

MOBIL ÉS VEZETÉK NÉLKÜLI HÁLÓZATOK BMEVIHIMA07

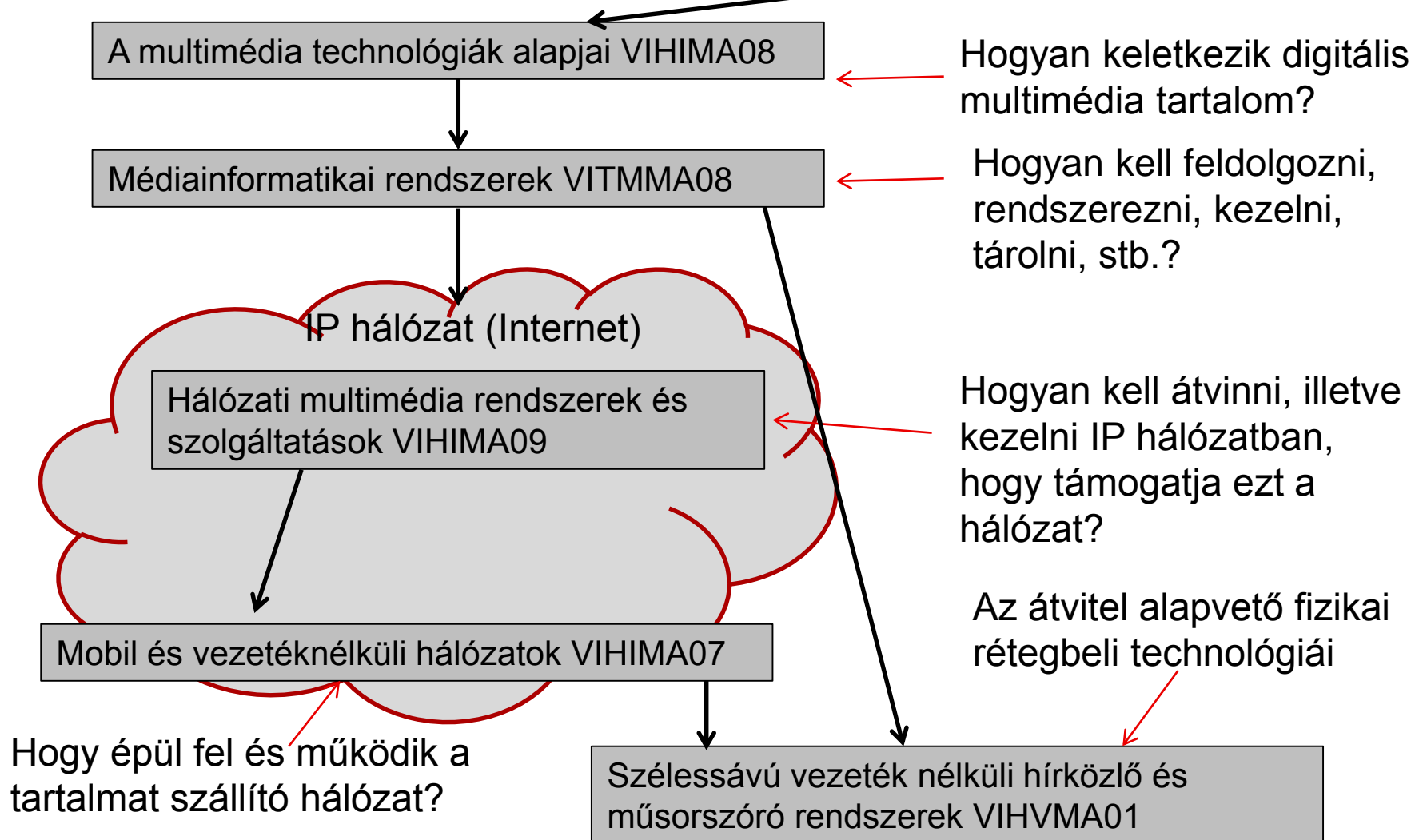
1. előadás

Dr. Fazekas Péter
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
fazekasp@hit.bme.hu

2015. február 26.,
Budapest



■ Multimédia rendszerek és szolgáltatások főspecializáció



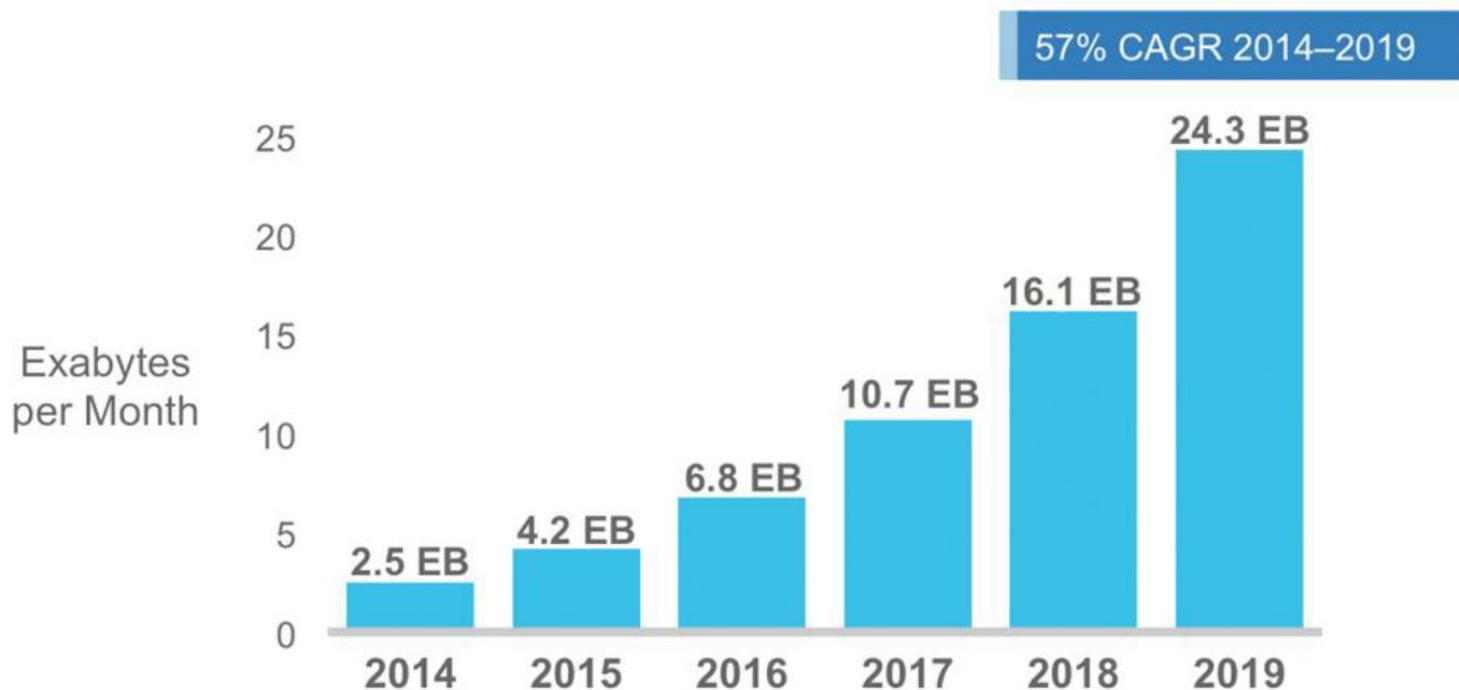
Áttekintés (első 8 hét)

- Jelen tárgy
- 1. hét: alapok, alap hálózati architektúra és fogalmak, alap 2G hálózat
- 2. hét: mobil hálózat evolúciója, alapvető protokollok és folyamatok
- 3. hét: mobilitás támogatás a maghálózatban, általános mobilitás támogatás IP hálózatban
- 4. hét: rádiós interfész evolúciója és képességei
- 5. hét: lokális és kis kiterjedésű vezeték nélküli hálózatok, WiFi
- 6. hét: lokális és személyes vezeték nélküli hálózatok, 802.15.3 ZigBee
- 7. hét: heterogén mobil hálózatok
- 8. hét: mobil rendszerek átviteli hálózatai

- Mit tekintünk multimédiának jelen tárgy keretein belül
 - Szó szerinti jelentés: többféle tartalom típus együtt (kép, hang, szöveg, egyéb bináris, stb.)
- Ezeket egyesíti és a hálózatokkal szemben legkeményebb követelményeket állítja: *videoátvitel*
 - Ebben a tárgybán ezt tartjuk szem előtt
- Miért mobil hálózatok?
 - A távközlési végberendezések mobillá válnak (tablet, okostelefon)
 - A szórakoztatóelektronikai és irodai végberendezések vezeték nélkülivé válnak (okostévé, médialejátszó, nyomtató, stb.)

- 1 Exabyte: 10^{18} byte = 10^9 Gigabyte (kb. 217 millió DVD)
- 1 Exabyte/hónap \sim 385 Gigabyte/sec

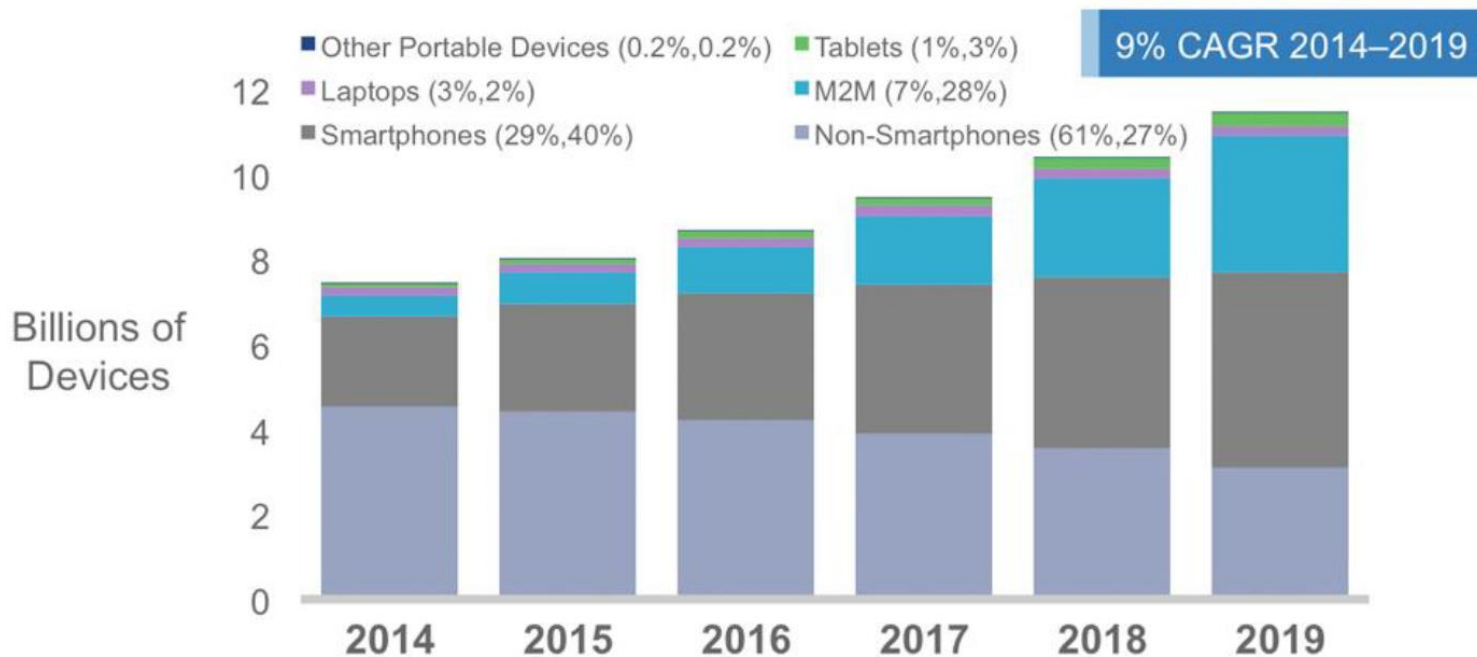
Figure 1. Cisco Forecasts 24.3 Exabytes per Month of Mobile Data Traffic by 2019



Source: Cisco VNI Mobile, 2015

- Billion: milliárd (10^9)
- Föld népessége: 7 215 728 000 (2015. 01. 04.)

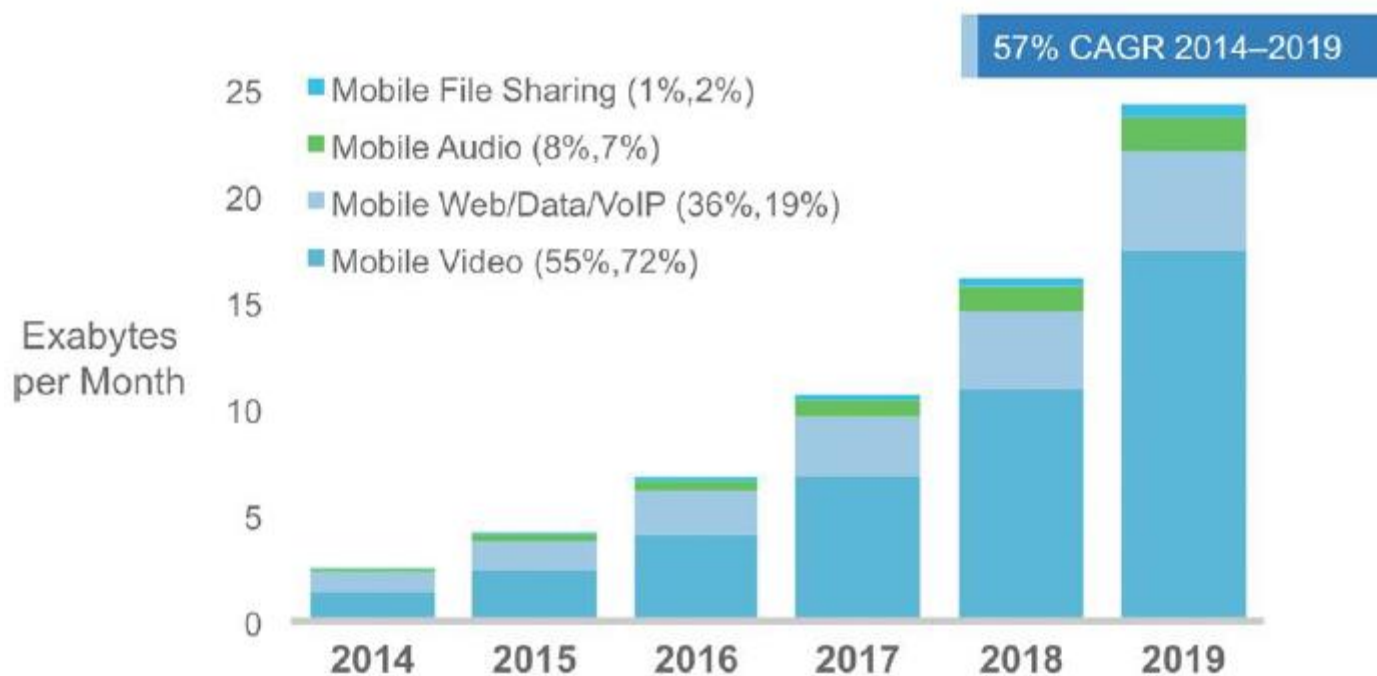
Figure 3. Global Mobile Devices and Connections Growth



Figures in parentheses refer to 2014, 2019 device share.

Source: Cisco VNI Mobile, 2015

Figure 13. Mobile Video Will Generate More Than 69 Percent of Mobile Data Traffic by 2019



Figures in parentheses refer to 2014, 2019 traffic share.

Source: Cisco VNI Mobile, 2015

- Csoportosítási lehetőségek jelen tárgy szempontjából
 - Az alábbiak befolyásolják, hogy a multimédiás tartalmat hogyan kezeli a hálózat
- 1. A hálózat üzemeltetője és a tartalom szolgáltatója/elosztója
 - 1.a) **Azonos**
 - Pl. TV, videotár (video on demand) és Internet szolgáltatás együtt, egy szolgáltató hálózatán
 - 1.b) **Különböző**
 - Pl. Internet szolgáltatói hálózaton webes videotartalmak (pl. Youtube, online TV)
 - Ez: OTT (Over The Top)

- 2. A videotartalom mikor érhető el:
 - 2.a) **Lineáris**: a szolgáltató határozza meg, a fogyasztó bekapcsolódhat, az átvitt tartalmat nem befolyásolja a fogyasztó pillanatnyi viselkedése
 - Televíziós műsorszórás
 - Jelen tárgy esetén nincs a fókuszban, mást tárgyakban van róla szó
 - Földfelszíni vagy műholdas elosztás, illetve kábelTV
 - Ide soroljuk az IPTV megoldásokat,
 - „Pay per view” alapon egyedi videotovábbítás (pl. Kiemelt sportesemény közvetítése)
 - 2.b) **Igény szerinti**: a fogyasztó határozza meg hogy mikor, milyen tartalmat fogyaszt
 - Lehet video on demand televíziós hálózaton
 - Webes/Internetes videotartalom, streaming video
 - Stb.
- 3. A tartalom átvitele és felhasználása (lejátszása) egyidejű-e
 - 3a) **Streaming video/audio**: a lejátszás egyidejűleg történik az átvittel
 - Felhasználó igénye szerint keletkezik az átvitel (mikor, mit, hol)
 - Az adat átvitel (letöltés) és felhasználás (megtekintés) egy időben történik
 - Alapvető: videomegosztó és szolgáltató rendszerek (youtube, netflix, stb.)
 - 3b) **Nem egyidejű**: a mozgóképes állomány letöltése és későbbi megtekintése, ezt nem tekintjük videoátvitelnek, ez általános adatátvitel

- 4. Valós idejű az átvitel
 - 4.a) **valós idejű**:
 - videotelefon, videokonferencia, kétirányú
 - vagy egyéb okból szükséges a valós idejűség: pl. távsebészet, videó alapú távvezérlés (drónok, stb.), on-line játék
 - 4.b) **Kvázi-valós idejű** (másodperces nagyságrendű késleltetés lehetséges)
 - élő közvetítés is
 - -> érzékelhetően nagyobb a késleltetés pl. IPTV-nél, mint pl. Földfelszíni műsorszórásnál, hf. ellenőrizni
 - korábban rögzített tartalom lejátszása, streaming

Releváns tulajdonságok/igények

- Átviteli sebesség
 - Alapvetően: pixelek száma/kép * bitek száma/pixel * képek száma/sec
 - Pl. 1920×1080 pixel/kép * 24 bit/pixel * 24 kép/sec = 1.19 Gigabit/sec
 - Ez túl nagy, ezért -> videótömörítés, videokódolás (más szakirány tárgyakban részletesen tárgyalva)

Releváns tulajdonságok/igények

- Elnevezések/tipikus értékek
 - számos felbontást és képarányt különböző elnevezésekkel illetnek, valamint különböző képarányt és felbontást azonos elnevezésekkel illetnek, ezek közül *néhány*
 - felbontás
 - **8k**: 7680×4320 pixel
 - **4k**: 4096 x 2160 pixel
 - **Full HD, 1080p**: 1920 x 1080 pixel
 - **HD, 720p**: 1280 x 720 pixel
 - **480p**: 640 x 480 pixel
 - színmélység
 - High color: 16 bit/pixel; true color: 24 bit/pixel; deep color: 30/32/48 bit/pixel
 - Jelentőség: a kommersz olcsó eszközök (kamerák, kijelzők) a magasabb értékek felé mozdulnak -> szükséges átviteli sebesség még tömörítéssel is arányosan nő

Releváns tulajdonságok/igények

- Videokódolás a jelen tárgyban releváns szinten (mégegyszer: más tárgyak részletesen tárgyalják)
 - Változó bitsebességű kódolás (VBR), állandó bitsebességű kódolás (CBR)
 - Tipikusan: különböző fontosságú részei vannak a videofolyamnak
 - Kevésbé fontos: ha csatornahiba, torlódás, vagy bármilyen egyéb okból elvész, akkor kevésbé zavaró -> a lejátszóban előálló képminőség kevésbé romlik
 - Fontos (prediktív keretek): ha elvész, az zavaró -> a lejátszóban a képminőség leromlik, a videó „szétesik”, „megakad”, stb.
- Jelentőség a hálózatok szempontjából
 - Adatvesztés: véletlenszerűen történik, nem megjósolható hogy a tömörített állomány fontos/kevésbé fontos részét érinti: az átvitel számára a legszigorúbb értéket kell biztosítani
 - Átviteli sebesség: azonos felbontású videó esetén minél nagyobb a tömörítési arány -> annál kisebb a kívánt átviteli sebesség -> sokkal érzékenyebb az átviteli hibákra, továbbá:
 - A minőség érzetét nagyban befolyásolja a lejátszó (kitömörítés), illetve élő stream esetén a felvevő (tömörítés) sebessége, minősége -> minél nagyobb a felbontás és a tömörítési arány, annál nagyobb a számításigény
 - Ezért gyakran hardveres gyorsítást kell alkalmazni

Releváns tulajdonságok/igények

- Tömörített videó tipikus átviteli sebesség-igények
- És ne felejtsük el a mellette lévő hangátvitelt!
- Függ attól, hogy mi a tartalom, néhány tipikus érték:
 - **480p:** (0,8 – 1) Mbps video + (32, 64) kbps hang
 - **720p:** (2 – 3) Mbps video + 64) kbps hang
 - **1080p:** (7– 10) Mbps video + (128, 384) kbps hang
 - **4k:** (16 – 20) Mbps video + (128, 384, 512) kbps hang

Releváns tulajdonságok/igények

- Átviteli minőség igények
 - az élmény minősége (QoE): milyen jó a videó szubjektív minősége vs.
 - további a videominőséget leíró objektív metrikák (pl. PSNR): más tárgyakban a szakirányon, vs.
 - a szolgáltatás minősége (QoS): csomagvesztési arány, rossz csomagsorrend, duplikált csomag, átlagos késleltetés, 90%-os késleltetés, késleltetés-ingadozás, stb.
 - ezt tudjuk tervezni, befolyásolni, javítani, ezzel jellemezhető egy hálózat
 - erről beszélünk jelen tárgyban
 - QoE \leftrightarrow QoS nem definiált egyértelműen, de:

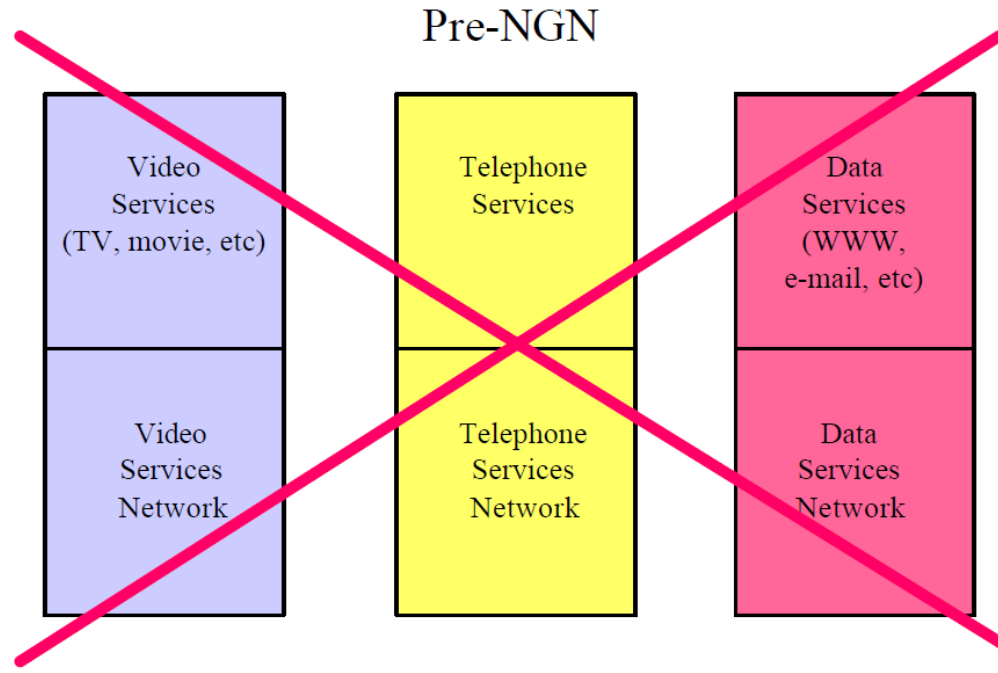
Releváns tulajdonságok/igények

- Adatvesztés
 - Tipikus: tolerálható IP csomaghiba-valószínűség: 0.01
 - Csomaghiba: csatornahiba miatt elveszett csomag; torlódás miatt elveszett csomag; timeout miatt eldobott csomag; hibás, nem visszaállítható csomag; rosszul visszaállított csomag; sorrenden kívül érkező/rossz sorszámú csomag; duplikált csomag; stb.
- Késleltetés
 - Videotelefon: 300 ms már zavaró az emberi kommunikációban, tipikus ~100 ms (egyirányú)
 - Valós idejű vezérlés videó alapján: néhány x 10 ms
 - Online játék: ~ 100 ms
 - Streaming video: több sec is lehet
 - A késleltetés összetevői:
 - Video betömörítés: -> pl. VLC full HD videó szoftveres tömörítési késleltetés 10-20 sec -> professzionális videorendszerekben ezért van célhardveres támogatás;
 - Értelmszerűen előre felvett, vagy számítógéppel generált tartalmaknál nem értelmezzük
 - Hálózati késleltetés -> ezt tárgyaljuk a tárgyban
 - Lejátszóban bufferelés -> az alkalmazástól függ a megengedhető bufferméret, hiszen ennyi késleltetés hozzáadódhat a többihez; a bufferméretet ezért **gyakran idő mértékegységben** tárgyalják -> átviteli sebességtől függő adatmennyiség
 - Nem élő streamingnél a bufferméretet, mint késleltetést befolyásoló tényezőt nem értelmezzük -> adott buffertelítettség után indul a lejátszás
 - Jellemző mértékek:
 - Egyirányú késleltetés; kétirányú késleltetés (round trip time); átlagos késleltetés; X%-os késleltetés; stb.

- Késleltetés-ingadozás (jitter)
 - Korlátja: a lejátszó buffer ne ürüljön ki, megengedett mértéke a buffermérettől függ
 - Videotelefon: tipikus ~50 ms
 - Valós idejű vezérlés videó alapján: ~5-10 ms
 - Online játék: ~ ~10-20 ms
 - Streaming video: több sec is lehet
 - Többféle értelmezését használják, pl.
 - Késleltetés szórása
 - Késleltetés szórásnégyzete
 - Mért késleltetési értékek különbségei abszolút értékeinek maximuma
 - Mért átlagos késleltetés és maximális késleltetés érték különbsége

- A szakirányban többféle típusú hálózatról/hálózati technológiáról lesz szó
 - Érintett kommunikációs rétegek
 - Kiterjedtség
 - Hordozott elsődleges szolgáltatás(ok)
 - Nagy hálózati hierarchiában elfoglalt szerep,
 - Stb.
- szempontjából.

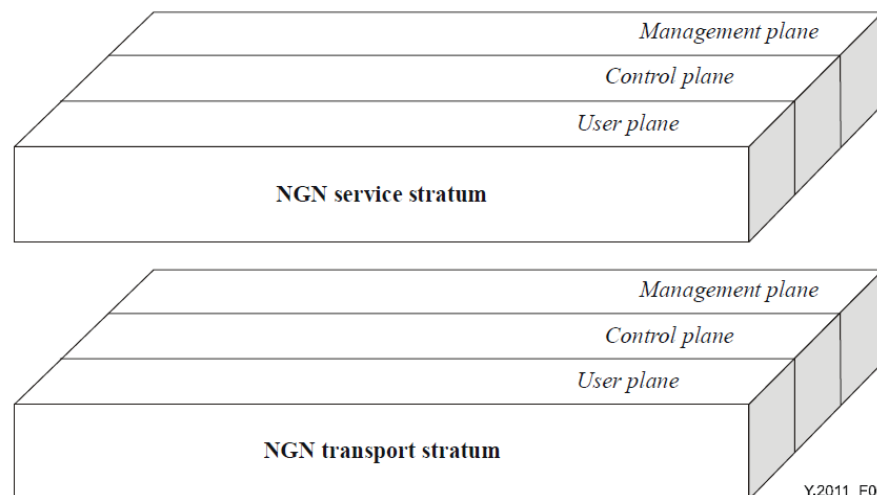
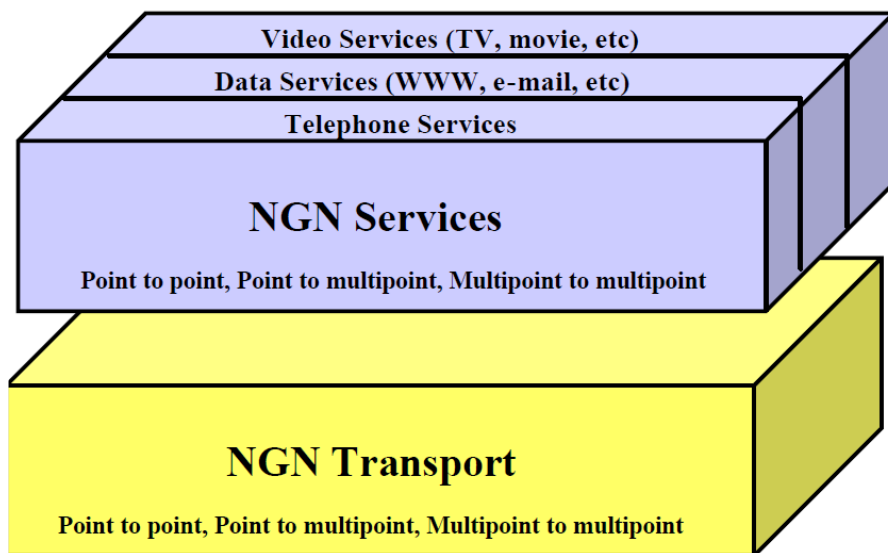
- Külön infrastruktúrák: (vezetékes) telefon; mobiltelefon; televízió; (internetes, számítógépes) adat, a szolgáltatásoktól függően



Forrás: „Basic NGN Architecture Principles & Issues”, Keith Knightson

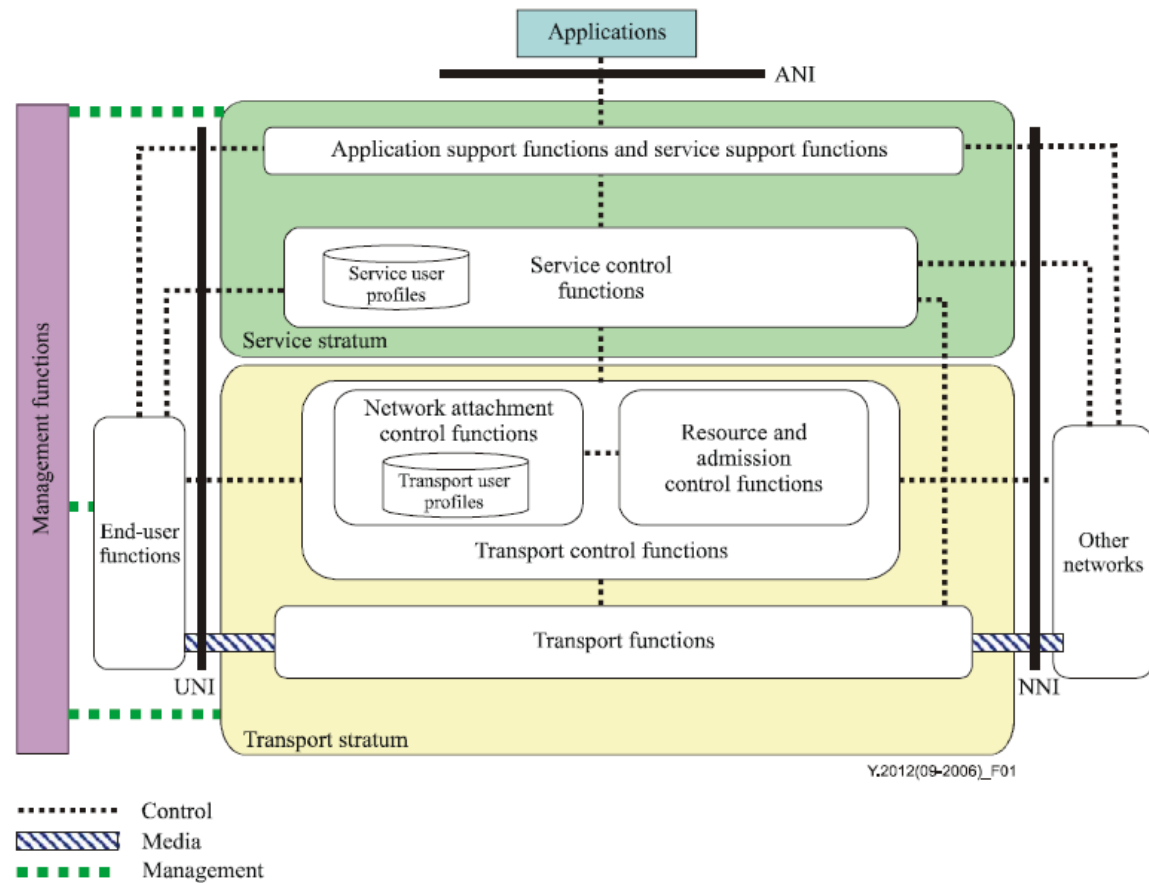
Ma: NGN (Next Generation Network) felé

- NGN koncepció: közös transzport réteg (itt: stratum és nem layer), IP protokoll alapon
- Szolgáltatások elkülönülnek
- Management, vezérlési és felhasználói síkok
- Ma ez többé-kevésbé megvalósul
- Miért nagy kunszt ezt elérni
 - Fizikai infrastruktúrák megmaradnak -> sajátosságok (pl. Kábeltévé hálózat vs. Ethernet LAN vs. Cellás mobilhálózat)
 - Berendezések megmaradnak, lassan kerülnek kivételre
 - Üzemeltetők, szakértők, gyártók, stb. (személyek) megmaradnak
 - Különböző szolgáltatások más-más módon kell, hogy kezelve legyenek jelzésátviteli szempontból
 - Pl. Hanghívás felépítése vs. http get
- Felhasználói végkészülék: az okostelefon az első széleskörben elterjedt igazi NGN terminál (2007)



Y.2011_F02

ITU-T Recommendation Y.2011



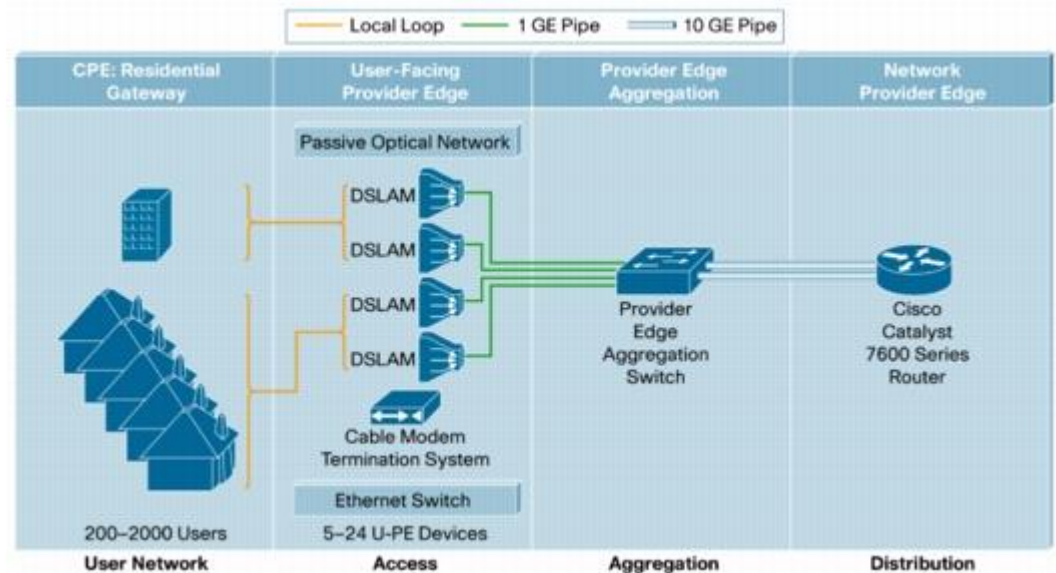
UNI: User Network Interface, **NNI:** Network Network Interface, **ANI:** Application Network Interface

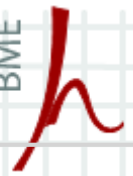
- ITU-T Recommendation Y.2012:
 - „Functional requirements and architecture of the NGN„
 - nem évszám, hanem az ITU-T által kiadott ajánlás sorszáma
 - A PSTN/ISDN cserét kell, hogy támogassa az NGN. Ezért: PSTN/ISDN emuláció és szimuláció.
 - Függvények (functions):
 - Transzport réteg függvények:
 - **transzport függvények:** az elemek összeköttetéseiért felelnek az NGN architektúrában belül. A média információ, a vezérlő és menedzsment információ továbbításáért felelnek.
 - **transzport vezérlő függvények:** erőforrás- és belépés-kezelő függvényeket jelent.
 - szolgáltatási réteg függvények:
 - **szolgáltatásokat vezérlő függvények:** erőforráskezelés, hitelesítés, regisztráció,
 - **Alkalmazásokat támogató függvények és szolgáltatásokat támogató függvények:** gateway funkciók, regisztráció, hitelesítés, engedélyezés. Ezek a függvények az alkalmazások és a végfelhasználói funkcionális csoportok által elérhetőek. A fenti függvényekkel szorosan együttműködnek.
 - Forrás: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2012-200609-S/en>

Általános hálózati hierarchia

- Hozzáférési hálózat (access)
 - A felhasználót elérő hálózati szegmens, „last mile”
 - Többféle lehet, azonos szolgáltatónál is
 - DSL, ADSL, Wimax, CATV, mobil 3G, passzív optikai
 - Példa: lakóövezet, irodaházak, utca, stb.
- Gyűjtőhálózat, aggregáció (régebben: felhordó)
 - Ma tipikusan: IP/GigabitEthernet/optikai
 - Példa: kerület, település
- Gerinchálózat, maghálózat, elosztóhálózat
 - Tipikusan MPLS/IP/10GigabitEthernet/optikai
 - Példa: országos, csomópontok a nagyobb városokban

Példa: CISCO

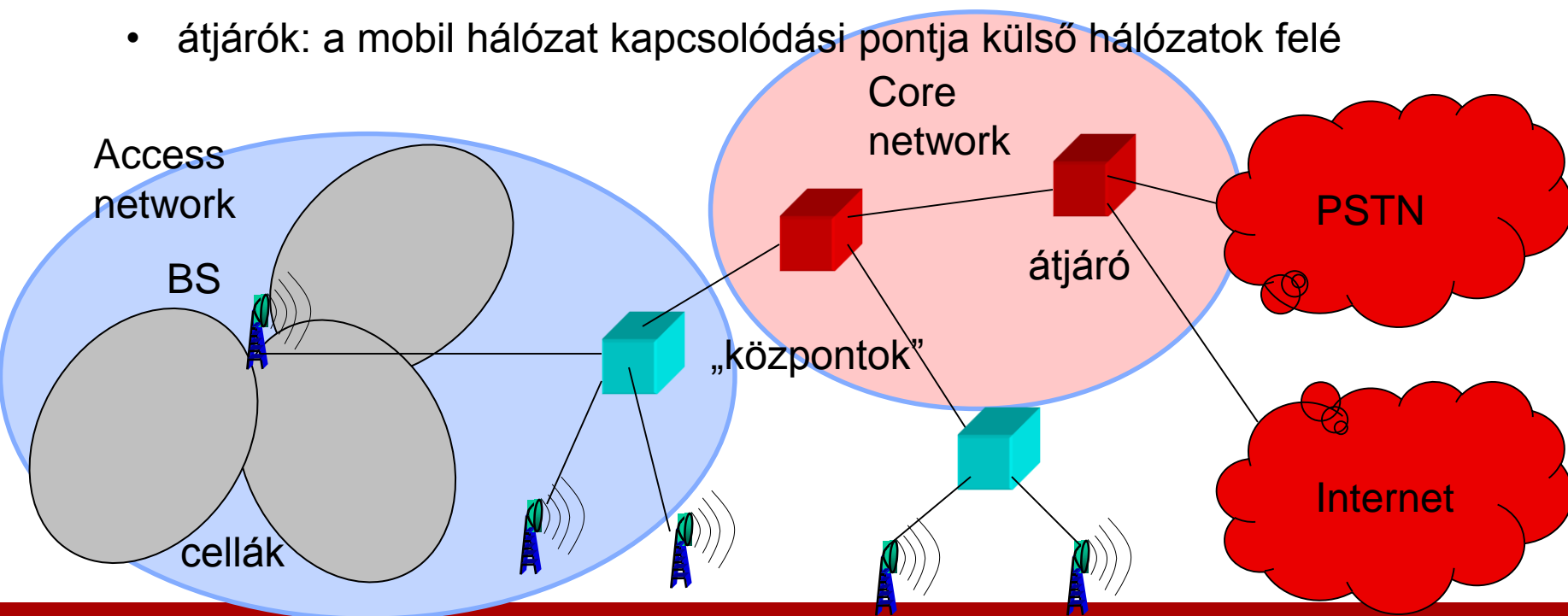




Általános mobilhálózati hierarchia

■ elemek:

- mobil terminál
- bázisállomás (BS): mobil terminálok ezzel kommunikálnak közvetlenül
- cella: a BS egy adó-vevője által lefedett terület (lefedett: a terminál képes a BS jelét venni, a BS képes a terminál jelét venni)
- kapcsolóközpont, vagy csomagtovábbító központ, többféle is lehet, hierarchikusan
- átjárók: a mobil hálózat kapcsolódási pontja külső hálózatok felé

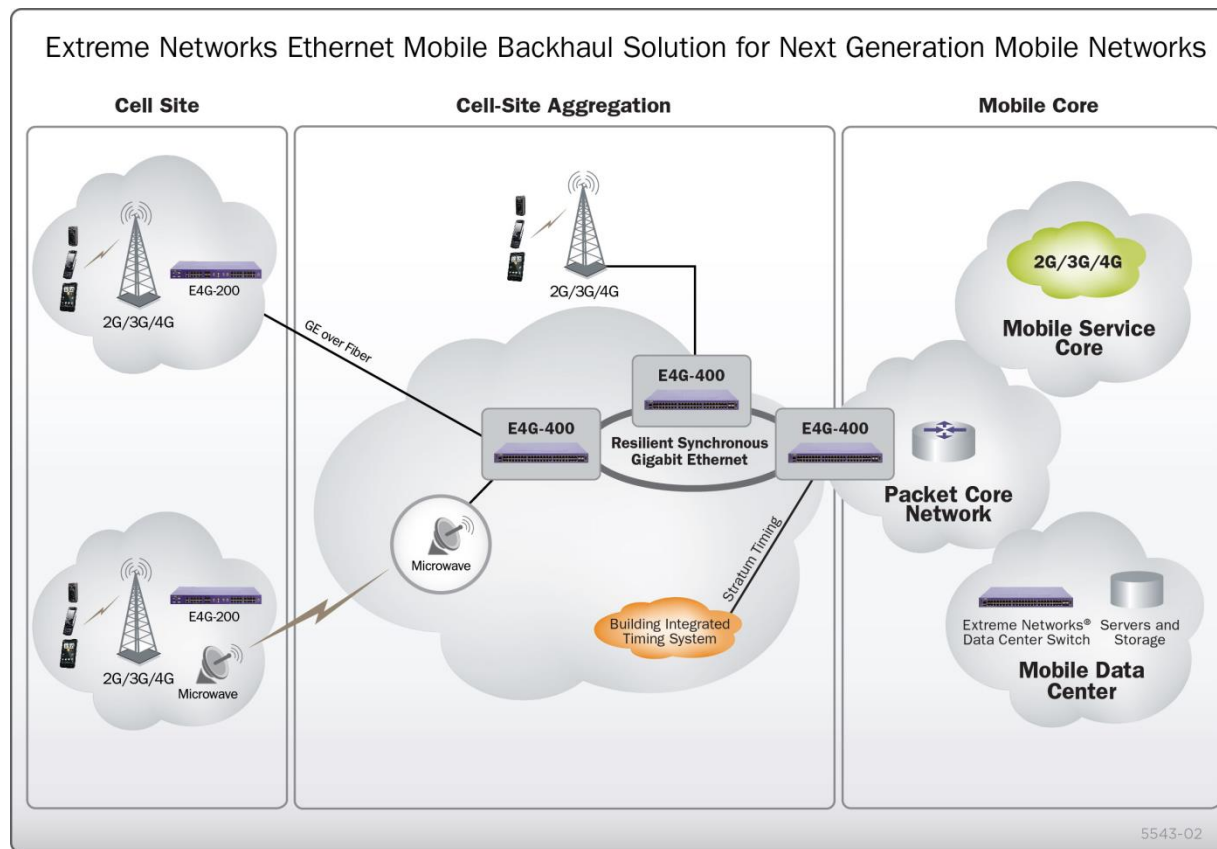


Általános mobilhálózati hierarchia

- Mobilhálózatban értelmezett hozzáférési hálózat: RAN (radio access network)
 - Bázisállomások, cellák összessége +
 - Speciális központi elemek: 2G BSC és 3G RNC
 - Nem azonos az általános hálózatban értelmezett access –szel, mert:
 - A szolgáltató teljes szolgáltatási területét nevezik RAN-nak
 - Az említett, funkcionálisan a RAN részét képező központi elemek fizikailag távol, a RAN végződtetésektől, gerinchálózati telephelyeken és gerinchálózati összeköttetésekkel
- Mobilhálózatban értelmezett gerinchálózat: core network
 - Speciális, a mobil RAN-ból származó / -ban végződő forgalmakat kezelő berendezések és/vagy funkciók
 - Pl. 2G/3G: MSC, SGSN; 4G: SGW
 - Az általános hálózati gerinchálózat nem azonos ezzel
 - Pl. Egy szolgáltató egy telephelyen, egy-két berendezéssel teljes mobilhálózati gerinchálózatot alakíthat ki

Általános mobilhálózati hierarchia

- Példa: aggregáció egy lehetséges értelmezése mobil hálózatban



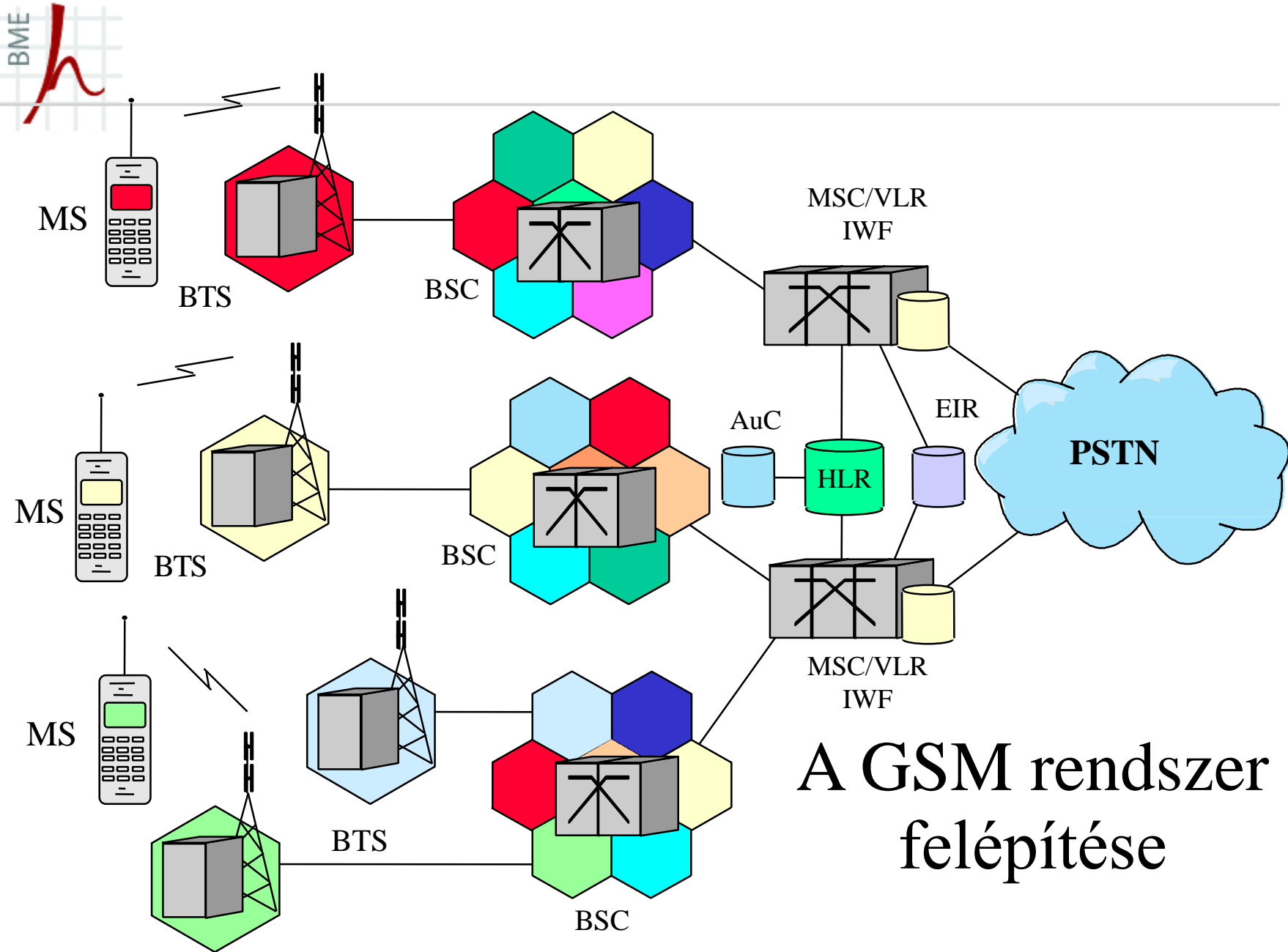
Forrás: extreme networks

Mi a mobil hálózat különlegessége?

- A végpontok mobilok
- Fizikai csatlakozási helyük változik, akár átvitel közben:
 - Handover, hívásátadás, átkapcsolás, közben:
 - A kiszolgáló rádiós összeköttetés új lesz, másik cellán keresztül, összetett folyamat
 - A mobilt elérő hálózati útvonal változhat
- Fizikai helyük változik, kommunikáció nélkül
 - Ahhoz, hogy számára bejövő információ továbbítható legyen, ismerni kell a mobil helyét (melyik cella ellátási területén van)
 - Ez a folyamat általában: location management, amely
 - Location update (helyzetfrissítés): mobil jelenti a helyzetét
 - Paging (lekérdezés): a hálózat találja meg a mobilt
- Ezek extra funkciókat igényelnek, a maghálózatban is

Mi a mobil hálózat különlegessége?

- Helyzetfrissítés:
 - A hálózat ún. Location area-kra osztva. Location area: cellák egy -- tipikusan, de nem kötelezően – összefüggő csoportja.
 - Ennek azonosítóját a hálózat mindenkinek szóló jelzéscsatornán sugározza, ezt a mobilok olvassák
 - Ha változik az azonosító: a mobil egy helyzetfrissítési eljárást kezdeményez
 - A hálózatban a bekapcsolt, de nem kommunikáló mobilok helyzete location area szinten van nyilvántartva
- Paging: egy adott mobil számára bejövő információ esetén a hálózat az adott location area-ban minden cellában egy üzenetszóró jelzéscsatornán, amelyet minden mobil hallgat, közli, hogy adott azonosítójú mobil számára bejövő információ van
 - A mobil erre válaszol -> helyzete cellaszinten ismert lesz
- Pillanatnyilag aktív, le/feltöltő mobil helyzete cellaszinten ismert
- Hasonló koncepció: ún. Routing area, a location area-nak felel meg



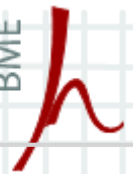
A GSM rendszer felépítése

A GSM rendszer felépítése

- A GSM hálózat négy **alrendszer**ből áll:
 - a Mobil Állomás (MS, Mobile Station)
 - a Bázisállomás Alrendszer (BSS),
 - a Hálózati és Kapcsoló Alrendszer (NSS) és
 - az Üzemeltetési Alrendszer (OSS).
- A rendszer funkcionális egységeit **interfészek** választják el. Ezek az interfészek
 - az Um rádió interfész (MS–BTS),
 - az Abis interfész (BTS–BSC) és
 - az A interfész (BSC–MSC).

Bázisállomás (BTS)

- A bázisállomások a rádió interfészen keresztül közvetlen kapcsolatban vannak a mobil állomásokkal.
- Főbb feladataik:
 - elvégzik a csatorna kódolást és dekódolást,
 - megvalósítják az ún. interleaving és de-interleaving funkciókat,
 - a titkosítást és a titkosított jel visszaalakítását,
 - a beszéd- és adatsebesség adaptálását,
 - a modulációt, a teljesítmény erősítést és
 - az RF jelek egyesítését,
 - fenntartják a szinkronizációt a BTS és az MS között,
 - valamint vezérlik a logikai csatornák időzítését és
 - továbbítják a BSC felé az MS és a BTS méréseit.
- Összefoglalva: a digitális beszédssorozatból előállítják a rádiós interfészen küldött fizikai jelet és vissza



Bázisállomás vezérlő (BSC)

- A BSC feladatai,
 - hogy konfigurálja és vezérelje a rádió interfészt és
 - hogy a transcodereken keresztül kapcsolatot tartson a hálózat és kapcsoló alrendszer központjaival.
- Távvezérli a hozzá tartozó bázisállomásokat és ezáltal vezérli
 - a forgalmi és jelzésátviteli csatornák lefoglalását, azaz az időrések lefoglalását és kiosztását minden, a szolgáltatási területéhez kapcsolódó cellában (!)
 - a forgalmi csatornák minőségét és térerősségét,
 - a BTS-ek és MS-ek teljesítményszintjét,
 - az előfizetők megtalálását (paging) és
 - a frekvencia ugratást.
 - az egy BTS kiszolgálási területe alatt történő cellaváltást (handover)
- Emellett részt vesz a BSC és MSC közti földi átviteli vonal vezérlésében.
- Összefoglalva: fő feladat a rádiós erőforrás menedzsment, valamint a kapcsoló funkció az NSS és a BSS között

Mobil Szolgálati Kapcsolóközpont MSC, Mobile Switching Center

- A Mobil Szolgálati Kapcsolóközpont alapvető kapcsolási és irányítási funkciókat hajt végre az NSS-en belül.
 - Azaz a beszédfolyamok kapcsolója, irányítója
- Legfontosabb feladata, hogy a szolgáltatási területén található mobil állomások mobil kezdeményezésű, illetve mobil végződésű hívásainak felépülését koordinálja.
 - Ehhez szükséges jelzésátviteli protokollok végpontja
- A jelzésátviteli és média(beszéd)továbbítási funkció szétválik a későbbi szabványverziókban
- Az MSC és egy közönséges telefonközpont között az a fő különbség, hogy az MSC olyan többletfunkciókkal rendelkezik, melyek segítségével kezelni tudják az előfizetők mobilitását.

Mobil Szolgálati Kapcsolóközpont (MSC)

- Az MSC egyben átlépő központ is az olyan hálózatokkal való kommunikáció vonatkozásában, amelyek adaptálást igényelnek. Ezt az együttműködési funkciók (IWF-ek) végzik.
- Az IWF egy átviteli protokoll adaptáló berendezés, amely a GSM adatátvitel sajátosságait illeszti a partner-hálózatok, mint pl. PSTN, ISDN, PSPDN vagy CSPDN, protokolljaihoz.
- E funkciók magukba foglalják
 - a helyregisztrálást,
 - az előfizető hívását,
 - a hívásátadást és
 - a titkosítási paraméterek átvitelét és a DTMF jelzésátvitelt

Mobil Szolgálati Kapcsolóközpont (MSC)

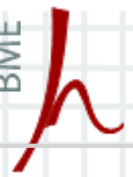
- *A Hálózati és Kapcsoló Alrendszer (NSS) általában egynél több MSC-t tartalmaz. Ez esetben egy vagy több MSC-t átlépő központnak (Gateway MSC, GMSC) jelölnék ki, melyek feladata az előfizető helyének megállapítása és a hívás továbbítása azon MSC illetve külső hálózat (pl. PSTN) felé, mely a felhasználót kiszolgálja.*

Előfizetői Azonosító Központ AuC, Authentication Center

- Az előfizetők azonosítására szolgáló biztonsági adatokat az Előfizetői Azonosító Központ (AuC) kezeli.
- A hálózat illetéktelen használata elleni védelme céljából lehetőség van a GSM előfizetők azonosítására
 - minden regisztráláskor,
 - minden hívás-felépítési kísérlet alkalmával és
 - a kiegészítő szolgáltatások aktiválása, deaktiválása, regisztrálása vagy törlése alkalmával.

Előfizetői Azonosító Központ (AuC)

- A hitelesítés lényege a hálózati oldalon lévő előfizetői azonosító kulcs (az úgynevezett Ki szám összehasonlítása) a SIM-en tárolt Ki számmal anélkül, hogy az valaha is kiküldésre kerülne.
- A hálózati oldalon az AuC tárolja a Ki számot. Emellett tárol rejtjelezési paramétereket és tartalmaz egy véletlen szám generátort is.
- Az AuC lényegében a HLR funkcionális alosztálya, de különálló hálózati elem is lehet.
 - A HLR és AuC általában integráltan jelenik meg, HSS (Home Subscriber System) elnevezéssel későbbi szabványokban



Készülék Azonosító Regisztert EIR, Equipment Identity Register

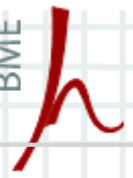
- A GSM specifikáció definiál egy mobil állomások azonosítására szolgáló hálózati elemet, a Készülék Azonosító Regisztert (EIR).
- Ez egy adatbázis, amely a mobil készülékek főbb adatait tárolja.
- Az EIR-ben az MS-ekre a Nemzetközi Mobil Készülék Azonosítóval (IMEI) hivatkoznak.
- Az EIR három különböző listán tárolja az IMEI-ket.
 - A fehér lista a típus engedélyezett berendezések IMEI számait tartalmazza,
 - a szürke listán a megfigyelés alatt álló készülékek vannak és végül
 - a fekete lista azon mobil állomások IMEI számait tartalmazza, amelyeket le kell tiltani, vagy azért, mert ellopták őket vagy súlyos működési zavarok miatt.



Honos Előfizetői Helyregiszter

HLR, Home Location Register

- A Honos Előfizetői Helyregiszter egy olyan adatbázis, amely az előfizető **helyére** és a számára nyújtható távközlési **szolgáltatásokra** vonatkozó információt tartalmaz. Az adott szolgáltató összes előfizetőjéről.
- A HLR azonosítja, hogy a felhasználó megkaphatja-e az adott táv- vagy hordozó szolgáltatást.
- HLR-ben az előfizető helyéről információ
 - Melyik MSC/VLR- felé kell irányítani a hívást



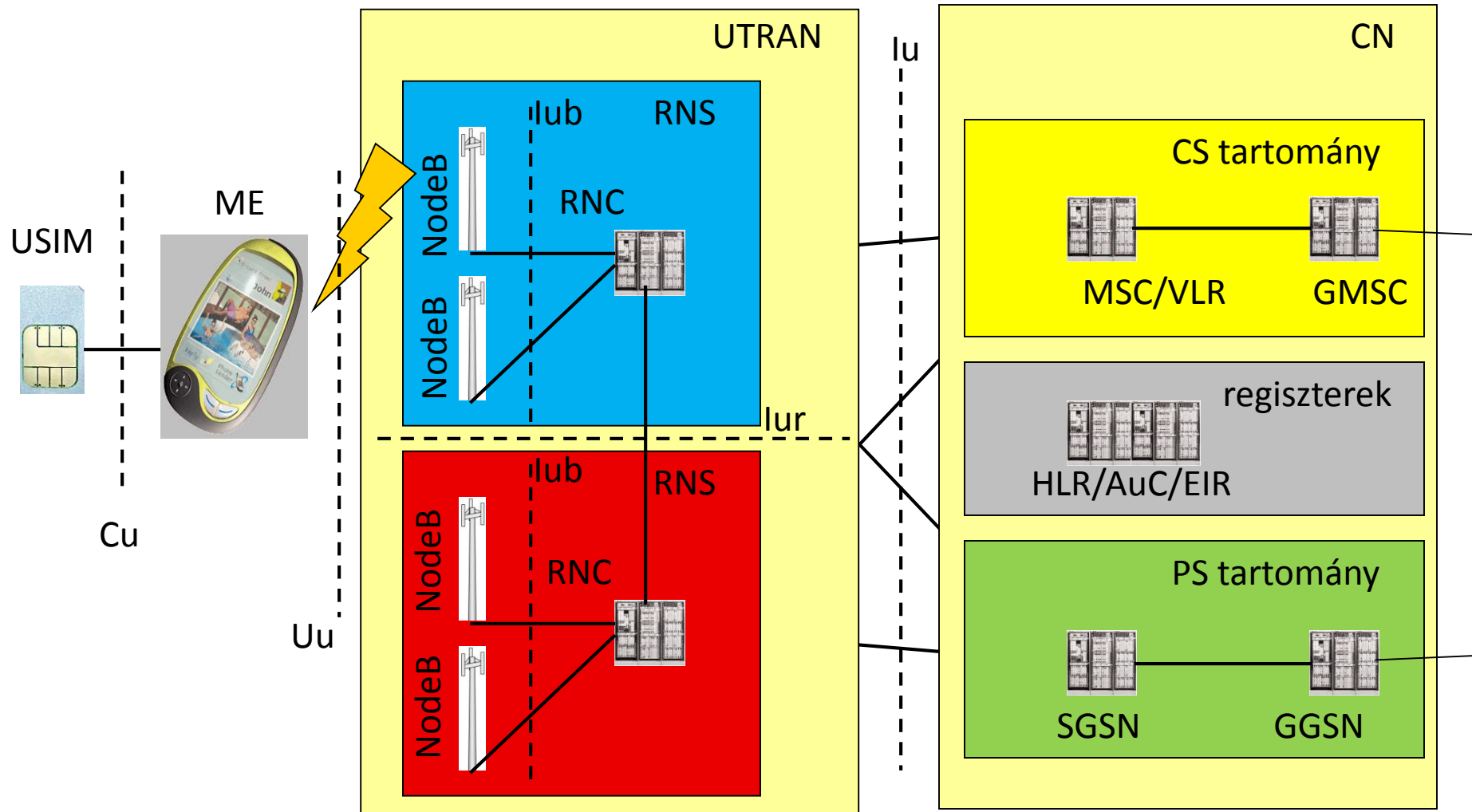
Látogató Előfizetői Helyregiszter VLR, Visitor Location Register

- A HLR-en kívül egy másik adatbázis funkciót is megvalósítanak a GSM-ben: a Látogató Előfizetői Helyregiszter (VLR).
- A VLR-ek általában egy MSC-hez kapcsolódnak. Feladatuk, az MSC szolgáltatási területén tartózkodó előfizetők adatainak átmeneti tárolása, valamint az előfizető helyének a HLR-nél pontosabb ismerete.
 - Location Area szinten tárolt helyzet a VLR-ben

Látogatói Előfizetői Helyregiszter (VLR)

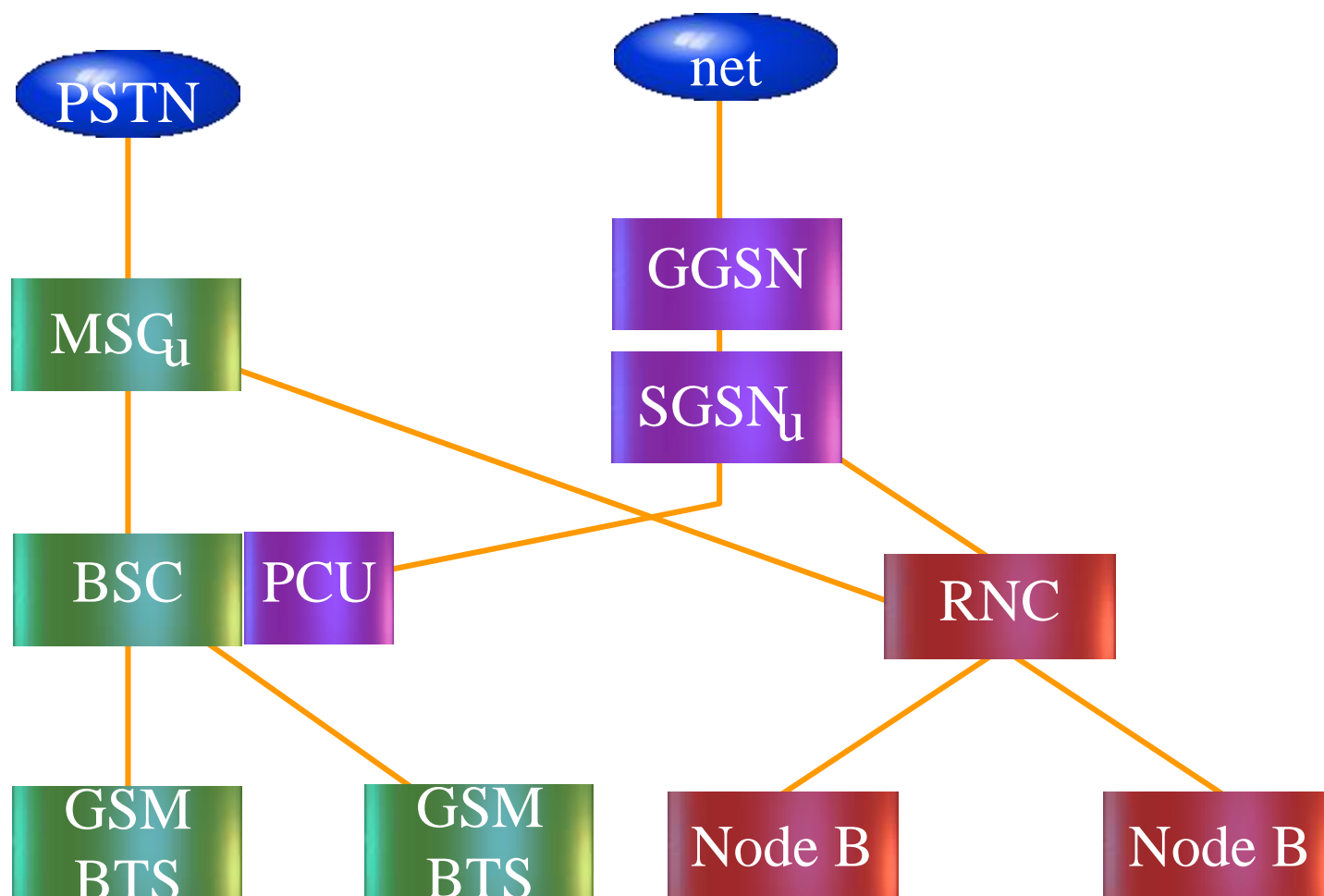
- A legutolsó helyregisztrációs kísérlet eredményét a SIM is tárolja. A helyregisztráció során az előfizető adatai áttöltődnek a HLR-ből a VLR-be. Ezáltal a VLR részt vesz
 - az előfizető azonosításában,
 - a hívásátadásban,
 - támogatja a titkosítást és
 - a rövid üzenetek továbbítását.

3G Felépítés



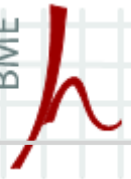


GSM/GPRS – 3G UMTS hálózat



- GERAN: GSM/GPRS-EDGE Radio Access Network
 - Mint a GSM nél, de a BSC-t ki kellett egészíteni a csomagkapcsolt forgalom kezeléséhez
 - Ez a PCU, Packet Control Unit
 - Eredetileg külön egység, a BSC kiegészítése
 - Újabb BSCk integráltan tartalmazzák

- UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network
- feladata: rádiós hozzáférés biztosítása a maghálózat (CN) és az felhasználói készülék (UE) között
- új berendezések:
 - **Node B** – megfelel a GSM BTS-nek, de újak kellenek
 - más moduláció, más közeghozzáférés, más frekvenciasávok és sűrűbben kell elhelyezni
 - feladatai: OSI fizikai réteg a rádiós interfészen
 - Uu fizikai biztosítása, Iub kommunikáció



RNC: Radio Network Controller, rádióhálózat vezérlő

- új elem, funkciója hasonló a GSM BSC-éhez
- egy RNC a NodeB-k egy csoportját vezérli
- Interfészei:
 - Iu (PS és CS): ennek segítségével csatlakozik a gyökerhálózathoz
 - Iur: két RNC között
 - Iub: BS és RNC között
- adatok továbbítása a bázisállomásokhoz (kapcsoló funkció)

- rádiós erőforrás menedzsment (RRM):
 - teljesítményszabályozás, kód kiosztás, handover szabályozás, beengedés szabályozás, csomagütemezés
- rendszerinformációk szórása
- UTRAN szintű mobilitás menedzsment
- cella információs adatbázis menedzselése
- makro diverziti

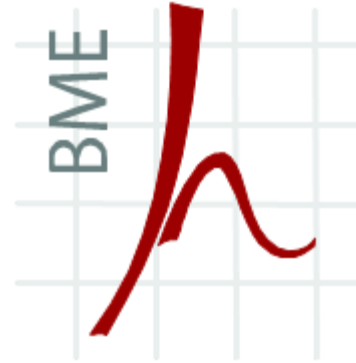
GPRS/EDGE/UMTS hálózat

- új elemek a gyökérhálózatban: SGSN, GGSN (Serving GPRS Support Node, Gateway -||-)
- új elem a BSS-ben: PCU
- PCU (Packet Control Unit: a BSC kiegészítése):
 - interfész a GPRS gyökérhálózat és a GSM BSS között
 - PCU keretekké formálja az adatot (megegyezik a formátuma a GSM BSS-ből kifelé jövő TRAU formátummal)
 - rádiós erőforrás menedzsment a csomagkapcsolt szolgáltatásokhoz (időrések kiosztása, bejelentkezés kezelése)

GPRS/EDGE/UMTS hálózat

- SGSN: (Serving GPRS Support Node)
 - csomag továbbítás: más GSN-ek és PCU-k között
 - a csomagkapcsolt kommunikáció „központja”
 - mobilitás menedzselés: a mobilok helyzetének követése -> routing area (a GPRS helyzet alapegysége, kisebb mint a GSM location area), „ready” állapotú mobiloknál: eNodeB-szintű helyzetinformáció (forgalmazás után meghatározott ideig)
 - számlázás: a rádiós interfész és a hálózati erőforrások használatáért (adat alapú)
 - titkosítás, adat tömörítés (opcionális): a GSM-mel ellentétben a gyökérhálózatban
 - cellaváltás: aktív állapotú mobiloknál általános, függetlenül attól, hogy van-e aktuálisan adatforgalom

- GGSN:
 - számlázás: a kifelé irányuló forgalommal kapcsolatos számlázás
 - átjáró a külső adathálózatok (IP, X.25) felé
 - csomagformátum konverzió, címkonverzió a mobil és a külső hálózat között
 - home agent funkció a mobil IP-ben



MOBIL ÉS VEZETÉK NÉLKÜLI HÁLÓZATOK BMEVIHIMA07

2. előadás

Mobil hálózatok evolúciója

Knapp Ádám

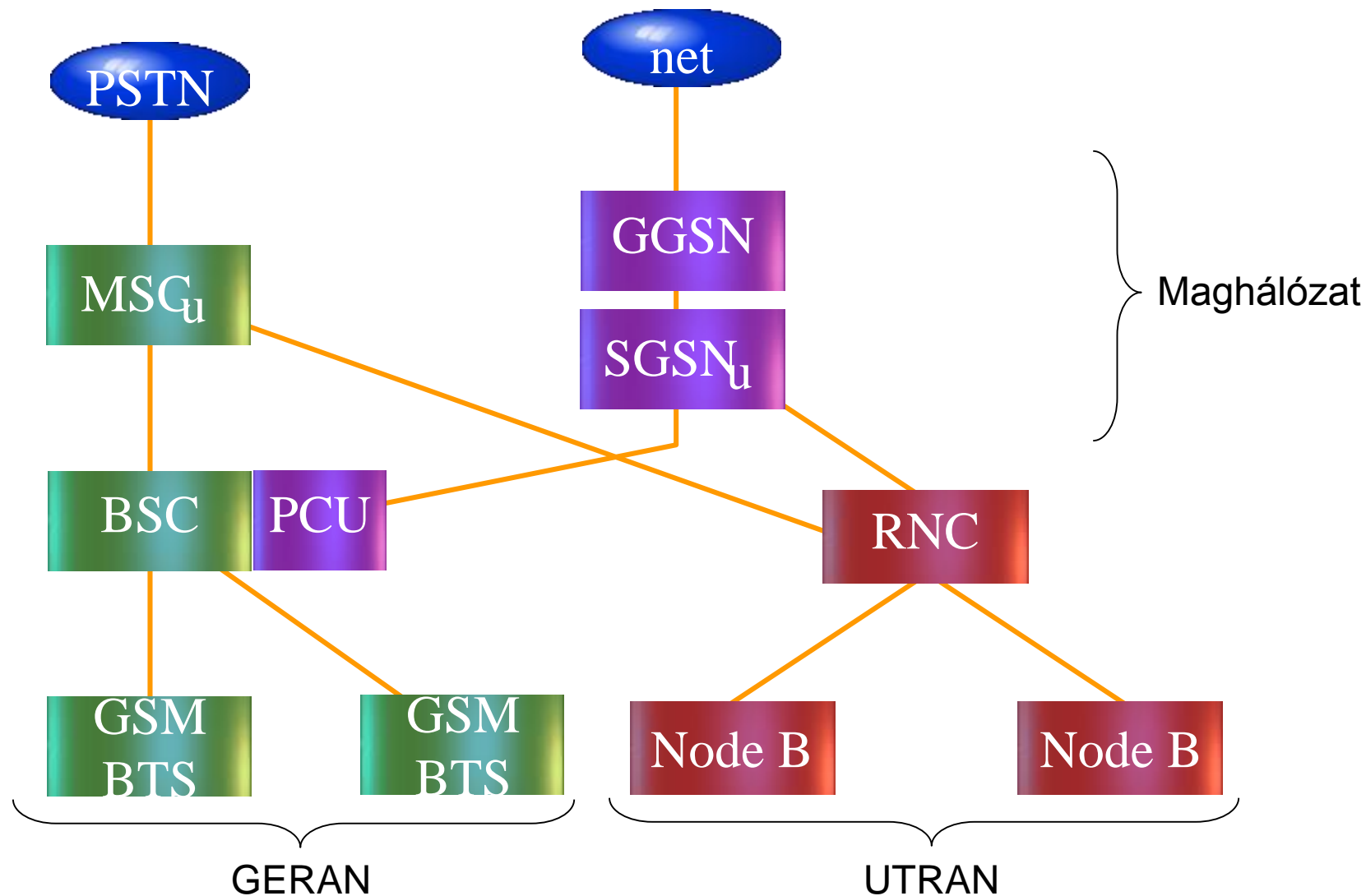
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

knapp@hit.bme.hu

2015. február 26.,
Budapest

- Útban a SAE felé – GSM/EDGE/UMTS hálózat fejlődése
 - Vivő független maghálózat
- SAE: System Architecture Evolution
 - E-UTRAN: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
 - EPC: Evolved Packet Core
 - LTE-A: LTE-Advanced architektúra és a Small Cellák
- LTE protocols:
 - PDCP: Packet Data Convergence Protocol
 - RLC: Radio Link Control
 - MAC: Medium Access Control
 - RRC: Radio Resource Control

GSM/EDGE/UMTS hálózat – ism.

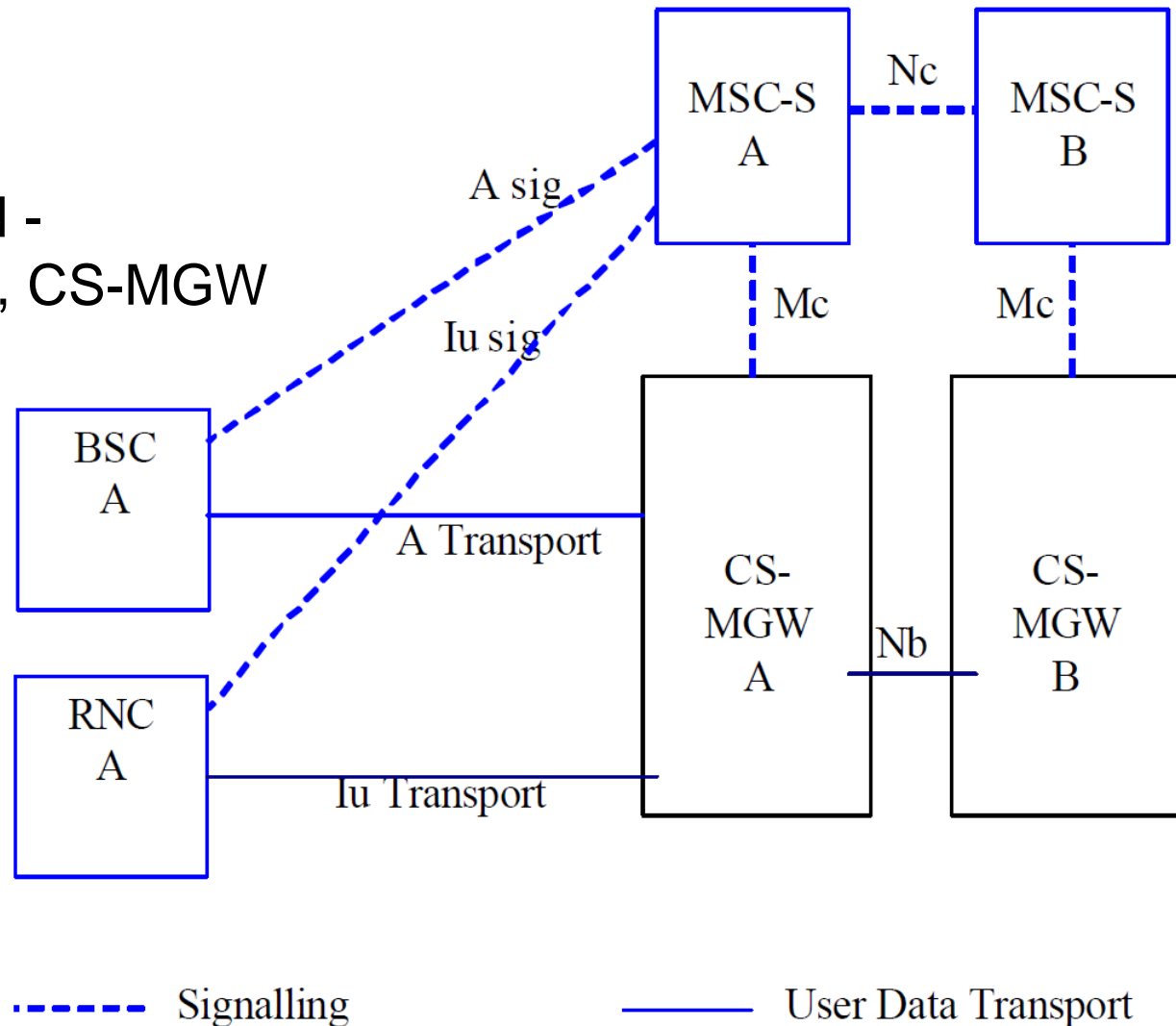


Vivő független maghálózat 1.

- Vivő független maghálózat:
 - (rádiós vivő (bearer): a Layer 2 nyújtotta átvitel a magasabb rétegek felé)
 - Bearer Independent Core Network
 - Bearer Independent CS architecture
- 3GPP Rel-4 szabványban (2001) jelent meg
 - az első jelentős lépés az NGN hálózatok irányába
- Célja:
 - Transzport és vezérlés elkülönítése CS tartományban a transzport erőforrás hatékonyság növelése érdekében
 - Konvergencia CS és PS között
- Működés változatlan marad
- Architektúra változik

Vivő független maghálózat 2.

- Új elemek:
 - (G)MSC server
 - Circuit Switched - Media Gateway, CS-MGW
- Új interfészek:
 - Mc
 - Nc
 - Nb



Vivő független maghálózat 3.

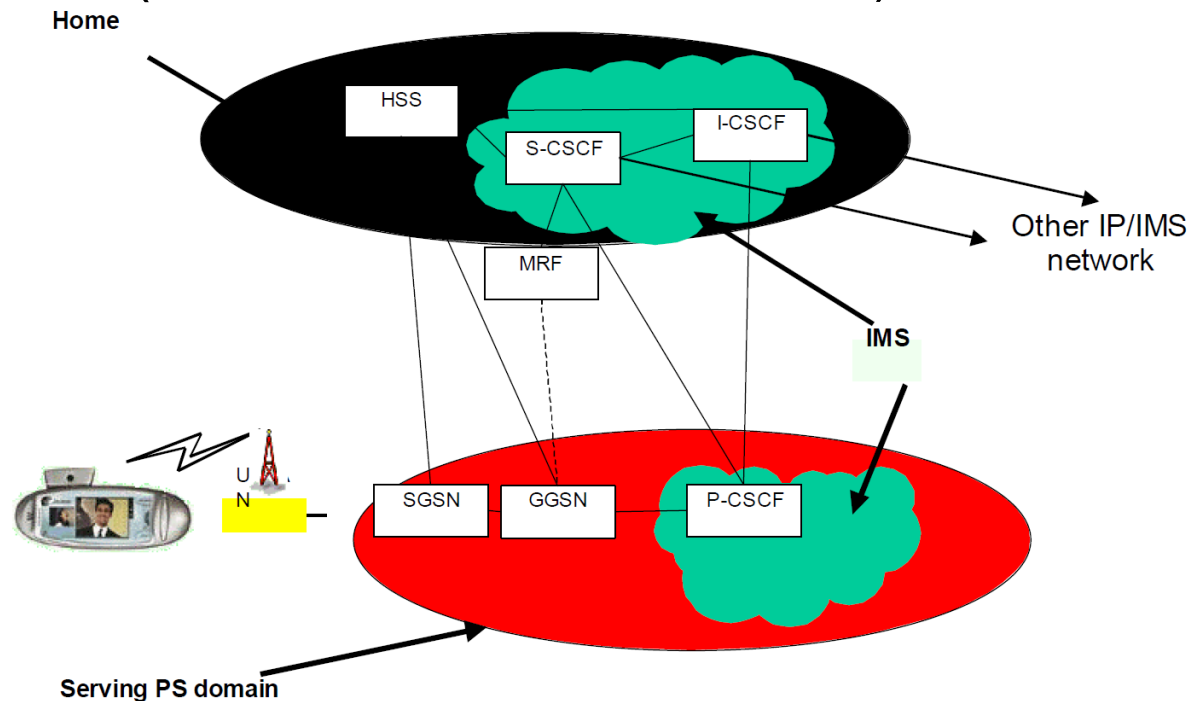
- (G)MSC szétválasztva két új logikai entitássá:
 1. (G)MSC server
 - Hívás vezérlés, mobilitás-támogatási funkciók, VLR
 - Jelzésátviteli protokollok egymásba alakítása
 2. Circuit Switched - Media Gateway, CS-MGW
 - Adatfolyam manipulációs funkciók, pl. hordozó vezérlés, átviteli erőforrás funkciók
 - Interfész a hozzáférési és maghálózat között:
 - Média konverzió, payload feldolgozás
- Külső interfészek változatlanok (amennyire lehetséges)

Vivő független maghálózat 4.

- Az új elemek közötti új interfészek:
 - Mc:
 - (G)MSC server és CS-MGW között
 - Támogatja a hívás vezérlő és hordozó vezérlő, valamint a transzport entitások szétválasztását
 - H.248/IETF Megaco protokollt használja
 - Nc:
 - Hálózat-hálózat hívás vezérlés
 - Támogatja a hívás vezérlő és hordozó vezérlő entitások szétválasztását
 - Nb:
 - Hordozó vezérlés és transzport megy rajta

IP Multimedia Subsystem 1.

- Maghálózat kiegészítése
- 3GPP Release 5 (2002)
- IP feletti multimédia alkalmazások/szolgáltatások megvalósítása és QoS támogatása
- Fő protokollja az SIP (Session Initiated Protocol)
- Főbb új elemek:
 - P-CSCF
 - I-CSCF
 - S-CSCF



IP Multimedia Subsystem 2.

- Proxy-Call State Control Function, P-CSCF:
 - „Első kapcsolati pont”
 - GGSN hálózatában van
 - Fő feladata a felhasználó honos I-CSCF-ének kiválasztása
- Interrogating-CSCF, I-CSCF:
 - A honos hálózat „bejárata”
 - Feladata, hogy kiválassza a megfelelő S-CSCF-et a HSS/HLR segítségével
- Serving-CSCF, S-CSCF:
 - Feladata: a tényleges session vezérlés
 - SIP kérések feldolgozása, hordozó(k) létesítése
 - Kérések többi végfelhasználóhoz továbbítása akár más S-CSCF-n, akár külső IP hálózaton keresztül
 - Specializálható adott szolgáltatás(ok) nyújtására
- Hasznos irodalom:
 - http://www.hiradastechnika.hu/data/upload/file/2006/2006_10/HT_0610-3.pdf

SAE –Követelmények 1.

- SAE: System Architecture Evolution
- Az LTE maghálózat architektúrájának elnevezése
- Különböző hozzáférési hálózatok támogatása
 - 3GPP és nem 3GPP
 - Fix hozzáférési részek
 - Mobilitás támogatás közöttük
- Roaming:
 - más szolgáltató hálózatába való belépés (tipikusan külföldön)
- IP-alapú szolgáltatások támogatása
- Együttműködés támogatás a csomagkapcsolt (PC) és áramkörkapcsolt (CS) szolgáltatások között

- Szigorú QoS támogatás
 - Észrevehetetlen handover a CS és PS beszédhálózatok között
 - Veszteségmentes handover a fix és vezeték nélküli hozzáférési hálózatok között
 - QoS: visszafelé kompatibilitás más 3GPP szabványokkal (pl. UMTS, HSPA)
- Fejlett biztonsági megoldások
 - Támadások ellen
 - A magánszféra (privacy) különböző szintű támogatás, lehetővé téve a törvényes lehallgatást
 - Tartózkodási információ védelme
 - Anonimitás biztosítása a küldő, fogadó és tartalom számára

SAE – Követelmények 3.

- Fejlett számlázási funkciók
 - Pl. QoS alapú számlázás
 - Átalánydíj (flat rate) vagy adatmennyiség alapú számlázás
 - Rádiós hálózati adatok felhasználása

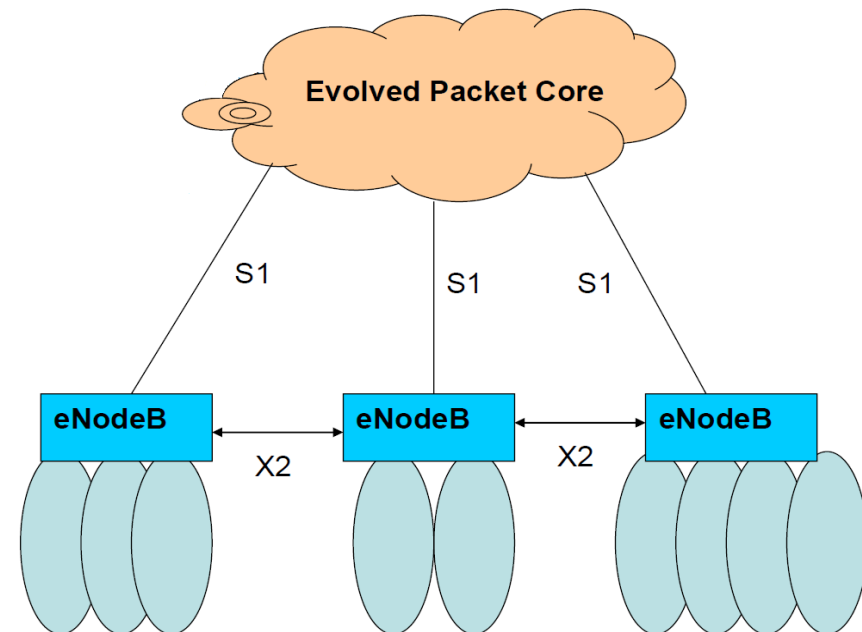
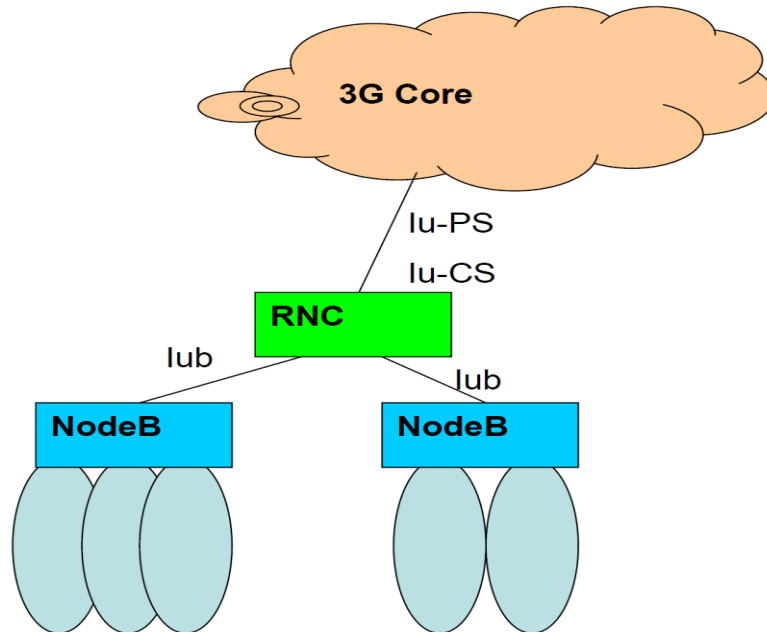
- Rendszer architektúra:
 - A működéshez szükséges funkciók logikai entitásokba szervezése
 - Az entitások között logikai interfészek kialakítása
 - Két fő része:
 1. **EPC**, Evolved Packet Core: Maghálózat, core network (CN):
 2. **E-UTRAN**, Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network: Rádiós hozzáférési hálózat, radio access network (RAN):
- Funkciók:
 - Rádióhálózat menedzsment
 - Számlázás, hitelesítés
 - Vég-vég kapcsolat menedzsment
 - Mobilitás menedzsment
 - Gerinc- és rádióhálózati funkciók

- **RAN** funkciók:
 - Kódolás, kódátszövés (interleaving), moduláció és egyéb fizikai rétegbeli funkciók
 - ARQ (Automatic repeat request), fejléc tömörítés, ütemezés és egyéb második rétegbeli funkciók
 - Rádiós erőforrás menedzsment, hívásátadás, egyéb rádiós erőforrás vezérlő funkciók
 - Biztonsági funkciók: titkosítás, adat integritás biztosítása

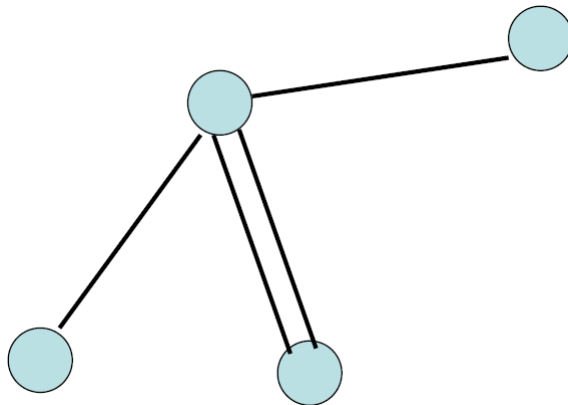
- Core funkciók, LTE SAE:
 - Számlázás
 - Előfizetők menedzselése
 - Mobilitás menedzsment (pl. mobil helyzetének követése)
 - Hordozó szolgáltatás menedzsment, QoS menedzsment
 - előfizetők adatfolyamain végrehajtandó eljárások (policy) kezelése
 - Külső hálózatokhoz való csatlakozás:
 - Más szolgáltató LTE SAE hálózatához
 - Egyéb hálózatokhoz (Internet, GSM, 3G)

- E-UTRAN: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
 - Hívásátadás: adattovábbításon alapul
 - Rádiós erőforrás menedzsment és interferencia szabályozás miatt közvetlen kapcsolat szükséges a bázisállomások között
 - A megoldás az **X2 interfész**
 - A 3G-lur interfészhez hasonló, amit az RNC-k között alakítottak ki
 - Topológiai vonatkozások

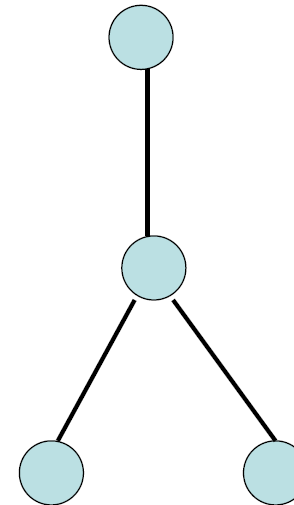
- E-UTRAN architektúra változások:
 - A központi (RNC) egység eltűnt
 - RNC funkciók átkerültek az eNodeB-be:
 - 3G NodeB is létezik (virtuális RNC)
 - HSPA+ szabványok definiálják
 - Biztonsági problémák



- E-UTRAN architektúra változások
 - nincs makro diverziti
 - megoldható lenne, de nem hoz annyi nyereséget, mint komplexitást
 - nincs puha hívásátadás (soft handover)



Makrodiverziti
központi elem nélkül

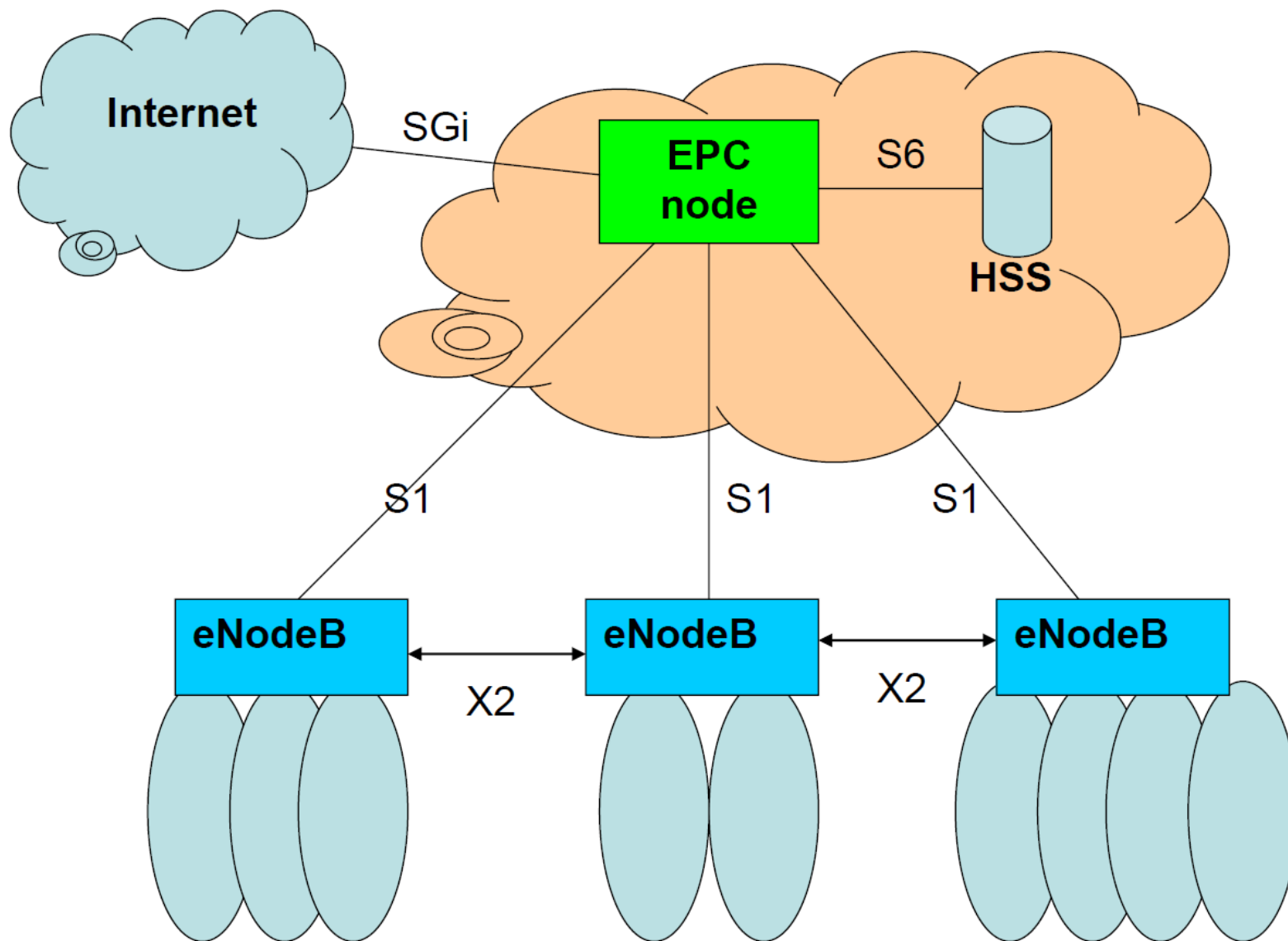


Makrodiverziti
központi elemmel

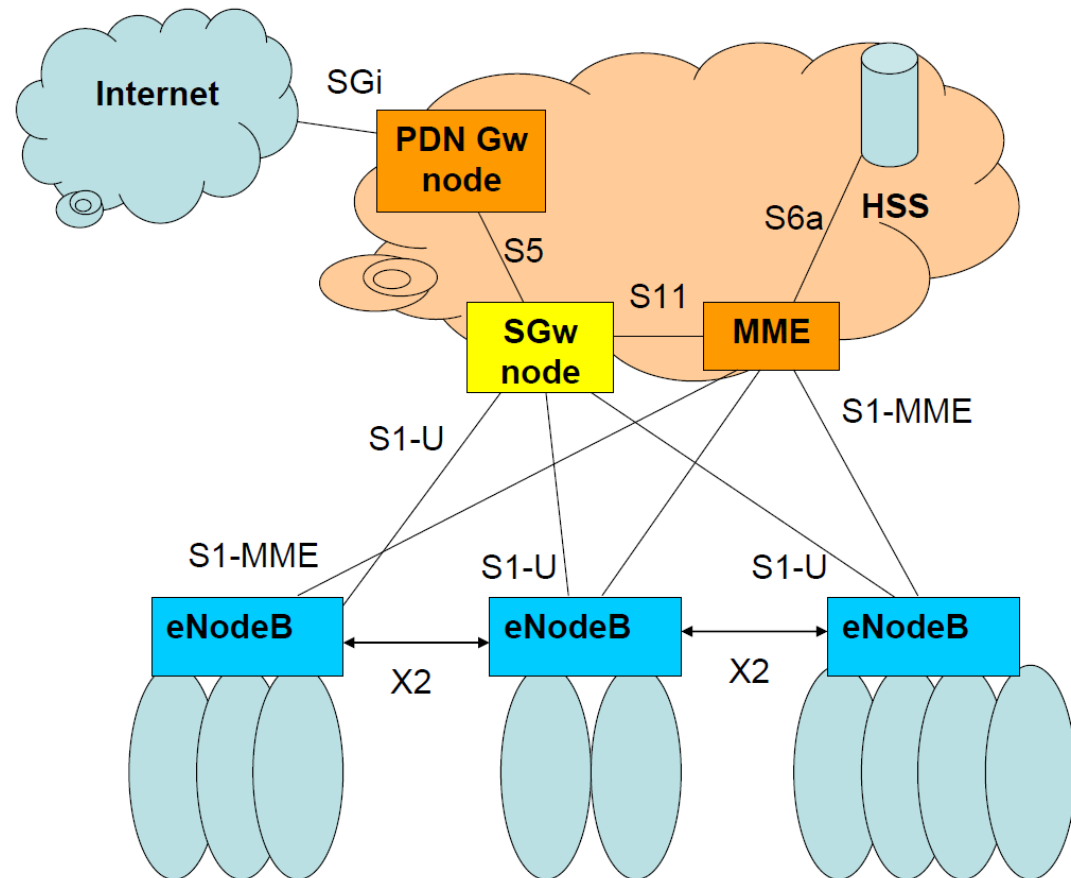
- E-UTRAN architektúra változások:
 - Mobilitás menedzselés nehezebb központi egység nélkül:
 - A cellaváltást lehetőleg „elrejtetni” a maghálózat előtt
 - De az adatvesztés nem megengedett
 - Ezért csomagtovábbítás kell az eNodeB-k között
 - eNodeB:
 - Cellák egy csoportját menedzseli (nem feltétlenül egy helyen lenniük)
 - Nincs fölötte vezérlő entitás (RNC) -> kisebb késleltetés
 - Gyártók: megosztják az alapsávi és rádiós funkciókat az állomásokban
 - Elvileg: egy cella vagy antenna nagy távolságban is lehet az eNodeB-től
 - Ilyenkor figyelni kell az időzítési problémákra

- Fejlett csomagkapcsolt (All-IP) maghálózat
- Evolved Packet Core, EPC:
 - Funkcionális architektúra: egy csomópont végez minden maghálózati funkciót
 - Fizikailag ez akár egy eszközt is jelenthetne
 - De gyakorlati szempontból nem megvalósítható
 - Új egység: Home Subscriber Server, HSS (= HLR + AuC), megmaradt a korábbi hálózatokból
 - EPC-HSS interfész: S6
 - EPC-Internet interfész: SGi

SAE – EPC 2.



- Funkcionális entitások az EPC-ben:
 - Mobilitás kezelő egység, Mobility Management Entity, MME
 - Kiszolgáló átjáró egység, Serving Gateway, SGw
 - Adathálózati átjáró egység, Packet Data Network Gateway, PDN Gw



- **Mobility Management Entity (MME)**
 - Vezérlő síkot valósítja meg az EPC-ben
 - Mobilitás menedzsment
 - Előfizető helyének menedzsmentje
 - Paging üzenet küldése a megfelelő eNodeB-nek
 - Útvonalválasztás az előfizető helyzete alapján
 - Minden egyéb vezérlési feladat:
 - Hordozó (bearer) felépítés
 - Hitelesítés
 - Titkosítási kulcs menedzselés és kulcscsere stb.
 - Vezérlő sík az S1 interfészen: S1-MME
 - Hasonló a 3G Iu-PS vezérlő síkjához

▪ Serving Gateway (SGw)

- Felhasználói adatokat továbbít az EPC és az eNodeB-k között
- S1-U interfész: hasonló a lu-PS interfészhez
 - Felhasználói IP csomag alagutazás (IP tunneling) eNodeB-hoz/tól
 - IP alagút: új IP fejléc és új, az előfizetői aktuális helyzetétől függő IP cím (becsomagolás, encapsulation)
 - Az útvonal a címen alapul

- Packet Data Network Gateway, PDN Gw:
 - Átjáró külső, csomagkapcsolt hálózatok felé:
 - Internet, nem LTE hálózat, más szolgáltatók hálózata
 - Horgony csomópont (anchor node) az LTE mobilitás számára:
 - A külső forgalom a PDN Gw-n keresztül áramlik, függetlenül az előfizető helyzetétől
 - Az SGw továbbítja a csomagokat a megfelelő eNodeB-nek
 - A mobilitás látszik a maghálózatban
 - Minden eNodeB-k közötti cellaváltáskor új IP alagút lesz létrehozva
 - Ez nagy különbség a 3G hálózatokhoz képest, ott az RNC elrejtí a lokális mobilitást, azaz az IP alagút az RNC-nél ér véget

SAE – Roaming 1.

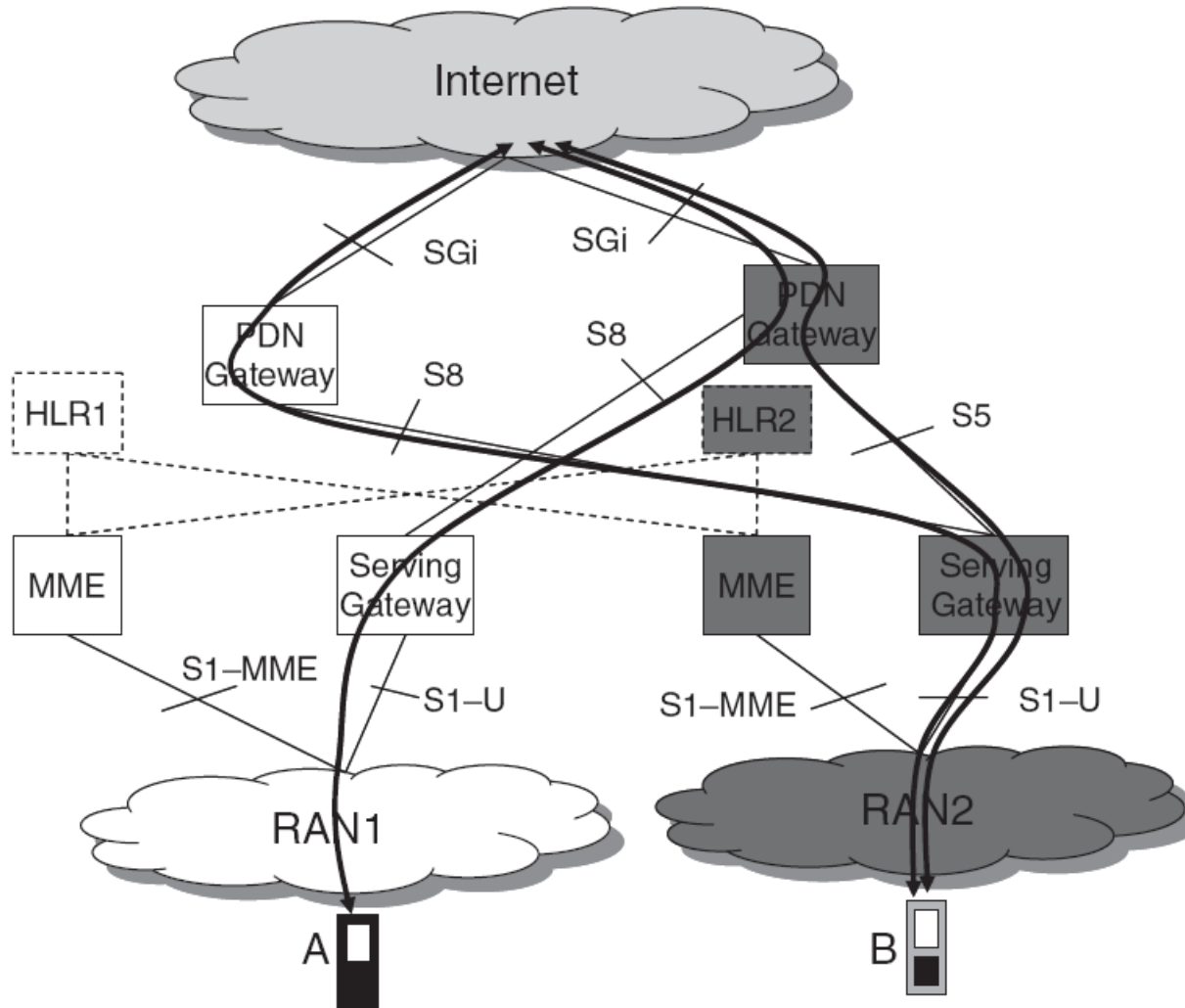
Roaming megvalósítása: Kétféle megoldás

- **1. Saját szolgáltató (honos) hálózatában PDN Gw-n keresztül**
 - Az előfizető csatlakozik egy idegen hálózathoz
 - S8 interfész az idegen SGw és a honos PDN Gw között erre a célra definiált
 - A **honos EPC ad** IP címet a mobilnak
 - Az idegen SGw továbbítja az csomagokat a honos PDN Gw-nek, így az előfizető a PDN Gw-n keresztül csatlakozik az Internetre
 - Nem hatékony (mobil-IP háromszög routing problémája)
 - De az operátor felügyeli a saját előfizetőjét

▪ 2. Roaming idegen hálózattal

- Az előfizető csatlakozik egy idegen hálózathoz
- Hatékonyabb megoldás
- Az előfizető csatlakozik egy idegen hálózathoz
- Az **idegen EPC adja** az IP címet
- Az előfizető az idegen hálózaton keresztül csatlakozik az internetre
- Nagyobb bizalom szükséges a szolgáltatók között

SAE – Roaming 3.



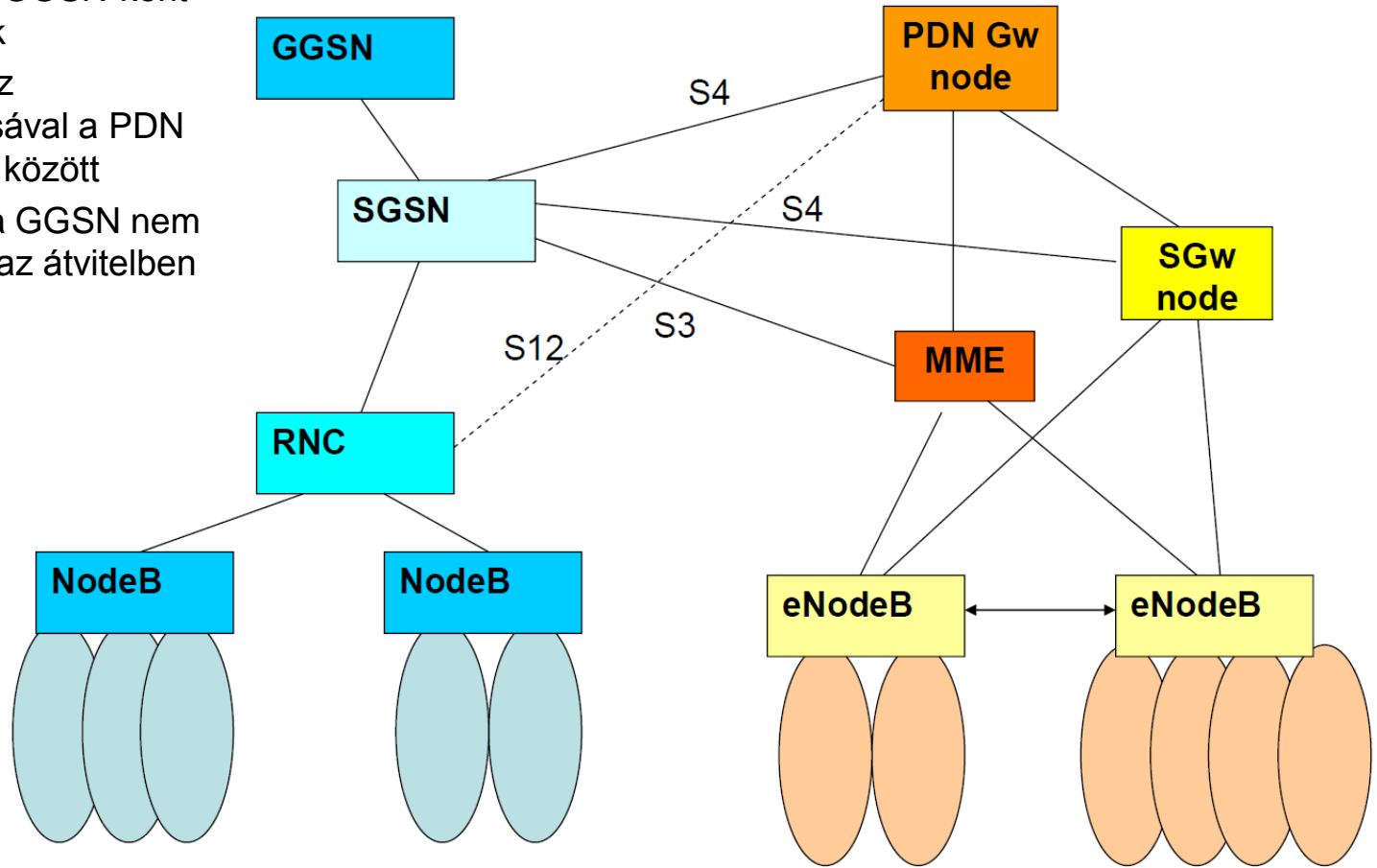
- Másik új entitás az EPC-ben
- Policy and Charging Rules Function, PCRF:
 - Szabályok, irányelvek az előfizetők számára
 - Számlázási szabályok
- S1 flex:
 - Egy eNodeB több SGw-hez és MME-hez csatlakozhat több S1 interfészen keresztül
 - Rugalmas és robosztus (no single point of failure)
 - Hálózati infrastruktúra megosztása (közös eNodeB, saját EPC)

SAE – LTE-3G együttműködés 1.

- Szükséges a rugalmas, fokozatos átálláshoz
- Hívásátadás a 3G és LTE között (vertikális handover)
 - Az előfizető nem tudja milyen hálózatban, milyen készülékekkel van
 - Lehetővé teszi az LTE lokális telepítését
 - Olyan készülékek szükségesek, amik mindkét technológiát támogatják
- Két lehetséges megoldás (lásd köv. dia is)
 1. SGSN „bekötése” az EPC-be:
 - PDN-Gw GGSN-ként viselkedik
 2. S12 interfész felhasználásával a PDN Gw és RNC között
 - Ilyenkor a GGSN nem szerepel az átvitelben

SAE – LTE-3G együttműködés 2.

1. SGSN „bekötése” az EPC-be:
 - PDN-Gw GGSN-ként viselkedik
2. S12 interfész felhasználásával a PDN Gw és RNC között
 - Ilyenkor a GGSN nem szerepel az átvitelben



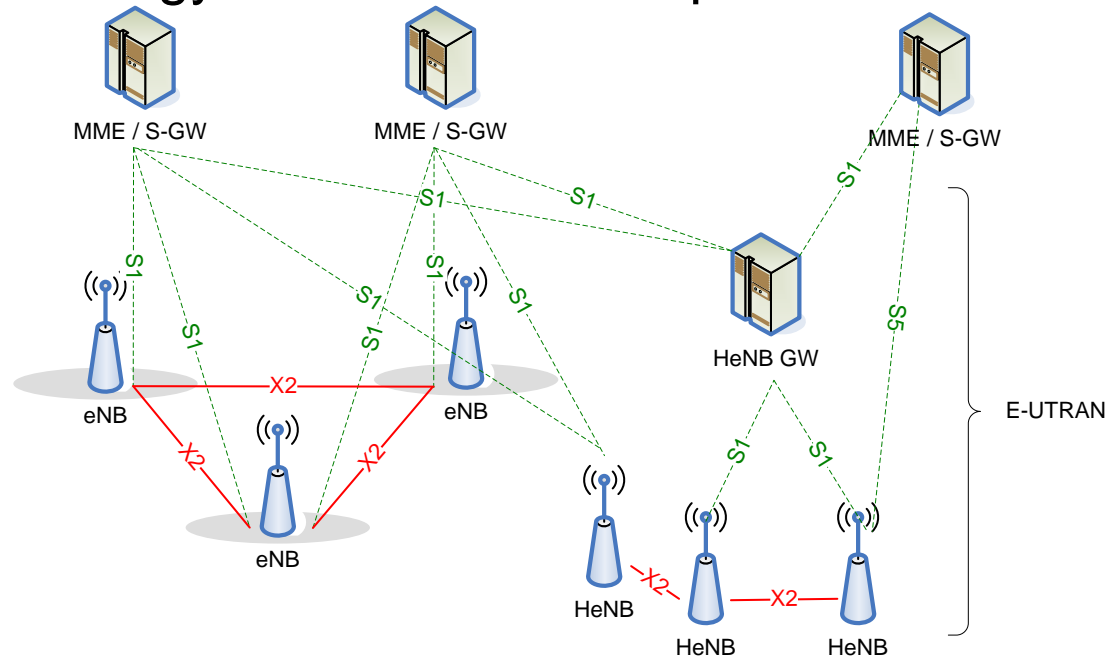
- Általános követelmények:
 - Magasabb spektrális hatékonyság
 - Magasabb arányú frekvencia újra használat
 - Magasabb QoS:
 - Magasabb adatsebesség (DL 3 Gbps, UL 1.5 Gbps)
 - Alacsonyabb késleltetés
 - Gyorsabb kapcsolatfelépítés
- Trendek:
 - Bázisállomások közelebb vitele a felhasználókhoz
 - Felhasználói forgalom alternatív hálózatokra terelése (pl. Wifi)
 - Kisebb cellaméretek
 - Alacsonyabb adóteljesítmény használat

- Small/Kis Cella az LTE terminológiában:
 - Alacsony teljesítményű hozzáférési pontok, amik a szerződésköteles spektrumban működnek
 - Metro/pikocella és femtocella (Home eNodeB)
 - Kicsi rádiós lefedettség (~30 m)
 - Különböző hozzáférési módszerek lehetségesek (nyílt/zárt/hibrid)
 - Különböző használati típusok (kültéri/beltéri)
- Metro/pikocellák előnyei:
 - Elegendő jelerősséget biztosítanak (QoS) a közeli felhasználóknak
 - Olcsó és könnyű telepítés
 - A szolgáltatók által menedzselhető a nagyobb BS-ekhez hasonlóan
- Metro/pikocellák hátrányai:
 - Interferencia források
 - Kifinomult megoldások szükségesek a mobilitás támogatáshoz

- Femtocellák előnyei:
 - A beltéri felhasználók számára elegendő jelerősség biztosítása
 - A femtocellás felhasználók által generált forgalmat a mobil szolgáltatóhoz továbbítja vezetékes technológia segítségével (pl. xDSL, kábel stb.)
 - Olcsó, könnyű üzembe helyezés
- Femtocellák hátrányai:
 - Interferencia források
 - Felhasználói telepítés (felhasználó áthelyezi, ki-bekapcsolja)
 - A szolgáltatótól független működés (pl. nincs központi teljesítmény szabályozás)

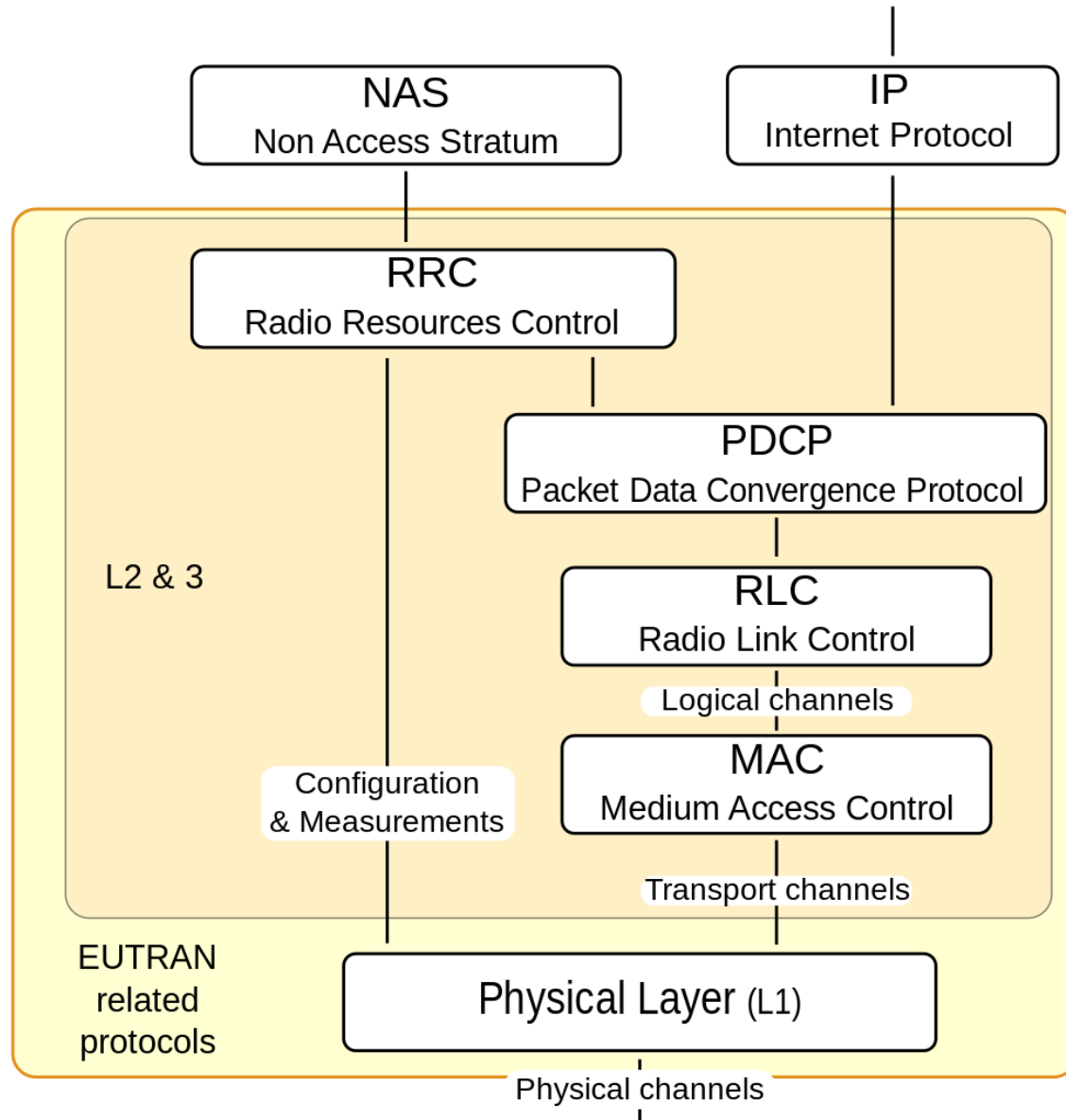
■ HeNB Gw:

- A HeNB Gw az MME számára eNodeB-ként látszik, a HeNB-k számára pedig MME-ként
- X2 interfész alapú HO HeNB között megengedett, ha nincs szükség az MME hozzáférés szabályozó funkcióira
- HeNB egyszerre csak egy HeNB Gw-hez kapcsolódhat



LTE RÁDIÓS PROTOKOLLOK

LTE Protokollok – Rádiós Protokollok



- Packet Data Convergence Protocol, PDCP:
 - IP fejléc tömörítés szabványos algoritmussal (Robust Header Compression, ROHC)
 - Titkosítás, adat integritás biztosítása
 - Egy PDCP entitás rádiós hordozónként egy készülékben
 - Szabvány szerint az eNodeB tartalmazza
 - Gyártók általában külön eszközben valósítják meg
 - Bemenet: a felhasználó IP csomagja
 - Kimenet: PDCP csomag

- Radio Link Control, RLC:
 - Adat szétdarabolás és összefűzés
 - RLC csomagok előállítása
 - Dinamikusan változó méretekkel
 - Sorrendhelyes továbbítás felsőbb rétegek felé
 - Újra küldés vezérlés
 - Fejléc tartalma:
 - Sorszám: sorrendhelyességhez és újra küldéshez
 - Keretezési információk
 - Hossz
 - Vezérlő információk
 - Nyugta/kérés

- Radio Link Control, RLC:
 - RLC az eNodeB-ben, ellentétben a 3G-vel
 - Alacsonyabb késleltetés
 - Rádiós hordozók (bearer) szolgáltatása a PDCP felé
 - RLC újraküldési üzemmódok: hiányzó PDU-k kezelése
 1. Nyugtázó mód
 - Hiányzó PDU-k kérése, pl. TCP-hez
 2. Nyugtázatlan mód
 - UDP (VoIP) számára
 - Multicast forgalom számára
 3. Átlátszó mód (transparent mode), nincs újraküldés ill. szegmentálás
 - Logikai csatornák vezérlése
 - Véletlen hozzáférésű (Random Access) üzenethez
 - Egy RLC entitás rádiós hordozónként egy eszközben

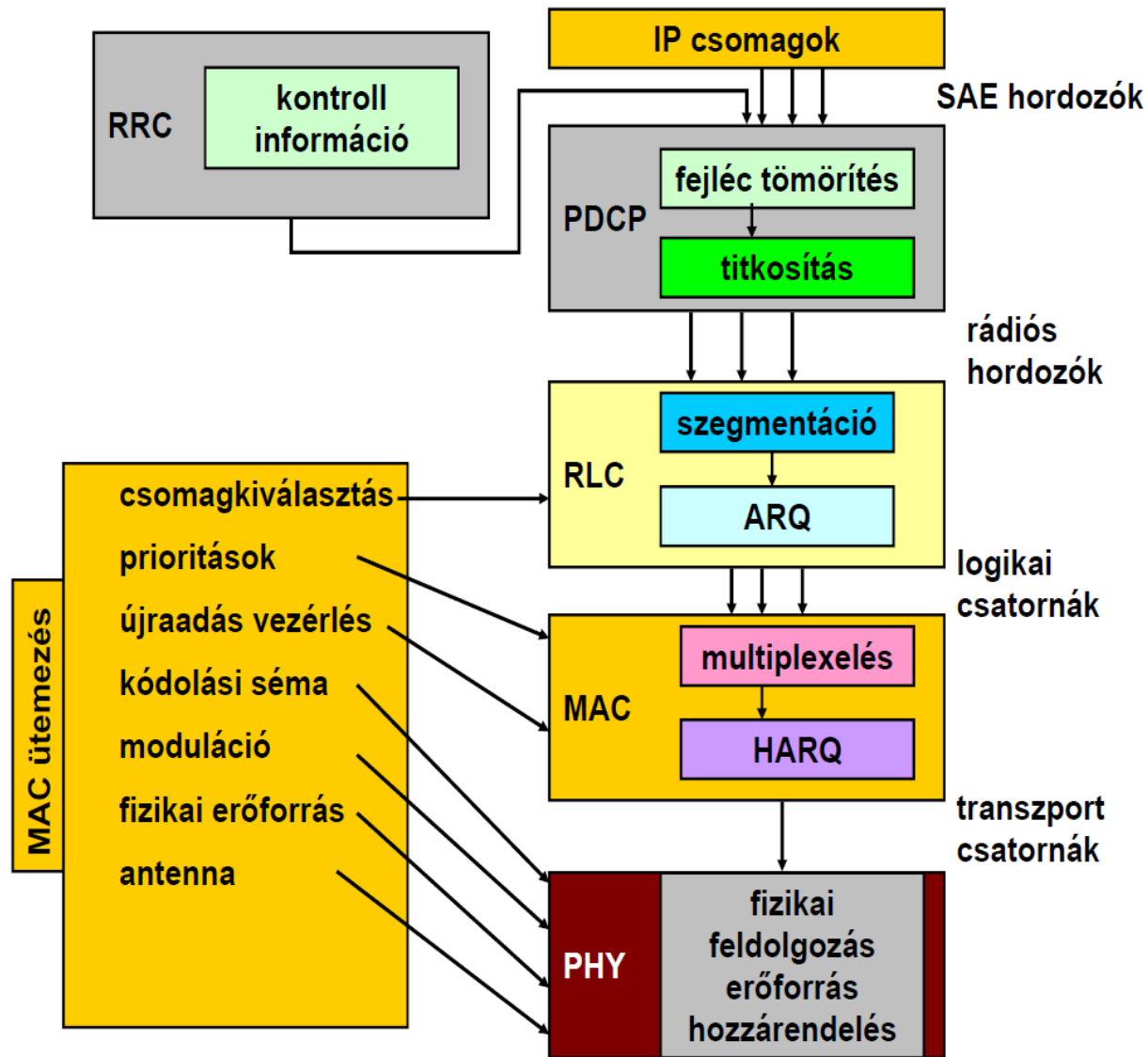
- Medium Access Control, MAC:
 - Hibrid-ARQ
 - Uplink/downlink ütemezés
 - Ütemezés az eNodeB-ben:
 - Egy MAC entitás cellánként
 - Uplink/downlink
 - Prioritások biztosítása UE-k, logikai csatornák között
 - MAC: logikai csatornákat biztosít az RLC számára
 - Broadcast Control Channel (BCCH)
 - Common Control Channel (CCCH)
 - Paging Control Channel (PCCH)
 - Dedicated Control Channel (DCCH)
 - Multicast Control Channel (MCCH)
 - Dedicated Traffic Channel (DTCH)
 - Multicast Traffic Channel (MTCH)

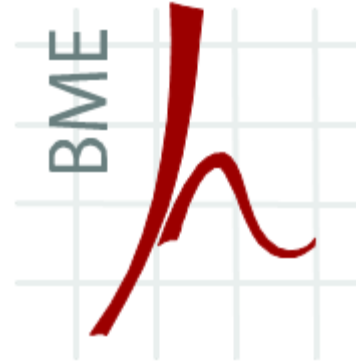
- Radio Resource Control, RRC:
 - Broadcast rendszerinformációk küldése
 - Adatok a tétlen (idle) módban lévő UE-k számára is
 - Pl. cella (újra)választás paraméterek
 - Szomszéd cella paraméterek
 - Adatok aktív UE-k számára
 - Pl. csatorna konfiguráció
 - RRC kapcsolat vezérlés
 - Paging
 - RRC kapcsolat felépítés/bontás/módosítás
 - UE azonosító (U-RNTI) kijelölés/módosítás
 - jelzésinformációt vivő rádiós hordozók (signalling radio bearer) kezelése
 - Dedikált vezérlő információ továbbítás, feldolgozás

- Radio Resource Control, RRC:
 - RRC kapcsolat vezérlés:
 - Biztonsági funkciók aktiválása
 - Kapcsolat mobilitás vezérlése: HO biztonsági funkciókkal, pl. kulcscsere
 - Adatot szállító rádiós hordozók kezelése
 - Rádiós konfiguráció vezérlése, pl. ARQ konfiguráció hozzárendelés, szakaszos vétel konfigurálása
 - QoS vezérlés, pl. közel állandó ütemezés kijelölése, prioritások és rádiós hordozókhoz tartozó adatsebességek kijelölése
 - Kapcsolat újra felépítés rádiós link szakadása esetén
 - Mobilitás kezelés különböző rádiós hálózatok között

- Radio Resource Control, RRC:
 - Mérési konfigurálás és jelentés
 - Mérések kezdeményezése
 - Mérési intervallumok kijelölése
 - Mérési jelentések feldolgozása
 - Egyéb funkciók:
 - Pl. hálózati információk továbbítása nem 3GPP szabvány szerinti hálózatok számára
 - közös hálózat támogatása (több hálózat egy fizikai infrastruktúrán)
 - Információk továbbítása az UE rádiós képességeiről
 - Általános protokoll hibakezelés
 - Önkonfiguráció és önoptimalizáció támogatása

LTE Protokollok – Összefoglalás





MOBIL ÉS VEZETÉK NÉLKÜLI HÁLÓZATOK BMEVIHIMA07

3. előadás

Dr. Fazekas Péter

Dr. Mráz Albert

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

mr az@hit.bme.hu

2015. február 26.,
Budapest

- Cél: a cellás mobil hálózatok rádiós interfészének alapvető ötleteit/működését megmutatni
- Az elvileg és gyakorlatban elérhető adatátviteli sebességeket bemutatni
- A bemutatandó rádiós interfész típusok:
 - GSM, HSCSD, GPRS, EDGE (2G)
 - UMTS, HSPA (3G)
 - LTE, LTE-A (4G)
 - „5G”

- Frekvenciaosztás: 200 kHz széles sávok
 - Frekvencia duplexitás: letöltési (bázisállomás->mobil) és feltöltési (mobil->bázisállomás) kommunikáció két külön frekvenciasávban
- Időosztás: 8 időrésből álló keretek (egy 200 kHz széles vivőn)
- Időrésben: a fizikai börszt szállítja az információt
 - Időrés tartalma: beszédkapcsolat (1 időrés per keret per kapcsolat)
 - Kontroll csatornák információja
- Adatátvitel: max 14.4 kbps egy időréssel
- Két állapotú frekvenciamoduláció (1 bit/csatornaszimbólum átvitel): GMSK (gaussian Minimum Shift Keying)

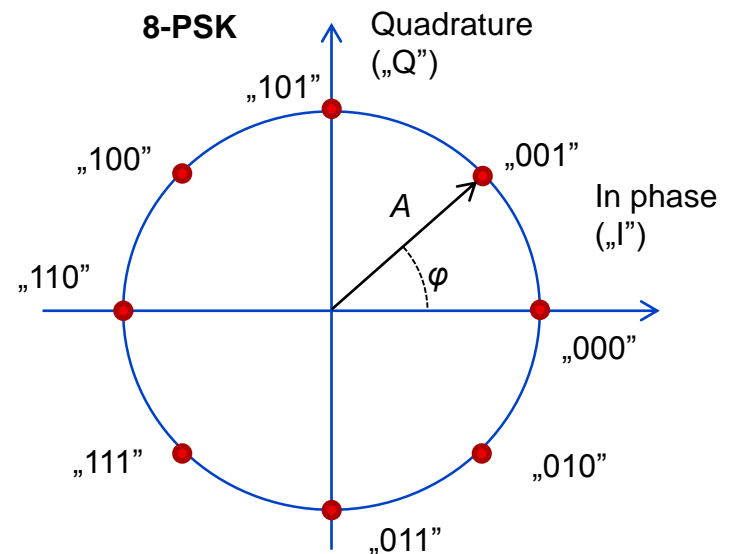
HSCSD - (High Speed Circuit-Switched Data)

- A rendszer max 4 db 14,4 kbit/s-os átviteli időrés összekapcsolásával $4 \times 14,4 = 57,6$ kbit/s mobil sávszélességet biztosít egy adatkapcsolatra
- Előnye, hogy hardver elemek cserélése nélkül illeszthető a GSM hálózatba.
- Hátránya, hogy **továbbra is vonalkapcsolt** az összeköttetés.

- A rendszer: csomagkapcsolt átvitel
 - A maghálózat új, később öröklődött a 3G maghálózatként
- Rádiós átvitel: a lehető legkevesebb változtatás a GSM-hez képest
- moduláció: GMSK (marad a GSM-é)
- csatornák: a GSM frekvenciasávok és időrés-szerkezet (nyolc időréses keretek) használata
- átvitel alapegysége: rádiós blokk (456 bit) -> 4 fizikai borsztben
- 1-8 időrés hozzárendelése egy felhasználó átviteléhez
- Négyféle csatornakódolási (hibavédő kódolás) lehetőség
- Késleltetési és adatvesztési QoS osztályok bevezetése
- A leggyengébb hibavédő kódolással (legkevesebb redundancia -> legnagyobb hasznos átviteli sebesség) kb. 20 kbps/időrés érhető el
 - Elvi max átviteli sebesség $8 \cdot 20 = 160$ kbps
 - Gyakorlatban néhányszor 10 kbps a tipikus

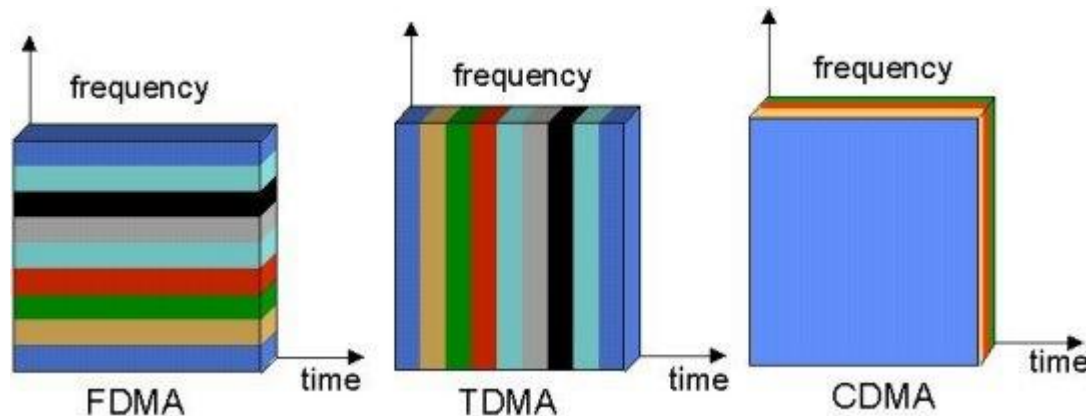
EDGE (Enhanced Data rates for GSM evolution)

- A GSM rádiós interfész alapja marad (8 időrészből álló keretek)
- Új moduláció bevezetése: 8 PSK (8 Phase Shift keying): 3 bit információ csatornaszimbólumonként
- Kilencféle modulációs és kódolási séma, a csatorna minőségétől függően használható (1-4 kb. GPRS-szel azonos, 5-9: 8 PSK-t használó új)
 - Rossz csatorna: erősebb hibavédő kódolás, kétállapotú moduláció (GMSK) -> alacsonyabb hasznos bitsebesség
 - Jó csatorna: gyengébb hibavédelem, 8 PSK-> nagyobb sebesség
 - Elvi max. átviteli sebesség: 60 kbps/időrész
 - Nyolc időréssel: $8 \cdot 60 = 480$ kbps
 - Gyakorlatban 100-300 kbps elérhető



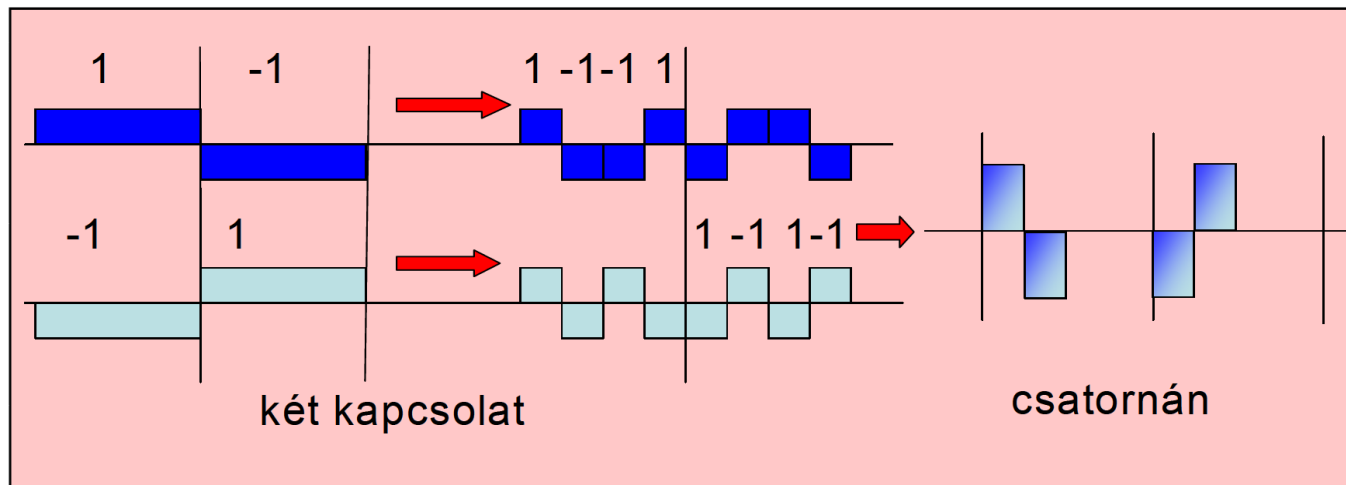
UMTS (Universal Mobile Telecomm. System)

- Teljesen új rádiós interfész, új módszer: kódosztásos többszörös hozzáférés (WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access)
 - A maghálózat marad a GPRS-é
 - A bázisállomások és rádióhálózat vezérlők hálózat az új
- 5 MHz széles frekvenciasávok használata
- Minden felhasználó **ugyanazt a frekvencia sávot** használja ugyanazon időben
- Kódosztásos hozzáférés: A felhasználók adatait egymásra ortogonális kódokkal választjuk szét:
- egy bit (szimbólum) helyett **azonos idő alatt egy kódsorozat** átvitele
- A csatornán a felhasználói biteket reprezentáló kódsorozatok összege



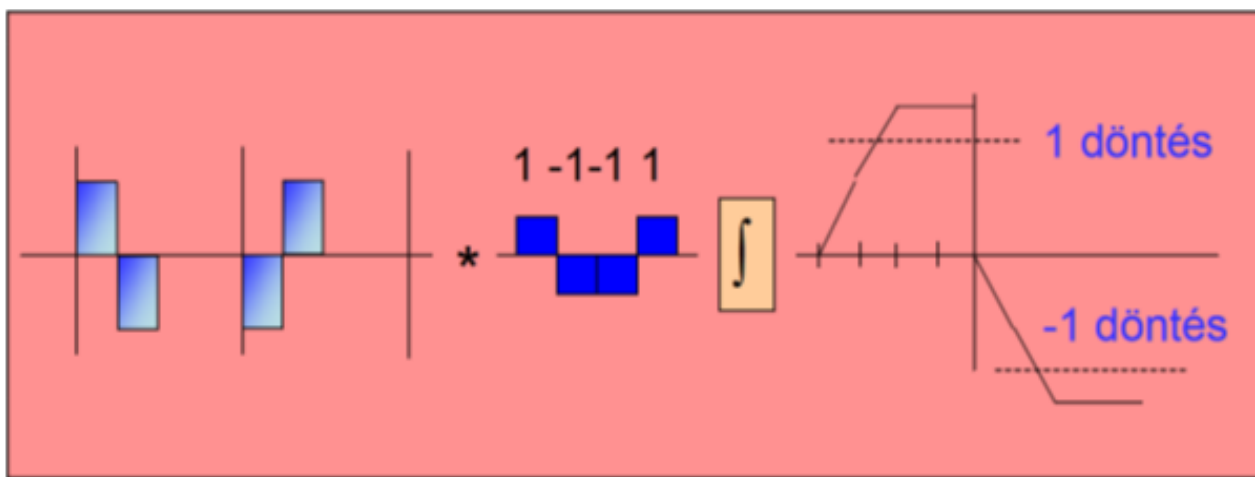
Kódosztásos többszörös hozzáférés

- azonos frekvenciasávot egy időben használnak a felhasználók
- bitek helyett kódsorozatokat visz át egy felhasználó
- ezek egy átvitelhez egyediek, sok ilyen összegéből mindegyik különválasztható a vevő oldalon
- példa: bit-reprezentációkat alakítunk át sorozattá két külön sorozat esetén



Kódosztáros többszörös hozzáférés

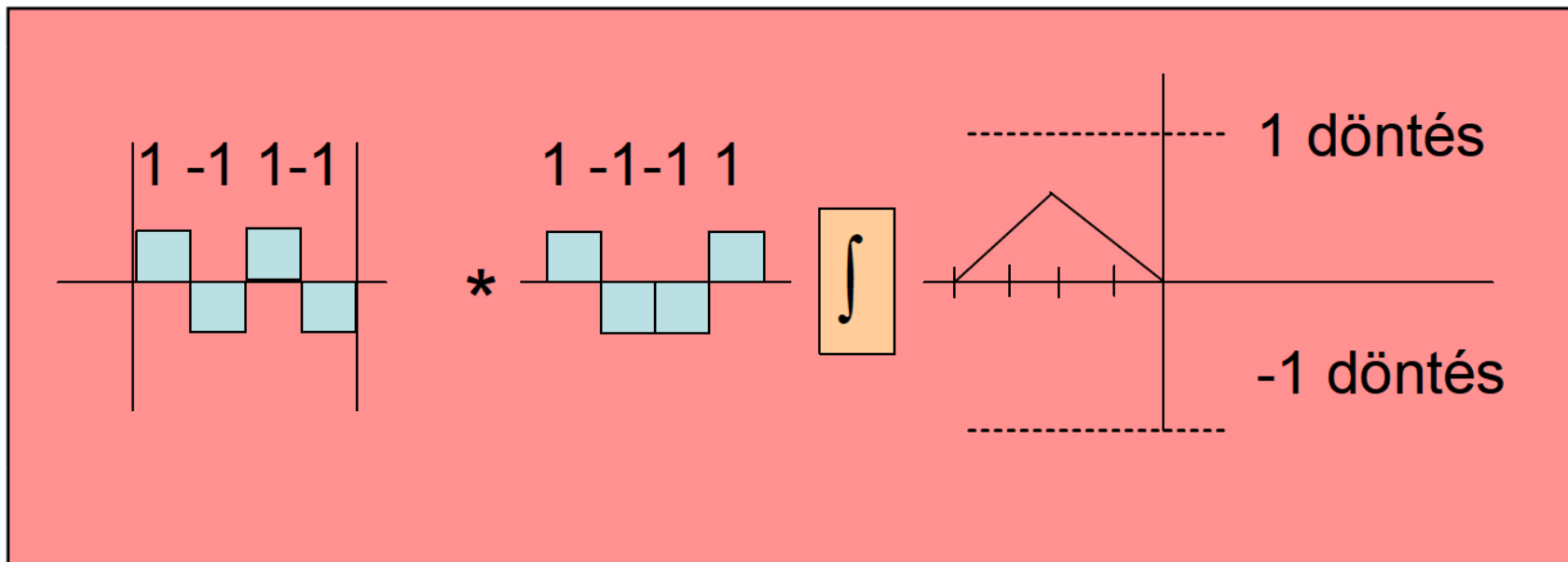
- a vevő oldalon: a teljes jelet a saját kóddal korreláltatja
- chipenként szorozza a vett jelet a kóddal és integrálja
- az integrátor kimenete ha elér egy küszöböt, döntés az átvitt bitről



Kódosztásos többszörös hozzáférés

- ezt azért lehet megtenni, mert a különböző kódok ortogonálisak
- két kód közti korreláció nulla
- gyakorlatban használatos más kódok: nem teljesen ortogonálisak: a gyakorlatban **interferenciát** jelent. „Lágy korlát” a felhasználók maximális számára
- A megértéshez: korreláció diszkrét esetben:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(N-1)s_x s_y}$$



Walsh-Hadamard kódok, UMTS-ben hívják OVSF kódoknak is

- Kódképzés: 2^n hosszúságú kódok vannak
- Hadamard mátrix

$$\mathbf{H}_0 = 1 \qquad \mathbf{H}_1 = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & -1 \end{pmatrix} \qquad \mathbf{H}_n = \begin{pmatrix} \mathbf{H}_{n-1} & -\mathbf{H}_{n-1} \\ -\mathbf{H}_{n-1} & -\mathbf{H}_{n-1} \end{pmatrix}$$

- UMTS-ben maximum 512 hosszú (2^9) Walsh-Hadamard kód
- korábbi használat: IS95 rendszer downlink, 64 hosszú kódok
- UMTS-ben: ezek az ún. csatornaképző (channelization) kódok
- **amilyen hosszú** a kód, **csak annyi db ortogonális** kódszó -> ennyi kapcsolat max. adott kódhosszal
- Probléma:
 - a rövidebb kódokkal gyorsabb átvitel érhető el, de ezekből kevés ortogonális van.
 - A kódok az önmaguk elcsúsztatottjával nem ortogonálisak. UL-en nem használhatók a késleltetés különbségek miatt.
- DL irányban: minden kapcsolat szinkronban megy, itt használják **többszörös hozzáférésre**
- UL irányban: **vezérlő** és **forgalmi** csatornák **szétválasztása** egy felhasználónál, egy felhasználóhoz több fizikai csatorna rendelése

Zagyváló (scrambling kódok)

- DL irányban a cellák jeleinek szétválasztása
- UL irányban a felhasználók jeleinek szétválasztása
- nagyon hosszú álvéletlen ± 1 sorozatok, ezekből 38400 chip hosszú (1 keret, 10 ms) sorozat egy kód
- Gold kód
- egy álvéletlen ± 1 sorozatot önmagával szorozva csupa 1 sorozat adódik
- egy másik álvéletlen ± 1 sorozattal szorozva: álvéletlen ± 1 sorozat adódik

WCDMA hozzáférés

- Kódosztás: fix 3,84 Mcps (megachip per secundum) csatornasebesség
 - A user átviteléhez használt kódszó hosszából következik az adatsebesség
- Kódszóhossz: min 4, max 512
 - Sebesség: $3.84/\text{kódhossz} \times 2$ Mbps (a végén a 2-es szorzó: QPSK moduláció van, így minden szimbólum két egység információt hordoz)
- Sebességek: $3.84/4 \times 2 = 1.92$ Mbps, $3.84/8 \times 2 = 0.96$ Mbps ... $3.84/512 \times 2 = 15$ kbps
- Ezek a sebességek: a fizikai réteg legalsó szintjén bruttó jelzési sebességek
- Tartalmaz: redundanciát a hibavédő kódolás miatt, kontroll csatornákat, fejléceket a protokoll rétegek miatt

WCDMA hozzáférés

- Valós sebességek (UMTS hordozószolgáltatások (bearer) sebességei)
 - 384 kbps IP szinten (megvalósítás: 8 hosszú kóddal, 960 kbps bruttó fizikai sebesség)
 - 144/128 kbps (megvalósítás: 16 hosszú kóddal, 480 kbps bruttó fizikai sebesség)
 - 64 kbps (megvalósítás: 32 hosszú kóddal, 240 kbps bruttó fizikai sebesség)
- Adatátvitel: a rendszer ütemezője a kapcsolat igényeinek megfelelően 384/144/64 kbps bearerekre teszi az átvitelt, ez időben változhat
- Rádiós átvitel: dedikált csatornák a user átvitelhez (kódok)
- 10 ms keretek, 15 időrésből állnak

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)

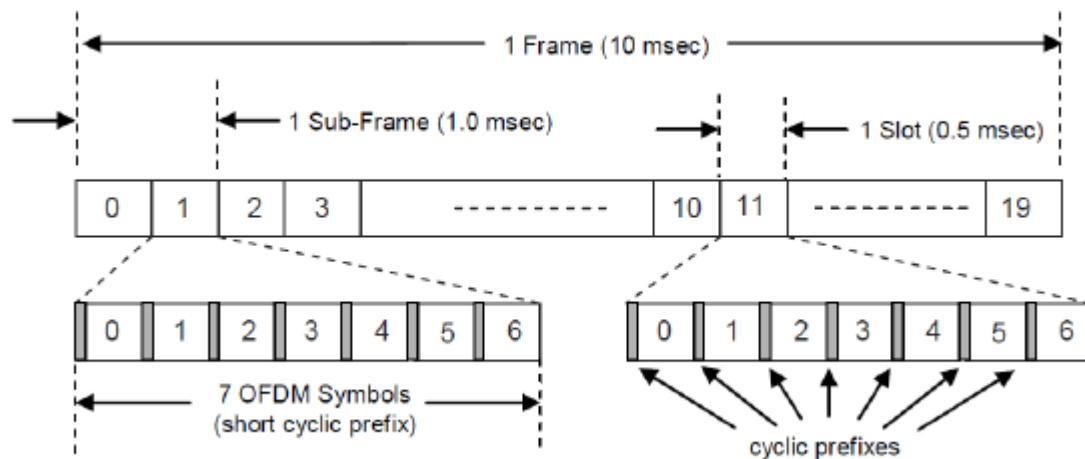
- cél: nagy adatsebesség, alacsonyabb késleltetés
- nagy sebesség: fizikai csatornák (kódok) összevonása egy csatornává
- fix, 16 hosszú kódok (QPSK-val 480 kbps per kód) használata, ebből max 15 db lesz a HSDPA csatorna
- Újdonság:
 - 16 QAM használata jó csatorna esetén (4 bit per szimbólum)
 - 2 ms hosszú keret (3 UMTS időrés)
- elvi max sebesség tehát: $15 \times 480 \times 2 = 14400$ kbps a fizikai réteg legalján jó csatorna esetén, valójában maximum kb. 12,8 Mbps (ebből még lejönnek a felsőbb rétegek fejlécei)
- osztott csatorna (\leftrightarrow UMTS dedikált csatorna): a HSDPA csatornát minden HS előfizető látja és használja, ütemezéssel megosztva az előfizetők között \rightarrow külön kontroll csatornán mondja meg a rendszer, hogy mikor kié az osztott csatorna
- Kódmultiplexálás lehetősége: egy keretben több előfizető is kaphat csomagot egyszerre, különböző kódokkal elválasztva ütemezés (erőforrás menedzsment) a NodeB feladata (UMTS-ben az RNC csinálja)
- először a közcélú hálózatokban intelligencia a bázisállomásban
- link adaptáció: a készülék folyamatosan méri a pilot csatornán a csatorna minőségét \rightarrow egy CQI (Channel Quality Indicator) 0...30 értéket riportol

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)

- alap HSDPA esetén 12 féle készülék osztály: a készülék képességei szerint (tud-e 16 QAM-et, hány összevont kódot képes venni, hány keretenként képes venni)
- a riportolt CQI és a készülék osztály egyértelműen meghatározza, hogy milyen transzport formátumban adjon a bázisállomás (moduláció, kódolás, összevont kódok száma hasznos bitek száma)
- olyan CQI-t kell riportolnia, amivel a kerethiba valsége max 0.1
- ha mégis elvész a keret, akkor gyors Hibrid újraküldés (HARQ) a NodeBből (<--> UMTS újraküldés az RNC és mobil között)
- maradék erőforrás használat: a Release 99 forgalom által szabadon hagyott kódokat és teljesítményt használhatja, ennek mennyiségét az RNC jelzi
- a gyakorlat: UMTS forgalom alig-alig van, a teljes erőforrás HSDPA
- HSDPA továbbfejlesztés: HSPA +
 - 64 QAM megengedése (6 bit per szimbólum): ehhez nagyon jó csatorna kell, elvi max. 1.5 –szörös sebesség (elvi max 21,6 Mbps, szabványos átviteli formátum alapján elvi max 19,3 Mbps)
 - MIMO (Multiple Input, Multiple Output): két adóantenna, két vevőantenna. Megfelelő csatornaállapot esetén ügyes jelfeldolgozással egyszerre, azonos rádiós erőforráson két adatcsomag küldhető egy usernek -> kétszeres sebesség (elvi max 64 QAM-mal 43,2, szabványos formátummal 42,1 Mbps)
 - Kétvivős (dual carrier) HSDPA: két 5 MHz-es vivő együttes használata, párhuzamos átvittel -> ez tényleg kétszeres. A Telenor ezt árulta mint Hipernet

LTE (Long Term Evolution)

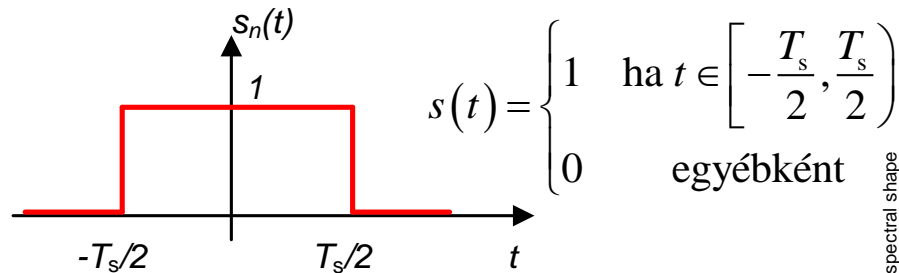
- Új rendszer, más architektúra, a teljes hálózat új
- 3GPP Rel8 (2009). Lásd: <http://www.3gpp.org/specifications/67-releases>
- Rádiós interfész is új: OFDMA (Orthogonal Freq. Division Multiple Access)
- Sok, keskeny frekvenciasáv párhuzamosan, mindegyik modulálva (ún. segédvívők)
- Moduláció: QPSK, 16 QAM, 64 QAM
- Segédvívők sávszélessége 15 kHz
- Keretszerkeze



- Osztott csatorna: minden user látja, kontroll csatornán közli a rendszer, hogy melyik része kié
- Erőforrás: segédvívők (frekvencia) és szimbólunok (idő) -> frekvencia blokkokba és időrésekbe szervezve

▪ OFDM alapú

- Az időtartománybeli jelalak:



- A spektrális alak (Fourier-tr.-val):

$$S(f) = \mathfrak{T}\{s(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi ft} dt = \int_{-T_s/2}^{T_s/2} 1 \cdot e^{-j2\pi ft} dt = \left[\frac{e^{-j2\pi ft}}{-j2\pi f} \right]_{-T_s/2}^{T_s/2}$$

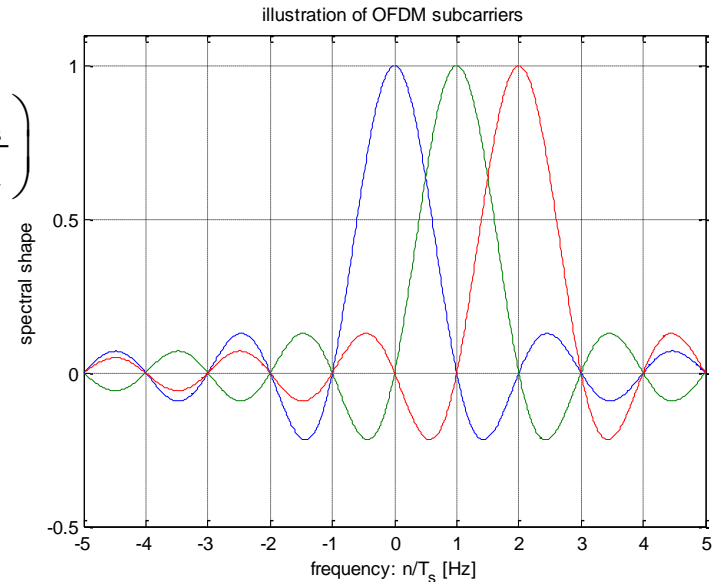
$$= \frac{e^{j2\pi f \frac{T_s}{2}} - e^{-j2\pi f \frac{T_s}{2}}}{2j\pi f} = \frac{\sin(\pi f T_s)}{\pi f} = T_s \frac{\sin(\pi f T_s)}{\pi f T_s} = T_s \text{sinc}(\pi f T_s)$$

- Vivőtávolság:

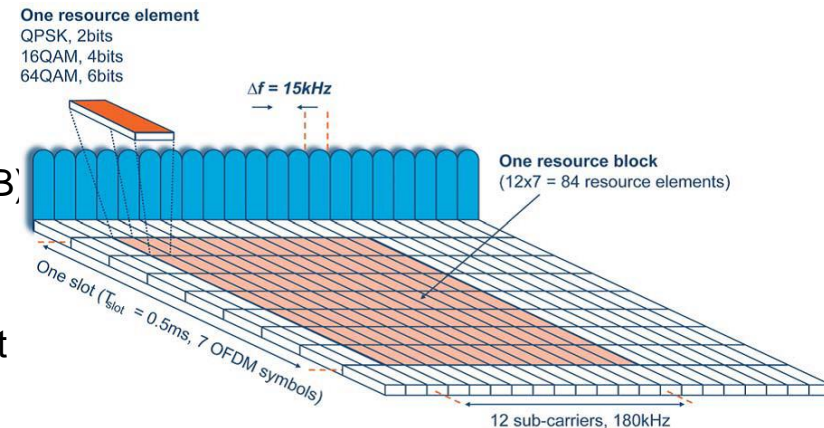
$$\Delta f_c = \frac{1}{T_s}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} T_s \text{sinc}(\pi(f - i\Delta f_c)T_s) T_s \text{sinc}(\pi(f - j\Delta f_c)T_s) dt = 0,$$

$$i, j \in \mathbb{Z} \quad i \neq j$$



- OFDM paraméterek
 - segédvívök távolsága 15 kHz (Δf)
 - ennek megfelelően a szimbólumidő 66.67 μ s
 - ciklikus prefix (~védőidő): 5.2 μ s az időrés első szimbóluma előtt, 4.7 μ s a többi szimbólum előtt (normál prefix), vagy 16.7 μ s (bővített prefix)
 - $\Delta f = 7.5$ kHz is definiált, multicast hálózatokhoz (műsorszórás az LTE hálózaton)
- Fizikai erőforrásblokk
 - fizikai erőforrás blokk (Physical Resource Block, PRB)
 - 12 segédvívő ($12 \cdot 15 \text{ kHz} = 180 \text{ kHz}$)
 - egy időrésben (0.5 ms)
 - a legkisebb egység, ami egy előfizetőnek adható, két ilyen van alokálva egyszerre legalább
 - $12 \cdot 6 =$ vagy $12 \cdot 7$ szimbólum időrésenként
 - kiosztás: egy előfizetőnek egy PRB egy alkeretben (2 időrés)
 - összesen 144 vagy 168 szimbólum alkeretenként



- Fizikai szintű pillanatnyi átviteli sebességek egy PRB-val

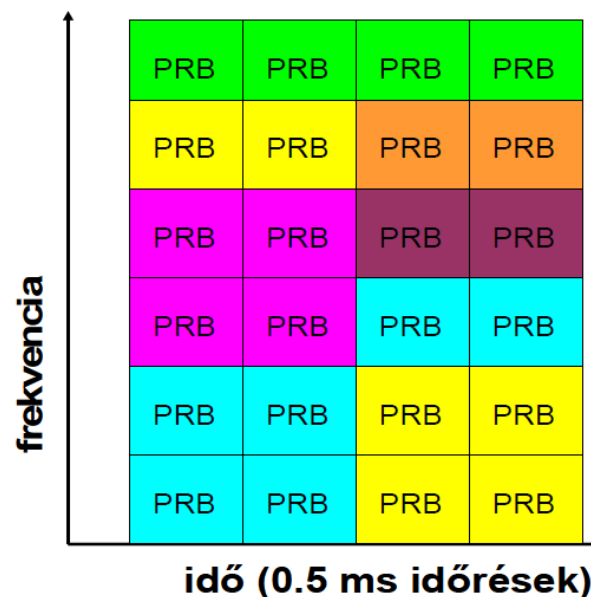
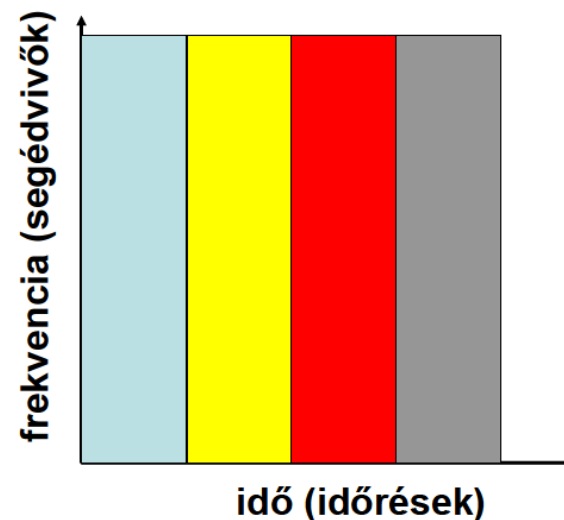
	rövid prefix	hosszú prefix
QPSK	336 kbps	288 kbps
16 QAM	672 kbps	576 kbps
64 QAM	1008 kbps	864 kbps

- Sávzélesség kérdése:
 - **Referencia: 1080p (HD) video: (7– 10) Mbps video + (128, 384) kbps hang**
 - egy bázisállomásnak 6 db PRB-t kell tudni kezelni
 - ez védősávokkal, DC vivővel 1.4 MHz
 - Sávzélesség többféle lehet, lásd táblázat

Sávzélesség [MHz]	1,4	3	5	10	15	20
PRB-k száma	6	15	25	50	75	100

elvi maximális
fizikai sebesség:
100,8 Mbps

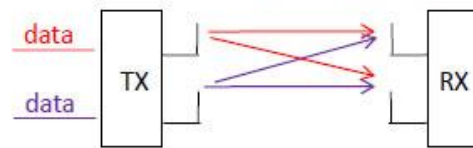
- OFDM (WLAN, Wimax, DVB): minden segédvivő egy előfizető adatát viszi
 - a csatorna időben van megosztva
- OFDMA (LTE, mobil Wimax): a segédvivők egy része (PRB-k egy része) juthat egy előfizetőnek
 - a csatorna időben és frekvenciában megosztva



LTE rádiós interfész (MIMO)

- Többantennás átvitel: (Multiple Input, Multiple Output)
- Adó- és vevő oldalanként kettőnél több antenna felhasználásával **független** adatfolyamokat vagyunk képesek átvinni ugyanazon a rádiós erőforráson, vagyis
 - Azonos frekvencián
 - Azonos időben
- Főbb átviteli módok
 - Diverziti: azonos adatfolyamok átvitele a különböző antennákon
 - Térbeli multiplexálás:
 - különböző adatfolyamok
 - Az átviteli sebességet **többszörözni** tudjuk min (N_T, N_R) szerint. Pl.: 2x2, 4x2-es átvitelnél 2-szeres, 4x4, 4x6: 4-szeres, stb.

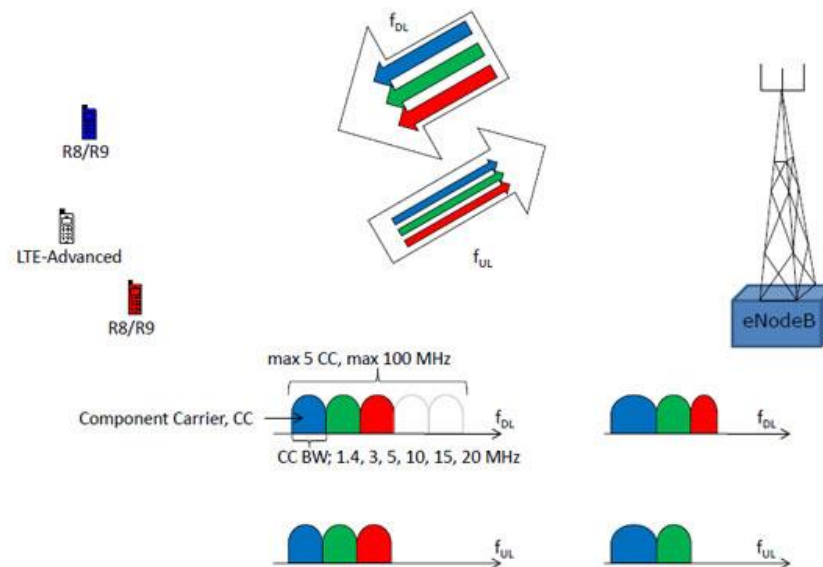
MIMO – Spatial Multiplexing (2x2)



- Az LTE kiterjesztése. Az ITU-T által megfogalmazott 4G követelményeknek (IMT Advanced) (2009) ez a szabvány hivatott megfelelni.
- Ez lesz a „valódi” 4G. Az LTE csak „3,9G” volt.
- 3GPP Rel10 (2011), lásd: <http://www.3gpp.org/specifications/67-releases>
- Főbb követelmények, kiterjesztések
 - Átviteli sebesség:
 - csúcs: DL: 3 Gbps, UL: 1,4 Gbps
 - nagyobb spektrális hatékonyság: 30 bps/Hz (vagyis 100 MHz-es vivő esetén 3 Gbps)
 - **Referencia: 1080p HD video: (7– 10) Mbps video + (128, 384) kbps hang**
 - (Rel 8-ban 16 bps/Hz)
 - 2 x 2 MIMO esetén cellahatáron 2,4 bps/Hz
 - Vivő összefogás (carrier aggregation): 20 MHz-es (folytonos és nem folytonos) egységeként összesen 100 MHz-ig.
 - Fejlett MIMO megoldások:
 - Kognitív rádió
 - Fejlett interferencia menedzsment (kis cellák)

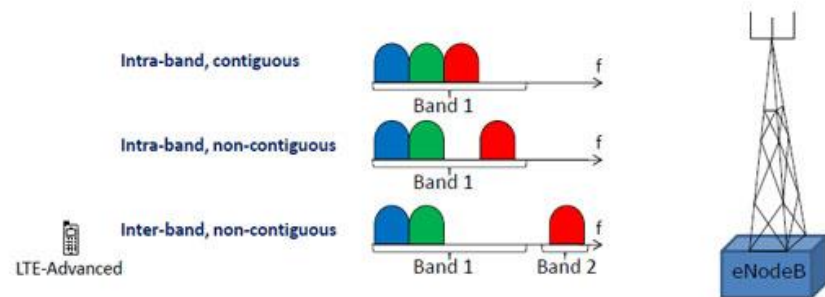
LTE-A Carrier Aggregation

- Több vivő sávszélesség hozzáadásával növeljük az átviteli sebességet: több vivőt (carrier) kezelünk egy rendszeren belül. 20 MHz-es egységek, max. 5 db: 100 MHz.
- Az aggregált vivők lehetnek különböző sávszélességűek is (1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz)
- DL és UL irányokban különböző számú vivőt aggregálhatunk.
- Az R8/R9 szabványok szerinti vivőket kell kezelni a visszafelé kompatibilitás miatt

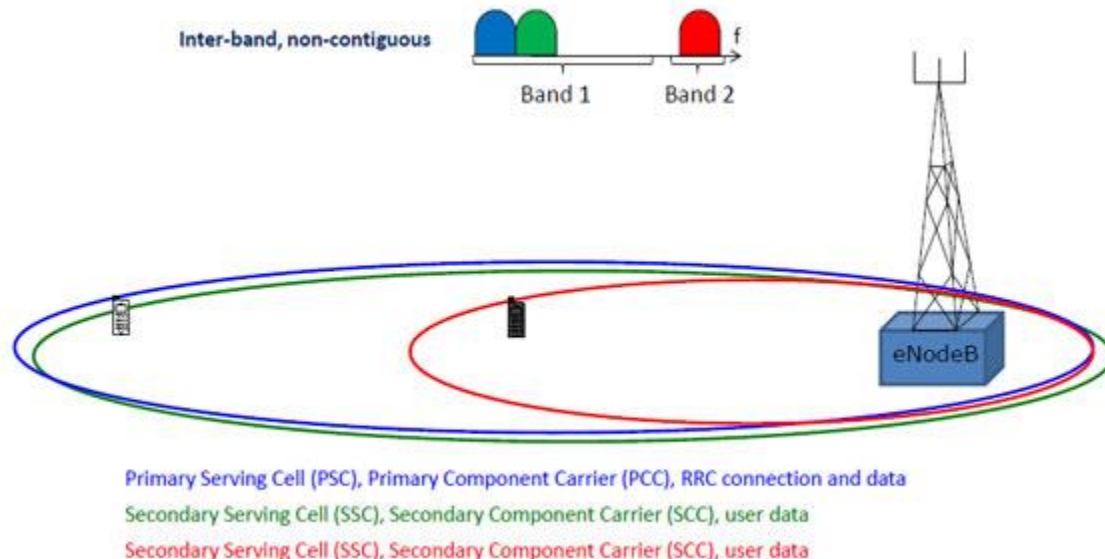


LTE-A Carrier Aggregation

- A vivő összefogás történhet azonos (előfizetett) sávban, vagy külön sávban
 - Azonos sávban egyszerűbb megvalósítani
 - De nem mindig megoldható. Pl. nemzeti frekvencia allokációs adottságok miatt.



- Különböző típusú cellák
 - PSC: Primary Serving Cell: Az RRC kapcsolat kezelése itt történik
 - SSC: adatok hatékonyabb átvitele. Nem kell minden vivőn menedzselni a kapcsolatot (főleges jelzésforgalom).

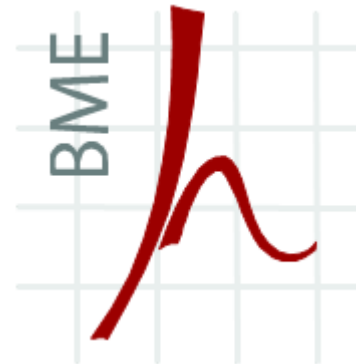


- Újdonságok a MIMO átvitelben
 - DL: 8 x 8 (TM9), UL: 4 x 4 (TM2).
 - Eddig (R9-ig), DL: TM1-7, UL: TM1
- MIMO támogatására új referenciajelek bevezetése: Cell-specific Reference Signal (CRS) or Demodulation Reference Signal (DM-RS) a hatékonyabb előkódoláshoz.
 - Előkódolás: A csatornára való kibocsátás előtt a MIMO átvitelben résztvevő jelek kódoljuk a csatorna aktuális állapotának megfelelően. Ennek segítségével javíthatjuk a vételi oldalon az SNR-t.
- Új kategóriák bevezetése a felhasználói készülékekben (UE): 6, 7 ill. 8
 - A 8-as támogatja a maximális CC (Component Carrier) számot, és a 8x8-as MIMO-t.

- Motiváció: Miért van szükség 5G-re?
 - 2010 – 2020: mobil adatforgalom ezerszeres növekedés
 - Kb. 50 milliárd csatlakozó eszköz -> IoT
 - Nagy megbízhatóságú alkalmazások (távsebészet, ipari alkalmazások (MTC))
 - Kis késleltetés
 - Nagy sávszélesség
- A követelmények megfogalmazása: Next Generation Mobile Networks Alliance
 - „Néhány-tíz” Mbps adatsebesség biztosítása 100-as nagyságrendű felhasználói szám mellett
 - 1 Gbps biztosítása „néhány tíz” felhasználó számára egy irodaépület szintjén definiált szcenárióra
 - A spektrális hatékonyságot jelentősen meg kell növelni a 4G-hez képest.
 - A lefedettséget javítani kell.
 - A jelzés-hatékonyságot javítani kell.
 - A Next Generation Mobile Networks Alliance szerint 2020-ra lesznek 5G szerint működő kereskedelmi rendszerek
 - Hasznos link: <http://www.ngmn.org/>

5G: Továbbfejlesztési irányok

- Massive MIMO (32 x 32)
- elosztott MIMO, koordinált többpontú átvitel
- Fejlettebb interferenciamenedzsment, mint 4G-ben.
- „Még több cella”: sűrűbben telepített, még kisebb (atto-) cellák
- Új sávok bevonása (pl. 3.5 GHz tavaly, -> 90 GHz-ig, látható fény: VLC)
- Több különböző szélességű, akár nem szomszédos sáv használata egyszerre, akár különböző rádióhálózati kapcsolatokkal (pl. nagysebesség párhuzamos letöltés LTE+WiFi-n)
- Jobb spektrumhatékonyság:
 - Elérhető sávok jobb kihasználása (pl TV sávok)
 - Spektrum megosztás, dinamikus allokáció, kognitív rádiós megoldások



MOBILITÁS TÁMOGATÁS MAGASABB RÉTEGEKBEN

Mobil és vezeték nélküli hálózatok (BMEVIHIMA07)
4. előadás

Dr. Jeney Gábor

Dr. Bokor László

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

jeneyg@hit.bme.hu

bokorl@hit.bme.hu

2015. március 3.,
Budapest

Kivonat

- Bevezető: miért kihívás a mobilitás támogatás?
- IP szintű mobilitáskezelés
- IP felett történő mobilitáskezelés

Mobilitáskezelés: miért kihívás?

- IP szemantikai túlterheltsége: egyszerre lokációs- és egyedi azonosító szerep
- Ha változik a helyzetünk/kapcsolódási pontunk, akkor változik az IP címünk => változik az azonosítónk is => IP-s kapcsolataink megszakadnak

A probléma mérete

- Mivel a mozgó terminálok száma az utóbbi években ugrásszerűen megnőtt, az együttműködő hálózatok egyik legfontosabb képességévé a mozgékonyság hatékony kezelése (mobility management) vált
- 1990-ben mindössze 10 millió analóg FM cellás mobil felhasználó volt a világon, addig ma már ez a szám meghaladja a négy milliárdot!

Átjárhatóság

- A jövőben egy világméretű, globális infokommunikációs hálózat biztosítja majd a különböző hálózatok közti barangolás lehetőségét
- a felhasználó ennek negatív hatásait nem érzékelheti
- a kommunikáció transzparens kell legyen a felhasználó szemszögéből

Legnagyobb kihívás

- Ubiquitos (mindenütt jelenlevőség): új típusú mobil eszközök milliárdjai (szenzorok)+szélessávú multimédia
- Megoldás: hatékony mobilitáskezelés, skálázható rendszerek

Mobilitás kezelés az OSI rétegekben

- A fizikai és adatkapcsolati rétegben
 - Cellaváltás kezelése (pl. 802.11, GPRS)
 - A GPRS GTP-je
- A hálózati rétegben (pl. mobile IPv6, NEMO)
- A hálózati és szállítási réteg között (pl. HIP)
- A szállítási rétegben (pl. SCTP)
- Az alkalmazási rétegben (pl. SIP)

MOBILITÁS TÁMOGATÁS AZ IP RÉTEGBEN

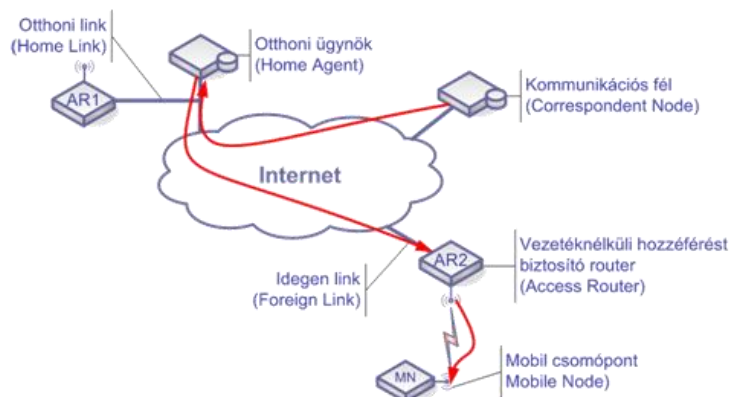
Az IP alapú mobilitásról röviden

- IP cím két szerepe: lokáció és egyedi azonosító
 - Az IP-s kapcsolatok az IP cím alapján azonosítottak
- IP csomópontok címezési követelményei
 - Topológiailag helyes cím
 - Minden interfészen olyan cím, ami az adott linken érvényes hálózati előtagnak (prefixnek) megfelelő
- IP szintű mobilitás támogatás kényszere
 - Eredetileg az Internetet fix csomópontok használatára tervezték
 - Hálózati csatlakozási pont megváltozása => IP alhálózat megváltozása => IP cím(ek) megváltozása => kapcsolatok megszakadása

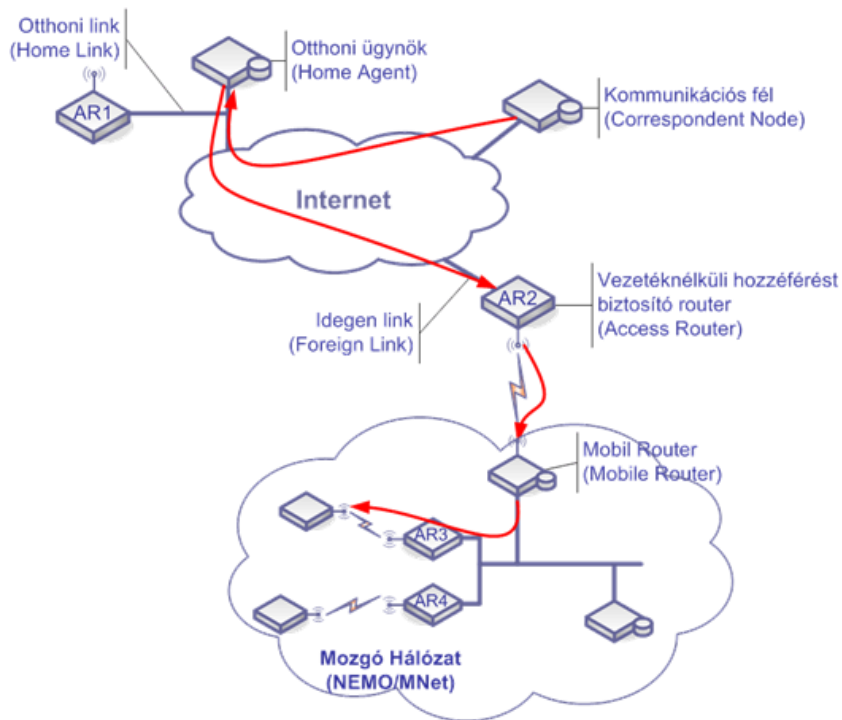
IP szintű mobilitás támogatás

- Az IP cím alaptól szemantikailag túlterhelt:
 - Interfész azonosító szerep (Identifier)
 - Topológiai helymeghatározó szerep (Locator)
- A jelenlegi TCP/IP modellt adaptálni kell
 - Megsértették a rétegek függetlenségének elvét (az IP cím a hálózati és a szállítási rétegben is használatos)
 - Az IP cím on-the-fly módosítása megszakítja a futó kapcsolatokat
 - Az IP cím változatlanul hagyása alhálózat váltásnál a routing mechanizmusokban hibákat okoz
- Mobilitást támogató kiegészítésekre van szükség!

Főbb mobilitási esetek

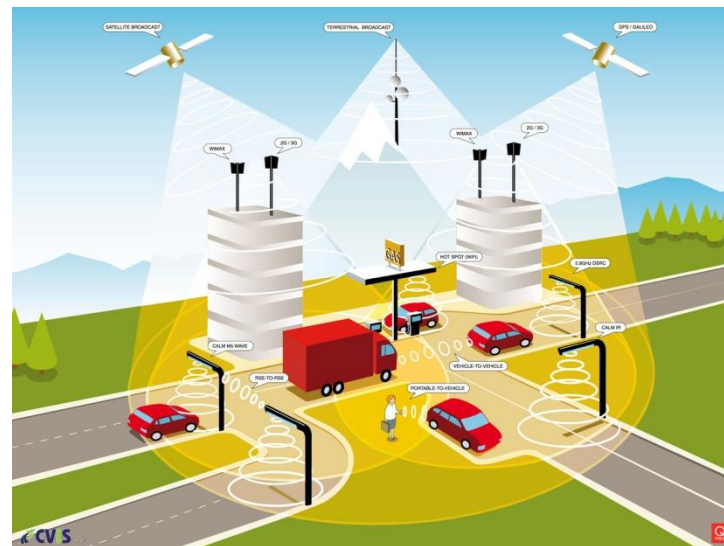
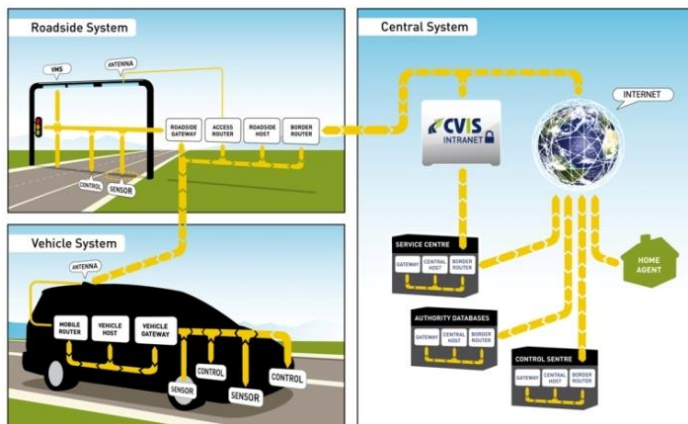


- Hoszt mobilitás:
 - egyetlen mobil terminál
 - alhálózat váltása esetén új, topológiai helyes cím szerzése



- Hálózat mobilitás:
 - egész hálózat, egyetlen egységet alkotva mozog
 - Mobil útválasztó (Mobile Router) rejt el a hálózat belső jellemzőit a külvilág elől
 - A hálózat mozgásakor:
 - az MR változtat IP címet
 - a mozgó hálózat belsejében lévő csomópontok nem érzékelik a változást, nincs feladatuk ezzel kapcsolatban

- A teljes hálózat mozog
- NEMO: NEtwork which is MObile
 - Pl. szenzorok, amelyek a jármű fedélzetén össze vannak kötve
 - A mozgó hálózat kapcsolódhat más (külső, vagy mozgó) hálózathoz
 - Pl. vonat a fedélzetén utazók számítógépeivel/tabletjeivel
 - Intelligent Transportation Systems (ITS)
 - Hosszú távon minden NEMO lesz



Miért csak az IPv6-ról fogunk beszélni?

- Az IPv4 régi (1980) protokoll, kiegészítése is nyögvenyelős
- Az IPv6 relatíve új protokoll (1995), a kidolgozásakor már a jelen kor követelményeit (pl. mobilitáskezelés) is figyelembe vették
- Rengeteg további fontos funkció, ami az IPv4-ben utólagosan lett belekalapálva

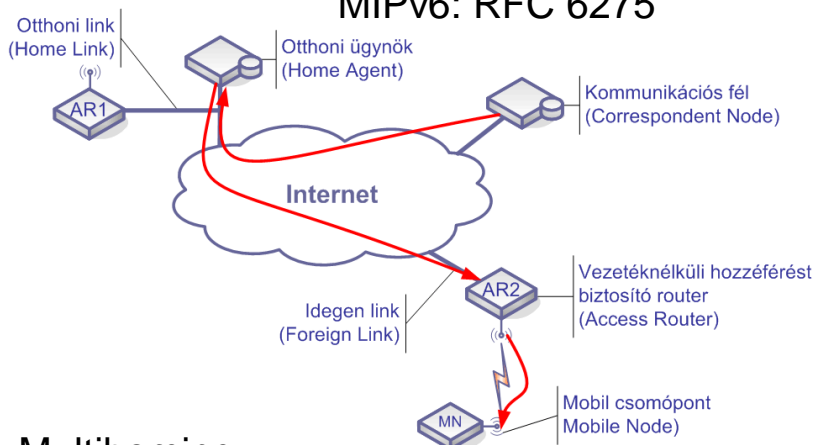


IPv6 az előtérben, mert

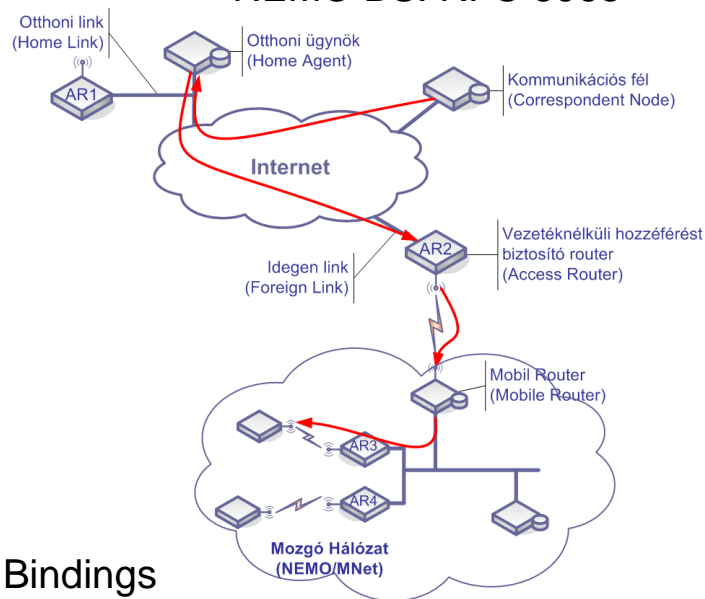
- több címre van szükség világszerte
- végpont-végpont biztonságra van szükség
- QoS-re van szükség
- 3G és egyéb rendszerek közti mobilitás támogatására van szükség

A Mobil IPv6 család alapvető tagjai

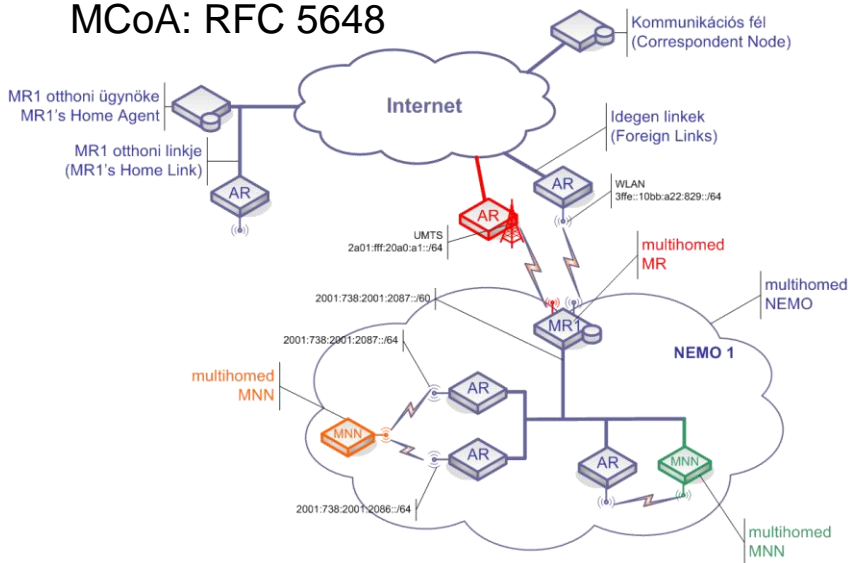
Hoszt mobilitás MIPv6: RFC 6275



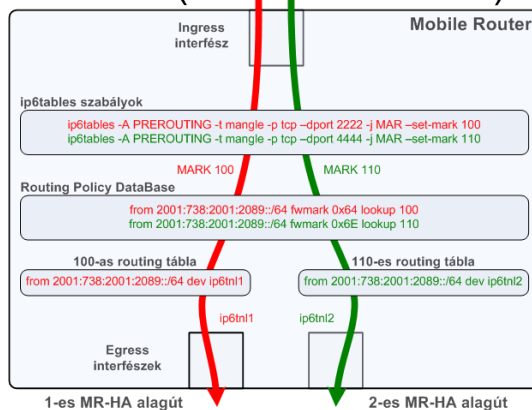
Hálózat mobilitás NEMO BS: RFC 3963

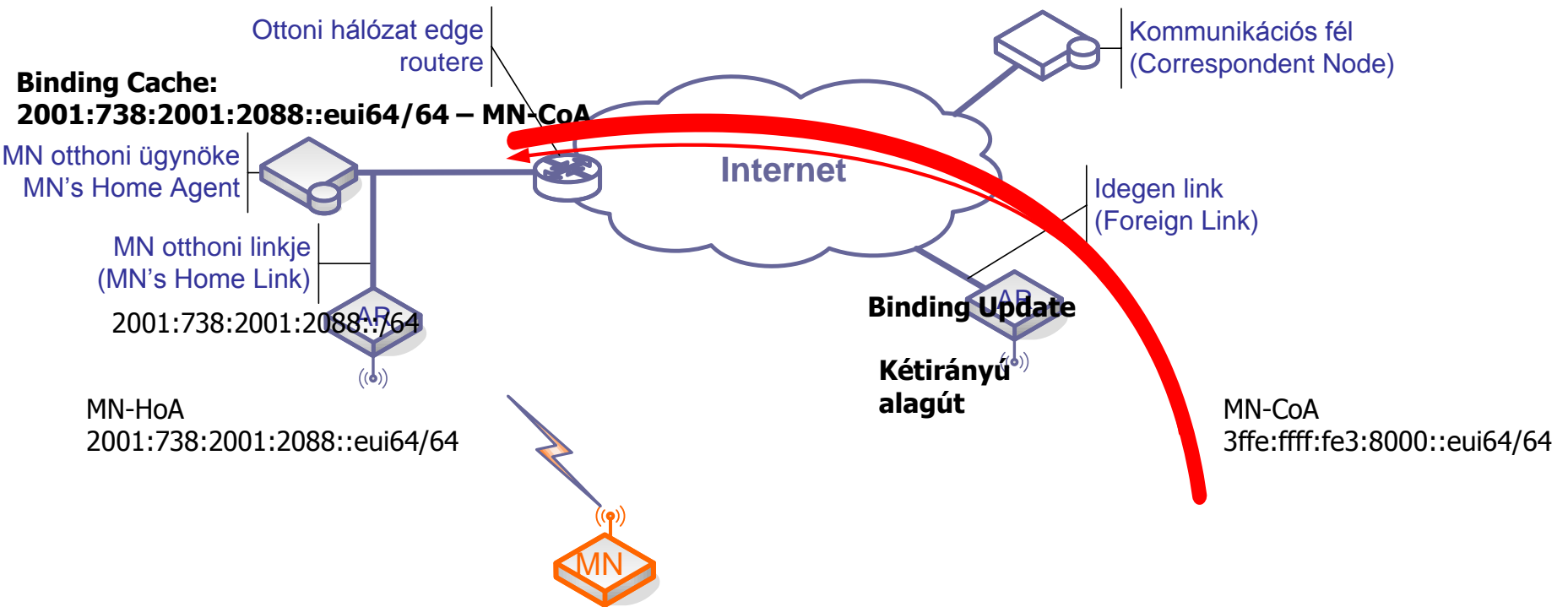


Multihoming MCoA: RFC 5648



Flow Bindings RFC 6089 (frissíti az 5648-at)





- Minden helyváltoztatást követően
 - A mobil terminál beregisztrálja a címét (helyét)
 - A kommunikációs fél az állandó címen (azonosítón) éri el a mobil terminált
 - Az otthoni ügynök (Home Agent) átirányítja a forgalmat

A NEMO Basic Support (BS) protokoll működése

- **A hálózat „utazik”**
- Amíg a mozgó hálózat az otthoni hálózatában van, hagyományos útvonalválasztást alkalmazunk.
- Amint a hálózat megváltoztatja a helyét a topológiában
 - Beregisztrálja a helyét és hálózati prefixét az otthoni ügynökénél (Home Agent)
 - A Home Agent az összes ilyen prefixre érkező csomagot alagutazza (tunnelezi) a Mobil Router (MR) felé
- Minden új helyen
 - Új ideiglenes címet rendelünk a Mobil Router állandó címéhez (location <-> identity)
 - A mozgó hálózat többi csomópontjának a címe változatlan, számukra a mozgás transzparens!

