Az IEEE 802.11 szabványcsalád

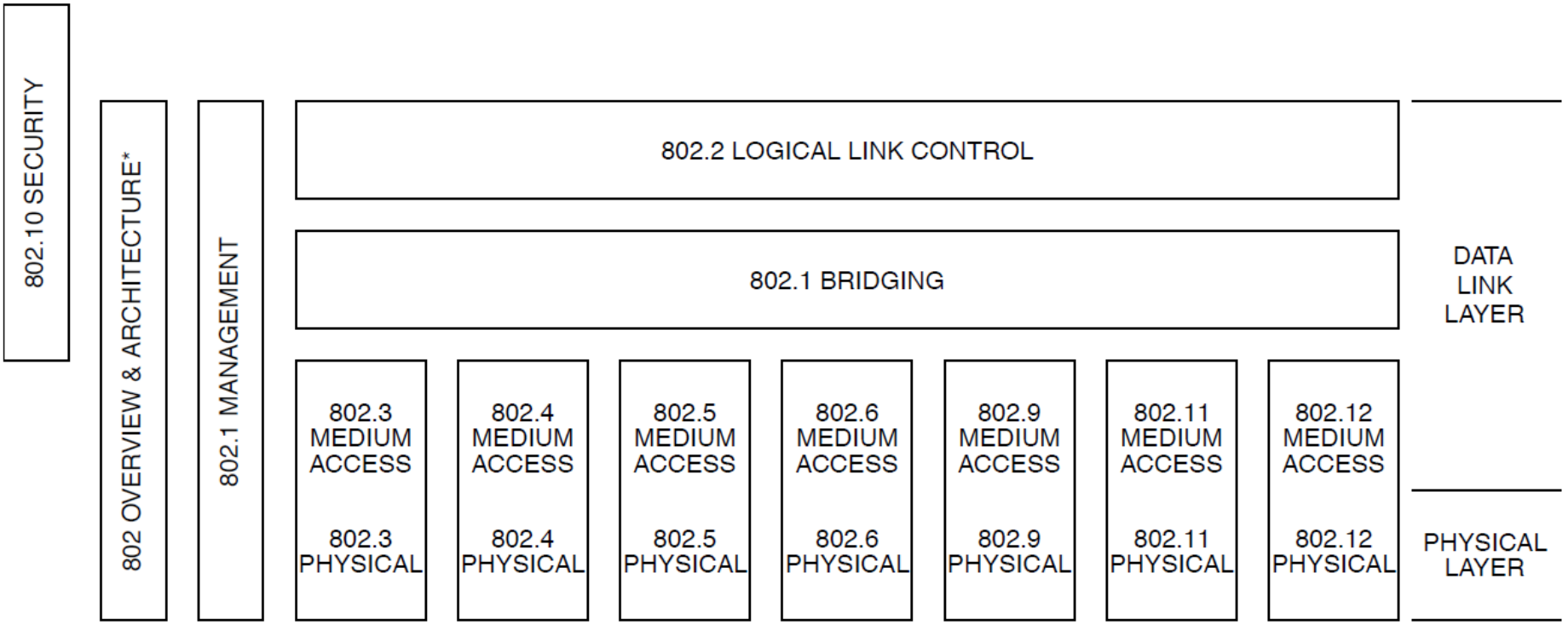
Balogh András

BME-HIT

Elnevezések, fogalmak

- IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
- 802. elnevezésű szabványok: LAN, MAN, PAN
  - Jelentős létező:
    - 802.3 Ethernet
    - 802.11 vezetéknélküli
    - 802.15 vezetéknélküli, kis hatótávolságú
    - 802.16 Wimax, vezetéknélküli MAN
  - Jelentős megszűnt
    - 802.2 LLC
    - 802.5 Token Ring
    - 802.6 DQDB
- Ábrák forrása: IEEE szabvány, vagy külön jelölve

Elnevezések, fogalmak



Elnevezések, fogalmak

- Wi-Fi – Wireless Fidelity
- Wi-Fi Alliance
  - A korai 802.11 termékek nem tudtak együttműködni
    - A szabványban nincs tesztelési módszer leírva
  - 802.11b 1999:
    - Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA)
    - Interoperabilitási tesztek elvégzése
    - Innentől van Wi-Fi elnevezés
  - 2002–től Wi-Fi alliance
  - A „Wi-Fi certified” logót adják ki, ha egy termék sikeresen végigment az interoperabilitási teszteken
    - Amin nincs logó, az még működhet, csak nincs a Wi-Fi alliance által tesztelve
  - Drága

Elnevezések, fogalmak

- Kompatibilitás:
  - Az eszköz más, tanúsítvánnyal rendelkező eszközökkel való együttműködési teszteken átment
- Konformancia tesztelés:
  - A protokoll megfelelően működik
- Teljesítőképesség:
  - A WiFi alliance szerinti elvárt minőséggel működik
- Wireless Ethernet
- Wireless LAN (WLAN)

A 802.11 szabványcsalád

- 802.11-1997 (802.11 legacy)
  - Az eredeti szabvány, 2.4 GHz-es sáv, három fizikai átvitel
  - 1 vagy 2 Mbps sebesség
- 802.11a-1999
  - 5GHz sáv, OFDM jelalak, max. 54 Mbps sebesség
- 802.11b-1999
  - Ez hozta meg az áttörést
  - A 802.11 egyszerű kiterjesztése, 11 Mbps átvitel
- 802.11g-2003
  - A 2.4 GHz-es sávban, de a 802.11a–nak megfelelő OFDM hullámformával működik, 54 Mbps
- **802.11-2007**
  - Az addigi kiegészítésekkel együtt egybegyúrt szabvány

A 802.11 szabványcsalád

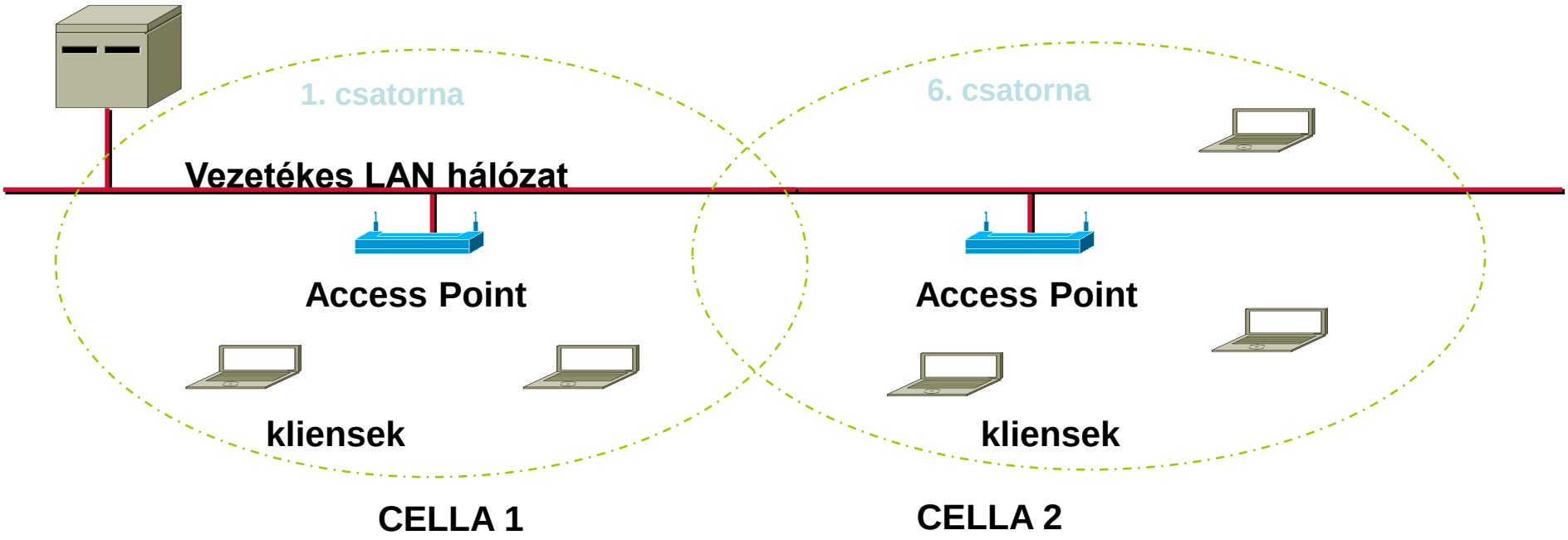
- 802.11n-2009
  - 5 és 2.4 Gh-zen is működik, OFDM, többantennás átvitel, szélesebb sáv, akár 600 Mbps elvi sebesség.
  - A gyártók már hamarabb, 2007-es draft alapján kijöttek termékekkel
- **802.11-2012**
  - Egységesítés
- 802.11ac-2013
  - A 802.11n továbbfejlesztése, OFDM, 5GHz sáv, nagyobb sávszélesség, MIMO, nagyobb állapotszámú moduláció , elvi sebesség 6 Gbps fölött802.11ad
- 802.11ad-2012
  - WiGig alliance kezdett el kidolgozni egy, a 60 GHz-es sávban működő, kis lefedettséget biztosító multi-Gbps rádiós szabványt. IEEE kompatibilis lett, többféle hullámforma, akár 7 Gbps sebesség
- 802.11af-2014
  - Ez a „Super-WiFi”. A nem használt TV sávokban működik, kognitív rádiós megoldás. 802.11ac alapú, keskenyebb sávokon, akár 400 Mbps
- 802.11ah-2016
  - 1 GHz alatti ISM sávokon, nagy hatótávolság, kisebb sebesség.

A 802.11 szabványcsalád

- 802.11e -2005
  - Az eredeti MAC protokoll kiterjesztése, QoS támogatással, illetve hatékonyság növelése céljából. WMM (Wireless MultiMedia), WME (Wireless Multimedia Extension) néven fut, korábban is kiadtak ilyen tanúsítványt
- 802.11i -2004
  - Új biztonsági protokoll, a WPA (WiFi Protected Access) tanúsítvány
- 802.11p -2010
  - Kiegészítés, a járművek közti kommunikáció, illetve az intelligens közlekedési rendszerek számára. IEEE 1609 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment) alkalmazási protokoll hordozója
- 802.11r-2008
  - Gyors handover, VoIP kapcsolatok számára
- 802.11k-2008
  - Rádiós erőforrás menedzsment, mérés/riportolás, gyors AP választás
- 802.11v-2011
  - Hálózatmenedzsment
- 802.11s
  - Szövevényes (mesh) hálózat kialakítása
- 802.11h-2003
  - Spektrum és teljesítmény allokációs kiegészítések

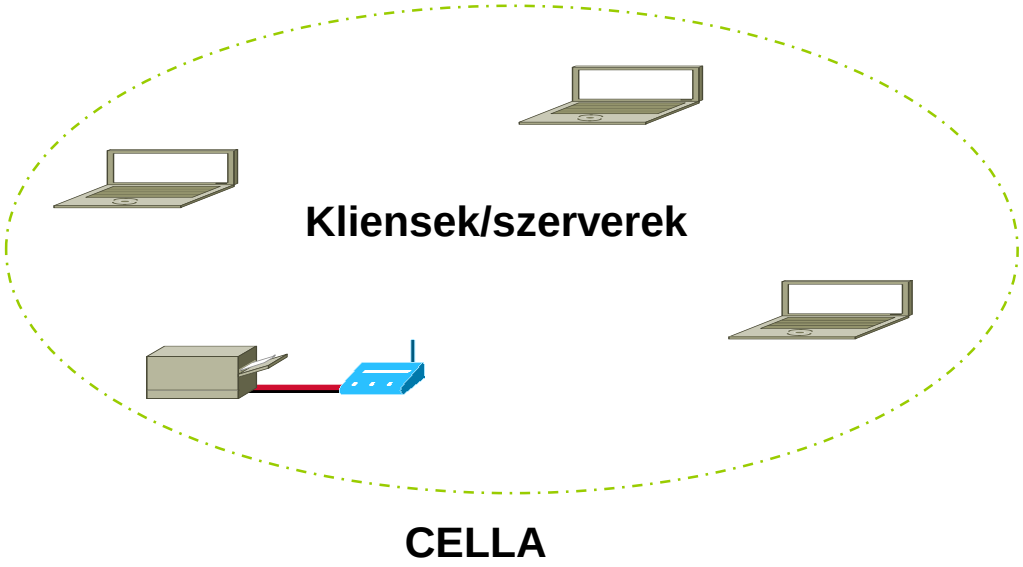
Mi az a Wireless LAN?

- A vezetékes LAN hálózat vezeték nélküli meghosszabbítása.



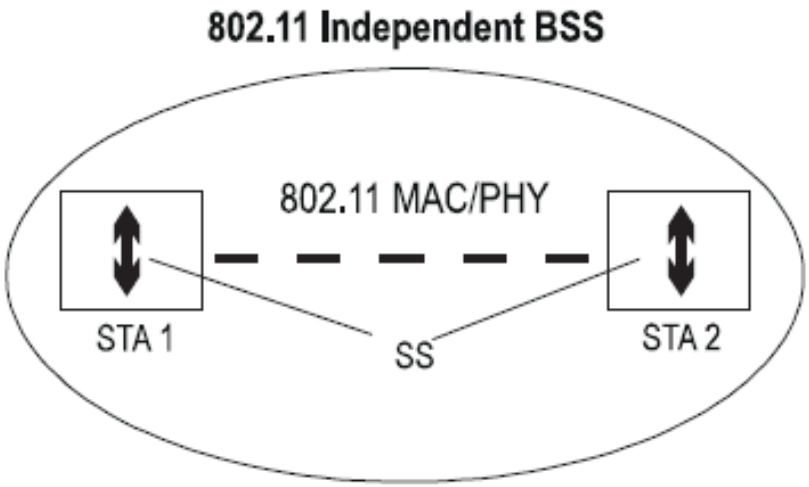
Mi az a Wireless LAN?

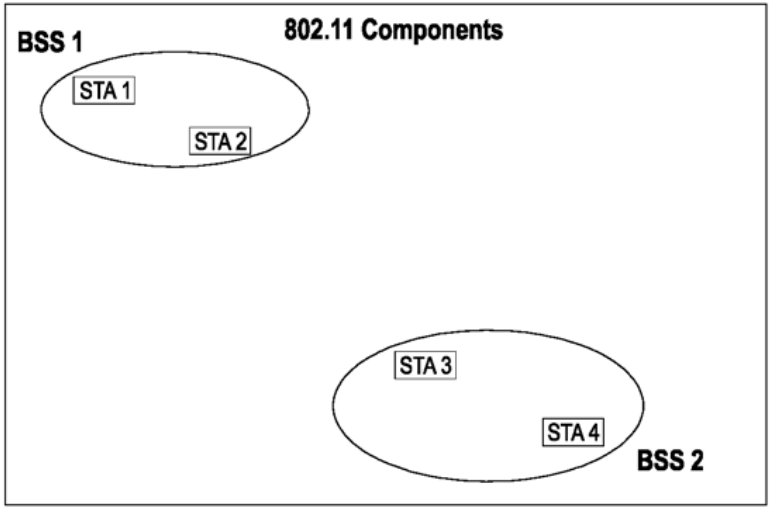
- A vezetékes LAN hálózat vezeték nélküli meghosszabbítása.
- Vezeték nélkül megvalósított számítógép hálózat.



802.11 hálózatok felépítése

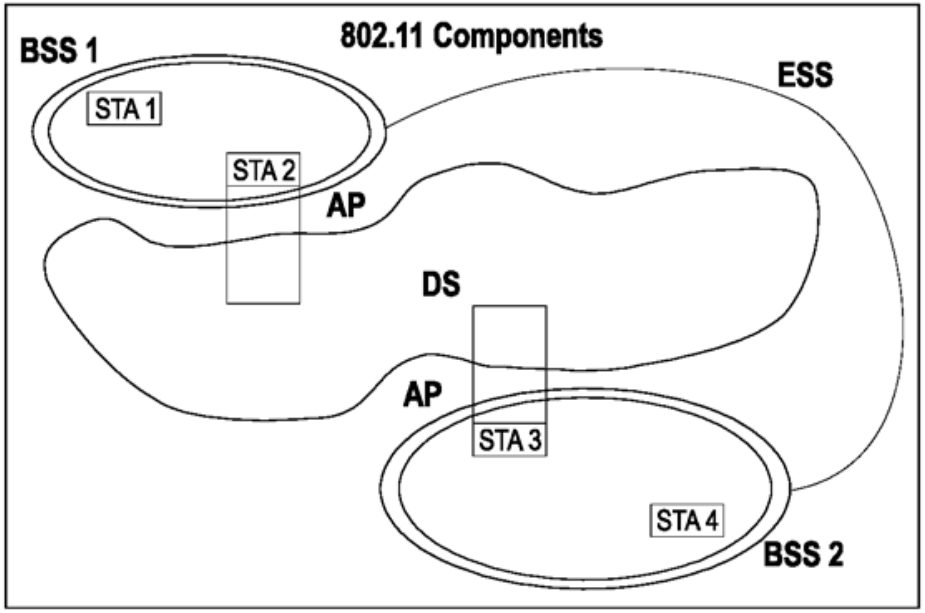
- Basic Service Set (**BSS**)
  - Egy cella a 802.11 terminológiában
  - **IBSS** (Independent BSS), ha nem csatlakozik sehová
- Station (**STA**)
  - A vezetéknélküli állomás, amely képes a 802.11 rádiós protokollal kommunikálni
  - Ha STA-k kommunikálnak egy IBSS-ben: ad-hoc mód





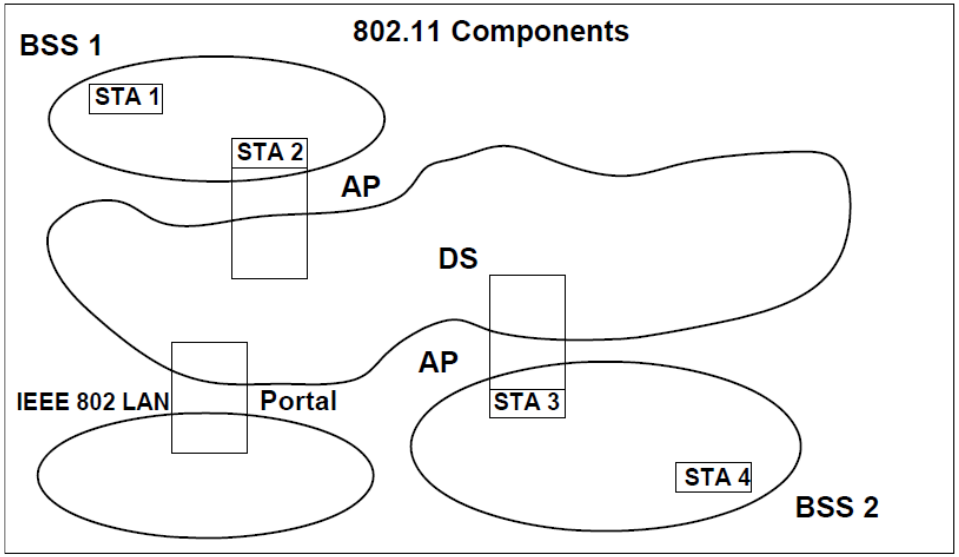
802.11 hálózatok felépítése

- Access Point (**AP**)
  - Amin keresztül egy hálózathoz a STA hozzáfér
- Distribution System (**DS**)
  - Az AP-ket egy elosztó hálózat köti össze
- Extended Service Set (**ESS**)
  - Egy 802.11 hálózat a felsőbb OSI rétegek számára:
    - BSS
    - +AP
    - +DS



802.11 hálózatok felépítése

- **Portal**
  - A 802.11 és egy másik 802 LAN összekapcsolására szolgáló eszköz
  - Gyakorlatban: az AP tartalmazza, így ez „híd” (bridge) az Ethernet háló felé
- Mindezt „**Infrastruktúra mód**”-nak hívjuk
  - Létezik **ad-hoc** mód:
    - Nincs Infrastruktúra
    - Nincs AP

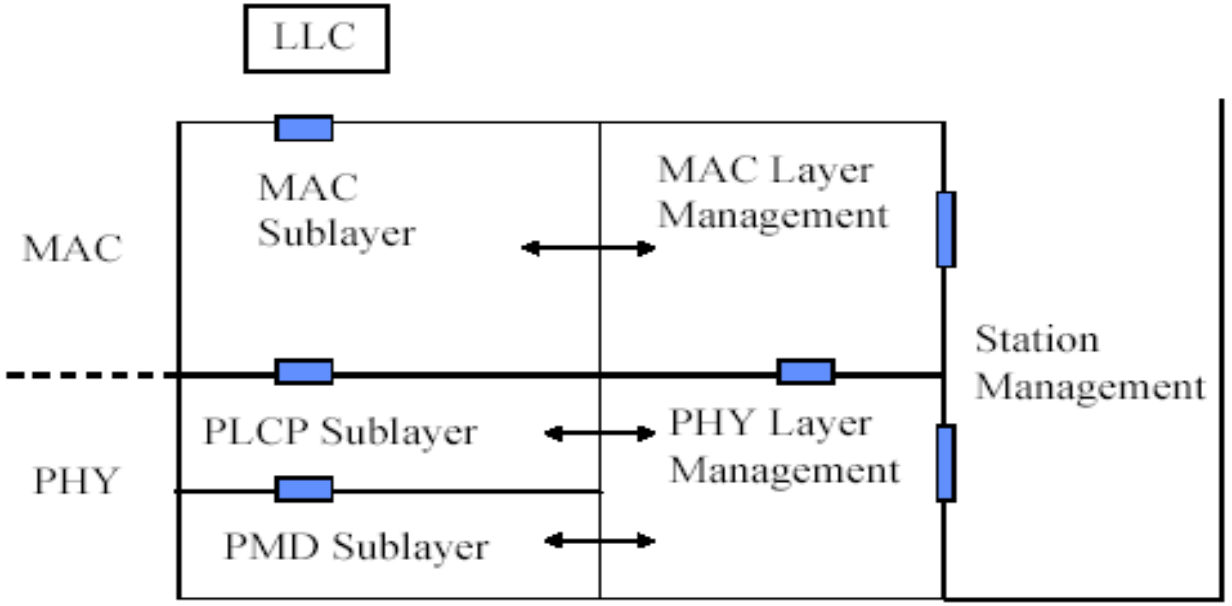


802.11 hálózatok felépítése

- Az elosztó rendszer…
  - …konkrét megvalósítását a szabvány nem definiálja, csak az általa nyújtott szolgáltatásokat
  - …kiterjesztett hálózati szolgáltatásokat nyújt a hozzákapcsolódó BSS és LAN integrációkon keresztül
  - …tetszőleges bonyolultságú vezeték nélküli hálózat kialakítását lehetővé teszi
  - …függetlenül definiálható bármelyik fizikai megvalósítás jellegzetességeitől, ezért a közeghozzáférést szabályzó réteg fölött elhelyezkedő réteg számára úgy tûnik, mintha a különálló BSS-ek egyetlen független BSS-et alkotnának

Protokoll rétegek

- A 802.11 protokoll a MAC és a Fizikai réteget definiálja
  - Mint minden 802.x protokoll
- 802.2 LLC (Logical Link Control) alatt

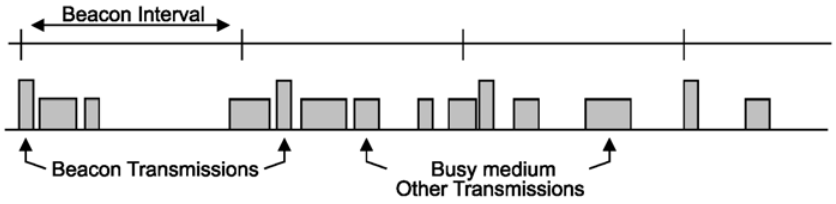


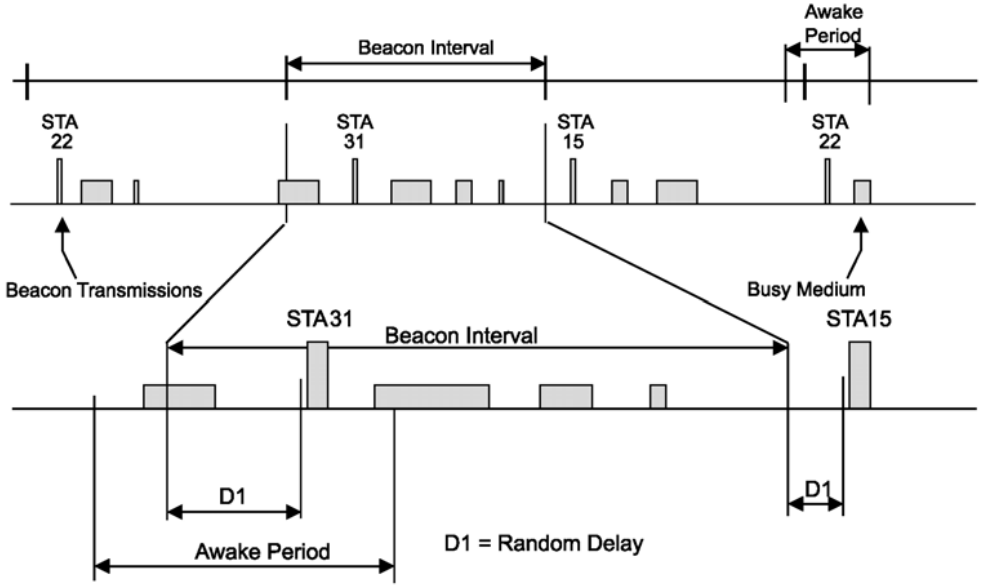
Protokoll rétegek

- MAC Entitás
  - Aszinkron adatátviteli szolgáltatás az LLC felé
    - Pont-pont és Broadcast / multicast címzés és átvitel
    - Alapvető: osztott médium, nincs előre allokáció, minden STA veszi a fizikai/MAC keretet, amelyről a cím mezők alapján dönti el, ha neki szól
  - Közeghozzáférés-vezérlés
    - 802.11e QoS kiegészítéssel
  - Fragmentáció / összefűzés
    - Nagyobb LLC csomagok esetén
    - Sorrendhelyesség megtartása / sorrendcsere
  - Hitelesítés / titkosítás
- A MAC rétegek által ellátott tipikus szabványos funkciókon túl a 802.11 MAC további funkciókat is ellát, melyeket tipikusan felsõbb rétegek szoktak:
  - pl. fragmentáció, csomag újraadás, nyugtázás.

Protokoll rétegek

- MAC Layer Management Entity (MLME)
  - Szinkronizálás
    - Egy BSS-ben minden STA közös órához való szinkronizálása ún. beacon keretekkel
    - Ha van AP, akkor az AP órájához
    - Ha nincs: elosztott módszer
    - Külön módszer definiálva mesh hálózatra





Protokoll rétegek

- MAC Layer Management Entity (MLME)
  - Szinkronizálás
    - Egy BSS-ben minden STA közös órához való szinkronizálása ún. beacon keretekkel
    - Ha van AP, akkor az AP órájához
    - Ha nincs: elosztott módszer
    - Külön módszer definiálva mesh hálózatra
  - Teljesítmény menedzsment
    - STA-k alvó állapota, keveset fogyaszt
  - Roaming (cellaváltás)
  - MAC MIB (Management Information Base) fenntartás

Protokoll rétegek

- Physical Layer Convergence Protocol (PLCP)
  - PHY-specifikus, közös PHY SAP-ot biztosít:
    - MAC kereteket (MPDU) fizikai keretekké alakítja
  - Clear Channel Assessment jelet biztosít (vivőérzékelés)
- Physical Medium Dependent Sublayer (PMD)
  - moduláció és kódolás
  - hullámforma
- PHY Layer Management
  - csatorna hangolás – link adaptáció, átviteli sebesség adaptáció
  - PHY MIB fenntartás
- Station Management
  - a MAC és a PHY menedzsmenttel működik együtt, illetve az együttműködésüket hangolja össze

Közeghozzáférési eljárás

- Elosztott: Distributed Coordination Function (DCF)
  - Ahol a STA-k ugyanazt az egyszerű szabályt alkalmazzák a rádiócsatorna megszerzésére, mindenféle központi „döntőbíró” nélkül
  - Vivőérzékeléses eljárás: a STA méri, hogy üres-e a csatorna, mielőtt hozzáfér
- Központosított: Point Coordination Function (PCF)
  - Ahol az AP vezérli, hogy melyik terminál mikor fér a csatornához
  - Lekérdezésen (polling) alapul
- Versengéses időszak: Contention Period (CP), DCF
- Versenymentes: Contention-free Period (CFP), PCF
- Versengéses és versenymentes időszakok követik egymást
  - Gyakorlat: Mivel a PCF működés opcionális a szabványban, a gyártók nem nagyon valósítják meg.

Közeghozzáférési eljárás

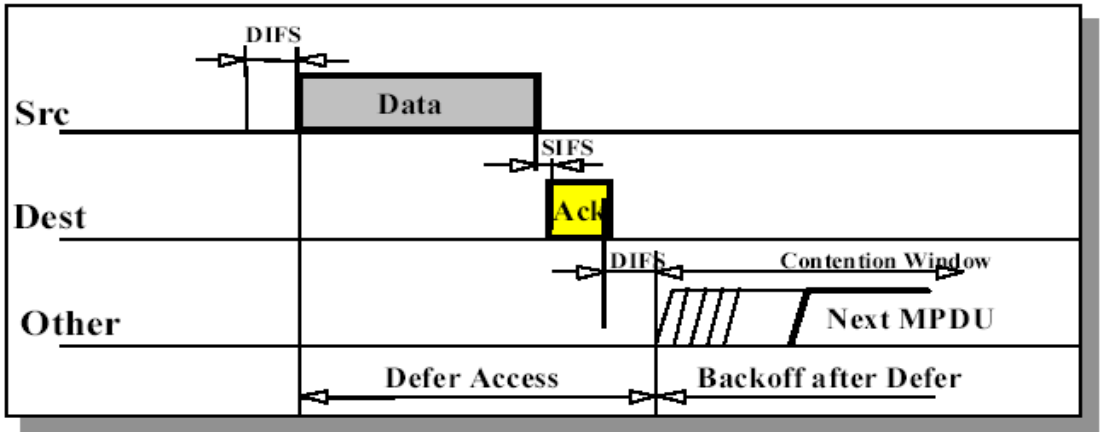
- Az alap közeghozzáférési módszer a DCF
  - CarrierSense Multiple Access megoldásra épül,
  - Collision Avoidance mechanizmussal kiegészítve (CSMA/CA)
    - Eredeti Ethernet MAC: CSMA/CD (Collision Detection) alapú, ütközés érzékelés
- Amikor keret létrejön, akkor az adni kívánó állomás figyeli a közeget: méri, hogy van-e forgalom
  - CCA: Clear Channel Assessment jel
  - Hogyan méri: általában egyszerű energia-detekció: vett minták négyzetes összege nagyobb egy küszöbnél
- Ha a közeg foglalt, akkor egy másik állomás éppen ad, így elhalasztja az adását egy későbbi időpontra
- Akkor hatékony, ha a közeg nem túl terhelt, ilyenkor minimális késleltetéssel adhatnak
- Előfordulhat, hogy több állomás egyidejűleg szabadnak érzékeli a közeget és egyszerre kezd adni: ütközés

Közeghozzáférési eljárás

- Az ütközési helyzeteket fel kell tudni ismerni és így a MAC réteg újraadhatja a csomagot és nem a felsőbb rétegeknek kell ezzel foglakozni, ami jelentős késleltetést okozna
  - Ethernet (CSMA/CD) esetén az ütközést az adó állomás ismeri fel és ezután egy ún. újraadási fázisba megy át
    - Adó detektálja, hogy egyidejűleg más adás is van a közegen, abbahagyja a forgalmazást
- CD-t WLAN-oknál nem lenne egyszerű alkalmazni
  - Adás közben figyelni, hogy más is ad-e: Full Duplex rádiós képesség -> dupla rádiós hardver
  - Saját adás elnyomja a másik, ütközést okozó jelet
- Az adni kívánó STA érzékeli a közeget (CCA), ha foglalt, akkor elhalasztja az adását: backoff mechanizmus
  - Ha üres a médium, akkor egy előre definiált időig várnia kell
  - Ez a DCF keretek közti idő (DIFS, DCF Inter Frame Space)
  - A DIFS idő letelte után szintén a backoff mechanizmus által meghatározott számú üres időrésnek kell következnie a csatornán

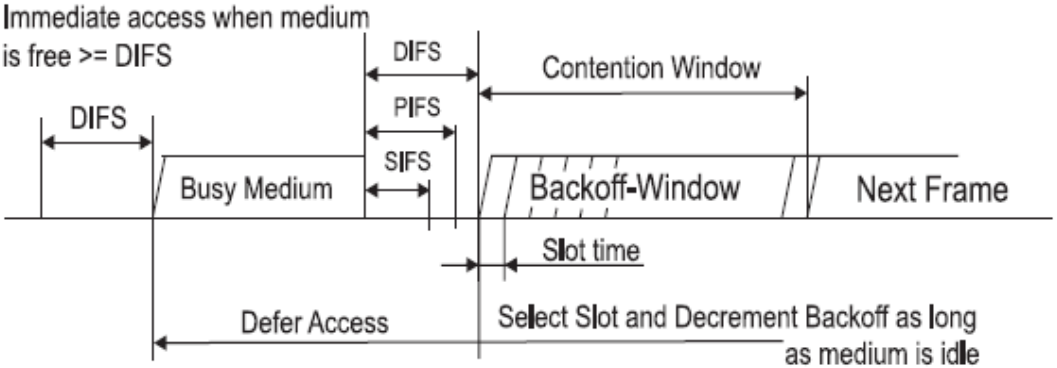
Közeghozzáférési eljárás

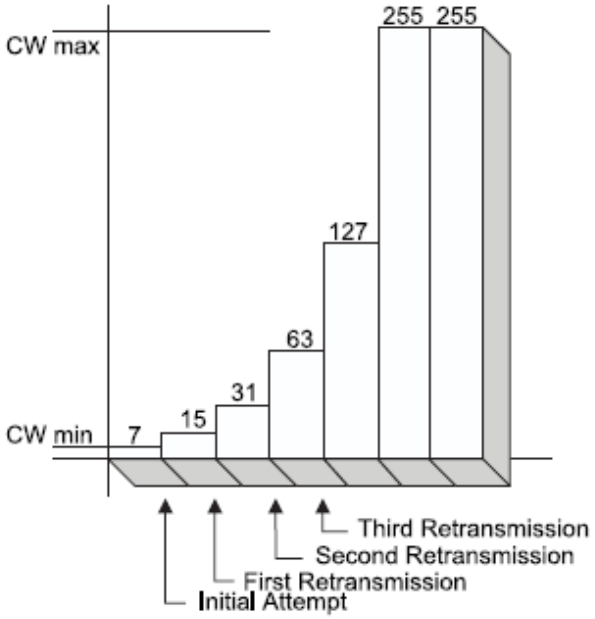
- Ha a médium végig üres marad, akkor leadja a MAC keretet
- A vevő állomás ellenőrzi a vett csomag CRC-jét, nyugtát (ACK) küld
  - SIFS (Short Interframe Space) idő után
  - A SIFS kisebb, mint a DIFS, hogy a harmadik állomás ne kezdhessen el adni a nyugta elküldése előtt
  - Multicast/broadcast címre küldött keretekre nincs nyugta
- A nyugta vétele jelzi az adónak, hogy nem történt ütközés.
  - Ha az adó nem kapott nyugtát újra küldi a csomagot amíg nyugtát nem kap vagy el nem dobja adott számú próbálkozás után.



Közeghozzáférési eljárás

- Várakozási idő (backoff):
  - Minden állomás magának sorsolja
  - Véletlen szám 0 és CW (Contention Window) között
    - Időrések számában kifejezve ennyit kell majd várakozni
    - Ez a BC, backoff counter
  - CW értéke attól függ, hogy hányadszorra próbálja leadni az adott keretet
- Exponenciális backoff: kettő hatványai szerint nő a CW a próbálozások számával





Közeghozzáférési eljárás

- Mikor van Backoff (véletlen idejű várakozás)?
  - Foglaltnak érzékelt csatorna esetén
  - Ütközés esetén (nem jön ACK)
    - A próbálkozások számával nő a CW
  - Sikeres átvitel esetén is
    - Így lesz fair
    - CW visszaáll CW_min-re (7)
  - Mindig kell várni legalább 0...7 között sorsolt darabszámú időrést
- Mi számít várakozásnak?
  - Várakozás közben előfordulhat, hogy más adás bukkan fel a csatornán: ennek a végét meg kell várni
  - Utána DIFS ideig üres a csatorna
  - Utána minden üres időrésben csökkenthető eggyel a BC
  - Amikor BC=0 (lejárt a várakozás), akkor mehet az adás

Közeghozzáférési eljárás

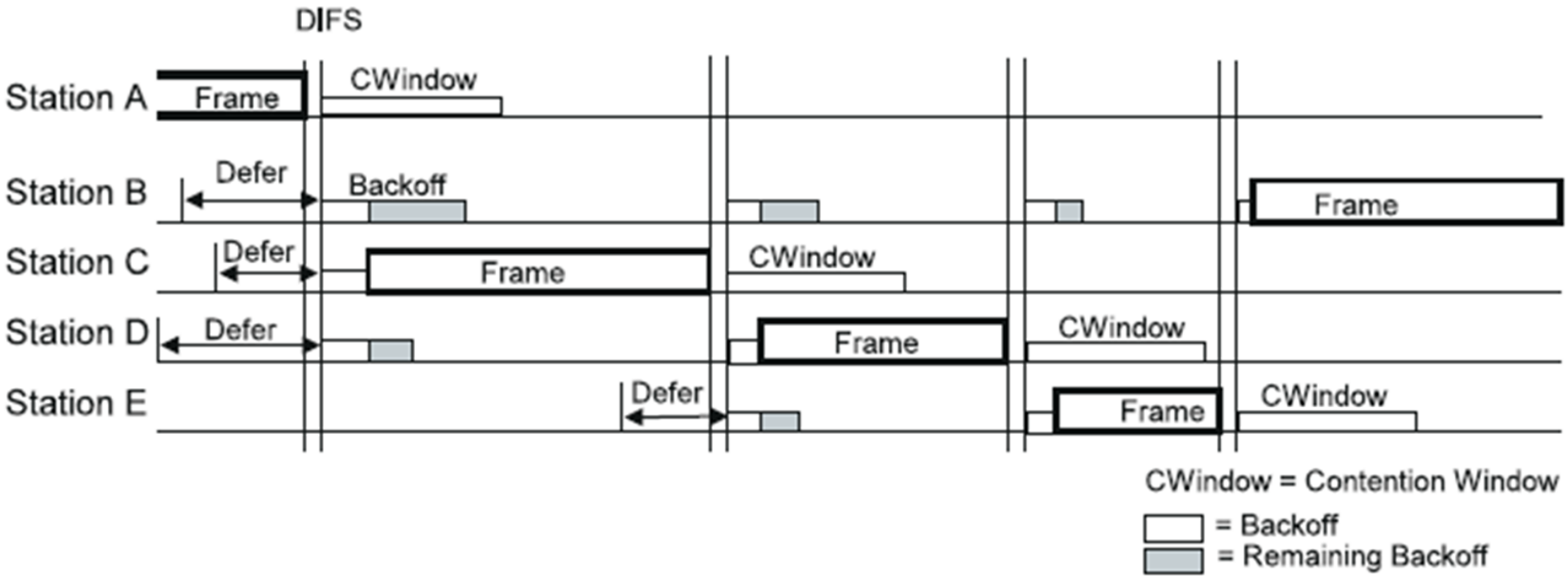
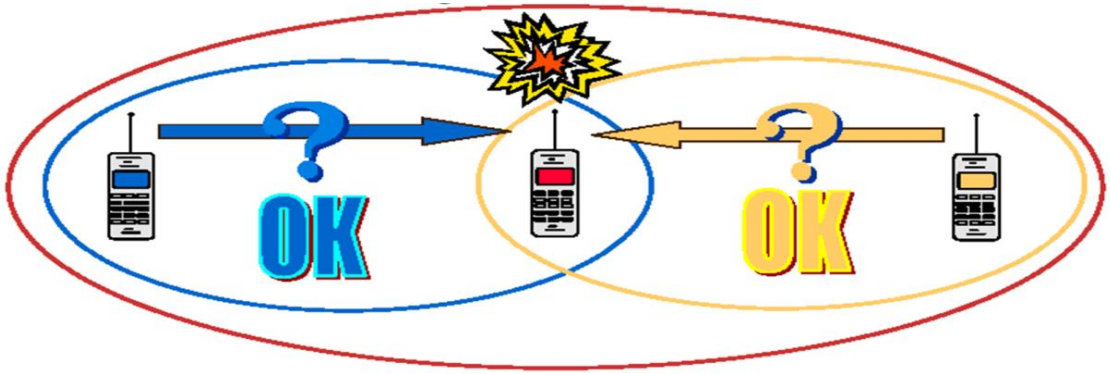


Figure 52—Backoff procedure

Közeghozzáférési eljárás

- Virtuális közeghozzáférés
  - Ne kelljen végig figyelni a csatornát
    - Vételt végző áramkörök addig standby módba mehetnek, energiaspórolás
    - A MAC keret fejléce tartalmazza, hogy milyen hosszú lesz az adás a befejező ACK-kal együtt, us-ban kifejezve
    - Aki ezt olvassa, az beállítja a NAV (Network Allocation Value) értéket: eddig nem is kell figyelnie a csatornát
  - Továbbá: rejtett terminál probléma
    - A ad B-nek, C nem hallja, ad B-nek -> B-nél ütközés

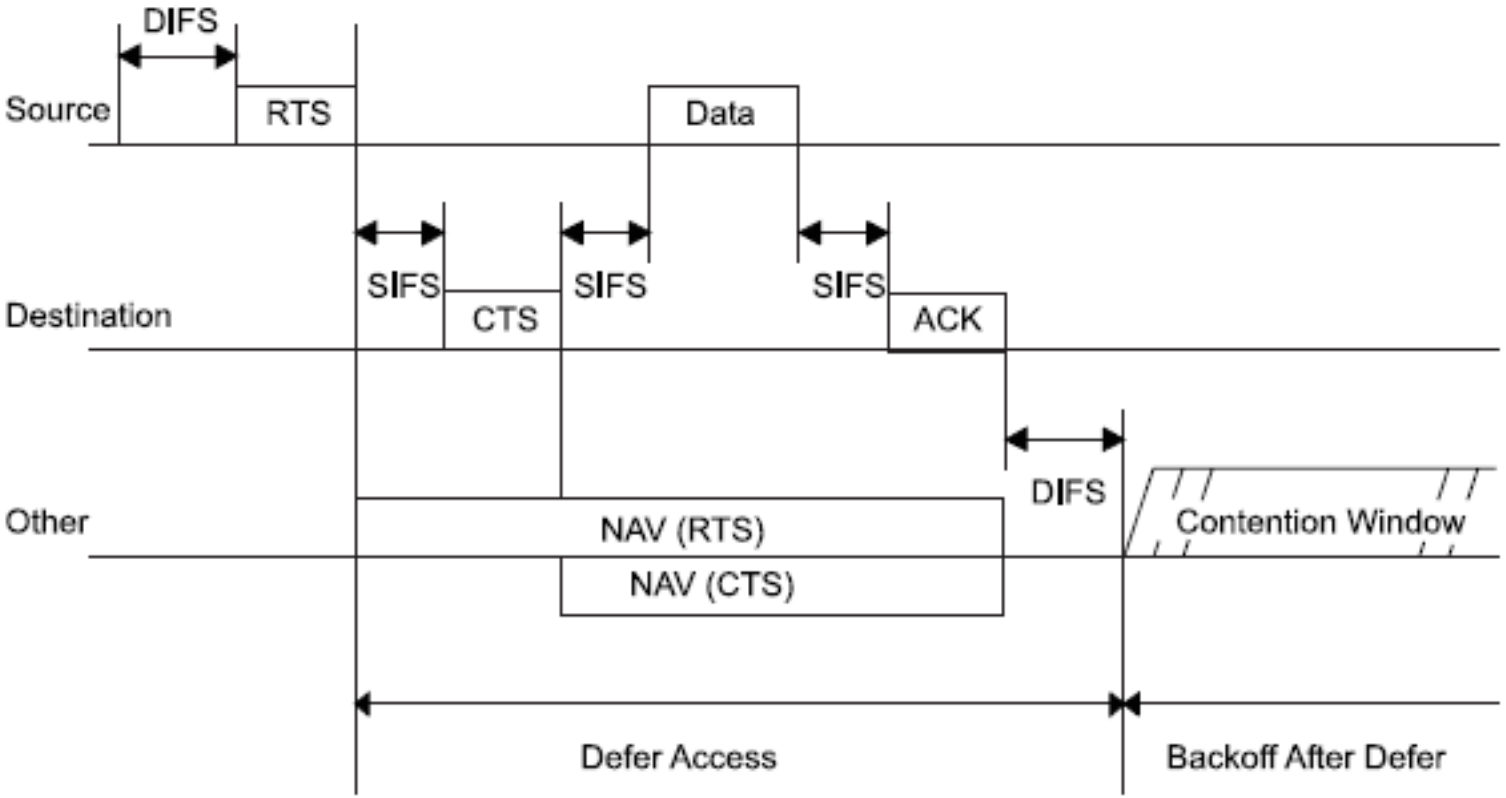


Közeghozzáférési eljárás

- Virtuális közeghozzáférés
  - Adás előtt RTS (Request to Send)
    - Benne a címzett, akinek majd a MAC keret szól
    - Benne az időtartam, ami az RTS-re elvárt válasz
  - SIFS után címzett válaszol: Clear to Send (CTS)
    - mindkettőben benne van a (majdani) adás hossza (ACK-kal együtt)
    - minden terminál, aki az RTS-t, CTS-t hallja, megjegyzi és beállítja a NAV-t, és addig nem próbálkozik
- RTS Threshold változó
  - Csak az ennél hosszabb csomagokra alkalmazható az RTS/CTS eljárás (rövidnél nem érdemes)
- Nagy sebességű fizikai réteg: RTS egy slot, MAC keret is egy slot

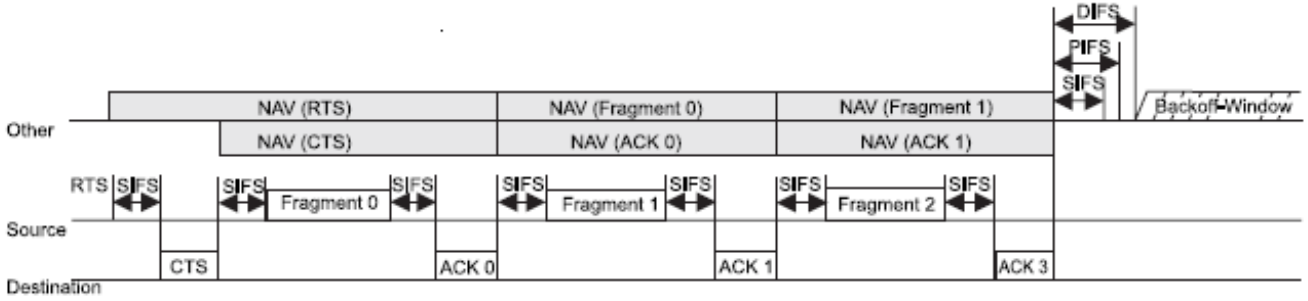
Közeghozzáférési eljárás

- Virtuális közeghozzáférés



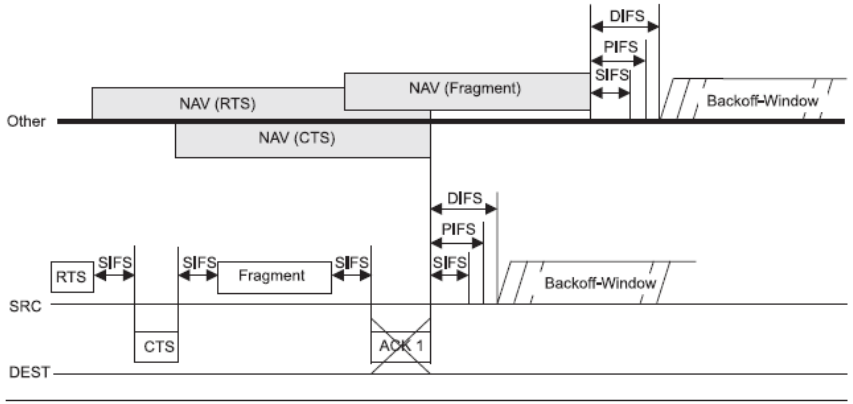
Közeghozzáférési eljárás

- Szegmentálás
  - Feldarabolt felsőbb csomagok esetén
    - MAC keretek egymás után, SIFS időnként leadandók
    - Ha bármelyik elvész (nincs ACK): normál működéssel versenyzés az újraadásáért
    - Ha sikerül megszerezni a csatornát, a maradék szegmensek megint egymás után küldhetők



Közeghozzáférési eljárás

- Szegmentálás
  - Feldarabolt felsőbb csomagok esetén
    - MAC keretek egymás után, SIFS időnként leadandók
    - Ha bármelyik elvész (nincs ACK): normál működéssel versenyzés az újraadásáért
    - Ha sikerül megszerezni a csatornát, a maradék szegmensek megint egymás után küldhetők
  - Virtuális vivőérzékelés
    - Általában a következő keret végére mutat az időtartam mező
    - Ha elvész egy ACK akkor néhányan tévesen hihetik, hogy foglalt a médium

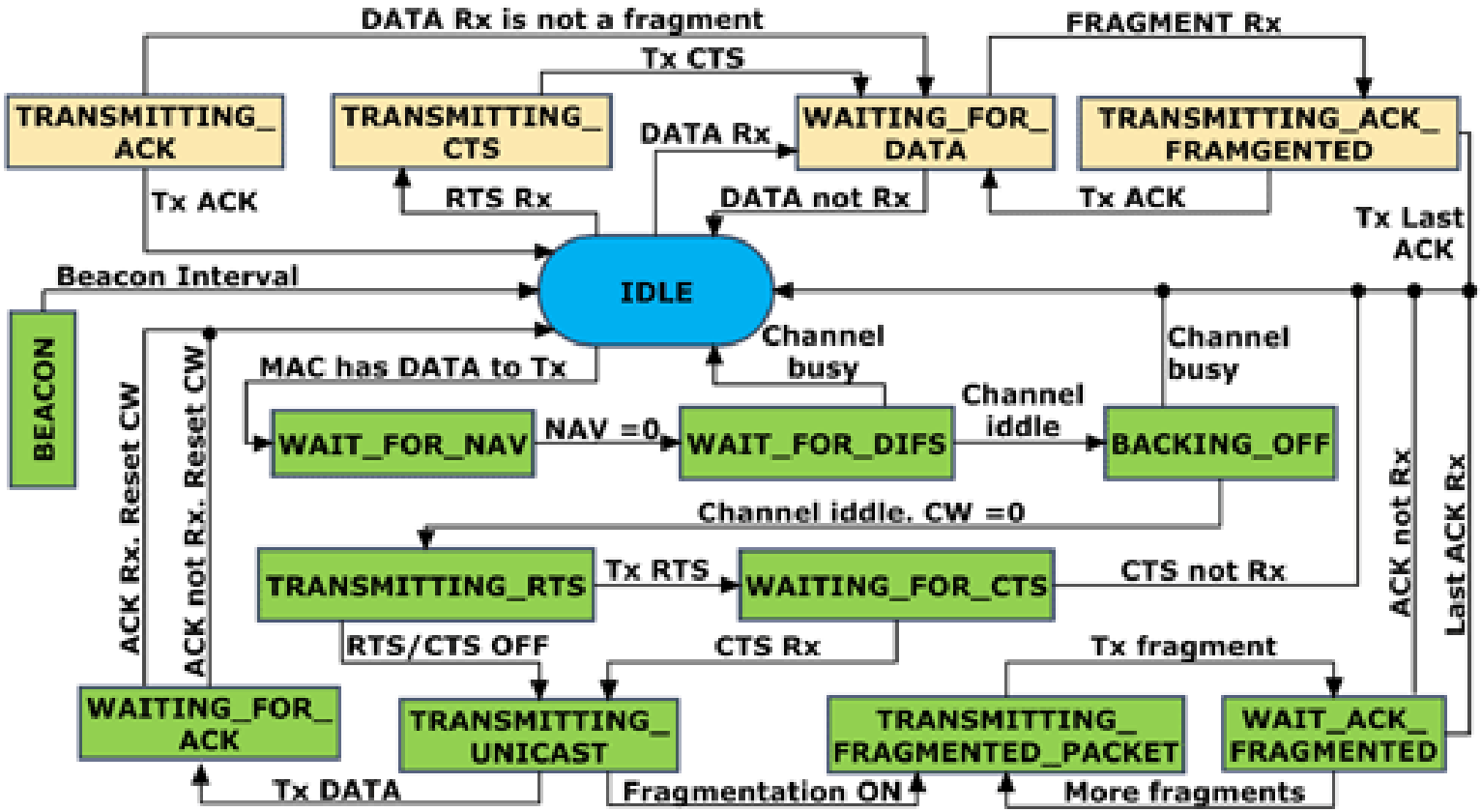


Közeghozzáférési eljárás

- Szegmentálás
  - Feldarabolt felsőbb csomagok esetén
    - MAC keretek egymás után, SIFS időnként leadandók
    - Ha bármelyik elvész (nincs ACK): normál működéssel versenyzés az újraadásáért
    - Ha sikerül megszerezni a csatornát, a maradék szegmensek megint egymás után küldhetők
  - Virtuális vivőérzékelés
    - Általában a következő keret végére mutat az időtartam mező
    - Ha elvész egy ACK akkor néhányan tévesen hihetik, hogy foglalt a médium
  - Tipikus az 1500 byteos keret (-> Ethernet örökség)
  - Nagysebességű fizikai rétegnél már inkább a multiplexálás a cél
    - Kevés ideig tart egységnyi adat átvitele
    - Nagysebességű verziókban ez a fő irány

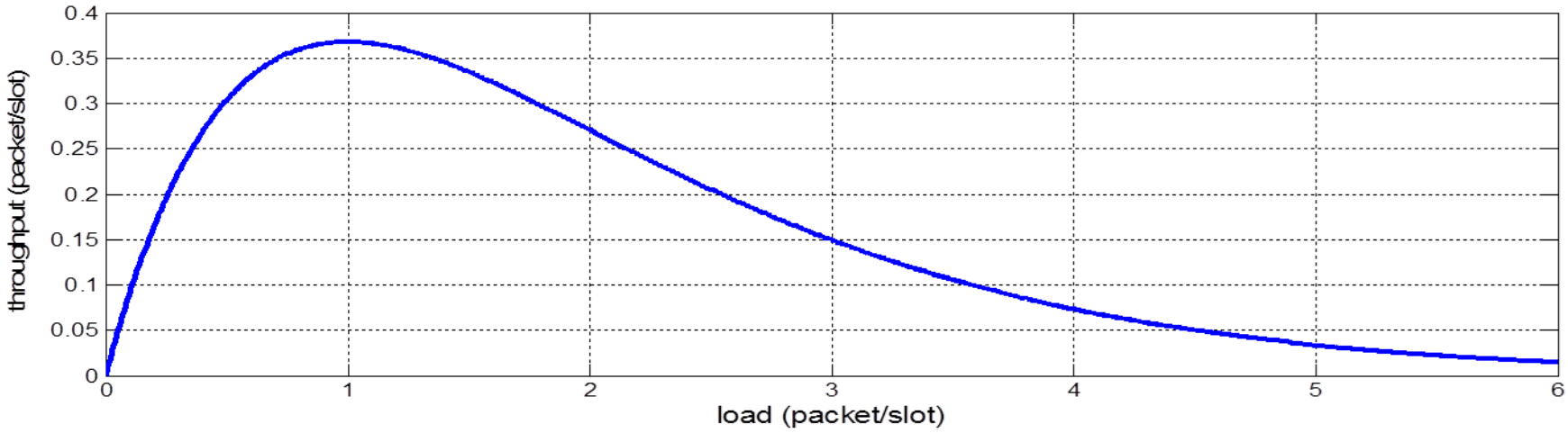
Közeghozzáférési eljárás

- DCF állapotgép:

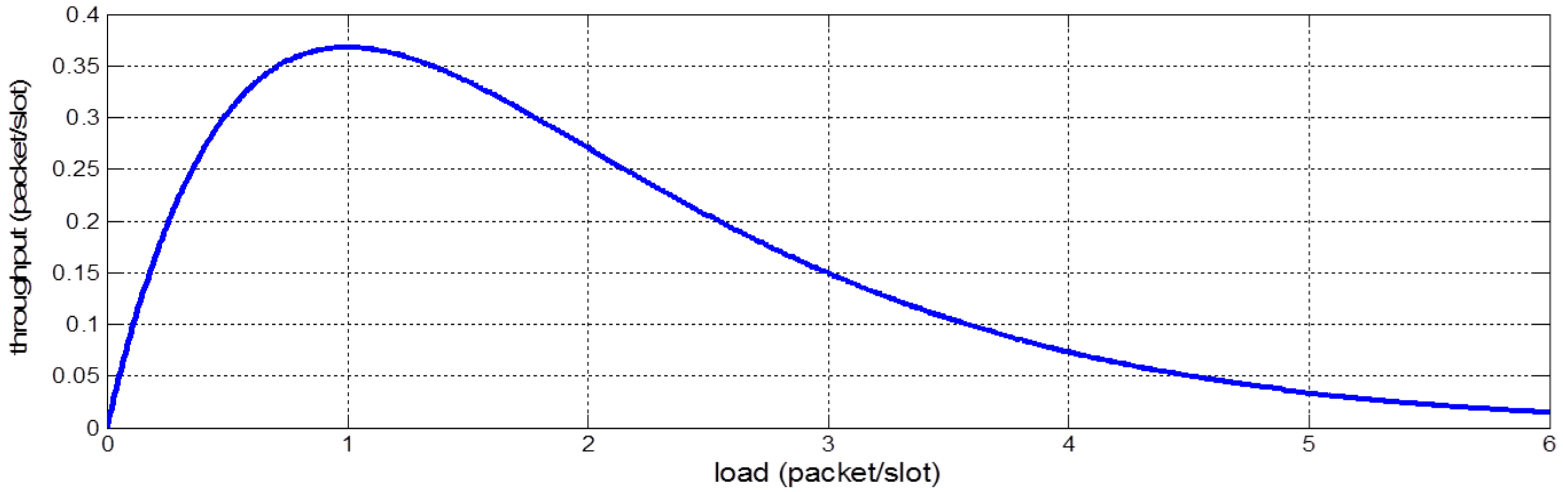


Közeghozzáférési eljárás

- A CSMA alapú protokollok teljesítőképességéről
  - ALOHA protokollon alapulnak
  - Adok, ha nem sikerül, véletlen ideig várok
- A működés alapján intuitív: nagy forgalom -> sok átvinni kívánt csomag -> sokszor foglalt csatorna -> nagy backoff ablakok -> effektív rendszerátvitel csökkenhet, sok üresjárat lehet a backoffok miatt
- Levezethető terhelés vs. átvitel görbe



Közeghozzáférési eljárás



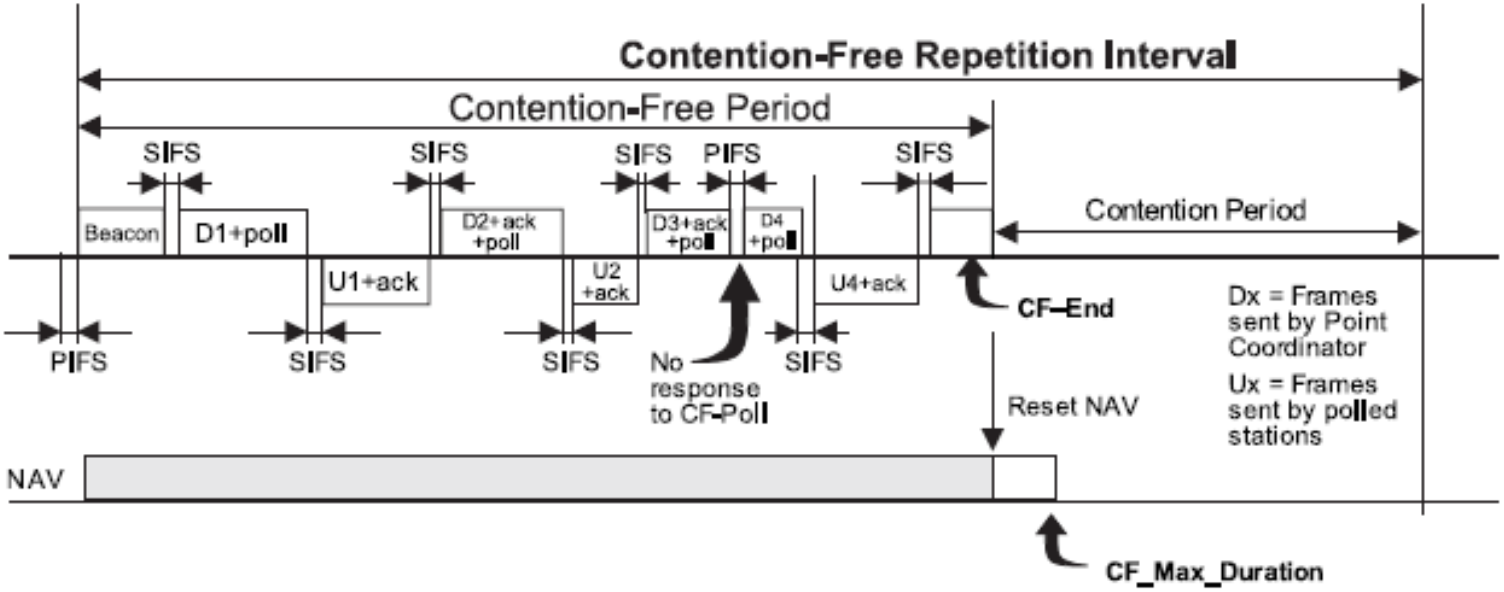
- Ez a jelleg minden véletlen hozzáférésű (versengéses) csatornát jellemez
  - A protokoll konkrét részleteivel a csúcsot „feljebb” lehet tolni, valamint a görbe csökkenését „laposabbá” tenni
- Mit is okoz a görbe alakja?
  - A görbe „felszálló ágán” lévő load-nál: ütközés -> újraküldés -> nagyobb load -> nagyobb throughput -> sikeres újraküldés -> load viszaáll
  - 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 „elszáll” a rendszer

Közeghozzáférési eljárás

- A DCF-ről összességében
  - Nem determinisztikus működésű
  - Random backoff
  - Rosszul skálázódik a terheléssel
  - Más WiFi cellák, vagy más rendszerek jele is foglalja a csatornát
  - Nehéz Wi-Fi alapon QoS-t és szolgáltatás rendelkezésre állást biztosítani
    - Időkorlátos szolgáltatások, pl. video vagy beszédátvitel magasabb prioritást igényelnek, mint a sima adatátvitel
  - De…olcsó

Közeghozzáférési eljárás

- PCF mód
  - AP lekérdezi a terminálokat és ezekre a terminálok válaszolnak
    - PIFS – CF IFS, az AP használja a többi állomás előtti közeghez való hozzáférésre
      - Értéke a SIFS plusz egy Slot Time
    - Illetve PIFS-t vár a következő poll előtt, ha nem kap választ



Közeghozzáférési eljárás

- PCF mód
  - AP lekérdezi a terminálokat és ezekre a terminálok válaszolnak
    - PIFS – CF IFS, az AP használja a többi állomás előtti közeghez való hozzáférésre
      - Értéke a SIFS plusz egy Slot Time
    - Illetve PIFS-t vár a következő poll előtt, ha nem kap választ
  - Lekérdezésre válasz SIFS idő múlva, ACK is, lekérdezés is mehet hasznos csomaghoz csatolva, nem kell neki külön megszerezni a csatornát
  - PCF időtartam alatt a DCF-ben részt vevők nem figyelik a csatornát (NAV-ot PCF végének idejére állítják)
  - A biztonság kedvéért PCF idején a kereteket SIFS időnként adják, így az alap terminálok soha nem csökkentik várakozási idejüket

Közeghozzáférési eljárás

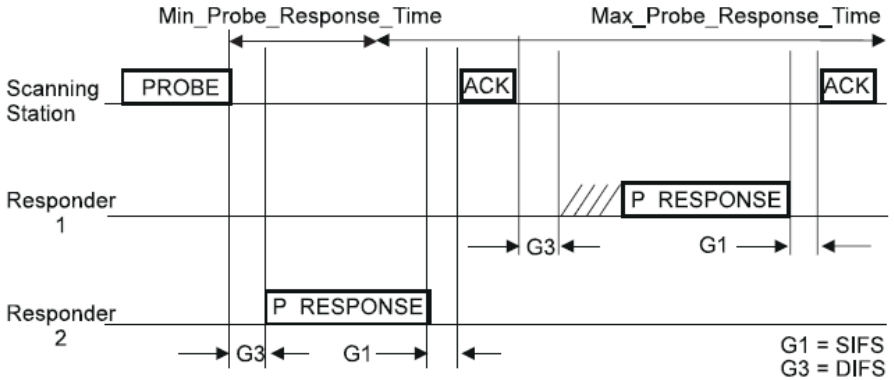
- Miért nincs működő PCF implementáció?
  - Nincs mechanizmus a terminálok igényeinek explicit jelzésére (van-e adnivalója)
    - Illetve nehézkes megoldani, az AP-hez való csatlakozás során adandó meg, hogy a STA akar-e a lekérdezendők listáján lenni
    - Tehát mindenki megadja, hogy akar, majd ha nincs adata, a lekérdezésre null választ ad
    - Így lehet sok felesleges lekérdezés, a csatornaidő elvesztegetése
  - Regionális frekvenciahozzáférési szabályok megkövetel(het)ik a „listen before talk” elvet
    - Illetve csatornafoglalási idő százalékban előírva
    - Ebbe még beleférne a PCF
  - Más rendszerek is működhetnek azonos sávban, ezeket nem illik aránytalanul zavarni

Menedzsment folyamatok

- Egy állomás egy létező BSS-hez akar kapcsolódni
  - Passzív pásztázás
    - Egy ún. Beacon Frame-t (jeladó, irányjelző) vár az AP-tól
    - A beacon keretet az AP periodikusan küldi, benne
      - Időbélyeg, szinkronizációs információ
      - SSID (hálózatazonosító)
      - Fizikai paraméterek, verziók
      - Alvó állapotban lévő STA-k számára értesítések
    - A véletlen hozzáférés miatt a beacon sem pontosan érkezik feltétlenül
    - Ha adott ideig nem talál ilyet, akkor másik frekvenciacsatornán folytatja

Menedzsment folyamatok

- Egy állomás egy létező BSS-hez akar kapcsolódni
  - Aktív pásztázás (Active Scanning):
    - Az állomás megpróbál egy AP-találni
    - Probe Request Frame-t küld mindenkinek szóló broadcast címre (csupa 1-es cím)
    - Ezután Probe Response-t vár, amit erre van egy maximum idő a szabványban
      - Ebben kb. a beaconnak megfelelő információ
      - Több is jöhet, ezekre a STA ACK-ot küld
    - Probe responsok alapján választ egy AP-t, amihez majd csatlakozik



Menedzsment folyamatok

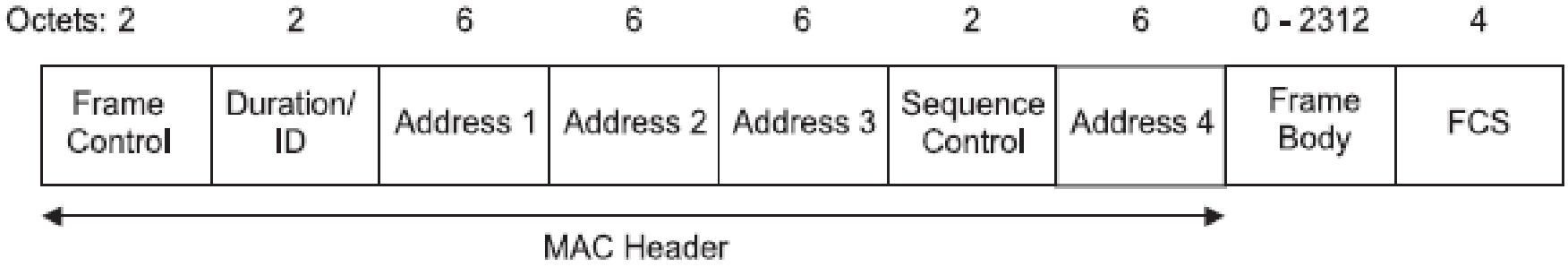
- Hitelesítési eljárás:
  - Hitelesítési üzenetváltás
  - Létezik a null hitelesítés (-> nyílt WiFi)
- Csatlakozási eljárás:
  - Sikeres hitelesítés után, információcsere a terminál és AP képességeiről, valamint néhány AP-s környezetben meglesz a mobil helye
- Szinkronizáció megtartása:
  - Az AP által küldött beacon keretek segítségével, periodikusan (CSMA miatt némi késés lehet)
- Handover:
  - A mobil dönt, új AP passzív vagy aktív kiválasztása, a legjobbhoz csatlakozási kérelem, ez a hálózaton keresztül értesíti a régi AP-t

Menedzsment folyamatok

- Energiatakarékos üzemmód:
  - Mobilok alvó állapota, nem hallgatják a csatornát
  - Az AP nyilvántartja hogy melyik STA-k alszanak, tárolja a nekik szóló csomagokat
  - A mobilok csak a beacon kereteket figyelik (periodikusan felébredve), ebben jelzi az AP, ha van adat
    - A beaconben megadva azon alvó mobilok listája, akik számára adás van
  - A mobilnak normál üzemmódba kell lépnie és lekérdeznie az AP-től a neki szóló adatot
    - PS-Poll üzenetet küld a STA
    - Erre válaszként az AP ACK-ot, vagy magát a csomagot
  - IBSS (ad-hoc mód)
    - Itt nincs központi AP, de hasonló: ATIM (Adhoc Traffic Indication Message) jelzi, ezt olyankor küldik, amikor az alvó felébred

Keret típusok

- Data Frame-k
  - Adatátvitel céljaira
- Control Frame-k:
  - A közeghozzáférés vezérlés céljaira:
    - pl. RTS, CTS, és ACK
- Menedzsment Frame-k:
  - Az adat keretekkel megegyező módon küldik őket a menedzsment információk cseréje végett
  - Nem továbbítják őket a felsőbb rétegekhez (pl. authentication, probe request, stb.)

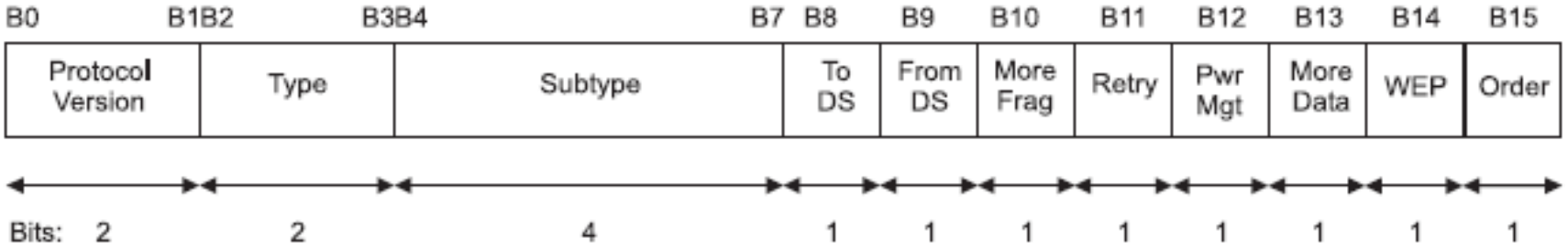


Keret típusok

- Data Frame-k
  - Data + [CF-ACK + [CF-Poll]]
  - Null Function
  - CF-ACK, CF-Poll (nodata)
- Control Frame-k:
  - RTS, CTS, ACK
  - PS-Poll, CF-End, CF-End ACK
- Menedzsment Frame-k:
  - Beacon, Probe Request & Response
  - Authentication, Deauthentication
  - Association Request & Response
  - Reassociation Request & Response
  - Disassociation
  - Announcement Traffic Indication Message (ATIM)

802.11 MAC keretek

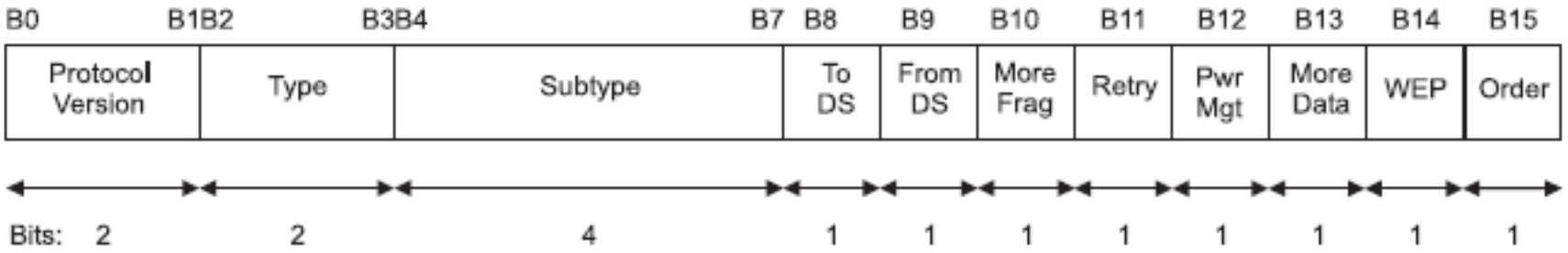
- MAC Frame Control:



  - Protocol Version, Type and Subtype:
    - Pl. RTS, CTS, ACK, poll, authentication, stb.
  - ToDS, FromDS
    - Hálózatba/ból a keret (tehát 0 pl. RTS, CTS),
  - More Fragments
    - A MAC keret egy nagyobb felső keret-darabja
  - Retry
    - Újraadott keret-darabot jelöl

802.11 MAC keretek

- MAC Frame Control:



  - Power Management
    - Jelzi, hogy ezen keret átvitele után az állomása Power Management üzemmódba megy át
    - Azok az állomások használják, melyek Power Save állapotból Active állapotba lépnek vagy fordítva
  - More Data
    - Jelzi, a Power Management-nek az AP révén, hogy további tárolt keretek vannak az állomás részére
  - WEP
    - Jelzi, hogy a keret törzsét a WEP-nek megfelelően titkosították

802.11 MAC keretek

- A MAC keret további mezői
  - Duration/ID:
    - Power-Save Poll üzenetekben a Station ID, egyébként a NAV számításhoz időtartam
  - Address Fields max. 4 címet tartalmazhat a ToDS-től és a FromDS bitektől függően:
    - Address-1: mindig a címzett
    - Address-2: mindig a küldő
    - Address-3:
      - Ad-hoc esetén: BSSID
      - To/From DS esetén: címzett/küldő (a DS ben/ből)
    - Address-4: Wireless Distribution System alkalmazásánál
      - AP <-> AP linkek a DS
      - Az éppen adás alatt levő keretet egyik AP-től a másiknak küldi
      - Ilyen esetben ToDS=1 és FromDS=1, Address-3 és Address-4 a fogadó és küldő

802.11 MAC keretek

- A MAC keret további mezői
  - Sequence Control
    - A Sequence Control Field mutatja az egyazon kerethez tartozó különböző fragmentek sorrendjét és segít a csomagduplikációk felismerésében
    - Két almezőt tartalmaz, Fragment Number és Sequence Number, melyek megadják a keret és a fragment sorszámát a keretben.
  - FCS (Frame Check Sum) = CRC
    - A CRC 32 bites mező 32-bites Cyclic Redundancy Check-t (CRC) tartalmaz.

802.11e-2005 – Quality of Service

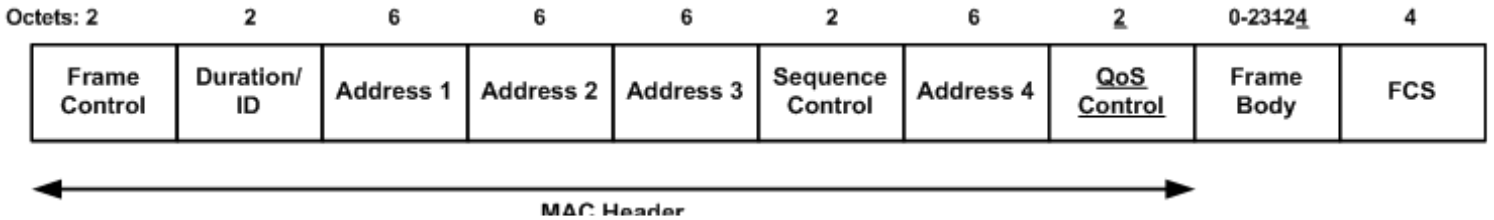
- Korai verzióktól kezdve felmerült az igény a QoS támogatásra
  - Konkrétan: VoIP és videóátvitel
- Késleltetés-érzékeny applikációk számára garanciát nyújtani
- Probléma: Az elosztott közeghozzáférés nem determinisztikus
- Probléma: A központosított, polling alapú megoldás korábban említett okok miatt nem terjedt el
- Prioritást kellene biztosítani a késleltetés-érzékeny forgalmaknak
  - Ez még mindig nem feltétlenül garancia
- A 802.11e a MAC működését és funkcionalitását módosítja, az ezekhez szükséges fizikai módosításokkal
  - Bevezeti a QoS képes terminál és AP fogalmát
  - Bevezeti a QBSS–t
  - QoS keretformátum
  - Prioritás megállapítására mechanizmus
  - QoS biztosításának másik lehetősége:
    - Terhelés alatti QoS: a fizikai átviteli sebesség az igények előtt járjon
    - + protokoll időzítések kézbentartása

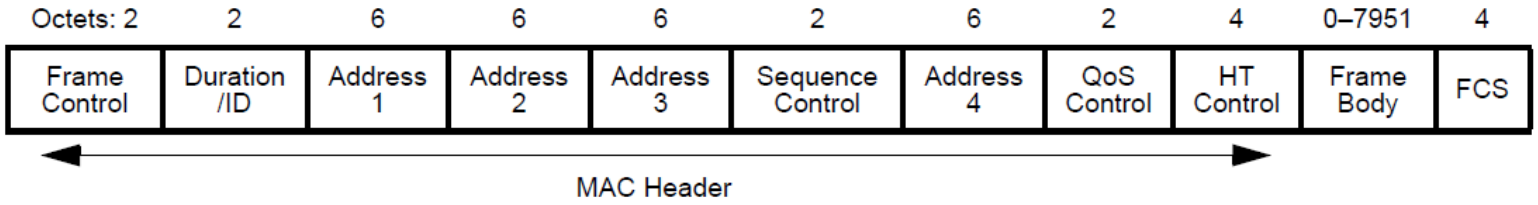
802.11e-2005 – Quality of Service

- Itt lett definiálva a tömbösített nyugtázás (block ACK), valamint az aggregált keretek előzménye, a TXOP
  - Az eszközök TXOP (adási lehetőség)-t szereznek
  - Ebben több keret is küldhető
  - Tömbösített nyugtával a TXOP egy nyugtával igazolható
  - A tömbösített nyugtázási mechanizmusnak két verziója definiálva
    - Késeltetett
    - Azonnali
- No ACK: a STA jelezheti, ha nem kér nyugtát
- Új teljesítmény-menedzsment
  - Hagyományos
    - AP beaconben jelzi, ha alvó mobil számára adat jön
  - Új: ütemezett módon
    - Elsősorban VoIP-hoz találták ki

802.11e-2005 – Quality of Service

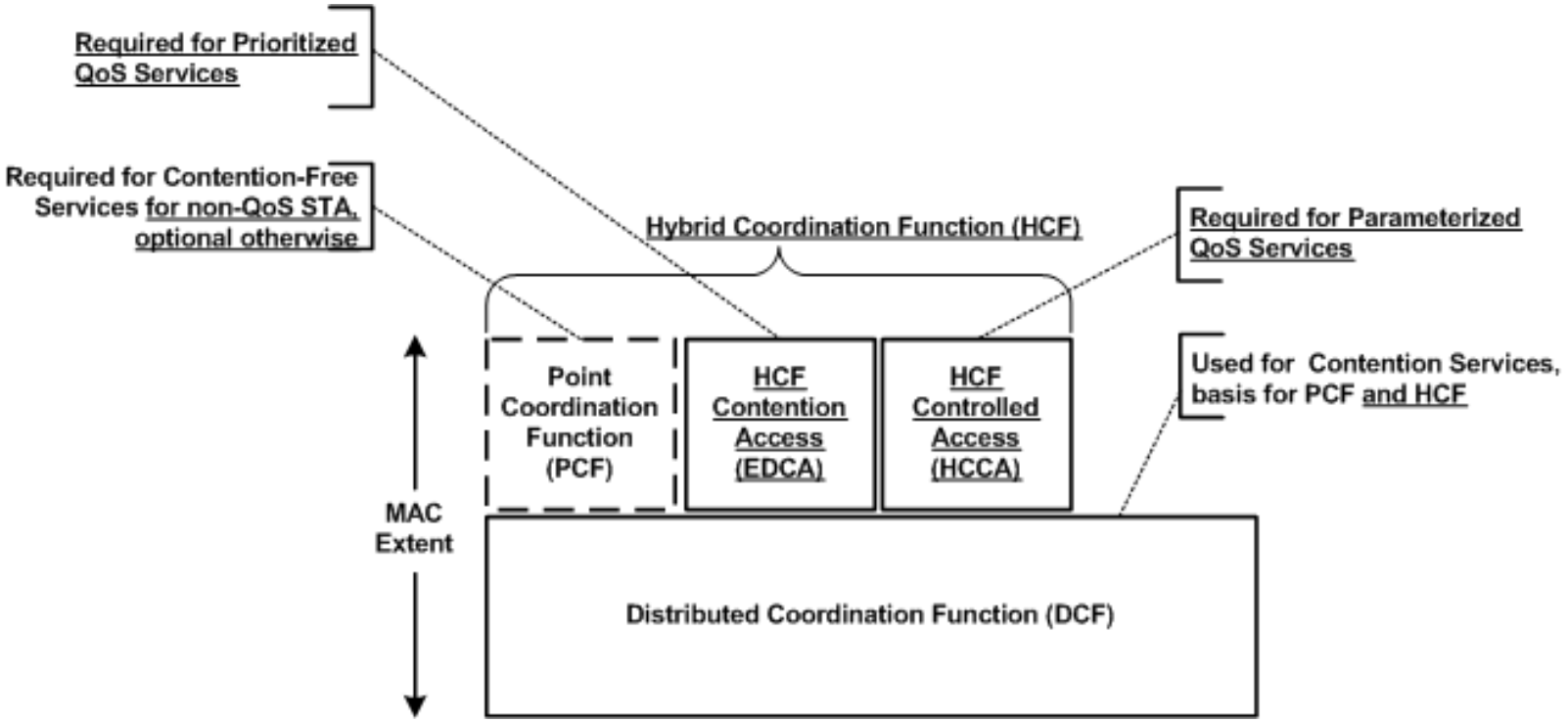
- Adatfolyam bevezetése és kezelése (traffic stream)
  - Tulajdonképpen összeköttetések felépítése, lebontása
  - Explicite, vagy időzítők alapján
- Új keretformátum a QoS ügyek vezérlése érdekében





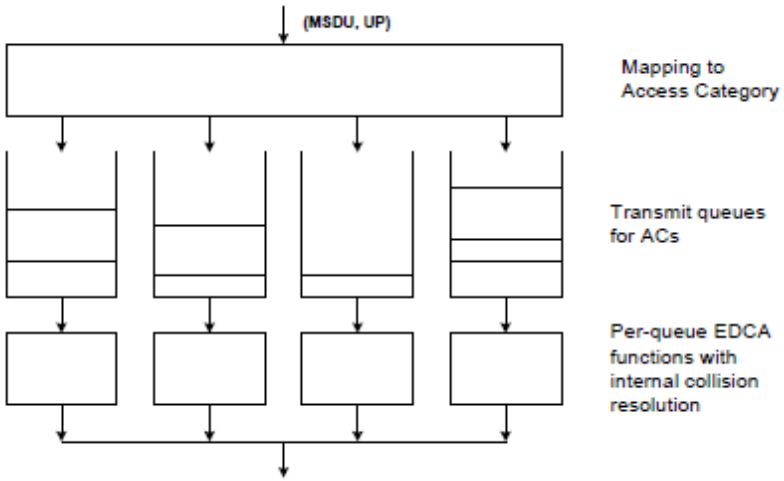
802.11e-2005 – Quality of Service

- Közeghozzáférési módszerek kiegészítése
  - Hybrid Coordination Function (HCF)

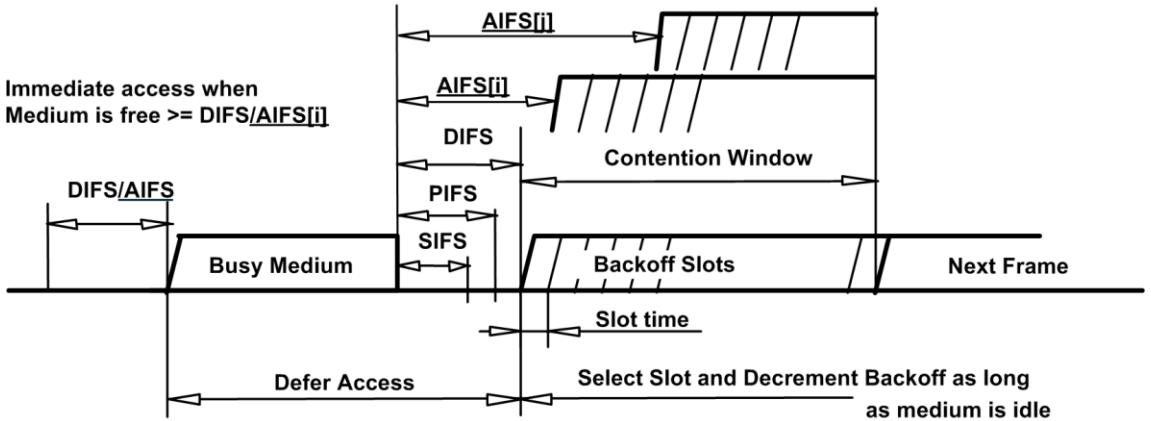


802.11e-2005 – Quality of Service

- Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)
  - A forgalom továbbítása prioritások figyelembevételével
  - A prioritások alapján a forgalmak megkülönböztetése
- A prioritások biztosításának módja
  - A csatornafigyelési idő és az adás, vagy backoff mechanizmus előtt megkövetelt üres idők különböznek (xIFS)
  - A backoff időtartam (CW) hosszak különböznek
  - Amennyi ideig az adás engedélyezett, ha a STA megszerezte a csatornát
- Négyféle prioritás (Access Category):
  - Voice (legmagasabb)
  - Video
  - Best-Effort
  - Background (legalacsonyabb)
- Forgalmi kategóriánként adási sorok
- A STA maga oldja meg a belső ütközést
  - Azaz, hogy melyik sorból akar adni



802.11e-2005 – Quality of Service

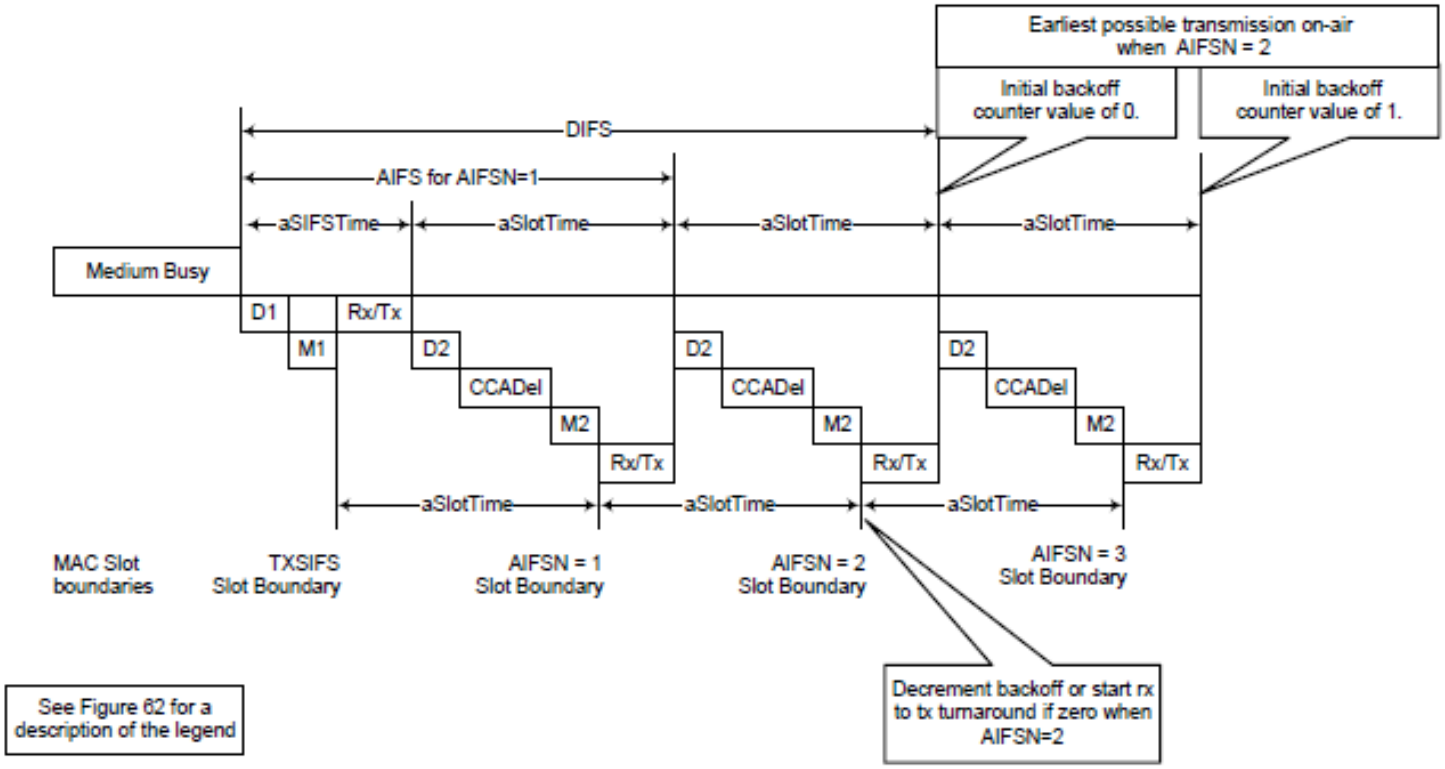


- EDCA működéssel:
  - Nagyobb prioritású kevesebbet vár
  - Rövidebb backoff ablakból sorsol magának várakozási időt
- AP használhat AIFSN=1–et, a többi csak nagyobb AIFS-t
  - Eddig az AP-nek nem volt prioritása

AC	CWmin	CWmax	AIFSN	TXOP limit		
				For PHYs defined in Clause 15 and Clause 18	For PHYs defined in Clause 17 and Clause 19	Other PHYs
AC_BK	aCWmin	aCWmax	7	0	0	0
AC_BE	aCWmin	aCWmax	3	0	0	0
AC_VI	(aCWmin+1)/2 – 1	aCWmin	2	6.016 ms	3.008 ms	0
AC_VO	(aCWmin+1)/4 – 1	(aCWmin+1)/2 – 1	2	3.264 ms	1.504 ms	0

802.11e-2005 – Quality of Service

- DIFS = aSIFSTime + 2*aSlotTime
- AIFS[AC] = AIFSN[AC] × aSlotTime + aSIFSTime.
- Video, voice esetén tehát DIFS = AIFS
  - Ilyen értelemben a hagyományos forgalom azonos/magas prioritású
  - De a várakozási ablak nagyobb



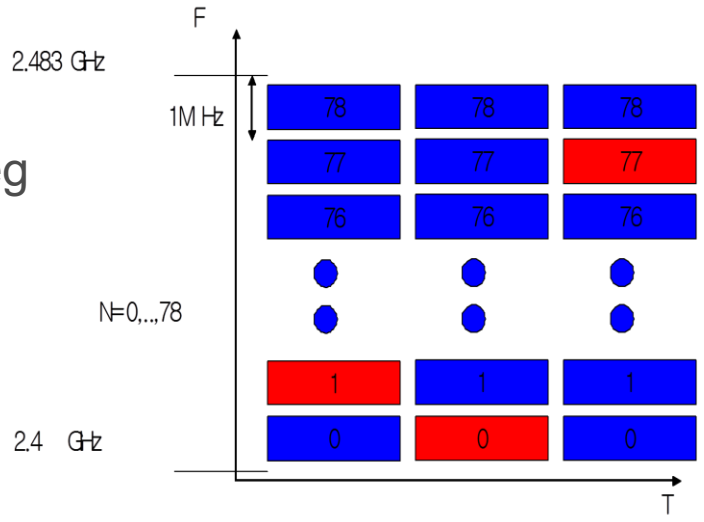
802.11e-2005 – Quality of Service

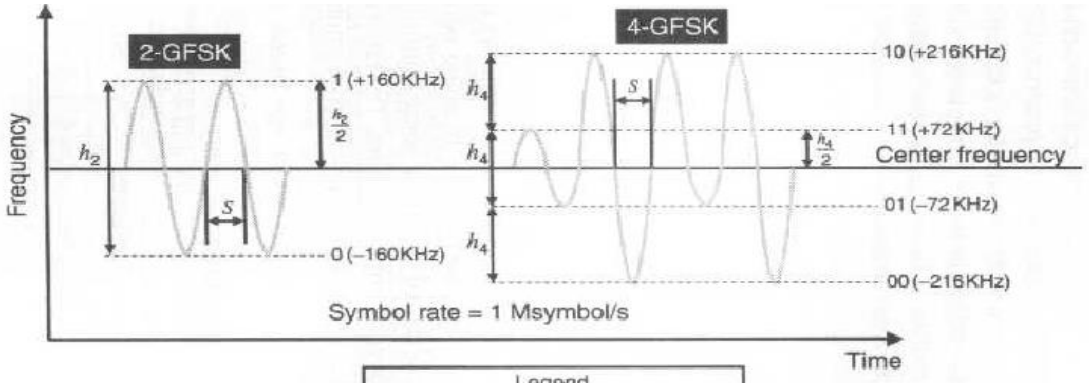
- A koordinált hozzáférés is definiált: HCCA
- TXOP-okat lehet foglalni
- A terminál TXOP-okat kér az AP-től, a saját adása és/vagy az AP->terminál adás számára
- Az AP-ben hozzáférés-vezérlés (admission control mechanizmus) alapján eldől, hogy teljesíthető-e
- Az AP rövid, csakaz állomásnak szóló pollokkal küldhet/fogadhat TXOP-t

A különböző 802.11 verziók működési alapjai

802.11 Fizikai réteg

- FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)
  - 79 egymást nem átfedő csatorna
  - 1MHz osztással
  - 26 átfedő hálózat üzemelhető egyidejűleg
    - Függően az ugratási sorozatoktól
  - 2- vagy 4GFSK (Gaussian FSK)
    - 1 Mbps (2 frekvenciaszint)
    - 2 Mbps (4 frekvenciaszint)
    - Konstans burkoló
    - Keskeny spektrum
    - Kis interferencia
  - Nem terjedt el





802.11 Fizikai réteg

- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
  - Preamble+Header 1 Mbps-mal
    - Adat lehet 1 vagy 2 Mbps
    - Signal: Adatsebesség
    - Service: RFU
  - DBPSK (1 Mbps)
    - Differenciális BPSK
  - DQPSK (2 Mbps)
  - 1 us szimbólumidő
  - 20 us időrés

