

Távközlő hálózatok és szolgáltatások

Forgalmi követelmények, hálózatméretezés

*Csopaki Gyula
Németh Krisztián
BME TMIT
2012. nov. 21.*



A tárgy felépítése



- 1. Bevezetés
- 2. IP hálózatok elérése távközlő és kábel-TV hálózatokon
- 3. VoIP
- 4. Kapcsolástechnika
- 5. Mobiltelefon-hálózatok
- 6. **Forgalmi követelmények, hálózatméretezés** ←
- 7. Kodekek
- 8. Jelzésátvitel
- 9. Gerinchálózati technikák (Cinkler Tibor)
- 10. Távközlő rendszerek telepítése és üzemeltetése (Cinkler Tibor)

Forgalmi követelmények, hálózatméretezés

- **Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése** ←
- Csomagkapcsolt hálózatok forgalmi jellemzése
- Egy gondolat a teljesítőképességről



Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése

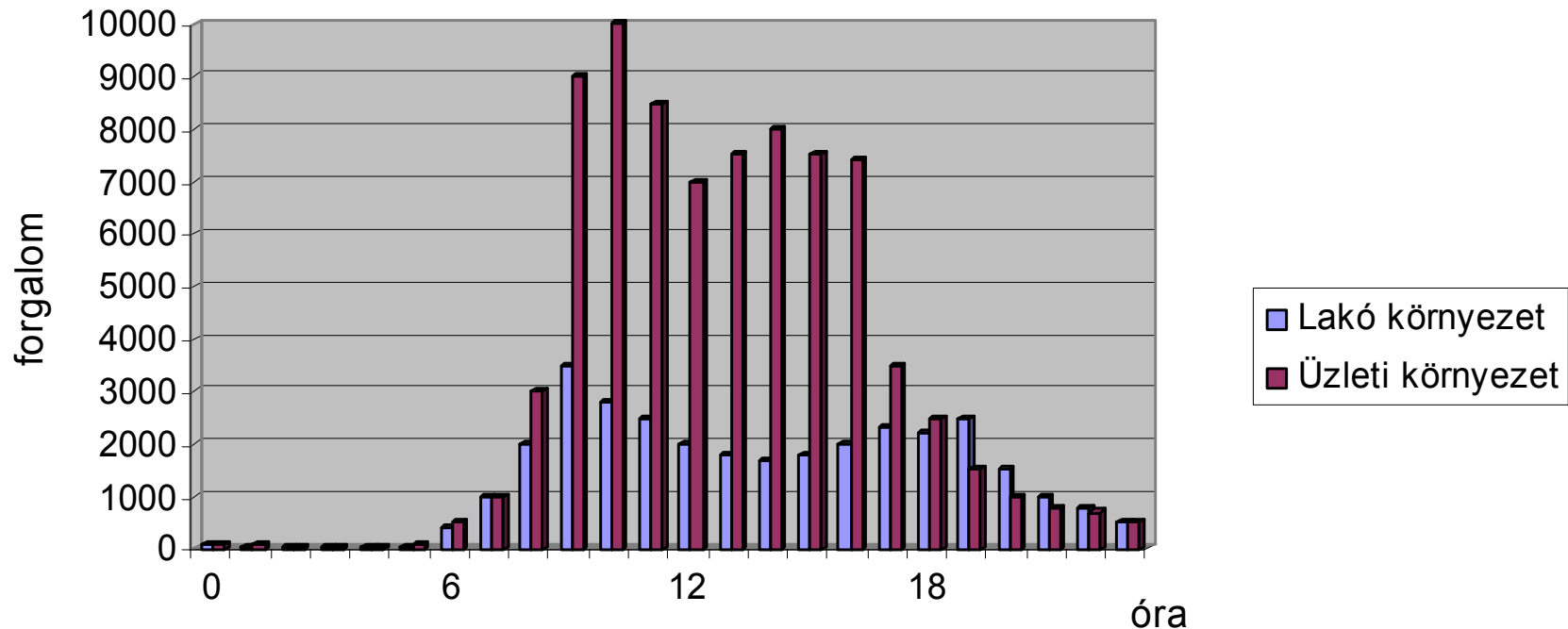
- Cél: hálózat méretezése
- Pl. 10 000 előfizető \neq 10 000 áramkörre méretezett kapcsolóközpont és átviteli utak
- Cél pontosabban: *legkevesebb hány ák. kell, hogy a blokkolás adott érték alatt maradjon?*
 - Blokkolás: {túlterhelés miatt sikertelen hívások száma} / {összes hívás száma}
- Ehhez kell: forgalmi statisztikák
 - pl. az előfizetők mikor, milyen gyakran, milyen hosszan beszélnek

Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése

- Ehhez két leíró:
 - $X(t)$ – $[0, t]$ intervallumban beérkezett hívások száma
 - $Y(t, \tau)$ – a hívások tartásideje:
 - két dimenziós eloszlás sűrűségfüggvénye, ahol egy hívás t időben kezdődik és $t + \tau$ -kor végződik
 - $Y(t, \tau)$ -ről feltételezzük, hogy:
 - független az előző kimenetelektől (OK),
 - és a felhasználótól (!),
 - de az időtől (t) függhet
- Adott a maximálisan elfogadható blokkolás
- Hány áramkör kell?
- Ez így túl nehéz, de nekünk elég egy egyszerűbbet megválaszolni

Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése

- Ugyanis a tapasztalat a *forgalomról* (=egyszerre hány hívás van egy központban) ilyen jellegű:

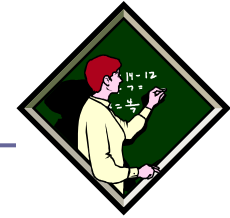


- „Worst case” méretezés: a „csúcsforgalomra” tervezünk
- Ekkor jó közelítéssel $X(t)$ növekménye stacionárius: a forgalom kb. állandó
- Erre az időszakra mondhatjuk, hogy a tartásidő eloszlása is független az időtől (azonos)

Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése

- Ekkor jelentősen egyszerűsödik a modell.
 - A megfigyelések alapján jó közelítés:
 - $X(t)$ -- Poisson folyamat. Várható érték=param.= λ
 - λ -- hívásgyakoriság [1/óra]
 - $Y(t, \tau) = Y(\tau) \leftarrow$ exponenciális eloszlás. Várható érték=1/param.= h
 - h -- átlagos tartásidő [perc] (!)
 - A – forgalomintenzitás
 - $A = \lambda \cdot h$
 - A [1], de szokás Erl-lel (Erlang) jelölni
 - Pl.: egy üzleti előfizető
 - $\lambda = 3$ [1/óra]
 - $h = 3$ [perc]
 - $A = 3$ [1/óra] \cdot 0.05 [óra] = $0,15$ [Erl]
 - Pl.: központ 10 000 előfizetővel
 - $\lambda = 4000$ [1/óra]
 - $h = 3$ [perc]
 - $A = 4000$ [1/óra] \cdot 0.05 [óra] = 200 [Erl]
- A t idő alatt beérkezett hívások száma λt paraméterű Poisson eloszlással adható meg.
• A beérkezések (hívások kezdete) között eltelt időt λ paraméterű exponenciális eloszlás írja le.

