

Számítógépes hálózatok (4. rész)

Először a fizikai réteggel, illetve az adatátvitel alapjaival ismerkedünk meg.

Az adatátvitel elméleti tárgyalásakor az a gond merül fel, hogy meglehetősen sok matematikai és fizikai kérdésre kellene választ adnunk. Ha nagyon igényesek lennénk, akkor mondandónkat a Fourier-sorokkal kezdenénk, periodikus függvényekkel varázsolgatnánk és némi integrálszámítást is végeznénk. Ez viszont a közérthetőség rovására menne, továbbá e cikk nem lenne népszerű azok körében, akik mélyszélességgel viszonyulnak az elemzés szép, ám egy kicsit sajátos gondolkodást igénylő világához. Azt is megtehetnénk, hogy egyből az adatkapcsolati réteggel kezdünk – ez azonban a sorozat teljességét veszélyezteti, hiszen a fizikai réteg minden hálózat alapja.

Ezért arra kényszerülünk, hogy egy-két részlet erejéig belemerüljünk ugyan a fizikai rétegbe és az adatátvitel elméleti, illetve gyakorlati kérdéseibe, de a tüzetesség igénye nélkül. Csak arra térünk ki, ami igazán fontos (vagy érdekes).

Az adatátvitel elméleti alapjai

Az első kérdés az, hogy miként tud az egyik számítógép a másikkal egy bizonyos csatornán keresztül adatot közölni. Nyilván úgy, hogy a csatorna egy bizonyos fizikai jellemzőjét megváltoztatja. Ha a csatorna egy vezeték, akkor ilyen változtatható fizikai jellemző lehet például a feszültség vagy az áramerősség. Az adatok továbbítására használhatnánk akár elektromágneses hullámokat is, ilyenkor a hullám amplitúdója, esetleg frekvenciája lehet az adat hordozója.

Az adatcsatorna legfontosabb tulajdonsága a sáv szélesség. Azt mindenki tudja, hogy minél „szélesebb sávú” az adott vonal, annál gyorsabban tudunk filmeket letölteni az internetről. A sáv szélesség azonban nem azt határozza meg, hogy milyen gyorsan tudunk egy bitet átküldeni. Ez az úgynevezett adatsebesség vagy átviteli sebesség. A sáv szélesség analóg alapú rendszerekben játszik szerepet, és az adott analóg jel legnagyobb és legkisebb frekvenciájának különbségét értjük alatta.

Analóg rendszerre a legjobb példa az emberi beszéd, ennek alsó frekvenciája 300 Hz, a felső 3300 Hz. Egyszerű matematikai lépéssel kiszámítható, hogy az emberi beszéd sáv szélessége $3300 - 300 = 3000$ Hz. Talán nem meglepő, hogy a hagyományos telefonhálózatok is ekkora sáv szélességgel bírnak. Az adatcsatorna másik fontos tulajdonsága a jelzési sebesség. Ha erről nem is, de ennek mértékegységéről, a baudról már biztos sokan hallottak. Ez nem más, mint a

felhasznált jel értékében 1 másodperc alatt bekövetkező változások száma. Ezt a következő képlet segítségével könnyedén kiszámíthatjuk:

$$1 \text{ baud} = \log_2(P)$$

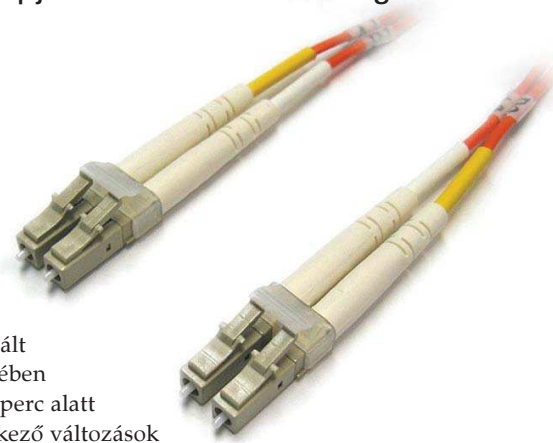
Ebben a P a jelszintek száma. Sokan a baudot tévesen az adatsebesség szinonimájaként használják. Nekik csak abban az esetben lehet igazuk, ha két jelszinttel dolgozunk ha például nyolc különböző feszültségi szintet használnánk, akkor egy szintváltással 3 bitet is továbbíthatnánk. Ez azt jelentené, hogy az adatsebesség a jelzési sebesség háromszorosa lenne. Egy csatorna legnagyobb adatsebessége szoros kapcsolatban áll a jelzési sebességgel és a sáv szélességgel. **H. Nyquist** 1942-ben állította fel azt a tételt, amely fényt derít e három mennyiség kapcsolatára:

