Hálózati Technológiák és Alkalmazások

Vida Rolland, BME TMIT

2020. szeptember 15.

SINCE 1992

HSN Lab

Előadók

Vida Rolland

egyetemi docens, tárgyfelelős

IE 348, vida@tmit.bme.hu

Moldován István

IB 229, moldovan@tmit.bme.hu

Adminisztratív részletek

Tárgy honlapja:
http://www.tmit.bme.hu/vitmac05

Jegyzet nincs, de (viszonylag) részletes fóliák

Előadások Teams-en, órarendi időpontban
- Felvétel készül, később is megnézhető
- Élőben meghallgatni nem kötelező **(de ajánlott)**

Gyakorlatok

TVSZ szerint a gyakorlatok legalább 70%-ra kötelező bejárni

- Idén ezt nem tudjuk érvényesíteni, ellenőrizni
- A gyakorlatokon való részvételt továbbra is ajánljuk

Gyakorlatok nem feltétlenül órarend szerint, hanem az anyaghoz kötődően

- Időben jelezzük majd, mikor lesz gyakorlat

Számonkérés

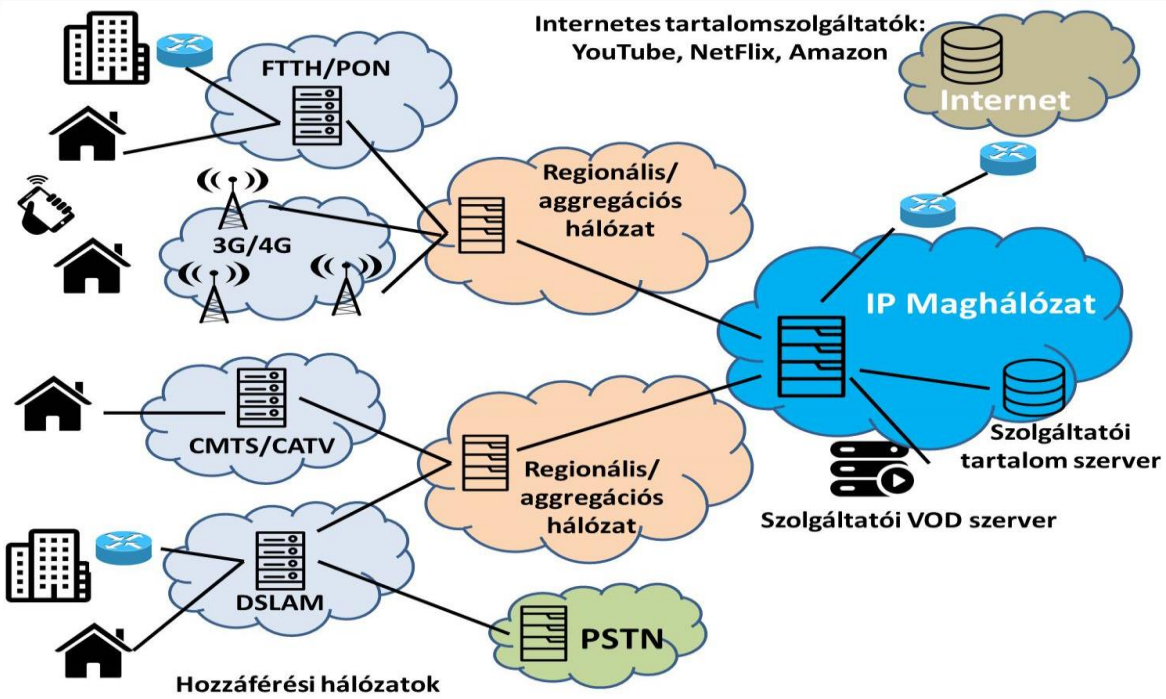
- 1 db nagy ZH
- 1 pót ZH
- 1 PPZH a pótlási héten
  - a ZH nem számít be a jegybe, aláíráshoz kell
  - Ugyanabból az anyagból a ZH, PZH, PPZH

- Lehetőleg jelenléti írásbeli vizsga
  - Ha nem lehetséges, esetleg szóbeli

Milyen hálózatokról beszélünk?

HSN Lab
SINCE 1992

Szolgáltatói hálózat



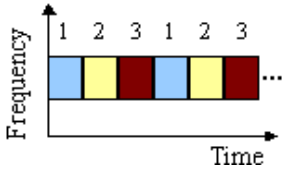
Hozzáférési hálózatok - alapfogalmak

- A telekommunikációs hálózat azon része, mely közvetlenül összeköti a felhasználót a szolgáltatóval
  - Ethernet, WLAN, FTTx, xDSL, kábelnet, …
- Gyakran **osztott átviteli közeg** *(shared transmission medium)*
  - Többen hallanak engem, és én is több mindenkit hallok
  - Nem lehetséges fizikailag, vagy nem éri meg anyagilag minden felhasználónak dedikált átviteli csatornát biztosítani
- A megoldandó feladat az átviteli közeghez (csatornához) való **hozzáférés szabályozása**
  - A felhasználók nem tudják egymásról, hogy ki mikor szeretne adni
  - A küldéseket koordinálni kell

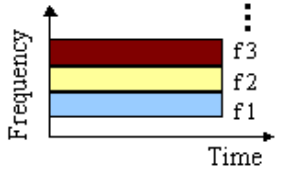
Többszörös hozzáférés *(Multiple Access)*

Fix kiosztásra alapuló megoldások

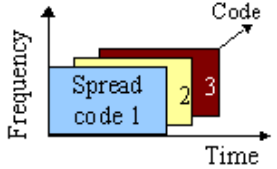
- **TDMA – Time Division Multiple Access**
  - Minden felhasználónak saját időszelete amikor küldhet
  - A teljes frekvenciatartományt használhatja



- **FDMA – Frequency Division Multiple Access**
  - A spektrumot frekvenciacsatornákra vágjuk
  - Minden felhasználó a saját frekvenciáján kommunikál



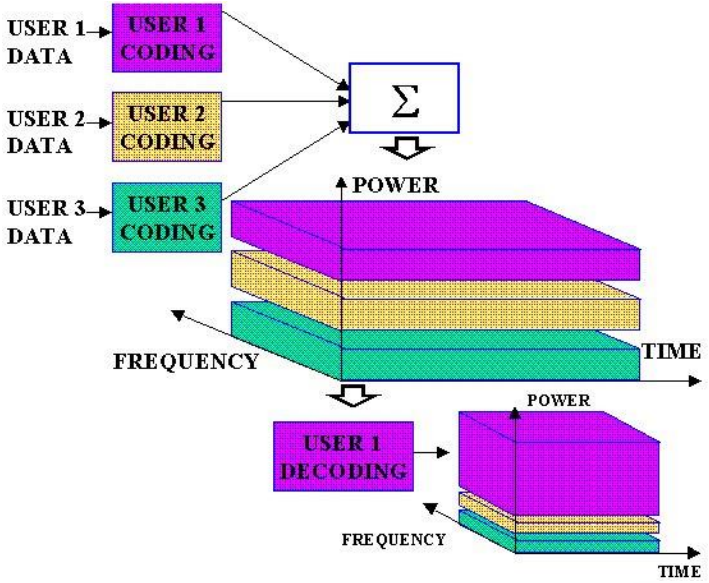
- **CDMA – Code Division Multiple Access**
  - Minden felhasználó a teljes csatornán, egyfolytában kommunikál
  - Kódelmélet segítségével különítjük el a forgalmakat
  - Mint egy vacsorázó társaság az asztal körül…



Többszörös hozzáférés *(Multiple Access)*

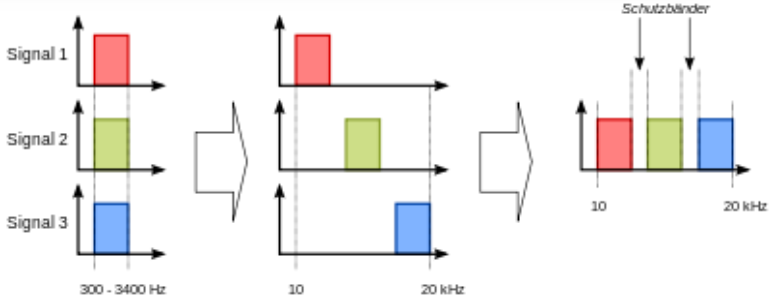
CDMA

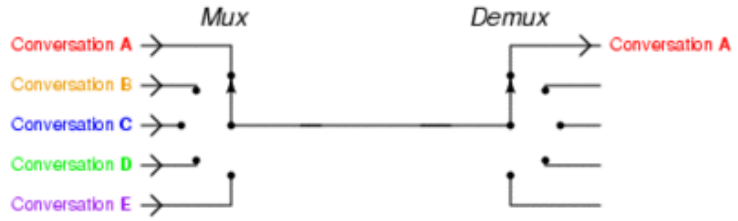
- Az adó megszorozza a jelet egy kóddal (spreading code), és az eredményt küldi el
- A vevő a vett jelet újra megszorozza ugyanazzal a kóddal, reprodukálva az eredeti jelet
- Minden felhasznált kód ortogonális
  - Két különböző kód összeszorzása ‘nullák’ sorozata lesz



Multiple Access vs. Multiplexing

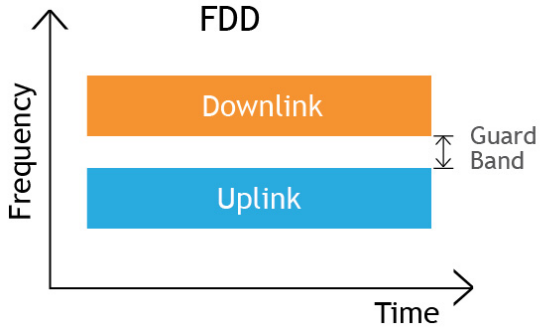
- **Multiple Access**
  - Adatkapcsolati (MAC) réteg, dedikált erőforrások
- **Multiplexing (TDM, FDM, CDM)**
  - Több jel párhuzamos átvitele ugyanazon a fizikai csatornán
  - Multiplexer – a küldő oldalon
  - Demultiplexer – a vevő oldalon, szétválasztja a jeleket
  - Fizikai réteg, nincsenek dedikált erőforrások

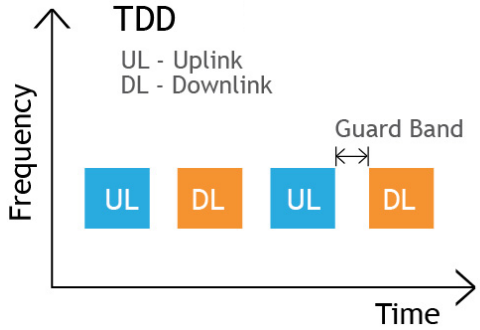




Multiple Access vs. Duplexing

- **Duplexing (TDD, FDD)**
  - A downlink és uplink forgalom közötti megosztás
  - **FDD – Frequency Division Duplexing**
    - „Párba állított” frekvenciák, elkülönített uplink és downlink csatornák
  - **TDD – Time Division Duplexing**
    - Pár nélküli frekvenciák, rugalmasan megosztott uplink és downlink csatornák





Többszörös hozzáférés *(Multiple Access)*

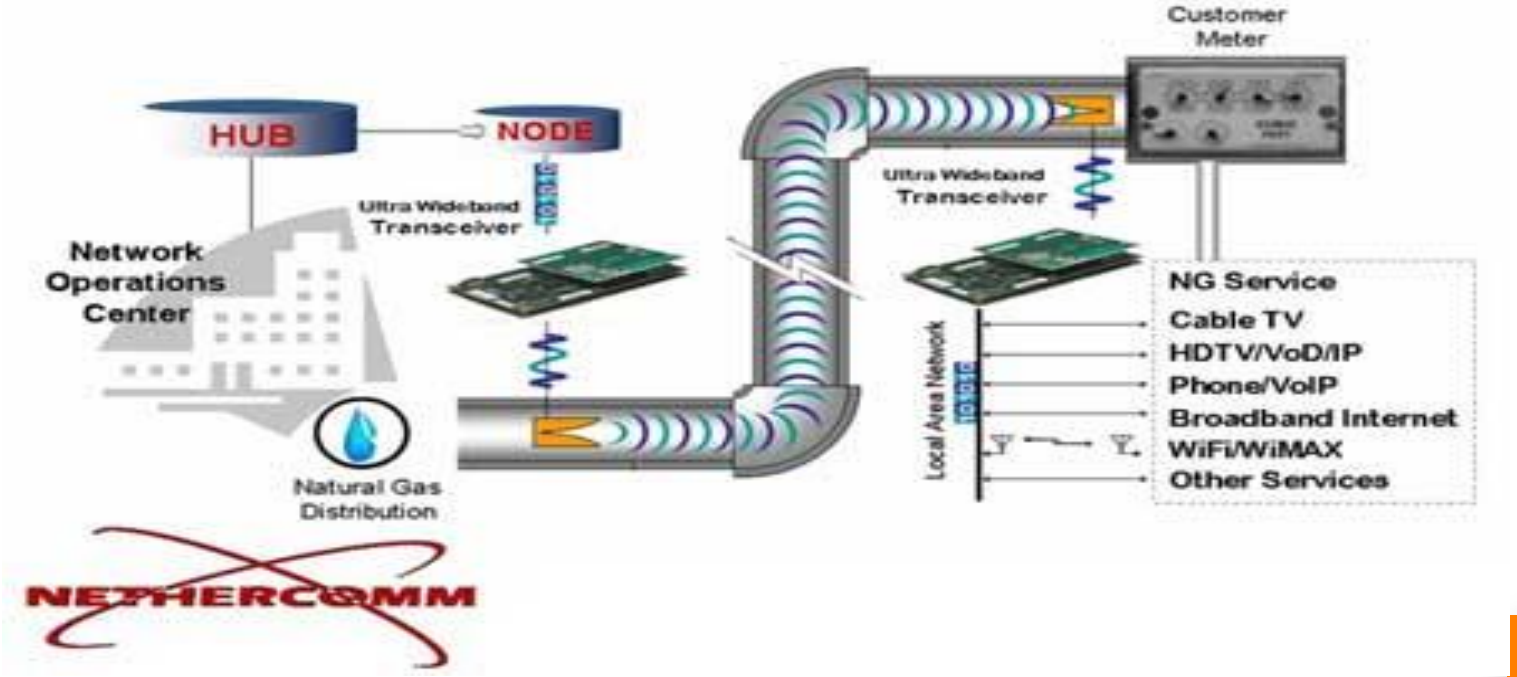
- A fix kiosztás nem hatékony ha kevés és börsztös a forgalom
- **Versengésre alapuló csatorna-hozzáférés**
  - **Lekérdezés** *(polling), majd az* **erőforrások lefoglalása és ütemezése** aktuális igények alapján
  - **Véletlen hozzáférés** *(random access)*
    - Egy csomópont akkor küld amikor akar, előzetes egyeztetés nélkül
    - Ha két vagy több csomópont egyszerre beszél, ütközés, majd később újraküldés
    - ALOHA, Slotted ALOHA, CSMA/CD

Hozzáférési hálózatok

Hozzáférési hálózatok

- (Vezetékes) hálózatok kiépítése nagyon drága lehet
  - Nem a vezeték a drága, hanem a munkálatok
    - Ásás, épületeken belüli munkák
- Megoldás: igénybe kell venni a már meglévő hálózatokat
  - Nyilvános kapcsolt telefonhálózat
    - Public Switched Telephone Network (PSTN)
  - Kábel TV hálózatok
  - Elektromos hálózat
  - Gázvezeték hálózat (?)
    - Ultra Wideband rádiós kommunikáció
  - Szennyvízcsatorna hálózat (?)
    - Optikai kábelek
- De bizonyos esetekben lehet azért újat is építeni…

Internet a gázvezetéken?



Internet a gázvezetéken?

- NetherComm ötlete 2005-ben
- Ultra Wideband
  - Nagy frekvenciasáv (>500 Mhz), nagy átviteli sebességek (100 Mbps)
  - Nagy teljesítményű adók esetén túl nagy interferencia más vezeték nélküli technológiákkal, ezért csak kis hatótávolságra engedélyezve
  - A föld alatti gázvezetékekben ez nem gond, lehet nagyobb teljesítménnyel adni
- Az UWB technológia ígéretesnek tűnt, de …
  - Szigorú szabályozás, lassú szabványosítás, az ígértnél lassabb sebességek
  - 2008-2009-ben az ipar nagy része kihátrált mellőle
  - A NetherComm is eltűnt…

A PSTN hálózat

HSN Lab
SINCE 1992

PSTN hálózat elemei

- **Előfizetői hurok**
  - Csavart réz érpár
  - A háztól vagy az irodától a helyi kapcsolóközpontig („local exchange”)
    - „Local loop”, „last mile”
- **Kapcsolóközpontok**
- **Trönkök**
  - a kapcsolóközpontokat összekötő szálak
  - gerinchálózat (törzshálózat)

- A kezdeti hálózat teljesen analóg
  - Fokozatos áttérés a digitális átvitelre, főleg a kapcsolóközpontok között (gerinchálózat)

PSTN


Local
Loop
A
A
Gerinchálózat
A
Local
Loop
A
Local
Exchange
Local
Exchange

Beszédcsatorna

- 4kHz sávszélességű beszédcsatorna
  - A beszédjel átviteli tartománya 0.3 – 3.4 kHz között
  - Védősávokkal kiegészítve
- Az emberi fül által érzékelhető frekvenciatartomány: 20Hz – 15-20 kHz
  - A beszédhangok átvitele volt a cél
  - Nem kell minden hallható hangot átvinni
    - Gazdasági megfontolások

PCM

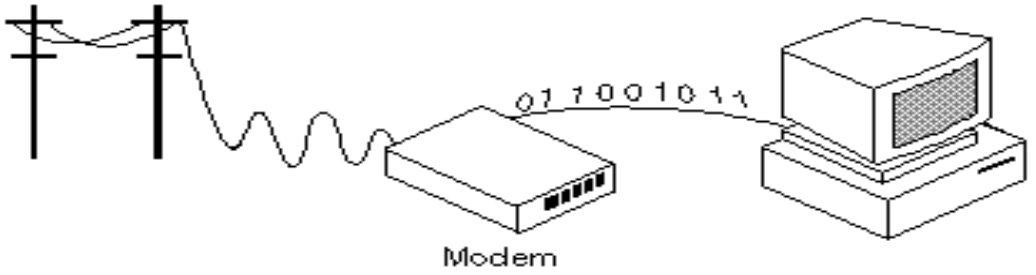
- Pulse Code Modulation
  - Az analóg jelek digitalizálására
- Nyquist tétel alapján 4kHz-es jelhez 8kHz-es mintavételezés
  - 256 jelszintre kvantálva
    - 8 biten kódolva

  - Átviteli sebesség: 8bit x 8kHz = 64 kbit/s

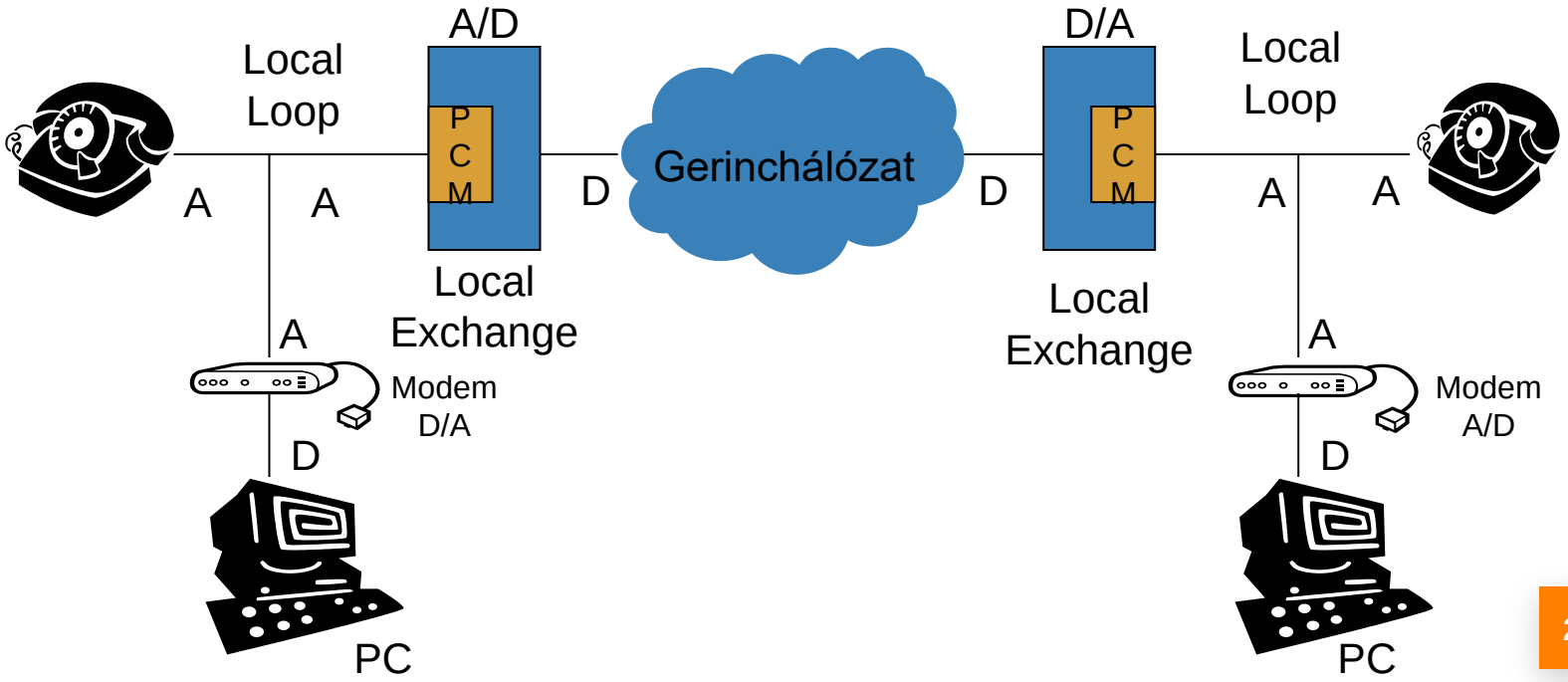
Digitális hangátvitel

Dial-up Access

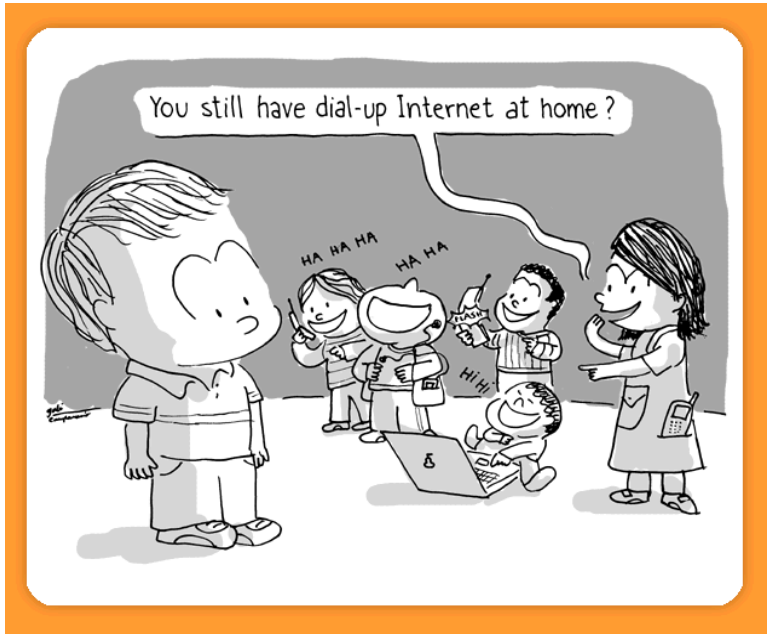
- „Betárcsázós internet”
- A computerek digitális információi analóg jellé alakíthatóak, és átvihetőek a hagyományos telefonhálózaton
  - „Modem” – modulator-demodulator



Dial-up modem



Kihalófélben a dial-up



Hálózati Technológiák és Alkalmazások

Vida Rolland, BME TMIT

2020. szeptember 15.

SINCE 1992

HSN Lab

Miért DSL?

- Telefon ipar (dial up) – 56 Kbps
  - Más technológiák, más szolgáltatók – jóval nagyobb sebességek
  - Lépni kellett az internetezők megtartása érdekében
- Megjelenik a „szélessávú” (broadband) hozzáférés
  - Inkább reklám mint technológiai tartalom
  - Nem egyértelmű mit értünk szélessávon
- xDSL – különféle DSL változatok
  - Digital Subscriber Line

Mitől gyors a DSL?

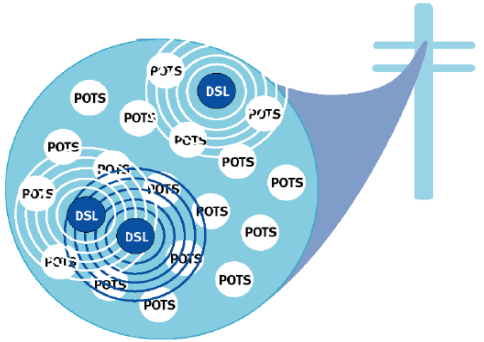
- **Miért lassú a dial-up?**
  - A telefonhálózatot beszédátvitelre optimalizálták
    - A helyi központban egy sávszűrő
    - Csak a 4 KHz-es beszédsáv marad
  - Az adatok is ezt a sávot használhatják csak
- Az **xDSL** előfizető vonalát egy olyan kapcsolóra kötik át, amelyen **nincs szűrő**
  - Kihasználhatóvá válik az előfizetői hurok teljes kapacitása
    - Függ a hurok hosszától, a kábelköteg vastagságától, és a minőségétől
    - Optimális viszonyok: új vezetékek, vékony kötegek, rövid hurok
- Ha nagy sebességet akarunk, sok helyi központot kell telepíteni
  - Ha valaki túl messze lakik, költözzön közelebb?
    - Minél alacsonyabb a sebesség, annál nagyobb a hatótávolság – több lehetséges előfizető
    - Minél alacsonyabb a sebesség, annál kevesebb érdeklődő, olcsón tudom csak eladni

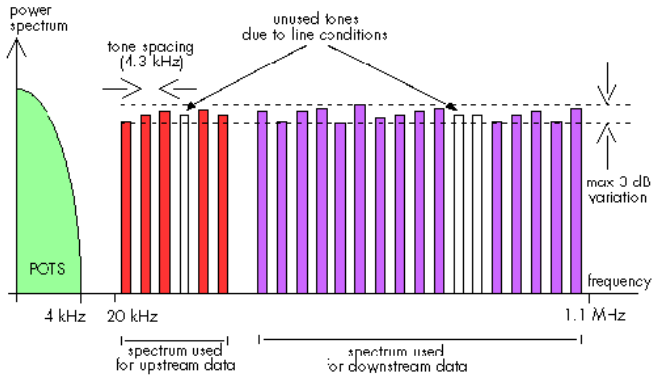
ADSL

- 1.1 MHz-es frekvenciatartomány
- 256 csatorna, egyenként 4.3125kHz
  - 0 csatorna – POTS (hang)
  - 1-5 csatorna – biztonsági sáv (üres)
    - A hang és adatátvitel közötti interferenciák elkerülésére
  - a maradék 250 csatornából 1 az upstream, 1 a downstream jelzése
  - a többi a felhasználói forgalomé
- Frekvenciák felosztása ADSL-nél
  - 0-4 kHz – hang
  - 4-25 kHz – biztonsági sáv
  - 25-160 kHz – upstream sáv
  - 200 kHz - 1.1 MHz – downstream sáv

ADSL

- Átvitel minden csatornán, párhuzamosan, az átviteli paraméterek függvényében
  - Csillapítás a magasabb frekvenciákon
  - Interferenciák
  - Áthallás (crosstalk) a kábelkötegben
- **A kapcsolat felépítésénél tesztel minden csatornát**
  - A jel/zaj viszony alapján több/kevesebb bit/csatorna
  - Esetleg más moduláció (x-QAM)
  - Ha túl zajos a csatorna, nem küldünk rajta





ADSL architektúra

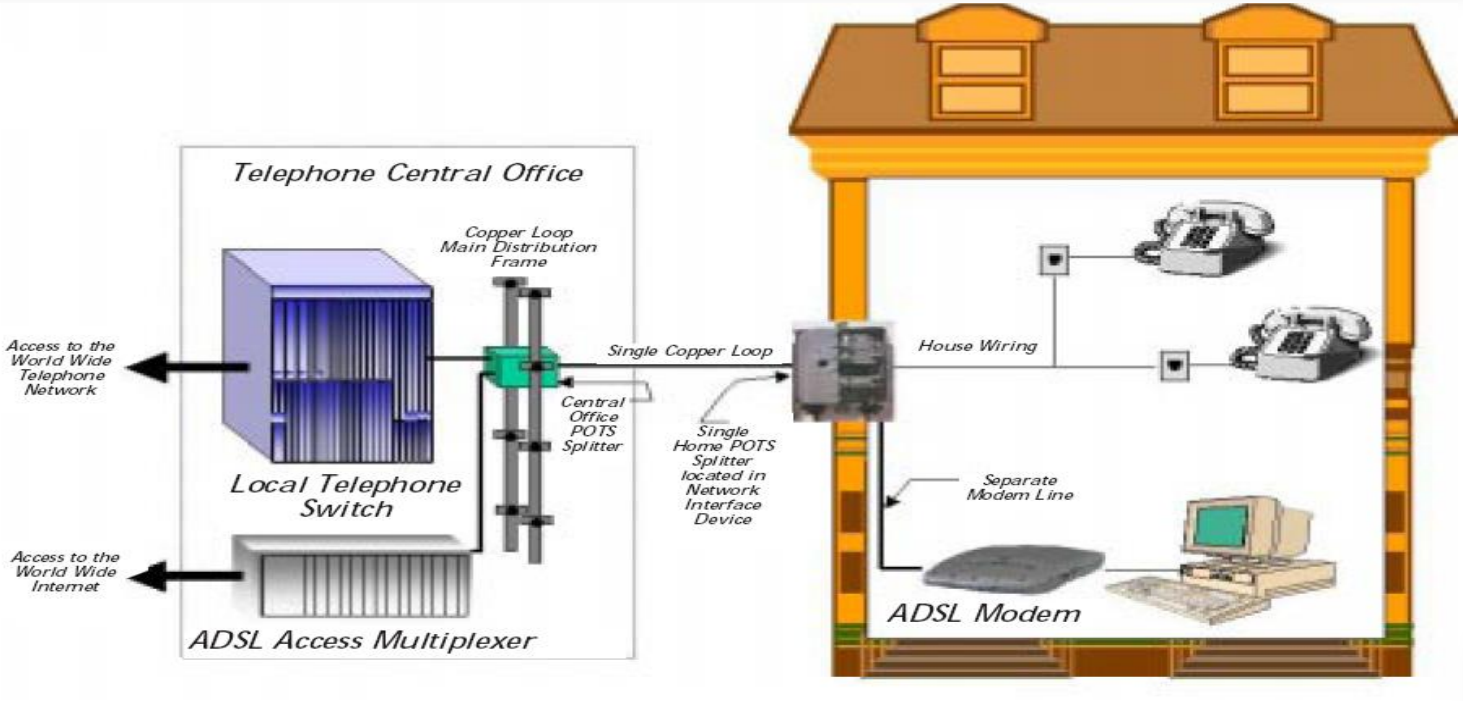
A szolgáltatónál

- **POTS Splitter**
  - Frekvenciaosztó a beszédjel és az adatok szétválasztására
    - A beszéd a hagyományos POTS switch-hez irányítva
    - A 25 KHz feletti rész a DSLAM-hoz
- **DSLAM – DSL Access Multiplexer**
  - AD / DA átalakító
  - Több előfizető adatforgalmát multiplexeli egy közös nagysebességű digitális kommunikációs csatornára
- **BRAS – Broadband Remote Access Server**
  - Csatlakoztatja a DSLAM-okat egy internetszolgáltató hálózatához

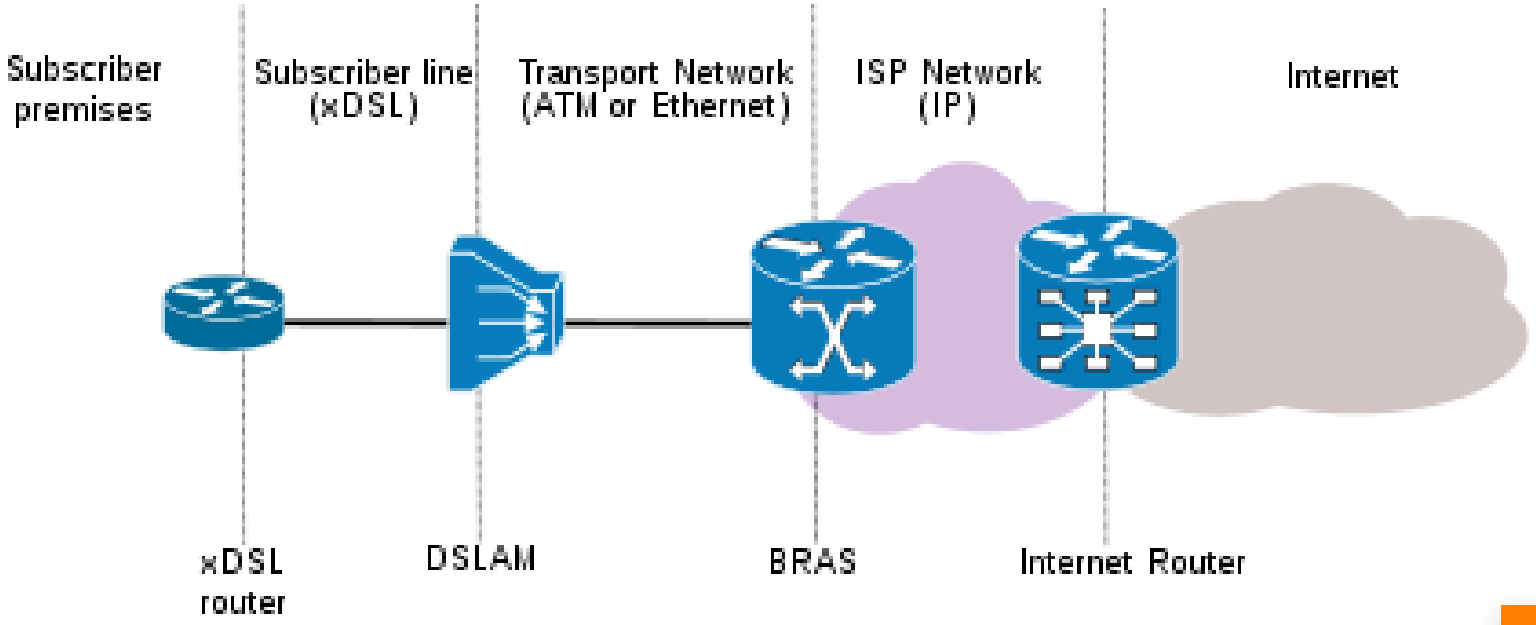
Az előfizetőnél

- POTS Splitter
- **ADSL modem**
  - Digitális jelfeldolgozó (DSP)
- Nagysebességű (Ethernet) összeköttetés a PC-vel

ADSL architektúra



ADSL architektúra



ADSL G.dmt

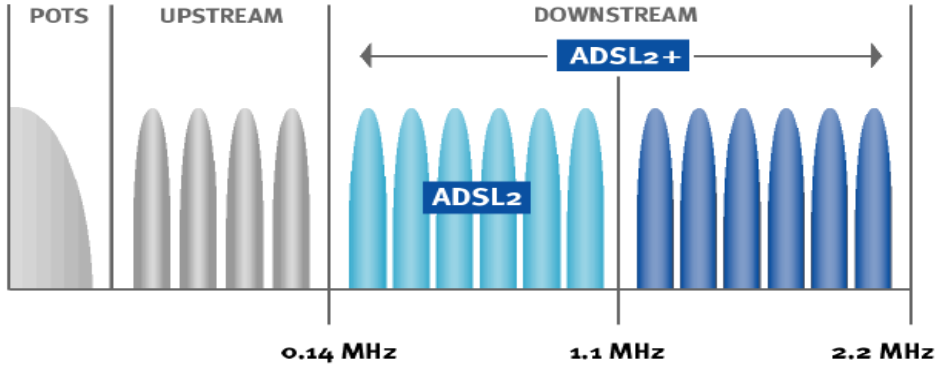
- ITU-T G.992.1 szabvány (1999)
- Lényegesen nagyobb a letöltésre elkülönített sávszélesség
  - a webes böngészés igényeire szabott technológia
  - maximális letöltési sebesség 8 Mbit/s
    - általában 512 Kbit/s – 1 Mbit/s
  - maximális feltöltési sebesség 1 Mbit/s
    - általában 64 Kbit/s – 256 Kbit/s
- A helyi központtól max. 3 km-es távolságig
- Ideális technológia lakossági felhasználásra
  - a hagyományos hangátvitellel közösen osztozik a már meglévő csavart érpáras vezetéken
  - a felhasználók egy időben telefonálhatnak és internetezhetnek ugyanazon a vezetéken keresztül

ADSL2

- ITU-T G.992.3 szabvány (2002)
- A hagyományos ADSL technológiát bővíti ki
  - A maximális adatátviteli sebesség 12 Mbit/s-ra nő
  - Az elérhetőségi távolság kb. 500 méterrel bővül
    - A hosszú vezetékeken tapasztalható interferenciák kiszűrésével
- Az ADSL2 átmenetileg átválthat „teljes digitális” módba
  - átadja a hangátvitelre elkülönített csatornákat is az adatátvitel számára
- Automatikus átviteli sebesség adaptáció
  - Seamless Rate Adaptation (SRA)
  - Menet közben tud változtatni a csatornákon, kiiktatja a zajosakat
    - Az ADSL-nél ez csak a kapcsolat megszakításával működött

ADSL 2+

- ITU-T G.992.5 szabvány (2003)
- Növeli a sávszélességet a használható frekvenciatartomány bővítésével
  - a hangátvitelre, illetve az adatfeltöltésre használt frekvenciák nem változnak
  - a letöltési csatorna maximális frekvenciája 1.1 MHz-ről 2.2 MHz-re bővül.
    - A maximális letöltési sávszélesség 8Mbit/s-ról 16 Mbit/s-ra nő
      - 1.5 km-es távolságon belül.



G.SHDSL

- **Symmetric High-speed DSL**
  - ITU-T G.991.2 (2001)

- 2.3 Mbit/s maximális átviteli sebesség mindkét irányban
  - egy második sodrott érpár hozzáadásával a kétirányú sebesség 4.6 Mbit/s-ra növelhető
  - A sebesség 3 km-es körzetben biztosítható
    - e távolságon felül az átviteli paraméterek fokozatosan gyengülnek

Üzleti SHDSL alkalmazások

- **Web hosting**
  - Olyan alkalmazások ahol a felhasználó egy web szerver-t üzemeltet egy DSL kapcsolaton keresztül
  - Nagy upstream sávszélességet igényel
- **Videokonferencia**
  - Egy videokonferencia szolgáltatás adat, text, hang és videó csomagok átvitelére épül
  - Mivel egy kétirányú szolgáltatás, egy szimmetrikus DSL kapcsolat (SHDSL) jobban megfelel
- **VPN (Virtual Private Network) szolgáltatások**
  - Magánhálózat a publikus telekommunikációs infrastruktúra felett
  - Az adatforgalom biztonsága (privacy) alagutazással és kódolással garantálva
  - VPN kapcsolatok SHDSL felett egy cégcsoport irodáinak összekötésére, ott ahol egy optikai kábeles megoldás nem elérhető, vagy túl drága
- **Remote LAN Access**
  - Távmunka (teleworking) vagy SOHO (Small Office Home Office) esetén a vállalati hálózat elérésére

Otthoni SHDSL alkalmazások

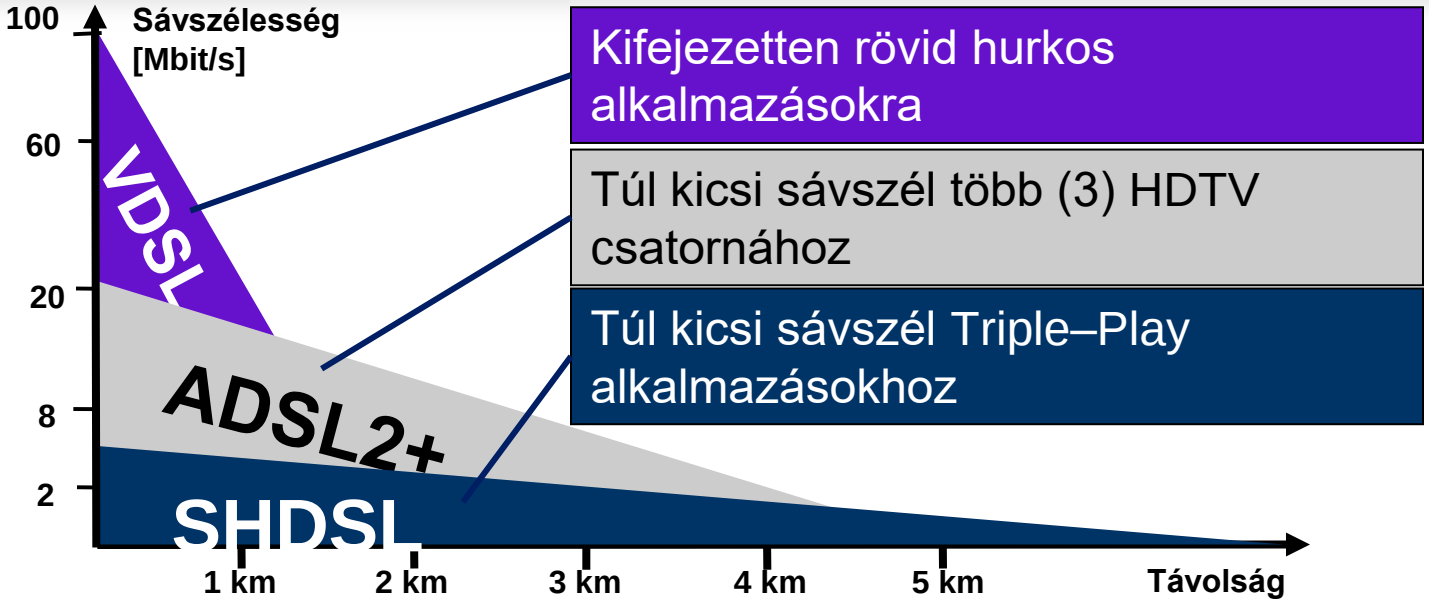
- **Internet Gaming**
  - Egy otthoni felhasználó egy game szerver vagy más otthoni felhasználók ellen játszik
  - Nagyon fontos a jó minőségű (upstream) kapcsolat
- **Residential Gateway Access**
  - Egy olyan CPE (Customer Premises Equipment) melyen keresztül több otthoni szolgáltatás is elérhető (Internet hozzáférés, otthoni videofelügyelet, intelligens otthon)
- **Peer-to-peer alkalmazások**
  - Fájlcsere, alkalmazás rétegbeli multicast
  - Szimmetrikus kapcsolat előnyt jelent a letöltési sebességnél
    - Ha te is tudsz feltölteni másoknak, hasznos peer leszel, jobb lesz a letöltésed

VDSL

- HDSL (*High bit-rate DSL*) – ITU-T G.991.1 (1998)
- VDSL (Very-high-data-rate DSL) - ITU-T G.993.1 (2004)

- Lényegesen nagyobb sebességű adatátvitel kis távolságokon
  - 52 Mbit/s downstream,16 Mbit/s upstream
    - Lehet szimmetrikus is (26-26 Mbit/s)
  - 12 MHz sávszélesség
  - Max. 1 km hatótávolság
    - Inkább 300 méter
- Leginkább optikai hálózatok épületeken belüli kiterjesztésére javasolják, mintsem vidéki szétszórt felhasználócsoportok szélessávú bekötésére
  - Az optikai kábelek épületeken belüli telepítése a számos hajlítás szükségessége miatt nem ajánlott
  - A sodrott érpárt használó VDSL vonalak jó kiegészítést jelentenek

VDSL2



Kifejezetten rövid hurkos alkalmazásokra

Túl kicsi sávszél több (3) HDTV csatornához

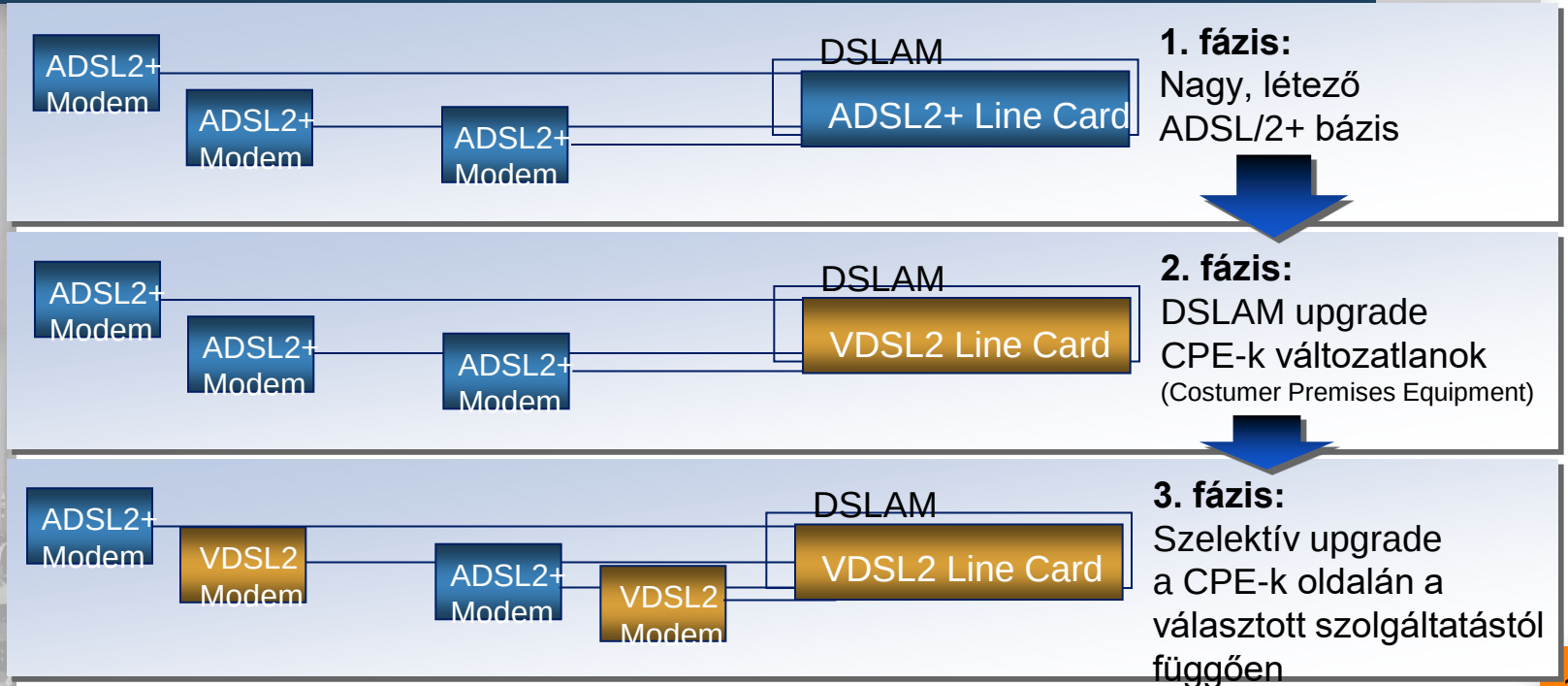
Túl kicsi sávszél Triple–Play alkalmazásokhoz

VDSL2 = VDSL sebesség ADSL/2+ hatótávolsággal

VDSL2

- ITU-T G.993.2 (2006)
  - 100 Mbit/s downstream és upstream
  - 30 MHz-es frekvenciatartomány
  - 3 km-es hatótávolság
    - A nagy sebesség és a nagy hatótávolság egyszerre nem teljesíthető
- 8 meghatározott profil, különböző szolgáltatási szinteknek
  - Más és más sávszélesség igény régiónként
- ADSL kompatibilis (a VDSL nem az)
  - Könnyen telepíthető, vonzó technológia a szolgáltatók részére

ADSL kompatibilitás



Triple Play

- Marketing kifejezés 3 párhuzamos IP alapú szolgáltatásra
  - internet
  - TV - Video on Demand (VoD) vagy Live Streaming
  - Telefon - Voice over IP (VoIP)
- Inkább egy üzleti modell, mint egy technológiai szabvány
- Quad(ruple) Play
  - Ugyanaz a 3 szolgáltatás egy vezeték nélküli interfészen

VDSL2 QoS

Alkalmazás	Érzékenység a késleltetésre	Érzékenység a csomagvesztésre
Adat	/	Igen
Video	Nem	Igen
Hang	Igen	Nem
Gaming	Igen	Igen

- A VDSL-ben nincs QoS (Quality of Service) támogatás
  - A VDSL2-ben van
  - Szükséges a triple-play szolgáltatásokhoz
- Az alkalmazásoknak különböző igényeik vannak
  - Voice
    - Késleltetés – max. 150ms end-to-end
    - BER (bit error rate) – 10^{-5} és 10^{-2} között, a codec-től függően
  - Video
    - Késleltetés – másodpercek! VoD vagy live streaming esetén
      - Csatornaváltás, pufferelés
    - BER – 10^{-7} -től (videotelefon) 10^{-13} –ig (HDTV)
      - High Definition Television

VDSL2 QoS

- Különböző forgalom típusok
  - Voice
    - Kis csomagok (100-400 byte/csomag)
    - Konstans sebességgel generálva
  - Video
    - Nagy csomagok
    - Változó sebességgel generálva (börsztös forgalom)
- „dual path” - „dual latency” támogatás a VDSL2-ben
  - Forgalom típusonként dedikált sávszélesség
  - A börsztös videó nem zavarja a voice forgalmat

G.fast

- A legújabb DSL szabvány (2014)
  - 106 MHz-es frekvenciatartomány (később 212 MHz)
  - 150 Mbit/s-től 1 Gbit/s-ig
  - Néhány száz méter, FTTB kiegészítésre
- A korábbi xDSL szabványoktól eltérően nem FDD-t hanem **TDD**-t használ az upstream és downstream szétválasztásra
  - 90/10 és 50/50-es profilok kötelezőek
  - Mivel a TDD nem egy folyamatos üzemmód, akár hosszabb időre is kikapcsolhatunk egy adót és egy vevőt
    - Ha nincs küldendő adat, lehet energiát spórolni

Más DSL megoldások

- HDSL (*High bit-rate DSL*)
- IDSL (*ISDN DSL*)
- MSDSL (*Multirate Symmetric DSL*)
- RADSL (*Rate-Adaptive DSL*)

- Nem terjedtek el igazán

Hálózati Technológiák és Alkalmazások

Vida Rolland, BME TMIT

2019. október 8.

SINCE 1992

HSN Lab

Kábel TV

- Ötlet a 40-es évek végén
  - Jobb vétel ott, ahol a hagyományos antennák nem nyújtottak megfelelő minőséget
- Közösségi antennás televízió
  - Community Antenna Television – CATV
    - Egy dombtetőn elhelyezett nagy antenna
    - Erősítő fejállomás (head end)
    - Koaxiális kábel
- Családias üzletág, bárki telepíthetett ilyen szolgáltatást
  - Ha több előfizető, újabb kábelek és erősítők
- Egyirányú átvitel, a fejállomástól a felhasználók felé

A kábeltévé fejlődése

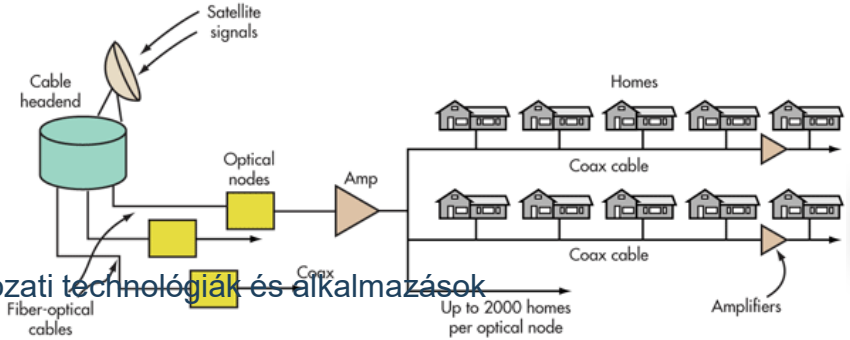
- 1970-re több ezer független rendszer
- 1974-ben elindul az HBO, kizárólag kábelen
  - Több új kábeles csatorna – hírek, sport, főzés, stb.
- Nagyvállalatok elkezdik felvásárolni a létező kábelhálózatokat, új kábeleket fektetnek le
  - Kábelek a városok között a hálózatok egyesítésére
  - Hasonló ahhoz, ahogy a távközlő iparban a század elején összekötötték a helyi központokat a távolsági hívások miatt
- Később a városok közötti kábeleket nagy sávszélességű fényvezető szálakra cserélik

HFC rendszer

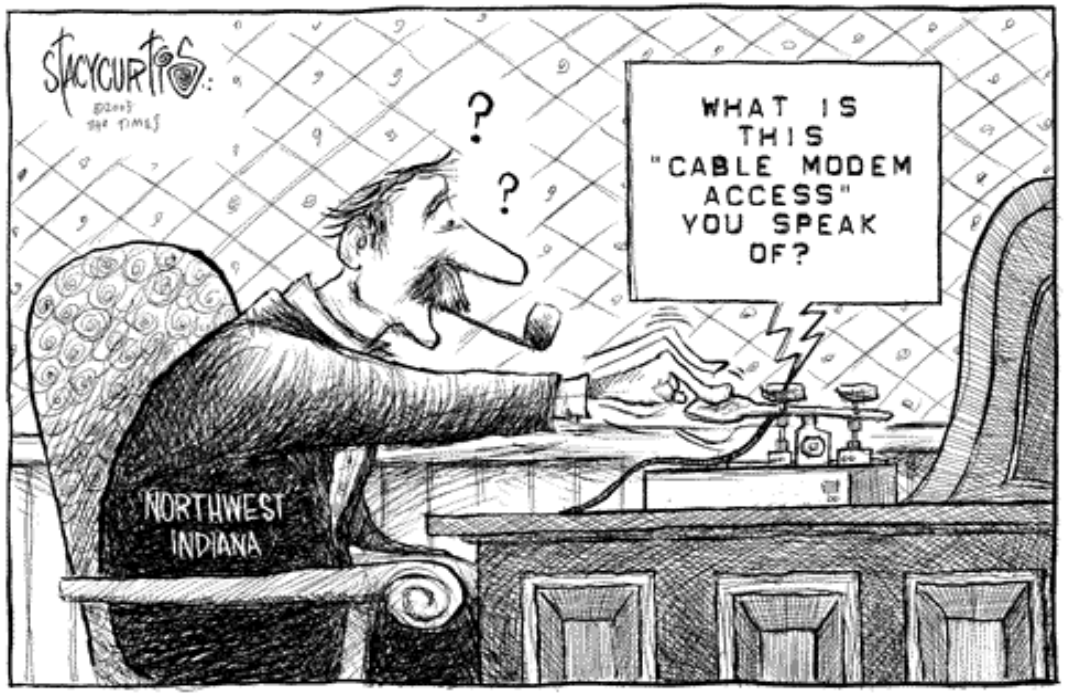
- HFC - Hybrid Fiber Coax
  - Fényvezető-koax hibrid rendszer
    - Fényvezető szálak a nagy távolságok áthidalására
    - Koaxiális kábel a házakhoz

  - Fényvezető csomópont (fiber node)
    - Elektrooptikai átalakító, a fényvezető és villamos rész közötti csatolásnál

  - Egy fényvezető szál több koax kábelt is táplálhat
    - Sokkal nagyobb sávszélesség



Internet a kábeltévén



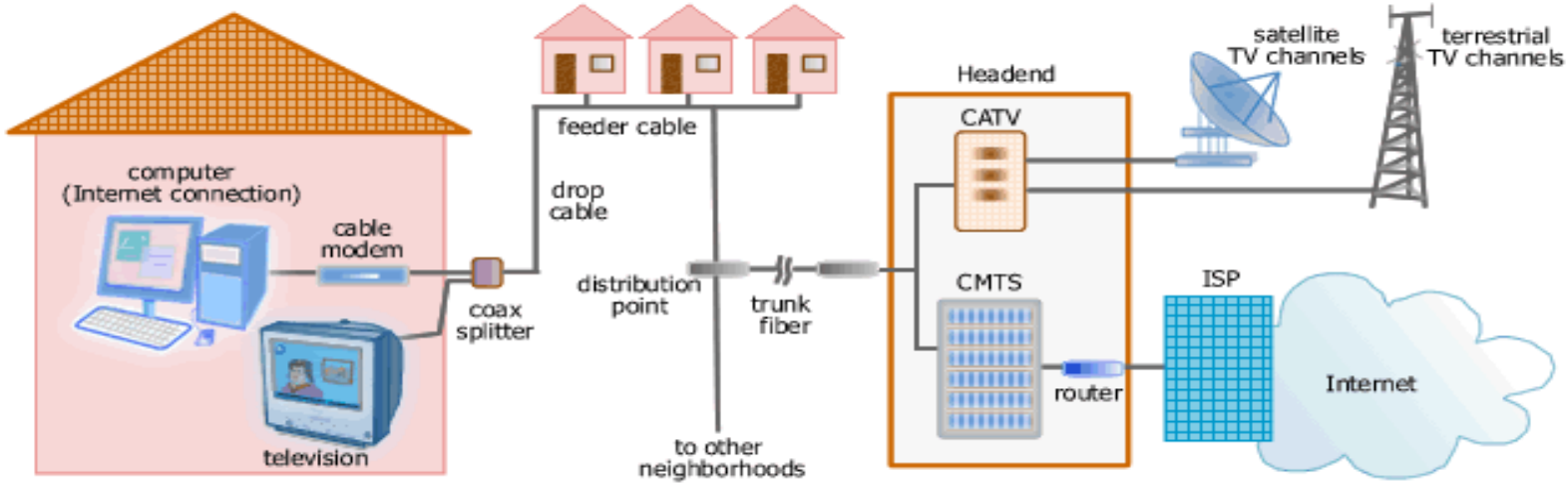
Internet a kábeltévén

- A kábelhálózat üzemeltetők elkezdték bővíteni a szolgáltatásaikat
  - Internetelérés, telefonszolgáltatás
- Át kell alakítani a hálózatot
  - Az egyirányú erősítőket kétirányú erősítőre kell cserélni mindenhol
  - A fejállomást fel kell fejleszteni
    - Egy buta erősítőből egy intelligens digitális számítógéprendszer, mely nagysebességű optikai szálakat csatlakoztat egy internet szolgáltató (ISP) hálózatához
    - Cable-Modem Termination System (CMTS)
  - A koax kábel osztott közeg, több ház egyszerre használja
    - A telefonhálózatban mindenki rendelkezik saját érpárral (előfizetői hurok)
    - A TV műsorok szórásánál ez nem fontos, minden műsort ugyanazon a kábelen szórnak, mindegy hogy 10 vagy 10.000 ember nézi azt egyszerre
    - Internetezésnél óriási különbség ha 10 vagy 10.000 felhasználó, mert ha valaki letölt egy nagy fájlt, a többieknek nem marad sávszél
    - Másfelől a koax kábel sokkal nagyobb sávszélt biztosít mint a sodrott érpár

Internet a kábeltévén

- Megoldás: több darabra osztunk egy hosszú kábelt
  - Minden szakaszt közvetlenül egy fiber node-hoz kötünk
  - A fejállomás és a fiber node-ok között a sávszélesség lényegében végtelen
    - Ha nincs túl sok felhasználó egy szakaszon, a forgalom kezelhető marad
  - Tipikusan 500-2000 ház egy szakaszon
    - További felosztás várható ahogy nő az előfizetők száma és a forgalom

Internet a kábeltévén

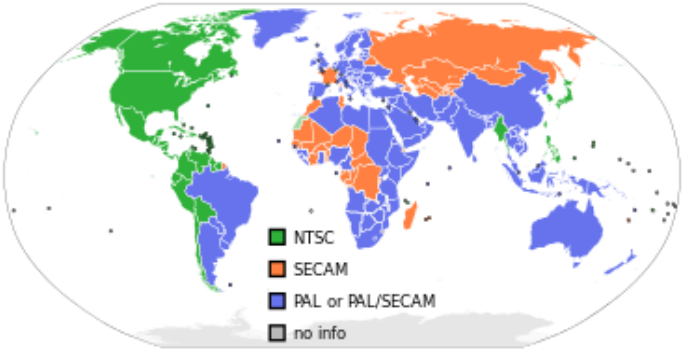


Spektrumkiosztás

- A kábelhálózatot nem lehet (egyelőre) kizárólag internetezésre használni
  - Több a tévénéző mint az internetező ügyfél
  - A városok szabályozzák mi mehet a kábelen, a tévészolgáltatás kötelező
  - Fel kell osztani a frekvenciákat a TV és az internet elérés között
- USA, Kanada
  - FM rádió: 88 – 108 MHz
  - kábeltévé-csatornák: 54 – 550 MHz
    - 6 MHz széles csatornák, védősávval együtt
      - **NTSC - National Television System Committee**
      - Felbontás: 720 x 480, 29.97 fps

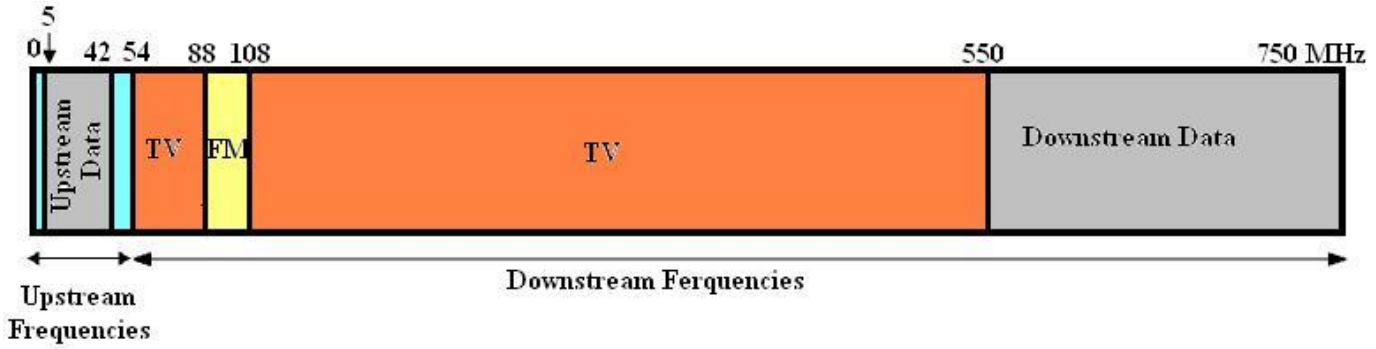
Spektrumkiosztás

- Európa
  - TV sávok alsó határa 65 MHz
  - 6-8 MHz széles csatornák
    - **PAL és SECAM** rendszerek nagyobb felbontási képessége miatt
      - PAL - Phase Alternating Line
      - SECAM - Système Electronique Couleur Avec Mémoire
      - Felbontás: 768 x 576, 25 fps
  - A sáv alsó részét nem használják



Spektrumkiosztás

- Modern kábeleken 550 MHz felett is lehetséges az adatátvitel, gyakran 750-800 Mhz felett is
  - Megoldás: feltöltés 5 – 42 MHz között (Európában 5 - 65 MHz)
  - A spektrum felső végén lévő frekvenciák a letöltéshez



Aszimetrikus átvitel

- A TV és rádió mind lefele halad
  - A fejállomástól a felhasználó felé
  - Felfele olyan erősítők melyek az 5-42 MHz-es tartományban működnek
  - Lefele az 54 MHz feletti tartományban működő erősítők
  - Aszimmetrikus rendszer, nagyobb downstream mint upstream
    - Ezt itt műszaki okok befolyásolják, nem úgy mint az ADSL-nél

Moduláció

- Minden 6-8 MHz-es csatornát **64-QAM**-el modulálnak
  - Quadrature Amplitude Modulation
  - Ha kivételesen jó minőségű kábel, akkor 256-QAM
- 6 MHz-es csatornán 64-QAM-el → kb. 36 Mbps
  - A fejlécek nélküli sávszél 27 Mbps, 256-QAM-el kb. 39 Mbps
  - Európában magasabb sávszél, a 8 MHz-es csatorna miatt
- A feltöltési csatornán a 64-QAM nem ilyen jó
  - Túl sok zaj a felszíni mikrohullámú rendszerek, CB-rádiók, stb. miatt
    - Citizen Band – walky-talky
  - QPSK moduláció
    - Quadrature Phase Shift Keying
    - Csak két bit szimbólumonként (a 64-QAM-nél 6, a 256-QAM-nál 8)
  - Sokkal nagyobb az upstream és a downstream közötti különbség

Kábelmodem

Kábelmodem

- A kezdetekben minden hálózatüzemeltetőnek saját modem-je, melyet egy technikus telepített
  - Nyílt szabvány kellett
    - Versenyhelyzethez vezet a modemek piacán
    - Csökkennek az árak
    - Ösztönzi a szolgáltatás terjedését
    - Ha a felhasználó telepíti a modemet, nem kell kiszállási költség
- **CableLabs**
  - A legnagyobb kábelszolgáltatók szövetsége
  - **DOCSIS** szabvány
    - Data Over Cable Service Interface Specification
    - EuroDOCSIS – európai változat
  - Sokan nem örültek neki
    - Nem tudták tovább drágán bérbe adni modemjeiket a kiszolgáltatott előfizetőknek

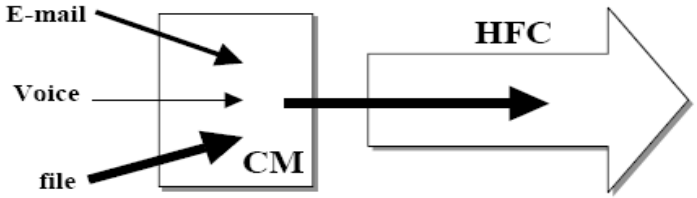
DOCSIS

- **DOCSIS 1.0** (1997)
  - RF Return
    - Kétirányú kommunikáció biztosítása
  - Telco Return
    - Dial-up kapcsolat az upstream forgalomra
    - Nem kell módosítani az infrastruktúrát, egyirányú kommunikáció a kábelen
  - A modemárak 300$-ról (1998) <30$-ra estek
- **DOCSIS 1.1** (1999)
  - VoIP, gaming, streaming
  - Kompatibilis a DOCSIS 1.0-val
  - Szolgáltatásminőségi osztályok (QoS) támogatása

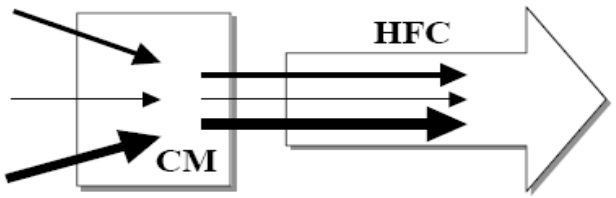
DOCSIS

- A DOCSIS 1.0-ban minden szolgáltatás „best effort” alapon versenyez a feltöltési sávszélért
- A DOCSIS 1.1-ben minden szolgáltatáshoz QoS garanciákat lehet rendelni

DOCSIS 1.0



DOCSIS 1.1

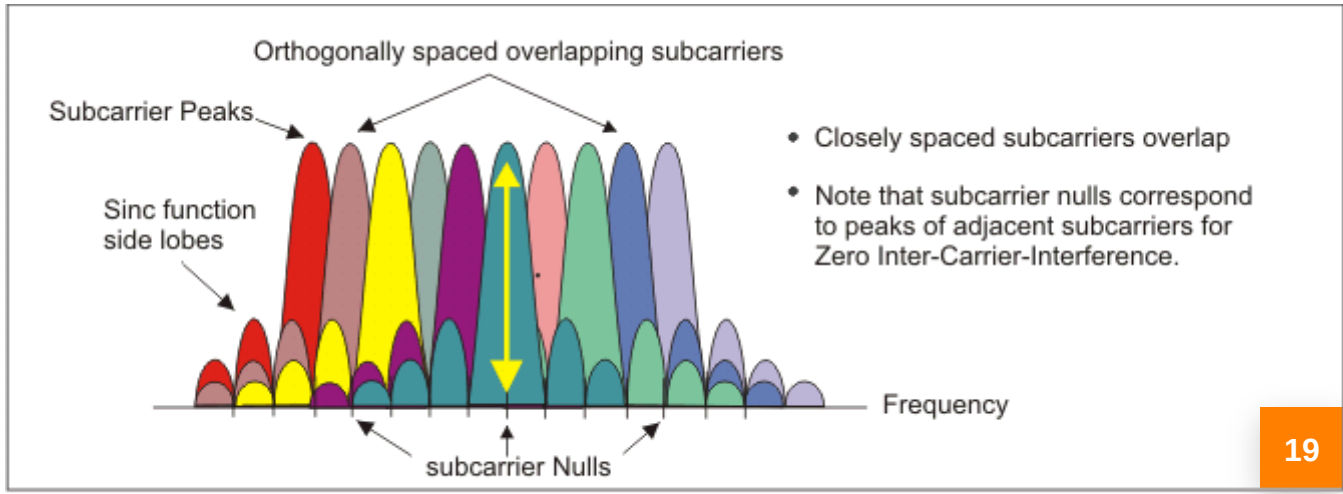


DOCSIS

- **DOCSIS 2.0 (2002)**
  - Kapacitás szimmetrikus szolgáltatásokhoz, nagyobb upstream kapacitás mint a DOCSIS 1.0-ban (x6) és a DOCSIS 1.1-ben (x3)
  - QPSK helyett 32-QAM, 64-QAM vagy 128-QAM az upstream részen is
  - TDMA helyett TDMA és S-CDMA (Snychronous CDMA) a MAC rétegben
    - Ugyanabban az időszeletben több modem több kódot használva
    - Kevésbé érzékeny az interferenciákra a CDMA miatt
- **DOCSIS 3.0 (2006)**
  - 160 Mbps downstream, 120 Mbps upstream
  - Channel bonding
    - Több csatornát párhuzamosan használhat egy felhasználó

DOCSIS 3.1 (2013)

- 10 Gbps downstream, 1 Gbps upstream, 4096 QAM moduláció
- 6-8 MHz széles csatornák helyett 20-50 KHz-s keskeny csatornák, OFDM
- Channel bonding – akár 200 MHz széles spektrum



OFDM Signal Frequency Spectra

DOCSIS 3.1 Full Duplex (FDX, 2018)

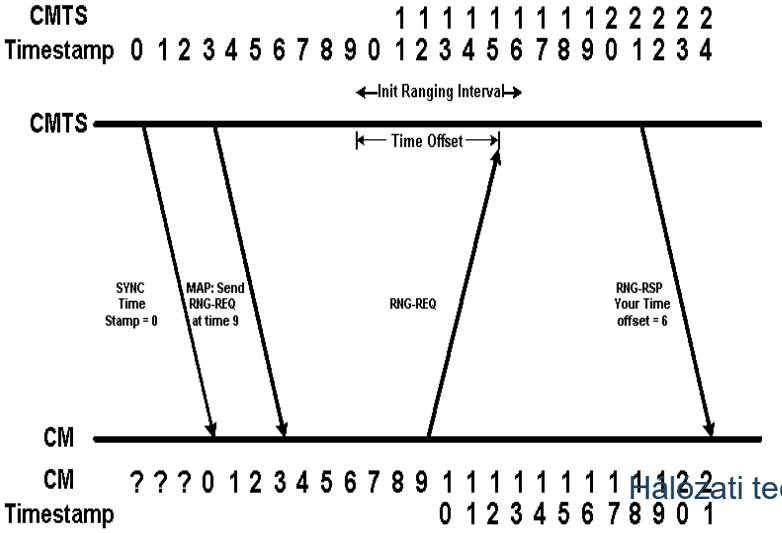
- Szimmetrikus sebességek, 10 Gbps mindkét irányba
- Adás mindkét irányba, minden frekvencián, folyamatosan
  - Nem egyénileg, hanem csoportonként,
    ha azok fizikailag jól elkülönülnek egymástól
  - Hatékony ütemezés a csoportok között

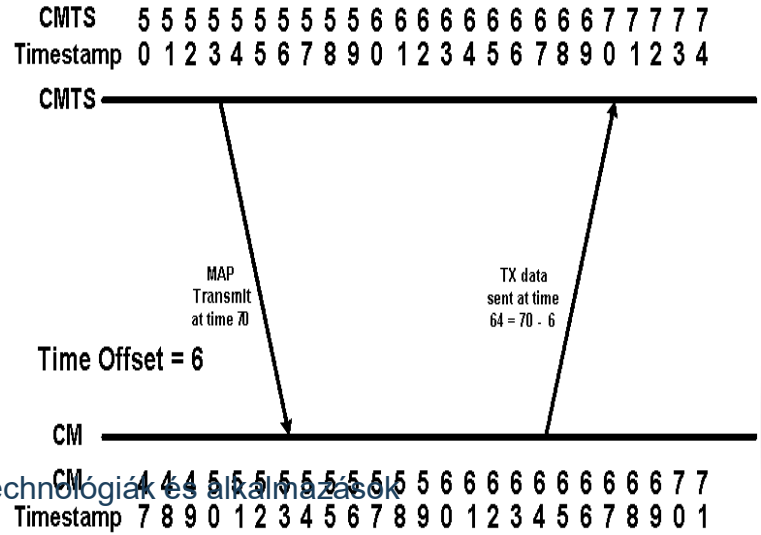
Csatlakozás

- Csatlakozásnál a modem pásztázni kezdi a letöltési csatornákat
  - A CMTS egy speciális csomagban időnként elküldi a rendszer paramétereit az újonnan kapcsolódó modemek részére
  - A modem bejelentkezik a CMTS-nél
  - A CMTS kijelöli az új modem feltöltési és letöltési csatornáit
    - Ezt később lehet változtatni, például a terhelés kiegyenlítése miatt
    - Több modem ugyanazon a feltöltési csatornán
  - Az első csomag a modemtől az ISP-hez megy
    - IP címet kér, DHCP (Dynamic Host Configuration) protokollon keresztül
    - A pillanatnyi pontos időt is megkapja a CMTS-től

Versenyhelyzetes feltöltés

- A modem megméri milyen távol van a fejállomás
  - Távolságbecslés (ranging) – mint a ping
  - Szükség van rá az időzítések miatt



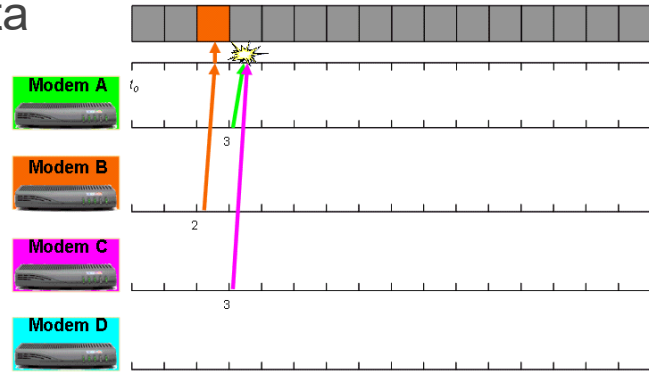


Versenyhelyzetes feltöltés

- A feltöltési csatornát mini időszeletekre osztják (minislot) – **FDD/TDMA**
  - Minden felfele haladó csomag egy vagy több minislot-ban
    - A minislot-ok hossza hálózatonként más és más
    - Tipikusan 8 byte felhasználói adat egy minislot-ban
- A CMTS rendszeresen bejelenti mikor új minislot-csoport kezdődik
  - A kábelen való terjedés miatt nem egyszerre hallják meg a modemek
    - Mindenki ki tudja számítani mikor volt az első minislot kezdete
  - Minden modemhez hozzárendelve egy speciális minislot (**Bandwidth Request Slot**) melyben feltöltési sávszélességet igényelhet
    - Több modem lehet ugyanazon a minislot-on

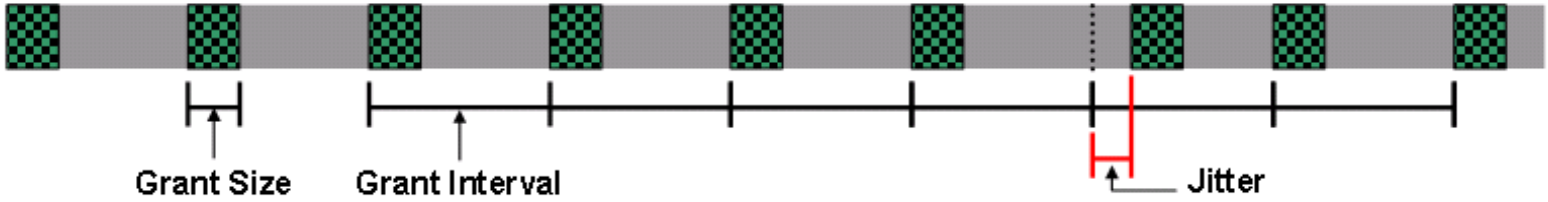
Versenyhelyzetes feltöltés

- Ha a modem csomagot akar küldeni, szükséges számú minislot-ot igényel
  - Ha a fejállomás elfogadja, a nyugtában megmondja mely minislot-okat jelölte ki
    - Ha további csomagokat akar küldeni, a fejlécben új minislot-okat kérhet (piggybacking)
  - Ha az igényléskor ütközés, nincs nyugta
    - Vár egy véletlen ideig (0 és x µs között) és újra próbálkozik
    - Minden egymás utáni kudarc után a maximális idő (x) duplázódik



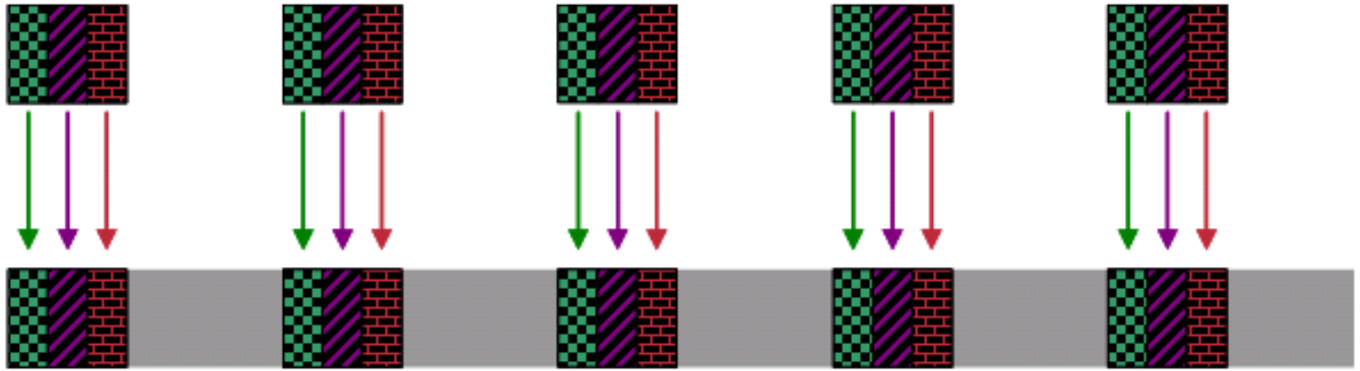
Szolgáltatásminőség biztosítása

- Különböző alkalamzásoknál különböző QoS követelmények
- CBR – Constant Bit Rate (pl. VoIP)
  - **Unsollicited Grant Services (UGS)**
    - Nem kell folyamatosan igényelni időkeretet
    - Meddig tart (G, Grant Size), milyen időközönként ismétlődik (I, Grant Interval), és mennyit késhet (J, Tolerated Jitter)



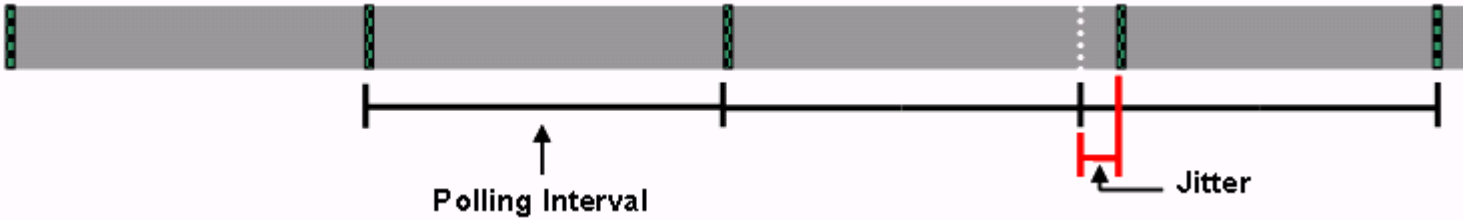
Admission Control

- UGS kéréseket csak a lehetőségek függvényében fogad el
  - Kellenek szabad időkeretek maradjanak másfajta forgalomnak



Szolgáltatásminőség biztosítása

- rt-VBR (Real Time Variable Bit Rate)
  - pl. videokonferencia
  - **Real Time Polling Service (RTPS)**
    - Csak az az alkalmazás/modem használhatja azt a Bandwidth Request Slot-ot
    - Biztosan tud igényelni, nincs ütközés

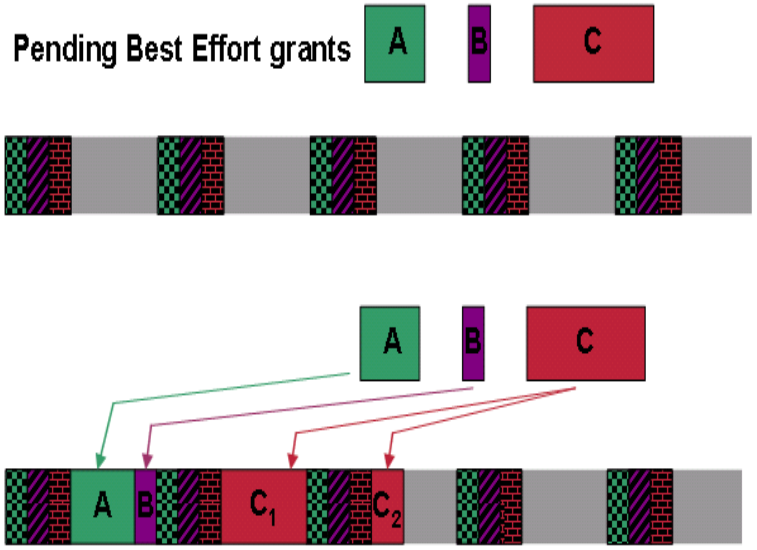


Szolgáltatásminőség biztosítása

- **Unsollicited Grant Service with Activity Detection (UGS-AD)**
  - Akkor működik UGS módban, ha van küldenivalója
  - Ha átmenetileg nincs, átvált RTPS módba
  - Ha újból szükség van rá, vissza tud váltani ismét UGS-be
  - Pl. VoIP with Voice Activity Detection (VAD)
- **Non-Real Time Polling Service (nRTPS)**
  - nrt-VBR (non real time variable bit rate) forgalomhoz
  - Pl. video on demand (Youtube, Netflix)
  - A lekérdezési intervallumok nem folyamatosak

Szolgáltatásminőség biztosítása

- **Best Effort Grants (BEG)**
  - Nincsenek szoros követelmények a késleltetésre és a késleltetés ingadozásra
  - **Fragmentation** (darabolás)
    - Ha szükséges, az igényelt időkereteket lehet darabolni
    - Több fejléc, de (néha) megéri



Versenymentes letöltés

- Letöltésnél csak egy küldő, a fejállomás
  - Nincs versenyhelyzet, nincs szükség minislot-okra
  - Nagyméretű forgalom lefelé
    - Nagyobb, 204 byte-os rögzített csomagméret
      - Ebben Reed-Solomon hibajavító kód
      - 184 byte a felhasználói adatoknak

Ethernet – első rész

Moldován István

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics

Lokális Hálózatok

- A *lokális hálózat* azonos szinten elhelyezkedő gépek összességét jelenti.
  - Ezek az adatkapcsolati szintű működés szempontjából azonos jogú egységek. – logikai szinten
- Ezeket szokás *többszörös hozzáférésű hálózat*oknak is nevezni, mert több, azonos joggal rendelkező egység fér hozzá egy adott, közös elérésű erőforráshoz.
  - Ez például a sín topológia esetén maga a sín.
- Annak érdekében, hogy ehhez az elosztott erőforráshoz mindenki igazságosan tudjon hozzáférni, *elosztott protokoll*ok alkalmazása szükséges.

Az Ethernet őse: Aloha

- Hawai szigetek közti rádiózásra fejlesztették
- Több állomás egymással való beszélgetésére
- Algoritmus:
  - Ha van adat, elküldi
  - Vár a nyugtára. A vevők minden csomagot nyugtáznak
  - Ha nem jön ACK, az ütközést jelent. Random idő múlva újraküldi a csomagot

Az Ethernet fejlődése

Aloha

Az ős.

Slotted Aloha

Újítás: csak adott időpontokban küldhet (slots)

CSMA

CSMA = Carrier Sense Multiple Access

Újítás: Először ellenőrzi, hogy van-e adás, és csak akkor küld ha nincs

CSMA/CD

CD = Collision Detection

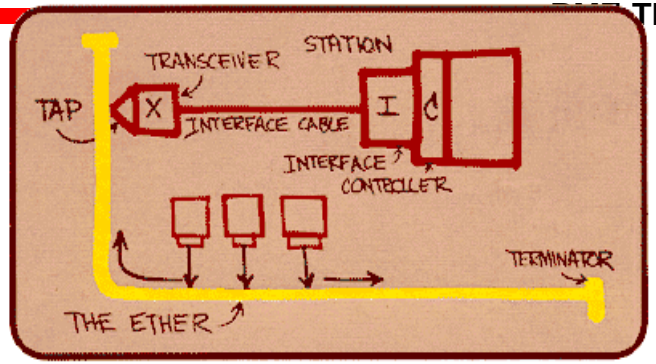
Újítás: Leállítja a küldést ha ütközést észlel (ilyen az Ethernet)

Hogyan kezdődött...

- 1972 Dr Robert Metcalfe

1976 az Ethernet nevet először használták

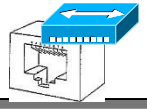
- Az eredeti DIX Ethernet V2 standard
  - 1982 (DEC-Intel-Xerox)
- Az IEEE 802.3
  - 10Base-5 - 1983
  - 10Base-2 - 1988
  - 10Base-T - 1990



Az első Ethernet ábra

- Ethernet fejlődés –10 Mega után
  - 100BASE-TX (Fast Ethernet)
    - IEEE 802.3u: 1995
  - 1000BASE-X (Gigabit Ethernet)
    - IEEE 802.3z: Június 1998
  - 1000BASE-T (Gigabit on Copper)
    - IEEE 802.3ab Június 1999
  - 10 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ae)
    - IEEE 802.3ae 2002 nyarán

Ethernet az OSI Modellben

OSI MODEL		TCP / IP		Exchange Unit
7	 **Application Layer** Communication Type: E-mail, FTP, client/server…	FTP, HTTP, SMTP, DNS, Telnet	Application Protocol	APDU
6	 **Presentation Layer** Encryption, data conversion: ASCII to EBCDIC, BCD to binary…		Presentation Protocol	PPDU
5	 **Session Layer** Starts, stops sessions. Maintains orders.		Session Protocol	SPDU
4	 **Transport Layer** Ensures delivery of entire file or message.	TCP, UDP	Transport Protocol	Segments
3	 **Network Layer** Routes data to different LANs, WANs based on Network address.	IP (ICMP, ARP, RARP)		Packet
2	 **Data Link (MAC) Layer** Transmit packets from node to node based on station address.	Ethernet IEEE 802.3		Frame
1	 **Physical Layer** Electrical signals and cabling.			Bits

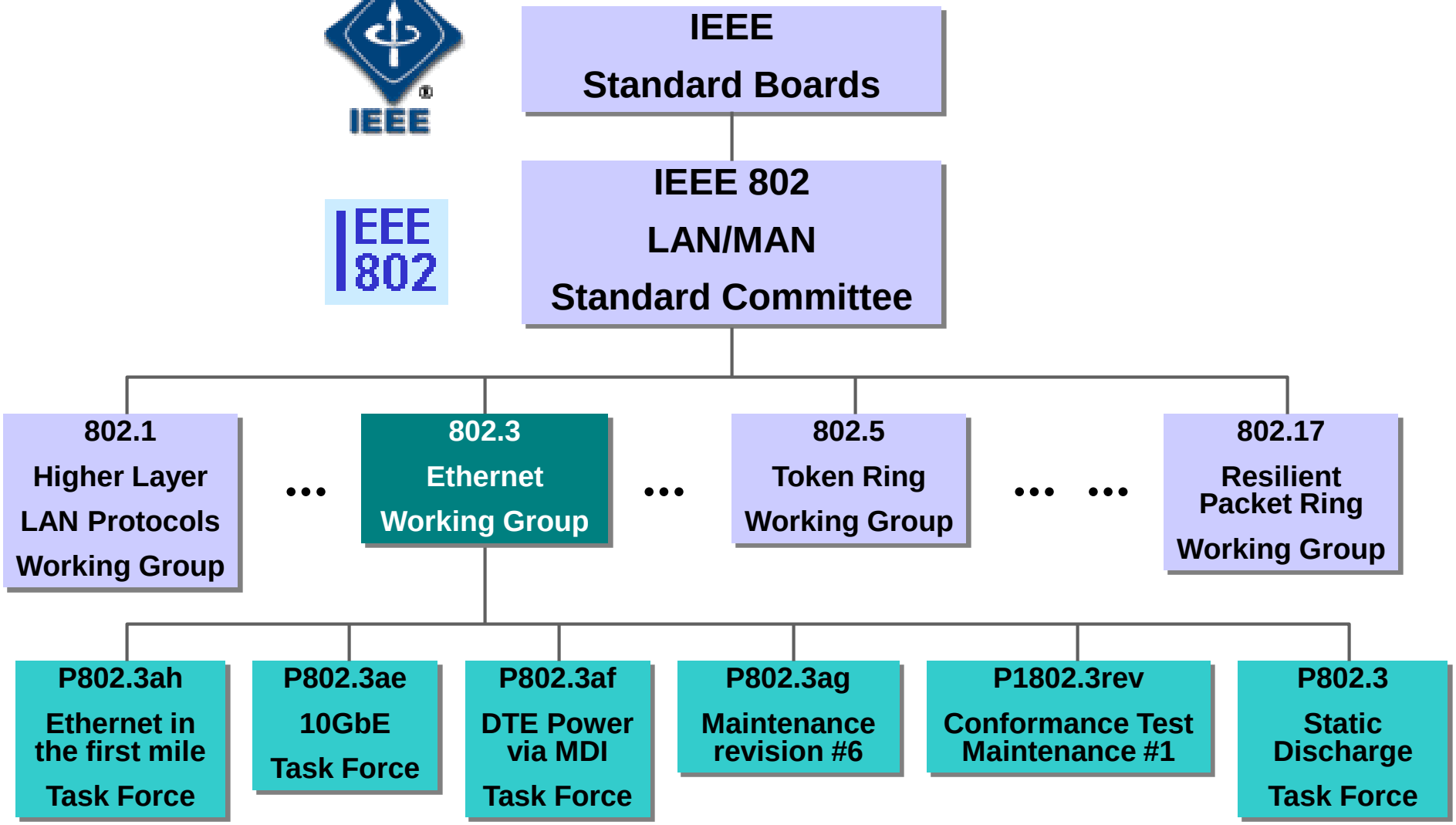
OSI = **O**pen **S**ystem **I**nterconnection

Az Ethernet és az OSI

- Az Ethernet által lefedett rétegek:
  - Physical Layer (Layer 1) – teljesen lefedi
  - Data Link layer (Layer 2) – részlegesen lefedi

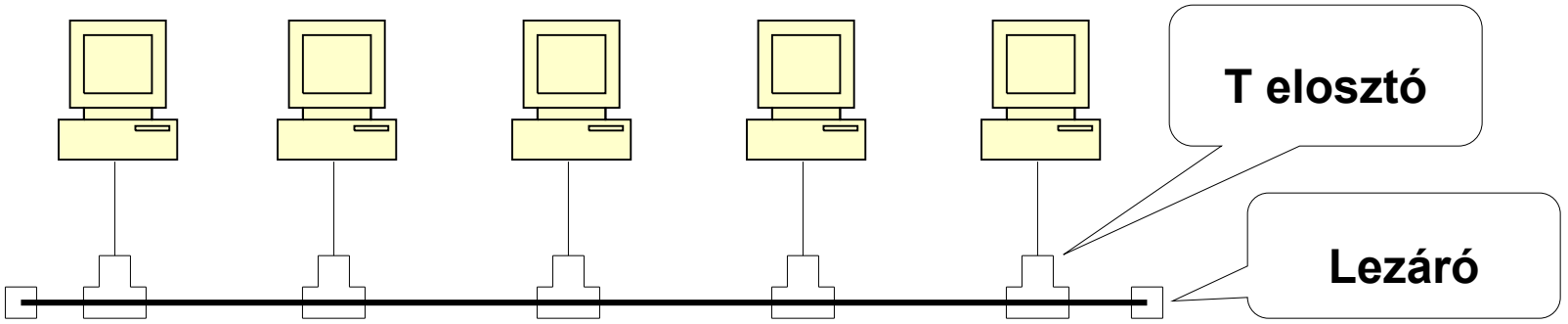
IEEE	Leírás
802.2	Logical Link Control (LLC) szabvány. Egy általános interfészt határoz meg a hálózati réteg (IP, IPX,...) és az adatkapcsolati réteg (Ethernet, Token Ring,...) közt
802.3	CSMA/CD hálózat specifikáció. Meghatározza a csomag formátumot, kábelezést és a jelzési rendszert.

IEEE 802 Csoportok



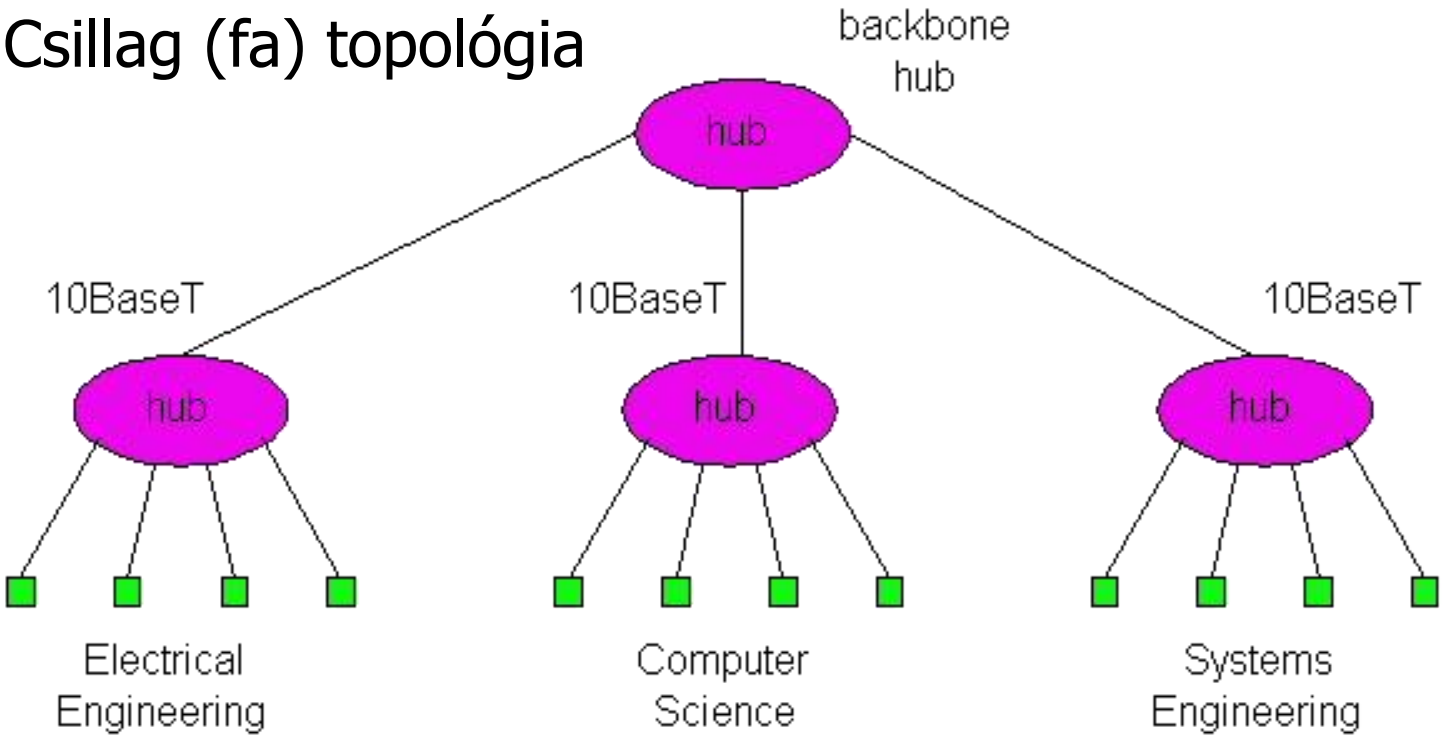
Fizikai kapcsolat típusok - 1

- Koax, vagy 10base2
  - 10: 10Mbps; 2: 200 méter max kábel hossz
  - Vékony koax kábelt használt, busz topológia
- Nagyobb távolság áthidalása:
  - repeater

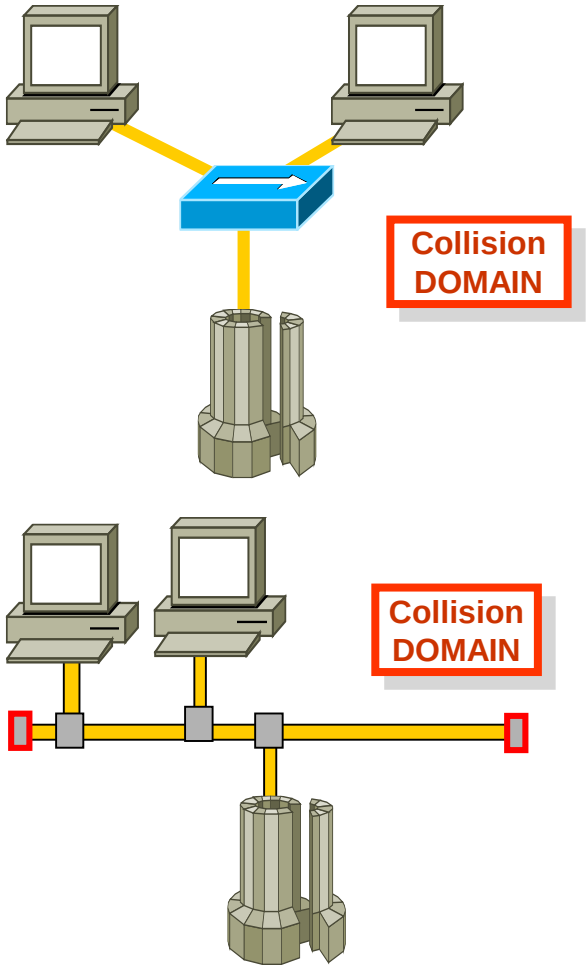


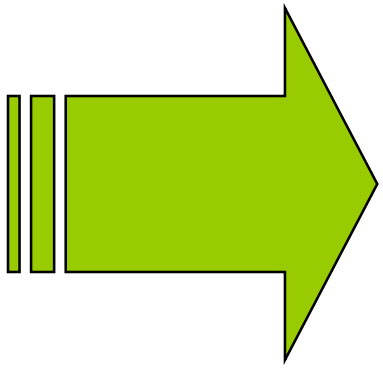
Fizikai kapcsolat típusok - 2

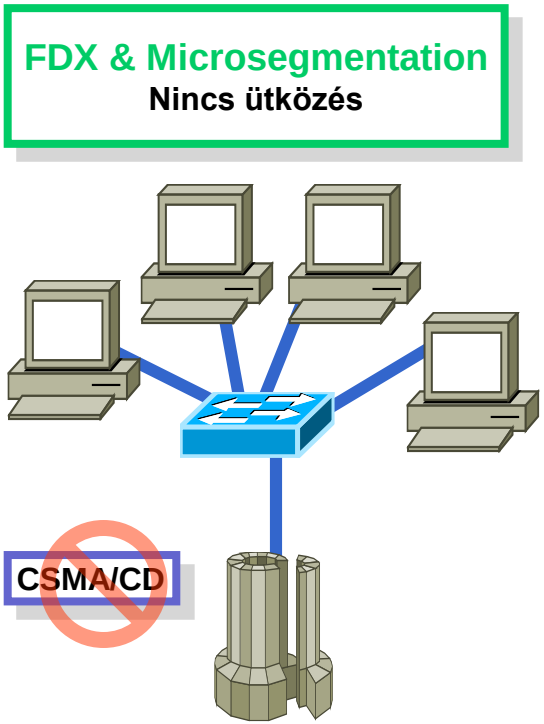
- 10BaseT és 100BaseT
  - 10 vagy 100 MBps
  - T: Twisted Pair, csavart érpár
  - Csillag (fa) topológia



Nincs több ütközés!







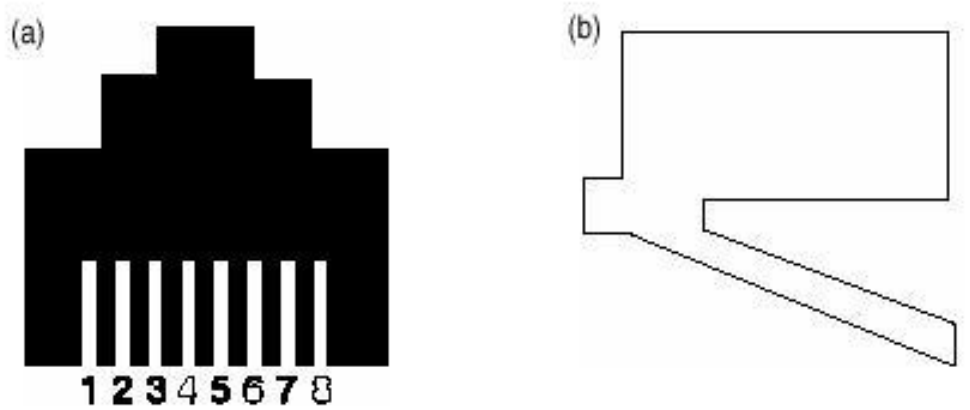
L2+ Switching - Full Duplex
CSMA/CD nem kell

Fizikai kapcsolat típusok - 3

- GE: Gigabit
  - TX – csavart érpár
  - SX/LX/FX – üvegszál, különböző távolságok áthidalására
- 10GE
  - Csak üvegszál
- 802.11: WLAN
  - Ethernet az is!

UTP – Category 5

- RJ-45 dugasz



- **Lábkiosztás (10/100)**

1 TD+ (Transmit Data)
2 TD- (Transmit Data)
3 RD+ (Receive Data)
4 Nem használt
5 Nem használt
6 RD- (Receive Data)
7 Nem használt
8 Nem használt

- A GE mind a 8 szálat használja!

UTP kábelezés

- Direkt kábel
  - A terminálok HUB-hoz való csatolására szolgál
  - A kábel mindkét vége ugyanúgy van bekötve
  - Figyelni kell hogy X- és X+ -t hasonló szín vigye
    - (pl. TD+ narancs-fehér, TD- fehér-narancs)
- Cross kábel
  - Két gép egymással csak keresztkábelen tud kommunikálni
  - A TD kivezetések az RD lábakra kell legyenek kötve

Üvegszálas Ethernet

- Előnye a nagyobb távolságok áthidalásának lehetősége
  - Olcsóbb, gyors
  - Kiterjeszti a LAN hálózatot 100m –nél távolabbra
- Pont-pont típusú kapcsolat
- FX interfész, csatlakoztatás:
  - média átalakító
  - Bővíthető kapcsoló
- GE: GBIC/SFP

Gigabit Ethernet

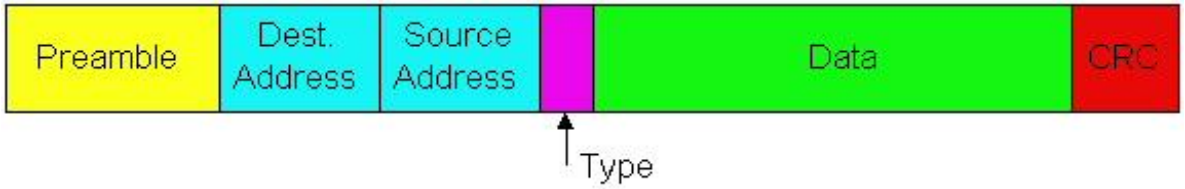
- Standard Ethernet formátumot használ
- Point-to-point és megosztott broadcast működést támogat
- Megosztott módban CSMA/CD-t használ
  - Csak rövid távolságot hidal át (<100m réz esetén.)
- Full-Duplex 1 Gbps sebességgel point-to-point linkeken
  - Általában üvegszálas média, nagyobb táv

GBIC-ek, SFP-k

- Általában a GE-képes eszközökben kiválasztható a fizikai médium
  - TX (réz), SX/LX/FX (üveg)
- GigaBit Interface Converter
  - Cserélhető, hot-swappable modul
- Small Factory Plug
  - Kisebb méretű átalakító

Csomag formátum

- Ethernet csomag fejlődés
  - I, II, 802.3 (802.2 SNAP az Ethernet II kompatibilitás miatt)
- IEEE 802.3 Data Link Control (DLC)

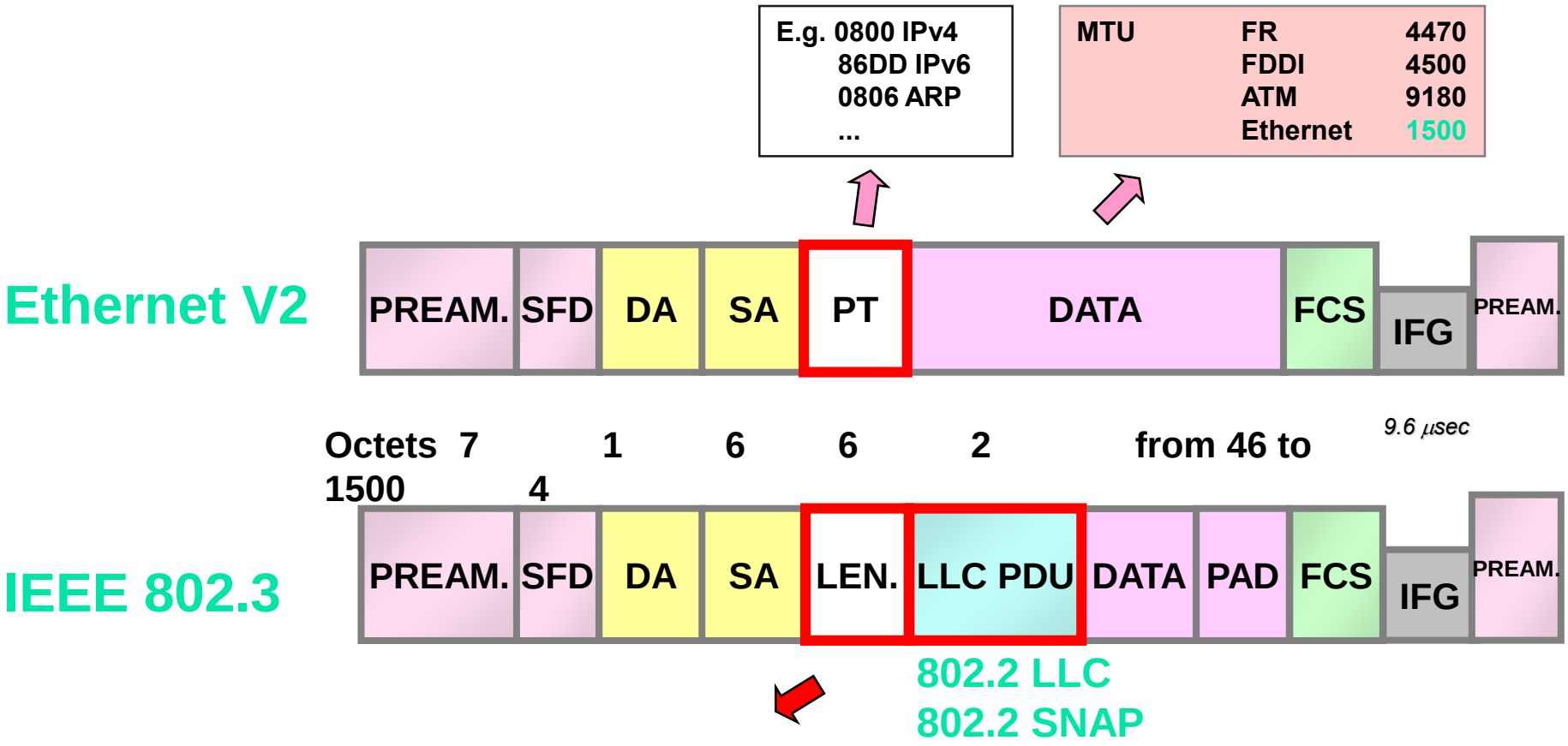


- A Preamble és CRC mezőket a hardver kezeli:
  - 7 bájt 10101010 melyet egy 10101011 bájt követ (szinkronizáció céljából szükséges)
- Az IEEE 802.3 kasznál LLC és SNAP keretezést

Csomag formátum - 3

- Címek: 6 bájtosak
  - A csomagokat minden állomás fogadja, de eldobja ha nem neki címezték
- Type mező: 2 bájt
- CRC: 4 bájt, a vevő ellenőrzi és eldobja a csomagot, ha hibát detektál
- Data: maximum 1500 bájt, minimum 46 bájt
  - Maximum 9000 bájt GE esetén

Csomag formátum - 3



Megkülönböztethető a V2 és 802.3

Maximum Frame Size az 1518 (decimal), vagy 0x05EE Hex

EthernetV2 Ethertype mindig nagyobb mint 0x05EF

http://www.iana.org/assignments/ethernet-numbers

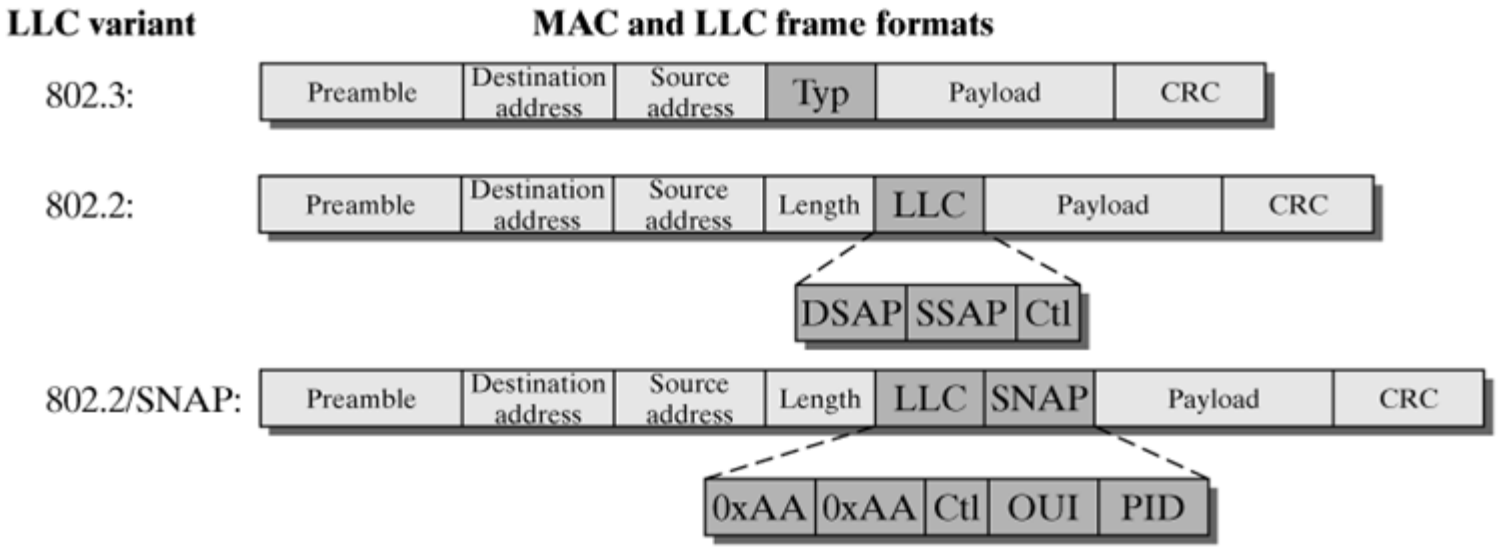
LLC és SNAP

- **Logical Link Control (LLC) Feladatai:**
  - **MAC szintű protokoll multiplexálás/demux**
  - **opcionálisan flow control, csomagvesztés esetén újraküldés kérések**
- Service Access Point (SAP) mező szerinti szétválasztás
  - Source és Destination SAP
  - Control
  - **Több működési mód**

- **Subnetwork Access Protocol** (SNAP)
  - Még több protokoll multiplexálására (8 bit nem elég)
  - Az 0xAA és 0xAB SAP SNAP fejlécet jelent

- Mivel az LLC/SNAP 8 byte overhead-et jelent, az IETF szabvány kimondja, hogy az IP/ARP csomagokat Ethernet esetében Ethernet II keretformátummal kell küldeni

Az LLC/SNAP fejléc



IEEE Organizationally Unique Identifier (OUI)

000000, a protocol ID = Ethernet type (EtherType)

más OUI érték más szervezet protokoll ID-je

Protocol Identifier – PID

Ethertype, vagy az OUI által kiosztott

Keret továbbítás

Egyedi MAC címek **0000.0012.3456**

VENDOR Code „OUI“ 24 Bits

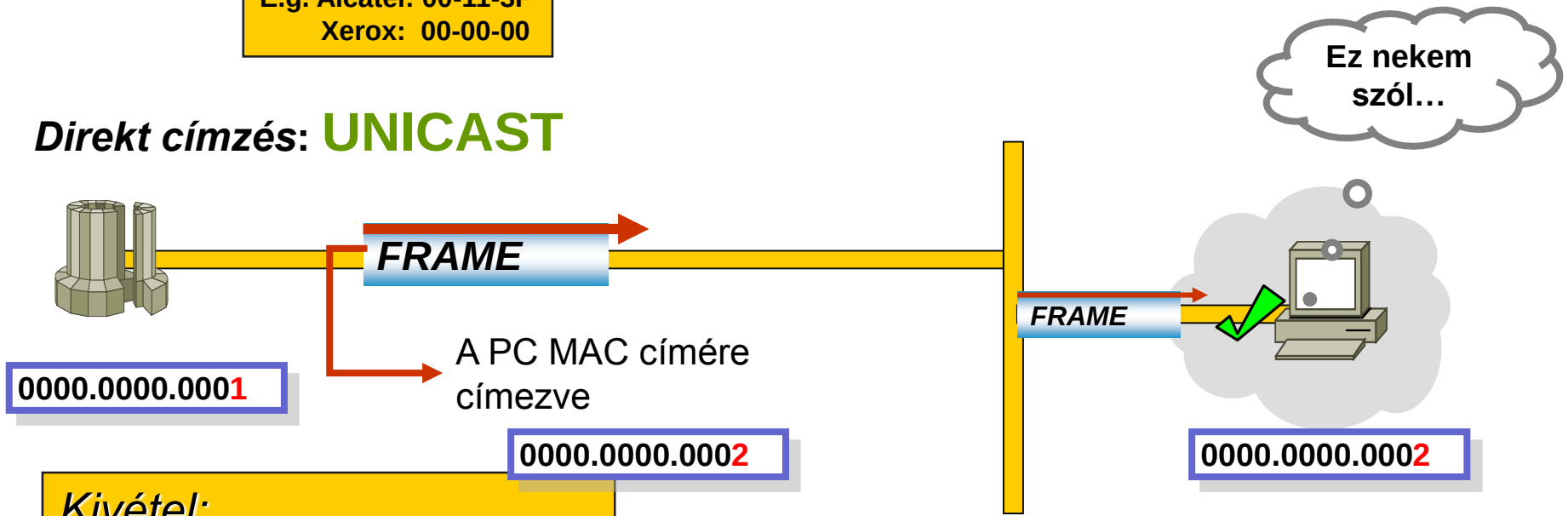
Egyedi számok 24 Bits

E.g. Alcatel: 00-11-3F
Xerox: 00-00-00

Burned-In Address (BIA):
- Locally Administered Address (LAA)
- Universally Administered Address (UAA)

Elméletileg ez 281,474,976,710,656 cím
Mindenkire 56,000 MAC cím jut!

