

Hálózatok (10. rész)

A közegelésési alréteg, az ALOHA, a CSMA, és az Ethernet

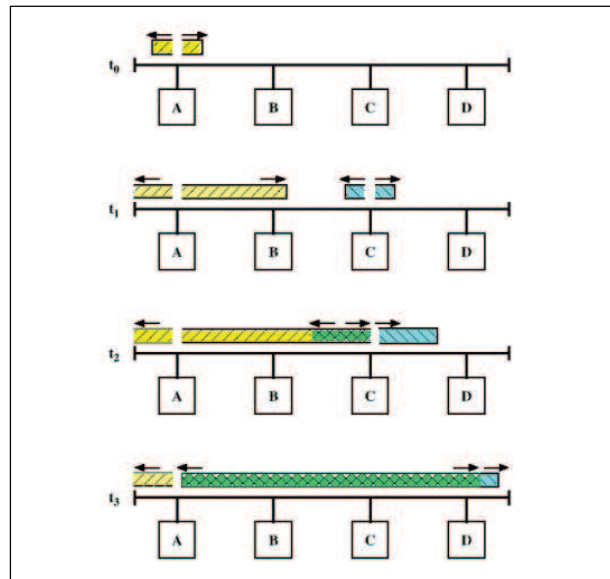
Ebben a részben még mindig az adatkapcsolati réteget taglaljuk, és ezen belül ennek egy alrétegét a közegelésési alréteget vesszük szemügyre. Ez a LAN-ok és a műholdas hálózatok esetében játszik kulcsszerepet.

Sokféle hálózatot hord hátán a Föld, ám ezek mindegyike két nagy csoportra osztható. Az előző részben e két nagy hálózati-osztály egyikével foglalkoztunk, mégpedig azokkal, amelyek úgynevezett kétpontos összeköttetést használnak. Ebben az esetben a kommunikációban résztvevő két fél egymással egy zárt csatorna segítségével van összekötve.

A hálózatok másik típusát az adatszóró hálózatok jelentik, amely esetén egy csatornán egyszerre több állomás is osztozik. Ez nagymértékben hasonlít egy telefonos konferenciabeszélgetéshez, ahol minden résztvevő saját telefonkészülékkel rendelkezik, és a résztvevők mindnyájan hallják egymást. Az adatszóró hálózatok megvalósításakor a legfontosabb kérdés az, hogy versenyhelyzet kialakulása esetén mi legyen a teendő. Versenyhelyzetről egyébként akkor beszélünk, amikor egy erőforráshoz egyszerre többen is hozzá szeretnének férni. Ha nincs korlátozás, és mindenki akkor veszi igénybe az erőforrást amikor csak akarja, akkor borzalmas dolgok történhetnek. Térjünk vissza a példánkhoz: ha az említett konferencián egyszerre többen kezdenek el beszélni, akkor a többiek csak érthetetlen hangzavart hallanak. Kézenfekvő tehát, hogy szükség van egy olyan protokollra, amely versenyhelyzet esetén eldönti, hogy a csatornára igényt tartók közül ki nyerje el a jogot az adásra. Ezzel a problémával az adatkapcsolati réteg egy alrétege, a *közegelésési alréteg (MAC, Medium Access Control)* foglalkozik, a következőkben ezzel fogunk foglalkozni. Jelen cikkben az állomások közötti csatorna-kiosztás módszereivel fogunk megismerkedni.

Csatornakiosztásos módszerek

A versenyhelyzeteket a legegyszerűbben úgy kerülhetjük el, ha előre meghatározott időközönként a csatornát más-más állomás használja. Ezt hívjuk *TDM-nek (Time Division Multiplexing, időosztásos nyalábolás)*. Azt a rövid időintervallumot, amely alatt egy állomás jogosult az adásra, az adott állomás időrésének nevezzük. Amikor egy olyan állomásra kerül a sor, amelynek éppen nincs mondandója, ak-



1. ábra

kor az ő időrése kihasználatlan marad. Ehhez hasonló megközelítés az *FDM (Frequency Division Multiplexing, frekvenciaosztásos nyalábolás)*, azzal az eltéréssel, hogy itt az idő helyett a csatorna sávzélességét osztják fel annyi részre, amennyi állomás kapcsolódik a csatornára.

