

Számítógépes Hálózatok

ősz 2006

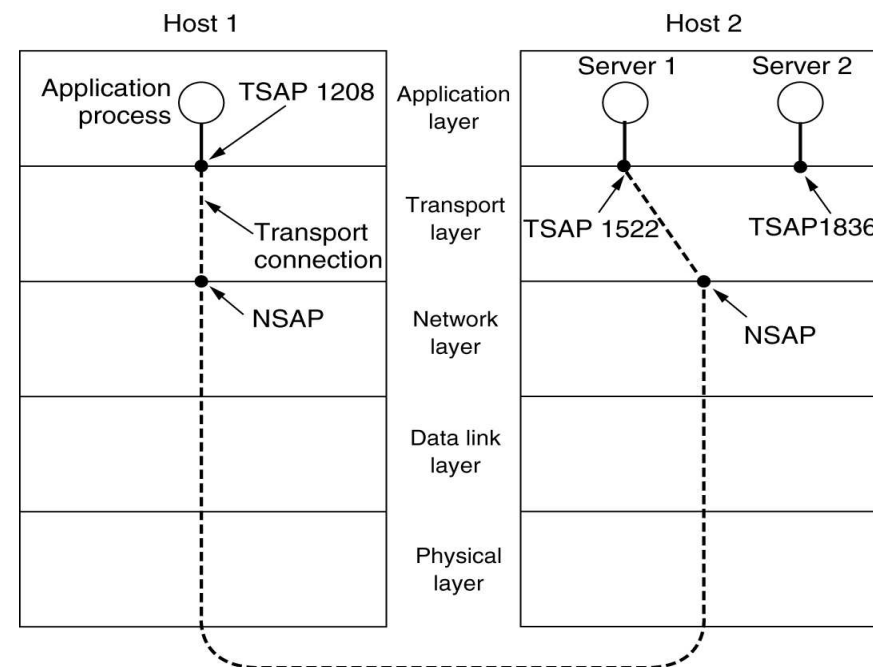
11. Szállítói réteg – TCP, Tahoe, Reno, AIMD, Fairness, hatékonyság

A szállítói réteg (transport layer) szolgáltatásai

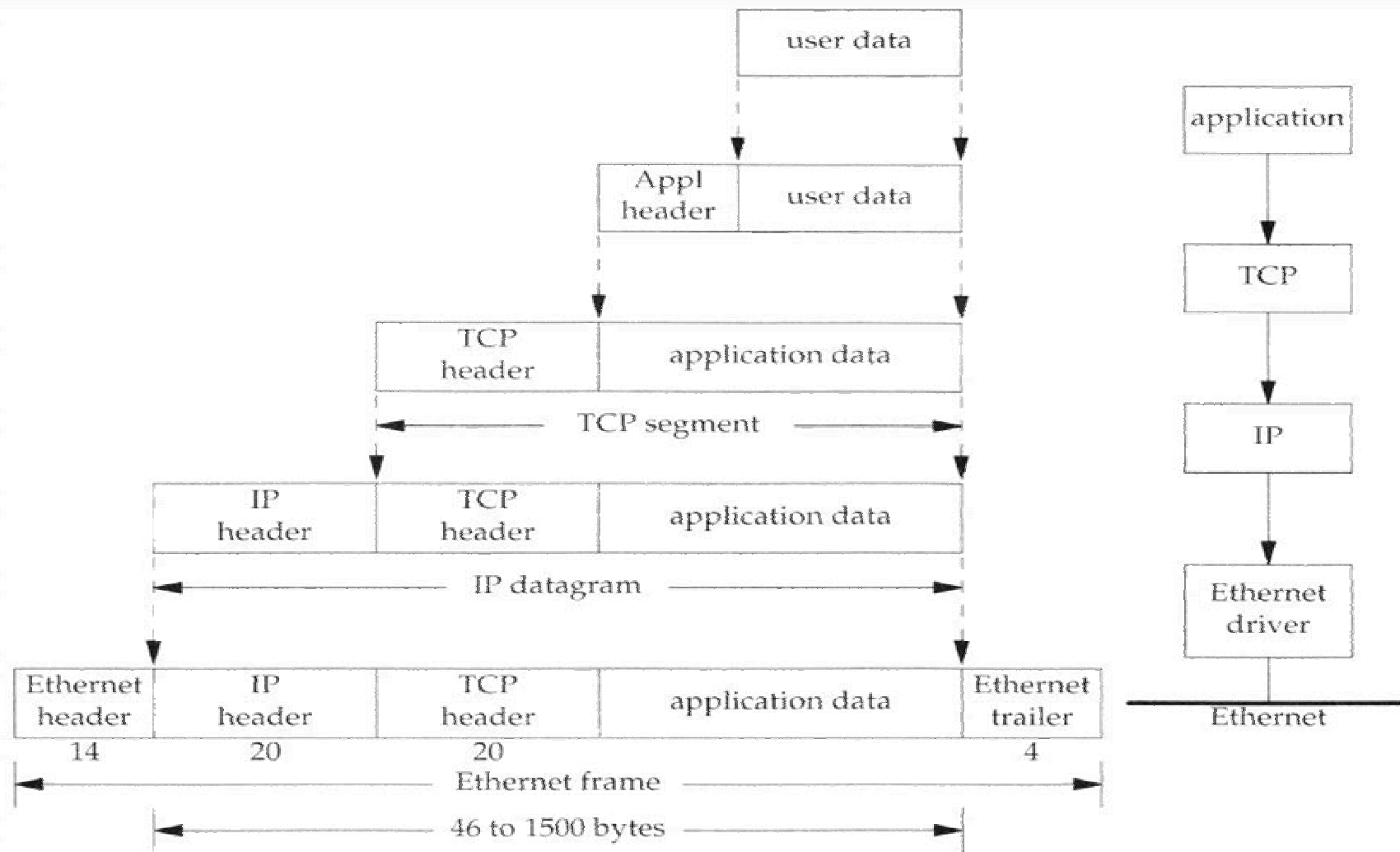
- Kapcsolat nélküli vagy kapcsolat orientált (connectionless/connection oriented)
 - Gondoljunk az ISO/OSI ülés rétegre
- Megbízható vagy nem megbízható (reliable/unreliable)
 - „Best effort” vagy „Quality of Service”
 - Hibafelügyelet
- Torlódás felügyelet (congestion control) vagy torlódás felügyelet nélkül
- Lehetőség több végpontra egy végrendszeren (host)
 - Demultiplexálás
- Több interakciós modell támogatása
 - Byte-áram, üzenetek, „Remote Procedure Call“

Multiplexálás a szállítói rétegben

- A hálózati réteg az adatokat kontroll nélkül továbbítja a szállítói rétegnek
- A szállítói rétegnek az adatokat különböző felhasználásokhoz kell hozzárendelni:
 - pl. Web, Mail, FTP, ssh, ...
 - TCP/UDP ezt port-szám alapján teszi
 - pl. port 80 a Web-szerverhez

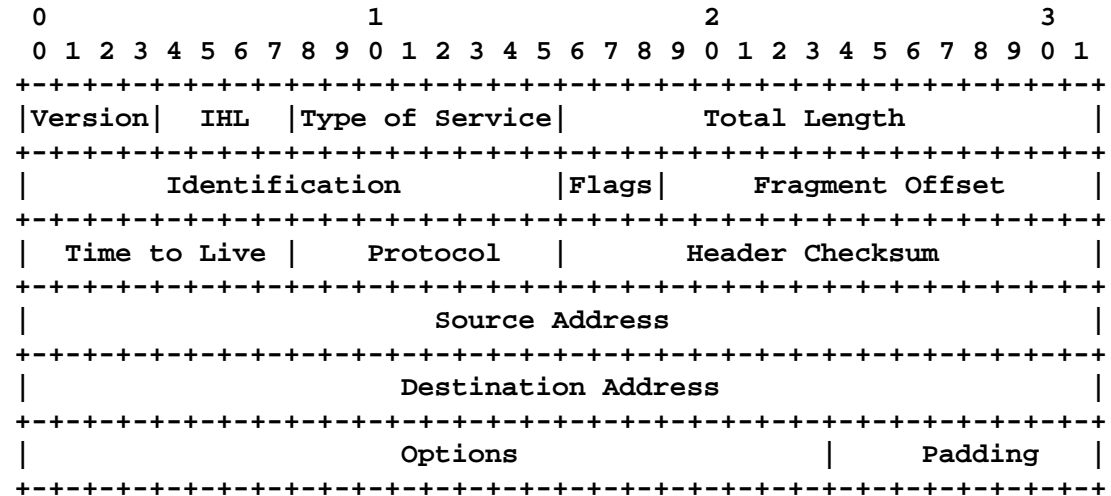


Adatok burkolása

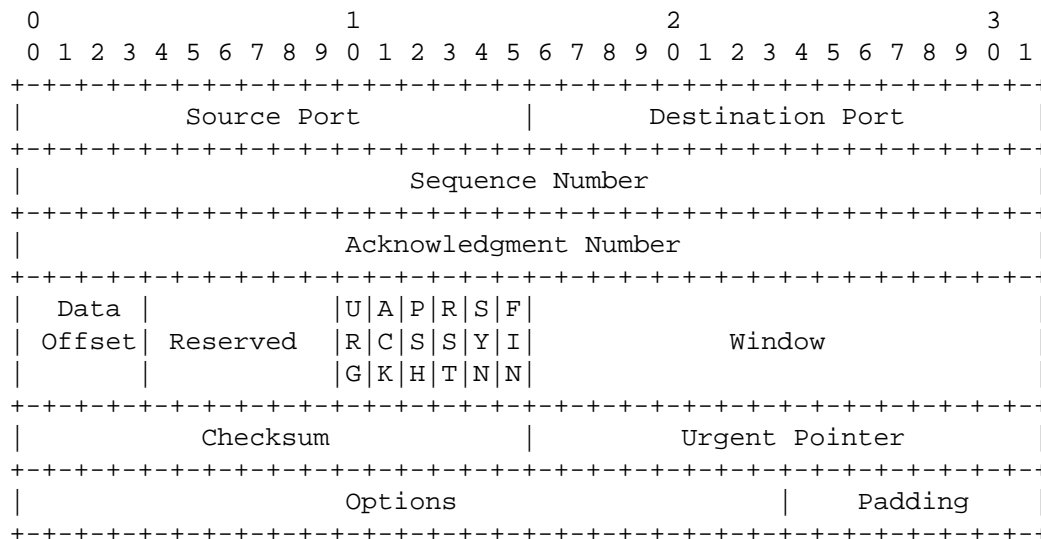


IP-fejléc (RFC 791)

