



Forgalmi tervezés az Interneten

Dr. Molnár Sándor

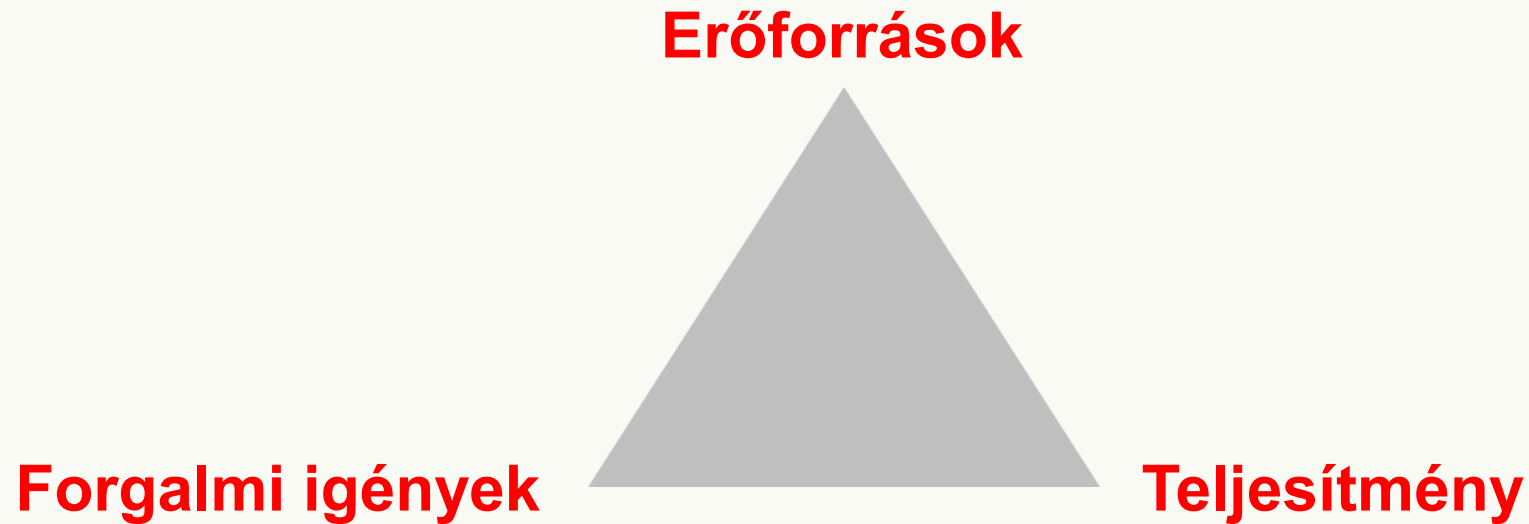
Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

2015

- Cél
- A telefonhálózatok forgalmi méretezése
- Az Internet forgalmi tervezése
- Összefoglalás

Az Internet forgalmi méretezése

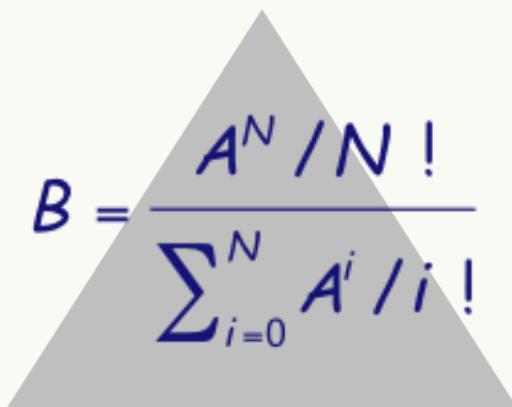
▶ Emlékeztető: mi az a forgalmi tervezés?



Telefonhálózatok forgalmi tervezése

- *Erlang formula*
- *Tartásidő eloszlásától nem függ a teljesítmény!*

Erőforrások: telefonvonalak száma (N)

A gray triangle containing the Erlang formula. The formula is written in blue ink. The numerator is $A^N / N!$ and the denominator is $\sum_{i=0}^N A^i / i!$. The entire formula is centered within the triangle.
$$B = \frac{A^N / N!}{\sum_{i=0}^N A^i / i!}$$

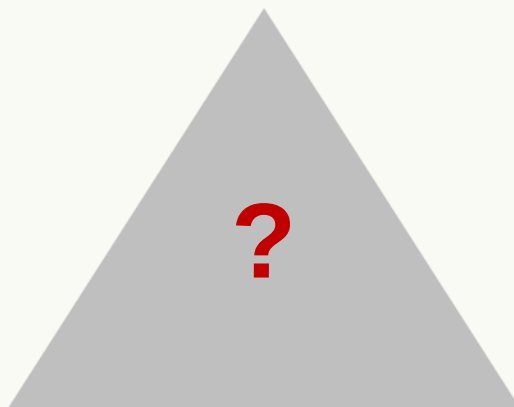
Forgalmi igények:
Poisson hívás érkezési
folyamat forgalma (A)

Teljesítmény:
hívás blokkolási
valószínűség (B)

Az Internet forgalmi tervezése

- *Létezik az Internetre is Erlang formula?*

Erőforrások: sávszélesség és annak megosztása

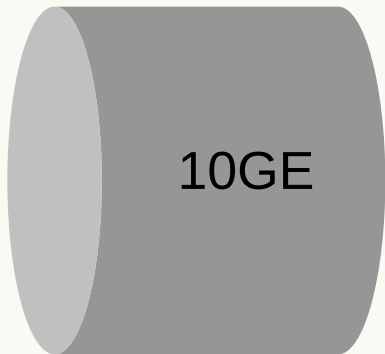


Forgalmi igények:
stacionárius érkezési
folyamat
(csomag, folyam, kapcsolat)

Teljesítmény:
csomagvesztési
arány, válaszadási
idő, stb.

Az Internet felépítése

IP maghálózat (core)

