



Ethernet hálózatok

Számítógép-hálózatok

Dr. Lencse Gábor
egyetemi tanár

Széchenyi István Egyetem, Távközlési Tanszék

lencse@sze.hu



Tartalom

- Történeti áttekintés
- Fizikai közegek és csatlakozók
- Kódolás és MAC protokoll
- Keretszerkezet, címezés, keretek hibái
- Ethernet hálózatok aktív elemei
- Ethernet hálózatok fejlődése
- Feszítőfa, VLAN, PoE

ÁTTEKINTÉS

Nagyon rövid történet

- Eredetileg DIX (DEC, Intel, Xerox) szabvány
- IEEE 802.3x szabványok sora
- Fajtaíra szabványos jelölések
 - 10Base2, 10Base5: 10Mbps, koaxiális kábel, busz topológia; *2017-től a részleteit már nem tanítom!* 😊
 - 10Base-T: 10Mbps, csavart érpár, csillag topológia, főleg a továbbiak elődjeként érdekes 😊
 - 100Base-TX/FX: 100Mbps, csavart érpár / üvegszál
 - 1000Base-T/SX/LX: 1000Mbps, ...
 - 10GBase-T/SR/LR/... 25G/40G/100G/400G...

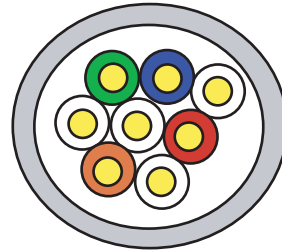
FIZIKAI KÖZEGEK ÉS CSATLAKOZÓK

A korszerű(bb) változatok kábelei

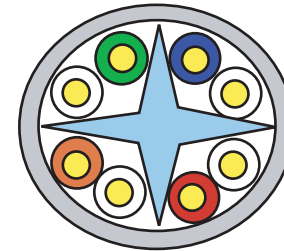
- Csavart érpáras kábelek (4 érpár) változatai, az alábbi jellemzőkkel
 - Kategória: az átvitt jel sáv szélessége szerint
 - Cat5/Cat5e: 100MHz / + áthallás
 - Cat6/Cat6a: 250MHz / 500 MHz
 - Cat7/(Cat7a): 600MHz / (1000MHz, 2000MHz)
 - Cat8: 2000MHz
 - Felépítés: árnyékolás fajtája vagy hiánya adott helyen
 - kívül egyben / belül érpáronként
 - Jelölések U: nincs, F: fóliával, S: kábelharisnyával
- Üvegszál kábelek
 - Multimódusú (multi mode fiber)
 - Monomódusú / Egyszeres módusú (single mode fiber)

Csavart érpáras kábelek felépítése

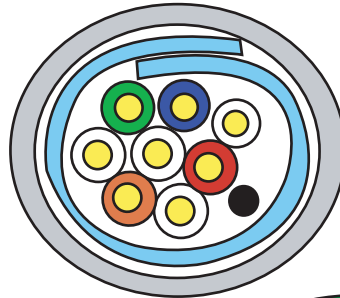
U/UTP



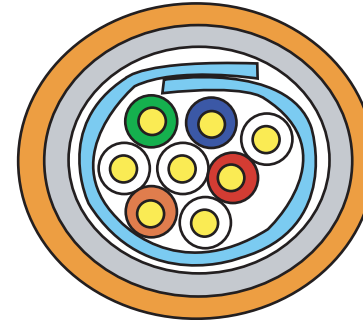
U/UTP (Cat. 6)



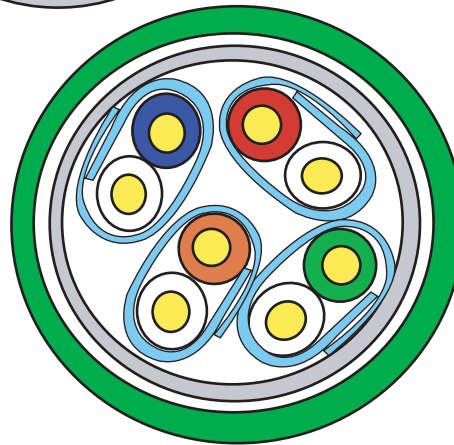
F/UTP



SF/UTP

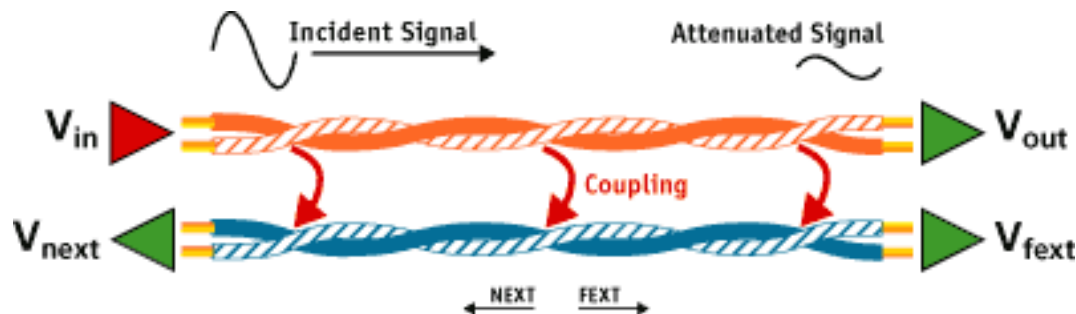


S/FTP (Cat. 7)



Felmerülő problémák

- Csillapítás (attenuation)
- Áthallás
 - Közel-/távolvégi (NEXT/FEXT)
 - Összes párból egy párra (PSNEXT)
 - Védekezés: eltérő sodrási szám, árnyékolás