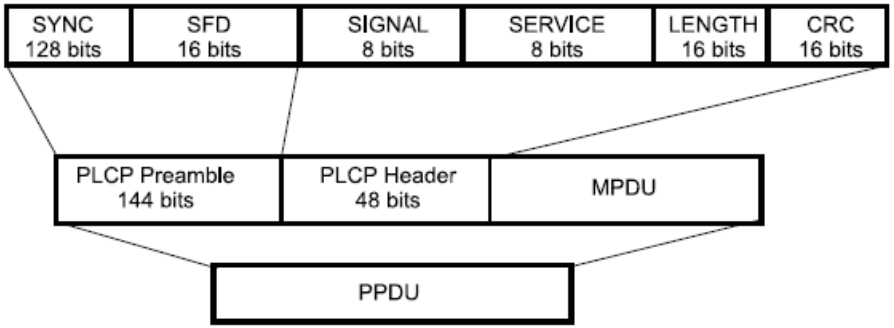


Table 65—1 Mbit/s DBPSK encoding table

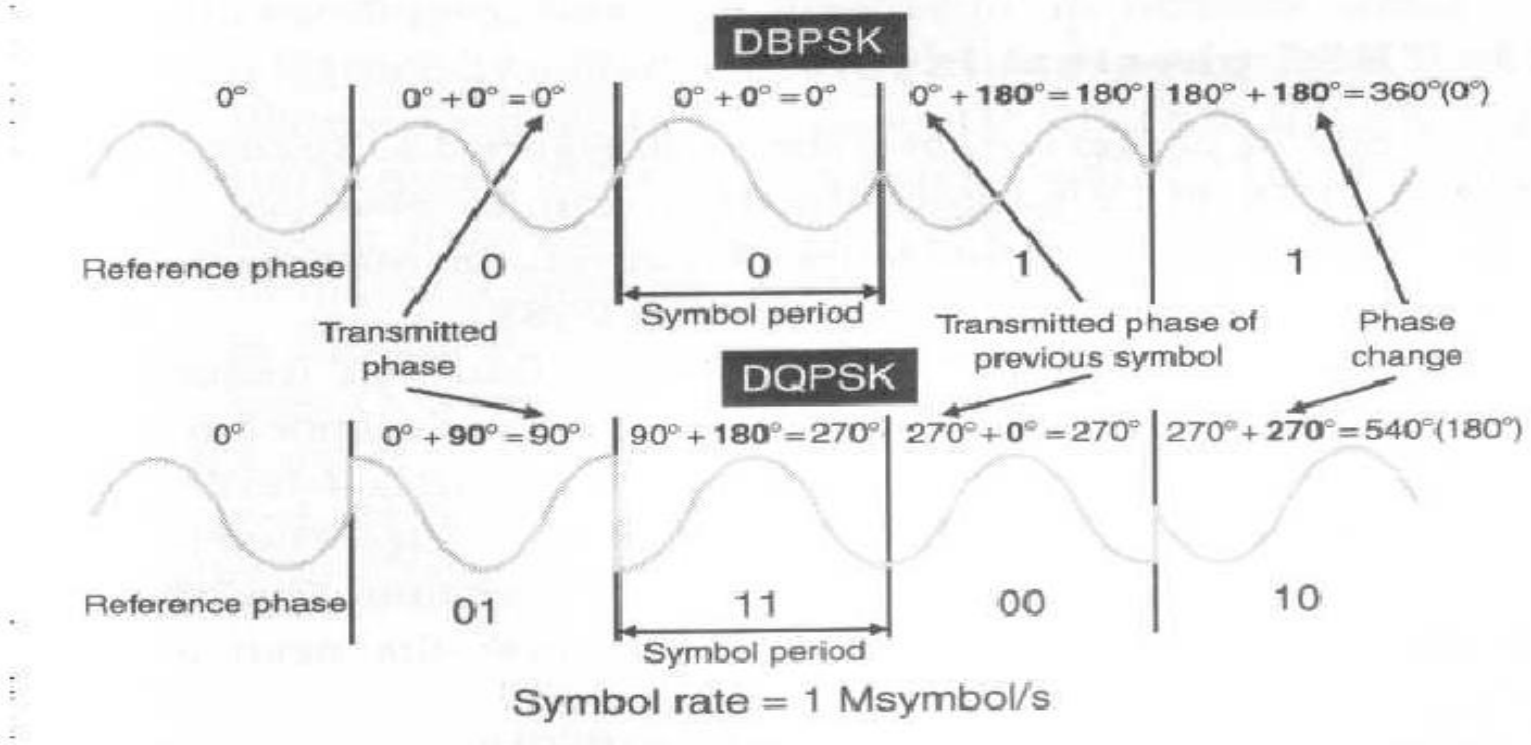
Bit input	Phase change (+jω)
0	0
1	π

Table 66—2 Mbit/s DQPSK encoding table

Dibit pattern (d0,d1) d0 is first in time	Phase change (+jω)
00	0
01	π/2
11	π
10	3π/2 (–π/2)

802.11 Fizikai réteg

- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)



802.11 Fizikai réteg

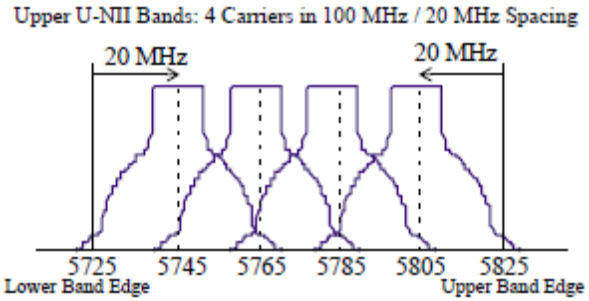
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
  - 22 MHz széles sáv
  - 14 csatorna
  - Fizikai jelzési sebesség: 11 Mcps
    - 11 chip hosszú Barker kód szórja a spektrumot
    - +1, –1, +1, +1, –1, +1, +1, +1, –1, –1, –1
    - Adó: a Barker + vagy – előjellel viszi át (1 v 0 bit esetén)
    - Vevő: szorozza a Barkerrel -> +1+1+1+1 ... Vagy -1-1-1-1... Jön ki
    - Ha szinkronban van!
  - Szomszédos, zavaró cella, egyéb jel: nincs szinkronban
  - Álvéletlen +-1 sorozat jön ki, könnyen kiszűrhető
  - Tehát zavarvédelmet jelent úgy is, hogy a spektrumban zavarás van
  - Intuitív magyarázat: 11-szeres jelenergia van a hasznos jel számára

802.11b Fizikai réteg

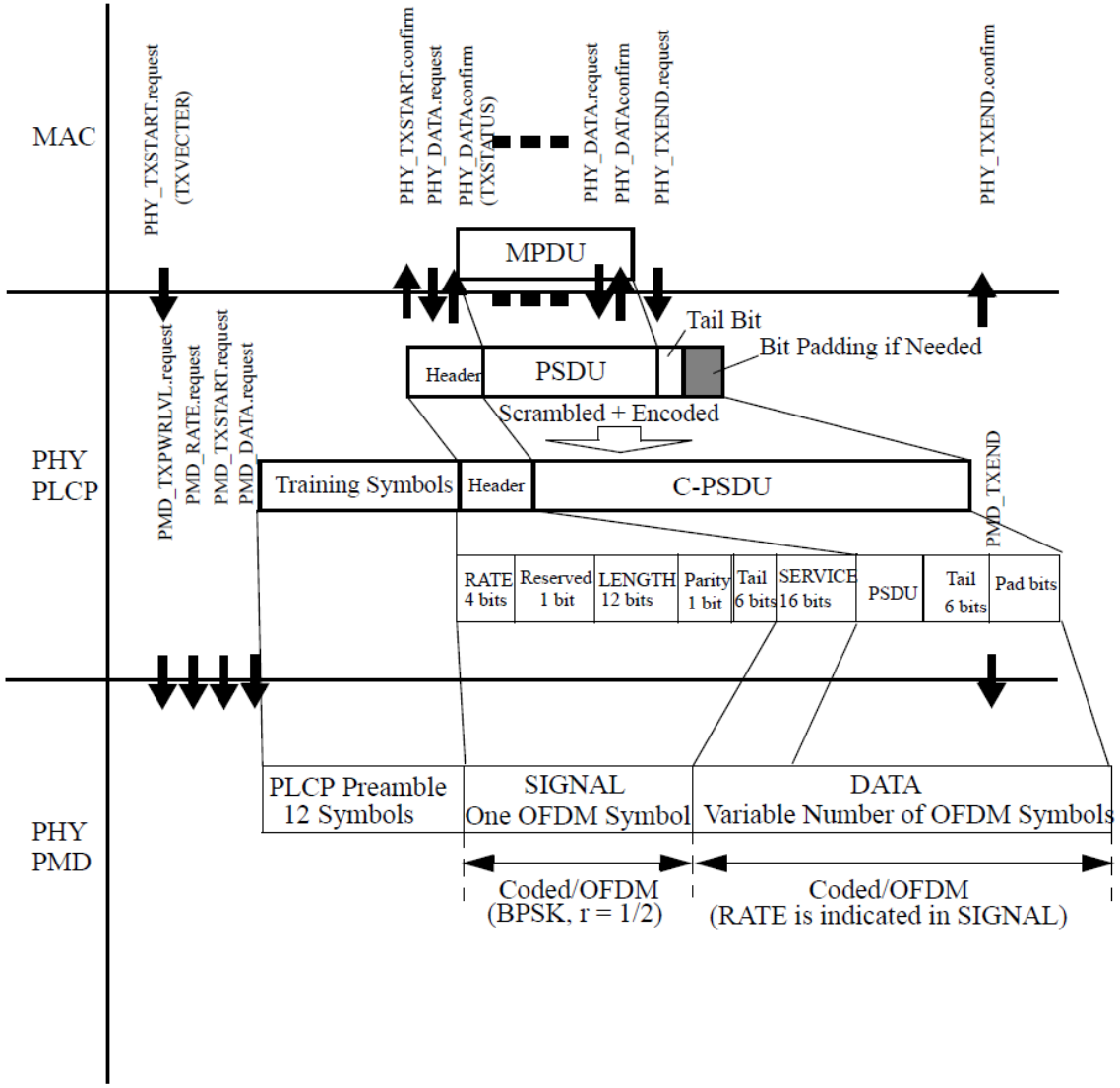
- High Rate DSSS
  - 11 Mcps áll rendelkezésre
    - Tetszőleges +-1 sorozat 11 M szimbólum/s-mal (DBPSK)
    - DQPSK esetén 2 párhuzamos +-1 sorozat
  - CCK (Complementary Code Keying)
    - 8 hosszú komplex kódok: 11/8x sebességnövekedés
    - 5.5 Mbps: 8 hosszú kód 4 bitet kódol (11/8*4)
      - 2 bit: Melyik kód a lehetséges 4 közül
      - 2 bit: DQPSK-ban mennyi fázisfordítás a chipeken
    - 11 Mbps: 8 hosszú kód 8 bitet kódol (11/8*8)
      - 6 bit: Melyik kód a lehetséges 64 közül
      - 2 bit: DQPSK szerinti fázisváltozás
  - Ez már sokkal kevésbé zavarvédett
  - 3 darab nem átlapoló sáv lehet a 2.4 GHz-es tartományban
  - Átlapolódás esetén romlik a jelminőség
    - Innen jött az igény a dinamikus frekvenciaválasztásra

802.11a Fizikai réteg

- OFDM alapú specifikáció, 1999-ben
- Definiálja az 5GHz ISM sávok használatát
- Bevezeti az adaptív csatornakódolást és modulációt
- A nagyobb funkcionalitás miatt bonyolultabbá válik
- A jó vételhez jól kell ismerni a csatorna állapotát és fejlett fizikai eljárásokat kell futtatni
  - Emiatt kellenek a beállítósorozatok (training symbols)
    - Adaptív erősítés (AGC)
    - Pontos szimbólum-időzítés
    - Diverzitás-kiválasztás
    - Frekvencia-elcsúszás becslése és korrekciója
    - Linearizáció, csúcstényező csökkentése, stb.
- Teljesen új rádiós interfész
- Nem kellett igazodni a 802.11b-hez, teljesen új
  - Meglévő eszközök nem tudtak benne működni
  - Nehézkesebben terjedt el
  - AP-k akkoriban: a, b, g

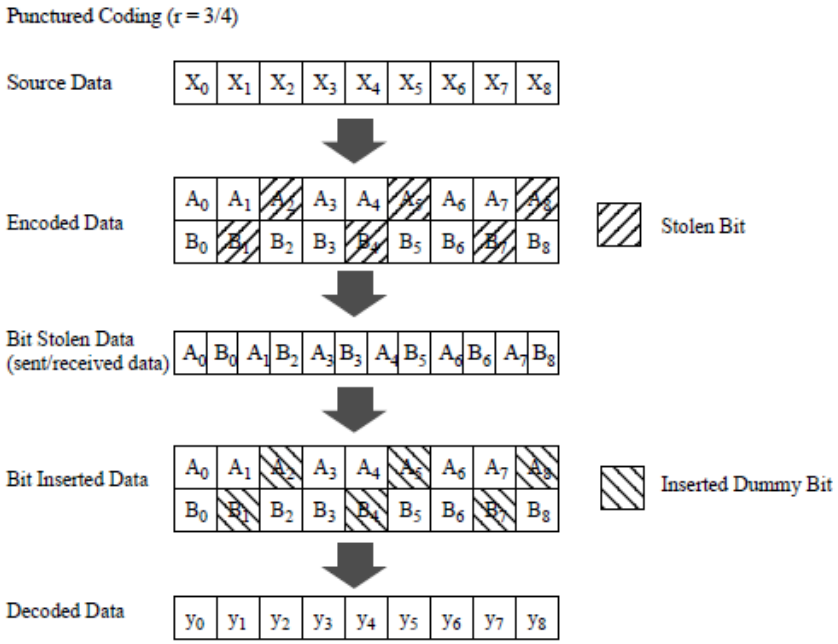


802.11a Fizikai réteg



802.11a Fizikai réteg

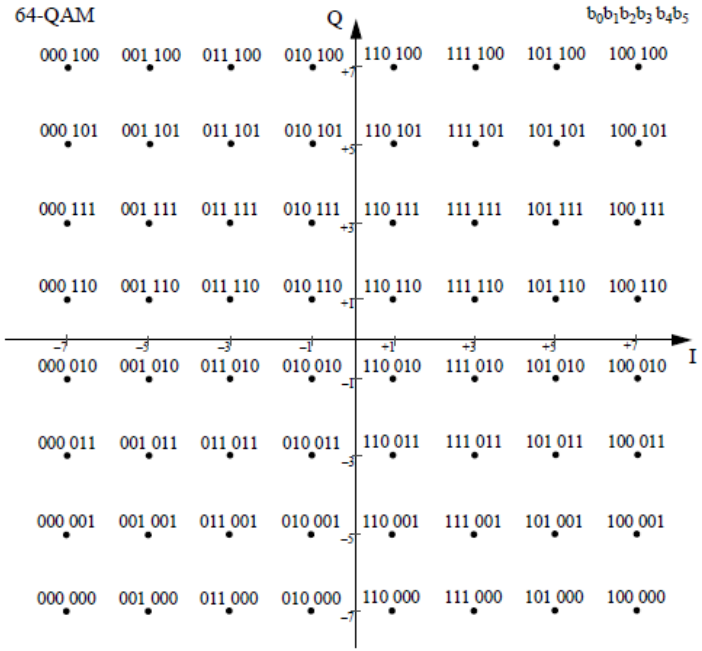
- 20 MHz-es sávok az 5GHz-es tartományban
- 64 pontos FFT:
  - 20/64=0.3125 MHz segédvivők közti távolság (vs LTE: 15 kHz)
  - 3.2 us szimbólumidő (LTE 66.67 us)
  - 0.8 us guard interval (LTE-ben: ciklikus prefix)
  - 48 segédvivő + 4 pilot segédvivő
  - Többféle moduláció minden segédvivőn
    - BPSK, 4-, 16-, 64-QAM
  - ½ konvolúciós kódolás
    - Lyukasztással
- Átfűzés (Interleaving)
- Bitkeverés (Scrambling, Whitening)



802.11a Fizikai réteg

- 64 QAM zavarmentes esetben 6 bit / segédvivő
- 216 bit/4 us = 54 Mbps (Coding Rate = 3/4)
- Azokban a pillanatokban, amikor adat megy

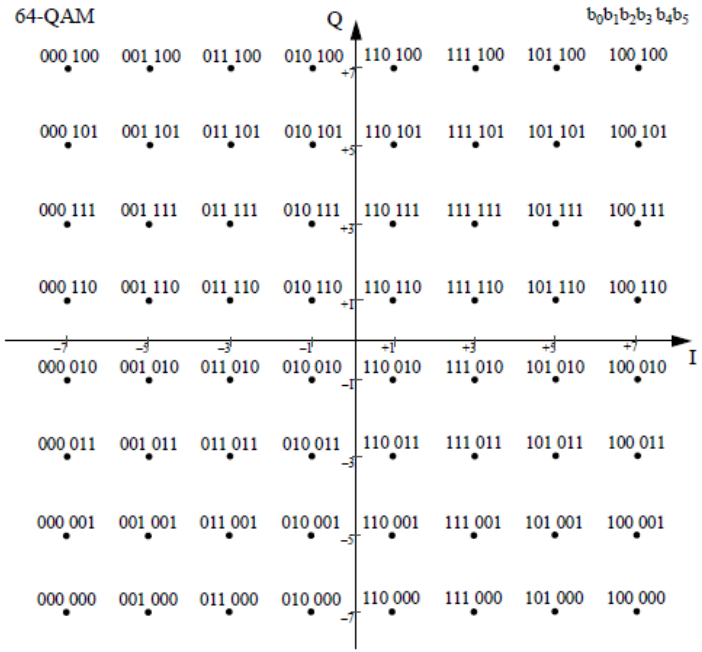
Data rate (Mbits/s)	Modulation	Coding rate (R)	Coded bits per subcarrier (N_{BPSC})	Coded bits per OFDM symbol (N_{CBPS})	Data bits per OFDM symbol (N_{DBPS})
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16-QAM	1/2	4	192	96
36	16-QAM	3/4	4	192	144
48	64-QAM	2/3	6	288	192
54	64-QAM	3/4	6	288	216



802.11a Fizikai réteg

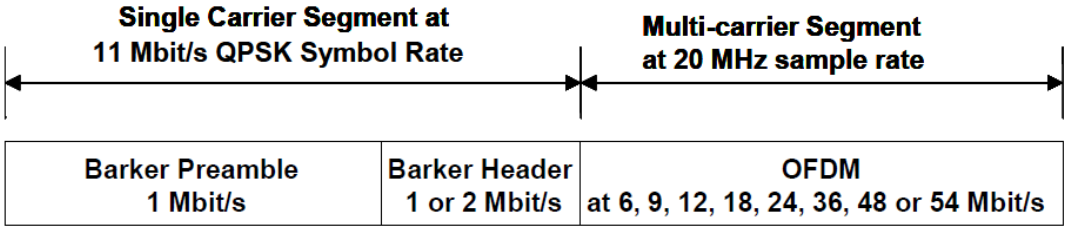
- 64 QAM zavarmentes esetben 6 bit / segédvivő
- 216 bit/4 us = 54 Mbps (Coding Rate = 3/4)
  - Azokban a pillanatokban, amikor adat megy (!)
  - Legkevésbé hibatűrő
  - Mac+PLCP fejlécek + backoff intervallumok miatt kb. 35 Mbps

Data rate (Mbits/s)	Modulation	Coding rate (R)	Coded bits per subcarrier (N_{BPSC})	Coded bits per OFDM symbol (N_{CBPS})	Data bits per OFDM symbol (N_{DBPS})
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16-QAM	1/2	4	192	96
36	16-QAM	3/4	4	192	144
48	64-QAM	2/3	6	288	192
54	64-QAM	3/4	6	288	216



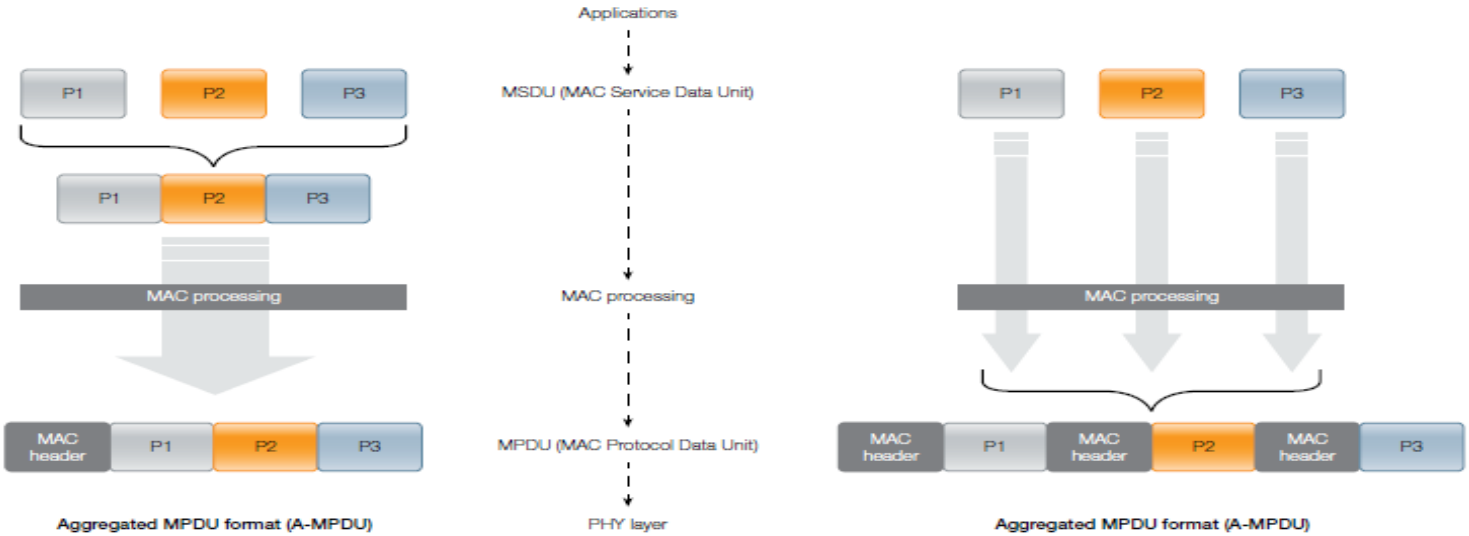
802.11g Fizikai réteg

- Felmerült az igény a 2.4 GHz sávban való OFDM működésre
  - Lassan terjedtek a korábbi verziók
- További igény: visszafelé kompatibilis legyen
  - Azaz „Extended Rate” működés
  - Fizikai fejlécek megegyezzenek a 802.11b –val
  - Utána az adat rész lehessen 802.11a, vagy b kompatibilis
- Ezeket valósítja meg a 802.11g szabvány
  - DSSS-OFDM fizikai réteg
- Ennek ára a nagyobb fizikai réteg overhead
  - Viszont legacy 802.11 és 802.11b tud együttműködni
- Többféle verzió együttélése esetén:
  - A rendszer össz átvitelét rontják a korábbi verzióval működő eszközök
  - Hiszen időt foglalnak, de kevés adatot visznek át



802.11n rendszerek

- Cél: Nagyobb átviteli sebesség
  - Keret aggregáció: több MAC keret összevonása és együttes elküldése
  - RIFS : csökkentett keretek-közti időtartam
  - Szélesebb csatorna: 40 MHz
  - MIMO: többantennás technikák alkalmazása
    - Korábbi eszközökön is volt több antenna, de általában csak antenna diverzitás megvalósítására



Forrás: Designed for Speed: Network Infrastructure in an 802.11n World, white paper, ARUBA

802.11n rendszerek

- A keret aggregáció két módja
  - Több MAC keret egy „szuper” keretben: A-MPDU
  - Több LLC keret összemultiplexelve egy MAC keretté: A-MSDU
- A maximális kerethossz megnövelve 65535 byte–ra (korábban 4095)
- Csoportos nyugtázás
  - Az adó kérhet csoportos nyugtát, azaz több kerethez egy nyugtát
  - Ilyenkor egy nyugta több keretet, egy keret-sorozaton belül mindegyiket nyugtázza
  - Amelyiket nem, azt kell újraküldeni
  - Bizonyos alkalmazásoknál nem jó, mert extra késleltetést jelenthet a szelektív újraadás
- 2 us redukált keretközti idő RIFS
  - A normál SIFS 16 us hosszú ebben az esetben
  - Csak akkor alkalmazható, ha az ún. zöldmezős módban megy a hálózat
    - Azaz csak 802.11n képes készülékek, és mind tudja a RIFS-et
  - Ez korlátozza az elterjedést, bár megvalósítani egyszerű

802.11n rendszerek

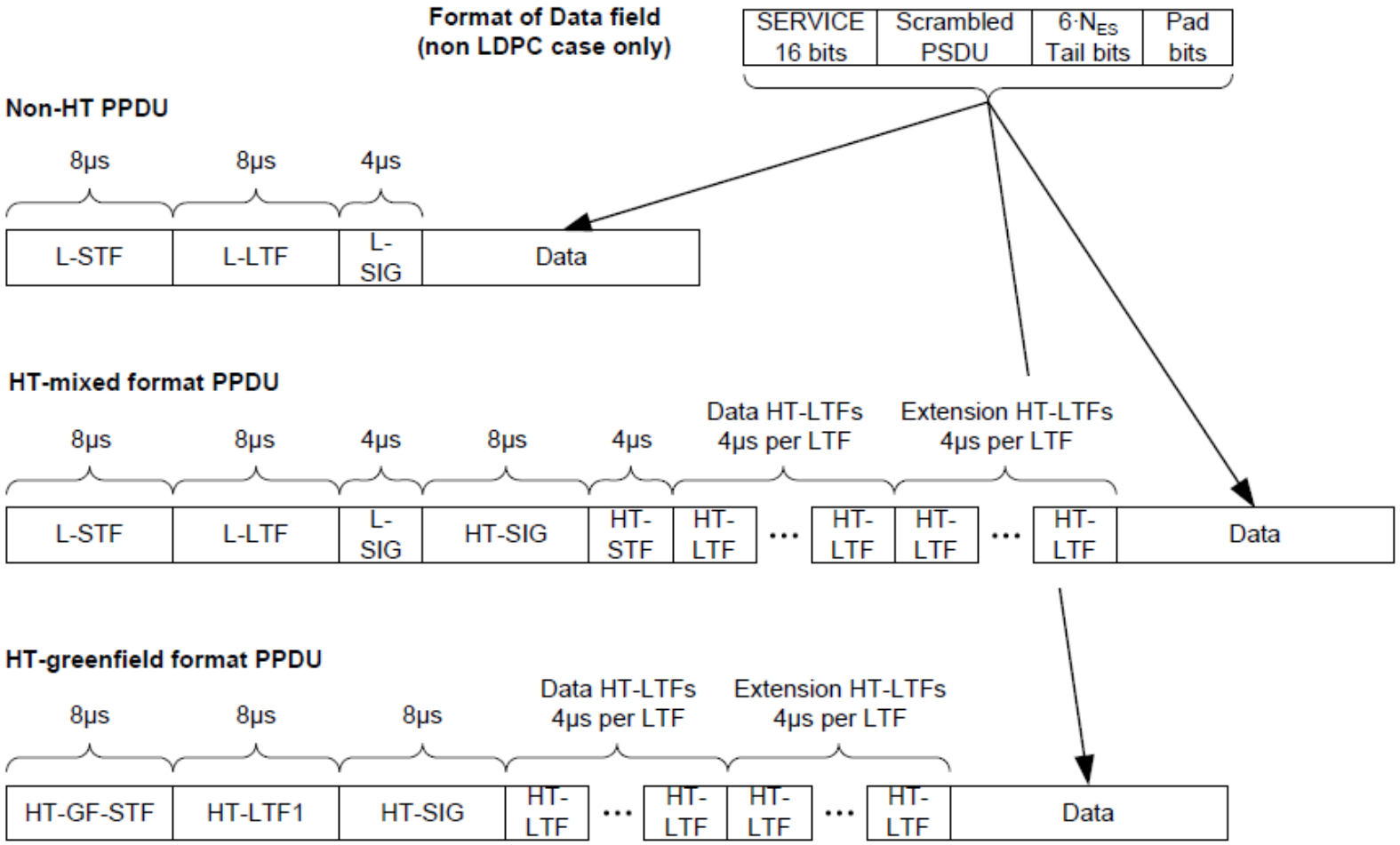
- 40 MHz-es sávok használata
  - Korábban: gyártói megoldásként már alkalmazták a 2*20 Mhz együttes használatát, tulajdonképpen 2 db 802.11a/g átvitelt párhuzamosan
  - Itt: egyben kezelt 40 MHz csatorna
  - Szintén csak zöldmezős módon lehet alkalmazni
    - Ez nem mindig lehetséges, illik támogatni az (a,b,g) klienseket
    - Ezek is csatlakozni tudjanak az n-es AP-hoz
    - Figyelni kell a környező a,b,g rendszerekre, mert a 40 MHz allokáció ezeket zavarhatja, illetve ezek zavarják
  - Problémák: RTS/CTS, csatornaérzékelés, adás csak 20 MHz-en a régebbi terminálóknál

802.11n rendszerek

- 802.11n AP üzemmódok
  - HT (High Throughput) formátum: zöldmezős mód
    - A beacon és kontroll keretek mennek 20 MHz-en
      - Az átvitel további formátuma 20/40 MHz
    - Legacy ezközök nem tudják használni
  - Nem-HT formátum: visszafelé kompatibilis működés
    - Tulajdonképpen 802.11 a/g
    - Nincs 40 MHz csatornahasználat, még akkor sem, ha lenne ilyen képességű terminál
  - Kevert HT formátum: 802.11n klienseknek HT, többieknek nem-HT
    - Hasonlóan a 802.11g-nél
    - A fizikai előtag 802.11a/g-nek megfelelő
    - Kell egy elsődleges 20 Mhz csatorna, ezeken történik a régebbi eszközök kiszolgálása, valamint a beacon, management és kontroll keretek küldése
    - Az n-es készülékek 40 MHz-n

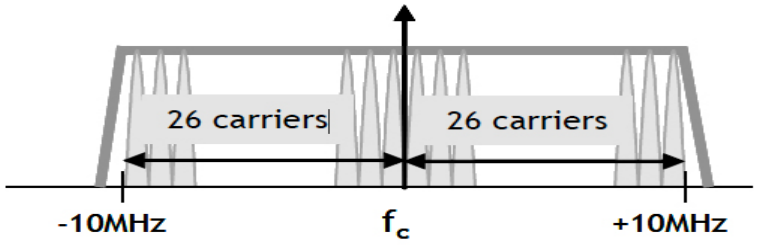
802.11n rendszerek

- 802.11n AP üzemmódok

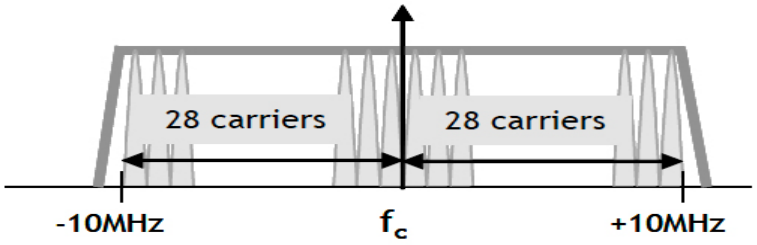


802.11n rendszerek

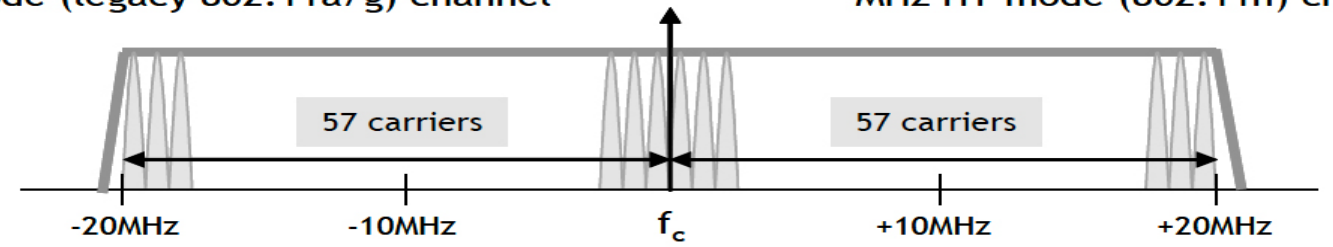
- OFDM megoldás a különböző formátumokban
  - Ezért nem kompatibilis a 20 MHz HT formátum sem
  - 4, illetve 6 pilot segédvivő



52 subcarriers (48 usable) for a 20 MHz non-HT mode (legacy 802.11a/g) channel



56 subcarriers (52 usable) for a 20 MHz HT mode (802.11n) channel



114 subcarriers (108 usable) for a 40 MHz HT mode (802.11n) channel

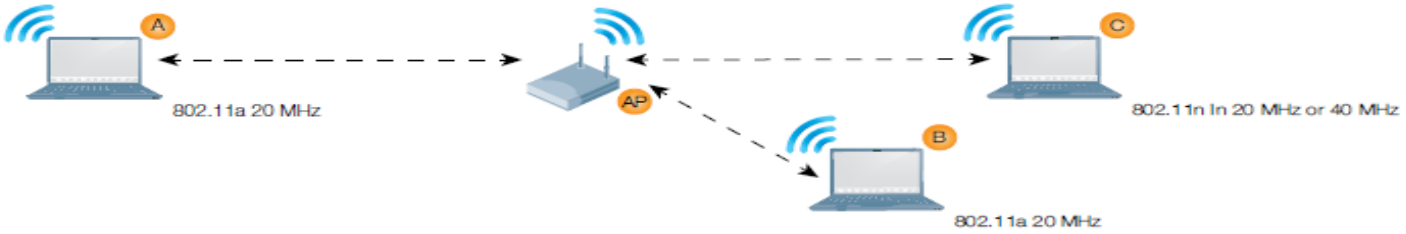
Forrás: Designed for Speed: Network Infrastructure in an 802.11n World, white paper, ARUBA

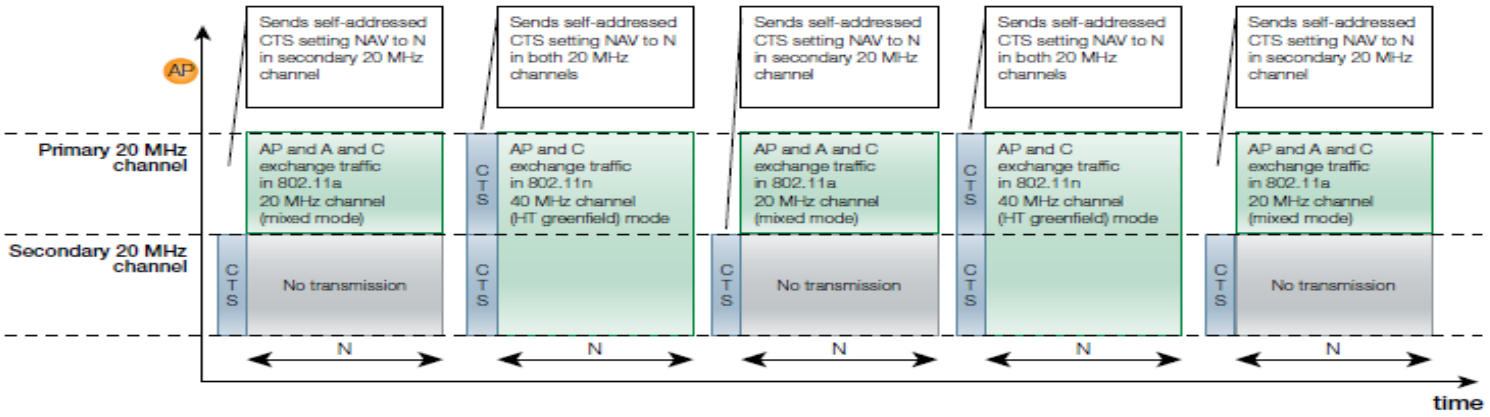
802.11n rendszerek

- Új, rövidebb ciklikus prefix bevezetése: 0.4 us
  - Tipikus a rövid hatósugarú, beltéri használat, itt nem várható ennél nagyobb terjedési úthossz-különbség (120 méter)
- Opcionálisan ún. LDPC (Low Density Parity Check) hibavédő kódolás
- Elérhető (pillanatnyi) sebességek tehát
  - 20 MHz, 52 segédvivő, 0.8 us GI, 64QAM, 5/6-os kódolás:
    - (52*6*5/6) / (4 us) = 70 Mbps
  - 40 MHz, rövid prefix:
    - (108*6*5/6) / 3.6 us = 150 Mbps
- Tipikus: b,g,n, wireless router:
  - 150 Mbps, 2.4 GHz, 40 Mhz, tudja a rövid prefixet

802.11n rendszerek

- A 40 MHz allokáció a kevésbé terhelt 5 GHz sávhoz jól illeszkedik
  - A 2.4 GHz-en csak egy foglalható le átlapolás-mentesen
  - De ha van szomszédos 20 MHz, azzal jó eséllyel átlapolódik
  - Az RTS/CTS működés ezt is igyekszik javítani
  - Az együttélést az AP segíti
    - A másodlagos 20 MHz-en is beállítja a NAV-ot, az ott értelmezhető CTS küldésével



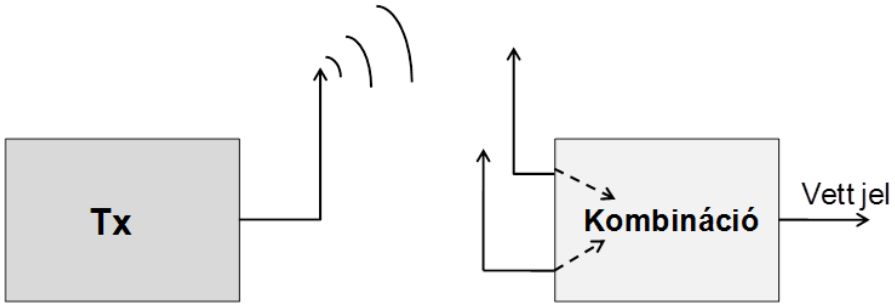


802.11n rendszerek

- Az említett sebességek nem voltak elegendők
- A nagy újítás: MIMO működési módok
  - Több adó/vevő jelfeldolgozási lánc működését igényli (nem csak több antennát)
- Fejlett antennadiverzitás:
  - Tér-idő kódolás
  - Maximális arányú kombinálás (maximum ratio combining)
- Nyalábformálás (beamforming)
- Térbeli multiplexálás

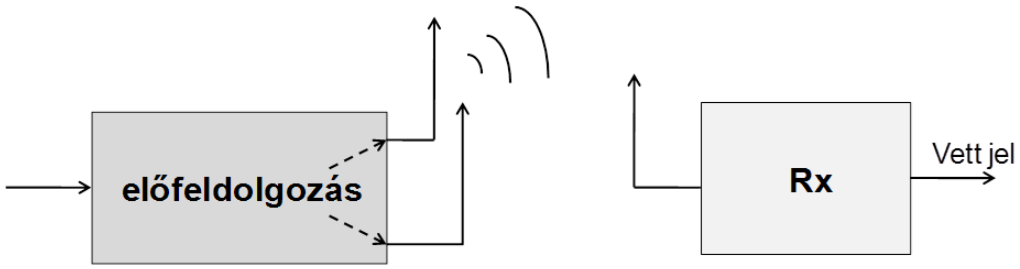
802.11n rendszerek

- Maximális arányú kombinálás (MRC)
  - Több vevőantenna esetén
  - Az antennákon vett jeleket súlyozva összegzi
  - A hatása olyan, mintha a vevőantennák számával szorzódna a jel-zaj viszony
  - Szükséges hozzá a csatornaállapot ismerete minden antennán
    - A pilot szimbólumok és a training segítségével
    - Fázistolás, pillanatnyi csillapítás, azaz egy komplex szorzó
  - A komplex szorzók konjugáltjával kell szorozni
    - Fázistolásokat el kell vevőlánconként tűntetni



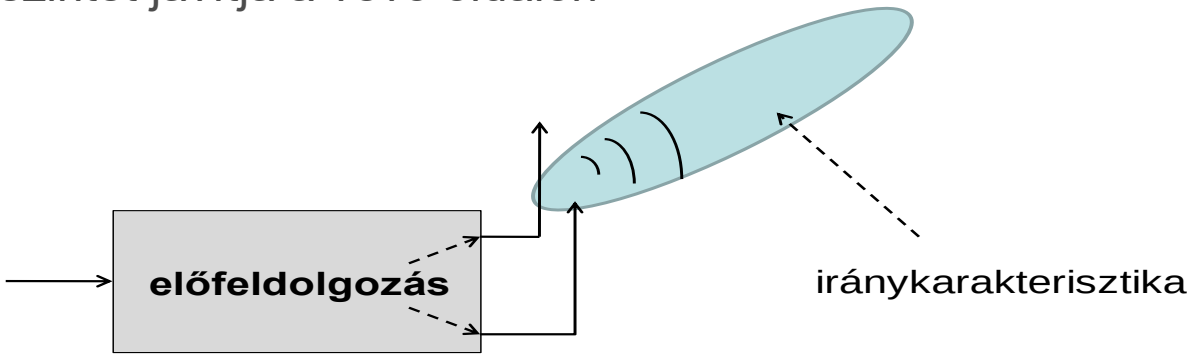
802.11n rendszerek

- Tér-idő kódolás (STBC)
  - Több adóantenna küld, adóoldali diverzitás
  - Több időegységben a különböző antennákon
    - Az antennák számának megfelelő különböző jelet küld
    - Az SNR javítható jelentősen
    - A vevőben kell ismerni (mérni) a csatornaállapotot, illetve a tér-idő kódot
    - Tér-idő kód: mikor-melyik antenna
  - Olyan a hatása, mint az MRC-é



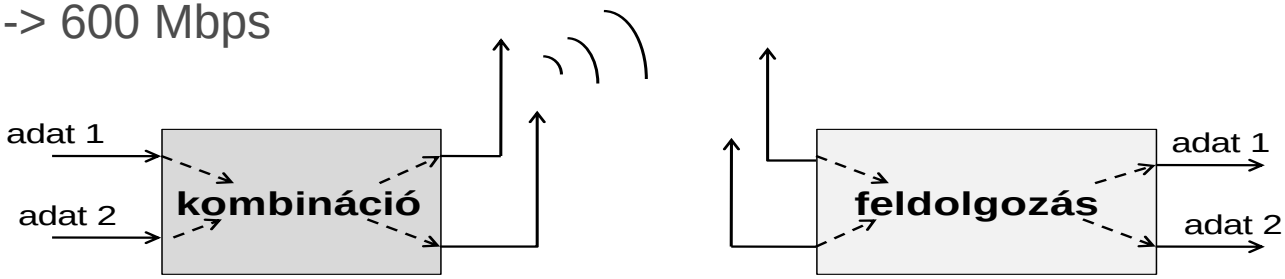
802.11n rendszerek

- Nyalábformálás
  - Több adóoldali antennára megfelelően előfeldolgozott jelet küldve az antenna iránykarakterisztika javítható
    - Adott irányba (keskeny nyalábban) fókuszálja a küldött jelet (hagyományos)
    - Itt: úgy elősúlyozni, hogy a vevőnél fázisban „jól” érkezzenek a különböző antennákról jövő jelek
    - Szükséges, hogy a felek jól ismerjék a csatorna állapotát
    - Megint a csatorna konjugáltjával kell előszorozni
  - Hasonló az MRC-hez, csak az adónál
  - A jelszintet javítja a vevő oldalon

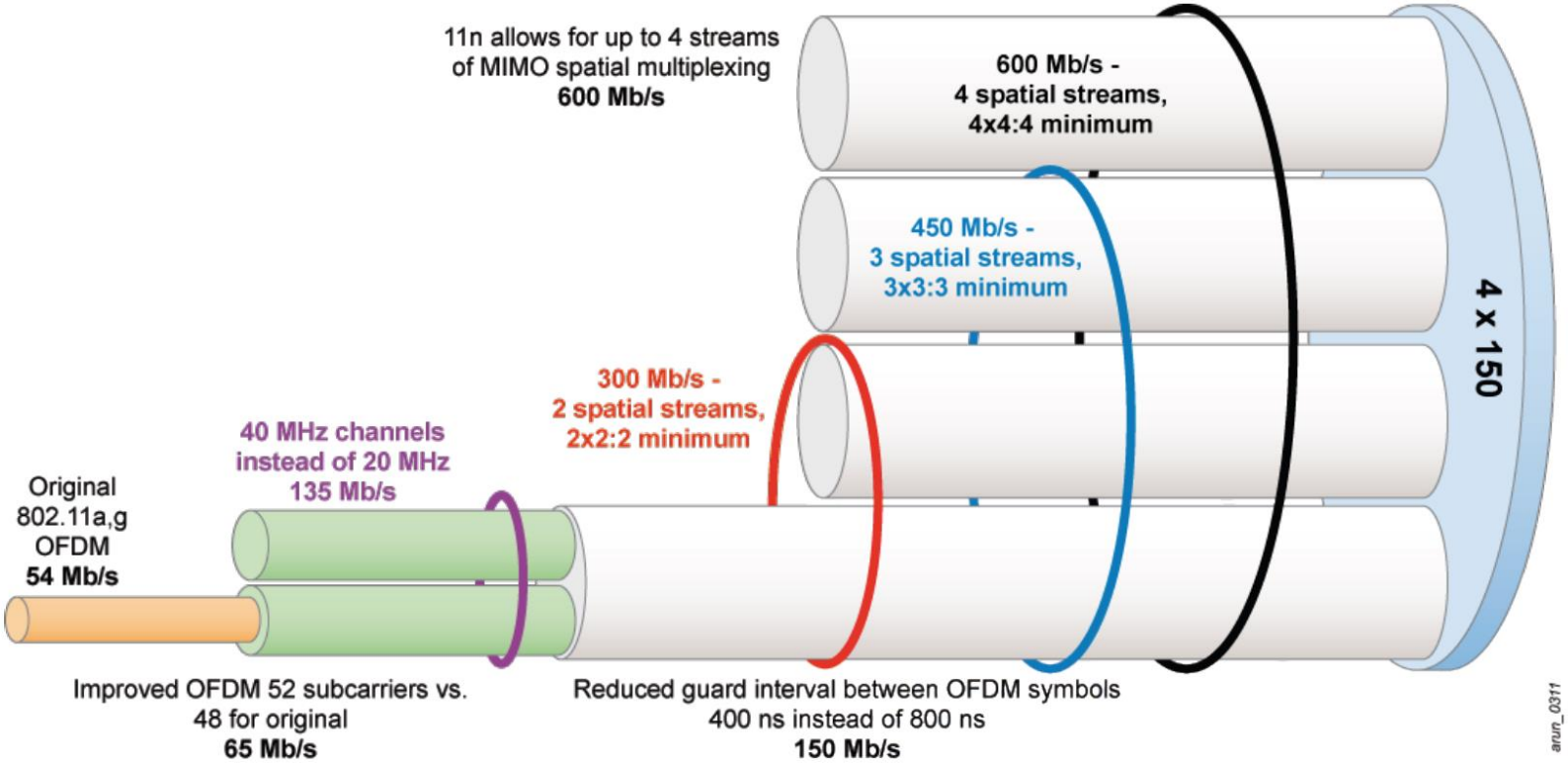


802.11n rendszerek

- Térbeli multiplexálás
  - Ez a klasszikus MIMO, itt mindkét oldalon több antenna kell
  - A több adóantennát felhasználva több jel párhuzamos küldése (ugyanabban az időben, ugyanabban a frekvenciasávban)
  - A különböző antennákon küldött jelek zavarják egymást
    - Ügyes jelfeldolgozással ez kiküszöbölhető
  - A jelutaknak függetlennek kell lennie, hogy működjön
  - Maximum négy adatfolyamot támogat a szabvány
    - Ez minimum 4x4 adó x vevő
  - Definiálva még: nem azonos moduláció és kódolás streamenként
  - Az elvi maximális pillanatnyi adatsebességek ebből következnek
    - 20 MHz -> 260 Mbps
    - 40 MHz -> 600 Mbps



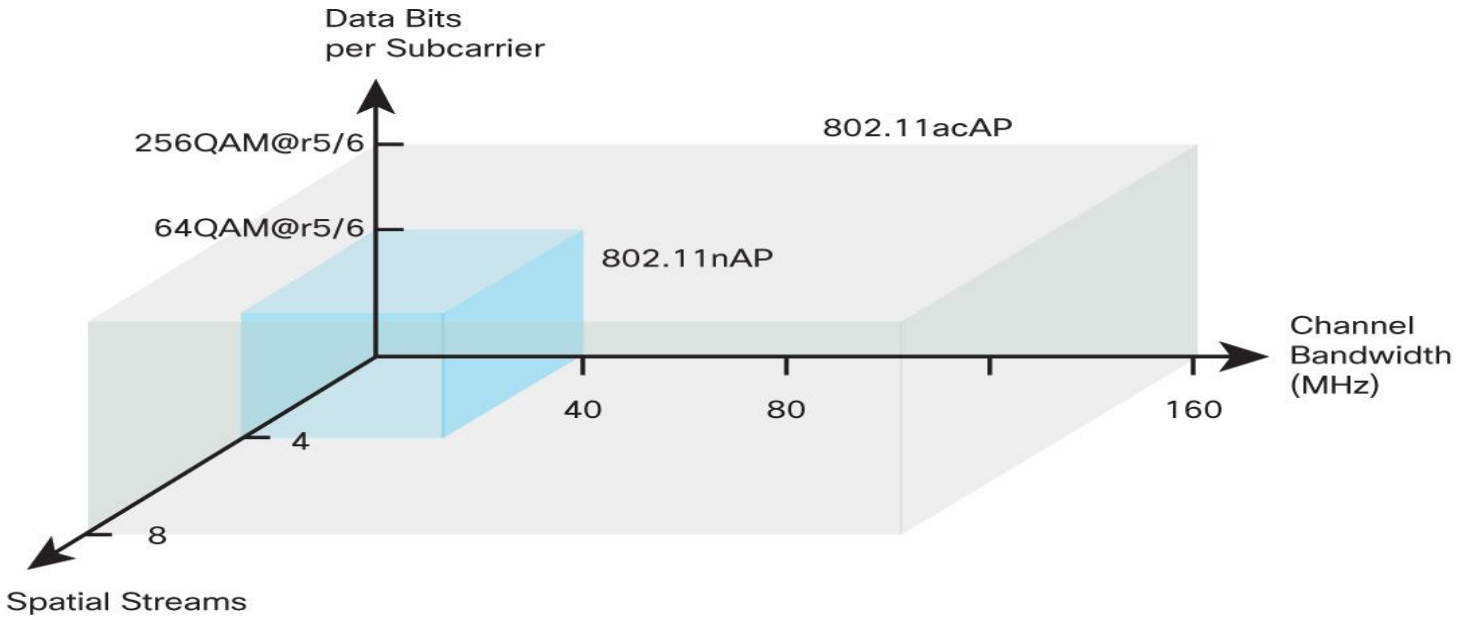
802.11n rendszerek



802.11ac – Very High Throughput

- Új szabvány, amely még nagyobb átviteli sebességet biztosít
  - Nagyfelbontású videó
  - AR alkalmazások
  - Nagyobb rendszerthroughput, azaz több felhasználó
- Adatsebesség növelésének alapelve: „brute force”
  - Szélesebb sáv
  - Nagyobb állapotszámú moduláció
  - Több térben multiplexált adatfolyam
  - 5GHz –es sáv ezért, a 2.4 GHz-en nincs elég
    - 2.4 GHz-beli működés nem is definiált az ac -ben
    - Amúgy is eléggé „zsúfolt” a 2.4 GHz
- Visszafelé kompatibilitás az 5GHz-n
  - a,n terminálok
- Továbbá kifinomultabb eljárások
- Ez az 5G WiFi

802.11ac – Very High Throughput

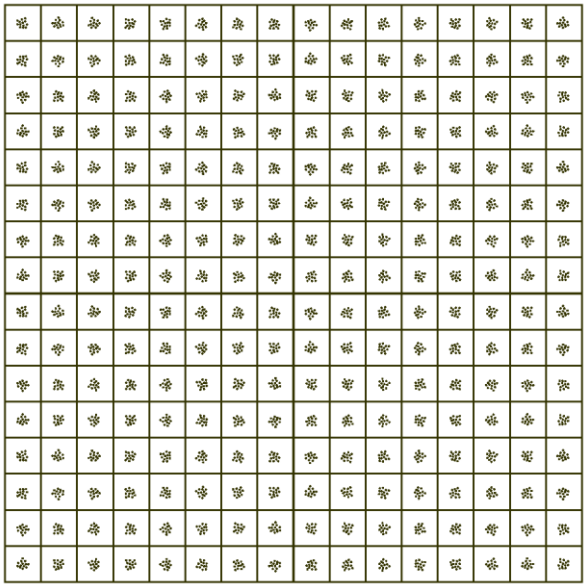


- A definíció: VHT (Very High Throughput)
  - Definiált sávszélesség konfigurációk:
    20, 40, 80, 160 MHz (szomszédos 20 MHz-enként)
    - 80 + 80 MHz, két 80 MHz nem szomszédos sáv
  - Visszafelé kompatibilitás (sávszélesség tekintetében)
  - A fizikai keret előtagja 20 MHz 802.11a formátumban megy
    - Minden 20 MHz részcsatornában
    - Érzékelni tudják a legacy készülékek

802.11ac – Very High Throughput

- OFDM mint eddig, itt is van rövid prefix
- Relatíve még kevesebb pilot segédvivő
  - Több, mint kétszeres növekedés a sávszlesség duplázásával
- Sebességek így (MIMO nélkül):
  - 80 MHz -> 325 Mbps (2*802.11n -> 300 Mbps lenne)
  - 160 MHz -> 650 Mbps
- Bevezetik a 256 QAM –et, max 5/6 kódolással
  - 433.3 Mbps, illetve 866.6 Mbps
  - A 256 QAM nagyon zajérzékeny
  - Kiváló RF jelfeldolgozás kell hozzá

Parameter	CBW20	CBW40	CBW80	CBW80+80	CBW160	Description
N_{SD}	52	108	234	234	468	Number of complex data numbers per frequency segment
N_{SP}	4	6	8	8	16	Number of pilot values per frequency segment
N_{ST}	56	114	242	242	484	Total number of subcarriers per frequency segment. See NOTE.

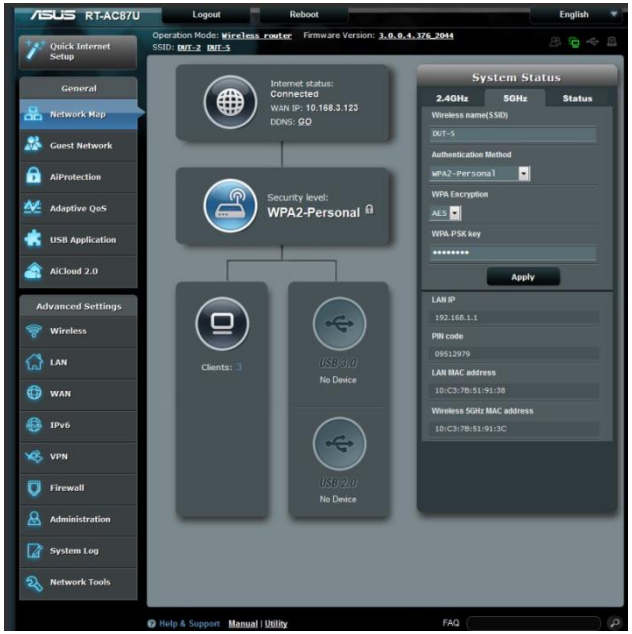


802.11ac – Very High Throughput

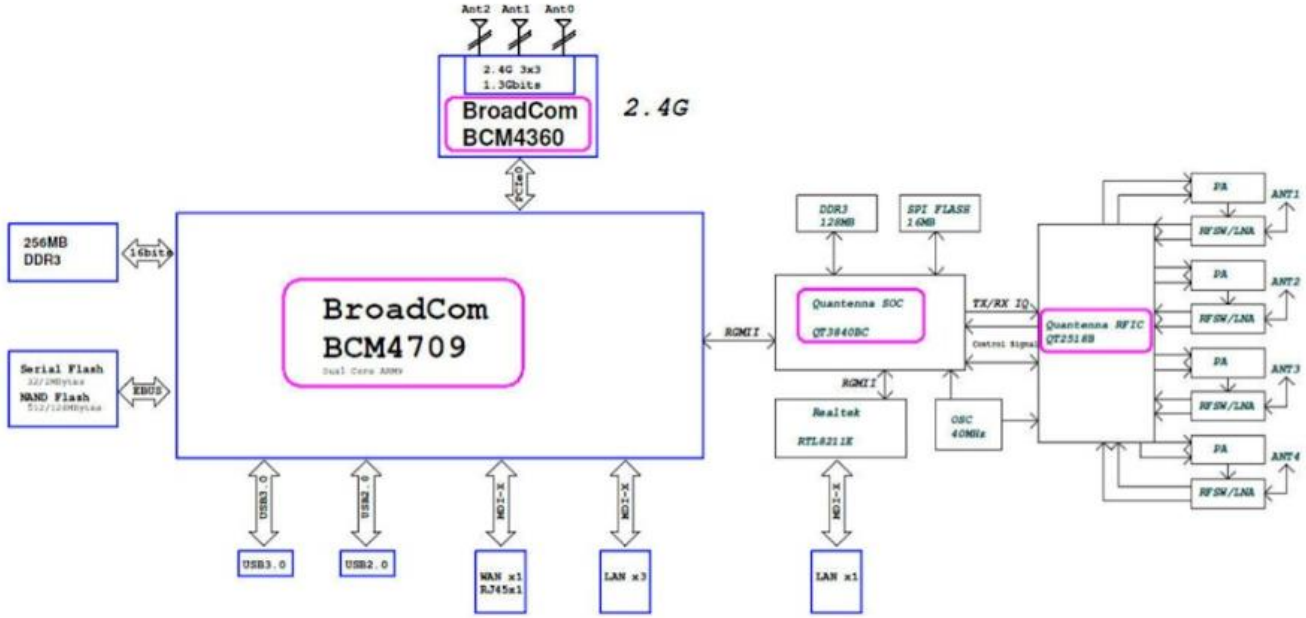
- Térbeli multiplexálás
  - Maximum 8 párhuzamos adatfolyam
  - Nyolcszoros adatsebesség
  - Elvi maximum a 6933.3 Mbps 160 MHz, 256 QAM
  - A vevőben (mobiltelefon, laptop, színestévé) ehhez
    - 8 antenna, legalább fél hullámhossznyira egymástól
      - De inkább egész (6 cm)
    - 8 vételi jelfeldolgozási lánc
- Többfelhasználós (Multi User) MIMO
  - Több adó és több vevő (MIMO) szükséges
  - A több, párhuzamosan küldött jel több kliensnek szól
- A gyártók tipikusan beleteszik a 2.4 GHz n és 5 GHz n/ac technológiákat
  - Szimultán működés a két sávban
    - Van aki erre mondja, hogy MU-MIMO, de nem igaz
    - Illetve összeadják az egyes sávokban elérhető elméleti maximális sebességeket
- Háromsávú működés
  - 2.4 GHz (ISM) és két sáv 5 GHz-en (U-NII)

802.11ac – Esettanulmány

- Asus RT-AC87U
  - Az első „wave 2” 802.11ac router
    - A „wave 1” eszközöket 2013-ban mutatták be, ezt követték a „wave 2” eszközök 2016-ban
  - 2400 Mbps aggregált throughput
    - 1733 Mbps (4x4 MIMO, 80 MHz, 256 QAM) 5 GHz-en
    - 650 Mbps (3x3 MIMO, 40 MHz, 256 QAM) 2,4 GHz-en
  - Mindent tud, ami kellhet (802.11e QoS-t is)
    - USB3.0
    - VPN szerver
    - AsusWRT
    - stb.
  - Jelenleg kb. 60-70e HUF környékén kapható
- Elvi potenciál: 80 MHz -> 160 MHz
  - Ezzel újabb 1733 Mbps-ot lehet nyerni 5 GHz-en
  - Nem kell hozzá több antenna:
    - Igazából nem igényel hardveres módosítást
  - Az alkalmazott Quantenna QSR1000 akár képes is lehetne rá



802.11ac – Esettanulmány



- 5 GHz-es szekció
  - Quantenna QSR1000 – QT3840BC SoC
  - RGMII (Reduced Gigabit Media-Independent Interface)
    - Maximálisan elérhető nyers adatsebesség: **1733 Mbps**
- 2,4 GHz-es szekció
  - Broadcom BCM4360
  - PCIe 2.0
    - Maximálisan elérhető nyers adatsebesség: 4000 Mbps

Bluetooth

4.0

Balogh András

BME-HIT

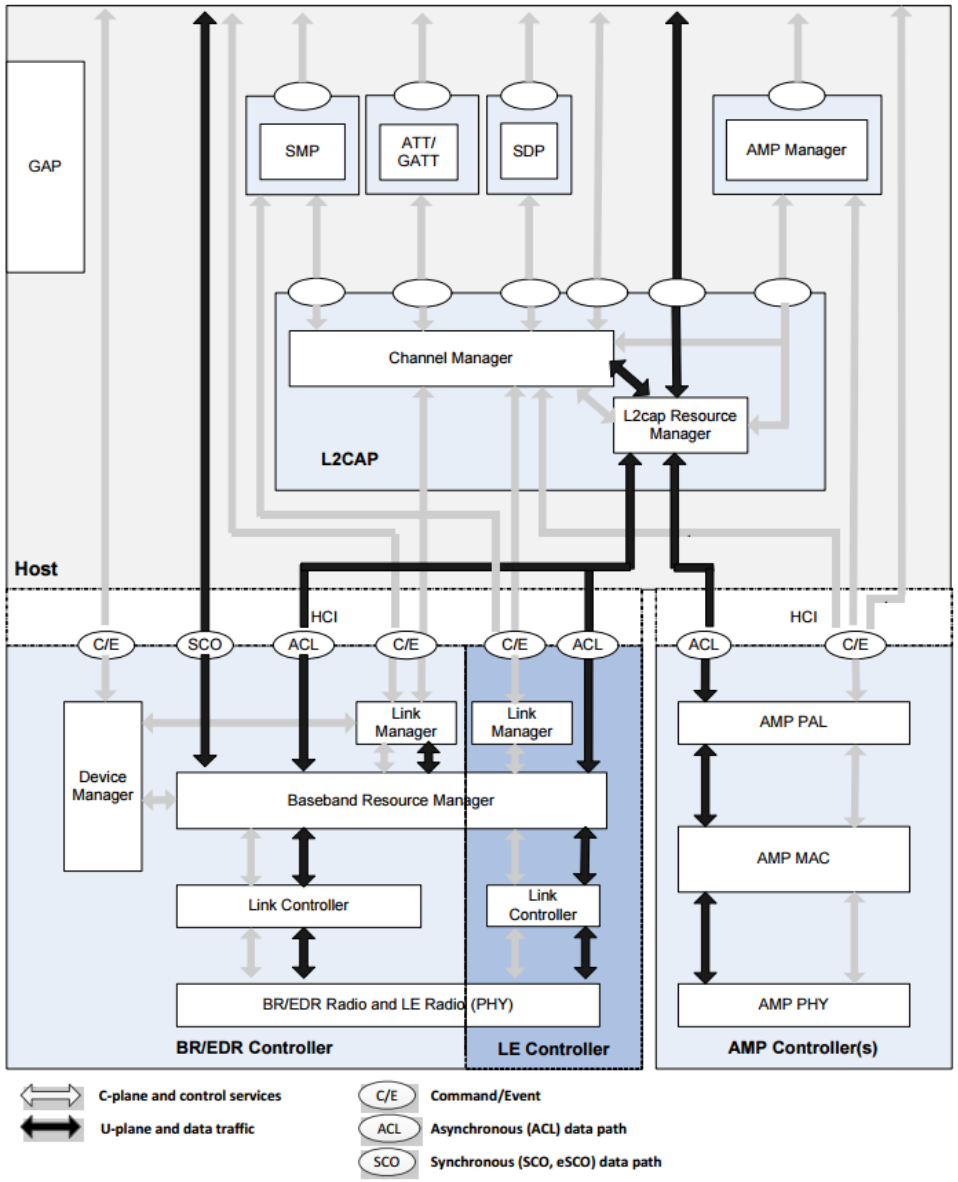
Bluetooth verziótörténet

- 1994-ben indult, 1998-ban megalakult a Bluetooth SIG
  - „Az első használható ad hoc hálózat”
  - v1.0 – 721 kbps
- Bluetooth v1.2: 1 Mbps
  - Gyorsabb felderítés és kapcsolódás
  - Adaptive frequency-hopping spread spectrum (A-FHSS)
  - IEEE 802.15.1 szabványba való beemelés
  - Flow Control and Retransmission módok bevezetése az L2CAP rétegben
- 2004 - Bluetooth v2.0: 3 Mbps
  - EDR (Enhanced Data Rate) bevezetése
    - π/4-DQPSK (2 Mbps) és 8DPSK (3 Mbps)
  - Teljesítménykímélő üzemmódok (low duty cycle)
- 2014 novemberétől ezek a verziók már nem támogatottak

Bluetooth verziótörténet

- 2007 - Bluetooth v2.1: 3 Mbps
  - Secure Simple Pairing és kötelező titikosítás
  - Párosítás OOB adatokkal (pl. NFC)
  - Újabb fogyasztáscsökkentési megoldások
  - Továbbiakban: „Hagyományos” Bluetooth
- 2009 - Bluetooth v3.0: 24 Mbps
  - 802.11 ad-hoc link bevezetése (AMP)
    - Felderítés és kapcsolódás BR/EDR interfészen
    - AMP (Anternative MAC/PHY) egységek keresése
    - Kapcsolódás és forgalom átterelése
      - Ez teszi lehetővé a nagyobb adatsebességet
- 2010 - Bluetooth v4.0: 24 Mbps
  - Bluetooth Low Energy (BLE) bemutatása
  - Az első okostelefon az iPhone 4S (2011) volt, ami támogatta

Bluetooth Architektúra



Bluetooth Architektúra

- Host-specifikus architektúra blokkok
  - Logical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP)
    - L2CAP csatornák kezelése (létrehozás, törlés, stb.)
    - Adatfolyamok és service-specifikus információk átvitele
    - A távoli (peer) eszköz CM-évl tart fenn kapcsolatot
    - Erőforrások kezelése (Ütemezés, QoS biztosítás, stb.)
  - Service Discovery Protocol (SDP)
    - Az eszközökön definiált Service leírók felderítését teszi lehetővé
      - Leíró: Név, Alkalmazott L2CAP csatornák. Protokollok, stb.
    - Dedikált L2CAP csatornán
  - Alternative MAC/PHY (AMP) Manager Protocol
    - Távoli eszközökön található AMP-ok felderítése
      - Kapcsolódási lehetőség, adatátviteli képességek, stb.
    - Dedikált L2CAP csatornán
  - Generic Access Profile (GAP)
    - Alap Bluetooth funkcionalitások definiálása
      - Eszközfelderítési és kapcsolódási mechanizmusok
      - Biztonsági mechanizmusok

Bluetooth Architektúra

- Host-specifikus architektúra blokkok
  - Security Manager Protocol (SMP)
    - Biztonsági mechanizmusok megvalósítása
      - Kulcsok generálása, privát címek feloldása, párosítás támogatása
    - Dedikált L2CAP csatornán
    - Csak LE viszonylatban értelmezett
  - ATT/GATT
    - Attribute Protocol (ATT)
      - Szerver/kliens modellen alapuló protokollt határoz meg
      - Kérés/válasz típusú kommunikáció („tranzakció”)
      - Dedikált L2CAP csatorna felett
    - Generic Attribute Profile (GATT)
      - ATT-beli szerepekhez tartozó funkciók definiálása
    - Alapvetően LE fölé találták ezt is ki

Bluetooth Architektúra

- BR/EDR/LE-specifikus architektúra blokkok
  - Device Manager
    - GAP által definiált funkciók megvalósítása
      - Eszközök felderítése, kapcsolódás, asszociáció, stb.
      - Azaz kb. minden, ami nem adatküldéssel kapcsolatos
  - Link Manager
    - Logikai linkek felépítése, kezelés, módosítása, frissítése
      - LE-n: Link Layer Protocol (LL) segítségével
      - BR/EDR: Link Manager Protocol (LMP) segítségével
  - Baseband Resource Manager
    - Alapvetően: AZ ütemező
      - Ki, mit, mikor, melyik csatornán és hogyan küldhet…
  - Link Controller
    - L2 (MAC) adatcsomagok „értelmezése”
    - LE-n: Link Layer Protocol megvalósítása
    - BR/EDR esetén: Link Control (Baseband) funkciók megvalósítása
    - Szoros együttműködésben az ütemezővel
  - PHY
    - Csomagok küldése és fogadása a megfelelő fizikai csatornákon

Bluetooth Architektúra

- AMP-specifikus architektúra blokkok
  - AMP PAL (Protocol Adaptation Layer)
    - Interfész az AMP MAC és az L2CAP/AMP Manager között
  - AMP MAC
    - IEEE 802-nek megfelelő MAC réteg
  - AMP PHY
    - Alkalmas fizikai réteg

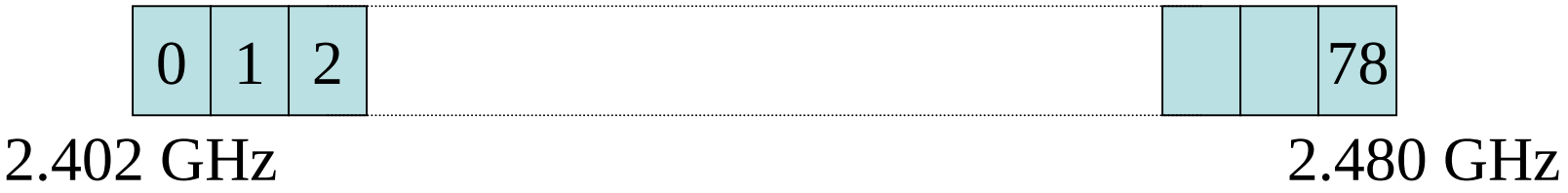
Bluetooth Architektúra

- Host-Controller Interface (HCI)
  - Inkább interfész, mint protokoll arra az esetre, ha Host és a Controller specifikus funkciók külön vannak implementálva (pl. Bluetooth Dongle)
  - A HCI szabványos felület a Host eszközök számára a szabványos BR/EDR/LE/AMP specifikus rétegek elérésére
    - A HCI-n keresztül utasíthatja a Host az alsóbb rétegeket pl. egy adott eszközhöz a kapcsolat kiépítésére, inquiry végrehajtására, hitelesítésre, teljesítmény kímélés aktiválására, stb.
    - Az alsóbb rétegek válaszolhatnak ezen utasításra
- Controllerek „felett” értelmezhető alapvető logikai transzportok
  - Asynchronous Connection-oriented Logical Transport (ACL)
    - Aszinkron, kapcsolat-orientált adatátvitelhez
  - Synchronous Connection-Oriented (SCO, eSCO)
    - Szinkron, kétirányú, kapcsolat-orientált adatátvitelhez
  - Commands/Events (C/E)
    - Parancsok, válaszok, események aszinkron jelzéséhez
      - Kvázi a HCI interfész (de mégsem teljesen az)
    - LE, Broadcast jellegű adatok jellemző belépési és kilépési pontja

BR/EDR Bluetooth működése

BR/EDR Bluetooth - Fizikai réteg

- 2,4 GHz-es ISM sáv
- Frekvenciaugratásos szórt spektrum (FHSS)
  - 1600 hop/s
  - 625 μs/szimbólum
  - 79 db 1 MHz-es vivő , f=(2402+k) MHz , k=0,1,..78
- Modulációk
  - Basic Rate (BR): GFSK (1 Mbps)
  - Enhanced Data Rate (EDR): DQPSK (2 Mbps), 8DPSK (3 Mbps)
- Bevezetett adási teljesítmény osztályok
  - Class 1: max. 20dBm (100mW)
  - Class 2: max. 4dBm (2,5mW)
  - Class 3: max. 0dBm (1mW)

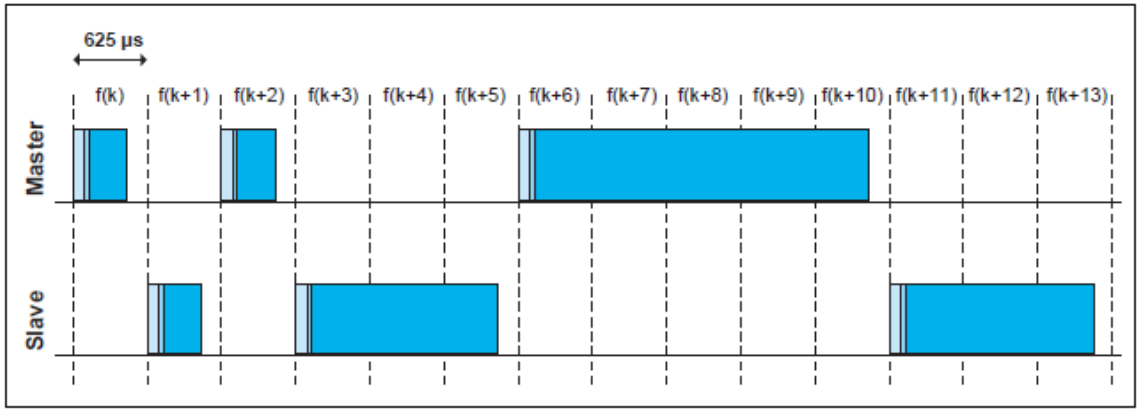


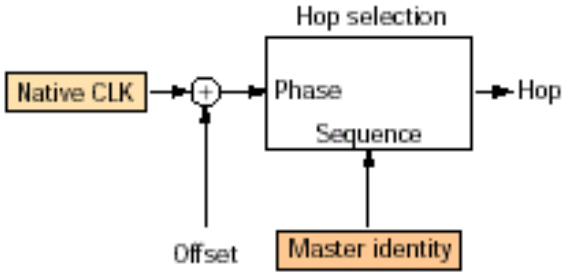
BR/EDR Bluetooth - Baseband

- Alapvető eljárásokat definiál a Bluetooth eszközök egymás közötti kommunikációjának megvalósításához
- Definiálja a(z):
  - Bluetooth linket
  - Piconet fogalmát és létrehozásának módját
  - Erőforrások megosztását egy piconeten belül
  - Csomagformátumokat
- Link Controller
  - A Bluetooth kapcsolat koordinációját végzi
- Bluetooth óra
  - 28 bites, szabadon futó, 625/2=312,5 μs-onként üt egyet, azaz hop-onként kettőt
  - 23,3 óránként ismétlődik
- Bluetooth Device Address (BD_ADDR)
  - IEEE 48 bites típusú cím, eszközönként egyedi

BR/EDR Bluetooth - Baseband

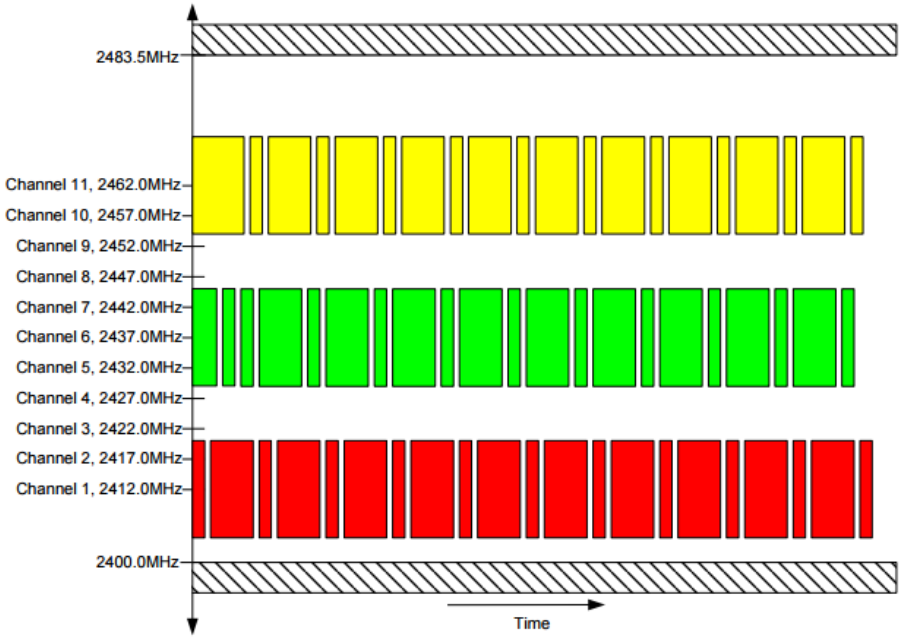
- Ad-hoc működés: Piconet
  - 1 Master és max. 7 aktív Slave
    - Parked eszközből több is lehet
  - A kommunikációt a Master szabályozza
    - Minden Slave egység hozzá igazítja az óráját
    - Basic Piconet Channel: véletlen frekvenciaugratási sorozat (79 csatorna)
    - Adapted Piconet Channel: Basic Piconet Channel min. 20 csatorna
  - A hozzáférés ezen felül időben is koordinált
    - Time Division Duplex (TDD), ha mindenkinek 1 időrése van
      - Minden páros a Masteré, páratlan a Slave-eké + 1 broadcast
      - Multi-slot csomagok miatt ez felborulhat

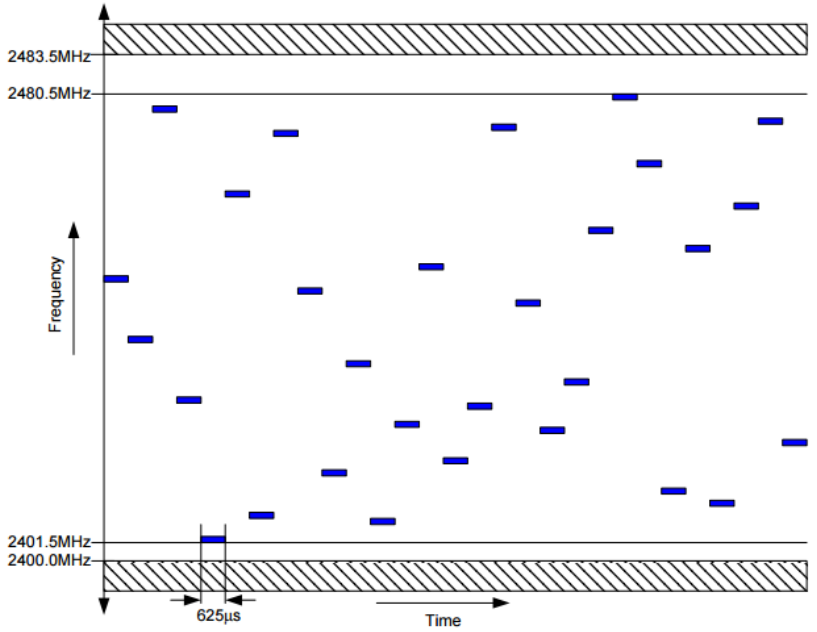




BR/EDR Bluetooth - Baseband

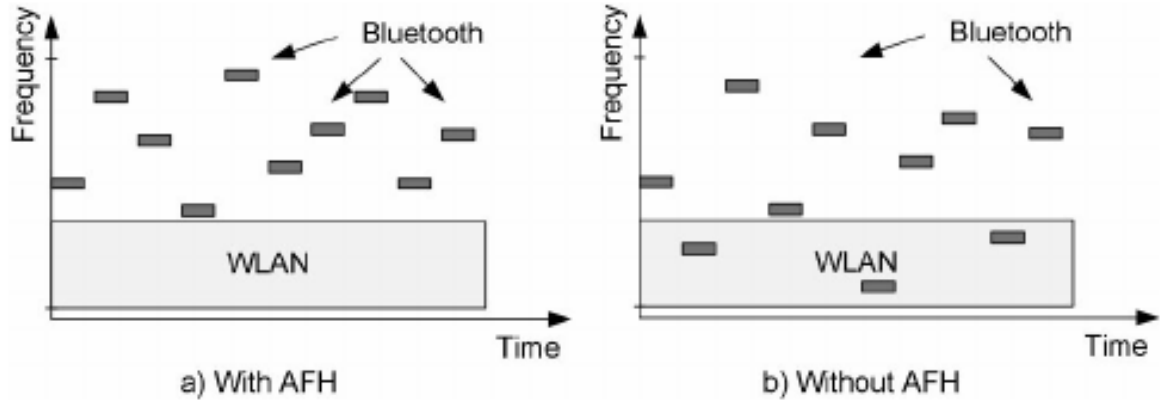
- Bluetooth FHSS vs. 802.11
  - A Bluetooth komoly interferenciaforrást képvisel
  - Ha elég jó a 802.11 spektrális kihasználtsága, akkor nagy valószínűséggel ütközni fog
    - Nincs előírva a Listen Before Talk FHSS-re a 2,4 GHz-es ISM sávban





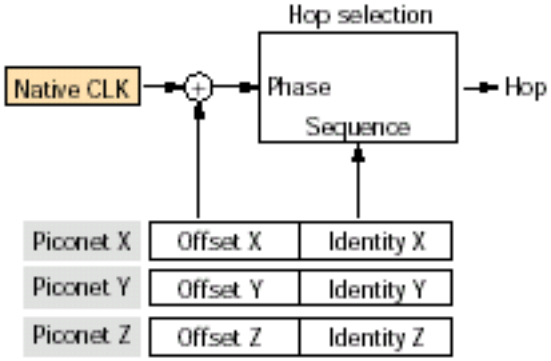
BR/EDR Bluetooth - Baseband

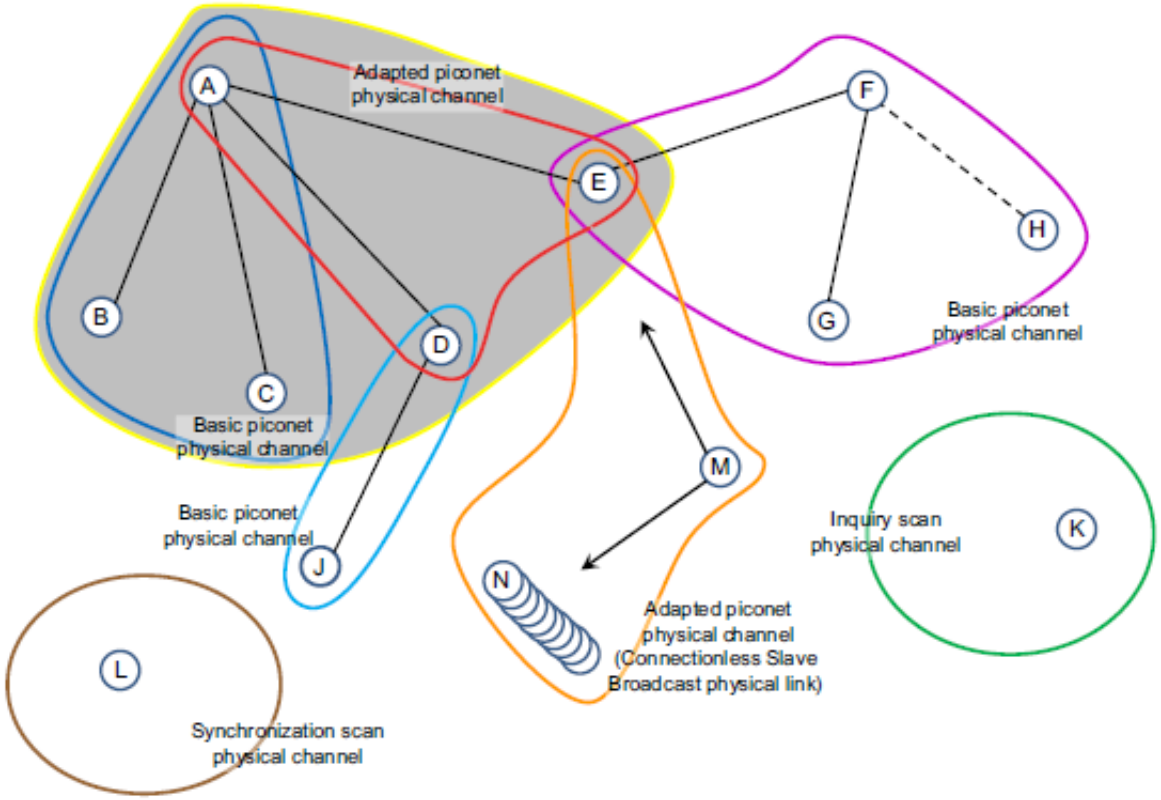
- Bluetooth FHSS vs. 802.11
  - A Bluetooth komoly interferenciaforrást képvisel
  - Ha elég jó a 802.11 spektrális kihasználtsága, akkor nagy valószínűséggel ütközni fog
    - Nincs előírva a Listen Before Talk FHSS-re a 2,4 GHz-es ISM sávban
  - Az együttélést az Adapted Piconet Channel segíti (AFH)
    - Explicite előírható, hogy mely csatornákat használja a Baseband a rendelkezésre 79 db-ból
    - Már, ha előre ismert a 802.11 konfigurációja



BR/EDR Bluetooth - Baseband

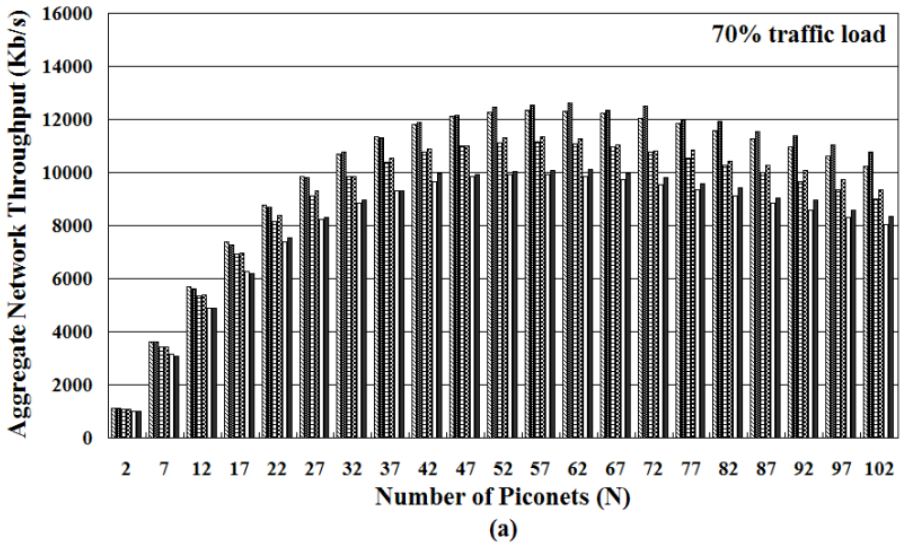
- Scatternet: több összekapcsolt Piconet
  - Olyan ugratási sorozatok szükségesek, amelyek nem ütköznek
  - Ekkor minden adott Piconet-béli hop egy ofszettel eltolható
  - Elvileg nagyobb az így elérhető throughput, de ez nem olyan egyértelmű…

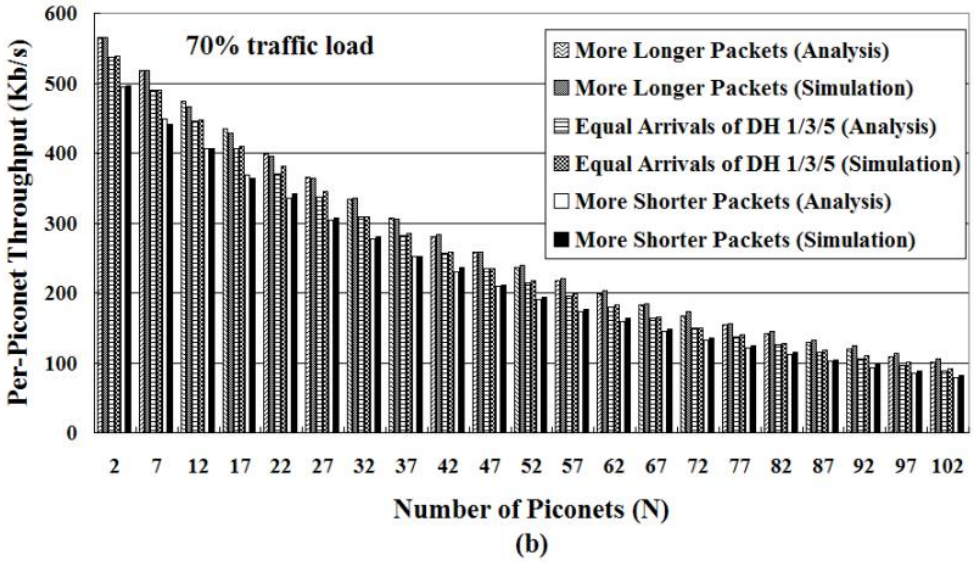




BR/EDR Bluetooth - Baseband

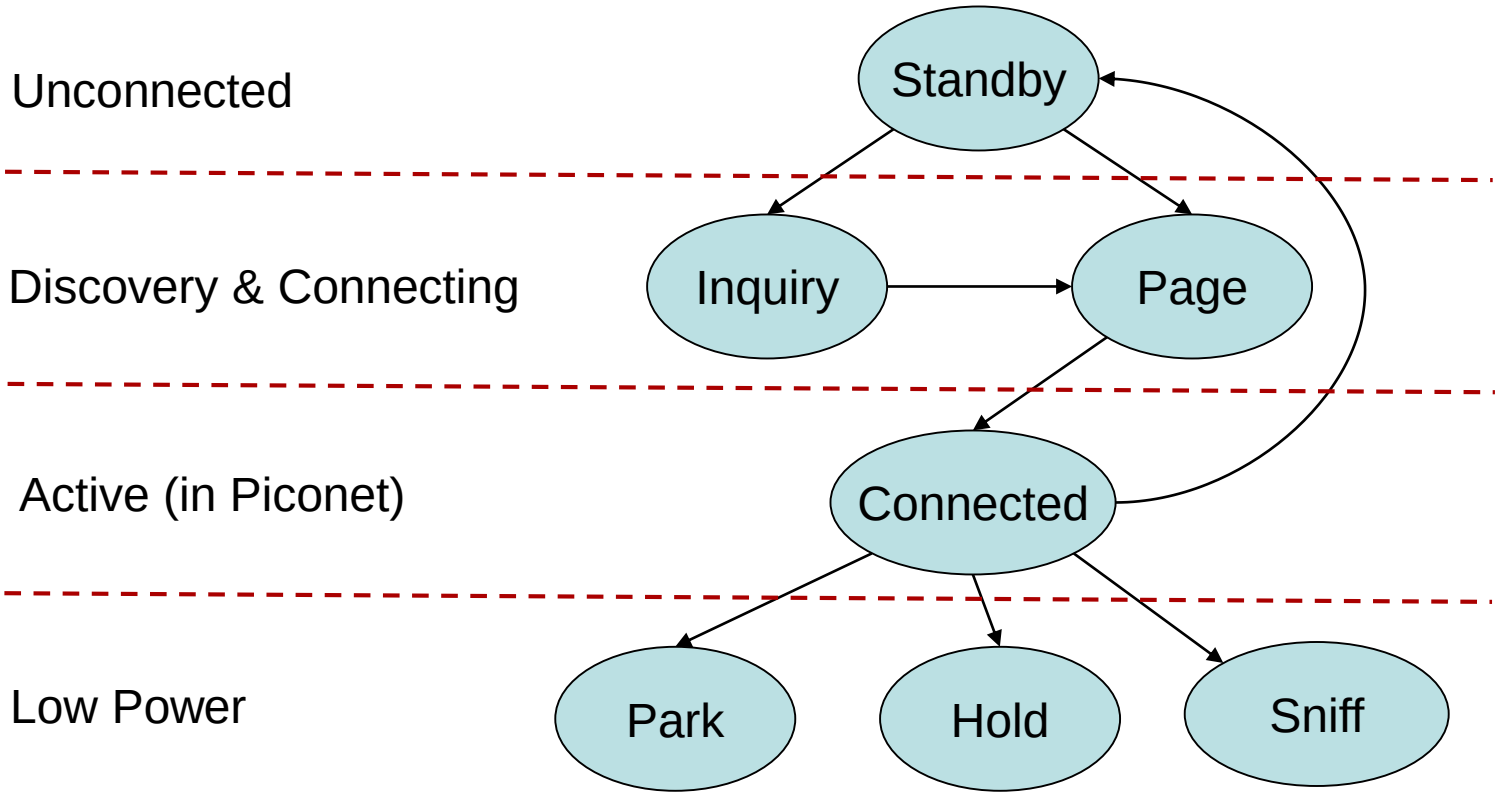
- Több független piconet egymásra gyakorolt hatása
  - Itt nem oldható meg az ütközésmentes ütemezés
  - Nincsenek szinkronban a Piconetek
    - Sok egymástól független frekvenciaugratási minta
    - Előbb-utóbb átlapolódnak
    - Így végeredményében: ALOHA





