

Kommunikációs Hálózatok 2

Adatkapcsolati réteg 2./3



Ethernet

Link Layer
Top-Down!

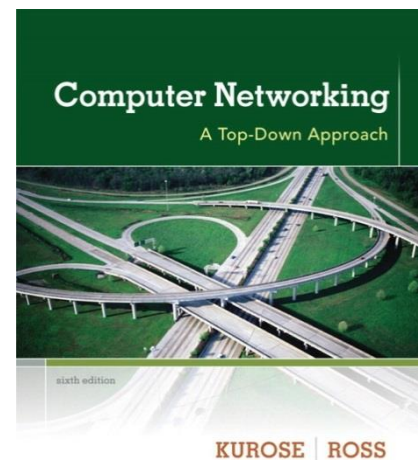
Cinkler Tibor

BME TMIT

2020. május 30.

Kedd 12:15 - 13:45, Q1 „Éter”

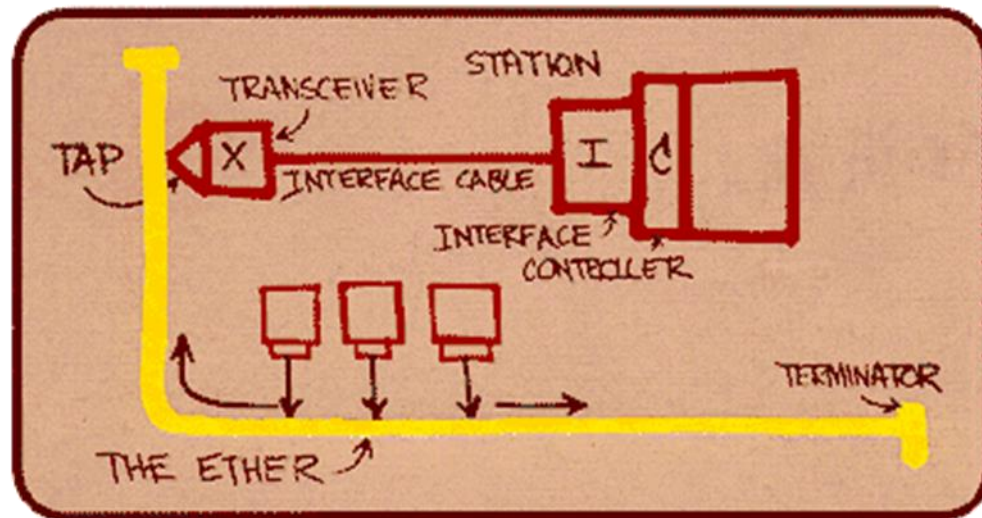
<http://w3.tmit.bme.hu/kh2/>



Ethernet: 47. születésnap: 2020 május 23



- http://ethernethistory.typepad.com/my_weblog/2015/10/ethernet-at-40-may-23-2013.html



Bob Metcalfe Ethernet vázlat

Ethernet - IEEE 802.3

Vezetékes LAN-ok adatkapcsolati rétegében Eth dominál:

- Olcsó:
 - 100 Mbit/s 1358 HUF (2020.05.04.)
 - 1000 Mbit/s 3723 HUF / NIC (2020.05.04.)
- Első elterjedt LAN megoldás
- Egyszerűbb és olcsóbb egyéb megoldásoknál
 - token LANs (FDDI, DQDB, stb.)
 - SDH
 - ATM
- Bitsebessége nőttön nőtt:
 - 10 Mbps – 1000 Gbps
 - (5 nagyságrend! - 10^5 - megszázazerszereződött!!!)
 - ~ Tízévente megtízszereződött (~50 év alatt ötször 10x-eződött: 10^5)
 - ~ Háromévente megkétszereződött (~50 év alatt 16.7-szer 2x-eződött: $2^{16.7}$)



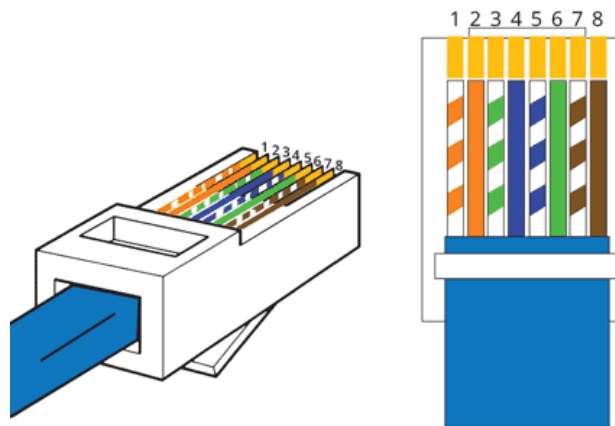
Ethernet

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet>
- Ethernet bitsebességek:
 - 2.94 Mbit/s az eredeti
 - 400 Gbit/s legújabb (800, 1600,...)
- Médiumok:
 - Coax
 - Sodrott érpár
 - UTP
 - STP
 - Cat 5 6 7 (3) (EIA/TIA)
 - RJ45
 - Optika
- LAN → MAN → WAN



Ethernet sodrott érpár kábelek

- unshielded twisted pair (UTP) (van STP is)
- <https://learningnetwork.cisco.com/thread/66876>
- UTP Cat5
 - 100 Mbit/s – 2 érpár
 - GbE (1Gbit/s) – 4 érpár
- Max 100 m!!!
- Crossover!!! 2-gép közt
- RJ45

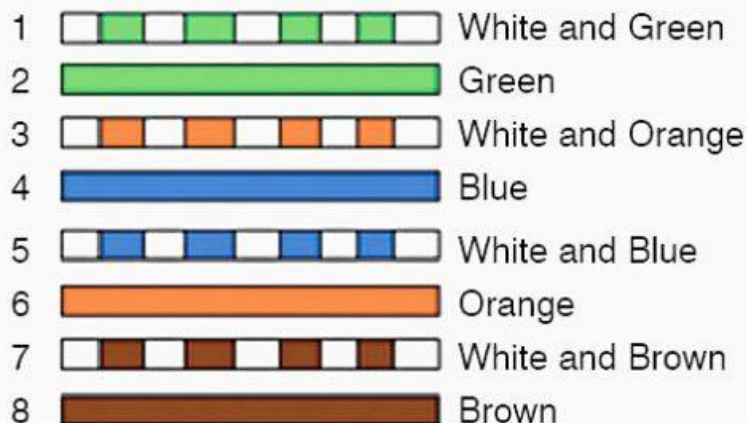


- | | |
|-----------------|----------------|
| 1. White Orange | 5. White Blue |
| 2. Orange | 6. Green |
| 3. White Green | 7. White Brown |
| 4. Blue | 8. Brown |

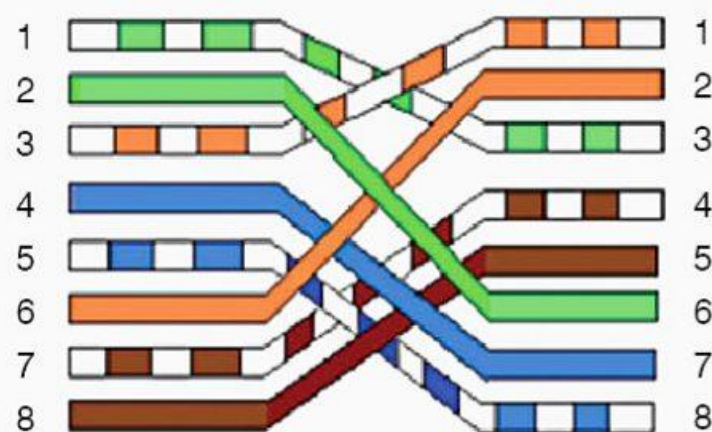
Pins at switch	T568A color	T568B color
Pin 1	 White/green stripe	 White/orange stripe
Pin 2	 Green solid	 Orange solid
Pin 3	 White/orange stripe	 White/green stripe
Pin 4	 Blue solid	 Blue solid
Pin 5	 White/blue stripe	 White/blue stripe
Pin 6	 Orange solid	 Green solid
Pin 7	 White/brown stripe	 White/brown stripe
Pin 8	 Brown solid	 Brown solid

Nem kell vizsgára tudni!!!

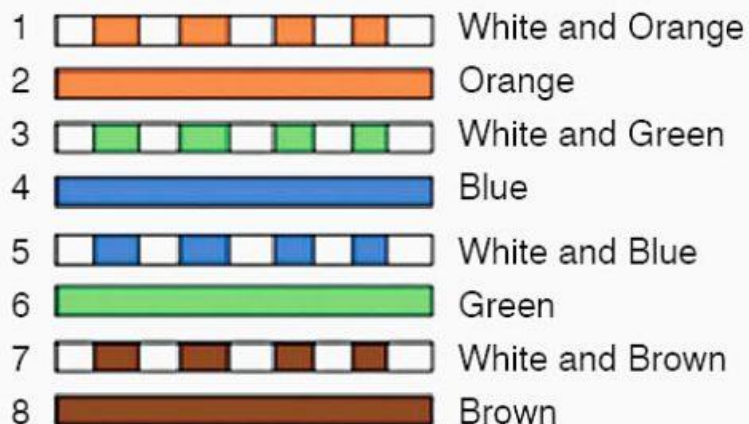
TIA/EIA 568A Wiring



TIA/EIA 568A Crossed Wiring



TIA/EIA 568B Wiring



TIA/EIA 568B Crossed Wiring

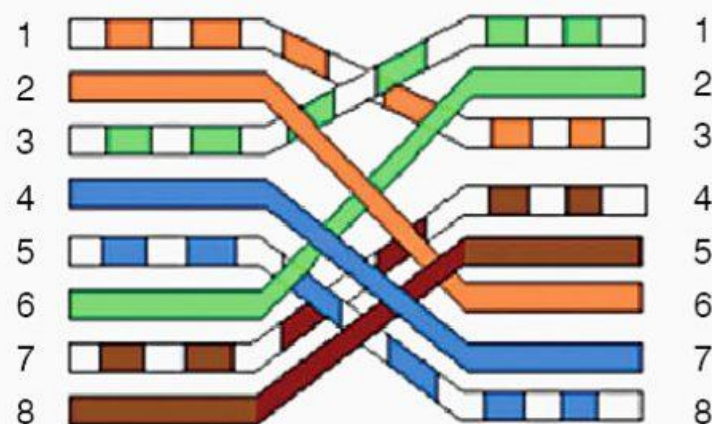


Figure A

Shows the Pin Out of Straight through Cables

Figure B

Shows the Pin Out of Crossover Cables

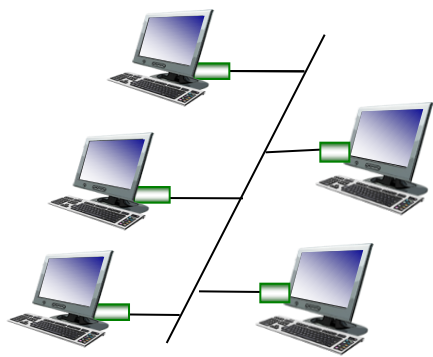
Ethernet: fizikai topológiák

□ *busz: 90-es évek közepéig*

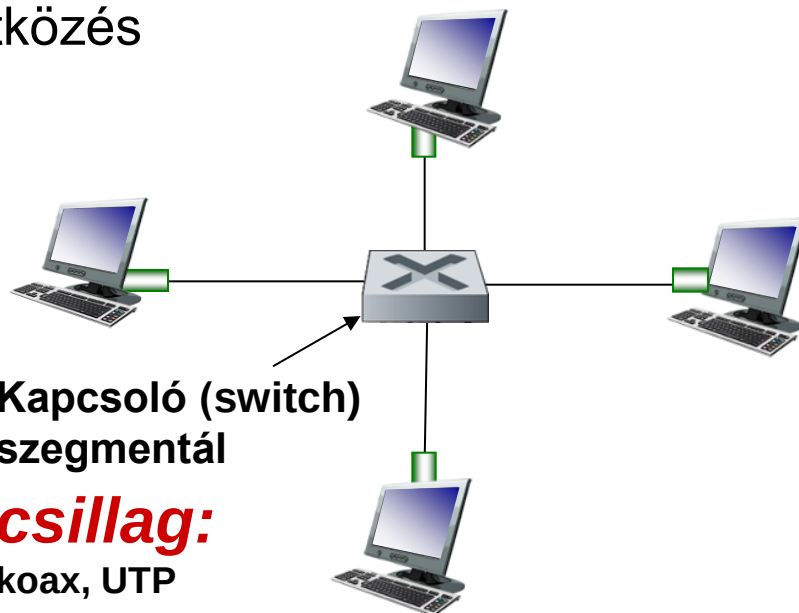
- „Frozen **Yellow** Snake” „ThickNet” „vampire tap” 10Base5
- Vastag / sárga kábel / vámpír csatlakozó / 9.5 mm koax
- Minden csomópont ugyanazon ütközési tartományon belül
- Pl.: Sch. Kollégium („ThinNet” 5 mm koax)

