

Az Internet fizikája

Vattay Gábor

ELTE Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

Az Internet fizikája

Vattay Gábor

ELTE Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

Mik azok a komplex rendszerek?

- A világ sok-sok apró építőköckéből áll, kvarkok, gluonok, foton, elektron, proton ...*
- 300 éve kezdtük megtanulni hogyan vonzzák, taszítják és lökdösik egymást*
- 100 éve kezdtük megérteni miért van az időnek iránya, miért haladnak a dolgok a rendből a rendetlenség felé*
- 50 éve kezdjük vizsgálni, hogy ennek ellenére miért szerveződik az anyag egyre bonyolultabb - komplex - szervezetekbe*

Kooperáció, Evolúció

- *elemi részek atomokba ...*
- *egyre bonyolultabb atomokba*
- *az atomok molekulákba ...*
- *egyre bonyolultabb molekulákba*
- *a molekulák kondenzált szerkezetekbe ...*
- *egyre bonyolultabb szerkezetekbe*
- *...*
- *a sejtek élőlényekbe*
- *egyre bonyolultabb élőlényekbe*
- *...*
- *megjelenik a beszéd és a kommunikáció*
- *az emberek társadalmakba ...*
- *egyre bonyolultabb társadalmakba*

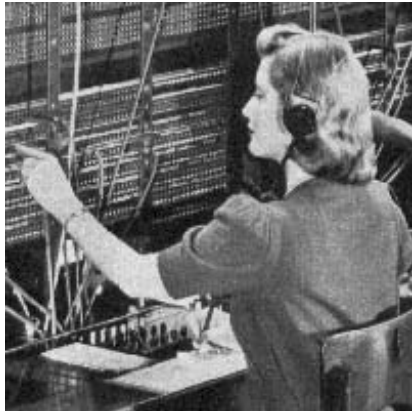
Kommunikáció!

A kommunikáció fejlődése

- Egyre több információ, egyre távolabbra és egyre gyorsabban:*
- Hang: gyorsan csillapodik ~ 10 m*
- Lovas futár: lassú és gyorsan elfárad*
- Fényjelek, füstjelek*
- Posta (lovas postakocsi)*
- Mechanika fejlődik, gőzgép, vasút, posta*
- Elektromosság, rézdrót, távíró, telefon*
- Az emberiség 100 éven át jól elvan a telefontal ...*