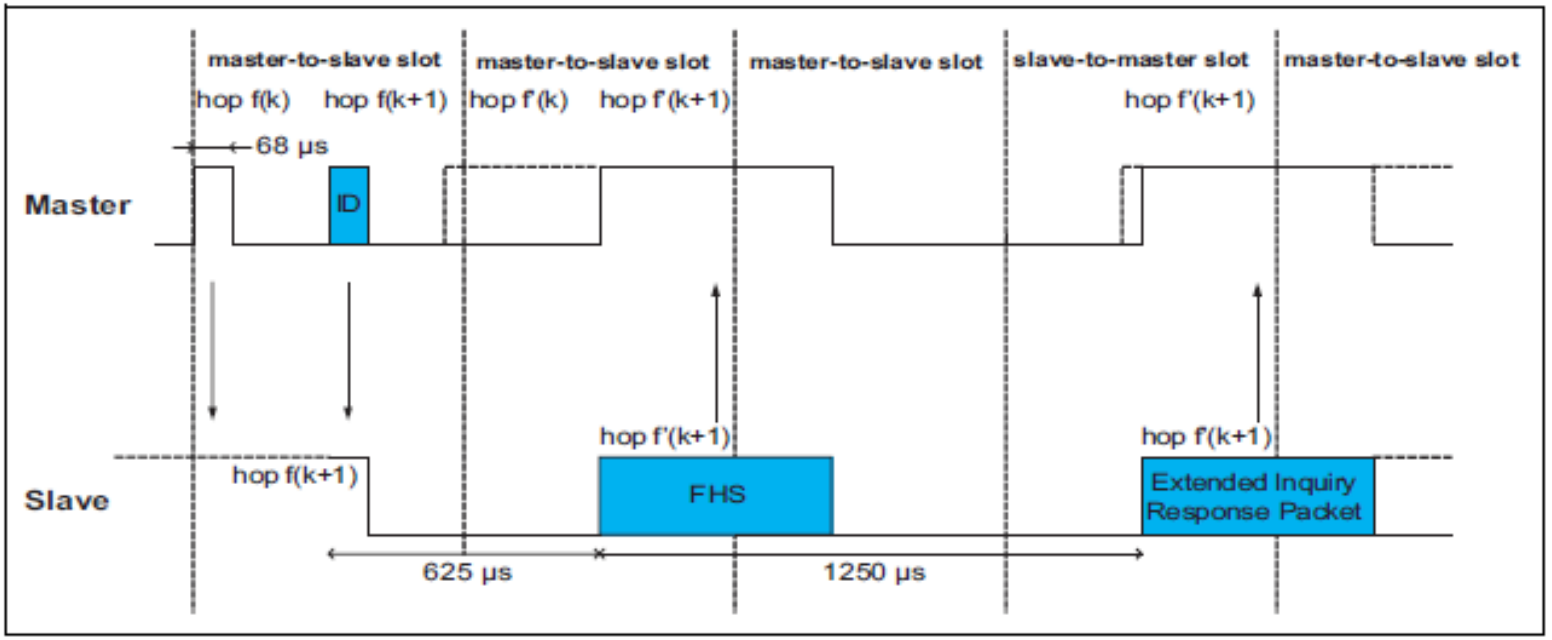
BR/EDR Bluetooth - Baseband

- Link Controller Állapotgép



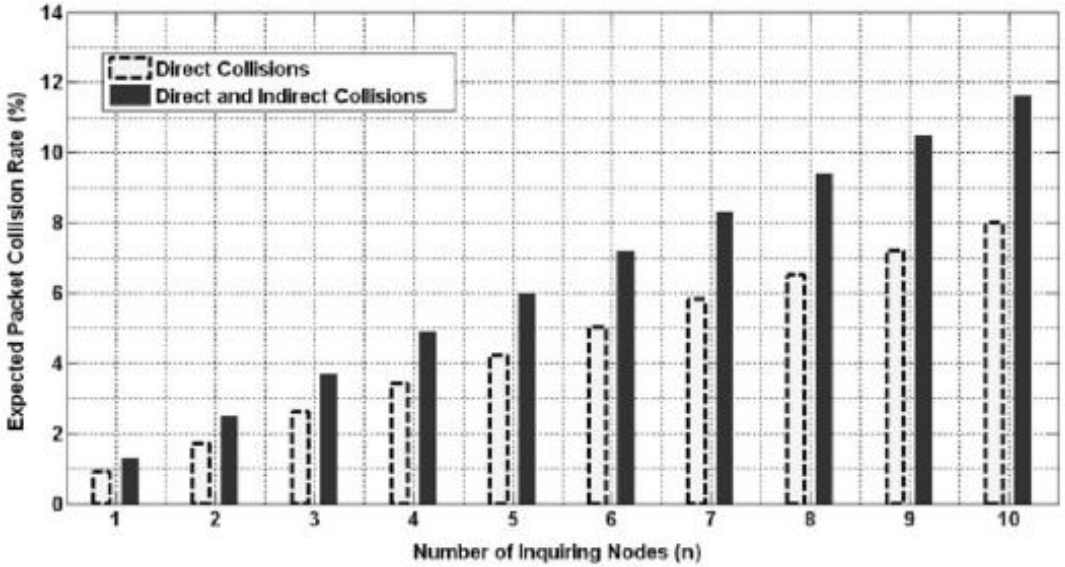
BR/EDR Bluetooth - Baseband

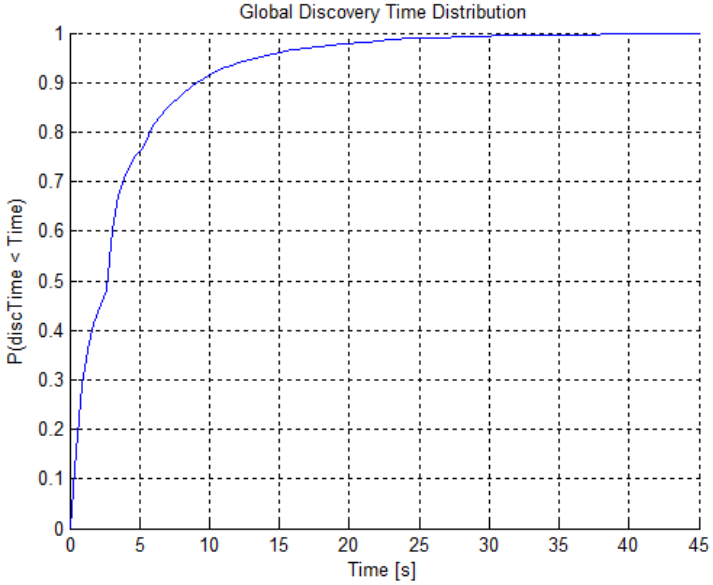
- Inquiry: Eszközök felderítése
  - Aki felderít az ID csomagokat sugároz 3200 hop/s ugrásokkal
  - Aki felderíthető és hallotta, az FHS-sel, majd EIR-rel (opc.) válaszol
  - Inquiry Scan csatornán:
    - 32 db véletlenszerűen megválasztott csatornából álló sorozat
    - Mindenki a saját órája és MAC címe alapján sorsolja
    - Ezért olyan (borzasztóan) lassú (jellemzően 10 mp, vagy több)



BR/EDR Bluetooth - Baseband

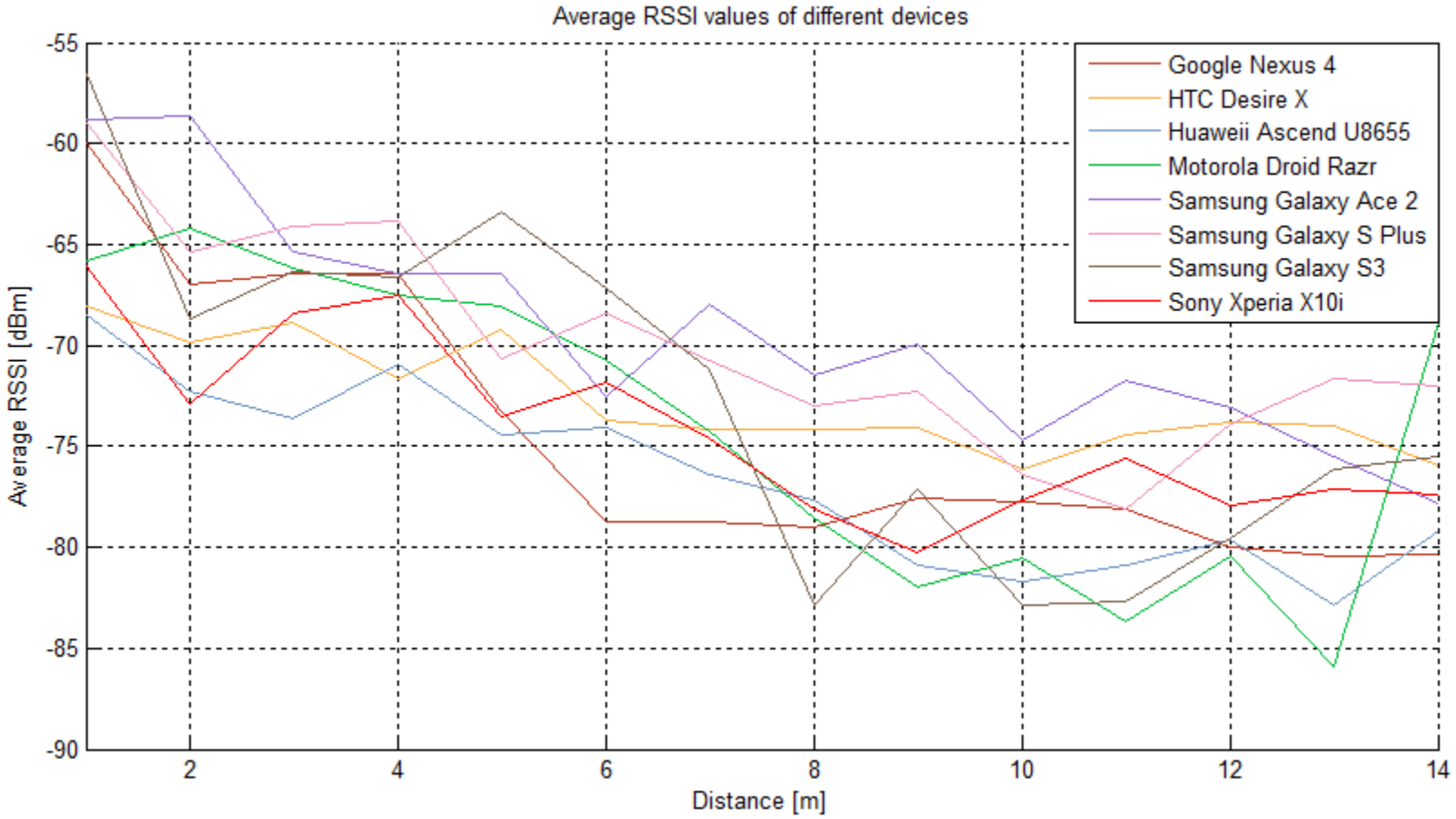
- Inquiry: Eszközök felderítése
  - Pozicionálásra többé-kevésbé alkalmas
  - RSSI mérése az FHS csomag beérkeztével történik meg
  - Ha több eszköz futtat Inquiry-t egyidejűleg az komoly interferenciát eredményezhet
    - Mérés: 9 db Android készülék egyidejűleg derít fel egyetlen másik eszközt





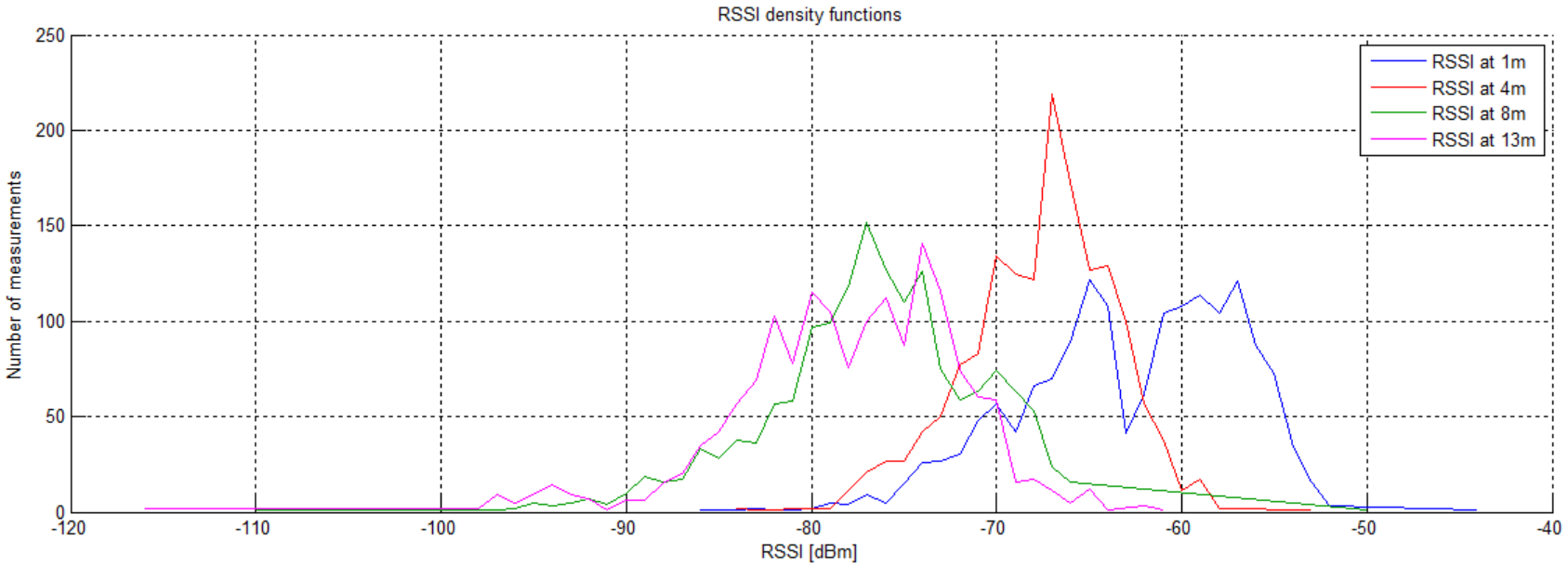
BR/EDR Bluetooth - Baseband

- Inquiry: Eszközök felderítése
  - Mérés: RSSI értékek ingadozása tipikus irodai környezetben



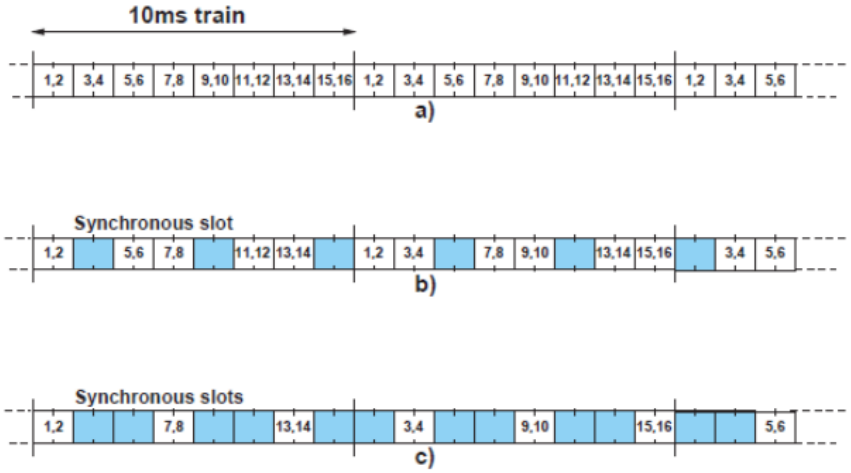
BR/EDR Bluetooth - Baseband

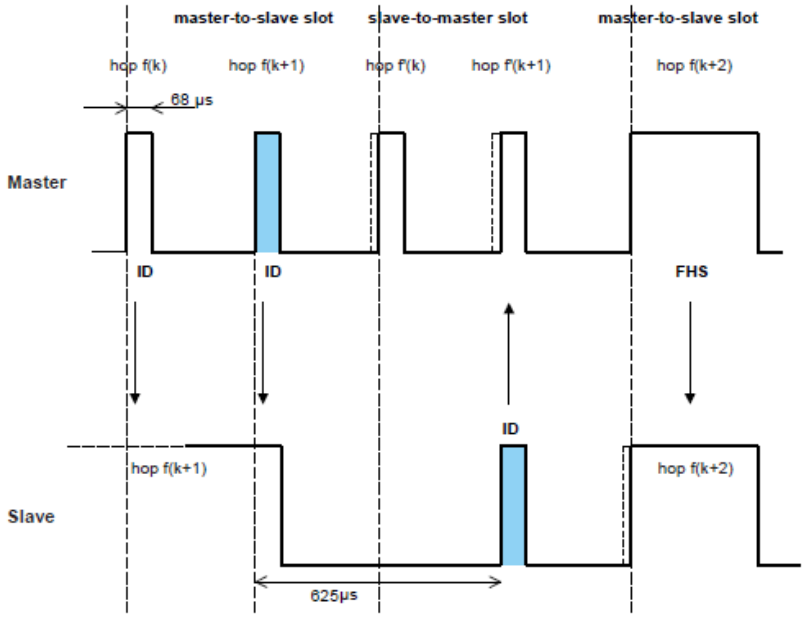
- Inquiry: Eszközök felderítése
  - RSSI értékek ingadozása
  - A reszponzivitás kritériuma mellett gyakorlatilag alkalmazhatatlanok a mobil készülékek RSSI-alapú távolságbecslésre



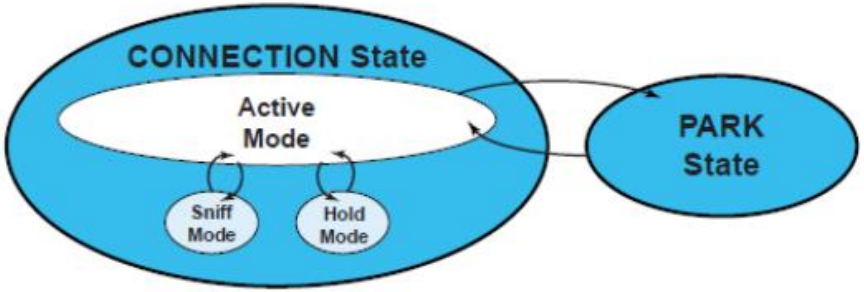
BR/EDR Bluetooth - Baseband

- Page: Eszközök bevonása a Piconetbe
  - Az Inquiry folyamat során összegyűjtött információra alapoz
    - Ebből ismert az adott eszköz órája és MAC címe
    - Megpróbálunk betalálni 3200 hops/s ugrásokkal
  - Akit bevonunk és hallotta, az ID-val válaszol
  - Ekkor létrejön a szinkron a két eszköz között
  - Ez már nem olyan lassú (2-3 mp)
  - Master FHS csomagja tartalmazza a Piconet paramétereit

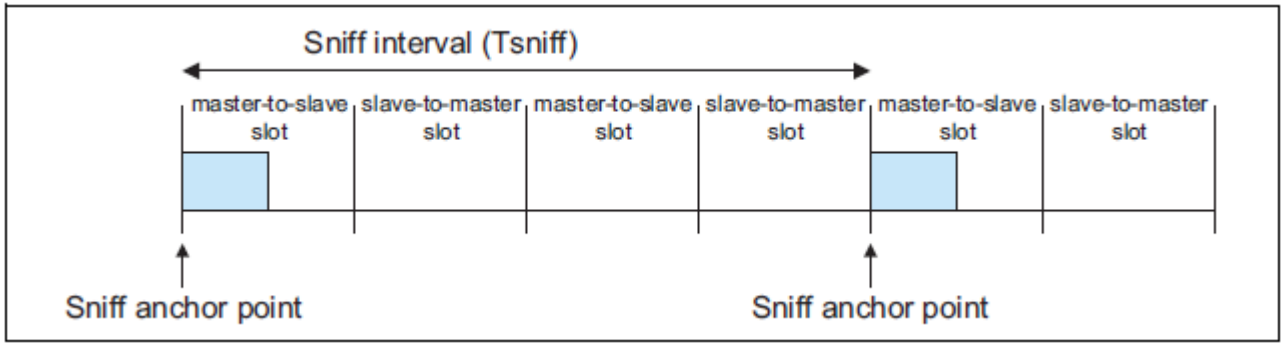




BR/EDR Bluetooth - Baseband



- Low Power állapotok
  - Sniff mód
    - Csökkentett kitöltési tényezővel működik az eszköz
    - Minden n. Master slotban ébred csak fel
    - Csak ACL linkek esetén használható

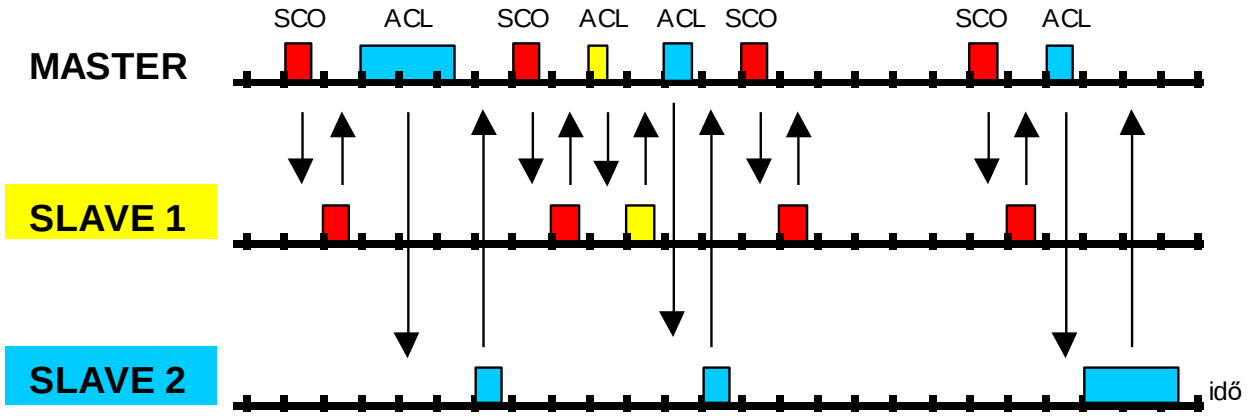


BR/EDR Bluetooth - Baseband

- Low Power állapotok
  - Hold mód
    - Az ACL linkeket felfüggeszti, az SCO linkeket megtartja
    - Akkor alkalmazzák, ha erőforrást szükséges a Slave-nek felszabadítania az egyéb tevékenységek végett
    - A Hold Timeout lejártával visszatérhet a Piconetbe
  - Park mód
    - Amikor nincs szükség a Slave aktív részvételére a hálózatban
    - Felfüggeszti az összes logikai csatornát
    - Kezdeményezhető Master és a Slave oldalról
      - A ki és a beléptetés is
    - Periodikusan fel-felébred
      - Broadcast időrésben + Szinkronizáció végett

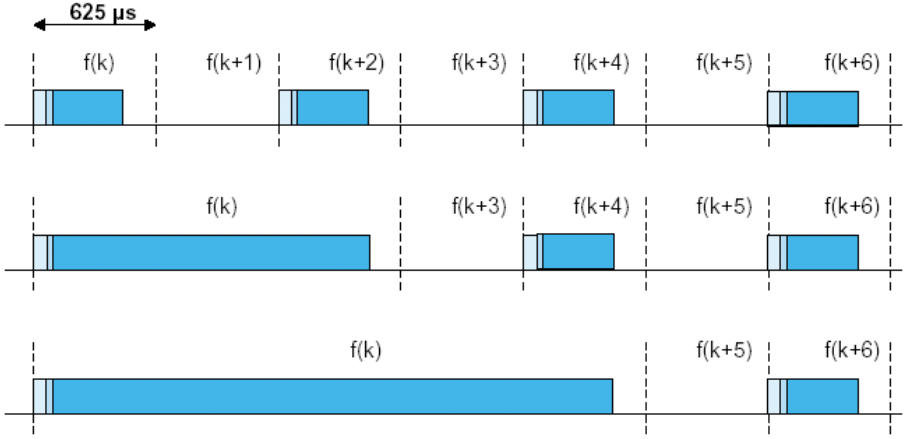
BR/EDR Bluetooth - Baseband

- Logical Transports:
  - SCO (Synchronous Connection Oriented)
    - Szimmetrikus, kvázi vonalkapcsolt
    - pont-pont kapcsolatok számára
    - fix időközönként foglalnak le réspárokat (up/down)
    - Háromféle egyréses beszédcsomagok
      - 64 kbps-os hangátvitelhez
      - NO, 2/3, 1/3 FEC lehetséges
    - ugyanakkor beszédre nincs csomagismétlés
  - eSCO (extended SCO)
    - Ugyanaz, mint az SCO, csak van újraküldés



BR/EDR Bluetooth - Baseband

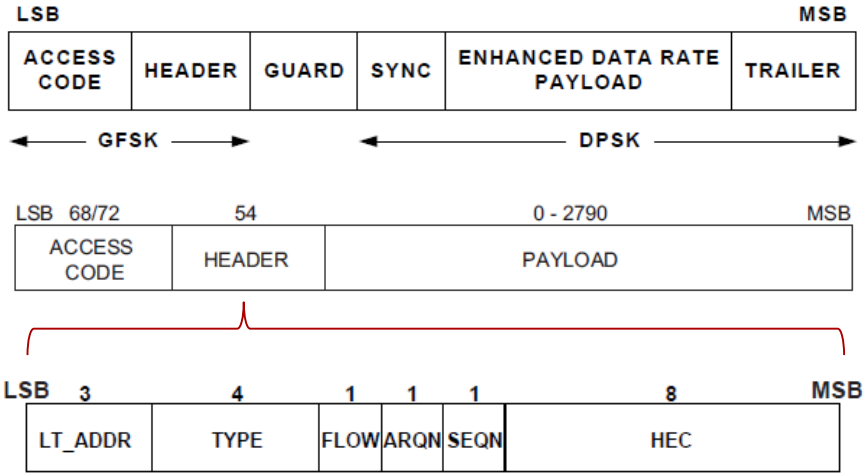
- Logical Transports:
  - ACL (Asynchronous Connection-oriented)
    - Szimmetrikus, vagy aszimmetrikus
    - Csomagkapcsolt
    - Pont-multipont börsztös adatkapcsolatok számára
    - A mester implicit (a kérés maga a downlink csomag) pollingal kérdezi le a szolgákat
    - 1-3-5 réses csomagok lehetségesek
    - NO (DHx) vagy 2/3 (DMx) FEC lehetséges
    - Adatra gyors ARQ: a vett downlink csomagot ellenőrzi a szolga és a kapcsolódó uplink csomagban jelzi ha hibát talált.



Type	Symmetric (kbit/s)	Asymmetric (kbit/s)	
DM1	108.8	108.8	108.8
DH1	172.8	172.8	172.8
DM3	256.0	384.0	54.4
DH3	384.0	576.0	86.4
DM5	286.7	477.8	36.3
DH5	432.6	721.0	57.6

BR/EDR Bluetooth - Baseband

- Csomagformátum
  - Access Code (68/72 bit)
    - Minden fizikai csatornára egyedi
    - Tartalmazza a preambulumot
  - Header (54 bit) – 1/3 FEC
    - LT_ADDR (3 bit)
      - Logical Transport Address
      - Aktív Slave-et azonosít
    - Type (4 bit)
      - Az alkalmazott csomag típusát határozza meg
    - Flow (1 bit)
      - Torlódásvezérléshez (ha megtelt az inputbuffer, Flow=0-val leállítható)
    - ARQN (1 bit)
      - Acknowledgement Indication (ACL transzport esetén)
    - SEQN (1 bit)
      - Adatstream sorrendezéséhez
    - HEC (8 bit)
      - Header Error Check (CRC a fejlécre)



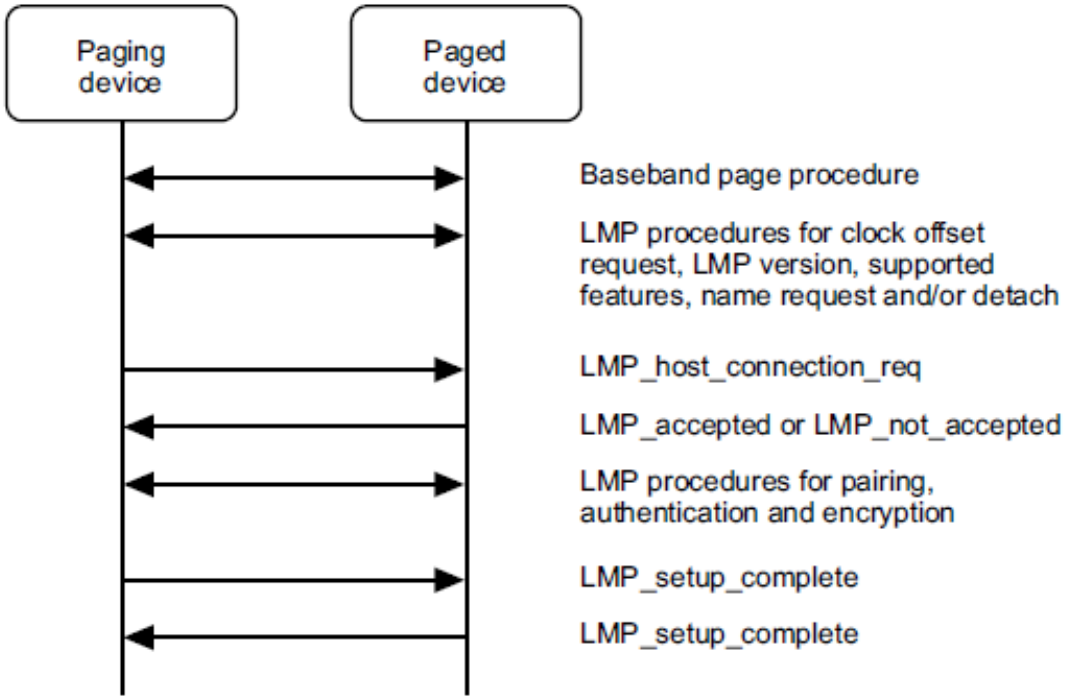
BR/EDR Bluetooth – Link Manager

- Két link menedzsment entitás között teremt kapcsolatot
  - Segítségével állíthatók be a Bluetooth linkek
- Tranzakció alapú
- Feladatok:
  - Távoli (peer) eszköz képességeinek felderítése
  - Teljesítmény kímélő üzemmódok, Biztonság, QoS
- LMP PDU Csomagformátum
  - TID (1 bit): a tranzakció kezdeményezőjének azonosítója (1, ha Master és 0, ha Slave)
  - OpCode: az LMP_PDU azonosítója és típusa
  - az LMP_PDU magas prioritású, akár az SCO csomaggal szemben is preemptív
  - 2/3 FEC kódolással ellátva

LMP PDU with 7 bit OpCode

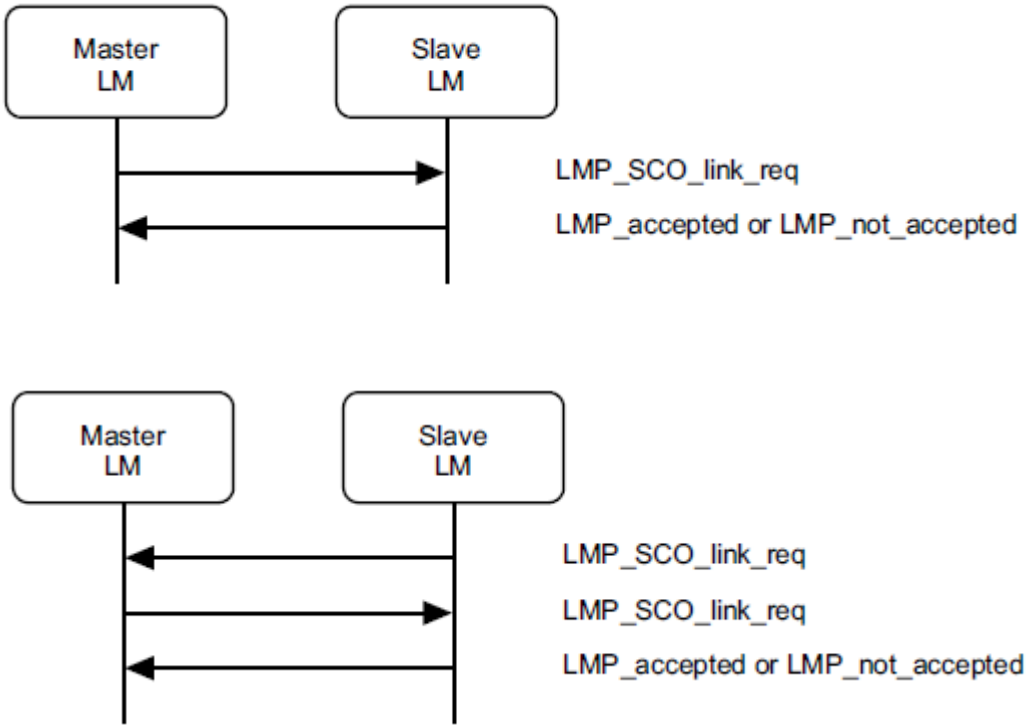
BR/EDR Bluetooth – Link Manager

- Példa: Paging procedúrát követő üzenetváltások
  - A kapcsolódást követően rendelkezésre áll egy ACL
  - Minden jelzésüzenet ezen közlekedik
    - Ezt ACL-C (al)típusú transzportnak nevezik
  - Támogatott Feature-ök: 140 bites maszk



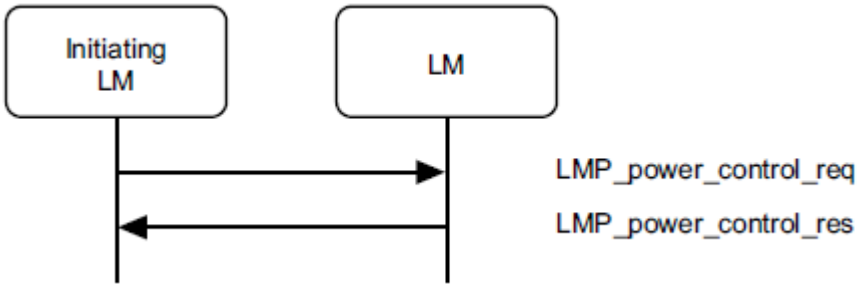
BR/EDR Bluetooth – Link Manager

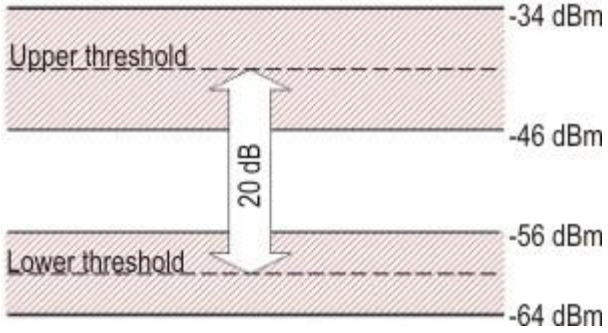
- Példa: SCO logikai transzport felépítése
  - Master és Slave is kezdeményezheti egyaránt



BR/EDR Bluetooth – Link Manager

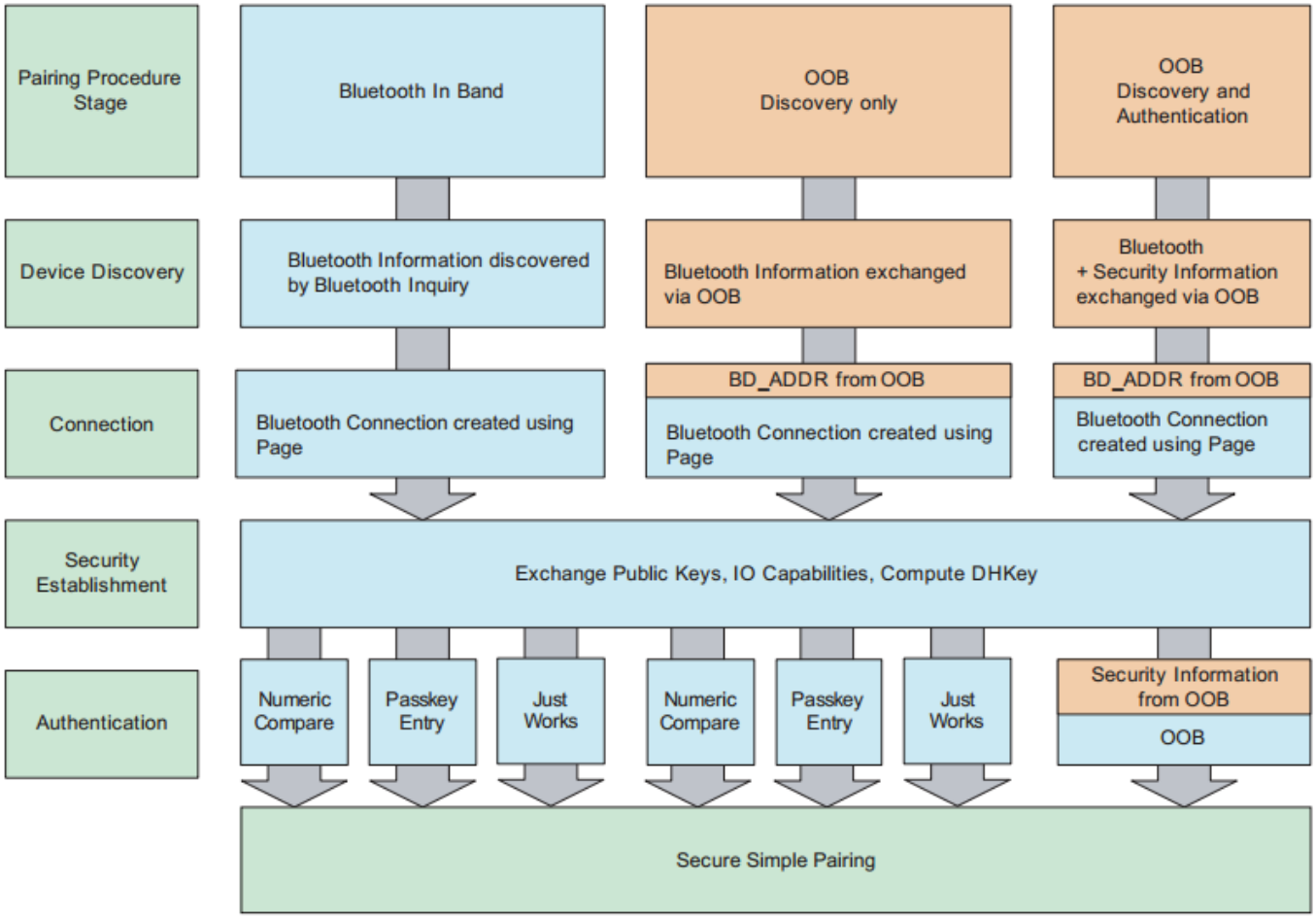
- Példa: Adaptív teljesítményszabályzási mechanizmus
  - Master és Slave is kezdeményezheti egyaránt
  - Célja: Az adási, és így a vételi teljesítmény egy bizonyos GRPR (Golden Receive Power Range) zónában tartása
    - Kevesebbet fogyaszt
    - Kisebb zavarást képvisel





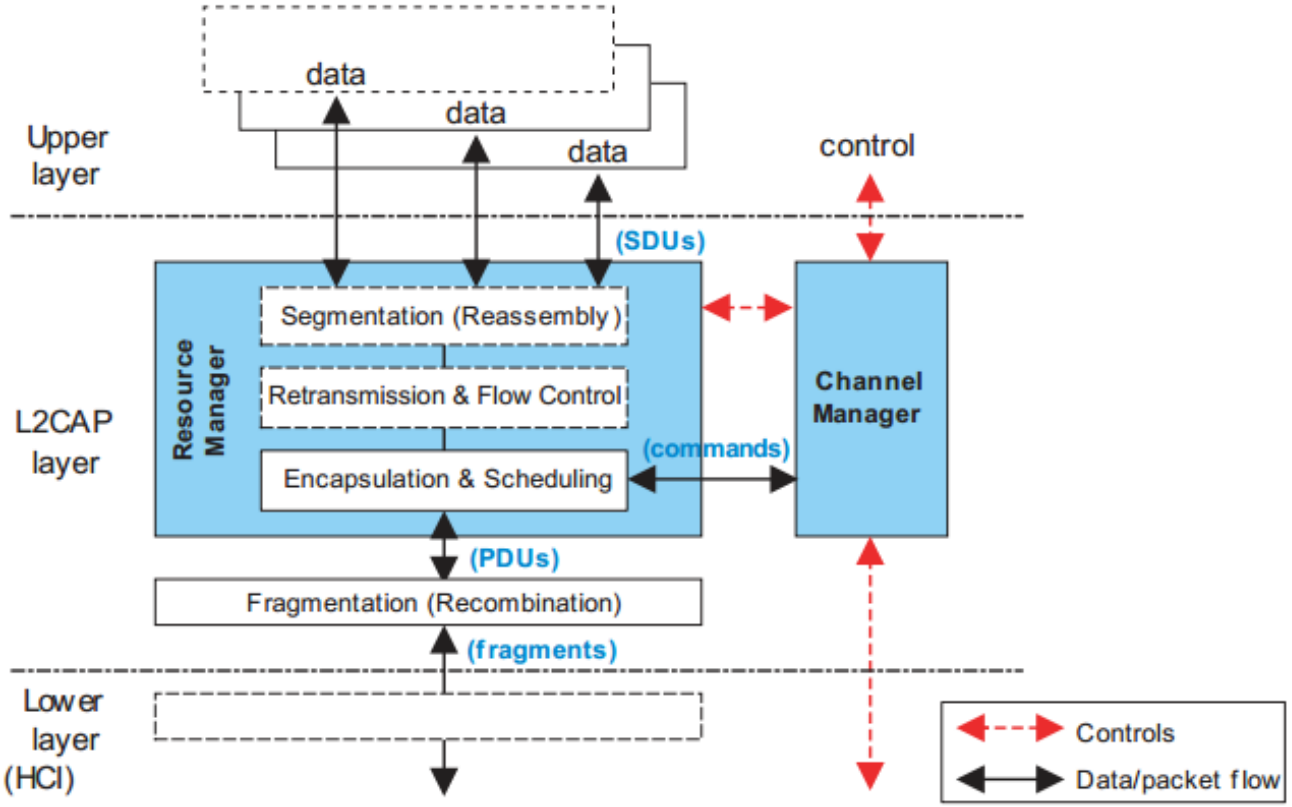
BR/EDR Bluetooth – Link Manager

- Párosítási mechanizmusok
  - Autentikáció (MITM) és a link titkosítás (Passive Eavesdropping)



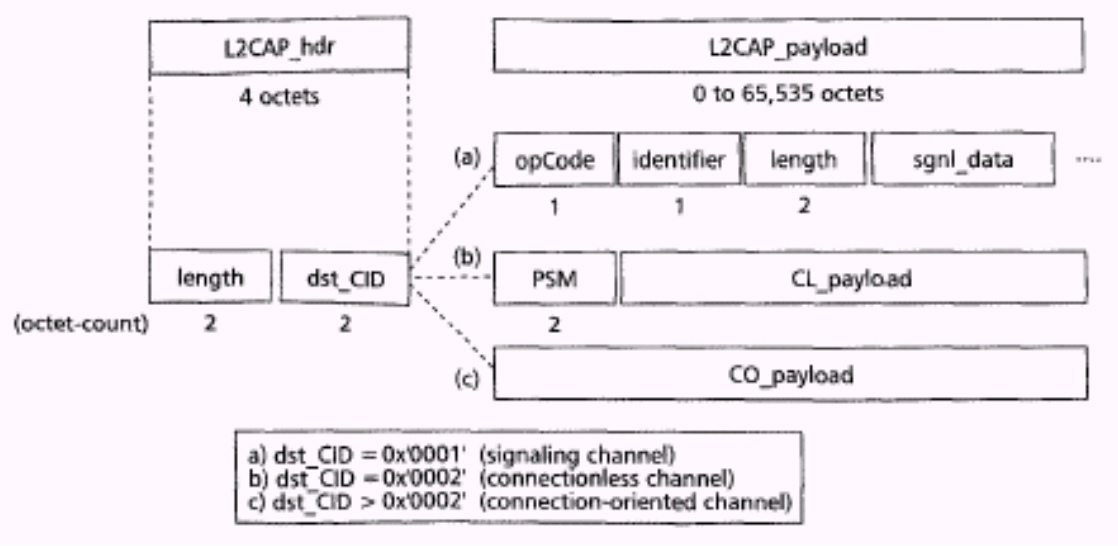
Bluetooth – L2CAP

- Elrejti az alsóbb rétegek Bluetooth specifikus jellemzőit a felsőbb rétegek elől és csomag szintű illesztést biztosít a felsőbb rétegek számára.
  - Itt tűnik el a mester-szolga viszony
- Az L2CAP csomagok jóval nagyobbak lehetnek, mint a Baseband csomagok, ezért szegmentálásra lehet szükség



Bluetooth – L2CAP

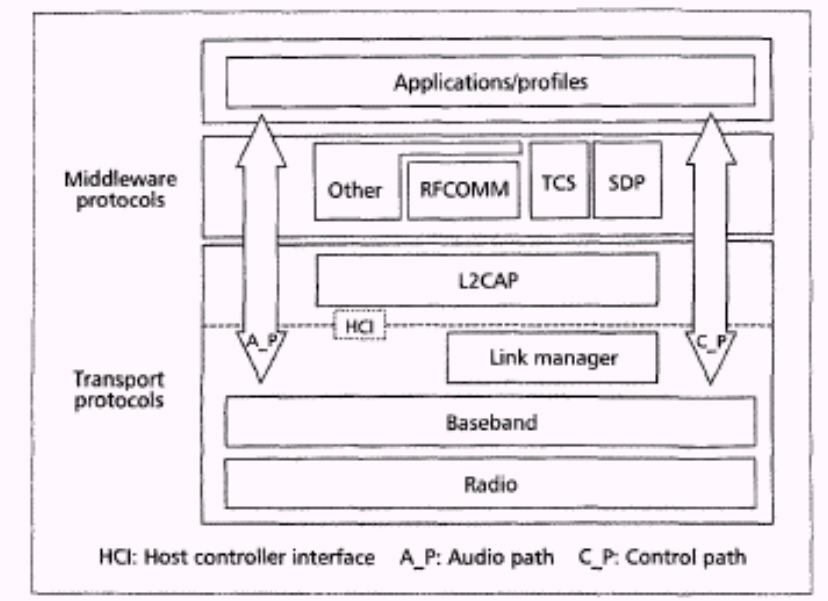
- Az L2CAP forgalom kétféle logikai csatornán zajlik
  - A csatorna végpontokat egy Channel ID (CID) azonosítja
  - Connectionless (CL), CID=0x'0002'
    - Egyirányú
    - Nincs jelzéscsatorna
  - Connection oriented (CO), CID>0x'0002'
    - Kétirányú
    - Kapcsolatfelépítés szükséges
      - Jelzéscsatornát biztosít CID=0x'0001'-val mindkét végén.
      - Két eszköz között csak 1 db. jelzéscsatorna lehet.



Bluetooth – L2CAP

- Csomagformátum
  - Max méret 65 535 bájt
  - (a) jelzéscsatorna:
    - opCode: a jelzési adat azonosítója
    - identifier: a kérések és válaszok párosításához
    - Length: adatmező hossza
    - sgnl_data: jelzési adata
  - (b) connectionless csatorna:
    - PSM: Protocol and Service Multiplexer
      - Segítségével lehet azonosítani a CL L2CAP csatornán multiplexált felsőbb rétegbeli vevőt
  - (c) connection oriented csatorna:
    - PSM: a kapcsolatfelépítést kérő jelzéscsomag tartalmazza, nem kell minden payloadba betenni

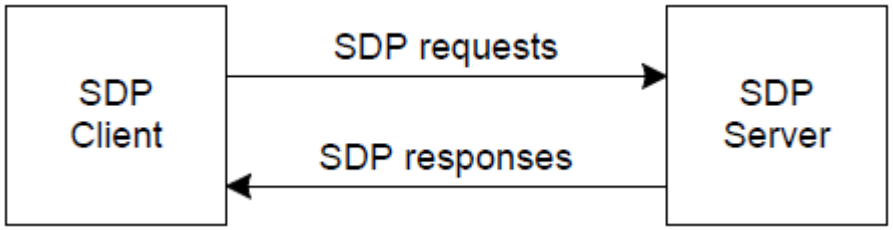
BR/EDR Bluetooth – SDP



- Eddig bejárt rétegek:
  - PHY
  - Baseband
  - Link Manager
  - L2CAP
- Efölé igazából már tetszőleges alkalmazás definiálható
  - Definiáltak is, nem is keveset
  - Az L2CAP fölé definiált rétegek az ún. Middleware Protokollok
  - Ezek alkalmazásával lehetséges az ún. profilok létrehozása
    - Profil: Olyan alkalmazás elemek, amik jól definiálható protokollegyüttesre (Service) építkeznek
  - A legtöbbet a Bluetooth SIG adaptálta, és felügyeli
- A Service Discovery Protocol (SDP) célja ezen diverzitás összefogása és menedzselhető formába öntése

BR/EDR Bluetooth – SDP

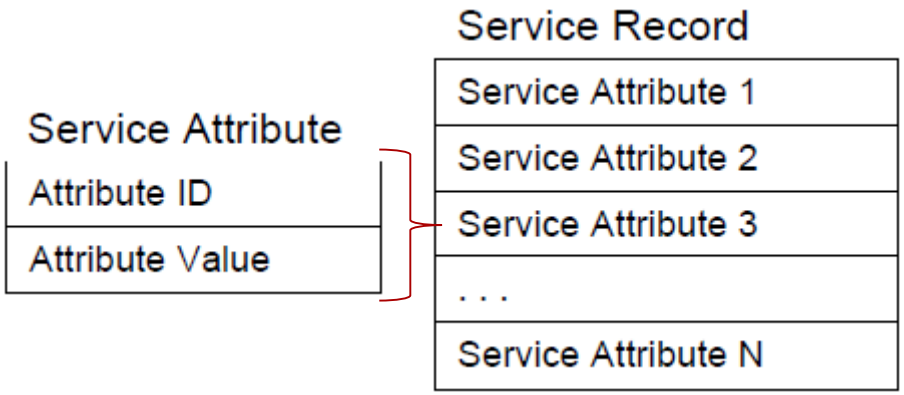
- Célja az egyes szolgáltatások (alkalmazások) protokollfüggőségeinek felderíthetővé tétele bármely fél által
  - Kérés/válasz jelleggel
- Service Registry
  - Service-ek adatbázisa
  - Service azonosítás/keresés
    - UUID-k (Universal Unique ID) segítségével
  - Hozzáférés
    - Service Record Handle (~pointer) megadásával
  - Minden Service specifikált struktúrával rendelkezik
    - Pl. SerialPort, OBEXFileTransfer, Headset, stb.



https://www.bluetooth.org/en-us/specification/assigned-numbers/service-discovery

BR/EDR Bluetooth – SDP

- SDP Service bejegyzések (Record)
  - Alaptípus: Service Attribute
  - Lehet generikus, vagy alk. Specifikus
    - Felépítés: Key (ID) + Value
  - Néhány generikus típus:
    - ServiceRecordHandle (ami alapján elérjük)
    - ServiceClassIdList (milyen más service-eket tartalmaz)
    - ServiceRecordState (a bejegyzés aktuális állapota, pl. frissült-e)
    - ServiceId (UUID, amivel azonosítható)
    - ProtocolDescriptorList (alkalmazott Protokollok)
    - IconURL
    - ClientExecutableURL
    - Stb.



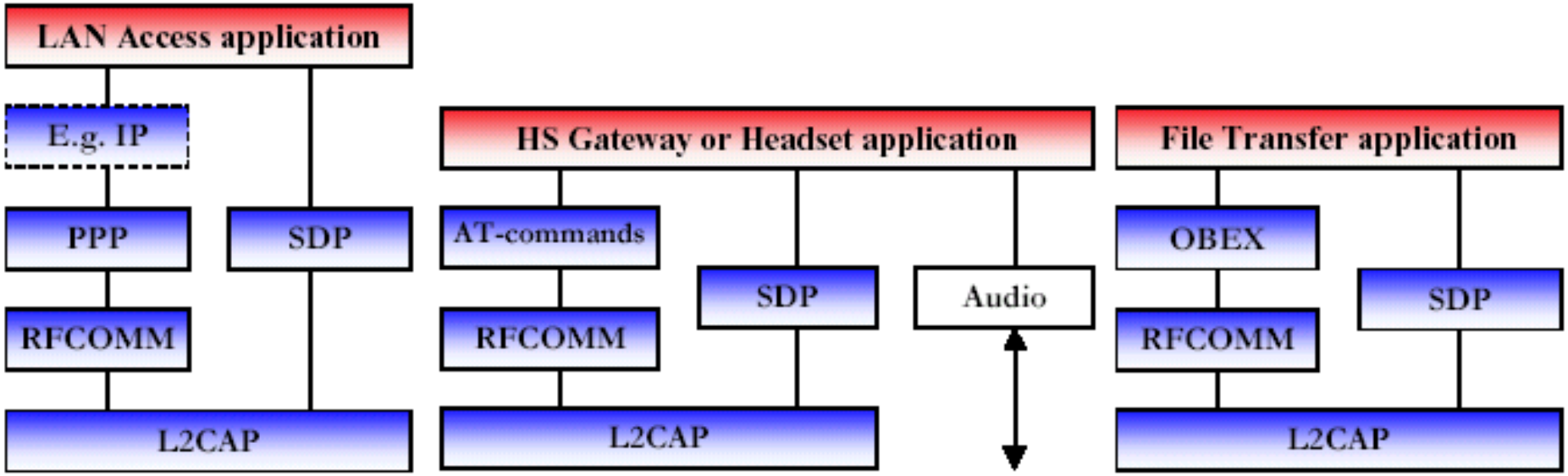
BR/EDR Bluetooth – SDP

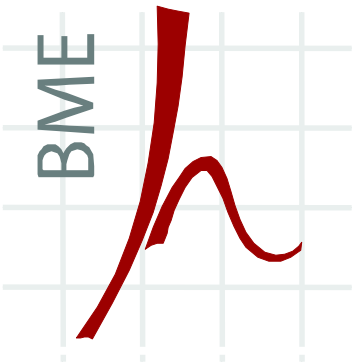
- Példa: Serial Port Profile
  - Note1: Bluetooth Assigned Numbers

Item	Definition	Type/Size	Value	AttributeID
ServiceClassIDList			Note1	0x0001
ServiceClass0	SerialPort / Note3	UUID	Note1	
ProtocolDescriptorList				0x0004
Protocol0	L2CAP	UUID	L2CAP /Note1	
Protocol1	RFCOMM	UUID	RFCOMM /Note1	
ProtocolSpecificParameter0	Server Channel	Uint8	N = server channel #	
ServiceName	Displayable text name	DataElement/ String	“COM5” / Note4	Note2

BR/EDR Bluetooth – Alkalmazások

- A protocol stack felett elhelyezkedő szoftverek együttese
  - Profilok, Protokollok, Stb.
- A szervezés gyakorlatilag a Bluetooth modul gyártójától független alkalmazásfejlesztést tesznek lehetővé





Bluetooth Low Energy

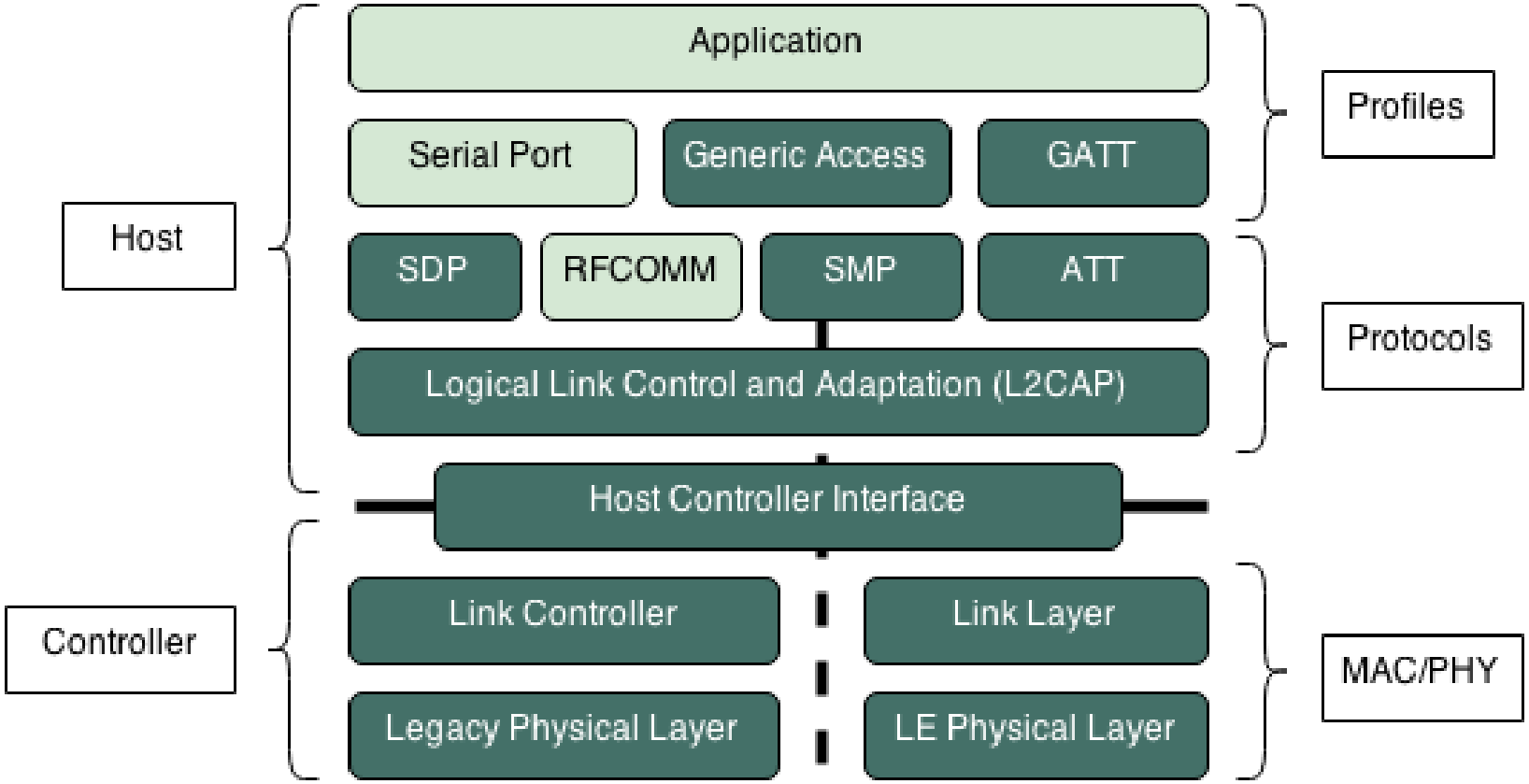
A Bluetooth LE fejlődése

- 2006 – Wibree bejelentése
  - Alacsony fogyasztású, wireless technológia
  - 2001 óta fejlesztették (Nokia)
- 2007 – v2.1+EDR, hagyományos változat megjelenése
- 2008 – A Wibree integrációja megkezdődik a szabványba
- 2009 – v3.0+HS, v2.1 bővítése ad-hoc 802.11 linkkel
- 2010 – v4.0 (+LE)
  - Bluetooth Low Energy (Smart) bemutatása
  - Dual-mode (Smart Ready) eszközök megjelenése
- 2013 – v4.1
  - BLE Scatternetek bevezetése
  - Mobile Wireless Coexistence Signaling bevezetése
- 2014 – v4.2
  - Kiterjesztett csomagméret
  - Fejlettebb Security
- 2016 – v5.0
  - Nagyobb hatótávolság, adatsebesség, és sok egyéb újdonság

A Bluetooth LE főbb tulajdonságai

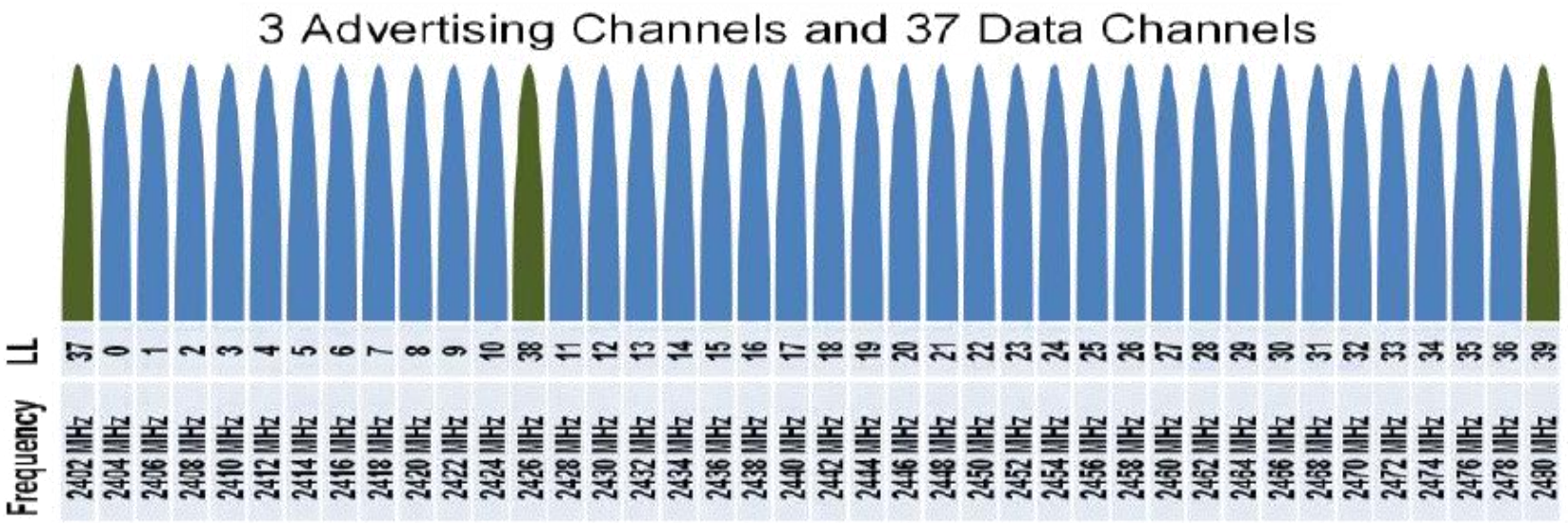
- Publikus specifikáció
  - https://www.bluetooth.org/en-us/specification
- Kisebb adatok hatékony átvitele (1 Mbps - 250 kbps)
  - Relatíve alacsony késleltetés
  - Gyors kapcsolódás (akár < 50 ms)
  - Egyszerű, robosztus stack
- Alkalmazásfejlesztési keretrendszer (GATT)
- Jól konfigurálható energiafogyasztás
  - Tipikus trade-off: Késleltetés vs. Energiaigény
- Nagy mennyiségű Slave egy piconetben
- A fontosabb mobil operációs rendszerek már támogatják
  - iOS: 2011-től (6.0)
  - WP: 2012-től (WP8)
  - Android: 2013-tól (4.3 – 18-as API szint)

Bluetooth protokoll szerkezet



BLE Fizikai réteg (PHY)

- 2,4GHz ISM sáv
- GFSK moduláció, 1Mbps jelzési sebesség
- 40 db 2 MHz-es frekvenciasáv
  - 3 db Advertising csatorna
  - 37 db Data csatorna
- Max. adási teljesítmény: 4dBm (2,5mW)

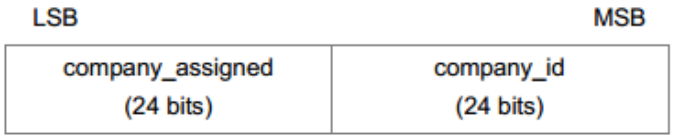


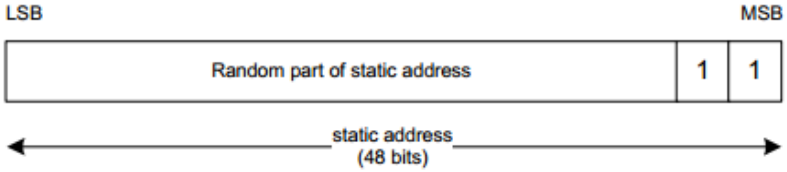
BLE Link Layer (MAC)

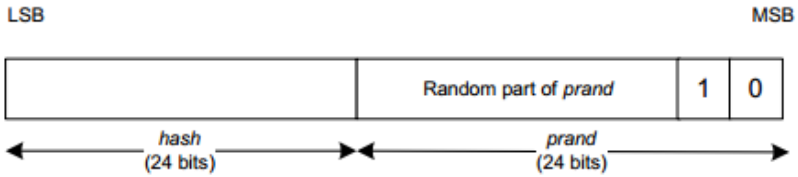
- Alkalmazott közeghozzáférési módszerek
  - FDMA (Frequency Division Multiple Access)
    - Advertising és Data (Piconet) csatornákon
  - TDMA (Time Division Multiple Access)
    - Ún. Advertising és Connection eventekben
  - Gyakorlatilag olyan, mint az FHSS, de mégsem az…
    - „Frequency hopping spread spectrum systems (FHSS) in the 2400-2483.5 MHz are in FCC 15.247(1) (iii) required to
      - a) use at least 15 channels and
      - b) when hopping, the transmission also must comply with a 0.4 second/channel maximum dwell time.
    - ETSI, FCC, JRL, stb.
      - Mindenkinél ugyanazért nem az. Helyette:
        - » FCC, JRL: Digital Modulation
        - » ETSI: DSSS

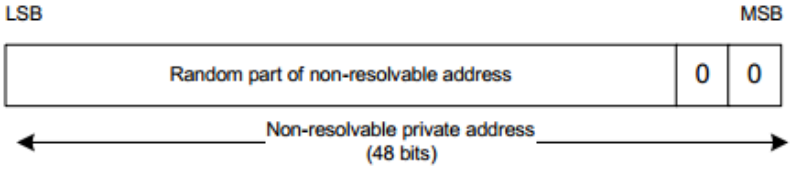
BLE Link Layer (MAC)

- Címzés
  - Publikus MAC címek:
    - Hagyományos (IEEE) MAC címek
  - Pseudo-Random MAC címek
    - Random Static
      - Véletlenszerűen sorsolt
      - Időben fix címek
    - Private címek
      - Security célokra
      - Időben változhatnak
      - Resolvable
        - » A megfelelő kulcs birtokában visszafejthető
      - Private Non-resolvable
        - » Nem visszafejthető



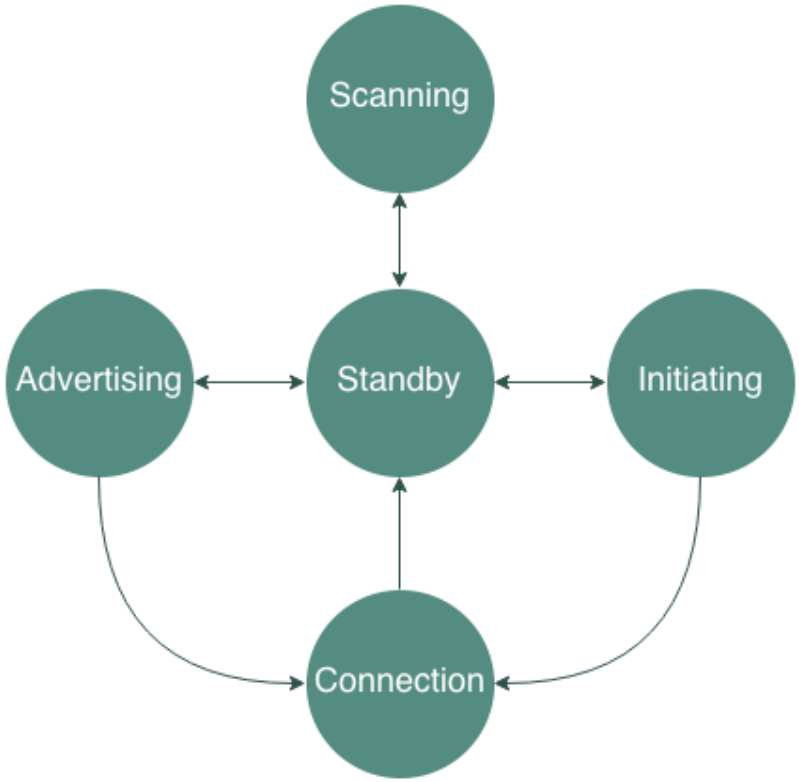






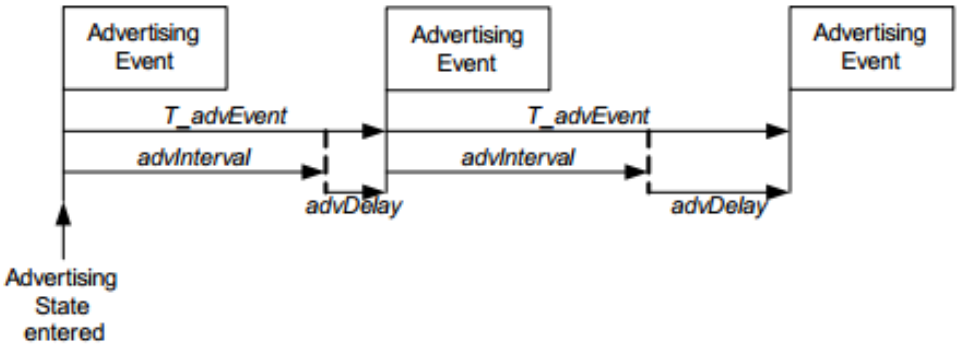
BLE Link Layer (MAC)

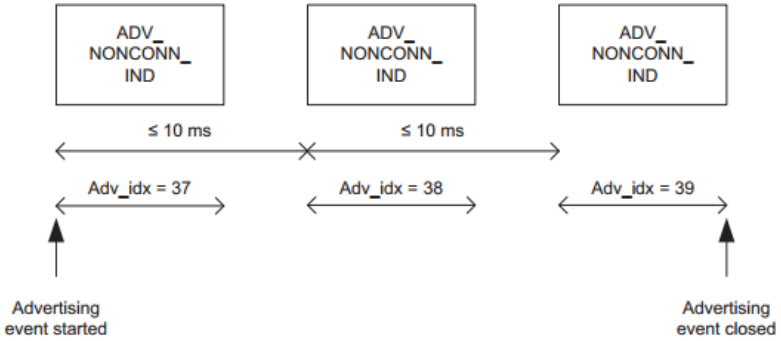
- Állapotgép



BLE Link Layer (MAC)

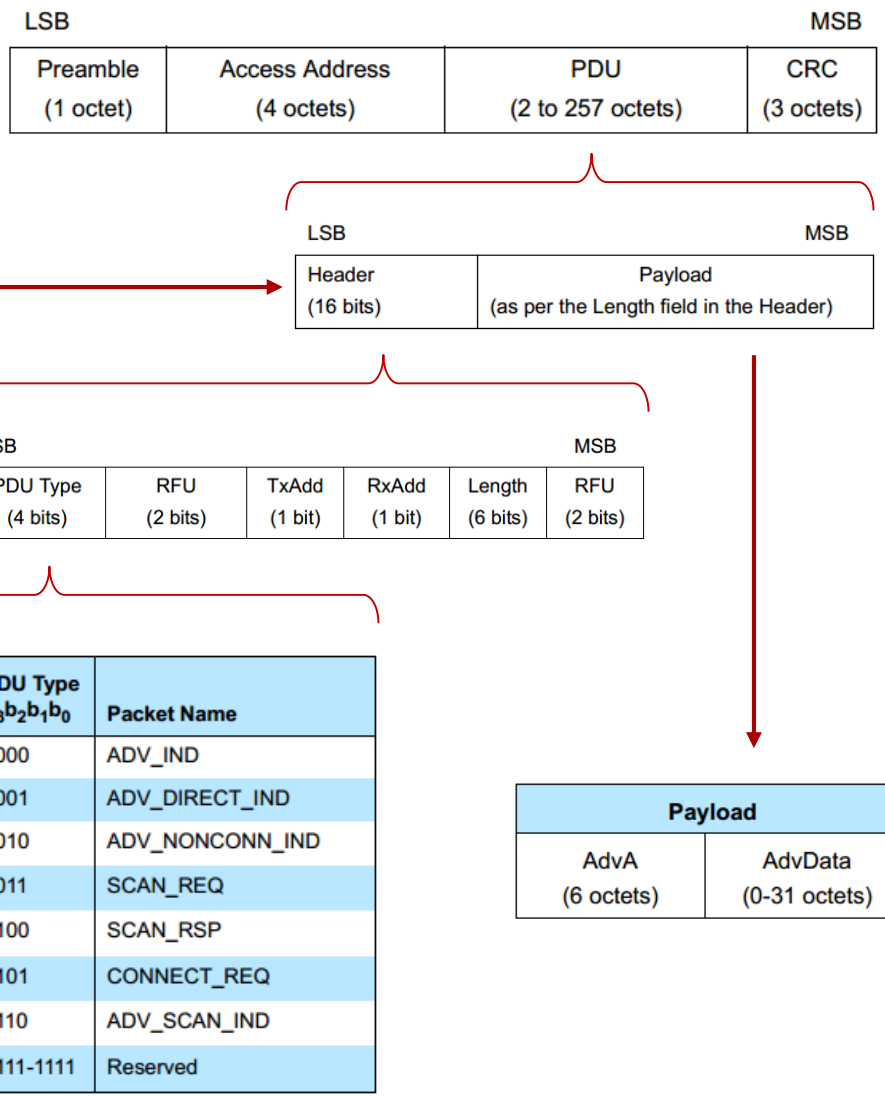
- Advertising
  - A felderíthetőség állapota
  - Hirdetmények sugárzása az Advertising eventekben
    - advInterval ≅ periodicitás > 20 [ms]
    - advDelay ∈ [0, 10] [ms]
      - Véletlenszerűen sorsolt
      - Az ütközések elkerülése végett
  - Advertising csomagok (PDU) segítségével





BLE Link Layer (MAC)

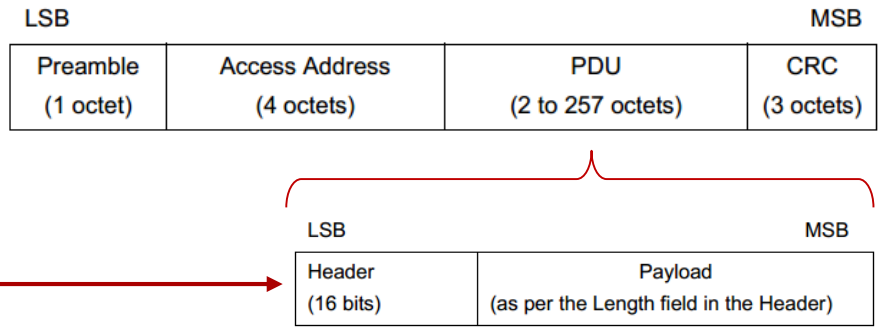
- Advertising Channel PDU
  - Link Layer keret
    - Access Address
      - Advertising csatornákon fix
      - Ez alapján dönthető el a PDU típusa (D, A)
  - Advertising Channel PDU
    - PDU Type
      - Mindegyik másra jó
    - TxAdd
      - Random-e a forráscím
    - RxAdd
      - Random-e a célcím

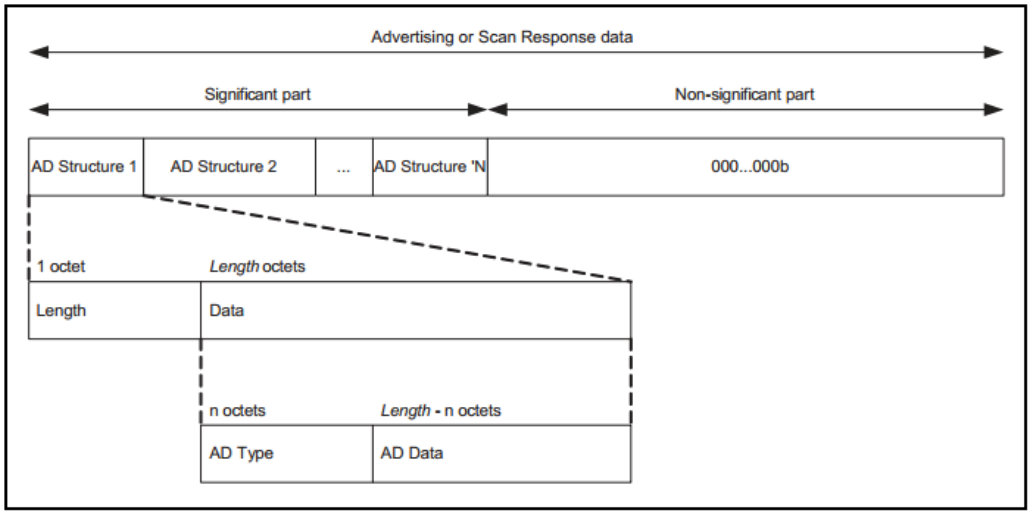


PDU Type $b_3b_2b_1b_0$	Packet Name
0000	ADV_IND
0001	ADV_DIRECT_IND
0010	ADV_NONCONN_IND
0011	SCAN_REQ
0100	SCAN_RSP
0101	CONNECT_REQ
0110	ADV_SCAN_IND
0111-1111	Reserved

BLE Link Layer (MAC)

- Advertising Channel PDU
  - Link Layer keret
    - Access Address
      - Advertising csatornákon fix
      - Ez alapján dönthető el a PDU típusa (D, A)
  - Advertising Channel PDU
    - AdvData mező ún. AD struktúrákba szervezve

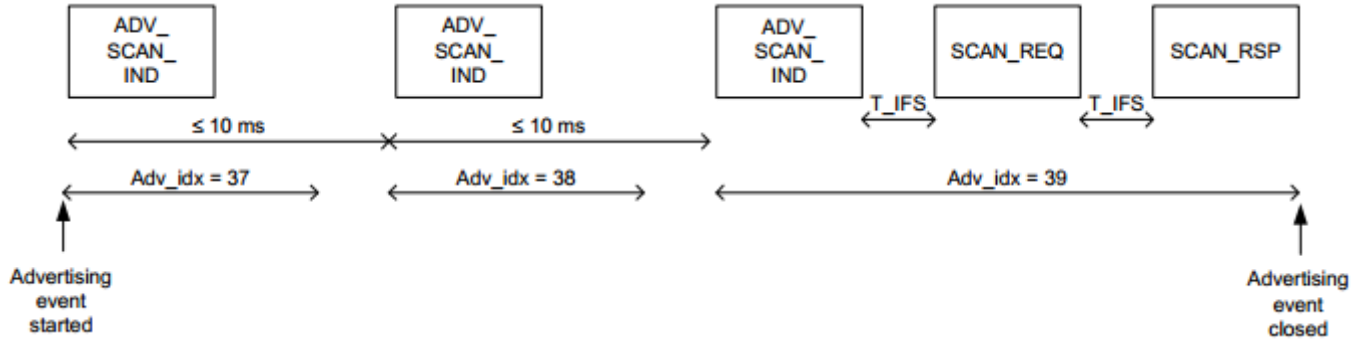




Data type	Context				
	EIR	AD	SRD	ACAD	OOB
Service UUID	O	O	O	O	O
Local Name	C1	C1	C1	X	C1
Flags	C1	C1	X	X	C1
Manufacturer Specific Data	O	O	O	O	O
TX Power Level	O	O	O	X	O
Secure Simple Pairing OOB	X	X	X	X	O
Security Manager OOB	X	X	X	X	O
Security Manager TK Value	X	X	X	X	O
Slave Connection Interval Range	X	O	O	X	O
Service Solicitation	X	O	O	X	O
Service Data	X	O	O	O	O
Appearance	X	C2	C2	X	C1
Public Target Address	X	C2	C2	X	C1
Random Target Address	X	C2	C2	X	C1
Advertising Interval	X	C1	C1	X	C1
LE Bluetooth Device Address	X	X	X	X	C1
LE Role	X	X	X	X	C1
Uniform Resource Identifier	O	O	O	X	O
LE Supported Features	X	C1	C1	X	C1
Channel Map Update Indication	X	X	X	C1	X

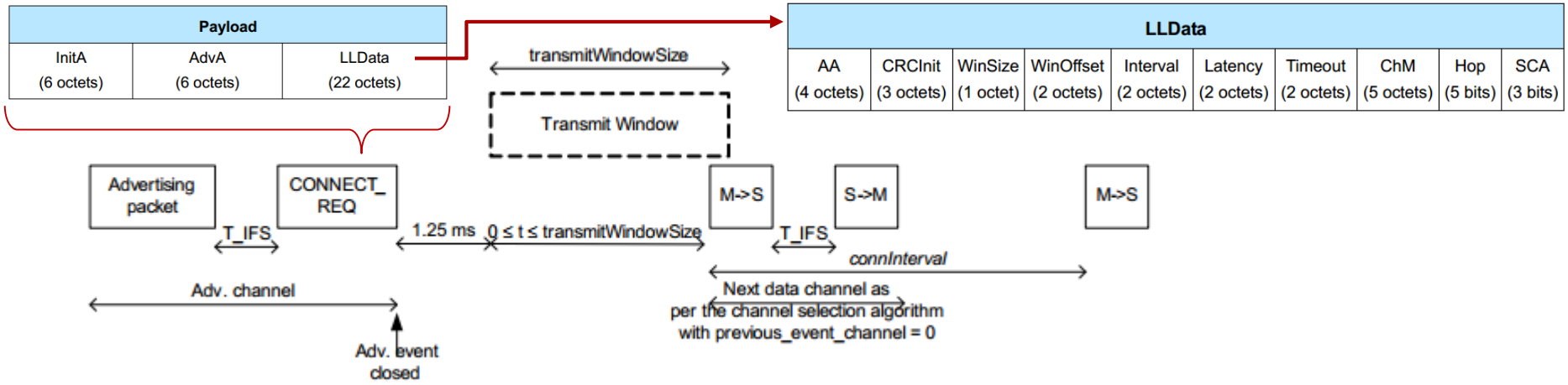
BLE Link Layer (MAC)

- Scanning
  - A felderítés alapfolyamata
    - Hallgatózás a hirdetési (Advertising) csatornákon
  - scanWindow = RX időablak mérete (egy csatornán)
  - scanInterval = periodicitás
  - Lehet aktív vagy passzív folyamat
    - Aktív, ha adott PDU típusok esetében SCAN_REQ PDU segítségével további információt szeretnénk kinyerni az eszközből
      - Ekkor a másik fél SCAN_RSP PDU-val válaszol
    - Passzív, ha nem



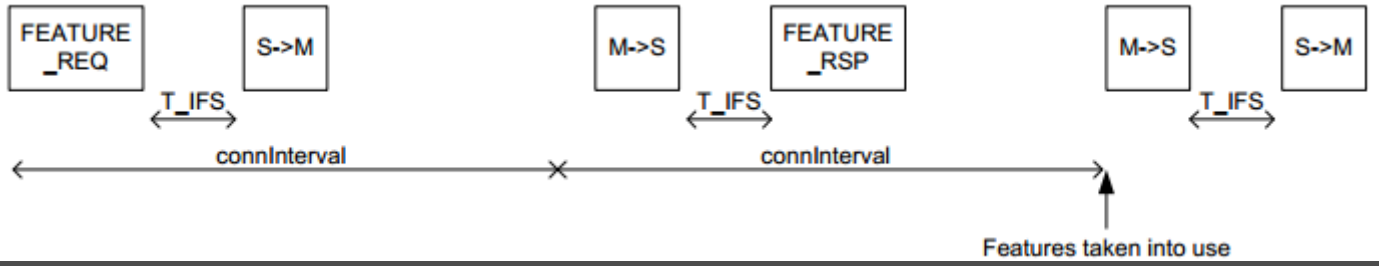
BLE Link Layer (MAC)

- Initiating
  - Kapcsolatfelépítés kezdeményezése
  - Hirdetési csatornákon CONN_REQ PDU küldése, majd Connection állapotban Master szerep
    - Transmit Window: Ekkor kezdhet el adni Masterként
    - Access Address: Master-Slave páronként egyedi
    - ChannelMap: Alkalmazott Data csatornák
    - Hop: Véletlenszerűen sorsolt ugrásszám
    - SCA: System Clock Accuracy
    - + egyéb Connection specifikus paraméterek



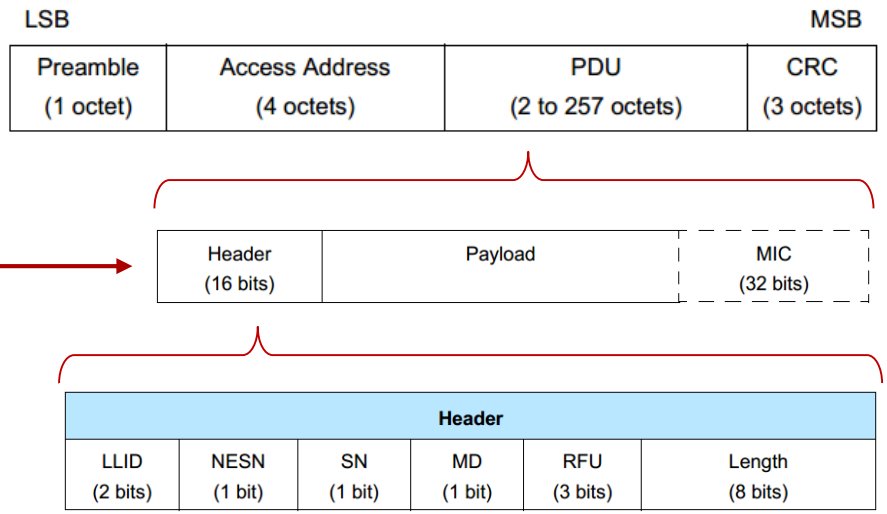
BLE Link Layer (MAC)

- Connection
  - Data csatornák és Data Channel PDU-k használata
    - Mindig Master küld először (ez adja a szinkront), a Slave „válaszol”
    - Slave-enként eltérő frekvenciaugratási minta
      - Random Hop érték a CONN_REQ PDU-ban
  - Connection eventek időzítései
    - connInterval ≥ 7.5 ms
      - Connection eventek között eltelt idő
      - Az aktuális frekvencián eddig tartózkodhat a két eszköz
        - » Ezért nem FHSS…
    - connSlaveLatency
      - A Slave max. ennyi Connection eventet hagyhat ki
    - connSupervisionTimeout
      - Ha ennyi időn belül nem érkezik válasz egyetlen Master által küldött Data PDU-ra sem, akkor bomlik a kapcsolat



BLE Link Layer (MAC)

- Data Channel PDU
  - Link Layer keret
    - Access Address
      - Ez alapján dönthető el a PDU típusa (D, A)
      - Itt már nincs MAC cím
  - Data Channel PDU
    - MIC (Message Integrity Check)
      - Aláírás (opcionális)
    - Header
      - LLID: Control Csomag (11b), kezdő darab (10b), vagy folytatás (01b)
    - NESN (Next Expected SN), SN (Sequence Number)
      - Elosztott 2 állapotváltozó bit az ACK jelzéséhez
    - MD (More Data)
      - Ha bármelyik félnek van még küldeni valója



L2CAP - HCI

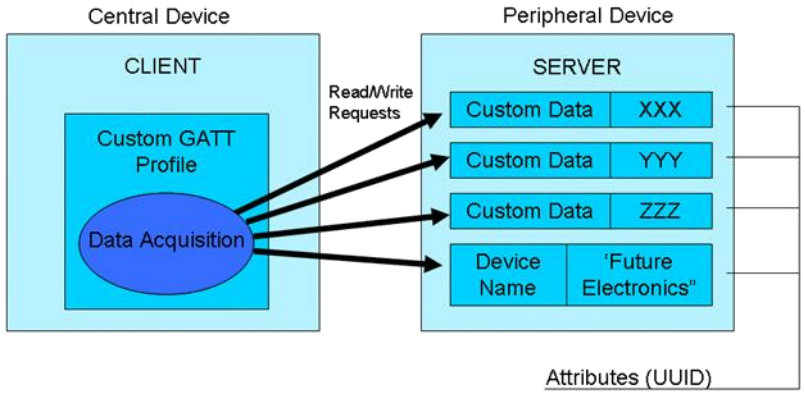
- L2CAP: Gyakorlatilag nincs változás a hagyományoshoz képest
  - Csatorna alapú absztrakció (Channel ID)
- HCI: System-on-Chip (SoC) rendszerek esetén nincs rá szükség
  - Kivéve, ha külső vezérlést végzünk (ez nem jellemző)
  - Egy sereg új Command/Event került definiálásra
    - Ezekre külön-külön nem térünk ki

ATT és SMP protokollok

- Attribute Protocol (ATT)
  - Képességek és szolgáltatások felderítése
    - Service Discovery Protocol (SDP) egyfajta általánosítása
  - Tranzakciójellegű üzenetváltások
    - RFCOMM helyett…
- Security Manager Protocol (SMP)
  - Biztonsági szolgáltatások (AES)
    - Párosítás (MITM, titkosítás)
  - Hash generálás
    - Privát MAC címek, Message Authentication Code (MIC)
  - Kulcskezelés
    - Long Term Key, Short Term Key

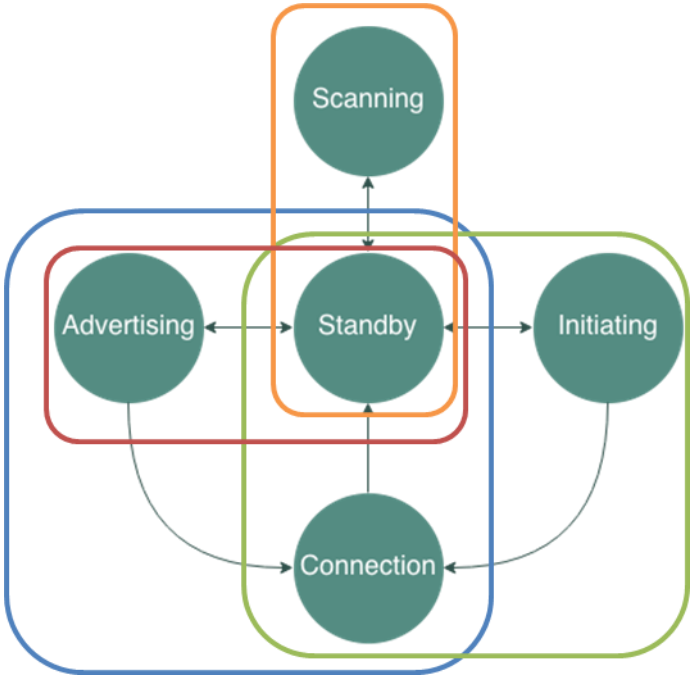
Generic Attribute Profile (GATT)

- Kliens és szerver szerepek
  - Akár egyidejűleg
- Jól definiált objektumok (Attribute)
  - Primary Service
    - Secondary (Included) Service
    - Characteristic (értékek)
      - Descriptor (működés és értelmezés)
- GATT adatbázis a szerveren
  - Bejegyzések azonosítása handle vagy UUID (16-128bit) alapján
- Egyszerű operációk a kliens részéről
  - Felderítési mechanizmusok (discovery)
  - Bejegyzések írása és olvasása
  - Jelzések beállítása (indication, notification)
- **Csatornajellegű kommunikáció helyett adatbázis interakciók**
- Számos előredefiniált (kvázi) szabványos GATT struktúra (Profil)
  - A Bluetooth SIG publikus specifikációi között ezek is megtalálhatók
  - Egy eszközön akárhány Service, vagy Profil lehet



Generic Access Profile (GAP)

- Szerepek (Link Layer állapotok absztrakciói):
  - Central
    - Felderít
    - Kapcsolódást kezdeményez
    - Connection állapotban Master
  - Peripheral
    - Felderíthető
    - Kapcsolódást fogad
    - Connection állapotban Slave
  - Observer
    - Advertising csatornákat figyeli
  - Broadcaster
    - Advertising csatornákon sugároz
- Különböző folyamatok
  - Felderítések, kapcsolódások, stb.
- Definiált struktúrák
  - Pl. GATT Service

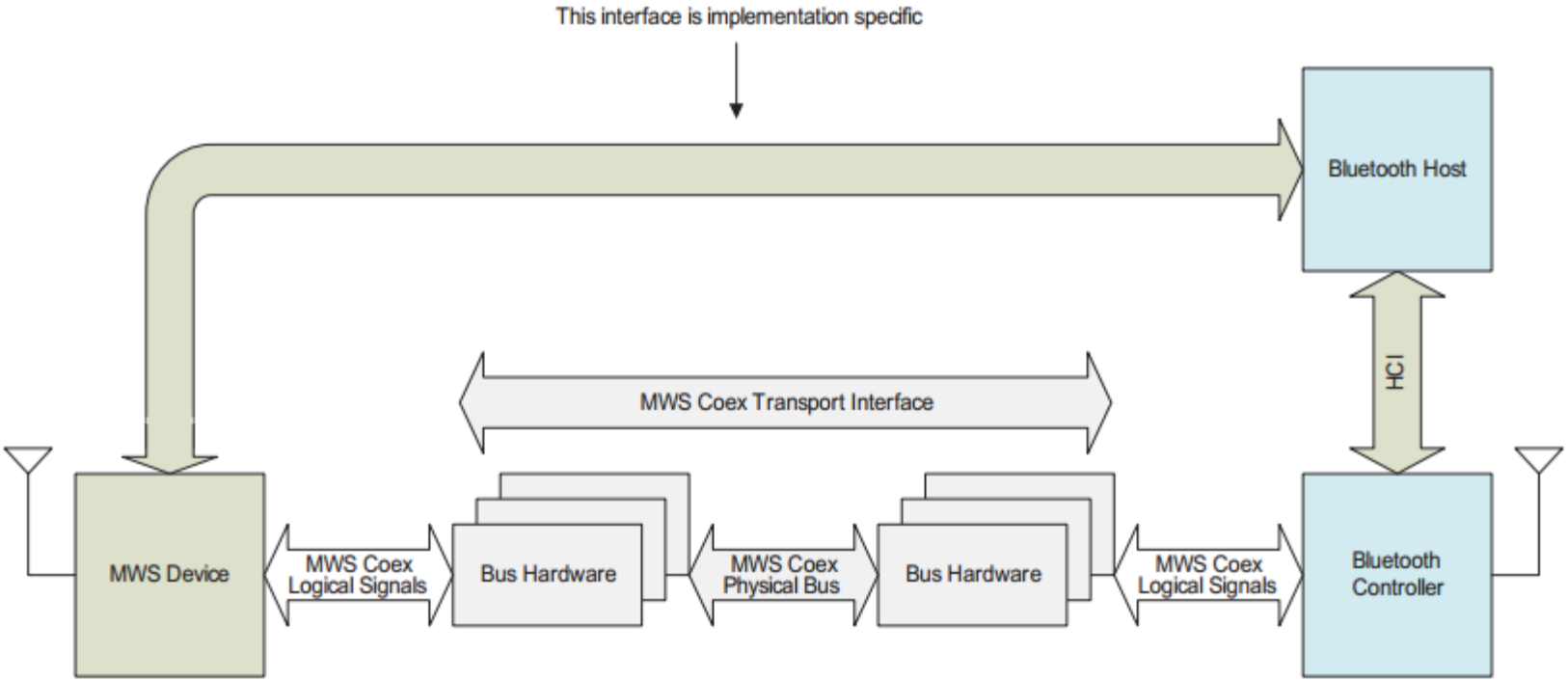


Bluetooth v4.1

- Dual mode eszközök esetén lehet LE-n kapcsolódni
  - v4.0-ban a **hagyományos kapcsolódás** volt ilyen eszközök esetében előírva
- Bluetooth Low Energy Scatternetek bezetése
  - Eredetileg lehetséges volt egyidejűleg több GAP szerepben működni, ha az nem eredményezett tiltott kombinációkat
    - Pl. Egy Slave nem lehetett Master egy másik Piconetben
  - A v4.1-ben ezt a korlátot feloldották, így elérhetővé vált a multihop
    - Párhuzamos GAP szerepek = Párhuzamos LL állapotgépek
      - Ezekből tetszőleges lehet
      - Nem egyszerű megoldani, hogy tényleg működjön
        - » Belső versengés a rádiós interfészért
    - Rengeteg nyitott kérdés, nehéz modellezni
  - Közben elindultak a Broadcast Mesh típusú fejlesztések
    - Multihop az Advertising csatornákon
    - Jellemzően egyszerű megközelítésekkel operálnak
      - Amolyan irányított elárasztás
      - Szebben: Opportunistic Routing, vagy connectionLess IoT

Bluetooth v4.1

- Mobile Wireless Coexistence Signaling
  - Arra az esetre, ha több rádiós technológia használja ugyanazt az erőforrást (pl. rádió)
  - Jelezhető az igény a foglalásra (időrésekben)
    - Prioritásos igények esetén a másik félnek vissza kell lépnie
    - Nem illik állandóan prioritásos igénnyel előállni



Bluetooth v4.2-v5.0

- Bluetooth v4.2
  - Kiterjesztett csomagméret
    - v4.0-ban fix 47 byte minden PDU (Advertising és Data)
      - Data PDU: 21 oktett hasznos adat
    - v4.2-től 265 byte-os PDU-k is támogatottak (csak Data)
      - Data PDU: 240 oktett hasznos adat
  - Security továbbfejlesztése
- Bluetooth v5.0
  - Konvolúciós kódoló beiktatása (IEEE 802.15.4g javaslat)
  - Max. adási teljesítmény megnövelése 20 dBm-re (100mW)
    - A hagyományos verzió is pont ennyit tudott
  - Jelzési sebesség 2 Mbps-ra növelése
    - A csatornák már most is 2 MHz szélesek
  - Link Layer TDMA-FDMA séma további általánosítása
    - Secondary Advertising csatornák bevezetése
    - Újabb időzítési és szinkronizációs lehetőségek