□ *csillag: ma ez dominál*

- A középpont aktív: ez a *kapcsoló* vagy *switch*
- A csillag minden ága külön közeg
 - nem osztott – tehát nincs ütközés



busz: koaxiális kábel



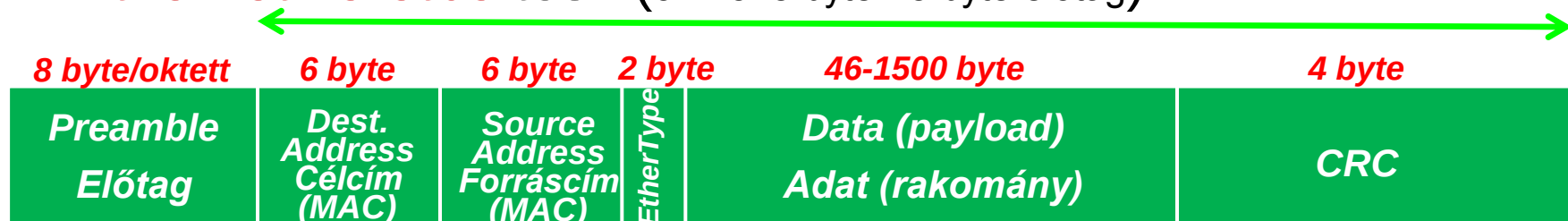
Kapcsoló (switch)
szegmentál

csillag:
koax, UTP

Ethernet keretszerkezet

Küldő adapter:

- ❑ IP datagram-ot (vagy más adategységet)
- ❑ **Ethernet keretbe** tesz (64-1518 byte +8 byte előtag)



Preamble / Előtag:

- ❖ 8 byte: 7 byte 10101010 + 1 byte 10101011
- ❖ A vevőórát az előtag az adóóraára hangolja
- ❖ Jumbo frame: 1500 helyett 9000 Byte a MAX rakomány (IEEE 802.3-nak nem része!!!)
 - ❖ Baby Giant MTU 1600 Byte (IP/MPLS/Ethernet számára)
 - ❖ Super Jumbo MTU ~64000? Byte (teljes IP csomag is férjen bele)
 - ❖ VLAN-onként külön beállítható (konfigurálható) a MTU méret!
- ❖ Jabber: 1518 Byte-nál hosszabb teljes keret - Ethernet Error
- ❖ Runt: 64 Byte-nál rövidebb a teljes keret - Ethernet Error



Ethernet keretszerkezet

- ❖ **Címek:** 6 byte MAC forráscím és célcím (EUI-48)
 - Ha egy adapter kap egy keretet mely célcímében **saját címe** vagy **szórás cím** van (broadcast ARP) → felküldi hálózati rétegnek
 - **Egyébként** az adapter eldobja a keretet
- ❖ **Típus (EtherType):**
 - magasabb rétegbeli protokollt azonosítja
 - (leginkább IP, de lehet más is: Novell IPX, AppleTalk, stb)
- ❖ **CRC:** hibaellenőrzés vételi oldalon
 - cyclic redundancy check
 - hibát észlelve a keretet eldobja

8 byte/oktett	6 byte	6 byte	2 byte	46-1500 byte	4 byte
Preamble Előtag	Dest. Address Célcím (MAC)	Source Address Forráscím (MAC)	EtherType	Data (payload) Adat (rakomány)	CRC

Ethernet: összeköttetés mentes, megbízhatatlan technika

- *ö.k. mentes (connectionless): nincs „kézfogás”*
(no handshaking) adó és vevő között
- *megbízhatatlan (unreliable):* vevő NIC nem nyugtázza vagy nem jelzi hogy nem kapott semmit a küldő NIC felé
 - Egy eldobott keret adata csak magasabb réteg révén lesz helyreállítva vagy újraküldve (pl., TCP), egyébként odaveszett
- Ethernet MAC protokoll: egyszerű (nem réselt) CSMA/CD bináris exponenciális visszatartással
- (unslotted *CSMA/CD with binary backoff*)

ARP Poisoning: MITM attack

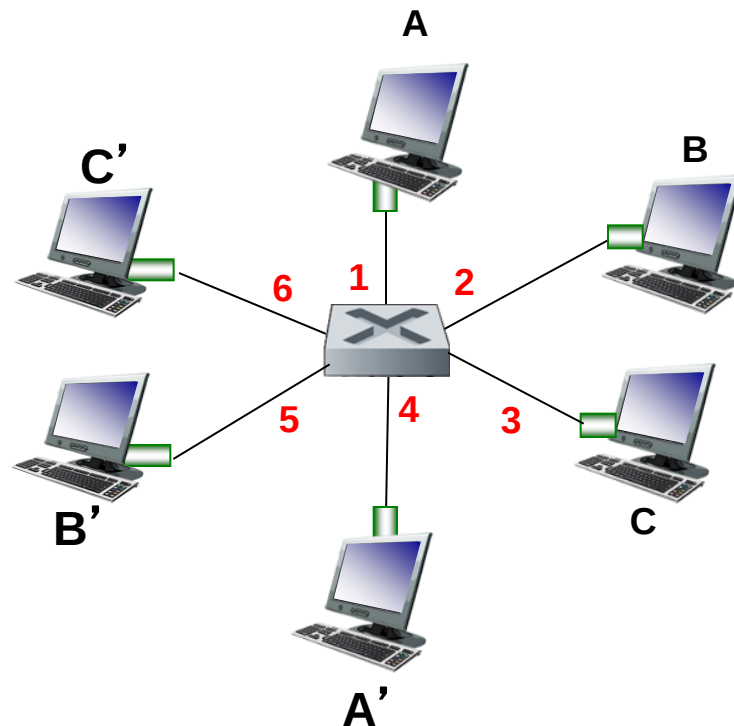
- ❑ ARP (MAC és IP cím megfeleltetés) táblázat lejár
- ❑ Gyakran az ARP cache bejegyzést lecseréli a gép még ha nem is küldött ARP kérést
- ❑ MITM (Man-In-The-Middle) támadást lehetővé teszi
- ❑ A és B beszél, C MITM támad:
 - A gép: AA:AA:AA:AA:AA:AA ↔ 10.10.0.1
 - B gép: BB:BB:BB:BB:BB:BB ↔ 10.10.0.2
 - C gép CC:CC:CC:CC:CC:CC ↔ 10.10.0.3
 - C → A: 10.10.0.2 IP „címét” küldi
 - A frissíti saját ARP cache-jét: CC:CC:CC:CC:CC:CC ↔ 10.10.0.2
 - Ha A → B, akkor CC:CC:CC:CC:CC:CC MAC címre fogja küldeni
 - A már megmérgezve, most ugyanezt B-vel is:
 - A gép 10.10.0.1 IP címéhez CC:CC:CC:CC:CC:CC MAC rendelődik
 - C mindent továbbít, hogy ne derüljön ki a turpisság
 - Ezellen: nem fogadok ARP választ ha nem küldtem kérést

Ethernet Switch (Kapcsoló)

- Adatkapcsolati rétegbeli eszköz: aktív eszköz!
 - Tárolja és továbbítja az Ethernet kereteket (store, forward)
 - Megvizsgálja az érkező keret MAC címét
 - Szelektíven továbbítja a keretet egy vagy több kimenet felé
 - Amennyiben egy szegmens felé továbbít, CSMA/CD-vel éri el a szegmenst
- *Átlátszó (transparent)*
 - A csatlakozott gépek nem tudják hogy kapcsoló van jelen
- *plug-and-play, self-learning (öntanuló)*
 - Kapcsolót nem kell konfigurálni - megtanulja

Kapcsoló: *Több egyidejű átvitel példa*

- Hálózatra csatlakoztatott gépeknek hozzárendelt, kizárólagos, közvetlen kapcsolatuk (szakaszuk) van a kapcsolóval
- A kapcsoló pufferelem a kereteket
- Minden szakasz Ethernetet használ, noha ütközés nincs: **full duplex**
 - Minden szakasz csak a saját ütközési tartományában van
- **Kapcsolás (switching):** A-A' és B-B' egyidőben továbbíthat, ütközés nélkül



Kapcsoló 6 interfésszel (1,2,3,4,5,6)

Kapcsoló továbbítási (kapcsolási) táblázata

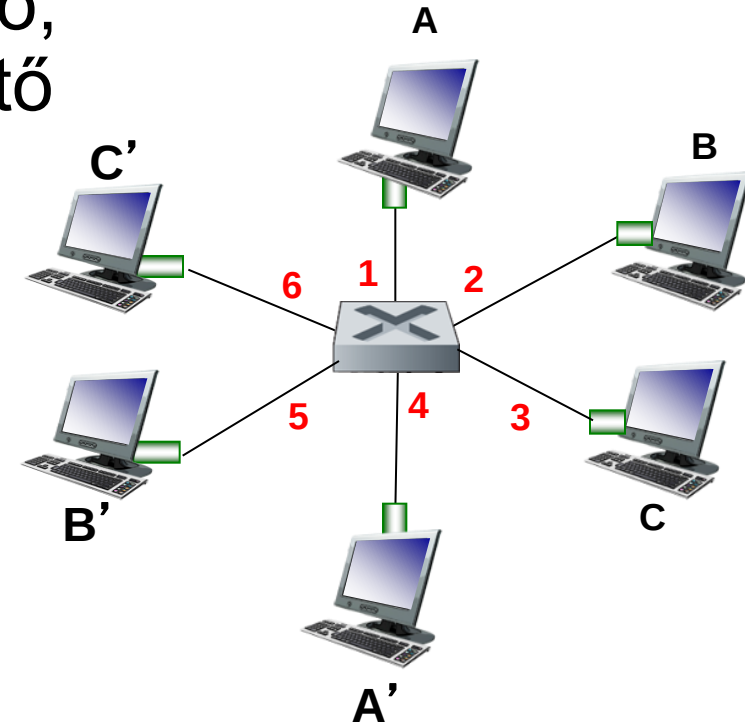
Kérdés: Honnan tudja a kapcsoló, hogy A' a 4-es interfészen érhető el és B' az 5-ösön?

❖ **Válasz:** *kapcsoló kapcsolási táblázata minden csatlakozott eszközre tárolja:*

- MAC cím
- Interfész
- Időbélyeg

❖ *Olyan mint egy routing táblázat!*

Kapcsoló 6 interfésszel (1,2,3,4,5,6)



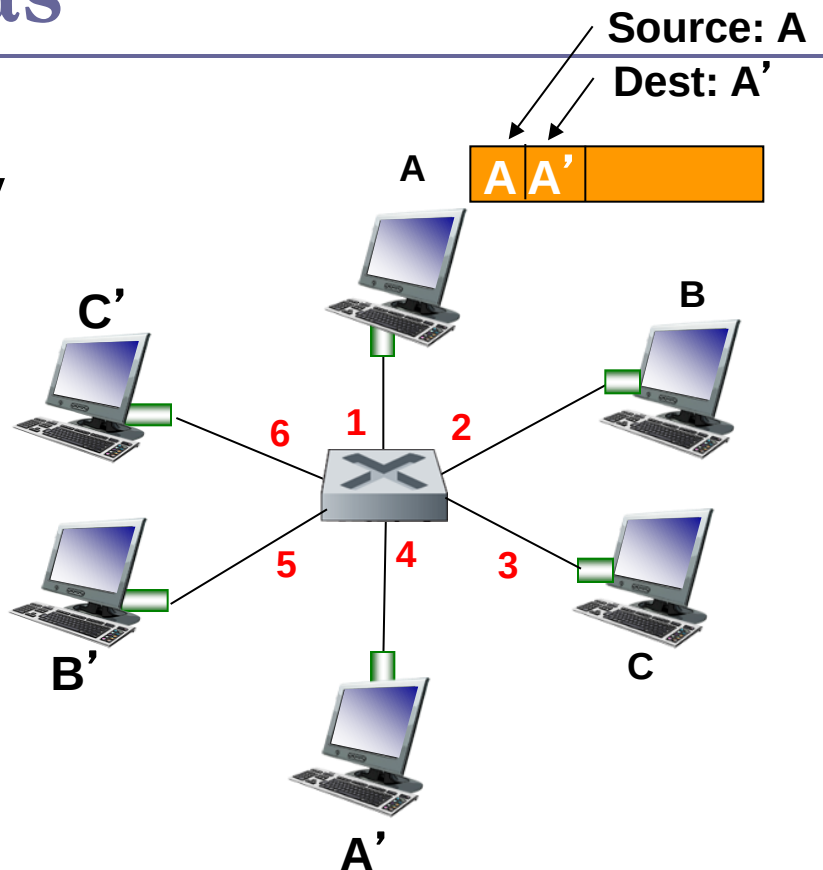
Kérdés: Hogyan kerülnek a kapcsolási táblázatba a bejegyzések?

