



HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK

Bevezetés, motivációk

Mobil kommunikációs hálózatok/rendszerek
1. előadás

Gódor Győző

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu

Budapest,
2020.09.10.



- előadó: **Gódor Győző**
- elérhetőségek:
 - IB. 117. 463-1880
 - godorgy@hit.bme.hu
- a tárgy weboldala: **<https://edu.vik.bme.hu>**
 - Mobil kommunikációs hálózatok 2020/21/1
 - Mobil kommunikációs rendszerek 2020/21/1

- **Mobil kommunikációs hálózatok**
(tantárgykód: VIHAC00)
- **Mobil kommunikációs rendszerek**
(tantárgykód: VIHAC04)
- „A tárgy célja, hogy gyakorlati megközelítésben a hallgatók számára bemutassa a napjainkban legelterjedtebb mobil- és vezeték nélküli hálózatok és rendszerek működését, valamint az üzemeltetésükhöz, tervezésükhöz szükséges alapvető ismereteket.
- A tárgy célja továbbá a konkrét mobil hálózati példákon keresztül alapvető rádiós és vezeték nélküli kommunikációs megoldások és ezek lehetőségeinek, használati módjainak bemutatása.”

- Féléves követelmény:
 - órákon és gyakorlatokon való részvétel
- A szorgalmi időszakban:
 - 1db nagyzárthelyi sikeres megírása (min. 40%)
- A vizsgaidőszakban:
 - írásbeli vizsga (elővizsga van)
- Pótlási lehetőségek:
 - a félév során lehetőség van a nagyzárthelyi pótlására.
 - a sikertelen pótzárthelyi a pótlási időszakban ismételten pótolható.

- **alapfogalmak ismételése**
 - OSI modell, modulációk, csatornakódolás, közeghozzáférési eljárások
- **rádiós alapismeretek:**
 - jelek alapsávi leírása, fading modellek, csatornamodellek, cellás elv
- **közcélú rendszerek:**
 - 2G → 4G, LTE Advanced, 5G
- **vezeték nélküli adathálózatok:**
 - 802.11 család, lokális hálózatok
- Bluetooth (BLE), RFID, NFC
- IP, mobil IP
- a jövő hálózatai, 5G, IoT, NB-IoT stb.

- Az élet elképzelhetetlen mobil kommunikáció nélkül
- Szakma
- Gyártók
- Szolgáltatók
- IoT, Ipar 4.0
- Gyors fejlődés, folyamatos megújulás

- 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”, többvívős modulációs rendszerek, szórt spektrum, UWB)
 - vezetékes hozzáféréssel összemérhető fizikai adatátviteli sebesség rádión
- hálózati technológiák kiterjesztése vezeték nélküli/mobil környezetre (mobil Internet Protokoll)

- 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

- mi az első név, amit rádiós kommunikációban meg kell említeni?
 - természetesen **James Clark Maxwell**, 1864: „Az elektromos mező dinamikus elmélete” c. dolgozata
 - megjósolja az elektromágneses hullámok létezését
- **Heinrich Hertz**, 1888: kísérletileg igazolja az EM hullámok létezését
- **Guglielmo Marconi**, 1897: első rádiós átvitel; 1901: első átvitel az Atlanti-óceánon át
- Alexander Popov, 1900: szintén rádiós átvitel
- ezután beindul az amatőr rádiózás
- 1920: első kereskedelmi rádió
- 1921: detroiti rendőrség egyirányú rádiós kommunikációja
- 1933: kétirányú rendőrségi rádiós kommunikáció (push-to-talk, PTT)
- 1940, Motorola: első duplex rádió
- 1946: autóba szerelhető telefon, rádió-PSTN kapcsolat

- 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)

- 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, 802.11a és 802.11g: 54Mbps, ma 802.11ac
 - 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, Hiperlan2

- Műholdas kommunikáció

- 1945: Arthur C. Clarke (híres sci-fi szerző, pl. Űrodüsszeia sorozat): geoszinkron pályán keringő távközlési 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 terve (Teledesic, Globalstar, Iridium)
- Iridium: Motorola fejlesztette, 66+11 műhold, szolgáltatás indítása 1998 végétől, nem volt előfizető, leállították

MOBILTELEFONOK EVOLÚCIÓJA I.

- 1973: első mobilhívás, kézben hordozható mobillal (Dr. Martin Cooper, Motorola), 1983-tól kereskedelmi forgalomban
- 1986: zsebben hordozható telefon (Technophone EXCELL PC105T)
- 1989: MicroTac (Analóg ☹️)
- 1992: első GSM, első SMS (Orbitel 901)
- 1992: Nokia 1011 (14 országban)

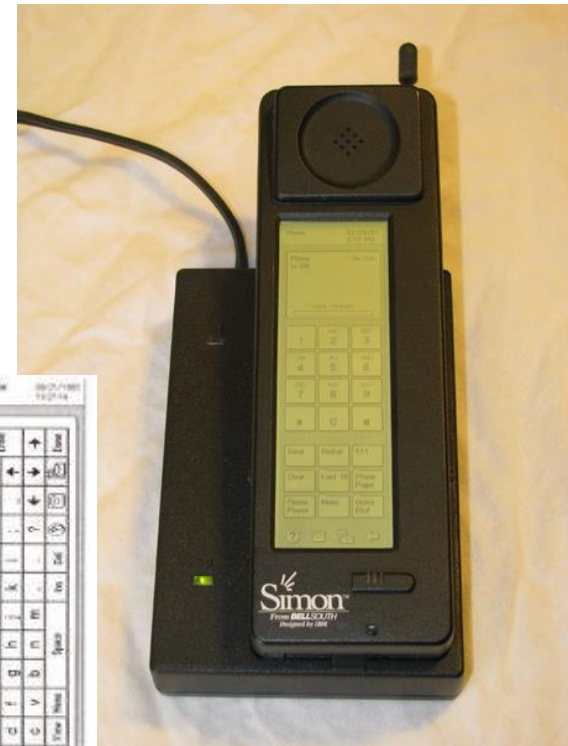
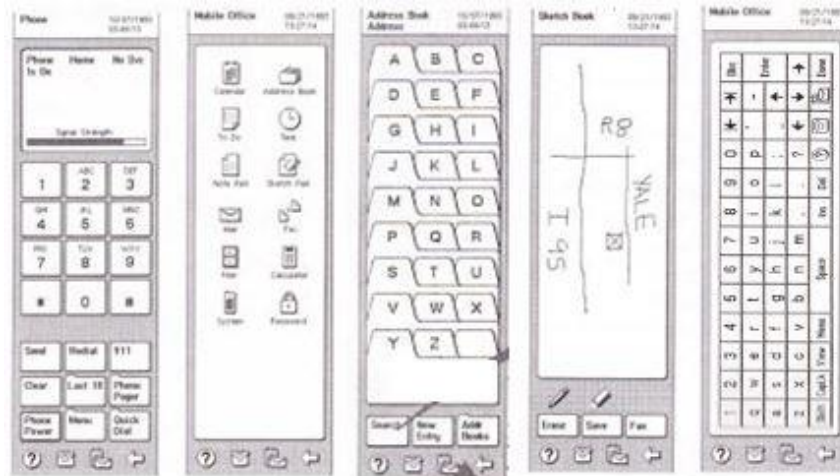


MOBILTELEFONOK EVOLÚCIÓJA II.

- 1994: az első okosóra
- 1994: az első mobilos játék (Tetris) Hagenuk MT-2000
- 1994: Nokia csengőhang (Nokia 2100)



- Az első okostelefon, megjelenés éve: 1994
- Ötvözte a PDA és a mobiltelefonok lehetőségeit.
- Érintőképernyő
- 500 gramm
- Ára a megjelenés évében: \$900
- Funkciók:
 - Címjegyzék
 - Naptár
 - Kalkulátor
 - Jegyzetömb
 - E-mail kliens
 - Fax



MOBILTELEFONOK EVOLÚCIÓJA IV.

NOKIA 9000 COMMUNICATOR

- Megjelenés éve: 1996
- 8MB memória
- QWERTY billentyűzet
- 640x200 képernyőfelbontás
- GEOS V3.0 operációs rendszer
- E-mail kliens
- Text alapú webböngészés
- 397 gramm
- Ára a megjelenés évében: \$1000



MOBILTELEFONOK EVOLÚCIÓJA V.

- 1998: első színes kijelzős mobil, 5238 pixel (97x54), Siemens S10
- 1999: első WAP képes mobil (Nokia 7110)
- 1999: első mobil videoátvitellel (Kyocera VP210)
- 1999: első GSM óratelefon



MOBILTELEFONOK EVOLÚCIÓJA VI.

- 2000: első BT képes mobiltelefon (Ericsson T36)
- 2000: első mp3 lejátszós mobil (Samsung SPH-M100)



MOBILTELEFONOK EVOLÚCIÓJA VII.

ERICSSON R380

- Megjelenés éve: 2000
- Az első készülék, amin Symbian OS fut.
- Az első igazi okostelefon, ami méretben és súlyban is elfogadható volt.
- Érintőképernyős kijelző.
- 164 gramm
- A Popular Science magazin szerint az egyik legfontosabb fejlődés a tudományban.
- A SonyEricsson P800/P900 elődje.



- Megjelenés éve: 2002
- Bevezeti az „always available” business lifestyle-t.
- Nem volt mikrofonja és hangszórója, ezért headset kellett a telefonhívásokhoz.
- 8MB memória
- Java alapú operációs rendszer
- Push e-mail szolgáltatás
- 133 gramm
- Ára a megjelenés évében: \$749



- Megjelenés éve: 2003
- A PDA-k kora kezdett lejárni, ezért a túlélés érdekében a Palm összefogott a Handspring hardvergyártó céggel. Első telefonjuk a Palm Treo 600.
- Harmadik fél által gyártott szoftverek telepíthetőek.
- 32MB memória
- 160x160 pixeles színes kijelző.
- 168 gramm
- Ára a megjelenés évében: \$500



- Megjelenés éve: 2005
- Az első N szériás Nokia okostelefon.
- 3G támogatás
- 2 megapixeles kamera
- Memóriakártya
- Színes kijelző (256k)
- Push-to-talk
- MP3 lejátszó
- Word, Excel, PowerPoint fájlok megjelenítése



- Megjelenés éve: 2007
- Multi-touch kapacitív érintőkijelző (320x480)
- Az első verziónál még nem lehetett telepíteni külső szoftvereket, csak jailbreak-kel, 2008-tól a 3G verziótól és az App Store megjelenése után, már onnan lehetett tölteni szoftvereket.
- iOS 4 előtt nem volt multitasking.
- 4GB, 8GB, 16GB tárhely
- 2 megapixeles kamera
- EDGE, WiFi, Bluetooth
- 135 gramm
- Ára a megjelenés évében: \$499



MOBILTELEFONOK EVOLÚCIÓJA XII.

HTC DREAM (G1)

- Megjelenés éve: 2008
- Az első Android operációs rendszert használó telefon.
- Az Android fejlesztője a Google, ezért olyan szolgáltatások is megtalálhatóak benne, mint a Gmail, Google Calendar, Google Maps.
- 320x480 pixeles kapacitív érintőkijelző
- QWERTY billentyűzet
- 256MB memória
- 3 megapixeles kamera
- Gyorsulásérzékelő
- WiFi, HSDPA, HSUPA, Bluetooth, GPS
- 158 gramm
- Ára a megjelenés évében: \$180



- Megjelenés éve: 2010
- Első generációs Windows Phone 7 operációs rendszert futtató telefon.
- 512MB memória
- 800x480 pixeles kapacitív érintőkijelző
- 5 megapixeles kamera
- 720p videofelvétel
- WiFi, Bluetooth, GPS, HSDPA, DLNA
- Alkalmazások elérhetőek a Windows Phone Marketplace-ből.
- 157 gramm





HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK





HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK

3G UMTS rendszer és szolgáltatások

Mobil kommunikációs hálózatok/rendszerek
2. előadás

Gódor Győző

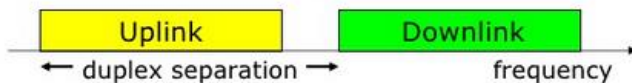
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu

Budapest,
2020. 09. 17.

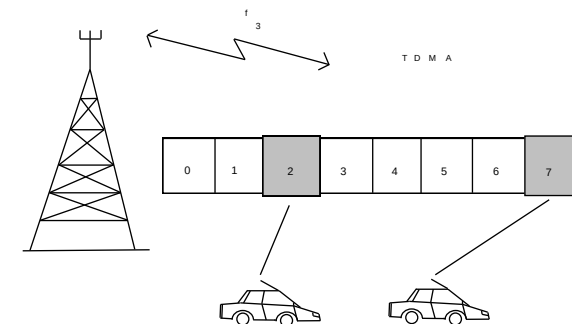
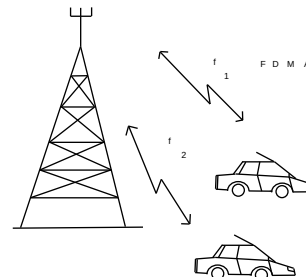
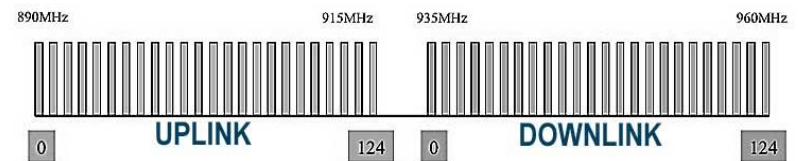
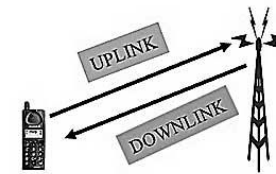
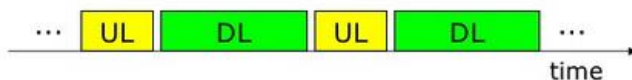


- Megkülönböztetünk uplink és downlink irányt
- Közeghozzáférési technikák: TDMA/FDMA/CDMA
- Duplexitás: FDD/TDD
- Az uplink és downlink frekvencia sáv közti különbség – duplex távolság

FDD (Frequency Division Duplexing) (GSM/GPRS, TETRA, UTRA FDD)



TDD (Time Division Duplexing) (DECT, UTRA TDD)



- UMTS – Universal Mobile Telecommunications System
- Minden korábbi mobil szolgáltatás támogatása
- A fix hálózatok minőségi paramétereinek elérése
- A kapacitás növelése
- A frekvenciasávok kihasználási hatékonyságának javítása
- Olcsó és kisméretű kézi készülékek kifejlesztése
- Az adatbiztonság és adatvédelem erősítése
- Változatos szolgáltatások (hang, kép, adat; távszolgáltatások, hordozó szolgáltatások, járulékos szolgáltatások, értéknövelt szolgáltatások)
- Szolgáltatás multiplexálás
- Aszimmetrikus forgalom támogatása
- Együttélés 2G (pl.: GSM) rendszerekkel

- Az ETSI SMG 24 1998 januárjában döntést hozott az UMTS rádiós interfészéről.
- Ezek szerint két technológiát támogat:
 - W-CDMA
 - W-TDMA/CDMA
 - Cellás rendszerekben W-CDMA/FDD
 - Ad-hoc hálózatokban W-TDMA/CDMA/TDD
 - A szabvány lehetőségképp megengedi az ODMA technológia alkalmazását.
- Magasabb frekvenciasávok használata: 2 GHz körül
- Nagyobb sáv szélesség: 5 GHz
- Duplexitás: FDD, TDD
- CS, PS támogatása

- Kapacitás

- Maximális adatsebességek

- Vidéki: 144 kbit/sec (384 kbit/sec), 500 km/h
- Elővárosi: 384 kbit/sec (512 kbit/sec), 120 km/h
- Beltéri, lokális: 2 Mbit/sec, 10 km/h