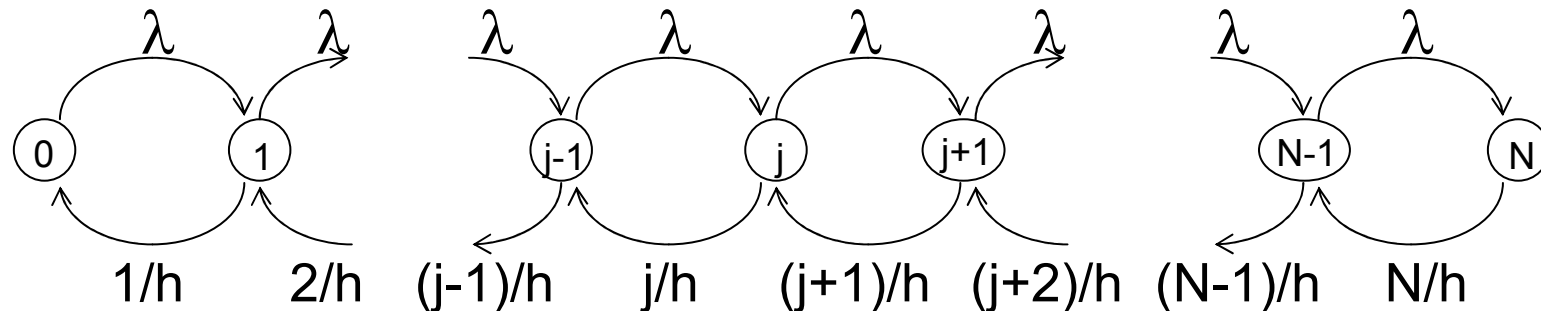
A matematikai modellekről



- A következő fóliákon lévő levezetések viszonylag egyszerűek
- Ugyanakkor többé-kevésbé feltételezik a Markov láncok ismeretét
- Ezzel együtt bent hagytam az előadásban, mert érdekes és nem bonyolult
- *De a címsorban (*)-gal megjelölt fóliákat nem kell tudni a vizsgára!*

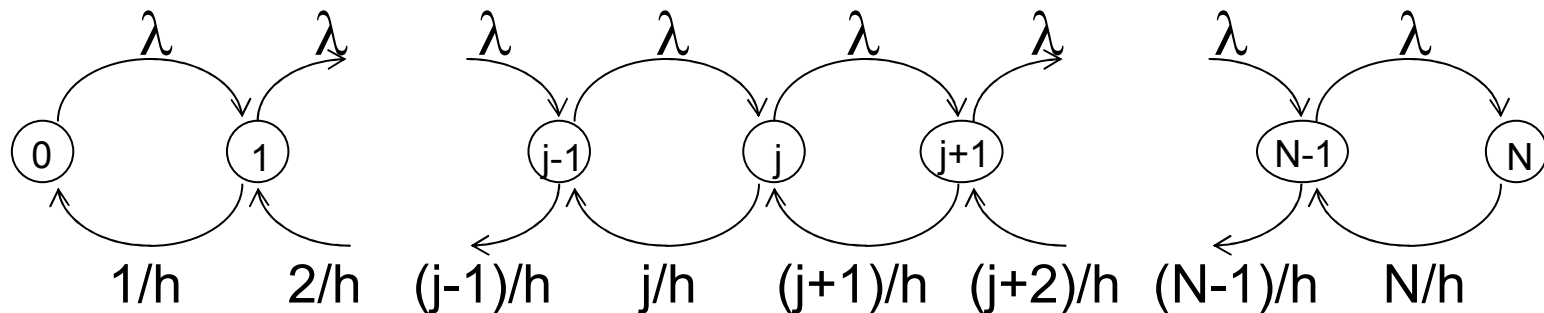
Az Erlang modell (*)

- E rendszer modellezésére használjuk az ún. folytonos idejű Markov láncot!



- Az állapotok jelentése: ennyi vonal foglalt éppen
- Pl. j . állapotban maradunk amíg:
 - be nem fejeződik egy hívás: j/h paraméterű exp. eloszlás adja meg, hogy ez mikor következik be, $j-1$. állapot a következő
 - új hívás érkezik: λ paraméterű exp. eloszlás adja meg, hogy ez mikor következik be, $j+1$. állapot a következő
 - abba az irányba megyünk, amelyik esemény előbb történik meg
- Markovi tulajdonság: a jövő csak a jelentől függ, a múlttól nem
 - Ha most k db. vonal foglalt, akkor mindegy, hogy korábban $k+1$ vagy $k-1$ volt foglalt
 - Az exponenciális eloszlás örökifjú tulajdonsága miatt az is mindegy, mennyi ideje vagyunk az adott állapotban

Az Erlang modell (*)



- **Fontos!** Feltesszük, hogy elég sok felhasználó van, ezért egy új igény beérkezése után is λ marad az előrelépési intenzitás
 - reálisan csökkennie kéne, hiszen már kevesebb felhasználó van, aki hívást kezdeményezhet
 - ez az Erlang modellnek a lényege, egyben a gyengéje
 - de ettől lesz egyszerű
 - többszáz felhasználó esetén jól használható közelítés

Az Erlang modell (*)