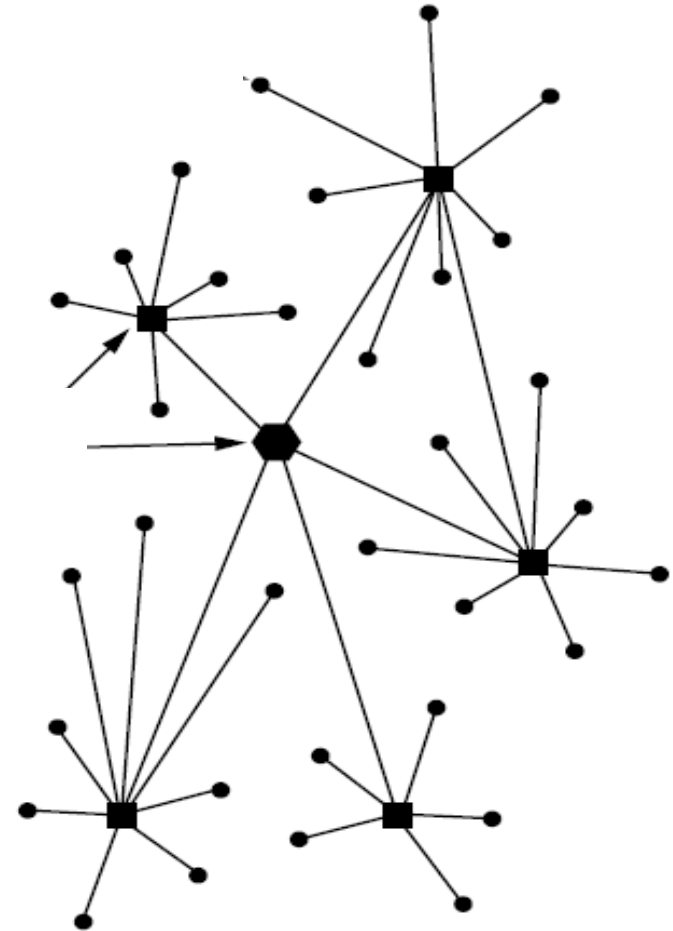
Telefon központ és hálózat



1878



Puskás Tivadar

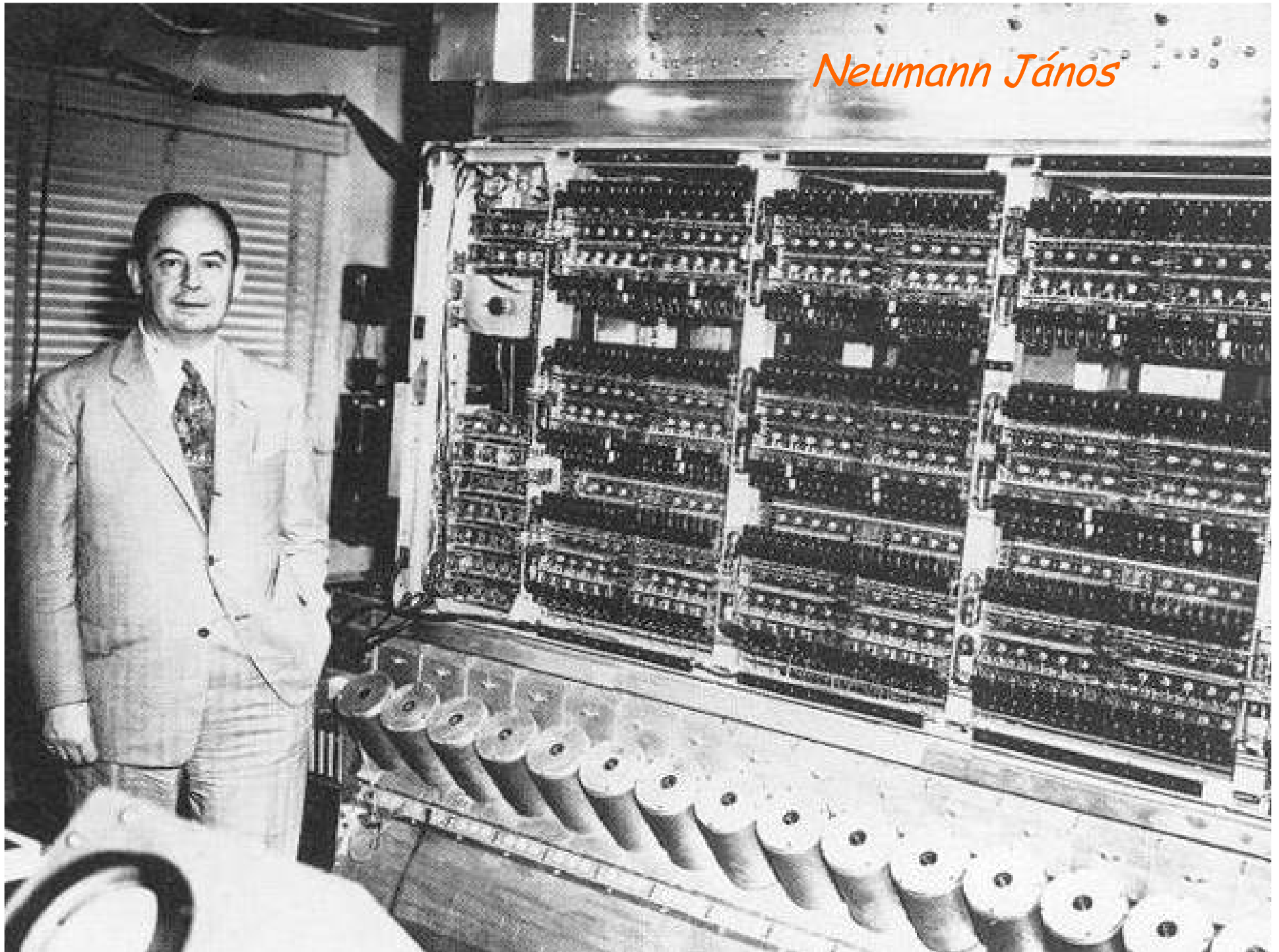


Megjelenik a számítógép



ENIAC 1946

Neumann János

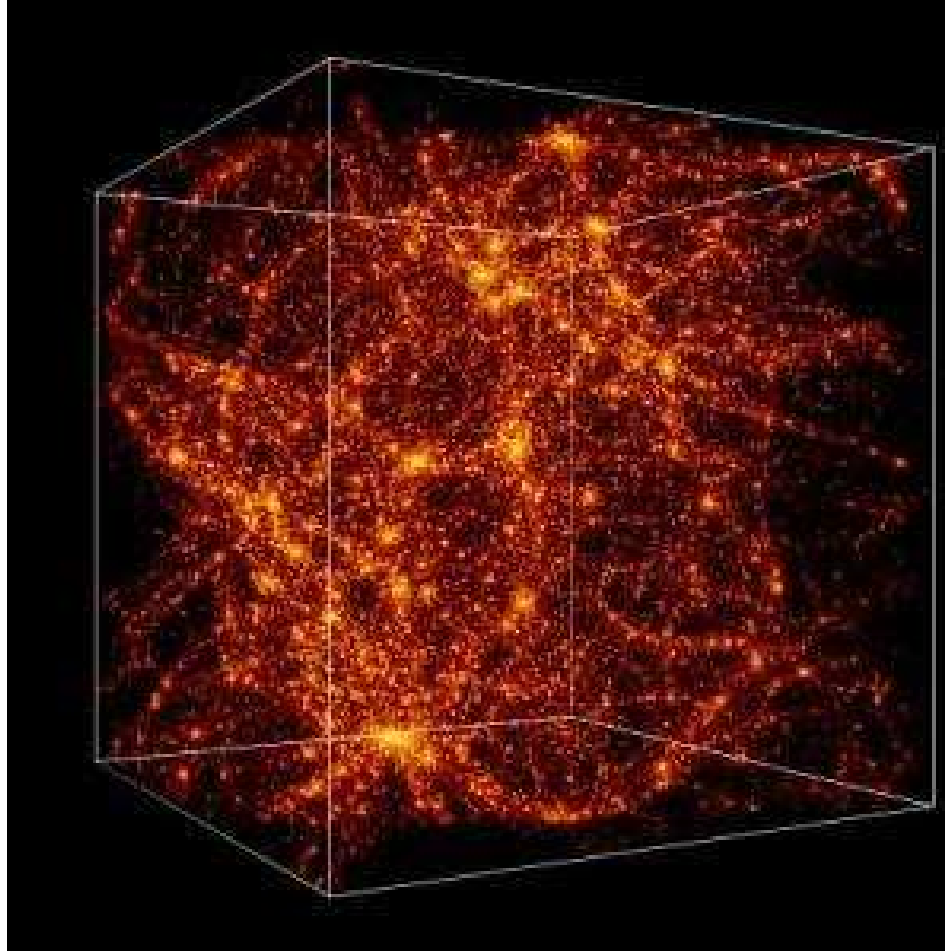


Szuperszámítógép központok

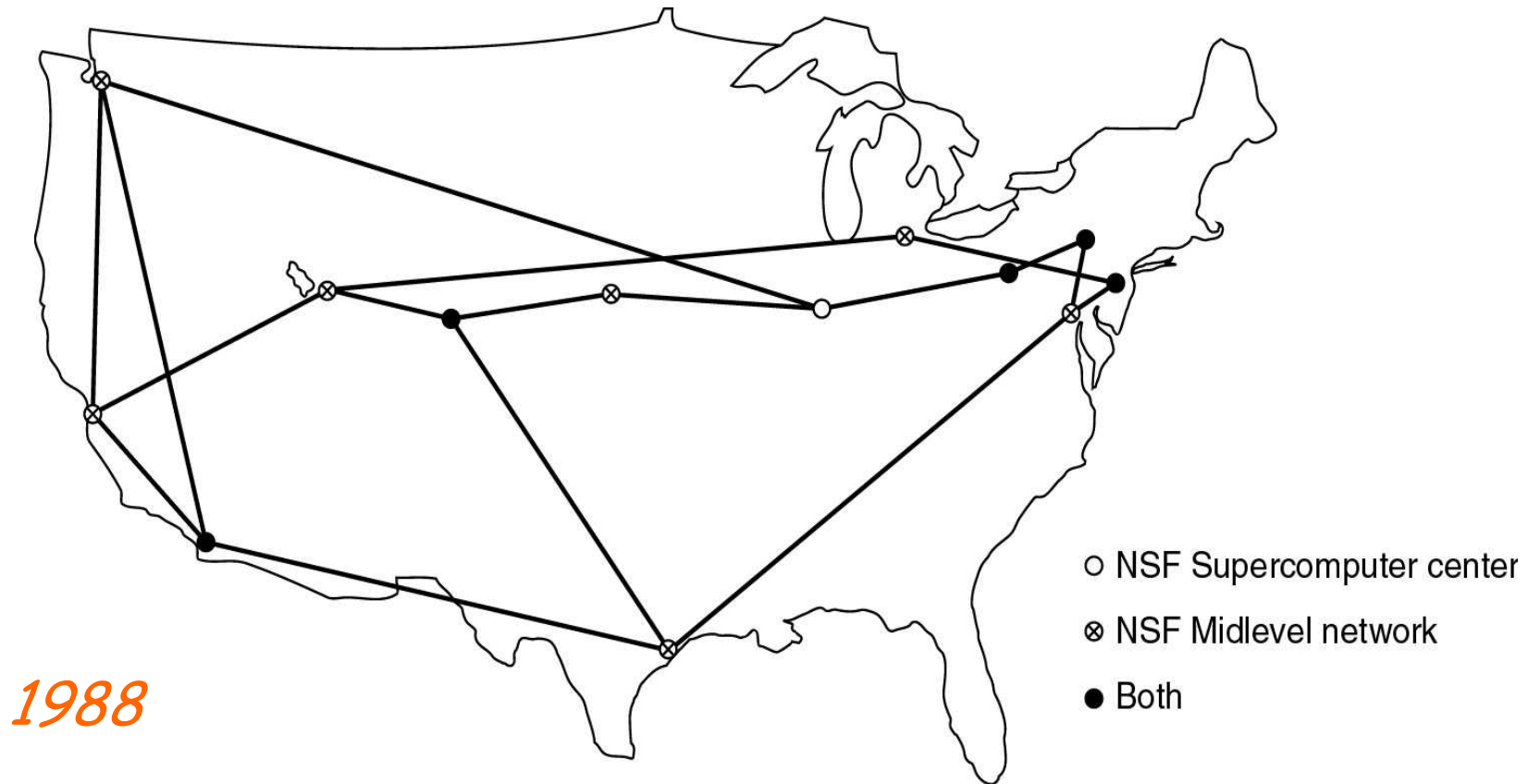


Blue Gene, Livermore National Laboratory, USA

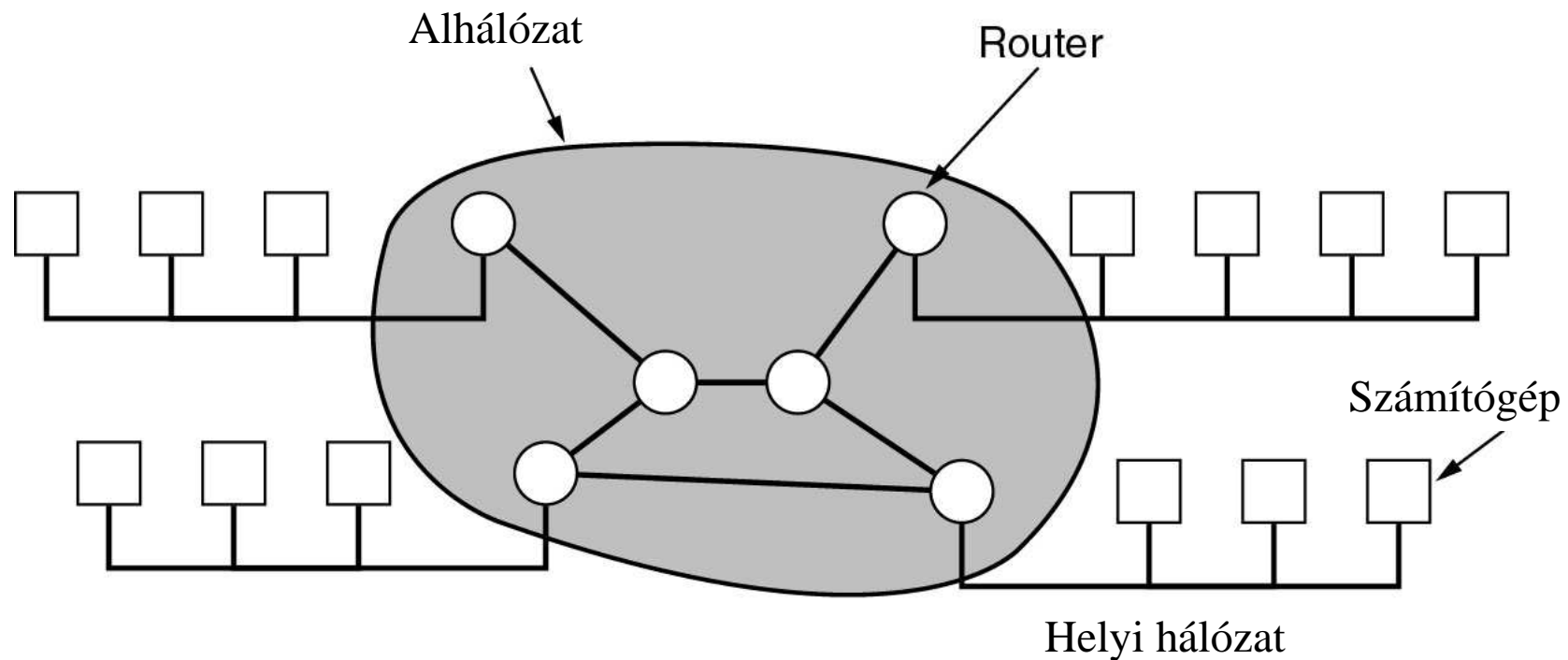
Mire jók a szuperszámítógépek?



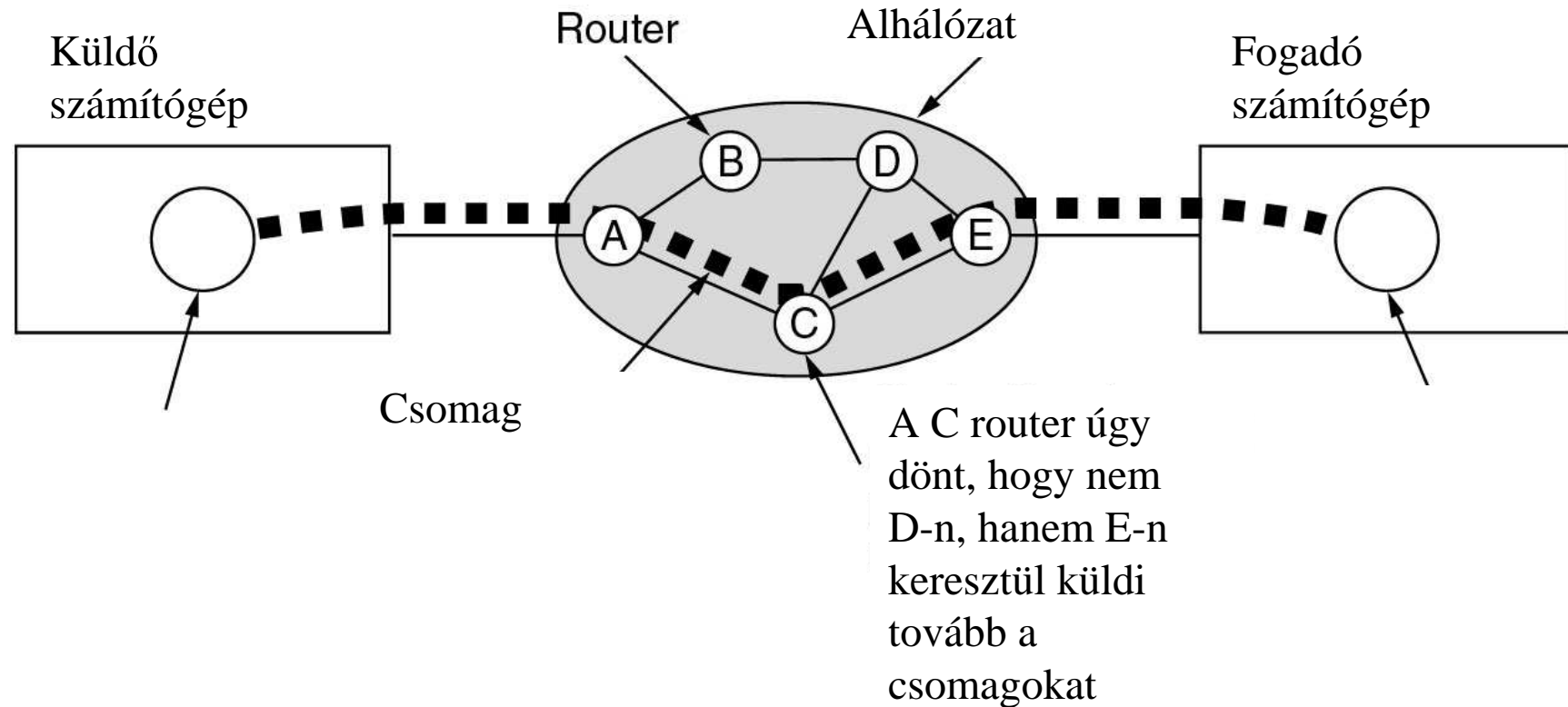
Szuperszámítógép gerinchálózat



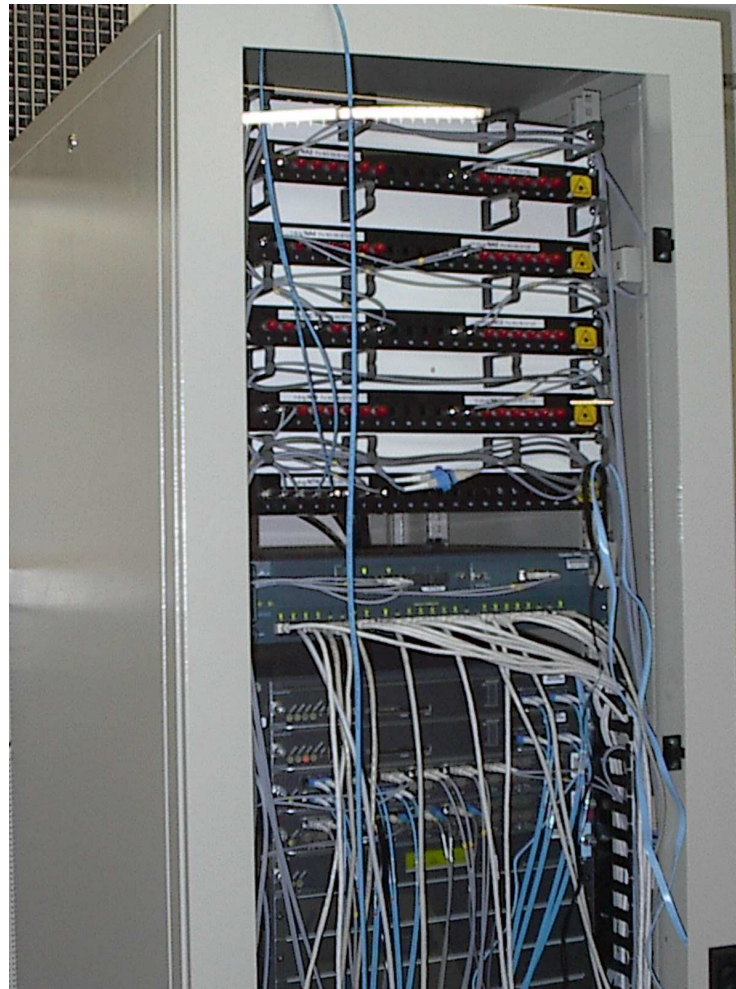
Hogyan néz ki a hálózat?



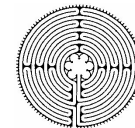
Hogyan működik a hálózat?



