

# Távközlő hálózatok és szolgáltatások

## Forgalmi követelmények, hálózatméretezés

*Németh Krisztián*

*BME TMIT*

*2009. nov. 13.*



**A. K. Erlang**

# A tárgy felépítése



- p 1. Bevezetés
- p 2. IP hálózatok elérése távközlő és kábel-TV hálózatokon
- p 3. VoIP
- p 4. Kapcsolástechnika
- p 5. Mobiltelefon-hálózatok
- p 6. Jelátviteli követelmények, kodekek
- p 7. **Forgalmi követelmények, hálózatméretezés** ←
- p 8. Jelzésátvitel
- p 9. Hálózati szolgáltatások (Henk Tamás)
- p 10. Gerinchálózati technikák (Cinkler Tibor)
- p 11. Távközlő rendszerek telepítése és üzemeltetése (Cinkler Tibor)

# Forgalmi követelmények, hálózatméretezés

---

- ρ **Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése** ←
- ρ Követelmények csomagkapcsolt hálózatokban
- ρ Egy gondolat a teljesítőképességről

# Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése

---

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

# Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése

---

⌘ Ehhez két leíró:

⌘  $X(t)$  –  $[0, t]$  intervallumban beérkezett hívások száma

⌘  $Y(t, t)$  – a hívások tartásideje:

⌘ két dimenziós eloszlás sűrűségfüggvénye, ahol egy hívás  $t$  időben kezdődik és  $t+t$  -kor végződik

⌘  $Y(t, t)$ -ről feltételezzük, hogy:

⌘ független az előző kimenetelektől (OK),

⌘ és a felhasználótól (!),

⌘ de az időtől ( $t$ ) függhet

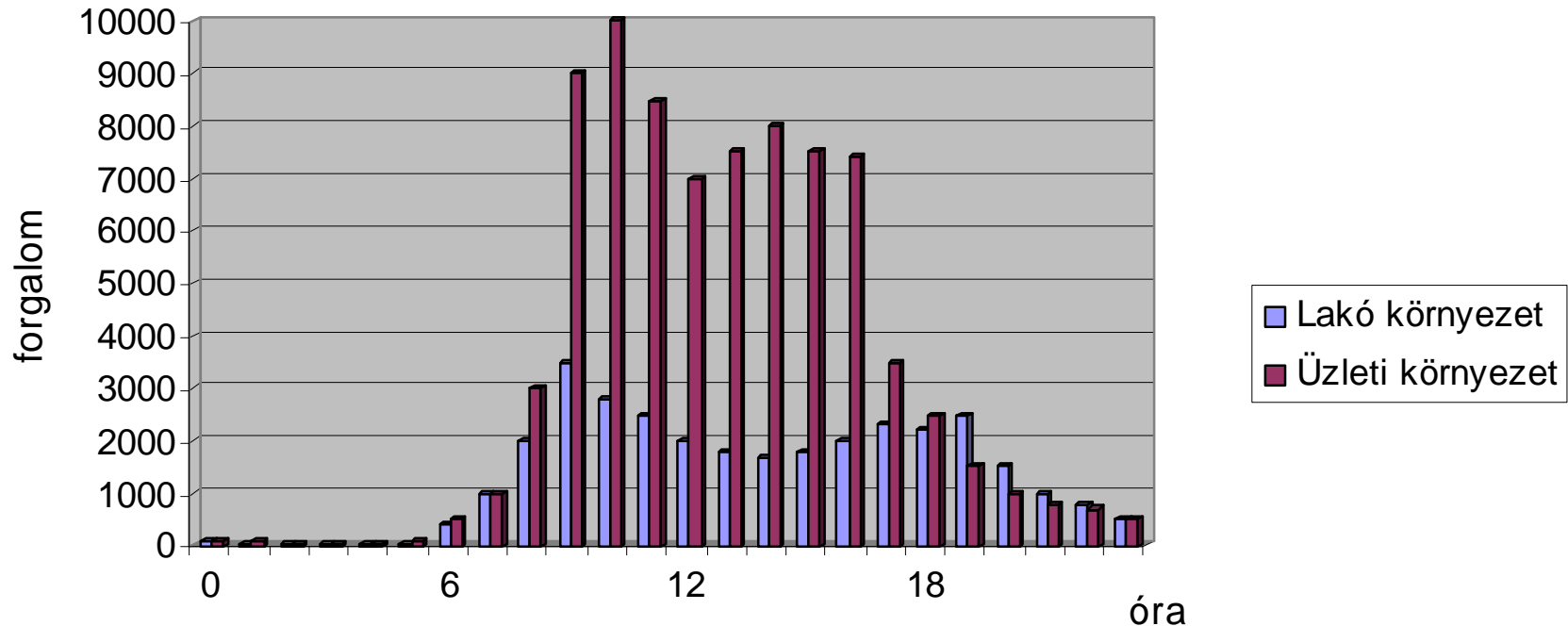
⌘ Adott a maximálisan elfogadható blokkolás