***Direkt címzés*: UNICAST**



Kivétel:
NIC promiscuous módban

http://coffer.com/mac_find/
http://standards.ieee.org/regauth/oui/index.shtml

Alkotóelemek

- HUB
- Switching HUB
- Bridge
- Switch
  - Menedzselhető
  - Nem menedzselhető

HUB

- Fizkai szintű ismétlő eszköz
  - Bit szinten ismétli a csomagot
- Több egyidejű küldő: ütközés
  - Tehát a „collision domain” megmarad
- A HUB-okat általában hierarchikusan, fa topológiába kapcsolják
  - Uplink: általában cross-connect kábelen csatlakozik
  - Az összes csomagot minden állomás megkapja

HUB – előnyök, hátrányok

- Minden HUB portra kapcsolt LAN egy ***szegmens***
- Minden állomás ütközhet a kollíziós terület bármely tagjával
  - Ez rontja a hálózat teljesítményét
  - Csökkenti a skálázhatóságot
  - Mindenki látja a többiek forgalmát
- Különböző médiák nem kapcsolhatók össze
  - Pl. ha van 10Mbps állomás a rendszerben, a teljes sebesség visszaesik 10-re

Switching HUB

- Egy „okosabb” HUB
- Megtanulja a hozzá kötött eszközök címeit (MAC vagy IP), és csak oda küldi a csomagokat
- Előnyök:
  - jobban skálázható
  - biztonságosabb
  - Az ütközési valószínűséget lecsökkenti, de nem szünteti meg

Bridge

- Link Layer eszközök: megvizsgálják a MAC fejlécet és szelektíven továbbítanak
- Elválasztják az ütközési zónákat:
  - pufferelik a csomagokat
  - Csak a megfelelő szegmensre továbbítanak
- A célszegmensen CSMA/CD-t használnak a hozzáférésre
- A pufferelés lehetővé teszi különböző médiák/sebességek összekapcsolását

Bridging - működés

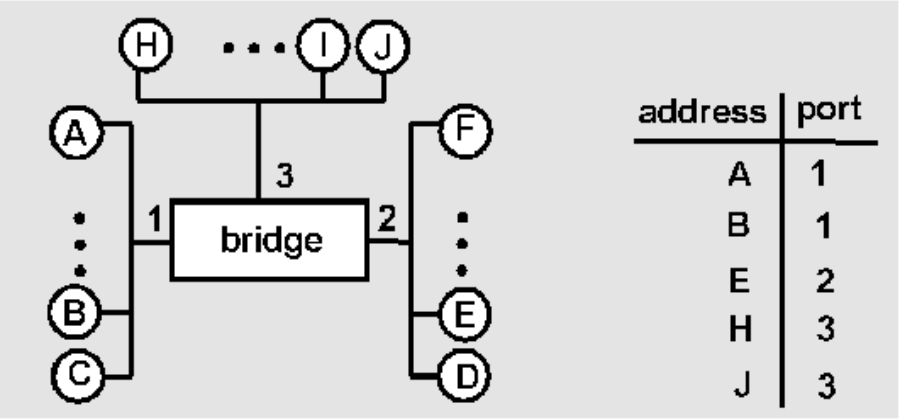
- Cél: traszparens működés
  - Automatikus, plug-n-play működés
  - Automatikus konfigurálás
  - A létező LAN-okkal való együttműködés
- Három fő funkcionalitás:
  1. Csomag továbbítás
  2. MAC cím tanulás
  3. Hurok elhárítás: Spanning Tree algoritmus

Bridging – MAC cím tanulás

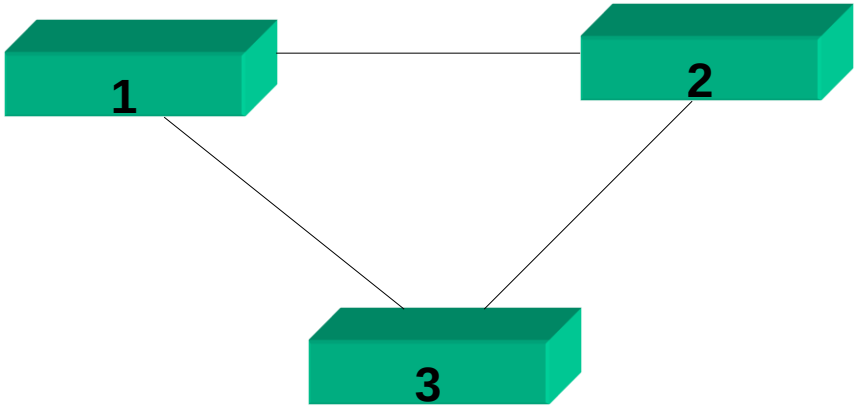
- Megtanulják, hogy mely MAC címet melyik porton érik el: szűrési táblák
  - A beérkező csomagnak kiolvassa a forrását
  - Bejegyzi a szűrési táblába a megfelelő port-al
- Minden bejegyzéshez tartozik egy időbélyeg
  - {MAC cím, port, idő}
  - A bejegyzések az idő lejártával törlődnek
- Működés:
  - Ha van bejegyzés, oda továbbít
    - Ha ugyanaz az interfész, eldobja a csomagot
  - Ha nincs bejegyzés, broadcast

MAC cím tanulás - példa

- C küld D-nek
  - A bridge broadcast-ol a 2 és 3 interfészeken
  - A 3. interfészenmindenki eldobja
- D válaszol
  - A bridge már tudja C helyét, csak az 1.-es szegmensre küldi



Redundancia - hurok



1. Az első bridge kap egy csomagot. Továbbítja 2 es 3 felé
2. 2 a csomagot továbbítja 3 felé,
3. ugyanakkor 3 továbbítja 2 felé
4. 2 es 3 a csomagokat továbbítják 1 felé
   - ez egy hurok, végtelen körforgás

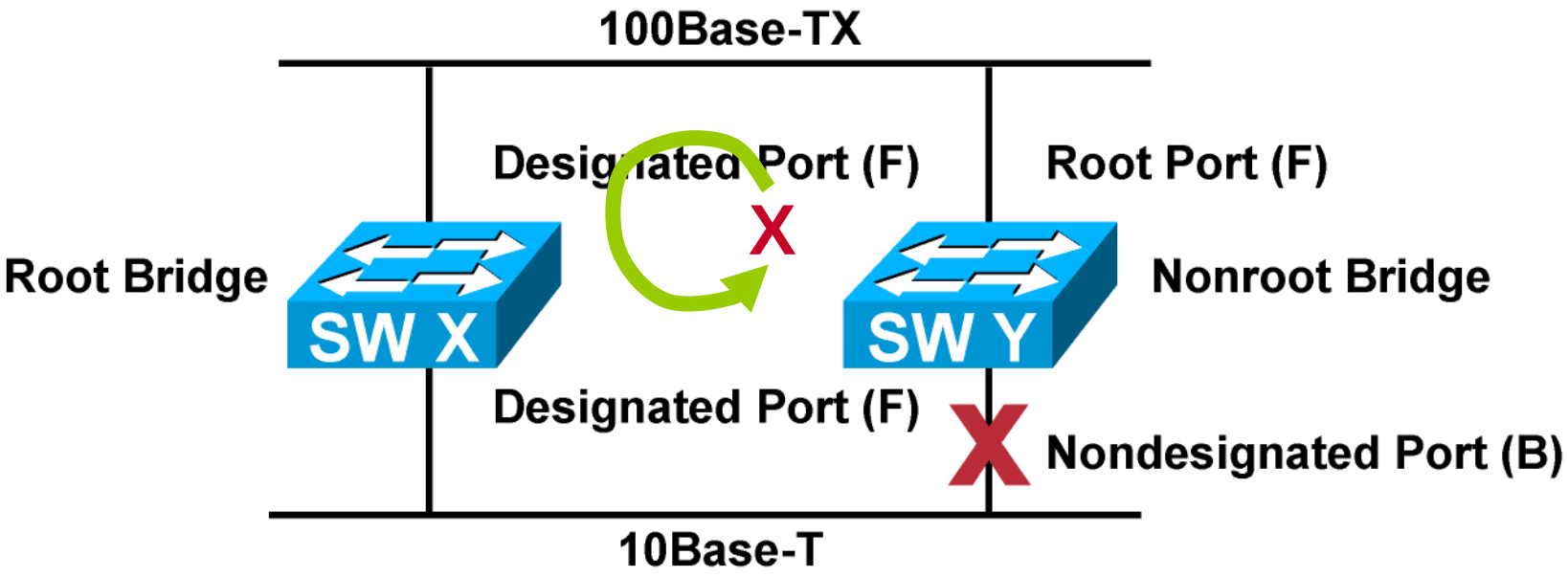
STP Bridge

- Célja a hurok elkerülése
  - Induláskor fa topológiára korlátozza a fizikai topológiát
- Tanuló bridge alapú
- A csomagok kizárólag a fa mentén közlekednek
  - a gyökér irányában, ameddig a cél MAC cím egy más interfészhez nem tartozik
- 802.1D, 802.1w

Spanning Tree Alapok

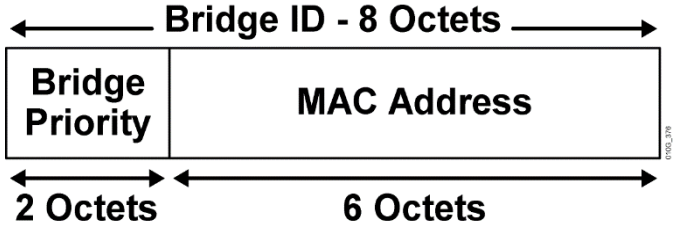
Hurok mentes

- Egy root bridge egy hálózatban
- Egy root port minden nem-root bridge-n
- Egy „designated port” minden szegmensre
- Az összes többi port blokkol



Bridge Protocol Data Unit

Bytes	Field
2	Protocol ID
1	Version
1	Message Type
1	Flags
8	Root ID
4	Cost of Path
8	Bridge ID
2	Port ID
2	Message Age
2	Maximum Time
2	Hello Time
2	Forward Delay



IEEE 802.1t - bővítések

Priority = Pri;VLAN ID

- a BPDU-k feladata:
  - root bridge választás
  - Hurok felderítés
  - Blokkolás a hurok elkerülésére
  - Értesíteni a hálózatot a változtatásokról
  - A spanning tree monitorozása

Link Speed	Cost (Revised IEEE Spec)	Cost (Previous IEEE Spec)
10 Gbps	2	1
1 Gbps	4	1
100 Mbps	19	10
10 Mbps	100	100

STP algoritmus - 1

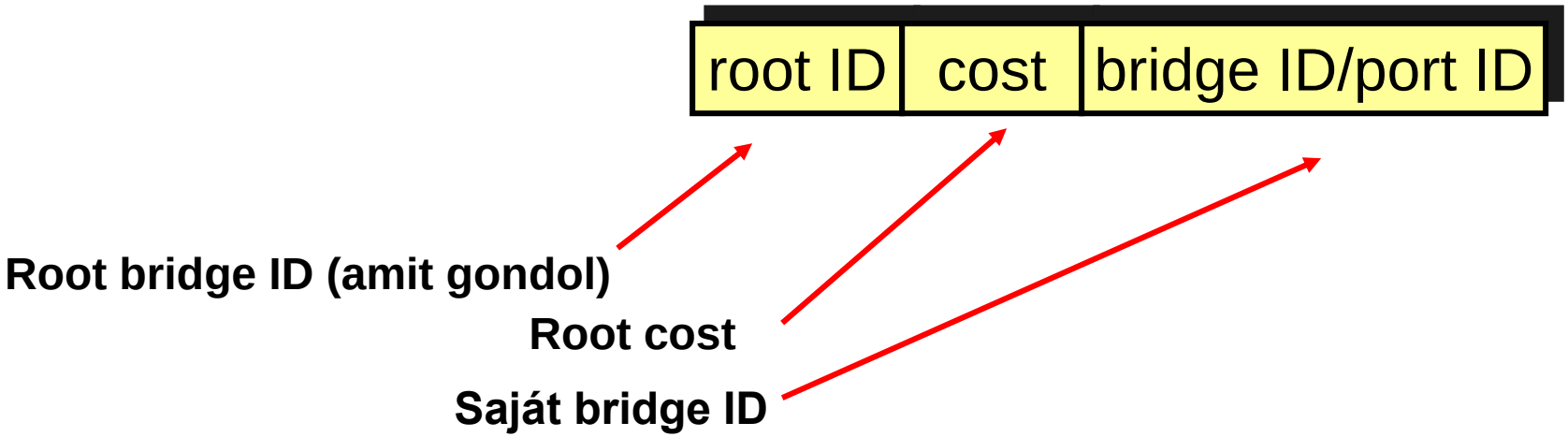
- A kapcsolók először kiválasztanak egy gyökeret (*Root Bridge*)
  - a legkisebb MAC címmel vagy ID-vel rendelkezőt
- a gyökérből kiindulva kiépítik a fát
  - minden port rendelkezik egy árral (*Port Cost*)
  - a fa kiépítésekor a legkisebb árral rendelkező útvonalat választja
- a fa kiépülése után megtanulja a címeket
  - 15 másodperc tanulási idő

STP paraméterek

- Bridge ID
  - Alapértelmezett értéke a MAC cím
  - állítható
- Portonkénti ár (Port Cost)
  - Alapértéke a sebességtől függ
  - Manuálisan beállítható

STP algoritmus - 2

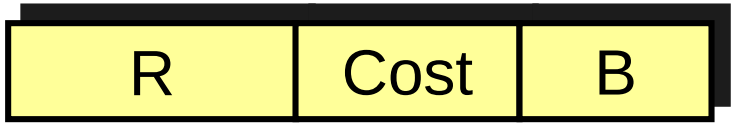
- Először minden bridge azt feltételezi hogy ő a root
  - BPDU üzenetet küld a következő tartalommal:



- Első BPDU: (B, 0, B)

STP algoritmus - 3

- A Root bridge a legkisebb ID-vel rendelkező bridge lesz.
  - Ha egy kapcsoló kisebb ID-vel rendelkező BPDU-t kap R-től, elfogadja root-nak, és a következő BPDU-t továbbítja:



  - Ahol B a saját ID és cost a *Port Cost*-ok összege R felé
- 15 másodperc van a topológia kialakítására

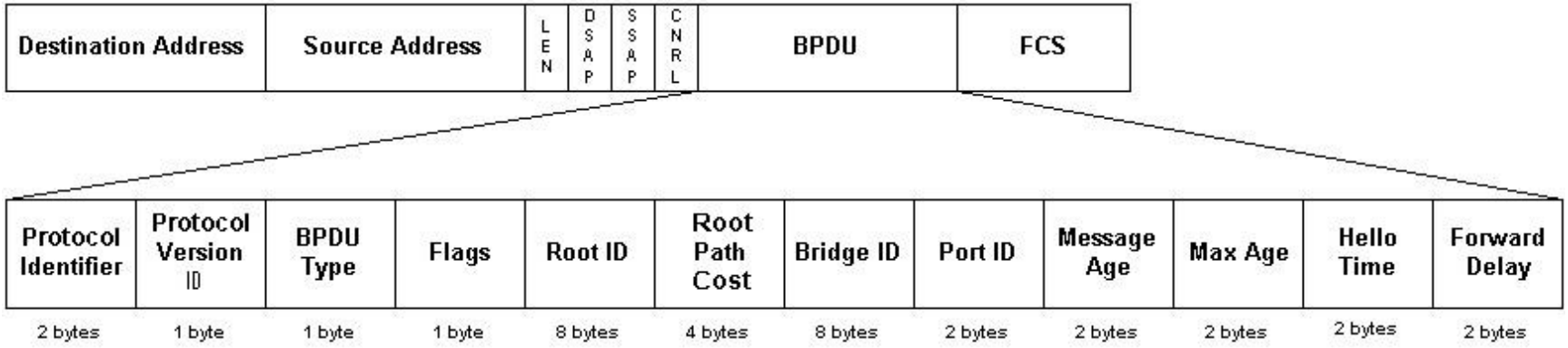
STP algoritmus - 4

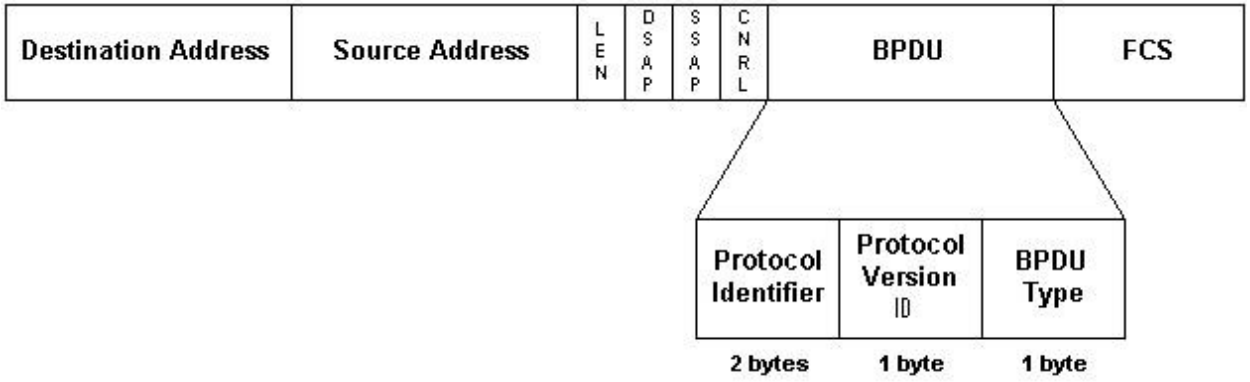
- Az interfész amelyen a Root Bridge-t éri el, a *Root Port* lesz
- Az a bridge, amely egy LAN-t szolgál ki a root fele, a LAN *designated bridge*-e lesz
  - A designated bridge portja *forwarding state*-be kerül
- Az összes többi, topológiában részt nem vevő interfész blokkolni fog (*blocking state*)
- Létezik egy adminisztratív kikapcsolt állapot is, a *disabled state*

STP és szegmensek

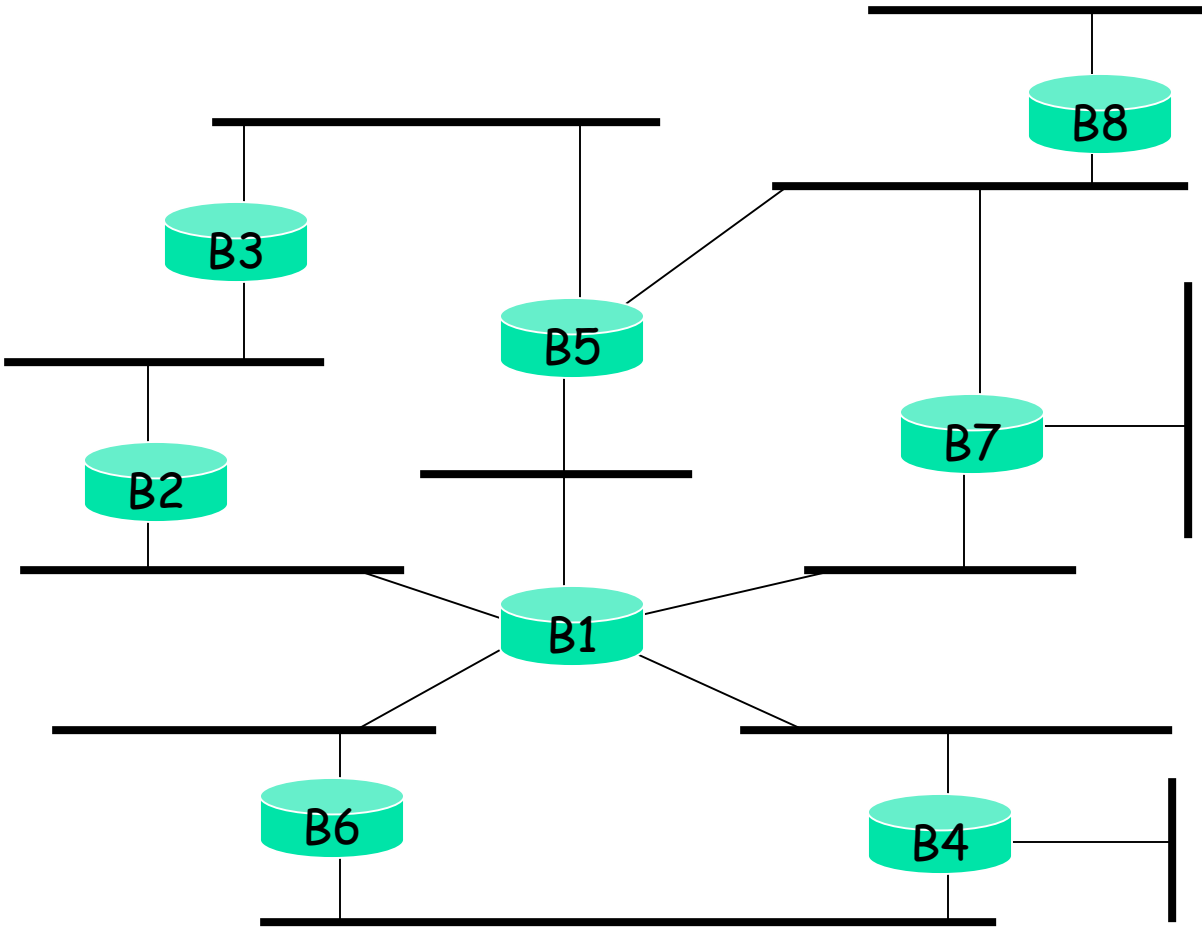
- Az STP-t úgy tervezték, hogy a topológiában bárhol lehetnek HUB-ok
  - Pl. egy HUB 2 bridge-hez kötve
- Figyelembe kellett venni a médium hozzáférés szempontjából is
  - Full duplex linknél ezt nem kell nézni

Bridge BPDU-k





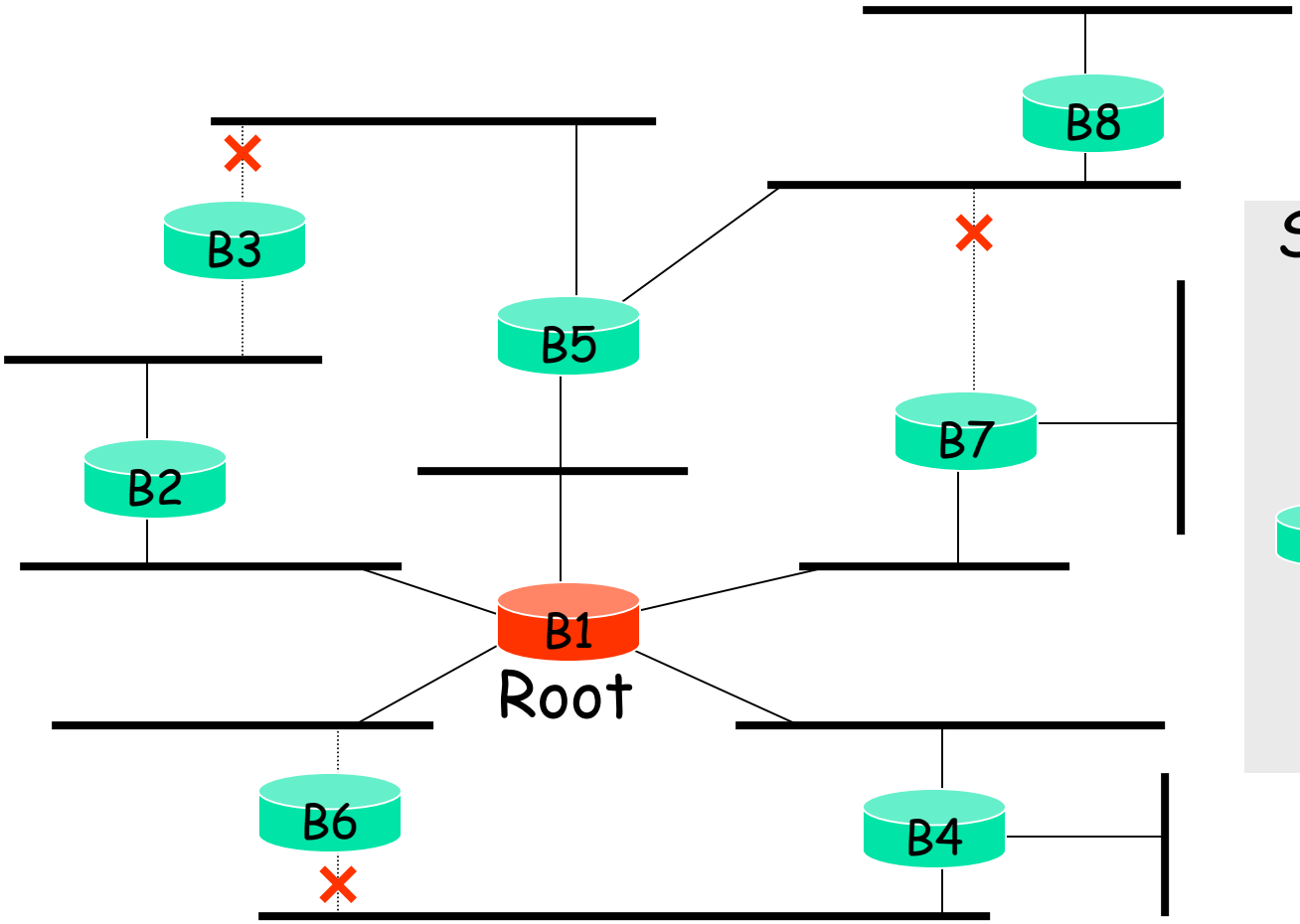
Példa – Fizikai topológia



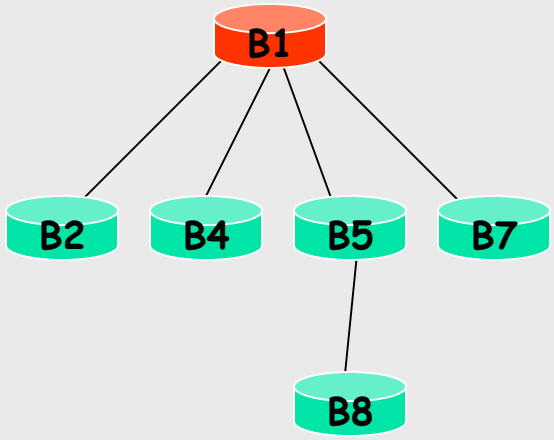
Protocol működés:

1. Root kiválasztás
2. minden LAN-ra kiválasztja a designated bridge-et, a legközelebbit a root-hoz.
3. Minden bridge a root fele a designated bridge-en keresztül küld.

Példa – STP Topológia



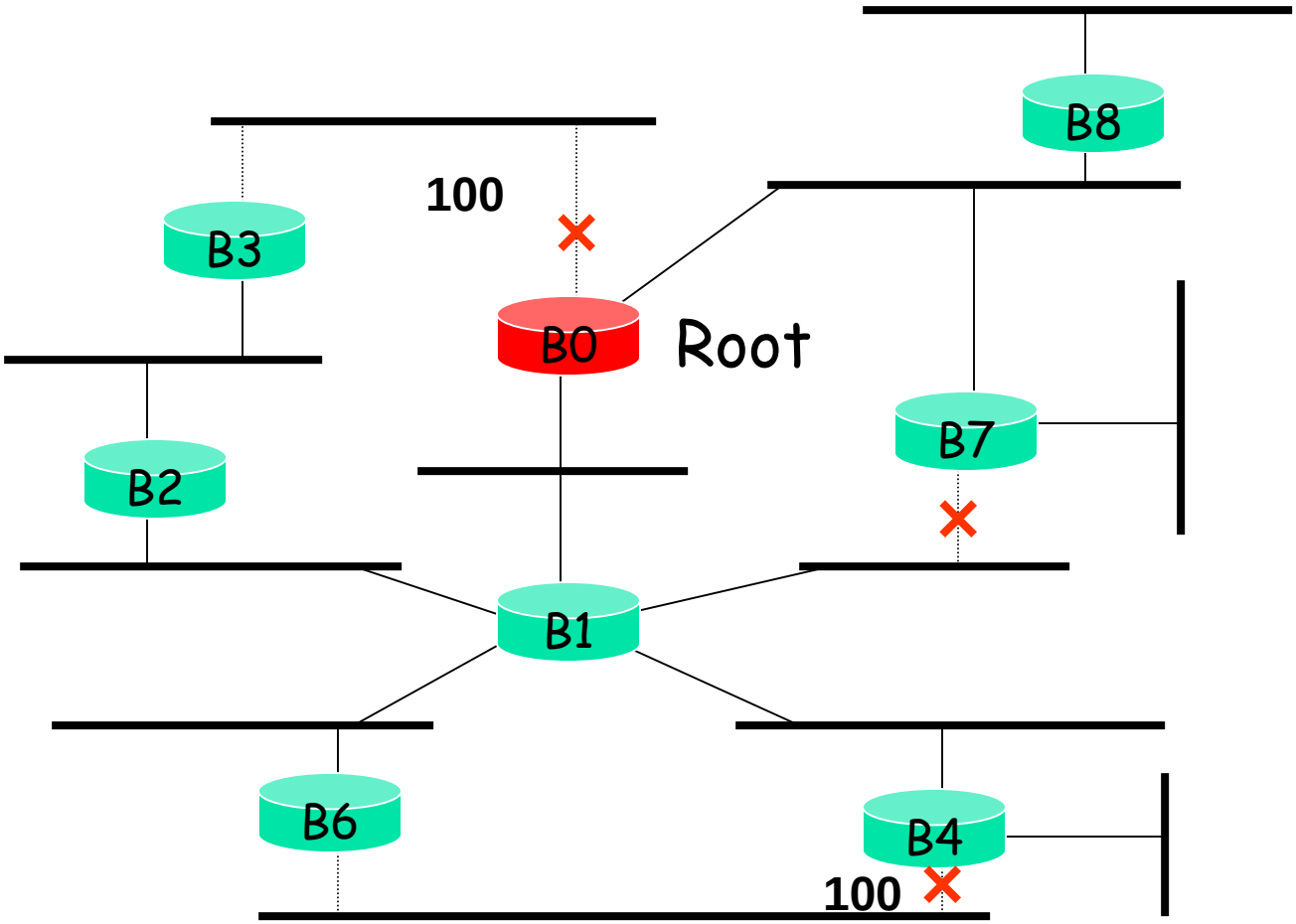
Spanning Tree:



STP – topológia menedzsment

- A bridge ID manuális beállításával megválaszthatjuk a root-ot
  - Általában célszerű megválasztani
- A Port Cost-ok meghatározásával megváltoztathatjuk a kialakuló fát
  - Csak indokolt esetben érdemes átállítani
  - Hiba esetén a rossz beállítás szuboptimális topológiához vezethet

Példa – Módosított STP Topológia



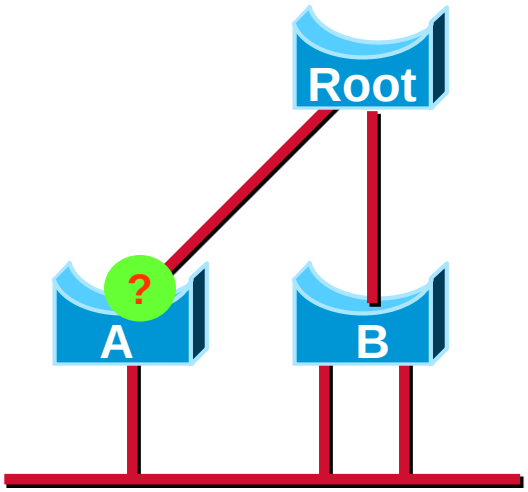
Hiba kezelés

- Minden porton periodikusan HELLO üzeneteket küldenek
- 2 HELLO üzenet elmaradása hibát jelent
  - A bridge-ek újraszámolják a topológiát
  - Ha van blokkolt port akkor azt fogja használni
- Hiba detektálható link szakadásból is
  - Gyorsabb
  - De ez nem elég, szoftver hibát nem detektál

802.1w - Rapid STP alapok

- Újabb IEEE protocol (802.1w)
  Kompatibilis a 802.1D-1998-al
- Gyorsabb konvergenia & Timer független
  - CSAK point-to-point FDX Link esetén
  - CSAK ha az edge portok helyesek
  - CSAK ha 802.1D együttműködés nem kell
- Gyártók egyedi megoldásait tartalmazza
- Újítások:
  - új Port Role
  - Más BPDU
  - BPDU kezelés
  - Gyors port állapotváltás
  - Új topologia kialakítás
  - PVST+/802.1D kompatibilitás

RSTP Port Állapotok



STP 802.1D	RSTP 802.1w	Active ?	Learning ?
Disabled	Discarding	No	No
Blocking	Discarding	No	No
Listening	Discarding	No	No
Learning	Learning	No	Yes
Forwarding	Forwarding	Yes	Yes

- RSTP szétválasztja a Port Szerepét és Állapotát
- RSTP csak 3 Port állapotot tartalmaz:
  - DISCARDING
  - LEARNING
  - FORWARDING

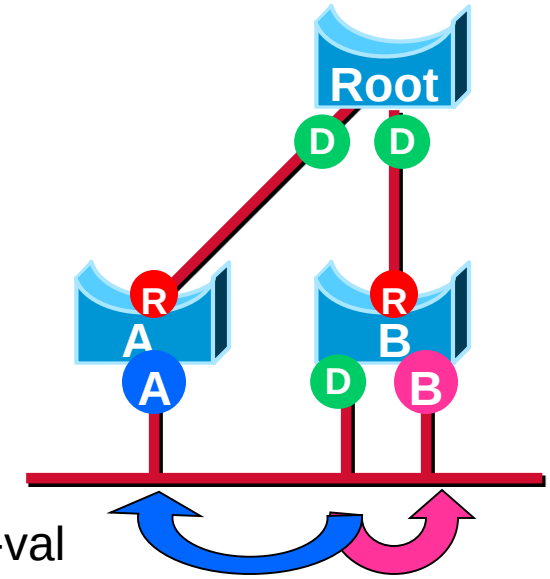
RSTP Port Roles

R Root Port (Fwd):
Az a port amely a legjobb BPDU-t kapja
– shortest path a Root irányába a cost függvényében

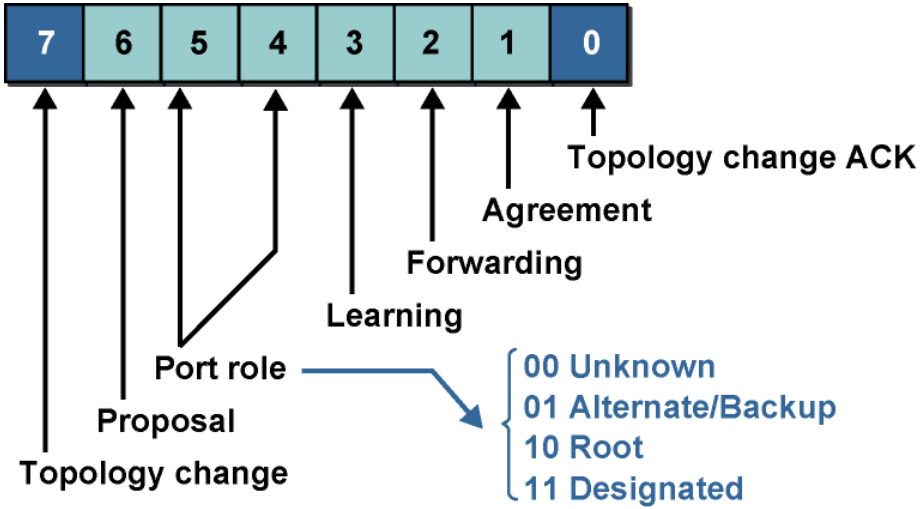
D Designated Port (Fwd):
A port amely a legjobb BPDU-t küldi egy segmensen

A Alternate Port (Disc):
Más bridge BPDU-k által blokkolt port
– redundáns út a Roothoz

B Backup Port (Disc):
Port blokkolva ugyanazon bridge által küldött BPDU-val
– redundáns út egy segmenshez



RSTP BPDU



IEEE 802.1d/w BPDUs have the following layout:

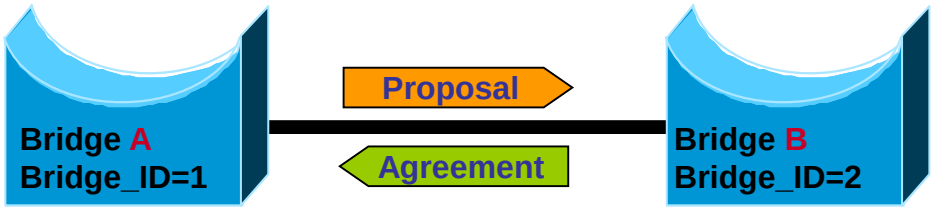
```
protocol id:     0000 IEEE 802.1d
version id:      00 -> 02
bpdu type:       00 config bpdu, 02 RSTP bpdu
                 80 tcn bpdu
bit field:       1 byte
  1 : topology change flag
  2 : unused     0  Agreement
  3 : unused     0  Forwarding
  4 : unused     0  Learning
  5 : unused     0  Port Role
  6 : unused     0  Port Role
  7 : unused     0  Proposal
  8 : topology change ack
root priority     2 bytes
root id:          6 bytes
root path cost:   4 bytes
bridge priority:  2 bytes
bridge id:        6 bytes
port id:          2 bytes
message age:      2 bytes in 1/256 secs
max age:          2 bytes in 1/256 secs
hello time:       2 bytes in 1/256 secs
forward delay:    2 bytes in 1/256 secs
```

- **Minden bridge hello_time indőnként BPDU-t küld**
- **Port állapot érvénytelenítődik 3 x hello_time max idő alatt**
  - **i.e. 3 BPDU elvesztése**

802.1D eldobják a 802.1W BPDU-kat

Együttműködés + RSTP előnyök elvesztése

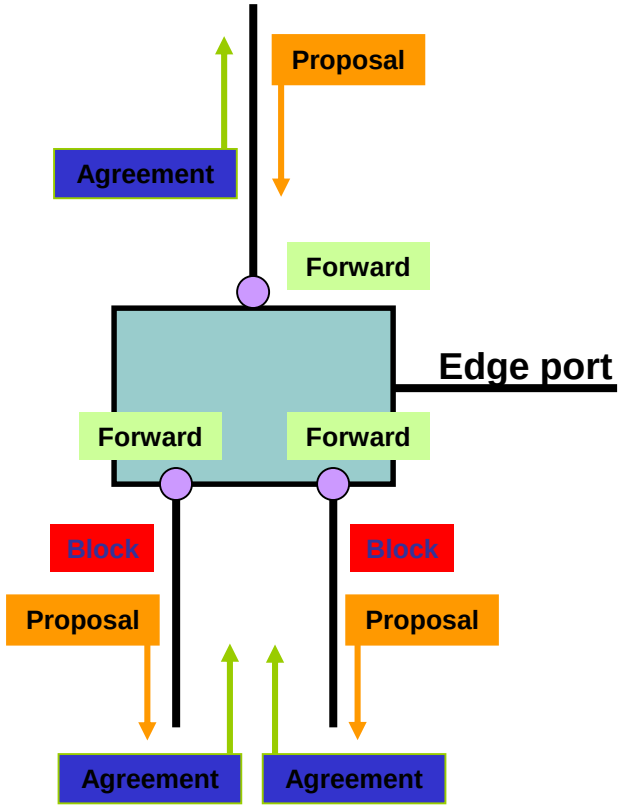
Gyors átmenet Forwarding-ba



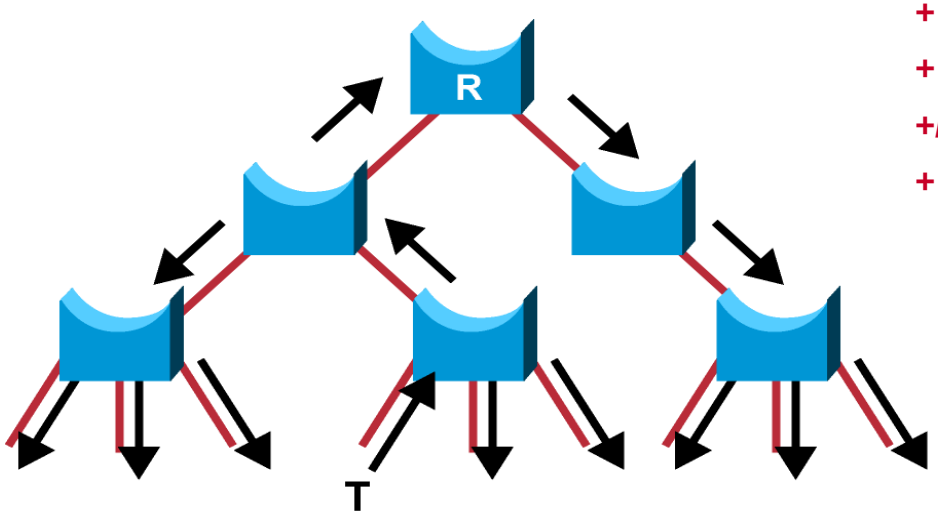
- Amikor egy port bekapcsol,
  - A bridge egy BPDU-t küld proposal flag-el hogy designated legyen a segmensen
- A válasz egy
  - BPDU agreement flag-el ha a távoli bridge elfogadja
- Amint megérkezik az agreement - forearding

IEEE 802.1w működés

- Proposal érkezés
  - Blokkol minden nem edge port
- Visszaküld egy agreementet
  - Az új port forwarding állapotba kerül
- A többi porton proposal küldés
- Agreementek fogadása
  - Portok forwarding módba



RSTP Topology Change



+ Port on which the TCN was received is not flushed
+ Edge ports are not flushed
+/- Flooding but connectivity restored immediately
+ No need for proxy multicasts

- TC csak azon a linken amely forwarding-be megy
- A kezdeményező küldi (nem a Root) és a szomszédok továbbítják az aktív topológia mentén
- TC bit 2 x hello time időre
- Azonnal törli a CAM táblát

Rapid STP

- a reakcióidő lecsökkentésére találták ki
- a STP protokoll továbbfejlesztett változata
- működése nem időzítőkön alapul
- új port állapotokat vezet be a gyorsabb átkapcsolás érdekében
- a HELLO üzenetek sűrűségét is megnövelték
- 802.1w – később 802.1D-2003-ként már minden eszköznek kötelező

RSTP újítások

- Proposal-agreement módszer
  - a jobb útvonallal rendelkező kapcsoló felajánlja az útvonalat
  - a legjobb ajánlatot fogja elfogadni
- A topológia helyreállása nem függ időzítőtől
- Több kapcsolón keresztül is működik

Gyors Átkapcsolások

- A root, forwarding, blocking állapotok mellett a bridge még a következő állapotokat ismeri:
- Alternate port
  - Alternatív útvonal hiba esetén a root felé
- Backup port
  - Egy párhuzamos útvonal egy olyan LAN felé, melynek designated bridge-e
- Új topológia kialakulásakor ezek a portok kapcsolnak be

További Hiányosságok

- Az új topológia kialakulása nem timer függő, de topológia függő
  - Nincs korlát – csak az időzítő (STP-ből)
  - Nagy topológia esetén lassú lehet
- Terhelés megosztás továbbra sem lehetséges
- A tanulási fázis nem csökkent le
  - Bár a táblák ürítésére megoldást ad

Ethernet Switchek

- Layer 2 továbbítás – MAC címek alapján
- Megtanulja a MAC címeket akár a bridge
- Erőssége a store-and-forward működés amely egyidejű továbbítást végezhet különböző portok között
  - Nincs ütközés
  - Nagy sebességű *backplane*
- Nagyszámú interfész
  - Különböző sebességek/médiumok

Switchek

- A nagyobb teljesítményű kapcsolók egyben bridge-ek is
  - Támogatják az STP protokollt
- Típusok
  - Nem menedzselhető:
    - irodai célokra, HUB-ok összekapcsolására kiváló
    - Nem támogatja az STP protokollt, sem a VLAN-okat (jövő óra)
  - Menedzselhető
    - VLAN és STP támogatás
    - Menedzsment interfész
  - L2/L3

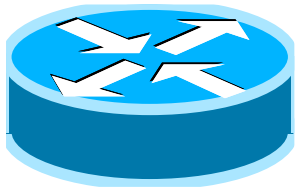
Pont-Pont mód

- Egyes kapcsolók képesek pont-pont módban működni
  - Nincs ütközés
  - Full duplex kapcsolat
    - Nagyobb elérhető sávszélesség
- Beállítható
  - Kapcsolók között
  - Kapcsoló és munkaállomások között

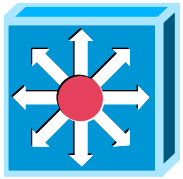
Ethernet alapú lokális hálózatok tervezése

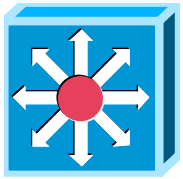
- Hierarchikusan

Router



Nagy teljesítményű, multiservice kapcsoló





SWITCH, Bridge

HUB

Olvasnivaló

- O'Reilly ***Ethernet: The Definitive Guide***
  - by Charles E. Spurgeon
- IEEE 802.3 szabvány
- Cisco – Understanding STP, RSTP

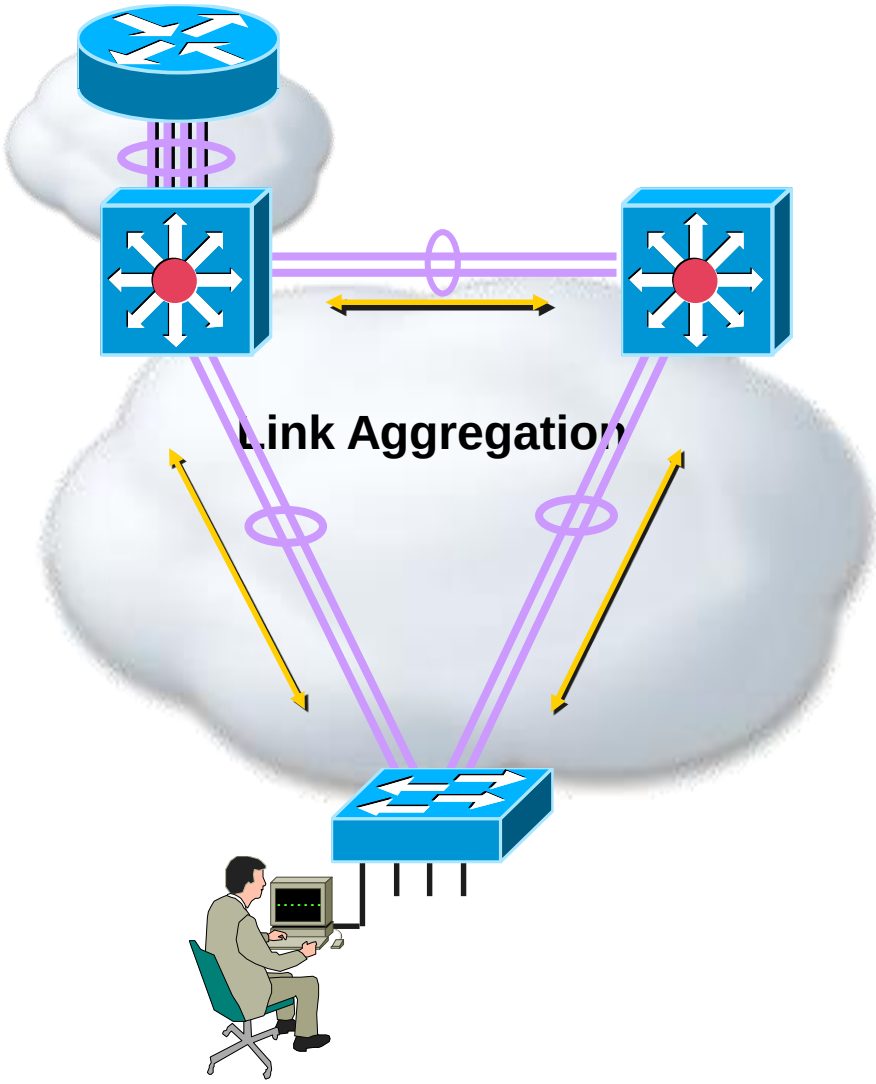
Folytatása következik

Budapest University of Technology and Economics

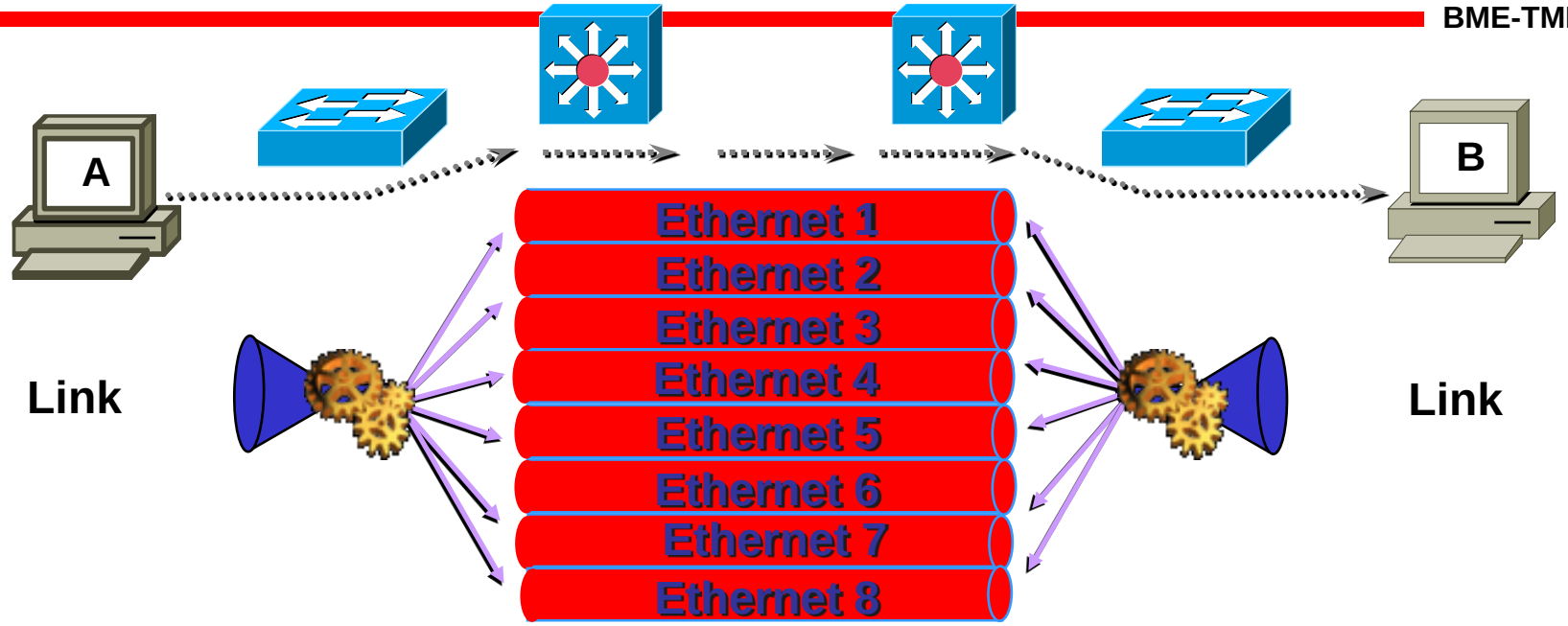
Department of
Telecommunications and Media Informatics

Link Aggregáció

- Link Aggregáció
  - Hasonló linkek összefogása (összesen 8-ig) 10/100/1000/10GE ports
- Használható switchek, routerek és néhány típusú NIC között
- Aggregált Link
  - mindig point-to-point



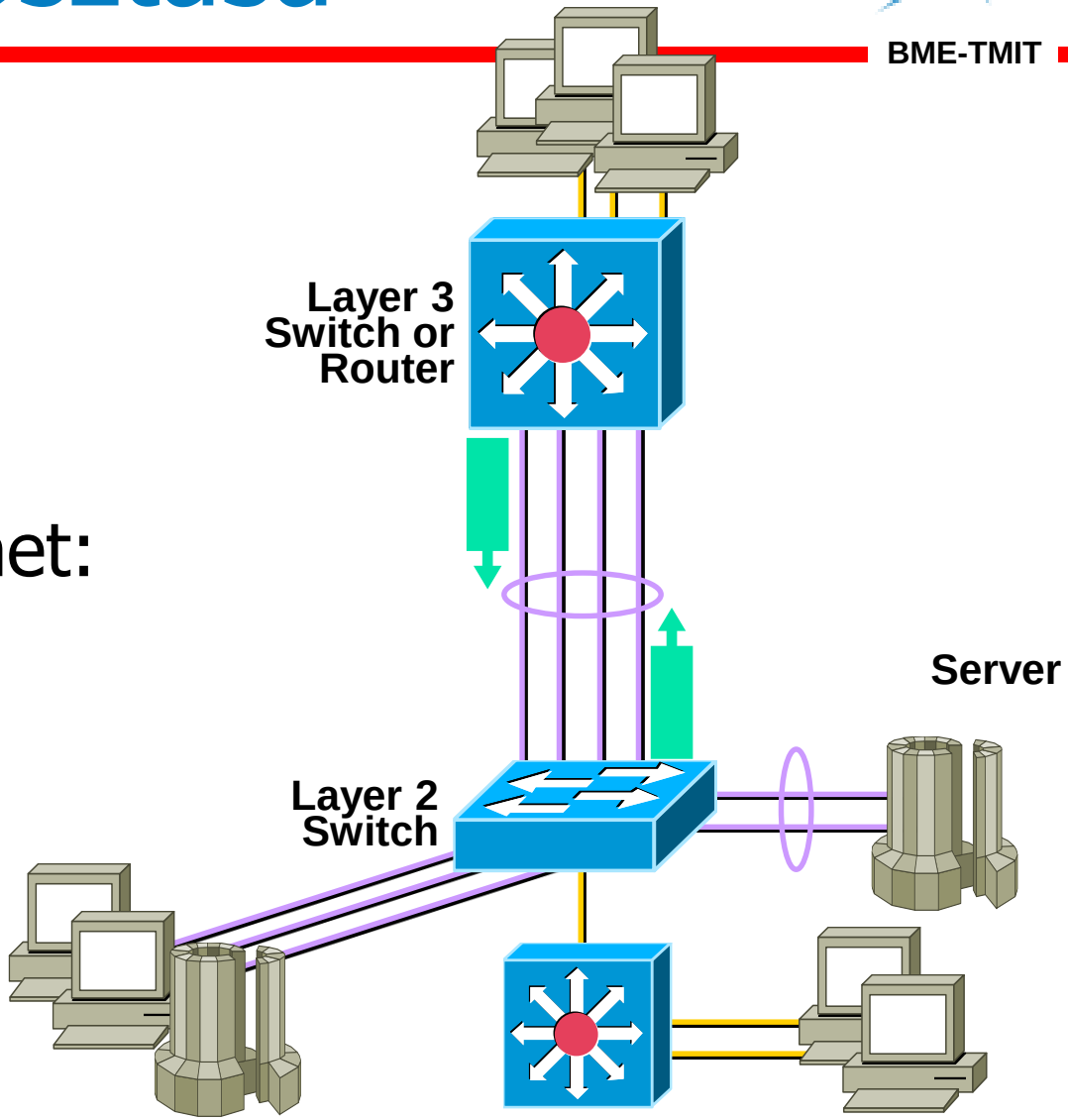
Link Aggregáció



- Load sharing és Layer-1 redundanciát nyújt
  - Hash függvény a következő alapokon:
    - MAC, IP addresses, Layer-4 ports (session)
  - Az egész csatorna egyetlen logikai port
  - Vezérlő Protokoll: IEEE 802.3ad LACP

Terhelés megosztása

- Függ a beállított konfigurációtól és a hash-függvénytől
- A hash függvény lehet:
  - MAC-cím alapú
  - IP cím alapú
  - Layer-4 alapú (session)



Adminisztratív Állapotok

- Adminisztrátor által beállítható állapotok - LACP
  - ON
    - Csatorna akarok lenni, nem érdekel mit gondolsz!
      (nem generál LACP üzeneteket)
  - OFF
    - Nem akarok csatorna lenni, és nem érdekel mit gondolsz!
      (nem fogadja az LACP üzeneteket)
  - Active
    - Csatorna szeretnék lenni. Érdekel a dolog?
      (Used when you are interested in being a channel)
  - Passive
    - Várom az ajánlatokat, nekem mindegy!
      (a "plug-and-play" működésnél használatos,
      DE a másik oldalt jól kell konfigurálni)

Aggregált LINK megvalósul:
- ***Active-active,***
- ***Active-passive,***
- ***On-on***

Ethernet – első labor

Moldován István

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics

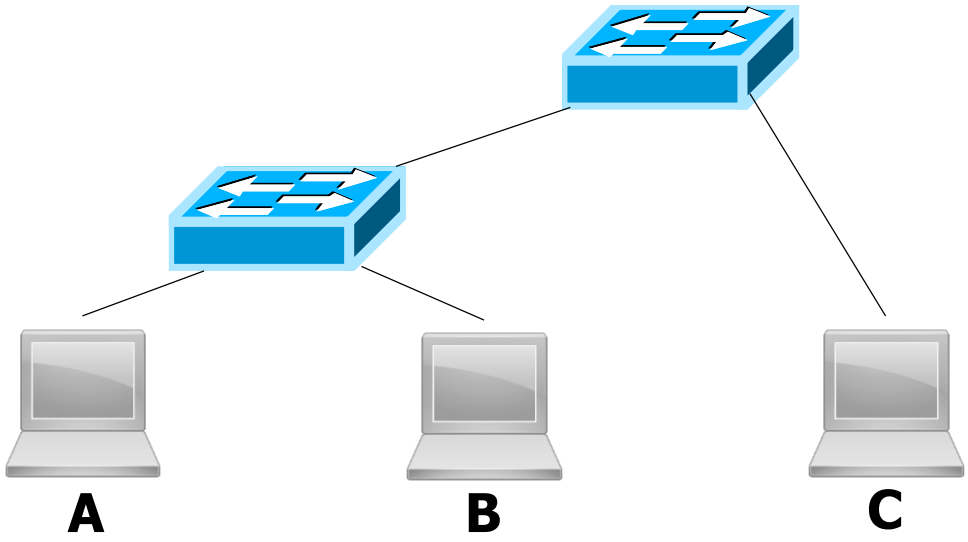
MAC címzés

- MAC címek
  - MM:MM:MM:SS:SS:SS
  - MM-MM-MM-SS-SS-SS
  - An OUI {Organizationally Unique Identifier}
    - 00:00:0A -- this is owned by Omron
    - 00-0D-4B -- this is owned by Roku, LLC
  - https://www.wireshark.org/tools/oui-lookup.html
- Broadcast: FF:FF:FF:FF:FF:FF
- Multicast

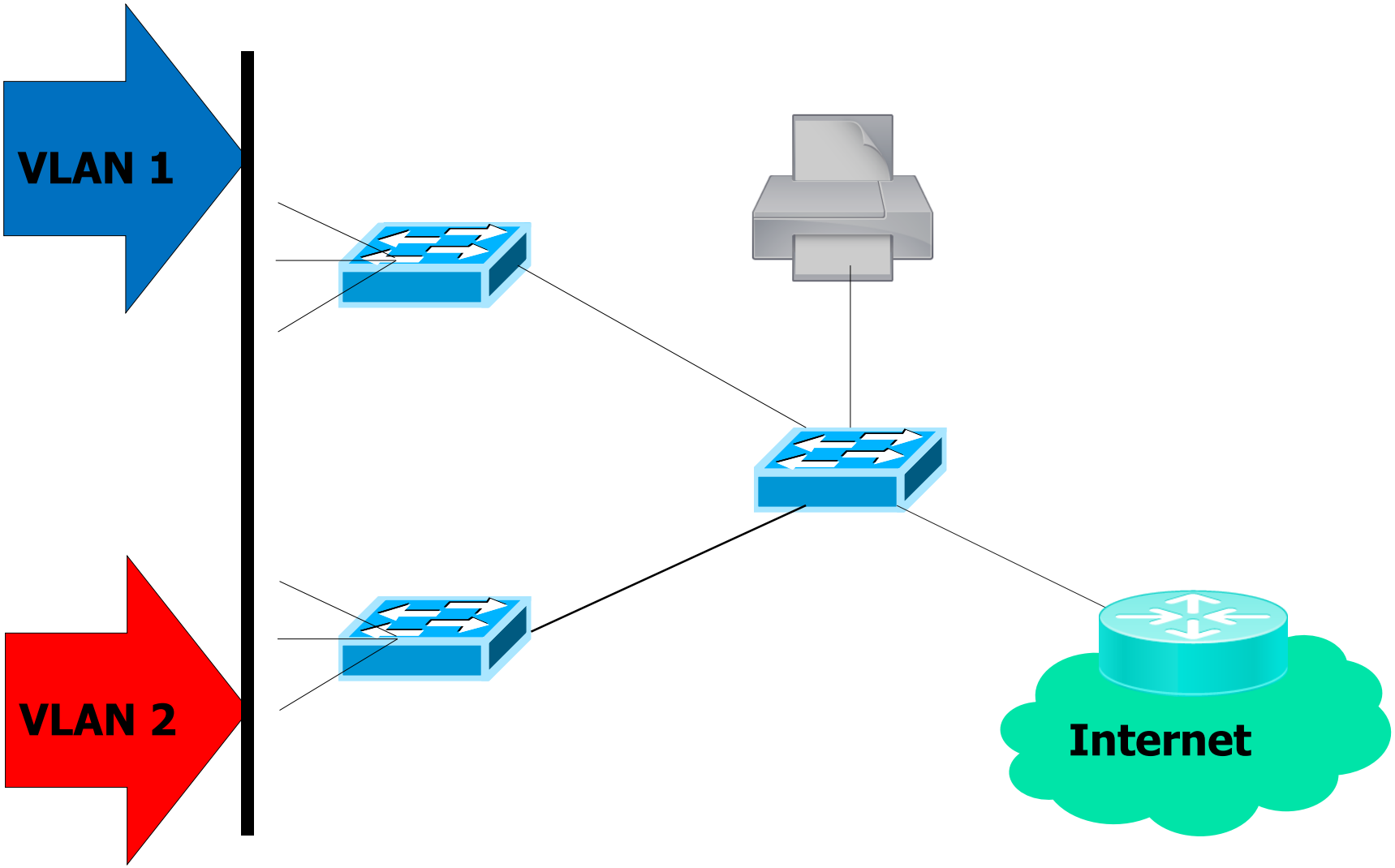
Keret formátum

- Ethernet II vs 802.3 – mikor melyik?
  - Type/length
  - packETH / wireshark

- Tanulás
  - Példa



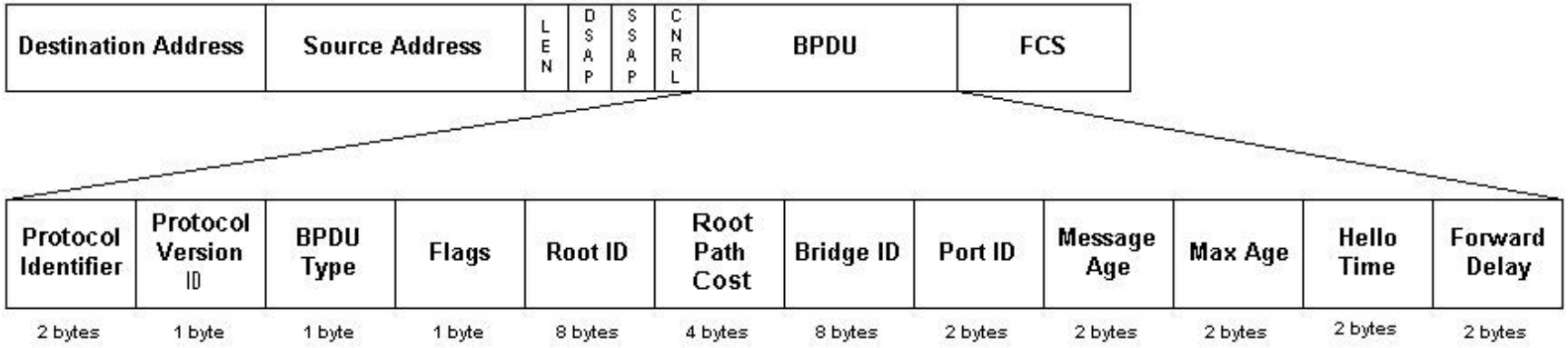
VLAN

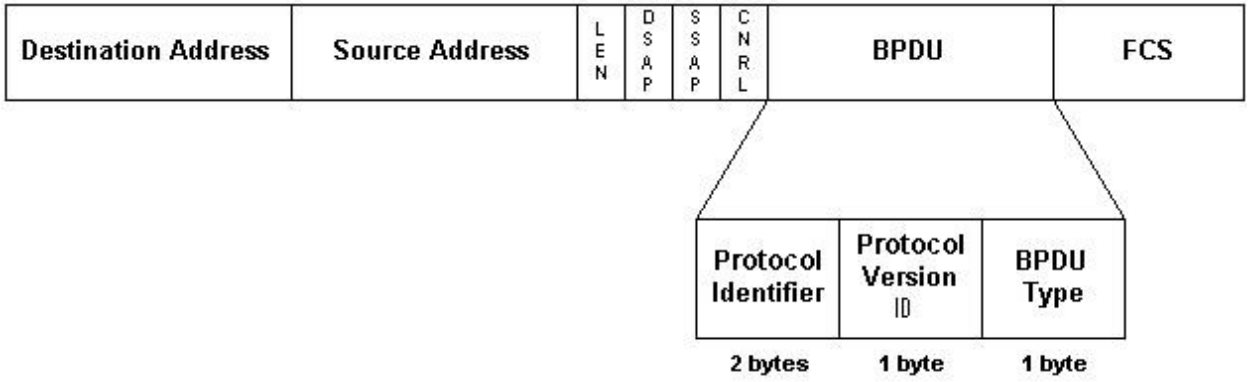


Spanning Tree

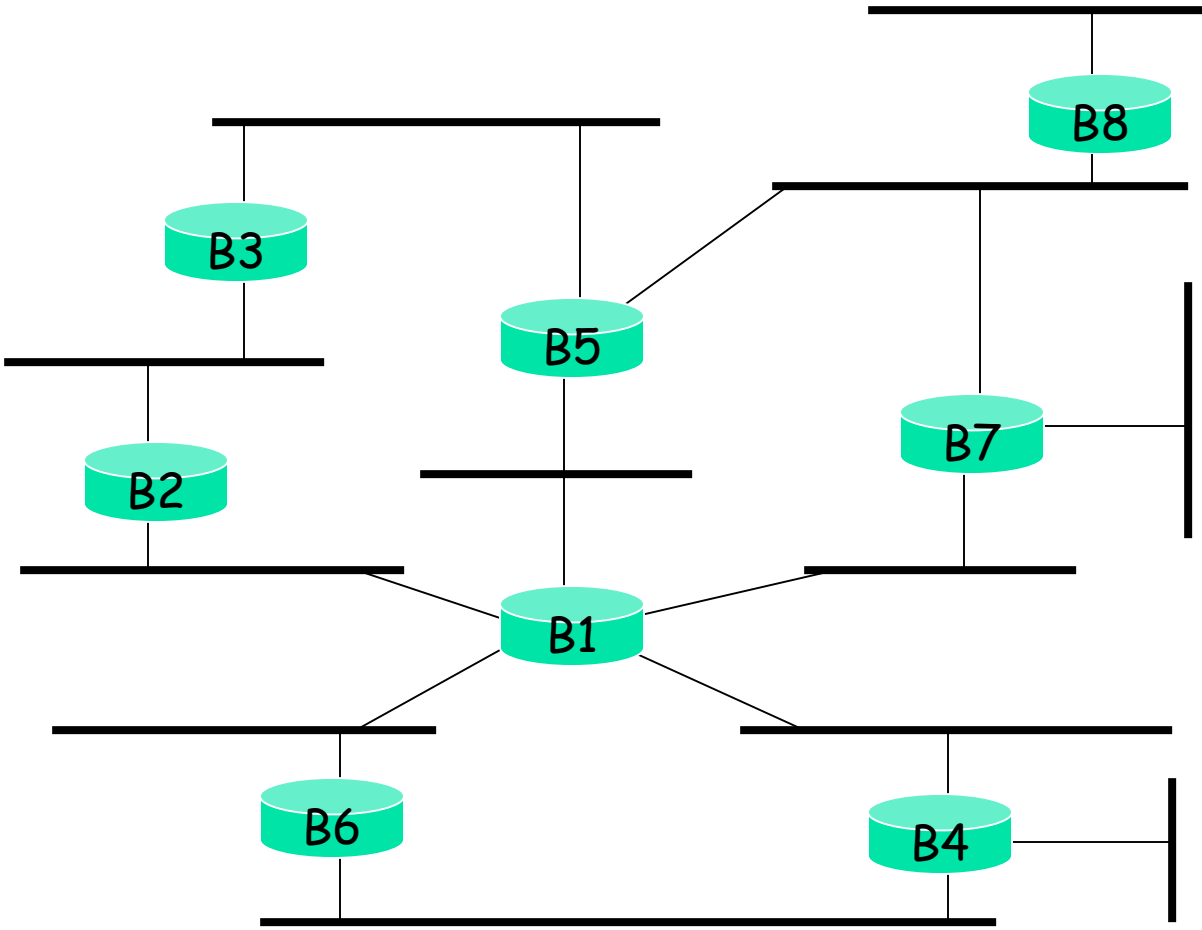
- RSTP fa kialakítása
  - BPDU-k
- Paraméterek:
  - Link speed
  - Prioritás
  - ID
- Bridge ID: Prioritás + MAC

Bridge BPDU-k





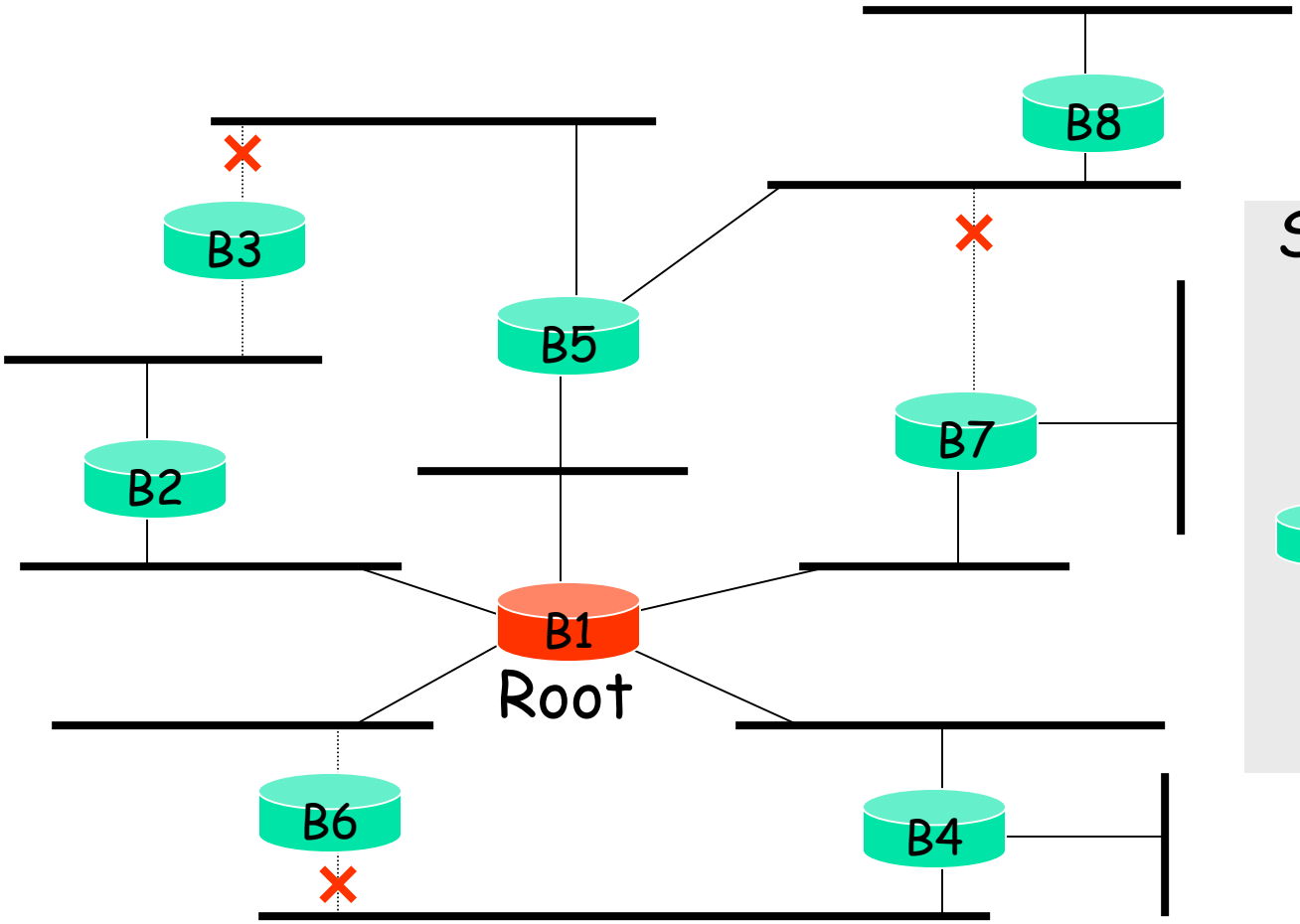
Példa – Fizikai topológia



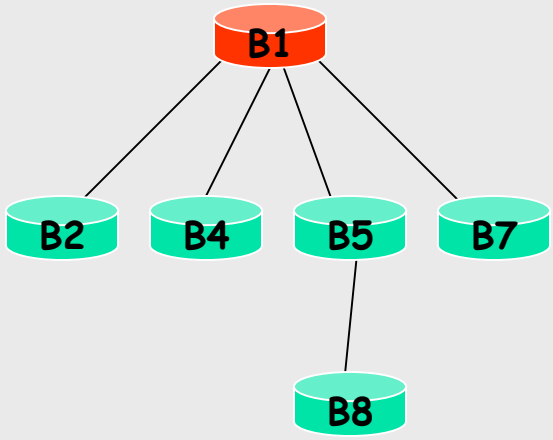
Protocol működés:

1. Root kiválasztás
2. minden LAN-ra kiválasztja a designated bridge-et, a legközelebbit a root-hoz.
3. Minden bridge a root fele a designated bridge-en keresztül küld.

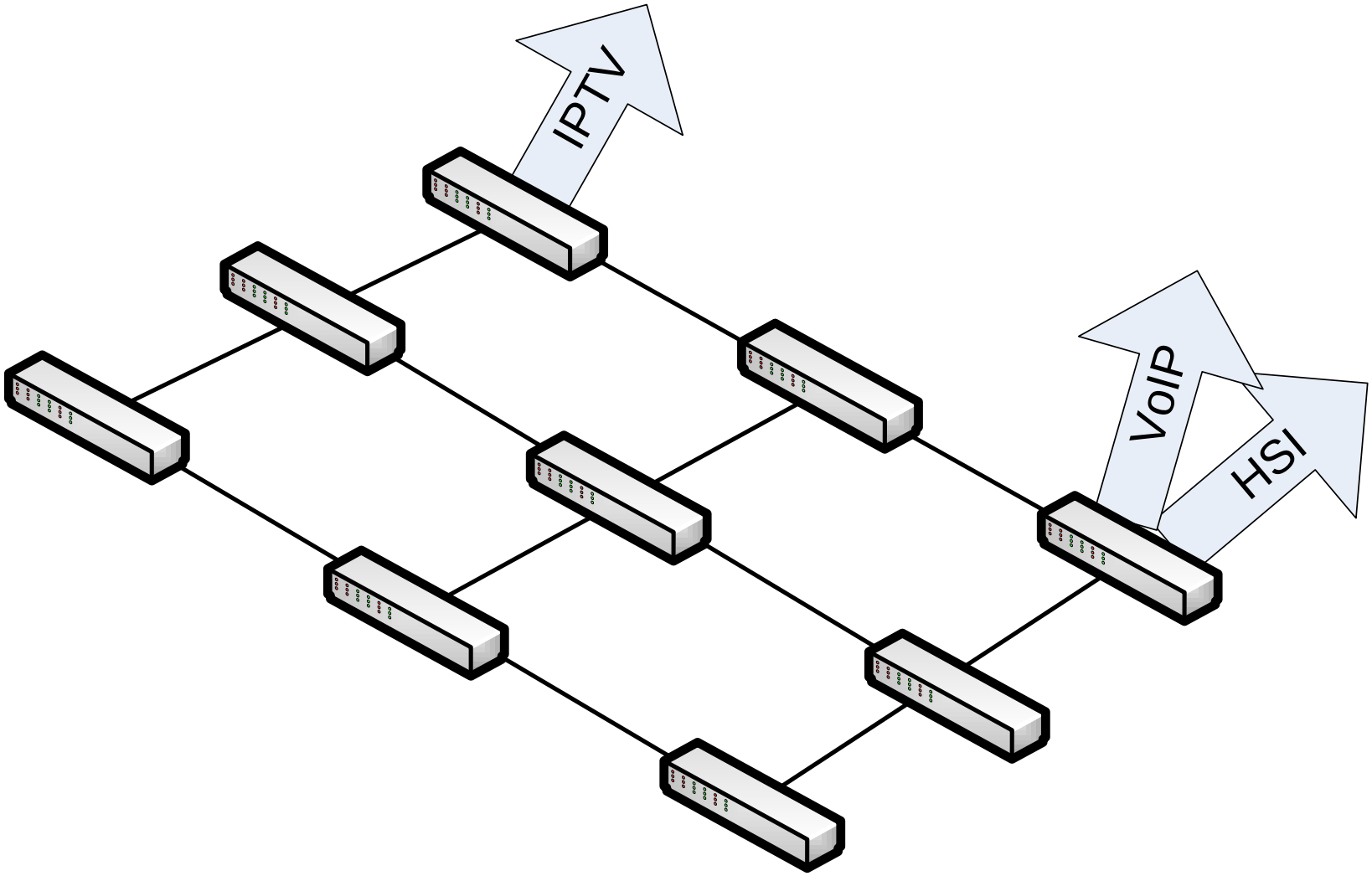
Példa – STP Topológia



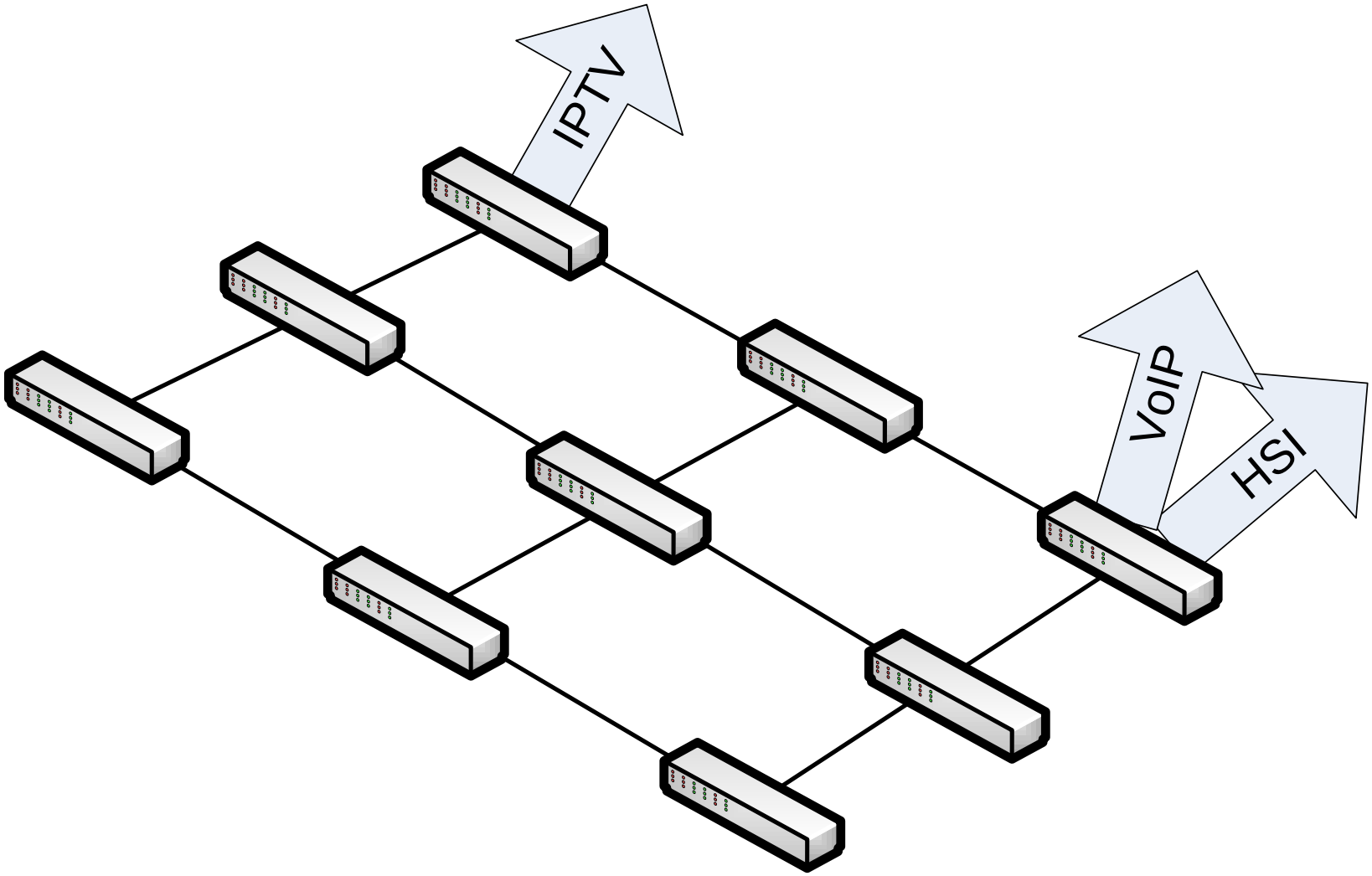
Spanning Tree:



RSTP optimális beállítás



MSTP optimális beállítás



Ethernet Switchek

- Layer 2 továbbítás – MAC címek alapján
- Megtanulja a MAC címeket akár a bridge
- Erőssége a store-and-forward működés amely egyidejű továbbítást végezhet különböző portok között
  - Nincs ütközés
  - Nagy sebességű *backplane*
- Nagyszámú interfész
  - Különböző sebességek/médiumok

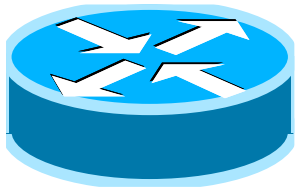
Switchek

- A nagyobb teljesítményű kapcsolók egyben bridge-ek is
  - Támogatják az STP protokollt
- Típusok
  - Nem menedzselhető:
    - irodai célokra, HUB-ok összekapcsolására kiváló
    - Nem támogatja az STP protokollt, sem a VLAN-okat (jövő óra)
  - Menedzselhető
    - VLAN és STP támogatás
    - Menedzsment interfész
  - L2/L3

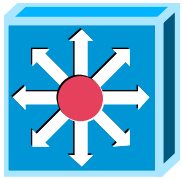
Ethernet alapú lokális hálózatok tervezése

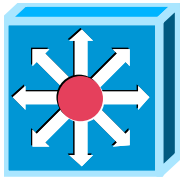
- Hierarchikusan

Router



Nagy teljesítményű, multiservice kapcsoló





SWITCH, Bridge

HUB

Kérdések?

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics

Ethernet – második rész

Moldován István

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics

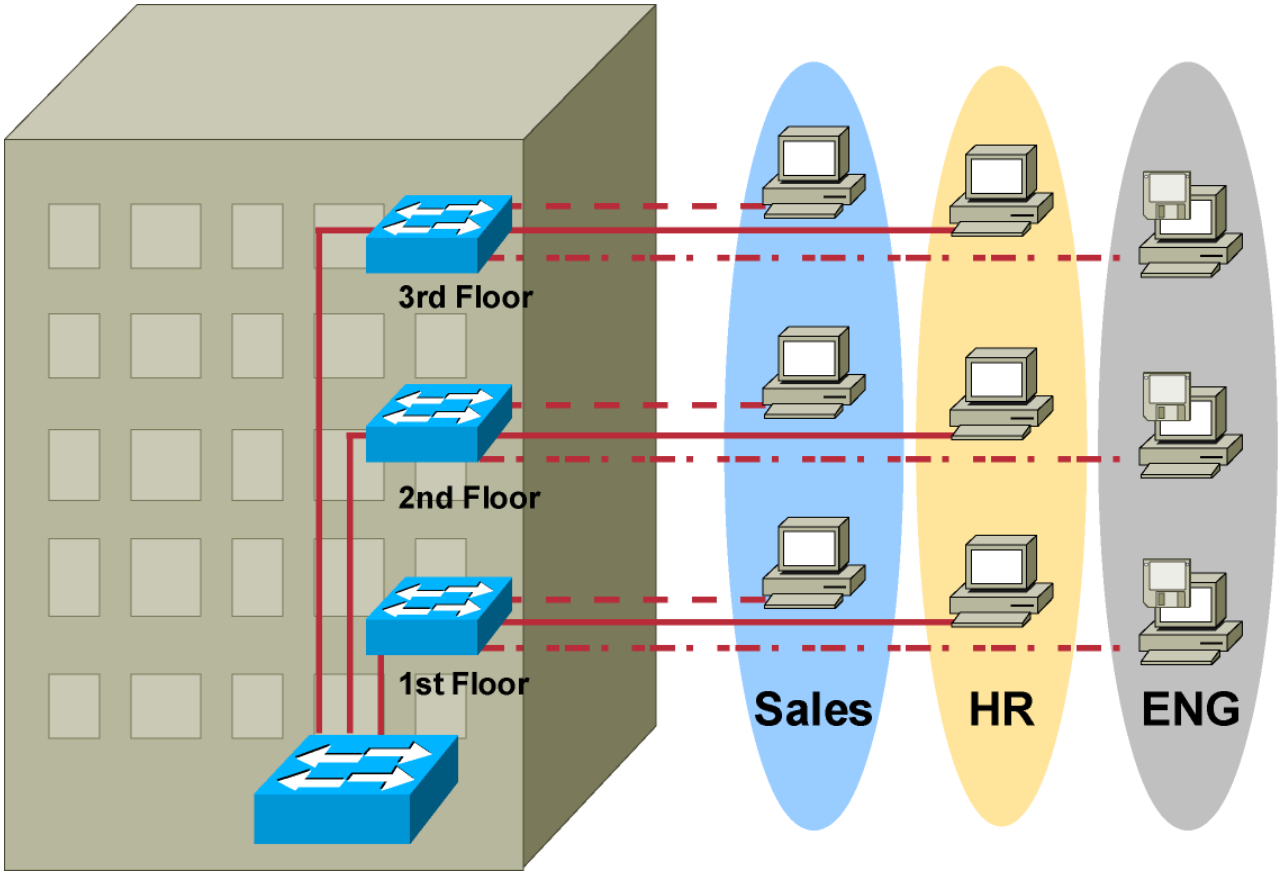
VLAN

- LAN (Local Area Network): broadcast tartomány
  - a tartományon belül mindenki megkapja a szórt üzenetet
  - kívül senki
  - a LAN határait a kábelezés szabja meg
  - kifelé router kell a kommunikációhoz
  - másik gép megtalálásához is szórt adás kell (ARP)
- VLAN (Virtual LAN): adminisztratív úton létrehozott broadcast tartomány
  - a rendszer adminisztrátora határozza meg, ki van benne
  - a határok itt nem fizikaiak, csak virtuálisak
  - a különböző VLAN-ok nem látják egymás forgalmát

A VLAN által nyújtott előnyök és hátrányok

- Előnyök:
  - könnyebb kezelni a felhasználók helyváltoztatását (mobilitás)
  - szórt adás kiterjedésének csökkentése
  - felhasználók virtuális elkülönítése
    - hatékonyabb topológia (esetleg átlapolódás is a VLAN-ok között)
    - biztonság nő
    - virtuális munkacsoportok
- Hátrányok:
  - a virtuális munkacsoportoknál túl gyakorivá válhat a tagság változása
  - Adminisztrációs problémák
  - WAN-ra kiterjedő VLAN-nál a szórt adás már főbb vonalakat is terhelhet

VLAN Áttekintés



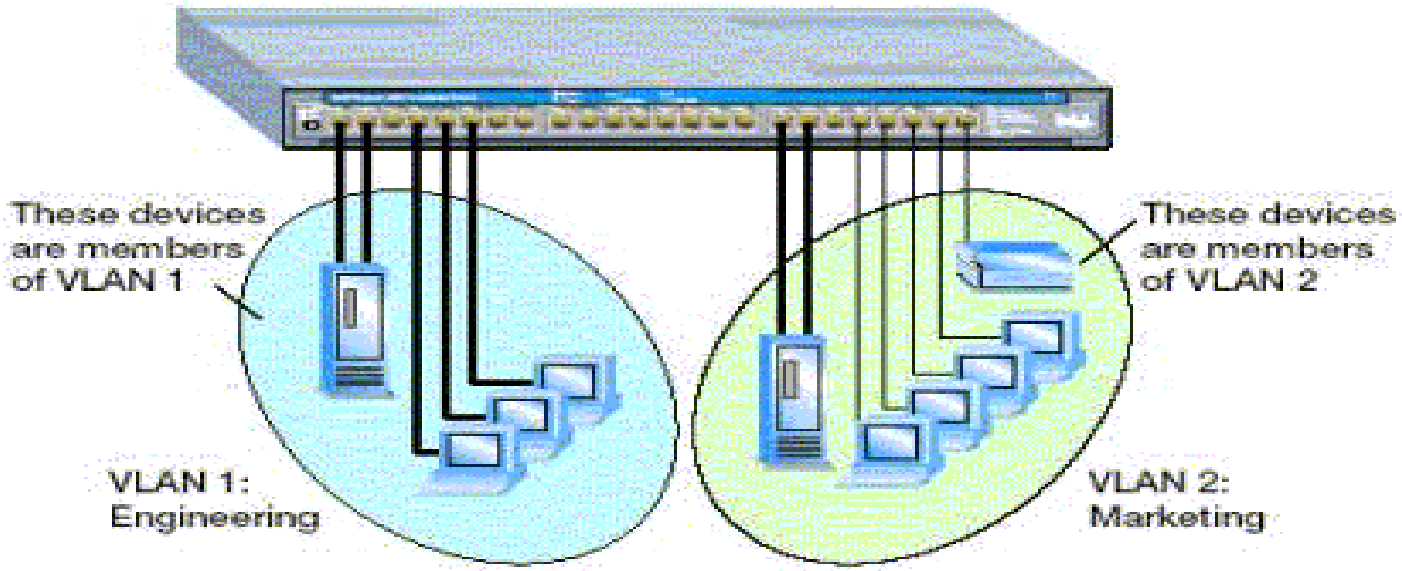
- Layer 2 connectivity
- Logikai elrendezési flexibilitás
- Egyetlen broadcast domain
- Management
- Biztonság

1 VLAN = 1 Broadcast Domain = 1 Logikai hálózat (Subnet)

VLAN megoldások

- Megosztott kapcsolók
  - Csak kapcsolón belül értelmezett
  - Lehet port alapú, MAC alapú
- IEEE 802.1Q szabvány
  - Az Ethernet szabvány kiterjesztése
  - Új mező az Ethernet fejlécben
  - Egy LAN-on belül értelmezett

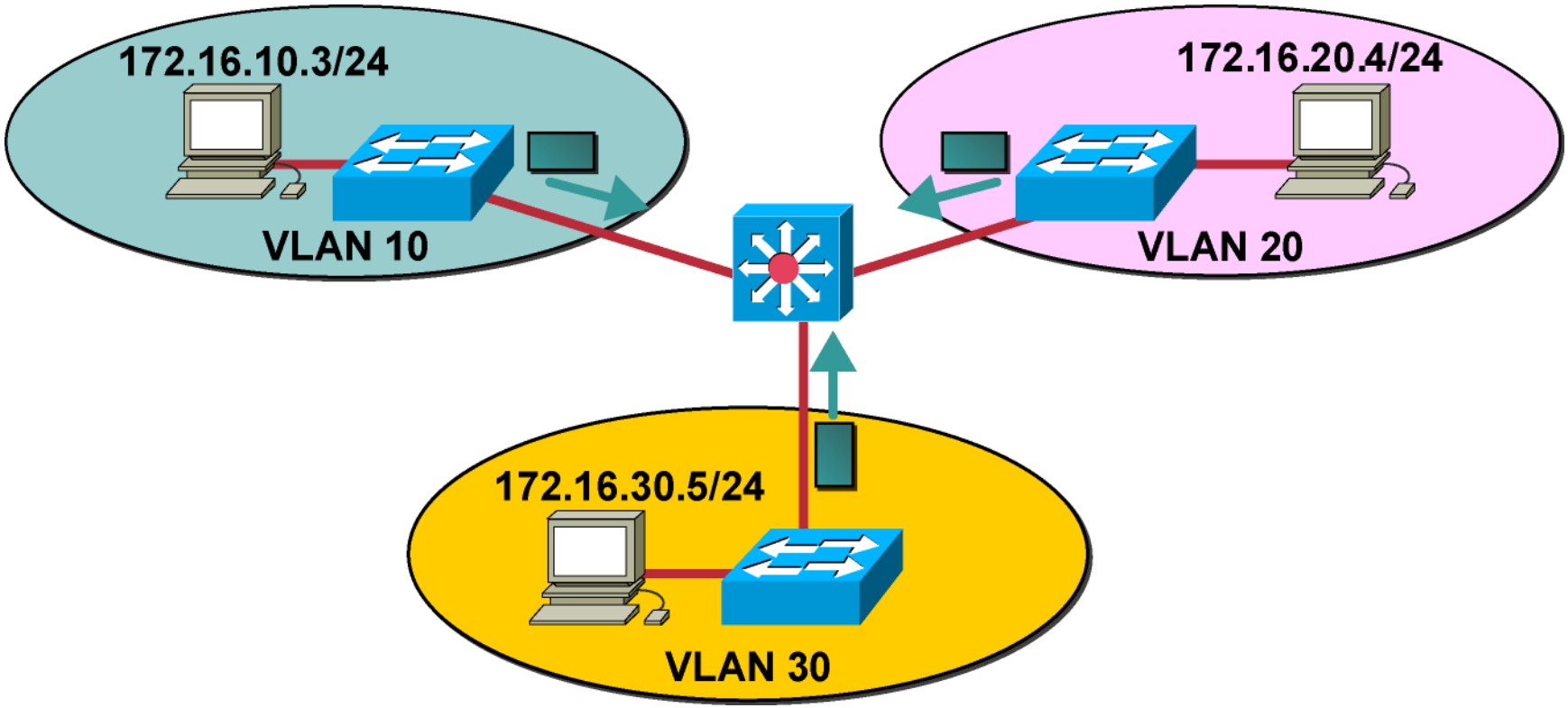
Megosztott kapcsoló példa



1. VLAN: 2., 4., 6., 9. port
2. VLAN: 17., 19., 21., 23. port

Egymás forgalmát nem látják!

Átjárás VLAN-ok között



- Probléma: elkülönített Broadcast Domain
  - Természetüktől fogva a VLAN-ok tiltják a VLAN-ok közti kommunikációt
  - A VLAN-ok közti átjárás 3. szintű eszközt igényel: L3 SW vagy Router

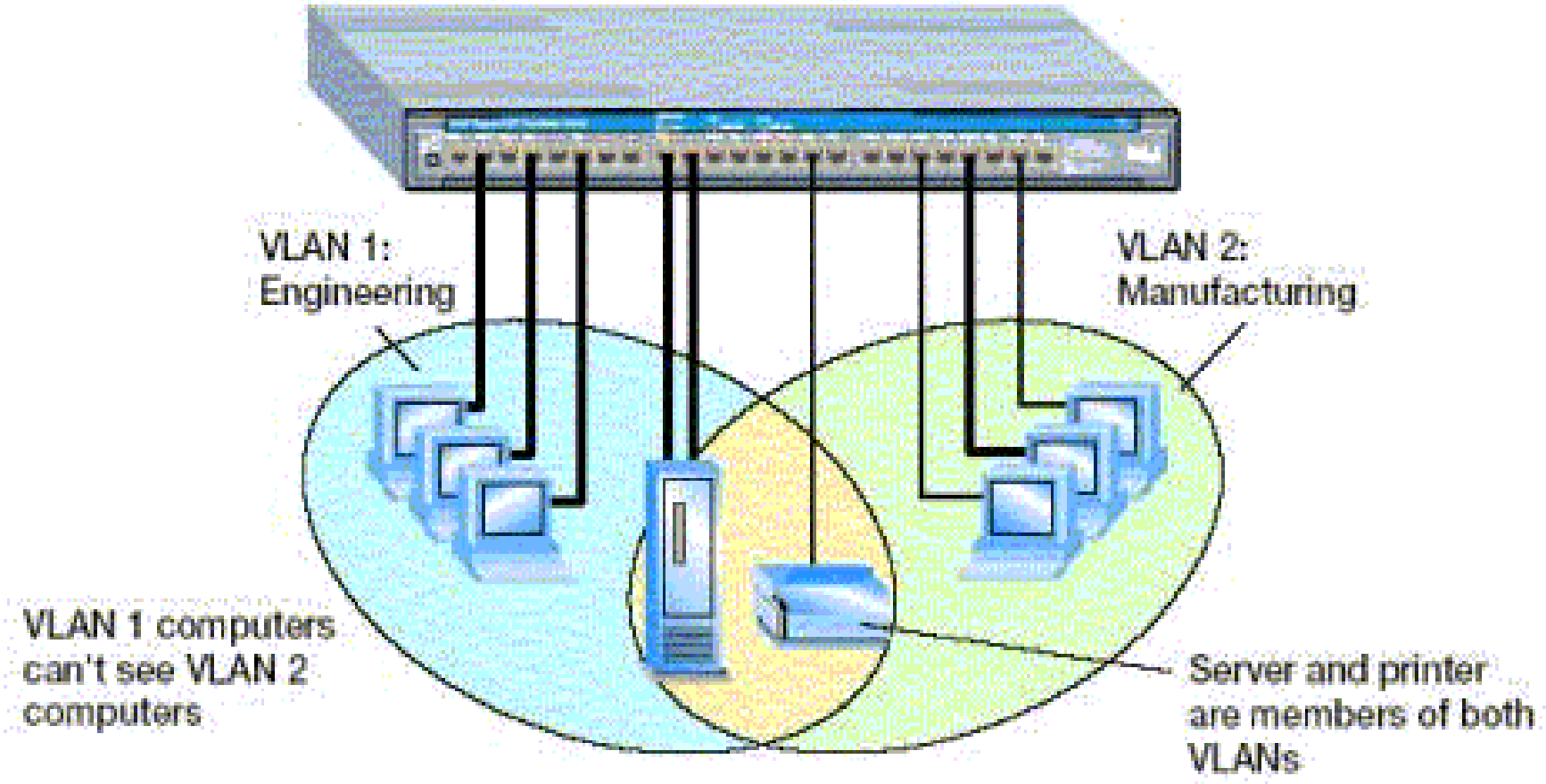
IEEE 802.1Q

- minden IEEE 802 LAN MAC protokoll felett használható
- könnyű adminisztráció (létrehozás, tag hozzáadása, stb.)
- két különböző VLAN között nincs forgalom (adatkapcsolati szinten)
- egy LAN-on belül több csoport is elkülöníthető
- jól megválasztott csoportok esetén forgalomcsökkenés érhető el

Általános jellemzők

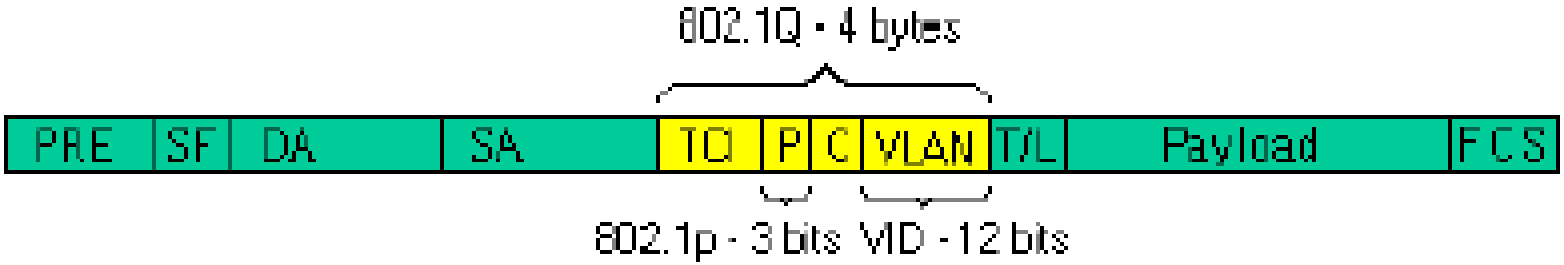
- minden VLAN-nak van egy azonosítója: VID
- a switch nyilvántartja, melyik porthoz melyik VLAN-ok tartoznak
- egy felhasználó több VLAN-nak is tagja lehet
- egy port több VLAN-hoz is tartozhat
- a VLAN több switchre is kiterjedhet
- csökken a szórt adás által felemésztett kapacitás, biztonság nő

VLAN-ok átfedése

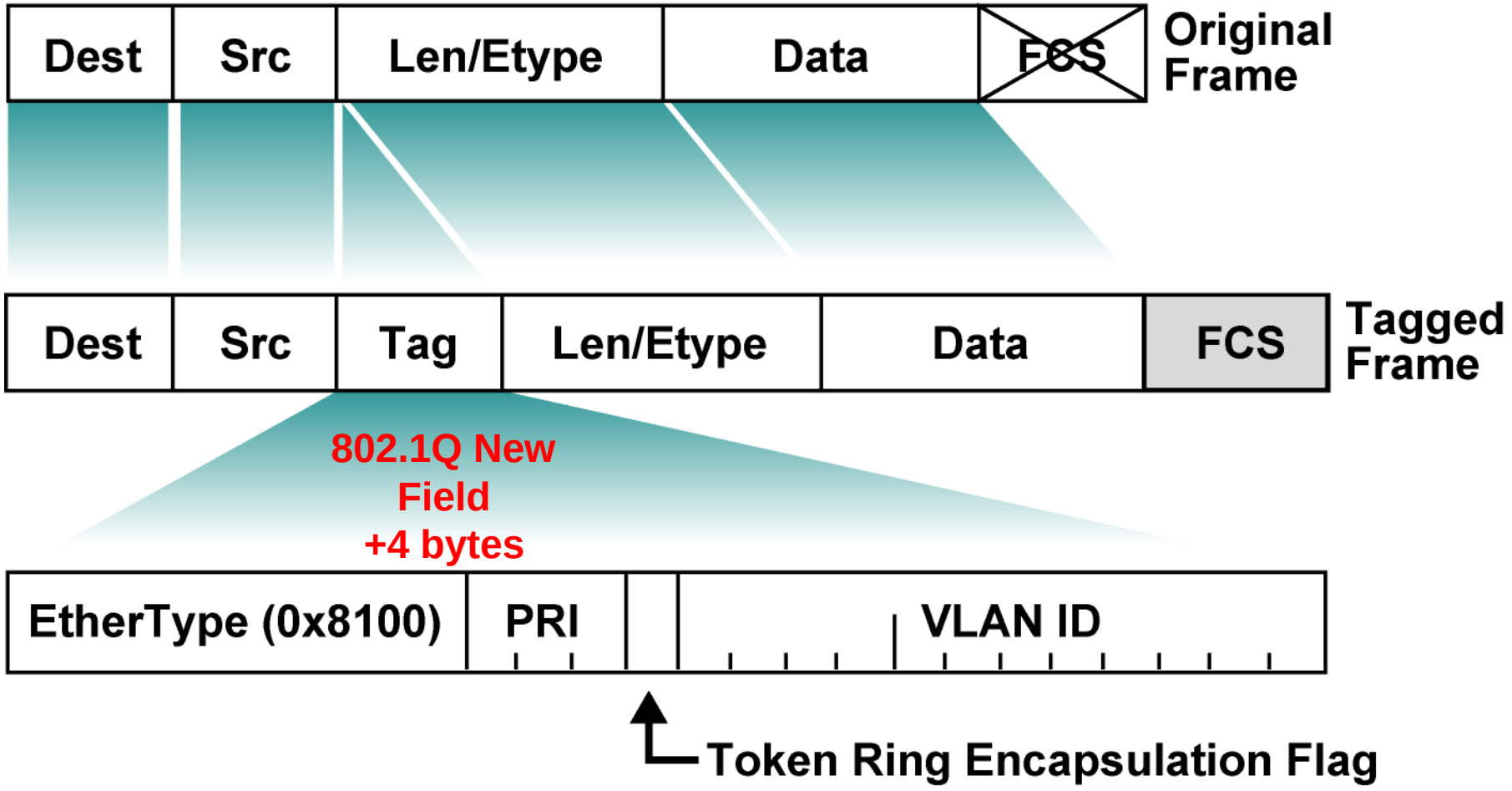


.1Q VLAN keretformátum

- A VLAN tag tárolásához új mezők az Ethernet-keretben
  - 4 bájtal nő az Ethernet keret
- Helye közvetlenül a forrás MAC cím után
- Lehetővé teszi a minőségbiztosítást is
  - 802.1p prioritás bitek

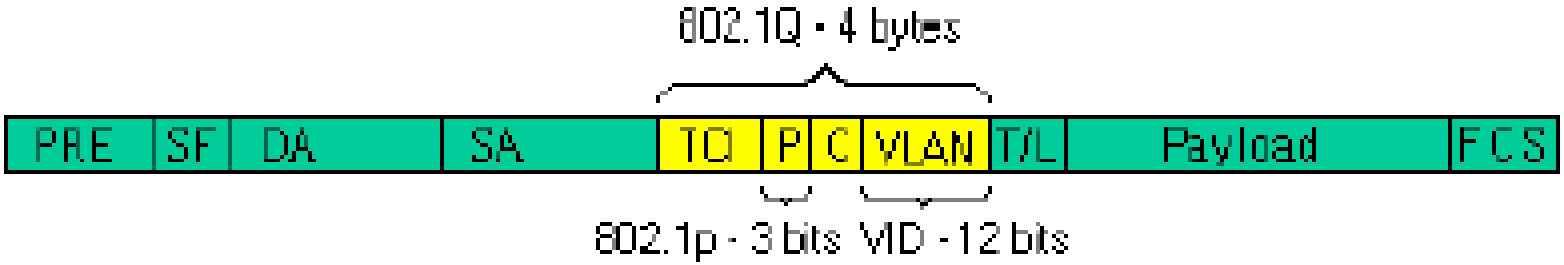


802.1Q Tag Formátum



Új keretformátum – 2.

- TCI (Tag Control Info): 8100-as értéke mutatja a 802.1p és Q használatát
- P: prioritás (0..7)
- C (Canonical Indicator): megmutatja, hogy kanonikus formátumban vannak-e a MAC-címek
- VLAN: a VID-t tárolja (0..4095)



Változások az új kerettípus miatt

- Régi berendezések:
  - A TCI mező értéke 0x8100, melyet típusként értelmeznek
  - Ha nem támogatja, nem tudja értelmezni tehát eldobja a keretet

- megoldás: az új, tag-el rendelkező kereteket támogató eszközök csatlakoztatásánál a régi típusúak felé csatlakozó portokon a tag leválasztása

VID

- VLAN Identifier
- 0-4095 tartomány
- 0: alapérték
  - ha a keret eredetileg tag nélküli volt, ezt kapja meg
- 4095: fenntartva, az ilyen VID-jű kereteket eldobjuk
- lehetőség van rá, hogy a tag nélküli keret 0-tól különböző értéket kapjon (port-based VLAN, Port VID)
  - Port VID: a switch minden portjának van, azt mutatja, hogy a tag nélküli keretet melyik VLAN-ba továbbítsák

A Natív VLAN és a 802.1Q

- Egyetlen nem-csomagolt VLAN – nincs Tag
- Általánosan elterjedt menedzsment célokra
- Meghatározva és kötelező a 802.1Q -ban
- Bármely VLAN lehet, nem feltétlen a VLAN 1
- Egy hálózati tartományban egységes

Bejövő keret kezelése

- megnézzük a fejlécet
- ha nincs tag:
  - VID=0 értékkel teszünk bele
  - ha port alapú VLAN-t használunk, a port PVID-je lesz a VID
- ha van tag, szűrés:
  - megnézzük, kik a tagjai a VID által mutatott VLAN-nak
  - ha a fogadó port nincs a VLAN-ban, eldobjuk a keretet
  - egyébként megnézzük, a cél is tagja-e a VLAN-nak
  - ha igen, továbbítjuk

Kimenő keret kezelése

- megnézzük, a másik oldal támogatja-e a tag-elt kereteket
  - ha nem, levesszük a taget
  - ha igen, továbbküldjük
- Átjárás VLAN-ok között csak routeren keresztül
  - Ha egy porton több VLAN van, a router virtuális interfészekként kezeli
  - Átjárás csak IP szinten!

VLAN-ok hozzárendelése

- Port-based VLANs: fizikai interfészenként
- MAC-based VLANs: a kapcsoló rendelkezik egy MAC-VLAN listával
- Protocol-based VLANs: a kapcsolóban be van állítva hogy milyen protokoll milyen VLAN-hoz tartozik
- IP subnet alapú (nem elterjedt)

Port alapú VLAN

- a legegyszerűbb megoldás
- a switch egyes portjaihoz hozzárendeljük a megfelelő VLAN azonosítóját
- egy porthoz legfeljebb egy azonosító tartozhat
- a VLAN változtatásakor csak a switch-hez kell nyúlni – a felhasználó számára átlátszó

MAC alapú VLAN

- a switchben egy lista van, ez tartalmazza az egyes VLAN-okhoz tartozó eszközök MAC-címét
- előny:
  - ha egy felhasználó portot változtat a switch-en belül, az nem igényel semmilyen beavatkozást
- hátrányok:
  - általában nehézkesebb az adminisztráció (mindenki MAC-címét ismerni kell)

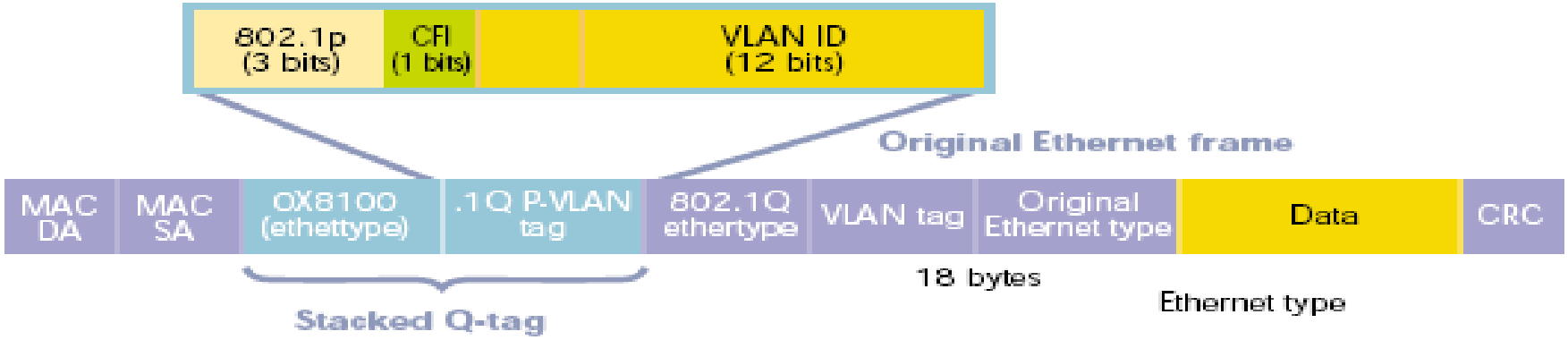
Protokoll alapú VLAN

- Különböző protokoll típusokhoz más-más VLAN tag lesz rendelve
- Feltételezi, hogy a kapcsoló megnézi az IP fejlécet

- Nem felhasználót azonosít, hanem szolgáltatást

Q-in-Q (VLAN trönk)

- 4096 VLAN nem elég egy nagyobb hálózatban (>4095 felhasználó)
  - A felhasználók azonosítására használva: C-VLAN
- Bevezetnek egy szolgáltatói VLAN tag-et
  - S-VLAN



Q-in-Q

- Előnye hogy a VLAN –ok száma megnő
- Léteznek más megoldások is:
  - MAC-in-MAC
  - V-MAN tag bevezetése
  - MPLS tunnel
- A IEEE 802.1ad provider bridge szabvány a QiQ-t támogatja

Információk terjesztése a VLAN-ban - működési módok

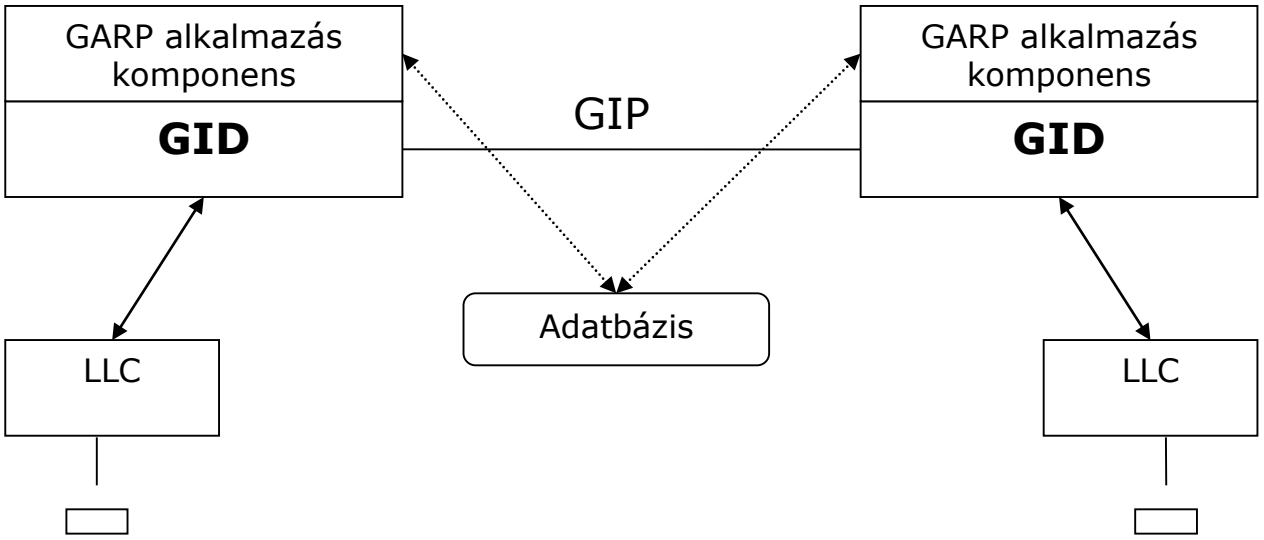
- *Statikus*:
  a VLAN tagság információk manuálisan állíthatóak, a dinamikus terjesztés protokolljai tiltva vannak.