- Version: 4 = IPv4
- IHL: fejléchéossz
 - 32 bites-szavakban (>5)
- Type of Service
 - Optimalizálás kritériuma delay, throughput, reliability, monetary cost
- Checksum (csak az IP-fejlécre vonatkozik)
- Source and destination IP-address
- Protocol: megadja a felhasznált protokollt
 - pl. TCP, UDP, ICMP, IGMP
- Time to Live:
 - a maximális hop szám, ameddig a csomag továbbítandó



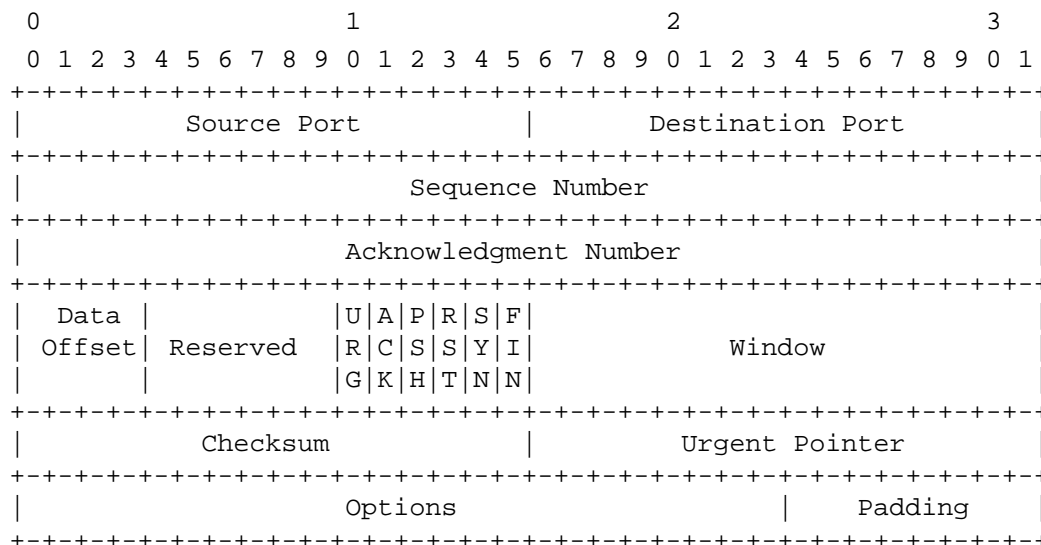
TCP-fejléc (I)



- „Checksum“
 - Fejléchez és adatokhoz
- Fejléchossz (data offset)
 - A változó hosszúságú opció-
mező miatt

- Küldő-Port + Cél-Port-Nr.
 - Megenged több TCP-
kapcsolatot IP-címenként
- Sorszám
 - Minden adatbyte meg van
számozva modulo 2^{32}
 - = a szegmens első byte-
jának a száma
- Nyugta szám
 - Az ACK-Flag által aktivivált
 - Az első még nem feldolgozott
adatbyte száma
 - = utolsó sorozatszám +
utolsó adatmennyiség

TCP-Fejléc (II)



- Opció-mező pl. MSS (maximum segment size):
 - A fogadó megadja a kívánt csomagméretet
 - Tekintet nélkül az IP MTU-ra (max. transmission unit)
 - Fragmentálás lehetséges az IP által

- FLAGS (függetlenül felhasználhatók)
 - URG: sürgős (urgent)
 - ACK: nyugta (acknowledgment)
 - Aktiviálja a nyugta számot
 - PSH: Push
 - Gyors adattovábbítás a felhasználói rétegnek
 - RST: Reset
 - A válasz hiba esetén: connection reset by peer
 - SYN: Synchronize
 - Kapcsolatfelépítés és a kezdő sorszám megadása
 - FIN: Finished
 - (Egy) adatfolyam befejezése

Szállítói réteg (transport layer)

- TCP (transmission control protocol)
 - Megbízható adatfolyamot hoz létre két végpont között
 - A felhasználói réteg adatáramát csomagokra osztja
 - A másik oldal a csomagok fogadásától nyugtákat küld (Acknowledgment)
- UDP (user datagram protocol)
 - Egyszerű nem megbízható szolgáltatás csomagok küldésére
 - Az inputot egy datagrammá alakítja
 - A felhasználói réteg határozza meg a csomag méretét
- A csomagokat a hálózati réteg által küldi
- Routing nincs: végpont-végpont protokollok

TCP (I)

TCP (Transmission Control Protocol) egy kapcsolatorientált megbízható szolgáltatás bidirekcionális byte-folyamokhoz

TCP Kapcsolatorientált

- Két résztvevő. Egy egy résztvevő **socket** által azonosított:
socket: **IP-cím** és **port**
- TCP-kapcsolat egyértelműen azonosított egy **socketpár** által
- Nincs broadcast sem multicast
- Kapcsolatfelépítés és lezárás szükséges
- Amíg egy kapcsolat nincs (rendesen) lezárva, addig aktív

TCP (II)

TCP egy kapcsolatorientált megbízható szolgáltatás bidirekcionális byte-folyamokhoz

TCP megbízható

- Minden adatcsomag megérkezését nyugtázza (*acknowledgment*)
- A nem nyugtázott adatcsomagokat újraküldi
- “Checksum” a fejléchez és csomaghoz
- TCP számozza a csomagokat és sorbarendezi a fogadónál
- Törli a duplikált csomagokat

TCP (III)

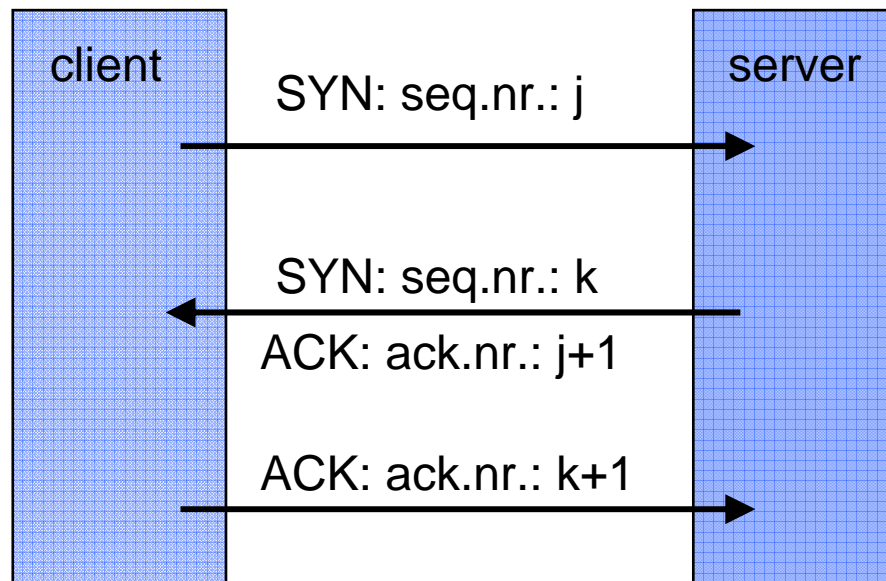
TCP egy kapcsolatorientált megbízható szolgáltatás bidirekcionális byte-folyamokhoz

TCP egy szolgáltatás bidirekcionális byte-folyamokhoz

- Az adatok két egymással ellentétes irányú byte-sorozatként (=8 bit) kerülnek átvitelre
- A tartalom nem interpretálódik
- Az adatcsomagok időbeli viselkedése megváltozhat: átvitel sebessége növekedhet, csökkenhet, más késés, más sorrendben is megérkezhetnek
- Megpróbálja az adatcsomagokat időben egymáshoz közel kiszállítani
- Megpróbálja az átviteli közeget hatékonyan használni
= kevés csomag

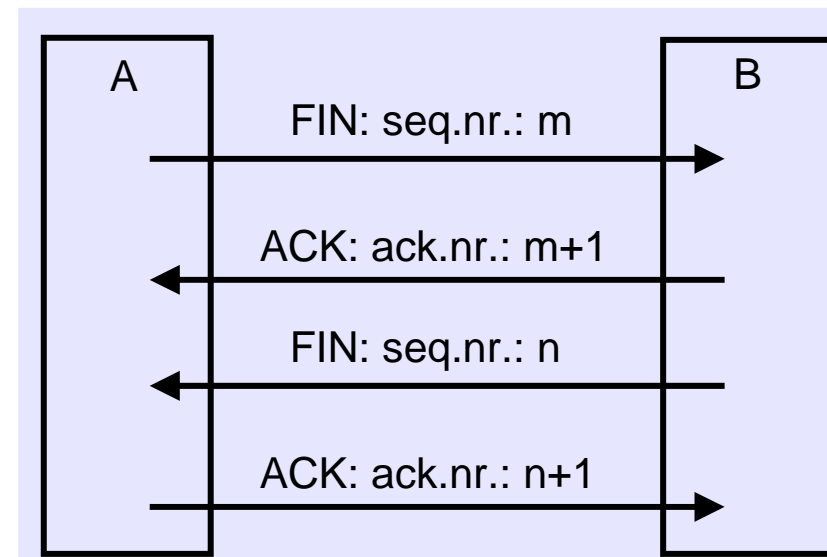
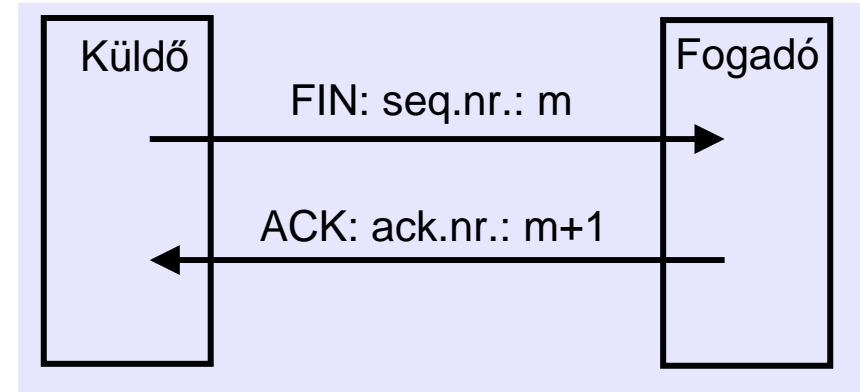
Kapcsolatfelépítés

