

Koncept Network Coding a jeho aplikace

8. prosince 2013

Obsah prezentace

- Sítě, propustnost (toky), multicast
- Co je to Network Coding?
- Jak ho můžeme využít?

Propustnost

Pro naše účely definujeme *síť* jako orientovaný acyklický graf $G = (V, E)$ s hranovým ohodnocením (kapacity linek).

Propustnost sítě

- kolik dat „protlačíme“ sítí za určitý čas
- závisí na kapacitě linek a na konkrétní topologii

Řez v grafu je rozdělení množiny vrcholů na dvě neprázdné podmnožiny T a T' . *Kapacita řezu* je součet kapacit hran vedoucích „mezi“ množinami T a T' .

Propustnost – definice

Propustnost sítě je dána větou *MaxFlow-MinCut*. Ta říká, že maximální propustnost je rovna minimálnímu řezu takovému, že zdroj dat je v T a přijímající v T' .

Definice platí pro:

- unicast
- broadcast
- multicast

Unicast

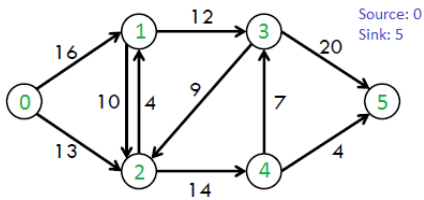
Po unicast umíme maximální tok najít pomocí algoritmu *Ford-Fulkerson*.
Neformálně: Algoritmus využívá hledání *zlepšujících cest*. Začíná s nulovým tokem od zdroje k příjemci a postupně ho zvyšuje, dokud je to možné (nejsou překročeny kapacity linek).

Zlepšující cesta od zdroje k příjemci je taková cesta, na které můžeme zvýšit tok, aniž by byla překročena kapacita některé linky na cestě.

V každém kroku algoritmu nalezneme nějakou *zlepšující cestu* a zvýšíme tok.

Neexistuje-li zlepšující cesta, algoritmus končí.

⇒ umíme efektivně realizovat maximální tok v grafech s jedním příjemcem.



Multicast

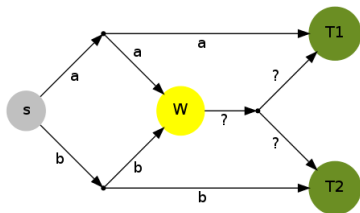
Pro multicast pořád platí věta MaxFlow-MinCut.

Problémem ale je, že neexistuje efektivní algoritmus pro hledání maximální propustnosti.

⇒ neumíme prakticky realizovat maximální tok (kromě brute-force způsobu).

Multicast

Příklad:

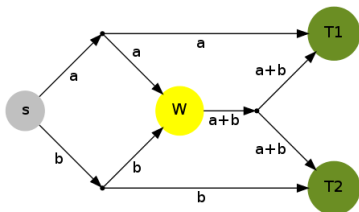


Hrany mají jednotkovou kapacitu a navštívení hran určují přenášenou informaci.

- Danou hranou umíme přenést jeden symbol za jednotku času.
- Uzel W může v daný okamžik přeposílat buď a nebo b .
- V obou případech bude přicházející tok v jednom z koncových uzlů pouze 1.
- Např. pošle-li uzel W symbol a , uzel T_1 obdrží dvakrát a (tok velikosti 1), a uzel T_2 obdrží a i b (tok 2).

Kódování

Situace se ale změní, povolíme-li uzlu W , aby *kódoval* přicházející informaci. Zvolme jednoduchou operaci kódování $+$ (konkrétně si za touto operací můžeme představit XOR).



- Protože velikost správy $a + b$ je 1, uzel W může tuto správu poslat v jednom kroku.
- Uzel T_1 obdrží a a taky $a + b$. Z toho jednoduše určí b jako $b = (a + b) - a$.
- Obdobně pro uzel T_2

Kódovací schema

Kódovací schema určuje pro každý uzel, jak má být vstupní informace kódována.

- Existují efektivní algoritmy pro návrh kódovacího schématu v obecnějších grafech.
- Jednotlivým uzlům přiřazujeme **lokální kódovací funkci**
- **Globální kódovací funkce** vyjádřují, jak je informace transformována při přechodu sítí, t.j., jak má příjemce zrekonstruovat úvodní informaci.
- Bylo dokázáno, že pro dosahování maximální propustnosti postačují **lineární** kódovací funkce (dvě po sobě jdoucí lineární kombinace tvoří opět lineární kombinaci)
- Z praktického hlediska to znamená, že každý příjemce musí řešit systém lineárních rovnic, kde neznámými jsou původní informace.

