Forgalom igény tudatos hálózat tervezés minimális torlódással és úthosszal

Tudáskezelő rendszerek II. labor összefoglaló

Szecsődi Imre

2019

Tartalomjegyzék

1. fejezet

Bevezetés

A labor munka a Demand-Aware Network Design with Minimal Congestion and Route Lengths [4] cikk alapján készült.

1.1. Motiváció

- A technika előrehaladásával egyre nagyobb lett a feldolgozandó adatok mennyisége
- Adattárházakban a szerverek közötti kommunikáció is ezáltal megnövekedett
- A jelenlegi hálózatok a legrosszabb esetre vannak tervezve, azaz, hogy majdnem teljes sávszélességű, kétirányú kapcsolat álljon fent bármelyik két szerver között
- A valós kommunikáció nem ezt a sémát követi, hanem túlnyomó részt megadott párok között történik a legtöbb kommunikáció

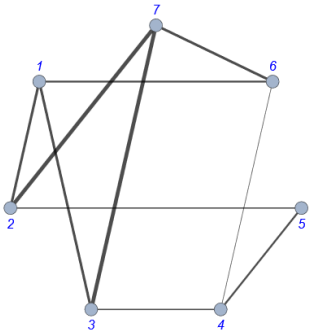
Microsoft Research ProjecToR [5].

- Nézzünk meg pár valós példát, Microsoft adattárházában 250 ezer szervert 5 production klaszterben elosztva

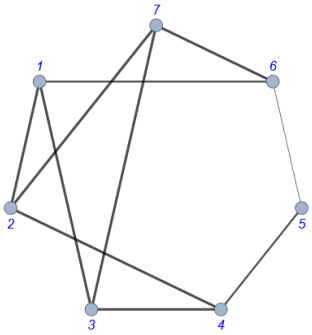
1.1.1. Hálózat tervezési stratégiák

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	3/60	4/60	1/60	1/60	1/60	1/60
2	3/60	0	2/60	0	1/60	0	4/60
3	4/60	2/60	0	2/60	0	0	4/60
4	1/60	0	2/60	0	3/60	0	0
5	1/60	1/60	0	3/60	0	0	0
6	1/60	0	0	0	0	0	3/60
7	1/60	4/60	4/60	0	0	3/60	0

(a) Demand distribution



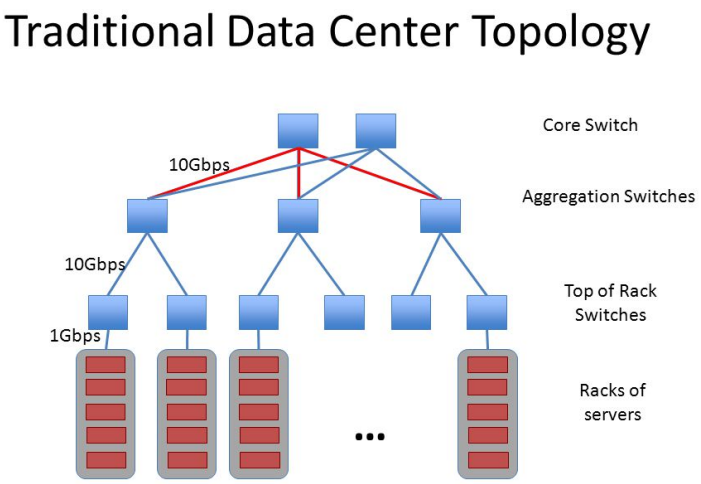
(b) Optimal route length



(c) Optimal route congestion

- A technika fejlődésével elérhetővé váltak eszközök arra, hogy egy adott hálózatot újra konfiguráljunk, attól függően milyen terhelés éri
  - pl, korábbi kommunikációs minták alapján
- Két fő optimalizációs lehetőség van, legyen rövid az út (a) vagy legyen minimális a torlódás (b)
- A cikk bemutat egy módszert arra, hogy lehet mindkettőre majdnem optimális megoldást adni egyszerre (c)