⌘ 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:

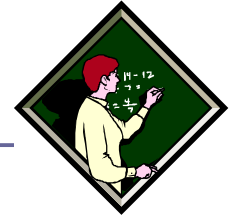


- „Worst case” méretezés: a „csúcsforgalomra” tervezünk
- Ekkor jó közelítéssel  $X(t)$  növekménye stacionárius: a forgalom kb. állandó
- Erre az időszakra mondhatjuk, hogy a tartásidő eloszlása is független az időtől (azonos)

# Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése

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

# A matematikai modellekről

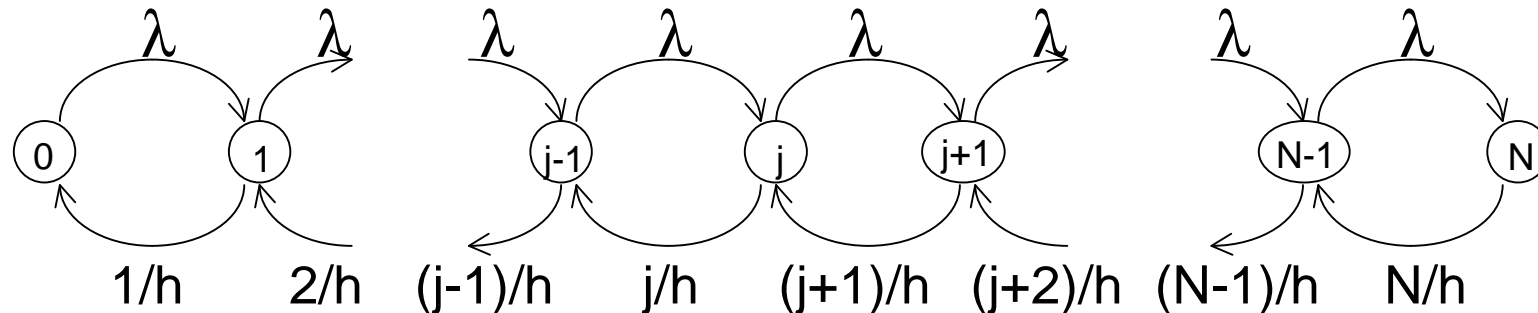


- p A következő fóliákon lévő levezetések viszonylag egyszerűek
- p Ugyanakkor többé-kevésbé feltételezik a Tömegkiszolgálás tárgy (sztochasztikus folyamatok, a Valószínűségszámítás c. tárgy folytatása) teljesítését
  - n Ami nincs a BSc-s képzésben
- p Ezzel együtt bent hagytam az előadásban, mert érdekes és nem bonyolult
- p De a címsorban (\*)-gal megjelölt fóliákat nem kell tudni a vizsgára!