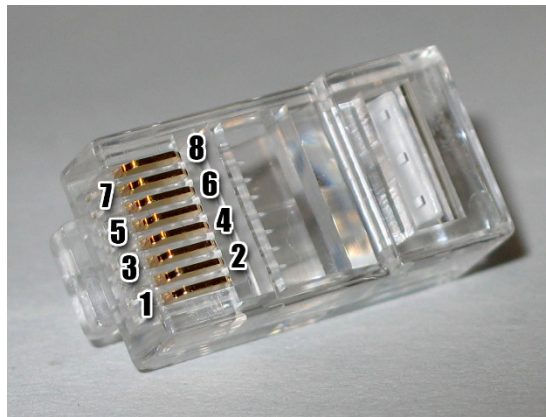
Forrás: <https://www.flukenetworks.com/blog/cabling-chronicles/cable-testing-101-cross-talk-near-and-far>

- Idegen kábelből is lehet (alien cross talk)
- Védekezés: virtuális keresztmetszet növelése, árnyékolás

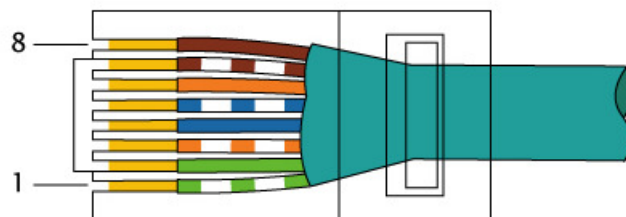
Csavart érpáras kábelek csatlakozója

- **8P8C connector: 8 Position 8 Contact**

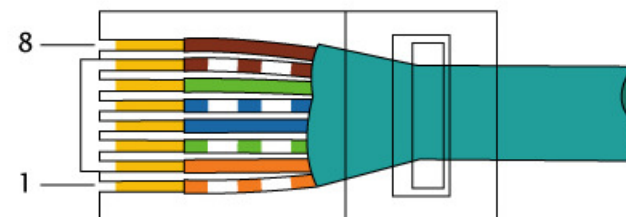
(Ez az RJ45 csatlakozónak a precíz megnevezése. Cat6-ig használjuk.)



- **Bekötési színsorrend szabványok:**



EIA/TIA-568A



EIA/TIA-568B

Csavart érpár 100Mbps-ig

- MDI: Medium Dependent Interface: számítógépek hálózati interfésze. Adás az 1-2, vétel a 3-6 érintkezőkön.
- MDIX: Medium Dependent Interface Crossover: aktív eszközök hálózati interfésze. Adás a 3-6, vétel az 1-2 érintkezőkön.
- Összekötési szabályok:
 - MDI (gép) és MDIX (aktív hálózati eszköz: switch vagy hub) közé egyenes kábel kell.
 - Két azonos típusú interfész közé pedig keresztkábel kell.
 - Az aktív eszközökön régebben (pl. 2000 előtt) volt egy uplink port: MDI, vagy egy port mechanikusan állítható volt: MDI/MDIX. Újabb aktív eszközökön Auto-MDIX: automatikusan a megfelelő típust állítja be, ezzel megszünteti a keresztkábel szükségességét.

Üvegszálak csatlakozói

LC connectors



SC Connector



FC Connector



ST Connector



MT-RJ connector

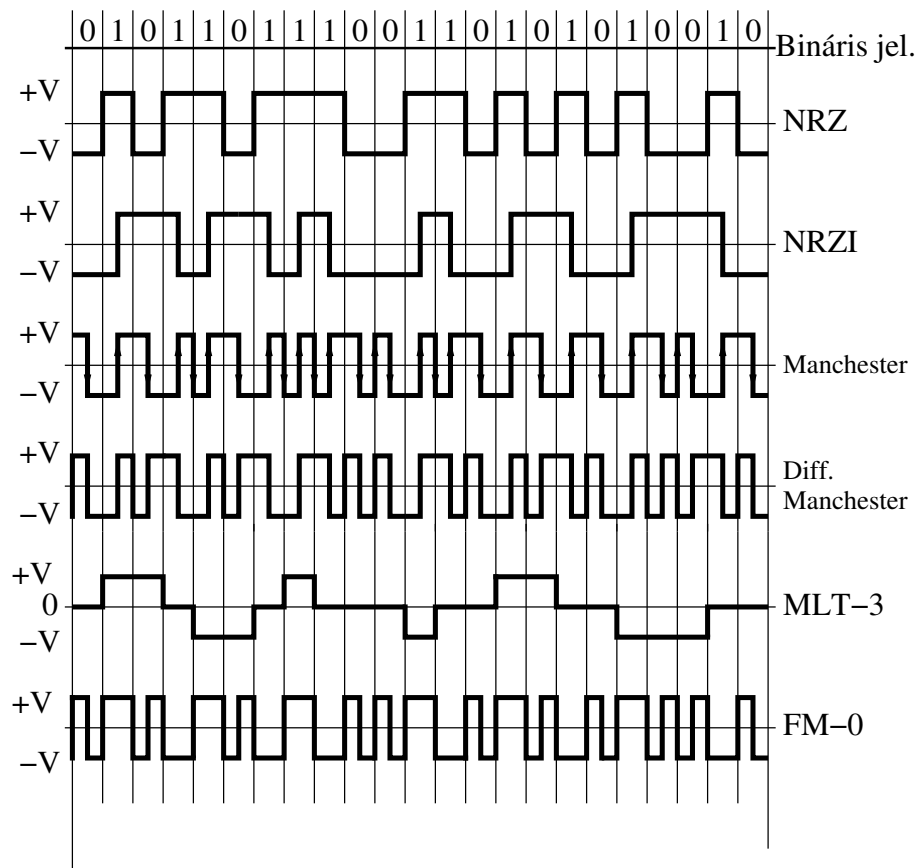


Forrás: <https://www.dlink.co.id/product/optic-fiber-connectors/>

KÓDOLÁS ÉS MAC PROTOKOLL

Kódolási emlékeztető

- Néhány fontosabb alapsávi kódolás példával bemutatva
 - (Most csak a Manchester és az MLT-3 érdekes.)