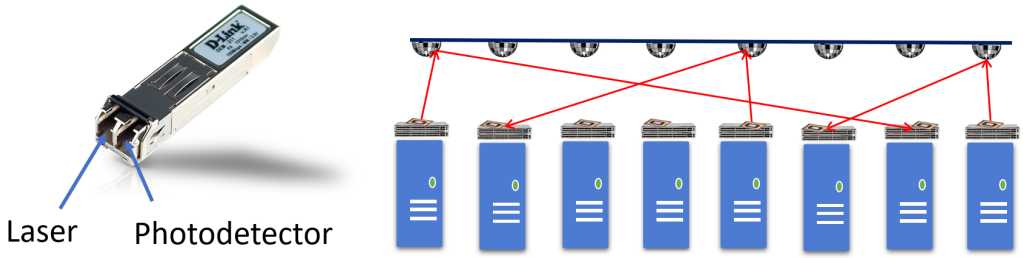
1.1.2. Adattárházak hálózati felépítése



- Core switch
- Aggregation Swtiches
- Top of Rack Switches
- In-Rack Switches

1.1.3. Újrakonfigurálás megvalósítása

- Átlag hálózatok statikusan vannak konfigurálva, nem sok lehetőséget adva annak, hogy változtassunk
  - pl. Ethernet switchek
- Optikai switchek már újra tudják konfigurálni magukat, de ezek "lassúak"
- Microsoft Research - ProjecToR[5], lézer segítségével kiváltani az optikai switcheket, 1.1 ábrán látható a maga az eszköz
  - 12 μs váltás idő (2500x gyorsabb mint egy optikai hálózati switch)



1.1. ábra. ProjecToR

1.2. Labor célja

A labor célja a cikkben[4] bemutatott algoritmus implementálása, és annak alkalmazása különböző véletlenszerűen generált gráfokra. A kapott eredményeket össze lehet hasonlítani a megadott elméleti korlátokkal.

1.3. Laborban megvalósított munka

A labor ideje alatt elkészült egy keretrendszer, ami segítségével tesztelhető a szerzők által felvázolt algoritmus. A keretrendszer Python [3] nyelven íródott. Egy véletlen gráfok generálására egy külső csomag lett használva [2]

2. fejezet

Modell

2.1. Forgalom igény tudatos hálózat tervezés probléma

- Vegyünk egy hálózatot meghatározott számú csomóponttal
- A hálózathoz tartozik egy demand mátrix, ami leírja a valószínűségét annak, hogy i forrásból mekkora eséllyel lesz adat küldve j célba
- A cél, hogy ezen adatból egy olyan hálózati séma készítése, ami kis torlódást és rövid utakat eredményez, ez mellett még skálázható is

2.2. Formális felírás

- Adott N darab csúcspont $V = \{1, ..., N\}$, és egy kommunikációs séma M_D ami egy $N \times N$ mátrix
- A mátrix (i, j) eleméhez tartozik egy $p(i, j)$ valószínűség, ahol i a forrás csomópont és j a cél
- A bemeneti mátrix ábrázolható egy irányított G_D gráfban, ahol az élsúlyok a két pont közötti kommunikációs valószínűség
- Az algoritmus feltétele, hogy a mátrix ritka legyen
- Egy N hálózatra a torlódást és az úthosszt útválasztási sémával fogjuk definiálni
- Egy útválasztási séma az N hálózatra $\Gamma(N)$, ami Γ_{uv} utak halmaza, ahol (u, v) párok különböző utakat jelölnek
- Γ_{uv} egy útsorozat, ami összeköti az u pontot v ponttal