- Rendszerint Client-Server-kapcsolat
 - Ekkor felépítés 3 TCP-csomaggal (=3 szegmens)
 - Az első SYN-szegmensben az MSS (maximum segment size) is átvitelre kerül



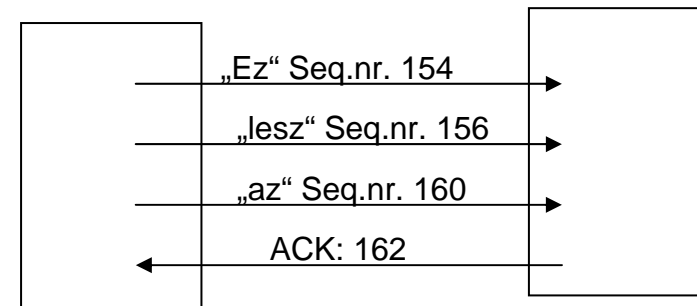
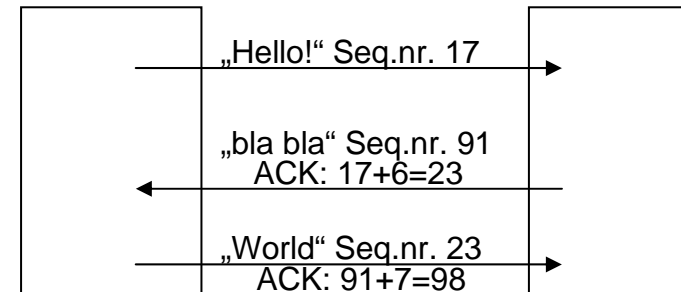
Kapcsolat lezárása

- Félig lezárás (half-close)
 - A küldő jelzi a kapcsolat befejezését egy FIN-szegmensben és vár annak nyugtájára
 - Az ellenkező irányban továbbra is lehet küldeni
- Két félig lezárás lezárja a TCP-kapcsolatot



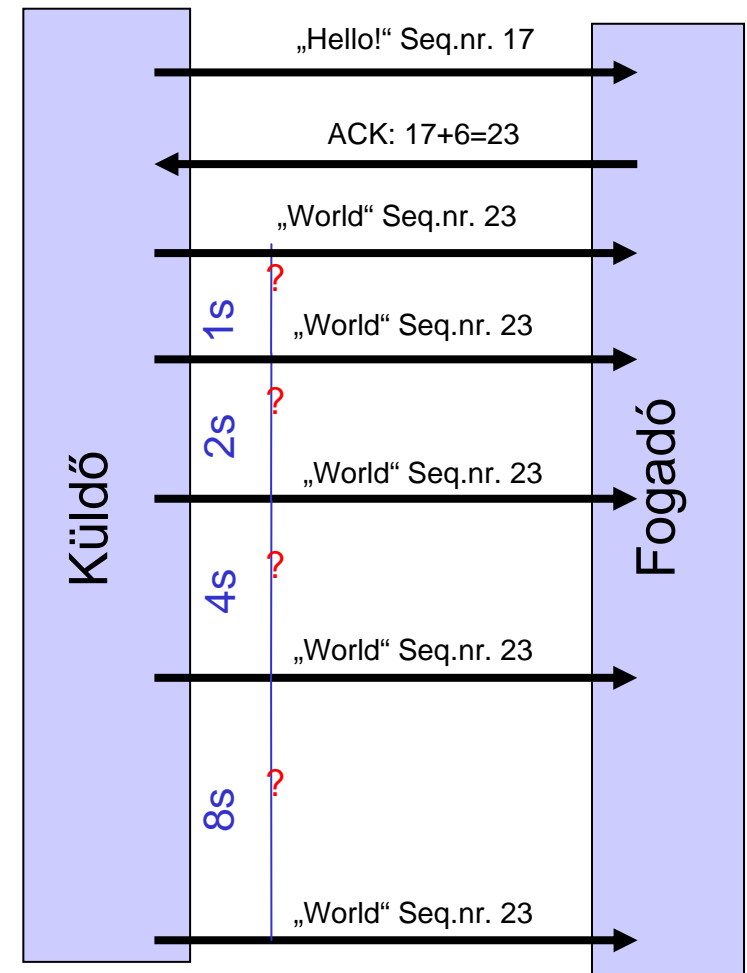
Nyugták (acknowledgement -- ACK)

- Hátizsák technika „piggybacking“
 - A nyugták (ACK) az ellenkező irány adatszegmensein „utaznak“
- Egy nyugta több adatszegmenst is nyugtázhat
 - Ha nincs küldeni való adat, késleteti az ACK-kat



Exponenciális visszavétel (exponential backoff)

- **Retransmission Timeout (RTO)**
 - szabályozza az időközt a küldés és egy duplikátum újraküldése között, ha egy nyugta kimarad
- Mikor nem kerül nyugtázásra egy TCP-csomag?
 - Ha a nyugta lényegesen több időt vesz igénybe, mint az átlagos „round trip time” (RTT)
 - 1. Probléma: RTT mérése
 - 2. Probléma: Csak a nyugta jön túl későn
 - Küldő
 - Vár az RTO-nak megfelelő ideig
 - Ha nem érkezett nyugta, újraküldi a csomagot és növeli
$$RTO \leftarrow 2 RTO \quad (RTO = 64 \text{ másodpercig})$$
- RTO újraszámolása, ha a csomagok nyugtázódnak



A Round Trip Time (RTT) becslése

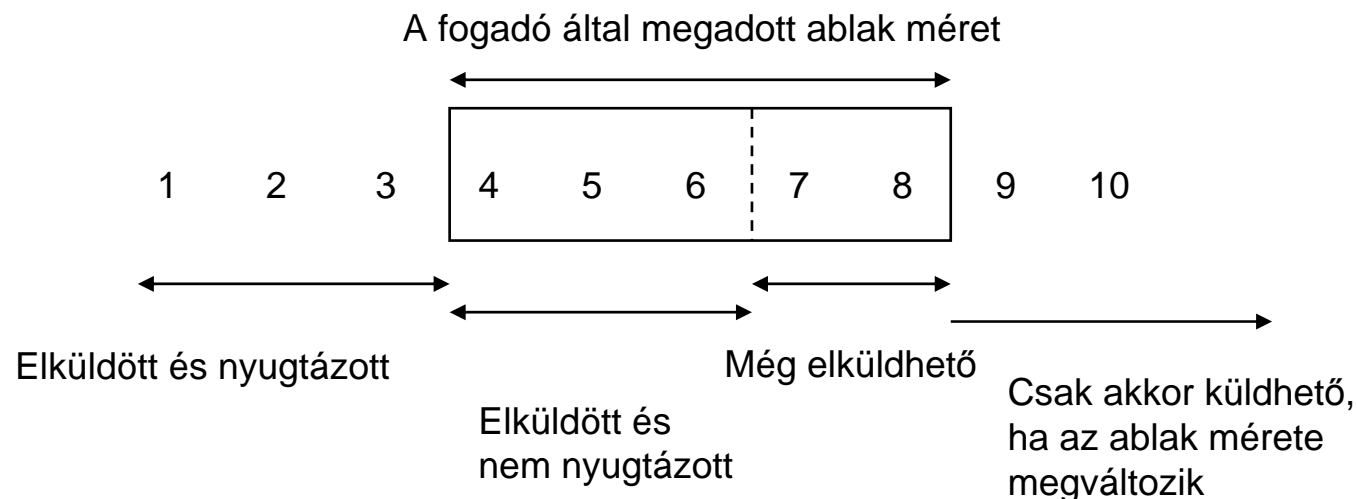
- A TCP-csomag nem nyugtázottnak számít, ha a nyugta „lényegesen” tovább tart, mint az RTO
- RTT nem számítható on-line (csak visszatekintve)
- RTT erősen ingadozik
- Ezért: Retransmission Timeout Value nagyvonalú becsléssel:
 - RFC 793: ($M :=$ utoljára mért RTT)
$$R \leftarrow \alpha R + (1 - \alpha) M, \quad \text{ahol } \alpha = 0,9$$
$$RTO \leftarrow \beta R, \quad \text{ahol } \beta = 2$$
 - Jacobson 88: a becslés nem elég robusztus, ezért
$$A \leftarrow A + g (M - A), \quad \text{ahol } g = 1/8$$
$$D \leftarrow D + h (|M - A| - D), \quad \text{ahol } h = 1/4$$
$$RTO \leftarrow A + 4D$$
- Többszörösen elküldött csomagoknál nem aktualizálunk

TCP – Nagle algoritmusa

- Hogyan biztosíthatjuk,
 - hogy kis csomagok időben egymáshoz közel kerüljenek kiszállításra
 - és hogy sok adat esetén nagy csomagok előnyben részesüljenek?
- **Nagle algoritmusa:**
 - Kis csomagok nem kerülnek addig küldésre, amíg nyugták hiányoznak
 - egy csomag kicsi, ha az adathossz $< \text{MSS}$
 - Ha a korábban küldött csomag nyugtája megérkezik, küldi a következőt
- Tulajdonsága
 - Önmagát ütemező: Gyors kapcsolat = sok kis csomag