- Felmerülő problémák
 - Órajel szinkron
 - Szükséges sáv szélesség

Az Ethernet kódolásáról röviden

- 10Base-T (10Base5 és 10Base2 is)
 - Manchester kódolást használ
- 100Base-TX
 - 4bit/5bit kódolás + MLT-3; jelzési sebessége 125 Mbaud
- 1000Base-T
 - Cat5 kábelben rendelkezésre áll 125 Mbaud
 - PAM5 kódolással 2bit/szimbólum: 250 Mbit/s
 - Mind a 4 érpár használatával: 1000 Mbit/s
 - A szuperpozíció elvét kihasználva duplex működésre képes!
 - A vett jelből kivonja a saját adását.
 - Megszűnt az MDI/MDIX!

Az Ethernet kódolásáról röviden

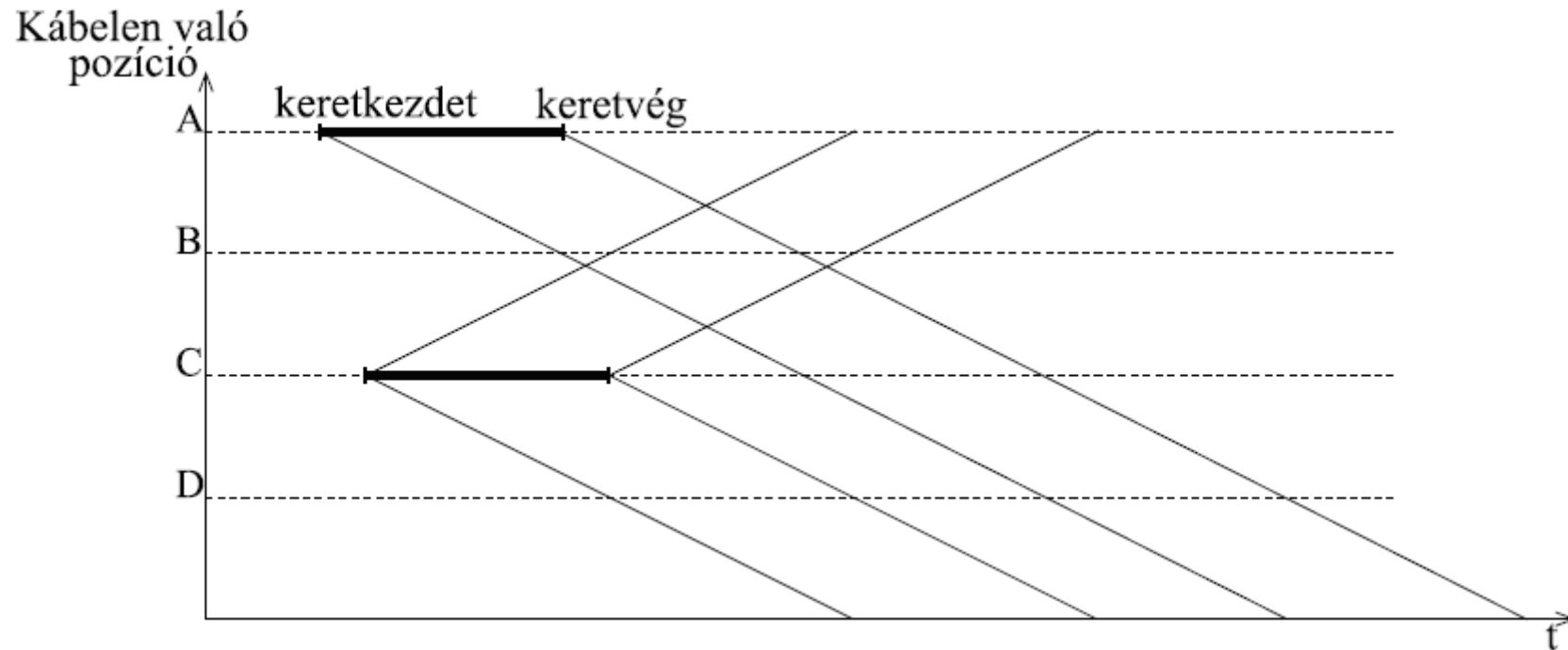
- 10GBase-T
 - Kódolása nagyon bonyolult
 - Különféle előkódolások, hibajavító kódolást is beleértve
 - PAM-16 (v.ö. 1000Base-T: PAM-5)

Medium Access Control – CSMA/CD

- Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD), (1-perzisztens a CSMA benne)
 - Ha egy állomás adni szeretne, belehallgat a csatornába
 - Van-e adás: „vivő” érzékelés (carrier sense)
 - Ha nem érzékel adást, elkezdi küldeni a keretet
 - Ha 2 v. több állomás ad, akkor *ütközés* lép fel, ezt érzékelve (ütközésérzékelés - collision detection) rövid idő (32 bit zavaró jel adása) után mindegyik abbahagyja az adást
 - Bizonyos ($2^n T$ hosszúságú intervallumból választott véletlen) késleltetést követően az állomás újból megkísérli az adást
- A CSMA/CD-hez szükséges, hogy:
 - Vivőt (más állomás adását) érzékeljünk adás előtt
 - Érzékeljük adás alatt, hogy más is ad (collision detection)