- *Dinamikus*:
  GVRP (GARP VLAN Registration Protocol) használatával az információ dinamikusan terjed, ha valami változás történik.

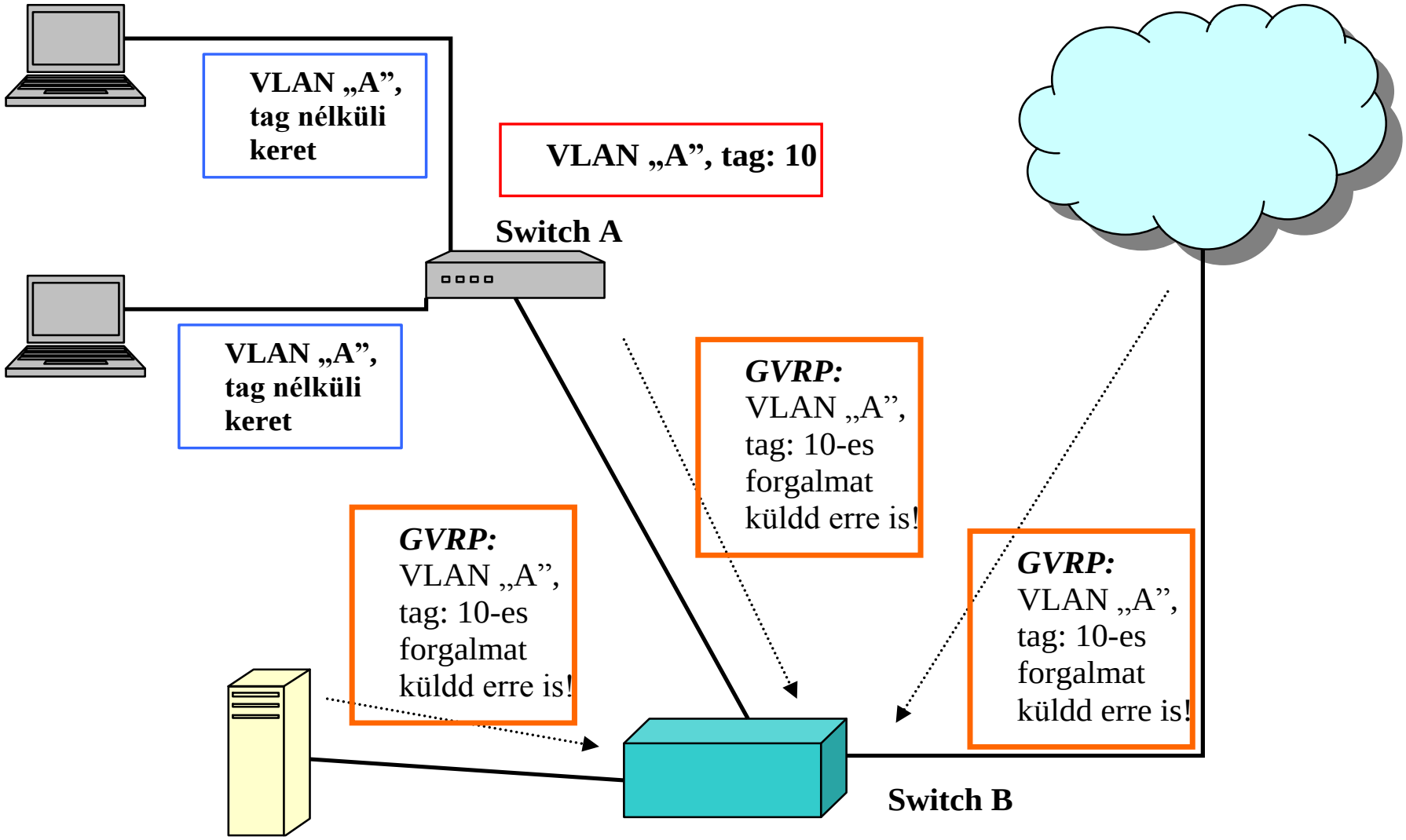
- *Vegyes*:
  egyes nyilvántartott VLAN-ok információi csak statikusan, másoké csak dinamikusan változtathatóak.

GVRP – GARP VLAN Registration Protocol

- Alapja a GARP (Generic Attribute Registration Protocol).
  - GARP alkalmazás komponens
  - GARP Information Declaration (GID)
  - GARP Information Propagation (GIP)



GVRP – GARP VLAN Registration Protocol

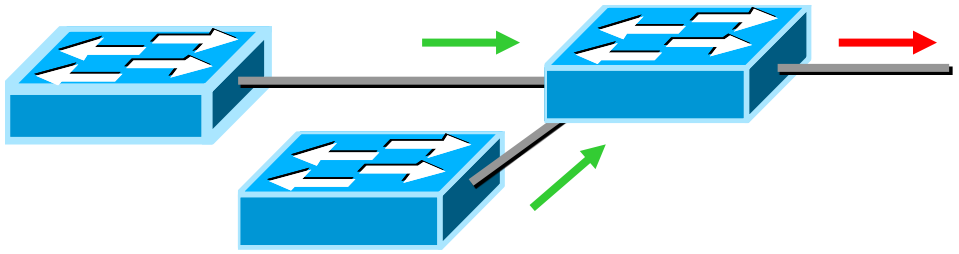


QoS

- Prioritás kezelés a 802.1Q VLAN tag alapján
  - 3 prioritás bit = 8 osztály
  - Ez azt jelenti hogy QoS-hez 802.1Q VLAN-okat kell használni
- A prioritás bitek értelmezését a 802.1P szabvány adja meg
  - A VLAN prioritás és az IP TOS hasonló
  - Jelen Ethernet kapcsolók nem mind támogatják a 8 osztályt

IP & Ethernet QoS

- IP QoS/ToS Mechanizmusok
  - Transzparens módon használhatók a TAG-al ellátott vagy anélküli linkeken
  - Ethernet szintű torlódás esetén az IP QoS nem garantált
    - Ethernet szintű torlódás:



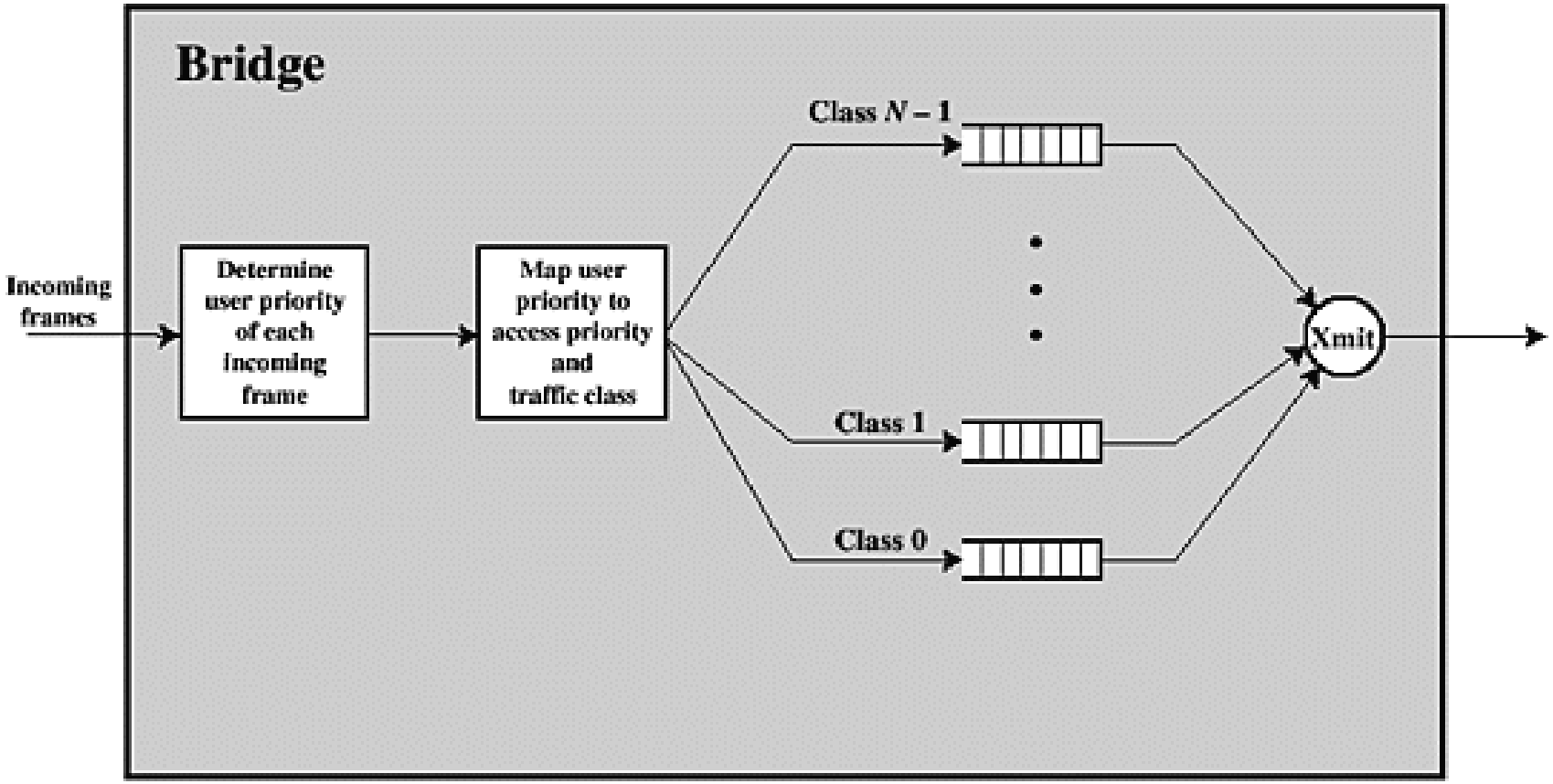
- Mapping functionalitás szükséges az Ethernet CoS és IP ToS együttműködéséhez

- Az QoS/CoS aktuális megvalósítása QoS/CoS a kapcsoló architektúrájától függ és változó lehet
  - Nem egyértelműen szabványosított

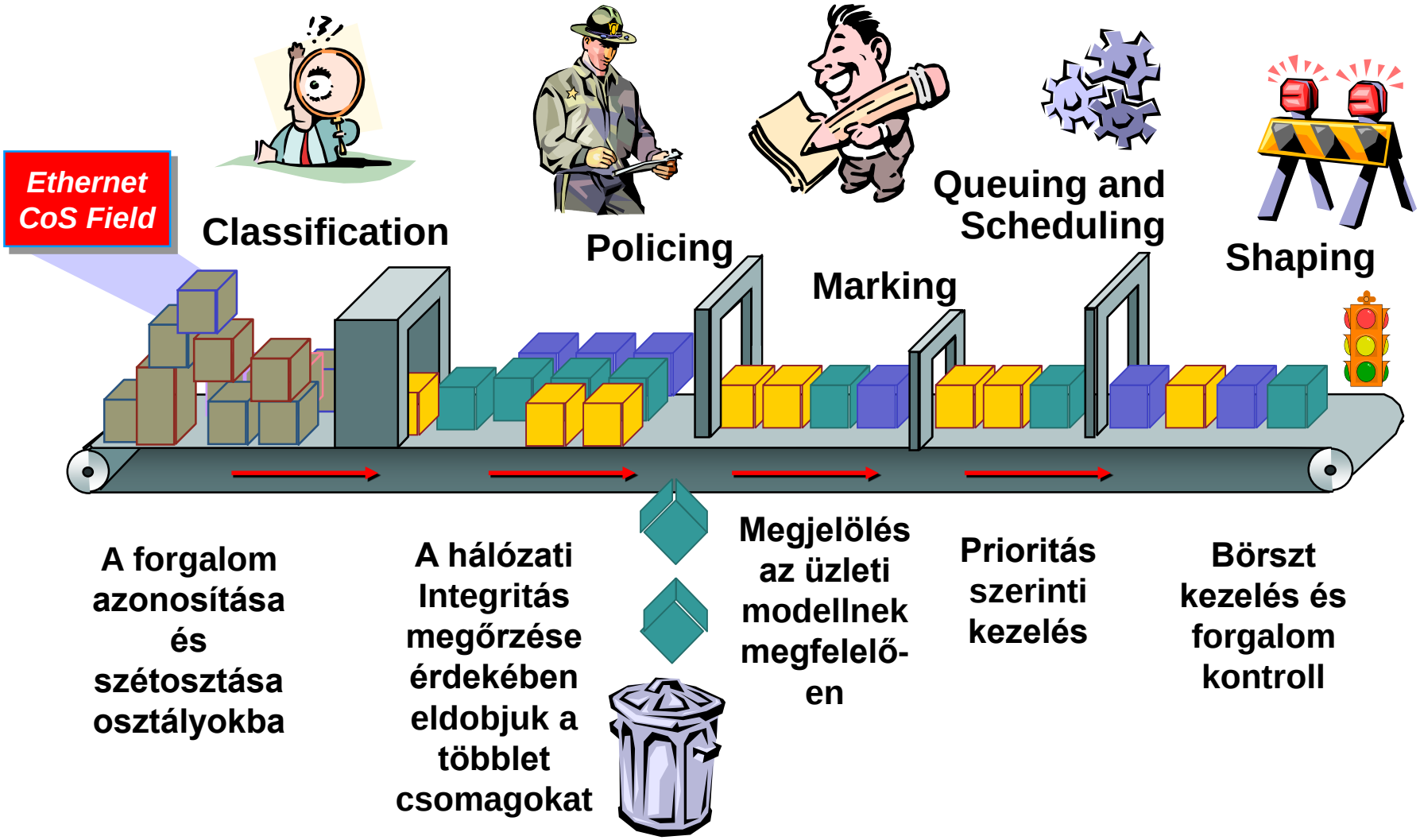
Forgalmi osztályok

- Network Control: legnagyobb prioritás
- Voice: kisebb mint 10 ms késleltetés
- Video: kisebb mint 100 ms késleltetés
- Controlled Load: fontosabb alkalmazások
- Excellent Effort: fontosabb előfizetők BE forgalma
- Best Effort: alap prioritás
- Background: letöltések, játékok, stb

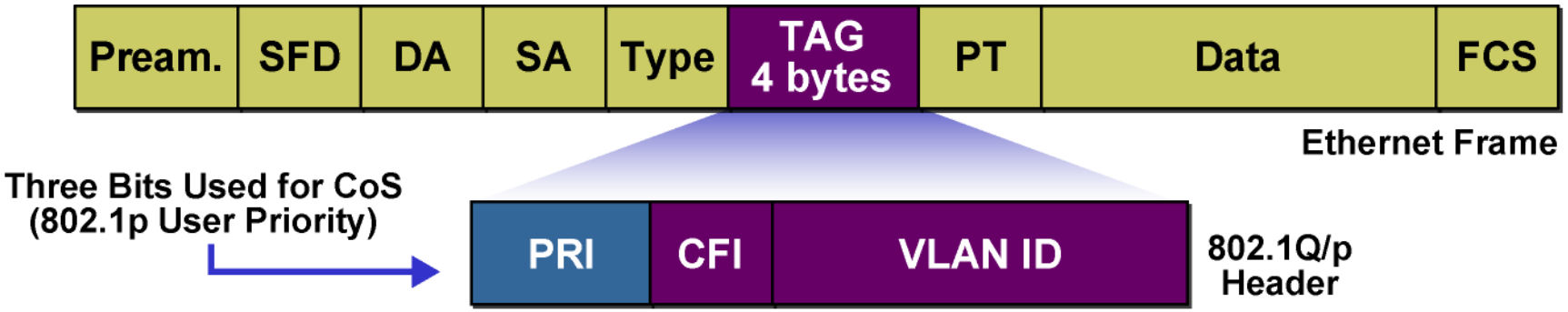
IEEE 802.1D forgalmi osztályok kezelése



QoS Architecture Components



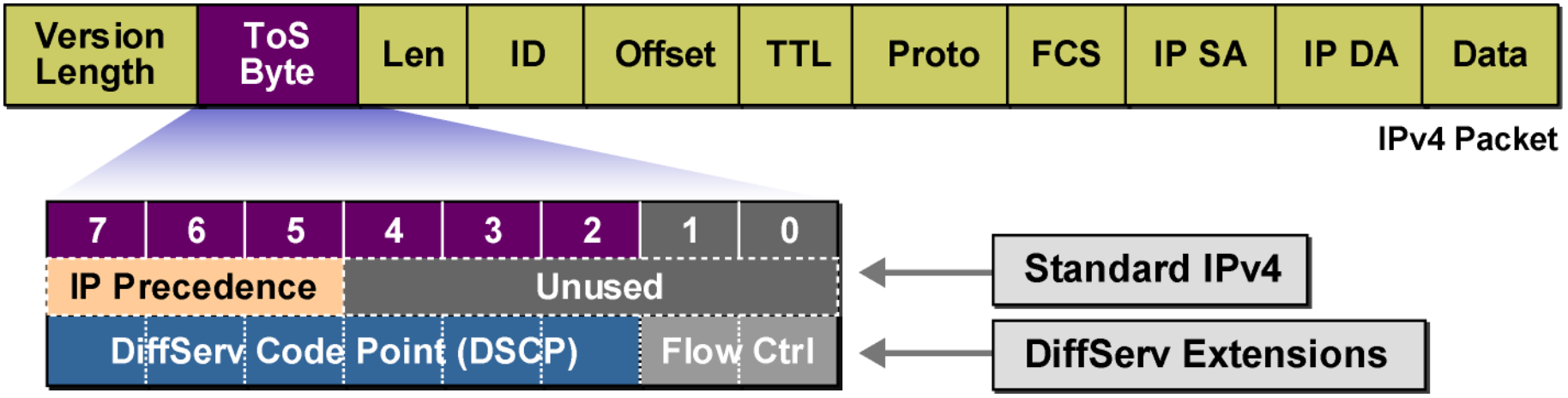
Layer 2 jelölés: 802.1p, CoS



CoS	Typical Application
7	Reserved
6	Reserved
5	Voice Bearer
4	Video Conferencing
3	Call Signaling
2	High Priority Data
1	Medium Priority Data
0	Best Effort Data

- 802.1p User Prioritást szokás Class of Service (CoS)-nek nevezni
- Különböző forgalmi típusok más-más CoS értéknek felelnek meg
- Semmilyen CoS nincs a TAG nélküli keretek esetében !!
  - VLAN ID = 0: alap prioritás

Layer 3 jelölés: IP Precedencia



- IPv4
  - A ToS byte felső 3 bitje az IP Precedencia
  - A többi bit nem használt (delay, throughput, reliability, cost, unused)
- DiffServ
  - A ToS byte felső 6 bitje a DiffServ Code Point (DSCP)
  - DSCP visszafele kompatibilis a ToS-al
  - A megmaradt bitek - flow control

802.1P QoS protokoll (Microsoft)

- Prioritásos rendszer
- Nincs CAC – túlterhelhető a hálózat
- Nincs határ szabva az applikáció forgalma számára – implementáció kérdése
- QoS együttműködés a Subnet Bandwidth Manager (SBM) alapján

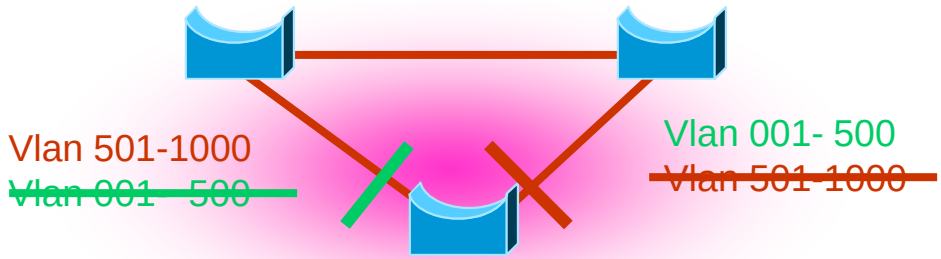
Subnet Bandwidth Manager (SBM)

- E2E QoS biztosítása Ethernet és más technológia között
  - RSVP+802.1P
- SBM egy jelzési protokoll az RSVP alapú CAC-hoz IEEE 802 hálózatok (pl. Ethernet) számára
  - Leírja az RSVP-képes eszközök és hálózati szintű eszközök (switchek) működését hogy támogassák az erőforrásfoglalást
  - Összehangolja a 802.1p prioritások kezelését a kapcsolókban
  - Megfelelteti a szolgáltatási osztályokat az RSVP kliensek és az RSVP-t támogató hálózatok között

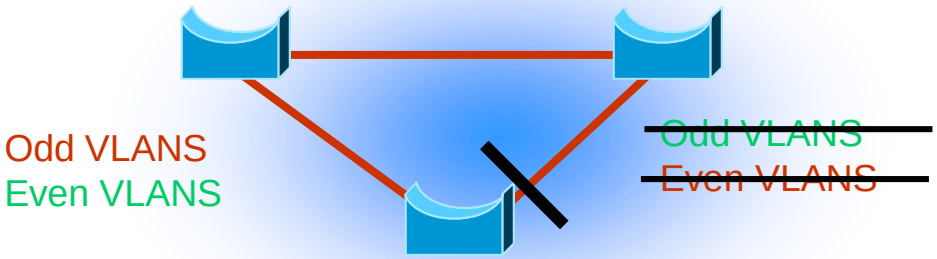
MSTP

- Az RSTP hátránya: rossz hálózati kihasználás
- Cisco: PVST (Per-VLAN feszítőfa)
  - Minden VLAN: egy RSTP
  - Sok VLAN – nem skálázható, fölösleges
- IEEE: MSTP
  - Lehetővé tesz több feszítőfát
  - A VLAN-ok a feszítőfákhoz vannak rendelve

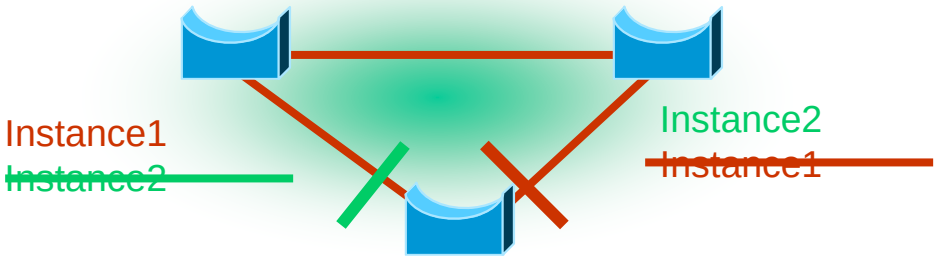
PVST vs. 802.1Q vs. 802.1s



Prop. PVST *egy STP per VLAN*
Skálázhatóság *1000 nagyságrendű Vlan-ra (SPT!) nagy kihívás*



802.1Q *egyetlen SPT*
Load sharing *nem lehetséges*

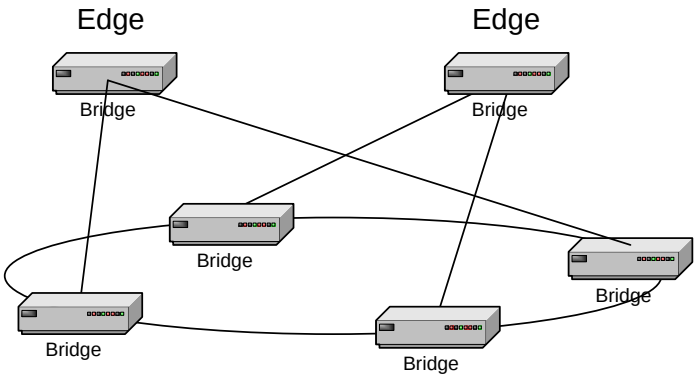


802.1s *több SPT*
HATÉKONY *Load sharing lehetséges*

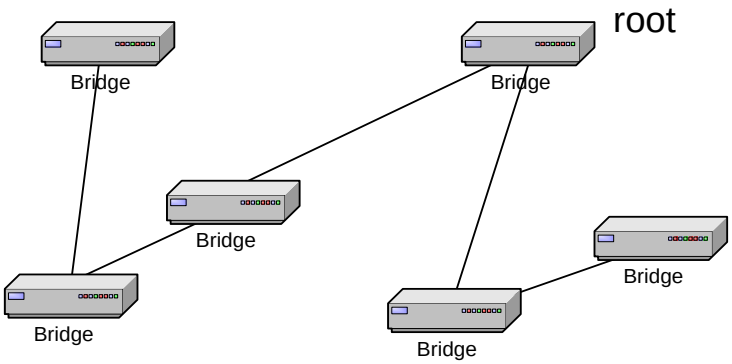
MSTP működés

- RSTP alapú, a szabvány továbbfejlesztése
- Max. 64 fa (MST instance)
- Minden fának beállíthatjuk
  - A gyökerét
  - A link cost-okat
  - A hozzá tartozó VLAN-okat
- Egy VLAN csak 1 fához tartozhat!

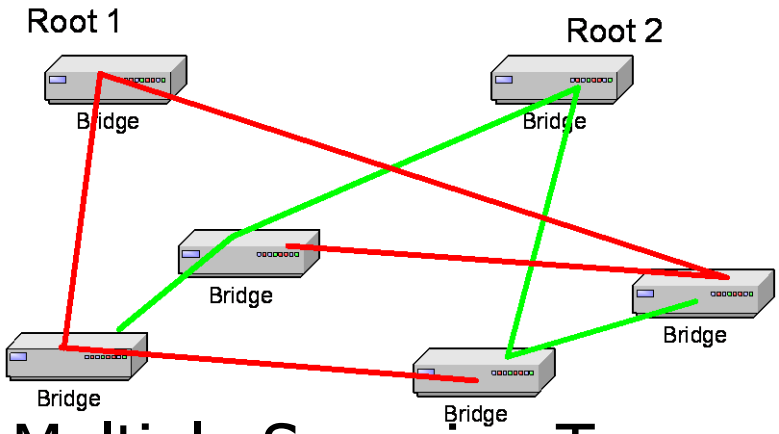
MSTP előnyei



- Hálózati topológia: 2 kijárat
- A gyűrű redundanciát jelent
  - Nagyobb megbízhatóság



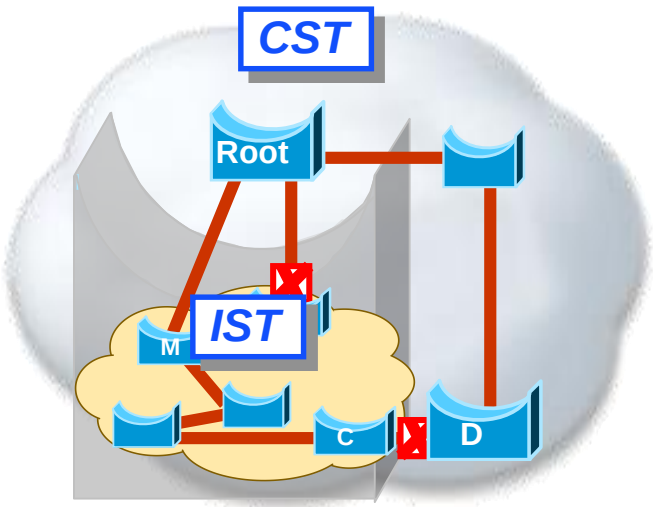
- STP: Egy feszítőfa



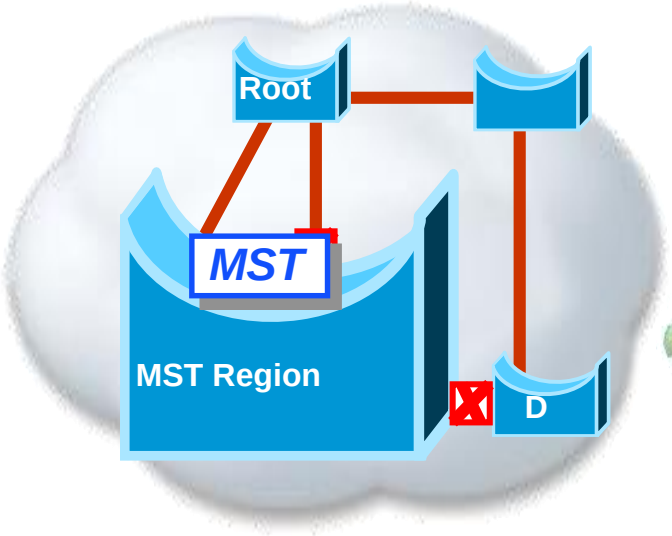
- Multiple Spanning Tree
  - 2 feszítőfa

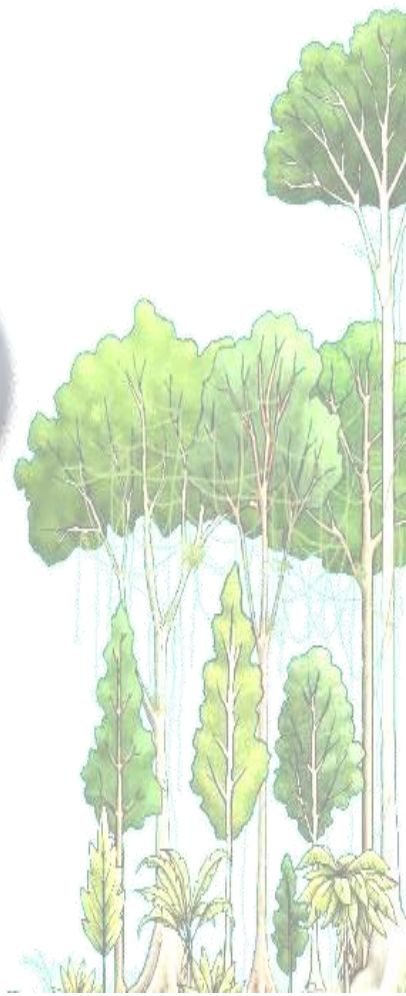
802.1s: CST, IST, MST – Sok fa

Belső nézet



Külső nézet





- **CST 802.1Q Common SPT => Egyetlen fa**
- **IST 802.1s Internal SPT => a külső világ számára az MST-t egyetlen CST kapcsolónak mutatja**
- **MST 802.1s Multiple SPT => több VLAN egyetlen MST Instance-ba való összefogása**

MSTP régiók

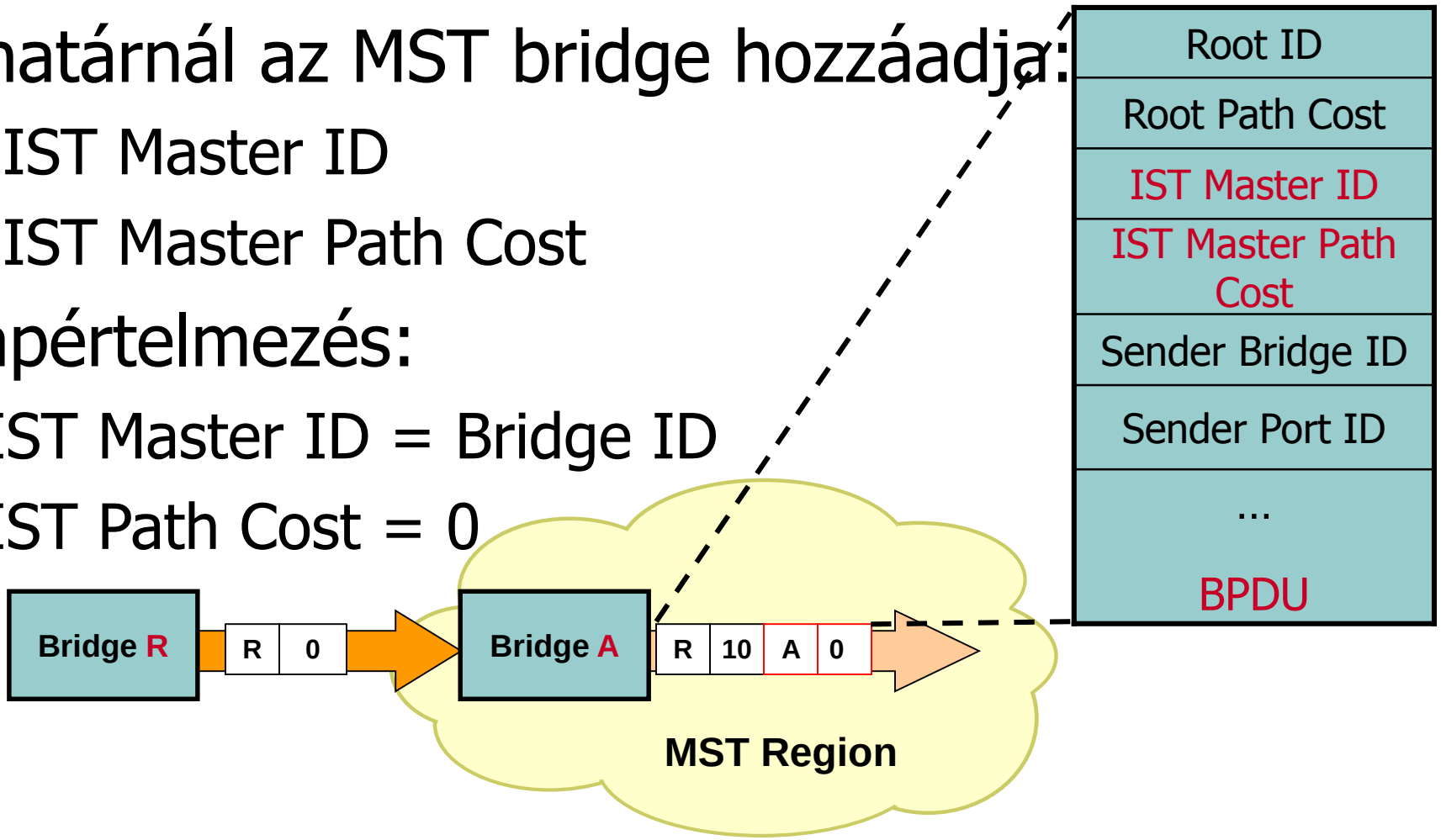
- Az MSTP lehetőséget nyújt régiók kialakítására
- A régiókat egymástól adminisztratív módon választhatjuk el
  - RG mező
- Előnyök:
  - egy régión belüli hiba nem zavara a többi régió működését
  - Negy hálózat felbontása régiókra javítja a skálázhatóságot
  - A VLAN-ok lokális jelentőséget kepnak

MST régiók - 2

- Miért használjunk régiót?
  - Különböző adminisztratív vezérlés az L2 hálózat különböző részei között
  - Nem minden switch támogat/futtat MSTP-t – különböző STP-k felosztják a hálózatot STP régiókra
  - Az MST előnyei régión belül érvényesülnek azon kívül egyetlen példány (topológia) minden VLAN számára
- Az MST régió egy csoport összekapcsolt MST switch amely ugyanolyan MST konfigurációt használ
- Régión belül: több példány
  - IST – Internal Spanning Tree (instance 0), mindig jelen van minden porton
  - MSTI - Multiple Spanning Tree Instance
- Régión kívül: egy példány

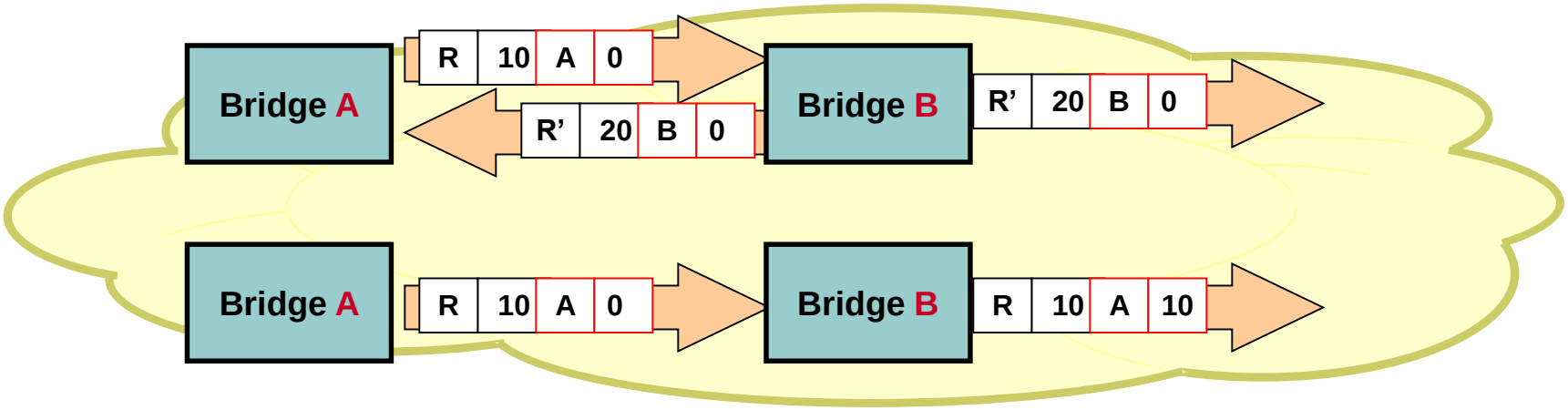
IST Master

- A határnál az MST bridge hozzáadja:
  - IST Master ID
  - IST Master Path Cost
- Alapértelmezés:
  - IST Master ID = Bridge ID
  - IST Path Cost = 0



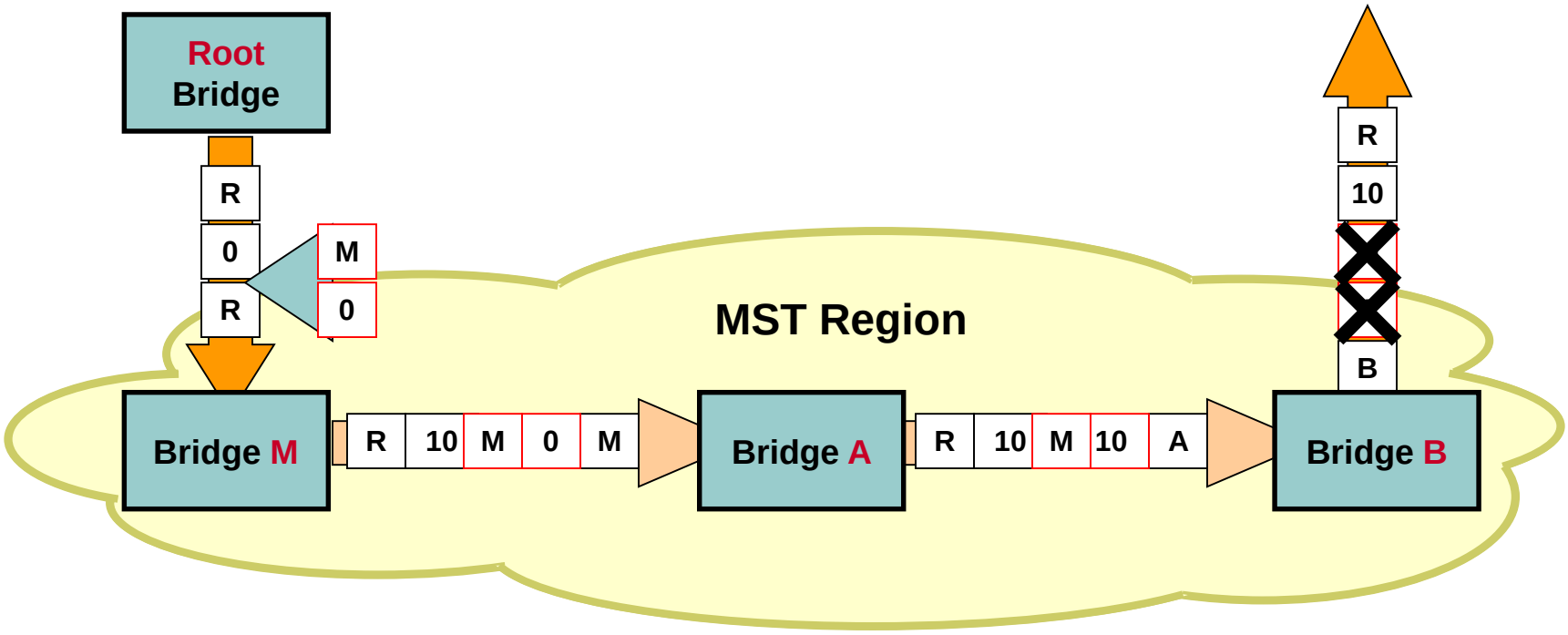
IST Master választás

- Hasonló a Root választáshoz
  - Kezdetben minden bridge a régióban IST Master-nek tartja magát
  - Az a bridge amely jobb BPDU-t kap, a kapott IST Master-t küldi tovább
  - Az IST Root lesz a master – ha ugyanaz a switch – vagy a Root-hoz legközelebbi

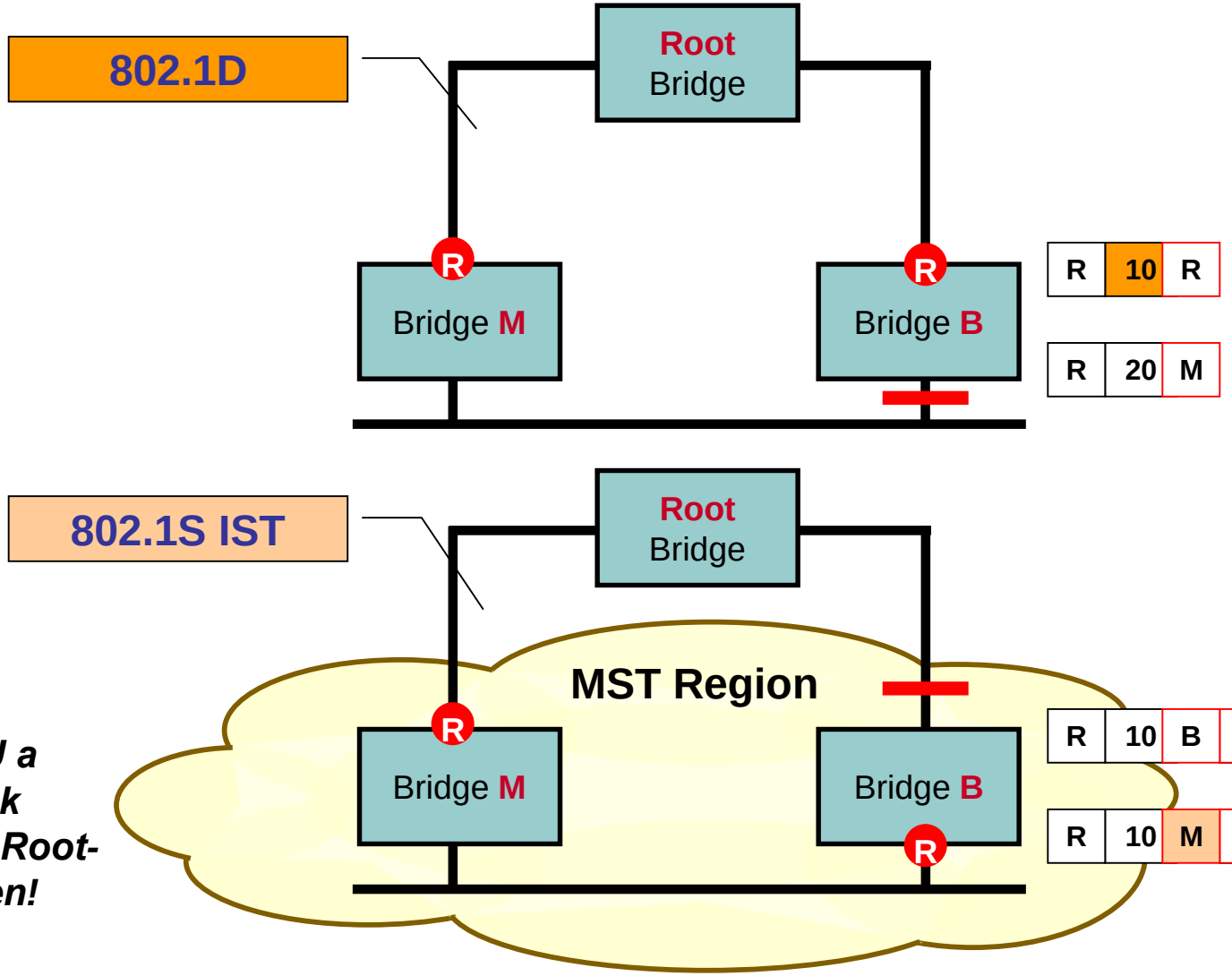


IST működés

- A Root path cost mindig 1-el nő, mintha 1 bridgen haladt volna át
- Az IST csak az IST master ID-t és master Path Cost-ot használja



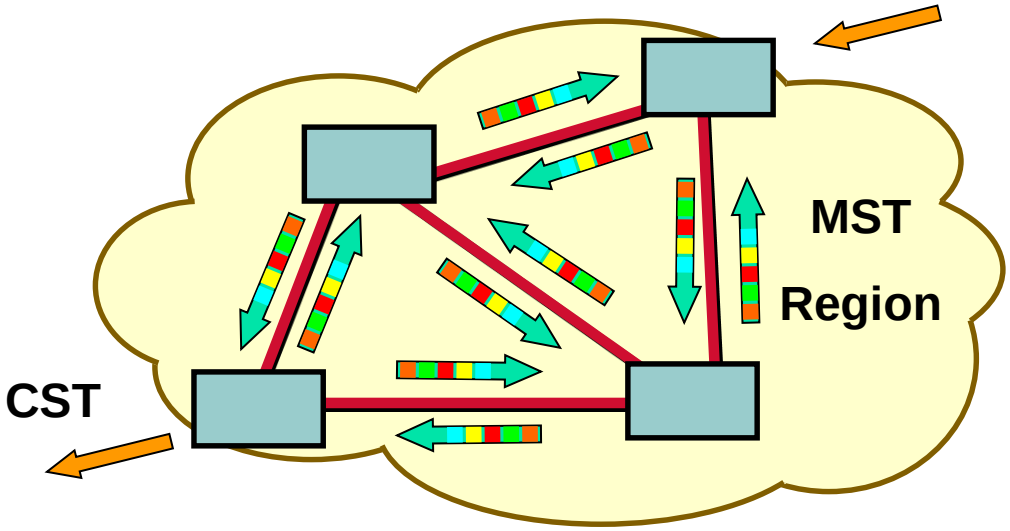
802.1D és 802.1S IST konvergencia

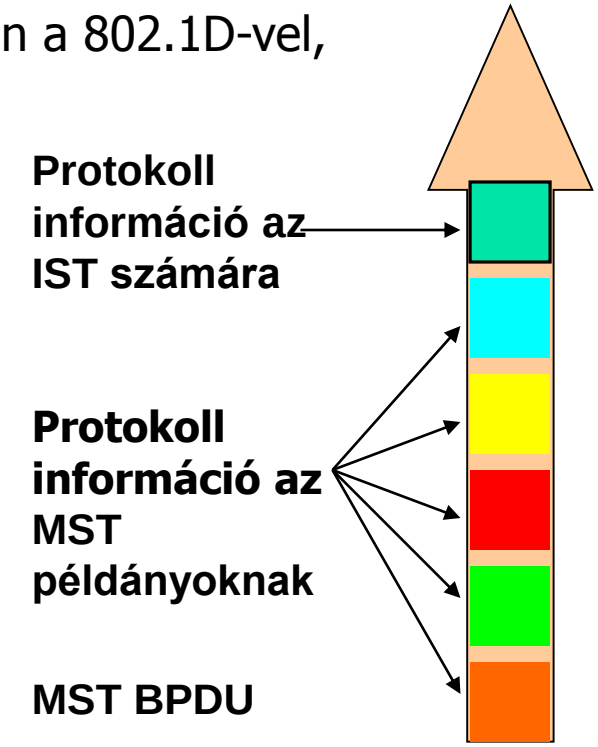


B által kapott BPDU a régión belül jobbnak számít, mint amit a Root-tól kapott egyenesen!

MST instance-ok

- Az MSTI-k STP példányok amelyek csak a régión belül értelmezettek
- Az MSTI-k nincsenek kapcsolatban a régión kívüli eszközökkel
- Az MST egyetlen BPDU-t küld az összes példánynak egy M-rekorddal példányonként
- Egyetlen példánynak van timer-alapú paramétere (az IST instance)
- Az MST BPDU-k minden porton kiküldődnek
- A BPDU-k mindkét irányban küldődnek ellentétben a 802.1D-vel, ahol csak a designated bridge küld

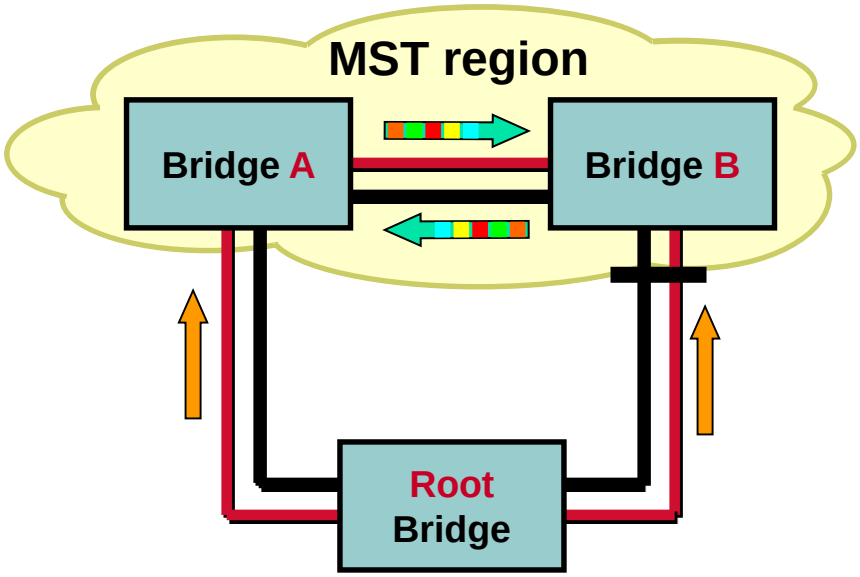




MSTI-k a határnál

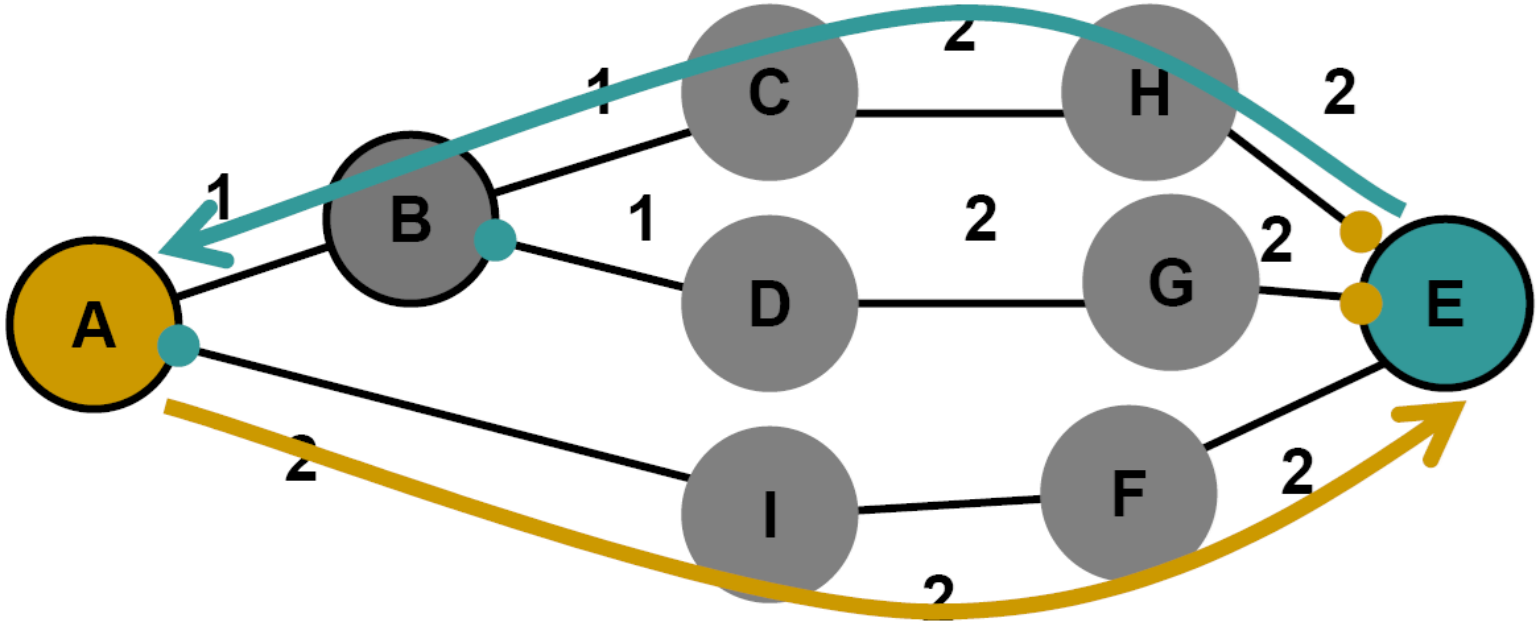
- Csak az IST kapcsolódik a külső STP-hez (CST)
- Az MSTI-k nem küldenek BPDU-kat a határ portokon
- Egy határ port az MSTI-ben mindig követi az IST állapotát

- Példa: B esetében a piros példány blokkol mert az IST is blokkol



Shortest Path Bridging

- IEEE 802.1aq
- Több fa, gyökerek a bridge-ekben
  - Mindegyik a legrövidebb utat használja
- Megoldandó
  - Szimmetrikus útvonalak…



A lényegesebb L2 Protokollok ...

Destination MAC Address	Name	Description
01-80-C2-00-00-2X	GARP*	IEEE 802.1D, Generic Attribute Registration Protocol. The “carrier” protocol over which GMRP and GVRP are implemented.
	GMRP*	IEEE 802.1D, GARP Multicast Registration Protocol. Prunes delivery of multicast MAC addresses back from ports that don't need to see them. L2 equivalent of IGMP.
	GVRP	IEEE 802.1Q, GARP VLAN Registration Protocol. Prunes each VLAN's broadcasts, multicasts, and unicast floods back from ports they don't need to go to.
01-80-C2-00-00-10	All Bridges*	IEEE 802.1D. Defined as an ordinary multicast address to be used to reach all bridges in a bridged LAN.
01-80-C2-00-00-04 - 01-80-C2-00-00-0F	Undef. 802.1 bridge addrs.	Reserved for use by 802.1. IEEE 802.1D states that a bridge will never forward a frame with one of these addresses.

A lényegesebb L2 Protokollok ...

Destination MAC Address	Name	Description
01-80-C2-00-00-00	STP	IEEE 802.1D, Standard Spanning Tree Protocol. Protocol packets called, “Bridge Protocol Data Units”, or BPDUs.
	RSTP	IEEE 802.1W, Rapid Spanning Tree protocol (RSTP). Same function as STP, but converges (typically) in tens of milliseconds, rather than tens of seconds.
	MSTP	IEEE 802.1S, Multiple Spanning Tree Protocol. Carries multiple STP instances on top of a single RSTP BPDU.
01-80-C2-00-00-01	Pause	IEEE 802.3 Clause 31, Point-to-point Pause function. Used to implement L2 flow control on a whole physical link. Handled by hardware.
01-80-C2-00-00-02	LACP	IEEE 802.3 Clause 43, Link Aggregation Control Protocol. Protocol to automatically establish groups of point-to-point links between two devices for load sharing.
	OAM	IEEE 802.3ah EFM Draft 1.3, Operations, Administration, and Maintenance.
	LLDP	IEEE 802.1ab Draft, Link Layer Discovery Protocol. Allows stations to exchange chassis and port information.
	Slow Protocols	Future IEEE 802 standard protocols which expect no more than about 1 packet per second are expected use this MAC address.

A lényegesebb L2 Protokollok ...

Destination MAC Address	Name	Description
01-80-C2-00-00-03	802.1X	IEEE 802.1X, Port-Based Network Access Control. Port-level secure authentication, usually using a RADIUS server.
01-00-5E-XX-XX-XX	IGMP*	IETF RFCs 1112 and 2236, Internet Group Management Protocol. Layer 2.5 Multicast subscription protocol which runs between hosts and routers. Snooped by switches to control distribution of L2 multicast MAC addresses.
00-00-5E-00-00-XX (Unicast address)	VRRP*	IETF RFC 2338, Virtual Router Redundancy Protocol. This unicast MAC address may move around. It may be used by two different MACs in two different locations on a bridged network, on different VLANs.
* This protocol's packets may be tagged with a VLAN ID.		

33 speciális Layer 2 multicast MAC cím van: 16 a BPDU blokk-ban, 16 a GARP blokk-ban, és egy "All Bridges" cím.

Néhány protokoll pont-pont kapcsolat alapú és nem szabad multipoint-to-multipoint fölött használni

Multicast

- Speciális Multicast MAC címek
- Kevesebb mint IPv4 multicast
  - Mapping kell

- GMRP – Multicast regisztráció
  - GMRP és IGMP együttműködés szükséges

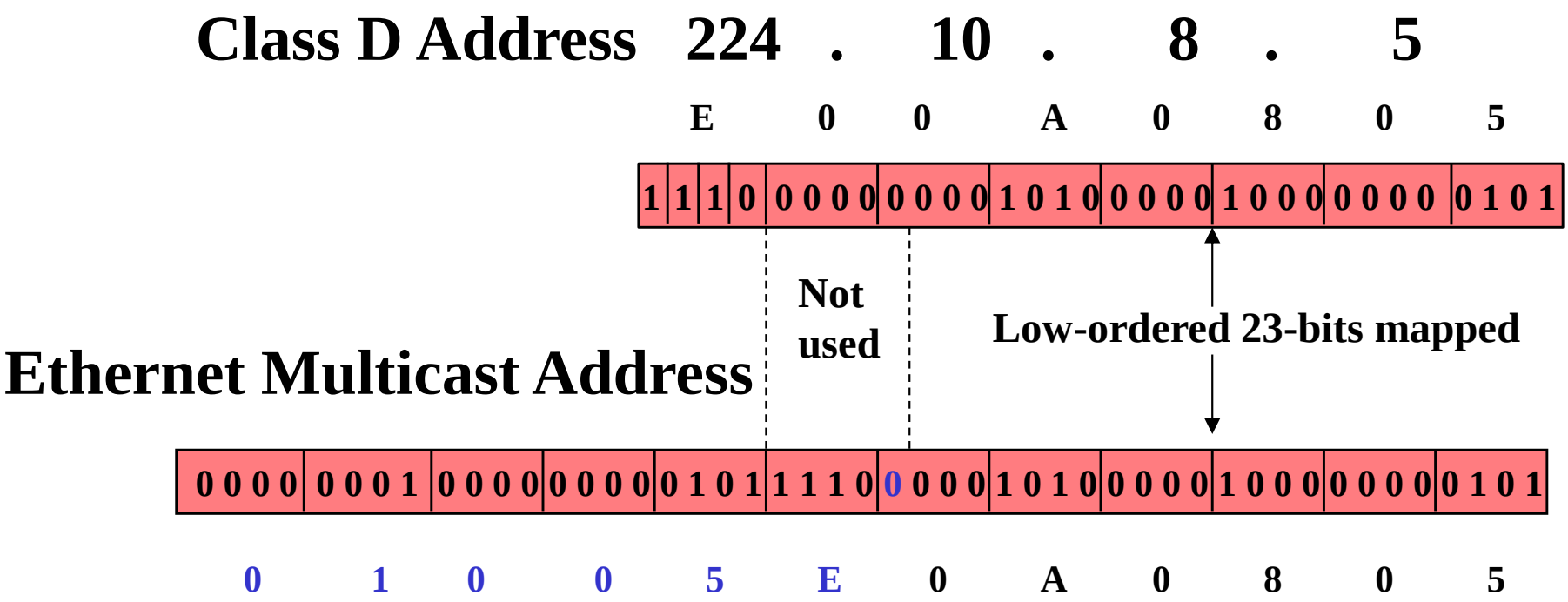
Multicast – IGMP snooping

- A kapcsoló figyeli az IGMPv2 üzeneteket
- Minden IGMP join üzenetre hozzáad egy bejegyzést a bridge által megtanult címekhez
  - Így a következő multicast csomag csak azon a porton fog megjelenni
- Az IGMP leave üzenet törli a bejegyzést
- Megszűnik a multicast broadcast jellegű továbbítása
- IGMPv3 – még nem széles körben támogatott!

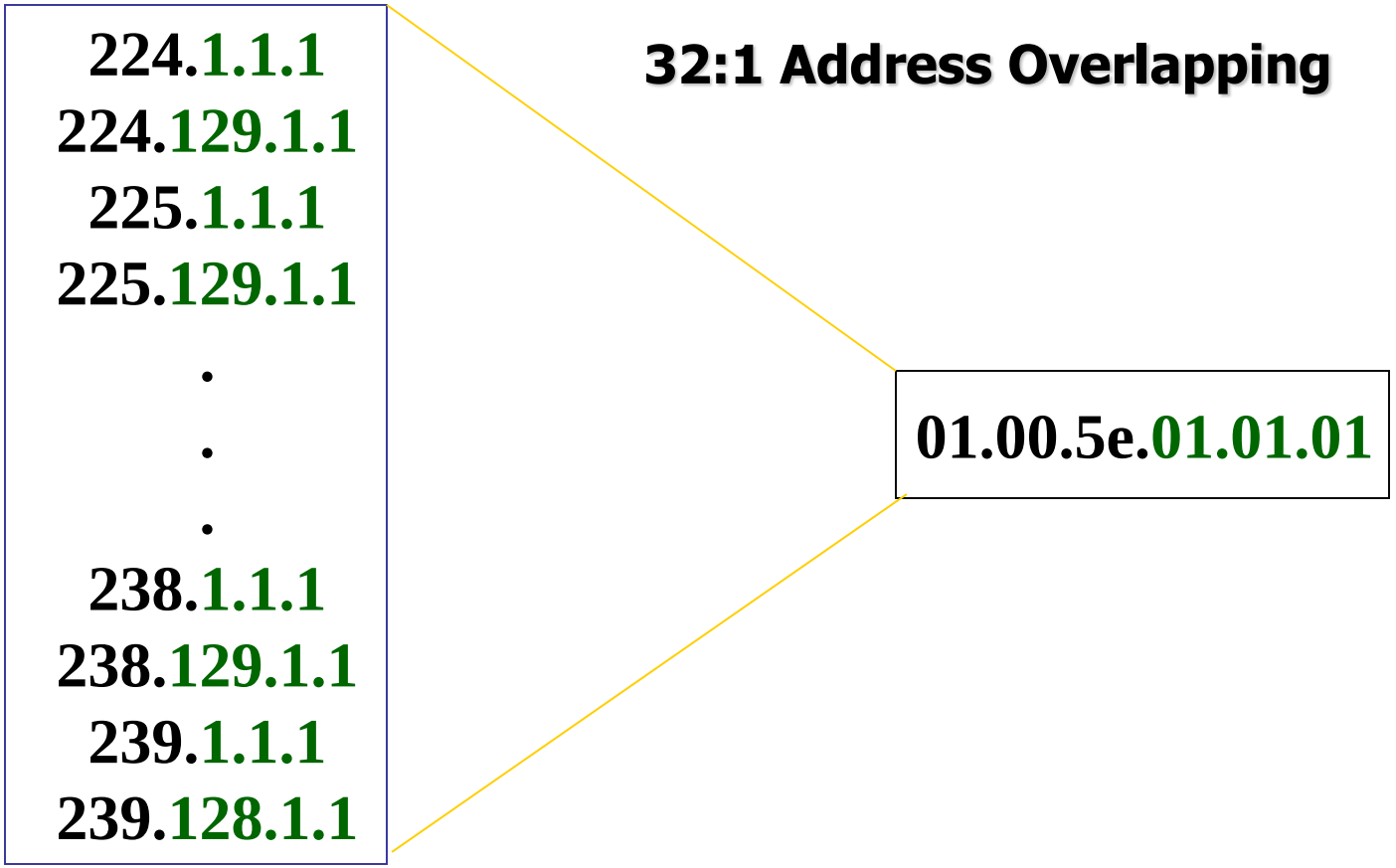
Multicast címzés

- Internet Assigned Numbers Authority (IANA)
- 224.0.0.1-224.0.0.255-->Reserved
- **224.0.1.0-238.255.255.255-->Multicast Group**
- 224.0.0.1: All multicast-capable hosts group
- 224.0.0.2: All multicast routers group
- 224.0.0.4: All DVMRP routers

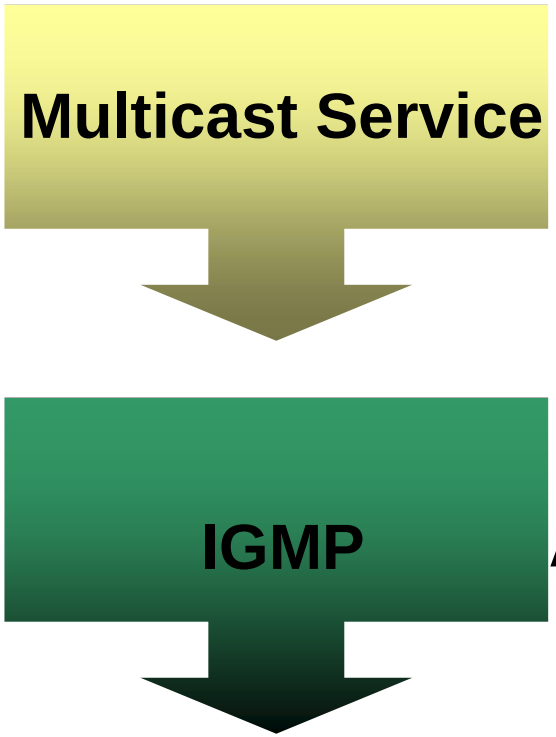
Address Mapping



Címek átlapolása



Multicast Service



IGMP dióhéjban

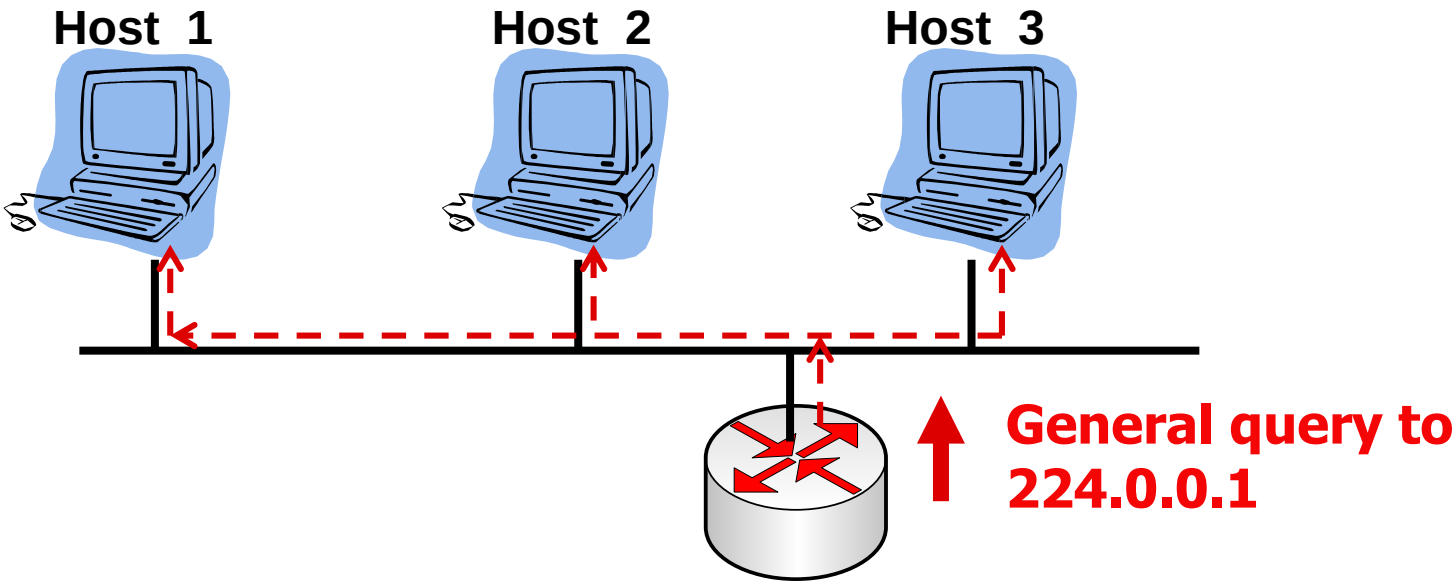
- Internet Group Management Protocol
- Membership management
- Membership establishment
- IGMPv1 RFC1112
- IGMPv2 RFC2236 (aktuális verzió)
- IGMPv3 RFC3376

Membership Establishment

- General Query
  - Periodikus lekérdezés, tagsági információ lekérdezésére.
- Join Report
  - Host csatlakozni akar egy csoporthoz
- Leave Message
  - Host elhagyni készül egy csoportot

General Queries

- Példa

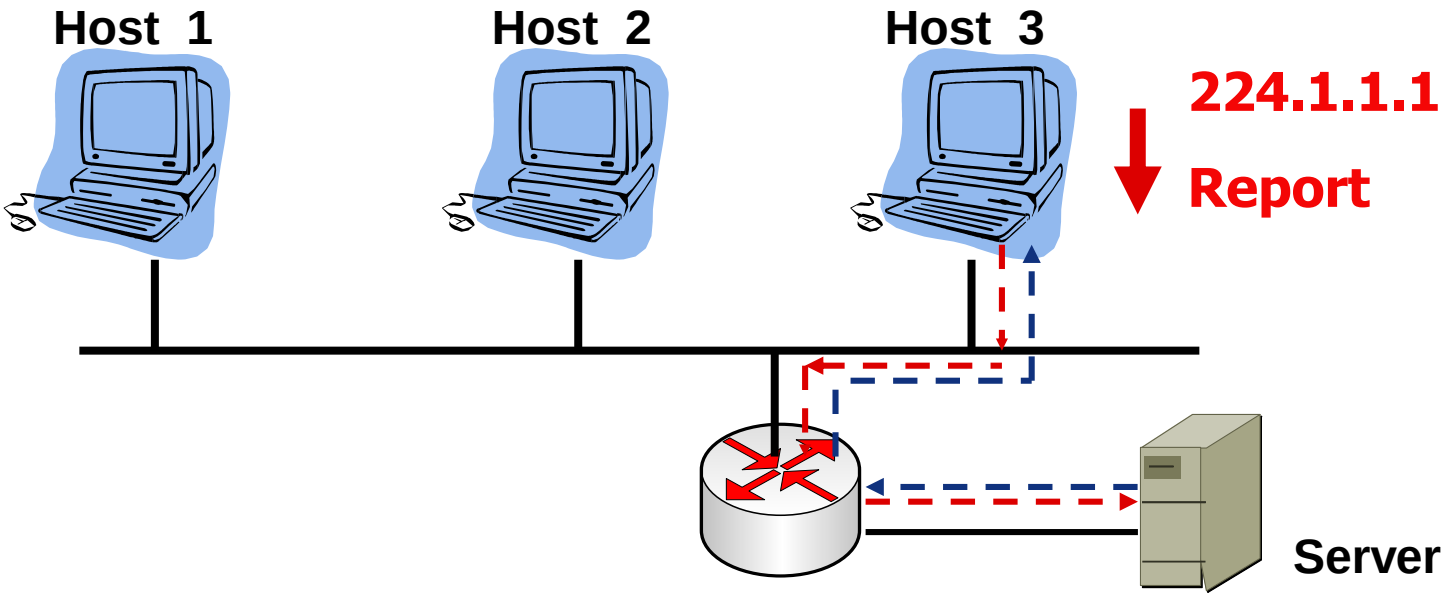


Periodikus lekérdezés a router által

224.0.0.1: All multicast-capable hosts group

Join – csatlakozás csoporthoz

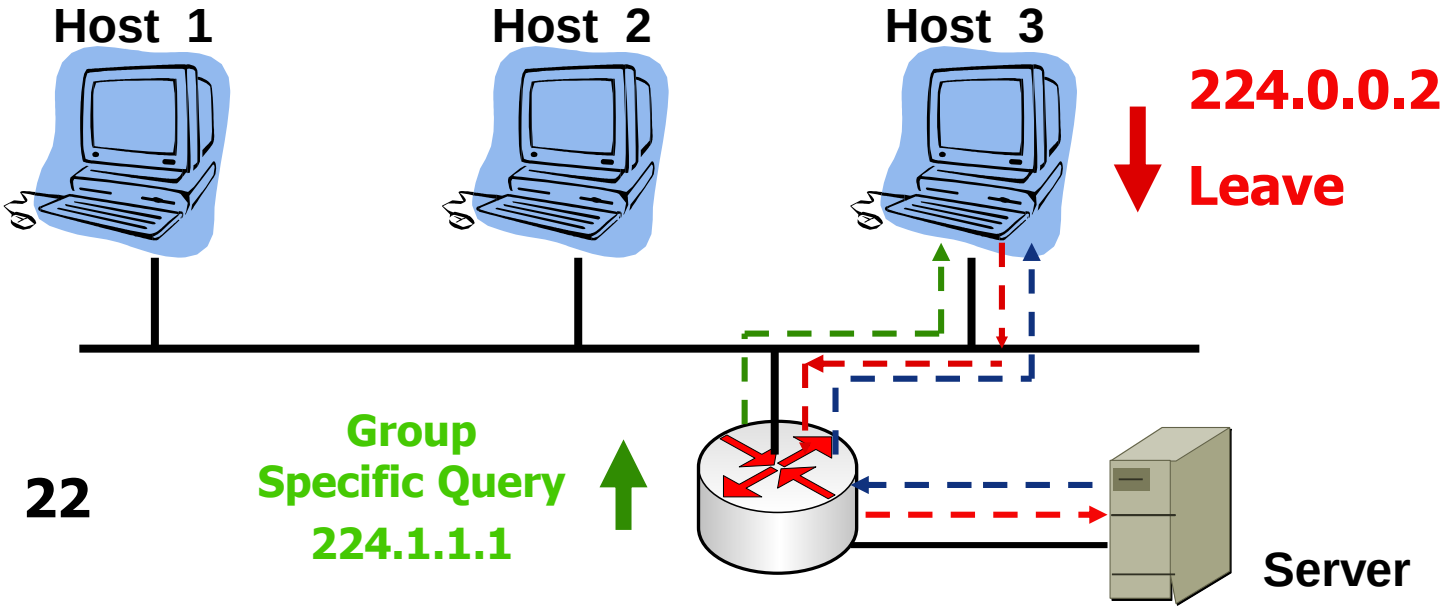
- Példa



Csatlakozás – a hoszt küld egy „report” üzenetet a 224.1.1.1 címre

Leave - csoport elhagyása

- Példa



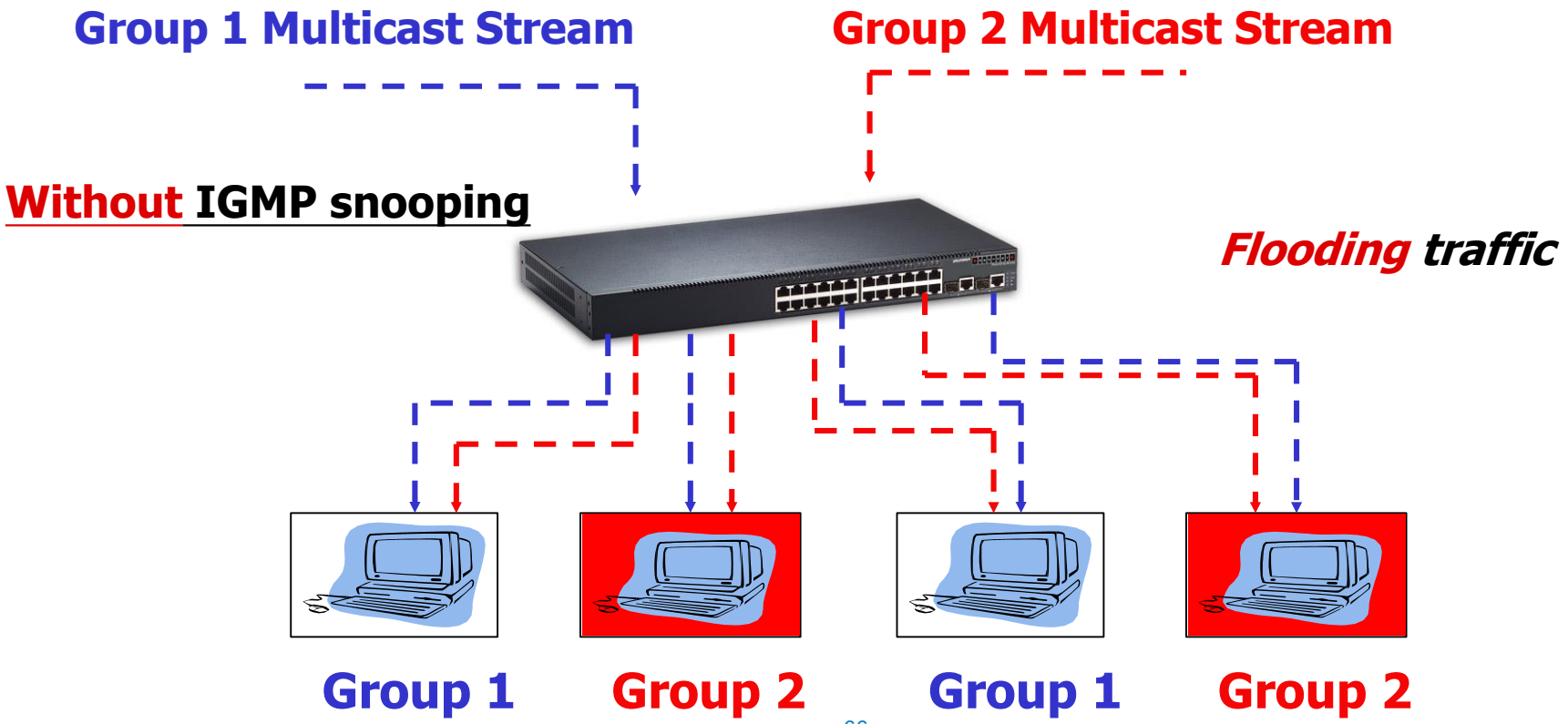
Leave üzenet küldése a 224.0.0.2 címre a csoport elhagyásához

224.0.0.2 – The multicast address for all routers on subnet

Az IGMP Snooping

IGMP Snooping - hatékony multicast Etherneten

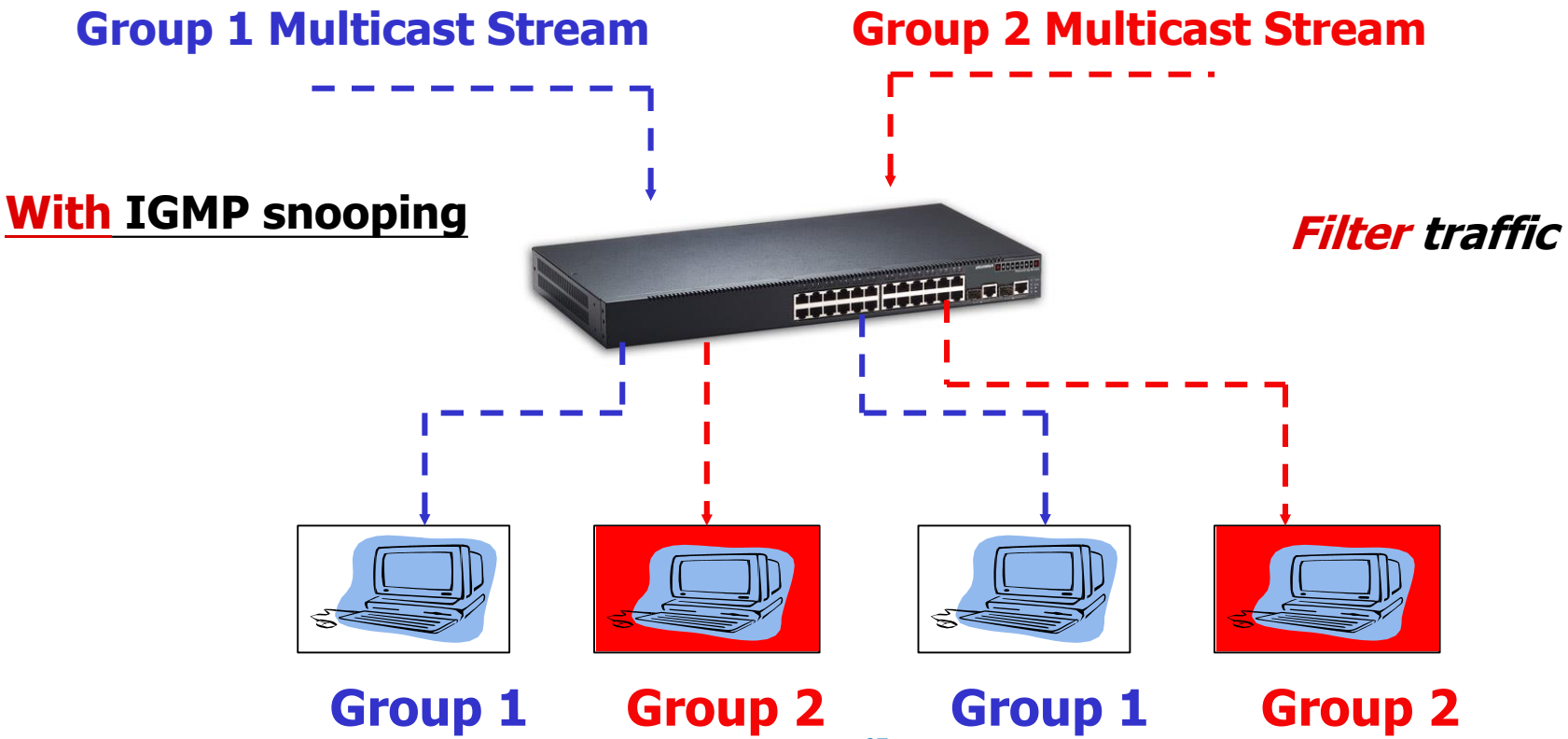
All hosts need to handle the traffic whether they need it or not.



Az IGMP Snooping

IGMP Snooping - hatékony multicast Etherneten

Hosts only receive dedicated traffic belonging to the same group



Security

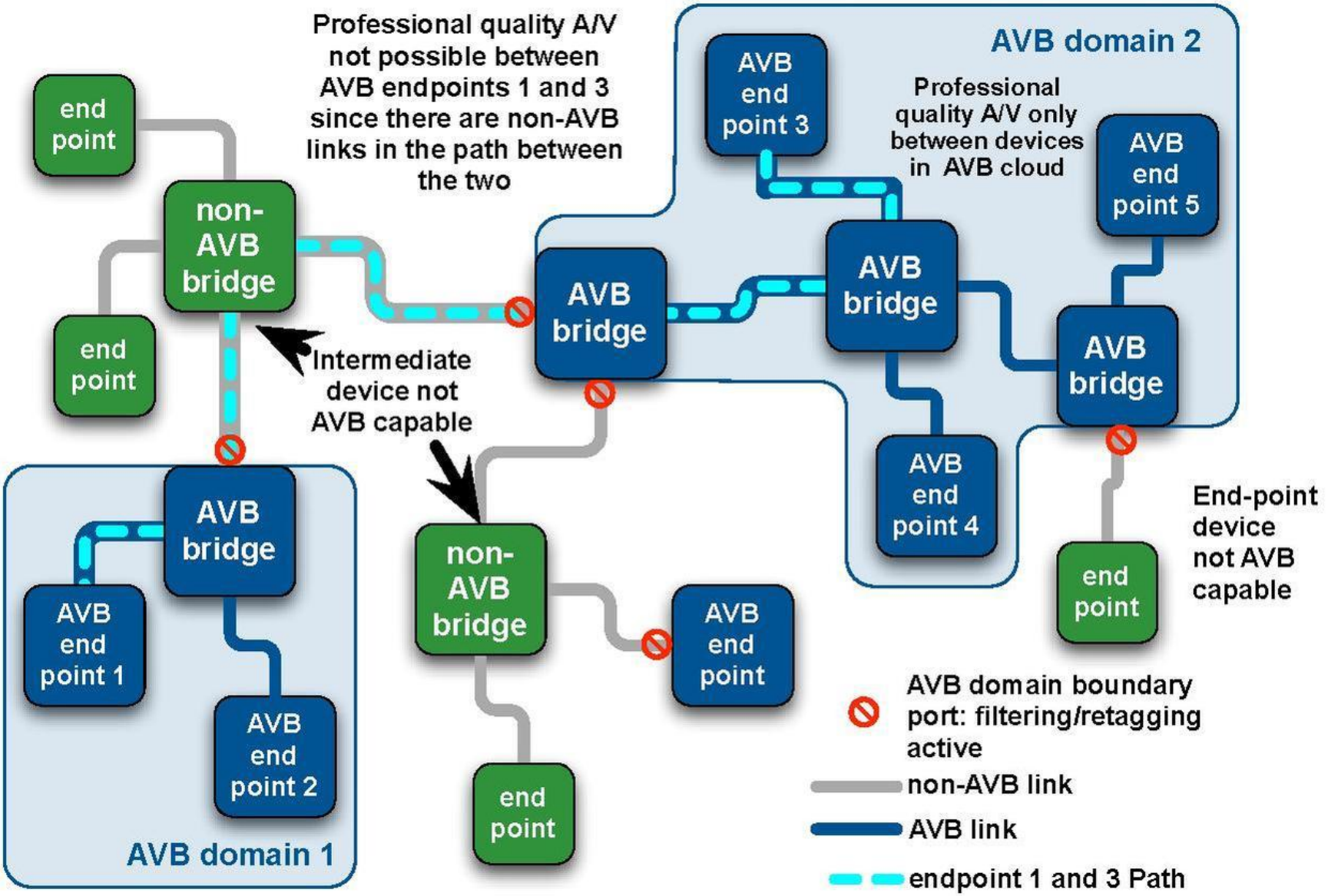
- A broadcast jelleg miatt nagy a veszély
- Támadható pontok/területek
  - SPT DOS
  - ARP
  - MAC címek kicserélése
- A C-VLAN használata leszűkíti támadó lehetőségeit

DOS támadások

- IPoE specifikus
  - DHCP snoopig használata
    - Dinamikus ARP figyelés
  - ARP proxy

- Védekezni kell
  - BPDU szűrés – STP támadás ellen
  - PVLAN használata a trönk portokon
  - Traffic policing – a broadcast stormok ellen
  - A MAC címek limitálása egy porton

AVB – Audio Video Bridging



AVB protokollok

- 802.1AS – idő szinkron
- 802.1Qav – továbbítás
- 802.1Qat – Erőforrás foglalás
- 1722 - beágyazás

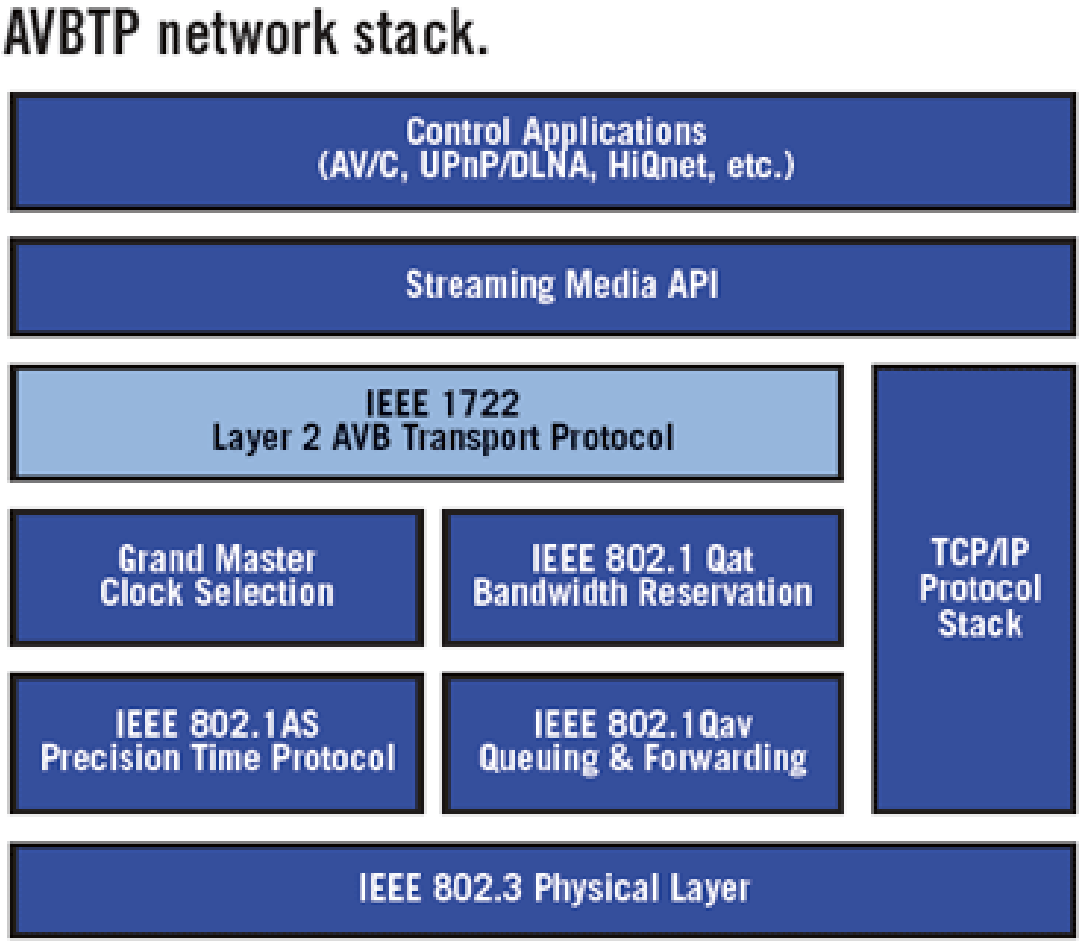


Figure 1

TSN – Time Sensitive Networking

- Az AVB „utódja” – átnevezés
- Tágabb felhasználási terület
  - Ipar
  - Autók
  - Stb.
- A szabványosítás jelenleg is folyik
  - Új szabványok

TSN szabványok

- P802.1Qbu – Frame Preemption – ready
- P802.1Qbv – Enhancements for Scheduled Traffic – ready

(related)

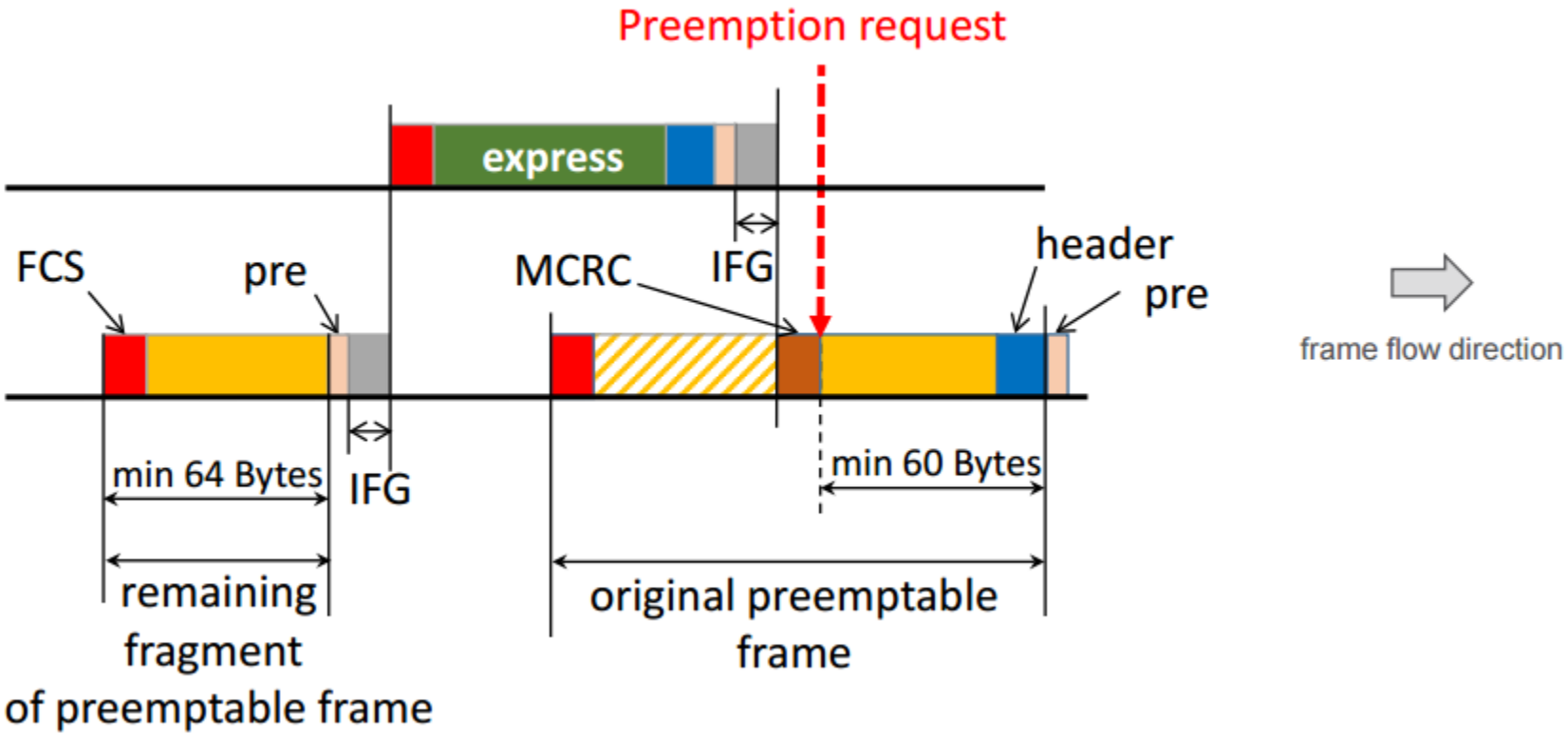
- P802.1Qcc – Stream Reservation Protocol (SRP) Enhancements and Performance Improvements
- P802.1Qci – Per-Stream Filtering and Policing
- P802.1Qch – Cyclic Queuing and Forwarding

(related to each other)

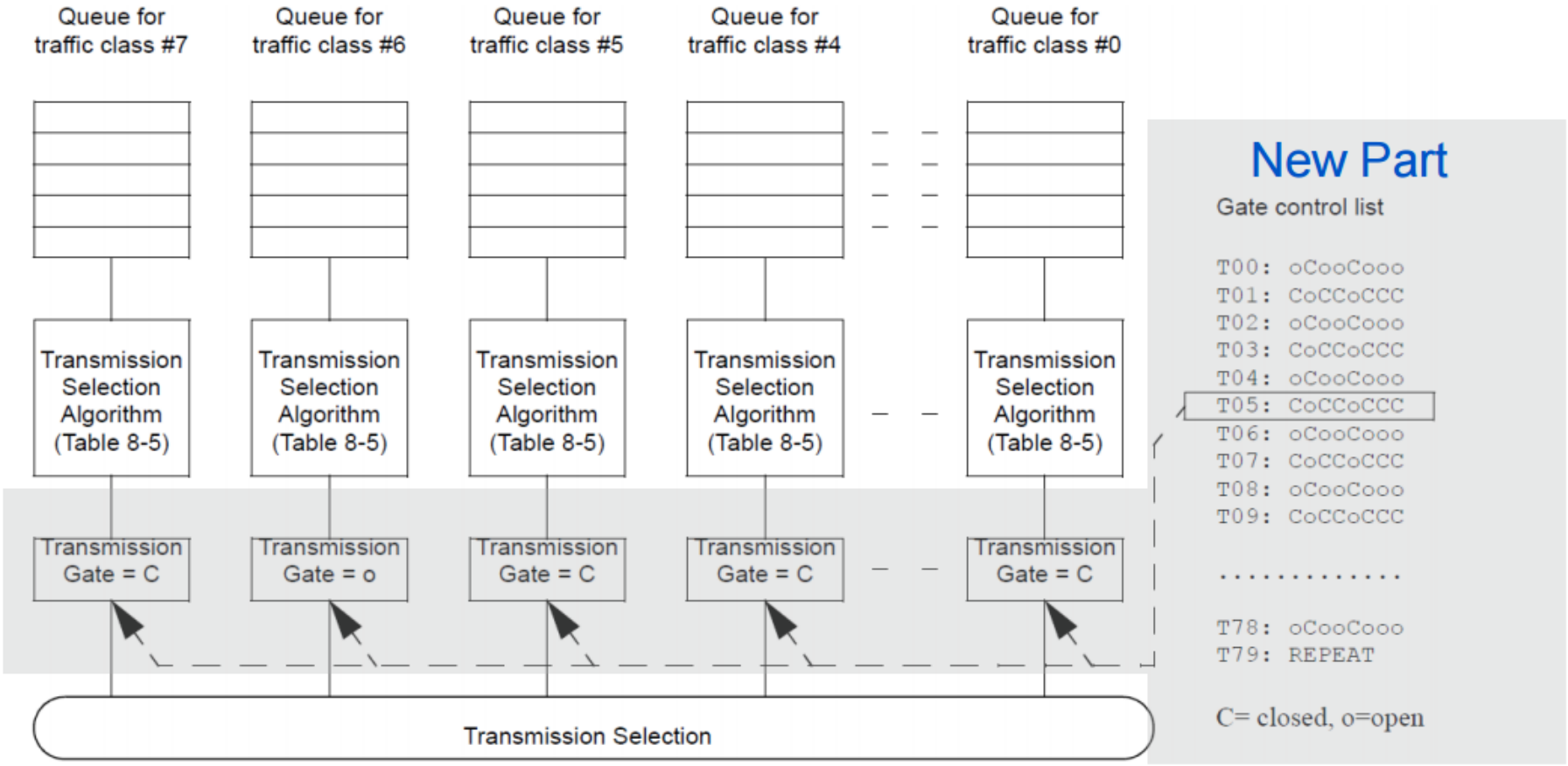
- 802.1Qcj – Auto-attach to PBB services
- P802.1AS-Rev – Timing and Synchronization – Revision
- P802.1CB – Frame Replication and Elimination for Reliability
- P802.1CM – Time-Sensitive Networking for Fronthaul

Frame Preemption

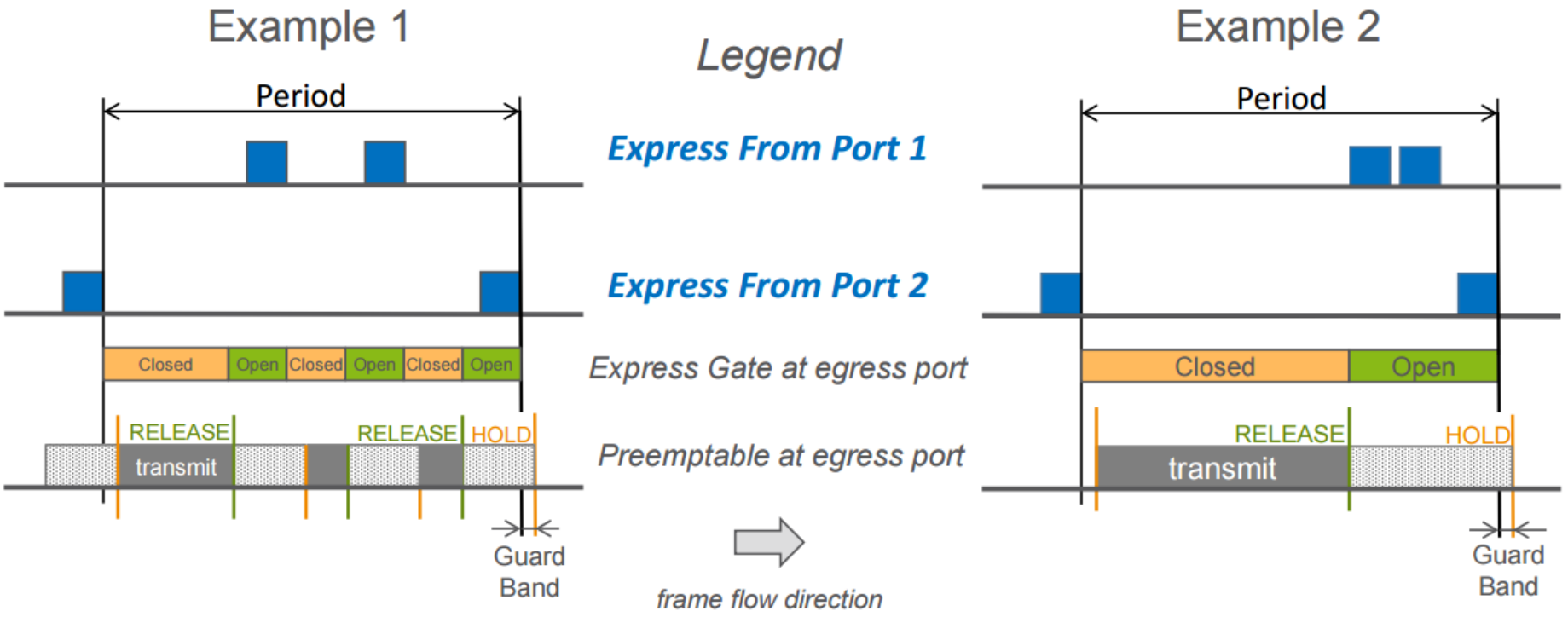
2. 802.1Qbu – Frame Preemption
1. 802.3br – Interspersing Express Traffic (IET)



802.1Qbv – Time Gated Queuing



Time Gated Queuing – Működés



Köszönöm a figyelmet

- Vége -

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics

Ethernet

L2VPN Szolgáltatások

Moldován István

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics

Áttekintés

- Ethernet: jelen és jövő
- Alapvető mechanizmusok
- Ethernet szolgáltatások és megvalósításuk
- Helyreállítás, Traffic Engineering és Védelem
- Operations, Administration, Maintenance (OAM)
- Összefoglalás

Ethernet a MAN-ban

- Szélesebb körű elterjedése várható
  - MAN - Metro Ethernet
  - First mile: EPON, GPON
- „Carrier grade” követelmények:
  - Skálázhatóság: sok(száz) ezer felhasználó
  - Helyreállítás, Védelem: nagy elérhetőség (5x9), 50ms
  - Szolgáltatás Menedzsment (OAM)
  - QoS támogatás: SLA, garancia
  - Biztonság
- Ethernet alapú szolgáltatások
  - Szabányosítás folyamatban

Szabványosítás

- MEF: szolgáltatások – felhasználó oldalról
- ITU-T: szolgáltatások – hálózat szemszögból, helyreállítás és védelem
- IEEE: Felsőbb rétegbeli funkciók: Ethernet OAM, szolgáltatói kapcsolók, EPON
- IETF: Ethernet over MPLS (Ethernet wire) és VPLS (Virtual Private LAN Service)
- EU projektek
  - MUSE

Áttekintés

- Ethernet: jelen és jövő
- Alapvető mechanizmusok, VPN-ek
- Ethernet szolgáltatások és megvalósításuk
- Helyreállítás, Traffic Engineering és Védelem
- Operations, Administration, Maintenance (OAM)
- Összefoglalás

Virtuális Magánhálózatok

- Virtual Private Network (VPN)
- Két alapvető típus
  - User-space VPN
  - Provider Provisioned VPN (ppvpn)
- Mindkettő a hálózat erőforrésainak költséghatékony kihasználását célozza

Provider-Provisioned VPN-ek

- A szolgáltató a saját infrastruktúráját osztja meg több virtuális hálózatot létrehozva
- A szolgáltatás biztonságos adatátvitelt biztosít a felhasználó számára
  - A titkosítást vagy forgalom elkülönítést a szolgáltató biztosítja
  - A szolgáltató garantálhatja a szolgáltatásban leírt minőséget is

Felhasználói VPN

- Bérelt vonal – nem költséghatékony
- Internet – olcsó kommunikáció
  - Nem biztonságos!
- Megoldás: biztonságos kapcsolat kialakítása az Interneten kódolt alagutak használatával
  - Egy vagy több kliens használhat egy alagutat
  - A biztonságot a kódolás adja
  - Minőségbiztosítás az Internet szolgáltatótól függ…

VPN - megvalósítás

- Különböző szintű alagutazási technológiával oldható meg
  - Akár az 1, 2 és 3. rétegben
- Legelterjedtebbek:
  - L2TP, GRE, MPLS : PPVPN
  - IPSec, SSL/TLS: user

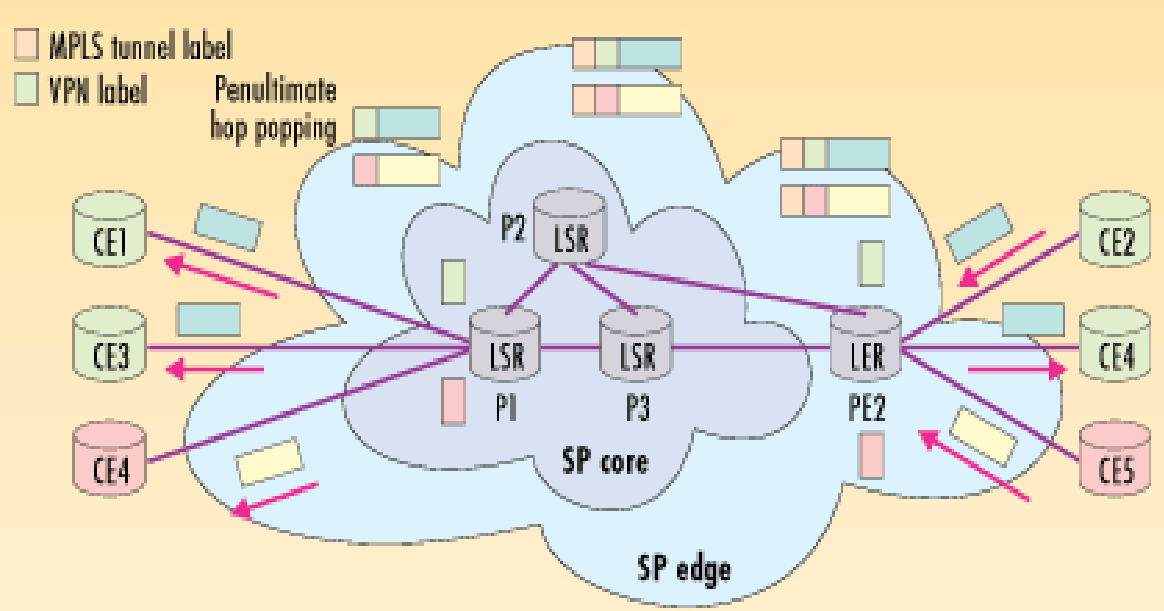


FIGURE 2: PP-VPNs have their own subset of terms and definitions, such as customer-edge devices (CEs) and provider-edge devices (PEs).

MPLS alapú VPN-ek

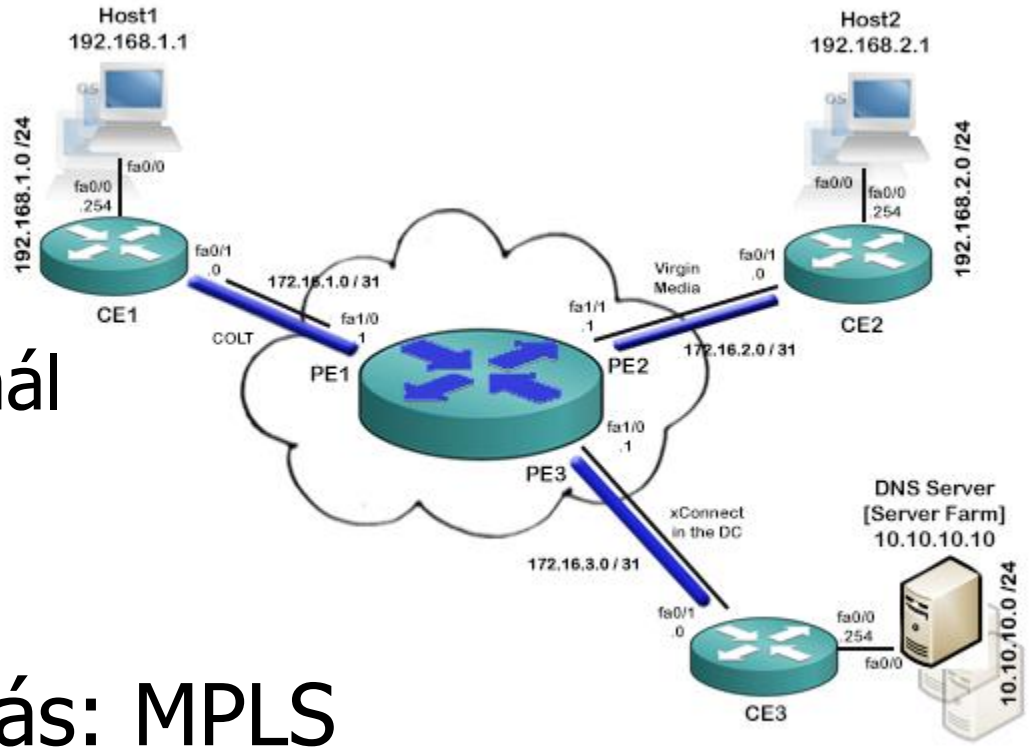
- Multiprotocol Label Switching
  - Címke alapján továbbítja a csomagokat
  - A címkék által meghatározott utat követik
    - Traffic Engineering
- A címkék által meghatározott út: LSP
  - Az LSP kialakítását 3 protokollal végezhetjük
    - LDP
    - RSVP-TE
    - BGP
  - Az LSP-k: tunnelek, segítségükkel kialakítható a VPN

VPN szolgáltatások

- L3 VPN – IPVPN, VPRN
  - IP szintű kapcsolatot biztosít a telephelyek között
  - A csomagok routing segítségével jutnak célba
- L2 VPN – VLL vagy PW
  - Pont-pont kapcsolat
- L2 VPN – TLS, VPLS
  - Ethernet szintű kapcsolat a telephelyek közt
  - Bridging
    - A két telephely egyetlen LAN-t lát

L3 VPN

- A végpontok úgy látják, mintha egy routeren lennének
  - IP konfiguráció szükséges
  - Úgy a kliensnél mint a szolgáltatónál
  - IP kommunikáció



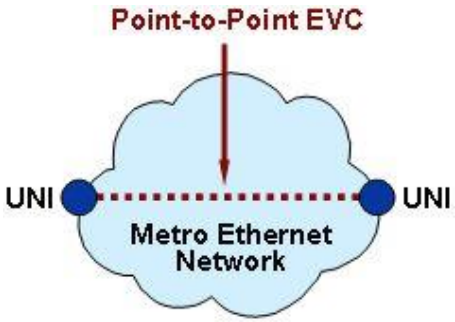
- Tipikus megvalósítás: MPLS

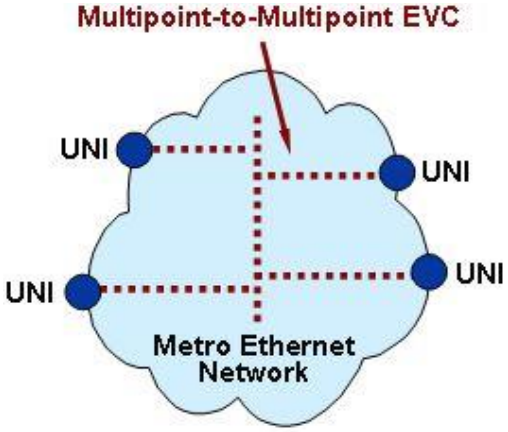
Áttekintés

- Ethernet: jelen és jövő
- Alapvető mechanizmusok
- Ethernet szolgáltatások és megvalósításuk
- Helyreállítás, Traffic Engineering és Védelem
- Operations, Administration, Maintenance (OAM)
- Összefoglalás

Ethernet szolgáltatások

- ***E-Line*** (MEF) [ITU: Ethernet Virtual Private Line ***EVPL***, IETF: Virtual Private Wire Service, ***VPWS***]
  - Bérelt vonali szolgáltatás
  - Pont-pont kapcsolat
- ***E-LAN*** (MEF) [ITU: Ethernet Virtual Private LAN ***EVPLAN***, IETF: Virtual Private LAN Service, ***VPLS***]
  - Virtuális LAN szolgáltatás
  - Multipont-multipont
- **UNI**-kapcsolódási pont
  - Virtuális kapcsolat - EVC

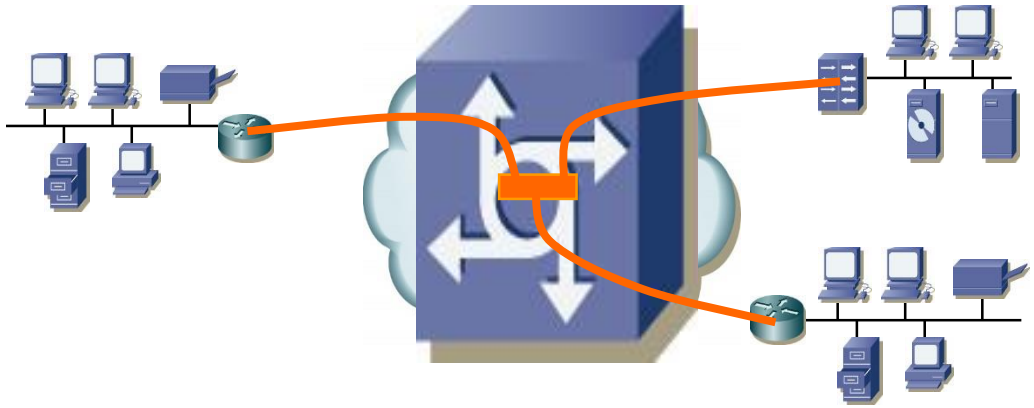




Forrás: MEF

Mi is a "LAN-like Ethernet service"? L2 VPN definíció

- L2 VPN: több site összekapcsolása L2 szinten
- Felhasználói oldalról
  - all sites appear to be connected to a single Ethernet-Switch/Segment
  - no L2 protocol conversion between LAN/WAN
  - no knowledge required on WAN technologies (e.g. FR)
  - complete control and freedom of routing (IP, IPX, AppleT, DecN, etc.)
  - simple to add new sites: no reconfiguration at existing ones
- Szolgáltatói oldalról:
  - logical separation of the existing network resources in order to provide L2 connectivity



Szabványosítás

IEEE

Provider Bridges (Q-in-Q)
Provider Backbone Bridges (Mac-in-Mac)
Provider Backbone Transport (PBB-TE)

IETF®

Pseudowire
Virtual Private LAN Service
Hierarchical VPLS

MEF
METRO ETHERNET FORUM

UNI specifikáció
Szolgáltatás Definíciók
Szolgáltatás specifikációk

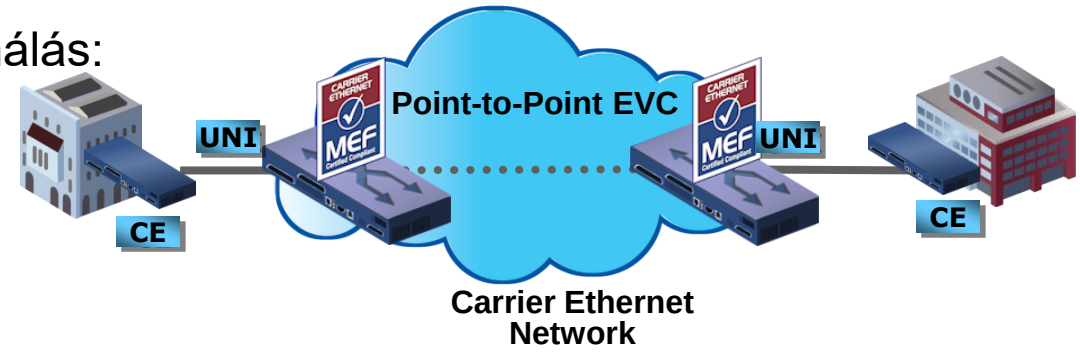
ITU

UNI specifikáció– szolgáltató olda
Szolgáltatás Definíciók
T-MPLS

Ethernet szolgáltatások

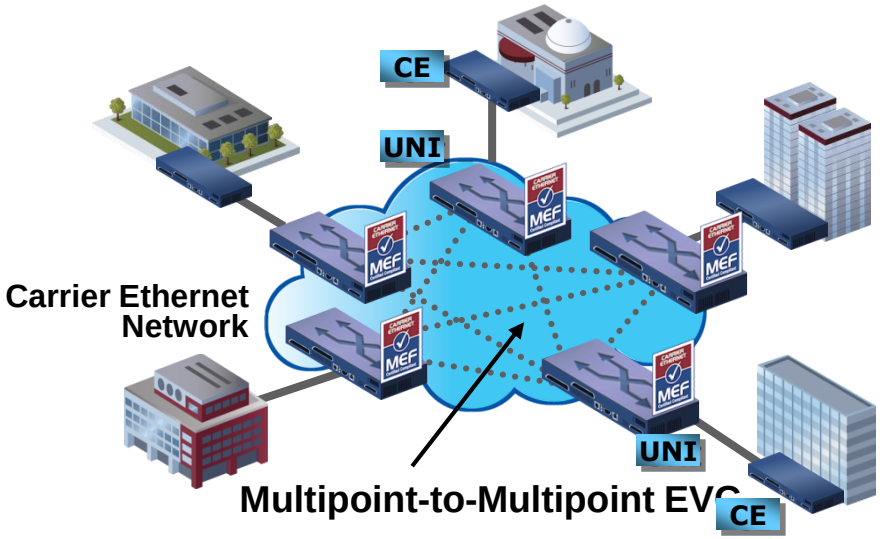
- E-Line Szolgáltatás – felhasználás:
  - Ethernet Private Line
  - Virtual Private Line
  - Ethernet Internet Access

E-Line szolgáltatás típus



- E-LAN Szolgáltatás – felhasználás:
  - Multipont L2 VPN-ek
  - Transzparens LAN Szolgáltatás
  - Alap az IPTV és Multicast szolgáltatásokhoz stb.