- Próbáljuk ennek segítségével megoldani az eredeti problémát!
- Legyen $P_i(t)$ annak a valószínűsége, hogy a rendszer az i . állapotban van a t időpontban
- Nézzük meg a rendszer állapotát egy kis Δt idővel később!
 - feltesszük, hogy addig max. egy új hívás érkezik <kizáró vagy> egy hívás ér véget
 - annak a valószínűsége, hogy egy hívás véget ér $\approx \frac{1}{h} \Delta t$
 - annak a valószínűsége, hogy új hívás érkezik $\approx \lambda \Delta t$
 - Δt idő múlva 0 áramkörünk foglalt ha:

- most 1 áramkör használt és a vizsgált Δt idő alatt egy hívás befejeződik:

$$P_1(t) \cdot \left(\frac{1}{h} \Delta t \right)$$

- vagy most is 0 áramkör foglalt és nem érkezik hívás Δt idő alatt:

$$P_0(t) \cdot (1 - \lambda \Delta t)$$

Az Erlang modell (*)

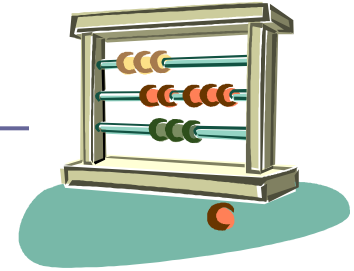
- Nézzük meg a rendszer állapotát egy kis Δt idővel később!
 - Δt idő múlva j áramkörünk foglalt ha:
 - most $j-1$ van használatban és egy új hívás érkezik
 - vagy ha most $j+1$ használt és egy hívás befejeződik
 - vagy ha most is j áramkört használunk és Δt idő alatt nem keletkezik, és nem fejeződik be hívás
 - Δt idő múlva N áramkörünk akkor lesz foglalt ha
 - most $N-1$ használt és Δt idő alatt keletkezik egy hívás
 - vagy ha most is N használt és Δt idő alatt nem fejeződik be hívás
- Ezek alapján:

$$P_0(t + \Delta t) = P_0(t) \cdot (1 - \lambda \Delta t) + P_1(t) \cdot \left(\frac{1}{h} \Delta t \right)$$

$$P_j(t + \Delta t) = P_{j-1}(t) \cdot \lambda \Delta t + P_j(t) \cdot \left(1 - \lambda \Delta t - \frac{j}{h} \Delta t \right) + P_{j+1}(t) \cdot \left(\frac{j+1}{h} \Delta t \right)$$

$$P_N(t + \Delta t) = P_{N-1}(t) \cdot \lambda \Delta t + P_N(t) \cdot \left(1 - \frac{N}{h} \Delta t \right)$$

Az Erlang modell (*)



- Nézzük most az első egyenletet:

$$P_0(t + \Delta t) = P_0(t) \cdot (1 - \lambda \Delta t) + P_1(t) \cdot \left(\frac{1}{h} \Delta t \right)$$

$$P_0(t + \Delta t) = P_0(t) - P_0(t) \lambda \Delta t + P_1(t) \cdot \left(\frac{1}{h} \Delta t \right)$$

$$P_0(t + \Delta t) - P_0(t) = -P_0(t) \lambda \Delta t + P_1(t) \cdot \left(\frac{1}{h} \Delta t \right)$$

$$\frac{P_0(t + \Delta t) - P_0(t)}{\Delta t} = -P_0(t) \lambda + P_1(t) \cdot \left(\frac{1}{h} \right)$$

$$\frac{P_0(t + \Delta t) - P_0(t)}{\Delta t} = P_1(t) \cdot \left(\frac{1}{h} \right) - P_0(t) \lambda$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_0(t + \Delta t) - P_0(t)}{\Delta t} = \frac{dP_0(t)}{dt}$$

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \left(\frac{1}{h} \right) - P_0(t) \lambda$$

Az Erlang modell (*)

□ Itt tartunk: $\frac{dP_0(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \left(\frac{1}{h}\right) - P_0(t)\lambda$

□ Tudjuk azonban, hogy a legforgalmasabb órákra tervezünk, amikor:

■ a foglaltsági valószínűségek nem függenek a vizsgált időponttól (stacionárius rendszer): $P_j(t) = P_j$ (konstans)