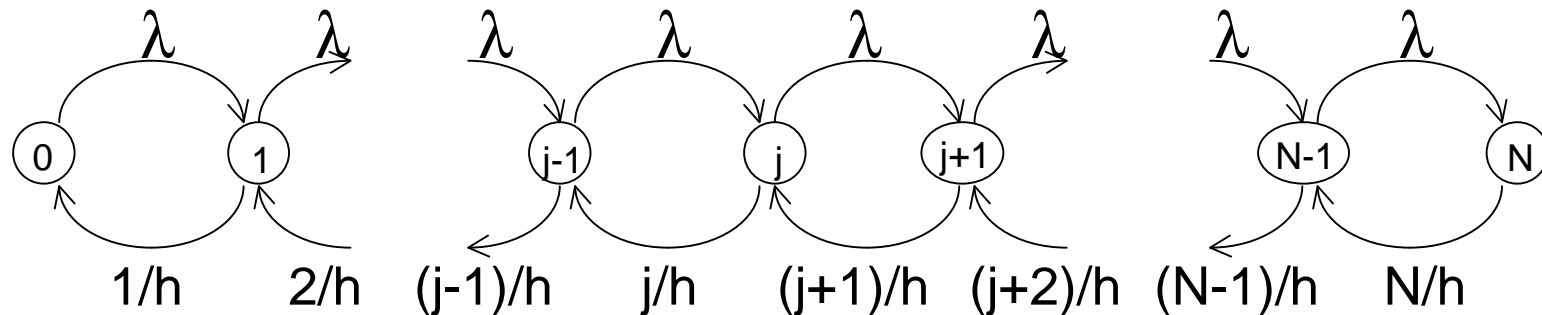
# Az Erlang modell (\*)

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



- p Az állapotok jelentése: ennyi vonal foglalt éppen
- p Pl.  $j$ . állapotban maradunk amíg:
  - n be nem fejeződik egy hívás:  $j/h$  paraméterű exp. eloszlás adja meg, hogy ez mikor következik be,  $j-1$ . állapot a következő
  - n új hívás érkezik:  $\lambda$  paraméterű exp. eloszlás adja meg, hogy ez mikor következik be,  $j+1$ . állapot a következő
  - n abba az irányba megyünk, amelyik esemény előbb történik meg
- p Markovi tulajdonság: a jövő csak a jelentől függ, a múlttól nem
  - n Ha most  $k$  db. vonal foglalt, akkor mindegy, hogy korábban  $k+1$  vagy  $k-1$  volt foglalt
  - n 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  $\lambda$  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
  - több száz felhasználó esetén jól használható közelítés

# Az Erlang modell (\*)

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

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

- p vagy most is 0 áramkör foglalt és nem érkezik hívás  $\Delta t$  idő alatt:

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

# Az Erlang modell (\*)

▶ Nézzük meg a rendszer állapotát egy kis  $\Delta t$  idővel később!

■  $\Delta t$  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  $\Delta t$  idő alatt nem keletkezik, és nem fejeződik be hívás

■  $\Delta t$  idő múlva  $N$  áramkörünk akkor lesz foglalt ha

▶ most  $N-1$  használt és  $\Delta t$  idő alatt keletkezik egy hívás

▶ vagy ha most is  $N$  használt és  $\Delta t$  idő alatt nem fejeződik be hívás

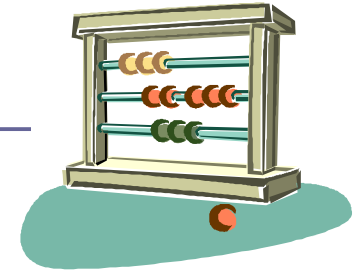
▶ Ezek alapján:

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

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

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

# 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 (\*)

---

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

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

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

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

p 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 (\*)

---

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

p Blokkolás akkor van, ha mind az  $N$  vonal foglalt:

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

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



# Az Erlang modell (\*)

---

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

# Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése

p Innen: „legkevesebb hány ák. kell, hogy a blokkolás adott érték alatt maradjon?”