- *Olyasmi mint egy routing protokoll...*

Kapcsoló: öntanulás

- A kapcsoló **megtanulja**, hogy mely interfészen mely csatlakoztatott eszköz érhető el:

- Mikor keret érkezik, a kapcsoló „megtanulja” hol van a küldő (mely LAN szegmensen)
- Bejegyzi kapcsoló táblázatba, hogy ki küld és honnan küld



MAC cím	interfész	TTL
A	1	60

*Kapcsoló táblázat
(induláskor üres)*

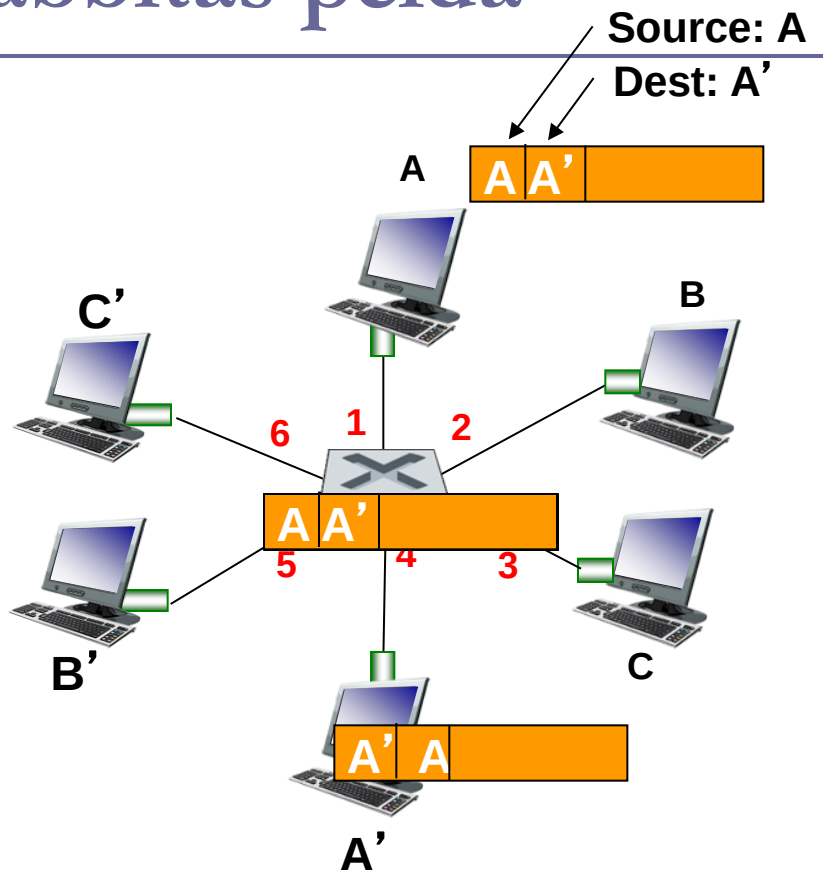
Kapcsoló: keret szűrés/keret továbbítás

Keretérkezéskor a kapcsoló:

1. Bejegyzi a küldő interfészét és MAC címét
2. A kapcsolótáblázatot a MAC célcímmel indexeli
3. `if ( már van bejegyzés a cél MAC címre )`
 `then {`
 `if (cél ugyanazon a szegmensen ahonnan a keret érkezett)`
 `then { e keretet dobd el }`
 `else { továbbítsd a keretet a bejegyzett interfészre }`
 `}`
 `else { „árassz” }` /* továbbítsd a keretet a beérkező interfész kivételével mindegyik interfészre */

Öntanulás és kerettovábbítás példa

- ❑ Keret célcíme A', helye ismeretlen: „**árasztás**” (flood)
- ❑ Keret célcíme A, helye ismert: **szelektív küldés csak egy szegmensre (interfészre)**

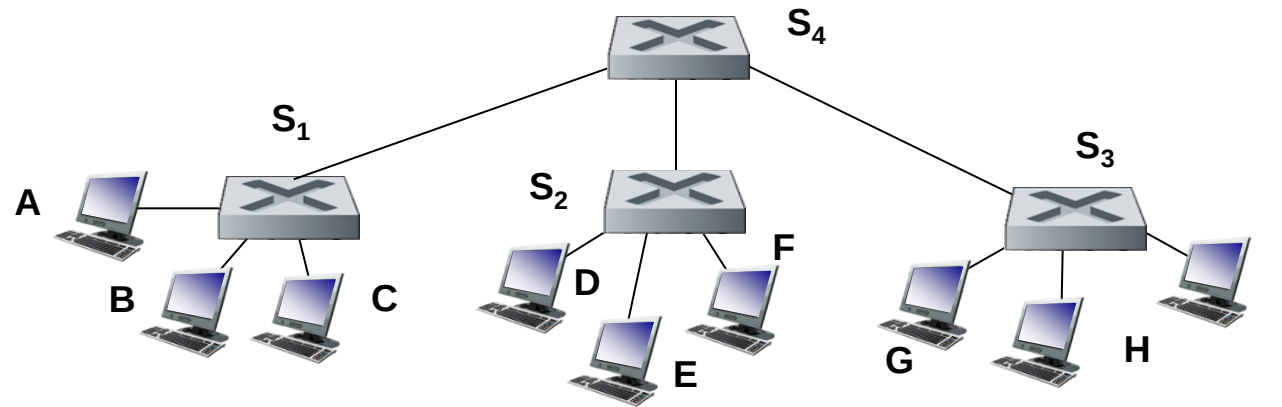


MAC cím	interfész	TTL
A	1	60
A'	4	60

*Kapcsoló táblázat
(induláskor üres)*

Egymással összekötött kapcsolók

- ❖ „Csillagok csillaga” – csillagba kötött kapcsolók



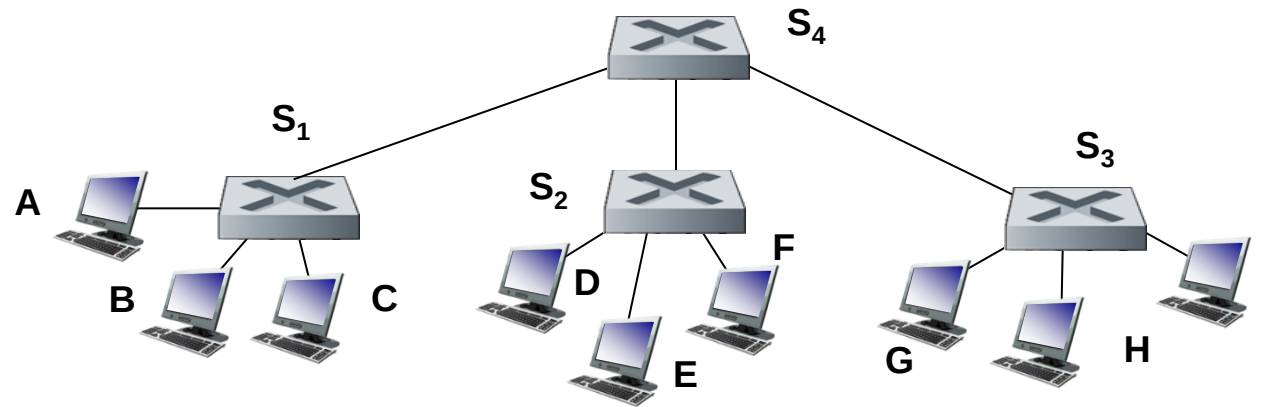
Kérdés: A-ból G-be küldvén hogyan tudja S_1 hogy S_4 – en és S_3 –on keresztül küldjön?

- ❖ **Válasz:** „öntanulás”! (Ugyanúgy működik mint egyetlen kapcsoló esetén!)

Több kapcsolós öntanulós példa

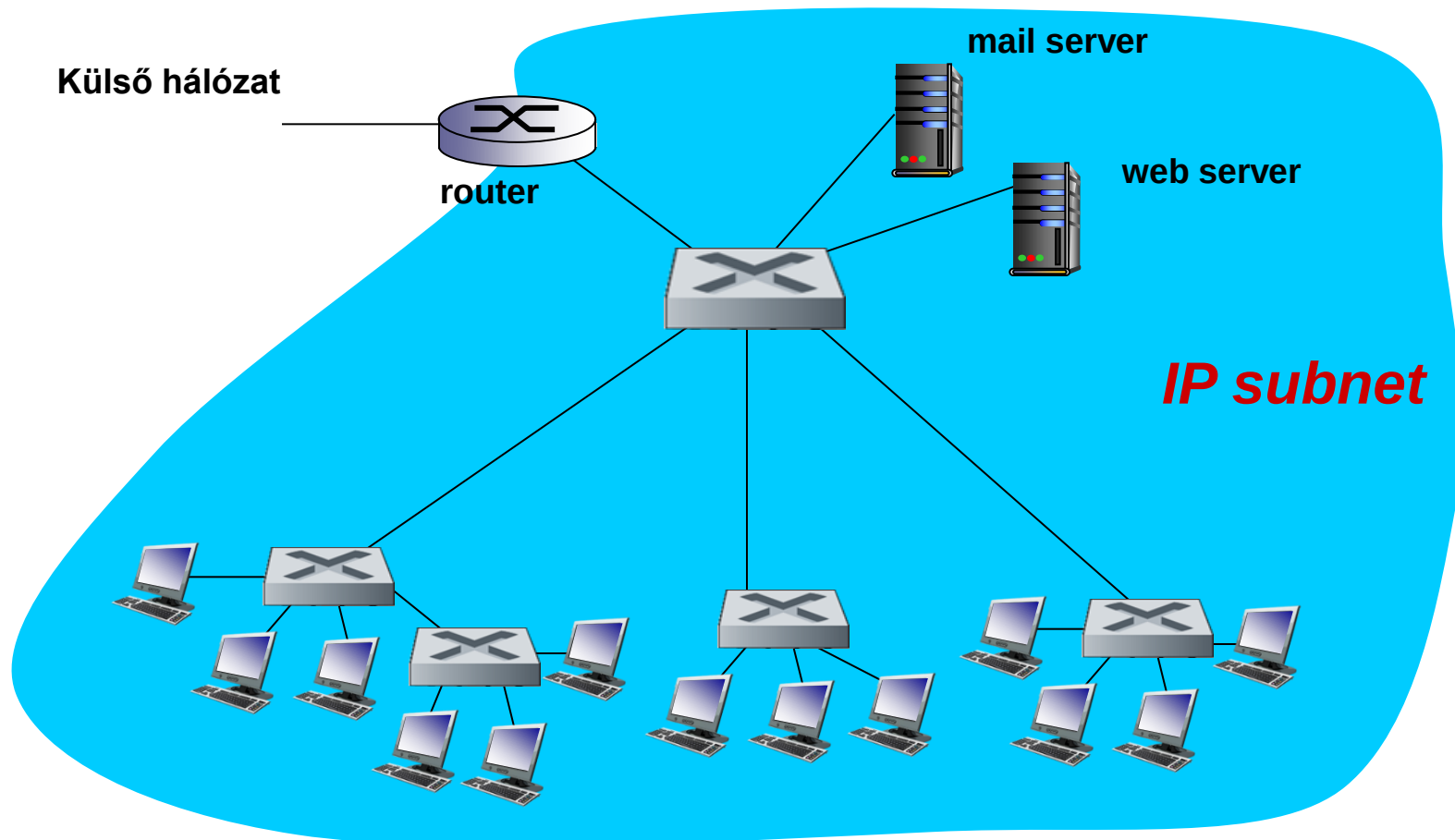
Házi feladat!

Tfh. C keretet küld I-nek, I válaszol C-nek



- ❖ Feladat: Töltse ki S_1 , S_2 , S_3 , S_4 kapcsolók kapcsoló táblázatait

Egy vállalati hálózat



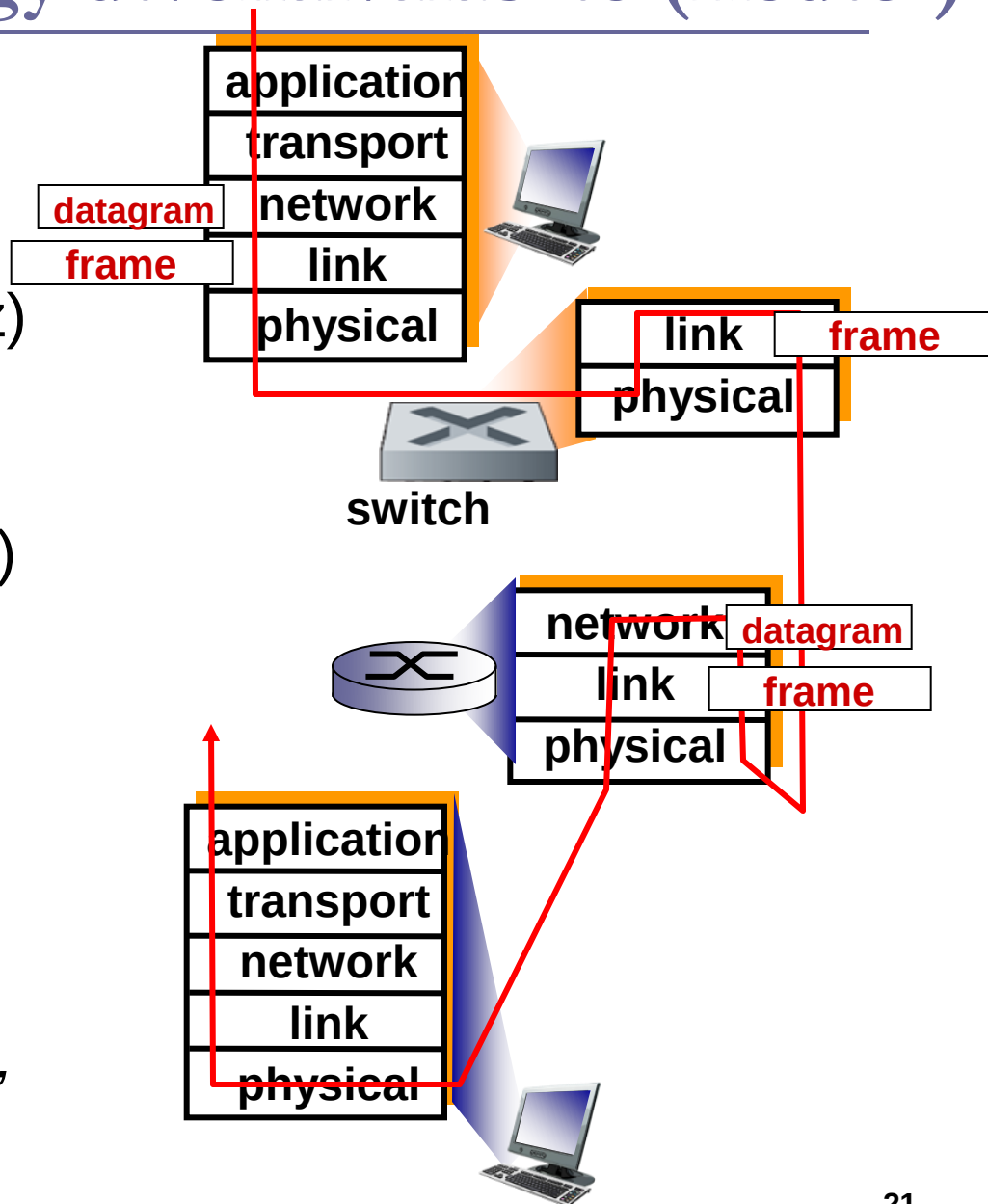
Kapcsoló (Switch) vagy útvonalválasztó (Router)