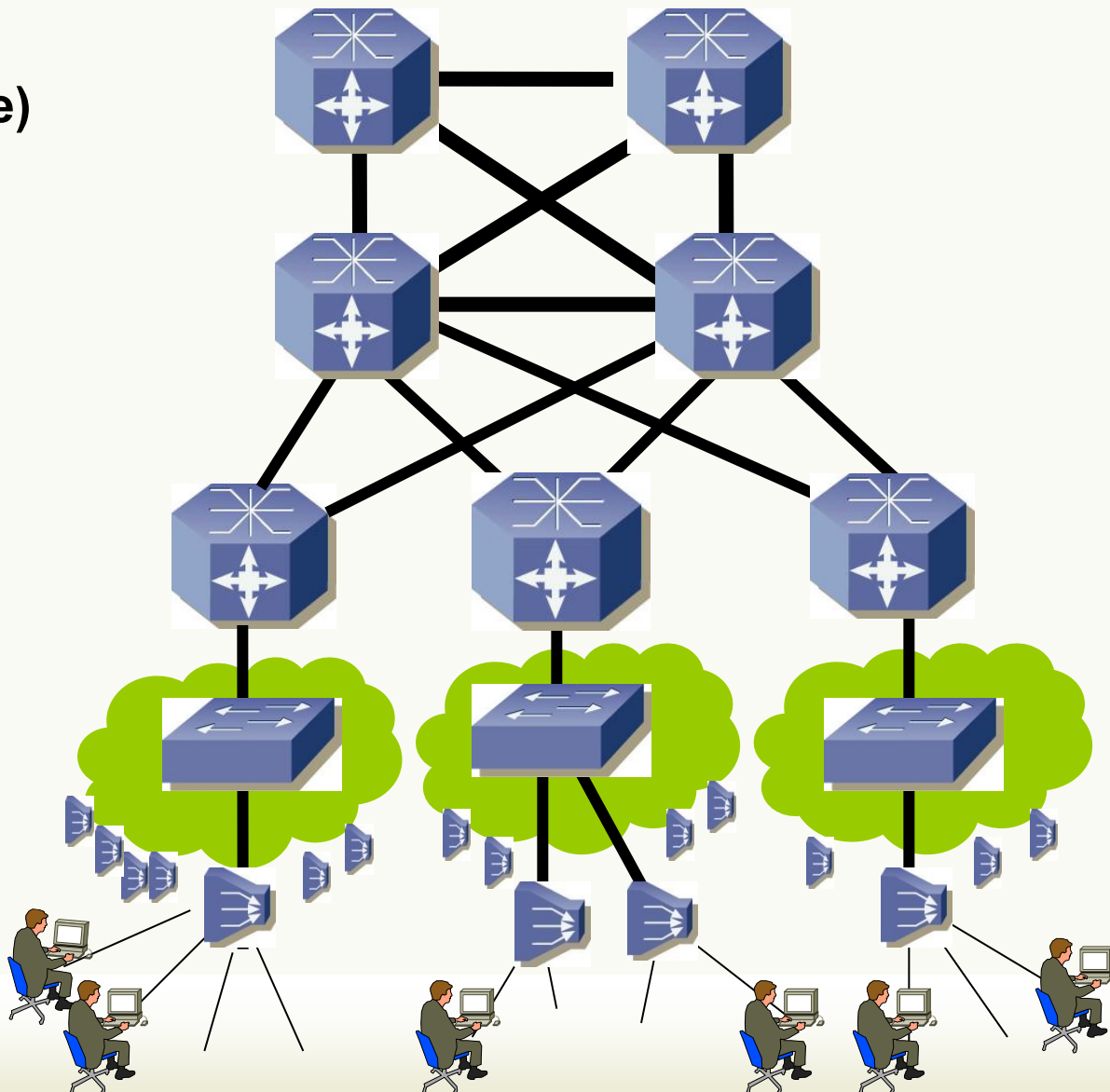


Aggregáló hálózat

$n \times \text{GE}$, 10 GE

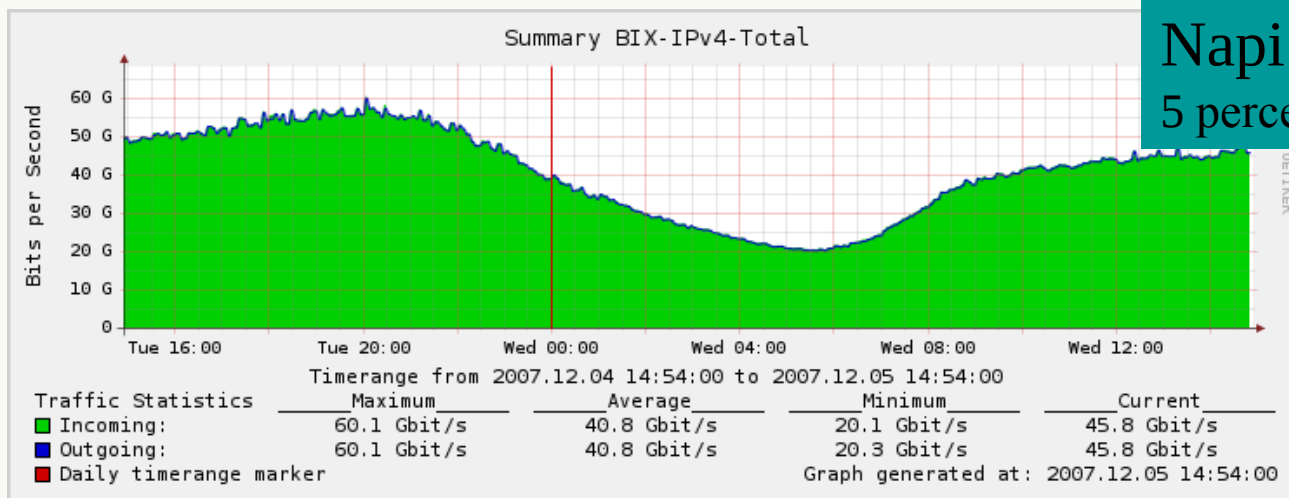
Elérési hálózat

1- 8 Mbps

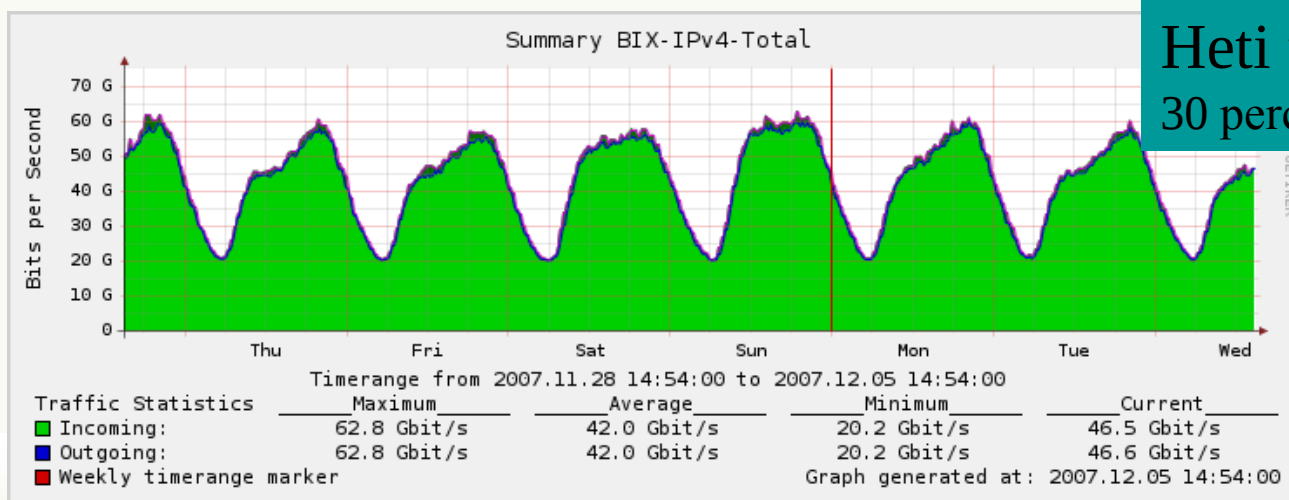


Az Internet forgalma (1)