Sem az *FDM*, sem a *TDM* nem jó megoldás abban az esetben, amikor a csatornára kapcsolt állomások száma nem állandó, hanem folyamatosan változik. Ha példának okéért a sávzélességet N egyenlő részre osztjuk, és egy adott pillanatban N -nél kevesebb számú állomás szeretne kommunikálni, akkor a sávzélesség egy része kihasználatlan marad. Súlyosabb a probléma akkor, ha N -nél több felhasználó szeretne dolgozni a hálózaton. Ilyenkor elő fog fordulni, hogy valaki számára nem marad szabad sáv, és ebben az esetben akkor sem lesz képes forgalmazni, ha esetleg egyes állomá-

sok éppen nem használják a csatornát. Az *FDM* (és ugyanaz igaz a *TDM*-re is) akkor sem lehet hatékony megoldás, ha minden időben N darab állomás van a csatornára kötve. Ugyanis ha egy állomás nem használja a csatornát, akkor az ő sávja kihasználatlanul marad, mivel egyik állomás sem veheti igénybe a másikhoz tartozó frekvenciatartományt. A legnagyobb visszaesés a hatékonyság terén akkor tapasztalható, amikor az információ áramlása löketes jellegű (a maximálisan forgalmazható adat mennyisége jóval nagyobb az átlagosnál), mivel az egyes frekvenciasávok legtöbbször kihasználatlanul maradnak.

A 70-es években kidolgoztak egy akkor új megoldást a csatorna kiosztásának problémájára. Ez a fejlesztés az *ALOHA* nevet kapta, amelyet eredetileg rádiós üzenetszórásos rendszerekhez alkottak meg, de remekül működik minden megosztott csatornán.

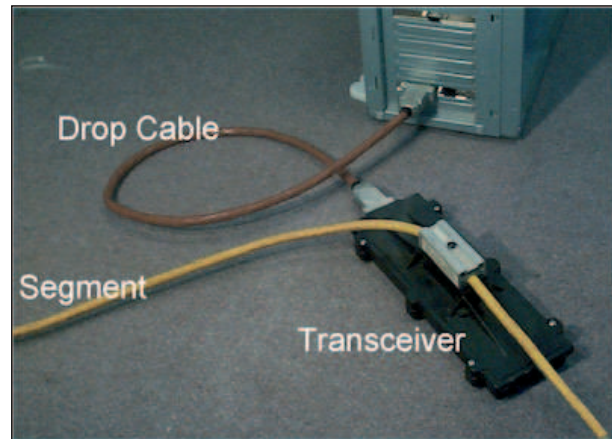
Az *ALOHA* alapötlete az, hogy minden állomás bármikor, bármennyit adhat. Ha két állomás egyszerre kezdi ezt el, akkor úgynevezett *ütközés* lép fel, és az állomások hibás kereteket fognak kapni. Minden állomás képes észlelni az ütközést, mivel a keretek ellenőrzőszáma helytelen lesz. Ha a küldő állomás azt tapasztalja, hogy a keret elküldésével egy időben más is adott, akkor véletlenszerű ideig várakozik, majd megkísérli ismét forgalmazni a szóban forgó keretet.

Jogosan merül fel a kérdés, hogy mennyire lehet hatékony ez a módszer. Tegyük fel, hogy minden keret ugyanolyan méretű. Egy keret akkor nem fog elszervenvedni ütközést, ha más állomás nem próbálkozik vele egyszerre egy másik keret elküldésével. Ha egy keret elküldése t időbe telik, és a keretet a t_0 időpontban bocsátottuk a csatornára, akkor egyik állomásnak sem szabad a $t_0 + t$ időpontig adni. Egy keret sértetlenségének másik fontos előfeltétele az, hogy a küldés pillanatában ne legyen más keret a csatornán. Mivel minden állomás bármikor adhat (anélkül, hogy megnézné, van-e forgalom a csatornán), ezért a keret akkor is megsérül, ha bármely más állomás adott a $t_0 - t$ és $t_0 + t$ időintervallumban. Különböző valószínűségszámítási módszerekkel kiszámolható, hogy az *ALOHA* csatorna-kihasználtsága 18%. Ez valóban elég soványnak tűnik, de ahhoz képest nem olyan rossz az eredmény, hogy az állomásoknak egyébiránt nem kell egymáshoz alkalmazkodniuk, mindenki akkor ad, amikor csak szeretne.