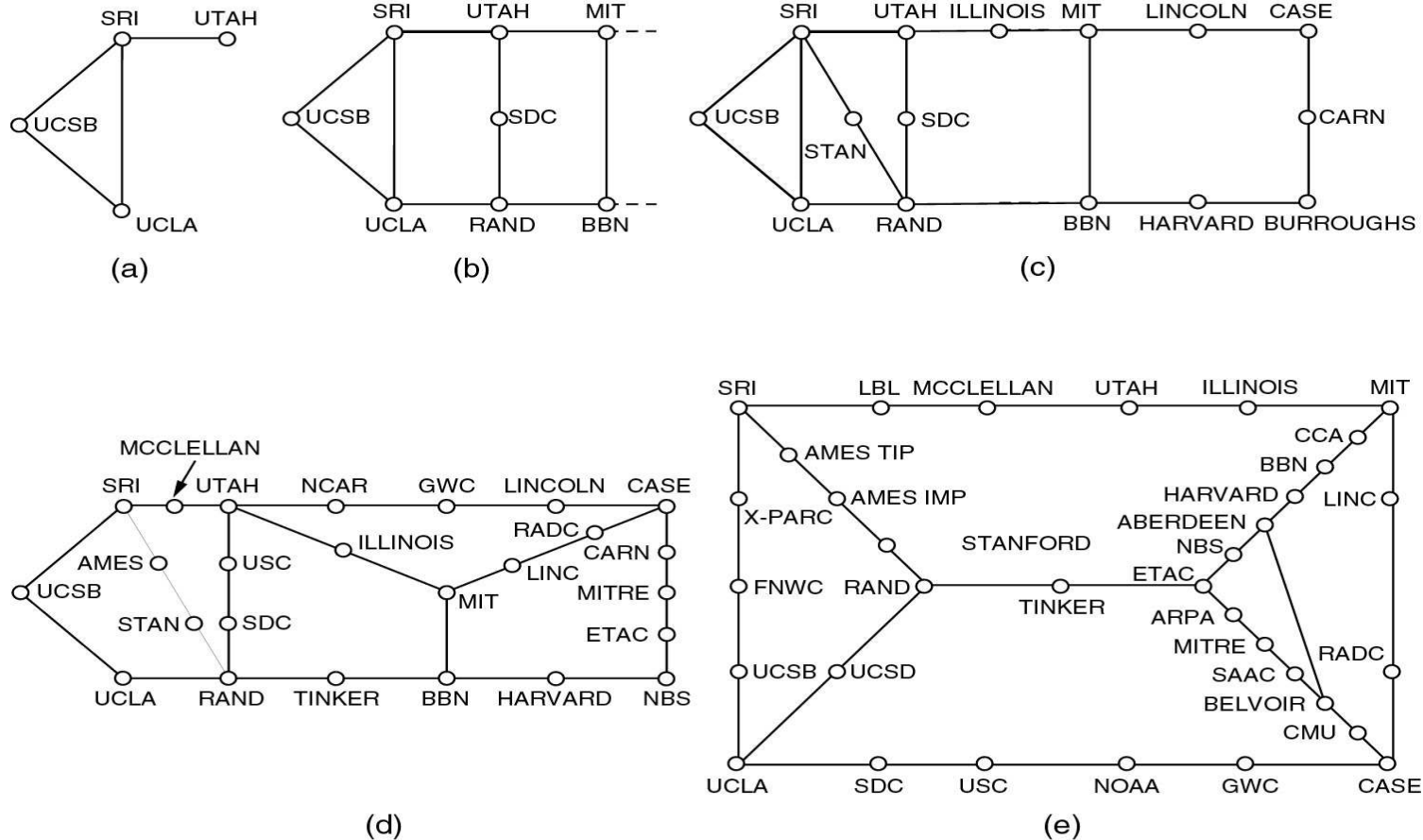
Egy router



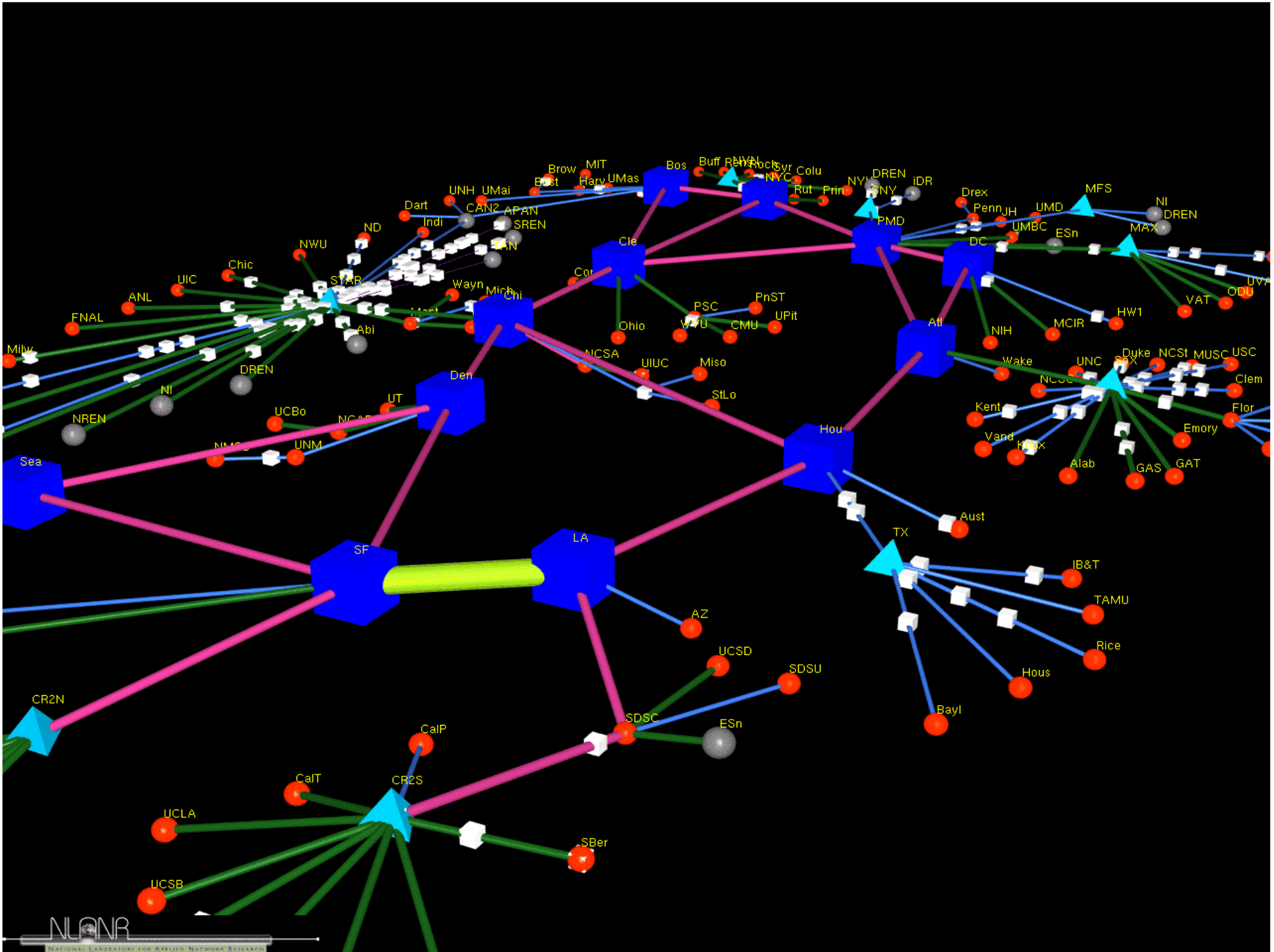
Az Internet topológiája



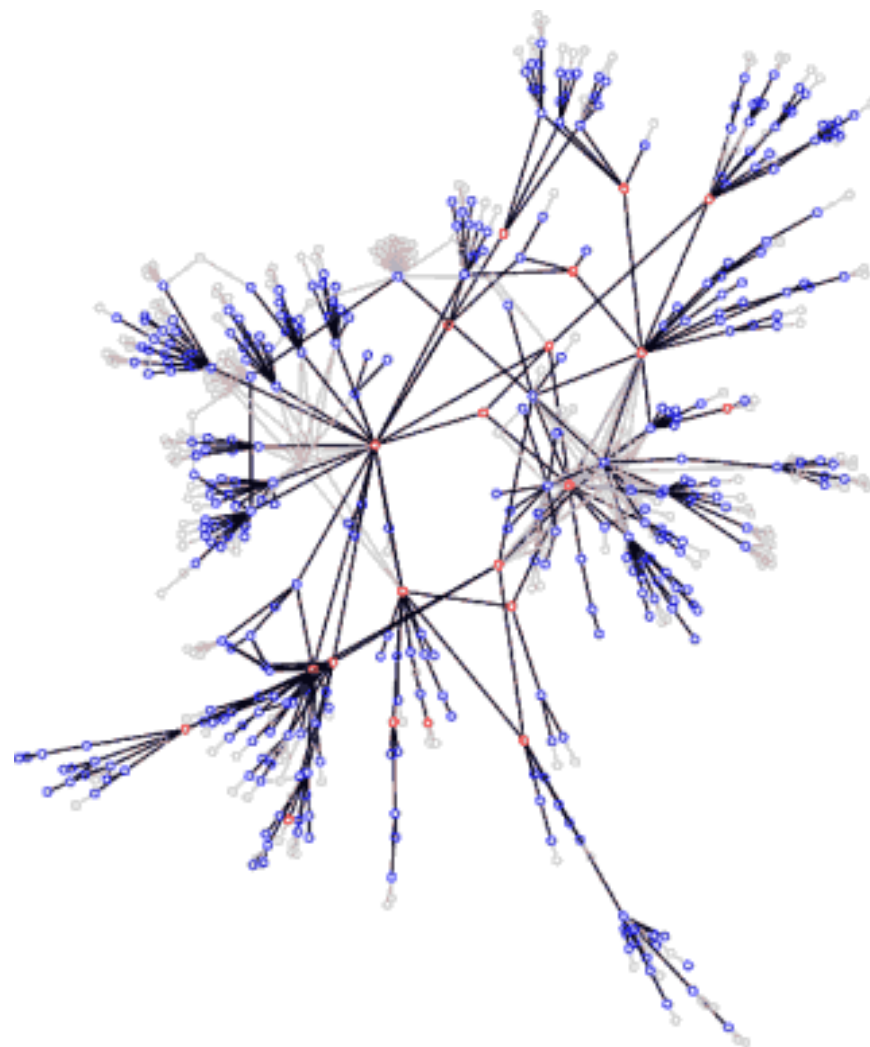
Az Internet születése



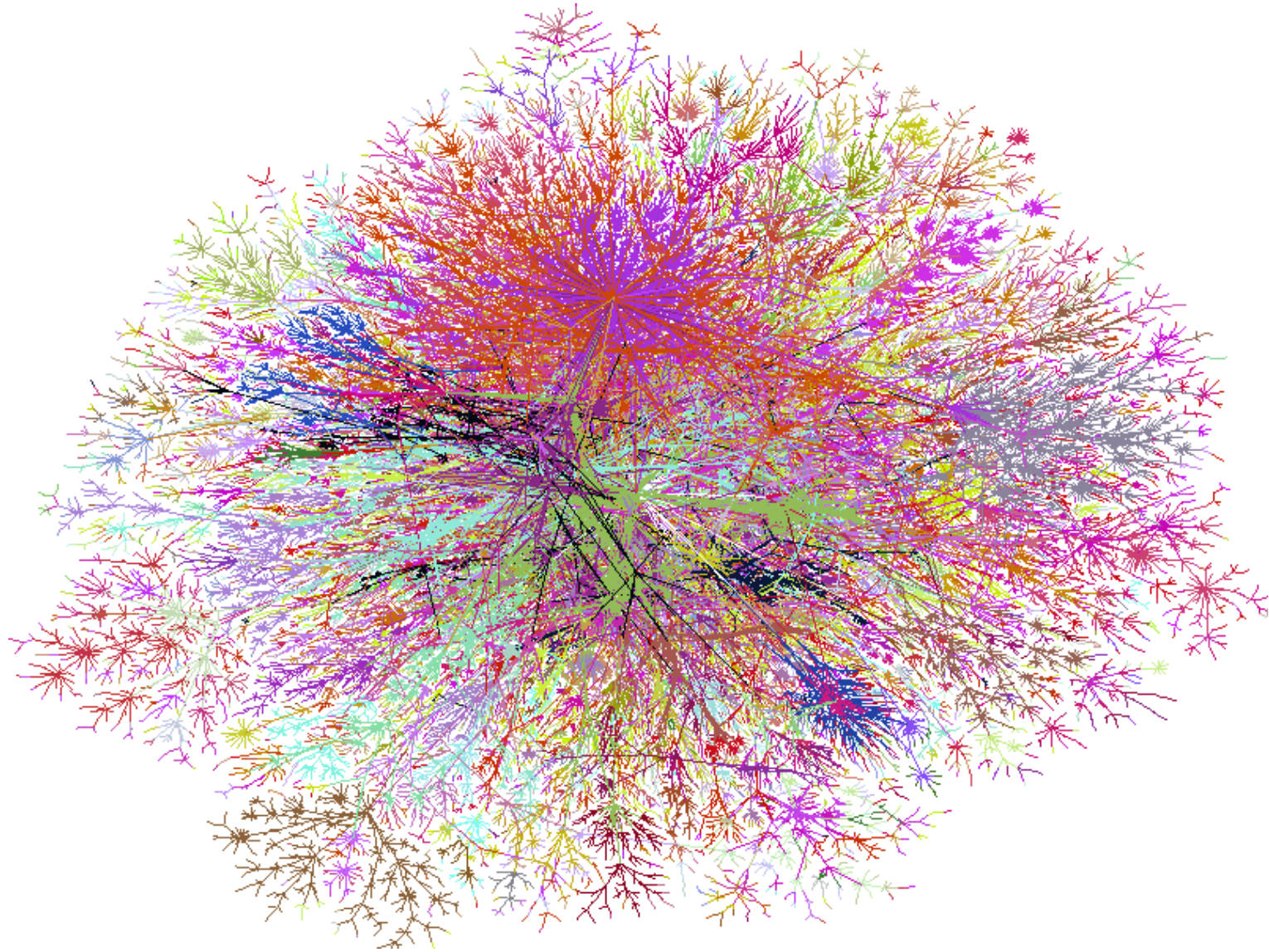
Growth of the ARPANET (a) December 1969. (b) July 1970. (c) March 1971. (d) April 1972. (e) September 1972.



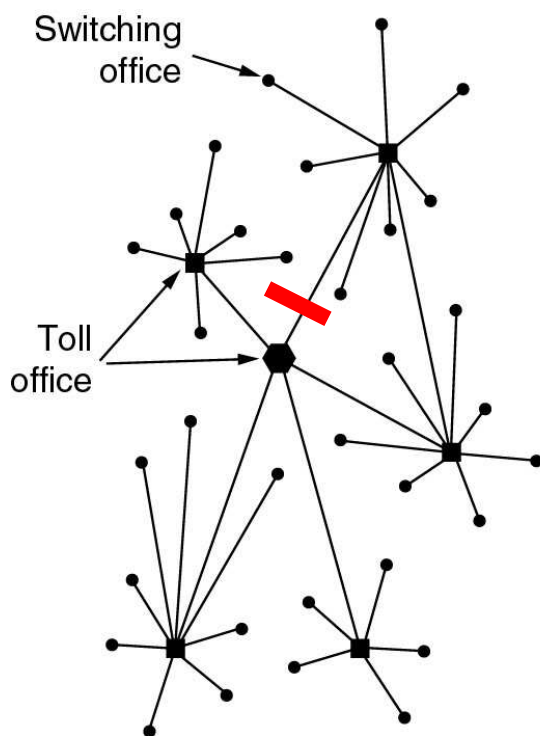
Egy Internet szolgáltató hálózata



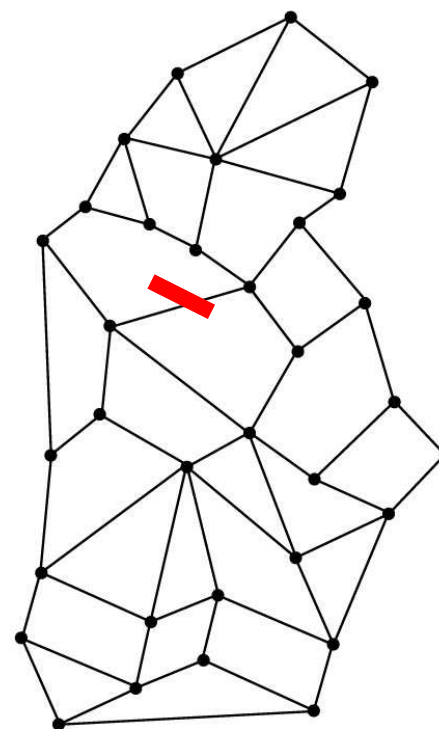
Sok-sok szolgáltató hálózata



Számítógép hálózat topológiája



(a)
Telefon

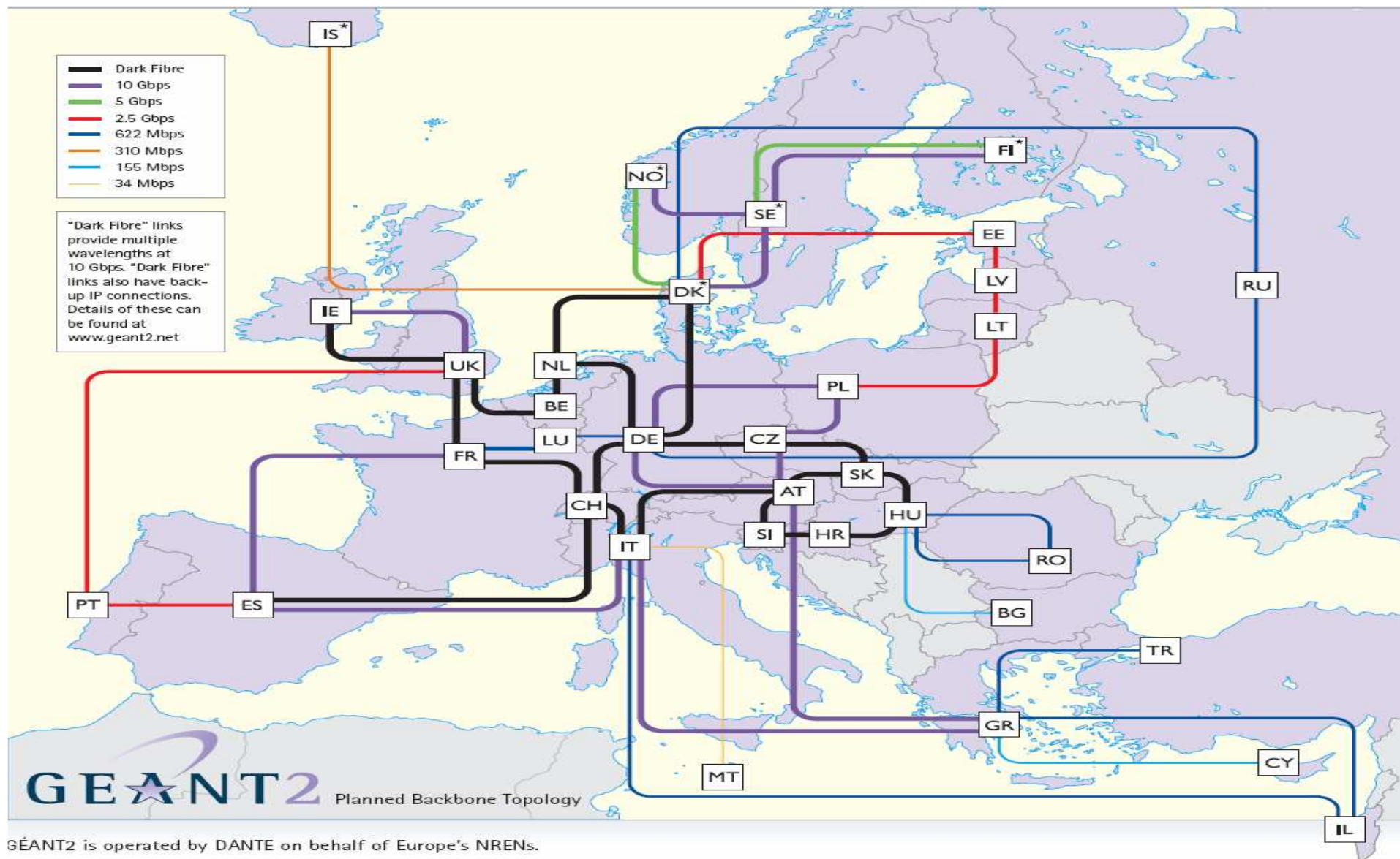


(b)
Internet

Fedezzük fel a hálózatot!