Napi forgalmi profil
5 perces átlagok

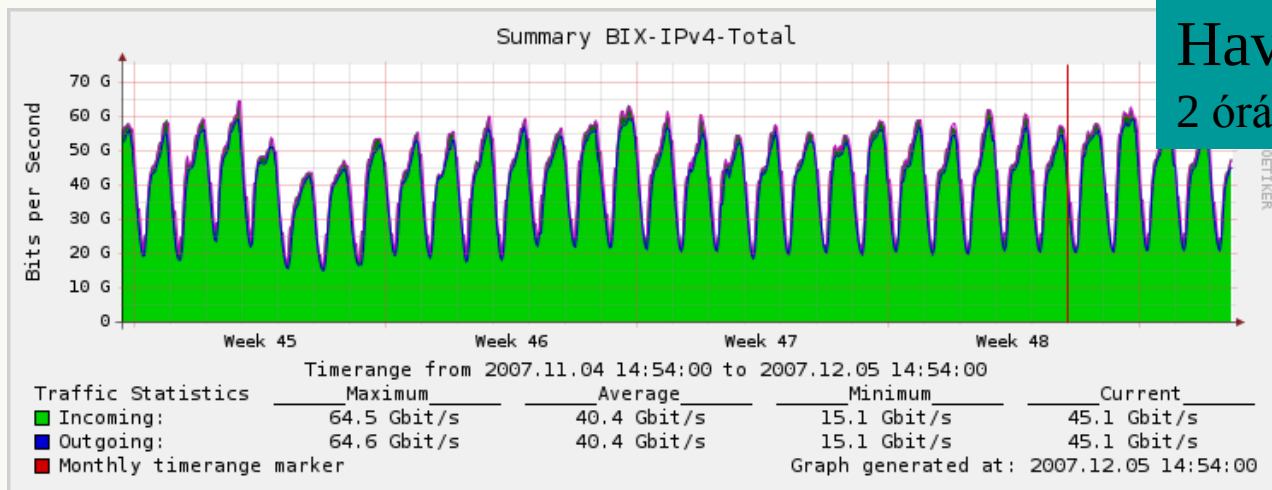


Heti forgalmi profil
30 perces átlagok

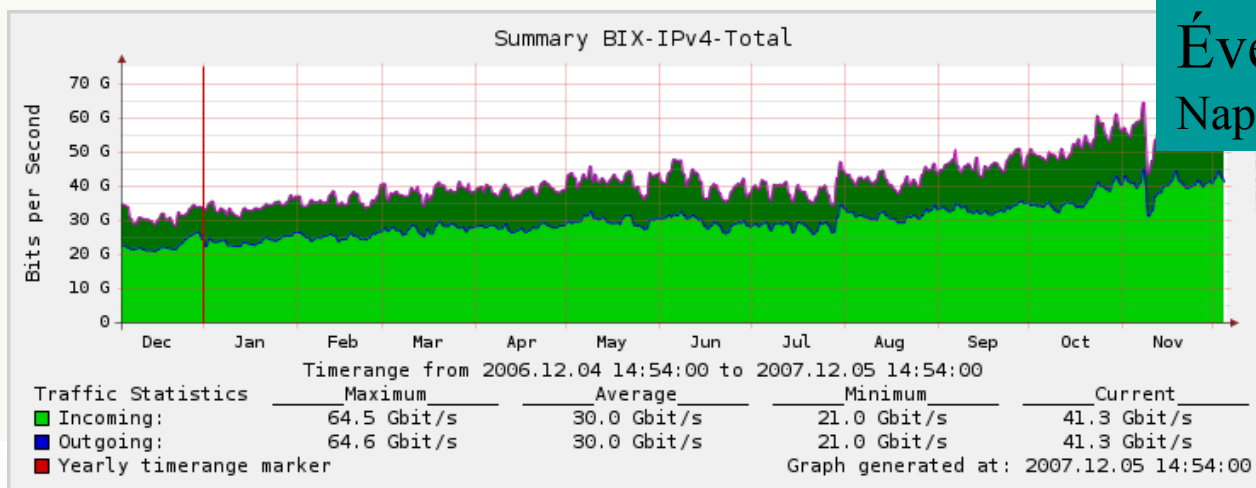


Az Internet forgalma (2)

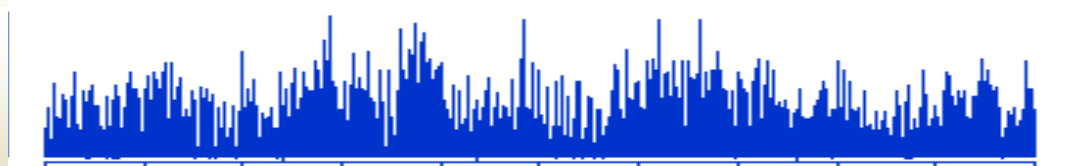
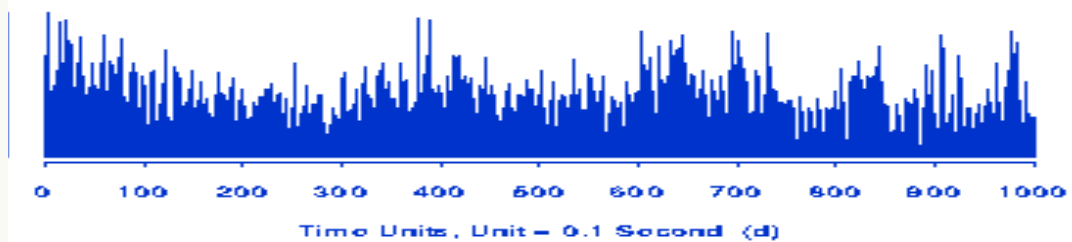
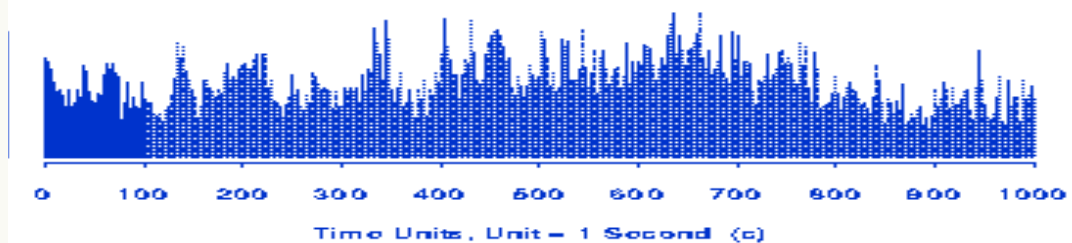
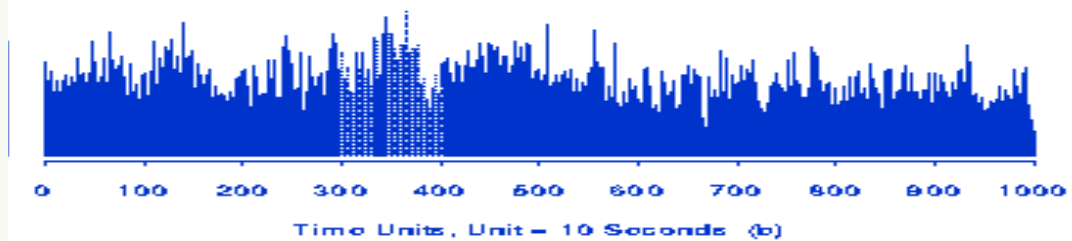
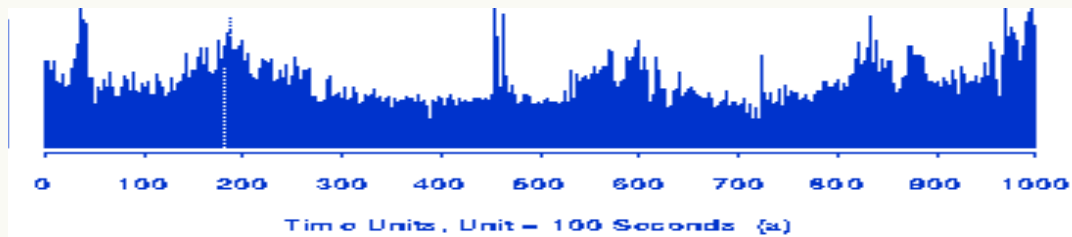
Havi forgalmi profil
2 órás átlagok