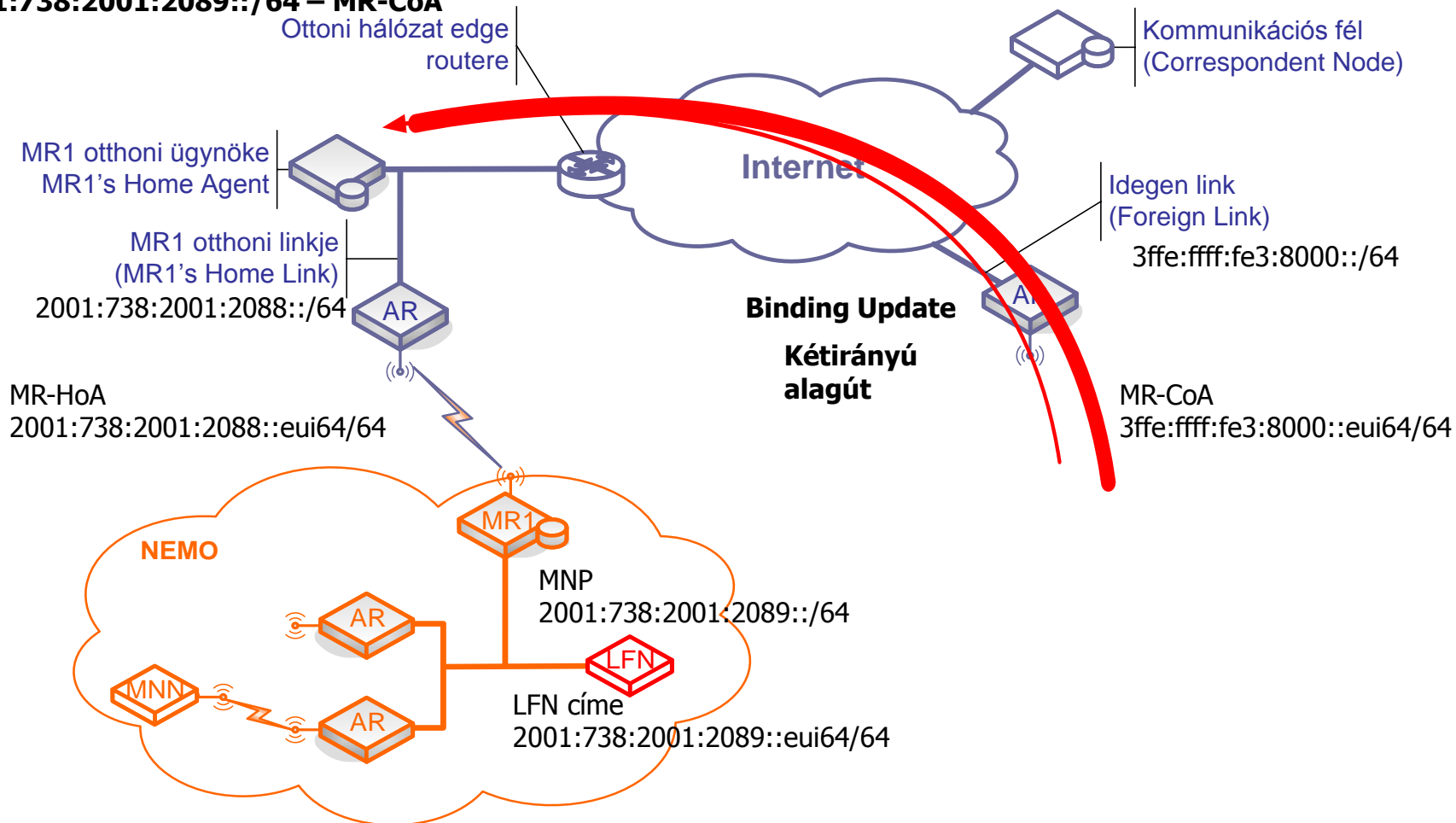
A NEMO Basic Support protokoll működése

Binding Cache:

2001:738:2001:2088::eui64/64 – MR-CoA

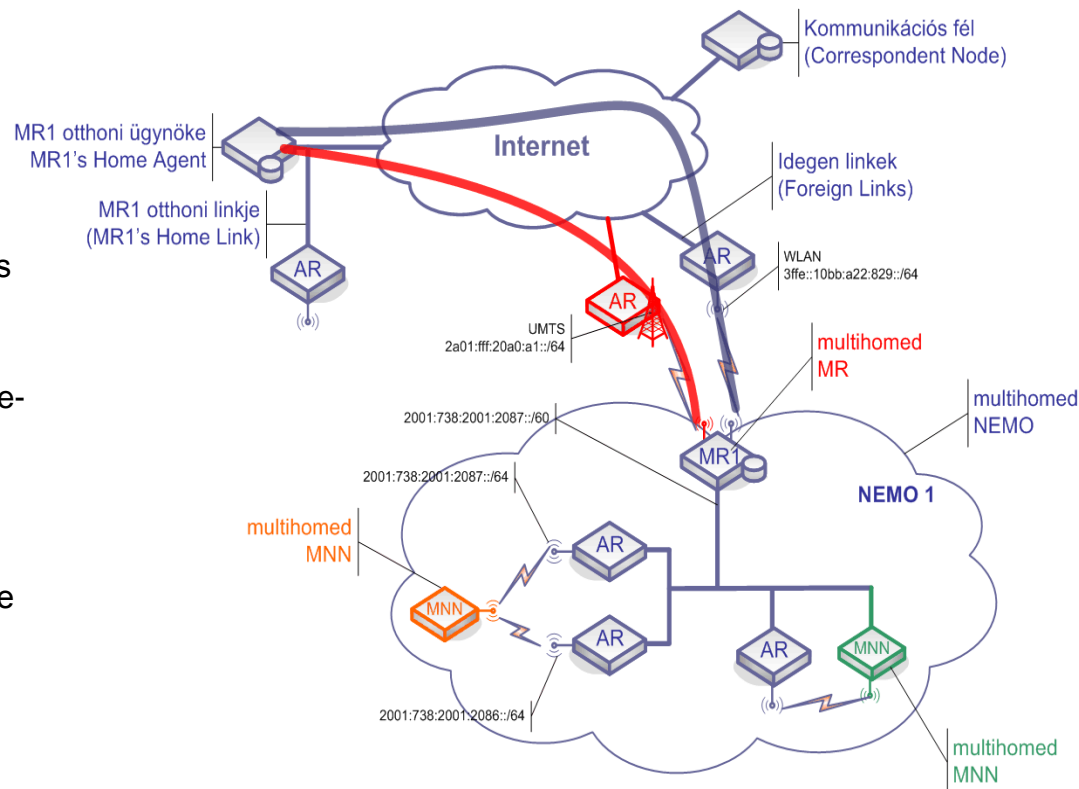
2001:738:2001:2089::/64 – MR-CoA

Ottoni hálózat edge
routerre

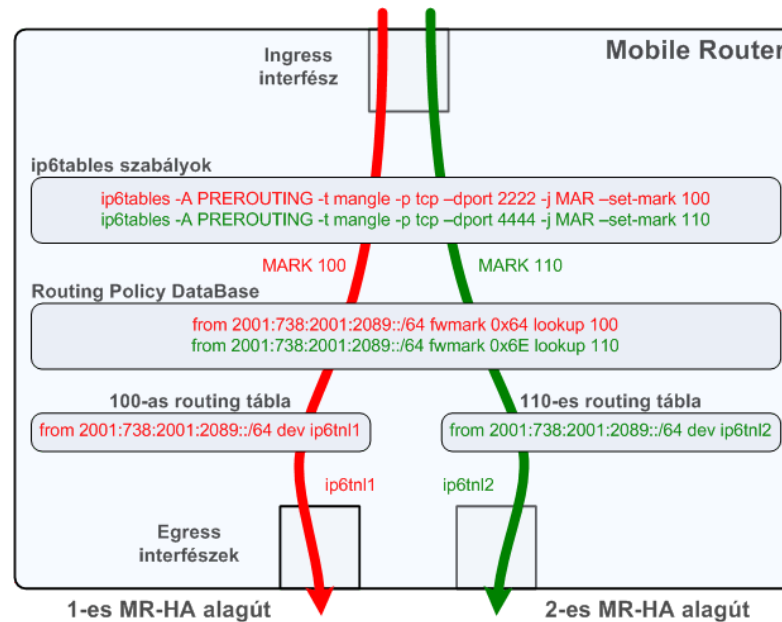


MCoA (Multiple Care-of Addresses Registration)

- Egyszerre több kapcsolattal rendelkezem (Pl. WiFi és 3G).
- Utazás közben változnak a linkek, de legalább egyszerre kettő mindig legyen
- A hitelességet ez adja
- A MR továbbra is egy otthoni címmel rendelkezik de a kötés kiegészül egy BID (Binding Unique Identifier) azonosítóval, amivel a kimenő interfész és ezáltal a kétirányú NEMO alagutak (az MN kötései) beazonosíthatók.
 - BID tartozhat interfészhez vagy ideiglenes címhez.
 - Erről az azonosítóról az MN a BU üzenetben értesíti a HA-t és a CN-eket, akik a BID-eket feljegyzik a Binding Cache-ükben
 - Az otthoni cím magát az MN-t azonosítja, míg a BID az ugyanazon MN által regisztrált egyes kötésekét különbözteti meg
 - Az ideiglenes IPv6-os címek megszerzése után az MN-ek legenerálják a CoA-khoz tartozó BID-eket, majd azokat eltárolják a Binding Update List-jükben
- A CoA-khoz tartozó BID-eket a Binding Unique Identifier al-opcióban helyezik el
- Sem a szabvány, sem az implementáció nem határozza meg, hogy mikor melyik interfészt kell használni a csomagtovábbításhoz!



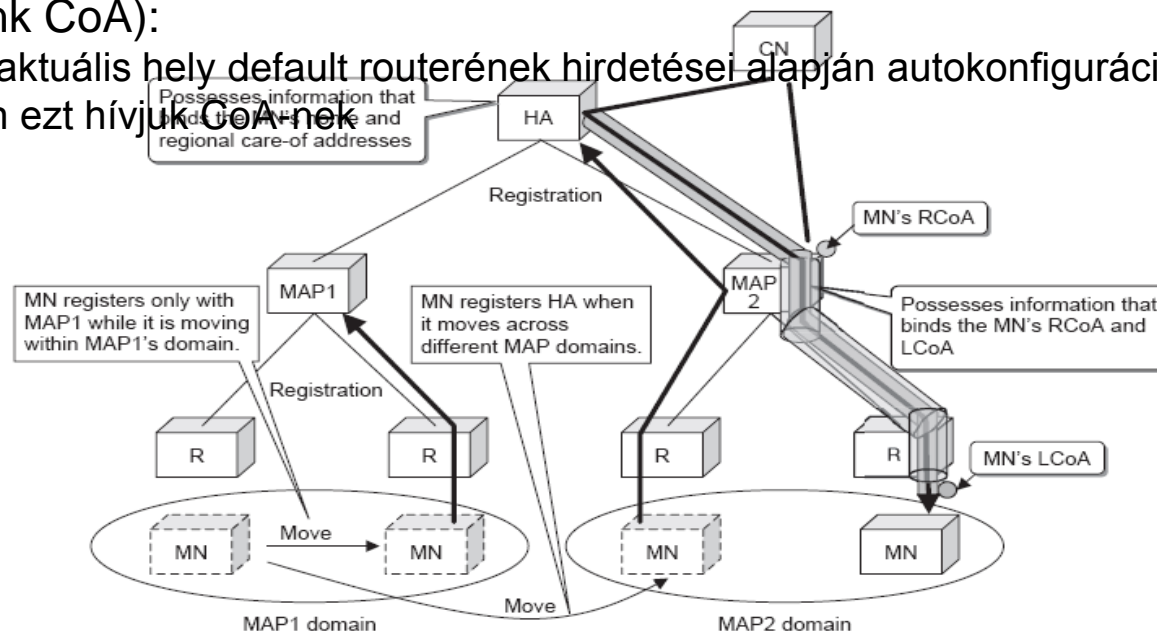
Flow Bindings



- A Flow Binding mechanizmusai lehetővé teszik, hogy egy vagy több adatfolyamot kössünk a mobil adott ideiglenes címéhez és felkészítsük az otthoni ügynököket is a mobil felé irányuló csomagok adott címre történő irányítására.
- Hasonló az MCoA-hoz. A multimédia és a „best-effort” forgalom külön linkeken menjen.
- Linux rendszeren ez a policy alapú útvonalválasztás a netfilter keretrendszer csomagjelölő (MARK) képességének segítségével valósítható meg
- A csomagok adott útvonalon való küldése érdekében a csomagokat az adott útvonalhoz tartozó interfész BID-jével jelöljük meg az útvonalirányítás előtt
- Az MCoA implementáció ezután már elvégzi a többit: az adott BID-del jelölt csomagokat az adott BID-hez tartozó útvonalirányítási szabályoknak megfelelően továbbítja.

HMIPv6: Hierarchical Mobile IPv6

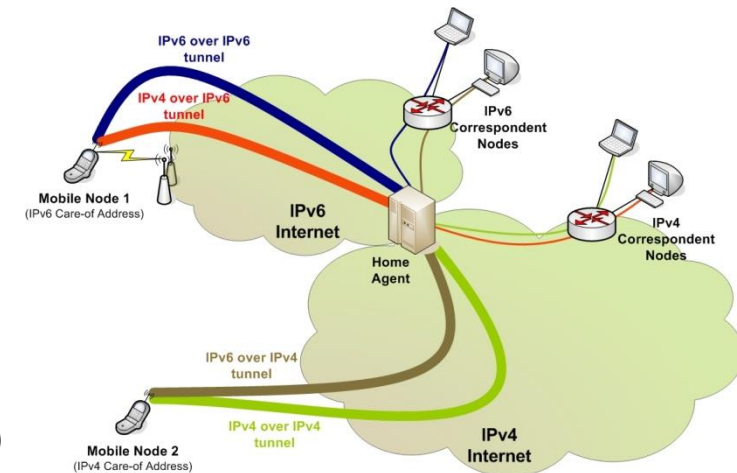
- Szabványosított megoldás (RFC 5380)
- MAP (Mobility Anchor Point):
 - Mobile IPv6-ban nincs idegen ügynök (FA), azonban mégis szükség lenne egy olyan elemre, amely segíti a Mobile IP-vel lezajló cellaváltásokat, csökkentve az adott idegen domain-en kívülre irányuló jelzési forgalmat. Ezt a feladatot látja el az új hálózati elem, a MAP
 - Hierarchiába szervezhetők, ezáltal növelve a lokalitás kihasználását!
- RCoA (Regional CoA):
 - Ez az a cím amit akkor szerez a MN, ha egy MAP subnetjébe kerül
 - A címet autokonfigurációval állítja be helyi MAP hirdetések alapján
- LCoA (On-Link CoA):
 - Az éppen aktuális hely default routerének hirdetései alapján autokonfigurációval beállított cím
 - MIPv6-ban ezt hívjuk CoA-nak



- Probléma a MIPv6-ban: lassú handoverek
 - IP-rétegű késleltetés (pl. Stateless Autoconf)
 - Binding Update késleltetés (hálózatba való bejelentkezés után)
- Az FMIPv6 ezeket próbálja lecsökkenteni
- Az FMIPv6 szintén csak kiterjesztése a MIPv6 protokollnak
- Független az alatta lévő rétegektől
- Mi lenne ha előre tudnánk, hogy hová megyünk majd?
 - Lehetőség van rá, hogy előre megtudja a MN, hogy mely hálózatok vannak a közelében
 - Sőt arra is, hogy egy adott célhálózathoz előre generáljon magának egy CoA-t
- Használjuk ki az előbbi információkat!
 - Módosított BU üzenetekkel akár már „távolról” is bejelentkezhet a MN az új hálózatba
 - Az új üzenetekkel funkciókat is összevonhatunk (Neighbour Advertisement és bejelentkezés az új hálózatba)

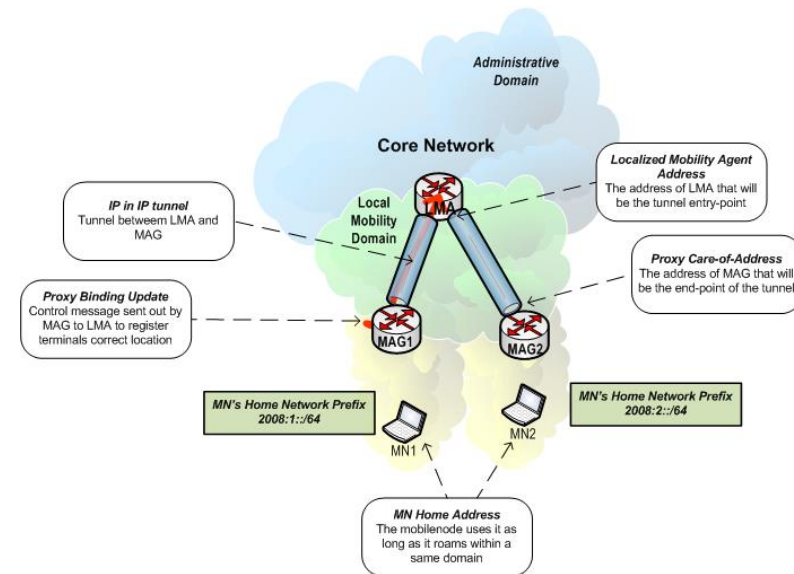
Dual-Stack Mobile IPv6 (DSMIPv6)

- A DSMIPv6 a Mobile IPv6 (RFC6275) és a NEMO BS (RFC3963) protokollokon alapul
- 3GPP R8-ban jelent meg először: kliens alapú mobilitás-kezelés 3GPP és non-3GPP hozzáférések között
- Főbb jellemzők:
 - MIPv6 jelzések újrahasznosítása
 - Az MN IPv4-es HoA címet is szerezhethet
 - A DSMIPv6 Home Agent és MN dual-stack
 - UDP beágyazás NAT-olt IPv4 hozzáféréshez
 - RO csak v6-os CN és v6-os MN között
- Előnyök:
 - Egyetlen, MIPv6 alapú protokoll v4/v6 hálózatokra
 - Hozzáférés-független (routerek, stb. nem érintettek)
 - NAT és tűzfalak átjárása biztosított
 - RO lehetséges v6 vagy dual-stack hálózatokon
 - MCoA + Flow Bindings is használható: IFOM (3GPP R10)
- Hátrányok:
 - MN-HA alagutak okozta terhelés (fejléc tömörítés segíthet)
 - Kliens alapú, tehát a végberendezésnek aktívan támogatnia kell
 - NAT-olt IPv4 hálózatokon plusz jelzésterhelés (keep-alive + UDP)



Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6)

- MIPv6/DSMIPv6 problémák:
 - sokszor túl nagy terhet jelent az MN-nek (akku, jelzés, rádiós interfész terhelés tekintetében)
 - az operátor nem szólhat bele a folyamatba
 - a gyártók vonakodtak a támogatástól, új utakat kerestek
- **Alternatív módszer: PMIPv6**
 - A host megváltoztathatja a hozzáférési helyét IP cím változtatás nélkül
 - Cisco, WiMAX, 3GPP, Juniper, IETF, stb. támogatás
 - Nem kliens, hanem hálózat alapú mobilitás-kezelés!
 - Két új entitás:
 - LMA (a Home Agent a PMIP domain-ben + prefix alapú útválasztás)
 - MAG (emulálja az otthoni linket az MN-ek számára)
- **Előnyök:**
 - A kliens nem vesz részt a mobilitási jelzésekben
 - A kliensben nincs szükség szoftver upgrade-re
 - Nincs alagutazás miatti overhead a rádiós interfészen
 - Újrahasznosítja a MIPv6-ot
 - MN hagyományos IPv6 host-ként viselkedik (ND-vel vagy DHCPv6-tal címet szerez az új linken és kész)
- **Hátrányok:**
 - Csak a Per-MN prefix modell támogatott (a prefix követi az MN-t)



MOBILITÁS TÁMOGATÁS AZ IP RÉTEG FELETT – HIP

Kapcsolat az eddig tanultakkal

- Láttuk, és látni fogjuk, hogy a TCP/IP stack bármelyik rétegében megoldható a mobilitás kezelése.
- Mindegyiknek megvan a maga előnye és hátránya
- Sajnos a klasszikus TCP/IP stack tervezésénél (1980-as évek) a mobilitás fogalma még nem létezett.
- Ezért az erre épülő mobilitást kezelő megoldások egyrészt öröklik az ebből származó hátrányokat, másrészt egyre jobban bonyolítják a rendszert. (MIPv4 + MIPv6 + IPSec ~ 150 000 kódsor)
- A klasszikus TCP/IP stack hibáiból tanulván, a kutatók alternatív architektúrákat dolgoznak ki.

Problémák a hagyományos rendszerben

- Az IP címek kettős szerepe:
 - Helymeghatározók - Locator
 - Azonosítók – Identifier
- Következmény:
 - Ha helyet változtat (mobilitás → IP cím váltás) egy hálózati entitás, akkor nem csak a helyzetét meghatározó attribútum változik, hanem az entitás azonosítására szolgáló attribútum is
- Oka az IP címek szemantikai túlterheltsége – két, egymástól gyökeresen eltérő tulajdonságot ugyanaz az attribútum reprezentál

Problémák a hagyományos rendszerben

- További következmények:
 - A mobilitás kezelése nehézkessé válik
 - A biztonsági követelmények (integrity, confidentiality, authentication) betartása és a rosszindulatú támadások (DoS, DDoS, MiM) elleni védekezés nehéz
 - A két követelményt együtt teljesíteni szinte lehetetlen...

Nehézségek a mobilitás kezelésében

- A hálózati entitások IP címe jelzi azok helyét a topológiában.
- Erre szükség van, különben a routing-táblák kezelhetetlenek volnának. (Miért? ; Classless routing?)
- A IP feletti rétegek kapcsolatainak azonosításában részt vesznek az IP címek is.
 - Pl.: egy TCP socket azonosítója: {src port; src IP; dst port; dst IP}.
- Ez baj, mert, ha bármelyik IP cím megváltozik, akkor a felsőbb rétegek kapcsolatait is újra kell konfigurálni:
 - nagy késleltetés
 - jelentős adatvesztés
 - sok jelzésforgalom

Mi lehet a megoldás?

- Válasszuk szét az IP címek kettős szerepét!
Erre alapulnak a **Locator-Identifier Split** technikák.
- Hagyjuk meg az IP címeknek a helymeghatározás funkcióját és keressünk egy alkalmas módszert, mellyel a hálózati entitások helyzetüktől függetlenül azonosíthatók.
- Ezután az IP feletti protokollok már függetlenek az IP címektől, ezért azok megváltozása sem befolyásolja működésüket.
- Figyelem! Valójában a MIP és a MIPv6 is egy ilyen megoldás:
 - Két IP címet használnak a mobil entitások.
 - Home Address – Mindig változatlan azonosító.
 - Care-of Address – Helyzettől függő, dinamikusan változó.
- Most azonban a hagyományostól eltérő architektúrákat vizsgálunk, melyek a Locator-Identifier Split technikát alkalmazzák.

Locator-Identifier Split Technikák

- Node Identity Internetworking Architecture [3]
- FARA – Forwarding directive, Association and Rendezvous Architecture [4]
- LISP – Locator/ID Separation Protocol
- PeerNet
- ROAM – Robust Overlay Architecture for Mobility
- SPINAT [5]
- MOON – MOBILE Overlay Network
- MAT – Mobile IP with Address Translation
- LIN6 – Location Independent Networking for IPv6
- HIP – Host Identity Protocol [6]
- Hi3 – Host Identity Indirection Infrastructure

A Host Identity Protocol

- Miért pont a HIP?
 - Ez a jelenleg leginkább vizsgált, elemzett, fejlesztett protokoll ezen a területen.
 - IETF HIP Munkacsoport – szabványosítás
 - Látni fogjuk, hogy az egyszerű alap protokoll működésre építkezve nagyon sok problémára megoldás adható.
 - Jó példa arra, hogyan implementáljunk egy gyökeresen új filozófiát a régi rendszerbe, úgy, hogy azon a lehető legkevesebbet kelljen változtatni.
 - A HIP megtartja a klasszikus TCP/IP stack előnyös tulajdonságait és megszabadítja a hátrányaitól.

- Egy új névtér bevezetése – Hoszt Azonosító Névtér (Host Identity Namespace).
- Ennek kezeléséhez egy új protokoll réteg definiálása: Hoszt Azonosító Réteg (Host Identity Layer)

Az új réteg

- Az hálózati (IP) és a transzport rétegek (pl. TCP, UDP stb.) között helyezkedik el.
- A HIP réteg fölött a HIT (Host Identity Tag) a kapcsolatok és hosztok azonosítója.
- A HIP réteg alatt az IP cím az „azonosító”.
 - Valójában itt az IP cím már csak egyszerű helymeghatározó.
- A HIP réteg végzi többek közt a HIP-IP cím összerendelést / átalakítást.

Az új réteg

- A HIP alkalmazásával elválasztjuk a felette lévő rétegeket az IP-től – ezek már csak a HIT-et ismerik.
- Az IP címek változása is rejtve marad.
 - Nem csak mobilitás okozhat IP cím változást.
- A felső rétegek kapcsolatai nem szakadnak meg, ha az IP címek valamilyen okból megváltoznak.

MOBILITÁS TÁMOGATÁS AZ ÁTVITELI RÉTEGBEN

Átviteli és alkalmazási rétegben

- Nem számít, ha az IP cím változik
 - Bár a kapcsolatok megszűnnek és újraépülnek, a felsőbb rétegek gondoskodnak a mobilitás támogatással kapcsolatos funkciókról
- Átviteli (transzport) réteg: **SCTP** (Stream Control Transmission Protocol)
 - Mint a TCP, de tud UDP jelleggel is működni
 - Nem általánosan támogatott még (bár sok helyen, pl. az LTE-ben szabványos interfész)
- Alkalmazási réteg: **SIP** (Session Initiation Protocol)
 - Az IMS alapértelmezett protokollja
 - Van már alkalmazási rétegbeli protokoll is, de nincs nagy relevanciája (IMS függőség miatt)

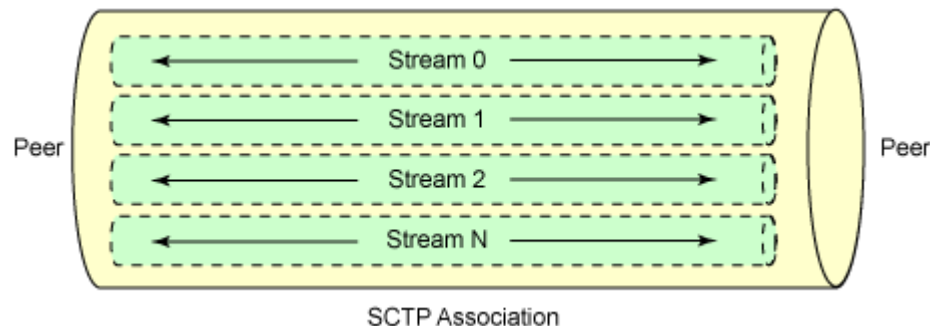
- Stream Control Transmission Protocol
- RFC-2960
- 2000
- A Linux kernel része a 2.6.x verziókban
- Megbízható
 - Hibamentes
 - Duplikáció-mentes
 - Nem sorrendhelyes/vagy sorrendhelyes (beállítható)
- Több folyam kezelése egy kapcsolaton belül
- Multihoming
 - Több IP-cím
- Torlódásszabályozás
- Slow start
- MTU (Maximum Transfer Unit) felderítés

SCTP motivációk

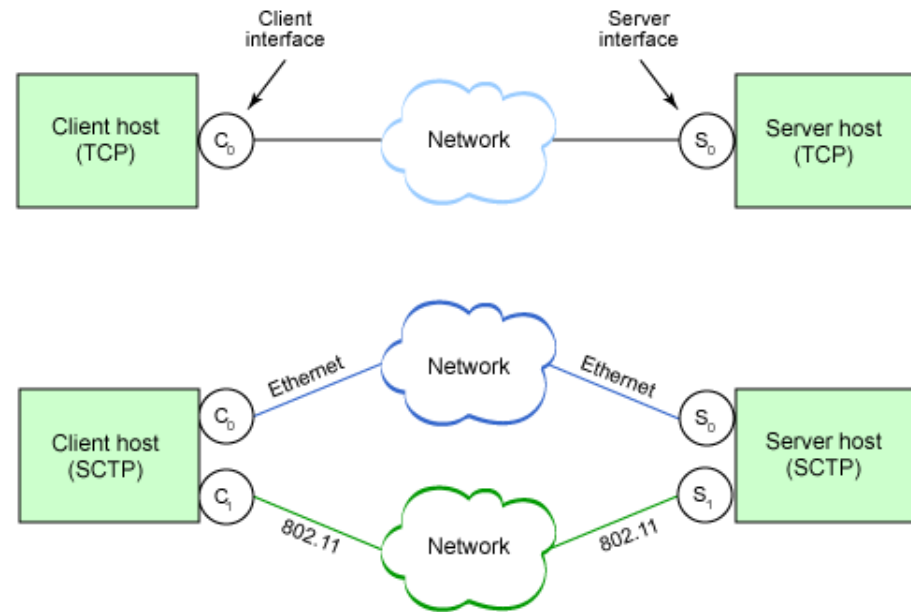
- A TCP, UDP nem elégíti ki az összes alkalmazás igényeit
- Fejlődését leginkább az IP telefónia és az ott alkalmazott jelzésrendszer indította
- A TCP-hez hasonlóan megbízható és full-duplex kapcsolatot alkalmaz
- A TCP-vel és UDP-vel ellentétben olyan opciókat is nyújt, amelyek a multimédiás alkalmazások esetén jelent előnyt
- TCP-hez hasonló torlódáskezelő algoritmust használ
- Azonos hosztok közötti folyamatok összefogása
- Kapcsolatfelépítés: 4-utas kézfogás
- Kapcsolatbontás: 3-utas kézfogás

Multistreaming

- Rendkívül fontos tulajdonsága az SCTP-nek, hogy egy kapcsolaton belül képes több adatfolyamot továbbítani
- Míg a TCP-ben ehhez külön kapcsolatokra van szükség
- A független adatfolyamok külön chunk-okban kerülnek továbbításra, de egy csomagon belül
- Jó felhasználási lehetőség pl. a vezérlő és felhasználói adatok szétválasztása
 - TCP esetében meg kell várni, hogy a felhasználói adat továbbítódjon és csak utána érkezik a nagyobb prioritású vezérlő adat
- Az SCTP párhuzamossá teszi a folyamatok továbbítását, így csökkentve a késleltetést is
- A független folyamatokra, különböző tulajdonságokat állíthatunk be, mint pl. a sorrendhelyesség



- Egy multihome hoszt azzal a tulajdonsággal rendelkezik, hogy több interfészen érhető el, azaz több IP címe is van
- Az SCTP képest tehát egy összeköttetés adatait több interfészen küldeni és fogadni
- Jelenleg ez az egyetlen transzport protokoll, amely erre képes
 - Ha az elsődleges címen nem lehet elérni, akkor átvált a másik címre



Mobile SCTP (mSCTP)

- Az SCTP protokollt arra tervezték, hogy a TCP-t és esetleg még az UDP-t is leváltsa
- Hasonlít a TCP-re, de jóval többre képes annál, például multi-streaming és multi-homing támogatása
- A multi-homing az az új tulajdonság, ami miatt az SCTP alkalmas lehet mobilitás kezelésére, méghozzá úgy, hogy nincs szükség agent-re
- A mobilitás úgy van megvalósítva, hogy a végpont úgy változtassa meg az IP címét, hogy közben a végpont-végpont kapcsolat nem szakad meg
 - ennek dinamikusan kell történnie
- Egy asszociáció felépítése során a kommunikáló felek kicserélik egymással a lehetséges transzport címeiket (IP és port párosok)

MOBILITÁS TÁMOGATÁS AZ ALKALMAZÁSI RÉTEGBEN

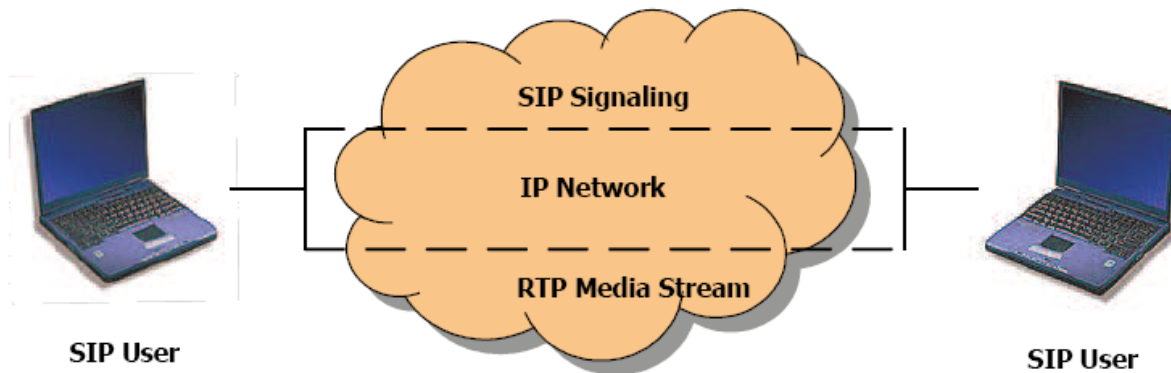
- Szabvány kifejlesztése: az IETF által (MMUSIC (Multiparty Multimedia Session Control) munkacsoport) - RFC 2543
- SIP: Jelzési- és vezérlő protokoll multimédia alkalmazásokhoz
- Alkalmazási rétegbeli protokoll
- Független az alatta lévő rétegektől (TCP, UDP, X.25, ATM, stb.)
- Pl. a Torrent is így működik. A letöltés során nem veszem észre, hogy megváltozik az IP címem
- Támogatja a Multicastot

- A SIP a hívás különböző fázisaiban működik:
 - A kommunikációs partner helyének meghatározása
 - A vevő profiljának és erőforrásinak analizálása
 - A médiatípus és paramétereinek két fél közötti összehangolása (codec-ek)
 - A kommunikációs fél elérhetőségének vizsgálata
 - Hívás felépítés és menet közbeni karbantartás
- A SIP számos létező protokollt használ:
 - Az üzenet formátuma: HTTP 1.1
 - A média egyeztetése: SDP - Session Description Protocol
 - Maga a média: RTP
 - Névfeloldás és mobilitás: DNS és DHCP
 - Alkalmazások kódolása: MIME

A SIP alapvető funkciói

- *Helymeghatározás*: meghatározza, hogy hol van a végpont amellyel kommunikálni kívánunk
- *Végpont képességei*: meghatározza, hogy milyen médiát milyen paraméterekkel lehet használni
- *Végpont elérhetősége*: meghatározza, hogy a távoli végpont hajlandó-e a kommunikációra
- *Hívás indítás*: „csörgetés”, a hívási paraméterek beállítása mindkét félnél
- *Hívás kezelés*: ide tartozik a hívás menet közbeni konfigurálása és a hívás befejezése

- Jelzési protokoll
 - Multimédia viszonyok kezdeményezése, menet közbeni változtatása és befejezése
- SIP + SDP (Session Description Protocol)
 - Viszonyleírók használata (pl. codec egyeztetés)
- Különválasztva a jelzés és a média folyam



SIP, SDP és RTP

- SIP: jelzések a híváshoz
- SDP: jól struktúrált nyelv médiafolyamok viszonyleíróhoz
- RTP: médiafolyam átviteléért felelős

A SIP hálózat elemei

- Kliensek
 - User Agent (UA) kliensek
 - Alkalmazások melyek SIP kéréseket küldenek
- Szerverek
 - A kliensek kéréseire válaszol
- A kliensek és szerverek lehetnek azonos de különböző platformokon is
- Proxy
 - Kliensként és szerverként is üzemelhet

SIP a gyakorlatban

- VoIP
- PSTN használata
- Jelenléti információk (presence)
- Átirányítás
- Csevegés
- Konferencia hívások (audio, video, white board)
- Média folyamatok szabályzása

SIP alapú mobilitás kezelés

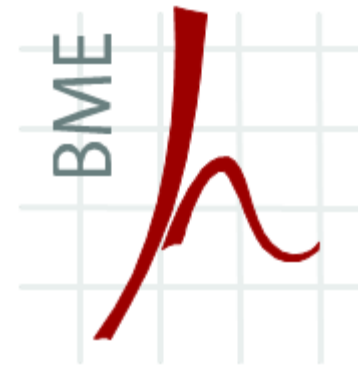
A keretrendszerrel szemben támasztott követelmények

A vezeték nélküli IP hálózatokkal szemben támasztott mobilitástámogatási követelmények:

- támogatássa a személyes és eszköz mobilitást,
- támogatássa globális roaming-ot,
- legyen független a vezeték nélküli technológiáktól,
- támogassa a real-time és nem real-time alkalmazásokat,
- támogassa a jelenlegi TCP alapú alkalmazásokat átlátszóan, és
- működjön együtt a mai 1G/2G-s mobil hálózatokkal is.

Funkciók és követelmények

Funkciók:	Követelmények:
Handover	<ul style="list-style-type: none"> • Cella, subnet (intra-domain) és domain hand-off támogatása. • Alkalmazza a CDMA technológia soft hand-off módszerét. • legyen független a vezeték nélküli technológiáktól.
Regisztráció	<ul style="list-style-type: none"> • Kevesebb mint pár másodperc alatt végre kell hajtania.
Konfiguráció	<ul style="list-style-type: none"> • A másodperc töredéke alatt végre kell hajtania.
Címzés	<ul style="list-style-type: none"> • Kell lennie egy univerzális azonosítónak, ami akkor is állandó ha a felhasználó más hálózatokban mozog.
Tartózkodási hely kezelés	<ul style="list-style-type: none"> • Naprakésznek kell lennie, pontosnak és bizalmas információnak.



MOBIL ÉS VEZETÉK NÉLKÜLI HÁLÓZATOK BMEVIHIMA07

5. előadás

Gódor Győző, Fazekas Péter
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu

2015. március 10.,
Budapest

- Mik azok a vezeték nélküli lokális hálózatok?
- Massive Machine Type Communication
- ZigBee
- BlueTooth

VEZETÉK NÉLKÜLI, KIS KITERJEDÉSŰ LOKÁLIS HÁLÓZATOK

Vezeték nélküli lokális hálózatok

- Kis kiterjedésű hálózatok
 - 10cm – 100 m
 - Többnyire épületen, irodán belüli lefedettséget biztosít
- Adatátviteli távolság szerint:
 - Nagyvárosi vezeték nélküli hálózatok (Wireless Metropolitan Area Networks – WMAN)
 - Nagyváros különböző pontjai közötti vezeték nélküli kommunikáció biztosítása
 - Ezzel nem foglalkozunk
 - Helyi vezeték nélküli hálózatok (Wireless Local Area Networks – WLAN)
 - Irodán, épületen belüli összeköttetés biztosítása
 - Vezeték nélküli személyes hálózatok (Wireless Personal Area Networks – WPAN)
 - Általában perifériák összeköttetését biztosítja

- ~~WMAN~~
 - ~~IEEE 802.16 – WiMAX~~
- WLAN
 - IEEE 802.11 – Wi-Fi
- WPAN
 - IEEE 802.15.1 – BlueTooth
 - IEEE 802.15.4 – ZigBee

MACHINE-TO-MACHINE COMMUNICATION

Mi is az az M2M?

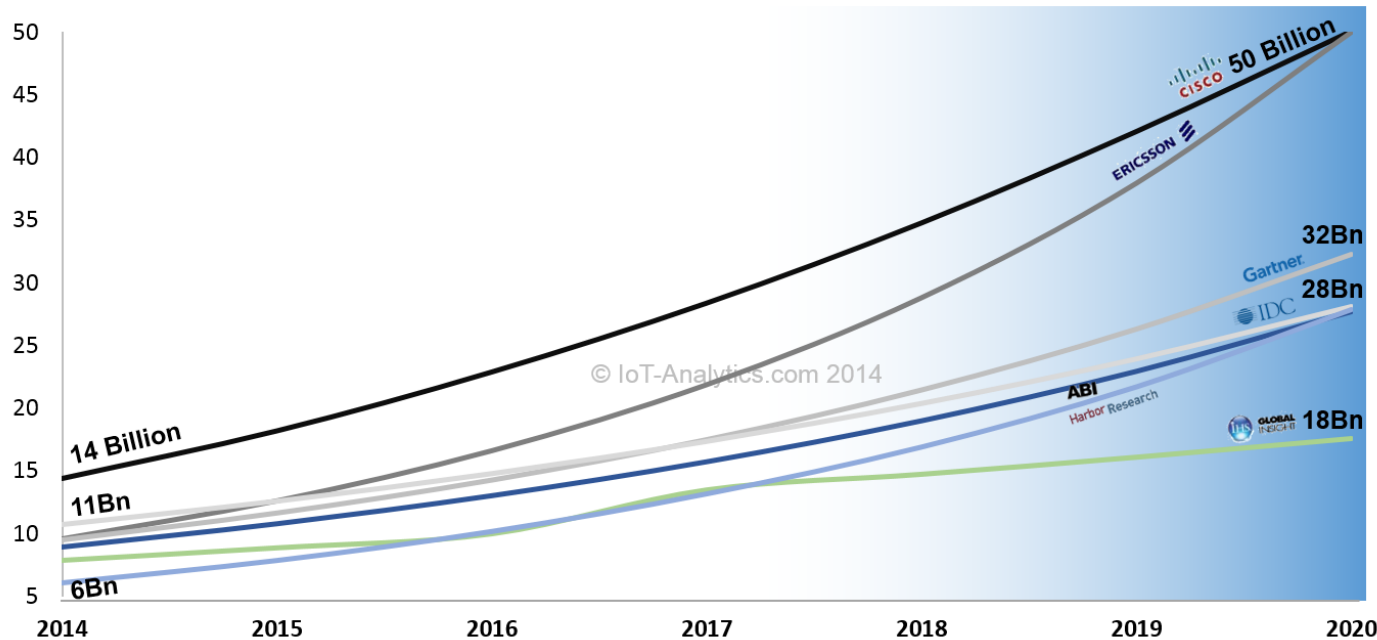
- Machine-to-Machine (M2M) kommunikáció
 - Eszközök közötti kommunikáció, mely nem (vagy csak minimálisan) igényel emberi beavatkozást
- A hálózatra kapcsolható eszközök száma rohamosan növekszik
 - “According to leading analysts, the telematics sector represents one of the greatest business opportunities for Machine-to-Machine (M2M). From less than 90 million connections globally in 2010 the automotive M2M market will grow to almost 1.4 billion connections by the end of 2020” (December 27, 2011 - <http://m2mworldnews.com/2011/12/27/90567-the-road-ahead-for-the-m2m-telematics-sector/>)
 - “More things are connecting to the Internet than people — over 12.5 billion devices in 2010 alone. Cisco’s Internet Business Solutions Group (IBSG) predicts some 25 billion devices will be connected by 2015, and 50 billion by 2020.” (<http://share.cisco.com/internet-of-things.html>)
- Internet-of-Things (IoT)
 - Minden eszköz egyedi azonosítóval fog rendelkezni (IPv6 cím)
 - Képes lesz emberi beavatkozás nélkül is adatok továbbítására hálózaton keresztül
- Motiváció: több SIM kártyát már nem nagyon lehet embernek eladni, így eszközökbe kell

Előrejelzés – hálózatba kötött eszközök

IoT Analytics – Quantifying the connected world

Global IoT/IoE device forecasts

of worldwide connected devices² (in Billion)



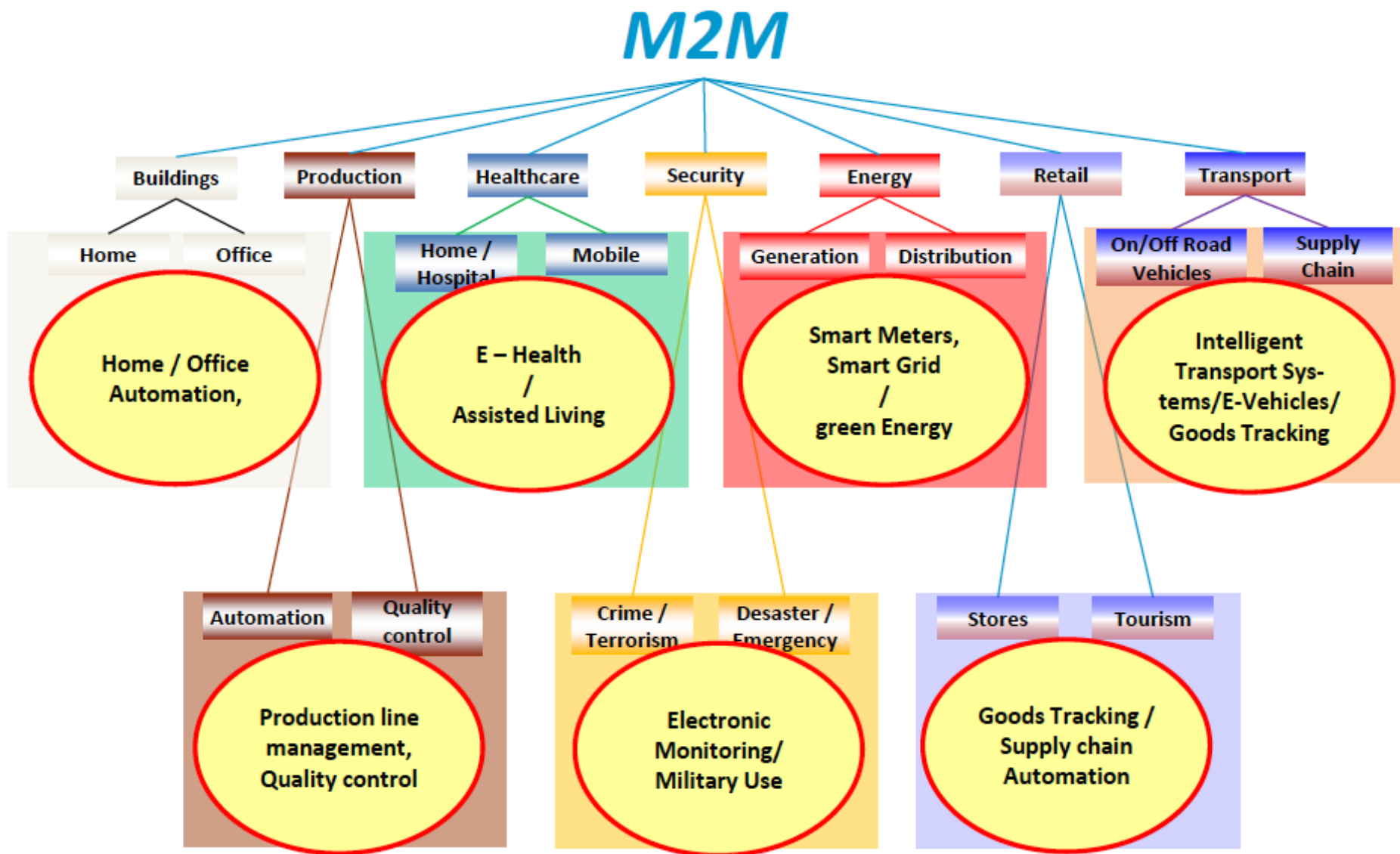
Note: Some forecasts only for specific years, in that case all other years in between are extrapolated based on the corresponding growth rate; Ericsson does not specify today's number of connected devices – therefore: Average of all other studies assumed as starting point in 2014

1. CAGR = Compound annual growth rate 2. Connected devices includes all autonomous connected things (every forecaster has own definition) - does NOT include computers, mobile devices, tablets

Sources: Cisco, Ericsson, ABI Research, Gartner, IHS, IDC, Harbor Research, IoT-Analytics.com

- IoT Market forecast: Connected devices 2014-2020 (<http://iot-analytics.com/iot-market-forecasts-overview/>)

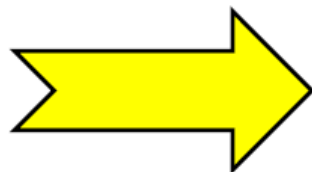
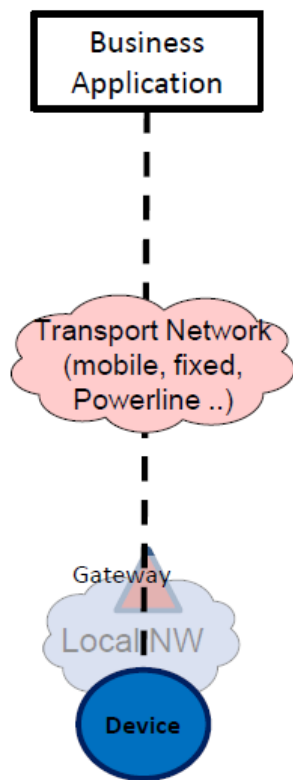
Felhasználási területek



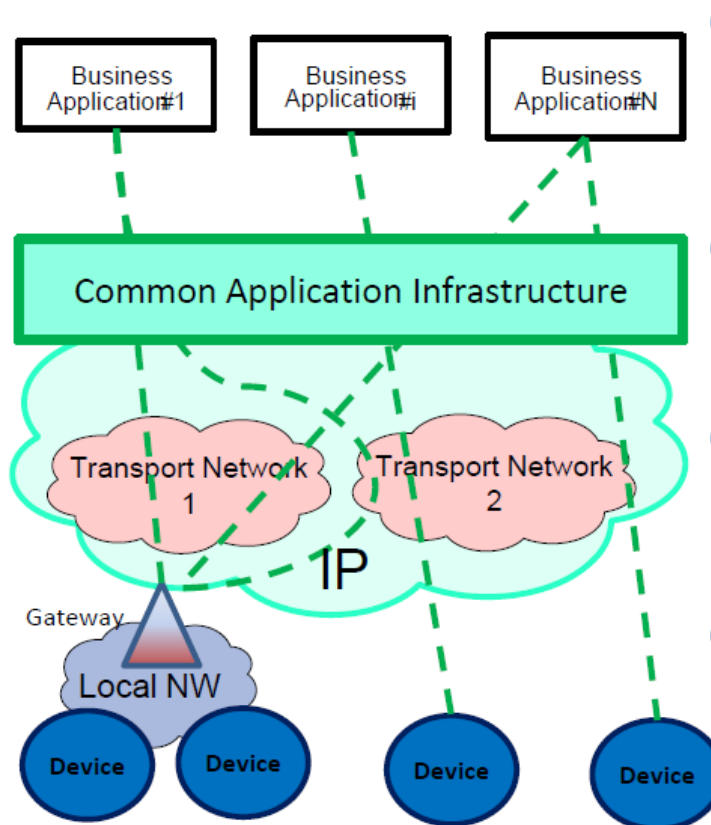
- Azonosítási és címzési kérdések
- Energiahatékonysági kihívások
- Quality of Service
- Biztonsági kérdések (pl. Stuxnet)
- Komoly méretű jelzésforgalom, valamint ennek kezelése
 - Kisméretű adatokból nagyon sok – pl. szenzorok adatai
 - Sok és gyakori hozzáférés a hálózathoz
 - nagy jelzésforgalom
 - Nagyméretű adatok folyamatos stream-elése – kamerás rendszer
 - Relatív kevesebb hozzáférés kérelem a hálózathoz
 - Azonban ez folyamatos
- Szabványosítási kérdések
 - Sokféle technológia
 - Sokféle felhasználási terület
 - Eszközök közötti együttműködés problémái
 - Nehéz általános megoldást kialakítani

Változások a hálózati architektúrában

Pipe (vertical):
1 Application, 1 NW,
1 (or few) type of Device



Horizontal (based on common Layer)
Applications share common infrastructure, environments
and network elements



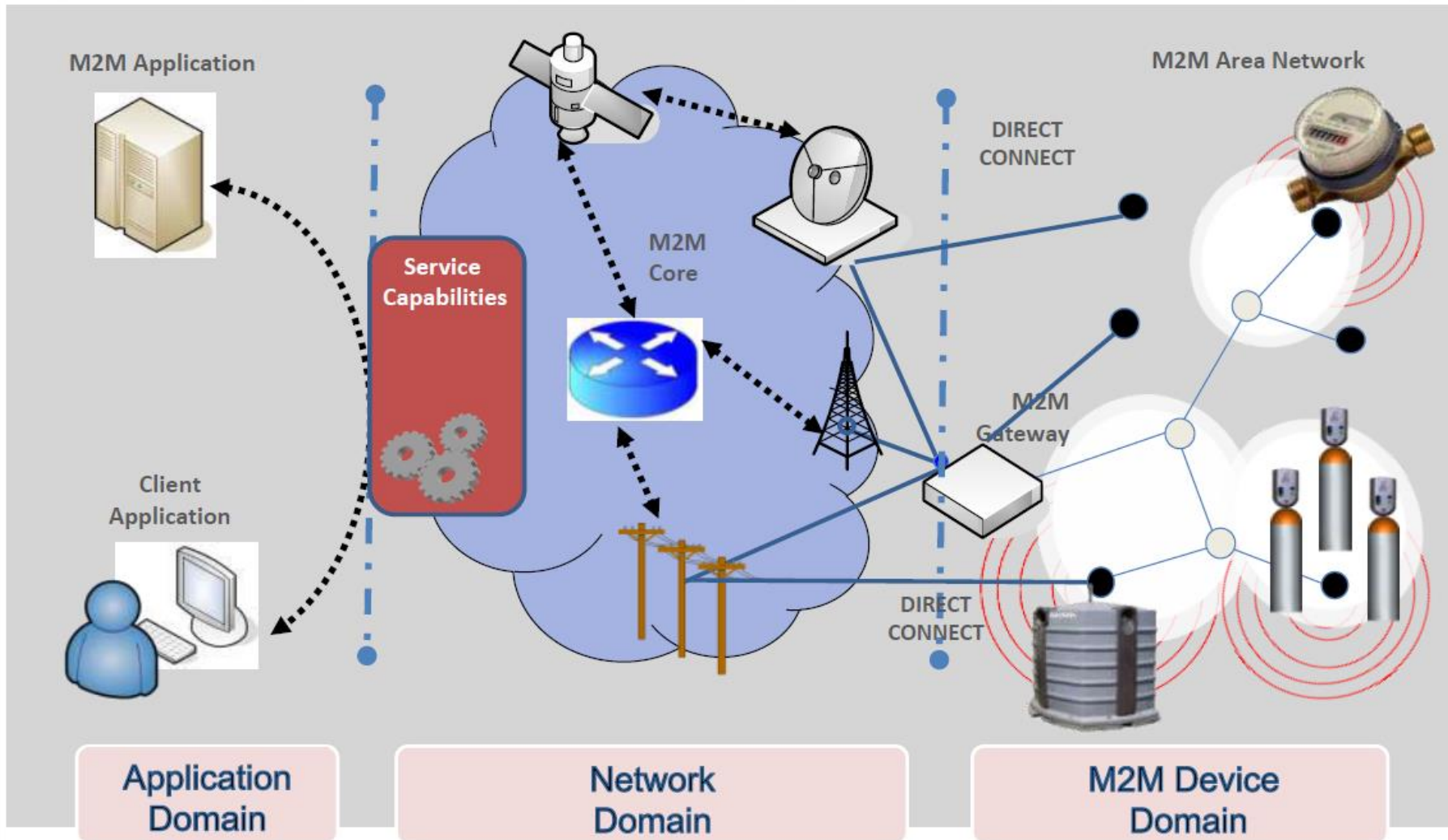
M2M Applications providers run individual M2M services. Customer is Device owner

M2M Service provider hosts several M2M Applications on his Platform.

Transport Network operator(s) Customer is the M2M service provider

End user owns / operates the Device or Gateway

M2M architektúra (ETSI ajánlás)



▪ M2M Device

- Device capable of replying to request for data contained within those devices or capable of transmitting data autonomously.

▪ M2M Area Network (Device Domain)

- Provide connectivity between M2M Devices and M2M Gateways, e.g. personal area network.

▪ M2M Gateway

- Uses M2M capabilities to ensure M2M Devices inter-working and interconnection to the communication network.

▪ M2M Communication Networks (Network Domain)

- Communications between the M2M Gateway(s) and M2M application(s), e.g. xDSL, LTE, WiMAX, and WLAN.

▪ M2M Applications

- Contains the middleware layer where data goes through various application services and is used by the specific business-processing engines.

M2M architektúra III

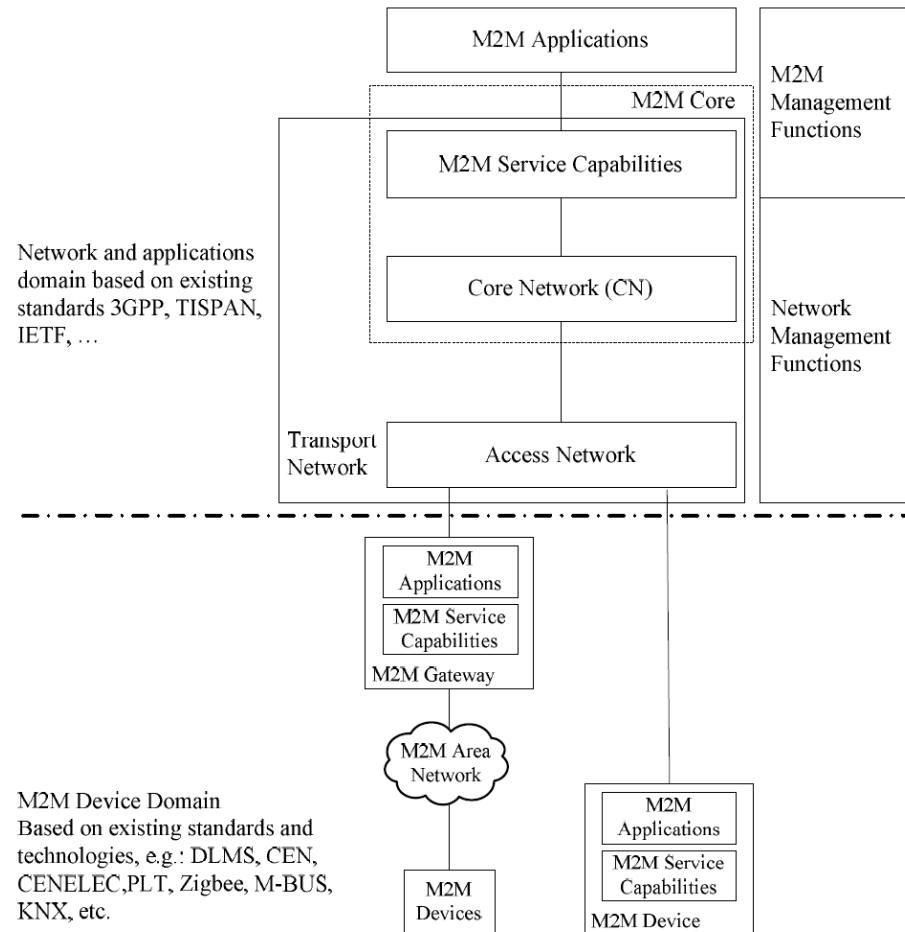
Az egyes domain-eken belül alkalmazható technológiák

- Core Networks
 - 3GPP (GPRS, EPC)
 - ETSI TISPAN
 - ATTM
 - NGN
- Access Networks
 - xDSL
 - Hybrid FiberCoax
 - PLC
 - Satellite
 - GERAN, UTRAN, eUTRAN
 - WLAN
 - SRDs
 - UWB
 - WiMAX
- M2M Area Networks
 - PLC
 - SRD
 - UWB
 - ZigBee
 - M-BUS
 - Wireless M-BUS
 - IEEE 802.15

User interface to application
e.g. Web portal interface
(usage monitoring, user preferences,...)



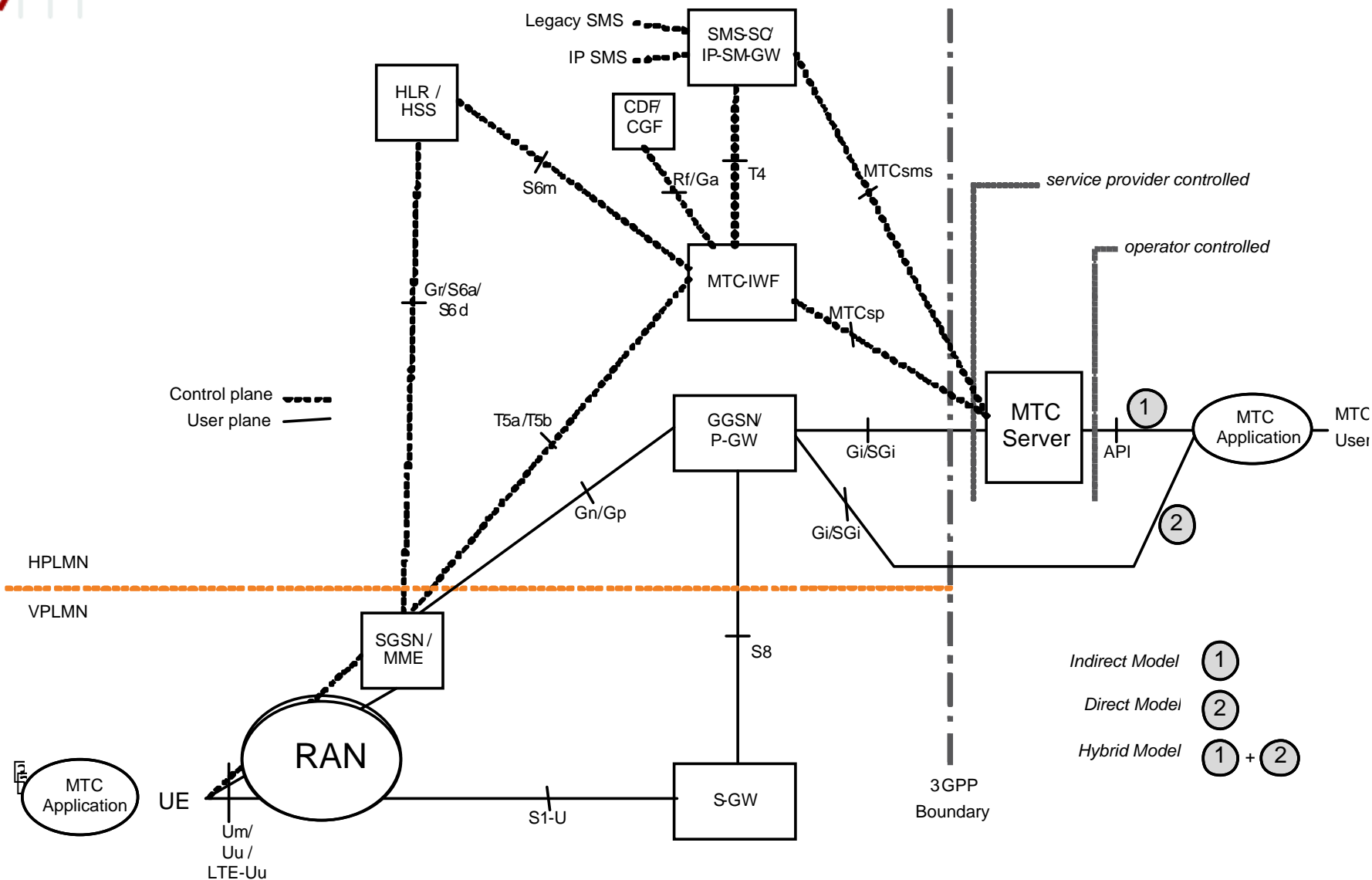
PC dedicated appliance



Architekturális kérdések (3GPP)

- A 3GPP core hálózat az alábbi kihívásoknak kell megfeleljen az MTC realizációja során:
 - Kommunikáció megvalósítása az MTC szerverrel
 - Mind a mobil irányú, mind a mobil által kezdeményezett kommunikációt támogatnia kell → egyedi azonosítás
 - Biztonsági mechanizmusok támogatása
 - Meg kell teremteni a biztonságos és titkosított kommunikációt a PLMN és az MTC szerver között

Hálózati architektúra MTC számára



- MTC InterWorking Function (MTC-IWF)
 - Elrejti a belső PLMN topológiát
 - Továbbítja és fordítja az MTC által használt jelzési protokollokat
 - Hitelesíti feladatokat lát el
- A többi hálózati elem (HLR/HSS, GGSN/PGW, SGSN/MME) az MTC-t támogató funkciókkal bővül, mint például:
 - UE elérhetőségi és konfigurációs információk megosztása az MTC-IWF-fel
 - Routing információk továbbítása az MTC-IWF-nek
 - Az MTC Device Trigger üzenetek (pl. kapcsolatfelépítés kérelem) becsomagolása és továbbítása

ZIGBEE

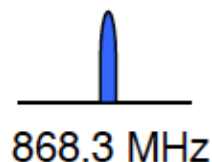
Mi az a ZigBee?

- Az IEEE 802.15.4 szabványra épül
- A ZigBee Alliance szervezet készítette
 - pl.: Philips, NXP, Bosch, Texas Instruments, Motorola, Intel, HP, ...
- Szenzor hálózatok kialakításához tervezték
 - Alacsony fogyasztás, hosszú akkumulátor élettartam
 - Gyors kapcsolatfelépítés
 - Nagyszámú node támogatása (max 65000 node)
 - Különböző frekvenciasávok, különböző adatsebesség
 - 2,45 GHz-en 250 Kbps
 - 915 MHz-en 40 Kbps
 - 868 Mhz-en 20 Kbps
 - Titkosított adatkapcsolat

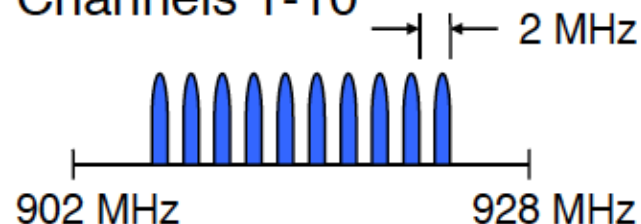
802.15.4 PHY – frekvenciasávok

868MHz/ 915MHz PHY

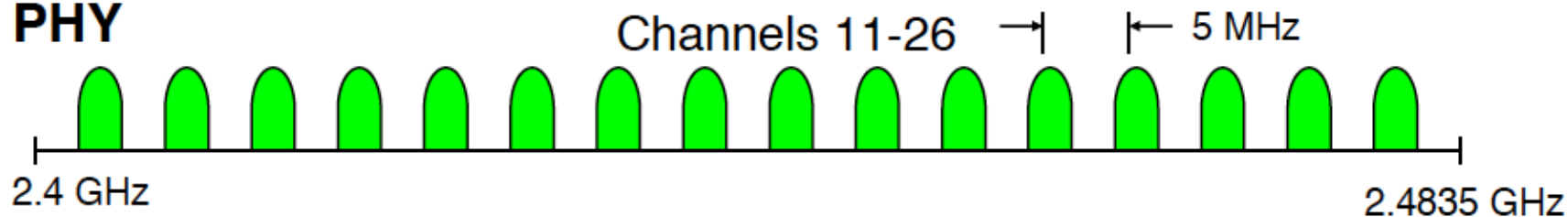
Channel 0



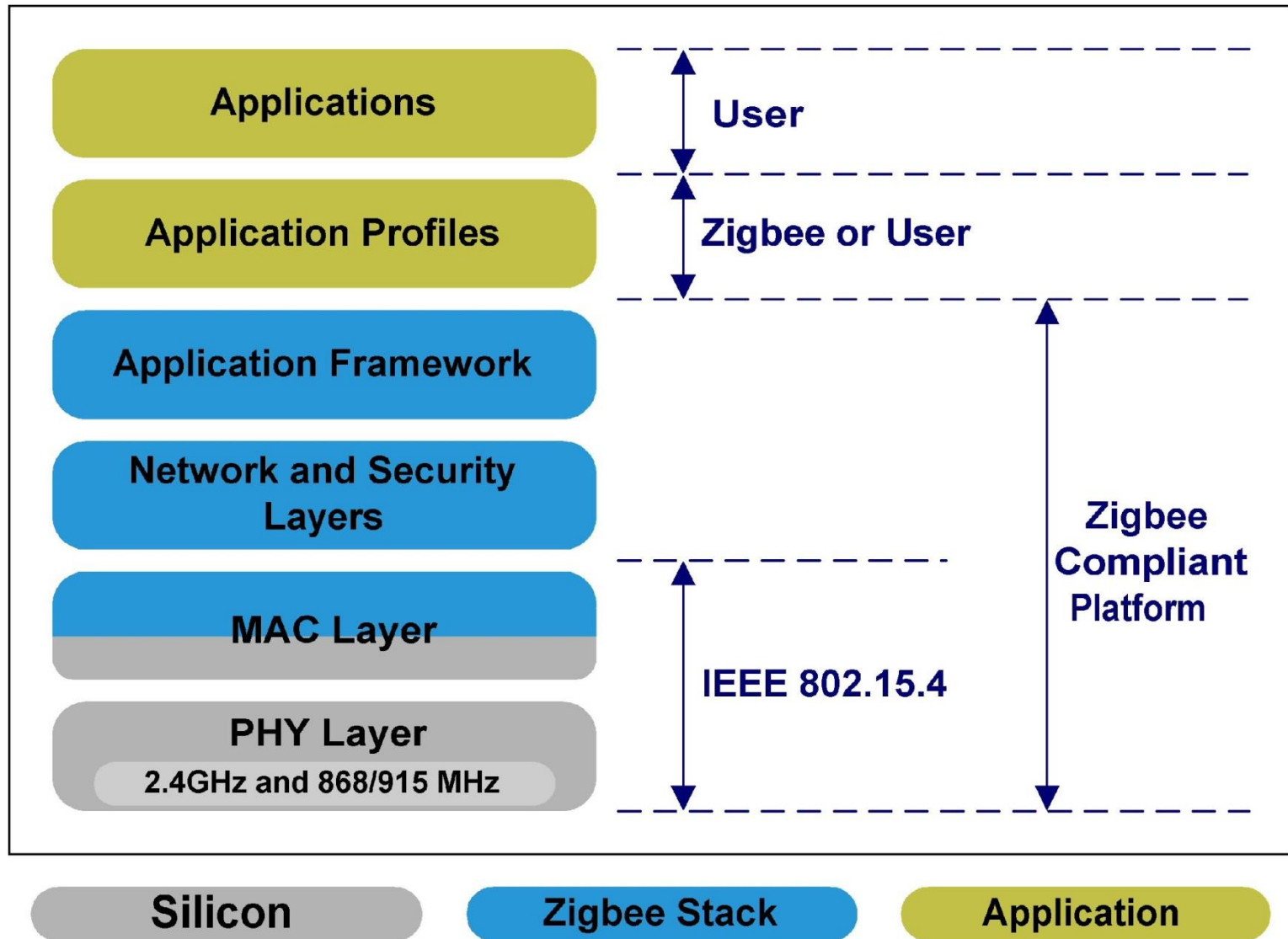
Channels 1-10



2.4 GHz PHY



A ZigBee architektúra



Általános keretformátum

802.15.4 keretformátuma

IPv6
layer

Octet: Variable	Variable
IPv6 network header	Data payload

MAC
layer

Octets: 2	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	Variable (0-102)	2
Frame control	Sequence number	Destination PAN identifier	Destination address	Source PAN identifier	Source address	Frame payload	FCS
		Addressing field					
MHR						MSDU	MFR

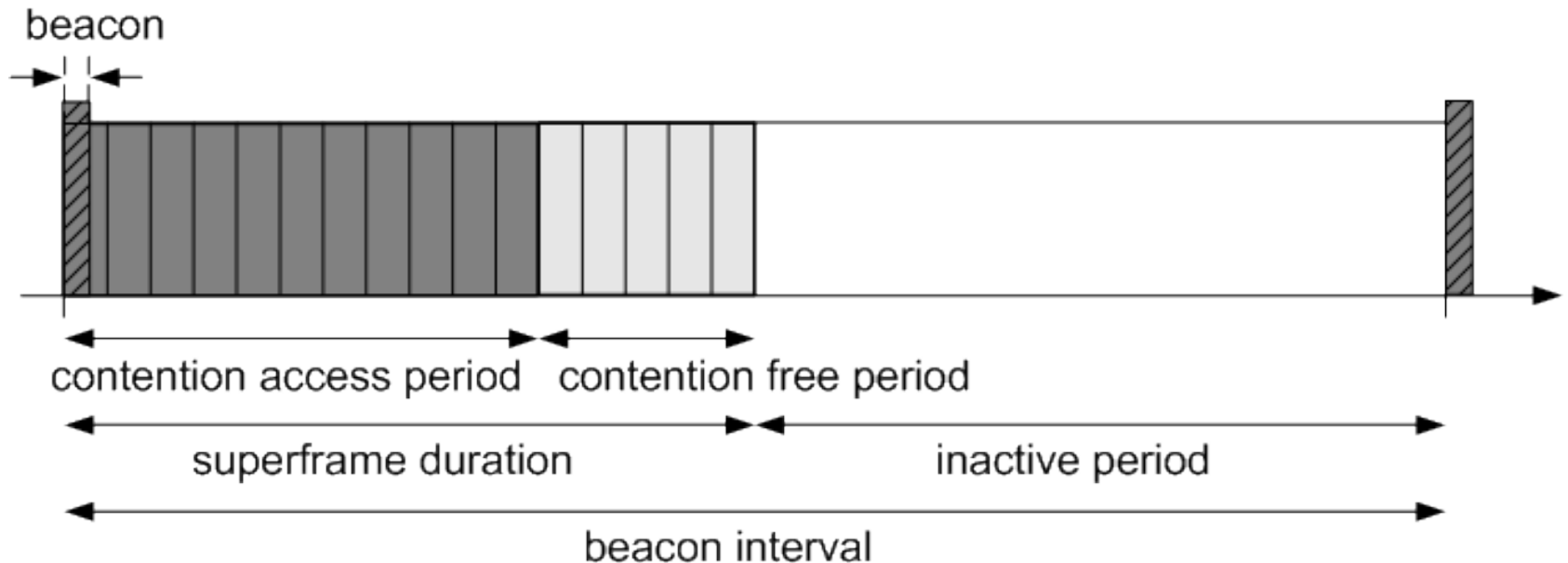
PHY
layer

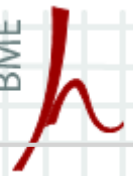
Octets: 4	1	1		Variable (0-127)
Preamble	SFD	Frame length (7bits)	Reserved (1bit)	PHY payload
SHR		PHR		PSDU

Kerettípusok és vezérlő üzenetek

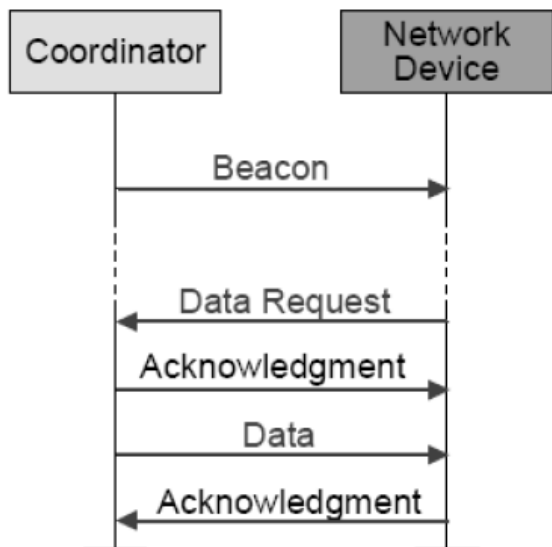
- Lehetséges kerettípusok
 - Beacon frame
 - Data frame
 - Acknowledgement frame
 - MAC command frame
- Vezérlő üzenetek (MAC command)
 - Association request(Tx)
 - Association response(Rx)
 - Disassociation notification(Tx,Rx)
 - Data request(Tx)
 - PAN ID conflict notification(Tx)
 - Orphan notification(Tx)
 - Beacon request(Tx)
 - Coordinator realignment(Rx)
 - GTS Request

- A 802.15.4-ben definiált MAC rétegre épül
- Két működési mód van definiálva:
 - Non-beacon enabled mód
 - unslotted CSMA/CA
 - Beacon enabled mód
 - Superkeret használata, slotted CSMA/CA

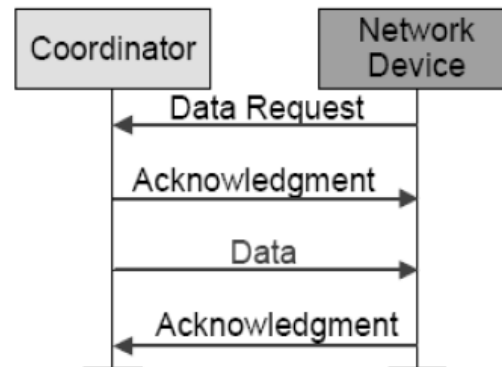




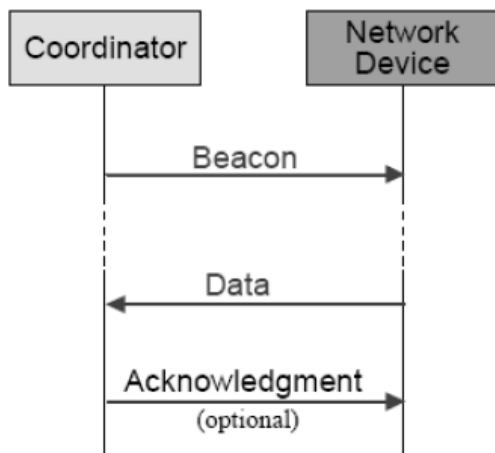
MAC rétegbeli kommunikáció



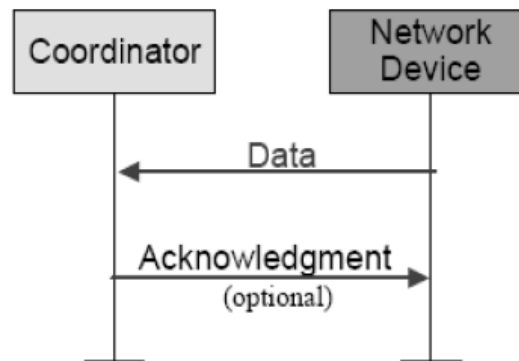
Communication from a coordinator a beacon-enabled network



Communication from a coordinator in a nonbeacon-enabled network



-Communication to a coordinator in a beacon-enabled network

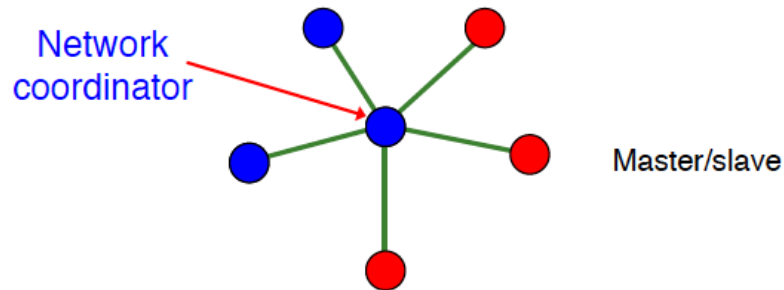


Communication to a coordinator in a nonbeacon-enabled network

- ZigBee Coordinator Node
 - A hálózat gyökere, illetve más hálózatokat köt össze
 - Csak egy ilyen eszköz lehet egy adott hálózatban
 - Hálózati információkat tárolhat
 - Biztonsági kulcsok tárolása
- ZigBee Full Function Device
 - Közbülső eszközök, melyek az adattovábbítást végzik
 - Kisebb memóriaigény, mint a ZCN esetén
 - Alacsonyabb gyártási költség
 - Koordinátorként is működhet
- ZigBee Reduced Function Device
 - Végkészülék
 - Nem képes más eszközök adatait továbbítani
 - Még kevesebb memóriaigény
 - Alacsonyabb gyártási költség
 - Csak a koordinátorral kommunikál

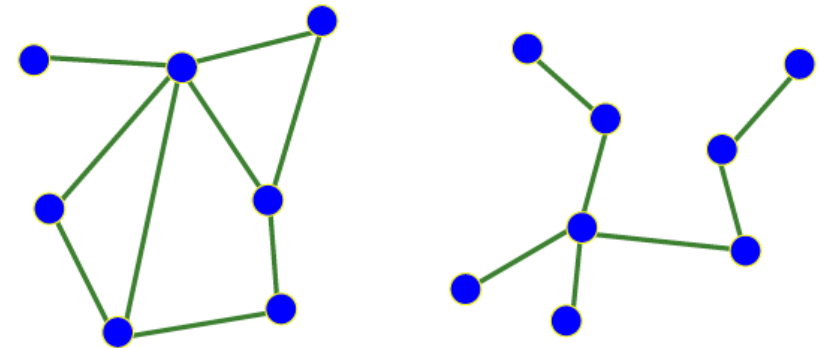
Definiált topológiák (csillag, fa, mesh)

Star Topology



- Full Function Device (FFD)
- Reduced Function Device (RFD)
- Communications Flow

Mesh and Tree Topology



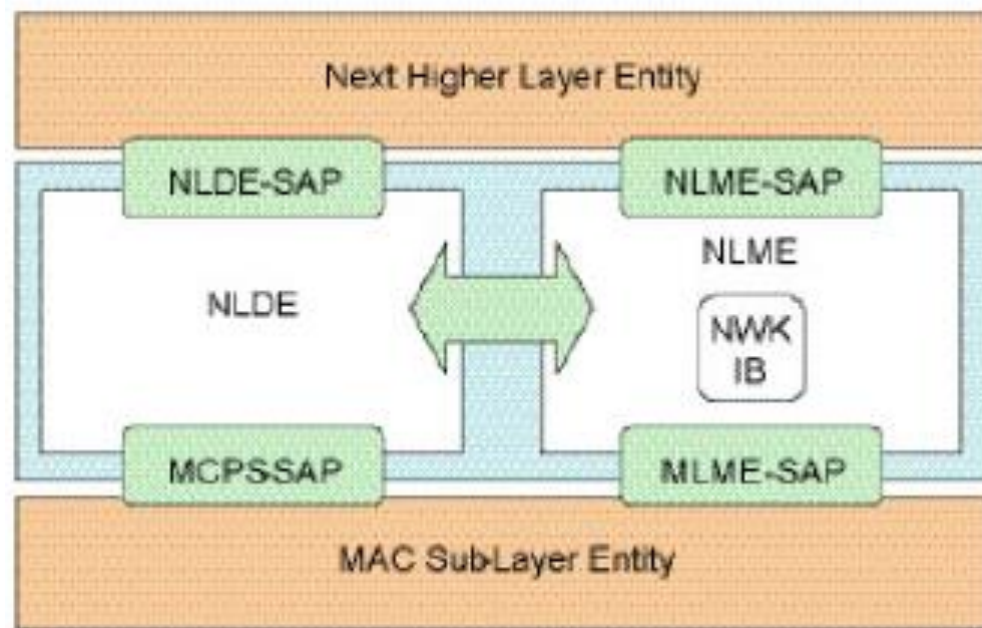
Mesh

Tree

- Full Function Device (FFD)
- Communications Flow

ZigBee hálózati réteg

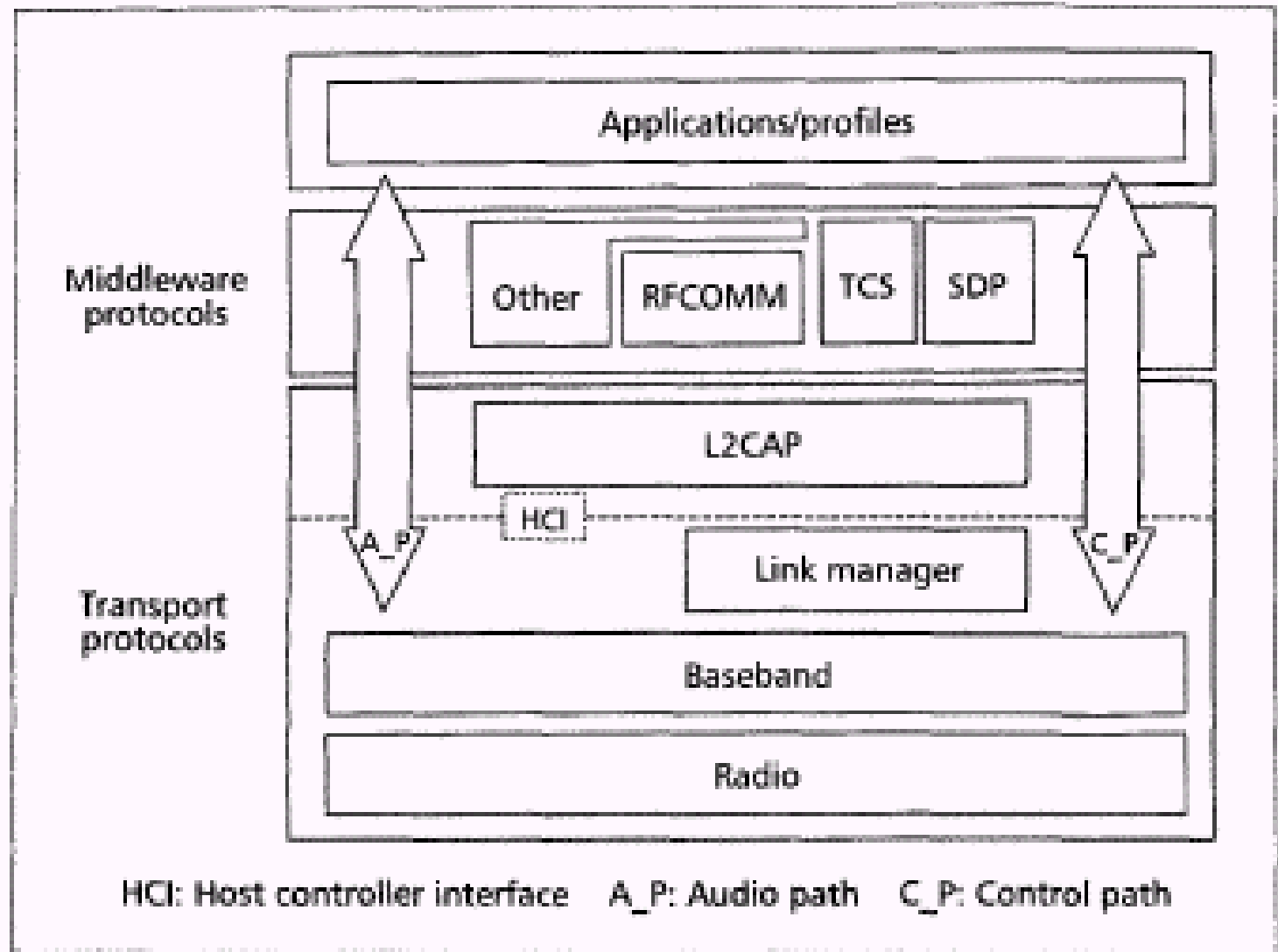
- Hálózat létrehozása (NLME)
- Hálózathoz csatlakozás, ill. annak elhagyása (NLME)
- Új eszköz konfigurálása (NLME)
- Címzés (NLME)
 - A koordinátor címeket jelöl ki az egyes eszközöknek, melyek a hálózathoz csatlakoznak (16 és 64 bites címek)
- Topológiafüggő routing (NLDE)
 - A csomag küldése az útvonal következő csomópontjához, vagy a végkészülékhez
- Szomszédfelderítés (NLME)
 - A közvetlen szomszédok felderítése és a szomszédos eszközökről információk gyűjtése
- Útvonalfelderítés (NLME)



BLUETOOTH

- konkurens technológia:
 - egyéb rádiós technikák, további 802.15 szabványok
 - infravörös
 - szintén nagyon olcsó, de
 - kisebb hatótávolságú
 - csak egymást látó készülékek között
 - csak pont-pont kapcsolat két eszköz között

Bluetooth protokoll szerkezet



Bluetooth protokoll szerkezet

- **transport:** speciális Bt protokollok, minden kommunikációban részt vesznek
- **middleware:** spec. Bt és adoptált protokollok. ezek teszik lehetővé a spec. és hagyományos alkalmazások kommunikációját Bt hálózaton
- **radió:** fizikai réteg, modulált
- **baseband:** kb. felső fizikai és MAC és : a Bt kommunikáció, hálózat szervezés, kapcsolatok felépítése
- **HCI Host controller interface:** nem protokoll, hanem if., kapcsolódási pont a baseband protokollhoz
- **link manager:** LMP protokollal kommunikálnak, kapcsolatok menedzselése, titkosítási, hitelesítési információk
- **L2CAP:** Logical Link Control & Adaptation Protocol, Bt specialitások eltakarása, if. a felső rétegek felé

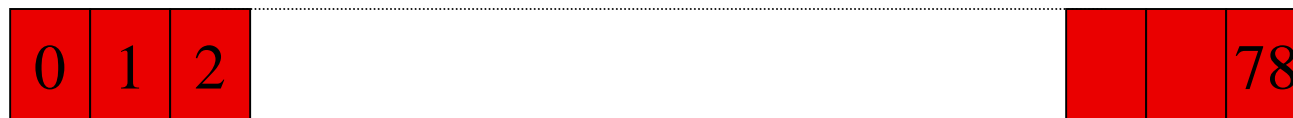
Bluetooth protokoll szerkezet

- SDP Service Discovery Protocol, az egyes eszközök ezzel derítik ki az igénybe vehető szolgáltatásokat
- RFCOMM: RS232 soros port protokoll emulációja, olyan alkalmazások számára, amik RS232 vezetéken kommunikálnának
- TCS Telephony Control Signaling,
- egyéb: számos protokoll, RFCOMM fölött megvalósítva, Bt-n való átvitelhez (pl. PPP)

Fontosabb paraméterek

- 2,4 GHz-es ISM sáv
- Frekvenciaugratásos szórt spektrumú (FHSS)
- 1600 hop/s: 625 μ s os időszeletek
- GFSK moduláció, 1Mszimbólum/s kb. 1 Mbps bitidő=1 μ s
- 79 (23) db. 1MHz-es vivő , $f=(2402+k)$ MHz , $k=0,1,..78$

Operating frequency bands:

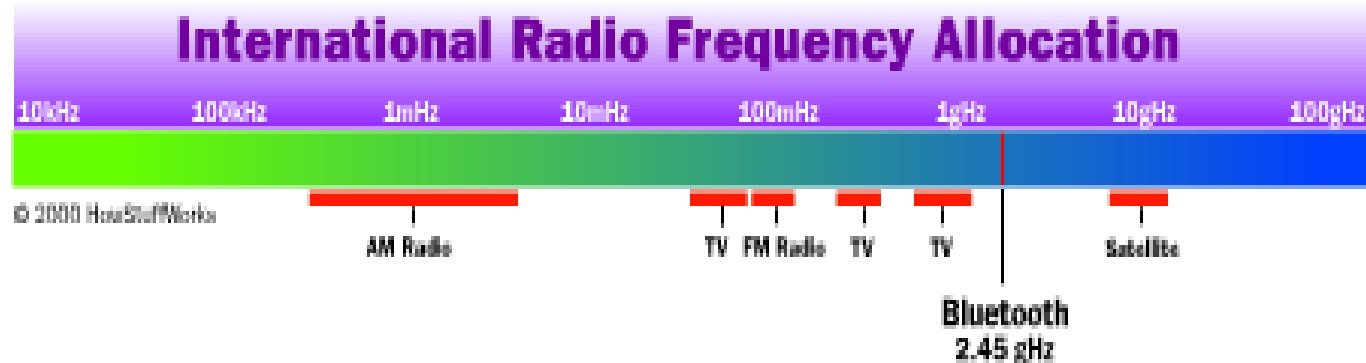


2.402 GHz

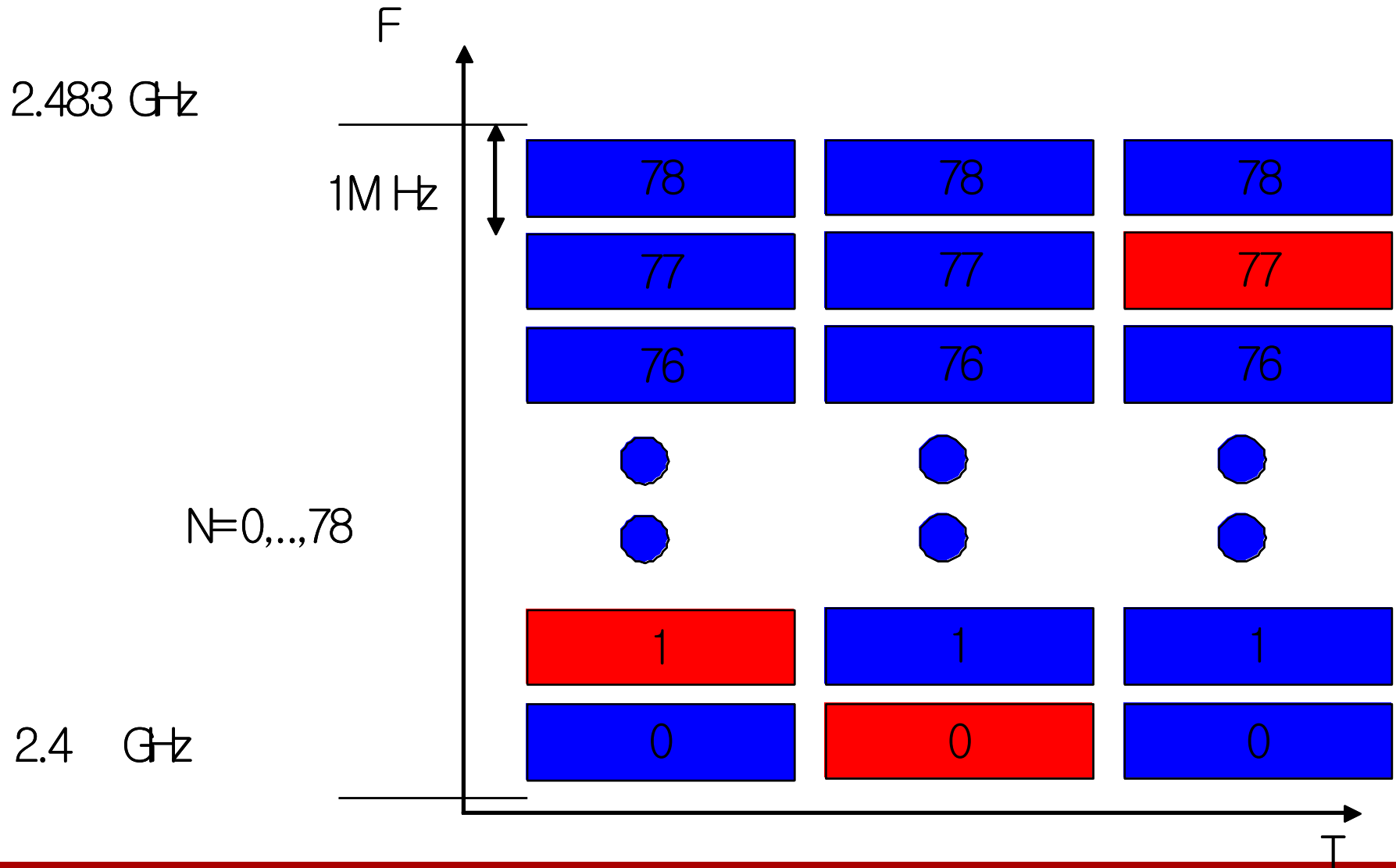
2.480 GHz

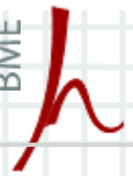
Fontosabb paraméterek

- Kb. 10m-es hatósugár
- Teljesítmény osztályok
 - class1: max 20dBm (100mW) – kb. 100 m hatósugár
 - class2: max 4dBm (2,5mW)
 - class3: max 0dBm (1mW)

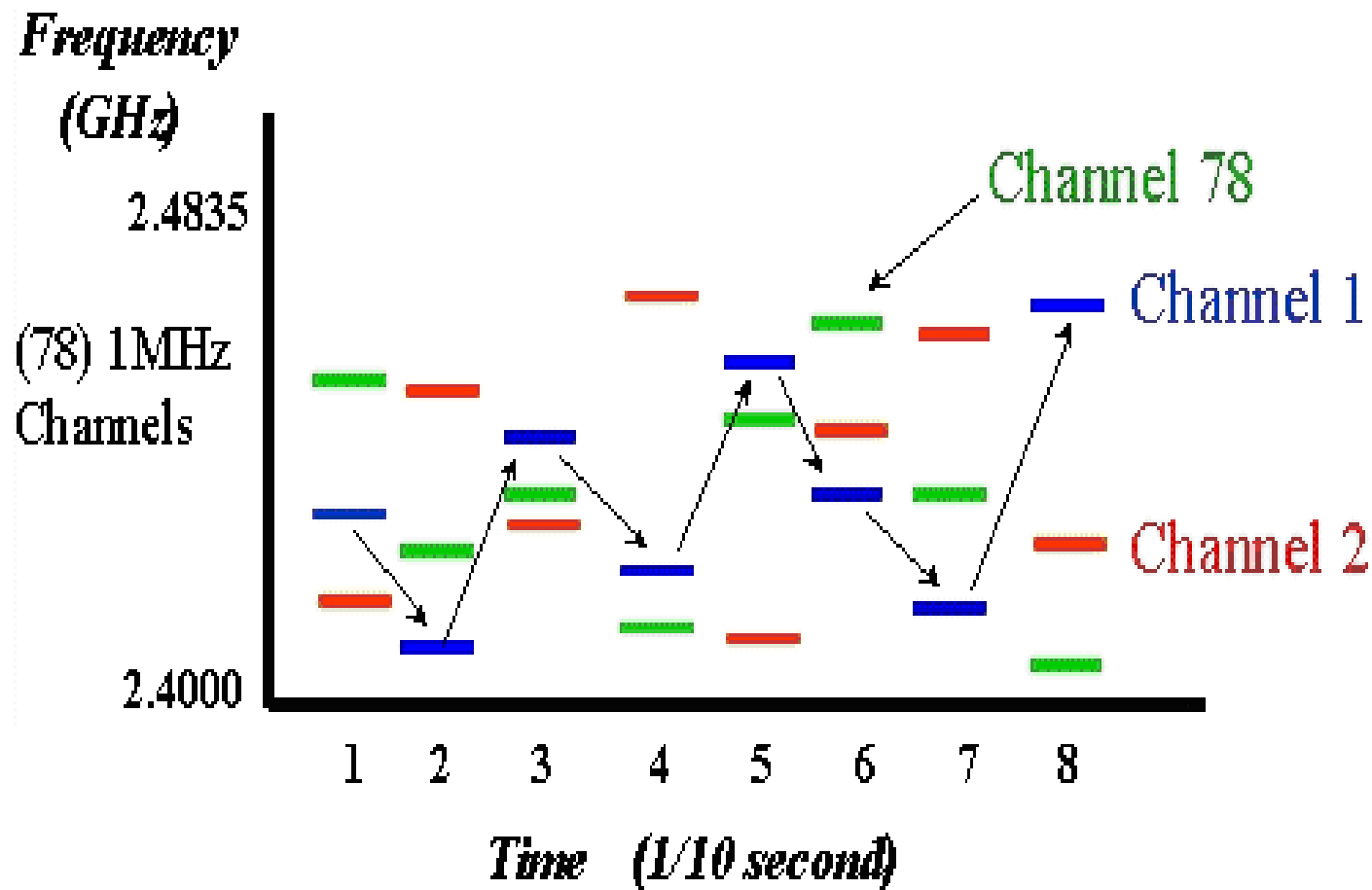


Frekvenciaugrítás





Frekvenciaugratus



Baseband: Feladatok

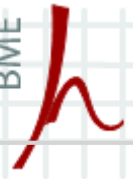
- Alapvető eljárásokat definiál a Bluetooth eszközök egymás közötti kommunikációjának megvalósításához.
- Definiálja a Bluetooth linket.
- Definiálja a Piconet fogalmát és létrehozásának módját.
- Definiálja a rádiós erőforrások megosztását piconeten belül.
- Definiálja a csomagformátumokat

Bluetooth óra és cím

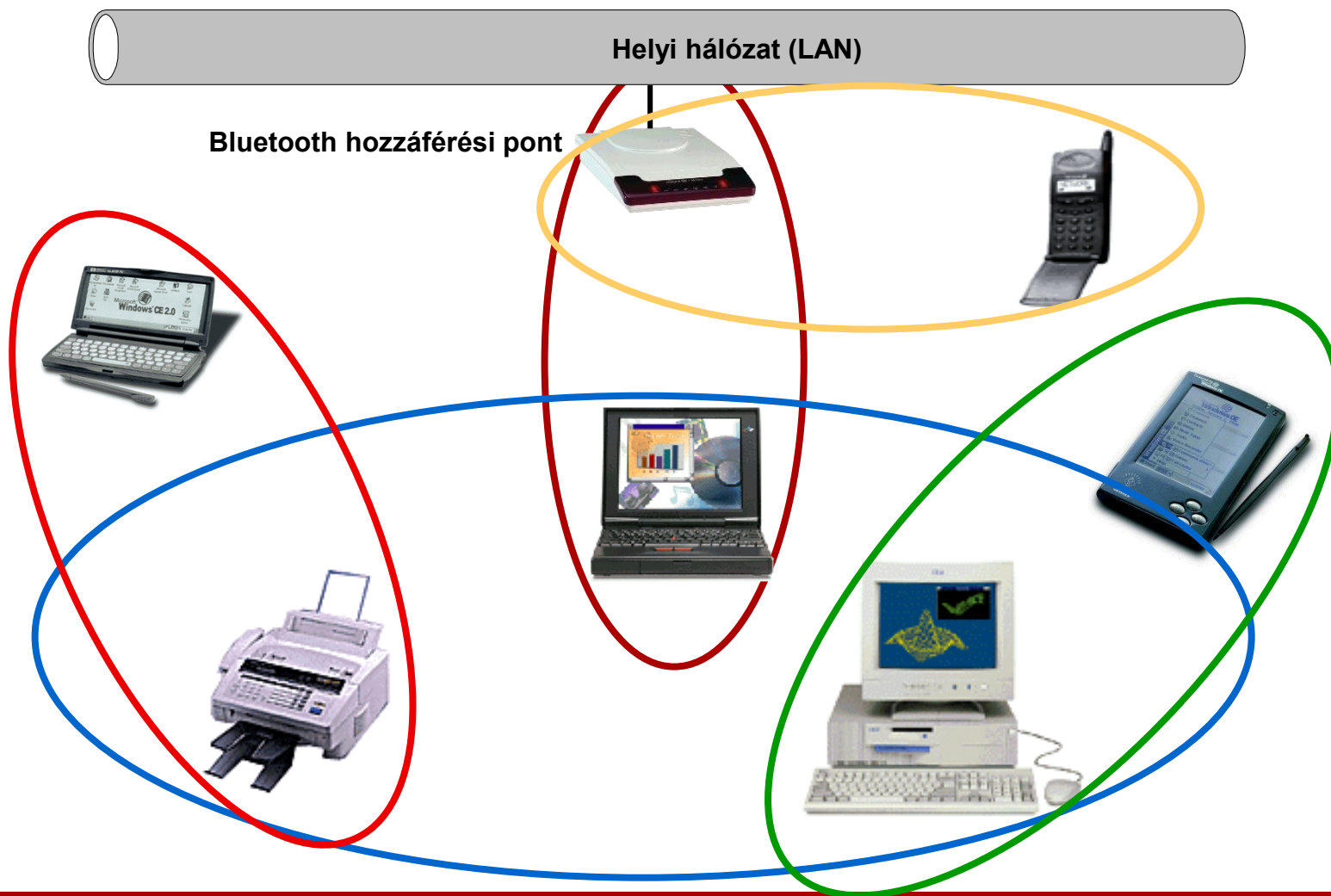
- Mindkét paraméter alapvető a sikeres kommunikációhoz.
- Óra
 - 28 bites, szabadon futó, $625/2=312,5\mu\text{s}$ -onként üt egyet, azaz hop-onként kettőt
 - 23,3 óránként ismétlődik
- Bluetooth Device Address (BD_ADDR)
 - IEEE 48 bites típusú cím, eszközönként egyedi, nem változtatható meg

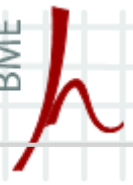
- piconet: Bt készülékek kommunikáló csoportja
- Ad hoc működés: a piconet automatikus mechanizmussal jön létre
- 1 mester (Master) és max. 7 szolga (Slave) egy piconet, szolga: aktív kommunikáló eszköz
- mester-ség, szolga-ság: időben változhat, adott piconetre vonatkozik
- A piconet tagjait az Active Member Address (AM_ADDR) azonosítja (3 bites)
- nem kommunikáló, de a mesternél regisztrált eszközből (parkoló) több is lehet
- egy piconetben sem regisztrált eszköz: standby
- egy eszköz több piconet tagja is lehet, egyikben slave, másokban master is lehet

- ilyen esetben a piconetek együtt egy scatternet
- piconet: egy adott álvéletlen freki ugratási sorozat, a piconet tagjai ismerik és szinkronizáltak a master órához (illetve a saját órájuk masterétől való eltérését ismerik)
- ugratási sorozat és akt. frekvencia a master címétől és órájától függ, egy eszköz csak egy piconetben lehet master (mellette több másokban slave)
- réselt: egy freki egy időrés (625 us)
- TDD: master (~DL) ad, slave ad (~UL) felváltva
- slave-slave kommunikáció nincs egy piconeten belül
- a leadott csomag belefér egy időrésbe
- köv. csomag az ugratási sorozastnak megfelelő frekvencián

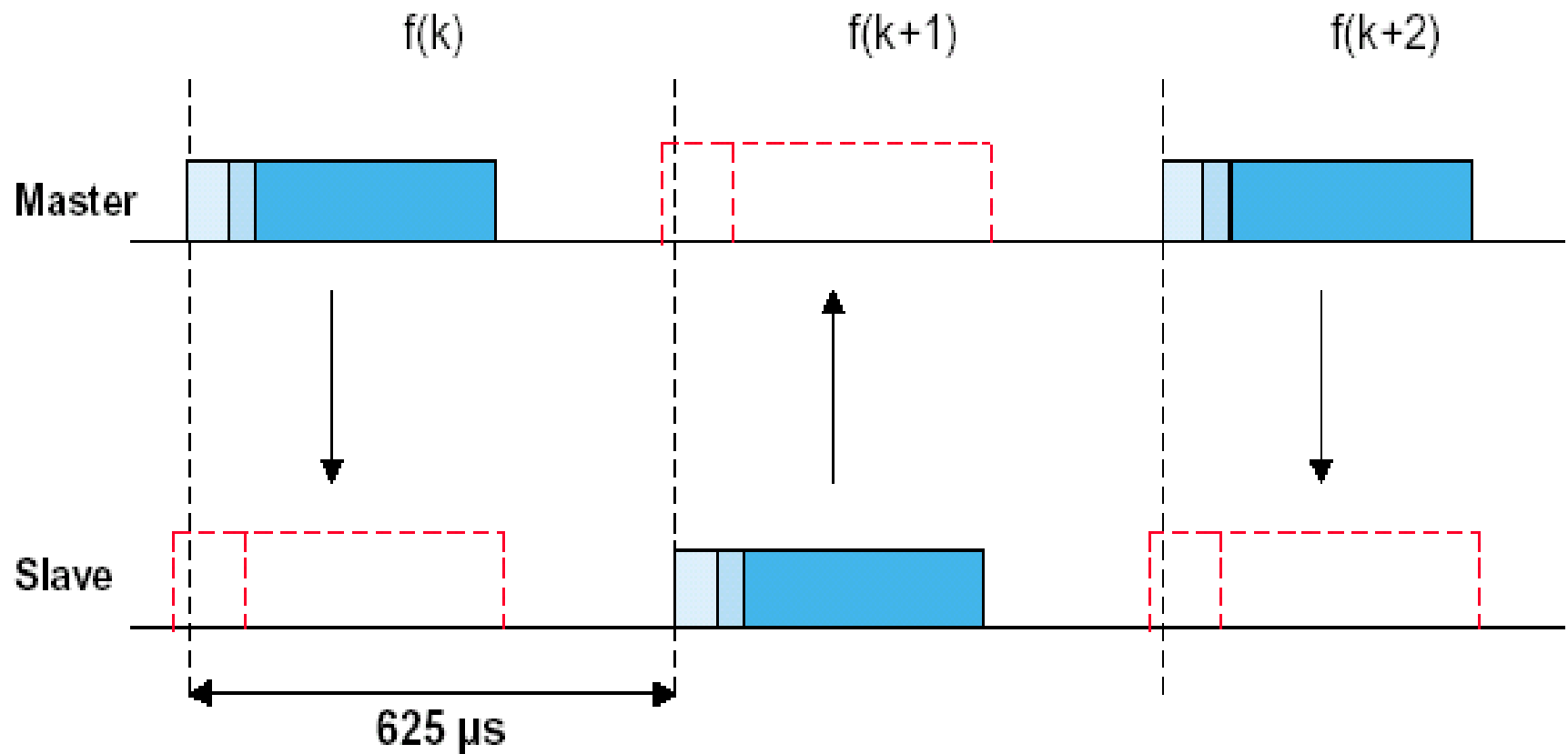


Bluetooth piconetek



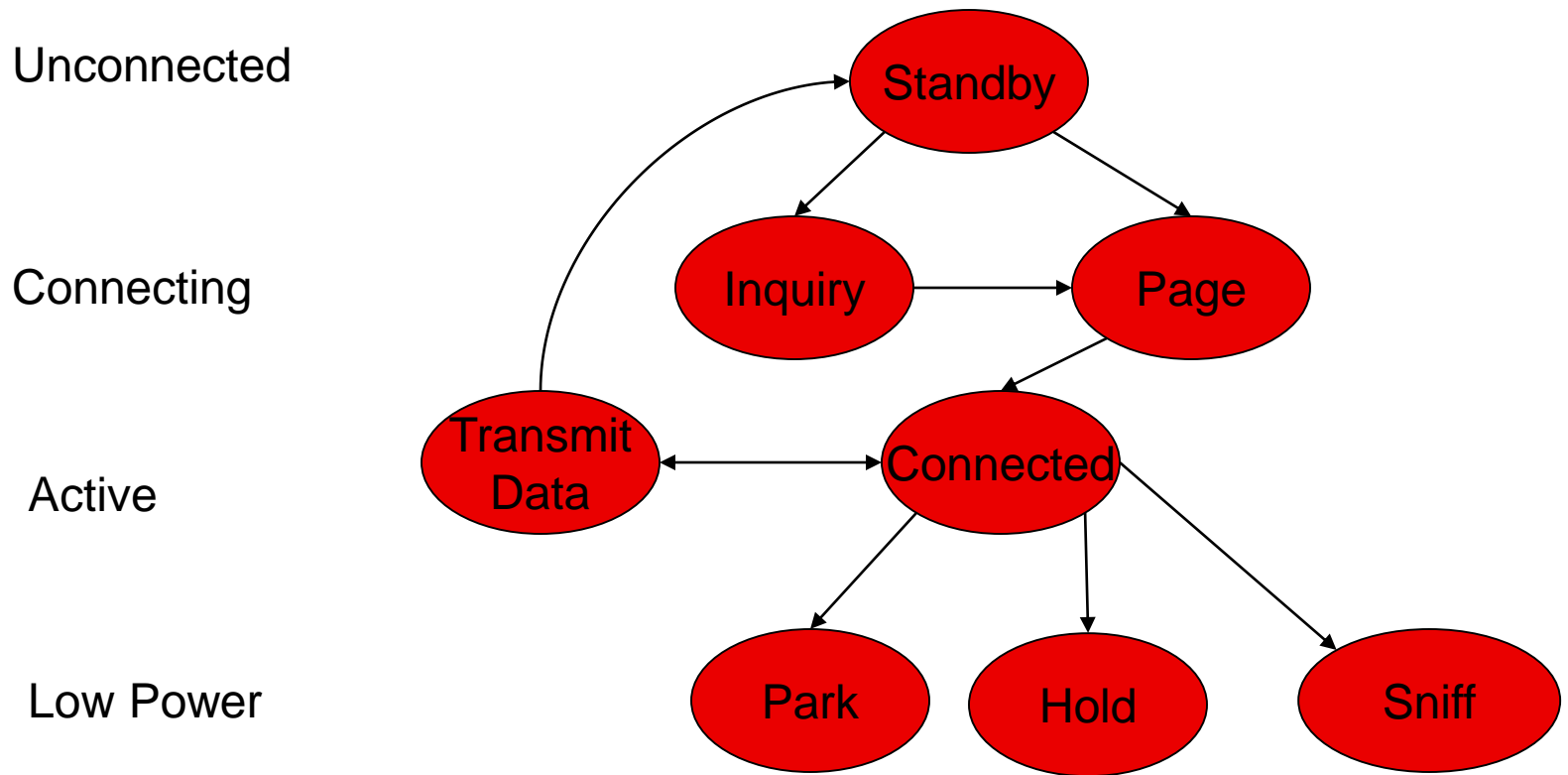


Frekvenciaugratás



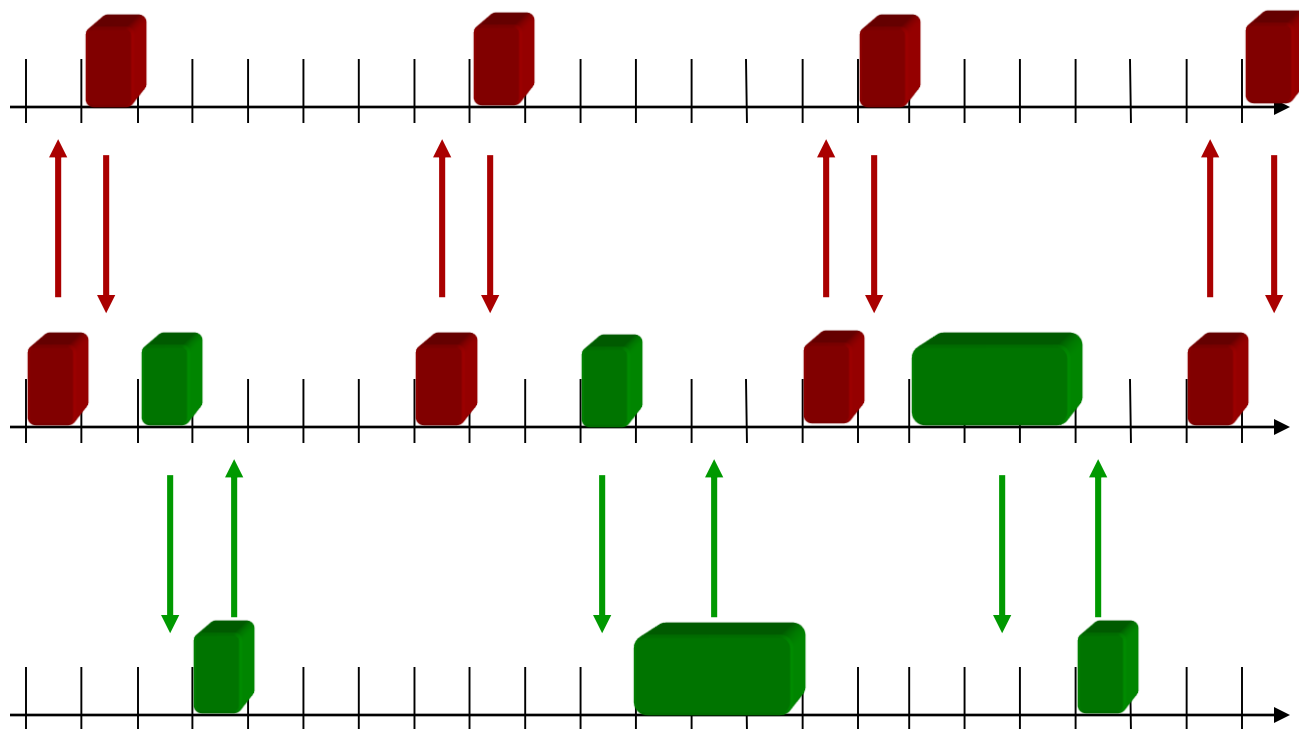
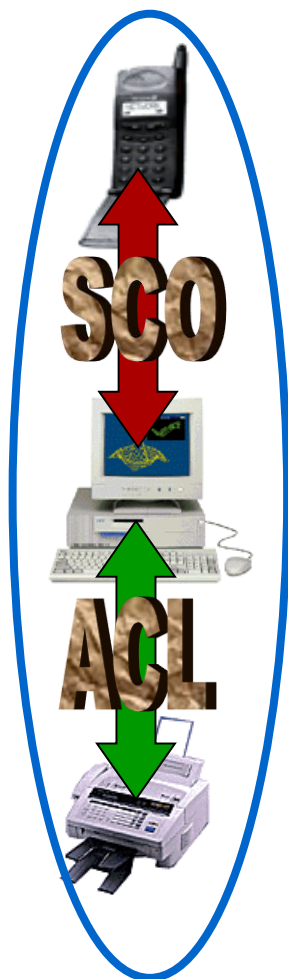
- SCO (Synchronous Connection Oriented)
 - szimmetrikus,
 - vonalkapcsolt,
 - pont-pont kapcsolatok számára
 - max 3 db egy piconetben
 - fix időközönként foglalnak le réspárokat (up/down), így garantált időközönként adáshoz a szolgák
 - Háromféle egyréses beszédcsomagok, 64 kbps-os hangátvitelhez, NO, 2/3, 1/3 FEC lehetséges
 - ugyanakkor beszédre nincs csomagismétlés

- ACL (Asynchronous ConnectionLess)
 - szimmetrikus, vagy aszimmetrikus
 - csomagkapcsolt,
 - pont-multipont börsztös adatkapcsolatok számára
 - best effort link, 1/eszköz
 - a mester implicit (a kérés maga a downlink csomag) pollinal kérdezi le a szolgákat
 - 1-3-5 réses csomagok lehetségesek
 - NO, 2/3, FEC lehetséges
 - adatra gyors ARQ: a vett downlink csomagot ellenőrzi a szolga és a kapcsolódó uplink csomagban jelzi ha hibát talált.

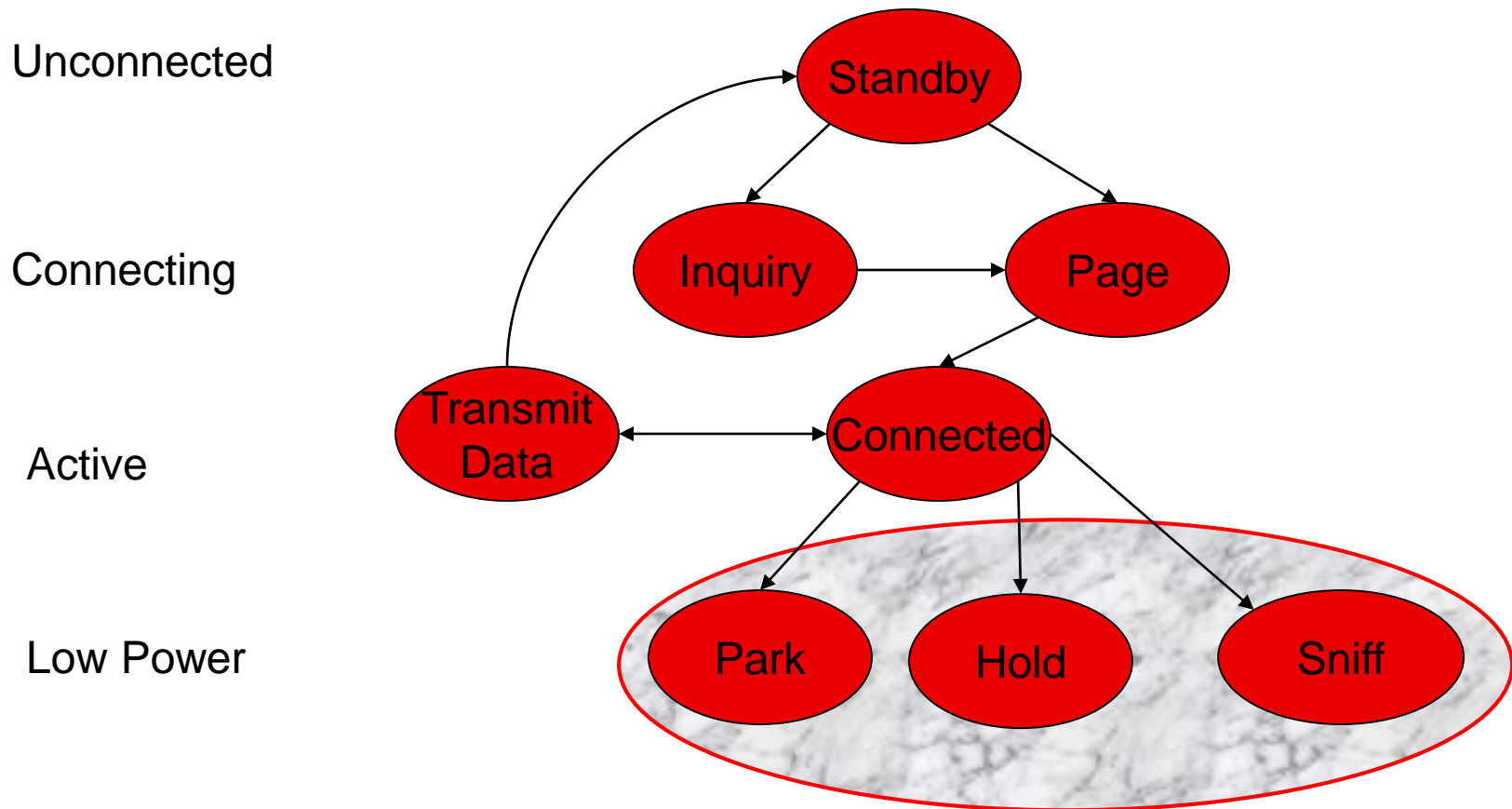




SCO és ACL összeköttetések



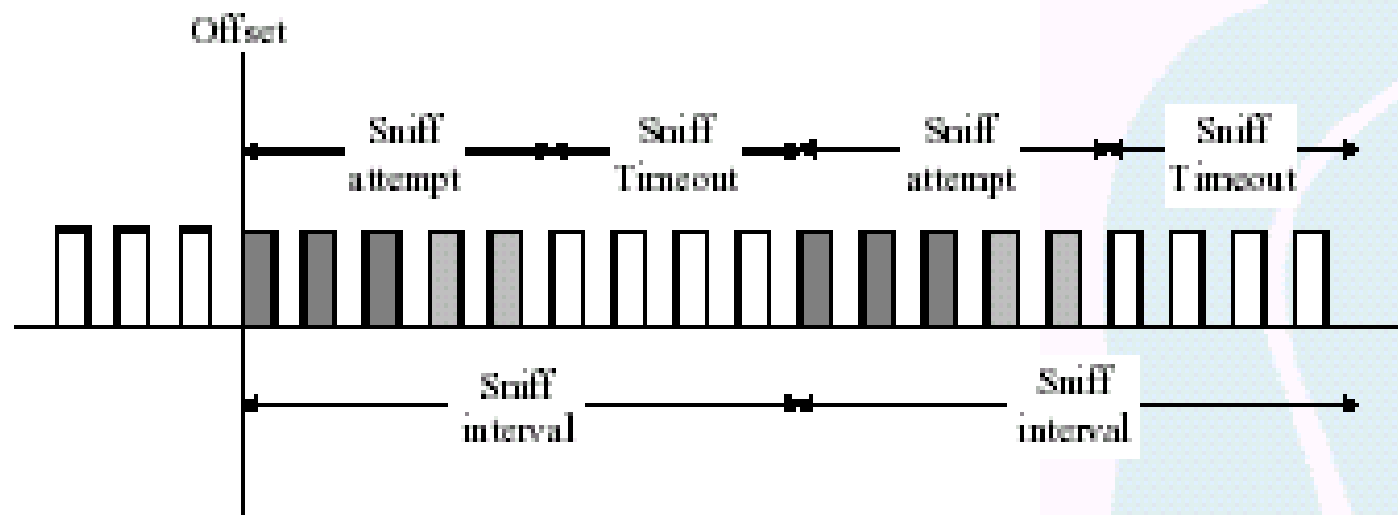
Üzemmodok, állapotok



Reljesítmény kímélés

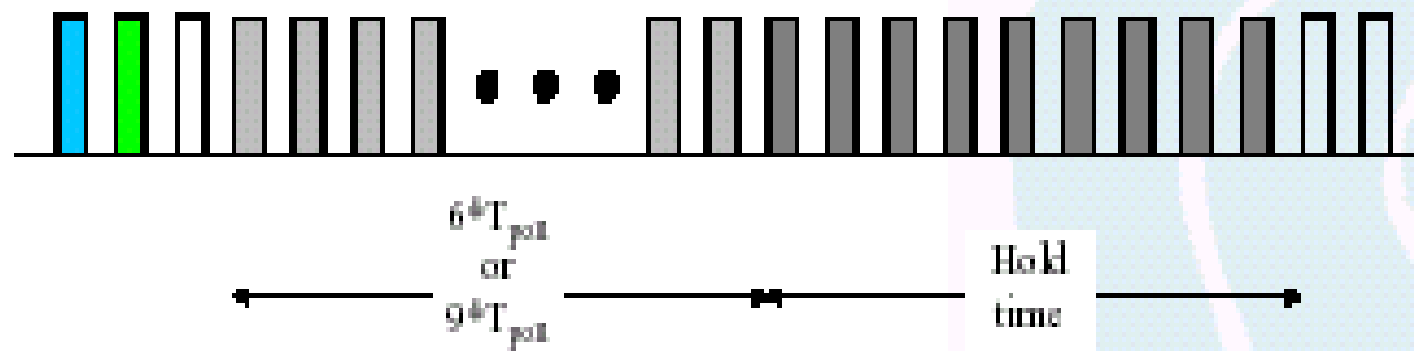
Sniff mode

- To reduce the duty cycle of the slave's listen activity by only listening in specified slots
- parameters of sniff mode are negotiated between master and slave
- master can start transmission only in the sniff attempt interval



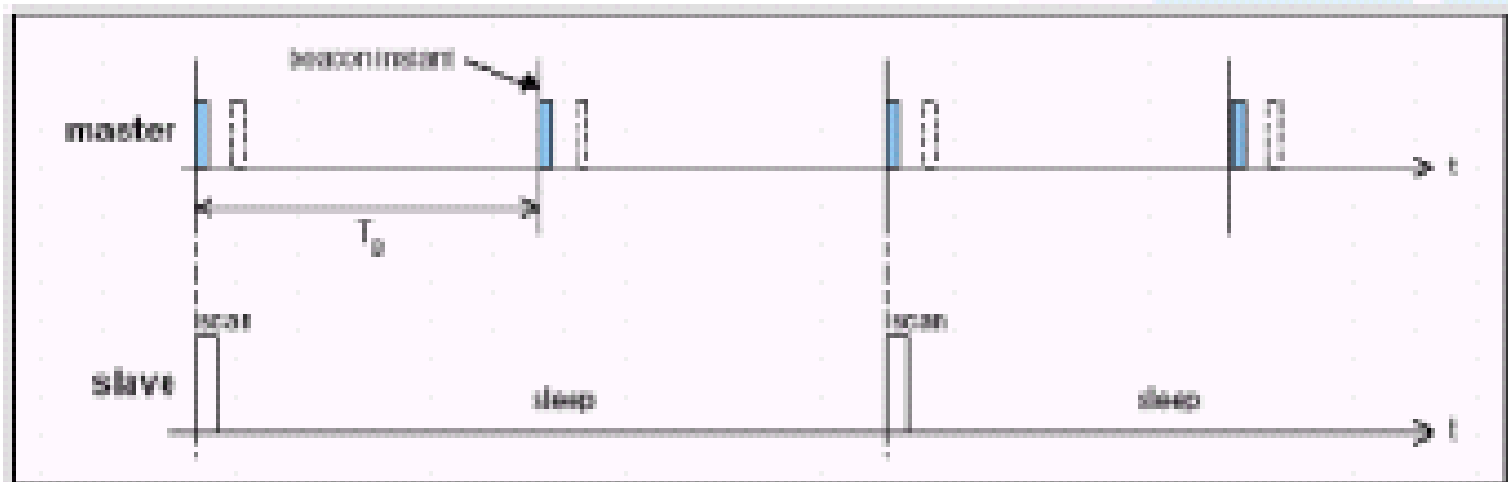
Hold mode

- Hold mode stops ACL traffic for a specified period of time; it does not affect SCO traffic
- parameter hold time is negotiated. After hold time, slave «wakes up»



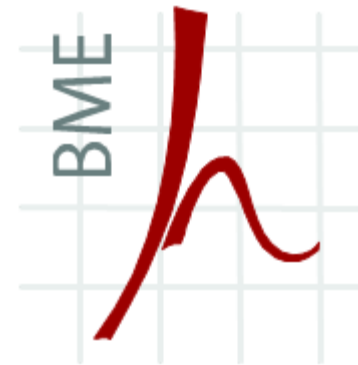
Park mode

- Slave gives up its AR_ADDR (3 bit), gets PM_ADDR (8 bit)
- slaves wakes up periodically in predefined intervals to listen to the channel to synchronize and listen for broadcast messages
- clock drift



Kérdések?

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!



MOBIL ÉS VEZETÉK NÉLKÜLI HÁLÓZATOK BMEVIHIMA07

6. előadás

Gódor Győző
tudományos segédmunkatárs
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu



2015. március 17.,
Budapest

- IEEE 802.11 szabvány család
- WLAN architektúra
- Közeghozzáférési réteg
- Kerettípusok
- Fizikai réteg specifikációk

802.11 SZABVÁNY CSALÁD

IEEE 802 család (munkacsoportok)

802 szabvány család

802.1	Bridging & Management
802.2	Logical Link Control
802.3	Ethernet - CSMA/CD Access Method
802.4	Token Passing Bus Access Method
802.5	Token Ring Access Method
802.6	Distributed Queue Dual Bus Access Method
802.7	Broadband LAN
802.8	Fiber Optic
802.9	Integrated Services LAN
802.10	Security
802.11	Wireless LAN
802.12	Demand Priority Access
802.14	Medium Access Control
802.15	Wireless Personal Area Networks
802.16	Broadband Wireless Metro Area Networks
802.17	Resilient Packet Ring

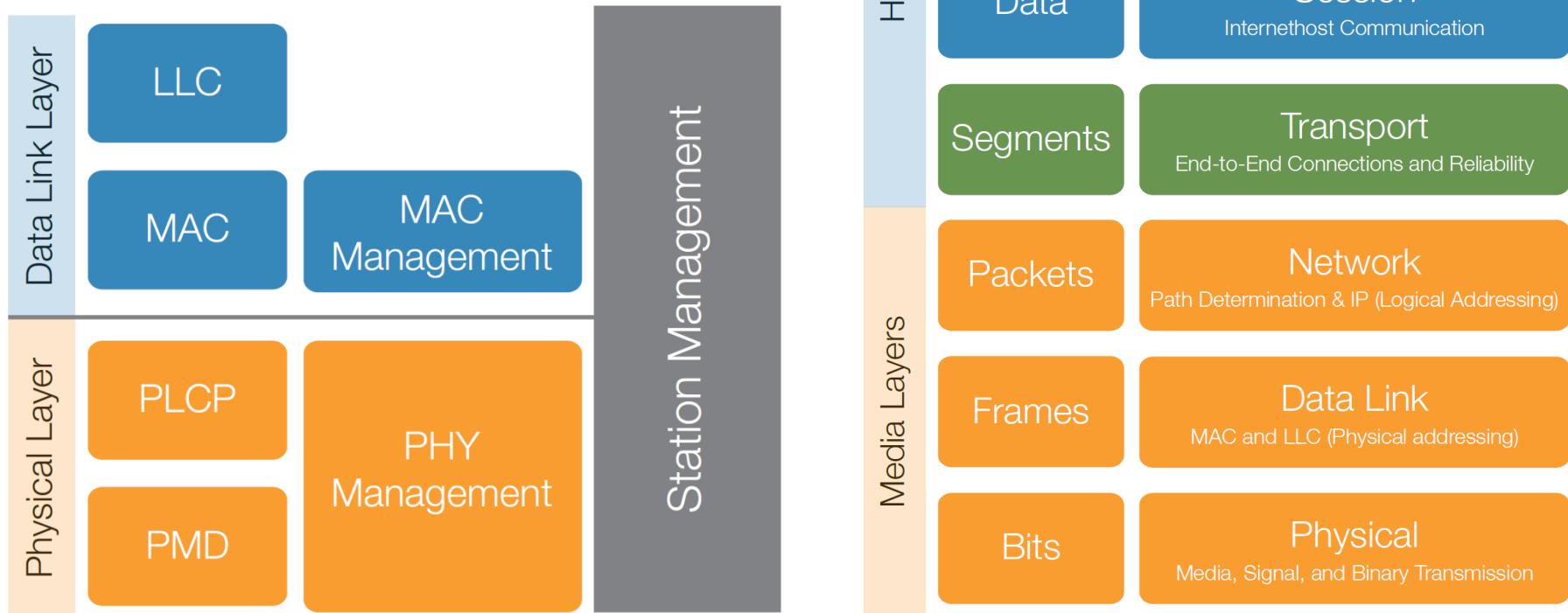
802.11 fizikai réteg specifikációk

Release Date	Standard	Frequency Band (GHz)	Bandwidth (MHz)	Modulation	Advanced Antenna Technologies	Maximum Data Rate
1997	802.11	2.4 GHz	20 MHz	DSSS, FHSS	N/A	2 Mbits/s
1999	802.11b	2.4 GHz	20 MHz	DSSS	N/A	11 Mbits/s
1999	802.11a	5 GHz	20 MHz	OFDM	N/A	54 Mbits/s
2003	802.11g	2.4 GHz	20 MHz	DSSS, OFDM	N/A	542 Mbits/s
2009	802.11n	2.4 GHz, 5 GHz	20 MHz, 40 MHz	OFDM	MIMO, up to 4 spatial streams	600 Mbits/s
2013	802.11ac	5 GHz	40 MHz, 80 MHz, 160 MHz	OFDM	MIMO, MU-MIMO, up to 8 spatial streams	6.93 Gbits/s
2012	802.11ad	60 GHz	2.16 GHz	single carrier, OFDM	Uses beamforming	7 Gbits/s

- A 802.11 szabványok az alábbiakat definiálják:
 - MAC alréteg
 - MAC menedzsment protokollok és szolgáltatások
 - Fizikai réteg (PHY)
 - (alap szabvány)
 - Infrared (IR)
 - Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
 - Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
 - (későbbi szabványok)
 - Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
- ISM (Industrial, Scientific and Medical) sávban működik
 - 2,4 GHz
 - 5 GHz
 - 60 GHz

A 802.11 és az OSI modell kapcsolata

- A 802.11 szabványok az OSI modell két alsó rétegét, a fizikai és az adatkapcsolati (más néven közeghozzáférési) rétegeit definiálják



Az egyes MAC alrétegek feladatai

- MAC alréteg
 - Közeghozzáférési megoldások
 - Csomagformátumok
- MAC Management alréteg
 - Teljesítmény menedzsment
 - Roaming (cellaváltás)
 - Szinkronizálás
 - Biztonsági szolgáltatások

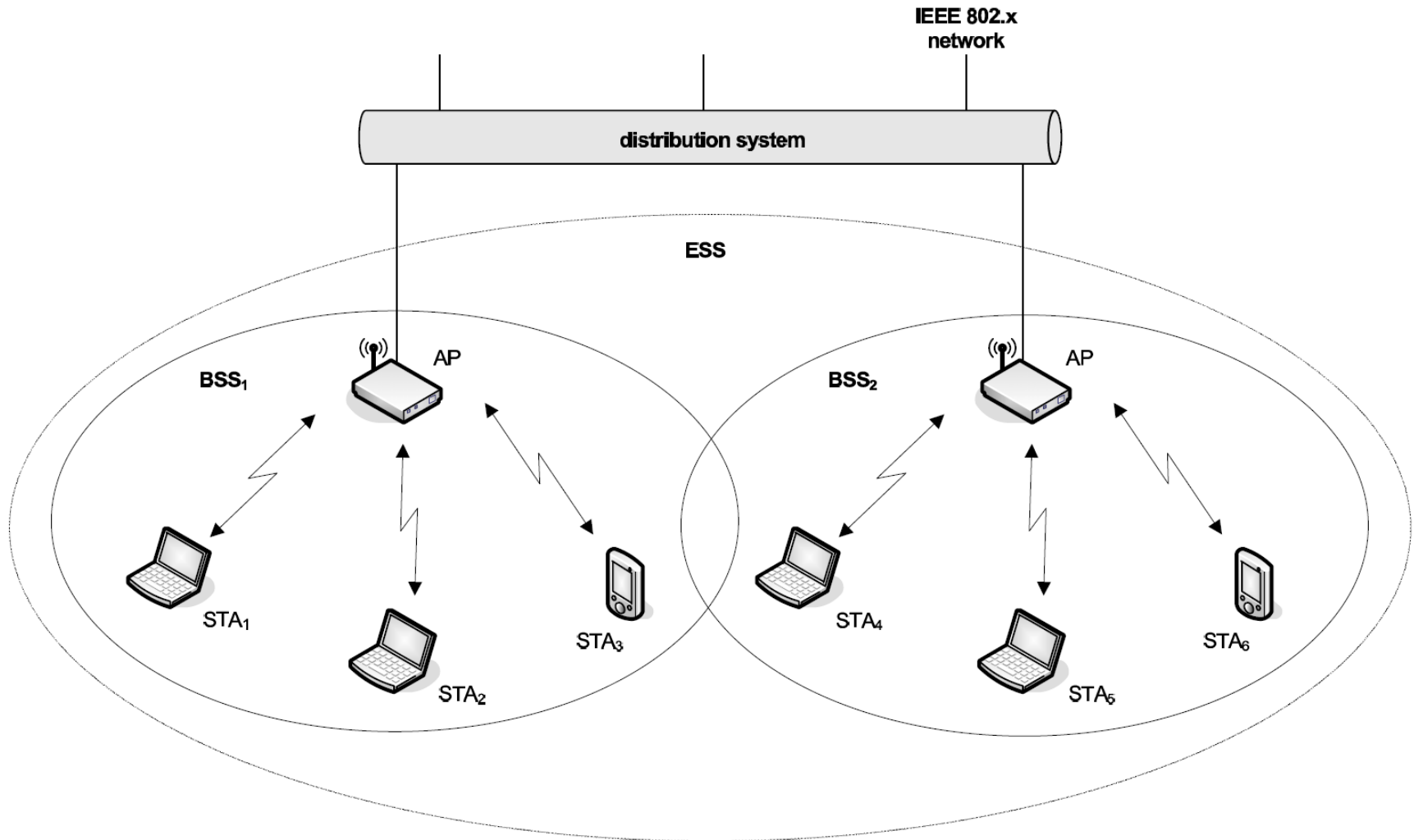
Az egyes PHY alrétegek feladatai

- Physical Layer Convergence Protocol (PLCP)
 - „illesztési” feladatokat lát el, vagyis a MAC kereteket (MPDU) fizikai csomagokká alakítja (és vissza)
 - A különféle PHY-k számára megfelelő csomagokat állít elő
 - Felelős a Clear Channel Assessment jel előállításáért
 - Vivőérzékeléses közeghozzáférés -> detektálni kell, ha a csatorna foglalt/szabad
- Physical Medium Dependent (PMD) alréteg
 - Moduláció és kódolás
 - Különböző fizikai médiumok és alpműködéstől függő fizikai keretformátum
- PHY Layer Management
 - Management funkciók ellátása, pl. csatorna minőség
- Station Management
 - A MAC és a PHY rétegek együttműködését koordinálja

WLAN ARCHITEKTÚRA

- Basic Service Set (BSS)
 - Vezeték nélküli eszközök (Stations – STA)
 - Hozzáférési pont (Access Point – AP)
 - Az STA-k az AP-hez kapcsolódnak, azon keresztül kommunikálnak egymással
 - Ez az úgynevezett **infrastruktúra hálózat**
- Independent Basic Service Set (IBSS)
 - A STA-k közvetlenül egymással kommunikálnak
 - Nincs AP
 - Ez az úgynevezett **ad-hoc hálózat**
- Több BSS összekapcsolható egymással egy elosztó hálózaton (Distribution System – DS) keresztül
 - Extended Service Set (ESS)

Extended Service Set



KÖZEGHOZZÁFÉRÉSI RÉTEG

- 802.11 (alap) két megoldást definiál
 - Distributed Coordination Function (DCF)
 - Kötelező minden eszközben implementálni
 - A Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) közeghozzáférést használja
 - Versengéses időszak (Contention Period – CP) –ban zajlik a DCF
 - Point Coordination Function (PCF)
 - Opcionális
 - Csatornahozzáférés központosított vezérléssel – polling
 - Versengésmentes időszak (Contention Free Period – CFP) –ban van ez
 - Opcionális: a gyakorlatban nem valósítja meg egyik eszköz sem
- 802.11e
 - QoS képes továbbfejlesztése az eredeti közeghozzáférési eljárásoknak
 - Továbbfejlesztett elosztott csatornahozzáférés EDCA: Enhanced Distributed Channel Access
 - És központosított mód: PCF

- CSMA az alapja
 - „listen-before-talk” az alapelv
 - Csomagküldés előtt az STA belehallgat a csatornába – vivő érzékelés (carrier sensing)
 - Ha a csatorna legalább DIFS (DCF Inter-Frame Space) ideig szabad, az STA megkezdí az adást; többi STA várakozik (addig, amíg ismét legalább DIFS ideig szabad nem lesz a csatorna)
 - Sikeres vétel esetén a fogadó SIFS (Short Inter-Frame Space) idő elteltével nyugtakeretet (ACK) küld
 - A nyugta fogadása jelzi az adónak, hogy a küldés sikeres volt; ellenkező esetben újraküldés szükséges
 - A SIFS hossza azért rövidebb, mint a DIFS, hogy egy harmadik STA a nyugta elküldése előtt ne kezdhessen bele az adásba

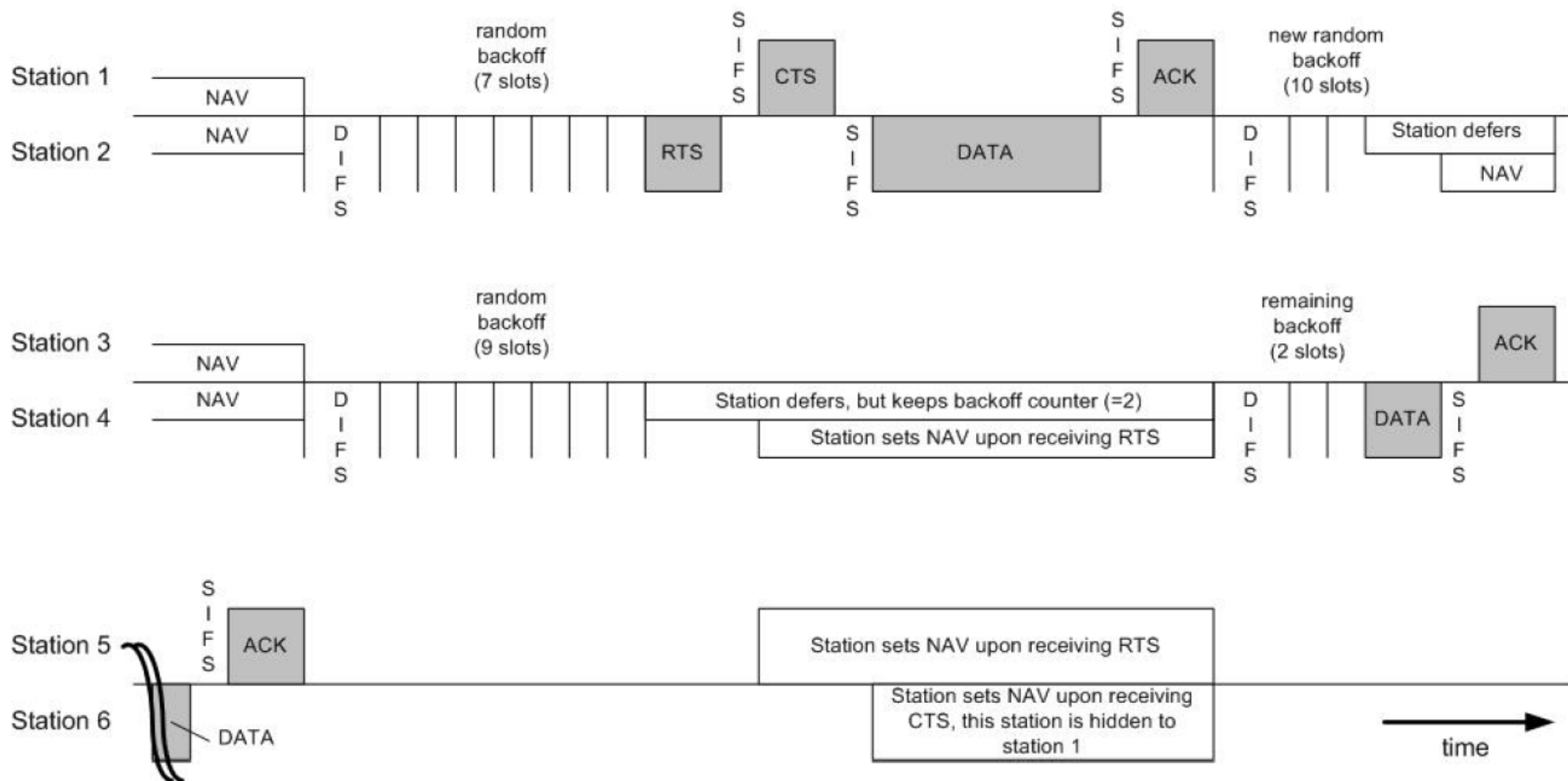
DCF működési mód II

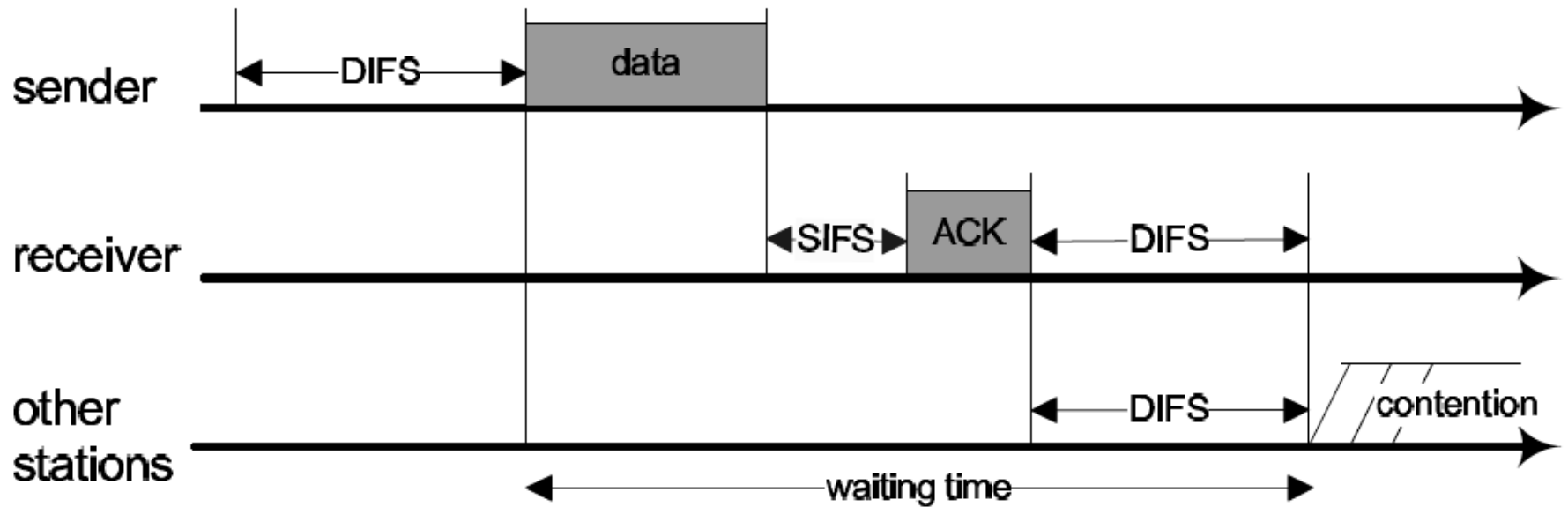
- CSMA akkor hatékony, ha kicsi a közeg terheltsége
- Előfordulhat, hogy egyszerre több SA is szabadnak érzékeli a csatornát, így egyidejűleg kezdik meg az adást – ekkor ütközés lép fel
- Az ütközéseket kezelni kell
 - 802.3 (Ethernet) esetén ütközés detektálás (Collision Detection – CD)
 - Vezetékes esetben az eszköz egyidejűleg képes adásra és vételre is (full duplex működés)
 - Képes az ütközések detektálására
 - Rádiós: két hardver kéne a full duplexhez
 - Vezeték nélküli eszközök esetén általában half duplex a működés (egyszerre vagy ad, vagy vesz az állomás)
 - Ha képes is lenne a full duplex működésre, más jelet (az ütközést) nehéz lenne érzékelni, mivel a saját jel elnyomná
 - Ezért 802.11 esetén ütközés elkerülés (Collision Avoidance – CA)

■ Collision Avoidance

- Az állomásnak egy további ideig várakoznia kell abban az esetben, ha
 - A DIFS periódus alatt foglalt volt a csatorna
 - A DIFS periódusnyi várakozás előtti pillanatban foglalt volt a csatorna
- Ebben az esetben az állomás elhalasztja a csatlakozást a csatornához
- Egy véletlen sorsolt ideig (random backoff time) még várakozik, miután DIFS ideig már szabad volt a csatorna
 - Ez az idő is time slot-okban számítható
- DIFS idő után minden üres idő elteltével egyesével csökken a backoff time
 - Ha közben újra foglaltnak érzékeli a csatornát, felfüggeszti a visszaszámlálást, a foglaltság vége után DIFS idő elteltével folytatja
 - Ha elérte a 0-t, és szabad a csatorna, elkezd adni

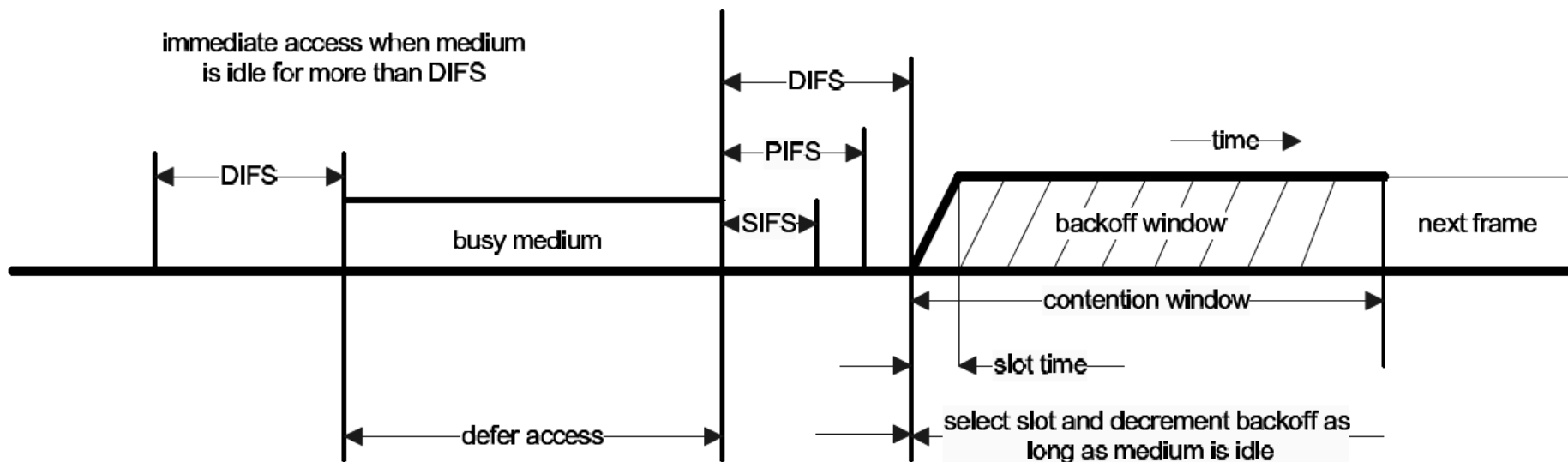
DCF működési mód IV





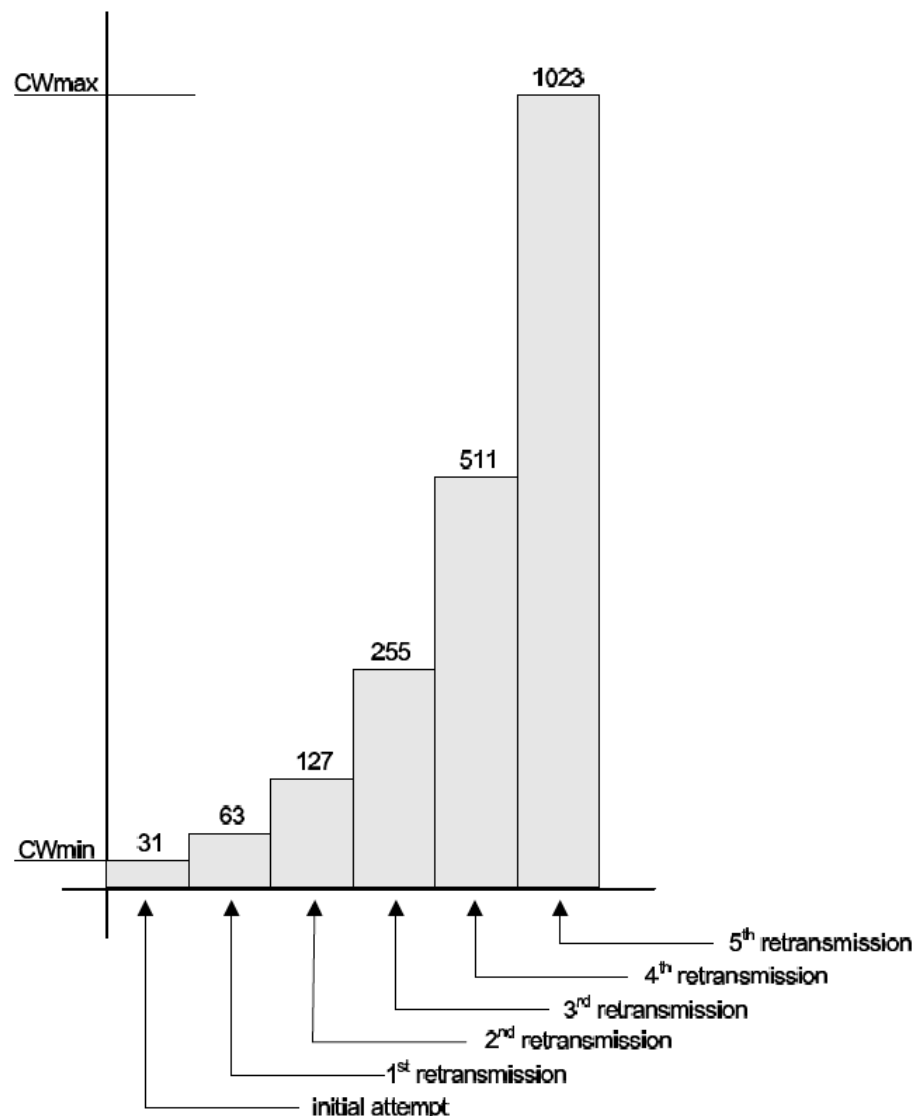
Inter-Frame Space idők

Interframe Space	DSSS	FHSS	DFIR
SIFS (Short Inter-Frame Space)	10 μ s	28 μ s	7 μ s
DIFS (DCF Inter-Frame Space)	30 μ s	78 μ s	15 μ s
PIFS (PCF Inter-Frame Space)	50 μ s	128 μ s	23 μ s
Slot Time	20 μ s	50 μ s	8 μ s



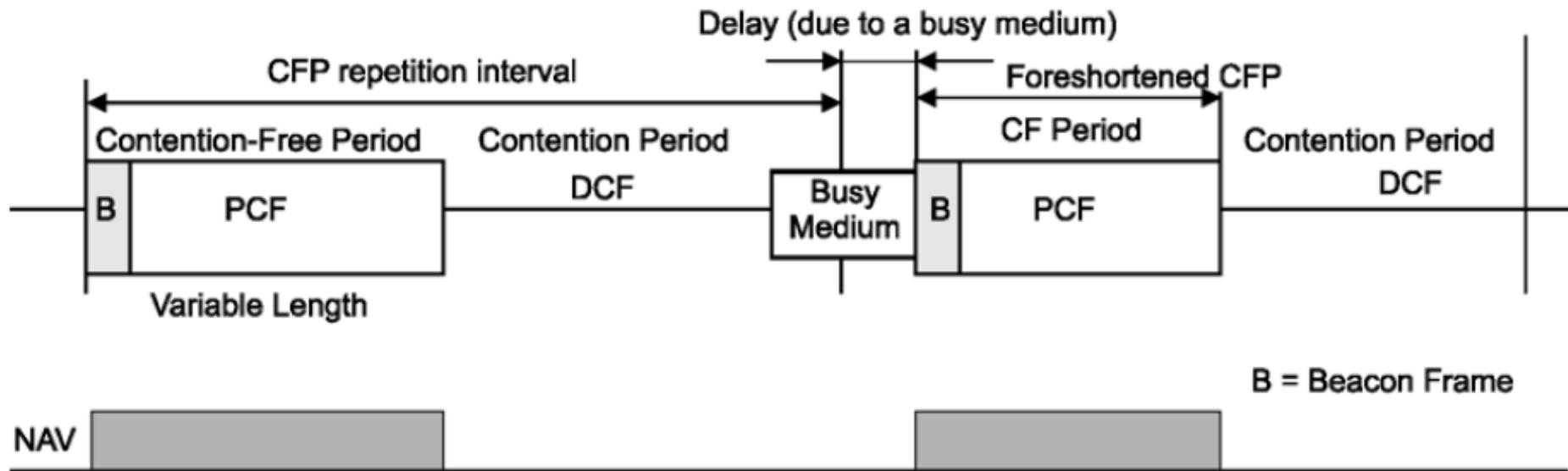
Exponential backoff

- A random backoff érték egyenletes eloszlással választódik a $[0, CW]$ intervallumból
 - CW: Contention Window
- Első átvitelkor $CW = CW_{\min}$
- Sikertelen átvitel esetén CW értéke duplázódik
 - $(2 \times (CW + 1) - 1)$
- Duplázódás addig, amíg el nem érjük CW_{\max} -ot
- DSSS PHY esetén: 31, 63, 127, 255, 511, 1023
- Sikeres átvitelnél a CW visszaáll 31-re
- Backoff mechanizmus mikor lép életbe: ha nem jött ACK
- Backoff van sikeres átvitel után is (!): hogy fair legyen a csatorna elosztása



- Point Coordination Function működés
 - A Point Coordinator (az AP) vezérli ezt a működést (PointCoordinator)
 - A versengés elkerülése végett a PC lekérdezi azon STA-kat, aki képes a PCF működésre, hogy akar-e adni, vagy sem – polling
 - STA válasza SIFS idő múlva
 - Polling lista készítése és frissítése – kiosztják, ki, melyik idősrben adhat
 - A DCF mellett működik ez a mód
 - Eredetileg: PCF és DCF időszakok váltanak egymást (versenymentes és versengéses)
 - Baj: a PCF módban minden állomást round robin módon lekérdez a szabvány szerint az Access Point → még akkor is, ha nem akar adni
 - Opcionális működési mód
 - Contention Free Period (CFP) – versengésmentes időszak
 - CFPMaxDuration határozza meg a versengésmentes időszak maximális hosszát
 - Periodikus beacon üzenet tartalmazza a CFP hosszát
- A DCF-ben részt vevő STA-k a CFP alatt nem figyelik a csatornát – NAV (Network Allocation Vector) értékét a CFP idejére állítják
- A CFP ideje alatt a kereteket SIFS időközönként adják, ezáltal a DCF működésben részt vevő terminálok nem tudnak a csatornához férni, valamint a backoff idejük sem csökken

PCF működési mód II

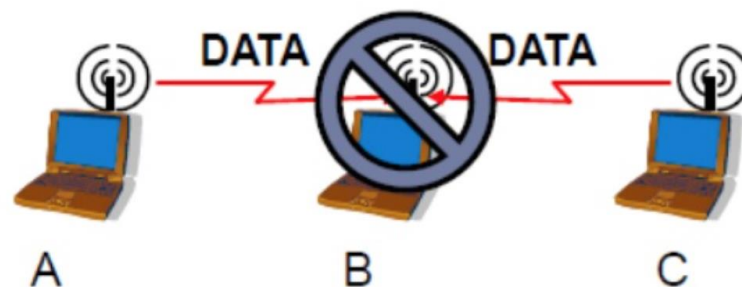
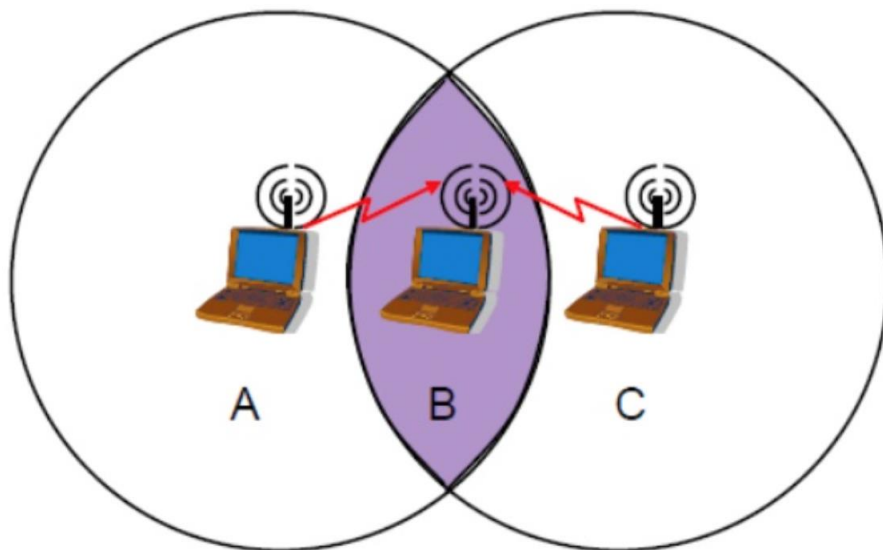


802.11e működési mód

- 802.11e QoS képes továbbfejlesztés: EDCA
 - a termékek dobozán WME (Wireless Multimedia Extension) –ként szerepel
 - Alapvető ötlet: különböző prioritások definiálása
 - Legnagyobb prioritás: real-time video
 - Prioritások megvalósítása: nagyobb prioritásúaknak kevesebbet kelljen adás előtt várnia, mint a többinek
 - Rövidebb inter-frame-space
 - Kisebb backoff ablak
 - Nyolcféle prioritási szint
- 802.11e-beli PCF mód: szintén polling alapú, nem valósítják meg

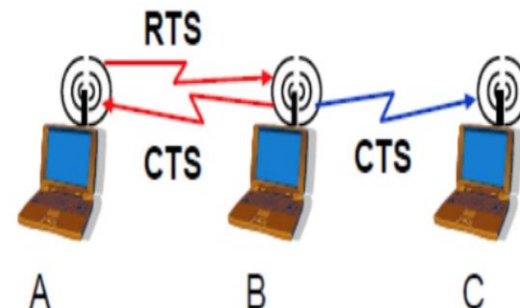
Rejtett terminál probléma

- A és B, valamint C és B látja egymást, míg A és C már nem hallja egymást
- B képes mind A-val, mind C-vel kommunikálni
- Ha A adatot küld B-nek, azt C nem tudja detektálni a CSMA/CA módszerrel
- Ha C is adatot küld B-nek, B-nél ütközés fog fellépni
- Ezt a helyzetet valahogy kezelni kell

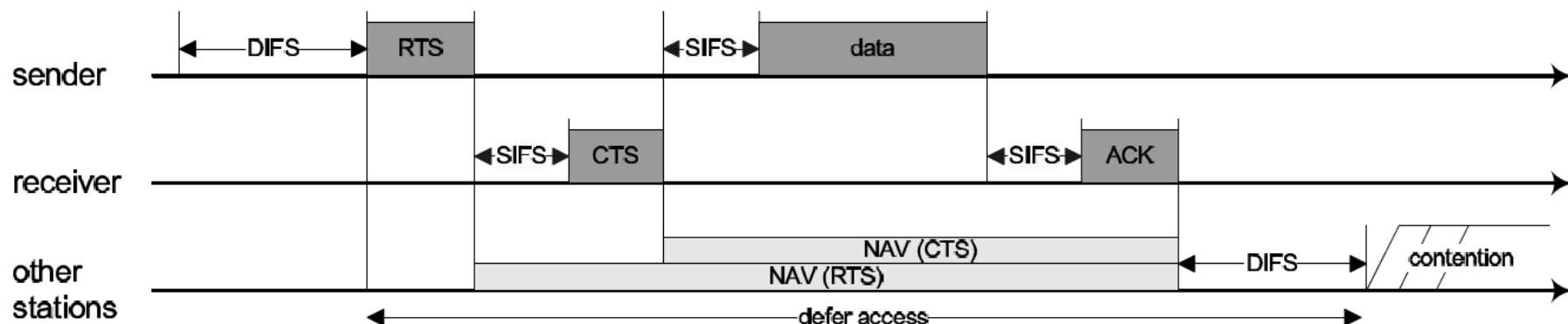


RTS/CTS működés / Virtual Carrier Sense

- Ha A (pl. terminál) adatot szeretne küldeni B-nek (pl. Access point), először egy RTS (Request-to-Send) üzenetet küld B-nek



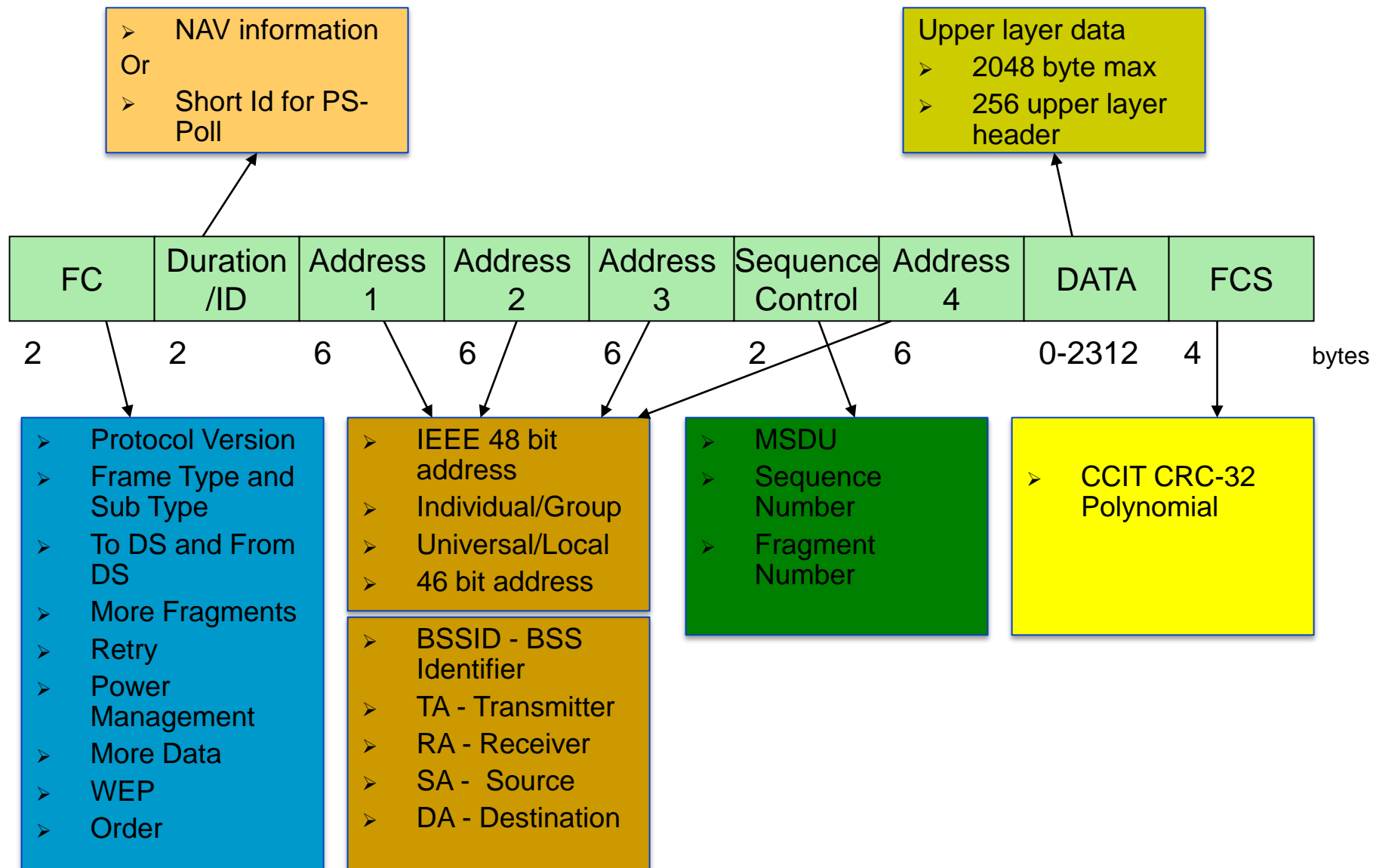
- Az RTS fogadás után B egy CTS (Clear-to-Send) üzenettel válaszol – RTS/CTS tartalmazza az adás hosszát
- Mikor C (és bárki más) meghallja a CTS üzenetet, ebből tudja, hogy más fogja használni a csatornát, CTS-ben adás hossza: C a saját NAV-ját (Network Allocation Vector)



KERETTÍPUSOK

- Adat keret (Data Frame)
 - Adatátvitel céljaira
- Vezérlő keret (Control Frame)
 - Közeghozzáférés vezérlés céljaira
 - Pl. RTS, CTS, ACK
- Menedzsment keret (Management Frame)
 - Menedzsment információk kerülnek benne továbbításra
 - Hasonló módon, mint az adat keret, azonban nem továbbítódnak a felsőbb rétegekhez
 - Pl. probe request, authentication

Általános MAC keret



Frame Control (FC) mező értékei

- Protocol Version: 2 bit; jelenlegi értéke 0, a többi érték jövőbeni felhasználásra fenttartva
- Type: 2 bit; WLAN keret azonosító; különböző kerettípusai vannak az vezérlésnek, az adatnak és a menedzsmentnek
- Sub Type: 4 bit; a keretek között további megkülönböztetést tesz lehetővé; a típus és altípus mezők azonosítják a tényleges keretet
- ToDS and FromDS: 1-1 bit; azt jelzik, hogy a keretet egy elosztott rendszer fejléce-e, IBSS hálózaton belüli kommunikáció esetén mindig 0 értékűek
- More Fragments: 1 bit; ha egy csomag több keretre van szétbontva a kommunikáció során; az utolsó csomagrészt tartalmazó keret kivételével az összes keretben 1 értékű
- Retry: 1 bit; 1 értékű, ha a keretet újraküldték; segít a duplikált keretek kiszűrésében
- Power Management: 1 bit; a küldő jelzi, hogy az adott keret átvitelét követően power management állapotba lép; az AP menedzseli a kapcsolatot és soha nem állítja 1 értékűre
- More Data: 1 bit; az AP-n keresztül jelzi a Power Management-nek további keretek állnak rendelkezésre az adott állomás részére
- WEP: 1 bit; jelzi, ha a csomag törzsét a wep-nek megfelelően titkosították
- Order: 1 bit : 1, ha a keretek sorrendjét meg kell tartani

- **Address Fields** max. 4 címet tartalmazhat a ToDS-től és a FromDS bitektől függően:
- **Address-1** mindig a Recipient Address, **Address-2** mindig a Transmitter Address
- **Address-3** a legtöbb esetben a maradék hiányzó cím. Egy keretben ahol FromDS=1, Address-3 az eredeti Source Address, ha a keretben ToDS=1, akkor Address 3 a célcím.
- **Address-4** speciális esetekben használják, amikor Wireless Distribution System-t alkalmaznak és az éppen adás alatt levő keretet egyik Ap-tól a másiknak küldik. Ilyen esetben mind ToDS=1 és FromDS=1, így az eredeti cél és forrás cím is hiányzik.

