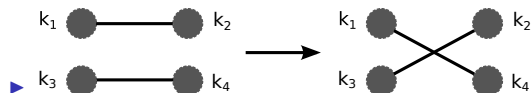
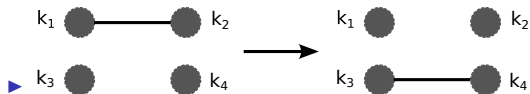
- ▶ Obecná metoda pro libovolné d



Generování dK -grafů

Přepojování

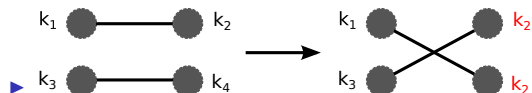
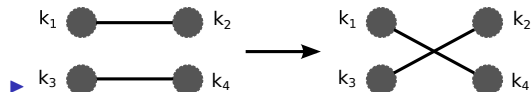
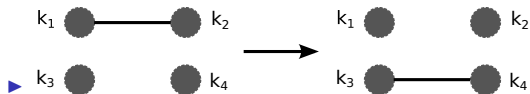
- ▶ Obecná metoda pro libovolné d



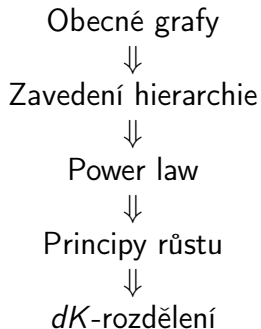
Generování dK -grafů

Přepojování

- ▶ Obecná metoda pro libovolné d



- ▶ Hledání takových přepojení, které nezachovávají isomorfismus



Děkuji za pozornost

Obrázky: autoři článků, wikipedia

Reference



David Alderson, Lun Li, Walter Willinger, and John C. Doyle.
Understanding internet topology: principles, models, and validation.
IEEE/ACM Transactions on Networking, 13:1205–1218, December 2005.



Albert-László Barabási and Réka Albert.
Emergence of Scaling in Random Networks.
Science, 286(5439):509–512, 1999.



John C. Doyle, David L. Alderson, Lun Li, Steven Low, Matthew Roughan, Stanislav Shalunov, Reiko Tanaka, and Walter Willinger.
The "robust yet fragile" nature of the Internet.
Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102(41):14497–14502, October 2005.



Michalis Faloutsos, Petros Faloutsos, and Christos Faloutsos.
On power-law relationships of the internet topology.
SIGCOMM Computer Communication Review, 29:251–262, August 1999.



Lun Li, David Alderson, Walter Willinger, and John Doyle.
A first-principles approach to understanding the internet's router-level topology.
SIGCOMM Computer Communication Review, 34:3–14, August 2004.



Priya Mahadevan, Dmitri Krioukov, Kevin Fall, and Amin Vahdat.
Systematic topology analysis and generation using degree correlations.
SIGCOMM Computer Communication Review, 36:135–146, August 2006.



Bernard M. Waxman.
Routing of multipoint connections.
IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 6(9):1617–1622, August 1988.