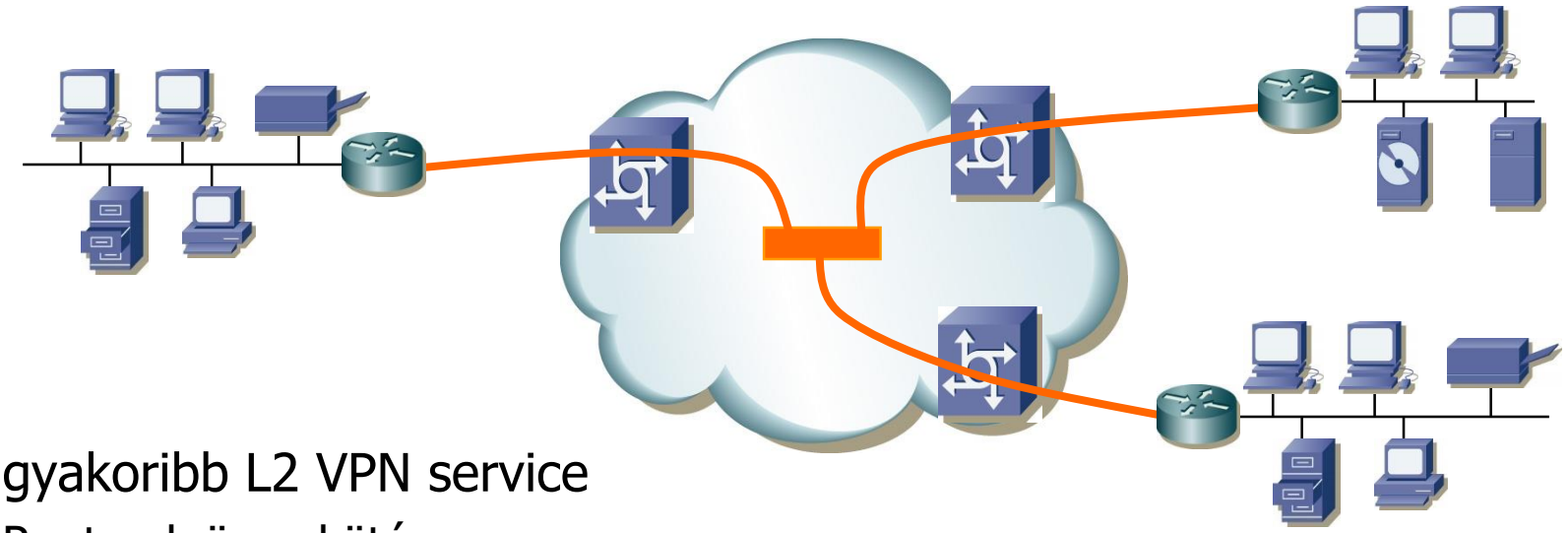
E-LAN szolgáltatás típus



MEF által hitelesített Carrier Ethernet termékek

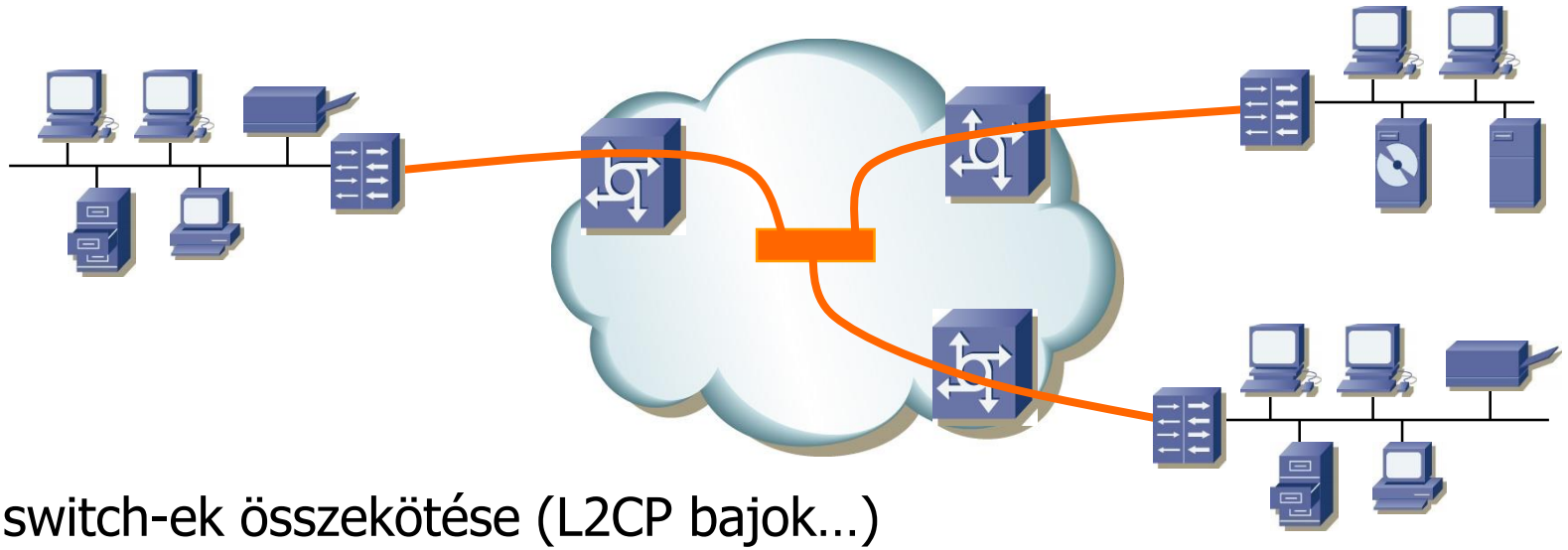
UNI: User Network Interface, CE: Customer Equipment

Router Inter-connect



- Leggyakoribb L2 VPN service
  - Routerek összekötése
  - A routerek egyértelműen elválasztják a domain-eket
    - Possibility of unnecessary BC/MC eliminated
    - L2CP issues eliminated
    - One MAC address per site
- A legtöbb kliens routereket használ a site-ok összekötésére
  - Well-known módszer
  - Egyszerű konfig

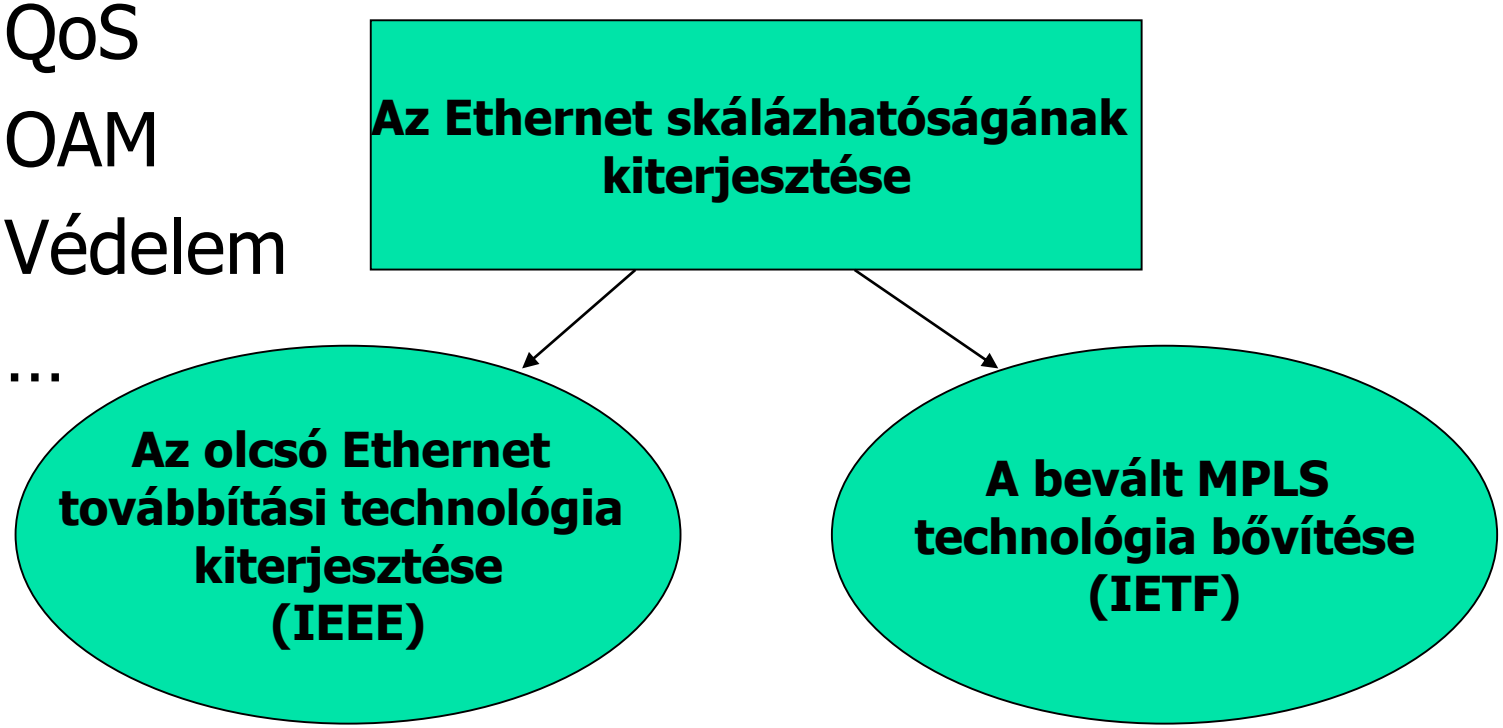
Switch Inter-connect



- L2 switch-ek összekötése (L2CP bajok…)
- Többszörös MAC címek
  - Skálázhatóság?
  - Malfunctioning L2 switches can also flood the provider network with BC/MC traffic
  - Requires controls of FIB size (# MAC per site) and BC/MC rate-limiting
- Prémium szolgáltatás
  - MAC cím blokkonkénti számlázás

Kihívások

- Szolgáltatói tulajdonságok
  - Skálázhatóság
  - QoS
  - OAM
  - Védelem
  - …



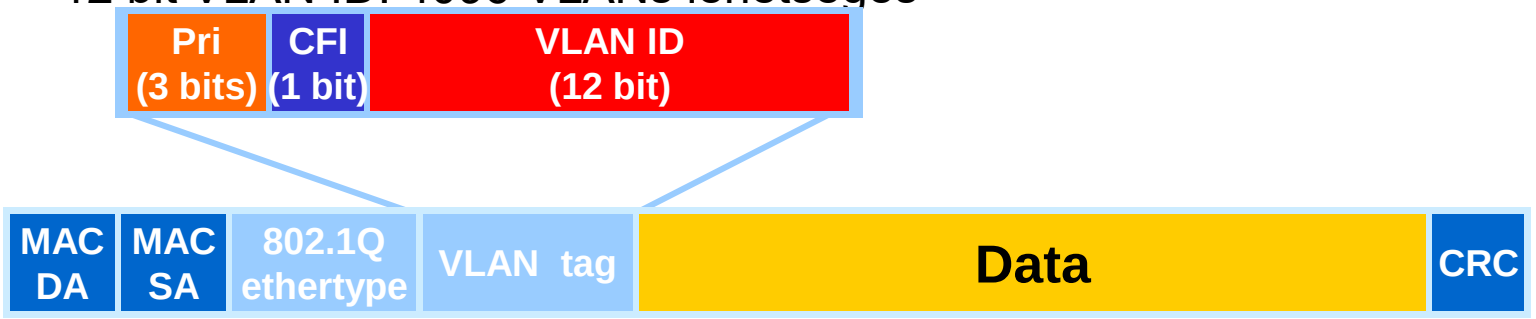
Ethernet alapú átvitel

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics

IEEE 802.1Q - VLAN

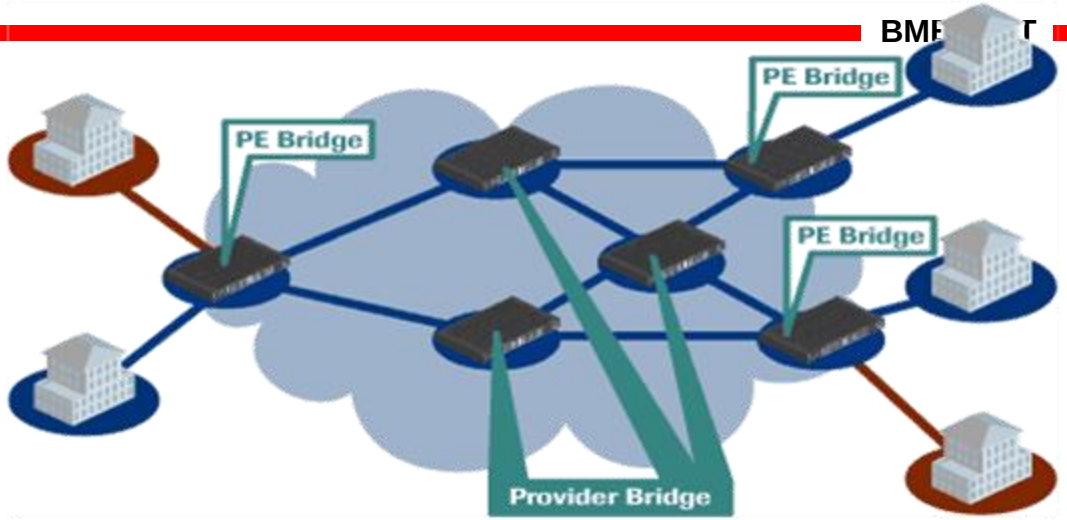
- VLAN tag
  - QoS: prioritás bitek
  - 12 bit VLAN ID: 4096 VLANs lehetséges



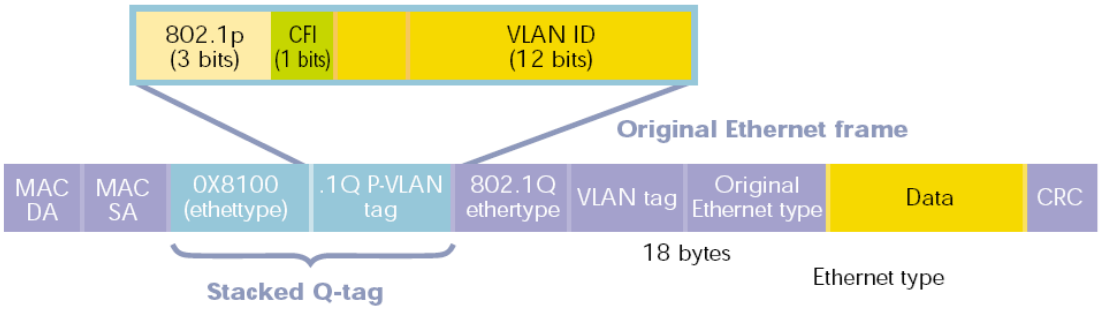
- Felhasználási módok:
  - Felhasználó azonosítás
  - Szolgáltatás azonosítás
- Mindkét esetben korlát a 4096 – szolgáltatói környezetben kevés!
- De: a legelterjedtebb UNI
  - Fel kell készülni hogy transzparensen át kell vinni a VLAN csomagot

Provider Bridges (IEEE 802.1ad)

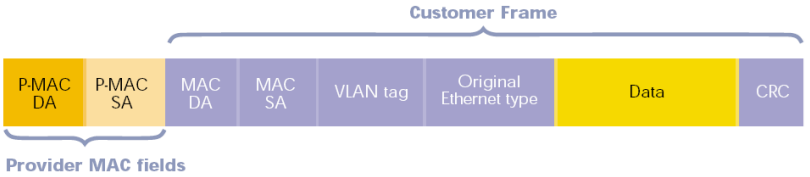
- Q-in-Q néven ismert
- Széles körben elterjedt



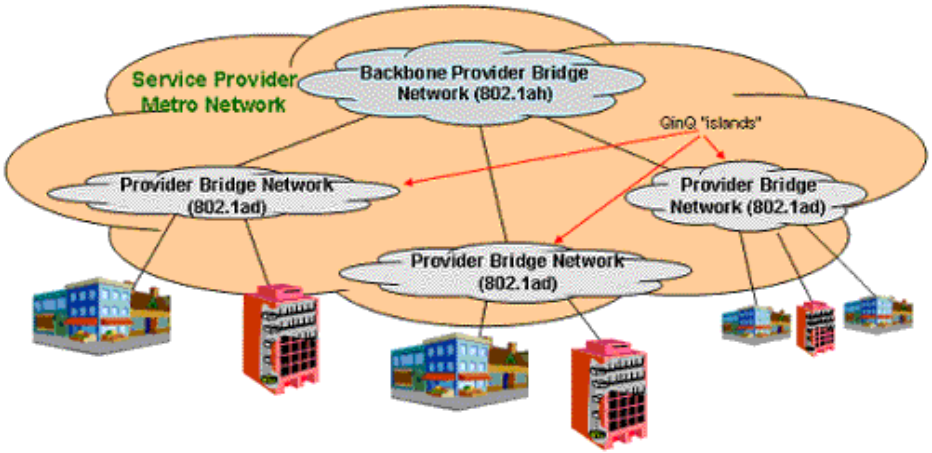
- A legelterjedtebb felhasználói interfész
- 4K Szolgáltatás (12-bits)
- Egyedi szolgáltatás ID
  - (S-VID)
- A csomagtovábbítás a megszokott L2 tanuló bridge alapú a MAC DA/SA alapján S-VID szinten és xSTP a hurkok elkerülésére
- Skálázhatóság
  - 4K szolgáltatás



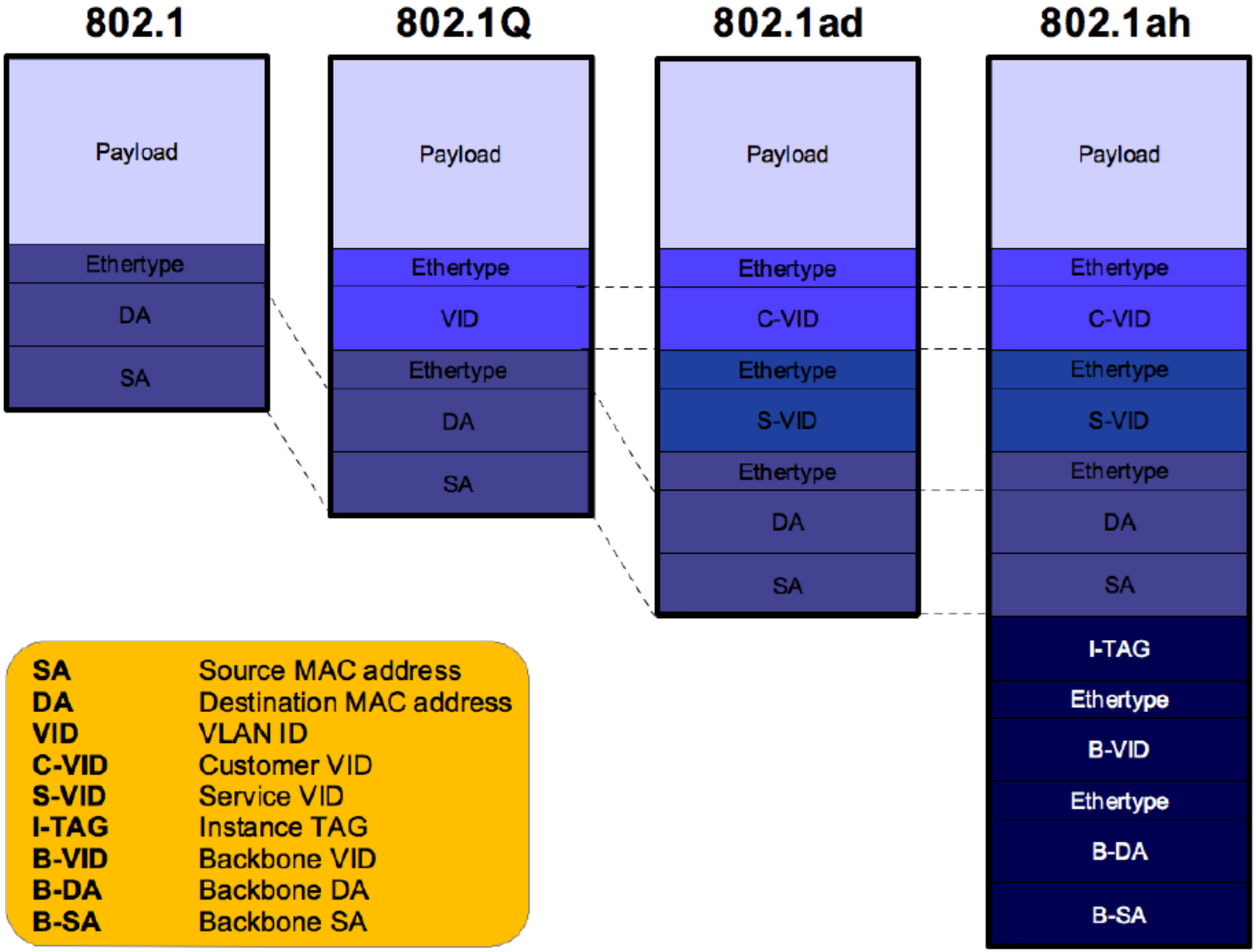
Provider Backbone Bridges



- 4K összekötött többesadásos hálózat
- Egyedi Szolgáltatás ID
  - (LAN = I-SID)
- A csomagtovábbítás a megszokott L2 tanuló bridge alapú a MAC DA/SA alapján B-VID szinten és xSTP a hurkok elkerülésére
- A szolgáltatások engedélyezése egyszerű mert az I-SID társítás hasonlít az S-VID beállításhoz
- Skálázhatóság
  - Maszív szolgáltatás skálázhatóság (24-bit)
  - Nincs szükség hogy minden csomópontban beállítsunk egy I-SID-et egy P2P mesh hálózat kialakításához
  - A C-MAC címeket megtanulja és B-VID/I-SID alapján társítja



Összehasonlítás – hozzáadott fejlécek



PB/PBB tények

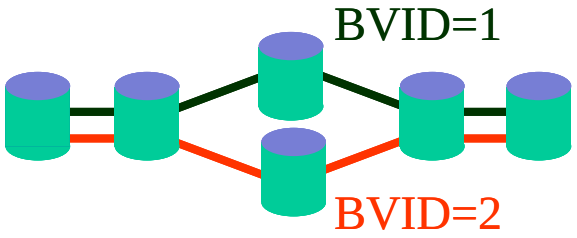
- Skálázhatóság megoldva ☑
- Marad az olcsó Ethernet kapcsolás ☑

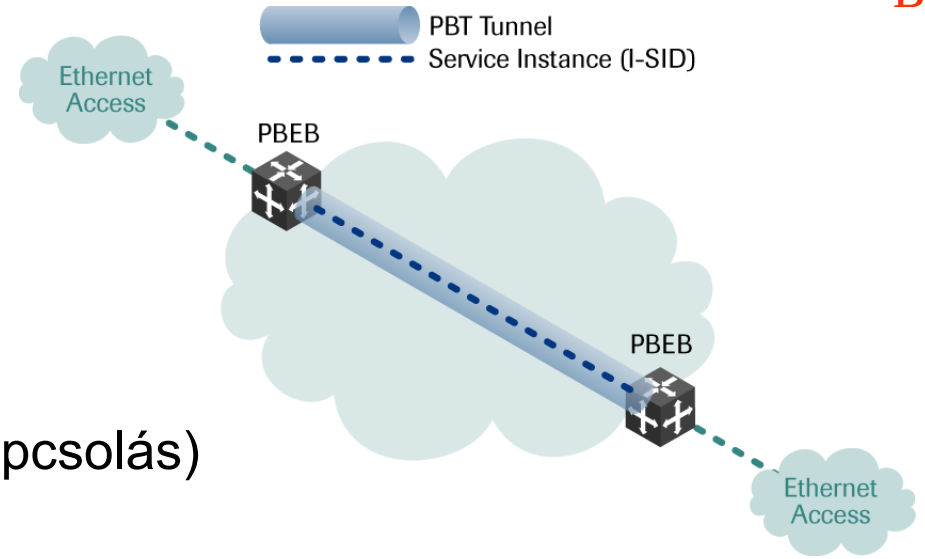
- Továbbra sincs Traffic Engineering ☒
- Védelem/helyreállás STP alapú ☒
- Nehézkes a menedzsment ☒
  - Több szintű VLAN-ok sokasága
  - Nincs hiba- és performancia menedzsment

- Még mindig nem megfelelő a maghálózatban…

PBT

- A cél:
  - marad az Ethernet csomagtovábbítási mechanizmus
  - Lecseréljük a vezérlési síkot (kikapcsoljuk az STPt és tanulást)
  - Az útvonalakat a hálózatban előre beállítjuk
    = Traffic Engineering - Ethernet

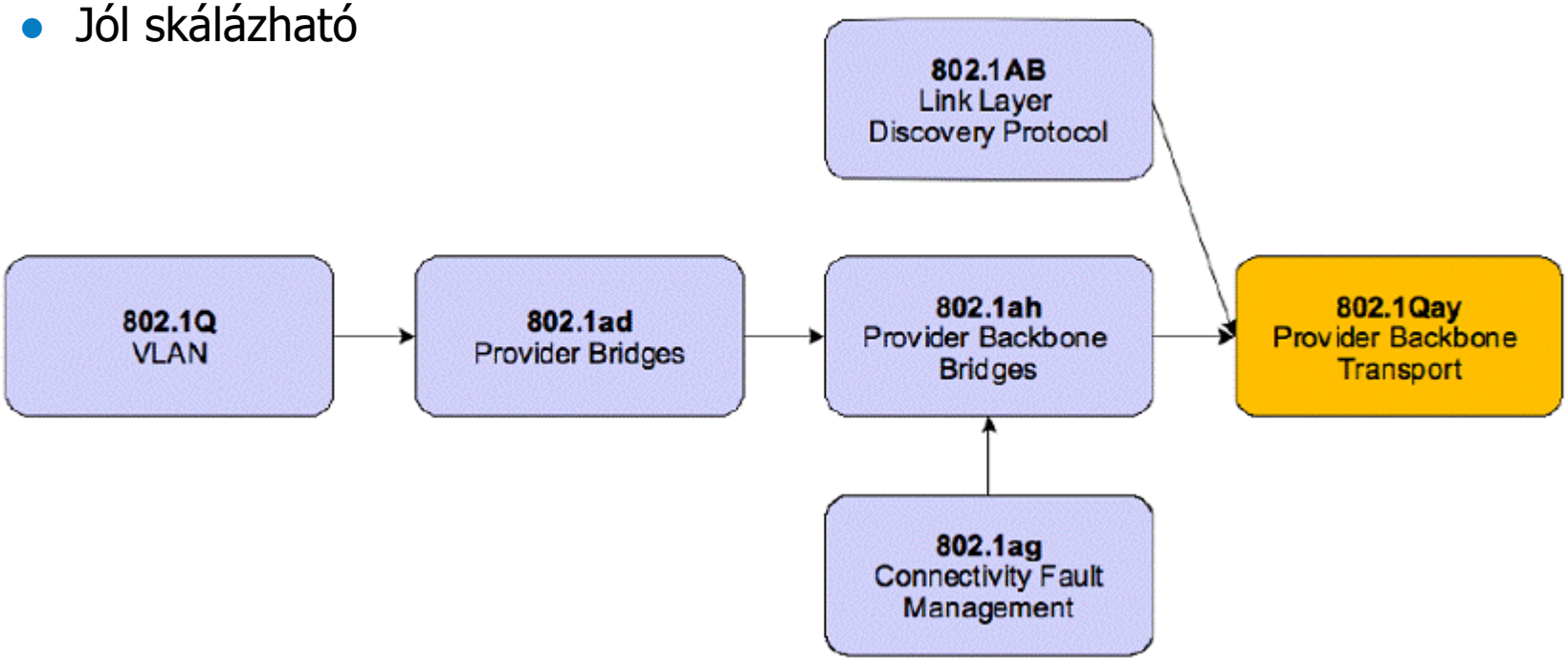




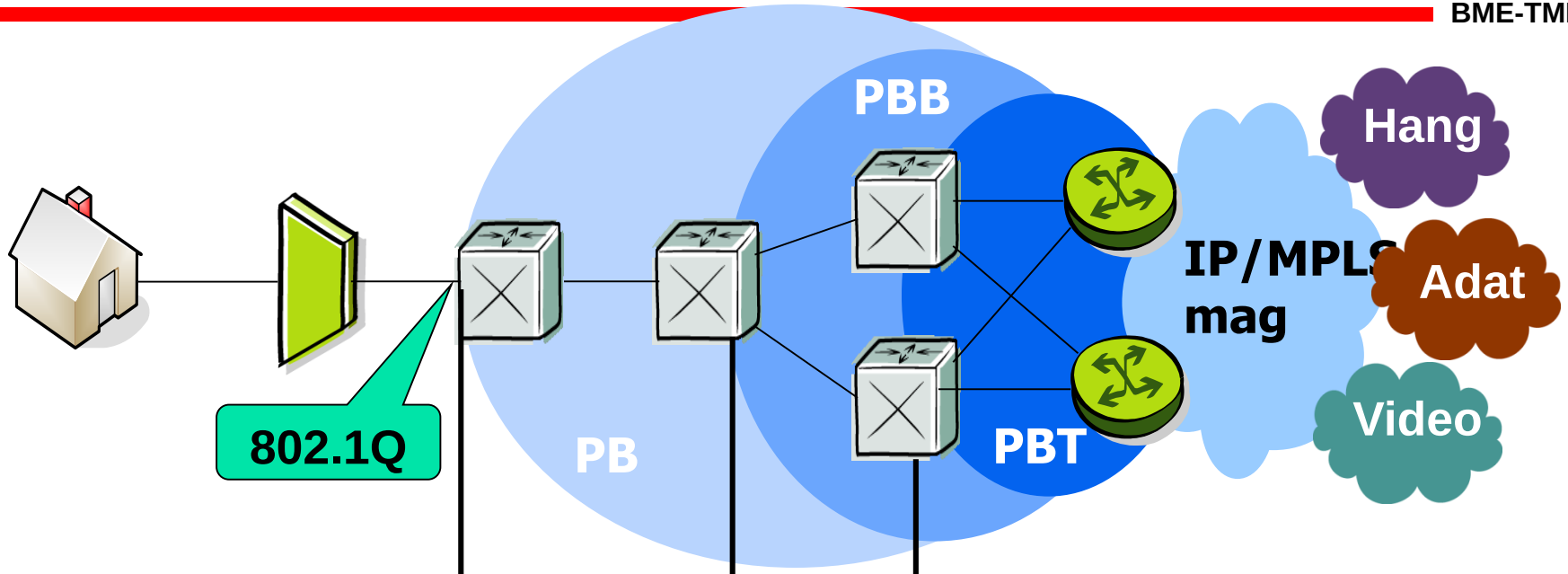
- Amit kapunk:
  - Pont-pont tunnelek
  - Traffic Engineering
  - Védelem (védelmi kapcsolás)

PBT

- Provider Backbone Transport – IEEE 802.1Qay
  - Nortel kezdeményezte
  - A PBB-re épül
- Újrahasznosítja a meglévő technológiákat
  - Determinisztikus QoS-t nyújtó szolgáltatás a cél
  - Jól skálázható



Ethernet Transzport technológiák alkalmazása



802.1Q: 4K felhasználóig

PB: 4K szolgáltatásig

PBB: jól skálázható

Hozzáadott érték: TE, OAM

PB – Q-in-Q – IEEE 802.1ad
PBB – Mac-in-Mac – IEEE 802.1ah
PBT – PBB-TE – IEEE 802.1Qay

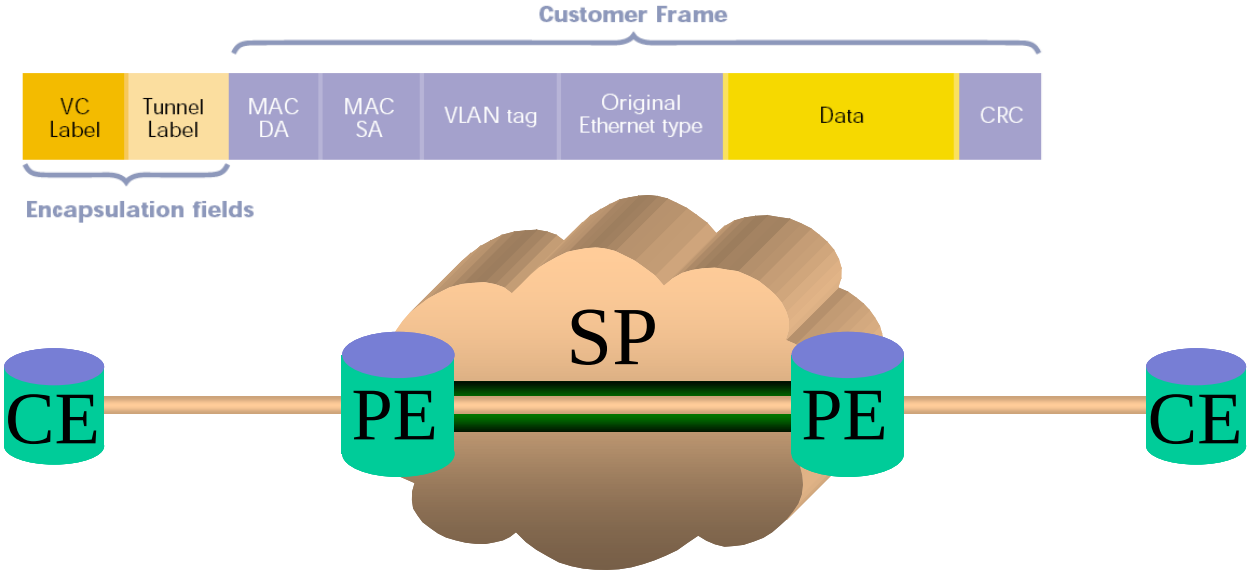
MPLS alapú átvitel

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics

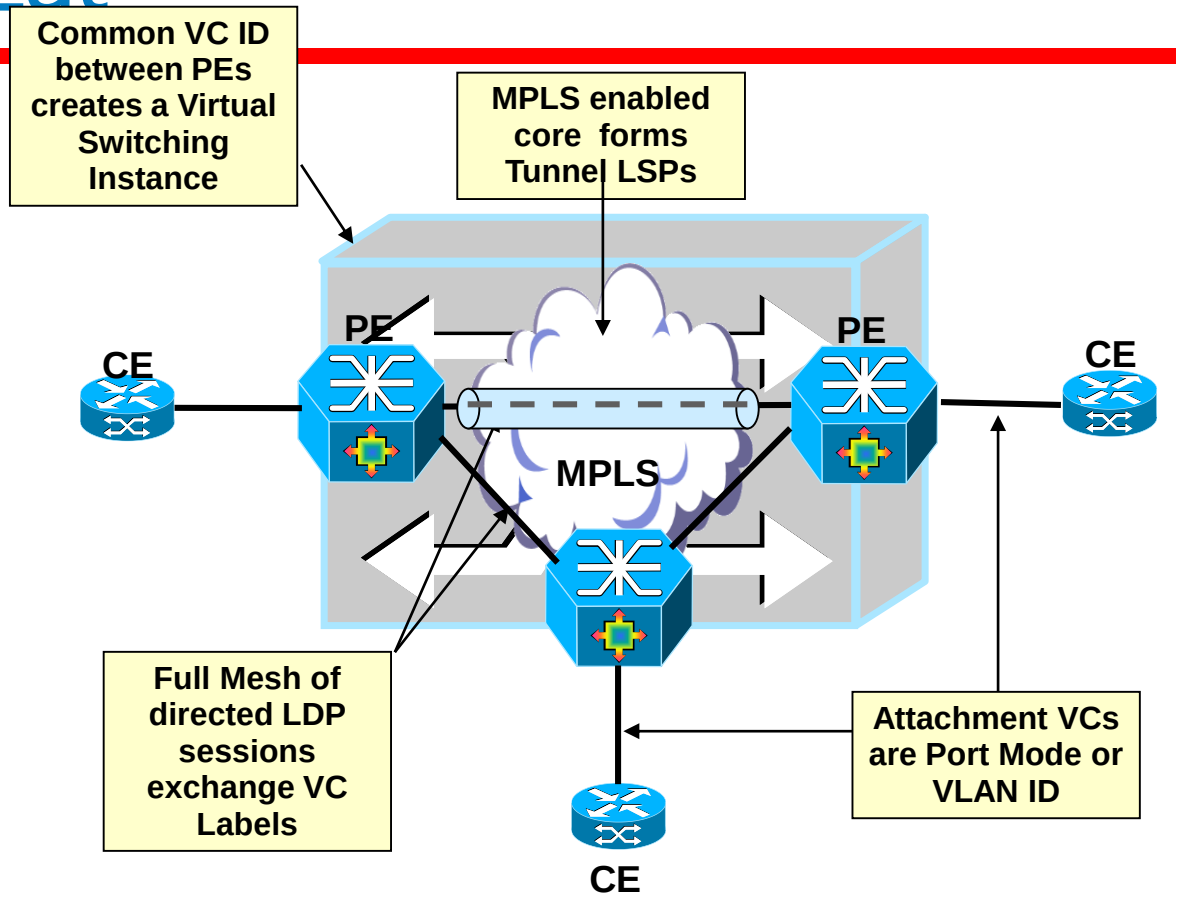
MPLS Pseudowire - VPWS

- Ethernet p2p kapcsolatot tesz lehetővé
  - Az IETF pwe3 csoport dolgozta ki, a draft neve alapján Martini – enkapszulációnak is nevezik
  - Az MPLS címke is beágyazott, egy UNI-n belül több virtuális kapcsolatot megkülönböztetve (VC)
  - A tunnel címke alapján továbbítódik a hálózatban



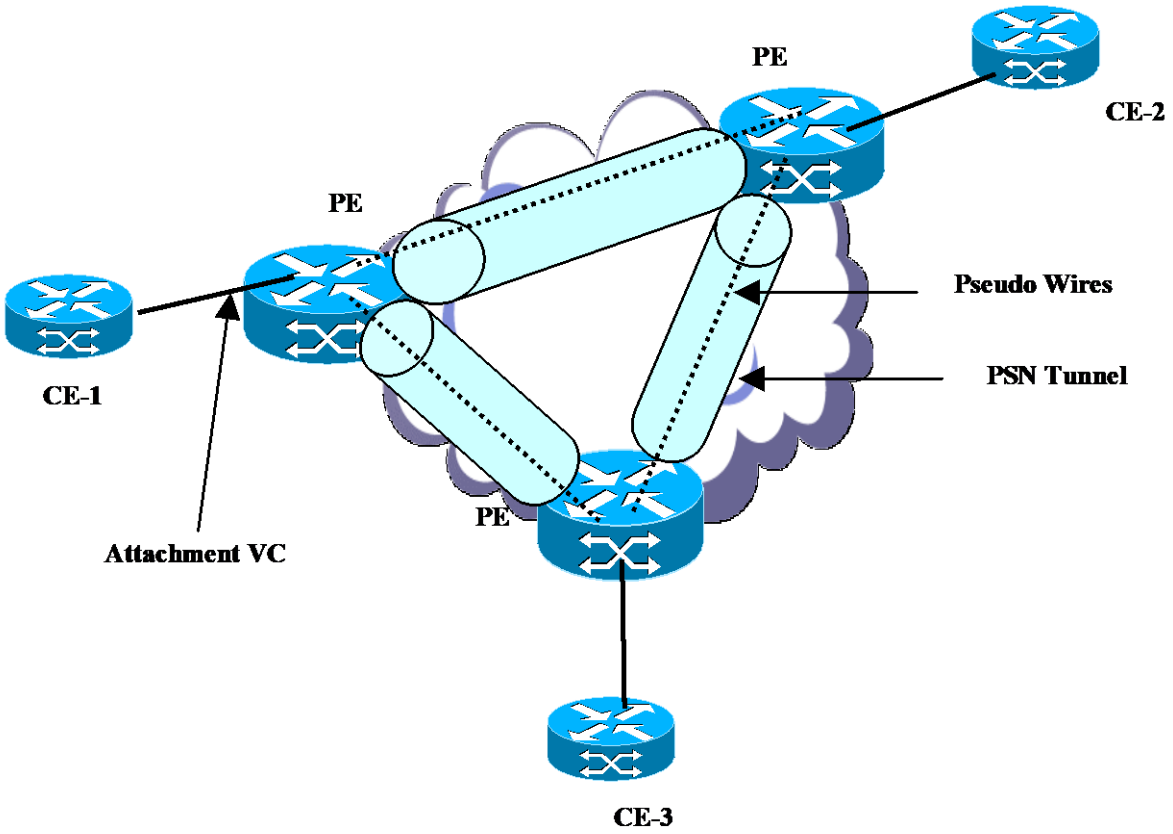
- A megoldás örökli az MPLS összes jó tulajdonságát:
  - Traffic Engineering, Védelem, OAM

VPLS hálózat



Customer Edges (CE): kliens oldali eszköz, tipikusan Etherneten csatlakozik
Provider Edges (PE): itt található a VPLS inteligencia, kezdő/végső pont
Core: csak a továbbításban vesz részt

VPLS rendszer példa



Full Mesh alagutak a PE-k között

- nem feltétlen fizikai, sőt!

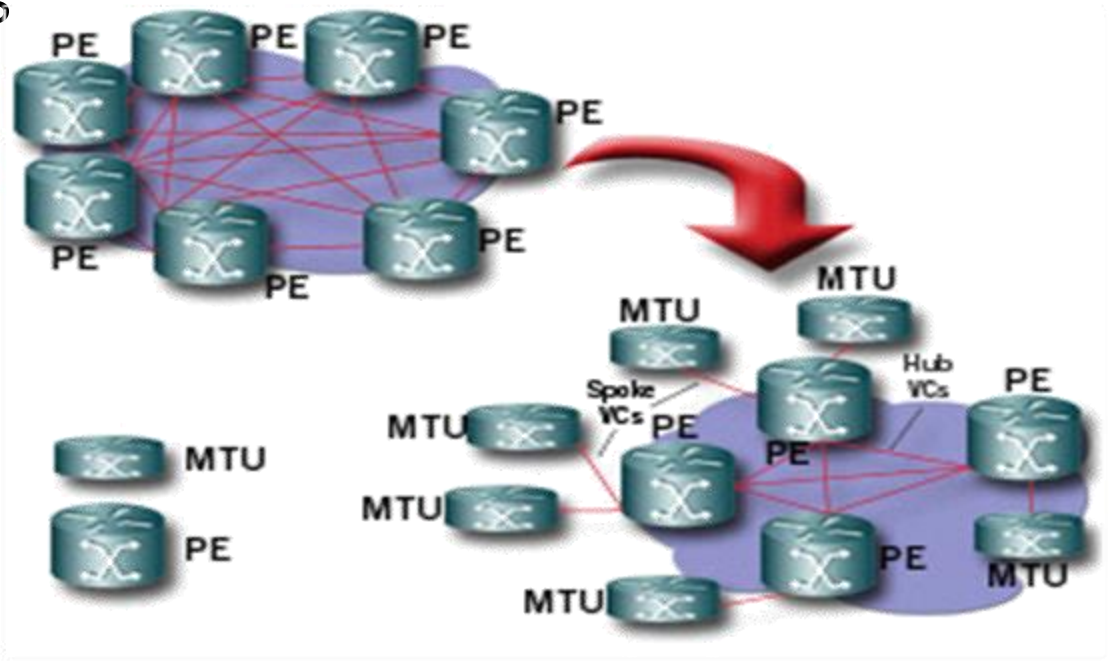
PE-k egy virtuális bridge-t mutatnak a CE-k felé

VPLS Működési elv

- VPLS instance : Service–identifier (Svc-id)
- Full mesh tunnelek kialakítása
  - Célzott LDP üzenetekkel
- Csomag továbbítás: tanuló bridge
  - Ismeretlen cél: broadcast az összes tunnelre
  - Split-horizon: soha nen továbbít oda, ahonnan érkezett – a hurkok ellen

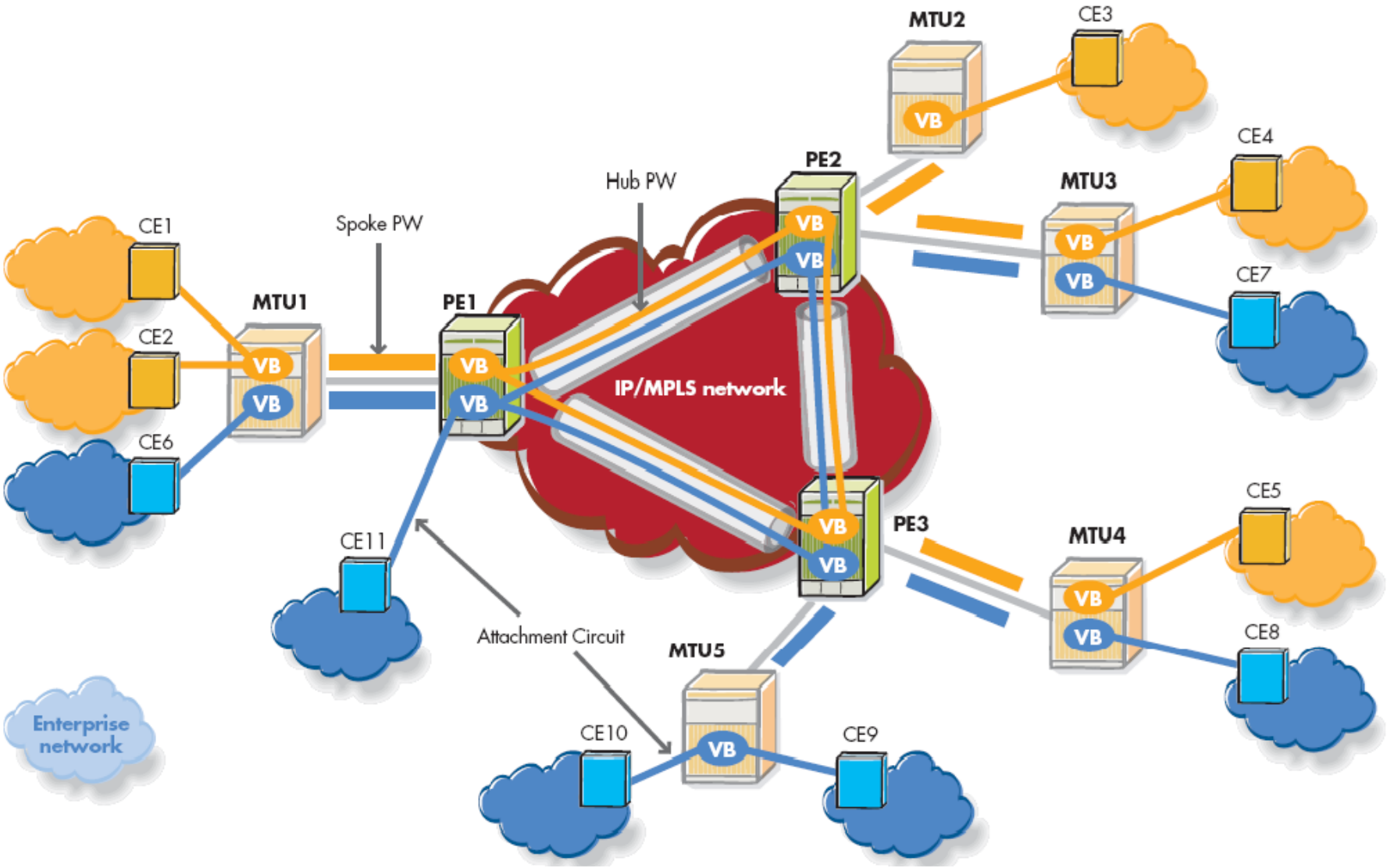
VPLS skálázhatóság - hierarchia

- MTU - Multi-Tenant Unit: több felhasználó által bérelt eszköz, bridge
- MTU-ig kiterjeszthető a VPLS
  - MAC/VLAN skálázhatóság megnő
  - Komplexebb MTU



- Hierarchikus VPLS
  - PE-k között „HUB” pseudowire-k (hub PW)
  - MTU-PE között „spoke” PW
    - Spoke PW lehet QiQ, MPLS, …

Hierarchikus VPLS



VPLS jelzés és automatikus felderítés

- VPLS megköveteli a full-mesh LSP-k kihúzását a PE-k között egy adott VPLS instance számára:
  - Manuális eljárás (statikus beállítás)
  - Menedzsment rendszerek (NMS/OSS alapú beállítás)
  - Jelzési protokollok:
    - LDP (“Lasserre-V. Kompella” draft, a legtöbb gyártó által támogatva)
    - BGP (“Kompella” draft, kevesen támogatják)
    - other (Radius, DNS, etc.)

VPLS javaslat	Automatikus felderítés	Jelzés / címke kiosztás
Draft Kompella VPLS	BGP	BGP
Draft Lasserre-Vkompella VPLS	Nincs (több lehetséges opció)	LDP

VPLS és H-VPLS skálázhatóság

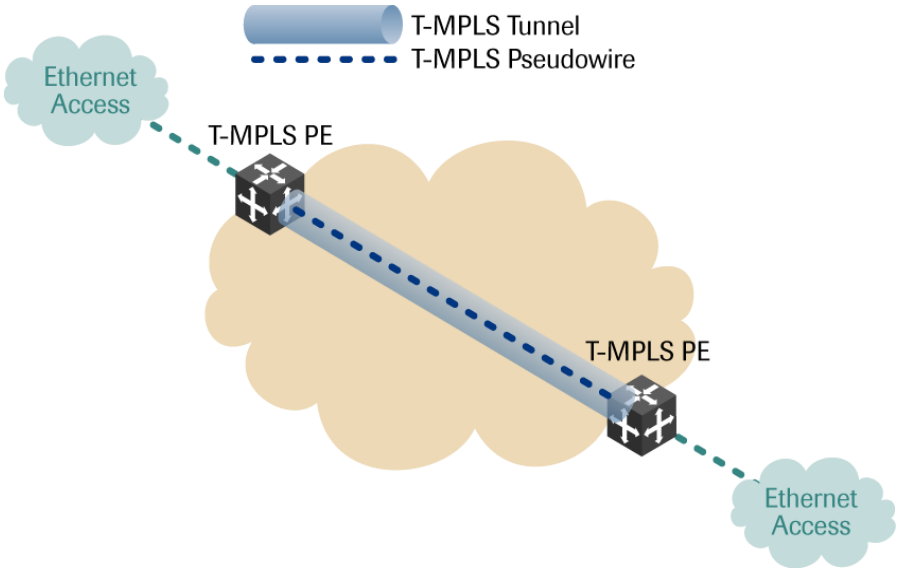
- PW kapcsolatok az MPLS vezérlő sík által kihúzva
- A Hub-and-Soke csökkenti a full-mesh PW igényét

- A szolgáltatások számának növekedésével a MAC tábla mérete és a PW-k száma közt egyensúlyt kell teremteni

	Services	PEs	MTU-s	PW mesh	MACs (1K per service)
VPLS	512	64	-	1M	512K
H-VPLS	512	16	256	60K	512K
	8,192	16	256	1M	8M

Vissza az áramkör kapcsoláshoz: T-MPLS

- Transport-MPLS
- **Kimondottan kapcsolat orientált alcsoportja az MPLS-nek**
- Az ITU-T szabványosítja
  - Az MPLS egy része, amely a p2p kapcsolatok kezeléséhez szükséges
- arra helyezi a hangsúlyt, hogy az IP menedzsmentet eliminálva az MPLS megoldások menedzsmentjét leegyszerűsítse
- Fő szempontok
  - Védelem: 50ms
  - Traffic Engineering
  - Garantált SLA
  - OAM: hiba és performancia menedzsment



"Carrier Ethernet" szolgáltatások - összehasonlítás

	VPLS	H-VPLS	T-MPLS	PBB	PBT	PBT-LAN
Ethernet Services	P2P, LAN	P2P, LAN	P2P	P2P, LAN	P2P	P2P, LAN
Tunnel Scale (N=PE nodes)	N up to N! / 2*(N-2)!	N up to N! / 2*(N-2)!	Service count	4K Flood Domains	2 * Service Count	N! / 2*(N-2)!
Pseudowire Scale	N! / 2(N-2)! * Services	N! / 2(N-2)! * Services	Service count	N/A		
Service Scale	100s	1000s	1M	16M		
Protection	FRR	FRR	Y.1720 Y.mrps	xSTP	In-Tunnel CCM	In-Tunnel CCM
Dual Homing	Yes			No	Yes	Yes
Control Plane	OSPF/IS-IS w/ RSVP-TE and LDP		GMPLS	xSTP only for Loop Prevention	*Future* OSPF/IS-IS w/ RSVP-TE	*Future* OSPF/IS-IS w/ RSVP-TE
Split Horizon Forwarding	Yes		No	No		Yes
OAM	Virtual Ping Virtual Traceroute BFD			Virtual Ping Virtual Traceroute CFM		

Forrás: World Wide Packets®

Layer 1 L2VPN - EoSDH

- Pont-Pont kapcsolat
- Generic Framing Procedure (GFP)
  - Szabvány az első és második rétegbeli protokollok Sonet/SDH keretezésére
- Virtual Concatenation (VCAT)
  - Az SDH sávszélesség felosztása virtuálisan
  - Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS)
    - Elősegíti a dinamikus sávszélesség kiosztást a VCAT segítségével

L2VPN - Összefoglalás

- Az Ethernet alapú szolgáltatások gyorsan fejlődnek
  - Szabványosítás
  - Alkalmazás
- Több, egymással versenyző technológia van az Ethernet szolgáltatások átvitelére
  - MPLS és Ethernet alapú megközelítések
  - Mindkettőnek megvan az előnye-hátránya
- A különböző technológiák arányát/határait a hálózatokban a szolgáltatók fogják eldönteni

Áttekintés

- Ethernet: jelen és jövő
- Alapvető mechanizmusok
- Ethernet szolgáltatások és megvalósításuk
- Helyreállítás, Traffic Engineering és Védelem
- Operations, Administration, Maintenance (OAM)
- Összefoglalás

Ethernet OAM

- Jelenleg korlátozódik az SNMP alapú lekérdezésekre
- A szolgáltatások megvalósításához szükséges!
  - Ethernet szintű „ping”, „traceroute”

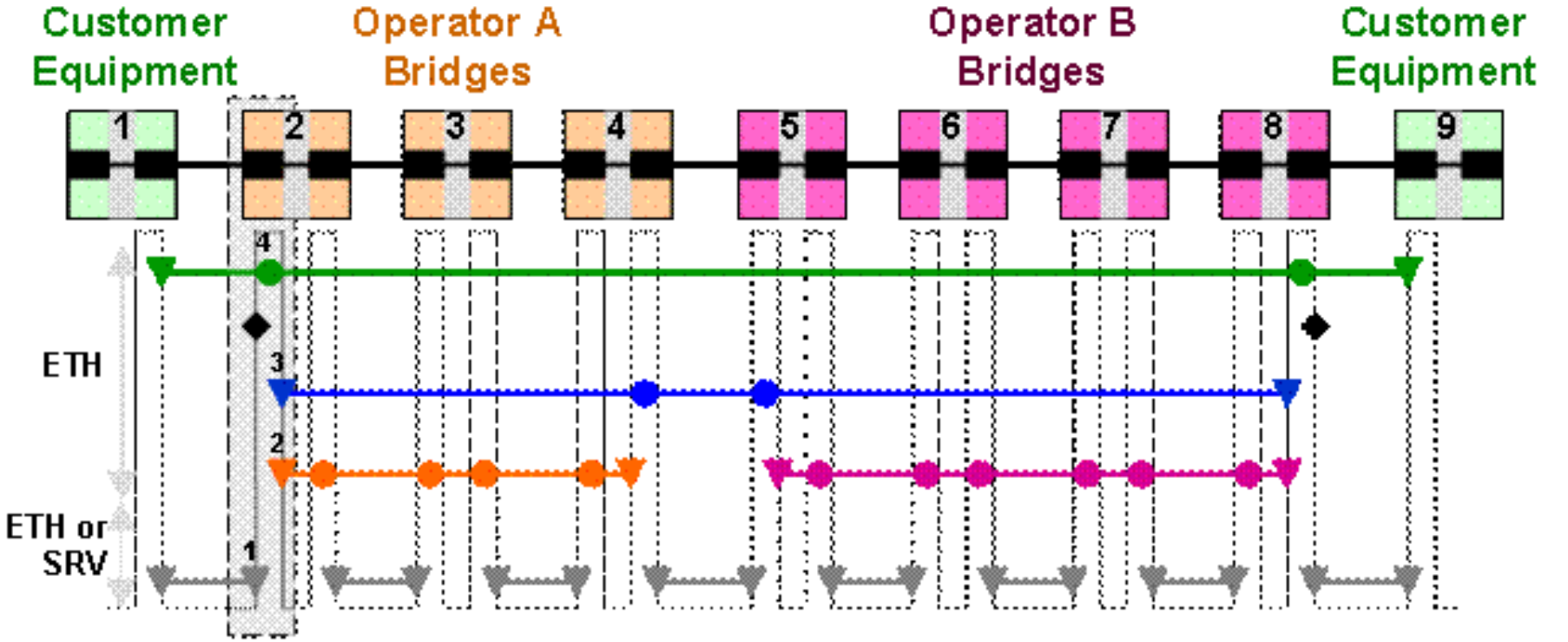
- Szabványosítás folyamatban
  - IEEE 802.1ag – CFM, ITU - Y.17ethoam
  - IEEE 802.3ah – EFM

Ethernet OAM követelmények

- Link monitorozás
- EVC kapcsolatok folytonosságának ellenőrzése
- Jelentés a hálózati menedzsment felé hiba észlelése esetén
- Alsóbb szintekről érkező redundáns üzenetek szűrése
- Az alapvető eszköztár nyújtása az operátor felé
- STP hiba esetén is működjön!

OAM Hierarchia

- Maintenance Entities (ME)
  - MEP – mgmt. endpoint, MIP – intermediate
  - Különböző szintek a menedzsmentben



OAM eszköztár

- Hiba menedzsment funkciók
  - A kapcsolati hibák felderítése, ellenőrzése és lokalizálása
- Performancia menedzsment
  - Minőségi hibák felderítése, ellenőrzése és lokalizálása
- Kommunikáció: OAM keretek segítségével
  - Out-of-Band: különálló OAM keretek

OAM eszköztár - CFM

- Hiba menedzsment funkciók (CFM)
  - Continuity Check – folyamatos ellenőrzés
    - Az aktuális szolgáltatói szinten
    - SNMP trap– hiba jelentés
  - Loopback
    - Ellenőrzés, IP megfelelő: ping
  - Link Trace
    - lokalizálás, IP megfelelő: traceroute

OAM eszköztár - performancia

- Performancia menedzsment
  - Különböző metrikák mérését teszik lehetővé
- Performancia mérések:
  - Frame Loss (FL),
  - Frame Delay (FD),
  - Frame Delay Variation (FDV),
  - Availability
- Folytonos mérés: Frame Loss

Összefoglalás

- Ethernet: egyre nagyobb szerepet kap a szolgáltatói hálózatban
- Új, szélessávú szolgáltatások Ethernet alapon
  - E-Line, E-LAN

- Alapvető minőségbiztosítási, hibajavítási mechanizmusokkal rendelkezik
- Skálázhatóság, védelem és menedzsment téren még fejlődés szükséges

Köszönöm a figyelmet

Budapest University of Technology and Economics

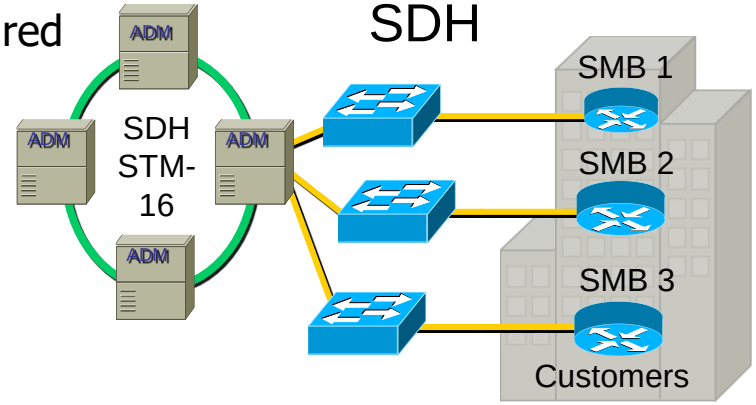
Department of
Telecommunications and Media Informatics

Ethernet over SDH

- "Some" development was required
  - G.7041: GFP (Generic Framing Procedure) = protocol agnostic frame container
    - two mapping modes: frame mapped GFP (one MAC PDU in one GFP frame), transparent GFP (into fixed length GFP frame)
  - G.707: VCAT (Virtual Concatenation) = better bandwidth granularity
    - bond any number of noncontiguous VCs as a single flow (Virtual Concatenation Group: VCG)
    - Similar to the concept of IMA (Inverse Multiplexing for ATM)
  - G.7042: LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme) = dynamic bandwidth settings
    - signaling method for dynamically add and remove members of a VCG
    - also useful for fault tolerance and protection
    - Similar to the concept of IMA (Inverse Multiplexing for ATM)
    - Many open points in the standard, rarely implemented, interworking problematic
- Ethernet frames are mapped into VCs (VC-12, VC-3, VC4)

EoSDH

- SDH protections mechanisms can be used (ring topology, APS, etc.)
- P2P by nature of SDH
  - A tag (e.g. VLAN or MPLS) can be used to overcome this limitation and share bandwidth between customers
  - MP2MP
    - Currently very limited implementations
    - VPHS (Virtual Private Hub Service) = VPLS without MAC learning
    - VPLS like mechanisms and solutions required
- Using MPLS results in same solution as VPWS/VPLS



Protected SDH Ring w/ Ethernet interfaces

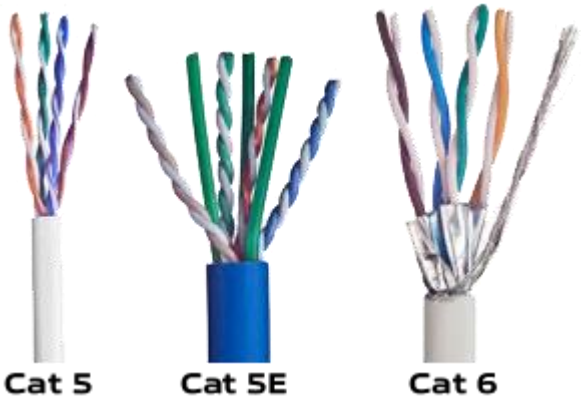
Ethernet2/L2VPN gyakorlat

Moldován István

moldovan@tmit.bme.hu

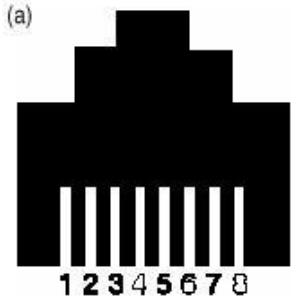
BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
TÁVKÖZLÉSI ÉS MÉDIAINFORMATIKAI TANSZÉK

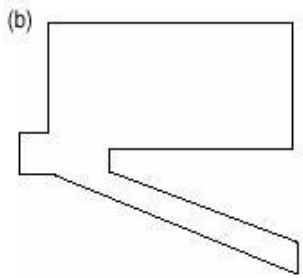
Interfészek

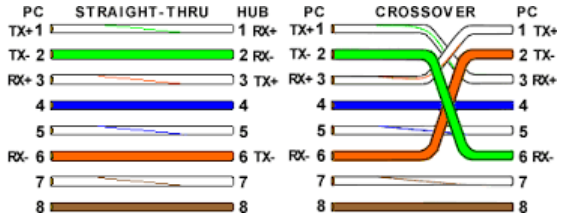


UTP – Category 5, 6

- RJ-45 dugasz







Lábkiosztás (10/100)

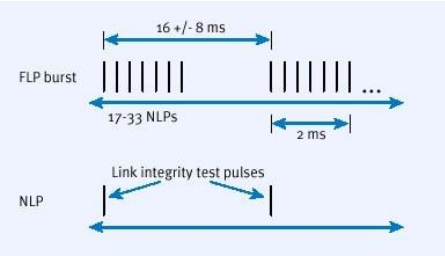
1 TD+ (Transmit Data)
2 TD- (Transmit Data)
3 RD+ (Receive Data)
4 Nem használt

5 Nem használt
6 RD- (Receive Data)
7 Nem használt
8 Nem használt

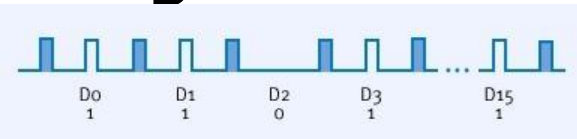
Lábkiosztás (>1000)
mind a 8 szálat használja!
Hibrid alapú működés: egyszerre ad/vesz
mind a 4 érpáron
Ugyanúgy 125MHz!

Auto negotiation

- 10/100/1000 interfészek – együttműködés?
  - Auto negociation

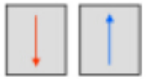


- Out of band: nem Ethernet csomagokban
  - Link pulzus alapú
  - Még nem tudjuk a közös sebességet
  - Hasonló a link integritás ellenőrzéséhez



- Az eszközök megegyeznek a közös sebességben

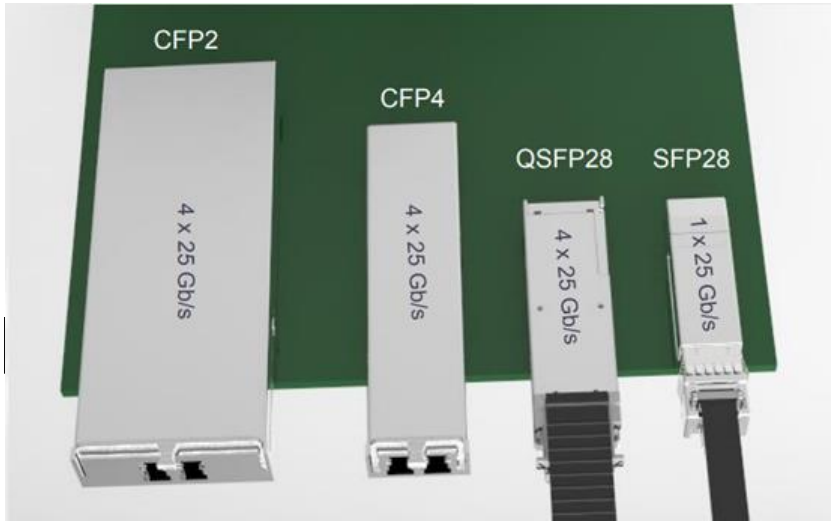
10G

- Transceiver:
  - Jellemzően SFP+ 
- Réz alapú átvitel
  - 10GBASE-T
  - Cat6a/Cat7 100m-ig.
- SFP+ direct attach cables (DAC)
- és active optical cables (AOC)
- Optikai transceiver típusok:

STD	F.O. Type	Dst.
10GBase-USR	MM OM1,2,3	100mt
10GBase-SR	MM OM3	300mt
10GBase-LRM	MM OM1,2,3	220mt
10GBase-LR	SM	10Km
10GBase-ER	SM	40Km
10GBase-ZR	SM	80Km
10GBase-LX4	MM/SM	

25G

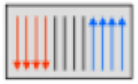
- 25G – 1x RX és 1x TX
- Transceiverek: többféle
  - SFP28 – réz – 4m
  - AOC optikai patch kábele
- Nagy távolság áthidalása



25GBASE-SR	50µm MMF / 70m
25GBASE-LR	9µm SMF / 10km

40G

- 4x10G: 4 optikai szál vagy WDM

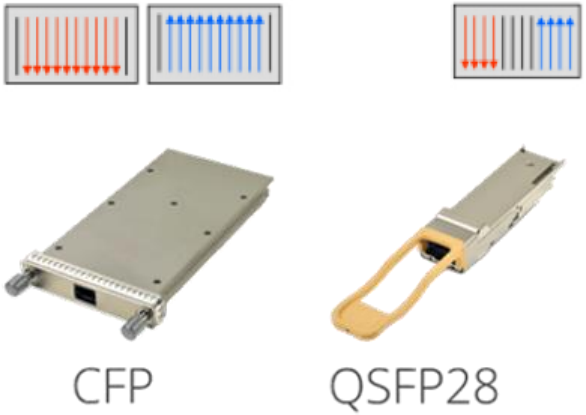


- Transceiver: QSFP+ a legelterjedtebb

Name	Cabling Type	Max Reach
40GBASE-CR4/10G DAC	Copper RJ45	7m
40GBASE-T	Copper RJ45	30m
40GBASE-SR4	OM3 MMF MTP/MPO	100m
	OM4 MMF MTP/MPO	150m
40GBASE-CSR4	OM4 MMF MTP/MPO	400m
40GBASE-SR	OM4 MMF LC duplex	150m
40GBASE-LR4	SMF LC Duplex	10km
40GBASE-ER4	SMF LC Duplex	40km
40GBASE-LX4	OM3/OM4 MMF	150m
	SMF	2km
40GBASE-PLR4	SMF MTP/MPO	10km
40GBASE-LR4L	SMF LC duplex	2km
40GBASE-PLRL4	SMF MTP/MPO	1.4km

100G

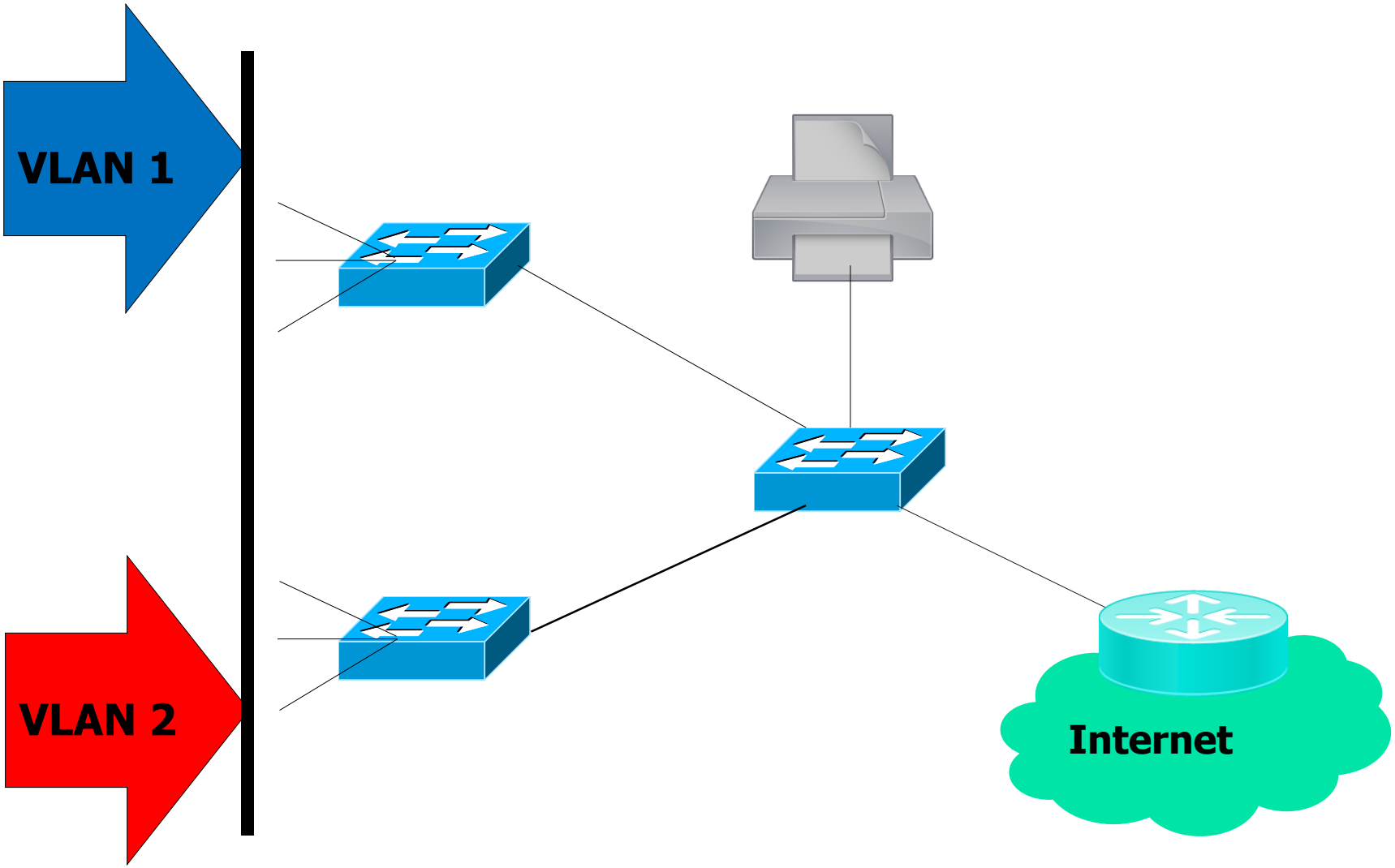
- Még nagyobb sűrűség elérése a cél
- Kétféle megvalósítás:
  - 10G – 40G - 100G
  - 25G – 100G



- Transceiverek:
  - CFP-100G: 10x10Gbps
    - 802.3ba
  - QSFP28: 4x 25Gbps WDM
    - 802.3bj

VLAN-ok

VLAN

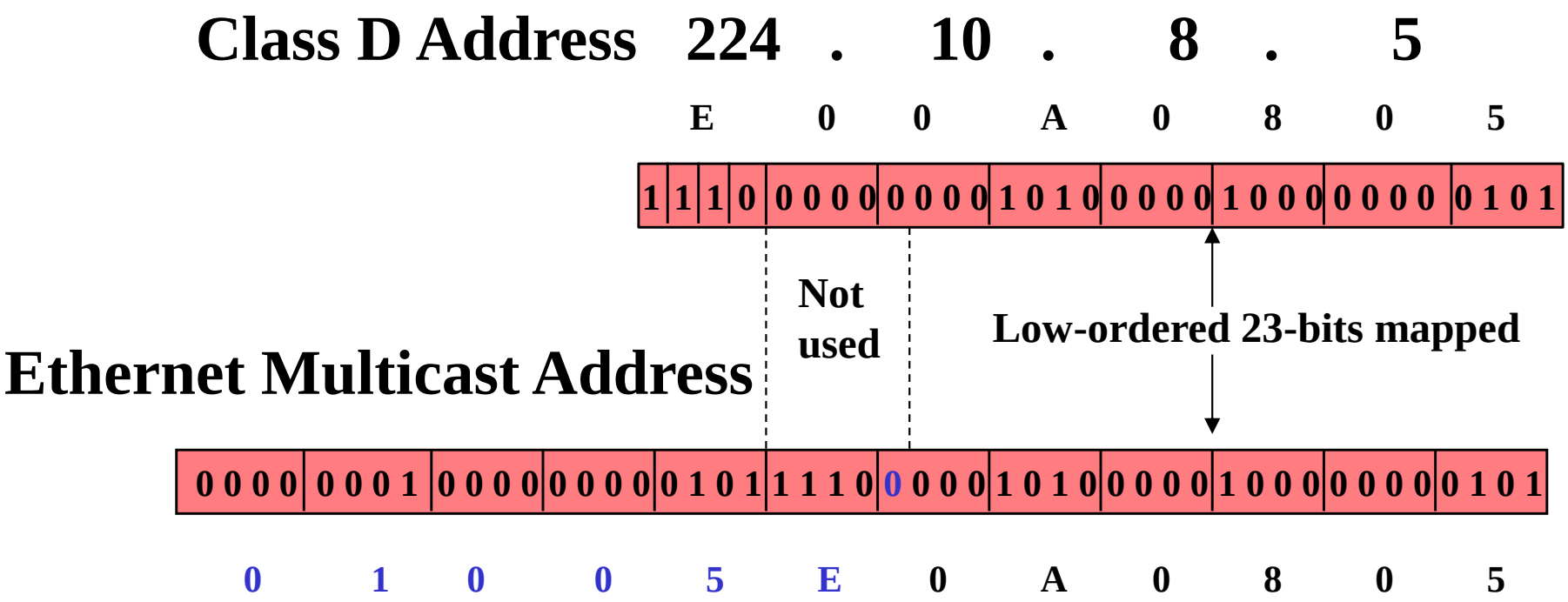


Multicast és Ethernet

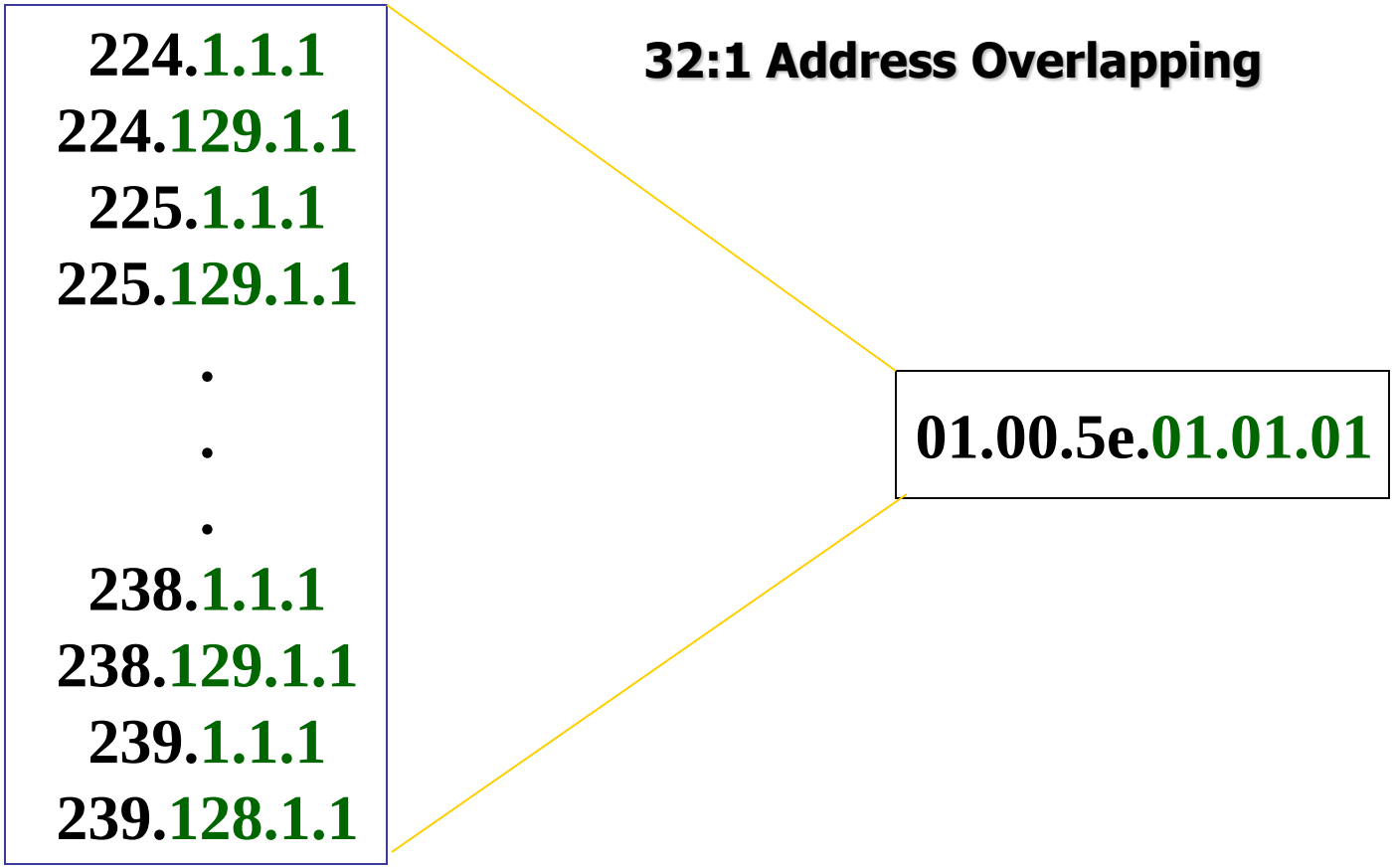
Multicast címzés

- Internet Assigned Numbers Authority (IANA)
- 224.0.0.1-224.0.0.255-->Reserved
- **224.0.1.0-238.255.255.255-->Multicast Group**
- 224.0.0.1: All multicast-capable hosts group
- 224.0.0.2: All multicast routers group
- 224.0.0.4: All DVMRP routers

Address Mapping



Címek átlapolása



Multicast Service

Pl. IPTV

Az IP multicast protokoll

Layer 3

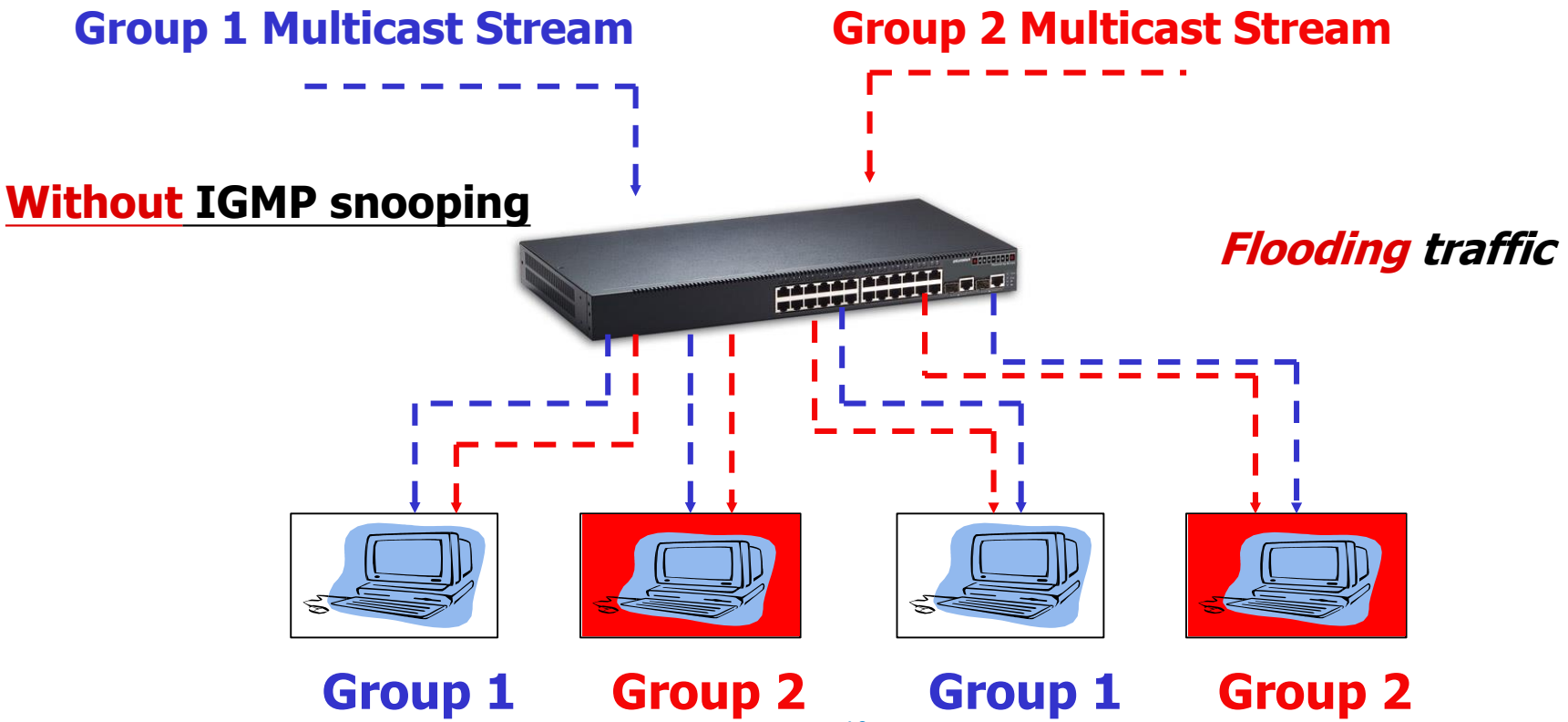
LAN hálózat multicast támogatás

Layer 2

Az IGMP Snooping

IGMP Snooping - hatékony multicast Etherneten

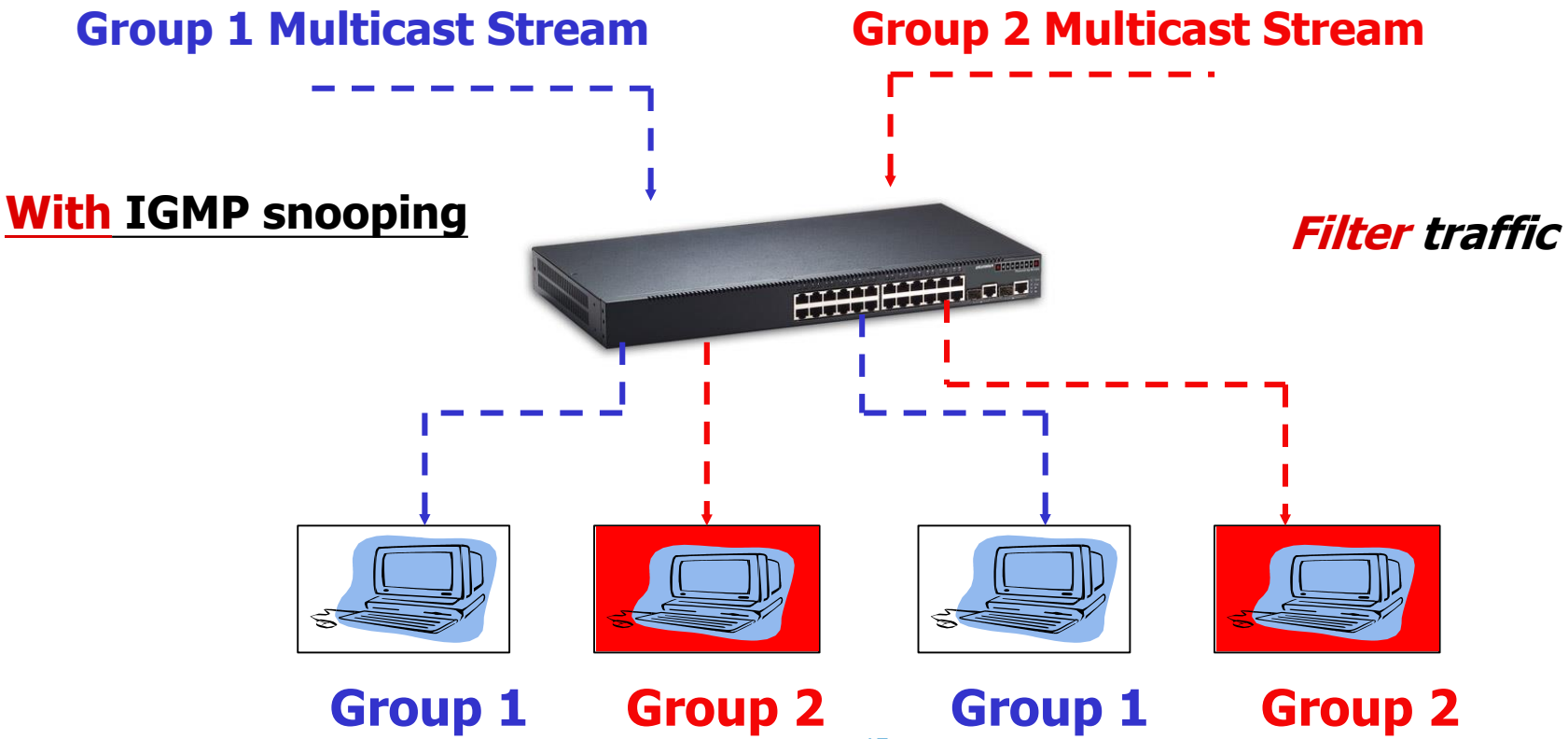
All hosts need to handle the traffic whether they need it or not.



Az IGMP Snooping

IGMP Snooping - hatékony multicast Etherneten

Hosts only receive dedicated traffic belonging to the same group



Biztonság - MAC Spoofing

- Ethernet MAC szerint továbbít
  - MAC cím egyedi kell legyen
  - A bridge megtanulja a forrást – mi van ha 2 egyező cím van?
- Mac cím egyediség – nem garantálható
  - Ki lehet cserélni könnyen
- MAC „spoofing” – a MAC címek manipulálása
  - Forgalom eltérítés
  - MAC szűrő kikerülése
  - DOS támadás

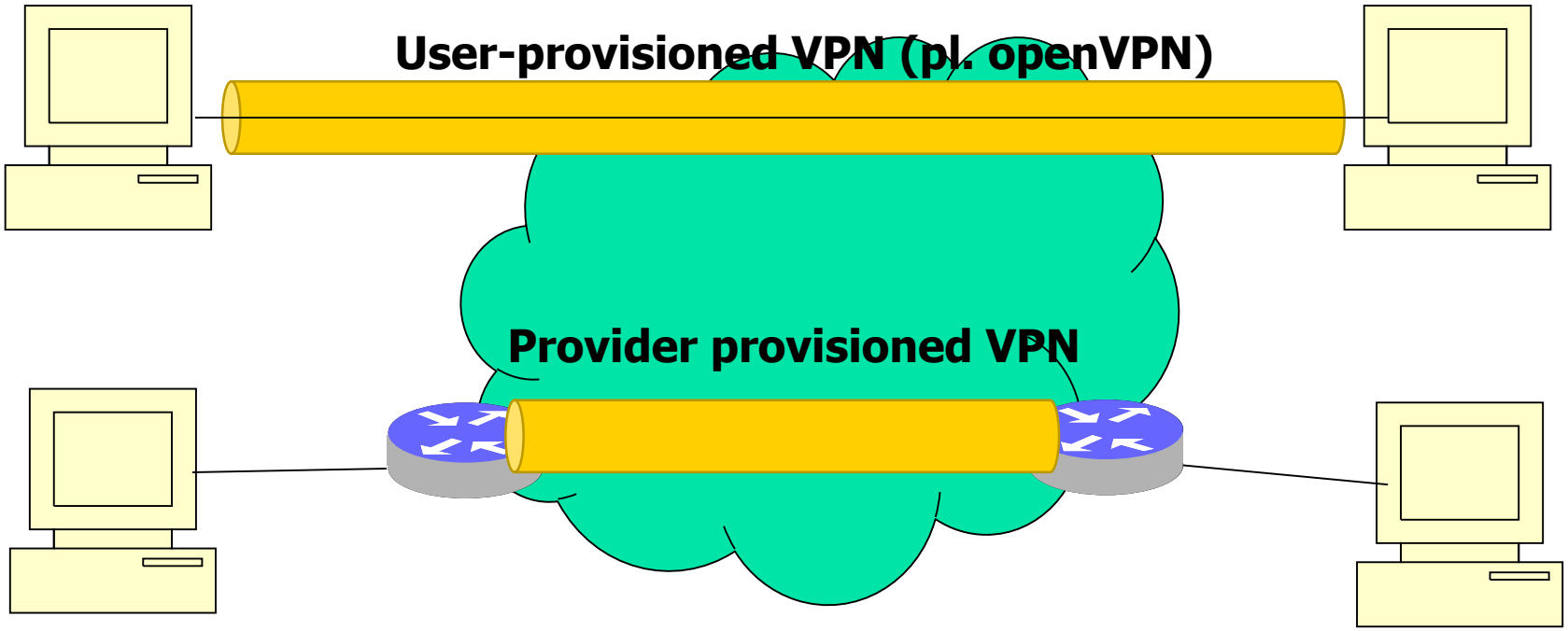
VPN-ek

Virtuális Magánhálózatok

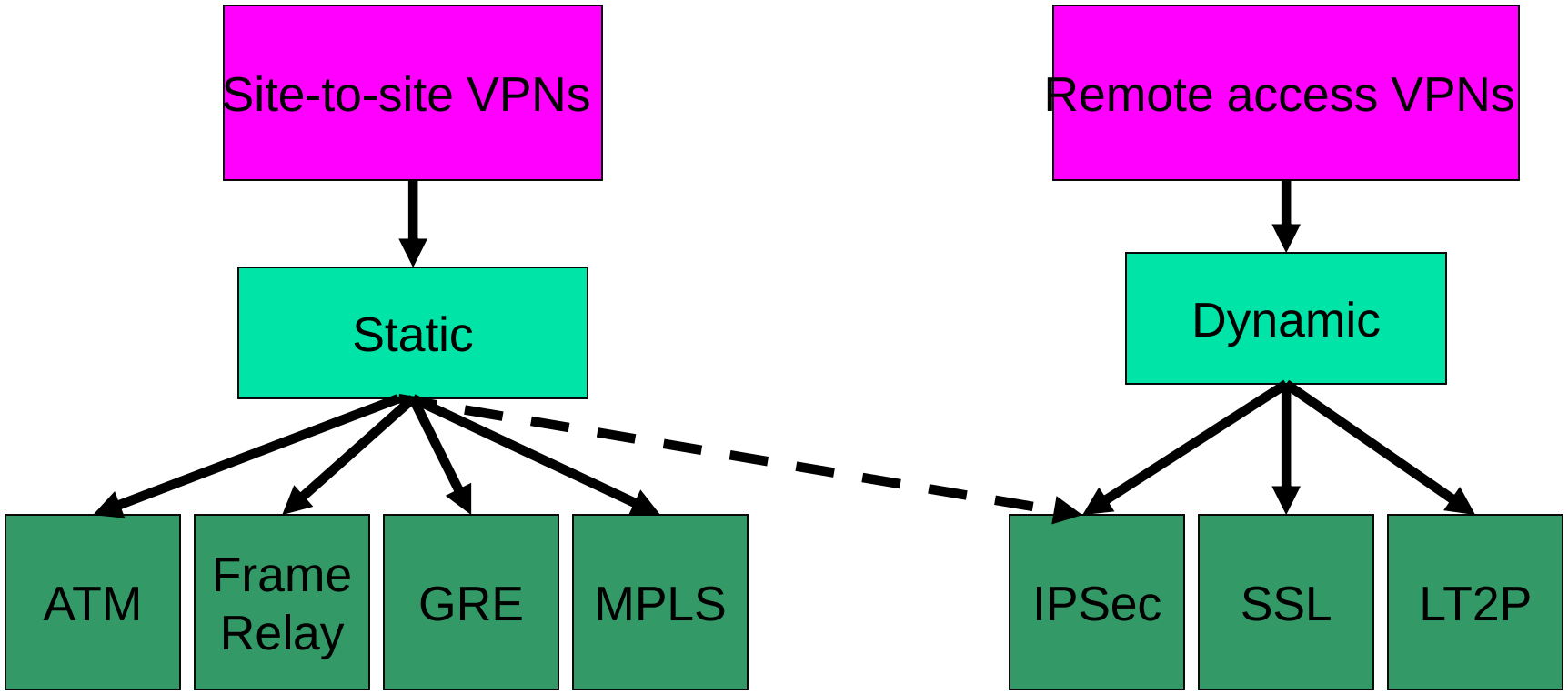
- Virtual Private Network (VPN)
- Két alapvető típus
  - User-space VPN
  - Provider Provisioned VPN (ppvpn)
- Mindkettő a hálózat erőforrésainak költséghatékony kihasználását célozza

L3-L2 VPNs

- L2 és L3 VPN példa



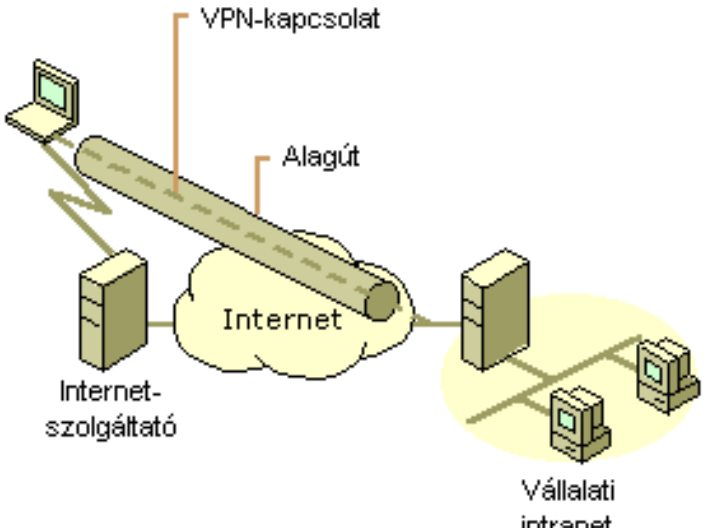
VPN típusok


Site-to-site VPNs
Remote access VPNs
Static
Dynamic
ATM
Frame Relay
GRE
MPLS
IPSec
SSL
LT2P

Felhasználói VPN

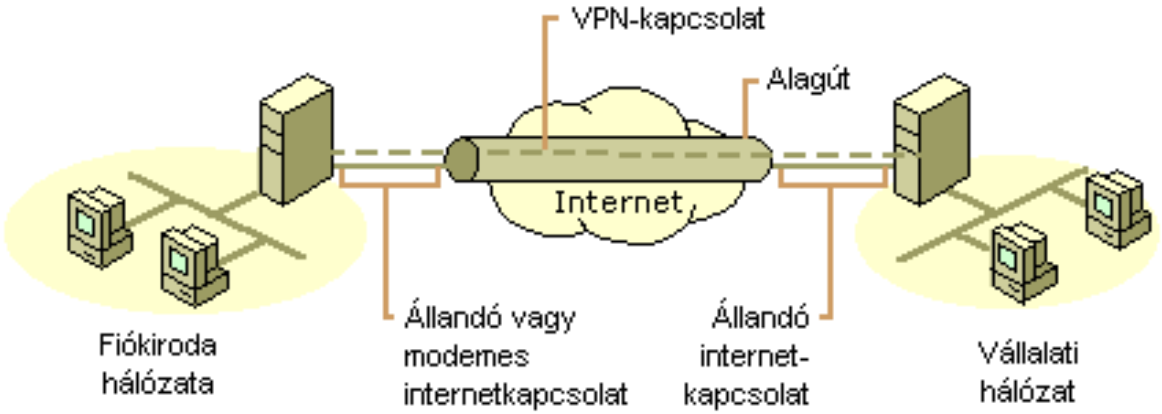
- Bérelt vonal – nem költséghatékony
- Internet – olcsó kommunikáció
  - Nem biztonságos!
- Megoldás: biztonságos kapcsolat kialakítása az Interneten kódolt alagutak használatával
  - Egy vagy több kliens használhat egy alagutat
  - A biztonságot a kódolás adja
  - Minőségbiztosítás az Internet szolgáltatótól függ…

VPN az ügyfél típusa szerint



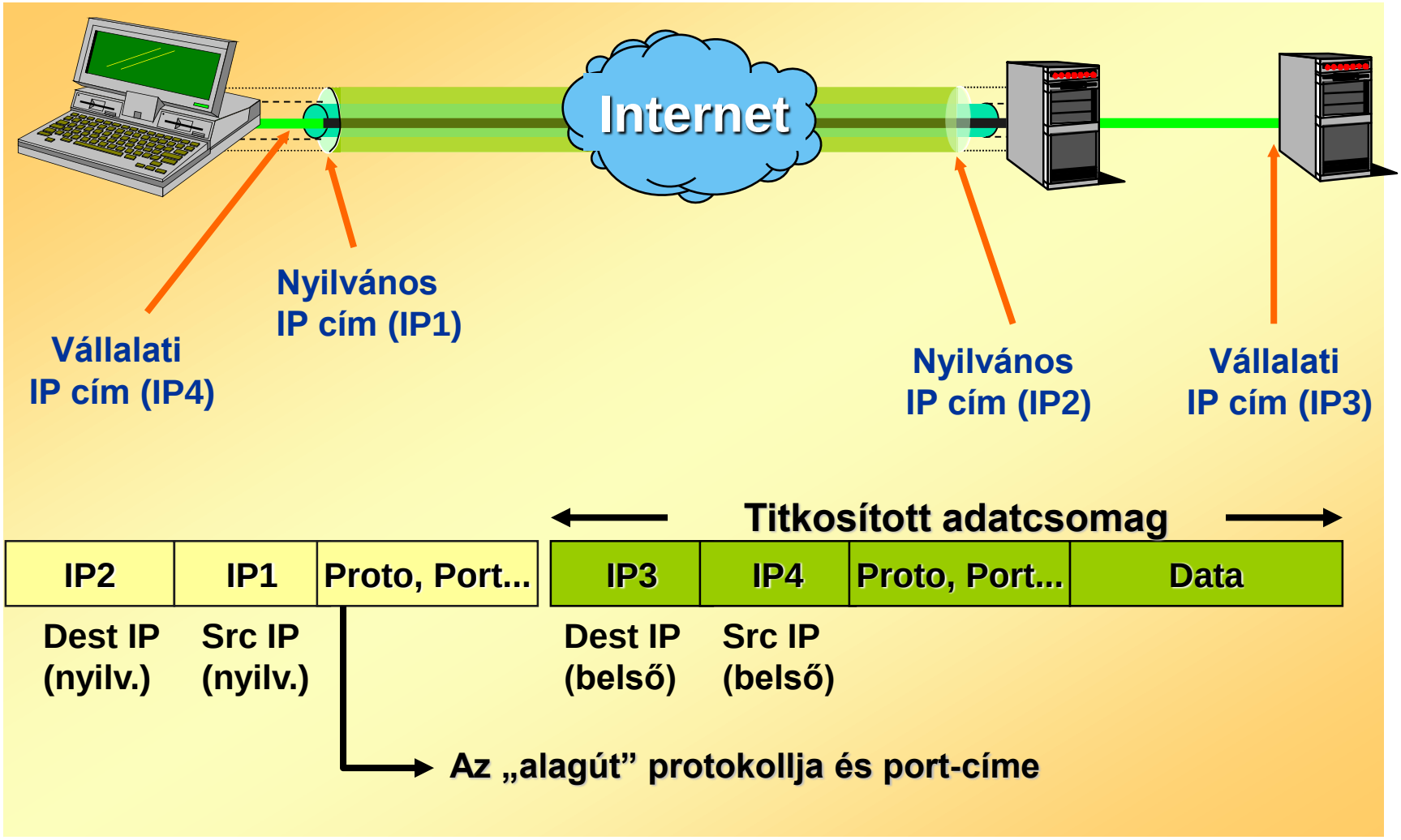
Ügyfél-kiszolgáló (Client-2-Router)

Kiszolgáló-kiszolgáló (Router-2-Router vagy LAN-2-LAN)



moldovan@tmit.bme.hu

Alagúthálózat



Alagútprotokollok: PPTP

- Point to Point Tunneling Protocol
- Azonosítás:
  - EAP (tanúsítvány), MS-CHAPv2, CHAP, PAP
- Titkosítás:
  - MPPE (Microsoft Point to Point Encryption) (= RC4)
- Kommunikáció:
  - PPTP Control Connection: TCP 1723 port
  - Adatforgalom (GRE): IP 47

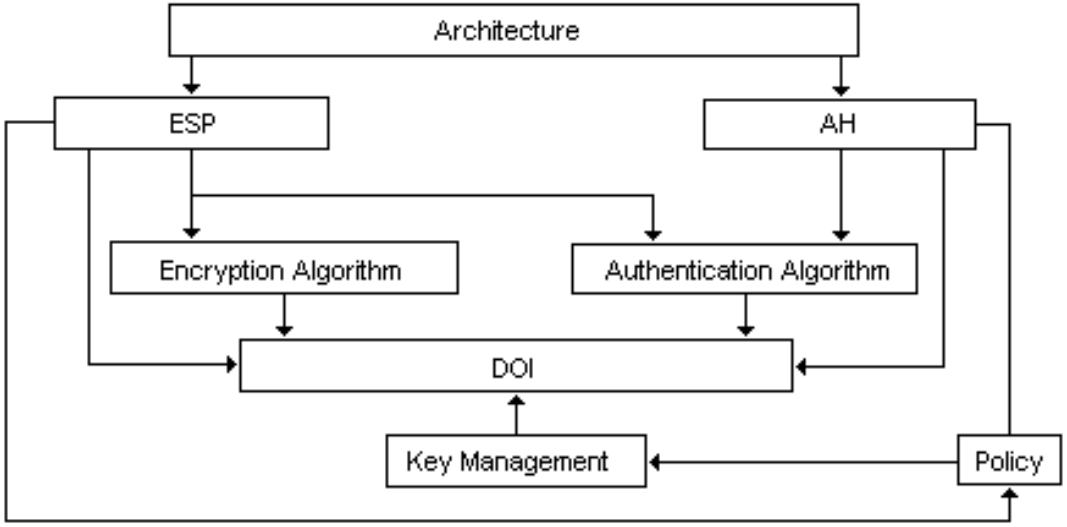
Alagútprotokollok: L2TP

- Layer 2 Tunneling Protocol (RFC 2661)
  - Cisco L2F alapokon nyugszik
  - UDP kommunikáció, 1701-es port
    - UDP – TCP forgalmat visz át, nem hatékony 2 szinten TCP
    - Az adat és a kontrollforgalomhoz egyaránt
    - Az IPSec titkosítás ezt a portot elrejti
- Azonosítás:
  - EAP, MS-CHAPv2, CHAP, PAP
- Titkosítás:
  - IPSec
- Kompatibilitás
  - Windows 2000-től beépítve
  - Windows 98/ME/NT4:

Alagútprotokollok: L2TP

- Az L2TP titkosítását az IPSec motor végzi
  - Automatikusan létrehozott IPSec Filter az UDP 1701-es portra
  - Tanúsítványalapú azonosítás
    - A sikeres csatlakozás feltétele hogy az ügyfél és a kiszolgáló rendelkezzen legalább egy, közös, mindkét fél által megbízott CA-tól származó, érvényes tanúsítvánnyal

IPSec



- RFC 2401, 2402, és 2406
- Vég-vég IP alapú adat titkosítás
- Nem NAT képes (IKE miatt, részleges megoldás van, checksum, …)
- Részei:
  - Interenet Kulccsere (Internet Key Exchange)
    - UDP 500-as port
    - Paraméter egyeztetés
    - Kulccsere
  - Azonosító fejléc (Authentication Header AH)
    - Forrás azonosítás, integritás védelem
  - Biztonsági Tartalom Beágyazás (Encapsulating Security Payload ESP)
    - Azonosítás, integritás védelem, titkosítás

SSL VPN

- Felhasználói VPN
- Virtuális tunnel interfész használata
  - Routing vagy bridging
- SSL/TLS tehnológiát használ
  - Csak TCP felett
  - A biztonságért felelős az SSL protokoll
  - Kódolás, tanúsítvány kezelés
- Megvalósítások
  - Pl. OpenVPN

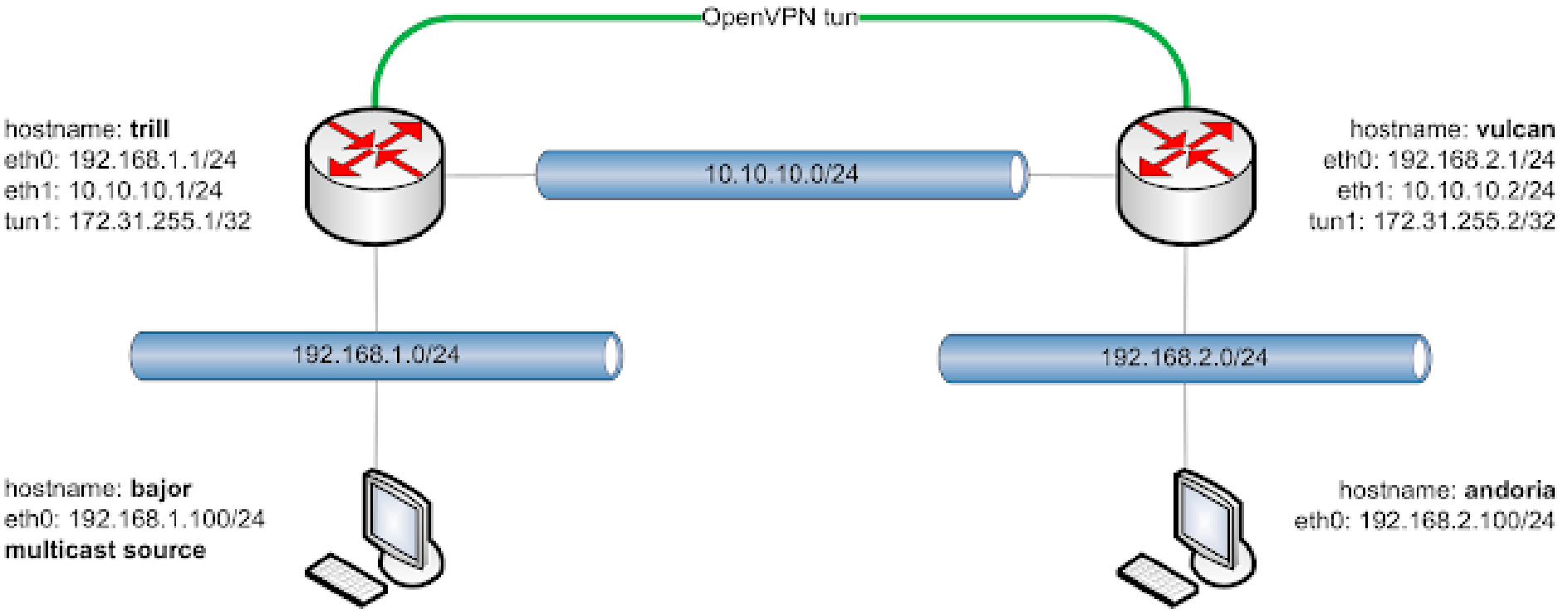
SSL VPN – működés

- A modern user-space VPN virtuális tun és tap interfészt ad a VPN végpontokon
- A forgalom a virtuális interfészre routolásával történik -> “tun0”
  - Ugyanúgy kezelhető mint egy valós interfész a célhálózat felé
  - Brctl – bridging megvalósítás
  - Tűzfalazható, stb.