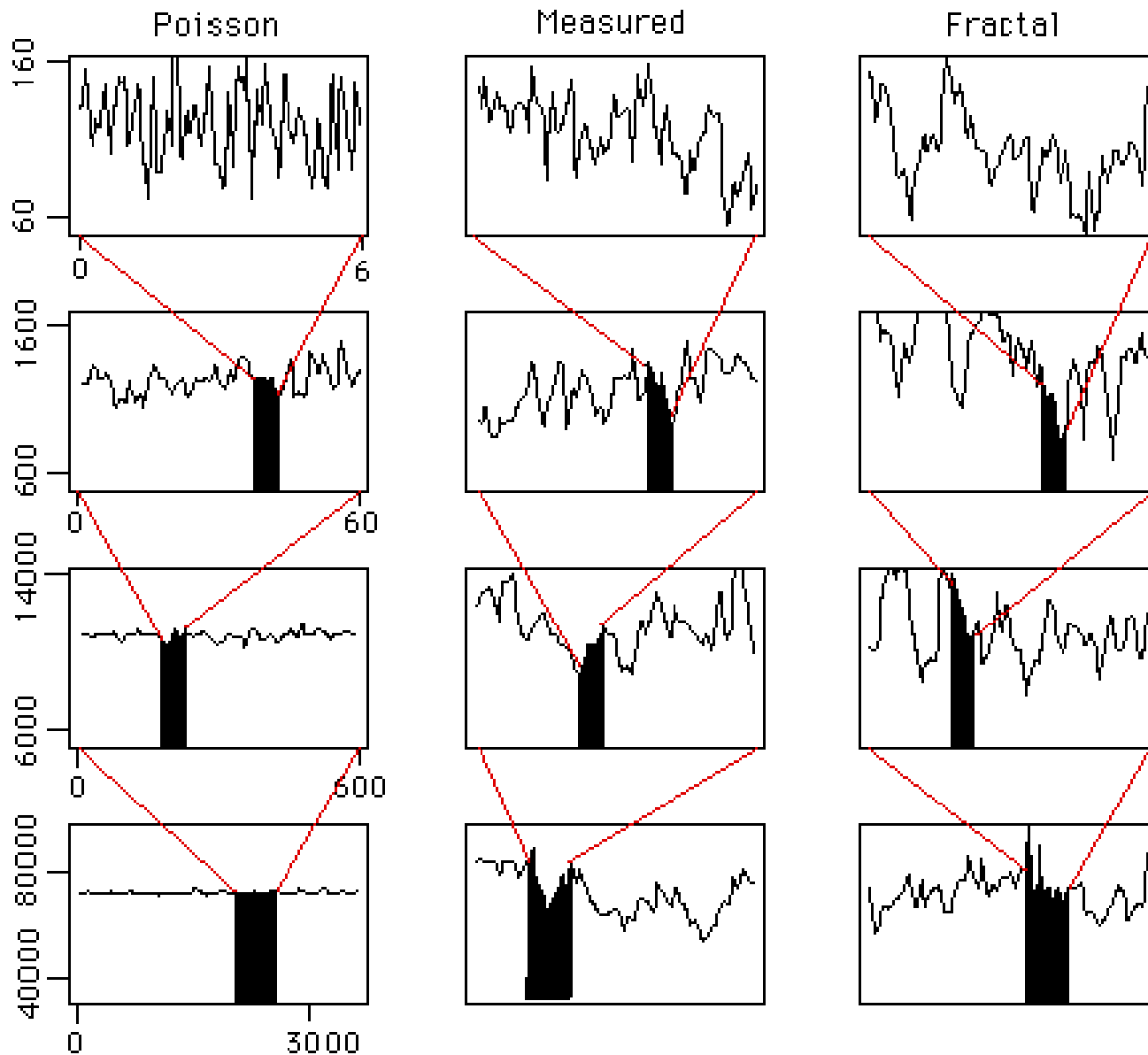
Éves forgalmi profil
Napi átlagok



► Milyen az Internet forgalma?



Internet forgalom és a más forgalmak



Fraktáltulajdonságok I.

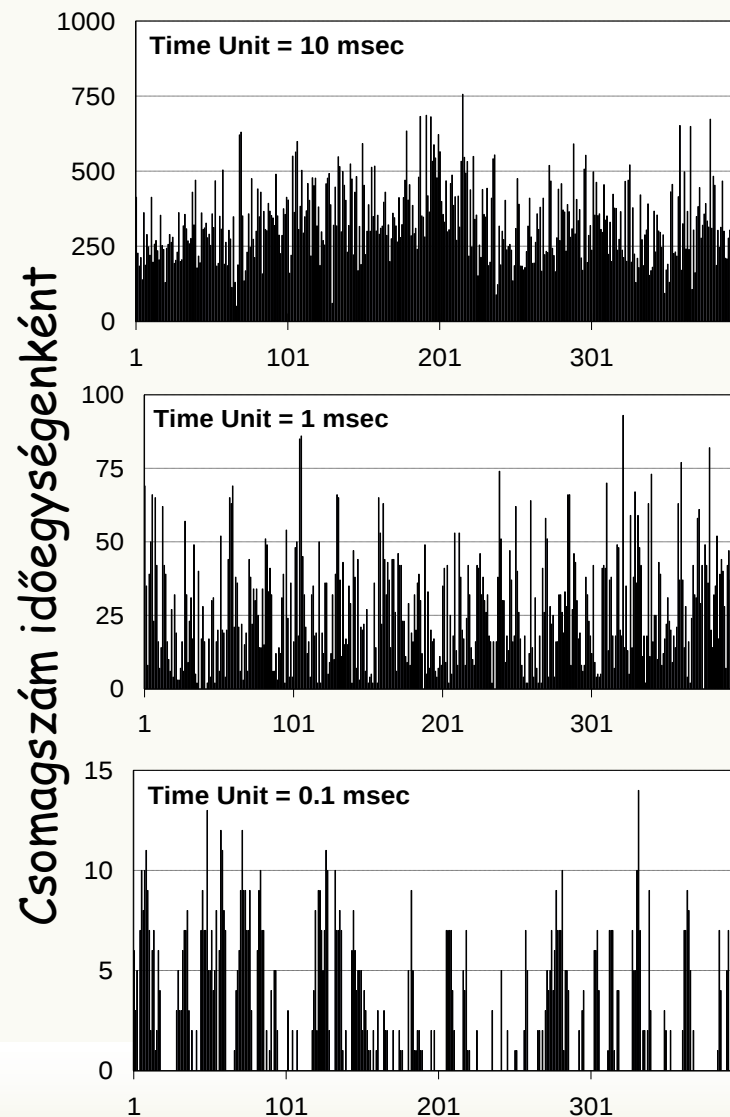
- **Hosszú idejű összefüggőség**

- Jelentős korrelációs kapcsolatok több időskálán keresztül

- Autokorrelációs függvény hatványalakú lecsengése

$$r(k) \sim c_r k^{2H-2} \quad \text{ha} \quad k \rightarrow \infty$$

Hurst paraméter
 $0,5 < H < 1$



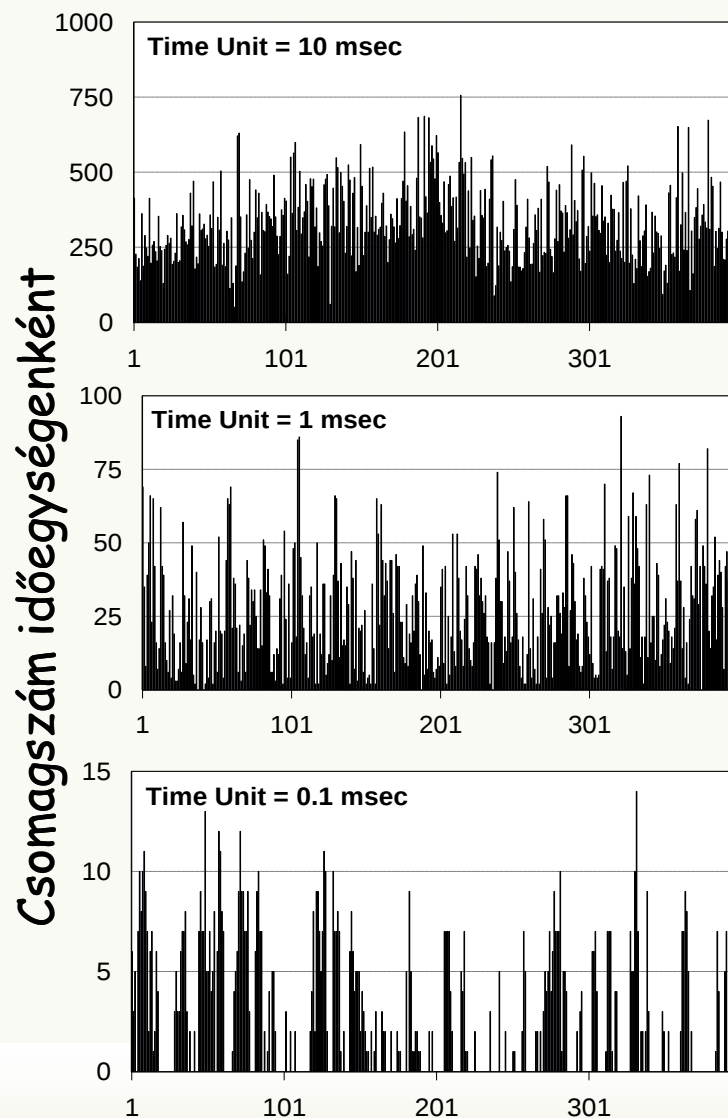
Fraktáltulajdonságok II.