Csúszó Ablakok (sliding windows)

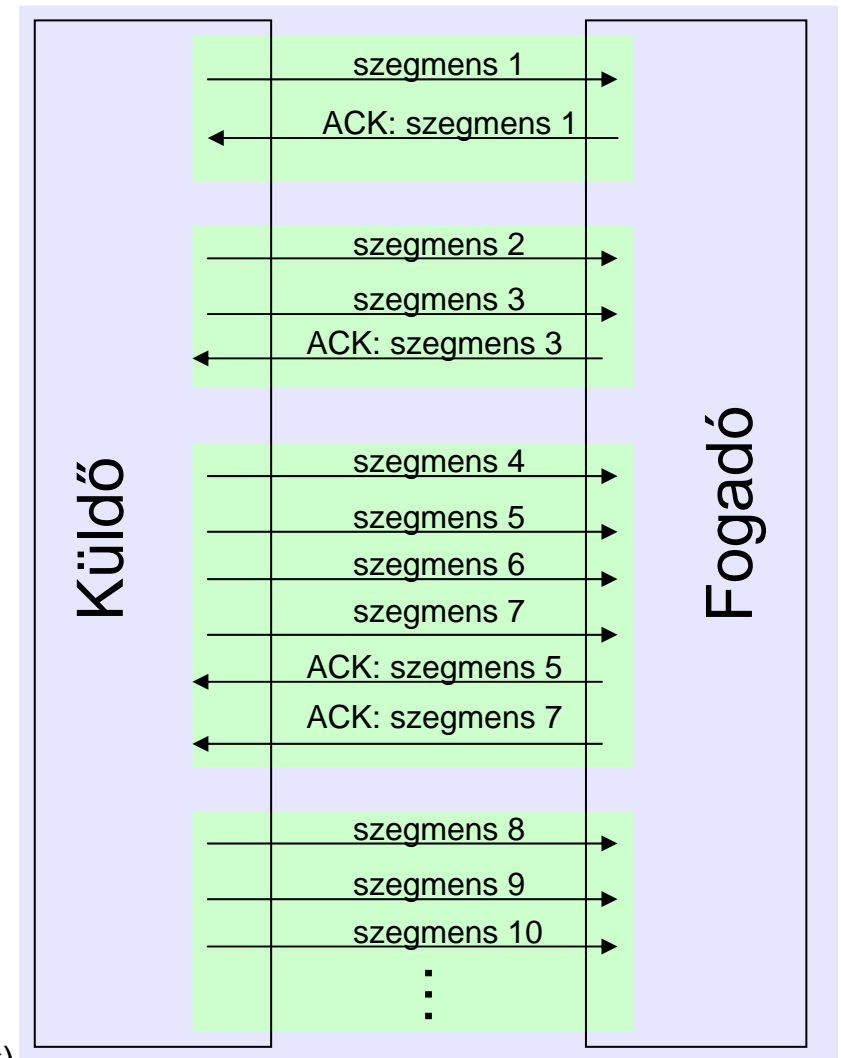
- Adatátráta szabályozása ablak segítségével
 - A fogadó meghatározza az ablak méretet (wnd) az ACK-szegmensek TCP-fejlécében
 - Ha a fogadó fogadási puffere tele van, akkor $wnd=0$ -t küld
 - Máskülönben a fogadó $wnd>0$ -t küld
- A küldőnek be kell tartani:
 - Az elküldött nem nyugtázott adatcsomagok száma \leq ablak mérete



Lassú Start (slow start)

- A küldőnek nem szabad a fogadó által felajánlott ablakméretet azonnal kihasználni
- Második ablak: Congestion-ablak (cwnd: congestion window)
 - A küldő választja
 - Az ablak amiben küld: $\min\{wnd, cwnd\}$
 - Kezdetben:
$$cwnd \leftarrow MSS$$
 - Minden csomagnál a megkapott nyugta után nő
$$cwnd \leftarrow cwnd + MSS$$
(azaz megduplázódik minden RTT után)
 - Addig, amíg egyszer egy nyugta kimarad

Slow start = exponenciális növekedés
(hisztórikus elnevezés: korábban még agresszívebb sémák)



Torlódás elkerülés (congestion avoidance) TCP Tahoe

- Jacobson 88:

- Paraméter: *cwnd* és *ssthresh* (= slow-start-küszöb, slow start threshold)

1. Kapcsolatfelépítés:

$$cwnd \leftarrow MSS \qquad ssthresh \leftarrow 65535$$

2. Csomagvesztésnél, azaz nyugta ideje > RTO: **multiplicatively decreasing**

$$cwnd \leftarrow MSS \qquad ssthresh \leftarrow \max \left\{ 2 \text{ MSS}, \frac{\min\{cwnd, wnd\}}{2} \right\}$$

3. Nyugta jön a szegmenshez és $cwnd \leq ssthresh$: **slow start**

$$cwnd \leftarrow cwnd + MSS$$

4. Nyugta jön a szegmenshez és $cwnd > ssthresh$: **additively increasing**

$$cwnd \leftarrow cwnd + MSS \frac{MSS}{cwnd}$$

TCP Tahoe

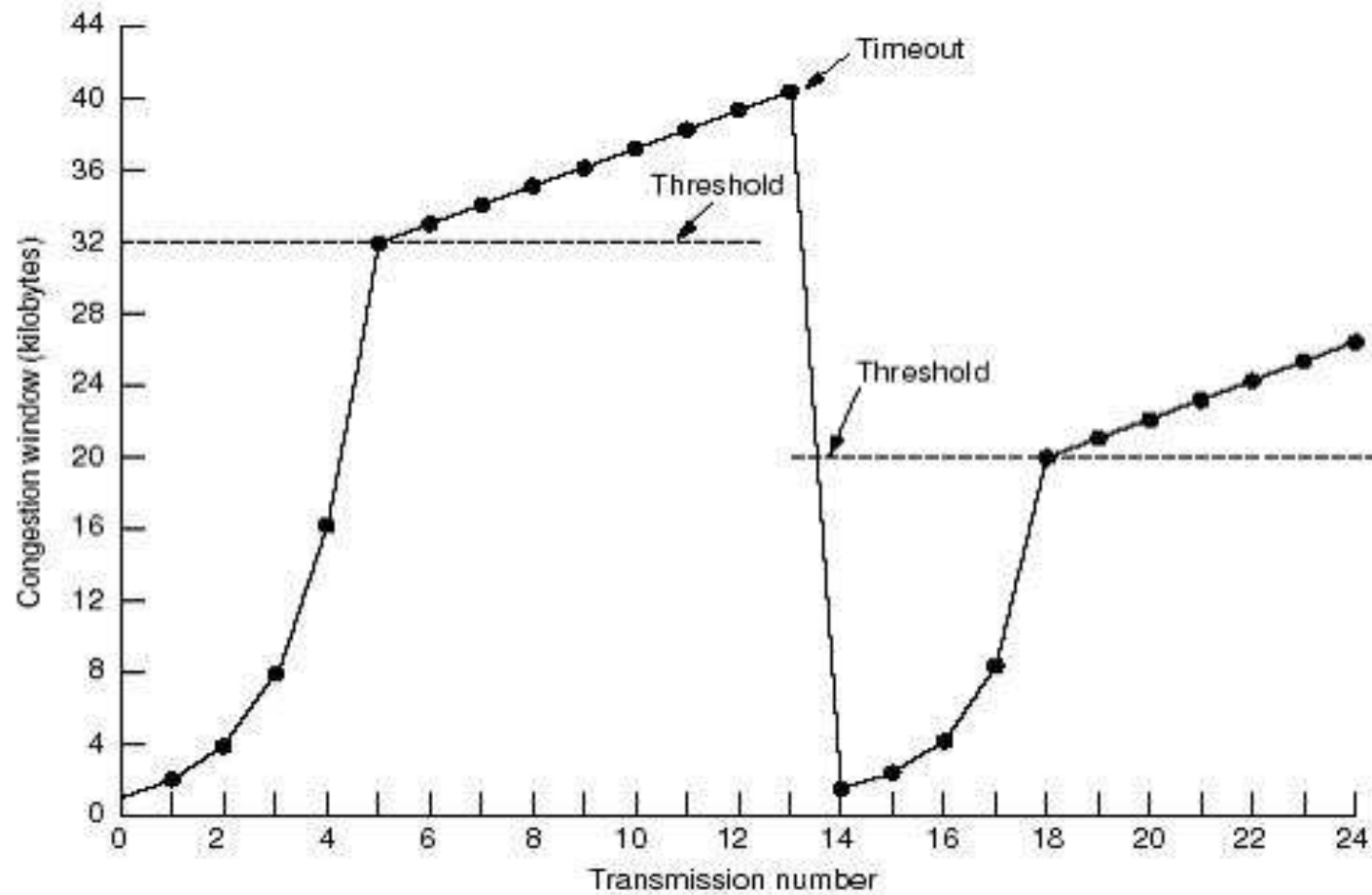


Fig3

pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 3rd edition*

Fast Retransmit és Fast Recovery

- TCP Tahoe [Jacobson 1988]:
 - Ha csak egy csomag veszik el, akkor
 - a csomagot újraküldi + a fennmaradó ablakot
 - és egyidejűleg slow start
 - Fast retransmit
 - ha ugyanazon csomaghoz 3 nyugta-duplikátum (azaz 4 azonos nyugta) érkezik (triple duplicate ACK),
 - újraküldi az elveszet csomagot, egyidejűleg slow start
- TCP Reno [Stevens 1994]
 - Fast retransmit után:
 - $ssthresh \leftarrow \max(\min(wnd, cwnd)/2, 2 \text{ MSS})$
 - $cwnd \leftarrow ssthresh + 3 \text{ MSS}$
 - Fast recovery a fast retransmit után
 - Miden további nyugta után növeli a rátát:
 - $cwnd \leftarrow cwnd + \text{MSS}$
 - Congestion avoidance: amikor új adat nyugtája megérkezik (ujraküldés ACK-ja) :
 - $cwnd \leftarrow ssthresh$