Lehetséges kerettípusok

CONTROL

- RTS
- CTS
- ACK
- PS-Poll
- CF-End & CF-End ACK

DATA

- Data
- Data+CF-ACK
- Data+CF-Poll
- Data+CF-ACK+CF-Poll
- Null Function
- CF-ACK (nodata)
- CF-Poll (nodata)
- CF-ACK+CF+Poll

MANAGEMENT

- Beacon
- Probe Request & Response
- Authentication
- Deauthentication
- Association Request & Response
- Reassociation Request & Response
- Disassociation
- Announcement Traffic Indication Message (ATIM)

Control Frames

- Acknowledgement (ACK) Frame: Nyugta keret
 - nyugtázza a vett keretet
- Request to Send (RTS) Frame:
- Clear to Send (CTS) Frame:
 - Az RTS/CTS keretek segítségével a csatorna foglaltsága jelezhető, a rejtett terminál probléma feloldására használják ezeket

Management Frames

- Authentication Frame: a hitelesítési üzeneteket szállítja, pl. hitelesítés elfogadás, elutasítás, kihívás üzenetek stb.
- Association Request Frame: adott AP-hoz való csatlakozás kérelem
- Association Response Frame: az AP csatlakozási kérelem üzenetre adott válasza; sikeres csatlakozás esetén tartalmaz csatlakozási azonosítót és támogatott adatsebességeket
- Beacon Frame: periodikus üzenet, az AP fontosabb tulajdonságait tartalmazza, pl. SSID, hitelesítési információk
- Deauthentication Frame: kapcsolat lezáró keret; más állomás kapcsolatának lezárása esetén
- Disassociation Frame: kapcsolat lezáró keret; saját kapcsolódás befejezése
- Probe Request Frame: AP információk lekérése
- Probe Response Frame: AP küldi, tartalmazza az AP képességeit, a támogatott adat sebességeket stb.
- Reassociation Request Frame: Újracsatlakozás kérelem
- Reassociation Response Frame: Újracsatlakozás válasz

FIZIKAI RÉTEG SPECIFIKÁCIÓK

- Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS)
 - 802.11-1997-ben definiálták
 - 1 Mbits/s és 2 Mbits/s sebesség
 - Nem használják
- Direct-Sequence Spread Spectrum (DSSS)
 - 802.11-1997-ben definiálták
 - 802.11b és 802.11g-ben is van
- Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM)
 - 802.11a-ban definiálták
 - Max 54 Mbits/s sebesség
 - 802.11g (54 Mbits/s), 802.11n (600 Mbits/s), 802.11ac (6.93 Gbits/s) és 802.11ad (7 Gbits/s)
- Single Carrier
 - 802.11ad-ben definiálták
 - 4.62 Gbits/s
- A sebességek: a fizikai réteg „alján” tapasztalható pillanatnyi maximális jelzési sebességek egy keret átvitele közben
- Valós user throughput ennél jóval kisebb
 - Backoff mechanizmusok miatt sok várakozás
 - Hibavédő kódolások és protokoll overheadek miatt hasznos sebesség kisebb

Direct-Sequence Spread Spectrum

- Hol volt szó róla eddig: 3G –nél
- Bit -> kódsorozat átvitel
 - 11 chipből álló Barker kód
- WiFi-nél: a spektrumszóró kódokat nem használjuk a közeg megosztására, csatornák kialakítására
 - Egy osztott csatorna van, amit CSMA/CA-val osztunk
 - De a spektrumszórás zavarvédelettebbé teszi a rendszert
 - Közeli, áltapoló spektrumsávokban működő WiFi-k esetén még van esély a működésre (bár nem sok ...)
- 802.11b –ben: a választott kódsorozat is információt hordoz
 - Pl. 1 bit : A vagy B sorozat + 1 bit: a sorozat, vagy negáltja megy át

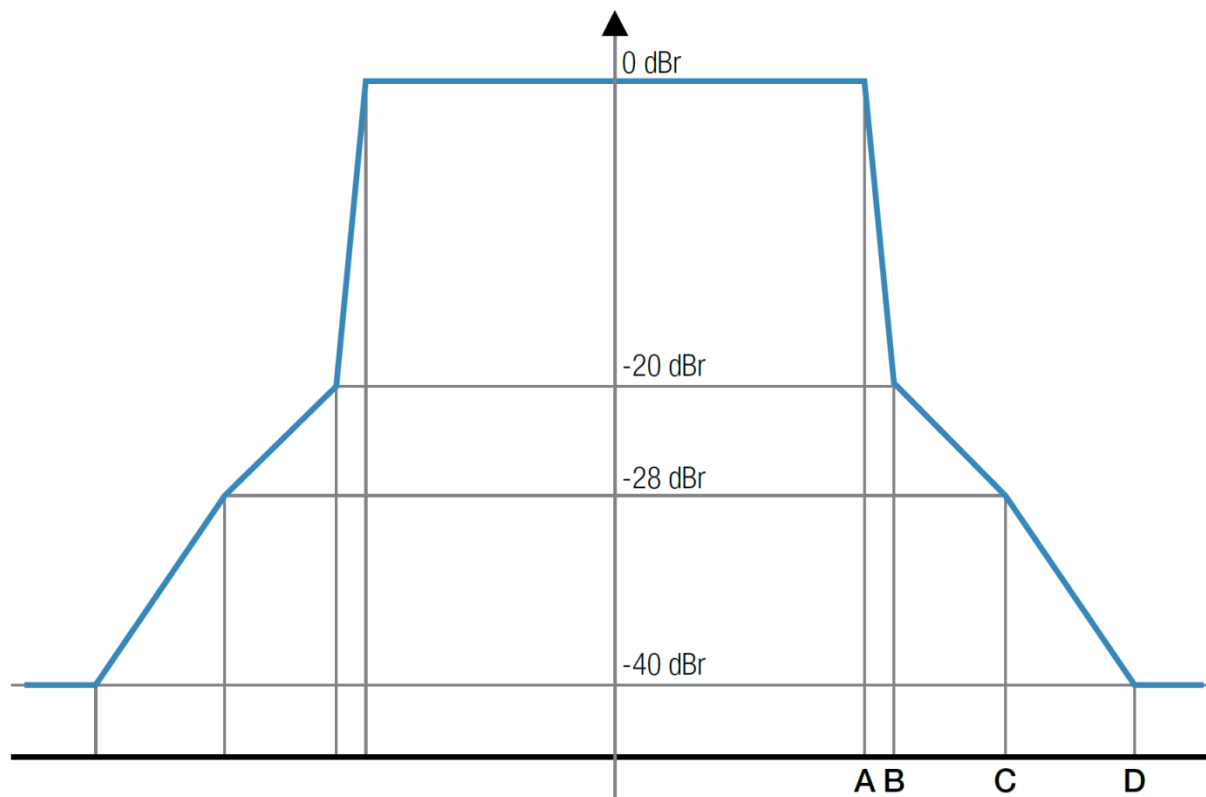
Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

- 802.11a, g –ben
 - 52 segédvivő
 - 4 pilot segédvivő: koherens vételhez, csatornabecsléshez
 - 48 data segédvivő
- 802.11n
 - 56 segédvivő 20 MHz, 114 segédvivő 40 MHz
- 802.11ac –ben
 - 56, 114, 242 vagy 484 segédvivő 20, 40, 80, 160 MHz sávon
- 802.11 ad –ben
 - 354 segédvivő (+DC)
 - Ebből 16 pilot

- Működési frekvencia: 2,4 GHz és opcionálisan 5 GHz
- Hagyományos 20 MHz sáv szélesség mellett a szélesebb 40 MHz-es sáv szélesség is használható (channel bonding, 2*20 MHz vivő)
- MIMO alkalmazása
 - “1x1”-től “4x4”-ig
- PHY és MAC rétegbeli javítások
 - PHY: hatékony jelfeldolgozás, fejlett modulációs technikák, többes antennák használata
 - MAC: protokoll kiegészítések a sáv szélesség hatékony kihasználása szempontjából
 - Az eredeti 802.11 –hez képest nagyobb méretű keretek, illetve több keret együttes küldése
- Előbbi módosításoknak (High Throughput (HT) javítások) köszönhetően a sebesség elérheti a 600 Mbits/s értéket

802.11a/g/n/ac OFDM spektrum maszk

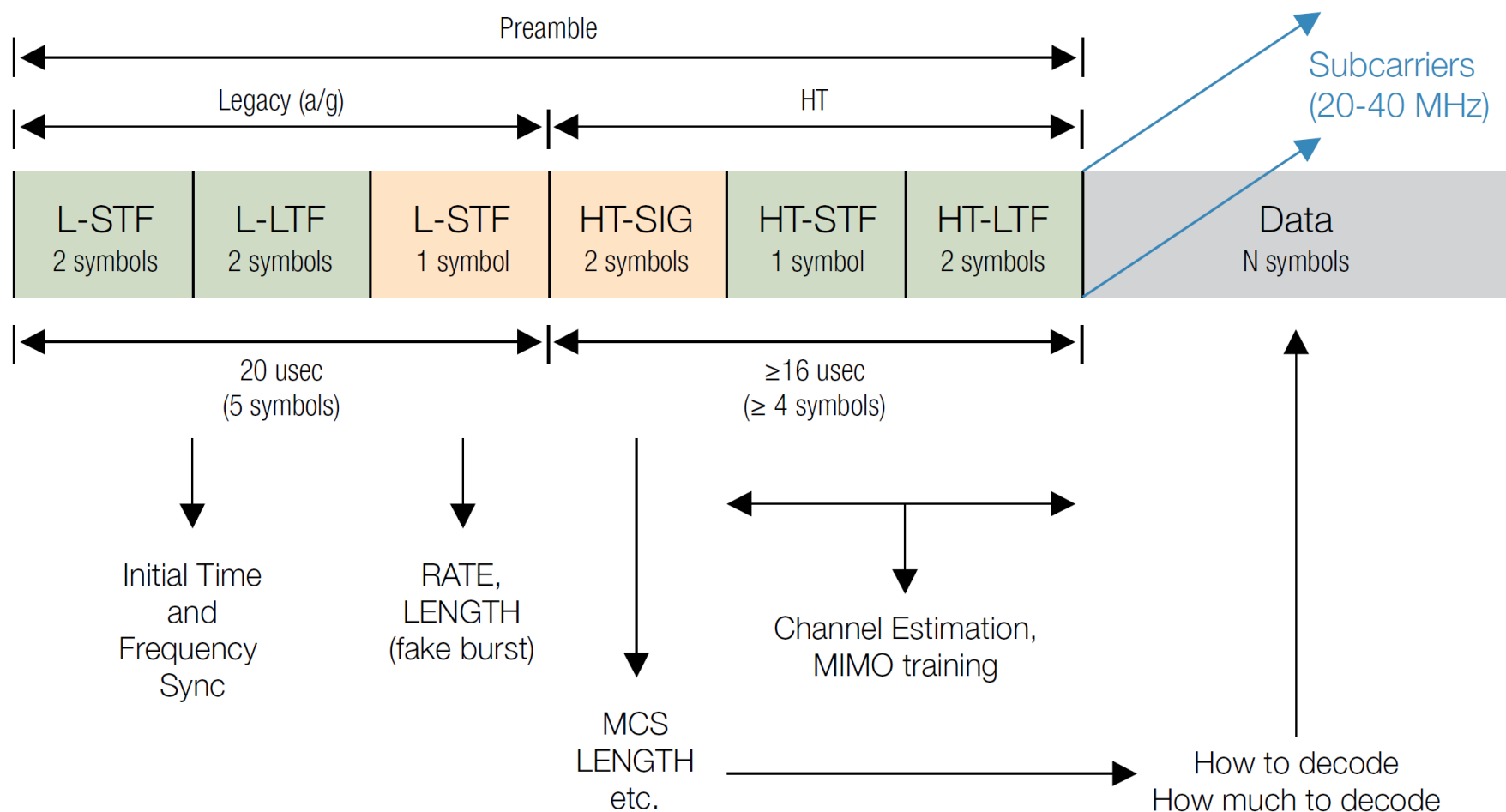
Spectral Mask for 20, 40, 80 and 160 MHz Channels



Channel Size	A	B	C	D
20 MHz	9 MHz	11 MHz	20 MHz	30 MHz
40 MHz	19 MHz	21 MHz	40 MHz	60 MHz
80 MHz	39 MHz	41 MHz	80 MHz	120 MHz
160 MHz	79 MHz	81 MHz	160 MHz	240 MHz

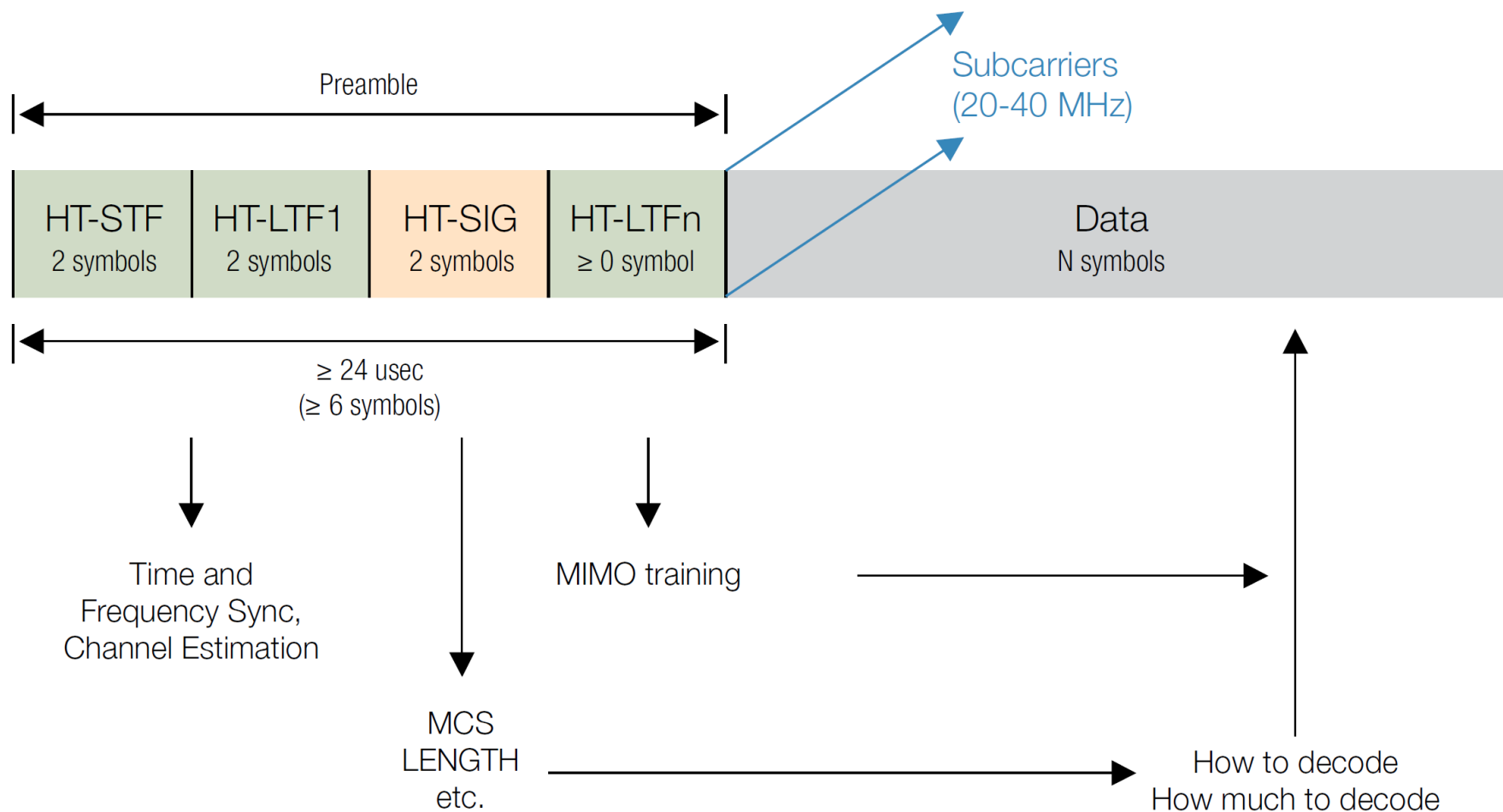
802.11n csomagformátum I

802.11n HT Packet Format - Mixed Format (MF)



802.11n csomagformátum II

802.11n HT Packet Format - Greenfield (GF)



802.11n modulációs sémák

Modulation Coding Scheme and Forward Error Correction Rate for 802.11n

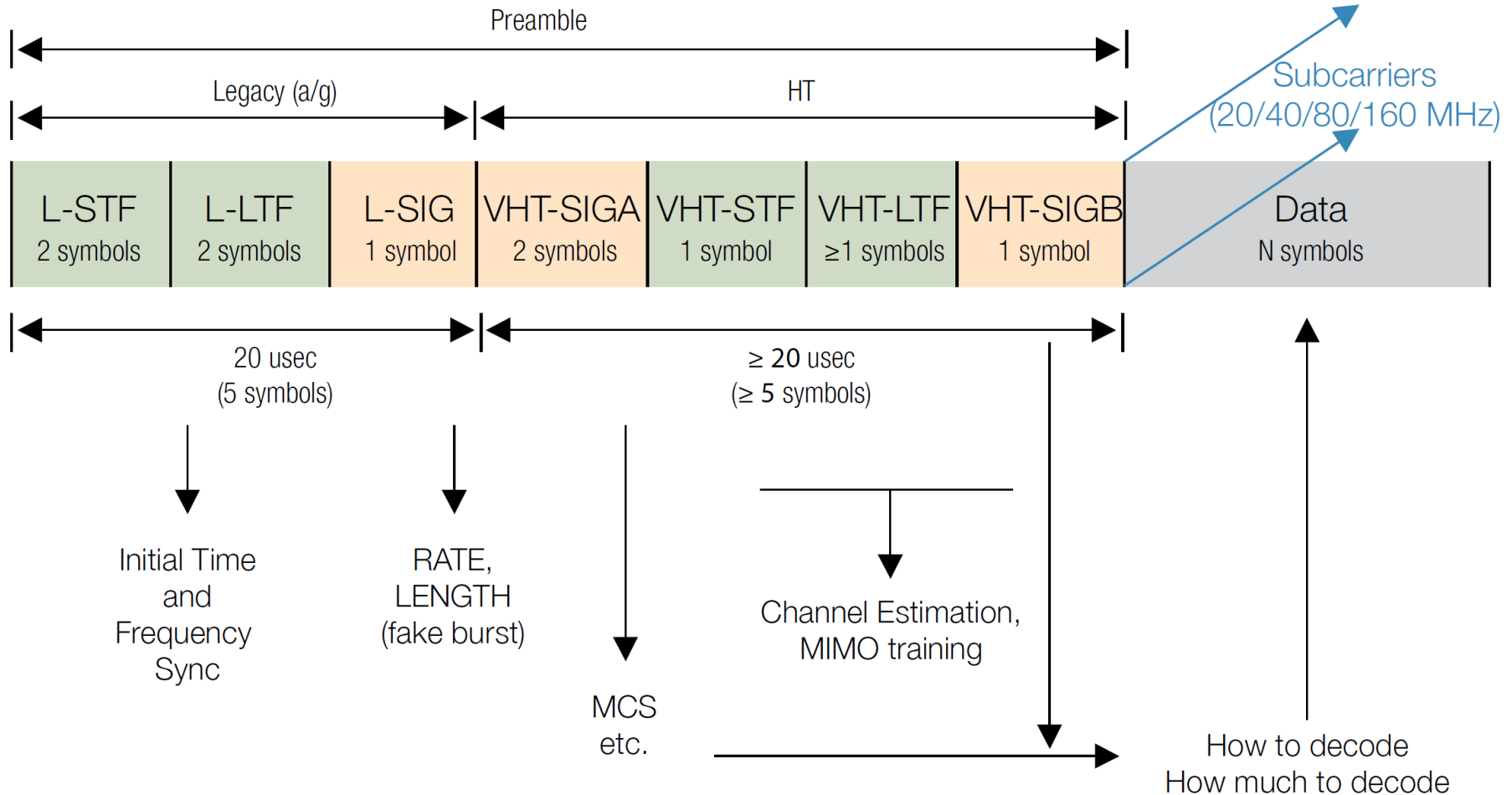
MCS	Modulation	FEC Rate	Data Rate	
			20 MHz (Mbps)	40 MHz (Mbps)
0	BPSK	1/2	7.2	15.0
1	QPSK	1/2	14.4	30.0
2	QPSK	3/4	21.7	45.0
3	16QAM	1/2	28.9	60.0
4	16QAM	3/4	43.3	90.0
5	64QAM	2/3	57.8	120.0
6	64QAM	3/4	65.0	135.0
7	64QAM	5/6	72.2	150.0

IEEE 802.11ac

- Működési frekvencia: 5 GHz
- Very High Throughput (VHT)
 - Szélesebb RF sáv szélesség (akár 160 MHz is)
 - Nagyobb MIMO (8x8 is támogatott)
 - Multi-user MIMO
 - High-density moduláció (256-QAM is)
- Minden 802.11ac eszköznek támogatni kell:
 - 20, 40 és 80 MHz-es csatornákat
 - 64-QAM
 - Az így elérhető sebesség: 293 Mbits/s
- A nagyobb sebesség eléréséhez opcionálisan:
 - Szélesebb csatorna sáv szélességek (80+80 MHz és 160 MHz)
 - Magasabb MIMO támogatás (8x8 is)
 - Nagyobb sűrűségű moduláció támogatása (opcionálisan 256QAM is)
 - Multi-User MIMO (MU-MIMO)
 - 400 ns short guard interval
 - Space Time Block Coding (STBC)
 - Low Density Parity Check (LDPC)
 - Az így elérhető sebesség: 6,93 Gbits/s

802.11ac csomagformátum

802.11ac Packet Format

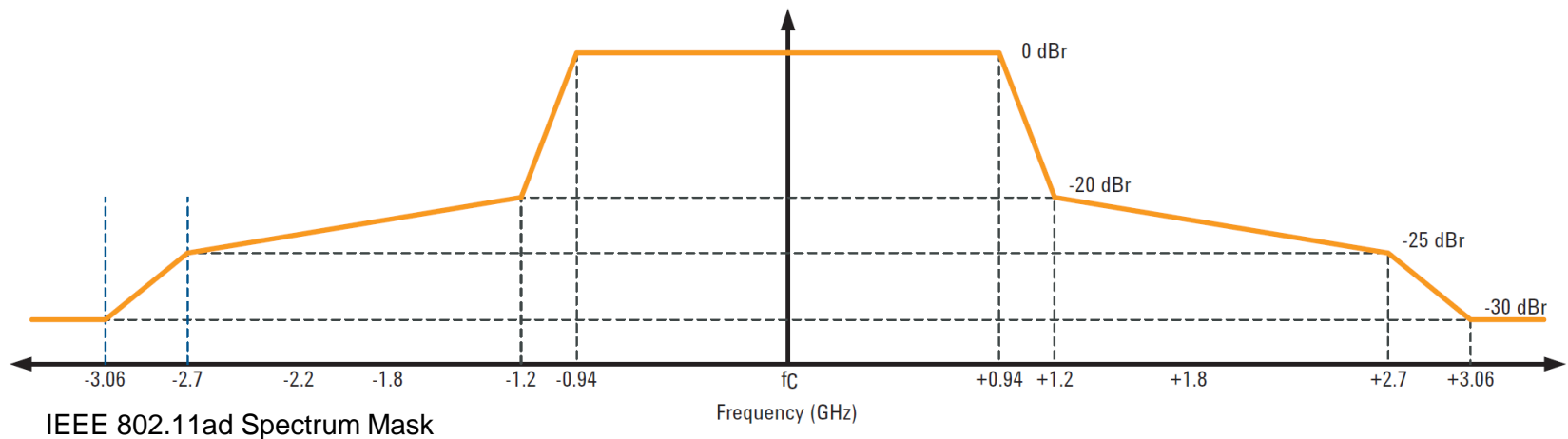


802.11ac modulációs sémák

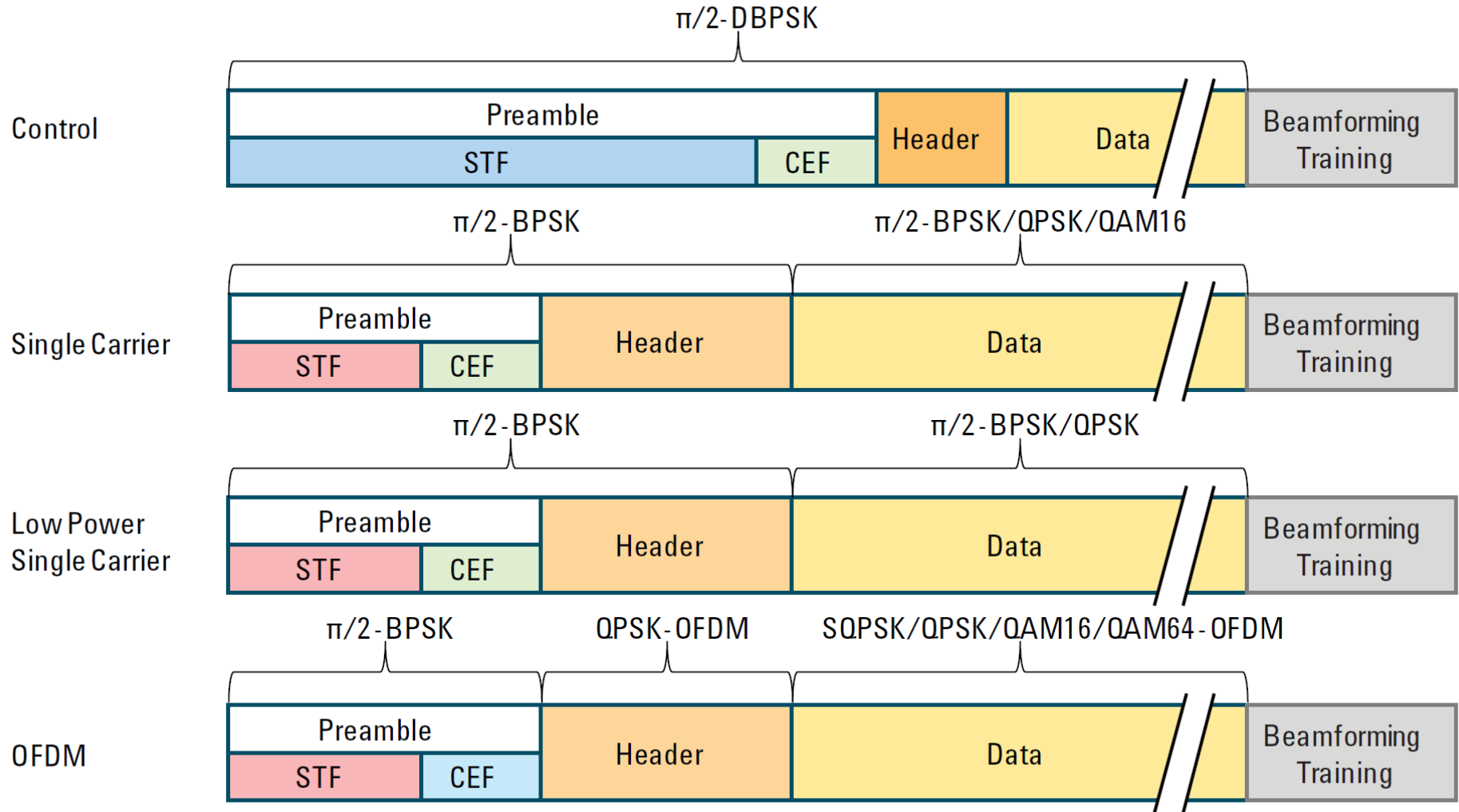
Modulation Coding Scheme and Forward Error Correction Rate for 802.11ac

MCS	Modulation	FEC Rate	Data Rate			
			20 MHz (Mbps)	40 MHz (Mbps)	80 MHz (Mbps)	160 MHz (Mbps)
0	BPSK	1/2	7.2	15.0	32.5	65.0
1	QPSK	1/2	14.4	30.0	65.0	130.0
2	QPSK	3/4	21.7	45.0	97.5	195.0
3	16QAM	1/2	28.9	60.0	130.0	260.0
4	16QAM	3/4	43.3	90.0	195.0	390.0
5	64QAM	2/3	57.8	120.0	260.0	525.0
6	64QAM	3/4	65.0	135.0	292.5	585.0
7	64QAM	5/6	72.2	150.0	325.0	650.0
8	256QAM	3/4	86.7	180.0	390.0	780.0
9	256QAM	5/6	N/A	200.0	433.3	866.7

- Működési frekvencia: 60 GHz
- Három különböző modulációs technikát definiál:
 - Spread-spectrum modulation; Control PHY
 - Single carrier (SC) modulation: Single Carrier PHY és Low Power Single Carrier PHY
 - Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) modulation
- Maximális elérhető sebesség: 6,75 Gbits/s



IEEE 802.11ad csomagformátumok



IEEE 802.11ad fejlécek felépítése

Control

1	4	10 bits	1	5 bits	1	2	16 bits
Reserved (diff detector init)	Scrambler Initialization	Length	Packet type	Training Length	Turnaround	Reserved bits	HCS

Single Carrier

7 bits	5 bits	18 bits	1	1	5 bits	1	1	4 bits	1	4 bits	16 bits
Scrambler Initialization	MCS	Length	Packet type Additional PPDU		Training Length	Beam Tracking Request Aggregation		Last RSSI	Turnaround	Reserved	HCS

OFDM

7 bits	5 bits	18 bits	1	1	5 bits	1	1	1	1	4 bits	1	2	16 bits
Scrambler Initialization	MCS	Length	Packet type Additional PPDU		Training Length	DTP Indicator Tone Pairing Type Beam Tracking Request Aggregation				Last RSSI	Reserved Turnaround	HCS	

IEEE 802.11ad fejlécek felépítése

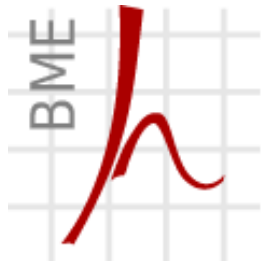
- Scrambler Initialization
 - A bitsorozat álvéletlenné tételéhez (-> „fehérebb” spektrum, nincsenek hosszú azonos szimbólum sorozatok) használt álvéletlen sorozat inicializálásához, ezzel van „keverve” a keret többi része
- MCS
 - A modulációs és kódolási sémát jelöli
- Length
 - A hasznos adat (payload) hosszát jelöli octetekben
- Training Length
 - A csomag végén található opcionális nyaláb formálás training mezőjének hosszát jelöli
- Packet Type
 - Azt jelzi, hogy az opcionális nyaláb formálás training mező be van-e állítva a küldő vagy a vevő oldalon
- HCS
 - CRC-32 checksum a fejléc bitekre vonatkozólag

802.11ad modulációs sémák

Control (CPHY)		
Coding	Modulation	Raw Bit Rate
Shortened 3/4 LDPC, 32x Spreading	$\pi/2$ -DBPSK	27.5 Mbps
Single Carrier (SCPHY)		
Coding	Modulation	Raw Bit Rate
1/2 LDPC, 2x repetition 1/2 LDPC, 5/8 LDPC 3/4 LDPC 13/16 LDPC	$\pi/2$ -BPSK, $\pi/2$ -QPSK, $\pi/2$ -16QAM	385 Mbps to 4620 Mbps
Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDMPHY)		
Coding	Modulation	Raw Bit Rate
1/2 LDPC, 5/8 LDPC 3/4 LDPC 13/16 LDPC	OFDM-SQPSK OFDM-QPSK (DCM) OFDM-16QAM OFDM-64QAM	693 Mbps to 6756.75 Mbps
Low-Power Single Carrier (LPSCPHY)		
Coding	Modulation	Raw Bit Rate
RS(224,208) + Block Code(16/12/9/8,8)	$\pi/2$ -BPSK, $\pi/2$ -QPSK	625.6 Mbps to 2503 Mbps

Kérdések?

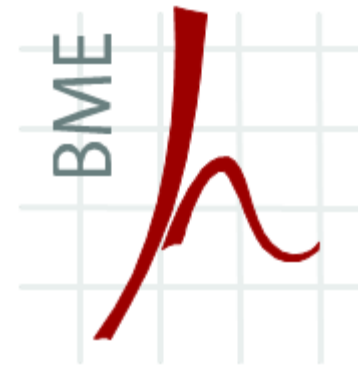
KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!



Hálózati Rendszerek és
Szolgáltatások Tanszék

Gódor Győző
tudományos segédmunkatárs
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu





7. EA. HETEROGÉN MOBILHÁLÓZATOK KIALAKÍTÁSÁNAK KÉRDÉSEI

*Mobil és vezeték nélküli hálózatok
(BMEVIHIMA07)*

Jakó Zoltán

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

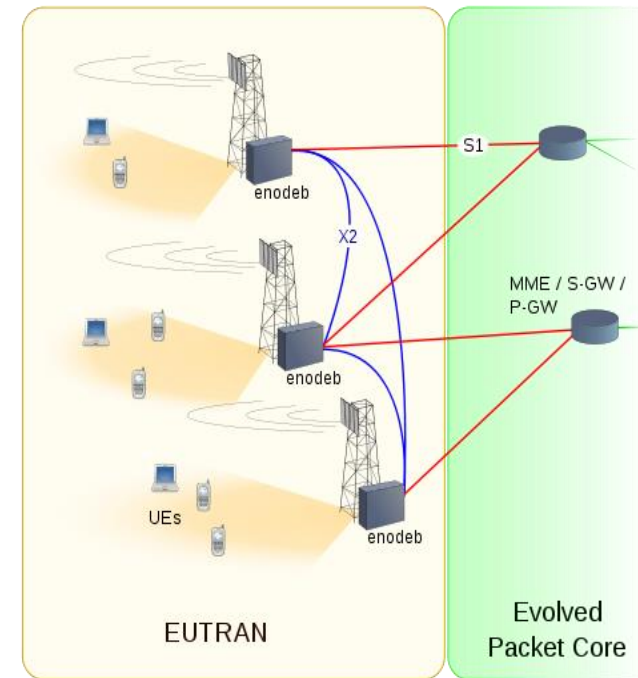
jakoz@hit.bme.hu

- eUTRAN felépítése :
 - BBU+ RRH architektúra
- Rádiós együttélés (3GPP hálózatok között) szabványai, követelményei,
 - gyakorlati példák és problémák
- 3GPP és nem 3GPP hálózatok együttélése, összekapcsolásának lehetőségei
 - Wifi offloading
- Többszintű lefedettség:
 - lehetséges architektúrák,
 - Small cellák és relék alkalmazása LTE-A-ban, relé típusok a 3GPP-ben

AZ EUTRAN FELÉPÍTÉSE, AZ ENODEB-K FUNKCIONÁLIS ELEMEI

eUTRAN felépítése (ism)

- *Air interface*, eNodeB-k alkotják az eUTRAN-t,
- Az eNodeB-vel kommunikálnak az UE-k,
- Ellentétben az UMTS-sel, itt (látszólag) nincs külön vezérlő elem (UMTS-ben ez az RNC), ez gyorsítja a hálózatot.
- eNodeB-k között az ún. **X2** interfész található.
- Az **S1** interfész biztosítja a kapcsolatot az EPC-vel.

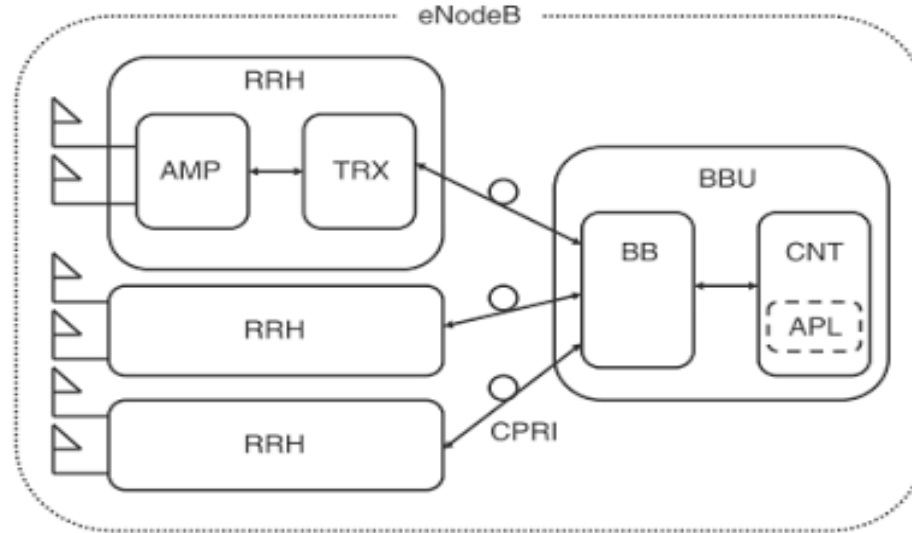


eNodeB (Evolved Node B) felépítése 1

- **S1-MME interfész:** Az MME felé/felől control plane (vezérlési, jelzésátviteli forgalom halad rajta),
- **S1-U interfész:** AServing Gateway (S-GW) felé/felől user plane (felhasználói adatforgalom)
- eNB **X2 interfész**en kommunikál a többi eNB-vel, X2-AP protokollt használ ezen az interfészen.

eNodeB (Evolved Node B) felépítése 2

- Az eNodeB egy **logikai elem**, valójából két fő funkcionális elemből áll (melyek nem is feltétlen vannak egy fizikai helyen):
 - **Baseband unit-ból (BBU)** és
 - **RRH (Remote Radio Head)** egységből áll (ált. 3 db).
- A BBU és az RRH-k között optikai kábel biztosítja a kapcsolatot (*common public radio interface* -- CPRI).



eNodeB (Evolved Node B) felépítése 3

1. BBU feladatai:

- A maghálózatból jövő S1 kapcsolat itt végződik,
- Továbbá az X2 interfész is itt végződik,
- Az alapsávi digitális (digital baseband) jelfeldolgozásért felel:
 - A core networkből bejövő IP csomagok digitális modulációja itt történik, majd továbbítja az RRH-nak.
 - Az RRH-ból bejövő digitálisan modulált jelet demodulálja, és IP csomagokban szervezve továbbítja a maghálózatba.

2. RRH feladatai:

- RF jelek küldése és vétele,
- Digitális alapsávi jelek RF jelekké alakítása, és kisugárzása az UE-k felé.
- Az UE-től vett RF jelet digitális alapsávi jellé alakítja, és továbbítja a BBU-nak.

eNodeB (Evolved Node B) felépítése 4

- A BBU két funkcionális egységből áll:
 - a) **CNT (CoNTroller):**
 - IP rétegbeli protokoll feldolgozás végrehajtása,
 - Hívás vezérlés irányítása,
 - O&M (Operation and Maintenance) adminisztráció végrehajtása,
 - S1/X2 interfészeken történő kommunikáció.
 - network address translation (NAT) végrehajtása,
 - Sáv vezérlés (band control) végrehajtása
 - Hiba monitorozás a többi egységtől és monitorozása.
 - *application software (APL) – telepíthető rá*
 - b) **BB (BaseBand):**
 - Digitális alapsávi jellé alakítás,
 - MIMO, OFDMA, SC-FDMA feldolgozás,
 - Több szintű moduláció (multilevel modulation),
 - AMC (adaptive modulation and coding) és H-ARQ feldolgozás,
 - Teljesítmény- és inter-cell interferencia szabályozása

eNodeB (Evolved Node B) felépítése 5

- A RRH szintén két funkcionális egységből áll:

a) TRX

- RF jelek feldolgozása,
- D/A és A/D átalakítás elvégzése.

b) AMP

- A RF jel erősítése,
- A jelek antennára továbbítása / vétele az antennáról

MEGLÉVŐ HOZZÁFÉRÉSI HÁLÓZATOK „EGYÜTTÉLÉSE” ÉS ÖSSZEKAPCSOLÁSA

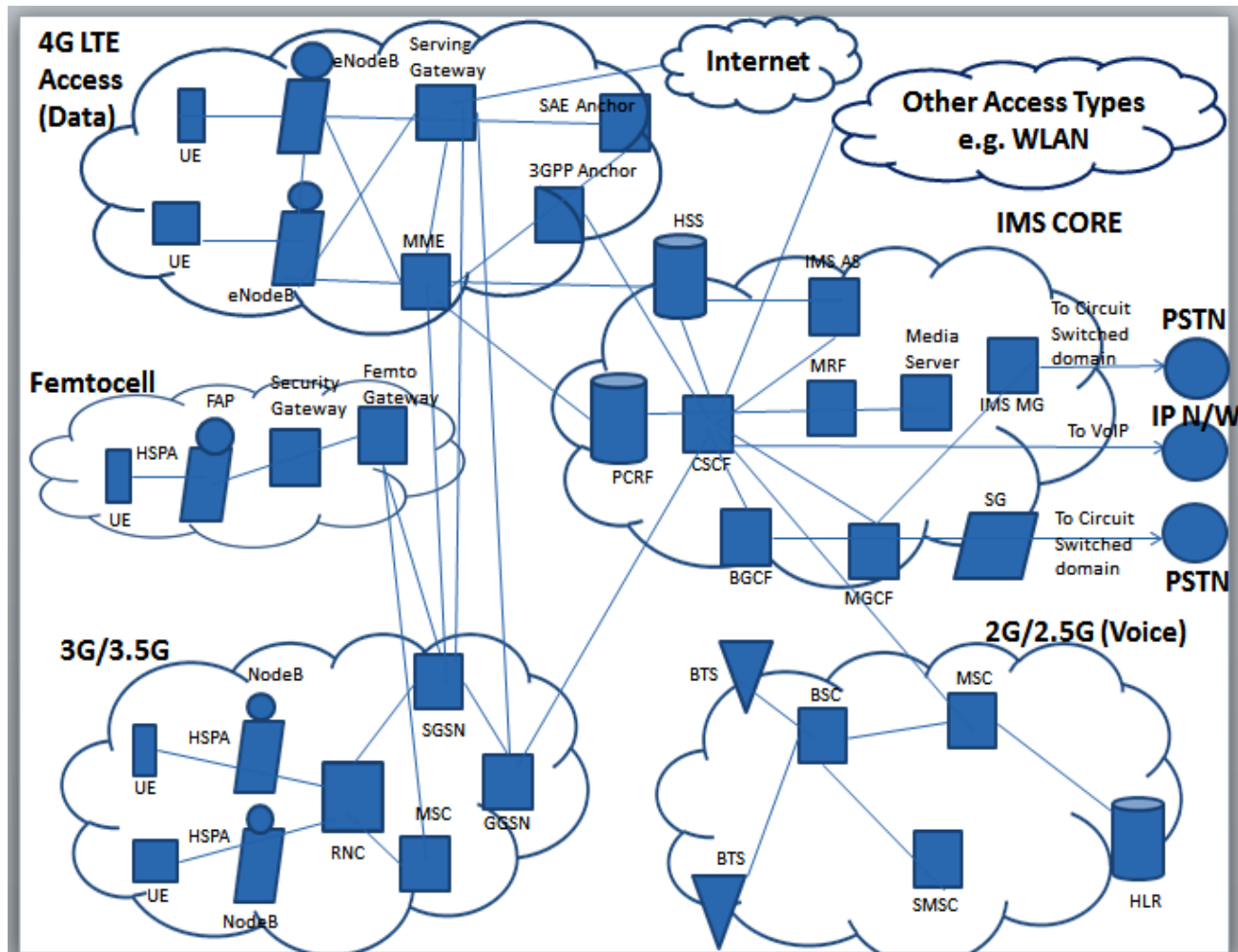
Interferencia kérdése

- A mobil szolgáltatónak ügyelnie kell arra, hogy azonos frekvenciasávon lehetőleg ne üzemeljen többféle hozzáférési hálózat
- Gyakorlatban:
 - A CDMA downlink frekvenciasáv és az Extended-GSM uplink frekvenciasávja részben átlapolódnak.
 - LTE-ben számos sáv van ami átlapolódik az UMTS és GSM frekvenciasávokkal.

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit		Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive		Duplex Mode
	F _{UL} low	F _{UL} high	F _{DL} low	F _{DL} high	
1	1920 MHz	1980 MHz	2110 MHz	2170 MHz	FDD
2	1850 MHz	1910 MHz	1930 MHz	1990 MHz	FDD
3	1710 MHz	1785 MHz	1805 MHz	1880 MHz	FDD
4	1710 MHz	1755 MHz	2110 MHz	2155 MHz	FDD
5	824 MHz	849 MHz	869 MHz	894 MHz	FDD
6	830 MHz	840 MHz	875 MHz	885 MHz	FDD
7	2500 MHz	2570 MHz	2620 MHz	2690 MHz	FDD
8	880 MHz	915 MHz	925 MHz	960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz	1784.9 MHz	1844.9 MHz	1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz	1770 MHz	2110 MHz	2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz	1447.9 MHz	1475.9 MHz	1495.9 MHz	FDD
12	698 MHz	716 MHz	728 MHz	746 MHz	FDD
13	777 MHz	787 MHz	746 MHz	756 MHz	FDD
14	788 MHz	798 MHz	758 MHz	768 MHz	FDD
17	704 MHz	716 MHz	734 MHz	746 MHz	FDD
...					
33	1900 MHz	1920 MHz	1900 MHz	1920 MHz	TDD
34	2010 MHz	2025 MHz	2010 MHz	2025 MHz	TDD
35	1850 MHz	1910 MHz	1850 MHz	1910 MHz	TDD
36	1930 MHz	1990 MHz	1930 MHz	1990 MHz	TDD
37	1910 MHz	1930 MHz	1910 MHz	1930 MHz	TDD
38	2570 MHz	2620 MHz	2570 MHz	2620 MHz	TDD
39	1880 MHz	1920 MHz	1880 MHz	1920 MHz	TDD
40	2300 MHz	2400 MHz	2300 MHz	2400 MHz	TDD

forrás: 3GPP 36.101(v860) 5.5.1. táblázat

Meglévő 3GPP hálózatok összekapcsolása



- A 3GPP szabvány megengedi, hogy EPC-hez (maghálózathoz) lehessen csatlakozni
 - 3GPP által szabványosított hozzáférési hálózaton (UMTS, LTE, GSM stb.) lásd előző dia, és
- Nem a 3GPP által szabványosított hozzáférési hálózaton keresztül (pl. WLAN, WiMaX)
 - Megbízható (az UE és EPC közti kommunikáció megbízható) ,
 - Nem megbízható kapcsolaton keresztül.

WLAN integrálása – offloading 1

- Eddig a WLAN és a Cellás hálózat függetlenül működtek,
- WLAN és az LTE is IP alapú,
- Az okostelefonok képesek WLAN-hoz csatlakozni,
- Lakásokban általában van WLAN hálózat, ugyanakkor a makró eNB jele nem biztos, hogy megfelelő,
- *3GPP Release 6*-ban (UMTS) jelent meg az ötlet először:
 - 3GPP TS 23.234 "3GPP system to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking; System description"
 - 3GPP TS 24.234 "3GPP System to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking; WLAN User Equipment (WLAN UE) to network protocols; Stage 3"
- **3GPP Rel. 9:** Data offloading, 3GPP és WLAN hálózat is használható adatátvitelre, de a kettő együtt nem,
- **3GPP Rel. 10:** IP Flow Mobility (IFOM) – az IP folyam egy része az EPC-n halad, a másik fele WLAN-on.
- **CÉL:** WLAN és 3GPP LTE összekapcsolása, úgy hogy a felhasználó (UE) számára észrevétlen (seamless) legyen az átmenetel.

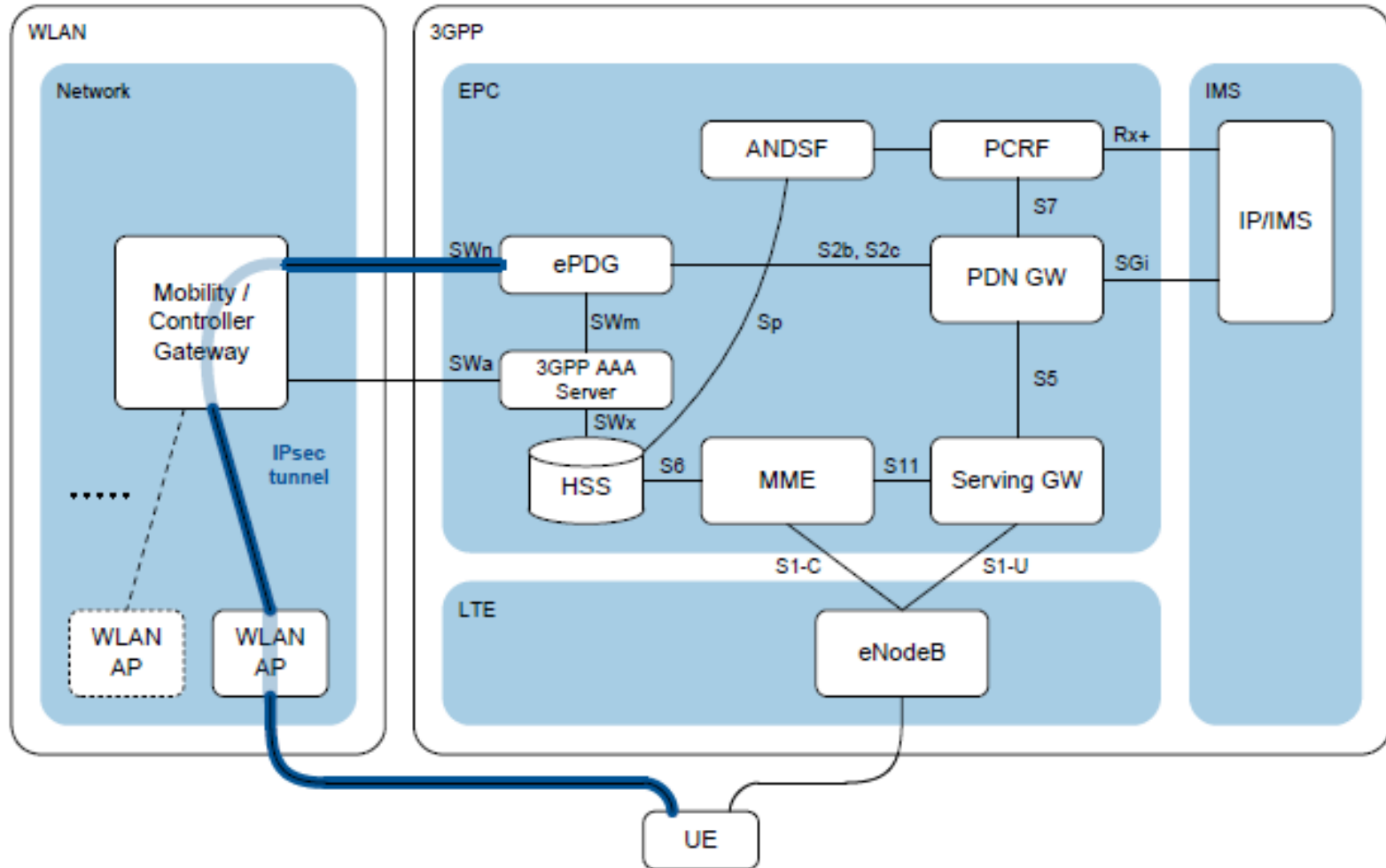
WLAN integrálása – offloading 2

- A WLAN hálózat kétféleképpen tud csatlakozni az EPC-hez:
 - *Non-trusted* (Nem megbízható): 3GPP Release 8 EPC
 - *Trusted* (megbízható): 3GPP Release 11 óta van
- **1. Nem megbízható kapcsolat esetén:**
 - A WLAN hálózattal a kapcsolat az ePDG-n (evolved Packet Data Gateway) keresztül valósul meg,
 - Az ePDG kapcsolódik a PDN GW-hez,
 - Az ePDG **SWn** interfészen keresztül kapcsolódik a WLAN hálózathoz,
 - Az ePDG **SWa** interfészen keresztül kapcsolódik az 3GPP Authentication, Authorization and Accounting (AAA) szerverhez.

WLAN integrálása – offloading 3

- Az EPC-hez történő kapcsolódás előtt az UE-t azonosítani kell az AAA szerver segítségével,
- Ezt követően biztonságos csatornát kell kiépíteni (IPSec) az UE és az ePDG között, hiszen a hozzáférési hálózat nem megbízható,
- Az ePDG lekéri az autentikációs információkat az SWm interfészen az AAA szervertől. Ekkor az UE és az ePDG között, Internet Key Exchange Version 2 (IKEv2) jelzésátvitel történik és kiépül az IPSec-kel védett csatorna.

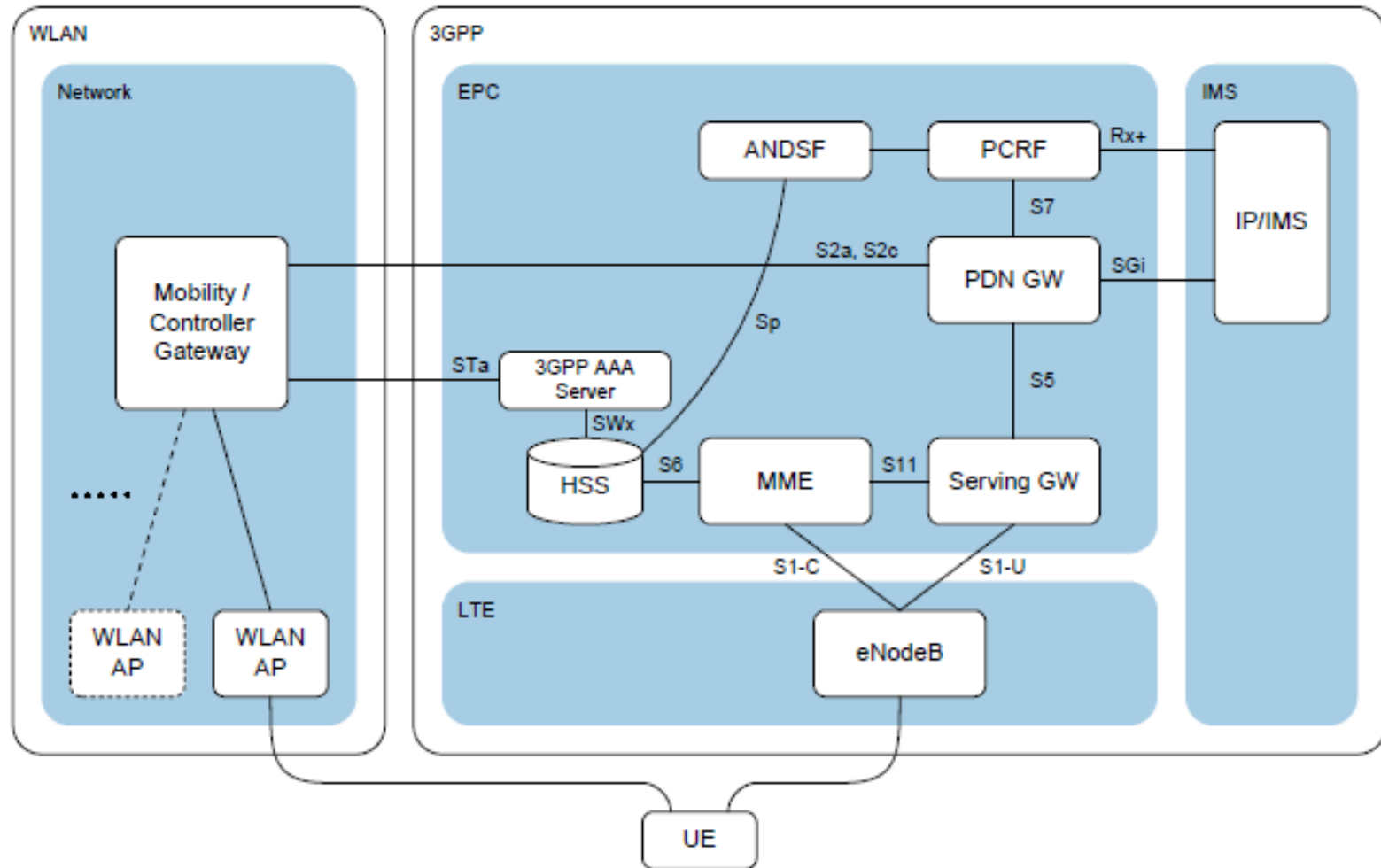
Hozzáférés nem megbízható WLAN-non keresztül



Forrás: Rohde & Schwarz: WLAN Traffic Offload in LTE

- 2. Megbízható kapcsolaton keresztül történő hozzáférés:
 - Nincs ePDG, ezért a Nem-3GPP hálózat (WLAN) közvetlenül kommunikál az EPC-vel.
 - A kapcsolat az UE és az EPC között biztonságos, ezért nincs szükség IPSec csatorna kiépítésére,
 - Az AAA szerverhez az **STa** interfészen keresztül történik a kapcsolódás,
 - Mindkét hozzáférésnél fontos megjegyezni, hogy **az autentikáció független a WLAN technológiától és az USIM alapján történik a HSS segítségével.**

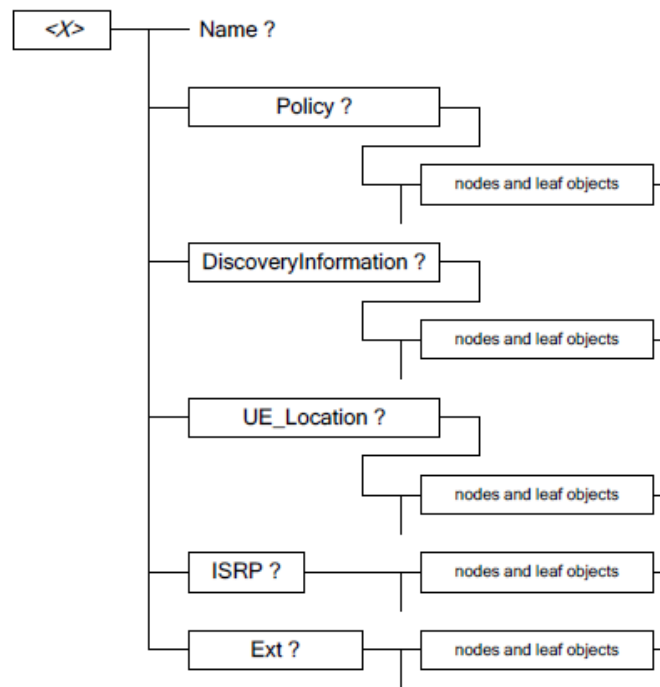
Hozzáférés megbízható WLAN-non keresztül



Forrás: Rohde & Schwarz: WLAN Traffic Offload in LTE

- ANDSF egy entitás az EPC-ben,
 - 3GPP TS 23.402 "Architecture enhancements for non-3GPP accesses"
 - Az S14 interfészen kommunikál az UE-vel.
 - **Feladata:** hogy asszisztáljon az UE-nek megtalálni a nem-3GPP hozzáférési hálózatokat, és informálja az UE-t ezen hálózatokon lévő szabályokról (rules policy).
 - Az információ átvitele kétféleképpen történhet:
 - *PUSH*: Az ANDSF leküldi az információt az UE-nek
 - *PULL*: Az UE fordul kéréssel az ANDSF felé (ANDSF pull query)
 - Milyen információt adhat az ANDSF:
 - Inter-system mobility policy (ISMP),
 - Inter-system routing policy (ISRP),
 - Discovery information.

- Az S14 interfészen IP réteg felett XML alapú DM-OMA (Open Mobile Alliance (OMA) Device Management (DM)) protokollal kommunikál.
- OMA-DM management object (MO):



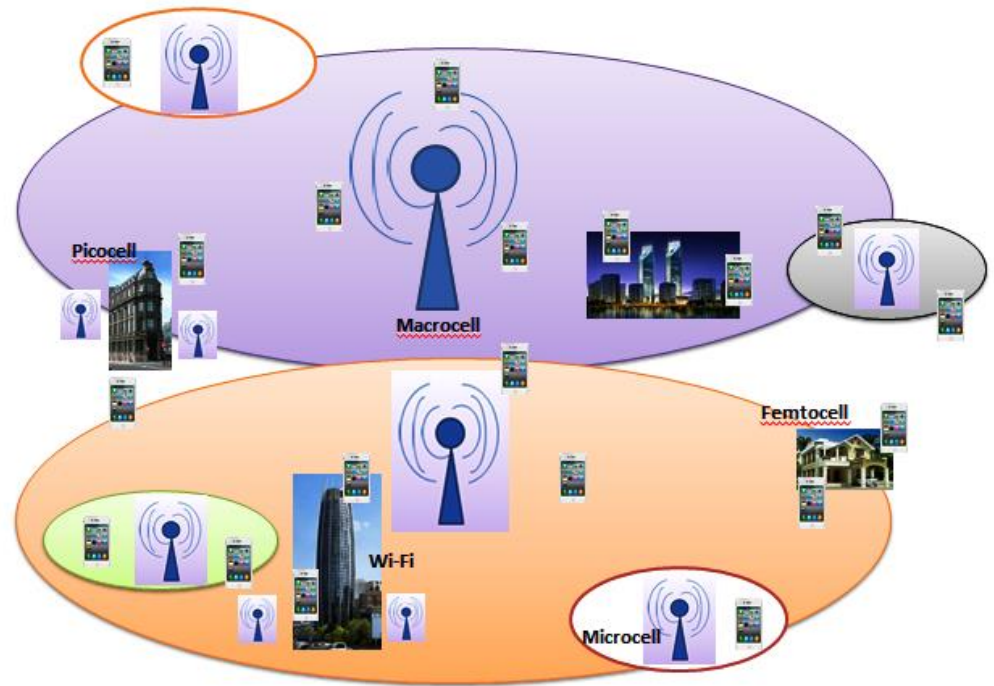
TÖBBRÉTEGŰ LEFEDETTSÉG, AZAZ HETEROGÉN HÁLÓZATOK

Heterogén Hálózat (HetNet)

- **HetNet** alatt többféle hozzáférési hálózat kombinációját értjük, ahol a különböző rádiós technológiák, különböző adóteljesítménnyel rendelkező bázisállomások mellett, az elképzelés szerint a felhasználó számára észrevehetetlenül biztosít átjárást az egyes hozzáférési rendszerek között.
- **LTE terminológia szerint:** LTE makrocellák, piko-, femtocellák (small cellák), relék (esetleg Wifi) együttese alkotja a HetNet-et.
- **Előnyök:**
 - Közelebb viszi a bázisállomást a felhasználóhoz:
 - Jobb lefedettséget,
 - ezáltal nagyobb kapacitást biztosít,
 - Rossz lefedettség javítható vele
 - Kisebb adóteljesítmény miatti energiahatékonyság (BS és UE energiafelhasználása)
 - Skálázhatóság, makrocellára terheltsége csökkenthető
- **Hátrányok:**
 - Interferencia forrás (a makrocellához kapcsolódó felhasználóknál interferenciát okoznak pl. a femtocellák),
 - Femtocellákat a felhasználók telepítik/üzemeltetik, függetlenül üzemelnek a mobil szolgáltatótól.

Heterogén Hálózat (HetNet) folyt.

- Többrétegűvé válik az eddigi makro bázisállomások alkotta hálózat ➡ A legnagyobb lefedettség a markocella által (esernyő cella - umbrella cell)
- A többi alárendel, kisebb rétegeket a Wifi, small cellák és relék alkotják.



1. Small cells azaz „Kis cellák”

- A **small cella** gyűjtőnév alatt a mikro-, piko és femtocellákat értjük.
- Licenzelt frekvenciasávot használnak (nem ISM sávot)
- Kis teljesítményű BS-k, kis területet tudnak lefedni,
- Kevés felhasználót tudnak kiszolgálni.

Small Cell Type Parameters	Macrocells	Picocells	Femtocells		
			Metrocells	Enterprise Femtocells	Home Femtocells
Deployment	Outdoor	Outdoor/Indoor	Outdoor	Indoor	Indoor
No. of users	> 256	64-128	32-64	16-32	4-16
Coverage	few miles	< 300 m	< 300 m	< 100 m	< 30 m
Application Areas	Rural, Residential	Airport, Aircraft, Stadium	Dense Urban, Hotspot	Office, SME	Home, Apartment
Access Mode	Open	Open	Open	Open/CSG	Open/CSG

Small cell – use case-k

Small Cell Deployment Use Case Examples		Hotspots (targeted capacity)	Indoor (coverage)	Outdoor (coverage)	QOE Enhancement (non targeted capacity)
1	Dense urban outdoor e.g., Times Square NY	Y			Y
2	Dense urban indoor e.g., college campus, stadium, hotels		Y		Y
3	Suburban to dense suburban residences e.g., zoning challenged, stealth sites, limited locations		Y	Y	Y
4	Exclusive/restricted properties e.g., Country Club, high end residences			Y	Y
5	Disaster recovery support e.g., COW		Y	Y	
6	A compliment (or an alternate) to Wi-Fi AP with existing backhaul	Y	Y		
7	Rural notspot e.g., isolated community			Y	
8	Mobile small cell e.g., high speed public transportation	Y	Y		

Forrás: small cell forum

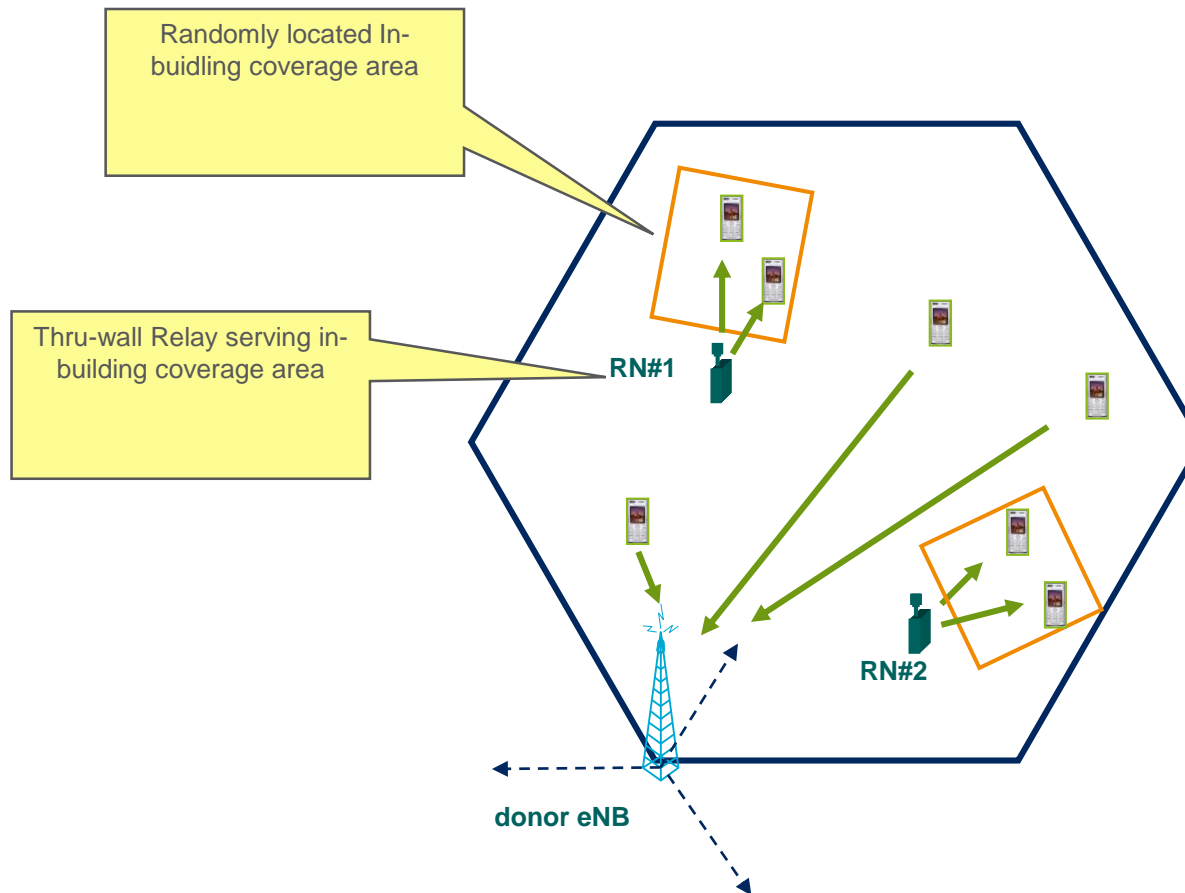
- **Indoor:** Lakásokba, irodákba telepíthető,
- Plug&Play eszköz,
- A forgalom DSL-en vagy optikán jut a maghálózatba,
- Licenzelt frekvencián üzemelnek,
- Hozzáférés szempontjából lehet:
 - **Zárt (closed-access):** a femtocella tulajdonosa engedélyezi mely készülékek csatlakozhatnak a femtocellához
 - **Nyílt (open-access):** amíg van szabad kapacitás, bárki csatlakozhat
 - **Hibrid (hybrid-access):** a fenti kettő kombinációja, néhány PRB-t bárki használhat, a többit csak a tulajdonos által engedélyezett készülékek.



2. Relék- Mi a relék jelentősége/ értelme?

- LTE-Advanced hálózatokban megjelennek az ún. **Relay Node**-ok (RN). (3GPP TR 36.826 V11.3.0 (2013-07))
- Repeater és Relay különbségek:
 - **Repeater:** újraadja a jelet, amelyet vesz a bázisállomástól.
 - **Relay:** veszi a jelet a bázisállomástól, demodulálja, dekódolja, hibajavítást végez, új jelet állít elő, amelyet továbbít.
- A Relay Node-ok kis teljesítményű bázisállomások amik egy Donor bázisállomáshoz kapcsolódnak (**DeNB**) rádiós interfészen.
- *Előnyök:*
 - **Cellahatáron jobb vételi viszonyok kialakítása**
 - **Jobb lefedettség érhető el, nagyobb kapacitás** érhető el, ha makrocellákhoz ilyen relé állomásokat telepítünk.
 - **Nem kell optikai kábel** kihúzni a relé állomáshoz,
 - A mobil szolgáltató telepíti / üzemelteti
- A Relay Node és a Donor Node közti interfész az Un interfész (Az EUTRAN Uu interfész módosítása)
- *Hátrány:*
 - A Donor eNB erőforrásai megoszlanak a felhasználók (UE-k) és a Relay node-ok között.
 - Self-interference veszélye

Relék helye a hozzáférési hálózatban

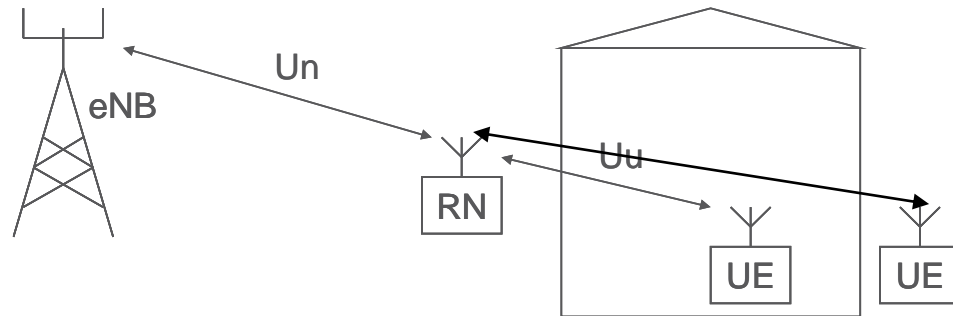


Forrás: 3GPP Release 11 TR 36.826 V11.3.0

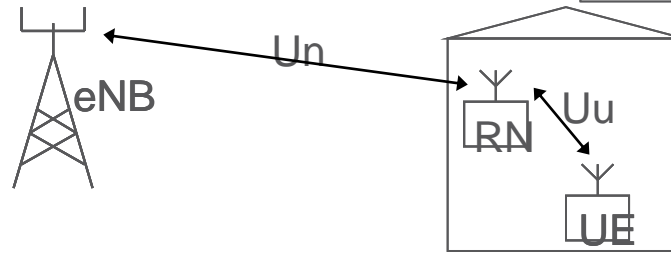
Relé eNB-k csoportosítása 1.

- Alkalmazás helye szerinti csoportosítás:

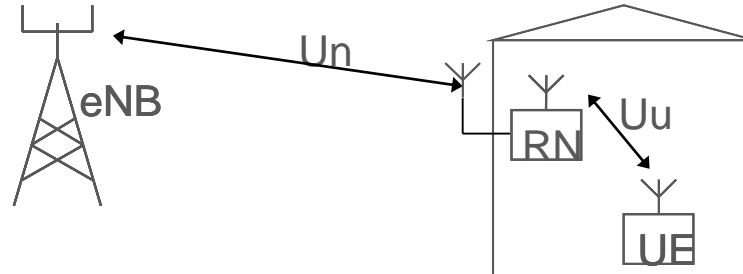
- a) Külső relé:



- b) Belső relé:

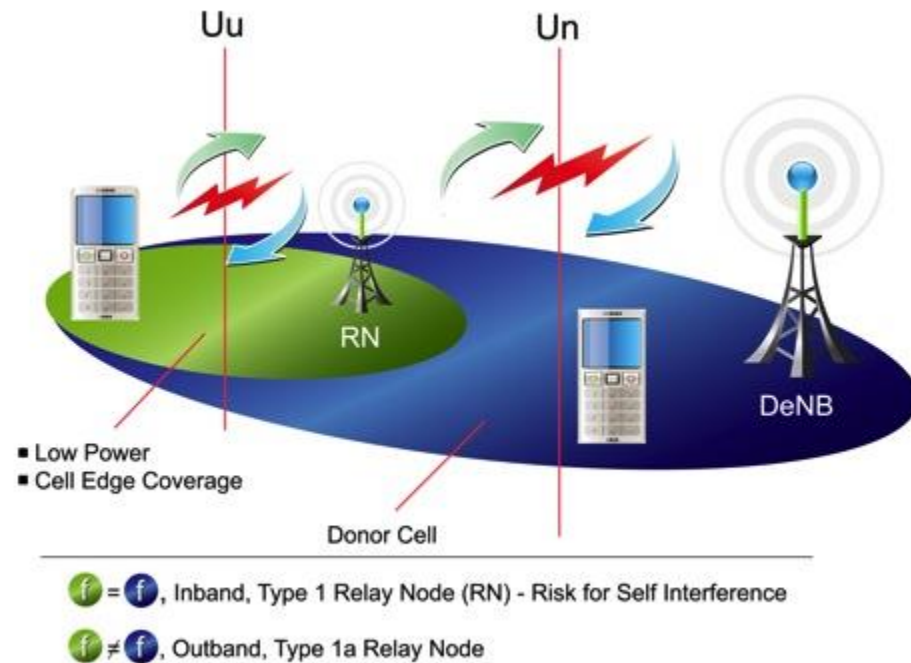


- c) „Thru-wall” relé:



Relé eNB-k csoportosítása 2.

- Továbbítási mód szerint:
 - **Half-Duplex:** nem egy időben történik az adás/vétel (jó ütemezés kell a Relay node-nál)
 - **Full Duplex:** egy időben történik az adás/vétel, ügyelni kell rá, hogy az adó és vevő antenna jól elkülönülten helyezkedjen el.
- Használt frekvenciatartomány szerinti csoportosítás:
 - **Inband:** Az Un és Uu interfészekén történő kommunikáció (BS-RN és RN-UE) **azonos** frekvenciasávon történik,
 - **Outband:** Az Un és Uu interfészekén történő kommunikáció (BS-RN és RN-UE) **eltérő** frekvenciasávon történik



Relé típusok

1. **„Type 1” LTE relék:** Rel.8-ban jelentek meg először. Ezek a relé típusok **saját cella ID-val rendelkeznek**, referencia jeleket adnak és biztosítják a szinkronizálást, általában half-duplex összeköttetést valósítanak meg, inband adással. Két változata van:
 - a) **„Type 1.a”:** full duplex adásra is képes outband kommunikáció
 - b) **„Type 1.b”:** inband kommunikáció
2. **„Type 2” LTE relék:** **Nincs saját Cella ID-jük**, pont úgy néznek ki, mint a donor cella. Az UE nem tudja megkülönböztetni, hogy a relé állomással, vagy az eredeti eNB-vel kommunikál.

HetNet megvalósítás szempontjai

- A HetNet hálózat megvalósításakor az alábbi fő technikai kihívásokat kell megoldani illetve odafigyelni:
 - a) Interferencia kezelése (ezzel foglalkozunk ma);
 - b) Handover kérdése (korábbi e.a.-n már szerepelt);
 - c) Backhauling (röviden);
 - d) Szinkronizáció (röviden);
 - e) Self-organization (később);
 - f) Biztonság.

- Interferencia típusok HetNet hálózatokban:
 - **Cross-tier interference** (Rétegek közti Interferencia),
 - **Intra-tier interference** (Rétegen belüli Interferencia).
- *A tervezést megnehezítő körülmények:*
 - Nincs előre megtervezett telepítés (pl. femtocellák esetén),
 - A felhasználó ki/be kapcsolhatja és áthelyezheti a femtocellákat.
 - Zárt hozzáférés (Closed Service Group - CSG),
 - Node-ok között más és más az adóteljesítmény.

Interferencia csökkentés folyt.

- **Cell Range Expansion**
- Frequency Domain Partitioning/ Carrier Aggregation (CA)
 - Inter-Cell Interference Coordination (ICIC) (3GPP Rel 8.) –
cél: (makró) eNB-k közti interferencia csökkentése
- Time Domain Partitioning
 - Enhanced Inter-Cell Interference Coordination (eICIC) kifejezetten HetNet-re (3GPP Rel. 10)
 - Further enhanced Inter-Cell Interference Coordination (FeICIC) (3GPP Rel. 11)

Cell Range Expansion

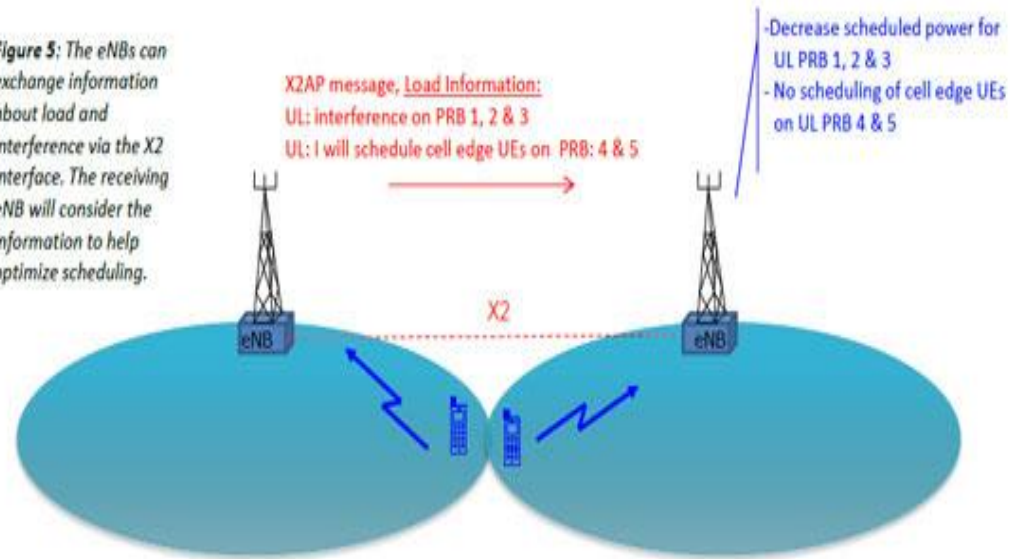
- Hagyományosan az Reference Signal Received Power (RSRP) alapján történik meg a cellaválasztás,
- Azonban HetNet esetén nem biztos, hogy a *max RSRP* választás adja a legjobb döntést,
- **Cell Range Expansion (CRE)** – célja, hogy a makrocellát tehermentesítve a lehető legtöbb felhasználót a small cellákba tereljen át. Egy offset értéket ad a small cella RSRP jeléhez, így az UE a small cellát választja, még akkor is ha éppenséggel nem az övé a legerősebb RSRP jel.
- A hozzáadott offset érték miatt a small cella által lefedett terület megnövekszik, így
 - több UE forgalmat tud elvinni,
 - kevesebb lesz a HO és
 - jobb lesz a rendszer erőforrás kihasználtsága.

Inter-Cell Interference Coordination (ICIC) (Rel 8)

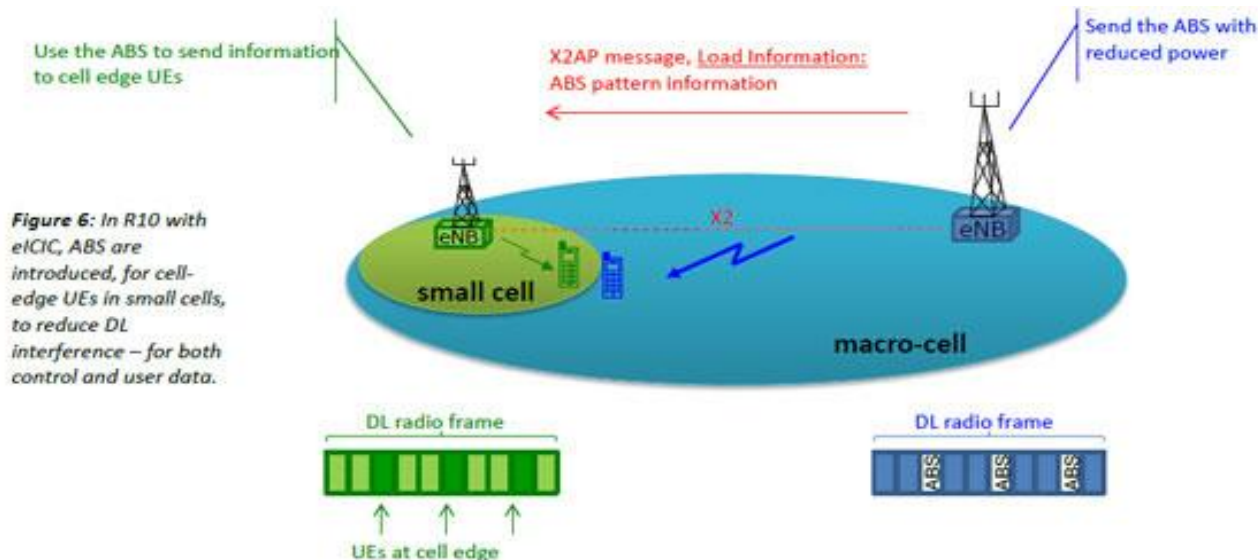
- Célja, hogy a **makró** eNB-k esetén a cellahatáron lévő UE-nek a szomszéd makró eNB ne okozzon interferenciát.
- eNB-k az X2 interfészen keresztül „megbeszélhetik egymással”, hogy mekkora az interferencia az adott PRB-n és mely PRB-k vannak kiosztva a cellahatáron lévő UEk-nek.

▪ Így az interferenciát okozó szomszéd makró eNB csökkenti az adóteljesítményt a jelzett PRB-ken és figyelembe veszi a szomszéd cella ütemezését

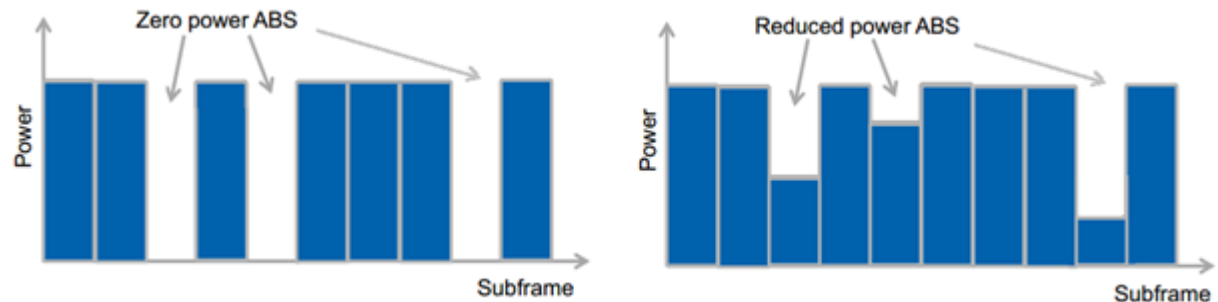
Figure 5: The eNBs can exchange information about load and interference via the X2 interface. The receiving eNB will consider the information to help optimize scheduling.



- Az ICIC továbbfejlesztése: a makró eNB ne okozzon interferenciát a small cell határán lévő UE számára.
- Almost Blank Subframes (ABS) alkalmazása, a makró eNB ezeken a ABS kereteken **csak a vezérlőcsatornák és referenciajelek jelét adja**, felhasználó adatot nem. Ez egy időtartománybeli megoldás.
- A small celláknál így ezeken az ABS alkereteken nem keletkezik interferencia.

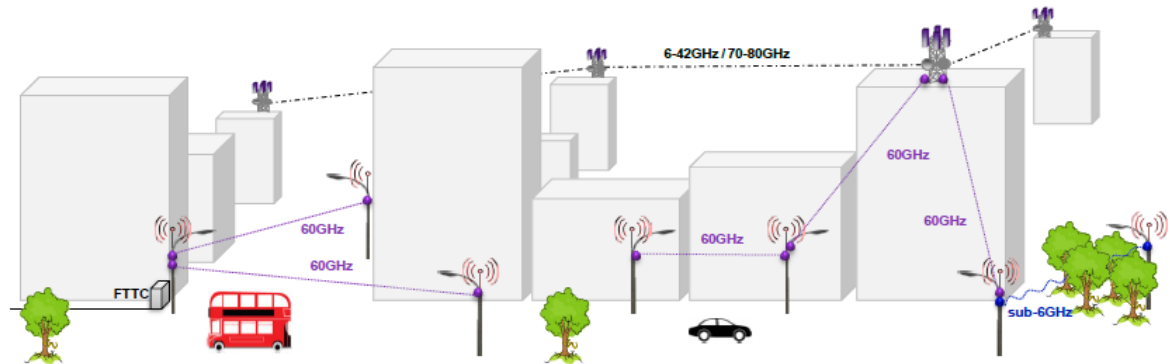


- eICIC esetén: „eICIC alkeretek” és „nem eICIC alkeretek”.
 - eICIC alkereteket csak a small cellák használhatnak,
 - nem eICIC alkereteket small cellák és makró eNB is.
- Reduced Power Almost Blank Subframes (RP-ABS)
 - Az ABS alkeret nem teljesen üres, de csökkentett teljesítménnyel ad.
 - A makró eNB közepén nagyobb teljesítménnyel ad a RP-ABS alkereteken is, míg a cella határon továbbra is csak a kontrol csatornák jelét adja.



Backhaul kérdése (röviden) - 1

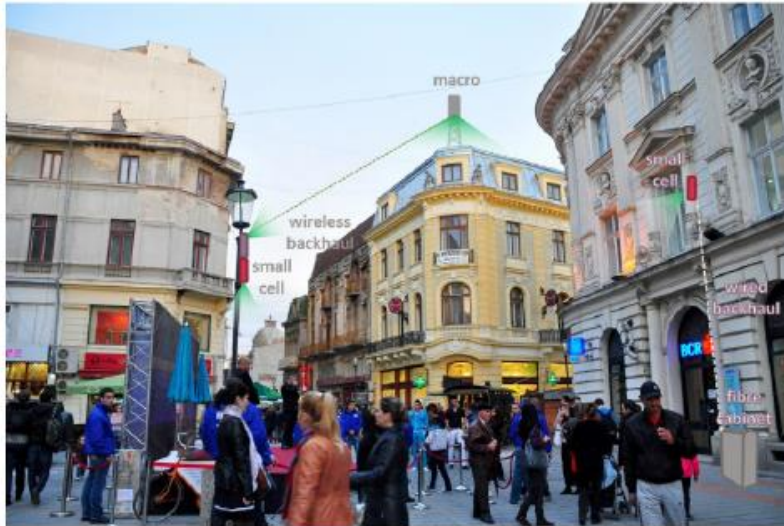
- Backhaul lehetőségek:
 - Wired (vezetékes) backhaul
 - Szélessávú ISP - pl. ADSL, kábelnet, optikán, Powerline kommunikáció
 - otthoni/irodai femtocelláknál
 - Villanyoszlopokra telepített small cellák
 - Wireless (vezeték nélküli) backhaul (pl. mikrohullámú átvitel)
 - Utcán lévő small celláknál egy lehetséges megoldás („streethaul”, „fronthaul”)
 - Műholdas átvitel (inkább elméleti lehetőség csak),
 - mm wave



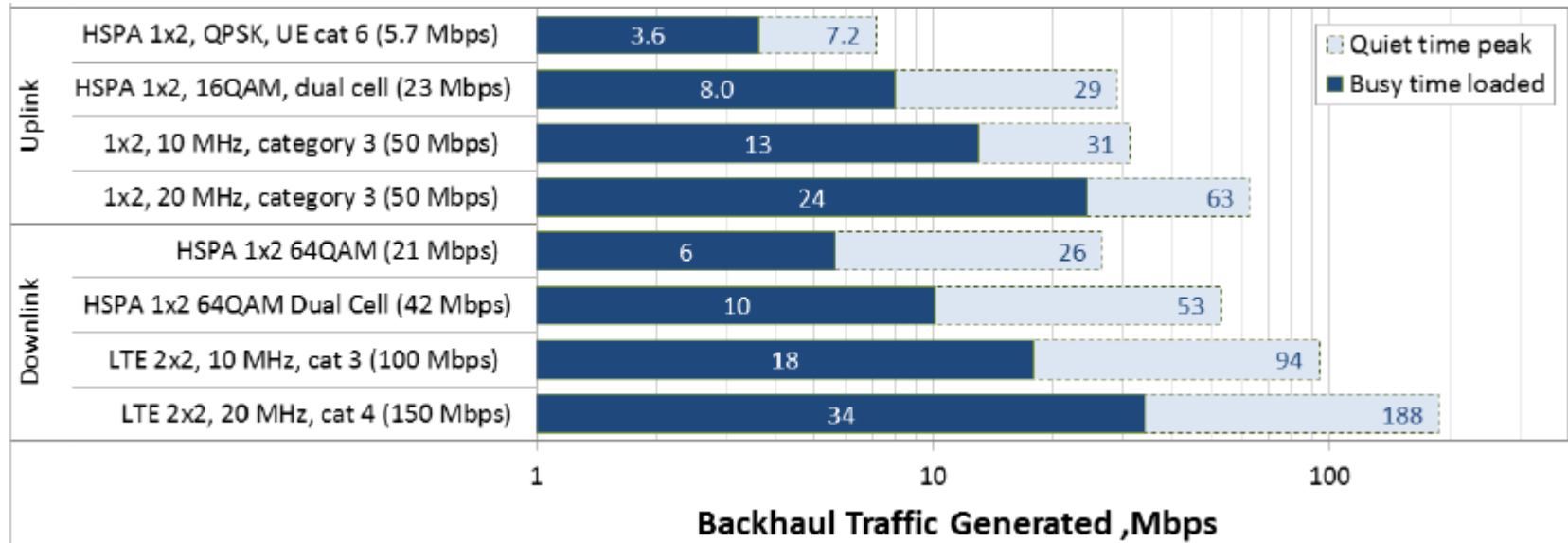
Backhaul kérdése (röviden) - 2

- A vezeték nélküli backhaul megoldásoknál az alábbiakat érdemes figyelembe venni:
 - Különböző frekvenciasávokat használhatnak,
 - Line-of-Sight vagy Non Line-of-Sight megoldás
 - Point-to-Point vagy Point-to-Multipoint megoldás
- Sáv szélesség követelményeknek megfelel-e a backhaul technológia (pl. DSL)
- TDM vagy csomag alapú (pl. IP) az átvitel

Backhaul példa



Forrás: SCF087 - Small Cell Forum Releases



- Tudjuk, hogy az LTE-ben
 - DL : OFDMA alapú,
 - UL: SC-FDMA alapú.
- Vagyis fontos az alvivők közti ortogonalitás!
- Az eNodeB és az UE osszcillátorai között biztosítani kell a szinkront
- **Ha a szinkron nincs biztosítva** (és/vagy doppler hatás is van)
 - interferencia keletkezik a szomszédos alvivők között (ICI),
 - Handover fail-hez vezethet.

VÉGEREDMÉNY: *Romlik a szolgáltatás minősége.*

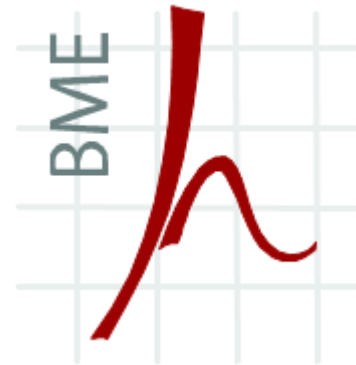
- **Feladat:** az UE-nek meg kell keresni az E-UTRA sáv (band) közép frekvenciáját (center frequency) .
- Az UE oszcillátor frekvenciastabilitás toleranciája 0.1 ppm körül van, és ez a stabilitás az eNodeB vivőfrekvenciájának folyamatos nyomon követésével biztosítható.

Radio technology	Frequency synchronisation		Phase/time synchronisation
	Macrocells	Small cells	
FDD (GSM, UMTS, LTE)	50ppb	100-250ppb	Not needed
TDD (UMTS, LTE)	50ppb	100-250ppb	$< \pm 1.5 \mu\text{s}$
Co-ordinated transmissions (CoMP, eICIC, etc.)	50ppb	100-250ppb	Approx. $\pm 1 \mu\text{s}$

Szinkronizációs lehetőségek az LTE-ben:

1. Backhaul-on keresztül történő szinkronizációs lehetőség:
 - Precision Time Protocol, PTP (IEEE-1588)
 - Network Time Protocol, NTP
 - Synchronous Ethernet, SyncE
2. Backhaul-t nem igénylő szinkronizációs lehetőség:
 - GNSS (Global Navigation Satellite Systems)
 - Cellular Network Listening
3. Hibrid megoldások (1. és 2. pontok kombinálva)

- *Megfontolandó kérdések Small cellák esetén:*
 - A femtocella az indoor telepítés miatt nem biztos, hogy „lát” műholdat,
 - A falak árnyékolása / több utas terjedés stb. miatt a Cellular Network Listening sem jó választás.
 - Kültéri telepítés esetén már lehet akár GPS alapú szinkronizálás is.



7. EA. MOBIL BACKHAUL ÉS GERINC- HÁLÓZAT KÖVETELMÉNYEI, MEGOLDÁSAI

*Mobil és vezeték nélküli hálózatok
(BMEVIHIMA07)*

Dr. Fazekas Péter
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
fazekasp@hit.bme.hu

- Fogalmak: *haul
- Hagyományos
 - Múlt: E1, nxE1 / SDH
- Backhaul
 - Mikrohullámú P-P
 - Topológiák/korlátok
 - Mikrohullámú P-MP
- Fronthaul
 - Fronthaul kialakítások és topológiák
 - Softbank példa
 - Topológiák a doksi alapján
 - CPRI szabványból
 - BBU pool

FOGALMAK: *HAUL; HAGYOMÁNYOS ÉS ELOSZTOTT BÁZISÁLLOMÁS ARCHITEKTÚRÁK

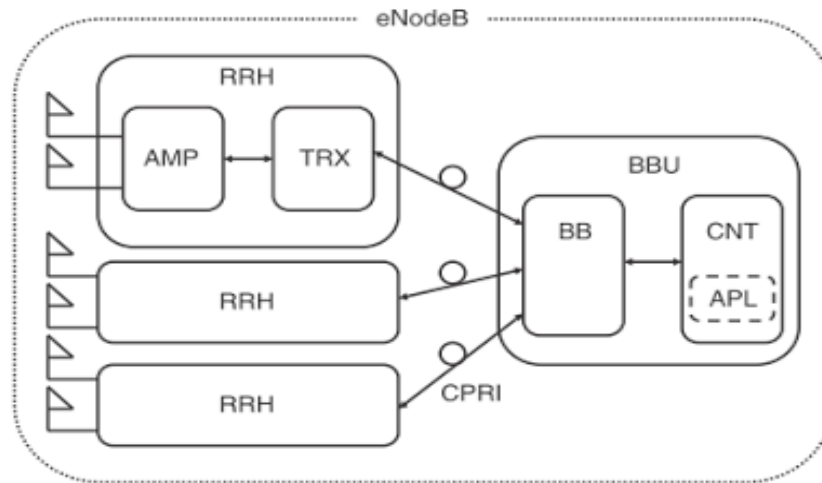
- Hagyományos bázisállomás architektúra
 - Tipikusan makro-bázisállomásoknál
 - Teljes jelfeldolgozás az RF jel előállításáig a „cabinet” –ben,
 - Szekrény a torony alján



- Hagyományos bázisállomás architektúra
 - Az RF jel koaxiális kábelrel vezetve az antennáig (feeder)
 - Semmilyen aktív elem nincs a tornyon
 - Előny: a torony tetején nincs elektronika, ami elromolna -> javítás és csere költséges
 - Hátrány: a feeder loss 3-5 dB (kicsinek tűnhet, de: a kisugárzott teljesítmény fele-hetven százaléka elvész a feederen) $A = 10^{\frac{-3}{10}} = 10^{-0.3} = 0,5012$
 - Hátrány: kis csillapítású koax vastag -> drága és szívesen lopják
 - Hátrány: MIMO esetén annyi RF lánc és feeder kell, ahány antenna

- Hagyományos bázisállomás architektúra
 - Mikrocellás bázisállomások
 - Kevesebb hardver:
 - kevesebb előfizető kiszolgálását végző vas
 - kisebb adóteljesítmény -> sokkal kisebb végfok, kisebb hűtő, kisebb tápegység
 - Kisebb, könnyebb méret
 - Fizikailag közel az antennához -> kicsi feeder loss
 - Tipikus: épületek tetején

- Volt múlt órán: elosztott architektúra
- Múlt órán: LTE kontextusban, de már 3G óta
 - BaseBand Unit (BBU) és Remote Radio Head (RRH)
 - Más elnevezés az RRH –ra: Remote Radio Unit (RRU)
 - Köztük: CPRI (Common Public Radio Interface) – ezt már 3G –hez specifikálták
 - Alapvetően: optikai szálon
 - Ezt a koncepciót hívják úgy, hogy: RoF (Radio over Fiber)



- Elosztott architektúra
 - CPRI:
 - elektronikus, vagy
 - optikai jelátvitel
 - de van megoldás pl. mikrohullámú pont-pont link fölé is
 - Mivel a CPRI-n a (nagy sebességű) modulációs mintákat kell digitalizálva vinni, nagy sebességre van szükség
 - CPRI specifikáció:
 - Min 614.4 Mbps és többszörösei
- Más hasonló: OBSAI (Open Base Station Architecture Initiative)
 - Ez is elosztott
 - De kevésbé támogatott

■ Backhaul:

- Hagyományos: a bázisállomástól a hálózat többi része felé
- Backhaul link: az összeköttetés(ek)
- Backhaul hálózat: több bázisállomás bekötése hálózatba
- Elosztott bázisállomás:
 - A backhaul a BBU-t köti a hálózatba

■ Fronthaul:

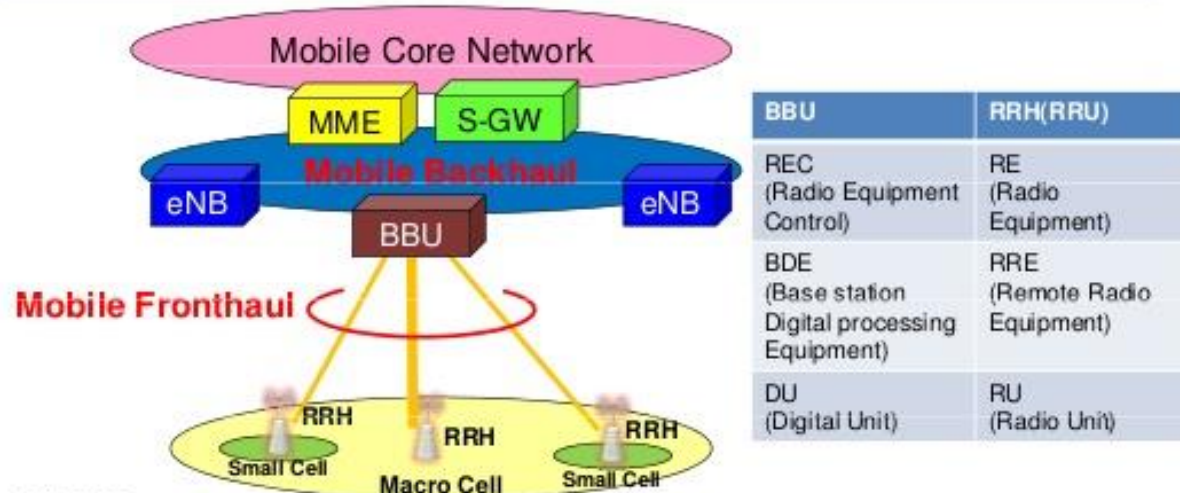
- A BBU és a RRH közötti rész
- Fronthaul link: egy összeköttetés
- Fronthaul hálózat: nincs semmi akadálya annak, hogy a BBU és a RRH között legyen egy akár több csomópontos hálózat
 - Illetve: a CPRI specifikációban adott késleltetési korlátnak, szinkronitásnak és maximális bithibaarány követelménynek meg kell felelni

- Példa LTE hálózat esetén

Mobile Backhaul and Fronthaul



- **Mobile Backhaul** : Network between mobile core network (EPC) and base stations (eNB)
 - IP or Ethernet based network
- **Mobile Fronthaul** : Network between baseband unit (BBU) and remote radio head (RRH)
 - CPRI over Dedicated Fiber

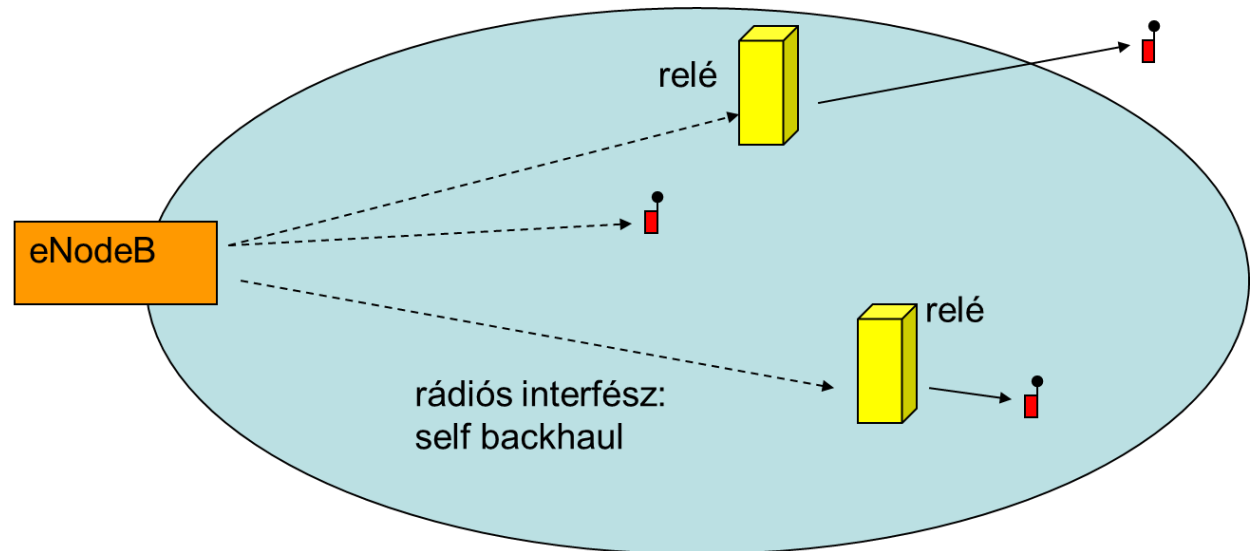


Nov. 5th, 2013

NTT Access Network Service Systems Laboratories

7

- Self-Backhaul:
 - Reléállomásoknál alkalmazott fogalom (lásd múlt óra)
 - A relé számára a backhaul a donor bázisállomás „sima” (értsd: a usereket is kiszolgáló) rádiós interfésze
 - Ez a self-backhauling



BACKHAUL MEGOLDÁSOK

Backhaul a hagyományos 2G/3G -ben

- 2G GSM
 - beszédátvitel, telefonhálózat
 - Akkoriban az ISDN (Integrated Services Digital Network) volt a vezetékes telekommunikációs csúcstechnológia
 - Integrált szolgáltatások: beszéd + kiegészítő (pl. Hangposta, hívásátirányítás, hívás-várakoztatás, fax, modem alapú betárcsázós adatátvitel)
 - Alap: 64 kbps beszédcsatornák
 - PDH/**SDH** (Synchronous Digital Hierarchy) hálózat
 - Kapacitás-egység tipikusan: E1 vonalak többszörösei
 - E1: $30 \cdot 64\text{kbps}$ adat + $2 \cdot 64\text{kbps}$ jelzés = 2 megás vonalak
 - Általános elnevezés a TDM (Time Division Multiplexing)

Backhaul a hagyományos 2G/3G -ben

■ 2G GSM

- beszédcsatornánként 64 kbps (GSM beszéd \leftrightarrow 64kbps beszéd konverzió a bázisállomásban)
- vagy: 4 GSM beszéd / 64kbps (16kbps alcsatornák egy 64kbps-ben): átkódolás a hálózat belsejében
- plusz kontroll infók
- ezekből származtatható $n \cdot E1$ kapacitásigény bázisállomásonként
- ez fel/le irányban is szükséges

Backhaul a hagyományos 2G/3G -ben

▪ 3G UMTS

- A szabvány első verziója a backhaul (pontosabban: a bázisállomás és az RNC közötti teljes hálózatra) átvitelre az ún. ATM (Asynchronous Transfer Mode) transzport használatát írta elő, mert:
- az ATM hordozója maradhatott $n \cdot E1$ TDM kapcsolat
 - alapvetően így tervezték az ATM-et
- viszont az ATM specifikál támogatást a csomagkapcsolt forgalom számára
 - speciális adaptációs alréteg van az ATM-ben az IP forgalom szállítására
- az ATM tehát jó megoldás volt a közös telephelyen üzemelő 2G/3G bázisállomásokhoz, hiszen el tudta vinni
 - E1 –eken a GSM beszédet
 - További E1-ek fölött ATM transzporttal a csomagkapcsolt és áramkörkapcsolt ATM forgalmat
 - Illetve az ATM-be egyszerűen integrálható volt a GSM beszéd is

Backhaul a hagyományos 2G/3G -ben

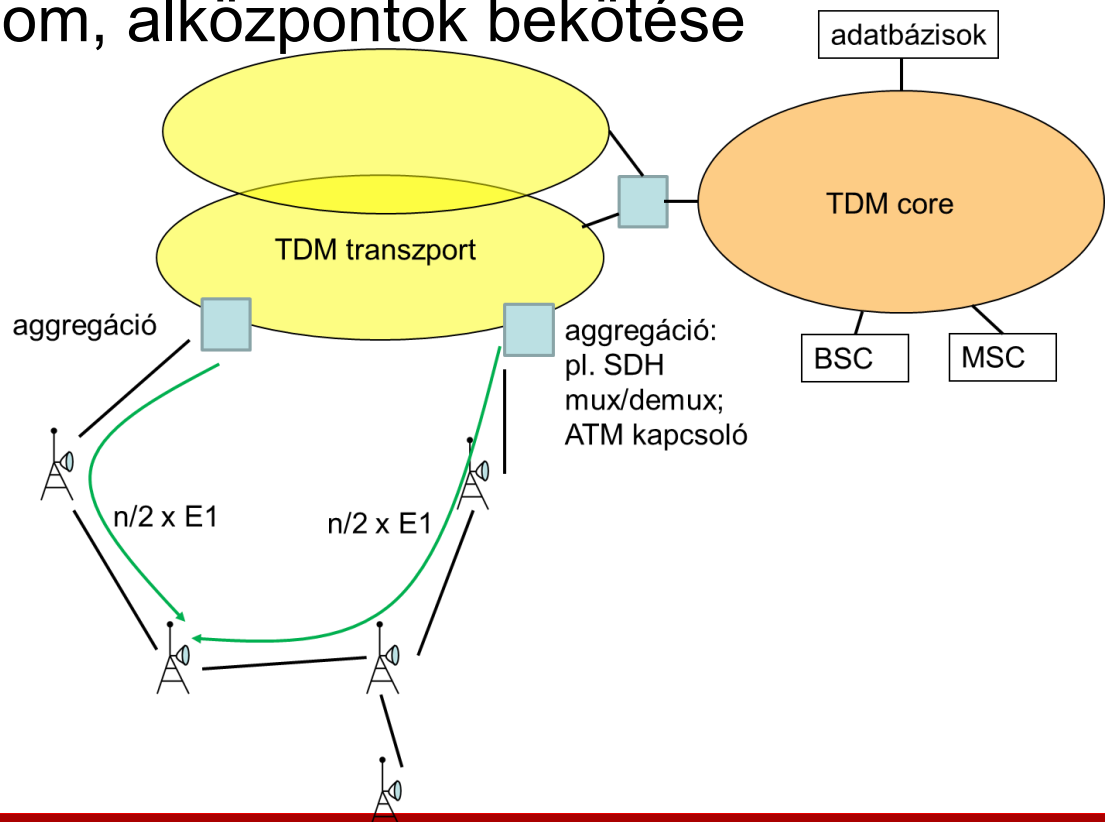
- 3G UMTS
 - problémák az ATM-mel:
 - nagyon nagy a protokoll-overhead,
 - pl. ATM alapegysége 53 byteos, ebből 5 fejléc + további belső fejlécek (ATM adaptációs réteg)
 - bonyolult technológia, drága berendezések, drága üzemeltetés
 - vs. IP technológia
 - megjelentek az IP technológiában az áramkörkapcsolt szolgáltatások támogatására szolgáló kiegészítések,
 - az ATM is nagyrészt IP forgalmat szállított, nagy overhaddel
 - a nagy kapacitású gerinchálózatok már IP-t alkalmaztak, a 3G szabvány a gerinchálózatra eleve tartalmazta az IP (és az ATM) átvitelt is
- későbbi 3G szabványokban megjelent az IP transzport opció a backhaul-ra is
 - Az IP transzport kiért a bázisállomásig
 - tipikus hordozója lett az Ethernet

Backhaul opciók

- Tipikus topológia: gyűrű
 - hibavédelem megoldható és automatikus hibavédelem/útvonal helyreállítás támogatott a különböző hordozó technológiákban (TDM és Ethernet esetén pl.)
 - két link kell a bázisállomás telephelyre (pl. csillag, vagy mesh topológia esetén több is lenne a központokban)
 - Nem túl nagy sűrűségű (bekötendő állomás / km²) hálózat esetén jó
 - nagy terület beköthető, nem kellene hosszú átviteli vonalak
 - Többszörös gyűrűket szokás

BME Backhaul opciók

- Példa: $n \times E1$ kapacitásigény,
- Forgalom fele egyik, másik fele másik irányba elvezetve
- Kevés és rövid leágazás: a hibatűrés miatt
- a TDM transzport már további forgalmakat hordozhat: pl. Vezetékes telefonforgalom, alközpontok bekötése



Backhaul fizikai opciók

- Mikrohullámú pont-pont linkek
 - Ennek a tányérjait látjuk a bázisállomásokon
 - „Könnyű kiépíteni” – értsd nem kell kábelezni
 - De: 1 fok pontossággal be kell állítani az antennát, ennek meg kell maradni 120 kmph szélben is
 - Tradícionálisan: 6-30 GHz közti sávokban néhány, néhány tíz MHz sáv szélesség áll rendelkezésre egy operátornál
 - Ugyanúgy tenderezteti az állam a sávokat
 - Tipikusan 14 és 28 MHz széles sávok
 - Frekvenciatervezés kell itt is

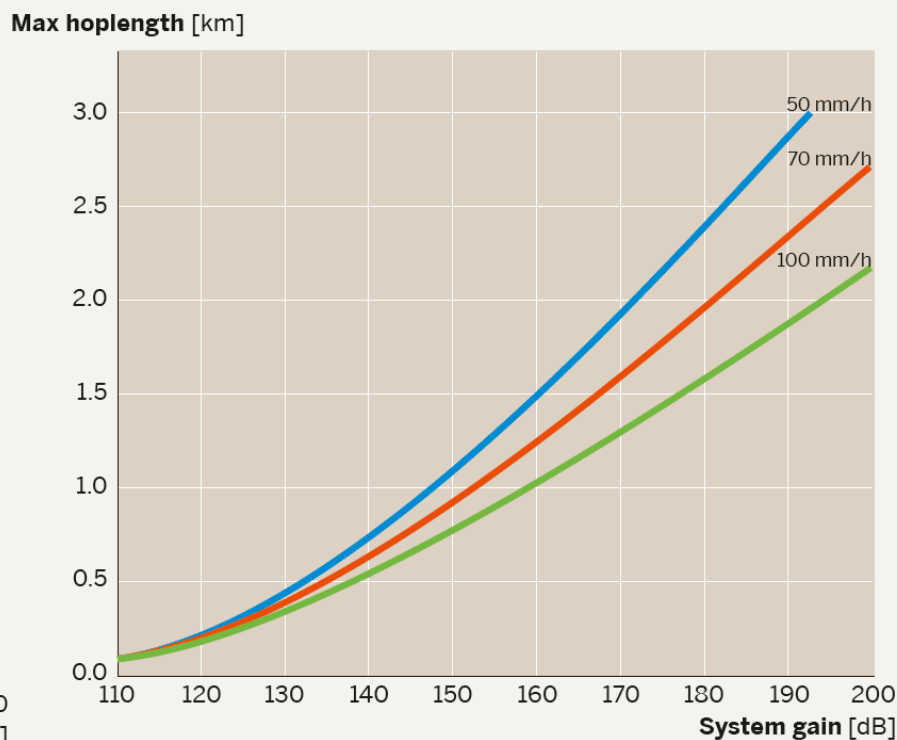
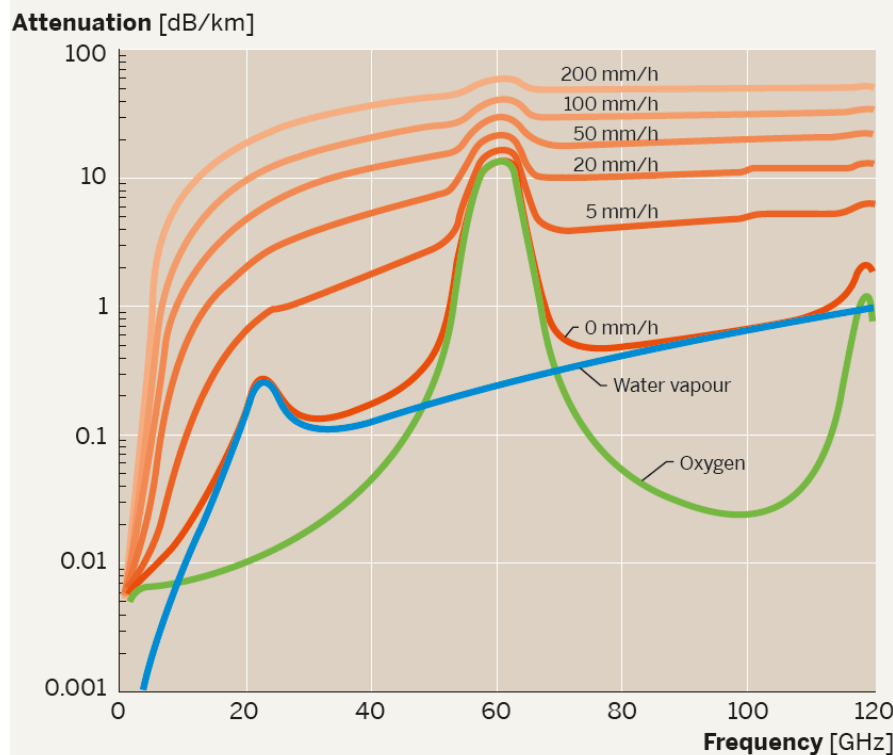


Backhaul fizikai opciók

- Mikrohullámú pont-pont linkek
 - Manapság mennek „fel” a gyártók frekvenciában: 60-80 GHz sávban is működnek termékek
 - Itt GHz sávok szabadok -> kis állapotú modulációval lehet dolgozni -> rosszabb SNR is elég
 - Sáv szélességtől függően, de: többantennás átvitel, polarizáció-multiplexelés, magas állapotszámú QAM használatával Gbps átvitelű termékek is vannak
 - Probléma: időjárásra érzékeny
 - Zivatar esetén megszakadhatnak a linkek
 - Újabban: teljesítményszabályozás és adaptív moduláció a mikróslinkeken, zivatarban sem szakad meg, csak kisebb lesz az átviteli sebesség
 - Gyűrű topológia: automatikusan kijavítható a zivatar miatt kieső link átvitele

Backhaul fizikai összeköttetés opciók

- 60 GHz-nél nagy csillapítási csúcs (mm/h paraméter: eső intenzitás)
 - Látható még: kedvelt alacsony (10 GHz alatti) mikró sávokban 0,1 dB/km körüli csupán a csillapítás → az áthidalható távolságot a föld görbülete és a tornyok magassága korlátozza csak, kb. 50 km
- Jobb oldali ábra: szakaszhossz alakulása 80 GHz sávban (jóval nagyobb csillapítás)
 - System gain itt: adótelj + antenna nyereségek – minimum vételi teljesítmén (dB)
 - $PI. 46 \text{ dBm (40W)} + 20 \text{ dB} + 20 \text{ dB} - (-100 \text{ dBm}) = 186$



Backhaul fizikai összeköttetés opciók

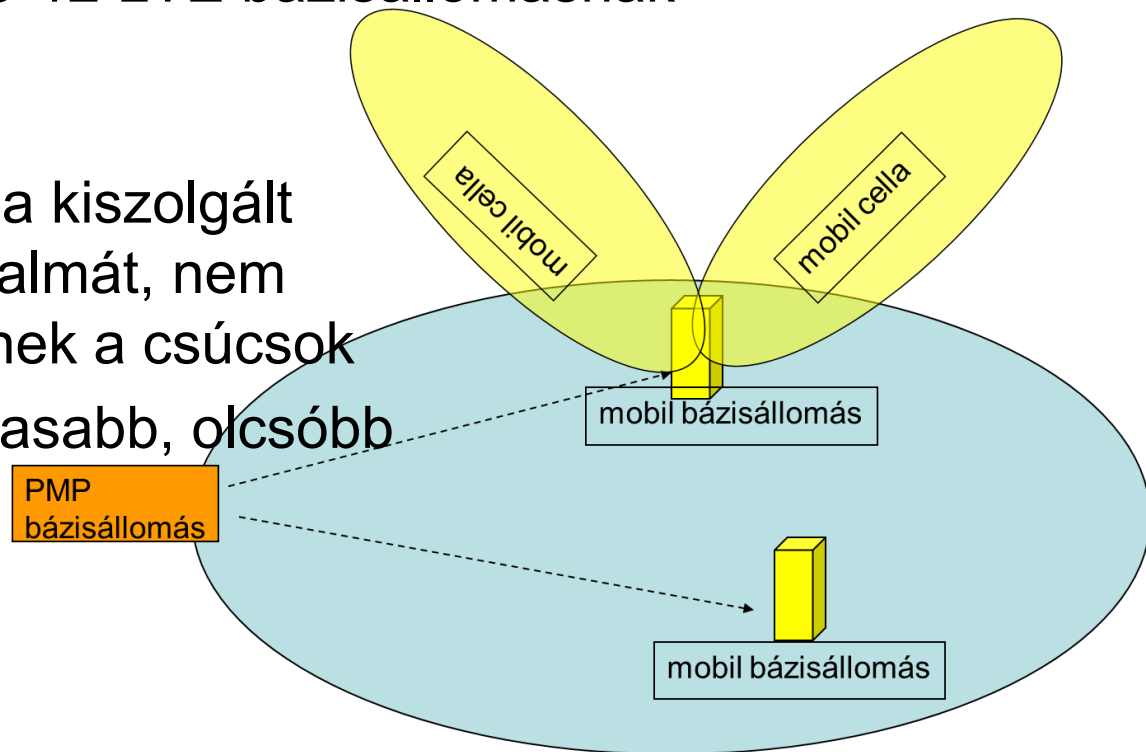
- TDM és Ethernet illetve hibrid (pl. TDM emuláció Ethernet felett, vagy fordítva) átviteli szabványokat a mikrohullámú berendezések támogatják
- Problémák:
 - 10 Gbps fölé nem nagyon lehet menni
 - De a jövőben: Gbps/user csúcs-sebességet vízionálunk
 - Mikró antennáknak kell a hely és a tartóoszlop (súlyuk is van)
 - Ezért is jó a gyűrű a csillaggal/mesh-sel szemben, mert két tányér elég egy állomásra
 - Túl sűrűn nem lehet elhelyezni, mert egymást interferálják majd a linkek
 - Kiscellás, ultra sűrű cellás hálózat bekötésére nem igazán jó
 - Ahol jó: makró, vidék, külváros

Backhaul fizikai összeköttetés opciók

- Pont-Multipont (P-MP) mikrohullámú backhaul
 - Van egy ún. P-MP bázisállomás, szektorsugárzóval
 - Neki a „userei” a bázisállomások
 - Sávok, frekvenciatartomány ugyanúgy, mint a pont-pontnál
 - Csak „kis” forgalmak esetén életképes opció értsd: ~1-5 Gbps / PMP cella ma elég 10-12 LTE bázisállomásnak

- Előny:

- Aggregálja/kisimítja a kiszolgált bázisállomások forgalmát, nem egyszerre jelentkeznek a csúcsok
- Egyszerűbb, rugalmasabb, olcsóbb



Backhaul fizikai összeköttetés opciók

- Optikai összeköttetések
 - Nagy kapacitás Gbps $\rightarrow n \cdot 10$ Gbps
 - Folyamatosan megjelenő újabb technológiák, egyre nagyobb átviteli sebességek (az egyszer lefektetett infrastruktúrán)
 - Nagy áthidalható távolságok
 - Viszonylag drága kiépítés
- Passzív optikai hálózatok (PON)
 - Hozzáférési hálózati technológia
 - Optikai vonali végződés (OLT Optical Line Termination) a szolgáltatói telephelyen és optikai hálózati végződésen (ONT Optical Network Termination) az előfizetői helyszínen
 - Jelen esetben előfizető: a bázisállomás
 - Passzív: OLT – több ONT kiépítés elektronikus átalakítás nélkül, optikai splitterrel
 - 10-GPON: 10 Gbps le / 2.5 Gbps fel
 - Számos változat
- Gbps, 10 Gbps Ethernet definiálva optikai vezetőre
- Későbbi órákon további részletek

Backhaul sajátosságok

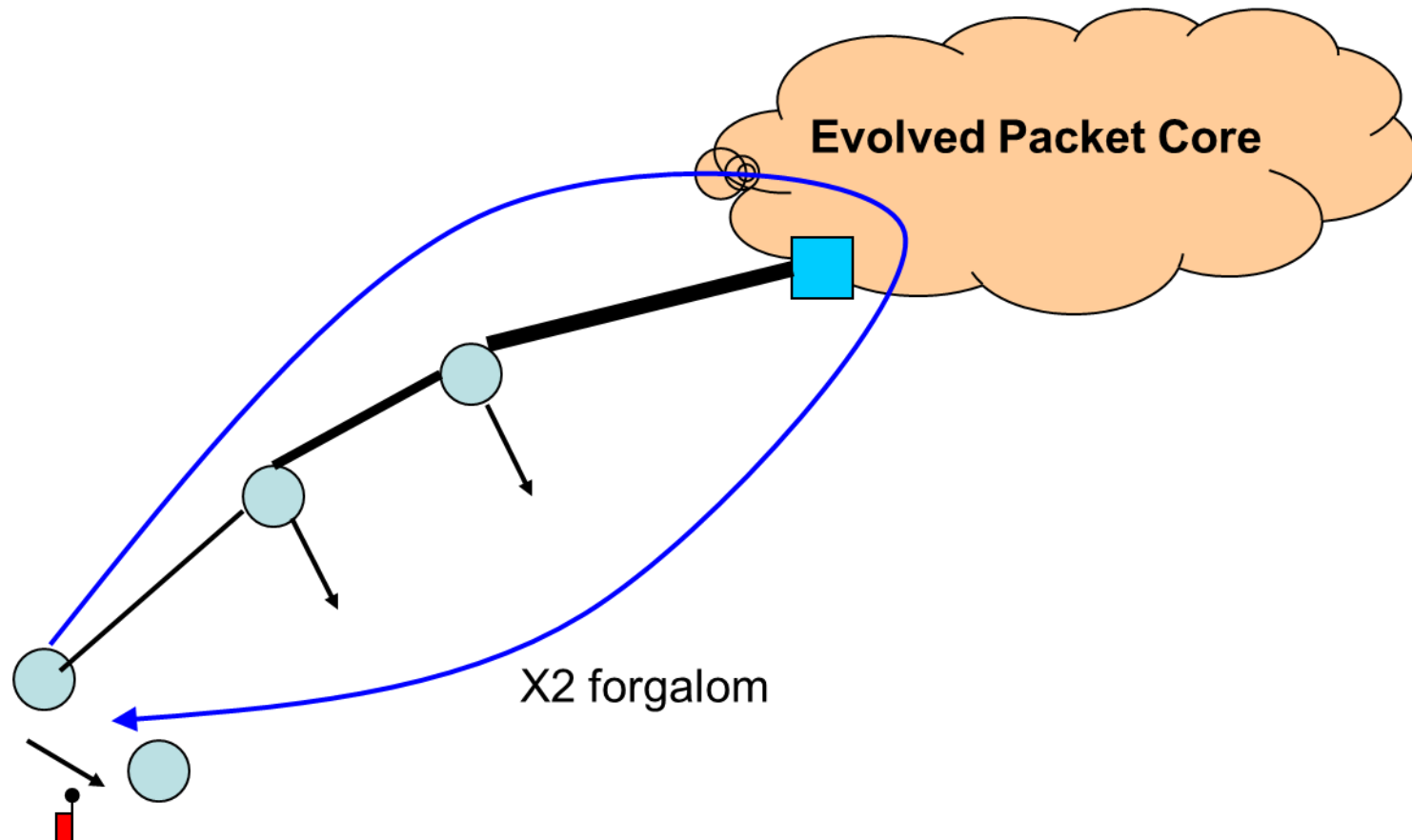
- 3G sajátosságok
 - NodeB – RNC logikai kapcsolat
 - Természetesen az eNodeB – RNC kapcsolat fizikailag egy nagy hálózaton, számos összeköttetésen, kapcsolón és routeren megy át
 - A forgalom átmegy az RNC-n, az RNC a rádiós protokoll végződése
 - Van soft handover: egyszerre két, vagy több kapcsolat áll fenn a mobil és az RNC között (ugyanazon adatfolyam)
 - Haszna: handover során már van kapcsolat a következő bázisállomással és csak azután szakítjuk meg az előzővel való kapcsolatot, kisebb eséllyel dobódik el a kapcsolat
 - Azonban két adatfolyam megy a teljes backhaulon át az RNC-ig
 - Soft handover miatt túl kell méretezni a backhault

Backhaul sajátosságok

- LTE sajátosságok
 - a hálózatban nincs az RNC –nek megfelelő központi elem
 - minden eNodeB direkt logikai kapcsolatban a maghálózattal
 - természetesen az eNodeB – maghálózat kapcsolat fizikailag egy nagy hálózaton, számos összeköttetésen, kapcsolón és routeren megy át
 - Definiálva van az ún X2 interfész az eNodeB – eNodeB között. Céljai:
 - 1. rádiós erőforrás menedzsment üzenetváltás az eNodeB-k között
 - 2. handover idején a régi eNodeB-hez még beérkező csomagokat továbbítja az új eNodeB-hez ezen az interfészen
 - Ugyanis a fizikai rétegben a handover, azaz az átkapcsolás az új eNodeB-ig megtörténik, utána még elég hosszú idő, amíg a maghálózattal kapcsolatos signalling lezajlik és az IP csomagokat a maghálózat az új eNodeB felé kezdi küldeni
 - Ezalatt az idő alatt küldött csomagok a régi eNodeB-hez mennek, ő továbbítja az új felé
 - Úgy, hogy az IP csomagokat az új eNodeB-nek megfelelő fejléccel becsomagolja
 - Ez is egy logikai interfész, fizikailag mehet egy nagy hálózaton, több hupon keresztül, mondjuk egy access network router-ig
 - Aki képes IP cím alapján kapcsolni

Backhaul sajátosságok (LTE folyt.)

- Rossz topológia esetén az X2-n való adattovábbítás háromszor megy ugyanazon a linken
- Törekedni kell IP szinten a minél közelebbi összeköttetésre



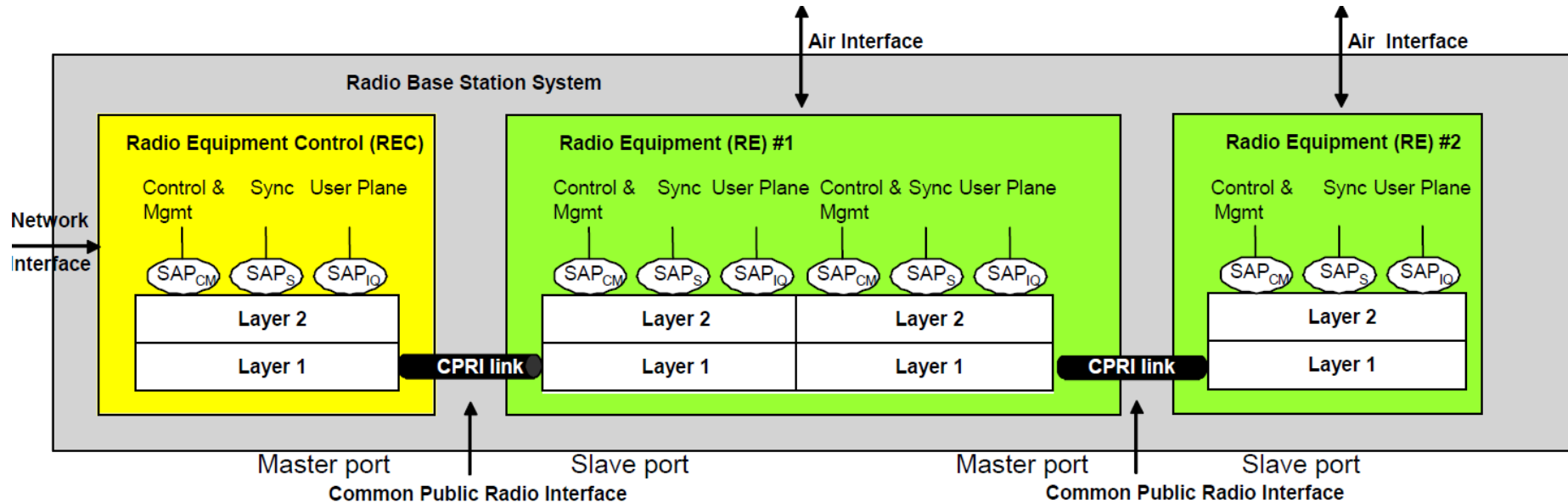
FRONTHAUL MEGOLDÁSOK

- Fronthaul: CPRI link a BBU és a RRH között (REC és RE között)
 - Volt: alapvetően optikai összeköttetés fölött kiépítendő
- Alap: hagyományos bázisállomás architektúra, de
 - A rádiós fejegység (aktív, elektronikus feldolgozást végez) kerül fel a toronyba
 - Az alapsávi egység (BBU) marad lent a cabinet-ben
 - Köztük analóg RF/koax *helyett* digitális alapsávi/optika
- Hátrány: fel kell mászni 30 méterre, amikor a viharban elromlik az RRH

- De a fő felhasználás nem ez, hanem távolabbra elvitt RRH-k
- Miért?
 - Rugalmasabb bővíthetőség
 - Külön RRH gyártók, nagyobb verseny
 - Különféle RRH típusok (elsősorban: végerősítőtől függ ez meg a max kimeneti teljesítménytől) lehetnek kötve egy BBU-hoz
 - BBU-ban: pl. 3G/4G feldolgozás/protokollok közösen (egy hardveren) -> sávtól függően 1-1 RRH a két technológiához

Fronthaul opciók

- Egy BBU –hoz több RRH csatlakozik (nyilván), de
- Többféle topológia támogatott; az RRH-k láncban egymáshoz lehetnek kötve



BME

Fronthaul opciók

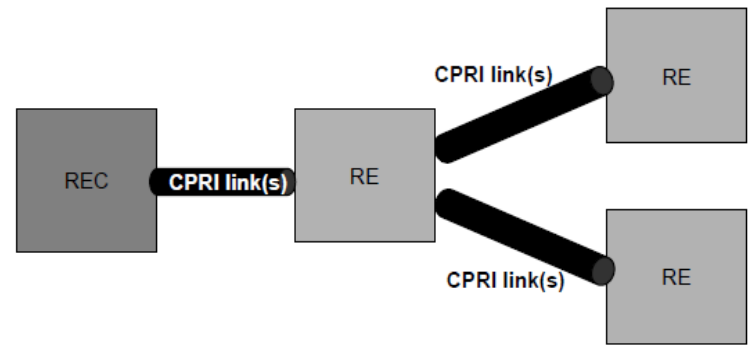


Figure 5B: Tree topology

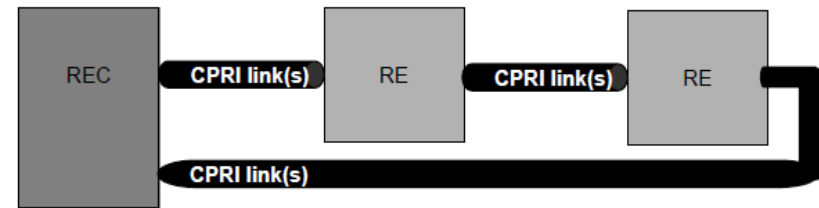


Figure 5C: Ring topology

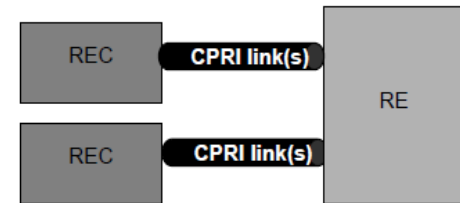


Figure 5D: Multiple point-to-point links between several RECs and one RE

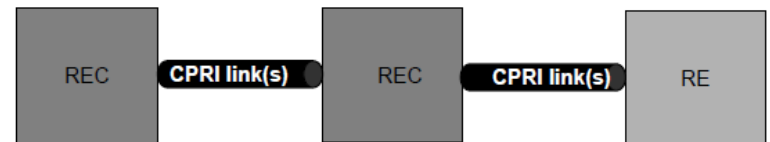
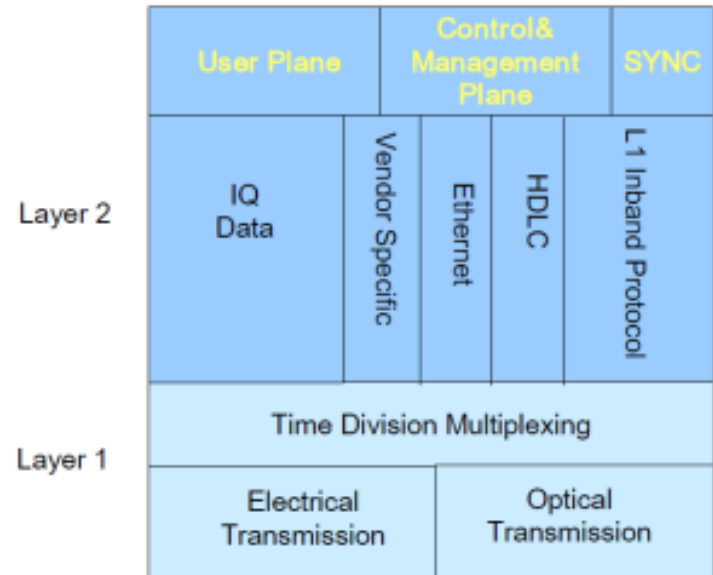


Figure 5E: Chain topology of multiple RECs

BME Fronthaul opciók

- Látható, hogy a rádiós fejegységek szinte tetszőlegesen lehetnek bekötve (darabszám, topológia)
- CPRI interfész: az ábrán látható rétegeket definiálja
- Vannak gyártói megoldások arra, hogy a CPRI átvitel mellett más forgalom is menjen ugyanazon az optikai kábelben
- Van CPRI mikrohullám fölött is megvalósítva
 - Vezeték nélküli fronthaul
- Van CPRI Gbps/10Gbps Ethernet fölött is megvalósítva

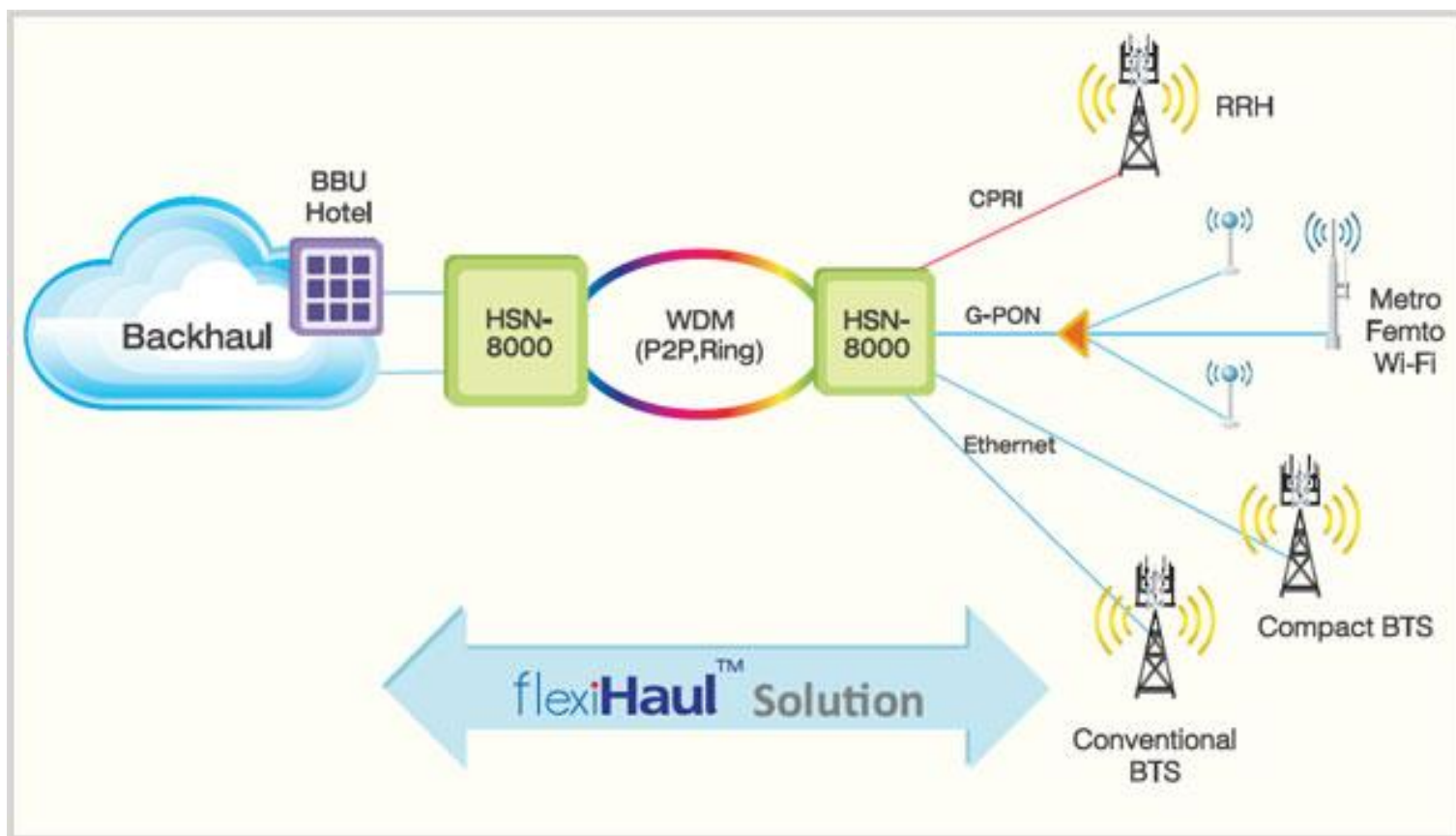


Fronthaul opciók

- A CPRI megengedi más hordozó használatát, ha a QoS-nek megfelel, ami:
 - egy fizikai összeköttetésen a körülfordulási idő (oda-vissza késleltetés) maximum 5 us, nem számítva a kábelhosszból eredő késleltetést
 - az adatsíkon a bithibaarány maximum 10^{-12} !!!
- Támogatott max távolságnak 10 km-nek kell lennie!
- Gyakori megoldás: a CPRI-t egy nagy optikai hálózat szállítja
 - Más forgalom is megy a CPRI mellett

Fronthaul hálózat példa

- Optikai kapcsolókkal megvalósított hullámhosszmultiplexált (WDM) optikai gyűrű a fronthaul gerince
 - Egy-egy hullámhossz egy-egy nagysebességű csatorna (mint rádiós kommunikációnál az FDM)
- PON megy az egyes RRH-khoz
- Együtt hagyományos BTS forgalommal



- Példa: Softbank Japán szolgáltató kiscellás lefedése (~200 000 LTE cella a nagyobb városokban, 2012-ben építették)
 - Egy BBU központ (előző ábrán: BBU hotel) akár több száz cellát (RRH-t) is beköt (!)
 - Tehát: visszatér(het) a központi vezérlőegység tulajdonképpen a RAN-ba
 - Pedig a 3G RNC-t számúztuk ...
 - A fronthaul nem csak egy-két link, hanem egy nagy hálózat, kapcsolókkal, stb.
- EZ MIÉRT JÓ?
 - Úgy reklámoztuk az LTE-t, mint lapos architektúra, amiben nincs a 3G RNC-nek megfelelő elem ...
 - Most meg: BBU egység, ami akár százas nagyságrendű cellát (RRH-t) vezérel/felügyel
 - EZT nem a szabvány mondja, ez egy lehetséges gyártói megoldás !
 - DE: ez tipikusan kiscellás esetben, kis kiterjedésnél (~városrész) csinálják ezt
 - MIÉRT JÓ?: Legtöbb handover megoldódik BBU-n belül -> nem kell a maghálózattal jelzésátvitelt folytatni minden handovernél
 - X2 interfész megoldható a BBU egységen belül

- Mi az ördög az előző ábrán a BBU hotel?
- Hagyományosan: a hardver kiépítés követi a kiszolgálni kívánt cellákat / cellás usereket
 - Tehát: például: 1 BBU kártya a hozzá tartozó 1 cellát szolgálja ki (1 RRH-t)
 - Tehát egy 3 cellás bázisállomás: 3 BBU kártya, 3 RRH
 - Táp, redundancia, hálózati interfész, üzemeltetési egységek, st. Lehet egy közös
 - A BBU-n lévő feldolgozási kapacitás korlátoz: átviteli sebesség, adatfeldolgozás (pl. Hány kapcsolaton tudja egyszerre a hibavédő kódolást elvégezni), memória, processzor, stb.
- Ez a hagyományos elrendezés rugalmatlan:
 - Minden BBU kártyának a cella elvi maximum kapacitását ki kell tudni szolgálni
 - Illetve fordítva: a BBU kártya kapacitása korlátoz a rádiós interfészen

BBU

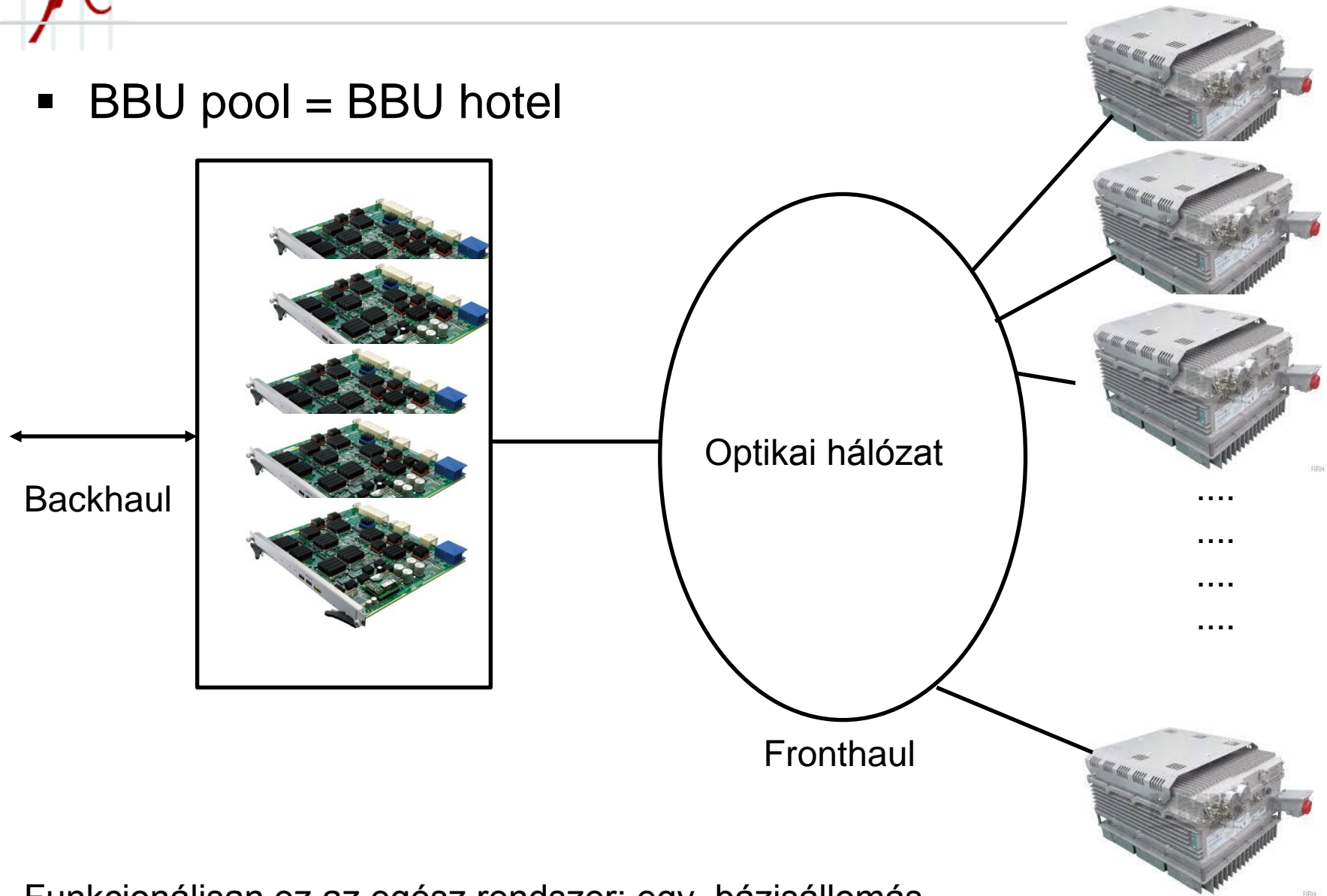


RRH



- Például erőforrás-méretezésnél számít:
 - „licenz” –nek is szokás emlegetni: egy cella ennyi kapcsolatot (aktív user átvitelt) tud egyszerre kiszolgálni
 - ez kisebb lehet, mint a szabványból adódó érték
 - hasonló tényezőt (Ericsson által gyártott rendszerben) „channel element”-nek hívtak: mert arányos a rádiós erőforrásokkal nyilván, de jelfeldolgozási kapacitást jelentett
- Ezért újabb megvalósításokban:
 - BBU medence (BBU pool ☺): összesen valamennyi BBU kártya, valamennyi kapacitással, nincs szigorú 1-1 összerendelés a BBU kártya és RRH között, az alapsávi terhelés dinamikusan megosztható a kártyák között
 - Persze ehhez kell egy fejlettebb belső logika, vezérlés a terhelés-megosztáshoz
 - Sok RRH esetén érdemes, mert kevesebb BBU kártya elég lesz, a terhelés megosztás miatt

- BBU pool = BBU hotel



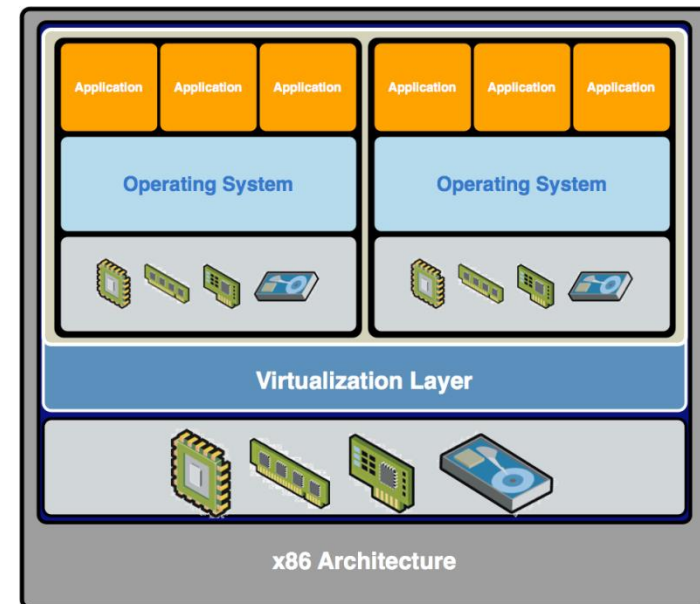
Funkcionálisan ez az egész rendszer: egy bázisállomás

- Milyen a BBU?
 - Nagyon nagy sebességű számítások kellenek
 - Hibavédő kódolás, de főleg dekódolás
 - Csatornakegyenlítés
 - Titkosítás
 - FFT/IFFT nagy pontszámon
 - Vivőaggregáció, multiantenna -> többszörözi ezeket az igényeket
 - Stb.
 - Ezért: DSP (digitális jelfeldolgozó processzor) és FPGA és gyakran külön hardver gyorsító ASIC (Application Specific Integrated Circuit)– pl. Szoktak turbo kódoló / dekódoló ASIC –ot rátenni
 - pl. Commagility AMC 2C6678 kártya
 - 2 x Texas Instruments DSP, darabja 8 x 1.25GHz processzormag
 - Xilinx Virtex-6 LX240T FPGA
 - 20 Gbps belső kommunikáció a DSP, FPGA és más kártya felé
 - Gigabit Ethernet interfész
 - GPS vevő -> szinkronizációhoz
 - 3 soros optikai csatlakozó (CPRI-hez, -> 3 RRH –hoz)



- Intel architektúrájú processzorok és ezt tartalmazó számítógépek már elég gyorsak
 - Alapsávi jelfeldolgozás is futhat rajtuk
 - Nem lesz szükség DSP-re, FPGA-ra, ASIC –re, illetve csak korlátozottan
 - A szükséges feldolgozás nagy része mehet „sima” számítógépeken
 - Persze itt nagy teljesítményű szerverekre kell gondolni
 - Például LTE kontextusban a rádiós protokoll stack teteje (volt):
 - PDCP (Packet Data Convergence Protocol); RLC (Radio Link Control); RRC (Radio Resource Control, ez a vezérlés) és MAC (Medium Access Control) rétegek futnak általános célú processzorokon (GPP, Generic Purpose Processor)
 - és a PHY felső része DSP/FPGA -n ,
 - illetve később: a PHY is GPP –n futhat

- Általában virtualizáció:
 - adott fizikai hardveren (processzor, interfész, memória, hard diszk) fut egy hypervisor (= virtualizációs réteg)
 - A hypervisor virtuális gépeket tud allokálni (ez jellemezhető processzor sebességgel, memóriával, hálózati interfész sebességgel, HDD mennyiséggel)
 - Ez sokféle kombináció lehetne, ilyen egyszerűsítések vannak, hogy:
 - S, M, L, XL, XXL méretű virtuális gép,
 - A virtuális gépeken (tetszőleges) oprendszer és alkalmazások futhatnak



- Hálózatvirtualizáció, szoftver definiált hálózat (MOBILHÁLÓZATI példák):
 - Számos funkcióra hagyományosan külön egység, külön hardver
 - Pl. LTE maghálózati MME, vagy PCRF (Policy and Charging Rules Function)
 - Vagy: TAS (Telecommunication Application Server): hálózati szolgáltatásokat támogatja, pl. helyfüggő szolgáltatás, illetve VoIP alapú hívásokhoz vagy videohívásokhoz kiegészítő szolgáltatásokat támogat pl. Hívás-várakoztatás, hívásátirányítás, stb.
 - illetve.: IMS (IP Multimedia Subsystem): számos funkció az IP felett átvinni és kapcsolni a hagyományos beszédforgalmat, ehhez szükséges jelzésátvitel
 - Vagy: HSS: Home Subscriber System (=HLR + AuC) felhasználói adatbázis + autentikáció
- Várhatóan ezek mind virtuális gépekként fognak futni a jövőben
- DE! Az adatot el kell fizikailag vinni az adott helyre. X Gbps csőre szükség van, ami az adott helyre visz, ezt nem lehet virtualizációval megoldani ...

- Gyártók ma: a maghálózati eszközöket szoftverben fejlesztik, alatta a vas és a hypervisor is más gyártmány (pl. Vmware hypervisor fölött fut az xy gyártó által szállított MME)
- Cloud attól lesz, ha több szervert összekapcsolunk és ezeket közösen kezeli a hypervisor
 - -> elvileg megoldható, hogy egy virtuális gép fizikailag több szerveren fut
- Távközlésben a cloud nem az, mint számítástechnikában!
 - Senki nem gondolja, hogy a T-mobil majd Amazon cloud-ban futtatja valaha is a saját hálózatát,
 - Néha a törvény sem engedi (pl. adott országbéli lakos ügyfelek adatainak fizikailag az adott ország területén kell lennie)
 - Viszont corporate cloud-ok épülnek (saját tulajdonú a szolgáltatónál)

■ Innentől:

- A BBU-k is futhatnak, mint virtuális gépek
- „Igazi” megoldás: általános célú processzoron fut a BBU is, „mellette” esetleg egy más célú virtuális gép, más operációs rendszer
- Mindez egy corporate cloud –ban, valamelyik telephelyen
- Ez a cloud RAN (C-RAN) koncepció
- Gyakran azt is cloud RAN –nak hívják, amiről már volt szó : BBU poolhoz hálózattal kötött RRH-k De igazi cloud akkor lesz, ha a BBU csak egy lesz a cloud-ban futó alkalmazások közül

- Pl. ábra: GPP-ken futnak a virtuális bázisállomások (BBU-k)

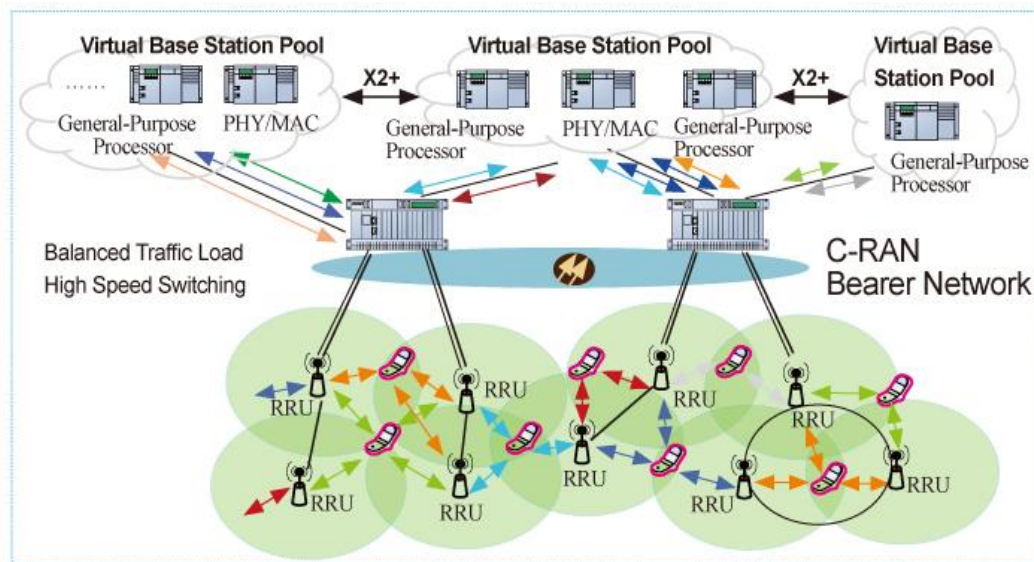


Figure 1. C-RAN architecture.

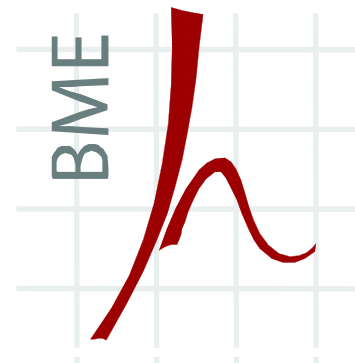
- Előny:
 - Egyéges hardver számos alkalmazáshoz
 - Üzemeltetéshez egyféle ember kell
 - Tartalékban egyféle kártya kell
 - Felügyelet/hibajelzések, stb. Egyféle
 - Hardver bővítés: egyféle. Egyféle, de nem egy gyártótól: szabványosított hardver architektúra. Ezek bármelyikén fut elvileg ugyanaz a hypervisor
 - Szoftverben elvégezhető a többi
 - Több rádiós interfész futtatása pl. 3G, LTE ugyanazon a hardveren
 - Új rádiós interfész feature (legalábbis egy részük ...) bevezetése
 - Új kapacitás hozzáadása:
 - Pl. Új cellát, új RRH-t telepítünk, a cloudban létrehozunk egy megfelelő kapacitású BBU-t hozzá
 - Egyszerűsített konfigurálás

- Előny:
 - Rugalmasság
 - Akár erőforrások megosztása, lízingelése
 - Akár 3. féltől vásárolt/bérelt hardveren futó saját RAN

■ Hátrány:

- Késleltetés adódhat a PHY teteje és a PHY alja közé (hálózat van közte)
 - Szinkronizációs problémák
- bizonyos rádiós eljárásoknál (pl. CoMP, vagy elosztott MIMO), amelyek különböző, egymástól távolabb lévő antenna együttműködését kívánják, a vivőfázis – szintű szinkronitás szükséges (!)
 - Ezt akkor is meg kell oldani és nehéz megoldani, ha nem cloud a RAN

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Villamosmérnöki szak, mesterképzés
Multimédia rendszerek és szolgáltatások főspecializáció
Vezetéknélküli rendszerek és alkalmazások főspecializáció*



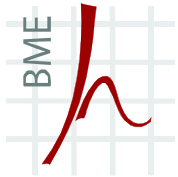
VIHIMA07 Mobil és vezeték nélküli hálózatok A mobil backhaul vezetékes technológiái 1. Mobil backhaul követelmények

Jakab Tivadar

Hálózati rendszerek és szolgáltatások tanszék

[*jakab@hit.bme.hu*](mailto:jakab@hit.bme.hu)

I.B.123



A mobil backhaul (vezetékes) technológiáival kapcsolatos általános megfontolások

- Mit kell kiszolgálni?
- Hogyan kell kiszolgálni?
- Milyen környezetben kell kiszolgálni?
- Mik a kiszolgálás főbb jellemzői?



Mit kell kiszolgálni?

- Felhasználói alkalmazásforgalmak
 - beszéd, SMS
 - videóhívás
 - Internet (e-mail, browse, streaming audió és videó)
 - mobil hálózat alapú integrált rendszerek
- Mobil hálózati szolgáltatások
- RAN működtetését szolgáló jelzések

Alkalmazásforgalmak minőségi követelményei (csomag alapú transzport)

Guaranteed Bit Rate	Delay Budget	Loss Rate	Application Example
GBR	100 ms	10^{-2}	Conversational Voice
	150 ms	10^{-3}	Conversational Voice, Live Streaming
	50 ms	10^{-3}	Real Time Gaming
	300 ms	10^{-6}	Buffered Streaming
Non - GBR	100 ms	10^{-6}	IMS signaling, Control plane
	300 ms	10^{-6}	Buffered Streaming, TCP applications (specific service)
	100 ms	10^{-3}	Interactive Gaming, Live Streaming
	300 ms	10^{-6}	TCP applications (premium bearer)
	300 ms	10^{-6}	Default Bearer

GBR – Gar. Bit. Rate

LTE-capable transport: A quality user experience demands an end-to-end approach, Nokia Siemens Networks
Whitepaper, 2011

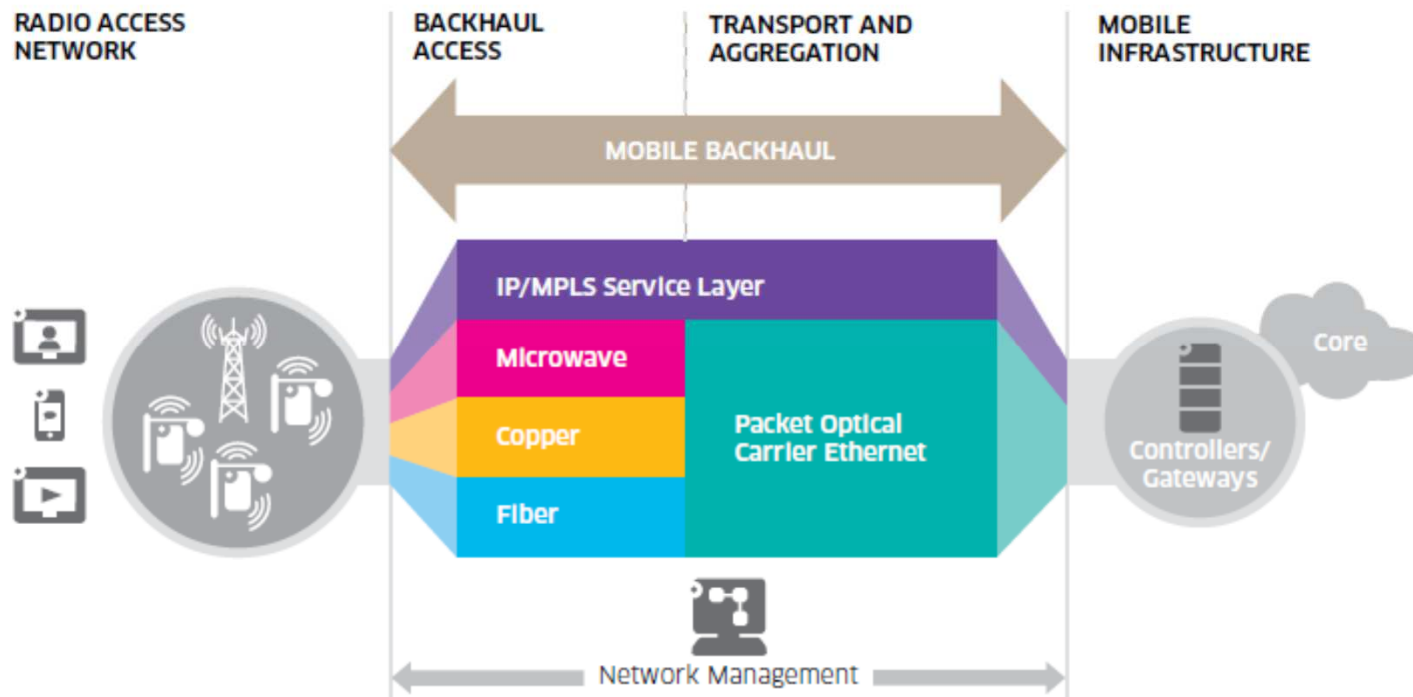
Mik a főbb szempontok?

- Hol vannak az összekötendő mobil hálózati berendezések?
- Milyen vezetékes hálózati szolgáltatásokra van szükség?
- Mekkora az áthidalandó távolságok?
- Mekkora a biztosítandó kapacitások?
- Milyen szolgáltatási képességeik vannak a szóba jövő vezetések hálózati technológiáknak?
- Üzemeltethetőségi szempontok
- Fejleszthetőségi szempontok?
- Infrastruktúraigény, megvalósíthatóság
- Topológia
- Hibatűrés, javíthatóság, vezetések hálózat szolgáltatások rendelkezésreállása
- Költség

Milyen környezetben?

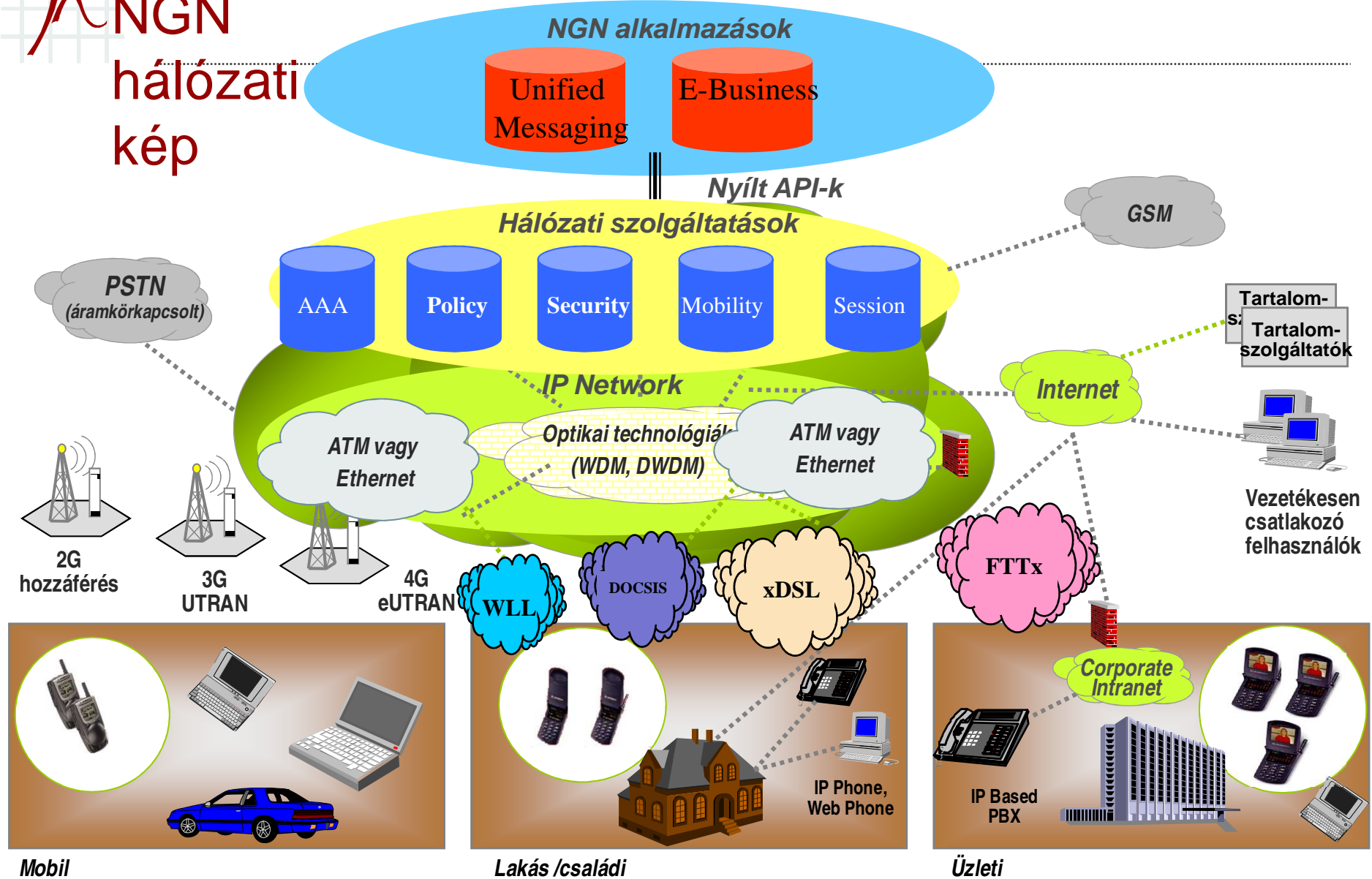
- Next Generation Network: all IP
- Szolgáltató üzletágai (hálózati infrastruktúrája)
 - csak mobil üzletág
 - mobil és vezetékes üzletág
- Üzleti alapon
 - gazdaságosság
 - beruházás, üzemeltetés, élettartam költség
 - gazdaságos méret
 - jövedelmezőség
 - számlázás
- Menedzselt hálózat és szolgáltatások
- Számlázás

Mobil backhaul infrastruktúra (heterogén hálózatok)

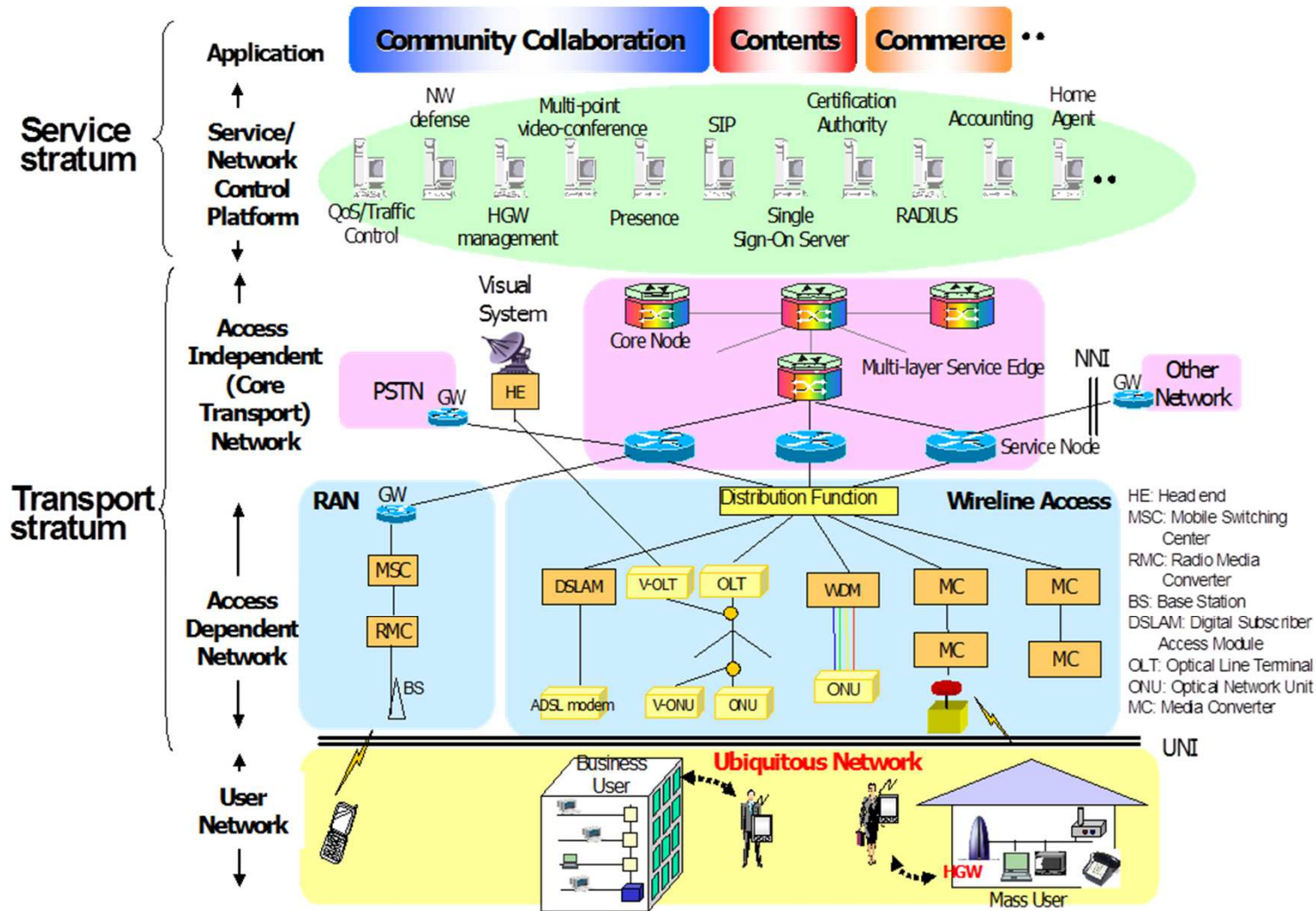


A NEW ERA OF MOBILE BACKHAUL - FLEXIBLE, SCALABLE, SIMPLIFIED BACKHAUL FOR HETEROGENEOUS NETWORKS, Application Note, Alcatel-Lucent, 2012 Oct.

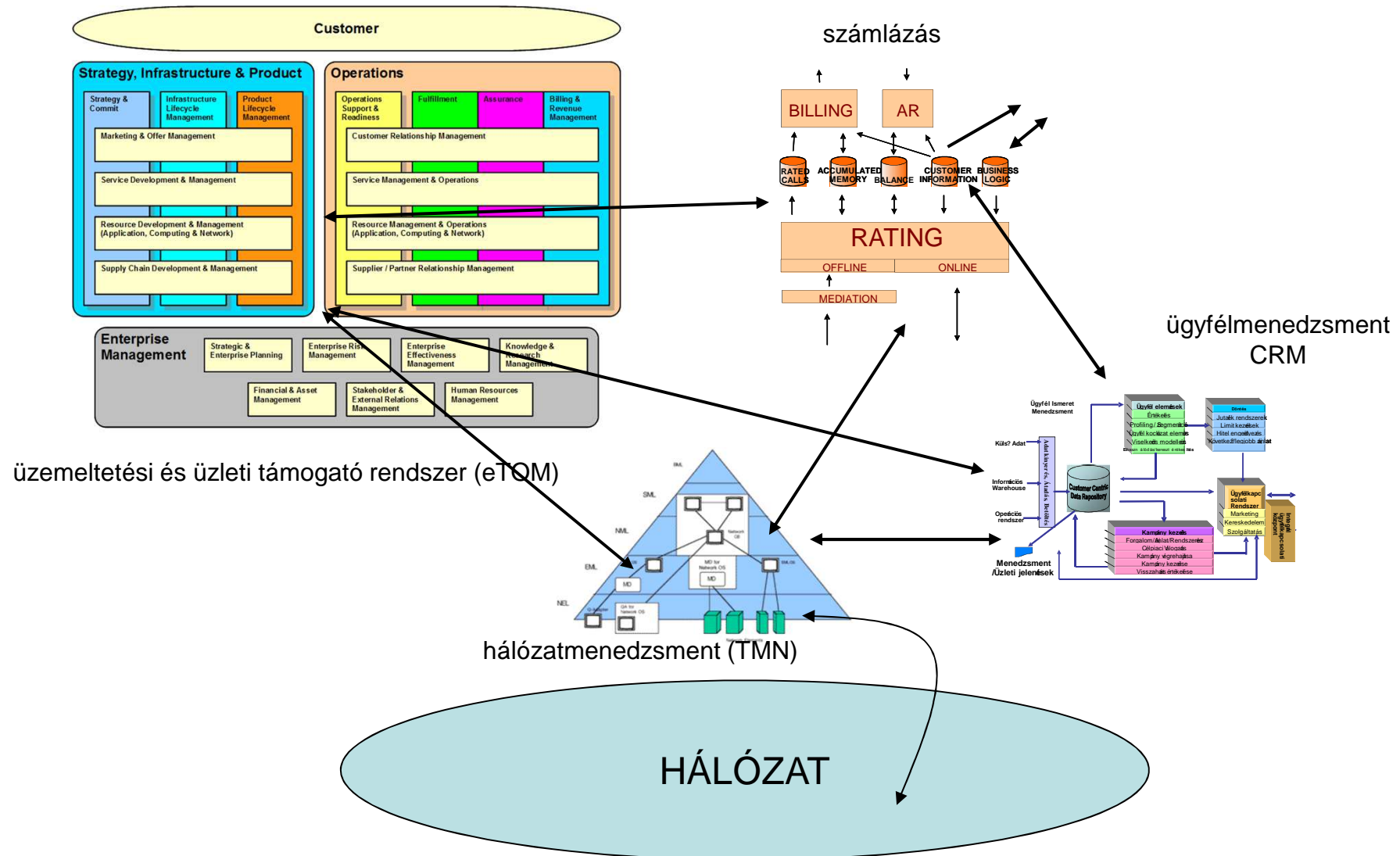
NGN hálózati kép



NGN hálózatok felépítése ITU-T példa



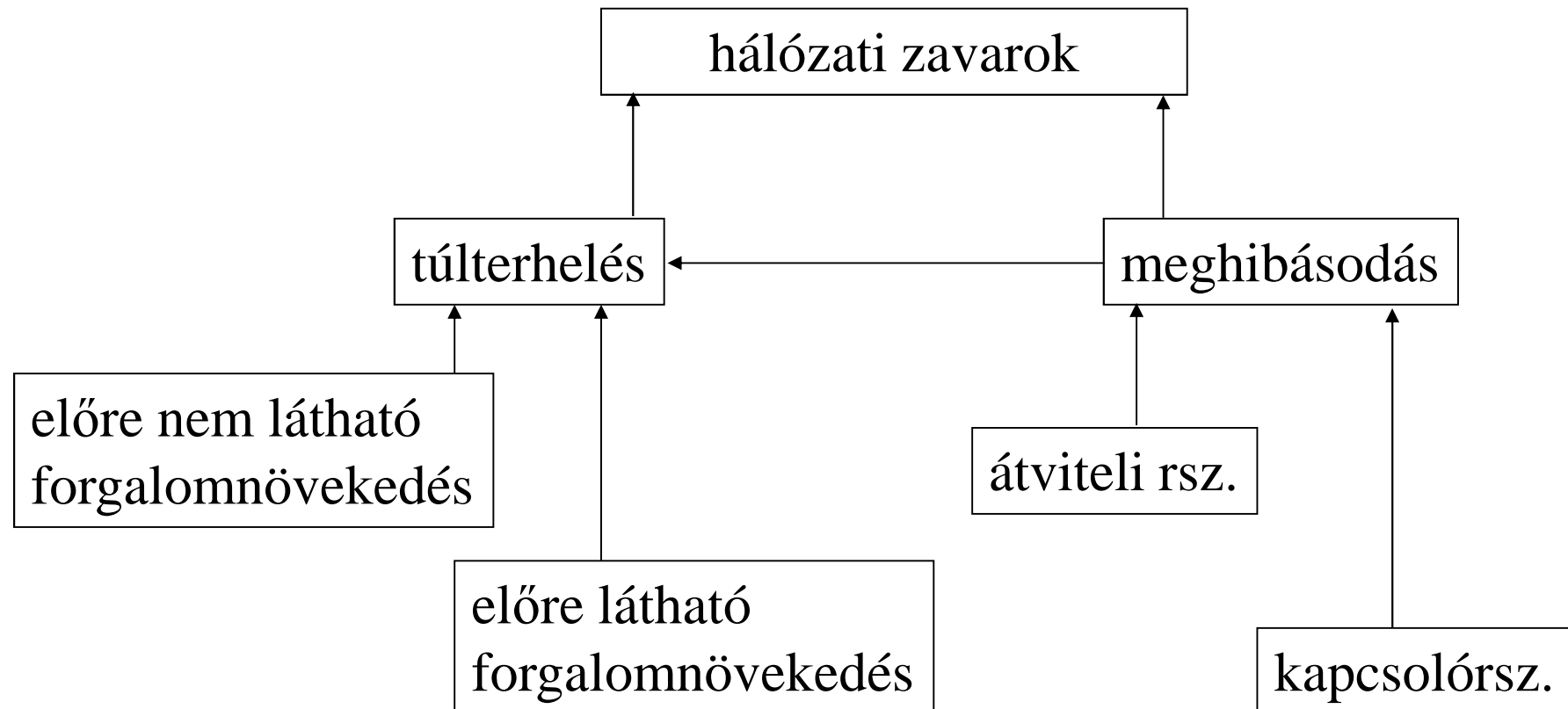
OSS, BSS



A szolgáltatás minőségének csökkenését előidéző okok

Szolgáltatás minőségének jellemzői (hibamentes és hibás állapotokba):

- (vonalkapcsolt) blokkolás
- (csomagkapcsolt) csomagvesztés, késleltetés, a késleltetés ingadozása
- szolgáltatás rendelkezésre állása



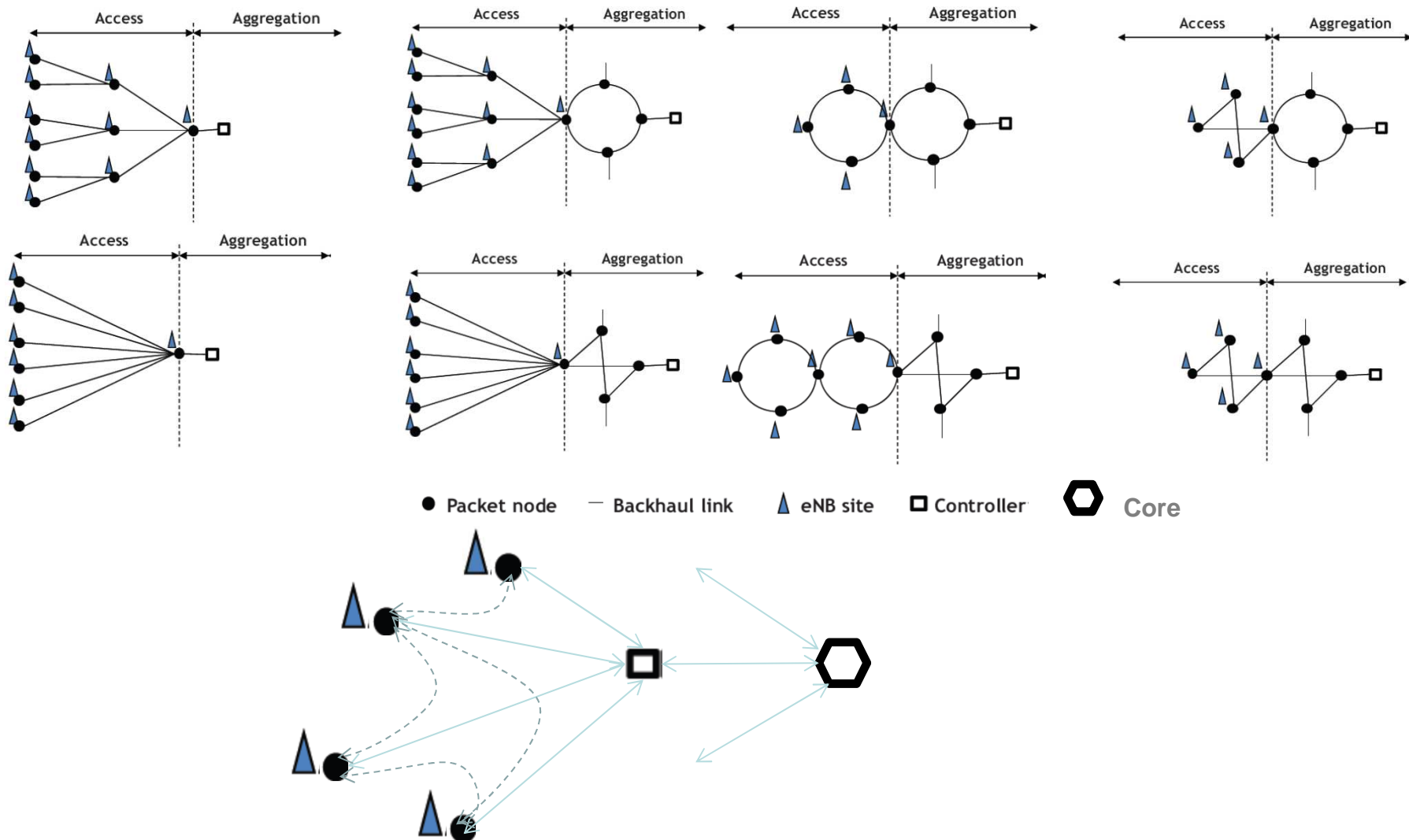
Vezetékes hálózatok szerkezet, a hálózati szegmensek általános jellemzői

- Funkcionálisan tagolt hálózat, szegmensenként eltérő szerep, jellemzők technológiák és architekturális megoldások
- Hálózati szerepek, hálózati szegmensek, jellemzőik
 - Hozzáférés
 - előfizetői végberendezés (vagy hálózat) – nyilvános hálózat
 - változatos szolgáltatási portfólió, felhasználói viselkedés, technológia
 - Aggregáció
 - előfizetők csatlakoztatási pontja – gerinchálózat elérési pont (edge, PoP, hálózati szolgáltatásválasztási pont)
 - forgalomaggregálás (méretgazdaságosság)
 - redundanciák (topológiai és HW), védelmek
 - Gerinc
 - nagy távolságok és kapacitások, sokféle hálózati szolgáltatás
 - tartalom- és alkalmazásszerverek elérése
 - redundanciák (topológiai és HW), védelmek

Vezetékes hálózatok – meglévő hálózati adottságok

- **Szolgáltatások**
 - áramkör- és csomagalapú
 - BE és garantált
- **Technológiák**
 - hozzáférés: xDSL, DOCSIS, PON, hibrid réz-optika
 - aggregáció: SDH, ng SDH, Ethernet (CCE, CET, PBB, PBT), sötét szál és hullámhossz-multiplexált optika
 - gerinc: IP, IP/MPLS, IP/MPLS TE, SDH, ng SDH
 - nem redundáns: felfűzés, fa,
 - redundáns: gyűrű, szövevény
- **Infrastruktúra**
 - telephelyek (site), alépítmény és kábelinfrastruktúra,
- **Életciklus**
 - Menedzselt hálózatok és szolgáltatások
 - technológiák támogatása (üzemeltetés, tartalékolás, véletlen és tervezett kiesések szolgáltatáskimaradás nélkül)
 - több technológia együttélése, lassú változások , szolgáltatások fenntartása a technológiai változások mellett

Topológiák, igényminták

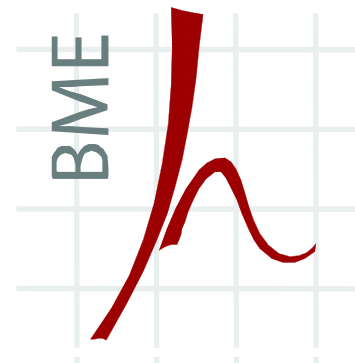


Topológiák jellemzői

- **fa**
 - jól aggregál, de sebezhető
 - többszintű esetben távoli vég „kiéheztetése”
 - homogén linkméret korlátai
- **gyűrű**
 - egyszerű topológiai redundancia (egyszerű védelem)
 - szomszédos igénymintára ideális, csillag szerkezetűre nagy tranzitok
 - rosszul skálázódik (igénynövekedés egy link telítésbe vitelével problémát okoz)
 - homogén szerkezet (csp. berendezés, linkméret korlátai)
- **szövevény**
 - komplexebb berendezések és működés
 - rugalmasan alakítható topológiai redundancia (összefüggőség – de SRLG)
 - topológiája az igénymintához illeszthető (tranzitok helyett direkt linkek, de távolságkorlátok)
 - Heterogén szerkezetű is lehet (de nem tipikus)
- **összetett**
 - flat vagy hierarchikus kombinációk
 - előnyök egyesítése
 - redundanciák fenntartására dual homing (technológiai/protokoll támogatás szükséges)

- Tipkus technológiák
 - GSM – SDH
 - 3G – SDH / Ethernet – IP/MPLS
 - 4G – Ethernet – IP/MPLS TE
 - Heterogén hálózatok
 - Makrocellákhoz : Ethernet – IP/MPLS TE
 - Metrocellákhoz : Ethernet – IP/MPLS TE
 - Mikrocellákhoz : PON – Ethernet – IP/MPLS TE
 - Femtocellákhoz : xDSL/DOCSIS/PON – Ethernet – IP/MPLS TE

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Villamosmérnöki szak, mesterképzés
Multimédia rendszerek és szolgáltatások főspecializáció
Vezetéknélküli rendszerek és alkalmazások főspecializáció*



VIHIMA07 Mobil és vezeték nélküli hálózatok A mobil backhaul vezetékes technológiái 2. GSM backhaul - SDH

Jakab Tivadar

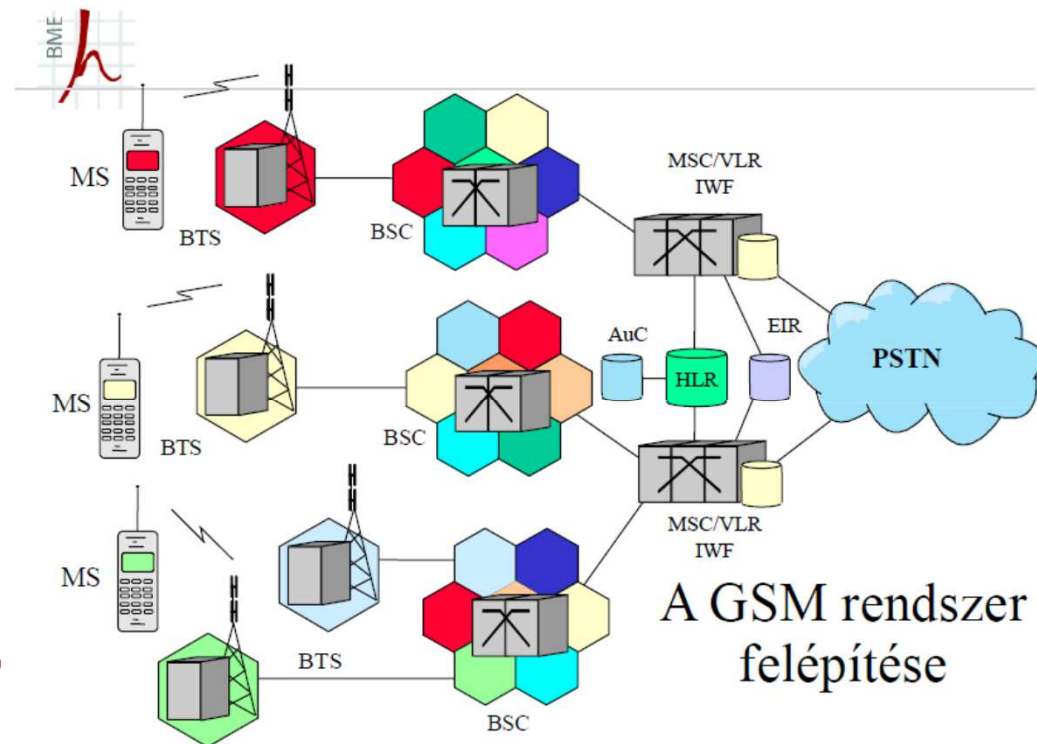
Hálózati rendszerek és szolgáltatások tanszék

jakab@hit.bme.hu

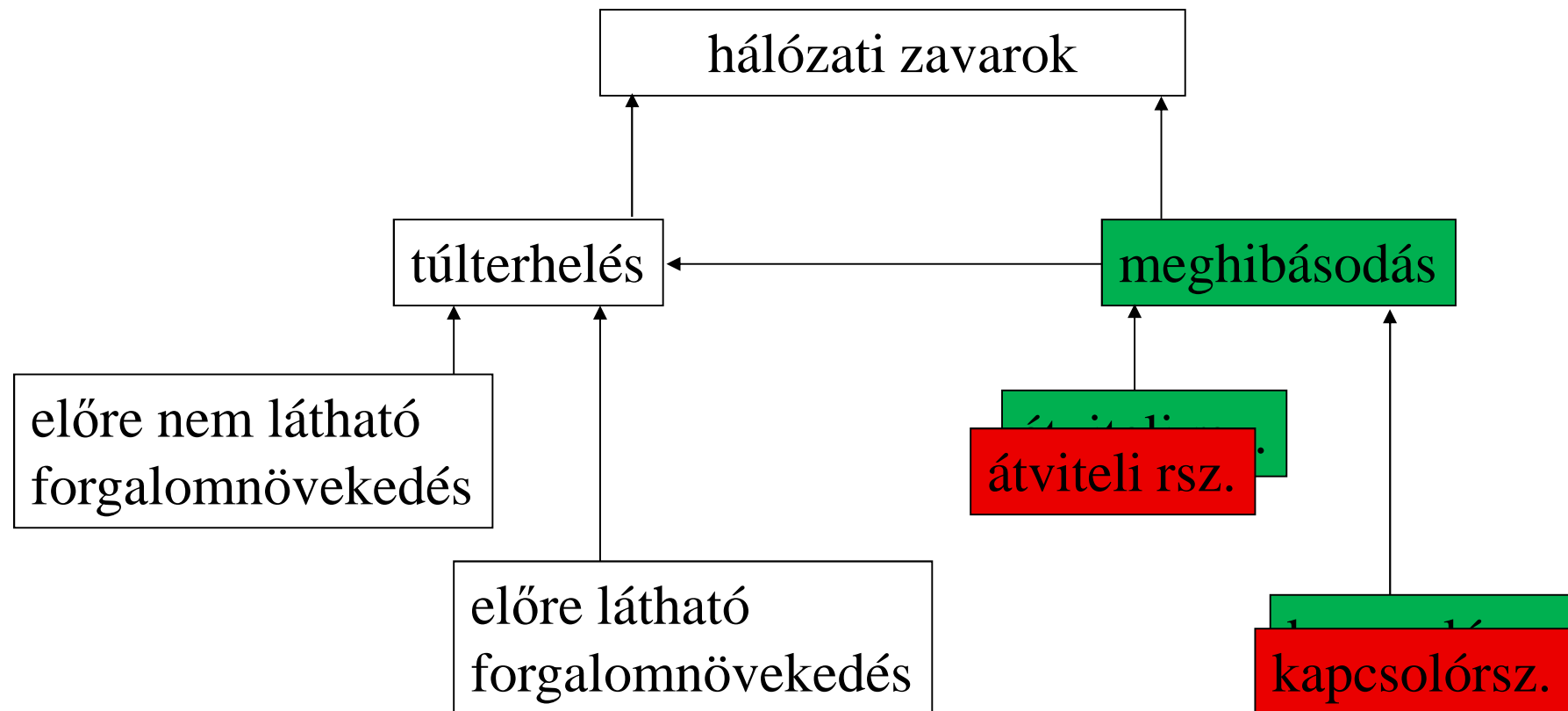
I.B.123

GSM backhaul követelmények

- Mik között?
 - BTS – BSC
 - nxE1
 - BSC – MSC
 - MSC - MSC
 - MSC – PSTN
- Jelzés, adat, szinkron
- Hálózati redundanciák, védelmek
- Menedzselhetőség

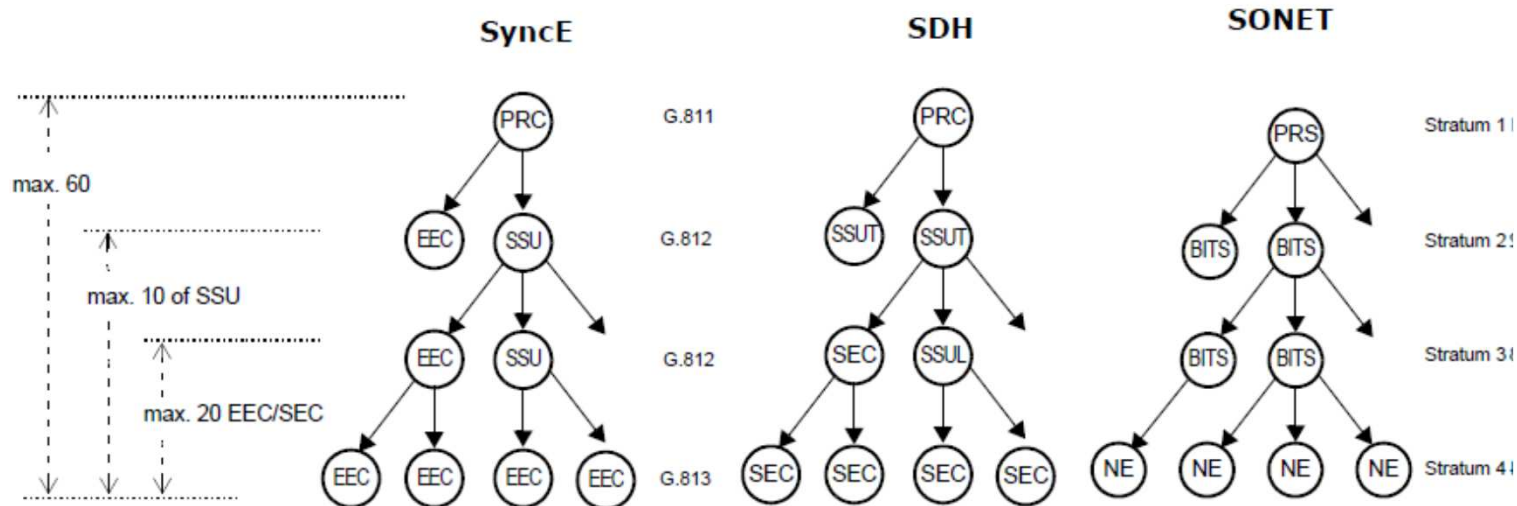


Redundanciák, védelem

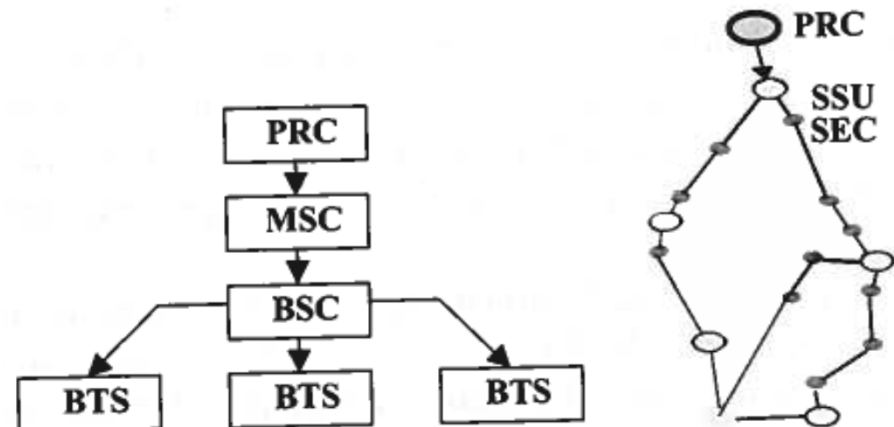


- az átviteli szakaszok meghibásodásának hatását automatikusan kiküszöbölni: másik átviteli szakasz vagy út
- kapcsolóelemek hibájának hatását automatikusan kiküszöbölni: átterhelhető forgalom

Szinkronizálás



- Mester óra órajelének szétosztása a hálózatban
 - redundáns topológián
 - korlátos úthosszakkal (szakaszszámok)
 - hurokmentesen



SDH: transzporthálózati technológia

- fix átviteli kapacitások biztosítása
- többféle kliens kiszolgálása: jelzés, beszéd, szinkronjel
- alapvető hálózati funkciók
 - útképzés: kliensigények multiplex rendszerekbe – méretgazdaságosság, erőforrás-hatékonyság
 - védelem: hálózati hibák detektálása, behatárolása, automatikus reagálás
 - menedzselhetőség (hálózatelemek, szolgáltatások)
- alapvető csomóponti funkciók
 - erősítés, regenerálás (átvitel minősége)
 - illesztés, multiplexálás (kliensek, nyalábolás)
 - kapcsolás (flexibilitás, védelem/helyreállítás)
- hordozó
 - optikai kábel
 - mikrohullámú link

Tartalom

- az SDH technológia kialakításának motivációi
- az SDH keretszervezés
- az SDH multiplexálási hierarchia
- tipikus SDH berendezések
- útképzési funkciók implementálása
- védelmi funkciók implementálása
- architektúrák, hálózati szerkezetek

SONET/SDH

- SONET Bellcore 1985 február
 - USA, Kanada
- SDH: Melburn 1988 CCITT G.707
 - Európa
 - bitsebességek STM-n $n=1, 4, 16, 64$

TELEPHONE MAIN LINES PER 100 INHABITANTS

(Ranked on the basis of 1985 data)

	1974	1980	1983	1984	1985	Growth 1974-1985 %
Sweden (5)*	49.71	58.00	60.24	61.51	62.78	2.1
United States (2)	36.82	41.43	47.27	48.17	50.57	2.9
Switzerland (1)	37.01	44.46	47.75	48.95	50.18	2.8
Denmark (6)	31.71	43.43	46.98	48.24	49.74	4.2
Canada (4)	35.27	41.44	41.90	45.34	49.18	2.3
Finland (8)	26.45	36.40	41.62	43.08	44.68	4.9
Iceland (12)	32.56	37.28	39.66	40.42	42.39	2.4
Luxembourg (15)	28.49	36.26	37.98	40.16	42.08	3.6
Germany (7)	19.61	33.35	38.34	40.22	41.94	7.2
France (11)	11.81	29.95	38.26	40.20	41.75	12.2
Norway (3)	21.66	28.65	36.77	39.07	41.37	6.1
Australia (9)	24.49	32.28	37.01	38.81	40.38	4.7
Netherlands (13)	22.62	34.57	38.02	39.12	40.20	5.4
New Zealand (18)	31.01	35.08	37.14	37.63	39.80	2.3
Japan (10)	26.53	33.06	35.58	36.50	37.57	3.2
United Kingdom (17)	22.87	31.44	34.68	35.75	36.95	4.5
Austria (14)	18.29	29.02	33.75	34.97	36.12	6.4
Belgium (16)	18.08	25.01	28.85	29.94	31.05	5.0
Italy (19)	16.49	23.07	27.45	28.99	30.45	5.7
Greece (22)	17.55	23.54	27.56	29.57	30.15	5.0
Spain (21)	12.11	19.34	22.15	23.14	24.20	6.5
Ireland (20)	9.80	14.20	17.47	18.93	19.74	6.6
Portugal (23)	8.00	10.07	12.42	13.08	13.75	5.0
Turkey (24)	1.52	2.46	3.50	3.98	4.51	10.4
OECD Average:	24.77	32.00	36.39	37.57	39.23	4.3
EEC (10)	18.27	29.50	34.44	36.00	37.41	6.7

Source: International Telecommunications Union, Yearbook of Common Carrier Telecommunications Statistics (11th edition) and PTT Annual Reports.