• Önhasonlóság

- Statisztikus jellemzők függetlensége az időskálától
- “hasonlóság az időben”

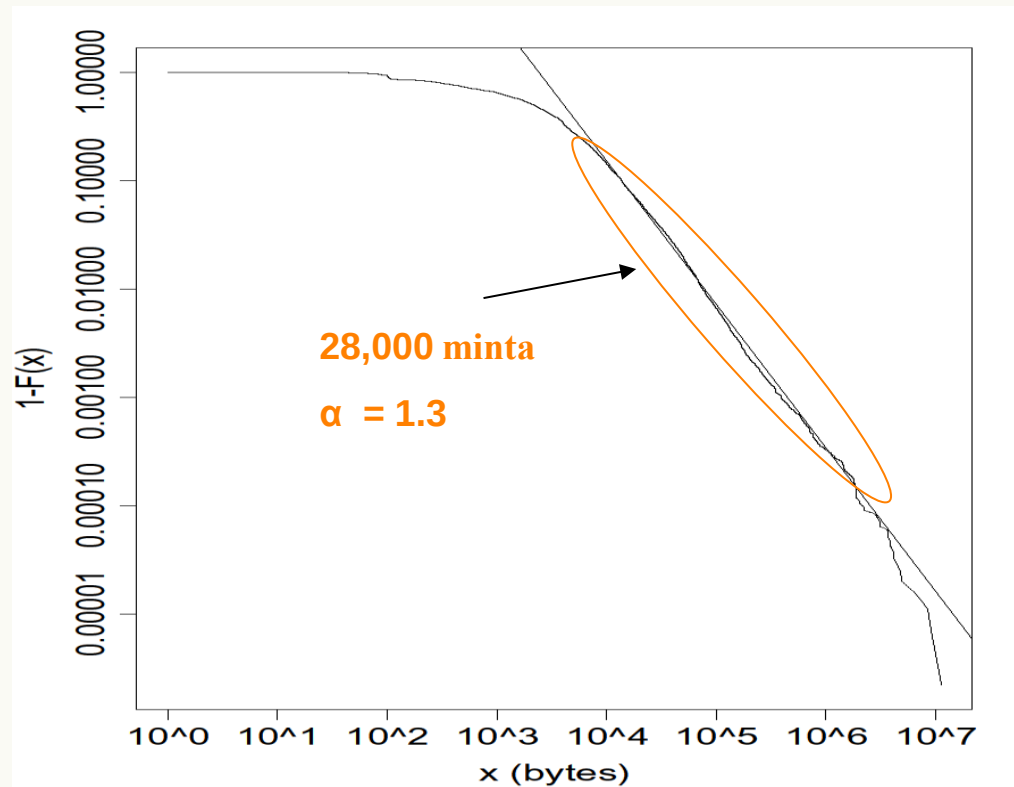
$$X^d = m^{1-H} X^{(m)}, \quad \forall m \geq 1$$

$$X^{(m)} = \left\{ X_k^{(m)} : X_k^{(m)} = \frac{1}{m} (X_{mk-m+1} + \dots + X_{mk}), \quad k = 1, 2, \dots \right\}$$



Fraktáltulajdonságok III.

- **Lassú lecsengésű eloszlások**
 - Extrém változékonyság (végtelen szórás)
 - Pareto eloszlástípus



$$P(Z > x) \sim x^{-\alpha} \text{ ha } x \rightarrow \infty, \quad 0 < \alpha < 2$$

A Poisson modell halála?

Vern Paxson and Sally Floyd.

"Wide area traffic: the failure of Poisson modeling." (Sigcomm 1994)
IEEE/ACM Transactions on Networking (ToN) 3.3 (1995): 226-244.

- eddig több mint 4500 idézés...
- csomag érkezési folyamat komplex...
- TCP kapcsolatok érkezési folyamata komplex...

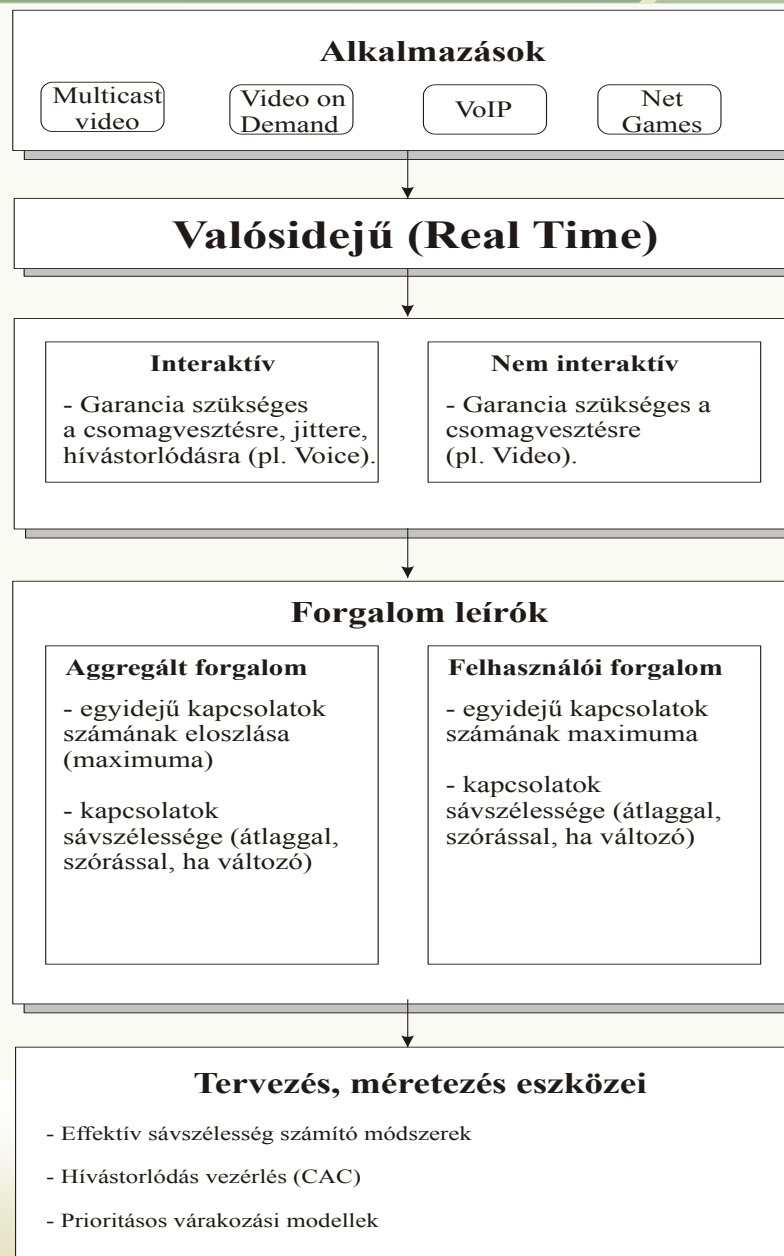
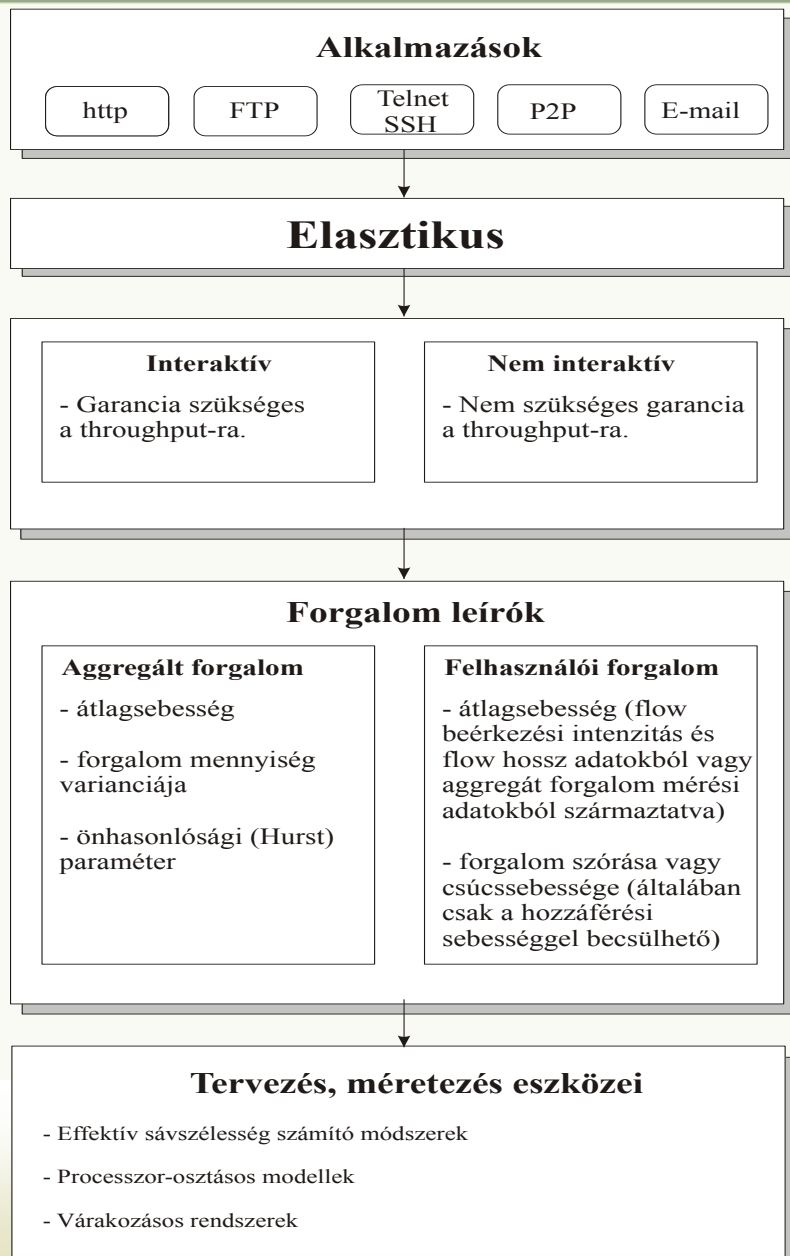
Összetett fraktális struktúra a forgalomban!