Ez a csatorna-kihasználtsági arány megduplázható úgy, hogy az időt felosztjuk egyenlő szakaszokra, amelyek mérete megegyezik egy keret elküldési idejével. Ezután az állomások kizárólag egy ilyen időszak kezdetén küldhetnek kereteket a csatornára. Ehhez persze az kell, hogy minden állomás szinkronban legyen a többivel, azaz előre megállapodjanak a szakaszhatárok helyében. Erre az egyik lehetséges módszer az, hogy egy előre kijelölt állomás az egyik időszak kezdetén speciális jelet küld a csatornára. Ezt a többiek érzékelik és ehhez hangolják saját órájukat. Ez az úgynevezett *réselt ALOHA*.

Csatornafigyelő protokollok

Nehéz az *ALOHA*-nál jobb megoldást találni abban az esetben, amikor az állomások nem tudják ellenőrizni, hogy éppen forgalmaz-e valaki más is a csatornán. A *LAN-ok* esetében az egyes állomások azonban érzékelik a forgalmat, ezért lehetőség kínálkozik olyan protokollok használatára



2. ábra

is, amelyek tekintettel vannak a többi állomás működésére is. Ezeket nevezzük *csatornafigyelő protokolloknak*, amelyek – nem meglepő módon – jóval hatékonyabbak az *ALOHA*-nál. Az állomások azon képességét, amely segítségével érzékelni tudják, hogy éppen foglalt-e a csatorna, *vivőjel-érzékelésnek* nevezzük.

A legegyszerűbb csatornafigyelő protokoll az 1-perzisztens CSMA (*Carrier Sense Multiple Access, vivőjel-érzékelés többszörös hozzáféréssel*). Működése egyszerű: ha egy állomás küldeni akar, de a csatorna foglalt, akkor addig vár, amíg az fel nem szabadul. Amint ez bekövetkezik, az állomás útnak indítja a keretet. Ha ütközés lép fel, akkor véletlen ideig várakoznia kell, majd ismét meg kell próbálnia elküldeni a keretet. Az „1-perzisztens” kifejezés azt jelenti, hogy amint felszabadul a csatorna, az adásra kész állomás pontosan 1 valószínűséggel (azaz biztosan) fog keretet küldeni. Láthatjuk, hogy ez egy meglehetősen türelmetlen protokoll. Eme tulajdonsága némiképp csökkenti a csatorna hatékony kihasználását. Ha ugyanis két állomás is adásra kész állapotban van, akkor amint felszabadul a csatorna, mindketten egyszerre kezdenek el adni. Ez értelemszerűen keretütközéshez vezet.

Ennek kiküszöbölésére megoldás lehet a *nemperzisztens CSMA* használata. Ez már egy kicsit türelmesebb protokoll, azaz ha a csatorna foglalt, nem figyel folyamatosan, hogy az mikor szabadul már fel, hanem véletlen ideig vár. Ha ekkor már szabad a csatorna, akkor adni kezd, ha nem, akkor valamennyit ismét várakozik. Ezzel a módszerrel valóban nő a csatorna kihasználtsága, viszont ennek ára van: az állomás nagyobb késleltetésekkel küldi a kereteket.

Jobb megoldást kínál a *p-perzisztens CSMA* protokoll. Hasonlóan a *réselt ALOHA*-hoz, itt is csak meghatározott időközönként szabad kereteket küldeni. Ha valaki adni szeretne, akkor először bele kell hallgatnia a csatornába, hogy van-e rajta forgalom. Ha nincs, akkor p valószínűséggel adni fog, vagy $q = p - 1$ valószínűséggel várakozik a következő időrés kezdetéig.

Fokozhatjuk a hatékonyságot azzal, hogy az adó állomásokot képessé tesszük a keretek ütközésének érzékelésére. Erre a legjobb módszer a csatornán észlelhető jelek impulzushosszának és feszültség szintjének figyelése, ezeket utána össze kell hasonlítani a kibocsátott jellel. Ha nem egyeznek,



3. ábra

akkor minden bizonnyal keretek ütközéséről van szó. Ilyenkor fel kell függeszteni a keret küldését, majd az adás véletlen idejű várakozás után kísérlelhető meg újból. Ezzel a módszerrel működik a *CSMA/CD (CSMA with Collision Detection, CSMA ütközésérzékeléssel)* protokoll, amely időt takarít meg azzal, hogy a biztosan sérült keretek küldésének idejét megspórolja.