$$\text{maximális adatsebesség} = 2H \log_2 P$$

Ebből a H a csatorna sáv szélessége. Ezt egyből a gyakorlatba átültetve azt mondhatjuk, hogy egy 16 állapotú kódolást használó telefonvonalon (amelynek 3 kHz a sáv szélessége, előbb kiszámoltuk) 24 000 bit/sec az elérhető legnagyobb sebesség.

Ha egy kicsit elgondolkozunk, arra a következtetésre juthatunk, hogy a jelzési szintek növelésével tetszőleges átviteli sebességet érhetünk el az adott csatornán. Tapasztalataink azonban azt mutatják, hogy a természet mindenféle fizikai korlátok felállításával mindig megnehezíti a dolgainkat. Így hát elég bizarr világ lenne az, ahol egy teljes DivX-ben kódolt brazil szappanoperát pár másodperc alatt átküldhetnénk a barátunknak a hagyományos telefonhálózaton keresztül.

Az, hogy egy csatorna mennyire „zajos”, azt az úgynevezett jel-zaj-viszony mondja meg. Ha az S a jel teljesítménye, az N pedig a zaj teljesítménye, akkor a jel-zaj-viszonyt az S/N



képlet segítségével kaphatjuk meg. A jel-zaj-viszony megadása azonban egy kicsit trükkös, ugyanis nem az S/N értékét, hanem ennek tízes alapú logaritmusának tízszerezését használjuk, ennek a mértékegysége a decibel (dB). Ha az S/N értéke 10, akkor az 10 dB-t jelent, ha az S/N értéke 100, akkor 20 dB és így tovább.

És valóban: a fenti képletet csak a zajmentes csatornák esetében használhatjuk. A való életben azonban minden csatorna véletlenszerű zajjal terhelt – ez azért jelent korlátot az adatsebességben, mert egy bizonyos jelszint felett képtelenek leszünk megkülönböztetni a jelzési szintet a zajtól. A zajjal terhelt csatornákra vonatkozó legnagyobb adatsebesség kiszámítására *Shannon* talált egy képletet, amely a következőképpen néz ki:

$$\text{maximális adatsebesség} = H \log_2(1 + f \text{ S/N})$$

A hagyományos telefonhálózaton a jel-zaj-viszony körülbelül 30 dB, így az ott elérhető legnagyobb adatsebesség körülbelül 30 000 bit/sec. Ez nem azt jelenti, hogy ekkora sebességgel még tudunk adatokat küldözgetni. Ez a képlet egy felső korlátot ad, amit a gyakorlatban csak nagyon-nagyon ritkán sikerülhet elérni.

Shannon képletének létezik még egy fontos tanulsága: ha nagyon nagy a zaj, akkor is lehetséges az adatátvitel, igaz, elég kis sebességgel. Ezért van az, hogy a több millió kilométerre lévő űrszondákkal is tudunk kapcsolatot tartani, hiába ezerszer gyengébb a jelük, mint a háttérzaj. Most pedig nézzük meg, milyen átviteli közegekkel is találkozhatunk a gyakorlatban. Először a vezetékességekkel, majd a vezeték nélküliekkel foglalkozunk.

Csavart érpár (twisted pair)

Ez egy régebbi, ám még ma is rendkívül elterjedt átviteli közeg. Két, jellemzően 1 mm vastagságú szigetelt rézhuzalból áll, amelyek spirálszerűen egymás köré vannak tekerve. A sodrásnak az az értelme, hogy ezzel csökken a kettejük közötti elektromágneses kölcsönhatás.