Filmek

Vissza a jövőbe
Rambo II
Rocky IV
Rendőrakadémia 2
Redl ezredes

Sport

Prost Forma 1
Taróczy – Günthardttal,
Wimbledon
BEK Juventus-Liverpool, Heysel
NBA Lakers (Abdul-Jabbar -
MVP, Johnson) - Celtics (Bird)
4:2

Politika

Ronald Reagan 2. ciklus kezdete
Gorbacsov megválsztása (CCCP)
Monori találkozó (HU)

Egyéb

M5 Ócsáig
Berhidai földrengés (4.9)
Titanic roncsai

Zene

Guns N' Roses megalakulása
Dire Straits: Brothers in Arms

Megszületik

Cristiano Ronaldo
Lewis Hamilton

Meghal

Mark Chagall

- **Sincronous Digital Hierarchy**
- szinkron digitális átvitel
 - digitális jelek átvitele
 - időmultiplexált
 - keretszerkezet, üzemeltetési információk is
 - csomóponti funkciók
 - (regenerátor), TM, LM, ADM, DXC,

SDH ajánlások (CCITT)

- G 707 jelsebességek
- G.708 keretszervezés
- G.781,782, 709 multiplexerek
- G.781-784 elektronikus rendezők
- G957,958 SDH optikai csatlakozások
- G.773 hálózatmenedzsment (Q if.)
- G.803 architektúrák, tervezés
- G.702 PDH-SDH határfelület

Az SDH keretszervezés

- byte szervezésű
 - az STM-1 keret 243 8 bites egységből épül fel
 - minden byte egy-egy 64 kbps csatornának felel meg
- az STM-1 keret 270 byte x 9 sor szerkezetű
- az első 9 byte-nyi oszlop a fejrész, a többi a hasznos információ (payload)

SDH transzport jelsebességek

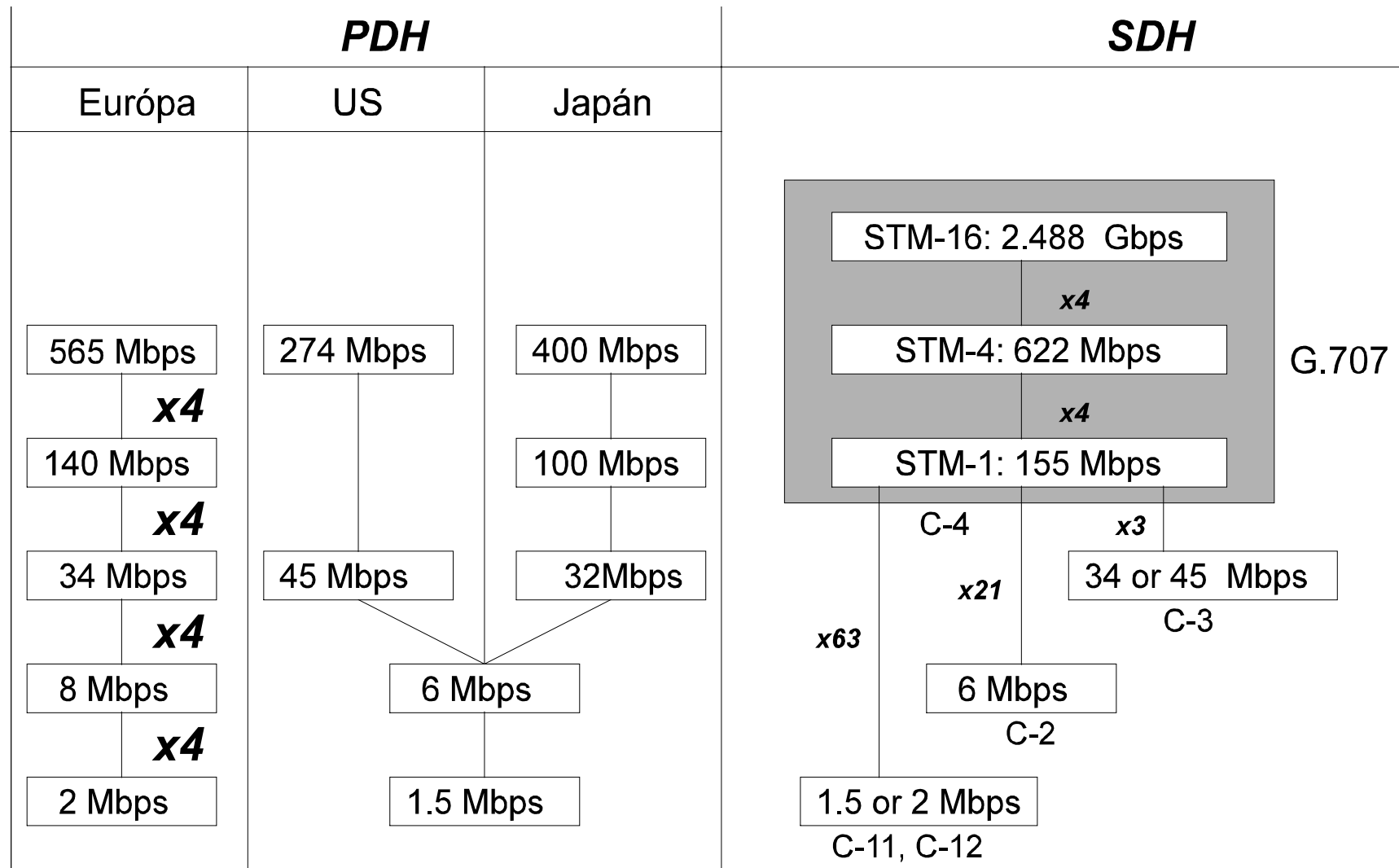
<i>Transport</i>	<i>Bitsebesség</i>
STM - 1	155.52 Mbps
STM - 4	622.08 Mbps
STM -16	2488.32 Mbps

(STM-64

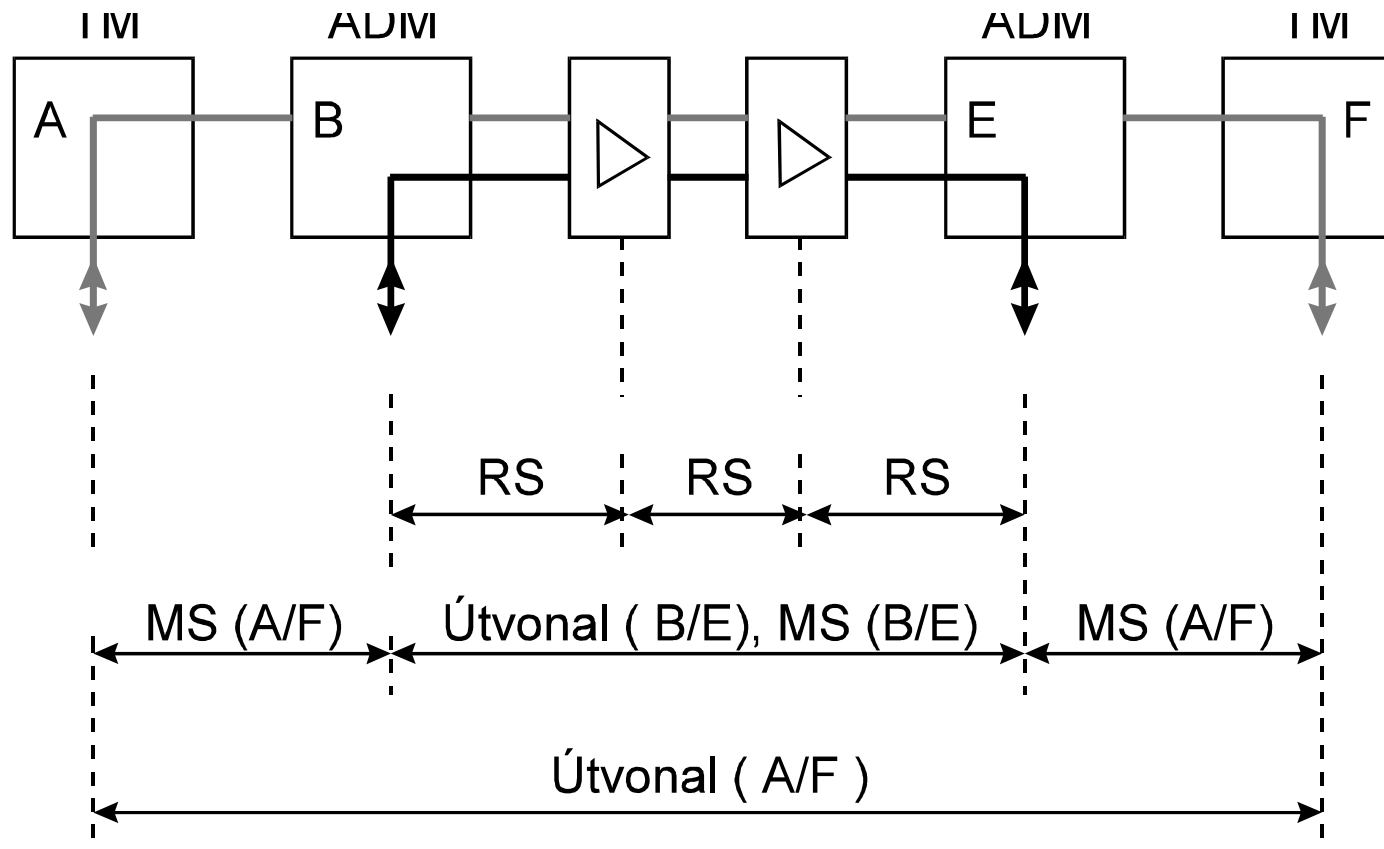
9953.28 Mbps)



PDH és SDH jelsebességek

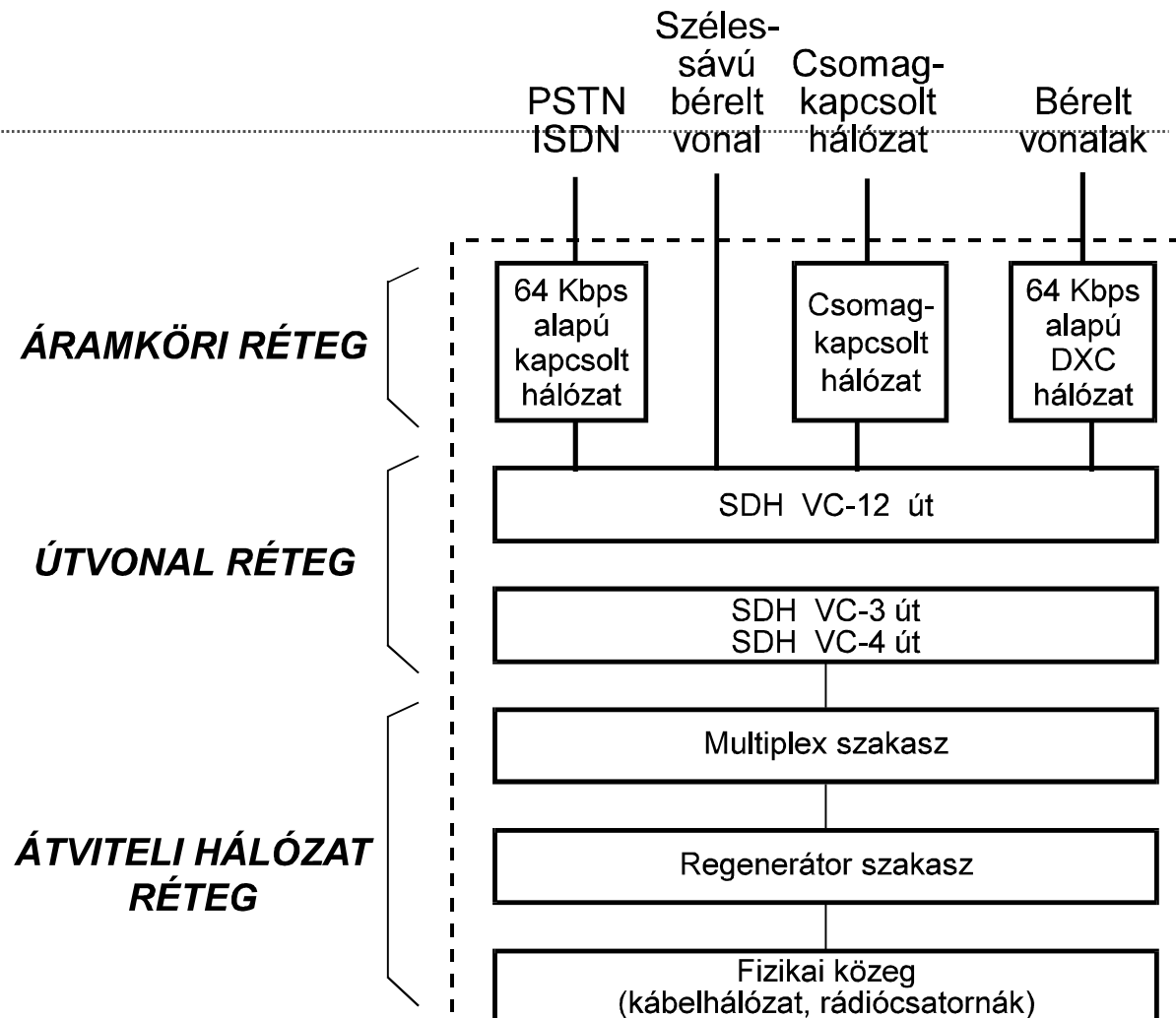


SDH szakaszolás



RS = Regenerátor szakasz **MS** = Multiplex szakasz **TM** = Terminál multiplexe

SDH rétegelt hálózatmodell

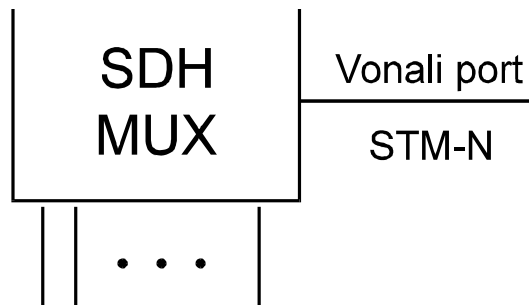


- adaptálás (beillesztés, keretezés, rétegspecifikus információk hozzáadása)
- terminálás (rétegspecifikus információk eltávolítása, feldolgozása)
- önállóan menedzselhető rétegek, rétegfunkciók, rétegszolgáltatások

Tipikus SDH berendezések

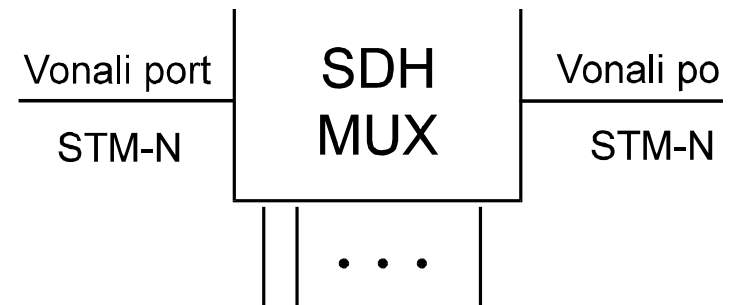
- regenerátor
- végmultiplexer
 - VCn tributary, STMn aggregate
- vonali multiplexer
 - STMn tributary, STMm aggregate ($n < m$)
- ADM
 - STMm-ből STMn vagy VCn leágazás
- DXC
 - STMn aggregate-ek között VCn szintű kapcsolás

Tipikus SDH berendezések



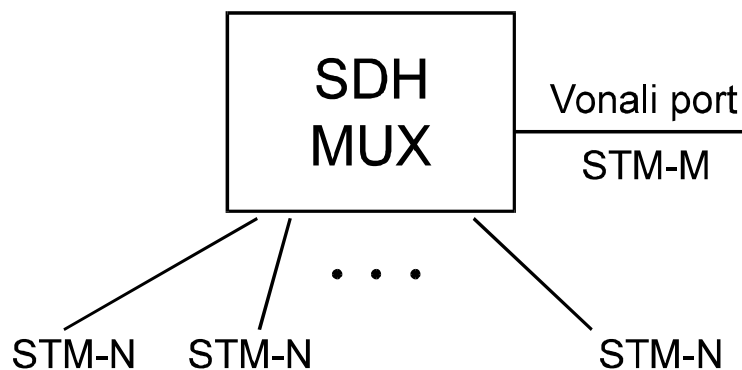
Összetevő jelek

Terminál multiplexer



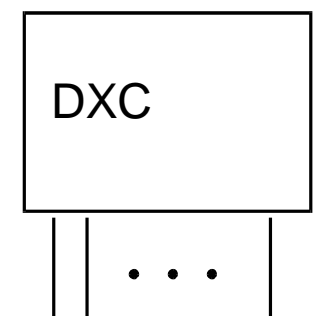
Összetevő jelek

Leágazó / beiktató multiplexer



Optikai összetevő jelek

Hub multiplexer



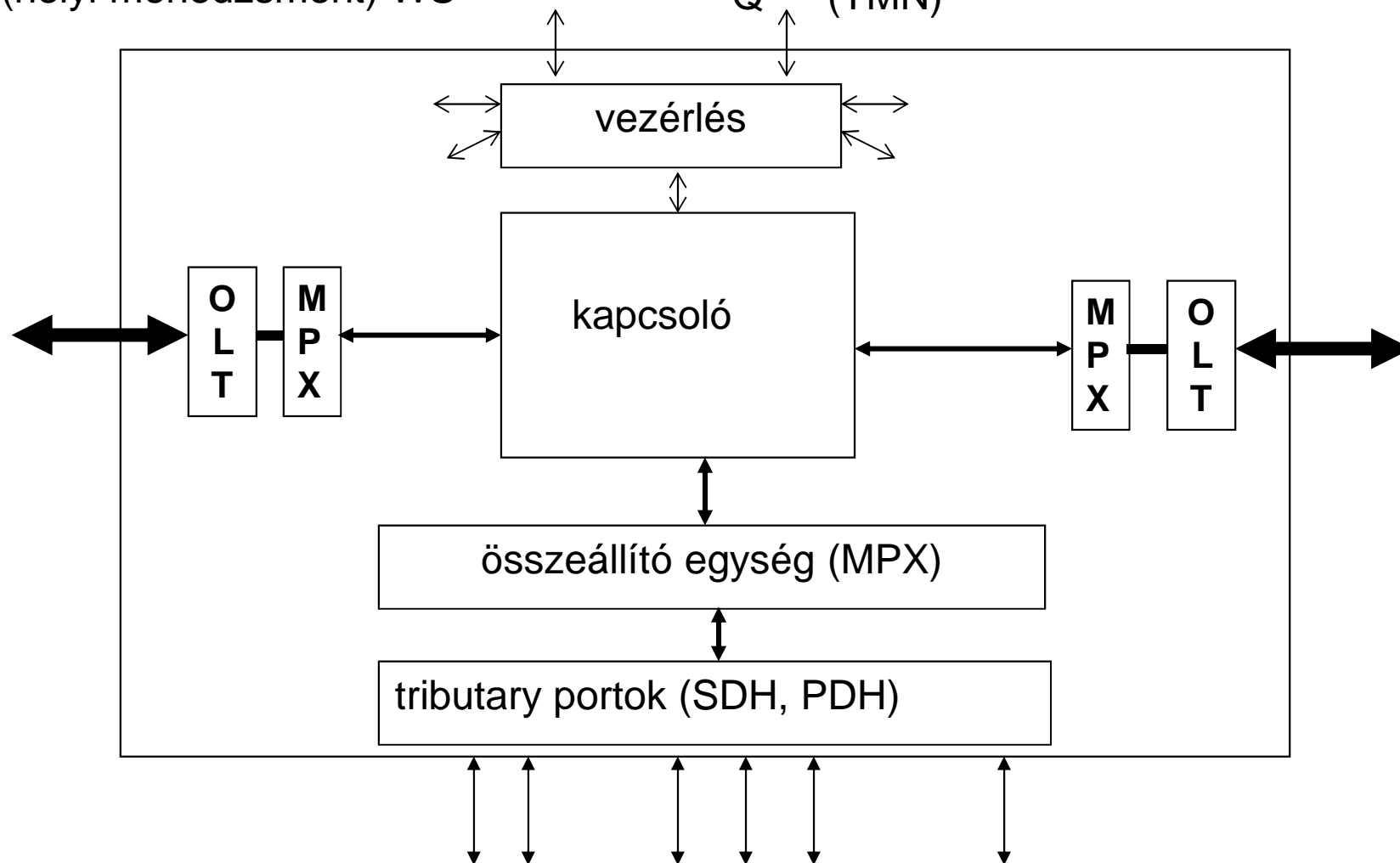
2, 34, 140 Mbps
és STM-N portok

Digitális rendező

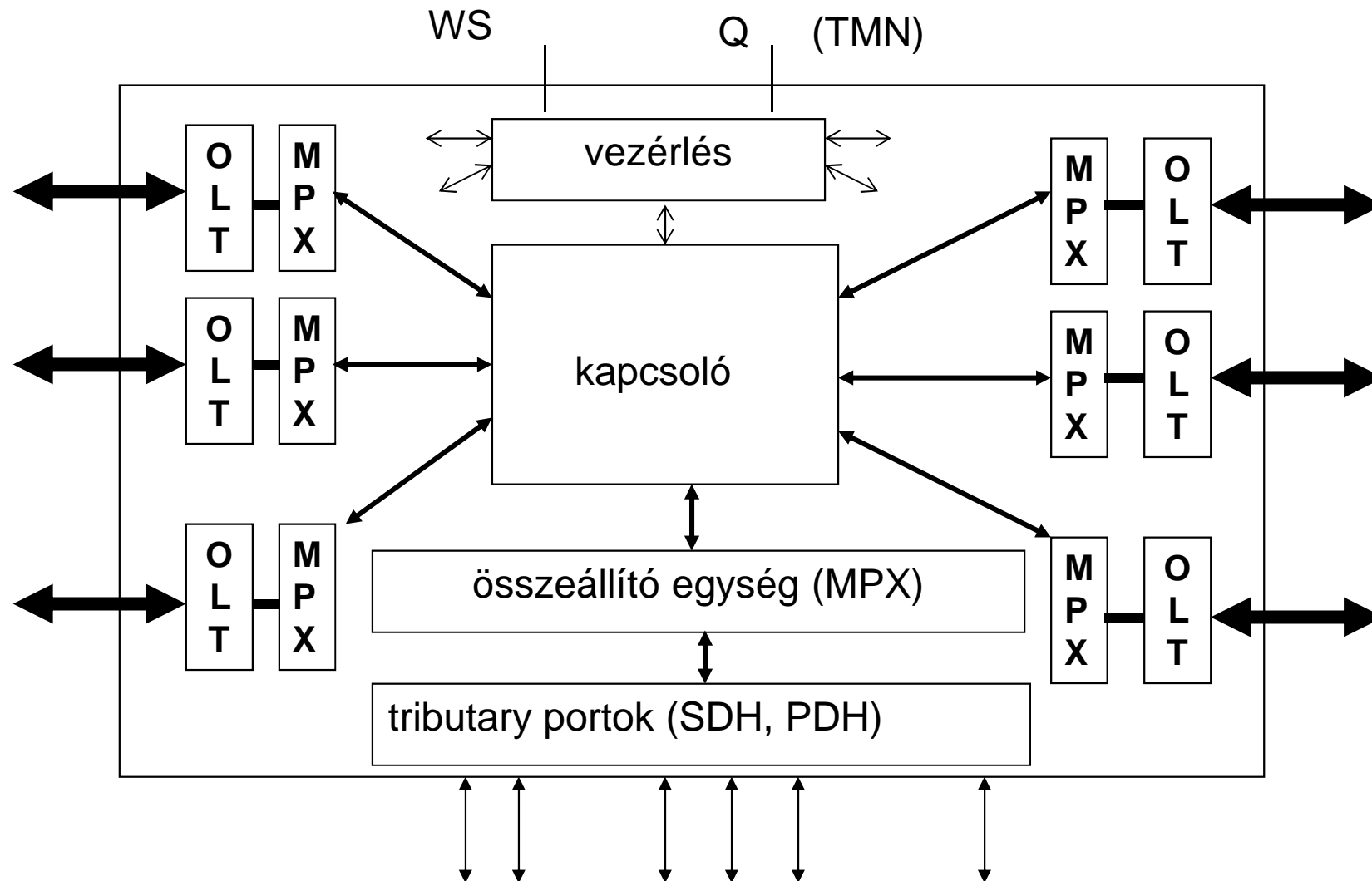
Leágazó multiplexer szerkezete

(helyi menedzsment) WS

Q (TMN)

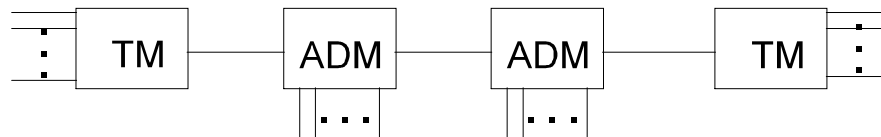


Digitális rendező szerkezete

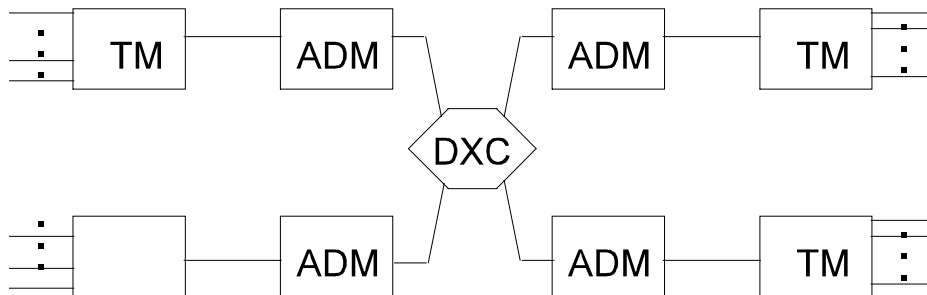


Tipikus berendezések alkalmazásai

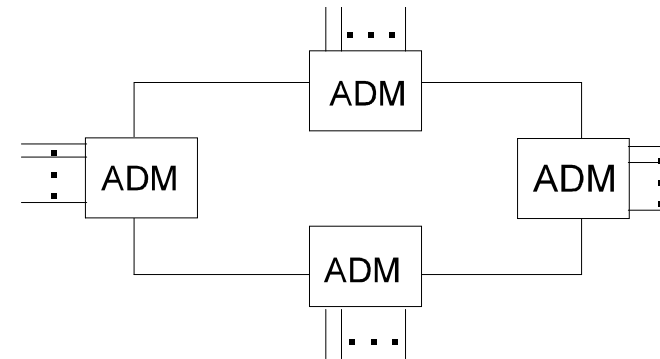
STM-1 / STM-4 / STM-16



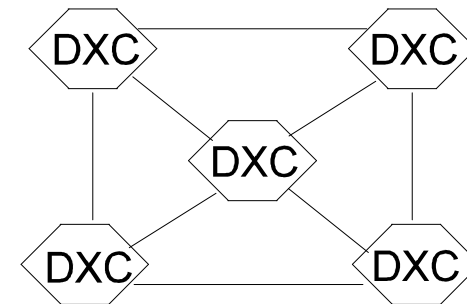
Felfűzés



Csillag



Gyűrű



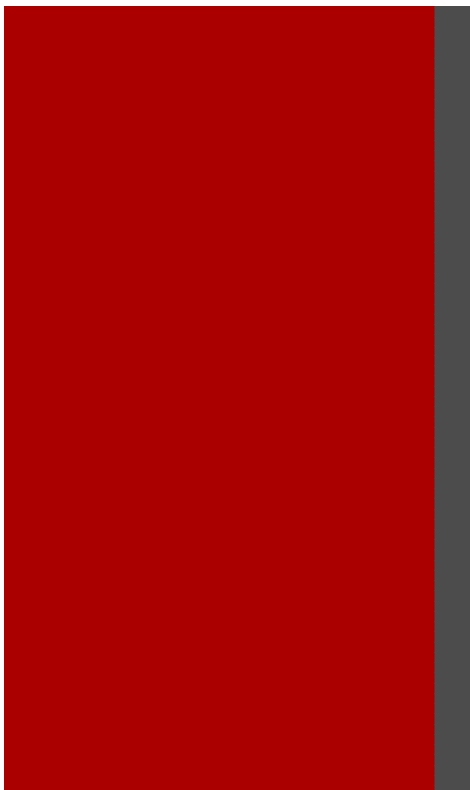
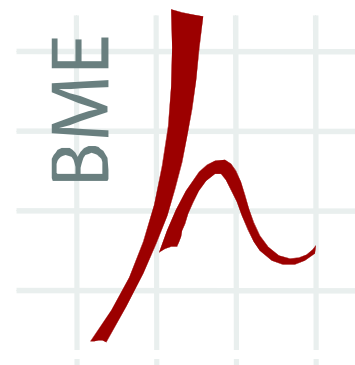
Szövevény

GSM backhaul SDH hálózattal 2/1

- **BTS-BSC**
 - pont-pont topológia (csillag: TM-DXC)
 - STM-n <> kxE1
 - sebezhető (egyirányú elérés)
 - felfűzés (TM-ADM- ... -ADM-DXC)
 - közeli BTS helyeken magas tranzitarány, távoliaknál STM-n <> kxE1
 - sebezhető (egyirányú elérés)
 - gyűrű (ADM-ADM-...-ADM-ADM vagy DXC)
 - 2xSTM-n <> kxE1
 - igényminta hub and spoke <> topológia gyűrű:
 - nem védett eset: BSC helyhez közeli linkek hamarabb telítődnek, egyre magasabb tranzitarány)
 - 1+1 dedikált útvédelem: egyenletes gyűrűterhelés, de magas tranzitarány
 - redundáns topológia (kétszeresen összefüggő), védelem alkalmazható
 - tipikusan megfelelő megoldás
 - szövevény (DXC-...-DXC)
 - közeli BTS helyeken magas tranzitarány, távoliaknál STM-n <> kxE1
 - min. 2xSTM-n <> kxE1 a hálózat szélén
 - többszörös összefüggőség, komplex védelmek is
 - a szükségesnél összetettebb, költségesebb

GSM backhaul SDH hálózattal 2/2

- **BSCk - MSC**
 - pont-pont topológia (csillag: TM-DXC)
 - sebezhető (egyirányú elérés)
 - felfűzés (TM-ADM- ... -ADM-DXC)
 - sebezhető (egyirányú elérés)
 - gyűrű (ADM-ADM-...-ADM-ADM vagy DXC)
 - igényminta hub and spoke <> topológia gyűrű:
 - redundáns topológia (kétszeresen összefüggő), védelem alkalmazható
 - szövevény (DXC-...-DXC)
 - többszörös összefüggőség, komplex védelmek is
 - MSC-MSC és MSC – PSTN is szövevényen (transzport maghálózat)
- **MSC –MSC, MSC – PSTN**
 - szövevény (DXC-...-DXC)
 - többszörös összefüggőség, komplex védelmek is



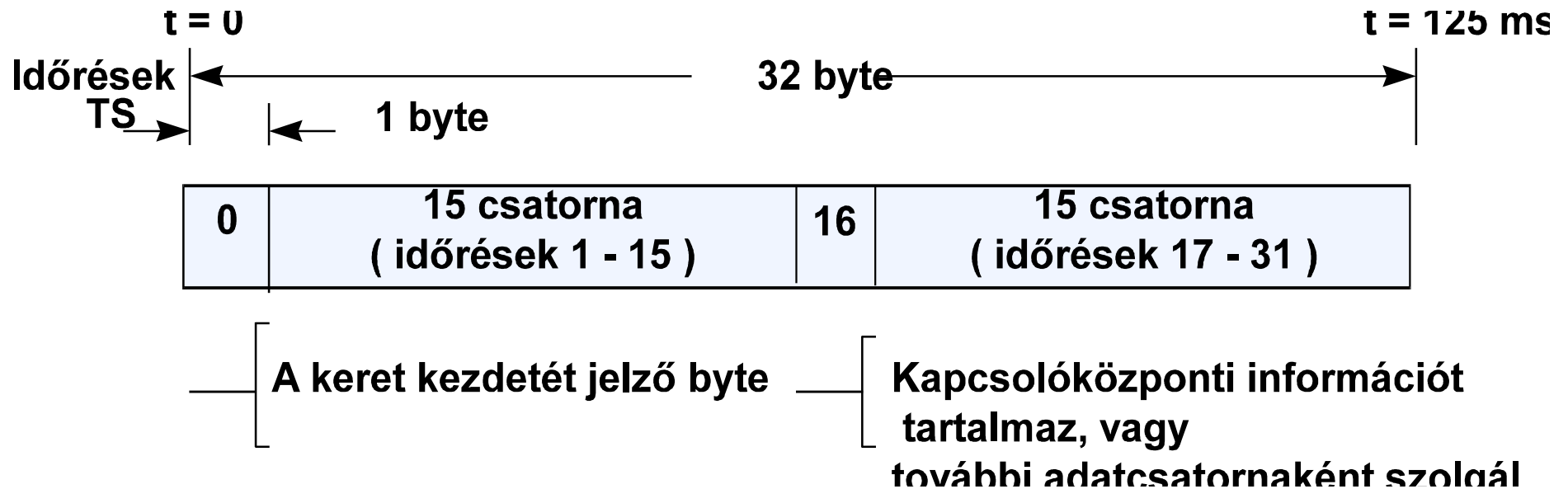
SDH részletek

KERETSZERVEZÉS

Az SDH technológia kialakításának motivációi

- PDH korlátok
 - multiplexálási technikából adódóan nehézkes jelhozzáférés a nagysebességű bitfolyamok alacsonyabb sebességű összetevőihöz
 - kevés üzemeltetési információ, hatékony hálózatmenedzsment nem lehetséges
 - eltérő szabványok (Európa, USA, Japán)

PDH E1 keret



- bitszervezésű
- bitbeszúrással szinkronizálás
- néhány bit riasztásra és szolgálati csatornára

PDH-SDH összehasonlítás

	PDH	SDH
Multiplexálási eljárás	bitszervezésű	byteszervezésű
Kerethosszúság	hierarchiaszintenként különböző	hierarchiaszintenként azonos
Plusz kapacitás a menedzsment számára	nincs	SOH és POH
Szinkronizálási eljárás	bitszintű korrekció	byteszintű korrekció pointertechnika
Konfigurálás	rögzített	szoftverrel vezérelhető

Az SDH keretszervezés

- a fejrész további három részre tagozódik
 - regenerátor szakasz fejrész (RSOH)
 - mutatók
 - multiplex szakasz fejrész (MSOH)
- a fejrészben található byte-ok
 - részben szinkronizációs (keret és mutató)
 - részben üzemviteli információkat hordoznak

Az SDH keretszervezés

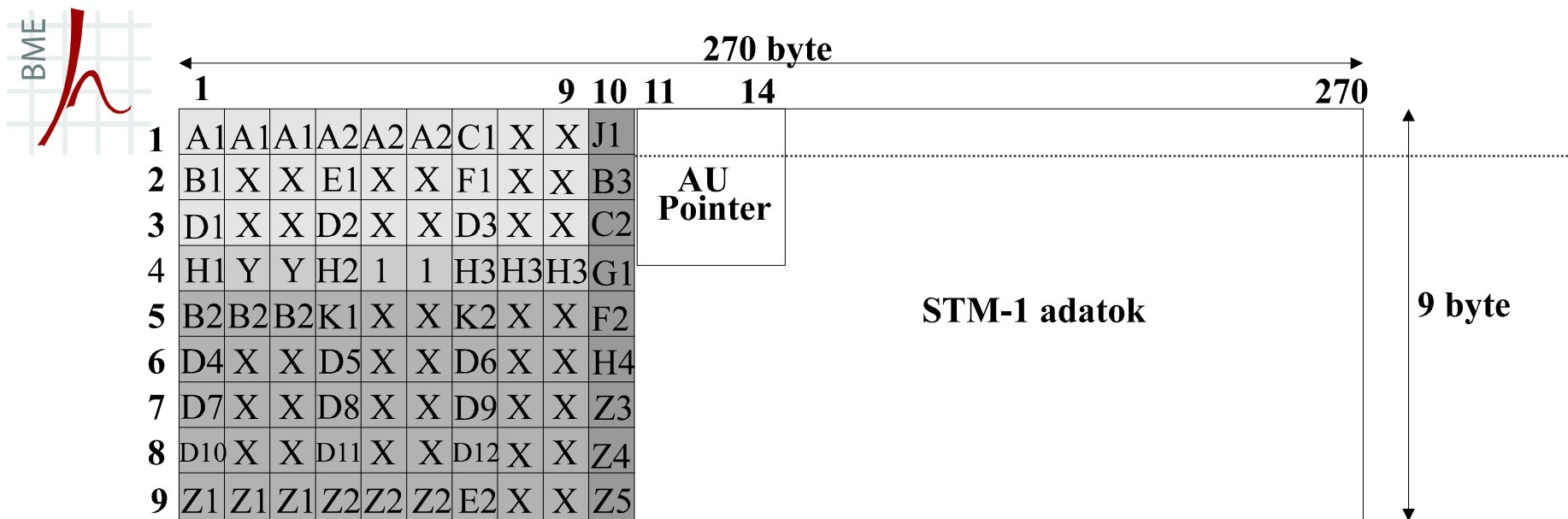
- RSOH byte-ok
 - A1, A2: keretszinkron
 - C1: STM-4-en belüli STM-1 keretek számozása
 - D1-D12: üzemeltetési adatcsatornák
 - H1,H2, H3: mutatók, a virtuális konténerek kezdetét jelölik (H3 adatvédelem)

Az SDH keretszervezés

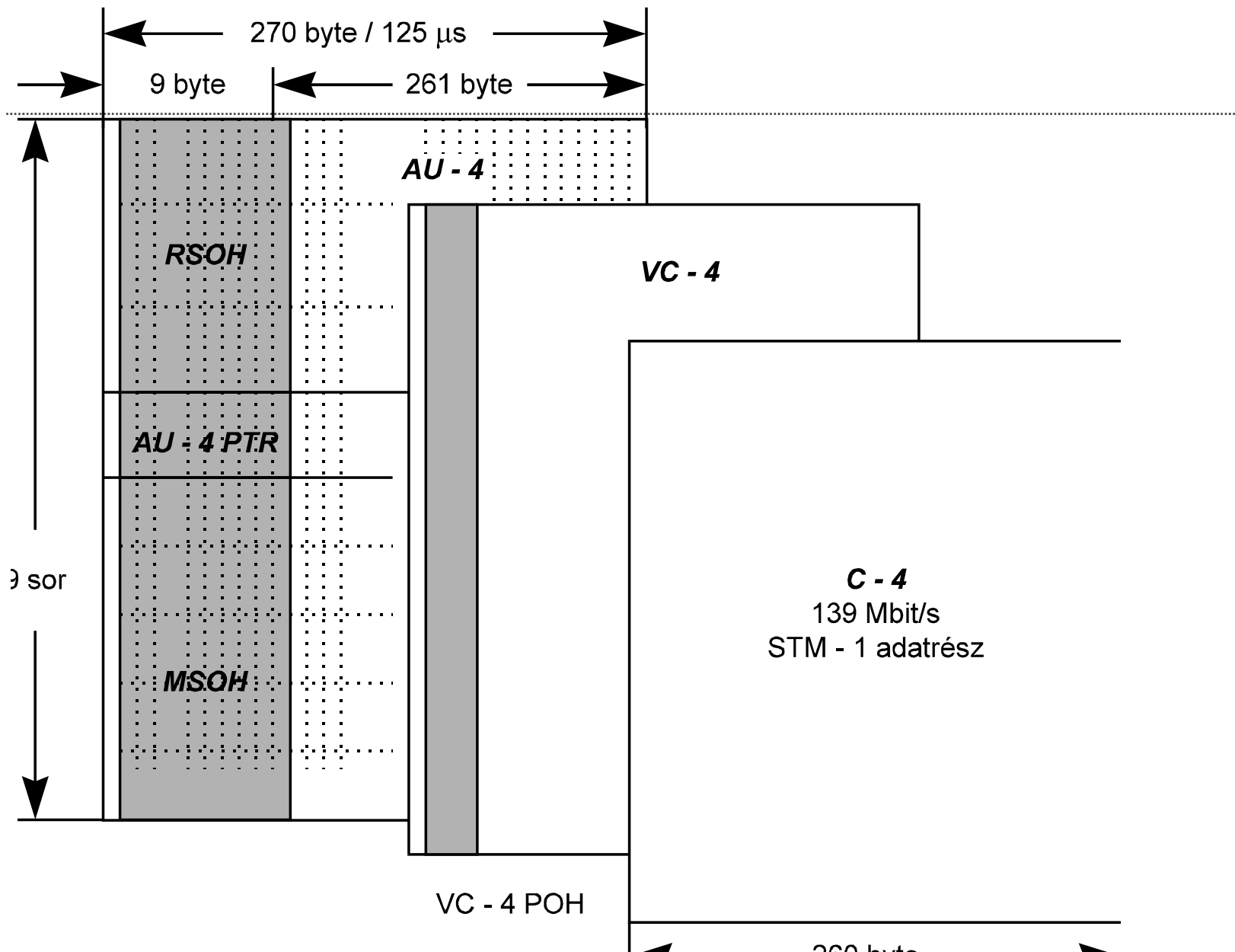
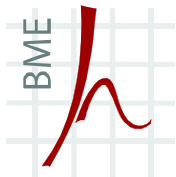
- **MSOH byte-ok**
 - B2: a multiplex szakasz bithibák jelzésére
 - K1,K2 a multiplex szakasz védelmi átkapcsolását vezérlik (APS)
 - D4-D12: üzemeltetési adatcsatornák
 - E1, E2: szolgálati csatorna
 - Z1, Z2: fenntartott (későbbi funkciókhoz)

Az SDH keretszervezés

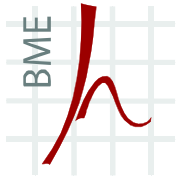
- virtuális konténerek
 - fejrész (POH)
 - üzemviteli információk, hibafigyelés
 - konténer
 - hasznos információ
 - VC-4: 9 x 261 byte,
 - pl. PDH 140 Mbps jelfolyam továbbítására



- 125 us**
- Regenerátor szakasz fejrész
 - AU Pointer
 - Multiplex szakasz fejrész
 - VC4 út fejrész
- A1, A2: szinkron szó**
B1, B2, B3: paritás ellenőrző byteok
C1: STM-N keretben egy STM-1 azonosítója
C2: VC-n tartalom jelölése
D1-D12: menedzsment adatcsatorna
E1, E2: szolgálati csatorna
F1: üzemeltető részére fenntartott csatorna
- F2: útvonalra vonatkozó szolgálati csatorna**
G1: hibavisszajelzés B3 alapján
H1, H2: a VC kezdő byteját adja meg az STM keretben
H3: byte beékelésre használt terület
H4: multikeret jelző byte
J1: VC-n útvonal azonosító
K1, K2: APS csatorna (védelem számára)
X: későbbiekre fenntartott
Y: fix és még nem definiált bitek
Z1-Z5: nemzeti használatra fenntartott
1: fix 1-es bitek



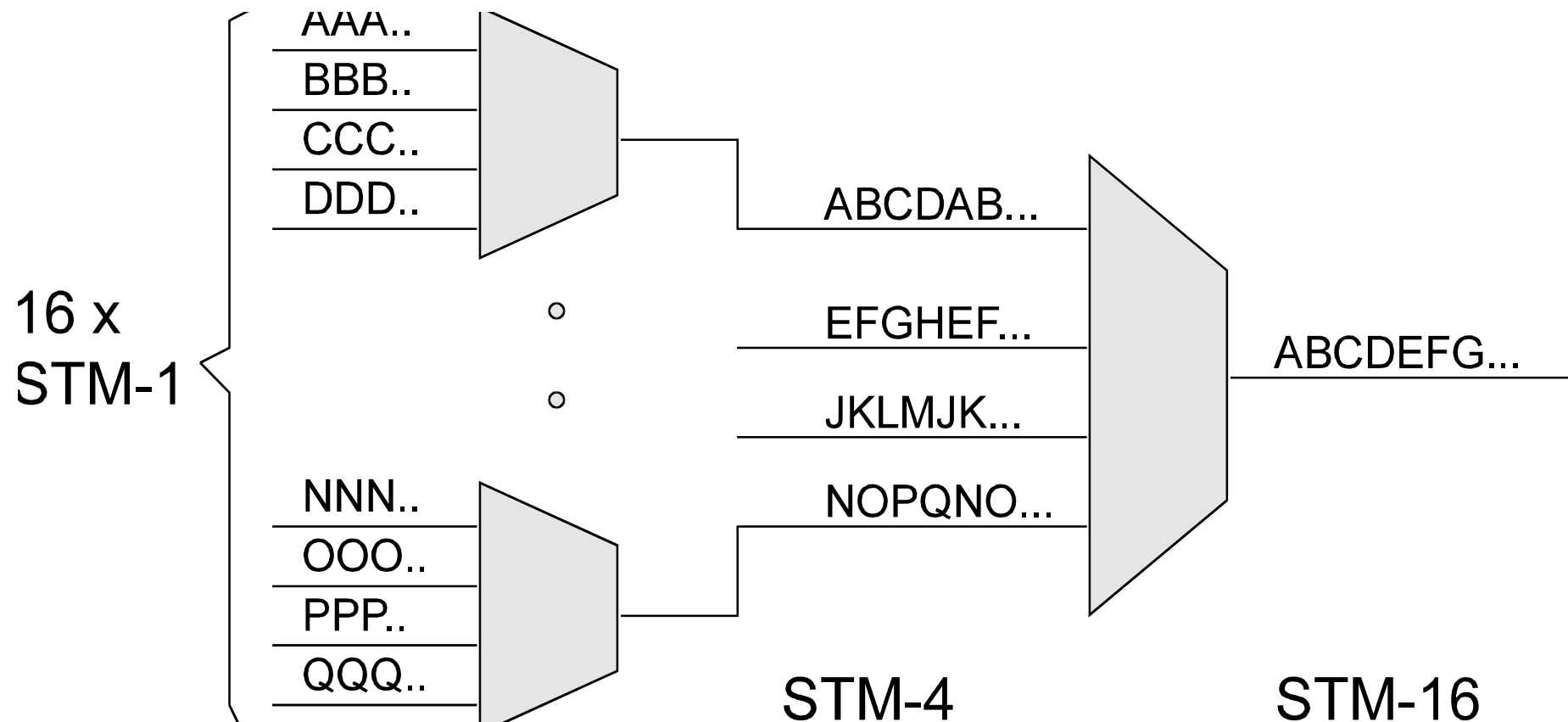
270 byte



Az SDH multiplexálási hierarchia

- byte beléptetés
- VC-n helyét STM-1 kezdőbyte-jához képest H1, H2 mutatja

Multiplexálás bytebeléptetéssel



Alapfogalmak, tárgyalásmód

- Útképzés
 - átviteli út kialakítása multiplex rendszereken
 - méretgazdaságosság: nagykapacitású rendszerek, viszonylag kis kliensigények
 - Erőforrás-gazdaságosság: nagykapacitású rendszerek hatékony kitöltése

Multiplexelés alapú technológiák

- Nagy MPX nyaláb (rendszer) -> kis fajlagos csatornaköltség
- Nagy MPX nyaláb <> viszonylag kis igények
- => Átviteli utak a multiplex rendszerek csatornáinak összekapcsolásával
- Szállítás multiplexált nyalámban, hozzáférés a csatornákhöz a demultiplexált végeken

ÚTKÉPZÉS SDH SZÖVEVÉNYEN

Szövevényes hálózatok

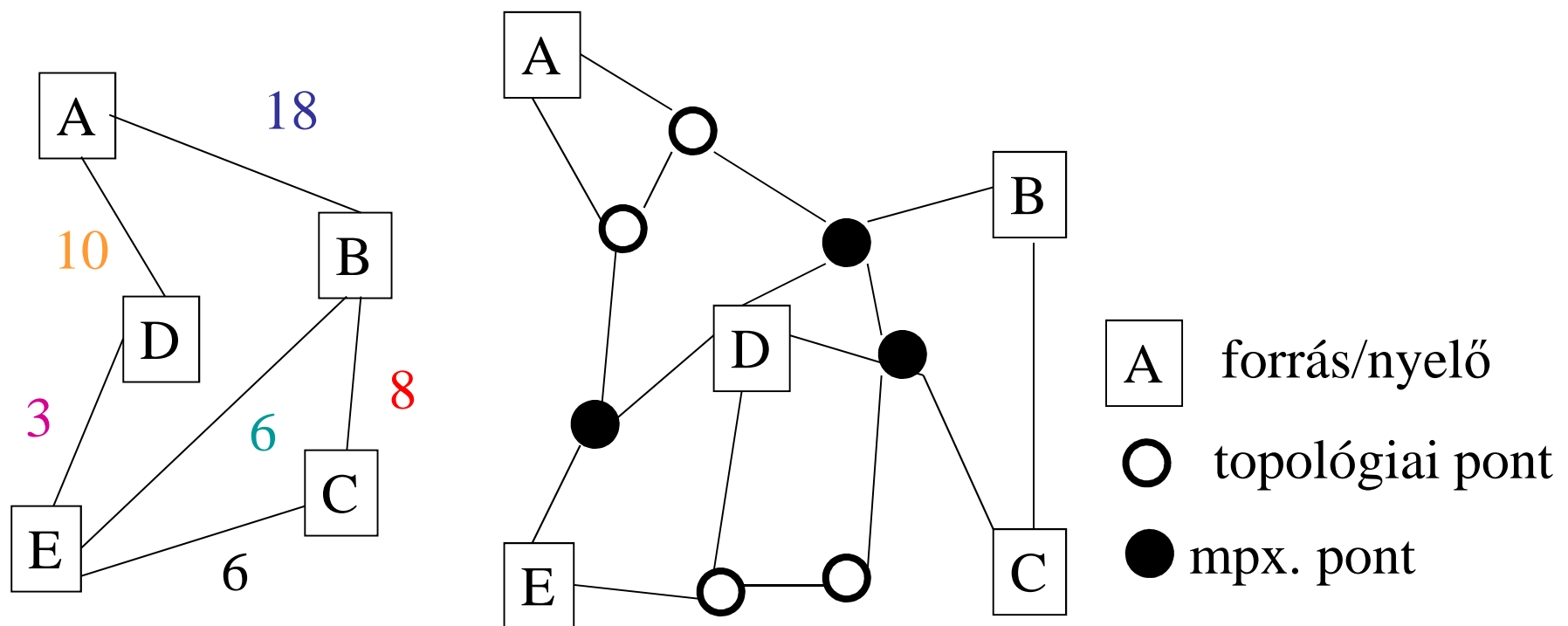
- **a feladat:**
 - meghatározott kapacitású átviteli utak létrehozása
- **kérdés:**
 - mekkora átviteli és csomóponti kapacitások
 - milyen konfigurációban

Szövevényes hálózat

- részproblémák
 - nyomvonal
 - hossz, szakaszszám
 - kitüntetett pontok érintése (pl. 3R)
 - függetlenség
 - rendszertechnika
 - modularitás
 - nyalábkitöltés

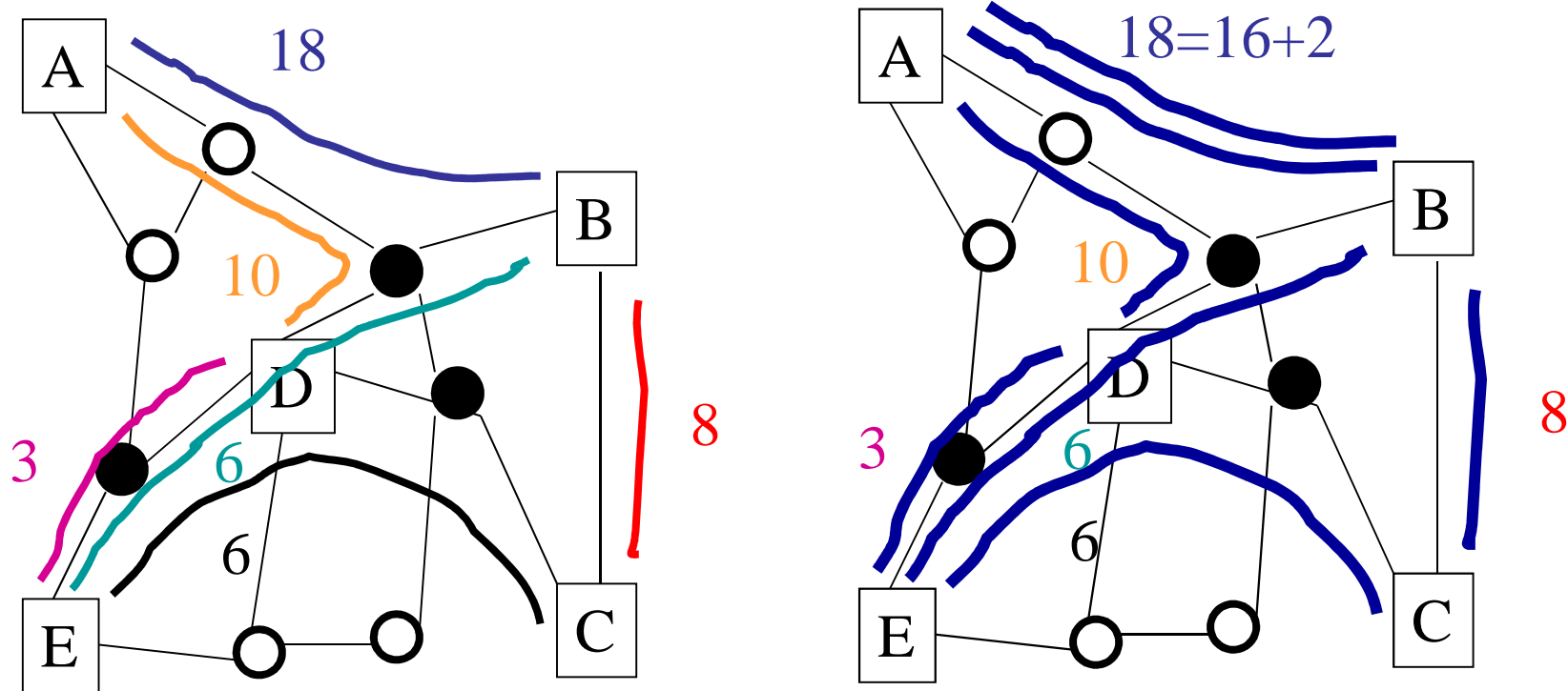
1. példa

- 5 forrás/nyelő, 140 Mbps (VC4) igények
- adott optikai infrastruktúra



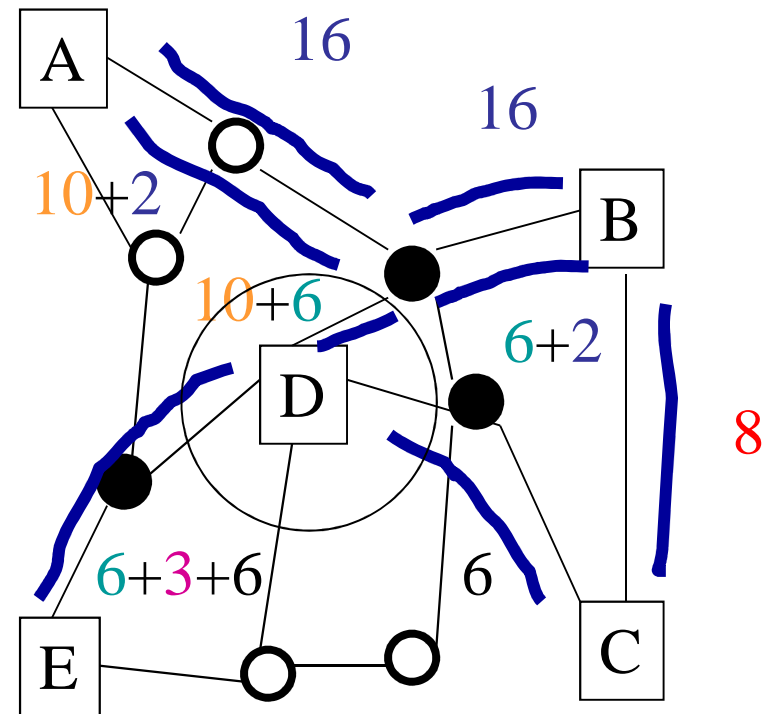
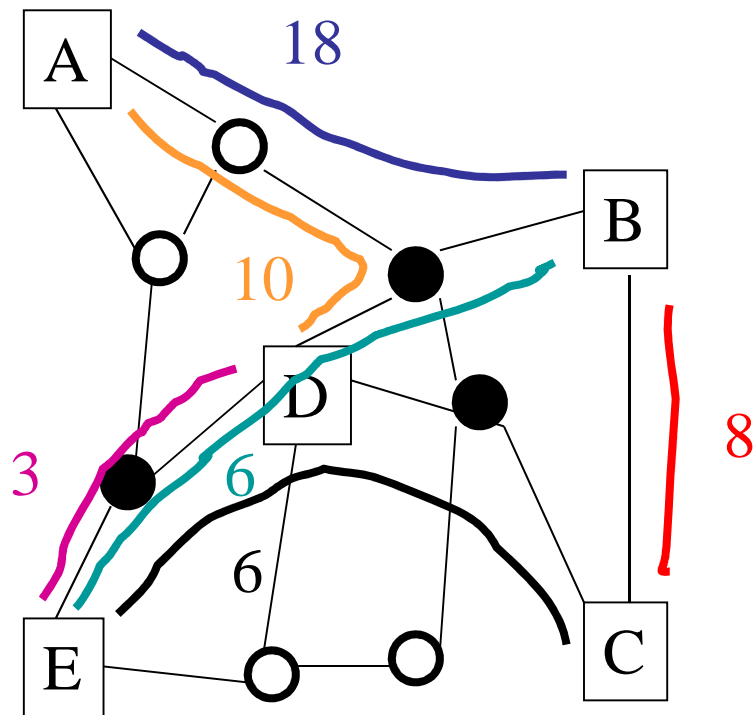
1.1 megoldás

- minimálút,
- végponttól végpontig STM-16-os nyalábok
- 7 STM-16-os átviteli rendszer

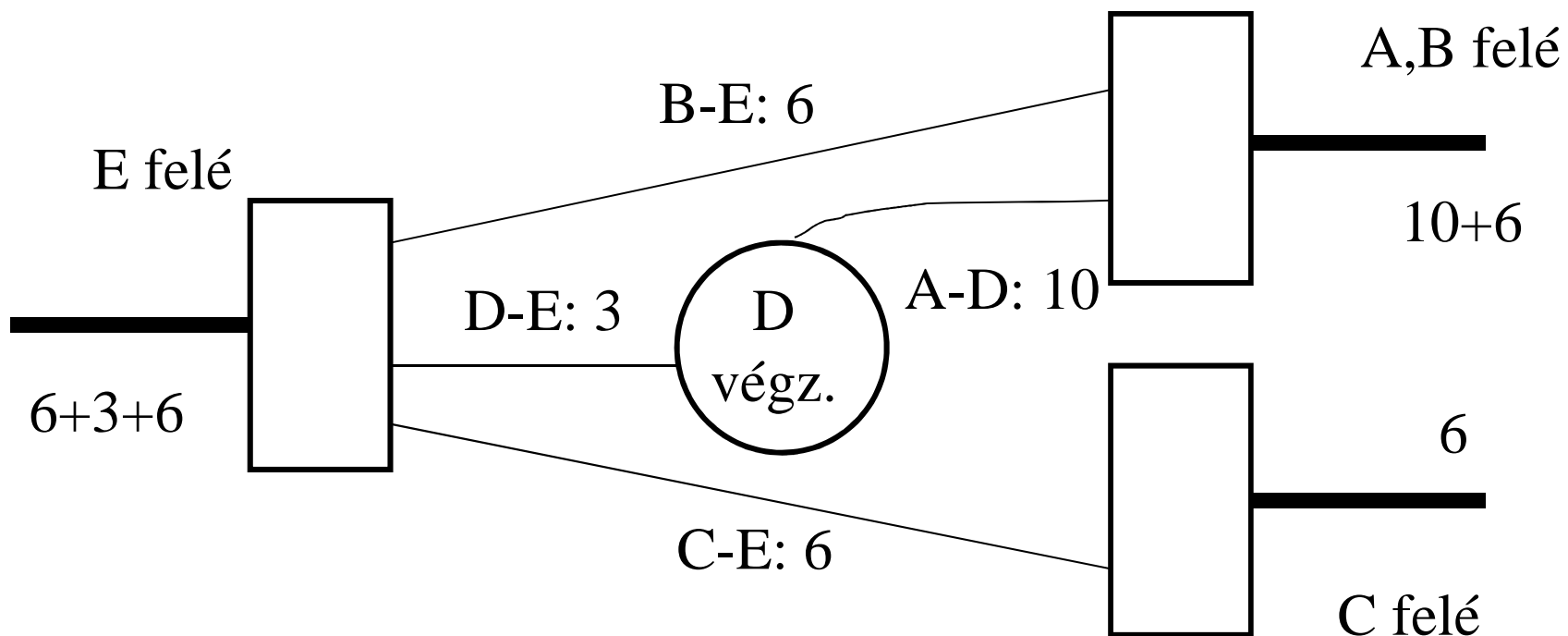


1.2 megoldás

- minimálút,
- szakasról szakaszra STM-16-os nyálábok
- 8 STM-16-os átviteli rendszer

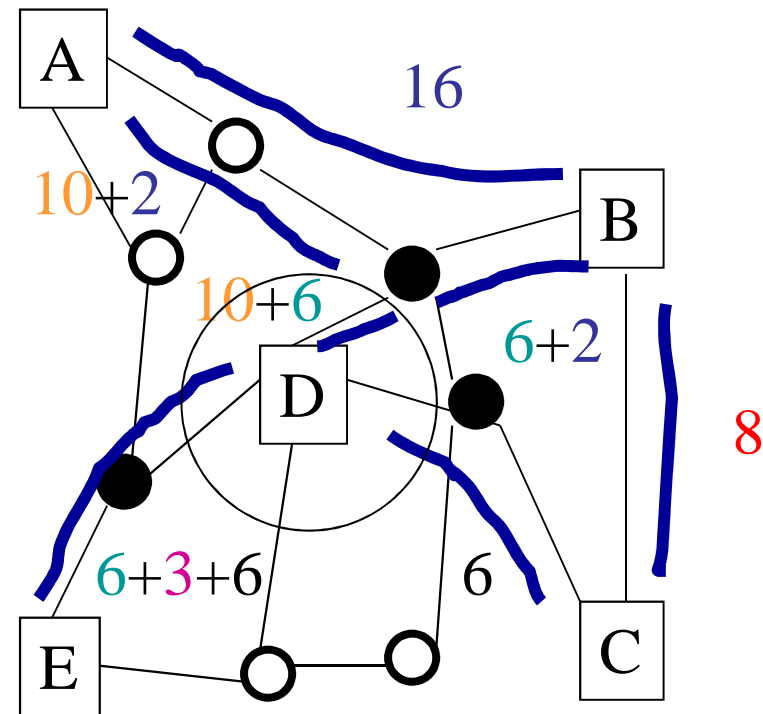
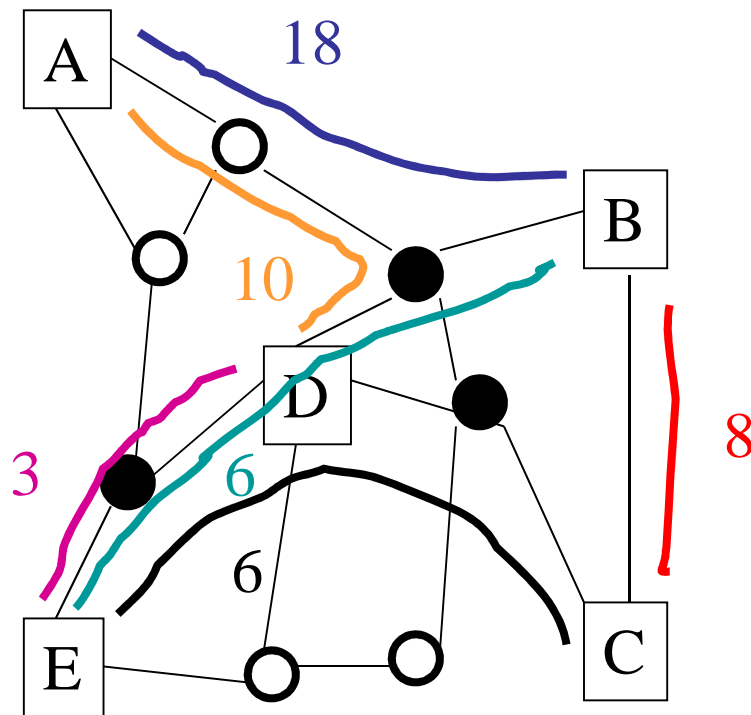


1.2 A “D” csomópont képe



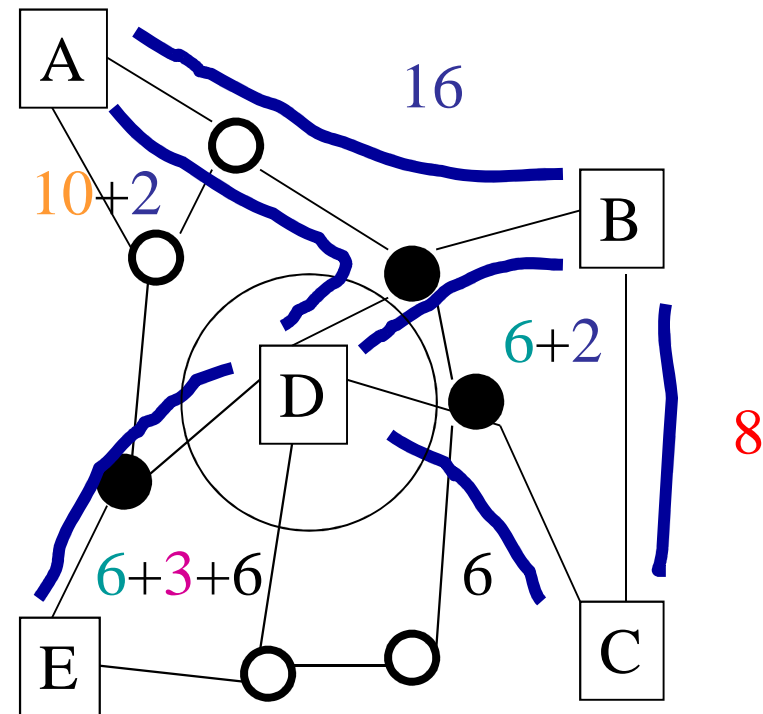
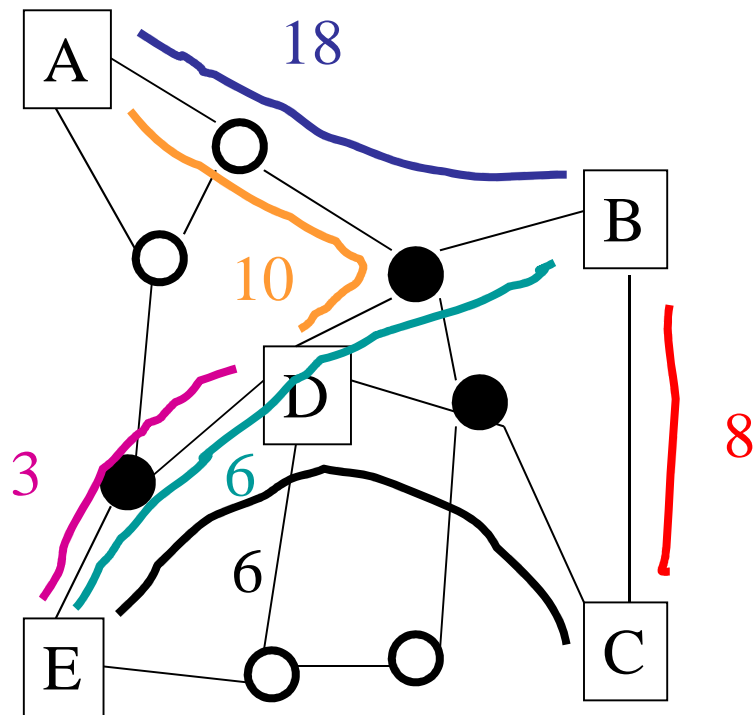
1.3 megoldás

- minimálút,
- optimális STM-16-os nyalábok
- 7 STM-16-os átviteli rendszer

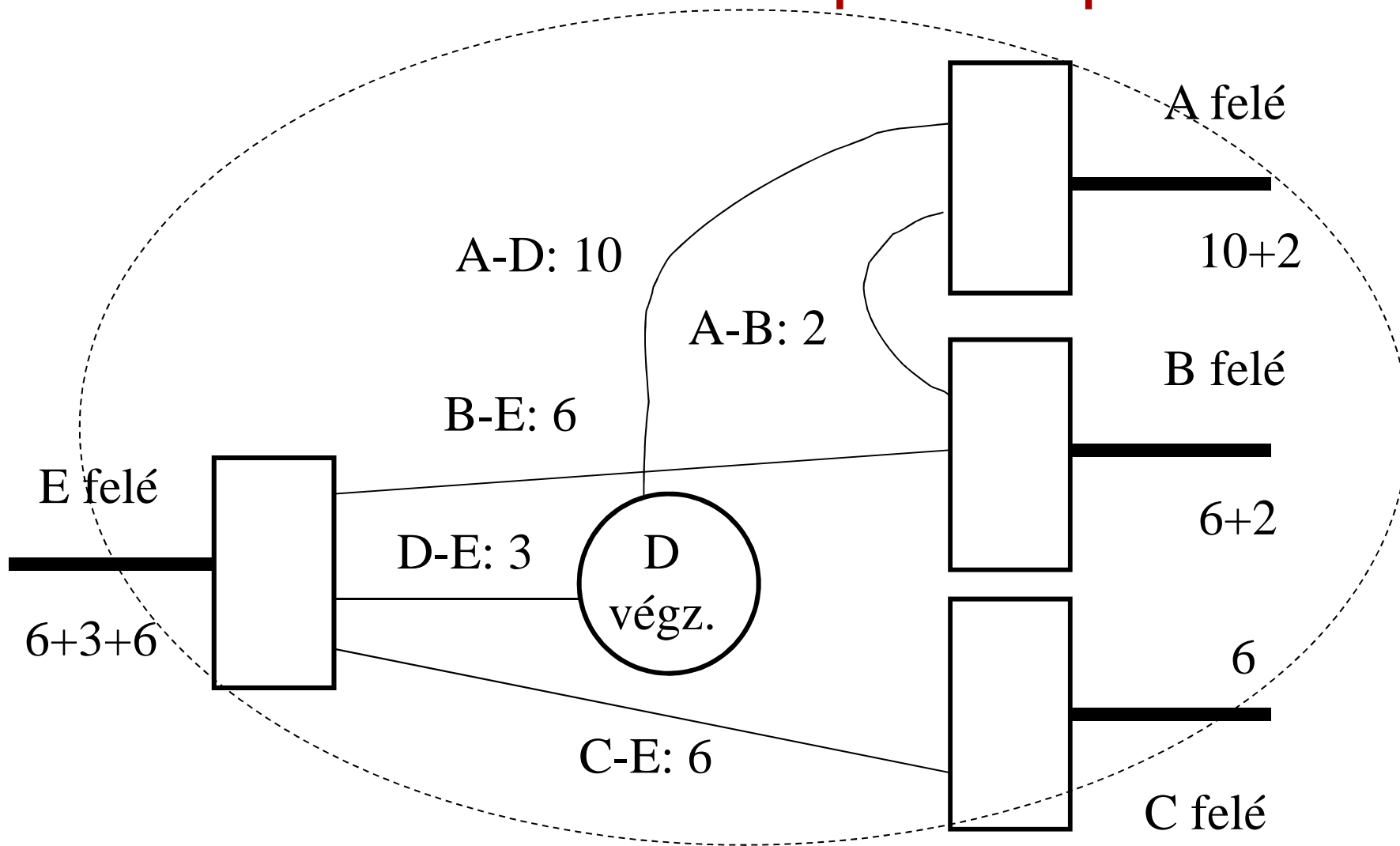


1.4 megoldás

- nem csak minimálút, (AB 2VC4 D-n át)
- optimális STM-16-os nyalábok
- 6 STM-16-os átviteli rendszer

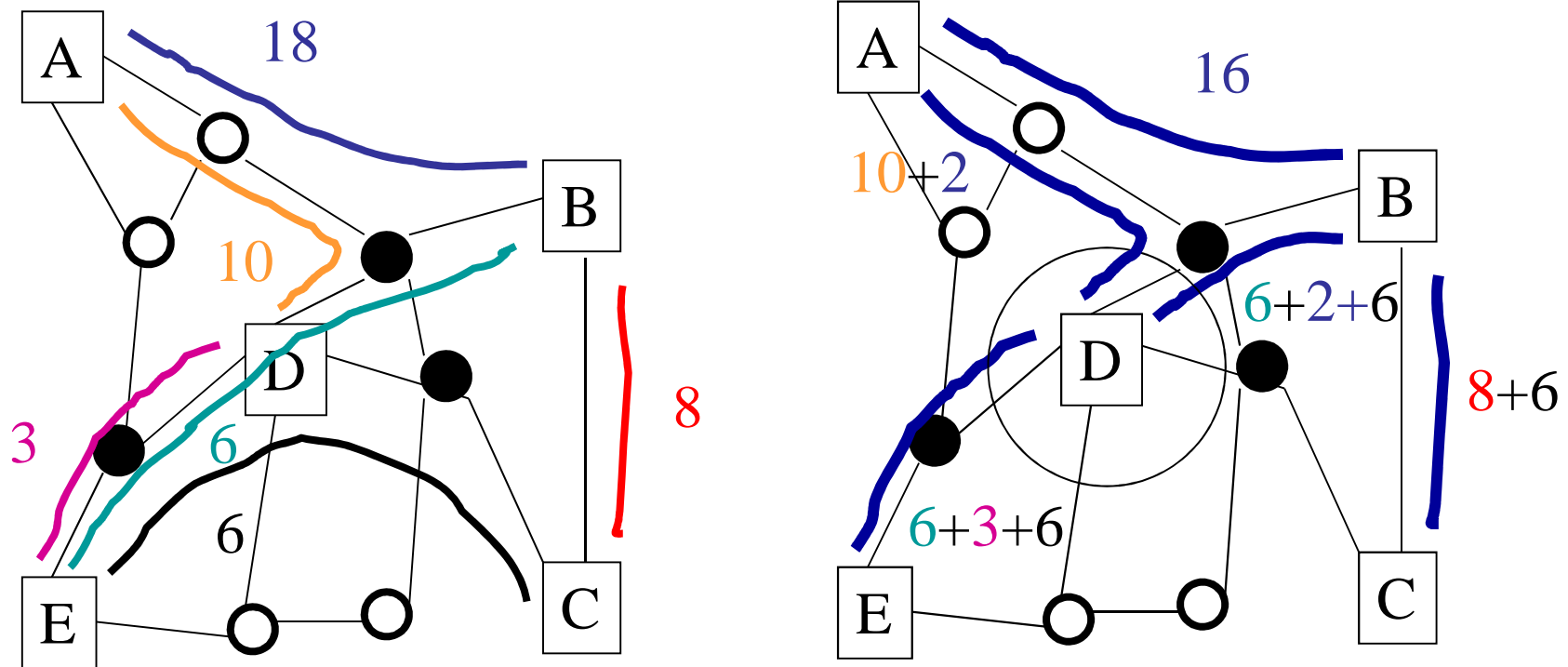


1.4 A "D" csomópont képe



1.4 megoldás

- nem csak minimálút, (AB 2VC4 D-n át, és EC 6VC4 D-B-n át)
- optimális STM-16-os nyalábok
- 5 STM-16-os átviteli rendszer

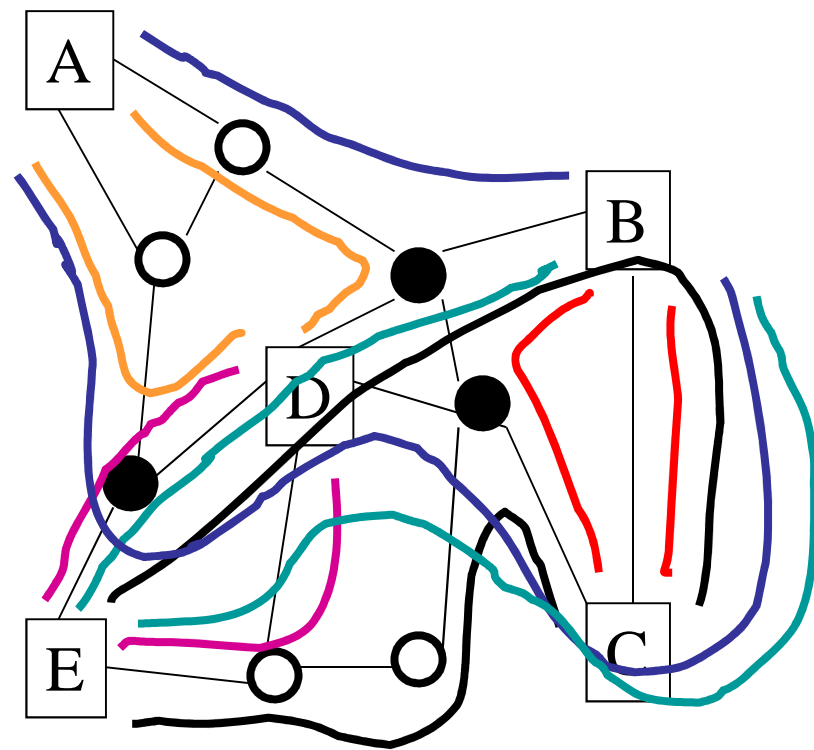
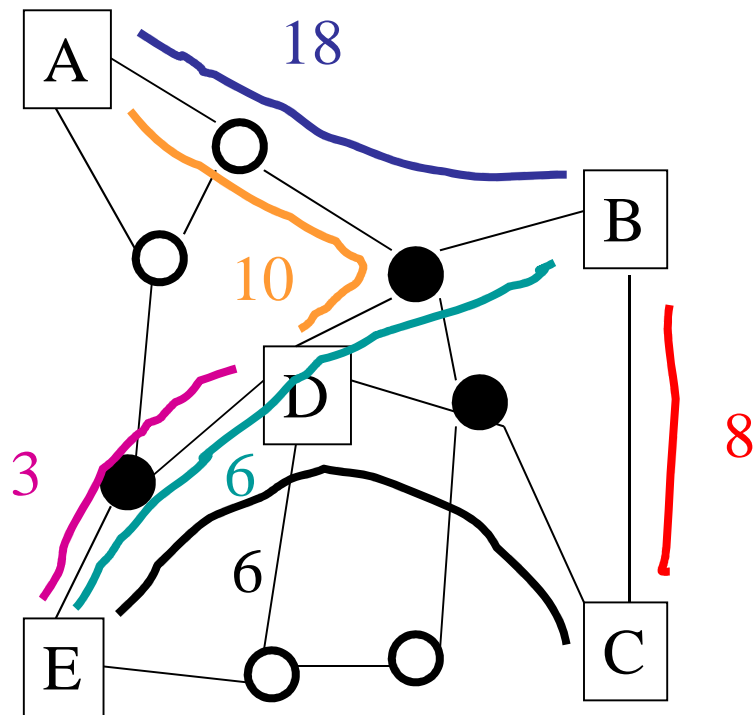


2. példa

- 1. példa
- VC4 szintű 1+1 útvédelem

2.1 megoldás

- C-E út módosítva
- nyalábolás

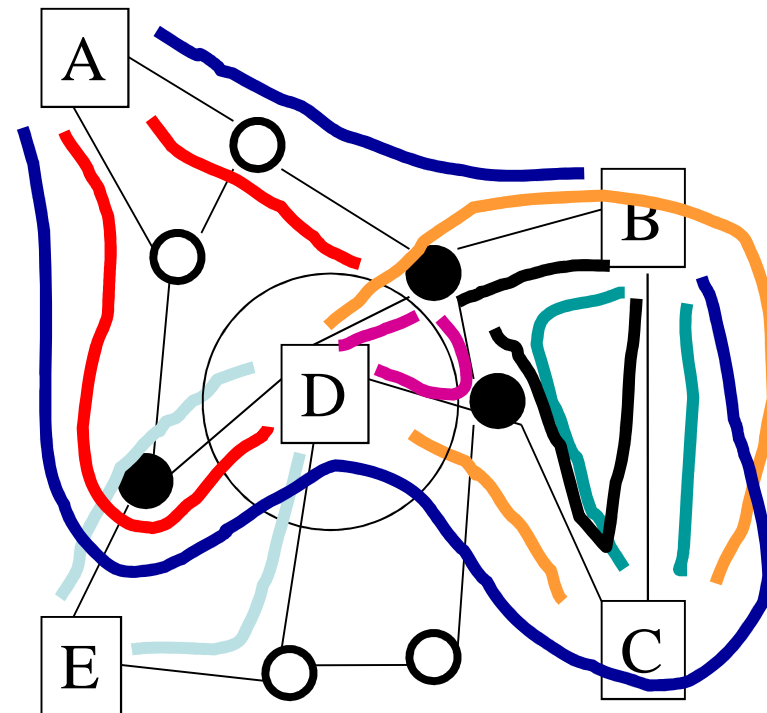
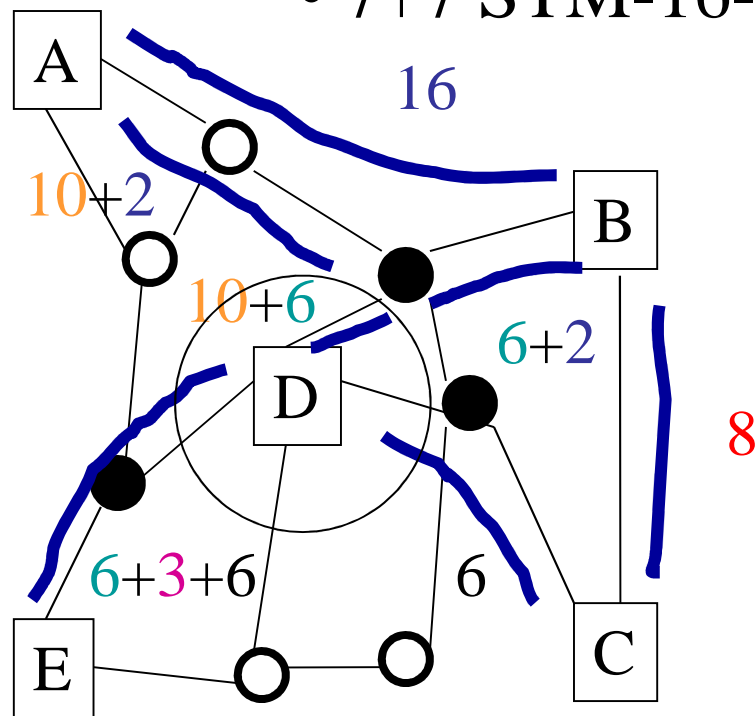


3. példa

- 1. példa
- STM-16 1+1 lineáris multiplex szakasz védelem

3.1 megoldás

- minimálút,
- optimális STM-16-os nyalábok
- 7+7 STM-16-os átviteli rendszer (hossz!!)



ÚTKÉPZÉS SDH GYŰRŰN

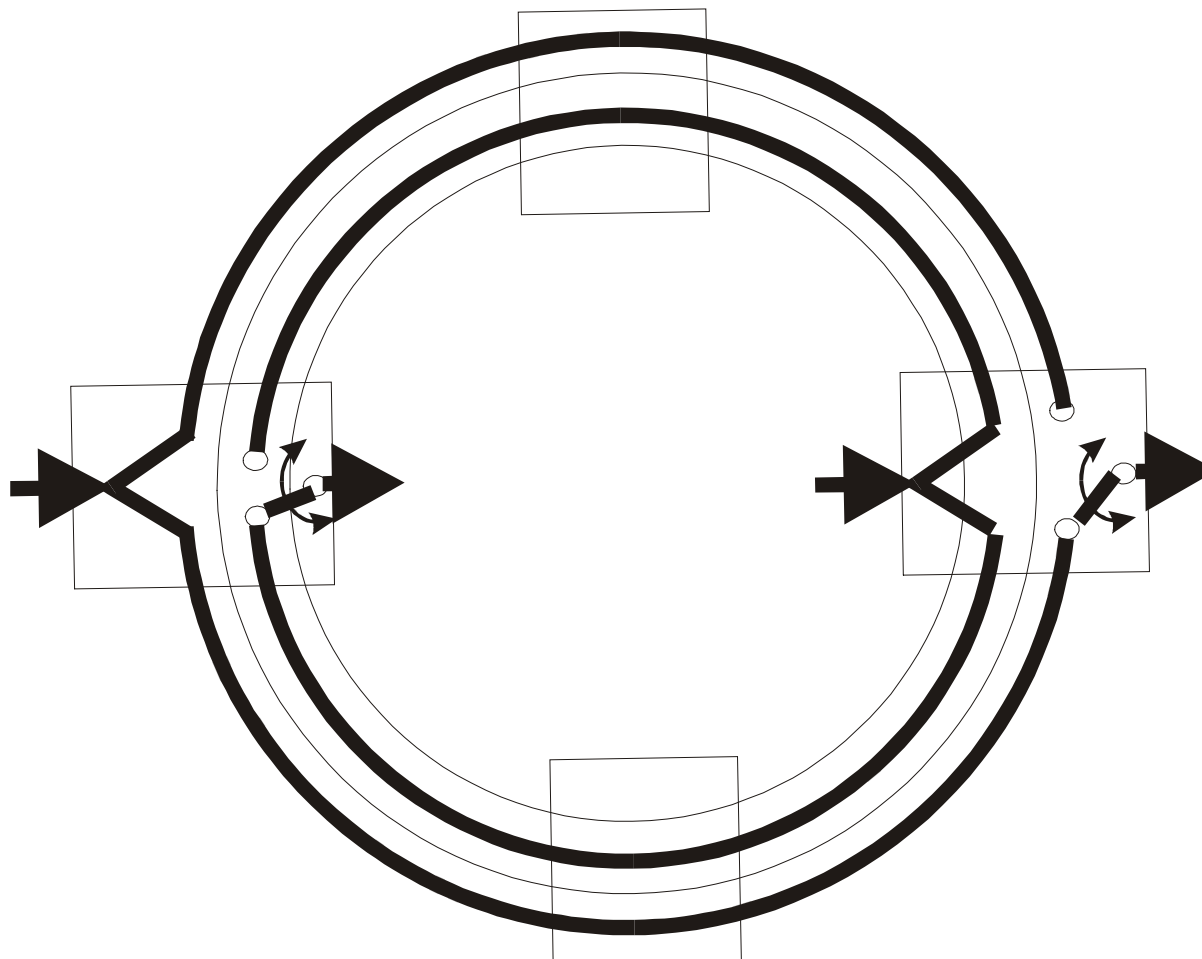
SDH gyűrűk

- adott
 - gyűrűvel összekapcsolandó csomópontok
 - a csomópontok közötti átviteli igények
 - SDH rendszertechnika
 - gyűrűrendszer kapacitása
 - ADM kapacitásadatok
 - tributary
 - lokális cross-connect
- célfüggvény: erőforrásigény (optikai szálpár, berendezés), költség, minőség (rendelkezésre állás)

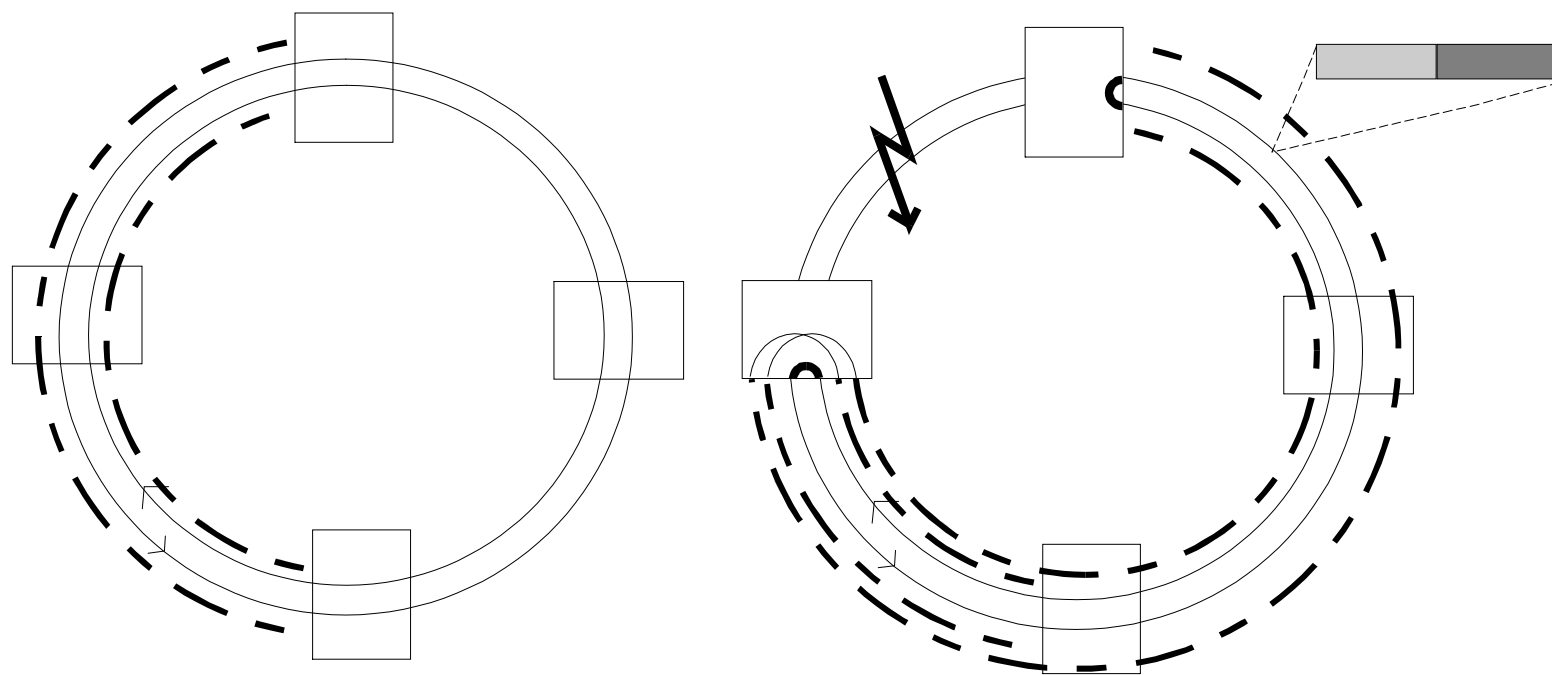
Gyűrűk

- homogén csomóponti struktúra (közel azonos berendezés minden csomópontban)
- alapesetben a gyűrűkapacitást a legnagyobb kapacitású gyűrűszakasz határozza meg

SNCP gyűrű: 1+1 VC12 útvédelem STM4-es gyűrűn

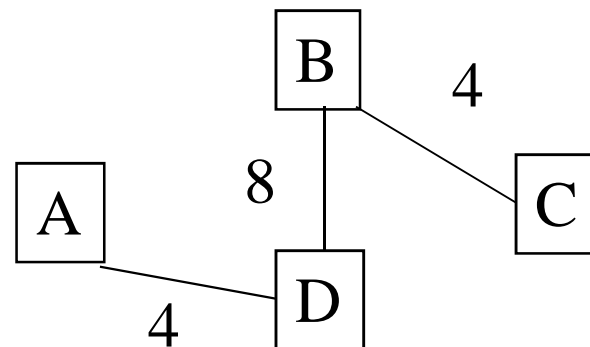


MSSP kétirányú gyűrű két szálon STM-16/STM-1

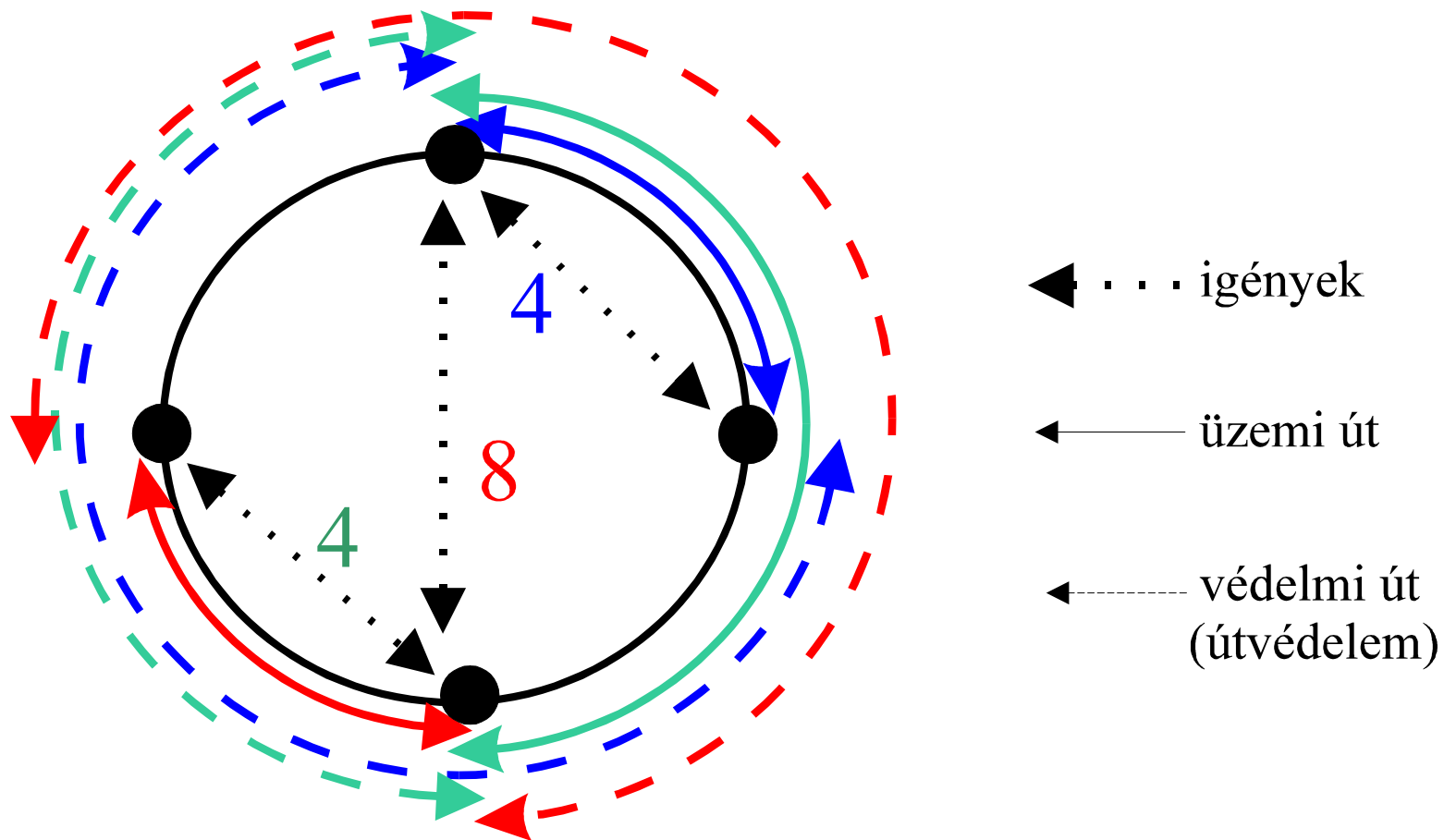


1. példa

- 4 csomópont
- kétszálú STM-16-os gyűrű
- STM-1-es igényegység
- három pont-pont kapacitásigény:

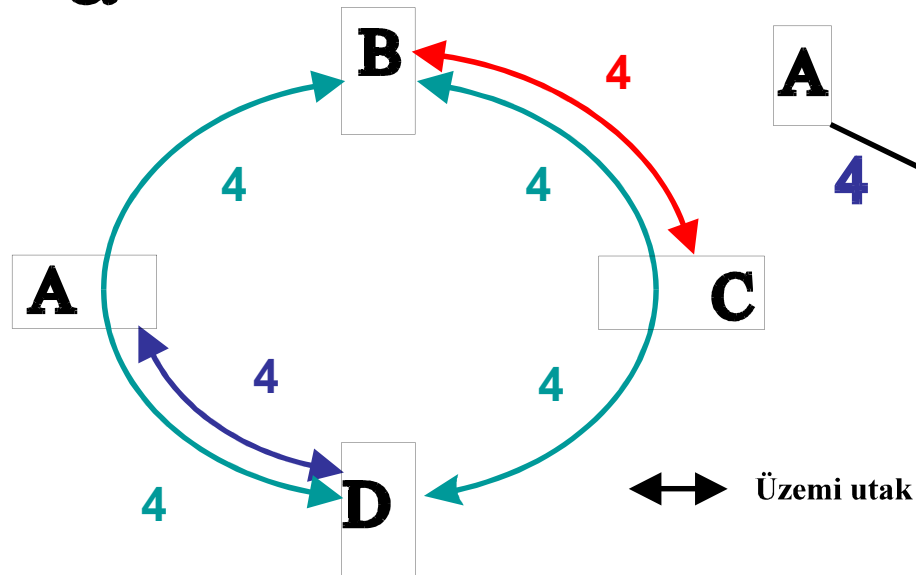


1. példa: megoldás SNCP gyűrűvel

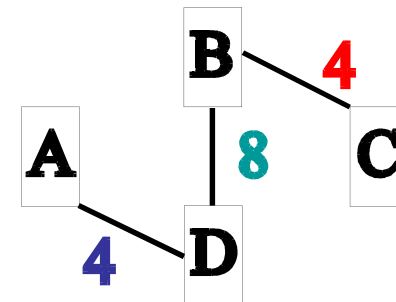


1. példa: megoldás MSSP gyűrűvel

MSSP gyűrű



Átviteli igények

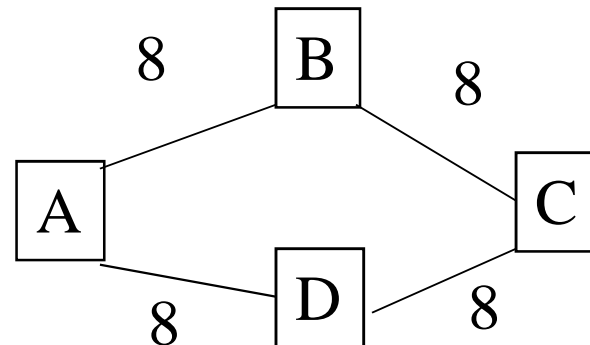


1. példa: értékelés

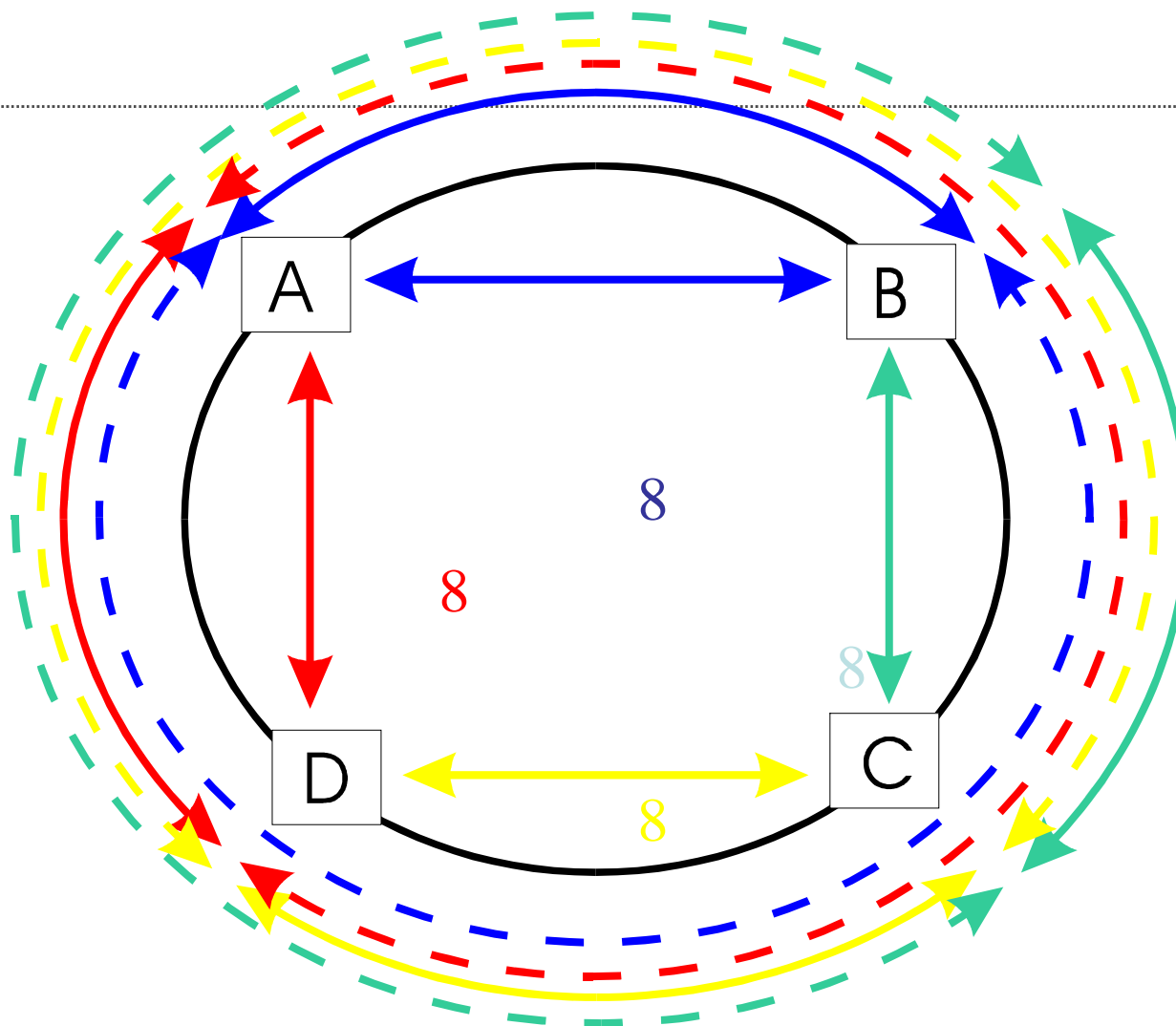
- az adott igényminta mellett a szükséges gyűrűrendszer mérete azonos (1 STM-16-os gyűrű)
- igénymegosztás (két nyaláb)

2. példa

- 4 csomópont
- 2 szálaz STM-16-os gyűrű
- STM-1-es igényegység
- négy pont-pont kapacitásigény:

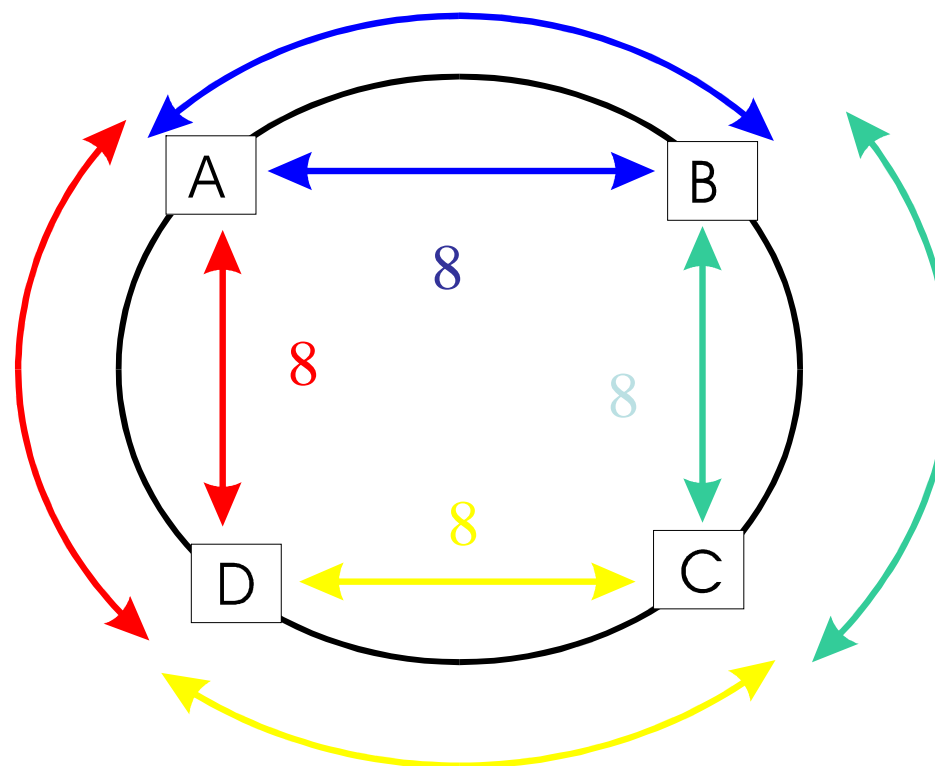


2. példa: megoldás SNCP gyűrűvel



↔ üzemi elvezetés
↔-↔ védelmi elvezetés

2. példa: megoldás MSSP gyűrűvel



\longleftrightarrow üzemi elvezetés
 $\curvearrowright \curvearrowleft$ védelmi elvezetés

2. példa: értékelés

- az adott igényminta mellett a szükséges gyűrűrendszer mérete azonos, de
 - SNCP gyűrű esetén 2 STM-16-os gyűrű, gyűrűnként 3 csomóponttal (két optikai szálpár, 6 db ADM)
 - MSSP gyűrű esetén 1 STM-16-os gyűrű (egy optikai szálpár, 4 db ADM)
- MSSP: csatorna-újrafelhasználás

Gyűrűk – finomabb modell

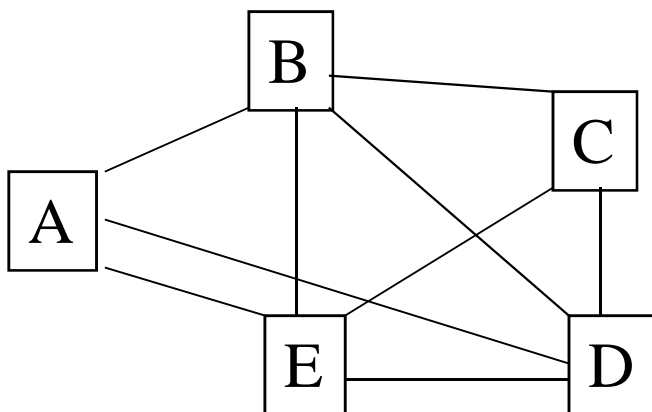
- adott
 - gyűrűvel összekapcsolandó csomópontok
 - a csomópontok közötti átviteli igények
 - SDH rendszertechnika
 - gyűrűrendszer kapacitása
 - ADM kapacitásadatok
 - tributary
 - lokális cross-connect

Gyűrűméretezési példák (folyt.)

- 3. példa:
 - csomóponti funkció méretezési hatása
- 4. példa:
 - többszörös kapacitású gyűrűk
- 5. példa:
 - tranzitáló gyűrű telítődése

3. példa

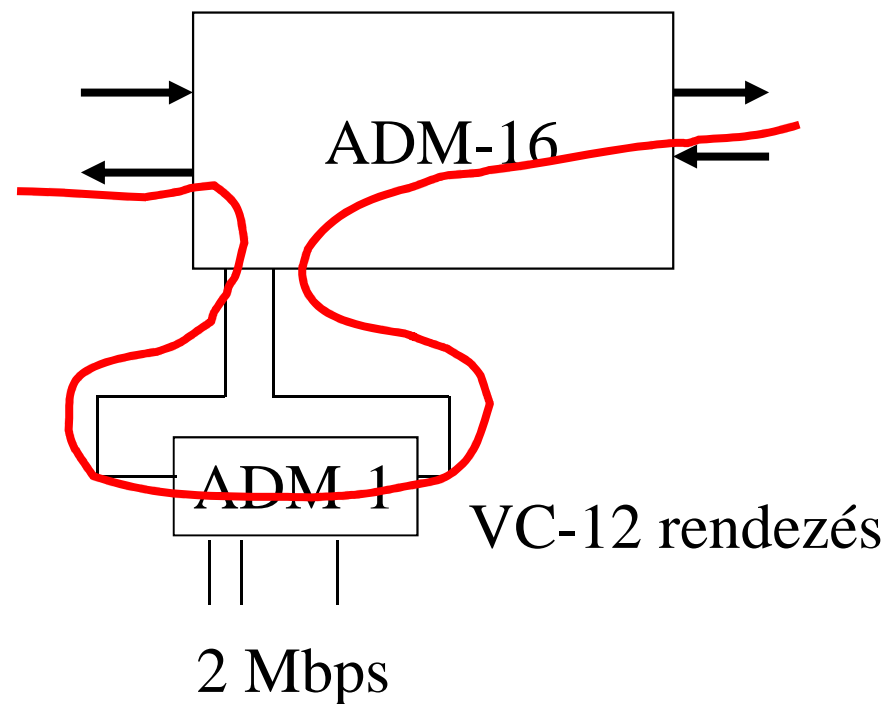
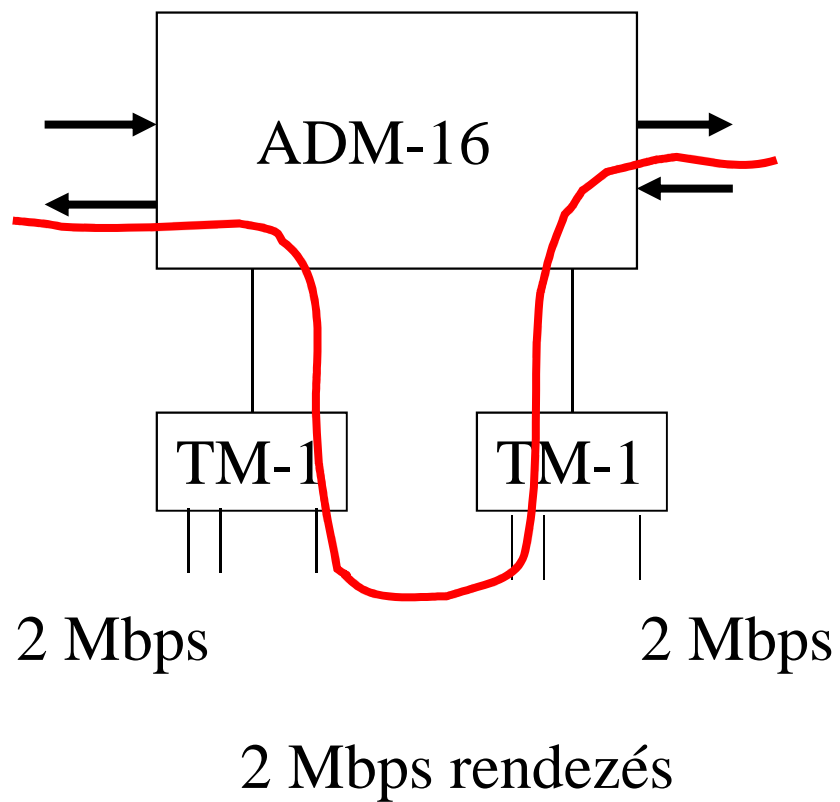
- 5 csomópont
- kétszálú STM-16-os gyűrű
- 2 Mbps (VC-12-es) igényegység
- kilenc pont-pont kapacitásigény
 - teljes 5-gráf kivéve A-C



3. példa

- **STM-16-os ADM funkciói**
 - csak VC4 szintű lokális rendezés
 - csak STM-1 szintű összetevő oldali (tributary) csatlakozások

3. példa



3. példa

- védelem
 - MSSP
 - 8 üzemi STM-1 kapacitás - 9 vp-vp STM-1 nyaláb
 - SNCP (VC-12 1+1)
 - ADM-1 vagy ADM-4 vagy DXC 4/1 szükséges

3. példa

- **következmény**
 - alapesetben végponttól végpontig STM-1-es nyalábok alkalmazhatók
 - jobb nyalábkitöltéshez (VC-12 szintű rendezéshez) kiegészítő berendezés szükséges

3. példa: értékelés

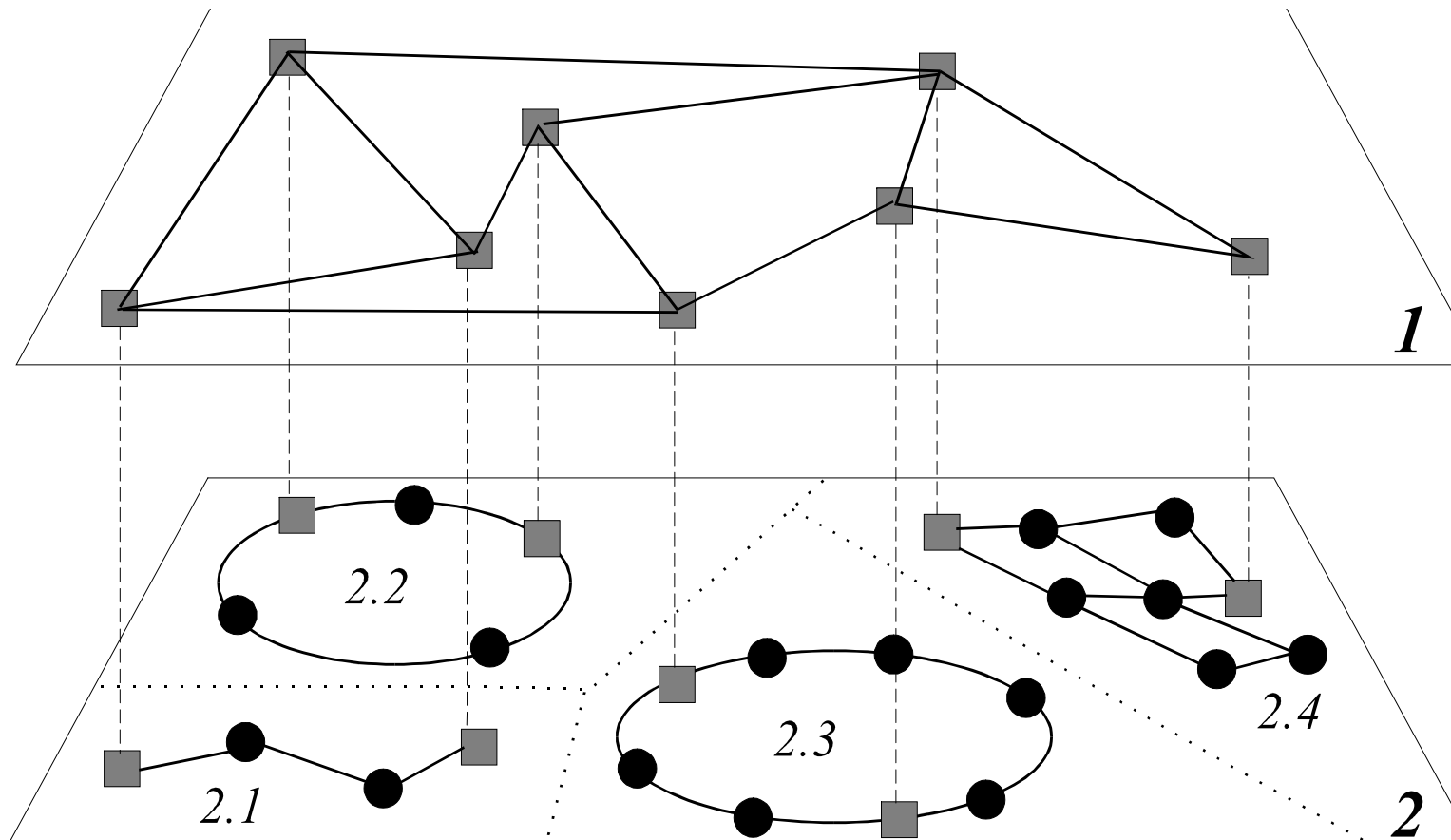
- az adott igényminta mellett az szükséges gyűrűrendszer mérete azonos (1 STM-16-os gyűrű)
- igénymegosztás (két nyaláb)

HIERARCHIKUS SZERKEZETŰ SDH HÁLÓZATOK

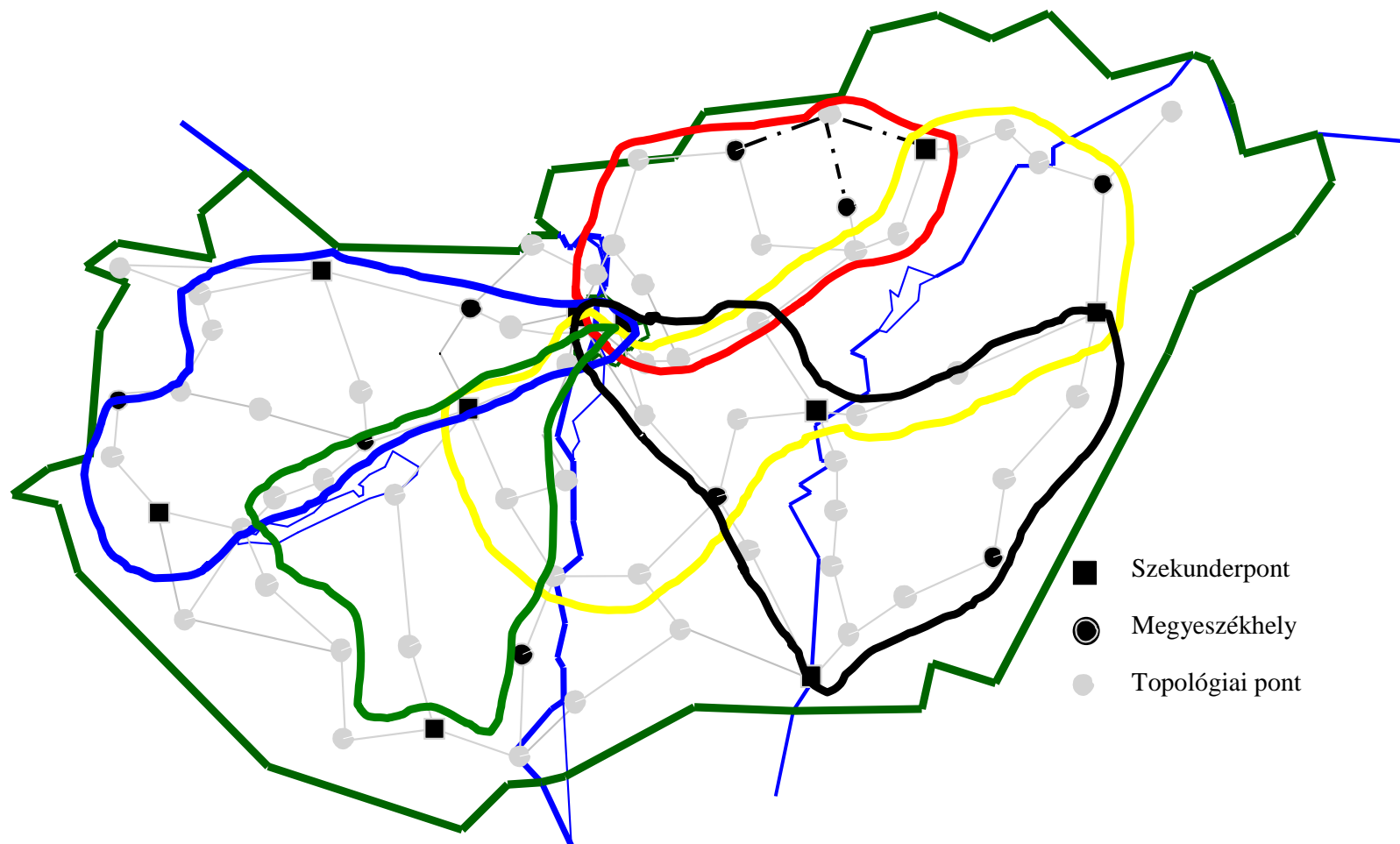
Struktúrált hálózatok

- **hierarchikus**
 - tipikusan kétszintű, gyűrű-szövevény vagy gyűrű-gyűrű szerkezet
- **nemhierarchikus**
 - illeszkedő vagy átfedő gyűrűk

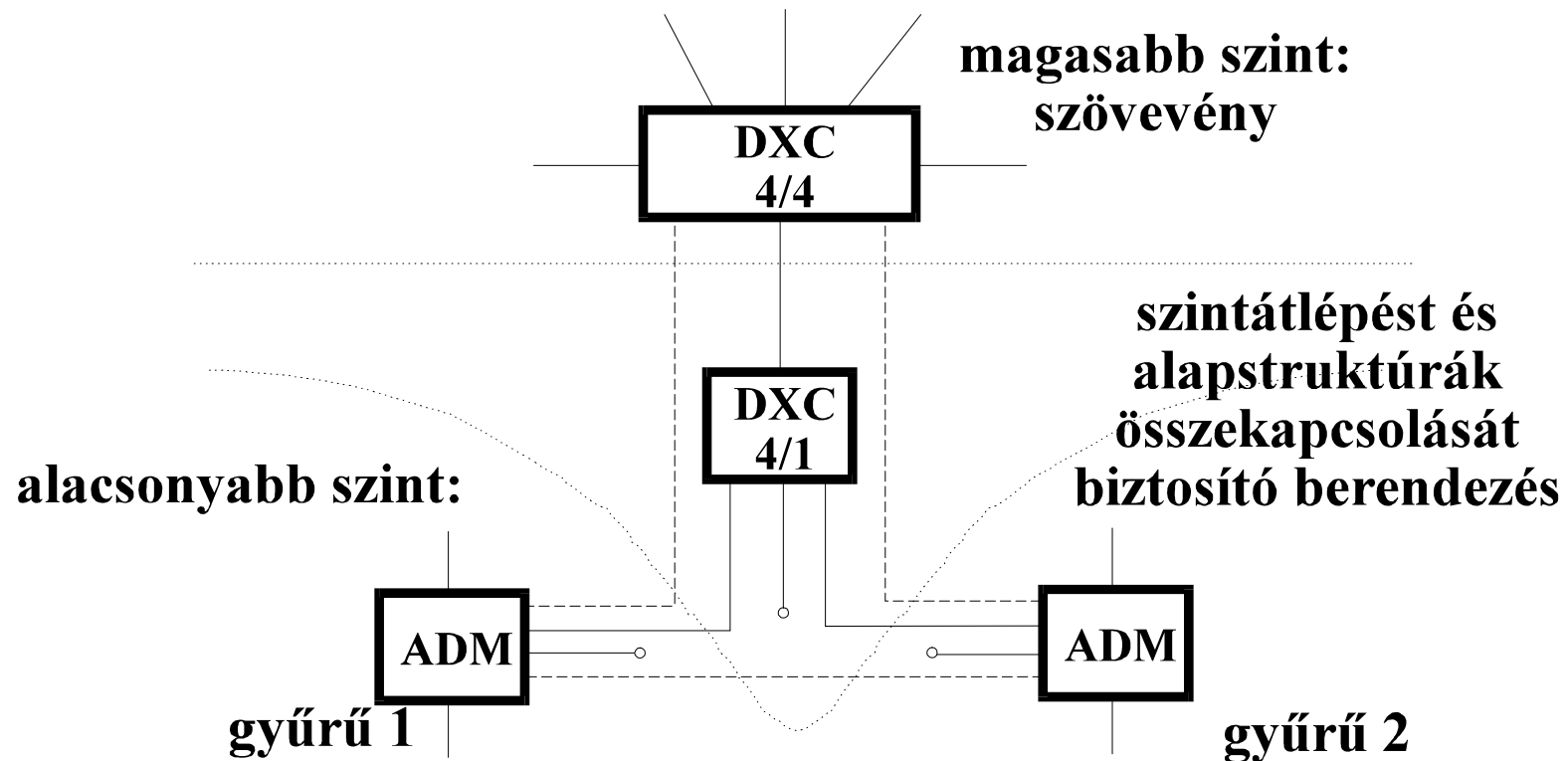
Hierarchikus hálózati szerkezet



Nem hierarchikus hálózati szerkezet



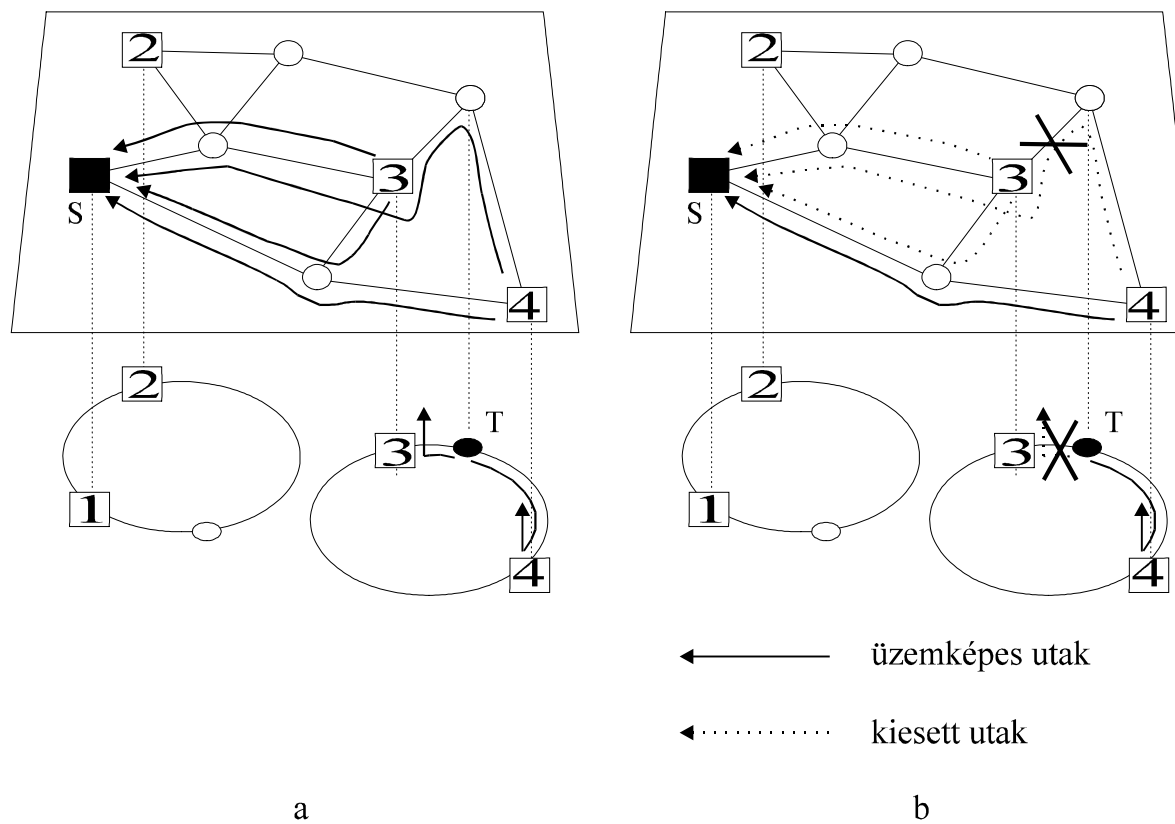
HUB csomópont összetett (hierarchikus) hálózatban



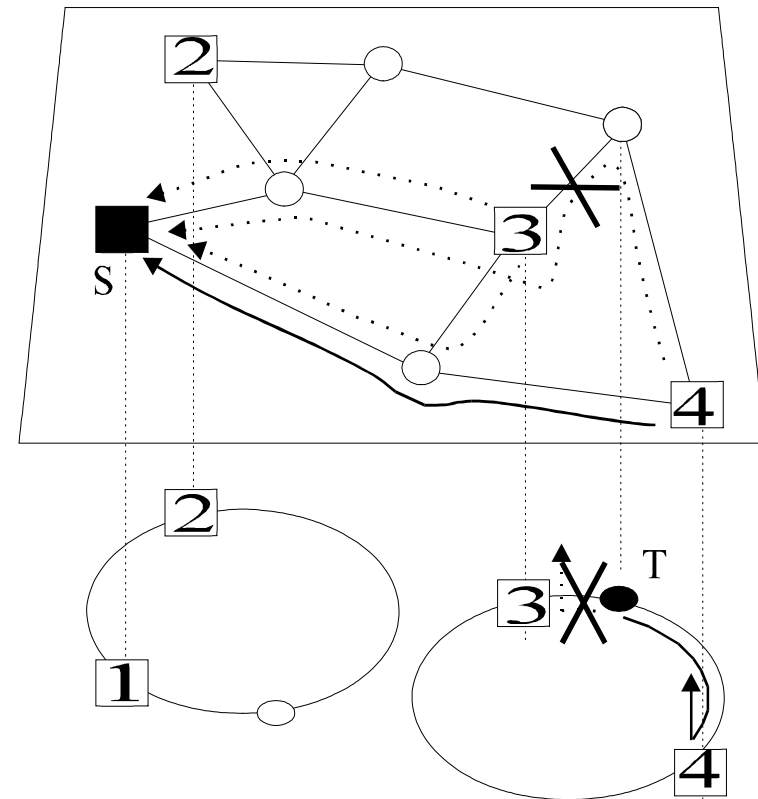
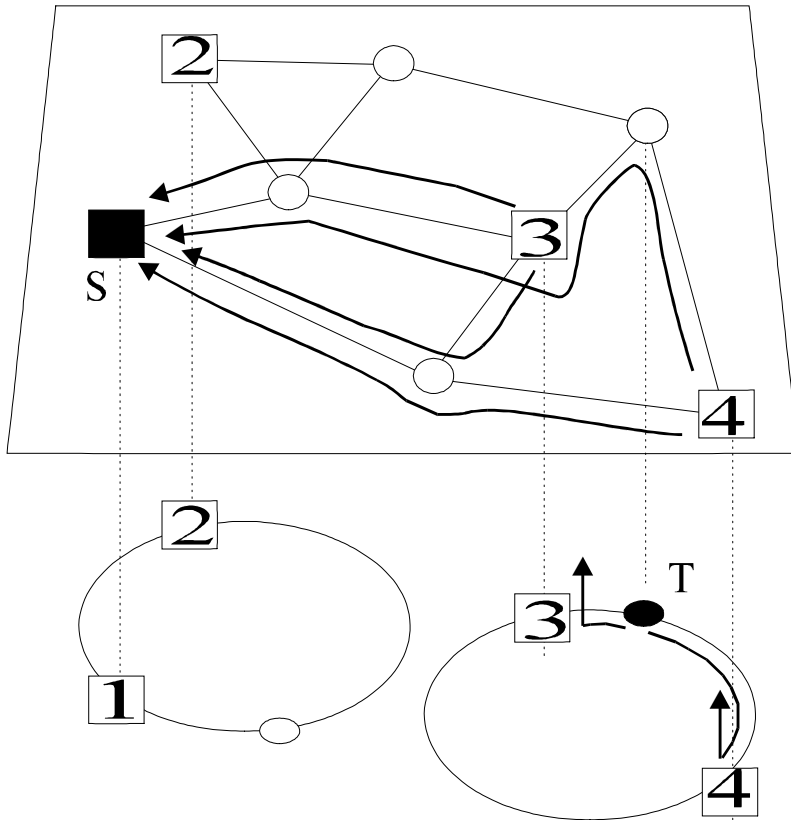
Hálózati szinten megvalósított védelem (2/1)

- végponttól végpontig független utak
 - szigorú topológiai követelmény
- kapcsolódási pontok hibái ellen is véd
- hálózatméretezési problémák
 - hosszabb utak, kisebb nyalábok
- nyalábrendezés (DXC-vel vagy STM-1 szinten)

Hálózati szinten megvalósított védelem (2/2)



Független utak hierarchikus hálózaton



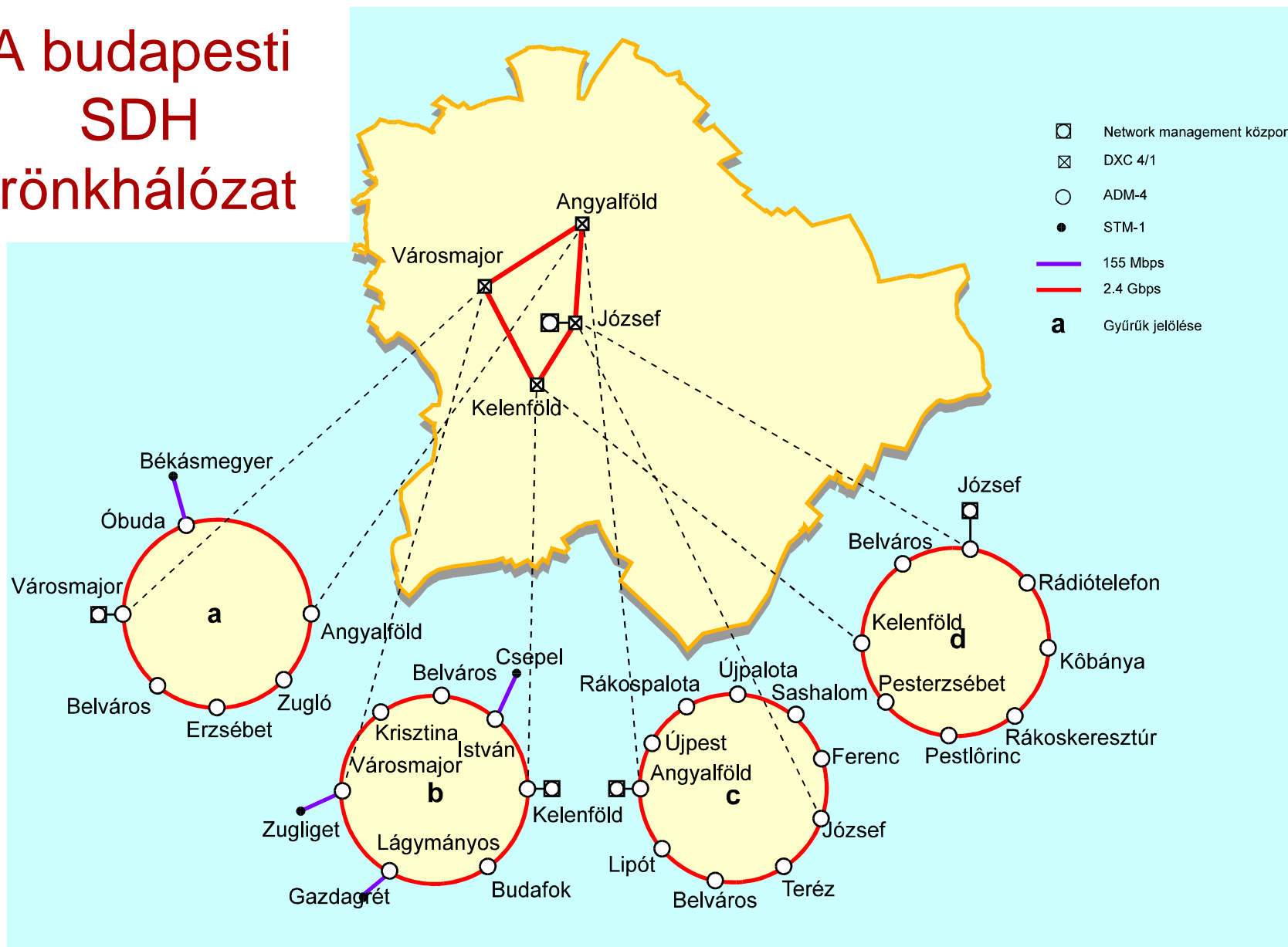
Az SDH technológia összefoglalása

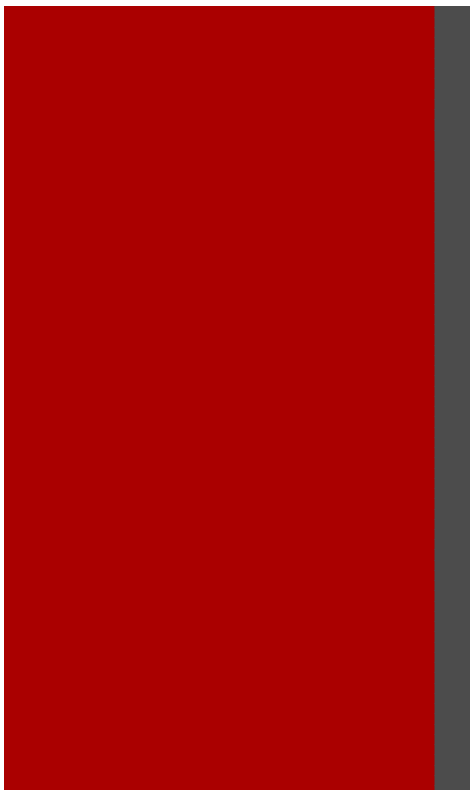
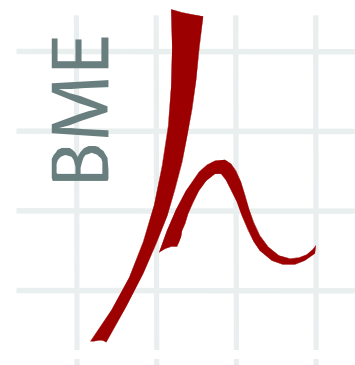
- az SDH technológia előnyei
 - viszonylag olcsó, egyszerű multiplexálás, üzemeltetés
 - hatékony, SW úton vezérhető üzemeltetési rendszer alakítható ki
 - öngyógyító mechanizmusok implementálhatók
 - viszonylag nagy átviteli sebességek

SDH - a hálózatot egyértelműen meghatározó információk

- logikai és fizikai hálózati szerkezet
 - gyűrűk, szövevények, összekapcsolódások, csomópontok elrendezése
 - optikai kábelhálózat
- az egyes hálózatrészek konfigurációja
 - architekturális megoldások
 - erőforrások kapacitása és konfigurálása
- az átviteli utak felépítése

A budapesti SDH trónkhálózat





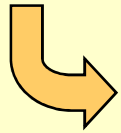
Hálózatsvédelem - áttekintés

Hálózatvédelem

- **Technológiai trend:**
 - Növekvő forgalom, növekvő kapacitásigény, nagyobb rendszerkapacitás – kisebb bitköltség – nagyobb adatkoncentráció – kritikusabb hibahatások
- **Szolgáltatási trend**
 - Garantált minőség, megfelelő mennyiségű erőforrás – a meghibásodott hálózatelemeket pótolni kell

Hálózati hibák

1988: Tűz egy kapcsolóközpontban, Hinsdale (Illinois)



35000 helyi előfizetői vonal üzemen kívül

37000 trónk üzemen kívül

118000 távolsági vonal üzemen kívül

(500000 lakossági és üzleti előfizetőt érintett, akik napi 3.5 millió hívást kezdeményeznek, az O'Hare repülőtér lezárták)

1988: Két 600A biztosíték kiégett (Massachusetts)



35000 előfizető egy napig üzemen kívül

a bankokat biztonsági okokból bezárták

1990 : Hiba a jelzeshálózatban (SS7)



65 millió hívás veszett el az Egyesült Államok területén

1991 : 3 hibás szoftversor (k.b. 2.1 millióból)



egy hétig szünetelt a telefonösszeköttetés Washington, Los Angeles és Pittsburg között

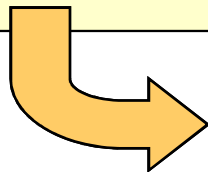
Hibajellemzők és hatásuk

Kábelhiba :

MTBF : 1 750 000 óra kábelkilométerenként

MTTR : 48 óra

20 000 km kábel (e.g., pán-europai hálózat)



Kábelhiba 4 naponként

STM-16 2.5 Gbit/s

30 000 telefonvonal

STM-64 10 Gbit/s

120 000 telefonvonal

WDM 16 λ x 10 Gbit/s

2 millió telefonvonal

WDM 2 Tbit/s

25 millió telefonvonal

Hibajellemzők és hatásuk

Egy részletesebb statisztika :

30359 km optikai kábel – 2000 (Forrás: Sirti)

Szolgáltatást megszakító hibák

Harmadik fél által okozott	19	61%
Rágcsálók	6	19%
Rosszindulatú károkozás	3	10%
Anyagfáradás	1	3%
Természeti csapás	1	3%
Szerelési hiba	1	3%
Összesen	31	

Szolgáltatás minőségét rontó hibák

Anyagfáradás	484	58%
Harmadik fél által okozott	145	18%
Természeti csapás	128	17%
Rágcsálók	54	7%
Összesen	811	

Tipikus kiesési időarányok

(egy másik forrás)

Berendezés	DTR	Kiesett idő évente
SDH LDXC	$1.6 \cdot 10^{-5}$	5 perc
STM16	$8.4 \cdot 10^{-6}$	4 másodperc
OLT	$3.0 \cdot 10^{-5}$	16 perc
OPS	$6.0 \cdot 10^{-6}$	3 perc
OTM	$1.2 \cdot 10^{-6}$	38 másodperc
1km kábel	$1.3 \cdot 10^{-5}$	7 perc

Tipikus javítási idő egy berendezésre 1 - 6 óra

Tipikus javítási idő kábelhibára 6 - 24 óra

Hálózatvédelmi alapfogalmak

- meghibásodások, javítások
- hibahatások
 - degradáció
 - kiesés
 - katasztrofális hibák
- redundancia szükséges a hibahatások csökkentésére
- strukturális redundancia, többletkapacitások
- többletköltség (beruházás, üzemeltetés)
- mikor mi éri meg? (fontosság, megfizethetőség)
- a támogatott szolgáltatás védelmi specifikációja alapján kiválasztott megoldások

Hálózatvédelmi aspektusok

- Általános
 - architektúrák
 - szolgáltatások
 - hálózati szegmensek
- Technológiai vonatkozások
- Több technológiai rétegből álló hálózatok

Védelem és helyreállítás

(ITU G. 803 alapján)

- **védelem**
 - előzetesen hálózatelemekhez rendelt tartalék-kapacitások a meghibásodott elemek helyettesítésére
- **helyreállítás**
 - rendelkezésre álló többletkapacitások dinamikus felhasználása a hibaállapotok függvényében

Architektúrális vonatkozások

- alapszerkezetek
- általános hálózati megoldások
- hálózatrészek összekapcsolása

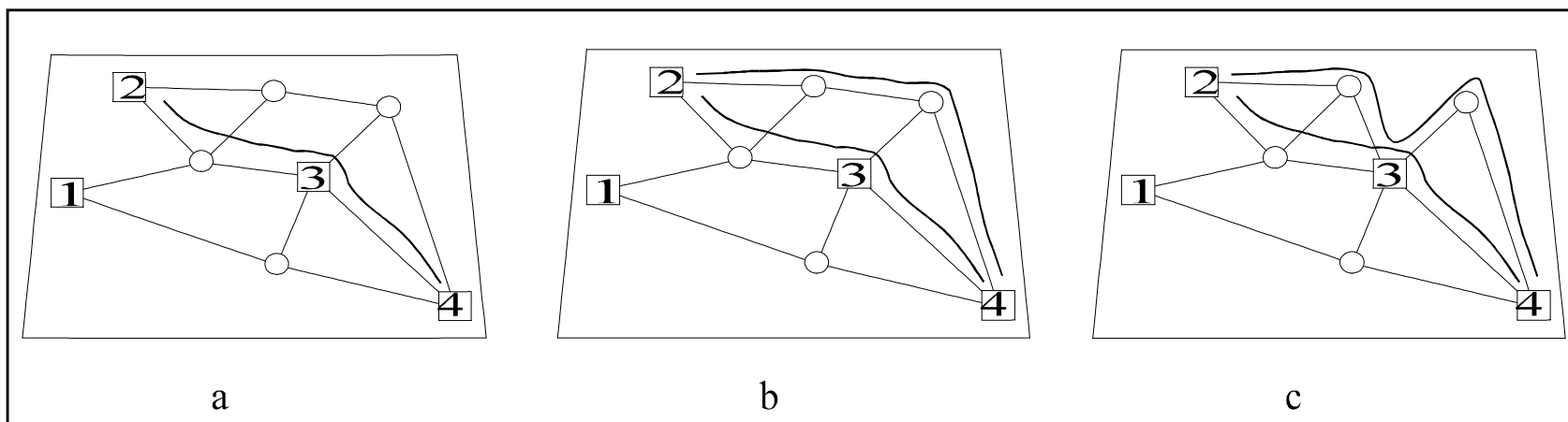
Védelmi alapszerkezetek

- pont-pont összeköttetés védelmére
- többutas (osztott) elvezetés
- 1+1
- n:m
- védelmi átkapcsolások (egy/két végen, visszatérő/nem visszatérő)
- osztott/dedikált tartalék

Többutas (osztott) elvezetés (2/1)

- összeköttetés- vagy pontfüggetlen utak
- osztott elvezetés
- n út mellett egy hibára $(n-1)/n$ védettség
- az információ egy része hiba esetén elvész
- n növekedésével csökkenő hatékonyság
- topológiai követelmény
 - független nyomvonalak

Többutas (osztott) elvezetés (2/2)



- a) egyutas elvezetés
- b) csomópont-független két út
- c) összeköttetés-független két út

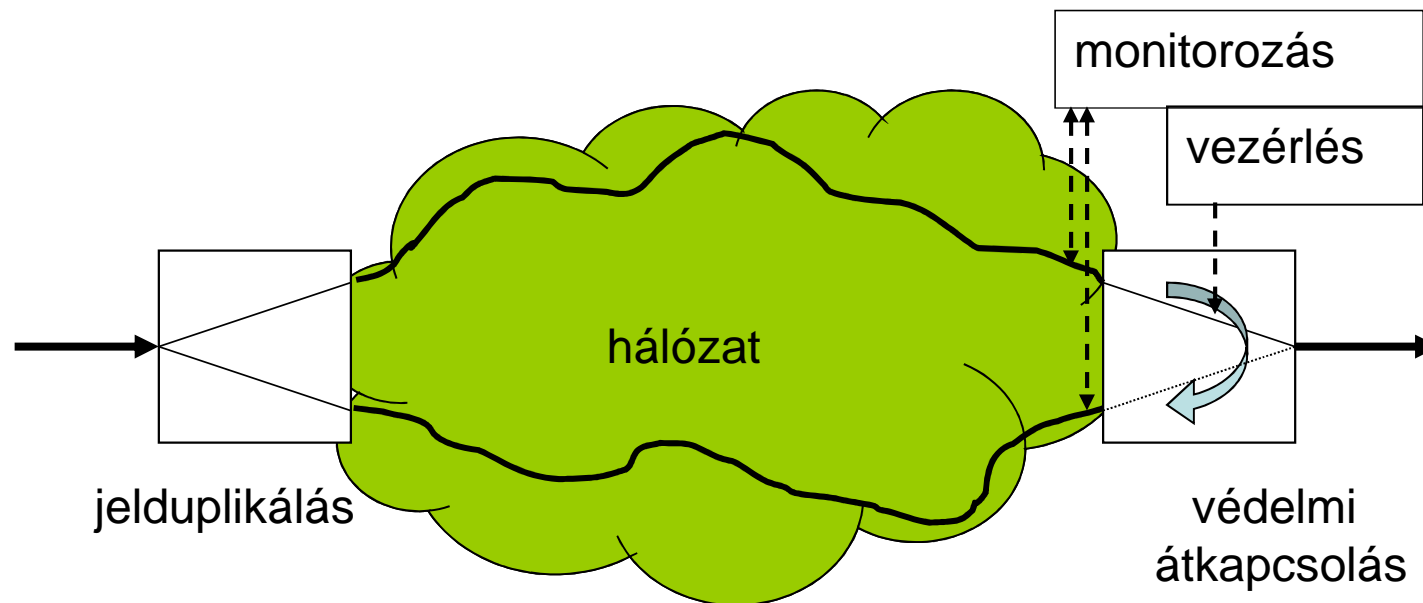
1+1 védelmi alapszerkezet

- két csomópont-független út
- azonos kapacitású átvitel
- duplikált adásirány
- vevő oldali átkapcsolás (lokális döntés, tipikusan nem visszatérő kapcsolat)
- egy hiba esetén teljes védelem

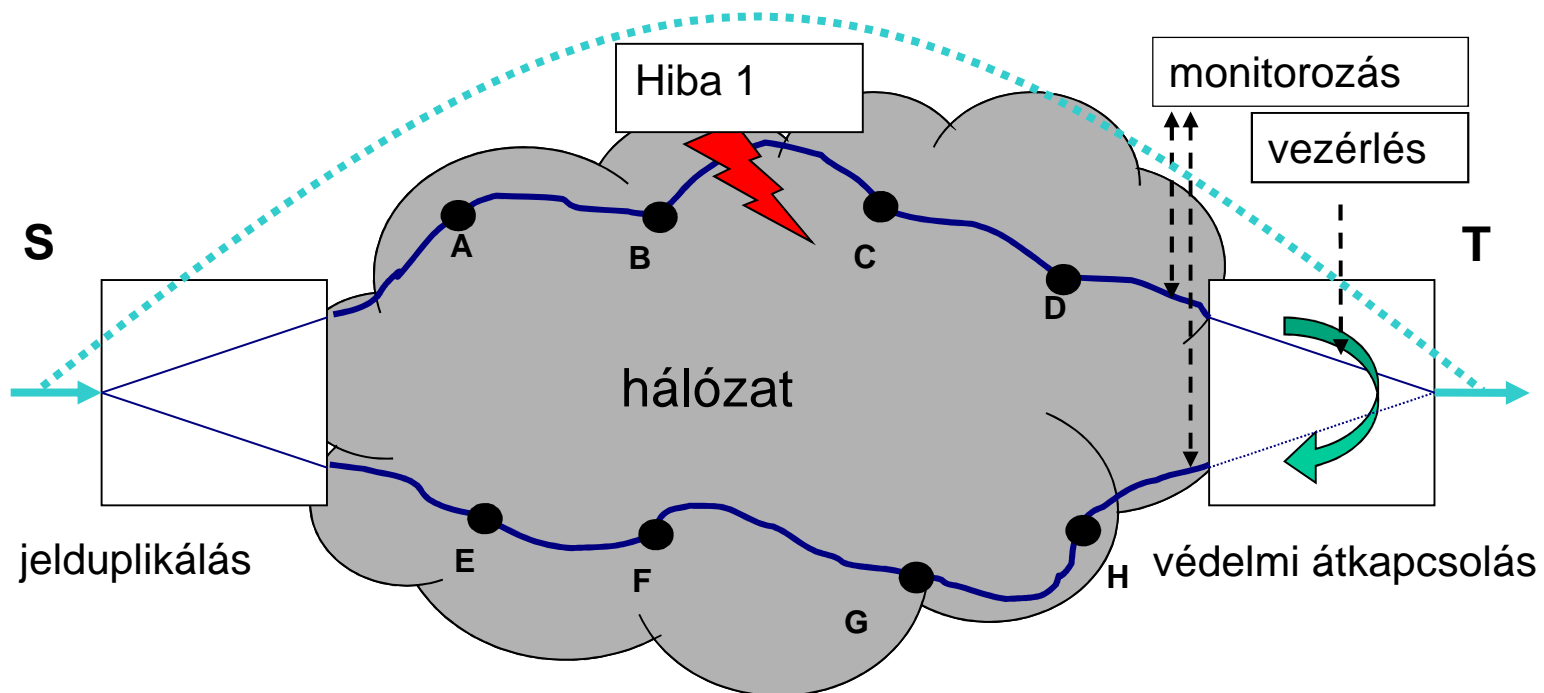
$m:n$ védelmi alapszerkezetek (2/1)

- n üzemi összeköttetésre (csatornára) m védelmi
- bonyolultabb átkapcsolási folyamat
 - kommunikáció szükséges
- visszatérő kapcsolás
 - kommunikáció szükséges

1+1 védelmi kapcsolás



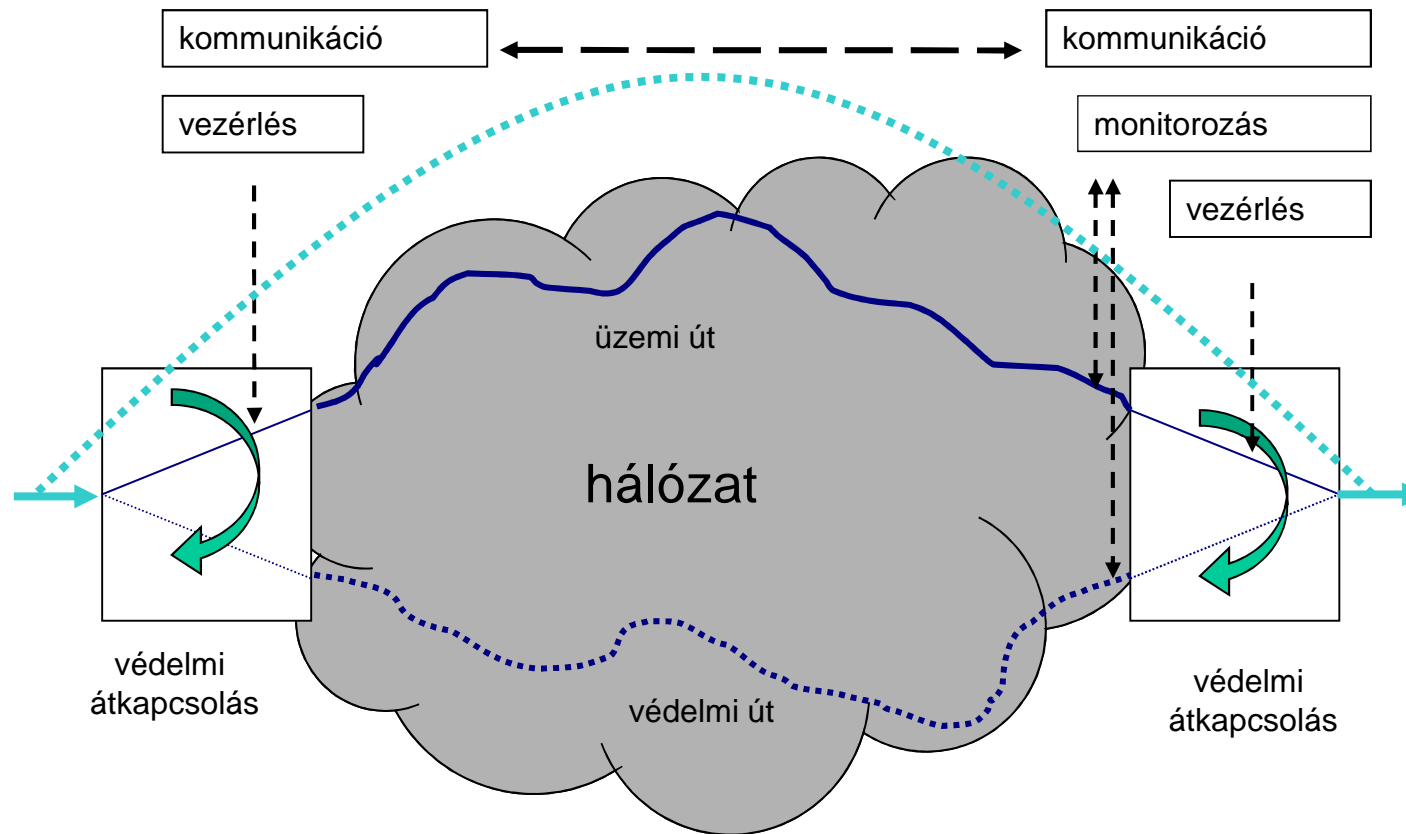
1+1 védelmi séma



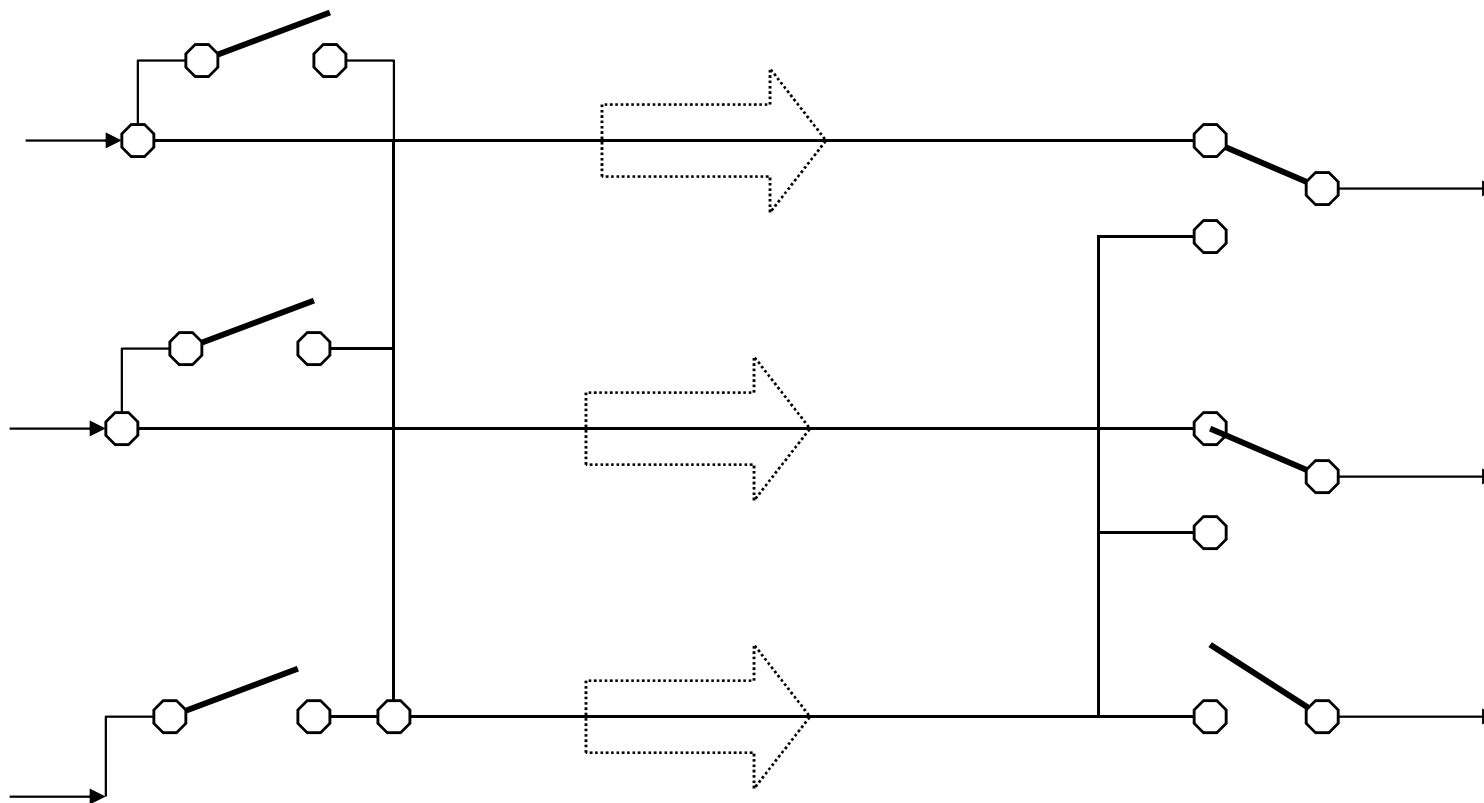
m:n védelmi kapcsolás

- *m* hiba esetén teljes védelem
- a védőrendszer extra nem védett átviteli lehetőséget is biztosíthat
- tipikus alkalmazás $1:n$, $1:1$, $n:n$

1:1 védelmi séma



2:1 osztott védelem (egyik irány)



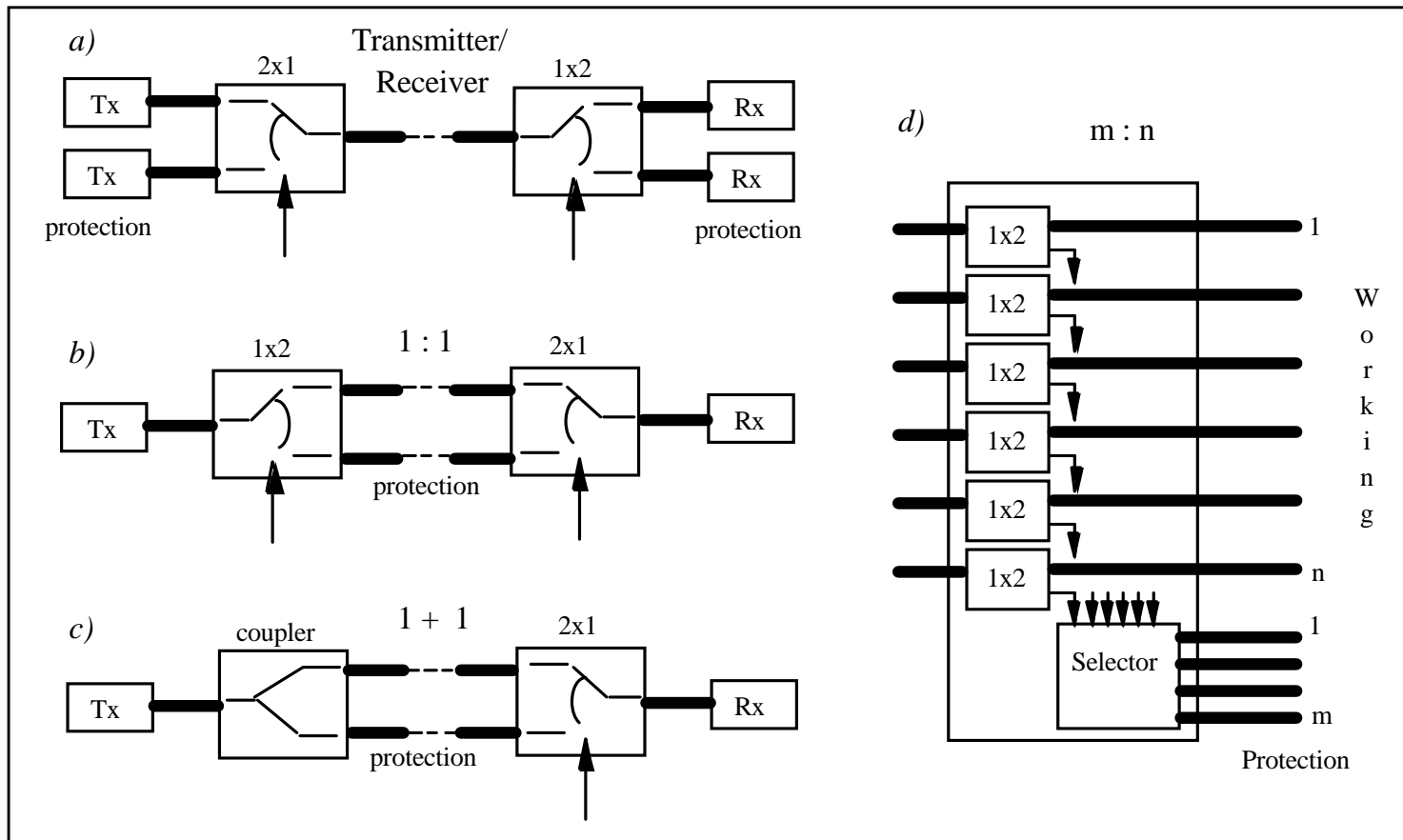
Védelmi alapszerkezetek összehasonlítása (3/1)

- elérhető védelem
- működés bonyolultsága
- hatékonyság
- tipikus alkalmazások

Védelmi alapszerkezetek összehasonlítása (3/2)

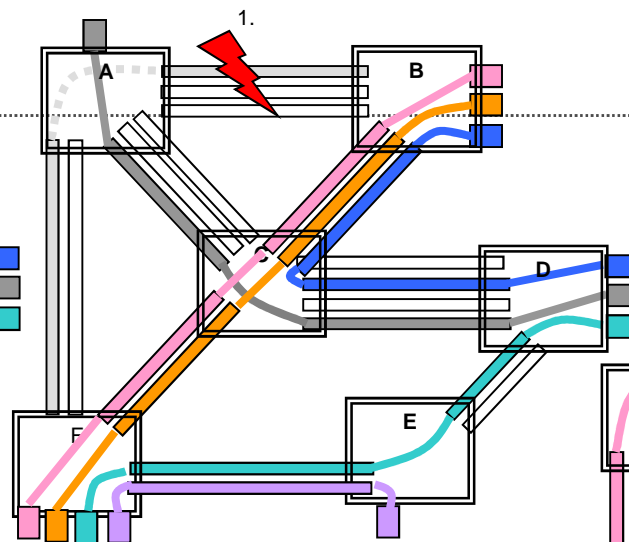
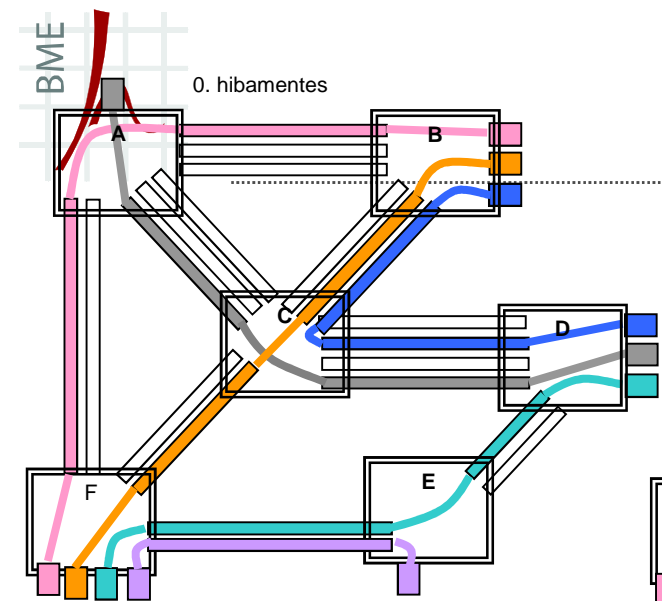
	védelem (egy hiba)	működés	hatékonyság
kétutas elvezetés	50%	nincs	útszámmal csökken
1+1	100%	lokális döntés	megfelelő
1:1	100%	kommuni- káció	extra átvitel

Védelmi alapszerkezetek összehasonlítása (3/3)

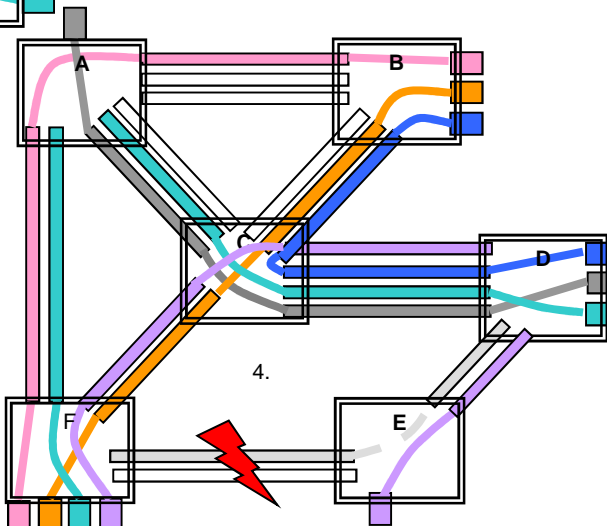
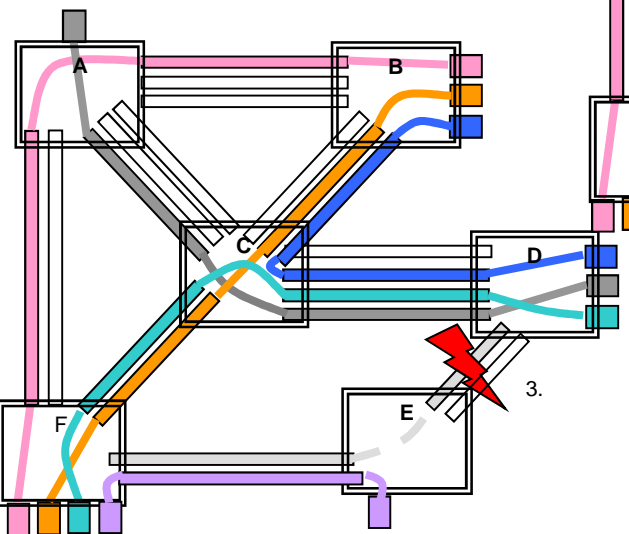
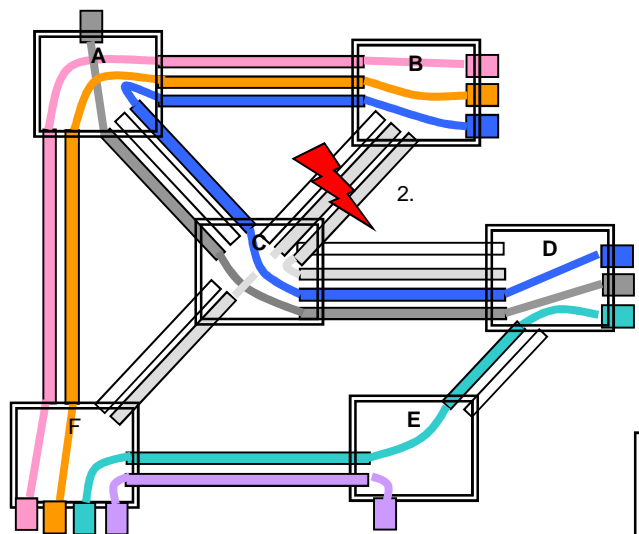


Helyreállítás

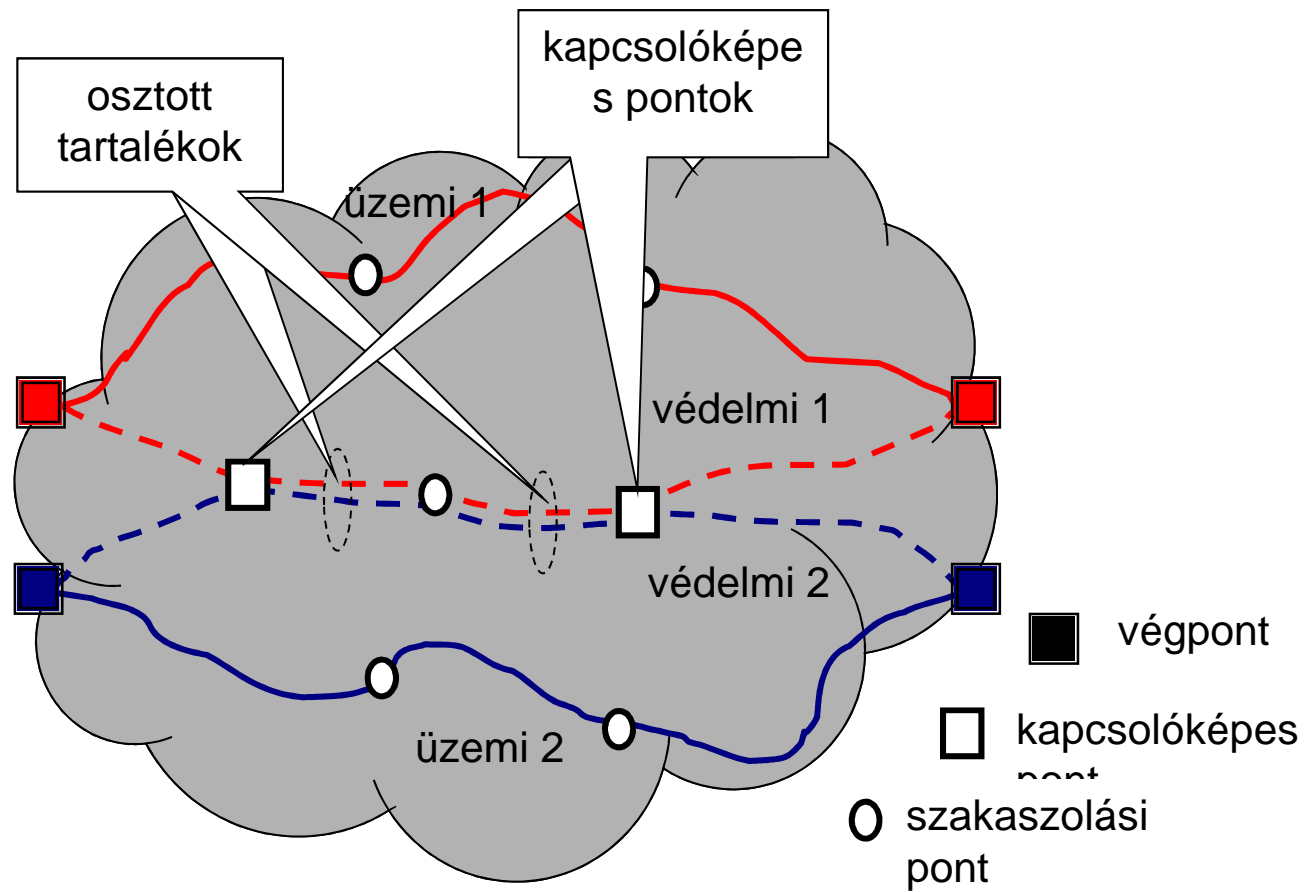
- hálózati (részhálózati) szinten alkalmazható
- osztott tartalékok
- hibaállapotokra dinamikusán reagáló átrendezhető tartalékhálózat
- rugalmas (vezérelhető) rendezők



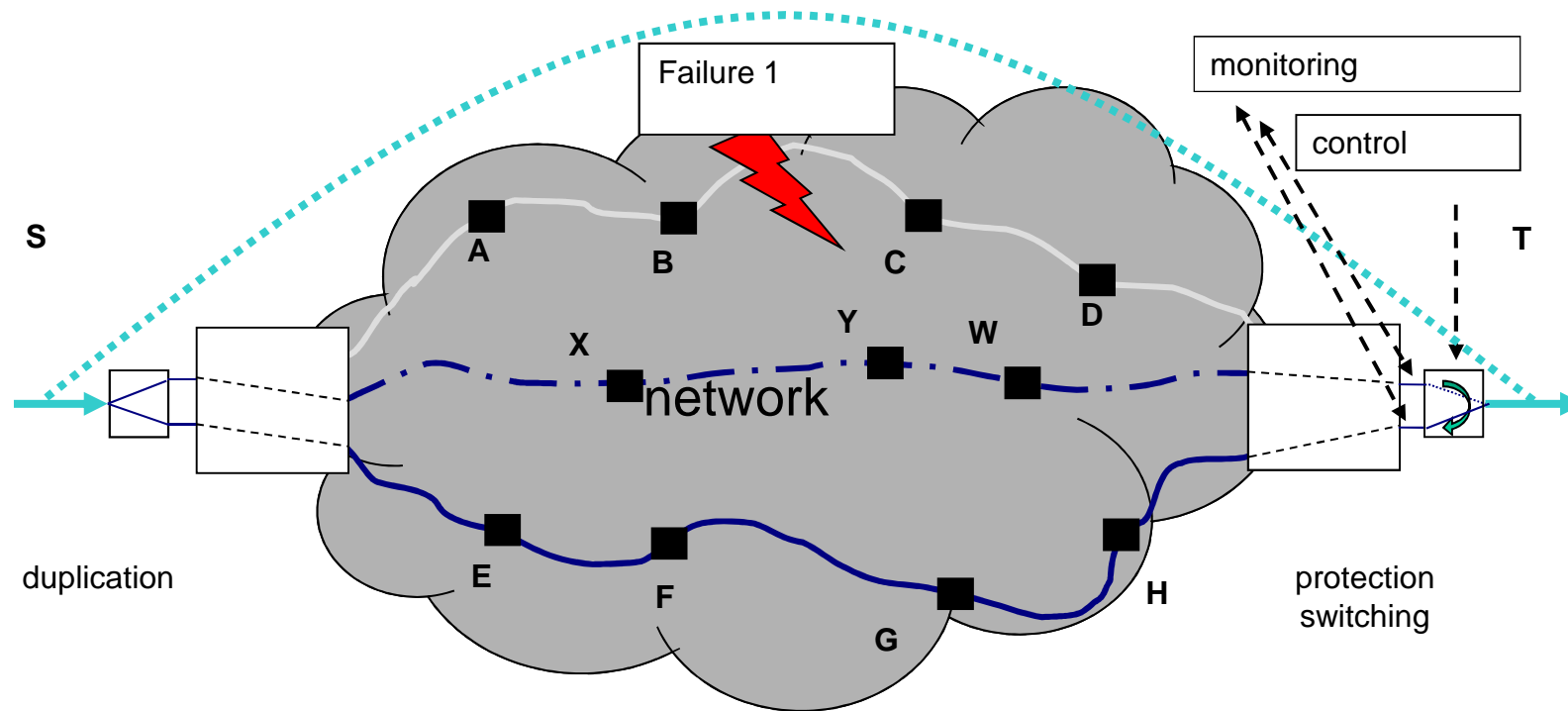
Helyreállítás



Osztott útvédelem

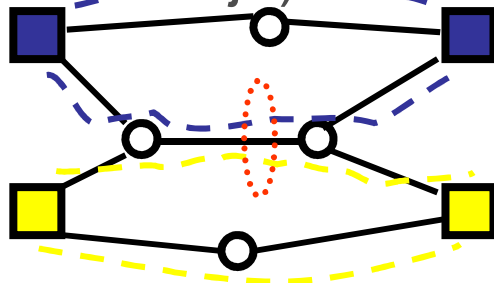


Kiterjesztett 1+1 védelmi séma

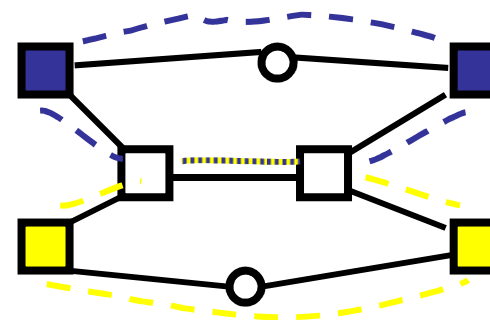


Összehasonlítás

- Védelmek (1+1, n:m, részhálózat)
 - pont-pont (fa) szerkezet
 - dedikáltan vagy megosztva felhasználható tartalékok
 - egyszerű vezérlés (egy vagy két csomópont akciója)



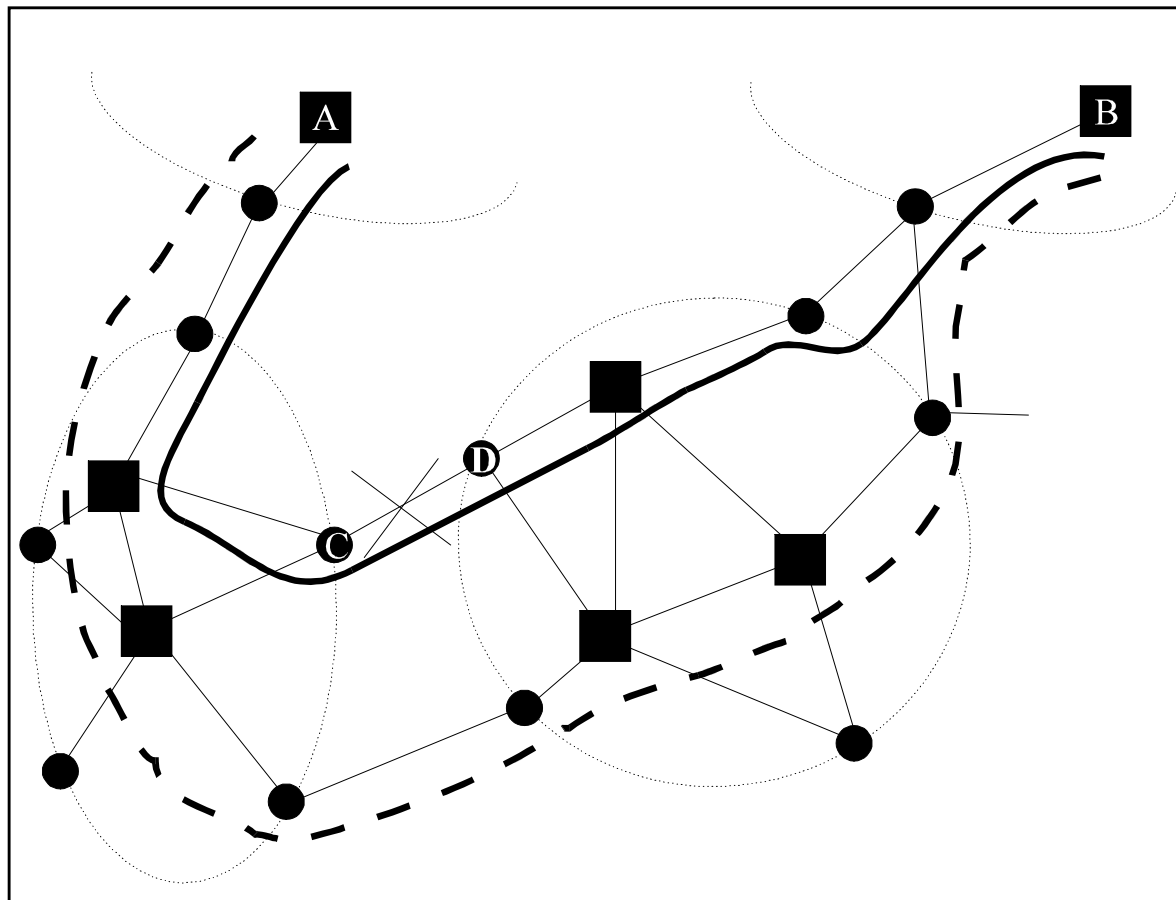
- Helyreállítás
 - hálózati szintű szerkezet
 - megosztva felhasználható tartalék
 - összetett vezérlés (több csomópont akciója)



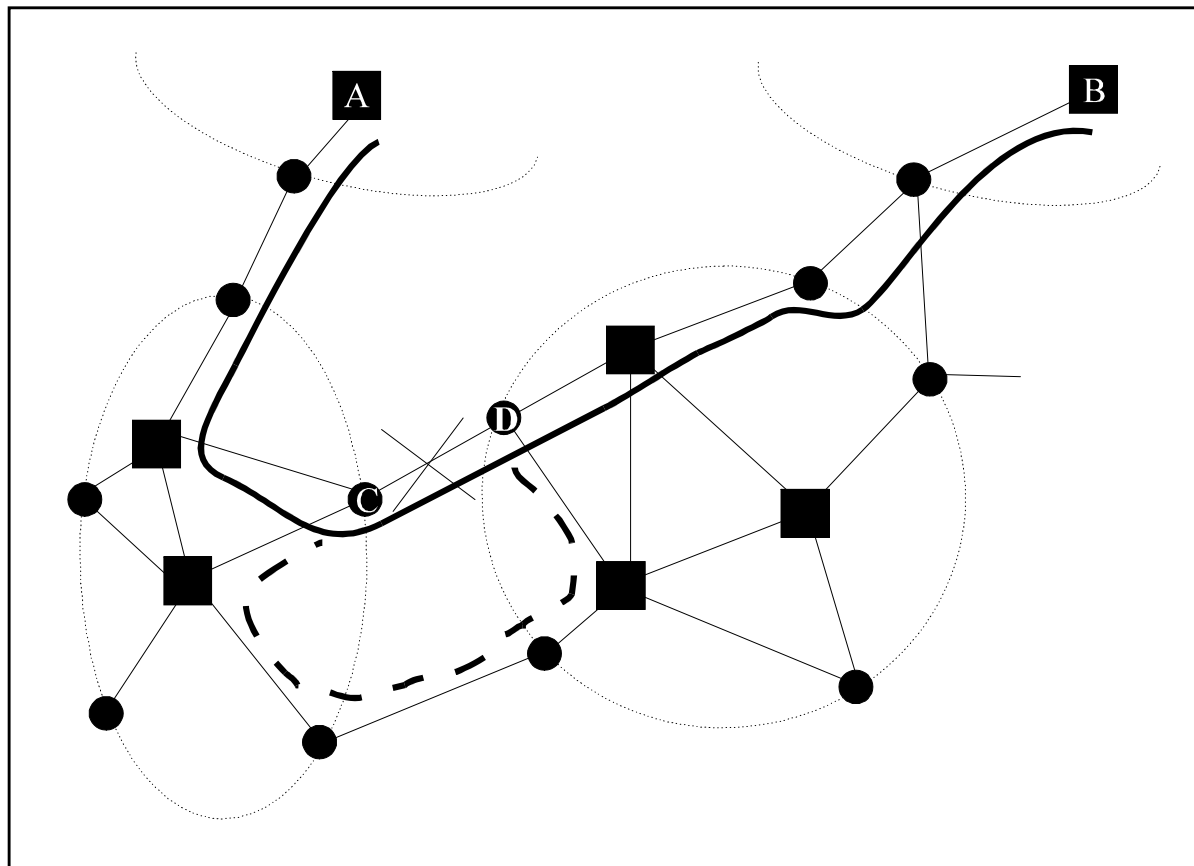
Helyreállítás

- átrendezési stratégiák: lokális/globális, centralizált/elosztott, tárolt/valós idejű
- működés: hibadetektálás, kommunikáció, átrendezés
- hatékony tartalékkapacitás felhasználás
- intelligens, magas szintű menedzsment rendszer szükséges