p *Erlang B képlete*

n  $P_N$  -- mind az  $N$  vonal foglalt lesz:

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

n 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

- p 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 előfizetőszámra az elfogadható  $n$   $A$ -hoz konvergál

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

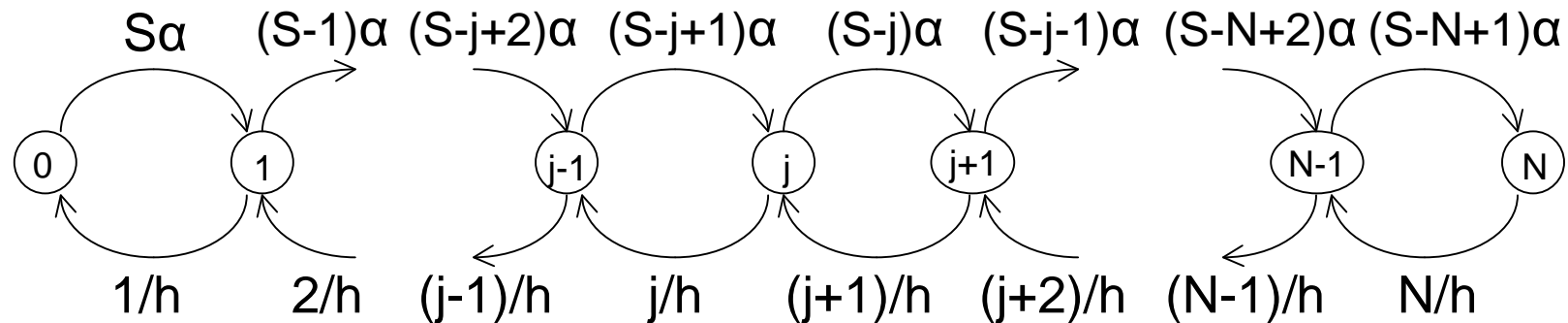
# Az Engset modell

---

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

# Az Engset modell (\*)

p Az Engset modell:



p Ahol  $\alpha$ : egy felhasználó által generált hívások gyakorisága is exponenciális eloszlású, ennek a paramétere

p  $S$ : a felhasználók száma

# Az Engset modell (\*)

---

- p A levezetést mellőzve a blokkolás:

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

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

# Forgalmi követelmények, hálózatméretezés

---

- ρ Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése
- ρ **Követelmények csomagkapcsolt hálózatokban** ←
- ρ Egy gondolat a teljesítőképességről



# Követelmények IP hálózatokban



- p Sokféle alkalmazás, sokféle követelmény
- p Alkalmazások, pl.:
  - n e-mail
  - n telefonálás
  - n videotelefonálás
  - n film megnézése valós időben
- p Minőségi paraméterek:
  - n csomagkésleltetés
  - n csomagkésleltetés ingadozása (angolul packet delay variation, vagy packet jitter)
  - n csomagvesztési arány
  - n téves csomagkézbesítési arány
  - n (adatsebesség mennyiségi és nem minőségi paraméter)



# Követelmények IP hálózatokban



- p Sokféle alkalmazás, sokféle minőségi követelmény
  - n nagyon sok kombináció
  - n legtöbbször nincs is megadva (pl. szabványban)
- p Pár példa:
  - n VoIP csomagkésleltetés: mint PSTN-nél: 400 ms, visszhangtörlés szükséges 12,5 ms felett
  - n VoIP csomagvesztés: kodektól függ, kb. 5-30% a határ
  - n igény szerinti videózás (Video-on-Demand, VoD):
    - p késleltetés: akár néhány sec.
    - p késleltetésingadozás legyen alacsony (puffertól függ)