Mivel a csavart érpár akár több kilométeres szakaszon is erősítés nélkül használható, a legfontosabb felhasználási területe a távbeszélő rendszerek kiépítése. Az esetek túlnyomó többségében a telefonokat ilyen vezetékűek kötik össze a központtal.

A csavart érpárt analóg és digitális jelátvitelre egyaránt használhatjuk. A sávzélesség erősen függ a vastagságtól és az áthidalandó távolságtól. Ha azonban csak 1–2 km-en belül szeretnénk adatokat továbbítani vele, akkor általában néhány Mb/s-os sebességre számíthatunk.

A számítógép-hálózatok terén is fontos szerepet tölt be, habár számos változata közül itt csak kettővel találkozhatunk. A hármas kategóriájában négy vezetékpárt fogtak össze egy műanyagtokkal, amely egyrészt védi, másrészt egybentartja őket. Amerikában 1988 előtt elterjedt volt, hogy minden irodaház emeletére egy ilyen kábelt vezettek be, amely egy elosztó segítségével az összes irodahelyiségbe elágazott. Így el lehetett érni, hogy minden irodában négy hagyományos telefon vagy két kétvonalas telefon legyen. 1988 után inkább az ötös kategóriájú csavart érpárokat kezdték használni, ami annyiban volt jobb elődjénél, hogy egységnyi hosszon többet csavarodott. Ez nagyobb

távolság esetén is jobb minőségű átvitelt eredményezett, így nagyszerűen használhatók voltak a számítógépes hálózatok kiépítéséhez.

Ennek a két kábelfajtának a közismertebb neve az árnyékolatlan csavart érpár (Unshielded Twisted Pair, vagy röviden UTP). A csavart érpár azonban olcsó és ennek köszönhetően várhatóan a jövőben sem fog veszíteni a népszerűségéből.

A „koax”

A másik elég széles körben használt átviteli közeg a koaxiális kábel. Legfontosabb tulajdonsága, hogy jobb árnyékolással rendelkezik, mint a csavart érpár, ezért nagyobb távolságokon gyorsabb átvitelre képes.

A koaxiális kábel közepén egy tömör rézhuzalmag található; ezt egy szintén vastag szigetelő veszi körül. Ezt is körülveszi egy sűrű szövésű vezető anyag, amit műanyagborítás fed a mechanikai sérülések ellen. Ennek a szerkezetnek köszönhetően a koax zajszintje viszonylag kicsi és nagy sávzélességű jelek továbbítására is képes. Természetesen az elérhető sávzélesség nagymértékben függ a kábel hosszától, de egy kb. 1 km hosszú koaxon akár 1–2 Gb/s-os sebességet is könnyen elérhetünk. Hosszabb kábelek alkalmazásakor azonban csökken az átviteli sebesség. Ezt úgy orvosolhatjuk, hogy útközben úgynevezett repeater segítségével felerősítjük a jelet.

Az imént az 50 Ω -s koaxról szóltunk, ezt elsősorban digitális átvitelre használják. Létezik egy másik fajtája is, a 75 Ω-s, amiről mindjárt részletesebben is szót ejtünk. Az 50 Ω-s kábelek elterjedtek ugyan, de egyre inkább optikai kábelekre cserélik őket. Ma már inkább csak a kábeltelevíziózás és a helyi hálózatok terén találkozhatunk velük.

A széles sávú (broadband) koaxiális kábel

Ennek jelentősége az analóg átvitelben van, és leginkább a kábeltelevízióknál használják, például ezen jön az HBO. Ne tévesszen meg senkit a „széles sávú” kifejezés, ez ugyanis a számítógépes hálózatok esetében mást jelent. Itt minden olyan közeg széles sávú, ahol az átvitel analóg módon zajlik. Mivel ezek a kábelek megfelelnek a kábeltelevíziós szabványnak, 450 MHz sávzélességet biztosítanak, és az analóg átvitel következtében nagy távolságok áthidalására (akár 100 km) is alkalmasak. Ahhoz, hogy egy analóg rendszerben digitális jeleket továbbítsunk, egy olyan csatlófelületre (interface) van szükség, amelyik egy bitfolyamból képes analóg jeleket előállítani, és fordítva.