Vessünk egy pillantást az 1. ábrára, amely a *CSMA/CD* működését mutatja be akkor, amikor két állomás időben egyszerre ad. A t_0 időpillanatban még csak az A állomás kezd el a keret küldését. A t_1 időpillanat annyira közel van a t_0 -hoz, hogy a kicsit távolabb lévő C állomás még nem érzékelte, hogy az A adni kezdett, így ő a csatornát még szabadnak érzékeli. A t_2 időpontban a C állomáshoz megérkeznek az A által küldött keret első bitjei. Mivel ezek „összekeveredtek” a C által küldött bitekkel, ezért ütközés áll fenn, így a C azonnal befejezi a keret küldését. Az A ekkor még tovább küld, mivel ő még nem érzékelt az ütközést. Kicsit később az A is észleli, hogy nem az van a csatornán, amit ő küldött, így azonnal be is fejezi az adást.

Az IEEE 802.3 szabvány

Ez egy 1-perzisztens *CSMA/CD* protokollt definiáló szabvány, amely a legelterjedtebb a LAN-ok világában. Az első ilyen hálózatot a Xerox építette, amely egy 1 km-es kábel segítségével több mint száz állomást kapcsolt össze, és mintegy 2,49 Mb/s-os sebességre volt képes. Ezt a rendszert *Ethernet-nek* nevezték el. (Ez az megnevezés a luminiferous éter kifejezésből ered, amely a XIX. századi fizikusok vélekedése szerint kitölti az egész teret, és lehetővé teszi az elektromágneses hullámok terjedését).

Az *Ethernet* hamar sikeres lett, és a Xerox sok más céggel együttműködve (például az *Intel-el* és a *DEC-el*) létrehozta a 10 Mb/s-os *Ethernet* szabványt. Ez 1983-ban történt, azonban azóta sokat fejlődött a technika. 1995-ben egy új *Ethernet* szabványt vezettek be, a *Fast Ethernet-nek* nevezett, amely már 100 Mb/s-os átviteli sebességre is képes volt. A *Fast Ethernet-re* a későbbiekben még részletesen kitérünk.

Ethernet ábelezés

Maga az „ether”, vagy magyarul éter szó a kábelezésre utal, ezért hamarjában nézzük is meg, milyen módon köthetjük számítógépeinket egy *Ethernet* hálózatba. Az első kábeltípus a *10Base5*, avagy polgári nevén *vastag Ethernet*, amely valóban egy igen vastag koaxiális kábel. Előnye, hogy egy kábelre akár száz gépet is felfűzhetünk, és meglehetősen hosszú, akár 500 méteres szegmenseket is létrehozhatunk. Ebből kifolyólag ez a típusú megoldás leginkább gerinchálózatnak alkalmas. Hátránya azonban, hogy drága, és nehézkes telepíteni. A 2. ábrán láthatjuk, hogy miként kapcsolhatjuk az állomásokat egy ilyen kábelre. Ehhez egy adó-vevőre (*transceiver*) van szükségünk, amely a kábelhez csatlakozik, mégpedig úgy, hogy egy tűskét mélyeszt a kábel fém magjába (szokás ezért vámpír-csatlakozónak is hívni). Az adó-vevő feladata a vivőjel érzékelése, illetve a keret-ütközések felfedezése.

Ezt az eszközt az állomással egy másik kábel köti össze, amely a számítógépbe szerelt vezérlő-kártyához csatlakozik. Ennek az áramkör arra való, hogy az adatkapcsolati réteg számos feladatát ellássa: kereteket kell küldenie és fogadnia, ellenőrző összegeket kell kiszámítania, stb.

A következő kábeltípus a *vékony Ethernet*, vagy hivatalos nevén a *10Base2*. Ez az előbbinél egy jóval vékonyabb koaxiális kábel, ezért egyrészt olcsó, másrészt könnyebben hajlítható. Ebből adódóan könnyebben el lehet vezetni például a fal mellett. Hátránya viszont a *10Base5*-höz képest az, hogy legfeljebb csak 200 méter hosszú szegmensek kialakítására alkalmas, és egy ilyen szegmens nem több, mint 30 állomást tartalmazhat.

Az állomások bekötése viszont egyszerűbbé vált. A kábelt egy nem túlzottan bonyolult, *T alakú BNC-nek* nevezett csatlakozóval kapcsolhatjuk a géphez. A vivőjelet és az ütközést érzékelő elektronika így az állomás (*hálózati illesztő*-kártyájára került. Ennek köszönhetően az ilyen kábelezésű hálózatok telepítése, illetve újrakonfigurálása sokkal egyszerűbb feladat, mint az a *10Base5* esetében. Mindkét kábelezésnek van azonban egy súlyos hiányossága: nehéz a hibakeresés. Ha a kábel valahol megtörik, vagy egy csatlakozó meglazul, akkor egyrészt sorban ellenőrizni kell az összes állomást, másrészt a hiba az összes állomásra kihat. Ez azt jelenti, amíg meg nem találjuk a probléma forrását, addig az egész hálózatunk használhatatlan állapotban van. Ennek kiküszöbölésére született meg a *10Base-T* elnevezésű kábelezés, ahol minden géptől egy külön csavart érparú kábel vezet az úgynevezett *elosztóhoz (hubhoz)*. Talán



Szavazz a CD-mellékletéről!