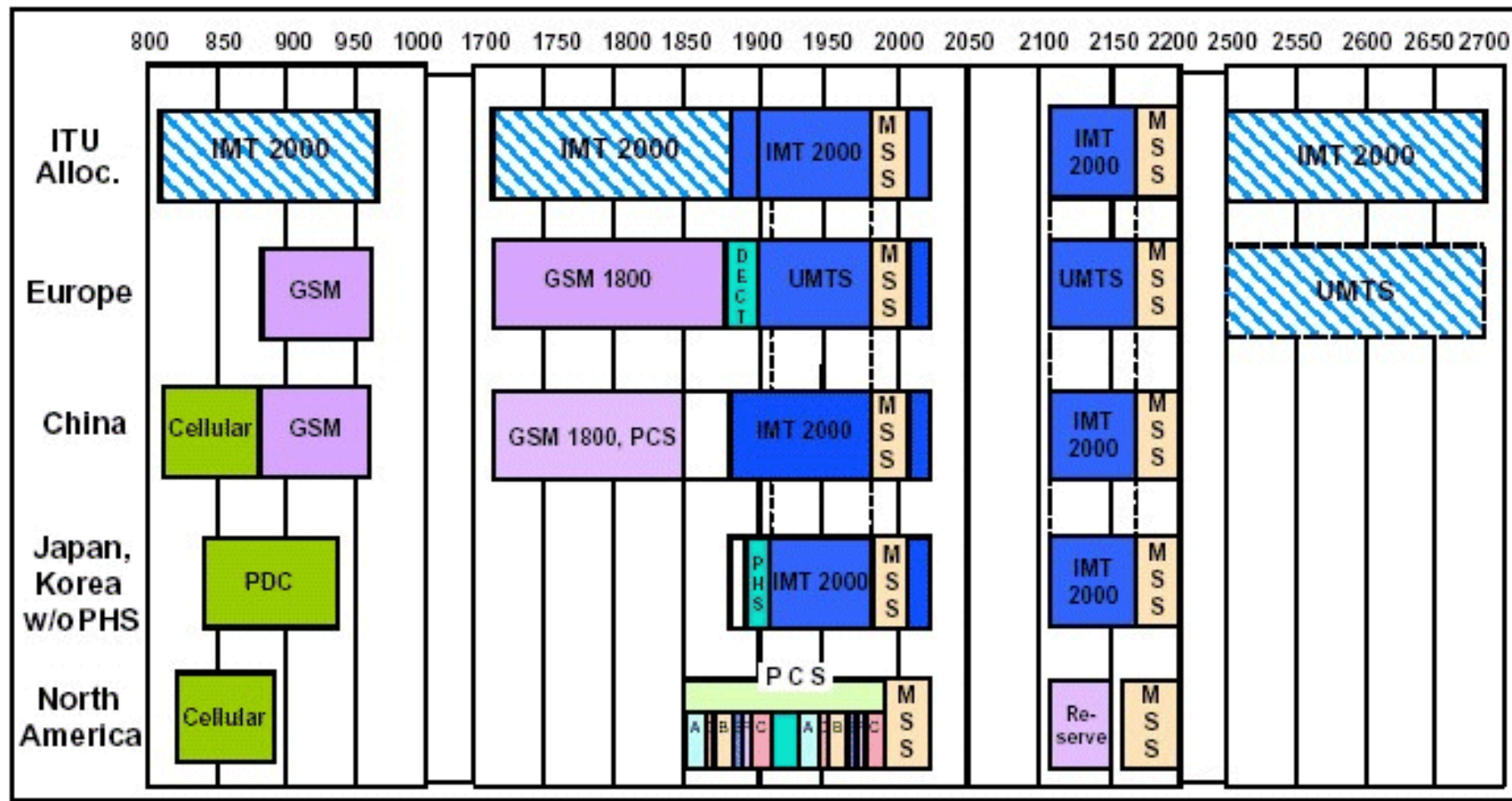
- Megvalósított adatsebességek

- 12,2 kbit/s beszédátvitel
- 64, 144 (128), 384 kbit/s adatátvitel (rádiós hordozó (bearer)): ez hasznos adatátviteli sebesség
- gyakorlati megoldás: a puffer telítettségétől függően kapcsolgatja a rendszer az egyes sebességű hordozókat az előfizetők között
- a sebességekhez tartozó fizikai SF downlinkben: 64 (beszéd), 32, 16, 8

- További lehetőségek az adatsebesség növelésére

- Spektrális hatékonyság
 - Jó spektrum hatékonyság (hang, 78-189 kbit/sec/MHz/cella; adat, 384 kbit/sec és 10^{-6} BER, 85-250 kbit/sec/MHz/cella)
 - Legalább a GSM-hez hasonló spektrális hatékonyság hang kommunikációra
- További paraméterek
 - Aszimmetrikus DL-UL átvitel
 - Flexibilis lefedési struktúra (beltéri, hierarchikus cella struktúra)
 - Relatív olcsó vidéki struktúra
 - Lefedettségi struktúrák könnyű javítása
- További követelmények
 - Illeszkedjen a IMT2000 (FPLMTS) rendszerhez
 - Limitált sáv szélesség (5MHz)
 - Limitált RF kimenő teljesítmény

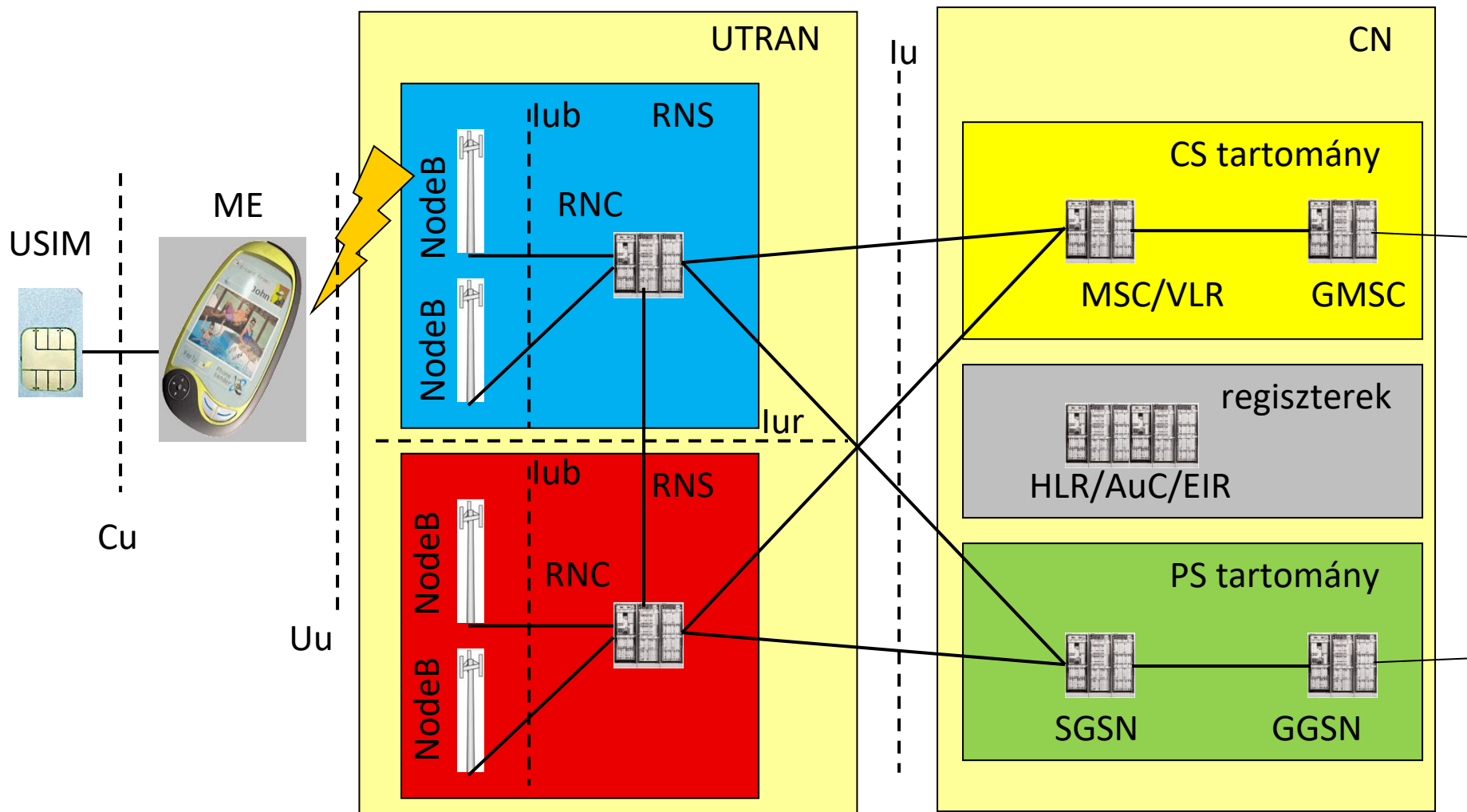
3G UMTS FREKVENCIASÁVOK





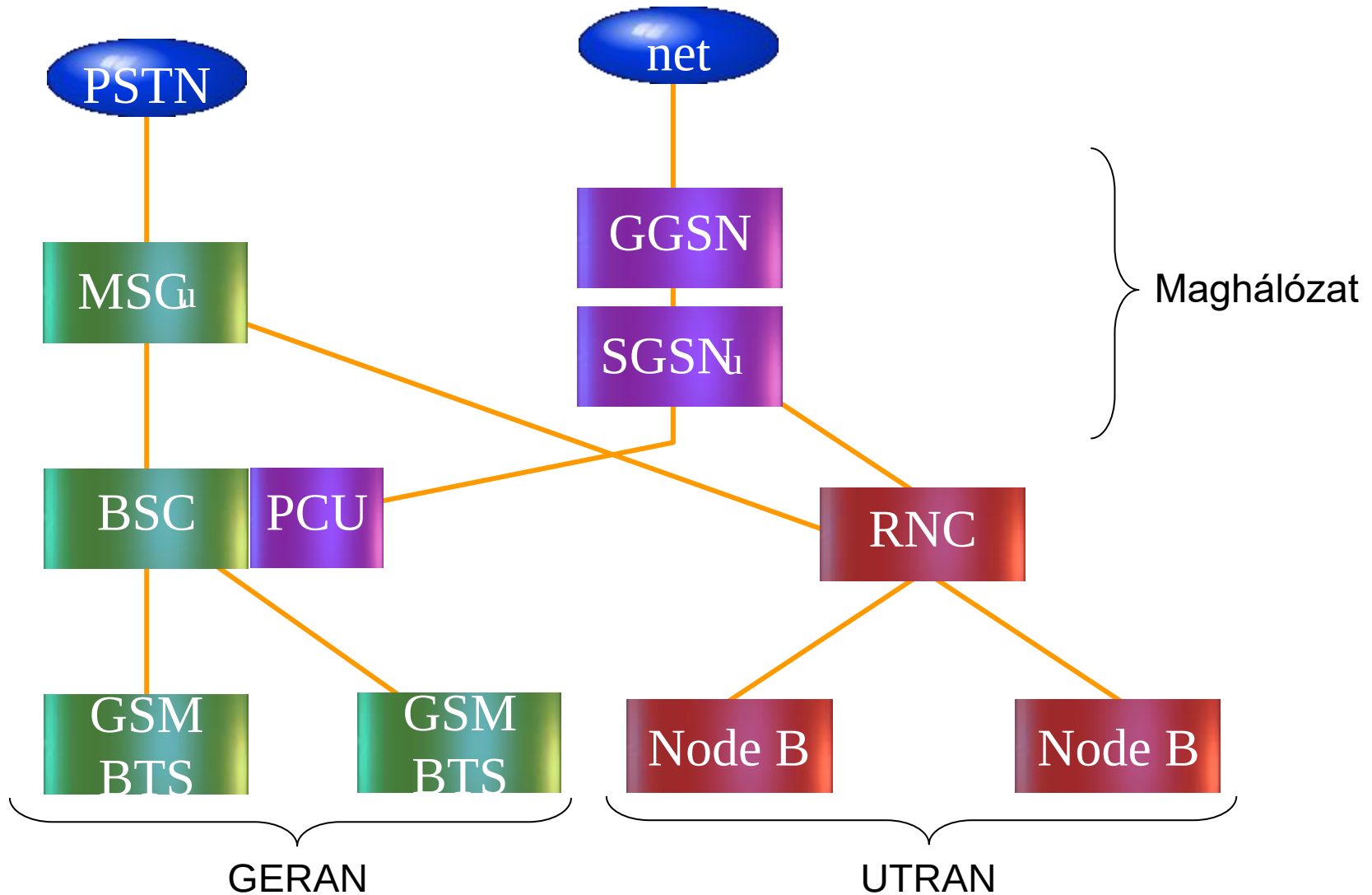
UMTS architektúra

3G UMTS ARCHITEKTÚRA I.

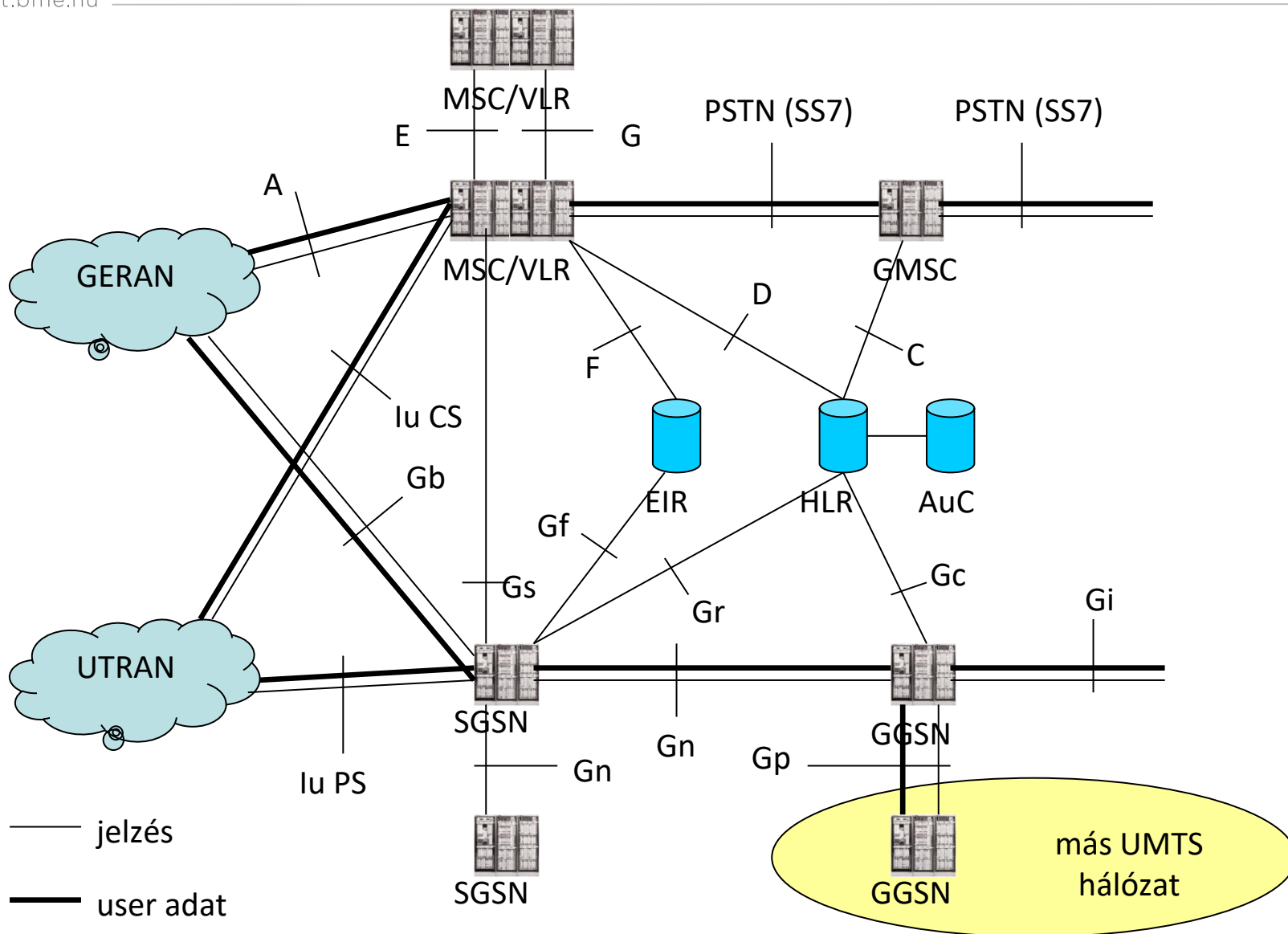


- Felhasználói készülék (User Equipment – UE) két részre bontható:
 - USIM (UMTS Service Identity Module) és
 - ME (Mobile Equipment), köztük Cu interfész.
- UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network)
 - A rádiós hozzáférést biztosító hálózat elnevezése.
 - Rádiós hálózati alrendszerekre osztva (Radio Network Subsystems, RNS)
- EDGE alkalmazásánál a hozzáférési hálózat elnevezése GERAN (GSM/EDGE RAN)
- Maghálózat (Core Network – CN)
 - Release '99-ben ugyanaz, mint a GPRS/GSM CN