■ így a valószínűség megváltozása: $\frac{dP_j(t)}{dt} = 0$

□ Így:

$$0 = P_1 \cdot \left(\frac{1}{h}\right) - P_0\lambda \quad \text{és} \quad \lambda \cdot h = A$$

$$0 = P_1 - A \cdot P_0$$

$$P_1 = A \cdot P_0$$

Az Erlang modell (*)

- Itt tartunk: $P_1 = A \cdot P_0$
- Hasonlóan a többi egyenletre ugyanezt végrehajtva kapjuk:

$$P_j = \frac{A^j}{j!} \cdot P_0$$

- Tudjuk továbbá: $\sum_{j=0}^N P_j = 1$

- Innen: $P_0 \cdot \sum_{j=0}^N \frac{A^j}{j!} = 1$ és így $P_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}}$

- Összerakva: $P_j = \frac{\frac{A^j}{j!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}}$

Az Erlang modell (*)

□ Itt tartunk:
$$P_j = \frac{A^j}{j!} \frac{1}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}}$$

- Blokkolás akkor van, ha mind az N vonal foglalt:

$$P_N = \frac{A^N}{N!} \frac{1}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}}$$

- Azt a legkisebb N -et keressük, amire P_N kisebb lesz a megengedett maximális blokkolásnál
- azonban N ebből zárt alakban nem fejezhető ki
- ennek ellenére konkrét számokra iteratív módszerrel viszonylag hamar meghatározható a képletből

Az Erlang modell (*)

- Tudjuk tehát, hogy az idő hányad részében foglalt minden vonal („időtorlódás”)
- Feltettük, hogy a hívások érkezési intenzitása független a fennálló hívások számától és az időtől is
- Így az összes vonal foglaltságakor is ugyanolyan valószínűséggel érkezik hívás, mint egyébként
- Emiatt a kiszámolt időtorlódás megegyezik a keresett blokkolással

Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése

- Innen: „legkevesebb hány ák. kell, hogy a blokkolás adott érték alatt maradjon?”
- *Erlang B képlete*
 - P_N -- mind az N vonal foglalt lesz:

$$P_N = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}}$$

- ez veszteséges rendszerre jó.
Sorbanállásosra Erlang C
-- bonyolultabb.



Agner Krarup Erlang
1878 - 1929
dán matematikus, a
forgalomelmélet megalapozója
(A képlet egy 1917-es
publikációjában jelent meg.)

Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése

- Pl. 1000 üzleti előfizető n vonalon:

$$\lambda = 1000 \cdot 3 \text{ [1/óra]}$$

$$h = 3 \text{ [perc]}$$

$$A = 1000 \cdot 3 \text{ [1/óra]} \cdot 0.05 \text{ [óra]} = 150 \text{ [Erl]}$$

Ekkor:

n	100	150	155	160	200
$P(n)$	34%	6,2%	4,3%	2,8%	0,0015%

Nagy előfizetős számra az elfogadható n A -hoz konvergál

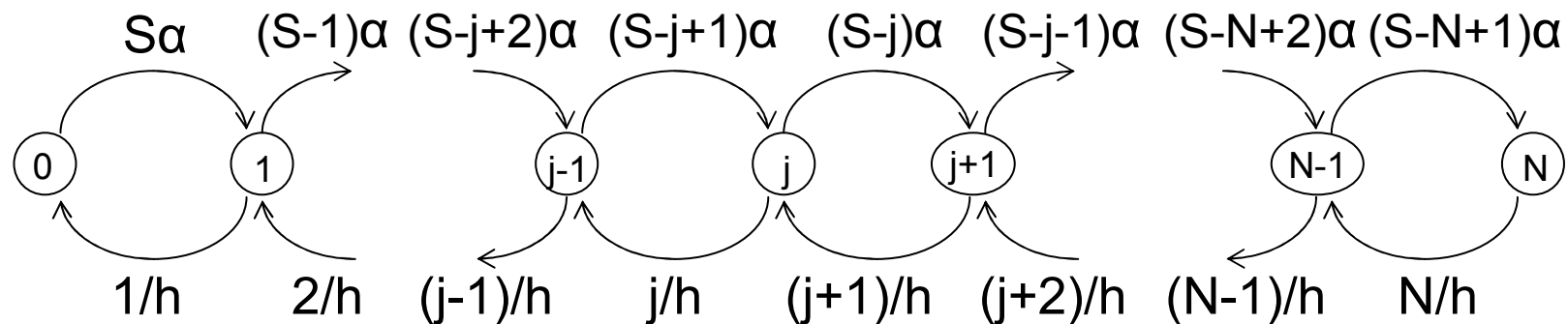
- A képletet használták pl. modem pool-ok méretezésére is