Tavasszal „Szerkeszd te is a Linuxvilágot!” felhívással egy on-line kérdőív kitöltésére kértük olvasóinkat honlapunkon, melynek értékelése a júliusi számban jelent meg (a bővebb változat honlapunkon is elérhető <http://www.linuxvilag.hu/hir/1022/711.html>). Az eredmény alapján készítettünk egy tervezetet a CD-mellékletre vonatkozó változtatásokról. Ennek megvalósításáról a Ti szavazataitok fognak dönteni, ezért kérünk mindenkit, hogy válaszoljon 3 kérdésre ezen az oldalon:

http://www.linuxvilag.hu/kerdoiv_cd

nem kell ecsetelnünk, hogy ez a megoldás mennyire megkönnyíti új állomások telepítését, illetve a hálózatból régiek eltávolítását. Hátránya az, hogy a *hub* és az állomások között a maximális távolság csak 100, esetleg 150 méter lehet. Ezenkívül az elosztók ára sem mindig a legbarátságosabb. Ennek ellenére ma már ez a kábelezési forma a legnépszerűbb. A 100 Mb/s-os sebességű *Fast Ethernet* hálózatok is ezt használják, igaz, ennek egy gyorsabb változatát, a *100Base-T-t*. A negyedik és egyben utolsóként említett kábelezési lehetőség a *10Base-F*, amely üvegszálakat használ az állomások összekapcsolásához. Ez rendkívül drága megoldás, ugyanakkor a nagy zajtűrés miatt hihetetlenül jó minőséget biztosít. Abban az esetben érdemes ezt használni, amikor viszonylag nagy távolságot szeretnénk áthidalni. Példának vehetjük azt az esetet, amikor az összekötni kívánt gépek két külön épületben vannak. Akármelyik kábelezési eljárást is alkalmazzuk, a távolságok behatároltak lesznek. Ha valami oknál fogva arra van szükség, hogy a megengedettnél nagyobb kiterjedésű LAN-t építsünk, akkor úgynevezett *ismétlőkre (repeaters)* lesz szükségünk, amelyek felerősítik a rajtuk átmenő jeleket. Fontos lehet tudni, hogy ezek az eszközök a fizikai réteg szintjén dolgoznak, azaz nem tesznek mást, mint minden irányban megismélik az általuk kapott a jeleket. Vannak olyan eszközök, amelyek képesek a „magasabb” szinten lévő struktúrákkal is foglalkozni, például a keretekkel vagy a csomagokkal. Ilyen például a *híd* vagy az *útválasztó (router)*, amely eszközökkel a későbbiekben részletesebben is foglalkozunk.

Az Ethernet MAC protokollja

Nézzük meg felszínében, a gyakorlat során miként is működik az *Ethernet*. Kezdjük a keretek felépítésének bemutatásával! A 3. ábrán láthatunk erre egy példát. Szürkével jelöltük az úgynevezett előtagot, amelynek értéke mindig 10101010. (Nem véletlen, hogy az előtagban mindegyik bit különbözik a szomszédaitól. A 802.3 szabványok úgynevezett *Manchester* kódolást alkalmaznak, amely segítségével az állomások meg tudják különböztetni a logikai 0-t a csatorna forgalom-mentes állapotától. Az ilyen minta *Manchester* kódolása lehetővé teszi, hogy a vevő az óráját az adóéhoz szinkronizálja). Ezután a keret kezdetét kijelölő bájttal következik.

A következő két mező a cél, illetve a forrás cím, amelyek 48 bitből állnak. Lehetőség van arra, hogy egy keretet ne csak egy gépnek címezzünk. Erre szolgál a cél címének legfelső helyiértékű bitje, amelynek ha 1 az értéke, akkor a célcím csoportcímként értelmezhető. Ilyenkor a keret minden olyan állomáshoz eljut, amely tagja a kérdéses csoportnak. Ez az úgynevezett *többes küldés (multicasting)*. Lehetőség kínálkozik arra is, hogy a hálózatba tartozó összes géphez elküldjük a keretet. Ilyenkor beszélünk *adatszórásról (broadcasting)*, és ebben az esetben a célcím minden bitjét 1-re kell állítanunk.