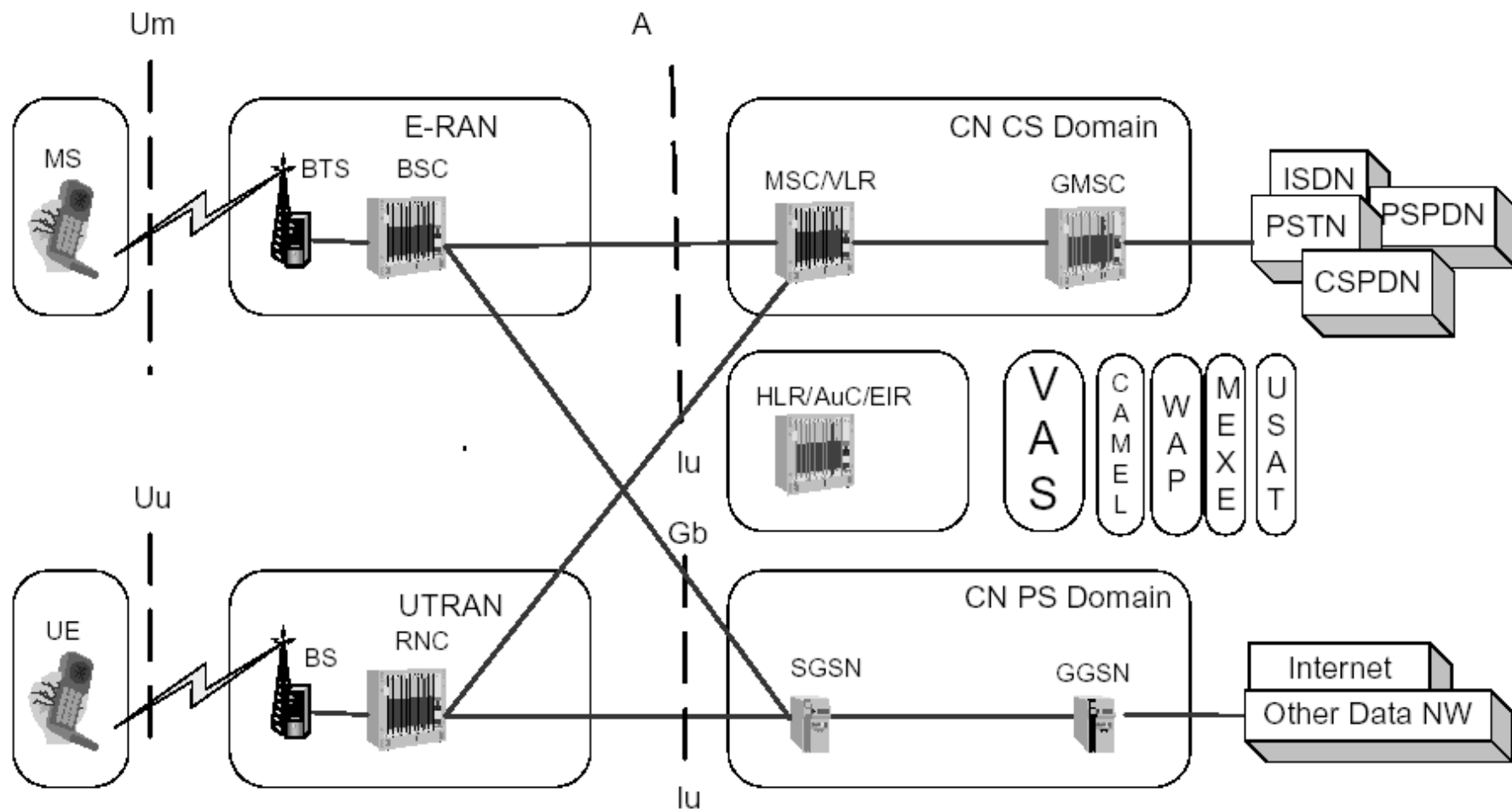
GSM/GPRS – 3G UMTS HÁLÓZAT I.



GSM/GPRS – 3G UMTS HÁLÓZAT II.



GSM/GPRS – 3G UMTS HÁLÓZAT III.



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

- UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network
 - Több Rádiós Hálózati Alrendszerből (Radio Network Subsystem – RNS) áll.
 - Egy RNS tartalmaz egy Rádiós Hálózati Vezérlőt (Radio Network Controller – RNC) és az RNC által vezérelt bázisállomásokat.
 - Feladata: rádiós hozzáférés biztosítása a maghálózat (Core Network – CN) és a felhasználói készülék (User Equipment – UE) között

- Új berendezések:
 - NodeB – megfelel a GSM BTS-nek, de új eszközök kellenek (GSM-hez használtak nem bővíthetők/frissíthetők)
 - más moduláció, más közeghozzáférés, más frekvenciasávok és sűrűbben kell elhelyezni
 - feladatai: OSI fizikai réteg a rádiós interfészen
 - Uu fizikai kapcsolat biztosítása, Iub kommunikáció
 - Fő feladatai:
 - moduláció, spektrumszórás, szinkronizáció
 - csatornakódolás, interleaving
 - bitfolyam titkosítása
 - FDD és/vagy TDD módú működés
 - gyors teljesítményszabályozás

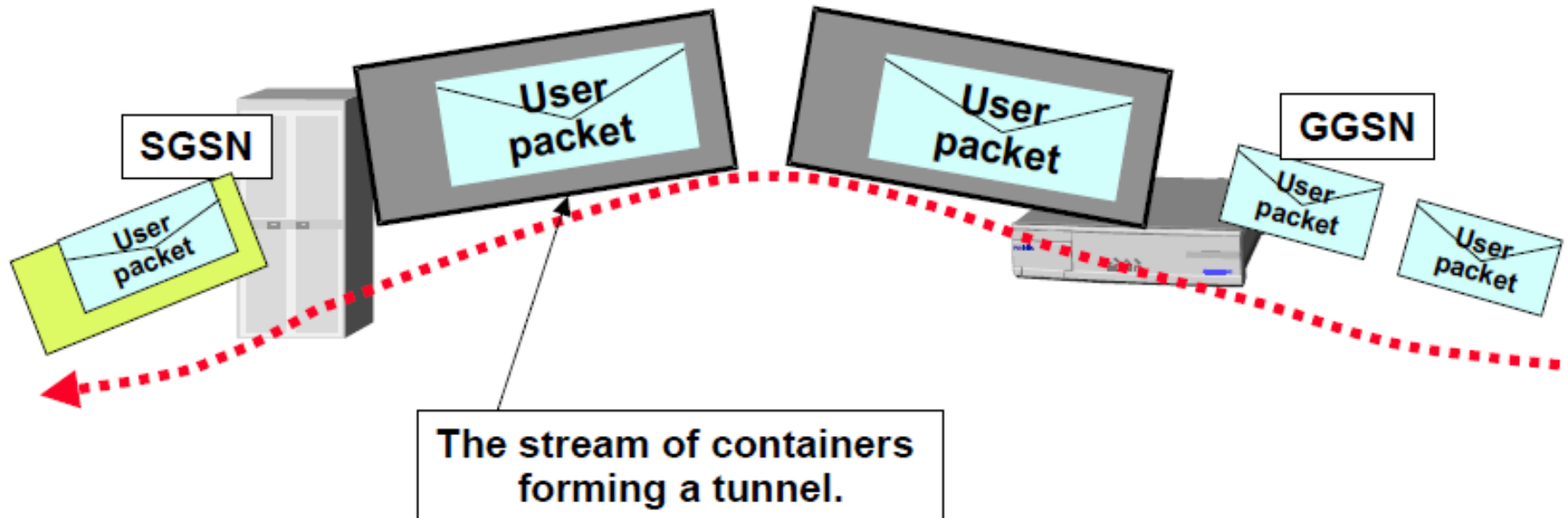
- RNC: Radio Network Controller, rádióhálózat vezérlő
 - új elem, funkciója hasonló a GSM BSC-jéhez
 - egy RNC a NodeB-k egy csoportját (akár 100 db) vezérli
 - adatok továbbítása a bázisállomásokhoz (kapcsoló funkció)
 - Interfészei:
 - Iu (PS és CS): ennek segítségével csatlakozik a maghálózathoz
 - Iur: két RNC között
 - Iub: NodeB és RNC között

- Rádiós erőforrás menedzsment (Radio Resource Management – RRM):
 - teljesítményszabályozás, kód kiosztás, handover szabályozás, beengedés szabályozás, csomagütemezés
- Rendszerinformációk szórása
- UTRAN szintű mobilitás menedzsment
 - Handover és paging
- Cella információs adatbázis menedzselése
- Makro diverziti
 - Két cellából származó adatok kombinálása

- Új elemek a maghálózatban: 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 maghálózat és a GSM BSS között
 - PCU keretekké formálja az adatot (megkegyezik a formátuma a GSM BSS-ből kifelé jövő TRAU formátummal)
 - rádiós erőforrás menedzsment a csomagkapcsolt szolgáltatásokhoz (időrészek kiosztása, bejelentkezés kezelése)

- SGSN (Serving GPRS Support Node):
 - csomag továbbítás: GERAN/UTRAN és más GSN-ek között
 - a csomagkapcsolt kommunikáció „központja”
 - csomag útválasztási funkciót mobilitás kezelő funkciókkal
 - mobilitás menedzselés: a mobilok helyzetének követése → routing area alapon,
 - „ready” állapotú mobiloknál: NodeB-szintű helyzetinformáció (forgalmazás után meghatározott ideig)
 - cellaváltás: aktív állapotú mobiloknál általános, függetlenül attól, hogy van-e aktuálisan adatforgalom
 - számlázás: a rádiós interfész és a hálózati erőforrások használatáért (adat alapú)
 - titkosítás, adat tömörítés (opcionális)

- GGSN (Gateway GPRS Support Node):
 - 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
 - csomagkapcsolt „hívás”: PDP kontextus a mobil és a GGSN között
 - IP-cím mobilhoz való hozzárendelése
 - a mobilitás horgonya a hálózaton belül
 - kapcsolódó IP szerverek szükségesek:
 - DHCP (Dynamic Host Control Protocol)
 - DNS (Domain Name Service)
 - GPRS tunneling protokoll a GGSN és az SGSN között



- A felhasználói adatcsomagok „becsomagolva”, úgynevezett „konténerekben” kerülnek továbbításra a maghálózat felett.
- Ha egy külső adathálózat felől csomag érkezik a GGSN-hez, az beteszi egy konténerbe és így továbbítja az SGSN felé.
- A maghálózaton közlekedő konténerek folyama a felhasználó számára teljesen transzparens.
 - A felhasználó számára úgy tűnik, mintha közvetlen kapcsolatban állnak a külső hálózattal egy routeren keresztül.
- Adathálózatok esetén az ilyen típusú adatátvitelt tunnelezésnek (alagutazásnak) hívják.
- A GSN-ek hajtják végre a felhasználói adatcsomagok alagutazását.

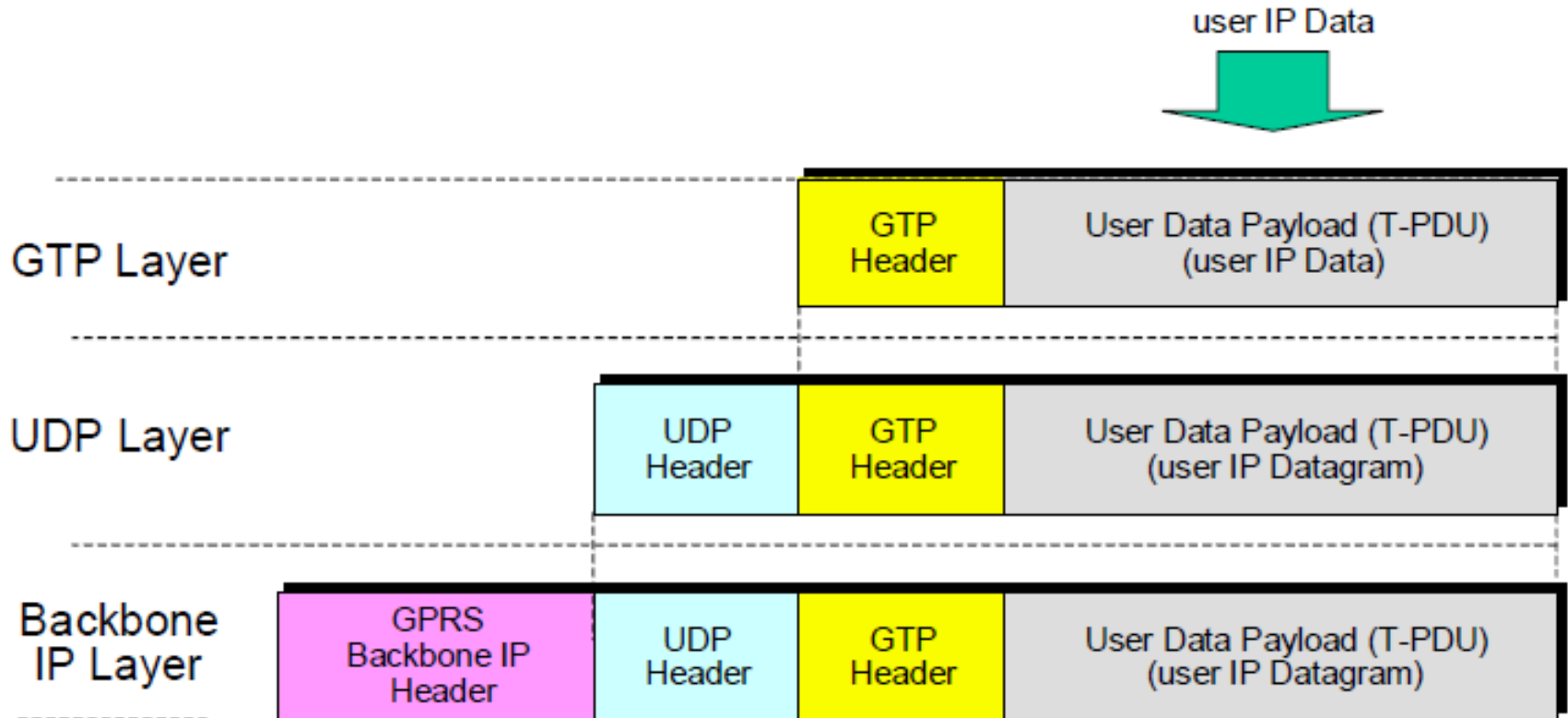
- A GTP csomagok az SGSN és a GGSN között kerülnek továbbításra.
- Mind a Gn interfészen (azonos hálózaton belüli GSN-ek között), mind pedig a Gp interfészen (más hálózatok GSN-jei között) a GTP a szállítási protokoll.
- A GTP két működési módot támogat:
 - Nyugtázatlan (UDP/IP)
 - Nyugtázott (TCP/IP)
- A GTP segítségével megvalósítható az, hogy a felhasználók a kommunikáció során mozogjanak, mégis mindig úgy tűnik, mintha ugyanahhoz a GGSN-hez kapcsolódnának.

- Signalling plane (kontroll sík) – GTP-C:
 - A GTP egy alagút vezérlő és menedzsment protokollt specifikál, mely lehetővé teszi az SGSN számára, hogy egy MS számára GPRS hálózati hozzáférést biztosítson.
 - Továbbá útvonal és helyzet menedzsmentet is végez.
 - Ezek a jelzésüzenetek arra használatosak, hogy az alagutat létrehozzák, módosítsák és töröljék.
 - A GTP jelzésfolyam logikailag össze van kapcsolva a GTP alagutakkal, de valójában elkülönül tőlük.
 - Minden egyes GSN-GSN pár esetén létezik egy vagy több út, és ezeket egy vagy több alagút használhatja.

- Transmission plane (adat sík) – GTP-U:
 - A kontroll sík által létrehozott alagút a felhasználó adatcsomagjait szállítja a GPRS maghálózati elemek között.
 - Más rendszereknek nem kell ismernie a GTP protokollt.
 - A GTP alagutat két kapcsolódó PDP kontextus határoz meg a különböző GSN csomópontokban.
 - A GTP alagút a Tunnel ID (TID)-vel azonosítható.

- Charging (számlázás) – GTP':
 - A számlázási adatok továbbítását végzi a GSN-ekből a charging function felé.
 - A GSN-ek különböző UDP portokon figyelik a GTP-C és a GTP-U üzeneteket.
 - A Charging Gateway Function (CGF) a GTP' üzeneteket figyeli, melyeket a GSN-ekből küldenek vagy TCP vagy UDP protokollba ágyazva.
 - A maghálózat által küldött számlázási információk tipikusan a PDP kontextus aktiválási idejét és a végfelhasználó által forgalmazott adat mennyiségét tartalmazzák.

GPRS TUNNELING PROTOCOL V.