# IP hálózatok forgalmi modellezése



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

# IP hálózatok forgalmi modellezése



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

# IP hálózatok forgalmi modellezése



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

# Forgalmi követelmények, hálózatméretezés

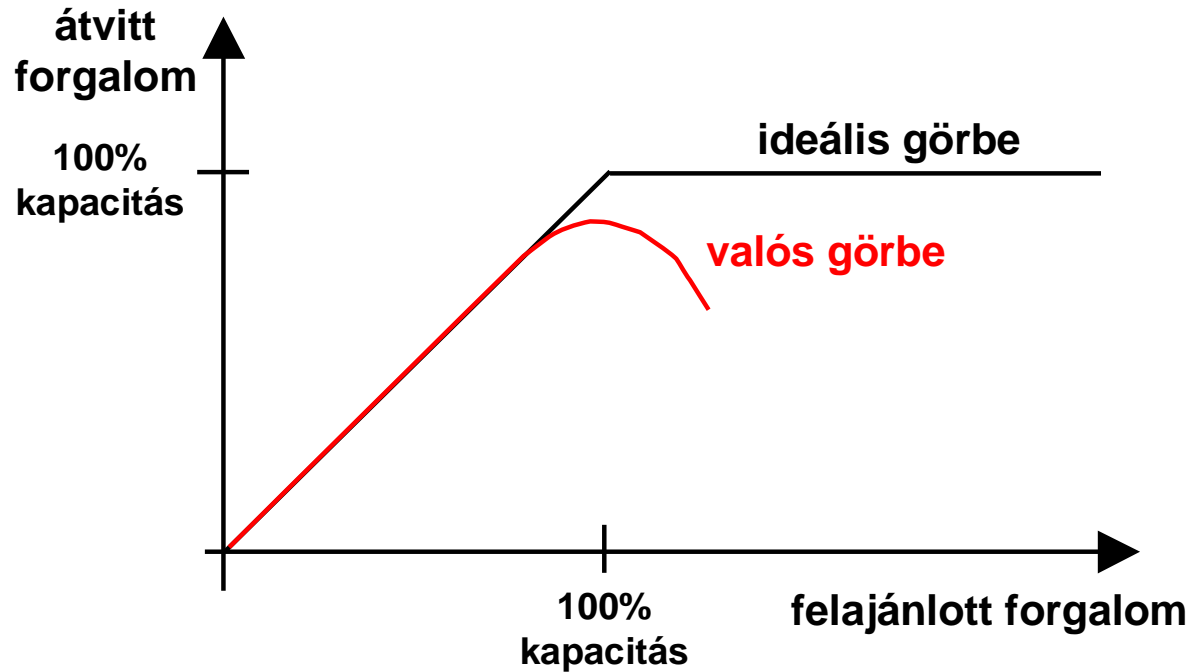
---

- ρ Távbeszélő-hálózatok forgalmi jellemzése
- ρ Követelmények csomagkapcsolt hálózatokban
- ρ Egy gondolat a teljesítőképességről ←



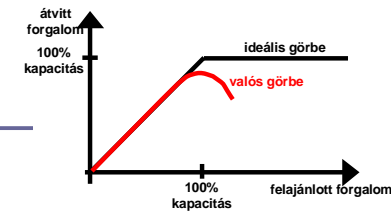
# Hálózatok teljesítőképesége

⌘ Egy meglepő megfigyelés:



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

# Hálózatok teljesítőképesége



Lehetséges megoldások:

## p Torlódásmenedzsment

n A kialakult torlódást kezelni, hogy ne legyen nagyobb

p Pl. a források vegyenek vissza az adási sebességből (TCP)

## p Torlódáselkerülés

n Még a torlódás kialakulása előtt beavatkozni

n Pl. hívásengedélyezés (Call Admission Control, CAC): csak akkor engedünk be egy hívást a hálózatba, ha az nem fogja túlterhelni azt

p Pl. egy közértben csak adott számú kosár van, belépés csak kosárral

p H.323 hálózatban is van erre lehetőség

p Pl. a Rapidshare is tud ilyen

p Pl. a Neptun is tud ilyen