Helyreállítás



Helyreállítás



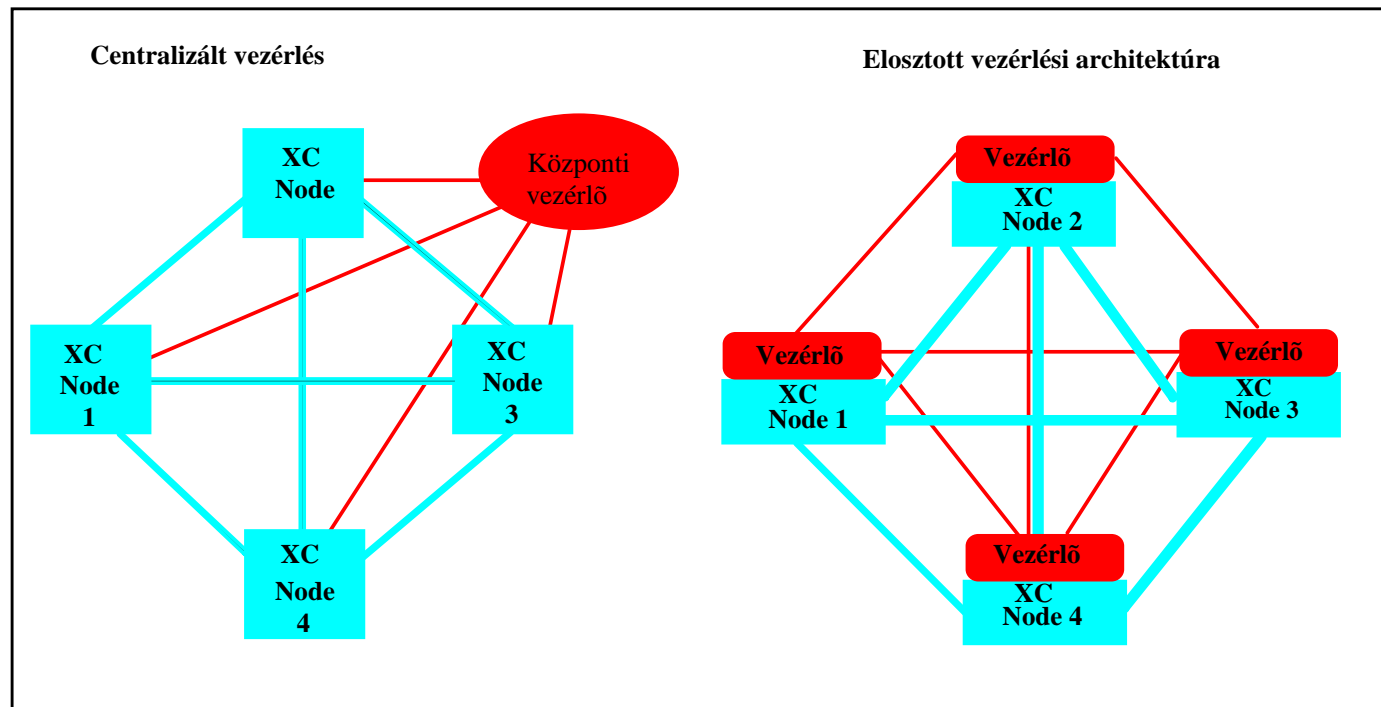
Átrendezhető tartalékhálózat

- a helyreállítás alapú védelem megvalósítása
- helyreállítás: a szabad kapacitások hibaállapottól függő dinamikus felhasználása a hibahatások csökkentésére
- tipikus feltételezés: egyszerre egyetlen hiba, szakaszhiba

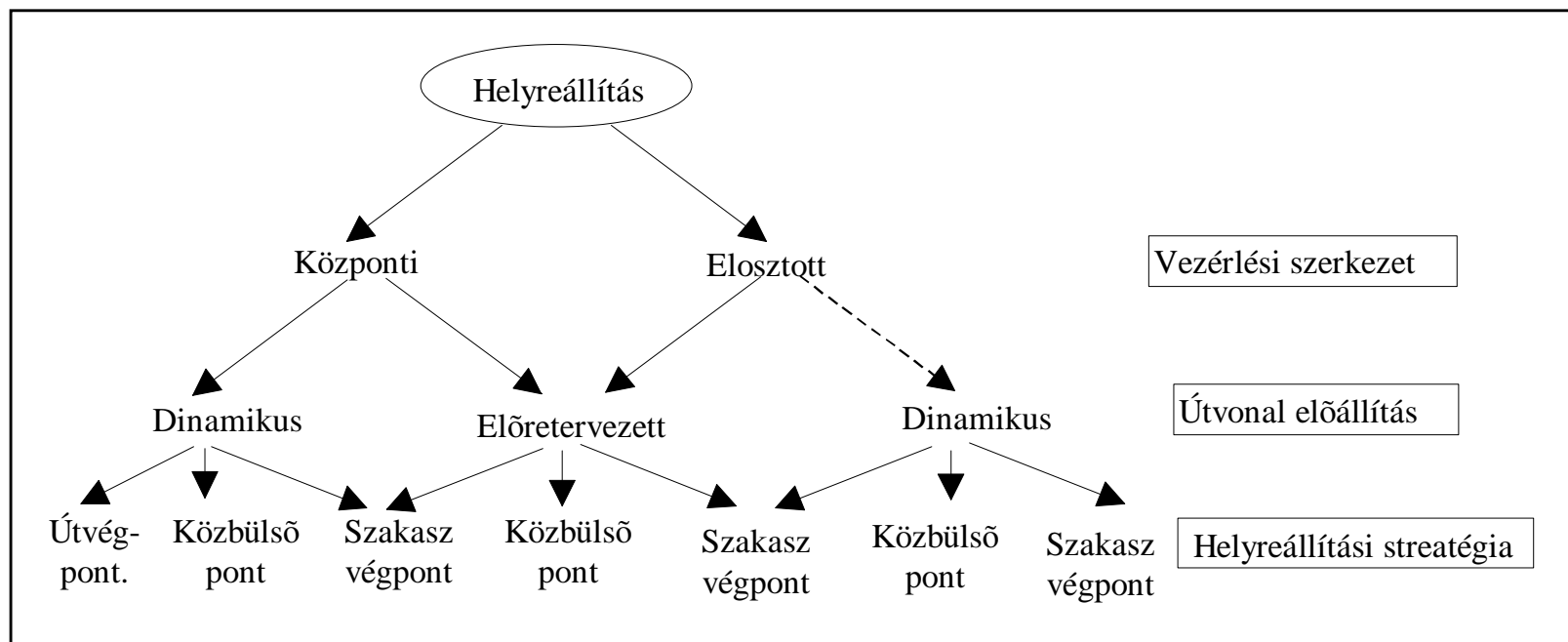
Helyreállítás

- *átrendezési stratégiák*: lokális/globális
- *vezérlés*: centralizált/elosztott,
- *helyreállító utak*: tárolt/valós idejű
- hatékony tartalékkapacitás felhasználás
- intelligens, magas szintű menedzsment rendszer szükséges

Helyreállítás



Helyreállítás

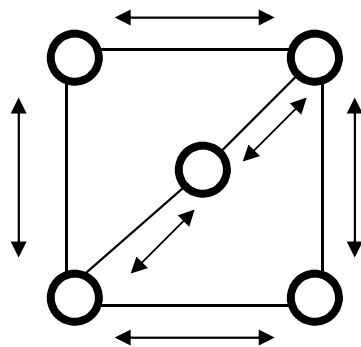


Helyreállítás

- *működés*: hibadetektálás, hibabehatárolás, kommunikáció, új konfiguráció meghatározása, kommunikáció, átkonfigurálás
- *működési megfontolások*:
 - hibaszekvencia-függő megoldások
 - hibák elhárítás után az eredeti hibamentes konfiguráció visszaállítása
 - elosztott vezérlés: minimálutas helyreállítás
 - egyszerű visszatérés: független utas helyreállítás (ennek elosztott implementálása is egyszerű)

Illusztratív példa

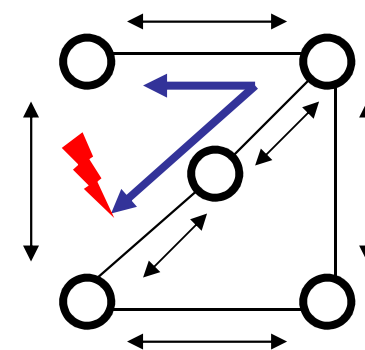
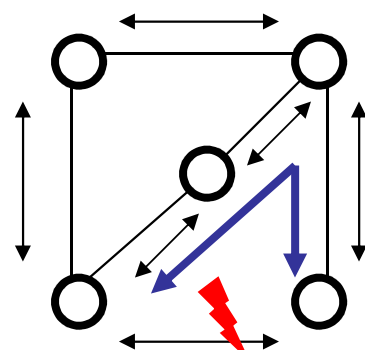
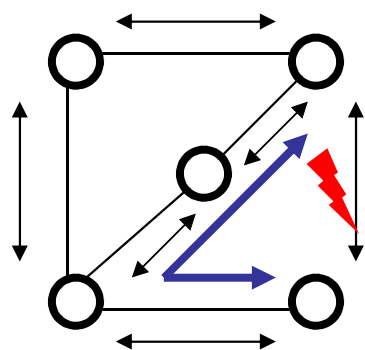
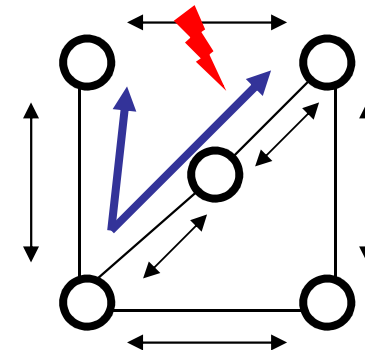
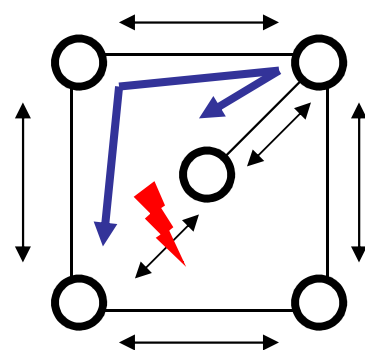
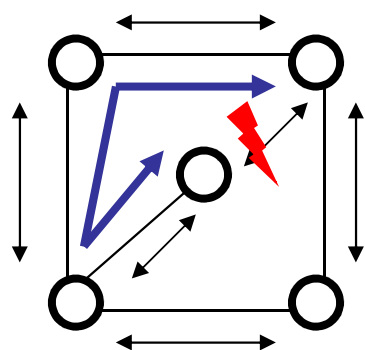
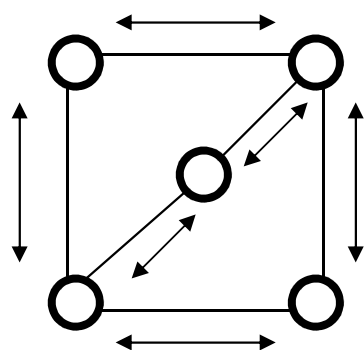
- VC4 szinten átrendezhető tartalékhálózat
- DXC pontok: minden pont
- átrendezési stratégia: úthelyreállítás
- tartalékkapacitások meghatározása



A szomszédos pontok között azonos nagyságú igények, pl. 10 VC4

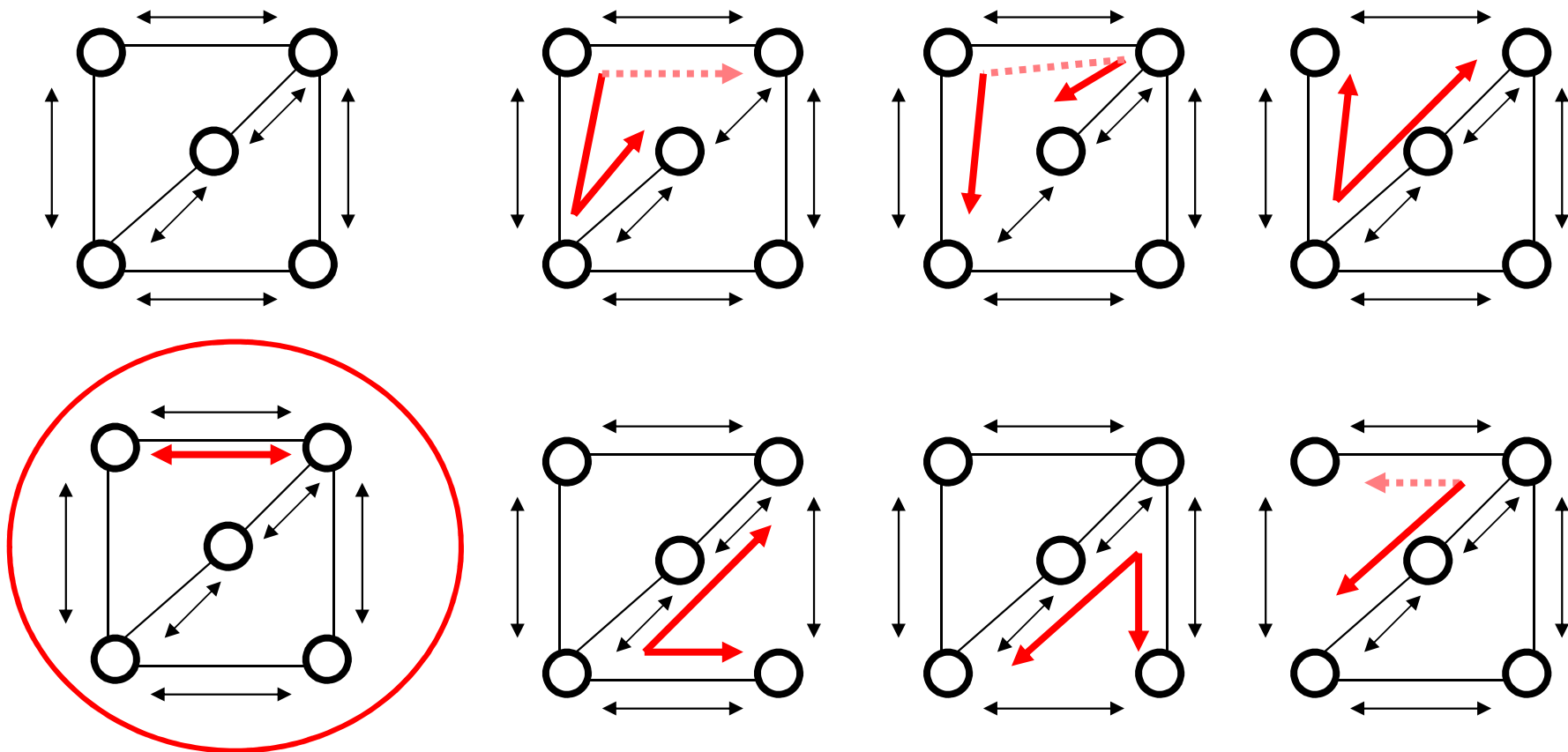
Illusztratív példa

Egyszeres linkhibák vizsgálata



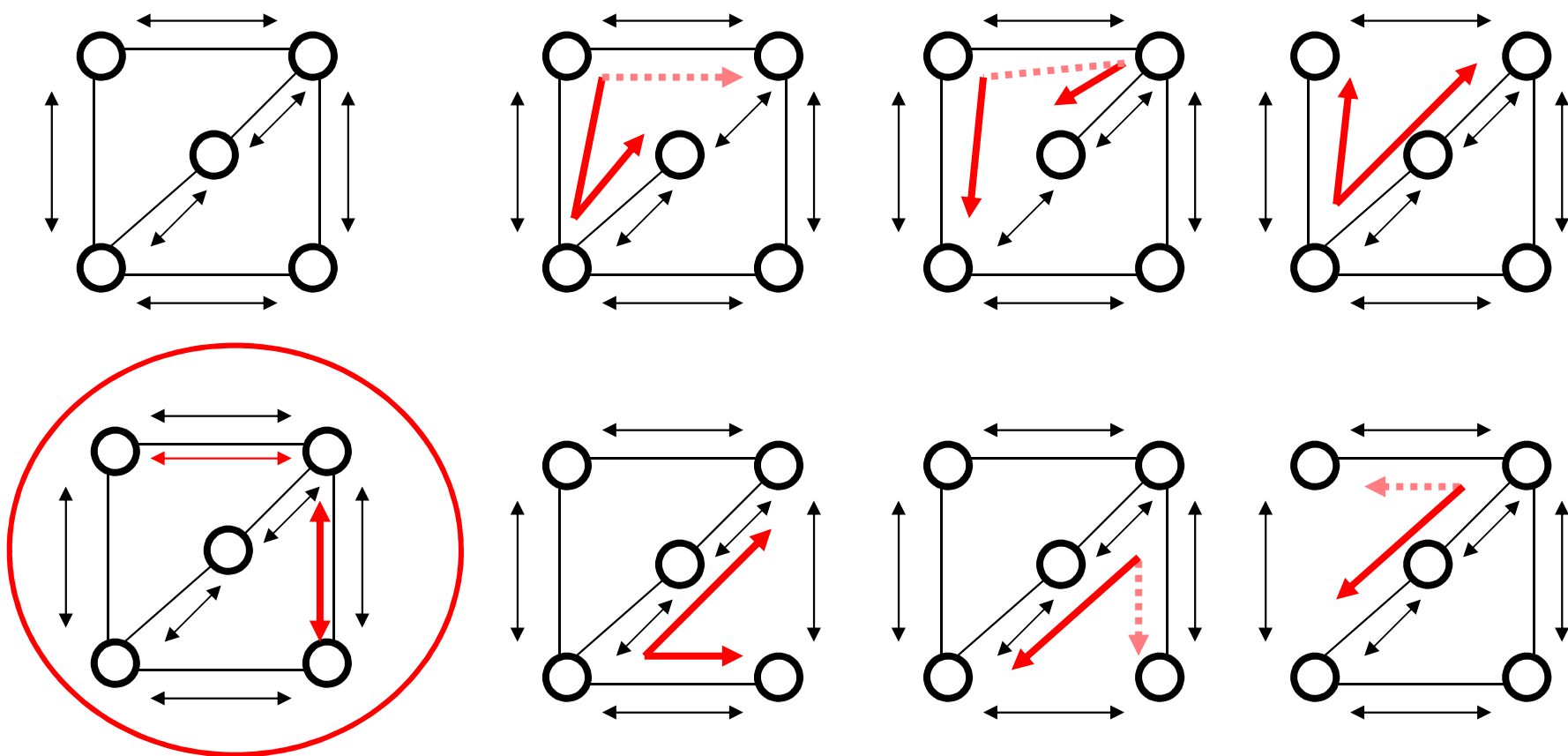
Illusztratív példa

Szükséges tartalékkapacitás



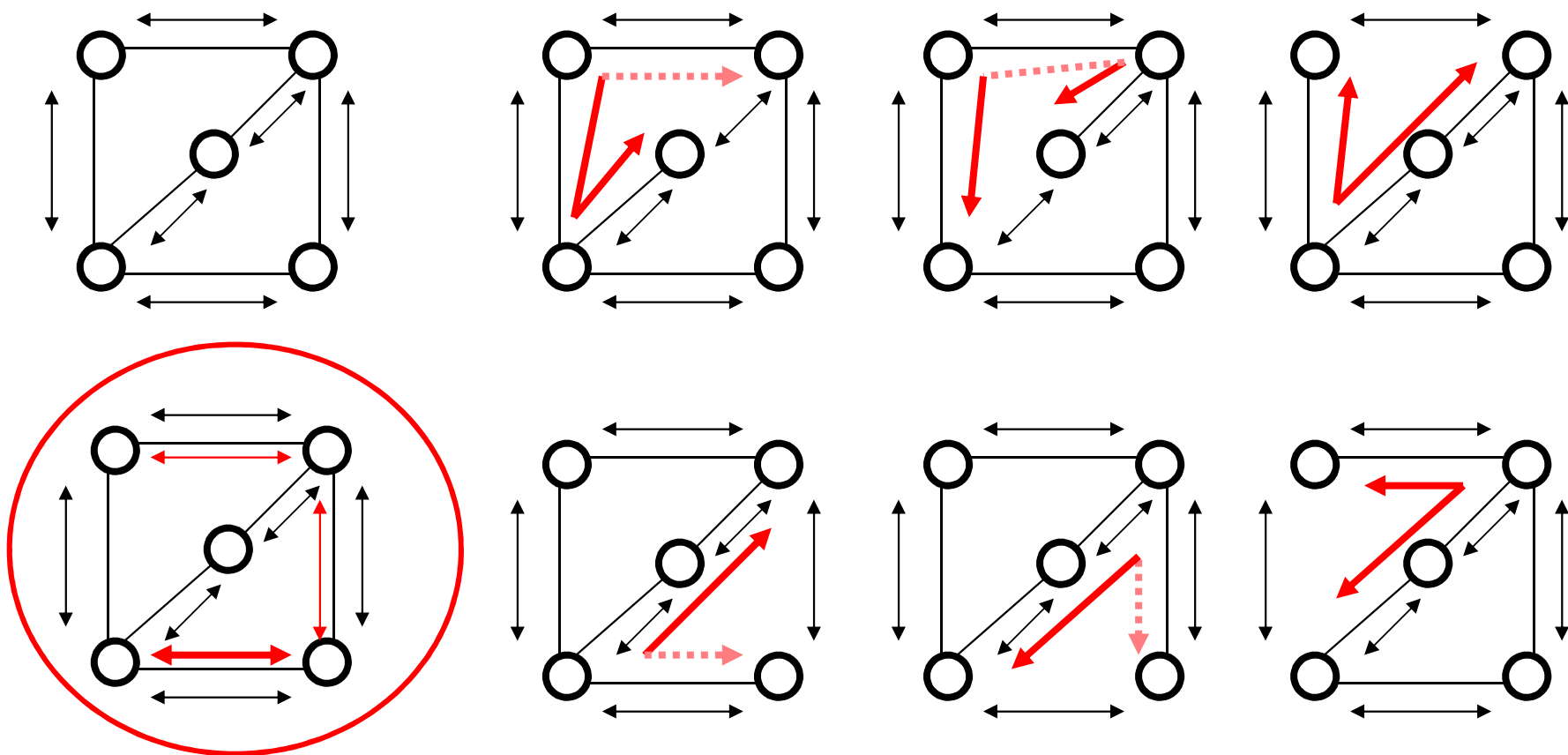
Illusztratív példa

Szükséges tartalékkapacitás



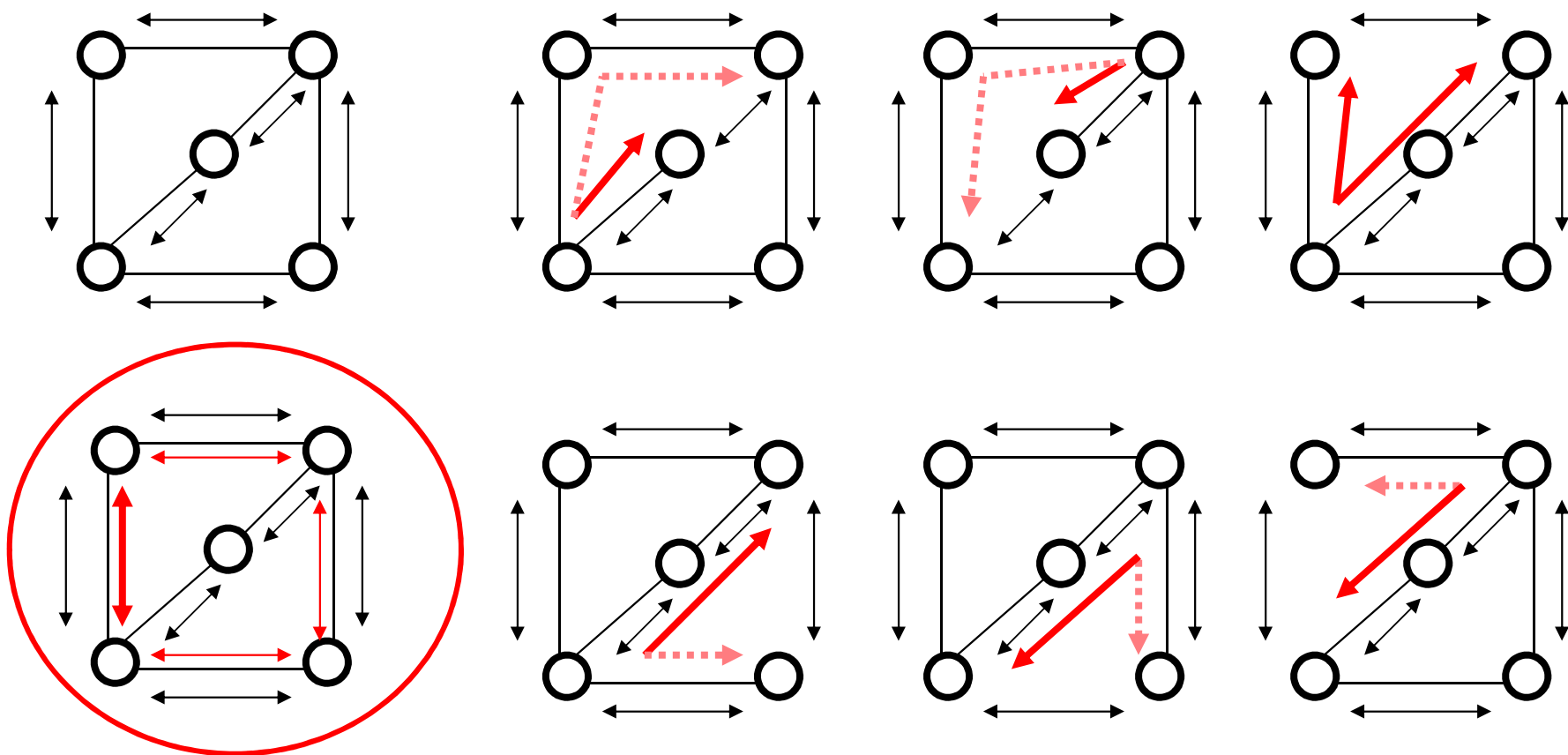
Illusztratív példa

Szükséges tartalékkapacitás



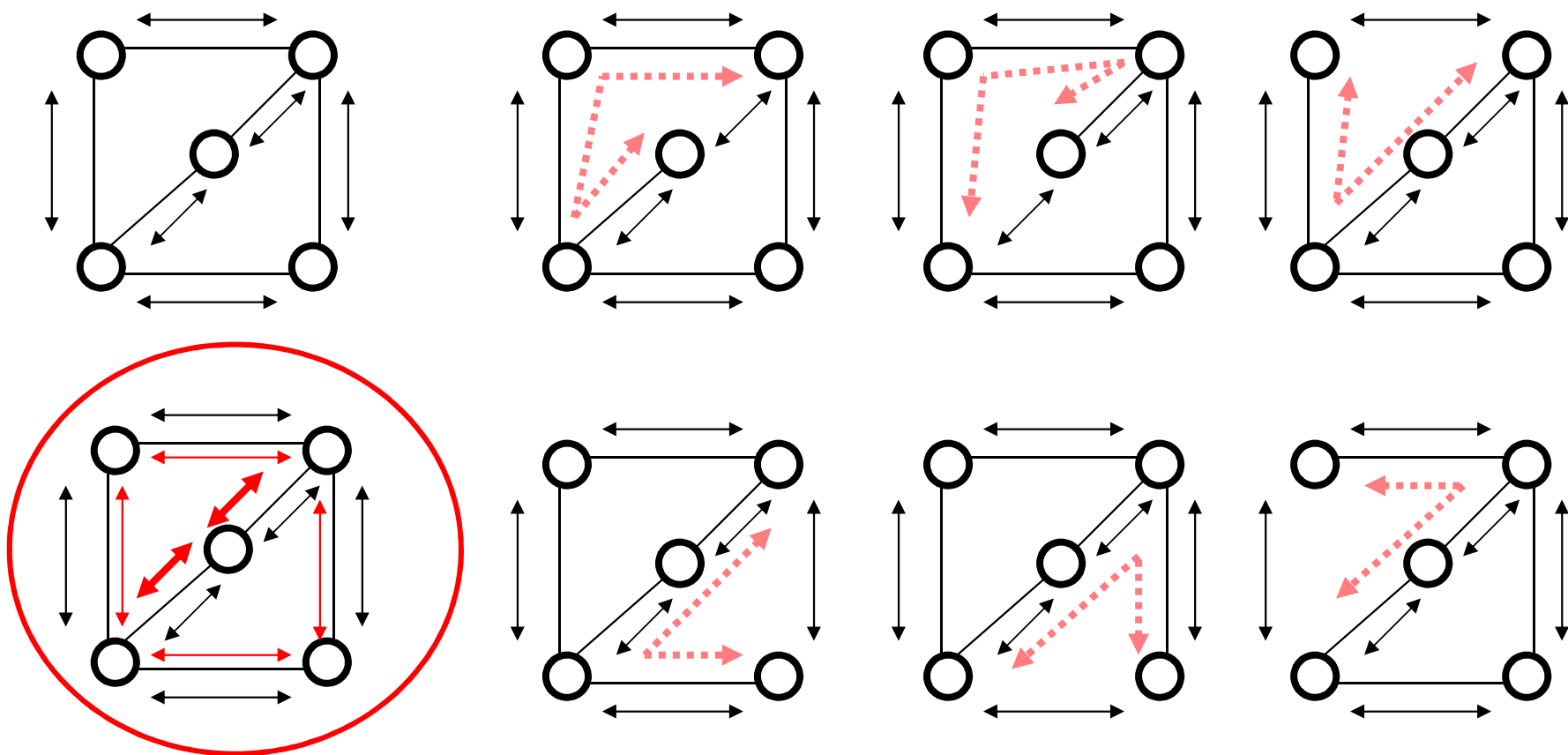
Illusztratív példa

Szükséges tartalékkapacitás



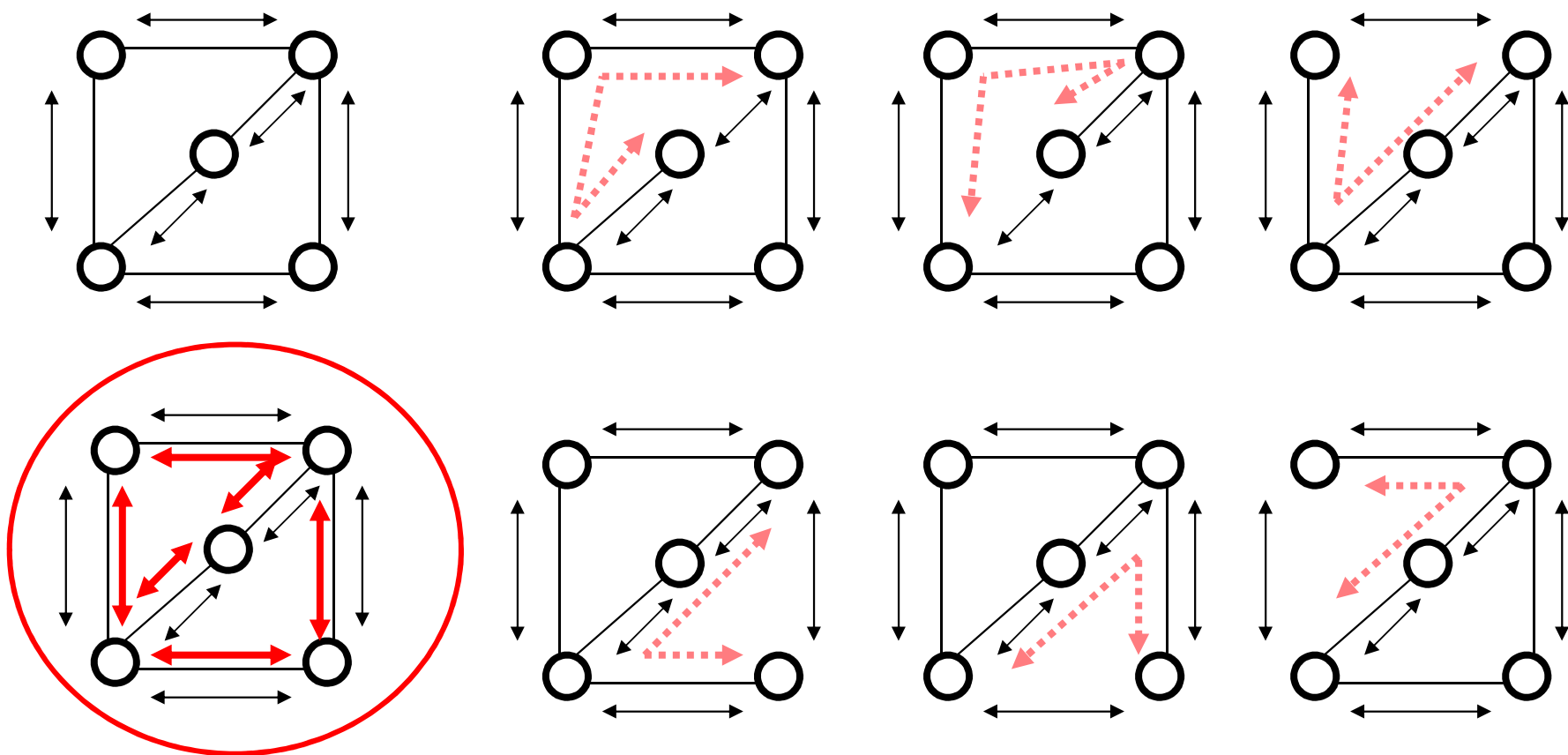
Illusztratív példa

Szükséges tartalékkapacitás



Illusztratív példa

Szükséges tartalékkapacitás



Egy illusztratív példa

- Üzemi hálózat: 6 x STM-16 (6x10 VC4)
- Tartalékhálózattal: 12 x STM-16 (6x20 VC4)
- 1+1 útvédelemmel: 16 x STM-1 (2x20 VC4)
(2x40 VC4)
(2x60 VC4)

Alapsémák összefoglalása

- megosztott út: hibahatás csökkentésére
- teljes vagy részleges védelem (jellegzetesen egy hibára)
- védelem : pont-pont vagy részhálózati, dedikált vagy osztott tartalék
- helyreállítás: részhálózat/hálózat szintű, osztott tartalék

Alapsémák összefoglalása

- áramkör- és/vagy csomagalapú technológiákban is megvalósíthatók
- áramköralapú estekben nem nyilvánvaló, hogy minden csomópont a szükséges felbontással kapcsolóképes, a kapcsolóképeség a konfigurációs flexibilitási követelmény miatt

A védelmi funkció kiterjesztése

- QoP – Quality of Protection
- DiR – Differentiated Reliability
 - homogén technológiai feltételek mellett
 - alapja az igények/forgalmak megkülönböztetése
 - skálázható védelmi séma/működés szükséges
- Többrétegű szerkezetek
 - védelmi képességek megvalósítására több technológiai réteg is alkalmas
 - hatékony erőforrás-felhasználás, redundancia elkerülése
 - együttműködés

A védelem minősége

- Minőségi jellemzők

- eseti

- a kiesett kapacitás mekkora hányadát állítjuk vissza (degradáció?)
 - garantált, részben garantált, nem garantált, preemptív
 - milyen gyorsan reagál hiba által érintett igény szempontjából a hálózat az adott hibára (kiesési idő?)

- statisztikus (megbízhatóság-elmélet, javított rendszerek)

- kiesési időarány - DTR
 - teljesítményindex - PI

Védelmi osztályok

- Alapeset: teljes védelem egyszeres hibák esetére
- De: a különböző minőségű adatforgalmak ennél finomabb felbontású védelmi opciókat igényelnek
- Definíciók:
 - QoP – a védelem mértéke különböző hibaesetekben
 - R_1 szolgáltatás: védelem egyszeres szakaszhibák ellen
 - R_2 szolgáltatás: védelem kétszeres szakaszhibák ellen
- Védelmi séma: helyreállítás

Védelmi osztályok

Additív osztály

Alapvető osztályok

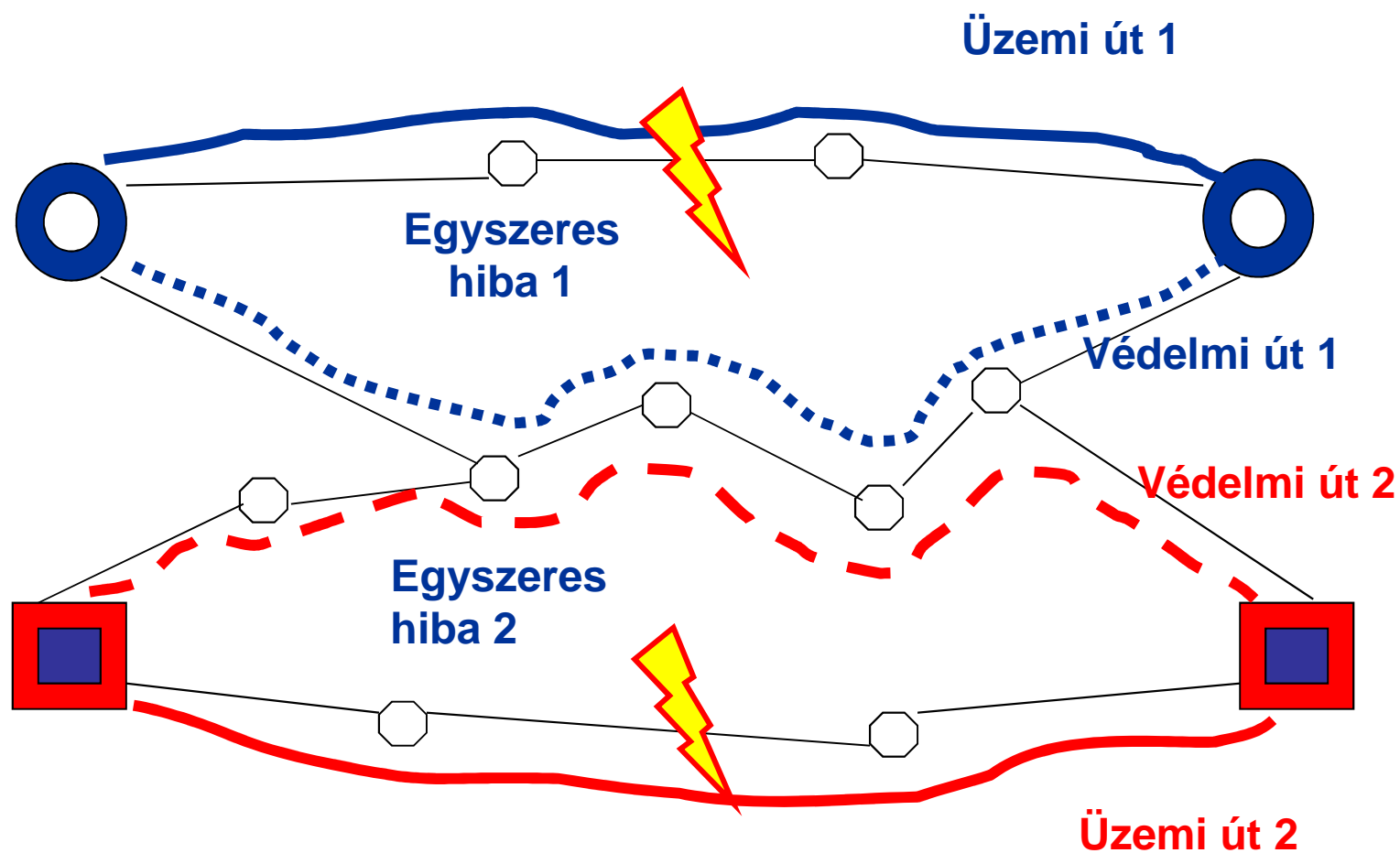
Platina	Garantált védelem minden kétszeres linkhiba ellen (R_2 szolgáltatás)
Arany	Garantált védelem minden egyszeres linkhiba ellen (R_1 szolgáltatás)
Ezüst	Nem garantált védelem az Arany osztály védelemi akcióinak lezárulása után (a maradék kapacitáson)
Bronz	Nem védett
Takarékos	Nem védett, üzemi kapacitásai a latina, az Arany és az Ezüst (pre-emptív) osztályok védelmi céljaira felhasználhatók

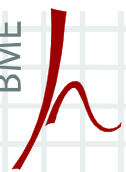
Reagálási sebességek

- Az idő – pénz
 - Minél hosszabb a kiesés, annál nagyobb veszteség.
 - A gyors reagáláshoz egyszerű működési mechanizmus szükséges → alacsony hatékonyságú osztokodás.
 - A reagálási sebesség arányos az akcióban (kapcsolás) résztvevő csomópontok számával.

Helyreállítás igény szerinti reagálási idővel

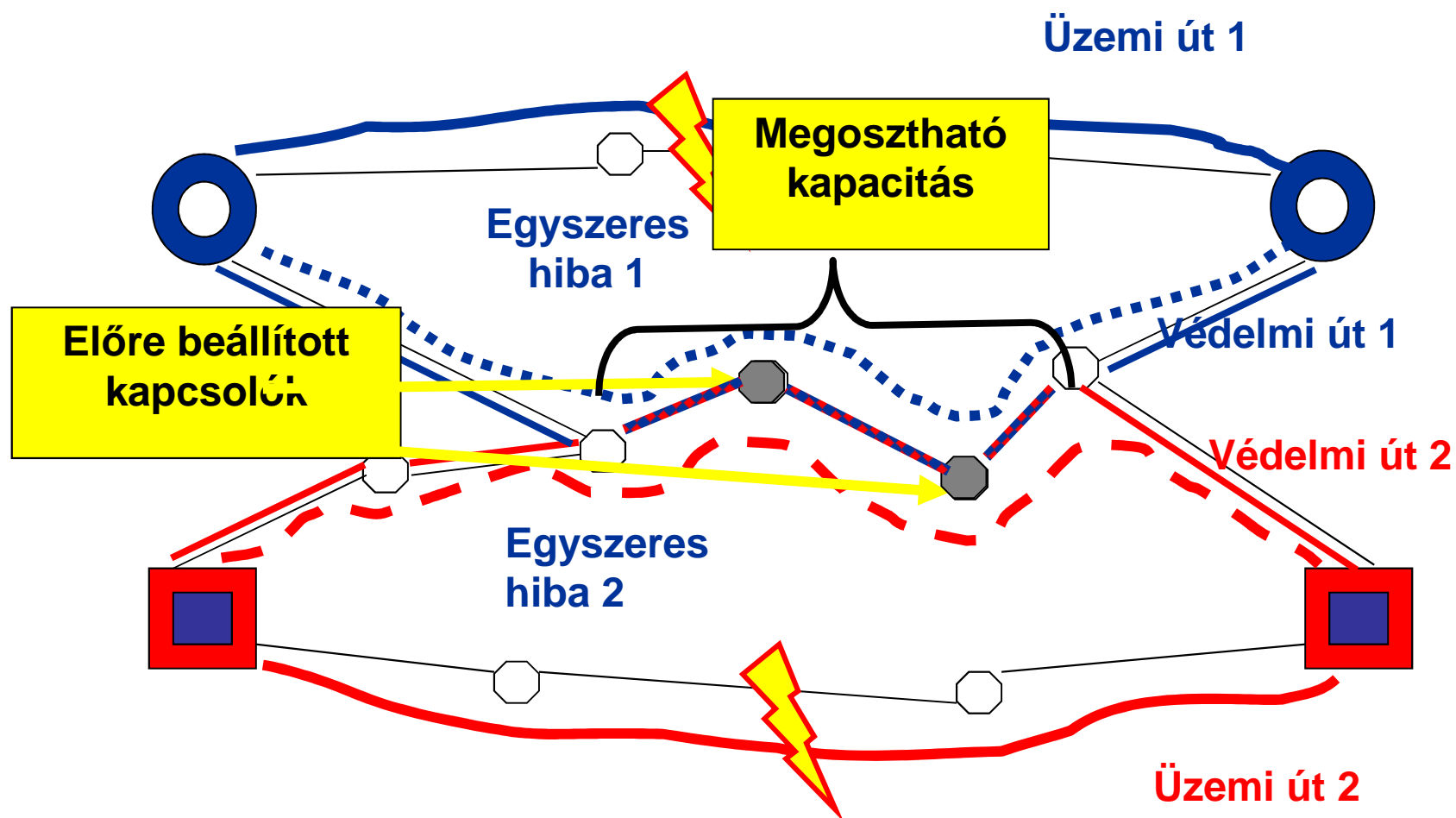
4/1





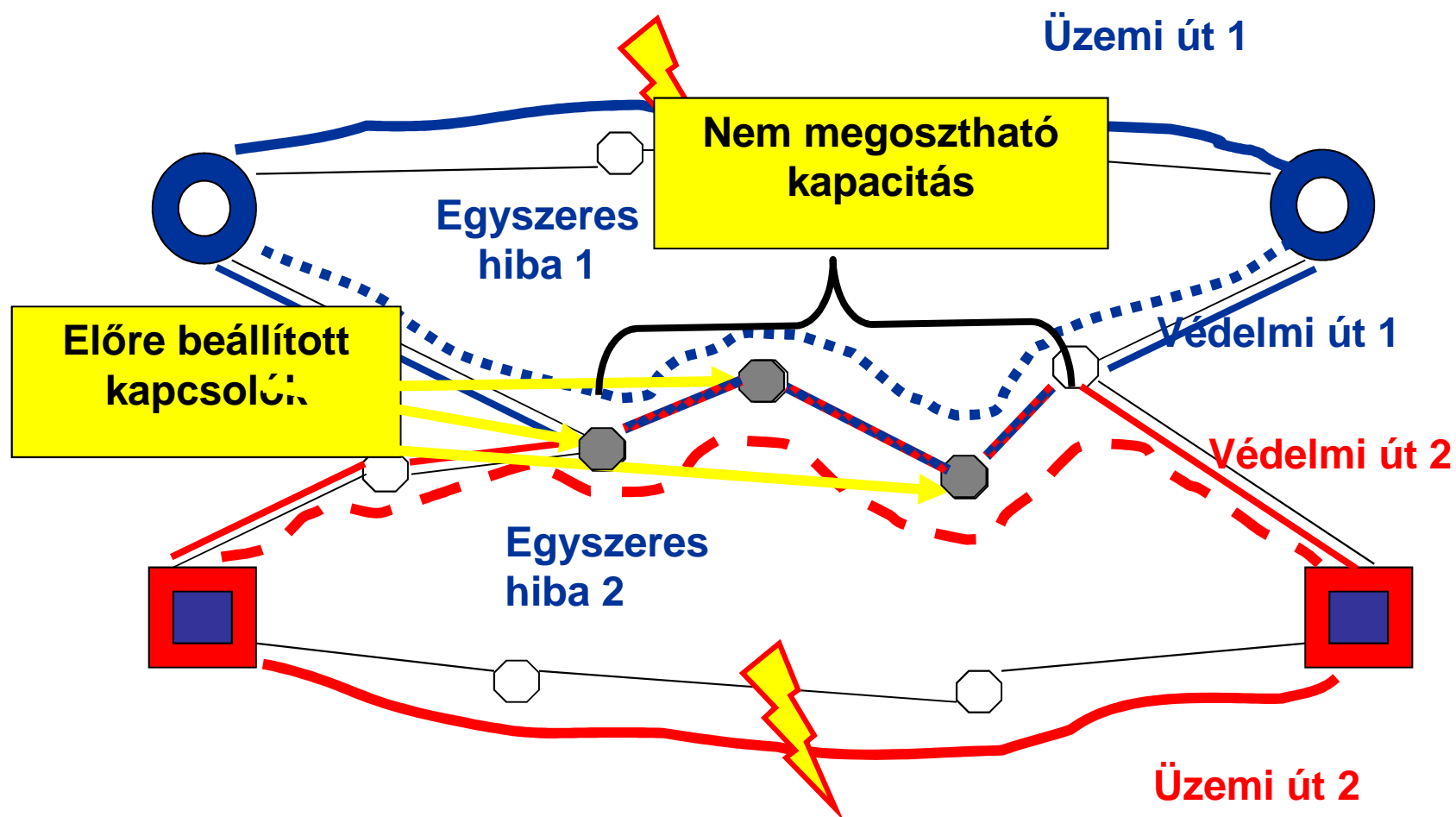
Helyreállítás igény szerinti reagálási idővel

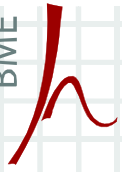
4/2



Helyreállítás igény szerinti reagálási idővel

4/3





Helyreállítás igény szerinti reagálási idővel

4/4

- A két véglet:
 - 1+1: gyors reagálás, nagy többletkapacitás
 - maximális osztózkodású helyreállítás: viszonylag lassú reagálás, minimális többletkapacitás

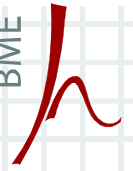
Többrétegű védelem

- védelmi képességek megvalósítására több technológiai réteg is alkalmas
- hatékony erőforrás-felhasználás, redundancia elkerülése
- együttműködés

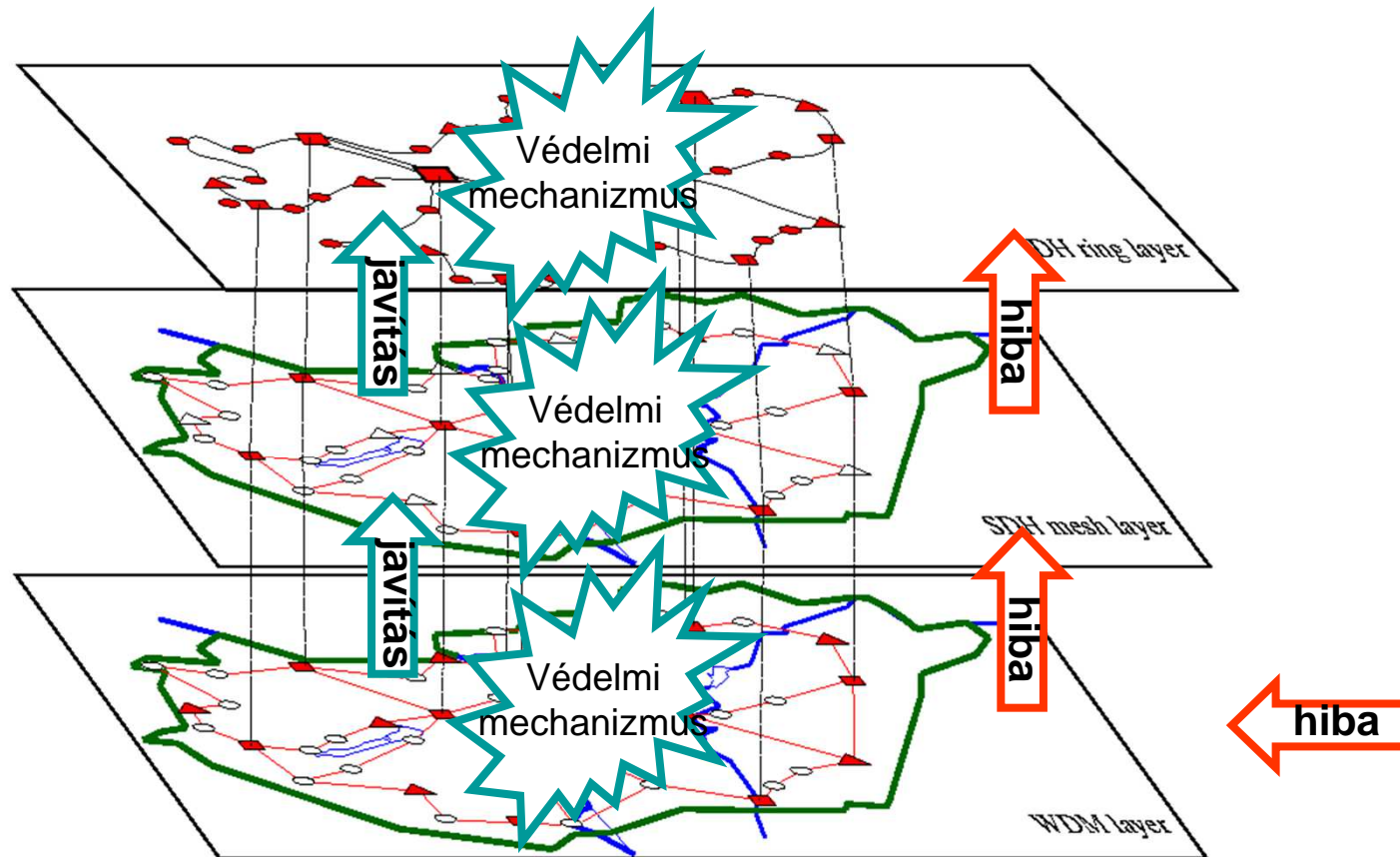


Hibahatások többretegű védelem esetén

- hibaesemény egy adott rétegben
- a hibahatás felfelé (kliensek felé) továbbterjed
 - pl. egy kábelhiba -> több átviteli rendszer kiesése ...
- a védelmi mechanizmus (ha van) reagál
- a védelmi mechanizmus működésének eredménye felfelé (kliensek felé) továbbterjed

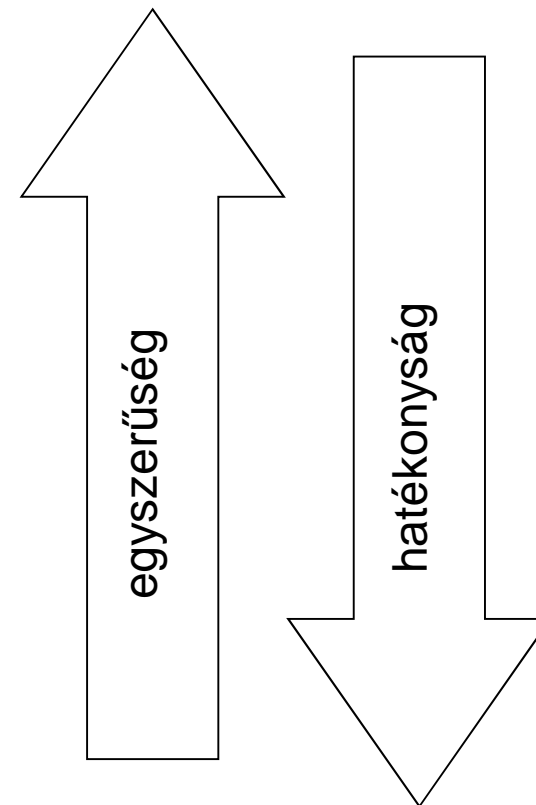


Hibahatások többrétegű védelem esetén

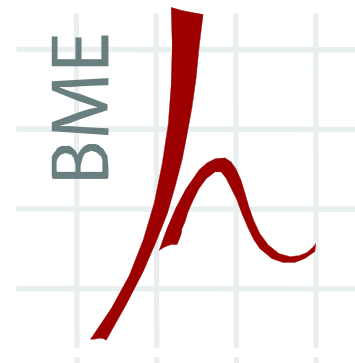


Együttműködés többretegű védelem esetén

- Az együttműködés mértéke:
 - nincs - független működés -> instabilitás veszélye
 - információcsere nélkül, konfigurálási alapon – időzítés -> az elérhetőnél lassabb reagálás
 - minimális információcsere – token -> rétegenként független tartalékok
 - szoros együttműködés – integrált menedzsment -> eltérő alapon működő technológiai rétegek együttes menedzselése



*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Villamosmérnöki szak, mesterképzés - szakirányok*



VIHIMA07 Mobil és vezeték nélküli hálózatok

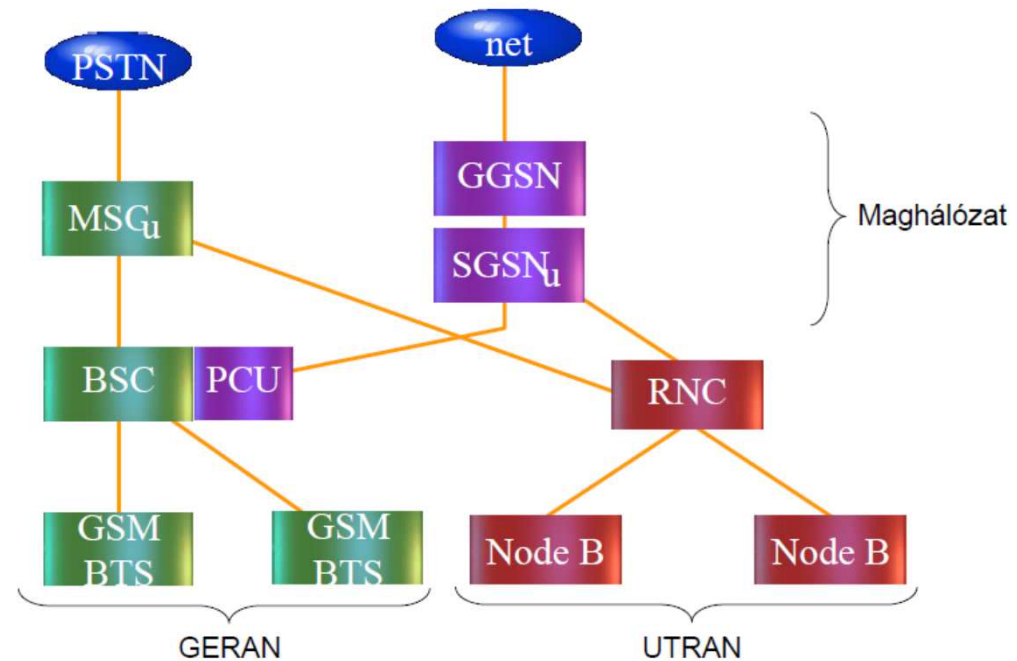
3. Mobil adatszolgáltatások – Szolgáltatói Ethernet a backhaulban

Szegedi Péter
(korábban MT PKI, jelenleg Serena) munkái alapján
összeállította Jakab Tivadar
Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
jakab@hit.bme.hu

I.B.123

Mobil adatszolgáltatások

- Mobil adatszolgáltatások (GPRS, EDGE) megjelenésével a backhaulban is adattranszport
- Mik között?
 - PCU – SGSN
 - RNC – SGSN
 - SGSN – GGSN
 - GGSN – PDN
- Jelzés, adat, szinkron
- Hálózati redundanciák, védelmek
- Menedzselhetőség



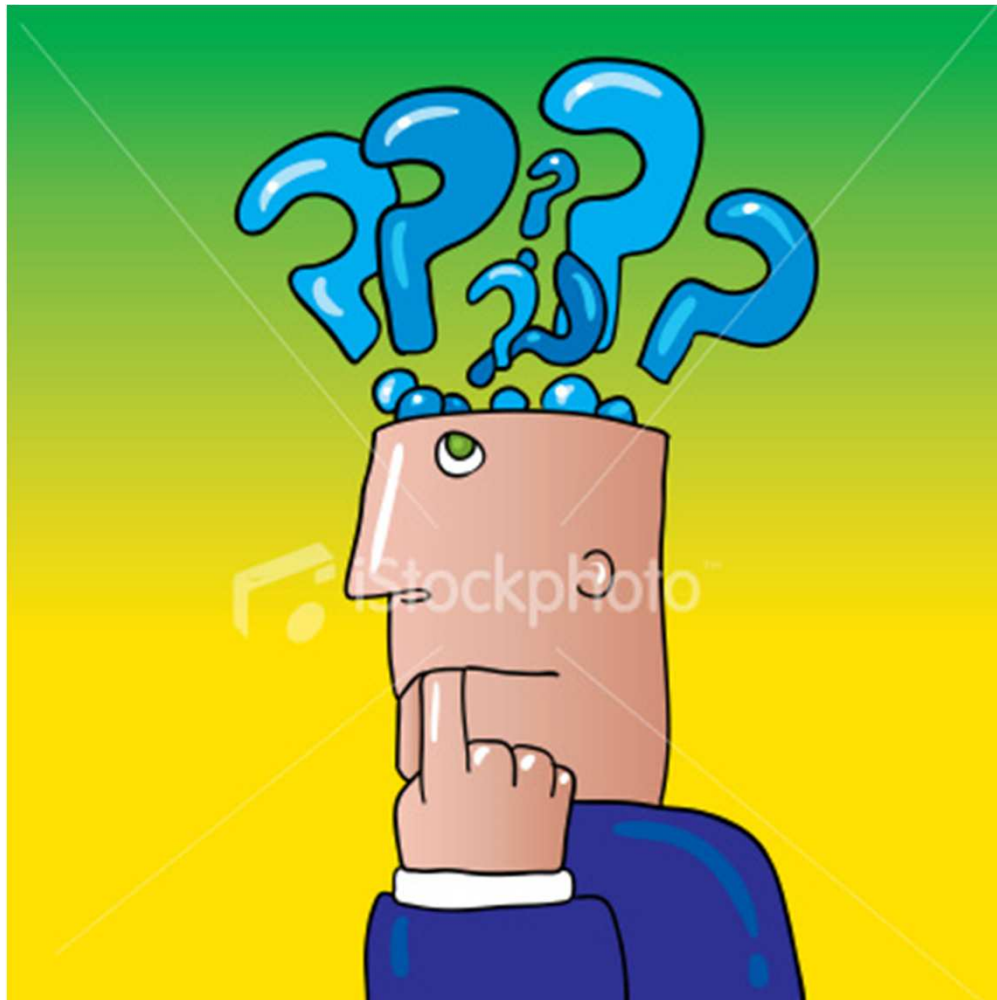
PDN – Public Data Network

Mobil adatszolgáltatások backhaulja

- Korábbi definíciós szakaszban IP-ATM-SDH
 - ATM alapú aggregáció
 - SDH alapú ATM transzport
 - ezzel most nem foglalkozunk
- Aktuálisan IP - Ethernet – optika (DF és/vagy WDM)
 - az IP egyre inkább IP/MPLS
 - az Ethernet szolgáltatói kategóriájú Ethernet (a LAN-okból ismert technológia továbbfejlesztése)

(Megjegyzés: az Ethernetet szállíthatja ng SDH is, hibrid ng SDH - Ethernet eszközök is vannak – pl. Alcatel, forgalomaggregálás VLAN switching)

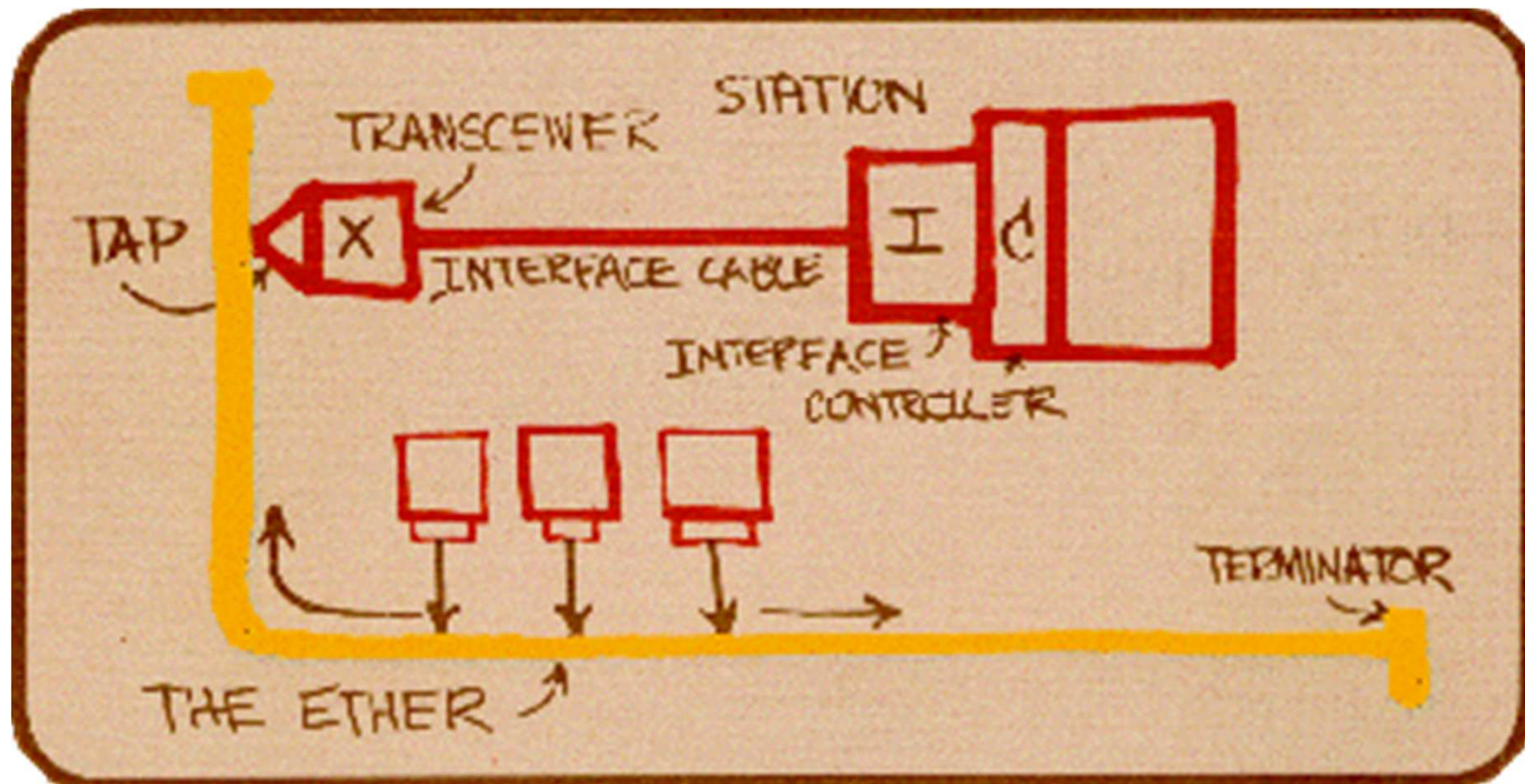
Ethernet...



1. Protokoll
2. Technológia
3. Szolgáltatás

PROTOKOLL

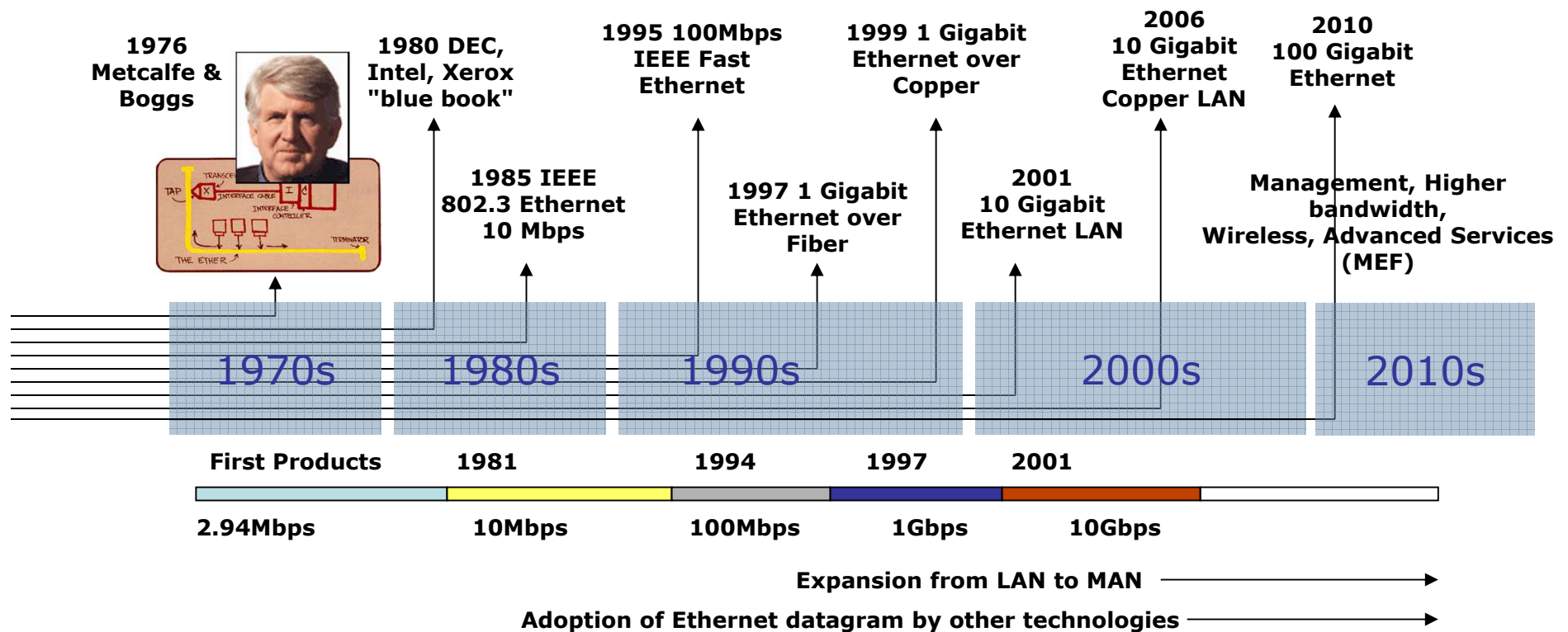
1. Protokoll



Robert Metcalfe, May 22, 1973, Alto Ethernet

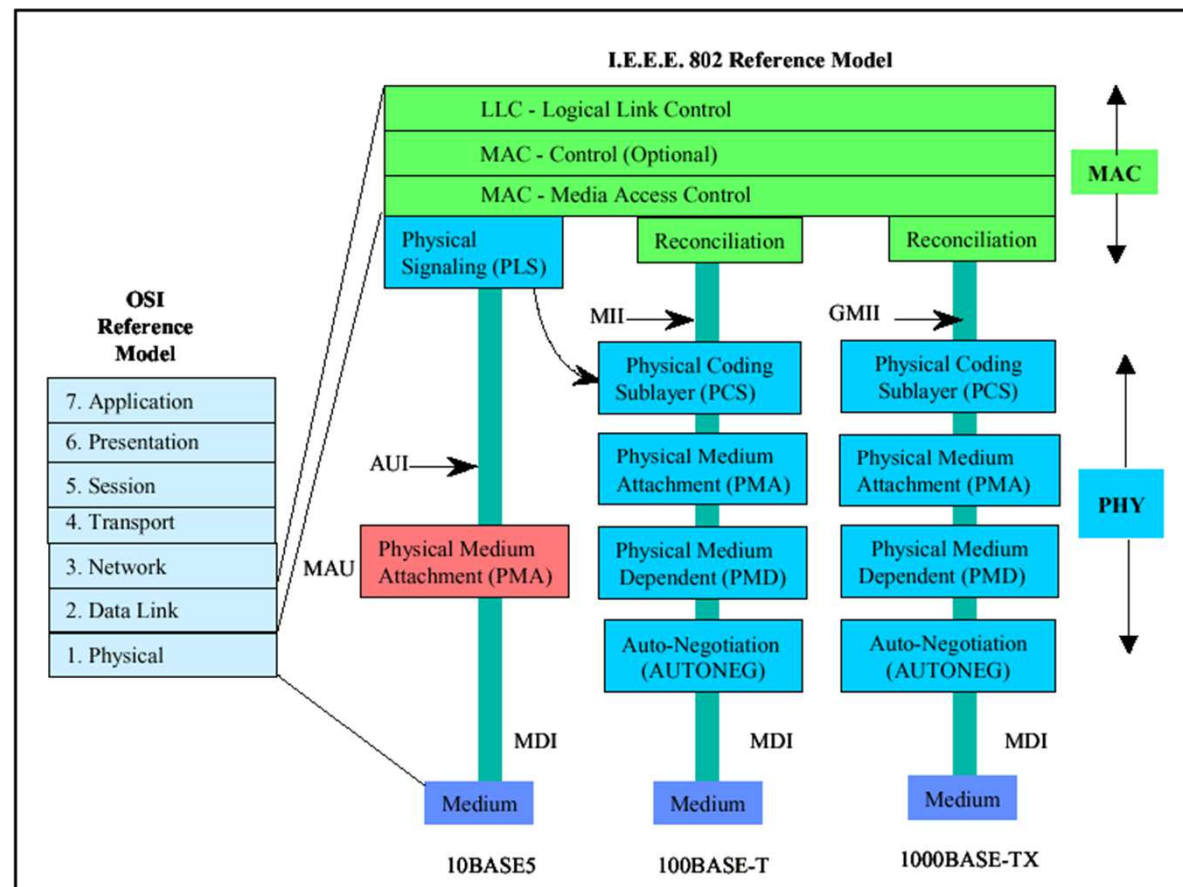
Ethernet protokoll

Metcalfe created Ethernet ... and he saw it was good!

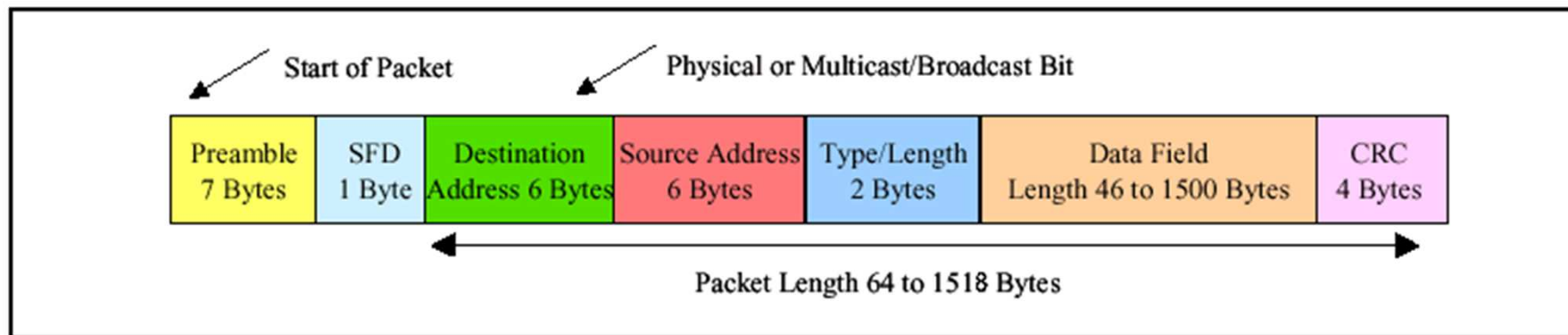


Ethernet protokoll

- Ethernet keret
- CSMA/CD
- MAC
- LLC



Ethernet keret



Fizikai réteg: Manchester kódolás

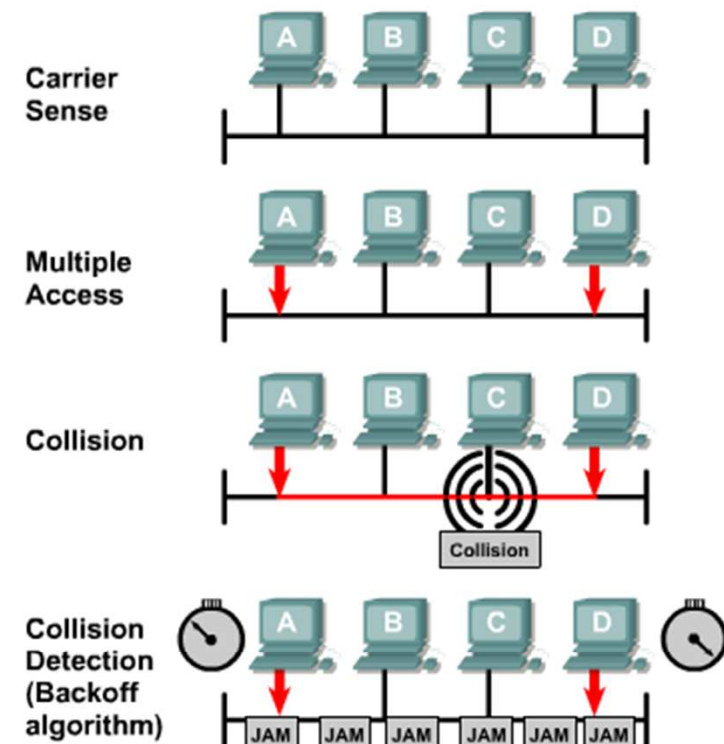
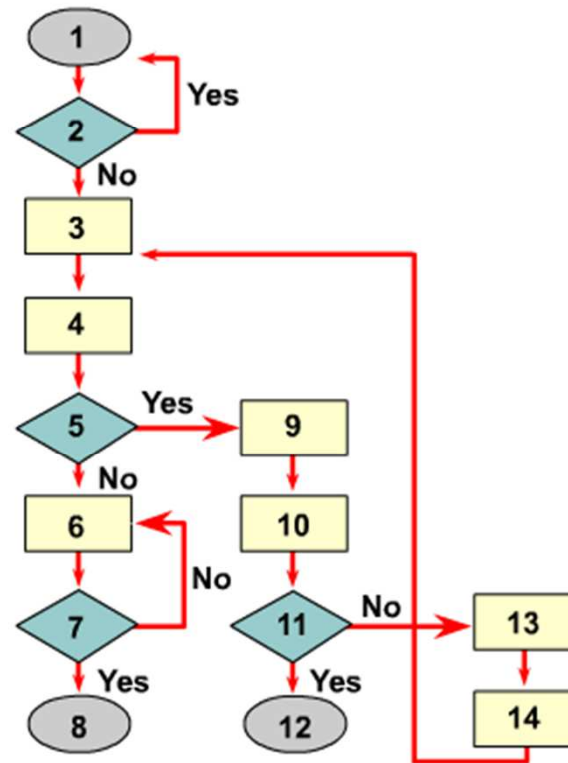
Keretfelépítés:

- 7 bájt előtag: 10101010... (10 MHz-es, 5,6 μ s-os négyszögjel)
- 1 bájt keret kezdet
- 6 bájt célcím
- 6 bájt forráscím
- 2 bájt adatmező hossz: egész keret min. 64 bájt max. 1518 bájt
adatmező min. 46 bájt max. 1500 bájt
- 4 bájt CRC ellenőrző összeg

CSMA/CD

- Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
- Osztott közeg hozzáférés üzenetszórással
- Kapcsolókkal szegmentált közegben nincs jelentősége
- Full-Duplex üzemmódban nincs jelentősége

1. Host wants to transmit
2. Is carrier sensed?
3. Assemble frame
4. Start transmitting
5. Is a collision detected?
6. Keep transmitting
7. Is the transmission done?
8. Transmission completed
9. Broadcast jam signal
10. Attempts = Attempts + 1
11. Attempts > Too many?
12. Too many collisions; abort transmission
13. Algorithm calculates backoff
14. Wait for t microseconds



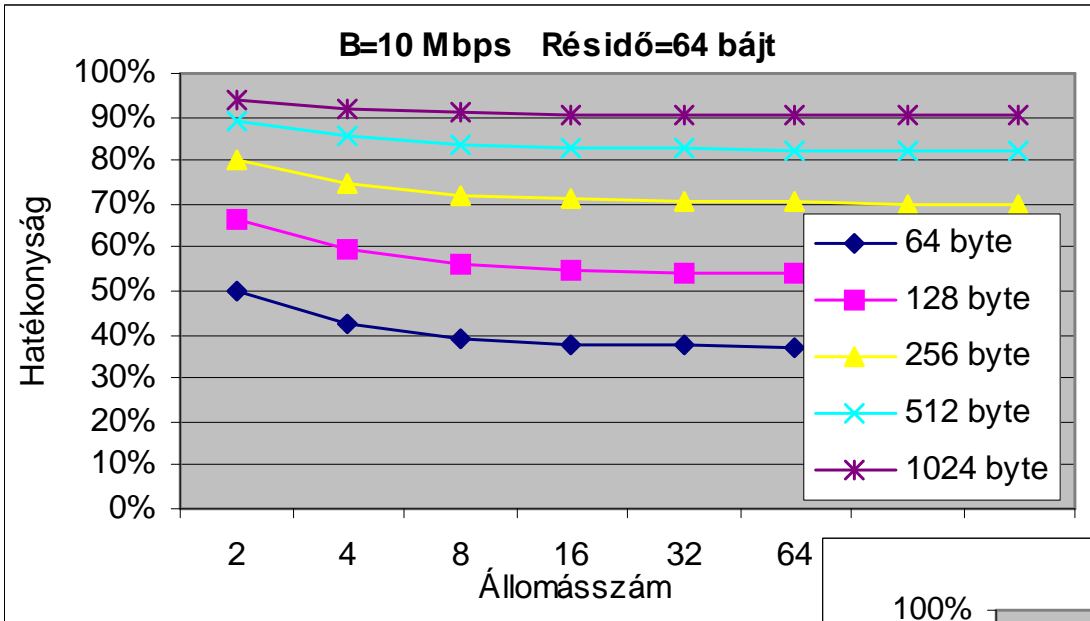
Kettes exponenciális visszalépéses, 1-prezisztens, CSMA/CD vivőjel-érzékeléses többszörös hozzáférésű protokoll

1. Versengés
2. Átvitel
3. Tétlen szakasz

$$Csatornahatékony\!s\!a\!g = \frac{Keretküldés}{Keretküldés + Versengés} = \frac{T}{T + 2\tau \frac{1-A}{A}}$$

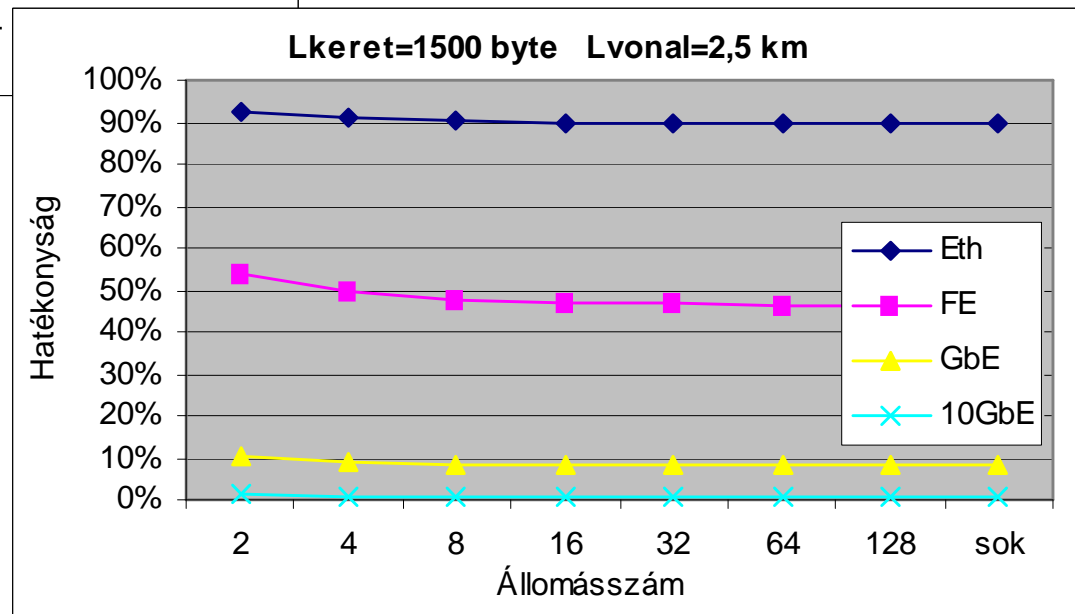
$$A = kp(1-p)^{k-1} = \left(1 - \frac{1}{k}\right)^{k-1}; p = \frac{1}{k} \text{ esetén}$$

CSMA/CD teljesítménye



Hatékonyság - keretméret

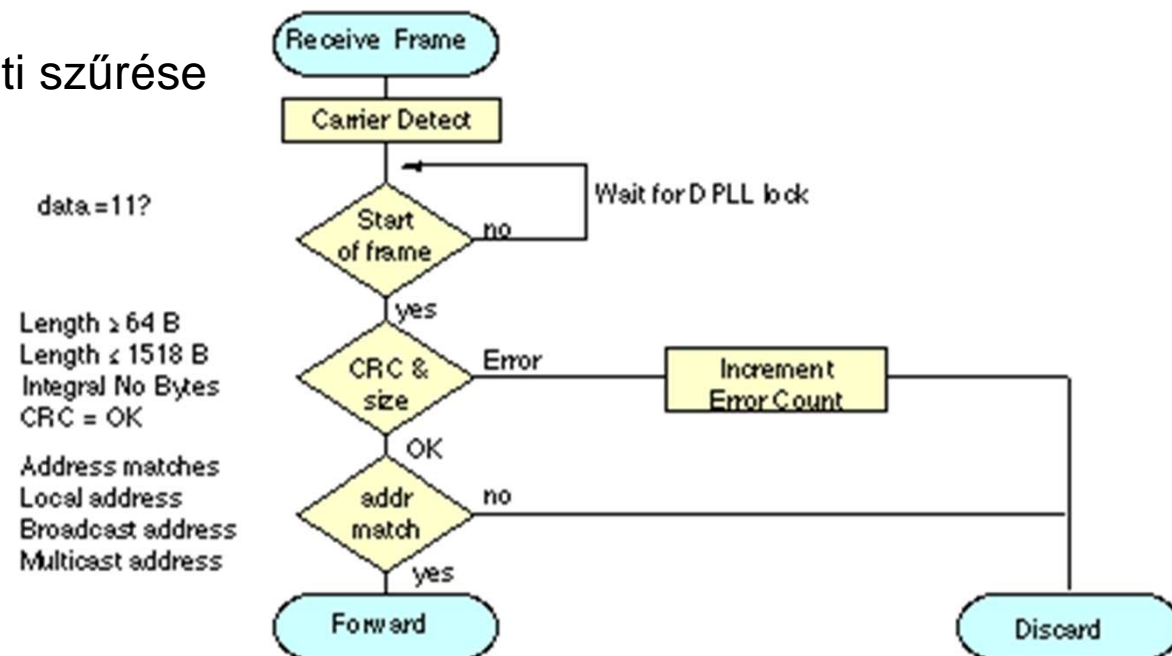
Hatékonyság - sebesség



Media Access Control

Főként LAN hálózatokban, a közeg használatának vezérléséért felelős protokoll

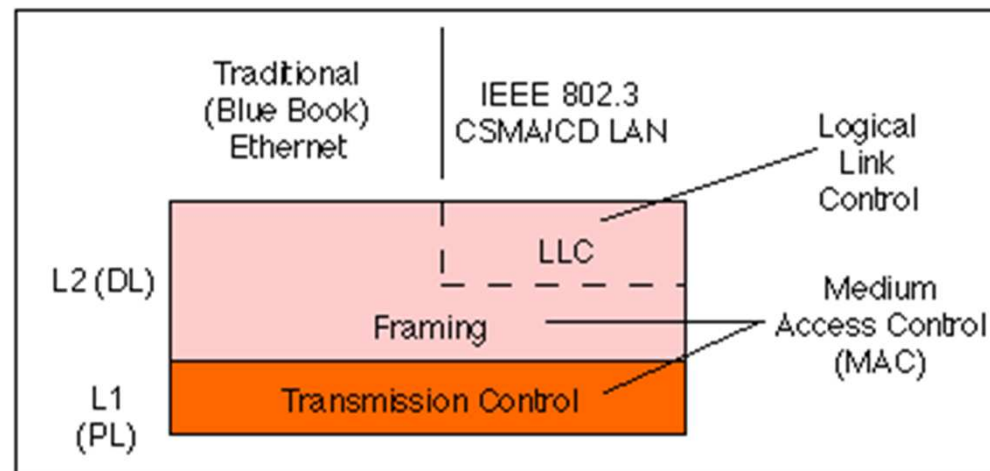
- kerethatárok felismerése
- célállomás címezése
- forrás címének elküldése
- Ethernet alrétegek ekvivalens információinak transzparens továbbítása
- hibavédelem
- fizikai átviteli közeghez való hozzáférés vezérlése
- forgalomszabályozás
- keretek célcím szerinti szűrése



Logical Link Control

IEEE 802 szabványcsalád egységes felületet mutat a felsőbb rétegek felé

- LLC fejrész: sorszám és nyugtaszám
- Logikai kapcsolatvezérlés
- Szolgáltatás hozzáférési pontok (SAP) definiálása
- Adatfolyam szervezés (parancsok és nyugták is!)
- Parancsokat értelmez
- Válaszokat generál
- Helyreállítási funkciókat lát el



3. Nagysebességű Ethernet szabványok

- Fast Ethernet
- Gigabit Ethernet
- 10 Gigabit Ethernet
- 100 Gigabit Ethernet

Jellemzők	10/100 Mbps	1 Gbps	10 Gbps	100 Gbps
<i>Ütköztetési ablak</i>	64 byte	512 byte	n.a.	n.a.
<i>Keretek közötti idő</i>	96 bit	96 bit	96 bit	96 bit
<i>Keretküldési próbálkozás</i>	16	16	n.a.	n.a.
<i>Visszalépési algoritmus limitje</i>	10	10	n.a.	n.a.
<i>Maximális keretméret</i>	1518 byte	1518 byte	1518 byte	1518 byte
<i>Minimális keretméret</i>	64 byte	64 byte	64 byte	64 byte

Szabvány szám	Kibocsátás éve	Elnevezés	Sebesség	Vonali hossz	Médium
802.3	1983	10BASE5	10 Mbps	500 m	Vastag koax
802.3a	1988	10BASE2	10 Mbps	185 m	Vékony koax
802.3b	1985	10BROAD-36	10 Mbps	1.8 km	Szélessávú koax
802.3e	1987	1BASE5	1 Mbps	250 m	UTP (2 pár)
802.3i	1990	10BASE-T	10 Mbps	100 m	UTP (2 pár, cat.3+)
802.3j	1993	10BASE-FP	10 Mbps	500 m	Többmódusú optika
802.3j	1993	10BASE-FB	10 Mbps	2 km	Többmódusú optika
802.3j	1993	10BASE-FL	10 Mbps	2 km	Többmódusú optika
802.3u	1995	100BASE-T4	100 Mbps	100 m	UTP (4 pár, cat.3+)
802.3u	1995	100BASE-TX	100 Mbps	100 m	UTP, STP (2 pár, cat.5)
802.3u	1995	100BASE-FX	100 Mbps	2 km	Többmódusú optika
802.3y	1997	100BASE-T2	100 Mbps	100 m	UTP (2 pár, cat.3+)
802.3z	1998	1000BASE-LX	1 Gbps	550 m / 5 km	Több- v. egymódusú opt
802.3z	1998	1000BASE-SX	1 Gbps	220 - 550 m	Többmódusú optika
802.3z	1998	1000BASE-CX	1 Gbps	25 m	STP (2 pár)
802.3ab	1999	1000BASE-T	1 Gbps	100 m	UTP (4 pár, cat.5)
802.3ae	2002	10GBASE-SR	10 Gbps	300m	Többmódusú optika
802.3ae	2002	10GBASE-LR	10 Gbps	10 km	Egymódusú optika
802.3ae	2002	10GBASE-ER	10 Gbps	40 km	Egymódusú optika
802.3ae	2002	10GBASE-LX4	10 Gbps	300 m / 10 km	Több- v. egymódusú opt
802.3ae	2002	10GBASE-SW	10 Gbps	300 m	Többmódusú optika
802.3ae	2002	10GBASE-LW	10 Gbps	10 km	Egymódusú optika
802.3ae	2002	10GBASE-EW	10 Gbps	40 km	Egymódusú optika

S, L, E – 850, 1310, 1550 nm hullámhosszak
W, R, X – WAN PHY, LAN PHY, 8B/10B LAN PHY
2,4,5 – vékony koax, CWDM, koax

40Gbps és 100Gbps Ethernet

Physical Layer Reach	1 m Backplane	7 m Copper Cable	100 m OM3, 125 m OM4 MMF	2 km SMF	10 km SMF	40 km SMF
----------------------	---------------	------------------	--------------------------------	----------	-----------	-----------

40 Gigabit Ethernet: Target Applications – Servers, Data Center, Campus, Metro, Backbone

Name	40GBASE-KR4	40GBASE-CR4	40GBASE-SR4	40GBASE-FR	40GBASE-LR4
Signaling on Media	4 x 10 Gb/s	4 x 10 Gb/s	4 x 10 Gb/s	1 x 40 Gb/s	4 x 10 Gb/s
Media	Copper Backplane	Twinax Cable	MPO MMF	Duplex SMF	Duplex SMF
Module/Connector		QSFP Module, CX4 Interface	QSFP Module	CFP Module	CFP Module, QSFP Module
Availability	No Known Development	2010	2010	2011-2012	CFP 2010 QSFP 2011-2012
Price	\$\$	\$\$	\$\$	\$\$\$\$	\$\$\$\$

100 Gigabit Ethernet: Target Applications – Data Center, Campus, Metro, Backbone, WAN

Name		100GBASE-CR10	100GBASE-SR10		100GBASE-LR4	100GBASE-ER4
Signaling on Media		10 x 10 Gb/s	10 x 10 Gb/s		4 x 25 Gb/s	4 x 25 Gb/s
Media		Twinax Cable	MPO MMF		Duplex SMF	Duplex SMF
Module/Connector		CXP Module	CXP Module, CFP Module		CFP Module	CFP Module
Availability		2010	2010		2010	2011-2012
Price		\$\$\$	\$\$\$		\$\$\$\$\$	\$\$\$\$\$

IEEE 802.3ba Physical Layer Specifications

Technológia

TECHNOLÓGIAI ALAPOK

Szerepkör módosulás

LAN -> MAN, WAN

TECHNOLÓGIA

- Átviteli közegek módosulása:
 - Koax, UTP, Optika
- Átviteli sebességek módosulása:
 - 10, 100, 1000, 10G 100G Ethernet
- Új típusú hálózati eszközök:
 - Ethernet kapcsolók

IGÉNYEK

- Alacsony bevezetési költség
- Egyszerű eszközök
- Egyszerű működés
- Növekvő sávszélesség igények
- Hálózatok összekapcsolása
- Aggregált forgalmak kezelése
- Gerinchálózati szerepkör

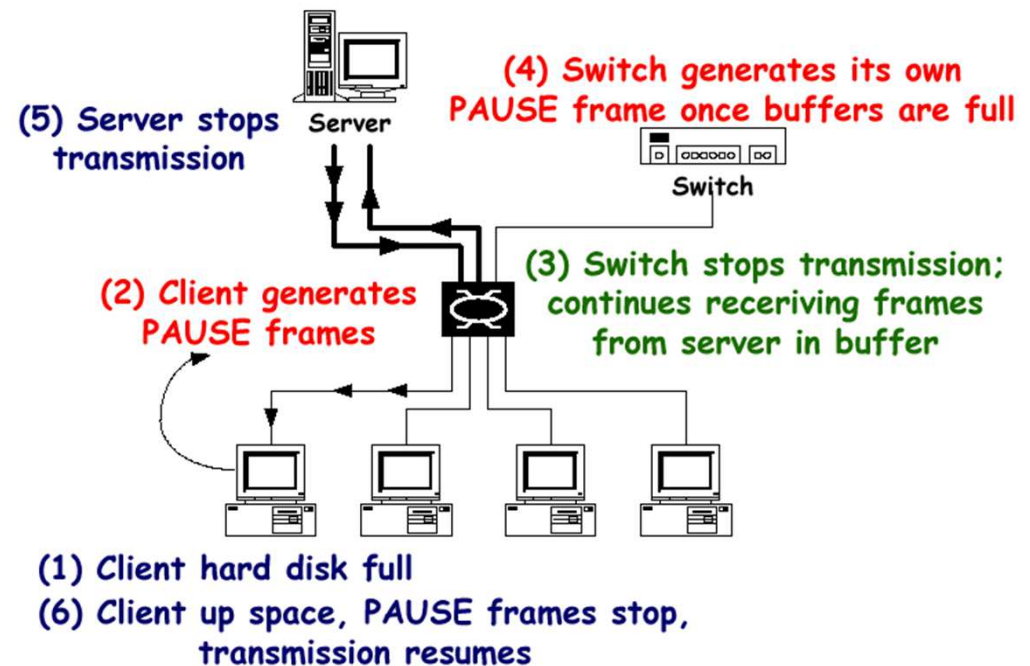
Megváltozott szerepkörhöz új típusú funkciók szükségesek!

1. Átviteli közegek

- **Koax**
 - 1983: vastag koax (500 m)
 - 1985: vékony koax (185 m) „Cheapernet”
- **UTP (STP)**
 - 1990: árnyékolatlan sodort érpár
 - Csillag topológia (busz emuláció), HUB csomópont
 - 3-as és 5-ös kategóriájú kábelek
- **Optika**
 - 1993: szabványos optikai interfész
 - Egymódusú, többmódusú optikai kábelek
 - 1Gbps ~80 km, 10MGbps ~40 km, 100Gbps ~10 km
 - Színezett interfészek (1Gbps, 10Gbps, 40Gbps, 100Gbps)
- **WiFi, WiMax és mikrohullámú link**
 - ...

Flow Control

- Gyorsabb portok eláraszthatják a lassabbakat.
- 802.3x forgalom kontrolálás
 - Full-duplex esetben kell (nincs CDMA/CD)
 - PAUSE keretek definiálása
 - Start-stop mechanizmus
 - Link szinten működik, végponttól végpontig nem.



QoS garantálás

- Tisztán kapcsolt Ethernet hálózatokban ennek ellenére sem garantálható a sávszélesség az egyes forgalmak számára végponttól-végpontig.
- L2 szinten egyedüli megoldás a túlméretezés!
- MPLS illetve IntServ/DifServ alapú sávszélesség lefoglalásos megoldások implementálása.

Menedzsment funkciók

Legfontosabbak:

- Konfigurálás
- Hibadetektálás
- Teljesítőkéesség vizsgálat

Számtalan egyéb:

- Biztonság
- Hozzáférés
- Tervezés
- Stb...

Menedzsment funkciók

- Fejrészben minden keretnél
 - Fejlett hibajelzés
 - PHY réteg ping és hurok
 - Dedikált OAM keretekben beszélik le a használatot
 - Max. 1 byte a fejrészben (a 7 byte-ból)
- ***Dedikált OAM keretek***
 - Alapvető hibajelzés
 - MAC réteg ping és hurok
 - Link monitoring funkció
 - 128 byte-os keretek
- **Beágyazott üzemeltetési csatornák**
 - Fejlett hibajelzés
 - Fejlett link monitoring

2. Hidak és kapcsolók

- Ethernet kapcsolók
 - 1990-es évek: új funkciójú eszköz
 - Nagyszámú csomópont jelenléte
 - Dedikált szegmensek, teljes Ethernet sebességgel
 - Teljesítőképesség volt a szempont
 - Ütközési tartományok eltávolítása (nincs CSMA/CD!)
 - Ethernet szegmens -> Pont-pont összeköttetés
 - Nincs távolsági korlát (CSMA/CD miatt)
 - 1997: Full-duplex működésű Ethernet (forgalomszabályozó keretek)
- Kapcsolt hálózatok
 - Busz
 - Pont-pont
 - Kapcsolt

Keretek továbbítása a kapcsolóm

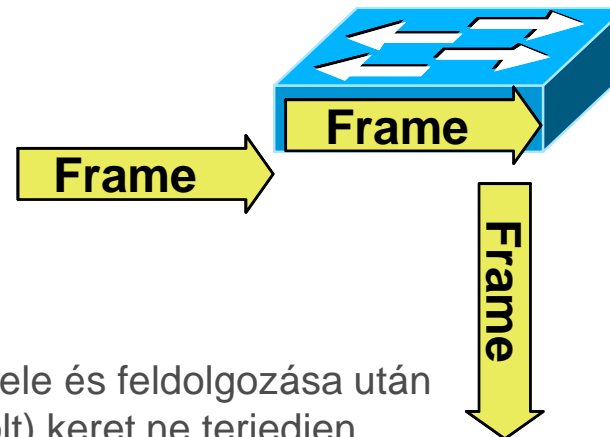
- **Cut-through**

- A cél MAC cím olvasása után azonnal továbbít



- **Store and forward**

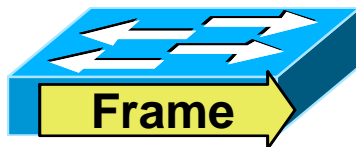
- A teljes keret vétele, feldolgozása után továbbít



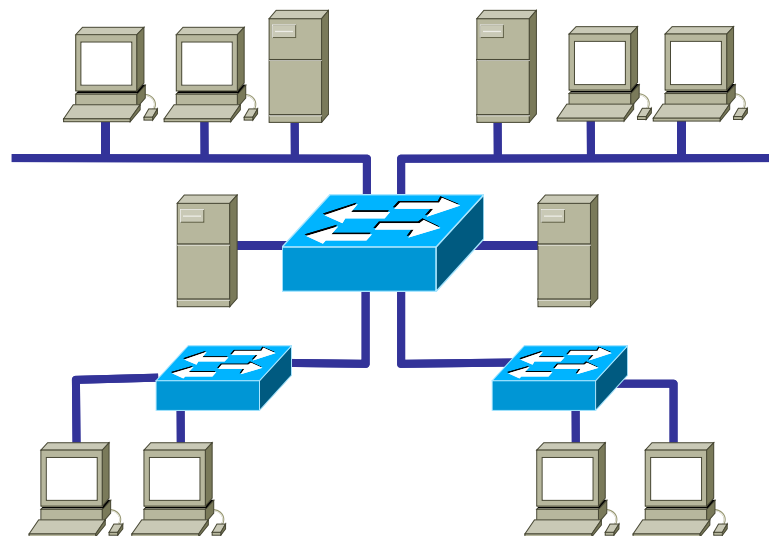
- **Fragment free**

(modified cut-through)—Cat1900 Default

- Az első 64 byte (min. kerethossz) vétele és feldolgozása után továbbít (triviálisan sérült (pl. csonkolt) keret ne terjedjen



A kapcsolók három funkciója



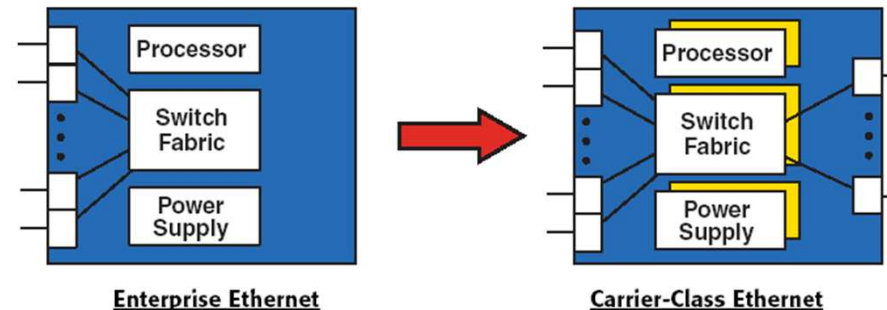
- MAC címek automatikus tanulása
- Továbbítási/szűrési döntés
- Hurokmentes továbbítási hálózat fenntartása

Minőségbiztosítás Carrier Class Ethernet

- Hardver redundancia
- Prioritás és VLAN struktúra (802.1p/Q)
 - Biztonság
 - Load-balancing
 - Prioritás
 - Forgalom szétválasztás
- Védelem
- Flow Control
- Menedzsment

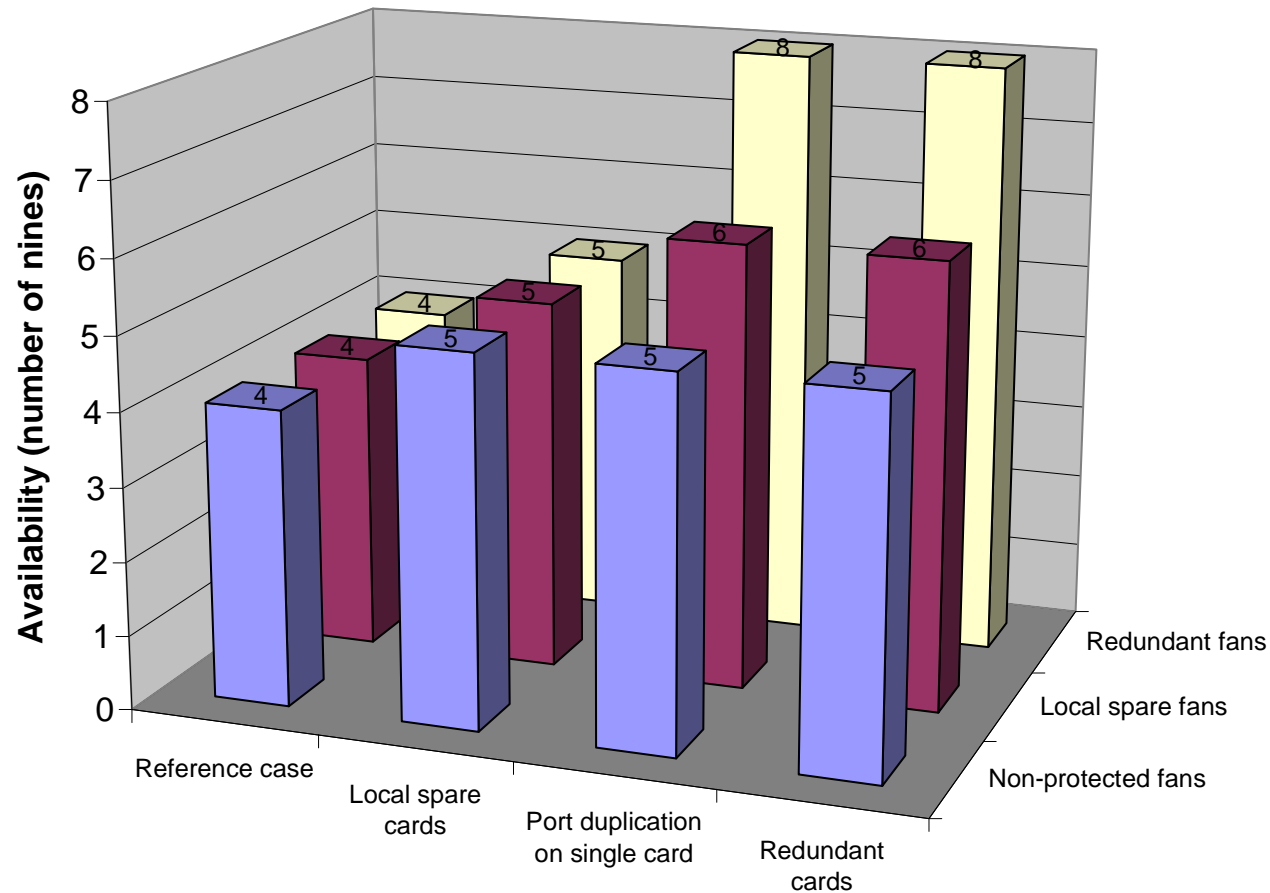
Carrier Class Ethernet equipment

- **Redundant switch architecture**
- **HW redundancy:**
 - Power
 - switch fabric
 - Fans
 - ...etc.
- **SW-based resilience technologies:**
 - VRRP
 - HPS/HPR
 - Link Layer Resilience
 - Path Protections
 - ...etc.



Resilience Technology	Typical Restoration Time
Software Resilience	
Virtual Router Redundancy Protocol	5 to 10 seconds
Hitless Protection System	5 to 10 seconds
Hitless Protocol Restart	3 to 5 seconds
Link-layer Resilience	
Rapid Spanning Tree	2 to 3 seconds
Rapid Ring Spanning Tree	0.5 to 1 second
Path Protection	
MPLS fast fallover LSPs	< 50 milliseconds
MPLS RSVP-TE Fast Reroute	< 50 milliseconds
Spatial Replacement Protocol/RPR	< 50 milliseconds
Hardware Redundancy	
Power, switch fabrics, fans, CMs	< 50 milliseconds

Carrier Ethernet platforms' availability analysis



802.1p/Q

- Első próbálkozások a prioritás kezelésre
 - Prioritásos sorok a kapcsolókban.
 - 3 bit (8 db) prioritási osztály definiálása.
- 802.1Q VLAN szabvány
 - 1518-ról 1522-re nőtt a keret!
 - 4096 db VLAN definiálható

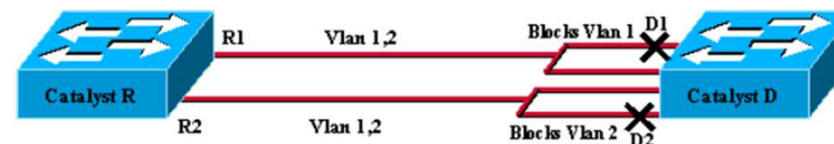
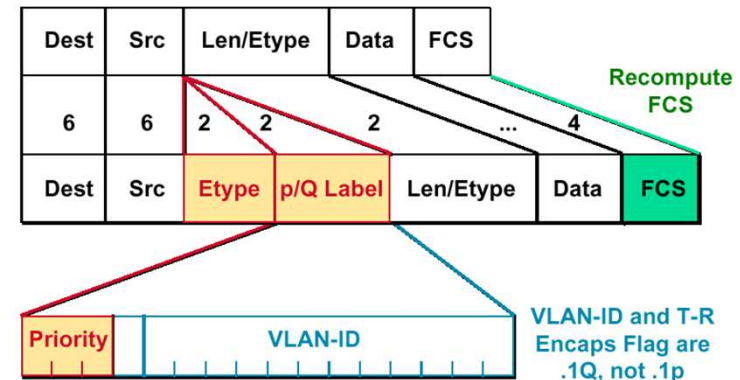
VLAN kapcsolók:

- Biztonság
 - VLAN-ok között nincs átjárás (L2 szinten)
 - Szűrési feltételek beállítása
- Prioritás
 - Megvalósítástól függő prioritási sorok
 - Általában kevesebb számú
- Load balancing
 - VLAN-o közötti terhelésmegosztás lehetséges

Kompatibilitási problémák:

1. Ethernet keret
2. Prioritásos keret
3. VLAN keret

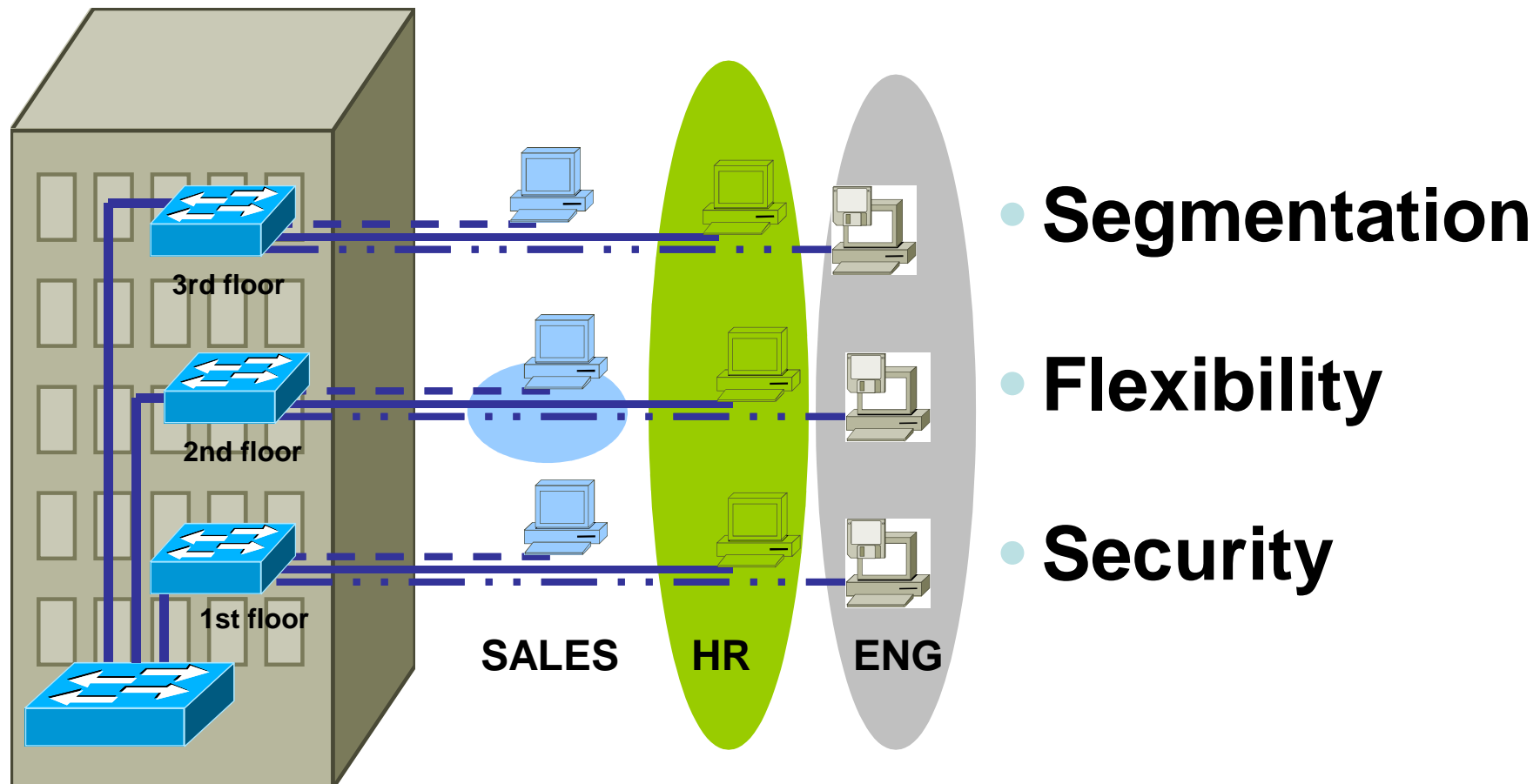
802.1p/Q tags



VLAN csoportosítás

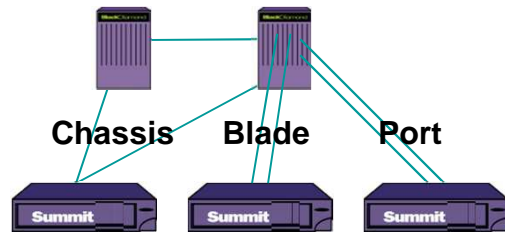
- Port alapú VLAN
- Protokoll alapú VLAN
- MAC cím alapú VLAN
- IP cím alapú VLAN
- Azonos bánásmód (policy) alapú VLAN

VLAN Overview



A VLAN = A broadcast domain = Logical network (subnet)

Layer 1 – Physical

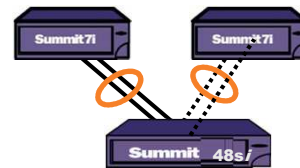


Physical Redundancy

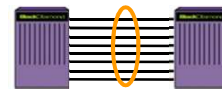
- Port, blade, chassis
- Redundant Power supply
- Redundant Switching Fabric
- Hot-swappable
- Hitless upgrades, patching, etc
- Protected memory

Layer 2 – Ethernet Topologies

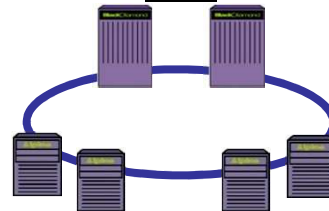
Software Redundant Port



Link Aggregation

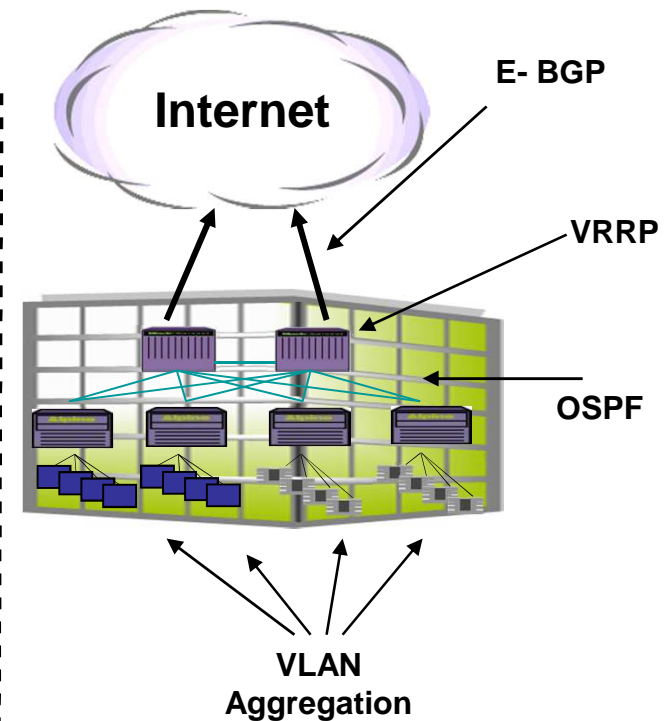


Ring



- STP
- RSTP
- EAPS
- Proprietary

Layer 3 – Routing



- Virtualisation of software threads and processing
- Software sparing

Fejlett STP algoritmusok

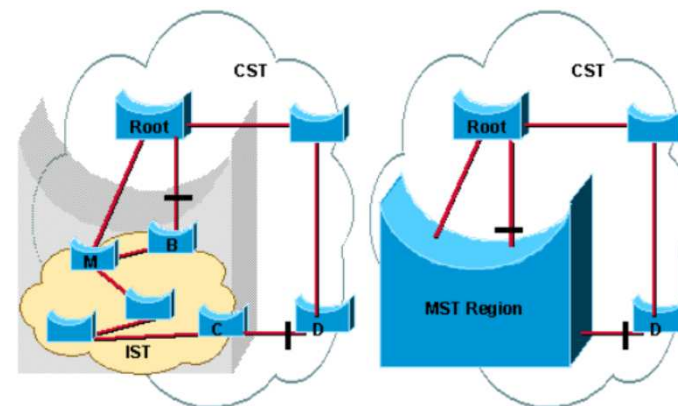
- **Maga az STP képes helyreállítani a hibákat**
 - A hálózat összekapcsoltságától függ.
 - Lassú mechanizmus.
 - Valójában nem erre tervezték.
- **Fejlesztések**
 - Konvergencia sebességének növelése. (RSTP)
 - VLAN struktúrák kezelése. (PVST)
 - Különálló szegmensek együttműködése. (MVST)
 - Gyűrűs hálózatok skálázhatósága. (Ring-STP)

PVST+,MIST,MSTP

- PVST+ - Per VLAN Spaning Tree(Cisco)
 - VLAN-onként STP
 - Más-más gyökér híd lehet
 - Nagy CPU terhelés, hálózati terhelés elosztás
- MIST - Multiple Instance of Spanning Tree(Cisco)
 - VLAN csoportokat kezel
 - Kicsi CPU terhelés, hálózati terhelés elosztás
 - Egy kapcsoló több MIST példány
 - Egy VLAN csak egy MIST példányhoz tartozhat
- MSTP - Multiple Spanning Tree Protocol – 802.1s
 - A MIST szabványosított változata

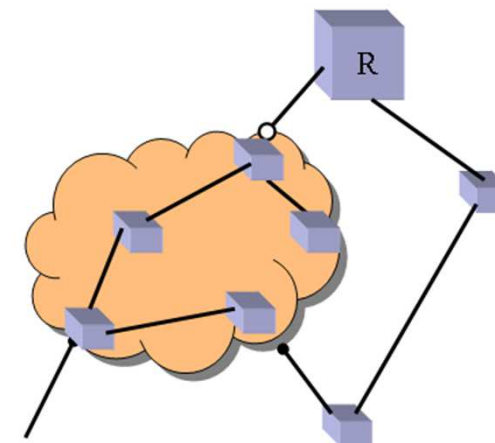
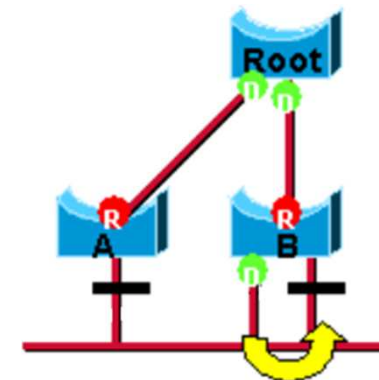
MST - 802.1s

- Minden kapcsoló az alábbiakat tárolja:
 - Konfiguráció név
 - Konfiguráció verzió
 - 4096 soros tábla a VLAN RSTP összerendelésről
- Ahhoz, hogy egy kapcsoló egy MST régióhoz tartozzon ugyanazt a konfigurációt kell tartalmaznia
 - A konfiguráció elterjesztéséhez nincs ajánlás...
- A működéshez tudni kell a pontos határokat
 - A BPDU-ba a konfiguráció kivonata is el van küldve
 - Ha ez egy porton különbözik akkor a port határ port
- MST példányok
 - Egy IST (Internal Spanning Tree)
 - Tetszőleges MSTI (Multiple Spanning Tree Instance)



Fejlett STP algoritmusok

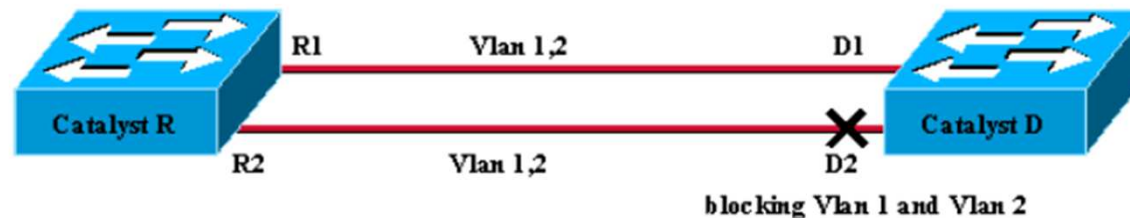
- **RSTP (802.1w)**
 - Alternatív és Backup portállapot definiálása.
 - Keep-alive jellegű jelzésrendszer.
 - Nem kell végigvárni a keretfigyeléssel és tanulással járó folyamatot. (előre tudja, hogy nem lesz hurok)
 - 2-3 mp a konvergencia idő.
- **PVST (Per-VLAN Spanning Tree)**
 - VLAN-onként külön STP a redundáns linkek megkülönböztetésére.
 - Sok VLAN esetén sok számítást igényel.
- **MVST (802.1s Multiple-VLAN Spanning Tree)**
 - Megoldja a skálázási problémát.
 - Több VLAN adható egy STP-hez.
 - Szegmensenként külön STP, amelyeket egy másik STP fog össze.
- **Ring-STP**
 - Összekapcsolt gyűrűs hálózatok jobb kihasználtsága.
 - Gyűrűnként külön STP.
 - Skálázási korlátok feloldása.



Port duplikálás

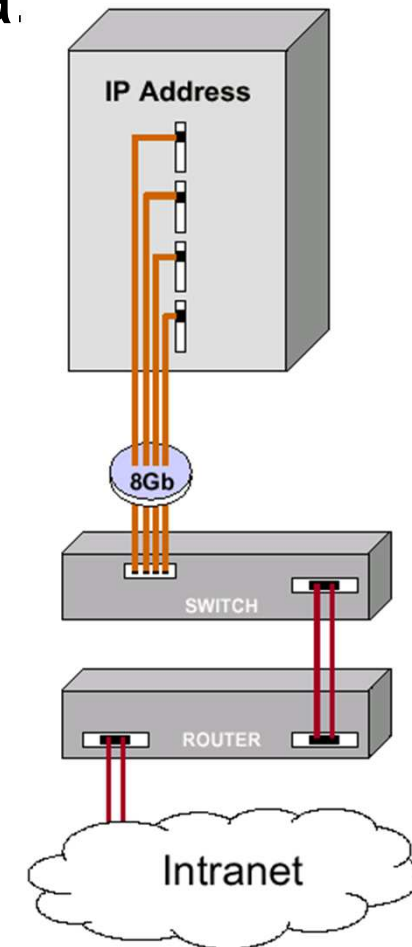
Kapcsolók közötti linkek redundanciája

- Meghibásodás esetén egyszerű átkapcsolás



802.1ab Link Aggregation Control Protocol (LACP)

- Finomabb skálázás
- Hibatűrő képesség növelése



Ethernet Protection Switching (EPS)

- VLAN alapú védelmi átkapcsolás

- Előre definiált védelmi STP-k VLAN-onként
- Útvonal csoportok (Path Group)
- Alternatív útvonal csoportok
- Hibadetektálás (heartbeat)

- Előnyök – hátrányok

-Gyors (<50 ms)

-Olcsó

-Minden topológiát támogat

-Dinamikusan használja a

-sávszélességeket

-Előre definiált VLAN-ok

-Járulékos információk

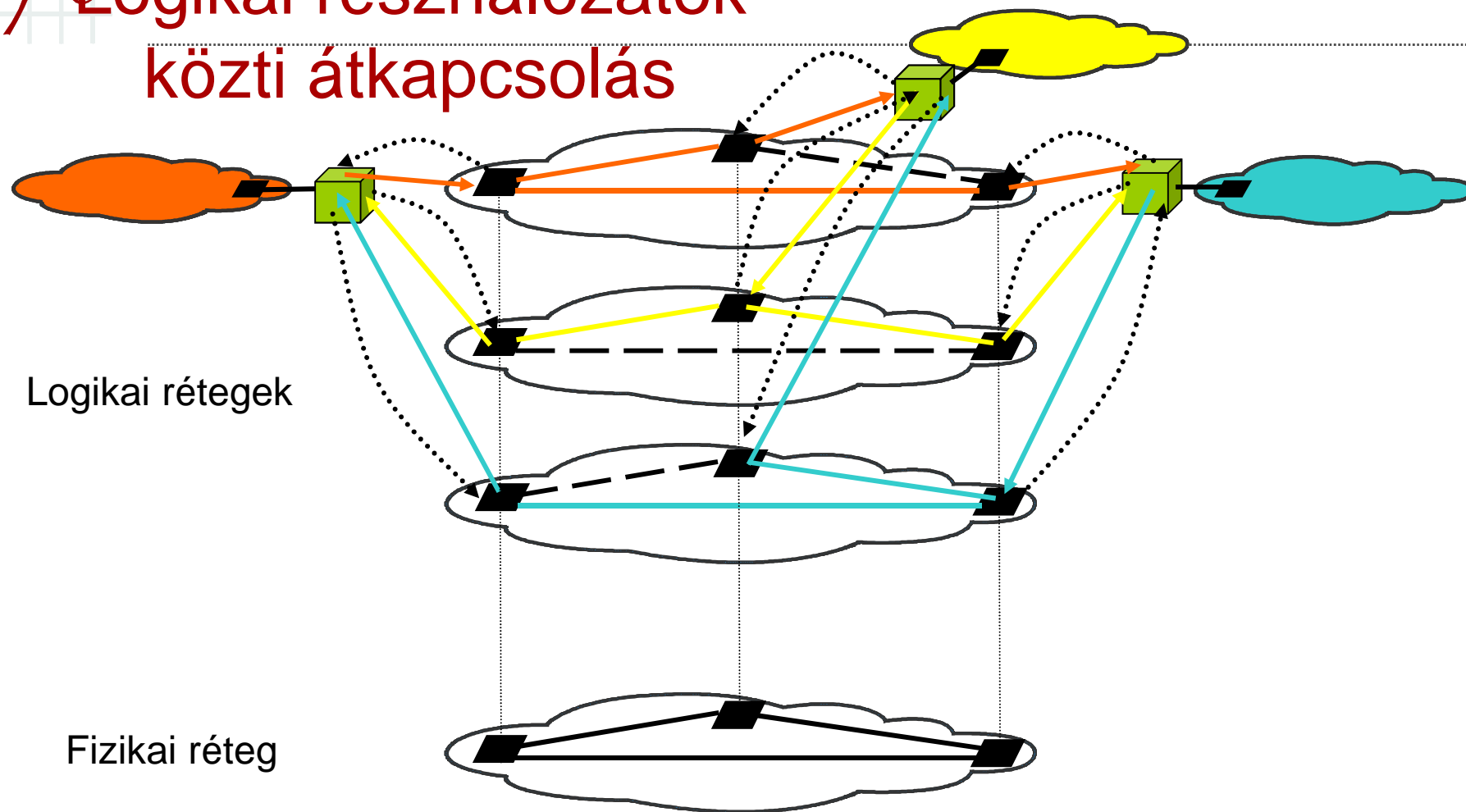
-Skálázhatóság romlik sok csomópontonál.

-IP réteggel való együttműködés

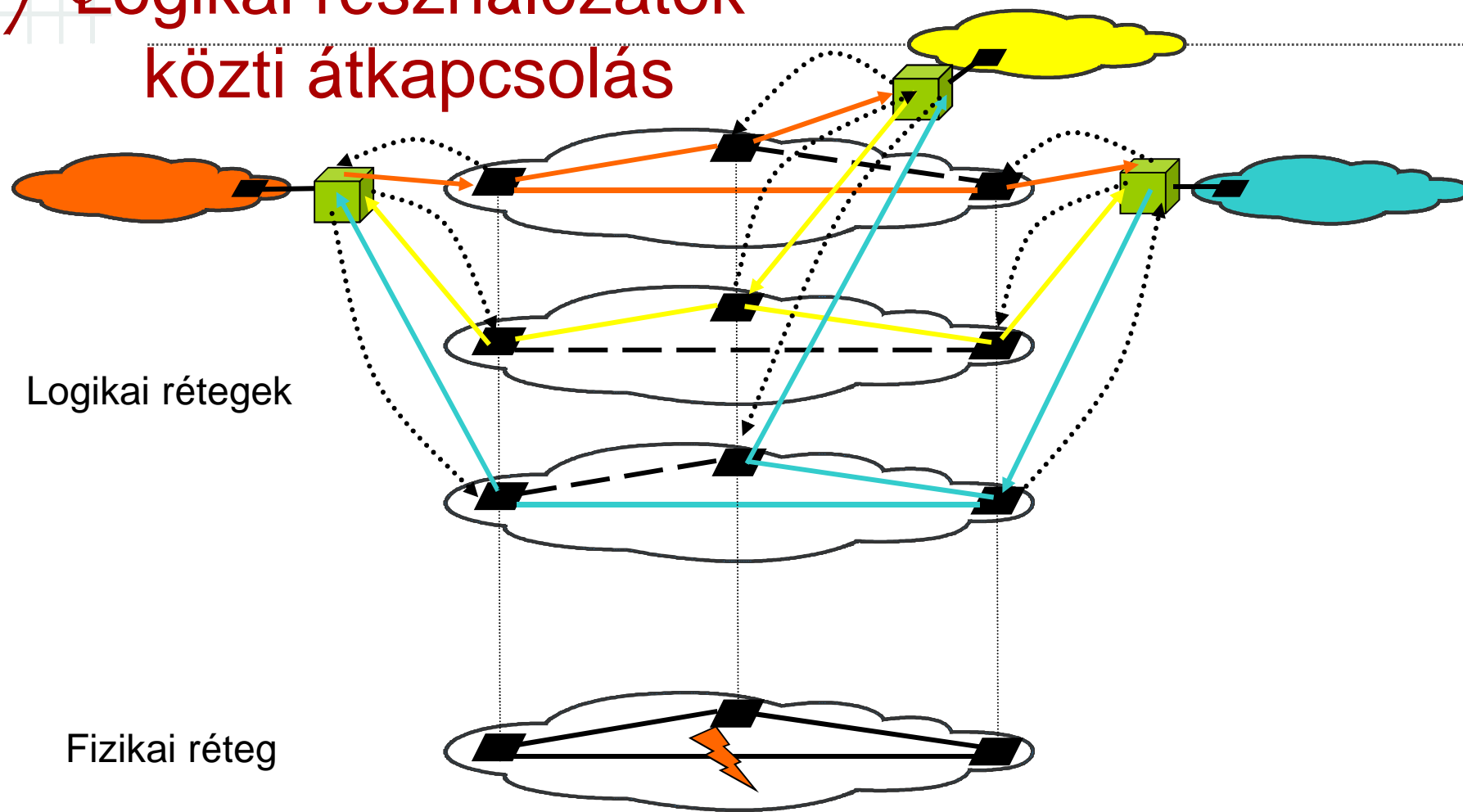
Logikai részhálózatok közti átkapcsolás

- Adott fizikai infrastruktúra felett a transzport logikailag elkülönülő részhálózatokba szervezeten (forgalmak elkülönítése például belépési pontonként)
- A részhálózatok is biztosítják az összefüggőséget
- Hiba esetén forgalom átterhelése egy hibamentes részhálózatba

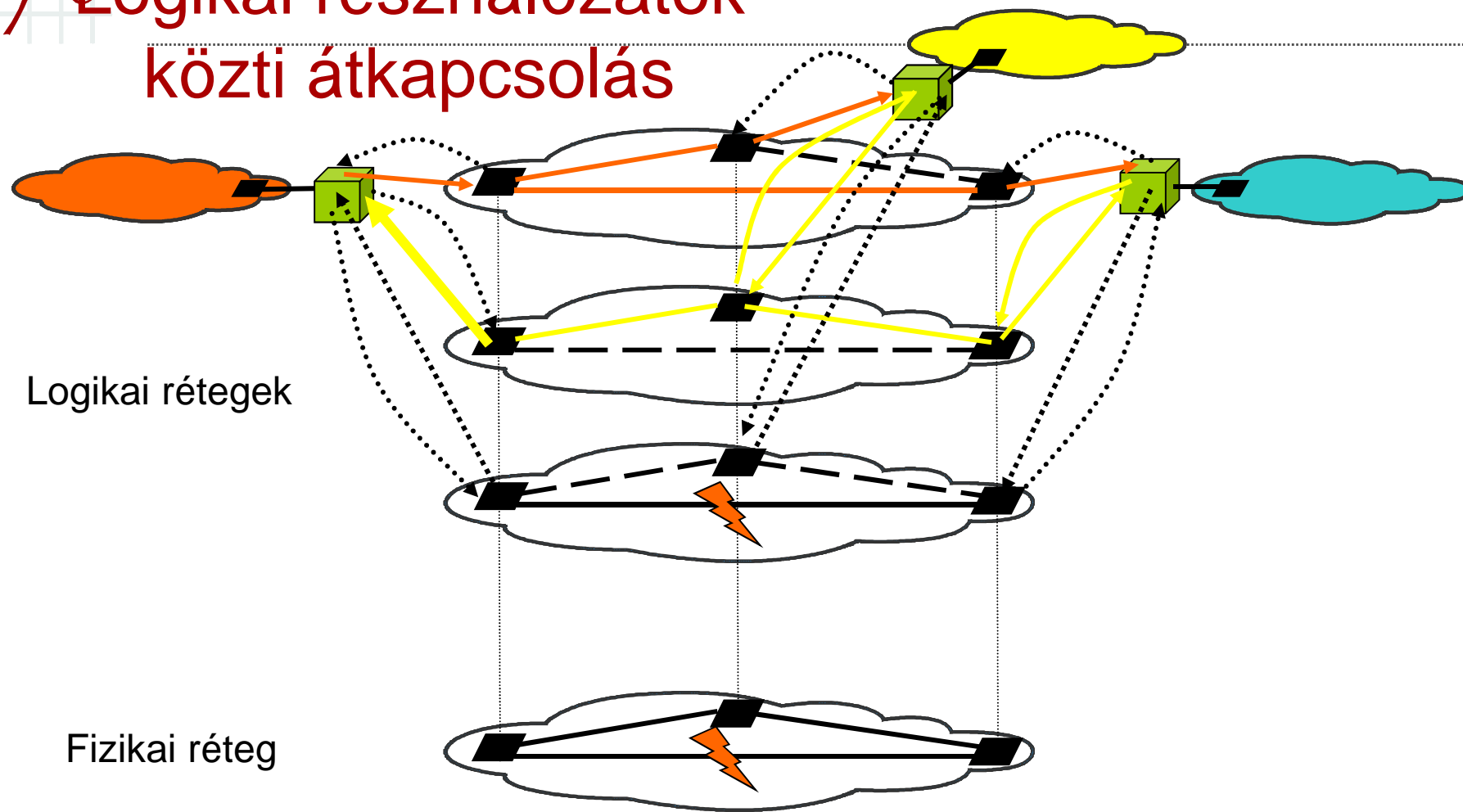
Logikai részhálózatok közti átkapcsolás



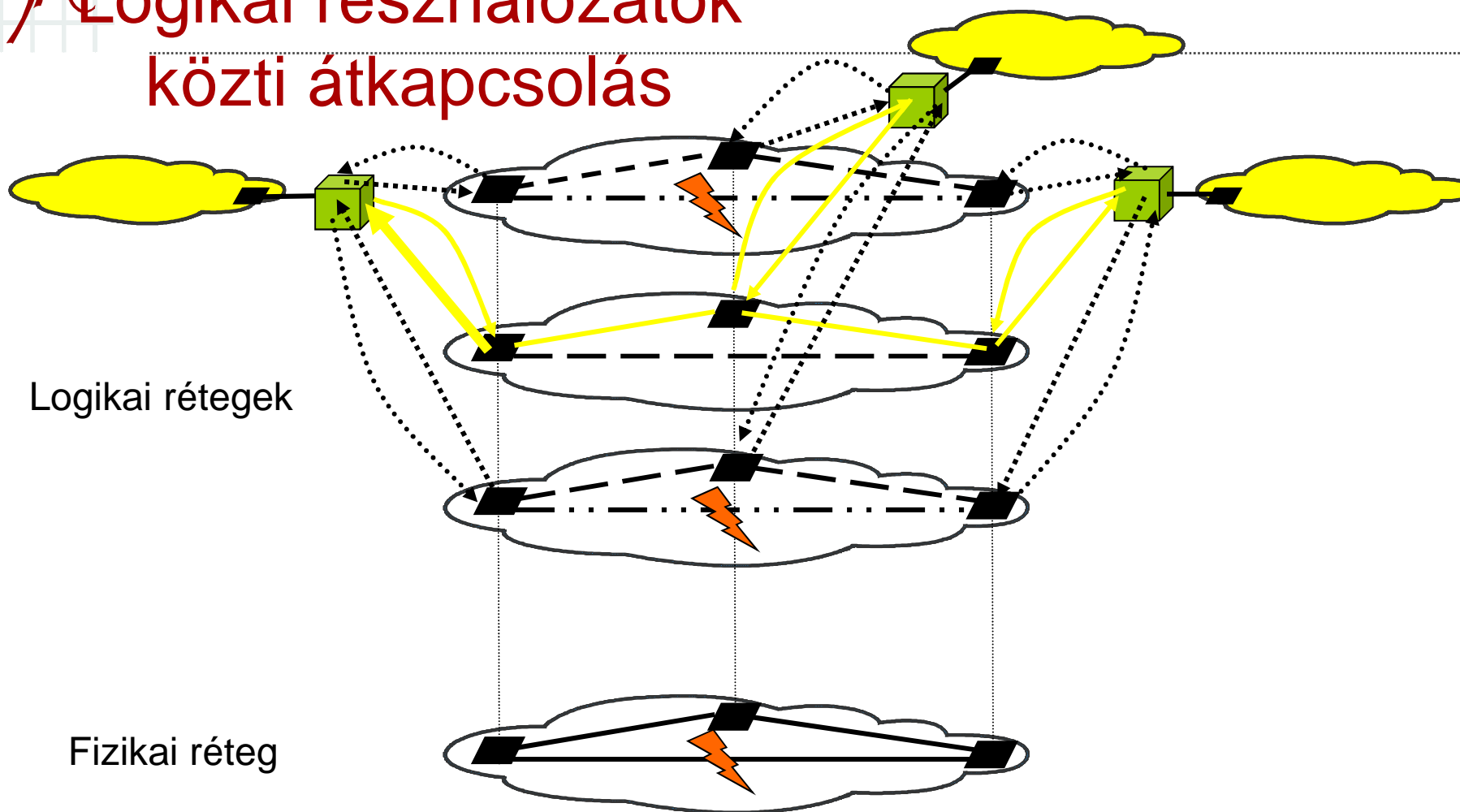
Logikai részhálózatok közti átkapcsolás



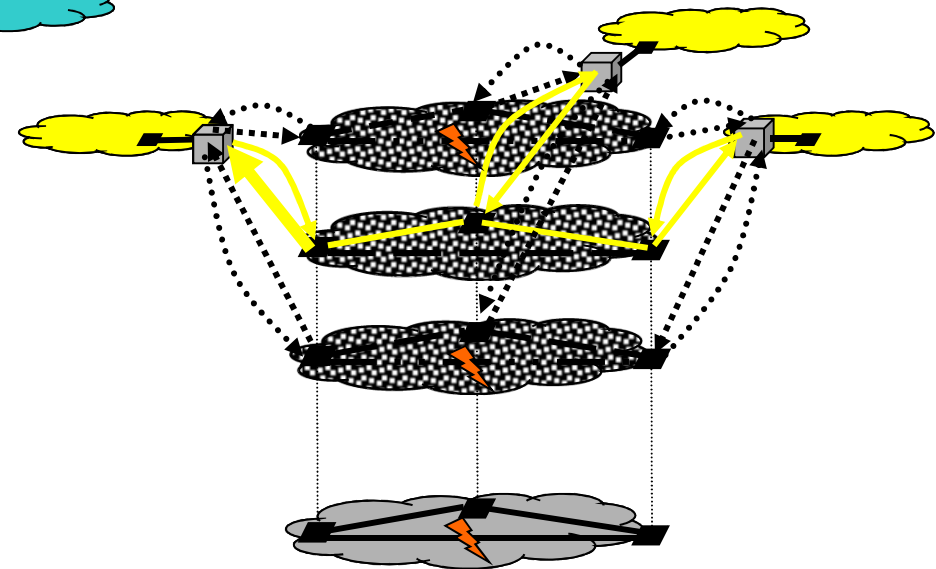
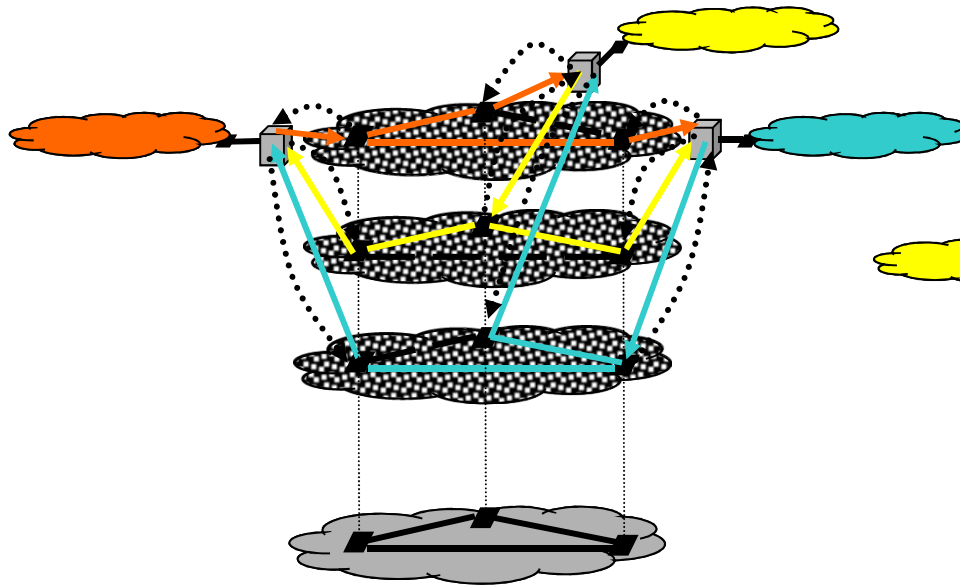
Logikai részhálózatok közti átkapcsolás



Logikai részhálózatok közti átkapcsolás



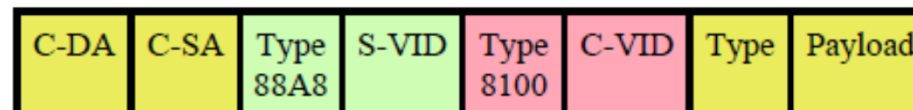
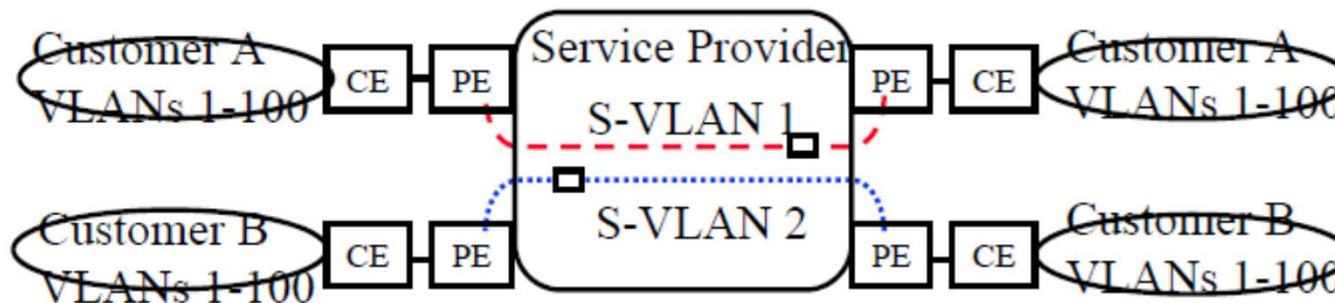
EPS



NYILVÁNOS HÁLÓZATI SZOLGÁLTATÁSOK

Szolgáltatások, megoldandó problémák: Transzparens LAN összekapcsolás

- Felhasználói LAN-ok összekapcsolása
 - felhasználói VLAN-tag transzparens átvitele
 - Q in Q: IEEE 802.1ad-2005 és IEEE 802.1Q-2011, keretbővítés, szolgáltatói VLAN ID hozzáadása



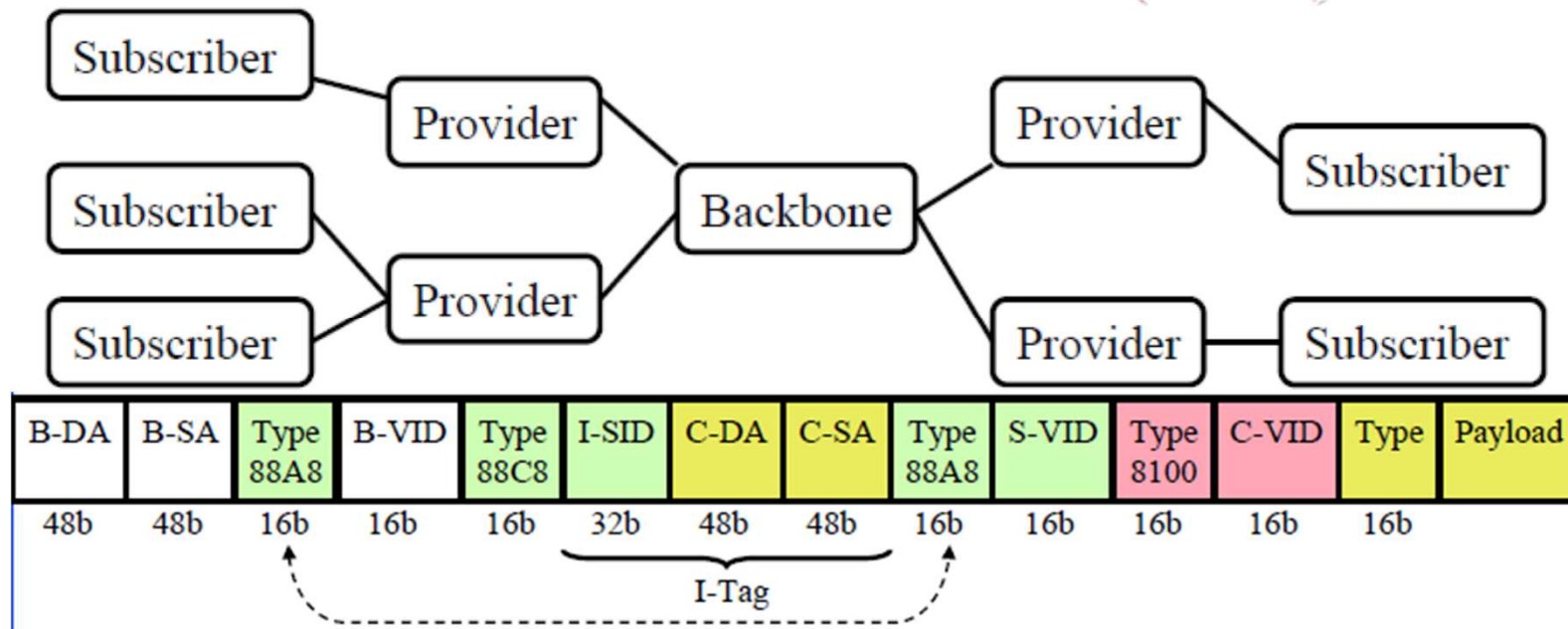
Szolgáltatások, megoldandó problémák: Szolgáltatási osztályok (QoS) támogatása

- 8 szolgáltatási osztály (3 bit) a DiffServ Assured Forwarding Code Point-oknak megfelelően (IP QoS Differentiated Services architektúra)

S-Tag	Priority	CFI	S-VLAN ID	Type/Length
	3b	1b	12b	16b
	Priority	Class		
	7	Strict Priority		
	6	AF1		
	5	AF2		
	4	AF3		
	3	AF4		
	2	AF5		
	1	AF6		
	0	Best Effort		

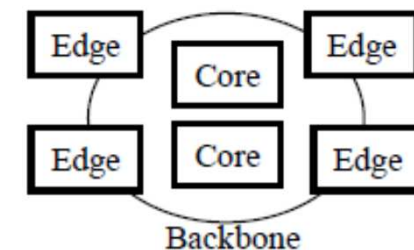
Szolgáltatások, megoldandó problémák: Szolgáltatói maghálózat skálázódása (támogatott MAC címek)

- A maghálózatban támogatandó MAC címek száma túl nagy
(FIB mérete, STP konvergenciaideje, tanulási flood-ok forgalma)
 - Keretbővítés: MAC címek csak a maghálózaton áthaladáshoz,
MAC-in-MAC IEEE 802.1ah-2008, 802.1Q-2011

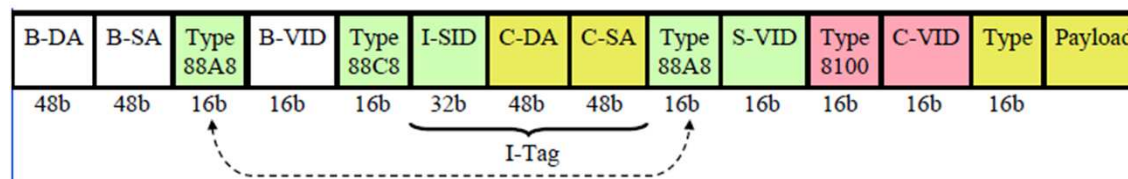
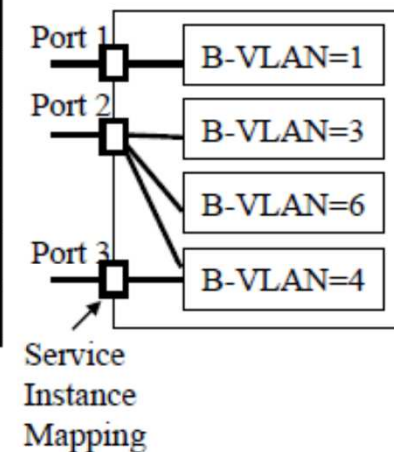


Szolgáltatások, megoldandó problémák: Szolgáltatói maghálózat skálázódása (támogatott MAC címek)

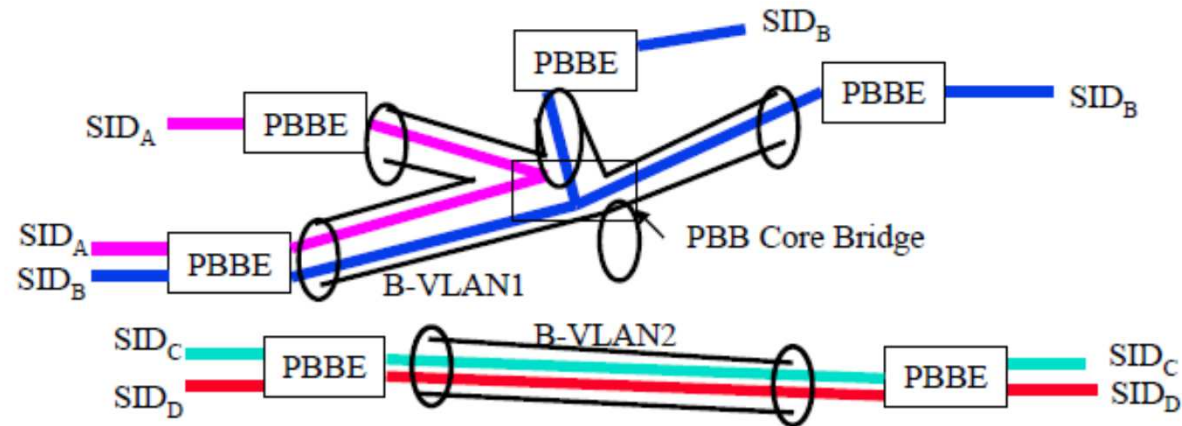
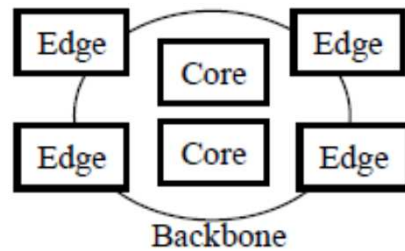
- PE – PE forwarding, a C-k csak a PE-k MAC címzeit - B-DA és B-SA - ismerik (tanulják)
- B-DA meghatározása C-DA alapján
- C-k B-DA és B-VID alapján forwardolnak
- I-SID egy adott flowt jelöl
 - port alapon, port és S-VID alapon, vagy port, S-VID és C-VID alapon



SID	Definition	B-VLAN
1	Port 1	1
20	Port 2, S-VLAN=10	3
33	Port 2, S-VLAN=20	6
401	Port 2, S-VLAN=30, C-VLAN=100	4
502	Port 3, S-VLAN=40, C-VLAN=200	4



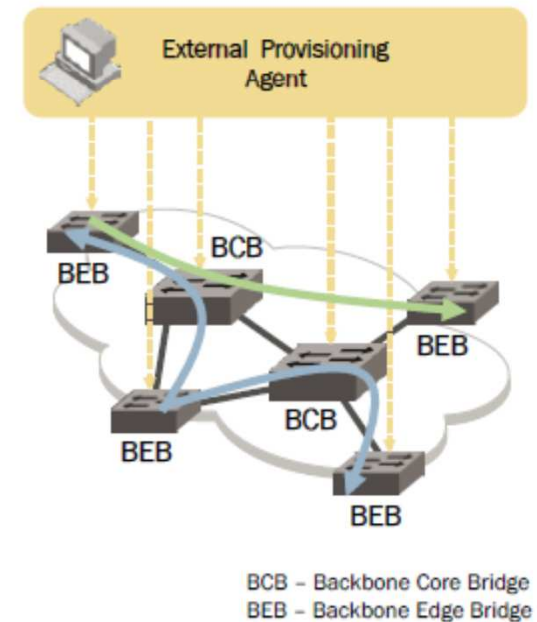
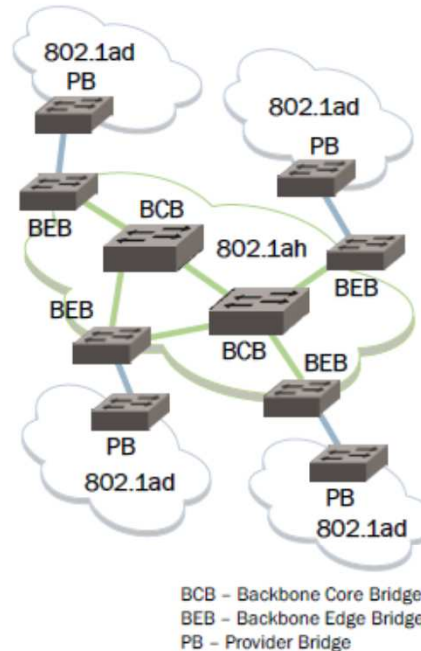
MAC-in-MAC



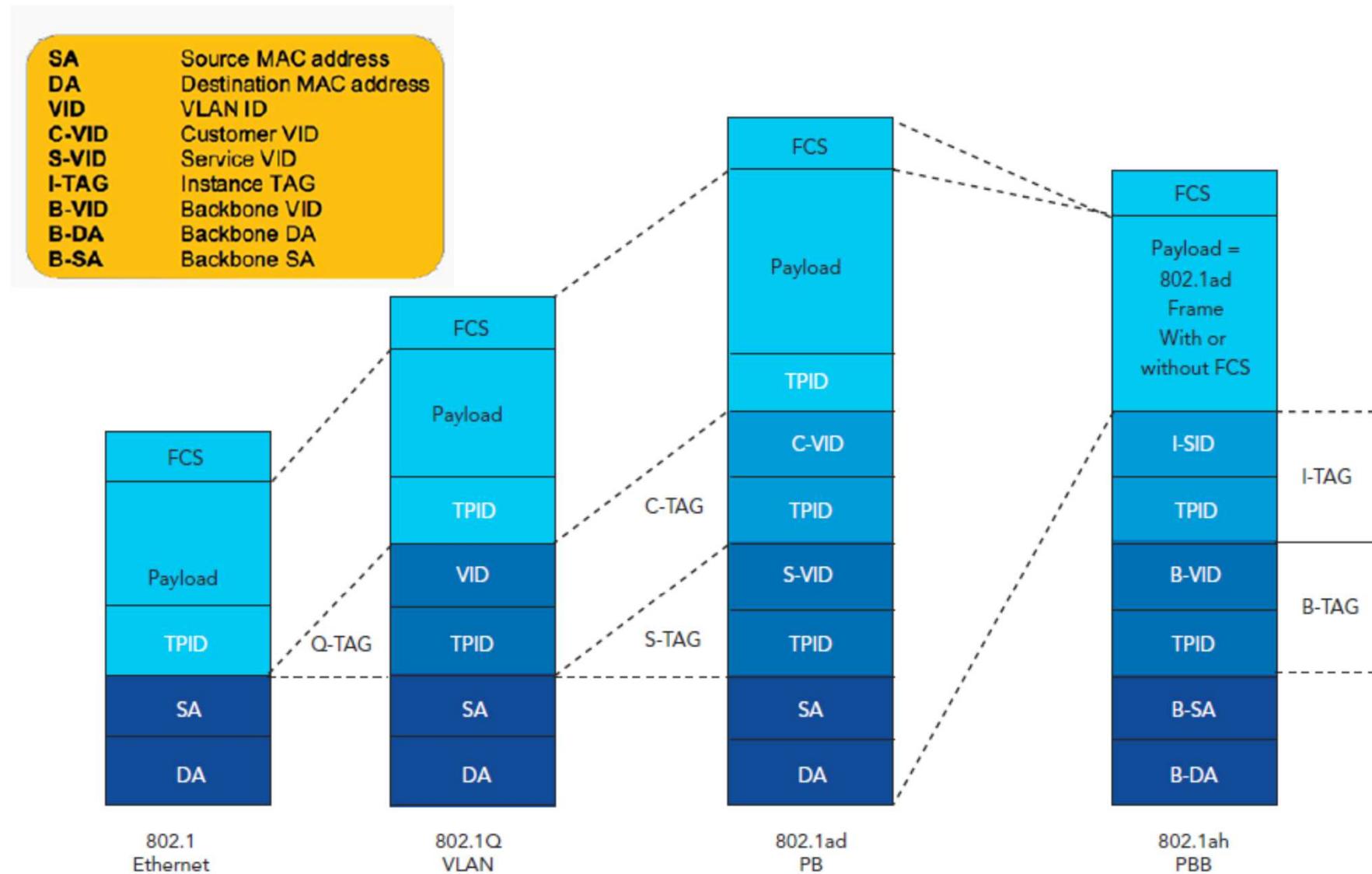
- A maghálózat VLAN-jai (B-VID) több szolgáltatást is vihetnek
- 24 bit SID szegmens, 2^{24} -en Service Instance (megkülönböztethető szolgáltatás)

Provider Backbone Bridging

- PBB a skálázási korlátok feloldására és a szolgáltatási képességek bővítésére
 - hierarchia (edge, core, encapsulation)
 - BE-k tanulják a PE-eket, BC-k a BE-eket
 - felhasználói és szolgáltatói hálózat elválasztása
- PBB TE előzetesen megtervezett, konfigurált és menedzselt egyirányú utak (alagutak) támogatása
 - hierarchia (edge, core, encapsulation)
 - nincs STP és autolearning (helyette menedzsment alapú konfigurálás)
 - TE (hálózatvédelem, az STP adaptáció helyett)
 - független szolgáltatási és transzportréteg (Ethernet, IP, VLL, VPLS szolgáltatások is)
- QoS támogatás mindkét esetben a prioritásokra alapozva, az ütemezés a switch által támogatott algoritmusoktól függő



Az Ethernet-keretformátum változása a szolgáltatói Ethernet (Carrier Ethernet) fejlődése során

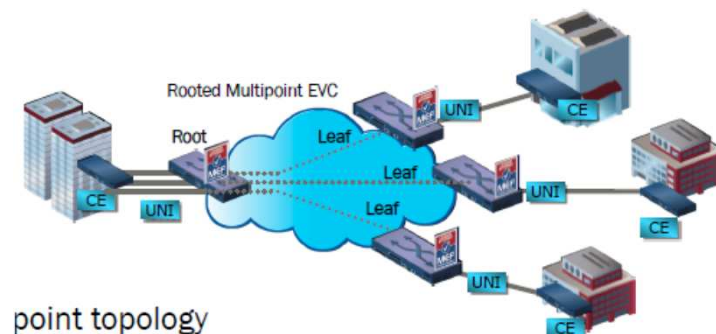
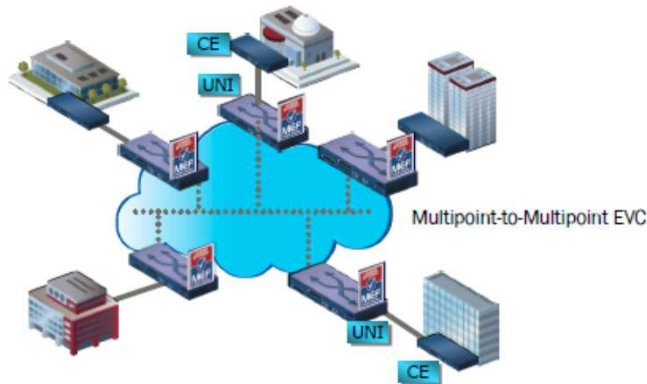


Carrier Ethernet szolgáltatások

(Metro Ethernet Forum)

- Szabványos szolgáltatások
 - E-Line, E-LAN, E-Tree
 - Circuit Emulation Services CesoE: T1/E1 és SDH szolgáltatás Ethernet felett, pl. TDM Access Line Service (TALS) és TDM Line Service (hagyományos TDM bérelt vonalak kiváltására)
- Skálázhatóság
 - 1G és 10G a kisebb felbontású szolgáltatások összefogására is
- Rendelkezésreállítás
 - Hálózati támogatás és architekturális változatok a hibák felismerésére, behatárolására és kiküszöbölésére a szolgáltatás megszakadása nélkül (=hálózatvédelmi megoldások)
- QoS
 - Változatos opciók támogatása
- Szolgáltatás menedzsment
 - Centralizált menedzsment a állapotmonitorozásra, -kiértékelésre és beavatkozásokra szolgáltatói kategóriáiú OAM

MEF Ethernet szolgáltatások



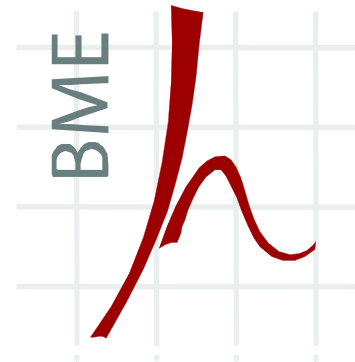
MEF Service	Provides
E-Line	Point-to-point EVC
E-LAN	Multipoint-to-multipoint EVC
E-Tree	Rooted Multipoint EVC

EVC- Ethernet Virtual Circuit/Connection
 EPV – Ethernet Private Virtual Line
 VPL – Virtual Private Line

- **E-line: P2P,**
 - EVPL mint a TDM bérelt vonal,
 - VPL mint FR vagy ATM
- **E-LAN: MP2MP**
 - L2 VPN, transzparens LAN szolgáltatás
- **E-Tree: P2MP, rooted MP**
 - végpontok szerinti forgalom-szétválasztás
 - Hub and Spoke

Szolgáltatói kategóriájú Ethernet - áttekintés

	MPLS	MPLS-TP	PBB	PBB-TE
Network Services	Multiservice IP, L2 Carrier Ethernet and L3 VPNs Services	Transport-level Carrier Ethernet Services	L2 Metro and Aggregation Carrier Ethernet Services	Carrier Ethernet Services Over PBB Networks
Carrier Ethernet Services	E-Line (VLL) E-LAN (VPLS)	E-Line (VLL) E-LAN (VPLS)	E-Line E-LAN	E-Line
Standard Status	Mature IETF Standards	IETF Work in Progress	IEEE 802.1ah (2008)	IEEE 802.1Qay (2009)
Widely Implemented	✓	Not Yet	Limited	Limited
Widely Deployed	✓	Not Yet	✓	✗
Market Trend	✓	✓	✗	✗
Future Development	Point-to-multipoint LSP Extensions Extensions to OAM TE for Multi-area/ Multi-AS	Framework OAM	✗	✗



VIHIMA07 Mobil és vezeték nélküli hálózatok

3. Mobil adatszolgáltatások – IP és IP/MPLS a backhaulban

Jakab Tivadar

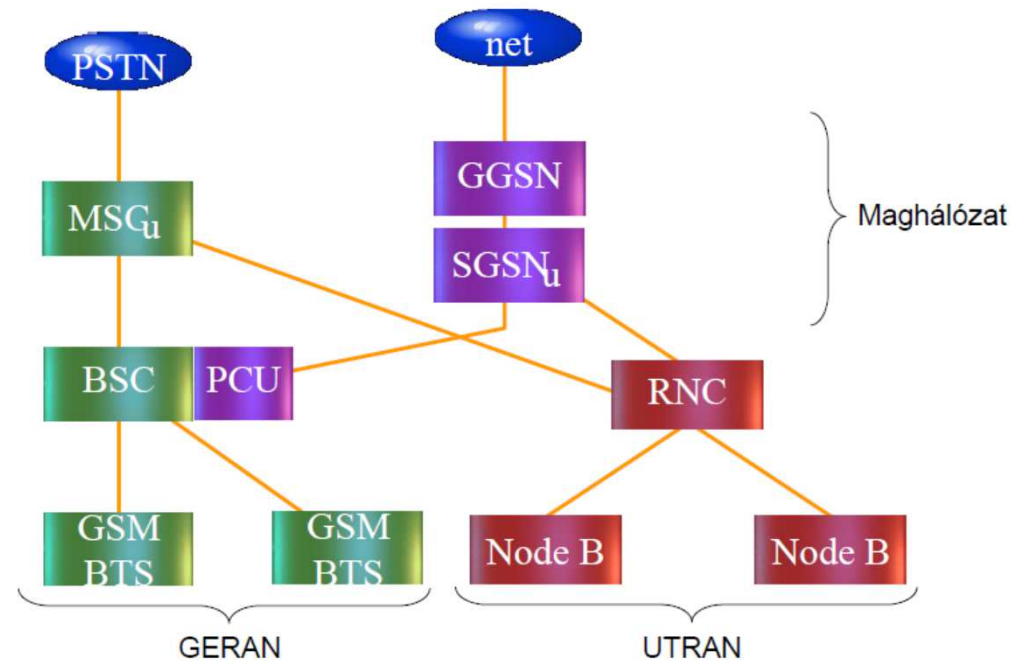
Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

[*jakab@hit.bme.hu*](mailto:jakab@hit.bme.hu)

I.B.123

Mobil adatszolgáltatások

- Mobil adatszolgáltatások (GPRS, EDGE) megjelenésével a backhaulban is adattranszport
- Mik között?
 - PCU – SGSN
 - RNC – SGSN
 - SGSN – GGSN
 - GGSN – PDN
- Jelzés, adat, szinkron
- Hálózati redundanciák, védelmek
- Menedzselhetőség



PDN – Public Data Network

IP és IP/MPLS áttekintés

- IP hálózati alapok (néhány nyilvános hálózati vonatkozás)
 - routing
 - CIDR
 - IGP,EGP
 - peering, tranzitálás
 - QoS
 - IntServ
 - DiffServ
- IP/MPLS
 - címke alapú továbbítás
 - IP/MPLS TE
 - tunnelek
 - védelmek
 - DiffServ-aware IP/MPLS TE

BGP – AS path

- az egyes prefixekhez vezető útvonal menti AS-ek számának listája
- az első AS (originator) által hirdetett útvonalban csak a saját AS-e szerepel
- egy BGP router (BGP speaker) az útvonal hirdetésekor a kapott útvonal elé beilleszti saját AS számát
- több útvonal is előállhat
- az AS path hossza fontos jellemző, a rövidebb a jobb
- az útvonalak hirdetése minden irányba történik
- a hurkok kialakulásának megakadályozása érdekében egy BGP router eldobja azokat az útvonalakat, amiben saját AS-e szerepel
- egyes prefixekhez több AS path is tartozhat

KAPCSOLATÁLLAPOT ALAPÚ IGP



Útvonalválasztó algoritmusok

- **routing tábla**
 - legrövidebb út egy adott végponthoz (*IP prefix*)
 - nem a teljes út, csak a következő szakasz (*next hop*)
 - FIB (*Forwarding Information Base*)
- **két nagyobb routing protokoll csoport**
 - távolságvektor alapú (*distance vector*)
 - egy router nem lát a szomszédok „mögé”, a szomszédok FIB-jei alapján „látja” a hálózatot
 - RIP, EIGRP
 - kapcsolatállapot alapú
 - hálózat szerkezetére vonatkozó információk hirdetésére alapoz
 - OSPF, IS-IS

Kapcsolatállapot alapú routing

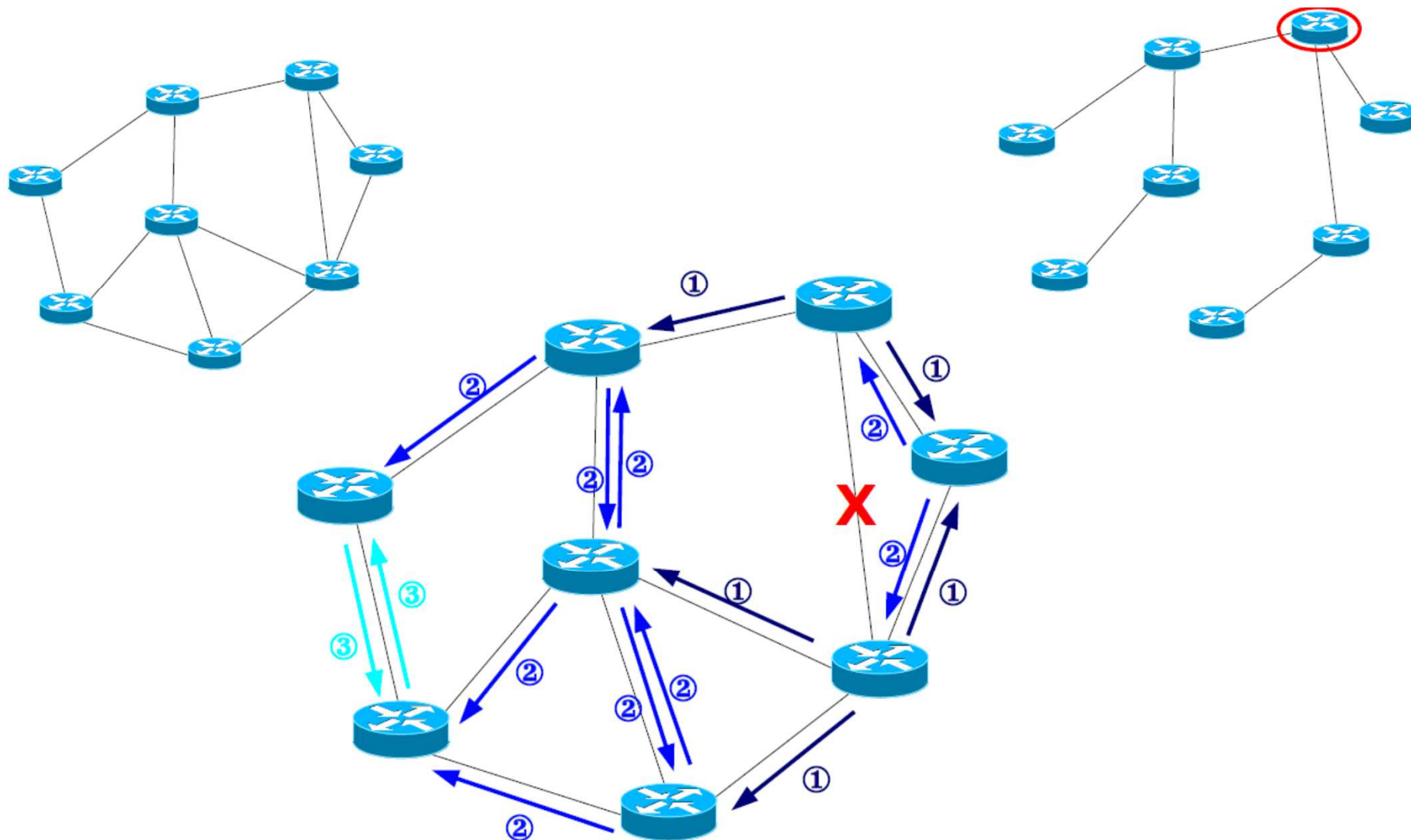
- minden router ismeri a hálózat szerkezetét, a linkek, csomópontok elrendezését
 - lényeges, hogy a ugyanaz a hálózati kép alakuljon ki az összes routerben, enélkül hurok vagy más irányítási inkonzisztencia jöhet létre
- a hálózat szerkezetének ismeretében minden router optimális utat tud
- számolni a célhálózatok felé
 - az adott router mint gyökér szerepel az elérési fában
- a hálózat állapotának változásakor a változás ténye terjed a hálózatban
 - link vagy router állapotának változását okozhatja például egy interfész állapotának változása, vagy időzítés lejárta
 - a változott linkkészleten minden router újraszámolja az egyes célhálózatok felé vezető utakat
 - a gyors konvergencia érdekében előbb állapotváltozási információ küldés, majd útvonalak újraszámolása a routerkeben

-

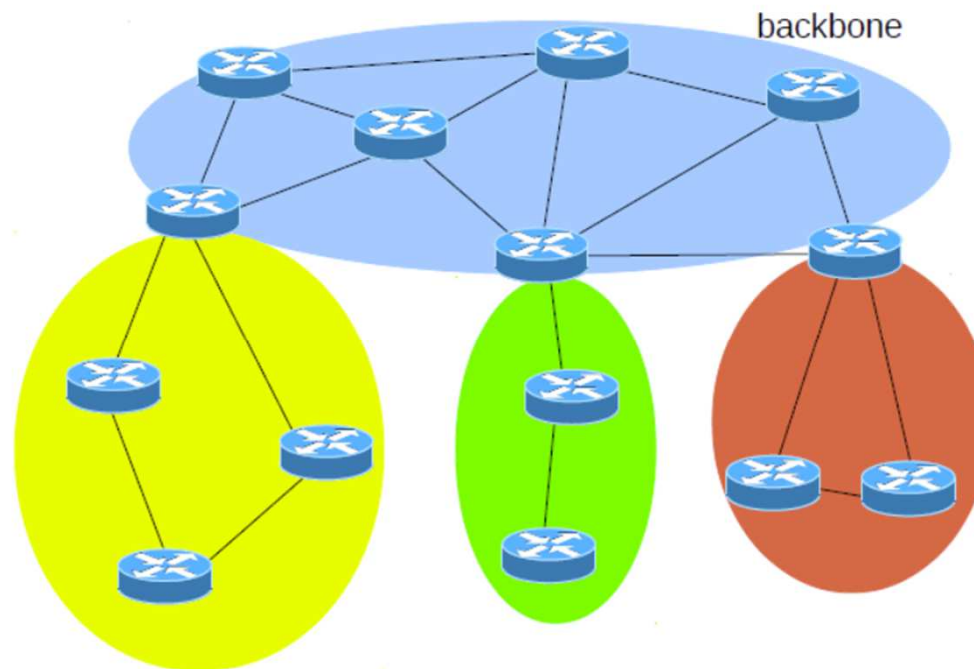
Link State adatbázis és skálázhatóság

- a linkek és azok jellemzőinek halmazát az egyes routerek a linkállapot-adatbázisban tárolják (Link State Database)
 - ennek memóriaigénye nagyobb, mint a distance-vector protokolloké
 - az adatbázis mérete a hálózat méretének növekedésével nő
 - kb. a linkek mennyiségének növekedésével arányosan
 - az adatbázis méretének növekedésével az utak számolása is több CPU-t igényel
- az adatbázis méretének korlátozása a hálózat részekre bontásával érhető el

Állapotváltóási információ terjesztése



Hálózat részekre bontása



- Hierarchikus szerkezet (csak hierarchikus tranzit)
- Elemi állapotinformációk hálózatrészeken belül
- Hálózatrészek között koncentrált információcsere (hálózatrészen belüli és hálózatrészek közötti rotuing funkciók megkülönböztetése)

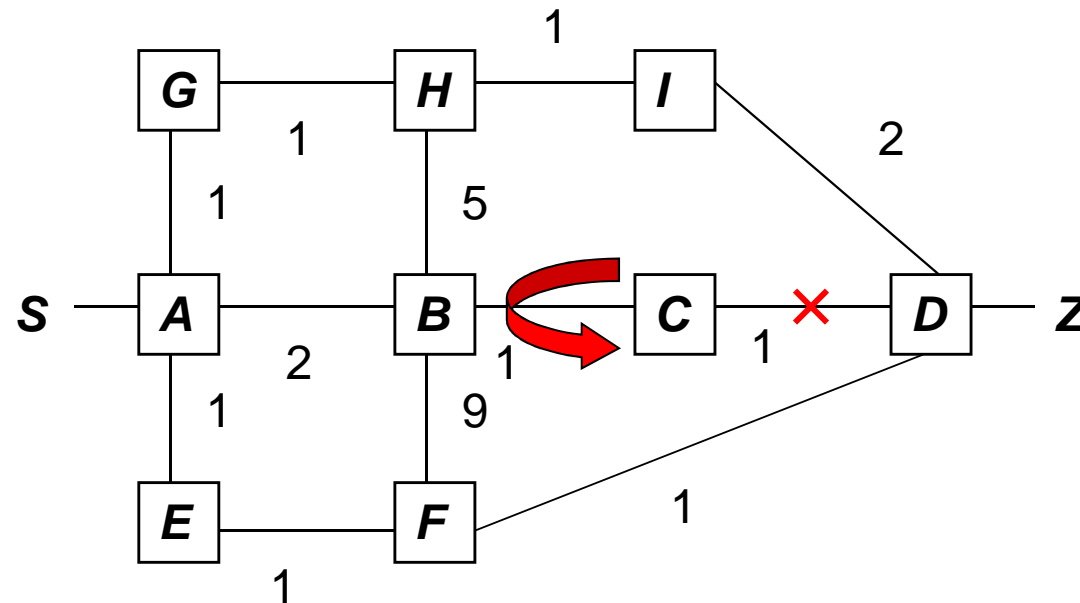
OSPF

- több másolatban létező elosztott adatbázismodellen alapul, lényeges, hogy ugyanaz a hálózati kép legyen mindegyik routerben (állapotváltozások terjedése!, ha nem akkor hurok vagy más inkonzisztencia)
- minden router elküldi környezetének jellemzőit (működő IF-ek, kapcsolódó IF-ek, linkek költségjellemzői, stb.) az összes többi routernek (LSA) egy elárasztásos mechanizmussal (*flooding*) – sorszámozott LSA-k, nyugtázott vétel
- ebből minden csomópont adatbázist épít (LSDB – Link State DataBase), és ennek alapján kalkulál minimálutat minden elérendő végponthoz (SPT - Shortest Path Tree)
- Ennek alapján FIB
- pl. OSPF, IS-IS

Kapcsolatállapot alapú

- Állapotváltozás detektálásakor a detektáló csomópont PDU-t generál és küld
- A PDU-t vevő csomópont
 - Nyugtazza a vételt (megbízható kommunikáció)
 - Ellenőrzi, hogy új információ érkezett-e
 - Ha igen továbbküldi, a saját LSDB-jét aktualizálja és a minimálút-meghatározást megismétli
 - Ha nem, akkor elbobja (nem küldi tovább)
- Útmeghatározás: Dijkstra algoritmus
- Skálázás: hierarchia (areák, ABR-ek)
- Gyorsítás: előbb küldés azután aktualizálás és számolás, hogy gyorsabb legyen a konvergencia, inkrementális SPT aktualizálás
- Terhelés szétosztás ECMP (Equal Cost Multipath) alapon

Kapcsolatállapot alapú nem konvergált állapot



$NH(A,Z) = B$

$NH(G,Z) = H$

$NH(B,Z) = C$

1. CD link meghibásodik

2. C-től LSA

3. C újraszámol: $NH(C,Z) = B$

4. időszakos HUOK,
míg C nem konvergál

...