- 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 kábelén, mikrohullámú pont-pont kapcsolaton, 2,048 Mbit/s sodrott érpáron

- 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) kábelben, mikrohullámú pont-pont kapcsolaton
 - SONET (Synchronous Optical NETwork): az SDH amerikai változata
 - optikai hordozón

- PDH/SDH hordozó fölött az átviteli technológia
ATM (Asynchronous Transfer Mode) – Release '99
- CS kapcsolatnál:
 - jelzésátvitelre: AAL 5 (összeköttetés mentes)
 - felhasználói forgalom átvitelére: AAL 2
- PS átvitelnél:
 - jelzés- és adatátvitelre egyaránt AAL 5
 - PS tartomány felé, illetve jelzésátvitelre: UDP/IP az ATM fölött
 - IP over ATM természetes mód



Backhaul megoldások

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

- 2G GSM

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

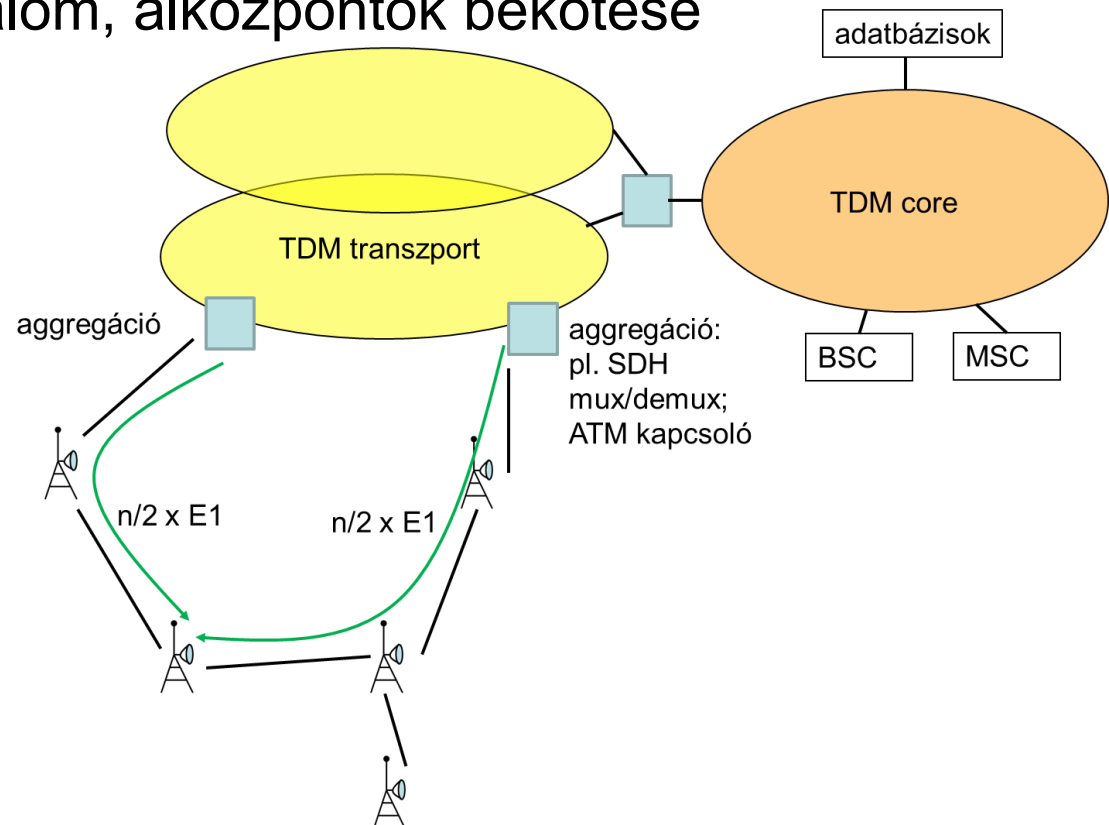
• 3G UMTS

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

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

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

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



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



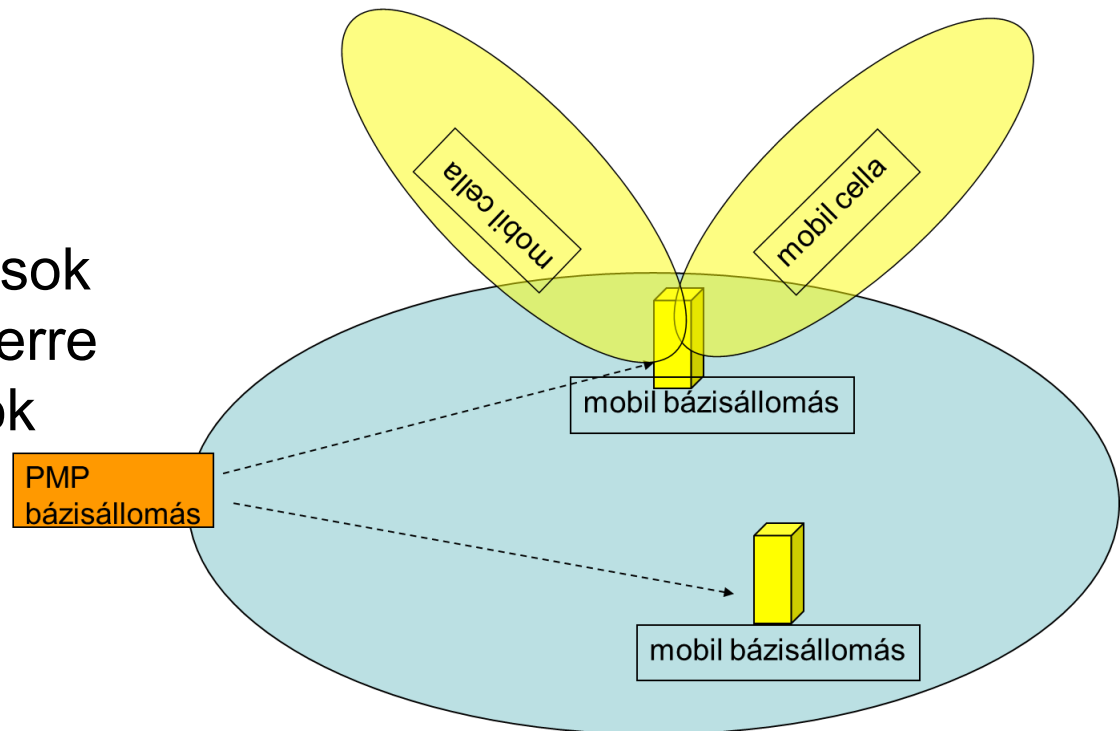
- Mikrohullámú pont-pont linkek
 - Manapság mennek „fel” a gyártók frekvenciában: 60-80 GHz sávban is működnek termékek
 - Itt GHz sávok szabadok → kis állapotú modulációval lehet dolgozni → rosszabb SNR is elég
 - Sáv szélességtől függően, de: többantennás átvitel, polarizáció-multiplexelés, magas állapotszámú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

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

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

- Előny:

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



- Optikai összeköttetések
 - Nagy kapacitás Gbps $\rightarrow n \cdot 10$ Gbps
 - Folyamatosan megjelenő újabb technológiák, egyre nagyobb átviteli sebességek (az egyszer lefektetett infrastruktúrán)
 - Nagy áthidalható távolságok
 - Viszonylag drága kiépítés
- Passzív optikai hálózatok (PON)
 - Hozzáférési hálózati technológia
 - Optikai vonali végződés (Optical Line Termination – OLT) a szolgáltatói telephelyen és optikai hálózati végződésen (Optical Network Termination – ONT) az előfizetői helyszínen
 - Jelen esetben előfizető: a bázisállomás
 - Passzív: OLT – több ONT kiépítés elektronikus átalakítás nélkül, optikai splitterrel
 - 10-GPON: 10 Gbps le / 2,5 Gbps fel
 - Számos változat
- Gbps, 10 Gbps Ethernet definiálva optikai vezetőre

- 3G sajátosságok

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



3G UMTS evolúció

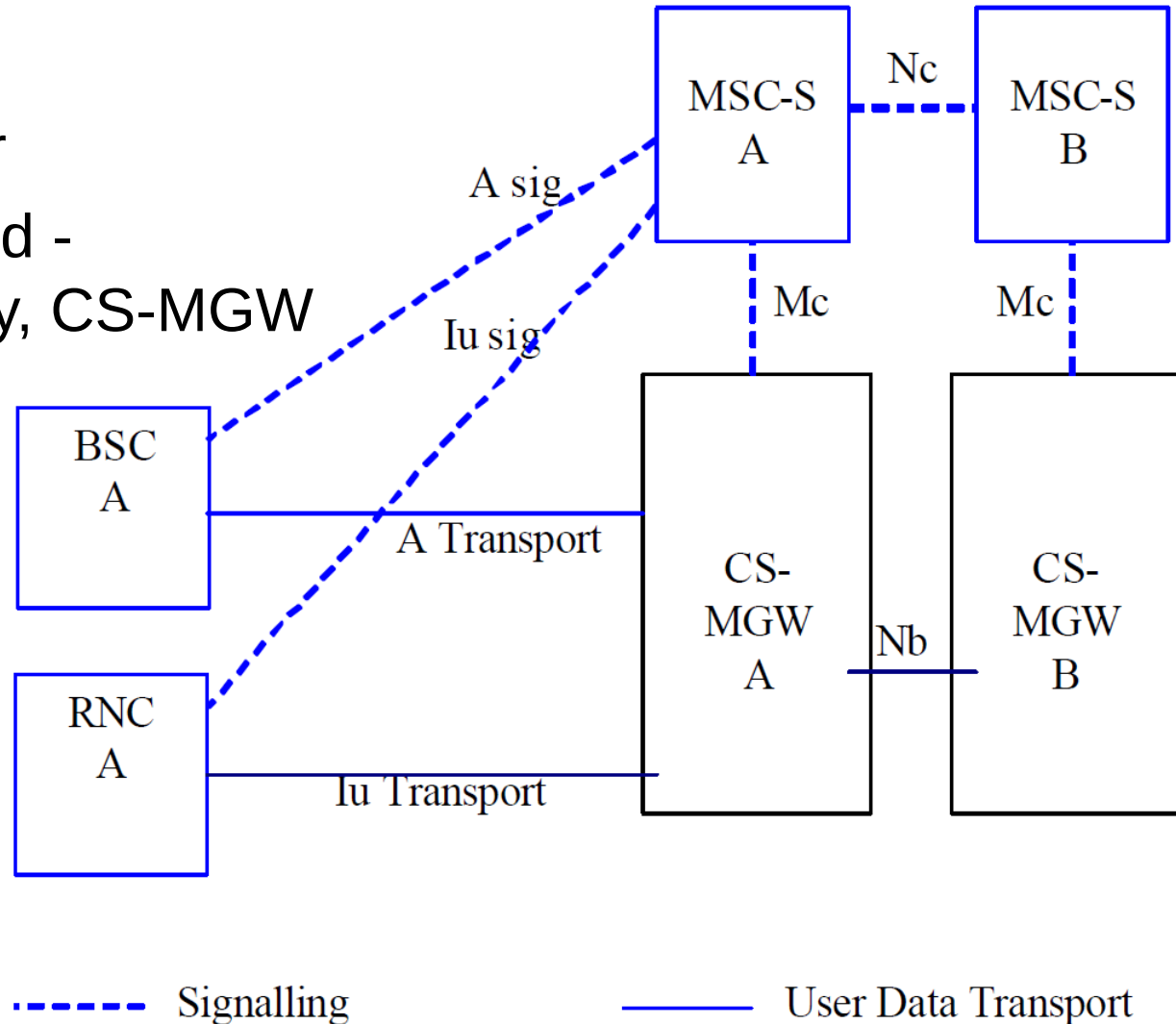
- Vivő független maghálózat:
 - (rádiós vivő (bearer): a Layer 2 nyújtotta átvitel a magasabb rétegek felé)
 - Vivő független CS architektúra
- 3GPP Rel-4 szabványban (2001) jelent meg
 - az első jelentős lépés az NGN hálózatok irányába
- Célja:
 - Transzport és vezérlés elkülönítése CS tartományban a transzport erőforrás hatékonyság növelése érdekében
 - Konvergencia CS és PS között
- Működés változatlan marad
 - a felhasználók nem veszik észre, hogy egy „hordozó független CS hálózathoz” vagy egy klasszikus CS domain-hez kapcsolódnak-e.
- Architektúra változik

- Miért van erre szükség?
 - Amennyire csak lehetséges, a hanghívások átvitelére is az IP alapú hálózati infrastruktúrát használják
 - Jelzésátvitel a CS számára: a mobilitáskezeléssel rendelkező hívások felépítése, lebontása és karbantartása külön funkciók
 - Ezt központosítani kell néhány, nagy kapacitású eszközben
 - Hang és videó folyamok kapcsolása: elosztottabb, olcsóbb, kisebb kapacitású, de gyors eszközök
 - Megszabadulni a hang codecek átalakításától (TRAU)

VIVŐ FÜGGETLEN MAGHÁLÓZAT II.

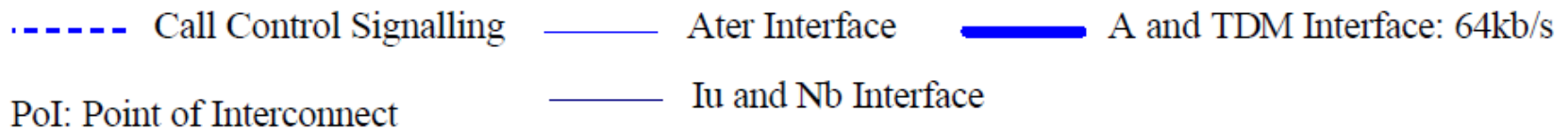
- Új elemek:
 - (G)MSC server
 - Circuit Switched - Media Gateway, CS-MGW

- Új interfészek:
 - Mc
 - Nc
 - Nb

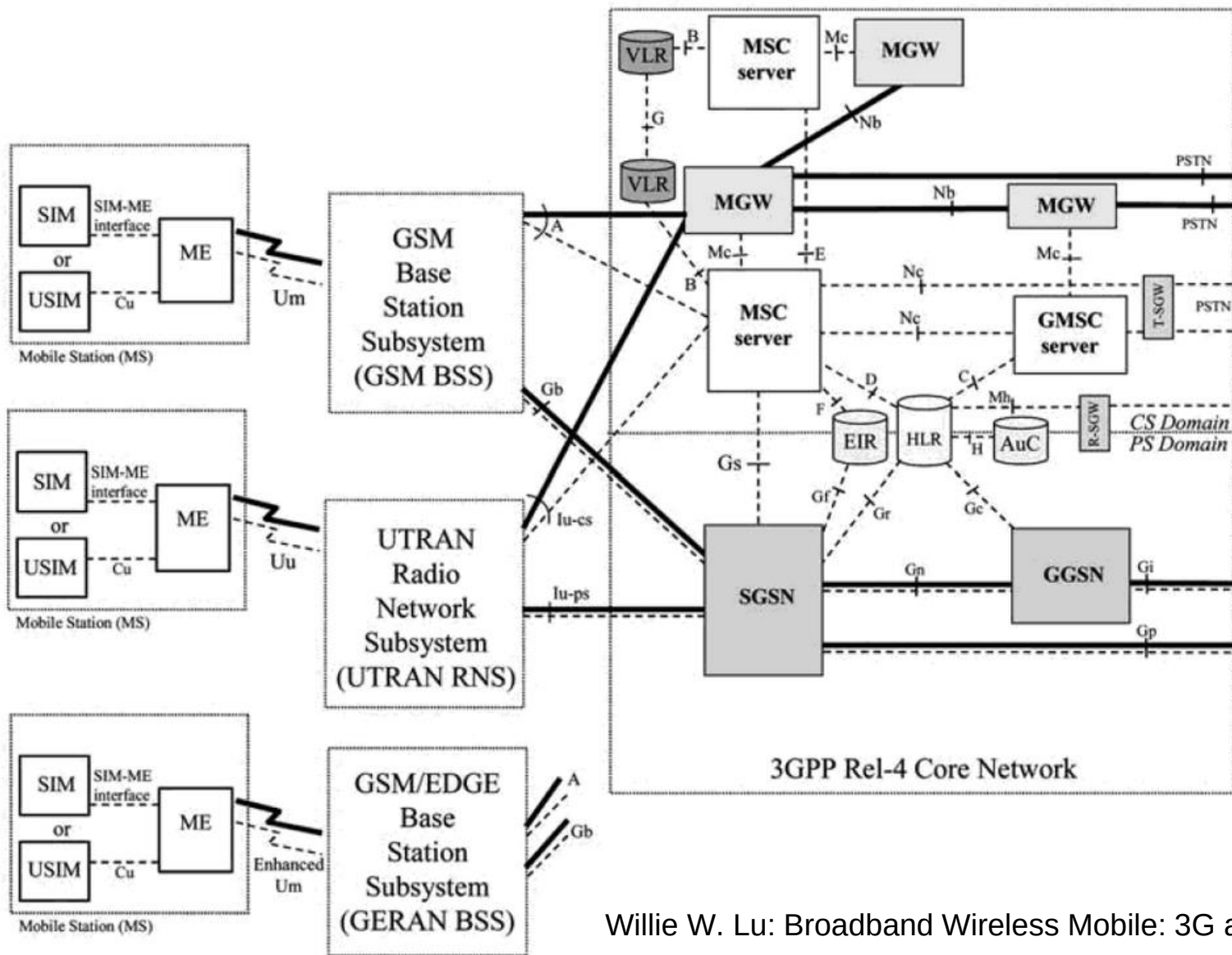


- Új interfészek:
 - Mc:
 - A (G)MSC szerver és a CS-MGW között
 - hívás és hordozó vezérlés
 - a H.248/IETF Megaco protokollt használja
 - Nc:
 - hálózatok közötti hívás vezérlés
 - A 3GPP nem specifikálta a protokollt, így a különböző gyártók más-más jelzési protokollt valósíthatnak meg
 - Nb:
 - A hordozó vezérlése és a szállítás
 - A 3GPP nem határozta meg a transzport vivőket