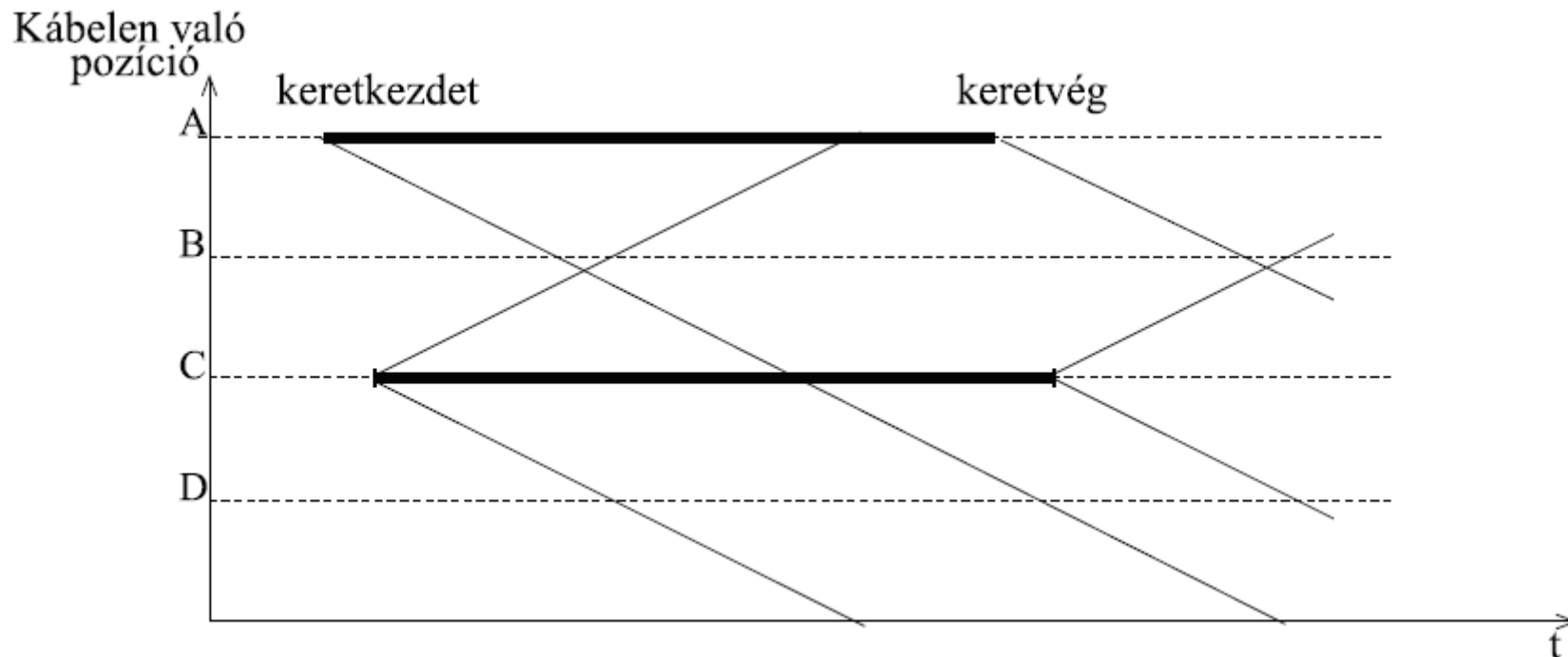
Minimális keretidő szükségessége

- Ütközés túl rövid keretidő esetén



Minimális keretidő szükségessége

- Ütközés jól megválasztott keretidő esetén

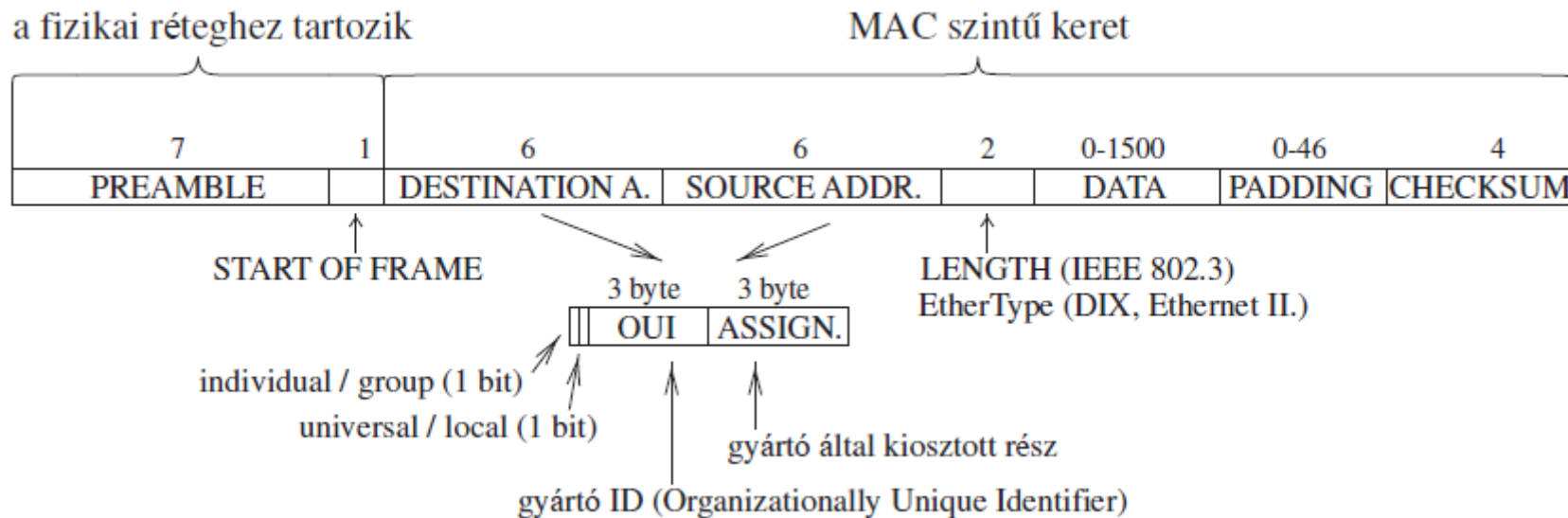


Minimális keretidő becslése

- Ha csak a kábelhosszal számolunk
 - Mi a legrosszabb eset?
 - „A” a kábel egyik végén adni kezd,
 - mielőtt a jel odaérne, „B” a másik végén adni kezd,
 - mielőtt „A” érzékelné „B” adását, „A” befejezi.
 - Jelölések
 - L: kábelhossz
 - c: terjedési sebesség
 - T: keretidő
 - Szükséges minimális keretidő: $T=2L/c$