Mivel ezek széles sávú kábelek, „egyszerre” több minden mehet rajtuk. Azaz egyidejűleg televíziós műsorszórára és digitális adatok átvitelére is használhatják. A hálózat üzemeltetése azonban csak akkor gazdaságos, ha viszonylag nagy területet (például egy egész kerületet) fed le; ezért erősítőkre van szükség, amelyek rendszeresen erősítik a gyengülő analóg jelet.

Ennek a megoldásnak az a hátránya, hogy az erősítők csak az egyik „irányban” képesek a jelek erősítésére. Mit értünk ez alatt? A kábelezés fatopológiába szervezett; s ha két számítógép között csak egyetlen erősítő van, a fában az alacsonyabb szinten lévő gép nem tud a magasabb szinten lévőnek üzenetet küldeni.

A felmerülő nehézség egyik megoldása a kétkábeles rend-

szer, amikor két ugyanolyan kábel fut egymás mellett. Amikor a számítógép adatot küld, akkor a csomagot az első kábelre helyezi, amely eljuttatja azt a fatopológiába szervezett kábelezés gyökeréhez, a főállomáshoz. Ezt követően a főállomás a második kábelben lefelé kezdi továbbítani az üzenetet a fában. Minden számítógép tehát az első kábelben küld és a második kábelben kap adatokat.

Egy másik megoldás lehet az egykábeles rendszer, ahol csak egyetlen kábel van, viszont az adatok küldése, illetve vétele más-más frekvenciákon történik. A számítógép alacsonyabb frekvenciasávra helyezi a küldeni kívánt adatot, amely eljut a főállomáshoz, az magasabb sávra helyezi, majd újra elküldi az adatot.

Mindenképpen érdemes megjegyeznünk a széles sávú rendszerekről, hogy digitális jelek továbbítására kevésbé alkalmasak. Pusztán azért ejtettünk szót róla, mert ezek ma már rendkívül széles körben kiépített hálózatok: nyugaton a háztartások majdnem kilencven százalékában található kábeltelevíziós hálózat, és itthon is egyre jobban terjed.

Fényvezető szálak

A fényvezető szálak annyiban térnek el a „hagyományos” vezetékektől, hogy az adat fényimpulzus formájában továbbítódik. Az ilyen rendszer három fő részből áll: a fényforrásból, az átviteli közegből és a fényérzékelőből. Vélhetőleg nem szorul bővebb magyarázatra, hogy a fényimpulzus jelenléte a logikai 1-nek, hiánya pedig a logikai 0-nak fog megfelelni.

Az átviteli közeg egy rendkívül vékony üvegszál. Amikor a fényérzékelőre fény jut, az elektromos jelet hoz létre. A fényforrás ugyanezt csinálja, csak fordítva: amikor elektromos jel érkezik be hozzá, fényjelet bocsát ki magából.

Az ilyen adatátviteli rendszernek megvan az a veszélye, hogy a fény úgymond elszivárog, azaz nem fog megérkezni a célpontba. A fénynek létezik azonban egy jellegzetes fizikai tulajdonsága, mégpedig az, hogyha egy másik anyagba (például a levegőből a vízbe) lép át, akkor megtörik. A törés hajlásszöge a két közeg fizikai jellemzőitől függ, elsősorban azok törésmutatójától. Ha a fény egy bizonyos határszögnél nagyobb szögben érkezik az adott közeg határához, érdekes jelenség következik be: a fény nem lép át a másik közegbe, hanem a közeghatárról „visszapattanva” megmarad abban a közegben, ahonnan indult. Ha tehát egy gyakorlatban is jól használható fényvezető szálát szeretnénk, akkor a fény beesési szögének meg kell egyeznie (vagy nagyobbnak kell lennie) a határszöggel, így a fény sugar az üvegszálban marad. Ilyen módon jelentős veszteség nélkül akár több kilométert is megtehet.

Egy üvegszálban természetesen több fény sugar is haladhat egyszerre, mivel a határszögnél nagyobb szögben érkező fény sugarak is az üvegszálban maradnak. Igaz, minden fény sugar különböző szögben verődik majd vissza. Az ilyen fényvezető szálakat (amelyekben egyszerre több fény sugar is közlekedik) többmódusú szálaknak nevezzük.