2.2.1. Torlódás

1. Definició. *A torlódást egy $\Gamma(N)$ útválasztási sémán a D demand mátrix segítségével írjuk fel:*

$$C(D, \Gamma(N)) = \max_{e \in \Gamma(N)} \sum_{e \in \Gamma(uv)} p(u, v)$$

2.2.2. Úthossz

2. Definició. *Az átlag súlyozott úthosszt egy $\Gamma(N)$ útválasztási sémán a D demand mátrix segítségével írjuk fel:*

$$L(D, \Gamma(N)) = \sum_{(u,v) \in D} p(u, v) \cdot d_{\Gamma(N)}(u, v)$$

ahol a $d_{\Gamma(N)}(u, v)$ az útvonal hosszát jelöli

2.2.3. Skálázhatóság

- A hálózatot skálázhatóra kell tervezni, ezért meghatározunk egy Δ konstans fokszámot, ami a maximális csatlakozások számát fogja meghatározni egy adott csomóponthoz
- N_Δ jelölje az összes Δ fokszámú gráfot, és elváruk, hogy $N \in N_\Delta$

2.2.4. Optimális torlódás

Az optimális torlódást egy hálózatra, úgy határozzuk meg, hogy a csak a torlódást vesszük figyelembe számításkor

$$C^*(D, \Delta) = \min_{N \in N_\Delta, \Gamma(N)} C(D, \Gamma(N))$$

2.2.5. Optimális úthossz

Az optimális úthosszt egy hálózatra, úgy határozzuk meg, hogy a csak az úthosszt vesszük figyelembe számításkor

$$L^*(D, \Delta) = \min_{N \in N_\Delta, \Gamma(N)} L(D, \Gamma(N))$$

2.3. cl-DAN hálózat tervezése

3. Definició. *Adott egy D demand mátrix, és egy Δ maximális fokszám, az (α, β)-cl-DAN hálózat tervezési probléma:*

- *Hogy tervezzünk egy olyan $N \in N_\Delta$ hálózatot, és egy hozzá tartozó $\Gamma(N)$ útválasztási sémát, ami közel optimális torlódásra és úthosszra is*

Az algoritmus egy felső korlátot tud adni arra, hogy mennyivel fog eltérni a megoldás az optimálistól.

- *Torlódásra:* $C(D, \Gamma(N)) \leq \alpha \cdot C^*(D, \Delta) + \alpha'$
- *Úthosszra:* $L(D, \Gamma(N)) \leq \beta \cdot L^*(D, \Delta) + \beta'$

Az alfa vessző és béta vesszők olyan tényezők aki amik függetlenek a problémától

2.4. EgoTree

- Az Egofa egy torlódásra és úthosszra optimalizált fa hálózat egy csomópontra nézve
- Az Egotree-t definiáljuk a következő módon,

  $EgoTree(s, \bar{p}, \Delta)$:

  - s a forrás csomópont
  - $\bar{p}$ a szomszédainak eloszlásai
  - Δ fokszám
- Ez közel optimális megoldást ad torlódásra és úthosszra

1. Tétel. *Adott egy $\bar{p}$ frekvencia eloszlás az s forrás ponthoz, és adott egy Δ fokszám, ekkor az $EgoTree(s, \bar{p}, \Delta)$ egy (α, β)-cl-DAN a következő paraméterekkel:*

- $\alpha = \frac{4}{3}$
- $\beta = log^2(\Delta + 1)$

2.5. $EgoTree(s, \bar{p}, \Delta)$ algoritmus

1. s a gyökér elem, Δ fokszámmal, üres fa
2. Rendezzük sorba $\bar{p} = \{p1, p2, ..., p_k\}$ valószínűségeket csökkenő sorrendben
3. Kezdjük rárakni a fára a csomópontokat, a gyökér elemre legfeljebb Δ levél kerülhet
4. Mikor elértük a Δ levelet, a következő csomópontokat mindig a legkisebb összesített súlyú levélre kapcsolok rá, itt már legfeljebb két levele lehet minden fának