Mindkettő tárol-és-továbbít (store-and-forward):

- *router: hálózati rétegbeli eszköz* (hál. réteg fejrész)
- *switch: adatkapcsolati rétegbeli eszköz* (adatkapcs. réteg fejrész)

Mindkettőnek van továbbítási táblázata:

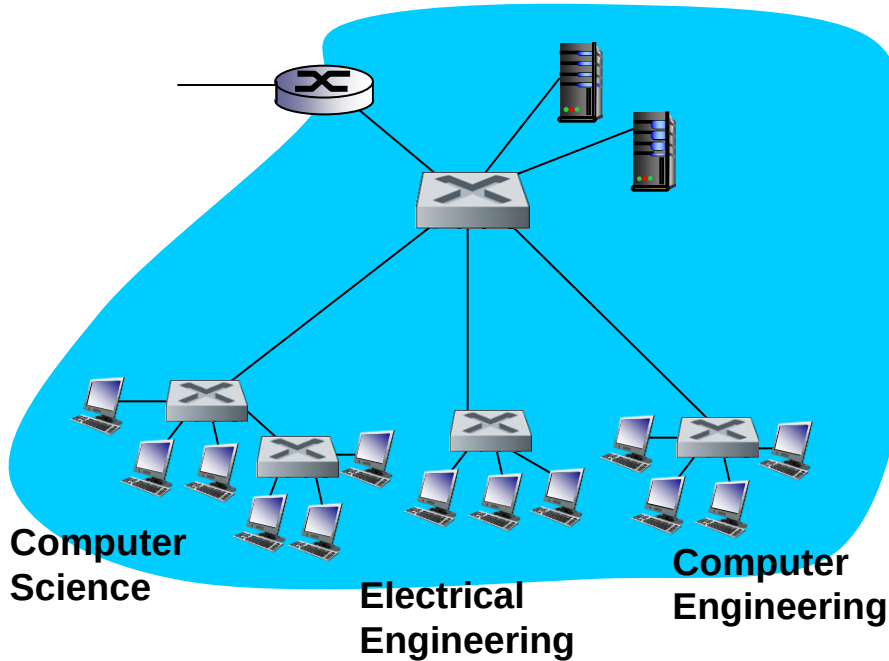
- *router: IP cím alapján útvonalválasztó algoritmus számolja a táblázatot*
- *switch: MAC cím alapján, árasztással táblázatot megtanulja*



Hub vagy Switch vagy Router?

- Hub (Repeater (ismétlő))
 - Sima ismétlő a portjai között
 - Egy szegmens (ütközési tartomány) az egész
- Switch (Bridge – kicsit kevesebbet tud)
 - Szegmentál !!!
 - Portokat megtanulja
 - Osztott közeg csökken / megszűnik
- Router
 - Egyfeljebb rétegben működik
 - Pl. IP címek alapján működik

VLAN: motiváció



Tfh:

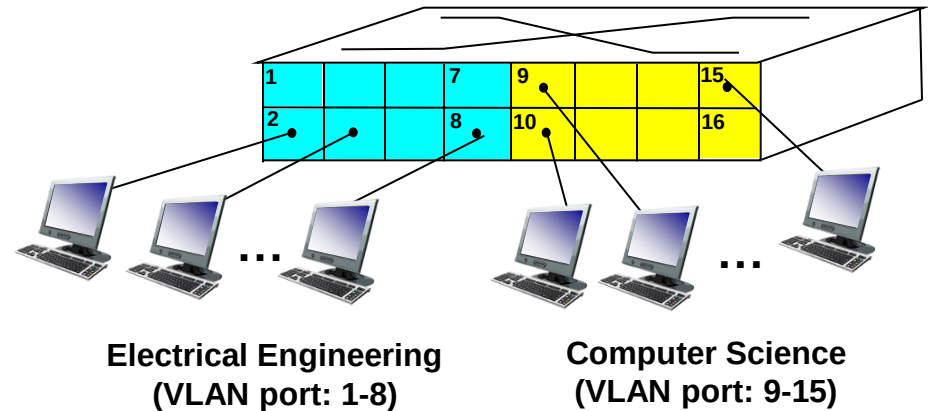
- ❖ 3 tanszék: CS, EE, CE
- ❖ CS felhasználó költözik EE-re, de CS-re akar csatlakozni továbbra is...
- ❖ Egy broadcast domain:
 - Minden L2 broadcast forgalom (ARP, DHCP, ismeretlen helyű MAC célcím) az egész hálózatot bejárja
 - Biztonság, hatékonyság

VLAN

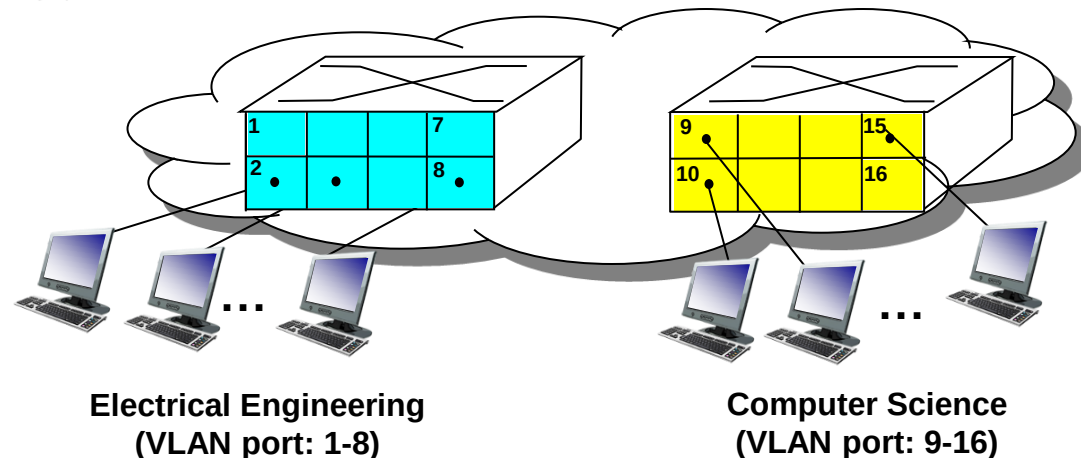
port-alapú VLAN: switch portok csoportosítása (switch menedzsment szoftver által) úgy, hogy egy **fizikai** switch...

Virtual Local Area Network

- Virtuális helyi hálózat
- VLAN-képes kapcsolók konfigurálásával
- Több VLAN egy fizikai LAN fölött



... úgy működik mint több **virtuális** switch



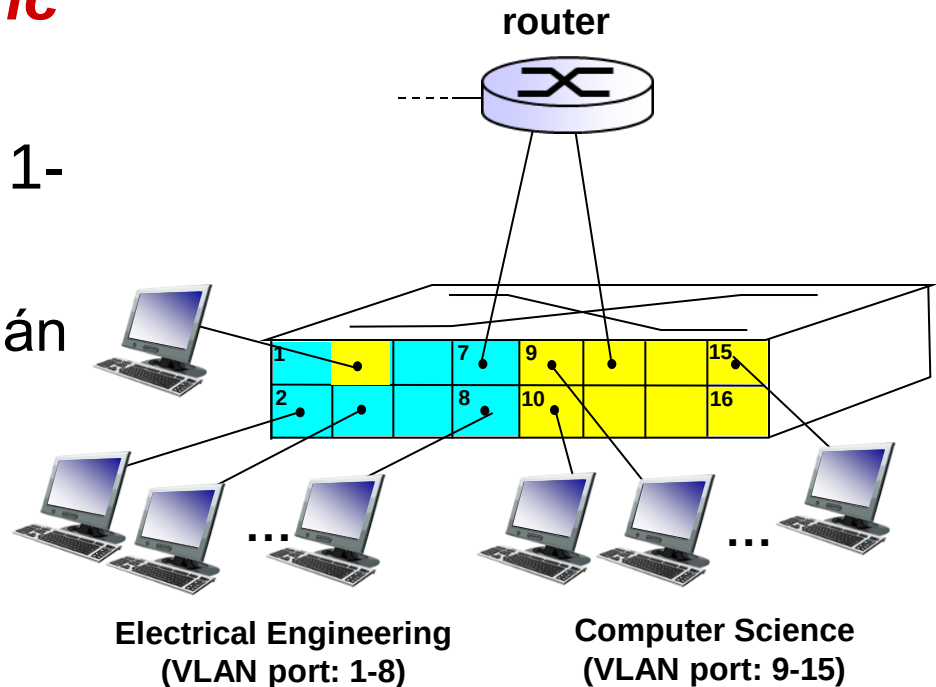
Port alapú VLAN-ok

Forgalom elszigetelés (traffic isolation):

- ❖ 1-8 portok keretei **csak** az 1-8 portokat érik el
- ❖ Port helyett MAC címek alapján is lehet VLAN-t definiálni

Dinamikus „tagság” (dynamic membership):

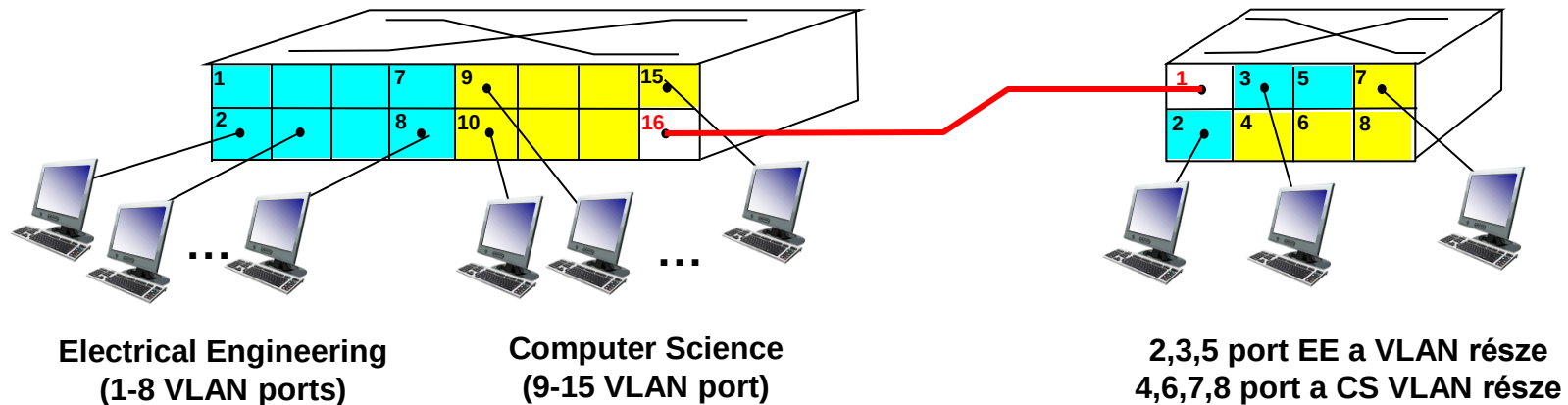
- ❖ portokat lehet dinamikusan áthelyezni VLAN-ok között



VLAN-ok közti továbbítás:

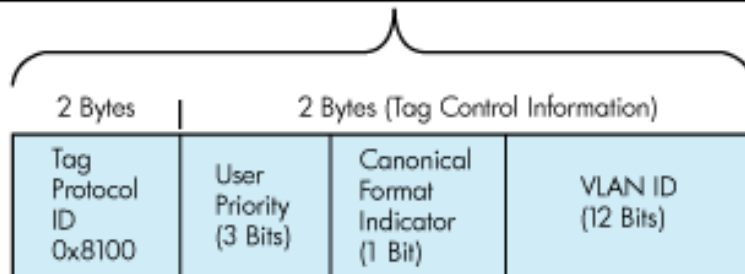
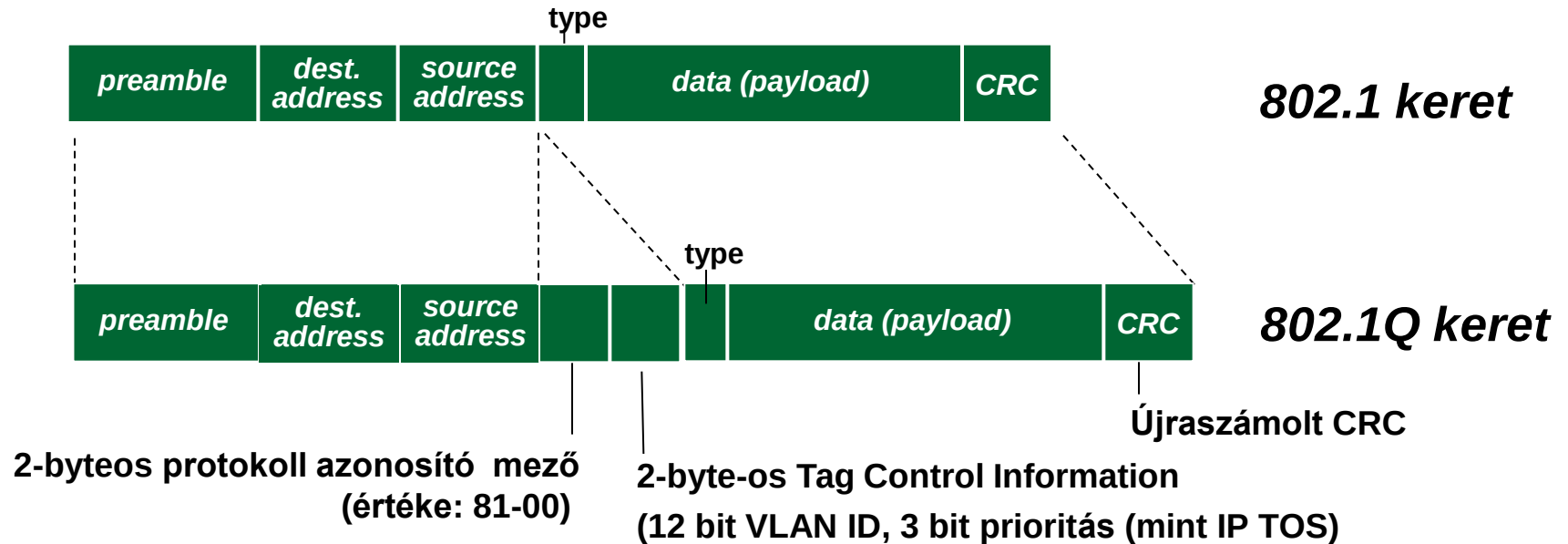
- ❖ Routolás megy csak!
- ❖ Mintha külön kapcsolók lennének
- ❖ Gyártók forgalmaznak Switch+Router együttest