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



3GPP REL-4 ARCHITEKTÚRA



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

- Release '99
 - Frozen: 1999 december
 - UTRA és más kezdeti funkciók definiálása
 - A korai 3G telepítések alapja
- Release 4
 - Frozen: 2001 március
 - Továbbfejlesztések az R99-hez képest, valamint a vezérlési és az adat sík szétválasztása a maghálózatban
 - Első lépések az IP alapú működés felé
 - TD-SCDMA
- Release 5
 - Frozen: 2002 március/június
 - Az R5 legjelentősebb újításai:
 - IMS – IP-based Multimedia Services
 - HSDPA – High Speed Downlink Packet Access

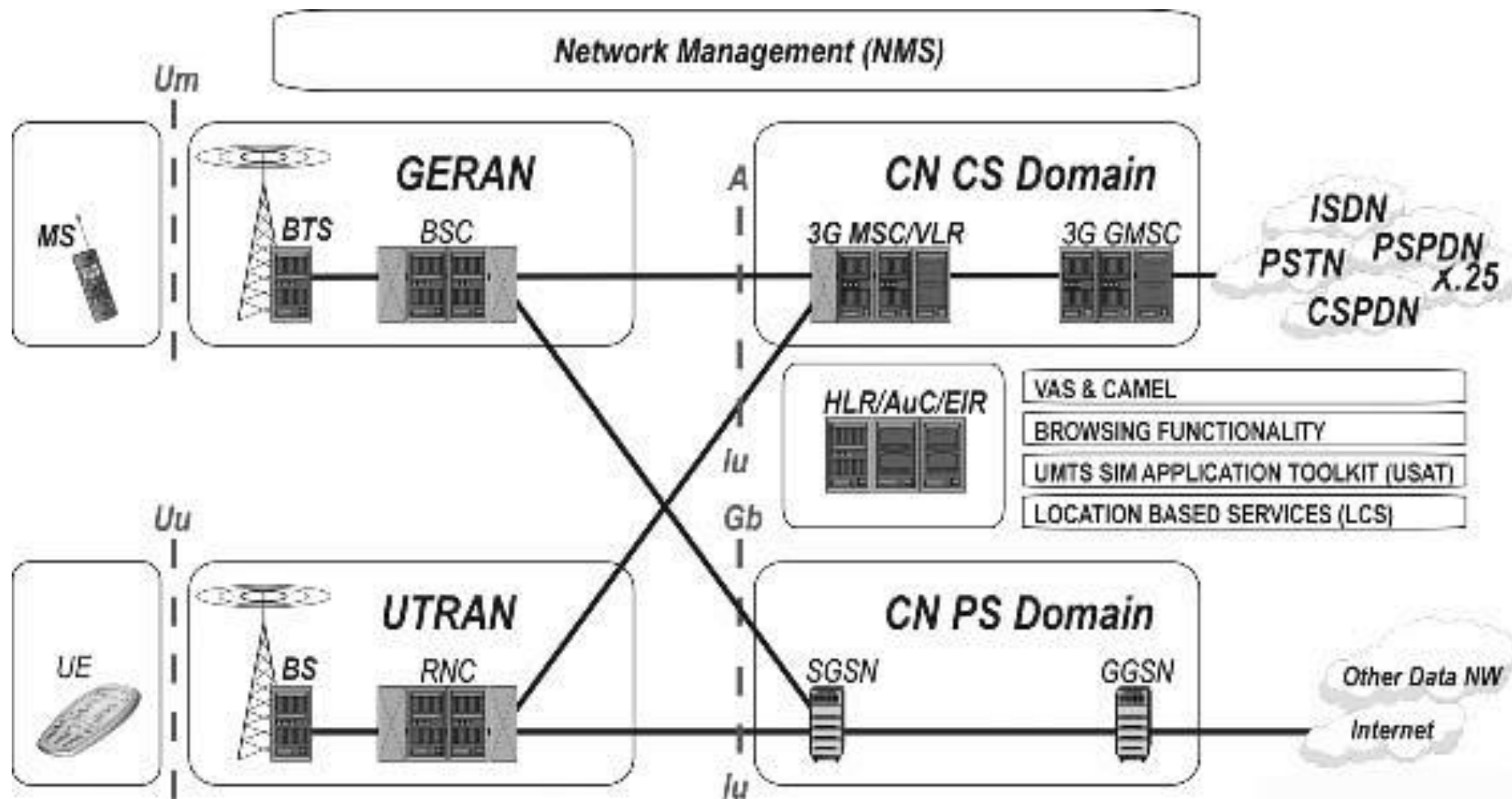
- Release 6
 - Frozen: 2004 szeptember/december
 - IMS második fázis
 - HSUPA
 - Presence
 - Instant Messaging
 - Hozzáférési hálózat-függetlenség
 - DRM (Digital Rights Management)
 - További funkcionális fejlesztések a felhasználói élmény fokozása érdekében.
 - WLAN–3G együttműködés megjelenése.

- Release 6 elsődleges célja:
 - Kapacitás növelés
 - QoS támogatás és valósidejű multimédiás CS alapú szolgáltatások
 - Teljes IP (all-IP) hálózat
 - Technológiák integrációja: 2G, 3G, WLAN stb.
 - Együttműködés kialakítása az UMTS rendszerrel
 - számlázás, biztonság, felhasználó azonosítása
 - Azonos session control layer (IMS) használata minden szolgáltatás számára

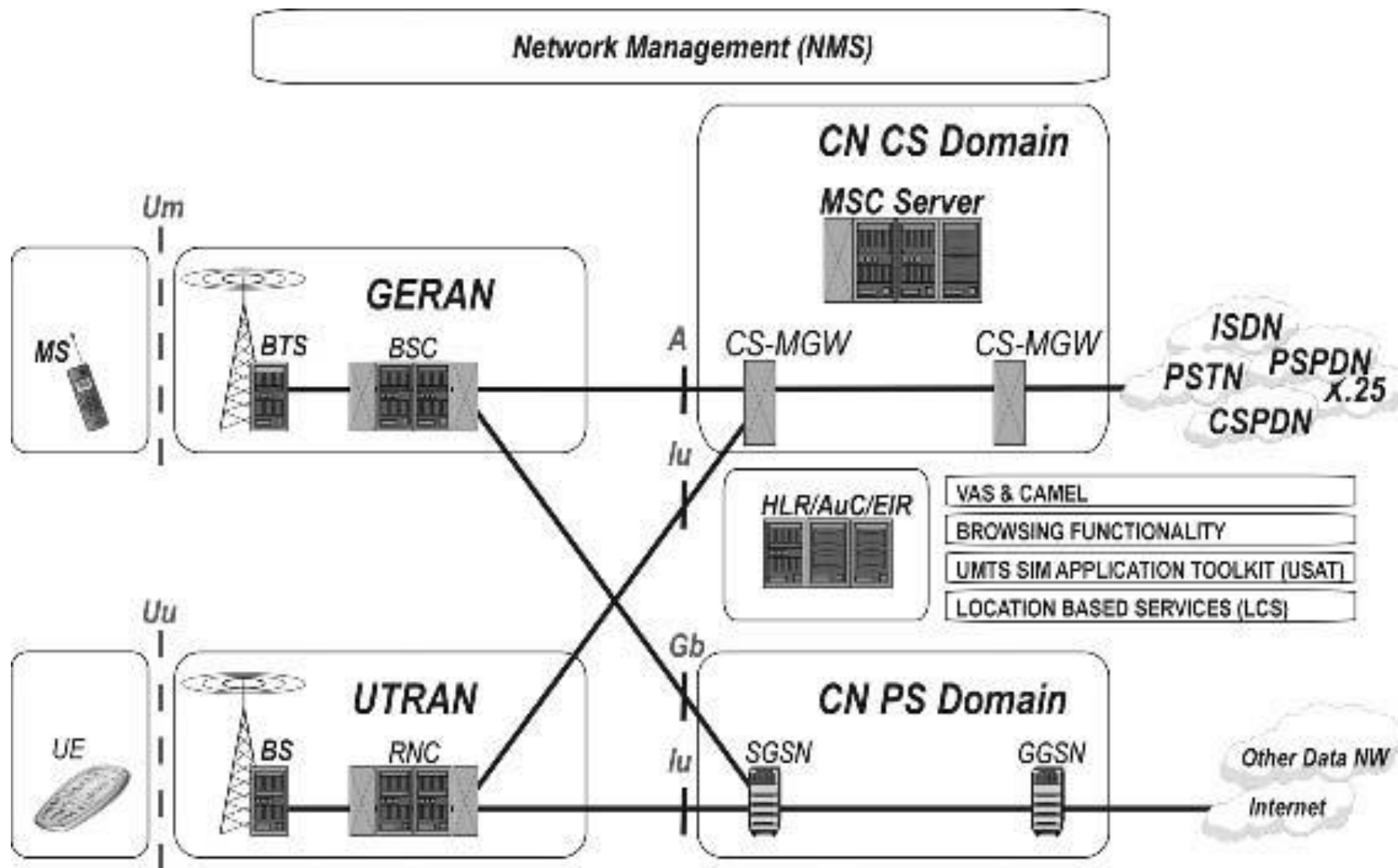
- Release 7
 - Stage 1: 2005 december; Stage 2: 2006; Stage 3: 2007
 - Uplink fejlesztések
 - Spektrumkiterjesztés
 - Advanced Global Navigation Satellite System koncepció,
 - IMS vészhívás, e-call stb.
 - HSPA+
 - AGCF (Access Gateway Control Function)
 - PES (PSTN Emulation Service)

- Release 8
 - 2008 Q4
 - Az első kiadás, ami támogatja az LTE-t
 - SAE (System Architecture Evolution)
 - EPC (Evolved Packet Core)
 - Új OFDMA, FDE, MIMO rádiós interfész
 - Javított media session continuity
 - IMS centralizált szolgáltatások

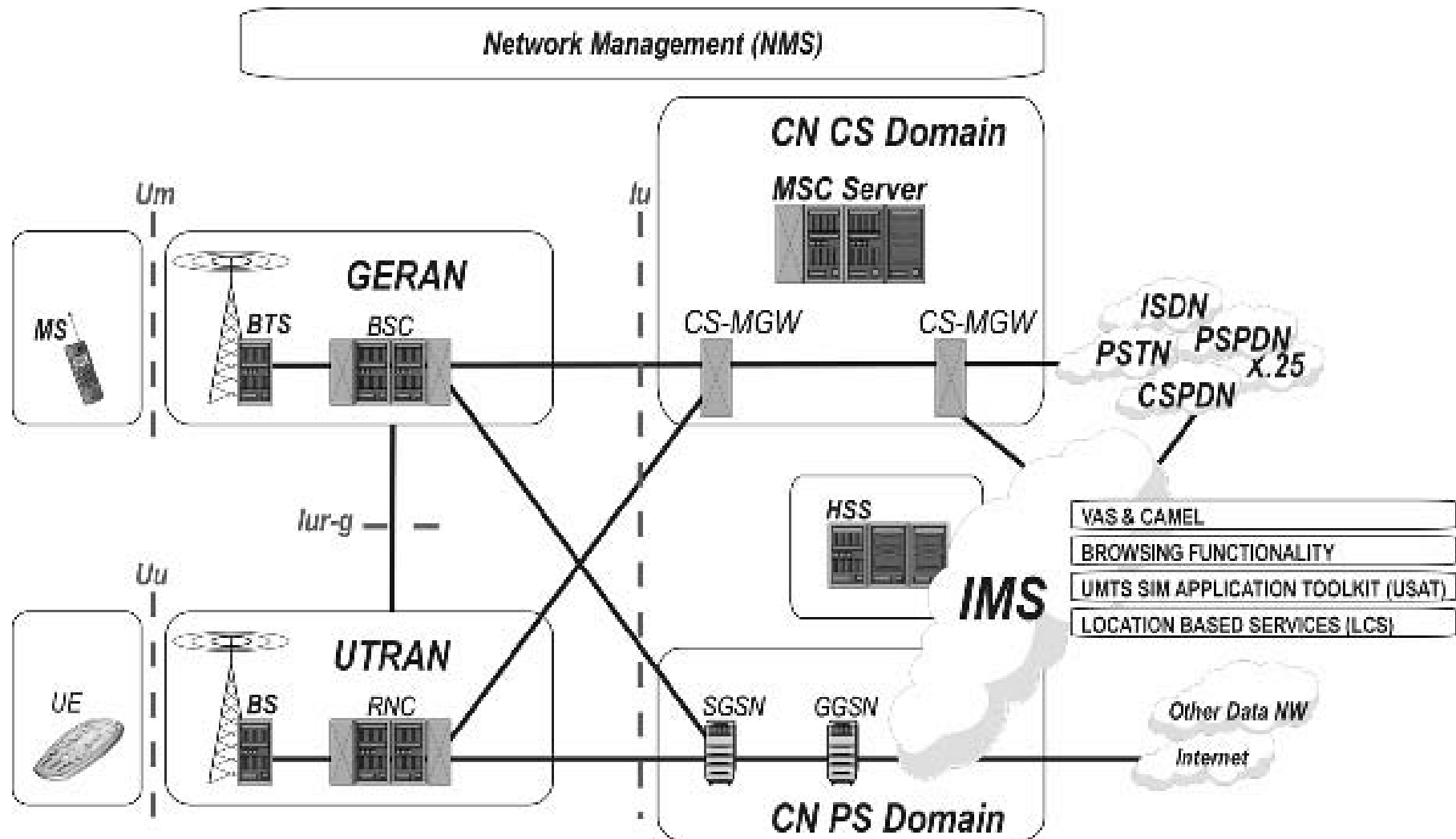
3GPP R99 ARCHITEKTÚRA



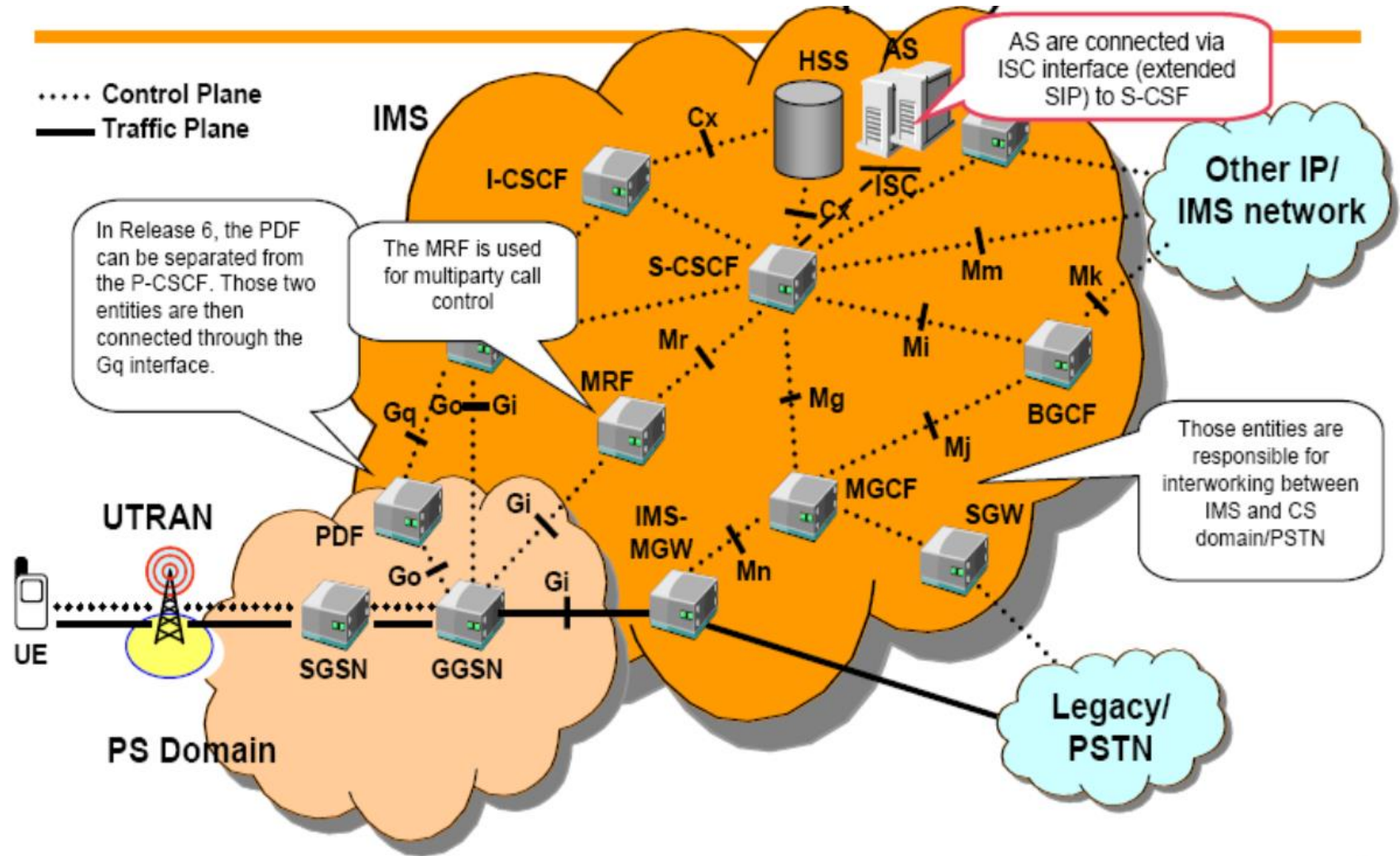
3GPP R4 ARCHITEKTÚRA



3GPP R5 ARCHITEKTÚRA



3GPP R6 ARCHITEKTÚRA (IMS)