- *A „tracert” (traceroute) paranccsal megkérdezhetjük, hogy hogyan juthatunk el a számítógépünkről egy másik számítógépre.*
- *Válasszunk néhány helyet és nézzük meg!*
- *www.tuwien.ac.at Bécs*
- *www.u-psud.fr Párizs*
- *www.columbia.edu New York*
- *www.ucsd.edu San Diego, California*

Az EU tudományos kutatási hálózata



tracert www.tuwien.ac.at

```
Parancssor
C:\Documents and Settings\Vattay Gábor>tracert www.tuwien.ac.at

Útvonal követése a következőhöz: info.zv.tuwien.ac.at [128.130.102.130]
legfeljebb 30 ugrással:

  1    3 ms    2 ms    2 ms    192.168.200.1
  2    2 ms    1 ms    3 ms    leo.komplex.elte.hu [157.181.172.126]
  3    6 ms    3 ms    2 ms    sup720.hbone-elte.elte.hu [157.181.141.9]
  4    2 ms    6 ms    3 ms    c6509-tengbeth1-2.vh.hbone.hu [195.111.97.181]
  5    2 ms    3 ms    3 ms    c6513-tengbeth13-1.vh.hbone.hu [195.111.96.73]
  6    2 ms    2 ms    2 ms    gsr16-gbeth10-0.vh.hbone.hu [195.111.97.241]
  7    2 ms    5 ms    2 ms    hungarnet.rt1.bud.hu.geant2.net [62.40.124.101]

  8    8 ms    8 ms    7 ms    so-6-1-0.rt1.vie.at.geant2.net [62.40.112.13]
  9    8 ms    8 ms    7 ms    aconet-gw.rt1.vie.at.geant2.net [62.40.124.2]
 10    7 ms    7 ms    7 ms    Wien2.ACO.net [193.171.23.21]
 11    7 ms    7 ms    7 ms    border.kom.tuwien.ac.at [193.171.13.10]
 12    9 ms    *        7 ms    192.35.241.117
 13    8 ms    9 ms    *        192.35.241.44
 14    9 ms    8 ms    8 ms    192.35.243.194
 15    8 ms    7 ms    13 ms    info.zv.tuwien.ac.at [128.130.102.130]

Az útvonalkövetés elkészült.
C:\Documents and Settings\Vattay Gábor>
```


tracert www.u-psud.fr

```
c:\ Parancssor
C:\Documents and Settings\Vattay Gábor>tracert www.u-psud.fr

Útvonal követése a következőhöz: manon.notes.u-psud.fr [129.175.34.50]
legfeljebb 30 ugrással:

  1    2 ms    2 ms    2 ms    192.168.200.1
  2    2 ms    2 ms    2 ms    leo.komplex.elte.hu [157.181.172.126]
  3   186 ms   3 ms    2 ms    sup720.hbone-elte.elte.hu [157.181.141.9]
  4    3 ms    2 ms    2 ms    c6509-tengbeth1-2.vh.hbone.hu [195.111.97.181]
  5    8 ms    2 ms    3 ms    c6513-tengbeth13-1.vh.hbone.hu [195.111.96.73]
  6    2 ms    5 ms    4 ms    gsr16-gbeth10-0.vh.hbone.hu [195.111.97.241]
  7    2 ms    3 ms    2 ms    hungarnet.rt1.bud.hu.geant2.net [62.40.124.101]

  8   11 ms   10 ms   11 ms   so-4-0-0.rt1.pra.cz.geant2.net [62.40.112.41]
  9   19 ms   19 ms   20 ms   so-6-3-0.rt1.fra.de.geant2.net [62.40.112.38]
 10   27 ms   27 ms   27 ms   so-6-2-0.rt1.gen.ch.geant2.net [62.40.112.21]
 11   36 ms   41 ms   36 ms   so-6-0-0.rt1.par.fr.geant2.net [62.40.112.30]
 12   36 ms   35 ms   36 ms   renater-gw.rt1.par.fr.geant2.net [62.40.124.70]

 13   37 ms   37 ms   36 ms   nri-c-g3-0-0-101.cssi.renater.fr [193.51.187.21]

 14   36 ms   36 ms   36 ms   orsay-pos1-0.cssi.renater.fr [193.51.179.42]
 15   38 ms   37 ms   36 ms   ups-orsay.cssi.renater.fr [193.51.183.29]
 16   36 ms   37 ms   36 ms   129.175.127.18
 17   36 ms   36 ms   37 ms   129.175.126.5
 18   38 ms   36 ms   37 ms   manon.notes.u-psud.fr [129.175.34.50]

Az útvonalkövetés elkészült.
C:\Documents and Settings\Vattay Gábor>
```

tracert www.columbia.edu

```
C:\ Parancssor
C:\Documents and Settings\Uattay Gábor>tracert www.columbia.edu
Útvonal követése a következőhöz: www.columbia.akadns.net [128.59.48.24]
legfeljebb 30 ugrással:

 1    2 ms    2 ms    2 ms    192.168.200.1
 2    2 ms    2 ms    2 ms    leo.komplex.elte.hu [157.181.172.126]
 3    2 ms   11 ms    3 ms    sup720.hbone-elte.elte.hu [157.181.141.9]
 4    3 ms    4 ms    4 ms    c6509-tengbeth1-2.vh.hbone.hu [195.111.97.181]
 5    3 ms    5 ms    2 ms    c6513-tengbeth13-1.vh.hbone.hu [195.111.96.73]
 6    3 ms    2 ms    2 ms    gsr16-gbeth10-0.vh.hbone.hu [195.111.97.241]
 7   47 ms    2 ms    7 ms    hungarnet.rt1.bud.hu.geant2.net [62.40.124.101]

 8   142 ms   10 ms   10 ms    so-4-0-0.rt1.pra.cz.geant2.net [62.40.112.41]
 9    21 ms   19 ms   18 ms    so-6-3-0.rt1.fra.de.geant2.net [62.40.112.38]
10   126 ms  126 ms  125 ms    abilene-wash-gw.rt1.fra.de.geant2.net [62.40.125
.18]
11   119 ms  129 ms  119 ms    nycmng-washng.abilene.ucaid.edu [198.32.8.84]
12   120 ms  120 ms  119 ms    nyc-gsr-abilene-nyc.nysernet.net [199.109.4.129]
13   119 ms  120 ms  120 ms    columbia.nyc-gsr.nysernet.net [199.109.4.14]
14   121 ms  120 ms  120 ms    cc-core-1-x-nyser32-gw-1.net.columbia.edu [128.5
9.255.5]
15   120 ms  120 ms  119 ms    phi-edge-2-x-cc-core-1.net.columbia.edu [128.59.
255.150]
16   120 ms  120 ms  120 ms    www-csm.cc.columbia.edu [128.59.48.24]

Az útvonalkövetés elkészült.
C:\Documents and Settings\Uattay Gábor>
```

tracert www.ucsd.edu

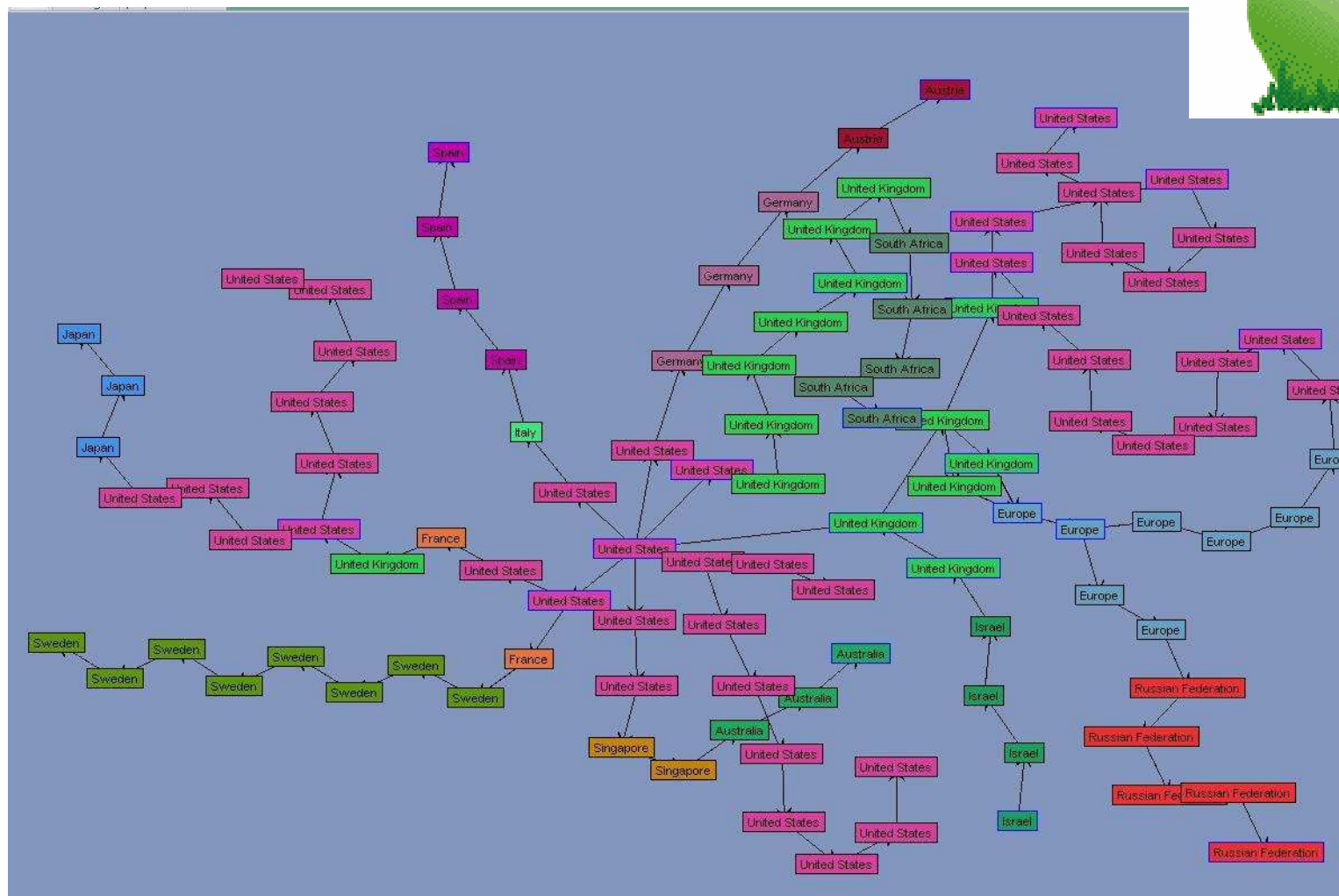
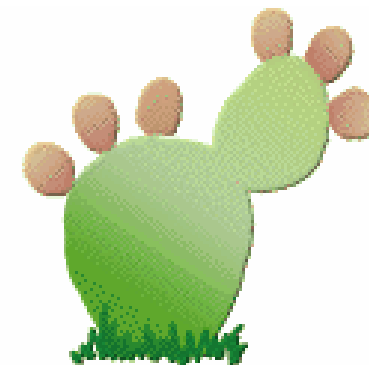
```
C:\ Parancssor

 1    10 ms    3 ms    3 ms    192.168.200.1
 2     2 ms    1 ms    2 ms    leo.komplex.elte.hu [157.181.172.126]
 3     5 ms    3 ms    2 ms    sup720.hbone-elte.elte.hu [157.181.141.9]
 4     4 ms    2 ms    2 ms    c6509-tengbeth1-2.vh.hbone.hu [195.111.97.181]
 5     3 ms    3 ms    3 ms    c6513-tengbeth13-1.vh.hbone.hu [195.111.96.73]
 6     2 ms    2 ms    3 ms    gsr16-gbeth10-0.vh.hbone.hu [195.111.97.241]
 7     4 ms    5 ms    2 ms    hungarnet.rt1.bud.hu.geant2.net [62.40.124.101]

 8    11 ms    11 ms    11 ms    so-4-0-0.rt1.pra.cz.geant2.net [62.40.112.41]
 9    19 ms    21 ms    21 ms    so-6-3-0.rt1.fra.de.geant2.net [62.40.112.38]
10   124 ms    125 ms    124 ms    abilene-wash-gw.rt1.fra.de.geant2.net [62.40.125
.18]
11   141 ms    140 ms    140 ms    atlang-washng.abilene.ucaid.edu [198.32.8.65]
12   162 ms    161 ms    167 ms    hstnng-atlang.abilene.ucaid.edu [198.32.8.33]
13   189 ms    189 ms    197 ms    losang-hstnng.abilene.ucaid.edu [198.32.8.21]
14   189 ms    190 ms    189 ms    hpr-lax-gsr1--abilene-LA-10ge.cenic.net [137.164
.25.2]
15   194 ms    197 ms    192 ms    hpr-ucsd-10ge--lax-hpr.cenic.net [137.164.27.165
]
16   233 ms    193 ms    193 ms    nodeb-msfc--ucsd-gw-t320-ge.ucsd.edu [132.239.25
5.37]
17   206 ms    196 ms    195 ms    node-j-4506-nodeb-6509.ucsd.edu [132.239.255.245
]
18   194 ms    200 ms    196 ms    adcom-720--nodej-4506-ge.ucsd.edu [132.239.255.1
0]
19   195 ms    195 ms    196 ms    cw-portal.ucsd.edu [132.239.180.101]

Az útvonalkövetés elkészült.

C:\Documents and Settings\Vattay Gábor>
```