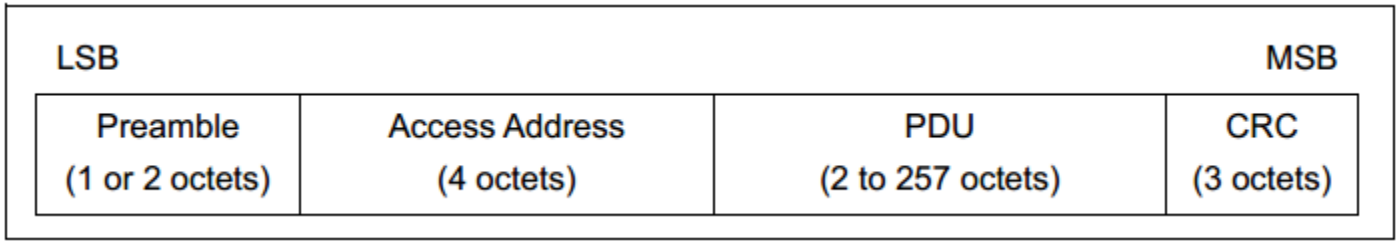
Bluetooth 5.0 – PHY változások

- Primary és Secondary Advertising csatornák
  - Secondary Advertising és a Data frekvenciasávok ugyanazok

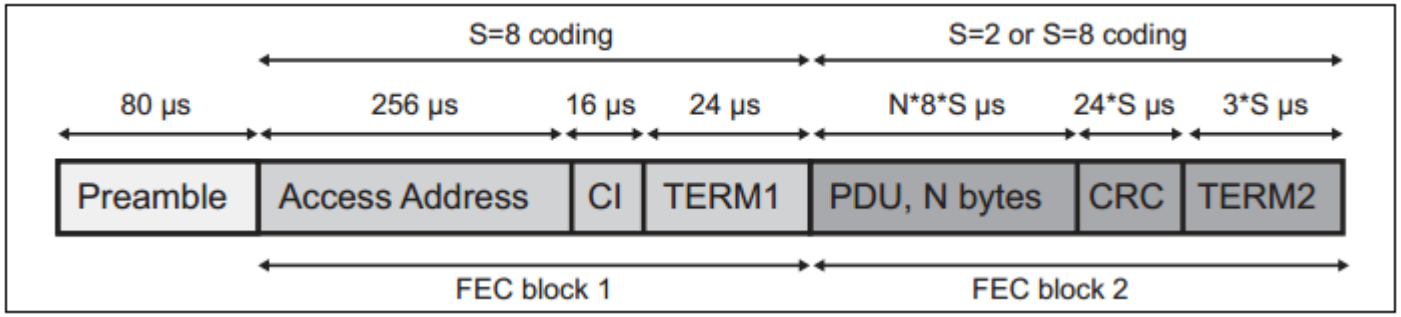
RF Channel	RF Center Frequency	Channel Index	Channel Type		
			Data	Primary Advertising	Secondary Advertising
0	2402 MHz	37		●	
1	2404 MHz	0	●		●
2	2406 MHz	1	●		●
…	…	…	…	…	…
11	2424 MHz	10	●		●
12	2426 MHz	38		●	
13	2428 MHz	11	●		●
14	2430 MHz	12	●		●
…	…	…	…	…	…
38	2478 MHz	36	●		●
39	2480 MHz	39		●	

Bluetooth 5.0 – PHY változások

- Coded és Uncoded PHY keretformátumok
  - Uncoded = a régi formátum – 1 vagy 2 Mbps
    - Preambulum mérete az adatsebességnek megfelelően

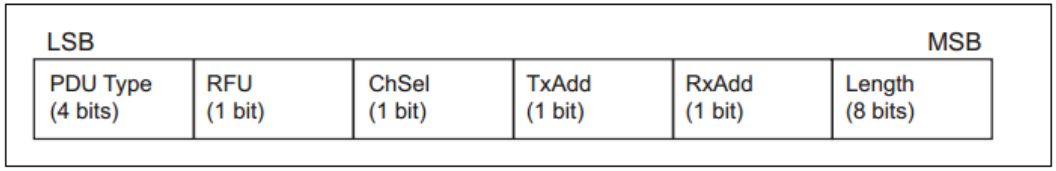


  - Coded formátum (FEC) – 1 Msym/s
    - S = 2 (1/2 rátájú konvolúciós kódoló)
    - S = 8 (S = 2 kódoló kimenetén „0”: „0011” és „1”: „1100” map)
    - CI mező mutatja, hogy a FEC block 2 milyen kódolást kapott



Bluetooth 5.0 – Link Layer változások

- Új Advertising PDU formátum és típusok
  - Az RFU mező eddig 2 bites volt
  - A ChSel, TxAdd, RxAdd bitek értelmezése a PDU típus szerint



  - Továbbá az egyes típusok nem is használhatók minden csatornán és minden fizikai átvitelt alkalmazva

PDU Type	PDU Name	Channel	Permitted PHYs		
			LE 1M	LE 2M	LE Coded
0000b	ADV_IND	Primary Advertising	•		
0001b	ADV_DIRECT_IND	Primary Advertising	•		
0010b	ADV_NONCONN_IND	Primary Advertising	•		
0011b	SCAN_REQ	Primary Advertising	•		
	AUX_SCAN_REQ	Secondary Advertising	•	•	•
0100b	SCAN_RSP	Primary Advertising	•		
0101b	CONNECT_IND	Primary Advertising	•		
	AUX_CONNECT_REQ	Secondary Advertising	•	•	•
0110b	ADV_SCAN_IND	Primary Advertising	•		

PDU Type	PDU Name	Channel	Permitted PHYs		
			LE 1M	LE 2M	LE Coded
0111b	ADV_EXT_IND	Primary Advertising	•		•
	AUX_ADV_IND	Secondary Advertising	•	•	•
	AUX_SCAN_RSP	Secondary Advertising	•	•	•
	AUX_SYNC_IND	Secondary Advertising	•	•	•
	AUX_CHAIN_IND	Secondary Advertising	•	•	•
1000b	AUX_CONNECT_RSP	Secondary Advertising	•	•	•
All other values	Reserved for Future Use				

Bluetooth 5.0 – Link Layer változások

- Új Advertising PDU formátum és típusok
  - 4.0-ban bevezetett PDU-k nem változtak
    - Ezek egytől-egyig az 1 Mbps-os (4.0-s) sebességen és a Primary (4.0-s) Advertising csatonákon alkalmazhatók
    - Így egyszerűbb a visszafele való kompatibilitás megtartása
    - A 4.0-ban meghatározott folyamatokat kiválóan szolgálják
  - Az 5.0-s új Advertising PDU-k payloadja viszont erősen módosult
    - Common Extended Advertising Payload Format:
      - AdvMode: Advertising üzemmód (szkennelhető, kapcsolódható)
      - További infók az Extended Header mezőben

Payload			
Extended Header Length (6 bits)	AdvMode (2 bits)	Extended Header (0 - 63 octets)	AdvData (0 - 254 octets)

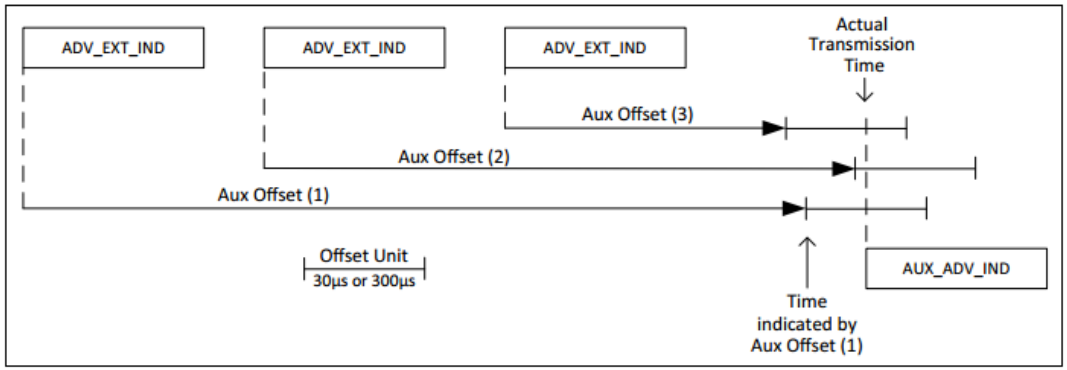
Extended Header								
Extended Header Flags (1 octet)	AdvA (6 octets)	TargetA (6 octets)	RFU (1 octet)	AdvData Info (ADI) (2 octets)	AuxPtr (3 octets)	SyncInfo (18 octets)	TxPower (1 octet)	ACAD (varies)

Bluetooth 5.0 – Link Layer változások

Extended Header								
Extended Header Flags (1 octet)	AdvA (6 octets)	TargetA (6 octets)	RFU (1 octet)	AdvData Info (ADI) (2 octets)	AuxPtr (3 octets)	SyncInfo (18 octets)	TxPower (1 octet)	ACAD (varies)

- Extended Advertising Header
  - AdvA, TargetA: ugyanaz mint a 4.0-ban (forrás, címzett – ha van)
  - AdvDataInfo: szegmensek vagy új adat jelzésére (ismétlődés)
  - AuxPtr: gyakorlatilag egy pointer a közeghozzáférési sémában
    - Ha van valamilyen speciális, időzített adata az Advertisernek
    - A Scennerek rá tudnak szinkronizálódni
      - Broadcast
      - Unicast
      - Multicast
    - Feliratkozást tesz lehetővé

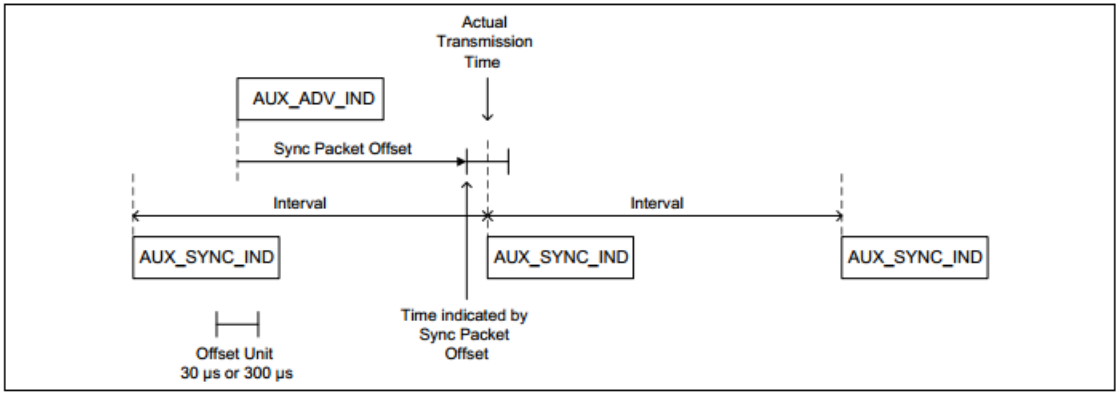
AuxPtr				
Channel Index (6 bits)	CA (1 bits)	Offset Units (1 bits)	AUX Offset (13 bits)	AUX PHY (3 bits)



Bluetooth 5.0 – Link Layer változások

Extended Header								
Extended Header Flags (1 octet)	AdvA (6 octets)	TargetA (6 octets)	RFU (1 octet)	AdvData Info (ADI) (2 octets)	AuxPtr (3 octets)	SyncInfo (18 octets)	TxPower (1 octet)	ACAD (varies)

- Extended Advertising Header
  - AdvA, TargetA: ugyanaz mint a 4.0-ban (forrás, címzett – ha van)
  - AdvDataInfo: szegmensek vagy új adat jelzésére (ismétlődés)
  - AuxPtr: gyakorlatilag egy pointer a közeghozzáférési sémában
  - SyncInfo: periodikus Advertising esetén
    - Szinkronizációs információ
    - Bárki ráhangolódhat (kapcsolatmentes)



SyncInfo								
Sync Packet Offset (13 bits)	Offset Units (1 bit)	RFU (2 bits)	Interval (2 octets)	ChM (37 bits)	SCA (3 bits)	AA (4 octets)	CRCInit (3 octets)	Event Counter (2 octets)

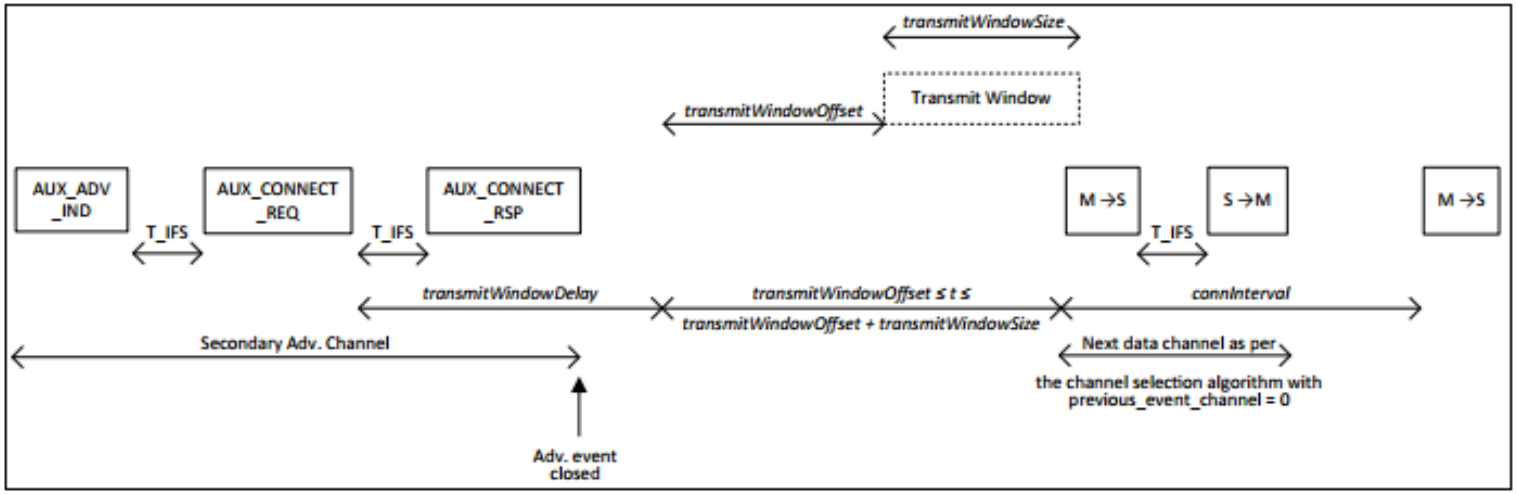
Bluetooth 5.0 – Link Layer változások

Extended Header								
Extended Header Flags (1 octet)	AdvA (6 octets)	TargetA (6 octets)	RFU (1 octet)	AdvData Info (ADI) (2 octets)	AuxPtr (3 octets)	SyncInfo (18 octets)	TxPower (1 octet)	ACAD (varies)

- Extended Advertising Header
  - AdvA, TargetA: ugyanaz mint a 4.0-ban (forrás, címzett – ha van)
  - AdvDataInfo: szegmensek vagy új adat jelzésére (ismétlődés)
  - AuxPtr: gyakorlatilag egy pointer a közeghozzáférési sémában
  - SyncInfo: periodikus Advertising esetén
  - TxPower: adási teljesítmény (távolságbecsléshez)
  - ACAD: Additional Controller Advertising Data
    - Egyéb információ, amiről a kontrollerek értesíthetik egymást
    - Pl. Channel Map Update Indication
    - Ugyanúgy AD struktúrákban, mint amúgy az AdvData mező

Bluetooth 5.0 – Link Layer változások

- Új, opcionális kapcsolódási folyamat a másodlagos Advertising csatornákon
  - A primary csatornákon nincs visszajelzés a Slave részéről, hogy ő egyébként megkapta-e a csomagot
    - Hatékonyabb erőforrás allokáció
  - Egyből mehet az adott fizikai réteg felett a kommunikáció



- Egyébiránt kapcsolódás az elsődleges csatornákon
  - Link Layer Control üzenetváltással aktiválható másik fizikai réteg, ha mindkét eszköz támogatja

MŰEGYETEM 1782

BME

JELEK ALAPSÁVI LEÍRÁSA. MODULÁCIÓK. A CSATORNA LEÍRÁSA, TULAJDONSÁGAI.

2018. október 12.,
Budapest

Alapfogalmak, fizikai réteg

- mindenki által ismert fogalmak (hobbiból azért rákérdezhetek vizsgán):
  - jel, teljesítmény, analóg, digitális, jelek frekvenciatartománybeli leírása, frekvenciasáv, mintavételi tétel, szűrés
- Moduláció:
  - a hasznos jelet át kell a rádiós csatornán vinni, adott frekvenciasávban
    - amplitúdó moduláció (AM): $s(t)= u(t)\cdot\cos(2\pi\cdot f_0 t)$
    - frekvencia moduláció (FM): $s(t)=\cos\left(2\pi f_0 t+\int_0^t u(\tau)d\tau\right)$
    - fázis moduláció (PM): $s(t)=\cos(2\pi\cdot f_0\cdot t+u(t))$
    - u(t) az információt hordozó jel

Alapfogalmak, fizikai réteg

- a vivő amplitúdója, frekvenciája vagy fázisa hordozza az információt
- digitális átvitel: általában egy elemi jel és inverze, amit át kell vinni

Jelek alapsávi leírása

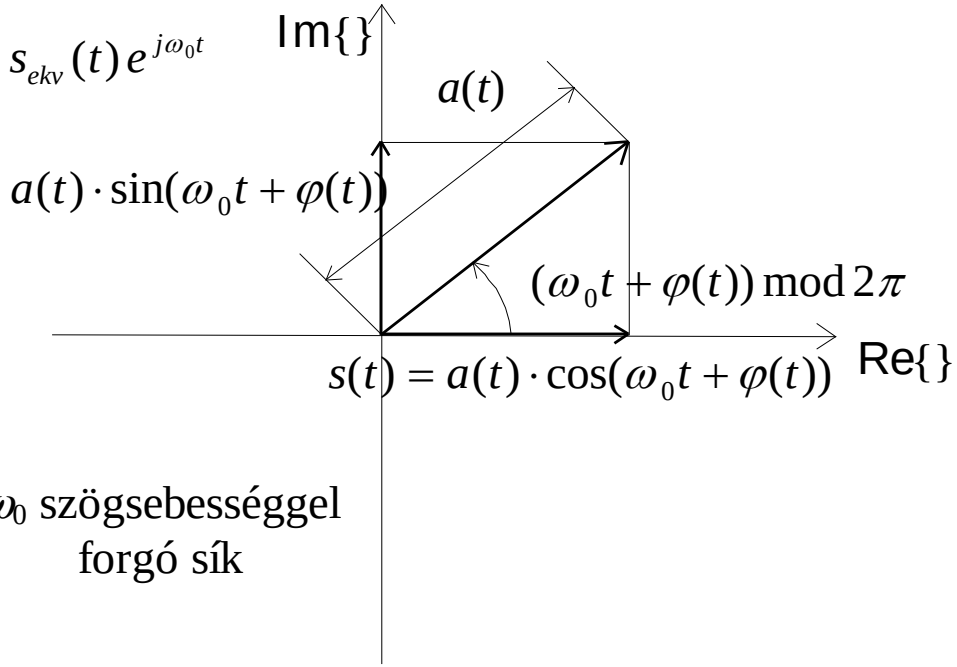
- A jel általánosan: $s(t) = a(t)\cos(\omega_0 t + \varphi(t))$
- felbontva: $s(t) = s_I(t)\cos(\omega_0 t) - s_Q(t)\sin(\omega_0 t)$
- Ahol $s_I(t) = a(t)\cos(\varphi(t))$ a fázisban levő komponens, a kvadratúra komponens: $s_Q(t) = a(t)\sin(\varphi(t))$
- Ebből a jel alapsávi ekvivalensének definíciója:

$$s_{ekv}(t) = s_I(t) + j\, s_Q(t)$$

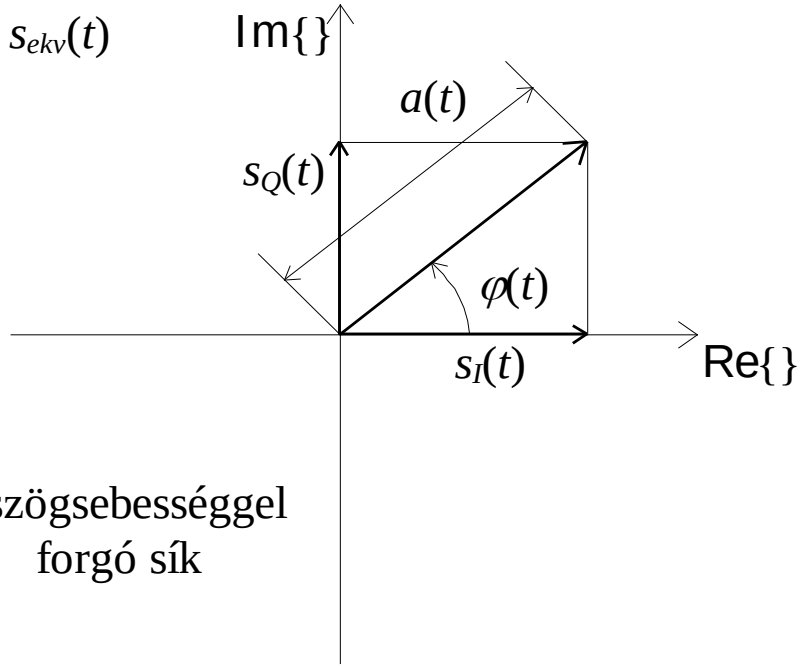
- Haszna: nem kell a vivővel törődni, egyszerűbb, általános összefüggések
- ugye látszik: $s(t) = \mathrm{Re}\left\{ s_{ekv}(t)\, e^{j\omega_0 t} \right\}$

Jelek alapsávi leírása

- Elnevezés: a jel komplex előburkolója: $s_{ekv}(t)e^{j\omega_0 t}$
- ugye: $s_{ekv}(t) = s_I(t) + j\,s_Q(t) = a(t)\cdot e^{j\varphi(t)}$
-



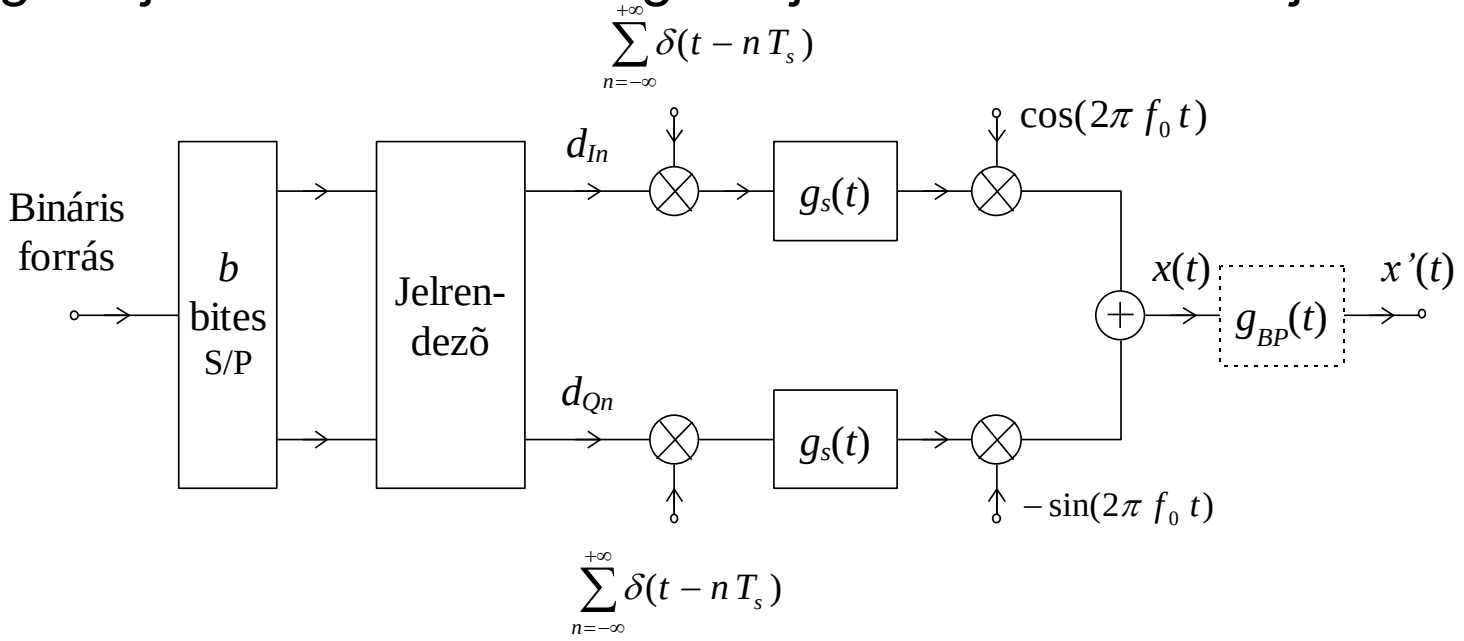
ω_0 szögsebességgel forgó sík



0 szögsebességgel forgó sík

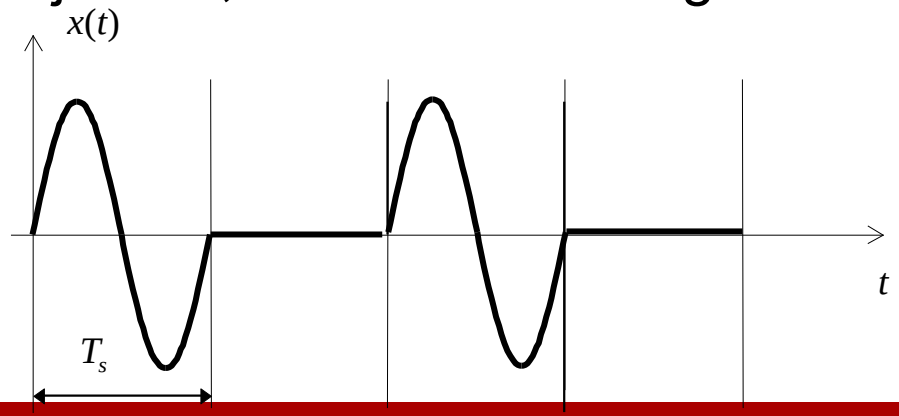
Digitális moduláció

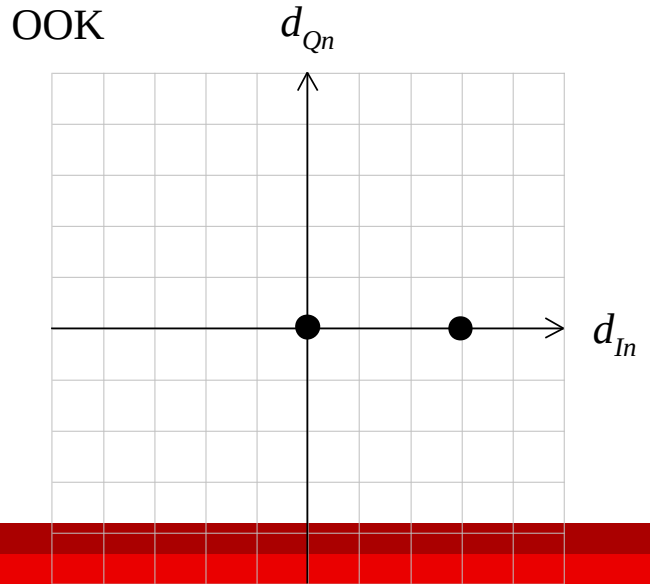
- a bináris forrásból soros/ph átalakítással b bites szavak jönnek
- jelrendező: a bináris szavaknak megfelelő d_I és d_Q értékeket állít elő
- $g_S(t)$: elemi jelalak szűrő, Dirac impulzusokat ráadva a kívánt jelalakot érjük el (a gyakorlatban gyakran nem szűrővel, hanem tárolt jelalakokkal dolgoznak)
- ezeket ültetjük a vivőre (fázisban és kvadratúrában levő komponens)
- az összegzett jelen sávszűrést végrehajtva kész a kimenő jel



Digitális moduláció

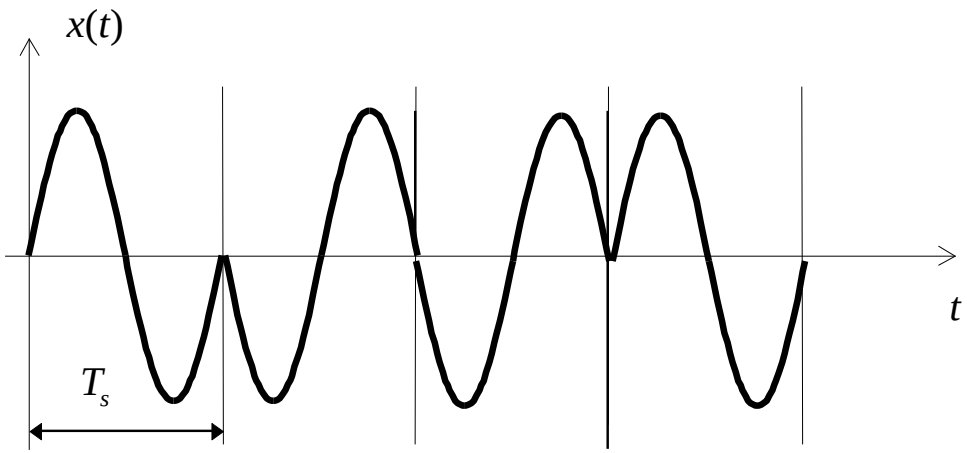
- a d_I és d_Q értékek lehetséges értékeit síkban ábrázolva az ún. konstellációs diagrammot kapjuk, ez gyakorlatilag a vivő fázisát és amplitúdóját mutatja
- elemi jel: mint látható, ennek megfelelően fog változni az I és Q összetevők amplitúdója, így az eredeti jel fázisa is. legegyszerűbb esetben négyszögjel, a simább átmenet és így kisebb sávszélesség érdekében valamilyen lekerekített jeleket szoktak használni
- **Fajták:**
- On-OFF keying : b=1, d_Q mindig nulla, d_I egy vagy nulla, az elemi jelet vagy átvisszük, vagy nem
- jelalak, konstellációs diagram:

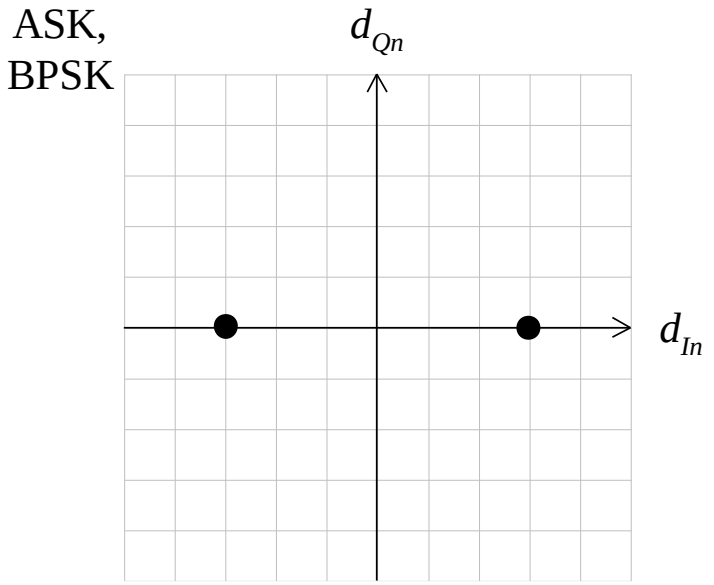




Digitális moduláció

- Amplitúdó billentyűzés, bináris fázisbillentyűzés (ASK, amplitude shift keying, BPSK binary phase shift keying)
- b=1, d_Q mindig nulla, d_I egy vagy mínusz egy, az elemi jel, vagy inverze modulálja a koszinuszt
- időfüggvény, konstellációs diagramm

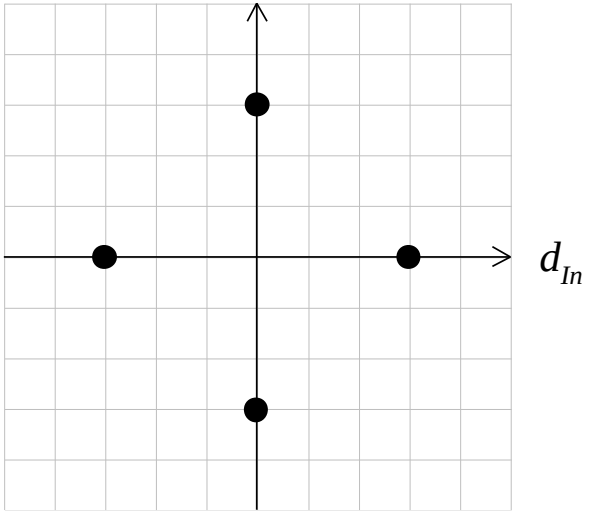


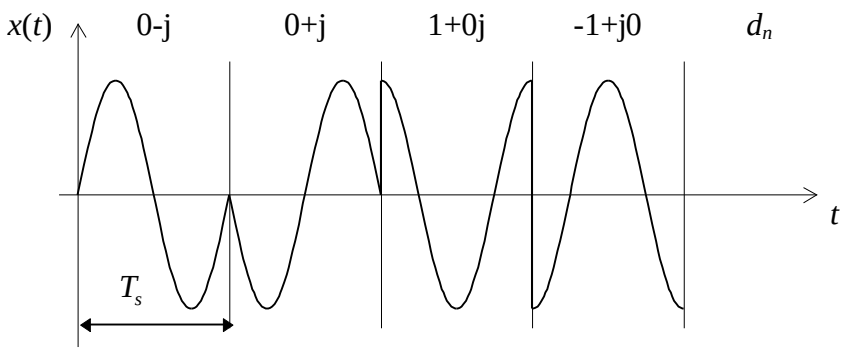


Digitális moduláció

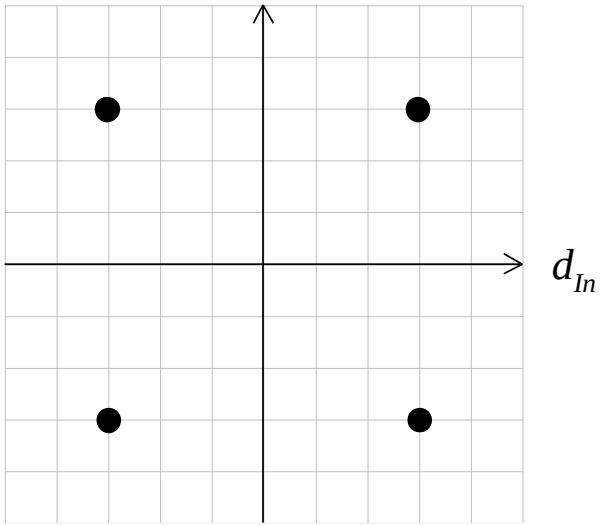
- QPSK (Quadrature Phase shift keying), 4-QAM (4 Quadrature Amplitude modulation), vizsgán: d_I és d_Q értékei
- konstellációs diagrammok és időfüggvények:

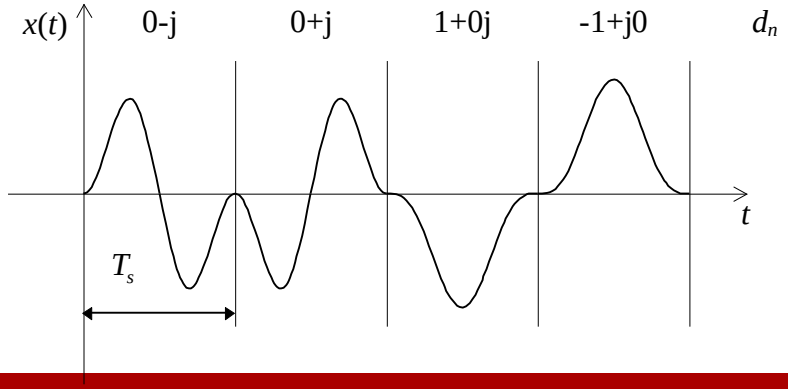
QPSK





4QAM

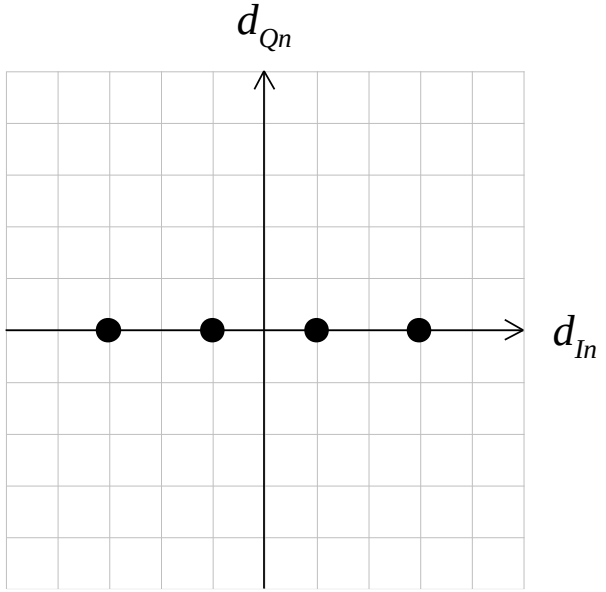




Digitális moduláció

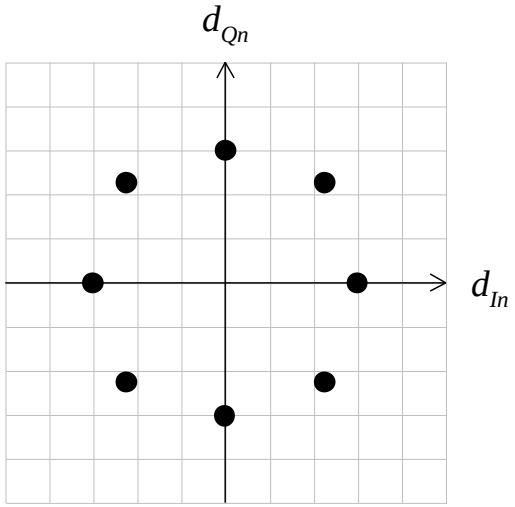
- 4 ASK, vizsgán: d értékei és időfüggvény, ha a konstellációs diagramm:

4ASK



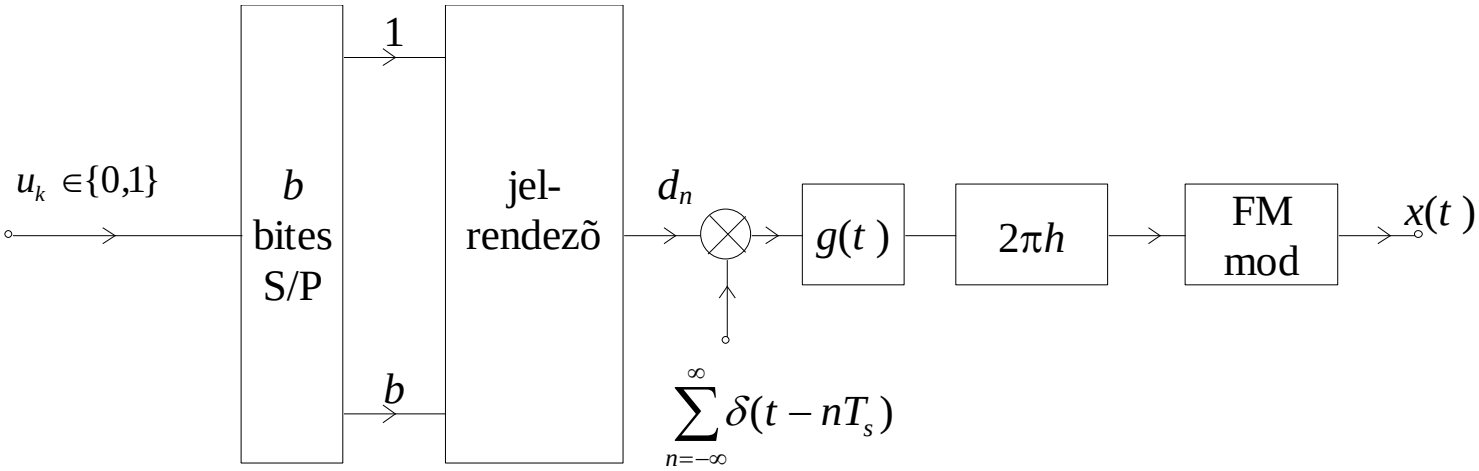
- hasonlóan: 16, 32, 64 QAM
- használt még: 8PSK

8PSK



Digitális moduláció

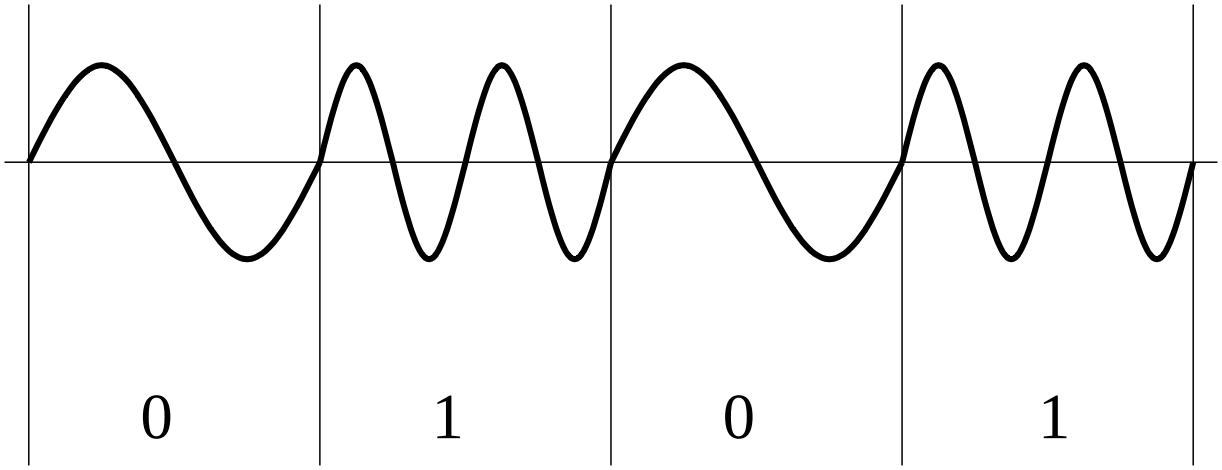
- nem lineáris moduláció (frekvencia moduláció)



- h: fázisforgatásra jellemző (2 pí hányad részével fordul a fázis)
- d_n sorozat: értékei a {-(M-1) ... -1, +1, ..., M-1} tartományból, $M=2^b$ féle frekvencia érték hordozza az információt
- elemi jel: ált valamilyen lekerekített (pl. emelt koszinusz, Gauss), hogy a frekvencia ne hirtelen változzon

Digitális moduláció

- példa: FSK (Frequency Shift Keying)
- időfüggvény:



- vizsgán: 4 FSK időfüggvény

A rádiós csatorna

- Csillapítás: tereptől, időjárástól, távolságtól, frekvenciától, antenna magasságoktól, stb. függ
- Fading: véletlen ingadozás a vett jel teljesítményében (amplitúdójában), sztochasztikus modellek
- Zaj: fehér zaj (Gauss): fehér: az adott sávban konstans teljesítménysűrűségű
- Interferencia: azonos csatornás, szomszédos csatornás, rendszerek közti
- Cél: bithibaarány adott határ alatt maradjon, tipikusan 0.001 alatt

Terjedési modellek

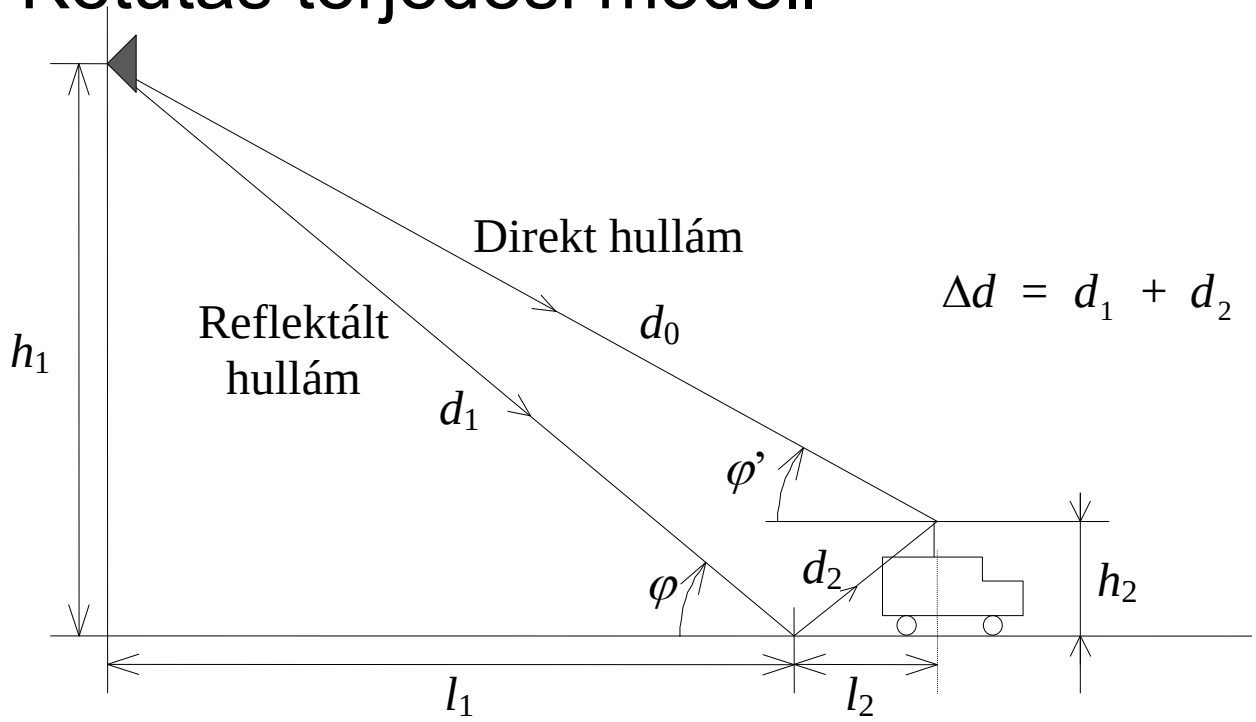
- empirikus modellek: nagy számú mérés alapján vázolt egyenletek, görbék alapján; gyors, könnyen számolható, nem túl pontos
- determinisztikus modellek: az EM hullámok terjedését, diffrakcióját, stb. számoló modellek; szükség van a környezet pontos ismeretére; nagyon nagy számítási kapacitást igényelnek
- szemi-determinisztikus modellek: determinisztikus modellek módosításával, egyszerűsítésével, mérésekhez „hangolásával” készülnek

Terjedési modellek

- makrocella:
  - kétutas terjedési modell (determinisztikus), kettős meredekségű modell
  - Okumura-Hata modell (empirikus)
  - módosított Okumura-Hata
- mikrocella
  - kettős meredekségű modell (empirikus)
  - Walfish-Ikegami modell (empirikus)
- Walfish-Ikegami:
  - városi területeken használt (utcák lefedettségére)
  - házak magassága, utca szélessége
  - tetők feletti terjedés és diffrakció
- beltéri modellek

Terjedési modellek

- Kétutas terjedési modell



- alapvető eredmény (elméleti): $P_V \cong P_A \cdot \left(\frac{h_1 h_2}{d^2} \right)^2$
- javítás: frekvencia-függés: $P_{Veff} = P_V \cdot f^{-n}$

Terjedési modellek

- kettős meredekségű modell (mikrocellás): gyakorlati tapasztalat: a csillapítás értéke (decibelben) a távolság logaritmusával adott meredekség szerint nő (kb. a távolság mínusz második hatványa szerint)
- egy adott távolság után (breakpoint) a távolság nagyobb negatív hatványa szerint (4-5), azaz logaritmikusan nagyobb meredekséggel
- $L_P = L_1 + 10g_1\log(d)$ ha $d < d_{bp}$
- $L_P = L_1 + 10g_1\log(d_{bp}) + 10g_2\log(d/d_{bp})$ ha $d > d_{bp}$
- $d_{bp} = 4h_{BTS}h_m/\lambda$

Terjedési modellek

- Okumura-Hata modell (COST 231)
  - a csatorna csillapítását becsli
- L_P= A+Blog(f)-13.82log(h_{BTS})-a(h_m)+(44.9-6.55log(h_{BTS}))log(d)
- a csillapítás decibelben megadva
- A=69.55 és B=26.16 ha 150 MHz < f < 1000 MHz
- A=46.3 és B=33.9 ha 1500 MHz < f <2000 MHz
- f: vivőfrekvencia, h_m: mobil antenna magassága, h_{BTS}: BS antenna effektív magassága (átlagos környező tengerszint feletti magassághoz képest)

Terjedési modellek

- Okumura-Hata modell (COST 231)
- a mobil antenna magasság korrekció: $a(h_m)$
- kisvárosi környezetben:

$a(h_m)=(1.1\ \log(f)-0.7)h_m - (1.56\ \log(f)-0.8)$

- nagyvárosokban:

$a(h_m)=8.29(\ \log(1.54h_m))^2 -1.1 \quad f < 200$ MHz

$a(h_m)=3.2(\ \log(11.75h_m))^2 -4.97 \quad f > 400$ MHz

Alapvetően nagy kiterjedésű, sík városi környezetre.

Terjedési modellek

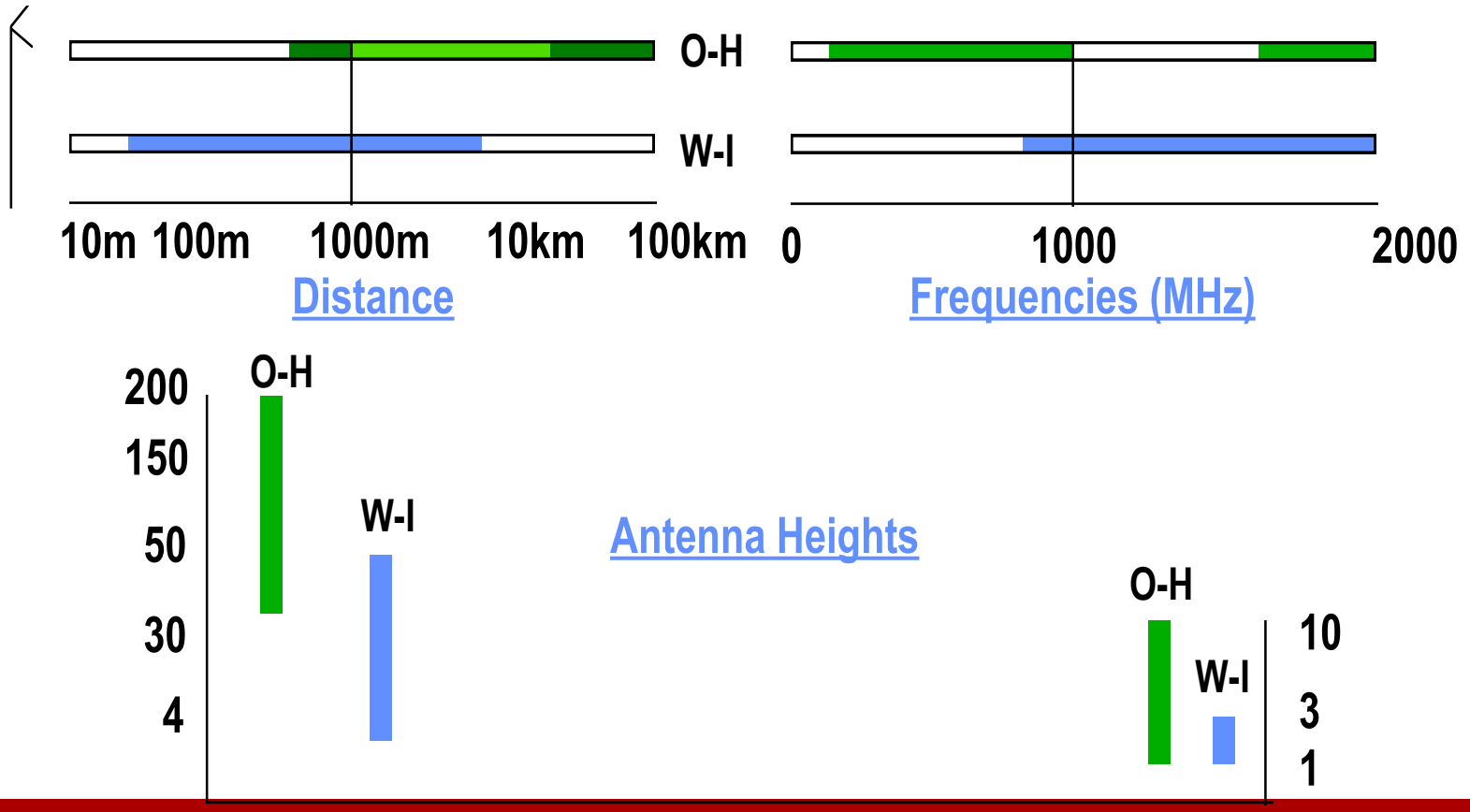
- Okumura-Hata modell (COST 231)
- módosítás dombos, városon kívüli, erdős, stb. területekre
- $L_{eff} = L_P + L_{Diff} - L_{morpho}$
- L_{Diff}: diffrakciós csillapítás, a terjedési útban lévő tárgyak miatt, számolható
- L_{morpho}: morfológiai osztályok szerinti módosítás
- L_{morpho} értékei: pl. vízfelület: 20, erdő: 8, külváros:6

Terjedési modellek

- Walfish-Ikegami modell (COST 231)
- mikrocellák, városi környezet
- két összefüggés: látható mobil (Line of Sight, LOS) és nem látható (NLOS)
- LOS (utcákban), „kanyon” hatás, a csillapítás számítása: $L_P=42.6 + 20\log(f) + 26 \log(d)$
- NLOS: $L_P= 32.44 + 20 \log(f) + 20\log(d) + L_{rsd} + L_{msd}$
- L_{rsd}: az utca körüli épületek tetejének szórása
- L_{msd}: a távolabbi tetőkön való szórás
- ezek számítása: átlagos utca szélesség, átlagos épület magasság, utcák iránysziöge az antennához képest, stb

Terjedési modellek

- O-H és W-I
- a csillapítási modellek minden paraméterét nem kell bemagolni, azt kell tudni hogy mik befolyásolják a csillapítást és hol használható az adott modell

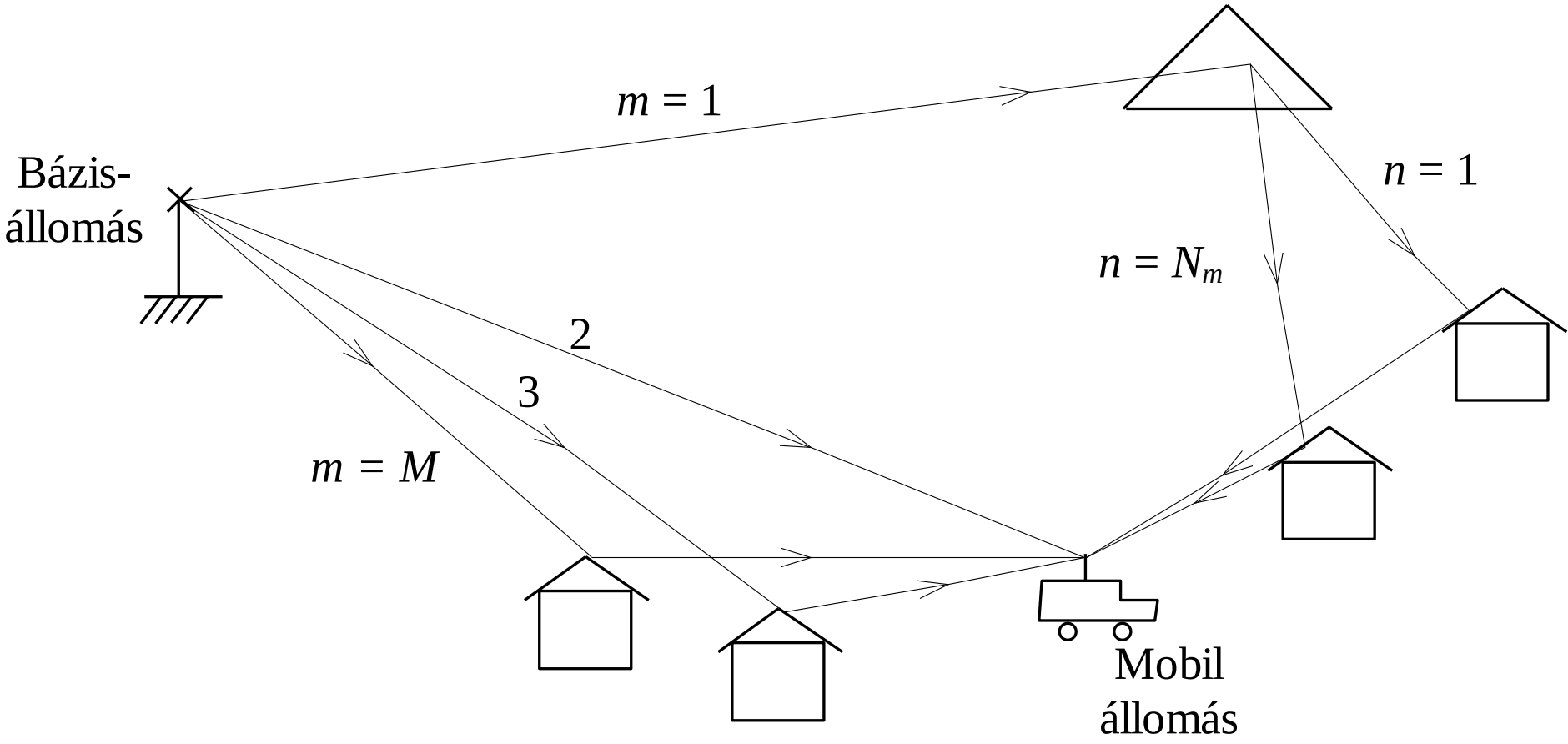


Terjedési modellek

- beltéri modellek: az épületek alaprajza, építőanyaga, falak anyaga és vastagsága befolyásolja
- bútorzat, emberek mozgása is befolyásolja, időben változó
- számítás: geometriai diffrakciós modellek, empirikus adatok alapján
- pl. $L_{in}=L_0 + L_C + \text{sum}(n_{wi}L_{wi}) + (n_f)^eL_f$
- L_0: szabadtéri csill., L_C: empirikus konstans
- n_{wi} i. típusú falak száma a terjedési útban, L_{wi}: csill.
- n_f: hány padlón keresztül terjed
- $e=(n_f + 2)/(n_f + 1) - k$; k empirikus

A fading

- Többutas terjedés: fő és mellékutak



A fading

- m fő terjedési útvonal sorszáma (m=1,...,M)
- n mellékútvonal sorszáma (n=1,...,NM)
- $r_{mn}(t)$ az mn útvonalon haladó jel a vevő helyén
- α_{mn} a csillapítási tényező
- τ_{mn} a késleltetés
- f_{mn} a Doppler-csúszás $f_{mn} = \frac{f_0 v}{c} \cos\psi_{mn}$
- v a mobil sebessége
- ψ_{mn} a mozgás és a hullámterjedés iránya által bezárt szög
- c a fénysebesség
- f_0 vivőfrekvencia
- A jelünk: $s(t) = \mathrm{Re}\{s_+(t)\} = a(t)\cos(2\pi f_0 t + \varphi(t))$

A fading

- Az mn útvonalon érkező jel komplex előburkolója a vevőben: $r_{+\,mn}(t) = \alpha_{mn}\, s_{ekv}(t-\tau_{mn})\, e^{j2\pi f_0(t-\tau_{mn})} e^{j2\pi f_{mn} t}$
- A vett jel tehát ezek összege:

$$r_+(t) = \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N_m} \alpha_{mn}\, s_{ekv}(t-\tau_{mn})\, e^{j2\pi f_0(t-\tau_{mn})+j2\pi f_{mn} t}$$

- Ha a szóródás után az egyes mellékutakon közel azonos hosszúságú utat tesz meg a vevőig, vagy csak olyan kis mértékben tér el az egyes utakon, hogy a változás a szimbólumidőhöz képest kicsi, akkor jó közelítés: $T_m = \frac{1}{N_m}\sum_{n=1}^{N} \tau_{mn}$
- Így:

$$r_+(t) = \sum_{m=1}^{M} s_{ekv}(t-T_m)\, e^{j2\pi f_0 t} \underbrace{\sum_{n=1}^{N_m} \alpha_{mn}\, e^{-j2\pi f_0 \tau_{mn}+j2\pi f_{mn} t}}_{z_m(t)}$$

A fading

- Azaz a vett jel komplex alapsávi ekvivalense:

$$r_{ekv}(t) = \sum_{m=1}^{M} s_{ekv}(t - T_m)\, z_m(t)$$

- A fadinget a komplex szorzófaktor jelenti, ami általánosan:

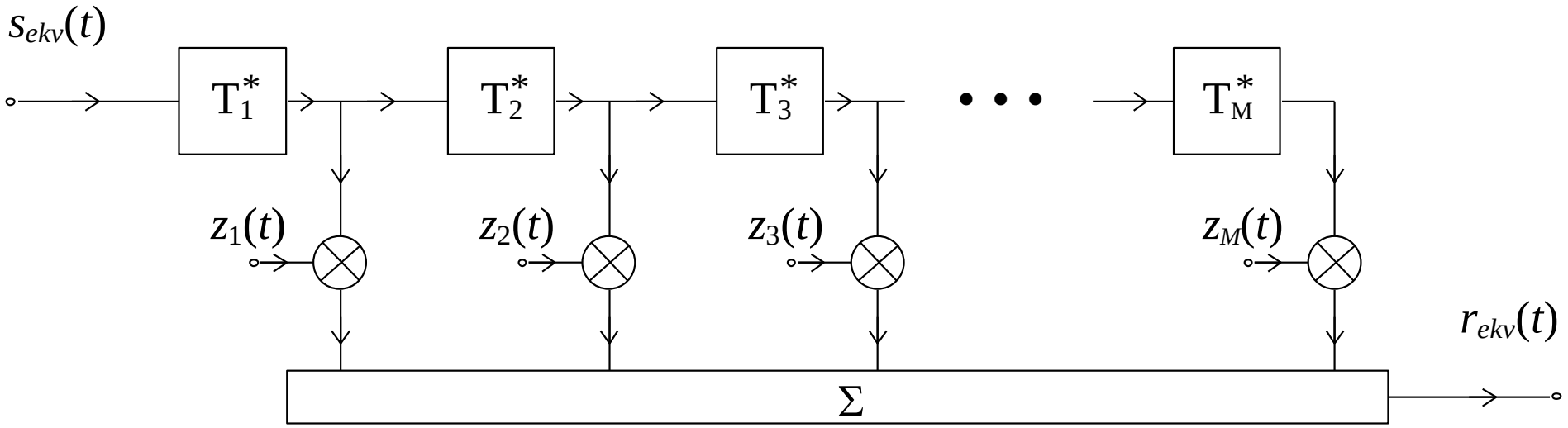
$$z_m(t) = x_m(t) + j\, y_m(t)$$

- A mellékutak csillapítása, késleltetése és Doppler szórása időben változik, véletlenszerű. Ha a mellékutak száma nagy, a jellemzők pedig függetlenek és azonos eloszlásúak, akkor a centrális határeloszlás tétel értelmében a valós és képzetes rész is normális eloszlású
- Aleset: nagyon sok mellékútvonal van csak, a vett jel alapsávi ekvivalensében egy késleltetés, egy szorzó (M=1)
- Modell: x és y 0 várható értékű, szigma szórású normális eloszlású

A fading

- A csatorna modellje pedig a következő:

$$T_1^* = T_1 \; ; \; T_i^* = \sum_{j=0}^{i} T_j^*$$



A fading

- Nos, a komplex szorzófaktor mit jelent fázisban és amplitúdóban?
- $A = \sqrt{x^2 + y^2}$
- $$\phi = artg\left(\frac{y}{x}\right) \bmod 2\pi$$
- 1. házi feladat: $f_A(a) = \frac{a}{\sigma^2} e^{-\frac{a^2}{2\sigma^2}}$ Rayleigh eloszlás
- $f_\phi(\varphi) = \frac{1}{2\pi}$ egyenletes eloszlás
- Ez a Rayleigh fading. Ilyen csatornán a jelből vett minta Rayleigh eloszlású véletlen csillapítást szenved

A fading

- Várható értéke: $\mathrm{E}[A] = \sqrt{\frac{\pi}{2}}\,\sigma$
- Második momentum: $\mathrm{E}\left[A^2\right] = 2\sigma^2$
- Szórásnégyzet: $\mathrm{E}\left[\left(A - \mathrm{E}[A]\right)^2\right] = \mathrm{E}\left[A^2\right] - \left(\mathrm{E}[A]\right)^2 = \left(2 - \frac{\pi}{2}\right)\sigma^2$

A fading

- A bithibaarány becsléséhez, ill. Teljesítéshez a jel-zaj viszonyt kell tudni (különböző modulációkra ismert a bithiba arány jel-zaj viszony függése)
- A jel-zaj viszony: $\Gamma = \frac{A^2 T}{2N_0} = \frac{E_s}{N_0}$
- Ennek várható értéke, azaz az átlagos SNR:

$$\gamma_0 = \mathrm{E}[\Gamma] = \frac{T}{2N_0}\mathrm{E}[A^2] = \mathrm{E}\left[\frac{E_s}{N_0}\right]$$

- Mivel *A* Rayleigh eloszlású, a második momentumát tudjuk, így

$$\gamma_0 = \frac{T\sigma^2}{N_0}$$

A fading

- Mi a jel-zaj viszony eloszlása?
- Levezetés után: $$f_{\Gamma}(\gamma)=\frac{1}{\gamma_0}e^{-\frac{\gamma}{\gamma_0}}$$
- Azaz az SNR exponenciális eloszlású!

- A Rice fading: a vett jel amplitúdója Rice eloszlású, származtatása: a vevőig egy közvetlen terjedési úton + végtelen sok mellékúton jut el a jel
- a lognormál fading (lassú fading): a csatorna csillapításához (pl. Okumura-Hata alapján) logaritmikus skálán egy normális eloszlású véletlen csillapítás adódik, a mobil mozgása során bekövetkező, tereptárgyak, épületek általi árnyékolás miatt, lassan változik

Hálózati alapismeretek

Schulcz Róbert
BME-HIT

Hálózat

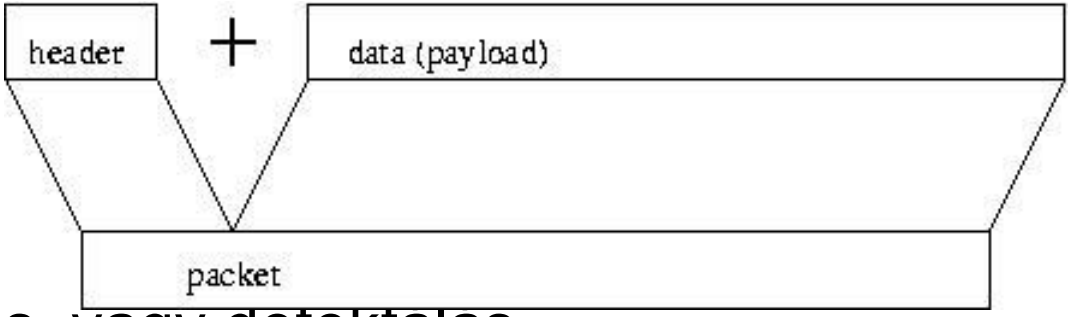
- Kommunikációs hálózat: *node* és *link*
- Node, azaz (vég)pont:
  - Felhasználói eszköz; egyéb végpont;
  - Közbenső hálózati eszköz (router, switch, multiplexer, mobil hálózati eszköz)
    - ezek is (cél)számítógépek
    - „láthatatlannak” kell maradniuk
  - Fizikai node: egy eszköz
  - Logical node: egy funkció
- Link, azaz összeköttetés:
  - A pontokat köti össze
  - Fizikai link: egy kábel
  - Logikai link: egy összeköttetés (pl. VPN)

Digitális kommunikáció

- Digitális átvitel:
  - Minden információt (kép, szöveg, video, stb.) *bináris adat*tá alakítunk
  - *bináris adat*ot viszünk át a hálózaton
- Bináris adat:
  - nullák és egyesek sorozata
  - *bit:* 0, v. 1
  - 8 bit egy *byte,* de inkább *octet* a távközlésben
- Példák
  - nagy A betű: 01000001;
  - egy 125 microsec szegmense a hangnak: 01011100

Digitális kommunikáció

- Az adatot szervezni (szegmentálni, darabolni) kell:
  - Keret, vagy csomag
- Fejléc (header), megmondja, hogy mi van benne
  - A hálózati elemek számára információ, hogy mit kell csinálni vele
- Hasznos adat (body, payload): az adat (egy része)



- Hiba javítás, vagy detektálás
- Nyugtázás (ACK): visszajelzés egy csomag vételéről
- Újra adás: hiba esetén

Digitális kommunikáció

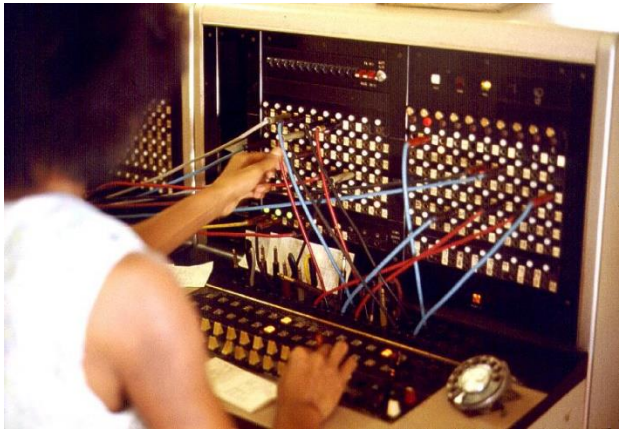
- A digitális adatok átviteléhez fizikai jel szükséges
- *Digitális jel*:
  - Megadott pillanatokban változhat
  - Véges ékkészlettel rendelkezik
- Átviteli (bit)sebesség:
  - Másodpercenként átvitt adatok mennyisége
    - bps, kbps, Mbps, Gbps: x1000 a távközlésben
      - x1024 az IT-ben
    - Pl. 1 Gbps Ethernet link: kb. 61000 oldalnyi szöveg másodpercenként
      (6,1 méter magas kupac, egy oldalas A4-es)

Digitális kommunikáció

- Kapacitás:
  - link: a másodpercenként átvihető bitek mennyisége
  - node: a percenként feldolgozható (továbbítható) bitek mennyisége
- Bitsebesség, bitráta:
  - Mennyi adatot szeretne továbbítani
  - Vagy mennyi adatot tud küldeni

Áramkörkapcsolt átvitel (CS)

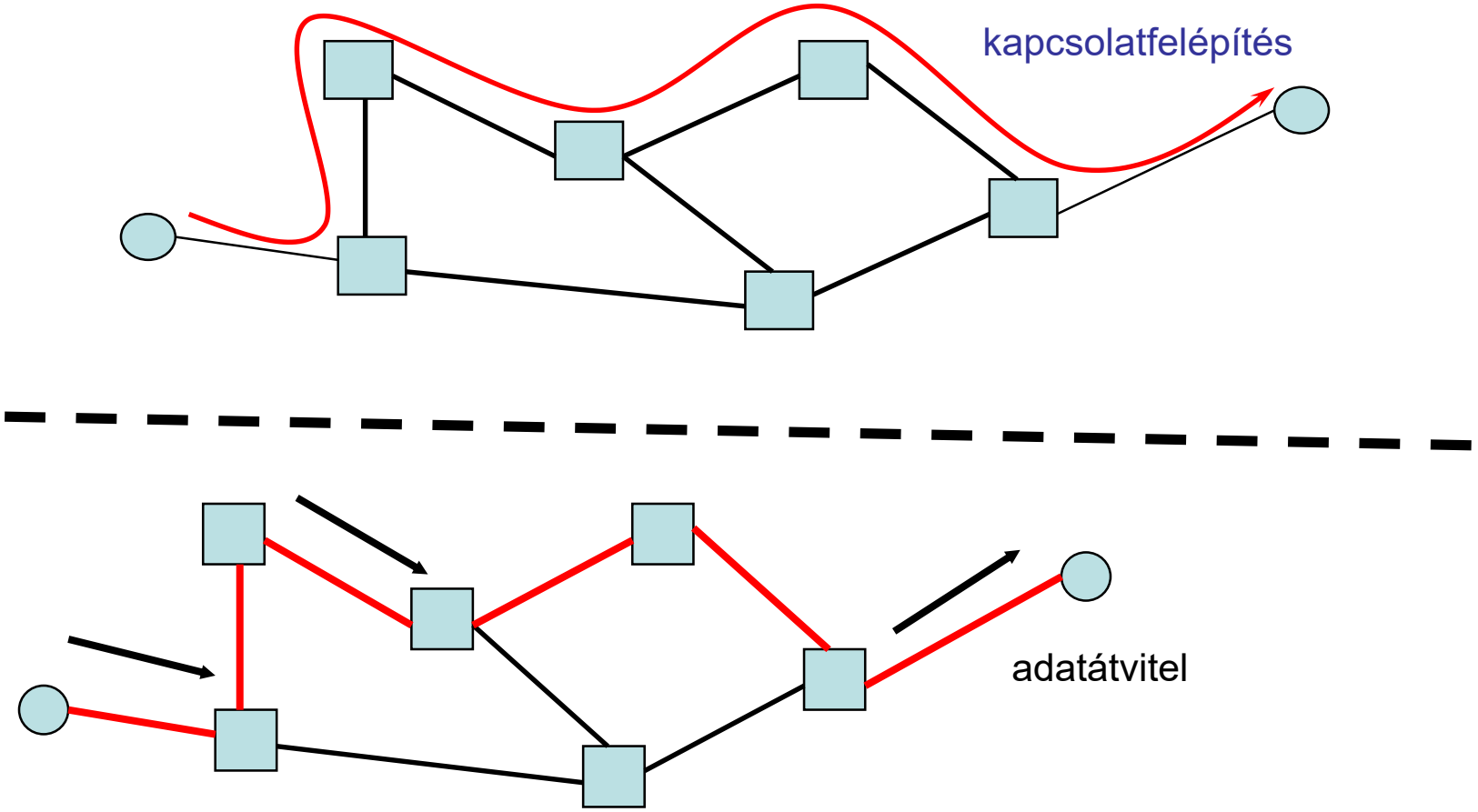
- Áramkörkapcsolt (circuit switched) átvitel
  - A telefóniából jön
  - A régi analóg rendszerekben a végpontok között „fémes” kapcsolat jött létre
  - Az ún. cross-bar és rotary központok is így működtek



Áramkörkapcsolt átvitel (CS)

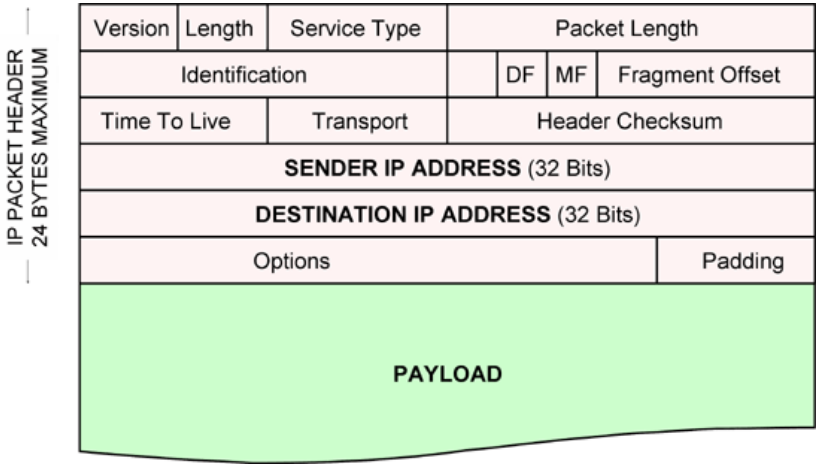
- Áramkörkapcsolt átvitel a digitális kommunikációban
  - Az adatátvitelt megelőzően *jelzés*i fázis, ami felépíti a kapcsolatot
  - *jelzések*: a végpontok és hálózati pontok adatot cserélnek: „hívásfelépítés”, erőforrás foglalás
  - Az adatfolyam a megadott útvonalon zajlik a felek között
  - A kapcsolat annak lebontásáig tart (explicit le kell bontani)

Áramkörkapcsolt átvitel (CS)



Csomagkapcsolt átvitel (PS)

- Csomagkapcsolt (packet switched) átvitel
  - Analógia: postai csomag
  - Az adatot csomagokba rendezzük
  - Minden node „függetlenül” kezeli a csomagokat
  - A továbbításhoz szükséges minden információ minden csomagban benne van (fejléc)
    - Feladó, címzett, kezelési instrukciók, prioritás, stb.

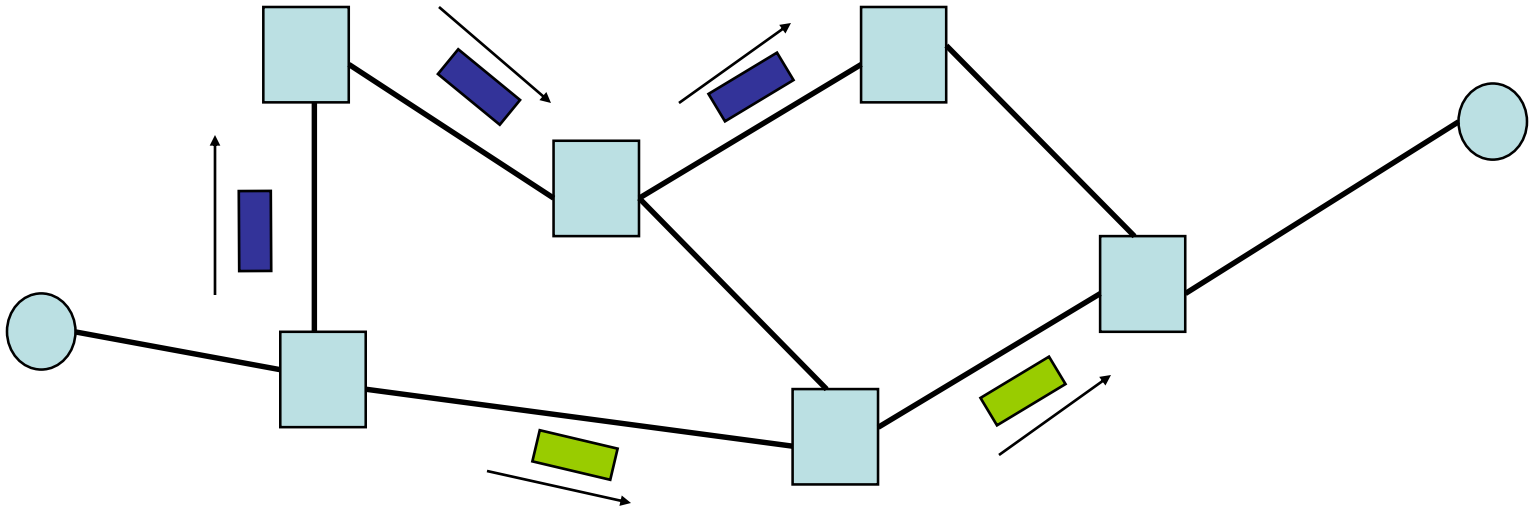


Csomagkapcsolt átvitel (PS)

- Ha egy csomag készenáll, kiküldjük a hálózatba
- A hálózati csomópontok felelnek a továbbításért
- Ennek alapja a címzés
- A csomagok egymástól függetlenül utaznak a hálózatban
- Nincsenek fix összeköttetések, útvonalak és lefoglalt kapacitások a hálózatban

Csomagkapcsolt átvitel (PS)

- Az útvonal akár csomagonként eltérő lehet
- Nincs garancia a sorrendhelyes érkezésre, a végpontnak kell azokat sorba rendezni



Áramkör-, vagy csomagkapcsolt

- CS hálózatok
  - tipikusan: PSTN telefon
  - Központi iroda, nagy operátor, nagy infrastruktúra, saját hálózat
  - Hálózatcentrikus gondolkodás: végponttól végpontig kontroll, számlázás, stb.
  - Központosított, kontrollált
  - Fix, garantált QoS
  - Időgarantált átvitel
  - Álladó adatfolyam
  - A számlázás alapja: összeköttetés ideje
  - Nagy rendelkezésre állás

Áramkör-, vagy csomagkapcsolt

- PS hálózatok
  - tipikusan: IP (Internet Protocol) hálózat
  - Kisebb számítógép hálózatokból jönnek
  - Kisebb mennyiségű, többfelé küldött adat
  - Elosztott, a szolgáltatás egy-egy pont meghibásodásakor is működőképes
  - Időgaranciának nincsen jelentősége
  - Felhasználócentrikus gondolkodás: A pontból B-be jusson el az adat, a hálózat „oldja meg”
  - A számlázás alapja: átvitt adatmennyiség

Áramkör-, vagy csomagkapcsolt

- A valódi hálózatokban ezek keverednek
  - Az infrastruktúra maximális kihasználása
- Internet Protocol (IP) alapú átvitel „klasszikus” SDH hálózaton
- circuit emulation over Ethernet
- vagy CS (hang) szolgáltatás PS hálózaton
  - VoIP

Áramkör-, vagy csomagkapcsolt

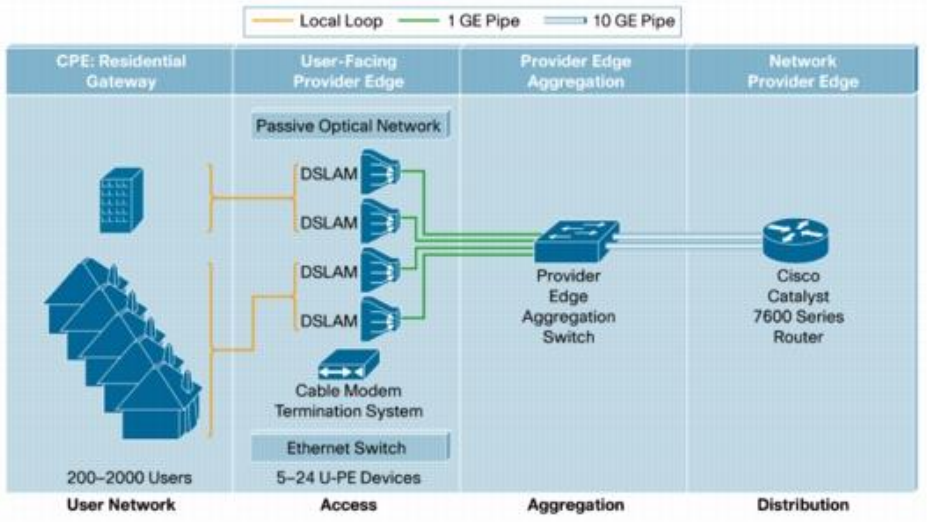
- *Kapcsolat orientált (connection oriented)*
  - Hívásfelépítési szakasz megelőzi az adatfolyamot
    - Ez akár a PS hálózatnál is lehetséges
    - Pl. TCP / IP
- *Kapcsolatmentes (connection-less)*
  - Nincs kapcsolatfelépítés (hívásfelépítés)

Hálózati szolgáltatások

- *valós idejű szolgáltatás*
  - az információt akkor kell továbbítani, amikor létrejön (vagy minimális késleltetéssel)
  - például. hanghívás, videotelefon
  - minőség: késleltetés, és a késleltetés változása (jitter)
    - késleltetés: a másodperc tört része
  - csomag (információ) veszteség: elfogadható
- *„kvázi" valós idejű*
  - (élő) streaming hang és videó
  - késleltetés: másodpercek is lehetnek
- *nem valós idejű szolgáltatás*
  - a késleltetés nem jelent problémát
  - késleltetés: másodpercek (böngészés), tíz másodperc: fájl átvitel, e-mail
  - adatvesztés nem megengedett!

Hálózatok hierarciája

- Hozzáférési hálózat
  - Az a rész, amely eléri az előfizetőket („az utolsó mérföld”)
  - Többféle típus, akár egyetlen üzemeltetői hálózatban
    - DSL, ADSL, WiMAX, CATV, mobil 3G, passzív optikai
  - Példa: lakótövezet, irodaházak, utcák stb.
- Aggregációs hálózat
  - Manapság tipikusan: IP / Gigabit Ethernet / optikai; vagy alacsonyabb bitsebességű SDH
  - Példa: kerület, város
- Maghálózat (core), elosztó hálózat
  - Jellemzően MPLS / IP / 10Gigabit Ethernet / optikai
  - Példa: regionális, országos hálózat, csomópontok a nagyobb városokban



példa: CISCO

A hálózatok földrajzi mérete

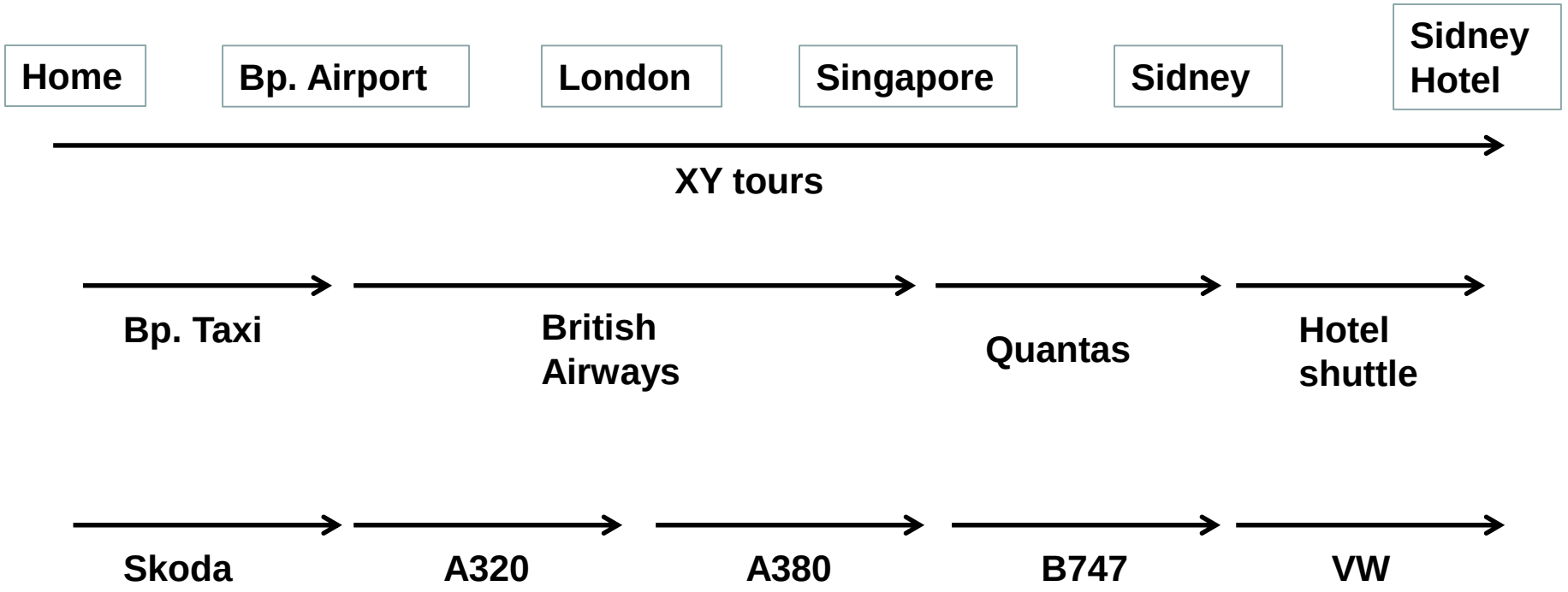
- Személyes hálózat (PAN):
  - közel egy emberhez, általában 1-10 méterre
  - vezetékes PAN: USB és FireWire kapcsolatok
  - vezeték nélküli PAN: Bluetooth UWB és infravörös
- Helyi hálózat (LAN):
  - korlátozott földrajzi területen, mint például otthon, iskola, irodaház
  - vezetékes LAN-ok: általában az Ethernet technológián alapulnak (koaxiális kábelek, áramvezetékek stb.)
  - vezeték nélküli LAN: 802.11a, ac, ad, b, g, n
  - nagyobb adatátviteli sebesség; egy routerrel egy WAN-hoz csatlakoztatható
- Városi hálózat (MAN):
  - általában városra vagy nagy kampusra terjed ki
- Nagyobb területre kiterjedő (országos) hálózat (WAN):
  - nagy földrajzi területet fed le
  - például ország, vagy akár interkontinentális is lehet
  - többféle média: telefonvonal, kábel és rádióhullám
  - A WAN hálózatok általában az OSI referenciamodell alsó három rétegében működnek: a fizikai réteg, az adatkapcsolati réteg és a hálózati réteg

Hálózati rétegek

- egy nagy hálózaton keresztül történik a két végpont között az adattovábbítás
- a hálózat, különböző elemeket tartalmaz(hat)
  - különböző szabványok, gyártók, hálózati megoldások
  - különböző hozzáférési módok, átviteli kapcsolatok stb.
- sokféle funkció van megoldva a hálózatokban
  - ezek logikai rétegekké szerveződnek

Hálózati rétegek

- Utazási példa rétegekre botva
  - információ: én magam
  - honnan: Otthon; hová: Sydney hotel
  - végponttól végpontig átvitel: XY tours



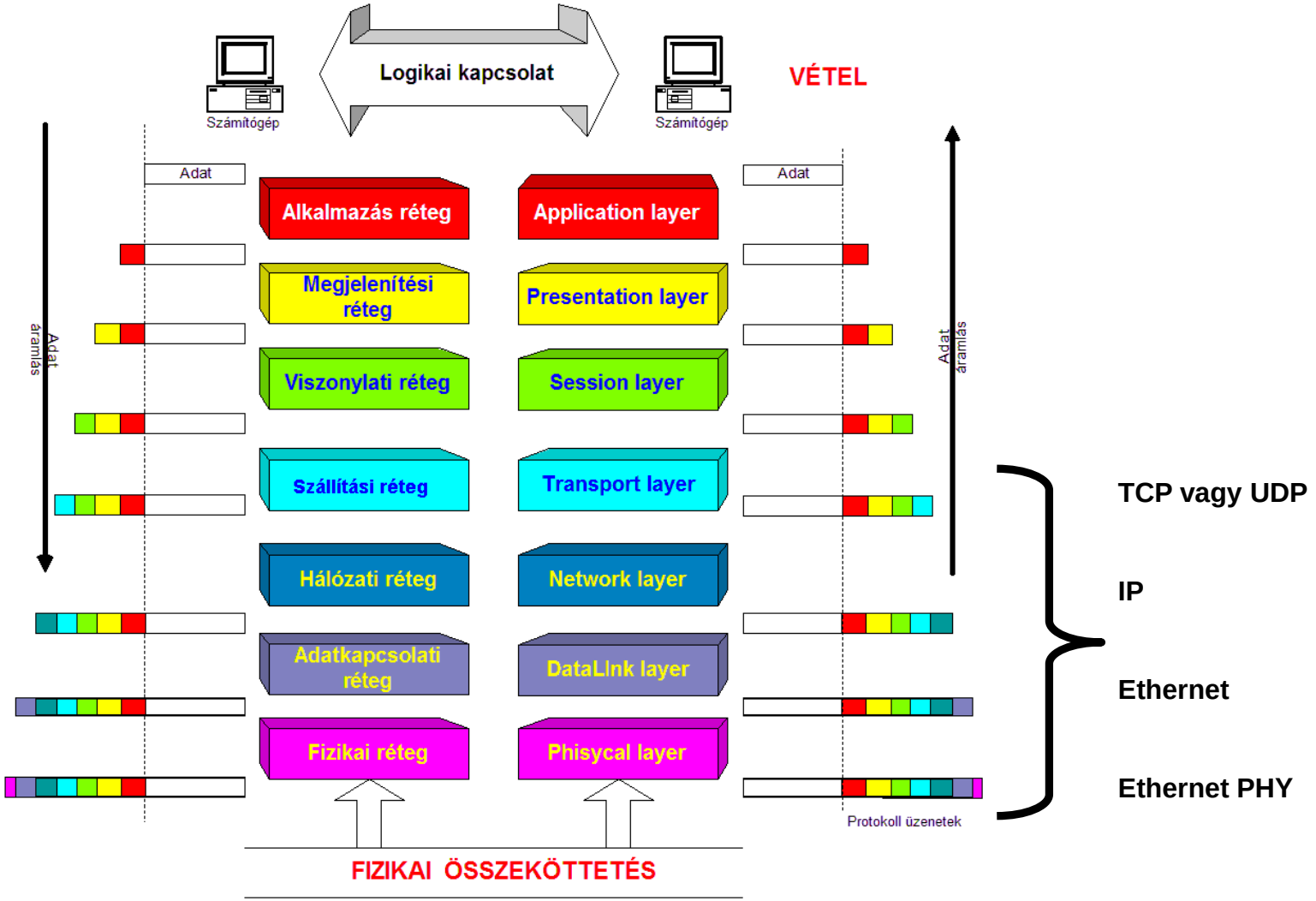
Hálózati rétegek

- OSI (Open System Interconnection) hét rétege minden funkciót tartalmaz
  - Funkciók rétegekbe szervezve
- Az alsó négy réteget a hálózat kezeli (általában)
  - Az afeletti rétegek a kliensekben vannak
- Példák:
  - SS7: Signalling System No. 7, over TDM: telefon hálózati jelzések: mind a 7 OSI réteg
  - TCP/IP és Ethernet: 1-4 réteg

Protocol stack (hálózati rétegek)

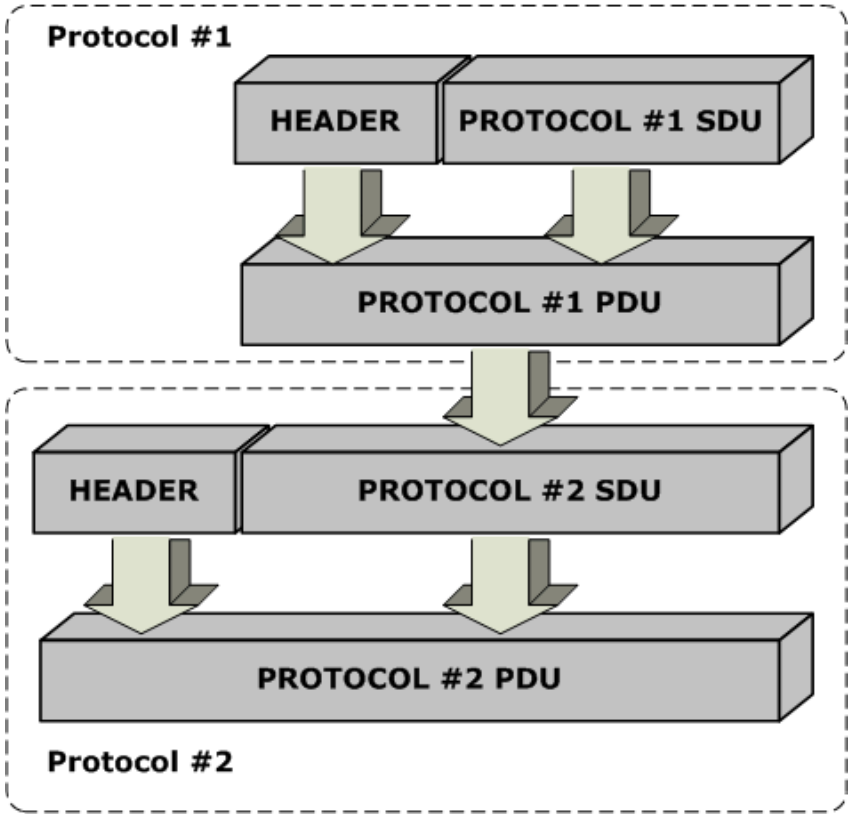
- Protokollok hierarchiája
- Az ISO OSI 7 protokollrétegek a funkcionalitás általános logikai elválasztását szolgálják
- A protokoll rendszerint két másik csoporttal kommunikál a stack-ben (alsóbb és felsőbb réteg)
- Az alsóbb rétegbeli protokollok szolgáltatásokat nyújtanak a felső rétegbeli protokollok számára
- Az alsóbb rétegbeli protokoll az alacsonyabb rétegű protokollt/funkciót elrejti a felsőbb réteg elől → áttetszőség/transzparencia
- Az alsóbb rétegbeli protokollok a felső rétegbeli protokollokat (csomagokat) magukba foglalják (encapsulation)
- A modularitás, a „kicserélhetőség" fontos:
  IP over Avian Carriers RFC 1149

Protocol stack (hálózati rétegek)



Csomagok egymásba ágyazása

- Minden rétegnek saját formátuma van (pl. cím eltér, hibajavítás, stb.)
  - PDU: protocol data unit (amit továbbít)
  - SDU: service data unit (amit felsőbb rétegtől kap)
-



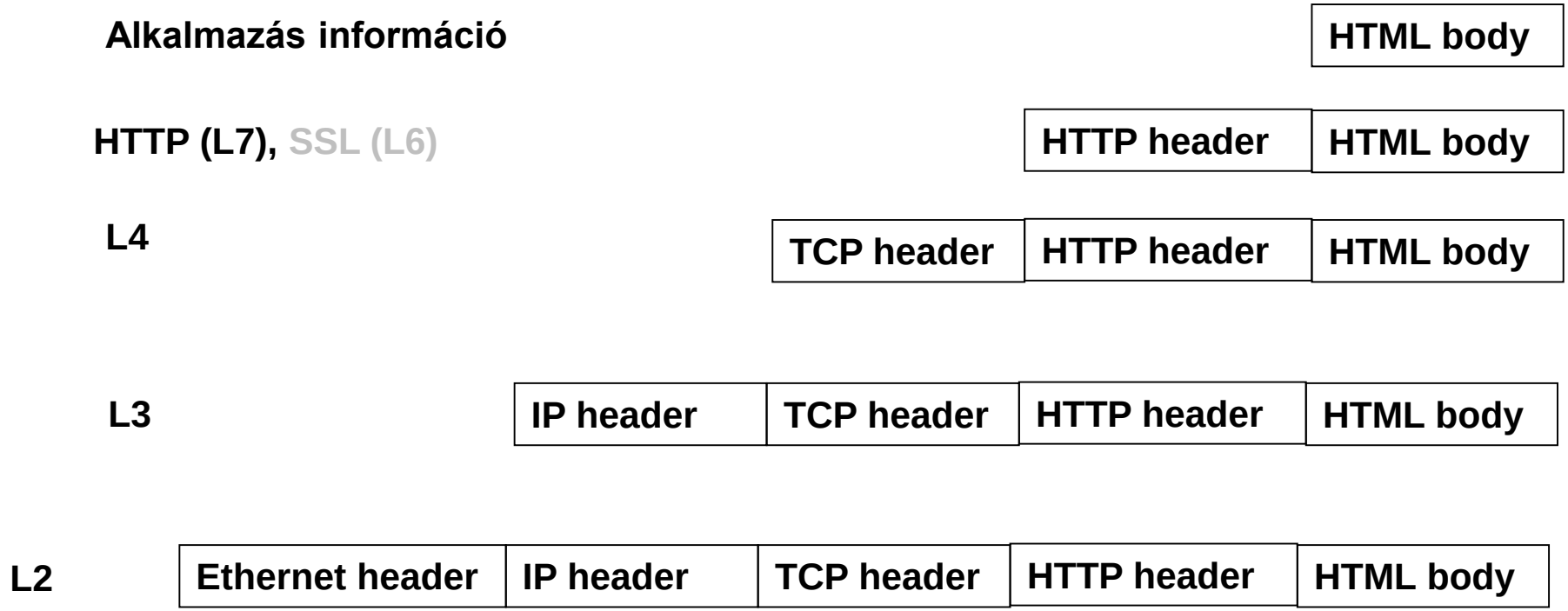
source: http://www.mobile-telecom-networks.com

Hálózati rétegek

- PDU: A protokoll fejlécet és az SDU-t „hasznos információként” tartalmazza
- Fejléc: további információ arról, hogyan kell kezelni a csomagot a hálózat és az SDU között
- SDU, Service Data Unit: Egy felső réteg protokoll PDU-ja vagy a stack tetején, maga a hasznos adat
- Az SDU neve a protokolltól függ: pl. az Ethernet SDU-jának neve keret, a TCP SDU-ja szegmens (!)