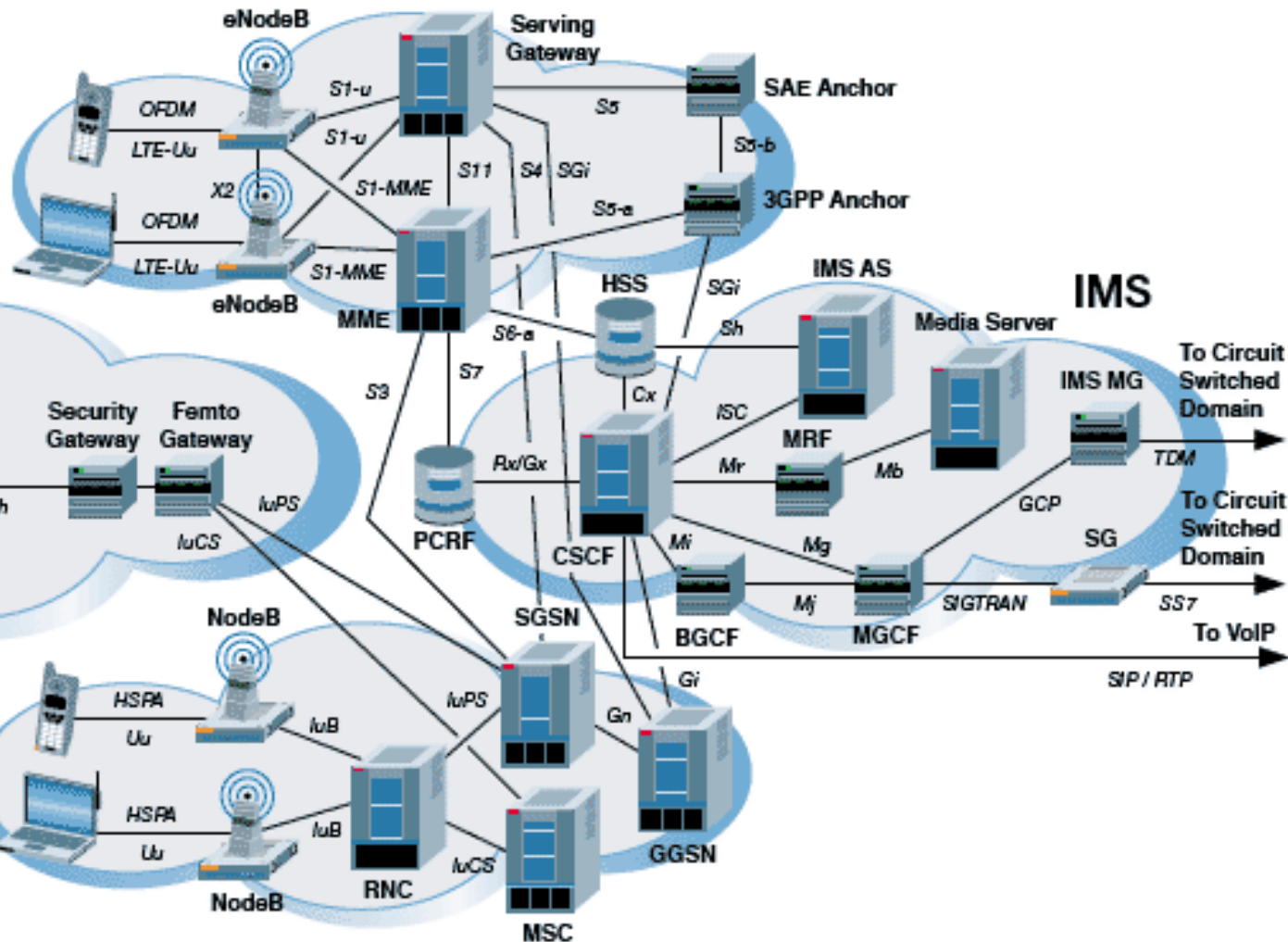


3GPP ARCHITEKTÚRA R8-TÓL

4G (3G LTE / SAE)

Femtocell

3G / 3.5G

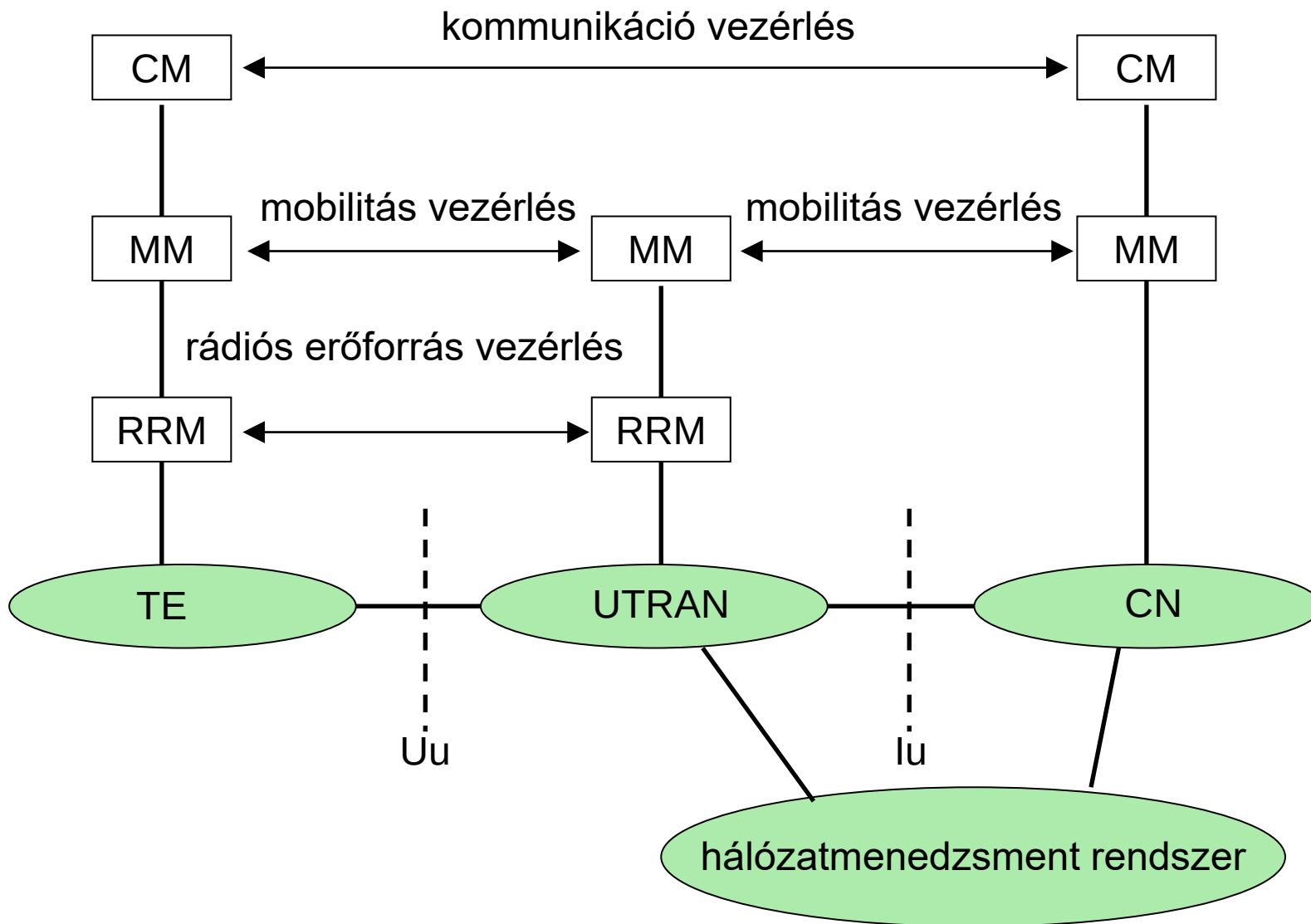




UMTS erőforrás kezelés és QoS

- Három fő részre bontható, funkciók alapján:
 - kommunikáció menedzsment (CM)
 - mobilitás menedzsment (MM)
 - rádiós erőforrás menedzsment (RRM)

ERŐFORRÁS MENEDZSMENT II.



- Kommunikáció menedzsment (CM):
 - felhasználói kapcsolatok menedzselésével kapcsolatos funkciók és eljárások
 - hívásvezérlés (CS)
 - PS kommunikáció vezérlése
 - kiegészítő szolgáltatások és rövid szöveges üzenetek kezelése

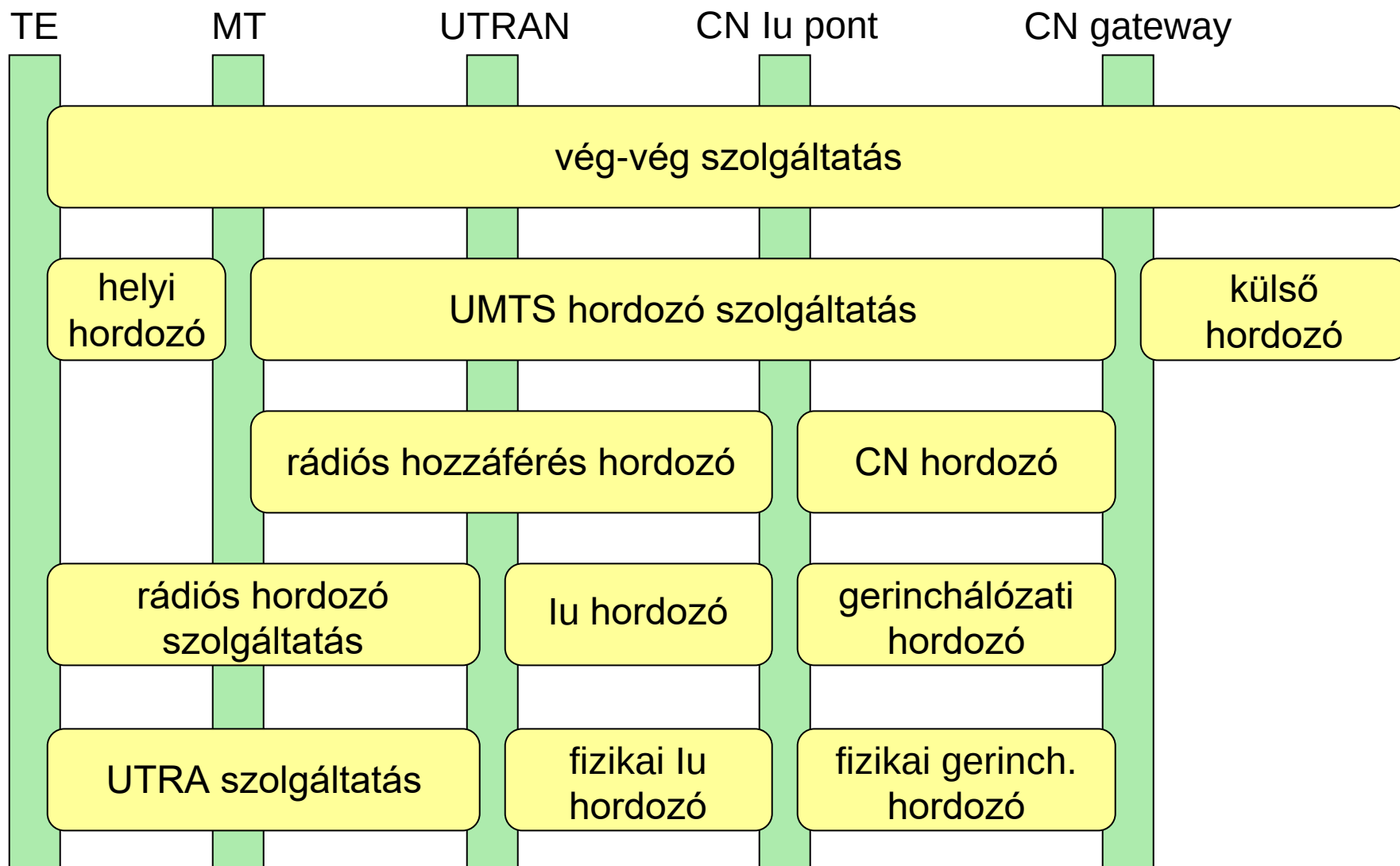
- Mobilitás menedzsment (MM):
 - a mobilitást és biztonságot érintő funkciók, eljárások
 - Handover vezérlés: közcélú mobil hálózat és cella választás
 - Kapcsolódás / lecsatlakozás
 - Összeköttetés biztonsága, hitelesítés
 - Helyzetfrissítés: routing / location area frissítés
 - az MM funkciók nagy része a maghálózatban
 - csomagkapcsolt kommunikáció MM funkciói az UTRAN-ban

- Rádiós erőforrás menedzsment (RRM):
 - a fizikai csatorna kapacitásának menedzselésére szolgáló funkciók
 - például: rádiós összeköttetés felépítése, fenntartása; teljesítményszabályozás, bázisállomás-váltás, beengedés szabályozás
 - az RRM az UTRAN része, az UTRAN és az UE részvételével zajlik

- 1G és 2G hálózatok: technológia által limitált szolgáltatások
- 3G: szolgáltató hálózat, a technológia „nem akadály”
- 3G hálózat: lehetőségek, megfelelő átviteli sebesség és szolgáltatási minőség biztosítása a végfelhasználók és alkalmazásaik számára → QoS
- végponttól végpontig szolgáltatás minőségi követelmények
- a hálózat minden részében megfelelő QoS szükséges

- A vég-vég QoS teljesítéséhez a hálózat szolgáltatásai háromféle hordozó szolgáltatásra osztva:
 - helyi hordozó szolgáltatás: a mobil terminálon belül az MT (mobile termination, a hálózat szempontjából a végkészülék) és a TE (terminal equipment, a felhasználói alkalmazás megjelenítője) között
 - UMTS hordozó szolgáltatás: a hálózat különböző részeiben
 - külső hálózati hordozó: a külső hálózatban lévő felhasználóig

SZOLGÁLTATÁSOK ÉS HORDOZÓK III.