Konvergált hálózat

- minél tovább tart az LSA flooding, annál nagyobb a valószínűsége hurkok kialakulásának
- a hálózatban egységes időzíteni beállítások célszerűek
- linksúlyok megváltoztatása is vezethet hurok kialakulásához
- hiba elhárítása után is a példához hasonlóan alakulhatnak ki hurkok

Terhelés szétosztás ECMP alapon

- Azonos súlyú utak egy célhoz
- Csomag alapú: round robin (sorrend, késleltetés, stb. különbözhet)
- Session alapú: *hashing* forrás- és célcím alapján (linkenként eltérő hash-függvény)
- Csökkenti a hiba hatását
- Gyorsítja a konvergenciát

Hierachikus szerkezet

- Areak, Area-0 a tranzit
- Area Border Router
- útvonal preferenciák (intra-area, inter-area, external type 1, external type 2)



EXTERIOR GATEWAY PROTOCOL: BGP



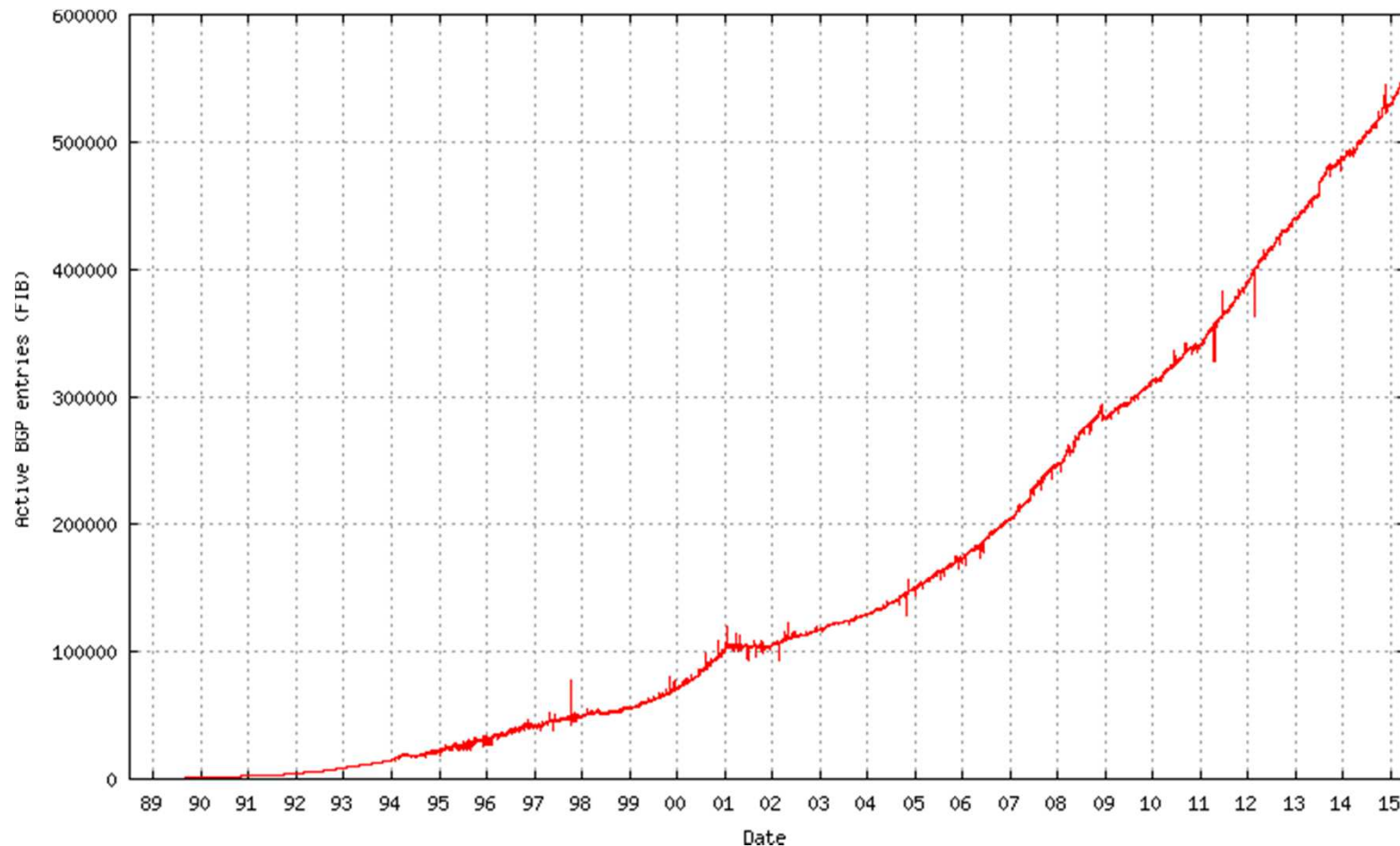
Exterior Gateway Protocols

- **Külső forgalomirányítási protokollok**
 - a "külső" jelző arra utal, hogy nem egy hálózaton belüli, hanem hálózatok közti forgalomirányítás a cél
 - az egyes hálózatok belső szerkezetével alapvetően nem foglalkozik, azok külső kapcsolatainak halmazával dolgozik
 - alapegysége az autonóm rendszer
- **Autonomous System, AS**
 - egy olyan hálózat, ami egységes, egyértelmű belső routing policy-val rendelkezik
 - a külvilág számára egységként kezelhető hálózatrész (RFC4271, page 4)
 - legtöbbször egy vállalat, intézmény, ISP hálózata
 - BMENET: AS2547 , HBONE: AS1955
 - AS number: az autonóm rendszer globálisan egyedi azonosítója

EGP vs. IGP

- **IGP: autonóm rendszeren belüli optimális forgalomirányítás**
 - gyors konvergencia
 - nagy méretű hálózatokra nem skálázódik
- **EGP: autonóm rendszerek közti forgalomirányítás**
 - világméretű hálózatra skálázható
 - jelenleg ~540000 IPv4, ~22000 IPv6 prefix a globális táblában
 - az AS-ek közti konnektivitásra koncentráل
 - az AS belsejének "finomságait" nem kezeli (pl. prefix aggregáció)
 - lehetővé teszi routing policy megadását

Aktív BGP entry-k számának növekedése



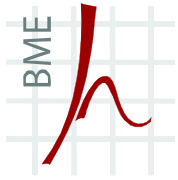
<http://bgp.potaroo.net/as2.0/bgp-active.html>

BGP data obtained from AS65000

Report last updated at Tue Apr 21 06:10:21 2015 (UTC+1000)

BGP

- egyetlen EGP implementáció: BGP
- jelenleg 4-es verzió, RFC1771 -> RFC4271
- AS-AS útvonalakat kezel
 - a prefix felé vezető útvonal alapján állítja be a next hop-ot
 - path-vector protokollként is említik
 - az útvonal-információk változásakor az útvonalat
 - újraszámítja, és az általa használtat hirdeti tovább
 - az útvonalakhoz nem egy metrika tartozik, hanem több attribútum
 - ezek összetett módon befolyásolják a választott útvonalat

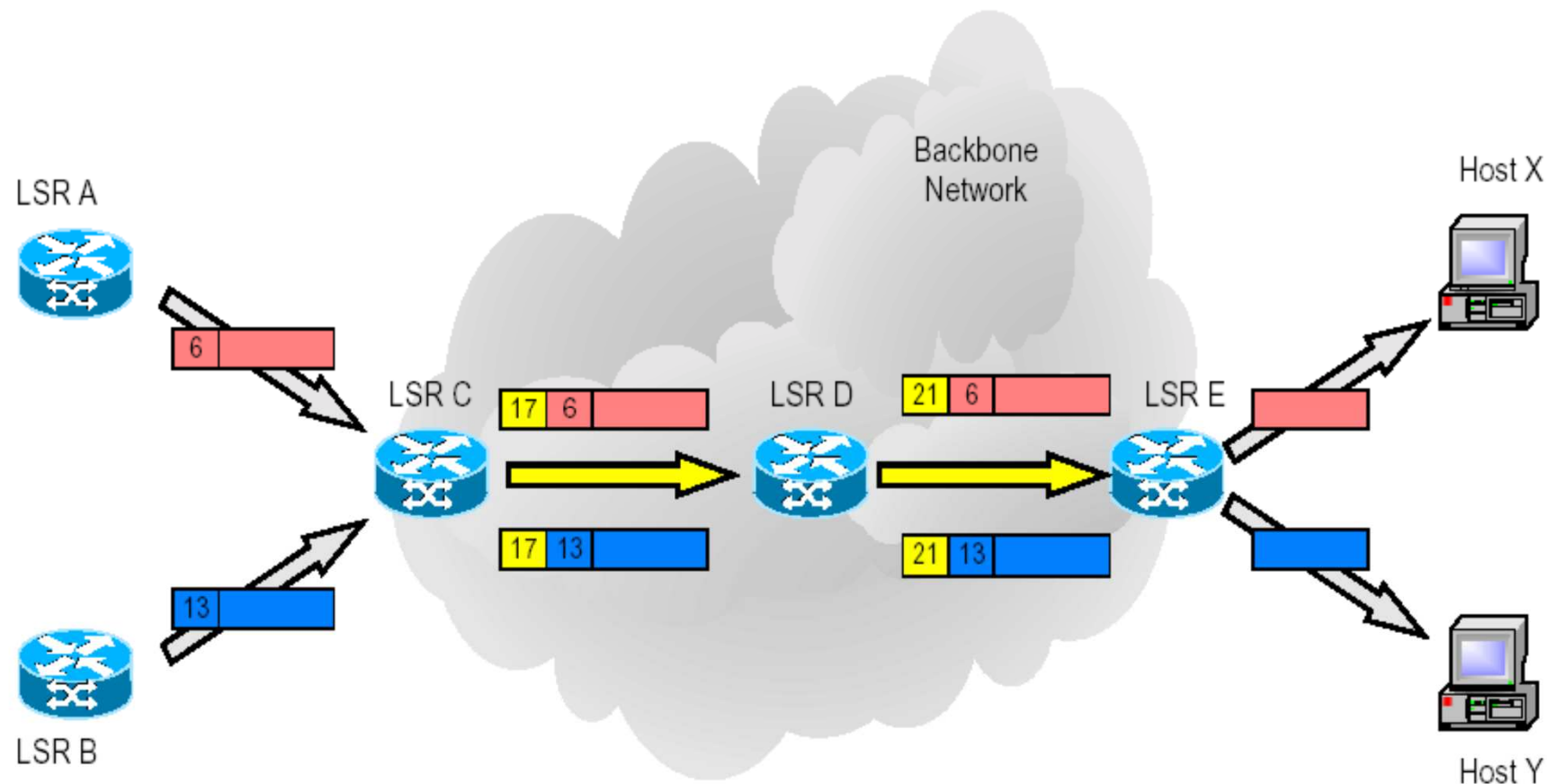


IP/MPLS

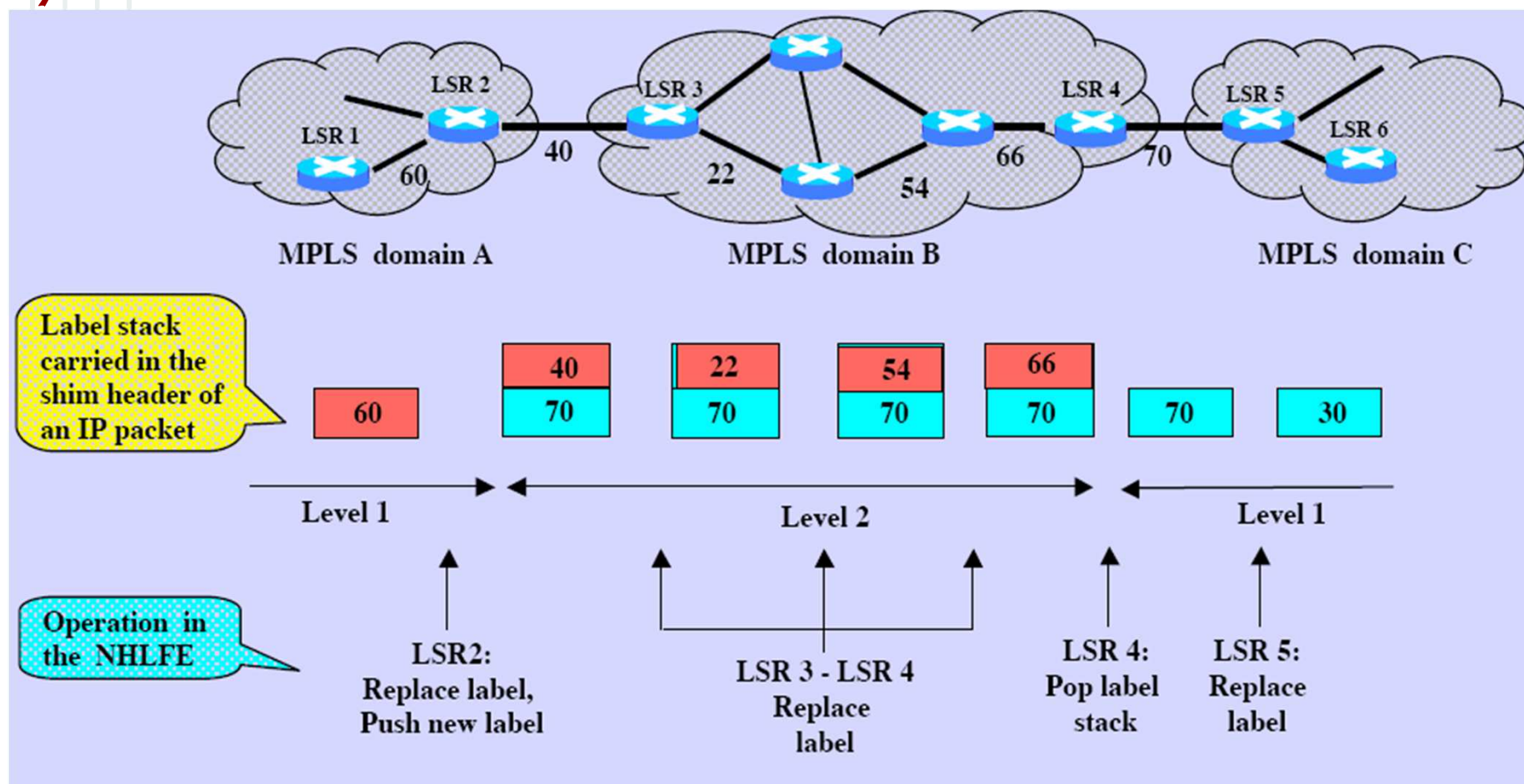


- címke alapú továbbítás Core-ban
 - nagy mennyiségű, nagy aggregáltságú forgalom
 - hierarchikus címkék
- Label Edge Router (Provider Edge Router)
 - encapsulation, decapsulation, service selection
 - label push, pop
- Label Swithc Router (Provider Router)
 - label based forwarding,
 - label swap, push, pop
- Címkekezelés: LDP
 - megállapítás, fenntartás, visszavonás

LSP hierarchia: hierarchikus címkék

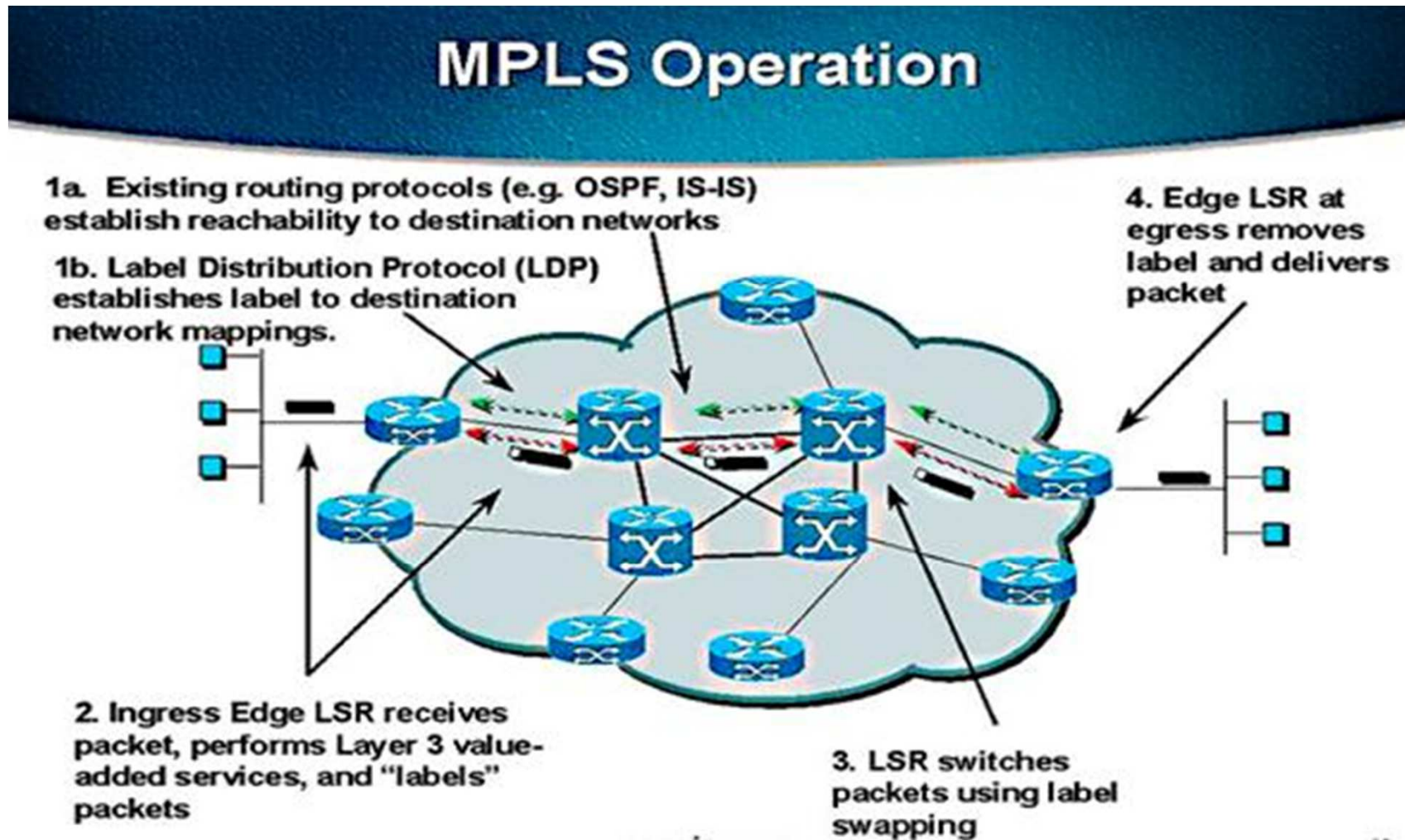


LSP hierarchia: címke stack



- A B MPLS tartományban a címkék egy alagutat alkotnak, az LSR-ek, az egress-t is beleértve, csak a tartományon történő áthaladás szempontjából ismerik a csomagok célját (NHLFE Next Hop Label Forwarding Entry)

IP/MPLS működés





MPLS TE



MPLS TE

- **Miért?**
 - gyors, szelektív hálózatvédelem
 - hálózati erőforrások hatékony kihasználása kontrollált szolgáltatásminőség mellett
- **Hogyan?**
 - kapcsolatorientált explicit utak: TE tunnel
 - off-line: feltételezett (forgalmi prognózis) követelmények alapján megtervezett, konfigurált (szemi-permanens állapotok, újratervezés valamilyen rendszerességgel)
 - on-line: folyamatosan kiértékelt állapotinformációk alapján (dinamikusan változó állapotok, újratervezés kritériumok teljesülésekor)

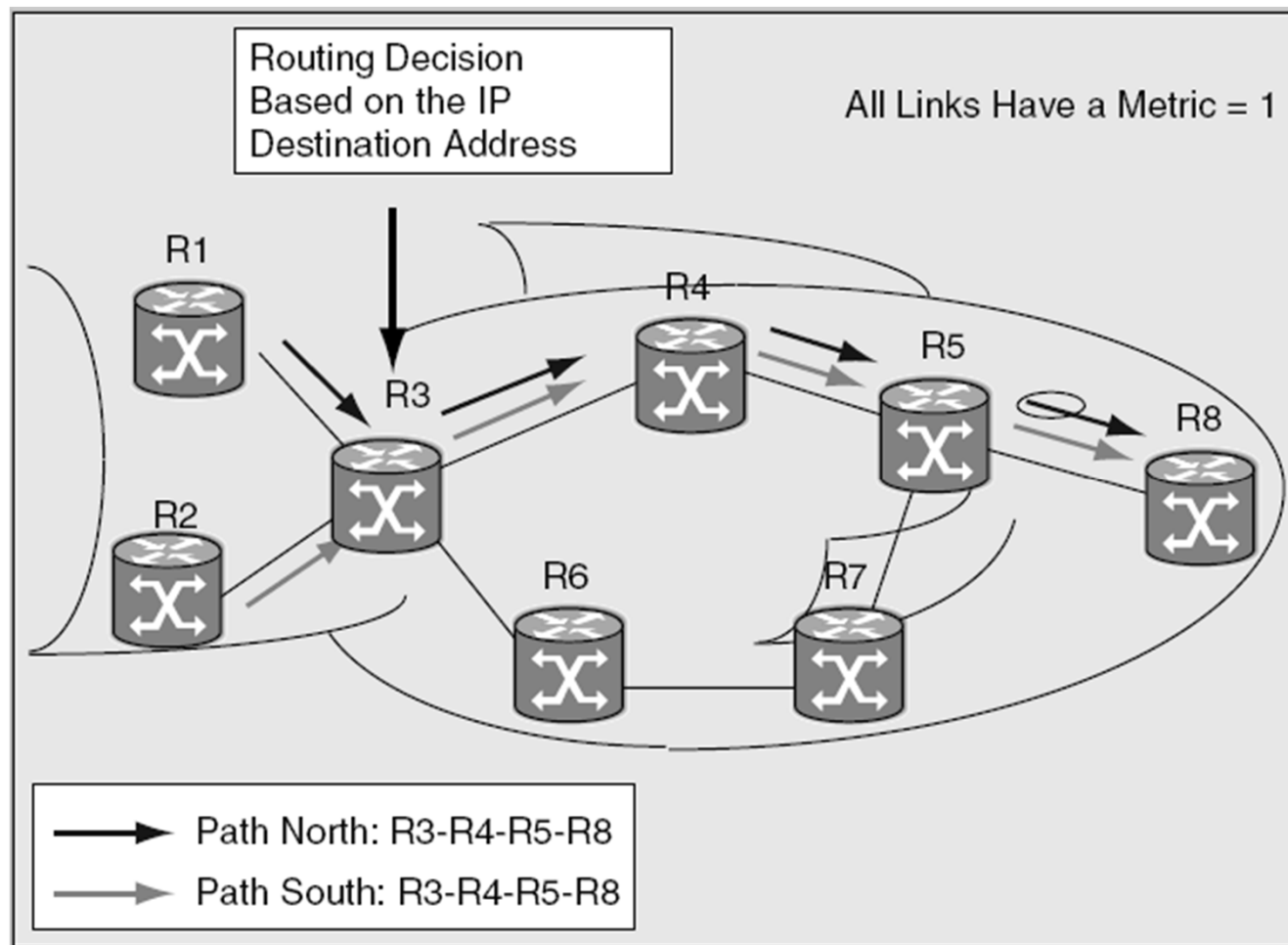
Milyen védelem van MPLS TE nélkül?

- **Védelmek**
 - IP adaptáció (pl. OSPF)
 - IP load balancing (ECMP)
 - kapcsolt L2
 - adaptáció (SPT, RSTP, ...)
 - portduplikálás
 - link aggregation
 - EAPS (Ethernet automatikus védelmi átkapcsolás – VLAN szintű átkapcsolás)
 - L1 (...)

Mi van MPLS TE nélkül?

- **Erőforrás kihasználás**
 - az alapprobléma (pl. OSPF)
 - minimálutak hálózati szintű aggregáló jellege
 - a „hal”
 - lehetséges megoldások
 - „reverse engineering” – OSPF-súlyok a kívánt utakhoz <-> komplexitás, skálázhatóság, bővíthetőség, menedzselhetség
 - kapcsolt L2 VLAN-ok <-> menedzselhetség, QoS (direkt Ethernet szolgáltatások mellett)

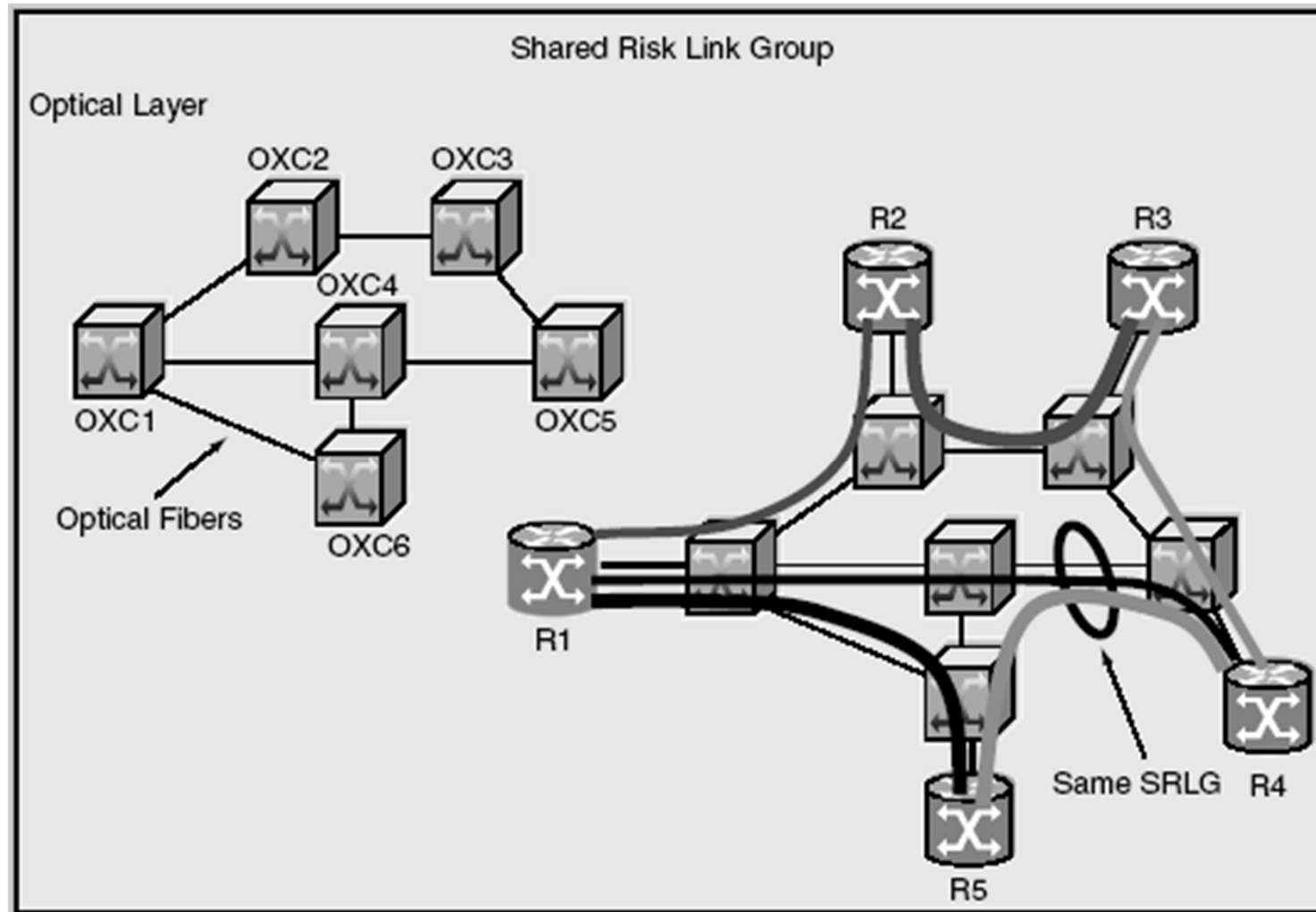
A klasszikus „hal” probléma



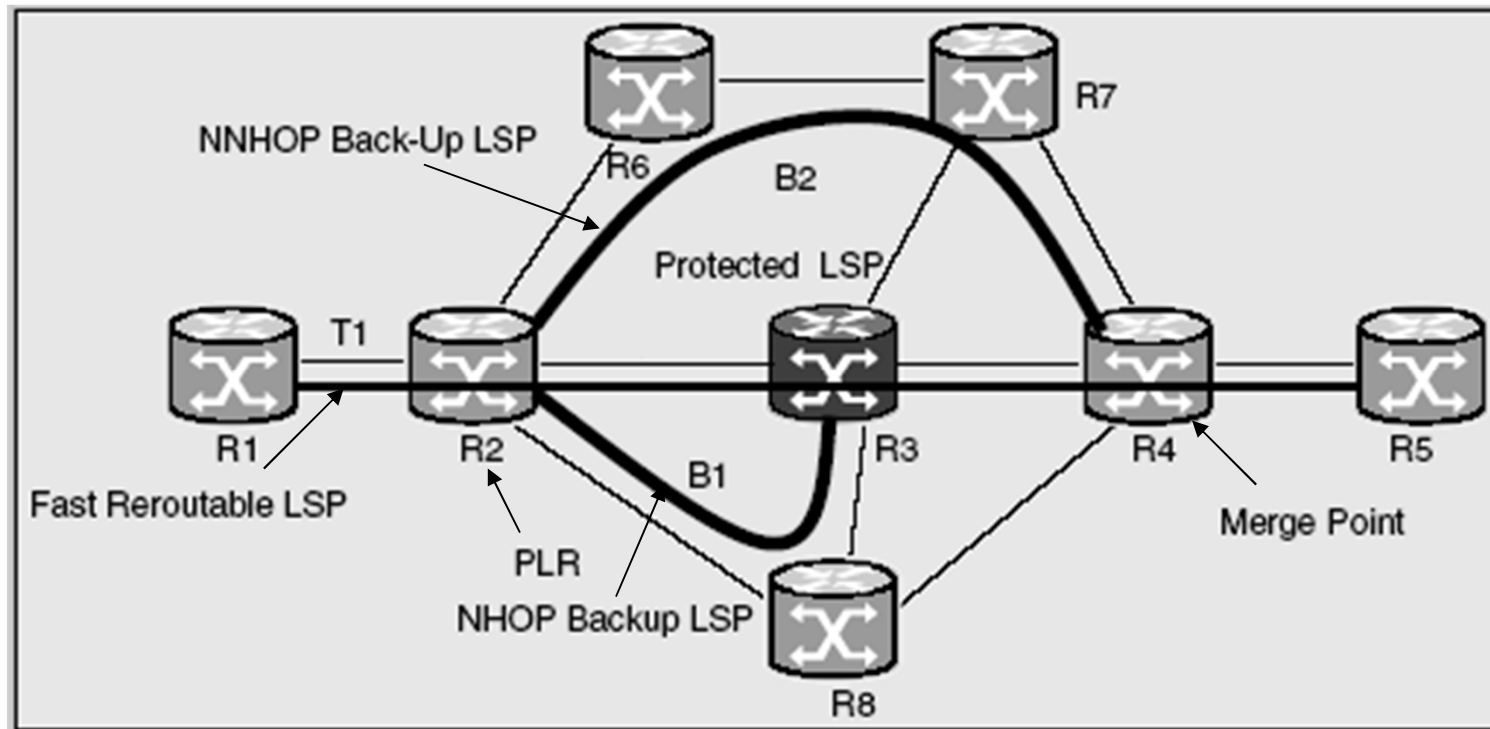
MPLS TE - védelmek

- **SRLG**
 - Shared Risk Link Group: azon linkek csoportja amelyek ugyanazon fizikai hiba hatására esnek ki
 - lazább értelmezés: L2 és L1 hibák
 - szigorúbb értelmezés: berendezés szintű L3 (pl. portkártya) is
- **Függetlenség (SRLG, csp., link)**
- **Védelmi mechanizmusok**
 - Fast Reroute/Path Protection
 - előre tervezett és konfigurált/on-line

SRLG



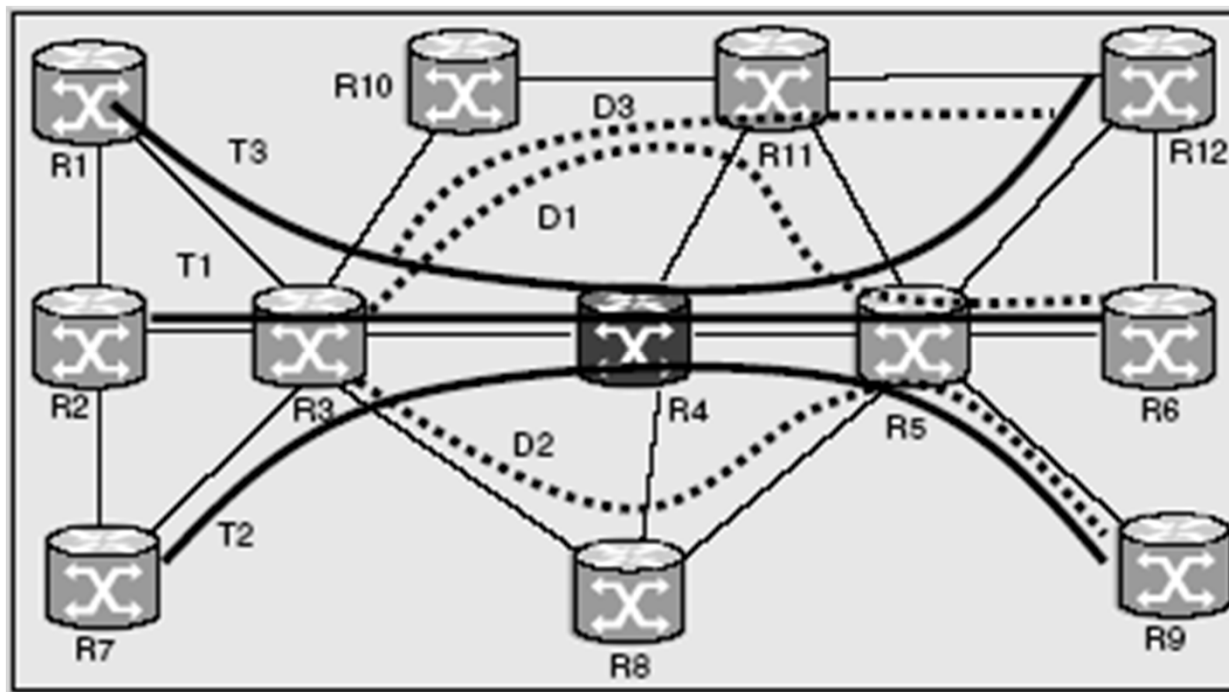
Alapfogalmak



- **PLR – Point of Local Recovery**
- **NHOP Recovery LSP – Next Hop Recovery LSP (végződés PLR-hez képest)**
- **NNHOP Recovery LSP – Non Next Hop Recovery LSP (végződés PLR-hez képest)**

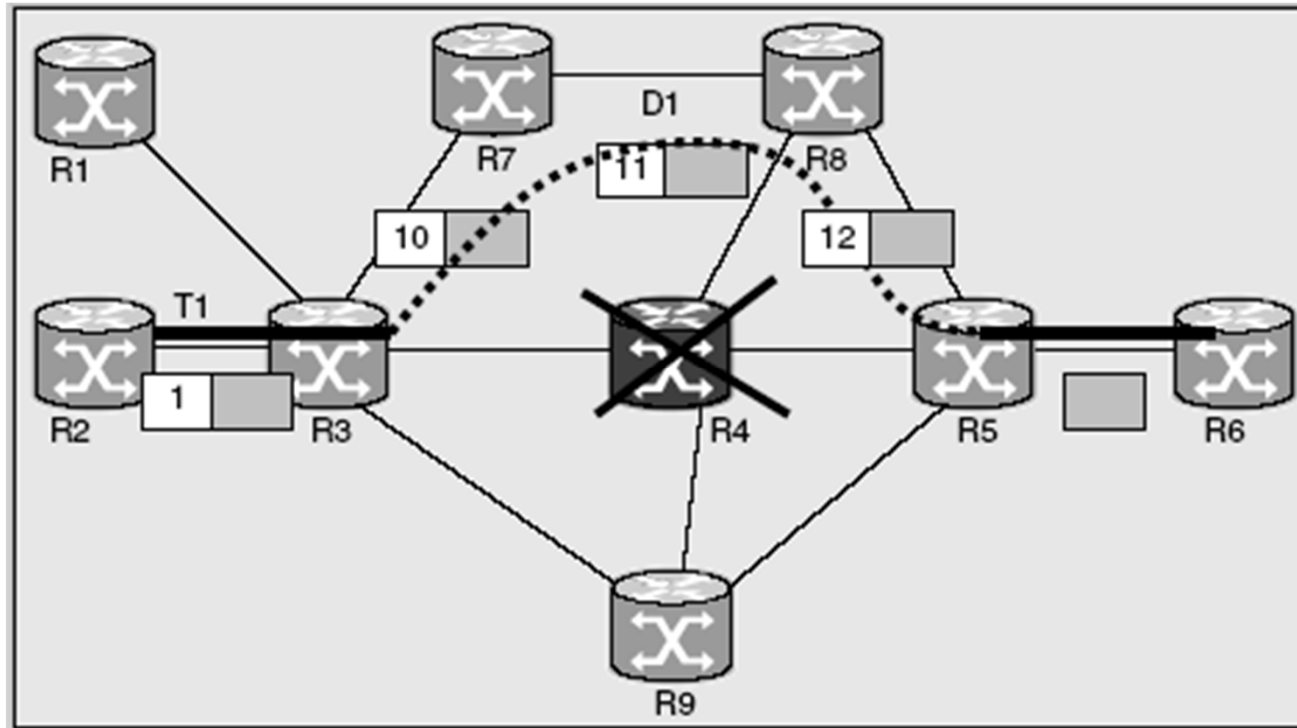
Lokális védelem LSP-nként

(Local Protection – One to One Backup)



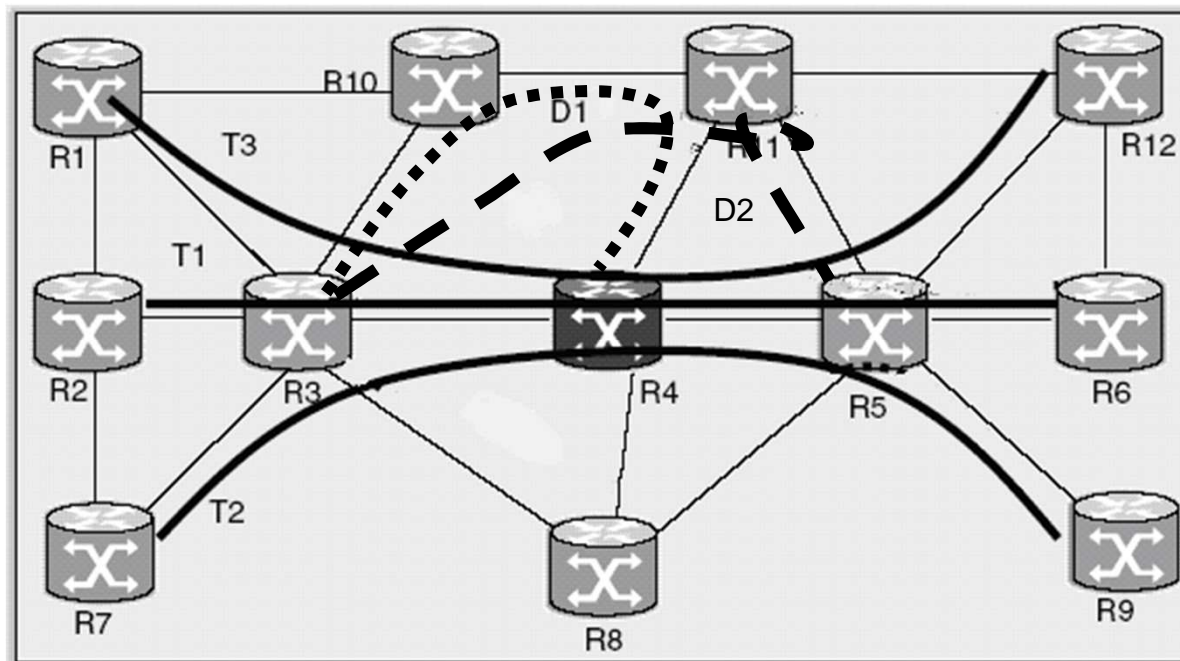
- LRP: R3, Merge Point : R5
- minden védett LSP-nek saját védelmi LSP
- LSP merging a menedzselendő LSP-k számának csökkentésére (pl. D1 és D3 az R3-R10-R11 szakaszon)

Local Protection – One to One Backup Működés



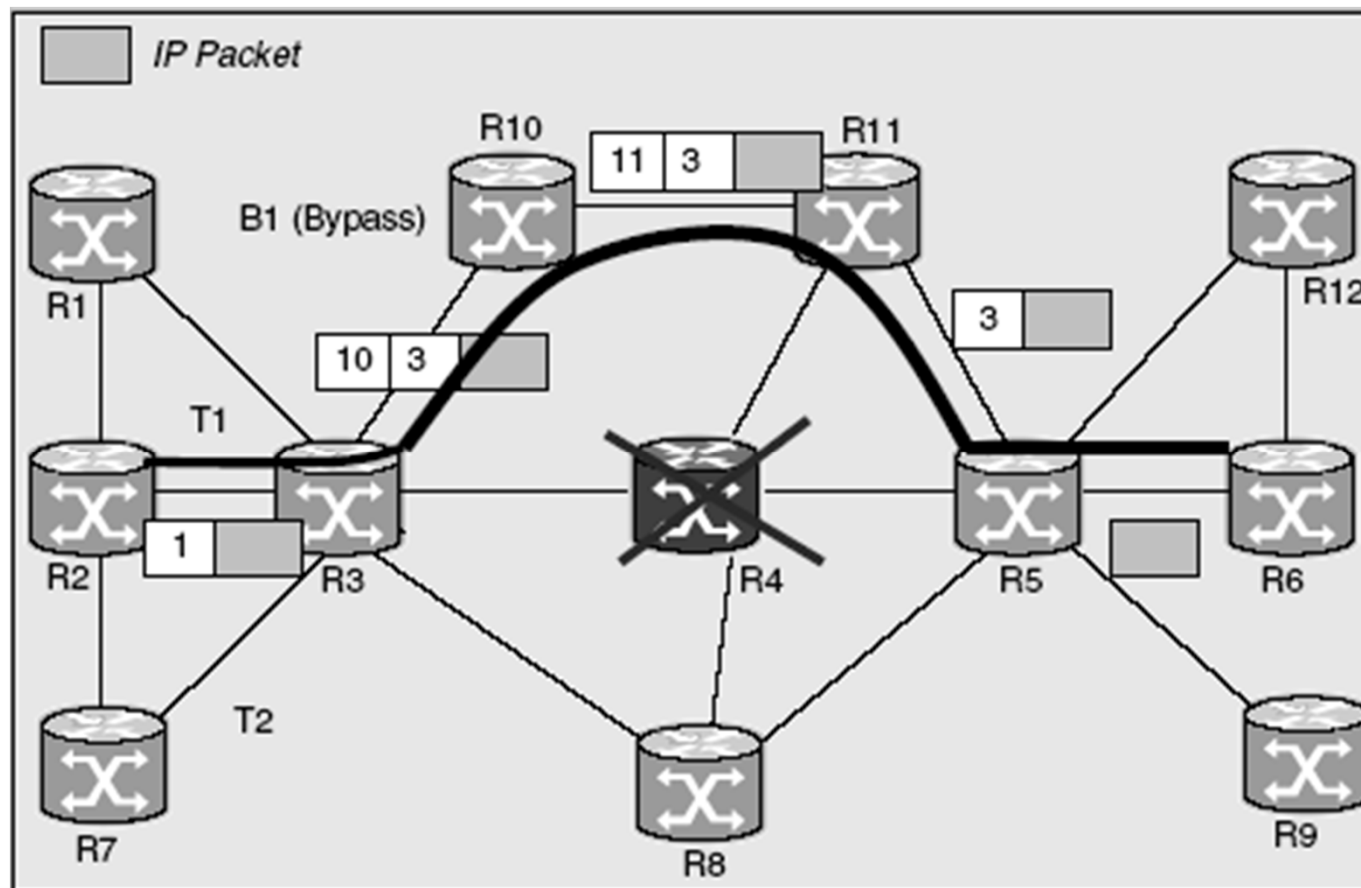
Lokális védelem erőforrásonként

(Local Protection – Facility Backup)



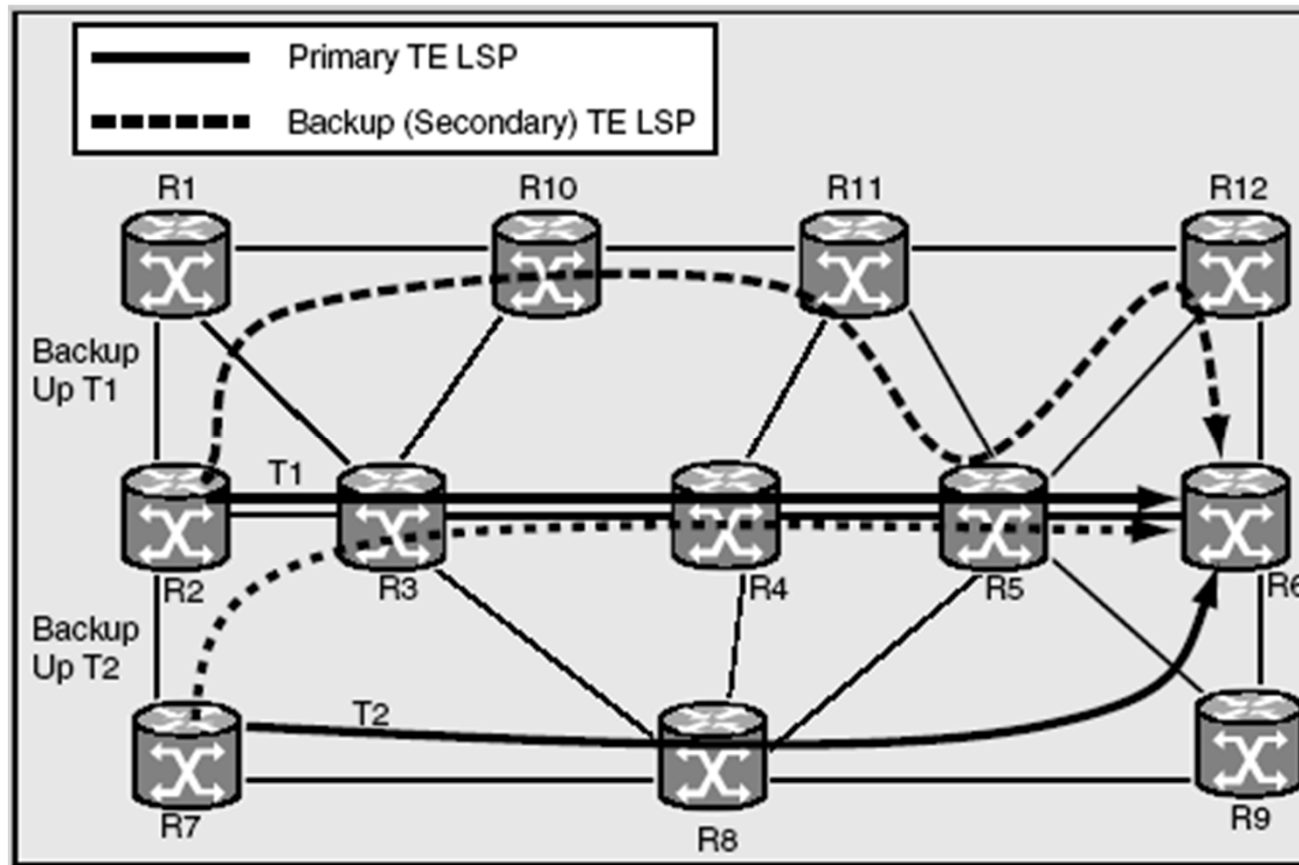
- LRP: R3,
- egy NHOP BAckup LSP szakaszhiba ellen (D1), Merge Point : R4
- egy NNHOP BAckup LSP LSR hiba ellen (D2), Merge Point : R5
- védett LSP-nként, vagy összevontan

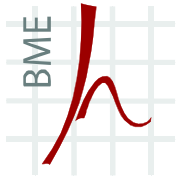
Local Protection – Facility Backup Működés



Global Protection

Path Protection

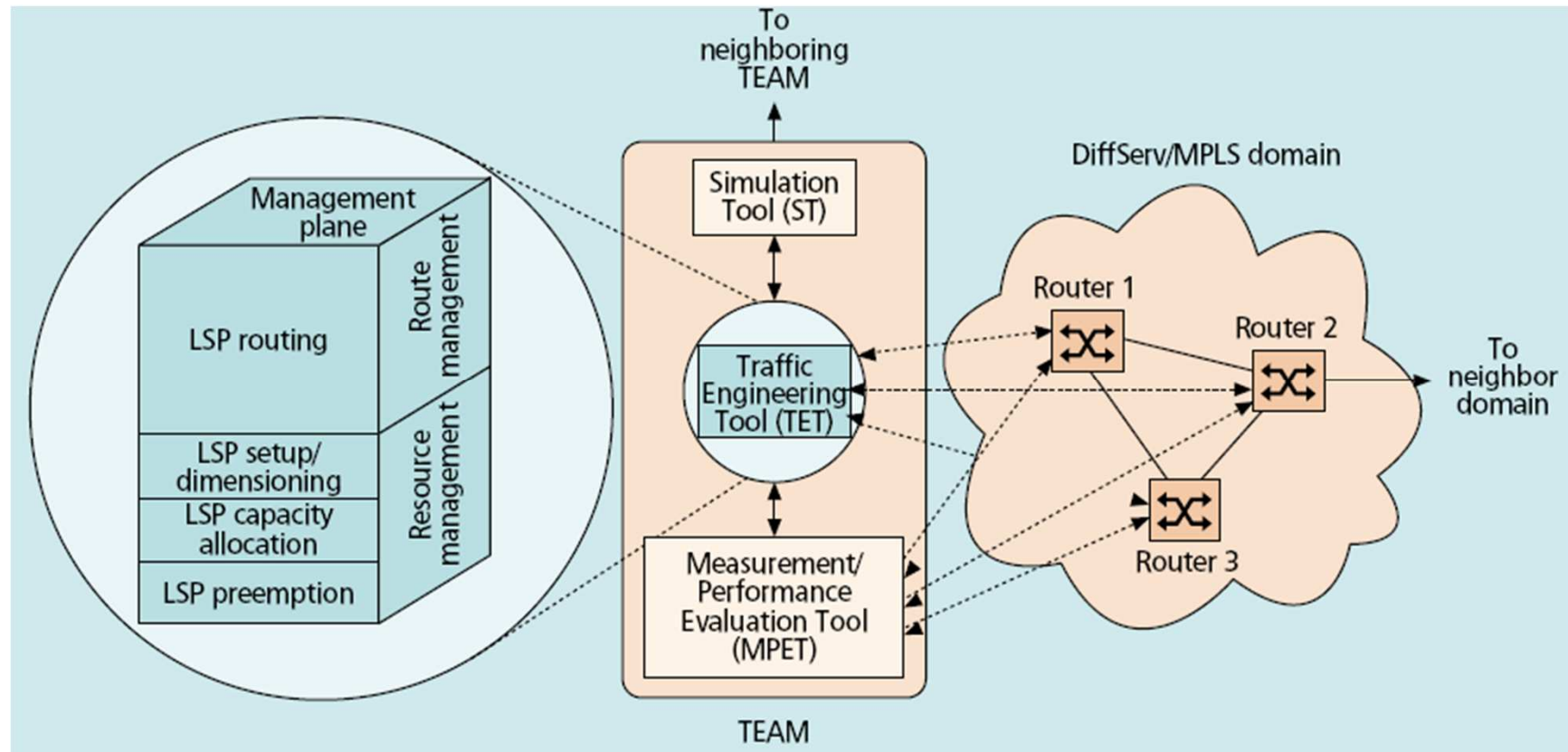




DiffServ Aware IP/MPLS TE

- Traffic Engineering Automated Manager IP MPLS/Diffserv hálózatokhoz
- IEEE Comm. Mag. 2004. október 134-145. oldal alapján

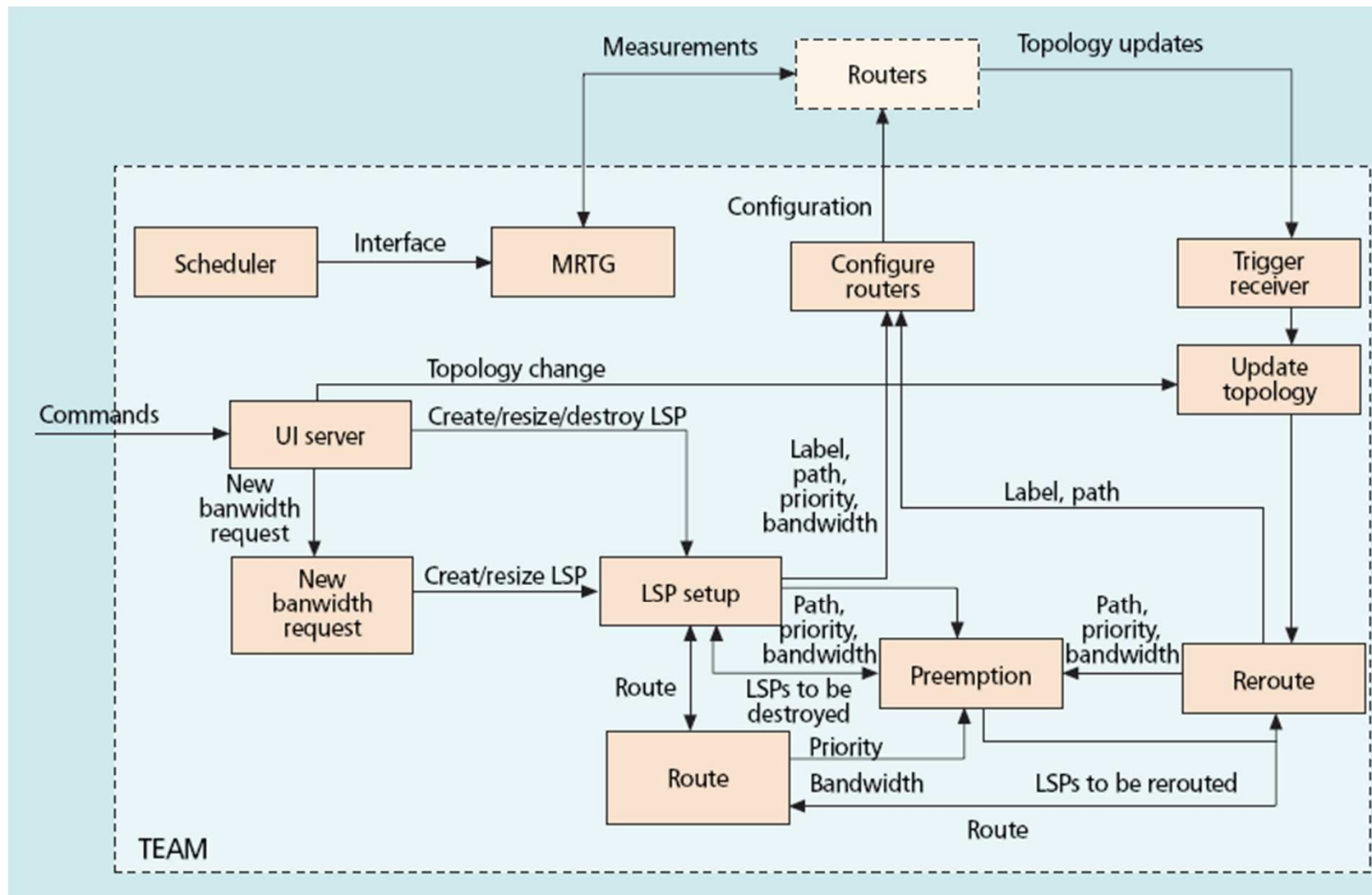
Keretrendszer és funkciók



Keretrendszer és funkciók

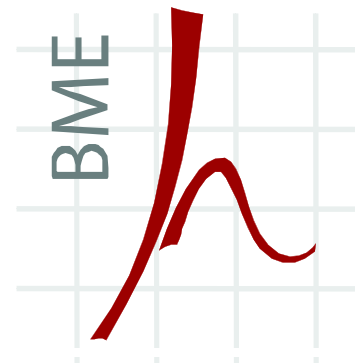
- **Traffic Engineering Tool (TET)**
 - LSP létrehozása, méretezése és erőforrás lefoglalás
 - LSP preemption (kikényszerítés) – annak eldöntése, hogy versenyhelyzetben melyik LSP melyik másik erőforrásait veheti el
 - ha ilyen helyzet áll elő, akkor Preemption Policy alapon alacsonyabb prioritású LSP keresése (ezt utóbb a rendszer megpróbálhatja új nyomvonalon elvezetni)
 - tipikus célok
 - a legalacsonyabb prioritású LSP-k megkeresése
 - a lehető legkevesebb LSP kikényszerítésével kiszolgálni a magasabb prioritásút
 - a lehető legkisebb sávszélesség kikényszerítésével kiszolgálni a magasabb prioritásút (single LSP)
 - LSP útvonalválasztás – útvonal a fizikai hálózaton, erőforrások (sávszélesség) az MPLS hálózaton

Részletes funkcionális felépítés



IP/MPLS TE

- menedzselt, szelektív védelmi funkciók
- az MPLS menedzsment-funkciókra alapozottan (mérés, vezérlés) on-line folyamatok a jobb hálózathasználat érdekében (a QoS garanciák fenntartása mellett)
- komplex SW, on-line mérések, kiértékelés, tervezési és konfigurációs akciók



VIHIMA07 Mobil és vezeték nélküli hálózatok

3. Heterogén mobil hálózatok – hozzáférési technológiák a backhaulban I. xDSL

Jakab Tivadar

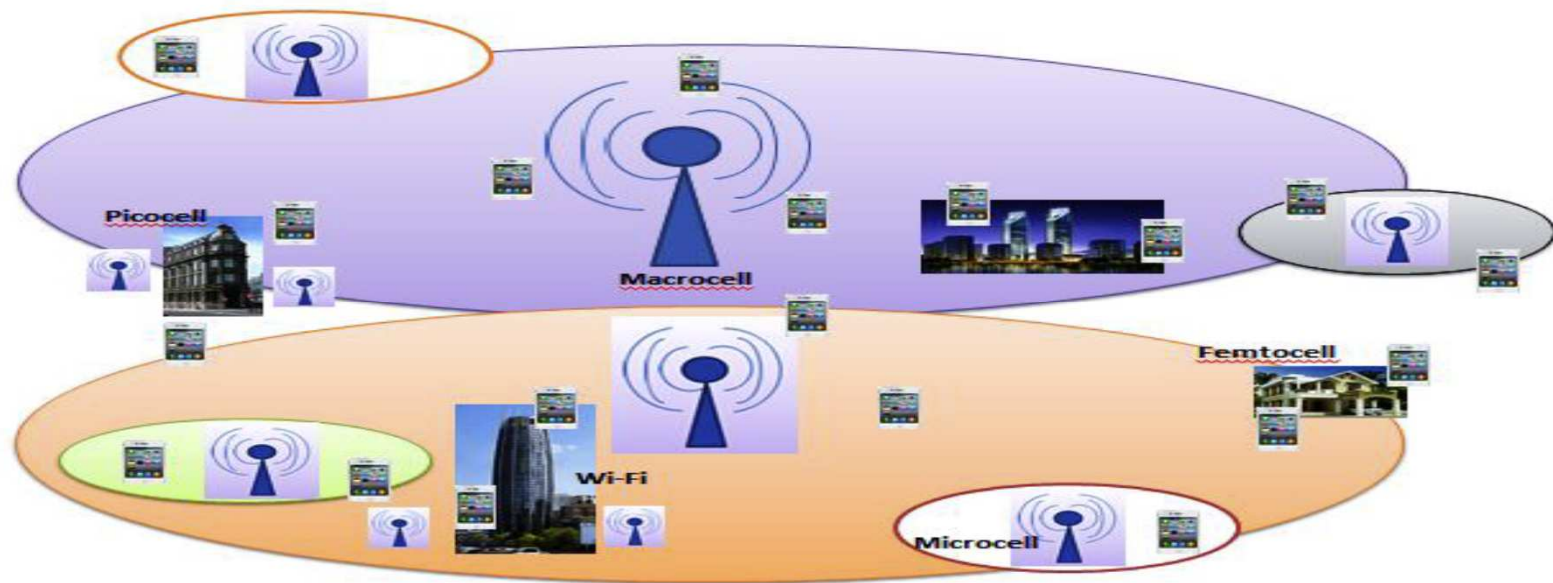
Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

jakab@hit.bme.hu

I.B.123

Heterogén mobil hálózatok backhaul technológiái

- **HetNet** alatt többféle hozzáférési hálózat kombinációját értjük, ahol a különböző rádiós technológiák, különböző adóteljesítménnyel rendelkező bázisállomások mellett, az elképzelés szerint a felhasználó számára észrevehetetlenül biztosít átjárást az egyes hozzáférési rendszerek között.
- **LTE terminológia szerint:** LTE makrocellák, piko-, femtocellák (small cellák), relék (esetleg WiFi) együttese alkotja a HetNet-et.
- Többrétegűvé válik az eddigi makro bázisállomások alkotta hálózat
- A legnagyobb lefedettség a makrocella által (esernyő cella - umbrella cell)
- A többi alárendel, kisebb rétegeket a WiFi, small cellák és relék alkotják



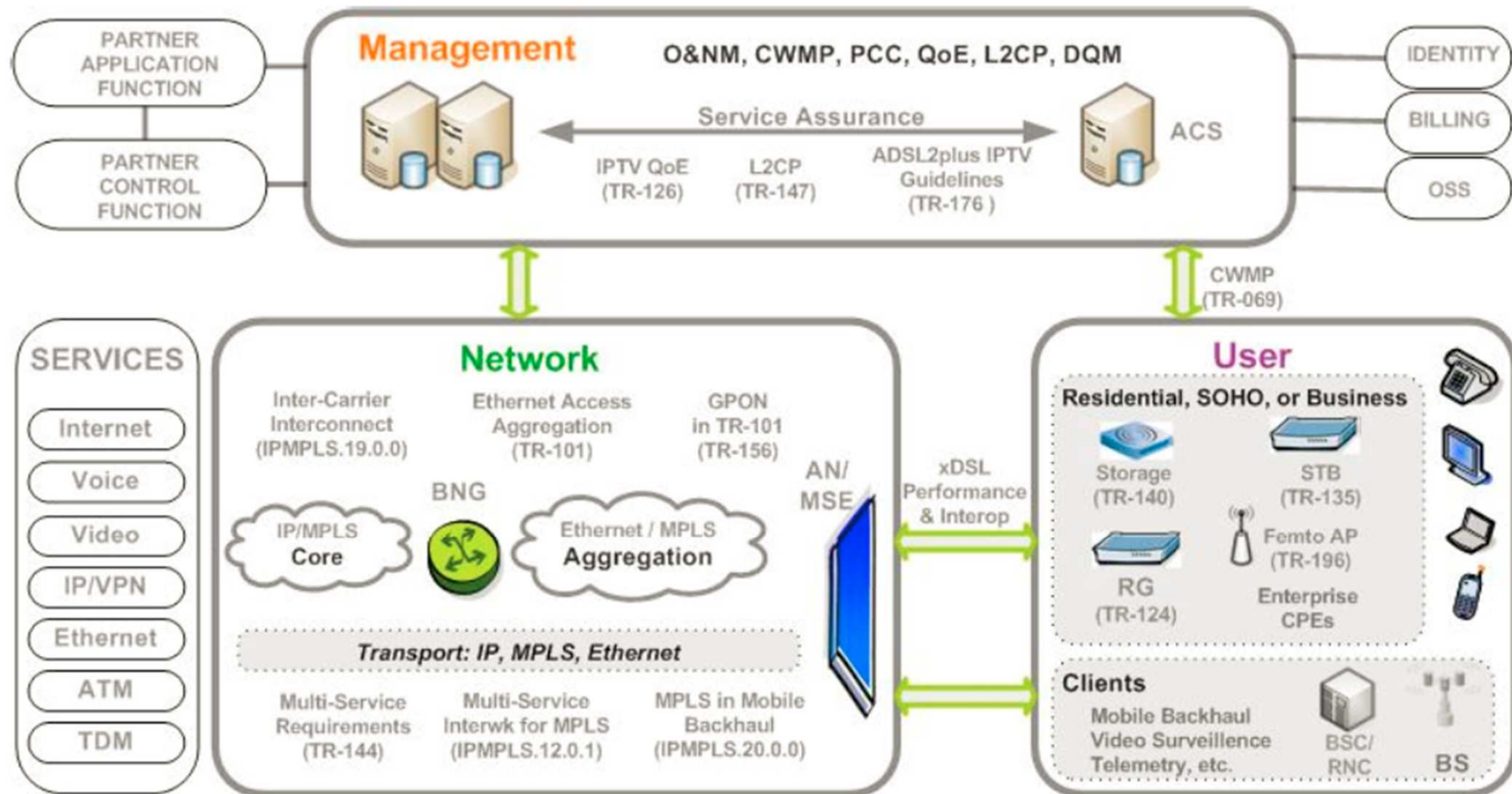
Heterogén hálózatok backhaulja

- Mit kell a hálózathoz kapcsolni?
- ✓ Makrocella – Ethernet aggregáció (+CES)
- ? Pikocella
- ? Femtocellák
- Nagyszámú, kiskapacitású (makrocellához képest)
- Gazdaságos, megfelelően skálázódó, menedzselhető hálózati megoldások szükségesek
- Nagysebességű hozzáférési technológiák (xDSL, DOCSIS, PON) – IP konnektivitás Ethernet alapon
- Tipikusan kiépültek/épülnek a lakossági és SOHO felhasználóknak
- Megfelelő távolság*sávszélesség megoldásokat kínálnak, menedzselhető (többé-kevésbé) eszközökre épülnek

Small Cell Type Parameters	Macrocells	Picocells	Femtocells		
			Metrocells	Enterprise Femtocells	Home Femtocells
Deployment	Outdoor	Outdoor/Indoor	Outdoor	Indoor	Indoor
No. of users	> 256	64-128	32-64	16-32	4-16
Coverage	few miles	< 300 m	< 300 m	< 100 m	< 30 m
Application Areas	Rural, Residential	Airport, Aircraft, Stadium	Dense Urban, Hotspot	Office, SME	Home, Apartment
Access Mode	Open	Open	Open	Open/CSG	Open/CSG

Szélessávú hálózat

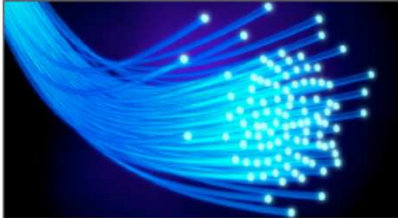



(Broadband Forum, 2009)

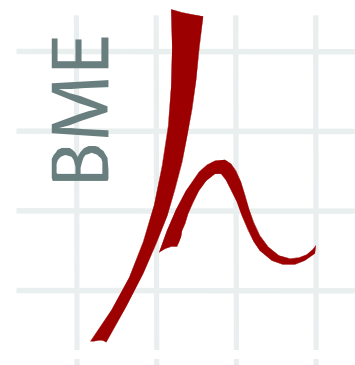


Nagysebességű vezetékes hozzáférés

- Meglévő (sodrott érpár, koax) és új építésű (fényvezető szál) infrastruktúrán
- Lakossági (beszéd, adat, tv/videó) és SOHO (beszéd, adat) felhasználóknak
- Többfajta architekturális megoldás
 - rézalapú
 - érpár (telefonhálózat)
 - koax (műsorszétoosztó hálózat - kábeltévé)
 - optika
 - hibrid
 - optika és réz
 - optika és koax

Különböző hozzáférési technológiák potenciális spektrális tartományai

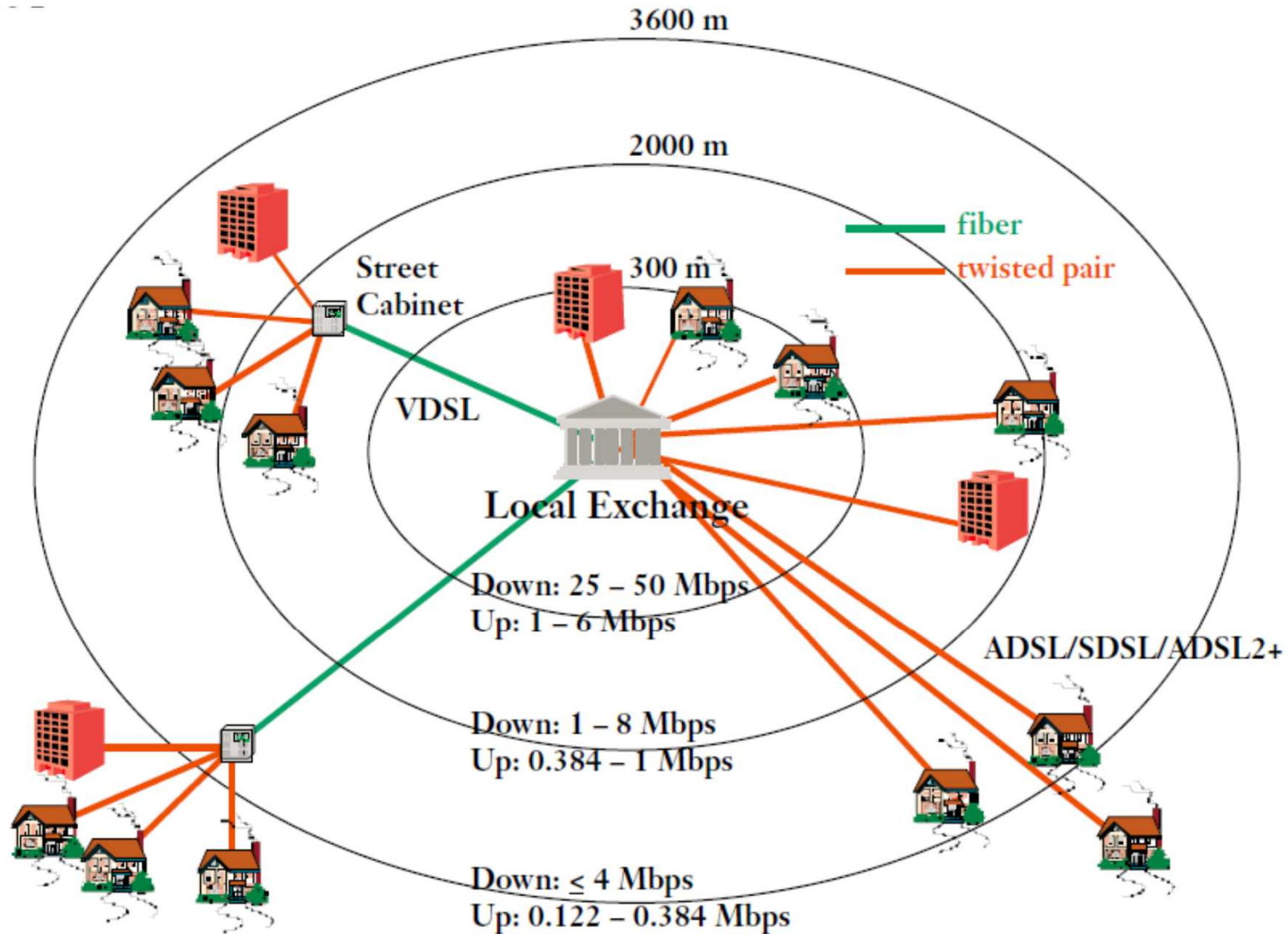
Physical Medium		Bands	Total spectrum
	Fiber High purity glass	O-band: 1260 - 1360nm E-band: 1360 - 1460nm S-band: 1460 - 1530nm C-band: 1530 - 1565nm L-band: 1565 - 1625nm	45,000GHz not all bands are used on the same fiber - today
	HFC Coaxial cable	Upstream: 5 - 42MHz TV (analog): 54 - 552MHz TV (digital): 552 - 678MHz Data: 678 - 690MHz TV (digital): 690 - 750MHz Future upgrade: up to 1700MHz	1.7GHz
	Wireless Radio Frequency	Licensed (mobile operator): 700, 800, 1700, 1900, 2100, 2300, 2500MHz Unlicensed (WiFi): 2400MHz, 5000MHz	0.5GHz licensed spectrum
	xDSL Copper wire	Voice: 0 - 4kHz DSL: 26 - 138kHz ADSL: 26kHz - 1.1MHz ADSL2: 26kHz - 2.2MHz VDSL: 26kHz - 8.8MHz VDSL2: 26kHz - 30MHz	0.03GHz



Nagysebességű adatszolgáltatás réz érpáron xDSL



DSL hozzáférések áttekintése



Egy meghatározó technológia - xDSL

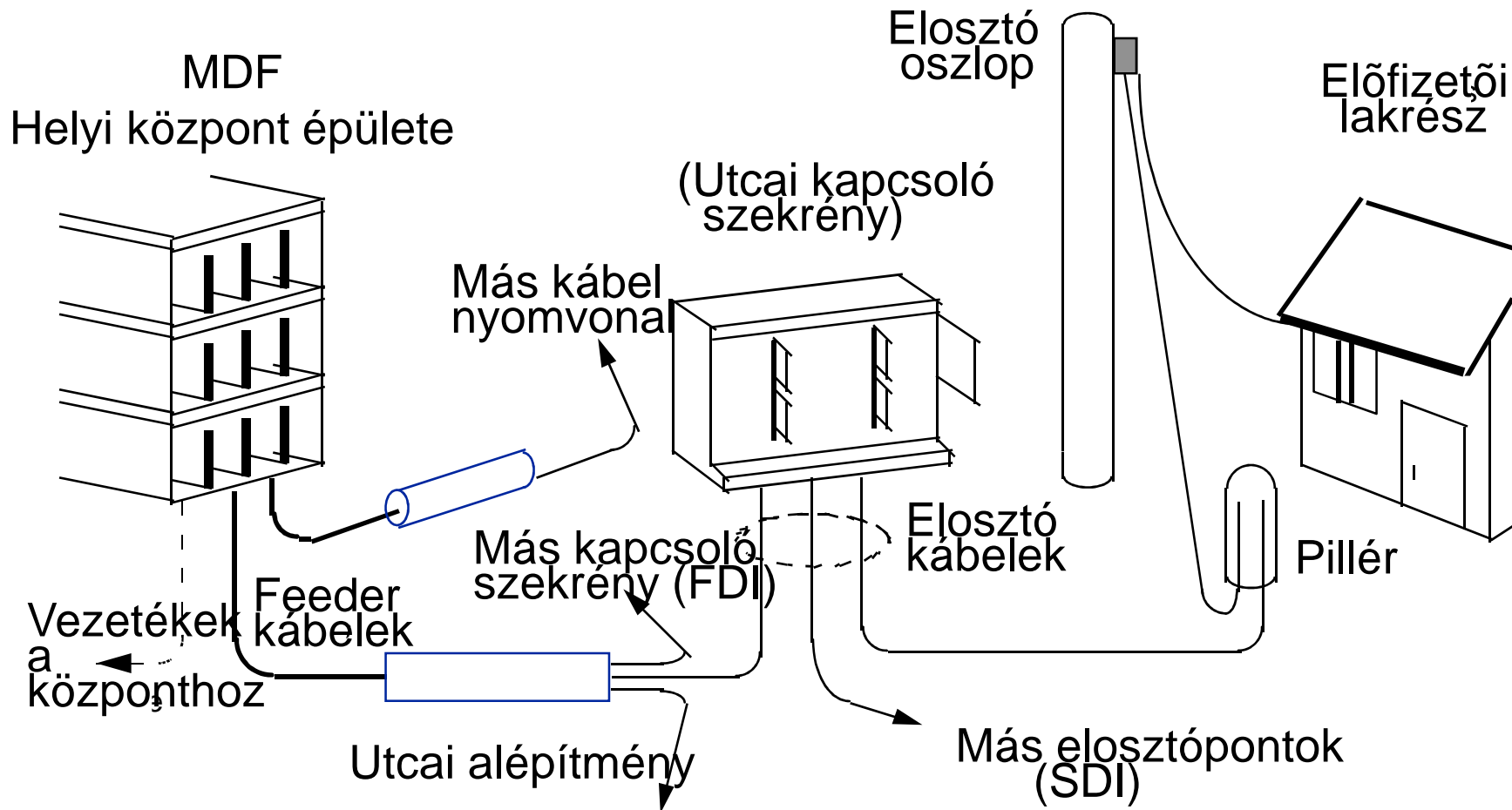
- **Előnyök**
 - új jelfeldolgozási technikák az előfizetői hurok minél hatékonyabb kihasználására
 - sodrott érpáron adat és beszéd
 - távtáplálás
- **Hátrányok**
 - együttműködési problémák a különböző gyártók eszközei között
 - a rézhálózat minősége jelentősen befolyásolja a szolgáltatást (pl. áthallás)
- **Költségviszonyok**
 - a modem és DSLAM árak fokozatosan csökkenek
 - KKV és lakossági előfizetők számára, flat tarifa

ADSL alapú nagysebességű Internet hozzáférés

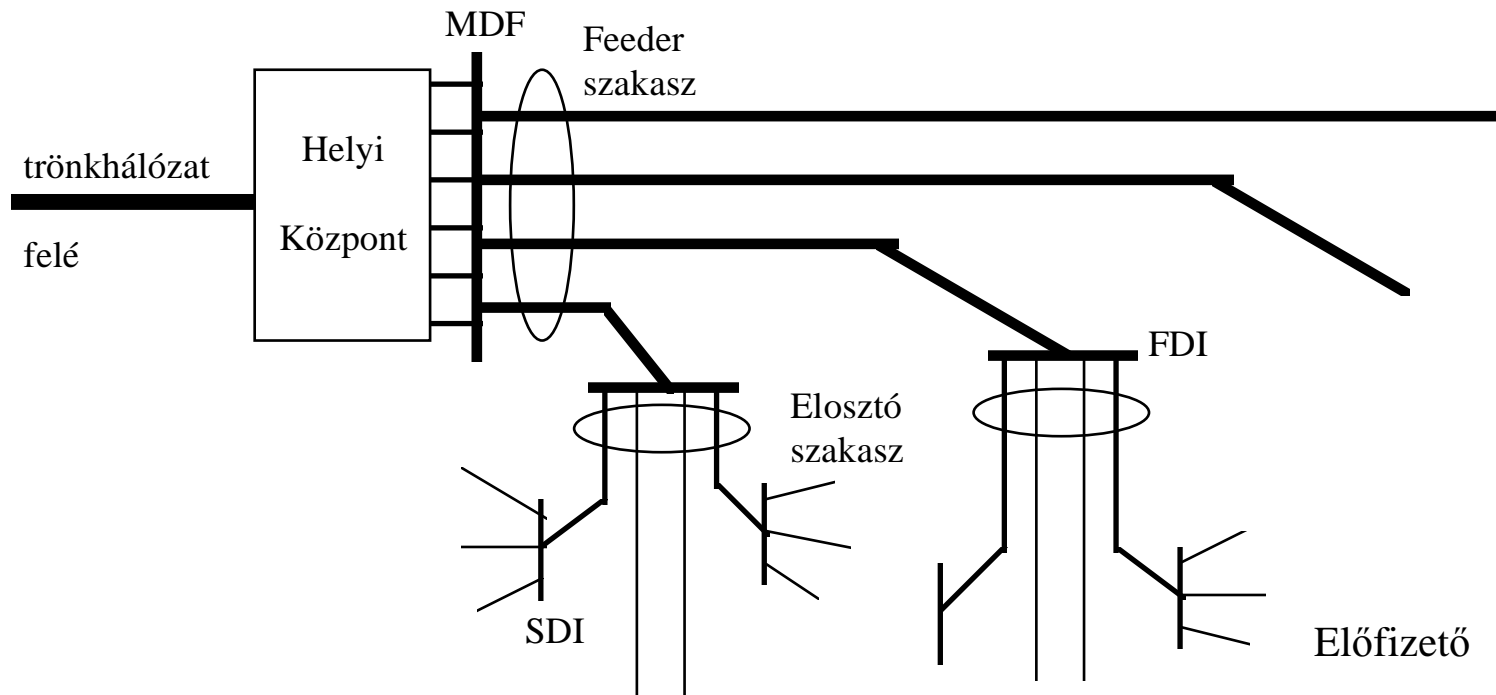
ADSL alapú üzleti modellek

- **szolgáltatási jellemzők**
 - US/DS asszimmetrikus
 - azonos technológiai platformon számos szolgáltatás különböző US/DS változat
- **szolgáltatók szerepe**
 - Ki birtokolja a PSTN előfizetői hurkot? (NAP)
 - Ki az ISP? (NSP)

Hagyományos csillag topológiájú hozzáférési hálózat kialakítása



Hagyományos csillag topológiájú hozzáférési hálózat szerkezete

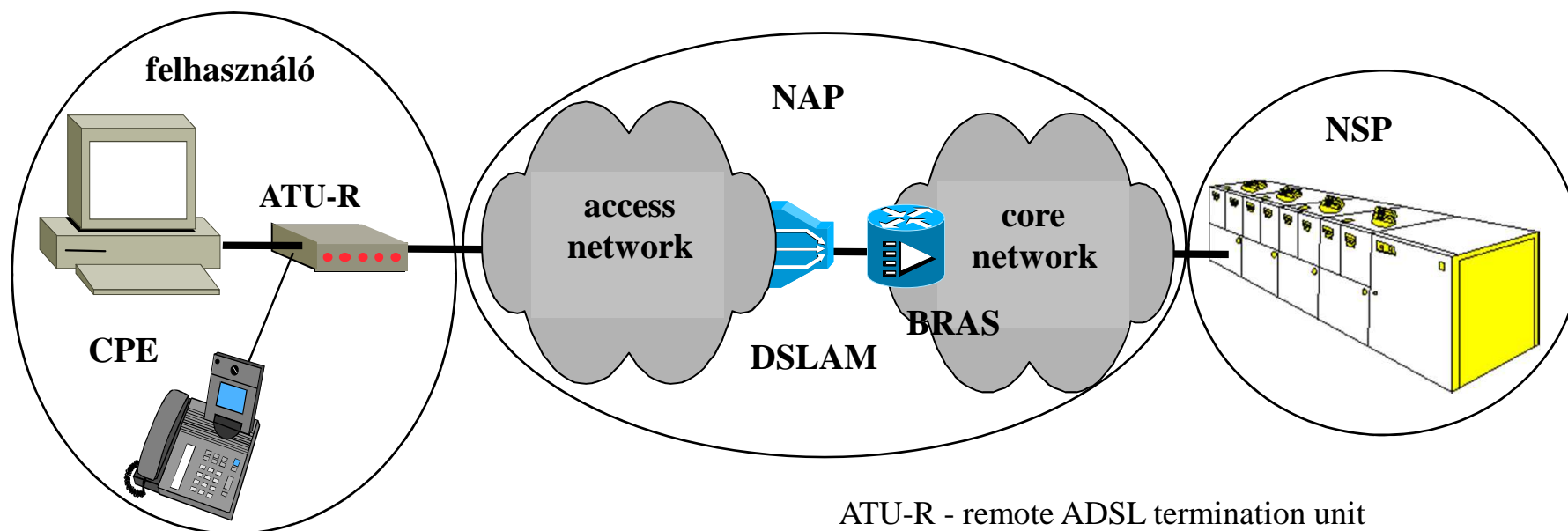


MDF: Main Distribution Frame, fő rendező
 FDI: Feeder Distribution Interface, 1. elosztó pont
 SDI: Subscriber Distribution Interface, 2. elosztó pont

Hálózatelemek

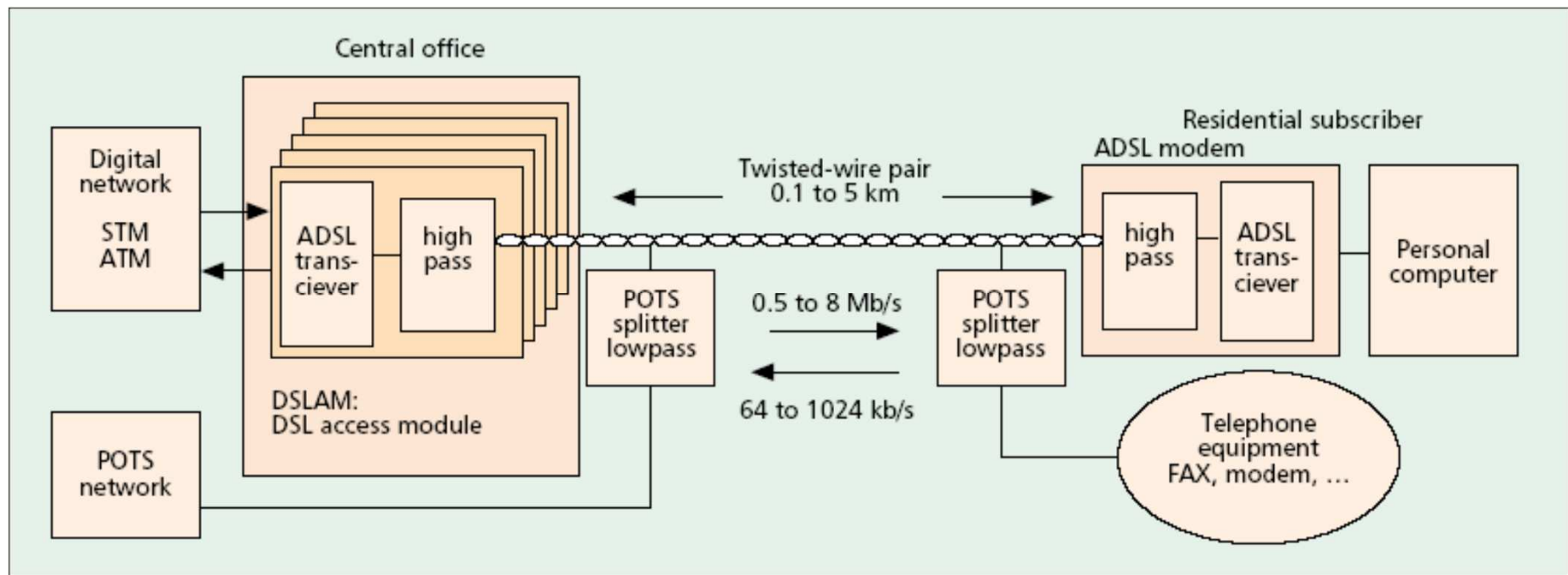


ADSL alapú nagysebességű elérési szolgáltatás általános sémája

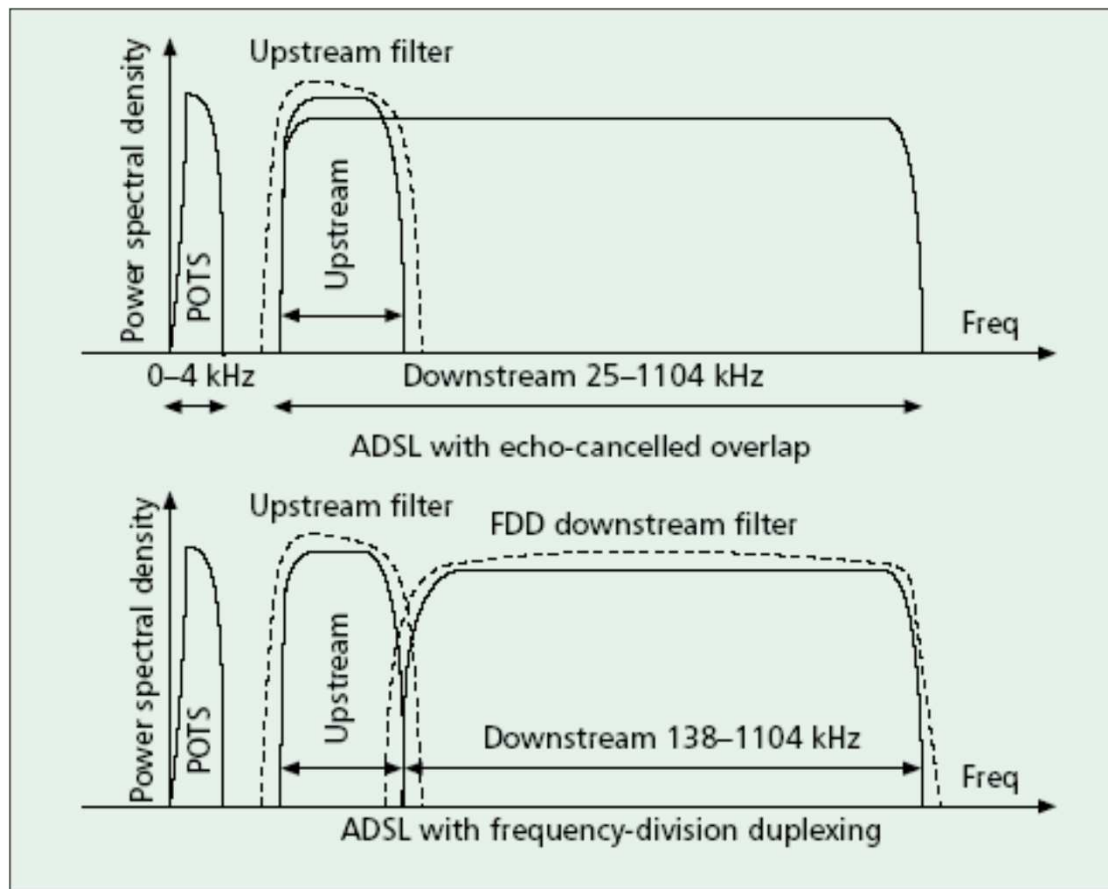


ATU-R - remote ADSL termination unit
 CPE - customer premises equipment
 DSLAM - digital subscriber line multiplex
 BRAS – broadband remote access server
 NAP - network access provider
 NSP - network service provider

ADSL hozzáférés logikai szerkezete (ATM uplink)



ADSL spektrum



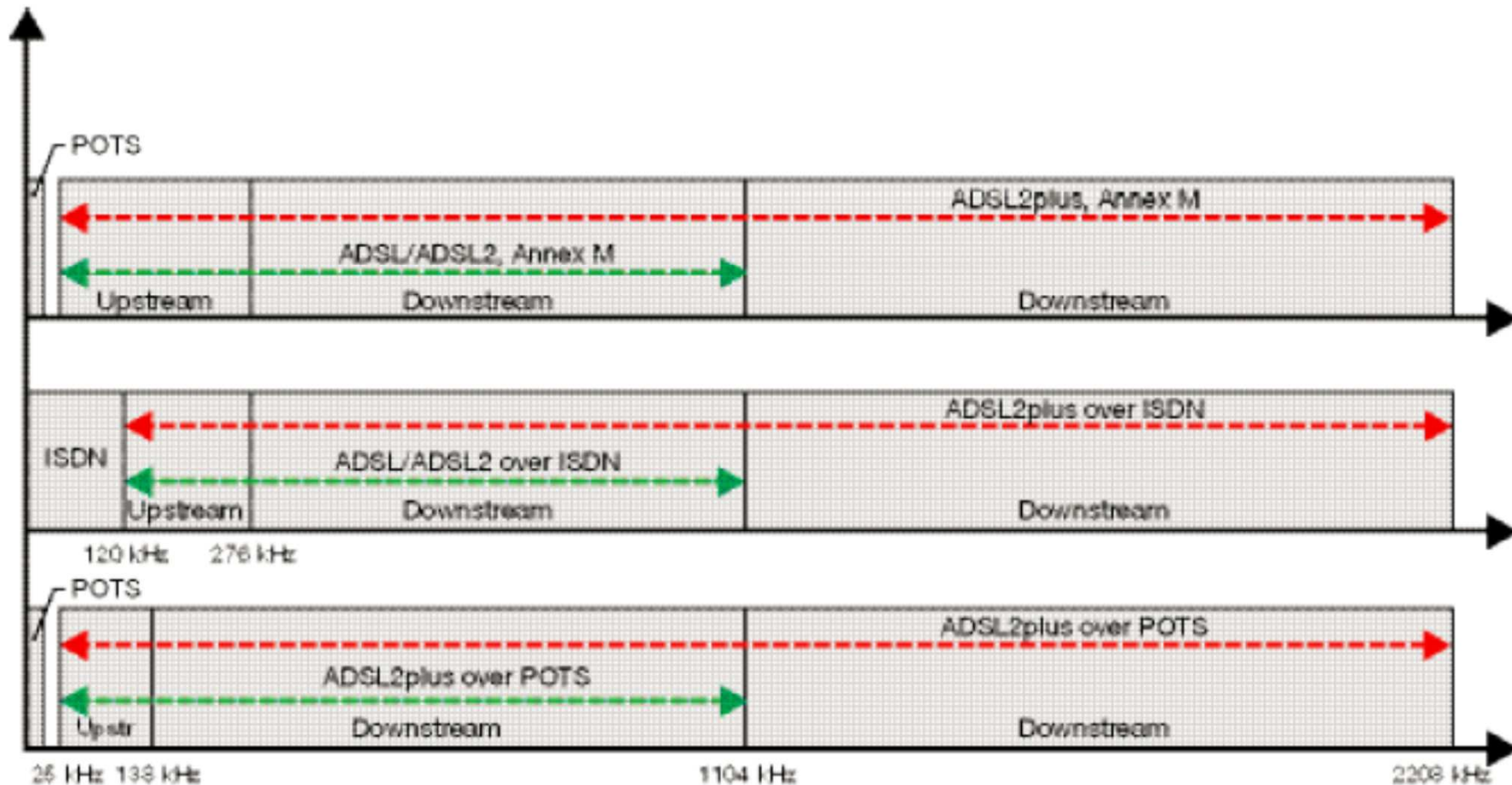
EC-ADSL

- az upstream és a downstreams spektrum átfedésben van,
- visszhang-elnyomás (EC - Echo Cancellation) szükséges a szétválasztáshoz

FDD-ADSL

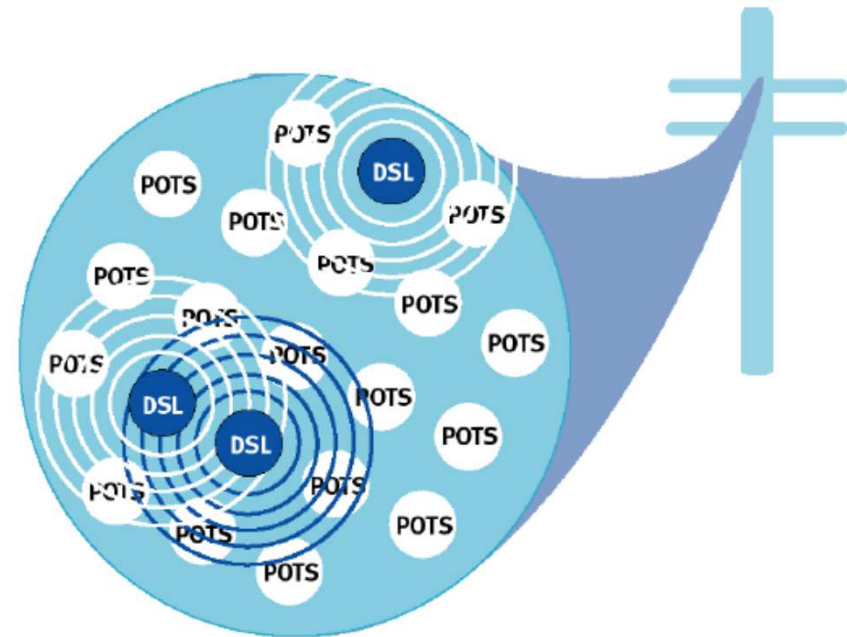
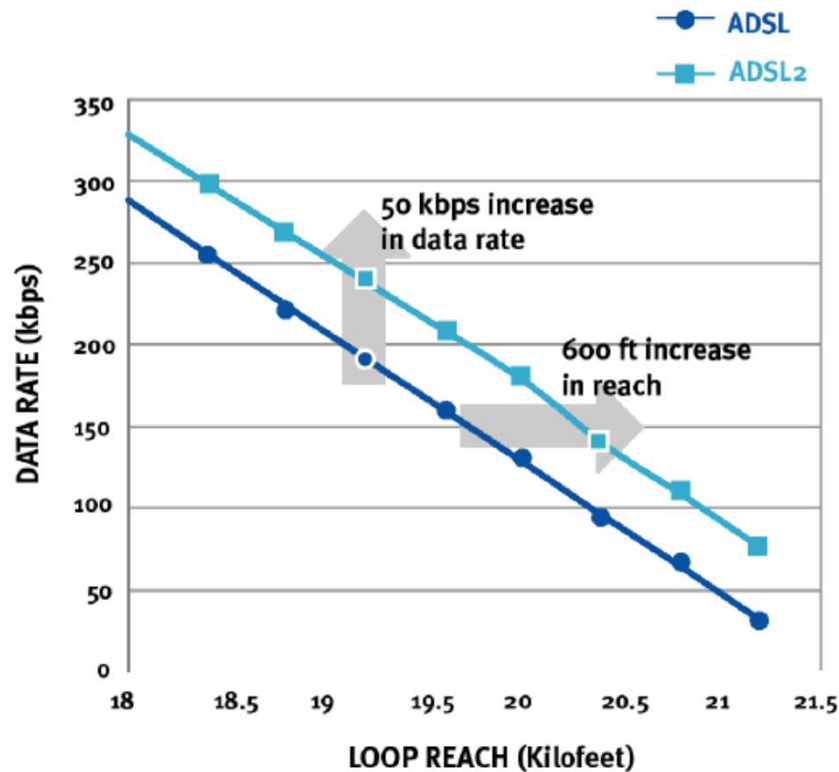
- az upstream és a downstreams spektrum szeparált

ADSL/ADSL2/ADSL2+ spektrum



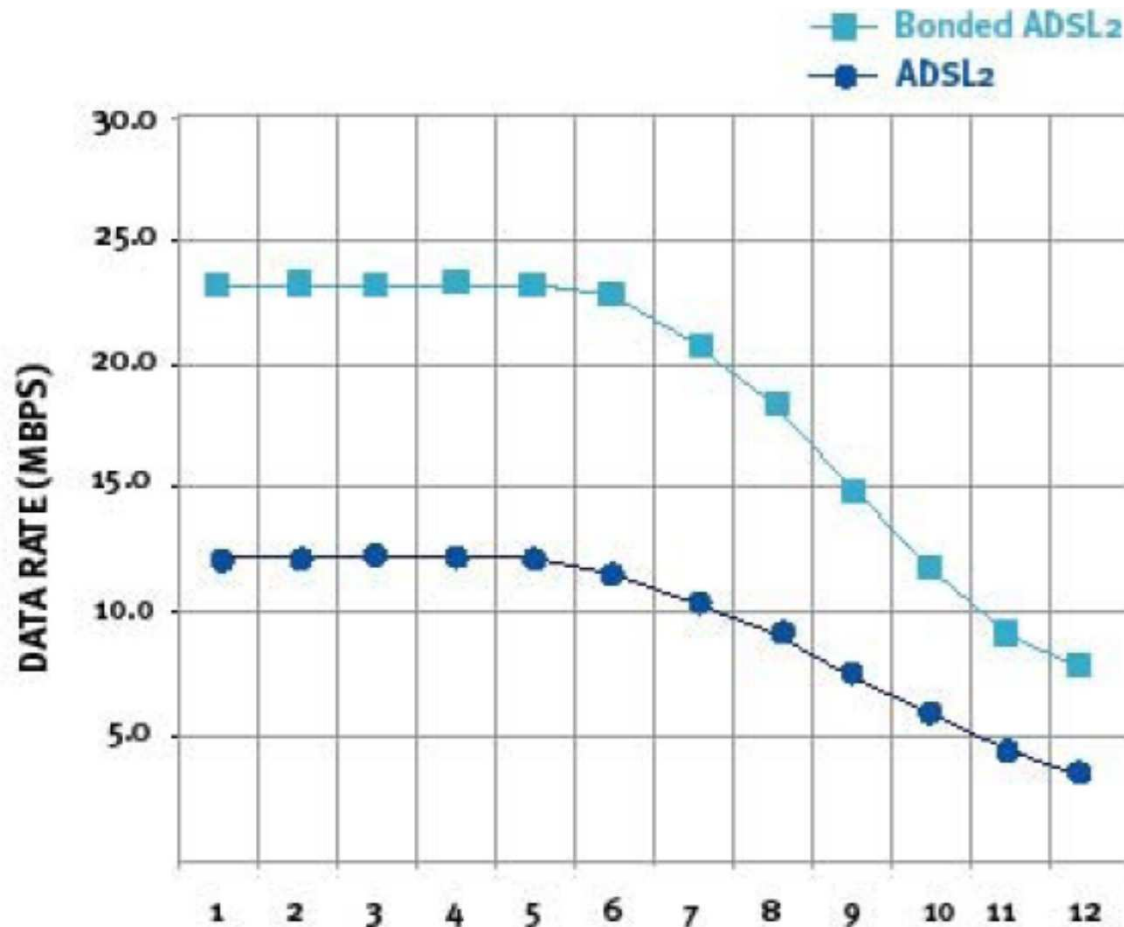
- CAP (Cellular Array Processor)
 - egy csatorna
 - sávszélesség szabályozása magasabb szinten, pl. ATM (üzleti modell szerinti szolgáltatási csomagok)
- DMT (Discrete Multitone)
 - 64 kbps csatornák (4kHz sávok)
 - fizikai szinten lehet az up/down sávszélességeket szabályozni, pl. 384 kbps = 6x64kbps (áthallási okokból nem a szomszédos csatornákat használják)

ADSL2

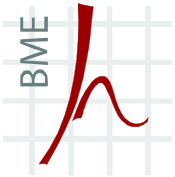


- jobb teljesítőképesség: bitsebesség x távolság
- alacsonyabb jelszintek
- adaptív jelsebesség (SRA – Seamless Rate Adaptation) a modulációs és keretezési réteg (funkció) szétválasztására alapozottan

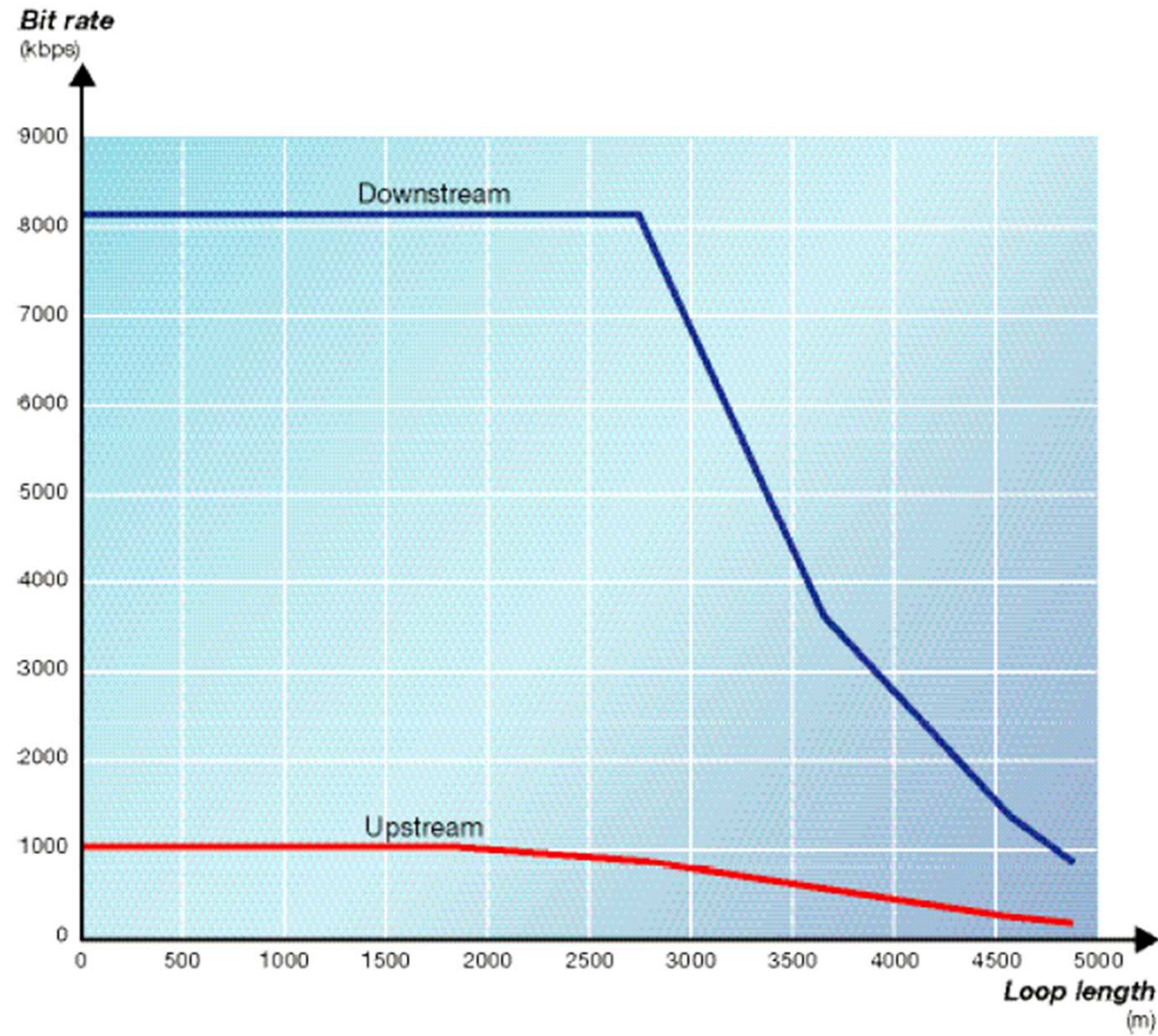
ADSL2



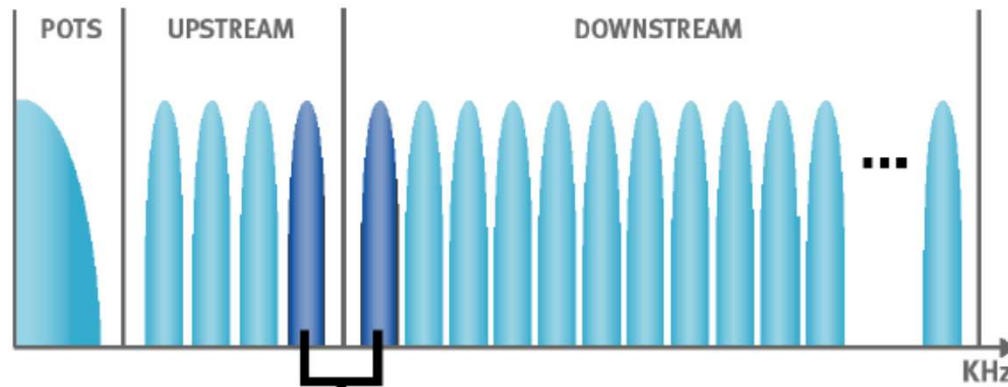
- összekapcsolt (egyesített) jelsebesség
- több érpár felhasználása
- ATM inverz multiplexing-elv
- azonos technológia, jobban skálázható üzleti modellek
- jobb együttműködőképesség
- tisztán digitális üzemmód



ADSL2 (POTS, 0.4 mm, 24 DSL lines)

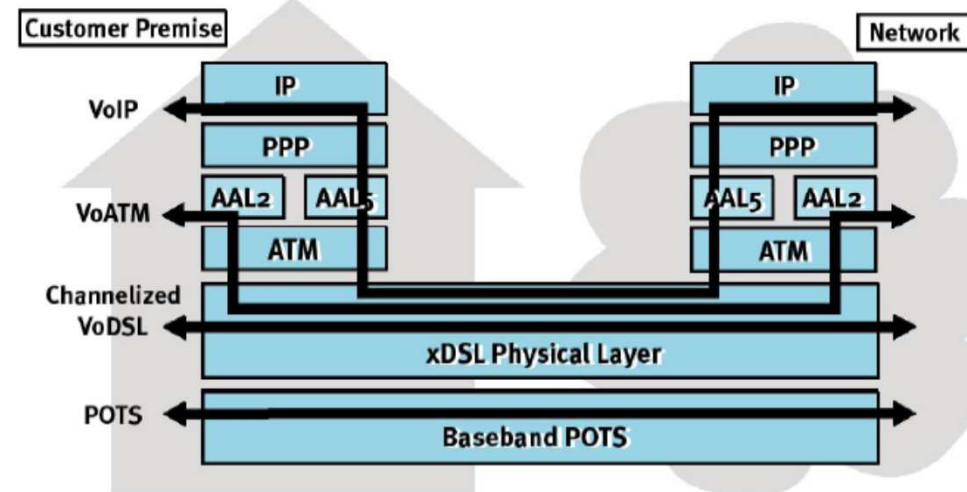


ADSL2

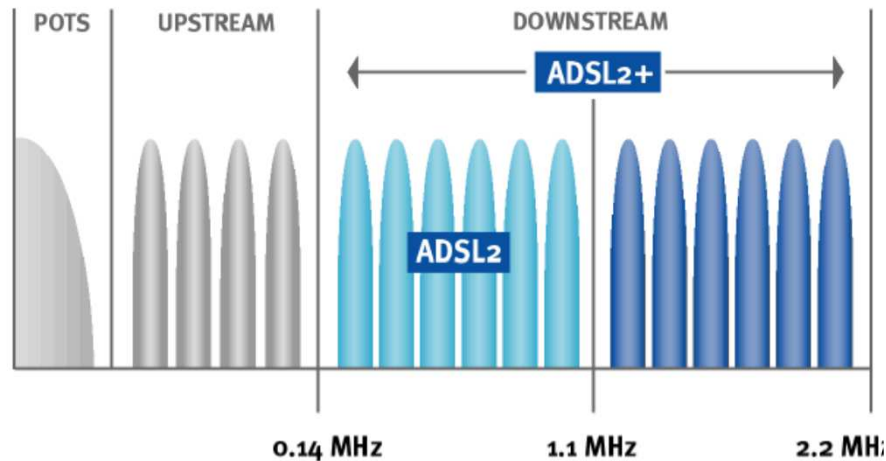


Dedicated 64 Kbps PCM DSo

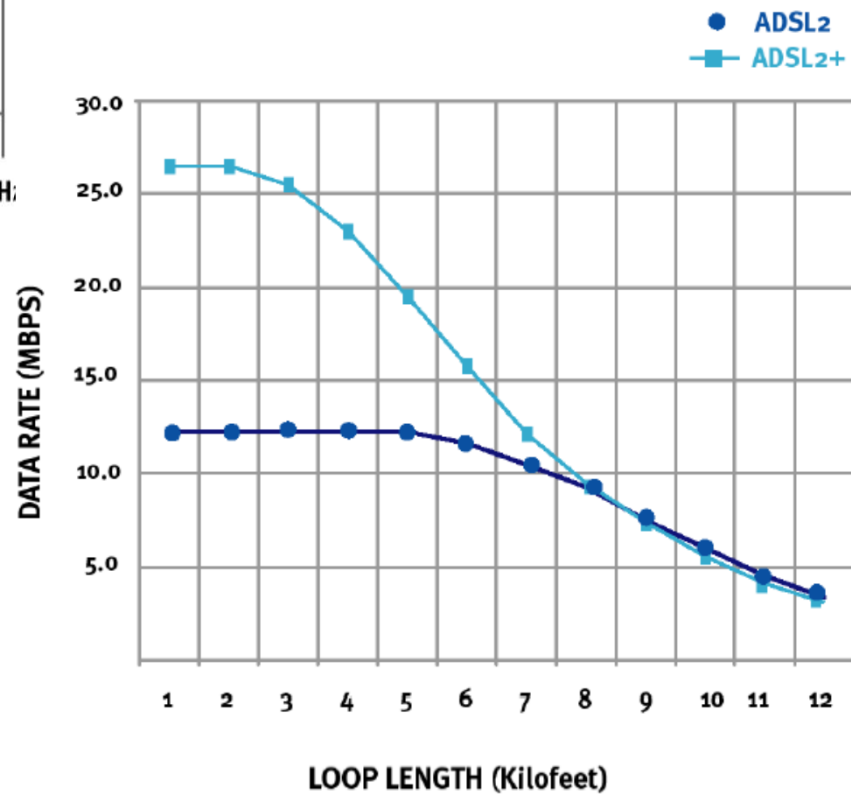
CVoDSL vs. VoATM and VoIP



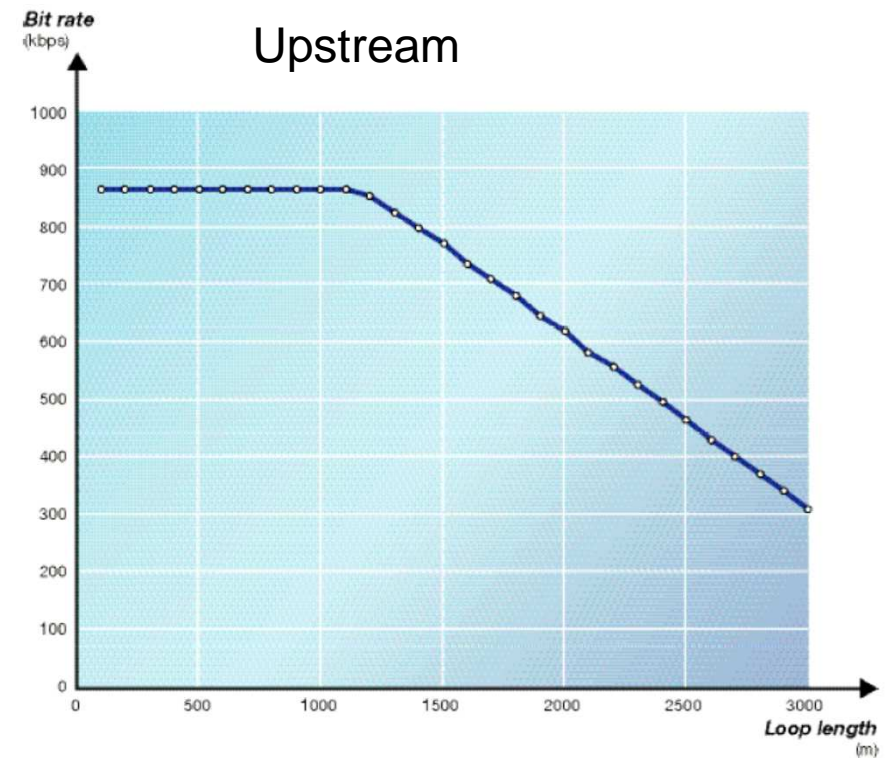
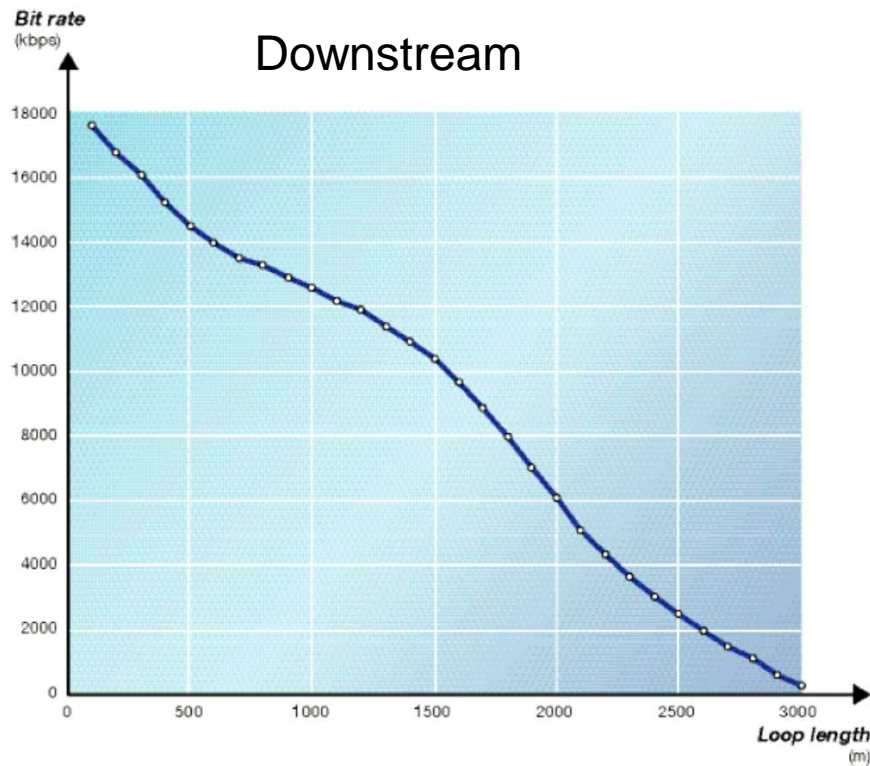
ADSL2+



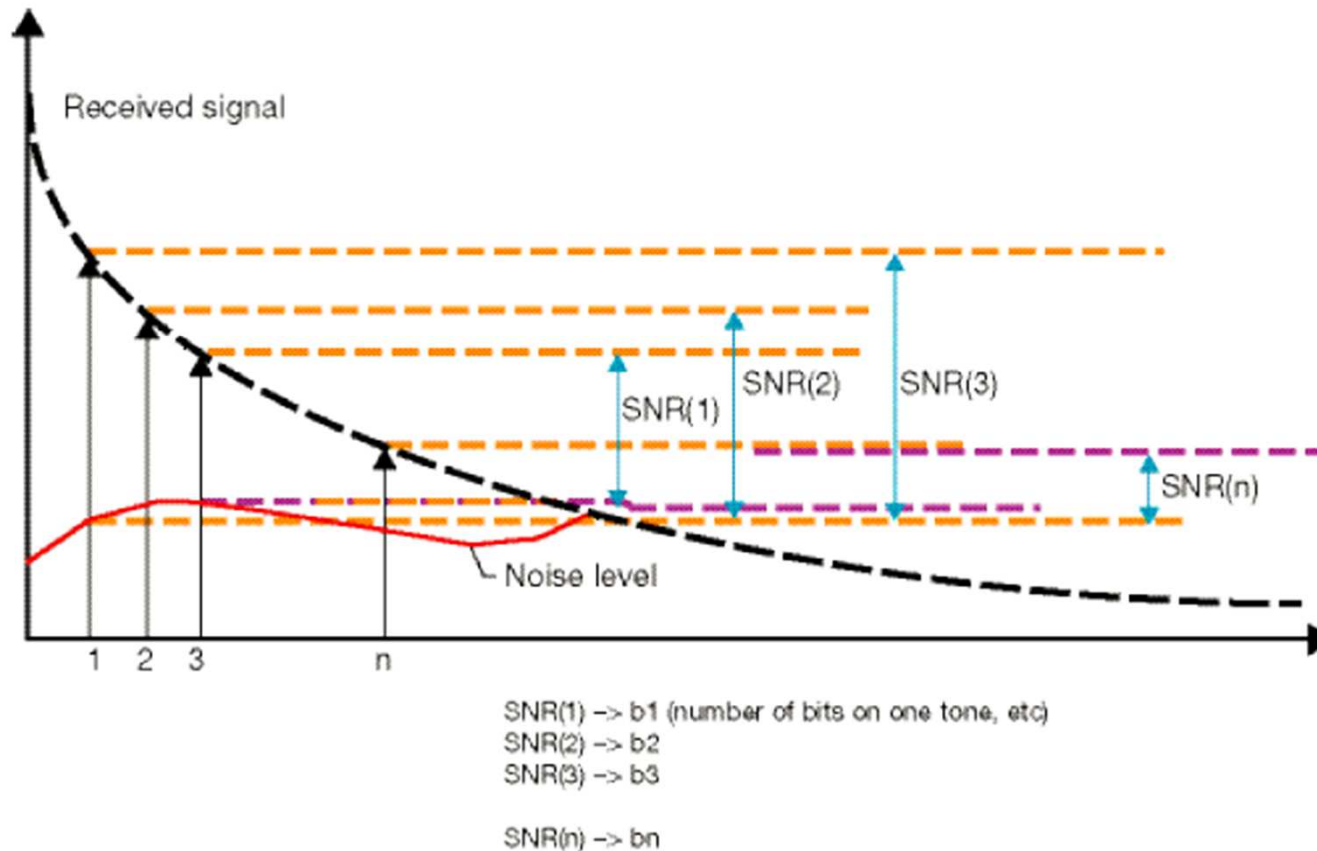
- kétszeres sávszélesség a downstreamnek
- megduplázott downstream sebesség (kisebb távolságokon)



ADSL2+ (POTS, 0.4 mm, ETSI előírás szerinti zajjal)



DMT

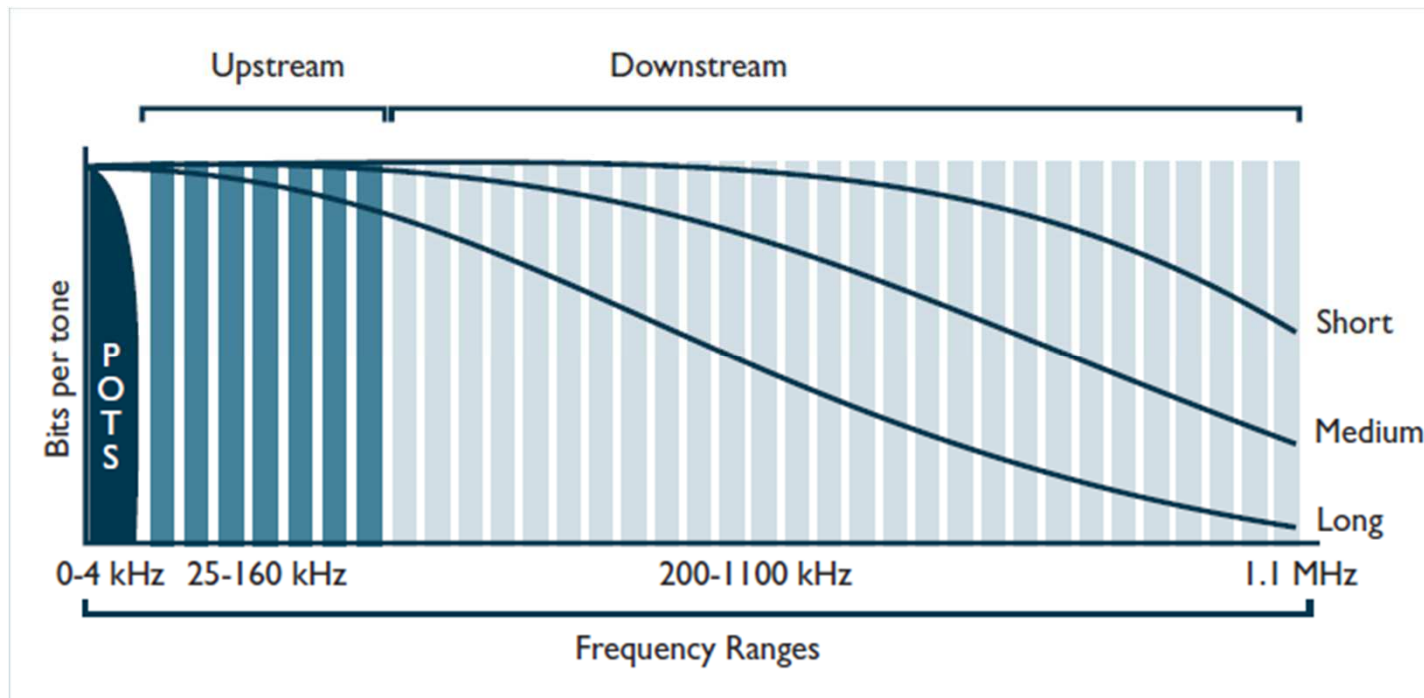


DMT modulation

DMT modulation uses the same principle as orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM).⁶ That is, it divides the useful frequency spectra into parallel channels, where the center of each channel is represented by a modulated (QAM) subcarrier (Figure 4). One difference from OFDM is that each carrier in DMT can be loaded with a different number of bits, depending on the signal to noise ratio (SNR). In OFDM, the constellation size of each carrier is the same. Because each subcarrier is orthogonal to the other subcarriers, there is no interference between subcarriers. The number of bits can be varied between 1 and 15. The distance between subcarriers is 4.3125kHz. In VDSL2 a distance of 8.6125kHz may also be used. Inverse fast Fourier transform (IFFT) is used to generate the subcarriers.

Discrete multitone (DMT): By employing DMT technique one can divide the useful spectra into parallel channels where each channel is represented by a quadrature-amplitude-modulated tone. The signal-to-noise ratio (SNR) value indicates the number of bits with which each tone (1, 2, 3 ... n) can be loaded.

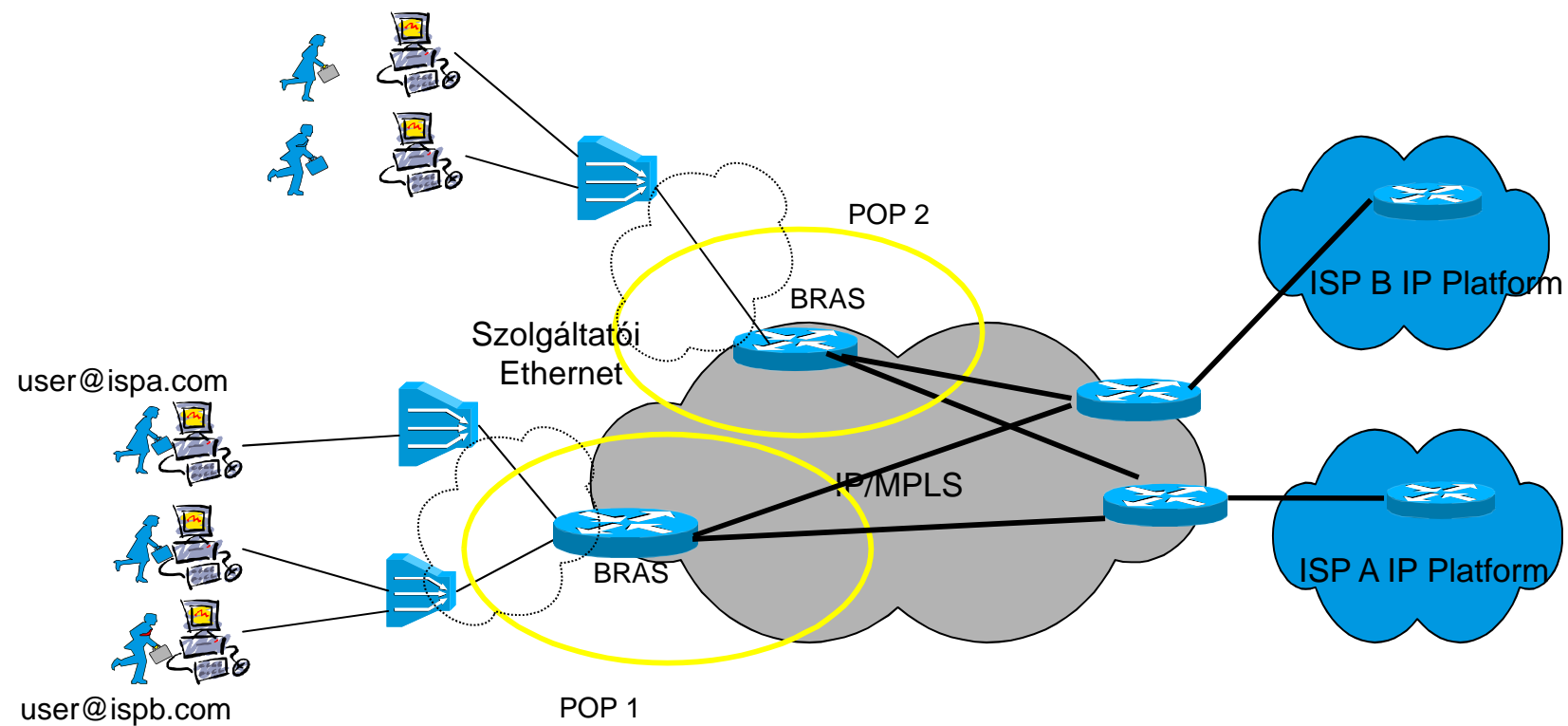
Csillapítás a DTMM spektrumban



DSLAM

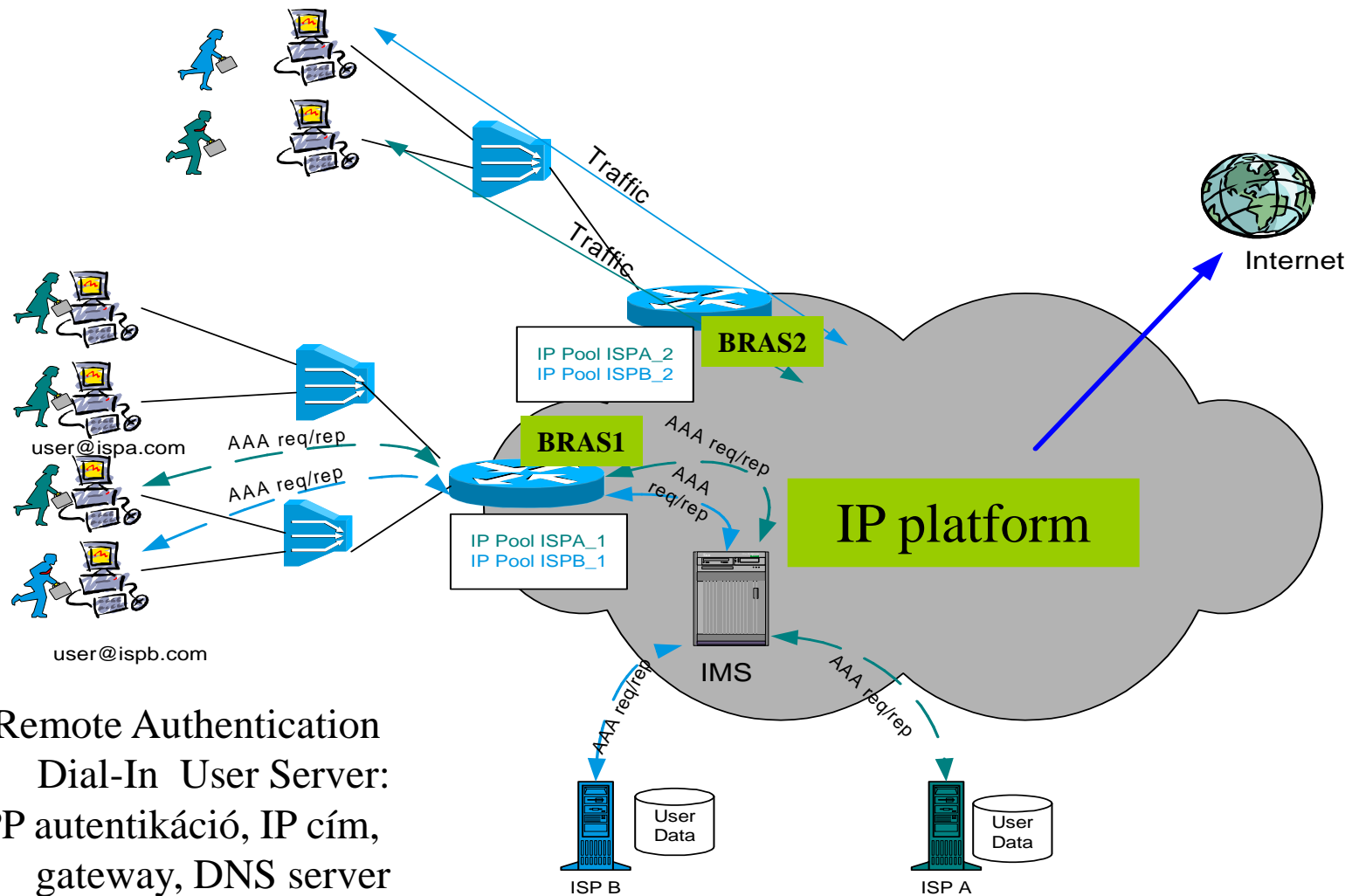
- Digital Subscriber Line Access Multiplexer
- tipikus kapacitások: néhányszor tíztől néhányszor száz előfizető
- korábban ATM aggregáció alapú megoldások
- aktuálisan GbE alapú megoldások

Aggregálás - BRAS



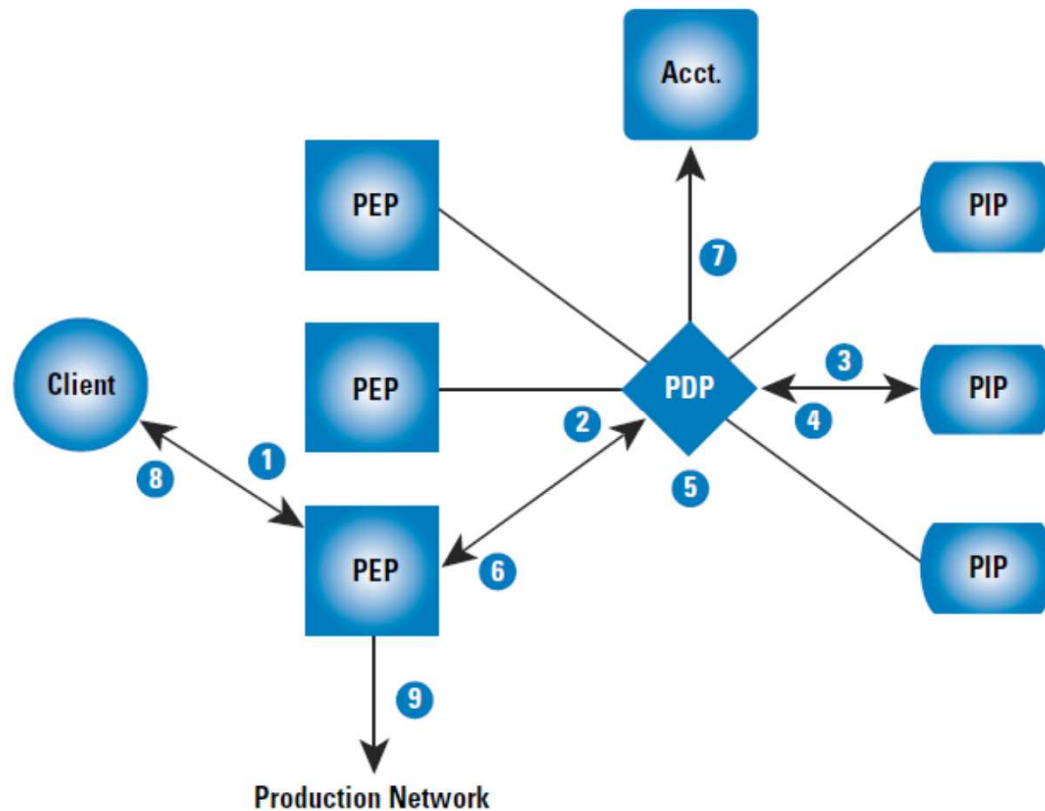
AAA funkciók

(Administration, Authorization, Authentication)



RADIUS – Remote Authentication
Dial-In User Server:
PPP autentikáció, IP cím,
gateway, DNS server

AAA architektúra



PEP: Policy Enforcement Point (Authenticator)

PDP: Policy Decision Point (AAA Server)

PIP: Policy Information Point

Acct.: Accounting System

1. Client attempts to connect to the network

2. The PEP sends the collected identity information to the PDP

3. The PDP queries any configured PIPs for information about the client and validates that the credential provided by the client is valid

4. The PIP returns a success or failure message from the credential validation step and sends additional information about the client to the PDP for evaluation.

5. The PDP evaluates information learned about the client through the client, PEP, and PIP. Based on this information, the PDP makes an authorization decision.

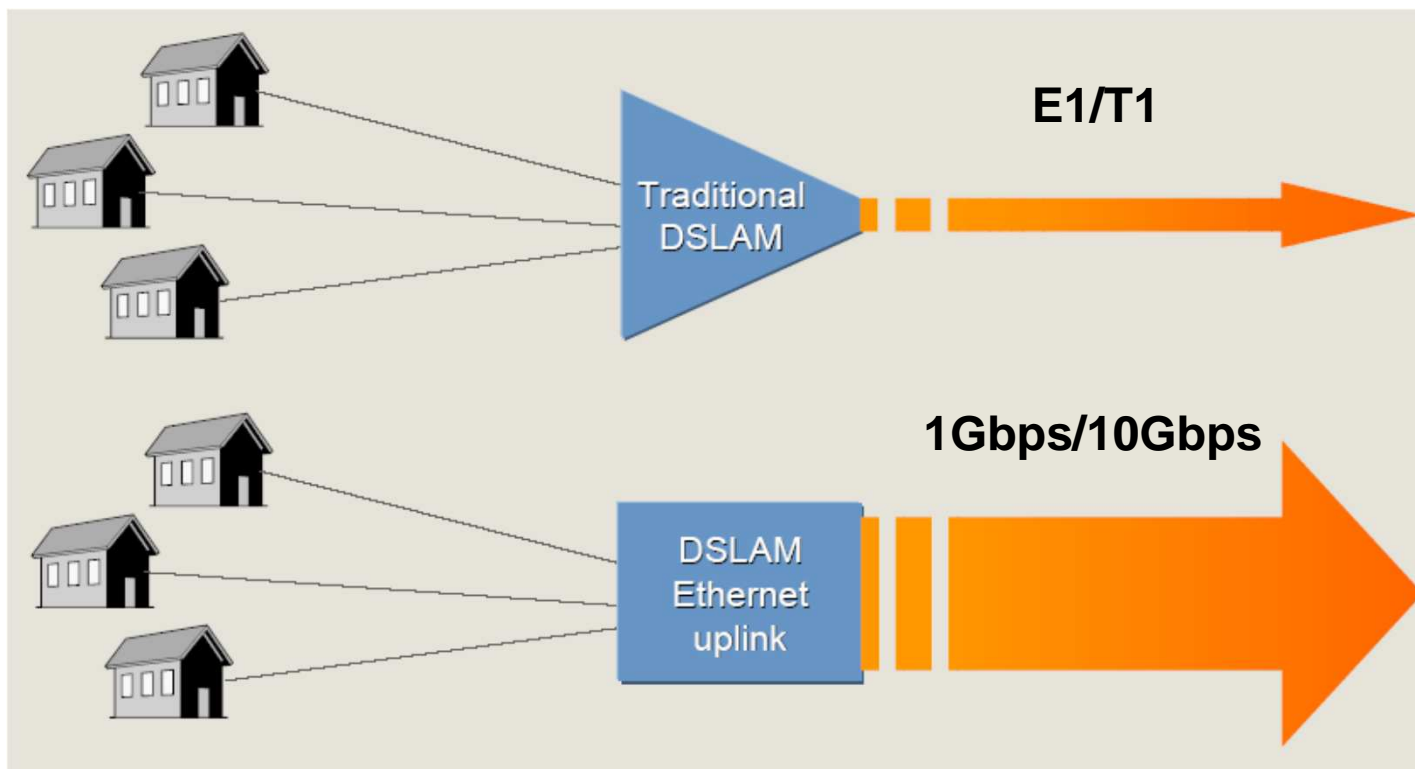
6. The PDP sends the PEP the authentication result and any authorizations specific to the client.

7. The PDP also sends the result of this transaction to the accounting system.

8. The PEP applies the authorization profile learned from the PDP and sends the "authentication successful" message to the client.

9. The client accesses the production network through the PEP.

DSLAM uplink szűk keresztmetszet



DSL migráció

Kiinduló tények (Ericsson):

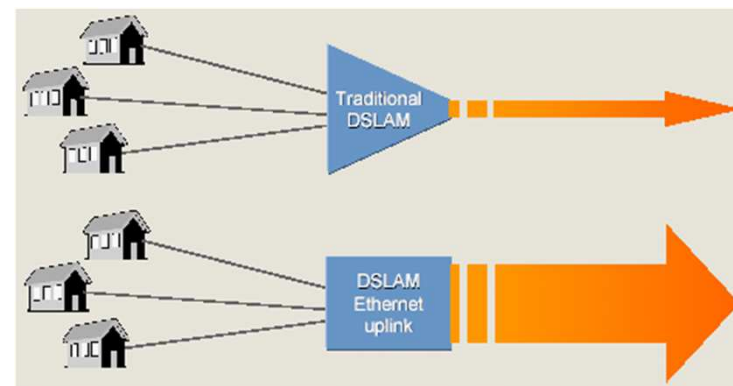
- a szélessávú forgalom 90%-a Ethernet-keretezésű
- nagysebességű Internet-hozzáférés: nem elegendő az univerzális szélessávú hozzáférés, új szolgáltatások kellene
- az ADSL beruházások költségigénye központi kérdés
- hatékony költségfelhasználású migráció az ADSL-től az optikai alapú hozzáférés (FTTx C/B/U) felé meghatározó fontosságú a beruházási kockázatok csökkentése szempontjából
- erőteljes törekvések a 100Mbps hozzáférésre
- Ethernet - kulcstechnológia a a jobb költség/teljesítmény arány megteremtésére a nyilvános hálózatokban

xDSL migráció lépései

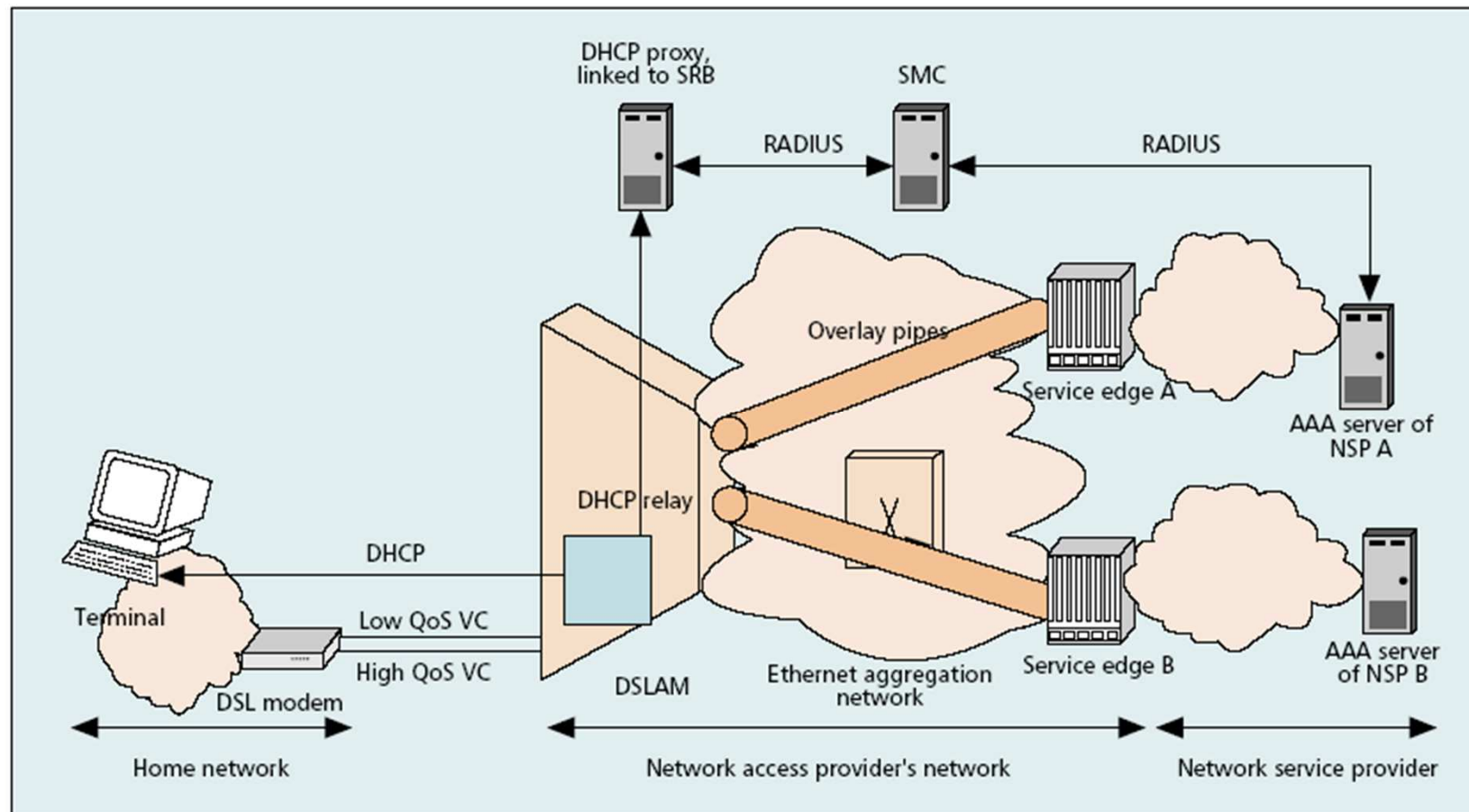
- Hagyományos DSLAM architektúra
- Ethernet uplink architektúra
- EFM (Ethernet in the First Mile)

Célok:

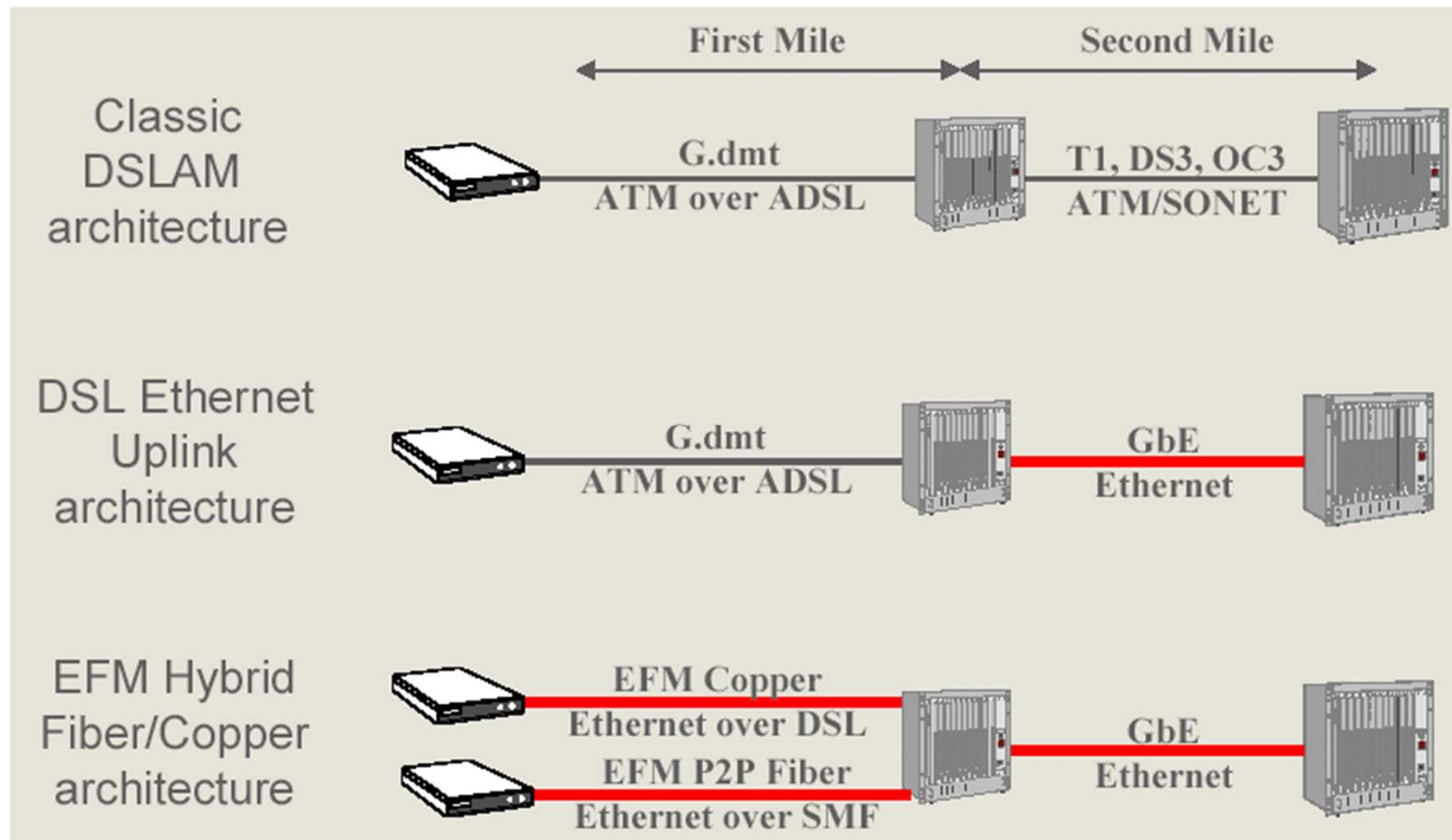
- DSLAM korlátjainak feloldása
- Költségek csökkentése
- Egyszerűsített működtetés



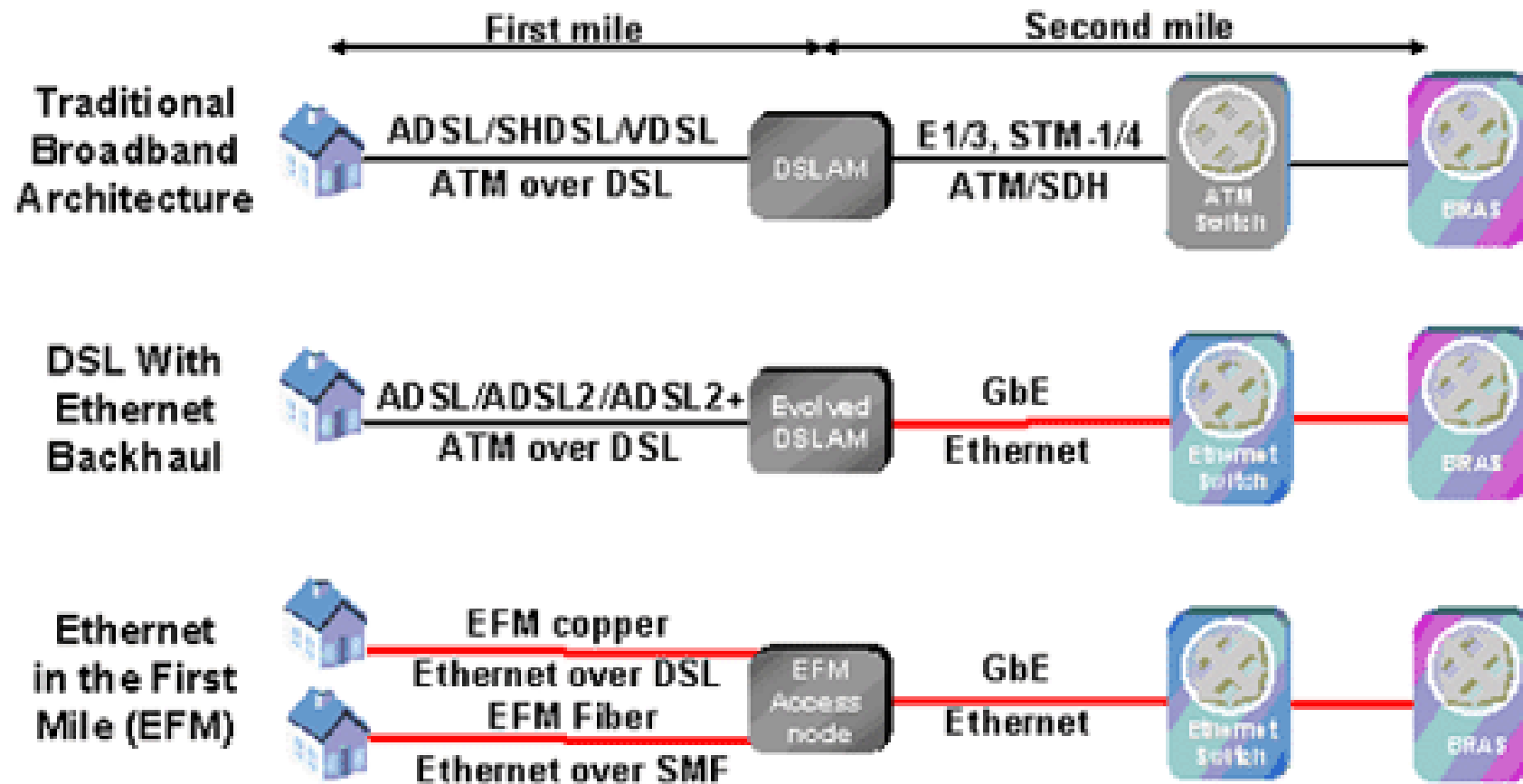
Ethernet-alapú aggregálás



Migráció 3 lépésben



Migráció 3 lépésben



ADSL Ethernet uplinkkel

(Ericsson)

- megtartja a réz alapú csatlakozást a felhasználói oldalon (standard CPE)
- nagy teljesítményű alacsony költségű GbE-alapú DSLAM hálózati csatlakoztatás
- blokkolásmentes DSLAM architektúra az időtálló fejlesztéshez
- az Ethernet-alapú forgalomkoncentráció csökkenti a beruházási költséget
- VLAN <-> PVC mapping a DSLAM-ban
- ADSL Annex J alapon azonos vonalak a lakás-előfizetőknek és a KKV-knak
- az ADSL+ összes előnyét kihasználja

Réz érpár alapú EFM

- végponttól-végpontig Ethernet-kapcsolat réz csatlakoztatásra alapozottan
- két távolsági opció
 - távoli csatlakoztatás: 2Mbps szimmetrikus kapcsolat ≥ 2700 m
 - közeli csatlakoztatás: 10Mbps szimmetrikus kapcsolat ≥ 750 m
- távoli csatlakoztatás linkaggregálással (T1/E1 helyett - upgrade)
- közeli csatlakoztatás "drop" szakasz a soklakásos épületekben
- vezetékes beszédszolgáltatás csomagalapon

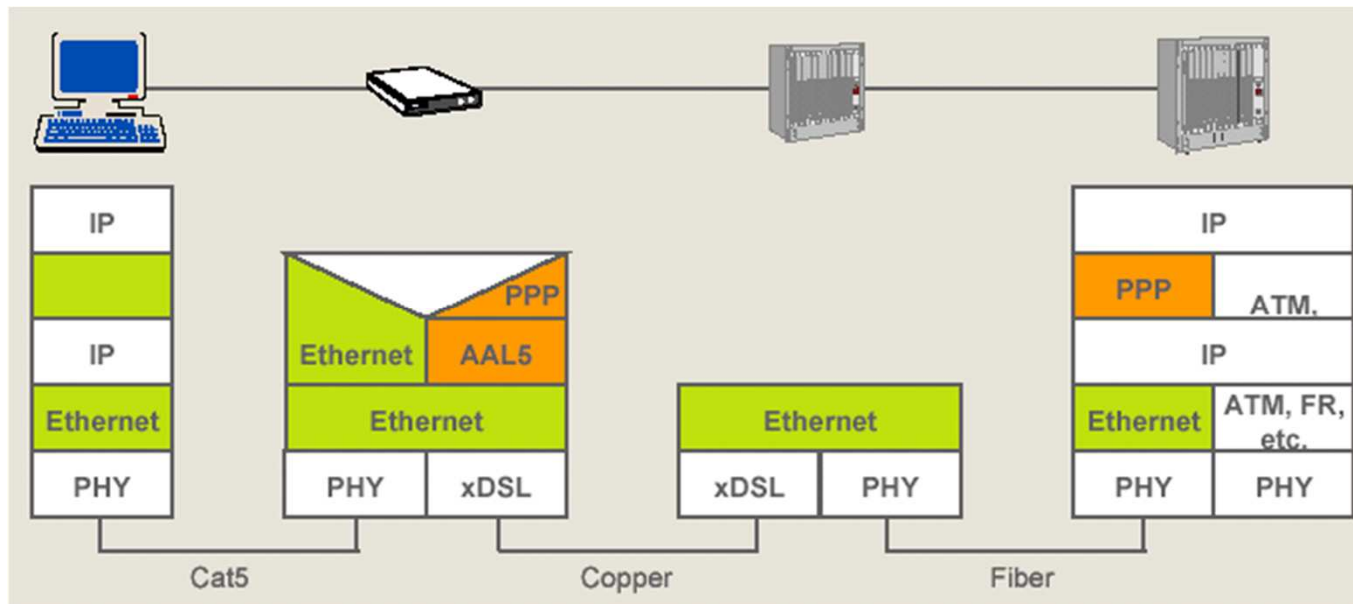
Optika alapú EFM

- monomódusú optikai szál
- két sávszélességi opció
 - 100 Mbps lakáselőfizetőknek
 - 1Gbps üzleti előfizetőknek
- hibrid 100Mbps/1Gbps architektúra költségoptimalizálásra
- a 10 km-es hatótávolság lehetővé teszi a FTTB/U alkalmazásokat

Ethernet alapú xDSL

- PPP over Ethernet
- Sok előfizető – nagy broadcast forgalom
- Az Ethernet kapcsoló forwarding táblájának mérete szűk keresztmetszet lehet (előfizetőnkénti bejegyzések)
- DSLAM - Ethernet kapcsoló direkt bekötéssel
- A tendencia az Ethernet alapú hozzáférés (UTP-VDLS-Ethernet) vagy EPON (optikai alapon)

Ethernet over DSL



ADSL2Plus Configuration

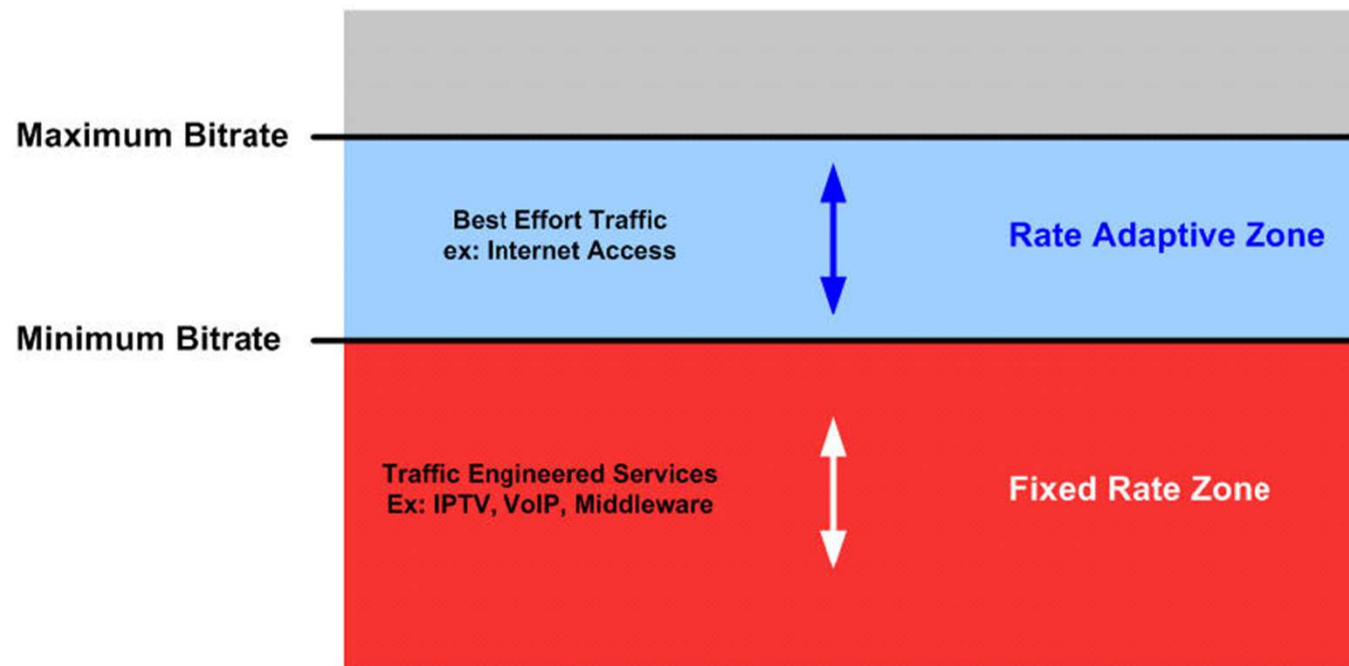


Figure 1 - Concept of Rate-Adaptive DSL Comprising Two Components

ADSL2Plus Configuration

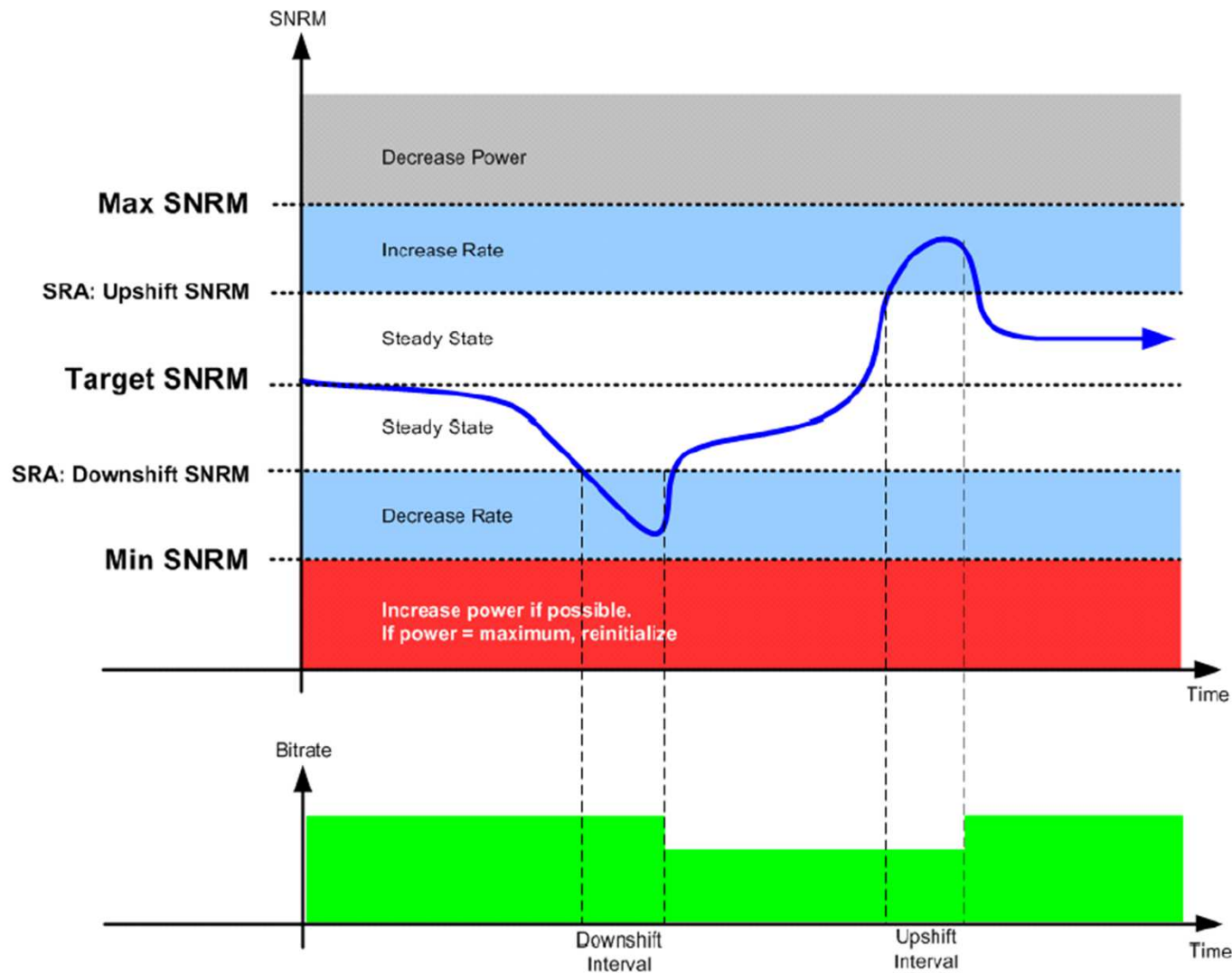
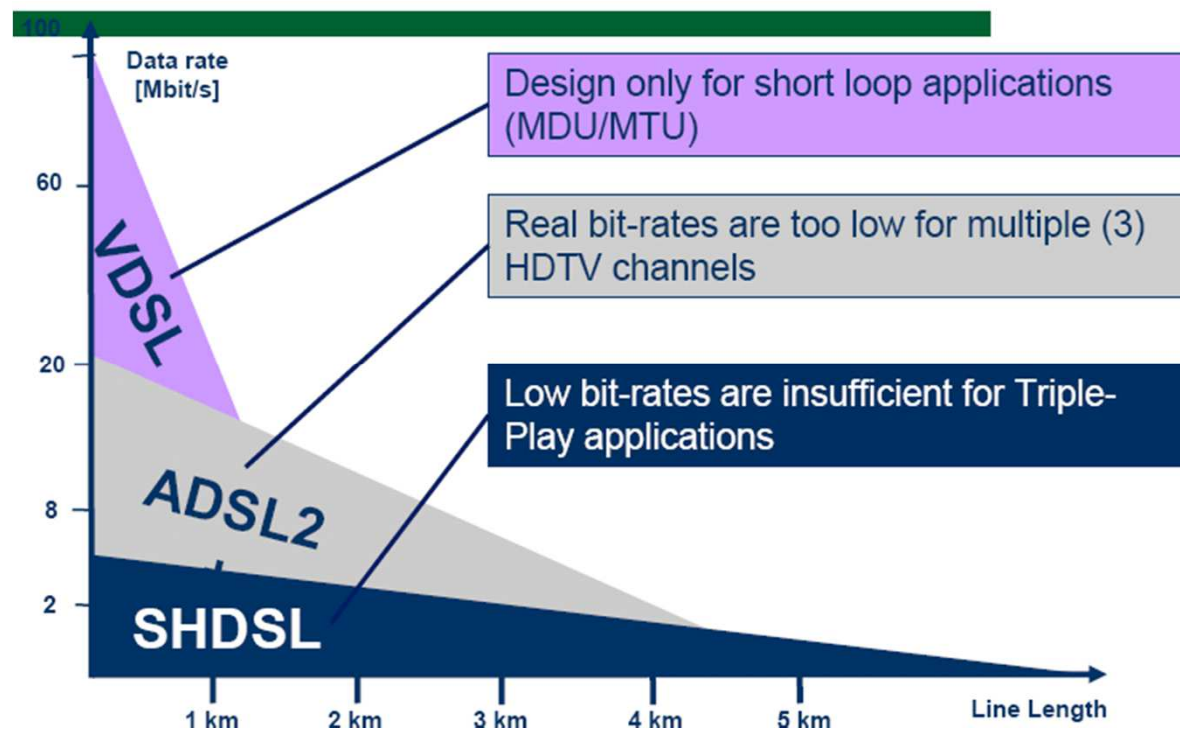


Figure 2 - Signal To Noise Ratio Margin (SNRM) Parameters and Seamless Rate Adaptation Interaction





ADLS áttekintés

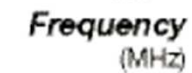
DSL Type	Maximum Downstream Data Rate	Maximum Upstream Data Rate	Maximum Wire Length (Approx.)	Customer Applications
Asymmetric				
ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line	Up to 10Mbps	Up to 1Mbps	5.5km (18,000ft.)	Home and small office users who require faster download rates for video on demand, home shopping, Internet access, remote LAN access, multimedia access and other specialised PC services.
ADSL lite Asymmetric Digital Subscriber Line Lite	Up to 1.5Mbps	Up to 384kbps	5.5km (18,000ft.)	Residential and small office users wanting a simple plug-and-play setup.
ADSL 2 Asymmetric Digital Subscriber Line Two	12Mbps	1Mbps	5.5km (18,000ft.)	ADSL2 addresses the growing demand for more bandwidth to support services such as video.
ADSL 2+ Asymmetric Digital Subscriber Line Two Plus	20Mbps downstream on short distances	1Mbps	5.5km (18,000ft.)	ADSL2+ enables even greater downstream data rates for subscribers who are relatively near the telephone exchange.
ADSL 2++ Asymmetric Digital Subscriber Line Two Plus Plus (or ADSL4)	52Mbps downstream on short distances			ADSL2++ proposes to further increase downstream data rates for customers who are relatively near the telephone exchange.

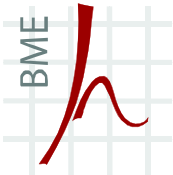
VDSL miért?



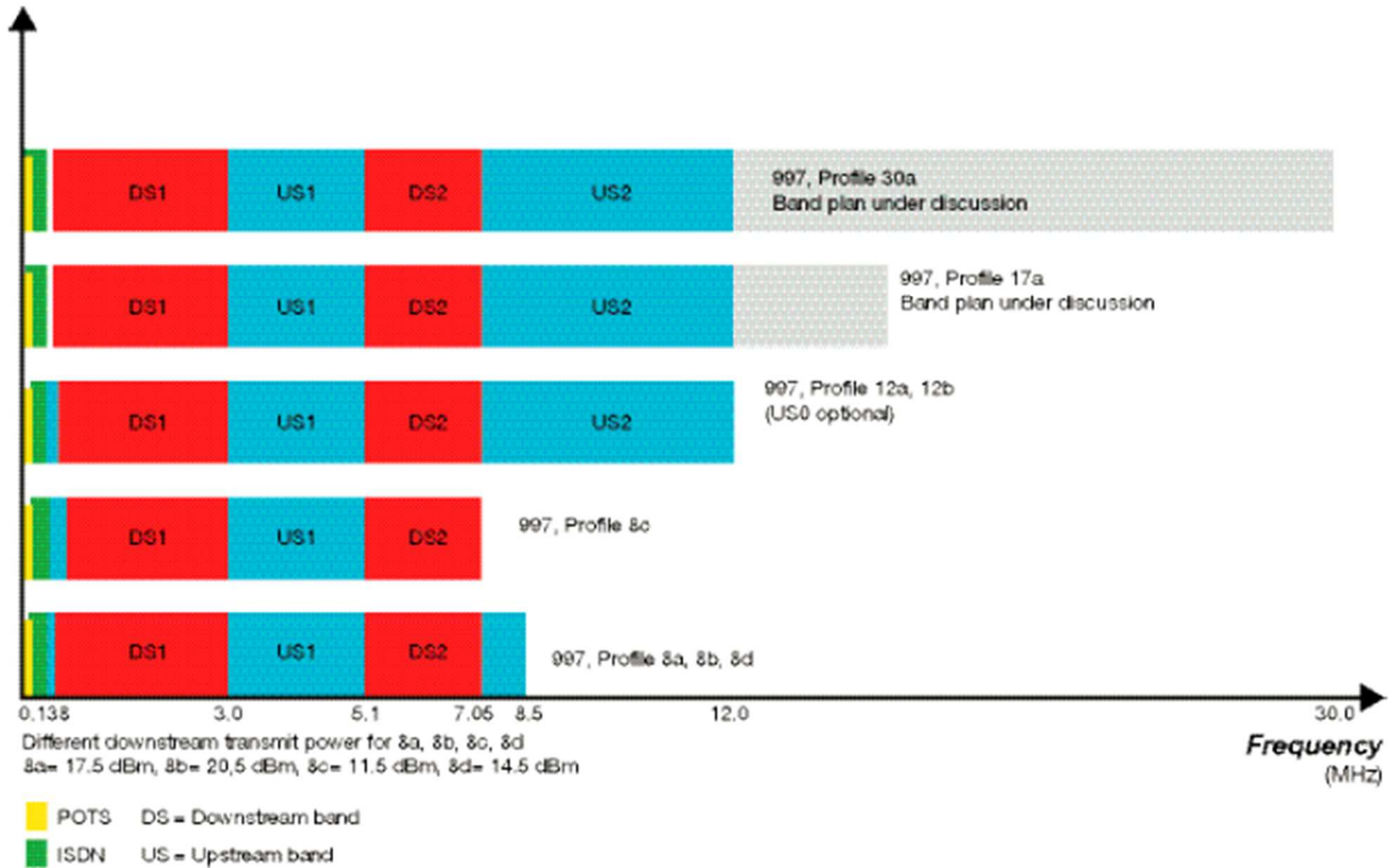
VDSL2

Criteria	VDSL2 Benefits	
Bandwidth	VDSL1  12MHz VDSL2  30MHz	Much higher performance for short loops
Trellis, SRA, GCI	VDSL1 None VDSL2 Mandatory	Improved performance
Long Reach	VDSL1  1km VDSL2  3km ...	90% customer reach + single technology
ADSL Compatibility	VDSL1 None ADSL, ADSL2, ADSL2plus	Reuse existing ADSL infrastructure
Quality Of Service (QoS)	VDSL1 None VDSL2 Dual Latency, Dual Bearer, Pre-Emption	Enable Triple – Play applications

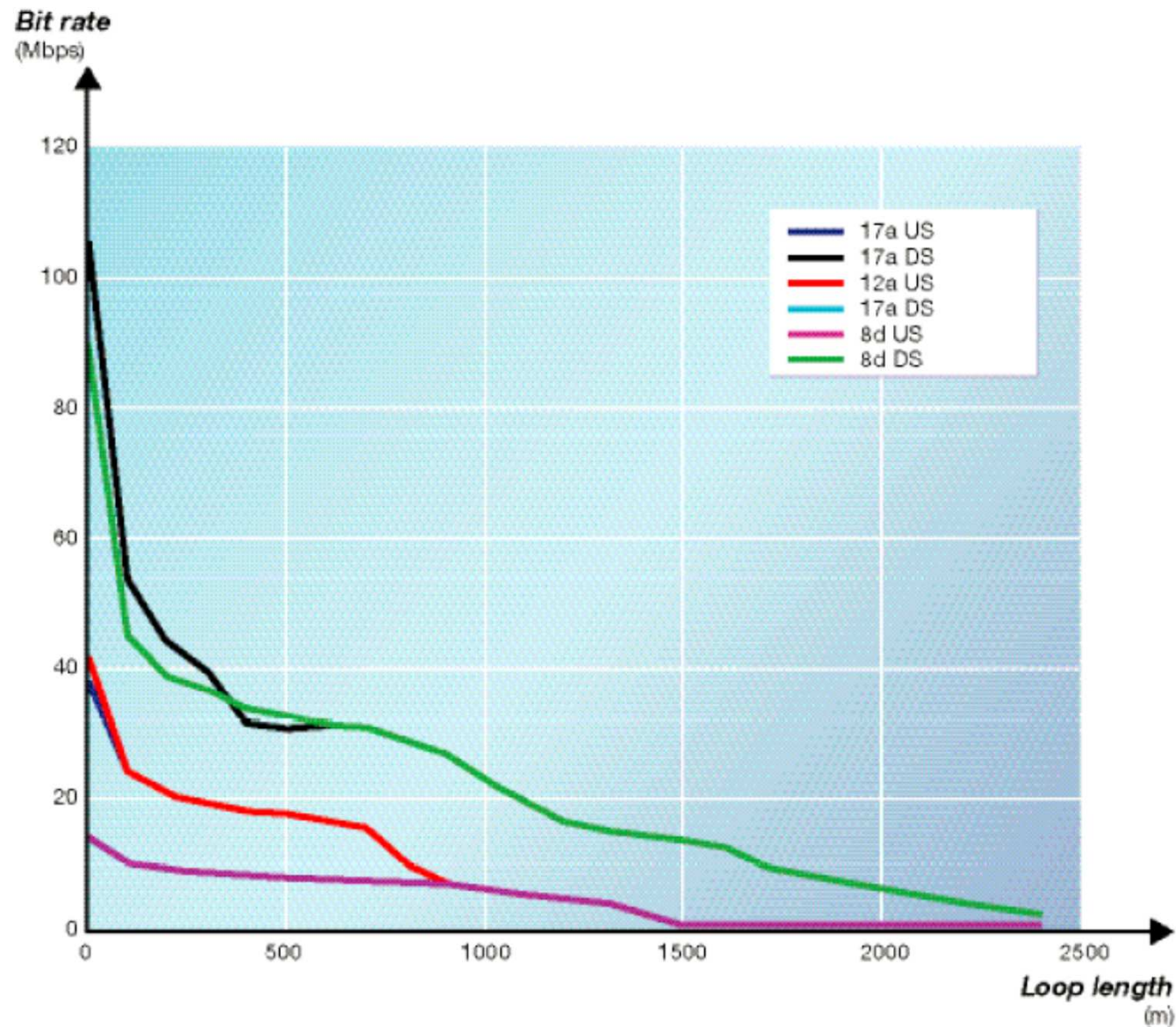




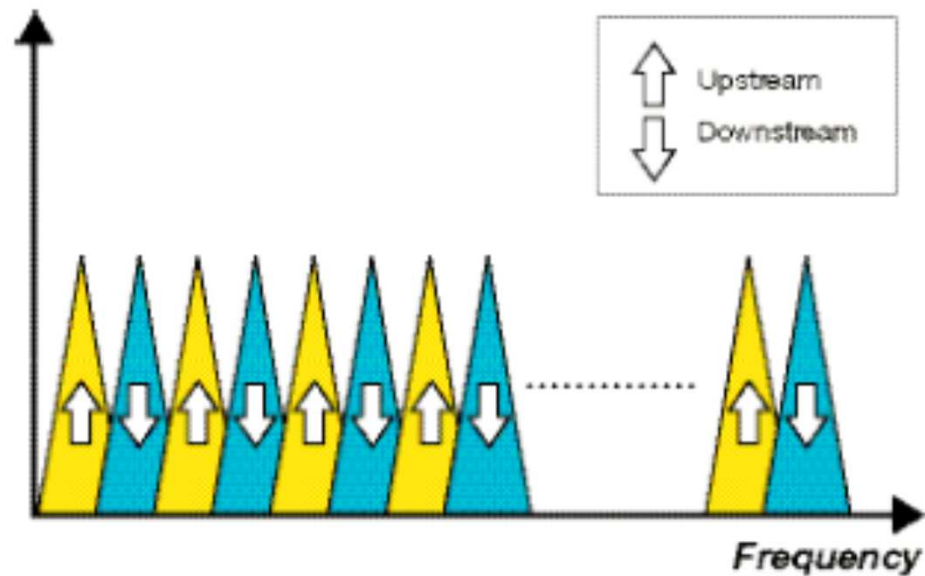
VDSL2 Band Plan 997



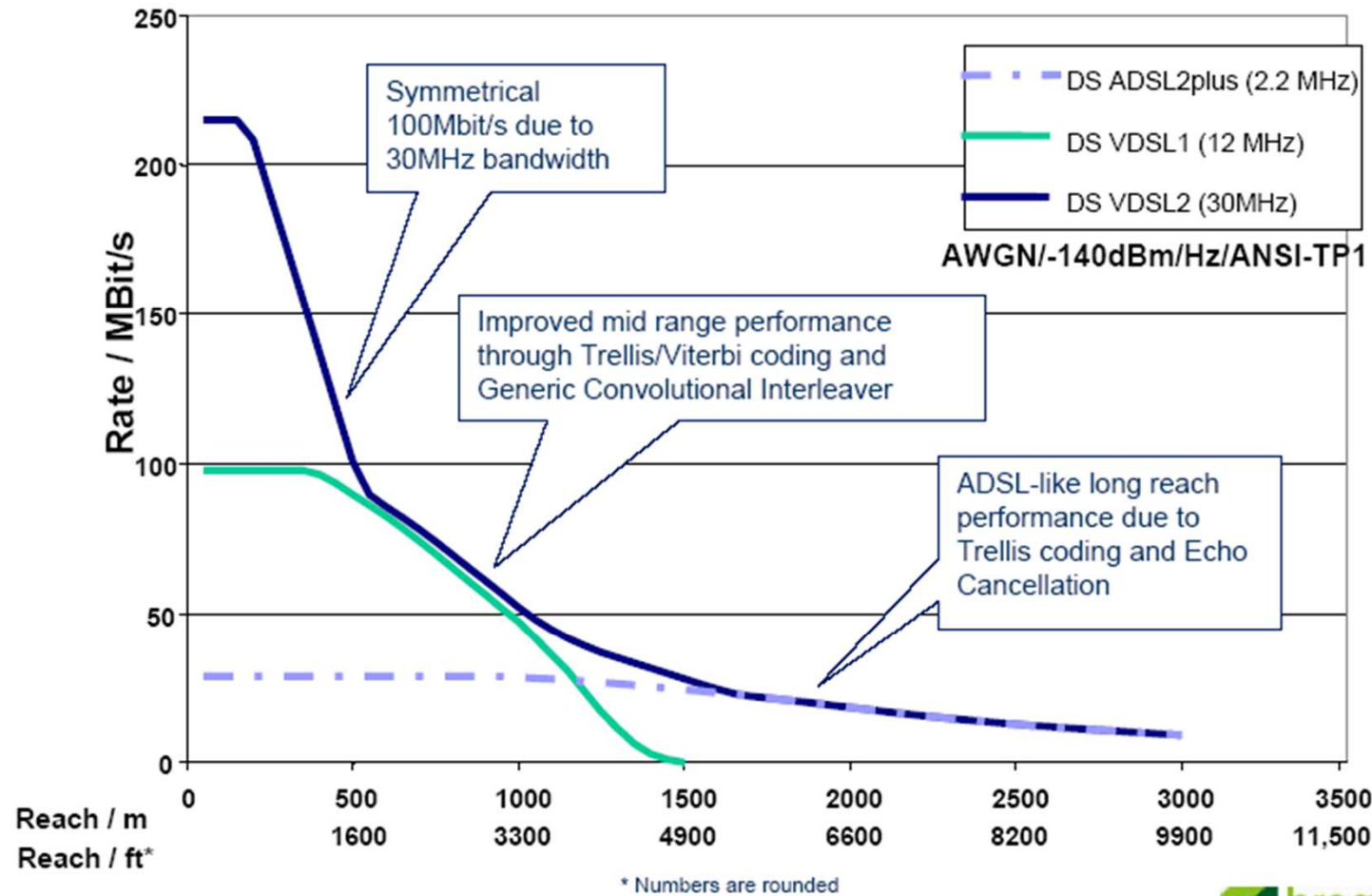
VDSL2 bitsebességek (20 VDSL2)



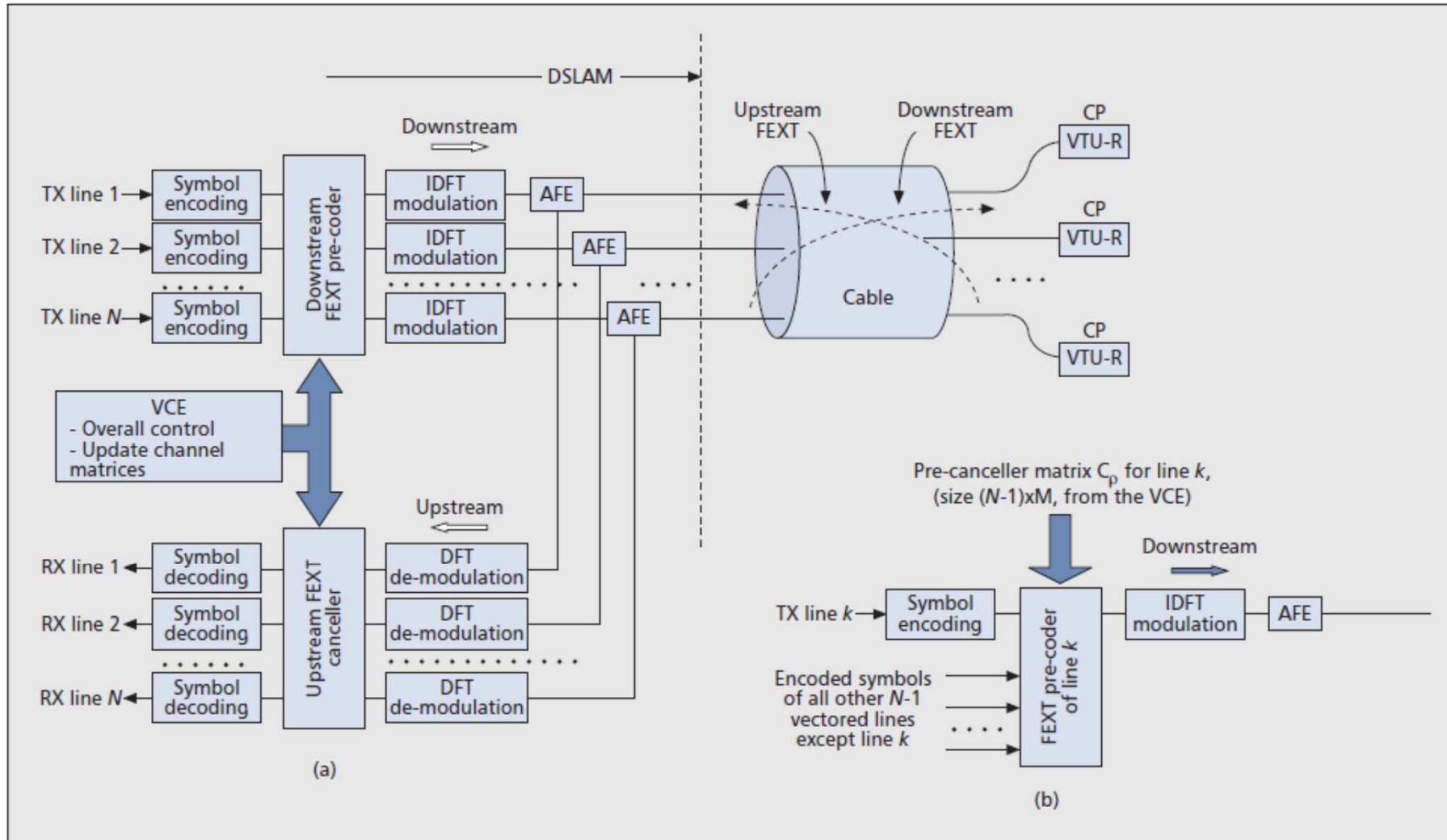
VDSL digitális duplex



VDSL2 teljesítőképesség

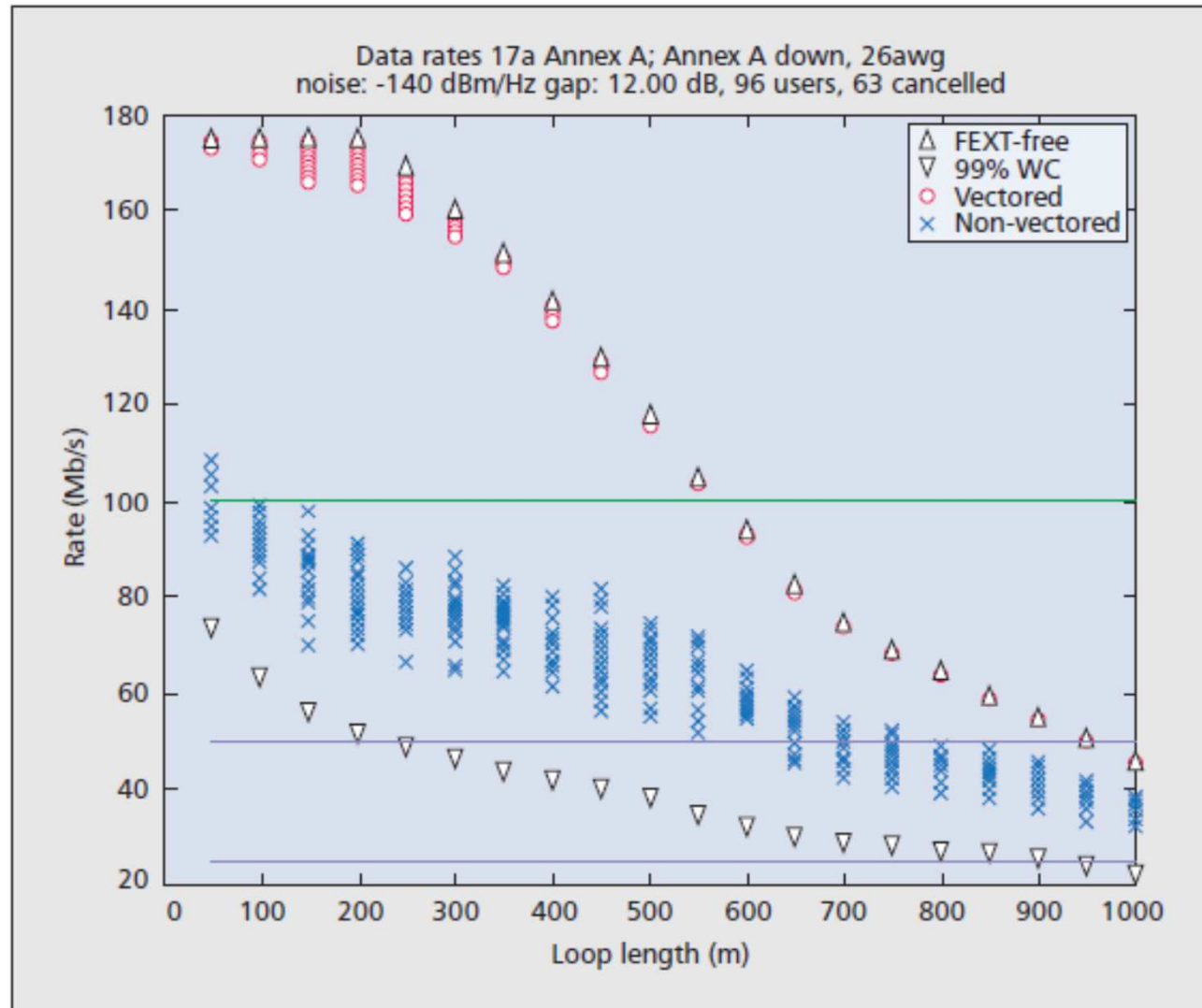


Vectoring - alapelv



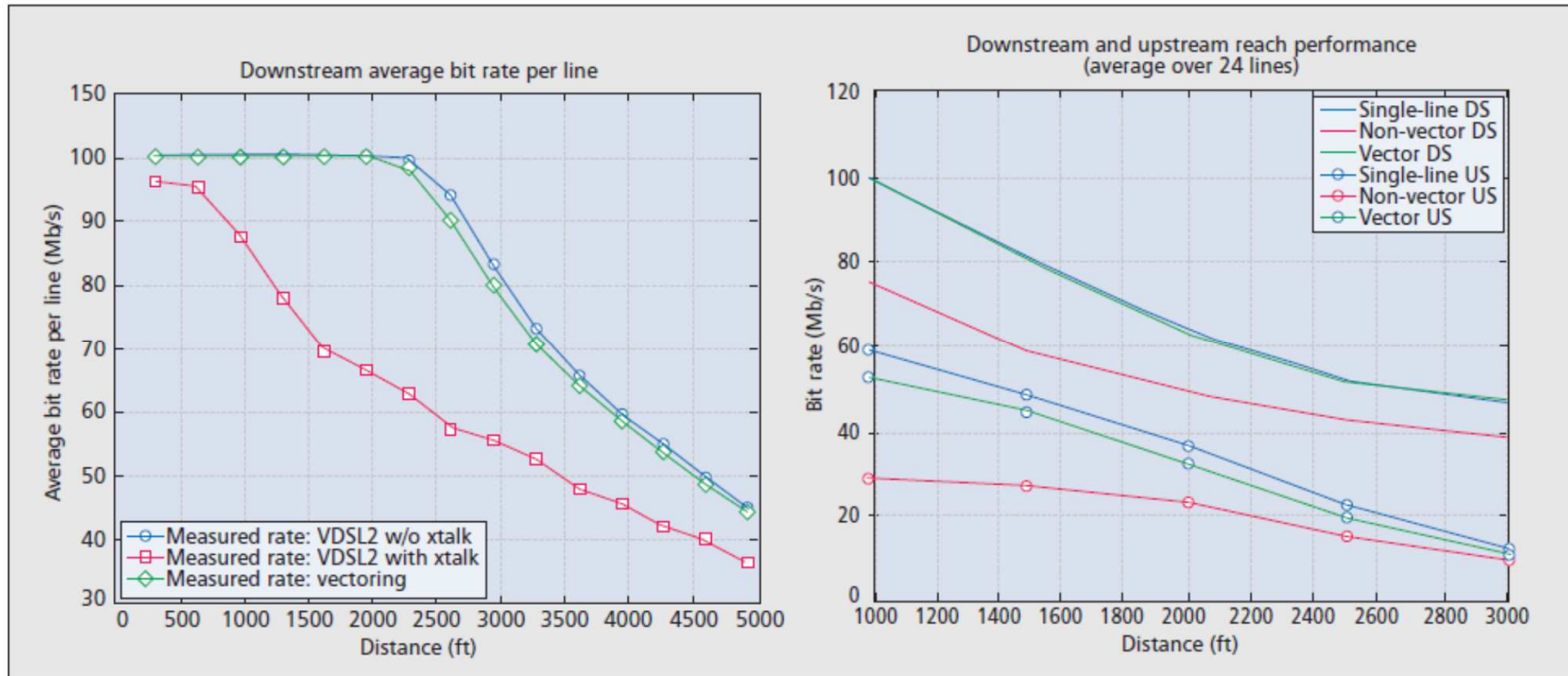
ITUT G.vector (G.993.5) – távolvégi áthallások hatásának csökkentése:
jobb távolság*sávszélesség jellemző

Vectoring - hatás



Downstream bit rates for vectored and regular VDSL2 (Profile 17a, bandplan EU32).

Vectoring - hatás



Measured bit rate for 17a profile: left: downstream, 0.5 mm ETSI; right: downstream and upstream, 26 AWG; the curves for single-line DS and vector DS overlap.

DSL Phantom Mode

300 Mb/s over 2 pairs at 400 m –

Bell Labs “Phantom Mode” innovative demo

300 Mb/s in 5 steps

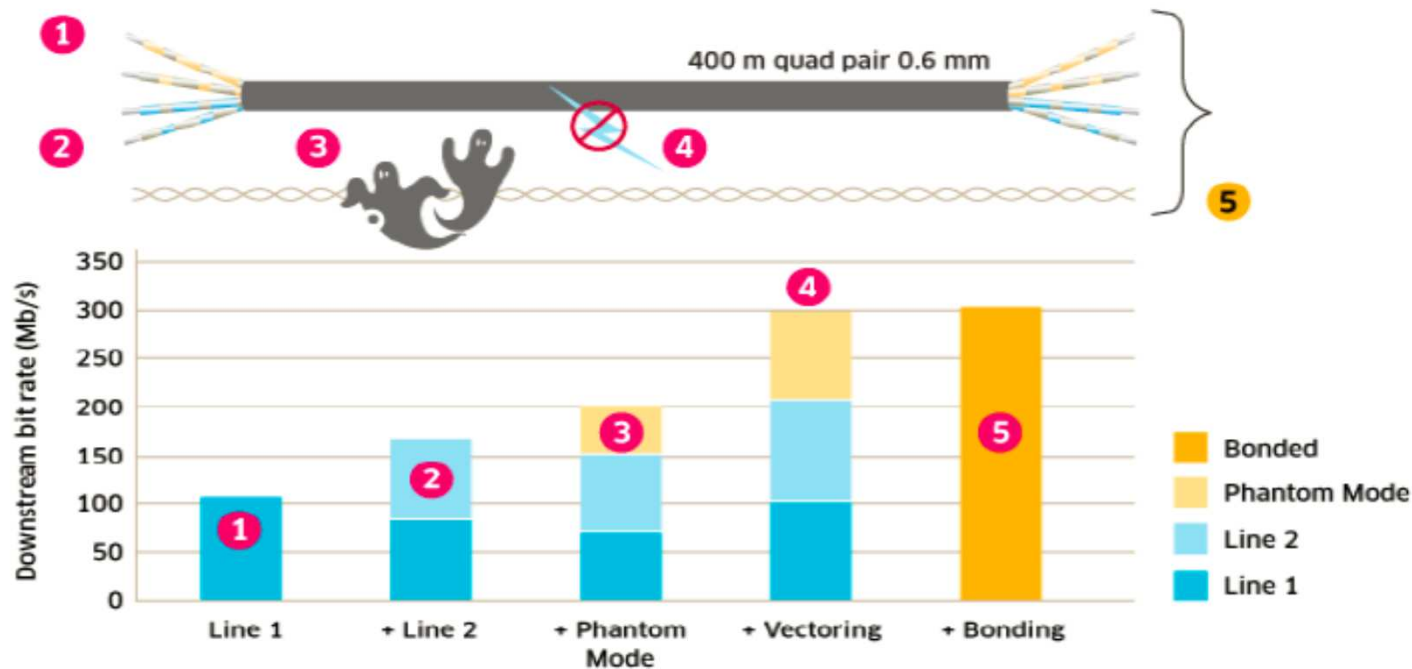
Start with a 1st twisted pair – good for about 100 Mb/s.

