

Fizikai Szemle 2007/12. 411.o.

## AZ INTERNET FIZIKÁJA

Vattay Gábor

ELTE TTK, Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

A modern kommunikációs hálózatok és az internet működésük során számos, az elektromágnesesség körébe eső effektust használnak ki. Emiatt, mintegy mellékesen, a környezetünkben hozzáférhető számítástechnikai eszközök számos érdekes fizikai jelenség demonstrálására is alkalmasak. Az ELTE Fizikai Intézetében szervezett *Atomoktól a Csillagokig* előadás nyomán ezek közül most az interneten terjedő jelek sebességének egyszerű és érdekes mérését mutatom be, mely könnyen kivitelezhető és bemutatható középiskolákban egy számítógép segítségével.

*1. ábra.* A `tracert www.tuwien.ac.at` parancs kiadása után megtudhatjuk, hogy milyen útvonalon jutnak el csomagjaink a Bécsi Műszaki Egyetem webszerverére.

```

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

Útvonal követése a következőhöz: info.ev.tuwien.ac.at [129.138.102.130]
legfeljebb 30 ugrással:

  0  0 ms  0 ms  0 ms  192.168.200.1
  1  3 ms  2 ms  2 ms  192.168.200.1
  2  1 ms  1 ms  2 ms  192.168.200.1
  3  2 ms  2 ms  2 ms  192.168.200.1
  4  4 ms  4 ms  3 ms  192.168.200.1
  5  5 ms  3 ms  3 ms  192.168.200.1
  6  2 ms  2 ms  2 ms  192.168.200.1
  7  2 ms  5 ms  2 ms  192.168.200.1
  8  0 ms  0 ms  0 ms  192.168.200.1
  9  0 ms  0 ms  0 ms  192.168.200.1
 10  7 ms  7 ms  7 ms  192.168.200.1
 11  7 ms  7 ms  7 ms  192.168.200.1
 12  9 ms  *  *  *  192.168.200.1
 13  0 ms  0 ms  *  *  *  192.168.200.1
 14  9 ms  0 ms  0 ms  0 ms  192.168.200.1
 15  0 ms  7 ms  13 ms  info.ev.tuwien.ac.at [129.138.102.130]

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

```

Az internet a számítógépek világméretű, gigantikus hálózata. A számítógépek kommunikációjuk során kis csomagokat küldenek egymásnak, melyet a hálózat elemei juttatnak célba. A csomagokat címezéssel látják el. A hálózat legfontosabb elemei az útvonal választók a „router”-ek, melyek elolvassák a csomagok címeit, és továbbítják egy olyan routerhez, mely közelebb fekszik a csomag végállomásához. A csomagok a routerek sorozatán ugrálva jutnak célba. Számítógépünk segítségével megtudhatjuk, hogy az általunk feladott csomagok milyen routereken haladnak keresztül addig, míg eljutnak a célpontig. Bármelyik operációs rendszerben egy terminálablakot nyitva kiadhatjuk a „tracert” vagy „tracert” parancsot, ami sorban kiírja számunkra azoknak a routereknek a nevét, melyen keresztülhaladnak csomagjaink. Az [1. ábrán](#) láthatjuk az ELTE egyik tanszéke és a Bécsi Műszaki Egyetem webszervere közti útvonalon található routereket. Megtudhatjuk a routerek nevén és hálózati címén kívül azt az időt is (milliszekundumokban), ami ahhoz kell, hogy csomagunk az adott routerhez érjen és onnan egy

válaszcsomag visszaérkezzen hozzánk. A program 3-3 mérést végez minden routeren, és megadja annak eredményét. Minél távolabb, minél több lépésre van tőlünk egy router, annál hosszabb ideig tart a csomag utazása, illetve a visszaküldött nyugtacsomag megérkezése. Ráadásul a mérések általában különböző eredményekre vezetnek.