- A Poisson modell többé nem érvényes?

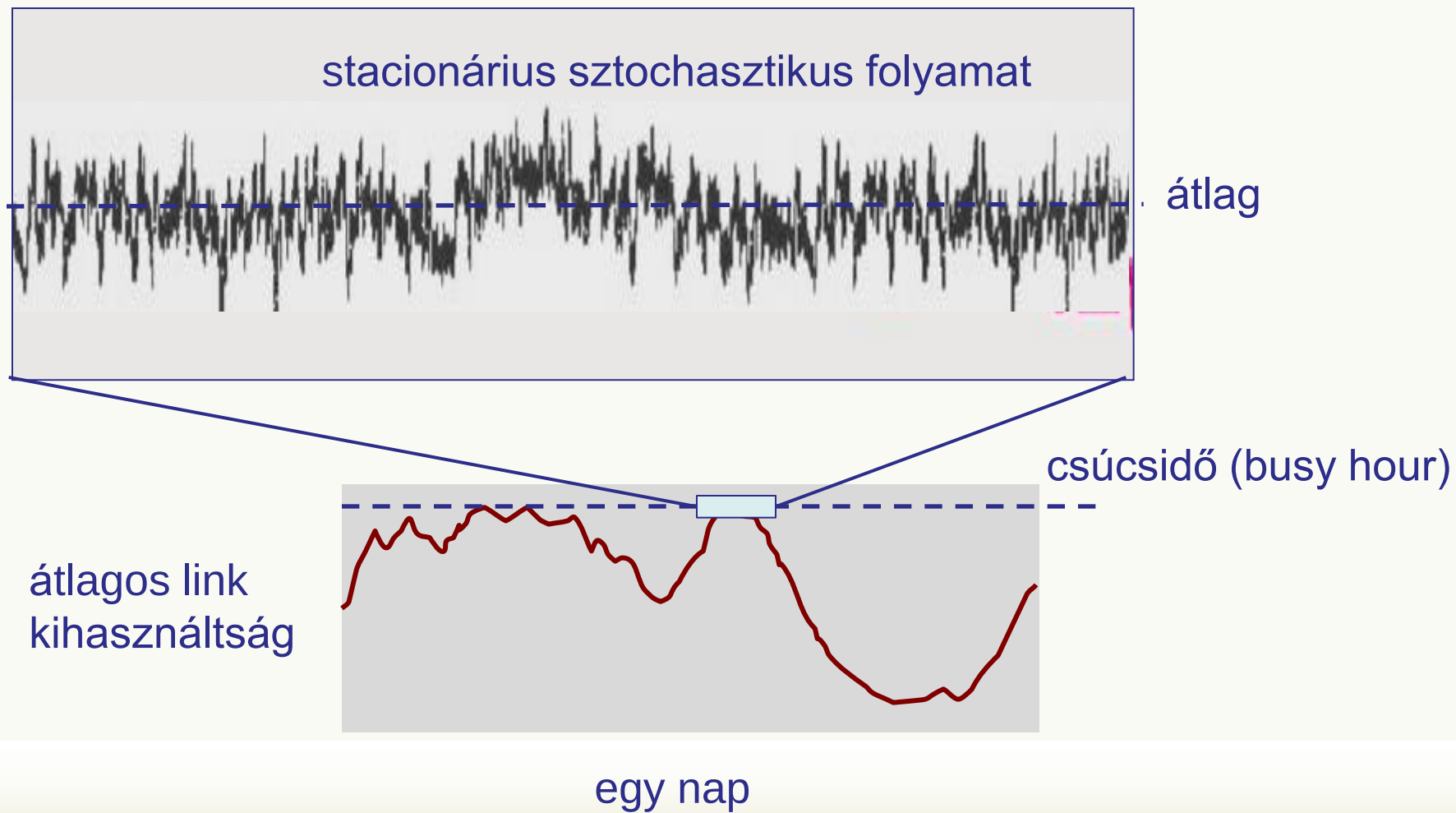
A forgalom felépítése

- **Csomagok:** az Internet forgalom elemi építőkövei
- **Folyamok:** azon csomagok összessége, amely egy adott linken ugyanahhoz az alkalmazáshoz tartoznak
 - **Elasztikus folyamatok:** file letöltések amik kihasználják a maximális kapacitást és ahhoz alkalmazkodnak, pl. TCP-n keresztül
 - **Streaming folyamatok:** állandó kapacitást igénylő folyamatok (pl. video és audio) pl. UDP-n keresztül
- **Aktivitás (session):** azon folyamatok összessége, melyek összetartoznak valamilyen módon, pl. egy web oldal letöltéséhez tartozó HTTP folyamatok

Az elasztikus és a streaming forgalom



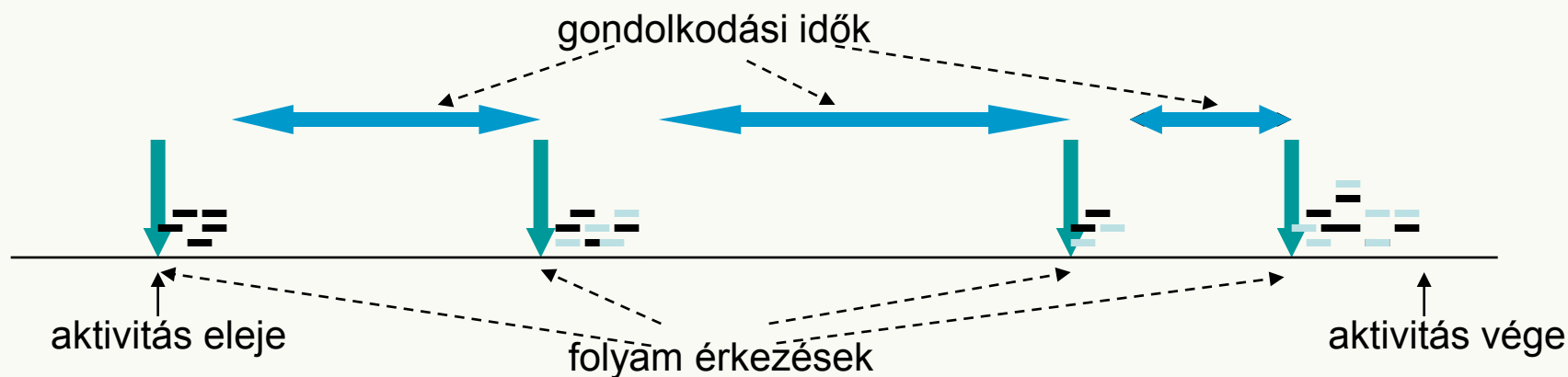
A forgalom melyik jellemzője fontos?