Az Internet fizikai alapjai

A sávszélesség

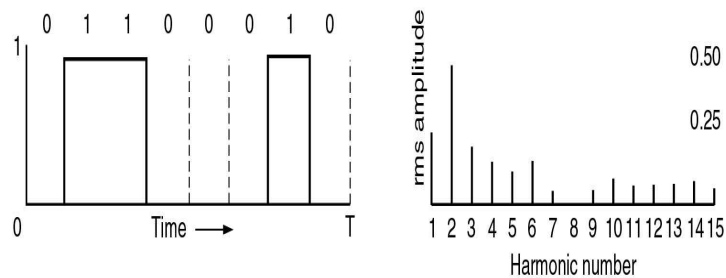
A számítógépek magasabb hangon beszélnek

- Kezdetben a számítógépeket is telefon vonalakkal kötötték össze*
- A telefon drótok beszéd átvitelére készültek, a magas hangokat nem viszik át kb. 3000 Hz felett*
- A számítógépek 00101101010001 nyelven beszélnek, aminek sebességét bit/másodperc-ben mérik*

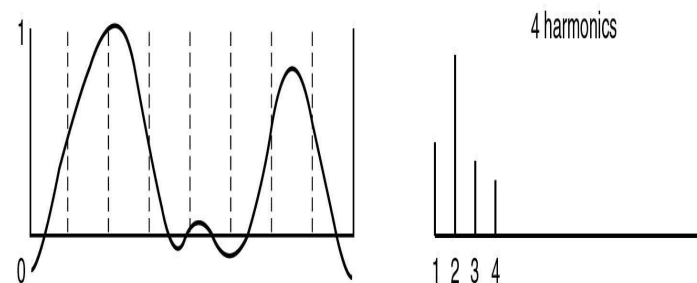
Adatátvitel a drótokon és a diszkó effektus

- *Minél távolabbról hallgatunk egy koncertet vagy diszkót, annál inkább csak a dobolás mély, alacsony frekvenciás hangjait halljuk, mert a levegő jobban elnyeli a magas hangokat*
- *Minél hosszabb rézkábelt használunk a telefonáláshoz, annál jobban kiszűrődnek a magas rezgések*

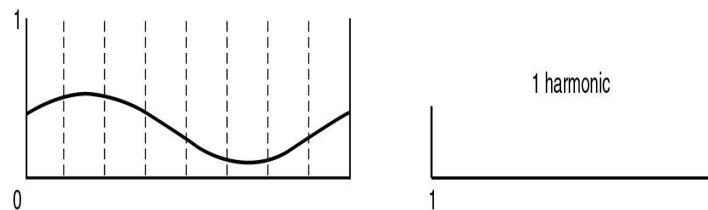
Hány rezgésnek kell átjutnia?



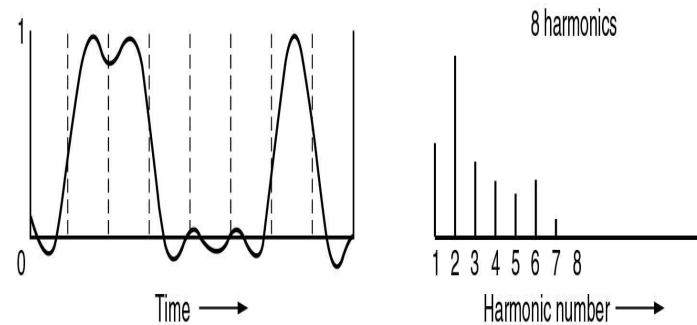
(a)



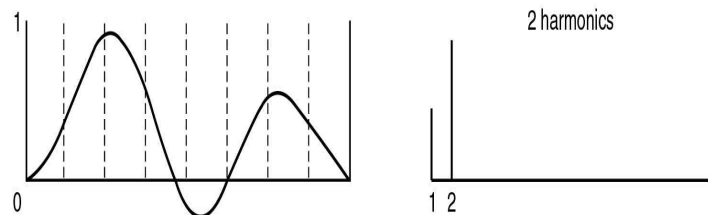
(d)



(b)



(e)



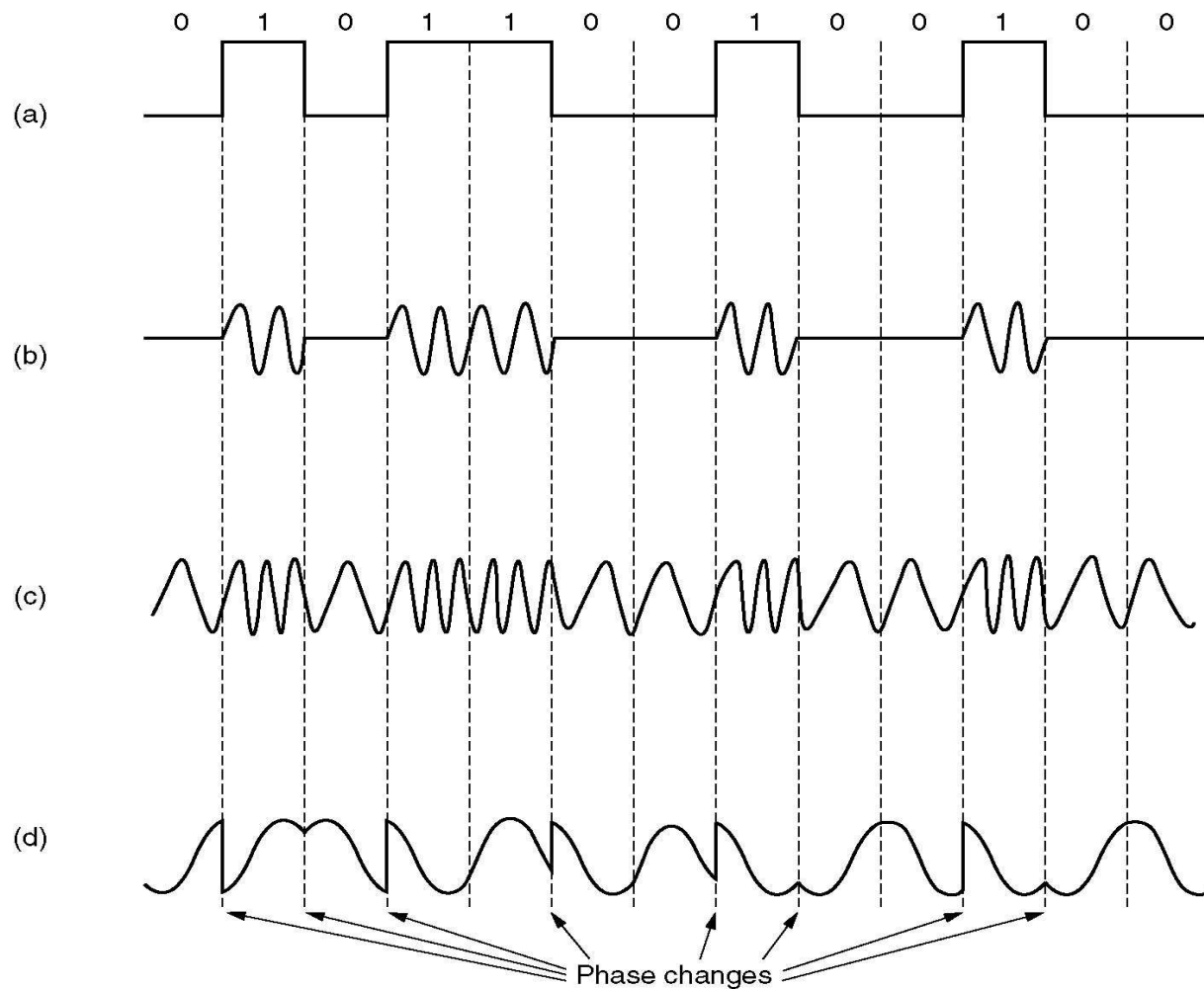
(c)

A Nyquist korlát

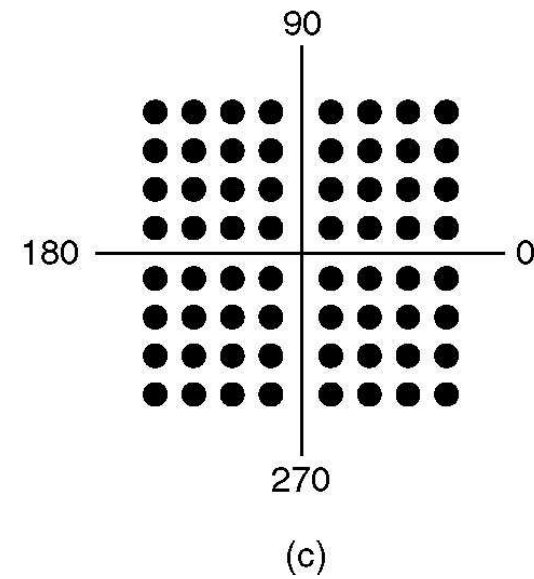
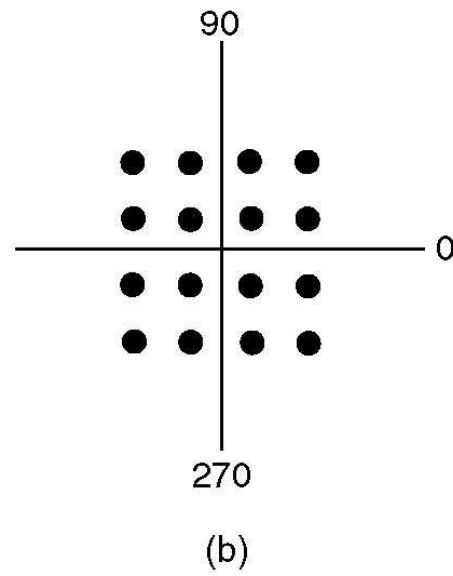
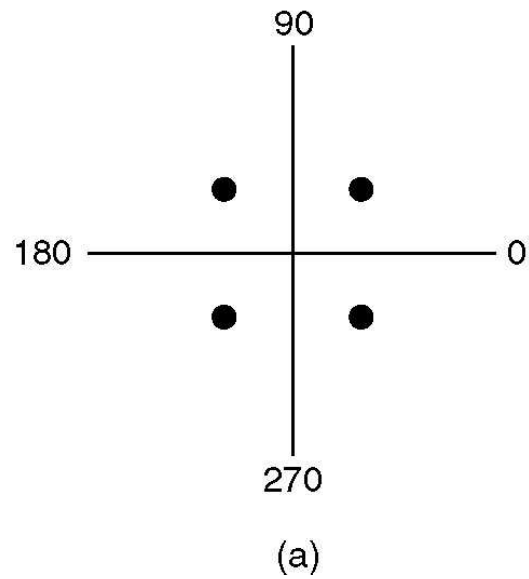
- *1000 bit/s = 0.001 sec -enként egy 0 vagy 1 jel \rightarrow 1000 Hz*
- *Nyquist sávszélesség $<$ frekvencia/2*
- *Max. 3000 Hz \rightarrow max. 1500 bit/sec*

- *A modemek megjelenése legyőzi a Nyquist korlátot*

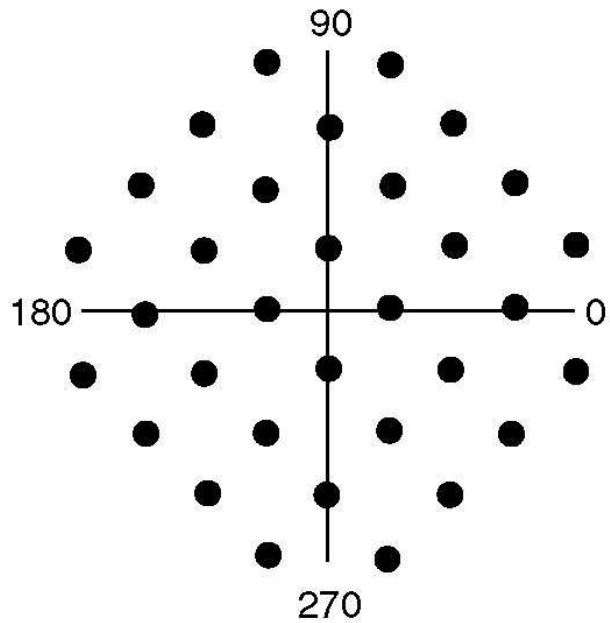
Modemek



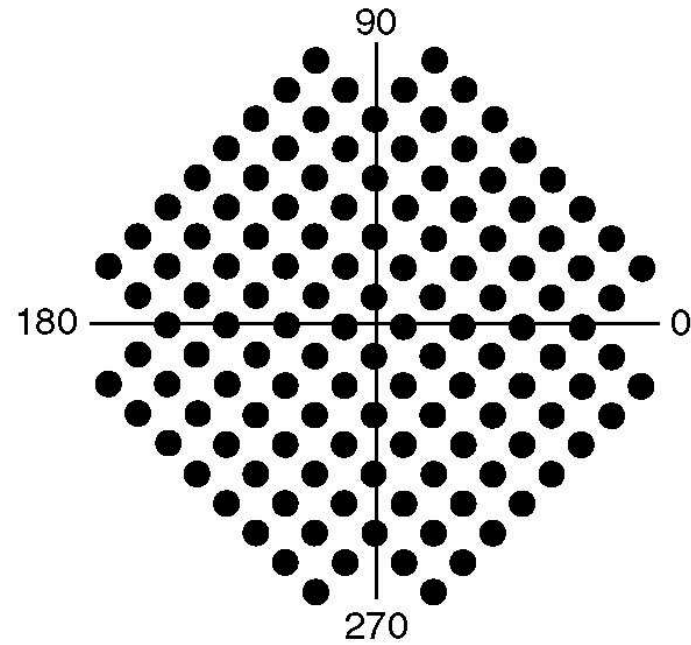
Modemek



Modemek



(a)



(b)