KERETSZERKEZET, CÍMZÉS, KERETEK HIBÁI

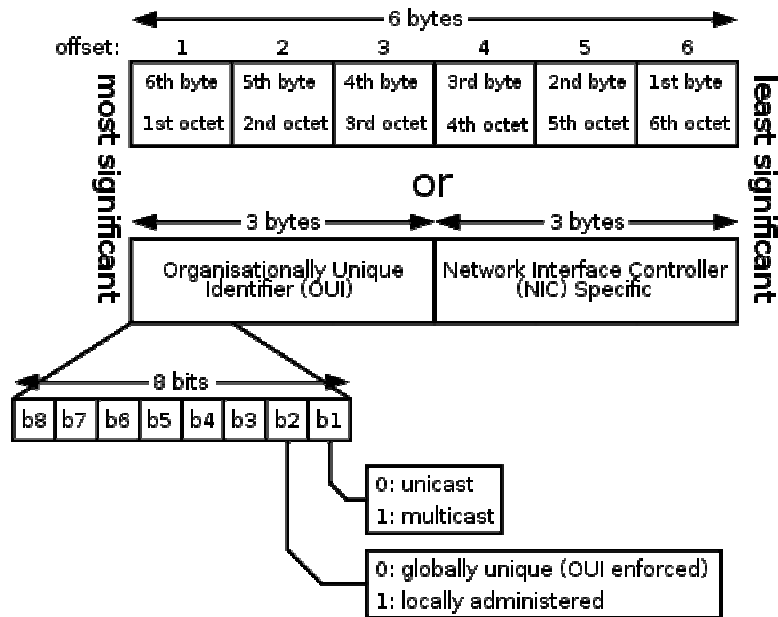
Az Ethernet keretszerkezete



Megjegyzések:

- A fenti ábrán a címekben a bájtok legkisebb helyiértékű bite van elöl!
- Más ábrázolásokon az adatmező hossza 46-1500 bájt.
- A minimális kerethossz (64 byte) a MAC szintű keretre értendő.
- Egy következő keret előtt még 12 bájt hosszú ún. „interframe gap” áll.

Az Ethernet címek felépítése



Forrás: http://en.wikipedia.org/wiki/File:MAC-48_Address.svg

- Az OUI-t az IEEE osztja ki a gyártók részére
- A címek megjelenése a hálózati közegen:
 - MSB: Most Significant Byte first, azaz legnagyobb helyi értékű bájt van elől
 - lsb: least significant bit first: legkisebb helyi értékű bit elől
 - azaz: először Individual/Group, aztán Universal/Local bit, majd a többiek

Ethernet címzési módok – 1

- **unicast** (egyedi címzés)
 - Jelölése: az OUI-ban az első bájt legkisebb helyi értékű bitjének (Individual/Group) értéke 0.
 - A keret a célcímként megadott MAC címmel rendelkező hálózati interfésznek szól.
- **multicast** (csoportcímzés)
 - Jelölése: az OUI-ban az első bájt legkisebb helyi értékű bitjének (I/G) értéke 1, de nem lehet az összes címbit 1-es.
 - A keret az adott csoportba tartozó összes eszköznek szól.
- **broadcast** (üzenetszórás)
 - Jelölése: a cím összes bitje 1.
 - A keret az adott hálózat minden eszközének szól.

A fenti címzési módok csak a célcímre vonatkoznak, a forráscím csak unicast lehet!

Ethernet címzési módok – 2

- Vannak előre definiált Ethernet csoportcímek (*well-known Ethernet multicast address*) bizonyos csoportok/feladatok számára, például IPv4 és IPv6 multicasthoz vagy például switchek/bridge-ek között a *Spanning Tree Protocol*hoz.
 - Példák: http://en.wikipedia.org/wiki/Multicast_address#Ethernet
- Egy hálózati interfész alapértelmezésben mely kereteket vesz?
 - azokat a unicast címre küldött kereteket, ahol célcím az interfész egyedi címe
 - azokat a multicast címre küldött kereteket, amely multicast csoportnak az interfész tagja
 - az összes broadcast címre küldött keretet.
- **Promiscuous mode:** a hálózati interfész olyan működési módja, amikor válogatás nélkül minden keretet vesz.

Ethernet keretek hibái – 1

- Runt
 - A kerethossz kisebb, mint 64 bájt.
 - Leggyakoribb oka az, hogy ütközés miatt az állomások abbahagyják az adást.
 - Hibátlanul működő hálózatban is előfordulhat.
- Jabber („fecsegés”)
 - A kerethossz nagyobb 1518 bájtnál (a 2. rétegben mérve).
 - Keletkezésének lehetséges okai:
 - az állomások nem veszik észre az ütközést
 - adó (hálózati kártya) meghibásodása
 - Minden esetben hálózati hibát jelent.

Ethernet keretek hibái – 2

- Misaligned frame („rosszul elrendezett/igazított” keret.)
 - A keret biteinek száma nem osztható 8-cal.
 - Ha például runt-tal együtt fordul elő, akkor nem jelent hálózati hibát (csak ütközést).
- Bad FCS
 - A számított ellenőrző összeg nem egyezik a vett keret utolsó 32 bitjével.
 - Oka lehet bithiba vagy csonkolódás. Ütközés miatt előfordulhat jól működő hálózatban is, de utalhat hibára is.
 - Például UTP kábelnél elcserélt ér miatti áthallás *full duplex* módban a két irány között.

ETHERNET HÁLÓZATOK AKTÍV ELEMEI

Ethernet szegmensek összekapcsolása

- Az Ethernet szegmenseket összekapcsolhatjuk akár fizikai, akár adatkapcsolati szinten.
- Az összekapcsoláshoz használt eszközöket más névvel illetjük
 - busz topológiájú (10Base5, 10Base2) illetve
 - csillag topológiájú (10Base-T, 100Base-TX, stb.) hálózatoknál