Torlódás elkerülési elv: AIMD

- A TCP a „fast recovery” mechanizmussal lényegében a következőképp viselkedik:

x: csomagok száma per RTT

- Kapcsolatfelépítés:

$$x \leftarrow 1$$

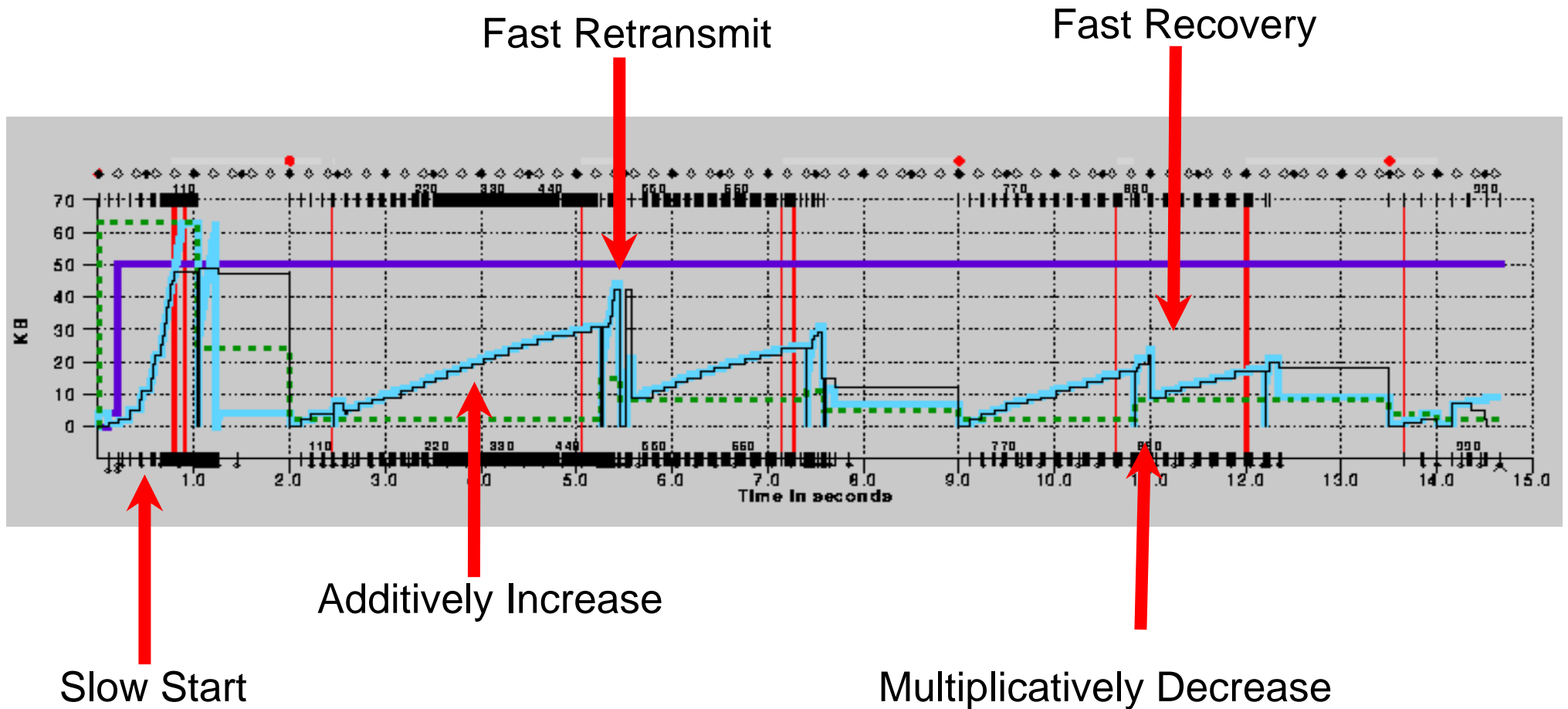
- Csomagvesztésnél, MD: multiplicative decreasing

$$x \leftarrow x/2$$

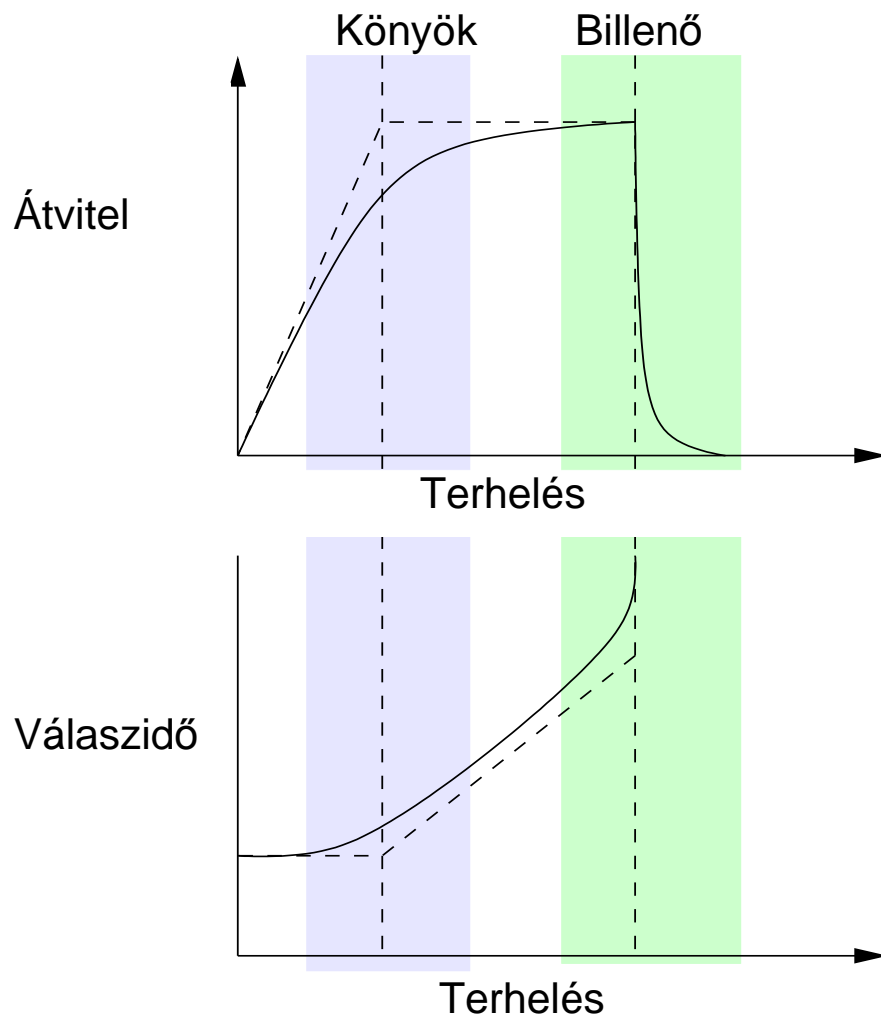
- Nyugtázott szegmenseknél, AD: additive increasing

$$x \leftarrow x + 1$$

Példa: TCP Reno „in akcion”



Additive Increase Multiplicative Decrease (AIMD): Fairness és Hatékonyság



A hálózati terhelés az átvitelrel és a válaszióval kölcsönösen hat egymásra.

- Az átvitel maximális, ha a terhelés a hálózat kapacitását majdnem eléri.
- Ha a terhelés tovább nő, túlszordulnak a pufferek, csomagok vesznek el, újra kell küldeni, drasztikusan nő a válaszió. Ezt a toródást **congestion**-nak nevezzük.
- Ezért a maximális terhelés helyett, ajánlatos a hálózat terhelését a könyök közelében beállítani. Itt a válaszió csak lassan emelkedik, míg az adatátvitel már a maximum közelében van.
- Egy jó torlódáselkerülési (*congestion avoidance*) stratégia a hálózat terhelését a könyök közelében tartja: **hatékonyság**. Emellett fontos, hogy minden résztvevőt egyforma rátával szolgáljunk ki: **fairness**.

AIMD Fairness és Hatékonyság – Egy egyszerű modell

- n résztvevő, forduló-modell
- résztvevő i adatrátája a t -edik fordulóban $x_i(t)$
- Kezdedeti adatráták: $x_1(0), \dots, x_n(0)$
- A visszacsatolás (feedback) forduló t után: $y(t) = 0$, ha $\sum_{i=1}^n x_i(t) \leq K$

$$y(t) = 1, \text{ ha } \sum_{i=1}^n x_i(t) > K$$

- Minden résztvevő aktualizálja az adatrátáját a $t+1$ -edik fordulóban:

$$x_i(t+1) = f(x_i(t), y(t))$$

- Increase-stratégia $f_0(x) = f(x, 0)$

- Decrease-stratégia $f_1(x) = f(x, 1)$

- Tekintsük a következő lineáris függvényeket :

$$f_0(x) = a_I + b_I x, \quad f_1(x) = a_D + b_D x$$

AIMD Fairness és Hatékonyság– A Modell

- A következő lineáris függvényeket vizsgáljuk:

$$f_0(x) = a_I + b_I x, \quad f_1(x) = a_D + b_D x$$

- Érdekes speciális esetek:

- MIMD: Multiplicative Increase/Multiplicative Decrease

$$f_0(x) = b_I x, \quad f_1(x) = b_D x, \quad \text{ahol } b_I > 1, b_D < 1.$$

- AIAD: Additive Increase/Additive Decrease

$$f_0(x) = a_I + x, \quad f_1(x) = a_D + x, \quad \text{ahol } a_I > 0, a_D < 0.$$

- AIMD: Additive Increase/Multiplicative Decrease

$$f_0(x) = a_I + x, \quad f_1(x) = b_D x, \quad \text{ahol } a_I > 0, b_D < 1.$$

AIMD Fairness és Hatékonyság

- Hatékonyság

- Terhelés: $X(t) := \sum_{i=1}^n x_i(t)$

- Mérték: $|X(t) - K|$

- Fairness: $x=(x_1, \dots, x_n)$ esetén:

$$F(x) = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n \sum_{i=1}^n (x_i)^2} .$$