2. ábra. Az ELTE egyik gépe és a Bécsi Műszaki Egyetem webservere közti körutazási idők mérése a ping www.tuwien.ac.at parancs segítségével. A parancs négy mérést végez, ezekből meghatározza a várakozási idő minimumát is.

```

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

Info: www.tuwien.ac.at [128.138.182.138] pingelés 32 bjt-es adatokkal:

Mérés 128.138.182.138: hájt=32 idő=7 ms TTL=241
Mérés 128.138.182.138: hájt=32 idő=22 ms TTL=241
Mérés 128.138.182.138: hájt=32 idő=7 ms TTL=241
Mérés 128.138.182.138: hájt=32 idő=24 ms TTL=241

128.138.182.138 ping-statisztikája:
    Csomagok: küldött = 4, fogadott = 4, elveszett = 0 (0% veszteség),
    Összes várakozási idő: 66ms, közeliitárolás, millisekondokban:
    minimum = 7ms, maximum = 24ms, átlag = 15ms
C:\Documents and Settings\Vattay Gábor>
  
```

A csomagok terjedési ideje két részből tevődik össze. A csomagok a routerek között valamilyen kábelon keresztül haladnak. Rövid távolságok esetén (pl. egy intézményen belül) rézkábeleken, nagyobb távolságok esetén pedig optikai kábeleken haladnak a jelek. Ezekben az anyagokban a jelek terjedési sebessége állandó, kisebb a vákuumbeli fénysebességnél, de annak nagyságrendjébe esik. A terjedési idő másik részét az az idő teszi ki, amit a routerek a csomag feldolgozásával töltenek. Ez az idő attól függ, hogy a routerben hány csomag vár arra, hogy címzését elolvassák és útba igazítsák. A várakozási sor annál hosszabb, minél több csomag érkezik időegység alatt az adott routerhez.

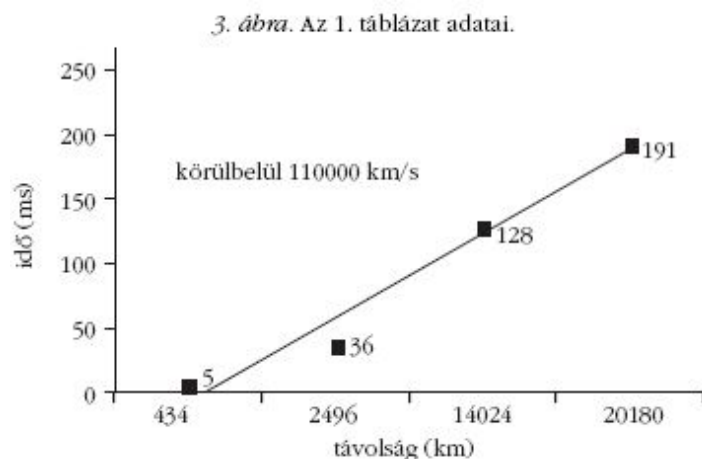
Lehetőségünk van számítógépünk segítségével közvetlenül is megmérni azt a körutazási időt (Round Trip Time), ami ahhoz kell, hogy csomagunk egy másik számítógéphez érjen és onnan egy nyugtacsomag visszaérkezzen. A „ping” parancs kiadásával sokszor egymásután megmérhetjük ezt az időt és statisztikát készíthetünk a mért körutazási időkből. A [2. ábrán](#) egy ilyen mérést mutatunk be.

| <i>1. táblázat</i>                                               |                          |                         |                              |                           |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Ping kísérlet az ELTE számítógépe és más egyetemek között</b> |                          |                         |                              |                           |
|                                                                  | www.tuwien.ac.at<br>Bécs | www.u-psud.fr<br>Párizs | www.columbia.edu<br>New York | www.ucsd.edu<br>San Diego |
| 2 × földrajzi távolság                                           | 434 km                   | 2 496 km                | 14 024 km                    | 20 180 km                 |
| minimális körutazási idő                                         | 5 ms                     | 36 ms                   | 128 ms                       | 191 ms                    |

Sok mérést végezve meghatározhatjuk a legkisebb körutazási időt. Ez abban a ritkán előforduló esetben valósul meg,

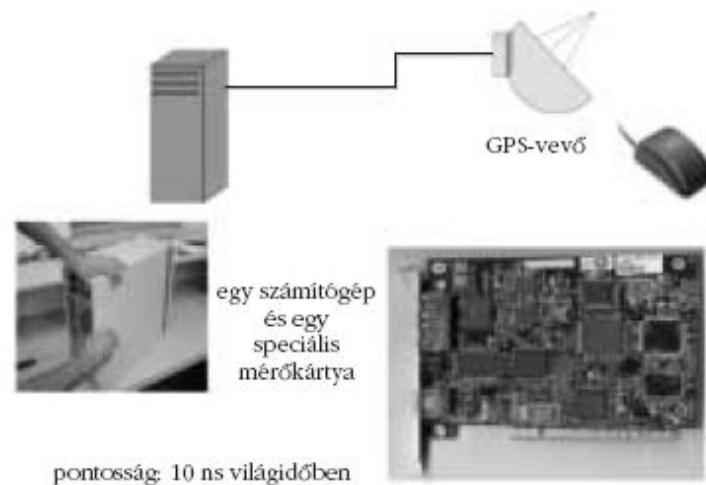
amikor csomagunk egyik routerben sem áll sorban. A minimális körutazási idő így jó közelítéssel jellemzi az adott útvonalon a kábeleken létrejövő fizikai késleltetés idejét.