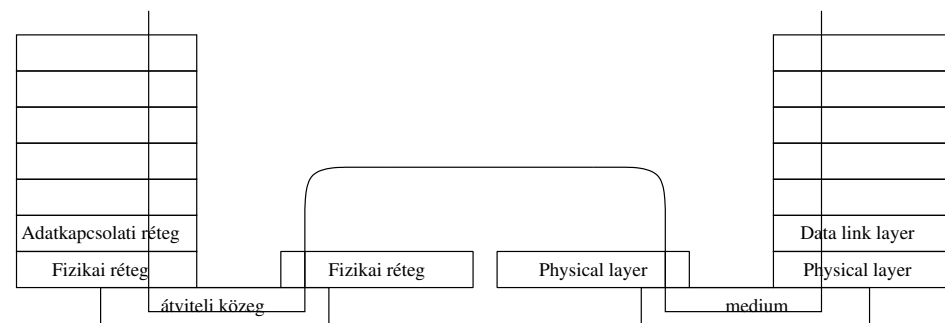
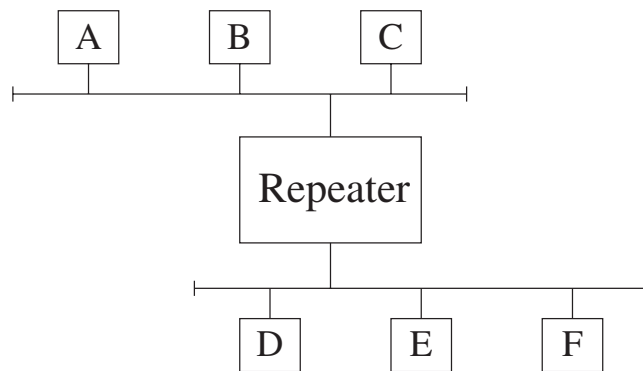
↓ OSI réteg	topológia →	busz (elavult)	csillag
adatkapcsolati		<i>bridge</i>	<i>switch</i>
fizikai		<i>repeater</i>	<i>hub</i>

Megjegyzések:

- Bridge: eltérő típusú hálózatok összekapcsolásának 2. szintű eszköze ma is
- Média konverter: eltérő átviteli közegek 1. szintű összekapcsolására

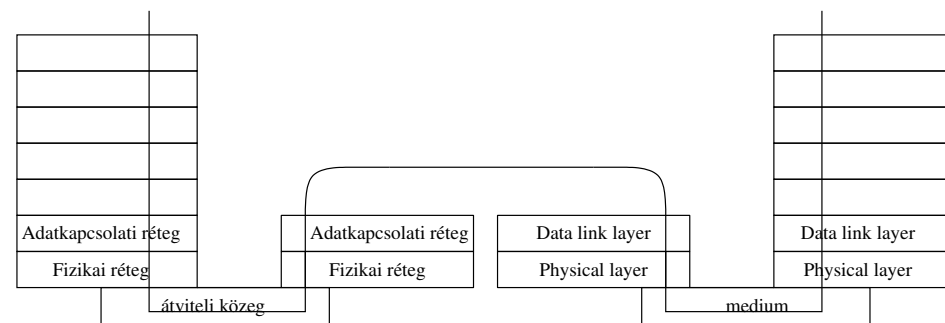
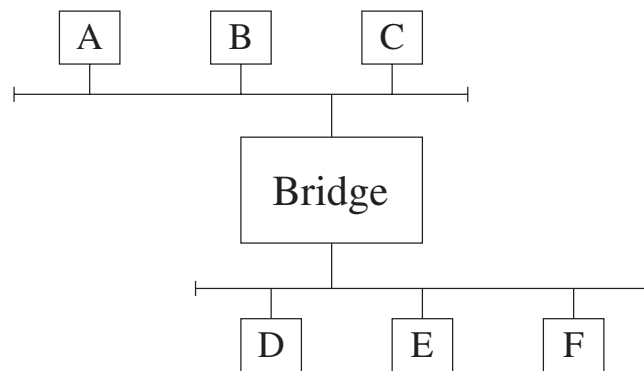
Fizikai szintű összekapcsolás

- A szegmensek fizikai szintű összekapcsolásakor *jelismétlést végzünk*: az egyik szegmensben beérkező jelet (jelregenerálás után) továbbítjuk a másik (vagy többi) szegmensbe és viszont.
 - Bár a lenti ábrán repeater és busz topológia látható, de ugyanígy van hub és csillag topológia esetén is!
- Az összekapcsolt szegmensek állomásai ugyanazon a csatornán osztoznak
 - Például (az alábbi ábrán) ha A üzen B-nek, akkor vele egyidejűleg D már nem üzenhet E-nek, mert ütköznének.



Adatkapcsolati szintű összekapcsolás

- A szegmensek adatkapcsolati szintű összekapcsolásakor külön-külön *mindegyik szegmensben lejátsszuk a MAC protokollt*.
- A bridge (vagy switch) a címek alapján szűr: megtanulja, melyik állomás melyik portján van, és csak akkor továbbít, ha kell.
- Az egyes szegmenseken belüli forgalom a többit nem terheli.
 - Például ha A üzen B-nek, vele egyidejűleg D is üzenhet E-nek.



A switchek működési módjai

- A switchek funkcionalitásukban megfelelnek a bridge-eknek, de többféle működési módjuk van:
 - **store and forward**: végigveszik és tárolják a keretet, majd a MAC protokoll szabályai szerint továbbítják (ez felel meg a bridge-eknek)
 - **cut-through**: elkezdik venni a keretet, majd kis késleltetéssel (a célcím megállapítása után) a MAC protokoll szabályai szerint továbbítják
 - **adaptive**: a fenti két mód közül a forgalomnak megfelelőt használják: kis forgalom esetén cut-through üzemmódban működnek, majd ha az ütközések másodpercenkénti száma meghalad egy korlátot, átváltanak store and forward üzemmódra. Ha az ütközések száma lecsökken, akkor természetesen ismét cut-through üzemmódra váltanak.

Ütközési és szórási tartományok

- ***collision domain***: ütközési tartomány: azok az állomások tartoznak bele, amelyek keretei ütközhetnek;
 - ezek azonos, vagy repeaterekkel/hub-okkal összekapcsolt szegmenseken vannak.
 - Elválasztásra használhatók: bridge-ek, switchek.
- ***broadcast domain***: azok az állomások tartoznak bele, amelyek broadcast üzenettel egymást el tudják érni.
 - A repeater, hub, bridge, switch eszközök mindegyike továbbítja a broadcast-okat.
 - Elválasztásra routert vagy VLAN-t lehet használni.