Hálózati rétegek

- pl. weboldal



L1: fizikai réteg (PHY)

- tényleges átvitel a fizikai közeg felett
- aktiválja, fenntartja és deaktiválja a fizikai kapcsolatot
- az adatot a fizikai közeghez igazítja
- biztosítja, hogy a kapcsolat végpontjai felismerjék az átviteli jeleket
- létrehozva a tényleges fizikai jelet
- bitek sorrendhelyes továbbítása
- mechanizmus a bit hibák észlelésére / kijavítására
- stb.

L2: adatkapcsolati réteg

- eredetileg: két, közvetlenül összekapcsolt eszköz közötti kommunikáció;
- az adatot adatkeretek létrehozásával szervezi, keret határolók észlelésével, hibakezeléssel és az adatkeretek sorrendhelyes szállításával átviszi
- hibák észlelése (elveszett / hibás keretek), nyugtázások küldése és fogadása
- hibák esetén: újraadások
- hibamentes szállítást biztosít a hálózati réteg felé
- alrétegei:
  - MAC, Medium Access Control, közeg hozzáférés-vezérlés: hogyan és mikor küldenek vagy fogadnak a végpontok
  - LLC, Logikai Link Control: a többi funkció

L3: Hálózati réteg

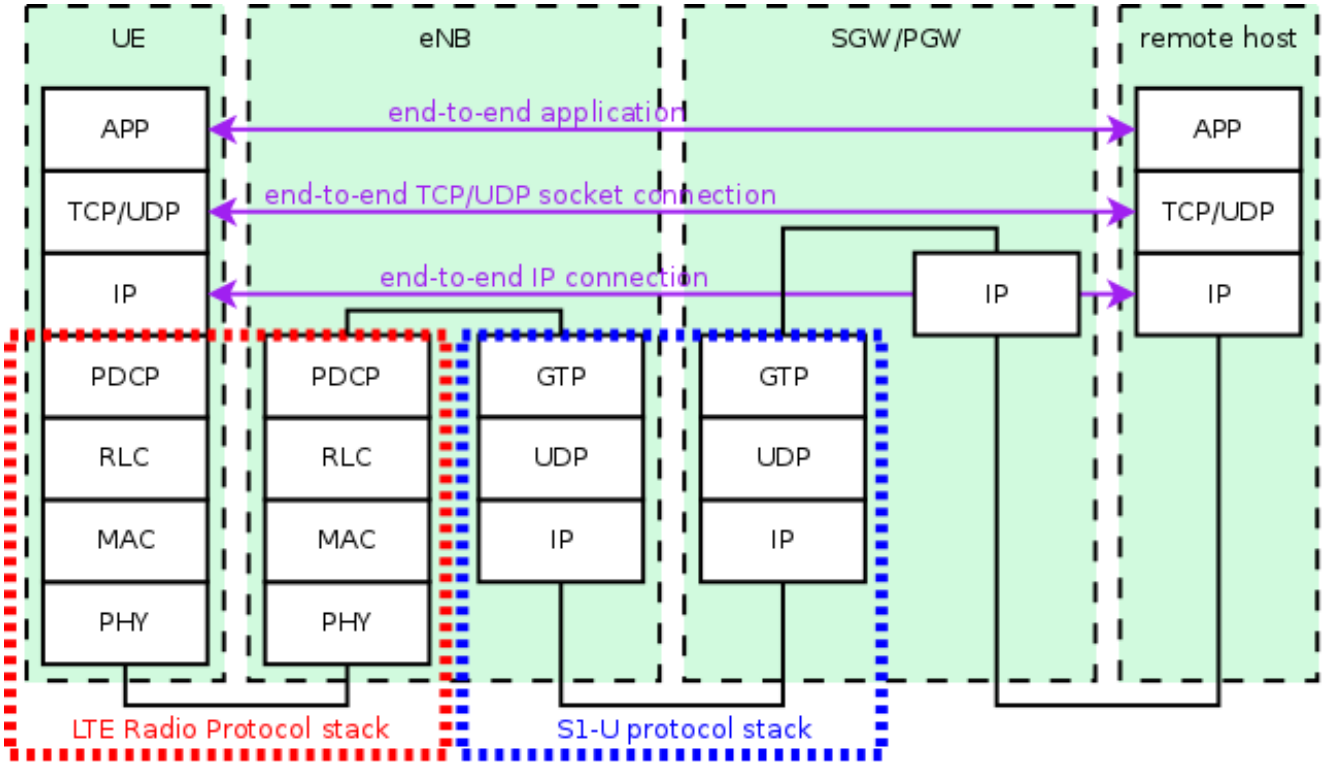
- biztosítsa a végpontól végpontig történő szállítást egy nagy (globális) hálózaton
- heterogén hálózatok összekapcsolása
  - pl. a Facebook elérése a mobilhálózattól
- csomagok vagy folyamok útválasztása a hálózatban
- a hálózati forgalom vezérlése
- címzés

L4: szállítási réteg

- Végponttól végpontig hibamentes és a sorrendhelyes átvitel
- anélkül, hogy az alsóbb rétegekről bármit is tudnánk
- hibadetektálás
- nyugtázás és újra küldés (ha van értelme)
- az elküldött adatok mennyiségének vezérlése
- egyetlen végpont több párhuzamos kapcsolatának biztosítása

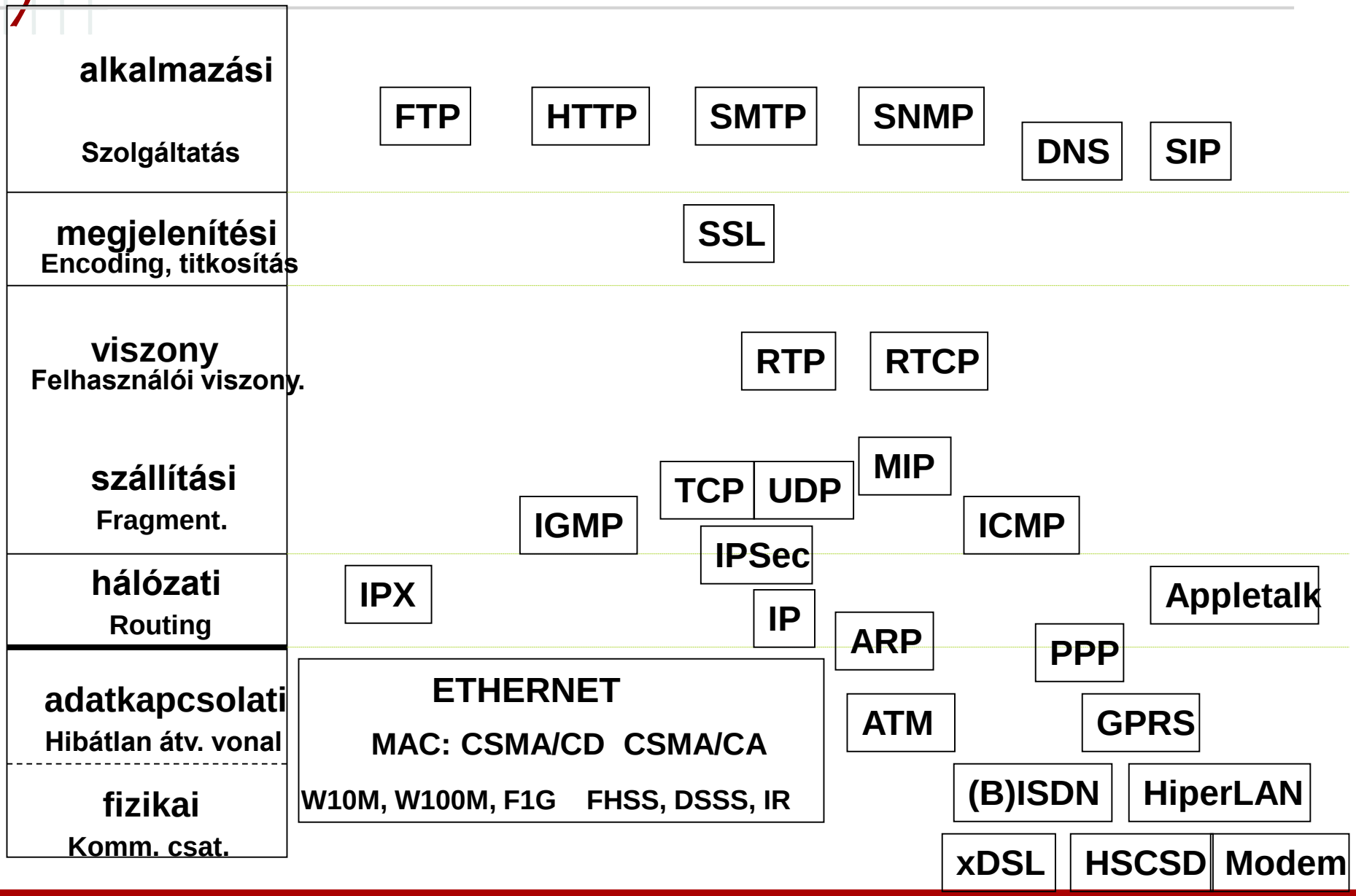
OSI 7 réteg

- Ilyen szép, tankönyvi példa ritkán
- Rétegek összevonása, vagy
- Több réteg (alrétegek)
- pl. 4G hálózat:

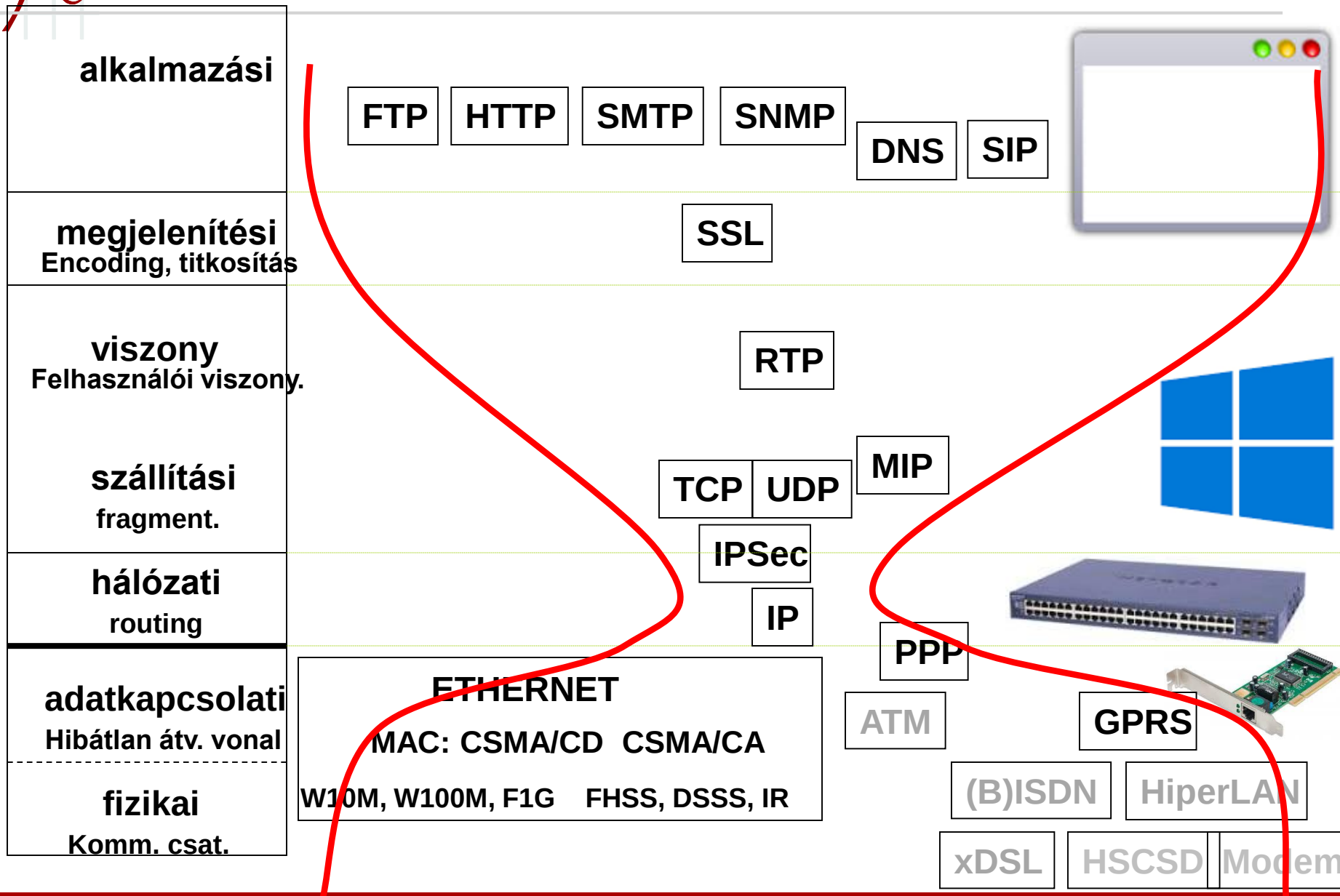


source: www.nsnam.org

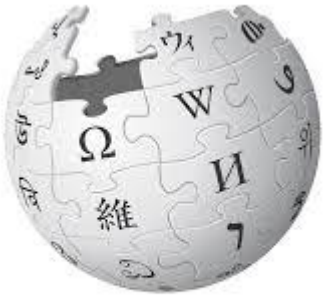
A létező protokollok



A gyakorlatban ma használt protokollok



Mi az a protokoll



- „a **protokoll** egy egyezmény, vagy szabvány, amely leírja, hogy a hálózat résztvevői miképp tudnak egymással kommunikálni. Ez többnyire a kapcsolat felvételét, kommunikációt, adat továbbítást jelent.
- Gyakorlati szempontból a protokoll azt mondja meg, hogy milyen sorrendben milyen protokoll-üzeneteket küldhetnek egymásnak a csomópontok, illetve az üzenetek pontos felépítését, az abban szereplő adatok jelentését is megadja.
- A protokolloknak igen sok, és teljesen eltérő filozófiájú formája létezik. Vannak olyan protokollok, melyek minden apró részletet definiálnak (például ATM), és vannak, amelyek sok technikai kérdést nyitva hagynak, és rábízzák az implementálóra (például TCP protokollnál implementáció függő a csomagküldés sebességének megválasztása). Az előbbiek főleg a távközlésre jellemzőek, utóbbiakat főleg a kommunikációt informatikai oldalról közelítőkre jellemző. Előbbi előnye a jó kompatibilitás, utóbbié a rugalmasság.”

Szabványosítás

- Szervezetek:
  - IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
    - Wifi, Bluetooth etc.
  - ITU (International Telecommunication Union)
    - xDSL, SS7, JPEG
  - 3GPP (3rd Generation Partnership Project), ETSI (European Telecommunications Standards Institute)
    - GSM-LTE
- résztvevők: 3 fél
  - Gyárók (vendor): Ericsson, Nokia, Intel, Qualcomm
  - Operátorok (service provider): Telekom, Vodafone, Verizon
  - Hatóságok (regulators): NMHH, FCC

Szabványosítás

- A szabvány megvalósításának meg kell felelnie a szabványnak
- Interoperabilitás: a különböző gyártók különböző megvalósításai / termékei képesek kommunikálni egymással
- Növeli a versenyt a gyártók között

TCP/IP

ISMÉTLÉS

Az előadáson *ismétlésként* hangzott el, ismeretét korábbról is feltételezzük, a tárgy megértéséhez szükséges, a számonkérésnek része lehet.

Internet protocol

- meanwhile in computer networks ...
  - local networks of computers
  - interchanging files, mails, data
    - servers and clients
  - autonomous systems (AS)
- let's connect autonomous systems
  - as simply and as distributed as possible

Internet protocol

- Internet: ~ devices using Internet Protocol
  - unified, global addressing method, devices connecting to the network can be reached through this IP address
  - given standard packet format
    - more precisely: IP datagram
  - given packet forwarding method and routing methods and supporting mechanisms
  - various applications

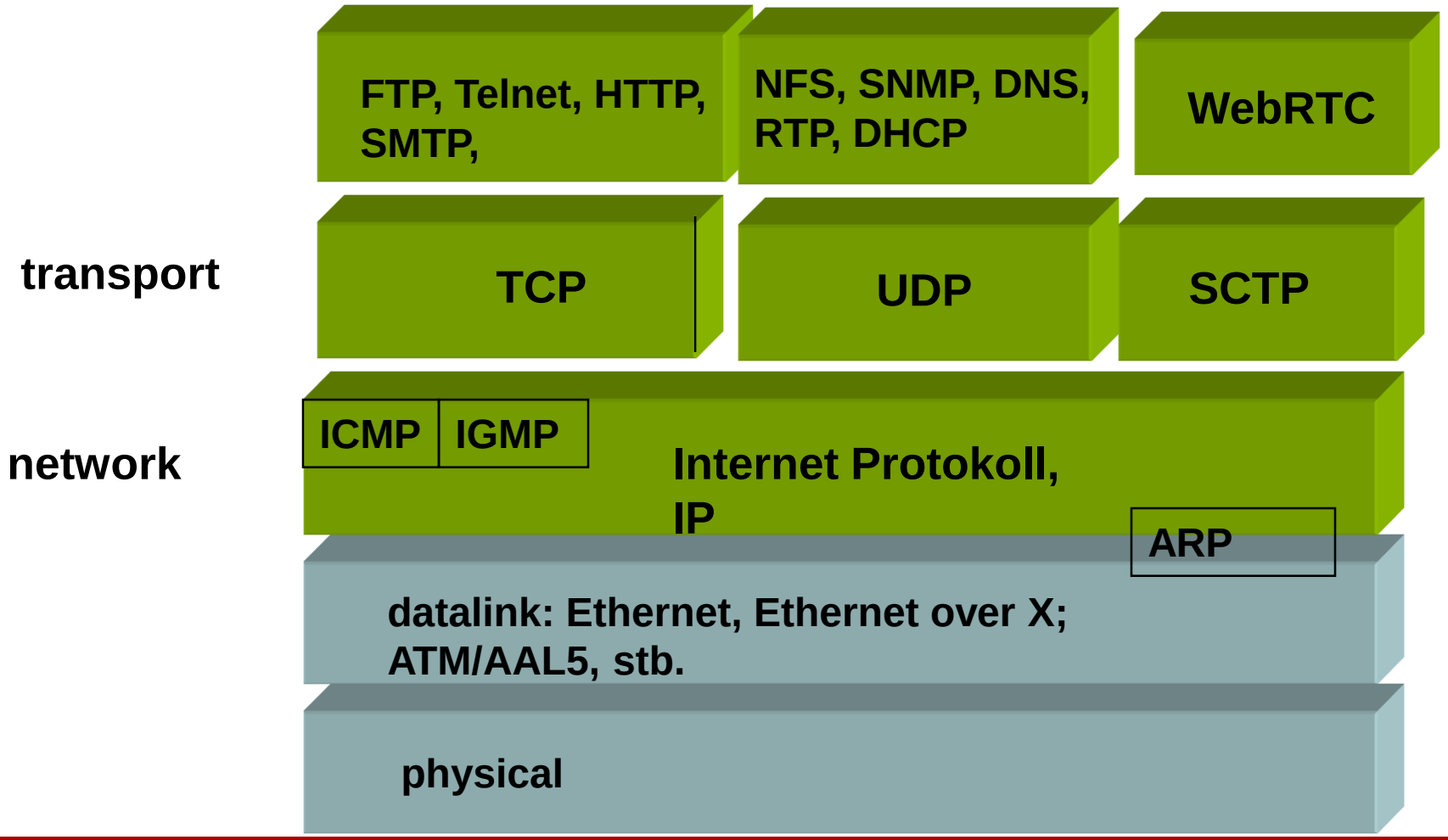
Internet protocol

- a family of protocols using IP protocol packets for transmission
- above network layer (3. layer)
  - transport layer
    - TCP Transmission Control Protocol: reliable transfer of files
    - UDP User Datagram Protocol: unreliable transfer of streams
    - SCTP Stream Control Transmission Protocol – designed to carry telephony signalling
- „control plane application” protocols
  - ICMP Internet Control Message Protocol
  - SNMP Simple Network Management Protocol
  - IGMP Internet Group Management Protocol: manage multicast
  - DHCP Dynamic Host Configuration Protocol: to ask an IP address from a server

Internet protocol

- application protocols
  - HTTP Hypertext Transfer Protocol
  - SMTP Simple Mail Transfer Protocol
  - FTP File Transfer Protocol
  - TELNET : remote login
  - SSH Secure Shell: remote login
  - RTP Real Time Protocol: for real time voice/video
  - NTP Network Time Protocol: time synchronisation
  - SIP Session Initiation Protocol: call signalling
  - H323: voice and videoconferencing
  - etc, there is a lot

Internet protocol

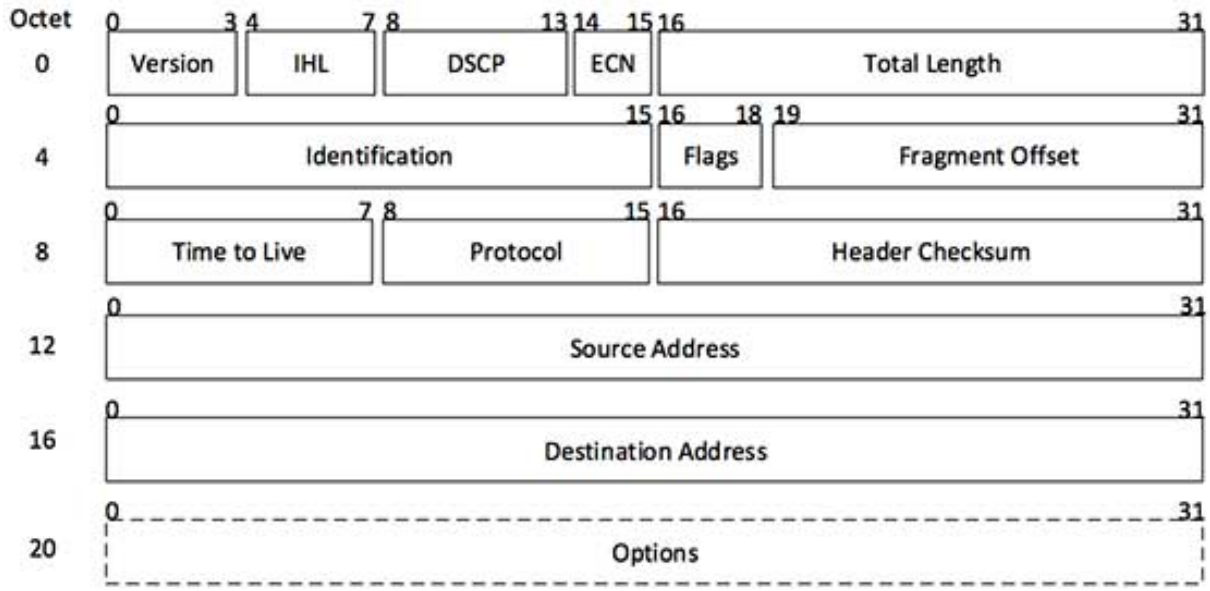


Internet Protocol

- IP packets, datagrams
  - connectionless: no connection setup, etc.
  - best effort
  - basically no QoS
- Later extensions
  - means for providing QoS (Intserv, Diffserv)
  - means for security (IPSec)

Internet Protocol

- version: 4
- TTL time to live: decreased by one at each router
- protocol: what is carried as payload?
- addresses



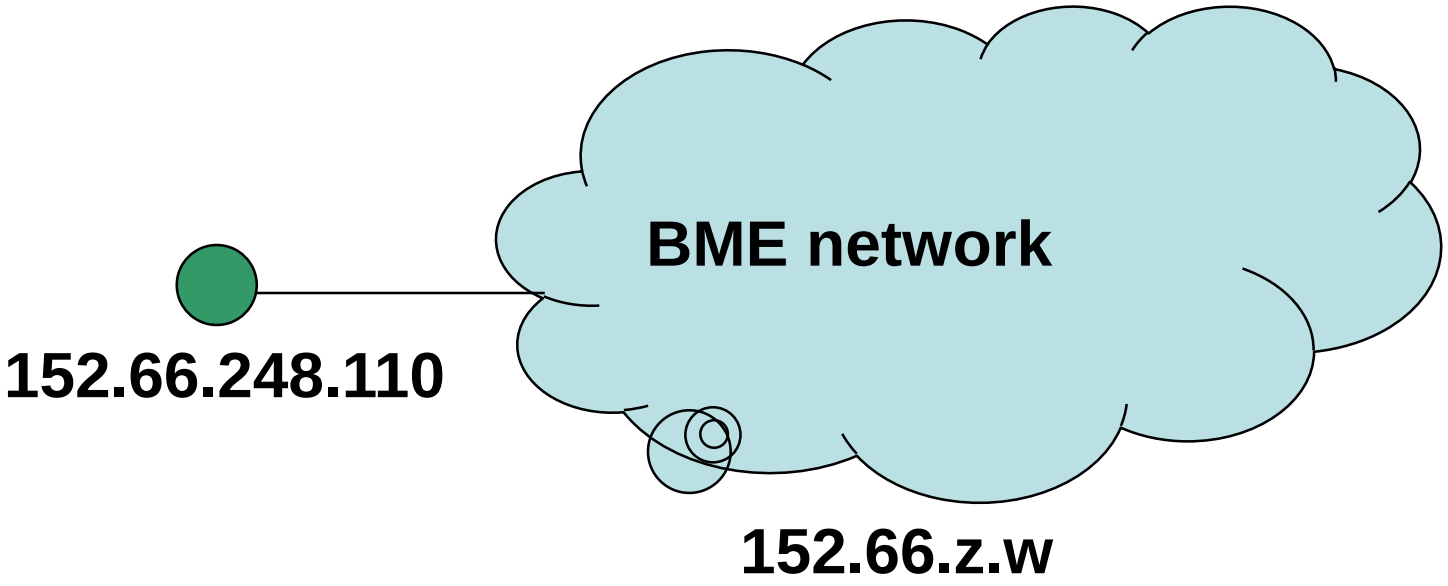
[Image: IP Header]

Internet Protocol

- IP networking, „all IP” <-> addressed by IP address
  - not a device, but rather a connecting interface of a device
- 4 bytes: 4 numbers between 0 255
  - usually: *x*.*y*.*z*.*w*, 0<=*x*,*y*,*z*,*w*<256
  - e.g. 152.66.248.74
- usually: dynamically and temporarily allocated IP addresses -> DHCP
- other: permanent IP addresses set by the network operator
  - user with admin rights can set in operating systems
- IANA: Internet Assigned Numbers Authority

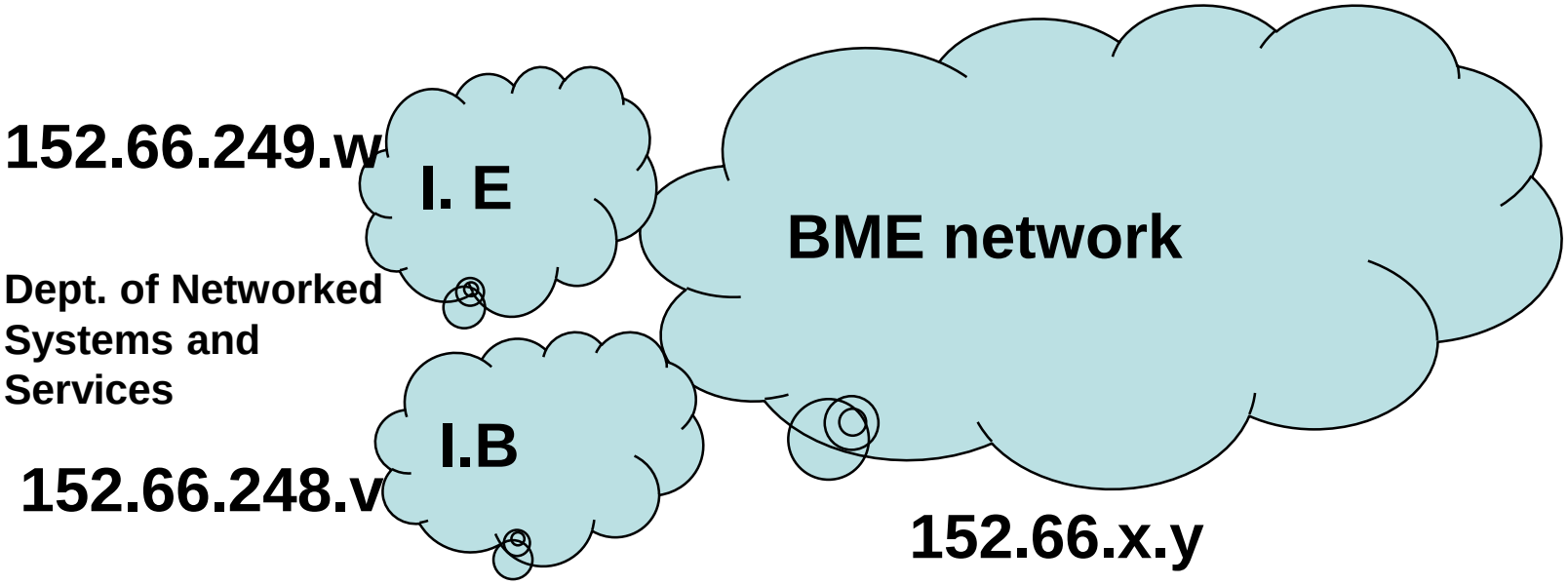
Internet Protocol

- first part of the address identifies the network
- second part is the device in the network
  - e.g. only ~64000 devices can be addressed within BME



Internet Protocol

- big networks divided into smaller subnets
- the part identifying terminal also identifys subnet



Internet Protocol

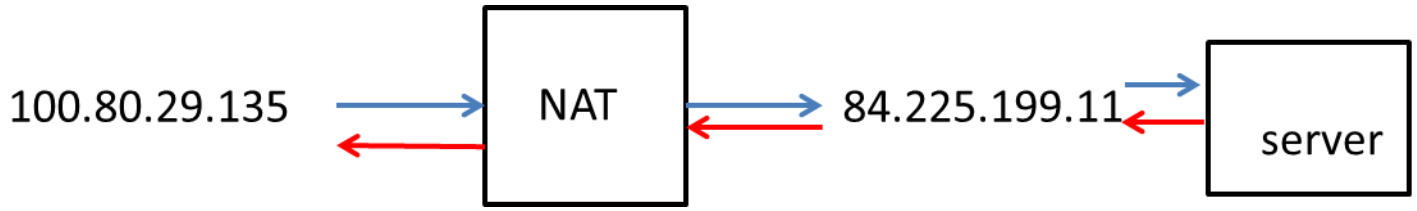
- private addresses, shared address space
  - addresses that are only used inside a private network
  - not routable to outside the network
  - not addressable from outside the network
  - create an own mini – internet
    - intranet
  - everyone at home WiFi (acquiring network address)
    - DHCP allocates 192.168.x.y
  - e.g. my phone logged in to department server:
    - netacc-gpn-5-199-11.pool.telenor.hu
    - 84.225.199.11 -> globally visible and accessable
    - but I see (Settings/About phone/Status): 100.80.29.135 : shared address space

Internet Protocol

- how/why
  - more users/devices than global IP addresses available for the ISP
  - solution one:
    - assign when needed one IP address from the pool
    - hope that the total number of customers that want to use Internet is less then the available addresses

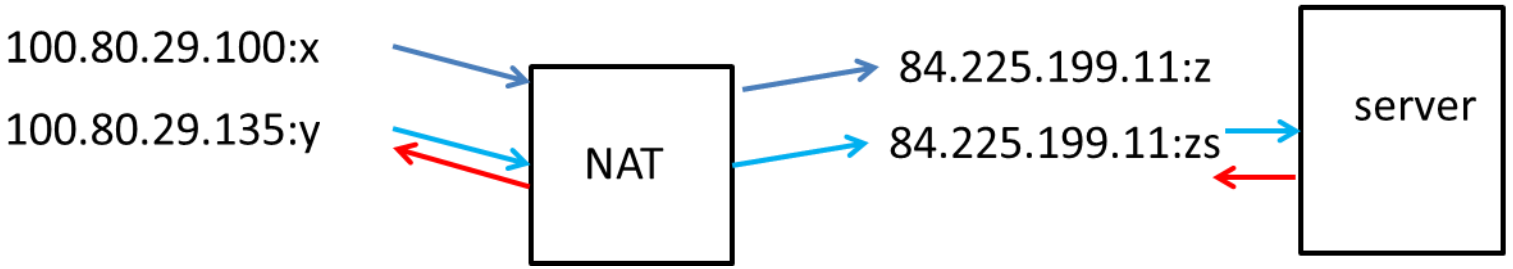
Internet Protocol

- solution two:
  - use local IP addresses, we can have more
  - and expand the namespace visible to outside
  - translate between the two: NAT Network Address Translation
  - we don’t gain



Internet Protocol

- solution three:
  - expand the namespace: use TCP/UDP port
  - use the same IP address for several terminals towards outside world, with different ports
  - this is officiall NAPT Network Address Port Translation, but we usually call NAT
  - it works but there are a lot of problems



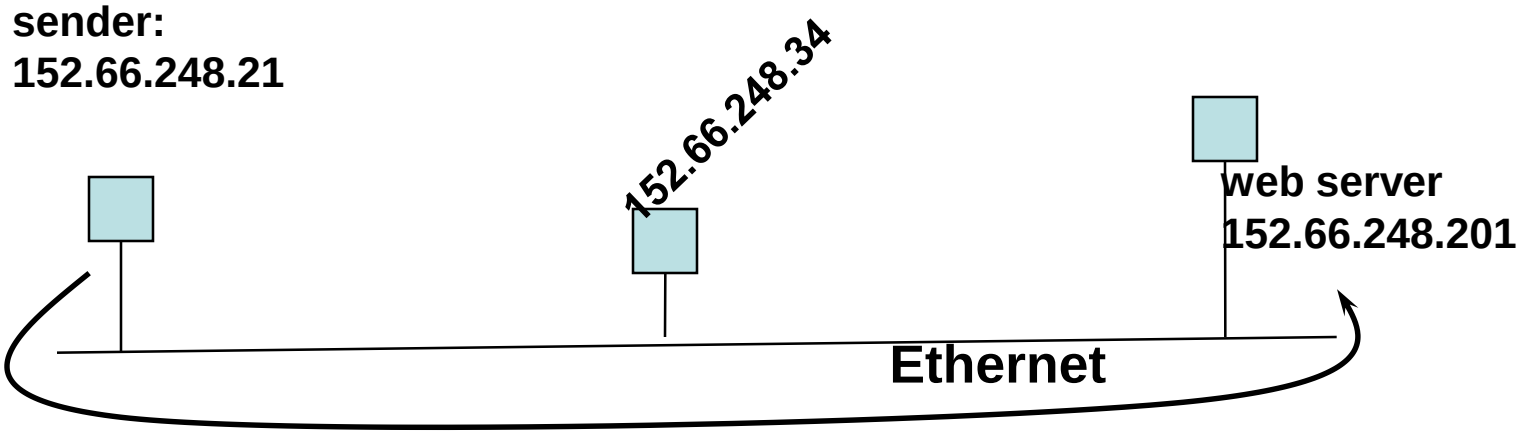
Internet Protocol

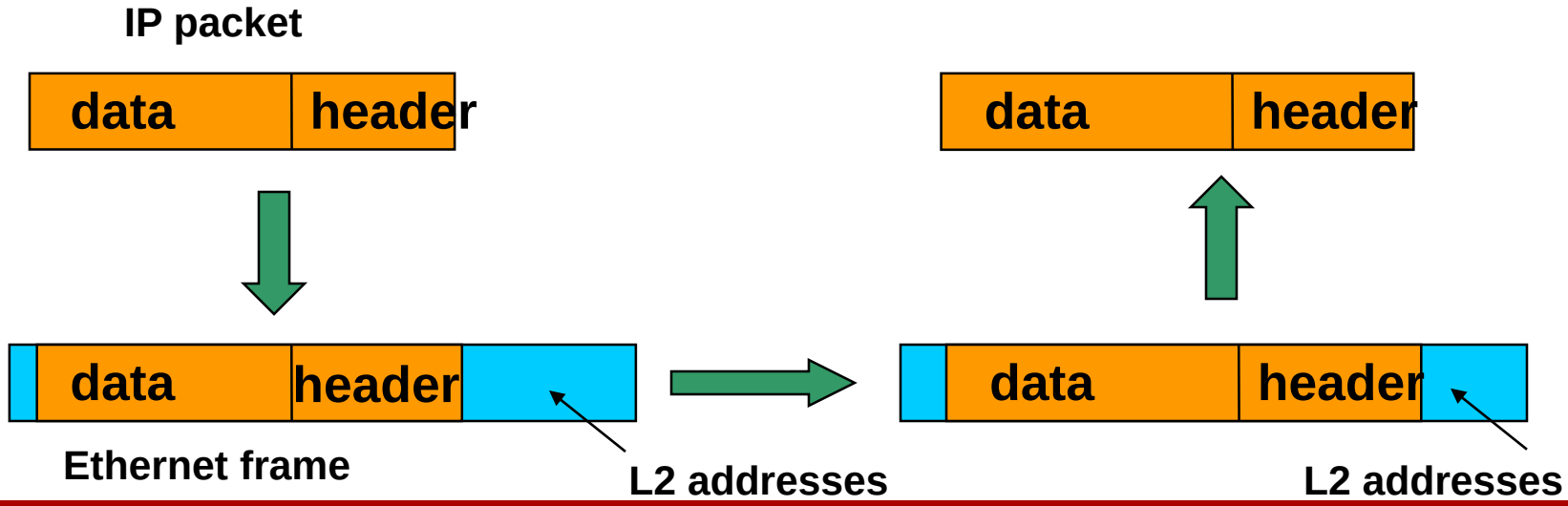
- How to connect autonomous systems
  - router
    - looks at the Destination address of the IP packet
    - routing table:
      - Destination Address -> output network interface
      - decrements Time To Live field
      - voilá
  - usually does a lot more
    - e.g. Network Address Translation; firewall; packet filtering
    - IP security, IP QoS
    - IPv4/v6 coexistence
    - have various interface (line) cards
    - handling of virtual networks
    - act as L2 (Ethernet) switch as well, with L2 header processing
    - knows a lot of protocols

Internet Protocol

- sending between two devices
  - in a local network: L2 address can reach the node
  - (although the IP address and everything must be put to the packet, of course)
  - packets can be forwarded based on the L2 address only
- if I want to send to a device on my network, I need to know its L2 address

Internet Protocol



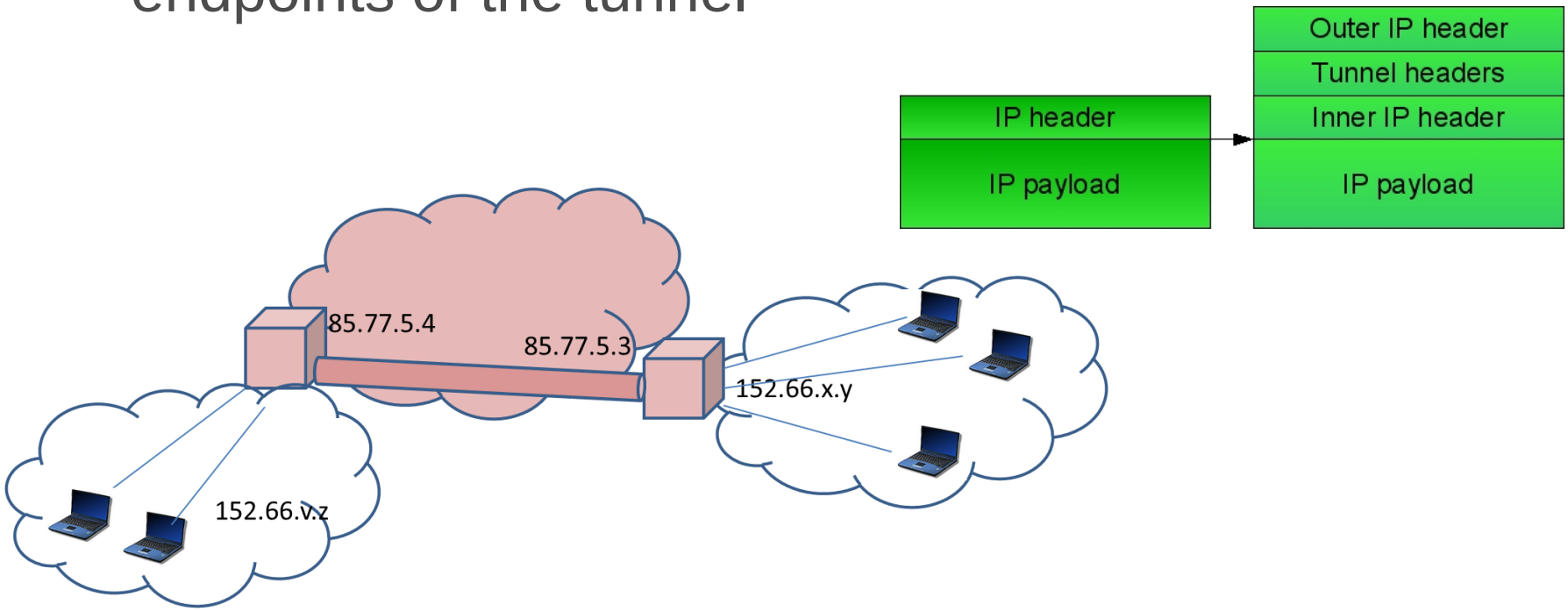


Internet protocols

- ARP Address Resolution Protocol
- I know the IP address, but what is the Ethernet address , so to whom should I send in Ethernet directly?
- a broadcast is sent to the network with the above question ☺
  - the one that I searched for answers
  - typically: the router
  - in Windows: default gateway

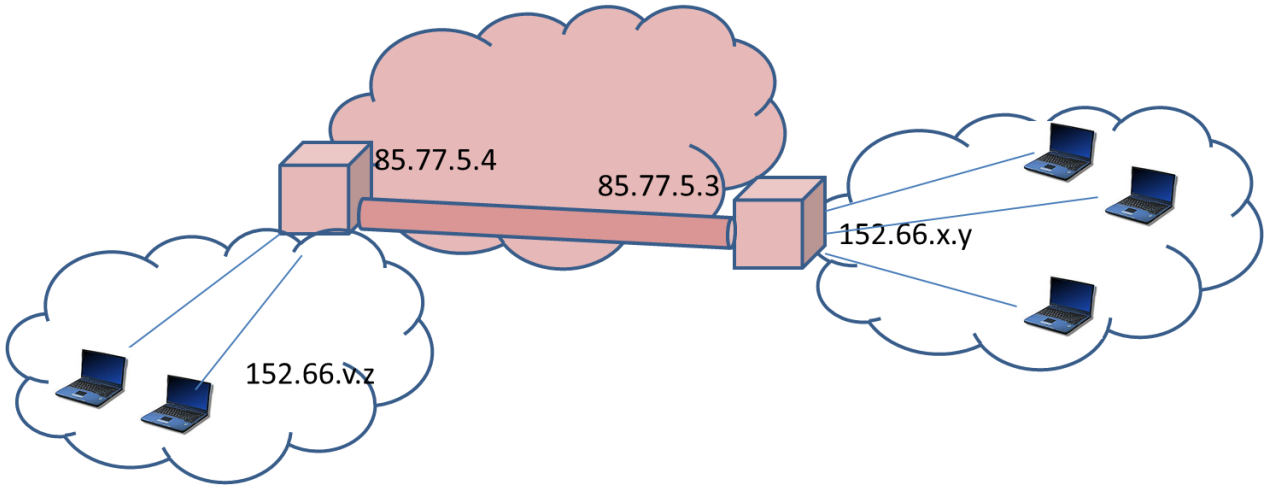
Internet Protocol

- tunneling
  - put a new IP header before the original IP packet
  - new header contain source/destination address: endpoints of the tunnel



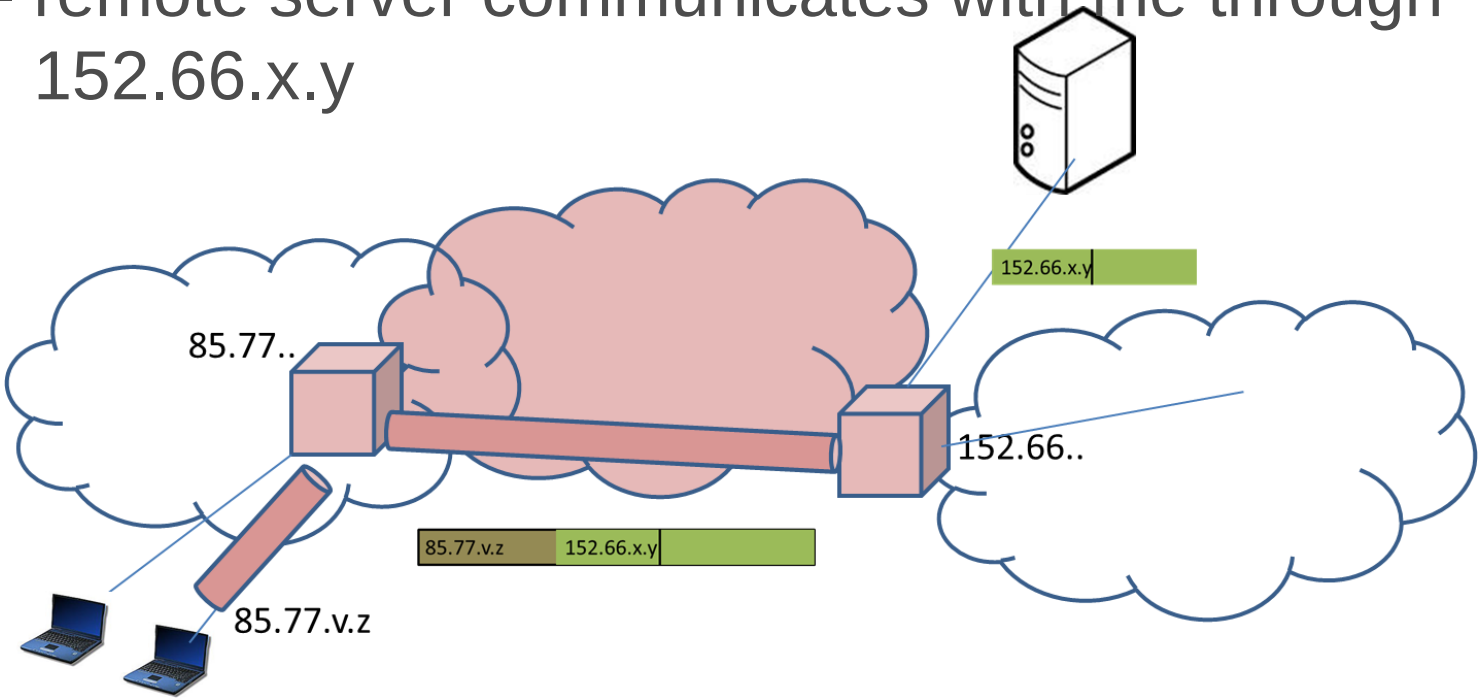
Internet Protocol

- tunneling
  - additional features of tunneling: adding security measures (authentication, ciphering) – IPsec
  - creating a fixed, secure channel between two networks: VPN Virtual Private Network



Internet Protocol

- tunneling
  - connecting a remote client as if it was in my IP domain
  - VPN server in my home network 152.66.. tunnels all my packets to my IP address 85.77.v.z
  - remote server communicates with me through 152.66.x.y



Internet protocols

- ICMP Internet Control Message Protocol
  - control messages at IP layer, in the payload of IP packets
  - signalling of errors, messages for discovering routes, paths
  - e.g.: *ping* : ICMP „echo” messages
    - check availability of a device
  - e.g. traceroute
    - show nodes in between two endpoints

Internet protocols

- BGP Border Gateway Protocol
  - large routers of different network providers can exchange routing table information with this
  - neighbors are configured manually
  - there’s a heartbeat messaging to ensure the link is still alive

IPv6

- version 6
- „new” version (December 1998)
  - „IPv4 addresses will be exhausted, IPv6 will spread in the next 10 years” – random lecturer in 2000; 2010; 2020 ...
- why
  - IPv4 address exhaustion: only roughly 4.3 billion addresses
  - everything on Internet
  - can be much better than IPv4
- why not
  - not backward compatible
  - address problem can be handled
    - if not solved

IPv6

- new IPv6 addresses: 128 bits
- 2^{128} possible addresses
  - this is a huge number
  - but there are restrictions, allocations, etc
- most pessimistic allocations estimate around 1500 addresses to each square meters of the surface of Earth (including oceans)

IPv6

- simplified header
- security measures built in IP layer
- mobility support
  - address auto-configuration: device can derive an own IP address when arrived to a new IP subnetwork
  - permanent IP address <-> temporary IP address binding in remote nodes
- support of IP flows
  - to handle IP packet of the same flow identically
  - to reserve capacities
  - -> ~ provide what circuit switched needs

IPv6

- IPv6 is introduced in islands, slowly
- mechanisms to interconnect IPv6 domains over IPv4
- several standardized means to solve the interoperability

IPv6 protocol features

- Larger Address Space:
  - ~1564 addresses can be allocated to every square meter of this earth
- End-to-end Connectivity:
  - Every device will have unique IP address
  - every device can directly reach other devices on the Internet (with some limitations involved)
- Simplified Header:
  - (header: additional information for proper message delivery and processing)
  - all unnecessary information and options are moved to the end of the IPv6 header

IPv6 protocol features

- Auto-configuration:
  - Whenever a node plugs in and wants to be part of a network, IP address information and router information is required to properly configure the node and get it running
  - IPv6 supports both stateful and stateless auto configuration mode of its host devices
  - stateful – DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol):
    - host obtains the address as well as other required information such as the configuration information and parameters from a server
  - stateless:
    - a host can automatically configure its own IPv6 address and does not need any assistance from a stateful address server

IPv6 protocol features

- Faster Forwarding/Routing:
  - the information contained in the first part of the header is adequate for a router to take routing decisions
    - therefore making routing decision as quickly as looking at the mandatory header
- IPSec (Internet Protocol Security):
  - security features for the IPv6 packet: ciphering and authentication features
  - end-to-end: protects all application traffic over an IP network
- Mobility:
  - IPv6 was designed keeping mobility in mind
  - this feature enables hosts (such as mobile phone) to roam around in different geographical area and remain connected with the same IP address
  - the mobility feature of IPv6 takes advantage of auto-configuration

© Department of Networked

Transport protocols

- **TCP** **T**ransport **C**ontrol **P**rotocol
  - basic goal: to send large (compared to packet sizes) files/data
    - bytestream of data
  - it defines a connection-oriented transport over the connectionless IP
  - reliable and in-sequence delivery based on the unreliable IP
    - acknowledgement/retransmission mechanism
    - flow control (load control) mechanism
    - two-way data transfer, multiplexing of several higher layer transfers (e.g. file downloads) over single TCP connection
- TCP/IP

Transport protocols

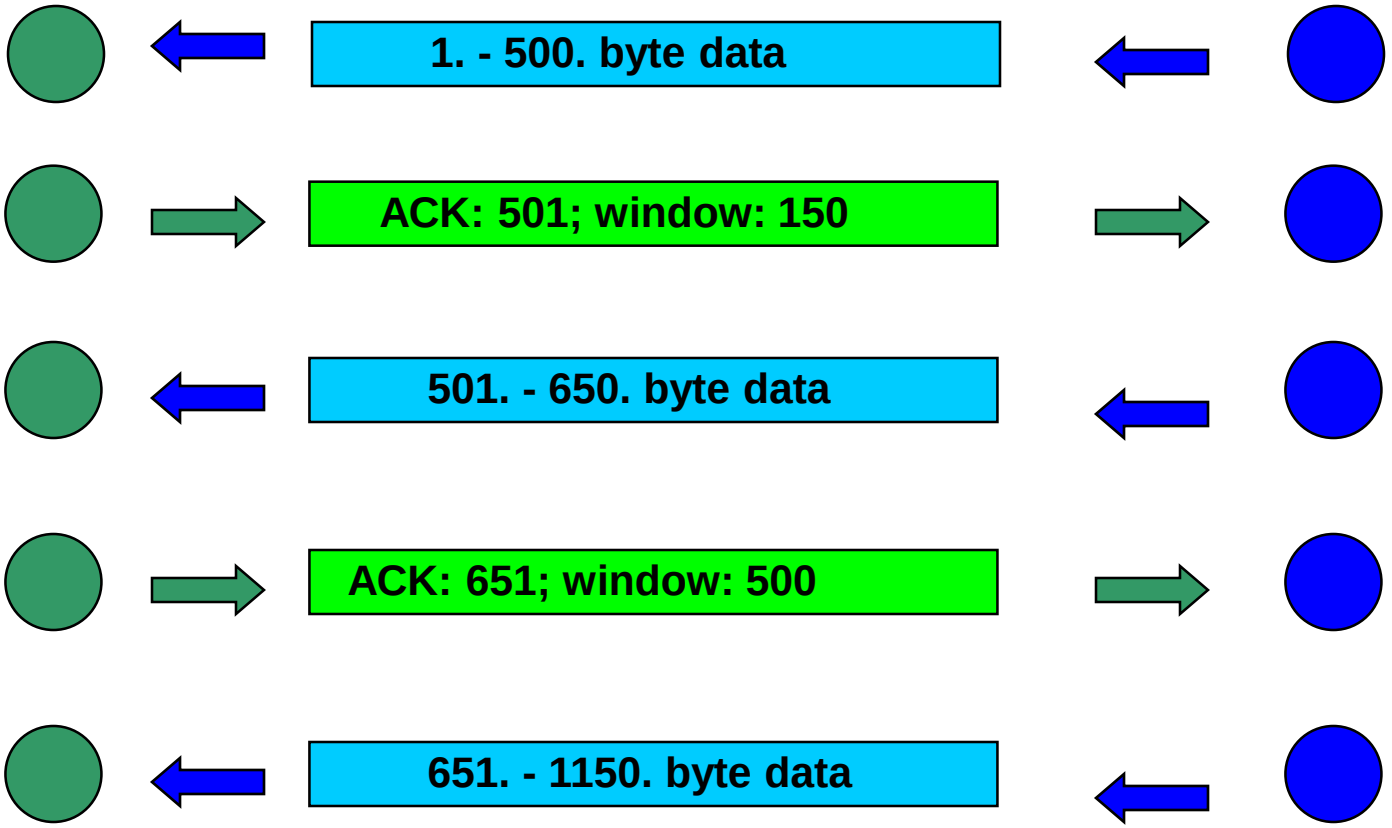
- role: transmit the data between the actual user endpoints
- TCP packets are called TCP segments
- before actual transmission, there is a connection setup phase
  - the two parties agree upon an initial sequence number, to start with
  - signaling of being ready to transmit/receive
- ending a connection explicitely
- acknowledgement of connection end

Transport protocols

- transmission over connection
  - sliding window mechanism for flow control and acknowledgement procedure
  - ack-ing: receiver tells the sender in the header of TCP segment that what is the last byte received correctly
- flow control:
  - receiver tells the window size: how many more bytes can it receive
  - this enables talking of endpoints with different bitrate and processing rates
    - the sender does not overflow the receiver
- slow start: initial window size is small and increases
- congestion control:
  - in case of ACK timeout the sender assumes congestion end smaller window is used

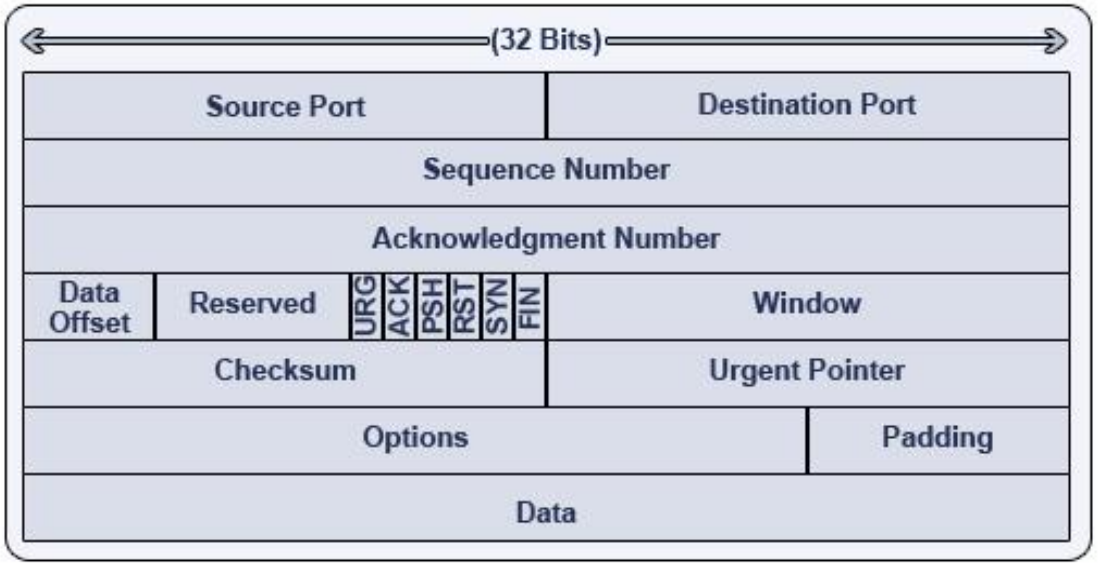
Transport protocols

E.g.



Transport protocols

- TCP segment
  - source port and destination port: a 2 byte identifier of the TCP connection
  - TCP port + IP address: a network socket
  - „server listens to port”: check incoming packets’ Destination Port
  - well known ports:
    - client should know in advance
    - IANA
    - e.g. HTTP: 80



TCP

- TCP (Transmission Control Protocol):
  - provides reliable, ordered, and error-checked delivery of a stream of octets between applications running on hosts communicating (host-to-host connection) over an IP network
  - At the lower levels of the protocol stack, due to network congestion, traffic load balancing, or other unpredictable network behavior, IP packets may be lost, duplicated, or delivered out of order.
  - TCP detects these problems, requests retransmission of lost data, rearranges out-of-order data, and even helps minimize network congestion to reduce the occurrence of the other problems. If the data still remains undelivered, its source is notified of this failure.
  - Once the TCP receiver has reassembled the sequence of octets originally transmitted, it passes them to the receiving application.

Transport Protocols

- **UDP U**ser **D**atagram **P**rotocol
  - connection-less transport protocol
  - simple, low owerhead
  - no flow control, no retransmissions
    - UDP packet based
  - typically: for small, periodic data units
    - voice, video
    - better to loose some packets than being delayed because of the retransmissions
  - interesting: connection setup is handled in above layers in this case
  - simply: source port, destination port, error detection

UDP

- UDP (User Datagram Protocol):
  - simple, connectionless and stateless transmission model with a minimum of protocol mechanism
  - there is no guarantee of delivery, ordering, or duplicate protection – unreliable
  - provides checksums for data integrity
  - time-sensitive/real-time applications often use it
  - no notification for upper layers about data delivery

Upper layers

- DNS Domain Name System
- delivery based on IP address
- but it is not known in advance, rather a name
  - e.g. www.hit.bme.hu <-> IP address ?
- to handle the name <> IP address relations
- in ancient times it was in a file

Upper layers

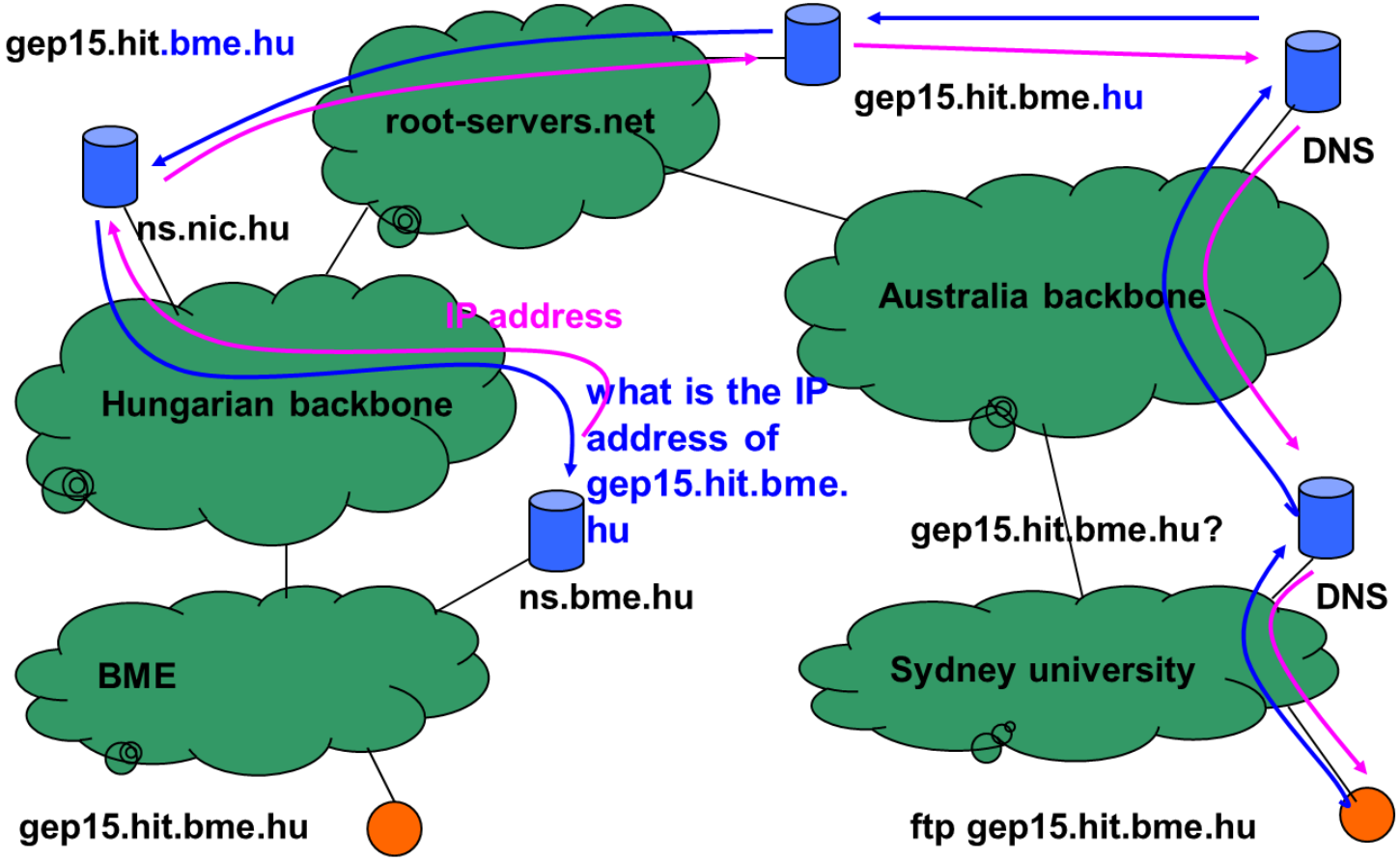
- hierarchical, distributed directory of names around the world
- DNS concept:
  - domains of names
  - more domains in domains
    - domains are managed by authorities
  - name servers for the domains
  - supervision: IETF (http://www.i-d-n.net/)
  - root name servers

Upper layers

- names or domains not necessarily (but often) mean network/organisational relations
- devices of any domain can be distributed anywhere physically
  - e.g. .com domain servers
- name servers know the IP address of devices in the domain
  - or the IP address of name servers of subdomains

Upper layers

- example of recursive query
- can be query chain



Ethernet

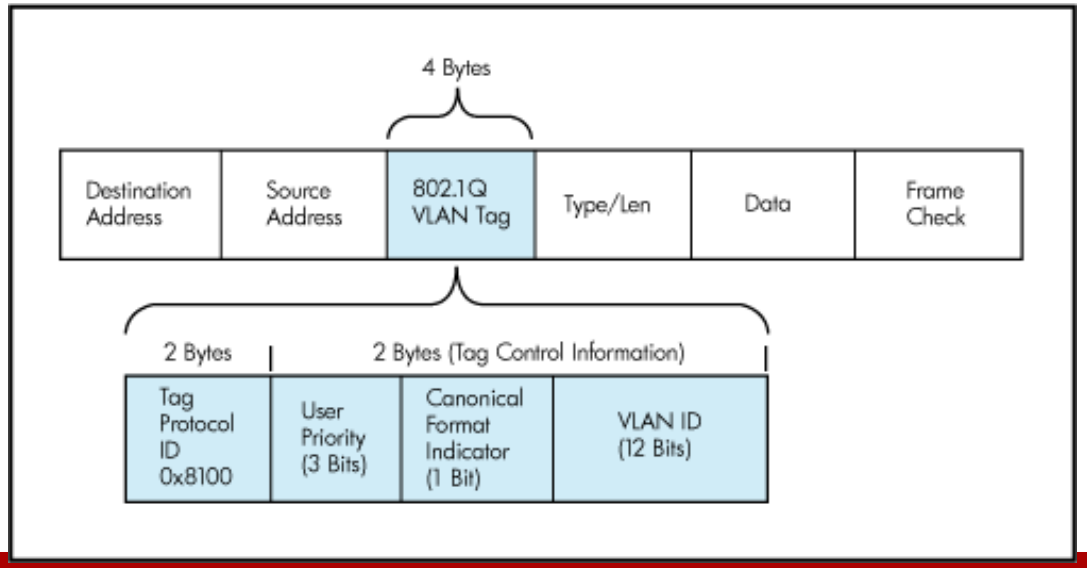
- „the” layer 2 of IP networks
  - first: local networking technology
    - create a small computer network
    - coaxial cable
  - now: local to metropolitan network sizes
    - twisted pair cable in local, optical fibre in metropolitan solutions
- Some notions of Ethernet
  - 10; 100; 1000 at the beginning means the network operates at 10, 100, 1000 Mbps
  - BASE means the type of signaling used is baseband
  - 2 or 5 at the end indicates the maximum cable length in 100 meters.
  - T: twisted pair, F: fiber; X: duplex
  - 1000 Base FX
- state of the art: 40 Gbps, 100 Gbps Ethernet links
- switches/routers with multiple 40 Gbps Ethernet interfaces

Ethernet

- addressing:
  - MAC address (often called physical address) of the interface
  - 6 bytes, source address, destination address
- switching:
  - based on destination address, similar to how it is in IP router
  - does not consider anything beyond the Ethernet header
  - switch learns MAC addresses
- no provisioning for QoS or bandwidth allocation

Ethernet

- 802.1q extension of the protocol
  - new part in the Ethernet header
  - to implement priorities
    - 7 priority classes, switches forward higher priorities first
- VLAN Id.
  - Virtual LAN
  - single VLAN id.: as if the hosts were on the same LAN



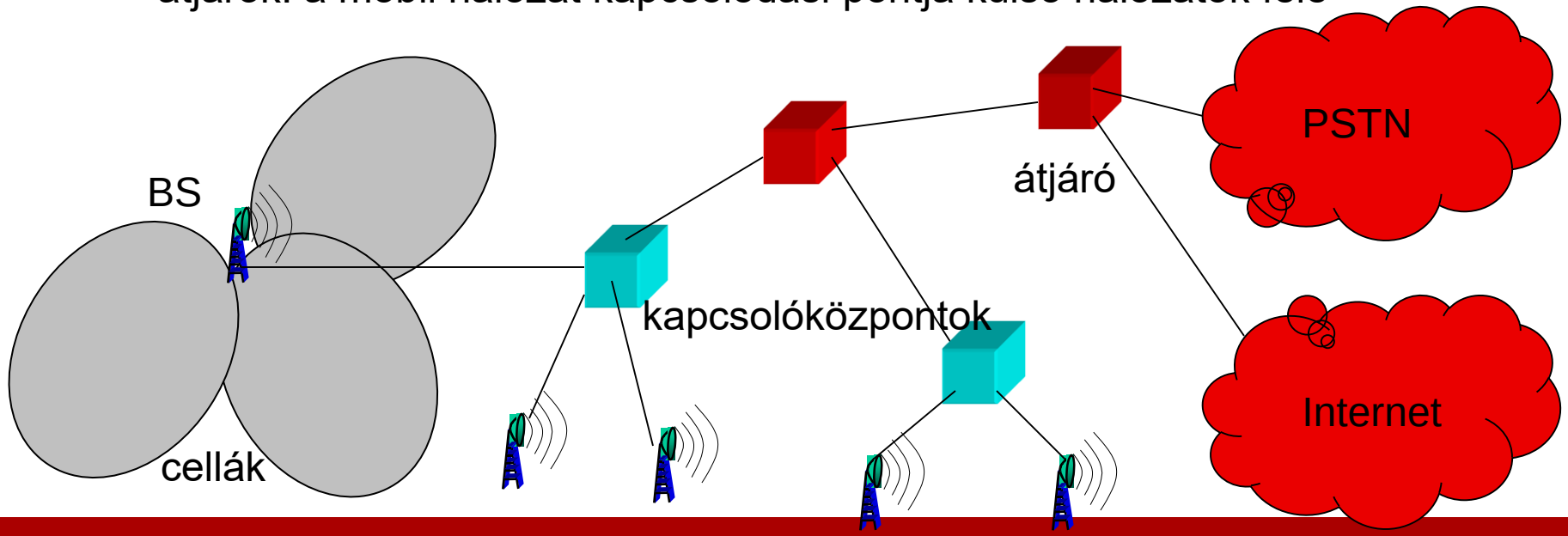
CELLÁS RENDSZEREK

Schulcz Róbert
BME-HIT

2018. december 5.,
Budapest

A cellás hálózatok alap felépítése

- **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



Rádióhálózat típusok

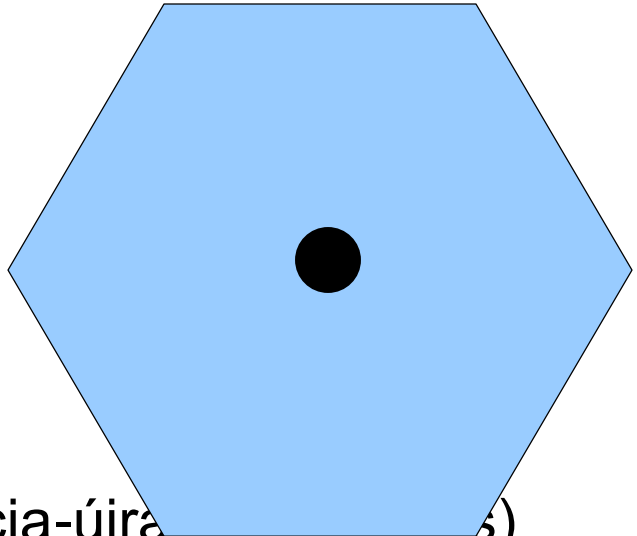
- **makrocella:**
  - nagy terület lefedésére (1-35km)
  - ritkán lakott területek, gyorsan mozgó felhasználók
  - külvárosok, kisvárosok, falvak és nem lakott területek lefedése
  - kétszintű hálózatok esetén a felső szint biztosítása
  - nagy adóteljesítmények (1-20W), nagy G

Rádióhálózat típusok

- **mikrocella:**
  - kis területet lefedése (0.2-1 km)
  - sok felhasználó, lassabb mobilok (városok, külvárosok városközpontja)
  - a bázisállomás antennája épületek tetőszintje alatt
  - kis teljesítmény (0.01-5 W), nagy kapacitás
- **pikocella:**
  - főként beltéri lefedésre, ill nagyon nagy forgalmú területek lefedésére (nagy kapacitás)
  - kis teljesítmény (<100 mW), antennák beltérben

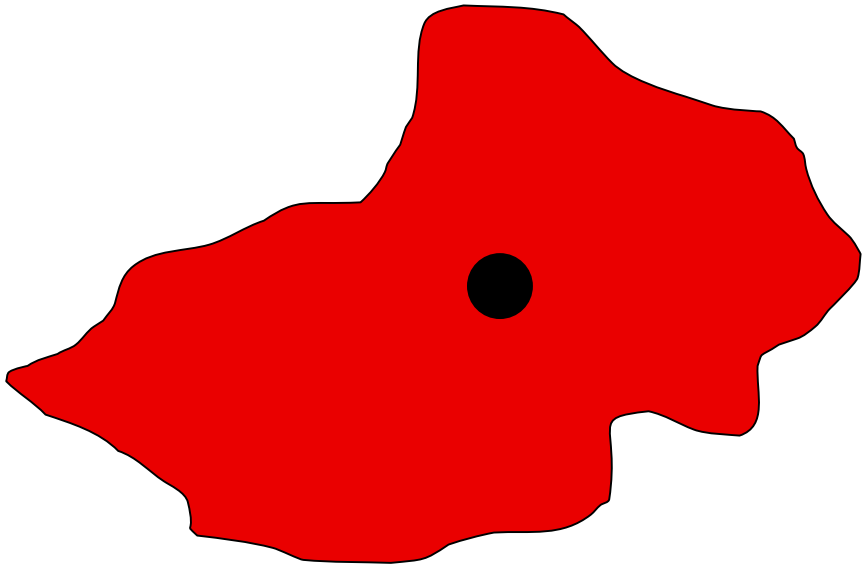
Rádióhálózat típusok

- **hatszögletű cella:**
  - gyakorlatban nincs ilyen
  - hatszögekkel lefedhető a sík
  - jól közelíti az omni cellákat
  - közelítő számításokhoz
  - elméleti modellekhez
  - jól szektorizálható, három szektor
  - K faktor meghatározásához (frekvencia-újrafelhasználás)
  - városokban



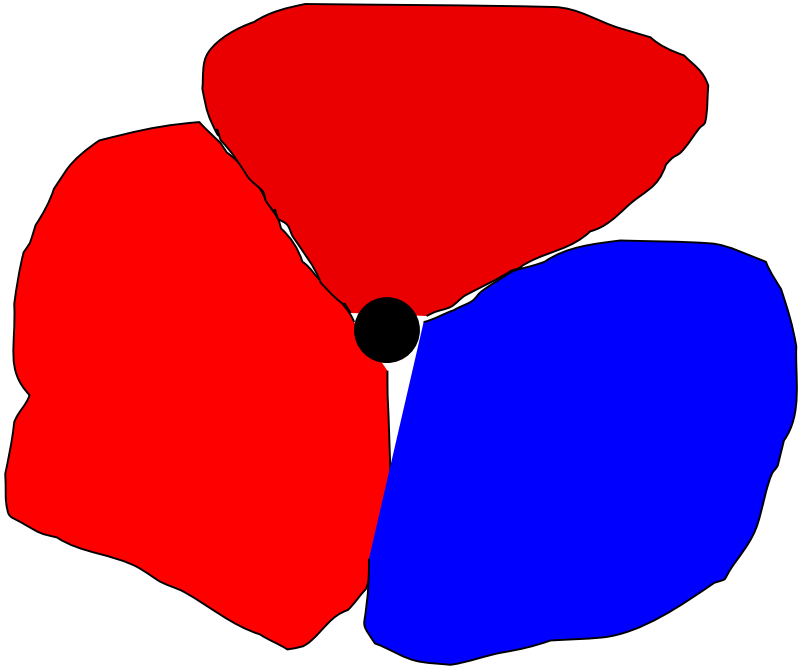
Rádióhálózat típusok

- **omni cella:**
  - körsugárzó antenna
  - elvileg kör alakú (a Hortobágyon lehet)
  - gyakorlatban a terep miatt szabálytalan
  - főleg rural területen



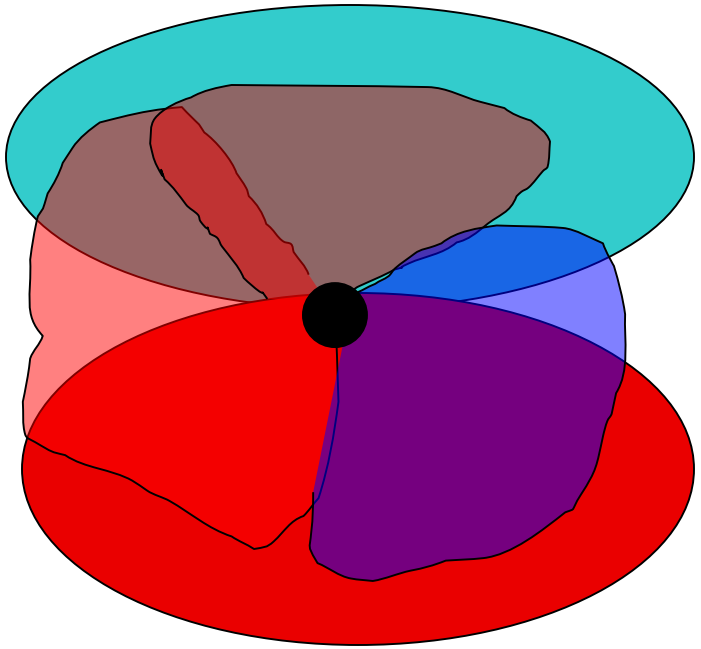
Rádióhálózat típusok

- **szektorantennák:**
  - egy bázisállomással több cella kialakítására
  - létező cellák feldarabolására
  - gyakorlatban a terep miatt szabálytalan
  - 60, 90, 120 fok
  - antennánként külön-külön kezelve
  - különböző méretű szektorok



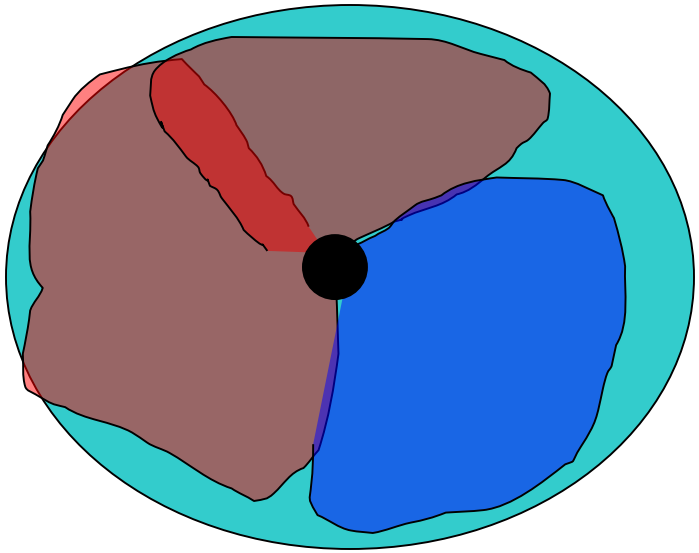
Rádióhálózat típusok

- **hierarchikus cellák:**
  - nagy forgalmú területek több cellával lefedése
  - a cellák természetesen más frekvenciákat használnak
  - egy bázisállomás több cellát is „működtet”



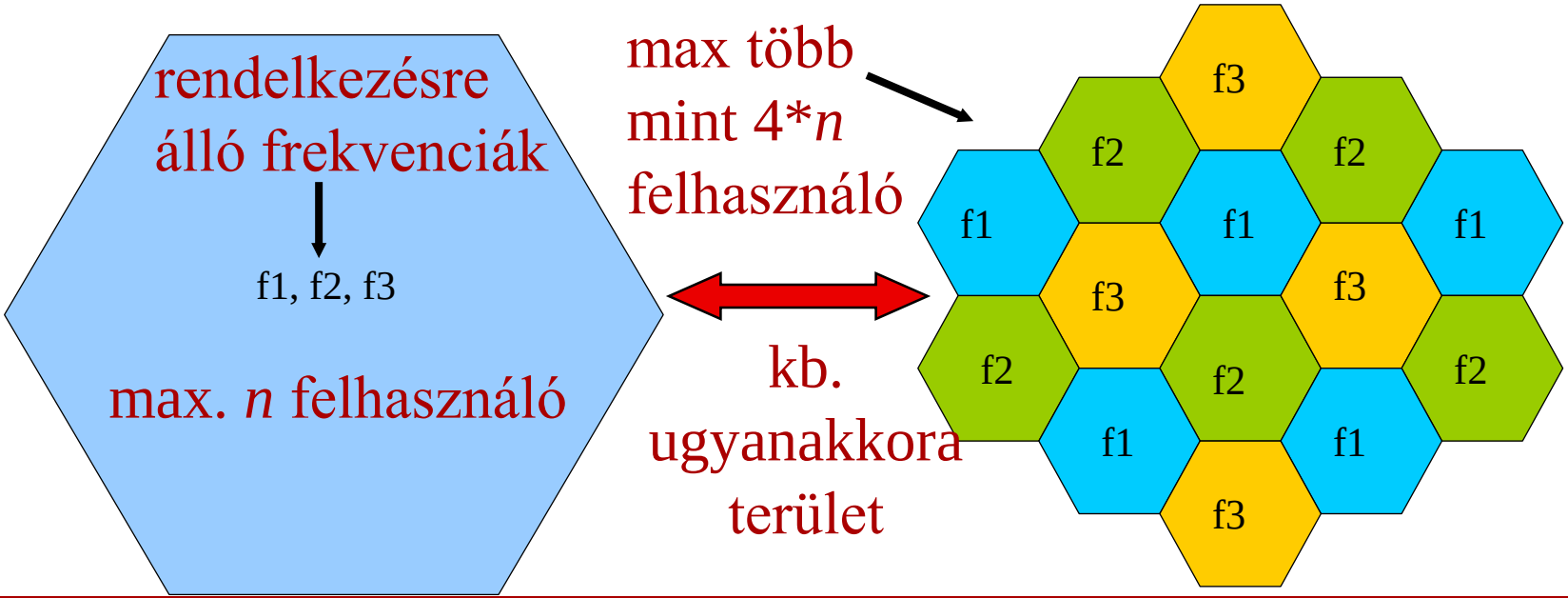
Rádióhálózat típusok

- **hierarchikus cellák, esernyő cella:**
  - egy nagy cella több kisebbet is lefed
  - különösen mikro-, pikocellás környezetben
  - a gyorsan mozgó felhasználók kiszolgálására
  - a gyakori handoverből eredő problémák kiküszöbölésére



Frekvencia újrafelhasználás

- frekvencia újrafelhasználás: a teljes rendelkezésre álló frekvenciasávokból csak néhányat használnak egy cellában
- ugyanazokat a frekvenciákat ismét használják egy lehető legtávolabbi cellában
- sokkal több felhasználó kiszolgálható



GSM RÁDIÓS INTERFÉSZ

2018. december 3.,
Budapest

GSM RÁDIÓS JELLEMZŐK

- Közeghozzáférés: TDMA/FDMA/FDD
- Frekvenciaosztás: 200 kHz -es sávok
- Időosztás: egy-egy vivőn nyolc időrés
- Duplexitás: uplink és downlink kommunikációs irány frekvenciában elválasztva

GSM RÁDIÓS JELLEMZŐK

GSM frequency bands						
GSM band	*f* (MHz)	Uplink (MHz) (mobile to base)	Downlink (MHz) (base to mobile)	Channel numbers	Equivalent LTE band	Regional deployments
T-GSM-380[a]	380	380.2 – 389.8	390.2 – 399.8	dynamic	?	None
T-GSM-410[a]	410	410.2 – 419.8	420.2 – 429.8	dynamic	?	None
GSM-450	450	450.6 – 457.6	460.6 – 467.6	259–293	31	None
GSM-480	480	479.0 – 486.0	489.0 – 496.0	306–340	?	None
GSM-710	710	698.2 – 716.2	728.2 – 746.2	dynamic	12	None
GSM-750	750	777.2 – 792.2	747.2 – 762.2	438–511	?	None
T-GSM-810[a]	810	806.2 – 821.2	851.2 – 866.2	dynamic	27	None
GSM-850	850	824.2 – 848.8	869.2 – 893.8	128–251	5	CALA,[b] NAR[c]
P-GSM-900[d]	900	890.0 – 915.0	935.0 – 960.0	1–124	?	None
E-GSM-900[e]	900	880.0 – 915.0	925.0 – 960.0	0–124, 975–1023	8	APAC,[f] EMEA[g]
R-GSM-900[h]	900	876.0 – 915.0	921.0 – 960.0	0–124, 955–1023	?	None
T-GSM-900[a]	900	870.4 – 876.0	915.4 – 921.0	dynamic	?	None
DCS-1800[i]	1800	1710.2 – 1784.8	1805.2 – 1879.8	512–885	3	APAC,[f] EMEA[g]
PCS-1900[j]	1900	1850.2 – 1909.8	1930.2 – 1989.8	512–810	2	CALA,[b] NAR[c]

- Korábban csak 7 sáv: P-, E-, R-GSM, DCS-1800, PCS-1900,GSM-850, GSM-450
- GSM-450 a gyakorlatban nem használt, különlegessége, hogy NMT hálózatokkal együtt is működhet

A számonkéréseken ezt a táblázatot nem kérdezzük

Forrás: Wikipédia, https://en.wikipedia.org/wiki/GSM_frequency_bands

GSM RÁDIÓS JELLEMZŐK

- Keret felépítés:
  - 1 keret = 8 kb. 577 μs-os (v. 16 fele hosszúságú) időrés/normál börszt, kb. 4,615 ms
  - 1 multikeret:
    - TCH/F: 26 keret 120 ms
    - BCCH: 51 keret 235.36 ms
  - 1 szuperkeret: 6.12 s
    - TCH/F: 51 multikeret
    - BCCH: 26 multikeret
      - a szuperkeretek már egyenlő időtartamúak
  - 1 hiperkeret:
    - 2048 szuperkeret, ami kb. 2,7 millió TDMA keret, ismétlődési periódusideje mintegy 3,5 óra!

GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- FRAME NUMBER, KERET SORSZÁM: A SZINKRON MŰKÖDÉSHEZ SZÜKSÉG VAN RÁ (PL. TITKOSÍTÁS)
- LOGIKAI CSATORNATÍPUSOK:
  - a forgalmi csatornák (Traffic Channels - TCH) felhasználói adatokat visznek át
  - a vezérlőcsatornák (Control Chanels - *CCH) vezérlési, jelzésátviteli információkat továbbítanak

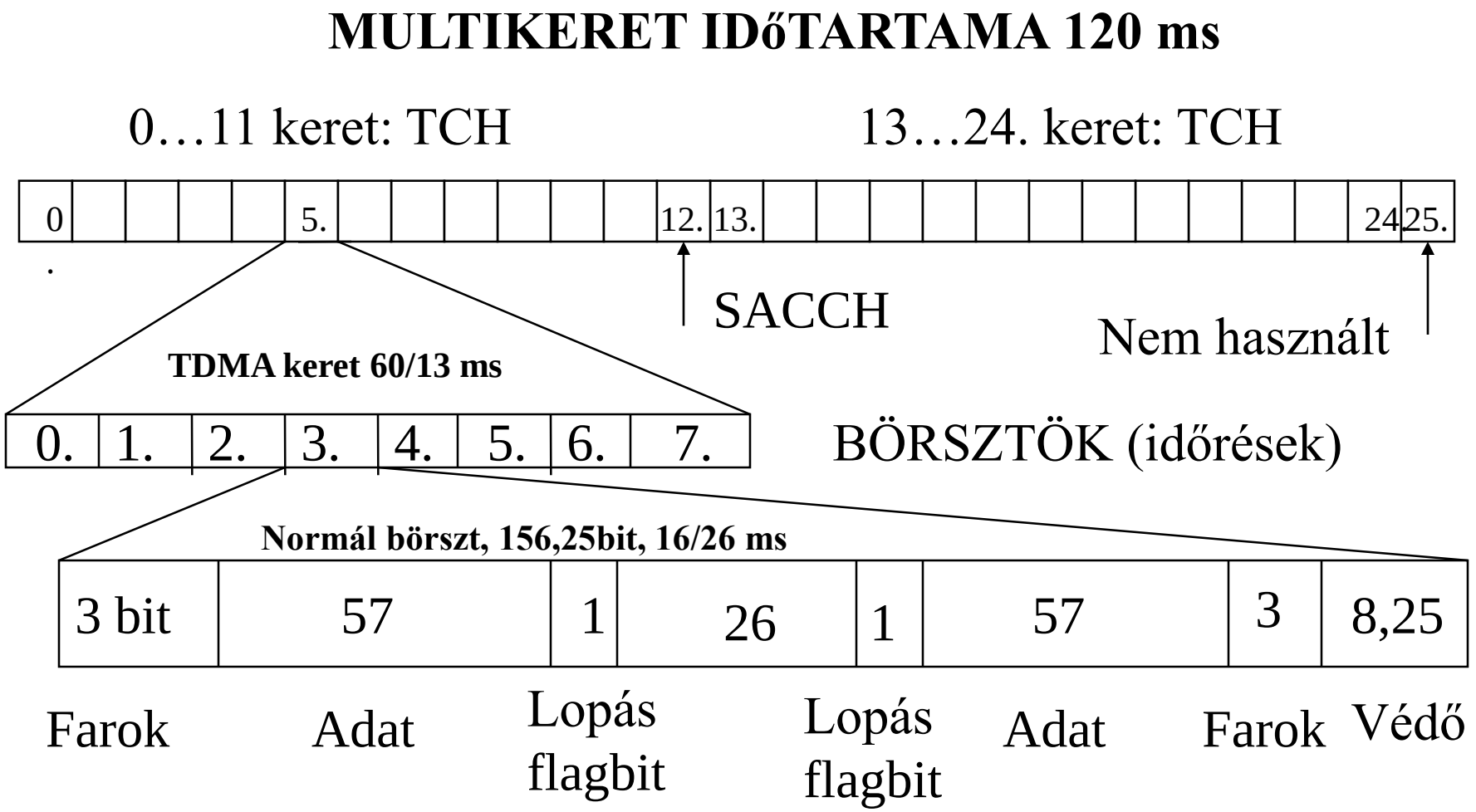
GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- Más csoportosítás:
  - dedikált csatornák: a mobil állomáshoz rendeltek annak aktív üzemmódjában - forgalmi és vezérlő csatornák
  - közös csatornák: a mobil készenléti (idle) üzemmódjában is használtak - vezérlő csatornák
- **FORGALMI CSATORNÁK:**
  - Feladatuk beszéd és adatforgalom továbbítása 26 keretes multikeret használatával, vagyis 26 TDMA keret szervezésben. Ebből 24 forgalmi, 1 az u.n. lassú dedikált vezérlőcsatorna (SACCH, lásd később), 1 használaton kívüli.

GSM RÁDIÓS JELLEMZŐK

- Más csoportosítás:
  - Dedikált csatornák: a **mobil állomáshoz** rendeltek annak aktív üzemmódjában - forgalmi és vezérlő csatornák
  - Közös csatornák: a mobil készenléti (idle) üzemmódjában is használtak - vezérlő csatornák
- **FORGALMI CSATORNÁK:**
  - Feladatuk beszéd és adatforgalom továbbítása 26 keretes multikeret használatával, vagyis 26 TDMA keret szervezésben. Ebből 24 forgalmi, 1 az ú.n. lassú dedikált vezérlőcsatorna (SACCH, lásd később), 1 használaton kívüli.