A forgalom szerkezete

Az aktivitások folyamatok sorozatából állnak, melyeket „gondolkodási idők” szakítanak meg

- a folyamatok **streaming** vagy **elasztikus** típusúak
- a gondolkodási idők a folyamatok végén kezdődnek
- az aktivitások függetlenek

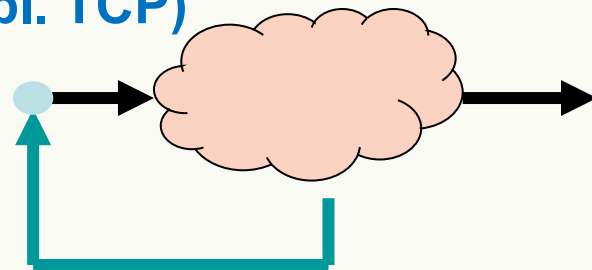


A aktivitások érkezése jól modellezhető Poisson folyamattal!

A forgalom torlódásszabályzása

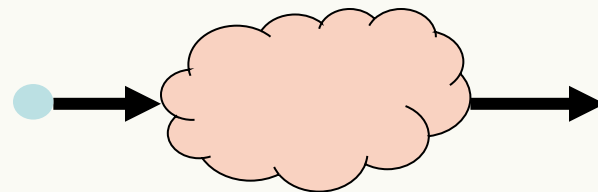
Az **elasztikus** forgalom: **zárt hurkú szabályozás (pl. TCP)**

- digitális dokumentumok (web oldalak, file-ok, ...)
- sávszélesség és időtartam a teljesítmény mérői
- QoS $\Rightarrow$ megfelelő sávszélesség (throughput) és válaszidő (response time)



A **streaming** forgalom: **nyílt hurkú szabályozás**

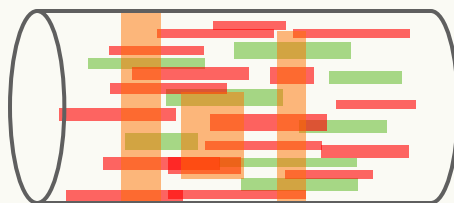
- audio és video, valós idejű alkalmazások
- sávszélesség és időtartam a forgalom jellemzői
- QoS $\Rightarrow$ elhanyagolható veszteség, késleltetés és jitter



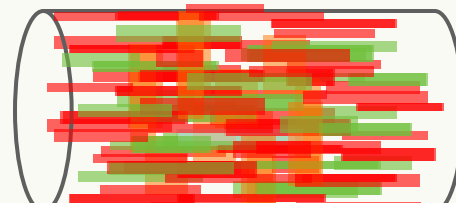
Sávszélesség megosztás



transzparens



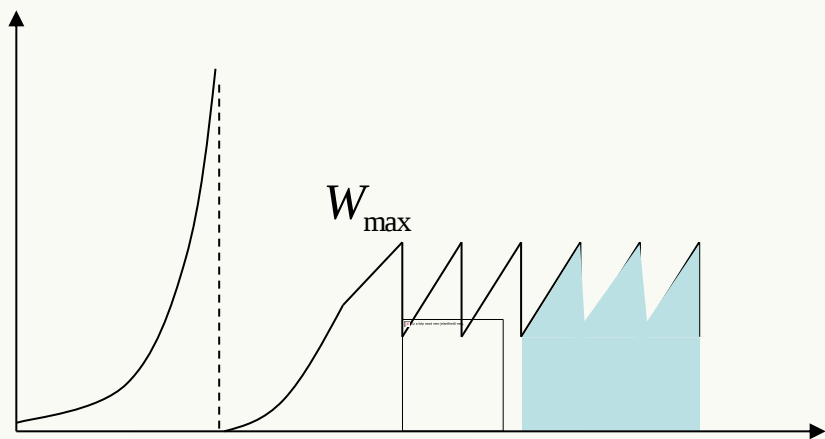
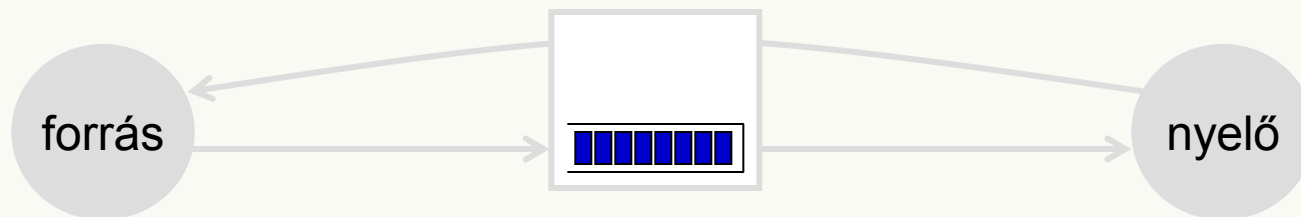
elasztikus



túlterhelt

- **transzparens** tartomány:
 - a folyamatok csak elhanyagolható veszteséget szenvednek
 - nincs sávszélesség csökkenés („QoS by overprovisioning”)
- **elasztikus** tartomány:
 - néhány nagy sávszélességű folyamat kihasználhatja a teljes kapacitást
 - torlódásszabályzás nélkül ezen folyamatok csökkenthetik a minőségét a többi folyamtnak, különösen a streaming folyamatoknak
 - fair megosztás szükséges
- **túlterhelt** tartomány:
 - a teljes forgalom nagyobb mint a kapacitás
 - minden folyamat szenved minőségromlást ha nincs szabályzás pl. prioritásokkal

Fair megosztás az elasztikus tartományban

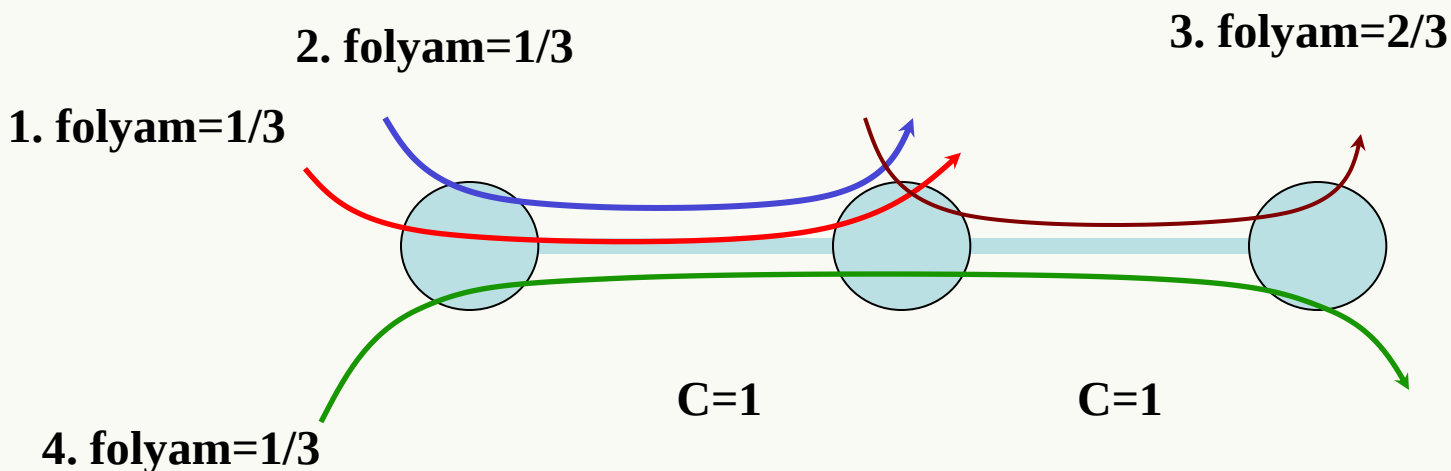


$$BW \approx \frac{MSS}{RTT \times \sqrt{p}}$$

BW: TCP folyam sávszélessége
MSS: maximális szegmens méret
RTT: körülfordulási idő
p: csomagvesztési valószínűség

- TCP megvalósítja a folyamatok körülbelüli **fair sávszélesség megosztását** (ha RTT nem tér el nagyon...)
- A fair megosztás pontosan biztosítható **fair sorbanállási** technikákkal
- Vannak olyan TCP verziók, amik nagyon agresszívek...