Az Engset modell

- Ha lényegesen kevesebb az előfizető (pl. kisvállalati központot kell méretezni), akkor az Erlang modell nem használható
 - Pl. a képlet szerint 3 előfizető, 3 vonal esetén sem lesz 0 a blokkolás
- Ekkor a precízebb, de bonyolultabb Engset modell alkalmazandó

Az Engset modell (*)

- Az Engset modell:



- Ahol α : egy felhasználó által generált hívások gyakorisága is exponenciális eloszlású, ennek a paramétere
- S : a felhasználók száma

Az Engset modell (*)

- A levezetést mellőzve a blokkolás:

$$B_{N,S} = \frac{\binom{S-1}{N} \cdot A^N}{\sum_{j=0}^N \binom{S-1}{j} \cdot A^j} \quad \text{ahol } A = \alpha \cdot h$$

- Itt sem tudjuk N -et kifejezni
- Sőt, a numerikus számítás is elég bonyolult

Forgalmi követelmények, hálózatméretezés

- Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése
- **Csomagkapcsolt hálózatok forgalmi jellemzése** ←
- Egy gondolat a teljesítőképességről



Követelmények IP hálózatokban

- Sokféle alkalmazás, sokféle követelmény
- Alkalmazások, pl.:
 - e-mail
 - telefonálás
 - videotelefonálás
 - film megnézése valós időben



IP hálózatok forgalmi modellezése



- Cél: hálózatméretezés tudományos megalapozása
- Távbeszélő-hálózatokénál lényegesen nehezebb, mert:
 - alkalmazások:
 - sokféle, különféle hálózati igényekkel
 - időben, térben változó összetételű alkalmazás-mix
 - évről évre jelentős változások lehetnek a tipikusan használt alkalmazásokban (nehéz középtávra tervezni)
 - alkalmazások erőforrásigénye is nehezen meghatározható (pl. e-mail hossza bájttban)
 - elasztikus folyamatok
 - adott mennyiségű adatot kell átküldeni, de nem nagyon számít, hogy mennyi idő alatt
 - pl. FTP, HTTP, e-mail továbbítás
 - a rendelkezésre álló teljes sávszélességet elfoglalják
 - nehezen definiálható a sávszélességigény

IP hálózatok forgalmi modellezése



- Távbeszélő-hálózatokénál lényegesen nehezebb, mert: (folyt.)
 - nem független források:
 - elasztikus folyamatok és a TCP garantálja a közel teljes sávszélesség kihasználást
 - emiatt blokkolás, különböző források csomagjai versengenek a továbbításért
 - követk.: nem független források
 - az egyes források leírása is bonyolultabb
- Az eddigiek következményei:
 - Hosszú távú összefüggés (időben távoli értékek is korreláltak)
 - Önhasonlóság: különböző időskálákon nézve is hasonló forgalmi jelleg (forgalom: bit/s, csomag/s) – fraktálszerű képet mutat
 - Nagy börsztösség, csomósodás
 - PSTN: n-szeres felhasználó, forgalom átlaga is n-szeres, de szórása \sqrt{n} -szeres: a forgalom „kisimul”
 - TCP/IP: a forgalom sokkal lassabban „simul ki”