GSM RÁDIÓS JELLEMZőK



A számonkéréseken nem kérdezzük

GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- BEÁLLÍTÓSOROZAT (26 bit)
  - nyolc szabványos sorozat közül egy
  - bitszinkronizálás, de mivel a börszt közepén van, el kell tárolni a teljes börsztöt döntés előtt
  - erre annál is inkább szükség van, mert a többutas terjedés miatt kiegyenlítés is kell, ezt a beállítósorozat támogatásával végzik el
- BELÉPŐ ÉS KIFUTÓ BITEK (3-3): állapotbeállítás

GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- Az egy mobilhoz tartozó uplink és downlink irányú forgalmi csatornák normál börsztjei között 3 börtsznyi szünet van, így az MS-nek nem kell egyszerre adnia és vennie (egyszerűbb elektronika, van idő az adás-vétel közötti átkapcsolásra)
- A teljes sebességű (FR, Full Rate) csatornák mellett szabványosítottak a félsebességűek (HR, Half Rate) is, ahol 16 börszt van a 8 helyett. A beszédkodek kész, de sehol nem vezették be.

GSM RÁDIÓS JELLEMZŐK

- LOGIKAI CSATORNÁK:
  - FORGALMI CSATORNÁK:
    - Bm, TCH/F teljes sebességű (br. 22,8 kb/s - lásd kodeknél)
    - (Lm, TCH/H félsebességű forgalmi, bruttó 11,4 kb/s, nem valósult még meg)

      A mindenkori nettó sebesség a redundancia mértékében kisebb a bruttónál (hibavédelem, csatornakódolás)
  - Beszédcsatornák: TCH/FS (13 kb/s),
    (TCH/HS 6,5 kb/s)

Csatorna típusok

- Mindenkinek szóló vezérlő: broadcast control channels
  - FCCH, Frequency Correction Channel, frekvenciakorrekciós csatorna: a mobil vevőjét a vivőfrekvenciához hangolja, és
  - SCH, Synchronization Channel, szinkronizáló csatorna, a keretszerkezet szinkronizációjára, hálózat és BTS azonosító, mindkettő downlink és közös
  - BCCH, Broadcast Control Channel, üzenetszóró vezérlőcsatorna (downlink, közös): folyamatos, rendszerinformációk, frekvenciakiosztás és frekvenciaugratási szekvencia információ

Csatorna típusok

- közös vezérlőcsatornák
  - RACH, Random Access Channel, véletlen hozzá-férő csatorna, uplink, réselt ALOHA, közös
  - PCH, Paging Channel, hívócsatorna, MS felé irányuló híváskor, közös, downlink
  - AGCH, Access Grant Channel, hozzáférést biztosító csatorna: SDCCH kijelölése jelzéshez (RACH után), közös, downlink

Csatorna típusok

- dedikált vezérlőcsatornák
  - SDCCH, kijelölt vezérlő csatorna (duplex, dedikált): autentikáció, regisztráció, TCH foglalás
  - FACCH, gyors társult vezérlőcsatorna (ellopás bitekkel, sürgős esetben), gyors vezérlés/jelzés, duplex, dedikált
  - SACCH, lassú társult vezérlőcsatorna, multi-keret 12-es kerete (mindig rendelkezésre áll), duplex, dedikált, telj. szab, mérések eredményei

GSM RÁDIÓS JELLEMZŐK

- Logikai és fizikai csatornák megfeleltetése:
  - logikai csatorna <-> időrés
  - BCCH-TRX : egy vivő, ahol a vezérlő információk mennek
  - általában ezen vivő 0 (és 1) időrésében, 51 keretes multikeret struktúrában
  - pl. FCCH: 0, 10, 20, 30, 40 sorszámú keret 0. időrésében, SCH: 1, 11, 21, 31, 41 keret 0. időrésében, BCCH: 2, 3, 4, 5 keret 0. időrésében; 50 keret után újból
  - SACCH és FACCH kivételével minden vezérlő csatorna itt
  - a BCCH-TRX többi időrése forgalmat szállít, 26 keretes multikeret formátumban (itt is minden 12 sorszámú keret SACCH)

  A számonkéréseken ezt nem kérdezzük

GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- **Börsztök/jelcsomagok fajtái:**
  - **Normál börszt** (NB), információt továbbítanak a forgalmi és vezérlő csatornákon.116 titkosított bitet visznek át, és 8,25 bit hosszú a védőidő (korábbi ábrán).
  - **Frekvenciakorrekciós börszt** (FB), a mobil készülék frekvenciájának szolgáló FCCH csatornán, 3 bit farok, 142 fix bit, 3bit farok, 8.25 bit védőidő; a 142 bit csupa nulla: modulálatlan vivő

GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- **Szinkronizáló börszt** (SB), a mobil állomás időbeli szinkronizálására. 3 bit farok, 39 bit info, 64 bit szinkronizációs sorozat, 39 bit info, 3 bit farok, 8.25 bit védőidő, hosszú beállítósorozat, a TDMA keretsorszámot és a bázisállomás azonosító kódot (BSIC) továbbítja.
- **Elérési/hozzáférési börszt** (AB): a védőidő 68,25 bit, 252 μs (TA még nem ismert, ez elég 35 km-es BTS-MS távolságig).Uplink véletlen hozzáférés.
- **Kitöltő börszt** (DB): C0 vivőfrekvencia minden időrésben, az MS felhasználja, valamint downlink adás üres börsztjeinek kitöltőjeként, formátuma a normál börszttel egyezik meg.

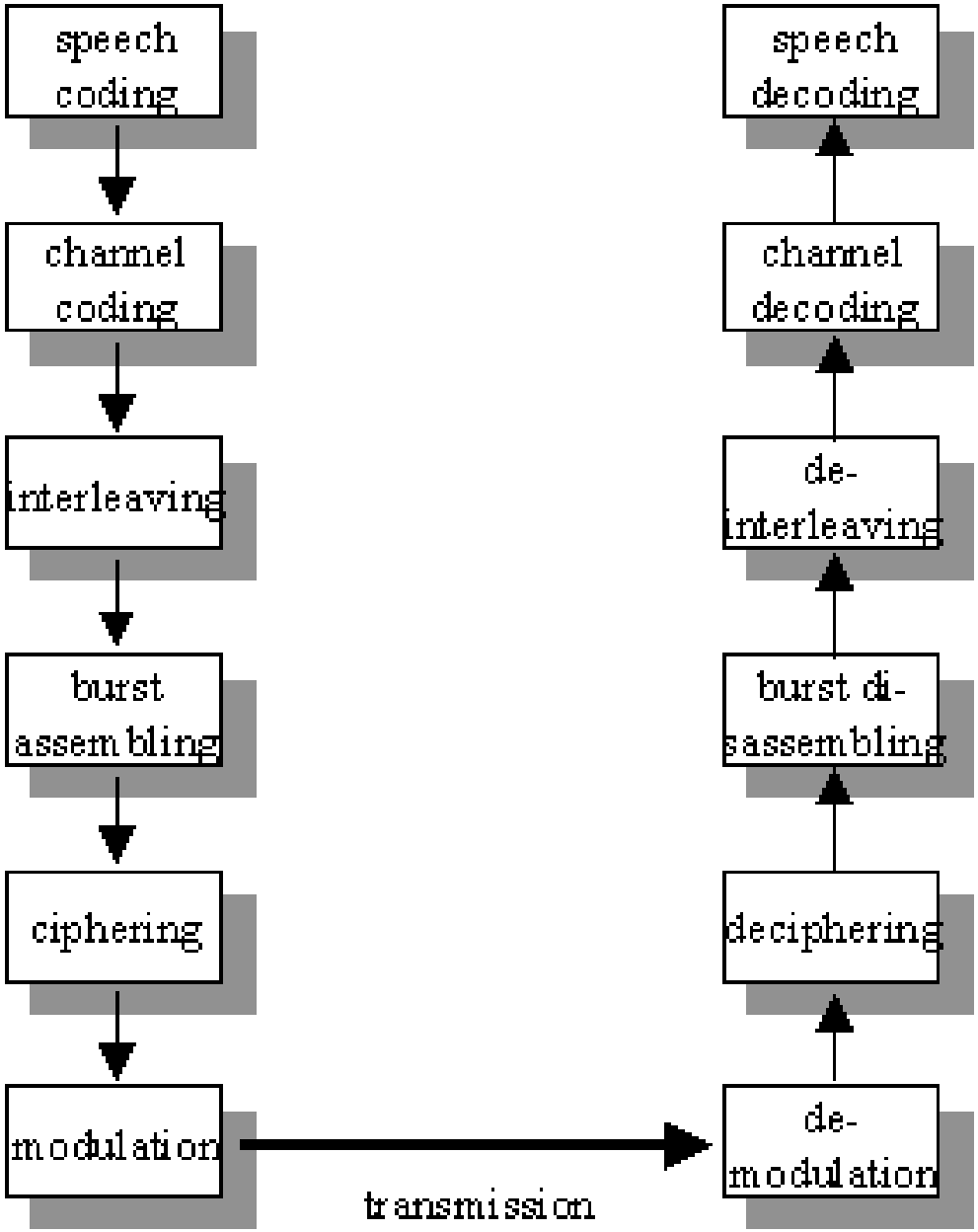
GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- IDŐZÍTÉS (ADÁSSIETTETÉS):
  - TA = 2d/c, ahol d az MS-BTS távolság és c=300000km/s
  - TA/2-t érzékeli a BTS vevő, 480 ms-onként elküldi az MS-nek.
  - A nulla távolsághoz képest TA-val kell az MS-nek adnia a BTS vett időzítéséhez képest, hogy a börsztök helyes időben érkezzenek.
  - d_{max} = 35 km mellett TA_{max} = 233 μs
  - A bitidő (3,69μs) 0…63-szorosa (6 bit), elvi pontossága ± 0,5 bitidő.

GSM RÁDIÓS JELLEMZŐK

- **MODULÁCIÓ: GMSK BT=0.3**
  - **CPFSK folytonos fázisú frekvenciakulcsolás, ahol „logikai nulla”⇔ f_1 frekvencia**
  - **„logikai egy” ⇔ f_2 frekvencia**
  - a nem létező vivő a kettő átlaga.
- MSK: a névleges vivőhöz képest egy bitidő alatt a fázistöbblet vagy fázishiány $\pm\pi/2$ (negyed periódussal több, vagy kevesebb zajlik le, mint a vivővel lenne).

A beszédtől a rádióhullámig



GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- CSATORNAKÓDOLÁS BESZÉD
  - A beszédkódoló 20 ms-onként 260 bitet szolgáltat (13kb/s)
  - 50 bit „nagyon fontos” (type 1a) + 3 bit CRC
  - 132 bit „fontos” (type 1b) + 4 nulla (konv.kódoló)
  - 78 bit egyéb (type 2)
- 189 fontosból r=1/2, k=5 konv. kódoló $\Rightarrow$ 378 bit (+ a változatlan 78) $\Rightarrow$ 456 bit/20 ms = 22,8 kb/s
- 456 = 8 x 57, ez nyolc félbörsztben megy át -> interleaving van, ezért nem kerül egy börsztbe
- Beszédkésleltetés = 8 x 4,615 ms + 20 ms = 57 ms

GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- CSATORNAKÓDOLÁS KONTROLL
- 184 bites egységek + 40 bit CRC + 4 bit 0
- ez megy a konvolúciós kódolóba -> 456 bit

- adat TCH:
- 240 bites egység -> 240 bit blokk kódolás + 4 bit 0
- 244 -> 488 bit konvolúciós kódolás
- 32 bit törölve (C (11 + 15 j) for j = 0, 1, ..., 31) -> 456 bit

Interleaving

- **kontrol csatorna**: a 456 bitből 8 db 57 bites blokk: (0, 8, 16, ..., 448) bit, (1, 9, 17, ..., 449) bit, ... , (7, 15, 23, ..., 456) bit
- az első négy blokk bitjeit 4 börszt páros, a második négy blokk bitjeit ugyanazon 4 börsz páratlan poziciójú bitjei viszik át
- **beszéd:** blokkok ugyanúgy, de az első 4 blokk bitjei 4 börsz páros pozícióira kerülnek, a következő 4 blokk bitjei a következő 4 börszt páratlan pozícióira
- **adat:** 16 db 24 bites, 2 -2 db 18, 12 és 6 bites blokk; ezek 22 ! börsztben szétosztva
- a két 6 bites ketrül az 1 és 22 börsztbe, a 12 esek a 2 és 21, a 18 asok a 3 és 20, börsztbe, a többi a többibe. Minden börszt 4 v. 5 adatblokkból visz adatot

GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- A bejelentkezés folyamata (készenléti állapotba jutás):
  - MS bekapcsolása

  (Hálózat keresése: saját, tárolt, engedélyezett)
  - Csatornák (vivőfrekvenciák) megmérése és jelszint szerinti rendezése
  - BCCH vivő-e?
  - Ha igen:
    - FCCH -t keres: beállítja a vevő oszcillátorát,
    - SCH-t keres, beállítja időalapját, időzítését, megvizsgálja a hálózatazonosítót, saját-e (ha nem, akkor a következő legnagyobb szintű BCCH-vivővel folytatja le a fenti folyamatot)

GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- A következő vizsgálat a helyzetre vonatkozik, azonos-e a legutóbbival (Location Area azonosító az SCH csatornán),
- ha igen: BCCH csatornán közöltek szerint egyéb paramétereket beállít (pl. frekvencia ugratási sorozat), innentől kezdeményezhet és fogadhat (készenléti állapotba kerül) -> a PCH-t figyeli.
- Ha nem, akkor az MS forgalmaz a RACH-en: Location Update kérés
- BSC SDCCH-t jelöl ki
- MS átmegy az SDCCH-ra hitelesítésre és helyzetfrissítésre
- BS utasítja MS-t a SDCCH-n át a teljesítmény és időzítés beállítására, MS jelenti a BCCH-ek jelszintjét és jelminőségét és készenléti állapotba megy át.

GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- A HÍVÁSFELÉPÜLÉS FOLYAMATA:
  - Mobil kezdeményez: RACH-en át
  - Mobil felé irányuló hívás esetén a LA-n belüli BS-ek en keresztül a rendszer értesíti az MS-t a BCCH vivőn levő PCH-en, amire az MS válaszol a RACH-en
  - Mindkét esetben a BS kijelöl egy SDCCH-t (ha van közben hitelesítés), vagy TCH-t (ha egyből mehet a hívás)
  - SDCCH esetén közbeiktatás: hitelesítés, hívásfelépítés és TCH kijelölés,
  - Menet közben: a BS utasítja SACCH-en az MS-t a teljesítmény és időzités beállításra, MS jelenti a BCCH-ek szintjét és minőségét

GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- Forgalmazás TCH-n át
- MS az SACCH-en jelenti a BCCH-ek szintjét és minőségét, BS utasítja MS-t a teljesítmény és időzítés (timing advance) beállítására
- A hívást az MS vagy a BS végezteti (bontja a kapcsolatot)

- AZ MS TELJESÍTMÉNYSZINT BEÁLLÍTÁSA
  - Ha a BS vett jelének szintje és minősége (BER) túl jó: szükségtelenül terheli az akkumulátort, szennyezi a teret (interferencia szint), ellenkező esetben túl rossz hibaarány. A szabályzás 2 dB-es lépcsőkben, a minimum 13 dBm (20 mW). (Downlink is lehetséges.).

GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- DISZPERZIÓ KIEGYENLÍTÉSE
  - A többutas terjedés miatt a 26 bites börsztközepi beállítósorozat segítségével, az algoritmus nincs szabványosítva. A kívánt komponenst kell kinyerni a zavarók kivonásával. A csatorna szűrőmodelljének inverze elvileg.
- GYORS FREKVENCIAUGRATÁS (HOPPING)
  - Minden börszt számára más vivő, a szomszédos cellák működését is koordinálni kell (BSC koordinálja). Ha a távolság két időbeli szomszéd vivő között elég nagy (= n x 200 kHz), akkor „frekvencia diverziti” hatás, azaz enyhe a frekvencia szelektív fading hatása.

GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- Rövid, véletlenszerű interferencia ütközés megengedhető a hibavédelem miatt, több frekvencia használható bázisállomásonként (a fürtméret csökkenthető a frekvenciatervezéskor). Az ugratási algoritmust a BCCH-n át szórják

- SZAKASZOS ADÁS (DTX)
  - A beszélő fél az idő kb. 40%-ában beszél. Erre az időre van csak szüksége adásra,
    - de a süket háttér kérdése is megoldandó (emberi fül számára teljesen süket készülék a kapcsolat megszakadásának tűnik): kellemes háttérzajt (comfort noise) a névleges „vételi” oldalon kell a hangszóróba juttatni, paraméterei a SACCH-n át..
  - VAD, beszédaktivitás detekció: a beszéd és a háttérzaj is szétválasztandó! Beszédelvesztés v. kis hatékonyság.

GSM RÁDIÓS JELLEMZőK

- Eredmény: nagyfrekvenciás zavarszint és tápteljesítmény (akkumulátor!) csökken.

- SZAKASZOS VÉTEL
  - Az MS értesítésére használt PCH, hívócsatorna alcsatornákra osztható, a mobilnak csak a saját figyelésére kell bekapcsolnia (készenléti üzemmódban), különben gyakorlatilag nulla a tápfelvétele.

MŰEGYETEM 1782

BME

A GSM HÁLÓZAT TOVÁBBFEJLESZTÉSE A NAGYOBB ADATSEBESSÉG ÉS CSOMAGKAPCSOLÁS FELÉ

2018. december 3.,
Budapest

HSCSD - (High Speed Circuit-Switched Data)

- A rendszer négy 14,4 kbit/s-os átviteli időrés összekapcsolásával 57,6 kbit/s mobil sávszélességet biztosít.

- Előnye, hogy hardver elemek cserélése nélkül illeszthető a GSM hálózatba.
- Hátránya, hogy továbbra is vonalkapcsolt az összeköttetés.

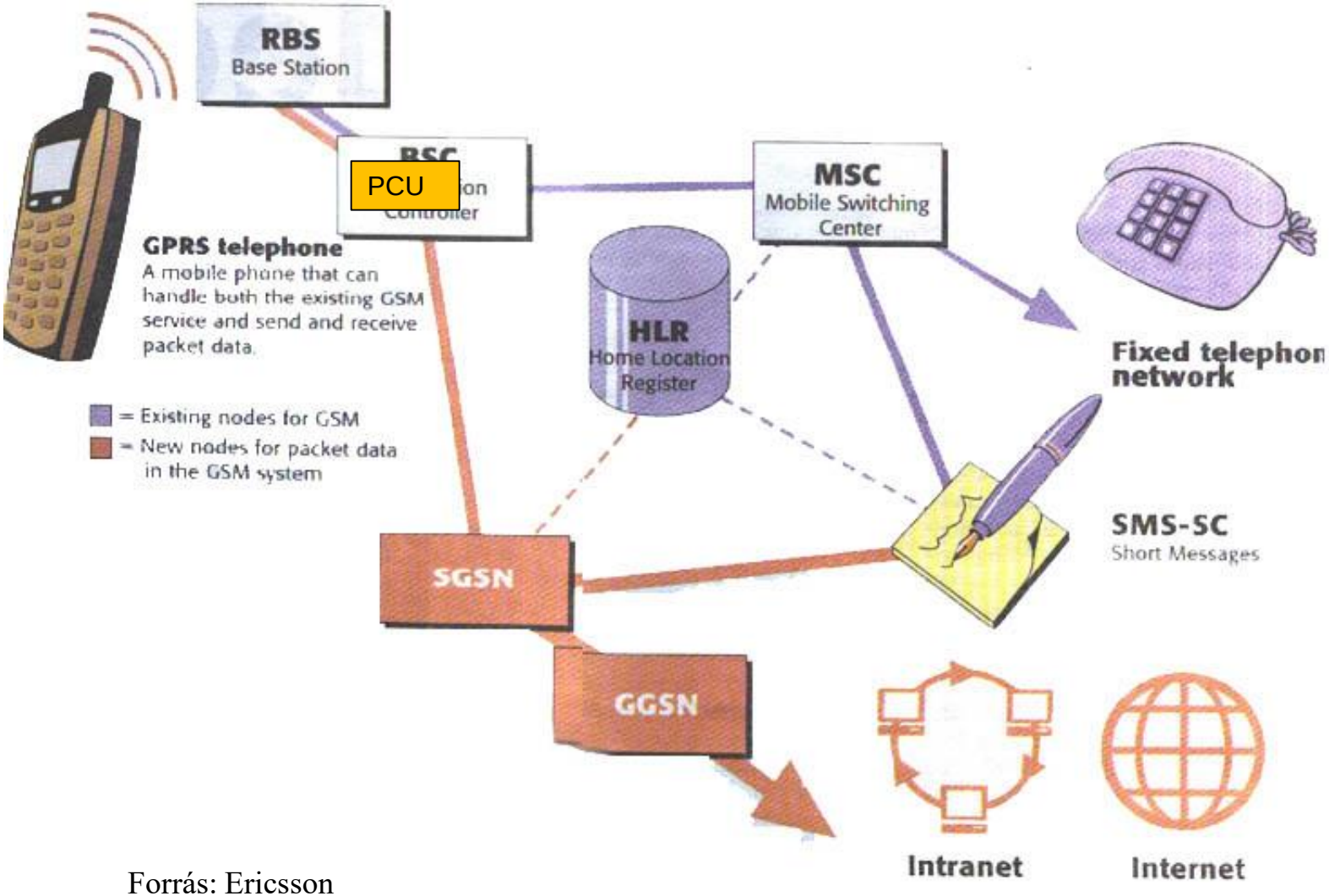
High Speed Circuit Switched Data (HSCSD)

- A GSM vonalkapcsolt adat csatornánként és időrésenként egy felhasználót tud kiszolgálni. A HSCSD egy felhasználó számára több (1-4) időréshez való egyidejű hozzáférést biztosít. Ezáltal kompromisszum köthető a nagyobb sebesség és az ehhez szükséges többszörös párhuzamos hívás magas költsége között.
- Szabványos 14.4 kbps-ot feltételezve, 4 időrést használva a HSCSD) 57.6 kbps-t tesz elvileg lehetővé. Ez gyakorlatilag megegyezik egy ISDN B- csatornával. Elvileg 8 időrés is összefogható.
- HSCSD alkalmzása esetén a GPRS csak harmad szintű prioritást élvez (első a beszéd). Elméletileg a HSCSD lehet *preempted* a beszédhívások által, azaz a HSCSD hívásokat kevesebb csatornára redukálják, ha a beszéd számára nincs elegendő kapacitás.
- Költséges: több egyidejű áramkörkapcsolt hívás a hálózat szempontjából.

GPRS - (General Packet Radio Services)

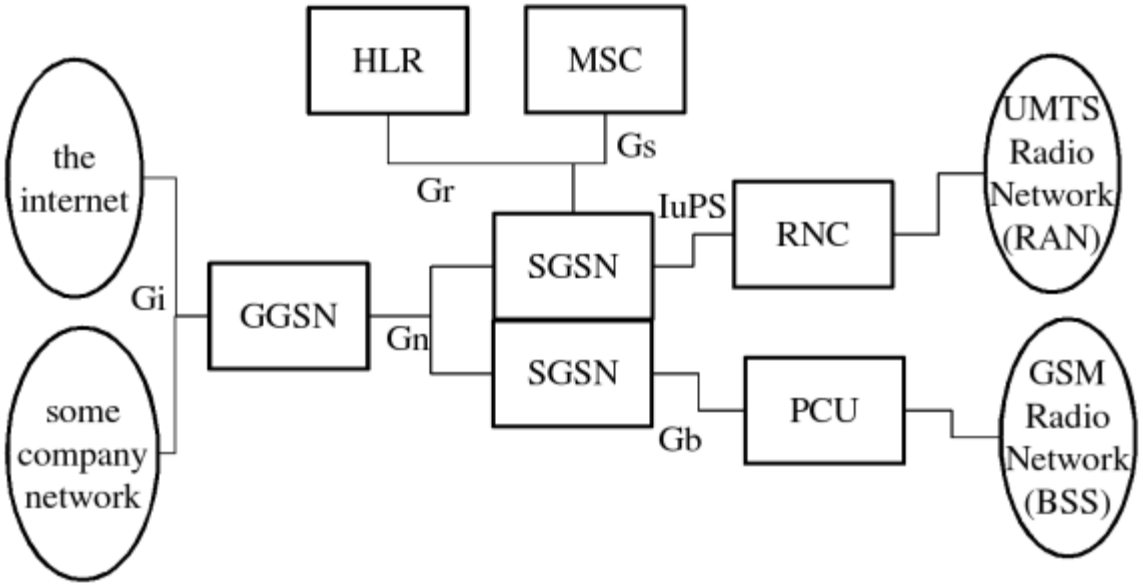
- A GSM architektúra módosításával elvi maximum 160 kbit/s, átlagosan kb. 40 kbit/s csomagkapcsolt adatátvitel érhető el.
- Előnye, hogy a GPRS készülék folyamatos online üzemmódban működik, mégis csak a tényleges adatátvitelért kell fizetnie a felhasználónak.
- Hátránya, hogy teljesen új felhasználói készülékek szükségesek, illetve a beszéd és adat hívások külön csatornákat igényelnek.

GPRS hálózat



Forrás: Ericsson

GPRS/UMTS Hálózat



GPRS hálózat

- új elemek a gyökérhálózatban: SGSN, GGSN (Serving GPRS Support Node, Gateway GPRS Support Node)
- 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

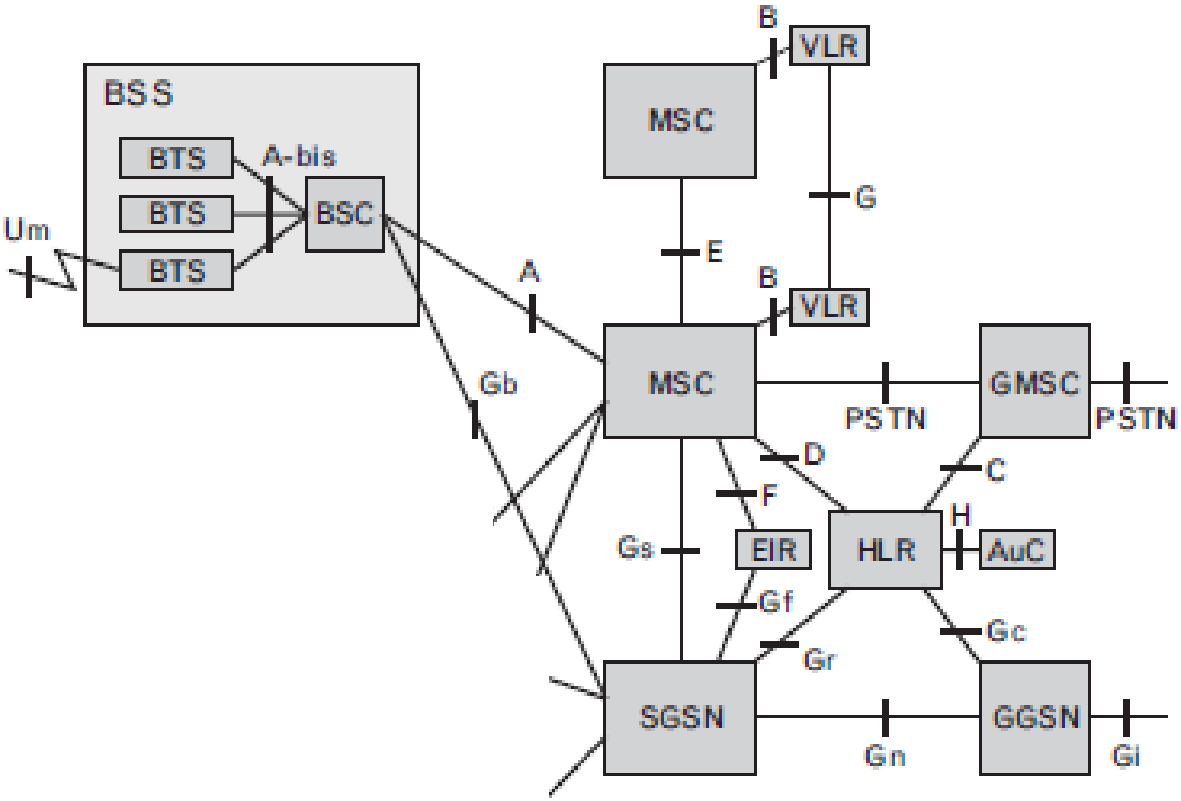
GPRS hálózat

- SGSN:
  - 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: BTS -szintú 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

GPRS hálózat

- 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

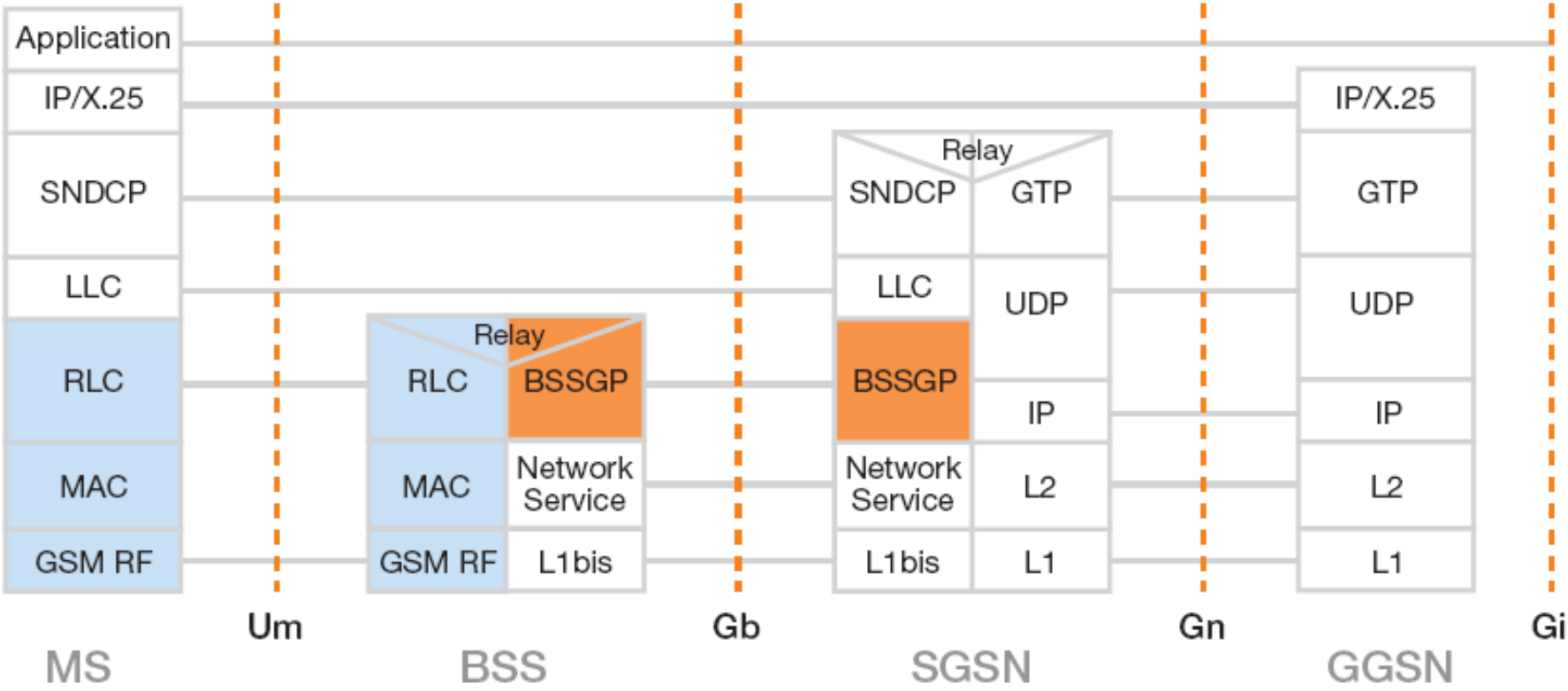
GPRS network architecture



GPRS motivációk

- A MS-BTS (Um) interface minél kisebb mértékű érintettsége, ezáltal a régebbi felhasználói végberendezések kompatibilisek maradnak.
- Az erőforrások dinamikus megosztása a hagyományos GSM beszédszolgáltatásokkal
- Csomagkapcsolás
- Cél IP és X.25 hálózatokkal történő szabványos együttműködés kialakítása
- A megvalósítás új maghálózati elemekkel

GPRS protocol stack



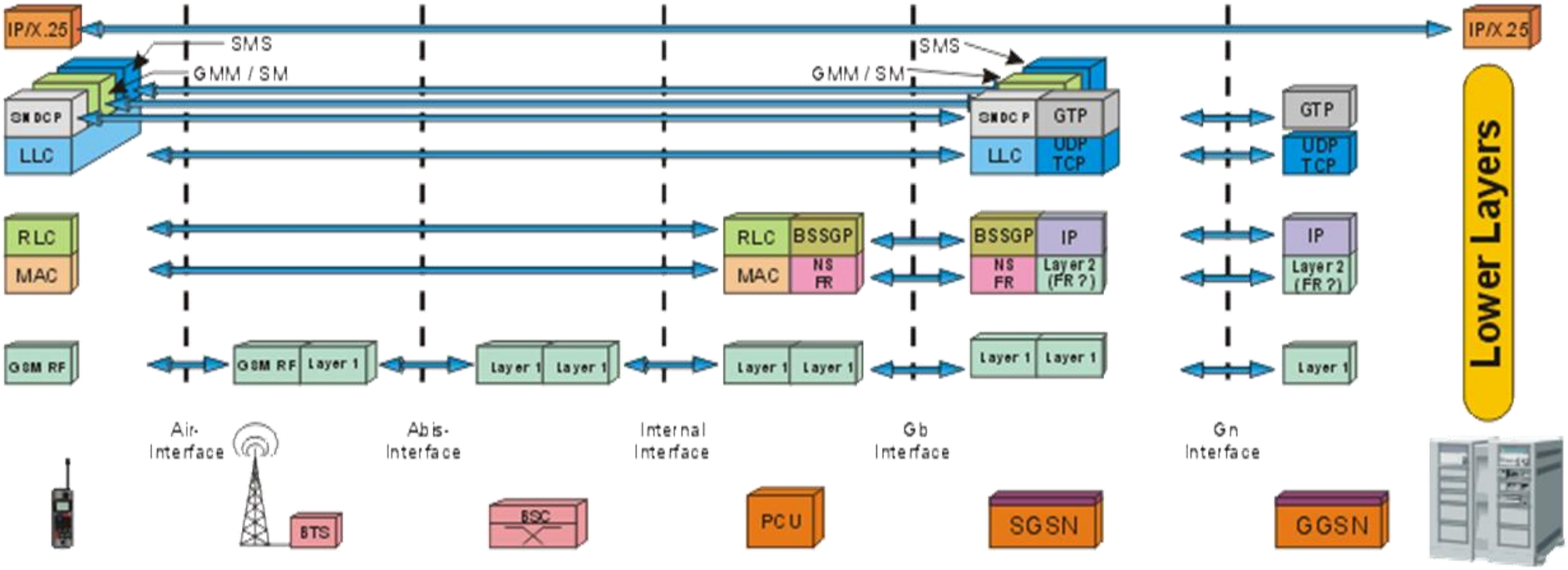
MAC: Medium Access Control
RLC: Radio Link Control
LLC: Logical Link Control
UDP: User Datagram Protocol
TCP: Transmission Control Protocol

BSSGP: BSS GPRS Protocol
GTP: GPRS Tunneling Protocol
SNDCP: Sub-Network Dependency Convergence Protocol
IP: Internet Protocol

A számonkéréseken csak a lényeget (IP – UDP – GTP – IP kérdezzük

© Department of Networked Systems and Services

Adatátvitel GPRS hálózaton



A számonkéréseken csak a lényeget (GTP tunneling) kérdezzük

GPRS protocol stack

- A GPRS adatátviteli út a GPRS mobilkészüléktől a BSS-en, SGSN-en a GGSN-ig vezet
- A PLMN, illetve külső PDN (packet data network) hálózatokkal a kapcsolat a GGSN-en keresztül
- Az SGSN – GGSN közötti IP és UDP/TCP protokollok az Intra-PLMN backbone részei, a GPRS Tunneling Protocol (GTP) transzport hálózataként – semmi közük a felhasználói forgalom UDP/TCP/IP jellegéhez!

MS-BSS interface (Um interface)

- Layer 1: radio subsystem layer (fizikai réteg)
  - A rádiós interfész a BTS felé változatlan
- MAC (Medium Access Control)
  - A MAC réteg feladata az osztott közeghez a hozzáférés biztosítása a MS-ek és a GPRS hálózat számára
  - Prioritáskezelés az egyes UE-k forgalmát tekintve
  - A különböző UE-k közötti prioritáskezelés, dinamikus ütemezés
- RLC (Radio Link Control)
  - hibajavítás
  - SDU-k sorrendhelyes továbbítása
  - duplicate detection

© Department of Networked Systems and Services

MS-BSS interface (Um interface)

- LLC (Logical Link Control):
  - Megbízható logikai összeköttetés MS és SGSN között
  - Titkosítás
  - Az LLC üzenetek a RAN számára átlátszóak
  - C-Plane: kapcsolódás, hitelesítés, PDP aktiválás
  - U-Plane: felhasználói adatok átvitele
- SNDCP (Sub-Network Dependency Convergence Protocol)
  - A BSS számára átlátszó
  - Csak az U-Plane
  - Felhasználói adatok tömörítése

© Department of Networked Systems and Services

BSS-SGSN interface (Gb)

- Az SGSN és a PCU között (a GPRS core network és a GSM radio network (BSS) közötti kapcsolat)
- Jelzés és adatforgalom BSSGP protokollon (BSS GPRS Protocol)
- Annak ellenére, hogy a Gb fizikai interface az SGSN és a BSS között definiált, tartalmazza az LLC és SNDCP protokollrétegeket, amelyek az SGSN és az MS közötti logikai kapcsolatra szolgálnak
- Ha az MSC/SGSN és a BSC/PCU egybeépített egységek, az A és Gb interfészeket egymással kombinálva is meg lehet valósítani: ilyenkor a fizikai erőforrások egy része az A interfész 64 kbps csatornáihoz kerül hozzárendelésre, a fennmaradó erőforrásokon a Gb interfész működik.

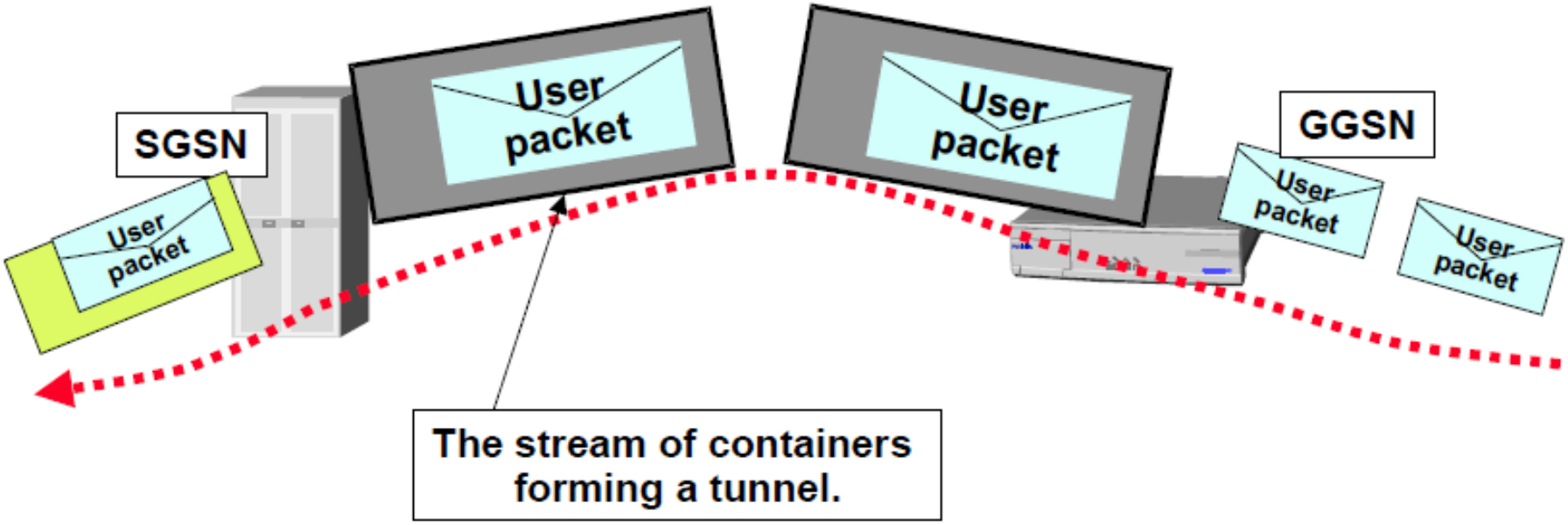
© Department of Networked Systems and Services

SGSN-GGSN interface (Gn)

- Az SGSN és a GGSN között PDP Context létesítése és felhasználói adatok továbbítása céljára. IP fölött GTP protokollt használ.
- A PDP (Packet Data Protocol, pl. IP, X.25, FrameRelay) context egy olyan, az SGSN-en és a GGSN-en egyaránt létező adatstruktúra, amely a felhasználói kapcsolat (session) információit tartalmazza
- IP (Internet Protocol):
  - Hallottunk már róla

© Department of Networked Systems and Services

Tunneling


SGSN
User packet
User packet
User packet
GGSN
User packet
User packet
The stream of containers forming a tunnel.

Tunneling/tunnelling

- A felhasználói adatokat a GPRS backbone-on „konténerekben” szállítjuk
- Ha a GGSN fogad egy adatot a hozzá kapcsolódó hálózatból, beilleszti egy konténerbe, és továbbítja az SGSN felé.
- A konténerek használata a felhasználó számára nem érzékelhető
  - Úgy tűnik, mintha közvetlenül a külső hálózatra kapcsolódna egy routeren keresztül (GGSN)
- Alagútnak/alagutazásnak hívjuk ezt a megoldást
- Röviden tehát a ?GSN a felhasználói adatok alagutazását (tunnelling) oldja meg.

© Department of Networked Systems and Services

GPRS Tunneling Protocol

- Signalling plane – GTP-C:
  - Vezérlős és menedzsment protokoll
  - path management, location management
  - Alagutak létrehozása, módosítása, törlése
  - A GTP jelzésforgalom logikailag kapcsolódik a GTP alagutakhoz, de azoktól fizikailag elkülönül. Minden GSN-GSN kapcsolathoz egy, vagy több útvonal (path) létezik, és mindegyiket tetszőleges számú alagút használhatja

GPRS Tunneling Protocol

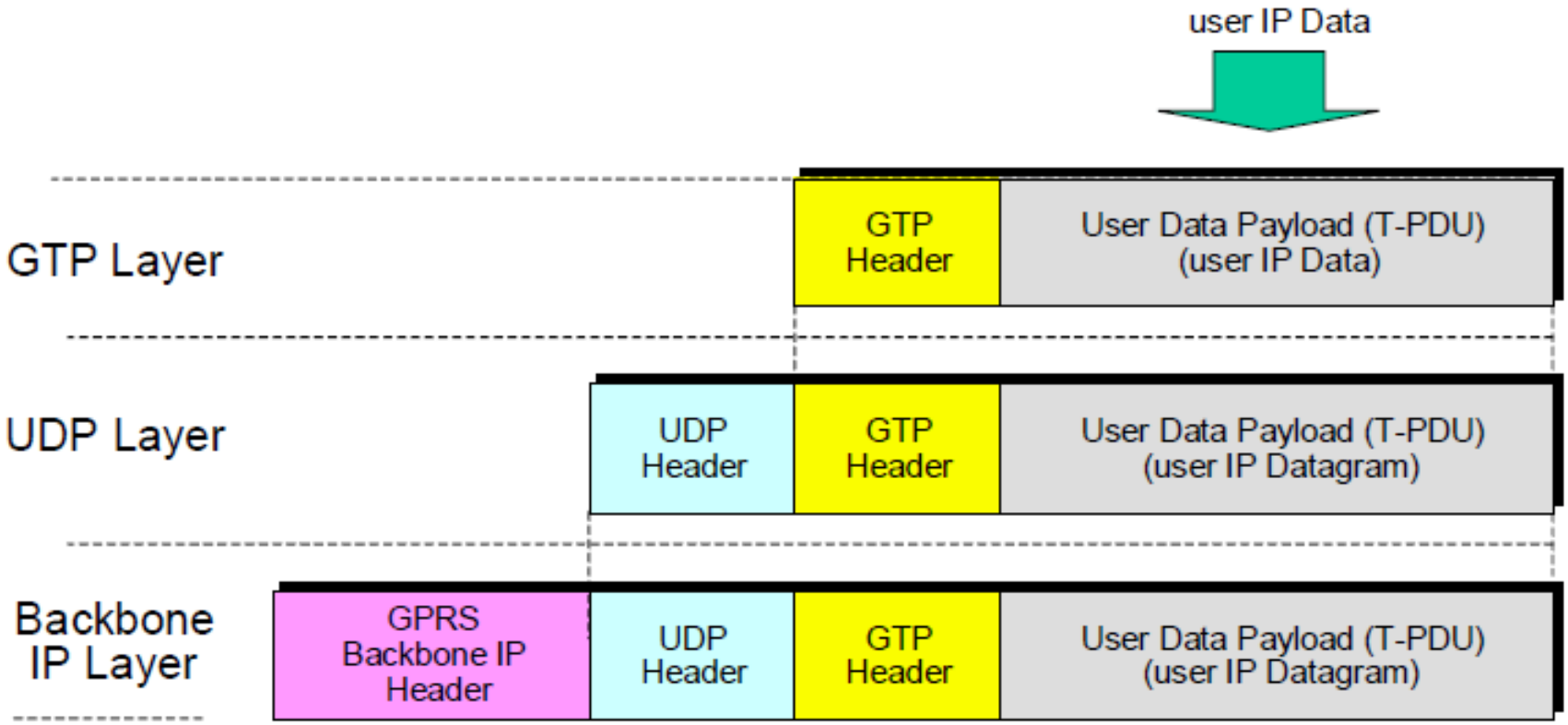
- Transmission/User plane – GTP-U:
  - A jelzési protokoll segítségével felépített alagutak a felhasználói adatok átvitelére szolgálnak a GPRS backbone hálózati elemei között (SGSN,GGSN)
  - A GTP a hálózat többi eleme számára irreleváns
  - A GTP tunnel tulajdonképpen két egymáshoz kapcsolódó PDP context a GSN-ekben.
  - Tunnel ID (TID) azonosít egy alagutat

© Department of Networked Systems and Services

GPRS Tunneling Protocol

- Számlázás (charging) – GTP':
  - A GSN-ektől a charging function felé
  - A GSN-ek GTP-C és GTP-U üzenetekkel kommunikálnak
  - A Charging Gateway Function (CGF) GTP' üzeneteket fogad a GSN-ektől
  - A maghálózatból a számlázási információk a CGF felé továbbítódnak. Jellemzően ezek:
    - PDP context aktív időszakok
    - Forgalmazott adatmennyiség (Magyarországon jellemzően ez utóbbi alapján történik a számlázás)

GPRS Tunneling Protocol



MŰEGYETEM 1782

BME

A GPRS RÁDIÓS INTERFÉSZ

2018. december 3.,
Budapest

GPRS rádiós interfész

- 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 börszt
- új:
  - 52 keretes multikeret
  - időrések összevonása egy felhasználó számára
  - időrések dinamikus szétosztása a felhasználók között (scheduling)
  - asszimetrikus DL/UL forgalom
  - változatos csatornakódolási lehetőségek
  - késleltetési és adatvesztési osztályok

GPRS rádiós interfész

- új logikai csatornák: ezek is a GSM időrés-szerkezethez vannak rendelve
- PDCH: Packet Data Channel: a GPRS számára szolgáló csatorna általános neve, lehet vezérlő vagy forgalmi csatorna
  - GSM TCH -t kiszolgáló időrések és GPRS PDCH -t kiszolgáló időrések együtt
  - dinamikusan változhat a TCH és PDCH időrések száma
  - fix TCH időrések, prioritás a GPRS előtt

GPRS rádiós interfész

- Logikai csatornák: PDTCH : forgalmi csatorna, hasznos adatot szállító időrések
- PBCCH : mindenkinek szóló vezérlő információk
- közös vezérlőcsatornák (PCCCH):
  - PRACH (Packet Rach) szerepe mint GSM -ben
  - PAGCH
  - PPCH
  - PNCH (Packet Notification Channel): a GPRS mobil PTP és PTM módben kommunikálhat, ez a csatorna PTM csomag érkezését jelzi
  - ha egy cellában nincsenek lefoglalt PCCCH csatornák, a GSM azonos csatornái is használhatók a GPRS jelzésátvitelre

GPRS rádiós interfész

PACCH: UL + DL A Packet Associated Control CHannel a dedikált vezérlőcsatorna a PDTCH-khoz. Egy adott mobil állomással kapcsolatos vezérlési információk átvitelére szolgál. Kétirányú csatorna (ellentétben a PDCH csatornákkal, ezért ha csak egy uplink TBF működik, a downlink erőforrások attól még használatban lesznek a PACCH downlink üzenetei számára (pl. nyugták)

PAGCH: DL A Packet Access Grant CHannel az adatátvitel előtt az erőforrások allokációjában vesz részt.

PBCCH:DL A Packet Broadcast Control CHannel az összes mobilállomás számára szállít információt, amelyek egy adott cellában vannak. A PBCCH nem feltétlenül létezik egy cellában, még akkor sem, ha egyébként van GPRS szolgáltatás az adott területen. Ha nincs PBCCH kiosztva, a BCCH (Broadcast Common Control CHannel) szállítja a csomagkapcsolt átvitellel kapcsolatos információkat is.

GPRS rádiós interfész

PCCCH:UL + DL A PCCCH gyűjtőfogalom a PAGCH (Packet Access Grant CHannel), PNCH (Packet Notification CHannel), PPCH (Packet Paging CHannel) és PRACH (Packet Radio Access CHannel) csatornákra.

PDTCH:UL + DL A Packet Data Traffic CHannel az egyetlen PDCH, amely felhasználói adatok továbbítására szolgál a BTS és az MS között. Az áramkörkapcsolt esettel ellentétben a PDTCH-k nem feltétlenül szimmetrikusak, kiosztásuk uplink és downlink irányú forgalomra egymástól eltérően is lehetséges.

PNCH:DL A Packet Notification CHannel a PTM-M (Point to Multipoint - Multicast) szolgáltatások támogatására szolgál. Jelzi az érkező forgalmat mobil terminálok egy csoportjának.

PPCH:DL A Packet Paging Channel downlink irányú forgalom érkezéséről értesíti a mobil terminált, amely felkészül az adatok fogadására.

PRACH:UL A Packet Radio Access Channel segítségével fér hozzá a mobil terminál a hálózati erőforrásokhoz adatküldés céljából.

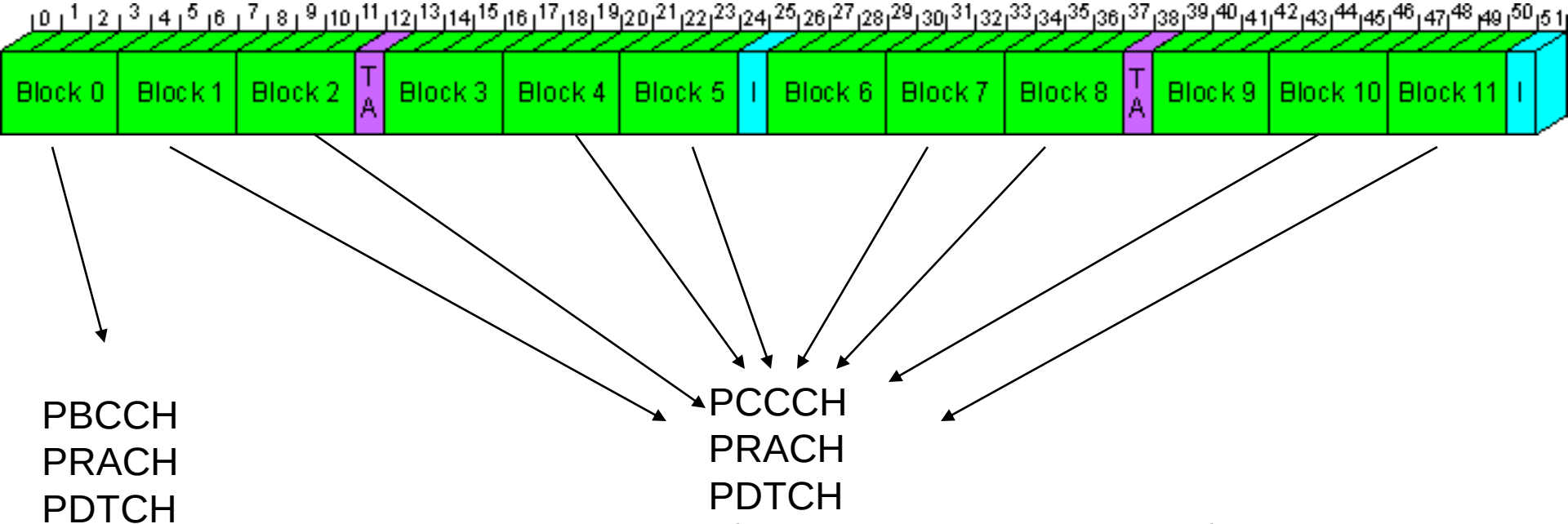
PTCCH: Timing advance control

GPRS rádiós interfész

Timing Advance Control in GPRS: A TA beállításához minden aktív mobil állomás a saját PTCCH/U csatornáján küld egy börsztöt TA = 0 értékkel a BTS felé. A BTS a terjedési késleltetés alapján számolja ki a mobil eszköz távolságát, és ezt az információt a PTCCH/D alcsatornán visszaküldi a mobil terminálnak. Az eljárás során a PDTCH csatornát nem használja a GPRS.

GPRS rádiós interfész

- dedikált vezérlőcsatorna: PACCH
- timing advance vezérlő csatorna:PTCCH
- a GPRS forgalmi és vezérlő csatornák 52 keretes multikeret struktúra szerint ismétlődnek



A számonkéréseken csak a lényeget (TA helye, 52 keretes hossz) kérdezzük.

GPRS rádiós interfész

- Csatorna kiosztás:
  - Emlékeztető:
    - GSM-ben áramkörkapcsolt, kétirányú csatornák, egy lépésben hozzuk létre az uplink/downlink irányt
    - Az áramkörkapcsolt hívások időtartama jellemzően hosszabb, mint egy csomagkapcsolt átvitel
      - Az erőforráskiosztás a GSM-en statikus, GPRS-ben dinamikus természetű
        - » Nem lesz jó ugyanúgy

GPRS rádiós interfész

- Csatorna kiosztás downlink irányban:
- A mobilhoz egy vagy több PDTCH időrés van rendelve
- Mivel több mobil is osztozhat közös időrésen: TBF (Temporary Block Flow) azonosítja az egy mobilnak szóló üzenetet
- A mobil miden, hozzá társított időrést hallgat
- A számára kijelölt TBF csomagjait olvassa

GPRS rádiós interfész

- Csatorna kiosztás uplink irányban
  - Az egyes mobil terminálok adása ütközhet
  - Ütemezés szükséges
  - Három ütemezési eljárás létezik, két kötelező, egy opcionális

GPRS rádiós interfész

- Csatorna kiosztás uplink irányban:
  - Fix csatornakiosztás: a hálózat megmondja a mobilnak, hogy hány rádiós blokkot melyik keretek melyik időrésében kell adnia
  - Dinamikus csatornakiosztás: USF (Uplink State Flag) használata
    - downlink csatornán a K. blokkban USF (3) bit jelzi, hogy a következő (K+1) UL blokk az adott felhasználóé, USF=111 azt jelzi, hogy a következő blokk PRACH
    - USF granularity: két lehetőség: a következő 1, vagy 4 blokk az adott mobilé
    - USF: 4 egymást követő keret adott időrésére vonatkozik (blokk), több időrést használó mobil minden időrésen kell hogy kapjon USF -et!
    - a DL minden PTCH -ját kell hallgatnia (időrések), ahol saját USF -jét veszi, ott ad az UL -ben

Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE)

- Az EDGE egy rádió alapú, nagyobb sebességű mobil adat szabvány.
- 8 időrés használata esetén elvi max 480 kbps érhető el. Ez 60 kbps-t jelent időrésenként.

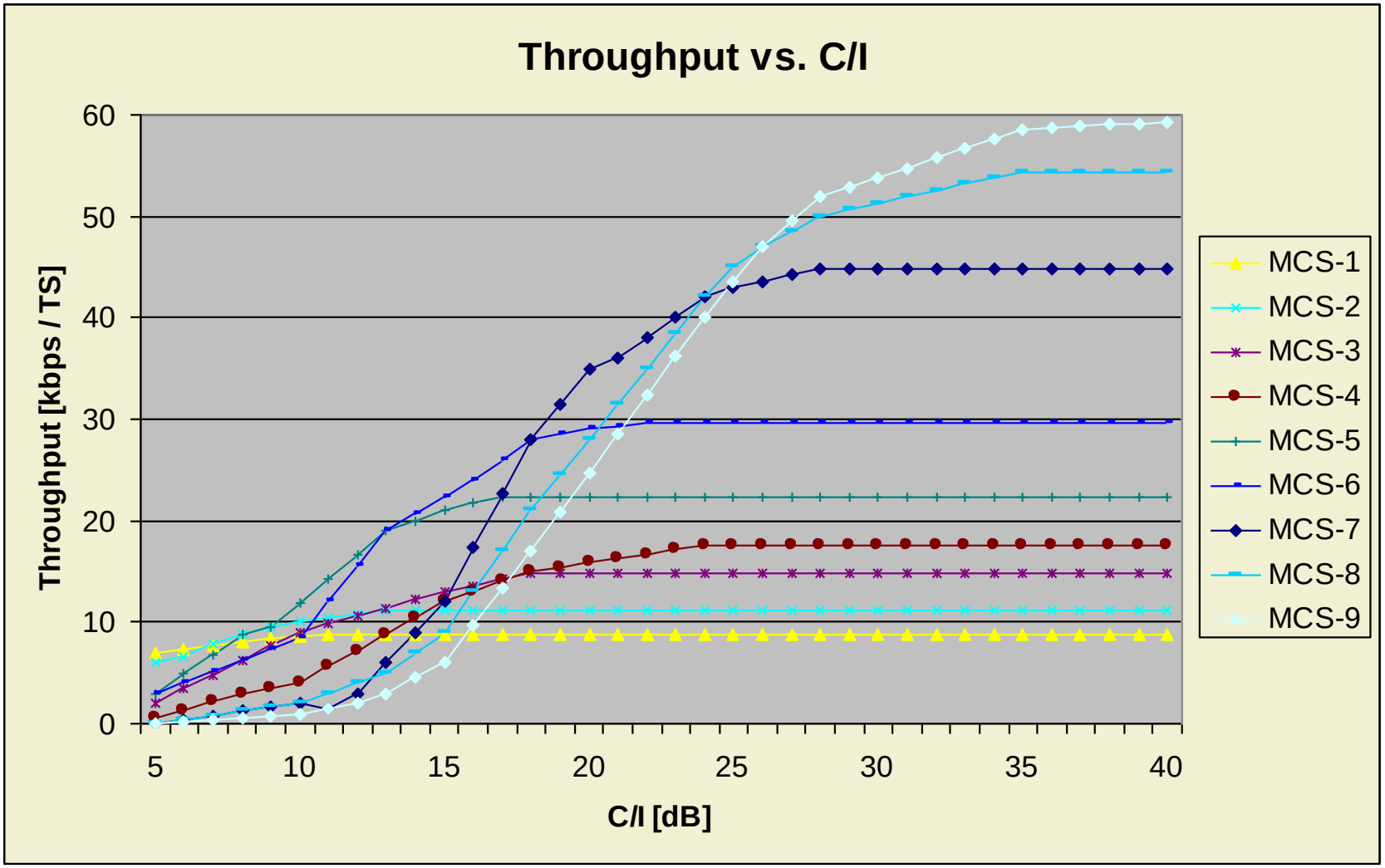
EDGE

- A HSCSD és a GPRS is a GMSK modulációt használja, ami időrésenként csak kis átviteli sebességet biztosít. Az EDGE-ben használt 8PSK automatikusan alkalmazkodik a rádió környezethez, a bázisállomáshoz közelebb, jó terjedési viszonyok mellett nagyobb sebesség érhető el. Ez a modulációváltás a csomagkapcsolás mellett az egyik legfontosabb változás.
  - Újdonság a GPRS-hez képest: 9 féle modulációs és kódolási séma használata
  - Ebből 1-4 gyakorlatilag megegyezik a GPRS-sel, és az ottani GMSK modulációt használja, 5-9 a 8-PSK-t használó teljesen új
  - Későbbi EDGE szabványkiegészítésben megjelent a 32-QAM
- Az EDGE implementálása egyszerűbb, mivel a meglévő GSM spektrum, cellák, és vivők, valamint cellatervezési eljárások alkalmazhatók. Csupán az EDGE adóvevőket kell a cellákba telepíteni.
- A legtöbb gyártó esetén a BSC-k és BTS-k szoftver frissítése távolról elvégezhető. Az új EDGE adóvevők a szabványos GSM forgalmat is tudják kezelni és automatikusan váltanak át az EDGE-re ha szükséges.

Scheme	Code rate	Header Code rate	Modulation	RLC blocks per Radio Block (20ms)	Raw Data within one Radio Block	Family	BCS	Tail payload	HCS	Data rate kb/s
MCS-9	1.0	0.36	8PSK	2	2x592	A	2x12	2x6	8	59.2
MCS-8	0.92	0.36		2	2x544	A				54.4
MCS-7	0.76	0.36		2	2x448	B				44.8
MCS-6	0.49	1/3		1	592 544+48	A	12	6		29.6 27.2
MCS-5	0.37	1/3		1	448	B				22.4
MCS-4	1.0	0.53	GMSK	1	352	C				17.6
MCS-3	0.80	0.53		1	296 272+24	A				14.8 13.6
MCS-2	0.66	0.53		1	224	B				11.2
MCS-1	0.53	0.53		1	176	C				8.8

NOTE: the italic captions indicate the padding.

A számonkéréseken nem kérdezzük



A számonkéréseken nem kérdezzük

MŰEGYETEM 1782

BME

UMTS RENDSZER ÉS INTERFÉSZEK. UMTS KÓDOSZTÁS ALAPJAI. W-H KÓDOK, KÓDFA. KÓDOSZTÁS, SPEKTRUMSZÓRÁS

2018. december 3.,
Budapest

MŰEGYETEM 1782

BME

A HÁLÓZAT FELÉPÍTÉSE, SZOLGÁLTATÁSOK

2018. december 3.,
Budapest

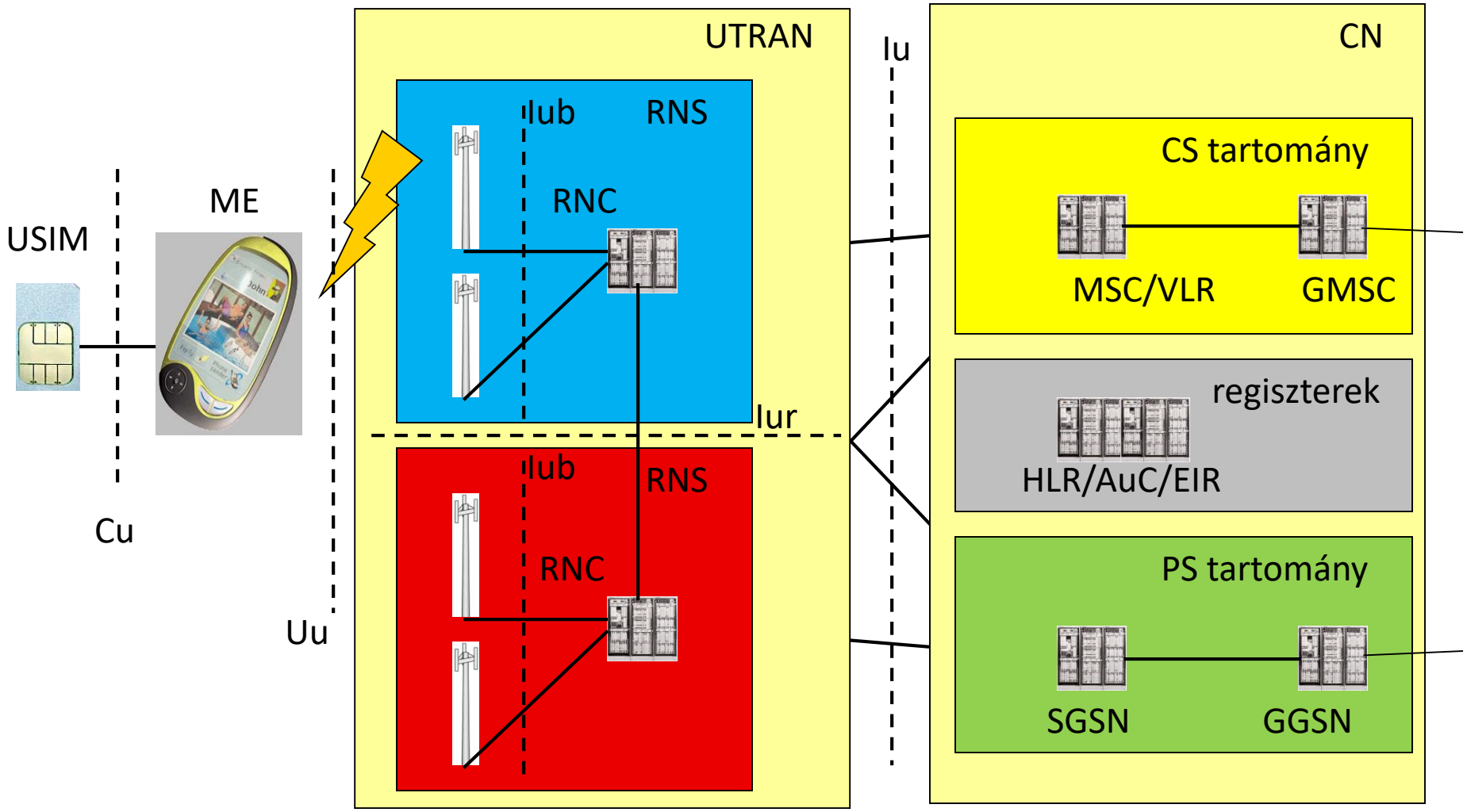
Felépítés

- **felhasználói készülék, UE** két részre bontható: USIM (UMTS Service Identity Module) és ME (Mobile Equipment), köztük Cu interfész
- a rádiós hozzáférést biztosító hálózat elnevezése **UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network)**, rádiós hálózati alrendszerekre osztva (radio Network Subsystems, RNS)
  - EDGE alkalmazásánál a hozzáférési hálózat elnevezése GERAN (GSM/EDGE RAN)
- **gyökérhálózat (Core Network, CN)**

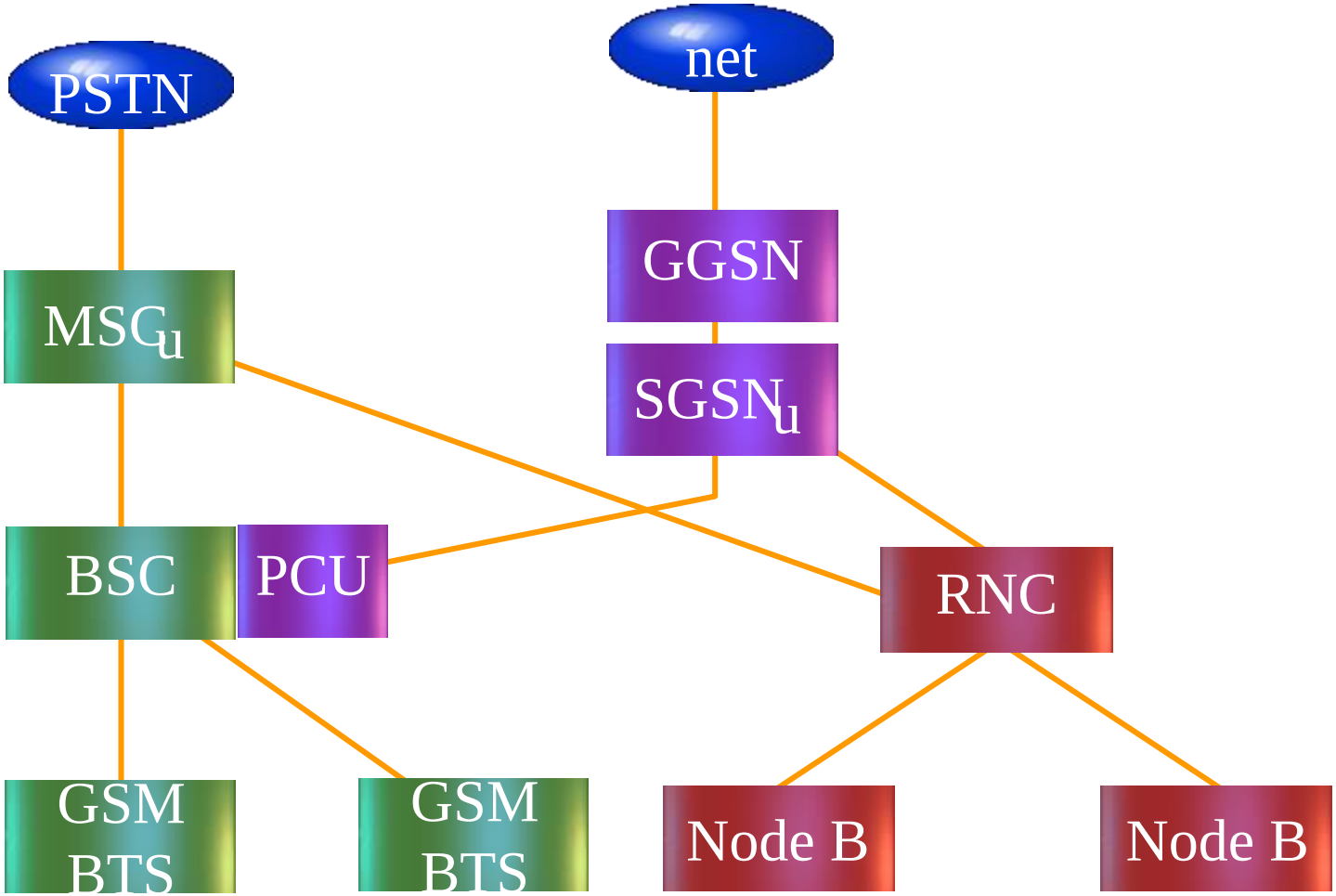
Felépítés

- UTRAN: egy RNS egy rádiós hálózatvezérlőből **(Radio Network Controller, RNC)** és az általa felügyelt bázisállomásokból (Node B) áll
- az RNC –k az Iur intefészen át kapcsolódhatnak
- az RNC – bázisállomás között Iub
- az RNC –k a gyökérhálózathoz Iu interfészen keresztül csatlakoznak
- gyökérhálózat: a GSM –ből ismert **MSC** –k, **GMSC** –k, valamint **SGSN**, **GGSN** eszközök és felhasználói regiszterek (**VLR, HLR, AuC, EIR**)

Felépítés


UTRAN
Iu
CN
Iub
RNS
RNC
CS tartomány
MSC/VLR
GMSC
ME
USIM
Iur
regiszterek
HLR/AuC/EIR
Iub
RNS
RNC
PS tartomány
SGSN
GGSN
Cu
Uu

GSM/GPRS - UMTS hálózat



Az UTRAN

- feladata: rádiós hozzáférés biztosítása a CN és az 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

Az UTRAN

- **Node B**
  - moduláció, spektrumszórás, szinkronizáció
  - csatornakódolás, interleaving
  - bitfolyam titkosítása
  - FDD és/vagy TDD módú működés
  - gyors teljesítményszabályozás

Az UTRAN

- **rádióhálózat vezérlő** (RNC, Radio Network Controller)
- új elem, funkciója hasonló a GSM BSC -éhez
- Iu (PS és CS) interfészen csatlakozik a gyökérhálózathoz, Iur interfész két RNC között, Iub interfész BS és RNC között
- egy RNC BS-ek egy csoportját vezérli
- adatok továbbítása a bázisállomásokhoz (kapcsoló funkció)

Az UTRAN

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

UTRAN átviteltechnika

- adatátvitel a BS – RNC között (Iub), RNC – RNC között (Iur) és az RNC – CN között (Iu, PS és CS)
- **fizikai réteg** többféle lehet:
  - PDH (E1 2.048 Mbit/s (=32 x 64 kbit/s), E2 8.448 Mbit/s, E3 34.368 Mbit/s)
  - Plesiochronous Digital Hierarchy, digitális telefóniában elterjedt gerinchálózati szabvány
  - optikai-, vagy koaxiális kábelen, mikrohullámú pont-pont kapcsolaton, 2.048 Mbps sodrott érpáron

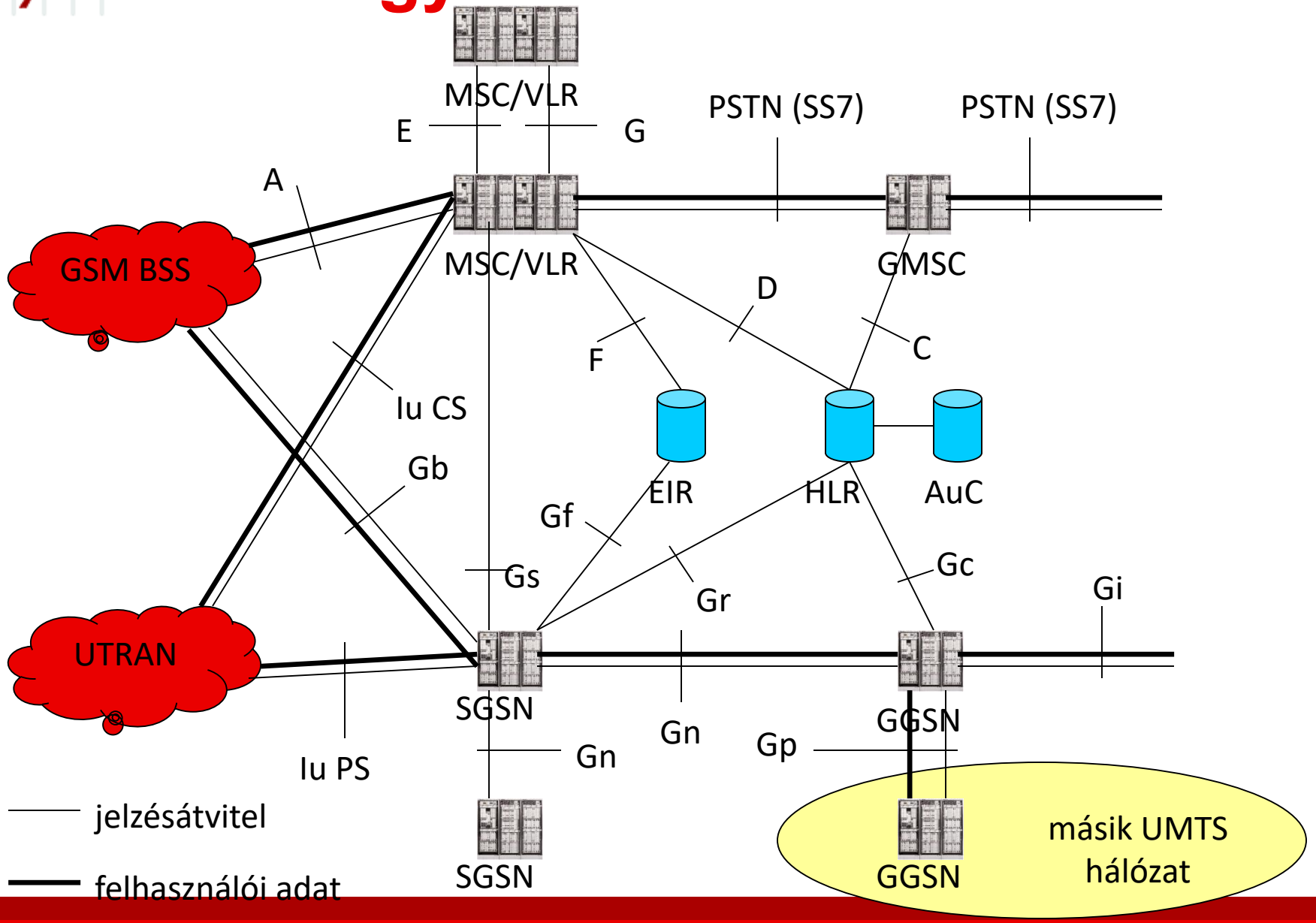
UTRAN átviteltechnika

- **fizikai réteg:**
  - tipikusan: SDH (STM 1 155.52 Mbit/s, STM 4 622.08 Mbit/s)
  - Synchronous Digital Hierarchy, digitális telefóniában elterjedt újabb, nagyobb sebességű, megbízhatóbb gerinchálózati szabvány
  - optikai-, vagy koaxiális (csak 155 Mbps) kábelen, mikrohullámú pont-pont kapcsolaton
  - SONET (Synchronous Optical NETwork), az SDH amerikai változata
  - optikai hordozón

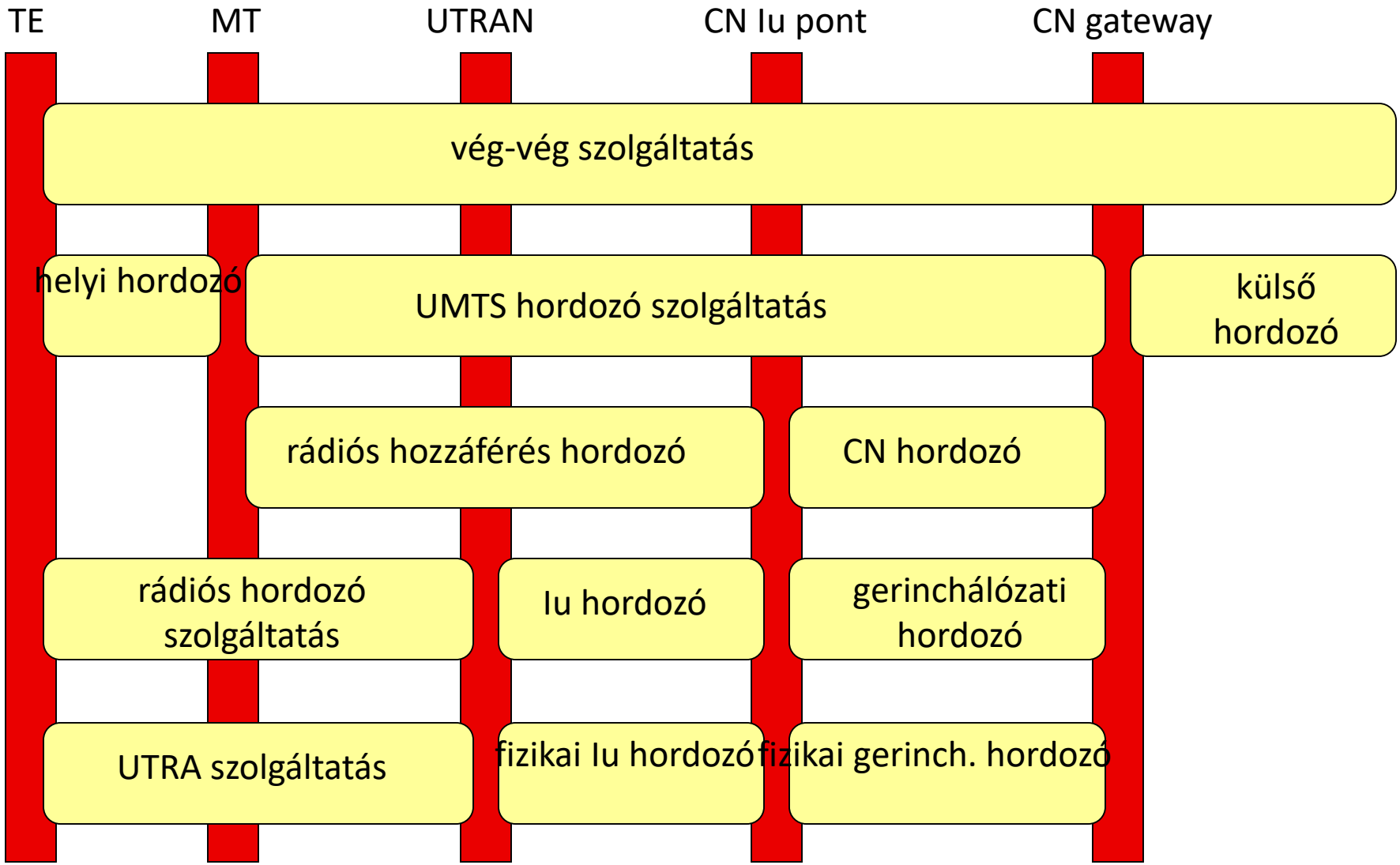
UTRAN átviteltechnika

- a PDH/SDH hordozó fölött az átviteli technológia **ATM (Asynchronous Transfer Mode)**
- külön előadásokon tárgyalva
- CS kapcsolatok esetén jelzésátvitelre: AAL 5 (összeköttetés mentes), felhasználói forgalom átvitelre: AAL 2
- PS átvitelnél: a jelzés és az információátvitelre egyaránt AAL 5
- PS tartomány felé, illetve jelzésátvitelre: UDP/IP az ATM fölött
- IP over ATM természetes mód

UMTS gyökérhálózat



Szolgáltatások és hordozók



Szolgáltatások és hordozók

- definiált QoS osztályok
- **párbeszédes osztály** (beszéd, videotelefon): késleltetés érzékeny, kevés adatvesztés tolerált
- **„áramló” (streaming) osztály** (netrádió, video on demand): késleltetés-ingadozásra érzékeny
- **interaktív osztály** (web böngészés, játék): késleltetés tolerancia, adatvesztést nem tolerál
- **háttér osztály** (email, fax, ftp): maradék erőforrásokon, nagy késleltetés, adatvesztést nem tolerál

Bearer independent core network

- Release 4 architektúra:
- (G)MSC is separated into two entities:
  1. (G)MSC server
     - call control, mobility-management, VLR (Visitor Location Register)
     - A vonalkapcsolt szolgáltatások központja
     - Jelzésprotokollok közötti konverziót végez
     - Gyakran MSS-nek rövidítik, vagy csak MSC
  2. Circuit Switched - Media Gateway, CS-MGW
     - Az adatfolyamok kapcsolása és továbbítása
     - A hozzáférési és a maghálózat közötti interfész
       - Médiakonverzió, kodekek közötti konverzió (e.g. UMTS voice – GSM voice)
       - Feldolgozza az adatokat

  A külső interfészek változatlanok (amennyire lehetséges)

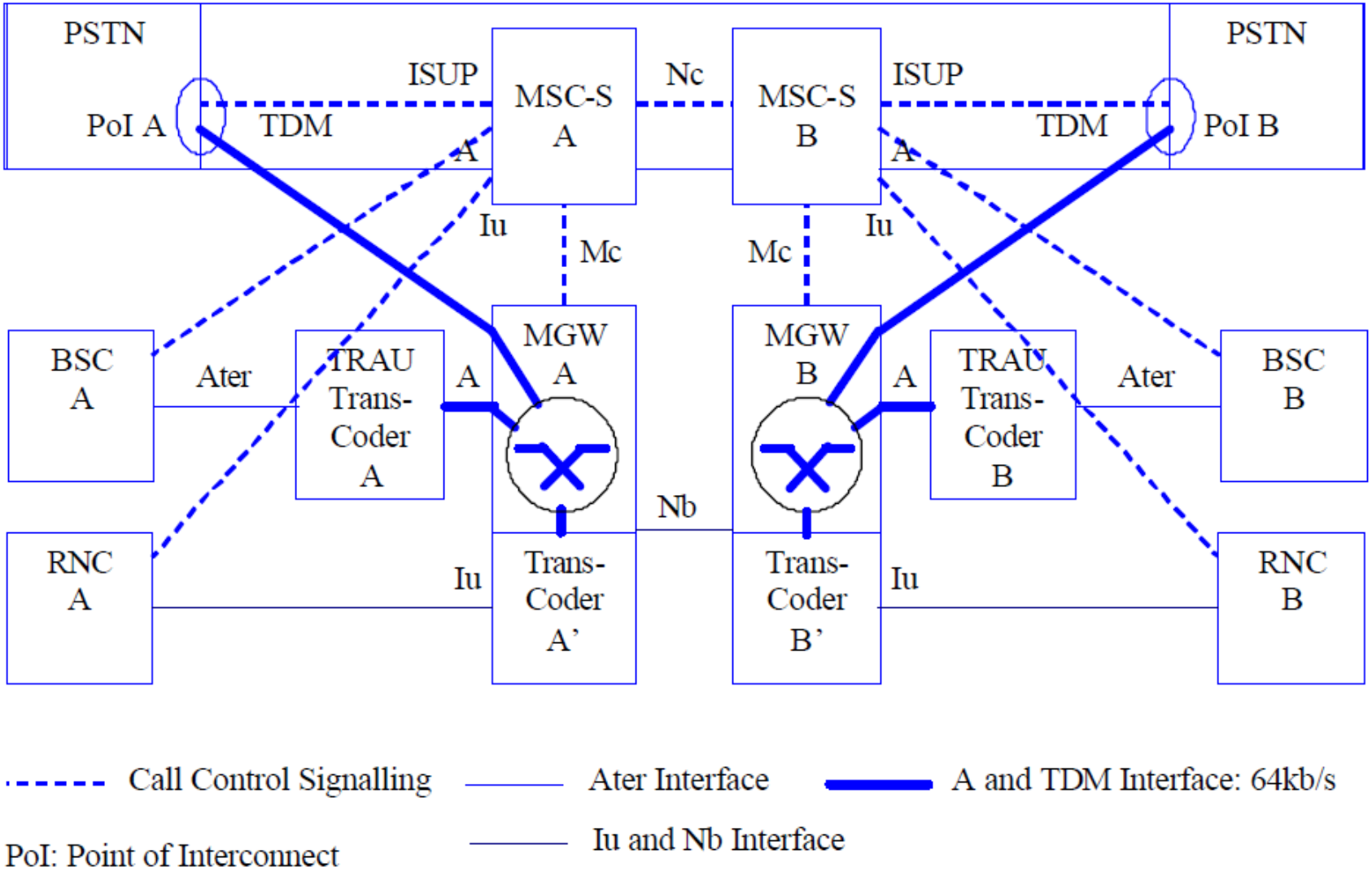
© Department of Networked Systems and Services

Bearer independent core network

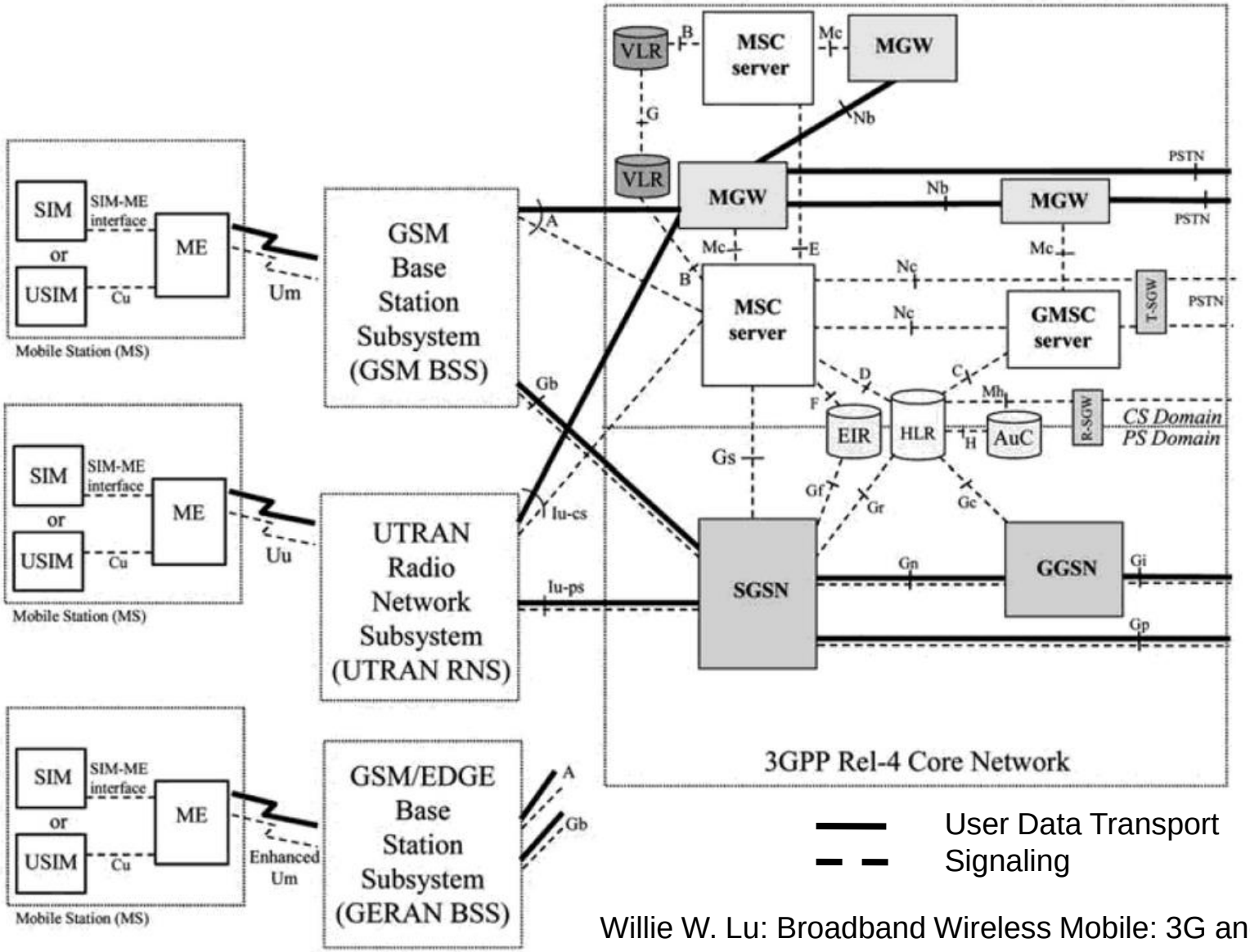
- Új interfészek:
  - Mc:
    - a (G)MSC és a CS-MGW között
    - Hívásvezérlés, átvitelvezérlés
    - H.248/IETF Megaco protokoll
  - Nc:
    - Hálózaok közötti hívásvezérlés
    - Nincs 3GPP által specifikált protokoll, gyártófüggő az implementáció
  - Nb:
    - Átvitelvezérlés
    - A hordozó (bearer) szolgáltatásokat nem szabványosította a 3GPP

© Department of Networked Systems and Services

Control and transport separation



3GPP Rel-4 architecture



Willie W. Lu: Broadband Wireless Mobile: 3G and Beyond

MŰEGYETEM 1782

BME

CDMA ALAPOK

2018. december 3.,
Budapest

Spektrum szórás történelmi áttekintése

- Első publikáció szórt spektrumú rendszerről az 1940-es évekből
- 1949 Shannon és R. Pierce CDMA alapötleteinek felírása
- Első alkalmazás az 1950 években
  - Katonai alkalmazás, alacsony C/I, Anti-jam tulajdonság
- 1956: RAKE vevő szabadalom
- CDMA alkalmazásának vizsgálata cellás rendszerben a 70-80-as években
- 1993: IS-95 szabvány
- 1997/1998 UMTS

Spektrum szórás

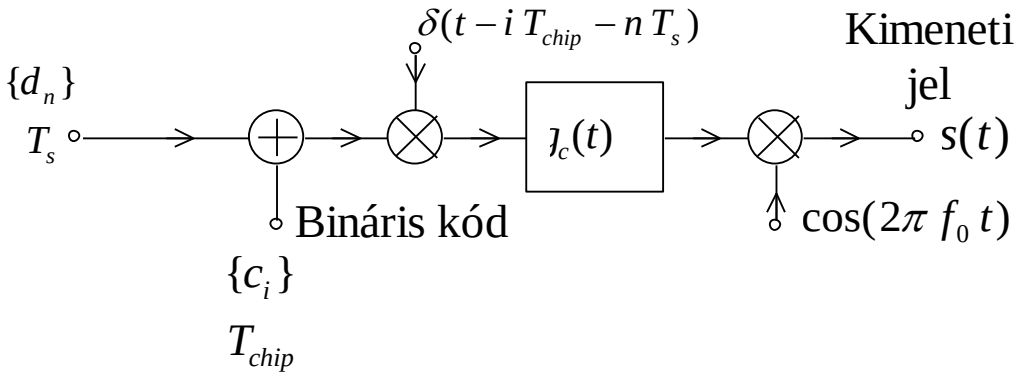
- Átivetel sávszélessége sokkal nagyobb, mint az információ sávszélessége
- Sávszélesség nem függ az információt vivő jeltől
- Jelfeldolgozási nyereség=átviteli sávszélesség/információ sávszélessége

- Minden felhasználó ugyanazt a frekvencia sávot használja ugyanazon időben
- A felhasználókat kódokkal választjuk szét
- Ezek a kódok egymásra ortogonálisak
- FDMA és TDMA rendszerekben adott sávszélességben egzaktul meghatározható a felhasználói csatornák száma. Szórt spektrumú esetben a felhasználók számának csupán lágy korlátozásáról beszélünk, ami azt jelenti, hogy mindaddig beléphetnek újabb felhasználók a csatornába amíg a belépésük okozta zajnövekedés a többi előfizető számára elviselhető.