User VPN – előnyök, hátrányok

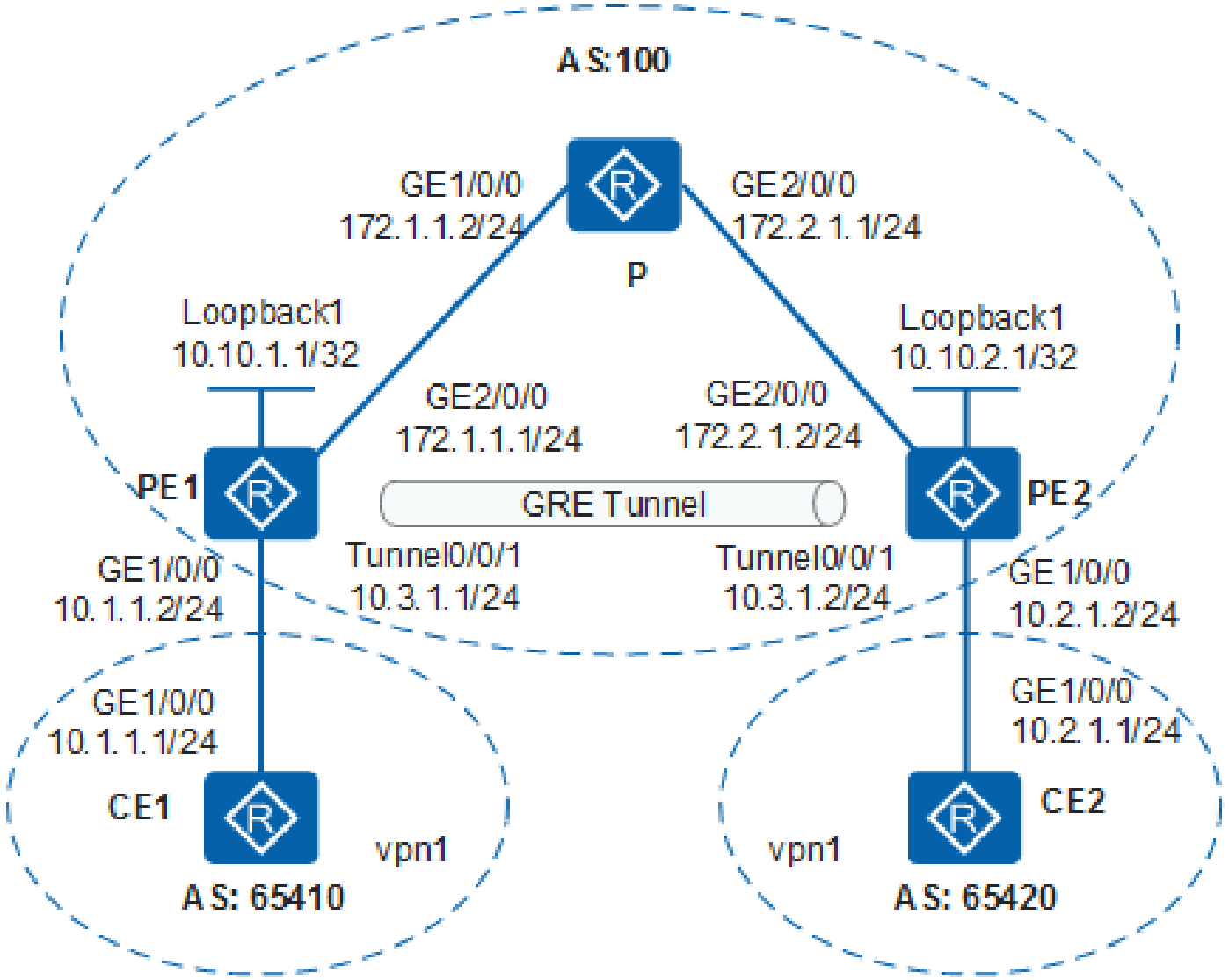
- Mikor SSL és mikor IPSec VPN?
- Az SSL VPN egyszerűbb
  - Felhasználó által menedzselhető
  - Egyszerűen konfigurálható
  - TCP – nem támogat QoS-t, UDP-t
- Az IPSec VPN komplexebb
  - Adminisztrátor állíthatja be (root jog)
  - IP szintű – QoS támogatás lehetséges
  - Transzparens a felhasználó felé

Példa: OpenVPN

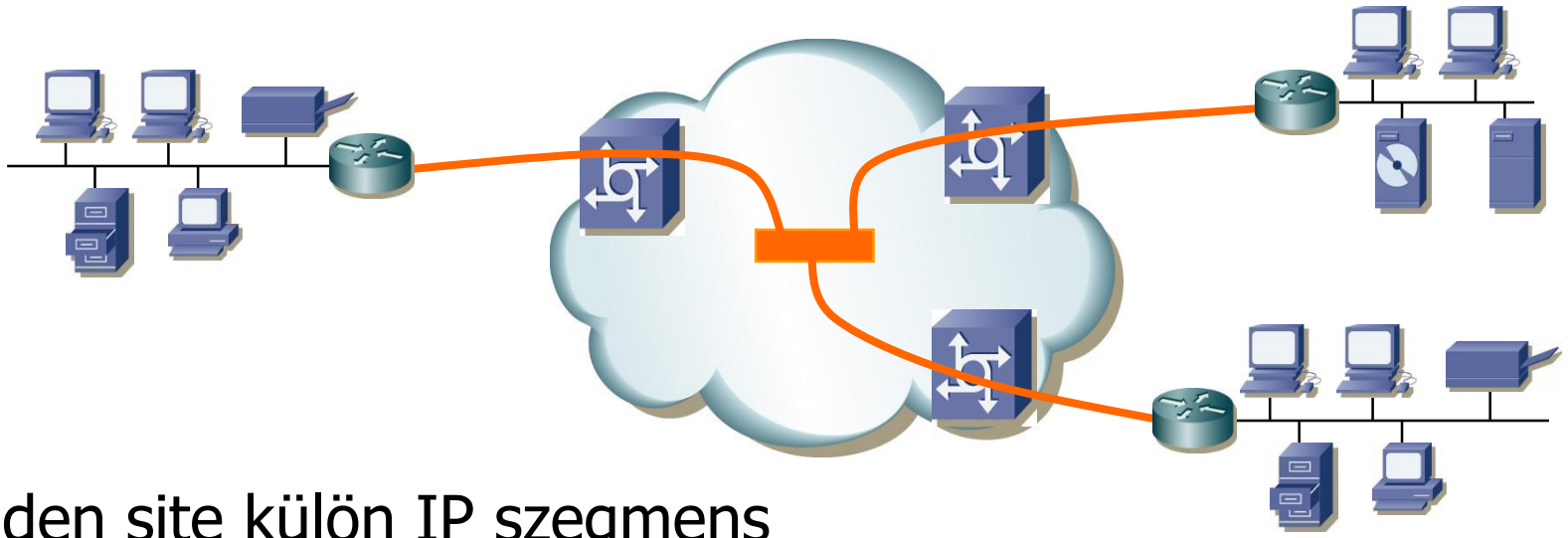


Szolgáltatói VPN-ek
Provider Provisioned VPN (PP-VPN)

Példa: L3 (IP) VPN

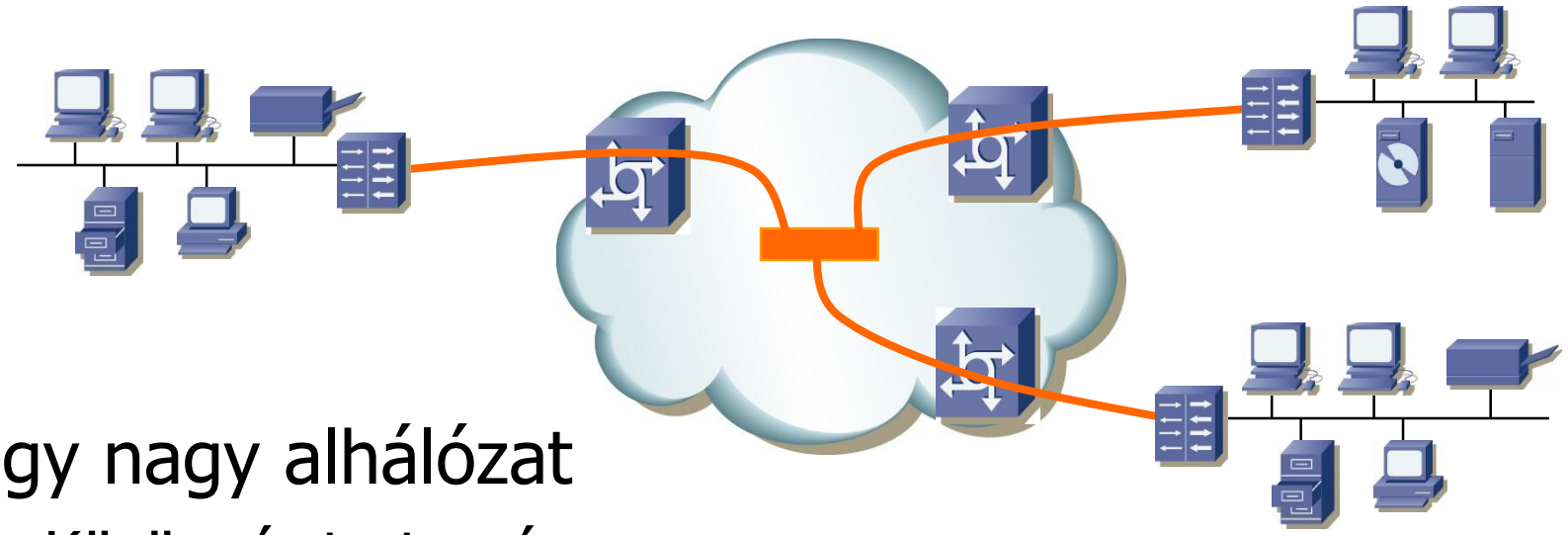


Router Inter-connect



- Minden site külön IP szegmens
  - A routerek routolnak
- Beállítások
- Kliens:
  - routerek címzése – default GW/útvonal a többi site felé
- Szolgáltató:
  - UNI alap paraméterek (BW, QoS:delay, loss), site-ok

Switch Inter-connect



- Egy nagy alhálózat
  - Közös címtartomány
- Beállítások
  - Kliens: -
  - Szolgáltató:
    - UNI alap paraméterek (BW, QoS:delay, loss), site-ok
    - MAC cím korlát/site, Broadcast/MC korlátok, L2CP kezelés

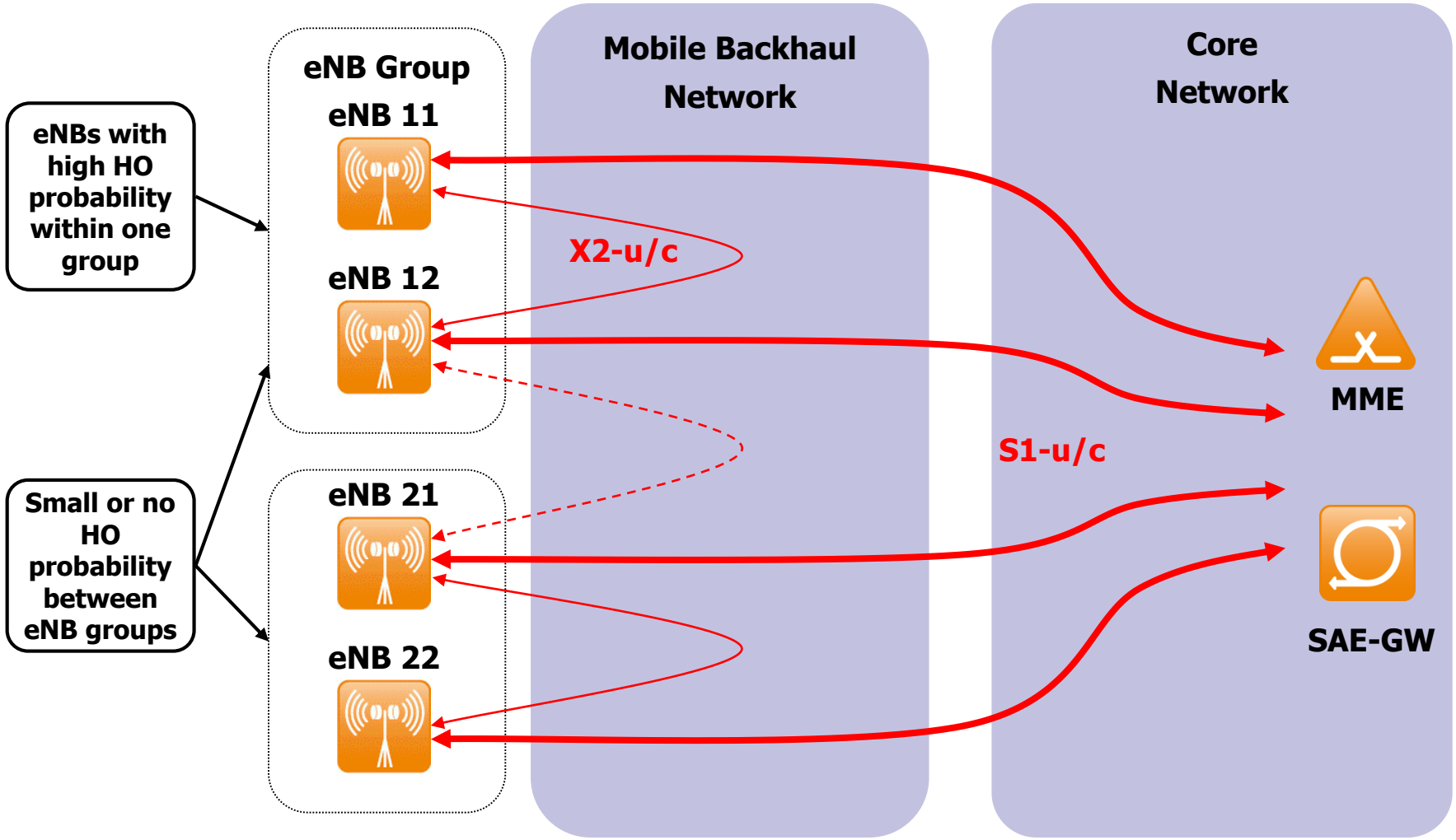
LTE – Backhaul

bérelt vonali és VPN szolgáltatások

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
TÁVKÖZLÉSI ÉS MÉDIAINFORMATIKAI TANSZÉK

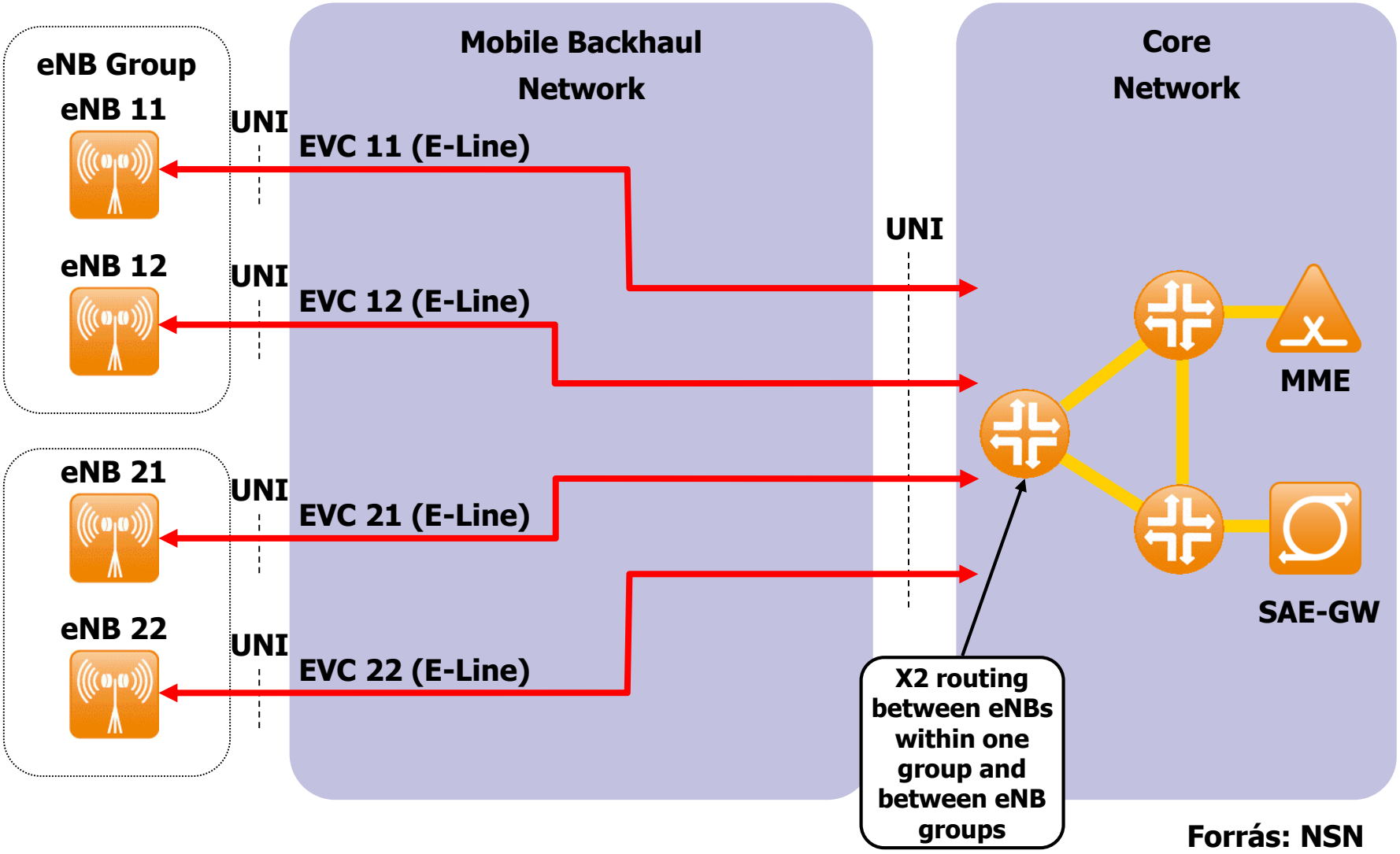
moldovan@tmit.bme.hu

LTE E2E Architecture and Connectivity



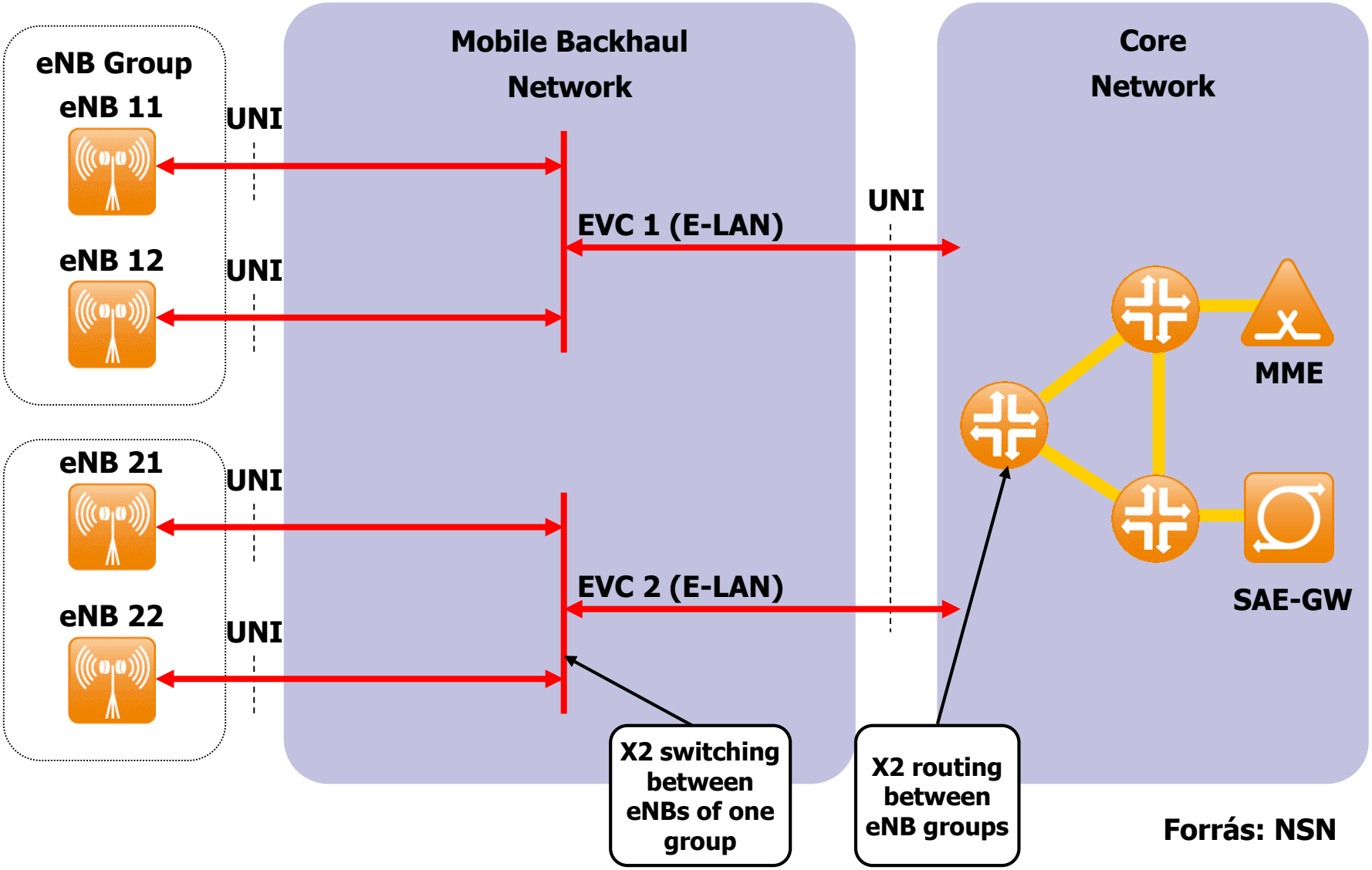
Forrás: NSN

L2 Mobile Backhaul - E-Line



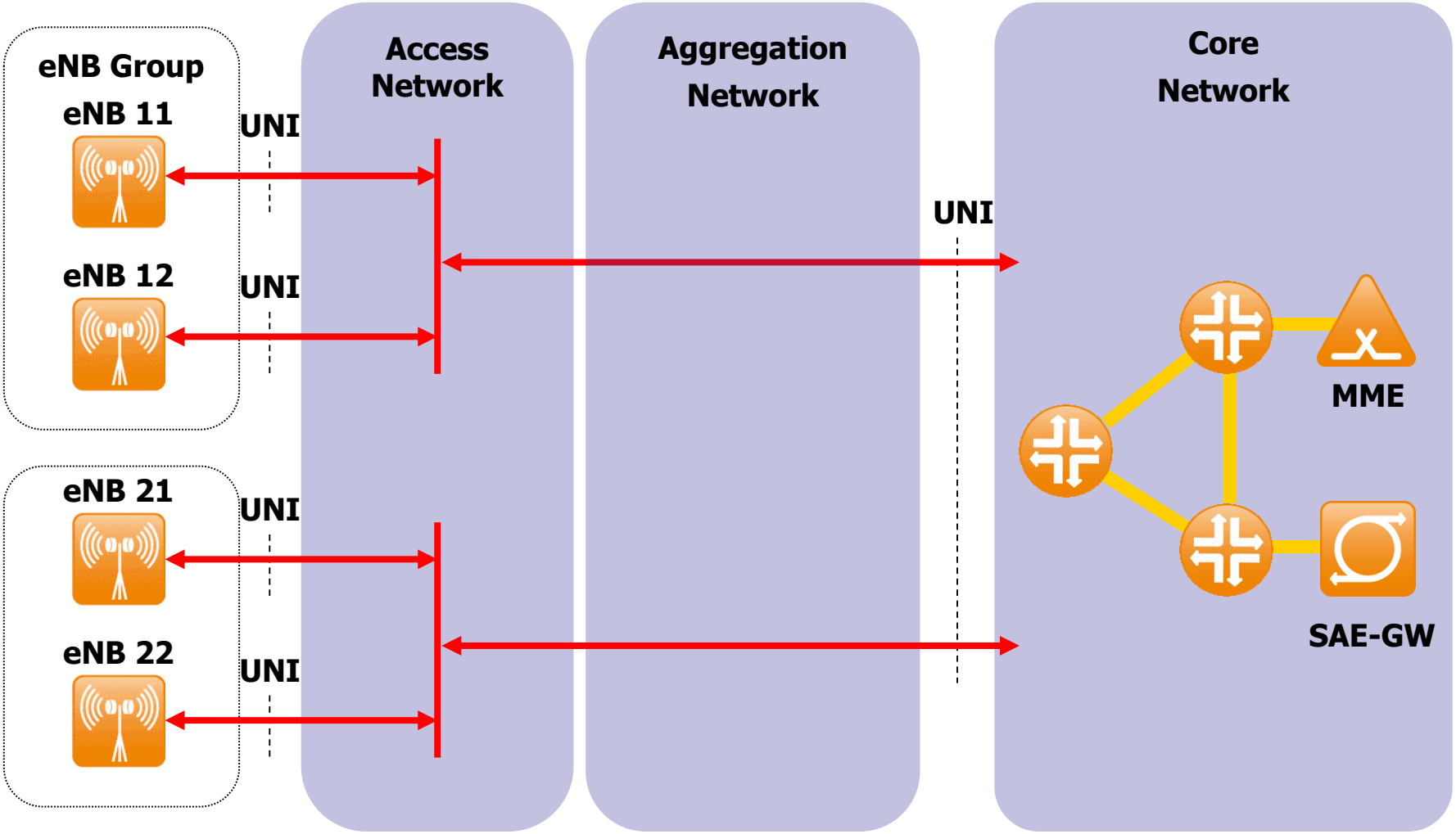
Forrás: NSN

L2 MBH - E-LAN



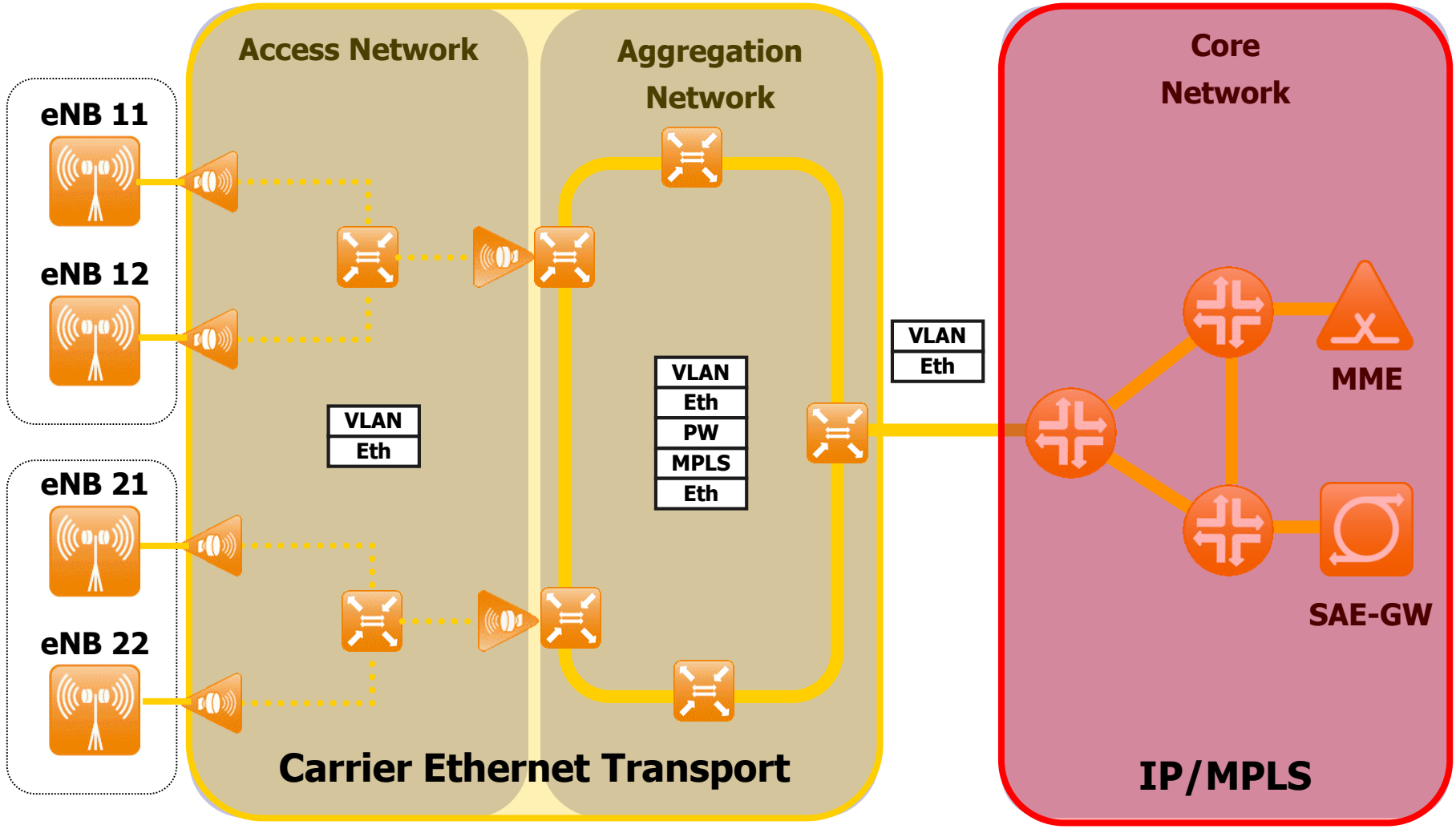
Forrás: NSN

L2 Access és Aggregációs hálózat – Logikai felépítés



Forrás: NSN

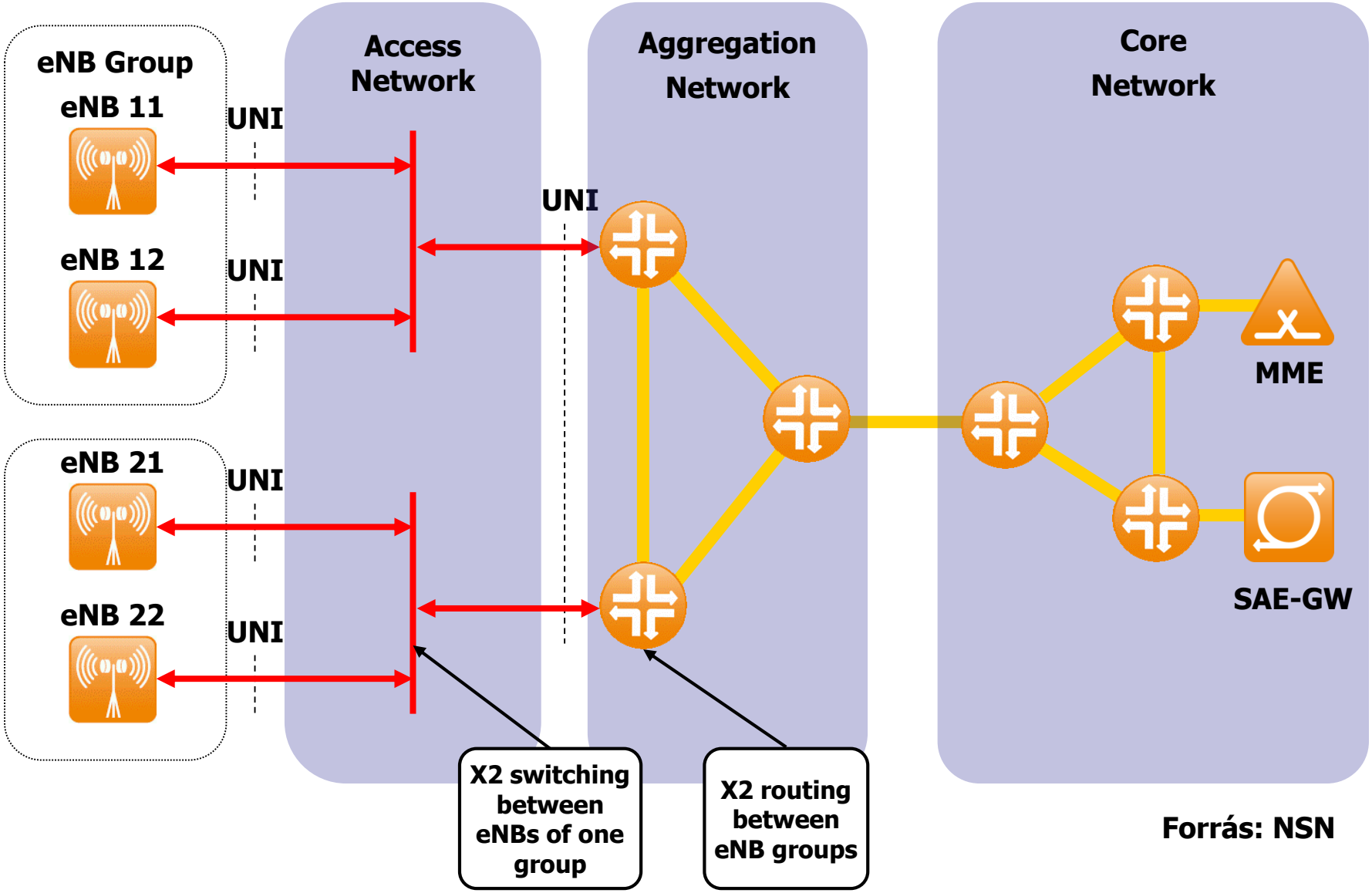
Carrier Ethernet Transport for Backhaul, IP/MPLS for Core



eNB / eNB group identification with VLAN

Forrás: NSN

Alternatíva: L2 Access & L3 Hozzáférés



Forrás: NSN

Köszönöm a figyelmet!

Hálózati Technológiák és Alkalmazások

Vida Rolland
BME TMIT

2020. október 20.

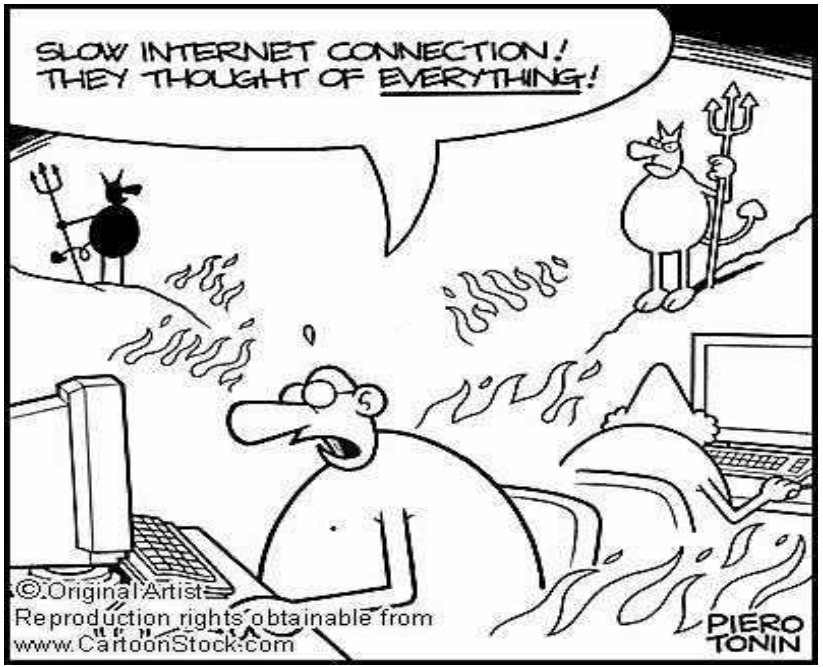
Miért kellenek mégis optikai hálózatok?

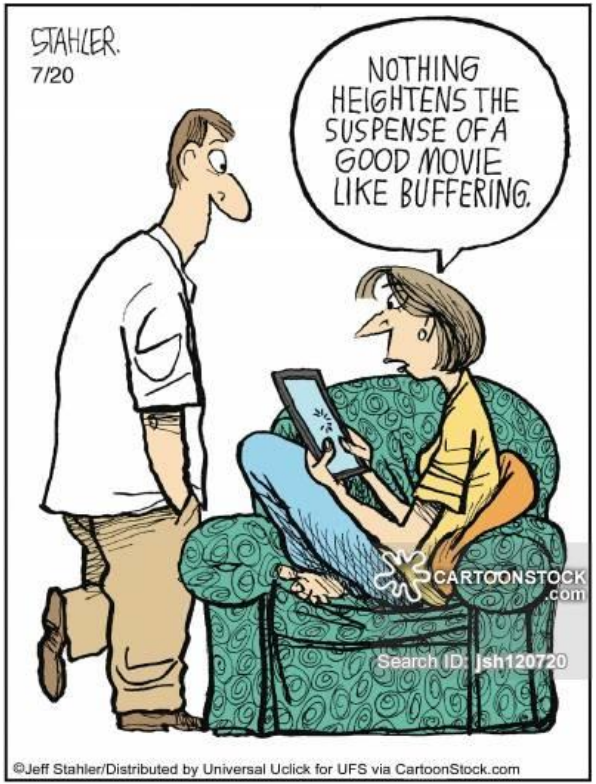
- Ma már nem a webezés, hanem a multimédia a fontos
  - MPEG-1 – ISO/IEC szabvány
    - Moving Pictures Experts Group
    - 50:1 – 100:1 video tömörítés
    - 1.5 Mbps, VHS minőségű kép
  - MPEG-2
    - DVD minőségű kép
    - Nagy felbontás, nagy színmélység, sok mozgás (pl. sportközvetítés) – 4-8 Mbps
  - HDTV – 14 Mbps, **8K UHD TV – 50 Mbps** (7680 x 4320, 60 fps)
- Az xDSL sávszélessége messze nem elegendő ehhez
  - Csak nagyon rövid helyi hurkok esetén

Miért kellenek mégis optikai hálózatok?

- HFC (Hybrid Fiber Coax)
  - A TV csatornák felett kb. 3-400 MHz sávszél downlink csatornáknak
    - 50-60 db csatorna
    - QAM-256-al 40 Mbps egy csatornán → 2 – 2.5 Gbps sávszél
    - 100-200 ház egy kábelen → mindenkinek jut 10-20 Mbps downstream
  - Szépen hangzik, de...
    - Minden kábelt le kell cserélni 850 MHz-es koaxra
    - Új fejállomások, új fényvezető csomópontok (fiber node), kétirányú erősítők
    - Szinte a teljes kábelhálózati rendszert le kell cserélni
- **Akkor miért ne legyen minél több fényvezető szál benne?**

A kis sebesség ma már kínzás!!





Adatátvitel fényvezető szálon

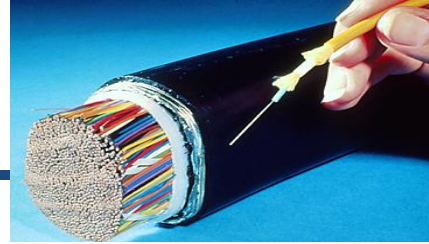
- Három fő komponens:
  - **Fényforrás**
    - LED (light emitting diode), félvezető lézer
  - **Átviteli közeg**
    - Rendkívül vékony üvegszál
  - **Fényérzékelő (detektor)**
    - fény hatására elektromos impulzusokat állít elő
- Az adatátviteli sebességet az átalakítás sebessége határozza meg
  - A gyakorlati sebesség egy szálon ma 10-50 Gbps

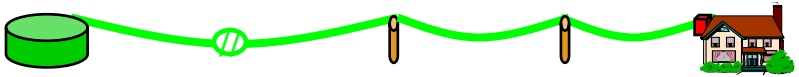
Fényvezető szálak

- Többmódusú szál
  - A fényimpulzusok hosszanti irányban szétszóródnak a szálban
  - Egyszerre több, különböző szögben visszaverődő fénysugár halad
  - Olcsó megoldás, de csak kis távolságokra hatékony (500 m)

- Egymódusú szál
  - Ha az üvegszál átmérője nagyon kicsi, a fény visszaverődés nélkül, egyenesen terjed
  - Jóval drágább a szál, és nagyobb kapacitású, jobb lézereket igényel
  - Nagyobb távolságok áthidalására sokkal jobb
    - 50 Gbps 100 km távolságba erősítés nélkül
    - A transzatlanti optikai kábeleknél nagyon fontos, hogy kevés erősítő legyen
  - A gerinchálózatban csak egymódúsú szálakat használnak

Fiber vs. Réz érpár



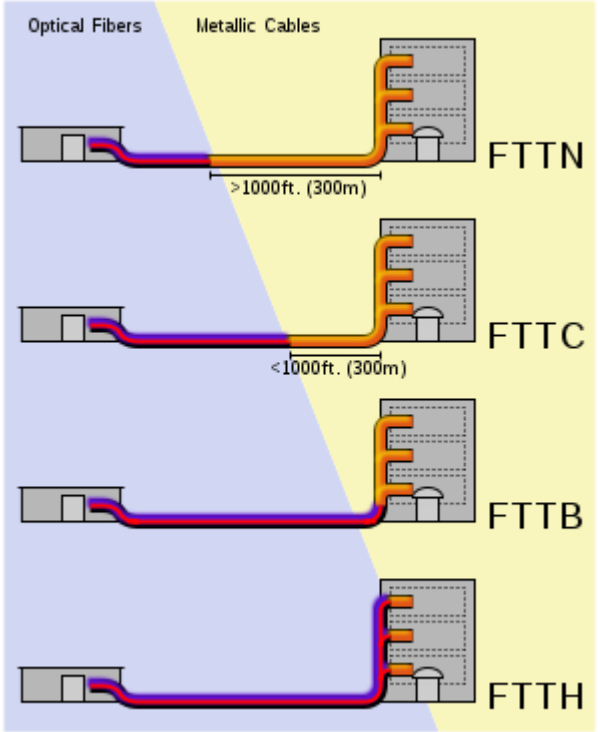


- Optikai kábel
  - Fényjelekkel működik
  - Nem érzékeny az elektromágneses interferenciákra
  - Ismétlők kb. 30 km után
  - Kismértékű hőtágulás
  - Törékeny, viszonylag merev anyag
  - Kémiailag stabil

- Réz érpár
  - Elektromos hullámok
  - Érzékeny az elektromágneses interferenciákra
  - Ismétlők 5 km után
  - Nagymértékű hőtágulás
  - Hajlítható anyag
  - Érzékeny a korrózióra és galvanikus reakciókra
  - Újrahasznosítható
    - Jó pénzért el lehet adni a rezet

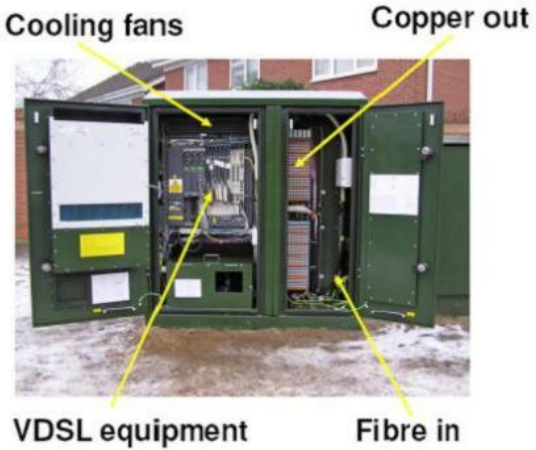
FTTx

- FTTx – Fiber To The x
  - FTTN – Fiber To The Neighborhood
  - FTTC – Fiber To The Curb
  - FTTB – Fiber To The Building
  - FTTH – Fiber To The Home
  - …
  - FTTO – Fiber To The Office
  - FTTD – Fiber To The Desk
  - FTTE – Fiber To The Enclosure
  - FTTP – Fiber To The Premises
  - FTTU – Fiber To The User



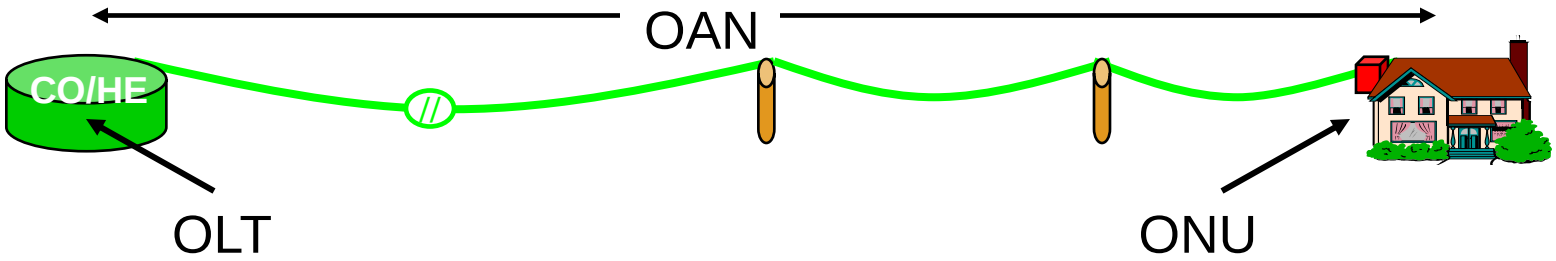
FTTC/FTTB

- Fiber To The Curb / Building
  - Üvegszál az elosztódobozig / épületig
- Üvegszál a helyi központból minden lakókörzetig
  - A szál egy ONU-ban végződik
    - Optical Network Unit – optikai hálózategység
  - Több helyi rézhurok, koax, Ethernet kábel csatlakozhat hozzá
    - Nagyon rövid hurkok, lehetséges szimmetrikus nagysebességű kiterjesztés
      - Pl. VDSL – Dél-kelet Azsiában nagyon elterjedt
    - Alkalmas MPEG-2 átvitelre, videokonferenciázásra
    - Az FTTC/FTTB maga szimmetrikus átviteli sebességeket biztosít



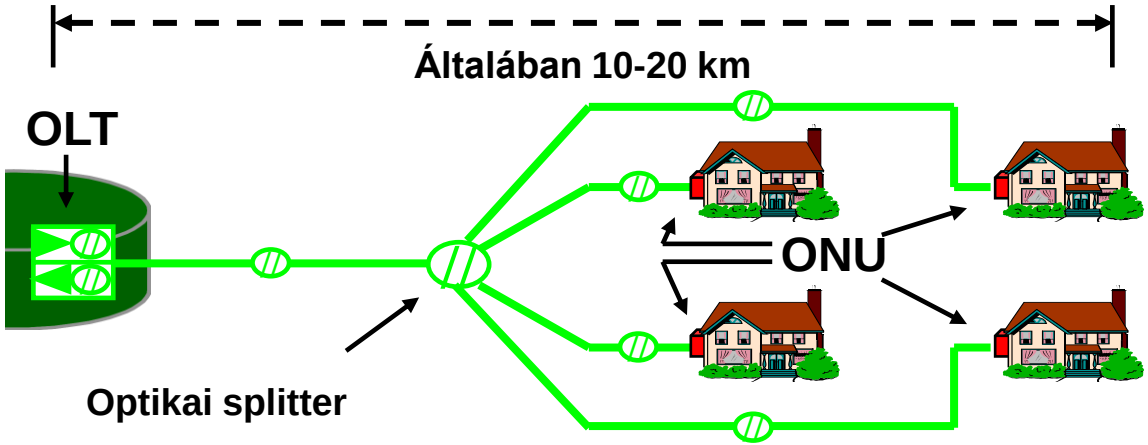
FTTH – Fiber To The Home

- Rendszerelemek
  - OAN: Optical Access Network
    - Optikai hozzáférési hálózat
  - ONU/ONT: Optical Network Unit/Terminal
    - Az előfizető otthonában
  - OLT: Optical Line Termination
    - végződtetés a szolgáltató hálózatában



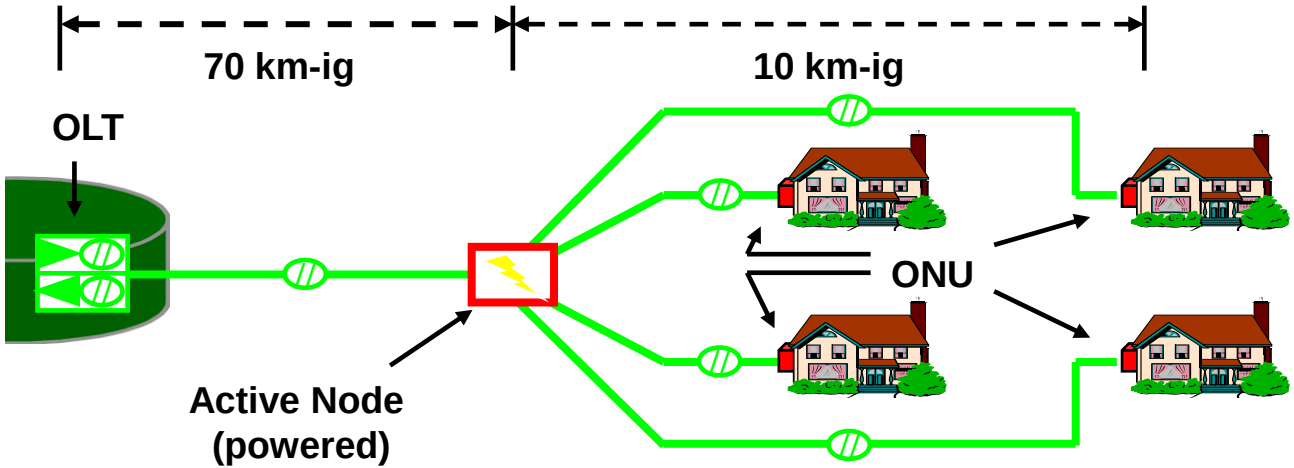
FTTH architektúrák

- **PON – Passive Optical Networks**
  - Több felhasználó megoszt egy fényvezető szálat
  - Optikai splitter-ek a jel szétválasztására és aggregálására
  - Áramellátás csak a végeknél szükséges
  - Osztott hálózat – Point to Multipoint (P2MP)



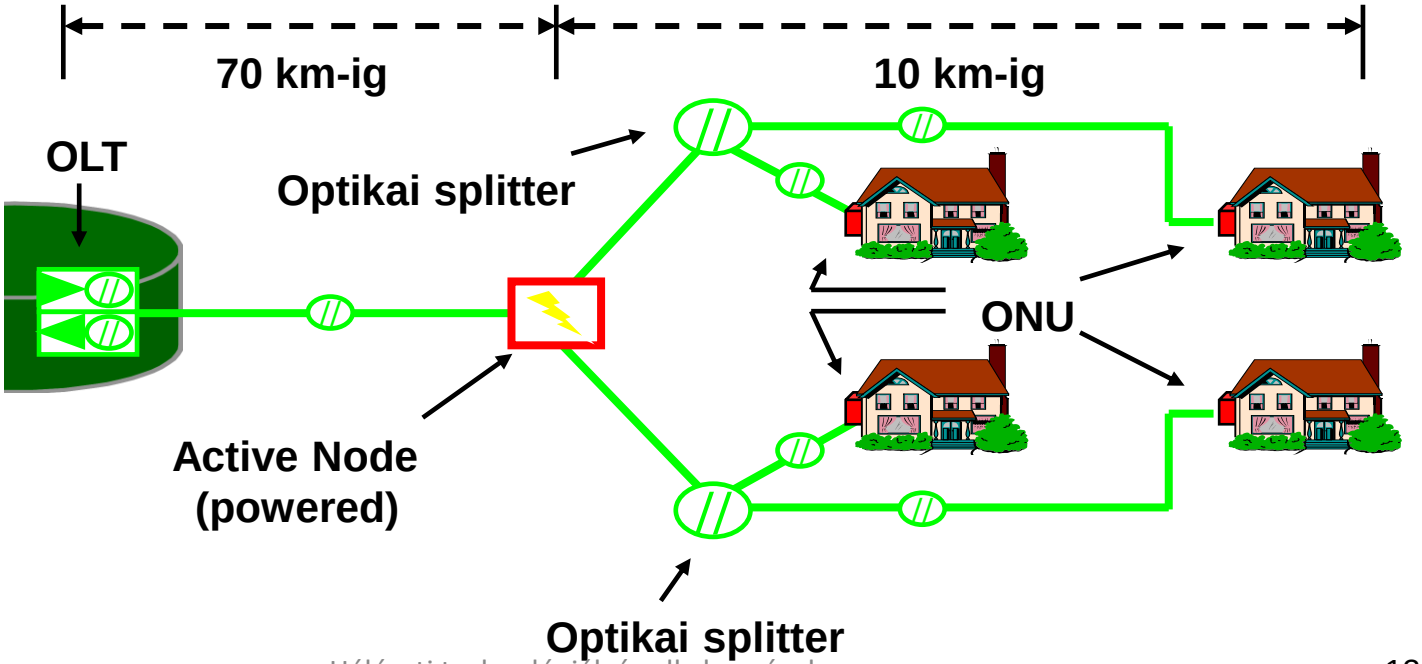
FTTH architektúrák

- **Active Node (AON)**
  - Az előfizetőknek saját fényvezető száluk - Point to Point (P2P)
  - Aktív, árammal táplált csomópontok a forgalom elosztására - Ethernet switch



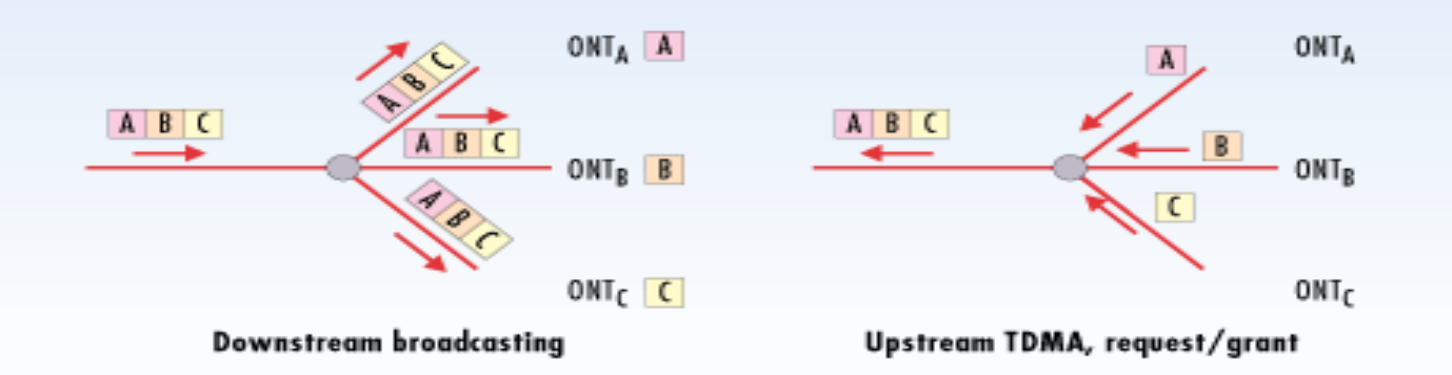
FTTH architektúrák

- **Hybrid PON**
  - Az előbbi két architektúra kombinált változata



TDM-PON le- és feltöltés

- A le- és feltöltés nem egyformán működik
  - A letöltés broadcast
    - A splitter minden szálra kitesz minden csomagot
    - Az ONU csak azt a csomagot kezeli melyet neki címeztek (fejléc alapján)
  - A feltöltés TDMA-t használva történik
    - Az OLT időszeleteket oszt ki az ONU-knak
    - Szinkronizált csomagküldés
    - Időszeletek kiosztása igénylések függvényében



Ethernet vagy ATM alapú TDM-PON?

- Két külön technológia vetélkedik egymással
  - APON – ATM-based PON
    - Az első PON implementáció
  - EPON – Ethernet-based PON

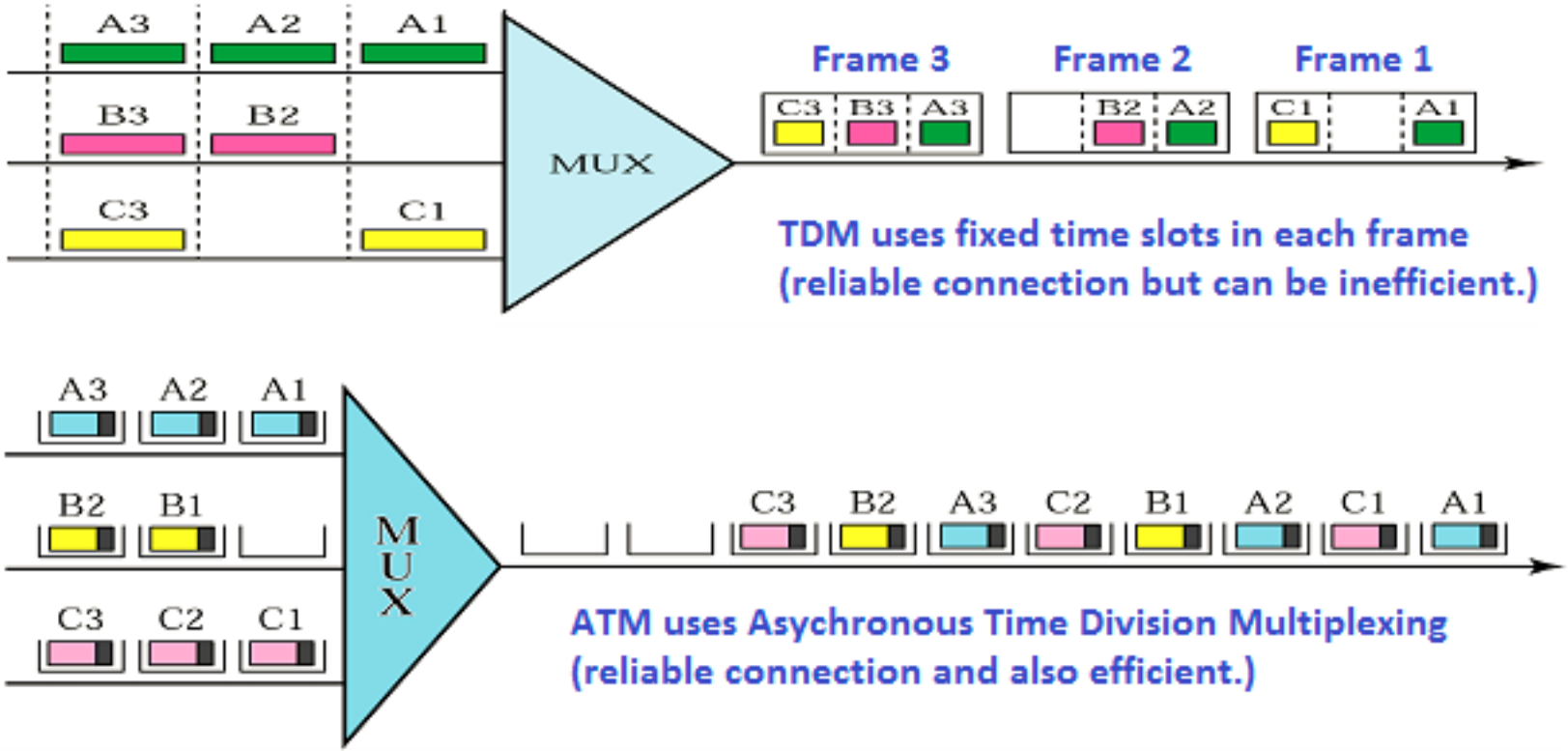
ATM (Asynchronous Transfer Mode)

- A különböző típusú forgalmak (audio, video, data) párhuzamos átvitelére találták ki
  - Az 1500 byte-os Ethernet csomagok túl nagyok
    - 1.500 byte = 12.000 bit
    - 10 Mbps-os Etherneten 0.1 µs bit time → 1.2 ms / keret
  - Ha több forrás (gép vagy alkalmazás) áll sorban, túl nagy várakozási idők
- Az audio és video alkalmazásoknak szoros **késleltetés (delay)** és **késleltetés-ingadozás (jitter)** követelményei vannak

ATM (Asynchronous Transfer Mode)

- ATM megoldás
  - Fix méretű **ATM cellák**: 5 byte fejléc + 48 byte adat = **53 byte**
  - **Segmentation and Reassembly (SAR)**
    - Változó méretű keretek feldarabolása, majd visszaállítása a vevőnél, a fejléc alapján
  - **Asynchronous Time Division Multiplexing**

ATM (Asynchronous Transfer Mode)



APON

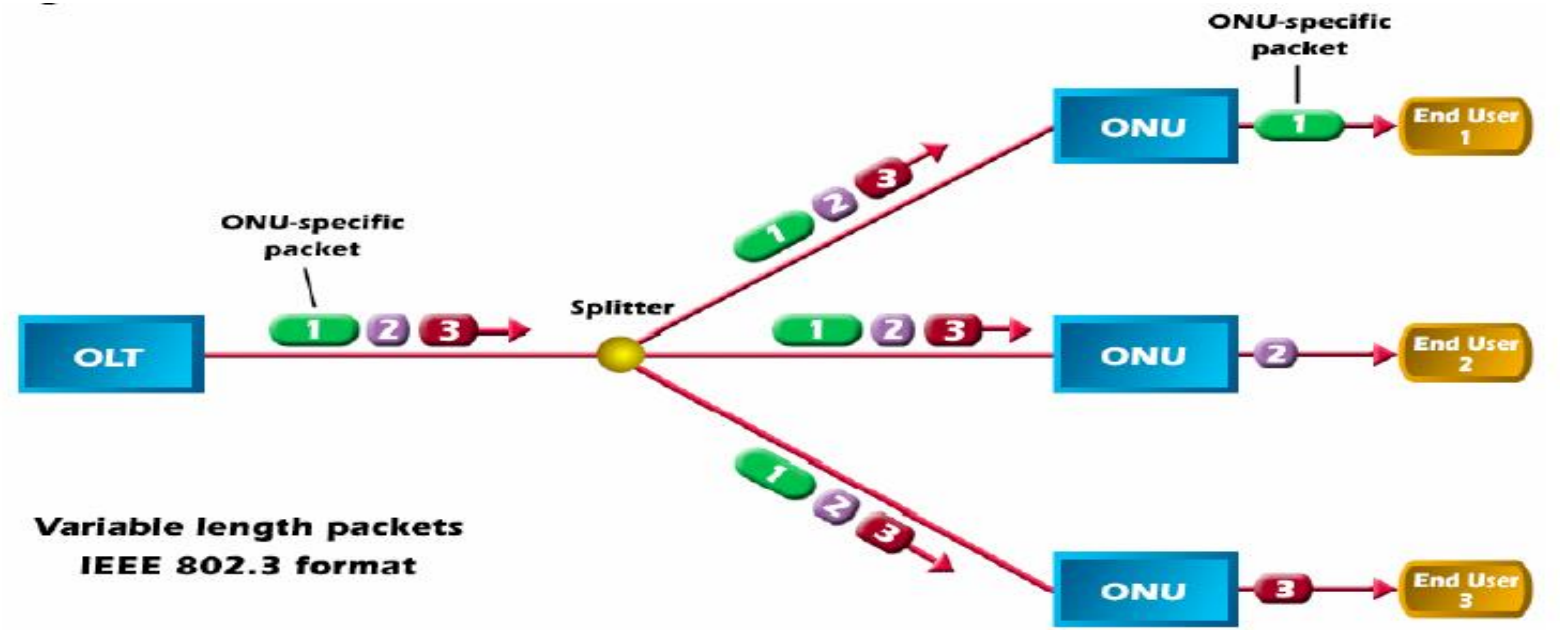
- Segmentation and Reassembly (SAR)
  - Fix hosszúságú csomagok
    - 53 byte-os ATM cellák
  - Az adatok átmennek egy ATM Adaptation Layer-en (AAL) ahol 48 byte-os darabokra osztják őket
    - Plusz 5 byte a fejléc
  - A címzettnél az eredeti forgalmat újból összerakják
- A SAR miatt az ATM kifejezetten alkalmas video, hang és adatátvitelre
  - A kis, fix hosszúságú cellákban jól lehet késleltetésre érzékeny forgalmat szállítani
  - A procedúra időigényes, az 5 byte-os fejléc pedig nem hatékony (10%-os overhead)
- A fix hosszúságú cellák jól illeszkednek a PON TDMA alapú feltöltéséhez
  - Könnyű az időszeletek kezelése

EPON

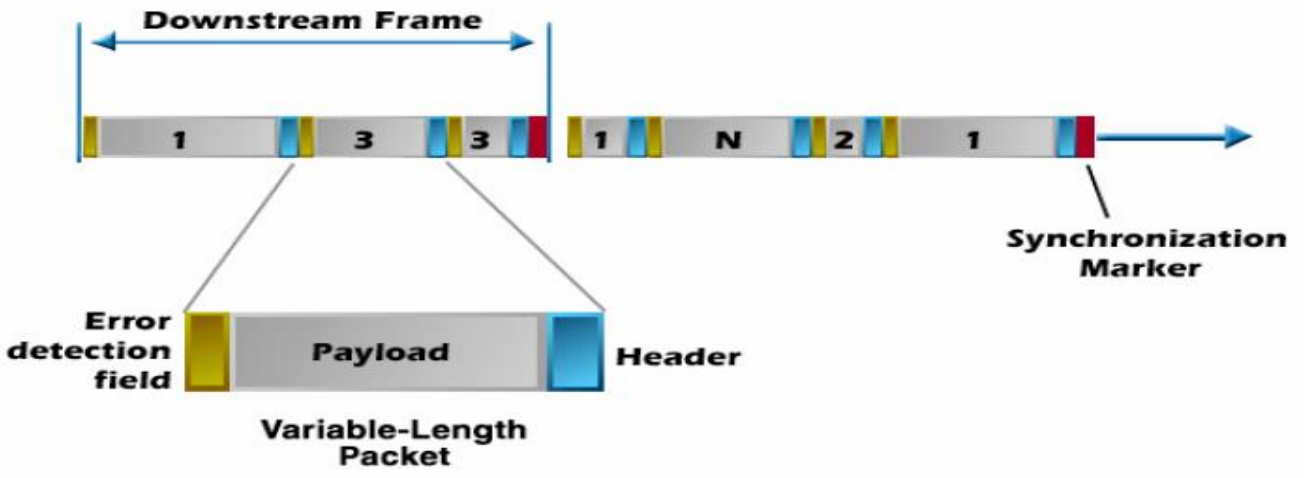
- Az adatok az IEEE 802.3 (Ethernet) formátumot használják
  - Változó hosszúságú csomagok 64 és 1518 byte között

- Hogyan oldjuk meg a TDMA alapú feltöltést?
  - fix hosszúságú időszeletek, melyekbe több csomagot be tud rakni az ONU
    - Javít a hatékonyságon
    - Nehéz változó hosszúságú csomagokkal jól feltölteni egy fix hosszú időszeletet

EPON downstream forgalom

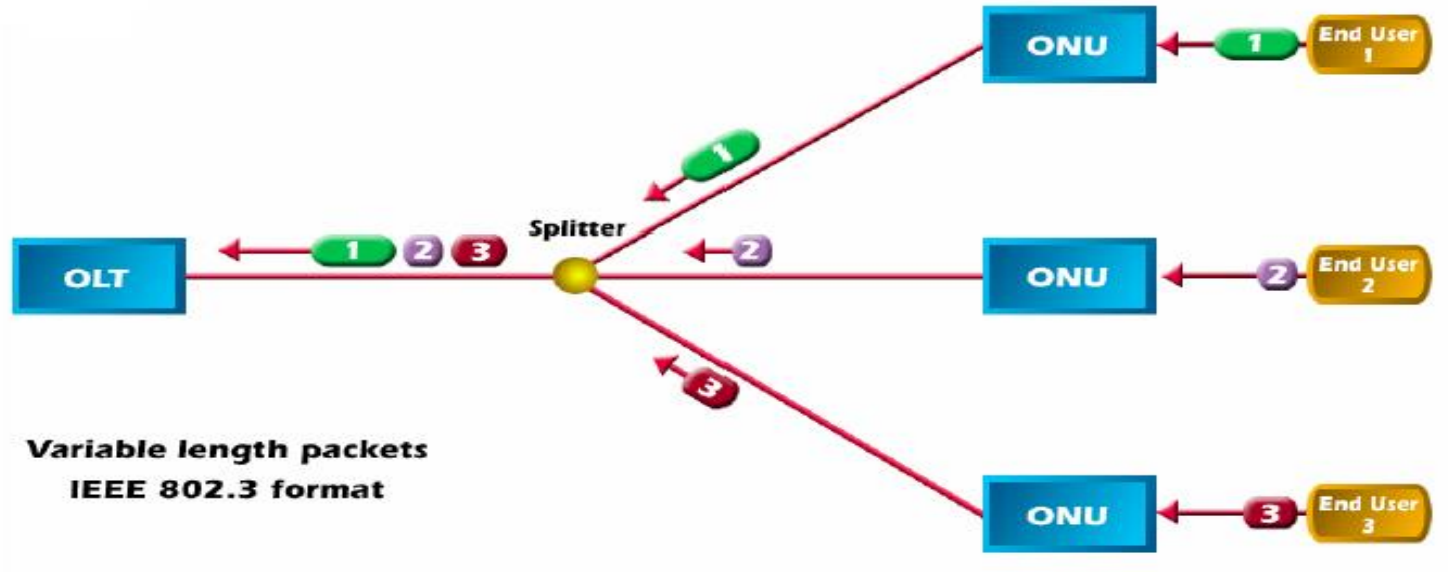


EPON downstream csomagok

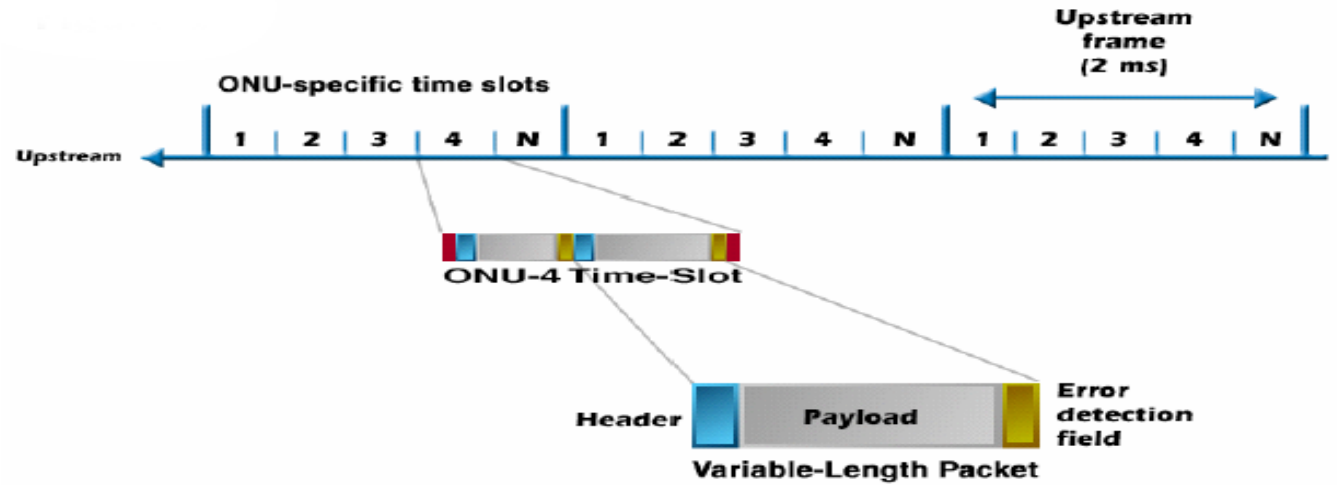


- Fix időközönként (2ms) küldött frame-ek, változó hosszúságú csomagokkal
- Szinkronizációhoz szükséges információ minden frame előtt
- Minden csomag fejléce megmondja ki a címzett
- Hibaellenőrző információ a csomag végén

EPON upstream forgalom



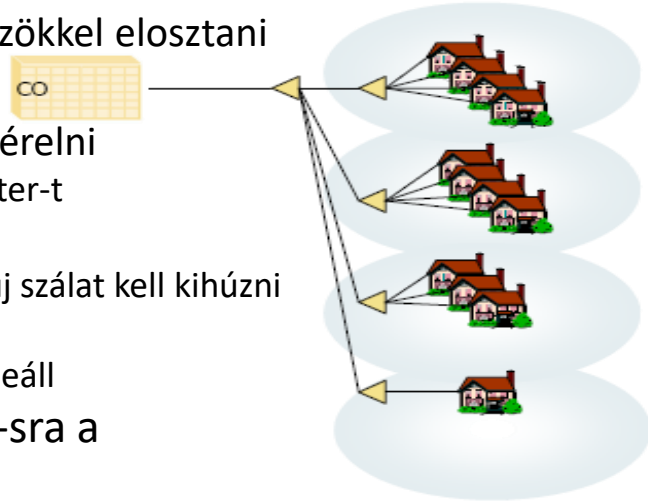
EPON upstream csomagok



- Az upstream forgalom frame-ekre (2ms) osztva
- Minden ONU-nak van egy saját időszelete, melyet változó hosszúságú csomagokkal tölthet fel

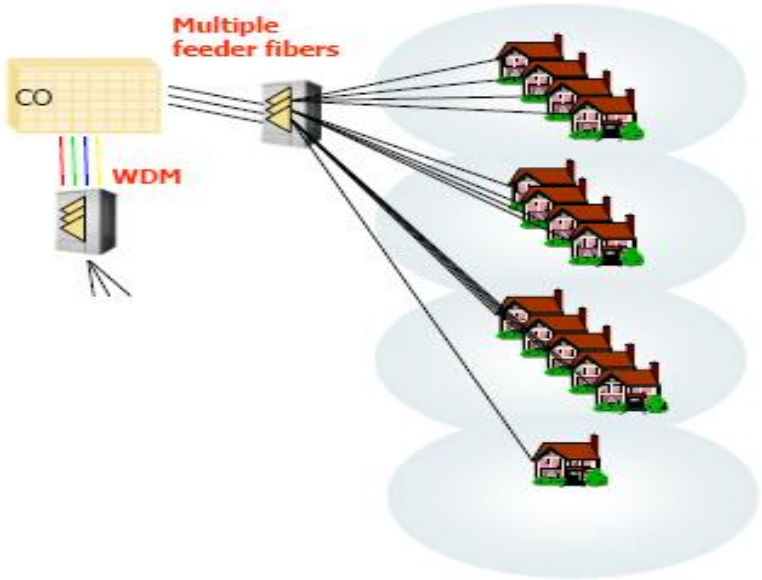
Hagyományos PON

- Az alapötlet:
  - Mindenkinek nem éri meg külön szálat kihúzni az OLT-től
  - Elég egy szálat közel vinni a felhasználókhoz, majd passzív eszközökkel elosztani
- Hátrányok
  - A splitter-ekben nincs intelligencia, nem tudod őket távolról vezérelni
    - Ha valami hiba van, nem könnyű egyenként megnézni minden splitter-t
  - Nem flexibilis
    - Ha egy 4-es splitter-en keresztül csatlakozol, egy 5-ik előfizetőnek új szálat kell kihúzni
    - Újratervezni a hálózatot, betenni egy nagyobb splitter-t
    - Egy splitter cseréjénél minden downstream előfizető szolgáltatása leáll
- Megoldás: ha 1x32-es splittert használsz, ne tervezd 32 ONU-sra a hálózatot, csak 16-osra vagy 24-esre
  - Van hely bővítésre
  - A maradék 16-nak többe fog kerülni a szolgáltatás



Passive Star PON

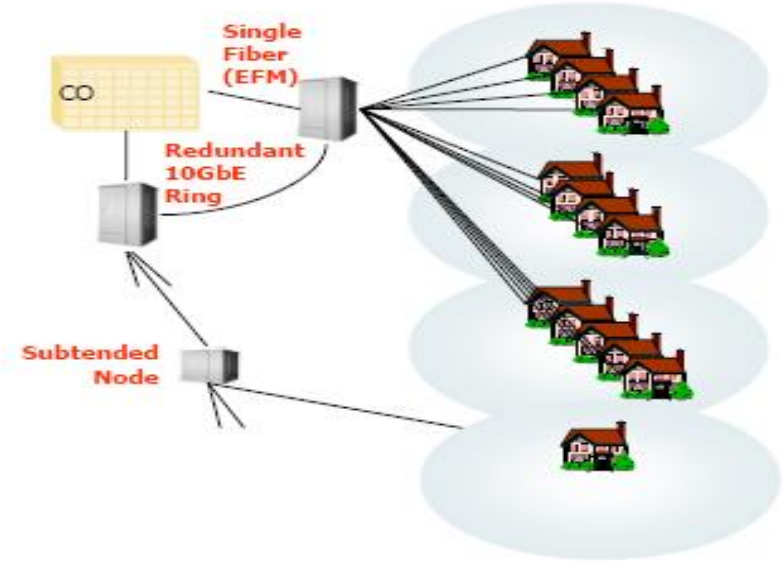
- A splitter-ek egy dobozban csoportosítva
  - Egyszerűbb a hibaelhárítás
- Továbbra is fa struktúra
  - Ha a splitter és a CO közötti szál meghibásodik, nincs backup
  - A splitterek passzívak, nem tudnak átváltani egy új útvonalra hiba esetén



Active Star

- Hátrány az aktív (árammal ellátott) node szükségessége
- Sok szempontból előnyös intelligens eszközöket használni a hálózat szélén
  - Az aktív node IGMP* proxy-ként működhet
    - Multicast forgalom támogatása
    - Hatékony erőforráskihasználás
  - Hibatűrő megoldás
    - Az aktív node-ok gyűrűbe kötve
    - Ethernet Protection Switching Rings (EPSR)
    - 50 ms alatti váltás hiba esetén
      - Video esetén pillanatnyi kockás kép
      - Egy telefon kapcsolat nem szakad meg
  - Könnyen menedzselhető, könnyű hibaelhárítás

*IGMP- Internet Group Management Protocol

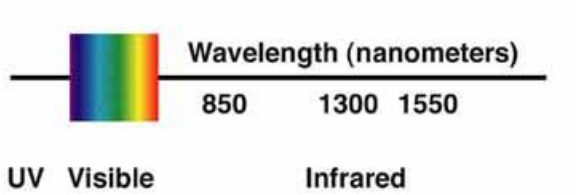


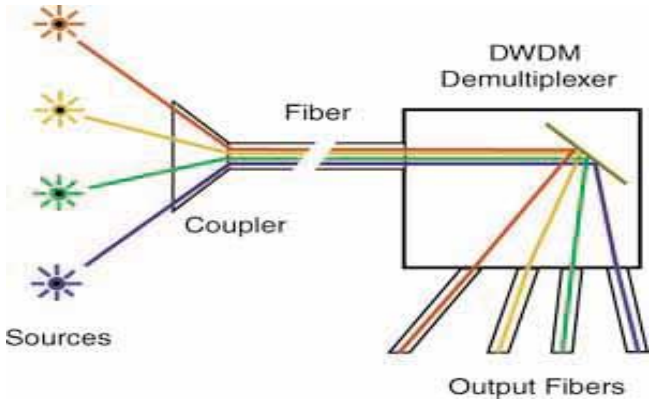
Újabb TDM-PON verziók

- **Broadband PON (BPON)**
  - 622 Mbps downstream, 622 Mbps upstream
- **Gigabit PON (GPON)**
  - Több downstream/upstream változat
    - Legelterjedtebb az 2.48 Gbps dowsntream és 1.244 Gbps upstream
- **XGPON (10G-PON)** – 2010

Hullámhossz osztás – WDM-PON

- WDM – Wavelength Division Multiplexing
  - Több hullámhossz (szín, frekvencia) ugyanazon az üvegszálon
  - Akár 160 szín
    - 10 Gbit/s szálon elméletileg 1.6 Tbit/s
- WDM-PON
  - Ötvözi a TDM-PON és az AON előnyeit
  - Virtuális P2P kapcsolat minden ONU-nak
  - Alacsonyabb késleltetés mint a TDM-PON-ban

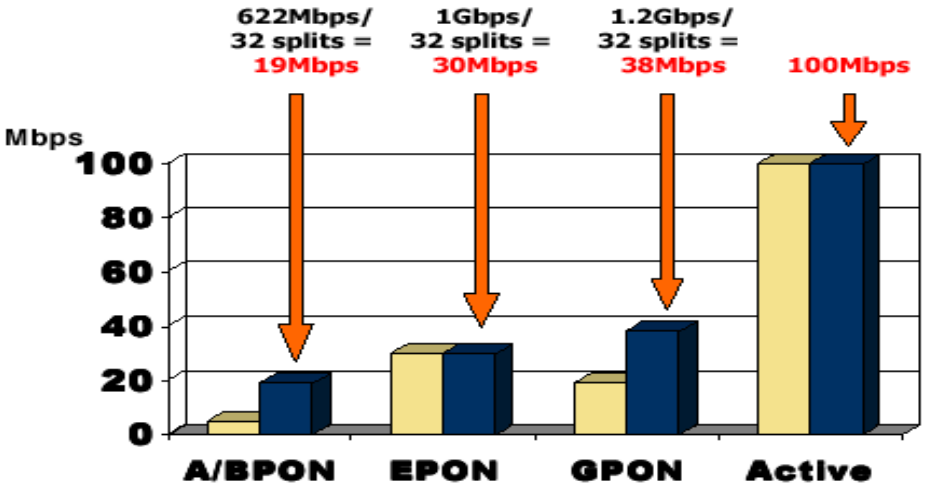




WDM-PON verziók

- Nincs szabványosított megoldás
  - Lehet dedikált uplink és downlink hullámhossz minden ONU-nak
  - Lehet adaptívan hozzárendelni a hullámhosszokat az ONU-khoz, igény alapján – adaptív lézerek
  - Lehet több ONU ugyanazon a hullámhosszon, ott TDM-et használva
  - Composite PON (CPON) – WDM technológia downstream irányban, TDMA upstream irányban

Adatátviteli sebességek összehasonlítása



- PON megoldásoknál kisebb sebességek
  - Osztott rész az OLT és az első splitter között
  - Valamivel jobb a helyzet ha nem telített a splitter
    - Nem 32-be, hanem csak 16-ba vagy 24-be kell osztani
- Active Node-nál mindenkinek saját fényvezető szála
  - Magánfelhasználóknak általában 100 Mbps mindkét irányban
  - Üzleti előfizetőknek akár több Gbps

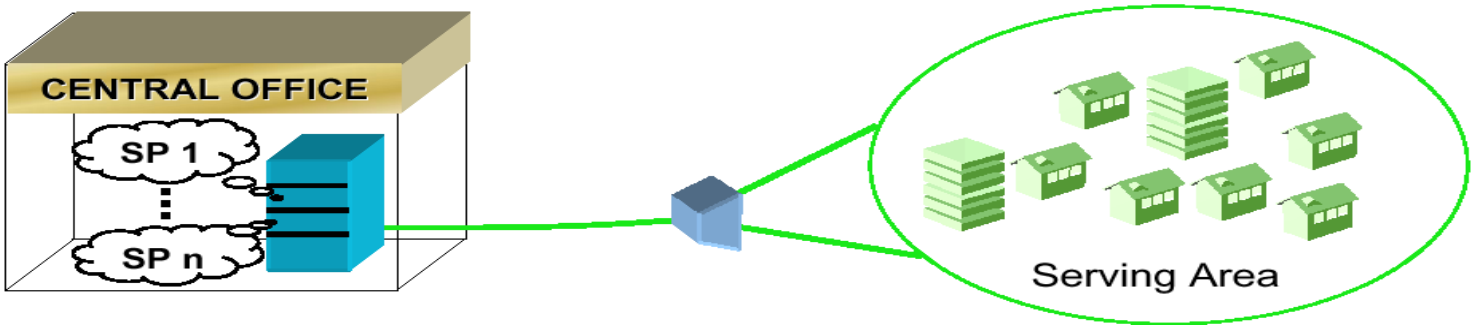
FTTx szolgáltatás

- Két szolgáltatási modell
  - Saját hálózat
    - Az FTTx szolgáltatások nagy része
    - A hálózat tulajdonosa egyenesen a felhasználóknak adja el a szolgáltatást
    - Hagyományos telefon és kábeltévé szolgáltatási modell
  - Nyílt hozzáférés
    - Több országban törvényi szabályozás miatt
    - A hálózat tulajdonosa átadja az infrastruktúrát több viszonteladó szolgáltatónak, ők szerződnek a felhasználókkal

Nyílt hozzáférés (Open Access)

- A tulajdonos egyenlő feltételek mellett adja át a hálózatát különböző szolgáltatóknak (Telco, ISP, video szolgáltató, stb)
  - Saját maga nem lép be a versenybe

- Általában önkormányzati, városi hálózatok
  - A hálózati infrastruktúra közszolgáltatásnak számit
    - Úgy mint a víz, az áram vagy az úthálózat



Open Access példák

- Sok önkormányzati Open Access hálózat Nyugat Európában és főként Skandináviában
  - Stokab (Stockholm) – az első önkormányzati FTTx hálózat (1996)
  - Vasterbotten – vidéki régió, fele akkora mint Hollandia, 260.000 lakos
    - 15 önkormányzat összekötve egy FTTx hálózaton
  - Svédországban 289 önkormányzat, több mint 200-nak saját hálózata
  - CityNet, Amsterdam – 450.000 házat bekötő hálózat
  - Több önkormányzati hálózat Dániában
- Franciaországban és Angliában új törvényjavaslatok a nyílt hozzáférésű hálózatok támogatására vagy kötelezővé tételére
- Néhány önkormányzati hálózat az USA-ban

FTTH Európában

- Sok országban jogilag szabályozva
  - Nemzeti szélessávú stratégiák
- Miért nem építenek saját optikai hálózatot az „incumbens” szolgáltatók?
  - Így is uralják a piacot, nincsenek rákényszerítve
  - A rövid előfizetői hurkok miatt viszonylag magas xDSL sebességek
  - Skandináviában olcsóbb az önkormányzatok hálózatait bérelni, mint sajátot építeni
  - A videoátvitel még nem annyira követelmény mint Ázsiában
- A helyi önkormányzatoknak az FTTH egy fontos eleme a regionális fejlesztésnek
  - Vonzóvá teszi a régiót, megéri befektetni

FTTx saját hálózaton

- Versenyhelyzetes piacok
  - Minden szolgáltatónak saját hálózata, mellyel lefedik ugyanazt a területet
  - Leginkább jellemző az USA-ban és Japanban
    - 9 japán szolgáltatónak van saját hálózata
  - Európában is van rá példa (Hollandia)
  - Nagyobb sebességek, kisebb üzemeltetési költségek (OpEx)
    - Nagyobb tőkeberuházás (CapEx)

FTTH verseny Tokió belvárosában

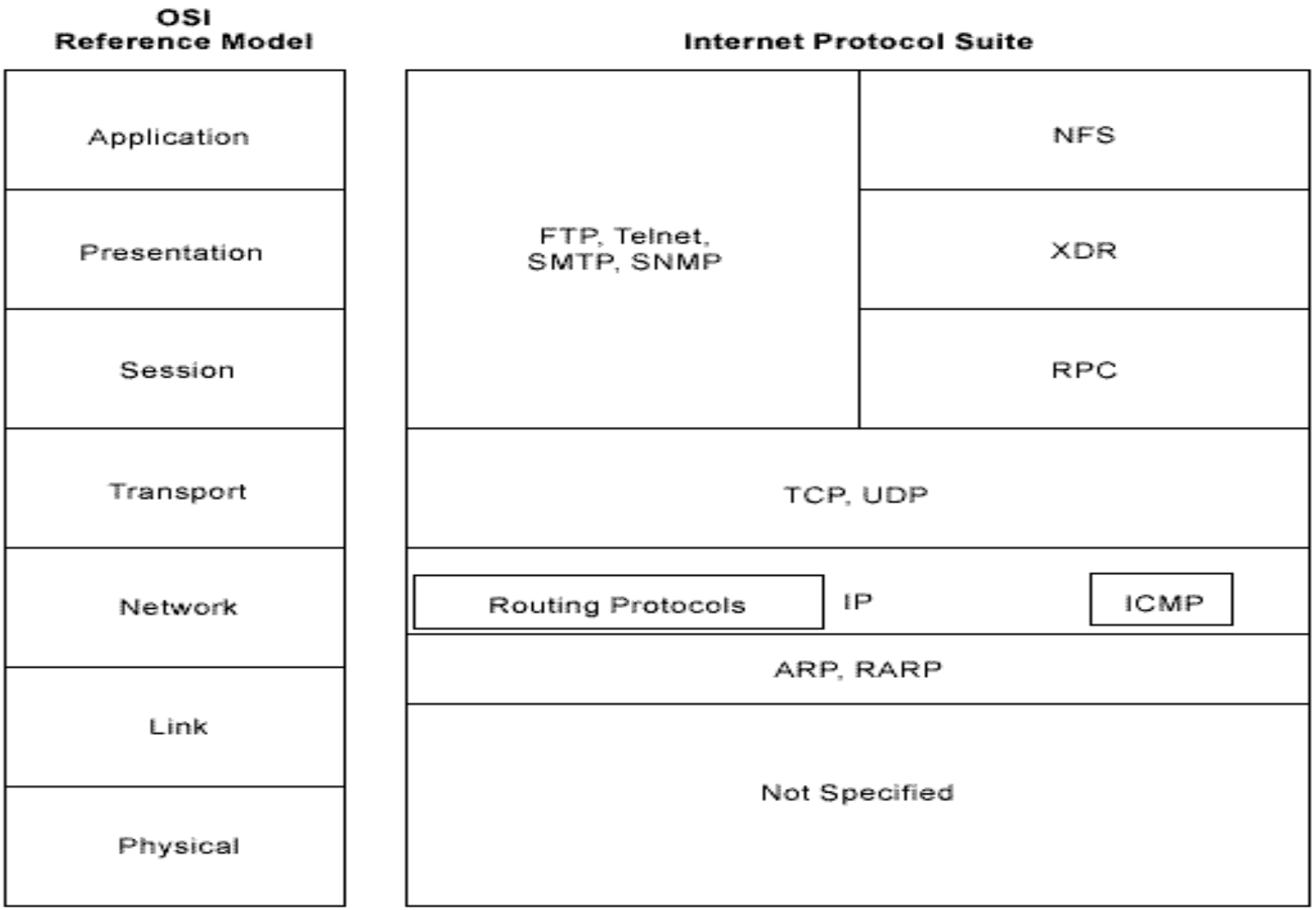
IP címzés

Moldován István

BME TMIT

Hálózati réteg - áttekintés

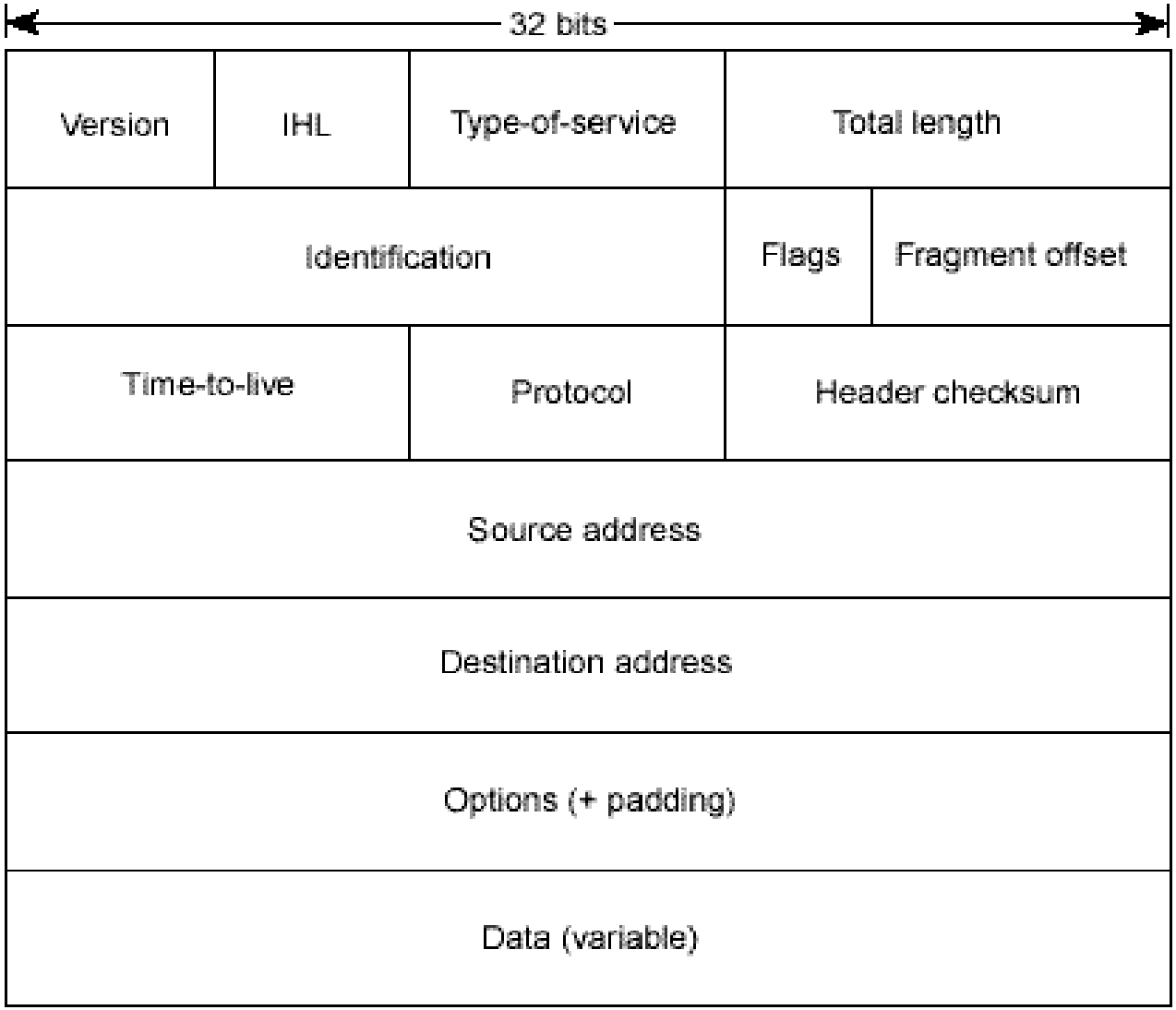
Rétegződés


OSI
Reference Model
Application
Presentation
Session
Transport
Network
Link
Physical
Internet Protocol Suite
FTP, Telnet,
SMTP, SNMP
NFS
XDR
RPC
TCP, UDP
Routing Protocols
IP
ICMP
ARP, RARP
Not Specified

Az IP

- Lehetővé teszi hogy bármely két Internetre kötött gép kommunikáljon egymással
- Feladata a csomag eljuttatása a célállomáshoz – semmi garancia (best effort)
- A csomag több átjárón, útvonalválasztón haladhat át
  - Útvonalválasztás
  - Hurok detektálás

Az IPv4 fejléc

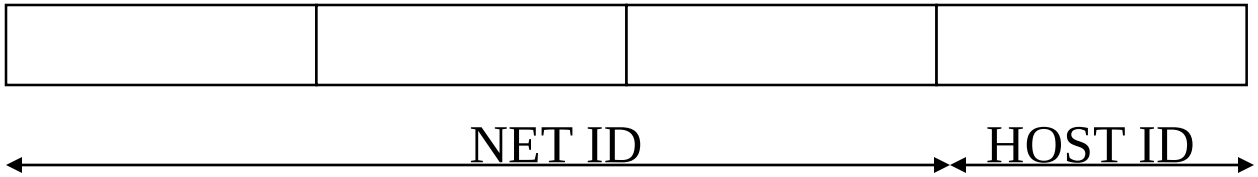


IP fragmentálás

- Továbbítás során a csomag több hálózaton haladhat át
  - kisebb MTU -> darabolás
  - Az IP fejléc tartalmazza a darab számát
  - A darabok összeállítását is az IP végzi
- A darabolás elkerülhető
  - “Path MTU discovery”

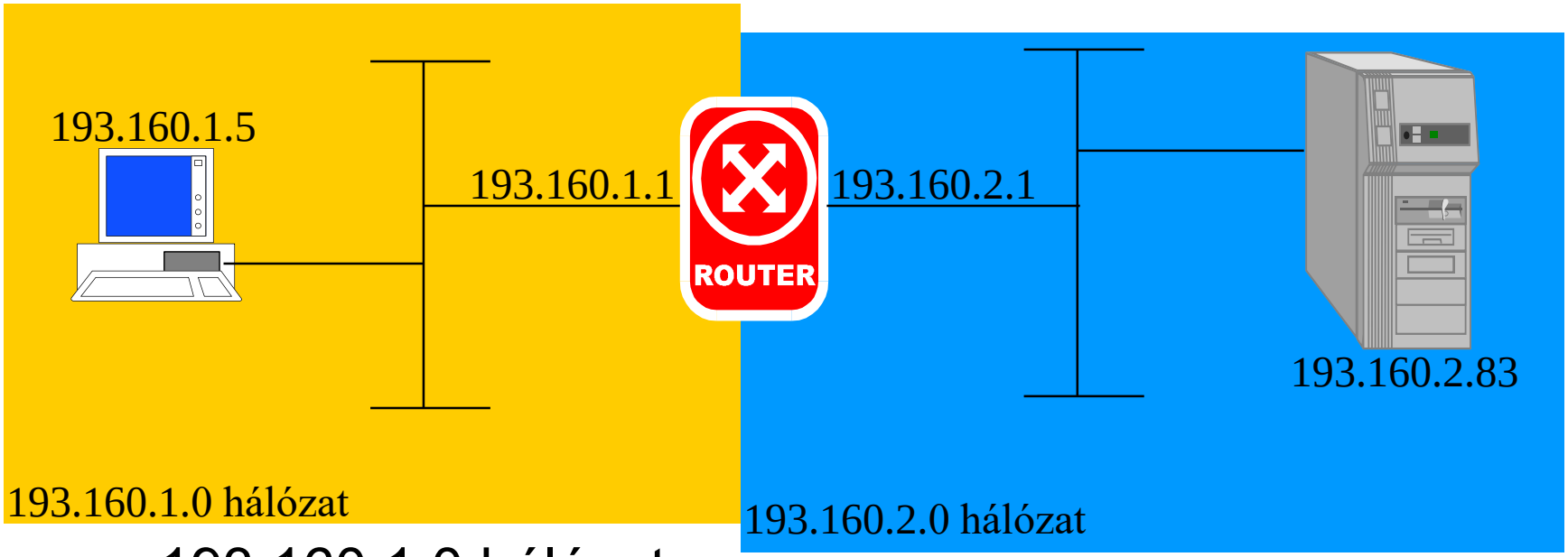
IP címek részei

- 2 részből épülnek fel, pl.:



  - Hálózat azonosító (Network ID)
  - Hoszt azonosító (Host ID)
- Hosszuk változó
- Netmask
  - A hálózat azonosító maszkolására szolgál
  - 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 …1 1 1 00000000

IP címek részei - példa

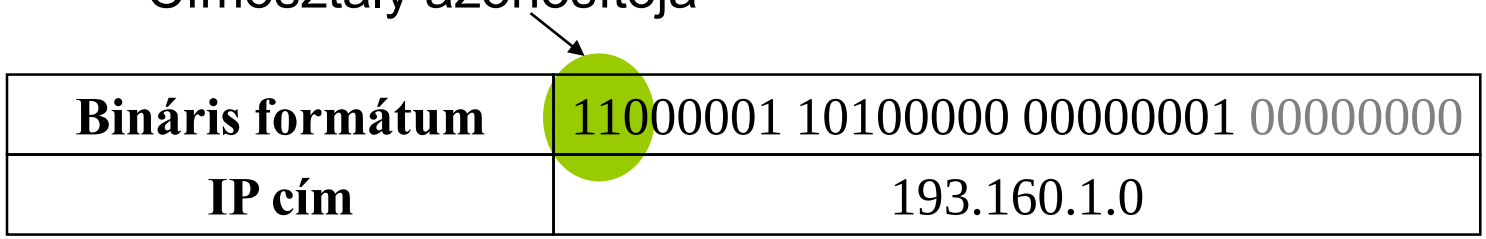


- 193.160.1.0 hálózat:
  - Hosztok: 193.160.1.1 ... 193.160.1.254-ig
  - Az első 24 bit: hálózat azonosító

Bináris formátum	11000001 10100000 00000001 00000000
IP cím	193.160.1.0

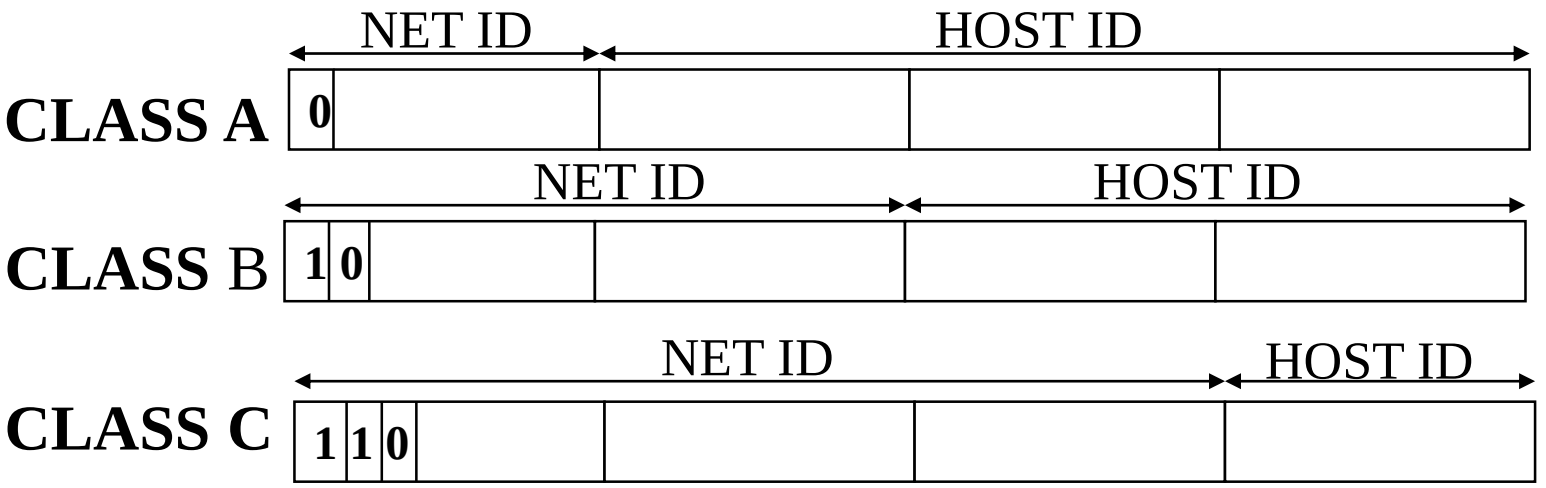
Tradicionális IP címosztályok

- Az IP címek csoportokra osztottak:
  - 5 osztály (A,B,C,D,E)
  - Hálózat/hoszt azonosító hossza változik
- Általános célú címek: A, B, C osztályok
- Előző példa:
  - C osztályú cím:
    - Címosztály azonosítója



Bináris formátum	11000001 10100000 00000001 00000000
IP cím	193.160.1.0

Tradícionális IP címosztályok



	Hálózatok száma	Egy hálózaton hosztok maximális száma	Első octet értéke
Class A	126	16,777,214	1 – 126
Class B	16,384	65,534	128 – 191
Class C	2,097,152	254	192 - 223

Tradícionális IP címosztályok

- Class D
  - Multicast csoportok címzésére
  - Első oktet értéke: 224..239
- Class E
  - Foglalt, „jövőbeni” használatra
  - Első 5 bit: 11110

Címhasználati szabályok

- A *Hálózati azonosító (NET ID)* nem lehet 127
  - 127 foglalt a loop-back interfésznek
- A *Hoszt azonosító* nem lehet 255 (minden bit 1-es)
  - 255 un. broadcast cím
- A *Hoszt azonosító* nem lehet 0 (minden bit 0)
  - 0 jelentése: „az adott hálózat”
- A *Hoszt azonosítónak* egyedinek kell lenni az adott hálózaton

Címhasználati szabályok - 2

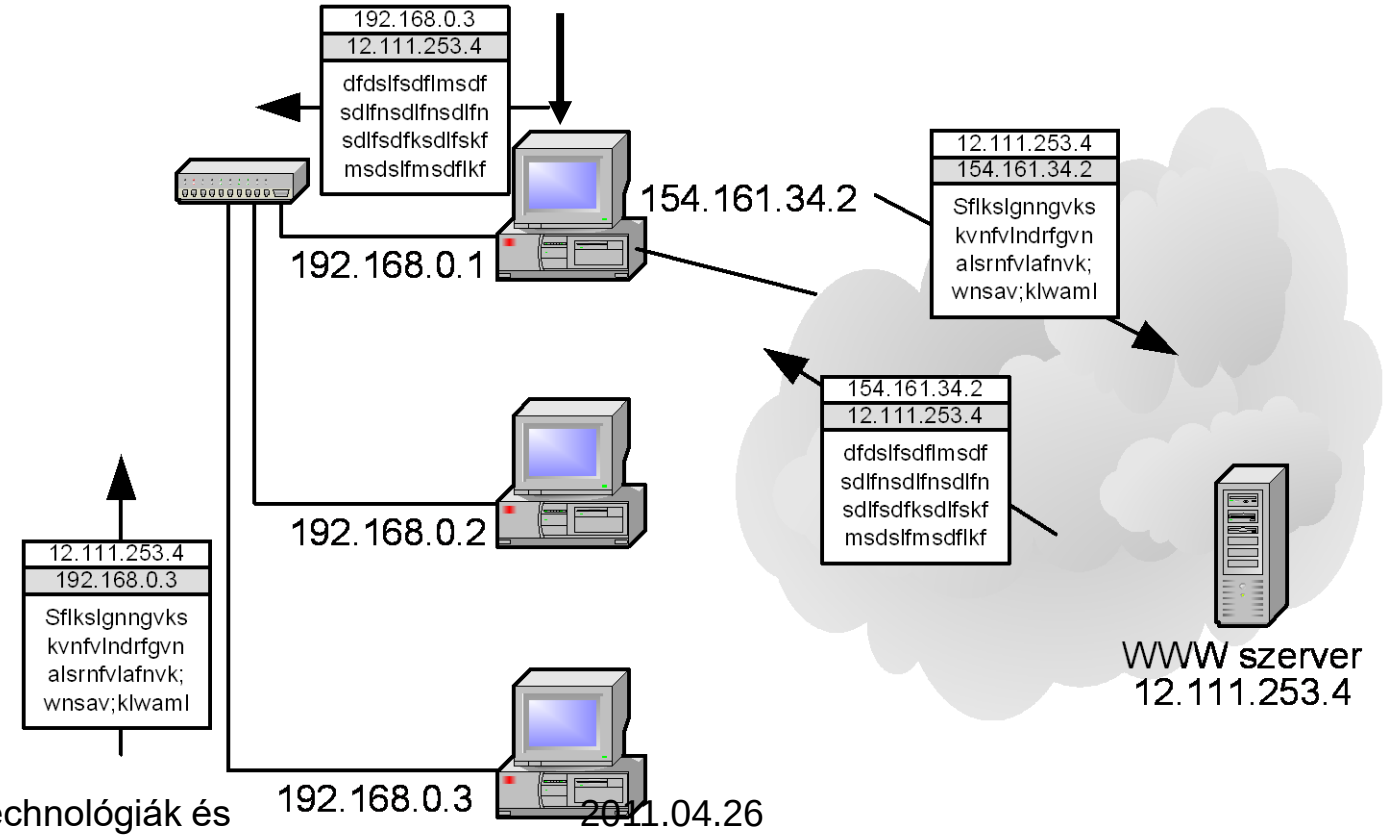
- Broadcast – Üzenetszórás
  - Az alhálózat utolsó címe: pl. 152.66.244.255
  - A szabvány engedi a 255.255.255.255 használatát
  - Az alhálózat minden gépének szól
- Hálózati cím: 152.66.244.0
  - Subneten belüli kommunikációhoz
    - Ha egy subneten – ARP
    - Különben Gateway kell

IP címek kimerülése

- 4 294 967 296 (2^{32}) elvi kiadható címmennyiség
- Csökkenti:
  - Címzési osztályok
  - Címhasználati szabályok
  - Class B címosztály „népszerűsége”...
- IP címek kimerülésének megakadályozása
  - Privát IP címek, ezek többszörös felhasználása
    - Network Address Translation (NAT), címfordító használatával
  - Kevésbé népszerű címosztályokban alhálózatok kialakítása
    - Subnetting
  - Classless InterDomain Routing (CIDR)
    - A tradicionális címosztályok feloldása
  - IPv6
    - nagyobb címtér: 32 bit helyett, 128 bit

Magán IP címek többszörös használata

- A magán IP címek az Internet felől nem „látszanak”
- Címfordítás (az átjáróban)



NAT problémák

- Átmeneti megoldás
  - Kívülről nem lehet kapcsolatot teremteni egy NAT-olt géppel
  - Egyre több alkalmazás ahol globálisan routolható IP cím kell
    - VoIP, videokonferencia, hálózati játékok
  - Sok protokoll nem működik NAT-olt hálózaton

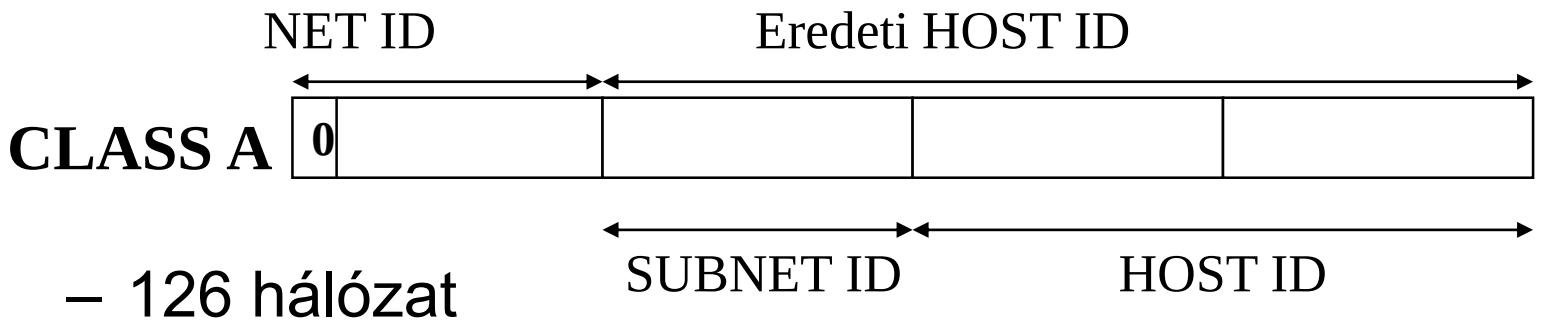
Magán IP cím típusok

- 1 db „Class A” hálózat:
  - 10.0.0.0 - 10.255.255.255
- 16 db „Class B” hálózat:
  - 172.16.0.0 - 172.31.255.255
- 256 db „Class C” hálózat:
  - 192.168.0.0 - 192.168.255.255

- 224.0.0.0 – 240.255.255.255 (D oszt.)
  - Multicast címek

Alhálózatok - Subnet

- A címosztályok adta hálózatokon belül
  - Alhálózatok kialakítása, kevesebb hoszttal
- Pl. „Class A” címek népszerűsítése:
  - (Túl sok hoszt egy hálózaton)



  - 126 hálózat
  - 254 alhálózat/hálózat
  - 65534 hoszt/alhálózat

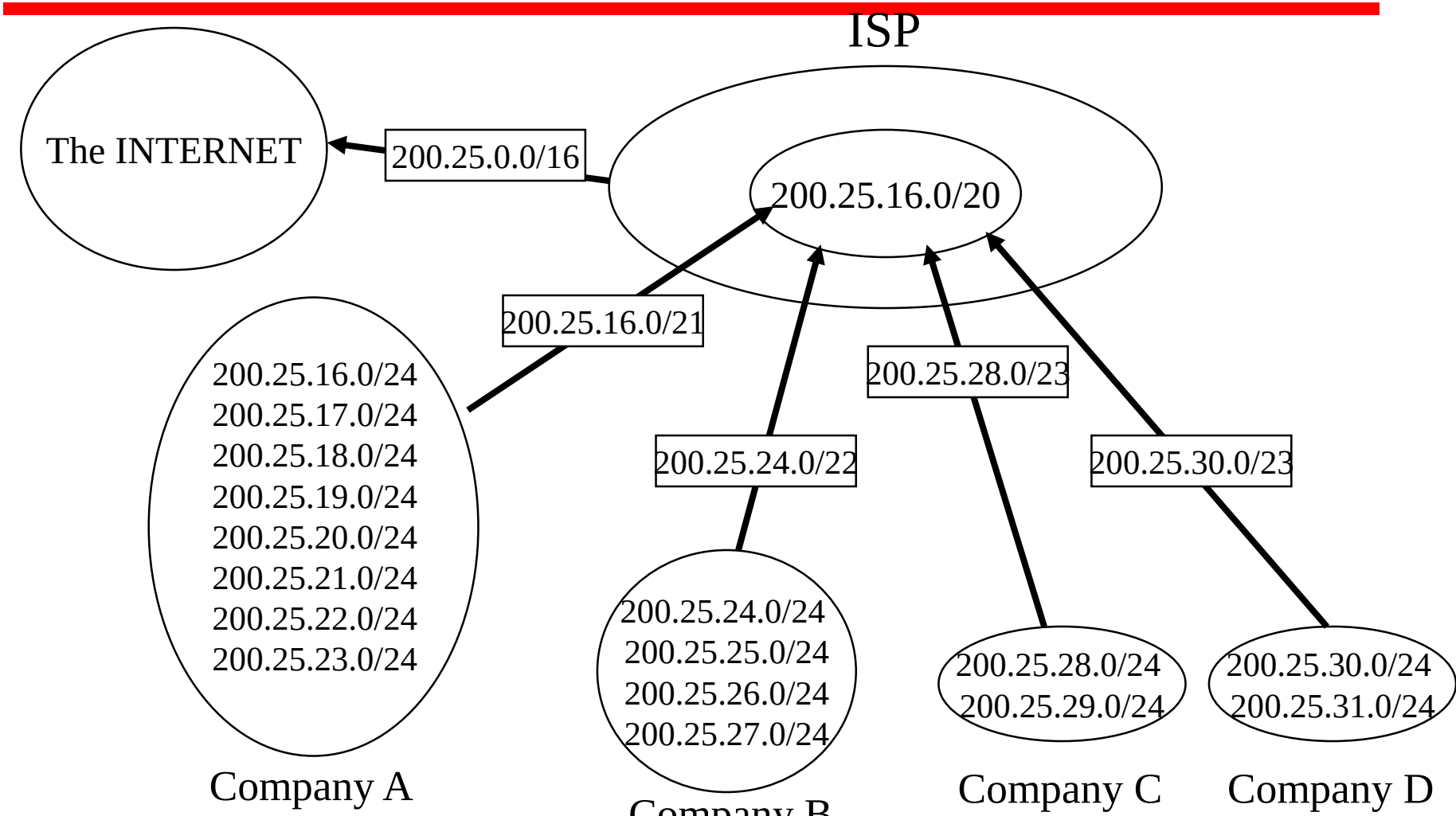
CIDR - Classless InterDomain Routing

- Hatékonyabb kihasználása a címtartománynak
- Szabványosítás – RFC 1518, RFC 1519 (1993)
  - Aktuális verzió – RFC 4632 (2006)
- A hagyományos („classful”) modellben csak 8, 16, vagy 24 bites NET ID
  - Rossz kihasználtság
  - Sok kis Class-C hálózat, melyek magukat hirdetik
    - A topológia különböző pontjain, nehezen aggregálható routing bejegyzések
- CIDR ötlet: változó hosszúságú hálózati prefixek (Net ID)
  - CIDR címzés: *A.B.C.D/N*
    - N a prefix hossza bitekben

CIDR címkiosztás

- IANA – Internet Assigned Numbers Authority
  - Az RIR-eknek oszt ki rövid prefixes CIDR blokkokat
    - Regional Internet Registries
  - Pl. 62.0.0.0/8 a RIPE NCC-nek
    - Réseaux IP Européens Network Coordination Centre
      - Az európai RIR
- Részekre bontva továbbosztják a blokkokat
  - Nagy ISP-k nagyobb szeleteket kapnak, amit továbboszthatnak
  - Tetszőleges méretúek a továbbosztások
  - **Supernet**: összefüggő IP címtartományok egy útválasztási csoportba sorolhatók
    - Sokkal kevesebb routing bejegyzés az aggregáció miatt

CIDR példa


ISP
The INTERNET
200.25.0.0/16
200.25.16.0/20
200.25.16.0/21
200.25.16.0/24
200.25.17.0/24
200.25.18.0/24
200.25.19.0/24
200.25.20.0/24
200.25.21.0/24
200.25.22.0/24
200.25.23.0/24
200.25.24.0/22
200.25.28.0/23
200.25.30.0/23
200.25.24.0/24
200.25.25.0/24
200.25.26.0/24
200.25.27.0/24
200.25.28.0/24
200.25.29.0/24
200.25.30.0/24
200.25.31.0/24
Company A
Company B
Company C
Company D

IP címzési példa

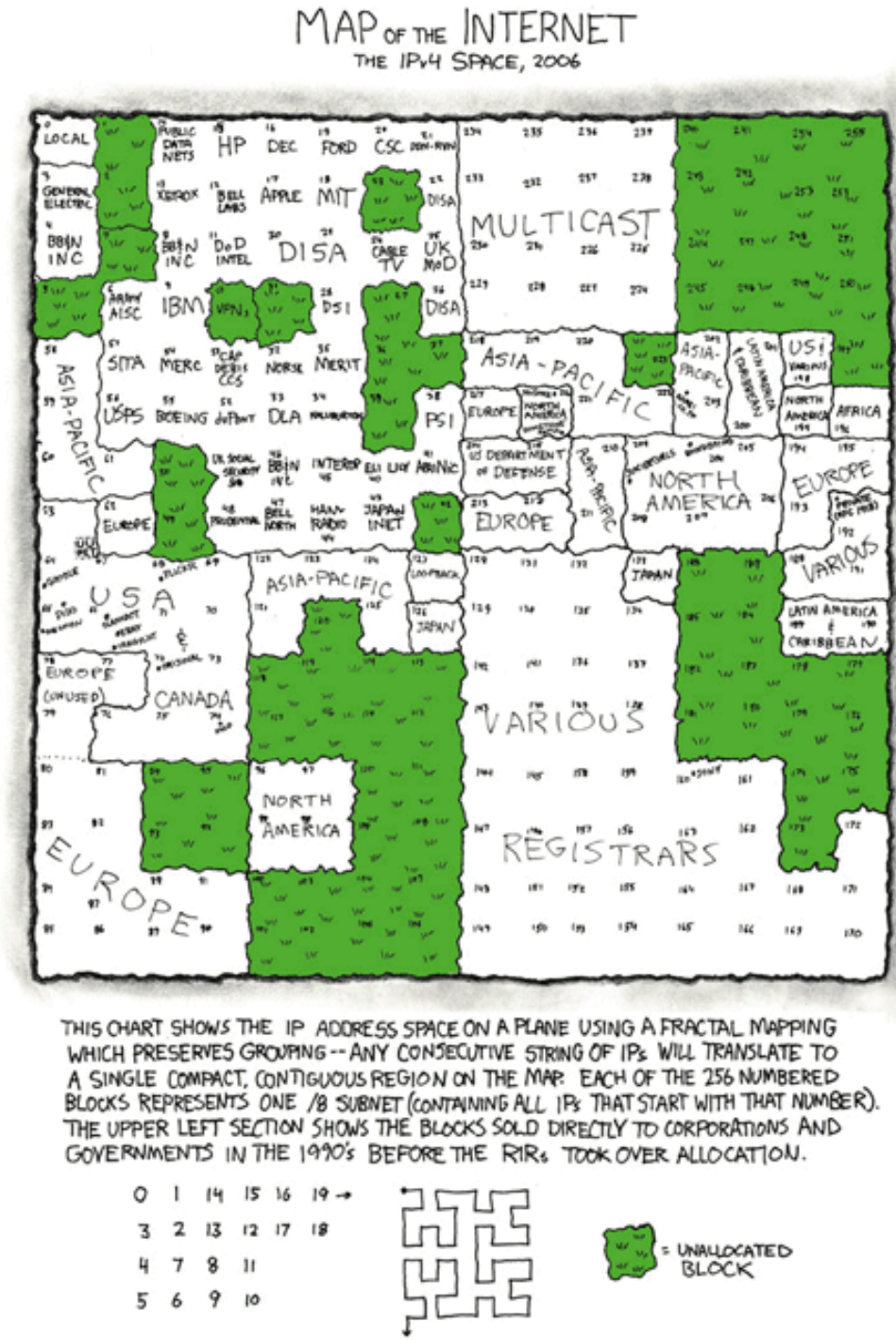
- Az IP címek kiosztása: hierarchikusan
- Az alhálózatok méretét a netmask adja
- Példa:
  - BME hálózat
    - IP címtartomány: 152.66.x.x : 255.255.0.0
  - TMIT egyik alhálózata:
    - IP címtartomány: 152.66.244.x : 255.255.255.0
- 255.255.255.0 –> 24 bites netmask : C osztály

IP címzés 26-os netmask

- 26 hálózatok – 26 1-es a netmaskban
  - Netmask: 255.255.255.192
  - 4 alhálózat:
    - x.x.x.0-63
    - x.x.x.64-127
    - x.x.x.128-191
    - x.x.x.192-255
- A netmask és az IP cím megadja hogy melyik hálózatban van a gép

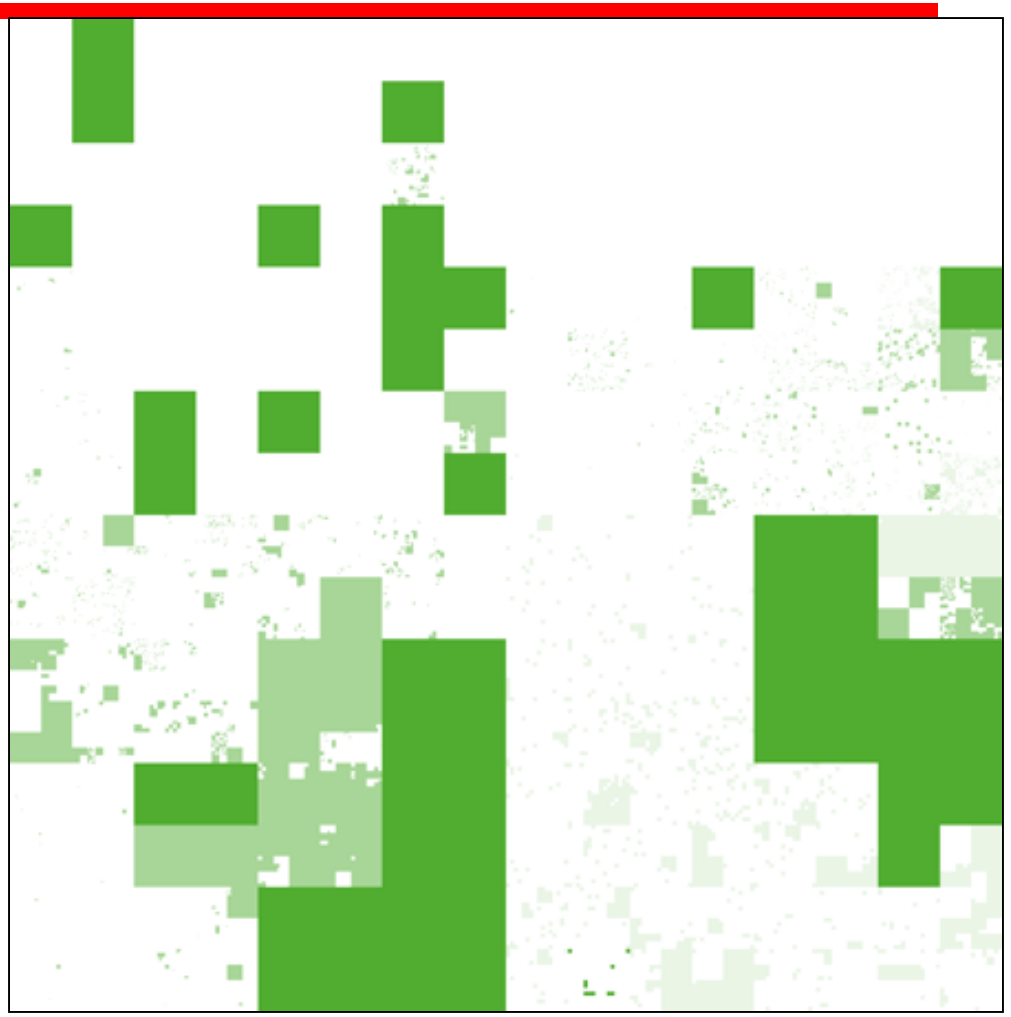
IPv4 címkiosztás

- Kezdetben intézményeknek
  - Bal felső sarokban
  - HP, Apple, MIT, IBM, Ford, stb.
- Később megjelennek az RIR-ek
  - Regional Internet Registrar



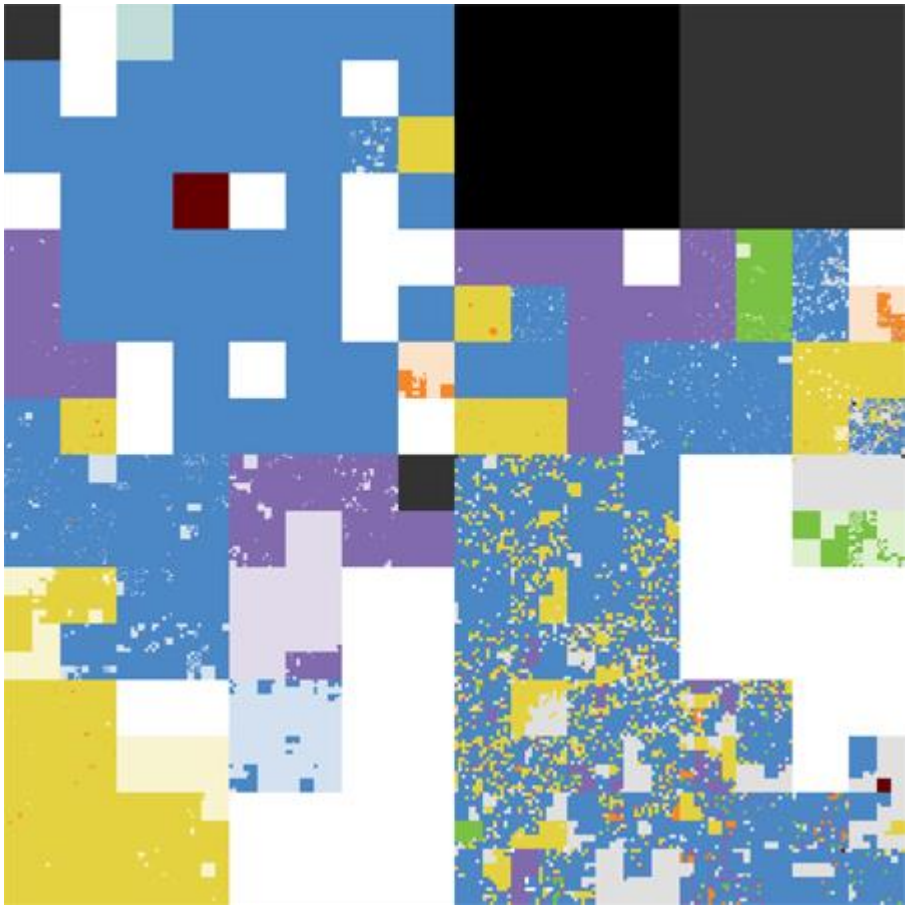
IPv4 címkiosztás (2006)

- Zöld
  - szabadon kioszthatók
- Világos zöld
  - RIR-eknek kiosztott, de ők nem osztották tovább
- Fehér
  - elhasznált IP címek
  - kiosztott vagy speciális



IPv4 címkiosztás (2006)

- Kék: ARIN – Észak Amerika
- Sárga: RIPE NCC – Európa
- Lila: APNIC – Asia-Pacific
- Zöld: LACNIC – Latin-Amerika
- Narancs: AfriNIC – Afrika
- Fekete: Multicast
- Szürke: Speciális címek
  - Loopback, privát, class E, stb.
- Fehér: szabad

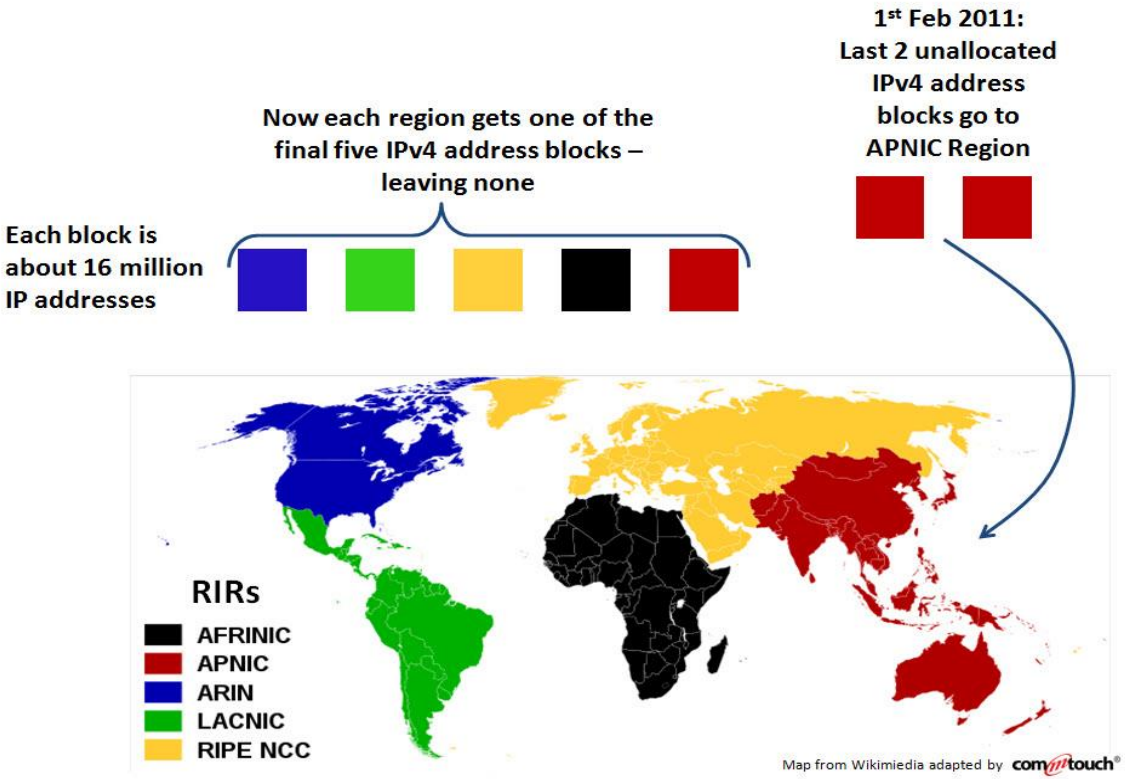


Elfogynak az IPv4-es címek?