Algoritmy

- Polynomiální algoritmy pro vytváření kódovacích schém (LIF, LIFE, LIFE-CYCLE, LIFE*)
- Procházejí graf od zdroje k příjemci
- Konstruují kódovací funkce (vektory) pro každý uzel tak, aby výsledný systém obsahoval dostatečný počet lineárně nezávislých rovnic (jinak by neexistovalo jeho řešení a příjemce by nebyl schopen data zrekonstruovat)

Algoritmy II - praktické nevýhody

- kódovací schema musí být vytvořeno před přenosem
- pracují centralizovaně a na statických topologiích
- dojde-li ke změně topologie, musí se schema vypočítat znovu
- pracují se zjednodušeným modelem sítě
 - stejné kapacity linek
 - všechny datové toky jsou stejně velké
 - latence na všech linkách je stejná
 - operace v síti jsou synchronizované
 - ...

Dynamické sítě

Pro reálné sítě je vhodnější použít jiný přístup

⇒ **Náhodnostní kódování**

- využívá hluboké teoretické poznatky z oblasti *network coding*.
- ty ukazují, že znalost topologie není k dosahování maximální propustnosti pomocí kódování potřebná.

Náhodnostní kódování – myšlenka

- uzly v síti kódují přicházející informace pomocí náhodně vygenerovaných koeficientů (ty se zasílají spolu s daty)
- při průchodu sítí se nám opět „nabalují“ lineární kombinace, tentokrát ale náhodné
- aby přijímající mohl úspěšně dekodovat informace, potřebuje „nabírat“ dostatečný počet lineárně nezávislých kombinací
- kódujeme-li nad algebraickým polem vhodné velikosti, příjemce bude s vysokou pravděpodobností schopen dekodovat informace.
- neformálně: ve výsledku to funguje

Kontrolní otázka

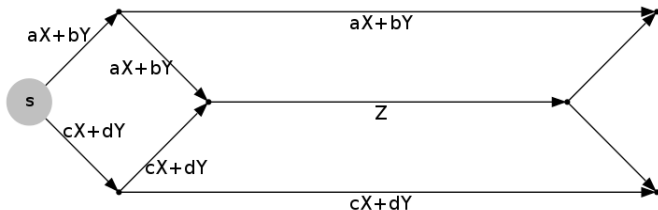
Jaký počet lineárních kombinací je **dostatečný**?

Kontrolní otázka

Jaký počet lineárních kombinací je **dostatečný**?

Každá lineární kombinace určuje jednu rovnici ve výsledném systému rovnic. Abychom mohli dekódovat, potřebujeme alespoň tolik rovnic, kolik jednotlivých bloků informace jsme obdrželi (obrázek na následujícím slajdu).

Random Linear Network Coding



$$Z = e(aX + bY) + f(cX + dY) = (ea + fc)X + (eb + fd)Y$$

Každý z příjemců řeší systém rovnic. Jedna z rovnic je v obou případech Z , druhou tvoří buď $aX + bY$ nebo $cX + dY$.

Aplikace I

Kromě dosahování maximální propustnosti se network coding využívá i v jiných oblastech, kde je třeba zvyšovat efektivitu šíření informace.

- Bezdrátové sítě
 - Systémy COPE, MORE
 - Streamování videa s prioritizací vrstev
 - Sítě pro spolupráci mobilních zařízení
 - Úprava TCP pro použití na ztrátových linkách
 - ...
- Peer-to-peer sítě
 - Poskytování obsahu velkému počtu uživatelů – systé Avalanche
 - Live Streaming

Aplikace II

- Distribuované úložiště
 - Navrhování robustních schémat
 - Snižování objemu dat přenášených v systému - Wuala
- Network Coding a GPU
 - Snaha o zrychlení kódovacích operací pomocí GPU, resp. spojeného CPU-GPU kódování
- ...



R. Ahlswede, S.-Y.R. Li, and R.W. Yeung.

Network information flow.

IEEE Transactions on Information Theory, 46(4):1204–1216,
July 2000.



T. Ho, M. Medard, R. Koetter, D.R. Karger, M. Effros, J. Shi,
and B. Leong.

A Random Linear Network Coding Approach to Multicast.

IEEE Transactions on Information Theory, 52(10):4413–4430,
October 2006.



S.-Y.R. Li and R.W. Yeung.

Linear network coding.

IEEE Transactions on Information Theory, 49(2):371–381,
February 2003.