A címbitek közül mindenképp ki kell még emelnünk a 46. bitet, amely az előbb tárgyalt legmagasabb helyiértékű bit szomszédja. Ez mondja meg ugyanis, hogy a kérdéses cím helyi vagy globális. A helyi címek értelemszerűen csak az adott hálózaton belül érvényesek, és ezeket a hálózatot üzemeltető személyek jelölhetik ki. Más a helyzet a globális cí-

mek esetén, mivel ezeket egy központi szervezet (az *IEEE*) határozza meg, méghozzá úgy, hogy a világ összes hálózati kártyája egyedi *MAC* címmel rendelkezzen.

Ezután következik az adatmező hosszát tartalmazó mező. Egy *Ethernet* keret legfeljebb 1500 bájtnyi adatot tartalmazhat. Az adatmező méretének elméletileg nincs alsó korlátja, de a 0 hosszúságú adatmezők a gyakorlatban két ok miatt mégsem megengedettek.

Az első ok az, hogy amikor az állomás adó-vevője keret-ütközést érzékel, nem küldi el a keret hátralévő részeit. Így a kábelen sok félig elküldött keret lesz jelen. Mivel ezeket a csonka kereteket valahogy meg kell különböztetni a sértetlenektől, ezért a szabvány azt írja elő, hogy minden keretnek legalább 64 bájttal kell hosszúnak lennie. Ha ebből levonjuk a keret többi részének méretét, akkor azt kapjuk, hogy legalább 46 bájtnyi adatot kell minden keretnek tartalmaznia. Ha mégis kevesebb volna az elküldendő adat, akkor egy úgynevezett töltelék mezőt kell bevezetni az adatmező után (az ábrán ezt nem tüntettem fel).

A túlságosan rövid keretek tiltásának másik oka ennél sokkalta nyomósabb. Ha a *LAN-unk* elég nagy, akkor előfordulhat, hogy egy 64 bájtnál rövidebb keret küldése előbb befejeződik, mint ahogy annak eleje a hálózat legtávolabbi részéhez elérne. Ha a hálózat „határvidékén” egy állomás szintén egy keret küldésével próbálkozik (mit sem sejtve arról, hogy már úton van felé egy másik), keret-ütközés fog fellépni. Ezt érzékelni is fogja, és ennek következtében meg is szakítja saját keretének küldését. A probléma azonban az, hogy a többi állomás is érzékelni fogja a keret-ütközést, így egyik keret sem fog célba érni. A rövid keretet küldő állomás azonban az ütközésről csak a saját keretének elküldése után értesül, azaz azt fogja feltételezni, hogy az sértetlenül megérkezett.

Mivel az ilyen helyzetek téves működést eredményezhetnek, ezért kiszámolták, hogy a szabványban meghatározott maximális méretű hálózaton (2500 méter, 4 ismétlővel), mekkorának kell lennie a legkisebb keret méretének, hogy ne jelentkezessen a fentebb említett probléma. Arra az eredményre jutottak, hogy egy keret elküldésének legalább 51,2 μ s-ig kell tartania. Ez pontosan 64 bájttal utárbocsátásához elegendő idő.

Fontos megjegyeznünk, hogy ez az érték csak a 10 Mb/s-os *Ethernet* hálózatok esetében ennyi. Ha a hálózat sebessége nő, akkor nagyobb minimális keretméretet kell megnövelni, vagy a maximális kábelhosszúságot szükséges csökkenteni. Összehasonlításként megemlíthetjük, hogy egy 2500 méteres 1 Gb/s-os sebességű hálózat esetén a legkisebb megengedett keret méretét 6400 bájtra kell növelni.

Az *Ethernet* keretek legutolsó mezője az ellenőrzőösszeget tartalmazza, amely a keret sértetlenségéről tanúskodik, vagy éppenséggel jelzi a zavart. Ennek segítségével tudjuk kiszűrni a vezetéken keletkező zajok okozta átviteli hibákat. Az ellenőrzőösszeg kiszámításához a *CRC* algoritmust használják. A következő részben tovább taglaljuk az *Ethernet* hálózatok felépítését. Szó esik még a *hidakról* és a nagy sebességű hálózatokról is. Ezután megismerkedünk az egyetlen olyan WAN hálózattal, amelyik szintén adatszóró csatornát használ: a műholdas hálózattal.

Garzó András