- Amerikában nincs gond
  - „Internet Heaven”
- Mindenhol máshol komoly gond
  - Kínában kértek címeket 60.000 iskola bekötésére, kaptak egy Class B címet (65.534 cím)
  - Sok európai és afrikai országnak Class C címe (254 cím)
- Fejlődő Internet Észak-Amerikán kívül
  - Ázsia (2.5 milliárd ember), Kelet-Európa (250 millió), Afrika (800 millió), Dél- és Közép-Amerika (500 millió)
- Új kommunikációs eszközök melyeknek IP cím kell
  - Mobil telefonok, PDA-k, szenzorok, hűtő szekrények, stb.
- Mindig a jelenlegi év végére jósolják, hogy elfogynak a címek

„Betelt” az Internet?

- 2011. február 1.-én kiosztották az utolsó /8-as IPv4-es címblokkokat az RIR-eknek
- Az RIR-ek várhatóan 2011. végén osztják ki az utolsó címeiket



ARP

- Minden Ethernet kártyának saját MAC címe van
- A címzéshez meg kell tudni a gép MAC címét - az ARP végzi ezt
- Az ARP üzenetváltás:
  - Req: Who-has 152.66.244.102? Tell 2f:34:35:67:67:8d
  - Ans: 152.66.244.102 is 37:66:f3:d4:2b:8e
- Ethernet szintű broadcastot használ
- ARP cache

Útvonalválasztás

- Statikus
  - Default gateway
  - Statikus útvonalak
- Dinamikus
  - RIP
  - OSPF
  - ISIS
  - BGP4
- Útvonalválasztó tábla
  - Cím/netmask, next hop, cost

Dinamikus útvonalválasztás

- A legkisebb költségű útvonalat keresik
  - SPF: a legrövidebb útvonal
- Szempontok:
  - Csomópontok száma
  - Link cost (beállítható)
- RIP: legegyszerűbb, periodikus útvonaltábla csere
- OSPF: több area kezelése
  - Link state adatbázis, frissítő üzenetek

ICMP

- Üzenetek hálózati hibák, nem várt eseményekről való értesítésre
- Több típus, pl:
  - ICMP Echo
  - Destination Unreachable
    - Network unreachable
    - Host unreachable
    - Port unreachable
    - Protocol unreachable

IP beállítások

- Alapvető beállítások egy gépen
  - IP cím/netmask
  - Default gateway
  - DNS szerver
- A beállítások kiegészíthetők
  - Alapértelmezett domain név megadása
  - Több DNS szerver

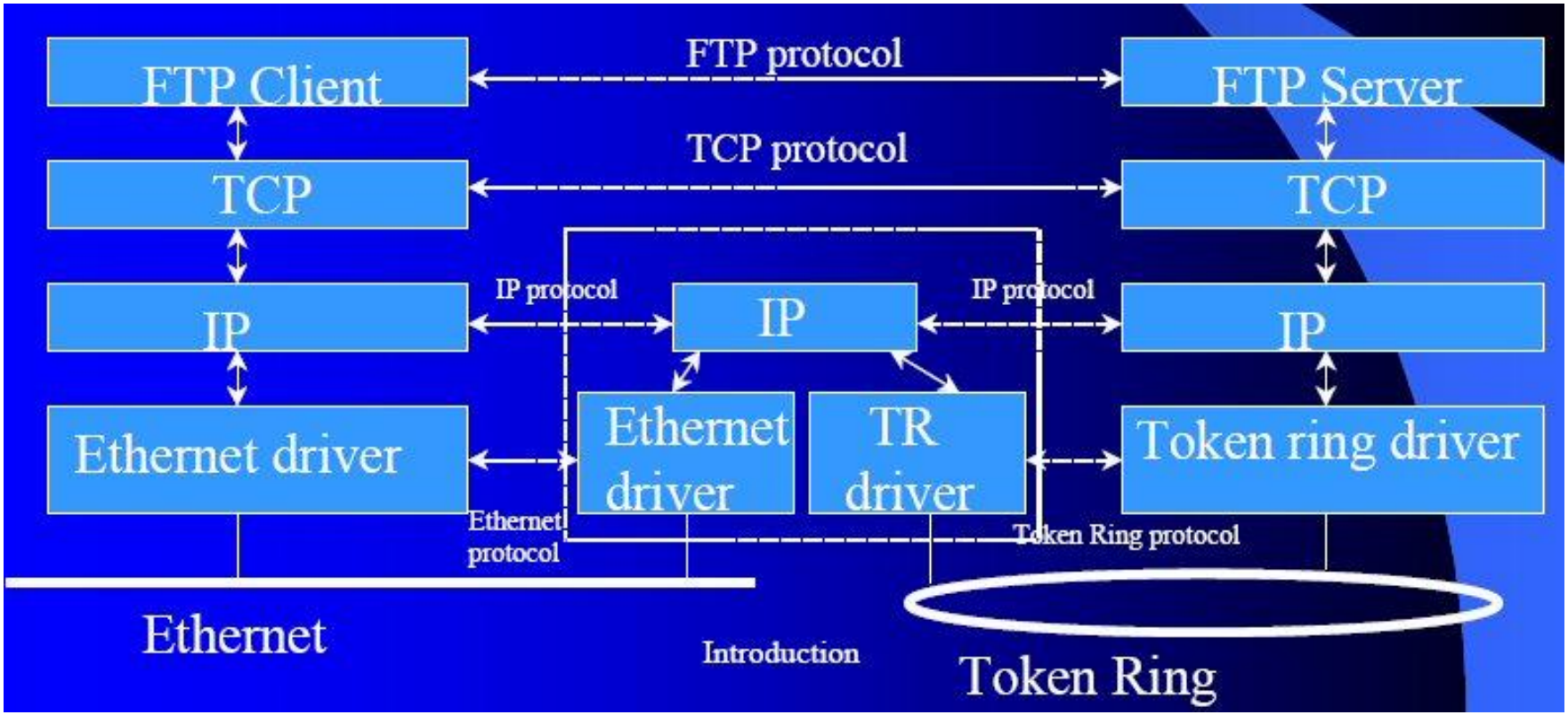
DHCP

- Dynamic Host Control Protocol
- Lehetővé teszi hogy egy gép IP címet kérjen a hálózattól
- Megadhatja a többi hálózati paramétert is:
  - Átjáró, DNS szerver
- Az IP nincs géphez rendelve, változhat minden kéréshor
  - MAC címhez rendelhető azonban

További segédanyagok

- TCP/IP illustrated

Útvonalválasztó



IP címzés - gyakorlat

Moldován István

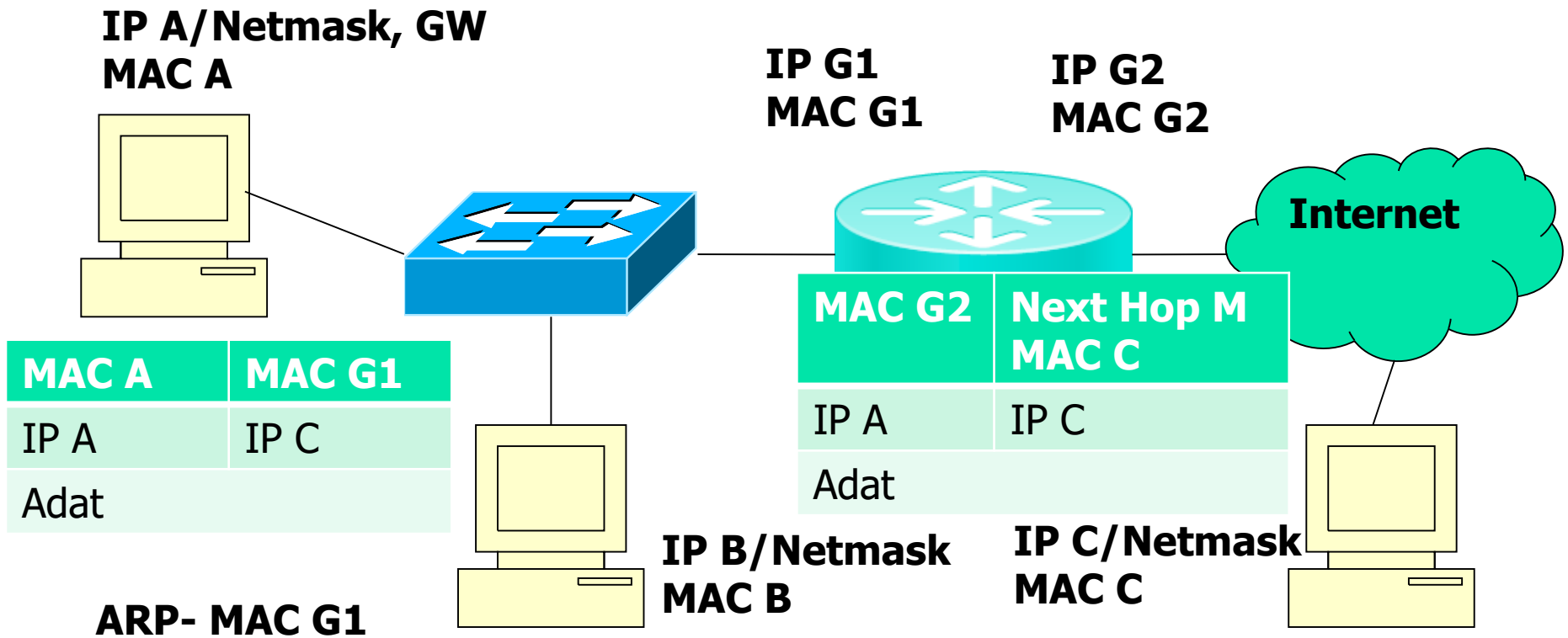
moldovan@tmit.bme.hu

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
TÁVKÖZLÉSI ÉS MÉDIAINFORMATIKAI TANSZÉK

Áttekintés

- IP címzés (subnet)
  - 2 subnet 1 if?
  - Vlan interfesz routing
- L2 és L3 VPN
- QoS
  - Linux PC

IP+Ethernet működés - Címek



IP A, B, G1: ugyanaz a subnet
IP G2, C: más subnet

Egy alhálózat?

- IP A, NETMASK
- IP C

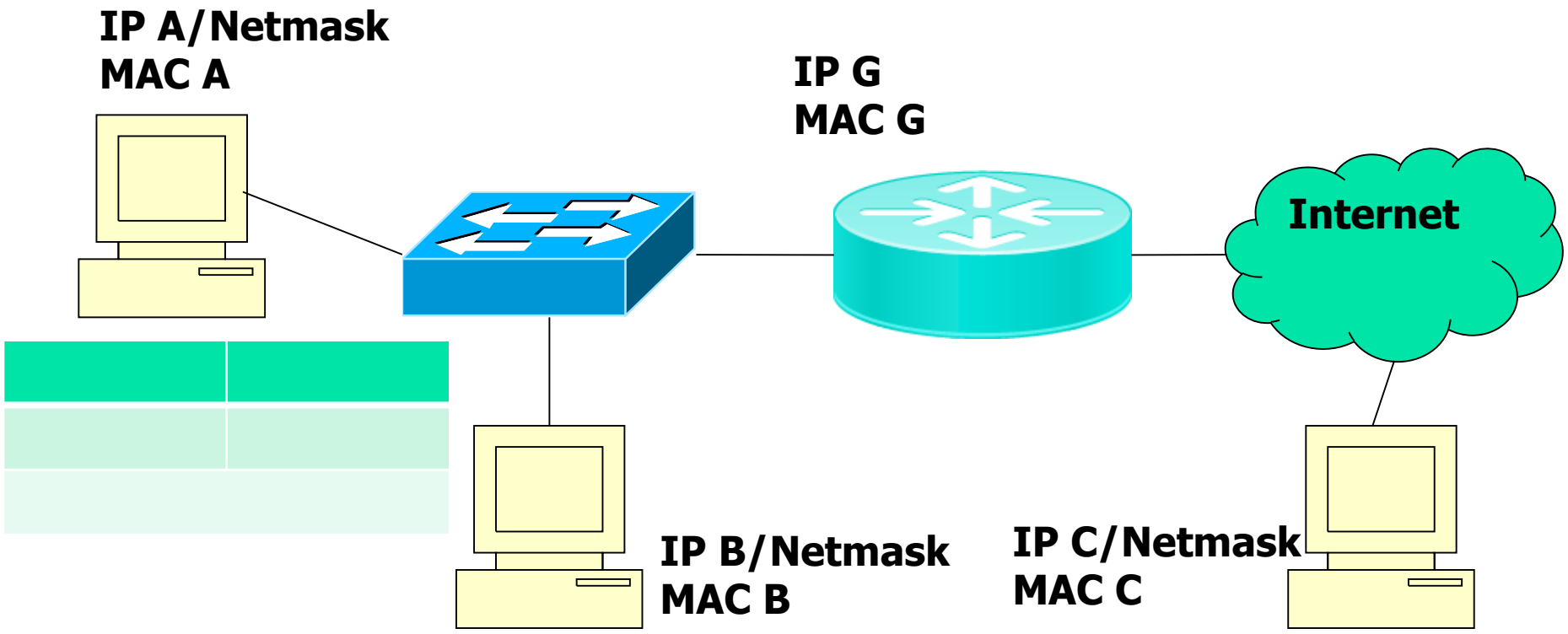
- A: 192.168.1.5, 255.255.255.0
- B: 192.168.1.17
- C: 192.168.2.5
- N 11111111.11111111.11111111.00000000
- A 11000000.10101000.00000001.00000101
- B 11000000.10101000.00000001.00010001
- C 11000000.10101000.00000010.00000101

/26 alhálózat példa

- A 192.168.1.15/26 255.255.255.192
- B 192.168.1.71

- N 11111111.11111111.11111111.11000000
- A 11000000.10101000.00000001.00001111
- B 11000000.10101000.00000001.01000111
- 00 – 0-63
- 01 – 64-127
- 10 – 128-191
- 11 – 192-255

IP+Ethernet működés

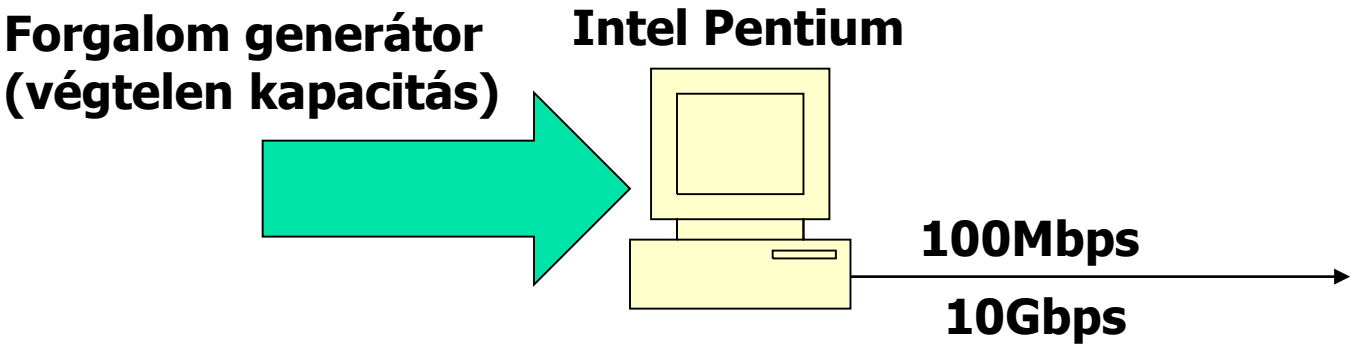


1. A->B – ugyanaz a subnet, cél MAC: B
2. A->C – nem lokális háló, GW-en keresztül
   - cél MAC: G

MAC cím feloldása: ARP

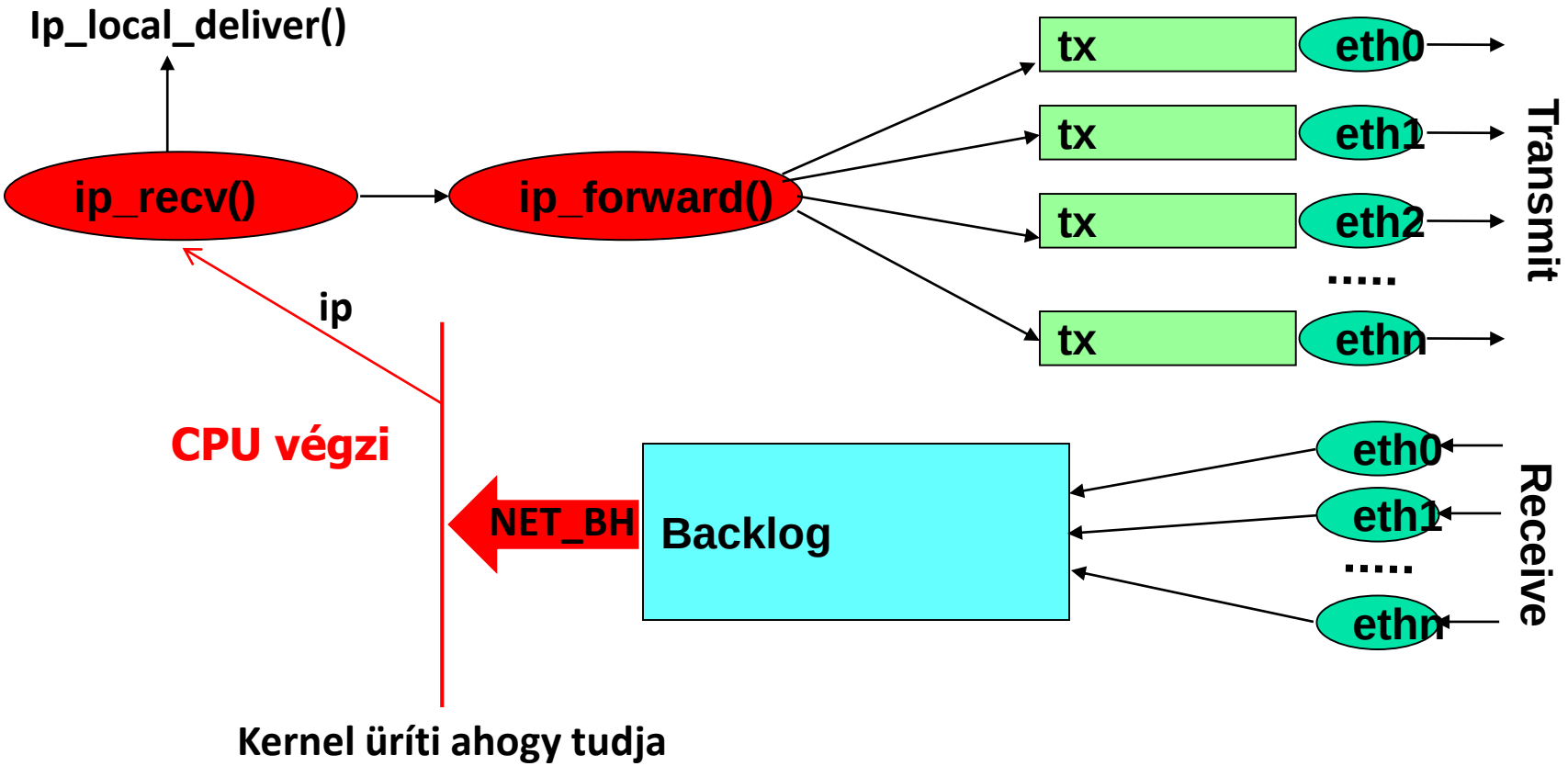
QoS példa

- Szűk keresztmetszet kialakulása
  - Ethernet interfész
  - Processzor



  - 100Mbps – a PC bírja, a korlát az interfész
  - > 10Gbps – a PC nem képes meghajtani az interfészt maximális sebességgel

Hol alakul ki szűk keresztmetszet - Linux

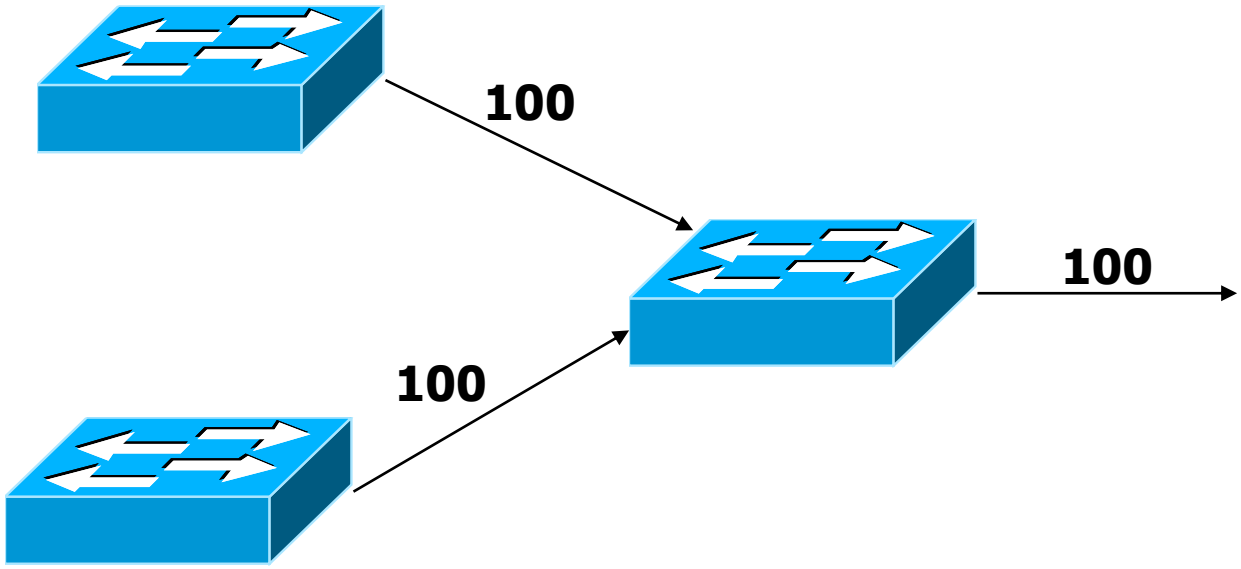


Szűk keresztmetszet:

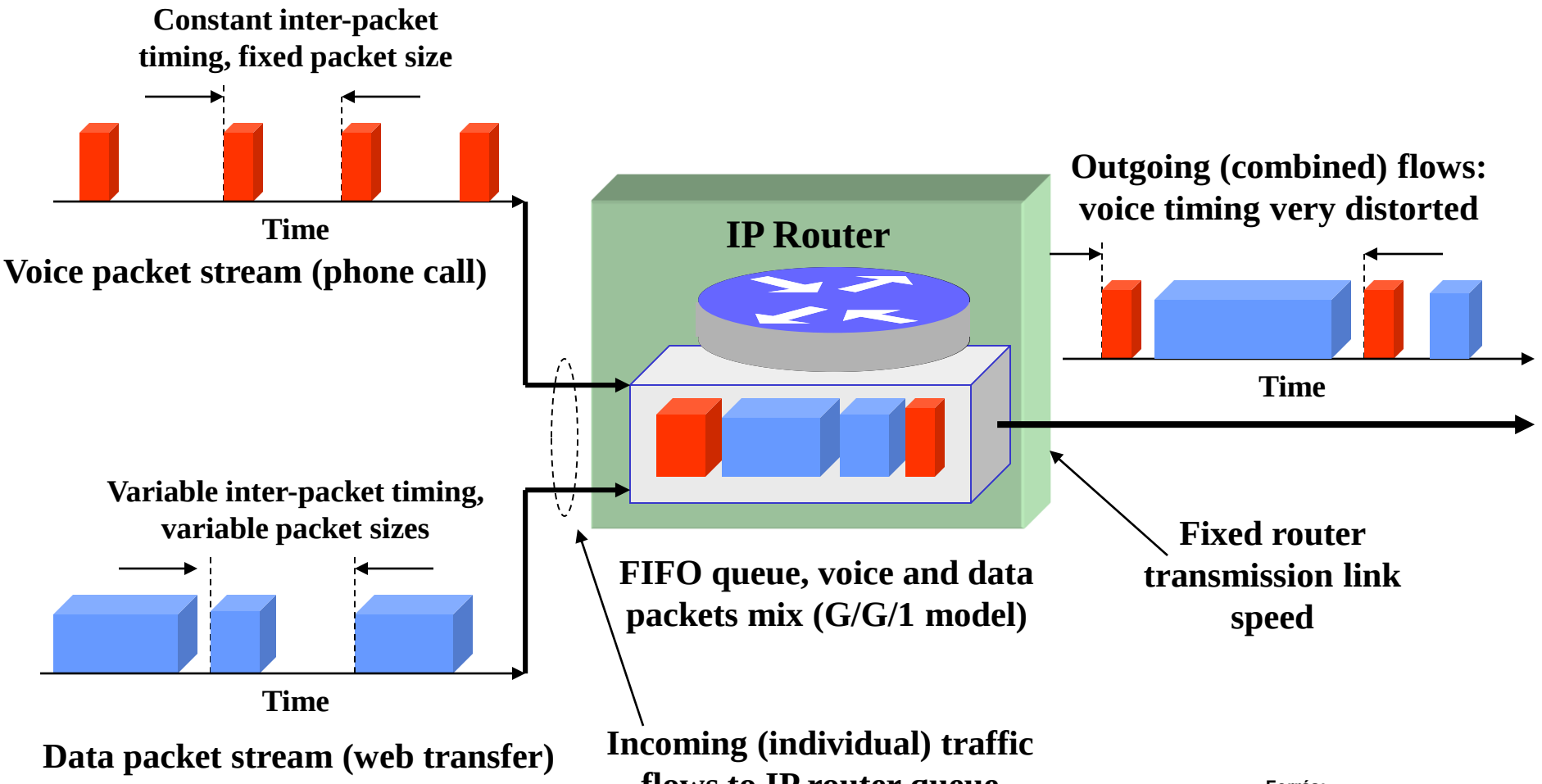
Interfésznél: tx sorok

CPU-nál: backog

Ethernet szűk kereszt



„Best Effort" - aggregációs mechanizmus



Forrás:
Next Generation Networking Group,
CCNY of CUNY

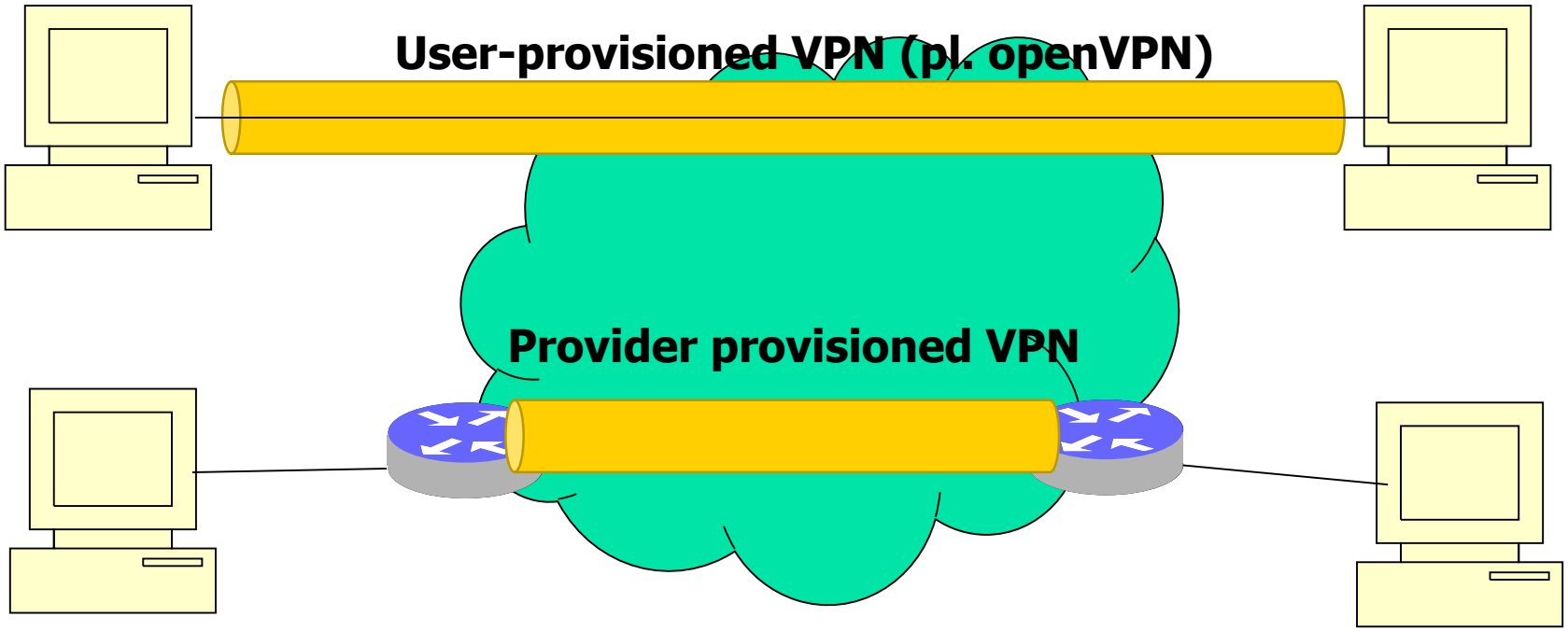
VPN-ek

Virtuális Magánhálózatok

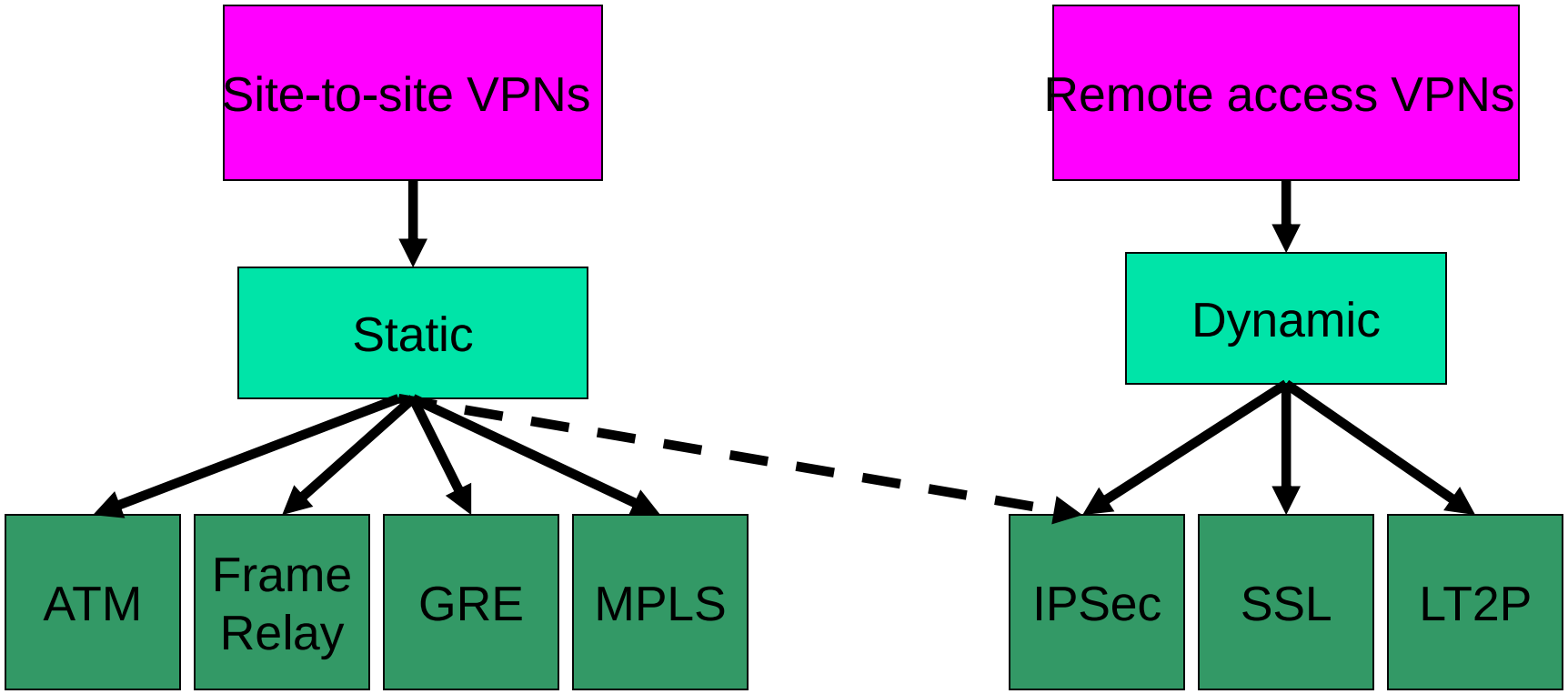
- Virtual Private Network (VPN)
- Két alapvető típus
  - User-space VPN
  - Provider Provisioned VPN (ppvpn)
    - L2VPN –Ethernet szolgáltatás
    - L3VPN – IP alapú
- Mindkettő a hálózat erőforrásainak költséghatékony kihasználását célozza

L3-L2 VPNs

- L2 és L3 VPN példa



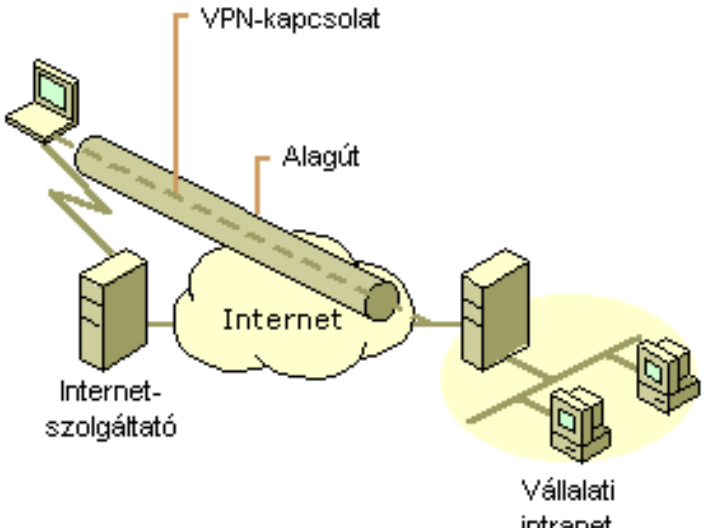
VPN típusok


Site-to-site VPNs
Remote access VPNs
Static
Dynamic
ATM
Frame Relay
GRE
MPLS
IPSec
SSL
LT2P

Felhasználói VPN

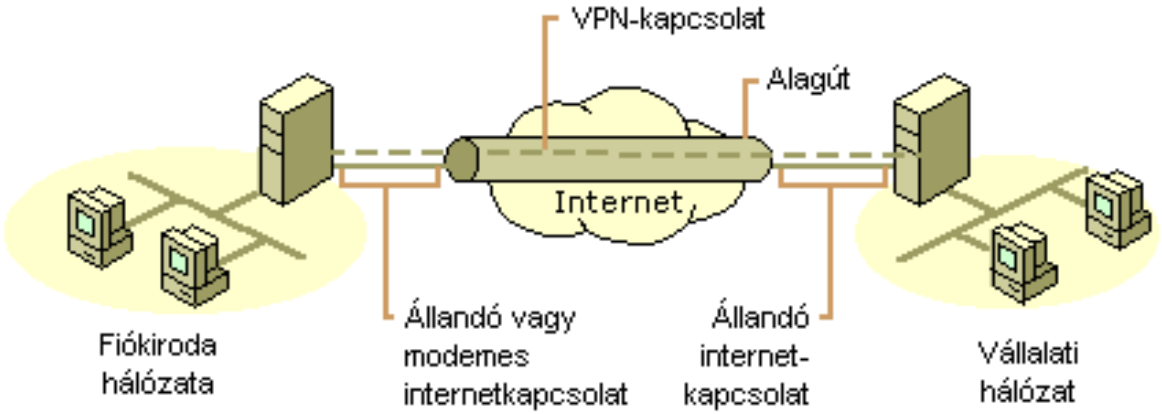
- Bérelt vonal – nem költséghatékony
- Internet – olcsó kommunikáció
  - Nem biztonságos!
- Megoldás: biztonságos kapcsolat kialakítása az Interneten kódolt alagutak használatával
  - Egy vagy több kliens használhat egy alagutat
  - A biztonságot a kódolás adja
  - Minőségbiztosítás az Internet szolgáltatótól függ…

VPN az ügyfél típusa szerint



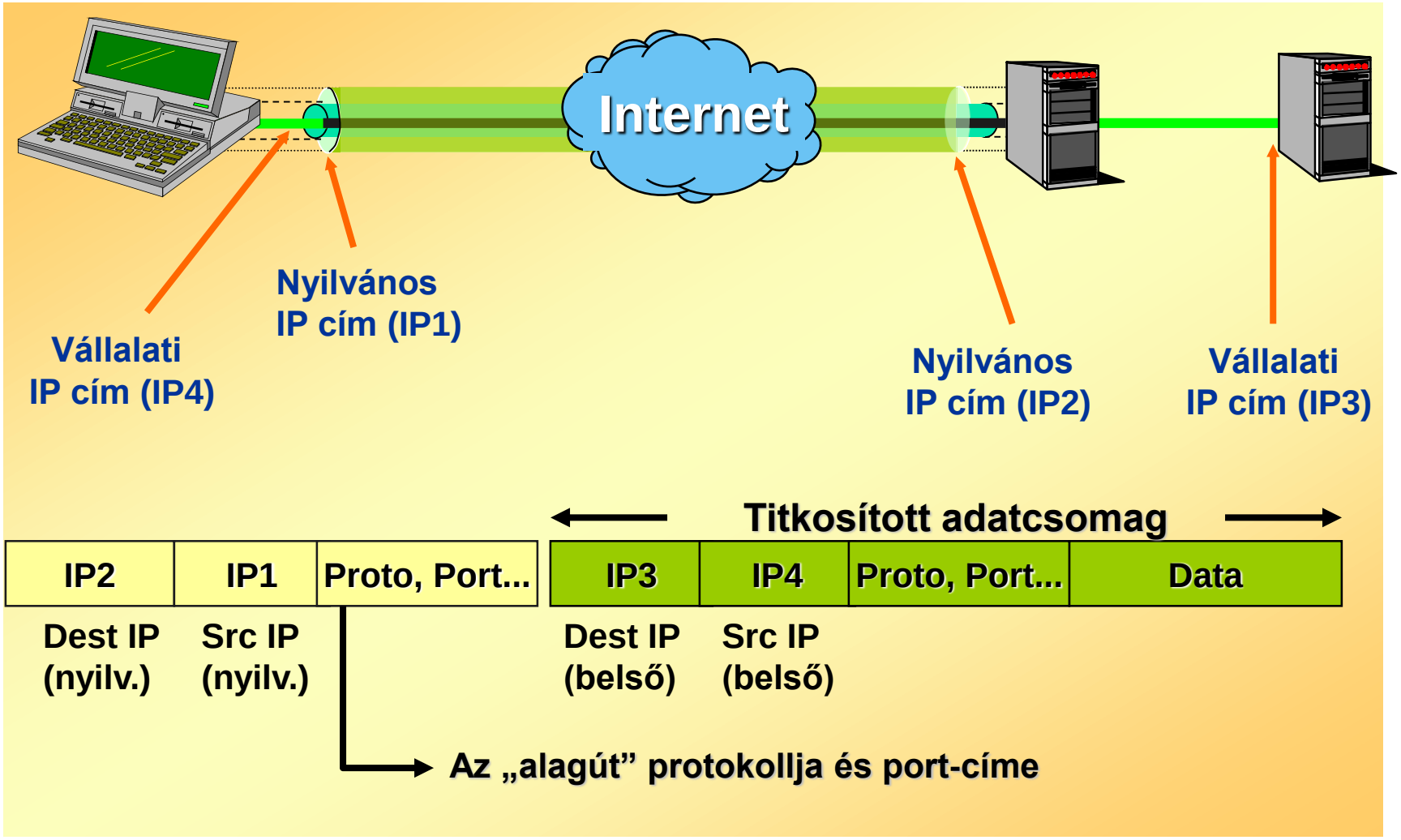
Ügyfél-kiszolgáló (Client-2-Router)

Kiszolgáló-kiszolgáló (Router-2-Router vagy LAN-2-LAN)



moldovan@tmit.bme.hu

Alagúthálózat



Alagútprotokollok: PPTP

- Point to Point Tunneling Protocol
- Azonosítás:
  - EAP (tanúsítvány), MS-CHAPv2, CHAP, PAP
- Titkosítás:
  - MPPE (Microsoft Point to Point Encryption) (= RC4)
- Kommunikáció:
  - PPTP Control Connection: TCP 1723 port
  - Adatforgalom (GRE): IP 47

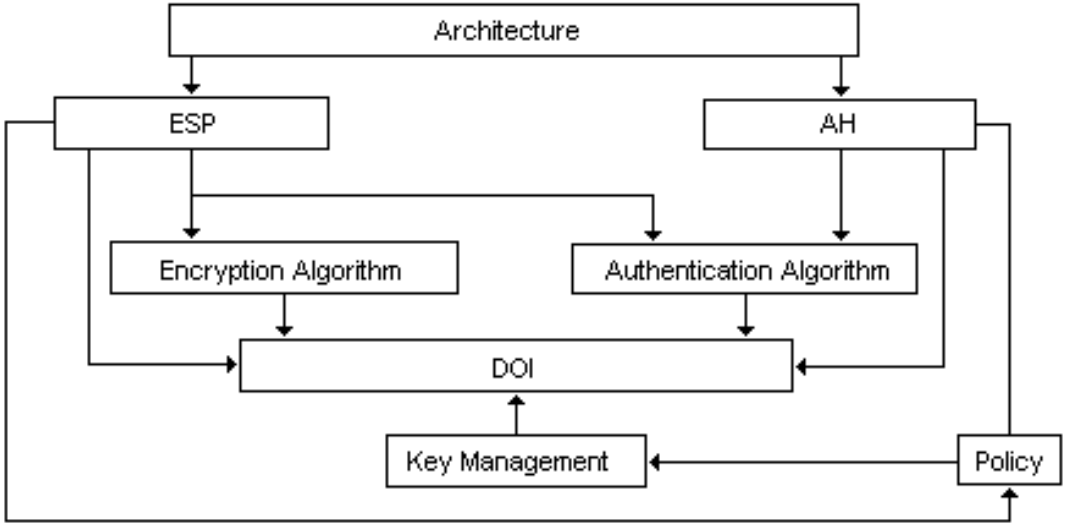
Alagútprotokollok: L2TP

- Layer 2 Tunneling Protocol (RFC 2661)
  - Cisco L2F alapokon nyugszik
  - UDP kommunikáció, 1701-es port
    - UDP – TCP forgalmat visz át, nem hatékony 2 szinten TCP
    - Az adat és a kontrollforgalomhoz egyaránt
    - Az IPSec titkosítás ezt a portot elrejti
- Azonosítás:
  - EAP, MS-CHAPv2, CHAP, PAP
- Titkosítás:
  - IPSec
- Kompatibilitás
  - Windows 2000-től beépítve
  - Windows 98/ME/NT4:

Alagútprotokollok: L2TP

- Az L2TP titkosítását az IPSec motor végzi
  - Automatikusan létrehozott IPSec Filter az UDP 1701-es portra
  - Tanúsítványalapú azonosítás
    - A sikeres csatlakozás feltétele hogy az ügyfél és a kiszolgáló rendelkezzen legalább egy, közös, mindkét fél által megbízott CA-tól származó, érvényes tanúsítvánnyal

IPSec



- RFC 2401, 2402, és 2406
- Vég-vég IP alapú adat titkosítás
- Nem NAT képes (IKE miatt, részleges megoldás van, checksum, …)
- Részei:
  - Interenet Kulccsere (Internet Key Exchange)
    - UDP 500-as port
    - Paraméter egyeztetés
    - Kulccsere
  - Azonosító fejléc (Authentication Header AH)
    - Forrás azonosítás, integritás védelem
  - Biztonsági Tartalom Beágyazás (Encapsulating Security Payload ESP)
    - Azonosítás, integritás védelem, titkosítás

SSL VPN

- Felhasználói VPN
- Virtuális tunnel interfész használata
  - Routing vagy bridging
- SSL/TLS tehnológiát használ
  - Csak TCP felett
  - A biztonságért felelős az SSL protokoll
  - Kódolás, tanúsítvány kezelés
- Megvalósítások
  - Pl. OpenVPN

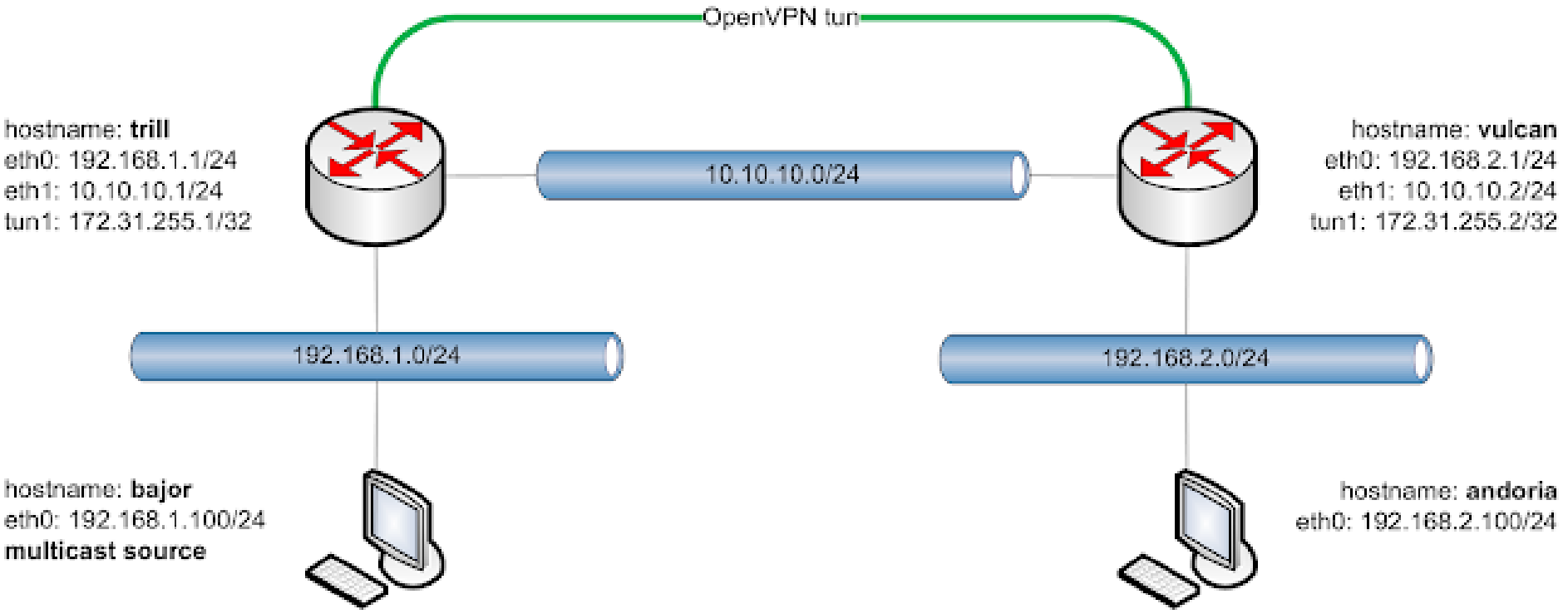
SSL VPN – működés

- A modern user-space VPN virtuális tun és tap interfészt ad a VPN végpontokon
- A forgalom a virtuális interfészre routolásával történik -> “tun0”
  - Ugyanúgy kezelhető mint egy valós interfész a célhálózat felé
  - Brctl – bridging megvalósítás
  - Tűzfalazható, stb.

User VPN – előnyök, hátrányok

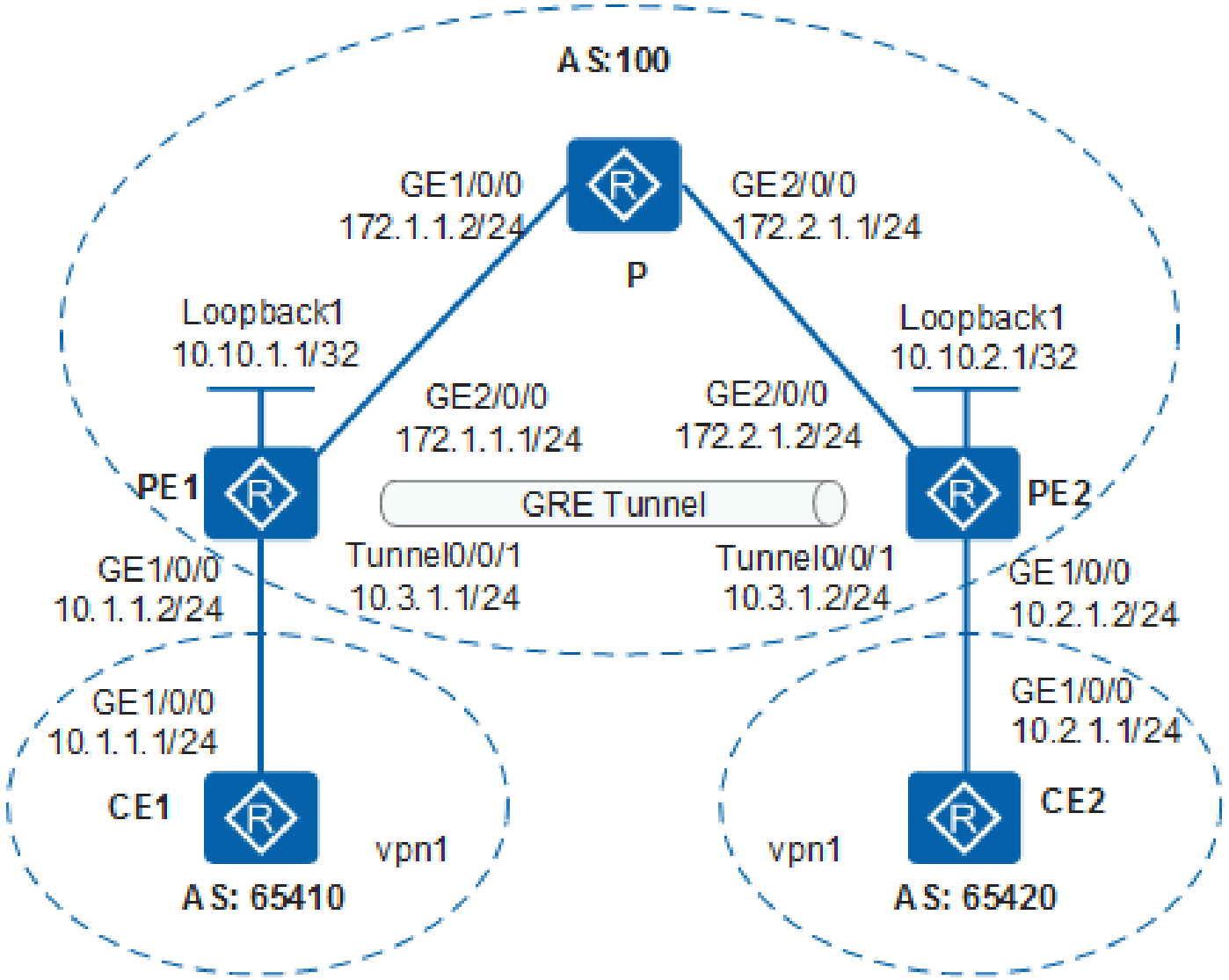
- Mikor SSL és mikor IPSec VPN?
- Az SSL VPN egyszerűbb
  - Felhasználó által menedzselhető
  - Egyszerűen konfigurálható
  - TCP – nem támogat QoS-t, UDP-t
- Az IPSec VPN komplexebb
  - Adminisztrátor állíthatja be (root jog)
  - IP szintű – QoS támogatás lehetséges
  - Transzparens a felhasználó felé

Példa: OpenVPN

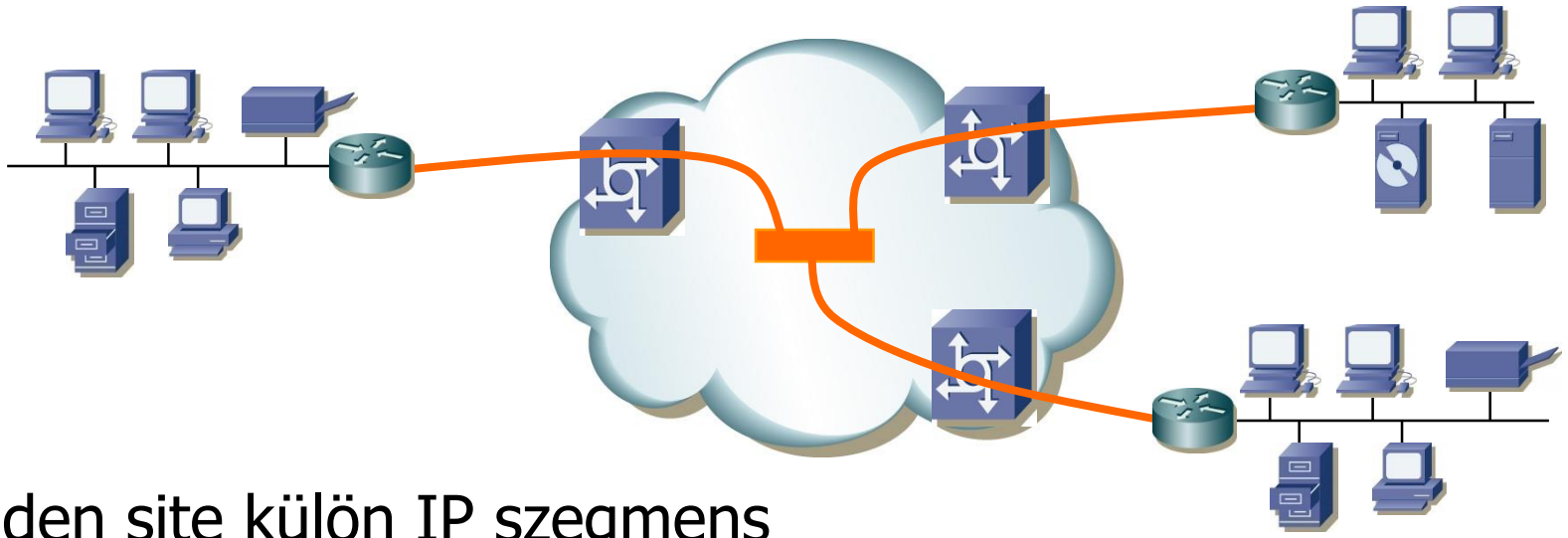


Szolgáltatói VPN-ek
Provider Provisioned VPN (PP-VPN)

Példa: L3 (IP) VPN

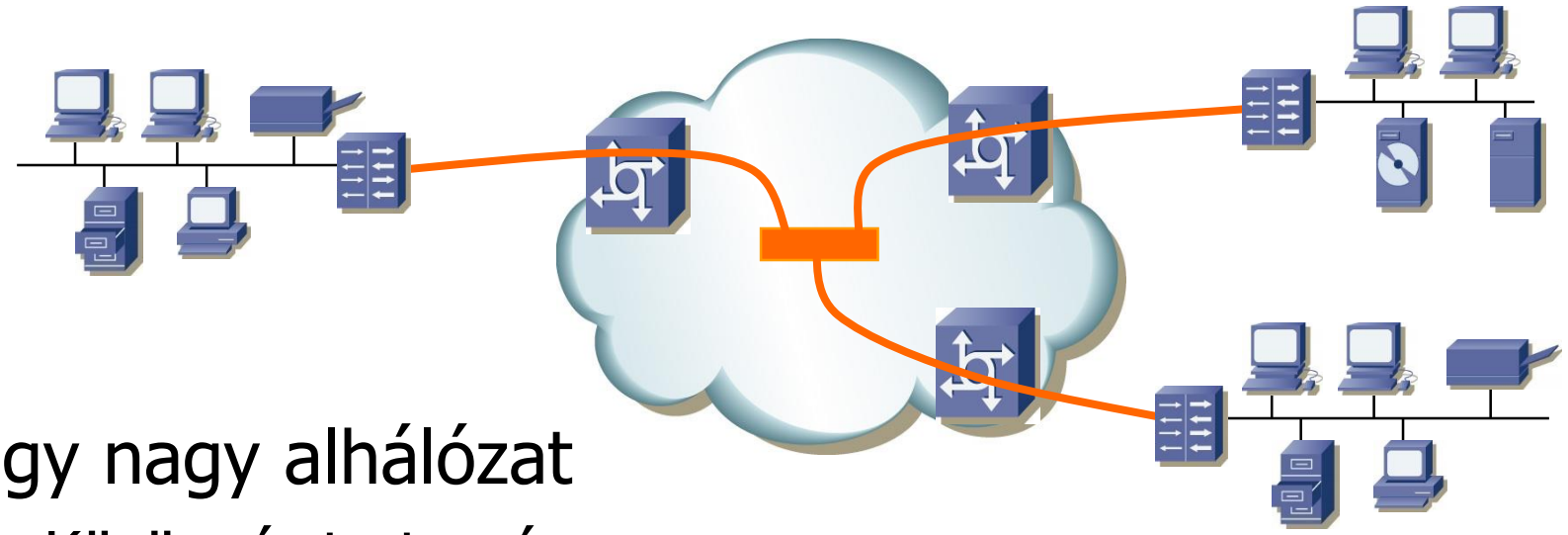


Router Inter-connect



- Minden site külön IP szegmens
  - A routerek routolnak
- Beállítások
- Kliens:
  - routerek címzése – default GW/útvonal a többi site felé
- Szolgáltató:
  - UNI alap paraméterek (BW, QoS:delay, loss), site-ok

Switch Inter-connect



- Egy nagy alhálózat
  - Közös címtartomány
- Beállítások
  - Kliens: -
  - Szolgáltató:
    - UNI alap paraméterek (BW, QoS:delay, loss), site-ok
    - MAC cím korlát/site, Broadcast/MC korlátok, L2CP kezelés

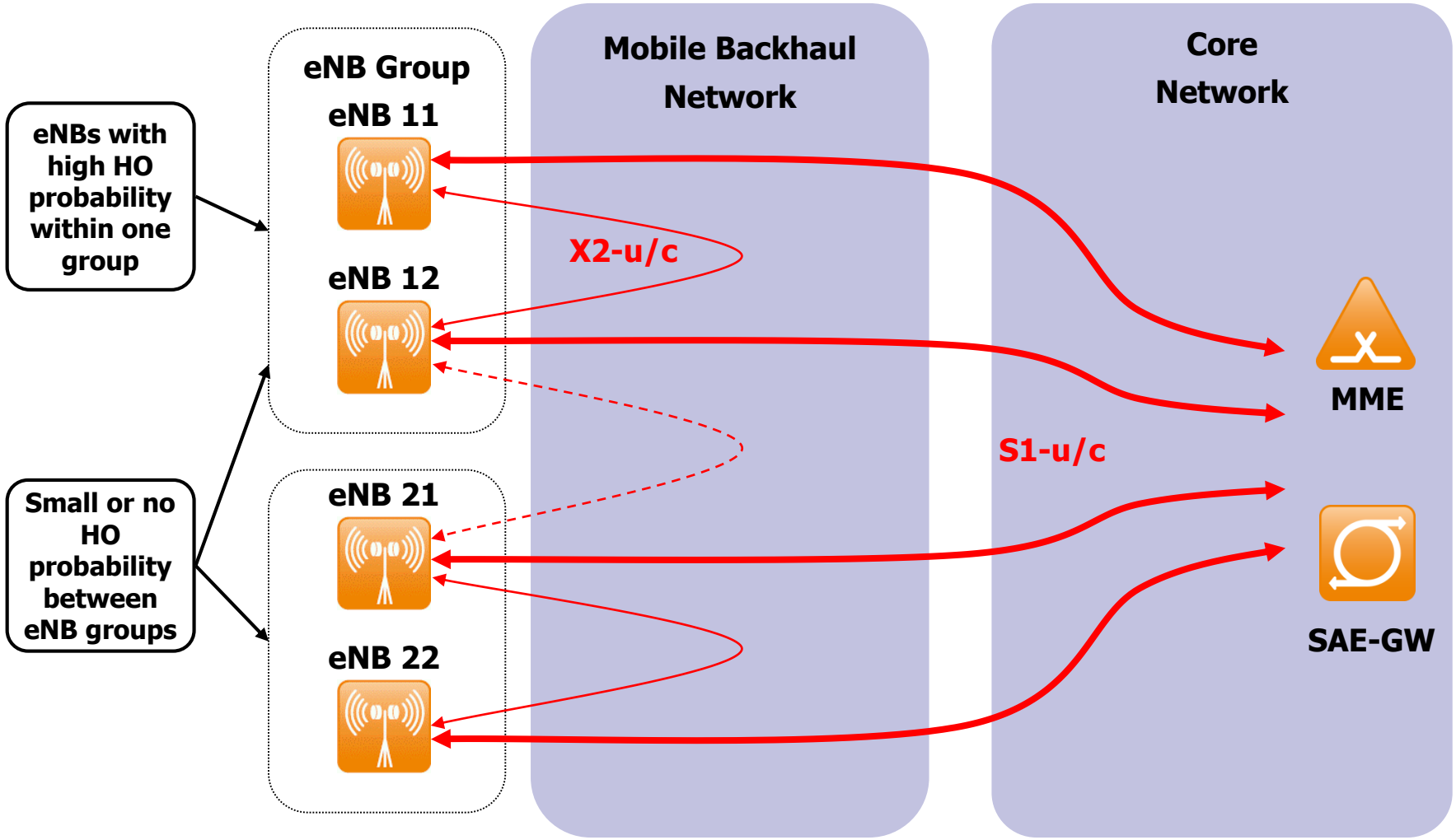
LTE – Backhaul

bérelt vonali és VPN szolgáltatások

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
TÁVKÖZLÉSI ÉS MÉDIAINFORMATIKAI TANSZÉK

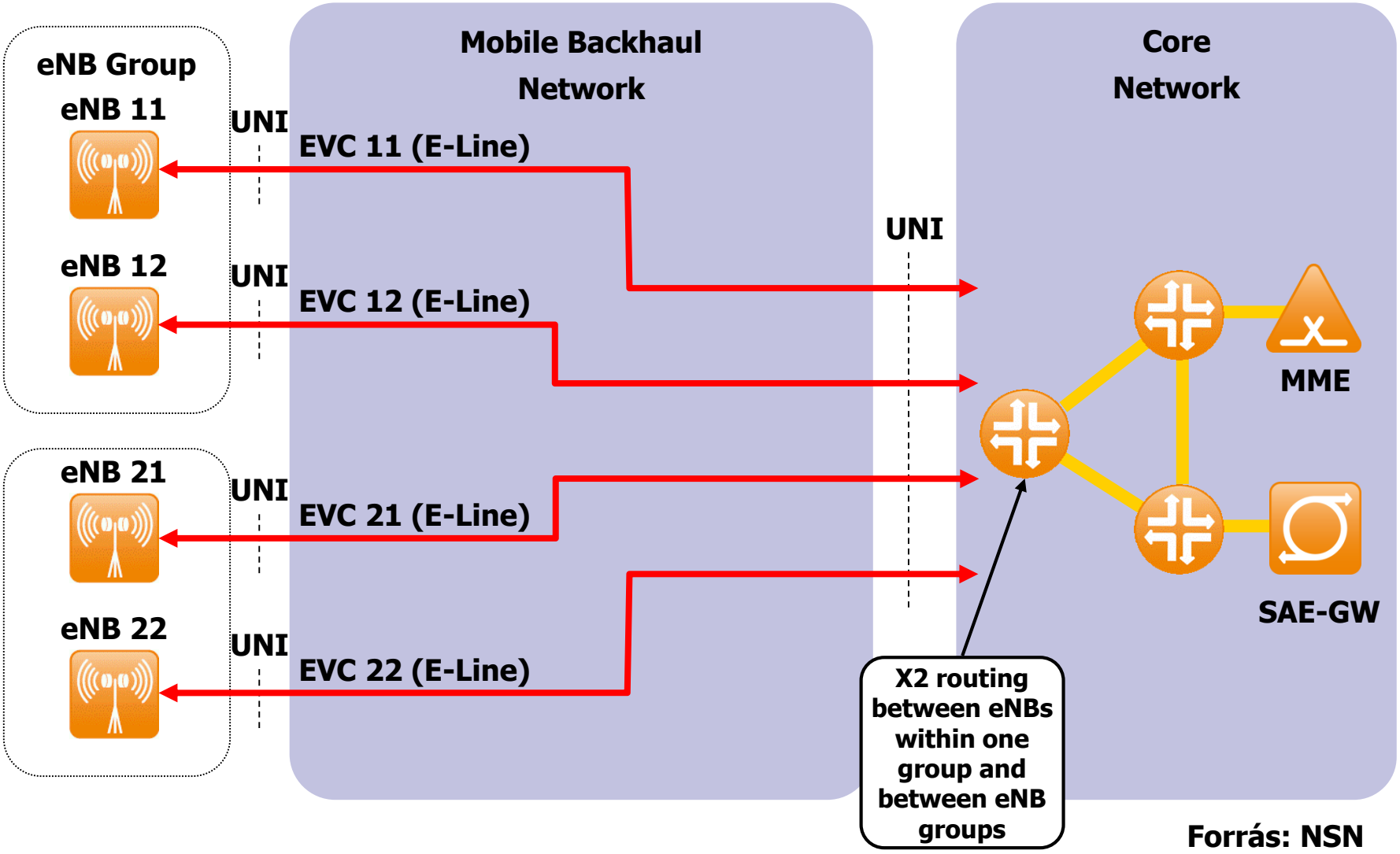
moldovan@tmit.bme.hu

LTE E2E Architecture and Connectivity



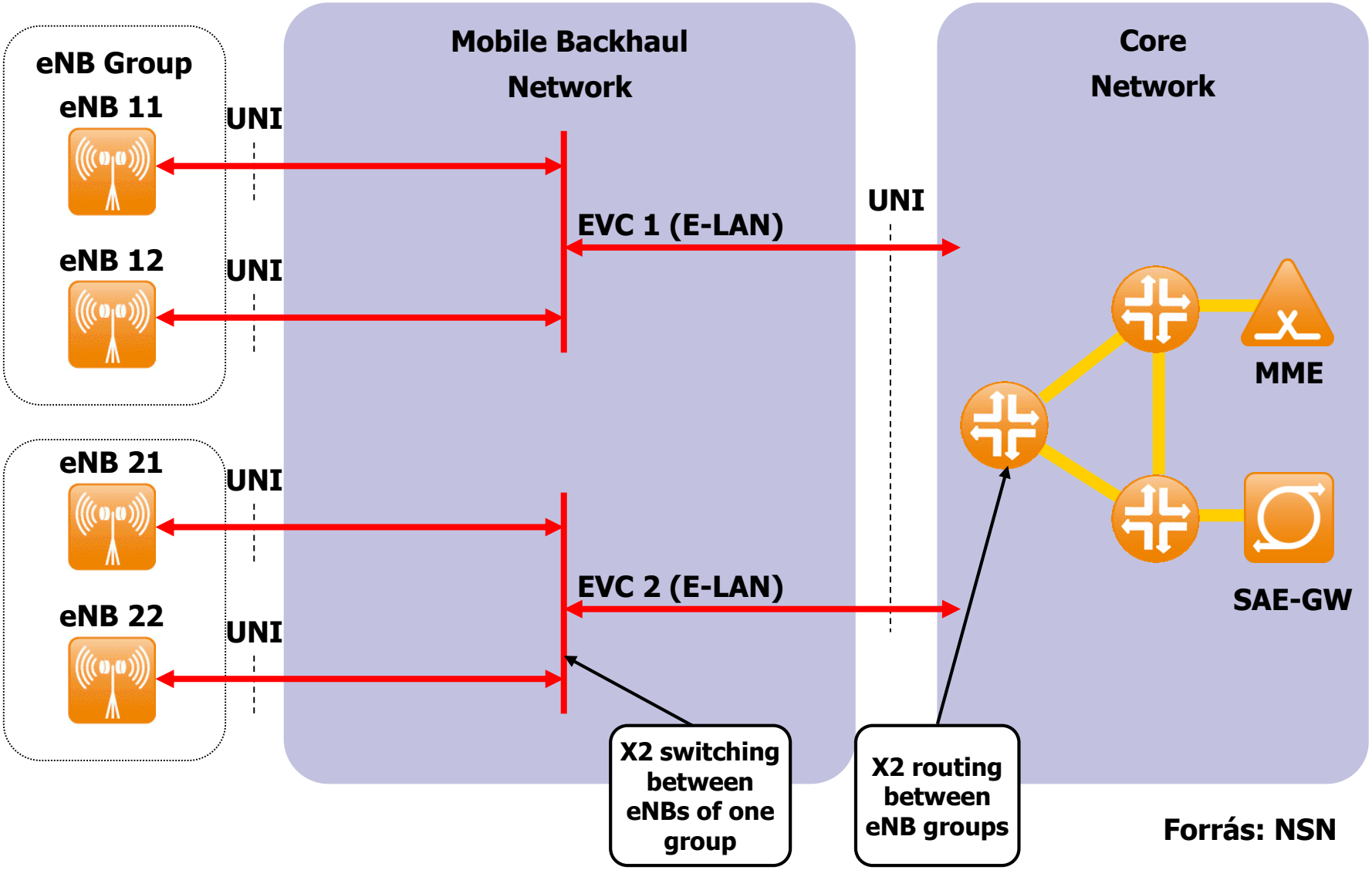
Forrás: NSN

L2 Mobile Backhaul - E-Line



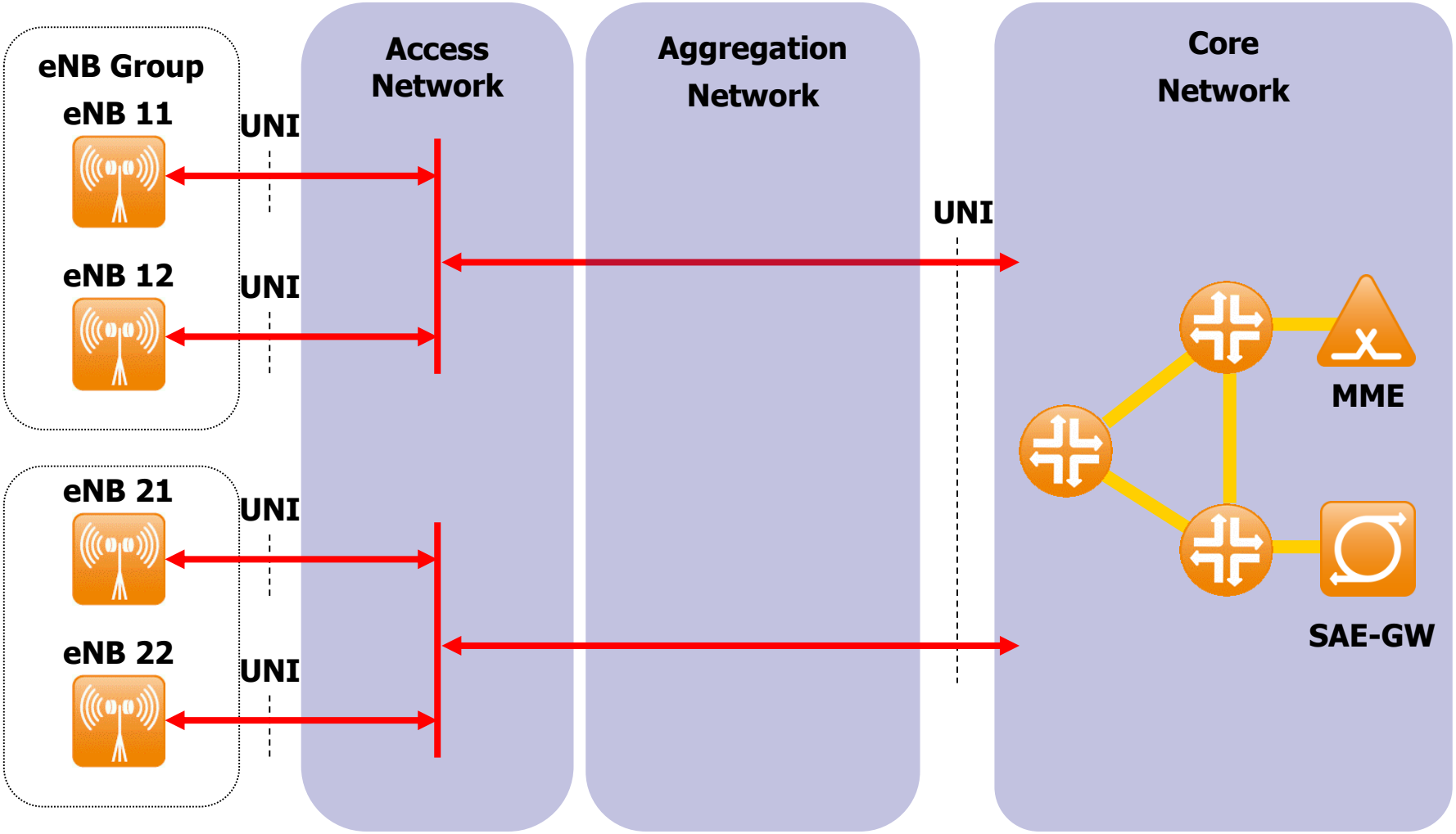
Forrás: NSN

L2 MBH - E-LAN



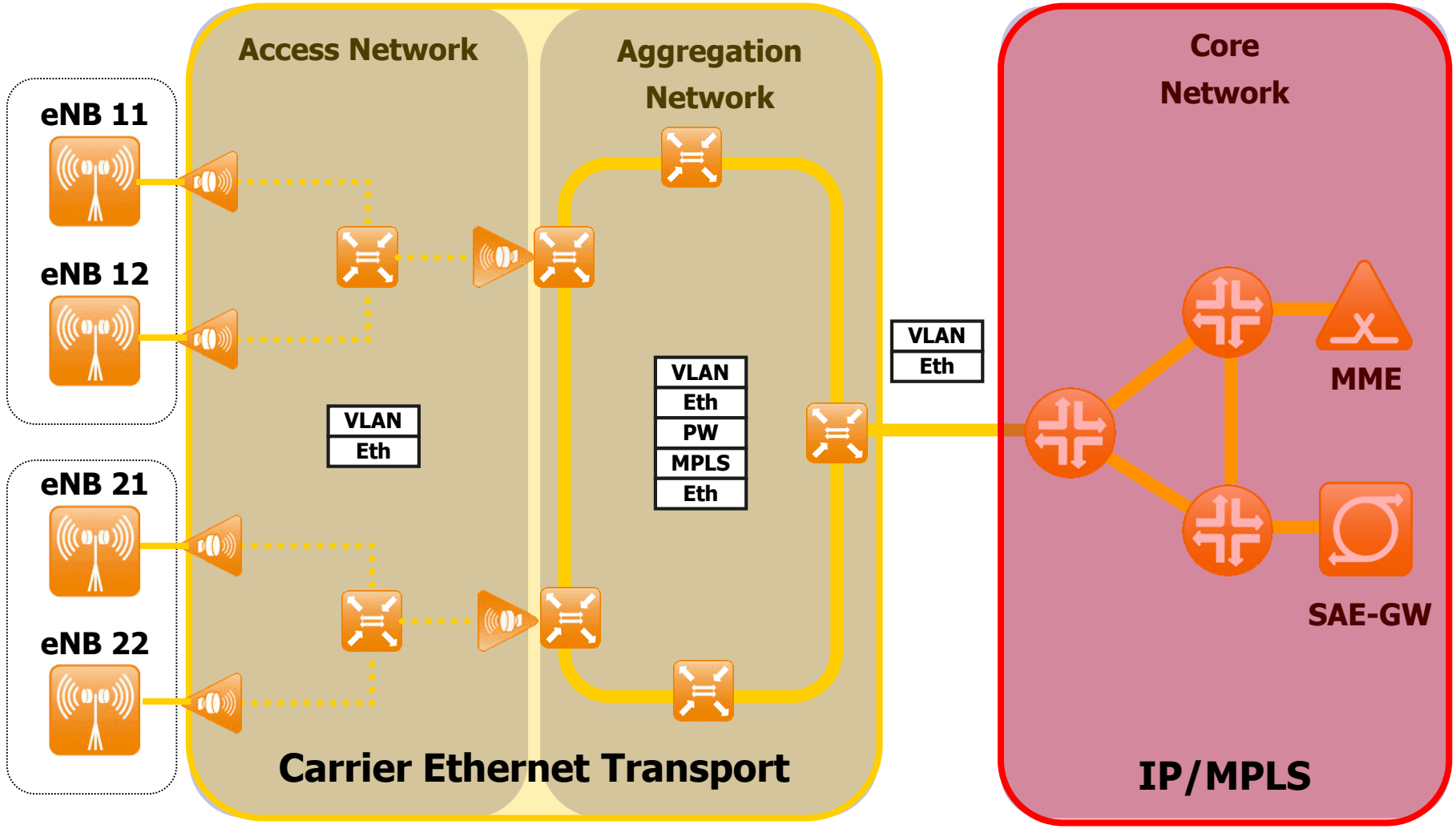
Forrás: NSN

L2 Access és Aggregációs hálózat – Logikai felépítés



Forrás: NSN

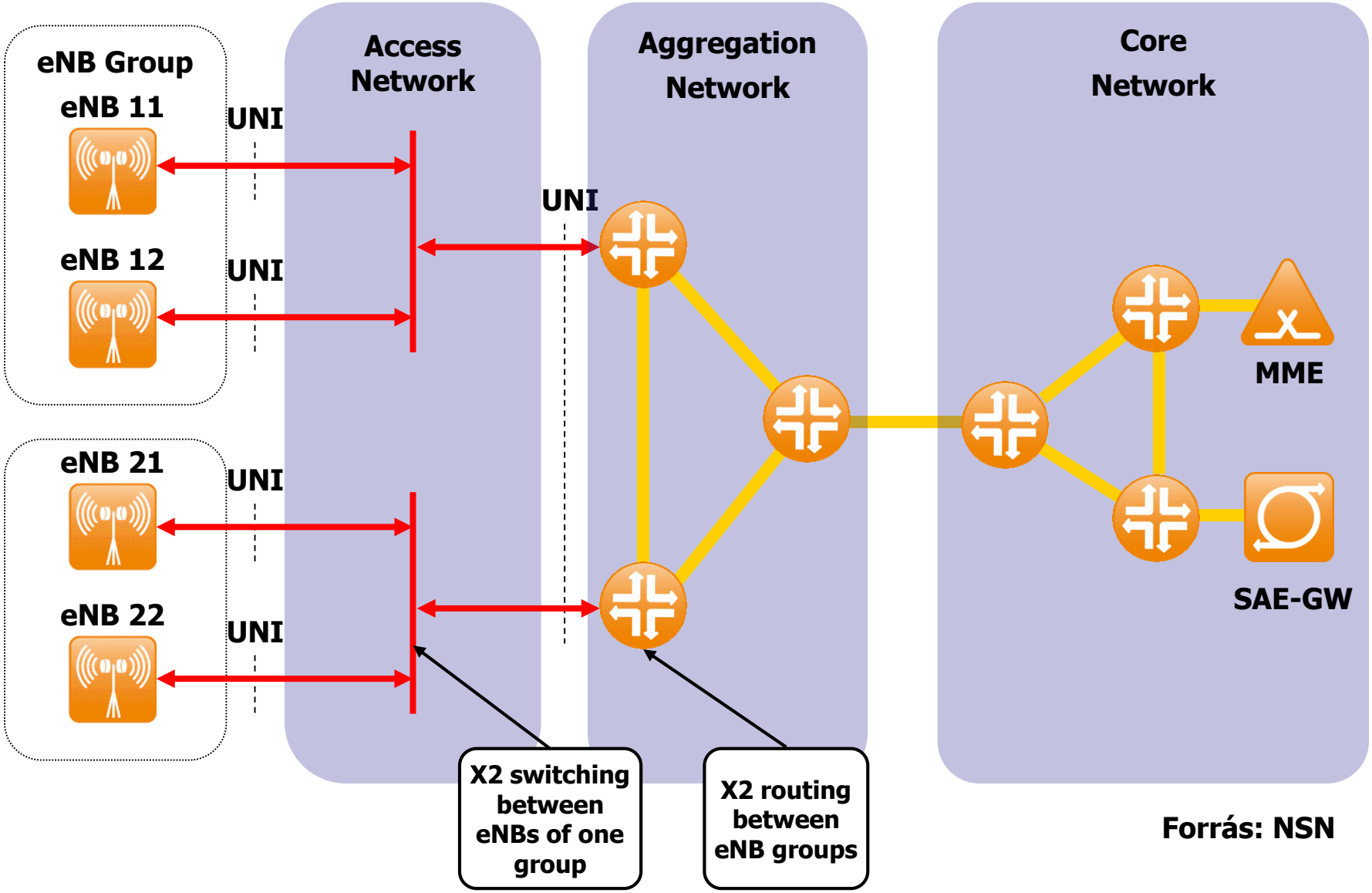
Carrier Ethernet Transport for Backhaul, IP/MPLS for Core



eNB / eNB group identification with VLAN

Forrás: NSN

Alternatíva: L2 Access & L3 Hozzáférés



Forrás: NSN

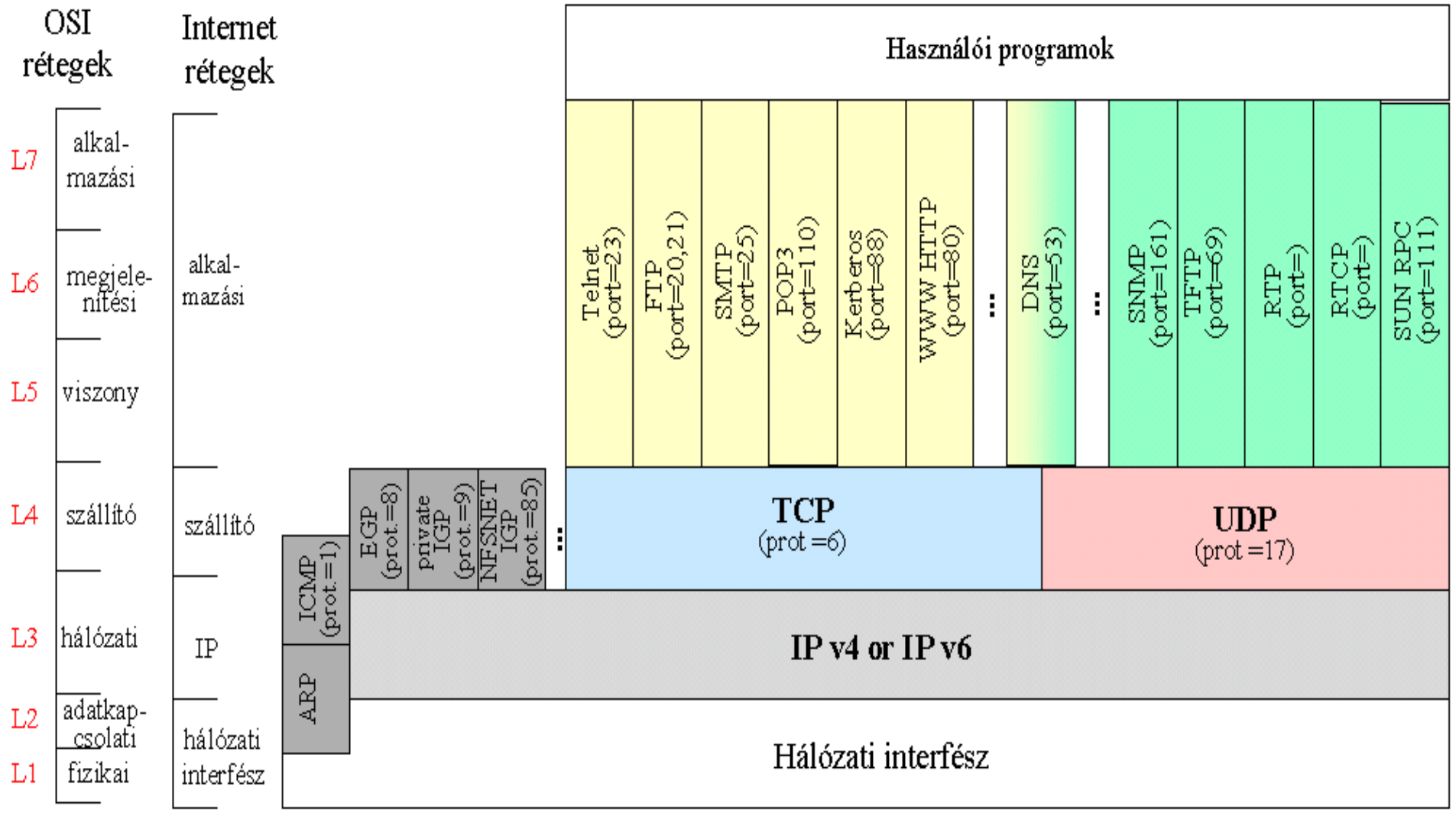
Köszönöm a figyelmet!

Szállítási réteg (L4)

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics

Protokoll stack



Kliens – szerver modellek

- Iteratív szerver
  - Vár, hogy érkezzen egy kliens igény
  - Feldolgozza a kliens igényét
  - Elküldi a választ az igényt küldő kliensnek
  - Ugrás az első lépéshez!
- Konkurrens szerver
  - Vár, hogy érkezzen egy kliens igény
  - Elindít egy új kiszolgálót, hogy kezelje a kliens igényét (új processz, vagy új szál)
    - Ha kész, e szerver működése megáll
  - Ugrás az első lépéshez!

Kliens – szerver modellek

- TCP szerverek általában **konkurrensek**
- UDP szerverek általában **iteratívak**

Iterativitás

- Az UDP Szerver iteratívan dolgozik
  - Általános eset:
  - Egy db well-known port az UDP forgalomnak
  - A sort a küldő végtelennek tekinti
- Ha mégis megtelik a sor:
  - Nincs figyelmeztetés az alkalmazástól a küldőnek
  - Nincs figyelmeztetés a csomageldobásra
  - UDP input sora FIFO

Transzport réteg

- TCP
  - Kapcsolat-orientált
  - Megbízható kapcsolat
  - Automatikus torlódás vezérlés
  - A küldési sebesség automatikus
    - Az alkalmazás nem tudja vezérelni
- UDP
  - Kapcsolat nélküli
  - A sebességet az alkalmazás szabja meg

Transzport réteg - Portok

- Két host között egyszerre több TCP/UDP folyam lehet
- Azonosításra a portokat használják:
  - 16 bites számok a transzport fejlécben
- A forrásnál általában a számítógép választja ki
- A cél általában egy ismert szám
  - HTTP: 80, FTP: 21, SIP: 5060

Transzport réteg – Portok 2

- Egy kapcsolat azonosításához szükséges:
  - Forrás IP, forrás port
  - Cél IP, cél port
- Így egyszerre több kapcsolat lehet ugyanarra a portra – akár ugyanarról a forrás gépről
- Encapsulation – beágyazás

Szállítási réteg - UDP

UDP- User Datagram Protocol

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics

User Datagram Protocol

- Egyszerű
- Datagram orientált
- Szállítási réteg beli protokoll
- RFC 768

UDP

- Kapcsolat nélküli protokoll
  - Nincs állapot információ
- Nem garantálja a csomagok megérkezését
  - Nem küld újra
  - Nem állít a küldési sebességen torlódás esetén
- Kis fejléc (8 byte)
- Főleg multimédia alkalmazások használják
  - Valós idejű átviteleknél jó választás

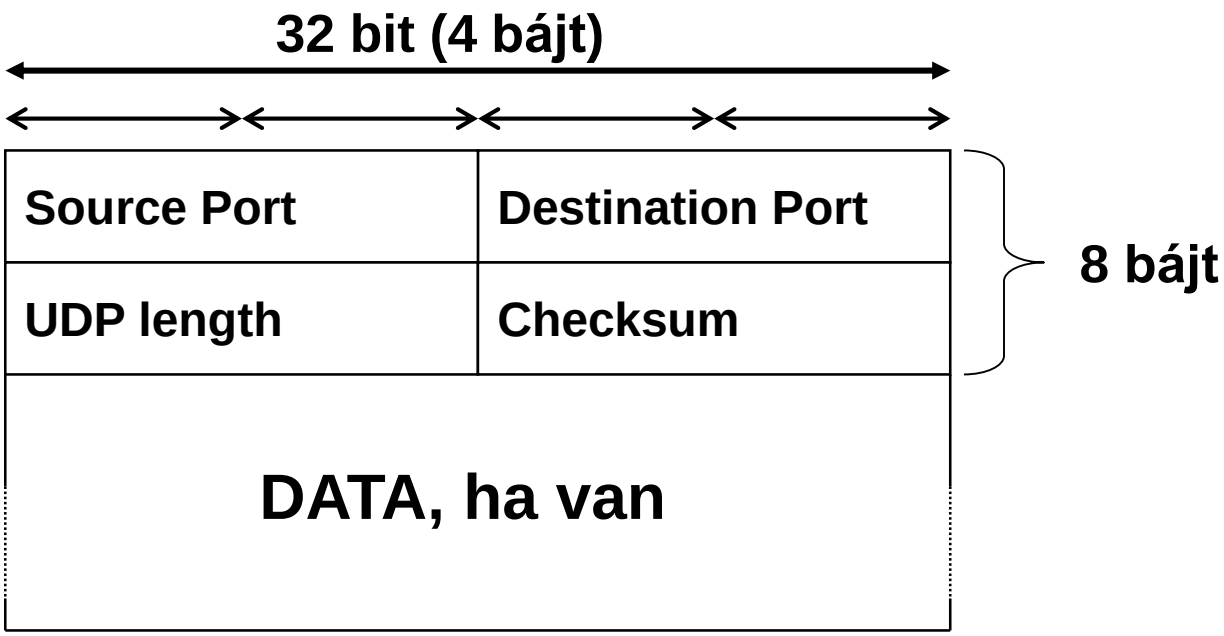
UDP kapcsolat kiépülés

- A kapcsolat kiépülése a portok hozzárendeléséből áll
- A másik számítógép nem kell válaszoljon
  - Ha hiba van ICMP üzenettel jelzi
- A protokoll szegmensekre bontja az adatot
  - Az UDP szegmensek sorszámot kapnak
  - a szegmenseket azonnal küldi

User Datagram Protocol

- Nem megbízható
  - Nincs garancia, hogy a csomag elér a célba
- Nincs folyamvezérlés
- Egy UDP csomag – egy IP datagramm
  - Az alkalmazásnak kell odafigyelnie a helyes csomagméret használatra
  - Fregmentáció!
  - DF bit nem használható
    - A fregmentáció mindig tiltott

UDP csomagformátum



UDP packet structure

Source Port	Destination Port

- Source port (16 bit): azonosítja a küldő alkalmazást
- Destination port (16 bit): azonosítja a fogadó alkalmazást

  - TCP, UDP port számok függetlenek
    - A TCP/UDP demultiplexació az IP protokoll mező alapján!

UDP packet structure

UDP length	Checksum

- UDP length (16 bit): Az UDP fejléc és az UDP adat hossza
  - bájtban
  - Minimum érték: 8 bájt – nincs UDP adat
  - Elméleti max: 65507
- Checksum (16 bit): fejléc és az adatra számítva
  - A 16 bites szavak egyes komplemensű összege
  - „pszeudo fejléc” alapján számolt, bele tartozik:
    - IP csomagból: IP címek, protokoll azonosító mezők
    - Teljes UDP fejléc

UDP Checksum

- Pszeudo fejléc:
  - Kettős ellenőrzése a helyes átvitelnek
    - Szükséges, mert nincs folyamvezérlés
- Nem kötelező (teljes 0 – nincs checksum)
  - Ha a checksum csupa 0
    - Helyettesíti 65535 – egyes komplemens aritmetika
  - Ha a checksum hibás:
    - A csomag csendben (*silently*) eldobásra kerül
      - Nincs hibaüzenet!