ETHERNET HÁLÓZATOK FEJLŐDÉSE

Nagy vonalakban

- Eredetileg: 10Base5 és 10Base2 (koaxiális kábel)
- 10Base-T újítása a csavart érpár
- 100Base-TX/FX(/T4/T2) – 10x sebesség
- Aztán újra és újra 10x sebesség:
 - 1Gbps, 10Gbps, 100Gbps
 - Létezik 2.5, 5, 25, 40, 50, 200 és 400Gbps is
- A keretszerkezetet megtartották
- A CSMA/CD Gigabitnél már egyre problémásabb
 - Túl sok bitet lehet leadni a kábelén való terjedés sebességéhez képest ($T=2L/c$).

Nagy vonalakban

- 10GBase-T jelentős változások
 - Megszűnt a CSMA/CD (nincs osztott közeg)
 - Csak full duplex
 - Nincs hub, csak switch!
- Távolság
 - 100m-hez Cat6a kábel kell
 - Cat6-on is megy, de csak kisebb távolságig

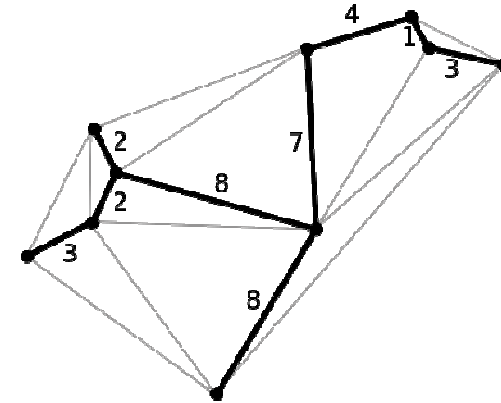
Hol tartunk, merre megyünk?

- Számítógépeink:
 - Tipikus PC: 10/100/1000Mbps (auto-negotiation)
 - Egyszerűbb szerver: 4x 1Gbps
 - Jobb szerver: (2x) 10Gbps is van rajta
- Elterjedtek a 40Gbps és 100Gbps eszközök is
 - 25Gpbs terjedőben, ára 10G alá ment
- „Terabit Ethernet” 100Gbps fölöttiek neve
 - 200G, 400G már szabvány, 800G, 1.6T tervben
- Carrier Class / Carrier Grade Ethernet
 - Ethernet használata a hozzáférési hálózatban is

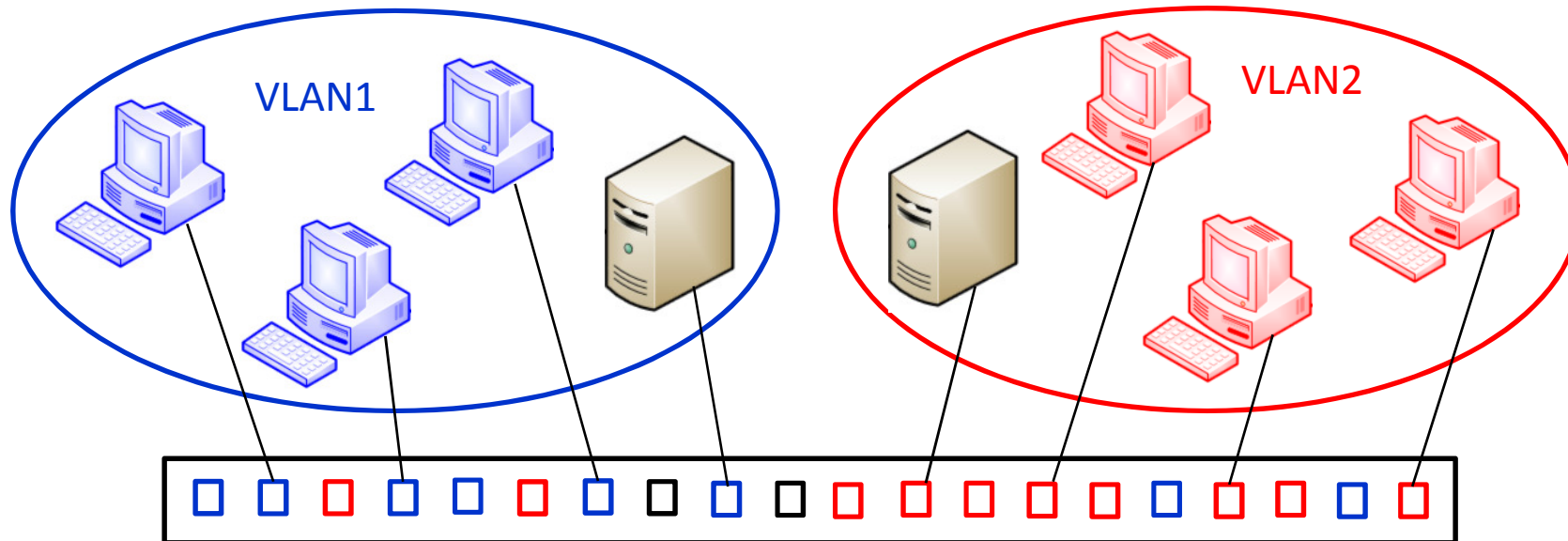
FESZÍTŐFA, VLAN, PoE

IEEE 802.1D Spanning Tree Protocol

- A feszítőfa fogalma
 - Egy gráf éleinek olyan halmaza, amely a gráf minden csomópontját összeköti.
- A feszítőfa protokoll
 - 2. szintű aktív eszközök által kialakított, potenciálisan hurkot tartalmazó gráfot körmentessé tesz azáltal, hogy csak valamely feszítőfa mentén van kerettovábbítás.
 - Különösen fontos a broadcast üzenetek szempontjából, de hasznos a minimális költségű út megtalálása is.
 - A redundáns gráf élek a meghibásodások esetén hasznosak.
 - A 01:80:C2:00:00:00 multicast MAC címet használja, EtherType: 0x0802



Virtuális LAN-ok fogalma



- Feladat:
 - Az azonos színű gépek érik el egymást és a hozzájuk tartozó szervert, de eltérő színű gépek ne érik el egymást, és a másik csoport szerverét.
- Megoldás:
 - A kék színű gépek, és a szerverük portjai legyenek a VLAN1-ben, a piros színű gépek és a szerverük portjai pedig legyenek a VLAN2-ben.