2.5.1. Algoritmus elemzése

- A kapott eredményben látható, hogy a maximális torlódás a legnagyobb súlyú élen van
- Minimalizálni ezt, lényegében egy időzítés probléma, hogy osszuk ki a munkákat Δ processzornak, hogy minden leghamarabb kész legyen
- Erre az optimális algoritmus NP-nehéz, de van közelítő módszer

2.5.2. Longest Processing Time (LPT)

- Először sorba rendezzük a feladatokat hossz szerint csökkenő sorrendben
- Ha van szabad processzor, akkor ahhoz rendeli a leghosszabb munkát
- Ha nincs akkor ahhoz a processzorhoz rendeli, ahol a legkevesebb ideig tart a munka

2. Tétel. *Legyen ω_L a maximum idő, mielőtt egy processzor befejezi az összes munkát a mohó LPT algoritmus szerint, és ω_0 az optimális, ekkor*

$$\frac{\omega_L}{\omega_0} \leq \frac{4}{3} - \frac{1}{3\Delta}$$

Ez az algoritmus polinom időben lefut

1. Lemma. *Az $EgoTree(s, \bar{p}, \Delta)$ ad egy $\frac{4}{3}$ szorzóval nagyobb közelítést a minimális torlódásra az optimális Δ fokú fához képest, ami kiszolgál $\bar{p}$ frekvencia eloszlást egy adott s forrás csomópontra*

2. Lemma. *Az $EgoTree(s, \bar{p}, \Delta)$ ad egy $log^2(\Delta + 1)$ szorzóval nagyobb közelítést a minimális úthosszra az optimális Δ fokú fához képest, ami kiszolgál $\bar{p}$ frekvencia eloszlást egy adott s forrás csomópontra*

2.6. cl-DAN algoritmus

3. Tétel. *Legyen D egy szimmetrikus kommunikáció kéréseloszlás , ahol az átlag csúcs fokszáma ρ, (azaz az élek száma $\rho \cdot \frac{n}{2}$. Ekkor a maximum fokszám $\Delta = 12\rho$, ehhez lehetséges generálni egy (α, β)-cl-DAN hálózatot, ahol:*

- $\alpha = 1 + (\frac{8}{9})\Delta$
- $\beta = 1 + 4log^2(\Delta + 1)$

Konstans ρ esetén ez konstans közelítést ad a minimális torlódásra és az optimális úthosszra

1. Felosszuk a hálózat csúcsait két halmazra, H - magas és L - alacsony fokszámúakra fele-fele arányban
   - Az alacsony fokszámú csúcsok fokszáma legfeljebb 2ρ
2. Megkeressük az összes olyan (u, v) élt, ahol u és v is a magas fokszámú halmazba tartozik
3. Az ilyen éleket a gráfban kiegészítjük egy segítő csomóponttal, $l \in L$, az eredeti csomópontok között megszüntetjük az élt, és felveszünk két új élt (u, l) és (v, l)
   - Minden segítő l csúcs választásakor egy még nem felhasználtat válasszunk az L halmazból
4. Meghatározunk egy mátrixot, ami első lépésben az eredeti
   - Ahol segítő csomópontot vettünk fel, ott az útvonal hosszúhoz hozzá kell még adni az l-el való áthaladást is, és törölni kell az eredeti pontok közti élt
   - Ezután elkészítjük a magas halmaz csúcsaira a T_u fát, ahol a valószínűségeket a mátrixból kiolvassuk, $\Delta = 12\rho$ fokszámmal, ez közel optimális megoldást ad mindkét fel
5. Mivel u és v pontok közt egy l segítő csomópont van használva ezért T_u és T_v módosításra szorul. Alakítsuk át először T_u-t T'_u-ra
   - Ha $l \notin T_u$, $(p(u, l) = 0)$, akkor l átveszi v helyét T'_u-ban
   - Ha $l \in T_u$, $(p(u, l) > 0)$, akkor két lehetőségünk van:
     - Ha $(p(u, l) > (p(u, v))$, akkor töröljük v-t a fából
     - Ha $(p(u, l) \leq (p(u, v))$, akkor l átveszi v helyét T'_u-ban
   - T'_v hasonlóan számítjuk ki, ezzel garantálva, hogy T'_u és T'_v közötti kommunikáció az l csomóponton keresztül fog áthaladni
6. Konstruáljuk meg az új N hálózatot, vegyük az előbb készített egofákat és vegyük az uniójukat, azaz húzzuk be az összes olyan élet amik szerepeltek a fákban
   - De mivel nem csak magas fokú csomópontok közt történhetett adatforgalom, ezért még vegyük hozzá az N hálózathoz azokat az éleket is, ahol mindkét csomópont alacsony fokszámú volt