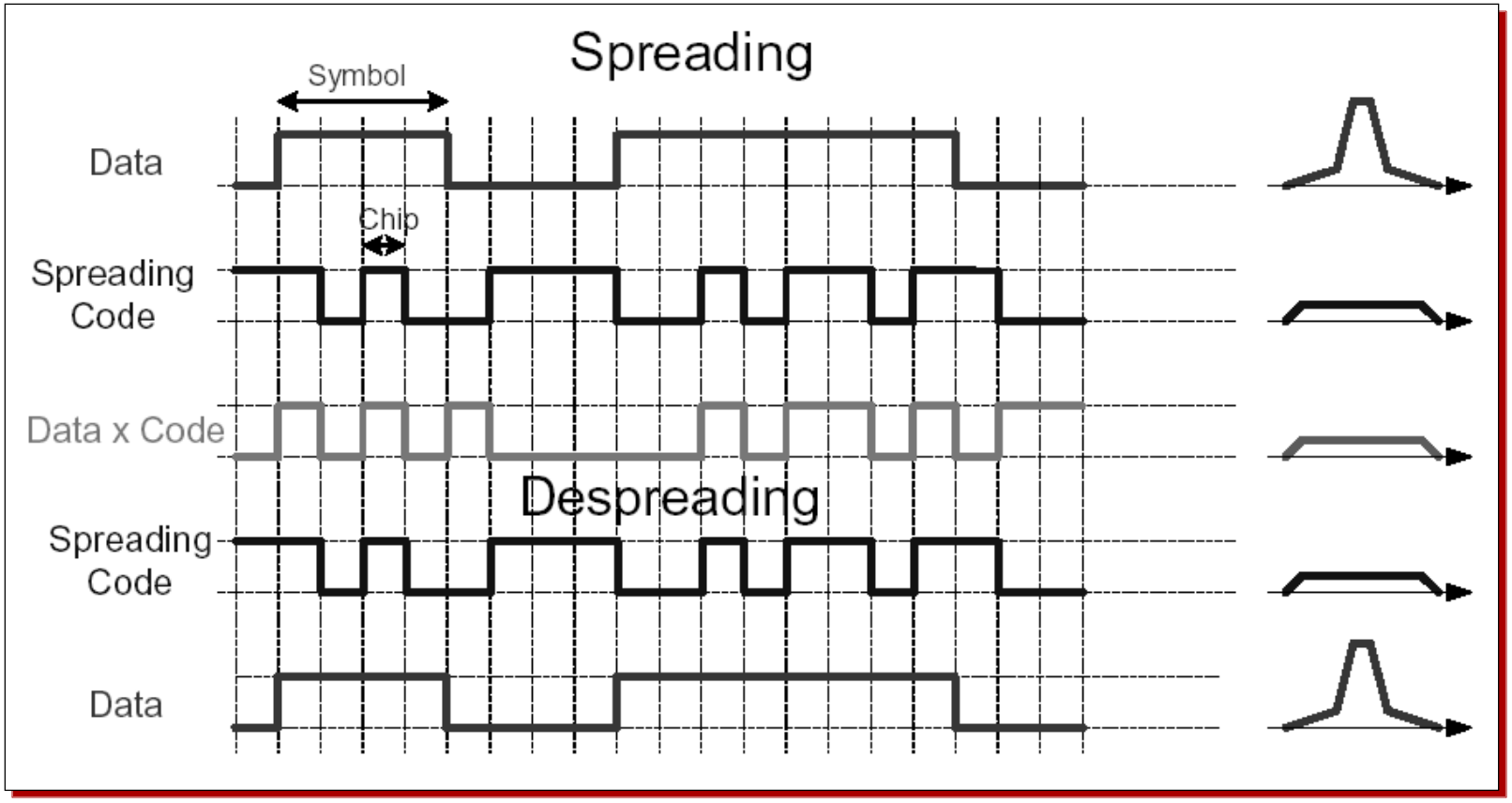
- Duplexing
  - Frekvencia duplexing FDD
    - UL/DL különböző frekvencián
  - Idő duplexing TDD
    - UL/DL egy frekvencián, különböző időrésben

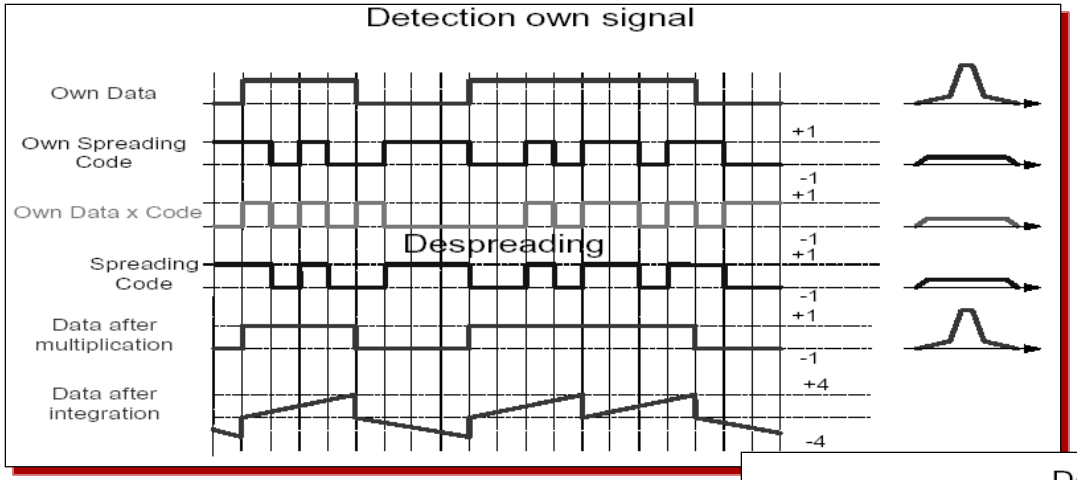
Spektrumszórási lehetőségek (folyt.)

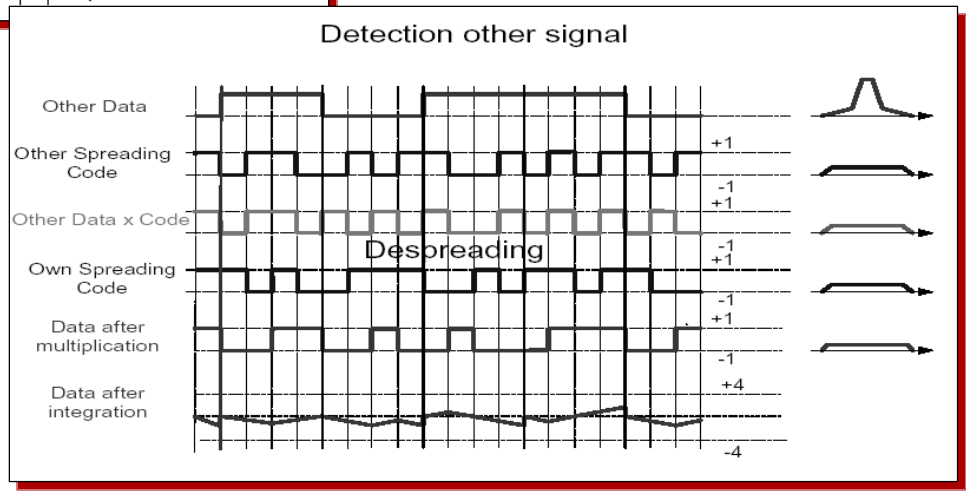
- Direkt szekvenciális kódosztás – ez van az UMTS-ben
  - Az információs bitet egy sokkal gyorsabb kóddal szorozzuk meg bitenként.



Direkt szekvenciális kódosztás

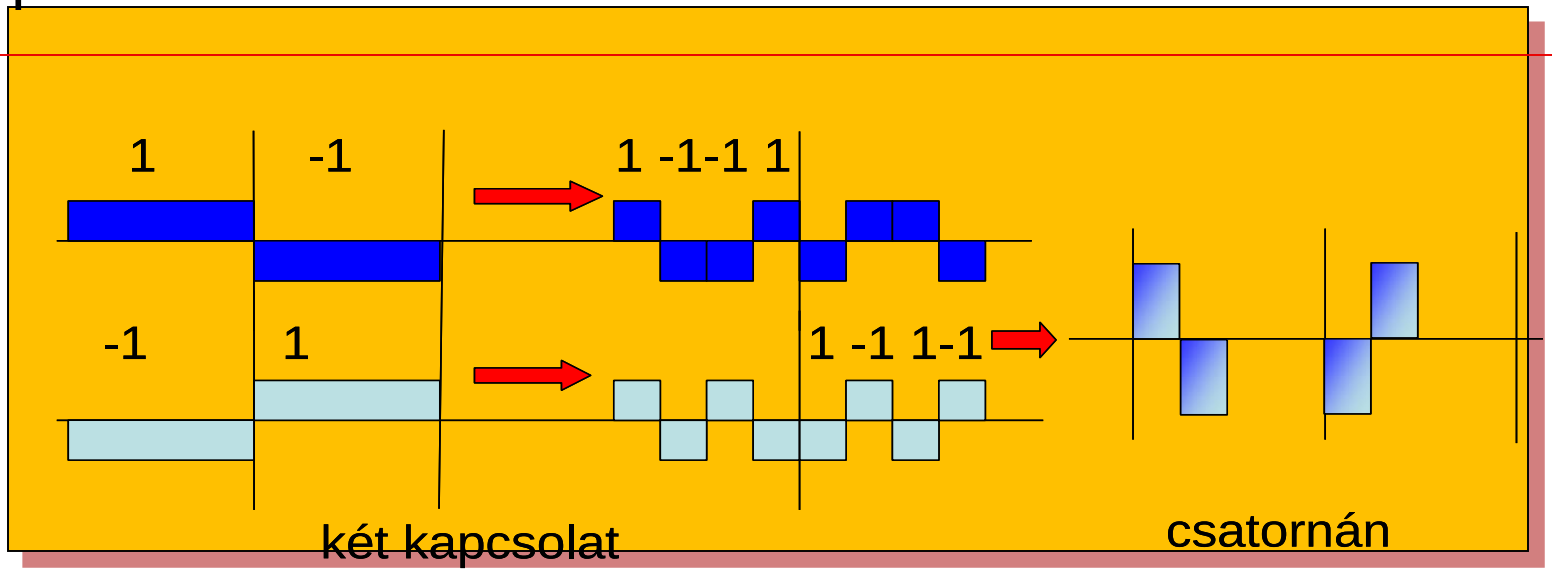



Detection own signal
Own Data
Own Spreading Code
Own Data x Code
Despreading
Spreading Code
Data after multiplication
Data after integration
+1
-1
+1
-1
+1
-1
+1
-1
+4
-4


Detection other signal
Other Data
Other Spreading Code
Other Data x Code
Despreading
Own Spreading Code
Data after multiplication
Data after integration
+1
-1
+1
-1
+1
-1
+1
-1
+4
-4

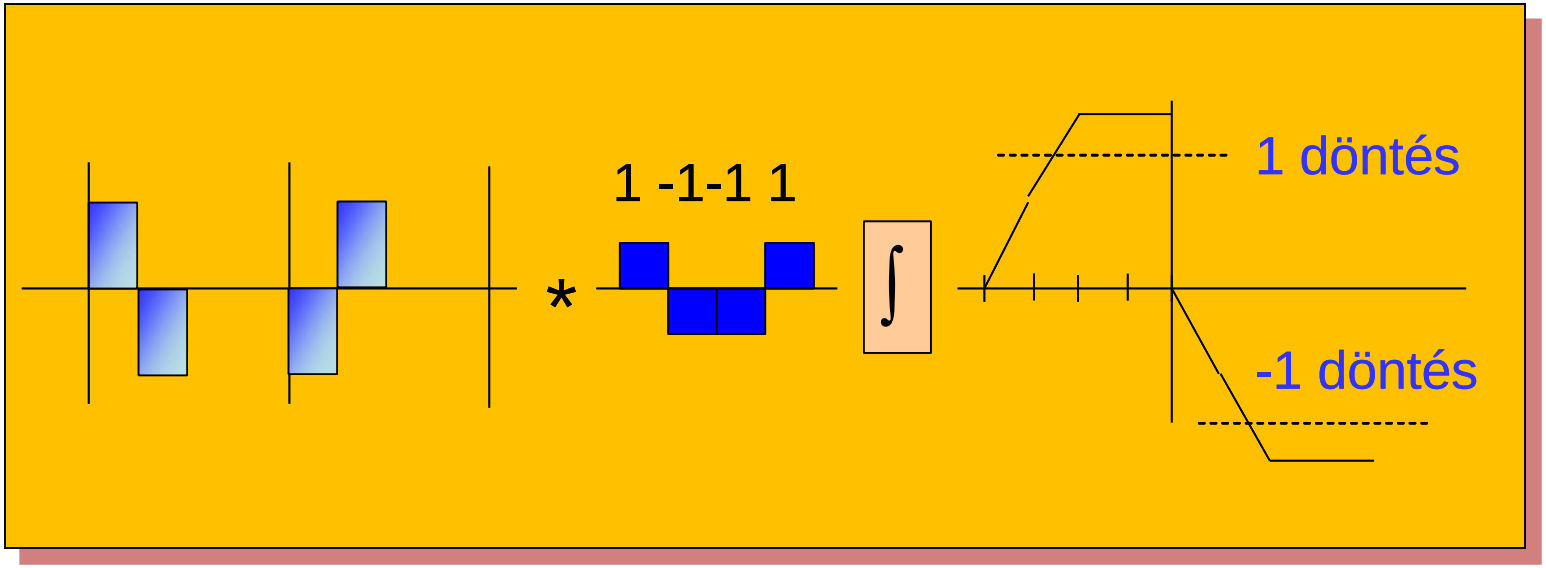
Kódosztásos többszörös hozzáférés

- azonos frekvenciasávot egy időben használnak a felhasználók
- bitek helyett kódsorozatot visz át egy felhasználó
- ezek egy átvitelhez egyediek, sok ilyen összegéből mindegyik különválasztható a vevő oldalon
- példa:



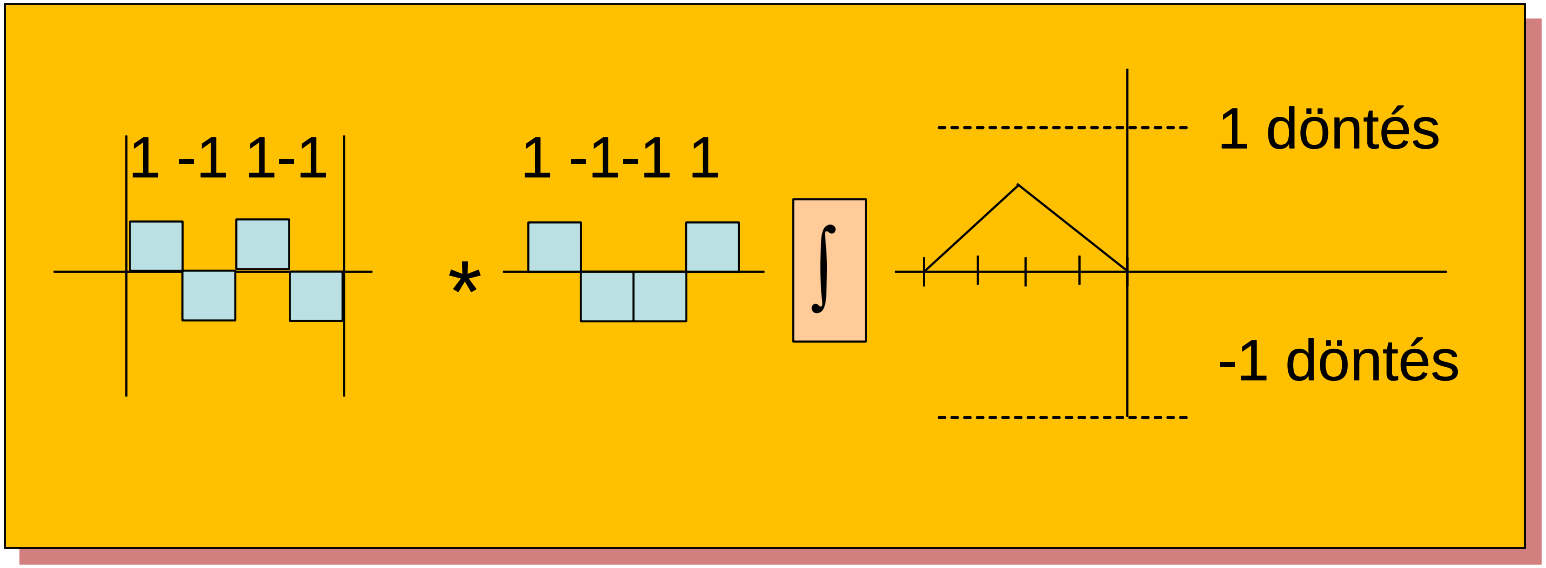
Kódosztásos többszörös hozzáférés

- 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 -> gyak. interferenciát jelent



WCDMA hozzáférés

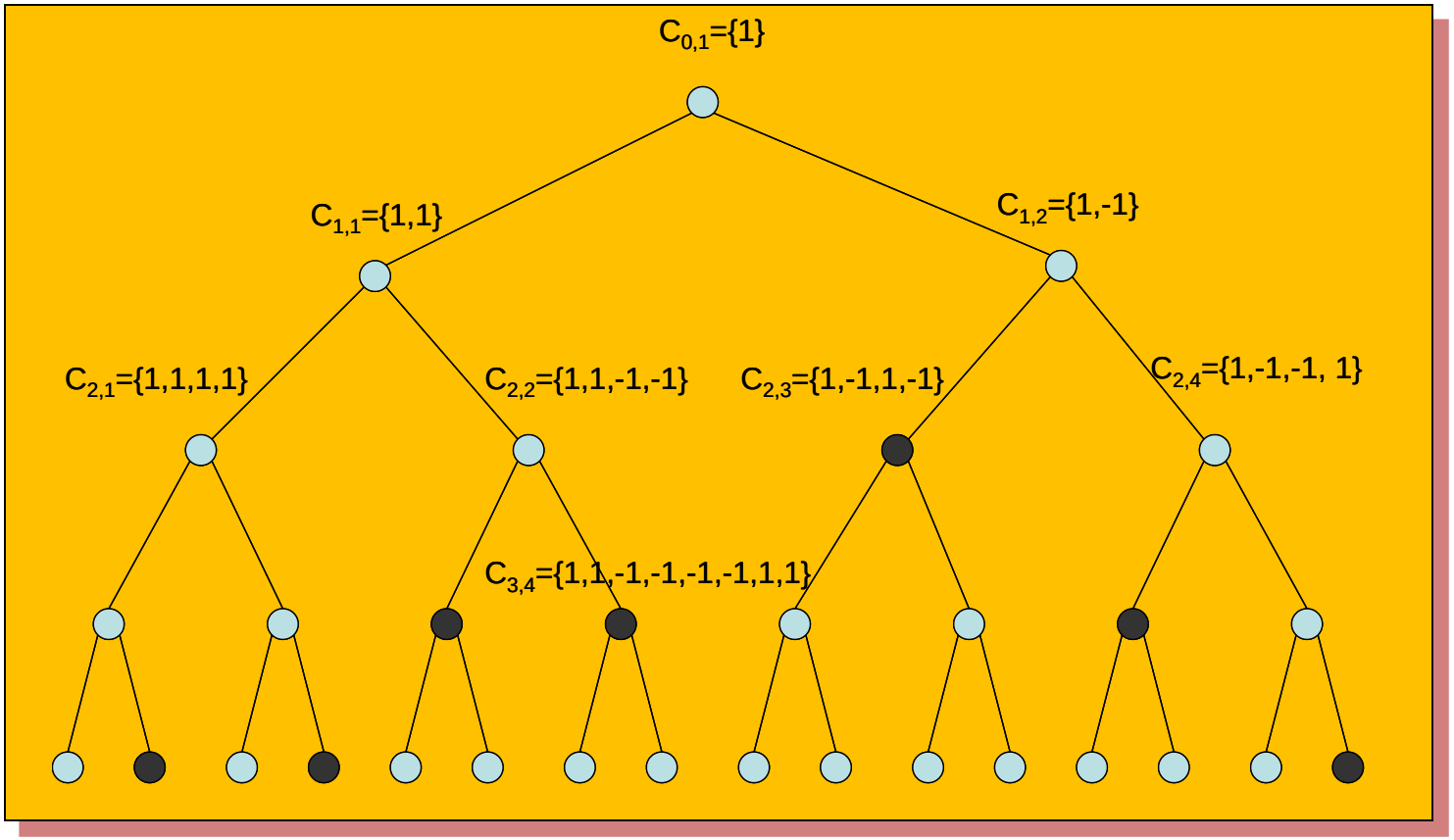
- a példában is szereplő kódok: ún. Walsh-Hadamard kódok, UMTS-ben hívják OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) kódoknak is
- kódképzés: 2^n hosszúságú kódok vannak

$$\mathbf{H}_0 = 1\,;\ \mathbf{H}_1 = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}\,;\ \mathbf{H}_n = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{n-1} & -\mathbf{H}_{n-1} \\ -\mathbf{H}_{n-1} & -\mathbf{H}_{n-1} \end{bmatrix}$$

- UMTS-ben maximum 512 hosszú (2^9) Walsh-Hadamard kód
- korábbi használat: IS95 rendszer downlink, 64 hosszú kódok
- amilyen hosszú a kód, annyi ortogonális kódszó -> ennyi kapcsolat max.
- UMTS-ben: ezek az ún. csatornaképző (channelization) kódok

WCDMA hozzáférés

- OVSF kód másik ábrázolása: kódfa



- mód van többféle átviteli sebesség megvalósítására, kiosztás!
- az egy szinten levő kódok ortogonálisak
- szülő/leszármazott kódok nem ortogonálisak

WCDMA hozzáférés

- amennyiben a 2^n n=2 ... 9 hosszú kódot pillanatnyilag M_n kapcsolat használja, mindig igaz hogy

$$\sum_{n=2}^{9} 2^{9-n} \cdot M_n \leq 512$$

- baj: egymástól akár egy-két chippel elcsúszott kódok nem ortogonálisak
- a kódok önmaguk elcsúsztatottjával sem ortogonálisak
- uplinken nem használható a többszörös hozzáférésre (chipidőnyi szinkronitás nem biztosítható)
- downlink: minden kapcsolat szinkronban megy, itt használják többszörös hozzáférésre
- uplinken: vezérlő és forgalmi csatornák szétválasztása egy felhasználónál, egy felhasználóhoz több fizikai csatorna rendelése

WCDMA hozzáférés

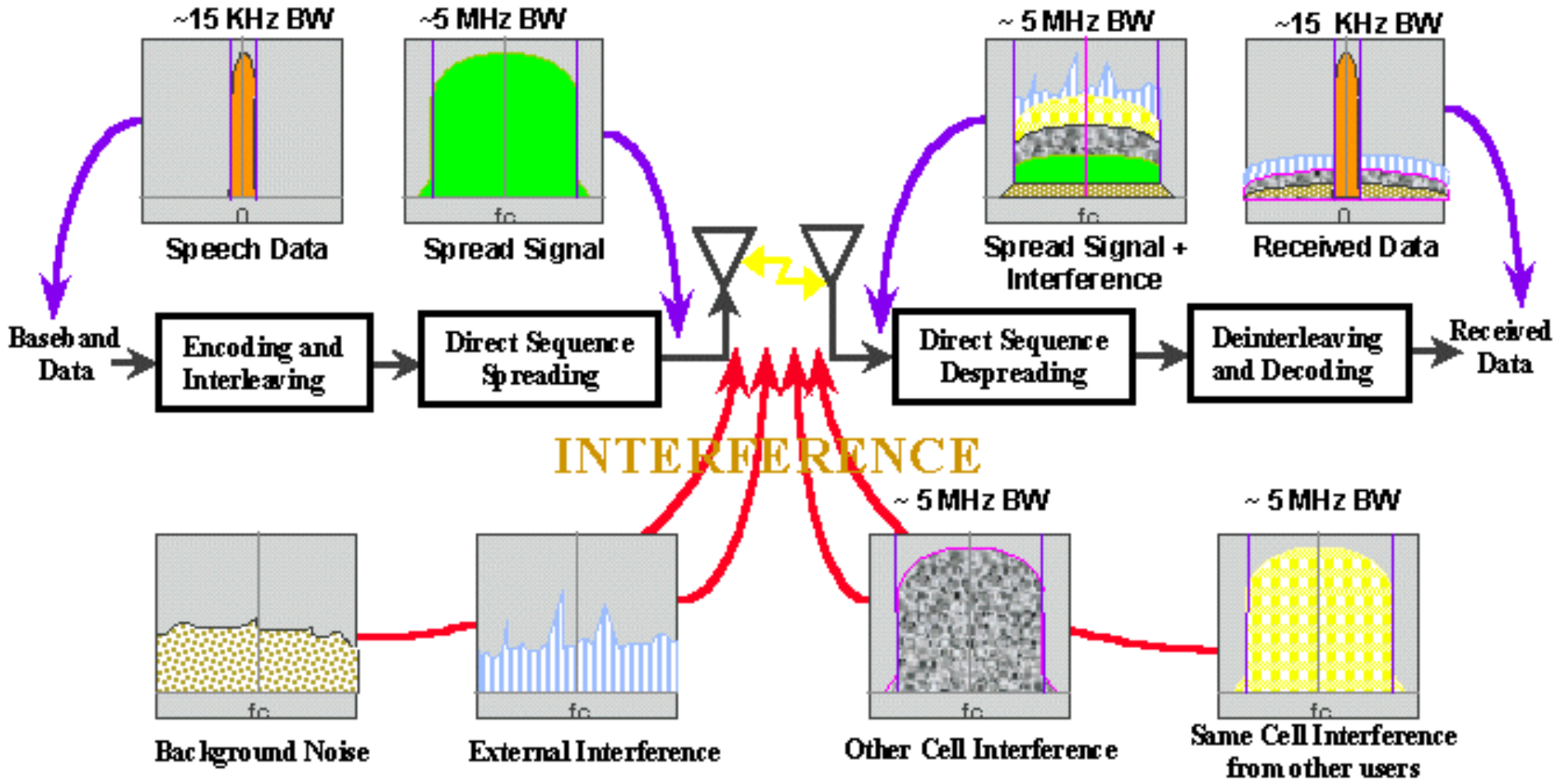
- scrambling kód:
  - hosszú álvéletlen kódok, ezek ún. kvázi-ortogonális kódok
  - skaláris szorzatuk nem nulla, de elég kicsi
- a W-H kódokkal szórt biteket még a scrambling kóddal is szorozni kell adási oldalon
  - UL irány: a scr kód az UE-t azonosítja; a W-H kód az UE különböző csatornáit
  - DL irány: a scr kód a cellát azonosítja, a W-H kód a cellán belüli downlink csatornákat (különböző userek különböző csatornáit)

WCDMA hozzáférés

- fizikai sebességek:
  - min kódhossz 4, max 512 (DL) vagy 256 (UL)
  - chipsebesség: fixen 3.84 Mcps

  - fizikai bitsebesség: 3.84/L*2 a DL-ben, ahol L a kódszó hossza
    - *2 azért, mert QPSK moduláció van
    - azaz max 1.92 Mbps, min 15 kbps DL irányban
      - ez a kontroll+adat együttes sebessége
    - UL irányban: nincs *2 szorzó, mert az adat és a kontroll I-Q multiplexált

Kódosztás működése frekvenciatartományban



MŰEGYETEM 1782

BME

RÁDIÓS INTERFÉSZ ALAPOK ÉS KÓDOSZTÁS AZ UMTS-BEN. JEL-ZAJ VISZONY EGYENLETEK ÉS KÖVETKEZMÉNYEI.

HSPA

2018. december 3.,
Budapest

WCDMA rendszer alapok

- Alap paraméterek
  - Direct sequence (DS) spreading technique
  - FDD/TDD duplexing lehetőség,10 msec keret
  - 3,840 Mchip/sec
  - Bázisállomások közötti szinkronizálás (FDD nem pontos, TDD pontos)
  - Változtatható szórási faktor
  - Forward error correcting (CRC, konvolúciós kódoló, turbó kódoló)
  - Nagy és változtatható adat sebesség

Rendszer jellemzők (folyt.)

- A fizikai csatornák főbb karakterisztikái
  - Fő struktúra
    - 10 msec frame, 15 slots (0,667 msec), power control time interval: teljesítményszabályozási parancs slotonként (1500x másodpercenként)
    - Kontroll infó és adat: időben multiplexált downlink és kód multiplexált uplink csatornában
    - QPSK moduláció 0,22-es roll-off paraméterrel
    - Kód típusok
      - Channelization code, variable spreading factor, orthogonal codes (SF=4–256(512))
      - Scrambling codes (length is 38400 chips; B-M, a segment of a Gold code of length of 10^{18}-1; M-B, short spreading code (short Kasami code (256 chips) repeated 150 times), or long spreading code (a segment of a Gold code of length 2^{18}-1)

Kapacitás

- Adatsebesség követelmények/elképzelések
  - Rural: 144 kbit/sec (384 kbit/sec), 500 km/h
  - Suburban: 384 kbit/sec (512 kbit/sec), 120 km/h
  - Indoor, local: 2 Mbit/sec, 10 km/ó
  - További lehetőségek az adat sebesség növelésére
- ***Megvalósított adatsebességek***
  - 12.2 kbps beszédátvitel
  - 64, 144 (128), 384 kbps adatátvitel (RAB, radio access bearer, rádiós hordozó): ez hasznos adatátviteli sebesség
  - gyakorlati megoldás: a buffer telítettségtől függően kapcsolgatja a rendszer az egyes sebességű beareereket az előfizetők között
  - a sebességekhez tartozó fizikai SF downlinkben: 64 (beszéd), 32, 16, 8
- Flexibilitás
  - Változtatható adat sebesség (BER, késleltetés)
  - Keverhető szolgáltatások
  - Áramkör és csomagkapcsolt mód

Kódok az UMTS-ben

- A W-H kódok csak akkor ortogonálisak, ha chip – szinkronban vannak
- néhány chip eltolással két W-H kódszó nem ortogonális
- chip-szinkronitás UL irányban nem biztosítható, a távolság-különbségek miatt
- DL esetben természetesen az összes kódszó egyszerre, párhuzamosan érkezik

Kódok az UMTS-ben

- ezért: különböző előfizetők csatornáinak elválasztására a W-H kód downlinkben alkalmas, UL-ben nem
- a DL –en tehát egy W-H kódfa az erőforrás egy cellában
- az egyes kódok egyes csatornákat jelölnek ki
  - lehetnek kontroll csatornák, vagy
  - különböző, vagy azonos előfizetők különböző adatcsatornáit
- a W-H kódokat UL rányban *egy előfizető* különböző csatornának (adat, többféle adat és kontroll) megkülönböztetésére használjuk

Kódok az UMTS-ben

- hogyan választjuk el az UL irányban az egyes előfizetők jeleit?
- hasonlóan: hogyan választjuk el DL irányban az egyes cellák jeleit?
- megoldás: zagyváló kódok
  - 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
- vannak még szinkronizációs kódok

Kódok az UMTS-ben

- Kódolás tehát:
  - kétszeres kódolás: bitek beszorozva először a W-H kód chipjeivel (csatornaképző kód)
    - DL irányban a usert/csatornát azonosító W-H kódszóval
    - UL irányban egy user valamelyik csatornáját azonosító kódszóval
  - aztán a scrambling kód chipjeivel
    - DL irányban a cellát azonosító scrambling kóddal
    - UL irányban az előfizetői készüléket azonosító scrambling kóddal

Használt kódok

	Synchronisation Codes	Channelisation Codes	Scrambling Codes, UL	Scrambling Codes, DL
Type	Gold Codes Primary Synchronization Codes (PSC) and Secondary Synchronization Codes (SSC)	Orthogonal Variable Spreading Factor (OVSF) codes sometimes called Walsh Codes	Complex-Valued Gold Code Segments (long) or Complex-Valued S(2) Codes (short) Pseudo Noise (PN) codes	Complex-Valued Gold Code Segments Pseudo Noise (PN) codes
Length	256 chips	4-512 chips	38400 chips / 256 chips	38400 chips
Duration	66.67 µs	1.04 µs - 133.34 µs = spreading factor	10 ms / 66.67 µs	10 ms 512 primary / 15 secondary for each primary code
Number of codes	1 primary code / 16 secondary codes	4 ... 256 UL, 4 ... 512 DL	16,777,216	
Spreading	No, does not change bandwidth	Yes, increases bandwidth	No, does not change bandwidth	No, does not change bandwidth
Usage	To enable terminals to locate and synchronise to the cells' main control channels	UL: to separate physical data and control data from same terminal DL: to separate connection to different terminals in a same cell	Separation of terminal	Separation of sectors

Downlink fizikai adatsebesség

Spreading factor	Channel symbol rate (kbps)	Channel bit rate (kbps)	DPDCH channel bit rate range (kbps)	Max. user data rate with ½ rate coding (approx.)
512	7.5	15	3-6	1-3 kbps
256	15	30	12-24	6-12 kbps
128	30	60	42-51	20-24 kbps
64	60	120	90	45 kbps
32	120	240	210	105 kbps
16	240	480	432	215 kbps
8	480	960	912	456 kbps
4	960	1920	1872	936 kbps
4, with 3 parallel codes	2880	5760	5616	2.3 Mbps

Uplink adat sebesség

3.84 Mcps/256=15 kbps

DPDCH SF	DPDCH channel bit rate (kbps)	Max. user data rate with ½ rate coding (approx.)
256	15	7.5 kbps
128	30	15 kbps
64	60	30 kbps
32	120	60 kbps
16	240	120 kbps
8	480	240 kbps
4	960	480 kbps
4, with 6 parallel codes	5740	2.3 Mbps

Jel-interferencia+zaj viszony

- ahhoz, hogy az *i*. user szolgáltatás működjön az *x,y* pozícióban a jel-zaj viszonynak meg kell haladnia egy küszöböt
- $SINR_i \geq \varepsilon_i$
- Uplink SINR

$$SINR_i(x,y) = SF \frac{P_i^{\text{vett}}(x,y)}{\sum_{j \in \text{többi user a cellaban}} P_j^{\text{vett}}(x,y) + \sum_{k \in \text{többi user a szomszedban}} P_k^{\text{vett}}(x,y) + P_{zaj}}$$

- P^{vett} számítása P^{adott} szorozva csatorna csillapításával (korábbi előadáson pl.)

Jel-interferencia+zaj viszony

- Downlink SINR

$$SINR_i(x,y) = SF\,\frac{P_i^{\text{vett}}(x,y)}{(1-\rho)P_0^{\text{vett}}(x,y) + \sum_{k \in szomszedos\ cellak} P_k^{\text{vett}}(x,y) + P_{zaj}}$$

- P_0^{vett} : a kiszolgáló cella összes vehető teljesítménye, P_i^{vett} : az i. user kapcsolatra jutó teljesítmény vehető szintje, P_k^{vett} a *k*. interferáló cella összes teljesítménye véve
- itt is $P_x^{\text{vett}} = P^{\text{adott}}(x) \cdot PL$, ahol PL a csatorna erősítése adott távolságra, lineáris skálán

Következmények

- egy sáv alkalmazható szomszédos cellákban -> szomszéd jele zavar, de elviselhető
- folyamatosan minden előfizető adóteljesítményét szabályozni kell, minden kapcsolatra az SNR követelményt kell tartani
- ha valaki a teljesítményét felemeli: minden más előfizető SNR-jében a nevezőt növeli, ezért nekik is kellene növelni a teljesítményüket
- minden forgalom mindenkinek zajt jelent
- lélegző cellák: néhány forgalom bekapcsol, a BS-től távoli előfizetők már max teljesítmény adásával sem tudják az SNR szintet elérni a BS-nél: gyakorlatilag kikerülnek a lefedettségből!
- a lefedettség is függ a forgalomtól!
- lefedettség/forgalom/kapacitás összefügg
- puha kapacitás: a kiszolgálható forgalomnak nincs éles korlátja, egy újabb forgalom csak interferencia növekedést jelent
- + soft handover: másik cella/előfizető jele -> másik scr kóddal szorzás
  - digitális jelfeldolgozással megvalósítható
  - mivel egy sávban, azonos vivőn: nem kell külön rádiós egység, modulátor, szűrők, stb.

HSDPA

High Speed Downlink Packet Access

- cél: nagy adatsebesség, alacsonyabb késleltetés
- nagy sebesség: fizikai csatornák (kódok) összevonása egy csatornává
- fix, SF=16 kódok (QPSK-val 480kbps per kód) használata, ebből max 15 db lesz a HSDPA csatorna
- 16 QAM használata jó csatorna esetén
- új, 2ms hosszú keret (3 slot)
- elvi max sebesség tehát: 15x480x2 = 14400 kbps a fizikai réteg legalján jó csatorna esetén, valójában CQ=30 és legjobb készülék esetén RLC réteg kb. 12.8 Mbps-t lát
- osztott csatorna (←→ UMTS dedikált csatorna): a HSDPA csatornát minden HS előfizető látja és használja, ütemezéssel megosztva az előfizetők között
- Kódmultiplexálás lehetősége: egy keretben több előfizető is kaphat csomagot egyszerre, különböző W-H kódokkal elválasztva
- ütemezés (erőforrás menedzsment) a NodeB feladata (UMTS-ben az RNC csinálja)
- először a közcélú hálózatokban intelligencia a bázisállomásban
- link adaptácó: a készülék folyamatosan méri a pilot csatornán a csatorna mnőségét -> egy CQI 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 BS (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 NodeB-ből (←→ UMTS újraküldés az RNC és mobil között)
  - chase combining: a hibás és az újraküldött keret összekombinálásával nagyobb eséllyel jó a vétel
  - incremental redundancy: újraküldés erősebb hibavédelemmel
- ütemezők: pl. Round Robin (ez igazságos időben), max CQI (ez maximálja a cella összes átvitelét), Proportional Fair (ez igazságos throughputban, de „bünteti” a jó csatornájú, jó képességű készülékeket a rosszak miatt), vagy saját, gyártóspecifikus titkos ütemező
- 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

HSUPA

High Speed Uplink Packet Access

- marad a dedikált kapcsolat és a teljesítményszabályozás
- kódok összevonása: 2xSF4 (2x960 kbps) és 2xSF2 (2x1920 kbps) kóddal fizikai réteg legalján elvi max 5760 kbps sebesség
- 5 ms vagy 2 ms keretformátum
- HARQ és ütemezés a NodeB-ben
- készülék kategóriák képességek szerint

HSPA+

High Speed Packet Access = HSDPA+HSUPA

- további adatsebesség növelés a cél
- 64 QAM DL és 16 QAM UL irányban → adatsebesség másfélszerese DL, kétszerese UL irányban, de csak rendkívül kedvező csatorna esetén
  - sőt, HSDPA esetén kissé rosszabb csatornán (CQI=25..26) a 64 QAM képes készülék kisebb átviteli sebességű transzport formátumot használhat mint a „hagyományos”
- MIMO: maximum 2 adatstream párhuzamos átvitele, ez is dupláz, de csak erős többutas terjedés, független csatornák esetén (sűrű beépítettség, beltér) → ez nem kedvez az SNR-nek, így nehéz a 64 QAM
- 64 QAM + MIMO
- dual cell, vagy dual carrier: egyszerre két vivőfrekvencián az átvitel, ez újabb kb. duplázás, de kétszeres hardver kell
- dual cell + 64 QAM
- dual cell + MIMO + 64 QAM
- elvi leglegmax a fizikai réteg legalján: 2x2x1.5x14.4 Mbps

MŰEGYETEM 1782

BME

LTE: A RENDSZER FELÉPÍTÉSE, MŰKÖDÉSE ÉS A RÁDIÓS INTERFÉSZ.

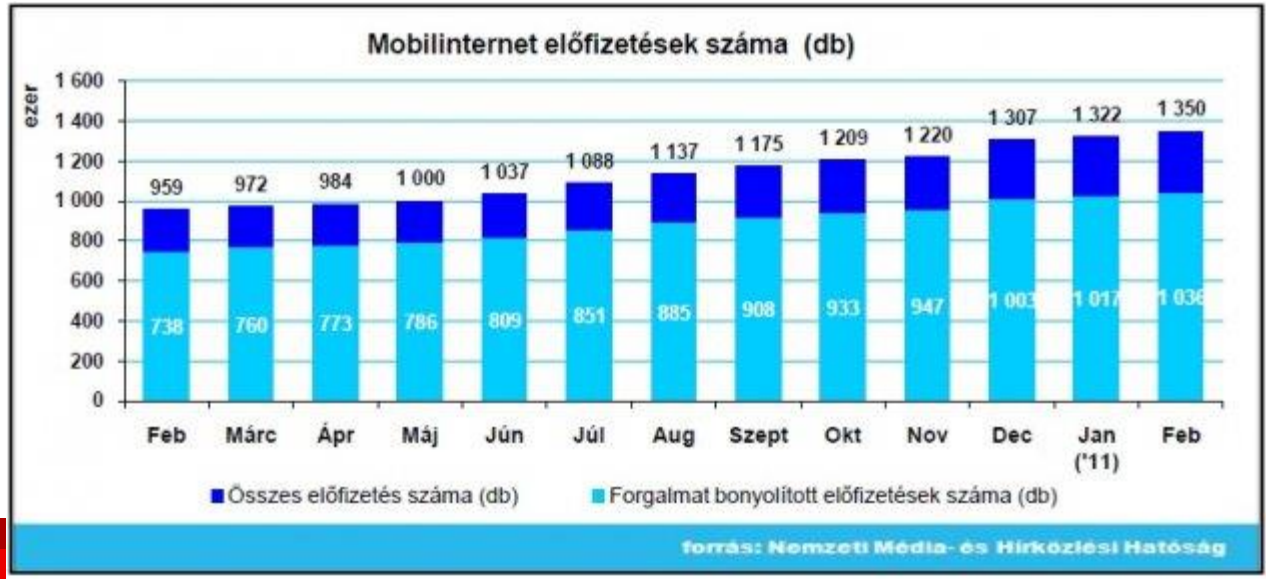
2018. december 3.,
Budapest

LTE rádiós interfész

Miért kell fejleszteni?

Sikeresnek bizonyult a „mobil Internet”

- hazánkban minden harmadik szélessávú Internet előfizetés
  - kb. 800000
- világszerte dinamikus növekedés
- átviteli sebességek: néhány Mbps elérhető
  - csatornától, userek számától, stb. függ
- az Internet technológia minden lehetőségének kiszolgálására még nem alkalmas (pl. szélessávú video, IPTV)



LTE rádiós interfész

Miért kell fejleszteni?

Szükséges a továbbfejlesztés

- a további forgalomnövekedés kiszolgálására nagyobb kapacitás és nyújtott átviteli sebesség szükséges
  - interferencia korlátolt mivolta és gyakorlati okok miatt (pl. nem megszerezhető site-ok) a 3G hálózat „sűrítése” nem megoldás
- az alkalmazások egyre több adatforgalmat generálnak
- a gyártók újabb eszközöket szeretnének eladni
- a szolgáltatók több előfizetőt szeretnének kiszolgálni

Lehetséges utak

- növelni a 3G alapú rendszer spektrális hatékonyságát
- új rendszer kidolgozása, ami nagyobb sávszélességet támogat (Shannon)

LTE rádiós interfész

Fejlesztési lehetőségek

Fejlesztési lehetőségek a 3GPP Release 6 szabványok után

- Az eredeti, WCDMA alapú rádiós technológia továbbfejlesztései (Release 9)
  - **magasabb rendű moduláció** bevezetése (64 QAM downlink-en, 16 QAM uplink-en)
  - **MIMO** (Multiple Input Multile Output) antenna és jelfeldolgozási technológia bevezetése
  - **két vivőfrekvenciás működés** bevezetése (két szomszédos sáv egyidejű használata)
  - következő Release: MIMO és kétvivős működés együtt
- Új rádiós interfész kifejlesztése („zöldmezős”)
  - A jelenlegi és közeljövő CMOS eszközökben megvalósítható lehető leghatékonyabb rádiós technológia fejlesztése
  - Az „all IP” hálózati képhez lehet optimalizálni

LTE rádiós interfész

Fejlesztési lehetőségek

Az eredeti, WCDMA alapú rádiós technológia továbbfejlesztései

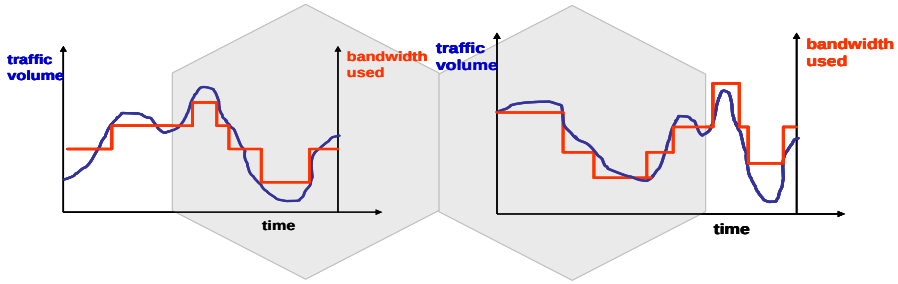
- A kapacitás és előfizetői átviteli sebesség növelése történhet lépésekben, egymásra épülve (előnyök)
  - az új képességek az előfizetői és hálózati berendezésekben lépésről lépésre történhetnek, lokálisan is megvalósíthatók
  - a fejlesztés firmware frissítést igényel, új hardvert nem (pl. 64 QAM)
  - a fejlesztések egymásra épülnek (pl. két rádiós fokozat a MIMO-hoz -> kétvivős működés)
  - visszafelé kompatibilis rendszer, az újabb készülékek teljesítőképességét viszont ki lehet használni
- A ‘90-es évek örökségét hordozza (hátrányok)
  - merev spektrumkiosztás és használat, 5 MHz-es sávokkal
  - áramkörkapcsolt hordozó szolgáltatások támogatása

LTE rádiós interfész

Fejlesztési lehetőségek

Új rádiós technológia kifejlesztése (előnyök)

- Korszerű rádióhálózat fejlesztésének lehetősége
- rugalmas frekvenciahasználat (különböző méretű és a 3G-nél szélesebb sávok használata)
- csomagkapcsolt forgalomhoz optimalizált
- a frekvenciasávon belül az erőforrás hatékony használata
- a pillanatnyi előfizetői forgalmi igényekhez való gyors és könnyű adaptáció
- a frekvencia-szelektív fadinghez való adaptáció lehetősége



LTE rádiós interfész

Fejlesztési lehetőségek

- Az új technológia nehézségekkel jár (hátrányok)
  - teljes hálózatra kiterjedő beruházás szükséges, vagy kétmódú előfizetői eszközökre
  - nincs visszafelé kompatibilitás
  - van már egy vetélytárs technológia (mobil Wimax)
  - -> eddig az LTE sikeresnek tűnik (nagy szolgáltatók elkötelezték magukat, teszthálózatok épültek)

LTE rádiós interfész

Általános követelmények

LTE rádiós követelmények

- legalább 100 Mbps DL és 50 Mbps UL átviteli csúcssebesség, 20 MHz használatával
  - nagyobb sávszélességeken arányosan nagyobb
- FDD és TDD támogatása
- kis csomagkésleltetés a rádiós hozzáférési hálózatban (max. 5 ms alacsony terhelésnél)
  - kis méretű IP csomag késleltetése egy irányban, ha csak 1 terminál kommunikál
- 5 MHz-en egyszerre legalább 200 előfizető kiszolgálása egy cellában
  - nagyobb sávszélességen legalább 400
  - nem aktív mobilok számára nincs explicit követelmény, de tipikusan jóval nagyobb

LTE rádiós interfész

Általános követelmények

LTE rádiós követelmények

- többféle sávszélesség támogatása (jelenleg: 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz)
- az alaphoz (HSDPA) képest követelt relatív javulás
  - átlagos előfizetői átviteli sebesség (per MHz): downlink 3-4x, uplink 2-3x
  - átviteli sebesség a cella szélén: uplink, downlink 2-3x
  - spektrális hatékonyság: downlink 3-4x, uplink 2-3x
- mobilitás: csúcs teljesítőképesség 15 km/h sebességű felhasználóknál
  - 120 km/h ig nagy teljesítőképesség
  - 350 km/h-ig kapcsolat fennmaradása (handover esetén is)
- lefedettség: 5 km-ig a teljesítőképesség javulást tartani kell
  - 30 km-ig némi romlás megengedett, de mobilitásban nem

LTE rádiós interfész

Általános követelmények

LTE rádiós követelmények

- valós idejű szolgáltatások csomagkapcsolt megoldása: legalább olyan minőségű mint az UMTS áramkörkapcsolt szolgáltatásai
- multicast/broadcast támogatása (MBMS)
  - dedikált műsorszóró sávú működés
  - kevert műsorszóró/egyéb forgalmat vivő sáv
  - cella szélén legalább 1 bps/Hz spektrális hatékonyság
- együttélés korábbi hálózatokkal
  - LTE-GSM, LTE-3G handover 300 ms, illetve 500 ms valós idejű és nem valós idejű szolgáltatások esetén

LTE rádiós interfész

Általános jellemzők

LTE alapvető rádiós jellemzők

- OFDM alapú rádiós interfész
  - downlink: **OFDMA** (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)
  - uplink: **S**ingle **C**arrier-**FDMA** más néven DFTS-OFDM (Discrete Fourier Transform Spread OFDM) --- ez is OFDM alapú
  - lehetővé teszi a rugalmas sávhasználatot
  - frekvencia szelektív fading hatása elleni védekezés
  - a megvalósítása egyszerű IFFT-vel
- számos sávszélességet és átviteli sávot támogat
- FDD és TDD támogatás
- adaptív moduláció és csatornakódolás
- gyors második rétegbeli újraküldés (HARQ)
- többantennás támogatás (max. 4x4)

MŰEGYETEM 1782

BME

AZ LTE HÁLÓZAT: SAE

2018. december 3.,
Budapest

SAE

Követelmények

- Többféle hozzáférési hálózat támogatása
  - 3GPP és nem 3 GPP
  - fix hozzáférési rész
- Roaming
- Mobilitás a különféle hozzáférési hálózatok közt
- Any service IP alapon támogatása
- Interworking: PS és CS szolgáltatások közt

- Szigorú QoS biztosítása
  - észrevehetetlen handover CS és PS beszédhálózat közt
  - nincs adatvesztés fix és vezetéknélküli hozzáférés közti handovernél
  - QoS : visszafelé kompatibilis 3GPP egyébbel (UMTS)

  Fejlett biztonsági megoldások
  - támadások ellen
  - privacy különböző szintjeinek támogatása (kommunikáció, helyzet, azonosság), ugyanakkor törvényes lehallgatás lehetősége
  - védve: tartalom, küldő, fogadó kiléte és helyzete

- Fejlett számlázási megoldások:
  - pl. QoS alapján
  - flat rate, adatmennyiség, stb.
  - rádióhálózati adatok felhasználása a számlázásnál

SAE

Architektúra

- Rendszer architektúra:
  - a működéshez szükséges funkciók logikai csomópontokhoz rendelve
  - interfészek a csomópontok közt
  - két fő blokk: maghálózat (Core Network, CN): **EPC, Evolved Packet Core**, rádiós hozzáférési hálózat (Radio Access network, RAN): **E-UTRAN**
- Funkciók:
  - rádióhálózat menedzsment
  - számlázás
  - hitelesítés
  - vég-vég kapcsolat menedzsment
  - gerinchálózati funkciók és rádióhálózati funkciók
  - mobilitás menedzsment

- RAN funkciók LTE
  - kódolás, interleaving, moduláció, más fizikai réteg funkciók;
  - ARQ, fejléc tömörítés, ütemezés, stb. egyéb második réteg funkciók;
  - rádiós erőforrás menedzsment, handover stb., más rádiós erőforrás kontroll funkciók
  - biztonsági funkciók: titkosítás, adat integritás megőrzése

SAE

Maghálózat funkciók

- Core funkciók LTE SAE
  - számlázás
  - előfizető menedzsment
  - mobilitás menedzsment (a mobil helyzetének követése)
  - hordozó szolgáltatások kezelése, szolgáltatási minőség kezelése
  - előfizetők adatfolyamain végrehajtandó eljárások (policy) kezelése
  - kapcsolódás külső hálózatokhoz
    - más szolgáltató LTE SAE
    - más hálózat (GSM, 3G, Internet)

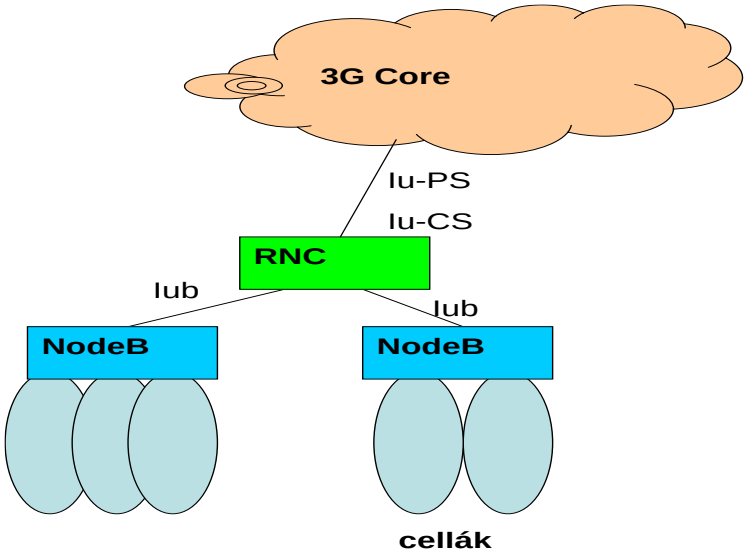
E-UTRAN felépítése

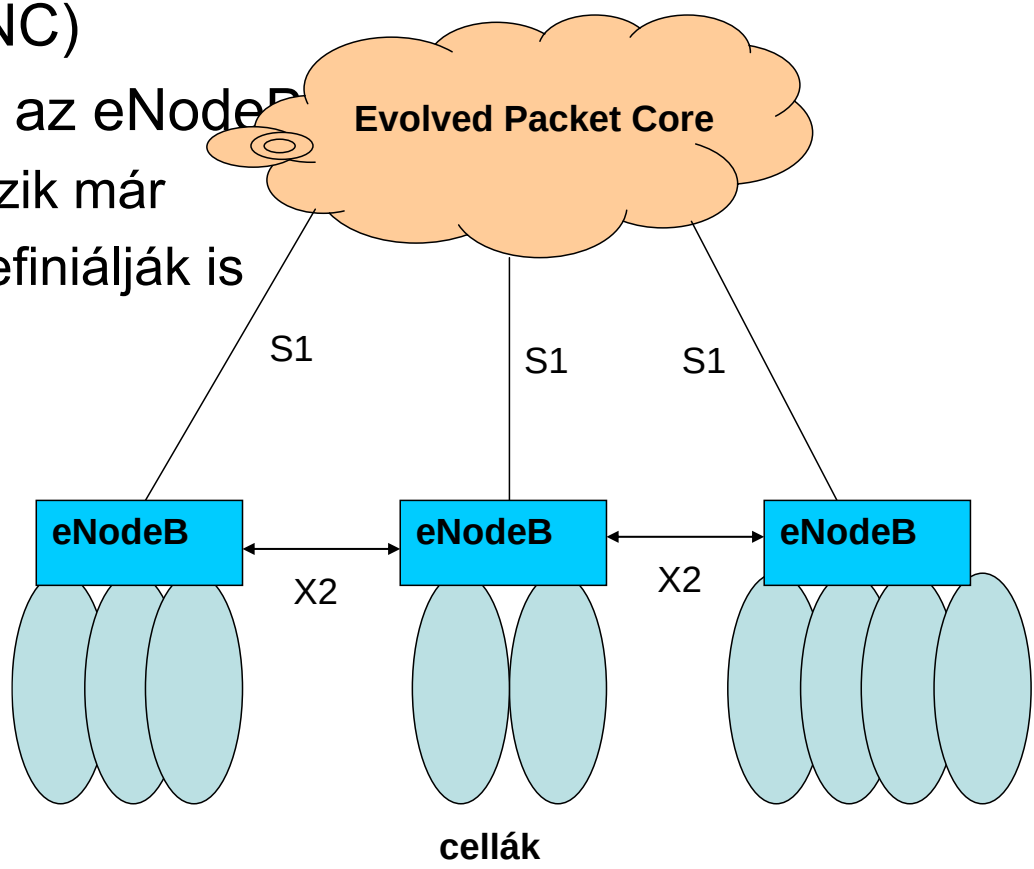
- E-UTRAN
  - handover: adattovábbításon alapul
  - állomások közti kommunikáció szükséges: rádiós erőforrás menedzsment, interferencia kontroll
  - erre szolgál az X2 interfész
  - felépítése hasonló a 3G Iur-hez (RNC-k közti interfész)
  - topológiai vonatkozások

SAE

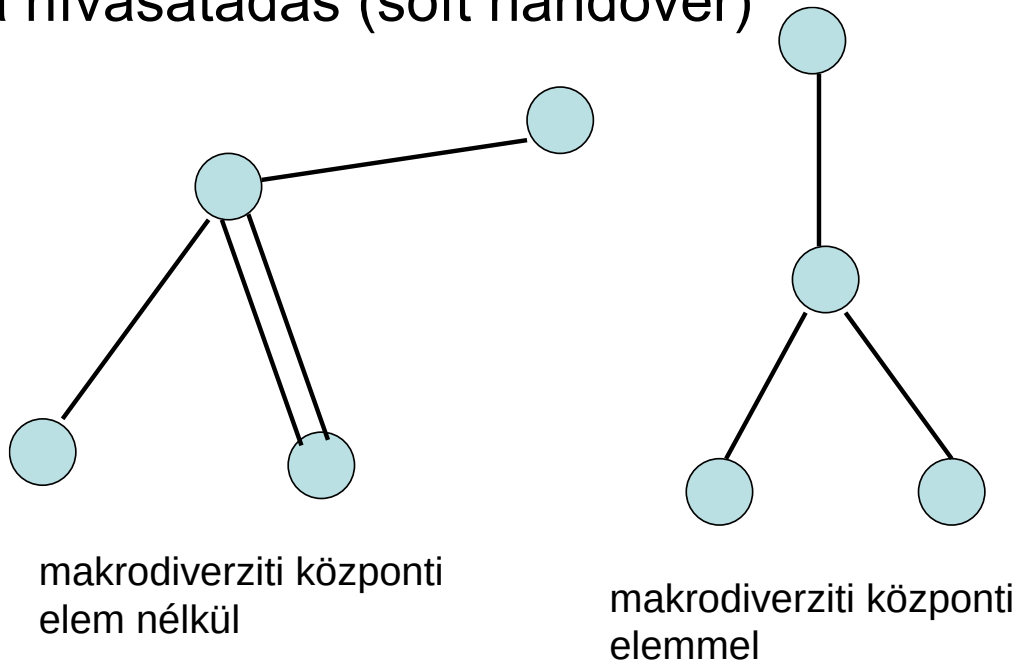
E-UTRAN felépítése

- E-UTRAN architektúra változások
  - nincs központi elem (RNC)
  - a korábbi RNC funkciók az eNodeB
    - ilyen 3G NodeB is létezik már
    - HSPA+ szabványok definiálják is
  - biztonsági problémák





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



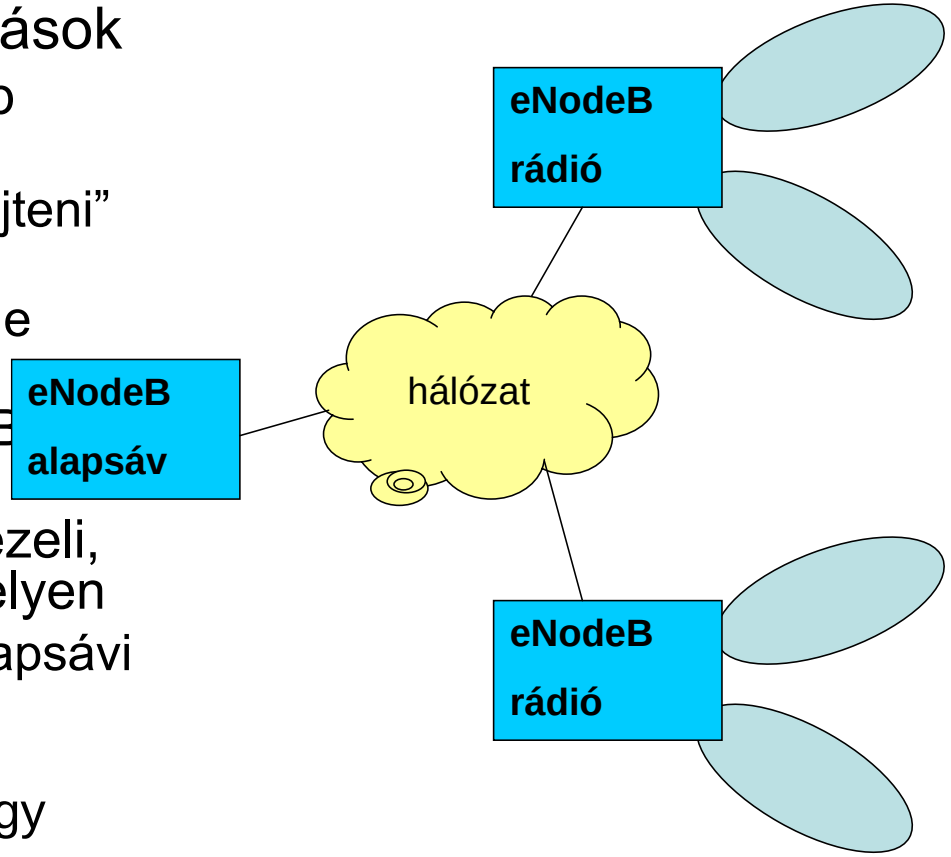
makrodiverziti központi elem nélkül

makrodiverziti központi elemmel

SAE

E-UTRAN felépítése

- E-UTRAN architektúra változások
  - mobilitás kezelése nehezebb központi elem nélkül:
    - cellaváltást lehetőleg „elrejteni” a maghálózat elől
    - ugyanakkor adatvesztés ne történjen
    - csomagtovábbítás eNodeB között
  - eNodeB: cellák csoportját kezeli, nem szükségszerűen egy helyen
    - gyártók: megosztják az alapsávi és a rádiós funkciókat az állomásokban
    - elvileg: cella (antenna) nagy távolságban is lehet a bázisállomástól
    - időzítési problémák

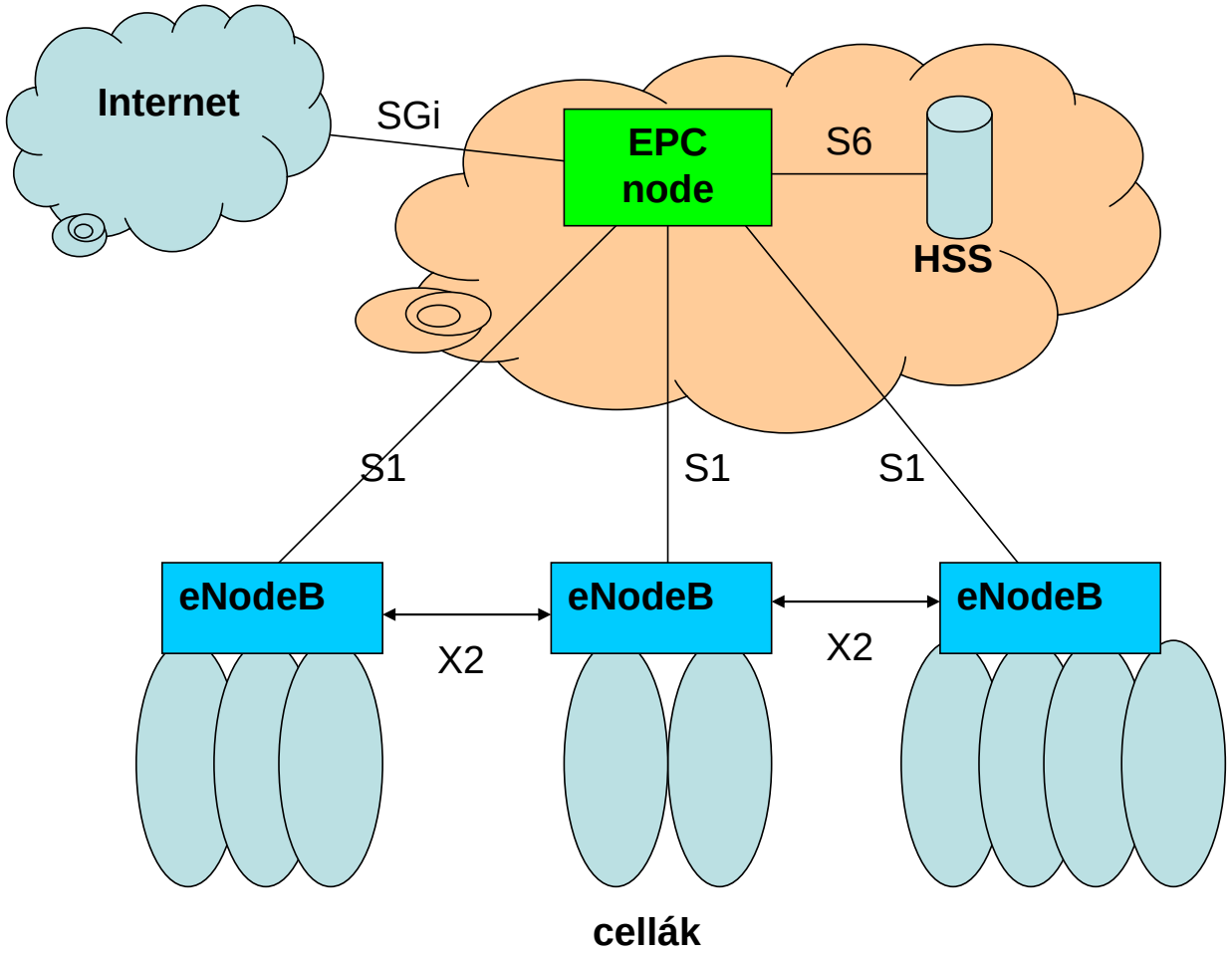


SAE

EPC

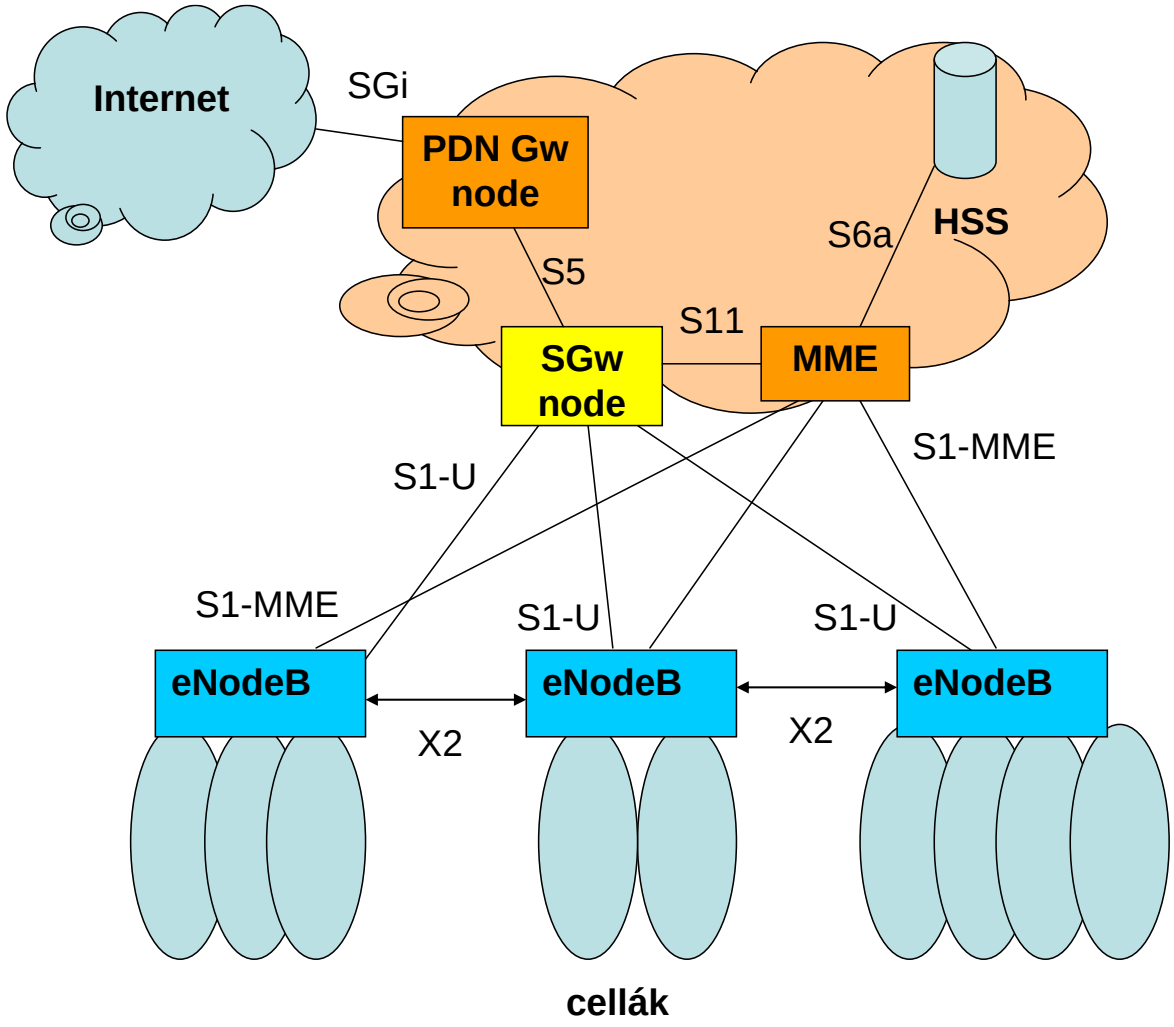
- Fejlett csomagkapcsolt maghálózat
- EPC Evolved packet Core
  - funkcionális architektúra: egy csomópont végez minden maghálózati funkciót
  - akár fizikailag is lehetne egy berendezés
  - gyakorlati szempontból nem megvalósítható
  - + HSS (=HLR+AuC) megmaradt a korábbi hálózatokból
  - EPC-HSS között S6
  - EPC-Internet között SGi

- SAE architektúra



SAE
EPC architektúra

- Funkcionális entitások az EPC-ben
- **Mobilitás kezelő** egység**:** Mobility Management Entity (MME)
- **Kiszolgáló átjáró** egység: Serving Gateway
- **Adathálózati átjáró** egység: Packet Data Network (PDN) Gateway



SAE
EPC architektúra

- Funkcionális entitások az EPC-ben
- **Mobility Management Entity** (MME)
  - a a vezérlő sík megvalósítója az EPC-ben
  - mobilitás támogatás
  - előfizető helyének lekérdezése
  - paging megfelelő helyre küldése
  - útvonalválasztás az előfizető pozíciójának megfelelően
  - minden egyéb vezérlési feladat: hordozó felépítése, autentikáció, titkosítási kulcsok cseréje, stb.
  - kontroll sík az S1 interfészen: S1-MME
    - nagyon hasonló a 3G hálózat Iu-PS vezérlési síkjához

SAE
EPC architektúra

- Funkcionális entitások az EPC-ben
- **Serving Gateway** (SGw)
  - az előfizetői adatok továbbítója az EPC és az eNodeB között
  - az S1-U nagyban hasonlít a 3G Iu-PS –hez
  - S1-U működése
    - felhasználó IP csomagjának továbbítása „alagúton” az eNodeB felé/től
    - alagút: új IP protokoll fejléc, új címmel, az előfizető helyének megfelelően
    - a cím meghatározza hova menjen a csomag

SAE
EPC architektúra

- Funkcionális entitások az EPC-ben
- **PDN Gateway** (PDN Gw)
  - az interfész a külső csomagkapcsolt hálózatok felé
    - Internet, más szolgáltató hálózata, nem LTE hálózat
  - az LTE mobilitás gyökere
    - egy kapcsolat alatt a külső hálózati forgalom egy PDN Gw berendezésen keresztül megy, akárhová mozog is az előfizető
    - azonban az SGw továbbítja az IP csomagokat a kiszolgáló eNodeB felé
    - a maghálózatban látszik a mobilitás
    - minden cellaváltásnál új „alagútban” megy a forgalom az eNodeB felé/től
    - ez nagy különbség a 3G-hez képest, ahol az RNC elfedte a lokális mobilitást (RNC-ig kellett az IP alagutat vezetni)

SAE Architektúra

- Még egy entitás
- PCRF Policy and Charging Rules Function
  - az előfizetői kapcsolatokat érintő szabályok és eljárások
  - a számlázási szabályok

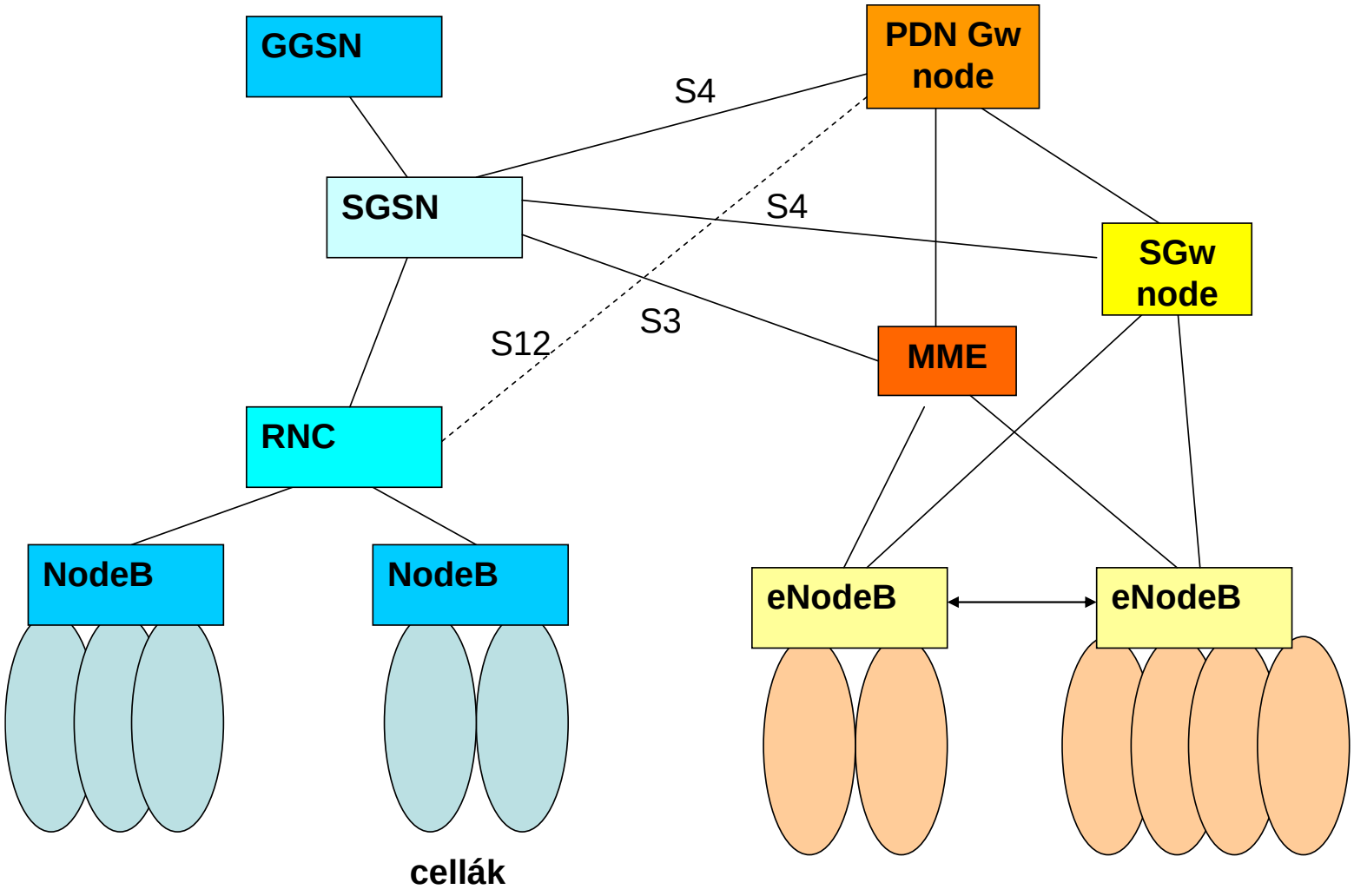
- Rugalmasság
- S1 flex
  - egy eNodeB csatlakozhat több S1 interfészen több Sgw-hez is
  - robusztusság, rugalmasság
  - hálózati infrastruktúra megosztása (közös eNodeB, saját EPC)

SAE
LTE-3G együttműködés

- Követelmény
- Hálózatok közti handover 3G és LTE között
  - előfizető nem tudja milyen hálózatban, milyen készülékkel van
  - lokális LTE indulás
  - kétmódú készülékek kellenek

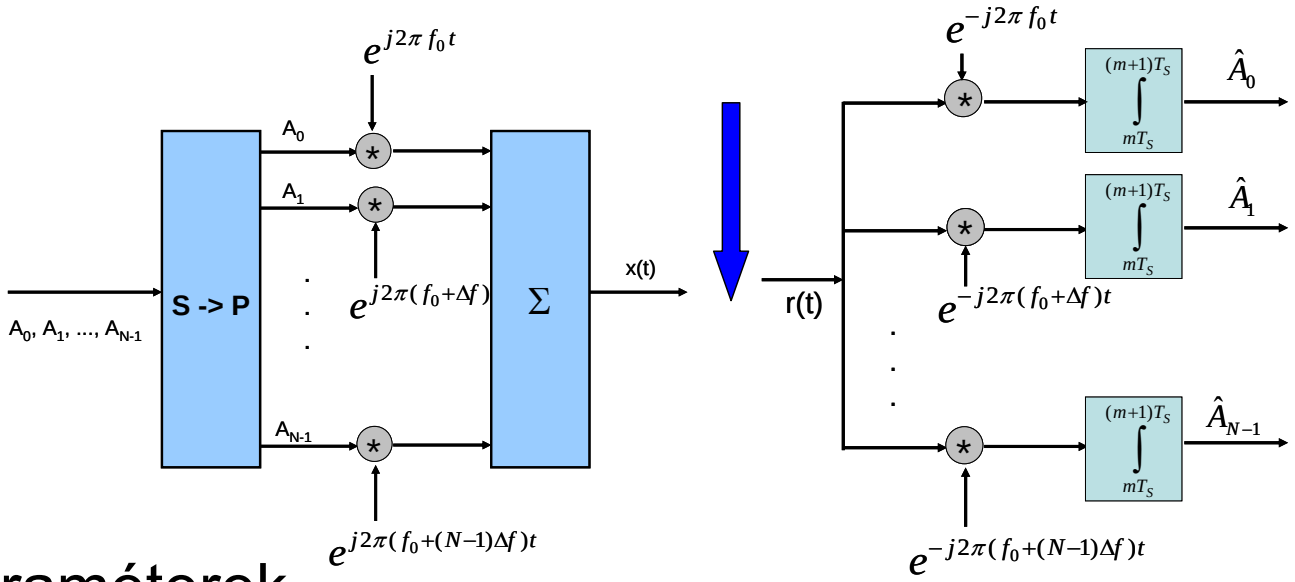
  Megoldás
  - az SGSN „bekötése” az EPC-be
  - a PDN Gw viselkedik GGSN-ként
  - vagy: S12 interfész a PDN Gw és az RNC között
    - GGSN nem szerepel az átvitelben

SAE
LTE-3G együttműködés



LTE rádiós interfész

OFDM alapú átvitel

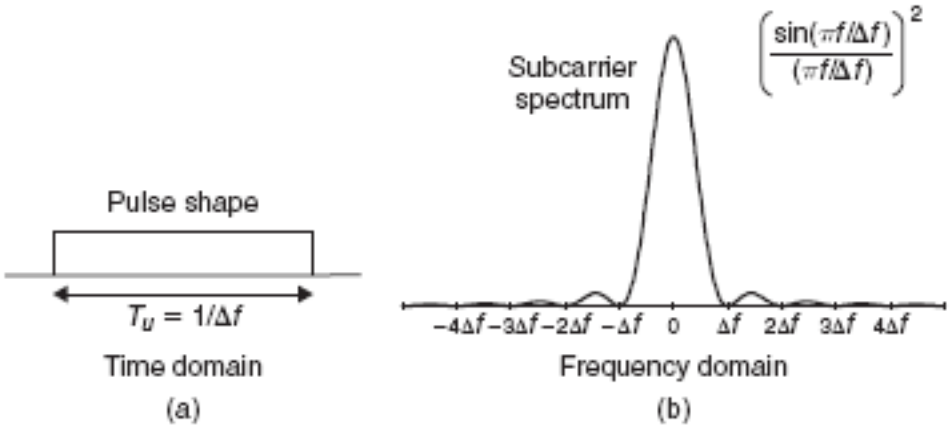


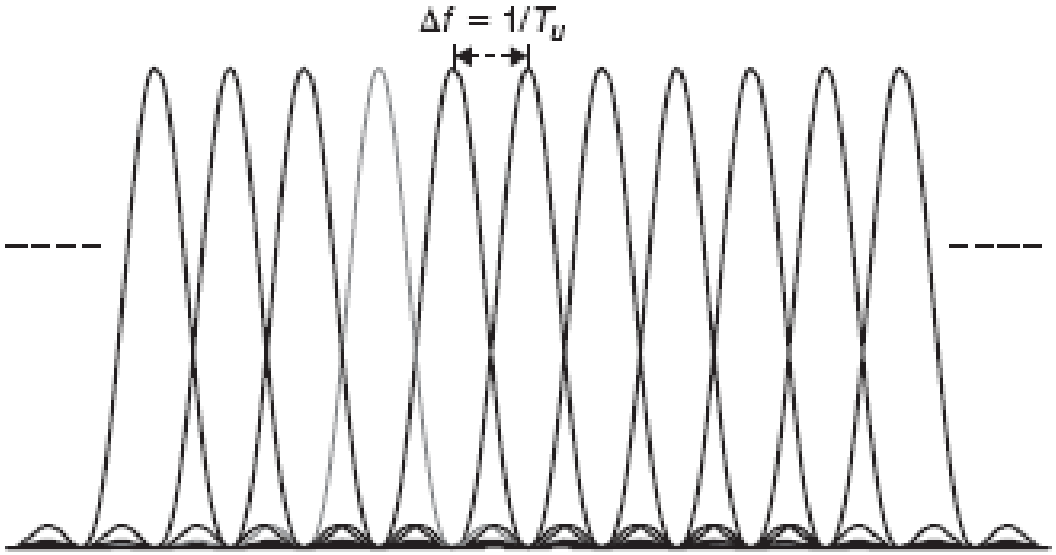
OFDM paraméterek

- segédvivők távolsága 15 kHz (Δf)
- ennek megfelelően a szimbólumidő 66.67 μs
- ciklikus prefix (~védőidő): 5.2 μs az időrés első szimbóluma előtt, 4.7 μs a többi szimbólum előtt (normál prefix), vagy 16.7 μs (bővített prefix)
- Δf = 7.5 kHz is definiált, multicast hálózatokhoz (műsorszórás az LTE hálózaton)

Új rádiós interfész

- OFDM

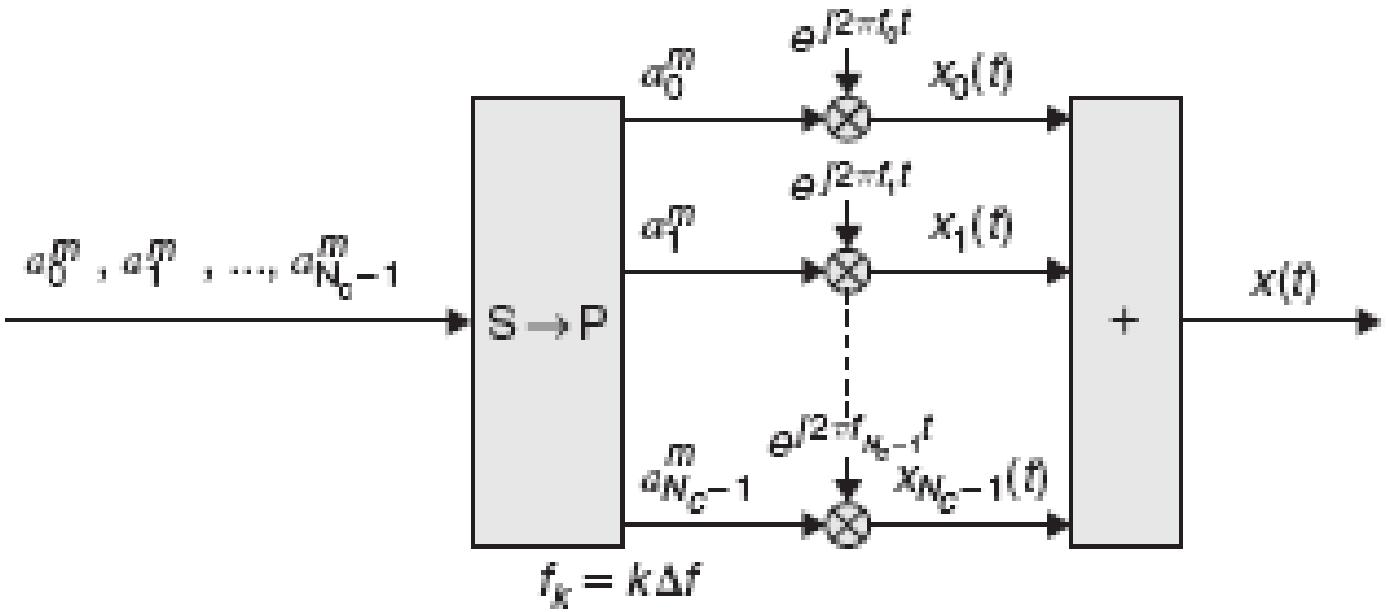


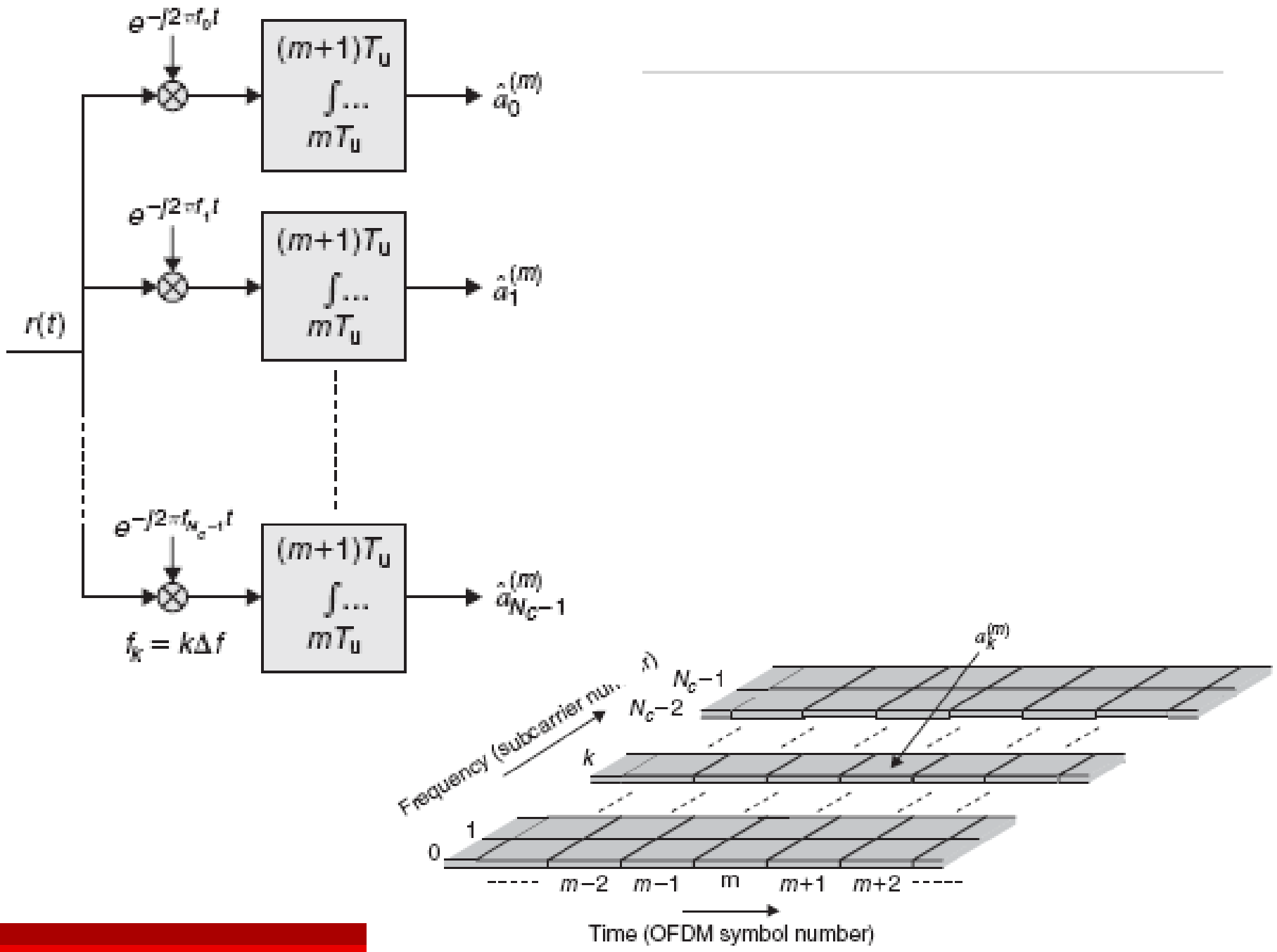


OFDM

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} x_k(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} a_k^{(m)} e^{j2\pi k \Delta f t}$$

$$\int_{mT_u}^{(m+1)T_u} x_{k_1}(t) x_{k_2}^*(t)\, dt = \int_{mT_u}^{(m+1)T_u} a_{k_1} a_{k_2}^* e^{j2\pi k_1 \Delta f t} e^{-j2\pi k_2 \Delta f t}\, dt = 0 \quad \text{for } k_1 \neq k_2 \tag{4.2}$$




$e^{-j2\pi f_0 t}$
$(m+1)T_u$
$\int_{mT_u} \ldots$
$\hat{a}_0^{(m)}$
$e^{-j2\pi f_1 t}$
$(m+1)T_u$
$\int_{mT_u} \ldots$
$\hat{a}_1^{(m)}$
$r(t)$
$e^{-j2\pi f_{N_c-1} t}$
$(m+1)T_u$
$\int_{mT_u} \ldots$
$\hat{a}_{N_c-1}^{(m)}$
$f_k = k\Delta f$
$a_k^{(m)}$
N_c-1
N_c-2
k
1
0
Frequency (subcarrier nu...
$m-2$
$m-1$
m
$m+1$
$m+2$
Time (OFDM symbol number)

OFDM

To confirm this, consider a time-discrete (sampled) OFDM signal where it is assumed that the sampling rate f_s is a multiple of the subcarrier spacing Δf, i.e. $f_s = 1/T_s = N \cdot \Delta f$. The parameter N should be chosen so that the sampling theorem [50] is sufficiently fulfilled.[1] As $N_c \cdot \Delta f$ can be seen as the nominal bandwidth of the OFDM signal, this implies that N should exceed N_c with a sufficient margin.

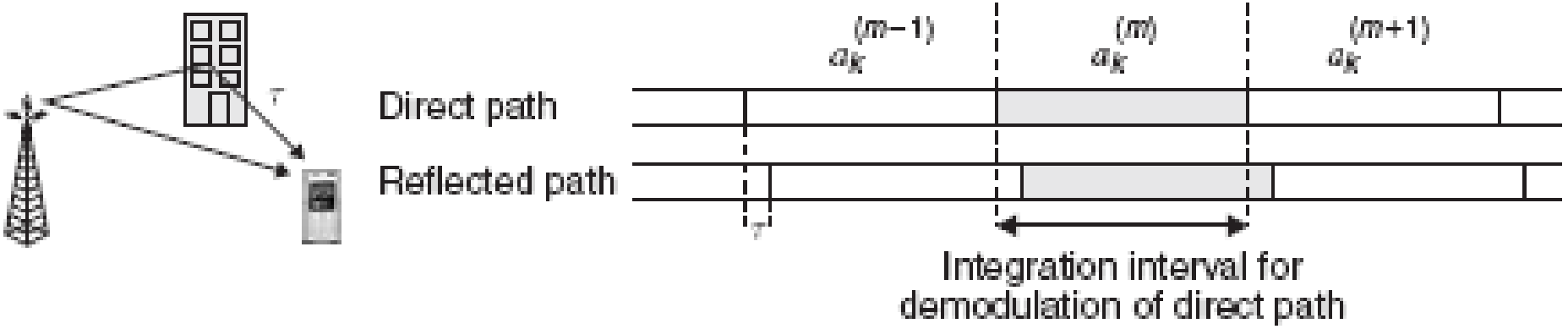
$$x_n = x(nT_s) = \sum_{k=0}^{N_c-1} a_k e^{j2\pi k \Delta f n T_s} = \sum_{k=0}^{N_c-1} a_k e^{j2\pi kn/N} = \sum_{k=0}^{N-1} a'_k e^{j2\pi kn/N}$$

where

$$a'_k = \begin{cases} a_k & 0 \le k < N_c \\ 0 & N_c \le k < N \end{cases}$$

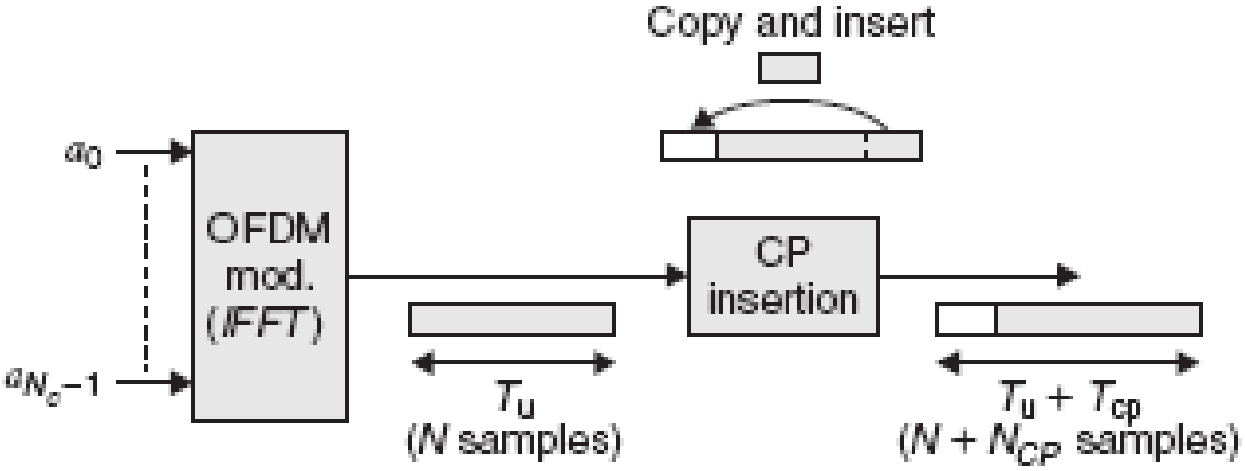
OFDM

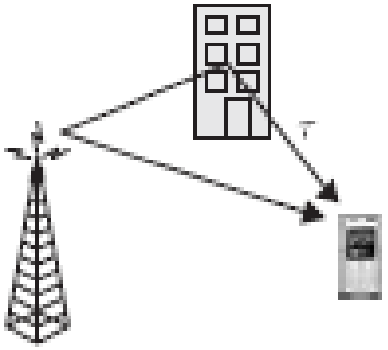
- szimbólumközti áthallás: egy vivőn
- vivők között is! (az ortogonalitás elvész: a szimbólumidőnyi integrálásban nem egész számú periódus lesz az egyik jelből)

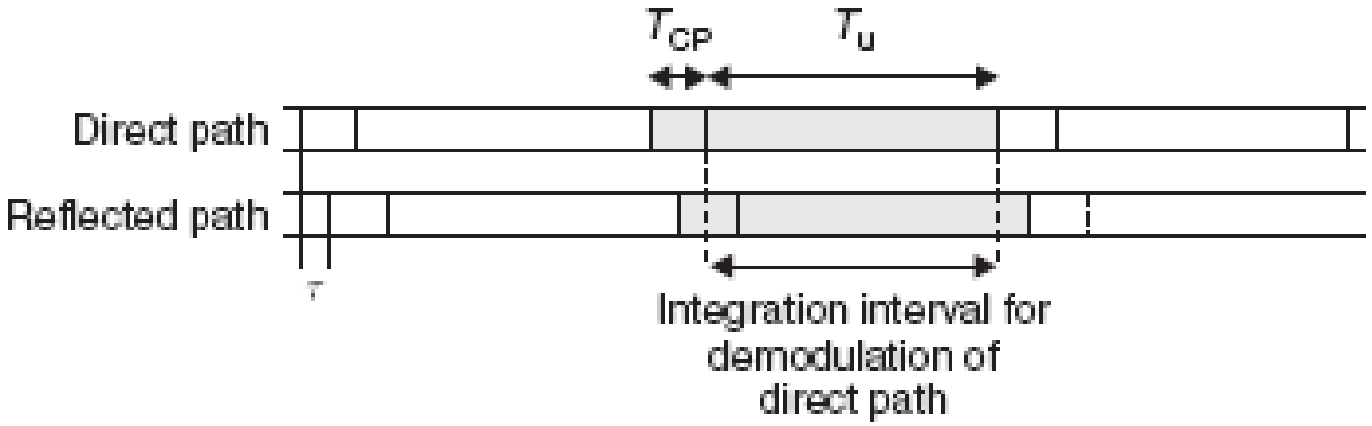


OFDM

- megoldás: ciklikus prefix: szimbólum vége (minták) az elejére másolva, vivőtávolság marad!
- lassabb átvitel, teljesítmény pazarlása







If OFDM is to be used as the transmission scheme in a mobile-communication system, the following basic OFDM parameters need to be decided on:

- The subcarrier spacing Δf.
- The number of subcarriers N_c, which, together with the subcarrier spacing, determines the overall transmission bandwidth of the OFDM signal.
- The cyclic-prefix length T_{CP}. Together with the subcarrier spacing $\Delta f = 1/T_{\mathrm{u}}$, the cyclic-prefix length determines the overall OFDM symbol time $T = T_{\mathrm{CP}} + T_{\mathrm{u}}$ or, equivalently, the OFDM symbol rate.