Szállítási réteg - TCP

TCP - Transmission Control Protocol

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics

Transmission Control Protocol

- Két alkalmazás között nyújt
  - Megbízható végpont-végpont adattovábbítást
  - Kapcsolat-orientált adatfolyam szolgáltatás
  - Folyamvezérlő algoritmus
- Két végponti alkalmazás
  - Az adatközvetítés előtt fel kell építenie a TCP kapcsolatot
- Broadcastingra és multicastingra nem alkalmazható a TCP

Transmission Control Protocol

- A TCP adat IP csomagba enkapszulálva
- A TCP által az IP-hez továbbított adategység neve **szegmens**
- TCP logikai kapcsolatokat használ processz párok között:
  - TCP szegmens tartalmazza a forrás és a cél port számait
- Az IP cím és a megfelelő TCP port számok kombinációját hívjuk a kapcsolat **socket**jének, transzport címének
  - Socket párok

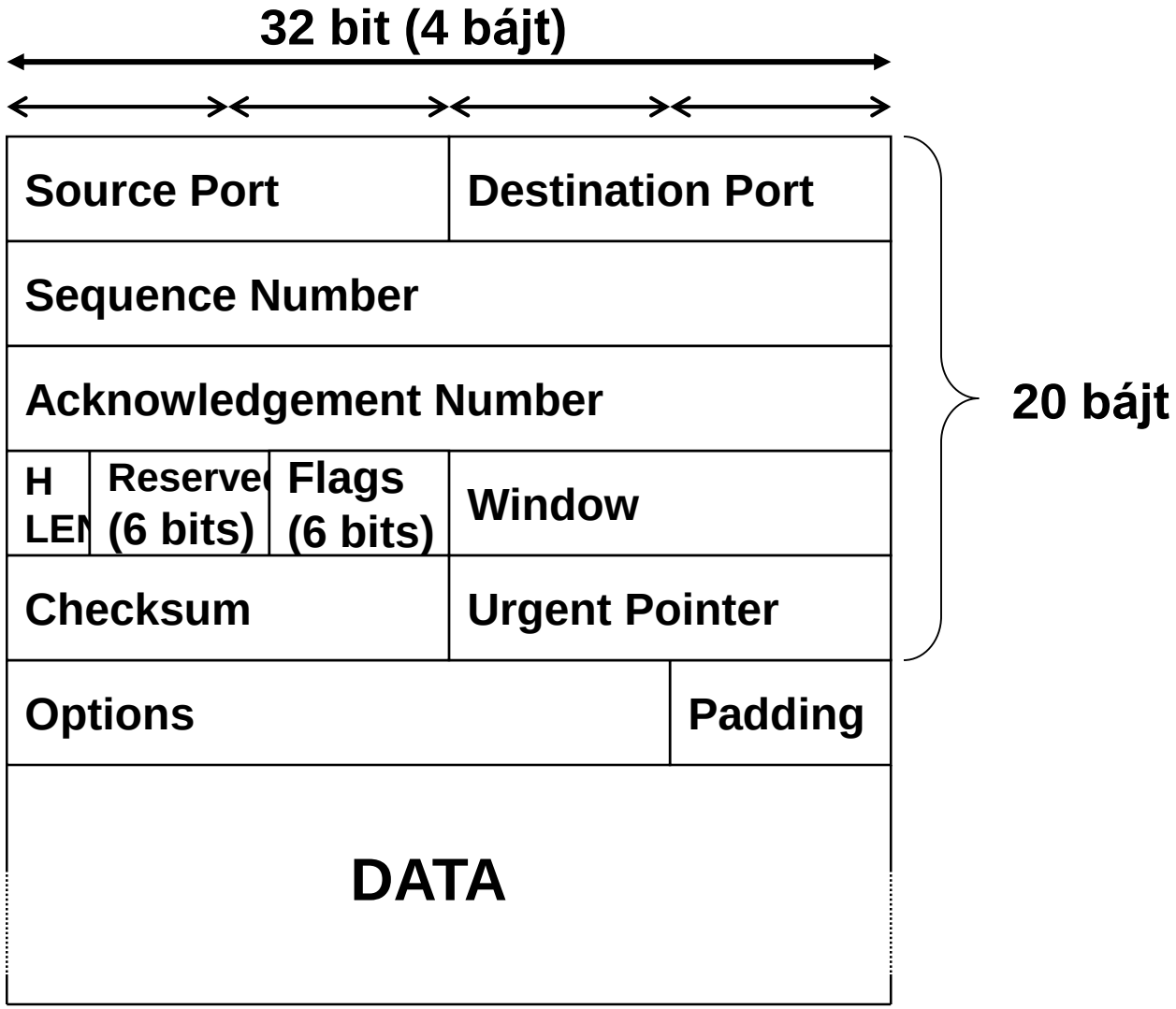
TCP

- ***full duplex*** szolgáltatást nyújt az alkalmazási rétegnek
  - Kétirányú adatátvitel
  - Mindkét végpont sorszámozást végez az adataikon
- ***nincs selective*** ACK
  - ack jelentése: eddig a bájtig (de a küldöttet nem beleértve) sikeres a vétel
- ***nincs negative*** ACK
- ***nem interpretálja*** a bájtfolyamot
  - Továbbadja az alkalmazásnak

Áttekintés - TCP

- Csomag formátum
- Kapcsolat kiépítés
- Csúszó ablakos átvitel
- Torlódás vezérlés
  - Slow Start
  - Fast Retransmit
  - Congestion avoidance

TCP csomagformátum



TCP csomagformátum

Source Port	Destination Port
Sequence Number	
Acknowledgement Number	

- **Source port** (16 bit):
  - A TCP port száma a küldőnél
- **Destination port** (16 bit):
  - A TCP port száma a fogadónál
- **Sequence number** (32 bit):
  - A bájtfolyam adott szegmensének sorszáma
- **Acknowledgement number** (32 bit):
  - A fogadó által következőként várt szegmens sorszáma

Port számok

- Azonosítják az alkalmazásokat (16 bit)
- well-known port számok (1-1023)
  - szerverek, pl. Telnet 23, FTP 21
- ephemeral port számok (1024-5000)

- Internet Assigned Numbers Authority, IANA

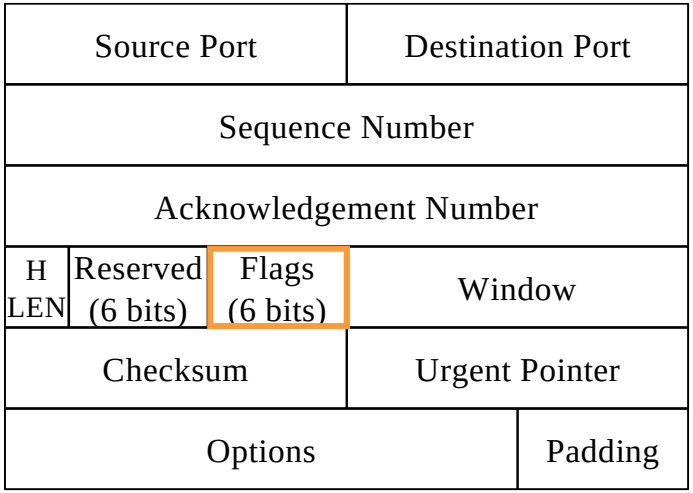
TCP csomagformátum

H LEN	Reserve (6 bits)	Flags (6 bits)	Window

- **Header Length** (4 bit):
  - A TCP fejléc 32 bites szavainak száma
  - Az options mező vváltozó hossza miatt szükséges
- **Reserved** (6 bits):
  - MBZ
  - Jövőbeni használatra foglalt
- **Flags** (6 bits):
  - 6 flag, melyek szabályozzák a TCP csomag viselkedését
    1. Urgent (URG)
    2. Acknowledgement (ACK)
    3. Push (PSH)
    4. Reset connection (RST)
    5. Synchronous (SYN)
    6. Finish (FIN)

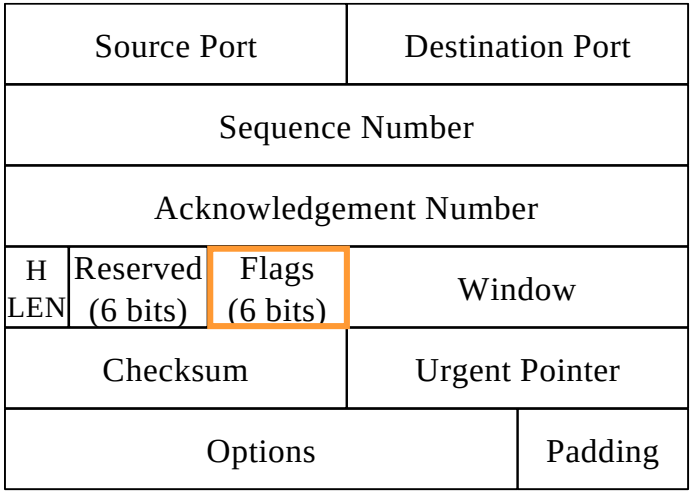
TCP flagek

- Urgent flag (URG)
  - A végpontok üzenhetnek, hogy sürgős adat van az adatfolyamban
- Acknowledgement flag (ACK)
  - Megadja, hogy a nyugtaszám a szegmensben érvényes
- Push flag (PSH)
  - A szegmens adatokat tartalmaz, melyeket az alkalmazásnak kell továbbítani



TCP flagek

- Reset flag (RST)
  - Reset szegmenst küld a TCP
    - ha nem megfelelő portra érkezik kapcsolatkérés
    - Ha az egyik fél meg akarja szakítani a kapcsolatot
- Synchronous flag (SYN)
  - A SYN flag bekapcsolt azokban a szegmensekben, melyek a kapcsolatfelépítéshez szükségesek
- Finish flag (FIN)
  - A végpontok kapcsolat lezárásra használják ezt a flaget



TCP csomagformátum

H LEN	Reserved (6 bits)	Flags (6 bits)	Window
Checksum			Urgent Pointer

- **Window** (16 bit):
  - Az adatfolyam vezérléshez szükséges
  - Megadja, hogy a fogadónak mennyi bájt adat fogadására képes a buffere.
- **Checksum** (16 bit):
  - A TCP fejléc integritásának megőrzésére
  - A checksum pszeudo fejléc alapján számítódik, információkat véve az IP fejlécből is

TCP csomagformátum

Checksum	Urgent Pointer
Options	Padding

- **Urgent Pointer** (16 bit):
  - Ha sürgős adat van a szegmensben ez a pointer mondja meg, hogy hol kezdődik az az adatrészben
- **Options**:
  - A leggyakoribb opció mező az MSS - maximum segment size
    - Megadja a legnagyobb szegmensméretet, melyet a fogadó fogadni szeretne

TCP kapcsolat felépítés és bontás

Budapest University of Technology and Economics

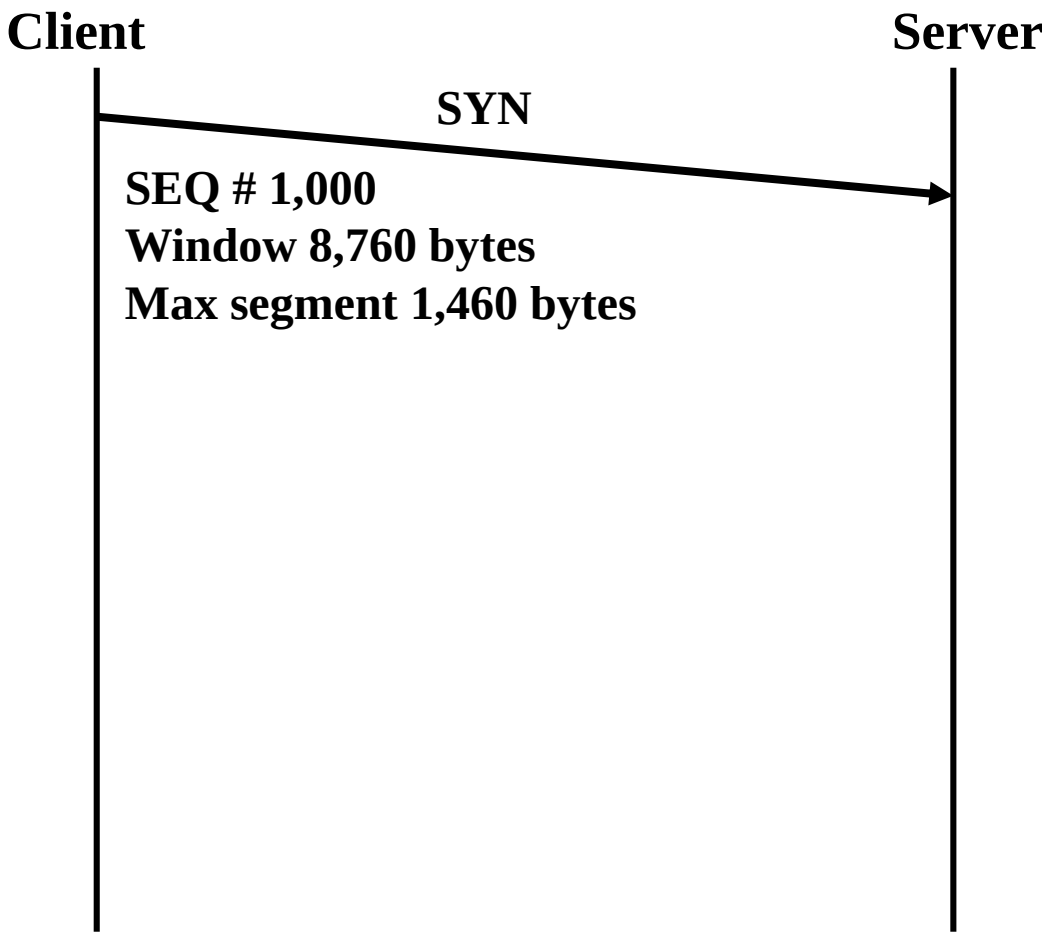
Department of
Telecommunications and Media Informatics

Transmission Control Protocol

- A TCP az adatszegmensek továbbításakor a következőket végzi:
  - Kapcsolat felépítés
  - Ablakméret (Advertised window size), Maximum szegmens méret meghirdetése
  - Adatok továbbítása
  - Nyugták küldése a fogadott szegmensekre
  - Kapcsolat lezárása

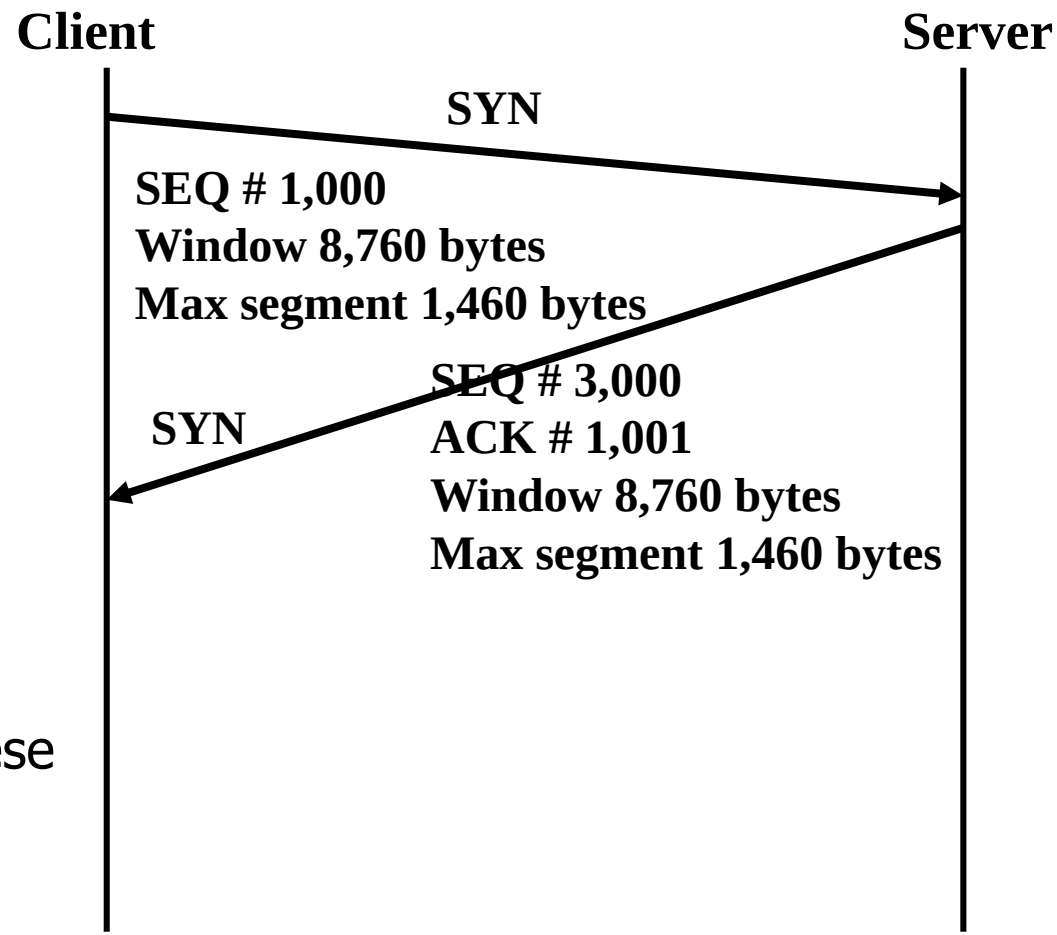
Kapcsolat felépítés

1. Kezdeményező végpont - kliens
   - SYN szegmens küldése
     - Szerve port számának megadása – ahová kapcsolódni szeretne
   - Kezdeti saját, sorszám
     - ISN – initial seq. num.
   - Saját ablakméret hirdetése
   - MSS hirdetése



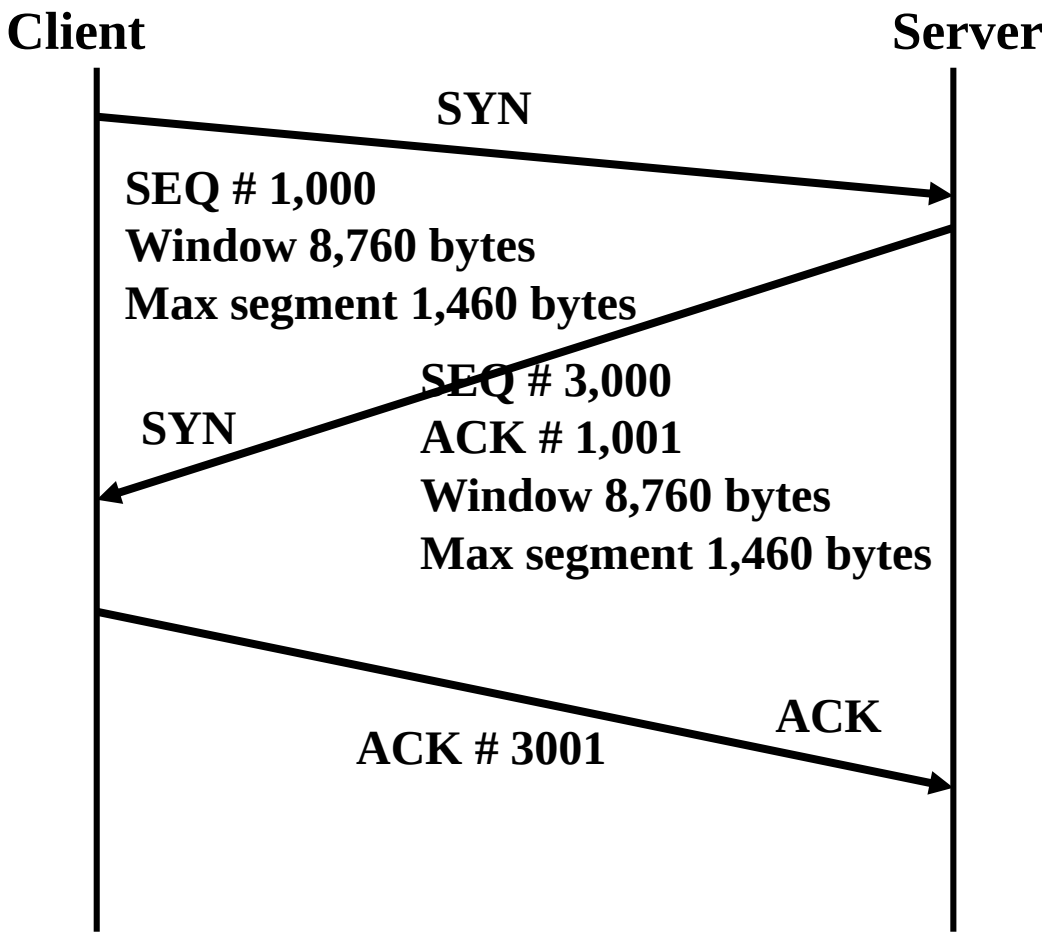
Kapcsolat felépítés 2

2. The szerver válaszol
   - SYN szegmens tartalmazza
     - Szerver ISN
     - Nyugta a kliens szegmensére
       - Várja az 1001-et
   - Saját ablakméret hirdetése
   - MSS hirdetése



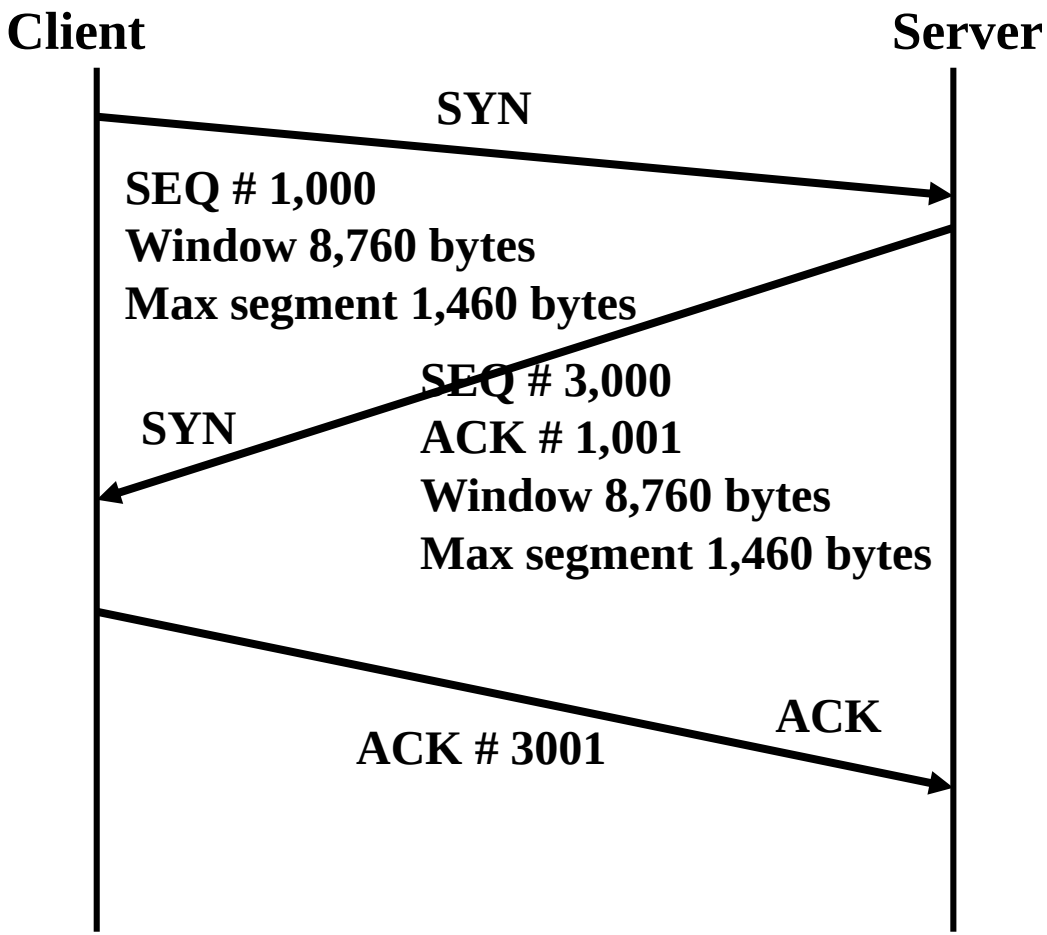
Kapcsolat felépítés 3

3. A kliens nyugtáz
   - Kötelező a kliensnek nyugtát küldeni a szerver SYN szegmensére



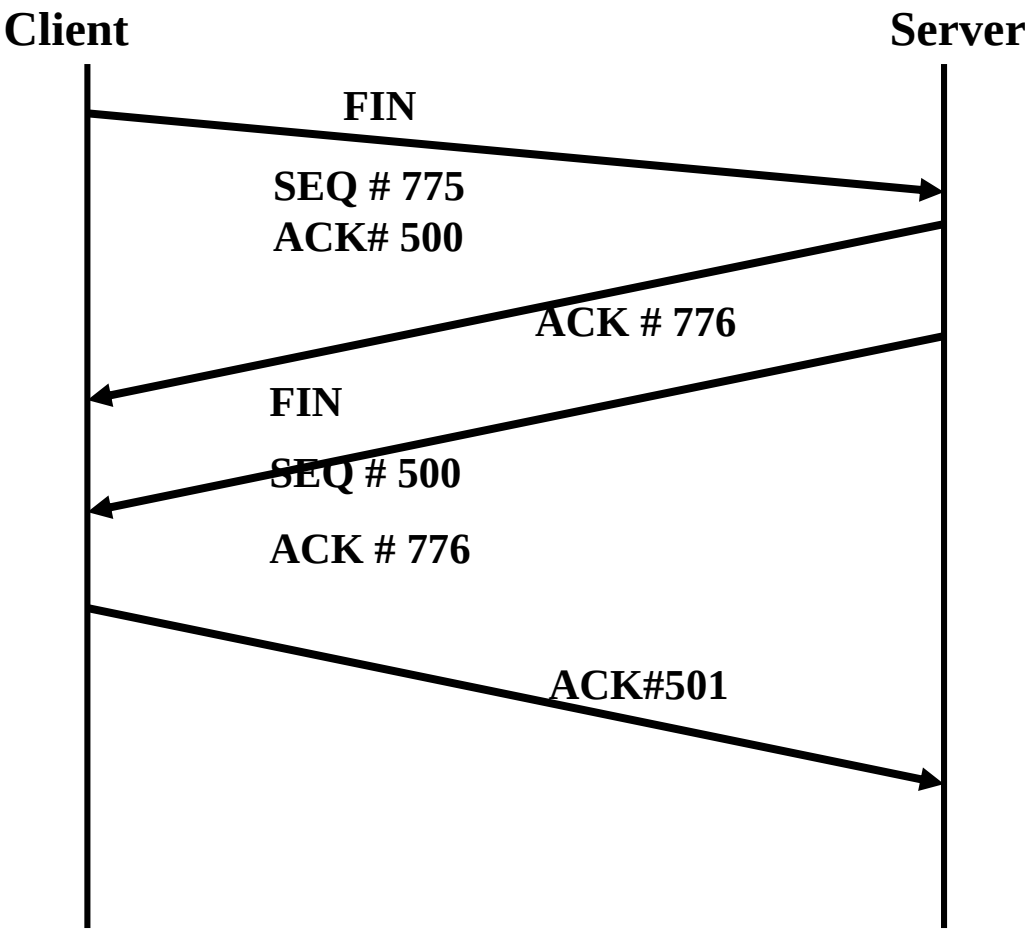
Three-way handshake

- TCP nagyon érzékeny a SYN szegmens elvesztésekre
  - Hosszú időzítések kapcsolat felépítéskor
- SYN szegmens 1 sorszámot foglal
  - Adatoknál bájtokat számlál a seqnum



TCP kapcsolat lezárása

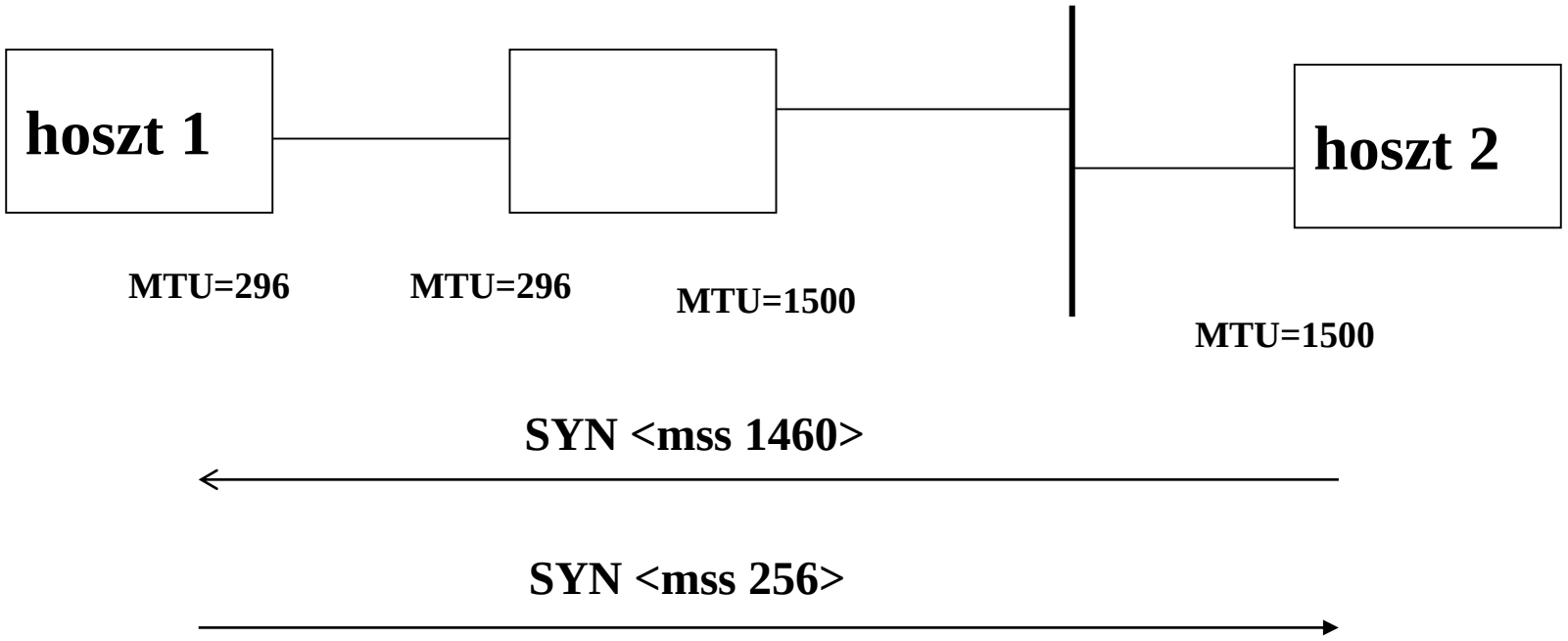
- 4 szegmens a kapcsolat szabályos lezárásakor
- Mindkét végpont egymástól függetlenül lezár
- FIN fogadásakor
  - A TCP-nek értesíteni kell az alkalmazást, hogy a túloldal lezárta a kapcsolatot
  - TCP FIN fogadás után továbbra is tud adatokat küldeni



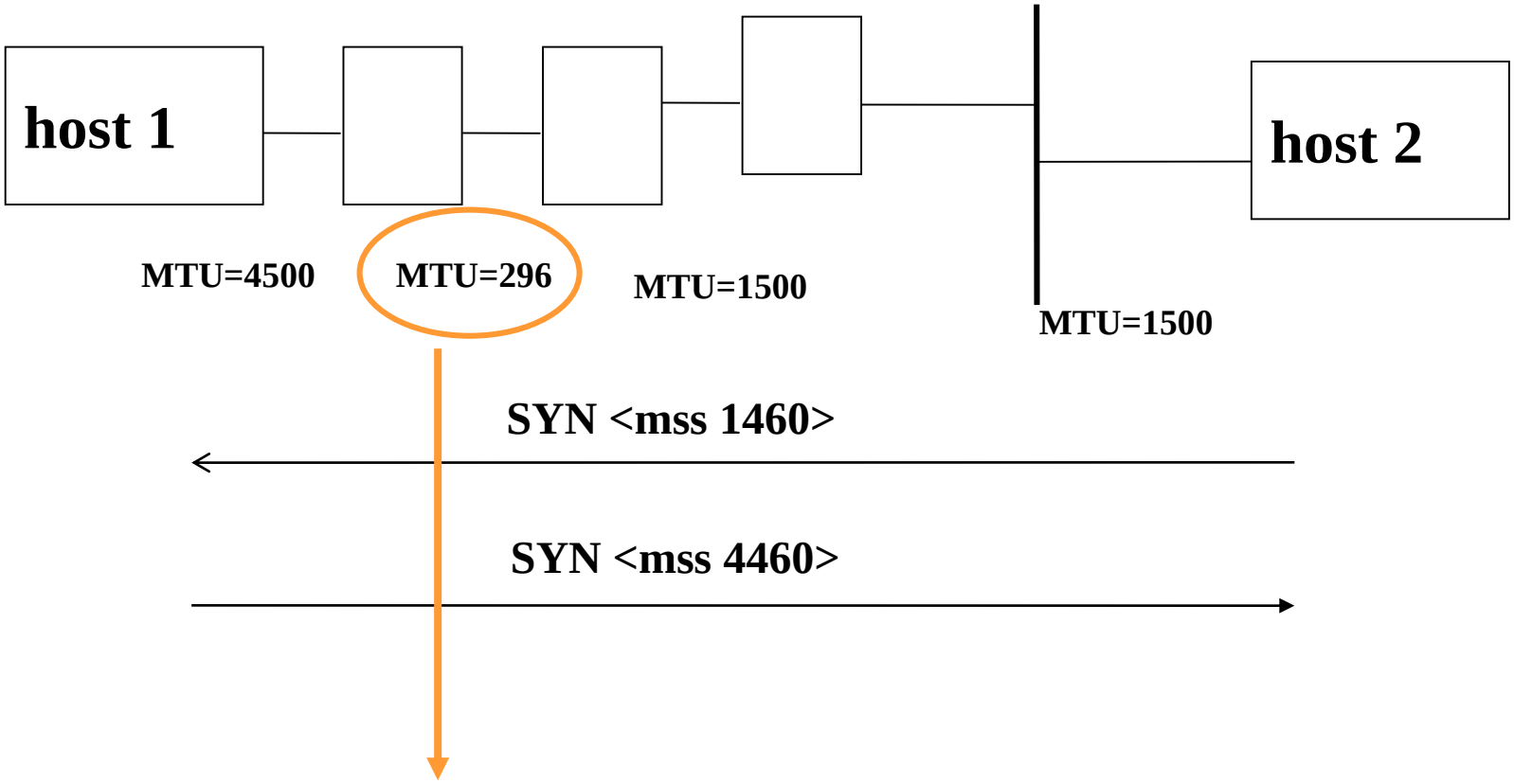
Maximum Segment Size, MSS

- Legnagyobb szegmens méret, melyet a másik oldal küldhet
- Mindkét végpont meghírdeti, hogy milyen méretet vár el
- MSS opció a SYN szegmensben
  - Ha nincs ilyen, akkor alapértelmezett (536 bájt)
- MSS max értéke:
  - A kimenő interfész MTU csökkentve az IP és TCP fejléc méretével
  - Ethernet: 1500-20(IP)-20(TCP)=1460 bájt max

MSS értékek


hoszt 1
hoszt 2
MTU=296
MTU=296
MTU=1500
MTU=1500
SYN <mss 1460>
SYN <mss 256>

MSS értékek 2



MTU Path discovery!

MTU Path felderítés

- Kapcsolat felépítés után a TCP
  - Saját MSS
  - Túloldal által hirdetett MSS
  - Minimumát használja a szegmensek méretéhez
- Előfordulhat az útvonalon kisebb MTU-jú hálózat
  - Kommunikció közben derülhet ki
  - Felderítéséhez a TCP beállított DF bites IP csomagokat küldhet

MTU Path felderítés

- Ha fregmentáció történik ICMP üzenet érkezik vissza:
  - "DF set, can't fragment"
- TCP csökkenti a szegmens méretet és újraküld
  - Az újabb ICMP tartalmazza a következő hop MTU-ját
  - Régebbi ICMP nem tartalmazza, következő kisebb MTU-val próbálkozik a TCP
- Nagyobb MTU érték próbája MSS növeléséhez (~10 percenként)
  - Routing változás esetén lehet
  - Kis szegmens – nagyobb overhead

Csúszó ablak

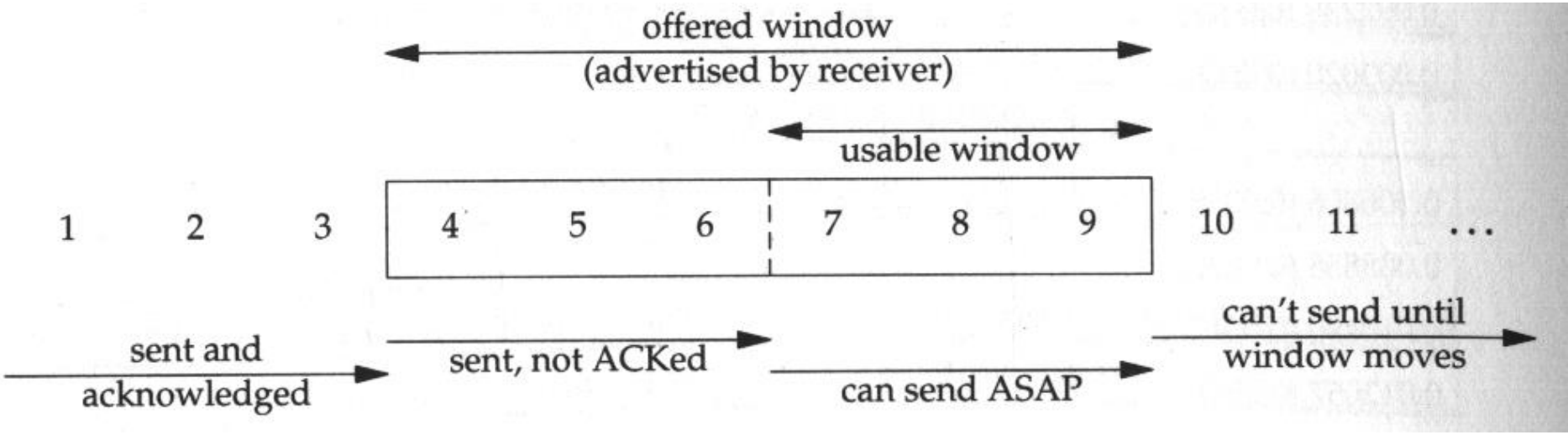
„TCP Sliding window”

MŰEGYETEM 1782

Budapest University of Technology and Economics

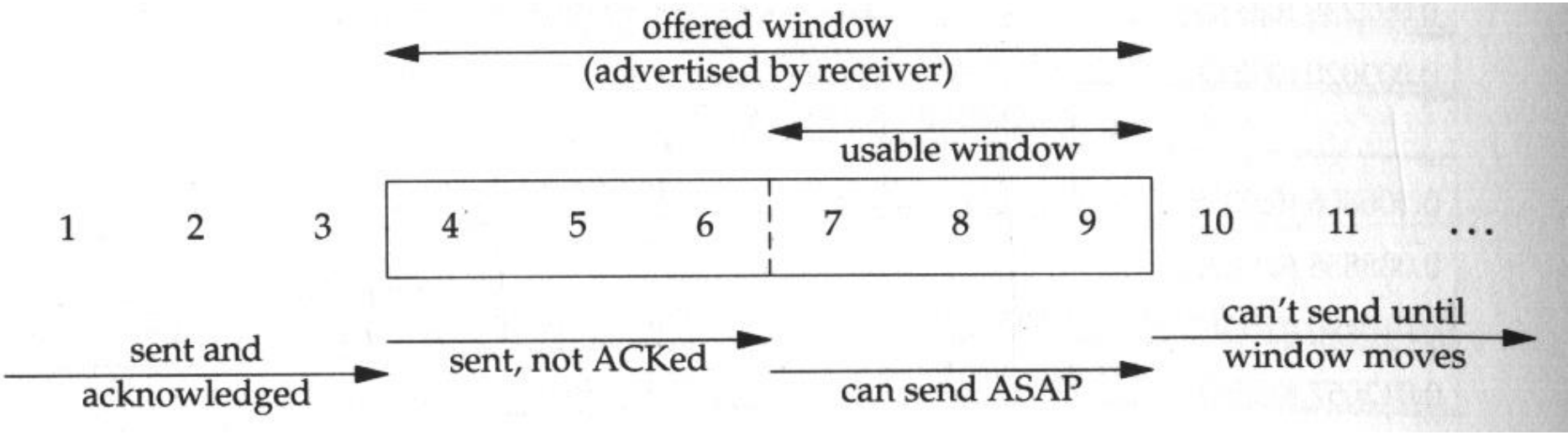
Department of
Telecommunications and Media Informatics

Csúszó ablak – Sliding Window



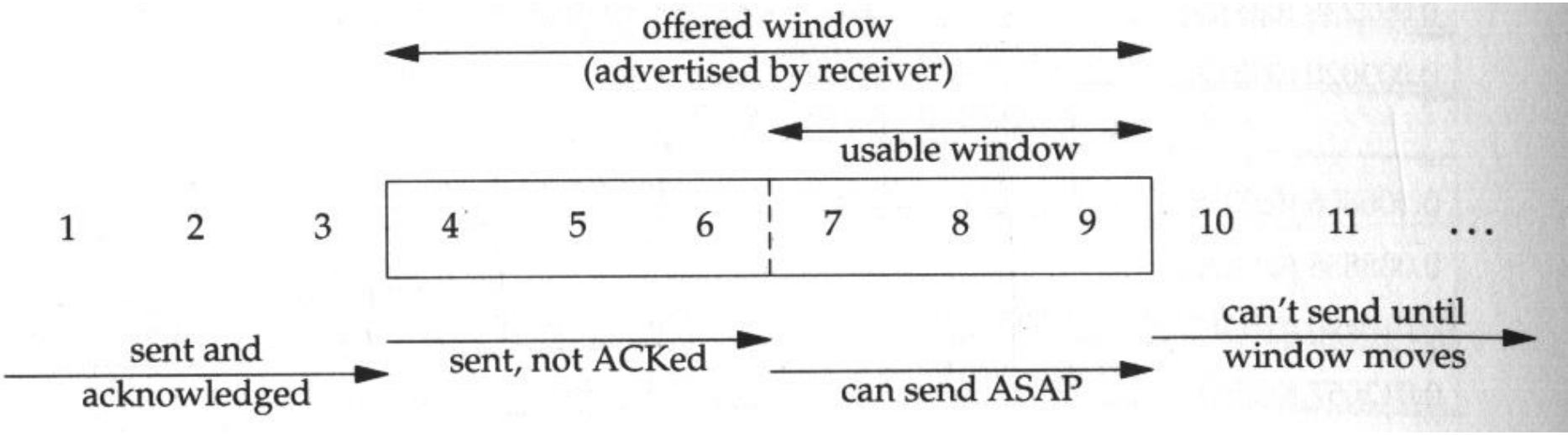
- Csúszóablak jellemzői:
  - Mérete **bájtban** adott
  - Ábrán szegmens számok!!!
- Előző példa:
  - Window méret 4096
  - Ebbe 4 db szegmens fér bele, ha egy szegmens 1024
  - Mert pl. az MSS = 1460

Csúszó ablak – Sliding Window



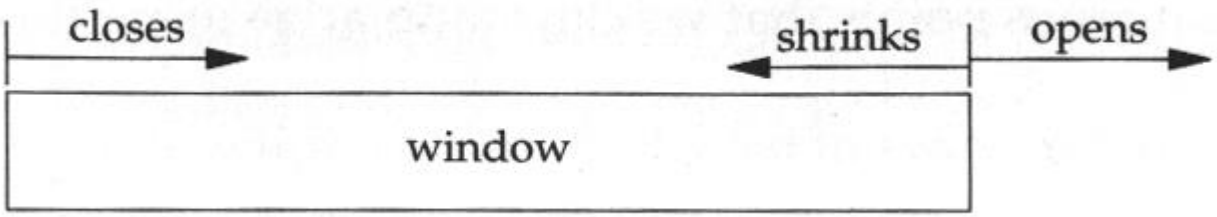
- 1-3 szegmensek már nyugtázottak
- **offered window**:
  - A fogadó által meghirdetett ablakméret
  - 4-9 szegmensek:
    - 4-6 elküldött, de még nem jött nyugta
    - 7-9 azonnal küldhető szegmensek
- **usable window**:
  - az azonnal küldhető szegmensek

Csúszó ablak – Sliding Window



- 10 ... szegmensek
  - Elküldésre váró szegmensek
  - Csak ha érkezik nyugta és az ablak tovább csúszik

A csúszóablak végeinek mozgása



- **Zár - Closes**: ha nyugta érkezik
- **Nyit - Opens**: ha a fogadó oldalon az alkalmazás fogadja az adatokat – ürül a buffer
- **Összehúzódik - Shrinks**:
  - Normál esetben nincs
    - De a TCP-nek kell tudni kezelni!

Csúszóablak működése

http://www2.rad.com/networks/2004/sliding_window/

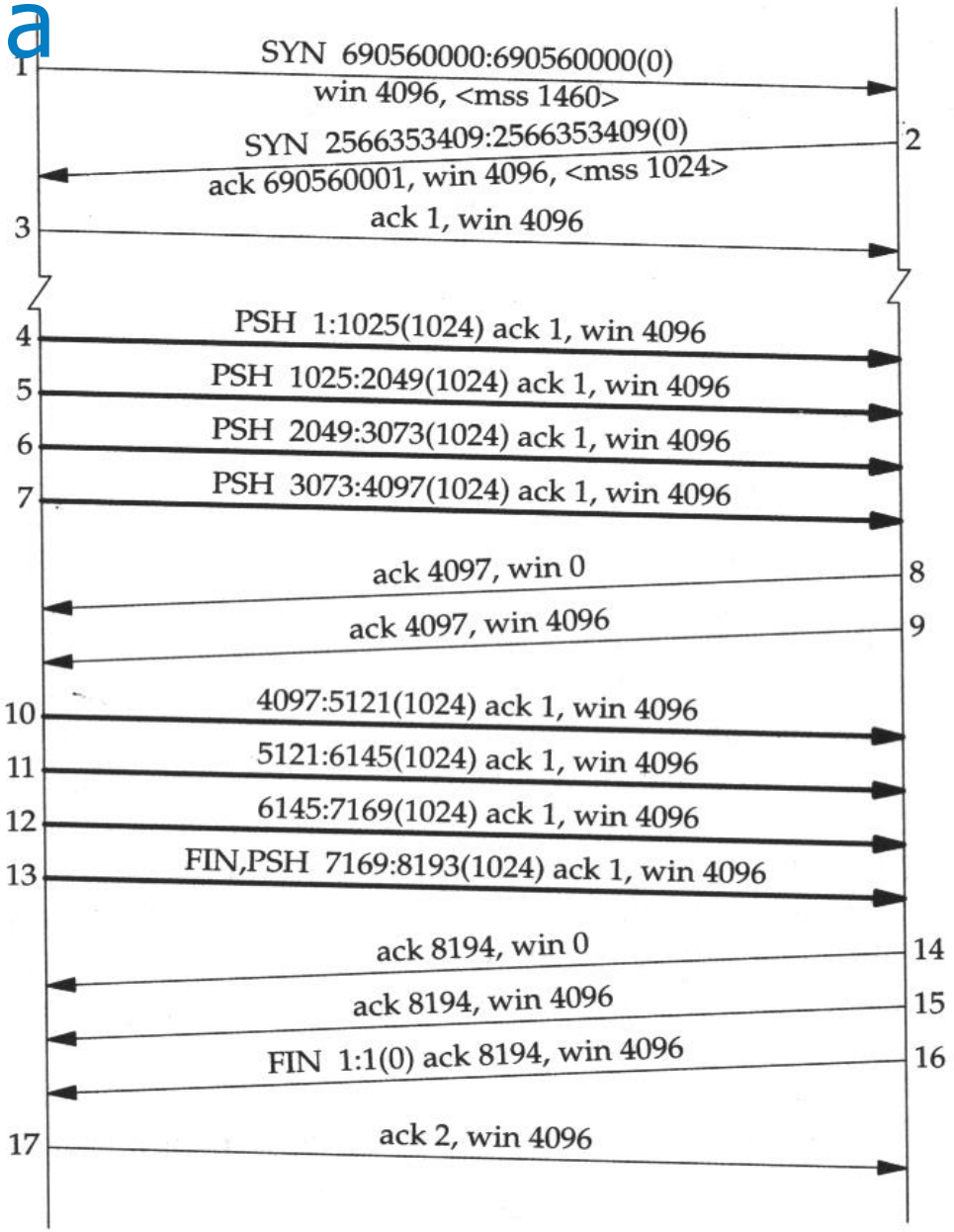
Az ablak mérete

- Az ablak méretét a fogadó oldal kezeli
  - TCP teljesítményére hatással van
- Általában (window size)
  - Az általános **alapértelmezett érték 8 kbájt**
  - **Nem mindig optimális**
  - **Korlátozó tényező lehet!**
- Az **optimális ablak mérete** függ
  - A kommunikációs média **sávszélességétől**
  - A két hoszt közötti **körülfordulási időtől**
    - Round trip time

Slow Start

Többszörös csomagok küldésének problémája

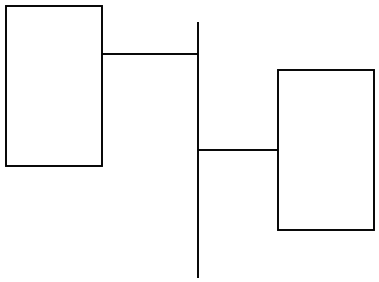
- Korábbi példa:
  - A küldő a kapcsolat elején rögtön elküldi a meghirdetett ablakméret szerinti szegmensmennyiséget
  - Milyen problémákat okozhat ez?



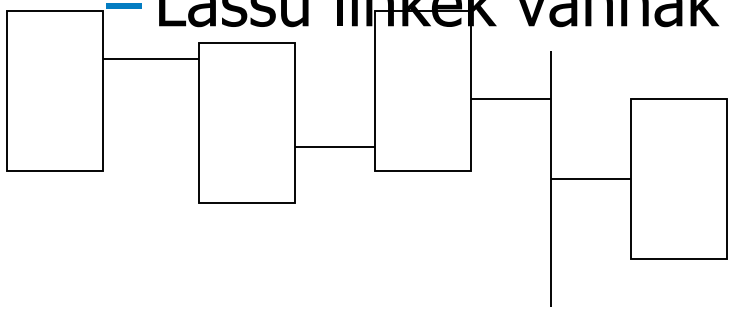
Többszörös csomagok küldésének problémája

Többszörös csomag küldés

- **Alkalmazható**
- **ha a két fél egy LAN-on van**

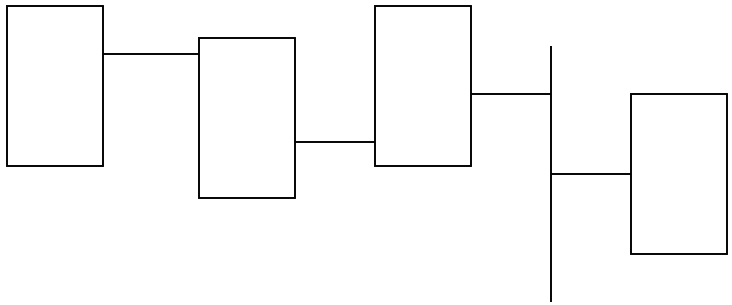


- **Nem alkalmazható**
- ha a két fél nem egy alhálózaton van,
- köztük
  - Routerek
  - Lassú linkek vannak



Többszörös csomag küldés nem alkalmazható

- A közbenső routerekben felsorakozhatnak a csomagok
  - Csomageldobás következhet be



- Jelentős teljesítménycsökkenést okoz
  - **Megoldás: TCP Slow start algoritmusa**

Slow Start – lassú indítás

- Mire való?
  - Elkerülhető vele a meghirdetett ablakméret szerinti többszörös csomagküldésből származó problémák
- Slow Start algoritmus alapja
  - Meghirdetett ablakméreten felül
  - Definiál egy ***congestion window (cwnd)*** változót a kapcsolathoz
  - Megadja az adott pillanatban elküldhető maximális szegmensszámot
  - A kapcsolat állapotától függ
  - Számlálása bájtban (példákban szegmensszámmal!)
- A cwnd - küldő oldal forgalomszabályzója
- Az adv. window - fogadó oldal forgalomszabályzója

Slow Start tulajdonságai

- Új kapcsolat létrehozatalakor
  - Congestion window; **cwnd = 1 szegmens**
  - Jelentés: a küldő 1 szegmenst küldhet
- Minden alkalomkor, ha ACK érkezik
  - cwnd növelhető egy szegmensnyivel
  - (cwnd bájtban számol, de a növekedések mindig szegmens egységnyik).
- A küldő egyszerre mindig ***min(cwnd, advertised window)*** mennyiségű adatot küldhet
- A cwnd maximuma az advertised window
- **Exponenciális növekedés** az átviteli sebességben
- Egy bizonyos határ felett a közbenső hálózat elérhető sávszélességét eléri a kapcsolat
  - A közbenső routerek elkezdik eldobni a csomagokat
  - Vissza szabályzás!

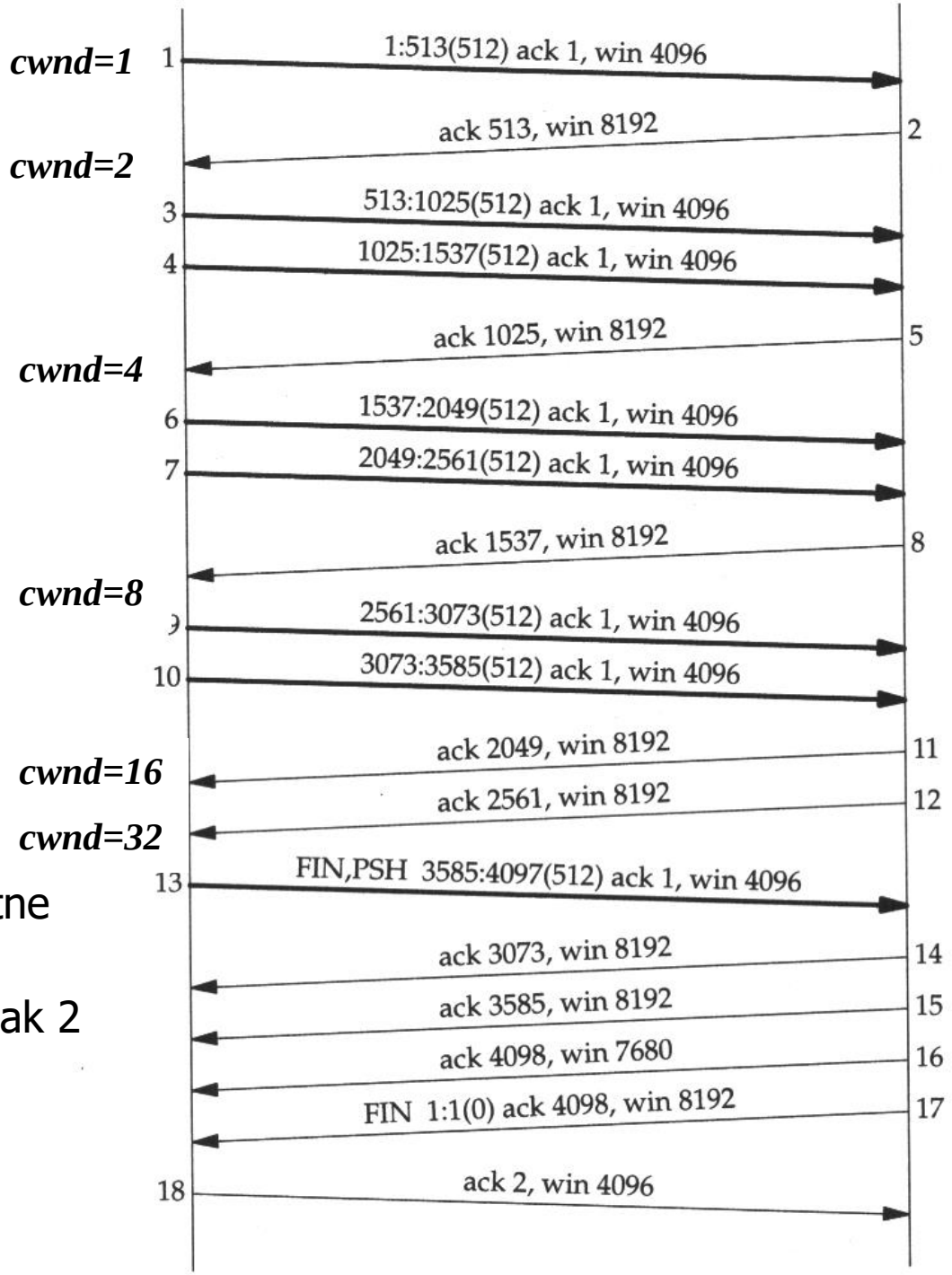
Az exponenciális növekedés

- Küldő kiküld 1 szegmenst (cwnd=1)
  - Vár az ACK-ra
- ACK megérkezik
  - **cwnd** megnövelhető 2-re
  - 2 szegmens küldhető
- Megérkezik a nyugta
  - **cwnd** 4-re növekszik
- **…**

- ≈ minden körülfordulási időnként (RoundTripTime)
  - A **cwnd** megduplázódik

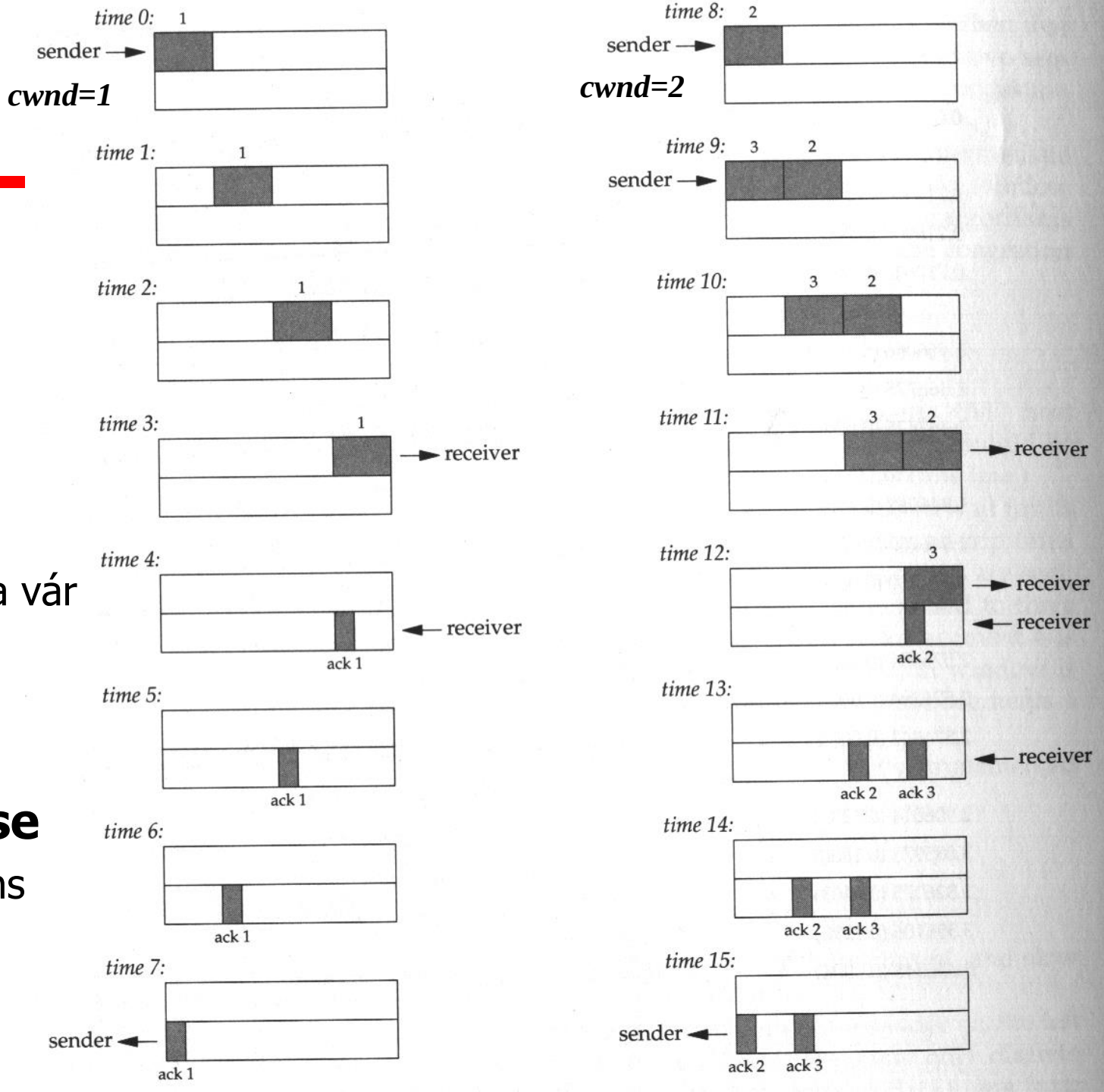
Példa a Slow Startra

- Cwnd=1
  - 1 szegmens küldése
  - Bár a window=8192 a fogadónál
- Nyugta
- Cwnd=2
  - 2 szegmens küldése
- Nyugta
- Cwnd=4
  - 4 szegmens küldése lehetne
  - DE a nyugta csak 1-et nyugtázott, így most is csak 2 szegmens
- ...



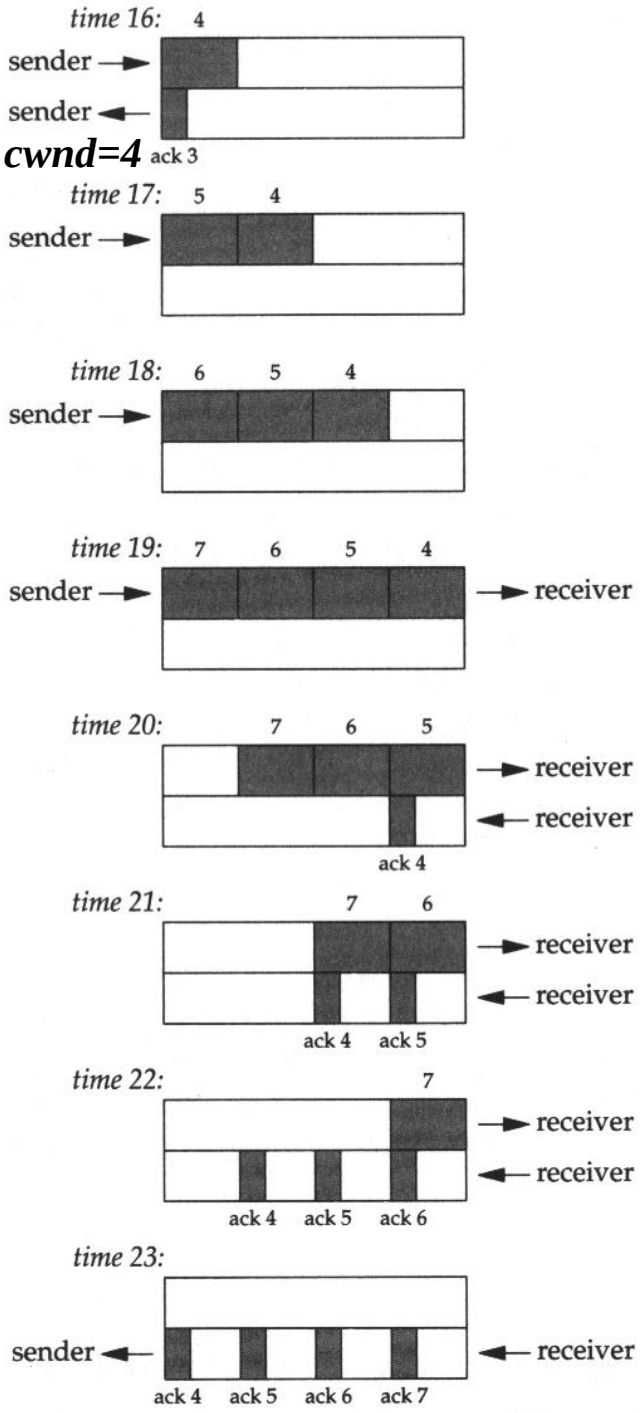
Ideális álapot elérése

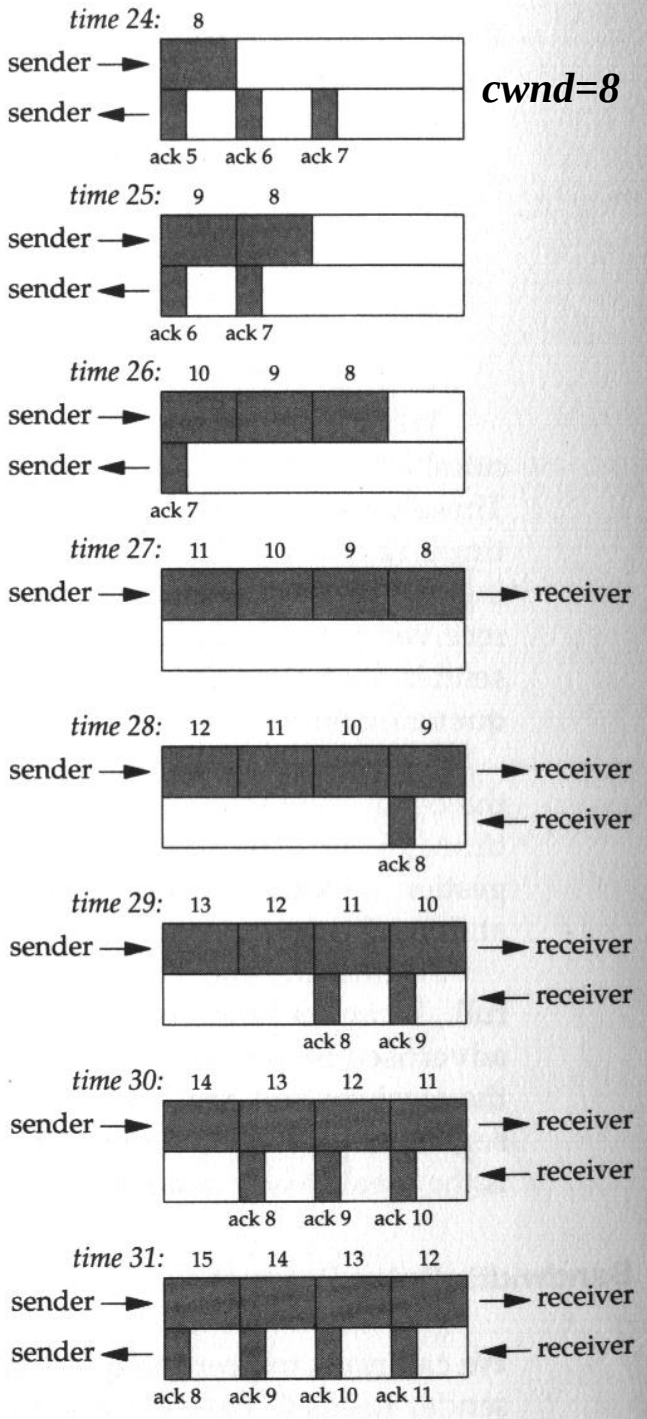
- **time 0**:
  - küldő egy szegmenst továbbít
  - A slow start miatt ACK-ra vár
  - RTT: 8 időegység
- **ACK megérkezése**
  - két szegmens küldhető (cwnd=2)



Ideális állapot elérése

- 31-től a csatorna a küldő és a fogadó között **telített**
  - Ideális állapota a kapcsolatr





TCP interaktív adatfolyam

TCP interactive data flow

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics

TCP forgalom típusai, jellemzők

- Bulk – tömeges
  - ftp, e-mail, ... (általában maximális méretű szegmensek)
- Interaktív
  - telnet (minimális, kb. 10 bájtot szállítanak)

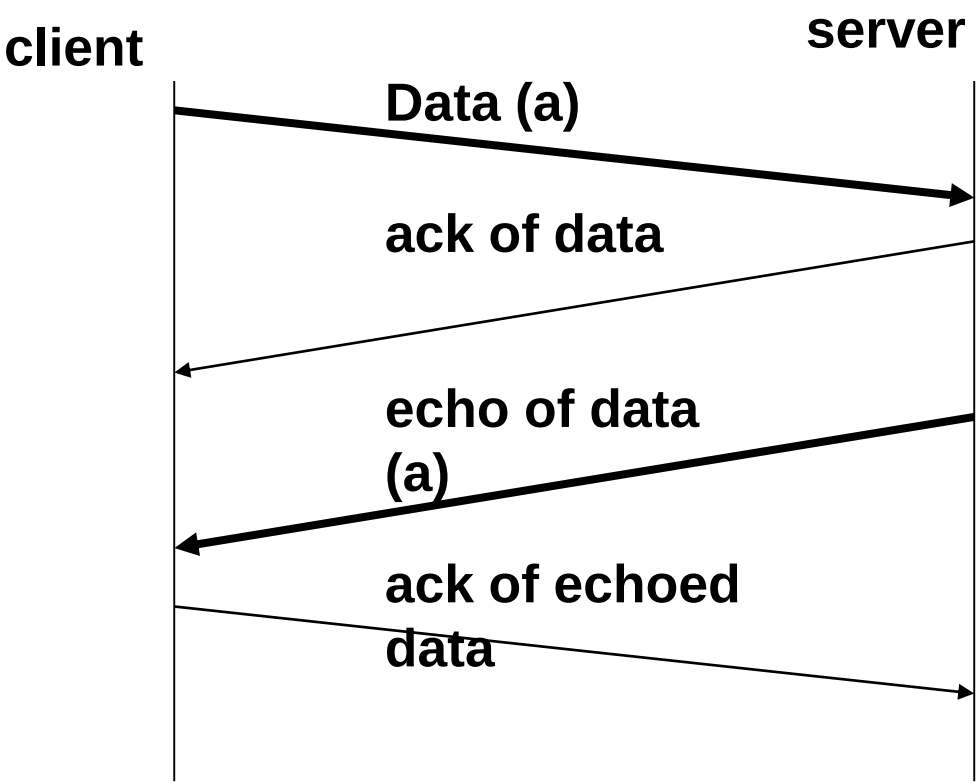
- Csomagok száma alapján
  - Összes TCP szegmens 50%-a bulk adat
- Szállított bájtok alapján
  - 90% bulk adat
  - 10% interaktív adat

Bulk – Interactive

- Adatfolyamvezérléshez különböző típusú algoritmusok
  - Kis csomagok (kevés hasznos adat)
  - Küldés: ritkán

Interaktív adatátvitel (telnet)

- „a” karakter átvitele és megjelenése a képernyőn
  - általában a 2. és a 3. szegmensek összevonhatók

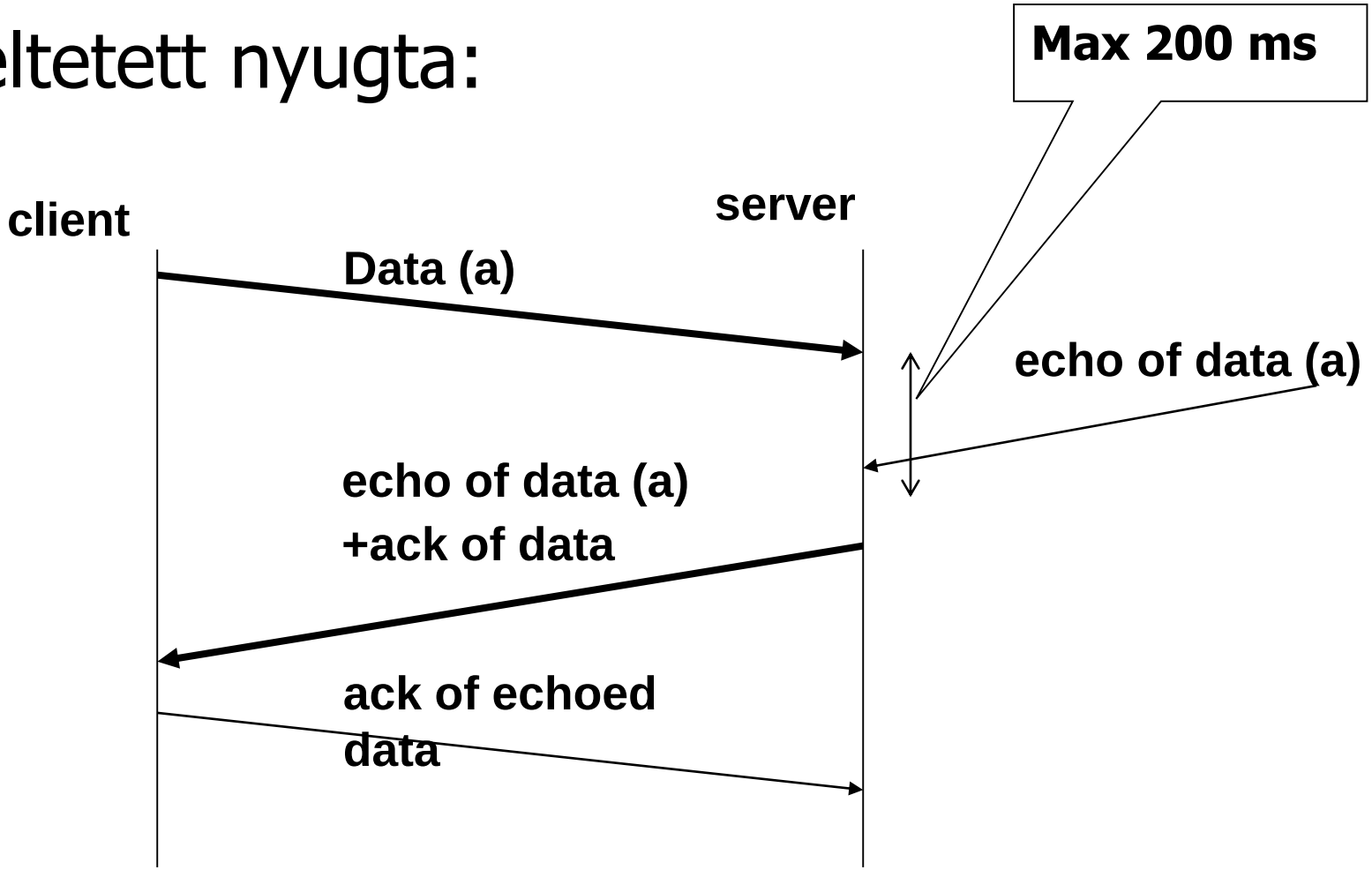


Késleltetett nyugta – Delayed ACK

- TCP az adat fogadásakor nem küld rögtön nyugtát
  - Késlelteti az ACK kiküldését:
  - Várja, hogy jön-e hasznos adat – majd annak a fejlécében nyugtáz
  - (ACK ***piggyback*** with the data)
- Pl. 200 ms-os időzítő az ACK-ra:
  - TCP az adat fogadása után maximum 200 ms-ig késlelteti az ACK küldést
  - Ha nem jön adat ACK magában megy

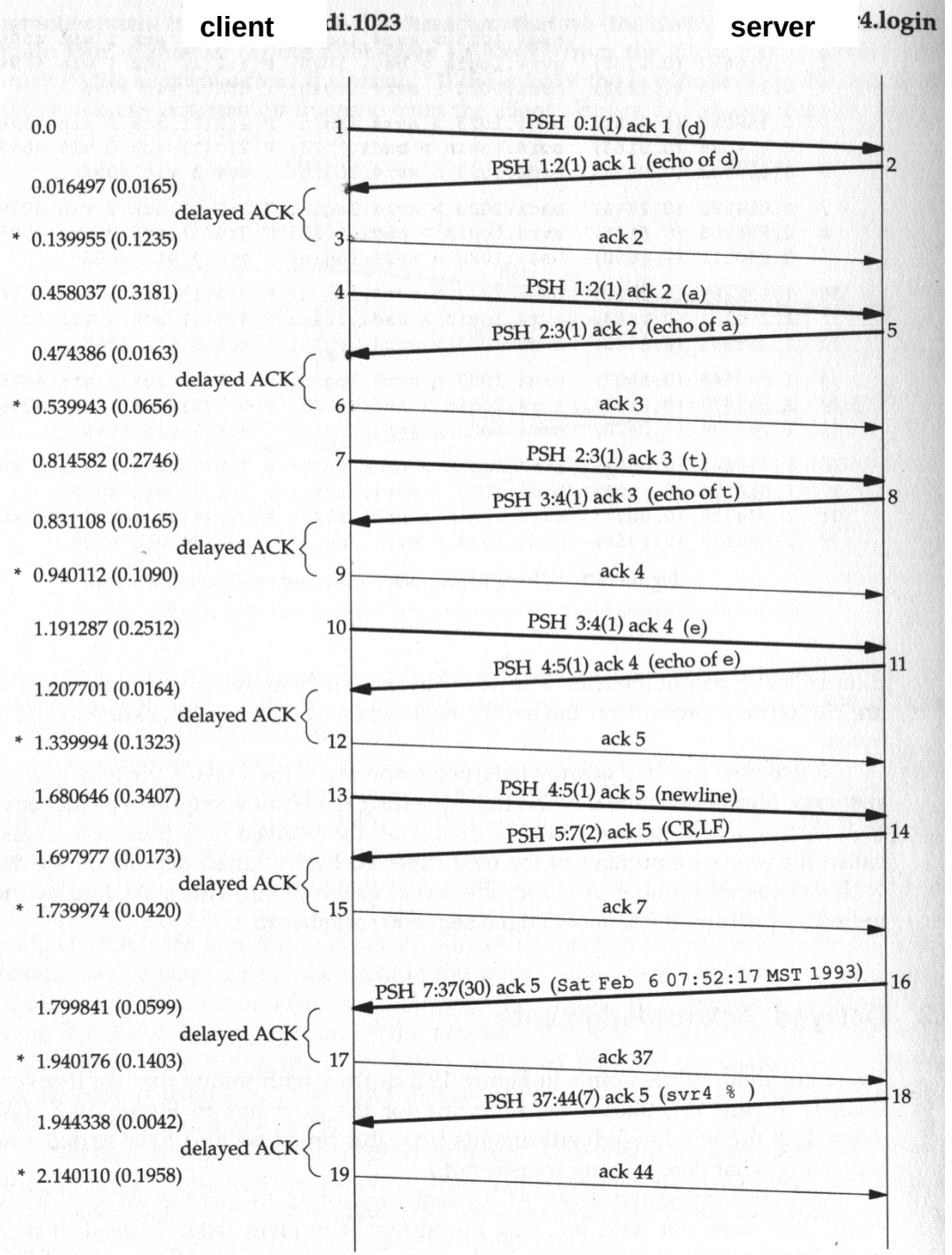
Interaktív adatátvitel (telnet)

- Késleltetett nyugta:



Delayed ACK példa

- Date parancs...
- ...és a válasz



Nagle algoritmus

- Gyakran mennek 1 bájtos csomagok interaktív forgalom esetén
  - 1 bájt adat - 41 bájtos IP datagrammba kerül
  - tinygram
- Nagy overhead: hasznos adat - összes adat arány alacsony
  - Torlódás okozó
    - LAN-on nem probléma
    - WAN-on sok ilyen forgalom probléma lehet
  - Rossz sávszélesség kihasználás

Nagle algoritmus

- Nagle algorithm
  - Ha a TCP kapcsolatnak van kintlévő adata, amelyet még nem nyugtáztak, kis szegmensek nem küldhetők, amíg a nyugta meg nem érkezik
  - Helyette, a kismennyiségű adatokat összegyűjti és nyugta vételekor egy szegmensben küldi el őket
  - Minél gyorsabban jön a nyugta, annál gyorsabban küldi az adatokat

Nagle algoritmus kikapcsolása

- Előfordul, hogy szükséges kis szegmensek átvitele:
  - X-window egér pozíciók
  - Speciális terminálfunkciók
    - Több bájtos adatok (escape karakterrel kezdve)
    - Előfordulhat, hogy az első bájtot elküldi a kliens, majd vár a nyugtára
      - De a szerver is vár a nyugtával
      - Észrevehető késleltetés!

TCP tömeges adatfolyam

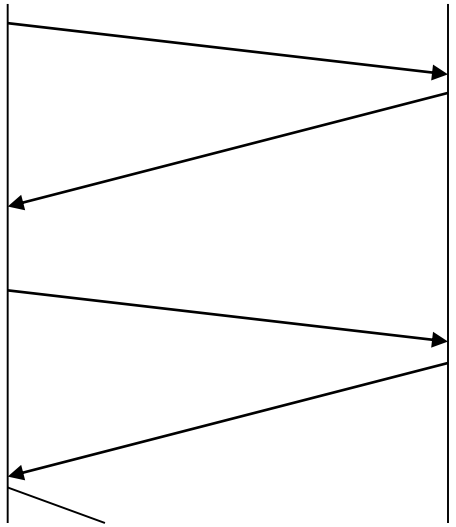
TCP bulk data flow

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics

Egyszerű folyamvezérlés

- Stop-and-wait protocol
  - Adatszeletet elküldése
  - Nyugtára vár
    - Nyugta megérkezik – első lépés (következő adatszelettel)
    - Nyugta nem érkezik (időzítés) – előző adatszelet újraküldése, majd nyugtára vár



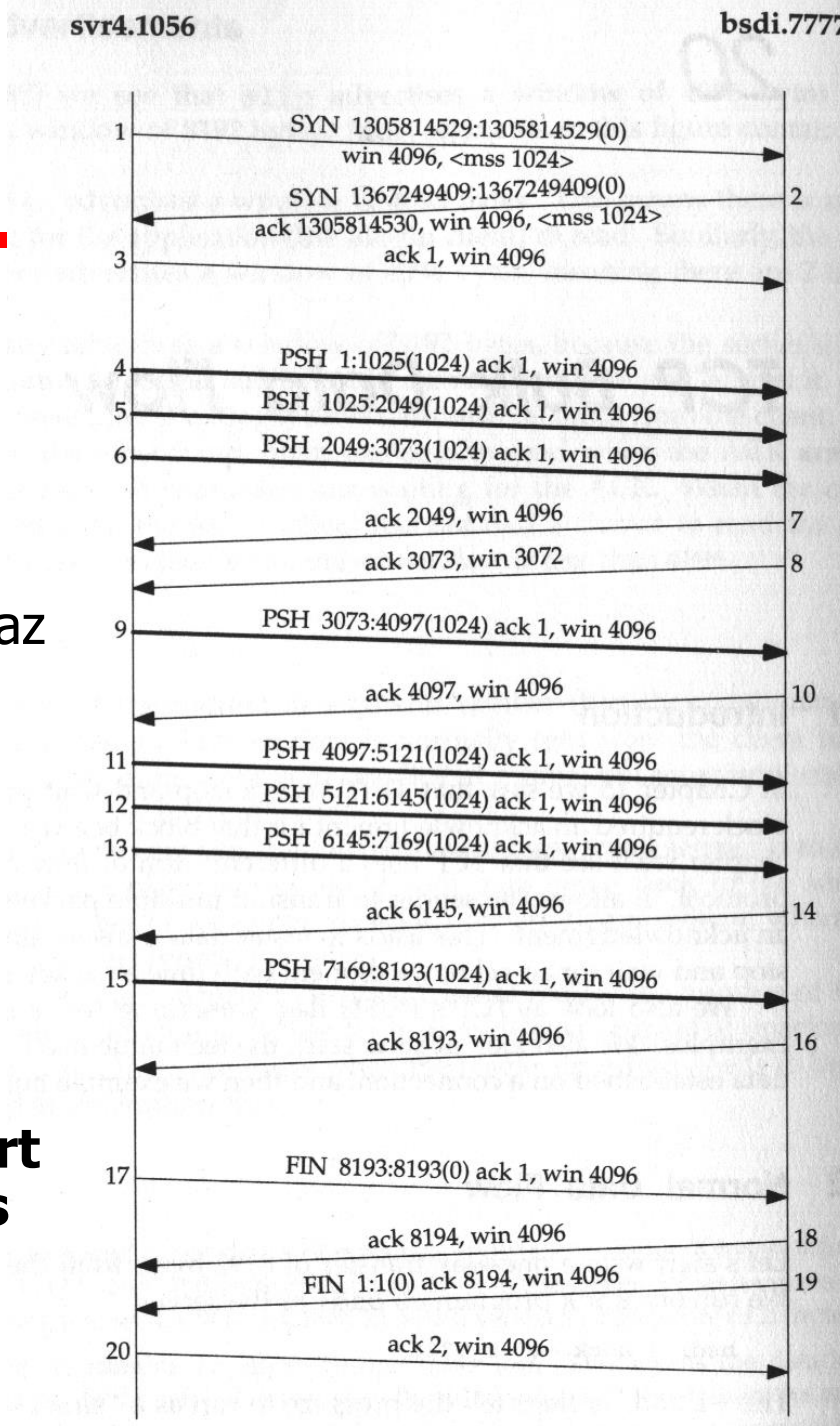
- Jellemzők
  - Minden adatszeletre nyugta
  - Nagy távolság esetén nagyon lassú

TCP folyamvezérlés

- Sliding Window – csúszóablak
- Nem vár minden szegmensre külön nyugtát
  - Több nyugtázatlan csomag is lehet a hálózaton
  - Többszörös szegmensküldés
  - Nyugták csoportosan is érkezhetnek
- Gyorsabb átvitel
  - Ha megfelelően szabályozott a kint lévő szegmensek száma

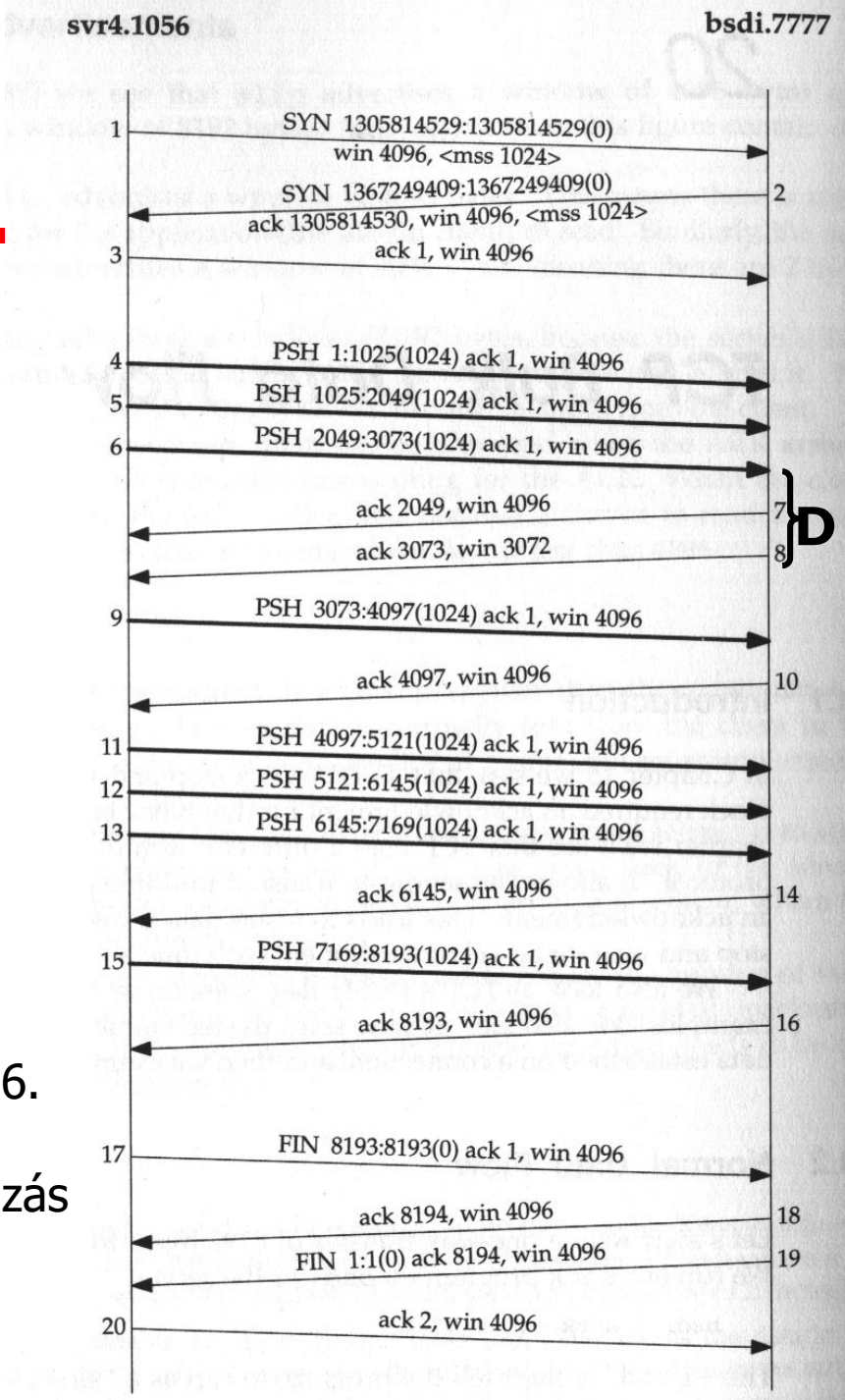
Példa - Normál adatfolyam

- A küldő 3 szegmenst küld (4-6)
- A 7. szegmens nyugtázza az első kettőt – magyarázat:
  - **4,5,6 megérkezik a szerverhez** és az IP bemeneti sorába kerülnek
    - IP input queue
  - TCP feldolgozza a **4.** szegmenst
  - A kapcsolat **késleltetett nyugta küldésre megjelölés**t kap
    - Nyugtaküldő időzítő elindul
  - TCP feldolgozza az **5.** szegmenst
  - 2049-es bájtra **nyugtát generál, mert** már összesen **két kimenő szegmens várakozik**



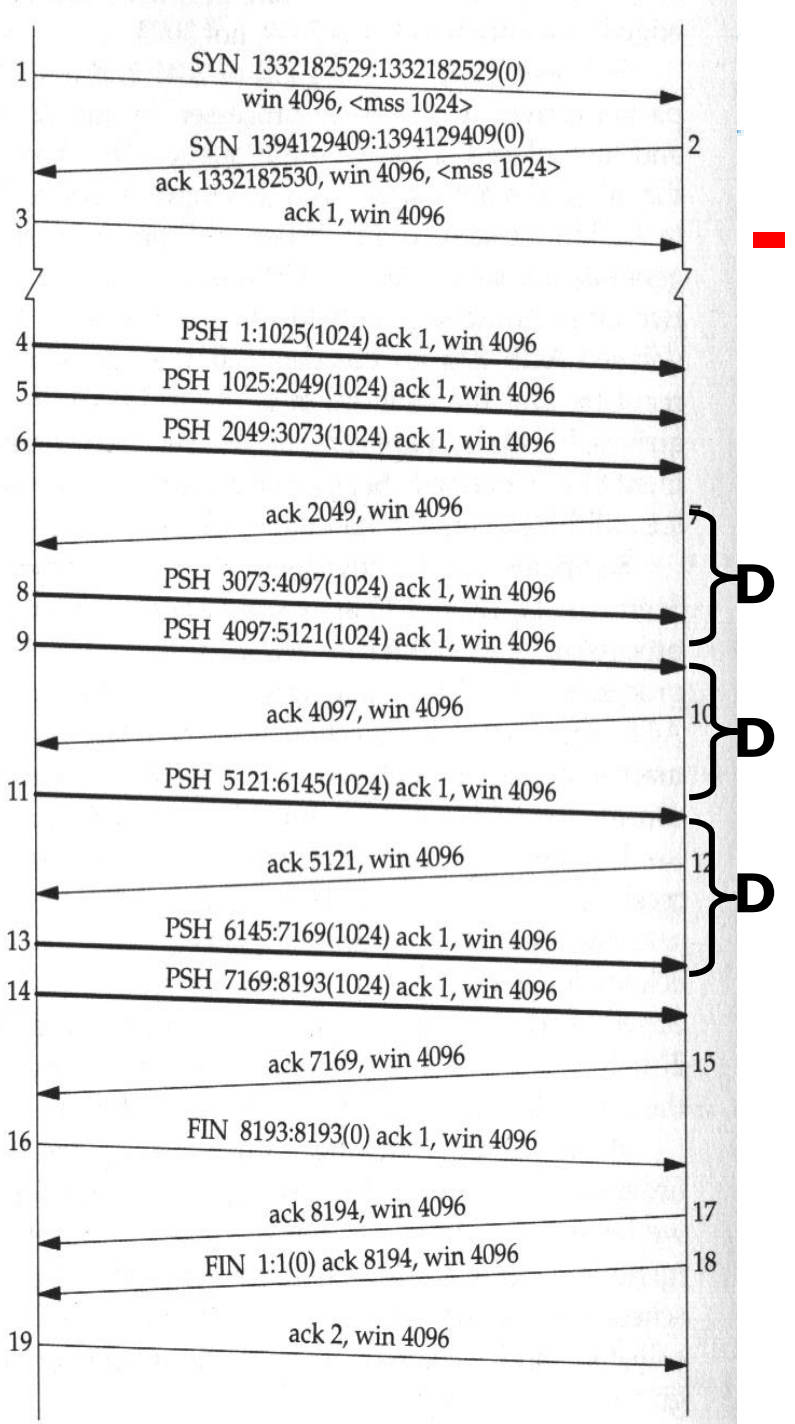
Példa - Normál adatfolyam

- TCP feldolgozza a 6. szegmenst
- A kapcsolat **késleltetett nyugta küldésre** ismét **megjelölés**t kap
  - Nyugtaküldő időzítő elindul
- Nyugtaküldő **időzítő lejár (D)**
  - 9. szegmens még nem jött meg
  - **Nyugtát** (8) a 3073 bájtra **kiküldi**
- Szegmens 8, **win 3072**
  - A Windows méret kevesebb:
    - A nyugta küldésekor még 1024 adat (6. szegmensé) még benne van a TCP fogadó bufferében, melyet az alkalmazás még nem vett át



Példa2 - Normál adatfolyam

- Itt a 8. szegmens a nyugta késleltetés időzítése előtt megérkezik
  - Nyugta 4097-ig kiküldésre kerül
  - Bár még a kiküldés előtt megérkezik a 9. szegmens
- 12. nyugta
  - Csak a 9. Szegmens – időzítő!

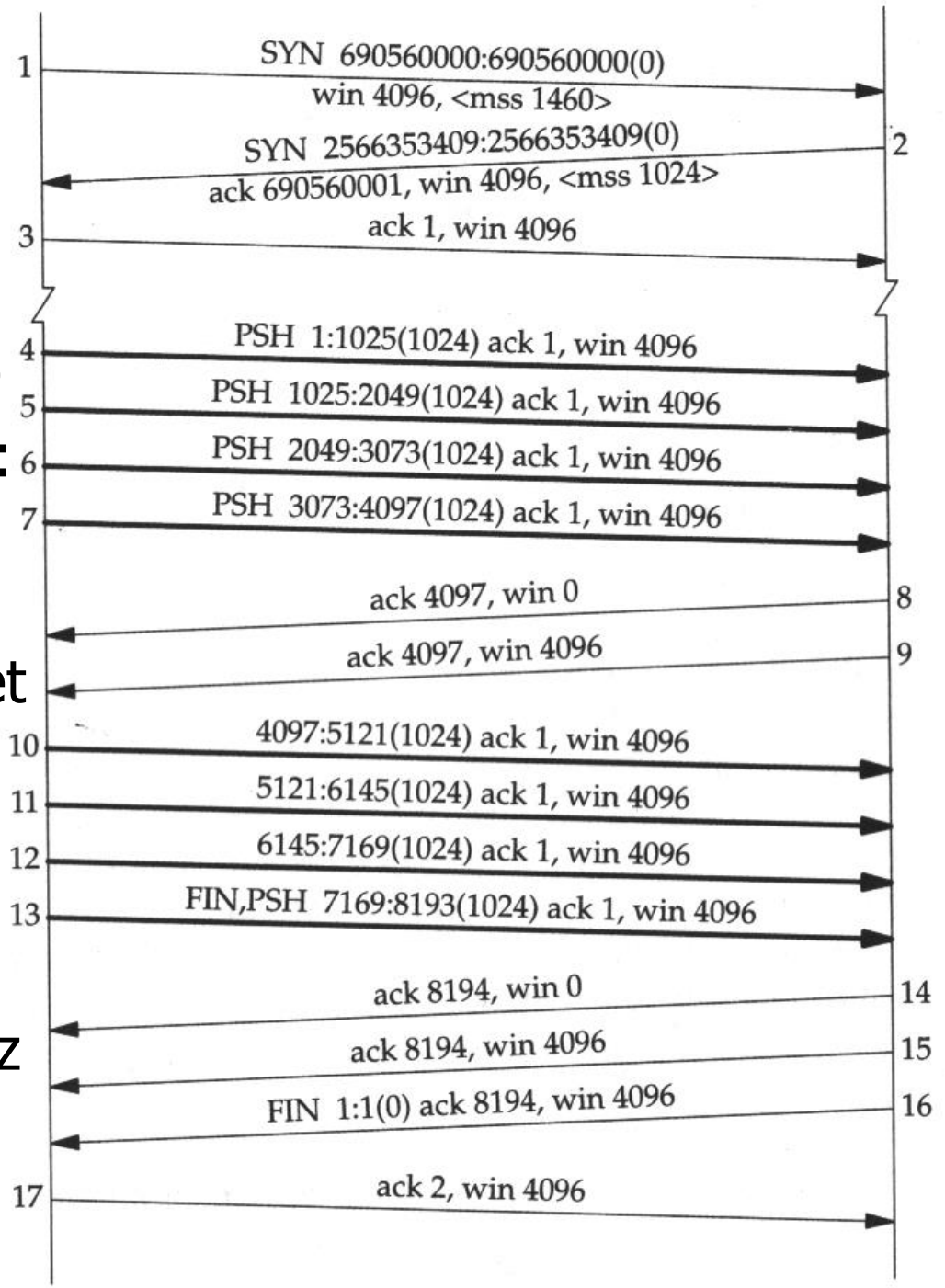


Gyors küldő, lassú fogadó

- Küldő a meghirdetett ablakméret szerint küld:
  - Megtölti a fogadó bufferét
  - Küldő vár a nyugtára
  - A fogadó oldal lassú, nem tudja az alkalmazásnak tovább adni az adatokat – buffere még mindig tele
- A fogadó nyugtájában az „advertised window size” = 0
  - A küldő nem küld több szegmenst
- Ebből az állapotból ki kell billenteni a küldőt:
  - Ha már ürül a buffere
  - Window Update üzenet:
    - Újabb nyugta ugyanarra a szegmensre
    - De új window mérettel

Példa2
window update

- Egymás utáni 4 szegmens küldése (**4-7**)
- Fogadó buffere tele lesz:
  - Ack: 4097 (**8**)
  - Window: **0** !!!
- ***Window update*** üzenet
  - mégegy ACK: 4097 (**9**),
  - Window: 4096 !!!
- A TCP fogadó bufferét az alkalmazás kiürítette



TCP időzítés és újraküldés

- A TCP szegmensek és nyugták elveszhetnek a hálózatban
  - Torlódások miatt a közbeeső routerekben csomageldobás lehet
- **retransmission timer** – újraküldési időzítés
  - Szegmens megküldésekor időzítő indul
  - Lejáratáig az ACK-nak meg kell érkezni
  - Ha nem érkezik meg az időzítés lejáratáig (timeout)
    - A szegmenst újraküldi
    - Cwnd=1 lesz ismét

Sávszélesség – késleltetés szorzat

- Milyen nagy legyen az ablakméret, hogy ideális állapot legyen?
- Előző példa:
  - A küldőnek 8 szegmenst kell a csatornára engedni nyugták nélkül, a maximális teljesítményhez

- **Csatorna kapacitása = sávszélesség** × **körülfordulási idő**
- (bandwidth-delay product)

- A fogadó meghirdetett ablakméretének egyenlőnek kell lenni a csatorna kapacitásával

Round Trip Time számítás

- RTT – becsléssel számítja a TCP
  - Az előző érték (RTT)
  - És a mért (M) értékből származik

$$RTT \leftarrow \alpha RTT + (1-\alpha)M$$

  - α - csillapító faktor ($\approx$0.9)
  - Minden méréskor frissítés

Újraküldési időzítés számítása

Retransmission TimeOut

RTO = RTT $\times\beta$

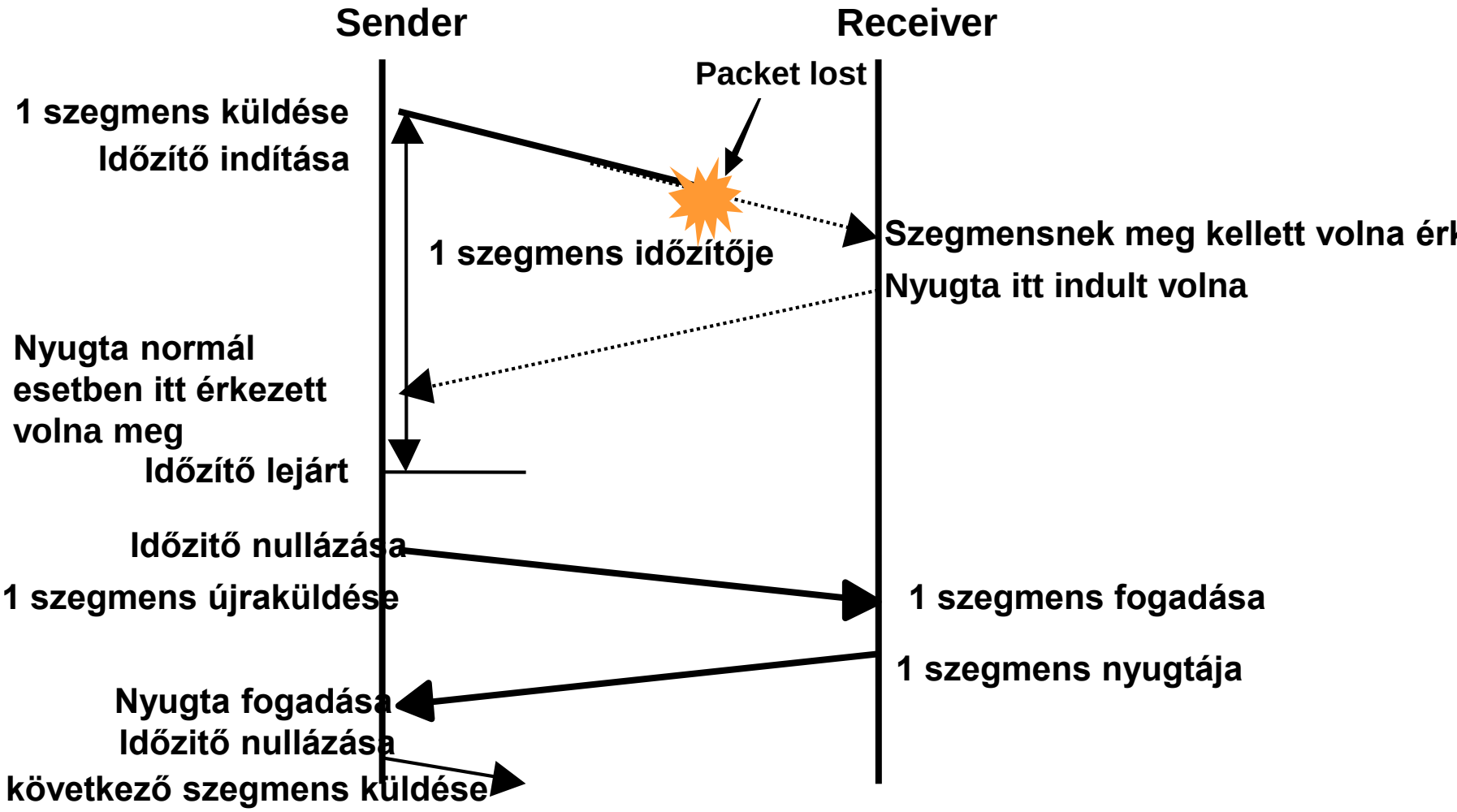
- β : késleltetési variancia faktor
  - Ajánlott érték 2

- **probléma**: a késleltetés nagy ingadozásait nem tudja követni
- Jacobson féle számítás
  - Késleltetés ingadozás jobb követésére más RTT számítás

Jacobson féle számítás

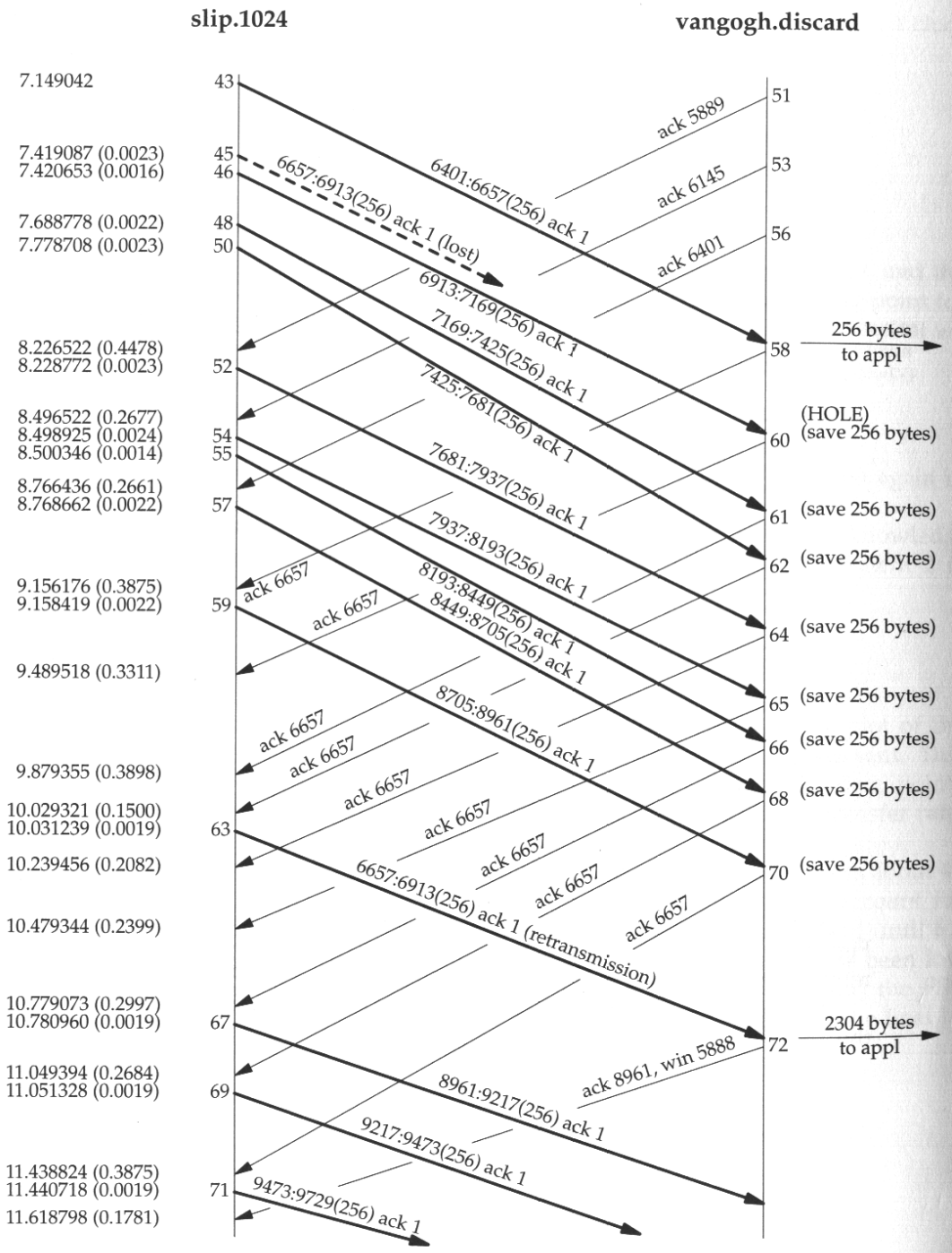
- $Err = M - A$
  - *M Mért érték*
  - *A csillapított RTT (átlag becslése)*
- $A \leftarrow A + g\,Err$
  - $g = 0.125$
- $D \leftarrow D + h(|Err - D| - D)$
  - *D csillapított átlagos eltérés*
  - $h = 0.25$
- ***RTO = A + 4D***

Példa: újraküldés időzítés lejártakor



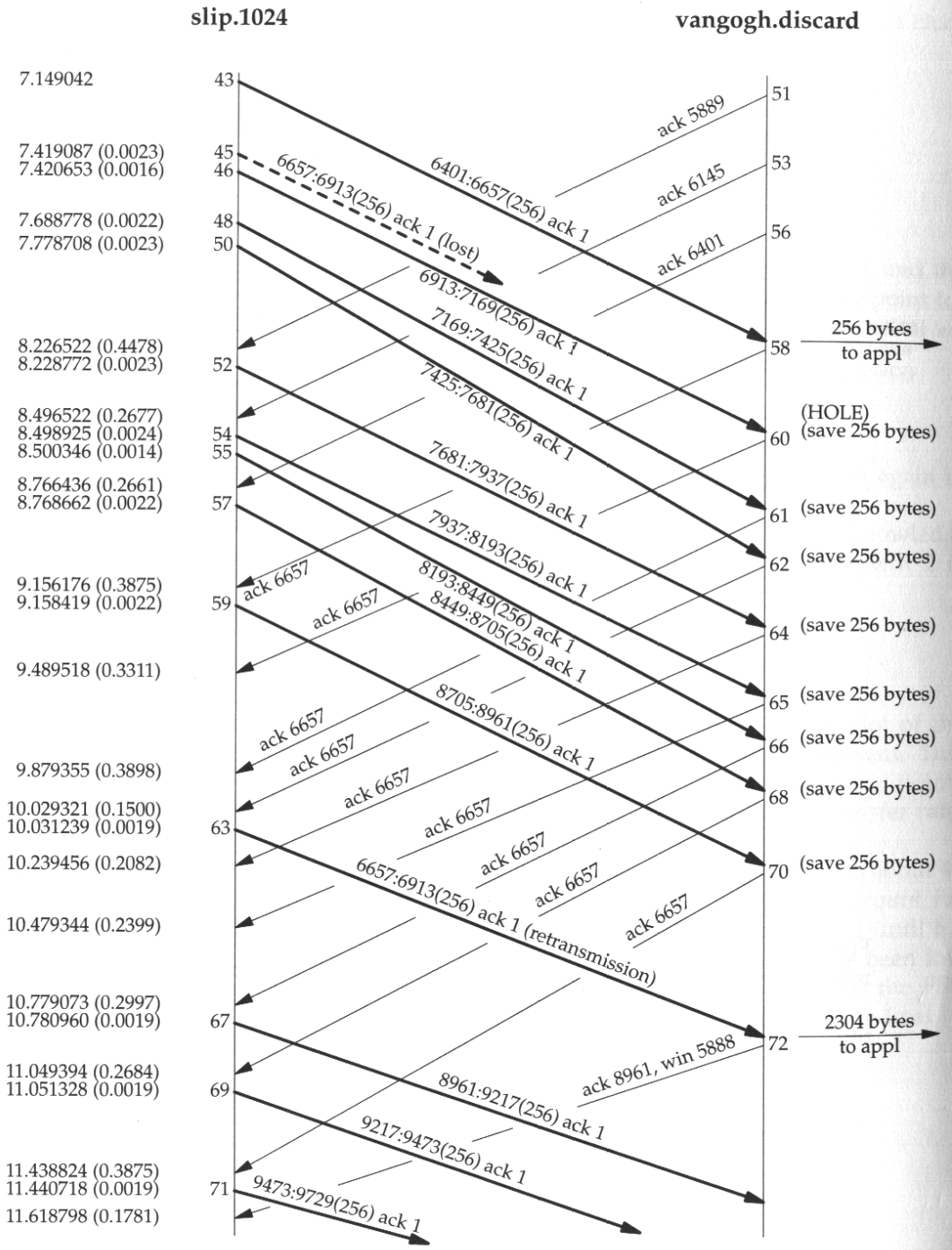
Újraküldés ACK-k száma miatt

- 45. szegmens elveszett
- A 62. szegmens (nyugta) hatására újraküldés
  - Ez volt a 3. egyforma ACK 6657-ből
- Fogadó folyamatosan menti a további szegmenseket
  - A hiányzó utániak így nem vesznek el



Újraküldés ACK-k száma miatt

- A TCP implementáció számolja az egyforma ACK-k számát
- Ha a harmadik egyforma is megérkezik
  - Következtet: a hivatkozott szegmens elveszett
  - Reméli, hogy csak az az egy
  - Csak azt az egy szegmenst küldi újra
- Jacobson féle ***fast retransmit algorithm***
  - ***Gyors újraküldés algoritmus***



Újraküldés ACK-k száma miatt 2

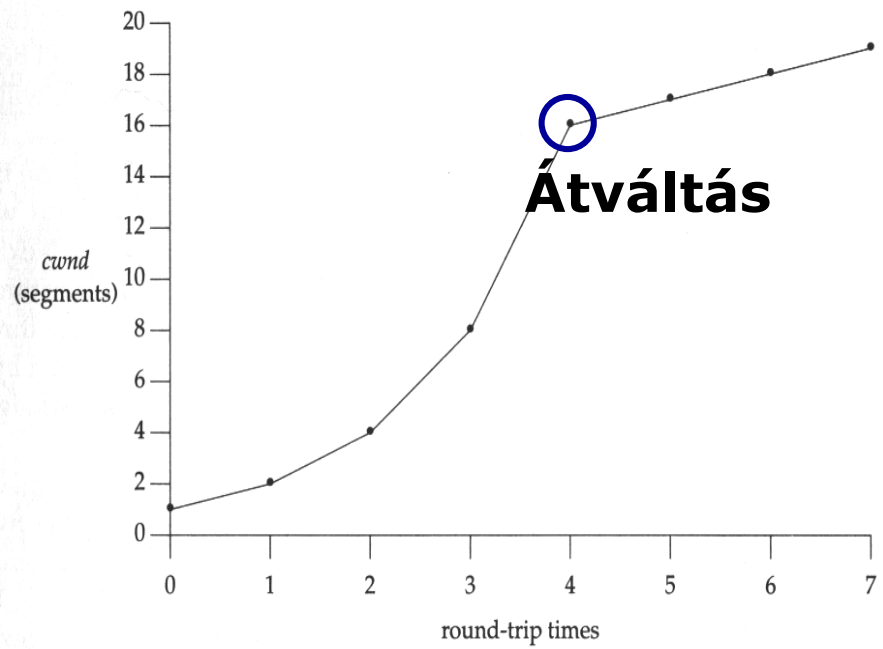
- gyorsítás:
  - A fogadó egy szegmens hiányakor rögtön duplikált ACK küld vissza
  - A küldő gyorsabban újraküldi a hiányzó szegmenst
  - Gyorsabban visszaáll a rendes adatátvitel
- Jelenleg a TCP nem tud
  - Egy szegmens hiányát jelezni
  - Sorrend eltéréseket jelezni

Gyors újraküldés, gyors visszaállítás algoritmus

- Fast retransmit – fast recovery
- 3 vagy több duplikált ACK
  - Gyors jelzése egy szegmens elvesztésének
- Újraküldés (már az RTO lejárata előtt)
  - ***fast retransmit – gyors újraküldés***
- De utána:
  - **congestion avoidance** – torlódás elkerülés
  - NEM slow start – lassú indítás
- Ez a ***fast recovery*** algoritmus

Congestion avoidance alg.

- A Slow Starttal a ***cwnd*** exponenciálisan nő
- Az exponenciális növekedés vége: ha csomagvesztés fordul elő
  - Ezután újraküldés
  - ***cwnd*** lecsökken 1-re, és indul újra a slow-start
- ***Congestion avoidance*** algoritmus lehetővé teszi, hogy az exponenciális növekedés additív növekedéssé váljon
- Ezzel a TCP a cwnd növekedését 1-re tudja maximalizálni egy RTT alatt
- A csomagvesztések kevésbé gyakoriak lesznek



CWND növekedése a congestion avoidance alatt

- Minden ACK fogadásakor

  $$cwnd = cwnd + 1/cwnd$$

  - Additív növekedés
    - A slow start exponenciális növekedésével szemben
  - cwnd gyakorlatilag 1 szegmens értékkel nő RTT-ként

$$cwnd = cwnd + szegmensméret \times szegmensméret/cwnd$$

  - cwnd valódi értéke szintén bájtban!

Congestion avoidance alg.

- *cwnd: Congestion window*
- *ssthresh:* slow start threshold size

1. Kapcsolat kezdetén a kiindulási értékek
   cwnd =1 szegmens,
   ssthresh=65536 bájt

2. TCP küldő maximum
   min(cwnd; advertised window)
   szegmenst küldhet

Congestion avoidance alg.

3. cwnd értéke slow start szerint (exponenciálisan) nő, míg csomagvesztés nem történik

   ssthresh új értéke: **min(cwnd , advertised window)/2** de legalább 2

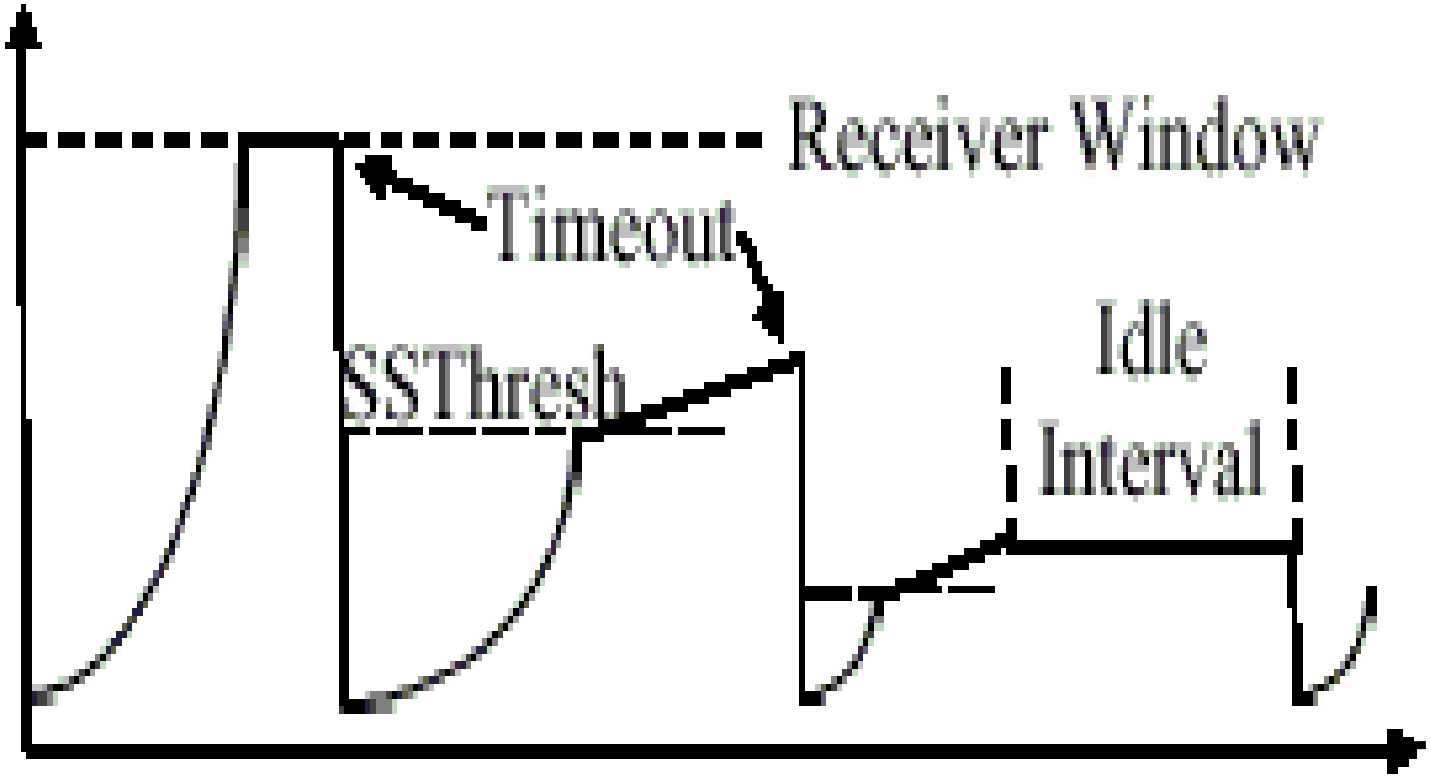
   Ha a torlódás időzítő lejárata miatt következett be, a cwnd értéke 1 lesz és újra slow start

4.