A Shannon korlát

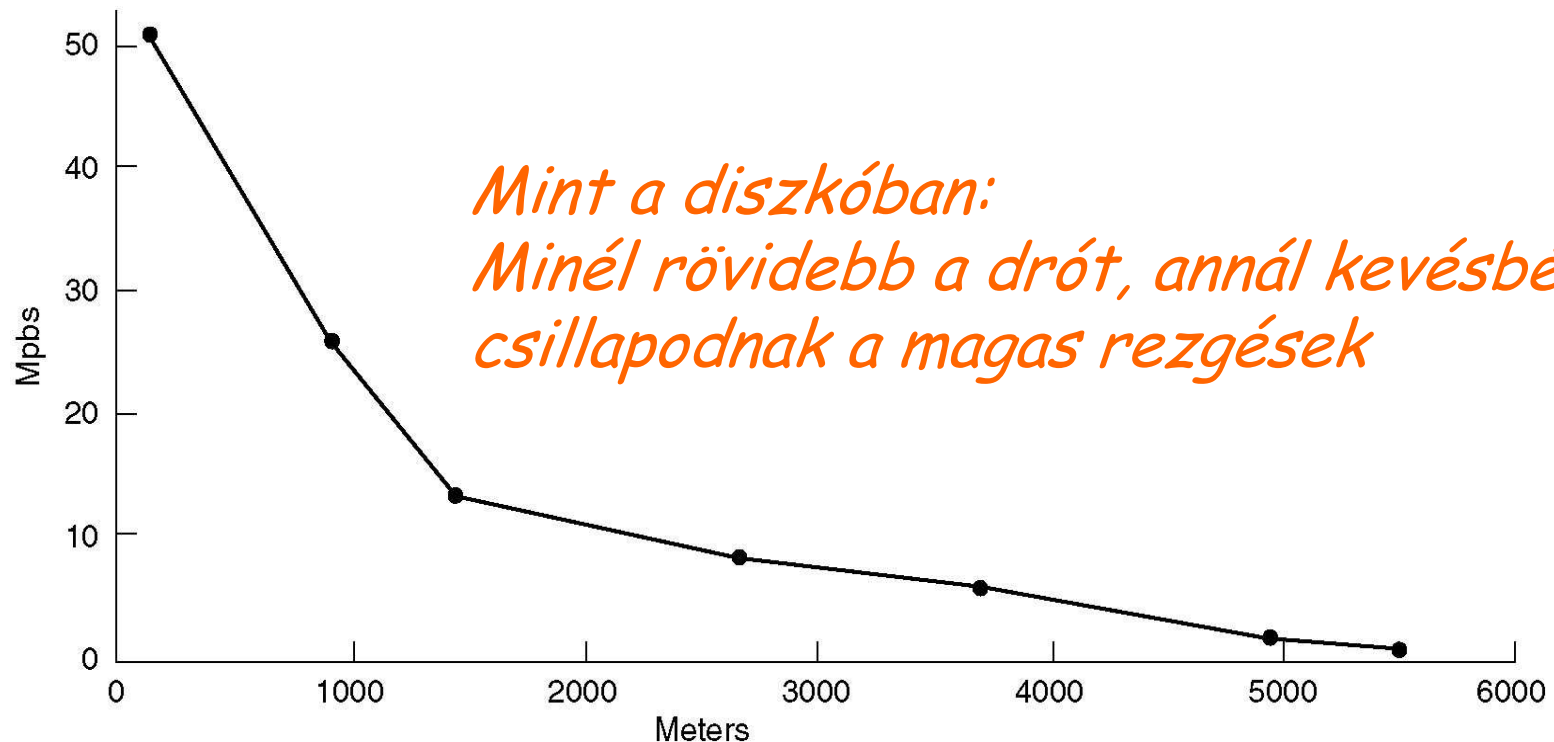
- *Kb. 8 bit vihető át egy 1 Hz-nyi sáv szélesség esetén rézdrótban*
- *Kb. 24000 bit vihető át 0-3000 Hz között a rézdróton*



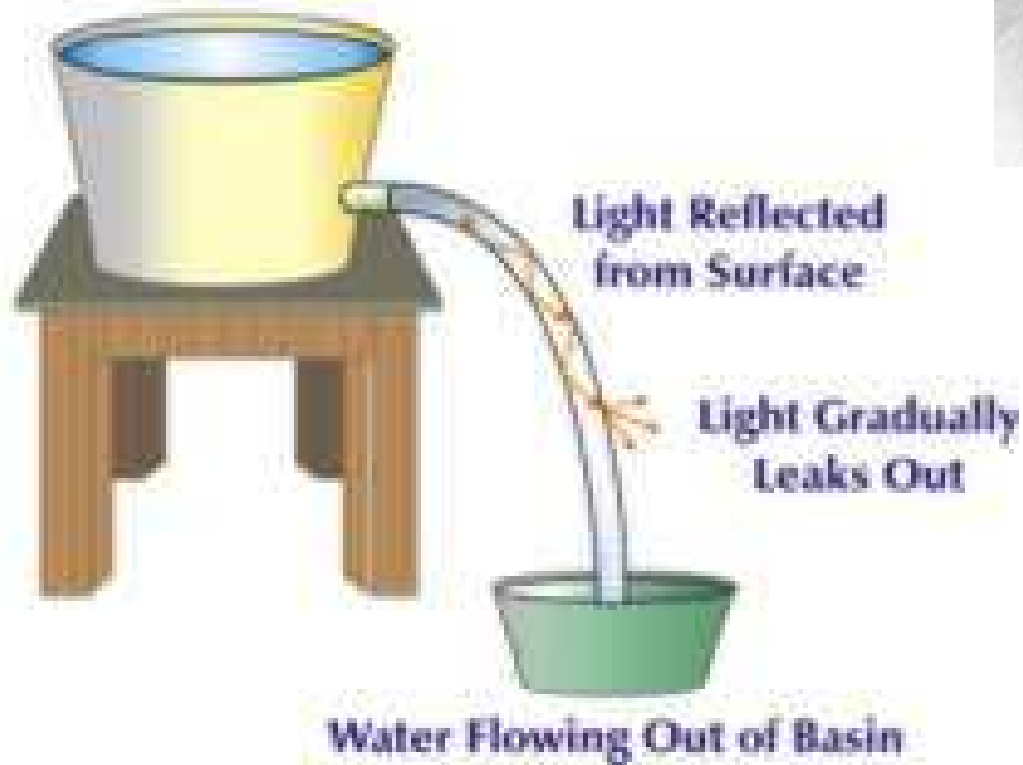
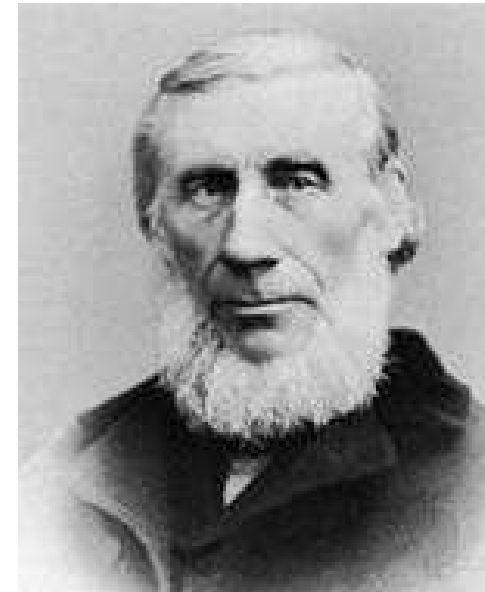
Claude Shannon

A Shannon korlát legyőzése

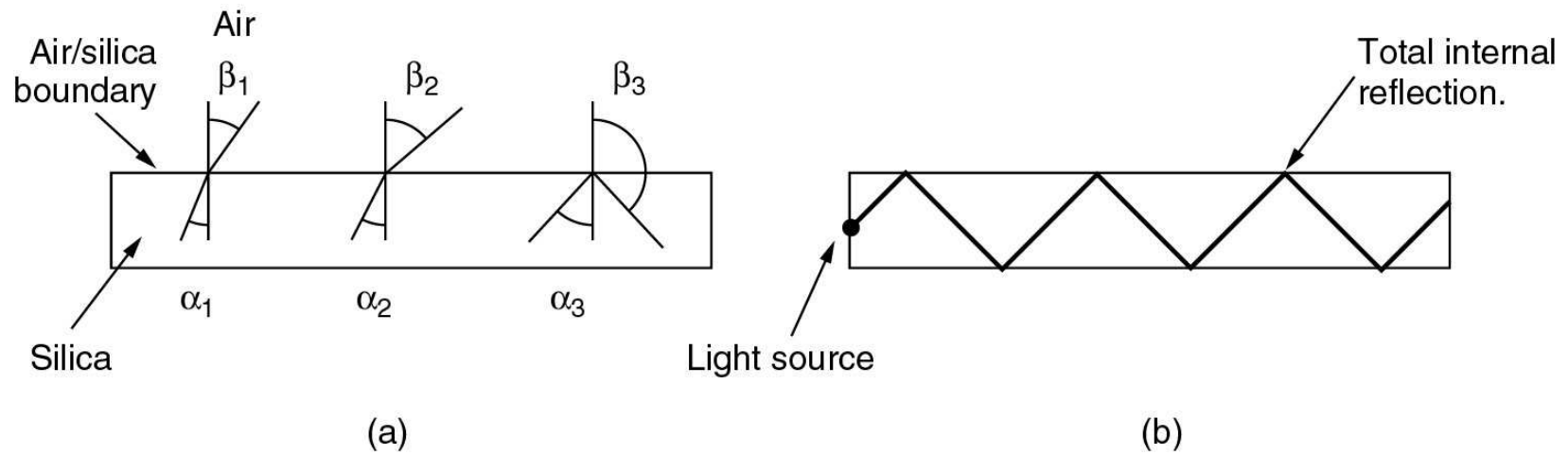
Hogyan lehet nekem otthon mégis szélessávú előfizetésem (pl. ADSL) réz kábelen?