Add a 2nd twisted pair – good for another 80 Mb/s. Bit rate on pair 1 drops due to Xtalk from pair 2.

Create a 3rd virtual pair or ‘Phantom Mode’ pair – another 50 Mb/s. BUT: bit rates on pairs 1 and 2 drop due to Xtalk from phantom pair.

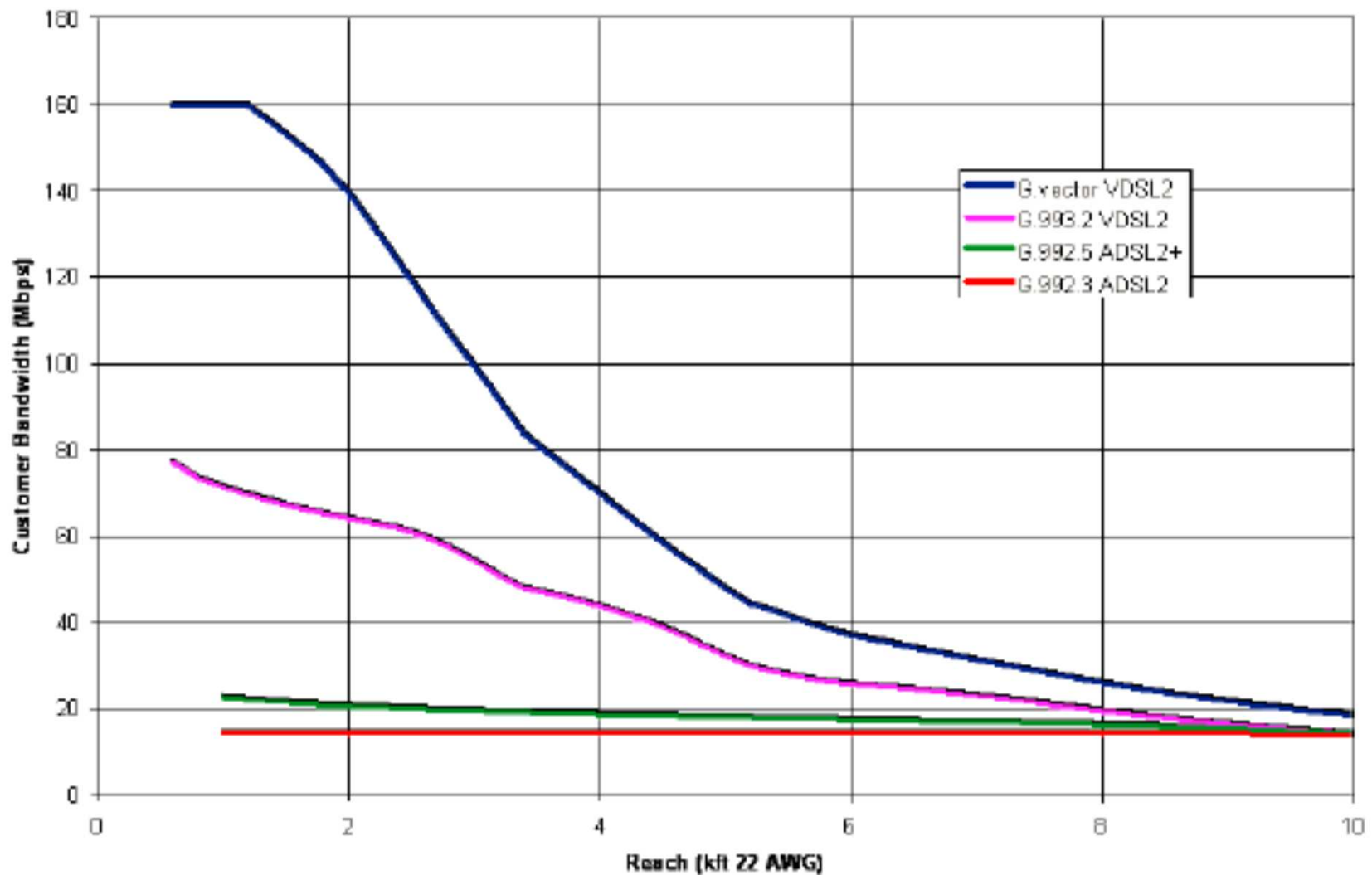
Apply vectoring (crosstalk cancelation) to boost bit rate by approximately 50 percent.

Bond the 3 links (2 physical pairs + Phantom Mode) creating one big 300 Mb/s pipe.



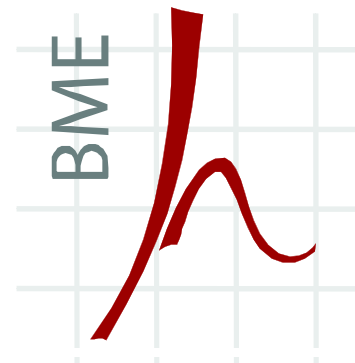
xDSL teljesítőképességek

xDSL Performance Comparison



DSL

Family	ITU	Name	Ratified	Maximum Speed capabilities
ADSL	G.992.1	G.dmt	1999	7 Mbps down 800 kbps up
ADSL2	G.992.3	G.dmt.bis	2002	8 Mb/s down 1 Mbps up
ADSL2plus	G.992.5	ADSL2plus	2003	24 Mbps down 1 Mbps up
ADSL2-RE	G.992.3	Reach Extended	2003	8 Mbps down 1 Mbps up
SHDSL (updated 2003)	G.991.2	G.SHDSL	2003	5.6 Mbps up/down
VDSL	G.993.1	Very-high-data-rate DSL	2004	55 Mbps down 15 Mbps up
VDSL2 -12 MHz long reach	G.993.2	Very-high-data-rate DSL 2	2005	55 Mbps down 30 Mbps up
VDSL2 - 30 MHz Short reach	G.993.2	Very-high-data-rate DSL 2	2005	100 Mbps up/down



VIHIMA07 Mobil és vezeték nélküli hálózatok

3. Heterogén mobil hálózatok – hozzáférési technológiák a backhaulban II. DOCSIS

Jakab Tivadar

Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

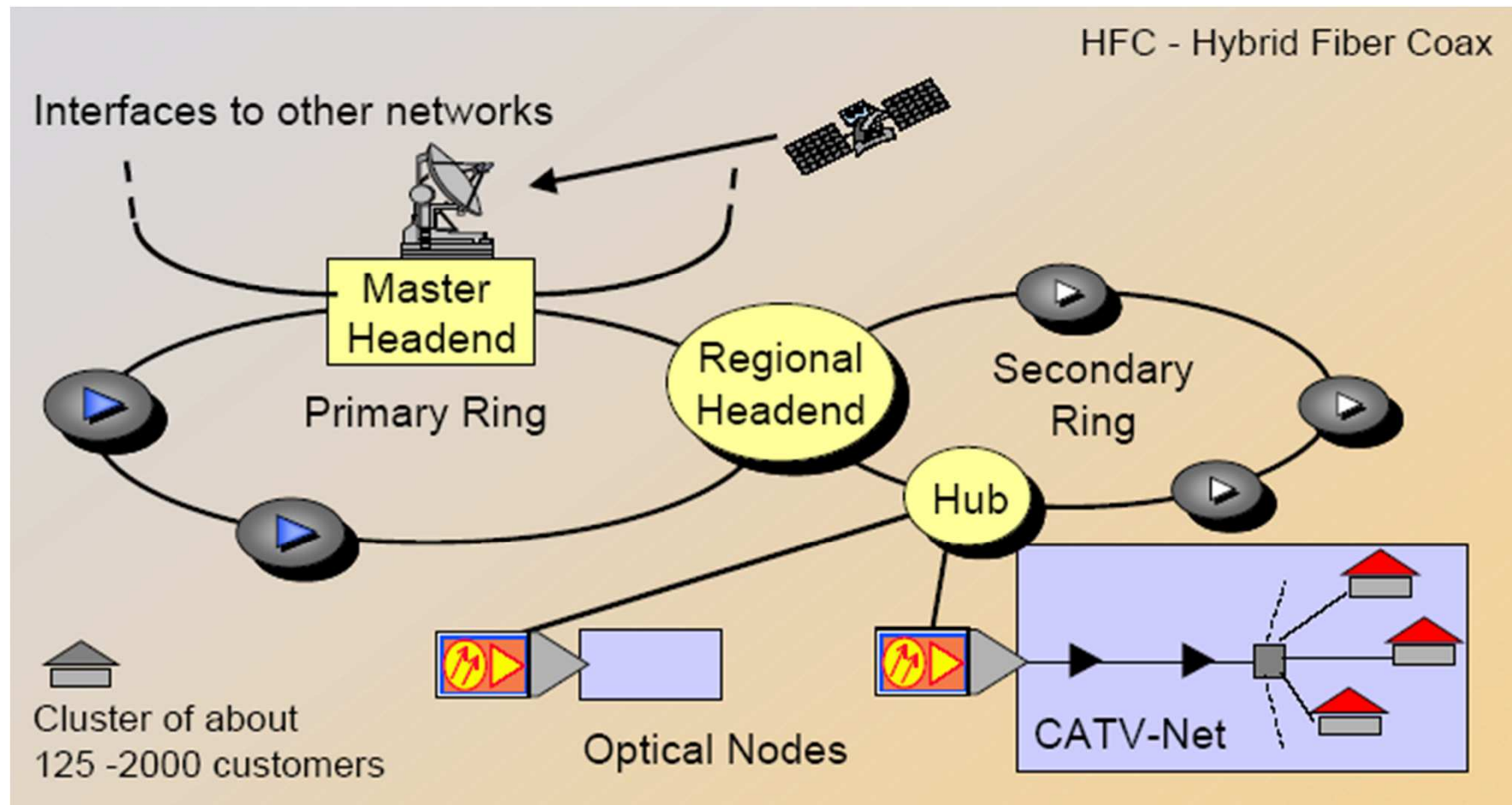
jakab@hit.bme.hu

I.B.123

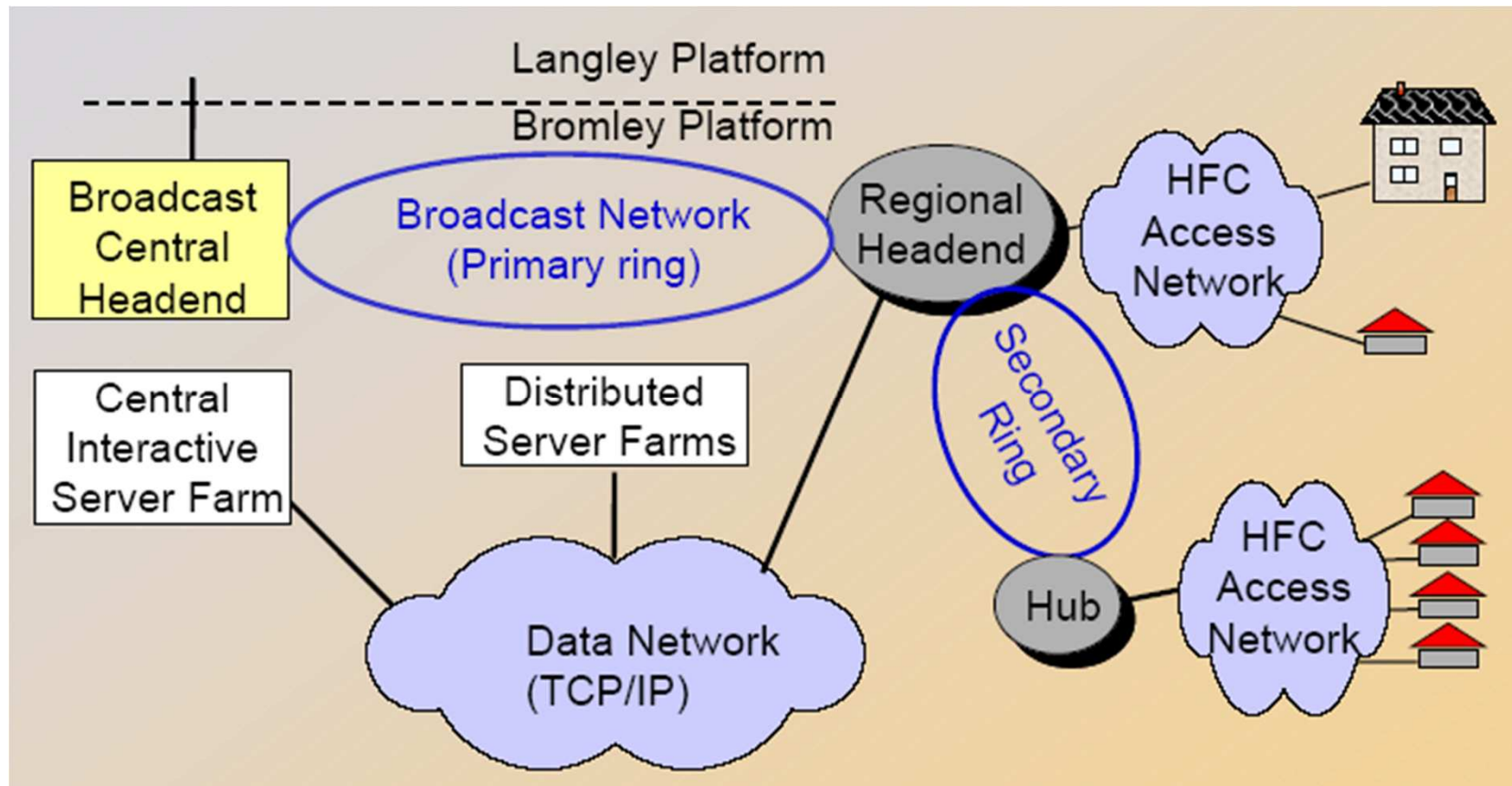
Alapok

- koax hálózat vagy hibrid koax optika (HFC)
- csillagpontos koax infrastruktúra az előfizetői szakaszon
- a kétirányú kommunikációt a koax hálózaton támogatniuk kell az erősítőknek
- felhasználói oldal: kábelmodem
- hálózati oldal: CMTS (Cable Modem Termination System)

Általános HFC hálózati szerkezet



Általános HFC hálózati szerkezet

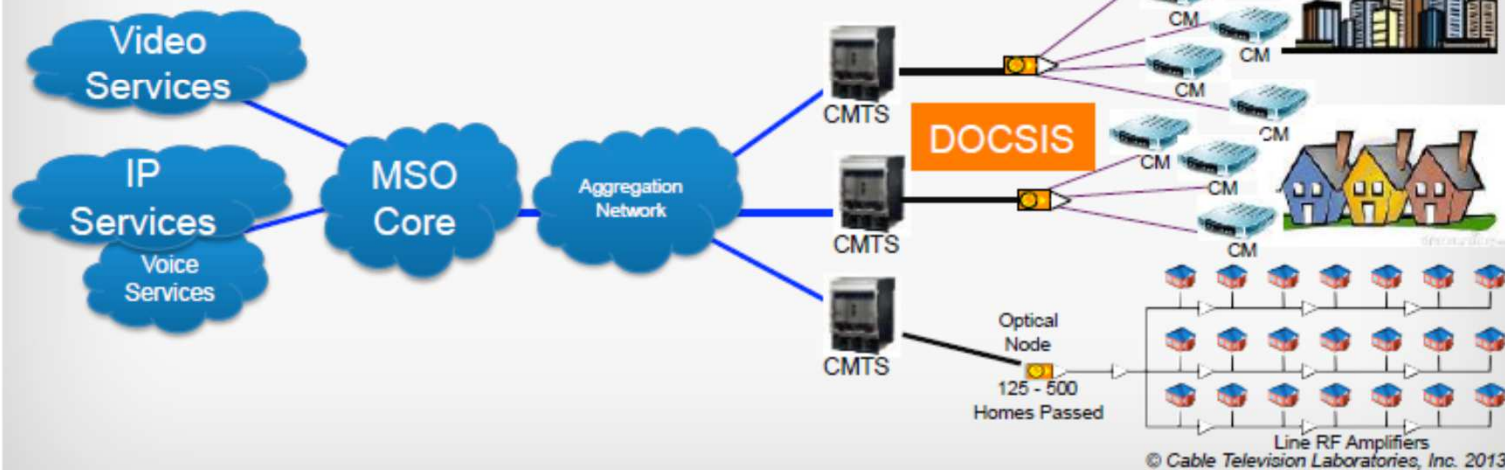


Általános HFC hálózati szerkezet

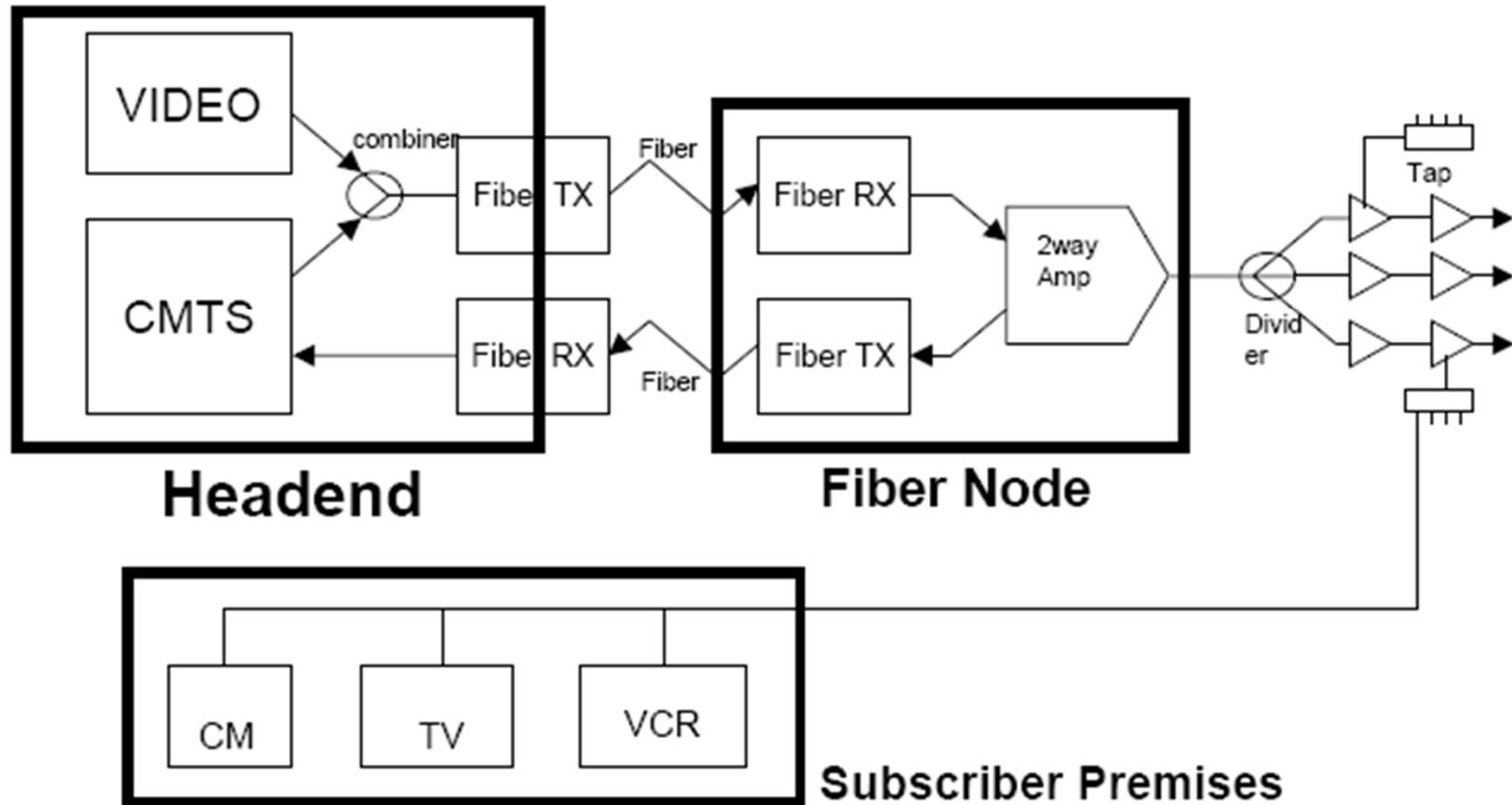
DOCSIS Network Architecture

Data Over Cable Service Interface Specification

- DOCSIS is a global standard deployed on all continents
 - Over 180 million units shipped worldwide
- Data services over the Hybrid Fiber Coax Plant

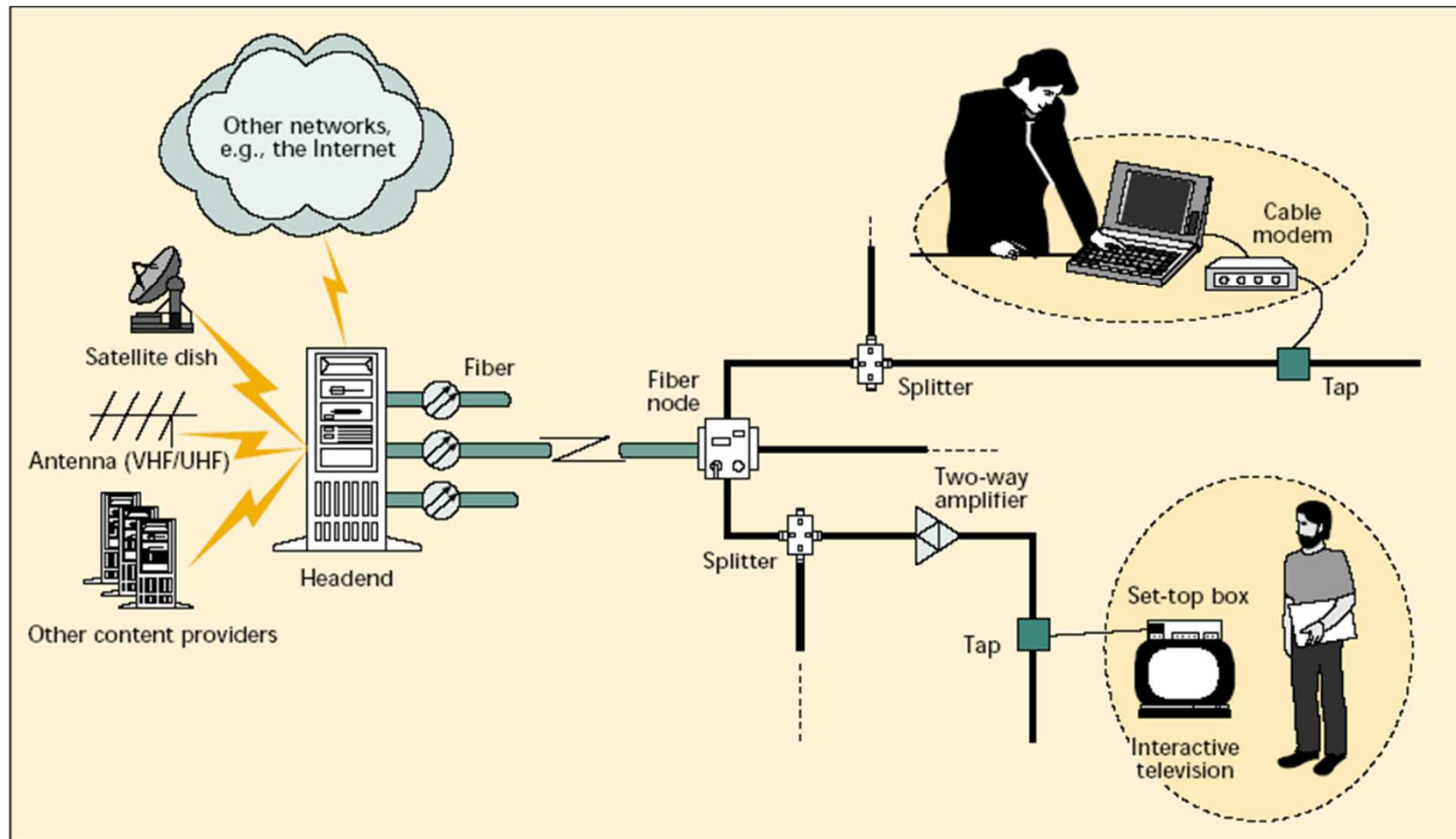


HFC hálózat

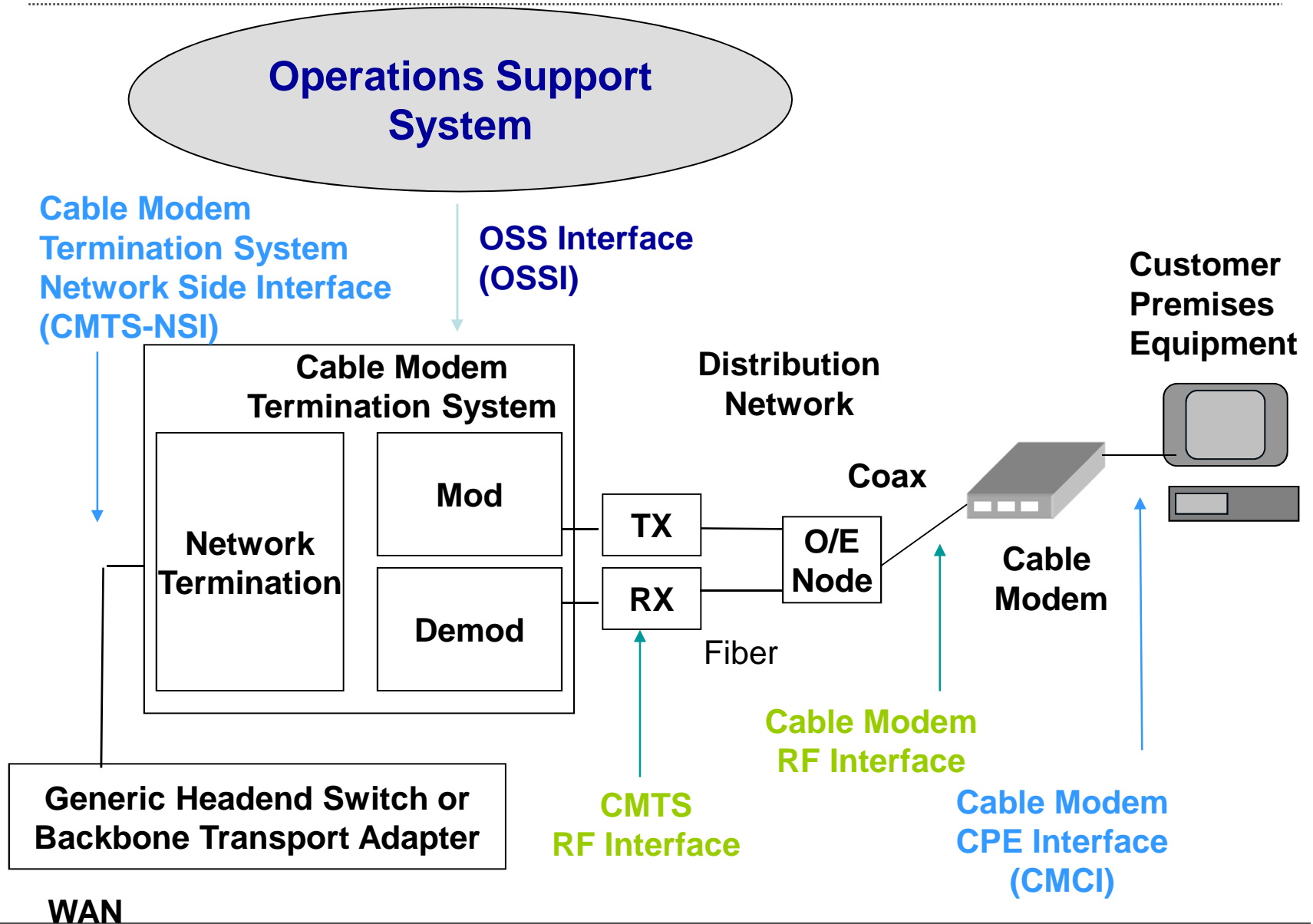


Typical fiber node supports about 2000 subscribers

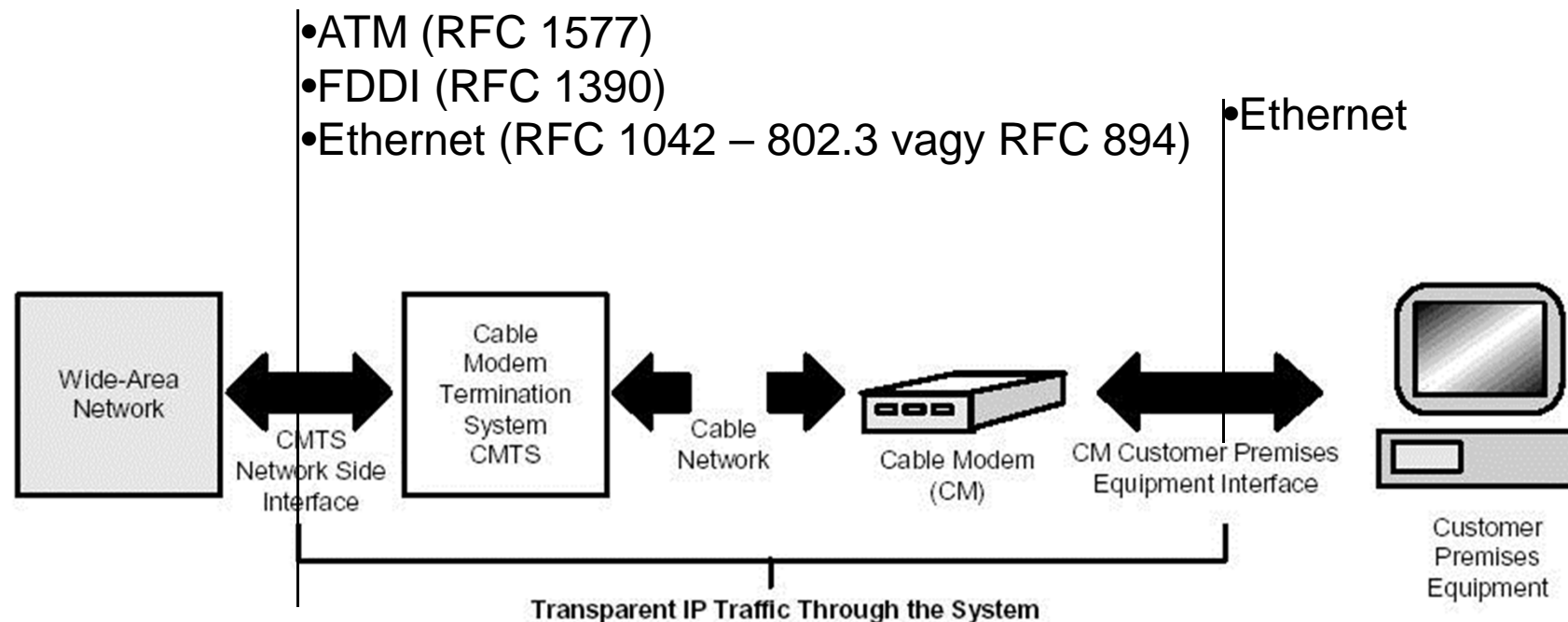
HFC hálózat



Euro-DOCSIS Reference Architecture



Általános felépítés



szerverháttér:

- DHCP (IP cím)
- DNS
- Time of the day (szinkron)
- TFTP (boot konfiguráció)

Fizikai réteg

- Kábelhálózat downstream: 50 MHz – 864 MHz tartomány, 6 MHz analóg tv-csatornák
- Fizikai réteg (PMD)
 - előre kijelölt upstream és downstream csatorna (kiosztásuk: CMTS konfiguráció)
 - downstream: 6MHz a 91MHz – 857 MHz rádióspektrumból, 64 vagy 256 QAM moduláció, sávszélesség kb. 30Mbps
 - upstream: 5MHz – 42 MHz tartományban, QPSK vagy 16 QAM, elérhető sávszélesség 320 kbps – 10 Mbps (6.25µsec minislot)

Fizikai réteg

- **Transmission convergence (TC)**
 - Egységes HW platform a video és adat fogadására a CM-ben
 - 188 byte-os MPEG stream
 - MPEG header (4B)
 - pointer (1B) opcionális
 - Payload (183 vagy 184 B)
 - fragmentation (egy PDU több keretben), concatenation (több PDU egy keretben)

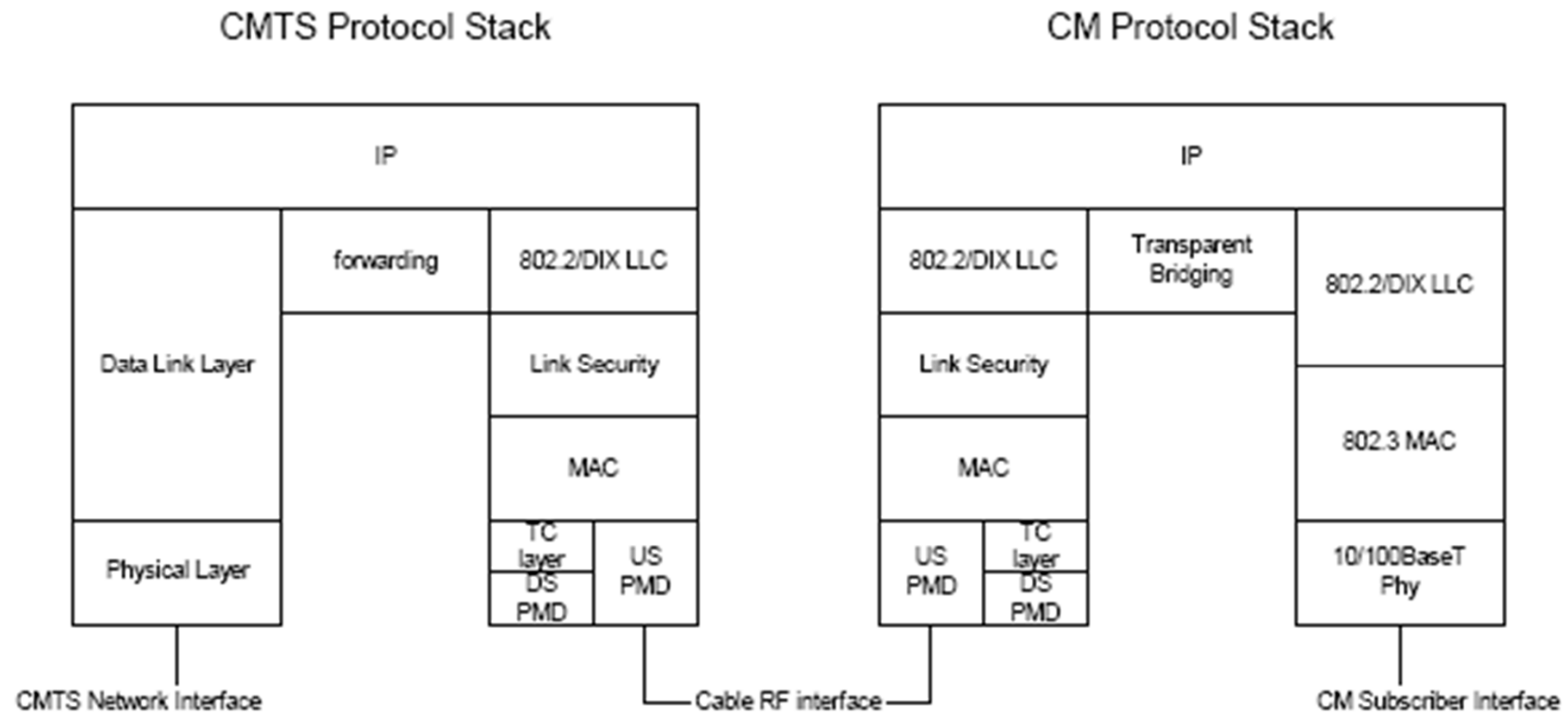
MAC réteg I.

- a MAC réteg vezérli a CM-ek hozzáférését az osztott upstream csatornához
- downstream irányban egy Downstream Transmission Convergence Sublayer (MPEG)
- a MAC keretek átvitele 188 byte méretű csomagokban
- CMTS-CM között Security Association a titkosításra (minden CM veszi a downstream adást)
- az upstream irányú adást a CMTS vezérli

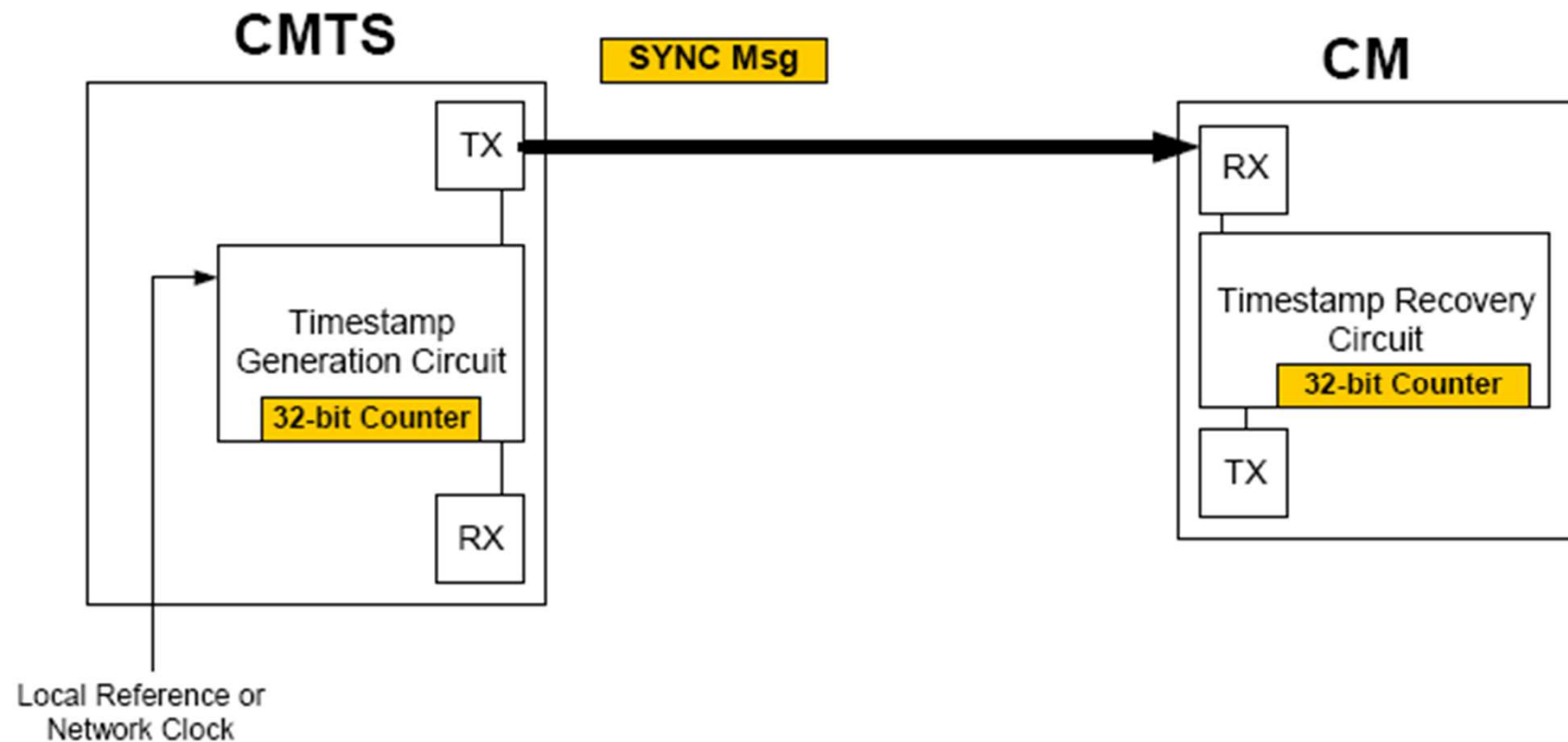
MAC réteg II.

- az upstream irányú adást a CMTS vezérli
- a csatorna intervallumokra osztva felhasználási kóddal és modulációtípussal
- a CMTS periodikusan küld üzeneteket arról, hogy melyik CM melyik időrést használhatja, valamint, hogy mikor küldhetnek adási kérést (REQ region)
- CM adási jogot kér, CMTS nyugtáz (data grant) vagy elutasít (data grant pending)
- ütközés csak adáskéréskor lehet, ezt a CM abból ismeri fel, hogy nem jött rá válasz (data grant, data grant pending) – ekkor késleltetett újraküldés
- Piggybacking (normál lehetőségen kívüli adáskérés – kiterjesztett fejlécben)

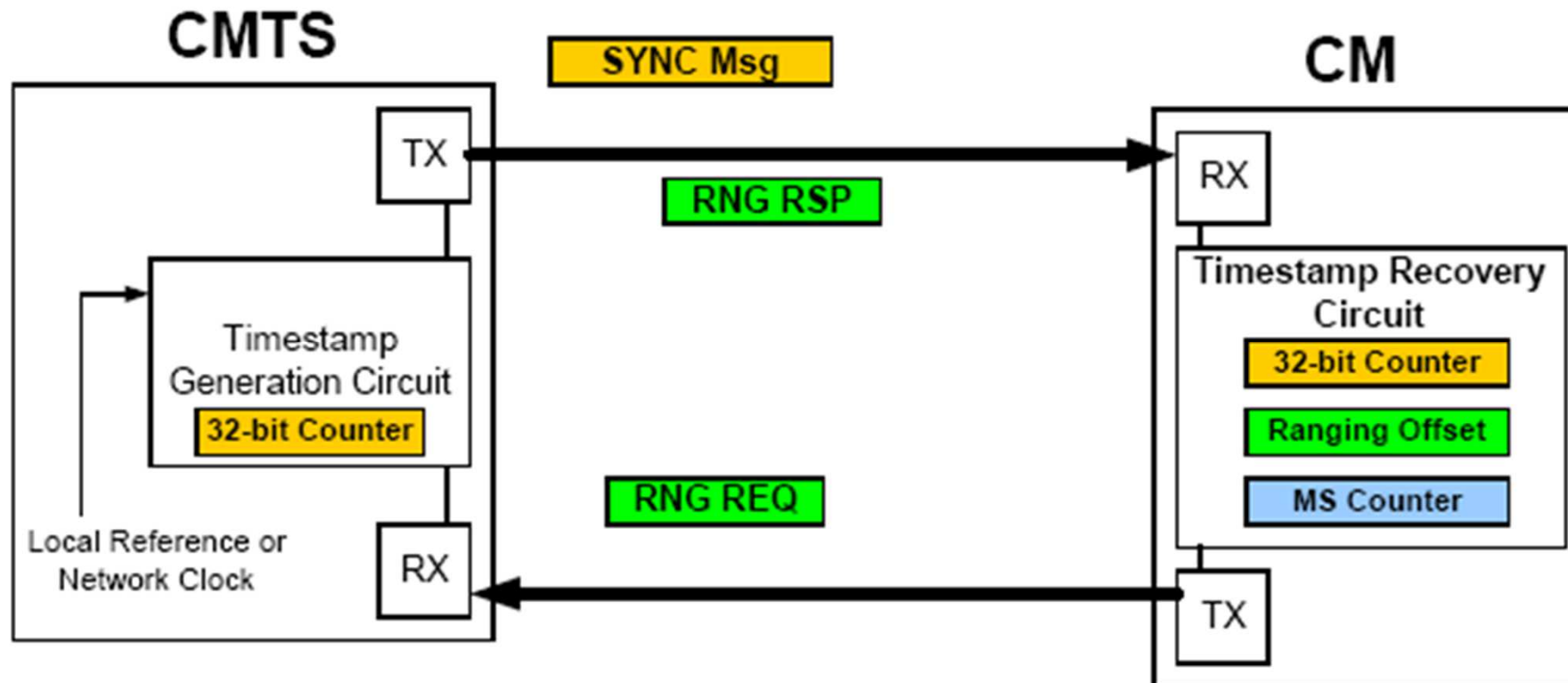
Protokoll-architektúra



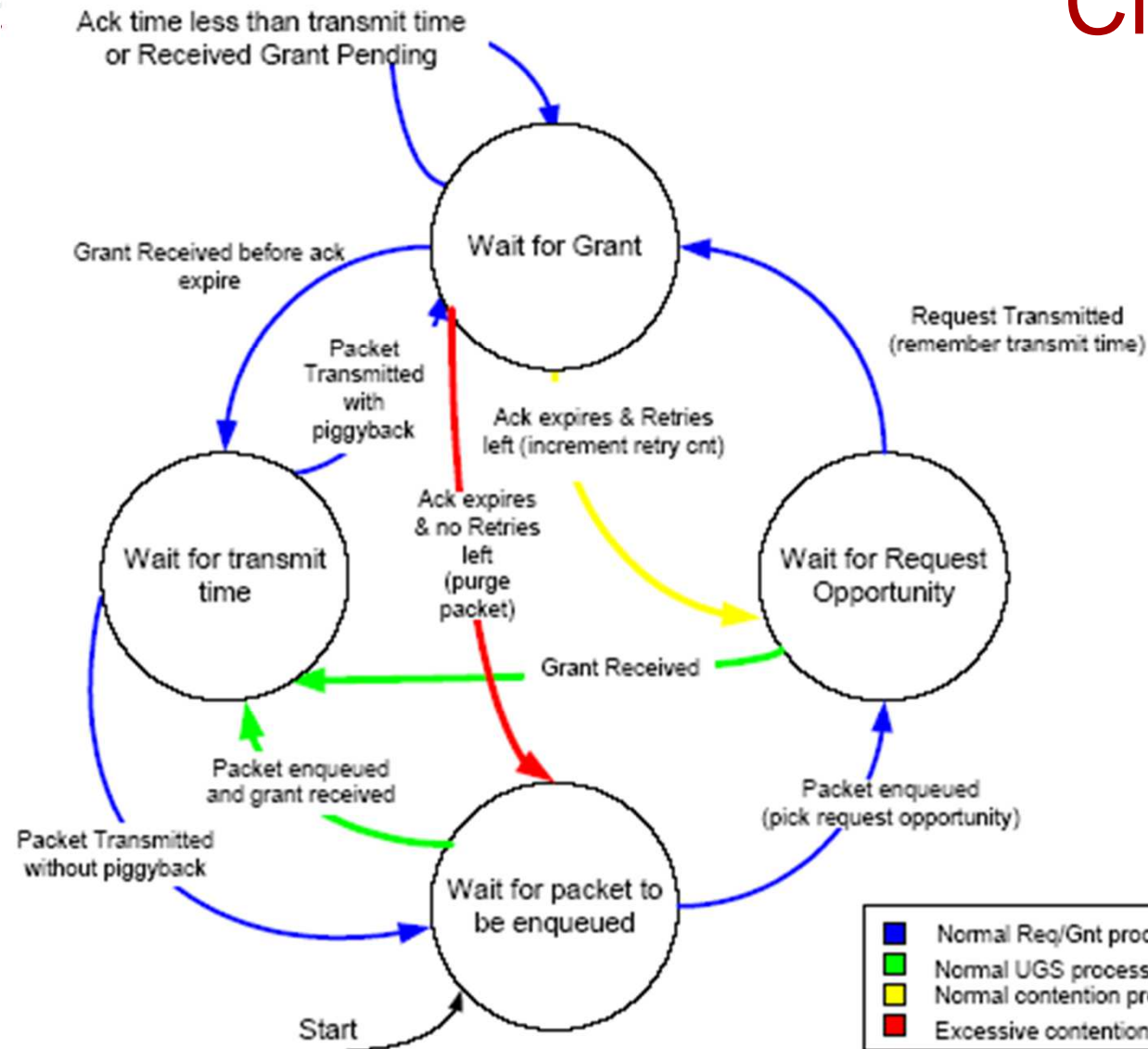
Órák szinkronizálása



Ranging



CM adáskérés



QoS támogatás

- DOCSIS 1.1 és 2.0 Service Flow: egyirányú adatfolyam késleltetés, jitter, sávszélesség, stb. paraméterekkel
- csomagok SF-hez rendelése - osztály alapú megoldás: priorítás, IP paraméterek, MAC cím, 802.1p/q paraméterek)

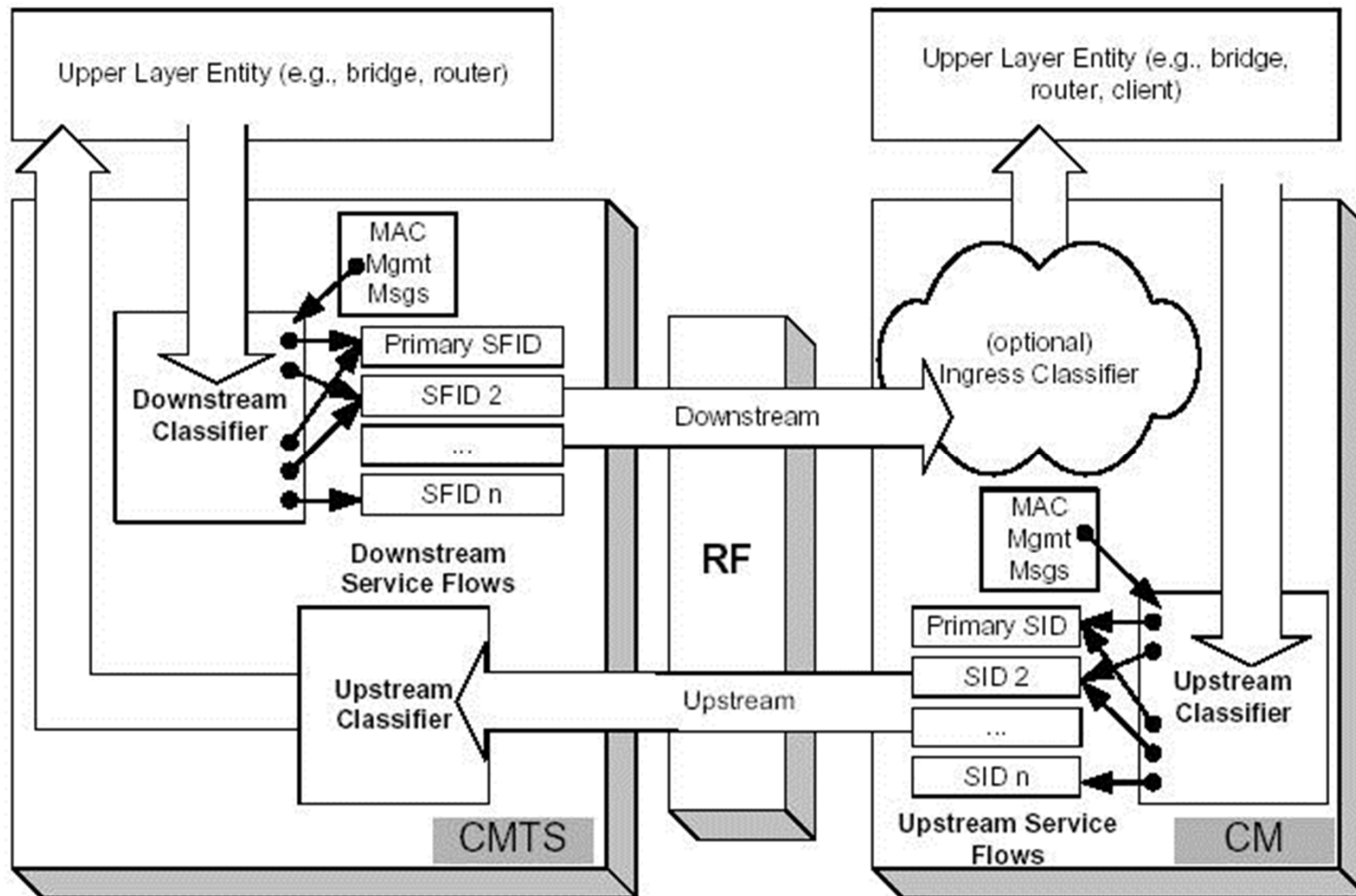
Upstream QoS szolgáltatások I.

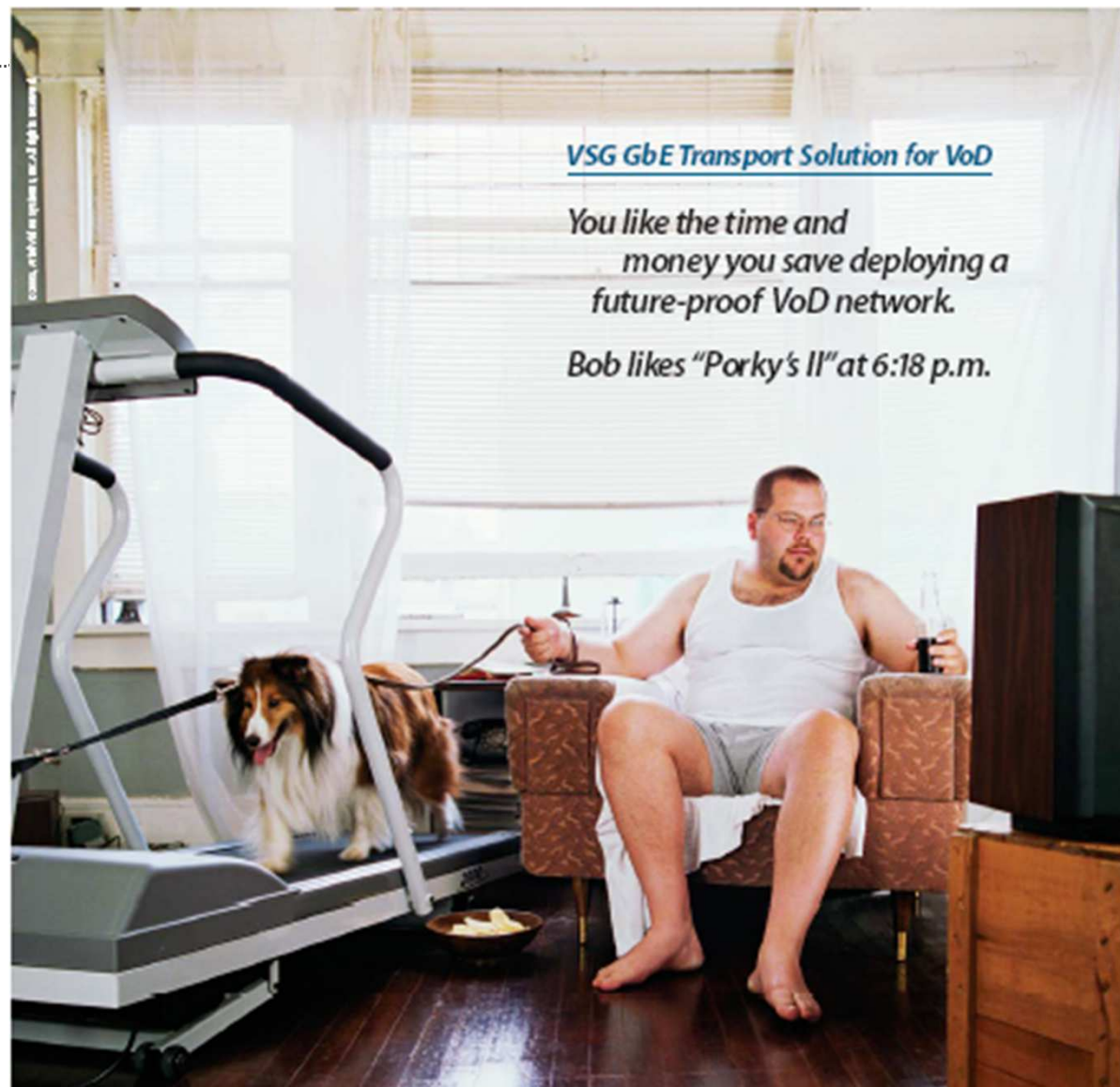
- **Unsolicited Grant Service (UGS):** olyan real-time szolgáltatásokhoz, amelyek periodikusan fix méretű csomagokat generálnak (pl. VoIP). Ennél a szolgáltatásnál a CM nem küld adási kéréseket (REQ), a CMTS pedig kötelezően biztosít a CM számára megfelelő mennyiségű küldési intervallumot (data grant). Ennél a szolgáltatásnál a CM nem is küldhet adási kérést, így megszűnik a normál adatforgalomnál jelentkező overhead.
- **Real Time Polling Service (rtPS):** olyan real-time szolgáltatásokhoz, amelyek periodikusan változó méretű csomagokat generálnak (pl. MPEG video). Ilyenkor a CMTS periodikusan biztosít lehetőséget adási kérés küldésére. Így az overhead nagyobb, mint az UGS esetén, viszont a csomagméret változhat.
- **Unsolicited Grant with Activity Detection (UGS/AD):** olyan UGS szolgáltatásokhoz, amelyek hosszabb időre (néhányszor 10 ms vagy több) inaktívvá válhatnak (pl. VoIP, csendelnyomással). Aktív állapotú folyam esetén UGS-ként működik, azaz a CMTS periodikusan adási lehetőséget biztosít a CM számára. Inaktív folyam esetén az rtPS szerinti unicast polling eljárással adhat a CM.

Upstream QoS szolgáltatások II.

- **Non-Real-Time Polling Service (nrtPS):** olyan szolgáltatásokat támogat, amelyek rendszeresen változó méretű csomagokat használnak (pl. FTP). A CMTS másodpercenként (igény szerint gyorsabban) lehetőséget biztosít adási kérésre, akkor is, ha egyébként a hálózat telített lenne. Az adási lehetőség biztosítása lehet periodikus vagy nem periodikus is.
- **Best Effort (BE):** Ebben az esetben a CM használhat normál adási kéréseket és felhasználhatja a kéretlen adási lehetőségeket is (unsolicited data grant). A szolgáltatás alapvető paraméterei a Minimum Reserved Traffic Rate, a Maximum Sustained Traffic Rate, és a Traffic Priority.
- A fentiekén kívül a szabvány röviden említést tesz a Committed Information Rate (CIR) szolgáltatásról. Ennek definiálására több lehetőség van, pl. vagy egy Best Effort vagy egy nrtPS adott Minimum Reserved Traffic Rate paraméterrel.

Service Flow – CMTS, CM





A DOCSIS szabvány fejlődése

DOCSIS Evolution

~1996... to... 2013... to...

- DOCSIS 1.0
 - High Speed Internet Access
- DOCSIS 1.1
 - Voice, Gaming, Streaming
- DOCSIS 2.0
 - Capacity for Symmetric Services
- DOCSIS 3.0
 - Channel Bonding, IPv6
- DOCSIS 3.1
 - OFDM, Wideband Channel



Slide 4

© Cable Television Laboratories, Inc. 2013

A DOCSIS szabvány fejlődése

DOCSIS 1.0 (1997)

- Első megjelenés
- Best-effort adattovábbítás

DOCSIS 1.1 (1999)

- Quality-of-Service (QoS) bevezetése: VoIP támogatás
- Security: Baseline Privacy Interface (BPI+)

DOCSIS 2.0 (2001)

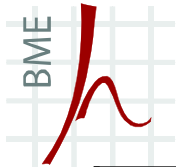
- Megnövelt átviteli sebesség és zajtűrés a vissz irányban
- 64QAM moduláció & A-TDMA

DOCSIS 3.0 (2006)

- Csatornakötegelés (DS és US)
- IPv6 támogatás, megnövelt biztonság (AES)

DOCSIS 3.1 (2013)

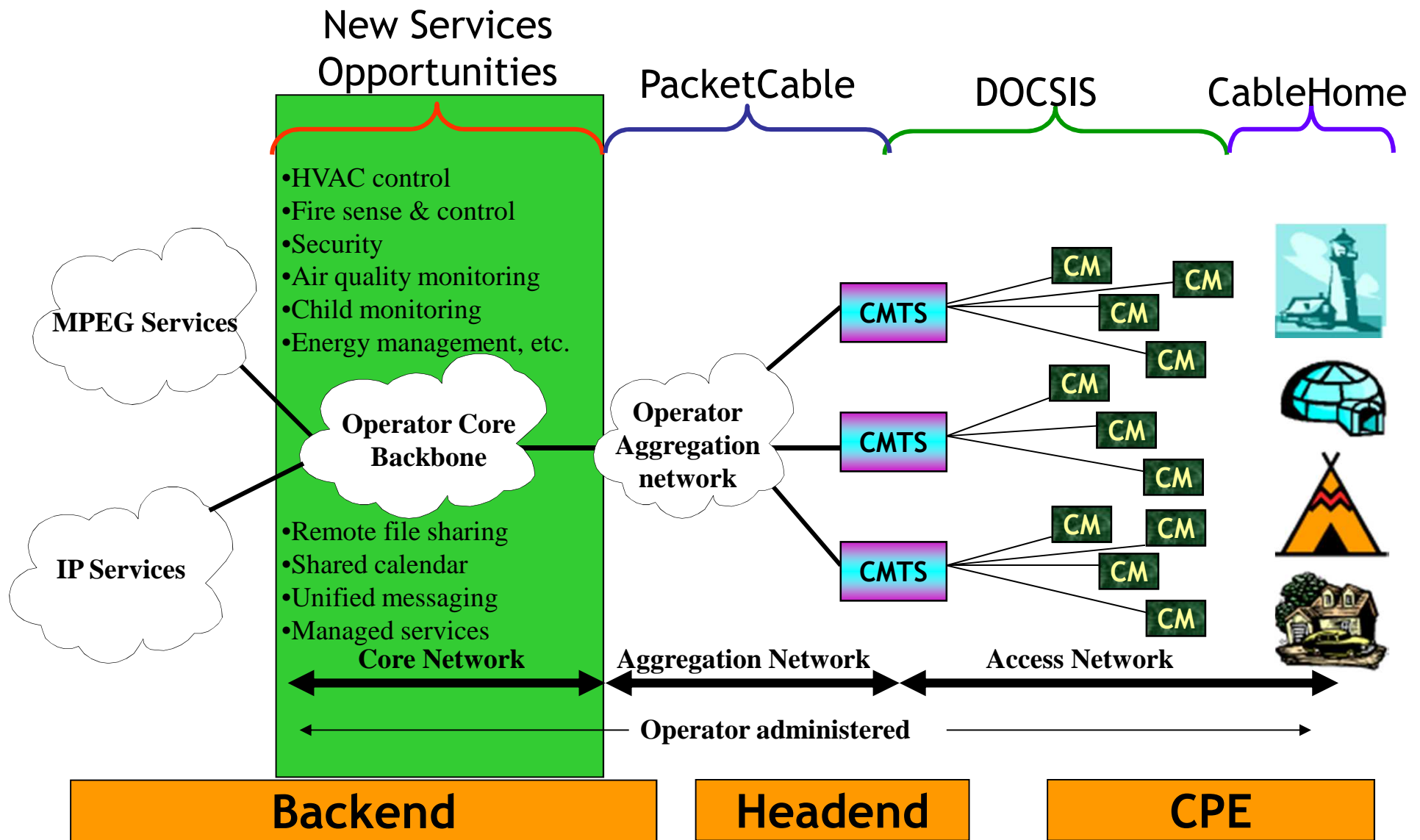
- Kibővített spektrum (200MHz US, 1.2 GHz DS)
- OFDM

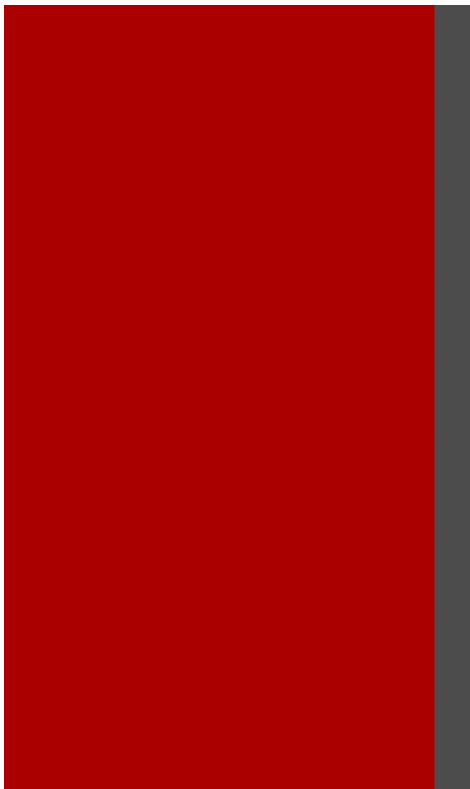
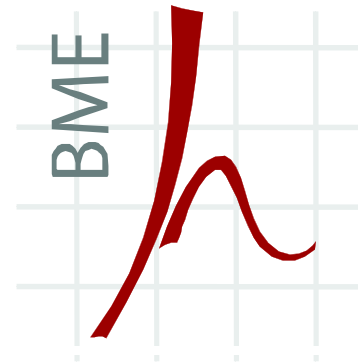


DOCSIS™ Road Map

DOCSIS	Key Features	Benefits/Services
DOCSIS 3.1 (2013) (d 400Mbps-10Gbps, u 300Mbps-1Gbps)	<ul style="list-style-type: none">• Extended spectra (US: 200MHz, DS: 1,2 GHz)• OFDM, max. 4094 QAM	<ul style="list-style-type: none">• Increased bandwidth (OFDM PHY & LDPC FEC)
DOCSIS 3.0 (2006) (d 300 Mbps – 1.2 Gbps, u 100-300 Mbps)	<ul style="list-style-type: none">• Channel aggregation (bonding)• IPv6	<ul style="list-style-type: none">• Multicast
DOCSIS 2.0 (2001) (30 Mbps u/s)	<ul style="list-style-type: none">• Mandatory S-CDMA/ TDMA• Best of DOCSIS	<ul style="list-style-type: none">• Symmetric services• Peer-to-peer• Business-to-business (20 T1 capacity)
DOCSIS 1.1 (1999) (10 Mbps u/s)	<ul style="list-style-type: none">• QoS• Pre-EQ• Operations• Security	<ul style="list-style-type: none">• Tiered service• Double u/s capacity• Lower op's costs• Better than competitor
DOCSIS 1.0 (1997) (5 Mbps u/s)	<ul style="list-style-type: none">• Spec'd for retail• Standard spec	<ul style="list-style-type: none">• High speed data• Internet access

Cable Architecture





DOCSIS 3.0

DOCSIS 3.0

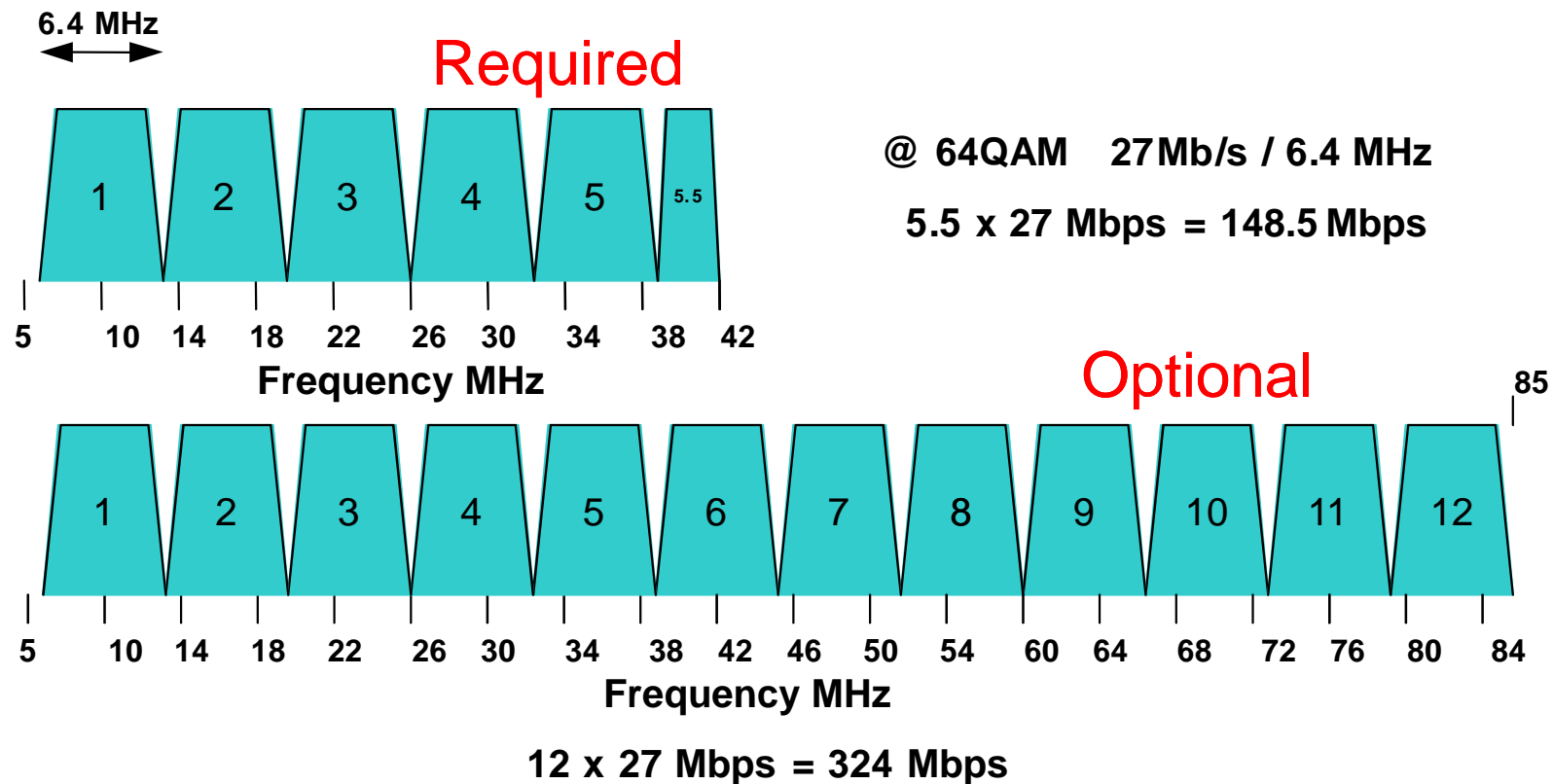
- **Megváltozott követelmények**
 - nagyobb sávszélesség
 - IPv6 előkészületek
 - multicast
- **Újdonságok (DOCSIS 2.0-hoz képest)**
 - csatornanyalábolás: legalább négy csatorna egyenként 10-30 Mbps
 - IPv6 támogatás
 - továbbfejlesztett multicast támogatás:
 - SSM (Source-Specific Multicast)
 - IGMPv3 (Internet Group Management Protocol - RFC3376 és RFC 5186: MLDv2)
 - downstream identifier (multicast menedzselés nyalábolt csatornák felett)

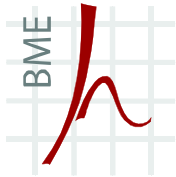
DOCSIS 3.0 jellemzők

- **MAC Layer**
 - Downstream és upstream csatornák nyalábolása
 - legalább négy csatorna egyenként 10-30 Mbps
- **Network Layer**
 - IPv6 support
 - IP Multicast (IGMPv3/MLDv2, SSM, QoS)
- **Security**
 - Certificate Revocation Management
 - Runtime SW / Config validation
 - Enhanced Traffic Encryption (AES)
 - Certificate Convergence
 - Early Authentication & Encryption
 - TFTP Proxy
- **Network Management**
 - Diagnostic Log (**Flaplist**)
 - Internet Protocol Data Record (IPDR) kitejesztések alkalmazása
 - Kapacitás-mendzsement
 - Továbbfejlesztett jelminőség-monitorozás
- **Physical Layer**
 - Kapcsolható 5-42 MHz, 5-65 MHz, or 5-85 MHz US sáv
 - S-CDMA aktív kódválasztás
- **Commercial Services**
 - T1/E1 Circuit Emulation támogatás

DOCSIS 3.0 Upstream Bandwidth

- Upstream operation can be extended from 5-42 MHz to 5-85 MHz to adds nearly 200 Mbps of potential capacity





Use of Cable Spectrum

- Same amount of RF spectrum delivered to each home passed
- Spectrum may be reused for interactive services by sub-dividing into service groups

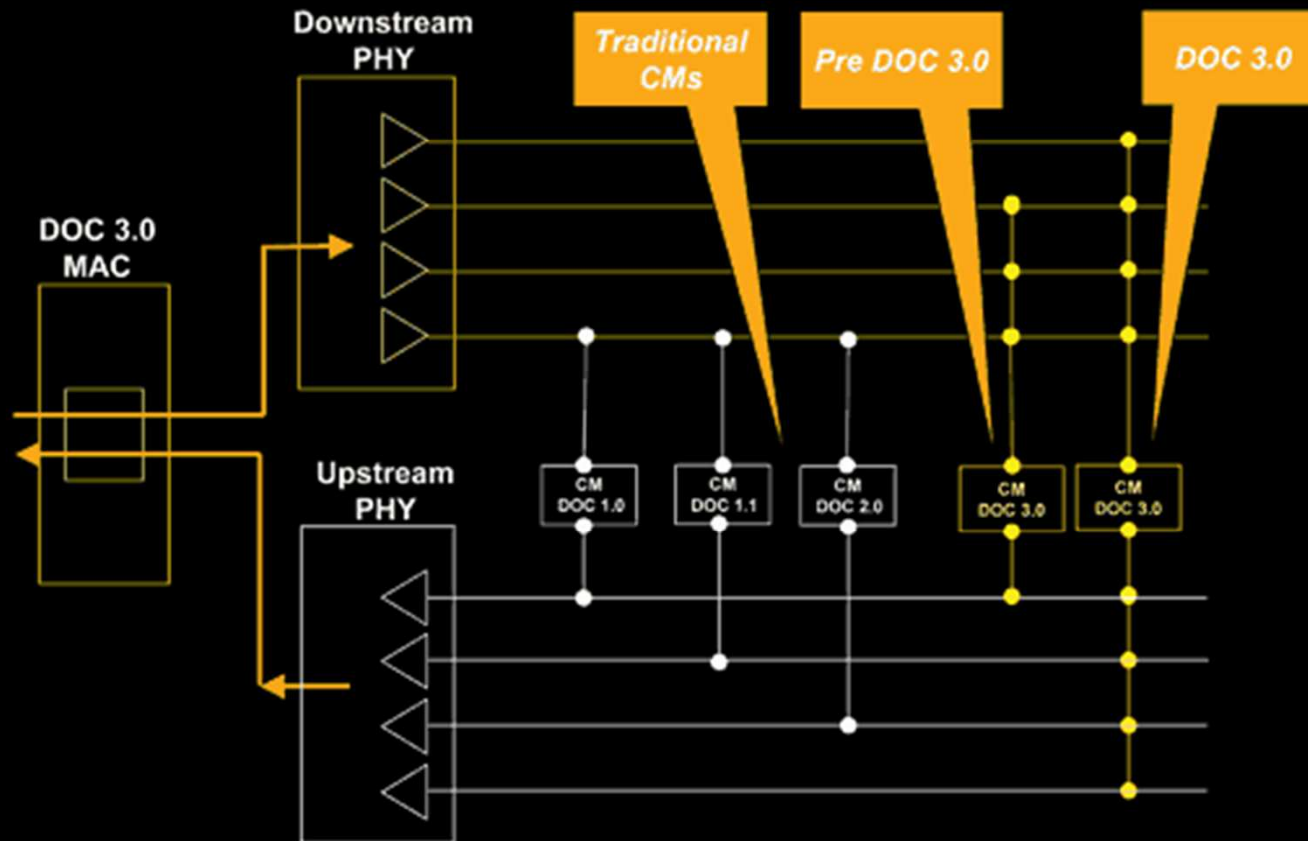
	Number of 6 MHz Channels per Household	Service Group Size**	Spectral Reuse	Total Delivered Channels per 20,000 HHP hub	Percentage of Delivered Bandwidth
Linear Content	101	20,000	1	101	17%
SDV	16	900	22	352	60%
VoD	4	1,500	13	52	9%
Broadband*	4	1,000	20	80	14%
	125			585	100%

*Includes upstream

**Representative values only, wide variation
in practice due to cable system specifics

Csatornák nyalábolása

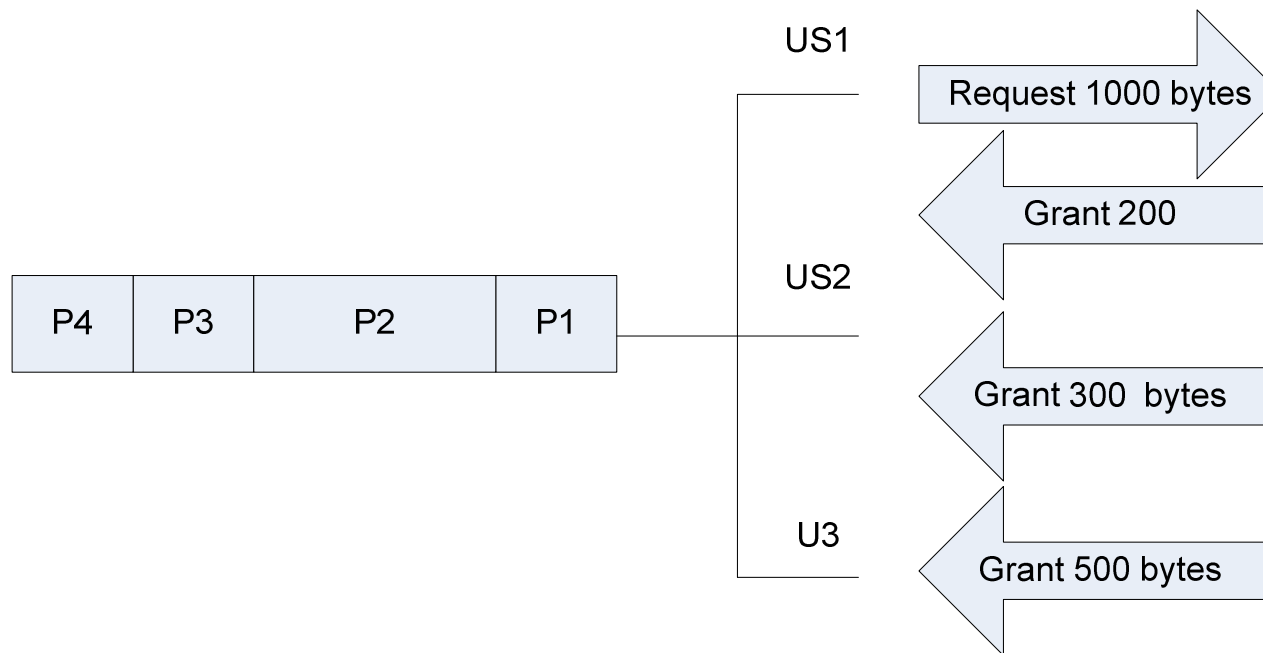
DOCSIS 3.0 Channel Bonding Architecture

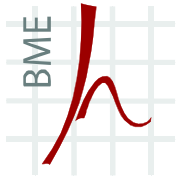


© 2006 Cisco Systems, Inc. All rights reserved.

Upstream Channel Bonding

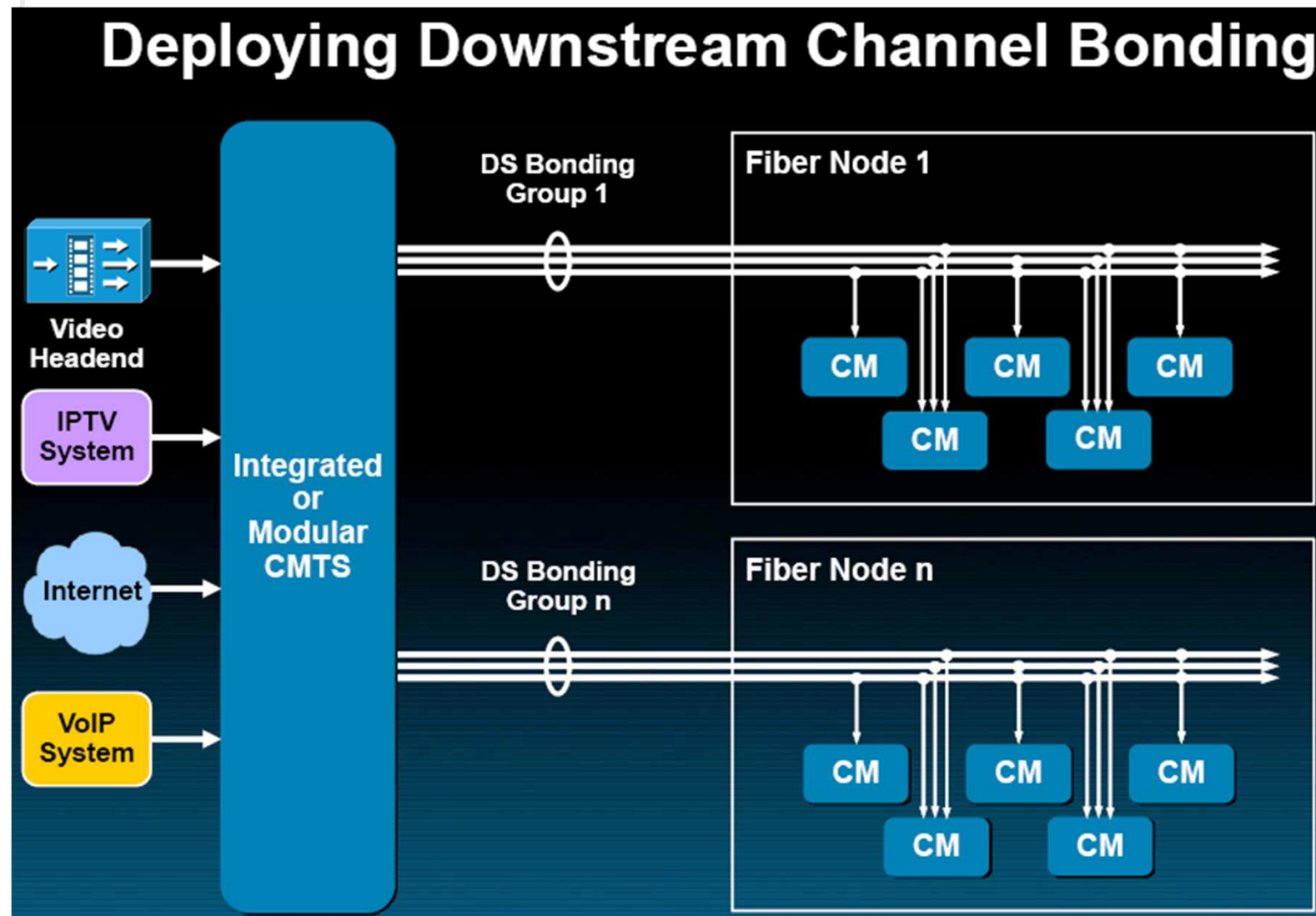
- Upstream bonding
 - Single flow can consume all BW on multiple USs
- Continuous Concatenation & Fragmentation (CCF)
 - Improved form of concatenation and fragmentation that is needed for DOCSIS 3.0 operation

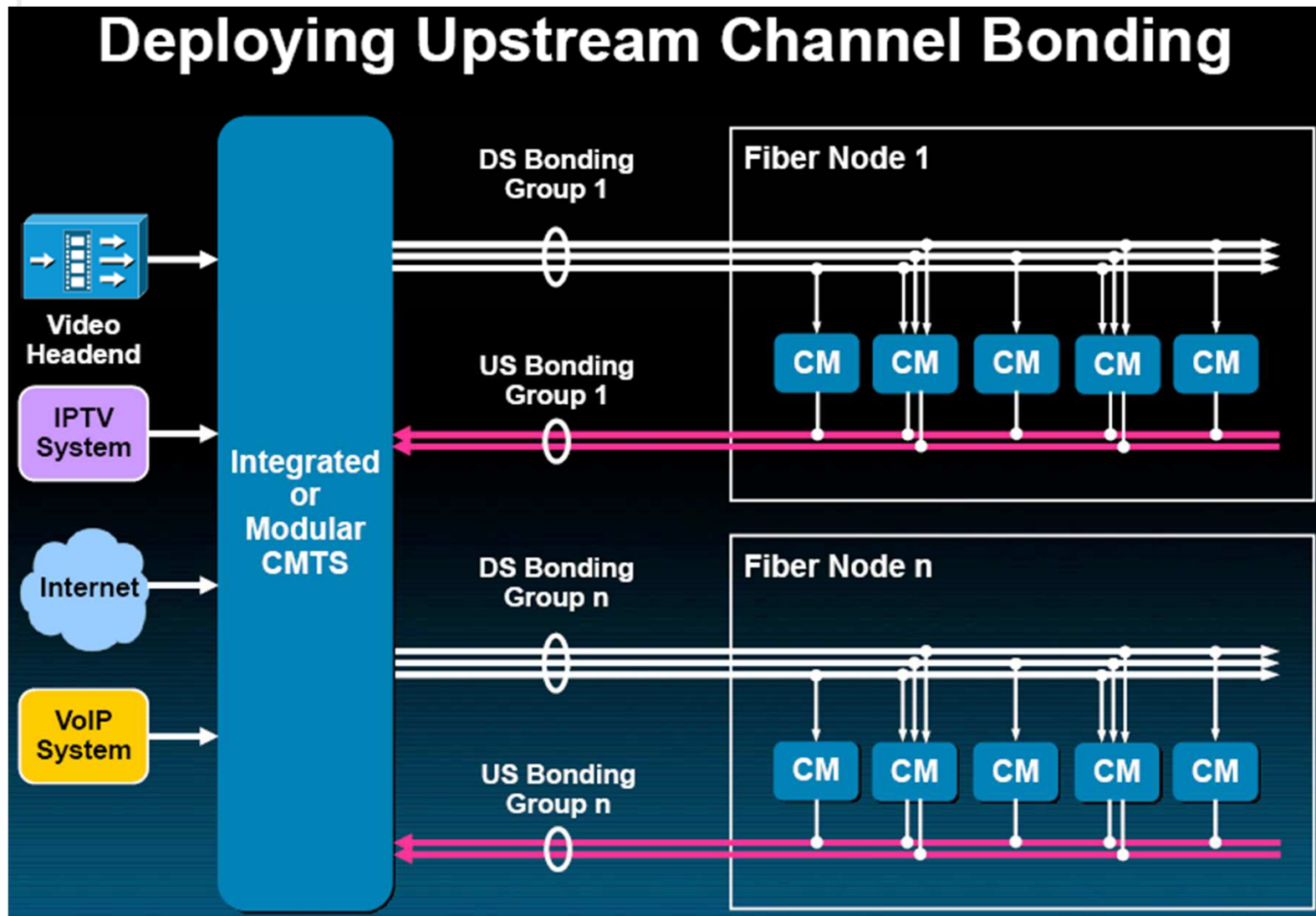


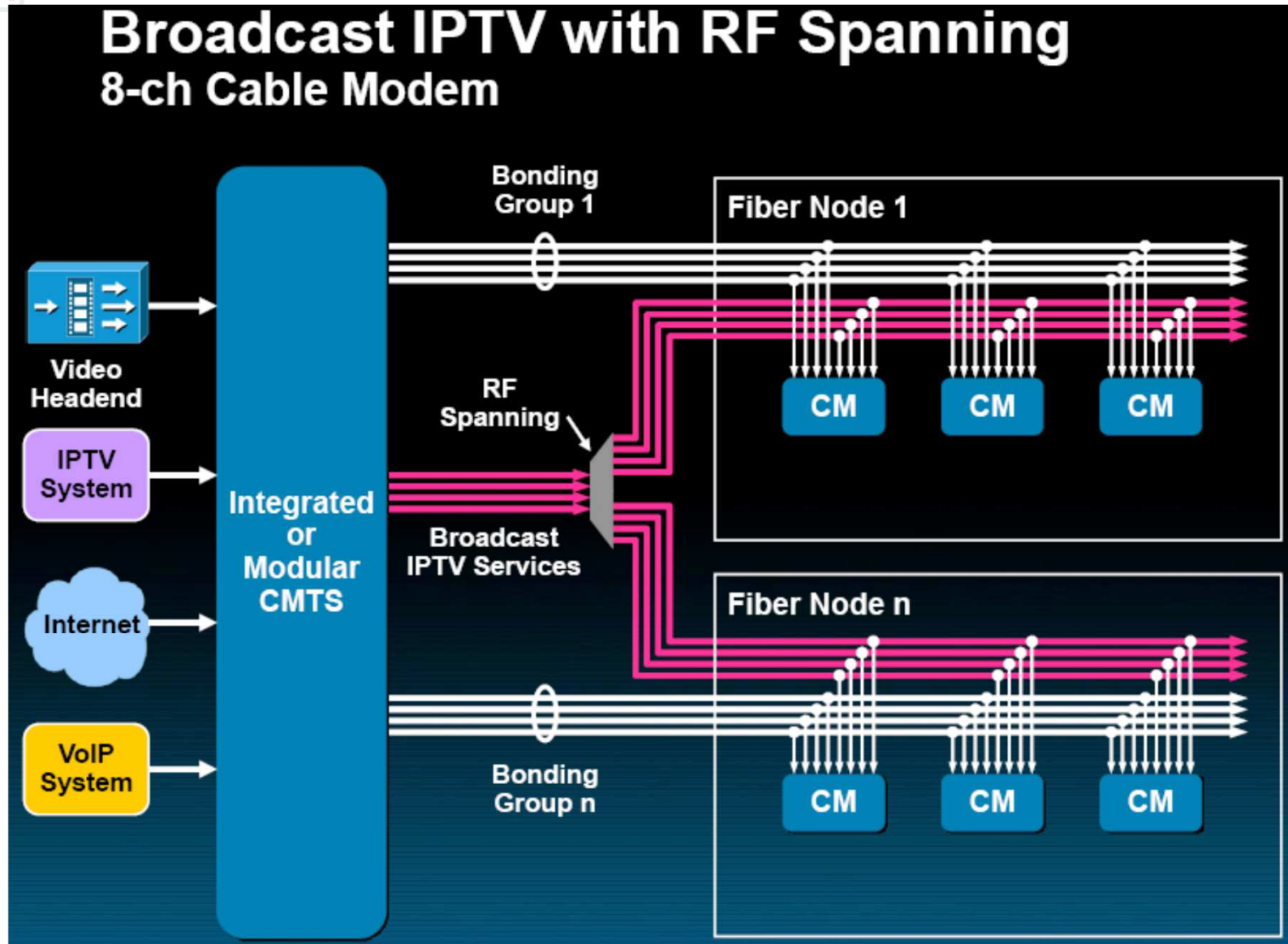


Upstream Bonding Service Drivers

- Competition against FTTH
 - Deliver 20+ Mbps
- High BW residential data
- User generated content
 - Video and photo uploads
 - Proliferation of social sites
- Video conferencing
 - TelePresence
- Commercial service
 - High BW **symmetrical** data services
 - Bonded T1
 - **High BW Ethernet/L2VPN service**

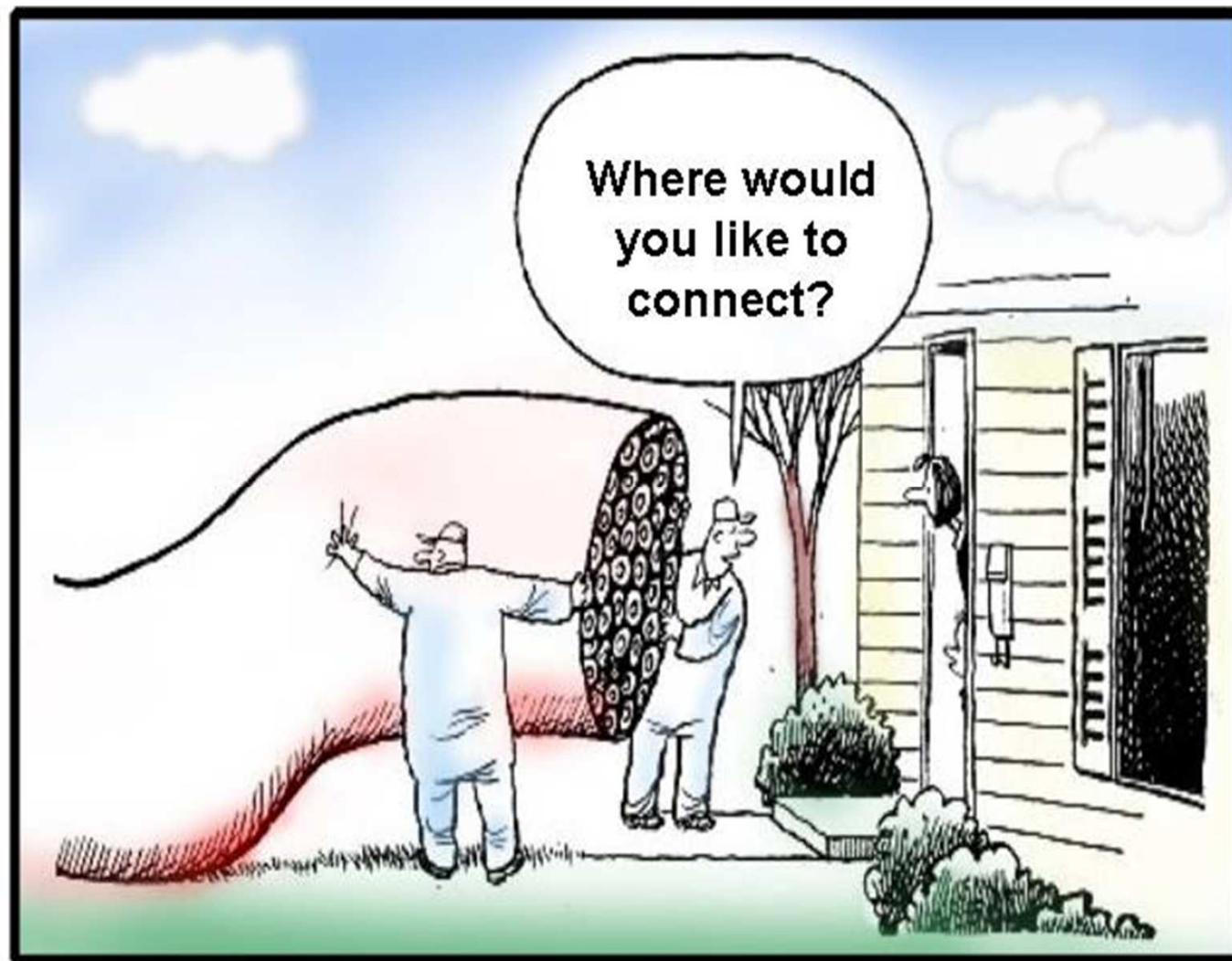


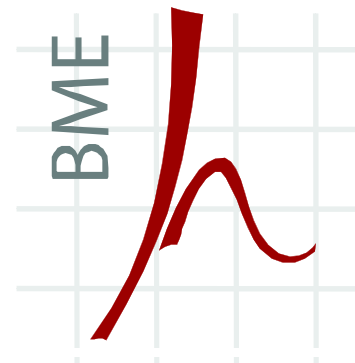




DOCSIS 3.1 jellemzők

	DOCSIS 3.0		DOCSIS 3.1	
	Initial	Future	Initial	Future
DS Range (MHz)	54 – 1002	108 – 1002	258 – 1218	504 - 1794
DS QAM Level	256	256	256 – 4096	256 – 16,384
# DS Channels	8 SC-QAM	32 SC-QAM	5 x 192 MHz	6 x 192 MHz
DS Capacity (bps)	300 Mbps	1.2 Gbps	8 Gbps	10 Gbps
US Range (MHz)	5 – 42	5 – 85	5-85, 5-204	5 - 400
US QAM Level	64	64	256 - 4096	
# US Channels	4 SC-QAM	12 SC-QAM	2 x 96 MHz	4 x 96 MHz
US Capacity (bps)	100 Mbps	300 Mbps	400 Mbps, 1 Gbps	2.5 Gbps





VIHIMA07 Mobil és vezeték nélküli hálózatok

3. Heterogén mobil hálózatok – hozzáférési technológiák a backhaulban III. PON

Jakab Tivadar

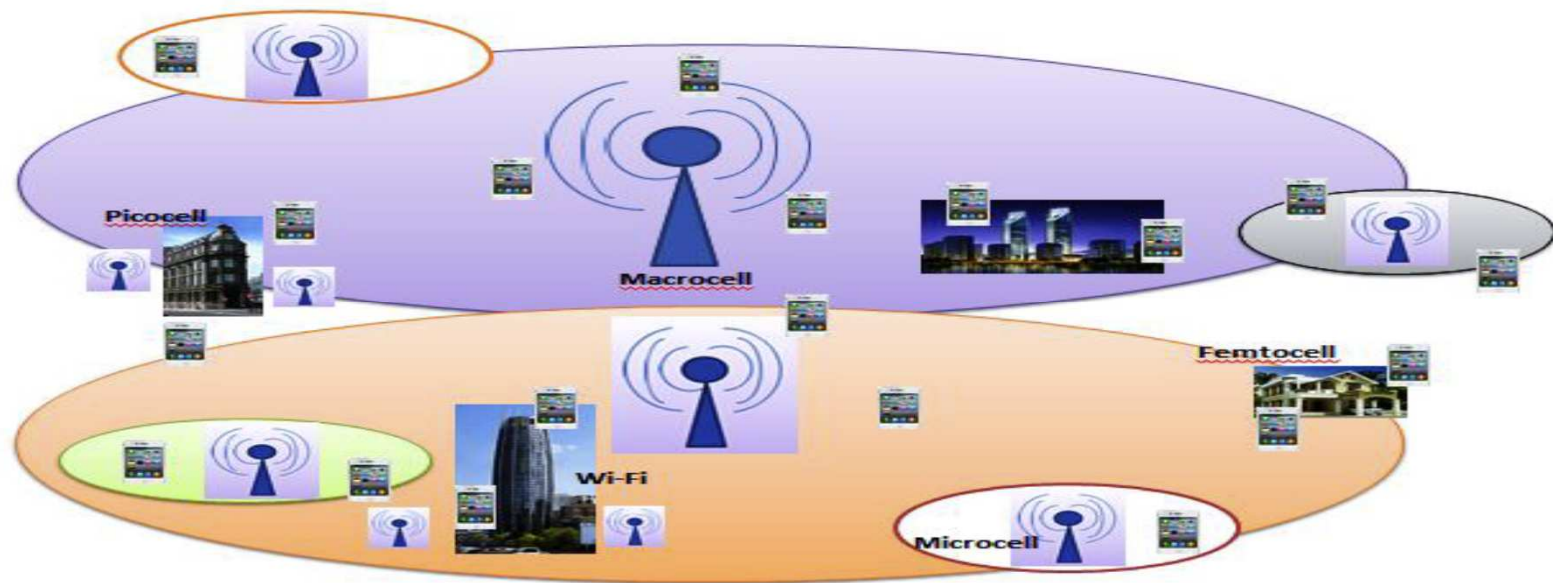
Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

jakab@hit.bme.hu

I.B.123

Heterogén mobil hálózatok backhaul technológiái

- **HetNet** alatt többféle hozzáférési hálózat kombinációját értjük, ahol a különböző rádiós technológiák, különböző adóteljesítménnyel rendelkező bázisállomások mellett, az elképzelés szerint a felhasználó számára észrevehetetlenül biztosít átjárást az egyes hozzáférési rendszerek között.
- **LTE terminológia szerint:** LTE makrocellák, piko-, femtocellák (small cellák), relék (esetleg WiFi) együttese alkotja a HetNet-et.
- Többretegűvé válik az eddigi makro bázisállomások alkotta hálózat
- A legnagyobb lefedettség a makrocella által (esernyő cella - umbrella cell)
- A többi alárendel, kisebb rétegeket a WiFi, small cellák és relék alkotják



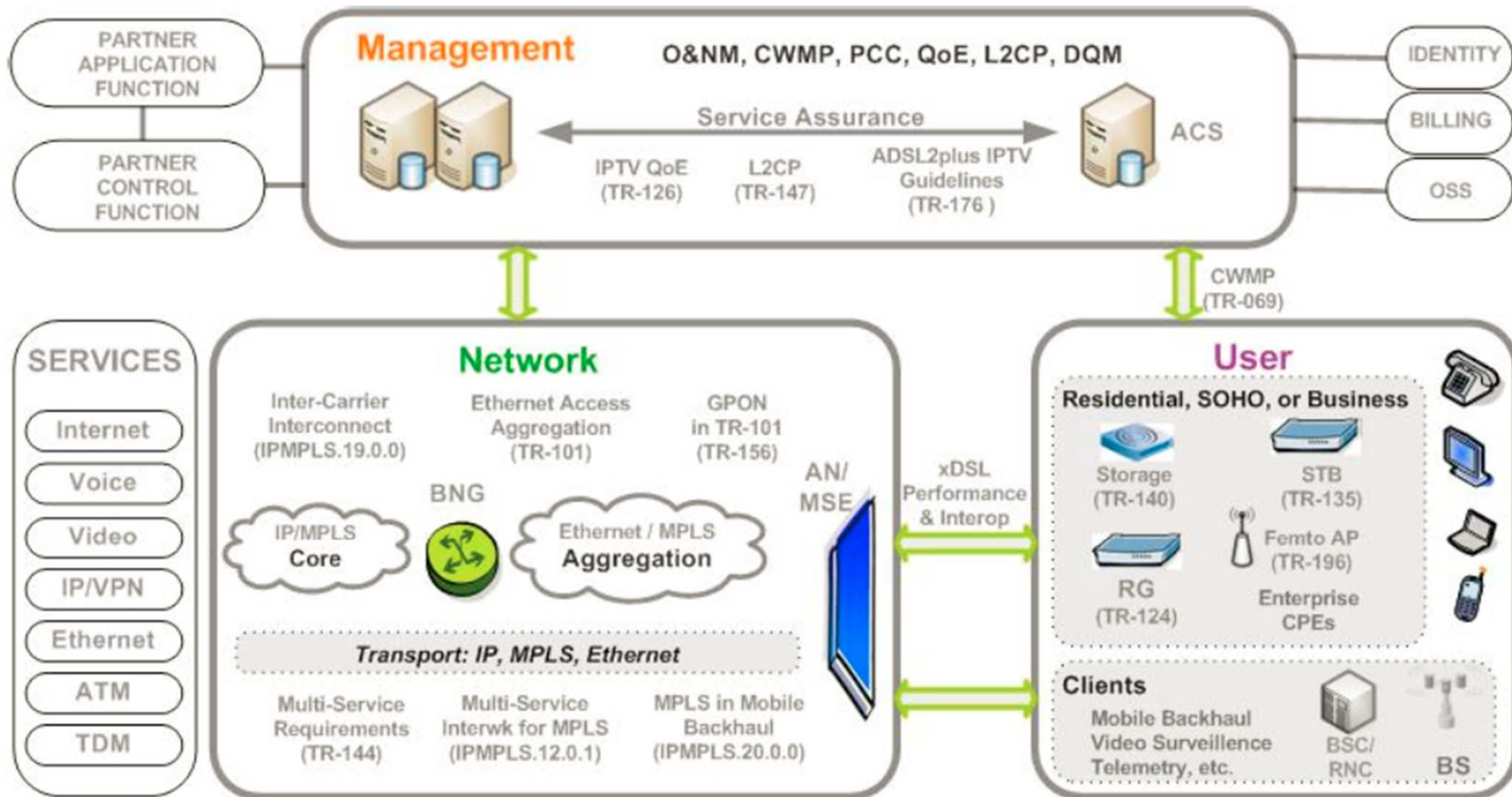
Heterogén hálózatok backhaulja

- Mit kell a hálózathoz kapcsolni?
- ✓ Makrocella – Ethernet aggregáció (+CES)
- ? Pikocella
- ? Femtocellák
- Nagyszámú, kiskapacitású (makrocellához képest)
- Gazdaságos, megfelelően skálázódó, menedzselhető hálózati megoldások szükségesek
- Nagysebességű hozzáférési technológiák (xDSL, DOCSIS, PON) – IP konnektivitás Ethernet alapon
- Tipikusan kiépültek/épülnek a lakossági és SOHO felhasználóknak
- Megfelelő távolság*sávszélesség megoldásokat kínálnak, menedzselhető (többé-kevésbé) eszközökre épülnek

Small Cell Type Parameters	Macrocells	Picocells	Femtocells		
			Metrocells	Enterprise Femtocells	Home Femtocells
Deployment	Outdoor	Outdoor/Indoor	Outdoor	Indoor	Indoor
No. of users	> 256	64-128	32-64	16-32	4-16
Coverage	few miles	< 300 m	< 300 m	< 100 m	< 30 m
Application Areas	Rural, Residential	Airport, Aircraft, Stadium	Dense Urban, Hotspot	Office, SME	Home, Apartment
Access Mode	Open	Open	Open	Open/CSG	Open/CSG

Szélessávú hálózat

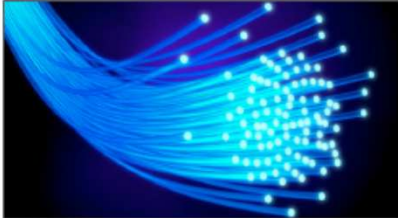



(Broadband Forum, 2009)

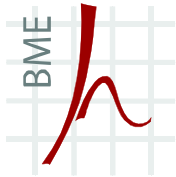


Nagysebességű vezetékes hozzáférés

- Meglévő (sodrott érpár, koax) és új építésű (fényvezető szál) infrastruktúrán
- Lakossági (beszéd, adat, tv/videó) és SOHO (beszéd, adat) felhasználóknak
- Többfajta architekturális megoldás
 - rézalapú
 - érpár (telefonhálózat)
 - koax (műsorszétosztó hálózat - kábeltévé)
 - optika
 - hibrid
 - optika és réz
 - optika és koax

Különböző hozzáférési technológiák potenciális spektrális tartományai

Physical Medium		Bands	Total spectrum
	Fiber High purity glass	O-band: 1260 - 1360nm E-band: 1360 - 1460nm S-band: 1460 - 1530nm C-band: 1530 - 1565nm L-band: 1565 - 1625nm	45,000GHz not all bands are used on the same fiber - today
	HFC Coaxial cable	Upstream: 5 - 42MHz TV (analog): 54 - 552MHz TV (digital): 552 - 678MHz Data: 678 - 690MHz TV (digital): 690 - 750MHz Future upgrade: up to 1700MHz	1.7GHz
	Wireless Radio Frequency	Licensed (mobile operator): 700, 800, 1700, 1900, 2100, 2300, 2500MHz Unlicensed (WiFi): 2400MHz, 5000MHz	0.5GHz licensed spectrum
	xDSL Copper wire	Voice: 0 - 4kHz DSL: 26 - 138kHz ADSL: 26kHz - 1.1MHz ADSL2: 26kHz - 2.2MHz VDSL: 26kHz - 8.8MHz VDSL2: 26kHz - 30MHz	0.03GHz



Esteben Monturus, MARAVEDIS, January 2011

<http://www.slideshare.net/allabout4g/apracticallookatltebackhaulrequirementspdf>

A PRACTICAL LOOK AT LTE BACKHAUL CAPACITY REQUIREMENTS



LTE kapacitásigények

- Operators are currently deploying 3GPP Rel. 8
 - 10 or 20 MHz (2x2 downlink MIMO)
 - 3-sector cell sites

- Peak rates never achieved due to
 - Interference
 - Network load

- Final objective: IMT-Advanced (LTE-A)

Backhaul Requirement Capacity per Site



Direction	Peak efficiency	Peak 10 MHz	Peak 20 MHz	Average efficiency	Average 10 MHz	Average 20 MHz
Rel. 8 Downlink	5 bps/Hz	50 Mbps	100 Mbps	1.73 bps/Hz/cell	17.3 Mbps	35.6 Mbps
Rel. 8 Uplink	2.5 bps/Hz	25 Mbps	50 Mbps	1.52 bps/Hz/cell	15.2 Mbps	30.4 Mbps
LTE-A Downlink*	15 bps/Hz	150 Mbps	300 Mbps	3 bps/Hz/cell	30 Mbps	60 Mbps
LTE-A Uplink*	6.75 bps/Hz	67.5 Mbps	135 Mbps	2.25 bps/Hz/cell	22.5 Mbps	45 Mbps

* Spectral efficiency for indoor coverage, the most demanding situation

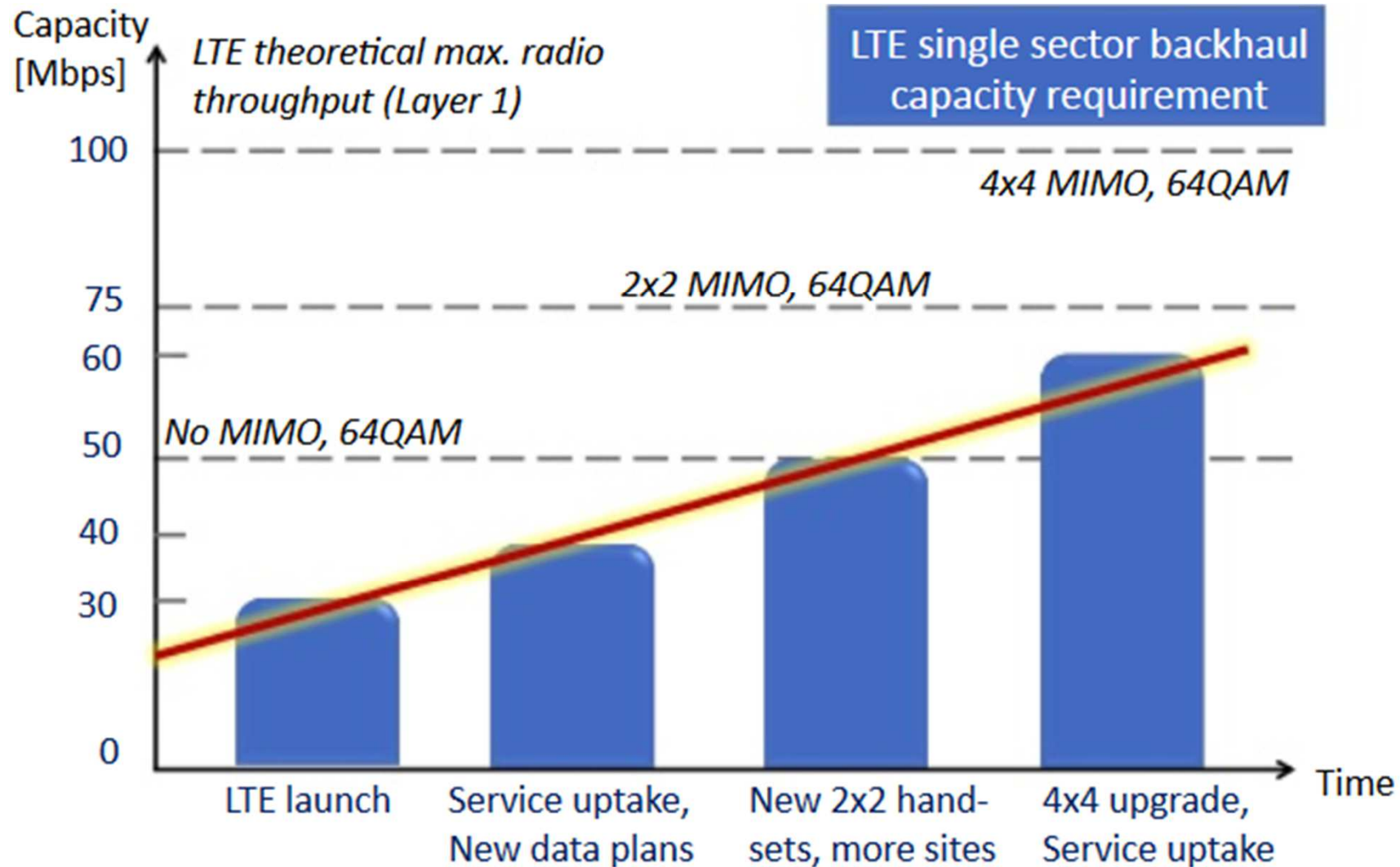
LTE backhaul kapacitásigények

Cell backhaul capacity [Mbps] vs. deployment area			
Channel Bandwidth	Dense Urban (close range throughput)	Sub-urban (medium range throughput)	Rural (medium range throughput)
5Mhz	20 (OBF 3)	13 (OBF 3)	8 (OBF 5)
(FDD typical) 10MHz	50 (OBF 3)	33 (OBF 3)	20 (OBF 5)
20MHz	100 (OBF 3)	65 (OBF 3)	40 (OBF5)

- Typical macro cell tower hosts 3 LTE radio sectors
- Site backhaul capacity with overbooking factor (OBF) between 3 and 5
- Capacity includes 15% dynamic range margin for QoS
- Figures are already LTE high-end estimates, higher capacities through reducing overbooking factor to 1 from 3

LTE backhaul realistically 10's, not 100's of Mbps

LTE kapacitásnövekedési trend (10 MHz-es LTE csatornákkal)



LTE backhaul topológiai opciók

Jellemző	Felfűzés (Daisy chain)	Csillag (Hub and Spoke)	Fa	Gyűrű	Szövevény
Kapacitásmegoszlás	—	+	++	++	+++
Rendelkezésreállítás (egyszeres vonali hibákra)	—	++	++	++	+++
LTE eNodeB-ok közti kapcsolat (X2)	--	+	++	++	+++
Költség	+	+	+	++	+
Jövőtállóság	—	++	++	++	+++

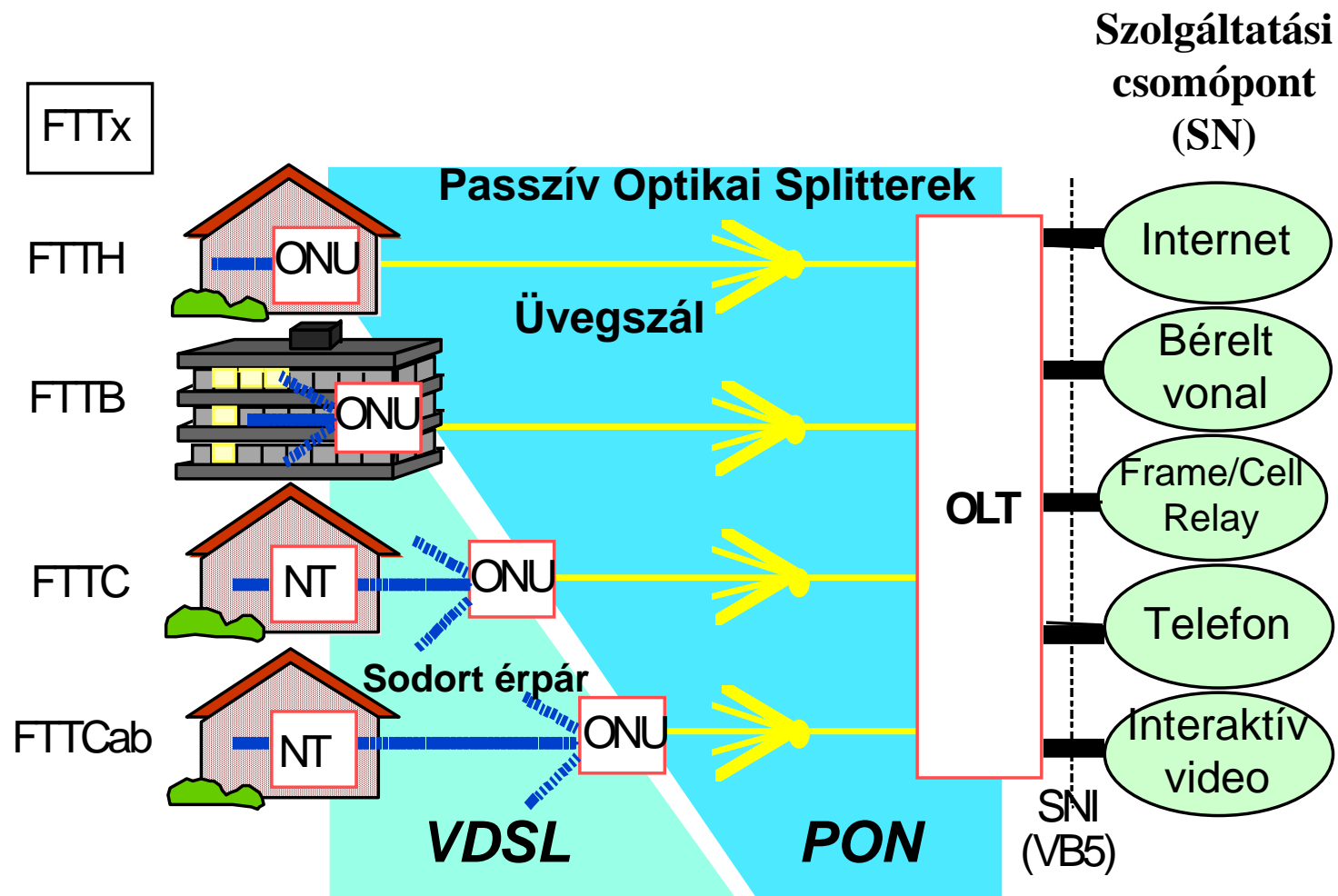
- **Kapacitásmegoszlás:** a vonali rendszer(ek) nyújtotta kapacitás megoszthatóságának rugalmassága (különböző helyszínek között), végződő/tranzitált forgalmak aránya
- **Rendelkezésreállítás:** egyszeres vonali hibák (kábel/rendszer) káros következményei, redundancia lehetősége
- **LTE eNodeB-ok közti kapcsolat:** X2 interfészek között (szakaszszám, erőforrás-hatékonyság)
- **Költség:** beruházás+üzemeltetés=élettartamköltség
- **Jövőtállóság:** változó követelményekhez (növekvő kapacitás, bővülő szolgáltatások, szigorúbb minőségi jellemzők) alkalmazkodás képessége

PASSZÍV OPTIKAI HÁLÓZATOK

Egy perspektivikus technológia - PON

- passzív optikai hálózat (TDM, WDM)
- magas induló beruházásigény, kulcskérdés az infrastruktúra (community networks)
- jelenleg az üzleti szolgáltatásokban (bérelt sötét szál/optikai csatorna, OVPN)
- fokozatos megvalósulás (hibrid architektúrák FTTx)
- Előnyök
 - kiváló minőségi és rendelkezésre állási jellemzők
- Hátrányok
 - költség
 - skálázhatóság

Fényvezető végpontja szerinti megoldási változatok

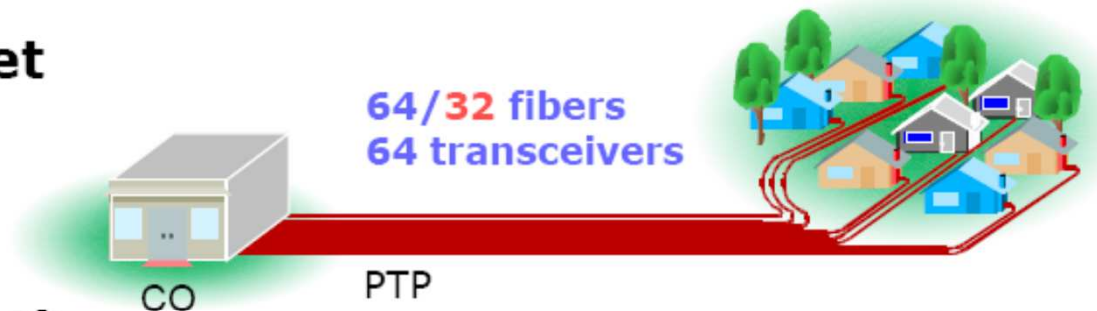


Optikai alapú Ethernet-hozzáférés

N=32 háztartás

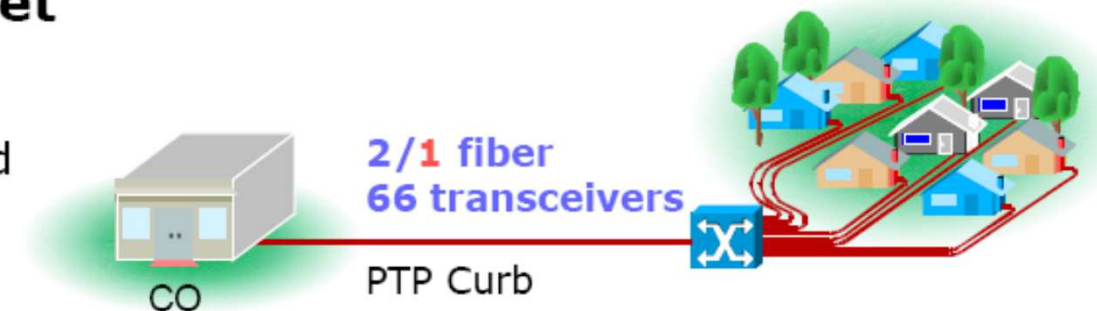
Point-to-point Ethernet

- 2N fibers
- 2N optical transceivers



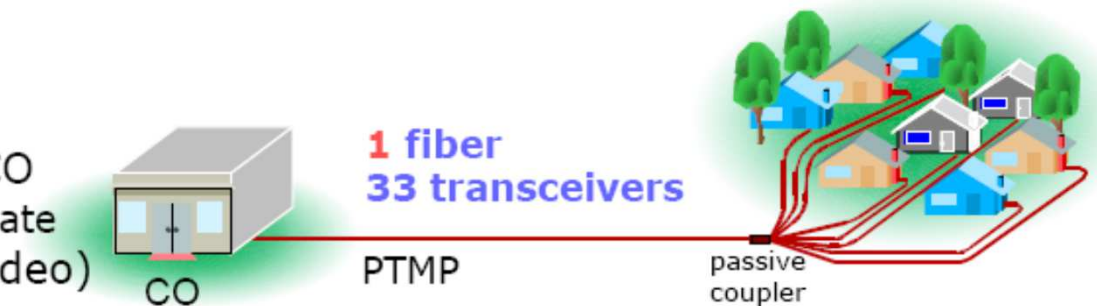
Curb Switched Ethernet

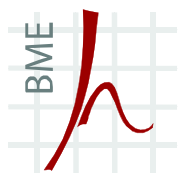
- Minimum Fiber
- 2N+2 optical transceivers
- Electrical power in the field



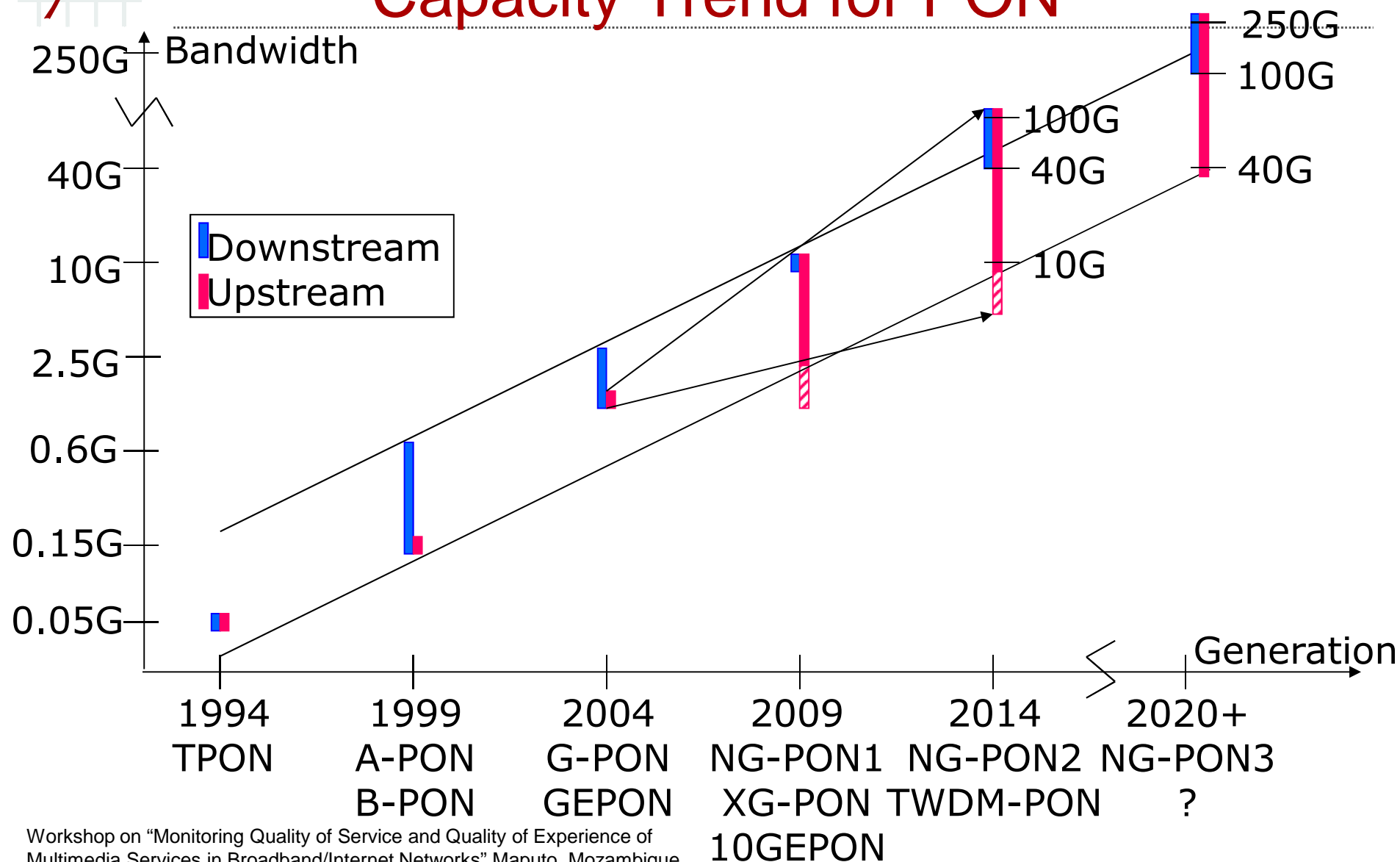
Ethernet PON (EPON)

- Minimum fiber
- N+1 optical transceivers
- No electrical power in field
- Minimum fibers/space in CO
- Drop throughput up to trunk rate
- Downstream broadcast (video)



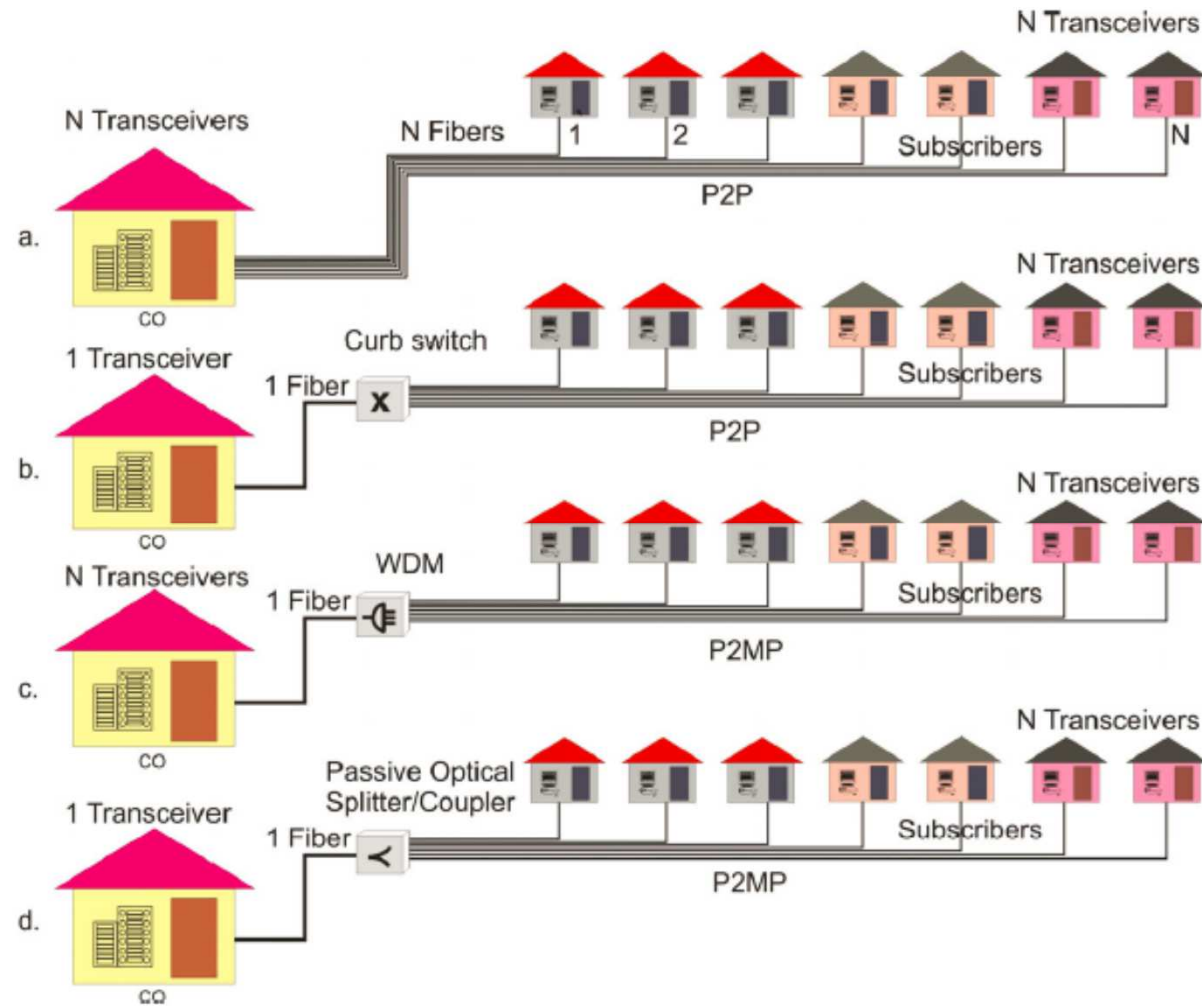


Capacity Trend for PON

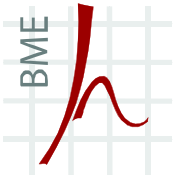


Workshop on "Monitoring Quality of Service and Quality of Experience of Multimedia Services in Broadband/Internet Networks" Maputo, Mozambique, 14-16 April 2014., Hiroshi OTA, Study Group Engineer, ITU/TSB
hiroshi.ota@itu.int

Basic PON architectures

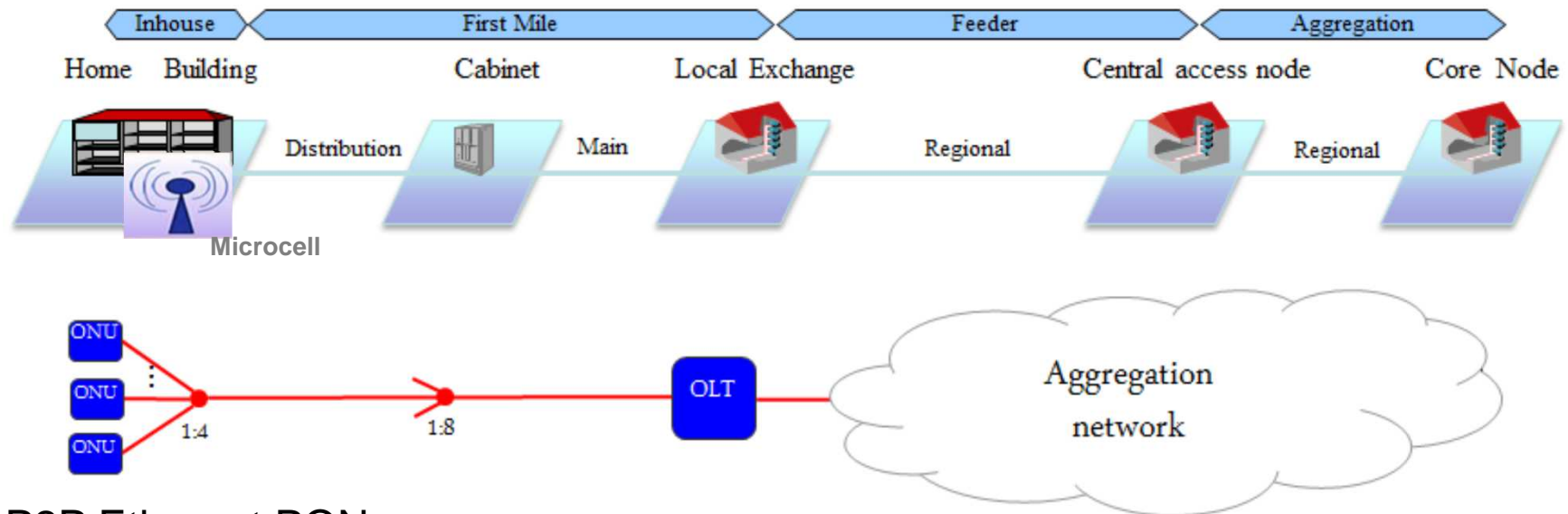


- **TDM PON**
 - összesen 1-1 hullámhossz
 - letöltés üzenetszórás
 - feltöltés TDM (dedikált időrések)
- **WDM PON**
 - felhasználónként 1-1 hullámhossz

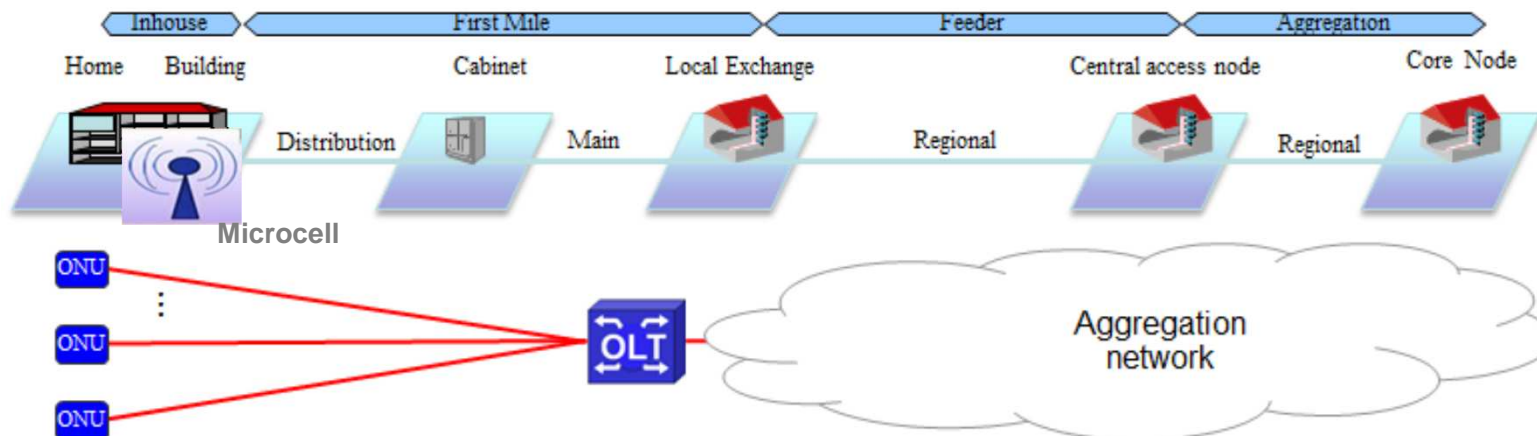


Basic PONs

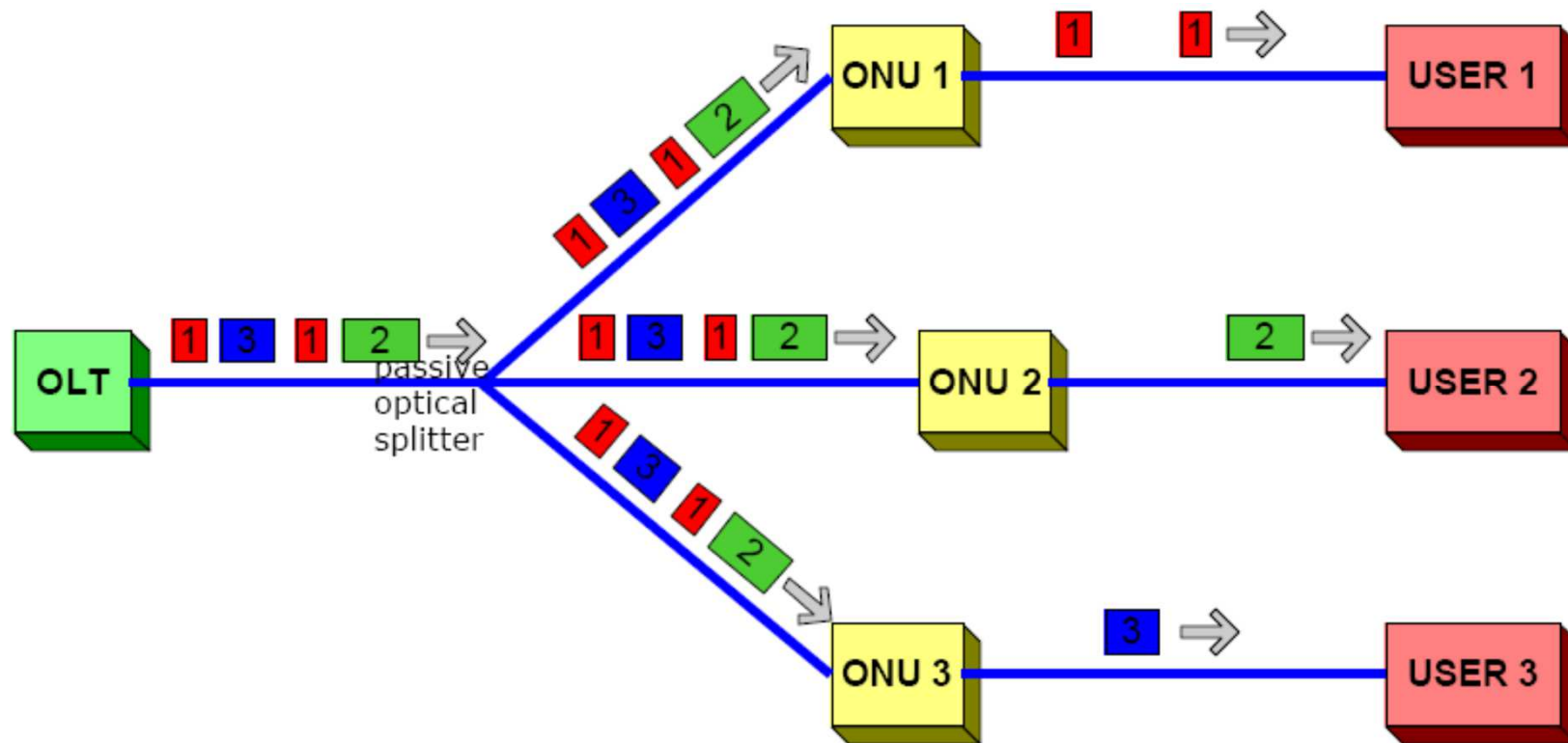
P2MP TDM PON



P2P Ethernet PON



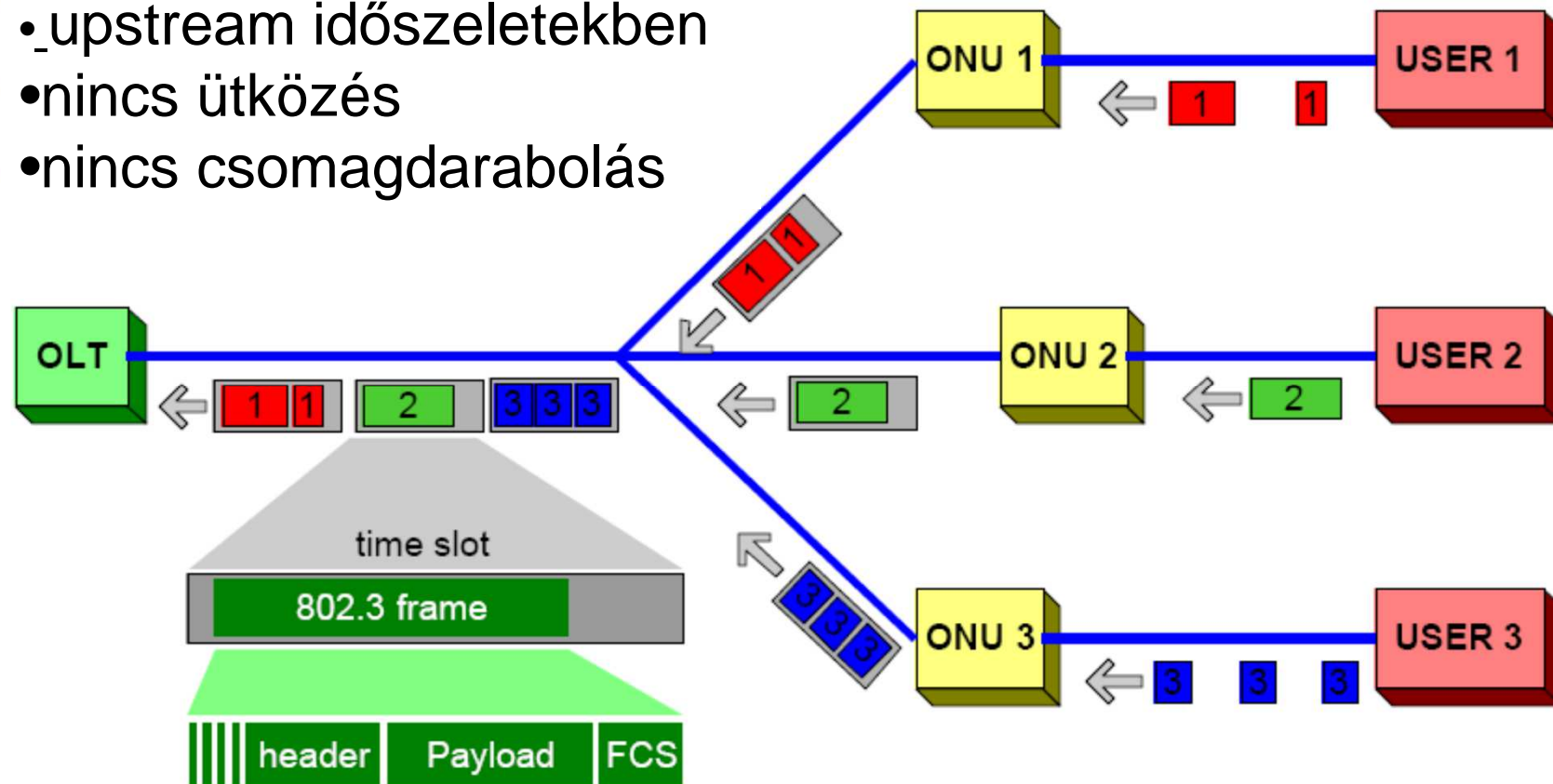
TDM PON - downstream

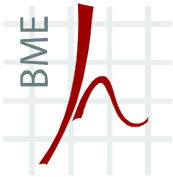


- downstream : broadcast
- 802.3 keretek extraktálása MAC cím alapján

TDM PON - upstream

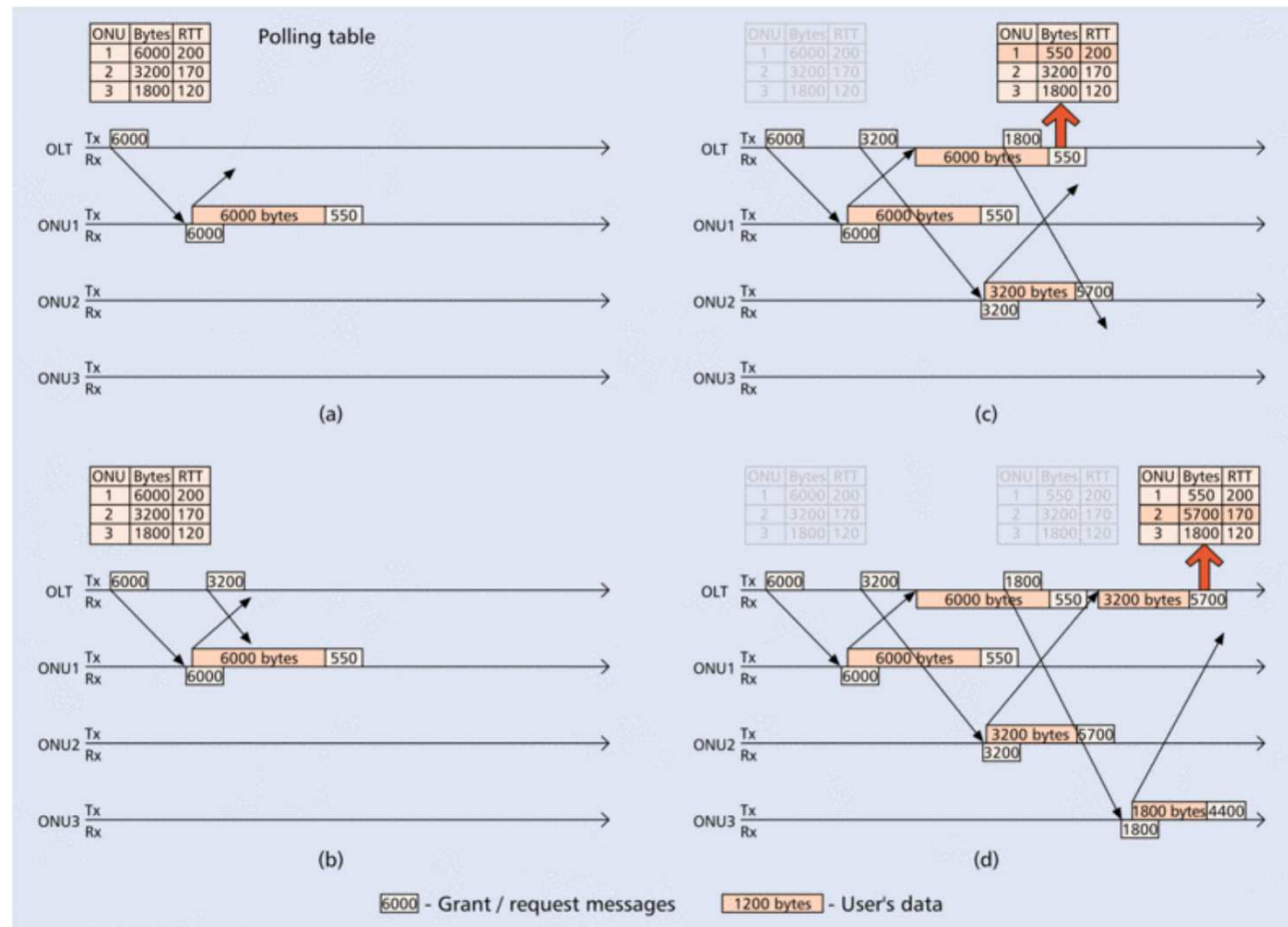
- upstream időszeletekben
- nincs ütközés
- nincs csomagdarabolás





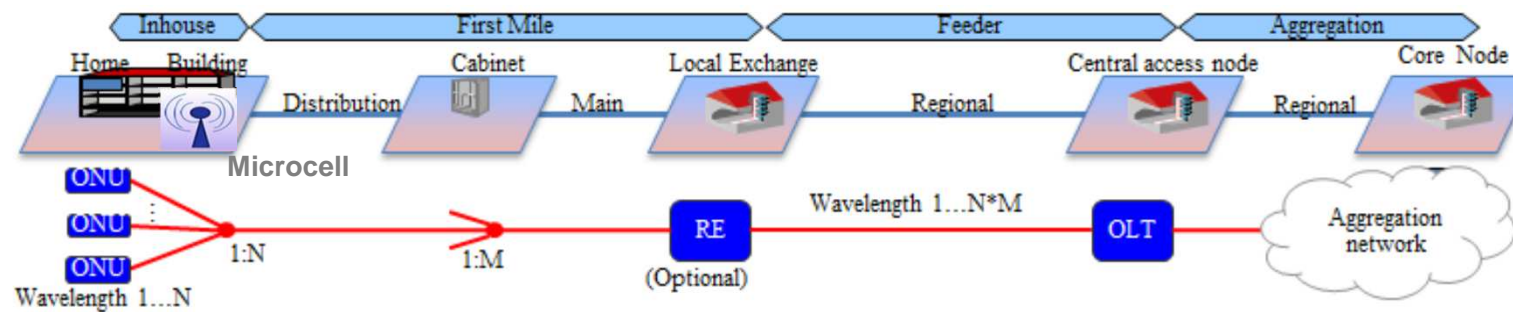
TDM PON: DBA

DBA: Dynamic Bandwidth Allocation

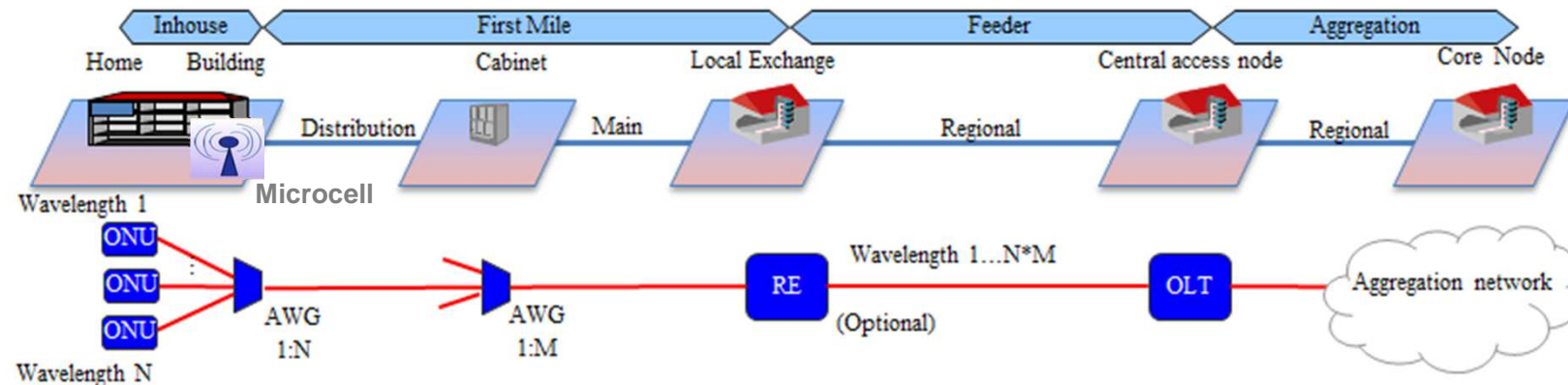


WDM PONs

Broadcast and Select WDM PON

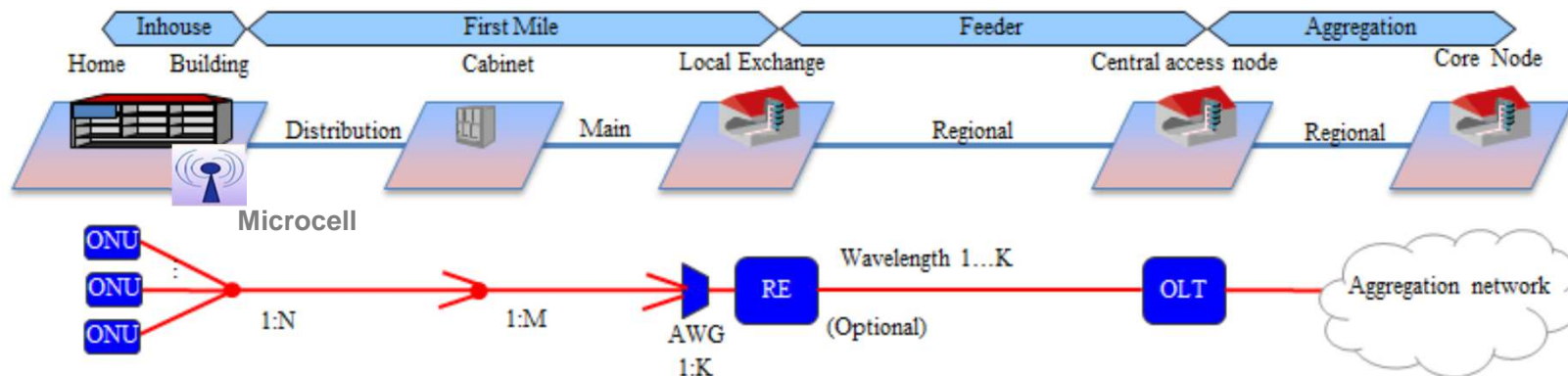


Wavelength Routed WDM PON

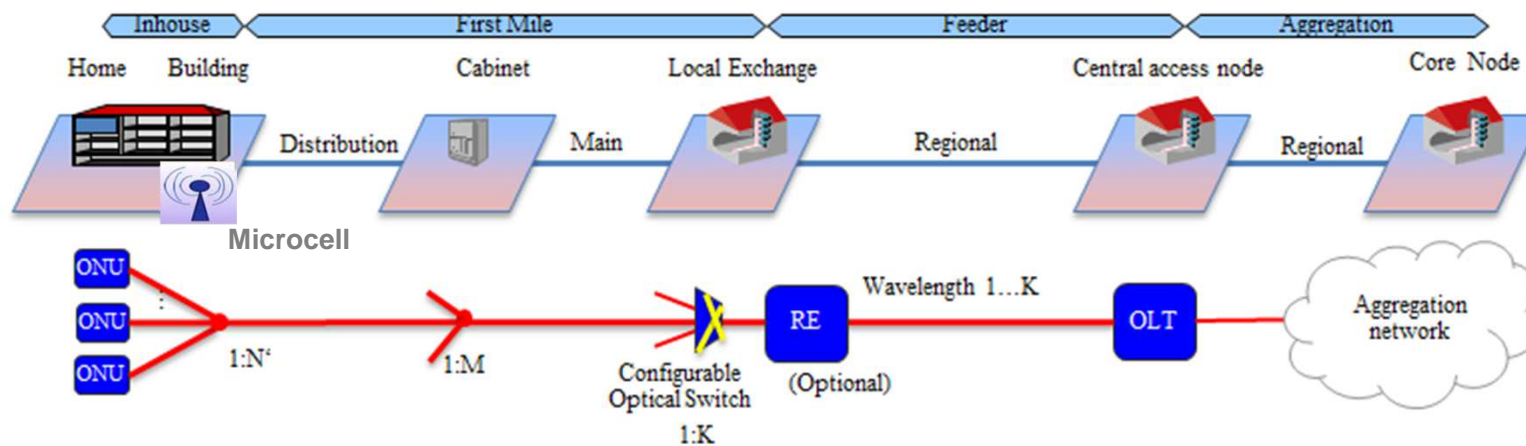


WDM/TDM PONs

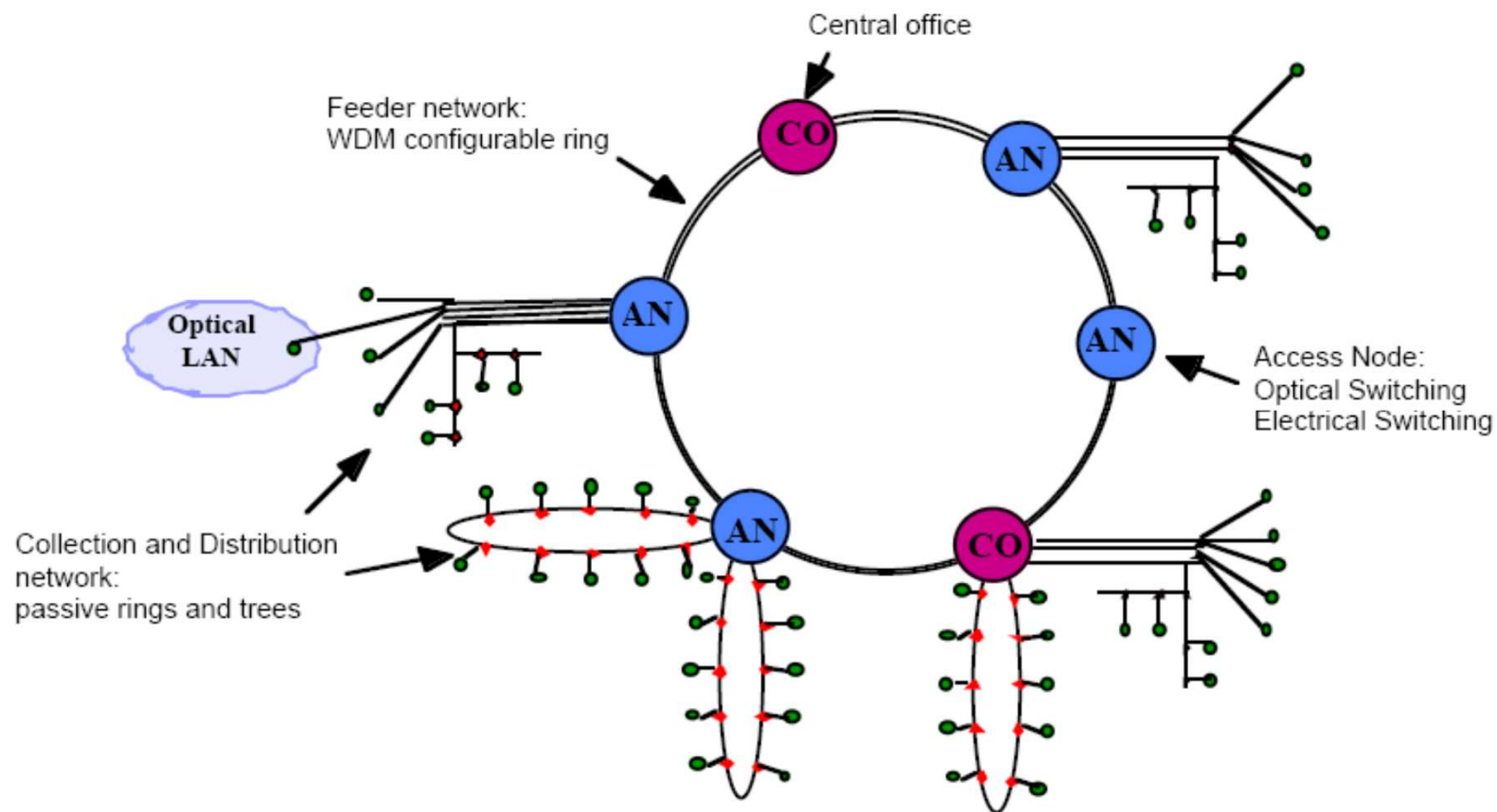
Passive hybrid WDM/TDM PON



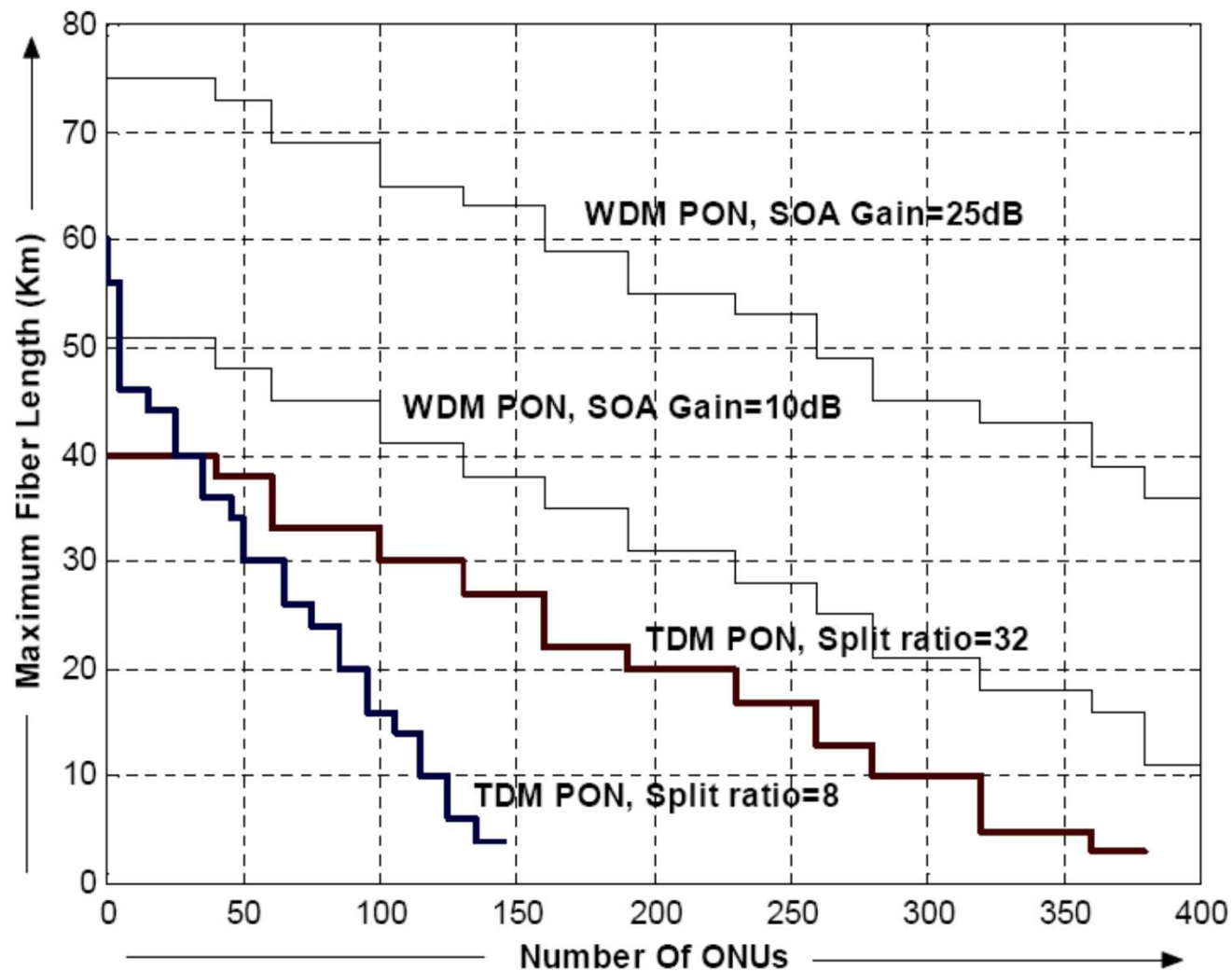
Semi-passive hybrid WDM/TDM PON



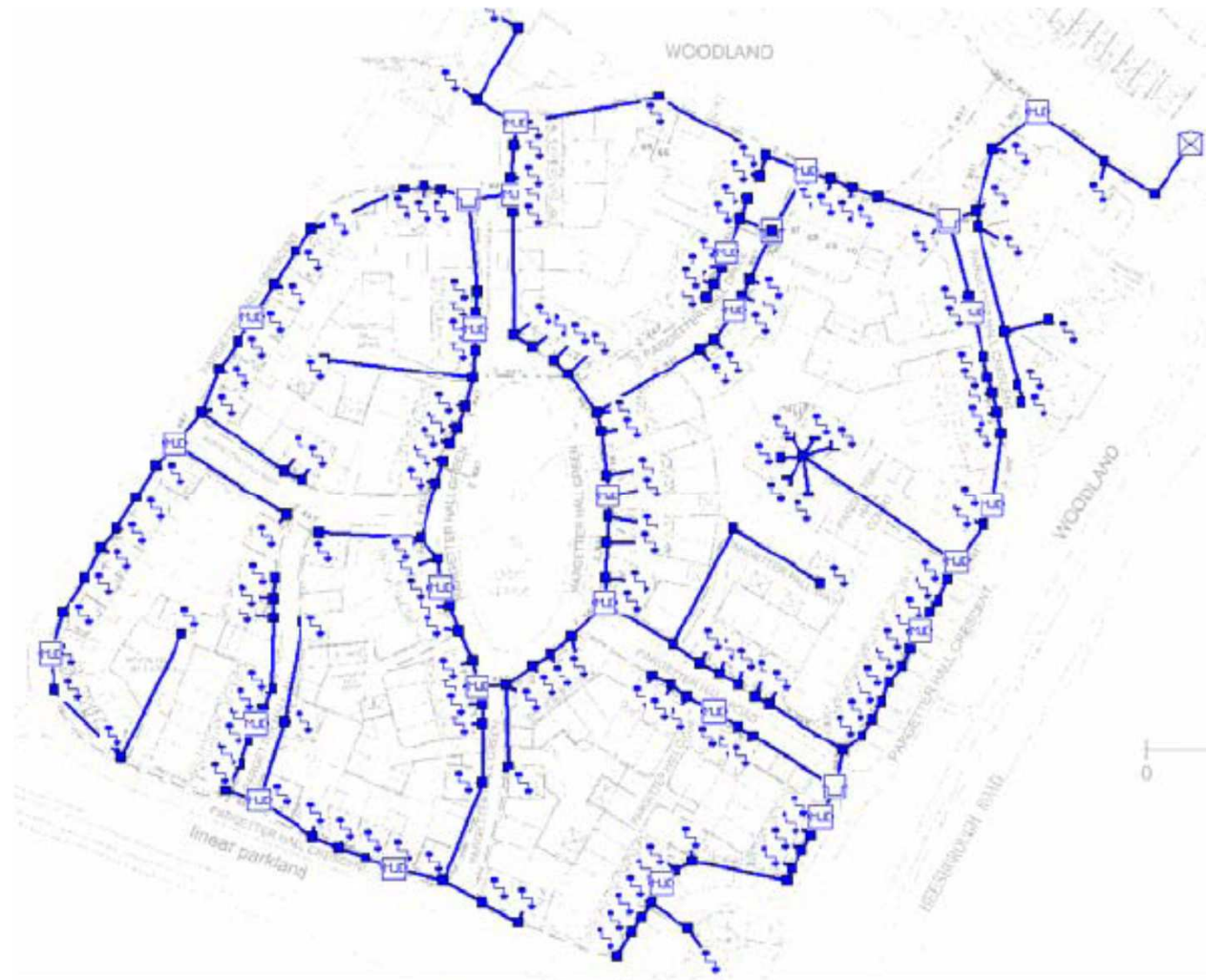
PON architektúra: WDM gyűjtőgyűrű és különböző hozzáférési megoldások



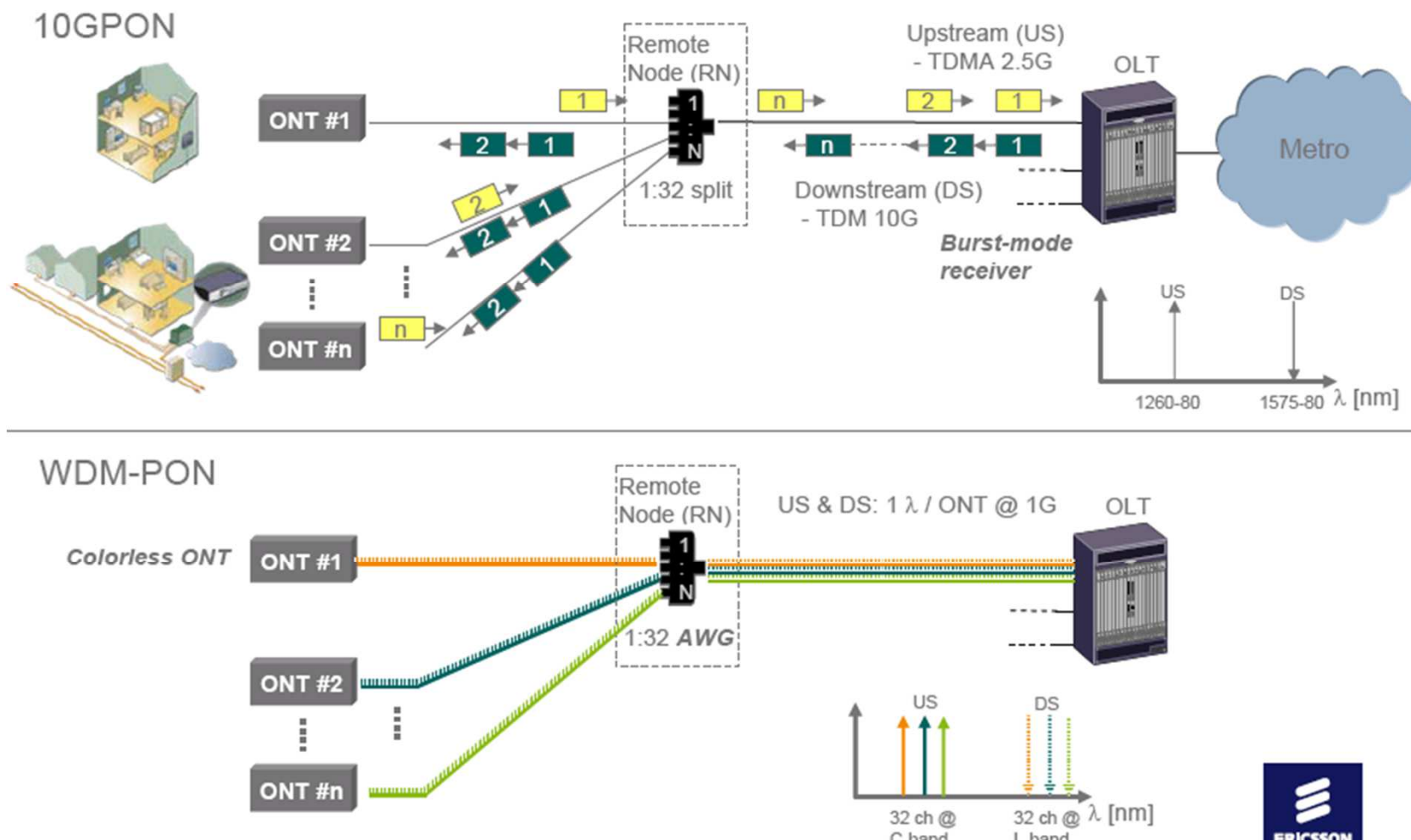
Távolság vs. #ONU



PON hálózat



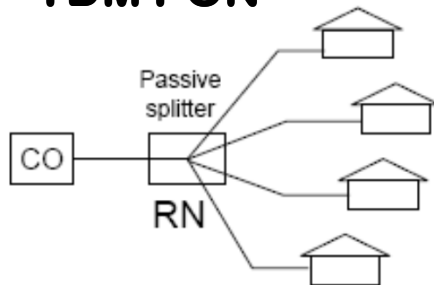
TDM és WDM pont összehasonlítás



Comparison of 10 Gbit/s PON vs WDM-PON
 Stefan Dahlfort (Ericsson)
 September 22, 2009
 ECOC'2009

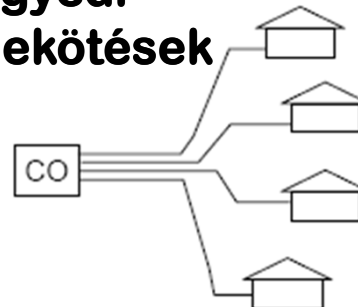
PON architektúrák változatok

TDM PON



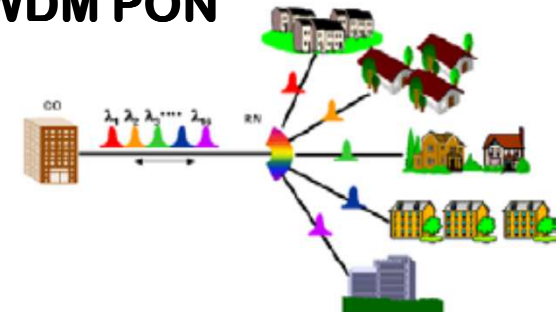
- minimális optikai szál szükséglet
- minimális helyigény és végződtetési funkció a hálózati oldalon
- az US és DS sávszélességen osztoznak a különböző távolságra lévő felhasználók (terjedési idő, jelszint, sávszélesség skálázás, ütemezés komplexitása)
- Felhasználói oldalon nagyobb sebességű eszközök, mint kommunikációs igény (TDM)
- fejlesztési korlátok (közös és osztott funkciók)

egyedi bekötések





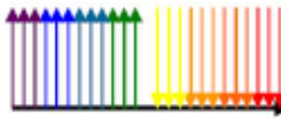
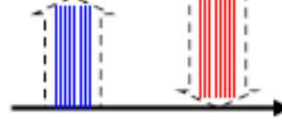
- Időtálló, transzparens (protokoll, sebesség) architektúra
- dedikált infrastruktúra: privacy, sávszélesség-skálázás
- felhasználó-specifikus skálázhatóság
- felhasználónkénti szálak, felhasználónkénti adók és vevők a hálózati oldalon (hely, tápellátás)

WDM PON



- minimális optikai szál szükséglet és helyigény a hálózati oldalon
- időtálló transzparens hullámhossz minden egyes felhasználóhoz

Összehasonlítás

	TDM	TWDM	WDM	OFDM
				
Rate (Down/Up)	40/10G	4x (10/2.5G)	Nx(1/1)G	40/10G
Optical budget	31 dB	37.5 dB	29-43 dB	30-36.5 dB
Split	64 (*)	64 (*)	80	64 (*)
Reach	<40 km (°)	<40 km	<20-60 km	<100 km (°)
System maturity	Research	Development	Development	Research
Cost (L ↔ H)	\$ ↔ \$\$\$	\$ ↔ \$\$	\$\$ ↔ \$\$\$	\$\$ ↔ \$\$\$\$
Power OLT	Low	Low	High	Medium
Power ONU	Medium	Medium	Low	High

(*) typical split for passive split PON – actual split is trade off with reach within optical budget

(°) dispersion limit – actual reach is trade off with split within optical budget

Tommaso Muciaccia, Fabio Gargano and Vittorio M. N. Passaro:

Passive Optical Access Networks: State of the Art and Future Evolution

Photonics **2014**, 1, 323-346; doi:10.3390/photonics1040323

http://www.hit.bme.hu/~jakab/edu/litr/Access/PON/2014_PON_StateofArt_and-Evol_photonics-01-00323.pdf

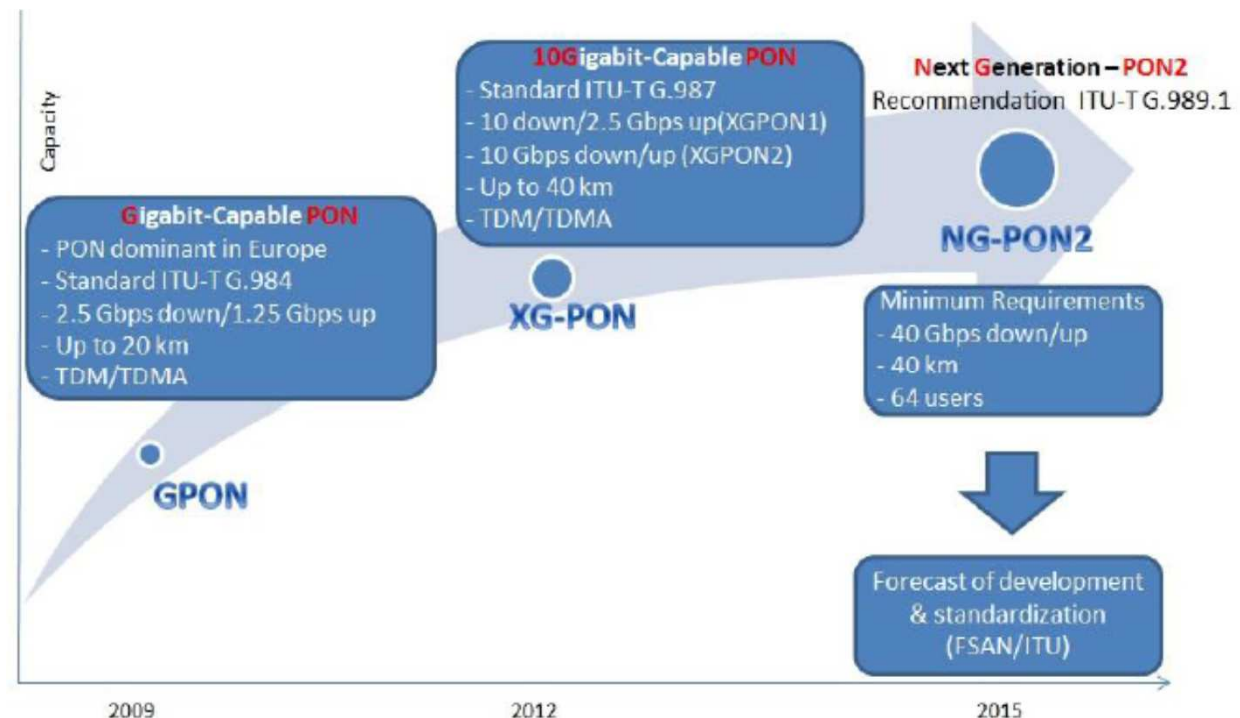
A PON TECHNOLÓGIA AKTUÁLIS KÉPE

Nemzetközi PON szabványok

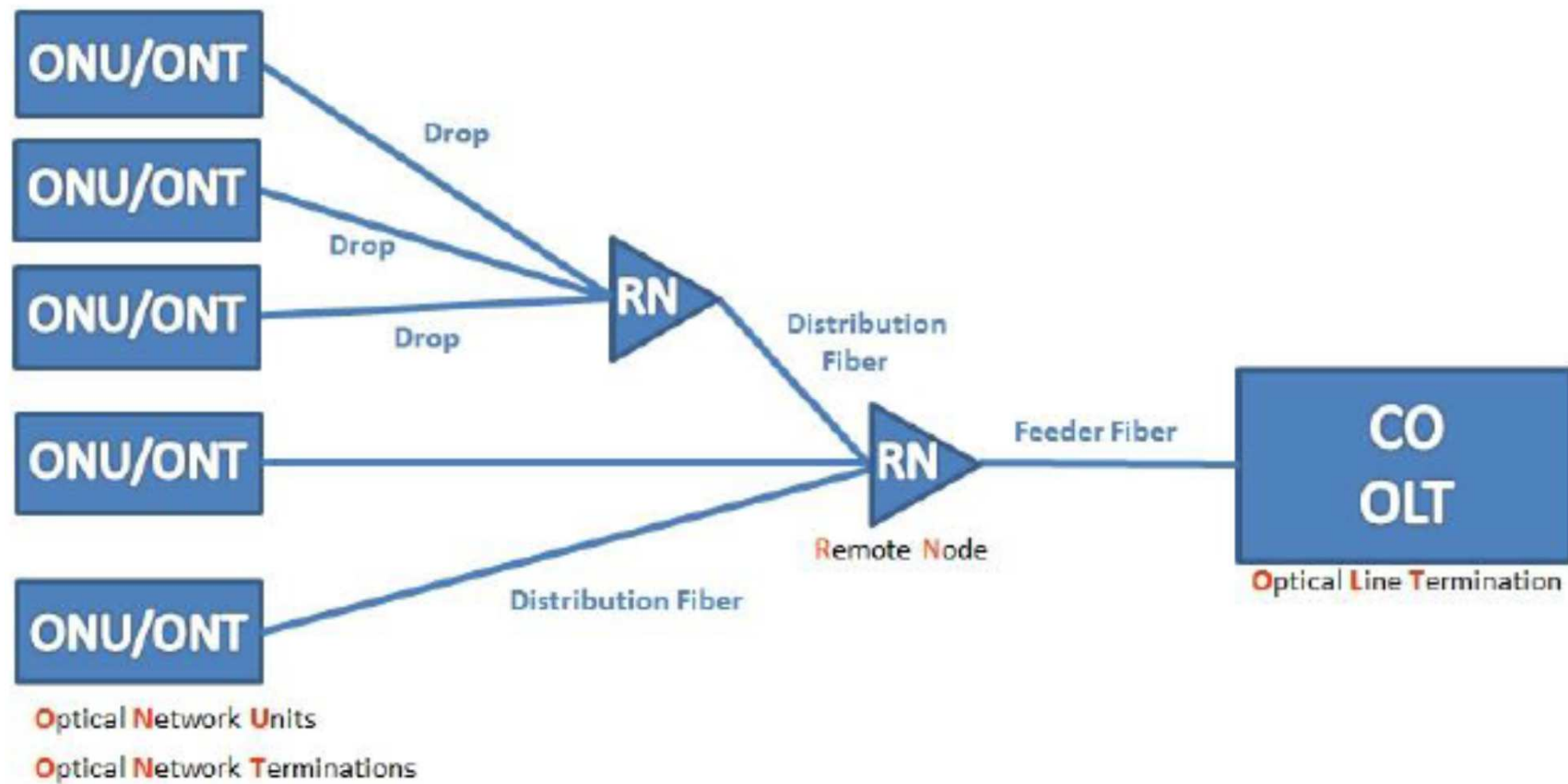
Table 1. PON International Standards.