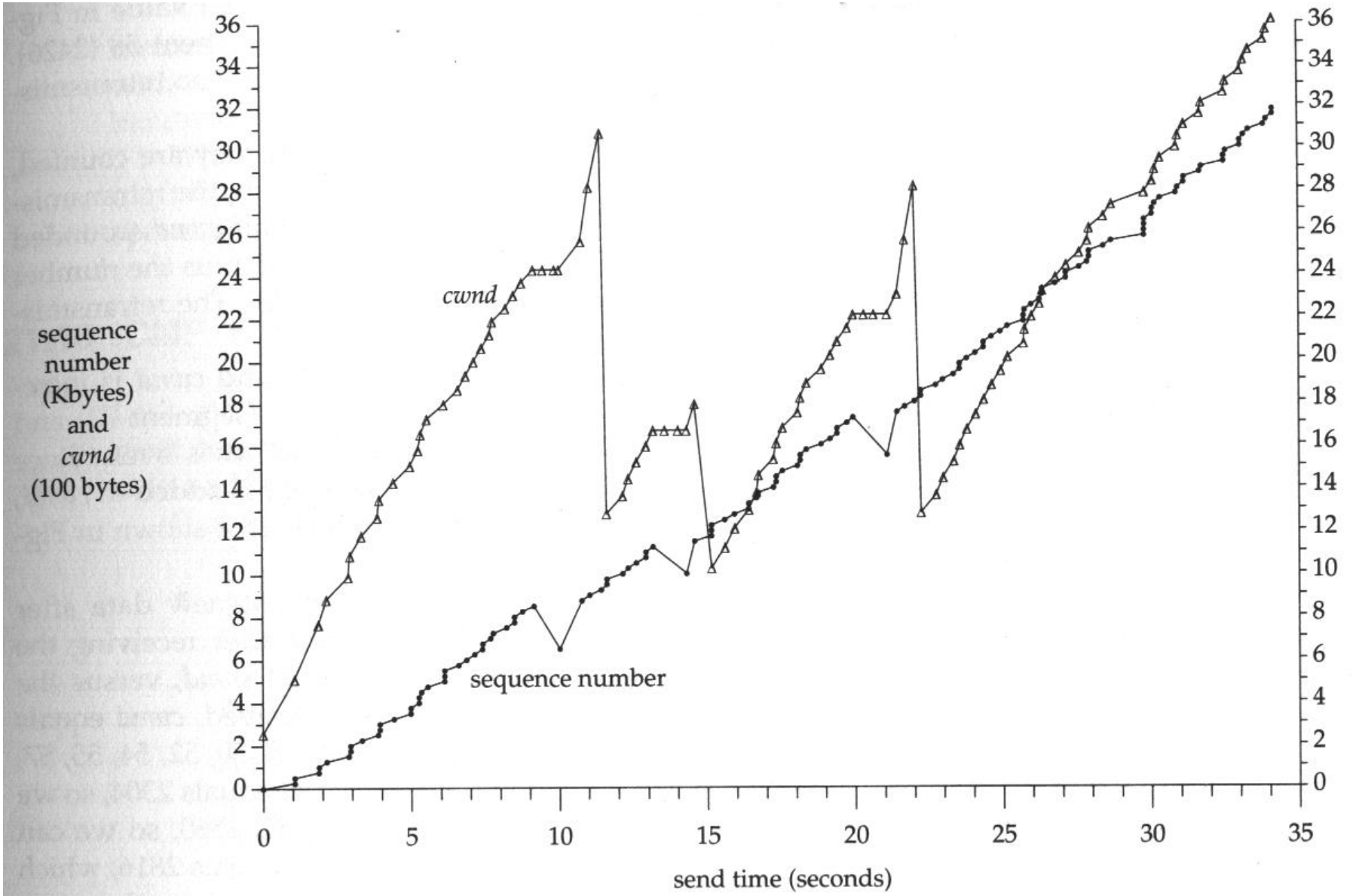
Ha a cwnd kevesebb vagy egyenlő ssthresh-sel, slow start szerinti növekedés

Ha a cwnd nagyobb, mint az ssthresh, congestion avoidance lép működésbe, cwnd legfeljebb 1 szegmenssel növekszik RTT-ként

Congestion avoidance



Valós példa


sequence number (Kbytes) and cwnd (100 bytes)
cwnd
sequence number
send time (seconds)
0
5
10
15
20
25
30
35
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36

Köszönöm a figyelmet

- Vége -

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics

MPLS

Moldován István

moldovan@tmit.bme.hu

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
TÁVKÖZLÉSI ÉS MÉDIAINFORMATIKAI TANSZÉK

Áttekintés

- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- Védelem és helyreállás
- MPLS VPN szolgáltatások
- GMPLS

MPLS

- MPLS: MultiProtocol Label Switching
- Alapvető cél
  - A vezérlés és továbbítás szétválasztása
- „Label-switching” paradigma
  - Az L2 címkekapcsolás és az L3 routing összekrapcsolása

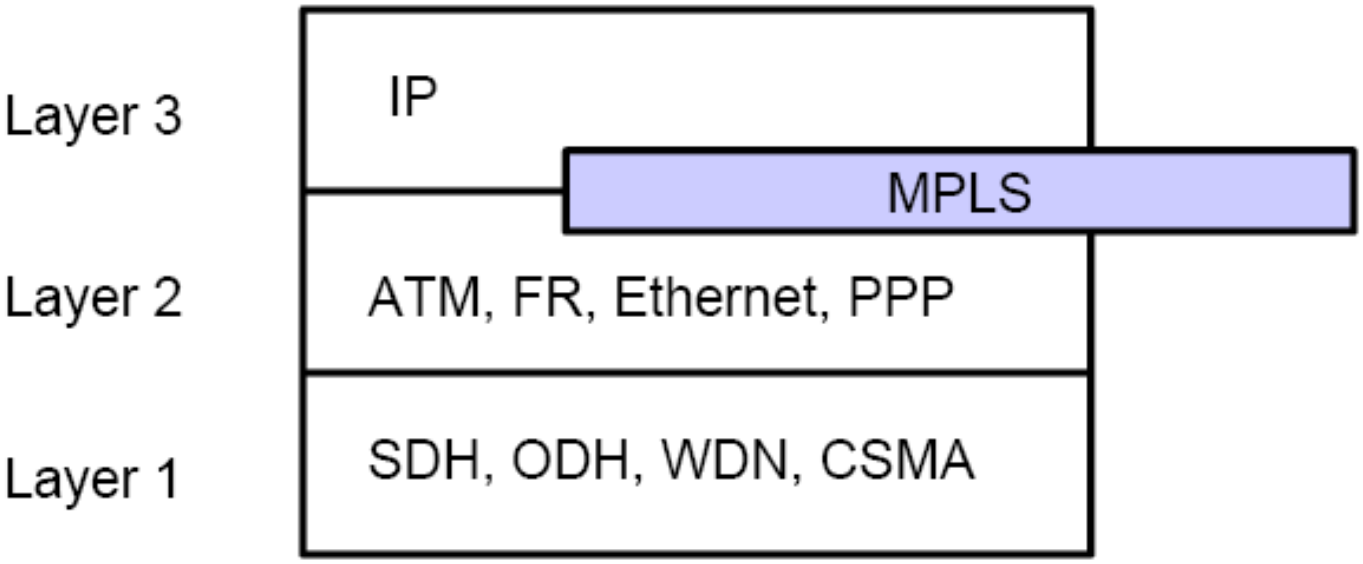
MPLS célok

Az MPLS kiterjeszti a hagyományos IP-t a következő területeken::

- Egyszerűsített továbbítás
- Hatékony Explicit útvonalak
- Traffic Engineering
- QoS Routing
- A csomagok nem triviális módon történő útvonalakba rendezése

Helye a Protocol Stack-ban

- MPLS az IP és Layer 2 között van
  - Az L2 protokollok széles körét támogatja
  - Támogatja a felsőbb szintű mechanizmusokat is



Label Switching

- A vezérlés és továbbítás szétválasztása
  - Először egy útvonal beállítása
  - A csomagok továbbításánál nincs IP lookup
    - Az útvonalat követik a csomagok
- „Label-switching” továbbítás használja:
  - forwarding table
  - Címke (label) amit a fejléc hordoz
- Mi a címke (Label) ?
  - Rövid, fix hosszúságú entitás
  - Protokollonként más lehet

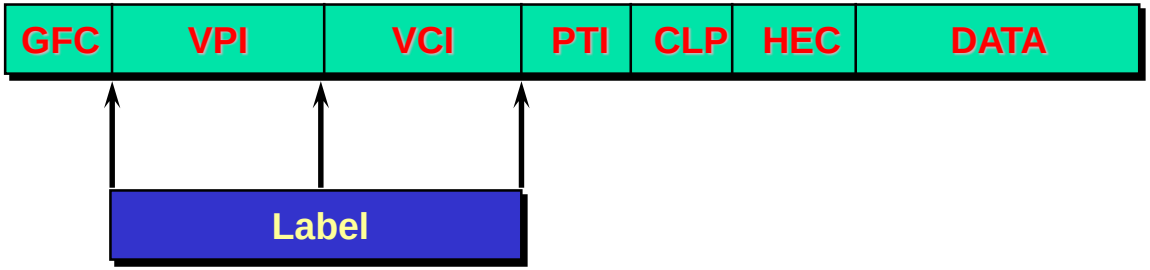
Label – címke hordozása

- Bizonyos L2 technológiák képesek a címkét a saját fejlécük részeként kezelni
  - **pl. VPI/VCI az ATM esetén, DLCI a FR esetén vagy MPLS címke PPP/Ethernet esetén**
- Azon L2 rétegek amelyek nem támogatják a címkéket egy külön „shim” fejlécben hordozzák

Link layer fejléc	“Shim” label fejléc	Network layer fejléc	Network layer fejléc

Beágyazás

ATM Cella Fejléc



PPP Fejléc
(Packet over SONET/SDH)

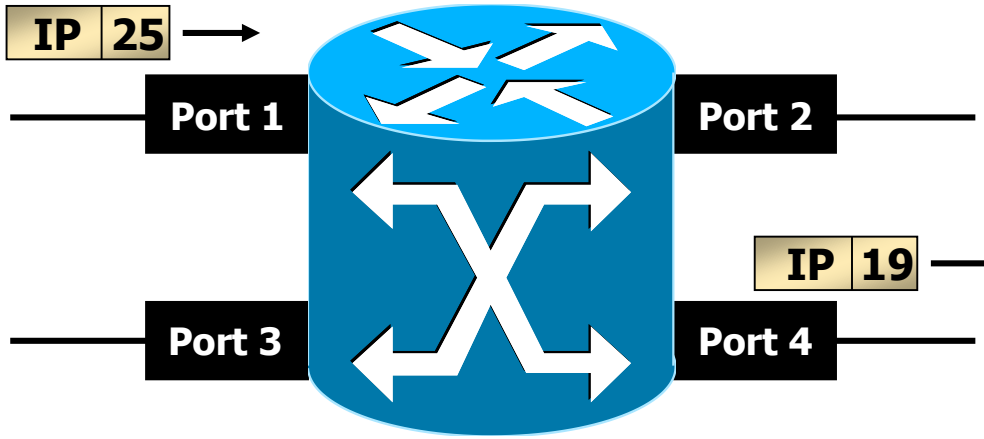
LAN MAC Label Fejléc

Az MPLS Shim Header

- A címke - Label (Shim Header) valójában egy is Label Stack Entry szekvencia, azaz egy vagy több bejegyzés
- Minden Label Stack Entry 4 byte (32 bit) hosszú
- 20 Bit fenntartva a címke azonosítónak (Label Identifier) – ez a „Label”, címke

Label : **Label value** (0 to 15 are reserved for special use)
Exp : **Experimental Use**
S : **Bottom of Stack** (set to 1 for the last entry in the label)
TTL : **Time To Live**

Továbbítás - kapcsolás



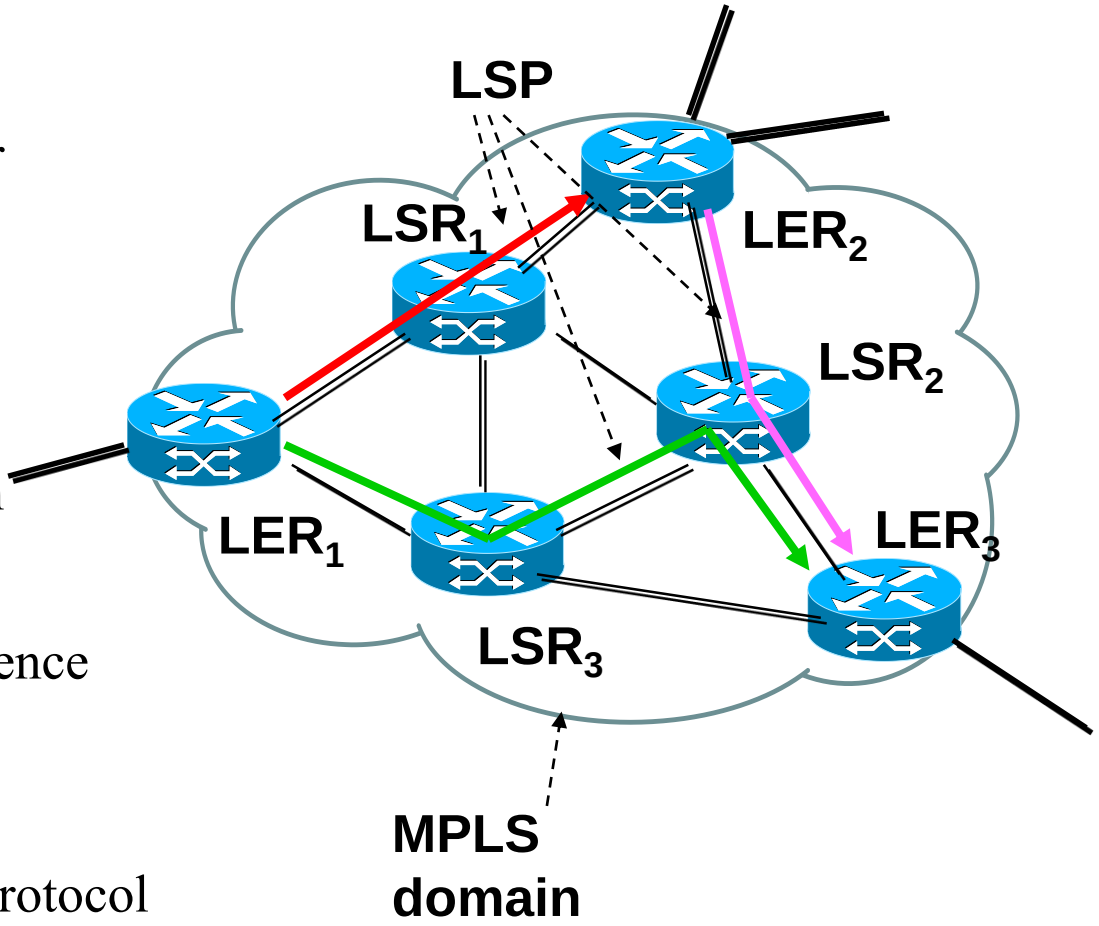
Connection Table

In (port, label)	Out (port, label)	Label Operation
(1, 22)	(2, 17)	Swap
(1, 24)	(3, 17)	Swap
(1, 25)	(4, 19)	Swap
(2, 23)	(3, 12)	Swap

- Label Swapping
  - A kapcsolat tábla tartalmazza a bejegyzéseket („Connection table”)
  - Exakt találat keresés (nem mint IP routing esetén)
  - Bemenet: Input (port, label) meghatározza:
    - Címke művelet
    - Kimenet - Output(port, label)
  - Hasonló továbbítást használ az ATM és Frame Relay is

MPLS Komponensek

- LSR
  - » Label Switch Router
- LER
  - » Label Edge Router
- LSP
  - » Label Switched Path
- FEC
  - » Forwarding Equivalence Class
- LDP
  - » Label Distribution Protocol



Label Edge Router - LER

- Az MPLS hálózat szélén található és ő rendeli hozzá/veszi le a címkéket a csomagokról

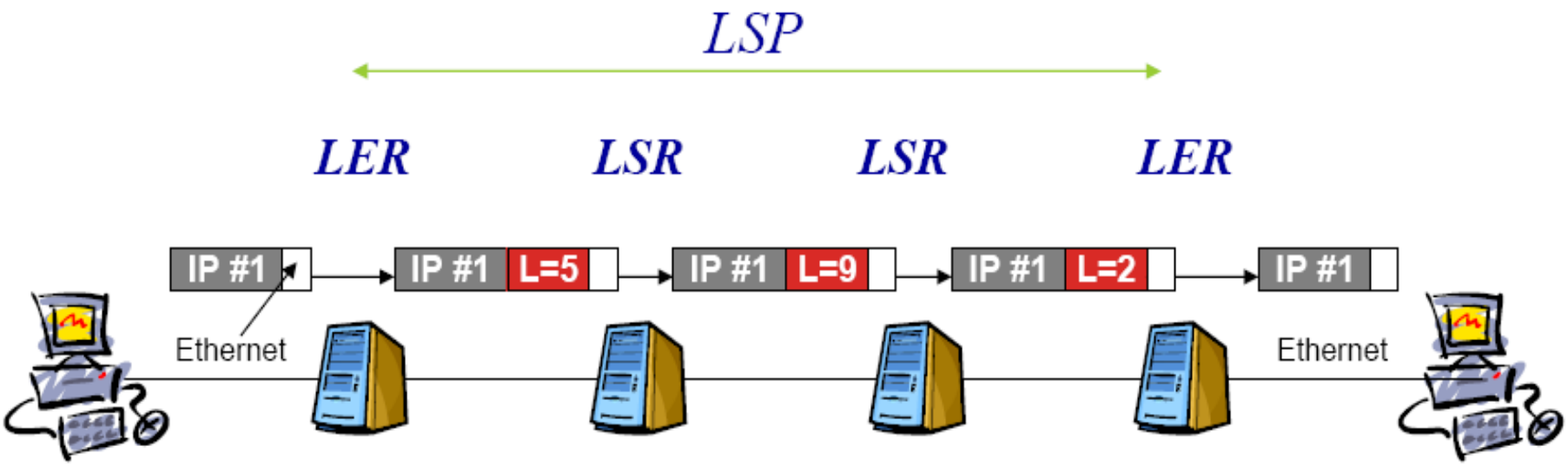
- Többféle port típus használatát teszi lehetővé (pl. frame relay, ATM, és Ethernet).

Label Switching Router - LSR

- Nagysebességű kapcsolók amelyek a hálózat magját alkotják
- Címkekapcsolást végeznek nagy sebességgel

- ATM kapcsolók használhatók LSR-ként hardver változtatás nélkül. Az ATM/MPLC címkekapcsolás megegyezik az ATM VP/VC kapcsolással.

A LER & LSR-ek helyei



IP Addr	Out Label
192.4/16	5
Layer 2 Transport	**Assign init label**

In Label	Out Label
5	9
Label Swapping	

In Label	Out Label
9	2
Label Swapping	

In Label	Next Hop
2	192.4/16
Remove Label	Layer 2 Transport

"ROUTE AT EDGE, SWITCH IN CORE"

Forward Equivalence Class - FEC

- Olyan csomagcsoportok összessége, amelyeket a hálózatban ugyanúgy kezelünk (útvonal, QoS garanciák)
  - Például ugyanazt a szolgáltatást igénybe vevő felhasználók forgalma

- Egy csomag FEC-hez rendelését egyszer tesszük meg (amikor beérkezik a hálózatba)

FEC Osztályozás

- Egy csomagot a következő kritériumok szerint tudunk FEC –hez rendelni:
  - destination IP address,
  - source IP address,
  - TCP/UDP port,
  - Inter-AS-MPLS esetén: Source-AS and Dest-AS,
  - class of service,
  - applikáció,
  - …
  - Az előzőek kombinációi

Ingress Label	FEC	Egress Label
6	138.120.6/24 - xxxx	9

- FEC – manuálisan beállítva az operátor által
- Egy FEC –hez legalább egy címke lesz rendelve

Ingress Label	FEC	Attribute	Egress Label
6	138.120.6/24 - xxxx	A	9
6	138.120.6/24 - xxxx	B	12

Label-Switched Paths - LSPs

- Egy címkekapcsolt útvonal, melyet a kommunikáció megkezdése előtt létre kell hozni.
- Egy LSP lehet egy FEC reprezentációja

LSP Részletek

- Az MPLS két lehetőséget nyújt az LSP-k kihúzására
  - hop-by-hop routing – IP routing
    - Minden LSD individuálisan választja ki a következő célt. Az LSR bármilyen útvonalválasztó algoritmust használhat.
  - explicit routing
    - A source-routinghoz hasonló. Az Ingress LSR (vagy egy központi entitás) meghatározza az útvonalat adó csomópontok listáját

- Egy LSP amely egy FEC-hez van rendelve mindig egyirányú. A visszafele irányú forgalom számára külön LSP szükséges.

Hogy „húzunk ki” egy LSP-t?

- Label Distribution – címke kiosztás
- Label Distribution – protokoll segítségével
- Label Distribution ami az IGP útvonalát követi
  - Label Distribution Protocol (LDP)
- Label Distribution explicit útvonalak mentén:
  - Explicit útvonalon való kihúzás
  - Sávszélesség foglalás (opcionális)
  - Class of Service (DiffServ stílusban)
- Label Distribution BGP használatával
  - Az AS-ek közötti BGP/MPLS VPN-ek megvalósításához

MPLS jelzési protokollok

- Az IETF MPLS architektúra nem feltételez egyetlen címkekiosztó protokollt
- LDP
  - Ugyanazt az útvonalat követi mint az IGP, vagy explicit útvonalat
- RSVP
  - Explicit útvonalválasztás – megszorításokkal
    - Constraint based routing – egyéb (pl. QoS) paraméterek figyelembe vétele
  - Traffic Engineering és Fast Reroute
- BGP
  - Címkekiosztás IPv4 útvonalak számára

MPLS Label kiosztási stratégiák

- Topológia vezérelt
  - Címkekiosztás a routing protokollok által jelzett topológia változások követésére
- Kontroll vezérelt
  - Címkekiosztás az RSCP, CR-LDP protokollok kéréseire
- Forgalom vezérelt
  - Címkekiosztás új folyamok észlelése esetén

Áttekintés

- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- Védelem és helyreállás
- MPLS VPN szolgáltatások
- GMPLS

Egy LSP létrehozása

- Az LSP-ket elosztottan hozzuk létre és tartjuk fenn
- Minden LSR megegyezik egy címkében minden FEC (Forwarding Equivalence Class) számára a felfele és lefele irányú szomszédjaival, valamilyen kiosztási módszert használva
- Az eredmény: Label Information Base (LIB)

Label Distribution Protocol

- Az RFC 3035 és 3036 írja le
- Címkék kiosztására használják MPLS hálózatban
- Forwarding Equivalence Class
  - Meghatározza hogy a csomagok hogyan lesznek LSP-hez rendelve
- FEC szerint hirdeti a címkéket
  - Pl. az a.b.c.d cím x label –el érhető el
- Neighbor discovery
  - Szomszédos LSR-ek felderítése
  - Basic és Extended Discovery

LDP - Terminológia

- Label Distribution Protocol (LDP)
  - Műveletek gyűjteménye melyekkel egy LSR LSP-ket hoz létre
  - Hálózati szintű útvonalak adatkapcsolati szintű kapcsolt útvonalakra
- LDP peer-ek:
  - Szomszédos LSR-ek melyek címke/stream kiosztást végeznek
  - Ez az információ csere “LDP Session” néven ismert

LDP Üzenetváltás

- Discovery üzenetek – egy LSR jelenlétének jelzésére és fenntartására
- Session üzenetek – kapcsolatok létrehozására, fenntartására és bontására LDP peer-ek között
- Advertisement üzenetek – címke kiosztás létrehozására, változtatására és törlésére
- Notification üzenetek – további információk, hibaüzenetek átvitelére

Címke terek - Label Spaces

- Címkék kiosztásánál használt tartományok
- Kétféle tér lehetséges
  - **Per interface label space**: Interfész specifikus, interfészenként történik a kiosztás
  - **Per platform label space**: Platform-specifikus, a bejövő címkéken osztoznak az egyforma interfészek

LDP Discovery

- Mechanizmus az LDP peer-ek felderítésére
- Elkerüli hogy explicit módon kelljen az LSR peer-eket megadni
- Két lehetőség a felderítésre:
  - basic discovery mechanism: link szinten csatlakoztatott LSR szomszédok felderítésére
  - extended discovery mechanism: azon LSR szomszédok felderítésére, amelyek nem link-lokálisan észlelhetők

Label Information Base

- Az LSR a megtanult címkéket egy Label Information Base (LIB) felépítésére használja

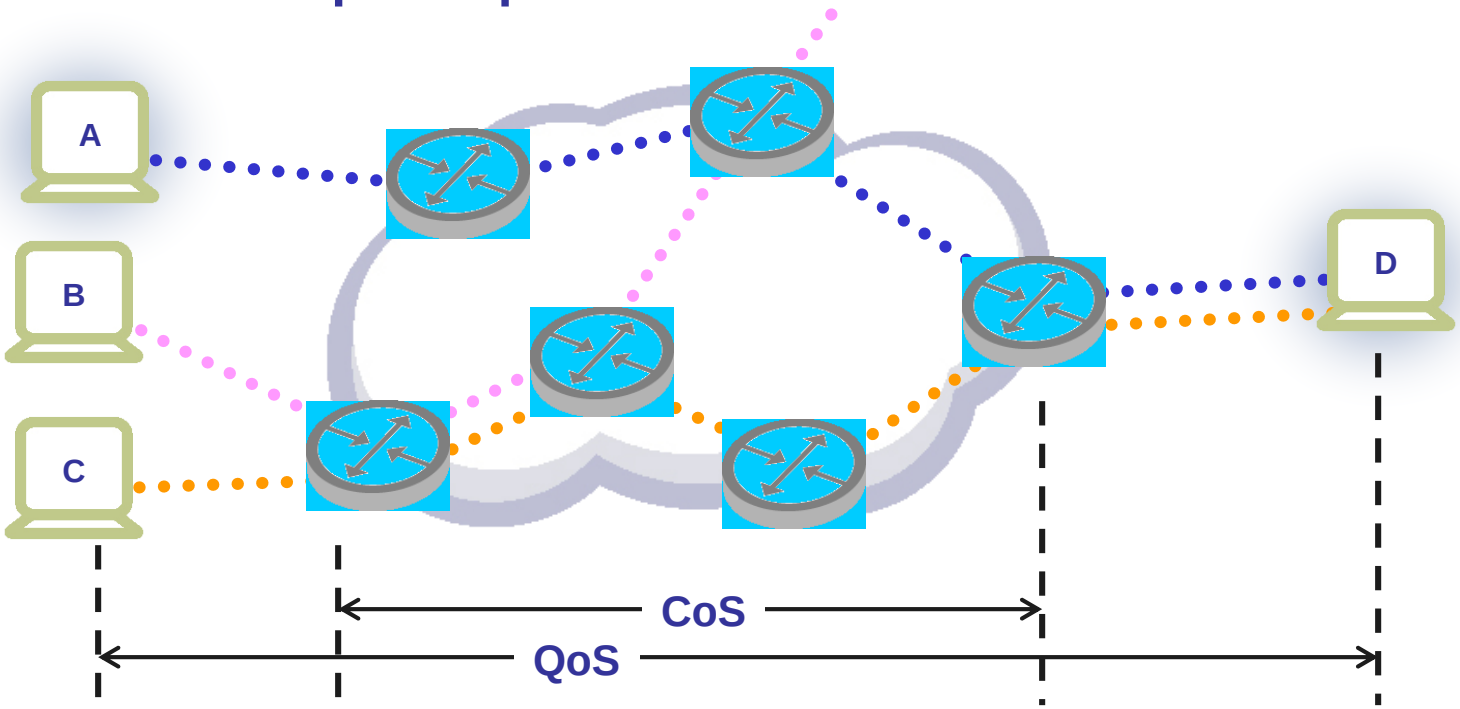
- Minden bejegyzés a LIB-ben egy FEC-et rendel egy (LDP azonosító, címke) páros hoz

Áttekintés

- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- Védelem és helyreállás
- MPLS VPN szolgáltatások
- GMPLS

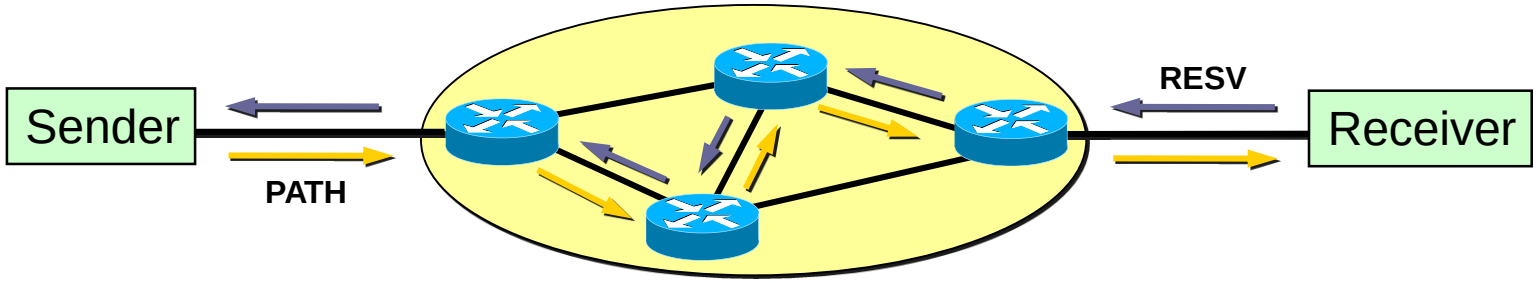
QoS vs CoS

QoS
- QoS
  - end-to-end
  - per-flow
- CoS : per-hop



Integrated Services (IntServ)

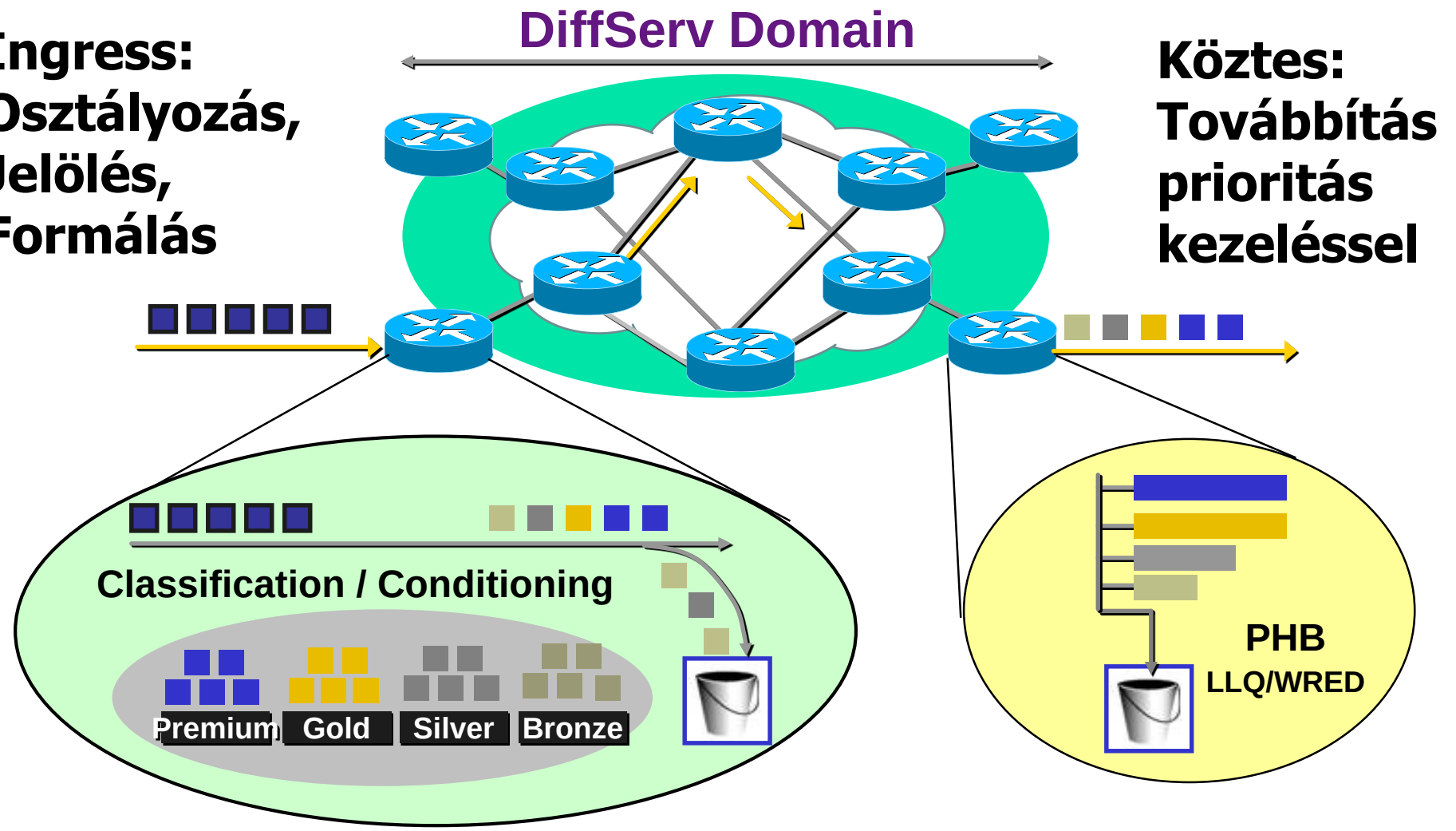
- Az Integrated Services (IntServ) az Resource Reservation Protocol (RSVP) protokollon alapul
- per simplex flow erőforrás foglalás
- Az alkalmazások kérnek erőforrásokat a hálózattól
- A küldő leírja az erőforrás követelményeket a PATH üzenetben amelyet a vevőnek küld
- A vevők lefoglalják az erőforrásokat egy RESV üzenettel amely a visszafele irányban halad



Per-flow garancia, de komplex nem skálázható

DiffServ

Ingress:
Osztályozás,
Jelölés,
Formálás



Köztes:
Továbbítás
prioritás
kezeléssel

Jól skálázható, de nem ad per-flow garanciát

MPLS QoS

- Az MPLS önmagában nem ad QoS-t
- MPLS könnyebbé teszi az IntServ megvalósítását
  - Még mindig skálázhatósági problémát jelent
- MPLS támogatja a DiffServ-et, Traffic Engineering lehetőségekkel
  - Diffserv-aware TE

MPLS Intserv támogatás

- RSVP-TE segítségével
- RSVP – erőforrások lefoglalása
  - PATH üzenet – egyben címke kérés is
  - RESV üzenet – erőforrás foglalás, és egyben címke válasz is
- RSVP ugyanakkor beengedés vezérlést is végez
  - A PATH üzenet ellenőrzi az erőforrásokat
  - az RESV üzenet végzi a tulajdonképpeni foglalást

MPLS Class of Service

- Class of Service (CoS)
  - A hálózat különböző minőségi osztályokat implementál
  - A forgalmat forgalmi osztályokba soroljuk
    - Layer 3 szinten: applikáció, célállomás,…
  - Egyszerűbb és hatékonyabb mint egy csomó virtuális kapcsolat kezelése (pl. ATM-nél), és megvalósul az L2-L3 megfeleltetés is
- Két módszer a szolgáltatási osztály jelölésére:
  - IP precedence -> MPLS header (CoS field)
    - Összesen 8 osztály kezelhető (3 bit)
  - Külön címke használata minden osztályra
    - Nincs határ a címkék számára vonatkozóan (QoS specifikusan)

MPLS Diffserv támogatás

- MPLS és DiffServ kombináció
  - Diffserv az erőforrások kezelésére
  - MPLS a gyors továbbításra

- Ingress:
  - Diffserv – FEC összerendelés
- Köztes csomópontok
  - Explicit LSP-k
  - Könnyebben nyomon követhetők az erőforrások

MPLS QoS összefoglaló

- Használja a meglévő IP QoS mechanizmusokat
  - Queuing – LLQ, CBWFQ
  - Policing
  - WRED
- Osztályozás és jelzés az EXP bitek segítségével
- A címke fejléc QoS jelölése eltérhet az IP DSCP jelöléstől

Áttekintés

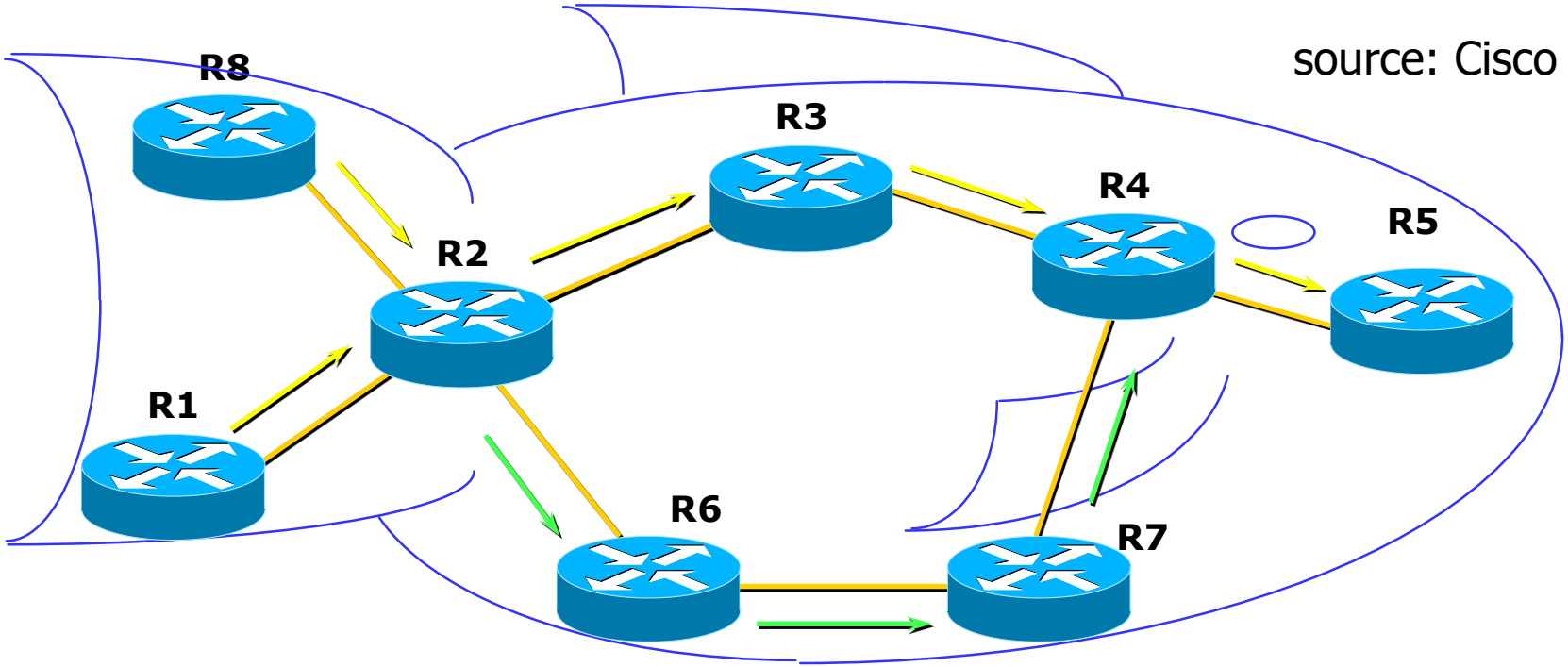
- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- Védelem és helyreállás
- MPLS VPN szolgáltatások
- GMPLS

Minek Traffic Engineering?

- Szűk keresztmetszetek a hálózatban a változó forgalom hatására
- Jobb sávszélesség kihasználás
  - Útvonal nem a legrövidebb útvonalon
- Hibás linkek/csomópontok kikerülése
  - Fast rerouting – a felhasználó számára transzparens
  - Védelem
- Új szolgáltatások megvalósítása – Virtuális bérelt vonal
  - point-to-point sávszélesség garanciával
- Kapacitás tervezés
  - Lehetővé teszi az aggregátumok kezelését, számolni lehet az útvonalakon az igényelt sávszélességet

IP Routing és a Hal

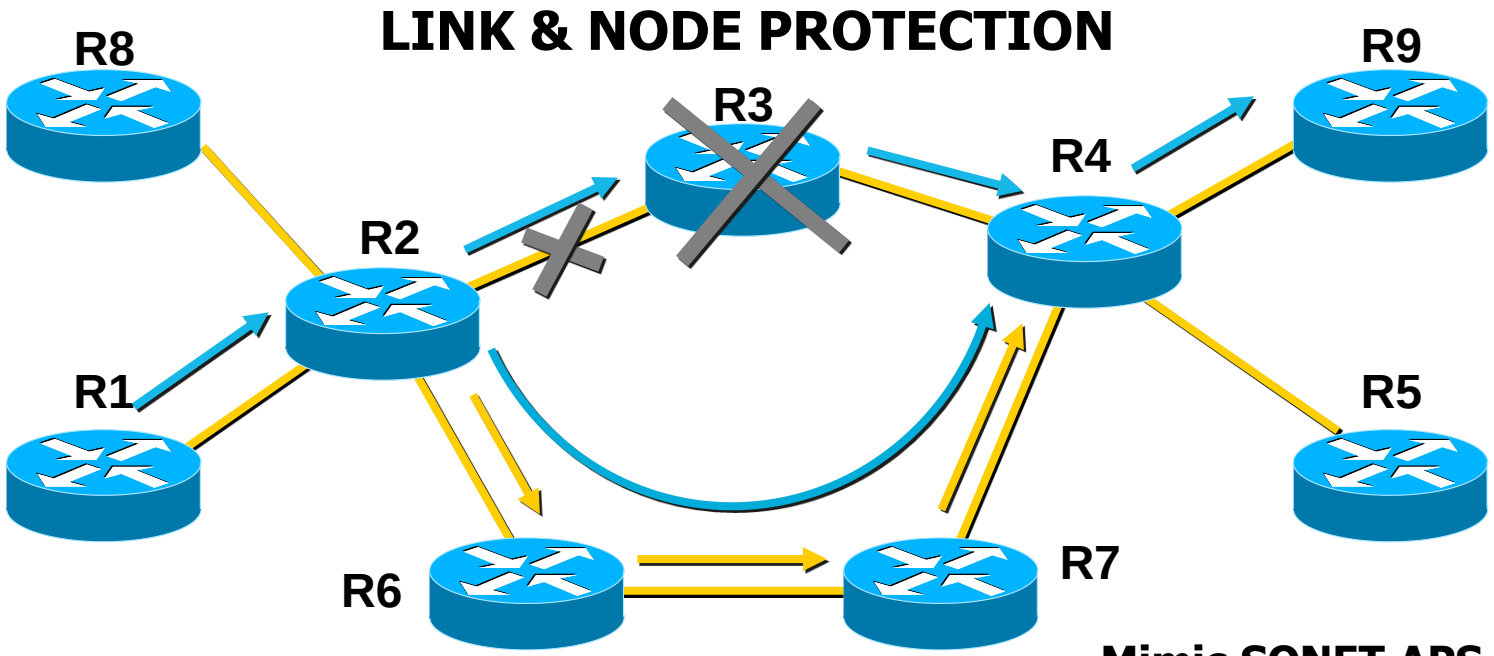
source: Cisco



IP (legtöbbször) a legrövidebb útvonalat választja
Az R8 és R1-ből induló folyamok R2-nél keverednek, és a későbbiekben nem megkülönböztethetők

Az alternatív útvonal nem kihasznált

Az MPLS TE előnye



source: Cisco

- Több csomópont kikerülhető. R2 kicserélheti az R3 irányába mutató címkét az R6 irányúra

TE performancia célok

- Traffic Engineering (TE) célja az optimális hálózati kihasználás
- A fő célok
  - Forgalom szempontjából: javítja a QoS-t, pl. a csomagvesztés minimizálásával
  - Erőforrás szempontjából: javítja az erőforrások felhasználását, jobb hálózati kihasználtságot tesz lehetővé

MPLS és Traffic Engineering

- Főbb komponensek
  - Traffic Trunk – azonos osztályú forgalmi folyamok aggregálása melyek egy LSP-t használnak
  - Indukált MPLS Gráf
    - Virtuális topológia – akár egy overlay model
    - Logikai hozzárendelés egy fizikai útvonalhoz LSP traffic trunk segítségével
    - Az LSP-k pont-pont kapcsolatot nyújtanak két LER között, több LSR-en keresztül

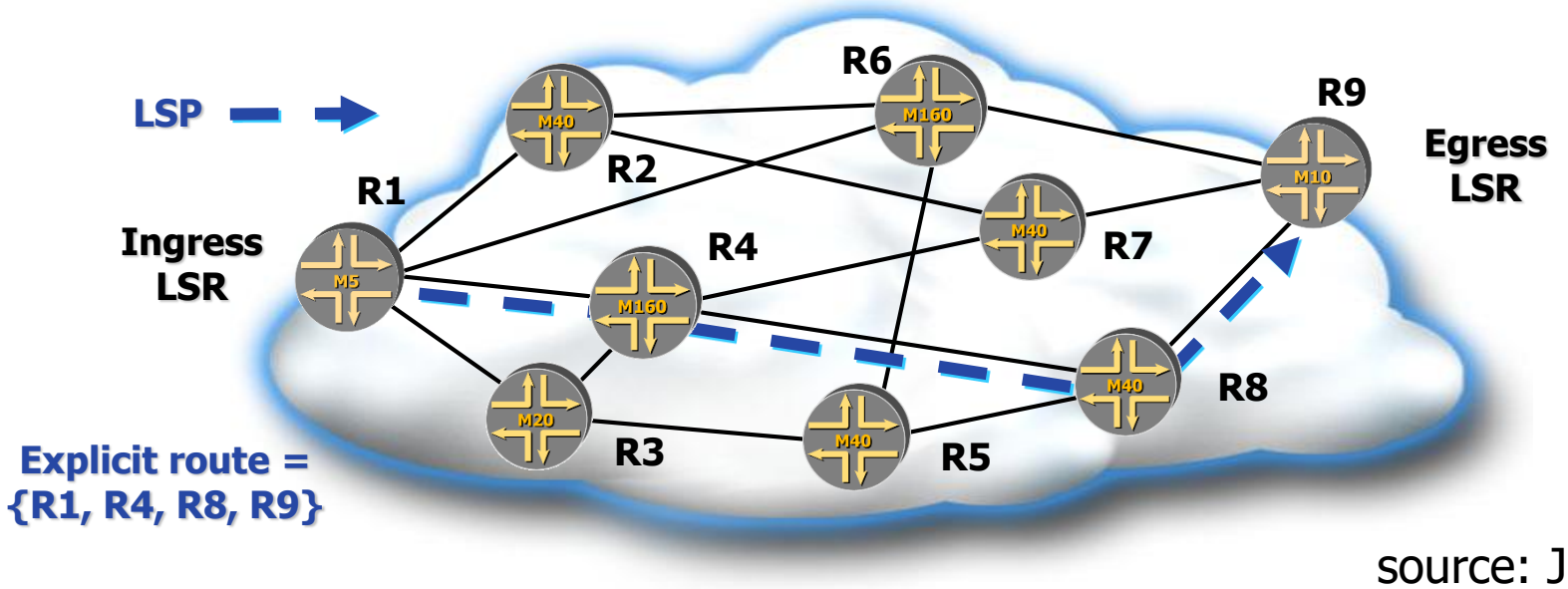
Explicit Routing MPLS-ben

- Két opció az útvonalválasztásra:
  - Hop by hop routing
  - Explicit routing
- Explicit Routing (azaz Source Routing) – nagyon hasznos
  - IP explicit routing: minden csomagban benne az útvonal - túl nagy overhead
  - MPLS: csak az LSP kihúzásánál kell az explicit útvonalat megadni
  - Az MPLS praktikussá teszi az explicit útvonalak kezelését

Explicit Routing

- Offline Útvonal számítás
  - PCE, Path Computation Element
  - Központi eszköz
- Online Útvonal számítás
  - OSPF/IS-IS kiterjesztések
  - Constraint based routing - megszorításokkal
- LSP jelzés – explicit útvonal
  - RSVP-TE
  - CR-LDP

Offline útvonal számítás



source: Juniper

- Bemenet az offline útvonal számítónak:
  - Ingress és egress csomópont
  - Fizikai topológia
  - Forgalmi mátrix (statisztikai)
- Kimenet:
  - Fizikai útvonal szett, explicit útvonalként

Online útvonal számítás

- CR kiterjesztést igényel a routing protokollokhoz
  - Constraint-based SPF algoritmus: figyelembe veszi a megszorításokat
- Link State Információk - kiterjesztve
  - Hálózati topológia, folyam követelmények, a linkeken az elérhető erőforrások
  - Az LSA – Link State Advertisment üzenetek kiterjesztése OSPF és IS-IS protokollokban
  - Kompromisszum az információ részletessége és pontossága illetve a gyakori frissítés között

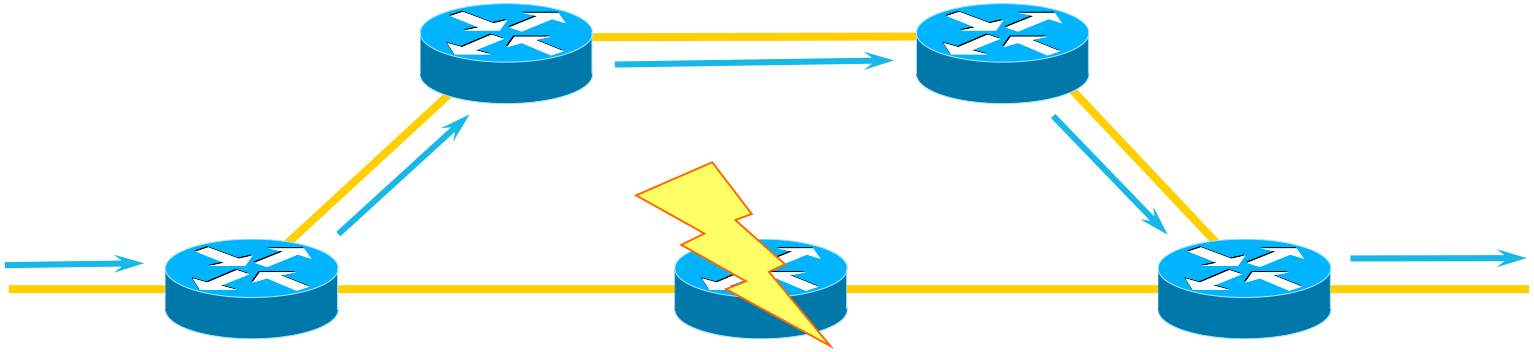
Áttekintés

- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- Védelem és helyreállás
- MPLS VPN szolgáltatások
- GMPLS

Helyreállás és Védelem

- IGP alapú: helyreállás (restoration)
- RSVP-TE lehetővé teszi a védelmet
  - 1+1
    - a forgalom egyszerre mindkét útvonalon megy
    - Nincs csomagvesztés
  - 1:1
    - Előre kihúzott védelmi LSP, amelyre átkapcsol hiba esetén
    - Nagyon gyors ~50ms, de lehet csomagvesztés
- Szegmens védelem lehetséges
  - Fast reroute

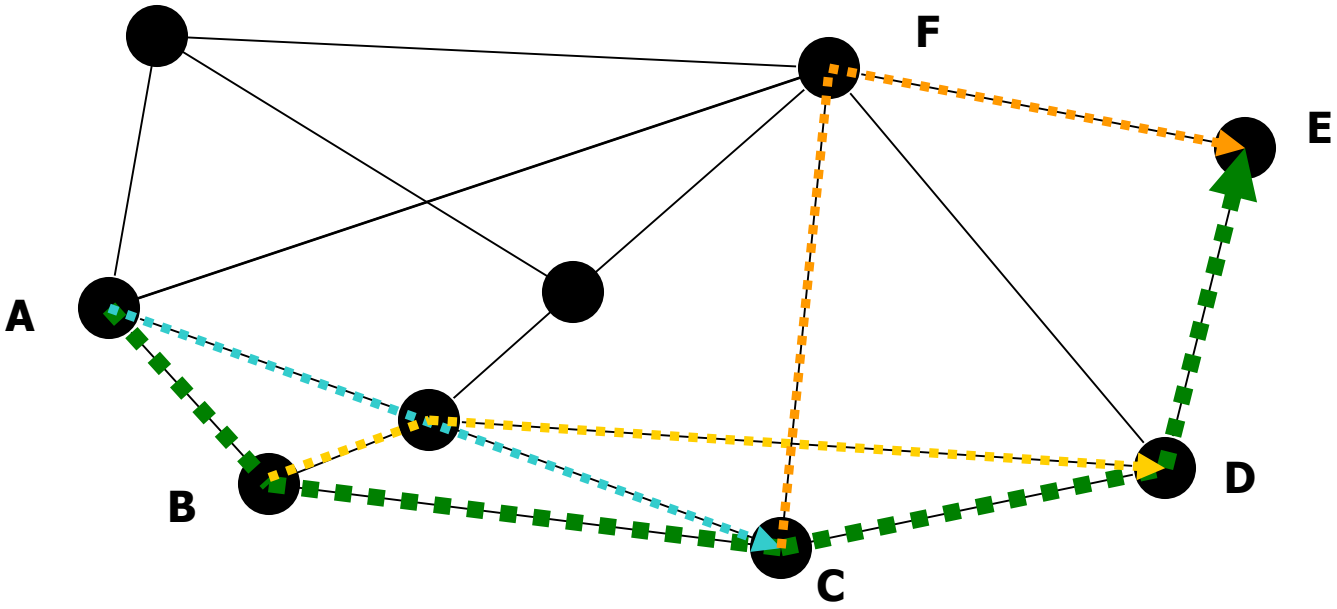
MPLS Link és Node védelem



- Időszakos kikerülés egy hibás csomópontnál
  - 50 msec alatti
  - Skálázható több ezer LSP-re

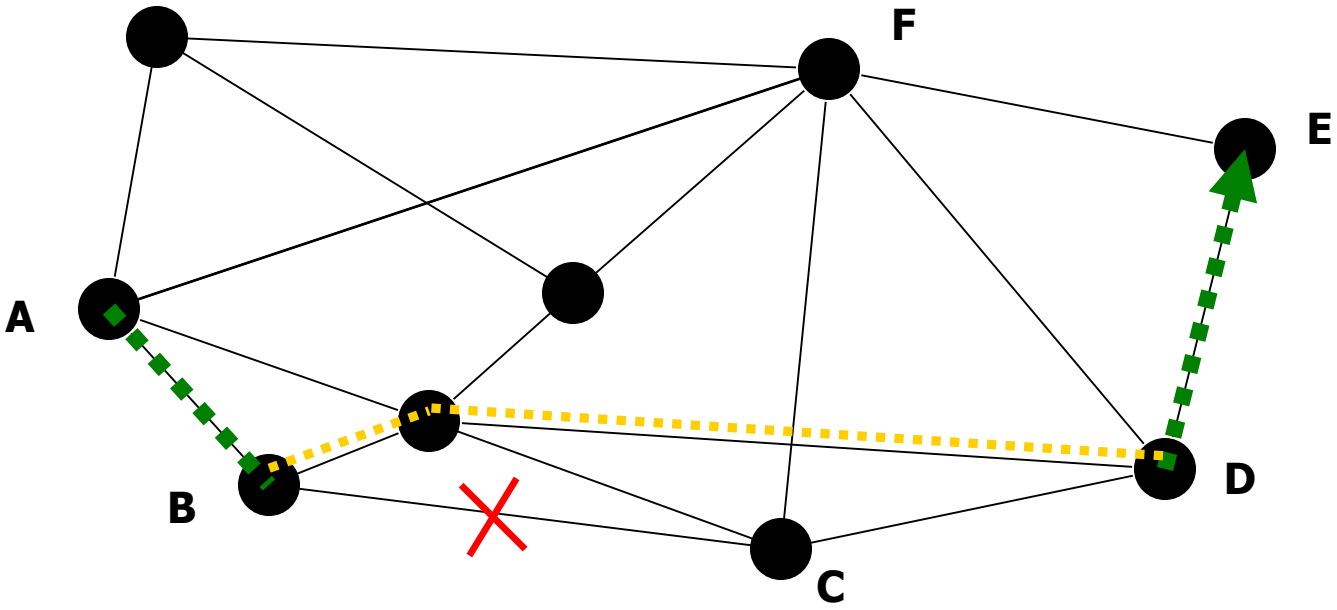
Fast Reroute

- Gyors útvonalkeresés az ingresstől
  - A kikerüli B-t
  - B kikerüli C-t
  - C kikerüli D-t



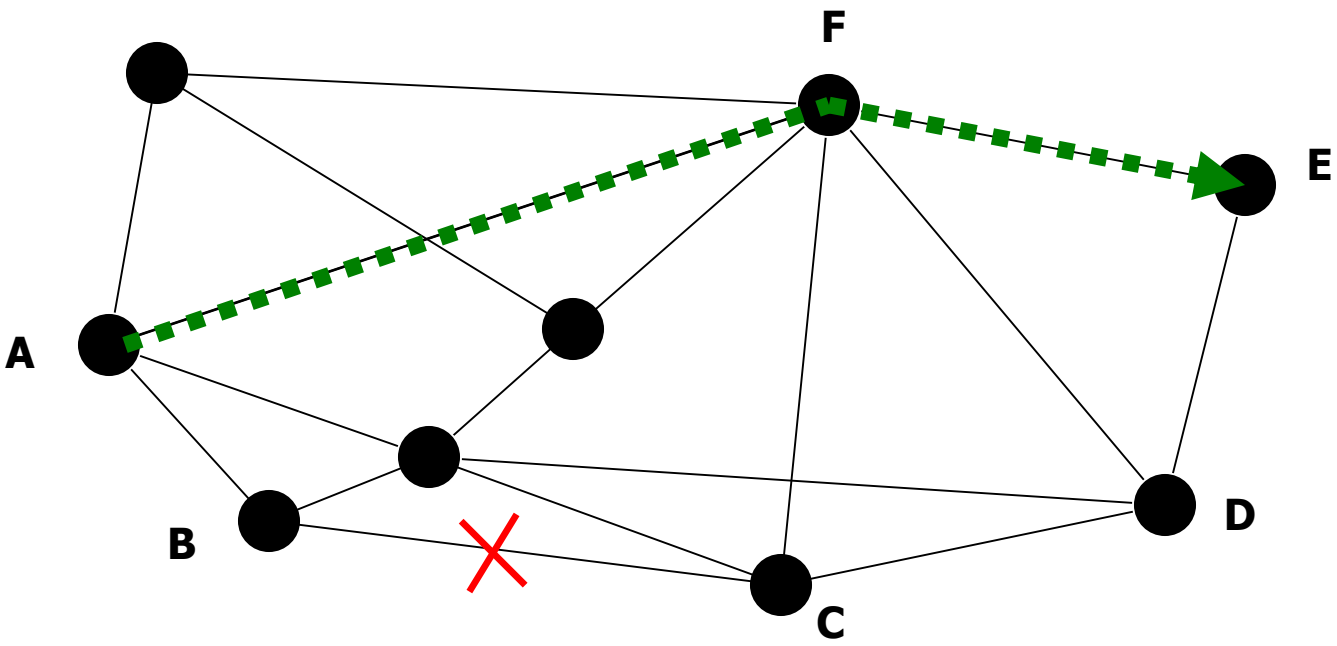
Rövid távú megoldás

- B - C link megszakad
  - B azonnal kikerüli C-t
  - B jelzi A-nak hogy hiba történt



Hosszú távú megoldás

- A kiszámol és kihúz egy optimális elsődleges útvonalat



Áttekintés

- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- Védelem és helyreállás
- MPLS VPN szolgáltatások
- GMPLS

A legfontosabb MPLS Alkalmazások

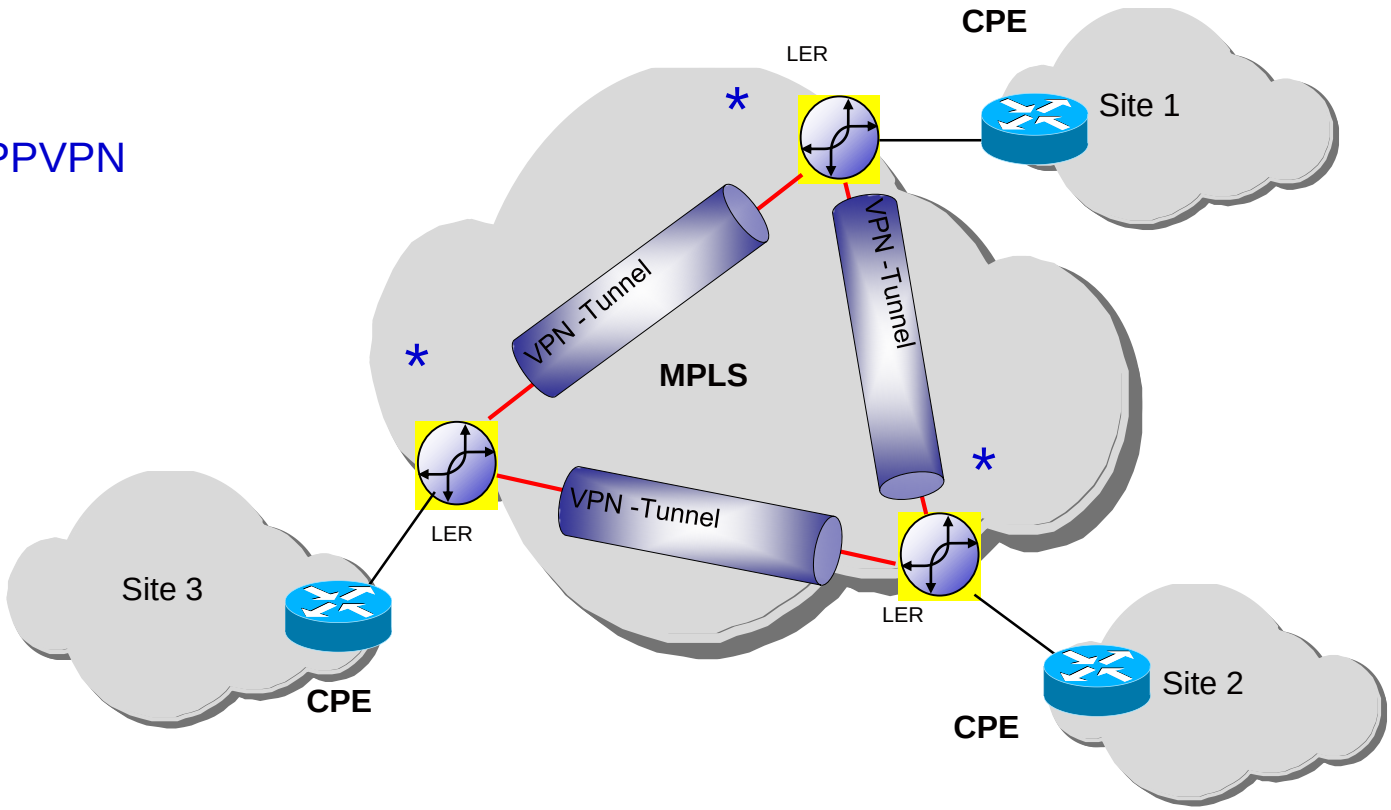
- Traffic Engineering
  - Optimális hálózati kihasználás
  - Explicit és policy routing
- Védelem és gyors helyreállás
  - Fast reroute
  - 1:1 védelem
- Szolgáltatások
  - IP VPN-ek (RFC 2547bis: BGP/MPLS VPN)
  - Layer 2 VPN-ek
  - Layer 2 Transport: ‘*’ MPLS felett, * = ATM, FR, Ethernet, stb.

MPLS IP VPN-ek

- Virtuális router modell
  - L2 & L3 Provider Provisioned – szolgáltató által beállított VPN megoldás (PP)

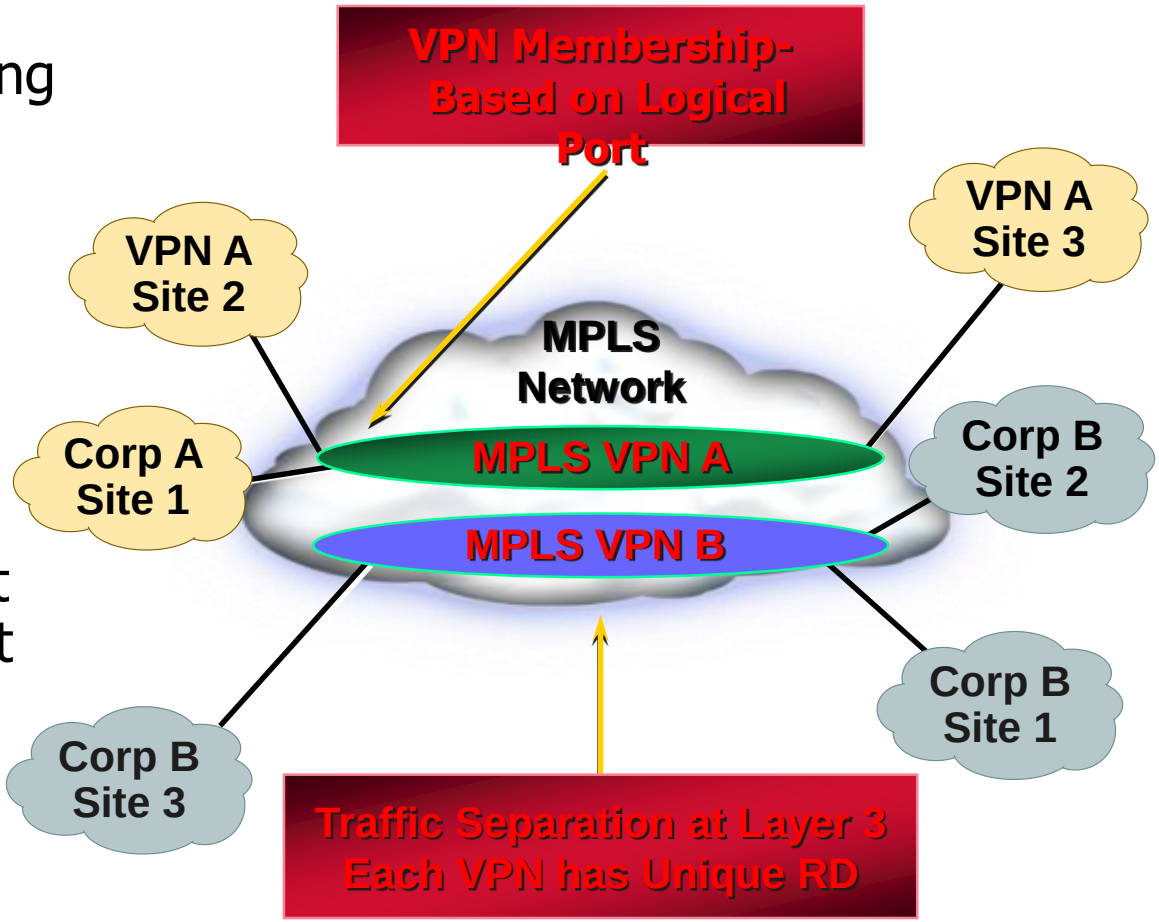
Provider Provisioned VPN

IETF - PPVPN



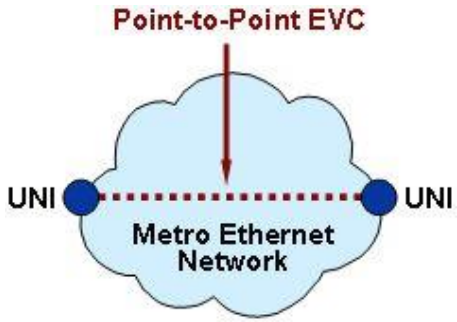
MPLS alapú IP-VPN Architektúra

- Skálázható VPN-ek
- IP QoS ls traffic engineering
- Könnyen menedzselhető
- Magas megbízhatóság – hasonló az ATM és Frame Relayhoz
- Lehetővé teszi értéknövelt alkalmazások szolgáltatsát
- Felhasználói IP címek szabad megválasztása

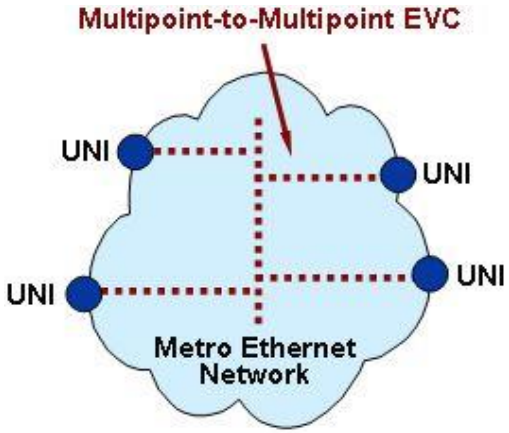


Ethernet szolgáltatások

- Virtual Private Wire Service, ***VPWS***
  - Bérelt vonali szolgáltatás
  - Pont-pont kapcsolat



- Virtual Private LAN Service, ***VPLS***
  - Virtuális LAN szolgáltatás
  - Multipont-multipont



- **UNI**-kapcsolódási pont
  - Virtuális kapcsolat - EVC

Forrás: MEF

Áttekintés

- MPLS Bevezető
- Label Distribution – címke kiosztás
- QoS támogatás
- Traffic Engineering
- Védelem és helyreállás
- MPLS VPN szolgáltatások
- GMPLS

Az MPLS evolúciója

- MPLS: MultiProtocol Label Switching
  - IP csomag alapú
  - Packet Traffic Engineering (MPLS-TE)
- MPλS: MultiProtocol Lambda Switching
  - MPLS vezérlés kiterjesztve a WDM technológiára (wavelength/lambda) és IGP TE kiterjesztések
- GMPLS: Generalized MPLS
  - MPLS vezérlés kiterjesztve a vonalkapcsolt technológiákra (SDH/Sonet) és optikai rétegre
  - Új protokoll: LMP
- GMPLS: Technológia függetlenség bevezetése
  - LMP kibővítve "passzív eszközökre" : LMP-WDM

Általánosított MPLS: GMPLS

- GMPLS: 5 interfész típus
  - PSC - Packet Switching Capable: IP/MPLS
  - L2SC - Layer-2 Switching Capable: ATM, FR, Ethernet
  - TDM - Time-Division Multiplexing: Sonet, SDH, G.709 ODU
  - LSC - Wavelength Switching: Lambda, G.709 OCh
  - FSC - Fiber Switching

- GMPLS kiterjeszti az MPLS/MPLS-TE vezérlést
  - Az LSP kihúzása lehetővé válik különböző interfészeken át

Összefoglalás

- MPLS is a strategy for streamlining the backbone transport of IP packets across a layer 3/layer 2 network. Although it does involve QoS issues, that is not its main purpose.
- MPLS is focused mainly on improving internet scalability through better traffic engineering.
- MPLS will help to build backbone networks that better support QoS traffic, but it entails significant changes in existing network architecture.

Köszönöm a figyelmet!

- End -

Szállítási réteg (L4)

Gyakorlat

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics

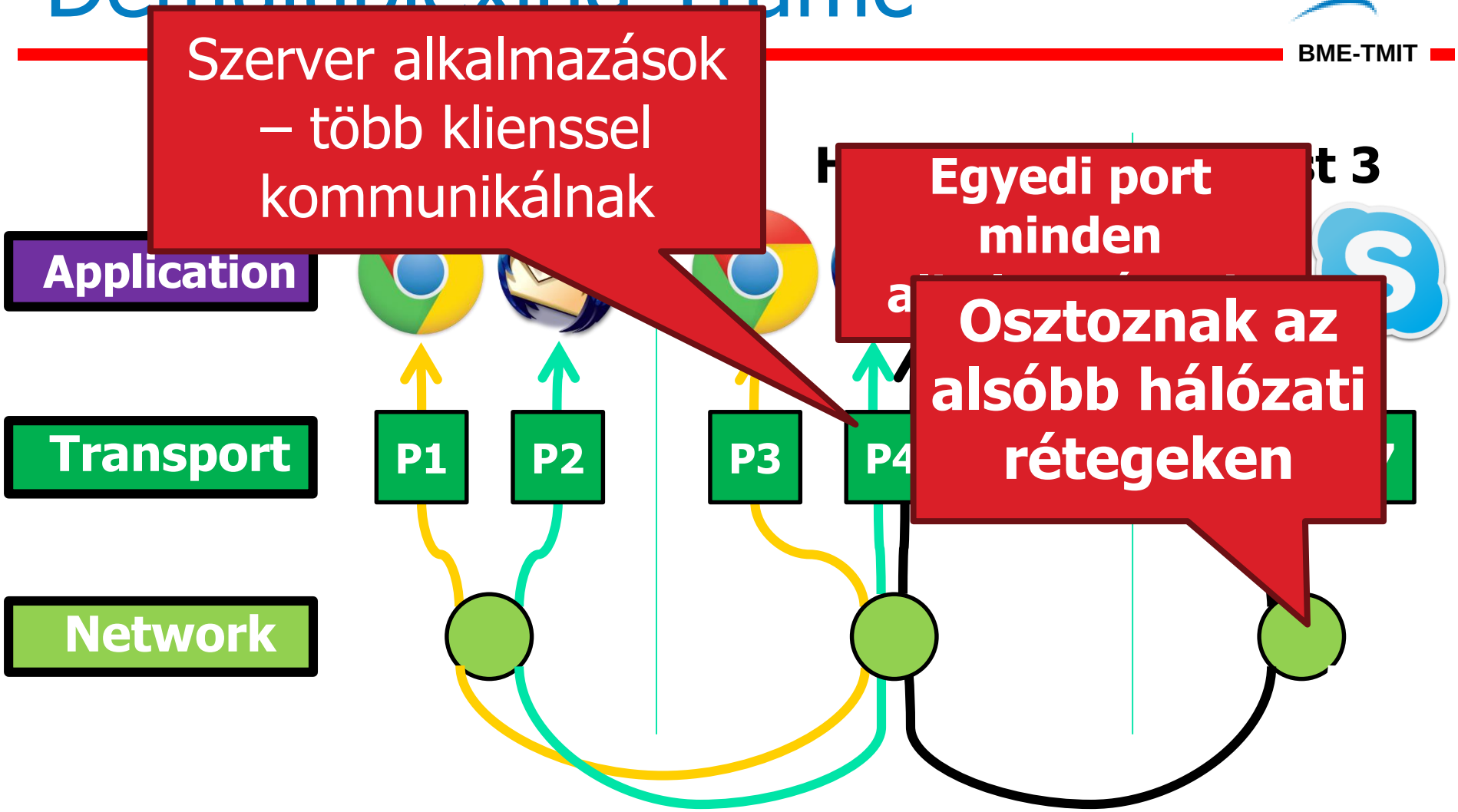
A gyakorlat célja

- A TCP-t nagyon sok környezetben használják
- A főbb mechanizmusok ismerete fontos
  - A programozónak
  - A hálózati szakembernek
    - Wired
    - Wireless
  - Lassan az ipari környezetbe is beszivárog

Portok

- Kapcsolat fogalma
  - 5-tuple
- Kapcsolat kiépítése
  - UDP - nincs
  - TCP
    - 3 way handshake
    - Miért van rá szükség?

Demultiplexing Traffic



Endpoints identified by *<src_ip, src_port, dest_ip, dest_port>*

Portok egy gépen

- Netstat parancs

```
TCP    127.0.0.1:1906         localhost:1907     ESTABLISHED
TCP    192.168.1.147:53699    13.77.87.52:https      ESTABLISHED
TCP    192.168.1.147:53703    91.190.216.57:12350    ESTABLISHED
TCP    192.168.1.147:53737    64.4.23.152:40008      ESTABLISHED
TCP    192.168.1.147:53759    108.177.96.188:5228    ESTABLISHED
TCP    192.168.1.147:53772    40.77.226.192:https    ESTABLISHED
TCP    192.168.1.147:54512    a104-96-129-73:https   CLOSE_WAIT
TCP    192.168.1.147:54513    a104-96-129-73:https   CLOSE_WAIT
TCP    192.168.1.147:54514    a104-96-129-73:https   CLOSE_WAIT
```

UDP

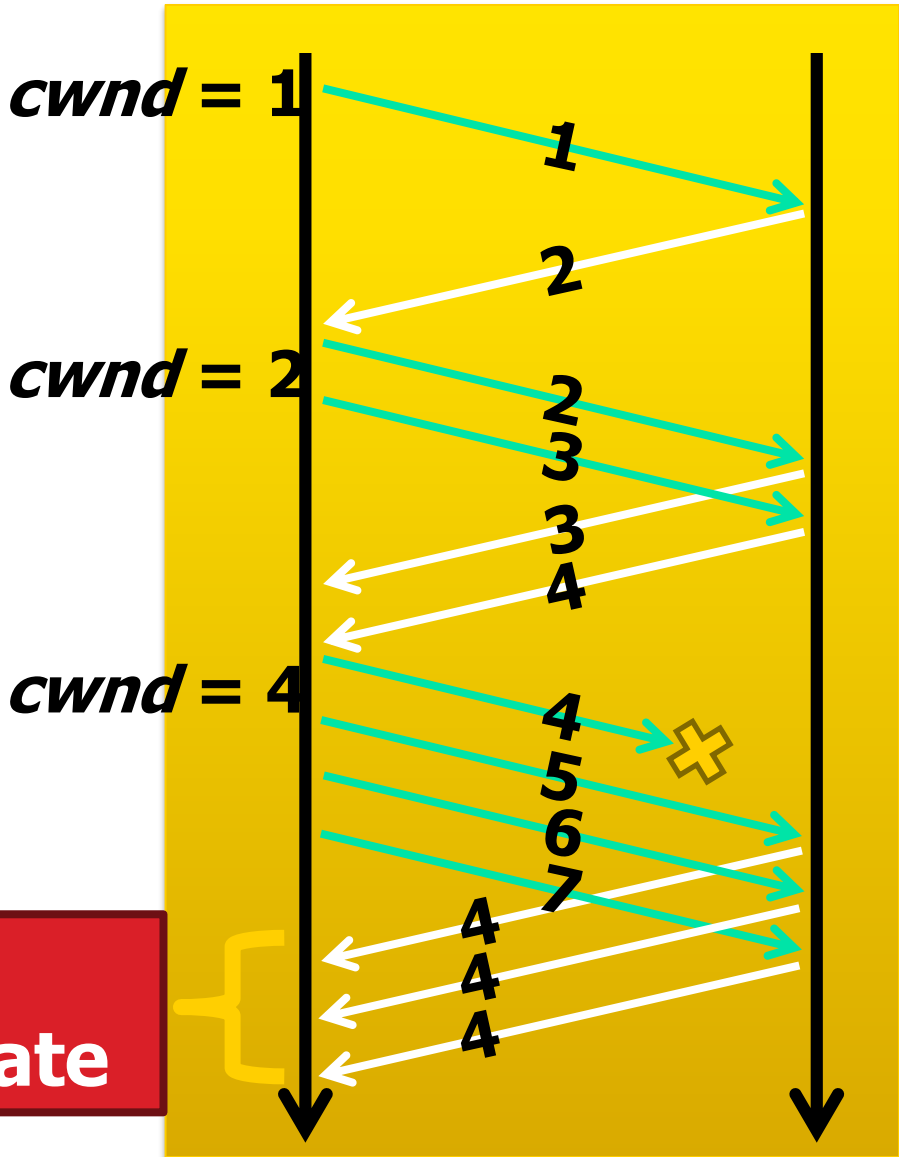
- Adatküldés: szegmensek
- Hibakezelés
  - ICMP: port nem elérhető
  - Loss: nincs visszajelzés
- Sávszélesség, késleltetés

The Evolution of TCP

- TCP Tahoe
  - Kezdeti verzió
- A TCP 1974-ben volt kitalálva!
  - Manapság rengeteg változata van a TCP-nek
- Kezdeti, elterjedt: TCP Reno
  - Tahoe, plus…
  - Fast retransmit
  - Fast recovery

TCP Reno: Fast Retransmit

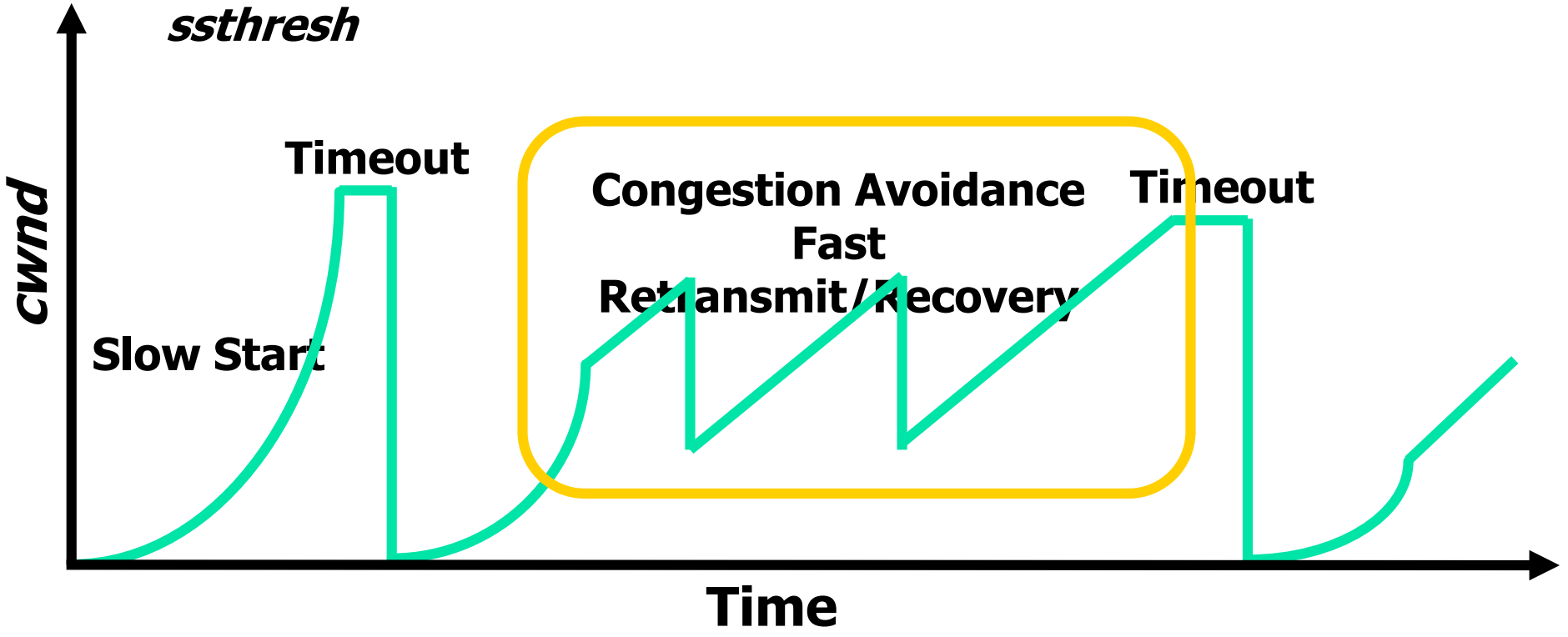
- **Problem: in Tahoe, if segment is lost, there is a long wait until the RTO**
- **Reno: retransmit after 3 duplicate ACKs**



TCP Reno: Fast Recovery

- After a fast-retransmit set *cwnd* to *ssthresh/2*
  - i.e. don't reset *cwnd* to 1
  - Avoid unnecessary return to slow start
  - Prevents expensive timeouts
- But when RTO expires still do *cwnd* = 1
  - Return to slow start, same as Tahoe
  - Indicates packets aren't being delivered at all
  - i.e. congestion must be really bad

Fast Retransmit és Fast Recovery



- A *cwnd* oszcillál az optimális ablak körül
- TCP mindig erőlteti a csomageldobást

Csomagvesztés – jó vagy rossz?

- Példa: DSL 10Mbit/s vonal, 2 lehetőség
  - a) x% loss vs
  - b) FEC – hibajavító kód, fix 20% adat
- TCP transport, letöltések: melyik jobb?
- a) 10Mbps – x% loss (pl. BER=10^{-6})
  - $\Rightarrow$1 csomag 1500 byte, 12000bit, minden 83.3 csomag elvész
- b) 8Mbps
  - – a hibajavító kód 20% veszteség mindig

Many TCP Variants…

- Tahoe: the original
  - Slow start with AIMD
  - Dynamic RTO based on RTT estimate
- Reno: fast retransmit and fast recovery
- NewReno: improved fast retransmit
  - Each duplicate ACK triggers a retransmission
  - Problem: >3 out-of-order packets causes pathological retransmissions
- Vegas: delay-based congestion avoidance
- And many, many, many more…

TCP in the Real World

- Manapság?
  - Nagy bandwidth-delay a jellemző, a TCP nem annyira szereti
  - Compound TCP (Windows)
    - Reno alapú
    - Két congestion window: delay és loss alapú
    - Ezért a *compound* vezérlés
  - TCP CUBIC (Linux)
    - BIC (Binary Increase Congestion Control)
    - Az ablakot egy cubic function vezérli

Amit tudni kell a TCP-ről

- Programozónak
- Hálózati operátornak

- Miért teszünk különbséget?
  - Programozóként nem érdekel a hálózat
  - Operátorként nem érdekel az alkalmazás

Programozóként…

1. Forgalom a kapcsolat kiépítésekor
   - A three-way handshake, blokkolás
2. Az adat blokkokban érkezik
   - Hacsak push/urgent biteket nem használunk (ritka)
3. TCP throughput függ az applikációtól is
   - Néha ez jó

TCP ablak

- Bandwidth delay product
- 8k – korlátos sávszélesség
  - Telítődés
- 64K
  - jobb
  - Window scale option

TCP opciók - példa

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
4	0.168986	192.168.0.11	239.255.255.250	SSDP	175	M-SEARCH * HTTP/1.1
5	0.221892	fe80::d0f9:8c1:d62f:eb63	ff02::1:3	LLMNR	86	Standard query 0x7e01 A isatap
6	0.000117	192.168.0.11	224.0.0.252	LLMNR	66	Standard query 0x7e01 A isatap

```
▷ Frame 12: 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits) on interface 0
▷ Ethernet II, Src: Wistron_2d:ab:ba (00:1f:16:2d:ab:ba), Dst: 3Com_03:04:05 (00:01:02:03:04:05)
▷ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.11, Dst: 192.168.0.168
◢ Transmission Control Protocol, Src Port: 29385, Dst Port: 22, Seq: 0, Len: 0
    Source Port: 29385
    Destination Port: 22
    [Stream index: 0]
    [TCP Segment Len: 0]
    Sequence number: 0    (relative sequence number)
    [Next sequence number: 0    (relative sequence number)]
    Acknowledgment number: 0
    1000 .... = Header Length: 32 bytes (8)
  ▷ Flags: 0x002 (SYN)
    Window size value: 8192
    [Calculated window size: 8192]
    Checksum: 0x822a [unverified]
    [Checksum Status: Unverified]
    Urgent pointer: 0
  ◢ Options: (12 bytes), Maximum segment size, No-Operation (NOP), Window scale, No-Operation (NOP), No-Operation (NOP), SACK permitted
      ▷ TCP Option - Maximum segment size: 1460 bytes
      ▷ TCP Option - No-Operation (NOP)
      ▷ TCP Option - Window scale: 2 (multiply by 4)
      ▷ TCP Option - No-Operation (NOP)
      ▷ TCP Option - No-Operation (NOP)
      ▷ TCP Option - SACK permitted
  ◢ [Timestamps]
      [Time since first frame in this TCP stream: 0.000000000 seconds]
      [Time since previous frame in this TCP stream: 0.000000000 seconds]
```

Programozóként… (folyt)

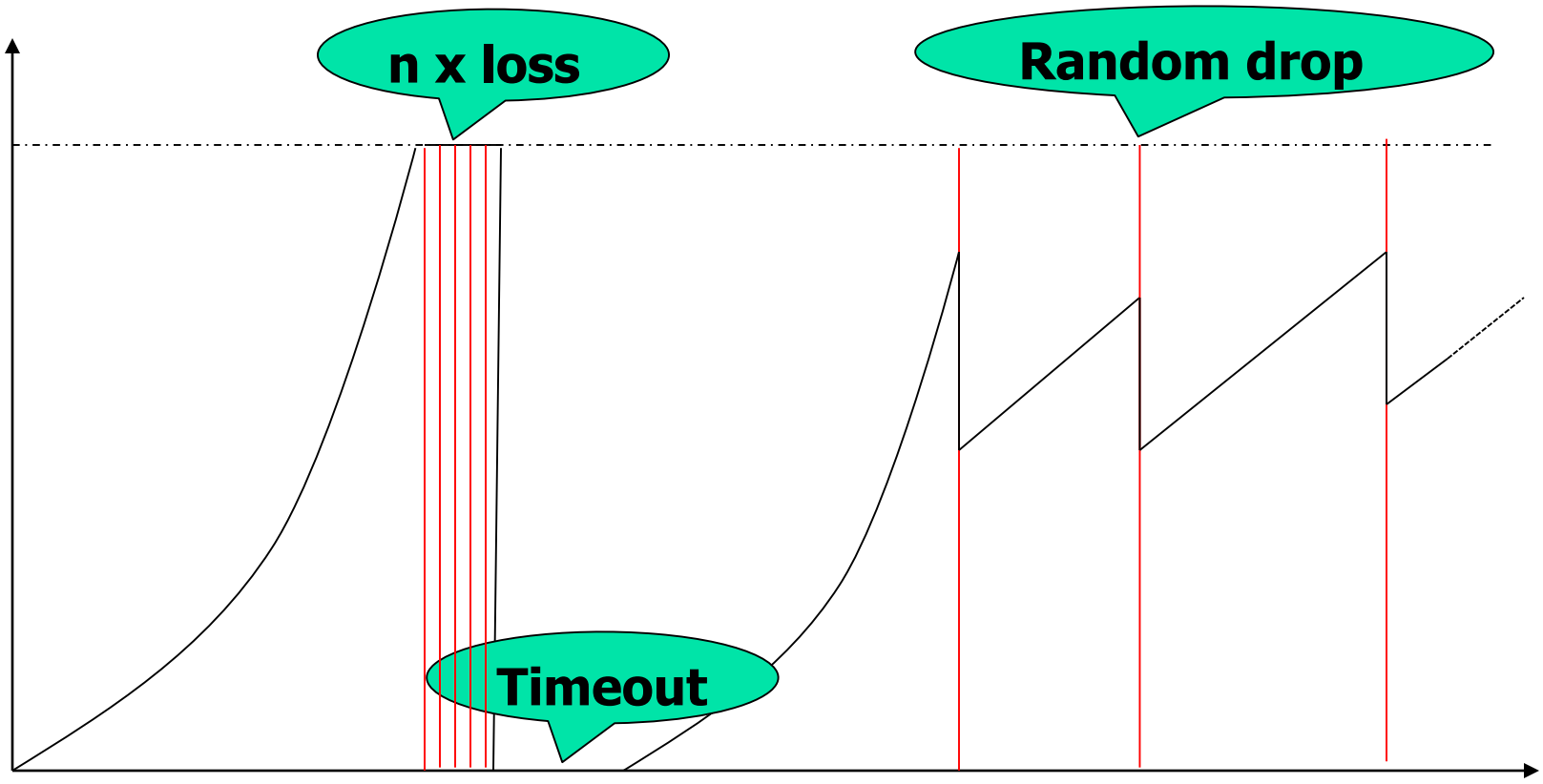
4. A hálózat korlátozhatja a sávszélességet
   - Akkor gond ha nincs elég hálózati kapacitás
5. Socket opciók
   - Algoritmusok/paraméterek állítása
6. Portok újrahasználása
   - Fin bit – zárás után még nem fejeződik be a kapcsolat

Operátorként…

1. A forgalom jellege
   - Börsztös, vezérlés
2. Bottleneck detektálása
   - A forgalom nem nő ~80% fölé (aggregált)
3. Congestion control algoritmusok a routerben
   - Előre kezelik a szűk keresztmetszetet
   - Fairness elérése
4. Lossy csatornák - rádió
   - A csomagvesztést félreértelmezi

RED – Random Early Drop

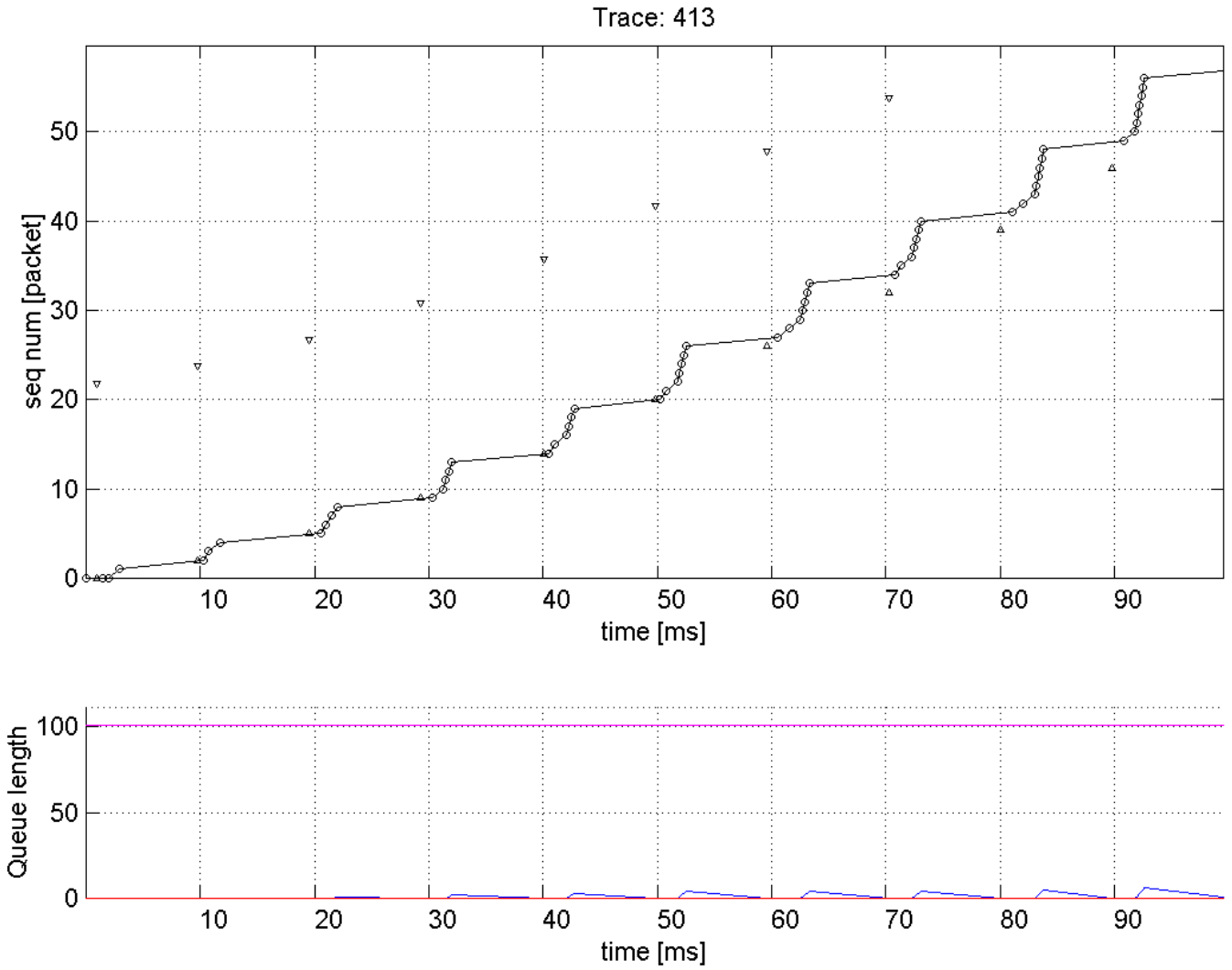
- Buffer menedzsment routerben
  - Egyedi dobás jobb mint a timeout



TCP - Wireless

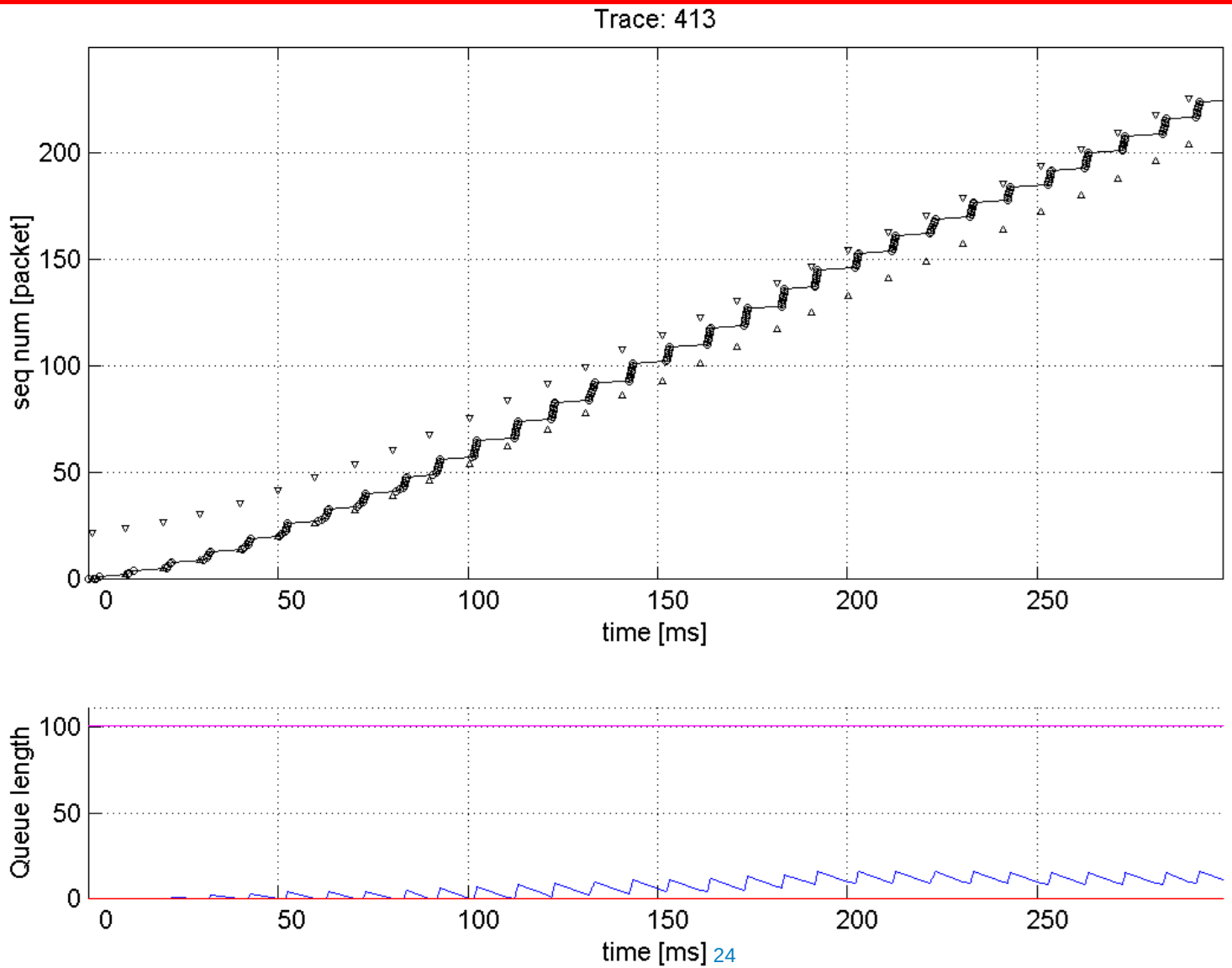
- Hibás működés:
  - Wireless – rádiós dobás
    - Nem szűk keresztmetszet!
    - TCP félreértelmezi, csökkenti a cwnd-t
  - Megoldás
    - L2 újraküldések
    - WTCP – proxy
    - SACK – selective acknowledgements

No.	Algo.	Sender	Traffic	# conn.	Receiver	Kbytes/sec	# ovfl.
413	None	Linux 2.1	one.1024	1	Linux 2.0	1097.7 (gw)	0



Megjegyzések

- A fogadó csak egy ACK-t küld egy csomagcsoportra
- Minden ACK érkezése a küldőnél egy csomagbörszt küldését eredményezi
- A küldő a *cwnd*-t minden egyes ACK érkezésekor eggyel növeli
- A sorok hossza növekszik a börsztök érkezésekor, a börsztök méretei pedig növekednek az idővel
- ACK érkezések 10 ms-ként

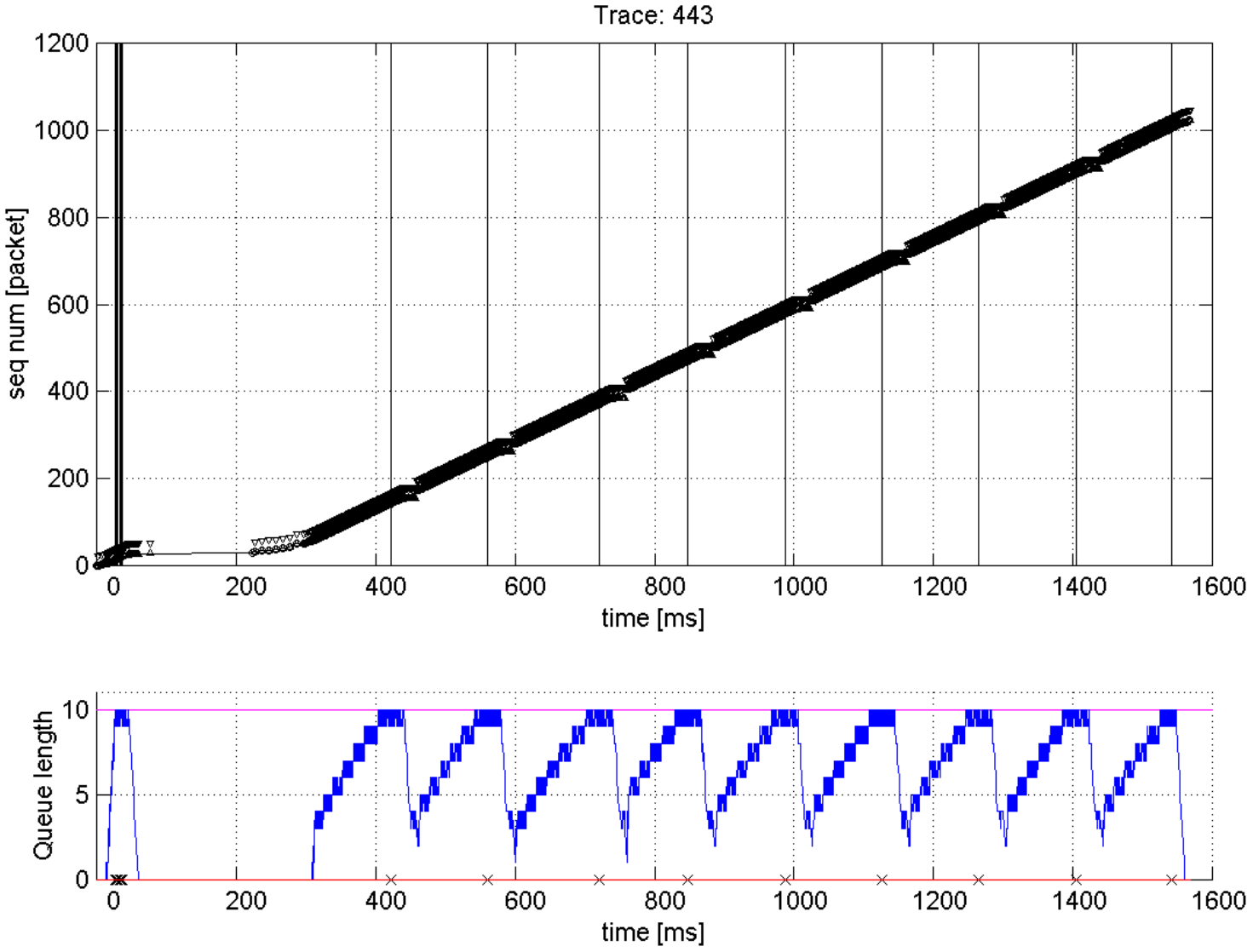

Trace: 413
seq num [packet]
time [ms]
Queue length
time [ms]
0
50
100
150
200
250

Megjegyzések

- Kb 200ms után, a küldő eléri a fogadó meghirdetett ablakméretének felső határát
- A sorhosszúság kb. 15 körül stabilizálódik
- A sorok hossza a börsztök érkezésekor növekszik – ezeket a fogadó egy-egy csomagcsoportot nyugtázó ACK-ra küldött
- A sorok hossza fokozatosan csökken függően a 10 Mbps-os Ethernet kapacitásától

Börsztös forgalom

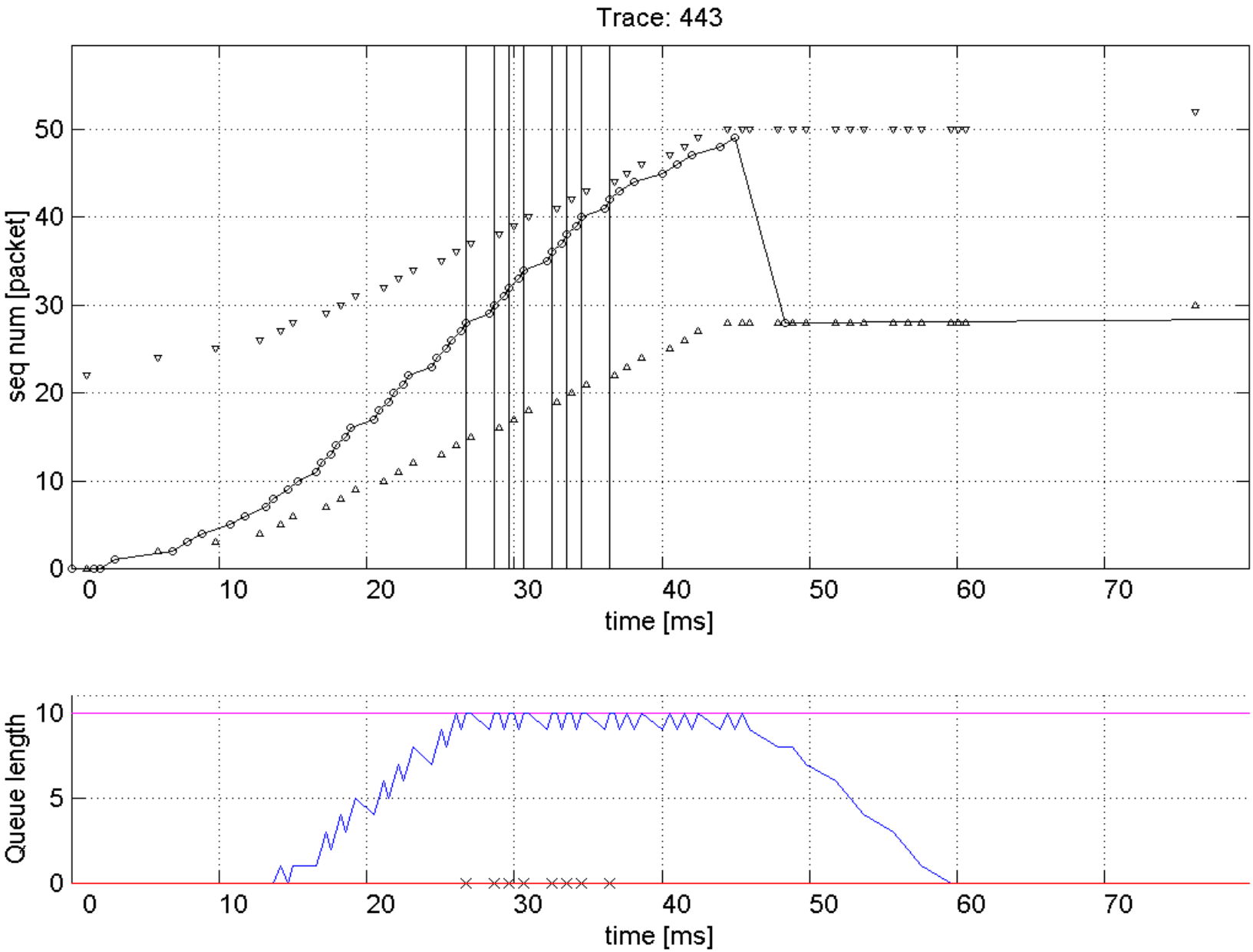
- Ablak – gyors felfutás
  - Hatása: többszörös loss
  - Timeout
- Sok timeout – lassú kapcsolat
  - Főleg a kapcsolat elején nagy gond
  - Inkább fast retransmit kellene


Trace: 443
seq num [packet]
time [ms]
Queue length
time [ms]

Megjegyzések

- A slow start börsztös csomagvesztéssel és az adás szüneteltetésével ér véget
- Periódikus vesztések láthatók, melyeket a küldő gyorsan javít – a vesztések nem okoznak jelentős teljesítménycsökkenést
- A sorhosszban periódikus minta van 300 ms után: lineáris növekedés, egy vesztés, egy esés. Ez mutatja a congestion avoidance mechanizmus működését a küldő oldalon: a vesztés észrevételekor csökkenti a congestion window értékét, majd ismét lineárisan (additívan) növeli

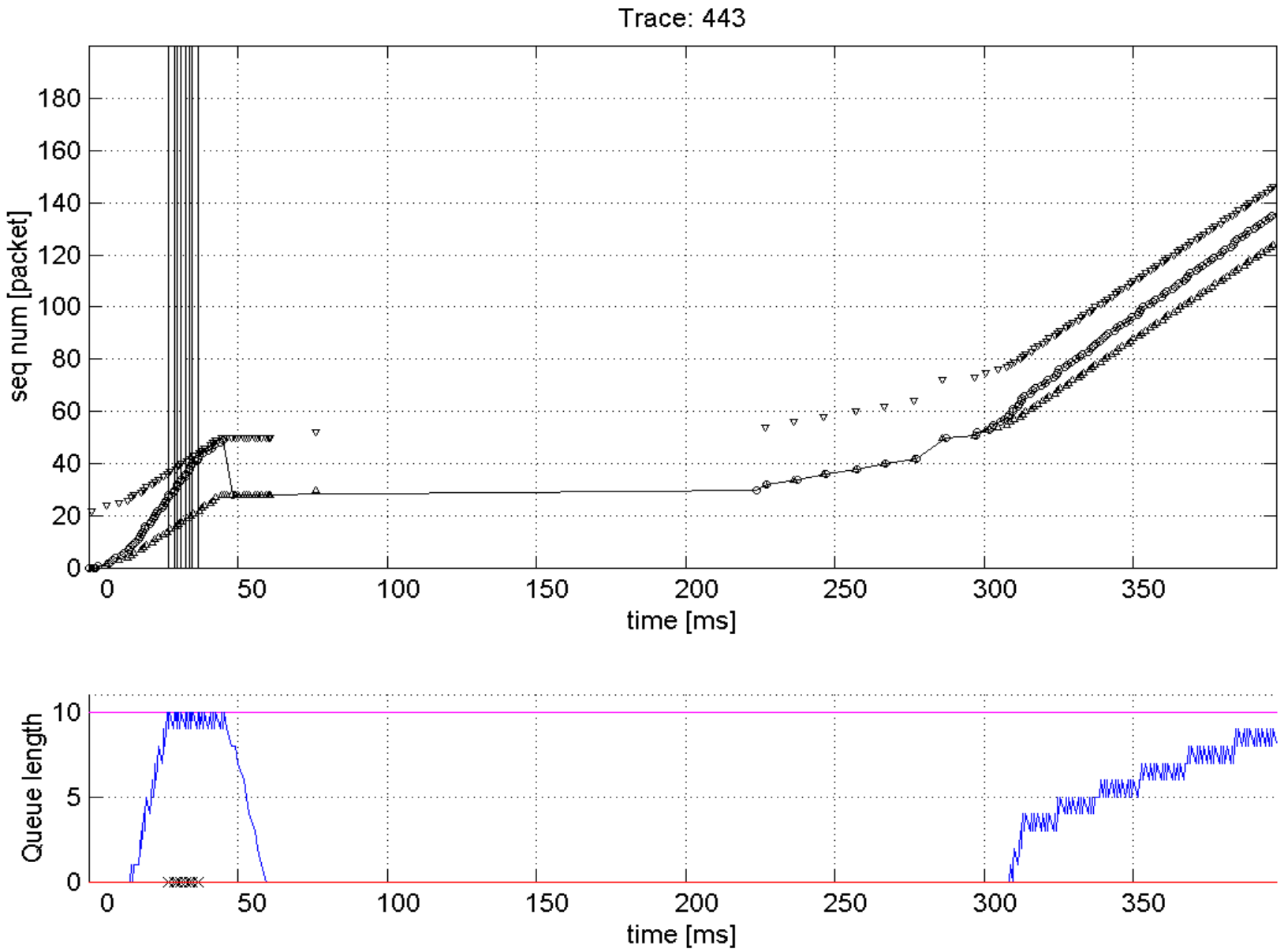
Az első 80 ms



Magyarázatok

26-36ms	A fogadó felé a sorok túlcsordulnak, a csomagok eldobásra kerülnek
37-45ms	A fogadó felé menő csomagok továbbításra kerülnek, a fogadó fogadja ezeket a csomagokat, de nem nyugtázza őket, mert néhány korábbi csomag is hiányzik
44-47ms	A fogadó duplikált ACK-t küld
48ms	A küldő újraküldi az első nemnyugtázott csomagot (fast retransmit).
49-61ms	A fogadó továbbra is duplikált ACK-kat küld
76ms	A fogadó nyugtázza az újraküldött csomagokat

200 ms környéke

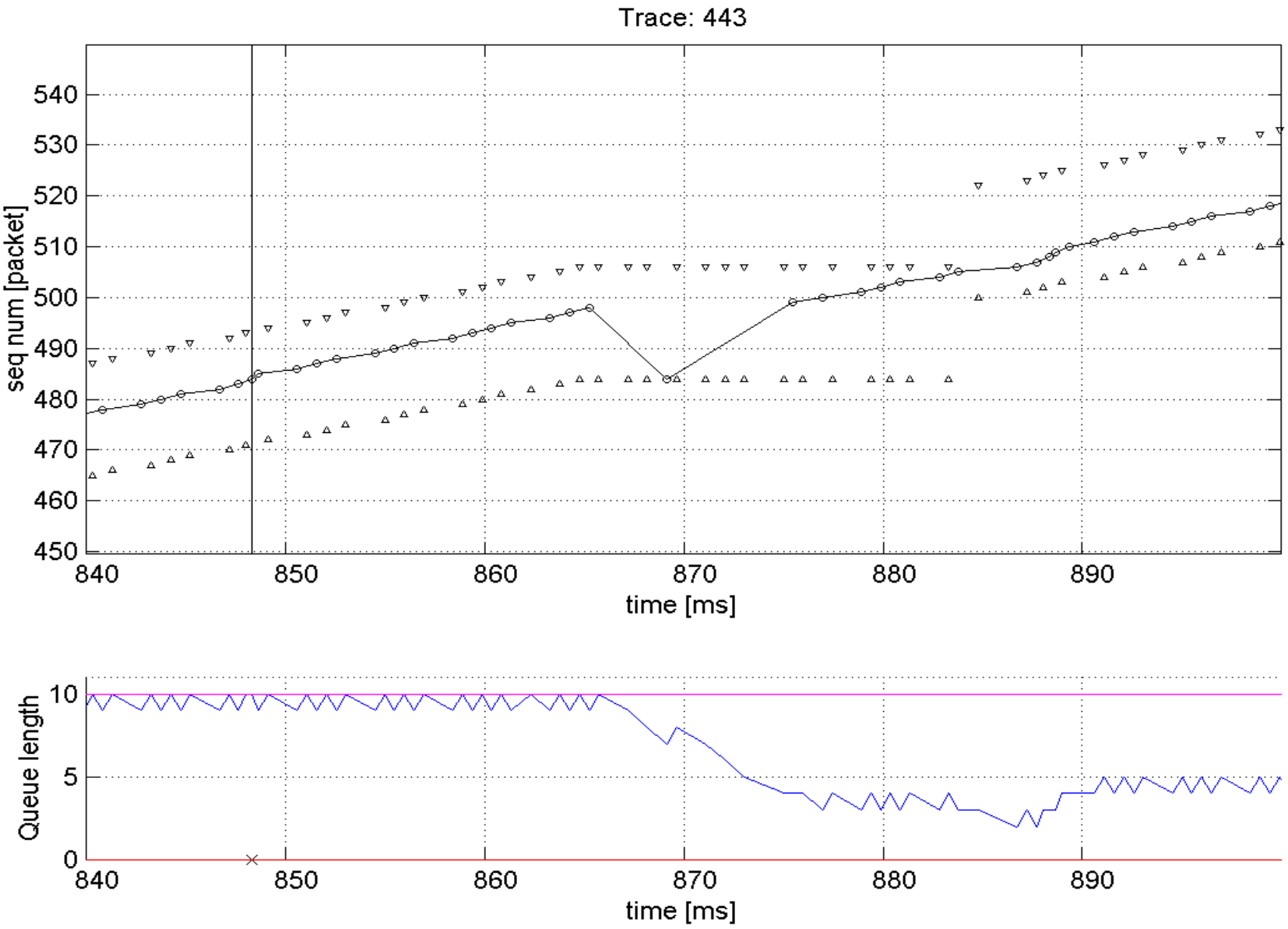


Magyarázatok

225ms	A küldő időzítője lejár és küld egy következő nemnyugtázott csomagot. Az időztés kb 200 ms
225-275ms	A küldő továbbít egy csomagot rögtön, amint a fogadó nyugtázta az előzőt. A küldő nem növeli a congestion window méretét, amíg újraküldést végez
275ms	A küldő minden elküldött adatára kap nyugtát (Az ACK számok ugrása). Slow start kezdődik.
330ms-	A gyors (exponenciális) növekedése a nemnyugtázott csomagoknak megáll és congestion avoidance szakasz következik – ez látszik a sorhossz lineáris növekedéséből

- Börsztös csomagvesztés történt
- Az első vesztést a küldő vette észre a duplikált ACK-ból, és gyors újraküldés következett
- A következő vesztéseket szintén a küldő vette észre az időzítők lejáratakor – emiatt slow start indult
- Ez a mechanizmus börsztös vesztéseknél gyakori

870 ms környéke



Magyarázatok

848ms	Egy csomag veszett el a közbenső sorok megtelése miatt
848-864ms	A fogadó a korábbi csomagokat nyugtázza
864-868ms	A fogadó a további csomagokat nem tudja nyugtázni, mert egy hiányzik. Emiatt a fogadó duplikált ACK-t küld
869ms	A küldő 3 duplikált ACK-t kap, majd gyors újraküldést hajt végre
875-884ms	A küldő folytatja a csomagok küldését, mivel nem érte el a fogadó advertised window méretét még.
885ms	Egy ugrás látható az ACK numberek között – a fogadó megkapta a hiányzó csomagot, és az azutániakkal együtt nyugtázta azt.
885ms-	A küldő folytatja a csomagok továbbítását (fast recovery történt: slow start nem következik most). A gyors újraküldés nem okozott nagy teljesítmenycsökkenést

Köszönöm a figyelmet

- Vége -

Budapest University of Technology and Economics

Department of
Telecommunications and Media Informatics