- QoS osztályok leíró paraméterei:
 - adatáteresztőképesség (throughput),
 - csomag késleltetés (packet delay),
 - a késleltetés változása (jitter),
 - csomagvesztési arány (packet loss rate)

- 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

- Párbeszédes/társalgási (conversational):
 - legmagasabb minőségi követelmények
 - valós idejű (real-time) szolgáltatás
 - alacsony késleltetés és jitter
 - szimmetrikus forgalom
 - állandó erőforrásokat kell allokálni a hálózatban
 - IP alapú telefónia (VoIP), a videó telefonálás
 - (az emberi agy sokkal kevésbé érzékeny a beszéd minőségére, mint a párbeszédben természetes szünetekre)

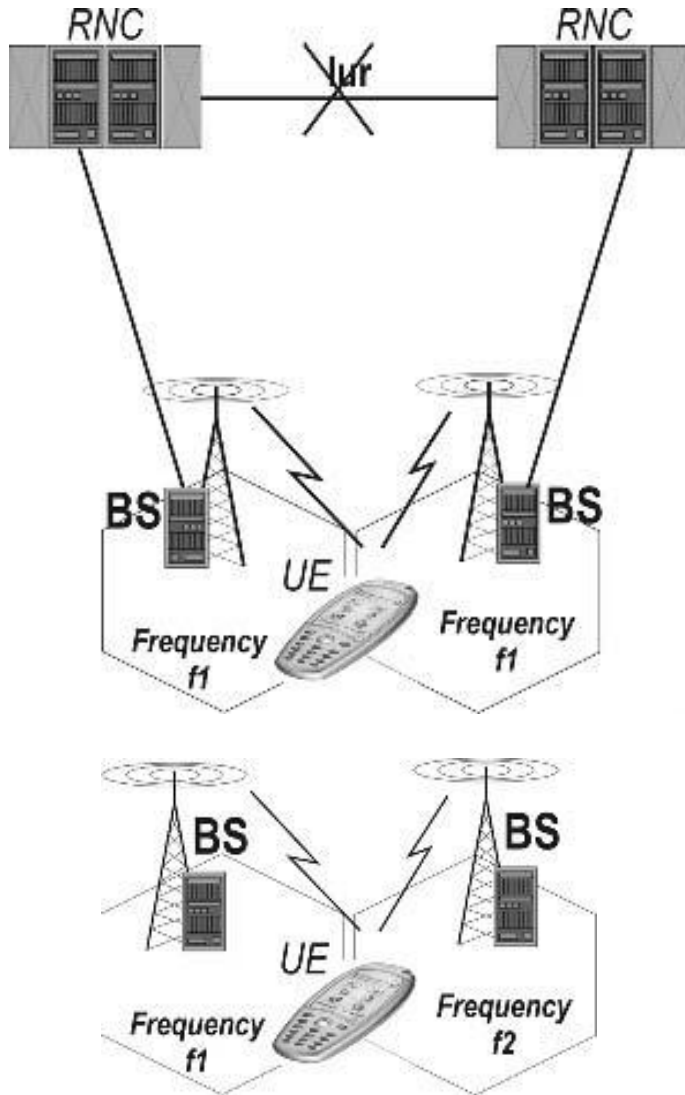
- „Áramoló”/adatfolyam (streaming):
 - kevésbé szigorú követelmények
 - egyirányú (aszimmetrikus)
 - kis késleltetésű adatfolyamok esetén
 - valós idejű átvitel
 - hang- és videófolyamok, amiket folyamatosan „fogyaszt” (hallgat vagy néz) a felhasználó a készülékén
 - például online rádió vagy videó szolgáltatás

- Interaktív (interactive):
 - nem valós idejű szolgáltatások
 - tipikusan downlink irányúak és aszimmetrikus
 - ritkább, szakaszos átvitel (nem folyamatos adatáramlás)
 - Pl. internet böngészés
 - késleltetés kevésbé kritikus
 - bithiba arányhoz még kapcsolódnak követelmények

- Háttér (background):
 - best-effort
 - háttérben futó szolgáltatások
 - nem szükséges késleltetés követelmény
 - Pl. SMS, MMS
 - bithiba arányra vonatkozóak ebben az esetben legszigorúbbak
 - Pl. MMS esetén a küldött fotót teljes egészében, hiba nélkül célba kell juttatni
 - beszéd vagy videó átvitelnél nem számít, ha egyszer-egyszer kimarad egy hangminta vagy képkocka (az ember nem veszi észre)

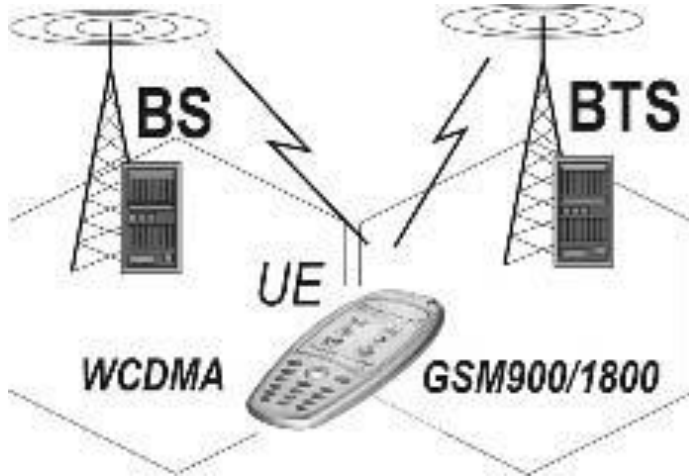
- Hard handover
 - Inter-frequency
 - Intra-frequency
- Soft handover
- Softer handover

HARD HANDOVER TÍPUSOK I.

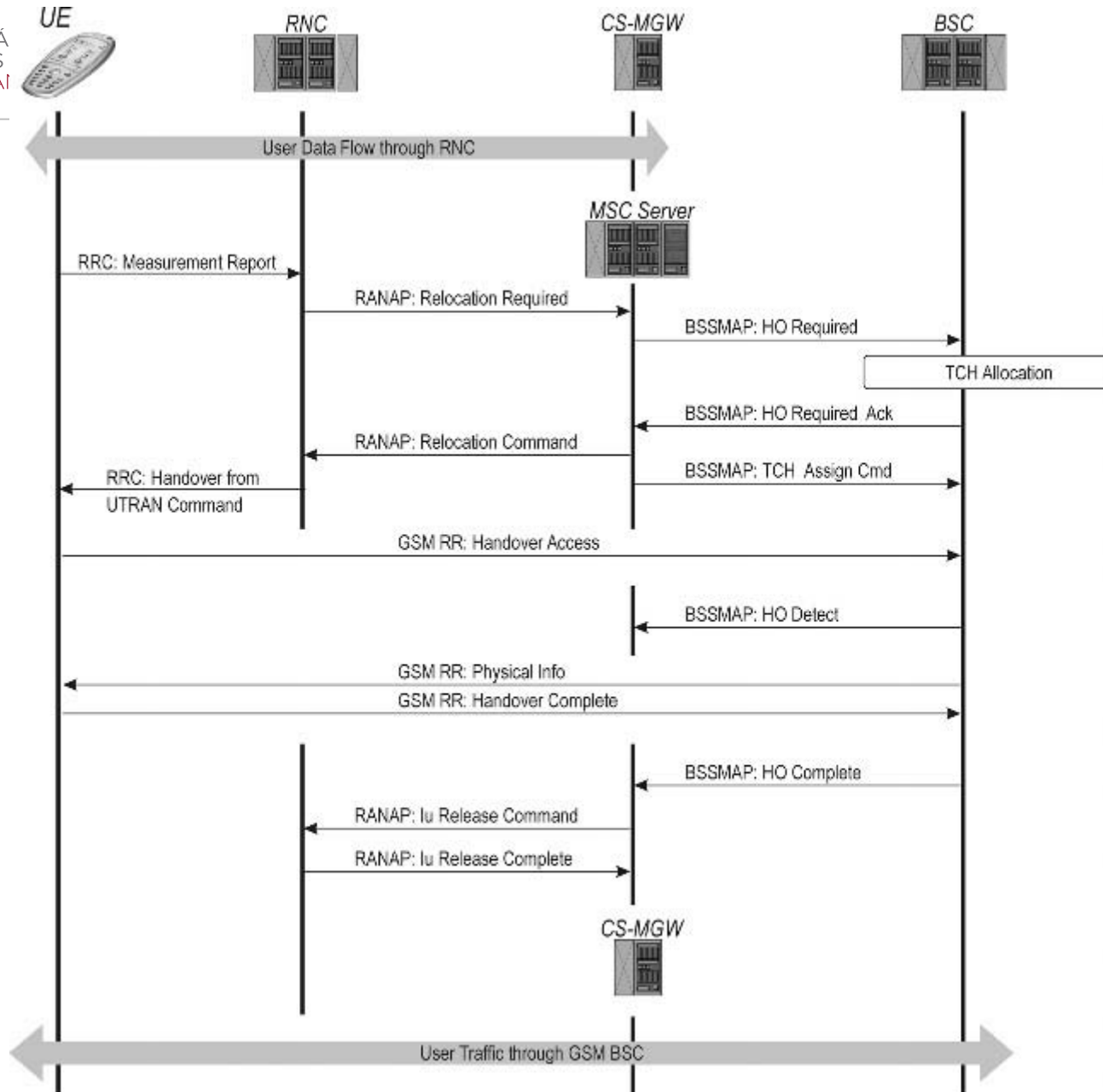


- Intra-frequency hard handover
 - A szomszédos RNC-k nincsenek összekötve az Iur interfésszel
 - Inter-RNC soft handover nem lehetséges
- Inter-frequency hard handover
 - A régi és az új BS más-más frekvenciát használ
 - Pl. makro- és mikro-cellák közötti váltás

HARD HANDOVER TÍPUSOK II.



- Inter-system handover
 - Ez is inter-frequency HO
 - A mobil két különböző RAN között vált
 - Pl. UMTS és GSM hálózatok közötti váltás





HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK





HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK

3G UMTS rádiós interfész

Mobil kommunikációs hálózatok/rendszerek
3. előadás

Gódor Győző

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu

Budapest,
2020. 09. 24.

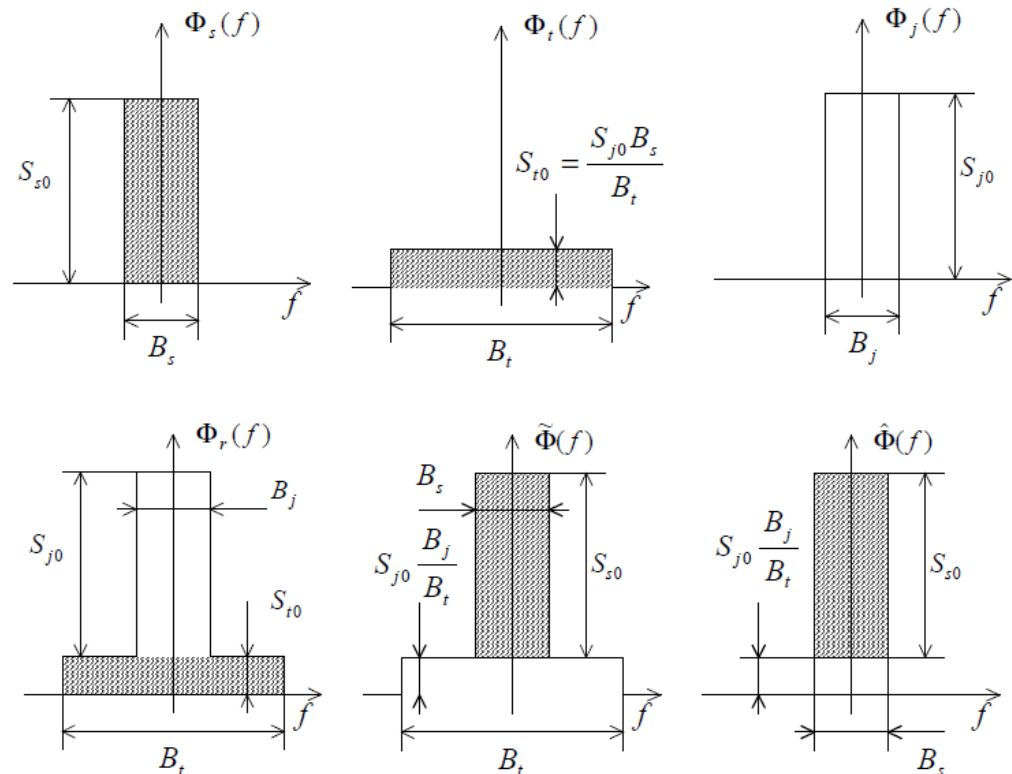




CDMA alapok

- Első publikáció szórt spektrumú rendszerről az 1940-es évekből
- 1949: Shannon és Robert 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

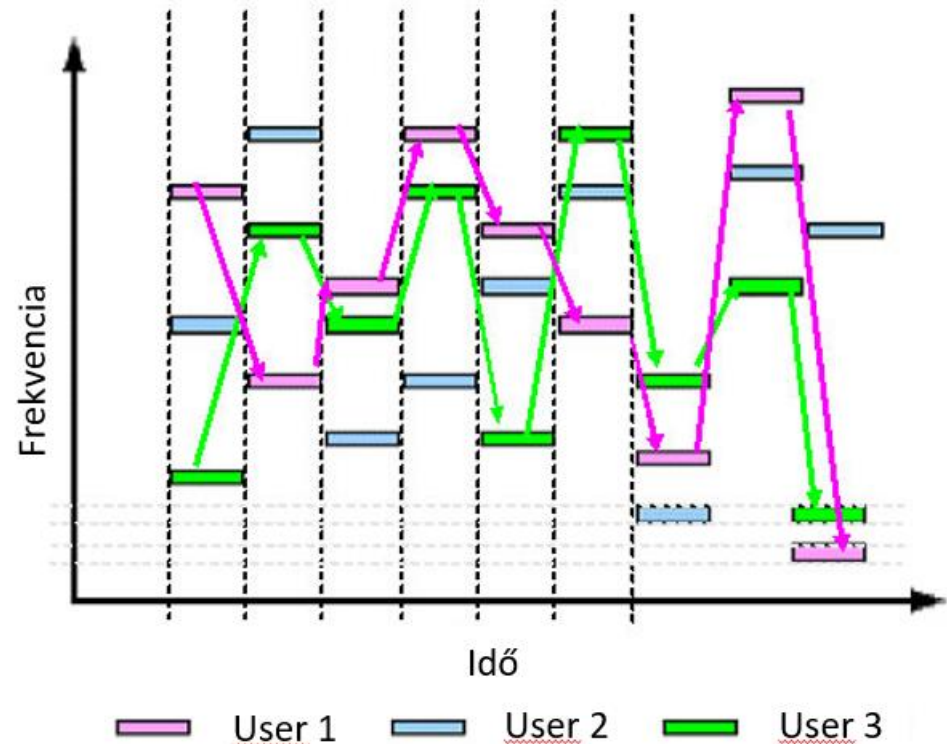
- Átvitel sávszélessége sokkal nagyobb, mint az információ sávszélessége
- Sávszélesség nem függ az információt vivő jeltől
- Jelfeldolgozási nyereség = átviteli sávszélesség / információ sávszélessége



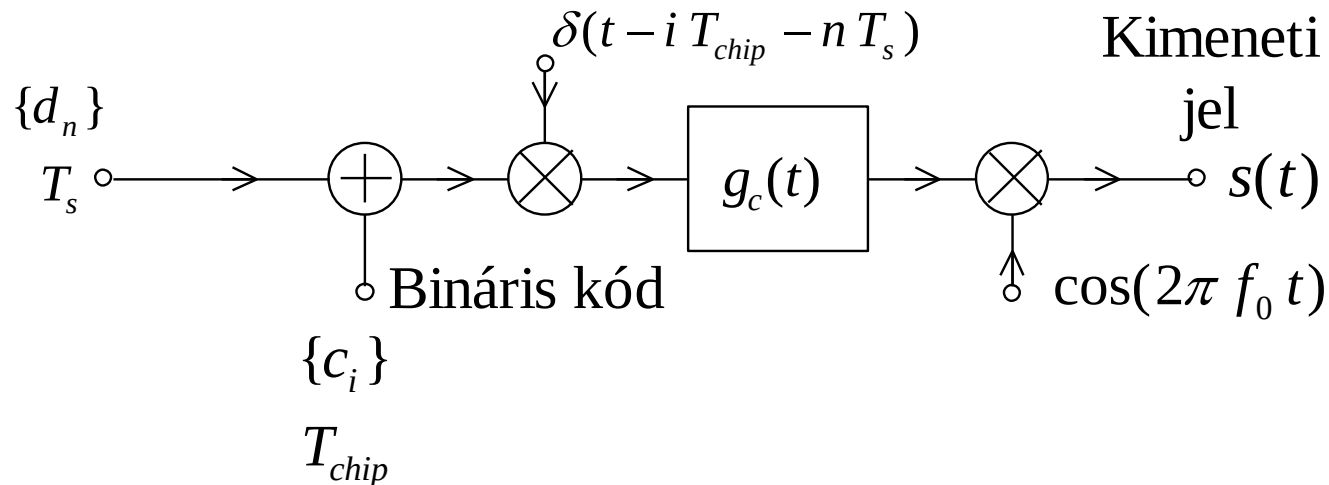
- Minden felhasználó ugyanazt a frekvenciasávot használja, ugyanazon időben.
- A felhasználókat kódokkal választjuk szét.
- Ezek a kódok egymásra ortogonálisak.
- FDMA és TDMA rendszerekben adott sáv szélességben egzaktul meghatározható a felhasználói csatornák száma.
- Szórt spektrumú esetben a felhasználók számának csupán lágy korlátozásáról beszélünk
 - 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