VLAN-ok előnyei

- Az egyes VLAN-ok broadcast forgalma nem terheli a többi VLAN-t.
- Véd az eltérő VLAN-ban levő gépek lehallgatása ellen.

Hogyan valósítható meg a VLAN?

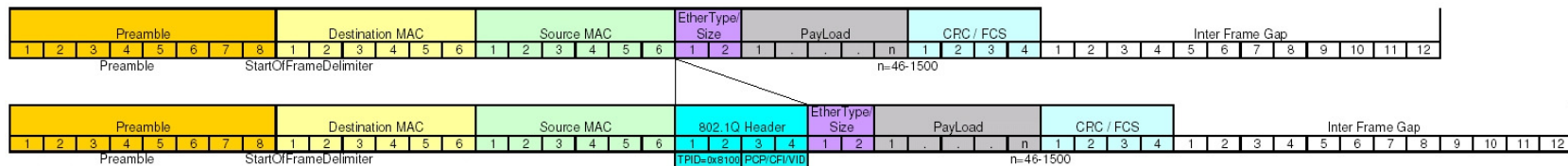
- Ha egy switchünk van, akkor a portjaira különböző VLAN ID-ket beállítva elérhetjük, hogy az eszközt a felhasználók számára érzékelhetően több switchként használhassuk: az azonos VLAN ID-jű portok egy-egy virtuális switchet alkotnak.
- Gondolkodtató: Egyetlen switch esetén a VLAN ID-ket a menedzsment felületen beállítva a switch teszi a dolgát: a kívánt működést elértük; a helyzet olyan, mintha több switchünk lenne. Mi van több switch esetén, ha a fizikai topológiától eltérő logikai topológiát szeretnénk? Meg szeretnénk adni, hogy mely switch mely portjai tartozzanak egy-egy VLAN-ba. Hogyan tudjuk ezt egy több eszközből álló rendszerben megvalósítani?

VLAN megvalósítások

- Több gyártó specifikus protokoll is létezik, például:
 - Cisco: ISL (Inter-Switch Link)
 - 3Com: VLT (Virtual LAN Trunking)
- Az elterjedt szabványos megoldás
 - IEEE 802.1Q VLAN Tagging

IEEE 802.1Q VLAN Tagging – 1

- Az IEEE 802.1Q (VLAN Tagging) nem beágyazást használ, hanem *mezők beszúrásával módosítja az Ethernet keretszerkezetet*:



Forrás: http://en.wikipedia.org/wiki/File:TCPIP_802.1Q.jpg

- A fenti ábrán bemutatott módon a forrás MAC-cím és az EtherType mező közé kerül az *IEEE 802.1Q header*.
- Következmények:
 - a keret mérete 4 bájtal nő (így a max. keretméret is változik!)
 - az ellenőrző összeget újra kell számítani.

IEEE 802.1Q VLAN Tagging – 2

- Az IEEE 802.1Q header felépítése:
 - **TPID: Tag Protocol Identifier:** 16 biten a 0x8100 érték, az EtherType "helyén" jelzi, hogy IEEE 802.1Q-t használunk.
 - **TCI: Tag Control Identifier:** (az alábbi mezőkből áll):
 - **PCP: Priority Code Point:** 3 biten IEEE 802.1p prioritás adható meg: 0: best effort, 7: a legmagasabb.
 - **CFI: Canonical Format Indicator:** 1 bites mező: az értéke ha 0, akkor a MAC címek kanonikus formátumúak, vagyis az *lsb* (legkisebb helyi értékű bit elöl) sorrendet követik; ha 1, akkor nem!
 - **VID: VLAN Identifier:** 12 biten a VLAN azonosítója. A 0 jelentése, hogy nincs VLAN, csak a prioritást használjuk. A csupa 1-es érték fenntartott. Így $4096 - 2 = 4094$ db VLAN lehet, amiből az 1-est menedzsment célokra szokták fenntartani.

16 bit	3 bit	1 bit	12 bit
TPID	TCI		
	PCP	CFI	VID

IEEE 802.1Q VLAN Tagging – 3

- Lehetséges *több szintű tagging* is.
 - Például egy szolgáltatónak telephelyeken átnyúló VLAN-okat kell összekötnie.
 - Ilyenkor a többszörös beágyazáshoz hasonlóan többször történik mező beszúrása: az újabb 4 bájt mindig a kapott keret forráscím mezője után kerül beszúrásra, de a szolgáltató ilyenkor a 0x9100 TPID-et (nagyobb mélység esetén: 0x9200, 0x9300) használja.
- Több switchből álló hálózatban egy lehetséges felépítés:
 - *Edge switchek*: ahova az állomások kapcsolódnak; ezek felelősek a címkék (VLAN Tag-ek) beszúrásáért illetve eltávolításáért.
 - *Core switchek*: az edge switcheket kötik össze (gerinc), hozzájuk állomások csak edge switcheken keresztül csatlakoznak.

PoE: Power over Ethernet

- Többféle szabványos vagy kevésbé szabványos tápellátási megoldás csavart érpáras kábelek átvitelre nem használt (pl. 100Base-TX) vagy átvitelre használt (pl. 1000Base-T) érpárjainak segítségével.
- Fogalmak:
 - PSE: Power Sourcing Equipment: tápellátás forrása, ami lehet switch (endspan) vagy injektor (midspan)
 - PD: Powered Device: a táppal ellátott eszköz (pl. IP telefon, kamera, Wireless Access Point)
- Teljesítménye tipikusan max. néhányszor 10W.
- A PSE lehet passzív (mindig adja) vagy figyelheti a PD megfelelő fogyasztását...
- Bővebben: http://en.wikipedia.org/wiki/Power_over_Ethernet



Kérdések?

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

Dr. Lencse Gábor
egyetemi tanár
Széchenyi István Egyetem, Távközlési Tanszék
lencse@sze.hu