Több kapcsolóra kiterjedő VLAN



- **Trönk port (trunk port):** több fizikai kapcsolóra kiterjedő VLAN kereteit hordozza
 - Sima 802.1 keret nem elegendő
 - Kell VLAN infó (azonosító)
 - 802.1q protokoll a trönk portok közt továbbított keretek fejlészébe további mezőket tesz

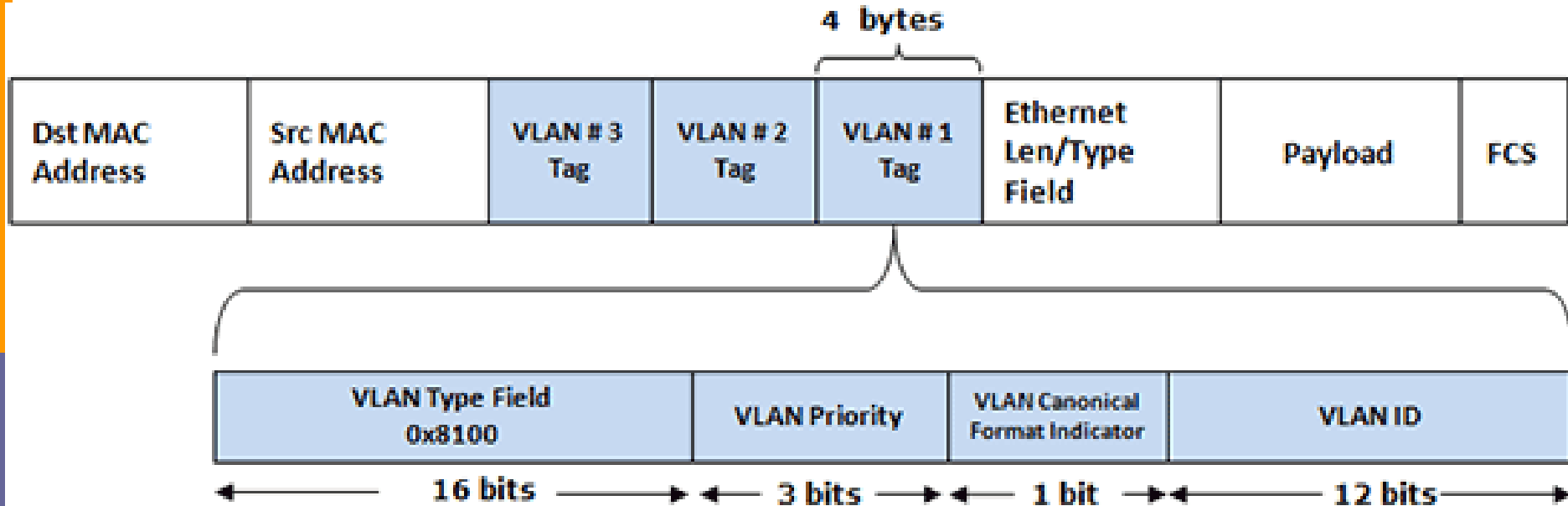
802.1Q VLAN keretformátum



- ❑ TPID: 0x8100
- ❑ 3 bit prioritás: 7 legmagasabb
- ❑ CFI: 1: eldobható, 0: nem (DEI: Drop Eligible Indicator)
- ❑ VLAN ID – megkülönbözteti VLANokat

VLAN beágyazás

- VLAN stacking
- Többszörös VLAN Tag



Link Aggregation (Szakaszösszefogás)

- ❑ Több (1-8) párhuzamos hálózati összeköttetés (szakasz) összefogása
 - Kapacitás növelés céljából
 - Védelemre is lehet használni
 - Inverz MUX
- ❑ Más néven (hasonló gyártó-specifikus megoldások):
 - port trunking
 - link bundling
 - Ethernet/network/NIC bonding
 - NIC teaming
- ❑ Link Aggregation Group (LAG)
- ❑ Link Aggregation Control Protocol (LACP)

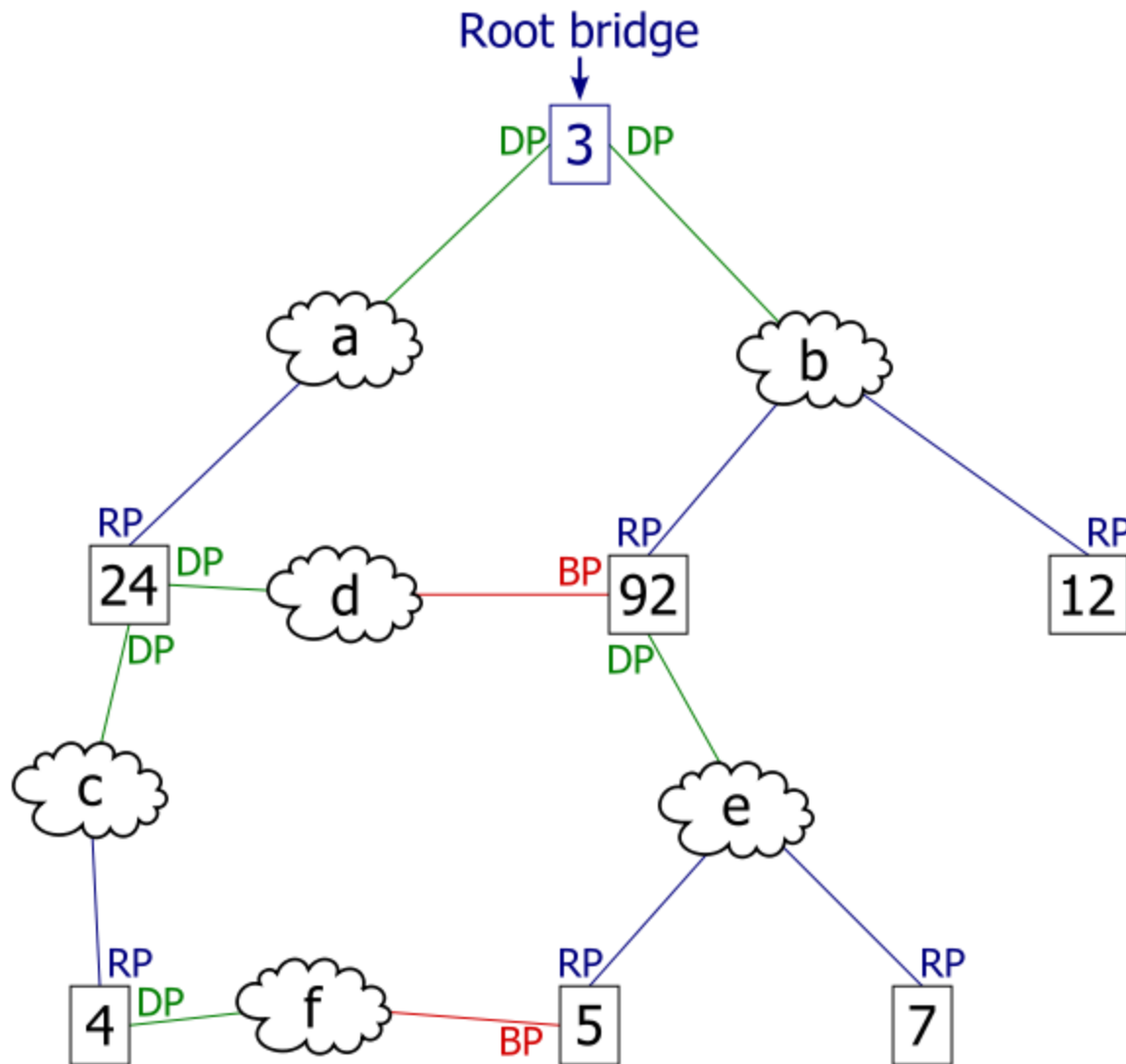
Feszítőfák: STP, RSTP, MSTP, SPB

- Adatkapcsolati rétegben
 - Redundáns topológiában
 - Hurkok elkerülésére (**Nincs TTL mező !!!**)

- STP: Spanning Tree Protocol, IEEE 802.1D
 - Lassú (30-50 sec konvergencia)
- RSTP: Rapid Spanning Tree Protocol IEEE 802.1w
 - Gyorsabb, de túl nagy fák
- MSTP: Multiple Spanning Tree Protocol IEEE 802.1s
 - Több fára bontva

- SPB: Shortest Path Bridging (SPB) IEEE 802.1aq
 - Teljesen automatizált
 - Fentieket tartalmazza (részben helyettesíti) (Shortest Path Tree)
 - Párhuzamos utakat is támogat

STP, RSTP, MSTP, SPB (IEEE 802.1aq)



- Root Bridge választás:
 - A legkisebb számú lesz a „gyökér”
- RP:
 - Root Port
- DP:
 - Designated Port
- BP:
 - Blocked Port

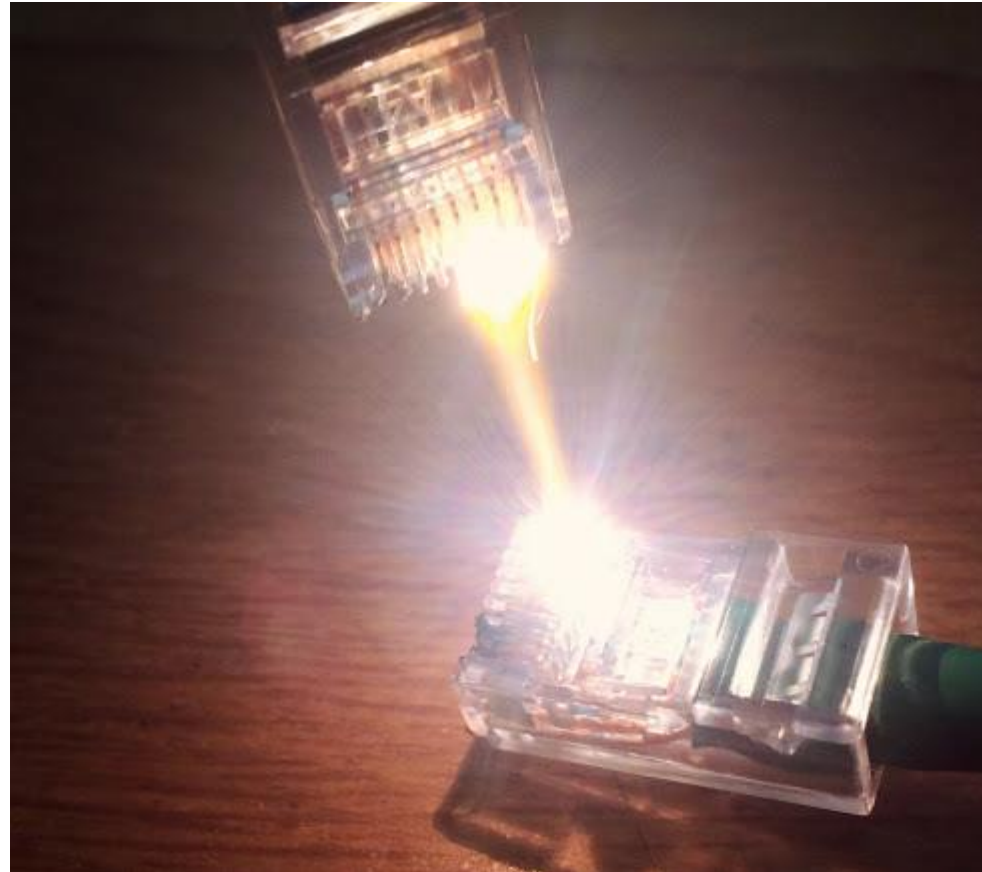
PoE: Power over Ethernet



PoE: Power over Ethernet



- Alias: Etherkiller
- Villámvédelem is kell!