3. fejezet

Megvalósítás

3.1. Keretrendszer

A keretrendszer Python 3 nyelven íródott, és a Networkx külső csomag volt használva a véletlen gráfok generálására. A példakód megtalálható futtatható hagyományos Python programként és Jupyter notebookban.

3.2. Adatszerkezetek

A modell alapját pár egyszerű alaptípus adja. Ezek rendre a következők:

- **Vertex** - az általános gráf csúcspont
- **Node** - az *Egófák* készítésekor használt csomópontok amik tartalmazzák a valószínűségét annak, hogy a forrás csomópont mekkora valószínűséggel fog kommunikálni a másik *Node* csomóponttal
- **Edge** - az gráf csomópontjait reprezentáló szakasz, ami *Vertexet* vár paraméterként, és tárolja a valószínűséget, hasonlóan mint a *Node*
- **Tree** - ami adja az alapját majd a útvonal tervezési sémának. A fának két fajtája lehet:
  - **BinTree** - a kettő fokú fa
  - **EgoTree** - a Δ fokú fa, ahol a gyökérnek legfeljebb Δ levele lehet, és a levelek pedig *BinTree* típúsuak.

3.3. Modell

A **Network** osztály valósítja meg az algoritmust, bemenete egy konfiguráció, kimenete egy útválasztási séma. Az útválasztási séma mellett még metaadatként ki van

számolva az átlag súlyozott úthossz és a torlódás az adott hálózatra.

Bementi konfigurációt többféle módon lehet megadni attól függően milyen gráfot akarunk használni. Lehetőség van kézileg megadni a demand mátrixot vagy generálhatunk kétféle véletlen gráfot. Véletlen gráfok amit tud generálni a program:

- Erdős-Rényi gráf
- Barabási-Albert gráf

Egy minta konfiguráció, ami tartalmaz példát mind három esetre:

```
{
  "config": [ {
        "graph": "erdos-renyi",
        "vertex_num": 11,
        "dan": null,
        "constant": 3
  }, {
        "graph": "barabasi-albert",
        "vertex_num": 11,
        "dan": 3,
        "m": 4
  }, {
        "graph": "manual",
        "vertex_num": null,
        "dan": 3,
        "demand": [
                [0, 3, 4, 1, 1, 1, 1],
                [3, 0, 2, 0, 1, 0, 4],
                [4, 2, 0, 2, 0, 0, 4],
                [1, 0, 2, 0, 3, 0, 0],
                [1, 1, 0, 3, 0, 0, 0],
                [1, 0, 0, 0, 0, 0, 3],
                [1, 4, 4, 0, 0, 3, 0]]
        } ]
}
```