Ezt felhasználva számítógépünkkel megmérhetjük Az internet kábelein haladó csomagok terjedési sebességét. Ehhez választanunk kell a világ különböző pontjain olyan számítógépeket, melyekkel a kísérlet elvégezhető (válaszolnak a ping parancsra) és amelyek tőlünk mért távolságát meghatározhatjuk. Természetesen a kábelek pontos hosszát nehéz volna kideríteni, ezért azt a földrajzi távolsággal becsüljük. Minél távolabb van tőlünk egy számítógép, ez a szám annál pontosabban becsüli a valódi kábelek hosszát. Kísérletünkhöz a leginkább megfelelőek az egyetemek számítógépei, mert ezek webszervereit általában maguk az egyetemi tanszékek tartják fenn, és tényleg az egyetem területén találjuk meg őket. A kísérlethez kiválasztottam négy ilyen számítógépet Bécsben, Párizsban, New Yorkban és San Diegóban. A ping kísérletet sokszor elvégezve meghatároztuk az ELTE számítógépe és az [1. táblázat](#)ban felsorolt gépek között a legkisebb körutazás idejét, és meghatároztuk a földrajzi távolság kétszeresét, ami a kábeleken az oda-vissza utazáshoz szükséges.



Várakozásunknak megfelelően a távolsággal monoton növekszik a minimális körutazási idő. A mért adatokat ábrázoltuk a [3. ábrán](#). A körutazási idő lineárisan nő a földrajzi távolsággal. Az egyenes meredekségéből meghatározhatjuk a kábelek terjedésének átlagos sebességét, ami körülbelül 110 000 km/s-nak adódik, ezköz elharmada a vákuumbeli fénysebességnek. Természetesen ez a mérés számos pontatlansággal terhelt, és a kiszámított sebesség is csak valamiféle átlagnak tekinthető. Azonban jó arra, hogy egy kis betekintést nyerjünk azokba az új mérési eljárásokba, melyeket ma az internet különböző tulajdonságainak mérésére dolgoztak ki.

4. ábra. Egy korszerű internetmérő berendezés tipikusan egy szerver PC-ből áll, melyhez egy GPS-vevő és egy speciális hálózati mérőkártya csatlakozik, melyek együttesen 10–100 ns csomagküldési pontosságot ér el.



Az internet precízmérésére az elmúlt tíz évben számos új módszert és eszközt dolgoztak ki. A precizitás fokozására olyan hálózati mérőkártyákat hoztak létre, melyekkel a csomagok kiküldése 10-100 ns pontossággal időzíthető. A hálózati mérésekhez a pontos időt a legegyszerűbb a GPS-rendszer műholdjairól venni, melyet atomi órákhoz szinkronizálnak és globálisan pontos időt szolgáltatnak.

Az ELTE Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék laboratóriumában számos ilyen speciális mérőberendezést használunk (4. ábra). Ezek segítségével már egy néhányszor 10 m hosszúságú közönséges ethernetkábelben terjedő jelek mikroszekundumos késleltetési is mérhető, és a jel sebessége is jól megmérhető. A mérések többsége azonban nem a fizikai késleltetés meghatározását szolgálja, hanem a routerekben létrejövő késleltetés fluktuációjából próbálnak visszakövetkeztetni a bennük létrejövő csomagforgalmi folyamatokra. Ilyen mérések segítségével megállapítható két számítógép közti maximálisan kihasználható sáv szélesség, mely a mérnökök számára a hálózat egyik legfontosabb jellemzője. A fizikai kutatások számára is nagy jelentősége van a hálózati méréseknek. Ezek abban segíthetnek, hogy az asztro- és részecskefizikai mérésekben létrehozott tera- és petabájtnyi méretű adatbázisok adatait a hálózaton keresztül gyorsan átviessük.