4.8.1 OFDM subcarrier spacing

There are two factors that constrain the selection of the OFDM subcarrier spacing:

- The OFDM subcarrier spacing should be as small as possible (T_{u} as large as possible) to minimize the relative cyclic-prefix overhead $T_{\mathrm{CP}}/(T_{\mathrm{u}} + T_{\mathrm{CP}})$, see further Section 4.8.3.
- A too small subcarrier spacing increases the sensitivity of the OFDM transmission to Doppler spread and different kinds of frequency inaccuracies.

LTE rádiós interfész

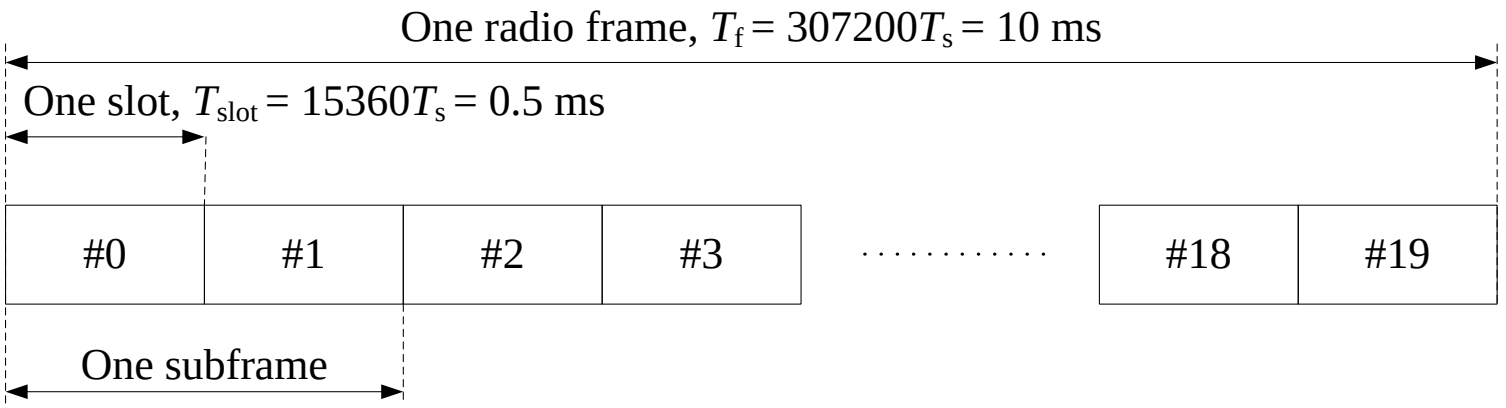
Keretszerkezet

Alap időzítés

- alap időegység Ts=1/(15000x2048) másodperc
- mintavételi idő, órajel periódus alapja
- minden ennek többszöröseként definiálva a szabványban

▪Keretszerkezet FDD módban

- 10 ms keret, 10 db 1 ms alkeret, 20 db 0.5 ms időrés



LTE rádiós interfész

Moduláció és kódolás

OFDM szimbólumok

- a ciklikus prefix értékeiből és a szimbólumidőből, valamint az időrés idejéből származik az egy időrésben átvitt OFDM szimbólumok száma
- ez 6 (bővített prefix) vagy 7 (normál prefix)
- fizikai jelzési sebesség sebesség: 12 vagy 14 kszimbólum/sec

▪Moduláció

- QPSK, 16 QAM és 64 QAM (2, 4, 6 bit információ per szimbólum per segédvivő)
- fizikai kontroll információ QPSK

▪Hibavédő kódolás

- 1/3 arányú turbo kódolás (1 bit -> 3 bit), erős hibavédelem
- ha nincs szükség ilyen erősre: lyukasztás (~törölt bitek)
  - a csatorna minőségétől függően

LTE rádiós interfész

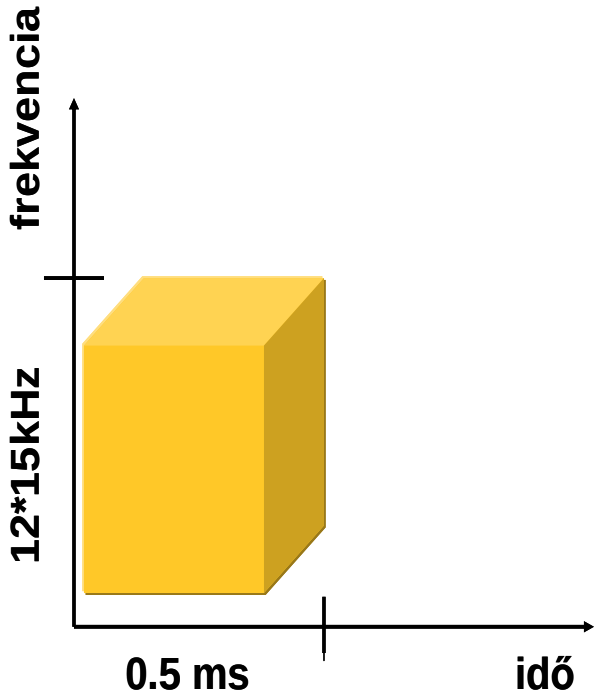
Moduláció és kódolás

- Adaptív moduláció és kódolás
  - jó csatorna -> nagy állapotszámú moduláció, gyenge hibavédelem (kevés redundancia) -> nagy hasznos átviteli sebesség
  - rossz csatorna -> alacsony állapotszámú moduláció, erős hibavédelem (sok redundancia) -> alacsony hasznos átviteli sebesség
  - csatornaméréseken (referenciajelek alapján) és csatornaállapot jelentéseken alapszik
- Hibrid újraküldés
  - növelt redundancia: az újraküldés erősebb hibavédő kódolással
  - chase combining: az újraküldött és a sérült csomagot kombinálja

LTE rádiós interfész

Fizikai erőforrás blokk

- Fizikai szintű rádiós erőforrás
  - fizikai erőforrás blokk (Physical Resource Block, PRB)
  - 12 segédvivő (12*15 kHz = 180 kHz)
  - egy időrésben (0.5 ms)
  - a legkisebb egység, ami egy előfizetőnek adható
  - 12*6= vagy 12*7 szimbólum időrésenként
  - kiosztás: egy előfizetőnek egy PRB egy alkeretben (2 időrés)
  - összesen 144 vagy 168 szimbólum alkeretenként



LTE rádiós interfész

Fizikai erőforrás blokk

- Fizikai szintű pillanatnyi átviteli sebességek egy PRB-vel

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

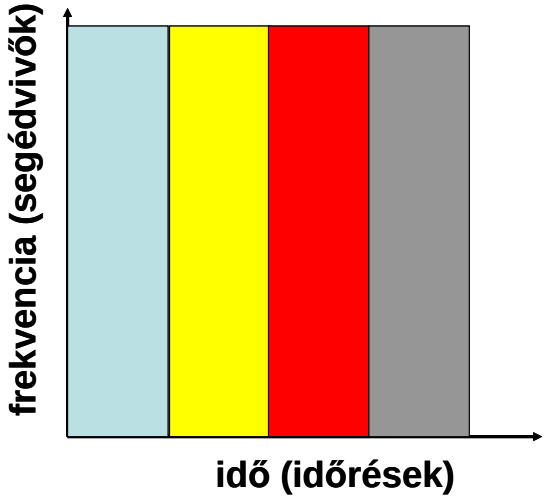
- Sávszélesség kérdése
  - egy bázisállomásnak minimum 6 PRB-t kell tudni kezelni
    - ez védősávokkal, DC vivővel 1.4 MHz

Sávszélesség [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
PRB-k száma	6	15	25	50	75	100

elvi maximális fizikai sebesség 100.8 Mbps

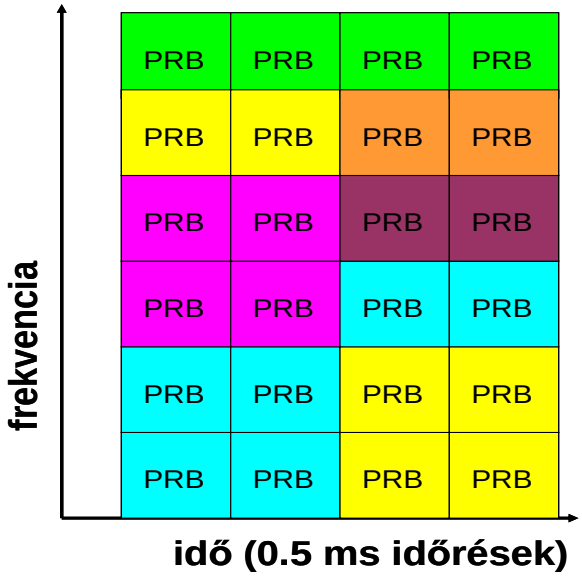
OFDM (WLAN, Wimax, DVB): minden segédvivő egy előfizető adatát viszi

- 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

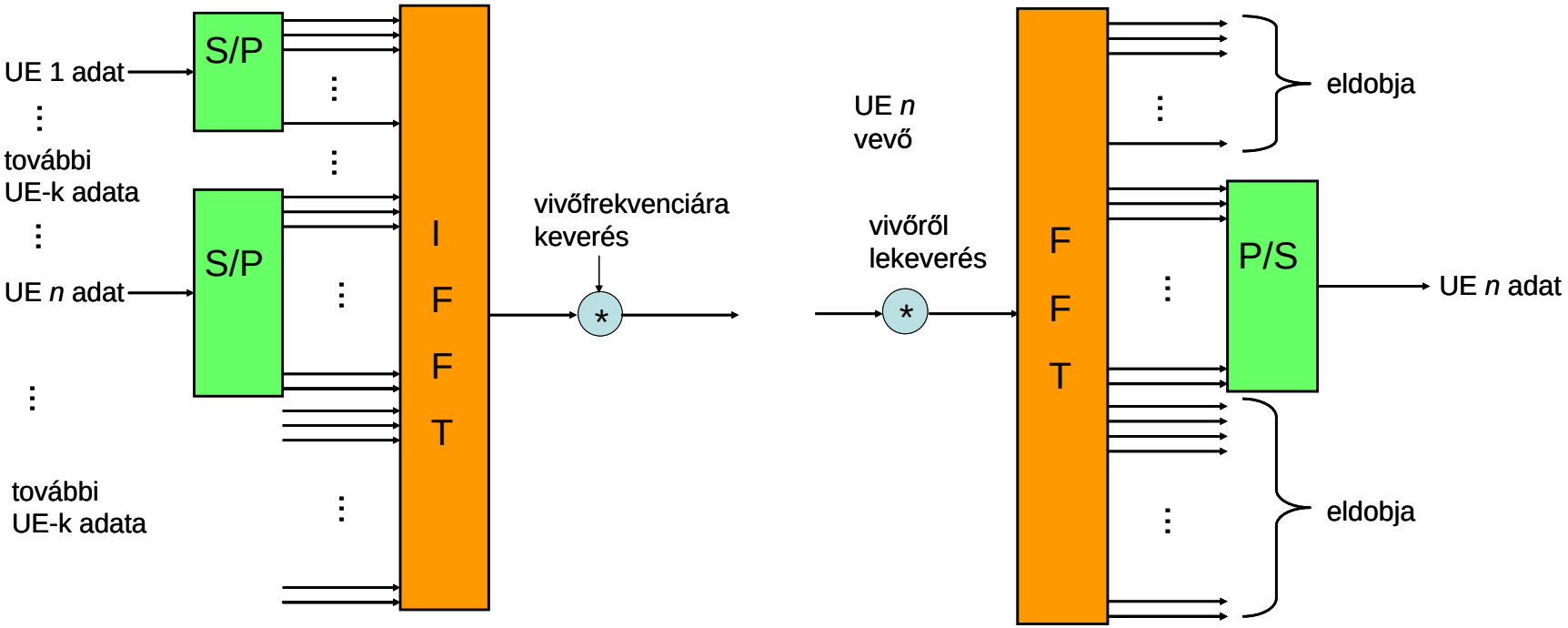


LTE rádiós interfész

OFDMA

Megvalósítás a gyakorlatban

- UE sávszélesség: hány IFFT bemenet
- frekvenciában hol: melyik IFFT bemeneteken

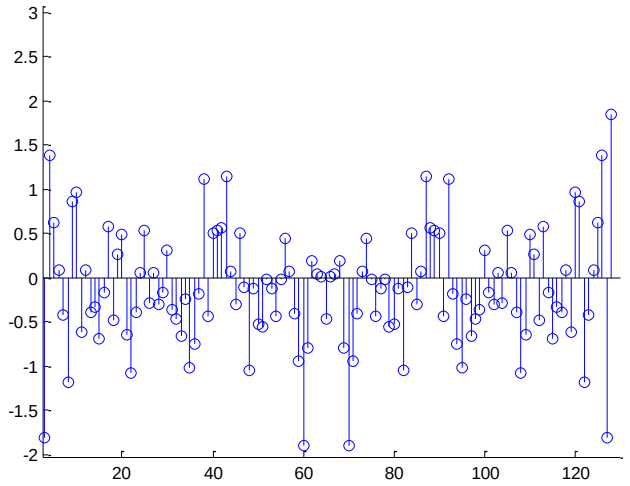


LTE rádiós interfész

OFDMA

Megvalósítás a gyakorlatban

- jellemző: nagy dinamikatartomány (csúcs/átlag teljesítmény, PAPR nagy)
- rádiós végfoknál nem előnyös (rossz hatásfok)
- bázisállomás adójában OK (drágább lehet)
- UE adójában nem OK (olcsónak, egyszerűnek kell lennie)
- tulajdonképpen egy nagyon sok állapotú moduláció

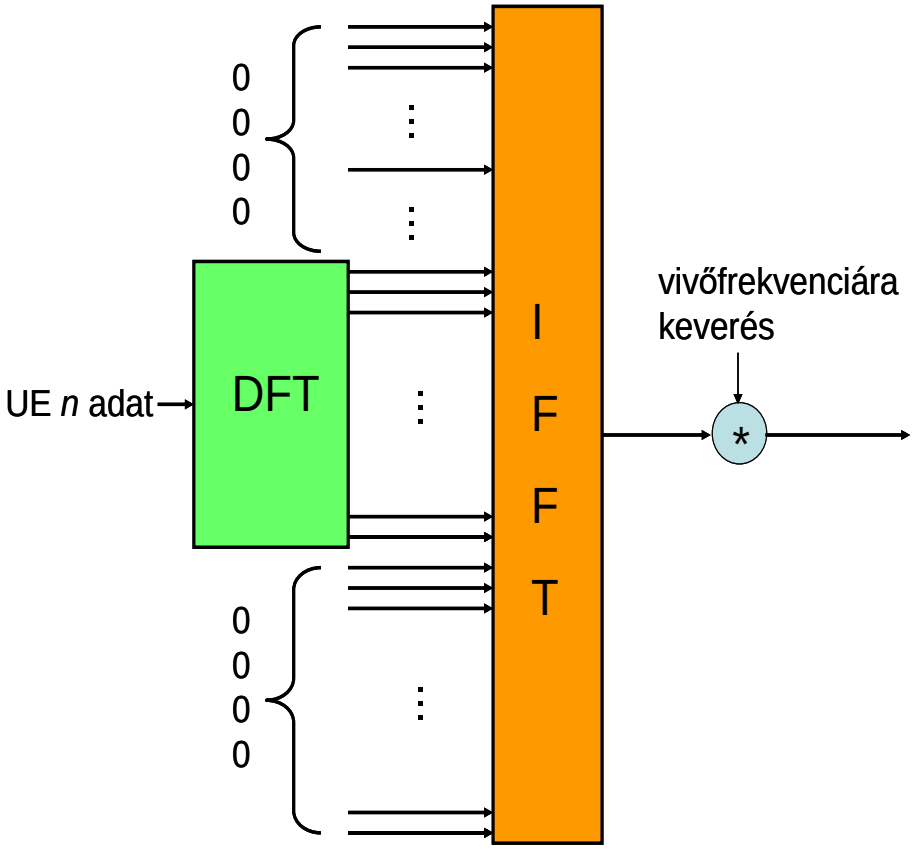


LTE rádiós interfész

SC-FDMA

Uplink megoldás

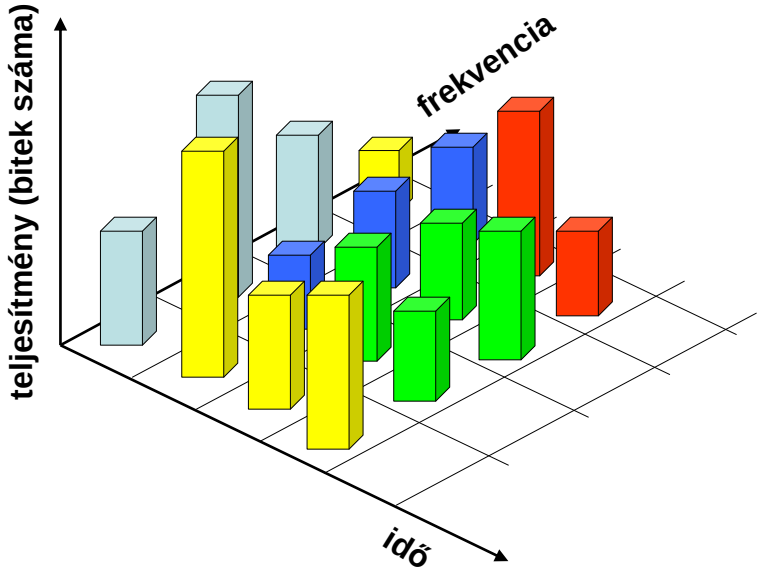
- **SC-FDMA** (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)
- jó öreg FDMA? (pl. 1G NMT)
- nem: UE által használt sávszélesség és sáv dinamikusan változhat, egy RF vivővel
- sávszélesség, frekvenciában hol: IFFT bemeneteinek száma, helye
- csak szomszédos sávok megengedettek
- DFT->IFFT: a jel marad
- IFFT-n hol? -> sávon belül hol



LTE rádiós interfész

Csatornamegosztás

- Osztott csatorna megközelí
  - erőforrás rács: frekvencia
    - idő-frekvencia rács
  - a bázisállomás ütemezőj
  - nem szabványos
- Ütemezési feladat
  - melyik PRB-t
  - melyik időrésben
  - mekkora adóteljesítménn
    jel/zaj viszony -> kisebb redundancia, magasabb állapotú moduláció -> több hasznos bit/PRB)
  - melyik előfizető részére
  - összes adóteljesítmény, PRB-k száma, időrések száma korlátos



LTE rádiós interfész

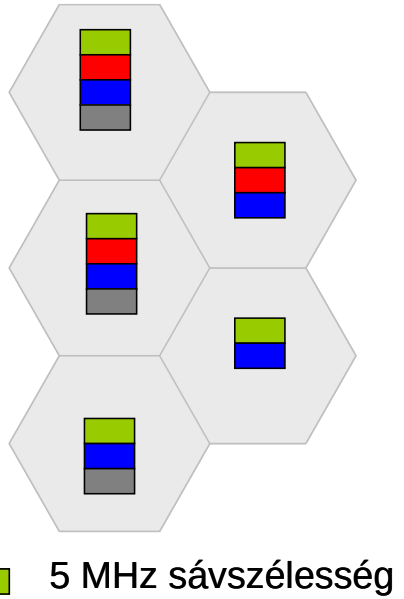
Csatornamegosztás

Hogyan legyenek a sávok kiosztva?

- különböző várható forgalom különböző sávszélességeket igényel cellánként

Frekvenciatervezés?

- különféle szélességű sávok elhelyezése úgy, hogy ne zavarják egymást
- iparági igény, hogy ne kelljen
- várhatóan nem lesz akkora sávszélesség hogy megoldható legyen
- tetszőleges sáv (tipikus 20 MHz) minden cellába (reuse 1)
- a rendszer oldja meg, hogy a szomszédos cellák azonos sávot használjanak, de ne legyen két azonos PRB egyszerre kiosztva két előfizetőnek, akik zavarnák egymást



LTE rádiós interfész

Csatornamegosztás

A rendszer gondoskodjon az interferencia elkerüléséről!

Elosztott ütemezés: ütemező az eNodeB-kben

- koordinált működés: a szomszédos cellák ne, vagy csak kis teljesítménnyel használják ugyanazt a PRB-t
- X2 interfész az eNodeB-k között
- szomszédnak okozott interferencia:
  - kisebb SINR -> kisebb adatsebesség/PRB
  - ütközések minimalizálása
  - igények kielégítése, fairness, QoS, átviteli sebesség és cellaátvitel maximalizálása

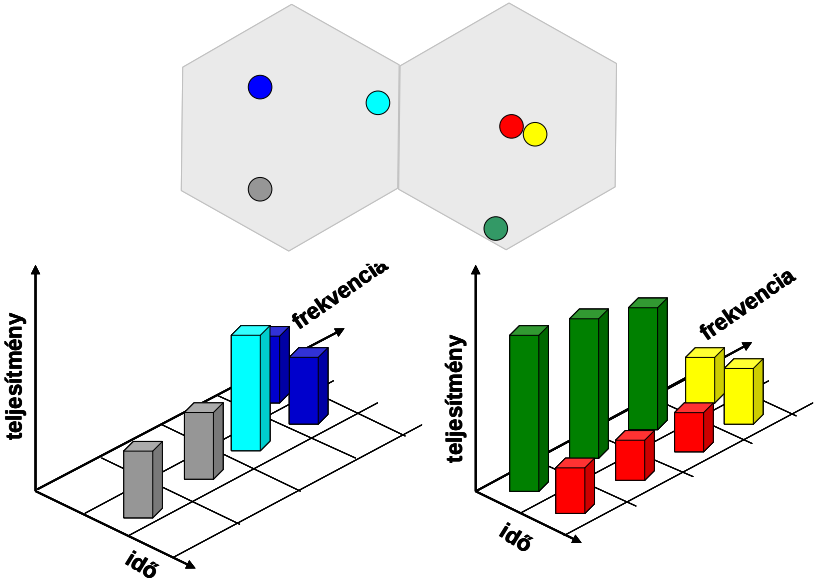
LTE rádiós interfész

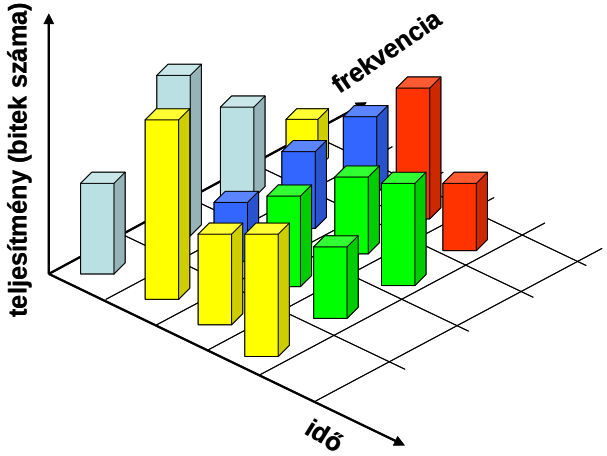
Csatornamegosztás

Elosztott ütemező: 3 dimenziós erőforrás kiosztása

- minden bázisállomás ugyanazt az erőforrás-rácsot használja

Közeli termináloknak kis teljesítménnyel azonos PRB kioszthatók





Általánosan: reuse 1 a közeli terminálok számára

reuse n a távoliaknak

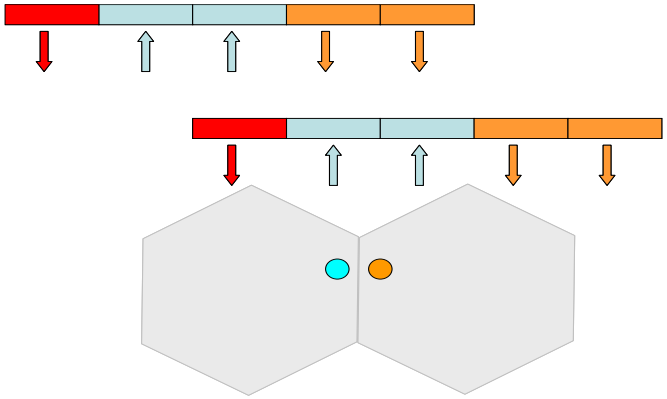
LTE rádiós interfész

Csatornamegosztás

Nehézség: TDD működés esetén

- nem szinkronizált eNodeB-k
- egy terminál UL adása zavarhatja a szomszéd cellában lévő terminál DL vételét

közös, koordinált UL/DL ütemezés szükséges



Követelmények a csatornakiosztással szemben:

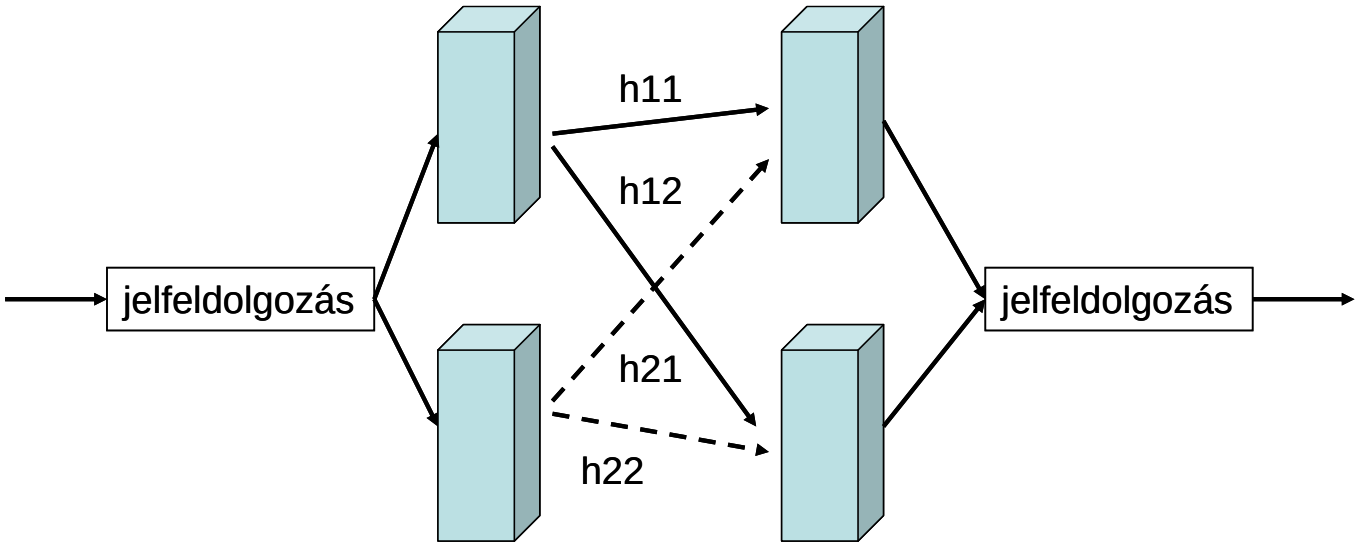
- **adaptálódik** a pillanatnyi forgalmi igényekhez (több PRB használata ott ahol nagyobb a forgalom)
- a bázisállomások **koordinált** módon együttesen kezelik az erőforrás rácsot

Nem szabványos és kulcsfontosságú. Az egyes gyártók hálózatainak teljesítőképességét nagyban befolyásolja.

LTE rádiós interfész

Többantennás működés

- MIMO – Multiple Input Multiple Output
  - több adóantenna (2 vagy 4), több vevőantenna (2 vagy 4)
  - többféle célra használható megfelelő adás előtti/vétel utáni jelfeldolgozással



LTE rádiós interfész

Többantennás működés

- MIMO – Multiple Input Multiple Output
  - antennák elhelyezése: „elég messze”, terminálon bajos lehet (pl. laptop 4 sarka)
  - használati lehetőségek:
    - **nyalábformálás**: adott irányban nagyobb az antenna „erősítése” -> jobb lefedettség az irányban
    - adóoldali/vevőoldali **diverziti**: a több antennán adott/vett jelek megfelelő kombinálásával: jobb jel-zaj viszony
    - **interferencia törlés**: több vevő antennával bizonyos irányból jövő jelek törlése (kb. a nyalábformálás fordítottja)
    - **térbeli multiplexálás**: több adóantennán párhuzamosan több csomag küldése, azonos időben és frekvenciákon -> adatsebesség többszörözés
    - **többfelhasználós** MIMO: mint a térbeli multiplexálás, de több előfizetőnek szóló csomagok

LTE rádiós interfész

Többantennás működés

- MIMO – Multiple Input Multiple Output
  - térbeli multiplexálás lehetősége
  - nagy jel-zaj viszonynál
  - 2x2-es eset egyszerűen magyarázva: 2 ismeretlen, 2 egyenlet

    $$y1 = h11 \cdot x1 + h21 \cdot x2$$

    $$y2 = h12 \cdot x1 + h22 \cdot x2$$
  - referencia jeleken végzett mérésekkel becsülhető csatornaparaméterek
  - $y1$, $y2$ meghatározható ha az antennapárok közti csatornák függetlenek
  - nagy jel-zaj viszony, többutas terjedésű csatorna: sűrű beépítettség, beltér esetén használható effektíven
    - duplázza az átviteli sebességet

LTE rádiós interfész

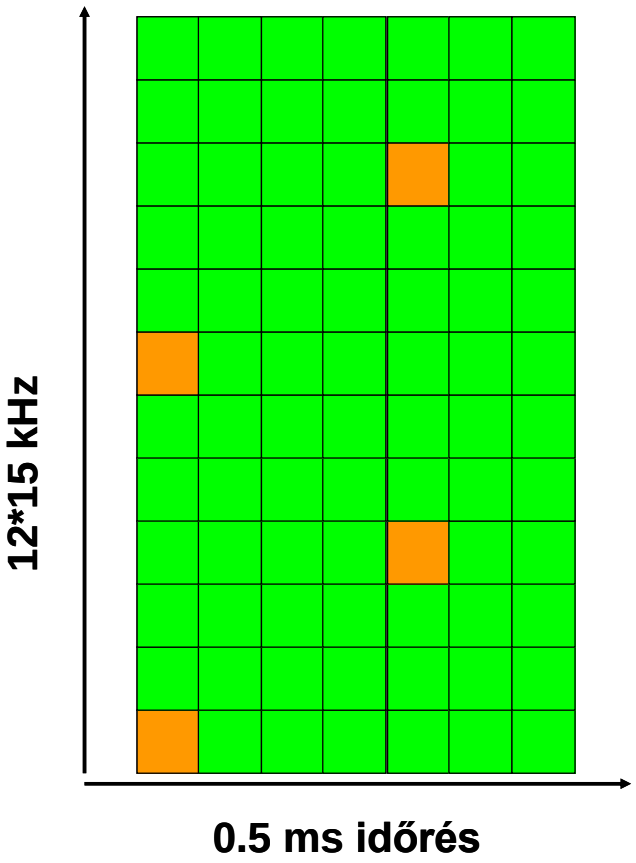
Többantennás működés

- MIMO az LTE -ben
  - 2 vagy 4 antenna mindkét oldalon
  - rétegek: jelek előfeldolgozása
    - pl. 1 réteg – 1 adóantenna
    - 1 réteg – 2 adóantenna
  - antennára kerülés előtt: előkódolás
  - térbeli multiplexálás: egyidejűleg maximum két csomag adása/vétele (4 antenna esetén is)
    - sebesség duplázása lehetséges

LTE rádiós interfész

Referencia jelek

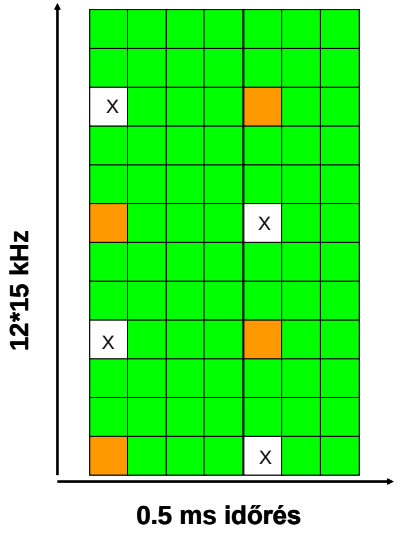
- Ismert referencia jel szükséges
  - demodulációnál
  - szinkronizációhoz
  - csatorna minőség méréséhez
    - időben is, frekvenciában is változhat
  - DL irányban egyúttal cella azonosító is
  - egy PRB-ben 4 referencia szimbólum, az első és hátulról a harmadik szimbólumban, hat segédvivő távolságban
  - 4 elem a 84-ből nem visz adatot -> elvi max fizikai sebesség 96 Mbps

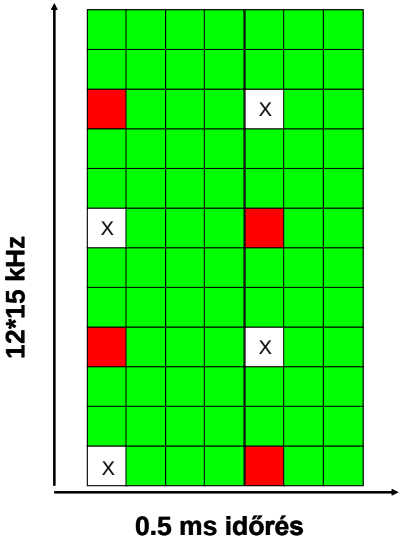


LTE rádiós interfész

Referencia jelek

- Többantennás eset
  - az antennaelemek közti csatornabecsléshez fontos a referencia jel zavartalansága
  - több antennán való adás esetén: különböző antennákon máshol vannak a referencia szimbólumok
  - másik antennán adat sem küldhető ott -> a csatornamérést ne zavarja semmi
  - némi veszteség az adatátvitelben
    - 2x2 antennánál 8 elem a 84-ből -> elvi max fizikai sebesség nem duplázódik, hanem 182.4 Mbps
    - 4 antennánál: két antenna jelén csak 2 referencia szimbólum, PRB-ként csak 72/84 hatásfok

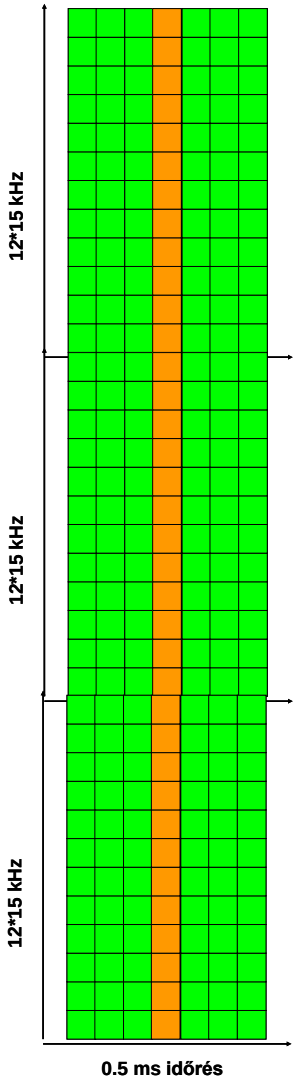




LTE rádiós interfész

Referencia jelek

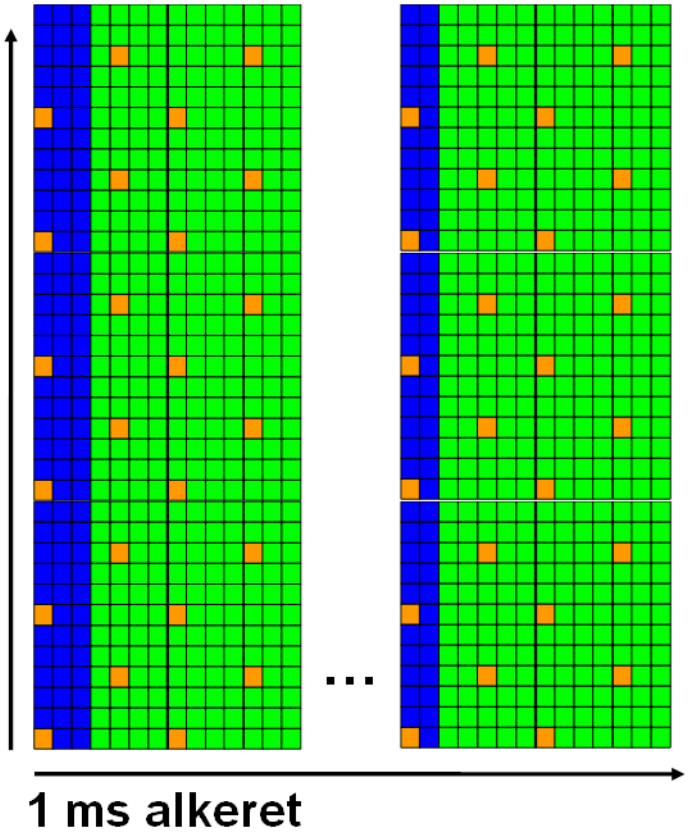
- Uplink referencia jelek
  - uplink csatornaminőség becsléséhez, illetve koherens vételhez itt is szükség van referencia jelre
  - frekvenciában multiplexálni az adattal nehézkes lenne (a DFT-IFFT miatt)
  - időben van multiplexálva az adattal: minden időrésben a negyedik OFDM szimbólum, a teljes UE által használt sávszélességben (6/7 es kihasználtság)
  - megfelelő jelek definiálva, szomszédos cellák UE-jei ne zavarják egymást
  - csatornamérés: teljes sávszélességben kellene ismerni
    - időnként UE a teljes sávra kiterjedő referencia jelet ad (channel sounding)



LTE rádiós interfész

Fizikai vezérlőinformációk

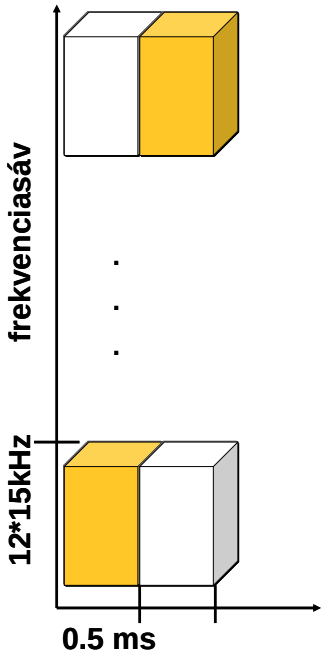
- Letöltési irányú vezérlőinformációk
  - melyik UE mikor, milyen transzport formátumban, melyik erőforrás blokkokon fog kapni
  - melyik UE mikor, milyen transzport formátumban, melyik erőforrás blokkonon adhat
  - fizikailag: az alkeret első maximum három OFDM szimbóluma
  - QPSK, erős hibavédő kódolás
  - további overhead
  - fizikai letöltési irányú kontroll csatorna (PDCCH)



LTE rádiós interfész

Fizikai vezérlőinformációk

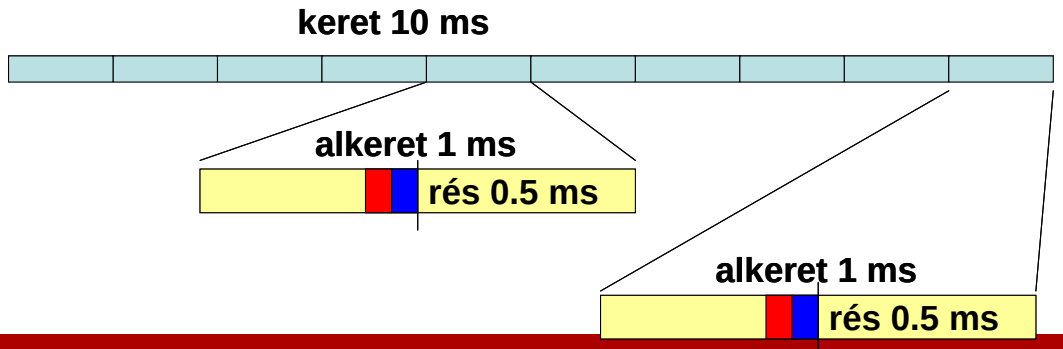
- Feltöltési irányú vezérlőinformációk
  - pozitív és negatív nyugták
  - UE által mért csatornaminőség jellemzője periodikusan (CQI, Channel Quality Indicator)
  - adási kérelmek
  - transzport formátumot nem kell jelezni
  - akkor is kell adni, ha adatforgalom nincs
  - együtt az adattal (DFT-IFFT előtt időben összefésülve)
  - ha nincs adat: a sáv két szélső PRB-jében, időrésenként váltakozva
    - következő PRB-k, ha szükséges
  - PUCCH



LTE rádiós interfész

Cellakeresés

- Kommunikáció előtt
  - hálózatot kell találni
  - szinkronizálódni kell a cellában alkalmazott keretszerkezethez
- Szinkronizációs jel
  - elsődleges és másodlagos szinkronizációs jel
  - az első és hatodik alkeret első időrésében az utolsó két szimbólumban
  - frekvenciában: a sáv közepén 6 PRB



LTE rádiós interfész

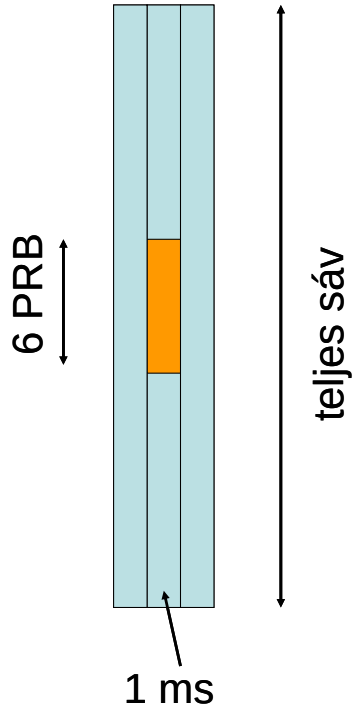
Cellakeresés

- Cellakeresés
  - háromféle elsődleges szinkronizációs jel van
  - a mobil ezekre illesztett szűrővel keresi
  - hol keresi (milyen frekvenciasávban): a készülékbe táplált lehetséges vivőkön, illetve korábbi tapasztalatok alapján
  - ha megvan: 5 ms (fél keret) szinkronba kerül
    - továbbá: a cellaazonosító csoporton belül (3 féle) megvan a cellaazonosító jel
  - ezután: másodlagos szinkronizációs jel párokat keres (s1, s2 a két félkeretben)
    - ha ez megvan, akkor a keretszinkron is
    - továbbá: a másodlagos szinkron jel egyértelműen azonosítja a cellaazonosító csoportot

LTE rádiós interfész

Véletlen hozzáférési folyamat

- 1. A mobil véletlen hozzáférési előtagot (preamble) küld
  - egy kijelölt alkeretben (1 ms) a sáv közepén, 6 PRB-ben
  - nagy forgalom esetén több is kijelölhető -> frekvenciában is és időben is
  - nem ismert uplink időzítés miatt 0.9 ms hosszú üzenet küldése
  - adássiettetés (timing advance) problémája miatt
  - ez maximum 15 km távolság az állomástól
    - maximum 0.05 „fényms” távolság
  - nagyobb cellák esetén a véletlen hozzáférési alkeret után sem szabad hasznos információ számára lefoglalni



LTE Release 10+

- Release 10 és utána
  - Elérhető az 1 Gbps (eredeti ITU 4G definíció)
  - Vivőaggregáció
    - Több, egyenként is széles vivő használata (maximum 5 x 20 MHz)
    - Lehet folytonos, egymás melletti vivőkkel, nem folytonos, de frekvenciában egymáshoz közeli vivőkkel, de akár több sávtartomány is (Pl.: 800 MHz, 1800 MHz, 2600 MHz)
  - Többfelhasználós MIMO (Multi-user MIMO)
    - Több egyszerre küldött adatstream több felhasználónak
    - Nem növeli egy adott felhasználó átviteli sebességét, de a teljes cella elérhető forgalmát igen
  - 256QAM moduláció

LTE Release 10+

- Példa:
  - 20 MHz LTE 2x2 MIMO: 150 Mbps a rádiós stack tetején (~nettó sebesség)
  - 3 vivővel: 450 Mbps
  - 256QAM, 4x4 MIMO, 2 vivő: ~1200 Mbps
- Meddig lehet elmenni?
  - Amíg van sáv, lehet növelni az aggregált vivők számát
    - Release 13-ban 32 vivő aggregációja lehetséges
      - De senkinek sincs ennyi sávja

MŰEGYETEM 1782

BME

A GSM-TŐL AZ LTE-IG

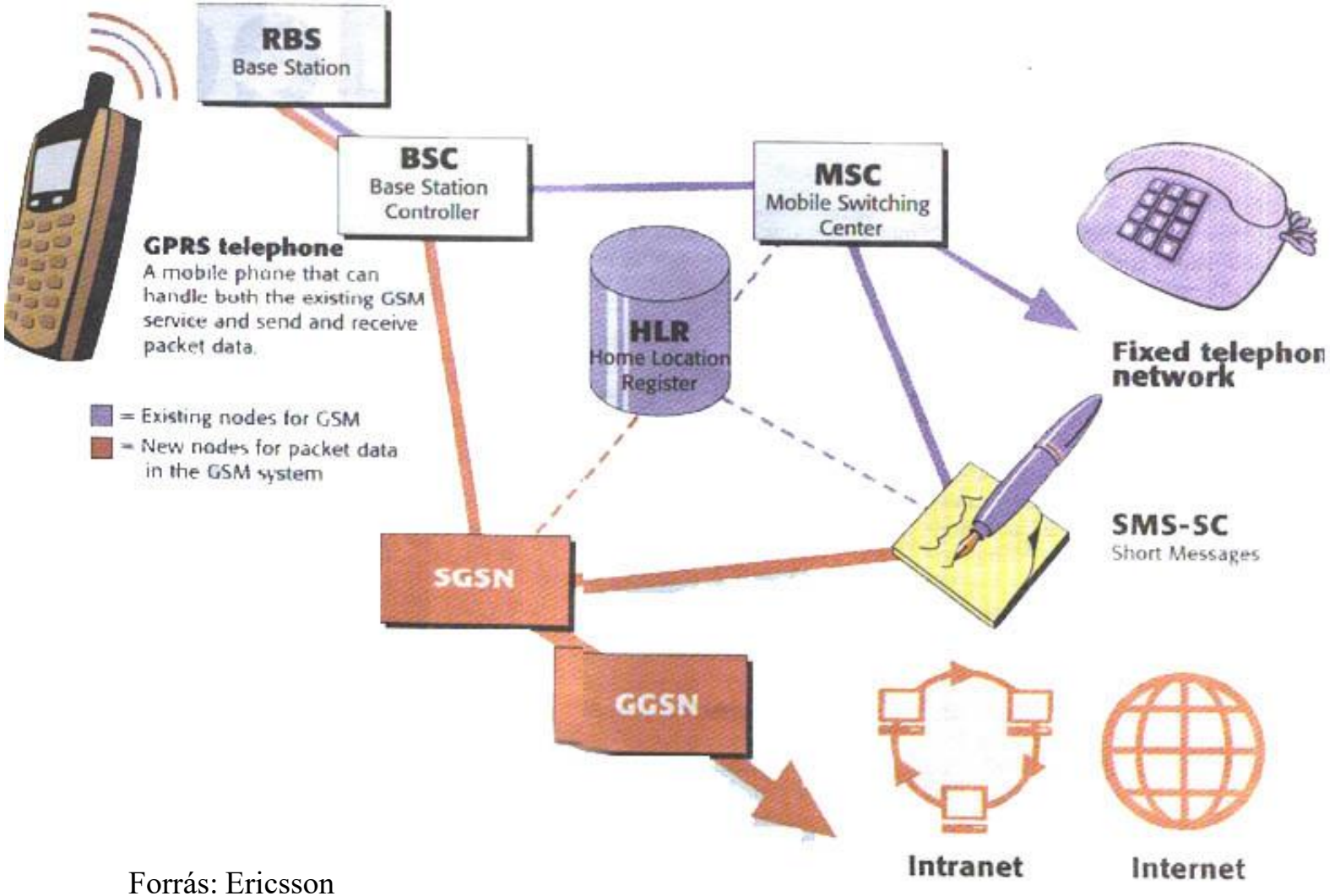
2018. december 5.,
Budapest

Legfontosabb jellemzők

	GSM	GSM/GPRS	UMTS/HSPA	LTE
Korszak	1980-as évek végétől	2000-es évek eleje	2000-es évek	2010-es évek
Újdonságok	Digitális átvitel	Csomagkap-csolt átvitel	Elválik a user/control plane	Nincs áramkörkap-csolt átvitel
Közeghozzáférés	TDMA/FDMA/FDD	TDMA/FDD	WCDMA TDD/FDD	OFDMA/SC-FDMA TDD/FDD
Elvileg elérhető adatátviteli sebesség	~13-14 kbps	~ 100-480 (EDGE) kbps	~ 100 Mbps	~ 1 Gbps

© Varga Tamás, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

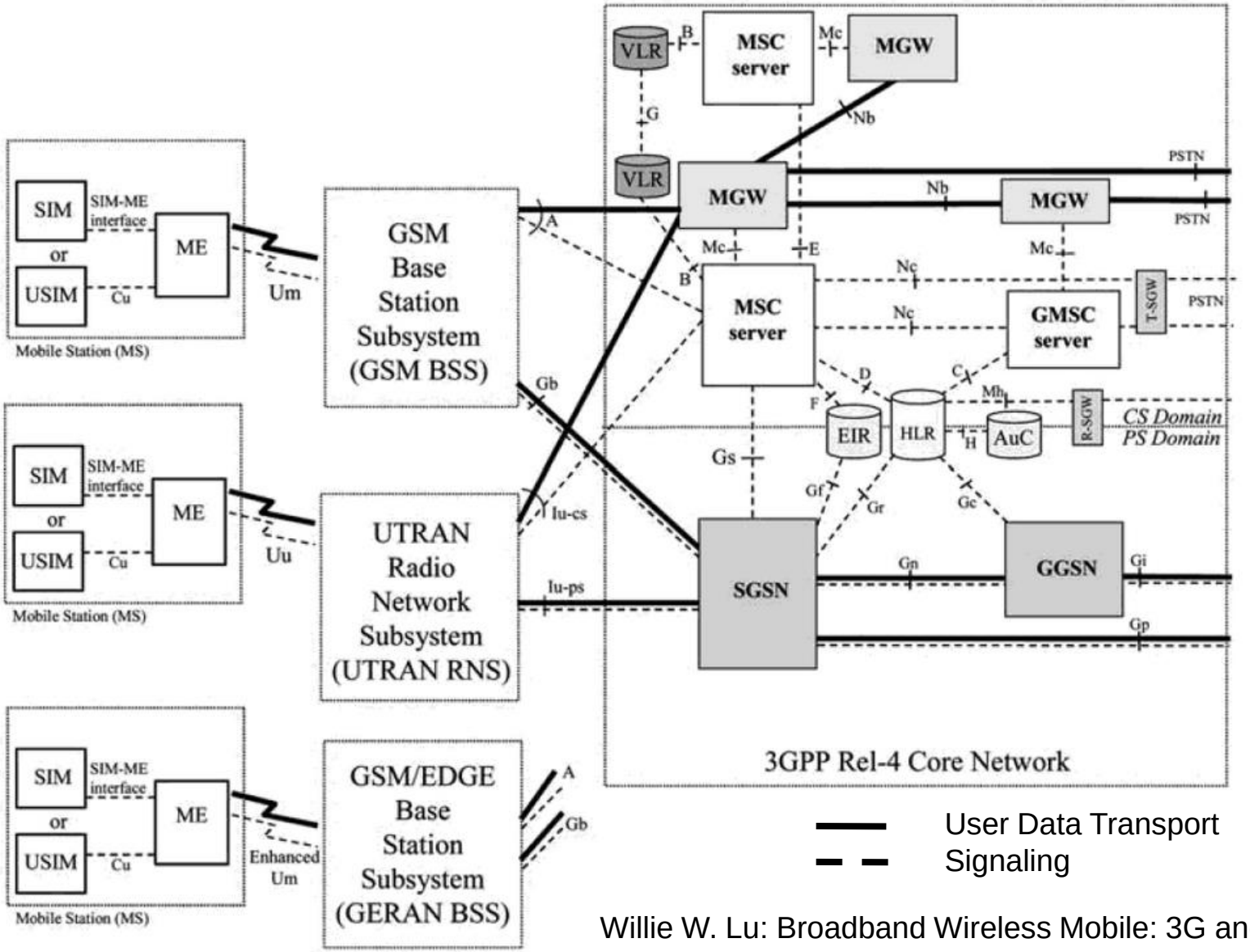
Hálózati architektúra – GSM/GPRS



Forrás: Ericsson

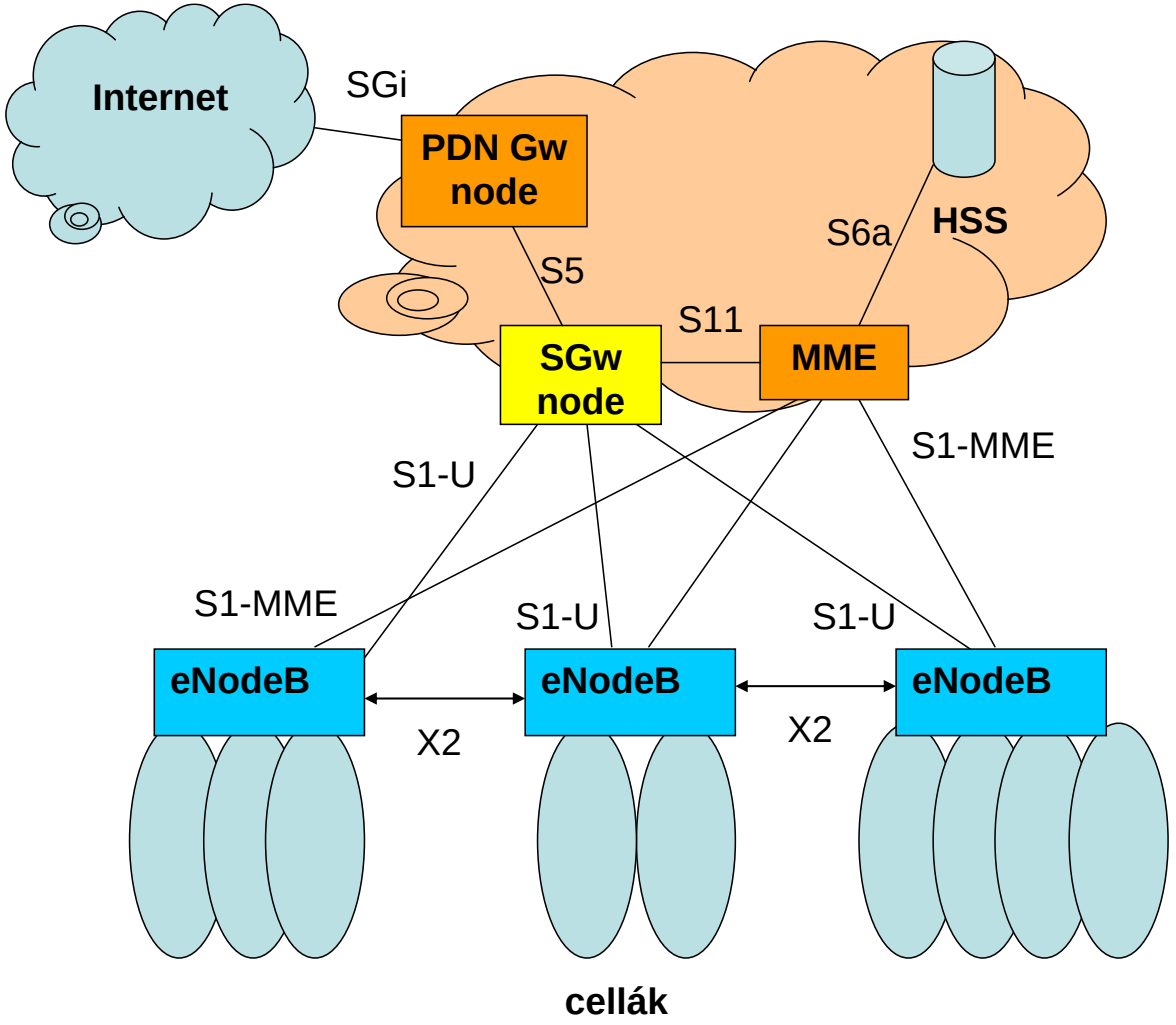
© Varga Tamás, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Hálózati architektúra – UMTS/HSPA



Willie W. Lu: Broadband Wireless Mobile: 3G and Beyond

Hálózati architektúra – LTE



Felhasználói oldalról

GSM fizikai réteg

- Alapegység: 8 börsztből álló keret (kb.: 4,615ms)
- Egy fizikai csatorna: egy időrés egy keretben egy vivőn
  - UL/DL időben eltolva

DL	0	1	2	3	4	5	6	7
UL	5	6	7	0	1	2	3	4

- A forgalom a fizikai csatornákra leképezve
- Forgalmi fizikai csatorna (26 keretes multikerettel)
- Vezérlő fizikai csatorna (51 keretes multikerettel)
- Szuperkeret: 51 forgalmi multikeret, vagy 26 vezérlő multikeret
- Hiperkeret: 2048 szuperkeret

GSM fizikai – logikai csatornák

	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
C0	BCCH* /CCCH	DCCH/ TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
C1	DCCH/ TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
C2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH

BCCH*: broadcast control channel
CCCH: common control channel
DCCH: dedicated control channel
TCH: traffic channel

A logikai csatornák a fizikai csatornákra leképezve: egy multikeret egy adott keretében egy adott logikai csatorna adatai „utaznak”.

GSM – BCCH* (Broadcast CCH)

- FCCH – Frequency Correction Channel: frekvenciakorrekciós csatorna: a mobil vevőjét a vivőfrekvenciához hangolja
- SCH – Synchronization Channel: szinkronizáló csatorna, a keretszerkezet szinkronizációjára, hálózat és BTS azonosító, mindkettő downlink és közös
- BCCH – Broadcast Control Channel: üzenetszóró vezérlőcsatorna (downlink, közös): folyamatos, rendszerinformációk, frekvenciakiosztás és frekvenciaugratási szekvencia információ

GSM – CCCH (Common CCH)

- RACH – Random Access Channel: véletlen hozzáférő csatorna, uplink, réselt ALOHA, közös
- PCH – Paging Channel: hívócsatorna, MS felé irányuló híváskor, közös, downlink
- AGCH – Access Grant Channel: hozzáférést biztosító csatorna: SDCCH kijelölése jelzéshez (RACH után), közös, downlink

© Varga Tamás, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

GSM – DCCH (Dedicated CCH)

- SDCCH – Stand-alone Dedicated CCH: kijelölt vezérlő csatorna (duplex, dedikált): autentikáció, regisztráció, TCH foglalás
- FACCH – Fast Associated CCH: gyors társult vezérlőcsatorna (ellopás bitekkel, sürgős esetben – 20 ms-ot lecsíp a transzport csatornából), gyors vezérlés/jelzés, duplex, dedikált
- SACCH – Slow Associated CCH: lassú társult vezérlőcsatorna, multi-keret 12-es kerete (mindig rendelkezésre áll), duplex, dedikált, telj. szab, mérések eredményei
- CBCH – Cell Broadcast CH: csak DL irány, SMSCB (Short Message Service Cell Broadcast), fizikailag ugyanott, ahol az SDCCH

GSM – TCH (Transport CH)

- TCH Full rate
- TCH Half rate

© Varga Tamás, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

GSM multikeretek

- 26 keretes: TCH, SACCH, FACCH
  - Alapesetben TCH + SACCH (12. keret)
  - Ha szükséges, FACCH, ezt a lopás bitekkel lehet jelezni
- 51 keretes: a többi

© Varga Tamás, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

UMTS közeghozzáférés

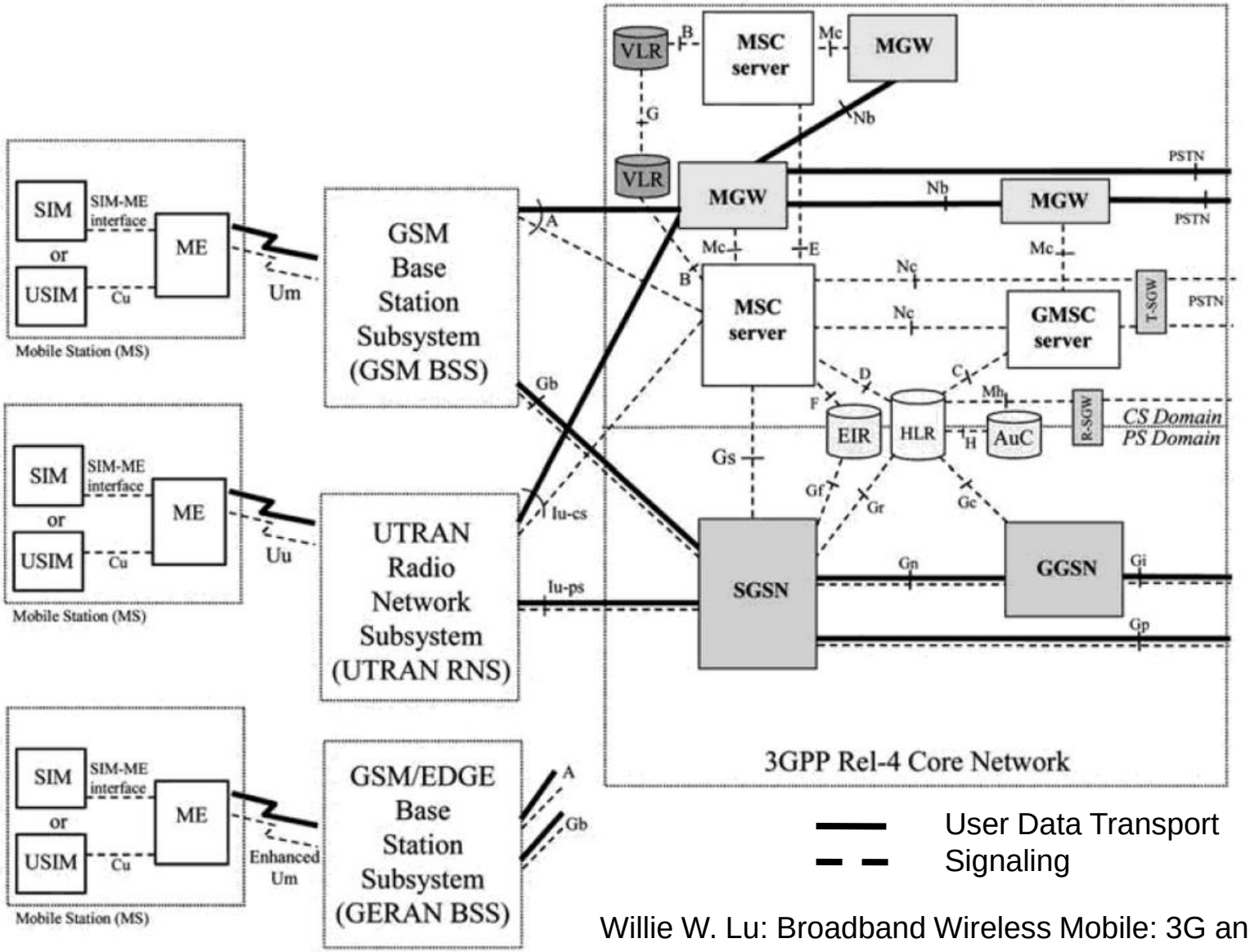
- WCDMA
- Downlink irányban:
  - Előfizetők/csatornák adatainak elválasztása: Walsh-Hadamard kódokkal – ortogonális kódok, kódfa!
  - Az egyes cellák adatainak elválasztása: Gold kóddal
- Uplink irányban:
  - Előfizetői készülékek forgalmának elválasztása: Gold kóddal
  - Az egy készülékhez tartozó csatornák elválasztása: W-H kóddal
- OVSF kódok ~ W-H kódok
- Spreading code ~ Gold kódok

UMTS U-plane, C-plane

- A forgalmi és vezérlési adatok elkülönítése a maghálózati infrastruktúrán
- Célja a maghálózati elemek tehermentesítése
- Release 4 architektúra – Bearer Independent Core Network
- Szétválik az MSC
  - MSS – MSC Server
  - MGW – Media Gateway
- Az MSS vezérli az MGW-t (Megaco protokoll)
  - Control Plane adatok az MSS irányába
  - User Plane adatok az MGW-ken keresztül

© Varga Tamás, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

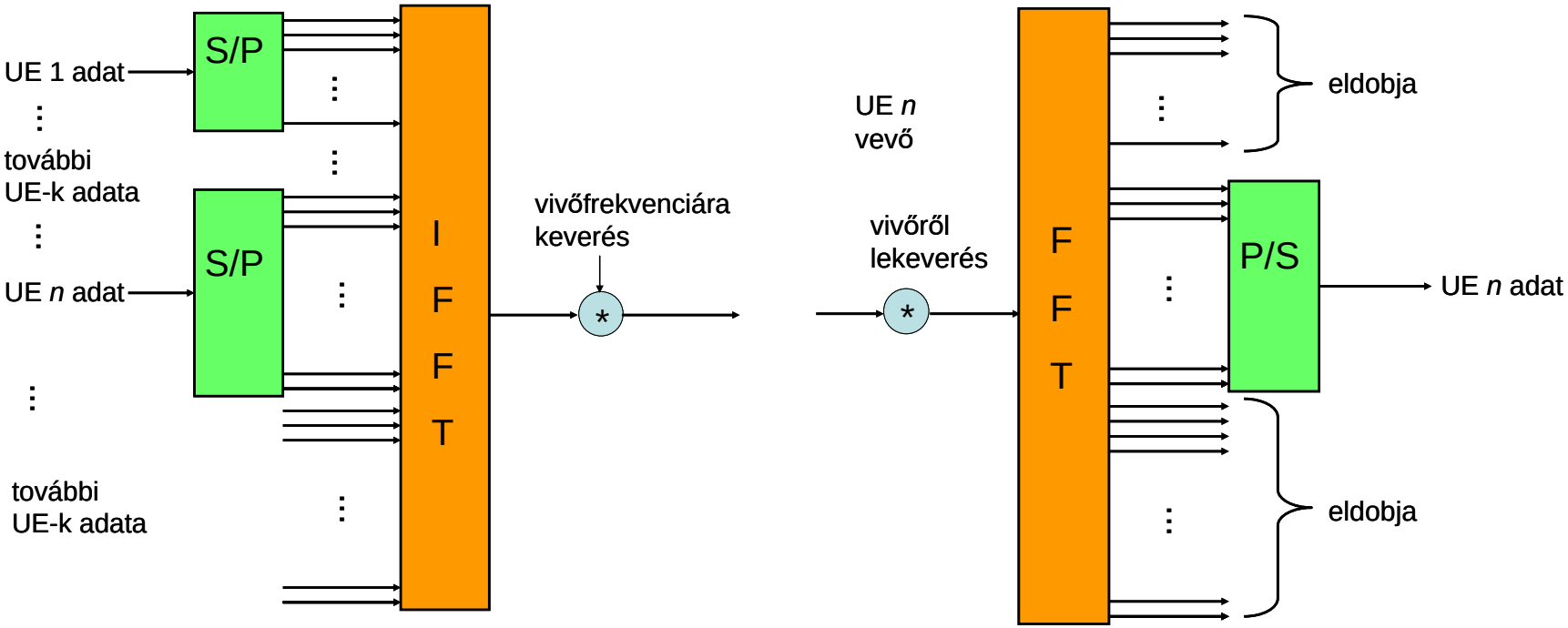
UMTS U-plane, C-plane



Willie W. Lu: Broadband Wireless Mobile: 3G and Beyond

LTE közeghozzáférés

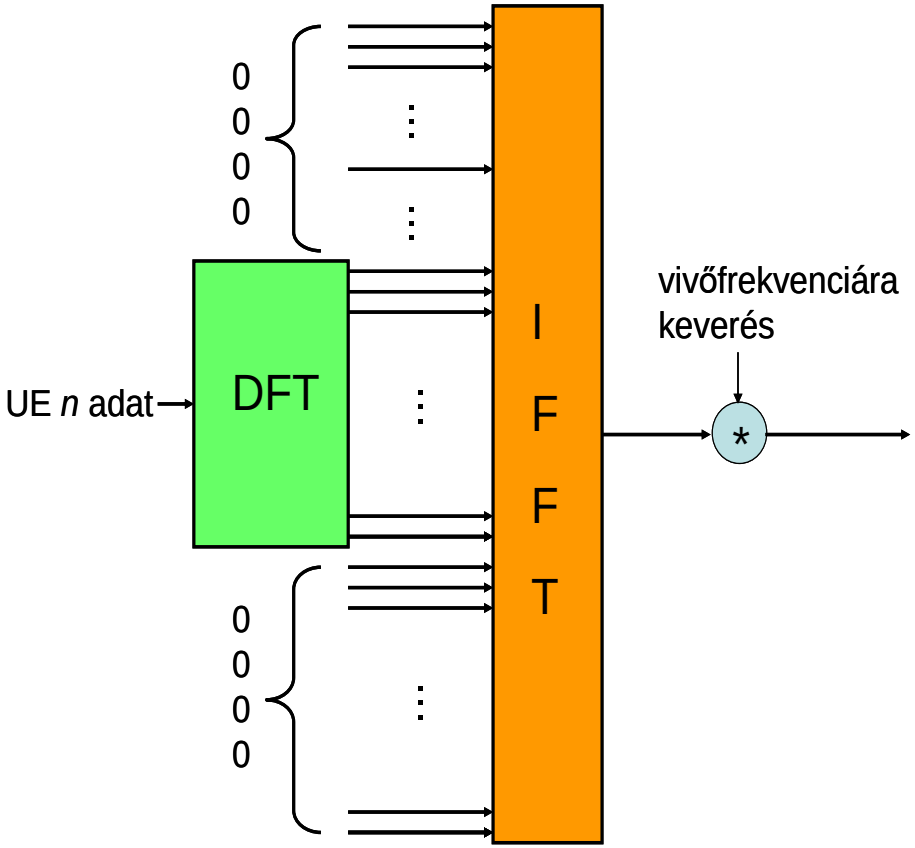
- Downlink esetben: OFDMA – Orthogonal Frequency Division Multiple Access



© Varga Tamás, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

LTE közeghozzáférés

- Uplink irányban: SC-FDMA (SC – single carrier)
- Mitől nem FDMA? – A sávszélesség/erőforrások allokációja dinamikusan változtatható.



MŰEGYETEM 1782

BME

5G

2018. december 5.,
Budapest

5G

- Mi van, mi lesz, mi hiányzik?
  - LTE – nagy adatátviteli sebesség,
  - De a késleltetés nagy
- Elvárások
  - 20 Gbps adatátviteli sebesség, a gyakorlatban 1 Gbps
  - < 1 ms késleltetés (ez NAGYON kevés)
    - Mihez lehet jó?
      - Önvezető gépjárművek kommunikációja
      - Mobil játékok
      - Orvosi alkalmazások
  - Nagy számú előfizető kiszolgálása kis területeken
  - Az LTE-nél jobb mobilitástámogatás (500 km/h)

5G

- Két frekvenciatartományt használ:
  - FR1: 450 MHz - 6 GHz, legfeljebb 100 MHz széles vivőkkel, 256-QAM modulációval (LTE-Advanced hasonlóra képes vivőaggregációval (5 x 20 MHz), illetve szintén 256-QAM modulációval)
  - FR2: 24-86 GHz, legfeljebb 400 MHz széles vivőkkel, akár két vivő aggregációjával: akár 40 Gbps adatátviteli sebesség
- A milliméteres hullámhossz kis hatótávolságot tesz lehetővé
  - Ugyanakkor a korábban költséges hardver miatt kihasználatlan
  - Nagy sávszélességet tesz lehetővé
  - Nem jól hatol át fizikai akadályokon (épületek, víz)
    - Kis cellák, pikocellák

5G

- Erősen támaszkodik a MIMO-ra
  - 64x64 MIMO, MU-MIMO
  - Nyalábformálás
- Duplexing: full duplex rádió – single channel full duplex
- NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access
  - Az egyes előfizetők forgalma az eltérő jelszintek alapján különül el, egyidőben adnak (szükséges az alacsony késleltetéshez, de ettől még lehetne OFDM, CDMA is)
  - Az eltérő jelszintek előállhatnak a MIMO antennatömbök segítségével, jelfeldolgozással, kvázi-SDMA
  - A feldolgozás a vevőoldalon hatalmas számítási kapacitást igényel

MŰEGYETEM 1782

BME

1. ELŐADÁS

Bevezetés, alapok, ismétlés

2018. október 2.,
Budapest

Bemutatkozás

- Schulcz Róbert
- schulcz@hit.bme.hu
- I.E.504.
- tananyag: http://www.hit.bme.hu/~schulcz/ oldalon
- féléves követelmény:
  - gyakorati órákon való részvétel
  - 1 db nagyzárthelyi dolgozat legalább elégséges megírása
- vizsga: írásbeli

Az érintett témakörök

- alapfogalmak ismétlése
  - OSI modell, modulációk, csatornakódolás, közeghozzáférési eljárások
- némi alaptudás „konyhanyelven”: jelek alapsávi leírása, fading modellek, csatornamodellek, cellás elv
- közcélú rendszerek: 2G -> 4G
- vezeték nélküli adathálózatok: 802.11 család, lokális hálózatok
- IP, mobil IP, IP mikromobilitás
- ad-hoc hálózatok, Bluetooth,
- a jövő hálózatai, 5G

Motivációk

- **Azt halljuk, hogy a mobil távközlési szektor jövedelmező üzletág. Mennyi volt 2015-ben a mobil távközlési szolgáltatásokból származó árbevétel globálisan?**
  - A) **kb. 1300 milliárd USD**
  - B) kb. 1000 milliárd USD

(Összehasonlítás: Volkswagen csoport (dízel botrány előtt) kb. 260 milliárd USD; gyógyszergyártás kb. 1000 milliárd USD 2012-ben)

Motivációk

- **Hallottam a tévében, hogy népszerű az okostelefon. A 2014-as évben másodpercenként átlagosan hány okostelefont adtak el világszerte?**
  - A) kb. 20
  - B) **kb. 40**

- Összesen kb. 1.3 milliárd fogyott 2014-ben

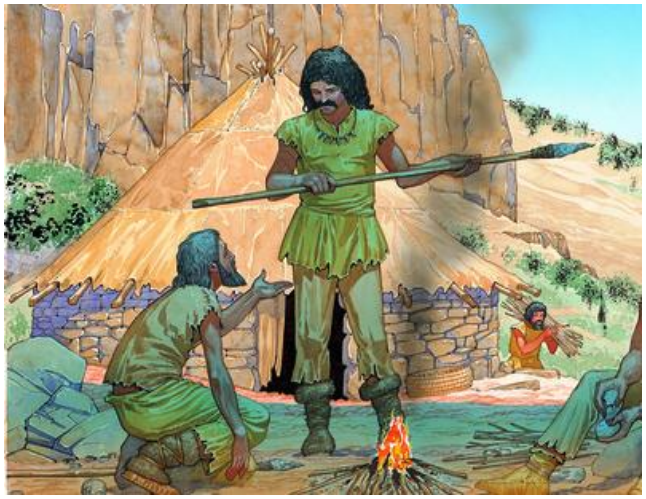
Motivációk

- **Állítólag nagyon népszerű szolgáltatás világszerte a rövid szöveges üzenetek küldése. Átlagosan óránként hány SMSt küldenek a világon?**
  - A**) kb 856 000 000** (kb 10 000 x Shakespeare összes)
  - B) kb 1 900 000 000 (kb 22 000 x Shakespeare összes)

- kb. 7500 milliárd/év

Motivációk

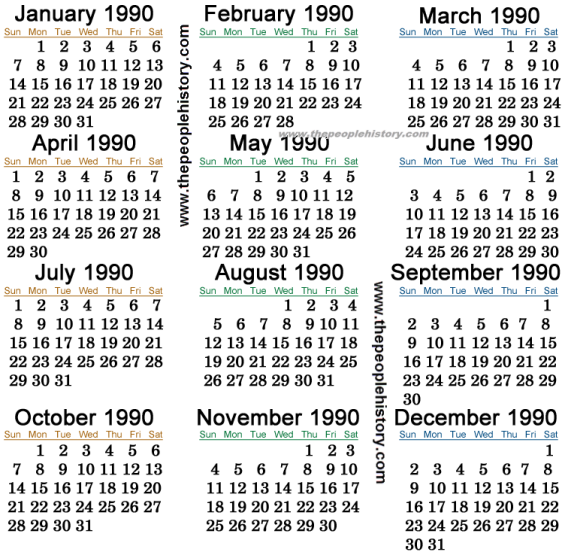
- **Állítólag az emberiség mobiltelefonálni is szeret. Egy óra alatt összesen kb. mennyi mobiltelefonos beszélgetés zajlik világszerte?**
  - A) kb 700 évnyi
  - B) **kb 2000** évnyi



- Össz 9500 milliárd perc 2012 -ben

Motivációk

- **Mikor indult az első kereskedelmi mobiltelefon szolgáltatás Magyarországon?**
  - A) **1990 október 15 -én**
  - B) 1991 július 15 -én



Motivációk

- **Mindig azt halljuk, hogy a mobiltelefonok használata Magyarországon nagyon elterjedt. Mennyi a 2014. április-június időszakban mobil hanghívást lebonyolító SIM kártyák száma Magyarországon?**
  - A) 9 973 700
  - B) **11 070 600**

Motivációk

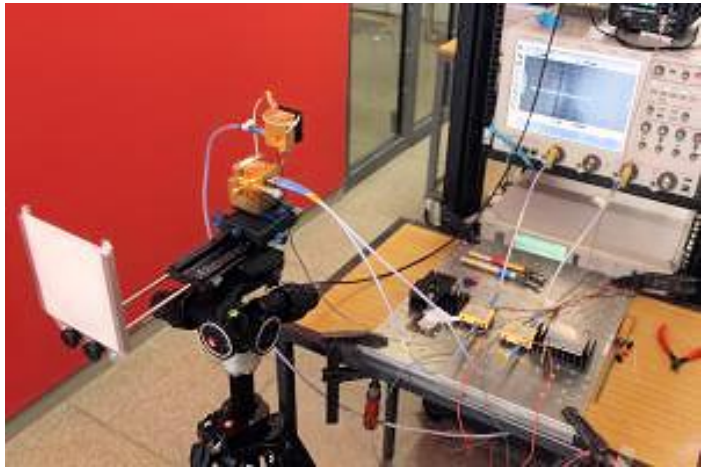
- **Azt mondják, halálos sugárzás ér, ha a szolgáltató a háztetőnkre építi a bázisállomását. Ha tíz méter távolságban állok nyílt terepen a nagy teljesítményű, 20 W –os 3G bázisállomással szemtől szemben, akkor a fülemhez tartott telefonhoz képest mekkora sugárzást kapok a bázisállomástól?**
  - A) kb az egy százalékát
  - B) **kb százezred részét**

Motivációk

- **Beszélnek róla, hogy az 5G rendszerekben már a Gbps átviteli sebesség sem lesz elképzelhetetlen. Az NTT DoCoMo 5 Gbps (1 DVD / 7.5 sec) átviteli sebességet demonstrált kültéri, városi környezetben, 10 kmph-val mozgó terminál felé, csupán 100 MHz sávszélesség felhasználásával. Mikor?**
  - A) 2011 június
  - B) **2006 december**

Motivációk

- **Laboratóriumi körülmények között, 1000 méter távolságra a 273 Ghzes sávban a Fraunhofer 2013 nyarán vezetéknélküli átviteli sebesség rekordot döntött. Mekkora átviteli sebességet értek el?**
  - A) 40 Gbps (1.05 DVD / sec)
  - B) 100 Gbps (2.66 DVD / sec)



Motivációk

- **Egy mobil bázisállomás átlagosan kb. 1.5 kW teljesítményt használ, ami nem sok; mint egy hajszárító. A világ bázisállomásainak táplálásához kb. mekkora erőművi kapacitás kell?**
  - A) **kb. 25 paksi blokk**
  - B) kb. 15 paksi blokk

Motivációk

- **Egy mobil készülék átlagosan kb. 0.3 W teljesítményt használ, ez igazán csekélység. A világ mobiltelefonjainak táplálásához kb mekkora erőművi kapacitás kell?**
  - **A) kb. 3-4 paksi blokk**
  - B) kb. 7-8 paksi blokk

Motivációk

- Szakma
- Gyártók
- Szolgáltatók
- Beszállítók

A tárgy motivációi

- hagyományos távközlés, műsorszórás és számítástechnika konvergenciája (eszközökben és hálózatokban)
- mobil beszédhálózatok elképesztő sikere (GSM)
- hordozható készülékek egyre nagyobb számítási kapacitása, csökkenő mérete
- rádiós átviteli technológiák folyamatos fejlődése („okos antennák”, többvivős modulációs rendszerek, szórt spektrum, UWB)
  - vezetékes hozzáféréssel összemérhető fizikai adatátviteli sebesség rádión
- hálózati technológiák kiterjesztése vezeték-nélküli/mobil környezetre (mobil Internet Protokoll, mobil ATM)

A tárgy motivációi

- nagyon kis területű hálózatok (Bluetooth, UWB)
- egyre terjedő nagysebességű vezeték nélküli helyi hálózatok (WLAN)
- új, ígéretes városi méretű vezeték-nélküli hálózatok (Wimax, LTE)
- nagysebességű mikrohullámú pont-pont és pont multipont hálózatok
- globális lefedettséget nyújtó műholdas hálózatok
- A rádiós és mobil átvitel mindenütt jelen van, aránya egyre növekszik

A tárgy motivációi

- miért más mint a vezetékes kommunikáció?
- kutatás/fejlesztés legnagyobb kihívásai két fő problémakörből adódnak:
- **a csatorna:**
  - kis kapacitás (sávszélességtől és adóteljesítménytől függ, sávszélesség nagyon drága) (Shannon átviteli sebesség < $B \cdot \log_2(1+S/N)$)
  - zaj; időben és helytől függően (drasztikusan) változó csatorna csillapítás; interferencia (mások is használhatják ugyanazt a sávot, vagy valami behallatszik)
  - a keskeny csatornát a lehető leghatékonyabban kell kihasználni (legtöbb bit per szekundumot átpréselni): de minden felhasználó látja, valahogy el kell köztük osztani
  - mivel mindenki hallja, sokkal könnyebb lehallgatni, ill. zavarni: kényes a biztonság

A tárgy motivációi

- **felhasználói mobilitás:**
  - a felhasználók rádiós interfészen keresztül csatlakoznak a (globális) hálózathoz, egy hálózati csatlakozási ponton keresztül (bázisállomás, hozzáférési pont) (rajzot!)
  - mozgás során eltávolodhatnak, másikhoz csatlakozhatnak (ha kommunikáció közben történik: handover) (rajzot!): ez történhet akár különböző szolgáltatók, vagy hálózatok között is!
  - ennek úgy kell megtörténnie, hogy a felhasználó ne vegye észre
    - hívások, adatcsomagok átirányítása az új hely felé, manapság szolgáltatási minőségről (QoS) beszélnek, ezt kell biztosítani
    - rádiós erőforrásnak kell rendelkezésre állnia az új csatlakozási pontnál is
  - a felhasználót meg kell találni a hálózatban, ha felé irányuló kommunikáció van

A tárgy motivációi

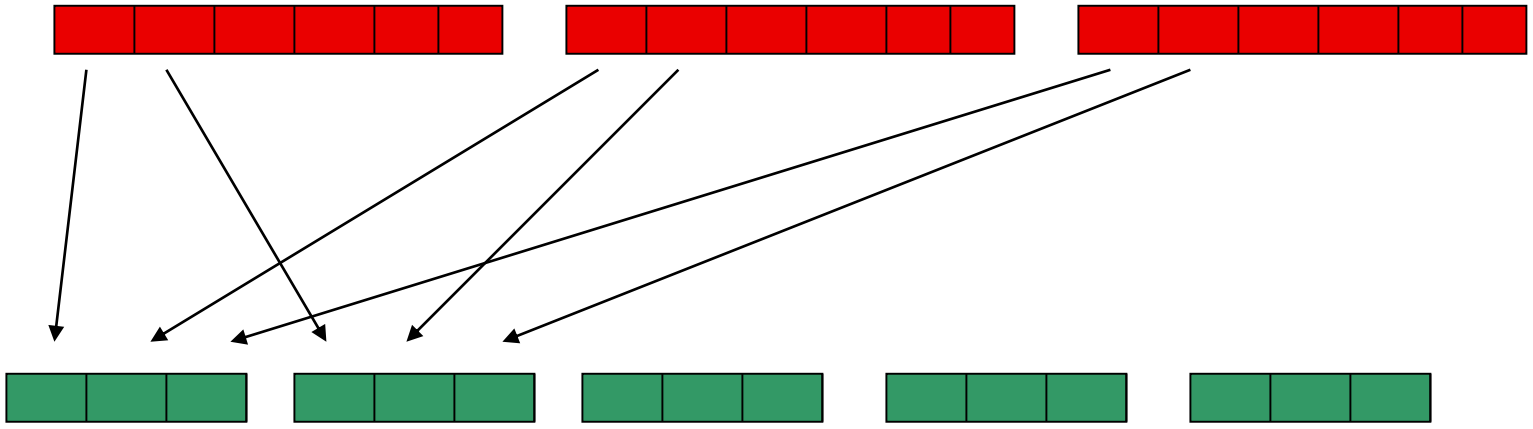
- további fejlődés és kutatás a rádiós, mobil kommunikációt érintő minden területen
- **rádiós átvitel:** többvivős rendszerek; okos antennák; összetett antennák; ultra-szélessávú (UWB) kommunikáció; vak csatornakiegyenlítés
- **hibamentes adatátvitel:** turbó kódolás; iteratív kódolók; együttes forrás és csatornakódolók; többfelhasználós vevők
- **intelligens csatornamegosztás:** QoS alapú és prioritásos ütemezők; elosztott, központi koordináció nélküli csatornamegosztás; MIMO antennák, térben osztott csatorna
- **felhasználó mozgása:** helyzet követési, helyzet frissítési, helyzet előrejelzési eljárások
- **hálózati technológiák:** mobilitást kezelő hálózati protokollok, mobilitást támogató hálózati eszközök; önszervező mobil hálózatok

A tárgy motivációi

- **hálózati transzport:** rádiós átvitelhez igazított transzport protokollok, mobilitást, adatbiztonságot együtt nyújtó transzport protokollok
- **alkalmazások:** kis képernyőre, kis bitsebességre optimalizált hálózati alkalmazások; felhasználó helyétől függő alkalmazások, szolgáltatások

Hibavédelem

- Hogyan lehet a rossz csatorna hatásait kivédeni?
  - Hibavédő kódolások (FEC – Forward Error Correction)
    - Pl. konvolúciós kódolás, blokk-kódolás, turbó kódolás, stb.
    - Redundancia (több bit átvitele) kell hozzá
    - Bizonyos mennyiségű bithibát képesek javítani, még többet jelezni, ha a hibák elszórtak, függetlenek…de a hibák tipikusan börsztösen jelentkeznek
    - …ezért: interleaving (átlapolás)
  - Scrambling (bitkeverés)



Hibavédelem

- Hogyan lehet a rossz csatorna hatásait kivédeni?
  - Nyugtázás/újraadás (több verzió is létezik)
    - Pl. pozitív nyugta minden csomagra, küldési ablakos megoldások, negatív nyugta
    - Általában a magasabb szintű moduláció és a kisebb kódolási redundancia kevésbé zavartűrő
  - Adaptív moduláció és kódolás
    - A csatorna állapotától függ, hogy egy adott pillanatban milyen modulációval, milyen hibavédő kódolással küldik az adatot
    - A hasznos átviteli sebesség is a csatornától függ

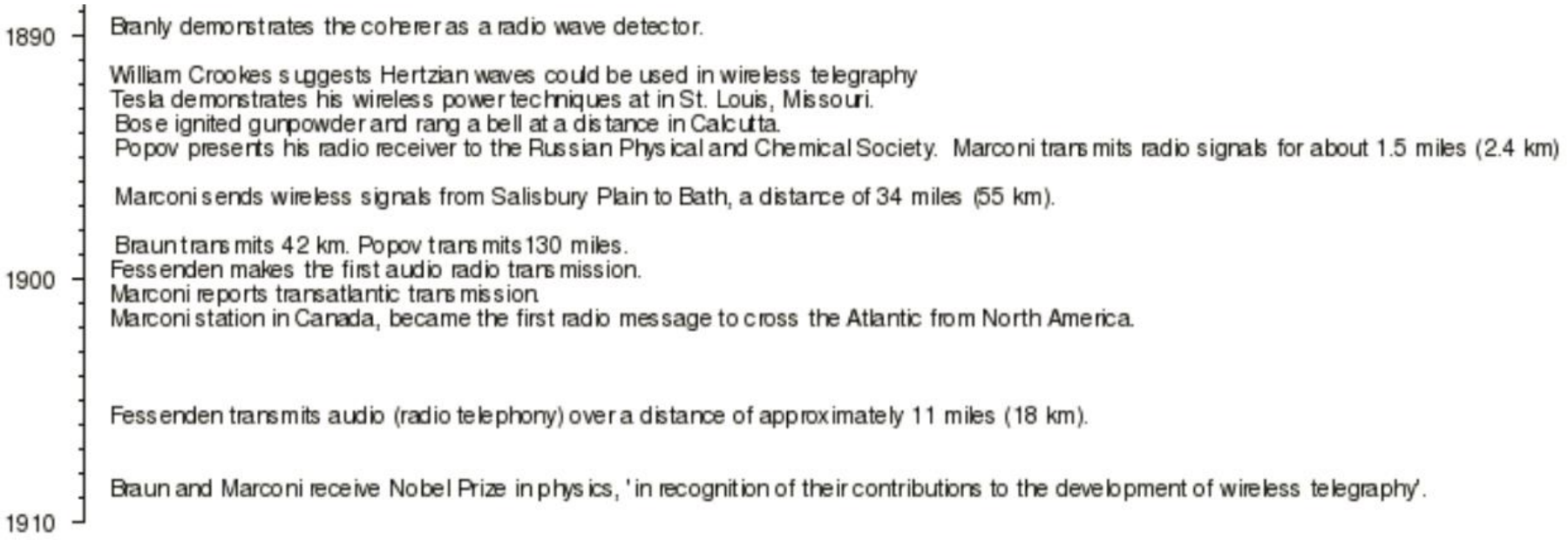
Közeghozzáférés

- Szervezett és véletlen közeghozzáférés
  - A véletlen hozzáférés versengéssel jár
  - Hasonló fogalom: multiplexálás
- Szervezett: frekvenciaosztásos, időosztásos, kódosztásos hozzáférés
  - az egyes felhasználók egy frekvenciasávot, egy időszeletet vagy egy speciális jel-transzformációt jellemző kódot kapnak
- Véletlen hozzáférés:
  - ALOHA: felhasználó akkor ad, amikor akar, ütközés lehet, ütközés esetén véletlen várakozás után újra próbálkozás
  - Vivőérzékeléses (CSMA) eljárások: adás előtt az állomás belehallgat a csatornába, ha nincs másik adás, akkor próbál adni

Történeti áttekintés

- Mi az első név amit rádiós kommunikációban meg kell említeni?
  - **1864**: James Clerk Maxwell megjósolja az elekromágneses hullámok létezését
  - **1888**: Hertz kísérletileg igazolja az EM hullámok létezését
- Tesla vs. Marconi: Ki találta fel a rádiót?
  - **1897 március 2.**: British Patent No. 12,039 – Marconi: „*Improvements in Transmitting Electrical Impulses and Signals and in Apparatus There-for*”
  - **1897 szeptember 2.**: U.S. Patent 0,645,576 – Tesla: „*System of transmission of electrical energy*”
  - 1898: U.S. Patent 0,613,809 – Tesla: „*Method of and Apparatus for Controlling Mechanism of Moving Vehicle or Vehicles*”
  - 1901: Első transzatlanti átvitel – Marconi
  - 1909: Fizikai Nobel-díj Marconi-nak (Tesla pedig beperelte)
  - 1943: Az USA legfelsőbb bírósága Teslának tulajdonítja az érdemet
- **1895 december 15.**: Alexander Stepanovich Popov
  - Elkészíti az első rádióvevőt (villámdetektor), nem szabadalmaztatta

Történeti áttekintés



Mindezeket követően indult be az „amatőr” rádiózás

- 1920: Első kereskedelmi rádió
- 1921: Detroiti rendőrség egyirányú rádiós kommunikációja
- 1933: Kétirányú rendőrségi rádiós kommunikáció
  - push to talk (PTT)
- 1940: Első duplex rádió (Motorola)
- 1946: Autóba szerelhető telefon, rádió-PSTN kapcsolat

Történeti áttekintés

- Cellás rádiótelefon hálózatok
  - 1968: Cellás elv, frekvencia újrafelhasználás elve
  - 1979: AMPS (Advanced Mobile Phone System): analóg cellás mobiltelefon rendszer
  - 1981: NMT (Nordic Mobile Telephone system), analóg cellás rendszer (Westel 450 , ha még emlékszik valaki)
  - 1985: TACS (Total Access Communication System), Japán (analóg)
  - **1989: GSM szabvány**, első rendszerek a ’90-es évek elején
  - 1991: IS 54, amerikai digitális rendszer
  - 1993: IS 95 szórt spektrumú digitális rendszer, JDC (Japan Digital Cellular) rendszer
  - **1999 UMTS szabvány** első verzió, 2001-es verzióban: HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)

Történeti áttekintés

- Rádiós adatkommunikáció
  - 1970: ALOHA rendszer: Hawaii, szigeteken elhelyezett terminálok és központi terminál közti kommunikáció, 1972 réselt ALOHA
    - CSMA protokollok alapja, ez alapján pl. 1976: Ethernet (CSMA CD)
  - 1991 NCR WaveLAN (1 és 2 Mbps sebesség)
  - 1997 IEEE 802.11 (1 és 2 Mbps)
    - később további verziók (a/b/g/n/ac)
  - 90-es évek közepe: Internet protokoll mobil kiterjesztése
  - 90-es évek közepe: ATM mobil kiterjesztése, mobil ATM kísérleti hálózatok (WAND, WATMNet, stb.) -> mobil ATM fejlesztések befejeződtek
  - 90-es évek közepe-vége: Hiperlan1, abbamaradt
    - Hiperlan2: Nem sikerült legyűrni a 802.11-et

Történeti áttekintés

- Műholdas kommunikáció
  - 1945 Arthur C. Clarke (híres sci-fi szerző, pl. 2001 Űrodüsszeia): geoszinkron pályán keringő műhold elve
    - Az egyenlítő adott pontja fölött kering 24 órás keringési idővel, 3 db. ilyennel a Föld lakott részének nagy része lefedhető
  - 1964 első geoszinkron pályás műhold
  - 1965: Intelsat 1, első kereskedelmi távközlési műhold
  - 60 as évektől: műholdas műsorszórás
  - ’70-es évek, Inmarsat, műholdas navigációs rendszerek
  - 90-es évek: LEO (Low Earth Orbit – pár száz km) pályán keringő műholdakkal megvalósított globális mobiltelefon és adathálózatok tervei (Teledesic, Globalstar, Iridium)
  - Iridium: Motorola fejlesztette, 66+11 műhold, szolgáltatás indítása 1998 végétől, nem volt előfizető, leállították