- $1/n \leq F(x) \leq 1$

- $F(x) = 1 \leftrightarrow$ absolut Fairness

- skálázástól független

- Folytonos, differenciálható

- Ha n közül k fair, a többi 0, akkor $F(x) = k/n$

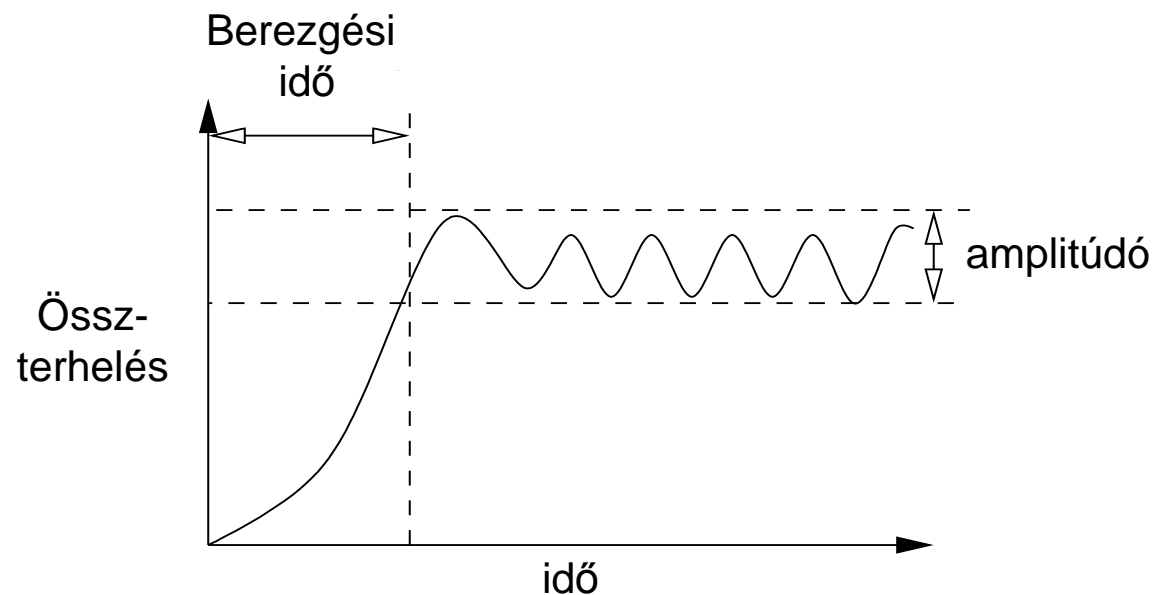
Konvergencia

- Konvergencia nem lehetséges
- Legjobb esetben oszcilláció az optimális érték körül
 - Az oszcilláció amplitúdója A

$$A = \inf_{t_0 \geq 0} \sup_{t \geq t_0} |X(t) - K| .$$

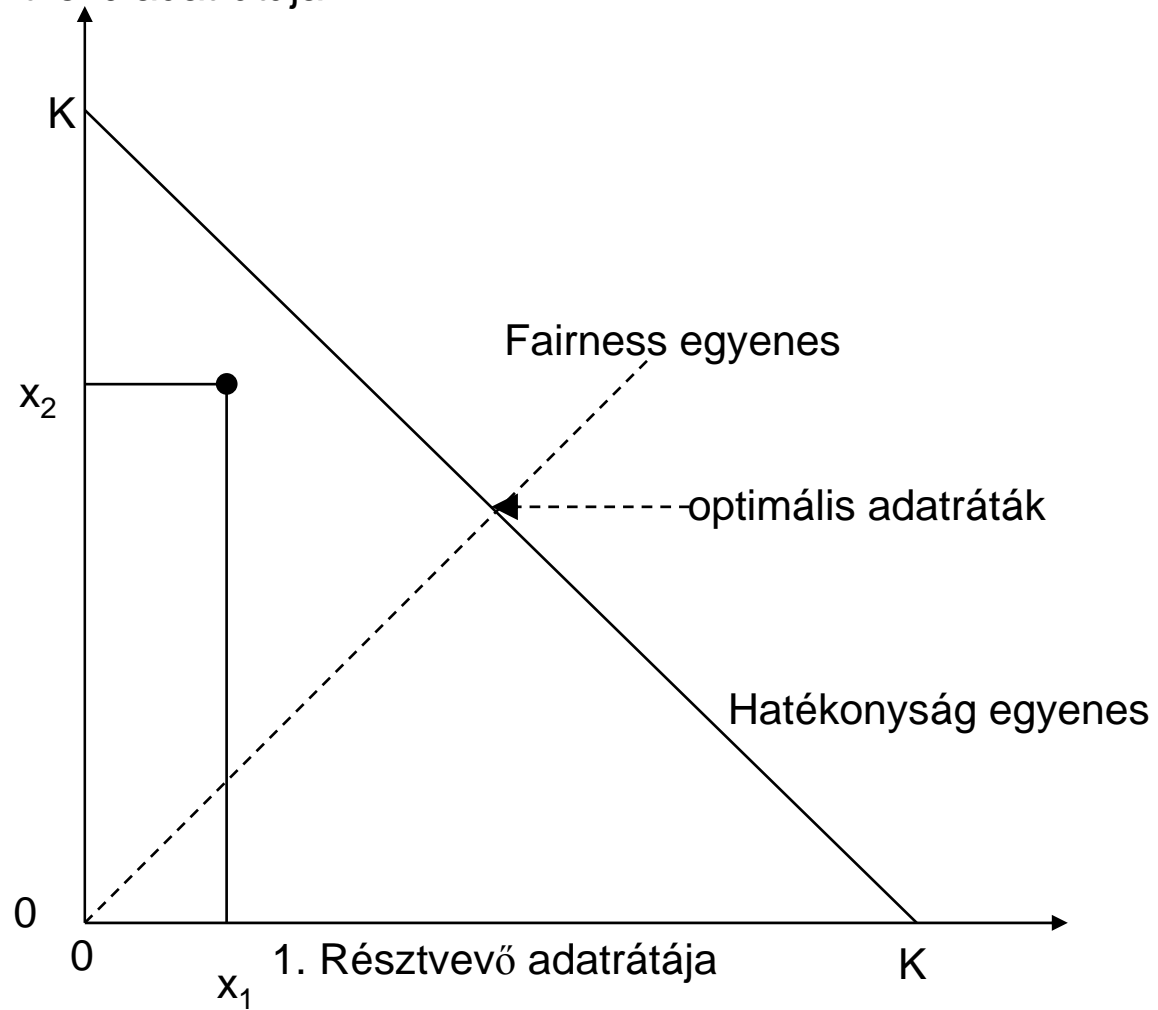
- Berezgési idő T

$$T = \min\{t_0 \mid \forall t \geq t_0 : |X(t) - K| \leq A\} .$$

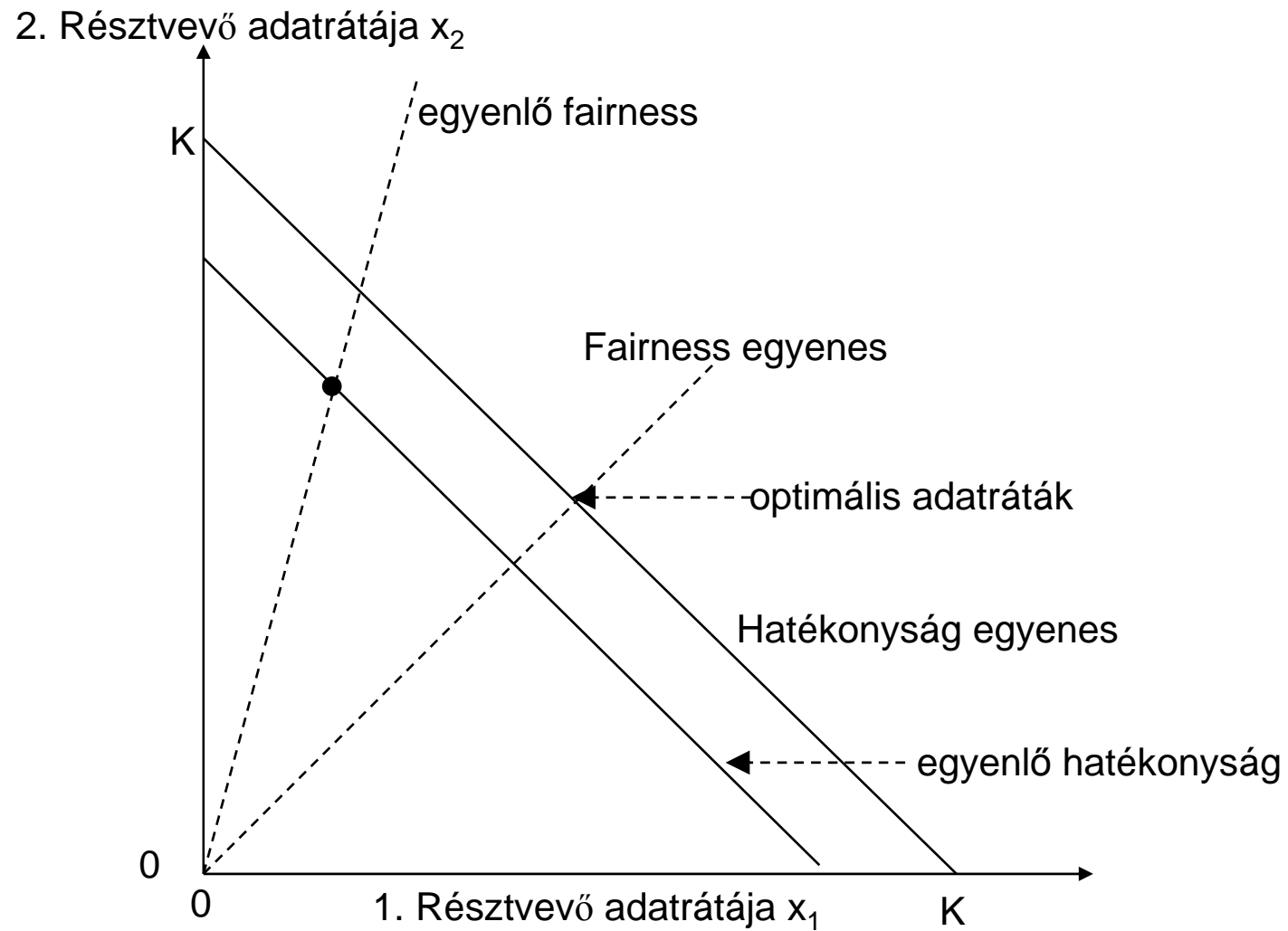


Vektor Ábrázolás (I)