Technology	Standard	Year	Downstream Bitrate [Gb/s]	Upstream Bitrate [Gb/s]
BPON	ITU-T G.983.1 ÷ G.983.5	2001	≤1.25	≤0.625
EPON	IEEE 802.3ah	2004	1.25	1.25
10G-EPON	IEEE 802.3av	2009	10	1
GPON	ITU-T G.984	2004	2.5	1.25
XGPON	ITU-T G.987	2010	≤10	10
NG-PON2	ITU-T G.989.1 (specifications)	2013	40	10

FSAN fejlődési pálya
(FSAN: Full Service Access Network)



PON sematikus szerkezet



Modulátorok és fotodetekterek és fényvezetők

	Mach-Zehnder Interferometer	Electro-Absorption Modulator
Extinction Ratio	20 dB	20 dB
Modulation bandwidth	100 GHz	50 GHz
Modulation voltage	<10 V	<2 V
Insertion loss	Low	Moderate
Size	Large	Small
Monolithic integration	No	Yes

	PIN	APD
Responsivity	1 A/W	100 A/W
Bandwidth	10 GHz	40 GHz
Overall sensitivity	-22 dBm	-30 dBm

Denomination	ITU-T Standard	Core Diameter [μm]	Cut-Off Wavelength	α_{fiber}	D
Graded-index multimode	G.651	50 ± 3	-	$2 \div 4 \text{ dB/km}$	-
Standard single mode	G.652	$8.6 \div 9.5 @ 1300 \text{ nm}$	1270 nm	$0.5 \div 1 \text{ dB/km}$	$3.5 \div 20 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$
Dispersion-shifted single mode	G.653	$7 \div 8.3 @ 1550 \text{ nm}$	1270 nm	$<0.5 \text{ dB/km}$	$<3.5 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$
Non-Zero-Dispersion single mode	G.655	$9 \div 11 @ 1550 \text{ nm}$	1480 nm	$<0.35 \text{ dB/km}$	$<6 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$

Jelteljesítmény követelmények

$$P_{budget} = P_{Tx} - S_{Rx} > C_L - G_A + M_S$$

- PON: teljesítményhatárolt rendszer (passzív elemek)
- P_{Tx} : adóteljesítmény
- S_{Rx} : vevőérzékenység (az elvárt BER-hez)
- C_L : az optikai csatorna vesztesége (terjedés, eszközök – osztók, csatlakozók – vesztesége, beiktatási csillapítása, stb.)
- G_A : erősítés nyeresége
- M_S : rendszertartalék (az élettartalmra. Pl. öregedések, szálaszakadások javítása)

Üzemeltetési megfontolások

- **Teljesítményfelvétel**
 - vezetékes hálózatokban 70% a hozzáférésből
 - stand-by képességek, dinamikus működési elvek
 - Pl. TDM PON OLT 256 felhasználóval: ~200W
- **Szolgáltatásbiztonság**
 - downstream broadcast
 - OLT-ONU autentikáció, felhasználónként enkriptált downstream forgalom
 - TDM-PON AES (Advanced Encryption Standard): payload titkosított, kulcsok ismételt terjesztése
 - Sérülékeny: idegen OLT, man-in-the-middle és denial-of-service
- **Felügyelet**
 - fényvezető szál: OTDR (Optical Time Domain Reflectometry), Rayleigh-szórás alapú, az optikai link szakadásainak felismerésére, behatárolására
 - a passzív osztók miatt szakaszonként (feeder, distribution, drop), két irányból
 - osztók, AWG-k telejsítményének változása
 - OLT, ONU meghibásodások
- **Hibatűrés**
 - redundanciák, automatikus átkapcsolások (1+1, 1:1, N:M sémák)
 - Pl. BPON és GPON ajánlásban:
 - „A”- típusú redundancia: fényvezetők duplikáltak (nyomvonal!)
 - „B”- típusú redundancia: OLT és fényvezetők feeder szakasza duplikált (RN osztónak két portja van az OLT oldalon)
 - „C”- típusú redundancia: a drop szakasz is duplikált az ONU oldali fényvezető hibák kezelésére
 - „D”- típusú redundancia: „B” és „C” kombinálása

Multiplexálási technikák

Technique	Main Advantages	Main Drawbacks
TDM	Mature technology Cheap components	Limited scalability Energy inefficiency
WDM	Minimum bandwidth guarantee Network security Transparency to modulation formats and bitrate Simplified unbundling Scalability	Power consumption in CO Floor space availability in CO Photonics technology not yet consolidated
OCDM	Soft-limited technique Time synchronization not required Intrinsic data confidentiality	Multi-access interference Multiplexing techniques not yet consolidated
OFDM	High spectral efficiency Scalability	Complex receivers Multiplexing techniques not yet consolidated
PDM	Information capacity increasing	Complex receivers
SDM	Information capacity increasing	Expensive deployment Standardization needed
TWDM	Gradual migration from commercial solutions	Limited scalability Energy inefficiency

TDM – time division mpxing

WDM – wavelength division mpxing (CWDM, DWDM UDWDM)

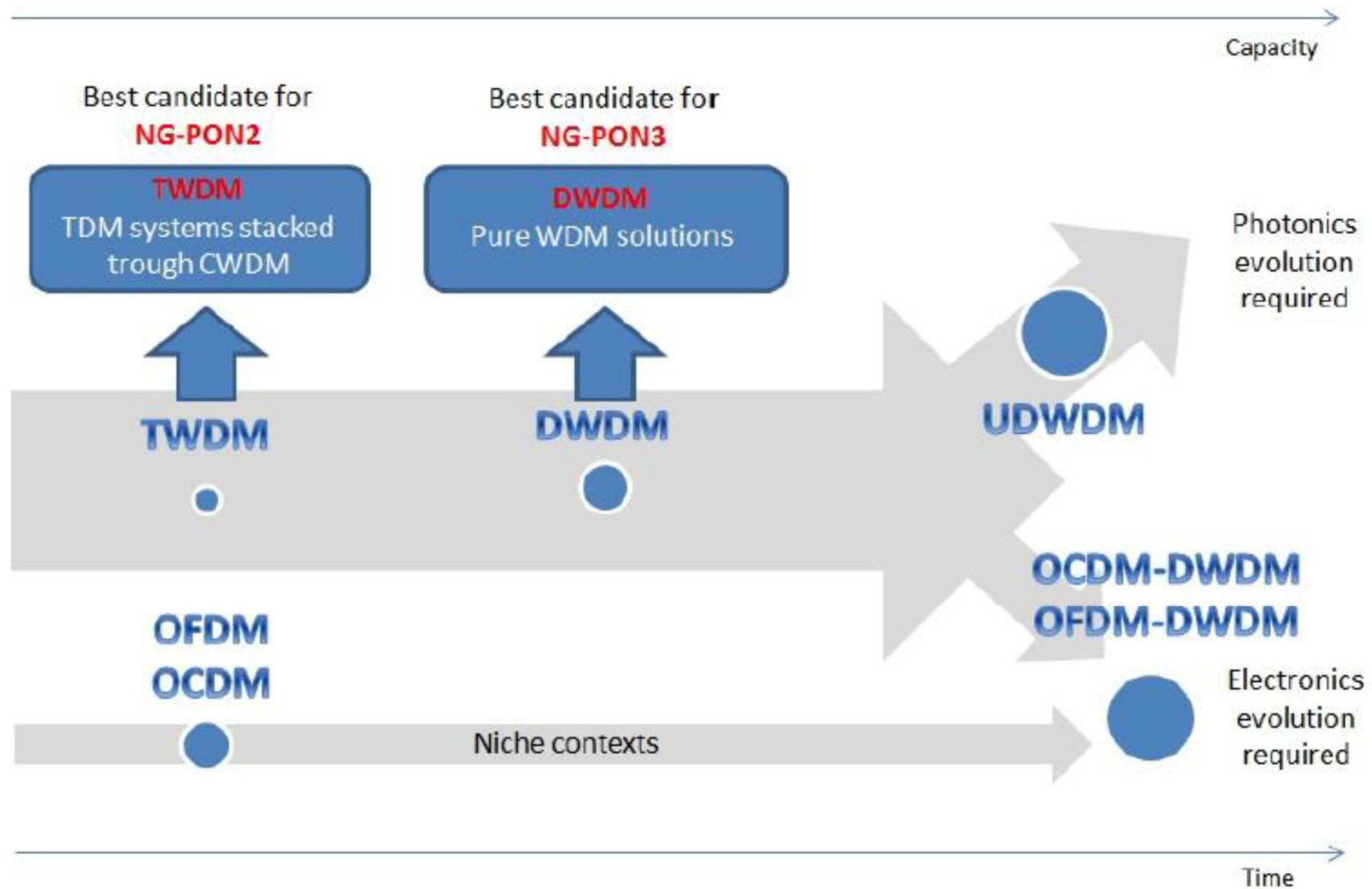
OCDM – optical code division mpxing (M-sequence, Kasami, Gold, Hadamard)

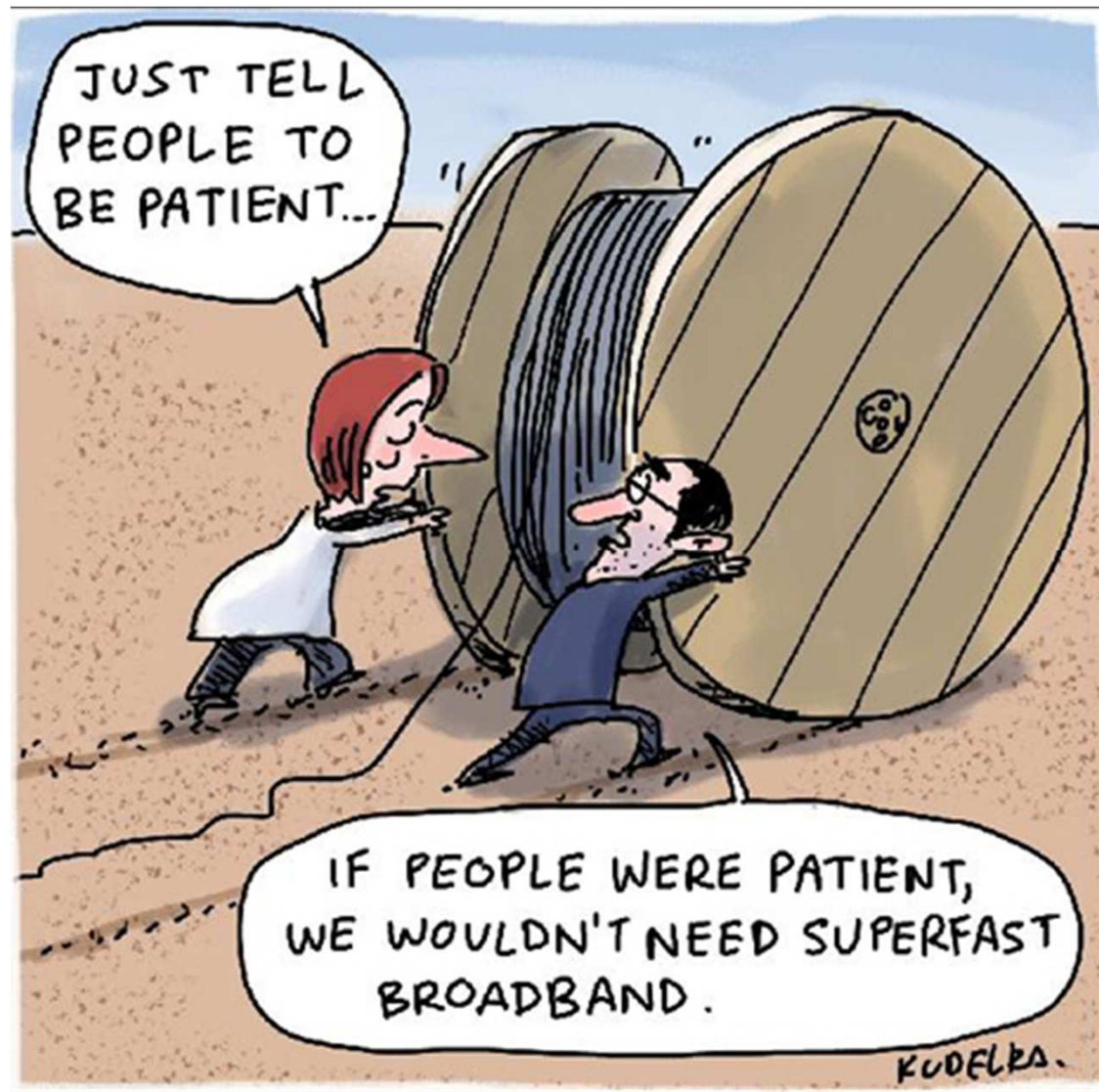
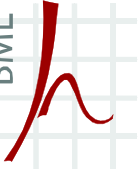
OFDM – orthogonal frequency division mpxing

SDM – space division mpxing (ortogonális polarizációkra alapozottan)

TWDM – TDM+WDM hibrid

PON evolúció



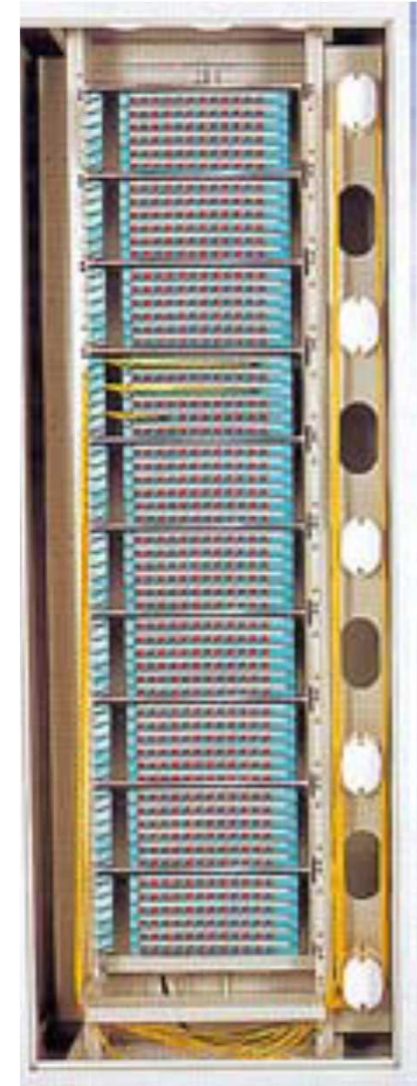


KIEGÉSZÍTÉSEK

PON (Google)



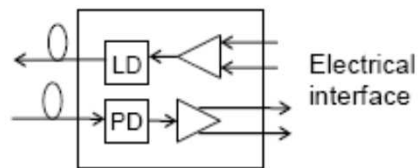
Largest fiber cable available in NA has only 864 cores.
 State-of-the-art fiber patch panel can terminate ~6300 fibers
 with LC connectors on a standard 7-foot telecom
 Rack—30k users require 35 cables & 5 racks



PON

SFP

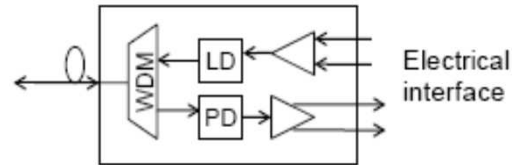
- 1Gbps
- 2 fibers tx/rx



SFP

SFP - BiDi

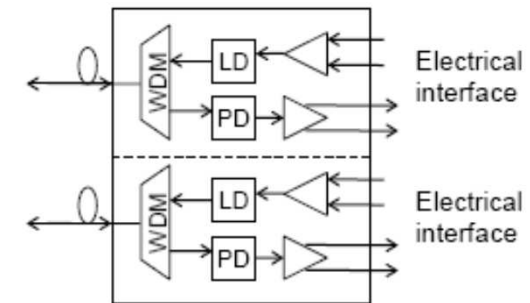
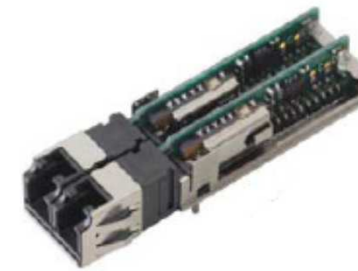
- 1Gbps
- 1 fiber tx/rx



SFP-BiDi

CSFP - BiDi

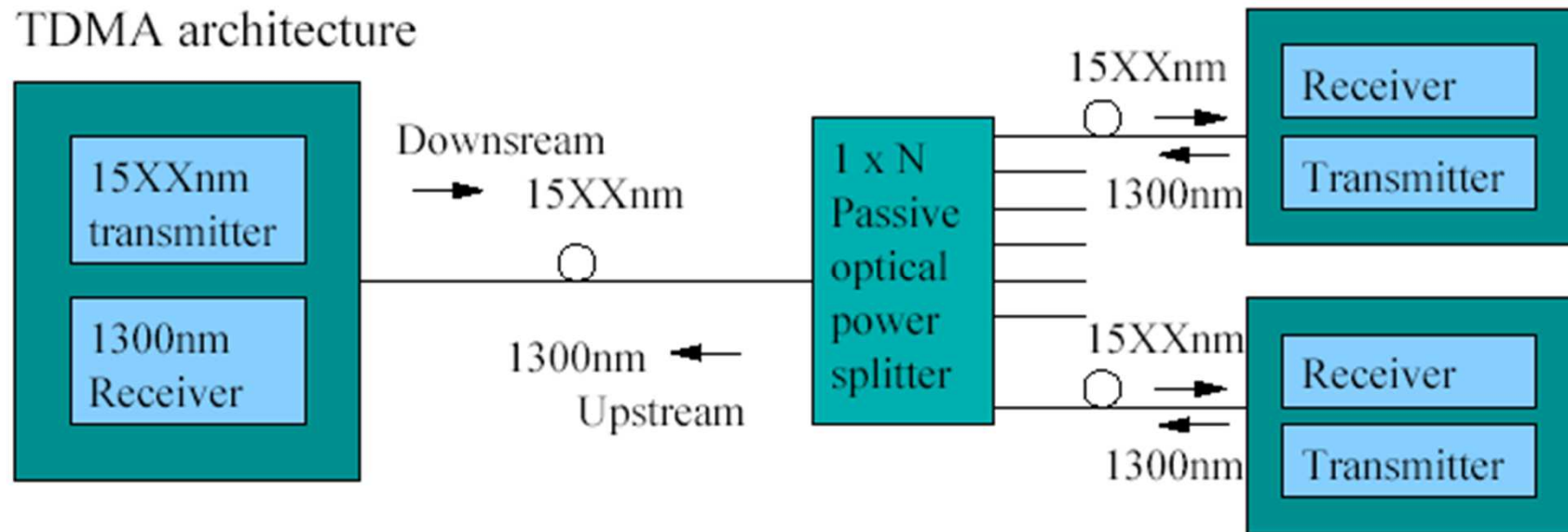
- 2 Gbps
- 1 fiber tx/rx



CSFP-BiDi

~1 Watt per GbE transceiver (10km, single mode)

TDM PON



- APON (ITU-T G.983.1)
 - Aszimmetrikus le- és feltöltés
 - Letöltés: üzenetszórással, 1490 nm hullámhosszon, 622 Mbps sebességgel.
 - Feltöltés: TDMA hozzáféréssel, 1310 nm hullámhosszon, 155 Mbps sebességgel.
 - Osztás: tápláló kábelenként (OLT portonként) 32 darab elágazás (32 db ONU végberendezés) amely legalább 4,8 Mbps/előfizető feltöltési sebességet garantál.
 - Távolság: a szabvány maximum 20 km-es távolságot enged meg az OLT és az ONU között. (Ha 19 km-re van a splitter ott 1 km-es kört tud kiszolgálni, ha 10 km-re van a splitter ott 10 km-es kört tud kiszolgálni.)
 - Layer 2 protokoll: ATM-AAL

TDM PON

- **BPON ITU-T G.983**

- Aszimmetrikus le- és feltöltés
- Letöltés: üzenetszórással, 1490 nm hullámhosszon, 1,244 Gbps sebességgel.
- Feltöltés: TDMA hozzáféréssel, 1310 nm hullámhosszon, 622 Mbps sebességgel.
- Osztás: tápláló kábelenként (OLT portonként) 32 darab elágazás (32 db ONU végberendezés) amely legalább 19,4 Mbps/előfizető feltöltési sebességet garantál.
- Távolság: a szabvány maximum 20 km-es távolságot enged meg az OLT és az ONU között.
- Layer 2 protokoll: ATM-AAL és overlay RF videó szétosztás 1550 nm hullámhosszon.
- Támogatott szolgáltatások: POTS, ISDN, adat, CATV, VoD, LAN interconnection, Video Conference.

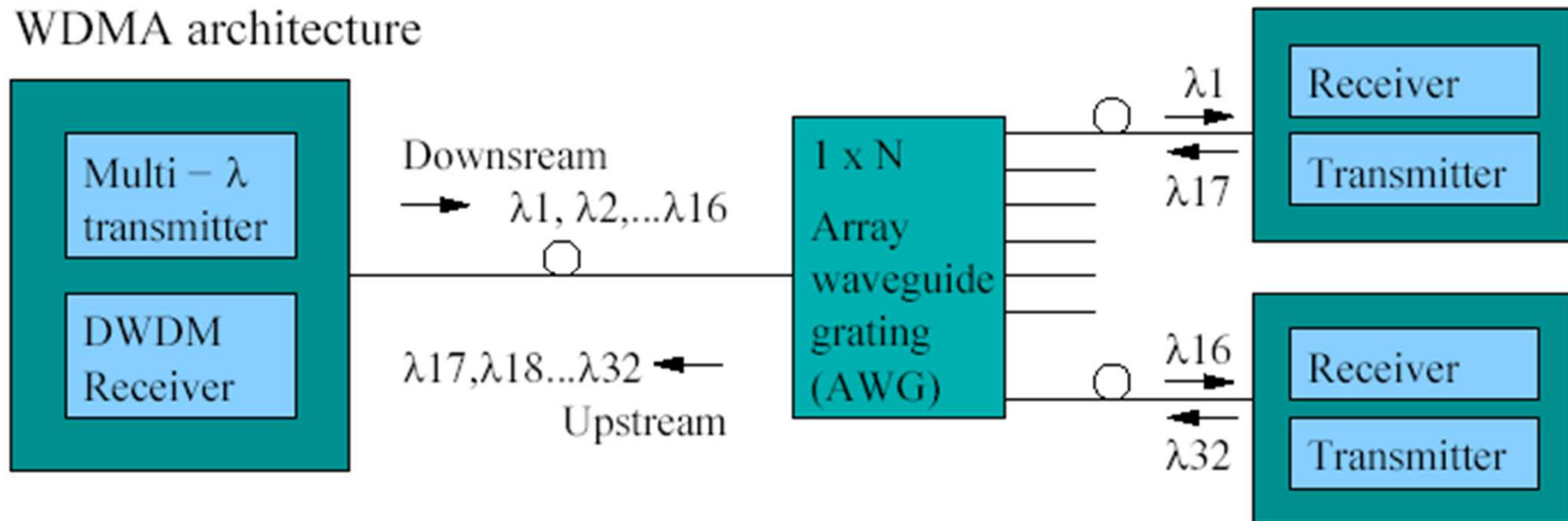
- GPON ITU-T (G.984.1 és G.984.2)
 - Aszimmetrikus vagy szimmetrikus le- és feltöltés
 - Letöltés: üzenetszórással, 1490 nm hullámhosszon, 1,244 vagy 2,5 Gbps sebességekkel.
 - Feltöltés: TDMA hozzáféréssel, 1310 nm hullámhosszon, 155 Mbps, 622 Mbps, 1,244 Gbps vagy 2,5 Gbps sebességekkel.
 - Osztás: tápláló kábelenként (OLT portonként) 64 darab elágazás (64 db ONU végberendezés)
 - Távolság: a szabvány maximum 20 km-es fizikai távolságot enged meg az OLT és az ONU között, de a protokoll lehetővé teszi a 60 km-es távolságot is.
 - Layer 2 protokoll: SDH kompatibilis GFP speciális változata ITU-T G.7041 (GPON Encapsulation Mode, GEM) ATM, Ethernet és TDM is mehet rajta
 - Támogatott szolgáltatások: Full Service: beszéd, TDM, Ethernet, ATM, bérelt vonal, vezetékek nélküli kiterjesztés, stb.

TDM PON

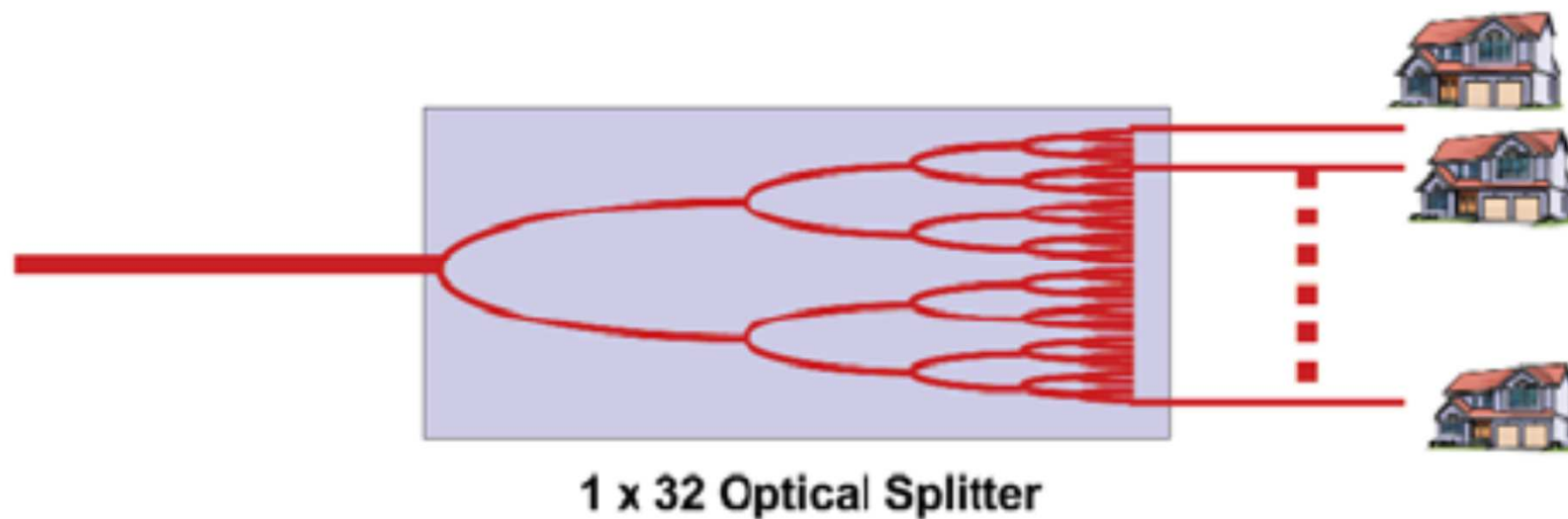
- EPON (IEEE 802.3ah)
 - Szimmetrikus le- és feltöltés
 - Letöltés: üzenetszórással, 1490 nm hullámhosszon, 1 Gbps adatsebességgel.
 - Feltöltés: TDMA hozzáféréssel, 1310 nm hullámhosszon, 1 Gbps adatsebességgel.
 - Osztás: tápláló kábelenként (OLT portonként) 16/32 darab elágazás (16/32 db ONU végberendezés) amely legalább 62,15/31,25 Mbps/előfizető feltöltési sebességet garantál.
 - Távolság: a szabvány maximum 10-20 km-es távolságot enged meg az OLT és az ONU között.
 - Layer 2 protokoll: Gigabit Ethernet sebességű Multi-Point Control Protocol (MPCP)

WDM PON

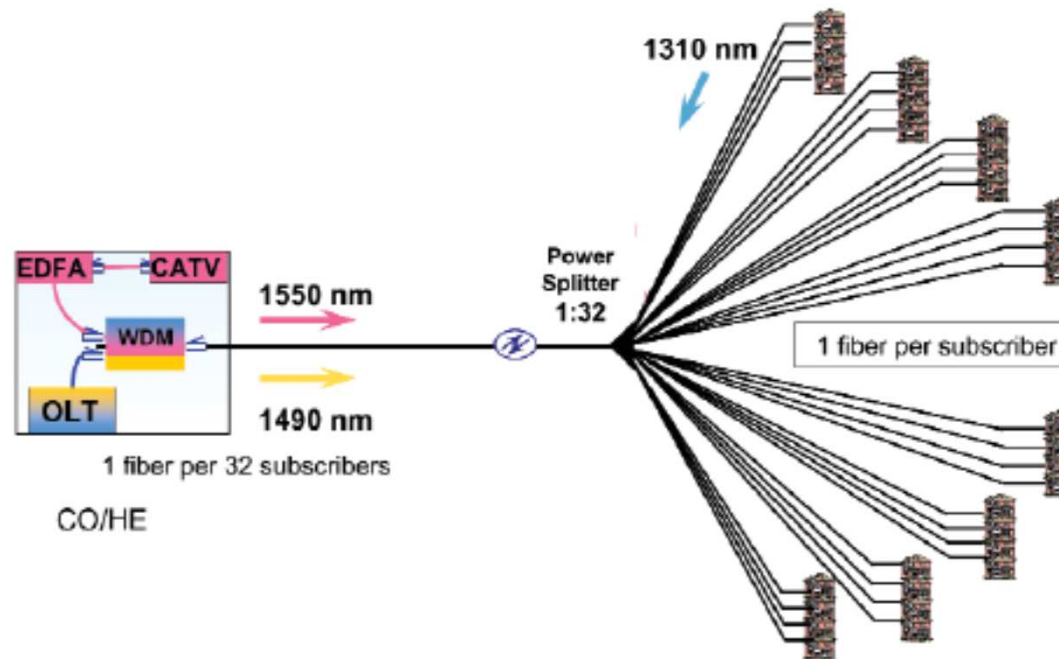
WDMA architecture



Passzív optikai osztás



TDM PON



- Nagysebességű adatkapcsolat mellett TV műsorszétosztás különhulláhhosszon
- az ONU-nak kell mindkettőt vennie

TDM PON : IEEE és ITU

Table 2 – Summary of parameters for various ITU-T and IEEE access standards

Name (Sorted by class)	Downstream Data bitrate (OLT→ ONU Gbit/s)	Upstream Data bitrate (ONU →O LT Gbit/s)	$\lambda_{\square_{\text{down}}}$ (OLT→ ONU (nm))	$\lambda_{\square_{\text{up}}}$ (ONU→ OLT (nm))	Optical Budget (dB)	Splitting Ratio	Reach	Approved by organization/date
IEEE 802.3av-PRX10	10,3125	1,25	1577 (2/+3)	1310 +/-50	5 - 20	16**	10 km	IEEE/Sept 2009
IEEE 802.3av-PRX20					10 - 24	16**	20 km	
IEEE 802.3av-PRX30					15 - 29	32**	20 km	
IEEE 802.3av-PR10		10,3125		1270 +/-10	5 - 20	16**	10 km	
IEEE 802.3av-PR20					10 - 24	16**	20 km	
IEEE 802.3av-PR30					15 - 29	32**	20 km	
ITUT-I XG-PON1	9,95328	2,48832	1577 (2/+3)	1270 +/-10	N1 : 14-29 N2 : 16-31 E1 : 18-33 E2 : 20-35	Up to 1023 (logically)	20-60 km	ITU-T/June 2010
XG-PON2		9,95328			TBC			

(**) Minimum specified by the standard, In IEEE keep in mind that manufacturers implementations can go beyond the standard (it is the case for IEEE 802.3ah standard for E-PON, where the splitting ratio is specified for 1/16 with implementations of 1/32 as it is the case in Japan)

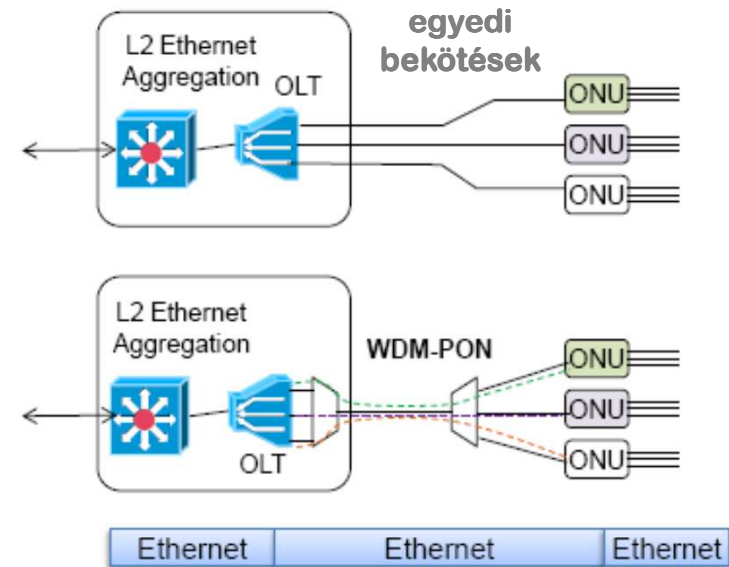
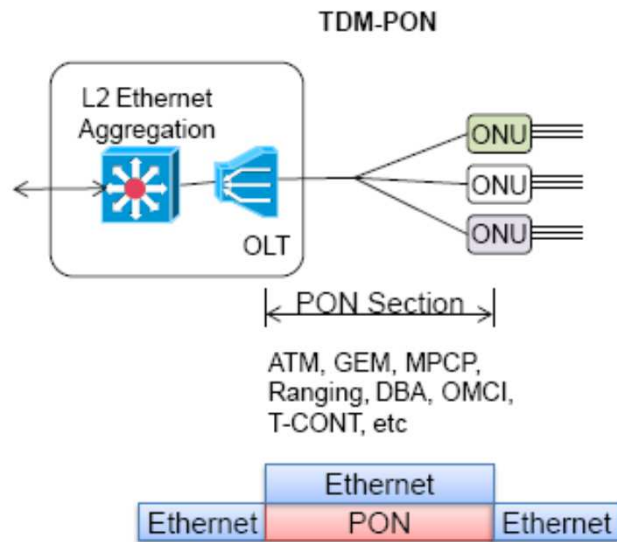
TDM és WDM pont összehasonlítás

Table 1: Technical comparison: 10GPON and WDM-PON (RE: Reach extender)



Item	10GPON	WDM-PON
DS line rate	10G	1G
US line rate	2.5G	1G
Sub/feeder fiber (split)	N= up to 128	N= up to 64
Reach w/o RE	20 km	50 km
Reach w RE	60 km	100 km
GPON co-existence	Yes	Maybe
BW/sub DS	10G/N	1G
BW/Sub US	2.5G/N	1G

Comparison of 10 Gbit/s PON vs WDM-PON
 Stefan Dahlfort (Ericsson)
 September 22, 2009
 ECOC'2009

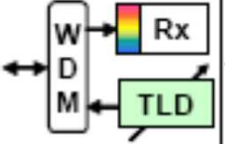
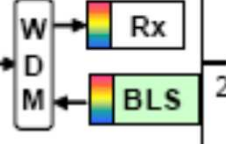



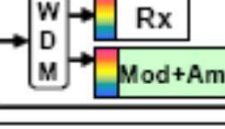
PON architektúrák protokoll vonatkozásai




WDM PON funkciók 1.: RN

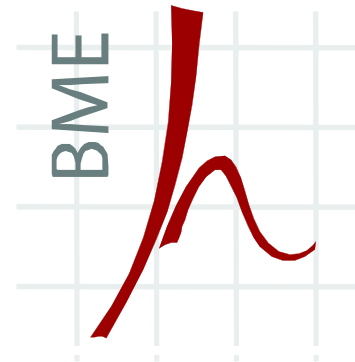
	Application	Issue	Note
Wavelength-router-based WDM-PON 	<ul style="list-style-type: none"> • Long reach (metro/access integration) • Short reach (last one mile) for green field 	<ul style="list-style-type: none"> • Colorless ONU • Protection for long reach 	<ul style="list-style-type: none"> • Wavelength allocation is basically static.
Power-splitter-based WDM-PON 	<ul style="list-style-type: none"> • Short reach (last one mile) for migration from legacy PONs 	<ul style="list-style-type: none"> • Colorless ONU 	<ul style="list-style-type: none"> • Dynamic wavelength allocation is possible [9].

WDM PON funkciók 2.: Colorless ONU

	Local emission		Wavelength supply	
	Wavelength tuning	Spectrum slicing	Injection locking	Loop back
ONU configuration			1 fiber  2 fiber 	1 fiber  2 fiber 
Number of fibers	1	1	1 or 2	1 or 2
Coherency of upstream-signal light	Coherent	Incoherent	Depends on the locking condition and the type of seed light	Depends on the type of seed light
Typical transmission rate	~10 Gbps or over	~2.5 Gbps (~10 Gbps with FEC [12])	<1 Gbps (ASE-seeded/1-fiber)	~1 Gbps (ASE-seeded/1-fiber/direct-mod) ~10 Gbps (LD-seeded/2-fiber/ext-mod)
Technical issues	Low-cost implementation	Beat noise of BLS	<ul style="list-style-type: none"> • Back reflection • SNR of seed light • Insufficient locking [14],[15] 	<ul style="list-style-type: none"> • Back reflection • SNR of seed light
Wavelength control at ONU	In the case of power-splitter-based WDM-PON, the wavelength control of TLD and wavelength selectors are needed. In the case of wavelength-router-based WDM-PON, no wavelength selectors are needed, and thus only the wavelength control of TLD is needed.			

TLD: Tunable laser diode, BLS: Broadband light source, Rx: Receiver :Wavelength selector (WS)
Mod: Modulator, Amp: Optical amplifier

FEC: forward error correction; FP-LD; Fabry–Perot laser diode; ASE, amplified spontaneous emission; SNR; signal-to-noise ratio.



VIHIMA07 Mobil és vezeték nélküli hálózatok

3. Mobil hálózatok – vezetékes technológiák a backhaulban, összefoglalás a Qos és rendelkezésre állási témák előtt

Jakab Tivadar

Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

jakab@hit.bme.hu

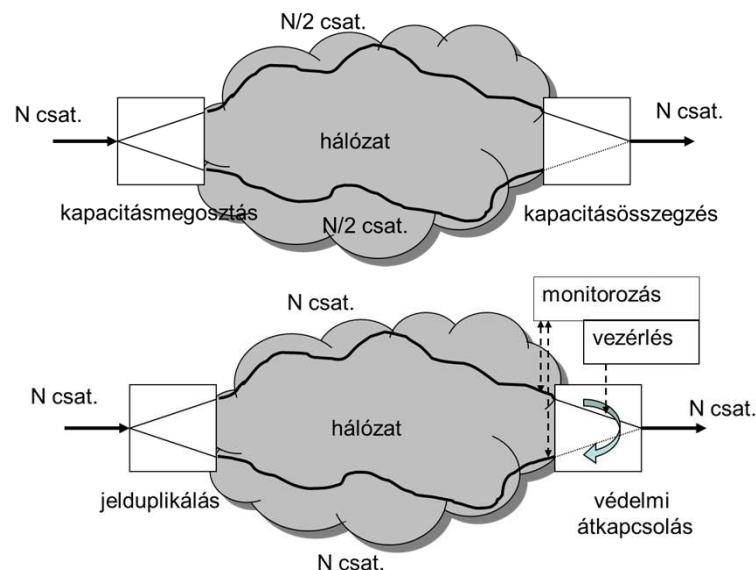
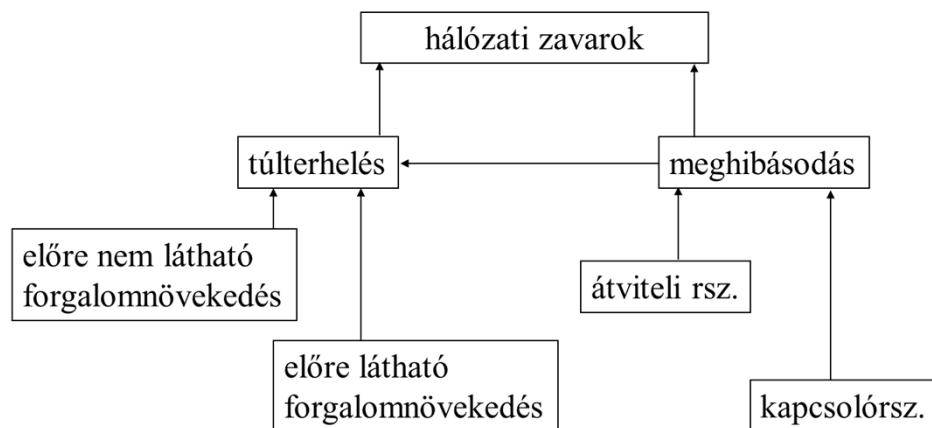
I.B.123

Mobil hálózatok vezetékes backhaul technológiái

Szolgáltatásminőségi és rendelkezésreállási vonatkozások rövid áttekintése:

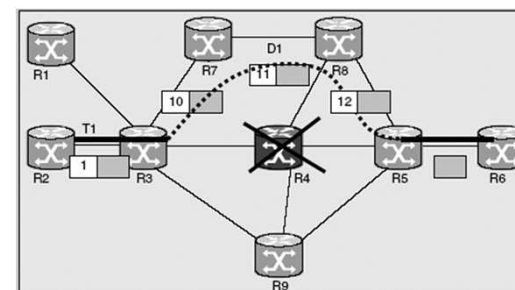
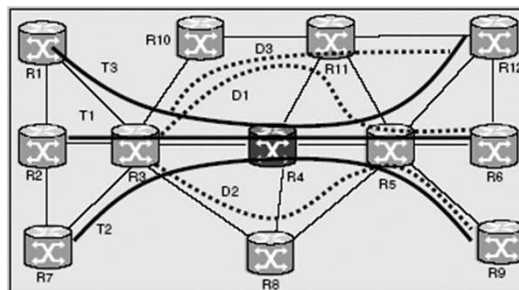
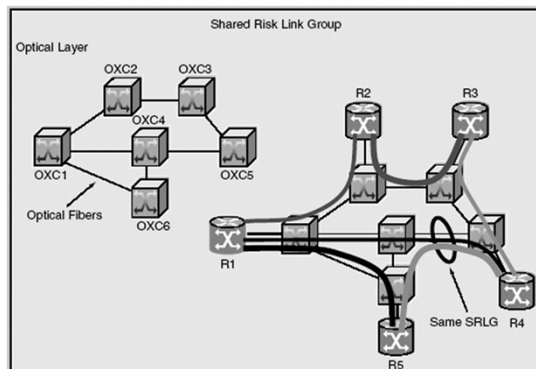
1. TDM alapú backhaul

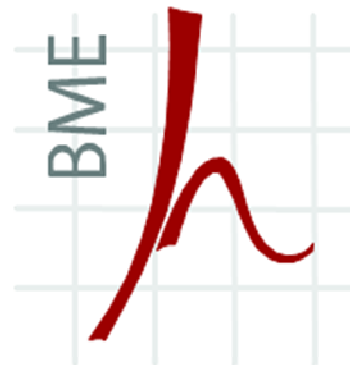
- TDM (GSM –SDH)
 - beszédszolgáltatás, GSM jelzések
 - beszédszolgáltatás minősége
 - érthetőség (rádiós lefedettség, az SDH backhaul gyakorlatilag nem befolyásolja)
 - blokkolás (rádiós kapacitás, GSM SW és backhaul hibatűrés)
 - méretezések névleges feltételekre (becsült forgalom, hibamentes erőforrások)
 - gyakorlati esetben a SDH backhaul hibái befolyásolhatják (pl, BTS – BSC – MSC összeköttetés degradálódása: BTS-BSC osztott utas elvezetés egyik ága kábelhiba miatt kiesik)
 - ha öngyógyító az SDH hálózat (automatikus védelmi átkapcsolások), akkor a védett hibáknak nincs hatása, ha a védelmi erőforrások függetlenül hibásodnak meg



2. csomag alapú backhaul

- Csomag/keret alapú (LTE - IP és szolgáltatói Ethernet)
 - adatszolgáltatás, LTE jelzések (csomag/keret alapú emuláció - CES- TDM szolgáltatást is szállíthat)
 - adatszolgáltatás minősége
 - BER (rádiós lefedettség, a backhaul gyakorlatilag nem befolyásolja)
 - QoS: csomagvesztés, késleltetés, késleltetés-ingadozás (rádiós kapacitás, IP és Ethernet szolgáltatás, külső aggregációban esetleg hordozó MAC pl. PON dinamikus sávszélesség kiosztás)
 - méretezések névleges feltételekre (becsült forgalom, hibamentes erőforrások)
 - ha IP alatt kapcsolt Ethernet, akkor az L3 és L2 QoS architektúrákat össze kell hangolni (pl. DiffServ AF CP és Ethernet 802.1Q prioritás), IP/MPLS TE védelmek hatása ennél kézben tarthatóbb (explicit utak)
 - gyakorlati esetben a backhaul hibái befolyásolhatják: IP IGP adaptáció, Ethernet STP adaptáció megváltoztatja a hibamentes terhelési viszonyokat
 - ha az IP-t, Ethernetet szállító WDM hálózat öngyógyító (automatikus védelmi átkapcsolások), akkor a védett hibáknak nincs hatása, ha a védelmi erőforrások függetlenül hibásodnak meg (SRLG)





VIHIMA07 Mobil és vezeték nélküli hálózatok

Forgalmi modellezés és tervezés

Telek Miklós
Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
I.L.117, telek@hit.bme.hu

2015. május 5.
Budapest

- Elemi összefüggések és intuitív méretezési módszerek
- QoS paraméterek
- Forgalmi osztályok és erőforrás menedzsment

- Irodalom:
 - Villy Iversen: Teletraffic Engineering Handbook
 - forgalom elmélet hálózati kapcsolódással
 - John Evans, Clarence Filsfil: Deploying IP and MPLS QOS for Multiservice Networks
 - hálózat forgalmi működése forgalom elméleti kapcsolódással

Forgalmi viselkedés

- Ember gép kapcsolat

Ember: Sztochasztikus viselkedés	Forgalom: Felhasználói igények
Gép: Determinisztikus viselkedés	Struktúra: Hardver
	Stratégia: Szoftver

- Véletlen összetevők vizsgálata
 - ... modellezése
 - ... modell alapján történő tervezése

Elemi valószínűség számítás

- X : véletlen változó
 - $E(X)$: X átlagos értéke (minták átlaga ehhez tart)
 - X ingadozása az átlag körül:
 - szórás négyzet: $S^2(X) = E((X - E(X))^2) = E(X^2) - E^2(X)$
 - X normalizált ingadozása az átlag körül: $S^2(X) / E^2(X)$
(relatív szórás négyzet, $CV(X)$)
-
- Példa: 400 km-re szeretnék elautózni.
átlag fogyasztás: 10l/100km

Intuitív méretezés

- Végtelen konfliktus feloldási képesség mellett
 - $E(X)$ erőforrás elegendő X igény kielégítésére
- "egy paraméteres" méretezés
- Véges konfliktus feloldás mellett
 - Pontos válasz:
 - Intuitív válasz: $E(X) + F(CV(X))$,
ahol $F(CV(X))$ monoton nő $CV(X)$ függvényében.
- "két paraméteres" méretezés
- Kihasználtság: $E(X) / (E(X) + F(CV(X)))$

Elemi valószínűség számítás

- X, Y : FÜGGETLEN véletlen változók
- várható érték: $E(X+Y) = E(X) + E(Y)$
- szórás négyzet: $S^2(X+Y) = S^2(X) + S^2(Y)$
- normalizált ingadozása az átlag körül:
 $CV(X+Y) = S^2(X+Y) / E^2(X+Y)$

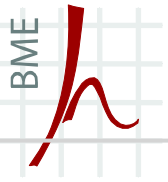
$$CV(X+Y) \leq \max(CV(X), CV(Y))$$

ha $E(X) = E(Y)$ és $S^2(X) = S^2(Y)$ akkor $CV(X+Y) = CV(X)/2$

FÜGGETLEN véletlen események aggregálása csökkenti a relatív szórást!!!

Aggregálás

- Kisebb relatív szórás, kisebb erőforrás igény
- Erőforrás kihasználtság nő,
- Redundancia csökken
 - Sebezhetőség nő.



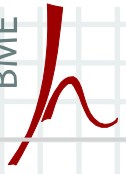
Elemi valószínűség számítás

- X, Y : FÜGGŐ véletlen változók
- korreláció: $\text{korr}(X, Y) = (E(XY) - E(X)E(Y)) / (S(X)S(Y))$
 $-1 \leq \text{korr}(X, Y) \leq 1$
- $\text{korr}(X, Y) \sim 1$ hasonló minták
 - lassan átlagolódnak
- $\text{korr}(X, Y) \sim -1$ ellentétes minták
 - gyorsan átlagolódnak

Korrelált minták véges konfliktus feloldás mellett

- Pontos válasz:
- Intuitív válasz:
 - Korreláció: $E(X) + F(CV(X), \text{korr})$
ahol $F(CV(X), \text{korr})$ monoton nő korr függvényében

▪ méretezés összefüggőség alapján



Elemi valószínűség számítás

- $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots$: FÜGGŐ véletlen változó sorozat
- $X(t), t \geq 0$: FÜGGŐ véletlen változó függvény
- Autokorreláció:
 - n mintával távolabb lévő minták korrelációja
 $\text{korr}(X_i, X_{i+n})$
 - d idővel távolabb lévő minták korrelációja
 $\text{korr}(X(t), X(t+d))$

Korrelált minták véges konfliktus feloldás mellett

- Pontos válasz:
- Intuitív válasz:
 - Korreláció figyelembe vételével:

$$E(X) + F(CV(X), \text{kor}(X_i, X_{i+n})),$$
 ahol $F(CV(X), \text{kor}(X_i, X_{i+n}))$ n függvénye.

$$E(X) + F(CV(X), \text{kor}(X(t), X(t+d))),$$

ahol $F(CV(X), \text{kor}(X(t), X(t+d)))$ d függvénye.

- méretezés autokorreláció függvény alapján

- 1 Erlang forgalom
 - Egész értékű véletlen igényfolyamat
 - Heti, napi periodicitás
 - Szolgáltatási célkitűzés
 - veszteség-költség optimum
 - Forgalmas óra

- „Véletlen” forgalom
 - Igények egyensúlyi eloszlása: Poisson eloszlás
 - Kapcsolódó: Poisson/Exponenciális modell
 - Memória mentes viselkedés: Markov láncok

- Erlang B (veszteségi formula)
 - Egyesével ugráló,
 - egészértékű,
 - „véletlen” igényfolyamatok esetén:

-> Csonkolt Poisson eloszlás

- Kaufman-Roberts veszteségi formula
 - Nem csak egyesével ugráló,
 - egészértékű,
 - „véletlen” igényfolyamatok esetén

-> Rekurzív kifejezés

- Poisson folyamat/Exponenciális eloszlás rossz
- Nehézfarkú eloszlás
 - $S(X)$ nagyon nagy (elméletileg végtelen)
- Önhasonló (fraktál jellegű) forgalom
 - autokorreláció nagyon lassan csökken n/d függvényében (exponenciálisnál lassabban)

Sok csúnyaság mellett pl. az aggregálási szabályok is megváltoznak!!

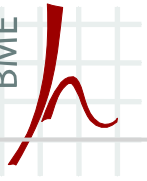
Legfontosabb forgalmi jellemzők

- késleltetés
 - késleltetés ingadozás / jitter
 - csomag veszteség
 - átvitel (throughput)
 - rendelkezésre állás (service availability)
 - csomag sorrend megőrzés
 - tapasztalt minőség (quality of experience)
-
- Ezek a jellemzők határozzák meg a szolgáltatás minőségét:
Quality of service (QoS)

Késleltetés és jitter

- Terjedési késleltetés
- Kapcsolási késleltetés
- Kiszolgálási (scheduling) késleltetés
- Segmentálási/összerakási késleltetés
- Sorrendezési késleltetés

... és ezeknek az összetevőknek az ingadozása



Csomagvesztés

- Torlódás
- Fizikai réteg hibája (10^{-6} satellite – 10^{-13} optical link)
- Hálózati elem hibája
- Alkalmazási rétegbeli veszteség

Throughput

- Link kapacitás
 - Osztály kapacitás
 - Út kapacitás
 - Végpontok közti felhasználói kapacitás
-
- Throughput mérése
 - Több metodológia
 - Minimális csomag érkezési időköz
 - Átlagos adatsebesség egy időszakra

Rendelkezésre állás

- Availability = $\text{working_time} / \text{total_time}$
= $\text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$

QoE – tapasztalt minőség

- Hang és video átvitel esetén
 - QoS paraméterek és
 - MOS – mean opinion score.

Forgalmi osztályok

- CBR
 - Igény érkezési intenzitás
 - Átlagos igény tartási idő
 - Sáv szélesség

- VBR
 - Igény érkezési intenzitás
 - Átlagos igény tartási idő
 - Sáv szélesség állapotok
 - és átmenetek

Forgalmi osztályok

- Adaptív
 - Igény érkezési intenzitás
 - Átlagos igény tartási idő
 - Min/Max sáv szélesség

- Elasztikus
 - Igény érkezési intenzitás
 - Min/Max sáv szélesség
 - Átvitt adatmennyiség

- Best effort

Erőforrás menedzsment

- Kiszolgálás (csomag továbbítás) az elvárt szolgáltatás minőség biztosítáival
 - Erőforrás megosztás, erőforrás allokáció
 - Közös erőforráson – Ütemezés
 - Prioritásos kiszolgálás
 - Súlyozott erőforrás kiszolgálás
 - és ezek kombinációi.

Súlyozott erőforrás kiszolgálás

- Elméleti (bit szintű) viselkedés
- Csomag szintű implementciók:
 - Weighted round-robin (A,B,B,C,C,C,C)
csomagméretfüggő arányok
 - Weighted fair queueing (GPS befejezési idők szerint)
 - Deficit round-robin

Weighted Round Robin

■ WRR példa

Queue	Round1	Round2	Round3
Quantum	1	1	1
Pkts_sent	1*64B	1*64B	1*64B
Byte	64B	64B	64B
Quantum	2	2	2
Pkts_sent	2*1500B	2*1500B	2*1500B
Deficit	3000B	3000B	3000B
Quantum	4	4	4
Pkts_sent	4*300B	4*300B	4*300B
Deficit	1200B	1200B	1200B

■ Csatorna megosztás:

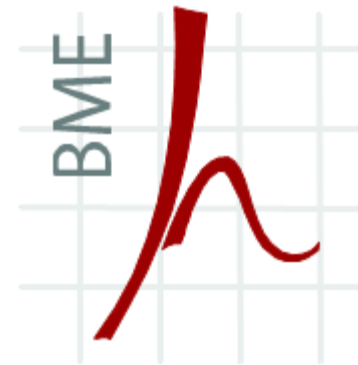
1 : 2 : 4 helyett 64 : 3000 : 1200

14% : 28% : 58% helyett 2% : 70% : 28%

Deficit Round Robin

■ DRR példa

Queue	Round1	Round2	Round3	Round4	Round5	Round6	Round7	Round8
Quantum	100	136	108	144	116	152	124	100
Pkts_sent	1*64B	2*64B	1*64B	2*64B	1*64B	2*64B	2*64B	1*64B
Pkts_no	{A1}	{A2,A3}	{A4}	{A5,A6}	{A7}	{A8,A9}	{A10,A11}	{A12}
Deficit	36	8	44	16	52	24	0	36
Quantum	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
Pkts_sent	0	0	0	0	0	0	0	1*1500B
Pkts_no	-	-	-	-	-	-	-	{B1}
Deficit	200	400	600	800	1000	1200	1400	100
Quantum	400	500	600	400	500	600	400	500
Pkts_sent	1*300B	1*300B	2*300B	1*300B	1*300B	2*300B	1*300B	1*300B
Pkts_no	{C1}	{C2}	{C3,C4}	{C5}	{C6}	{C7,C8}	{C9}	{C10}
Deficit	100	200	0	100	200	0	100	200



MOBIL ÉS VEZETÉK NÉLKÜLI HÁLÓZATOK BMEVIHIMA07

1. gyakorlat
Mobilitás-menedzsment, hívásátadás

Knapp Ádám

Tudományos segédmunkatárs

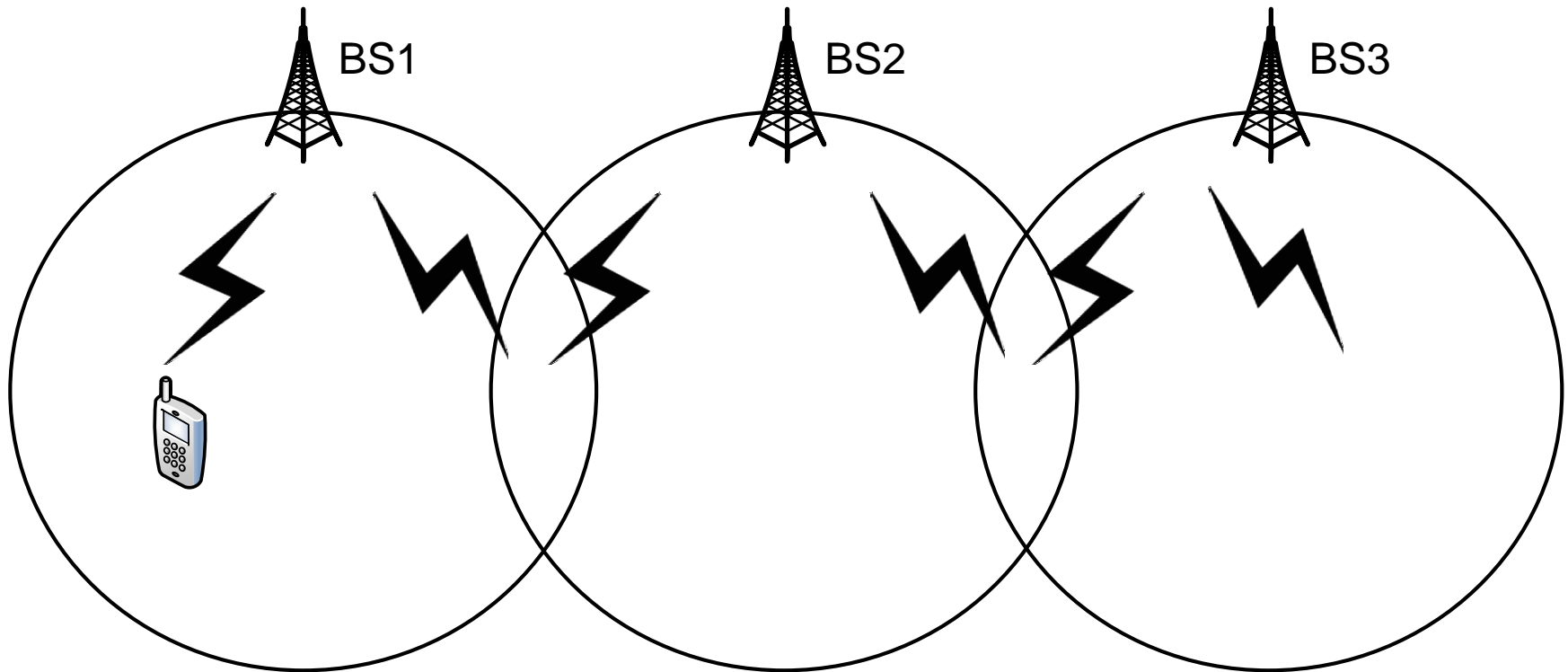
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

knapp@hit.bme.hu

2015. február 19.,
Budapest

- Hívásátadás: bevezetés, típusai
- Ping-pong hatás
- Hívásátadási eljárás az LTE-ben
- Hiányosságai, korlátai, kihívások
- Vertikális handover és szabványok
- Feladatok

Hívásátadás – Alapok 1.



Hívásátadás – Alapok 2.

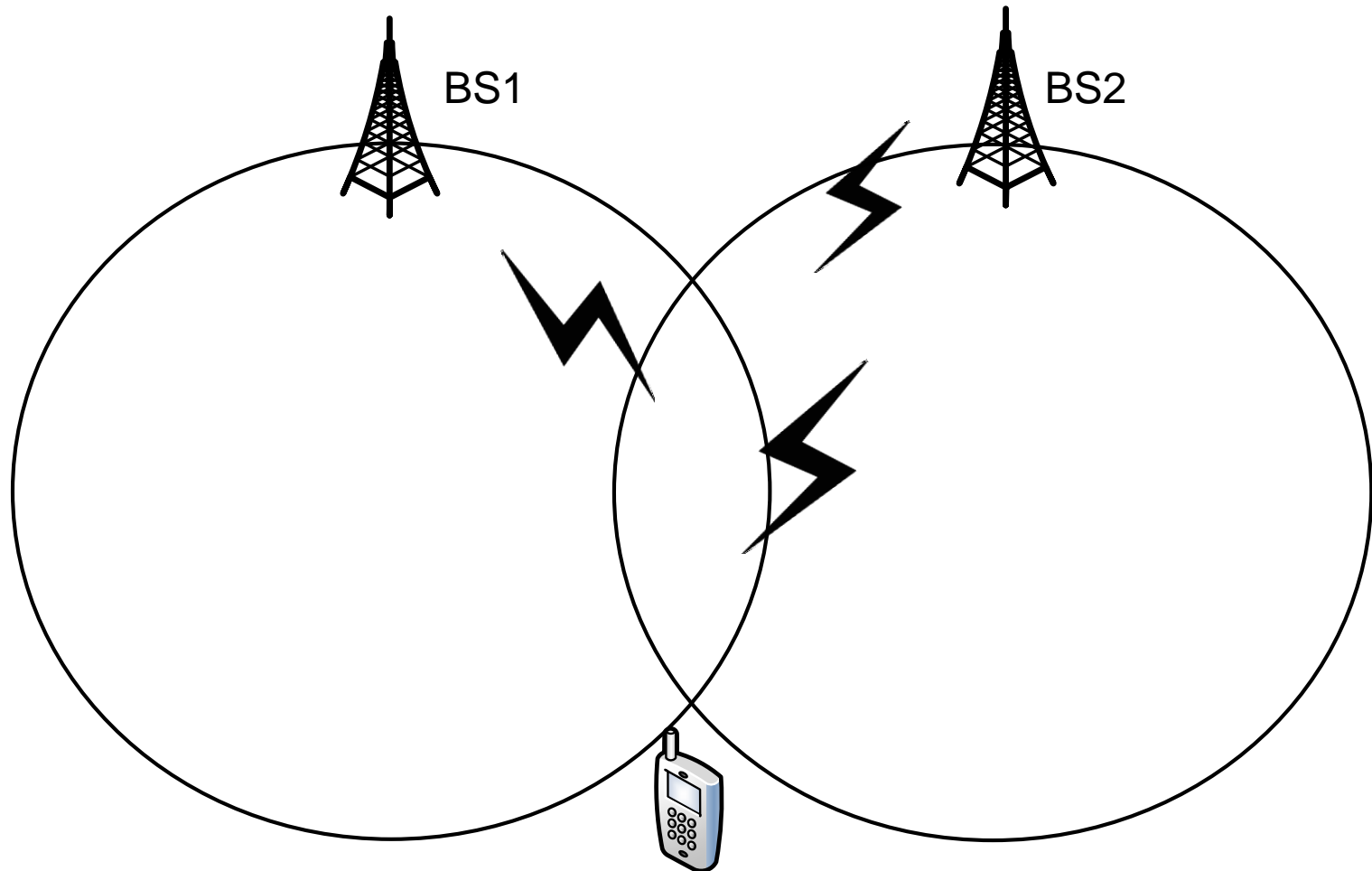
- Hívásátadás/Handover/Handoff/HO
- Fogalma:
 - *Észrevehetetlen/gyors/zökkenőmentes* átkapcsolás két bázisállomás között
- Típusai:
 - Kemény/hard („break before make”): rövid szakadás a kapcsolatban; előfordulhat, hogy elvesznek csomagok „on the fly”; ha a BS-ek különböző frekvencián üzemelnek és a készülék csak egyen tud forgalmazni; pl. GSM
 - Puha/soft („make before break”): rövid ideig több BS-hez is csatlakozik; párhuzamos kapcsolat; ha a BS-ek ua. frekvencián működnek; pl. UMTS
 - Veszteséges vagy veszteségmentes
 - Bázisállomások száma szerint

Hívásátadás – Alapok 3.

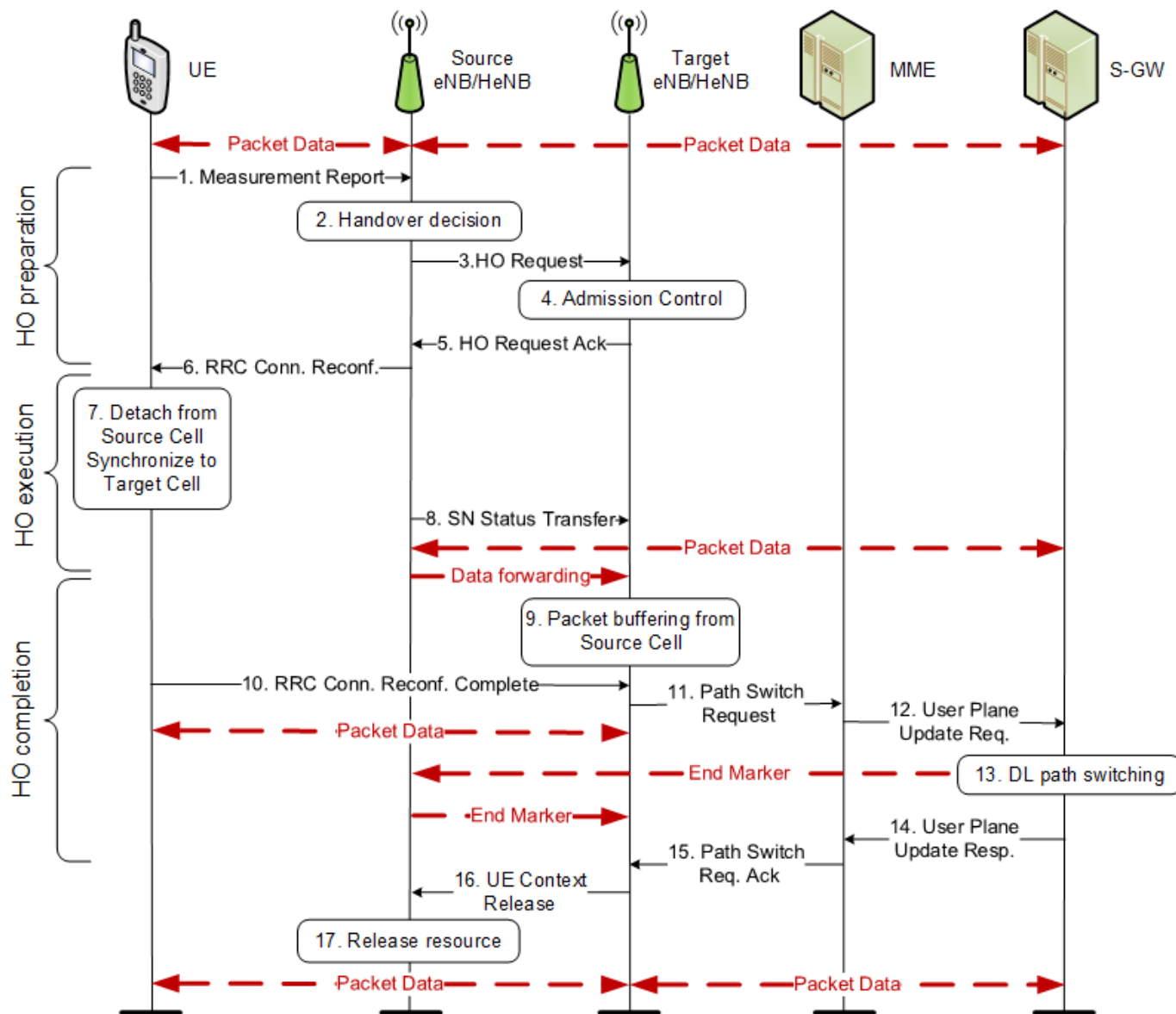
- Típusai:
 - Kezdeményező fél szerint:
 - Mobil terminál vagy hálózat indítja
 - Az általános megoldás a kereskedelmi hálózatokban: hálózat által kezdeményezett, készülék által asszisztált hívásátadás
 - Horizontális:
 - Ugyanazon rendszer két cellája között
 - Vertikális:
 - Két különböző rendszer cellái között
 - Pl. UMTS-WLAN, LTE-HSPA
 - Magasabb szintű mobilitás: mobil IP
- Paraméterek:
 - Vett jelerősség (mobil terminál méri)
 - Cella terheltség (hálózat ismeri)
 - Előfizető mozgási sebessége

Ping-pong effektus

- Cellák közötti gyors és szükségtelen oda-vissza váltás
- Nagy overhead-et okozhat, csökkenti a QoS-t



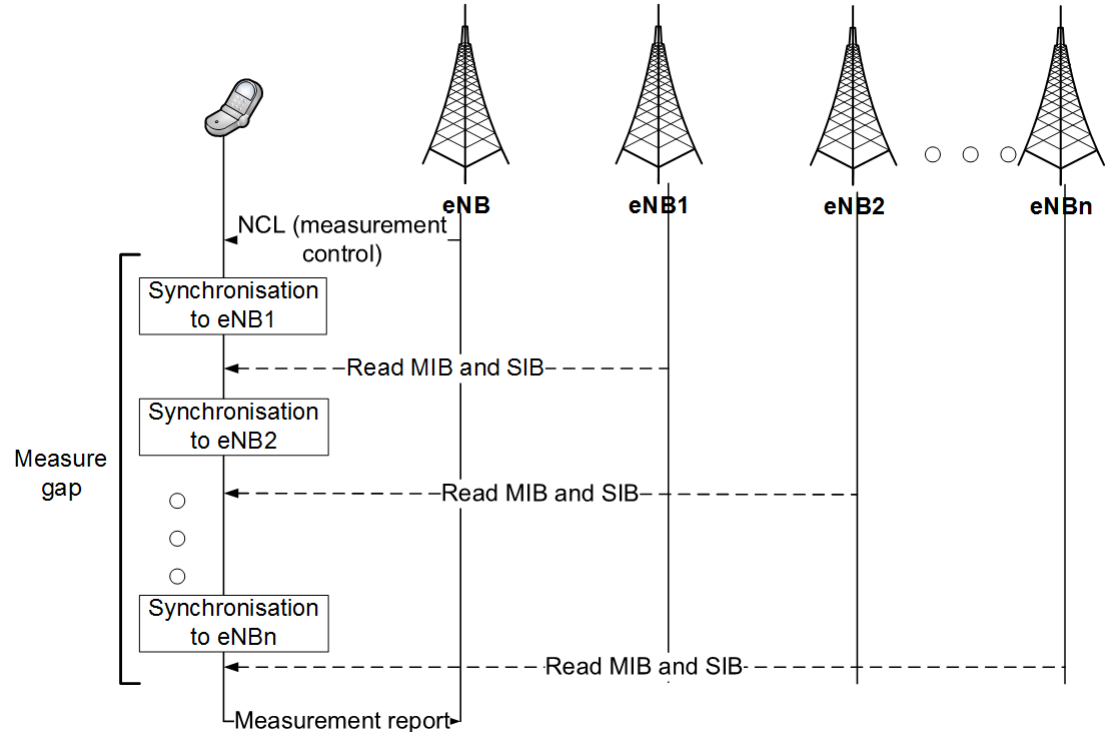
LTE hívásátadás



- Mérés konfiguráció:
 - Dedikált RRC jelzések segítségével
 - Mérési objektum: LTE vivő frekvencia
 - Jelentés konfiguráció: milyen mennyiségeket, milyen trigger események esetén
 - pl: Serving becomes better/worse than threshold, Serving becomes worse than threshold1 and neighbor becomes better than threshold2
 - Mérési identitások: mérési objektum hozzárendelése jelentési konfigurációhoz
 - Mennyiség konfiguráció: miket mérjen az UE
 - PI: Reference Signal Received Power (RSRP), UE GNSS Timing of Cell Frames for UE positioning, Multicast Channel Block Error Rate (MCH BLER)

- Mérési rések (gaps): időrések mérésre, eNobeB jelöli ki

- Probléma: kicsi és sok cella esetén nem hatékony



- Javítás példa:
 - 2 részre bontható
 - Master Information Block/MIB olvasása után tudható, hogy mikor kell System Information Block/SIB-et olvasni
 - SIB olvasás ütemezve

LTE hívásátadás – Döntés 1.

- Általában makrocellás környezetben a legerősebb jelű bázisállomást (Strongest Cell/SC) választjuk (feltételekkel)
- GSM/UMTS/LTE
- Ping-pong elkerülése végett nem engedi a hálózat a túl gyakori hívásátadást (hiszterézis)
- Kifinomultabb eljárások szükségesek a csökkenő cellaméretetek miatt:
 - Terheltség figyelembevétele, terheléskiegyenlítés
 - BS-ek lekapcsolása, energiatakarékosság
 - Sebesség, különösen gyorsan haladó járművek figyelembevétele
 - Ha úgyis rövid időt töltene a BS hatósugarában

- Saját döntési algoritmus:
 - Két rétegű LTE: eNB (macro cell) + HeNB (small cell)
 - Paraméterek: terheltség (aktuálisan kiszolgált UE-k száma), sebesség, vett jelerősség (Received Signal Strength, RSS)
 - Csúszóablakos átlagolás:
 - i. cella: $\text{Avg}_i \geq \text{RSS}_{\text{aktuális}} + \text{jelszint határérték}$
 - Lista készítés: ha az előbbi feltétel teljesül, az i. cella bekerül
 - Sebesség küszöb:
 - ha $v_{\text{UE}} \geq v_{\text{küszöb}}$ akkor HO a makro cellához,
 - egyébként rendezzük a listát terheltség és jelerősség alapján, végül megpróbálunk csatlakozni az elsőhöz

LTE hívásátadás – Befejezés

- Hívásátadás végeztével fel kell szabadítani az erőforrásokat a cellánál (UE Context) és frissíteni a pozíciót az MME-nél
- Új útvonalat kell kiépíteni a S-GW-től az új cellához, felszabadítani az X2 továbbításra lefoglalt erőforrásait
- Probléma:
 - Ha nem megbízható a backhaul/X2 kapcsolat
- Ötletek:
 - Hívásátadás kezdetekor duplikálja a forgalmat az S-GW az új eNB felé is, megnövekedhet a forgalom az eNB-ig, gyorsítja a routing update-t, X2 forgalma csökken
 - Láncolt adattovábbítás az X2 interfészen: az UE után küldjük a csomagjait, kisebb jelzésforgalom a maghálózatban (kevesebb routing update), X2 forgalma megnő

- Tracking Area: cellák egy csoportja
 - hasonló a GSM Location Area-hoz és az UMTS Routing Area-hoz
 - Tracking Area Identity (TAI)
 - Tracking Area Update, (TAU):
 - TA váltáskor értesíti az MME-tű
 - Periodikusan, hogy tudja a hálózat, elérhető-e paginre
 - Paging: ha a hálózat keresi mobilt
 - Regisztrált és kapcsolódott módban is
 - az UE és az MME között nincs direkt kommunikáció
 - Tracking Area List, TAL: azon TA-k listája, amikhez egy UE beregisztrált
 - Különbözők UE-knek heterogén TAL-ok

- Szükséges:
 - Rossz jelerősség
 - Költség (fizetős → ingyen)
 - Teljesítmény, pl. nagy sáv szélesség, alacsonyabb késleltetés kell
 - Energiafogyasztás: akkumulátor kímélés miatt
- Kihívások:
 - Több módú készülékek: GSM/3G/LTE/Wifi
 - Energiafogyasztás
 - QoS, elérhető kapacitás
 - Biztonság
 - Session folytonosság
 - Üzleti modell: legyen eladható

- Nyílt csatolás:
 - Nincs közös előfizetői adatbázis és számlázás
 - Gyenge HO teljesítőkéesség

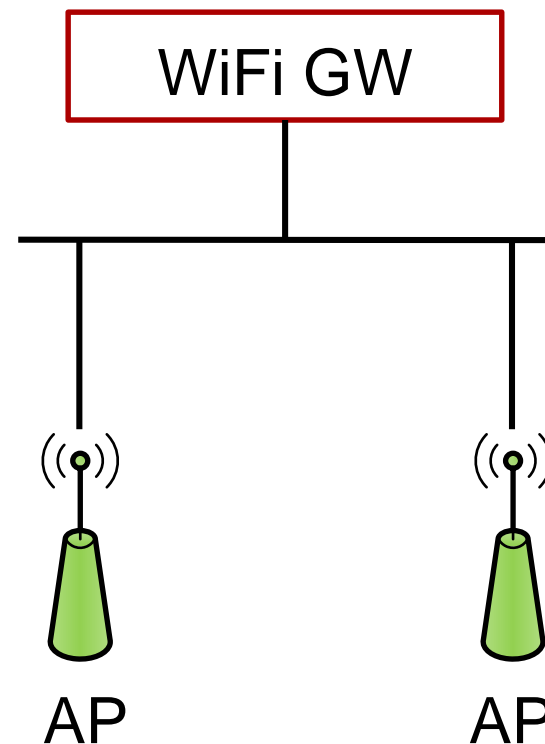
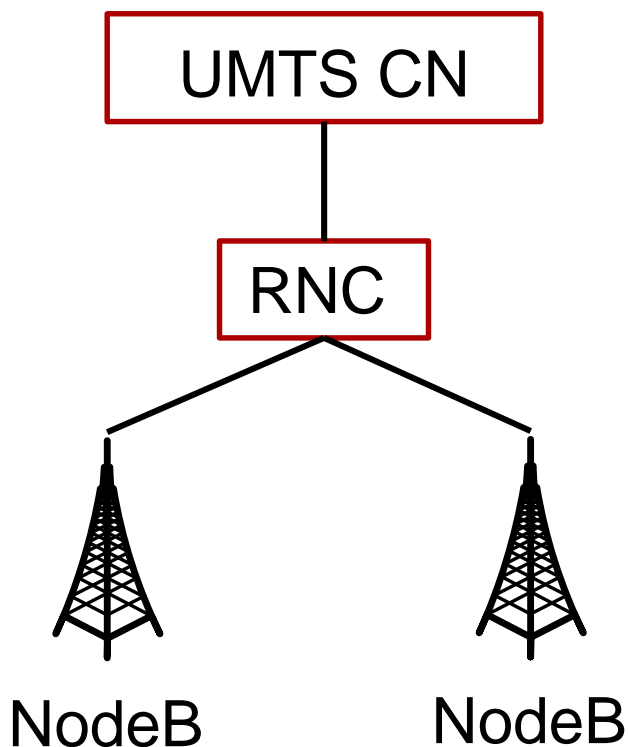
- Laza csatolás:
 - Közös előfizetői adatbázis és számlázás
 - Jobb HO teljesítőkéesség

- Szoros csatolás:
 - UMTS maghálózati interfész szükséges
 - Azonos szolgáltató
 - Sokkal jobb HO teljesítőkéesség

Vertikális HO – UMTS-Wifi 2.

Nyílt csatolás
Laza csatolás
Szoros csatolás

Internet



Vertikális HO – UMTS-Wifi 2.

Nyílt csatolás
Laza csatolás
Szoros csatolás

Internet

AAA

UMTS CN

RNC

WiFi GW

NodeB

NodeB

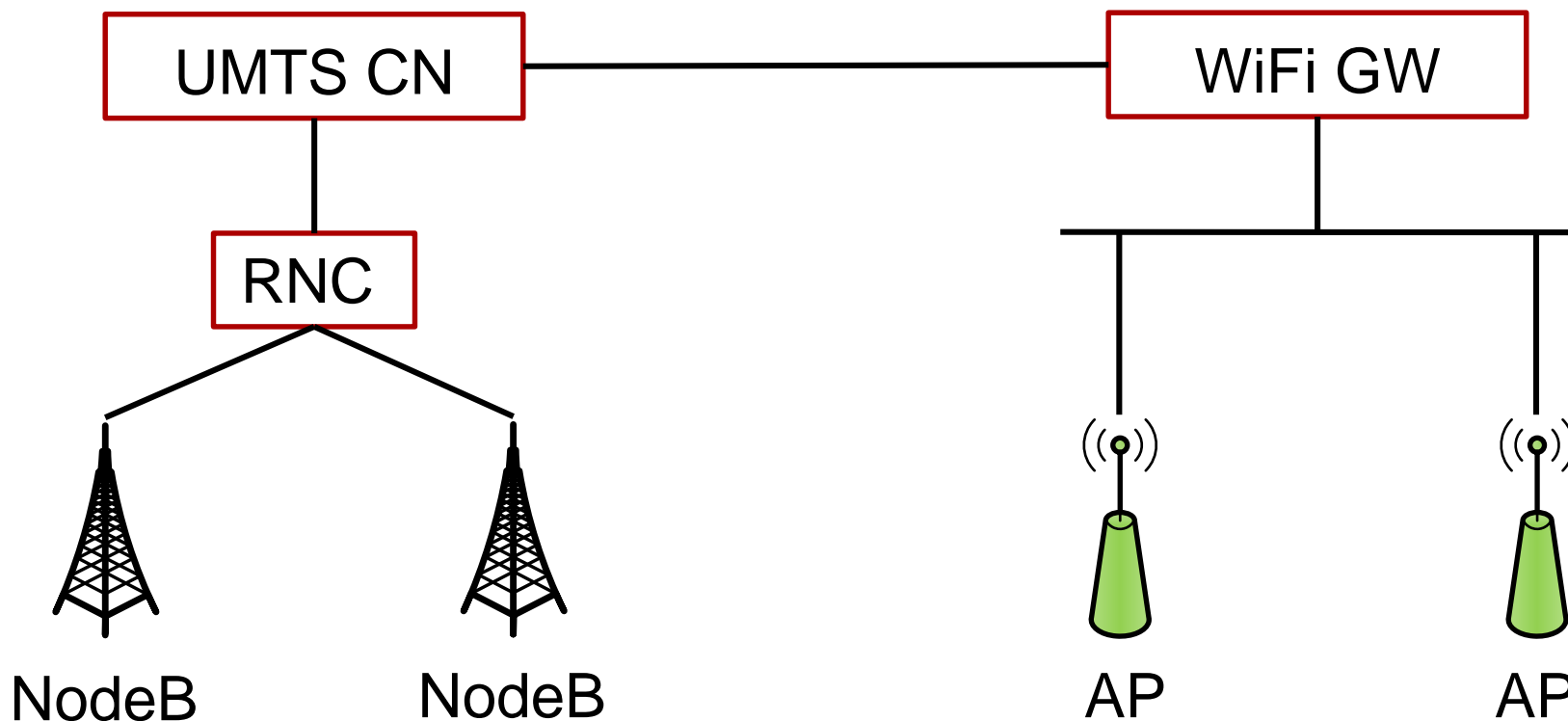
AP

AP

Vertikális HO – UMTS-Wifi 2.

Nyílt csatolás
Laza csatolás
Szoros csatolás

Internet



Vertikális HO – IEEE 802.21

- Észrevehetetlen vertikális hívásátadás támogatása:
 - Media Independent Handover, IEEE 802.21, 2008-ban
 - GSM/GPRS, UMTS, LTE, IEEE 802.3/11/15.3/16
- Célok:
 - Keretrendszer, a tényleg végrehajtási mechanizmust nem definiálja
 - Különböző gyártók, szolgáltatók, felhasználók között
 - Mobil IP-re, SIP-re épül
- Hiányzik:
 - Hívásátadási irányelvek (policy)
 - Biztonság
 - Üzleti modell

- Unlicensed Spectrum Access, UMA:
 - 3GPP ajánlás cellás rendszerek és ingyenes spektrumot használó hálózatok között
 - IEEE 802.21 mobil centrikus változata
- UMA Network Controller, UMC:
 - Mobil szolgáltató maghálózatához ad interfészt
 - IP feletti mobil jelzésüzenetek biztonságos szállítása
- Kiterjeszti a szolgáltató szolgáltatásait IP feletti hozzáférési hálózatokra
 - Wifi használata a lefedettség és teljesítőképesség fejlesztéséhez/kiterjesztéshez

- ISO által megalkotott keretrendszer
- Folyamatos kommunikáció támogatása különböző interfészeken és médiákon keresztül a járműves felhasználók számára
 - IEEE 802.11/11p/16e/20, 2G/3G rendszerek
- Alkalmazás támogatás:
 - Járművön belüli Internet hozzáférés
 - ITS alkalmazások: jármű biztonsági kommunikáció
 - V2V kommunikáció
- IPv6-on alapuló vertikális hívásátadás

Feladat 1.

- Számítsa ki egy LTE cella lefedettségi sugarát méterben, ha a környékét síknak tekintjük és a csatornát következőképp modellezzük:
 - A) a távolság 3. hatványával arányos a csillapítás
 - B) SUI (Stanford University Interim) modellel jellemezzük!
- Tegyük fel, hogy:
 - LTE-ben -50 dBm jelszint jelenti a cellahatárt,
 - a bázisállomás adóteljesítménye 20 W / 20 mW,
 - a vivőfrekvenciája 2 GHz,
 - antennája 40 m magasan helyezkedik el.

Feladat 1. folyt.

- SUI modell:

$$PL_{SUI} = 20 \cdot \log_{10}(400\pi/\lambda) + 10 \cdot (a - b \cdot h_b + c/h_b) \cdot \log_{10}(d/100)$$

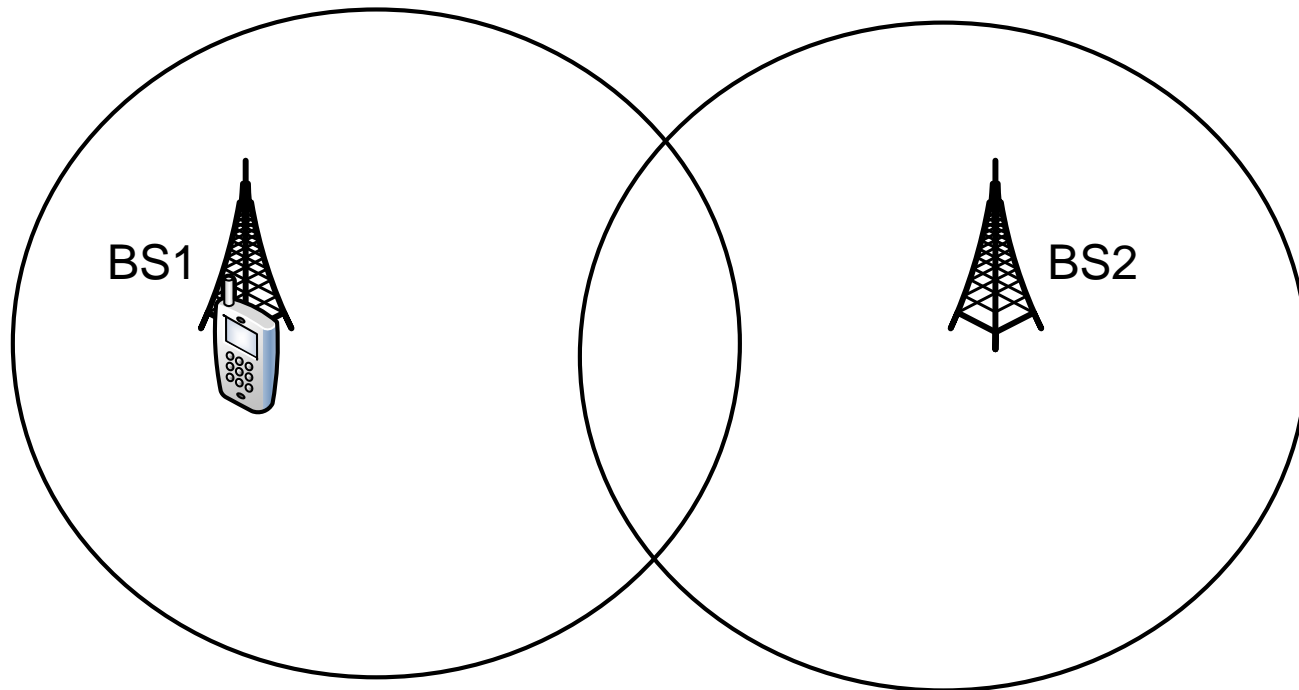
- PL_{SUI} a csillapítás dBm-ben;
- λ a vivő hullámhossza méterben;
- d a távolság;
- h_b az adóantenna magassága;
- a, b, c terepfüggő paraméterek:

Modell paraméter	Magas csillapítású terep	Közepes csillapítású terep	Alacsony csillapítású terep
a	4,6	4,0	3,6
b (m ⁻¹)	0,0075	0,0065	0,005
c (m)	12,6	17,1	20

- Számítsa ki az LTE hívásátadás felső korlátját, ha
 - a bázisállomások 10 ns feldolgozási sebességgel,
 - a MME 5 ns feldolgozási sebességgel,
 - az SGw és PDN Gw 5 ns feldolgozási sebességgel,
 - a maghálózati összeköttetések késleltetése 1 ms és
 - a rádiós link késleltetése 2 ms!
- $D_{\text{handover}} = T_{\text{search}} + T_{\text{IU}} + 20\text{ms} + T_{\text{processing,RRC}}$
- $T_{\text{IU}} \leq 30\text{ms}$
- $T_{\text{processing,RRC}} \leq 15\text{ms}$

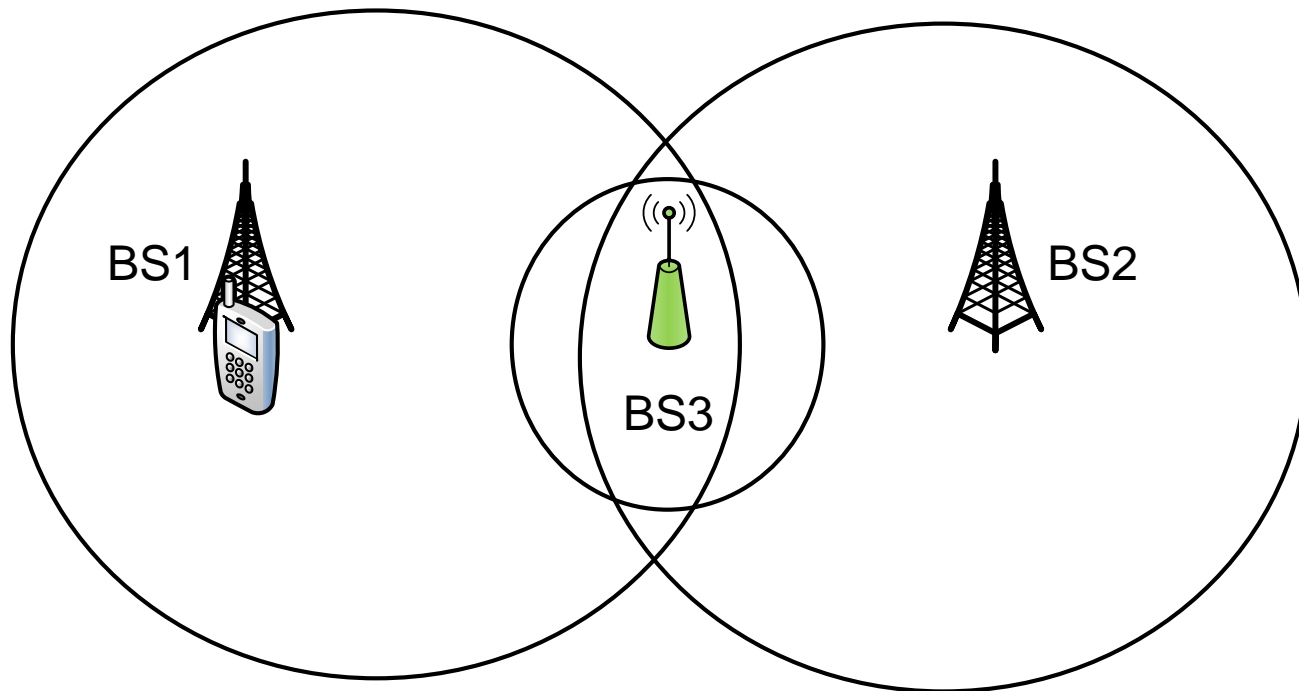
Feladat 3.

- Egy szerelő BS1-től BS2-ig megy 50 km/h óras sebességgel (egyenes vonalon). Az előbbi feladatnál kiszámolt cellasugarak felhasználásával számítsa ki hol és mikor következik be a hívásátadás!
- Bázisállomások távolsága: A) 2 km, B) 100 m



Feladat 4.

- Egy szerelő BS1-től BS2-ig megy 100 km/h órás sebességgel (egyenes vonalon). Képes-e a rendszer hívásátadást végrehajtani a BS3-hoz?
- Bázisállomások távolsága: A) 20 km, B) 400 m



Mellara d'hegari aðeigtritei skengetu stundit
ar ar LTE fellandi, alier a SIR eland
ar albbi beplittet adbt: $Pr\{SIR < z\} = \text{erfc}(Qz)$
e, ~~at~~ ~~PRC~~ ^{admittet} ~~gaa~~ driteli skengetu ar albbi
~~adbt~~ driteli skengetu: [table] he 100 PR
fuel handlin

SIR [dB]	TP	SIR	$Pr\{SIR < \infty\}$	
-12 ... -9	0	0,0631	0,2604	0,425
-9 ... -6	15	0,1259	0,42536	0,147
-6 ... -3	38	0,2512	0,57252	0,117
-3 ... 0	70	0,5012	0,68951	0,088
0 ... 3	110	1	0,77730	0,064
3 ... 6	170	1,995	0,84129	0,046
6 ... 9	250	3,98	0,88727	0,033
9 ... 12	340	7,94	0,92006	0,023
12 ... 15	480	15,85	0,94336	0,017
15 ... 18	620	31,6	0,95985	0,012
18 ... 21	740	63,1	0,97160	0,008
21 ... 24	850	125,9	0,97989	0,006
24 ... 27	910	251,2	0,98576	0,004
27 ... ∞	930	501,2	0,98952	0,001
			Err: $\sum 1$	

A mai órára a legutóbbi adatszámítás foglalkoztatásával
az értéke le adható az AMC görbe és a SIR alapján
feladat. Milyen állás adható a skéma szemléltet az LTE feladat
le a SIR alapján az
adható értéke le 3

SIR = Signal to Interference Ratio

$$\frac{S}{I} = \frac{\text{hosszú jel}}{\text{interferáló jel}}$$

$$\text{pl. } \frac{\mu\text{W}}{\mu\text{W}}$$

? see next 29

a hosszú jel, mit
az interferáló jel
jelvénye

Görbe dB -re van

konverzió. $\frac{S}{I} [\text{dB}] = 10 \cdot \lg \left(\frac{S}{I} \right)$

is fordítva $\frac{S}{I} = 10^{(S/I [\text{dB}]/10)}$

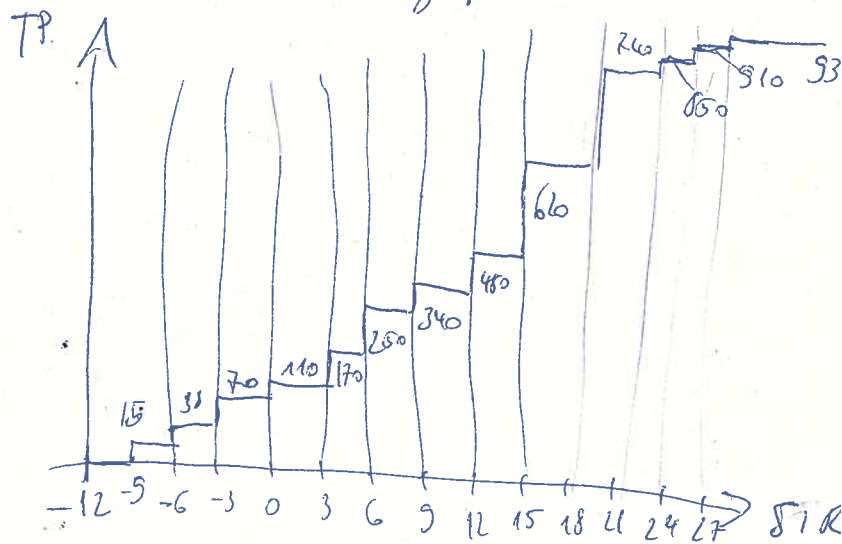
Rege SNR volt

Tfh. az adható értéke le az AMC
döntés (AMC = Adaptive Modulation & Coding, a HSPA
is LTE rendszerben alkalmazott technika, melynek során
a hálózati állapot alapján a legalkalmasabb modult és kód
kombinációt választja ki a csatorna minőségére
alapítva)

2x2 x MIMO OFDM

SIR	SIR [dB]	TP [kbit/s/PRB]
0.0631	-12	0
0.1259	-9	15
0.2512	-6	38
0.5012	-3	70
1	0	110
1.995	3	170
3.98	6	250
7.94	9	340
15.85	12	480
31.6	15	620
63.1	18	740
125.9	21	850

1. Feladat: hogyan lehet ezt
szemléltetni grafikusul?



25.224 | 940
50.227 | 930

Típus a SIR eloszlások eloszlása
az alábbi:

$$Pr\{SIR < z\} = \text{erfc}\left(k_1 \cdot \sqrt{\frac{k_2}{z}}\right) \quad \text{ahol}$$

k_1 és k_2 konstansok pl. $k_1 = 0,2$
 $k_2 =$

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad \text{és} \quad \text{erfc}(x) = 1 - \text{erf}(x)$$

A fenti eloszlás egybeesik Levey eloszlással, amit pl.
a meteorológiai gyakorlatban alkalmazunk.

A kérdés tehát az, hogy mennyi az átlagos TP, ha
a fenti eloszlásról van szó.

$$Pr\{SIR < z\} = \text{erfc}\left(0,2 \cdot \sqrt{\frac{1}{z}}\right)$$

Látni látszik

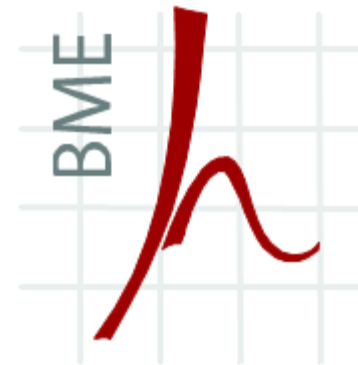
$$\text{Az átlagos TP} = \sum TP_i \cdot p_i \quad \text{ahol } p_i \text{ az adott SIR tartományhoz tartozó valószínűség}$$

p_i is látni látszik

$$\begin{aligned} \overline{TP} &= 0 \cdot 0,425 + 15 \cdot 0,147 + 38 \cdot 0,117 + 70 \cdot 0,0881 \\ &+ 110 \cdot 0,064 + 170 \cdot 0,046 + 250 \cdot 0,033 + 340 \cdot 0,023 \\ &+ 480 \cdot 0,017 + 620 \cdot 0,012 + 740 \cdot 0,008 + 850 \cdot 0,006 \\ &+ 910 \cdot 0,004 + 930 \cdot 0,01 = 82,253 \text{ kbit/s /PRB} \end{aligned}$$

Ha a rendszer 110 PRB-ban működik, akkor az átlagos bitsebesség
100 db-ánál magasabb lesz: $100 \times 82,253 \text{ kbit/s} \approx 8 \text{ Mbit/s}$

Complementary Error Function Table													
x	erfc(x)	x	erfc(x)	x	erfc(x)	x	erfc(x)	x	erfc(x)	x	erfc(x)	x	erfc(x)
0	1.000000	0.5	0.479500	1	0.157299	1.5	0.033895	2	0.004678	2.5	0.000407	3	0.00002209
0.01	0.988717	0.51	0.470756	1.01	0.153190	1.51	0.032723	2.01	0.004475	2.51	0.000386	3.01	0.00002074
0.02	0.977435	0.52	0.462101	1.02	0.149162	1.52	0.031587	2.02	0.004281	2.52	0.000365	3.02	0.00001947
0.03	0.966159	0.53	0.453536	1.03	0.145216	1.53	0.030484	2.03	0.004094	2.53	0.000346	3.03	0.00001827
0.04	0.954889	0.54	0.445061	1.04	0.141350	1.54	0.029414	2.04	0.003914	2.54	0.000328	3.04	0.00001714
0.05	0.943628	0.55	0.436677	1.05	0.137564	1.55	0.028377	2.05	0.003742	2.55	0.000311	3.05	0.00001608
0.06	0.932378	0.56	0.428384	1.06	0.133856	1.56	0.027372	2.06	0.003577	2.56	0.000294	3.06	0.00001508
0.07	0.921142	0.57	0.420184	1.07	0.130227	1.57	0.026397	2.07	0.003418	2.57	0.000278	3.07	0.00001414
0.08	0.909922	0.58	0.412077	1.08	0.126674	1.58	0.025453	2.08	0.003266	2.58	0.000264	3.08	0.00001326
0.09	0.898719	0.59	0.404064	1.09	0.123197	1.59	0.024538	2.09	0.003120	2.59	0.000249	3.09	0.00001243
0.1	0.887537	0.6	0.396144	1.1	0.119795	1.6	0.023652	2.1	0.002979	2.6	0.000236	3.1	0.00001165
0.11	0.876377	0.61	0.388319	1.11	0.116467	1.61	0.022793	2.11	0.002845	2.61	0.000223	3.11	0.00001092
0.12	0.865242	0.62	0.380589	1.12	0.113212	1.62	0.021962	2.12	0.002716	2.62	0.000211	3.12	0.00001023
0.13	0.854133	0.63	0.372954	1.13	0.110029	1.63	0.021157	2.13	0.002593	2.63	0.000200	3.13	0.00000958
0.14	0.843053	0.64	0.365414	1.14	0.106918	1.64	0.020378	2.14	0.002475	2.64	0.000189	3.14	0.00000897
0.15	0.832004	0.65	0.357971	1.15	0.103876	1.65	0.019624	2.15	0.002361	2.65	0.000178	3.15	0.00000840
0.16	0.820988	0.66	0.350623	1.16	0.100904	1.66	0.018895	2.16	0.002253	2.66	0.000169	3.16	0.00000786
0.17	0.810008	0.67	0.343372	1.17	0.098000	1.67	0.018190	2.17	0.002149	2.67	0.000159	3.17	0.00000736
0.18	0.799064	0.68	0.336218	1.18	0.095163	1.68	0.017507	2.18	0.002049	2.68	0.000151	3.18	0.00000689
0.19	0.788160	0.69	0.329160	1.19	0.092392	1.69	0.016847	2.19	0.001954	2.69	0.000142	3.19	0.00000644
0.2	0.777297	0.7	0.322199	1.2	0.089686	1.7	0.016210	2.2	0.001863	2.7	0.000134	3.2	0.00000603
0.21	0.766478	0.71	0.315335	1.21	0.087045	1.71	0.015593	2.21	0.001776	2.71	0.000127	3.21	0.00000564
0.22	0.755704	0.72	0.308567	1.22	0.084466	1.72	0.014997	2.22	0.001692	2.72	0.000120	3.22	0.00000527
0.23	0.744977	0.73	0.301896	1.23	0.081950	1.73	0.014422	2.23	0.001612	2.73	0.000113	3.23	0.00000493
0.24	0.734300	0.74	0.295322	1.24	0.079495	1.74	0.013865	2.24	0.001536	2.74	0.000107	3.24	0.00000460
0.25	0.723674	0.75	0.288845	1.25	0.077100	1.75	0.013328	2.25	0.001463	2.75	0.000101	3.25	0.00000430
0.26	0.713100	0.76	0.282463	1.26	0.074764	1.76	0.012810	2.26	0.001393	2.76	0.000095	3.26	0.00000402
0.27	0.702582	0.77	0.276179	1.27	0.072486	1.77	0.012309	2.27	0.001326	2.77	0.000090	3.27	0.00000376
0.28	0.692120	0.78	0.269990	1.28	0.070266	1.78	0.011826	2.28	0.001262	2.78	0.000084	3.28	0.00000351
0.29	0.681717	0.79	0.263897	1.29	0.068101	1.79	0.011359	2.29	0.001201	2.79	0.000080	3.29	0.00000328
0.3	0.671373	0.8	0.257899	1.3	0.065992	1.8	0.010909	2.3	0.001143	2.8	0.000075	3.3	0.00000306
0.31	0.661092	0.81	0.251997	1.31	0.063937	1.81	0.010475	2.31	0.001088	2.81	0.000071	3.31	0.00000285
0.32	0.650874	0.82	0.246189	1.32	0.061935	1.82	0.010057	2.32	0.001034	2.82	0.000067	3.32	0.00000266
0.33	0.640721	0.83	0.240476	1.33	0.059985	1.83	0.009653	2.33	0.000984	2.83	0.000063	3.33	0.00000249
0.34	0.630635	0.84	0.234857	1.34	0.058086	1.84	0.009264	2.34	0.000935	2.84	0.000059	3.34	0.00000232
0.35	0.620618	0.85	0.229332	1.35	0.056238	1.85	0.008889	2.35	0.000889	2.85	0.000056	3.35	0.00000216
0.36	0.610670	0.86	0.223900	1.36	0.054439	1.86	0.008528	2.36	0.000845	2.86	0.000052	3.36	0.00000202
0.37	0.600794	0.87	0.218560	1.37	0.052688	1.87	0.008179	2.37	0.000803	2.87	0.000049	3.37	0.00000188
0.38	0.590991	0.88	0.213313	1.38	0.050984	1.88	0.007844	2.38	0.000763	2.88	0.000046	3.38	0.00000175
0.39	0.581261	0.89	0.208157	1.39	0.049327	1.89	0.007521	2.39	0.000725	2.89	0.000044	3.39	0.00000163
0.4	0.571608	0.9	0.203092	1.4	0.047715	1.9	0.007210	2.4	0.000689	2.9	0.000041	3.4	0.00000152
0.41	0.562031	0.91	0.198117	1.41	0.046148	1.91	0.006910	2.41	0.000654	2.91	0.000039	3.41	0.00000142
0.42	0.552532	0.92	0.193232	1.42	0.044624	1.92	0.006622	2.42	0.000621	2.92	0.000036	3.42	0.00000132
0.43	0.543113	0.93	0.188437	1.43	0.043143	1.93	0.006344	2.43	0.000589	2.93	0.000034	3.43	0.00000123
0.44	0.533775	0.94	0.183729	1.44	0.041703	1.94	0.006077	2.44	0.000559	2.94	0.000032	3.44	0.00000115
0.45	0.524518	0.95	0.179109	1.45	0.040305	1.95	0.005821	2.45	0.000531	2.95	0.000030	3.45	0.00000107
0.46	0.515345	0.96	0.174576	1.46	0.038946	1.96	0.005574	2.46	0.000503	2.96	0.000028	3.46	0.00000099
0.47	0.506255	0.97	0.170130	1.47	0.037627	1.97	0.005336	2.47	0.000477	2.97	0.000027	3.47	0.00000092
0.48	0.497250	0.98	0.165769	1.48	0.036346	1.98	0.005108	2.48	0.000453	2.98	0.000025	3.48	0.00000086
0.49	0.488332	0.99	0.161492	1.49	0.035102	1.99	0.004889	2.49	0.000429	2.99	0.000024	3.49	0.00000080



MOBIL ÉS VEZETÉK NÉLKÜLI HÁLÓZATOK BMEVIHIMA07

3. gyakorlat

Gódor Győző
tudományos segédmunkatárs
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu



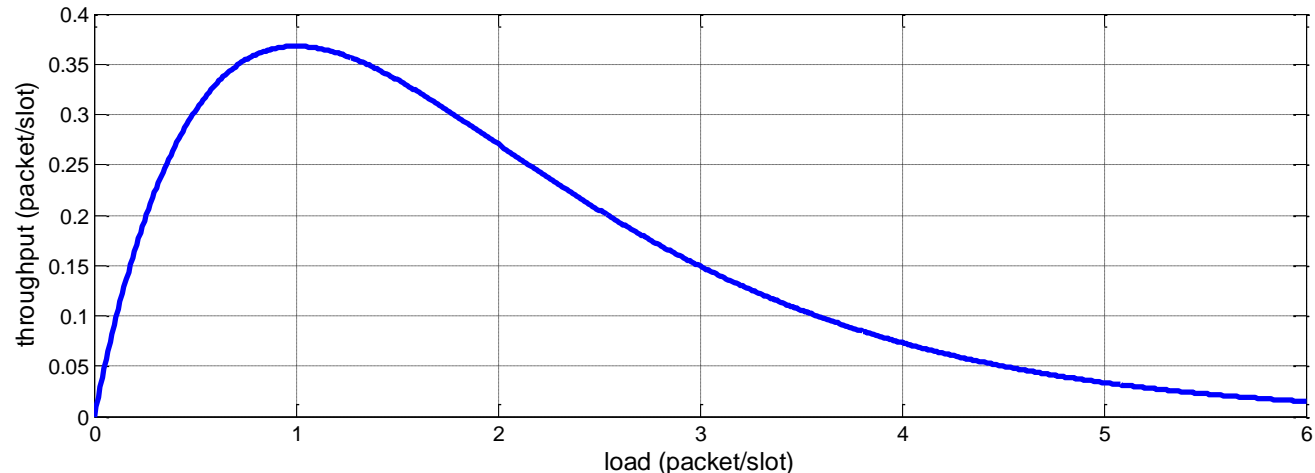
2015. március 17.,
Budapest

- CSMA teljesítőképesség becslése
- 802.15.4a
- UWB ranging
- decaWave DW1000 eszköz
- decaWave mérés

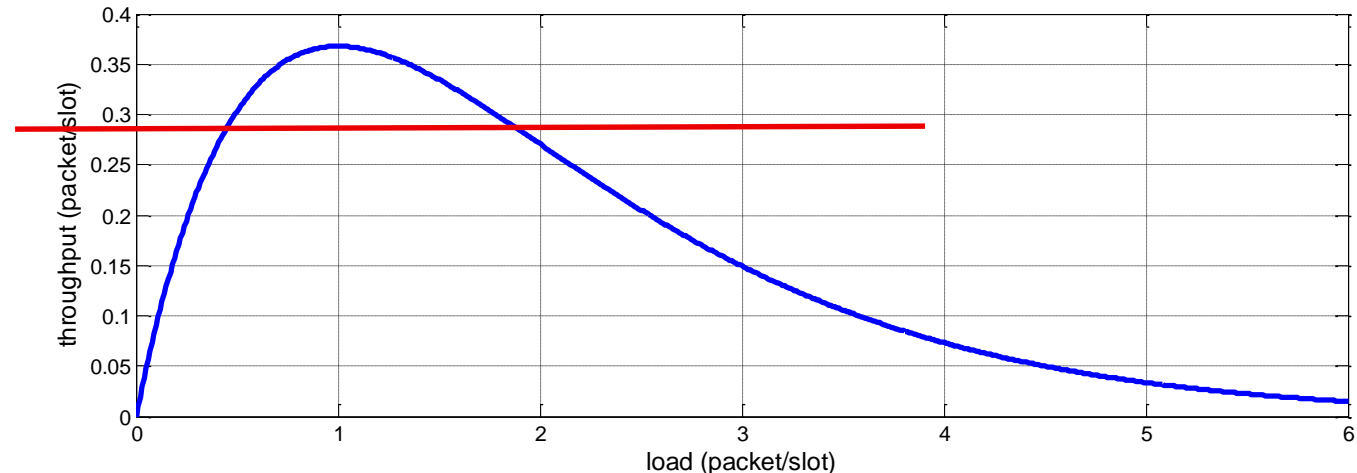
- Volt: IEEE vezeték nélküli szabványok a CSMA eljárás valamelyik variánsát használják
- Hogyan jellemezhető, mennyire lesz jó multimédiás átvitelhez?
- Egyszerűsített modell rendszer alapján könnyen vizsgálható

- Egyszerűsített modell:
 - Réselt ALOHA: véletlen, ütközéses csatorna
 - Nem CSMA!
 - Réselt csatorna, T hosszúságú időrések
 - Egy csomag leadása pont T idő alatt történik
 - a csomag a slot elején érkezik, a felhasználó mindjárt el is küldi
 - Az újraküldendő csomagokat is beleértjük
 - Poisson becslés:
 - Sok felhasználó, egymástól függetlenül, egyenként kis valószínűséggel akar küldeni minden időrésben
 - \rightarrow az egy időrésben küldeni akart csomagok száma Poisson eloszlású
 - Throughput definíciója: sikeresen átküldött csomagok száma időrésenként, várható értékben: S
 - Max 1, nyilván
 - Load (felajánlott forgalom): ennyi csomagot akarnak átlagosan küldeni a felhasználók átlagosan, időrésenként (csomag érkezési intenzitás): G
 - A fent említett Poisson eloszlás paramétere lesz a G

- Tehát: $S = P_{\text{sikeres_küldés}} * 1 + (1 - P_{\text{sikeres_küldés}}) * 0 = P_{\text{sikeres_küldés}}$
- $P_{\text{sikeres_küldés}}$: abban az esetben van siker, ha pontosan egy darab csomagot akarnak küldeni abban a slotban
- G paraméterű Poisson eloszlású valváltozó értéke 1, ennek valsege:
 - $P_{\text{sikeres_küldés}} = G * \exp(-G) = S$,
 - Mekkora a maximuma és hol van ennek a függvénynek? -> HF.
 - $G=1$ -nél, $S = 1/e$



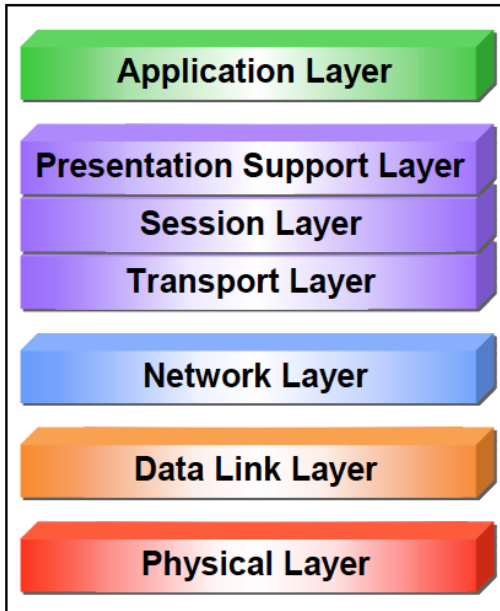
- Ez a jelleg minden véletlen hozzáférésű (versenyzéses) csatornát jellemez. A protokoll konkrét részleteivel a csúcsot „feljebb” lehet tolni, valamint a görbe csökkenését „laposabbá”
- Mit is okoz a görbe alakja?
 - A görbe „felszálló ágán” lévő load-nál: ütközés -> újraküldés -> nagyobb load -> nagyobb throughput -> sikeres újraküldés -> load visszaáll
 - A görbe leszálló ágán: ütközés -> újraküldés -> nagyobb load -> kisebb throughput -> kevesebb csomag fér át -> sikertelen újraküldés -> load tovább nő -> throughput a nullához, load a végtelenhez tart
 - Egy adott terhelés fölött „elszál” a rendszer



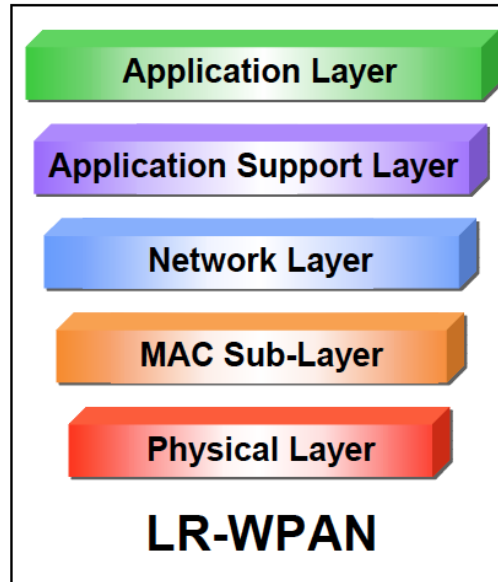
802.15.4A

ISO-OSI és a 802.15.4 kapcsolata

Seven Layer ISO-OSI Protocol Layer



Wireless Networking Protocol Stack Model



Eaton's PSR+ (Industrial/Commercial)
 Ember's EmberNet (Industrial)
 ZigBee (Residential)
 Berkeley's Mote (Academic)

IEEE 802.15.4

802.15.4 tulajdonságai

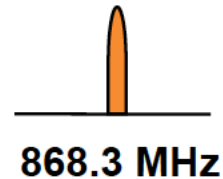
- Különböző adatsebességek: 250, 40, 20 kbps
- Különböző frekvenciasávok támogatása:
 - 16 csatorna 2,4 GHz-en
 - 10 csatorna 915 MHz-en
 - 1 csatorna 868 MHz-en
- Két működési mód
 - Csillag
 - Peer-to-peer
- CSMA/CA közeghozzáférés
- Dinamikus eszköz címezés
- Teljes kézfogás protokoll az átvitel megbízhatósága miatt
- Alacsony késleltetésű eszközök támogatása
- Alacsony fogyasztás

802.15.4 Fizikai réteg

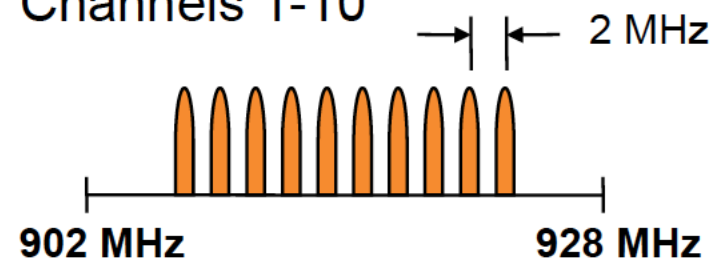
- Különböző frekvenciasávok:

**868MHz/915MHz
PHY**

Channel 0

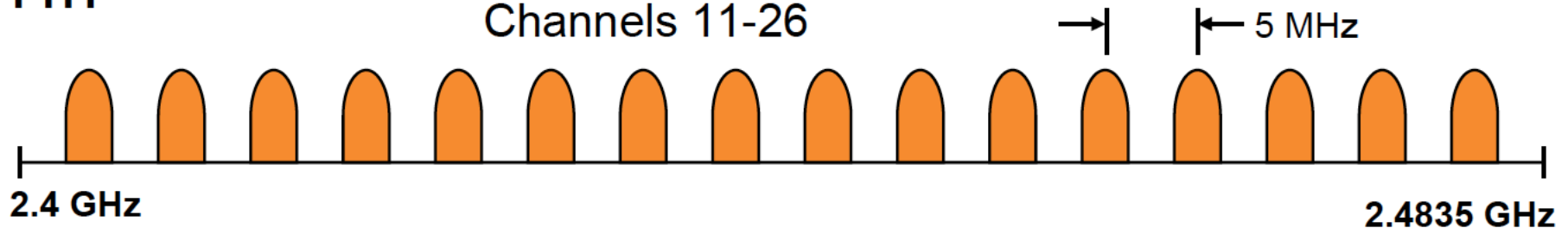


Channels 1-10



**2.4 GHz
PHY**

Channels 11-26

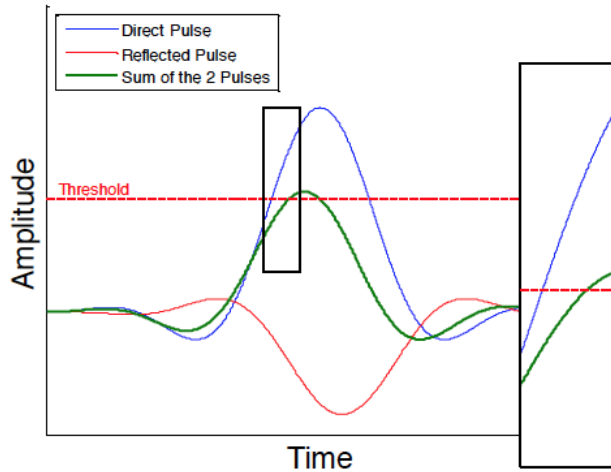


- Ultra Wide Band/UWB eszközök alkalmazási területei:
 - Rövid távú (~10 m) kommunikáció (számítógép, TV, mobil)
 - Pozíció követés: rövid távolságon belül az objektumok helyzetének nagyon pontos meghatározása (30 m-en belül)
 - Rövid távú radarok (pl. autókban)
- Rádiós technológiák széles körének alkalmazása (radar jelek, CDMA, OFDM stb.)
 - Kezdetben katonai alkalmazás
 - Manapság már a civil lakosság számára is olcsón hozzáférhető
- Jellemzők:
 - Működési frekvenciatartomány: 1 - 10,6 GHz
 - Nagy sávszélesség 500 kHz-től 5 GHz-ig
 - Alacsony teljesítmény
 - Lehetséges a nagyon sűrű elhelyezés

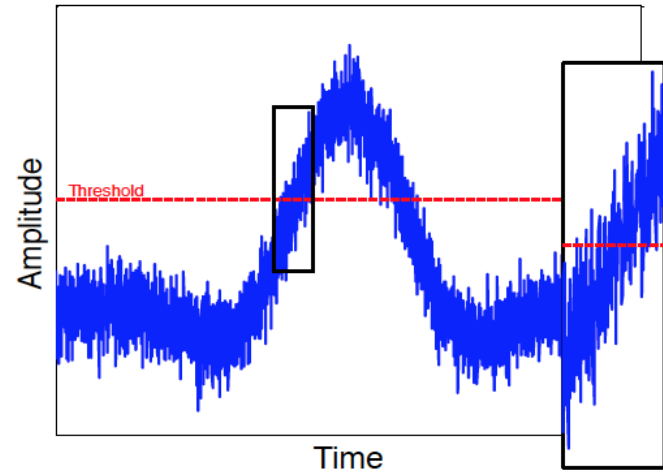
- Az UWB olyan rádiós technológia, mely
 - a sávközép frekvencia 20%-ánál nagyobb sáv szélességet használ
 - vagy a sáv szélesség nagyobb, mint 500 MHz
- Rövid impulzusok az információ átvitelére
- Az UWB által használt impulzusok nagyon keskenyek
 - a vevő nagy pontossággal szét tudja választani az egyes impulzusokat
 - a többutas terjedésből fakadó problémák kezelhetők
 - „időtartományban keskeny = frekvenciatartományban széles”
- Az UWB egyaránt alkalmas precíz helymeghatározásra és nagysebességű adatátvitelre
 - A rövid impulzus alkalmas futási idő mérésére

Keskenysávú és szélessávú jelek

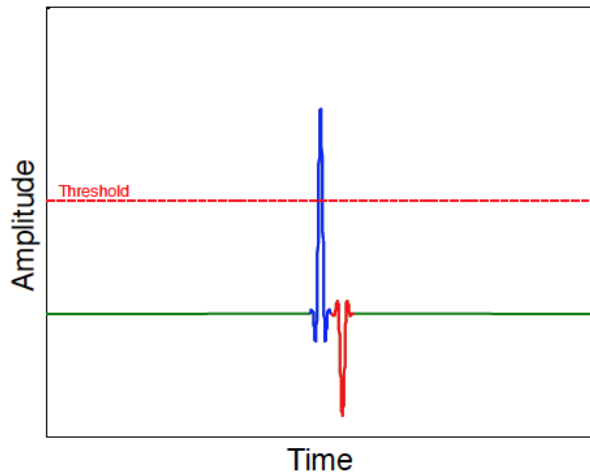
Narrowband with Reflections



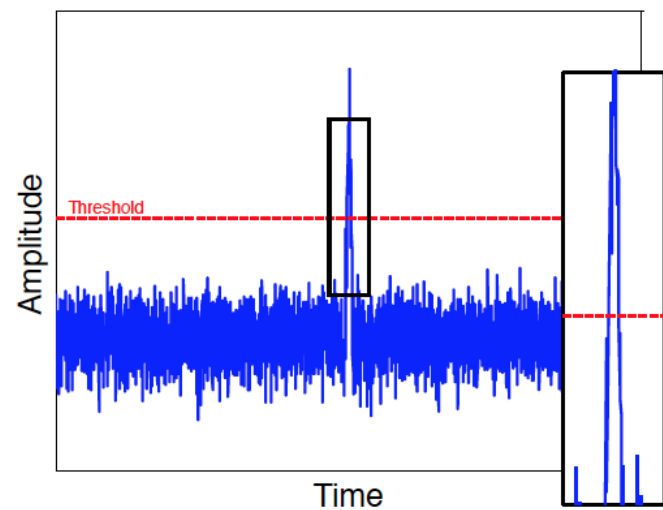
Narrowband with Noise



Ultra Wideband with Reflections



Ultra Wideband with Noise



- Shannon csatorna-kapacitás egyenlete

$$C = B \cdot \log \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

- A sáv szélesség növelésével az adatátviteli-sebesség lineárisan, míg a jel-zaj viszony növelésével csak logaritmikusan növekszik
- „jobban megéri” a sáv szélességet növelni, mint az SNR-t

UWB RANGING

Ranging alapok

- Ranging (távolság) becslés a cél és a forrás node-ok között
 - Time-of-Arrival (TOA) alapján
 - Forrás node pozíciója ismert
 - Cél node pozíciója egy d sugarú körön helyezkedik el
$$d = c \times t$$
 - Forrás és cél node szinkronizációja szükséges
 - TOA a forrás által küldött jel beérkezési idejét reprezentálja
 - Time of Flight (TOF)
- 802.15.4a az első szabvány, mely a vezeték nélküli ranging számára speciális PHY képességeket szolgáltat
 - Két különböző jel formátum
 - Impulse Radio Ultra Wide-Band (IR-UWB)
 - Nagyon pontos pozícióbecslésre használható
 - Chirp Spread Spectrum (CSS)
 - Inkább adattovábbítási célokra alkalmas

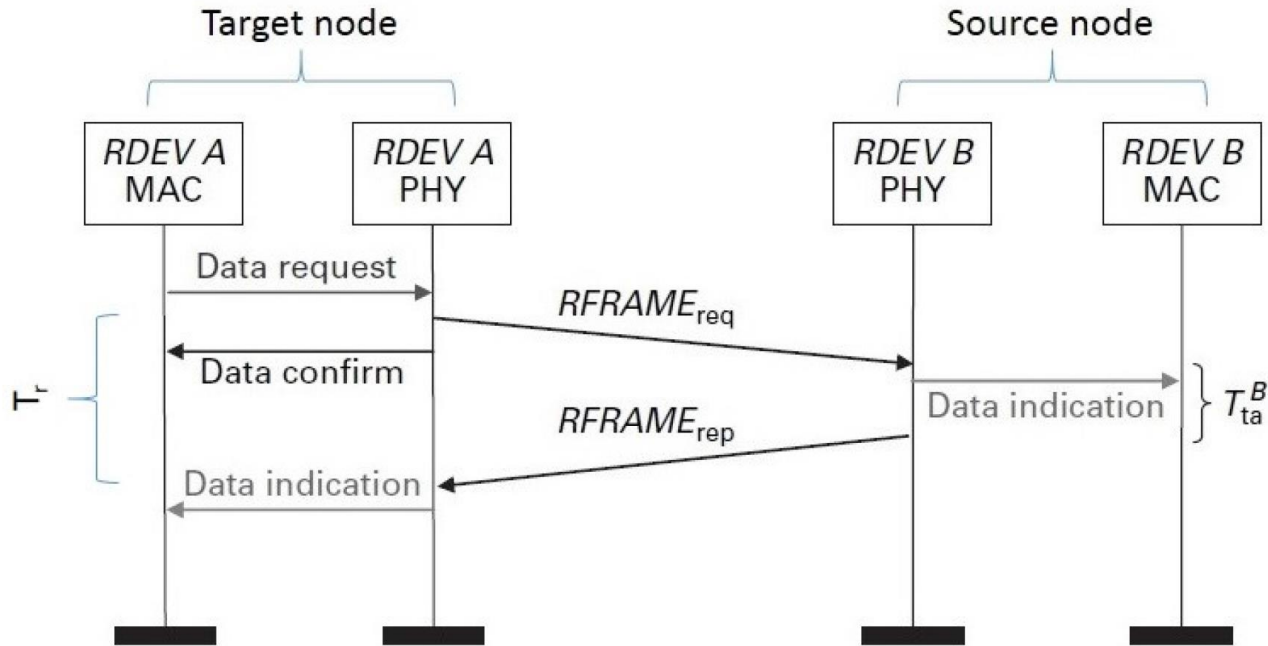
802.15.4a ranging protokollok

- Három különböző protokollt definiáltak
 - Two Way Time of Arrival (TW-TOA)
 - Alap ranging protokoll
 - Kötelező implementáció
 - Symmetric Double Sided (SDS) TW-TOA
 - Még pontosabb pozicionálásra képes
 - opcionális
 - Private Ranging
 - Olyan rendszerek számára tervezték, ahol a pozíció információk szenzitív adatnak számítanak – titkosan kell kezelni ezeket

Two Way Time of Arrival (TW-TOA)

- Alap TOA
 - A cél node jelzi a forrás által küldött jel beérkezési idejét
 - A beérkezési idő alapján forrás node képes kiszámítani a TOF-ot
 - Elengedhetetlen a két node szinkronizációja
- TW-TOA
 - Szinkronizáció nem szükséges a működéséhez
 - Lépései:
 1. A cél node ranging kérést ($RFRAME_{req}$) küld a forrás node-nak és feljegyzi a küldés időpontját (T_1)
 2. A forrás node ranging válasz ($RFRAME_{rep}$) üzenettel felel a kérésre
 3. A cél node feljegyzi a válasz beérkezésének időpontját (T_2)
A cél node kiszámolja a körülfordulási időt (T_r):
$$T_r = T_2 - T_1$$
 - Ez alapján a TOF a két node között:
$$T_{TW} = T_r / 2$$
 - A két node közötti távolság pedig:
$$d = c \times T_{TW}$$

Alap TW-TOA

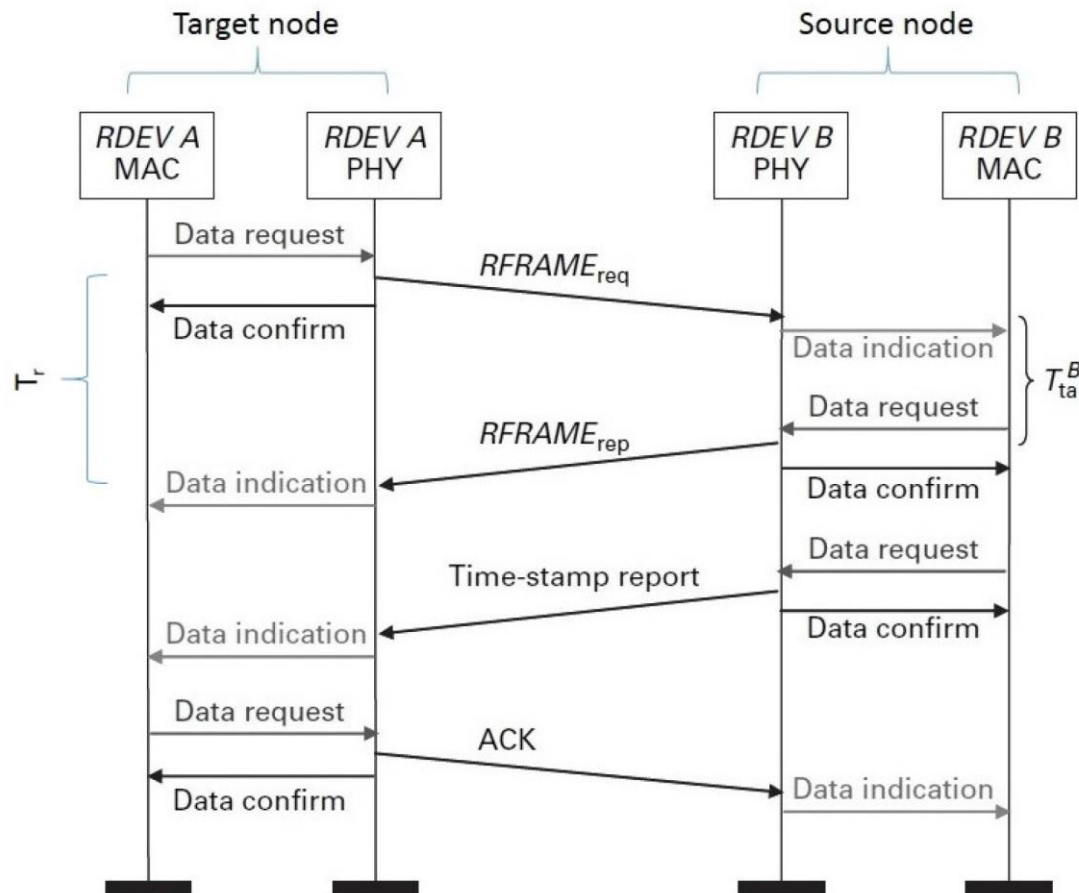


- 3 forrás node pozíciója és tőlük mért 3 távolság alapján a cél node pozíciója pontosan kiszámítható (idealizált esetben)
- A valóságban azonban a forrás node-nál van némi késleltetés az $RFRAME_{req}$ üzenet vétele és az $RFRAME_{rep}$ üzenet elküldése között (T_{ta}^B)
- T_{ta}^B a nanoszekundumos tartományban van, ami nagyságrendileg tíz centiméteres távolságbecslési hibát eredményez $\rightarrow T_{ta}^B$ nagyon pontos becslése szükséges a pontos pozicionáláshoz

Továbbfejlesztett TW-TOA

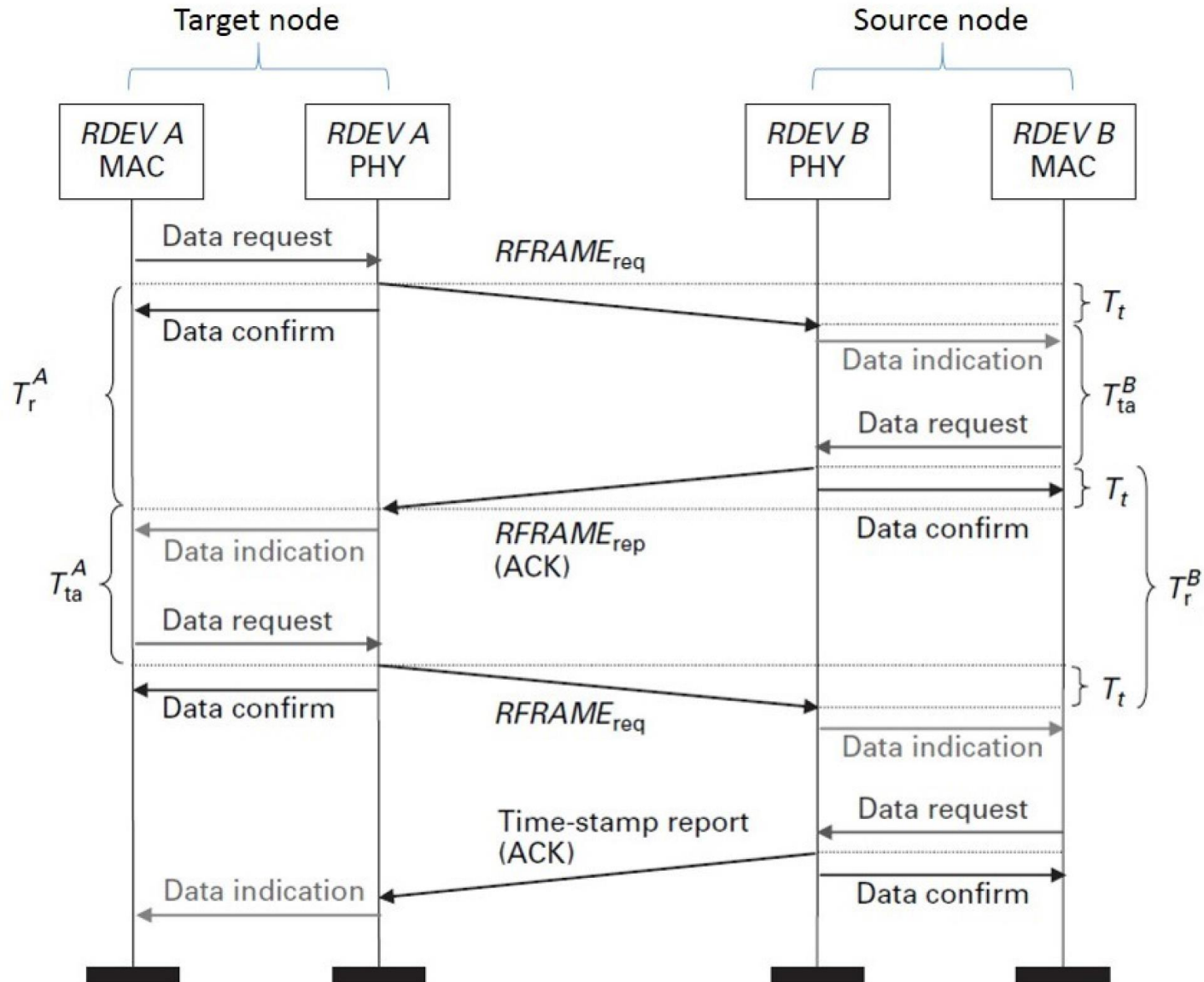
- 802.15.4a javítás
- A forrás node elindít egy számlálót, amikor az $RFRAME_{req}$ SFD mezőjének első szimbólumát detektálja
- Majd leállítja, amikor az $RFRAME_{rep}$ SFD mezőjének első szimbólumát elküldte
- A forrás node az $RFRAME_{rep}$ elküldését követően elküld egy időbélyeget is, mely tartalmazza a számláló kezdeti és leállítási időpontjait
- Végül a cél node visszaküld egy ACK üzenet a ranging zárásaként
- Így a TOF a következőképp számítható:

$$T_{TW} = \frac{T_r - T_{ta}^B}{2}$$



- A TW-TOA becslése során hibák keletkezhetnek:
 - az eszközökben működő órák eltolódása, amit a kristály oszcillátorok apró, a névleges frekvenciától való eltérése okoz
- SDS protokoll célja ezen offset hiba kiküszöbölése
- A cél node az első $RFRAME_{rep}$ üzenet vétele után küld egy második $RFRAME_{req}$ üzenetet is a forrásnak
- Mindkét node becsli a T_r és T_{ta} időket
- Végül, a forrás node elküld egy időbélyeget, mely tartalmazza az általa mért T_r és T_{ta} időket
- Majd a cél node a következő módon becsli a TOF értékét:

$$T_{SDS} = \frac{(T_r^A - T_{ta}^A) + (T_r^B - T_{ta}^B)}{4}$$



SDS TW-TOA jósága

- Az SDS TW-TOA protokoll jóságát a normál TW-TOA-val szemben a következő módon lehet kiszámítani
- Definiálunk egy frekvencia eltolást a forrás (e_A) és a cél (e_B) node esetén:

$$e_A = \frac{Rf_A - Nf_A}{Nf_A} \quad e_B = \frac{Rf_B - Nf_B}{Nf_B}$$

- Rfx a valós, Nfx pedig a névleges frekvencia

- Ezt figyelembe véve a TOF becslés a következő:

$$\hat{T}_{TW} = \frac{T_r^A (1 + e_A) - T_{ta}^B (1 + e_B)}{2}$$

$$\hat{T}_{SDS} = \frac{(T_r^A - T_{ta}^A)(1 + e_A) + (T_r^B - T_{ta}^B)(1 + e_B)}{4}$$

Frekvencia offszet hibák

- TW-TOA protokoll esetén:

	$e_A - e_B$			
T_{ta}^B	2ppm	20ppm	40ppm	80ppm
100 μ s	0,1 ns	1 ns	2 ns	4 ns
5 ms	5 ns	50 ns	100 ns	200 ns

- SDS protokoll esetén:

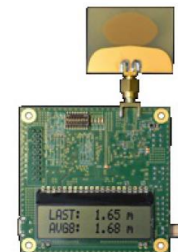
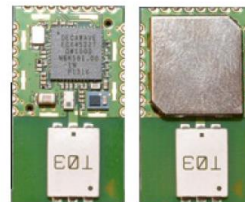
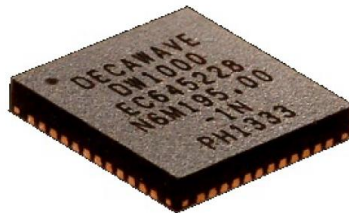
	$e_A - e_B$			
$T_{ta}^B - T_{ta}^A$	2ppm	20ppm	40ppm	80ppm
1 μ s	0,0005 ns	0,005 ns	0,01 ns	0,02 ns
10 μ s	0,005 ns	0,05 ns	0,1 ns	0,2 ns
100 μ s	0,05 ns	0,5 ns	1 ns	2 ns

Private ranging protokoll

- Bizonyos esetekben fontos lehet a pozíció információk titkosítása
 - Egy támadó lehallgathatja az üzenetváltásokat és meghatározhatja a pozíciót
 - Hamis adatokkal megzavarhatja a ranging folyamatot
- Az IEEE802.15.4a szabvány több lehetőséget is biztosít:
 - Az időbélyegek titkosítása kiküldés előtt
 - A timestamp üzenet nélkül egy támadó nem képes meghatározni a többi üzenet alapján a távolságot a két node között
 - Dinamikus preamble választás (DPS)
 - A rangingben részt vevő node-ok egy hosszabb preamble-t használnak (127 szimbólum)
 - A forrás és a cél node megállapodnak a preamble szekvenciában
 - 8 különféle lehetőség
 - Titkosítva továbbítják az üzeneteket
 - Minden ranging folyamat előtt meg kell változtatni a preamble szekvenciát

DECAWave DW1000 ESZKÖZ

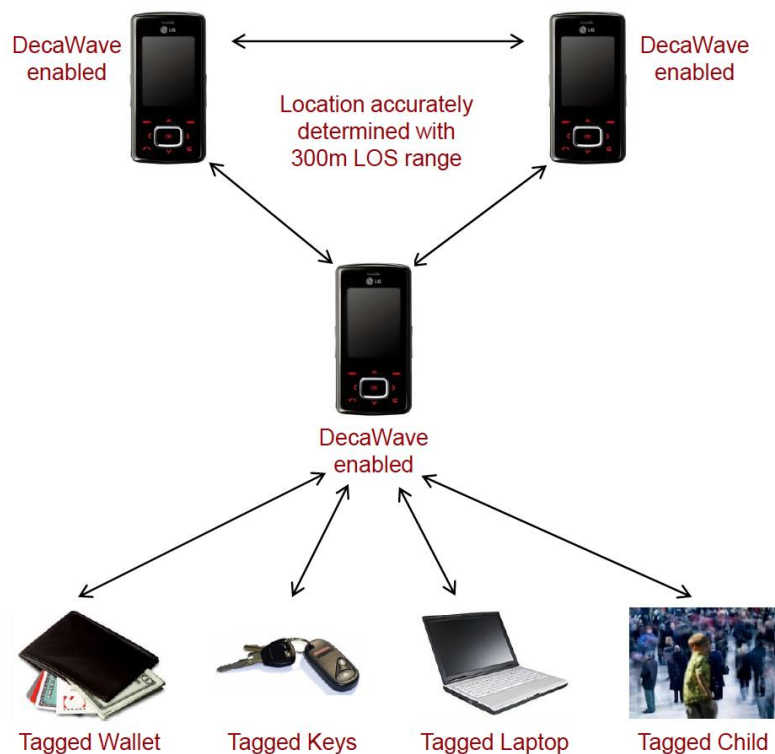
- Pozíció alapú azonosítás
- Nagyon kicsi energiafogyasztás
- 10 cm-es pontossággal képes tárgyak helyzetét meghatározni
- Hatótáv: LOS ~300 m, NLOS ~35 m
 - WLAN AP-kba beépíthető
- 11 ezer objektum azonosítása 20 méteres sugárban
- Egyirányú és kétirányú ranging támogatása
 - nem szükséges infrastruktúra



Hatótávolság és pontosság

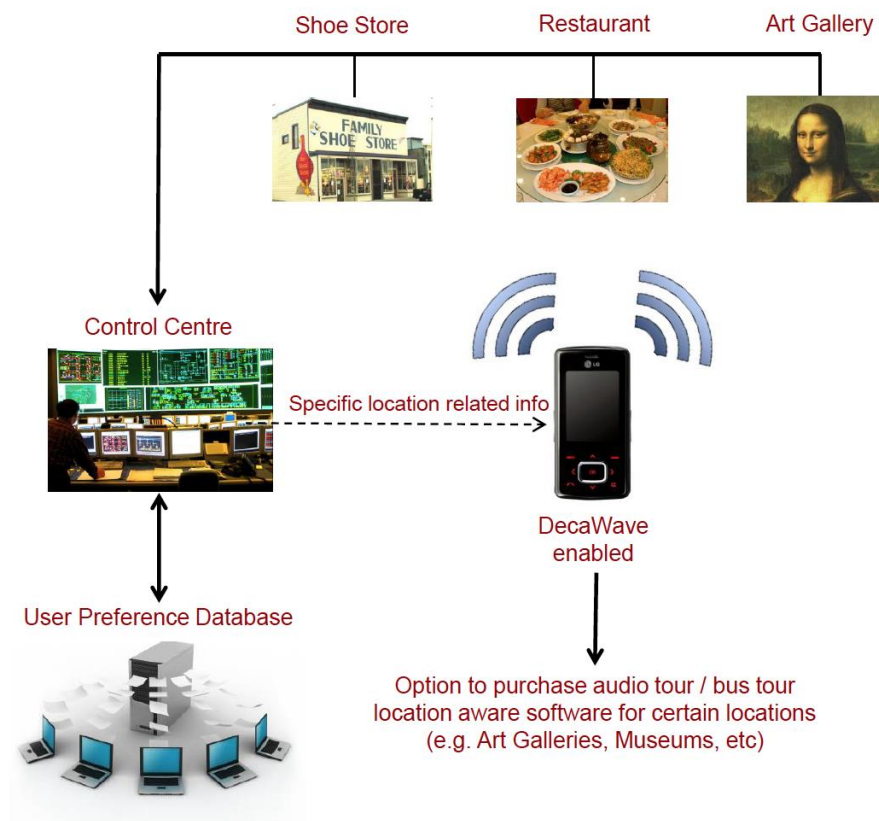
Rate	DW1000 IC		
	Channel 2 (4 GHz, 500 MHz)	Channel 5 (6,5 GHz, 500MHz)	Reported Range Variation (+/-3 σ)
Long Range Configuration, 1pm XTAL Offset, 10% PER			
110 kb/s	249 m	153 m	10 cm
Default configuration, 10ppm XTAL Offset, 1% PER [Sensitivity, WSN Data]			
110 kb/s	144 m	89 m	10 cm
850 kb/s	135 m	83 m	10 cm
6800 kb/s	102 m	63 m	10 cm
Default configuration, 10ppm XTAL Offset, 10% PER [RTLS]			
110 kb/s	226 m	136 m	10 cm
850 kb/s	152 m	94 m	10 cm
6800 kb/s	115 m	71 m	10 cm

Felhasználási területek



- eltévedt személyek megtalálása
- emberek, tárgyak biztosítása

- pontos helyzetinformációk szolgáltatása helyalapú szolgáltatásokhoz üzletben lévő detektor eszköz segítségével



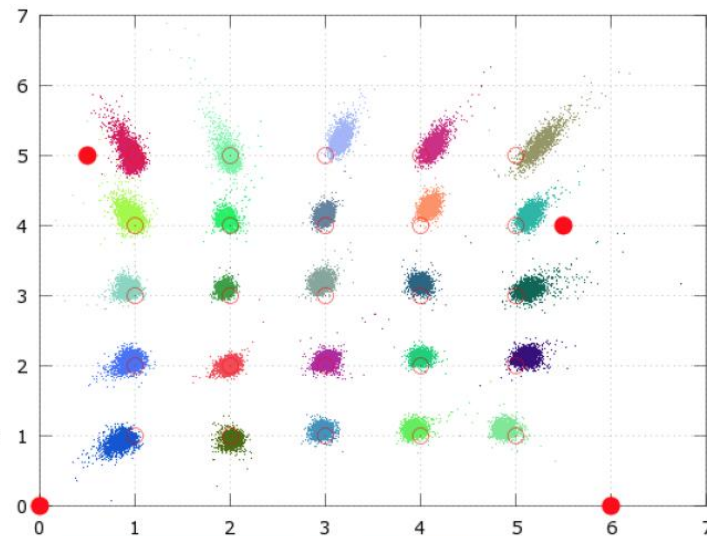
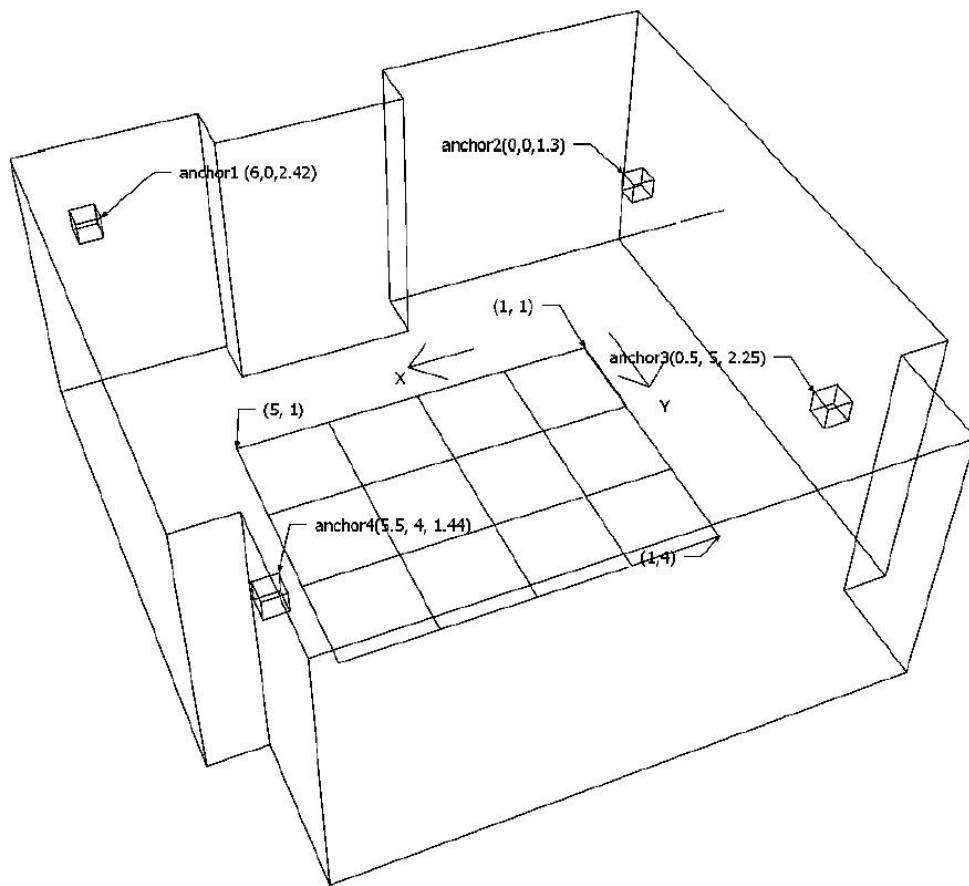
DECAWAVE MÉRÉS

TDOA alapú pozicionálás

- A mérés során 4 horgony csomópontot és 1, 2 taget használtak
 - Tag-ek periodikus üzeneteket küldenek
 - A horgonyok veszik a tagek jeleit, kiszámítják a beérkezési idő különbséget a pozicionáláshoz
- A 4 horgony csomópont vezeték nélküli óra szinkronizációt használ az óra eltolási hibák kiküszöbölése miatt
 - Egy Mester horgony csomópont küldi a referencia időt a többi horgonynak



Demó mérési elrendezés

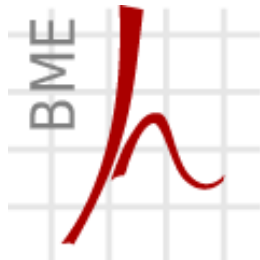


	90%-os valószínűséggel	95%-os valószínűséggel 2σ	99,7%-os valószínűséggel 3σ
Kalibráció nélkül	17-45 cm	20-49 cm	29-60 cm
Kalibrációval	13-26 cm	15-31 cm	22-47 cm

- Annak az esélye, hogy egy tag-et pontosan meghatározzon a rendszer 20 cm-es sugárban kalibrációval: 80-99,3 %

Kérdések?

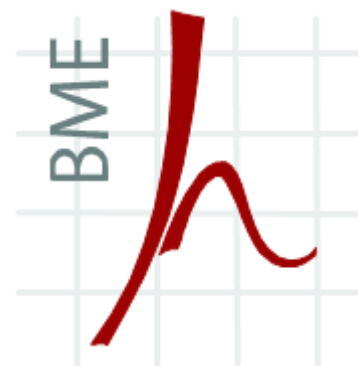
KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!



Hálózati Rendszerek és
Szolgáltatások Tanszék

Gódor Győző
tudományos segédmunkatárs
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu





HETEROGÉN MOBILHÁLÓZATOK, MOBIL BACKHAUL ÉS GERINC HÁLÓZAT GYAKORLAT

*Mobil és vezeték nélküli hálózatok
(BMEVIHIMA07)*

Jakó Zoltán

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

jakoz@hit.bme.hu

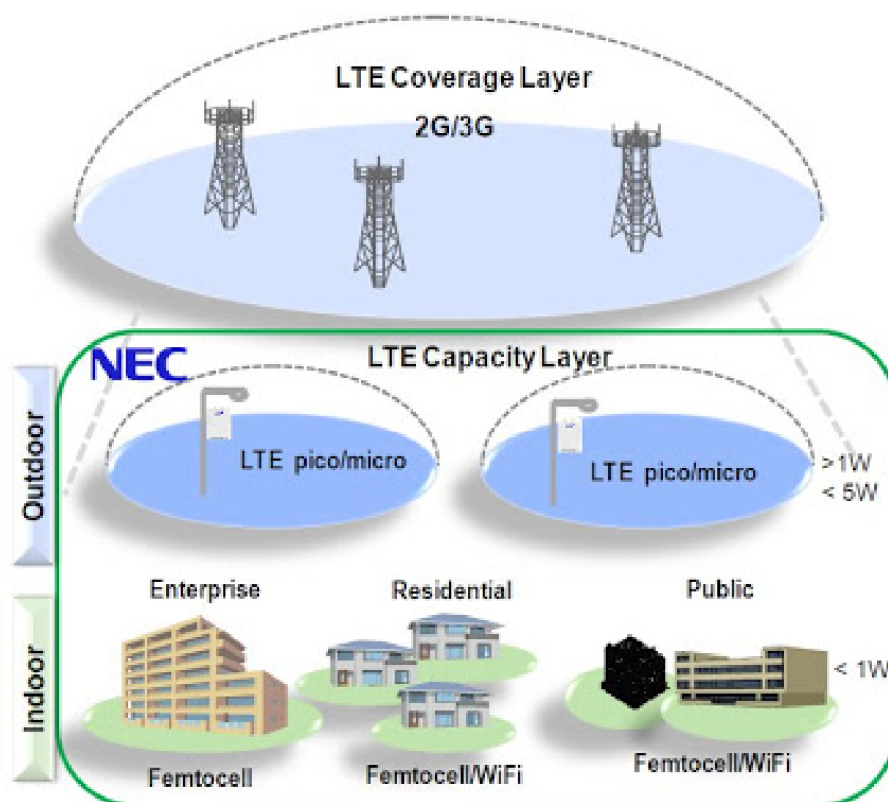
2015. április 3.,
Budapest

- LTE HetNet hálózatok
 - Jelentősége, előnyök, problémák,
 - Field tesztek a HetNet világából

- Számolások:
 - Interferencia, SIR számítások
 - Áteresztőképesség meghatározása
 - (ha marad rá idő: Backhaul méretezése small cellákra)

LTE- A HetNet

LTE Small Cell & Het-Net



Heterogeneous network

Coverage Layer (lower frequency) + Capacity Layer (higher frequency and small cells)

Small Cell benefits include:

- ✓ Big capacity
- ✓ High performance
- ✓ Easier operation
- ✓ Faster deployment
- ✓ Low TCO
- ✓ New services
- ✓ Additional revenue

Challenges include:

- ✓ Interference
- ✓ Resource management
- ✓ Multi vendor SON & management
- ✓ Backhaul
- ✓ Mind Set Change!

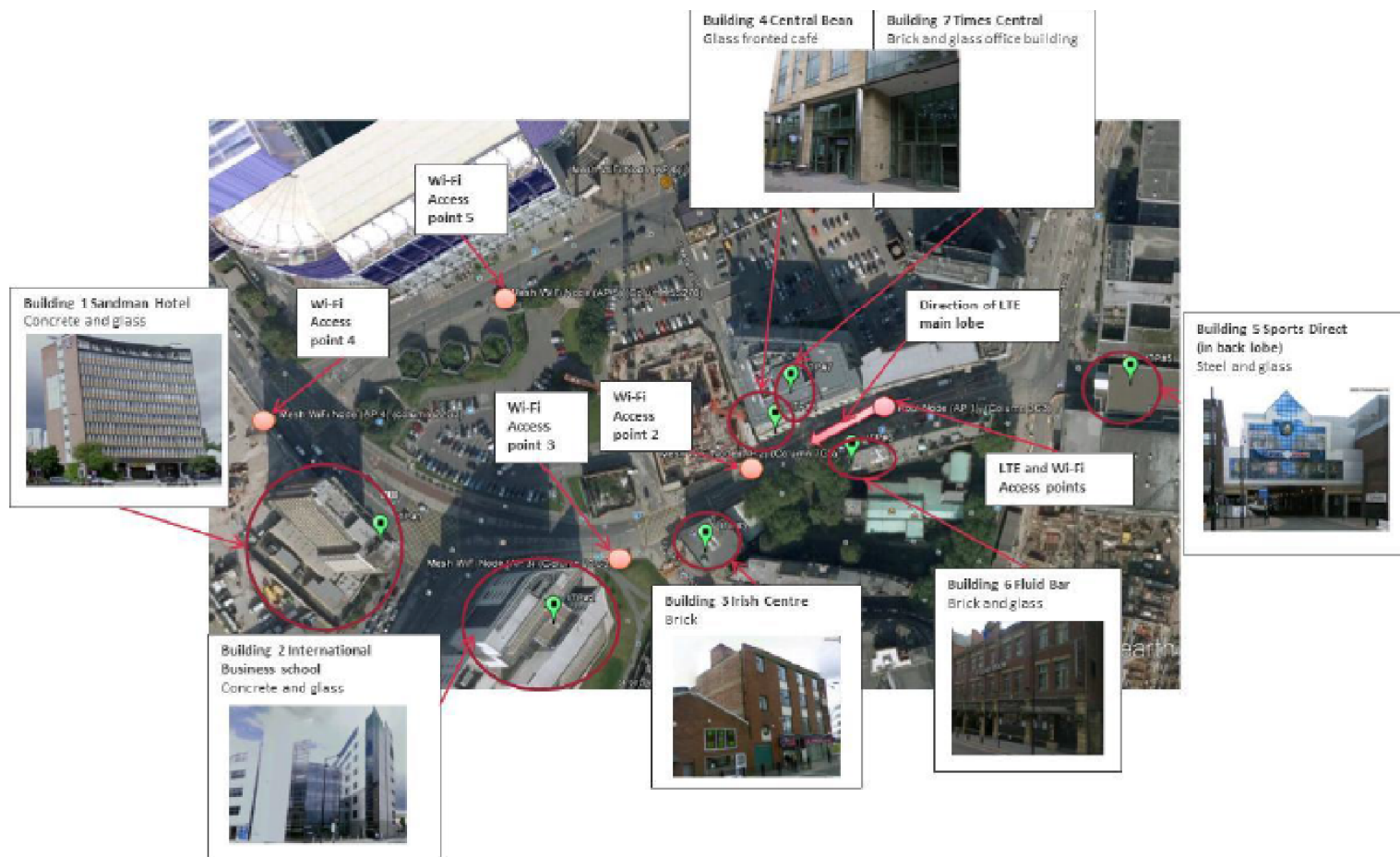
The small cell solutions will be key element of a sustainable mobile broadband business

(LTE-A) HetNet jelentősége

- Két réteg:
 - makró réteg (kültér),
 - Small cellák alkotta réteg (kül- és beltér).
- Előnyök:
 - Jobb lefedettség,
 - Korábban rossz lefedettséggel rendelkező helyeken javul a szolgáltatás minősége,
 - Nagyobb kapacitás,
 - Energia hatékonyság, makro eNB tehermentesítése
- Hátrányok:
 - Interferencia, időzítés
 - Backhaul miatt kapacitás QoS biztosítás kérdései




LTE Small cell teszt 1 - Virgin

- Virgin media field teszt: Newcastle és Briston-ban 2012
 - Newcastle:



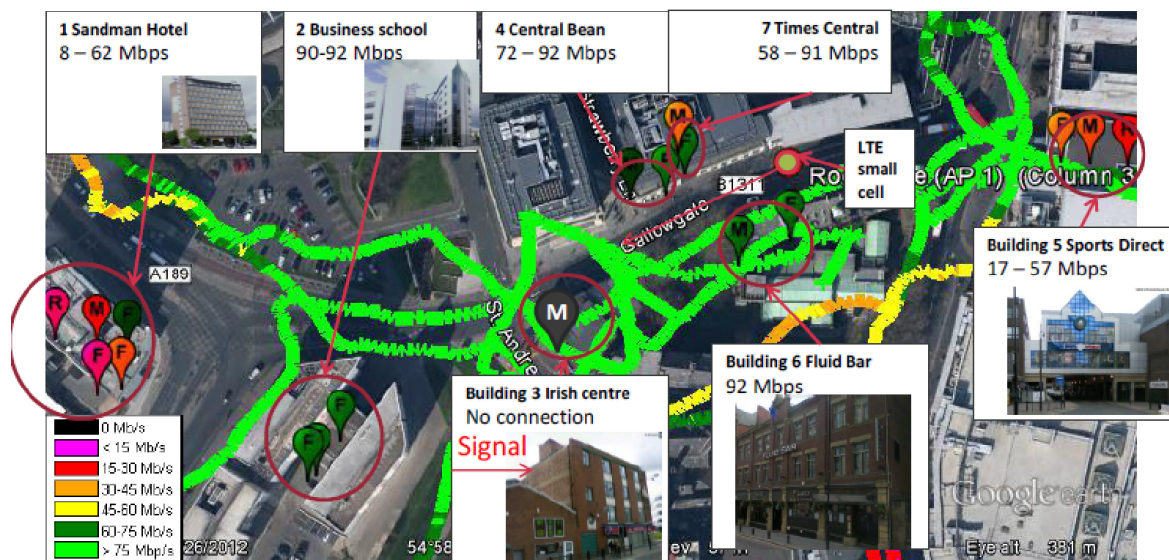
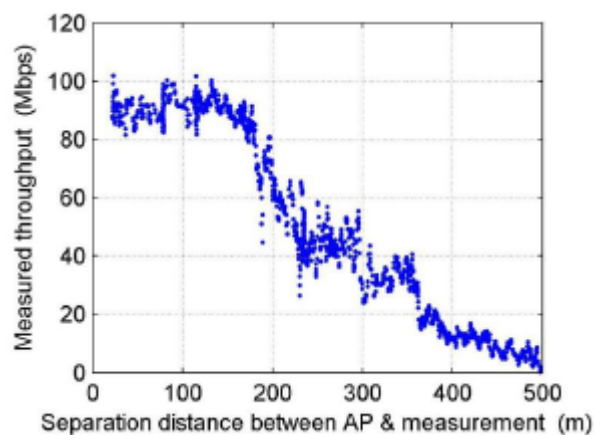
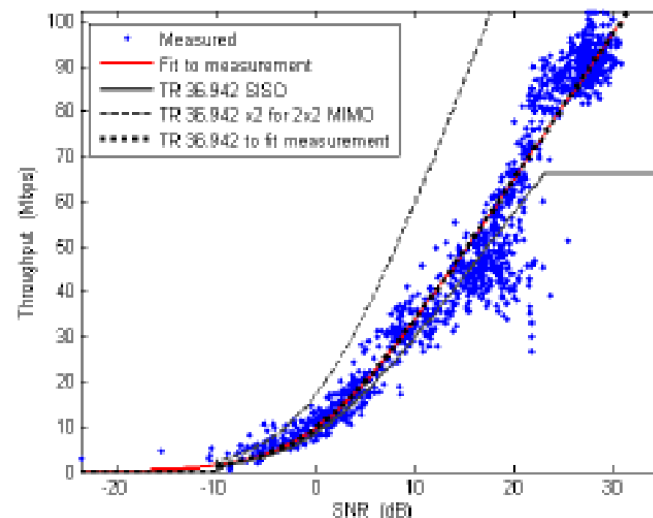
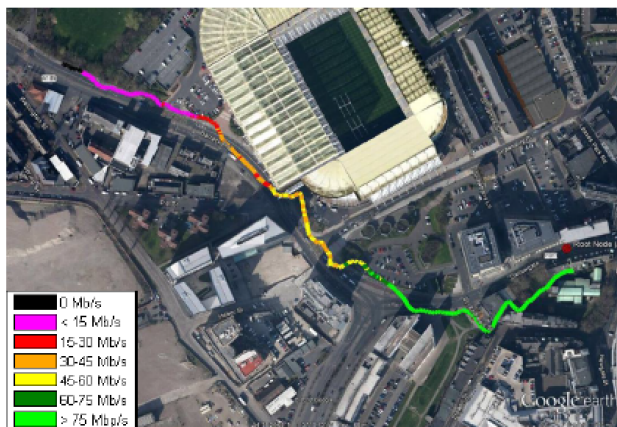
LTE Small cell teszt 2 - Virgin

- Wifi és LTE small cellákkal

	Alcatel Lucent Light Radio	Airspan Airsynergy	Ruckus Wireless ZoneFlex-7762
			
Radio access technology	LTE	LTE	Wi-Fi 802.11a/b/g/n
Frequency band	2.6 GHz	2.6 GHz	2.4 GHz and 5 GHz
Operational bandwidth	2x20 MHz FDD	2x10 MHz FDD	20 MHz or 40 MHz
Transmit power	27 dBm per antenna	30 dBm per antenna	21 dBm
Antenna gain	7 dBi 60° beamwidth	6 dBi Omni pattern used in trial but planned to be updated to 270°.	7 dBi 360° coverage
EIRP	34 dBm per antenna	36 dBm per antenna	28 dBm
MIMO support	2x2 spatial multiplexing (transmission mode 4)	SISO for trial (2x2 MIMO planned)	3x3 radio chains 2 spatial streams

LTE Small cell teszt 3 – Virgin Throughput (FTP teszt)

■ Newcastle:

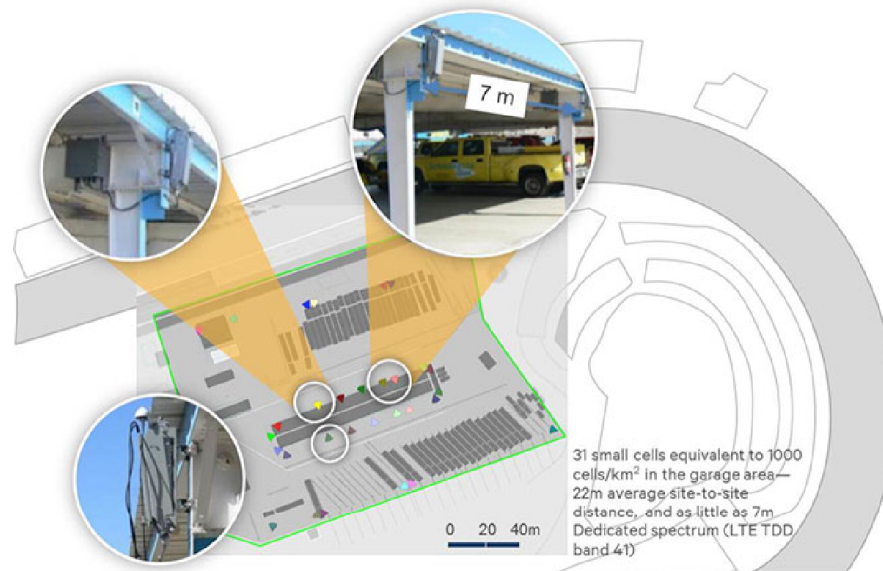


- Phoenix International Raceway (PIR), Arizona; USA – Qualcomm (**2014**)
 - 31 small cella, „hiper sűrű telepítés” isd kb. 7 m
 - (a telepítés intenzitása 1000 cella/km²)
 - Small cellák LTE-TDD 2.6 GHz, Band 41 TDD
 - „Cell-On-Wheels” megoldáshoz képest kb.40x-es kapacitás növekedést értek el.



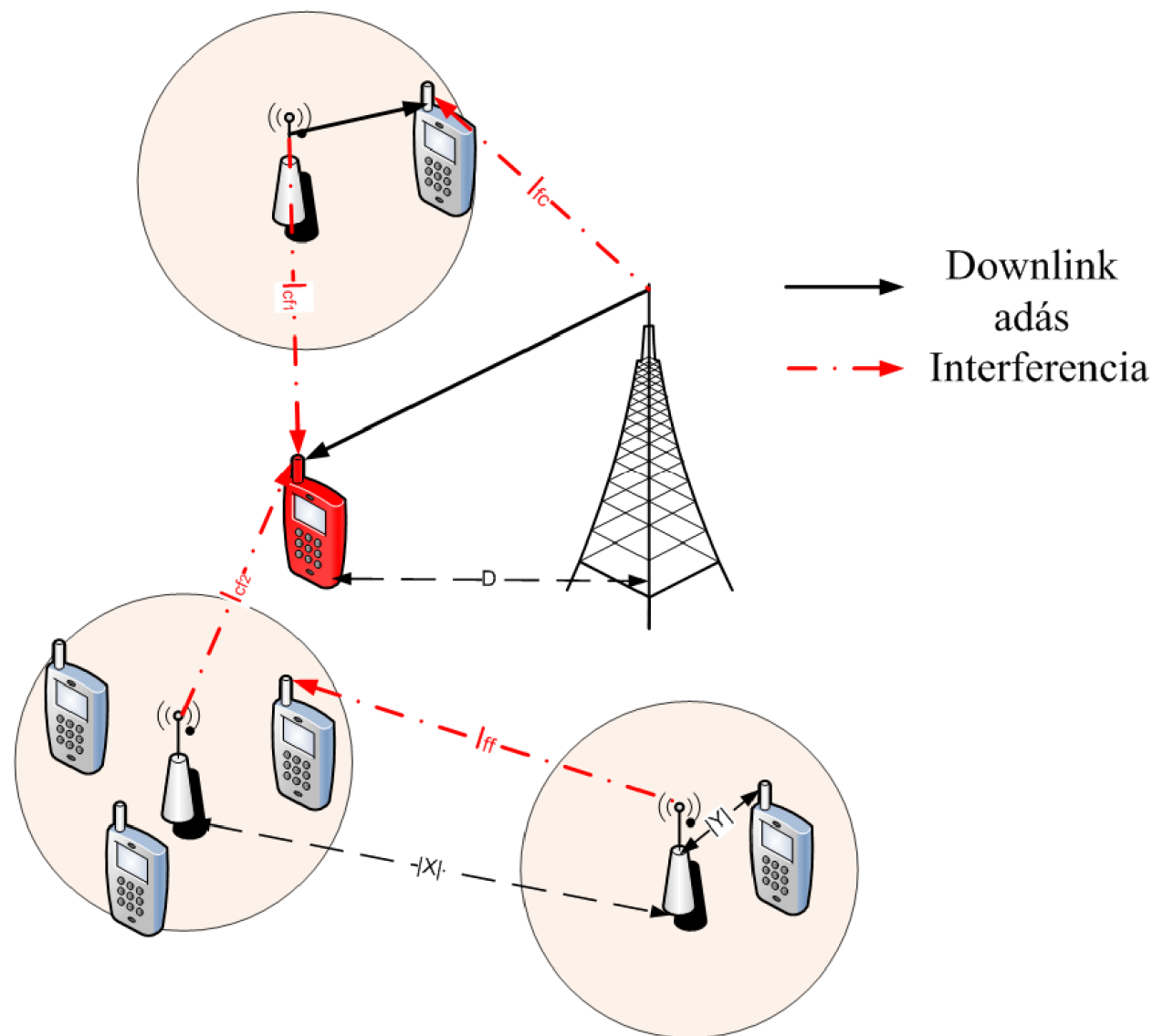
Cell-On-Wheels

LTE Small cell teszt környezet és eredmények



	Traditional Deployment (COW)	Small Cell Network
Coverage Area [km ²]	0.11	0.028
Spectrum [Mhz]	5 + 5	20
Technology	LTE-FDD	LTE-TDD
Configuration	Duplex	1 (60% DL, 40% UL)
Average Site-to-site distance [m]	519	22
Equivalent Cell density [cells/km ²]	9	1107
Area spectral efficiency (DL) [bps/Hz/km ²]	15.9	666

DL Interferenciák csoportosítása

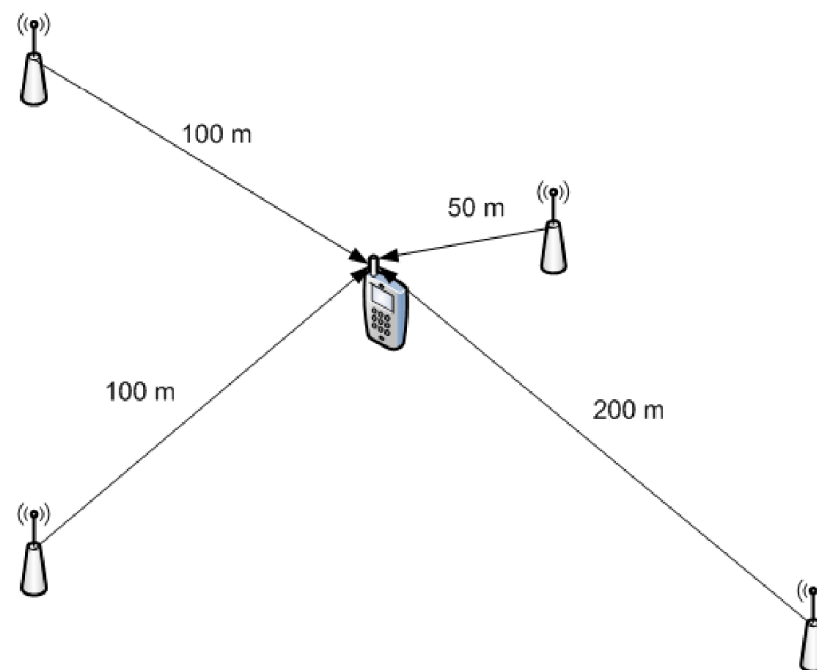


1. Feladat – LTE- A femtocella

▪ 1. a., Determinisztikus femtocella telepítés vizsgálata

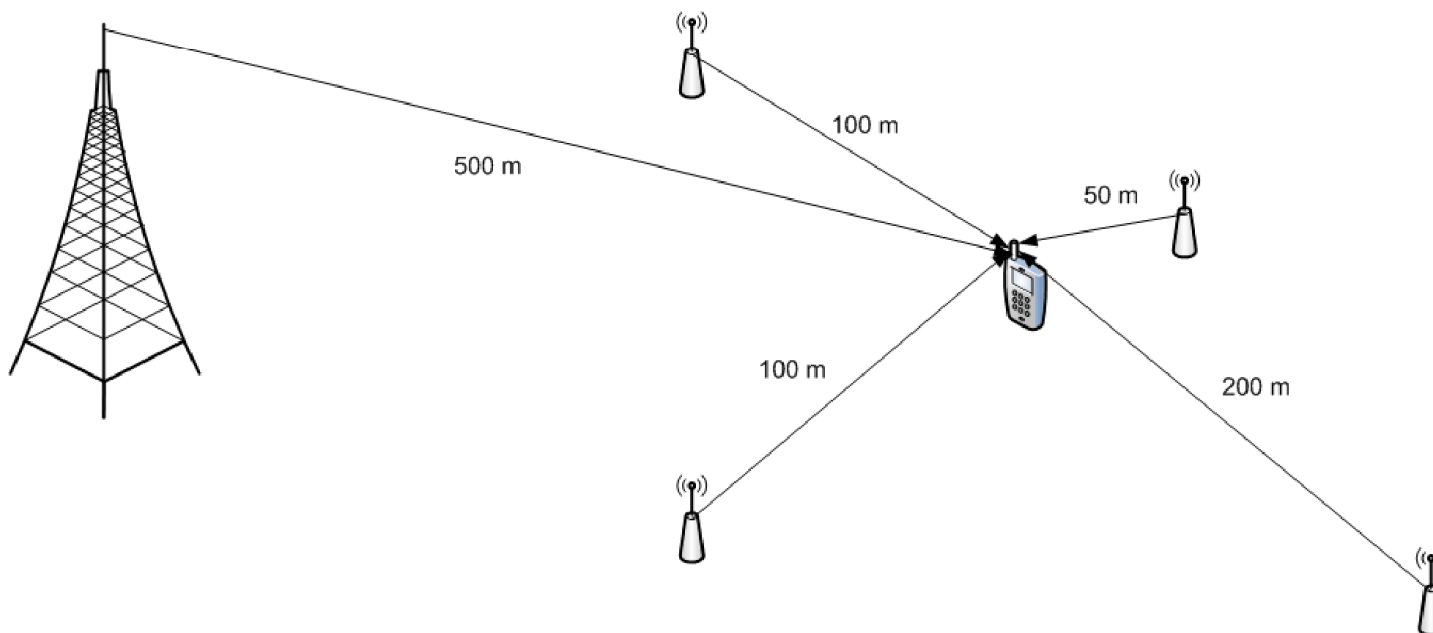
A small cellák adási teljesítménye $P_s = 100$ mW, a kültéri jelterjedési exponens értéke -4. Az origóban tartózkodik a (makrocellához kapcsolódó) felhasználó (UE). Számolja ki a small cellák által az MUE vevőjében az eredő interferenciát.

(megjegyzés: a Small cellák és az MeNB ugyanazon a frekvenciasávon üzemelnek és minden PRB-t használnak).



1. Feladat – LTE- A femtocella

- 1. b., Jel-zaj viszony meghatározása
 - A Makró eNB távolsága az **origóban** levő felhasználótól legyen 500 m. Az tudjuk, hogy a makró eNB adási teljesítménye 20W. Mekkora lesz a jel-zaj viszony értéke dB-ben?



1. Feladat – femtocella folyt.

- Mekkora az LTE link áteresztőképessége (throughput)?

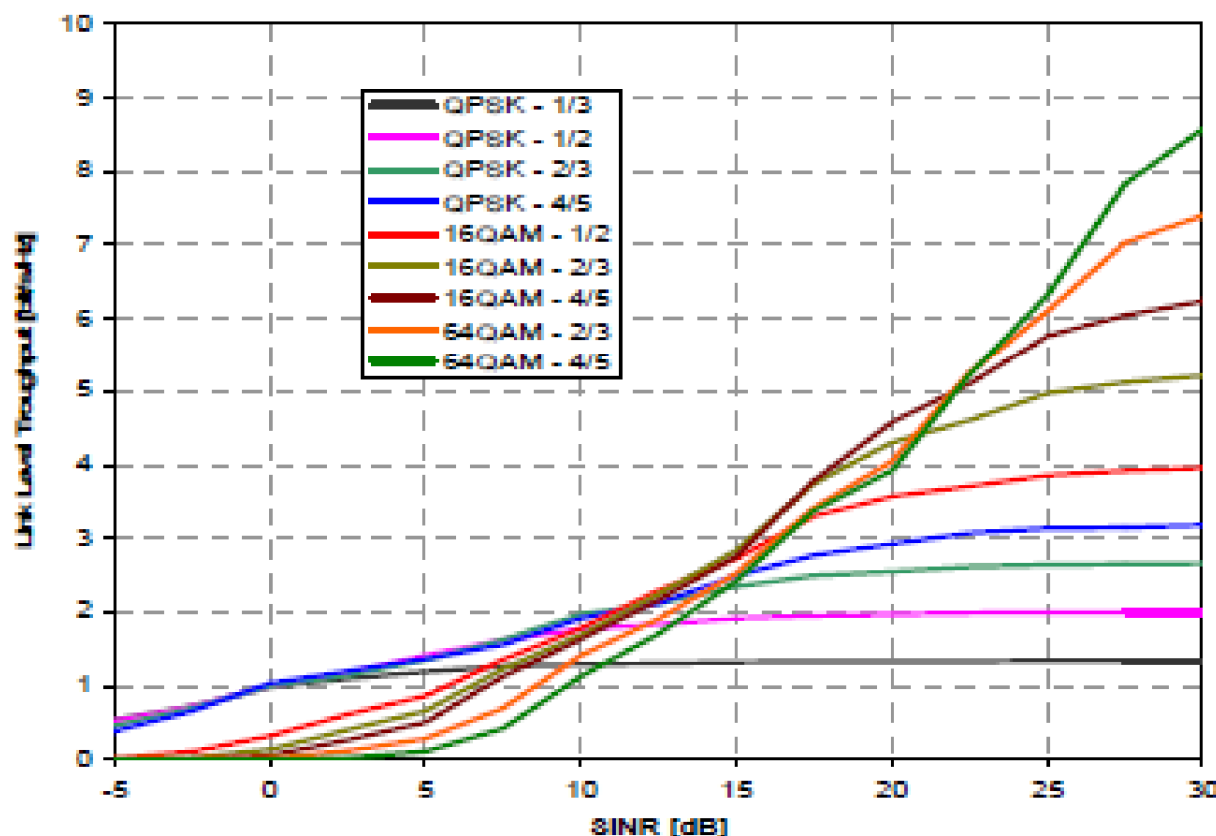
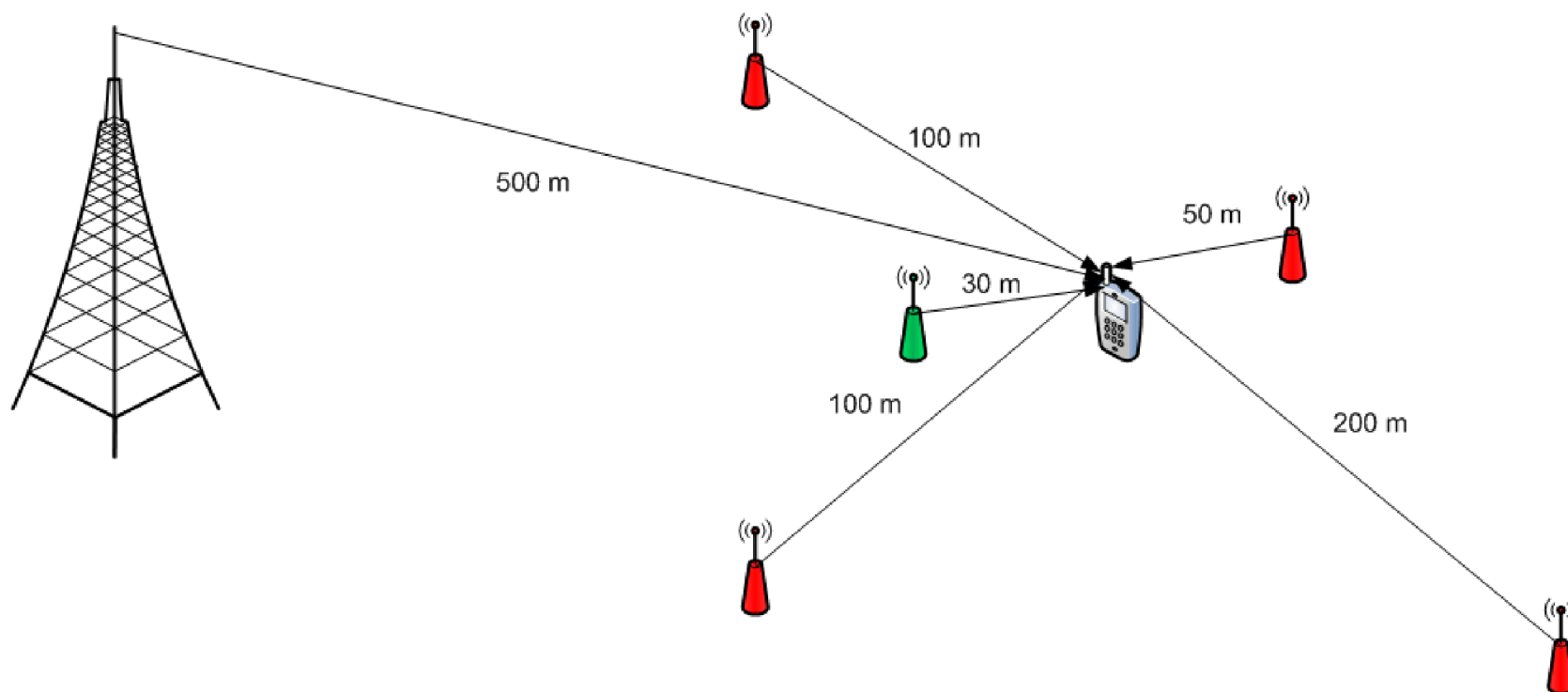


Fig. 3 E-UTRA DL 2x2 MIMO MMSE link level throughput with H-ARQ in multipath EPA channel 3km/h and medium antenna correlation

2. Feladat – open access femtocella

- 2. a., UE egy femtocellához (zöld) kapcsolódik?
 - Mekkora az SIR értéke?
 - Mekkora az LTE link throughput-ja?



3. Feladat – PPP femtocella modell

▪ 3. a., PPP alapú femtocella modellezés

- Adja meg az $R = 1000\text{m} \times 1000\text{m}$ -es négyzet alapú véges területen található small cellák várható értékét, ha $\lambda = 10^{-4}$!
- Mi annak a valószínűsége, hogy pontosan 110 db small cella található a területen!
- Mi annak a valószínűsége, hogy az origóban levő UE-től $R=50$ m sugarú körben egyetlen small cella se található $\lambda = 10^{-4}, 10^{-6}$ és 10^{-2} mellett?

3. Feladat – PPP femtocella modell

▪ 3. b., PPP alapú femtocella modellezés

- Adott a femtocellás interferencia eloszlása:
- $F(x) = \text{erfc}(K_n / \sqrt{x})$, ahol $K_n = \pi^{3/2} \lambda \sqrt{P_f}$
- Határozza meg a SIR eloszlást belőle,
- És számolja ki a makrócellás felhasználó lefedettség valószínűségét, ha a makro eNB távolsága a felhasználótól 100 m és a küszöbérték $T = 10\text{dB}$!

Bónusz: Small cell Backhaul

- **1. Backhaul kapacitásának tervezése:**
- Az egyik mobil operátor a 11. kerületben lévő infóparkba small cellákat telepített (lámpaoszlopokra, irodákba stb.). A környékbeli small cellás forgalmat egy koncentrátor gyűjti össze amit a BME I épületbe telepítettek. Az operátor tudni szeretné mekkora kapacitású link kell a backhaulon, hogy elvigye a small cellák forgalmát.
- *Az alábbi adatokat kaptuk:*
 - A small cellák száma 200 db és csúcsidőben 9-15 Mbit/s közti egyenletes eloszlású forgalmat generálnak.
- Mekkora kapacitású linket kell biztosítani, ha azt szeretnék, hogy annak a valószínűsége, hogy a nem tudja elvinni a small cellás forgalmat legfeljebb 10^{-6} lehet?

1 Determinisztikus Small cella telepítés vizsgálata

Példa 1.1. A small cellák adási teljesítménye $P^s = 100 \text{ mW}$, a kültéri jelterjedési exponens értéke pedig ($\alpha = -4$). Az origóban tartózkodik a (makrocellához kapcsolódó) felhasználó (UE). Számolja ki a small cellák által az Makró UE vevőjében az eredő interferenciát.

$$I = \sum_{i=1}^4 P^s ||z_i||^{-\alpha} = 100 \cdot 10^{-3} (100^{-4} + 100^{-4} + 50^{-4} + 200^{-4}) = 1,8 \cdot 10^{-8} \text{W}. \quad (1)$$

Példa 1.2. A Makró eNB távolsága az origóban levő felhasználótól legyen $z = 500 \text{ m}$. Az tudjuk, hogy a makró eNB adási teljesítménye (P^m) 20 W . Mekkora lesz a jel-zaj viszony értéke dB-ben?

$$\text{SIR} = \frac{P_{\text{hasznos}}}{P_{\text{zaj}}} = \frac{P^m z^{-\alpha}}{I} = \frac{20 \cdot 500^{-4} [\text{W}]}{1,8 \cdot 10^{-8} [\text{W}]} = 0,01772 \quad (2)$$

$$\text{SIR}[\text{dB}] = 10 \cdot \log_{10}(0,01772) = -17,5 \text{dB} \quad (3)$$

Ha $z = 50 \text{m}$:

$$\text{SIR} = \frac{P_{\text{hasznos}}}{P_{\text{zaj}}} = \frac{P^m z^{-\alpha}}{I} = \frac{20 \cdot 50^{-4} [\text{W}]}{1,8 \cdot 10^{-8} [\text{W}]} = 177,16 \quad (4)$$

$$\text{SIR}[\text{dB}] = 10 \cdot \log_{10}(177,16) = +22,5 \text{dB} \quad (5)$$

Példa 1.3. Mekkora az LTE link áteresztőképessége (throughput)?

Leolvasva az ábráról a $-17,5 \text{ dB}$ SIR értékhez 0 spektrális hatékonyság tartozik. A $22,5 \text{ dB}$ -es SIR-hez pedig kb. 5 bit/s/Hz .
20 MHz-es sáv szélességet feltételezve:

$$20 \cdot 10^6 [\text{Hz}] \cdot 5 [\text{bit/s/Hz}] = 100 \text{Mbit/s}$$

Példa 1.4. Open access femtocella esetén: Mekkora az SIR értéke? Mekkora az LTE link throughput-ja?

$$I_1 = \sum_{i=1}^4 P^s \|z_i\|^{-\alpha} + P^m z_m^{-\alpha} = 100 \cdot 10^{-3} (100^{-4} + 100^{-4} + 50^{-4} + 200^{-4}) + 20 \cdot 500^{-4} = 1,838 \cdot 10^{-8} \text{W}. \quad (6)$$

$$\text{SIR}_{\text{SC}} = \frac{P^s z^{-\alpha}}{I_1} = \frac{100 \cdot 10^{-3} \cdot 30^{-4} [\text{W}]}{1,838 \cdot 10^{-8} [\text{W}]} = 6,71$$

$$\text{SIR}_{\text{SC}} [\text{dB}] = 10 \cdot \log_{10}(6,71) = 8,27 \text{dB} \quad (7)$$

Leolvasva az ábráról a 8,27 dB SIR értékhez kb. 1,8 spektrális hatékonyság tartozik. Vagyis a link throughput-ja:

$$20 \cdot 10^6 [\text{Hz}] \cdot 1,8 [\text{bit/s/Hz}] \approx 36 \text{Mbit/s}$$

2 Small cellák vizsgálata Poisson pontfolyamattal

Példa 2.1. Adja meg az $\mathcal{R} = 1000 \text{ m} \times 1000 \text{ m}$ -es négyzet alapú véges területen található small cellák várható értékét, ha $\lambda = 10^{-4}$!

$$N_s = \lambda \cdot \mathcal{R} = 10^{-4} \cdot 10^6 = 100. \quad (8)$$

Példa 2.2. Mi annak a valószínűsége, hogy pontosan 110 db small cella található a területen?

$$\mathbb{P}\{x = 110\} = \frac{(N_s)^k}{k!} \exp(-N_s) = \frac{100^{110}}{110!} \exp(-100) \approx 0,0234. \quad (9)$$

Példa 2.3. Mi annak a valószínűsége, hogy az origóban levő UE-től $R = 50 \text{ m}$ sugarú körben egyetlen small cella se található $\lambda = 10^{-4}, 10^{-6}$ és 10^{-2} mellett?

$$\mathbb{P}\{\text{nincs small cella az } 50 \text{ méter sugarú körön belül}\} = \frac{(\lambda R^2 \pi)^k}{k!} \exp(-\lambda R^2 \pi). \quad (10)$$

$k = 0$, ezért:

$$\mathbb{P}\{k=0 \text{ darab small cell van}\} = \exp(-\lambda R^2 \pi).$$

- Ha $\lambda = 10^{-4}$:

$$\mathbb{P}\{k=0 \text{ darab small cell van}\} = \exp(-10^{-4}50^2\pi) \approx 0,46.$$

- Ha $\lambda = 10^{-6}$:

$$\mathbb{P}\{k=0 \text{ darab small cell van}\} = \exp(-10^{-6}50^2\pi) \approx 1.$$

- Ha $\lambda = 10^{-2}$:

$$\mathbb{P}\{k=0 \text{ darab small cell van}\} = \exp(-10^{-2}50^2\pi) \approx 0.$$

Példa 2.4. Adott a femtocellás interferencia eloszlása. Határozza meg a SIR eloszlást belőle, és számolja ki a makrócellás felhasználó lefedettség valószínűségét, ha a makro eNB távolsága a felhasználótól $z = 100$ m és a küszöbérték $T=10$ dB!

Ismétlés:

$$\begin{aligned} \operatorname{erf}(z) &= \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-t^2) dt \\ \operatorname{erfc}(z) &= \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_z^\infty \exp(-t^2) dt \\ \operatorname{erf}(z) &= 1 - \operatorname{erfc}(z). \end{aligned}$$

Adott a PPP folyamat intenzitása $\lambda = 10^{-4}$, a small cellák adóteljesítménye $P^s = 100$ mW, továbbá az interferencia eloszlásfüggvénye:

$$F(x) = \mathbb{P}\{I \leq a\} = \operatorname{erfc}\left(\frac{K_n}{\sqrt{x}}\right), \quad (11)$$

ahol $\left(K_n = \pi(3/2) \cdot \lambda \cdot \sqrt{P^s}\right) / 2 \approx 8,8 \cdot 10^{-5}$.

$$F_{\text{SIR}}(y) = \mathbb{P}\{\text{SIR} \leq y\} = \mathbb{P}\left\{\frac{P^m z^{-\alpha}}{I} \leq y\right\} = \mathbb{P}\left\{I \geq \underbrace{\frac{P^m z^{-\alpha}}{y}}_{\doteq a}\right\} = 1 - \underbrace{\mathbb{P}\{I \leq a\}}_{\operatorname{erfc}\left(\frac{K_n}{\sqrt{a}}\right)}. \quad (12)$$

Vagyis a SIR eloszlásfüggvényére az alábbi alakot kaptuk (ha $P^m = 20$ W, $\alpha = 4$ és $z = 100$ m):

$$F_{\text{SIR}}(y) \approx 1 - \operatorname{erfc}(0,18\sqrt{y}) = \operatorname{erf}(0,18\sqrt{y})$$

Ha a küszöbérték $T = 10$ dB akkor: $T[\text{dB}] = 10\text{dB} \rightarrow T = 10$.

$$\mathbb{P}\{\text{SIR} \leq 10\} = \operatorname{erf}(0,18\sqrt{10}) \approx 0,58.$$