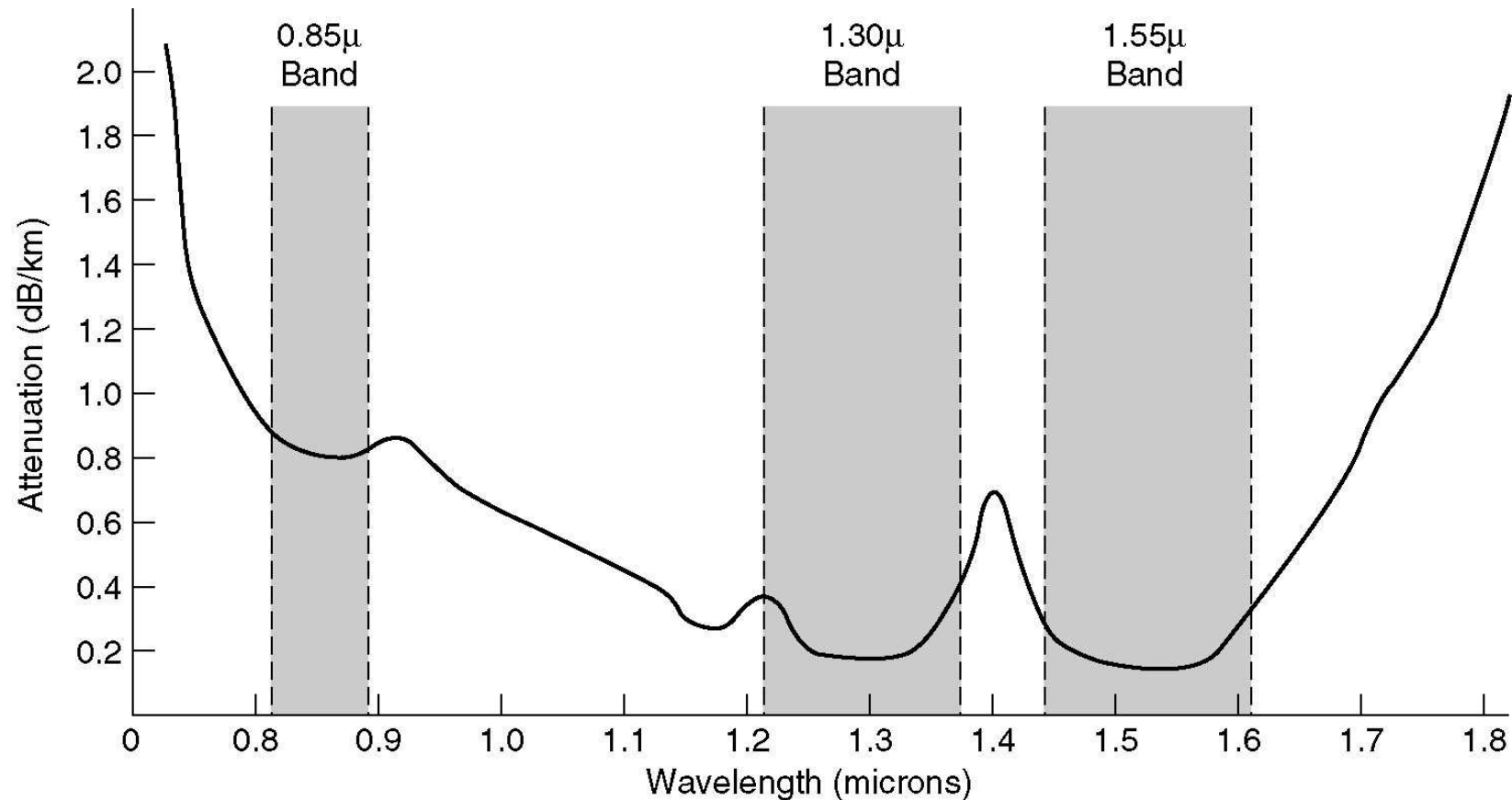
John Tyndall 1870



Száloptika



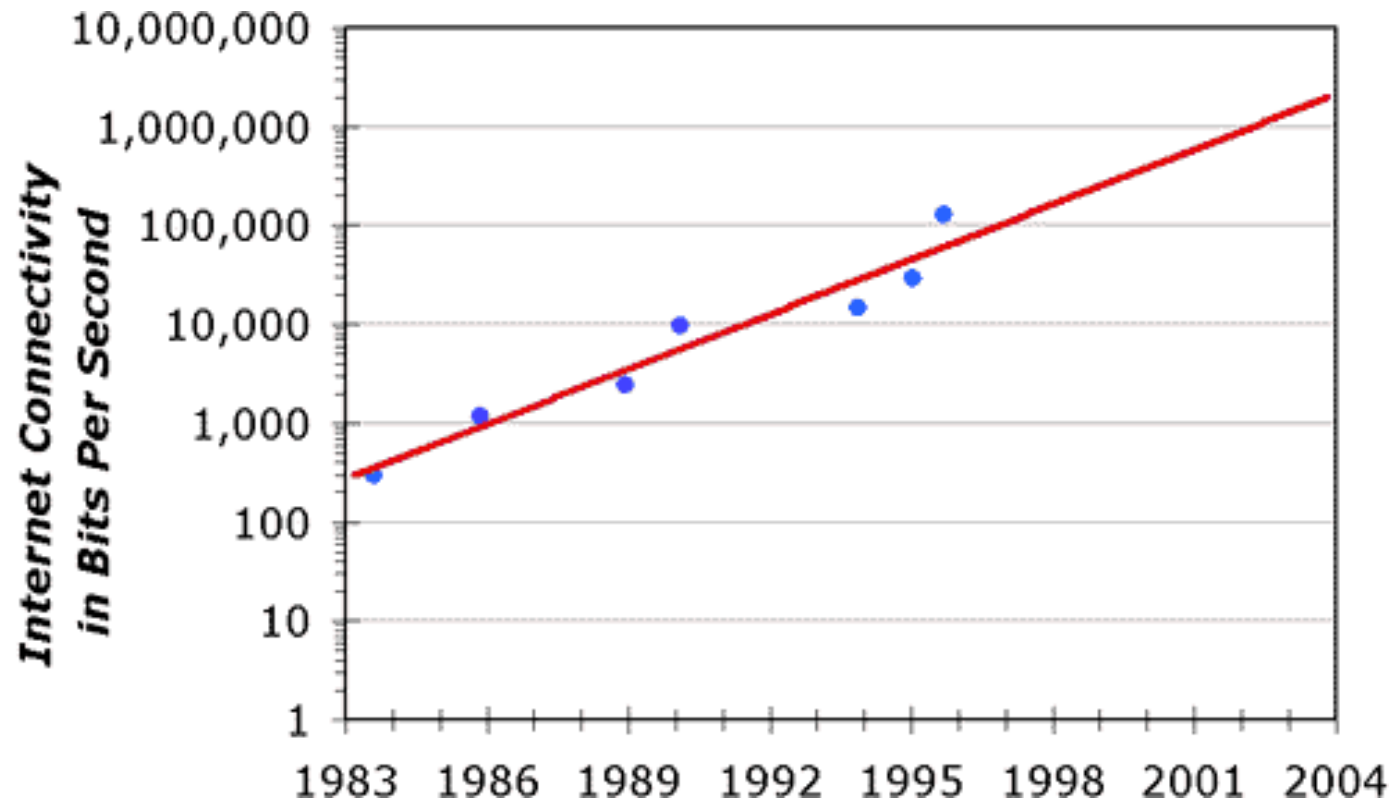
*1 decibel/km = a fényjel energiája
a 79%-ára esik 1 km alatt*



A száloptika főbb állomásai

- 1962 szilárdtest lézer*
- 1970 kellő tisztaságú üvegszál*
- 70-es évek eleje: az USA hadseregének kifejlesztik az optikai kábel telefont*
- 1977 amerikai nagyvárosok között üvegekábel*
- 1980 a Téli Olimpia (Lake Placid, New York) optikai video közvetítése*
- 1990 a Bell Labban 2.5 Gbit/sec 7500 km erősítés nélkül*
- 1998 100 db 10 Gbit/sec-es szál = 1Tbit/sec*

Nielsen törvénye



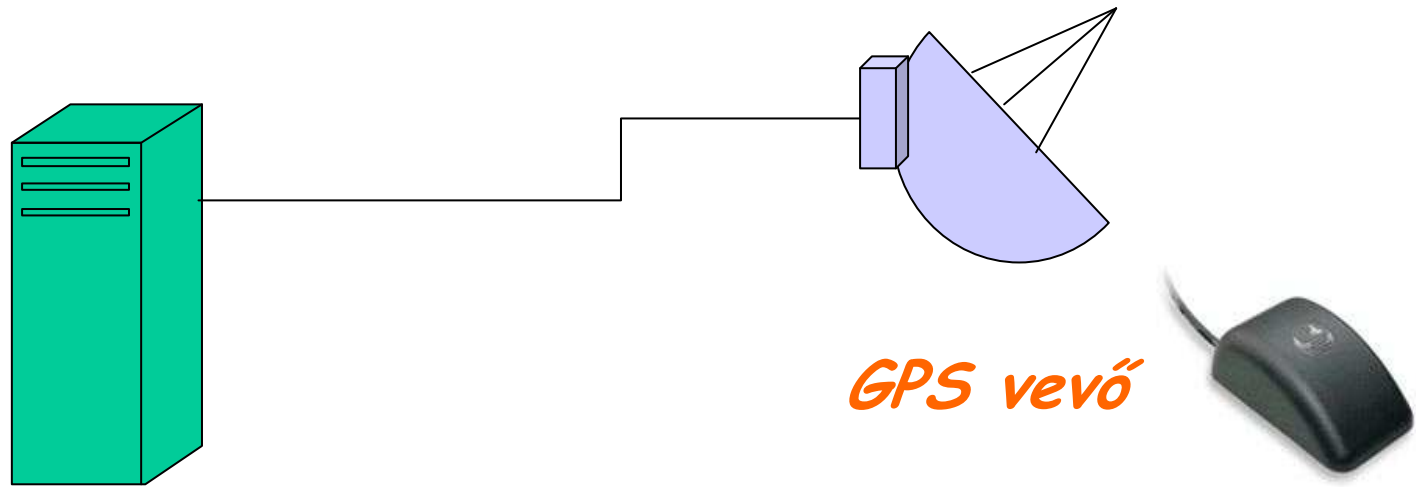
A sávszélesség évente 50%-kal növekszik (1998)

A gondolat sebessége ...

A jelek terjedési sebessége az Interneten

- *Küldjünk adatokat két számítógép között és mérjük le mennyi idő alatt érnek át!*
- *A csomagok két fajta késleltetést szenvednek:*
 - *várakoznak a számítógépekben és routerekben arra hogy feldolgozzák őket*
 - *közel fénysebességgel terjednek a kábeleken*

Mi kell a méréshez?



GPS vevő



*PC egy
számítógép
és egy
speciális
mérőkártya*



Pontosság: 10 ns Világidőben

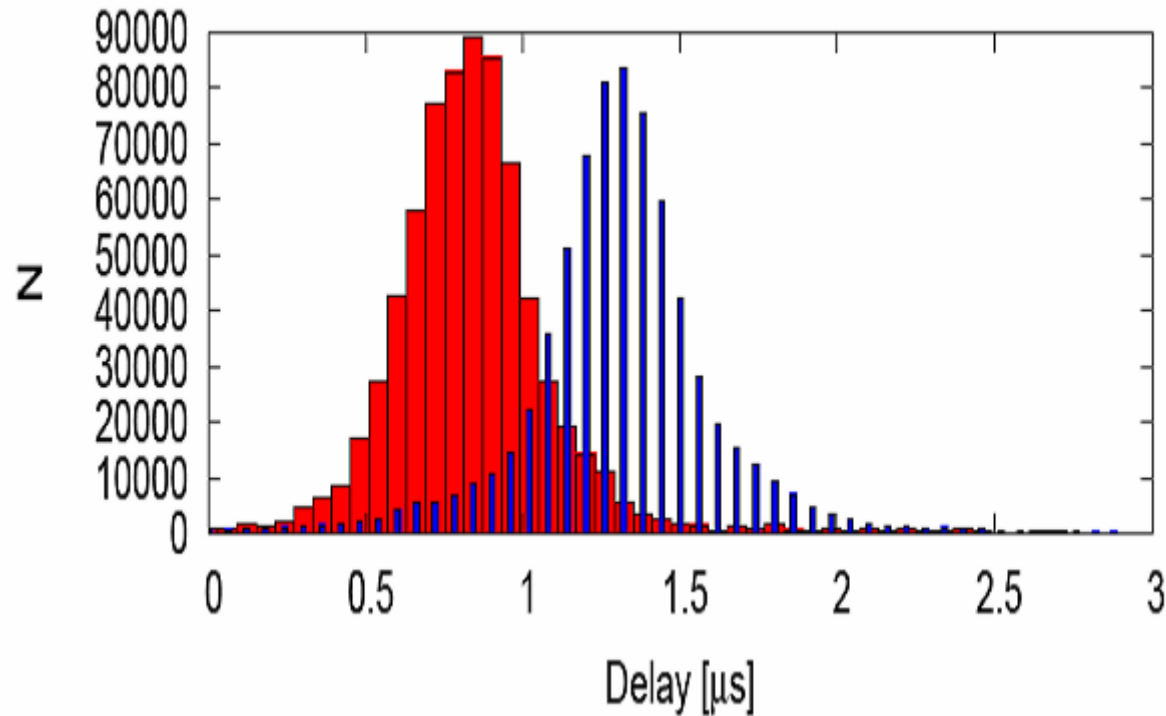
Laboratóriumi mérés



10 m → 78 m

*ELTE-Ericsson
kutató laboratórium
2004*

A csomagok átérési ideje



10 m és 78 m

A mérés eredménye

- $78\text{m} - 10\text{ m} = 68\text{ m} = 0.068\text{ km}$*
- $\Delta t = 0.5\ \mu\text{s} = 5 \cdot 10^{-7}\text{ sec.}$*
- $v = 0.068\text{ km} / 5 \cdot 10^{-7}\text{ sec}$
 $= 136000\text{ km/sec}$*

*különböző kábelekben a fénysebesség
fele-kétharmada közötti sebességek*

Mérjük meg a terjedési sebességet otthon vagy az iskolában!

- *A „ping” parancs*
- *Elküldünk egy próba csomagot egy számítógépnek*
- *A számítógép megkapja és visszaküld egy köszönetet*
- *A ping parancs leméri, hogy mennyi idő telik el a küldés és a köszönet megérkezése között = körbeutazási idő (round trip time, RTT)*

ping complex.elte.hu

```
Parancssor
Microsoft Windows XP [verziószám: 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\Uattay Gábor>ping complex.elte.hu

gawain.elte.hu [157.181.172.83] pingelése 32 bájt méretű adatokkal:

Válasz 157.181.172.83: bájt=32 idő=2 ms TTL=63
Válasz 157.181.172.83: bájt=32 idő=2 ms TTL=63
Válasz 157.181.172.83: bájt=32 idő=17 ms TTL=63
Válasz 157.181.172.83: bájt=32 idő=16 ms TTL=63

157.181.172.83 ping-statisztikája:
    Csomagok: küldött = 4, fogadott = 4, elveszett = 0 (0% veszteség),
    Oda-vissza út ideje közelítőlegesen, milliszekundumban:
    minimum = 2ms, maximum = 17ms, átlag = 9ms

C:\Documents and Settings\Uattay Gábor>_
```

Az eredmény értelmezése

- *körbeutazási idő = várakozási idő + fizikai haladási idő*
- *fizikai haladási idő: állandó*
- *várakozási idő: véletlenül változik attól függően, hogy sokat vagy keveset kell-e várunk*
- *a várakozás oka a csomagok torlódása*
- *ha sokat várunk, megkereshetjük a minimális körbeutazási időt \approx fizikai haladási idő*

ping www.tuwien.ac.at

```
Parancssor
C:\Documents and Settings\Vattay Gábor>
C:\Documents and Settings\Vattay Gábor>
C:\Documents and Settings\Vattay Gábor>ping www.tuwien.ac.at

info.zv.tuwien.ac.at [128.130.102.130] pingelése 32 bájt méretű adatokkal:

Válasz 128.130.102.130: bájt=32 idő=7 ms TTL=241
Válasz 128.130.102.130: bájt=32 idő=22 ms TTL=241
Válasz 128.130.102.130: bájt=32 idő=7 ms TTL=241
Válasz 128.130.102.130: bájt=32 idő=24 ms TTL=241

128.130.102.130 ping-statisztikája:
    Csomagok: küldött = 4, fogadott = 4, elveszett = 0 (0% veszteség),
    Oda-utazás átlag ideje közelítőlegesen, milliszekundumban:
    minimum = 7ms, maximum = 24ms, átlag = 15ms

C:\Documents and Settings\Vattay Gábor>
```

Budapest-Bécs-Budapest 434 km

ping www.u-psud.fr

```
c:\ Parancssor
Csomagok: küldött = 10, fogadott = 10, elveszett = 0 (0% veszteség),
Oda-vissza út ideje közelítőlegesen, milliszekundumban:
  minimum = 39ms, maximum = 67ms, átlag = 54ms

C:\Documents and Settings\Uattay Gábor>ping -n 10 www.u-psud.fr

manon.notes.u-psud.fr [129.175.34.50] pingelése 32 bájt méretű adatokkal:

Válasz 129.175.34.50: bájt=32 idő=51 ms TTL=111
Válasz 129.175.34.50: bájt=32 idő=51 ms TTL=111
Válasz 129.175.34.50: bájt=32 idő=105 ms TTL=111
Válasz 129.175.34.50: bájt=32 idő=44 ms TTL=111
Válasz 129.175.34.50: bájt=32 idő=62 ms TTL=111
Válasz 129.175.34.50: bájt=32 idő=62 ms TTL=111
Válasz 129.175.34.50: bájt=32 idő=61 ms TTL=111
Válasz 129.175.34.50: bájt=32 idő=38 ms TTL=111
Válasz 129.175.34.50: bájt=32 idő=58 ms TTL=111
Válasz 129.175.34.50: bájt=32 idő=65 ms TTL=111

129.175.34.50 ping-statisztikája:
  Csomagok: küldött = 10, fogadott = 10, elveszett = 0 (0% veszteség),
  Oda-vissza út ideje közelítőlegesen, milliszekundumban:
    minimum = 38ms, maximum = 105ms, átlag = 59ms

C:\Documents and Settings\Uattay Gábor>
```

Budapest-Párizs-Budapest 2496 km

ping www.columbia.edu

```
Parancssor
Csomagok: küldött = 10, fogadott = 9, elveszett = 1 (10% veszteség),
Oda-vissza út ideje közelítőlegesen, milliszekundumban:
  minimum = 131ms, maximum = 225ms, átlag = 168ms

C:\Documents and Settings\Uattay Gábor>ping -n 10 www.columbia.edu

www.columbia.akadns.net [128.59.48.24] pingelése 32 bájt méretű adatokkal:

Válasz 128.59.48.24: bájt=32 idő=130 ms TTL=112
Válasz 128.59.48.24: bájt=32 idő=143 ms TTL=112
Válasz 128.59.48.24: bájt=32 idő=160 ms TTL=112
Válasz 128.59.48.24: bájt=32 idő=184 ms TTL=112
Válasz 128.59.48.24: bájt=32 idő=206 ms TTL=112
Válasz 128.59.48.24: bájt=32 idő=229 ms TTL=112
Válasz 128.59.48.24: bájt=32 idő=135 ms TTL=112
Válasz 128.59.48.24: bájt=32 idő=172 ms TTL=112
Válasz 128.59.48.24: bájt=32 idő=194 ms TTL=112
Válasz 128.59.48.24: bájt=32 idő=130 ms TTL=112

128.59.48.24 ping-statisztikája:
  Csomagok: küldött = 10, fogadott = 10, elveszett = 0 (0% veszteség),
  Oda-vissza út ideje közelítőlegesen, milliszekundumban:
    minimum = 130ms, maximum = 229ms, átlag = 168ms

C:\Documents and Settings\Uattay Gábor>
```