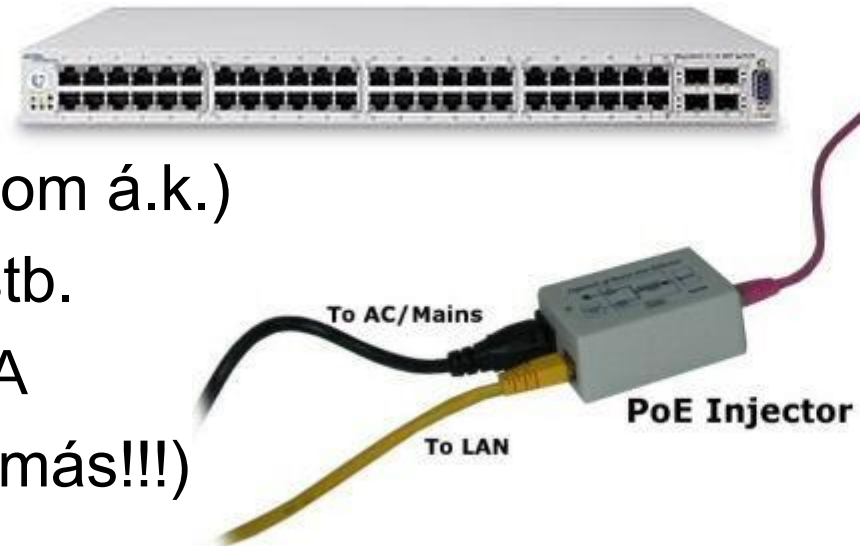


Villám Védelem



PoE: Power over Ethernet

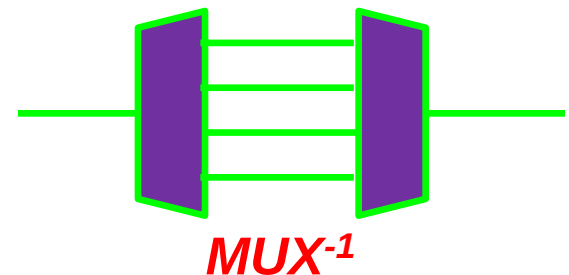
- ❑ Tápellátó (PSE) és táplált eszköz (PD)
 - power sourcing equipment (PSE)
 - powered device (PD)
- ❑ 1, 2 vagy 4 érpáron táplál (fantom á.k.)
- ❑ AP, VoIP eszköz, IP kamera, stb.
- ❑ CAT5, CAT5e, CAT6 or CAT6A
- ❑ + 4 és 5 pin - 7 és 8 (van más!!!)



PoE Types and Classes	2-Pair PoE+ – Type 2					4-Pair PoE in Standardization				min	max
	2-Pair PoE – Type 1					5	6	7	8		
Class	0	1	2	3	4	5	6	7	8	44 V	57 V
PSE Power (W)	15.4	4	7	15.4	30	45	60	75	90		
PD Power (W)	13	3.84	6.49	13	25.5	40	51	62	71.3	37 V	57 V
4-Pair PoE–Type 3									4-Pair PoE Type 4		

1.6 TbE (TbE: Terabit Ethernet)

- Elvileg 1000 GbE, de
- Minden ami 100 GbE felett van az már TbE...
 - 200 GbE
 - 400 GbE
 - 800 GbE
 - 1600 GbE
- „multilane” – többsávós
 - Inverz multiplexálás
 - 1-16 (24) „sáv”
 - Általában fényszál vagy hullámhossz:
 - CWDM vagy DWDM rendszerek
 - (hullámhosszosztósos nyalábolás)
- Háromévente kétszereződik ~ Tízévente tízszeresedik
- https://en.wikipedia.org/wiki/Terabit_Ethernet



400GbE – TÁBLÁZAT NEM KELL VIZSGÁRA!

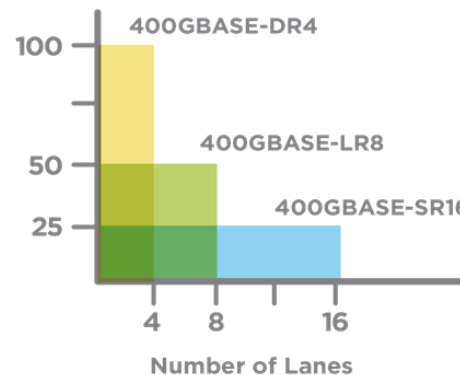
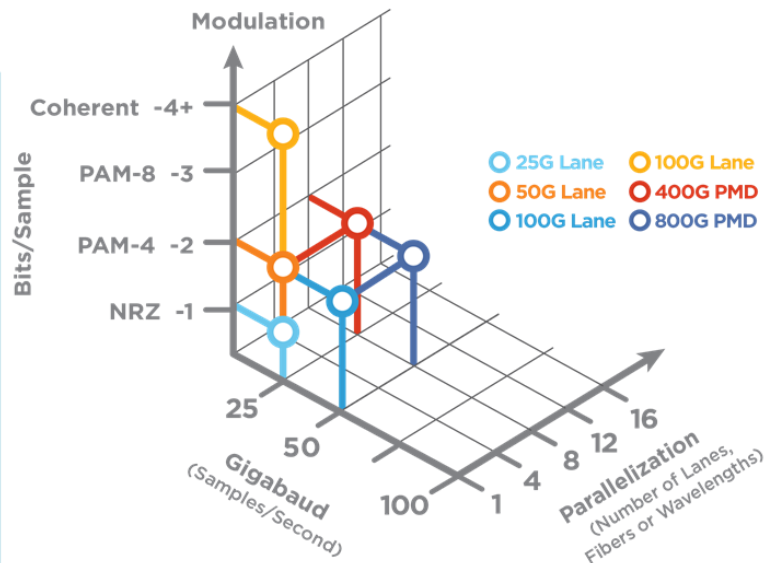
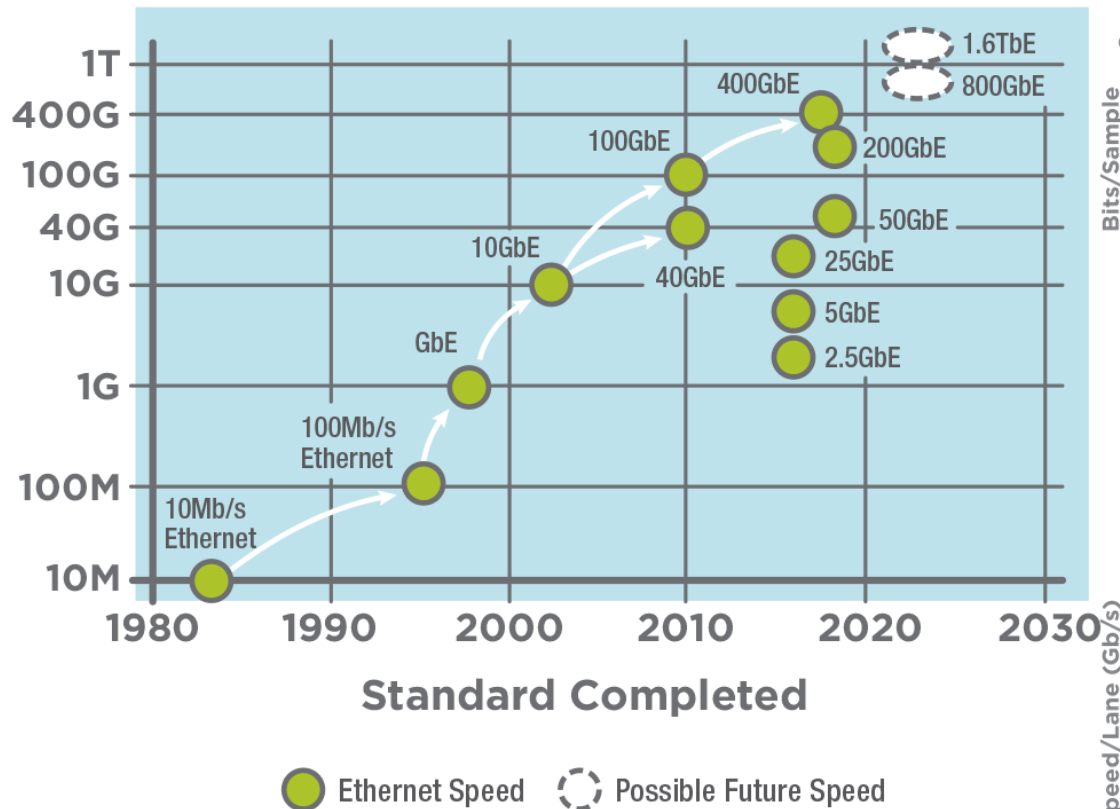
Name	Clause	Medium	Media Count	Lanes	Gigabaud per lane	Notes
400GBASE-SR16	123 (802.3bs)	multimode fibre 850 nm laser	16		26.5625	70 m reach on OM3 100 m reach OM4
400GBASE-DR4	124 (802.3bs)	single-mode fibre 1304.5 to 1317.5 nm	4		53.125 (PAM4 modulation)	500 m reach
400GBASE-FR8	122 (802.3bs)	single-mode fibre WDM 1273.54-1309.14 nm	1	8	26.5625 (PAM4 modulation)	2 km reach
400GBASE-LR8	122 (802.3bs)	single-mode fibre WDM 1273.54-1309.14 nm	1	8	26.5625 (PAM4 modulation)	10 km reach

- ❑ MMF: Multi-Mode Fiber – többmódusú fényszál
- ❑ SMF: Single-Mode Fiber – egymódusú fényszál
- ❑ WDM - Wavelength Division Multiplexing
 - hullámhosszosztásos nyalábolás
 - ❑ CWDM: Coarse WDM – „ritka”
 - ❑ DWDM: Dense WDM – „sűrű”

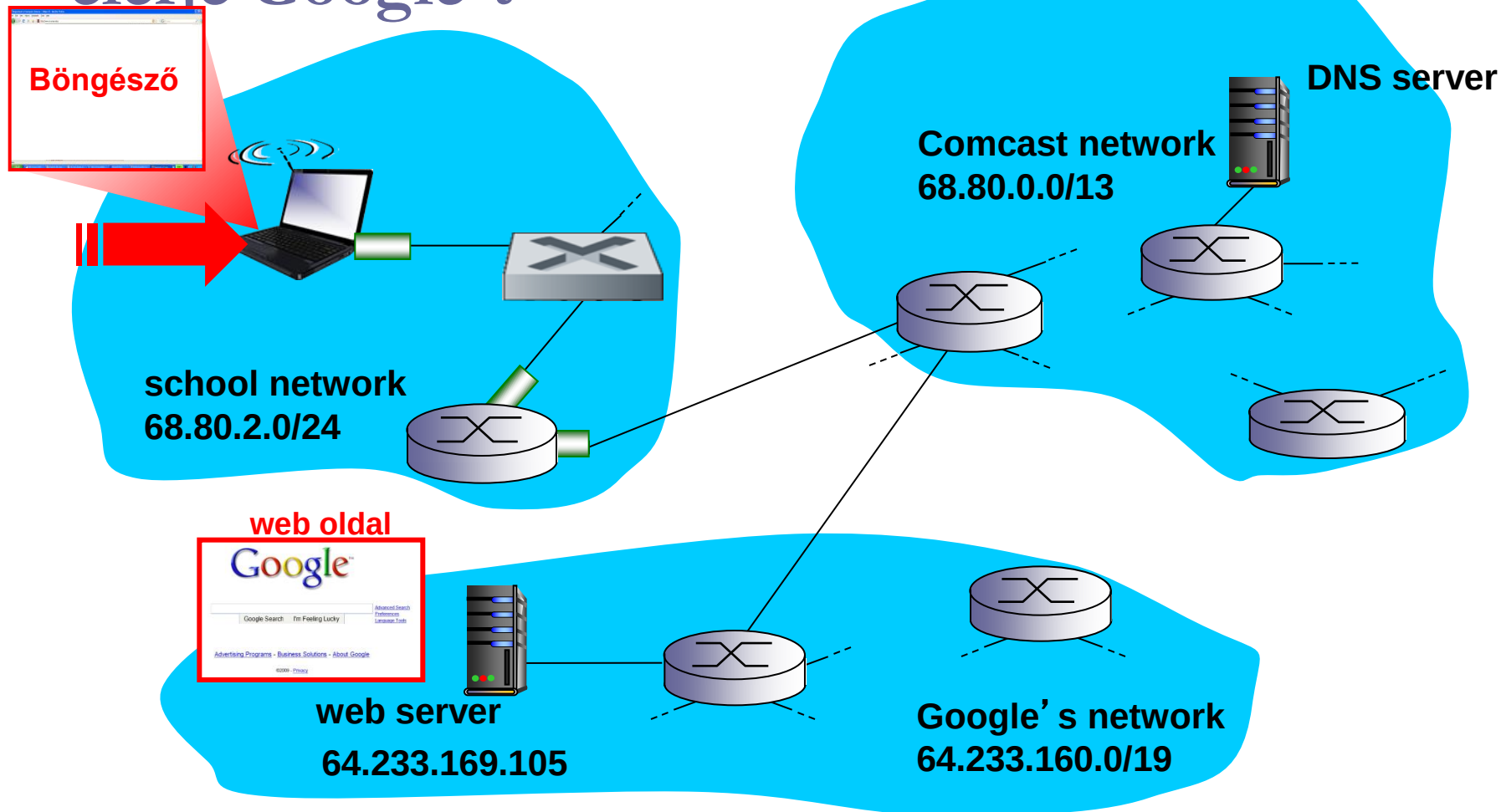
Eth bps növelése...