Mit jelent az, hogy fair?



Max-min fair

Egy kiosztás maximum-minimum igazságos, ha egy folyamnak kiosztott sávszélesség nem növelhető anélkül, hogy egy másik, kisebb vagy azonos kiosztott sávszélességű folyam sávszélességét ne csökkentsenénk.

Mi a folyamat torlódása?

- **folyam torlódása**= amikor a folyamat sávszélességét korlátozza a rendelkezésre álló kapacitás
- Feltételezések:
 - felajánlott forgalom: **A**
 - aktív folyamatok száma: **x**
 - aktivitások (session) érkezése **Poisson**
 - folyamat sávszélessége $\leq c$ (csúcssebesség)
 - **fair megosztás** a **C** kapacitású linken **$xc > C$**

Az aktív folyamatok száma úgy viselkedik mint a felhasználók száma a processzor megosztásos sorban!

Hogyan számolhatjuk a torlódást?

- Az idő mennyi részében szenved torlódást egy folyam?

- Erlang C formula: $E_C\left(\frac{A}{c}, \frac{C}{c}\right)$

- Érvényes tetszőleges folyam eloszlás esetén!

**Tehát az Internet Erlang formulája
az Erlang késleltetési formula!**

Általános eset

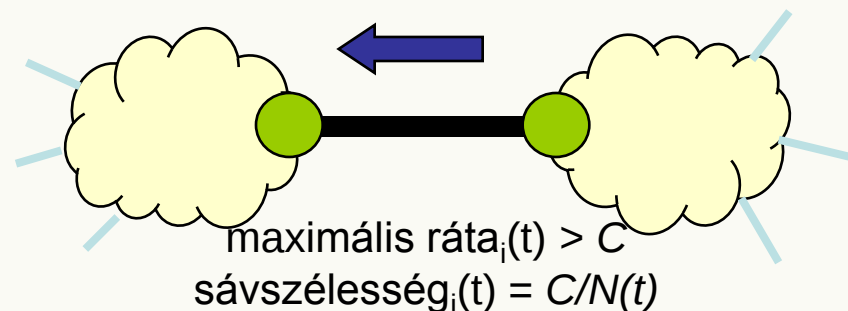
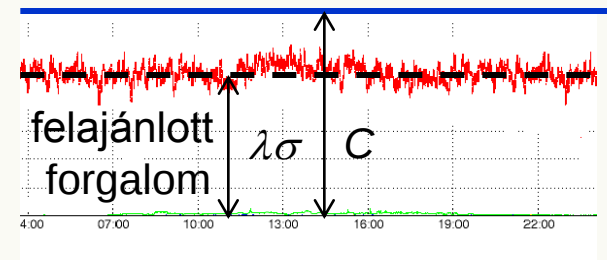
- Feltételezések:
 - aktív folyamatok száma: x
 - m különböző csúcssebességű folyam osztály
 - csúcssebességek: $c_1, c_2, \dots, c_m$

$$P_c = P\left(\sum_{i=1}^m x_i \min(c_i, c) \geq C\right)$$

- nincs egyszerű formula...
- ha lenne is, nem használható, mert a csúcssebességek és felajánlott forgalmak nem ismertek általában..
- ...viszont az **Erlang C formula egy jó felső korlát** ilyenkor is!

Számítások az elasztikus tartományban

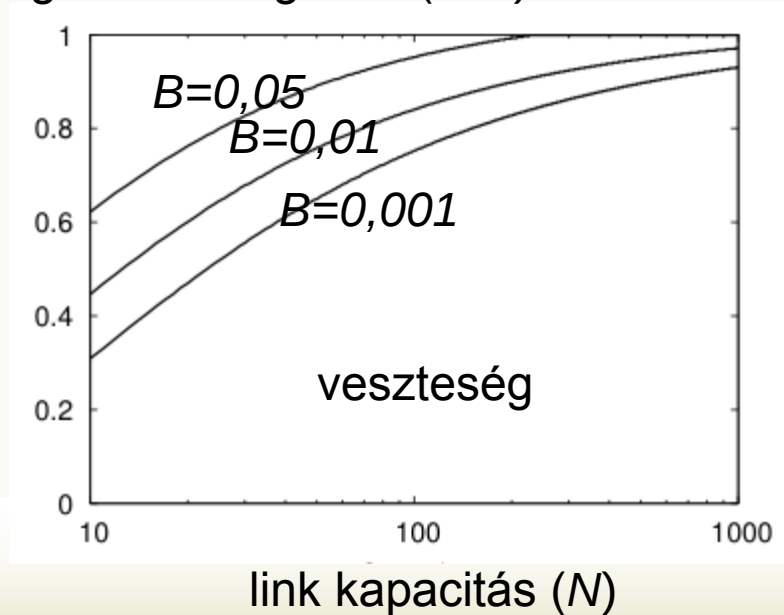
- M/G/1 processzor osztásos sor
 - Poisson érkezési intenzitás λ
 - átlagos folyam méret σ
 - kihasználtság $\rho = \lambda\sigma/C$ (feltételezve: $\rho < 1$)
- az aktív folyamok számának stacionárius eloszlása:
 - $\pi(n) = P[N(t) = n]$
 - $\pi(n) = \rho^n (1 - \rho)$
- s méretű folyam várható válaszideje:
 $R(s) = s / (C(1 - \rho))$
- átlagos sávszélesség: (throughput)
 $s / R(s) = C(1 - \rho)$



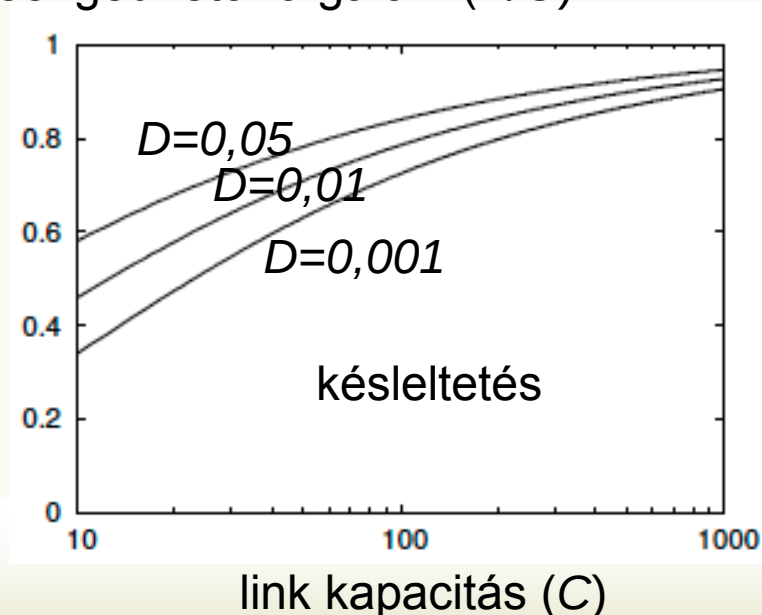
Összefoglalás: Erlang formulák

- Telefonhálózat: Erlang B veszteségi formula
- Internet: Erlang C késleltetési formula
- Általánosabb esetekre sokkal bonyolultabbak az összefüggések!

beengedhető forgalom (A/N)



beengedhető forgalom (A/C)



- A Poisson modell sikertörténet az Internet esetében is!
- A teljesítmény a forgalom jellemzői közül csak az **teljes átlagos forgalomtól** és a **folyamok csúcssebességétől** függ!
- Az **Erlang C formula** jó felső korlát a **folyamok torlódásának** számítására
- TCP biztosíthat egy közelítő **max-min fair sáv szélesség megosztást**
- **Fair sorbanállási módszerekkel** a routerekben biztosítani lehet a pontos fair sáv szélesség megosztást
- Túlterhelt tartományt meg kell akadályozni megfelelő szabályzással

- T. Bonald and J. Roberts, “Internet and the Erlang formula”, SIGCOMM Comput. Commun. Rev., 2012