Budapest-New York-Budapest 14024 km

www.ucsd.edu

```
Parancssor
Csomagok: küldött = 10, fogadott = 10, elveszett = 0 (0% veszteség),
Oda-vissza út ideje közelítőlegesen, milliszekundumban:
  minimum = 2ms, maximum = 12ms, átlag = 3ms

C:\Documents and Settings\Vattay Gábor>ping -n 10 www.ucsd.edu

www.ucsd.edu [132.239.180.101] pingelése 32 bájt méretű adatokkal:

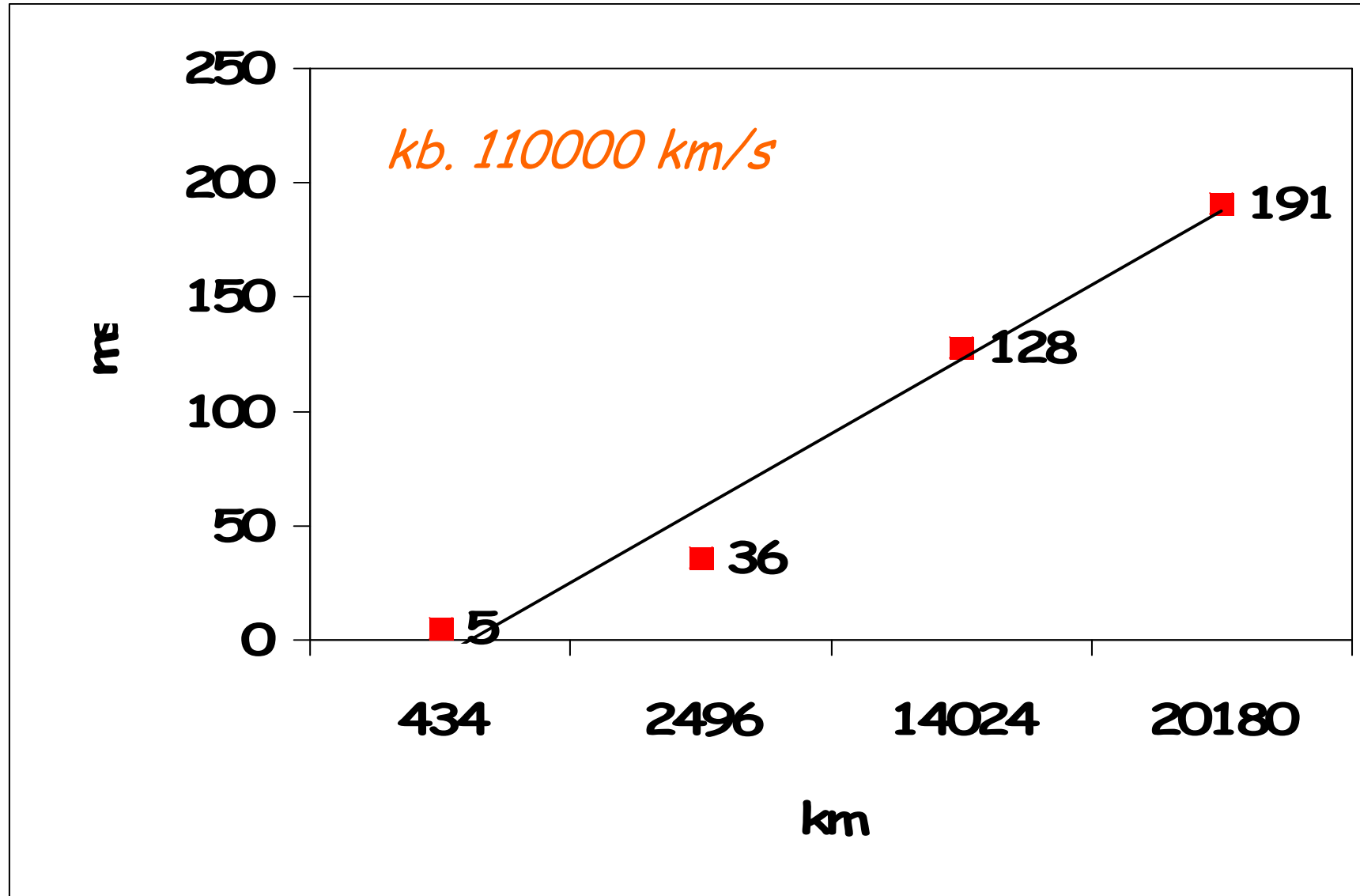
Válasz 132.239.180.101:  bájt=32  idő=194 ms  TTL=104
Válasz 132.239.180.101:  bájt=32  idő=193 ms  TTL=104
Válasz 132.239.180.101:  bájt=32  idő=193 ms  TTL=104
Válasz 132.239.180.101:  bájt=32  idő=193 ms  TTL=104
Válasz 132.239.180.101:  bájt=32  idő=193 ms  TTL=104
Válasz 132.239.180.101:  bájt=32  idő=193 ms  TTL=104
Válasz 132.239.180.101:  bájt=32  idő=193 ms  TTL=104
Válasz 132.239.180.101:  bájt=32  idő=193 ms  TTL=104
Válasz 132.239.180.101:  bájt=32  idő=193 ms  TTL=104
Válasz 132.239.180.101:  bájt=32  idő=193 ms  TTL=104

132.239.180.101 ping-statisztikája:
  Csomagok: küldött = 10, fogadott = 10, elveszett = 0 (0% veszteség),
  Oda-vissza út ideje közelítőlegesen, milliszekundumban:
    minimum = 193ms  maximum = 194ms, átlag = 193ms

C:\Documents and Settings\Vattay Gábor>
```

Budapest-San Diego-Budapest 20180

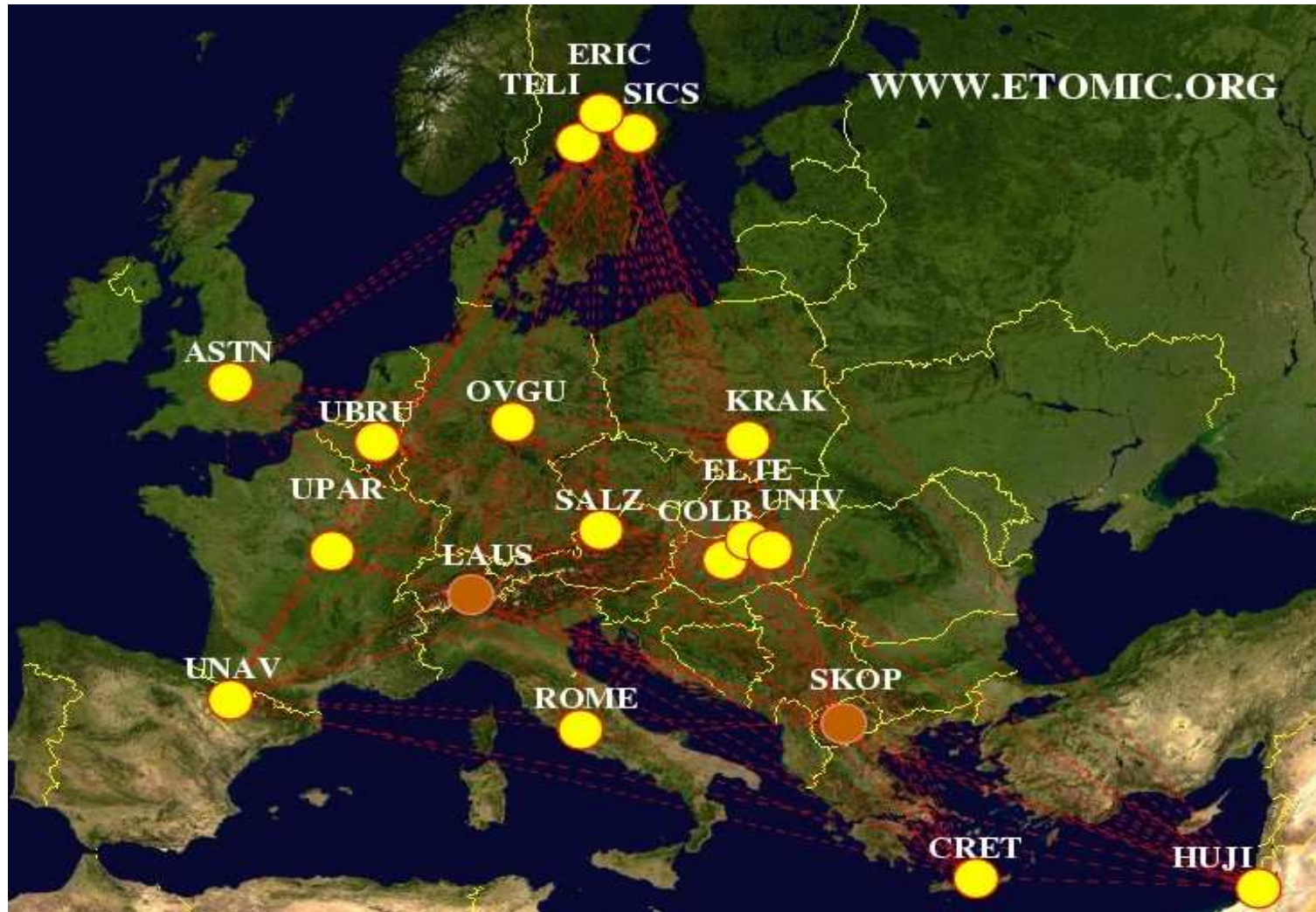
Elemezzük a mérést!



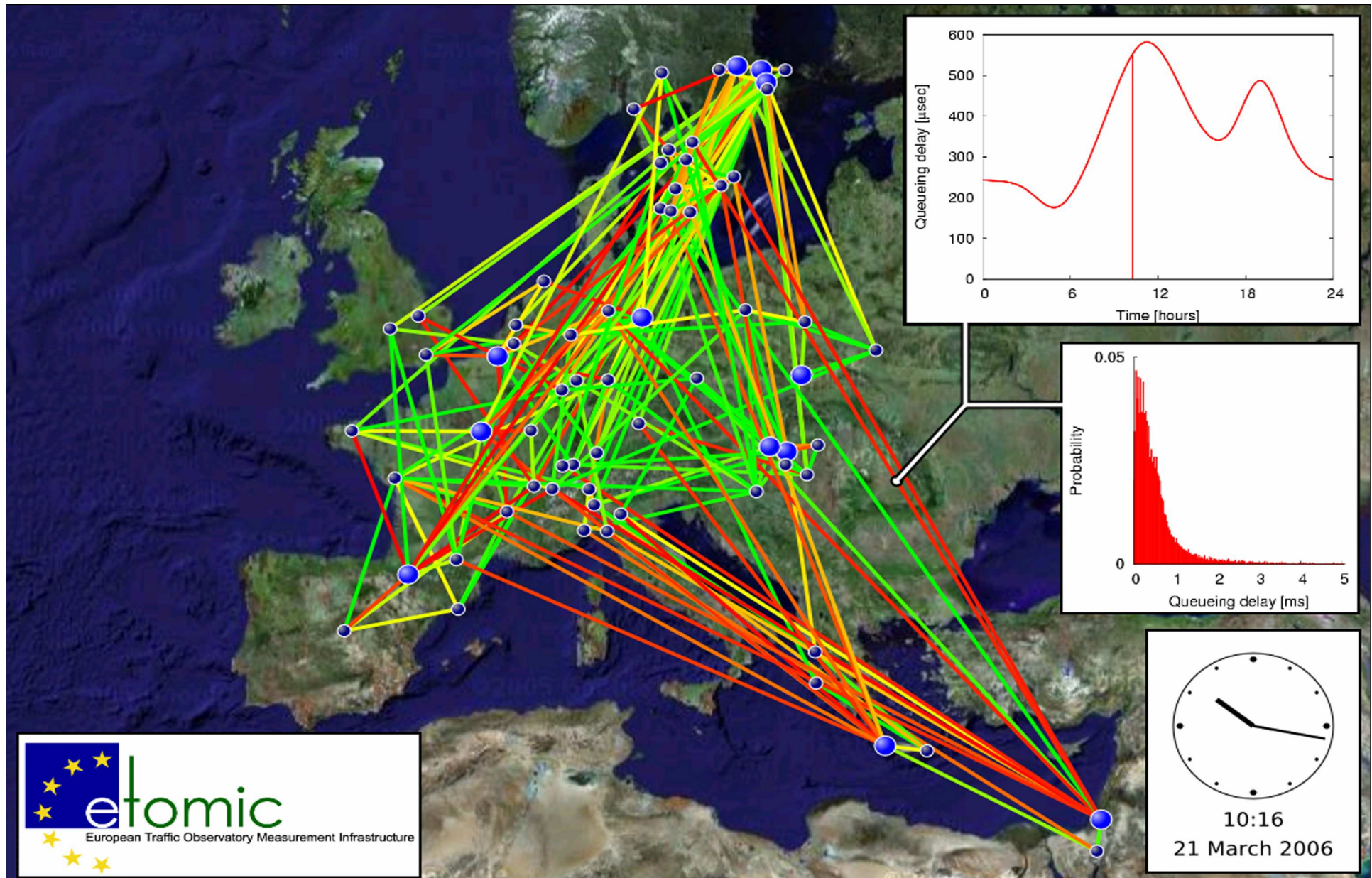
A várakozási idő vizsgálata

- A várakozási idő, mint láttuk folyton változik*
- A várakozást főként a csomagjaink sorbanállása okozza*
- A sorok hossza a routerekben jellemző arra, hogy mekkora a torlódás a hálózatban*
- A torlódást láthatóvá tehetjük, hasonlóan, mint ahogyan az orvosok a tomográffal bele tudnak nézni a testünk folyamataiba*

Mérőállomásaink Európában



A hálózat egy napja



Köszönöm a figyelmet!



Érdeklődés:
vattay@elte.hu

IST Future and Emerging Technologies