IP hálózatok forgalmi modellezése



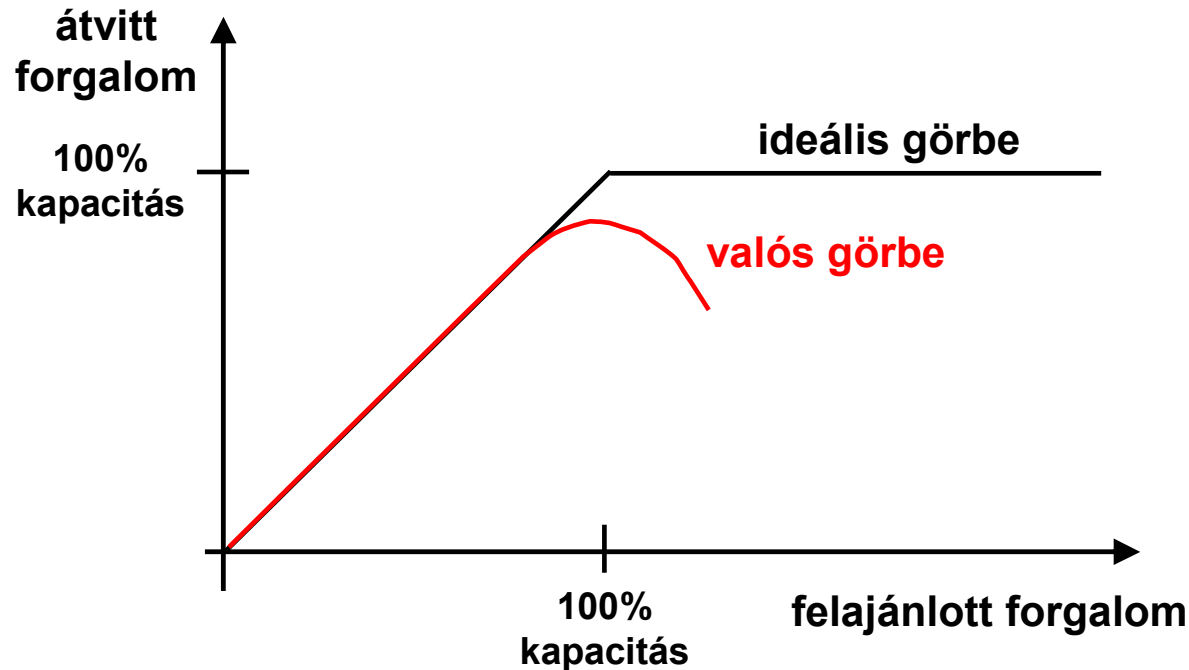
- Ezek miatt a TCP/IP forgalommodellezés még gyerekcipőben jár
 - bár vannak biztató eredmények
- Akkor hogyan lehet TCP/IP hálózatot méretezni?
 - tapasztalatok alapján
 - mérések alapján
 - túlméretezés (overprovisioning)
 - másik ok a túlméretezés mellett: olcsó a kapacitás, de jelentős a bevétel: nem szabad egy vevőt sem elszalasztani kapacitáshiány miatt

Forgalmi követelmények, hálózatméretezés

- Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése
- Csomagkapcsolt hálózatok forgalmi jellemzése
- Egy gondolat a teljesítőképességről ←

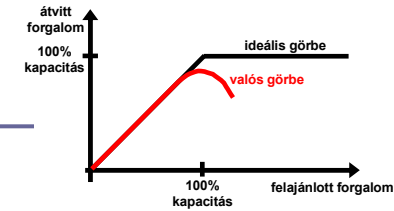
Hálózatok teljesítőképesége

- Egy meglepő megfigyelés:



- Ok: hálózat túlterhelődik
- Ennek elkerülésére célszerű a hálózatot a maximális átvitel munkapontjában megtartani

Hálózatok teljesítőképesége



Lehetséges megoldások:

□ Torlódásmenedzsment

- A kialakult torlódást kezelni, hogy ne legyen nagyobb
 - Pl. a források vegyenek vissza az adási sebességből (TCP)

□ Torlódáselkerülés

- Még a torlódás kialakulása előtt beavatkozni
- Pl. hívásengedélyezés (Call Admission Control, CAC): csak akkor engedünk be egy hívást a hálózatba, ha az nem fogja túlterhelni azt
 - Pl. egy közértben csak adott számú kosár van, belépés csak kosárral
 - H.323 hálózatban is van erre lehetőség
 - Pl. a Rapidshare is tud ilyen
 - Pl. a Neptun is tud ilyen