2. Résztevő adatrátája

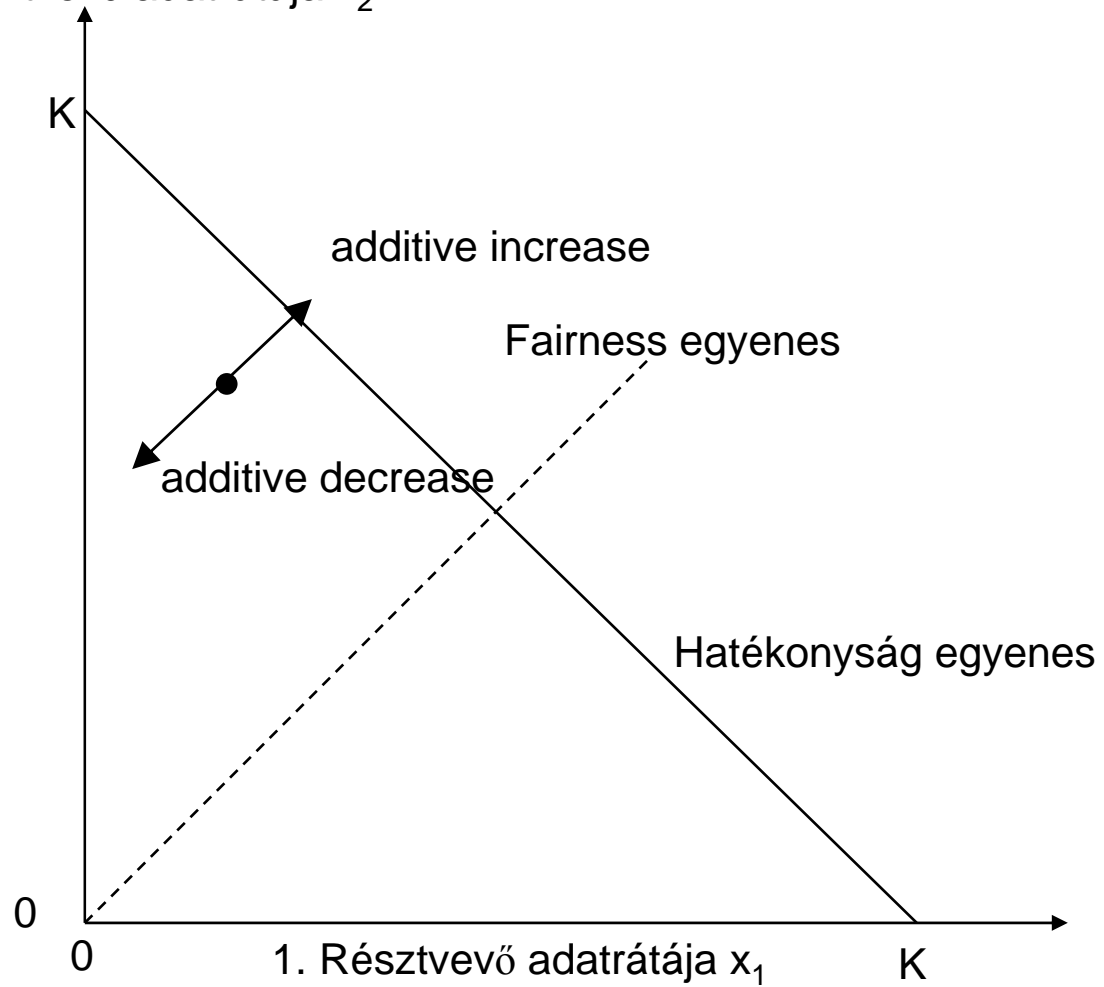


Vektor Ábrázolás (I)



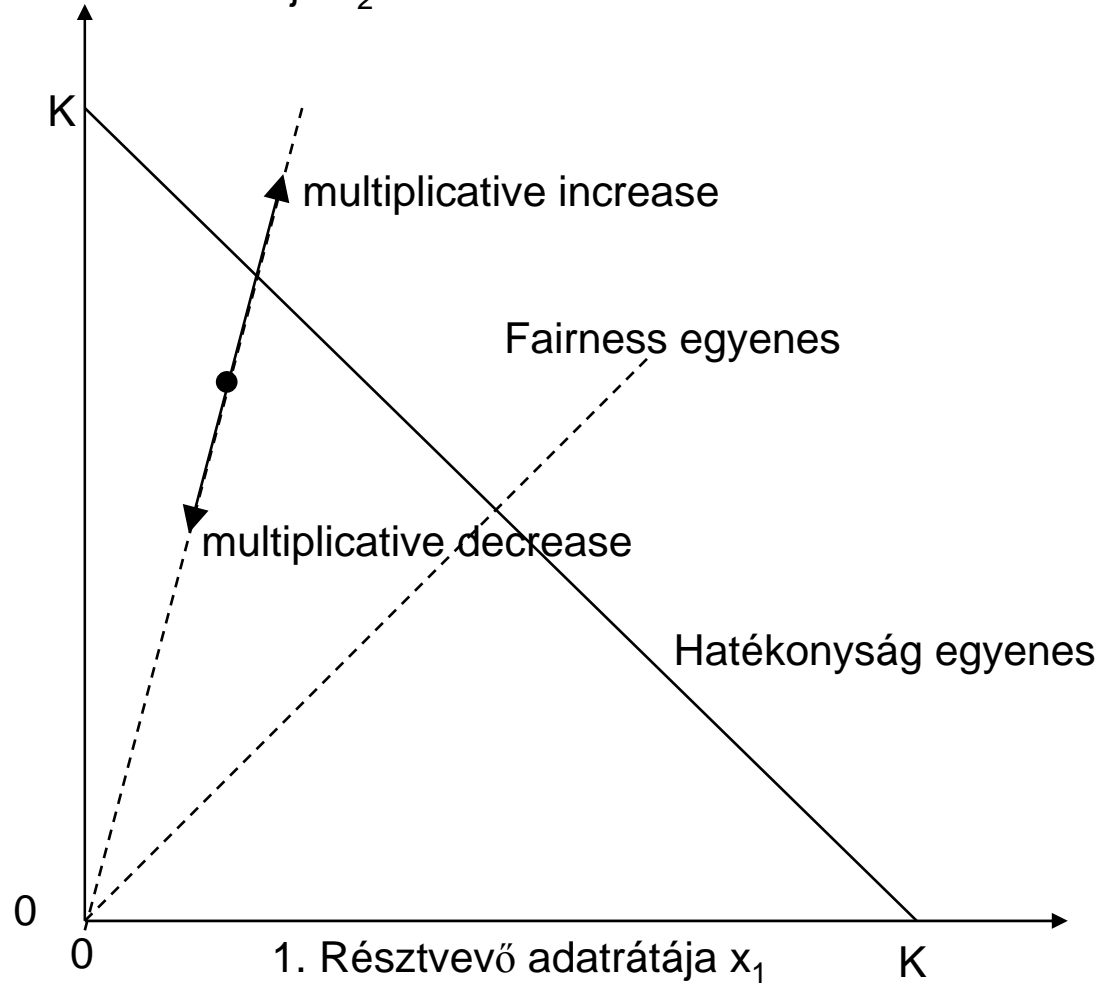
Vektor Ábrázolás (I)

2. Résztevő adatrátája x_2



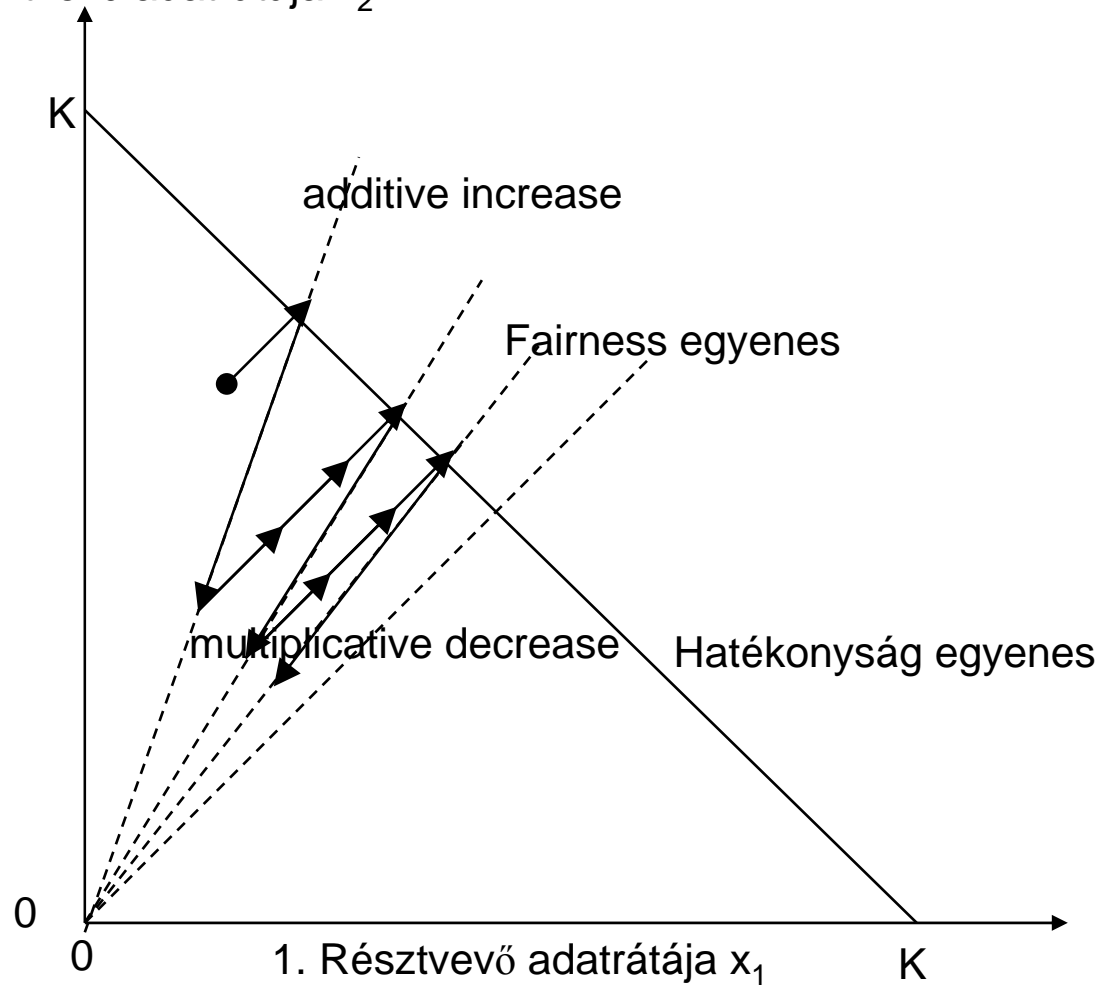
Vektor Ábrázolás (I)