A fényvezető szálak másik (és jóval drágább) változata az, amikor az üvegszál átmérője nem nagyobb, mint egy-két fényhullámhossz. Ilyenkor az üvegszál hullámvezető, azaz a fény egyenes vonalban, visszaverődés nélkül száguld. Ennek az előnye akkor mutatkozik meg, amikor jóval nagyobb távolságokra kell gyorsan adatokat eljuttatni.

Fénykábelek

A fényvezető kábel felépítése némileg hasonlít a koaxiális kábelre. Középen egy 50μ átmérőjű üvegmag található. Ez az üveg rendkívül átlátszó, majdnem annyira, mint a levegő. Ezt a magot egy szintén üvegből készült tükröző anyag veszi körül, amit egy műanyagburok véd. Az üvegmagot körülvevő tükröző anyagnak a törésmutatója kisebb, mint a magé, így a fény sugar nem lép ki a magból. Egy kábelben belül általában több fényszálát fognak össze. Felmerül a kérdés, hogy vajon milyen módon lehet ezeket a kábeleket egymáshoz csatlakoztatni? A legkézenfekvőbb megoldás az, ha végeire csatlakozókat szerelünk, és ezek segítségével dugaszoljuk össze a kábeleket. Ezzel csak az a gond, hogy ez a megoldás 10–20%-nyi veszteséget eredményez, ami azért elég jelentős. Előnye viszont, hogy a rendszer könnyen módosítható.

Aki nagyon nagy játékos, azzal is megpróbálkozhat, hogy mechanikai úton ragaszt össze két fénykábel. Ezt úgy kell csinálni, hogy mind a két szál egy meghatározott szögben óvatosan el kell vágni, és egymáshoz illetve őket egy fogó segítségével összeszorítani.

A harmadik módja, hogy két fénykábelből „egy legyen”, ha összeforrasztjuk őket. Veszteséggel ekkor is számolnunk kell, körülbelül tíz százaléknival.

Az üvegszálon kívül a kábelnek fontos része a fényforrás. Ennek is két fajtája létezik: a LED (Light Emitting Diode) és a fényvezető lézer. A LED ugyan sokkalta olcsóbb, hosszabb élettartamú és kevésbé érzékeny a szélsőséges hőmérsékletre, viszont sokkal kisebb adatátviteli sebességgel bír. A fényvezető másik végén a fényérzékelő vagy fotodióda foglal helyet, amely a fényjelet elektromos jellé alakítja. Ez a művelet sajnos ma még legalább 1 ns-t vesz igénybe, ami azzal jár, hogy az adatsebességet körülbelül 1 Gb/s-ra korlátozza. Meg kell jegyeznünk, hogy ma már üvegszálak technikával ennél jóval nagyobb sebességet is elértünk, a csúcspont körülbelül 100 Gb/s körül van. A gond csak az, hogy ilyen gyors adatátvitelt a mai számítógépek még nem képesek feldolgozni.

Fénykábelek kontra rézvezetékek

Ennek a versenynek a győztese egyértelműen a fénykábel, mindjárt ki is derül, hogy miért. Az optikai kábelek egyrészt nagyobb sávzélességgel rendelkeznek, és mivel csak kis csillapításúak, akár 30 km-es távolságra is használhatjuk jelerősítés nélkül.

A másik vonzó tulajdonsága, hogy sem az elektromágneses hullámokra, sem az áramimpulzusokra nem érzékeny.

A fotonok „előnyösebb” fizikai tulajdonságokkal is bírnak, mint az elektronok, például nincs elektromos töltésük.

Az elektronoknak azonban igen, így amikor a kábel belsejében mozognak, kölcsönhatásba lépnek egymással.

A mai világban nagyon fontos, hogy helyváltoztatás közben is kapcsolatba tudjunk lépni másokkal; ilyenkor vezeték nélküli adatátvitel szükséges. A következő részben erről lesz szó.

Garzó András (garzoand@interware.hu)

Körülbelül három éve foglalkozik Linux- és más Unix-rendszerekkel. Legjobban az operációs rendszerek lelkivilága érdekl, de nyitott egyéniség. Kedvenc étele a palacsinta, és van egy Richard nevű macskája. Minden észrevételt, megjegyzést, levelet szívesen fogad.