HOW TO GO FASTER

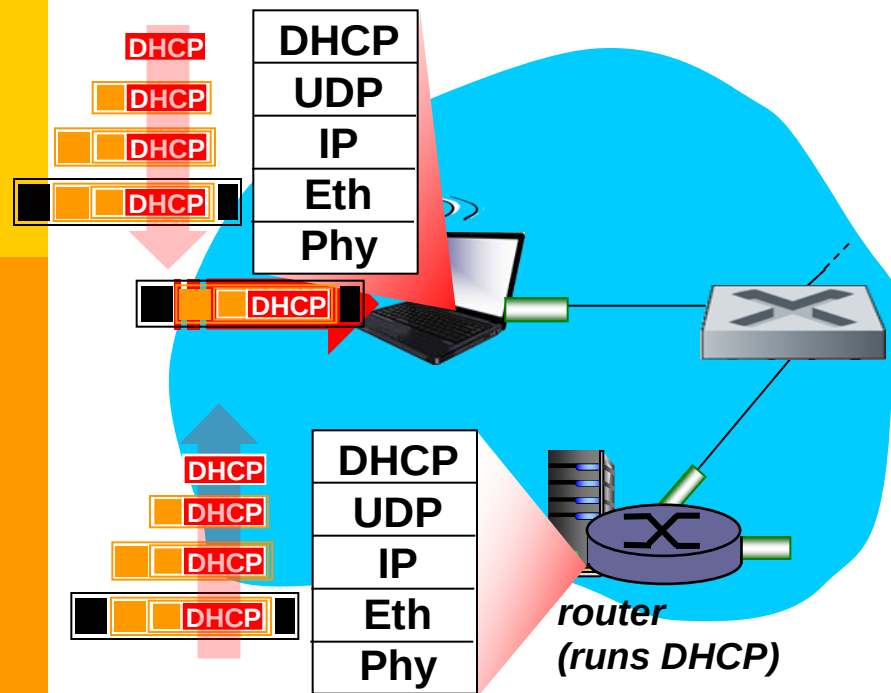
ETHERNET SPEEDS



Egy LapTop csatlakozik a hálózathoz hogy elérje Google-t

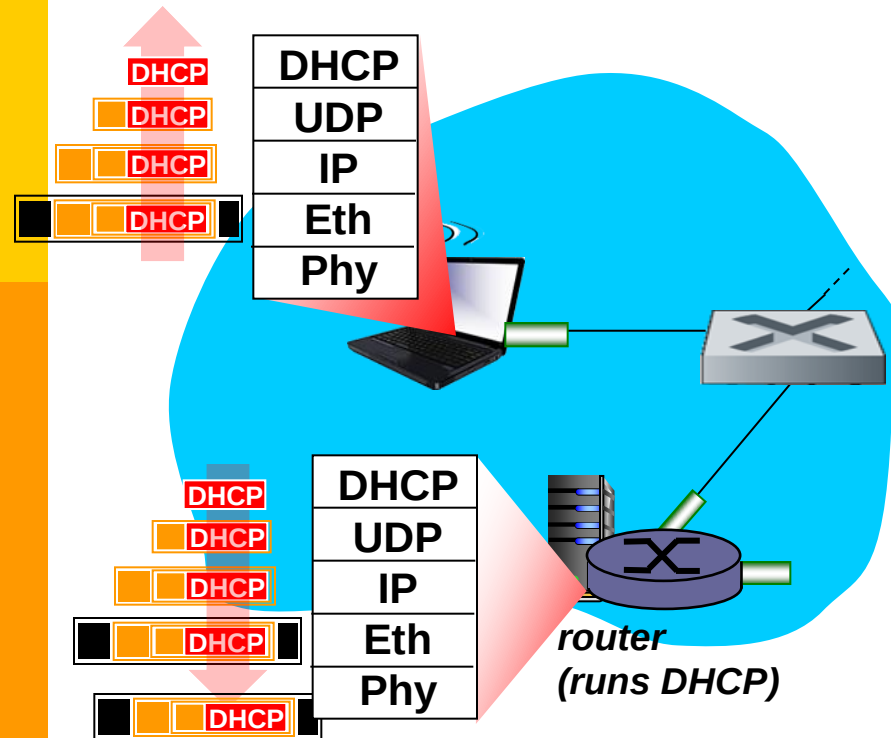


Felcsatlakozás az Internetre



- ❖ Csatlakozó LapTop meg kell kapja saját IP címét a legközelebbi router címét, DNS szerver címét: **DHCP** révén
- ❖ **DHCP** kérés **UDP** csomagba ágyazva, majd az **IP** csomagba, az meg **802.3** Ethernet keretbe
- ❖ Ethernet **broadcast** keret (cél: FFFFFFFFFFFFFFFF) LAN-on, melyet a **DHCP** szervert futtató router is megkap
- ❖ Ethernet **demux**, IP demux, UDP demux: **DHCP** adataegység

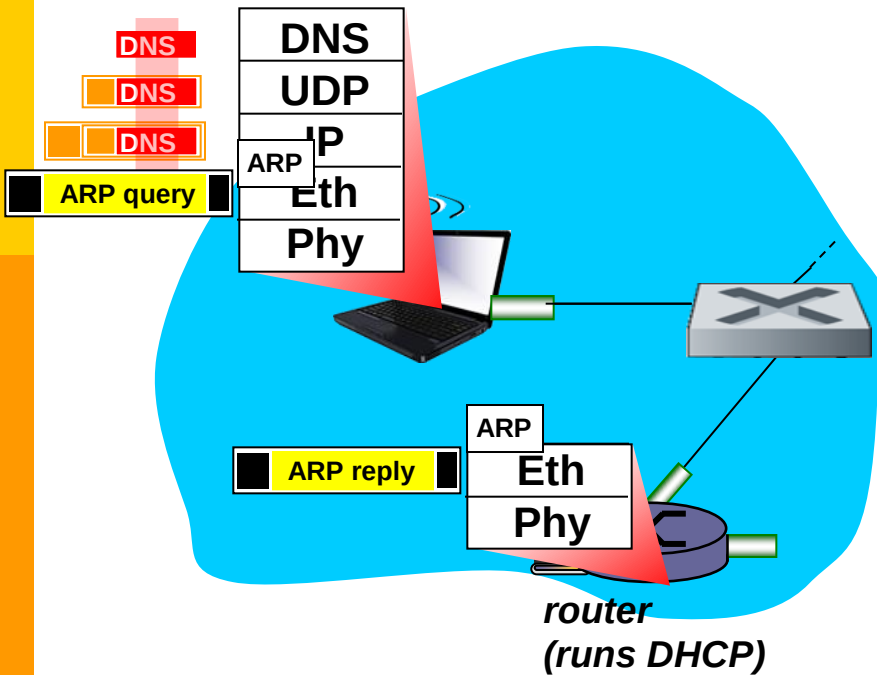
Csatlakozás az Internetre



- DHCP szerver összeállít **DHCP ACK** üzenetet, mely tartalmazza kliens IP címét, a legközelebbi IP router címét, DNS nevét és címét
- ❖ DHCP szerver beágyazza, keret továbbítódik, (kapcsoló tanul) LAN demux
- ❖ DHCP kliens kap DHCP ACK választ

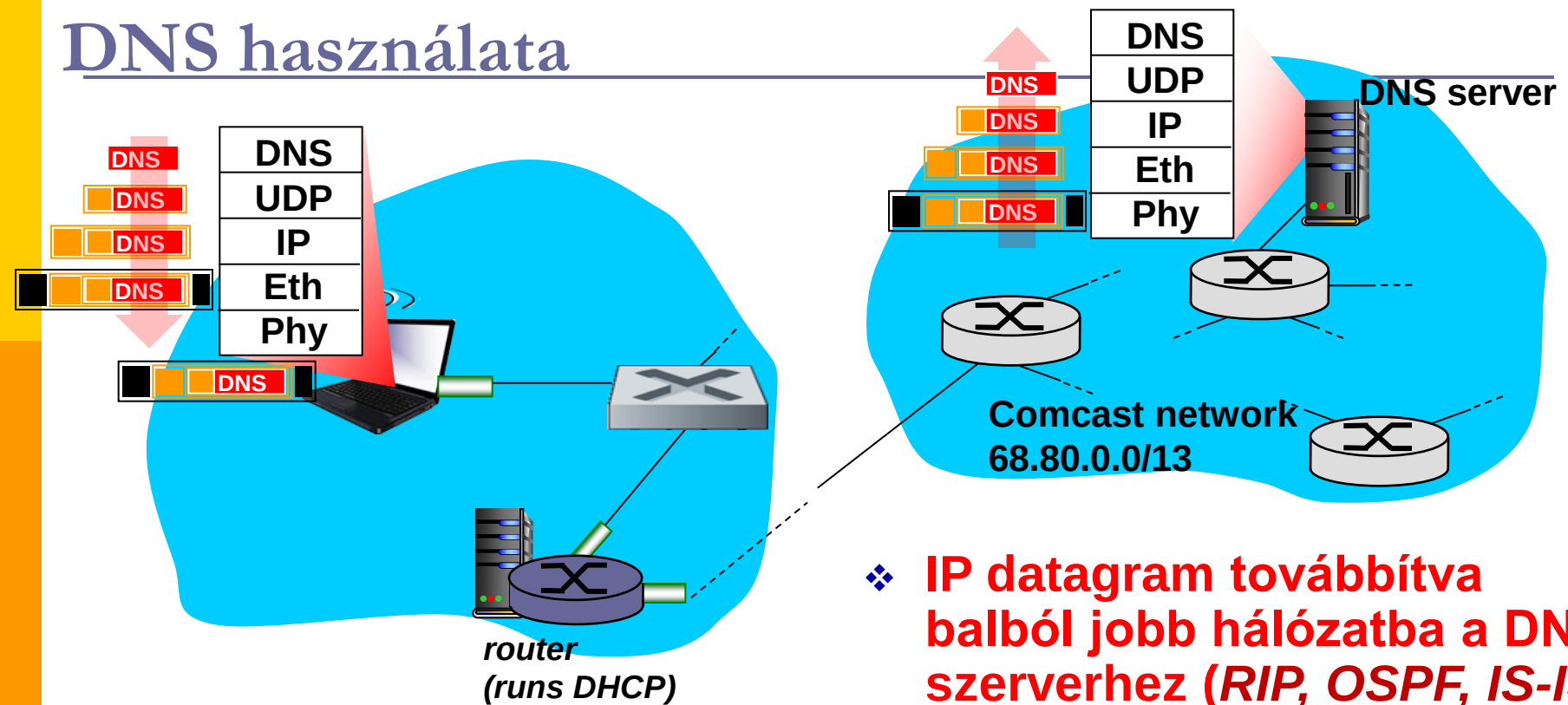
***Kliensnek most van IP címe,
tudja a DNS szerver nevét és címét, és
az első ugrásra lévő router IP címét***

ARP (DNS előtt, HTTP előtt)



- ❖ **HTTP** request üzenet küldése előtt, kell a www.google.com IP címe: **DNS**
- ❖ **DNS query** üzenet létrehozva, UDP-be ágyazva, IP-be ágyazva, Ethernetbe ágyazva. Ahhoz hogy a routernek keretet küldjön, kell a router IF **MAC** címe: **ARP**
- ❖ **ARP query** broadcast (szórás), router megkapja, válaszol **ARP reply** üzenettel melyben megadja router interfész **MAC** címét.
- ❖ Kliens most ismeri első ugráson lévő router **MAC** címét, tud **DNS query** tartalmú keretet küldeni

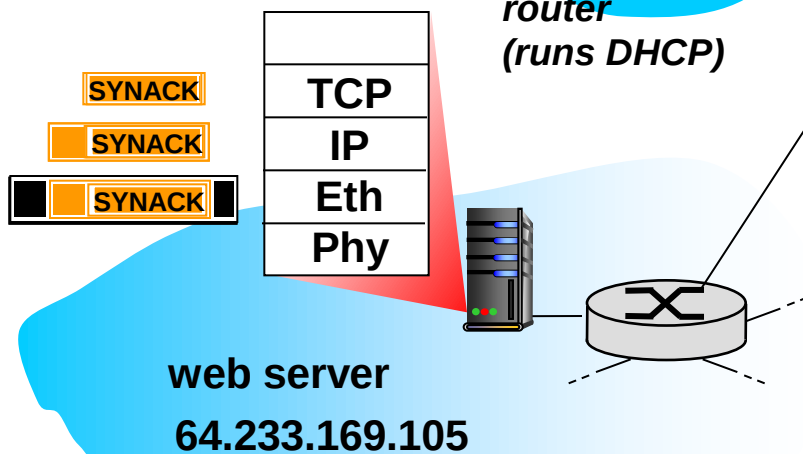
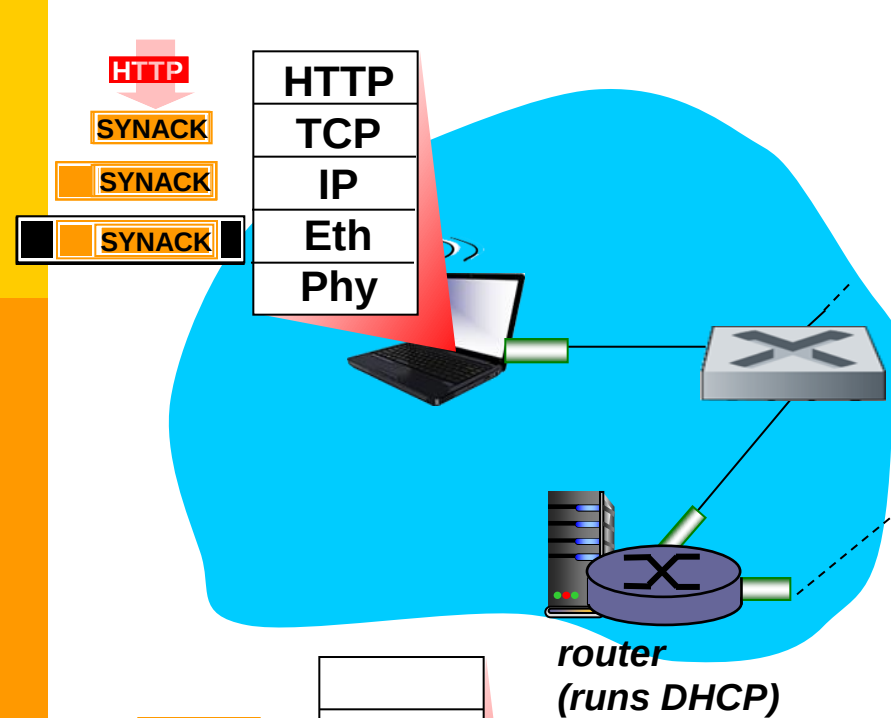
DNS használata