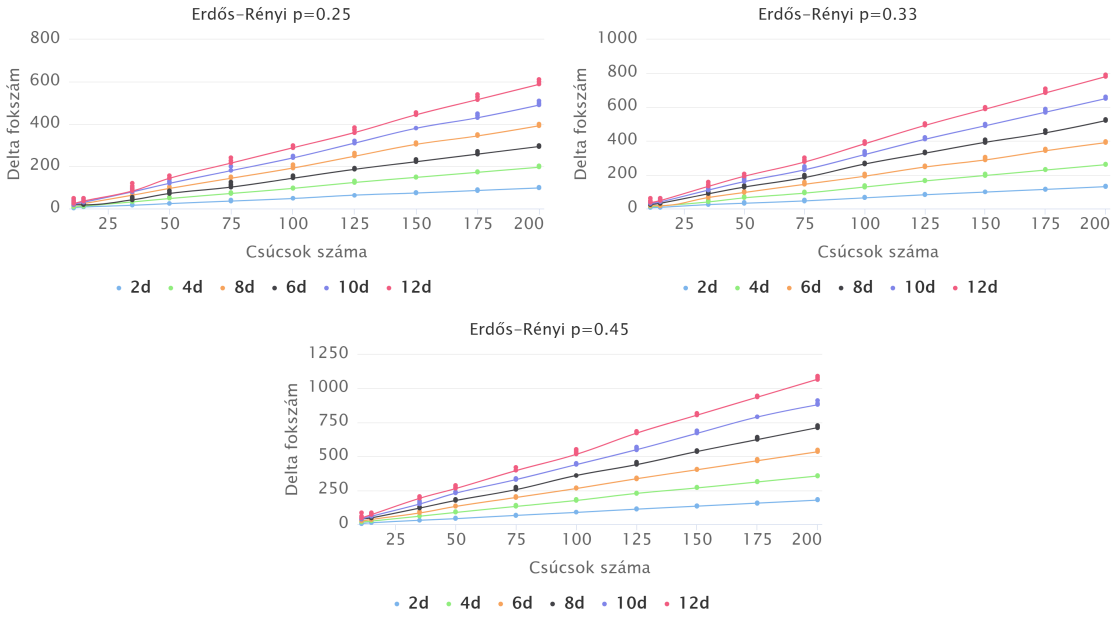
3.4. Kimenet

Az program kimenete, az algoritmus által kiszámolt metrikák, átlag súlyozott úthossz és torlódás. Ha a rajzolás opció be van kapcsolva, akkor a kiindulási hálózat,

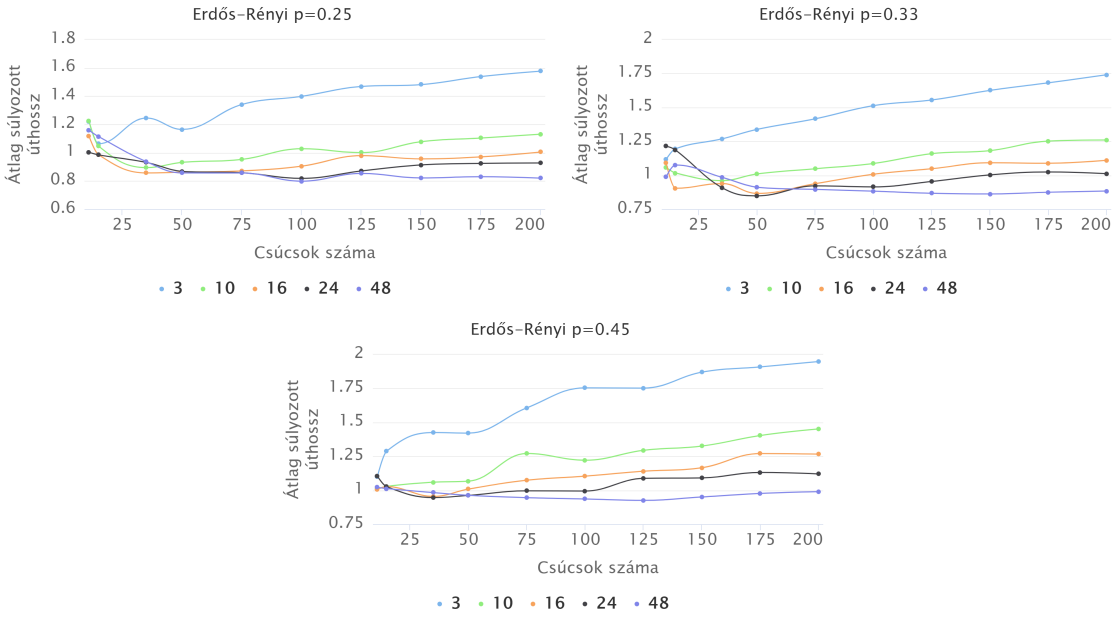
az egófák és az új hálózat választási séma ki lesz rajzolva.