2. Résztevő adatrátája x_2



Vektor Ábrázolás (I)

2. Résztevő adatrátája x_2



TCP összefoglalás

- TCP egy megbízható byte-folyamot hoz létre
 - Hibafelügyelet “Go-Back-N” által
- Congestion control
 - Ablak alapú
 - AIMD, Slow start, *Congestion Threshold*
 - Folyamfelügyelet *Window* által
 - Kapcsolatfelépítés
 - Nagle algoritmus

TCP fairness & TCP friendliness

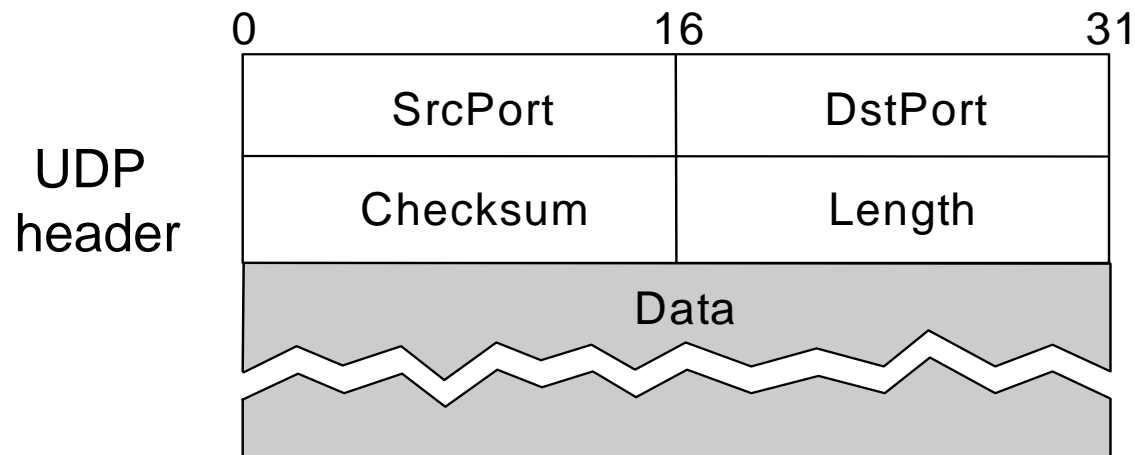
- TCP
 - Dinamikusan reagál a rendelkezésre álló sávszélességre
 - A sávszélesség fair felosztása
 - Ideális esetben: n TCP-kapcsolat mindegyike $1/n$ részt kap
- TCP más protokollokkal
 - Reakció más szállítói protokollok terhelésétől függ
 - pl. UDP-ben nincs congestion control
 - Más protokollok mindenkor felhasználhatók
 - UDP és más protokoll el tudja nyomni a TCP kapcsolatokat
- Véggövetkeztetés
 - A szállítói protokolloknak TCP-kompatibilisnek kell lenni (TCP friendly)

A szállítói réteg szolgáltatásai

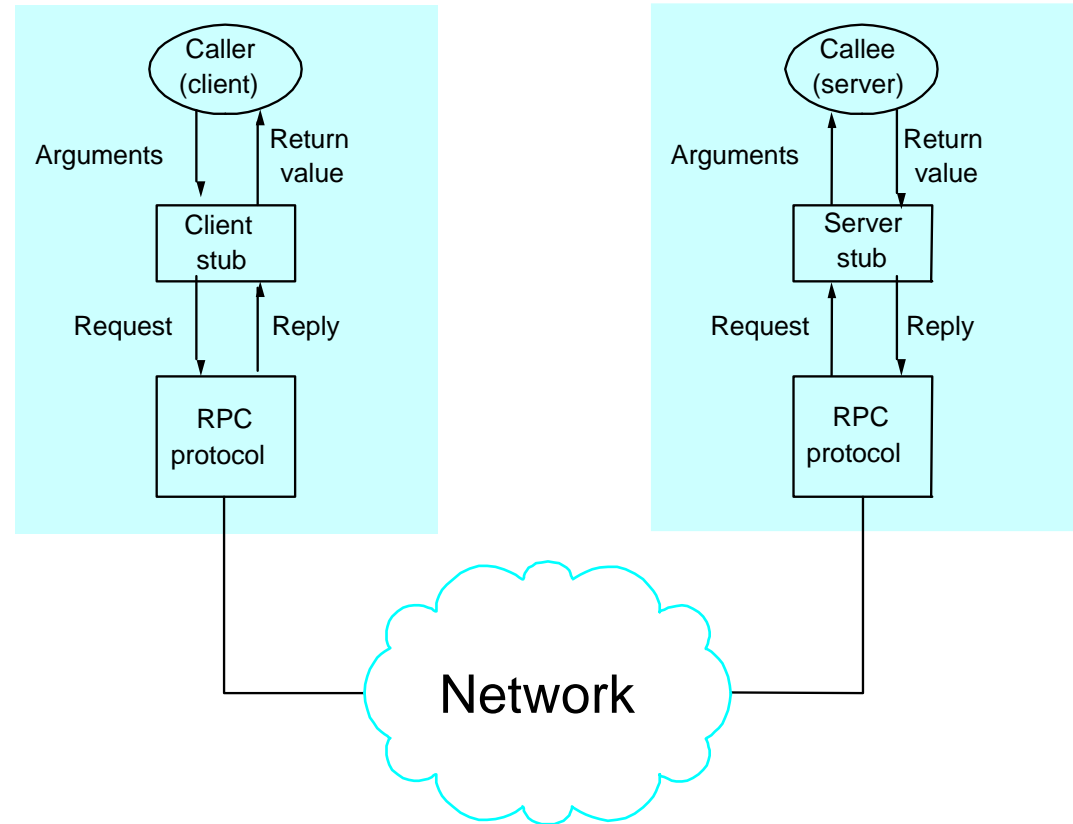
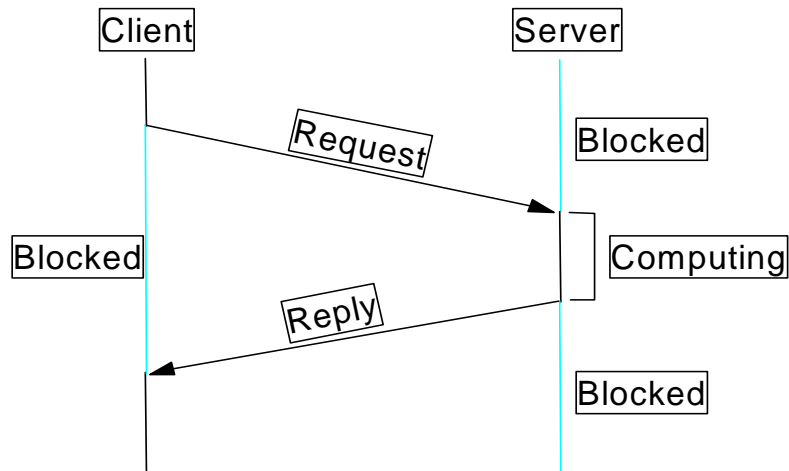
- Kapcsolat nélküli vagy kapcsolat orientált
- Megbízható vagy nem megbízható
 - „Best effort” vagy „Quality of Service”
 - Hibafelügyelet
- Congestion control-lal vagy anélküli
- Lehetőség egy végrendszeren több végpont-végpont kapcsolatra
 - Demultiplexálás
- Interakciós modellek
 - Byte-áram, üzenetek, „Remote Procedure Call“

UDP

- User Datagram Protocol (UDP)
 - Egy nem megbízható kapcsolat nélküli szállítói réteg protokoll csomagoknak
- Fő funkció:
 - A hálózati réteg csomagjainak demultiplexálása
- Egyéb funkció (opcionális):
 - Checksum: UDP header + data



Remote procedure call – Struktúra



- Komplexebb interakcióhoz:
 - Egy függvény hívása egy másik számítógépen
- Cél: Transzparens protokoll a hívónak/hívottnak

Irodalom

- Van Jacobson: Congestion Avoidance and Control. In: *ACM SIGCOMM*, 314-329, 1988.
- Dah-Ming Chiu, Raj Jain: Analysis of the Increase and Decrease Algorithms for Congestion Avoidance in Computer Networks. *Computer Networks and ISDN Systems*, Vol.: 17, 1-14, 1989.