- ❖ DNS query tartalmú IP datagram továbbítva a LAN switch által az első ugráson lévő routernek

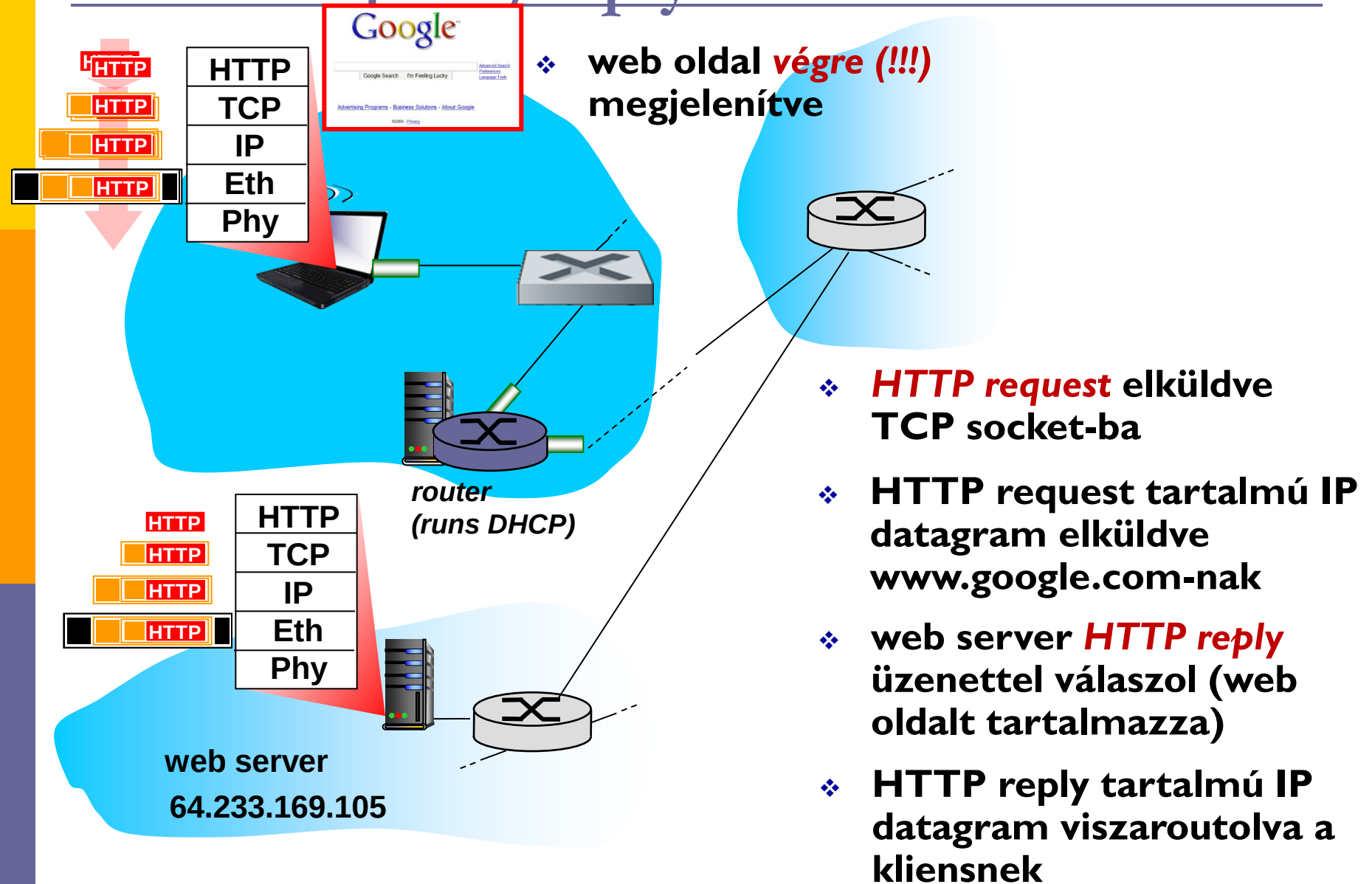
- ❖ IP datagram továbbítva balból jobb hálózatba a DNS szerverhez (*RIP, OSPF, IS-IS és/vagy BGP* routing protokollok routing táblákat hoznak létre)
- ❖ Demux-olva DNS szervernek
- ❖ DNS server kliensnek válaszol **www.google.com** IP címével

TCP socket: TCP session szállít HTTP keretet



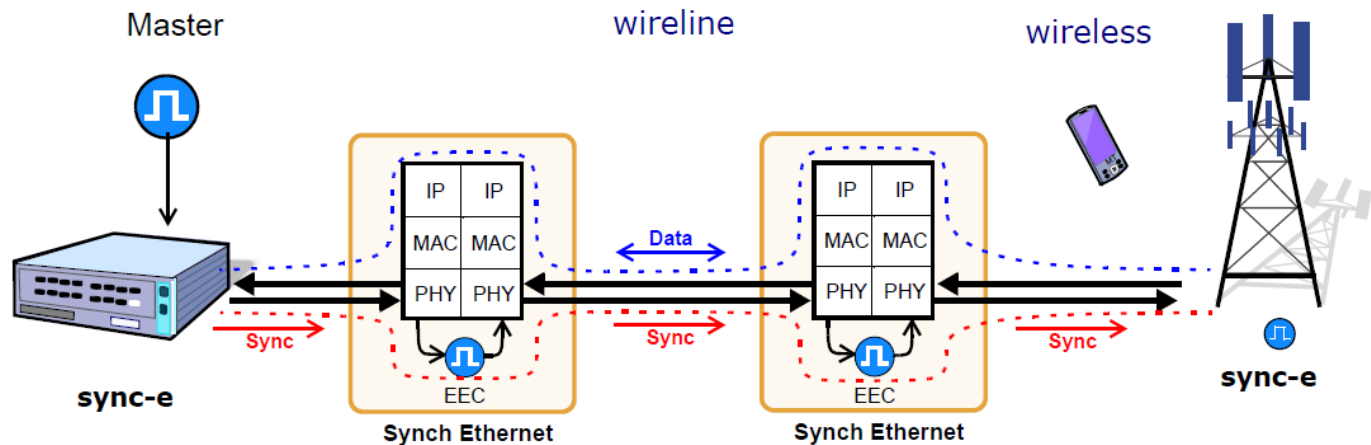
- ❖ **HTTP request** üzenet küldéséhez kliens **TCP socket**-et nyit web szerver felé
- ❖ **TCP SYN segment** (a három irányú kézfogás első iránya) *inter-domain* útválasztás web szerver felé
- ❖ web server válaszol **TCP SYNACK** üzettel (a három irányú kézfogás második iránya)
- ❖ **TCP összeköttetés létrehozva!**

HTTP request/reply



SyncE – Nincsen 5G Eth nélkül?

- ❑ Synchronous Ethernet (ITU-T !!! (és IEEE))
 - Órajel átvitele Eth fizikai réteggel
 - Celluláris hálózatok (5G), Eth PON, IPTV, VoIP, stb.
- ❑ Ethernet Clock ± 100 ppm helyett
- ❑ EEC (Ethernet Equipment **Slave** Clock)
 - ± 4.6 ppm (ppm: part per milion: 10^{-6})
 - PLL (Phase Locked Loop)
 - PRC-re hangolódik (Primary Reference Clock) (**Master**)
 - heart-beat message: 4 bit SSM (Synchronization Status Message) code

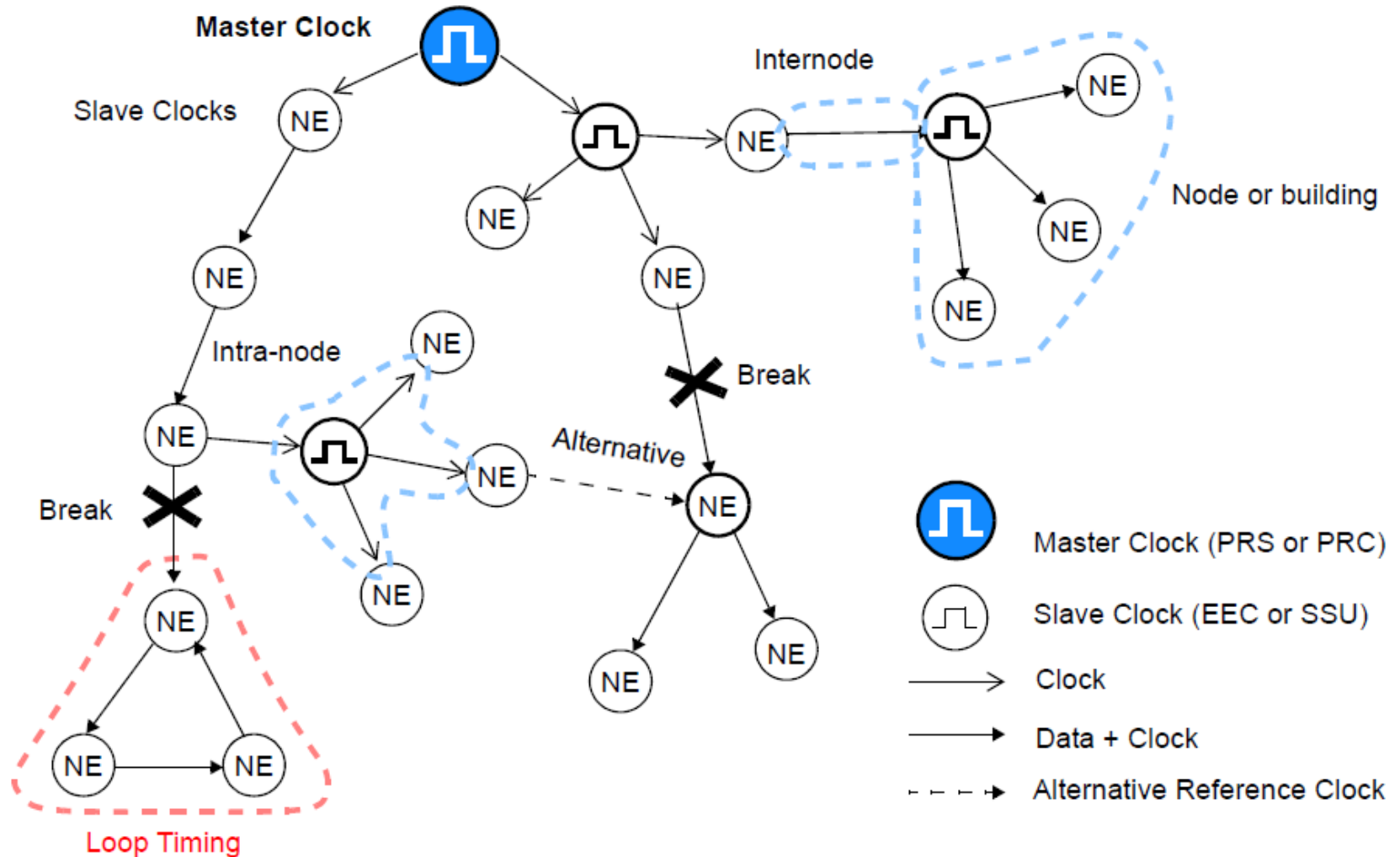


Forrás:

https://en.wikipedia.org/wiki/Synchronous_Ethernet#/media/File:Sync-network-wless.png

By Jose Manuel Caballero - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23720820>

Szinkronizáló topológia és hierarchia



Forrás: https://en.wikipedia.org/wiki/Synchronous_Ethernet#/media/File:Synce-network-topology.png

By Jose Manuel Caballero - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23720820>

Eth Autonegotiation

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Autonegotiation>

□ Adó-Vevő közti összehangolás:

■ Simplex-Duplex

- half-duplex: 10/100/1000 Mbps
- full duplex: 20/200/2000 Mbps

■ Bitsebesség

■ Folyam szabályozás (Flow Control)

□ Legfelsőt választják

- (legkisebb sorszám)
- Amit mindkét eszköz támogat

1	40GBASE	-T	full duplex
2	25GBASE	-T	full duplex
3	10GBASE	-T	full duplex
4	5GBASE	-T	full duplex
5	2.5GBASE	-T	full duplex
6	1000BASE	-T	full duplex
7			half duplex
8	100BASE	-T2	full duplex
9		-TX	full duplex
10		-T2	half duplex
11		-T4	half duplex
12	10BASE	-TX	half duplex
13		-T	full duplex
14			half duplex

Összefoglalás

- ❑ Eth, FE (Fast Eth), GbE, 10GbE, 100GbE, TbE, 1.6TbE...
- ❑ A legfontosabb (túlélő) adatkapcsolati technika!
- ❑ Már nem csak LAN (metro)
- ❑ Már nem (csak) osztott közeg
- ❑ Párhuzamosan – inverz MUX
- ❑ Optikán
- ❑ Igen sok változata van – óvatosan!

Házi Feladat (melegen ajánlott)

- Látogasson el az alábbi szervezetek honlapjára és nézzen körül:
 - ISO
 - ITU-T
 - IETF
 - IEEE
 - 3GPP