4. fejezet

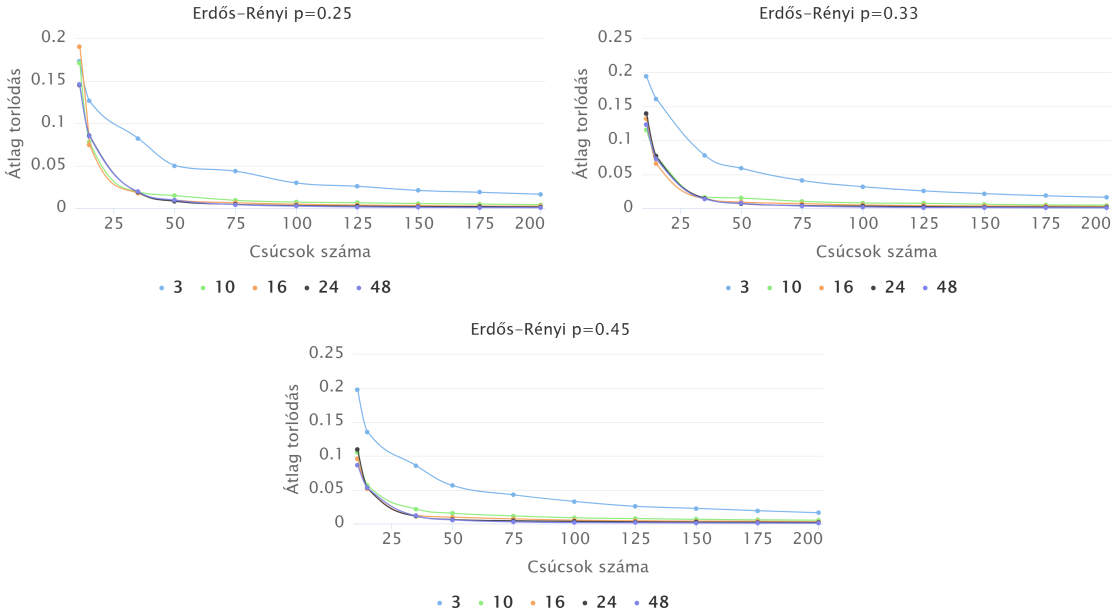
Teszt eredmények



4.1. ábra. Delta fokszám



4.2. ábra. Átlag súlyozott úthossz



4.3. ábra. Átlag súlyozott úthossz

5. fejezet

Összefoglalás

6. fejezet

Irodalomjegyzék

[1] Jupyter - https://jupyter.org/.

[2] NetworkX - http://networkx.github.io/.

[3] Python - Python.org.

[4] C. Avin, K. Mondal, and S. Schmid. Demand-Aware Network Design with Minimal Congestion and Route Lengths. page 9.

[5] M. Ghobadi, D. Kilper, R. Mahajan, A. Phanishayee, N. Devanur, J. Kulkarni, G. Ranade, P.-A. Blanche, H. Rastegarfar, and M. Glick. ProjecToR: Agile Reconfigurable Data Center Interconnect. In *Proceedings of the 2016 conference on ACM SIGCOMM 2016 Conference - SIGCOMM '16*, pages 216–229, Florianopolis, Brazil, 2016. ACM Press.