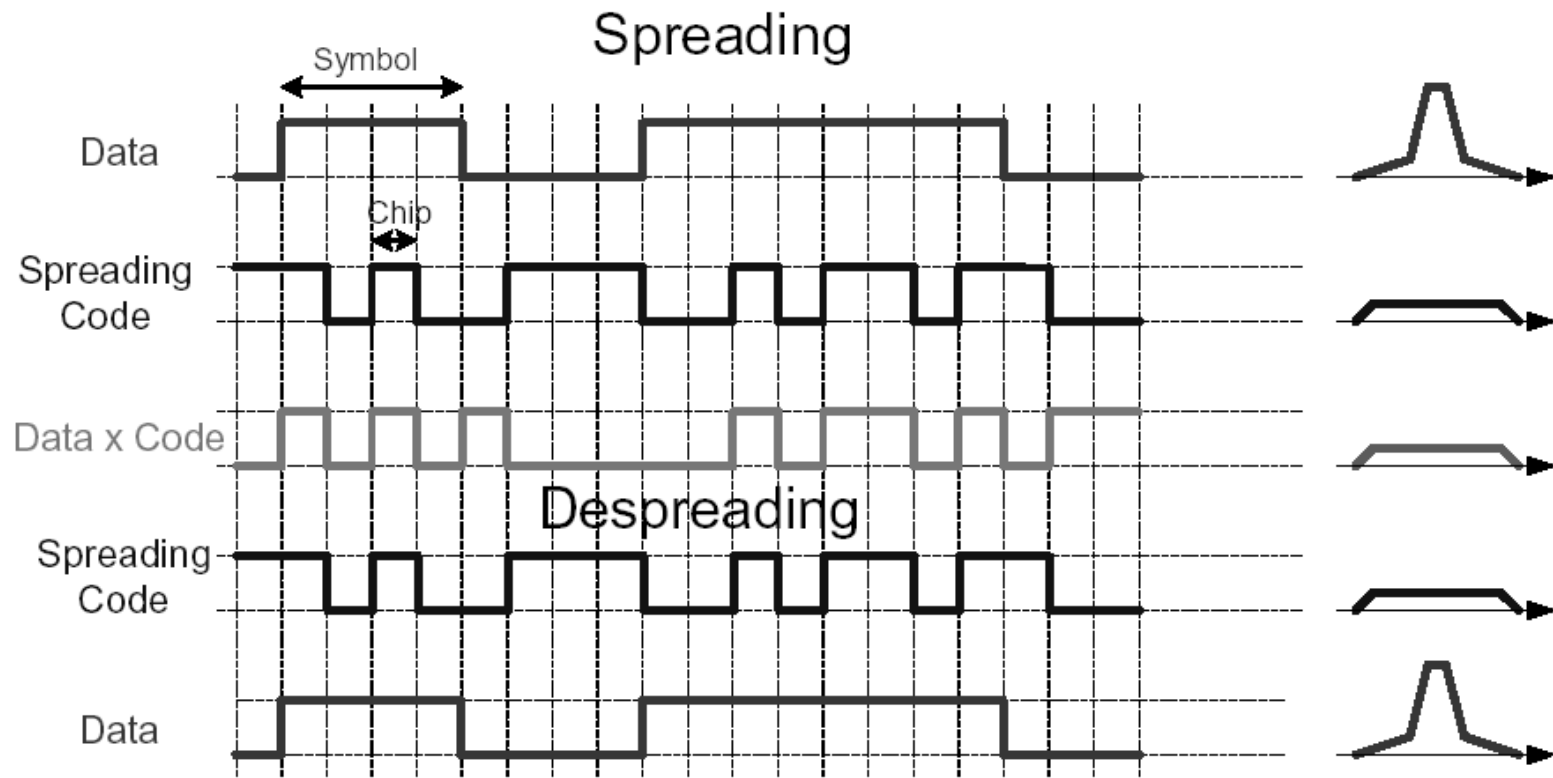
- Frekvencia ugratás, Frequency hopping
 - A frekvenciaugratásos technika lényege, hogy egy álvéletlen kódsorozat chipjeinek megfelelően változtatjuk a vivőjel frekvenciáját.
 - Abban az esetben, ha a frekvenciaváltás több szimbólumot is átfog időben, lassú frekvenciaugratásról beszélünk, míg ha szimbólumonként többször változik a frekvencia, akkor gyors frekvenciaugratásról.
 - Bluetooth: Adaptive Frequency Hopping (AFH)



- Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS
- UMTS, WiFi 802.11b, Zigbee PHY 802.15.4, GNSS
- Az információs bitet egy sokkal gyorsabb kóddal szorozzuk meg.

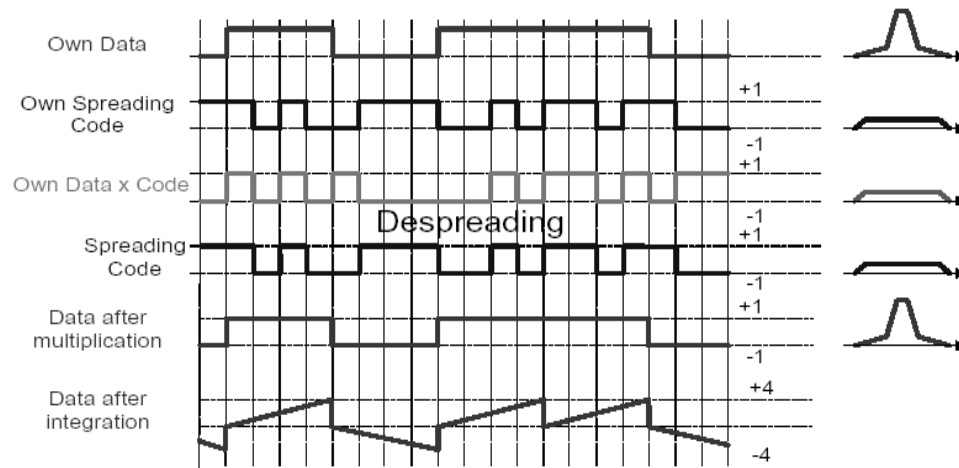


DIREKT SZEKVENCIAÁLIS KÓDOSZTÁS I.

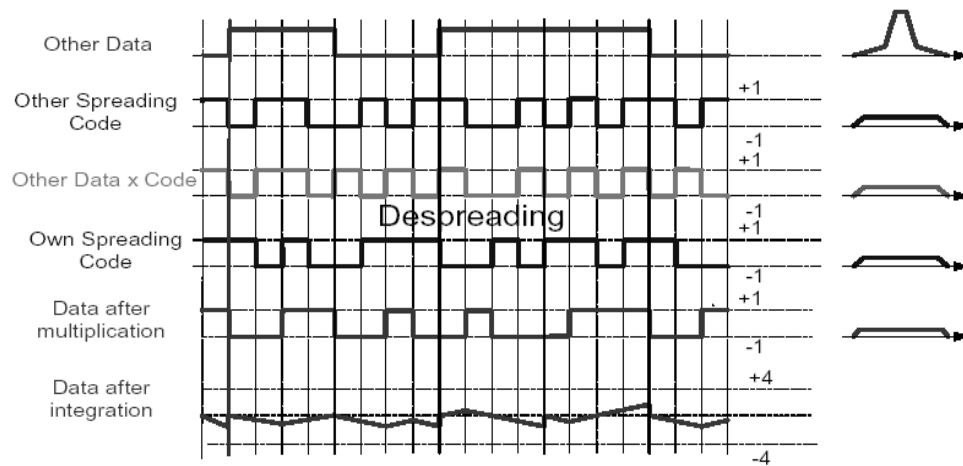


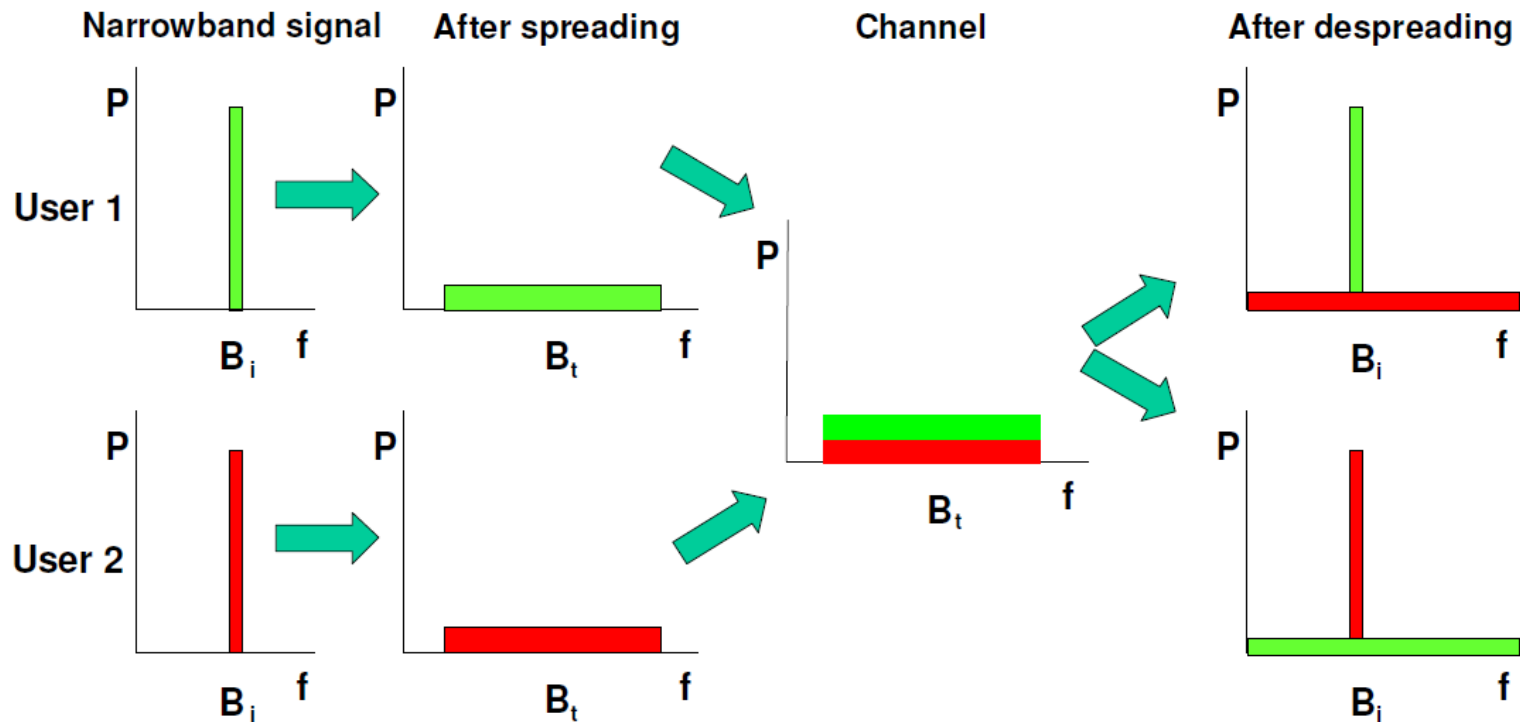
DIREKT SZEKVENCIAÁLIS KÓDOSZTÁS II.

Detection own signal

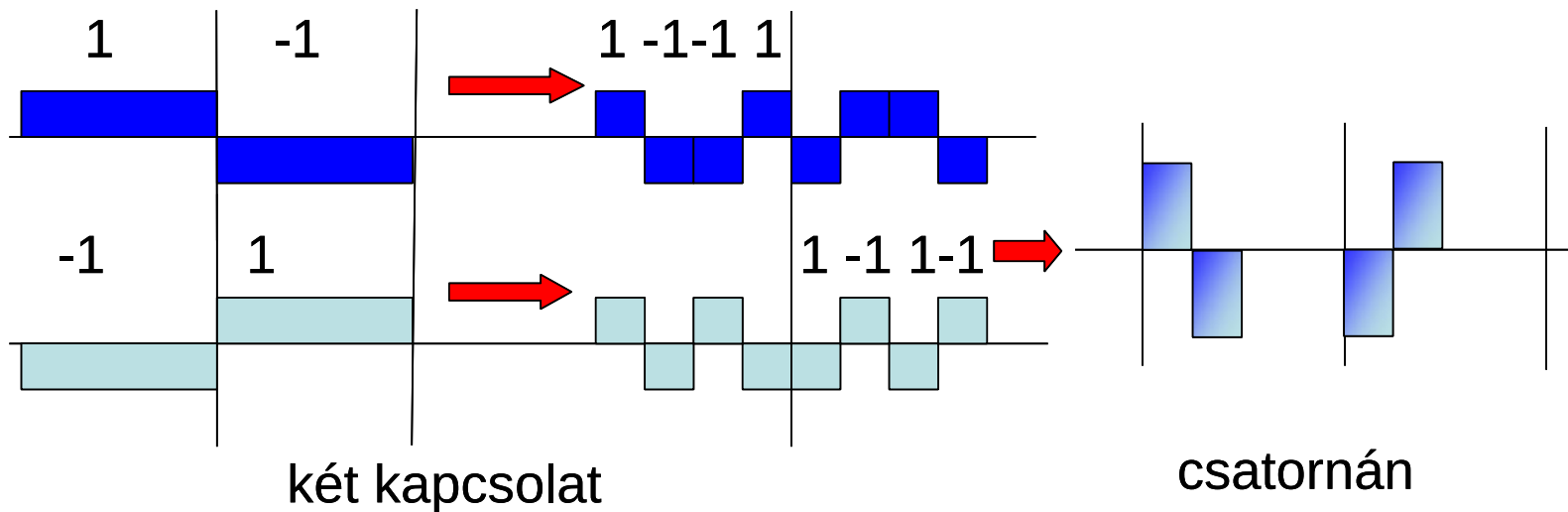


Detection other signal

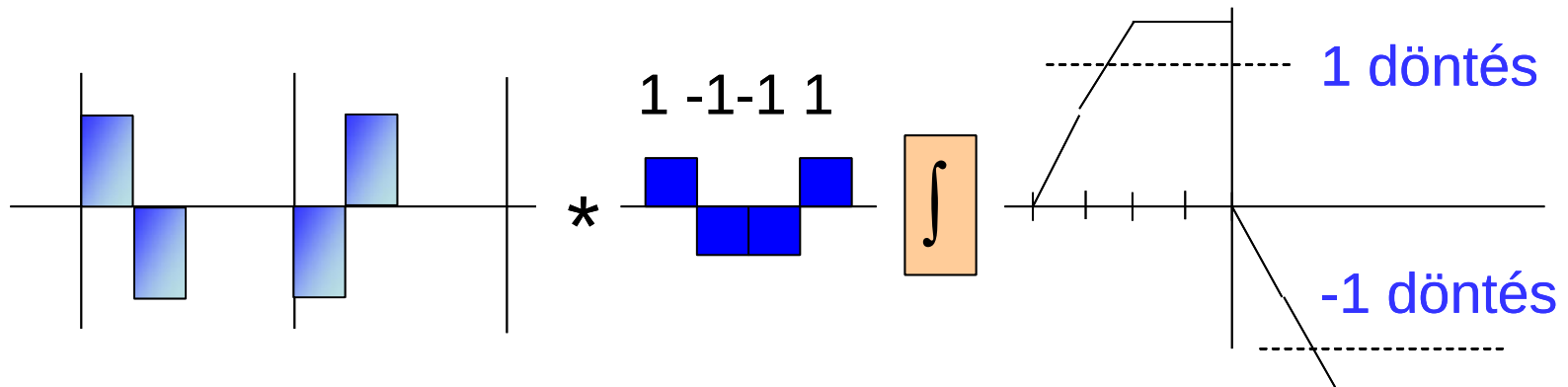




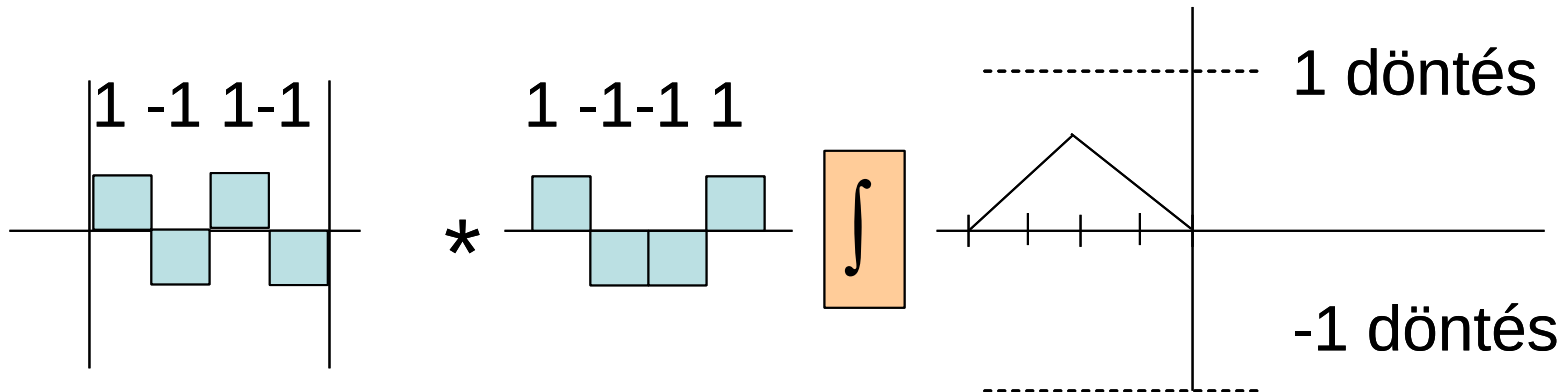
- azonos frekvenciasávot egy időben használnak a felhasználók
- bitek helyett kódsorozatot visz át egy felhasználó
- ezek egy átvitelhez egyediek, sok ilyen összegéből mindegyik különválasztható a vevő oldalon
- példa:



- 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



- ezt azért lehet megtenni, mert a különböző kódok ortogonálisak
- két kód közti korreláció nulla
- gyakorlatban használatos más kódok: nem teljesen ortogonálisak → gyakorlatilag interferenciát jelent

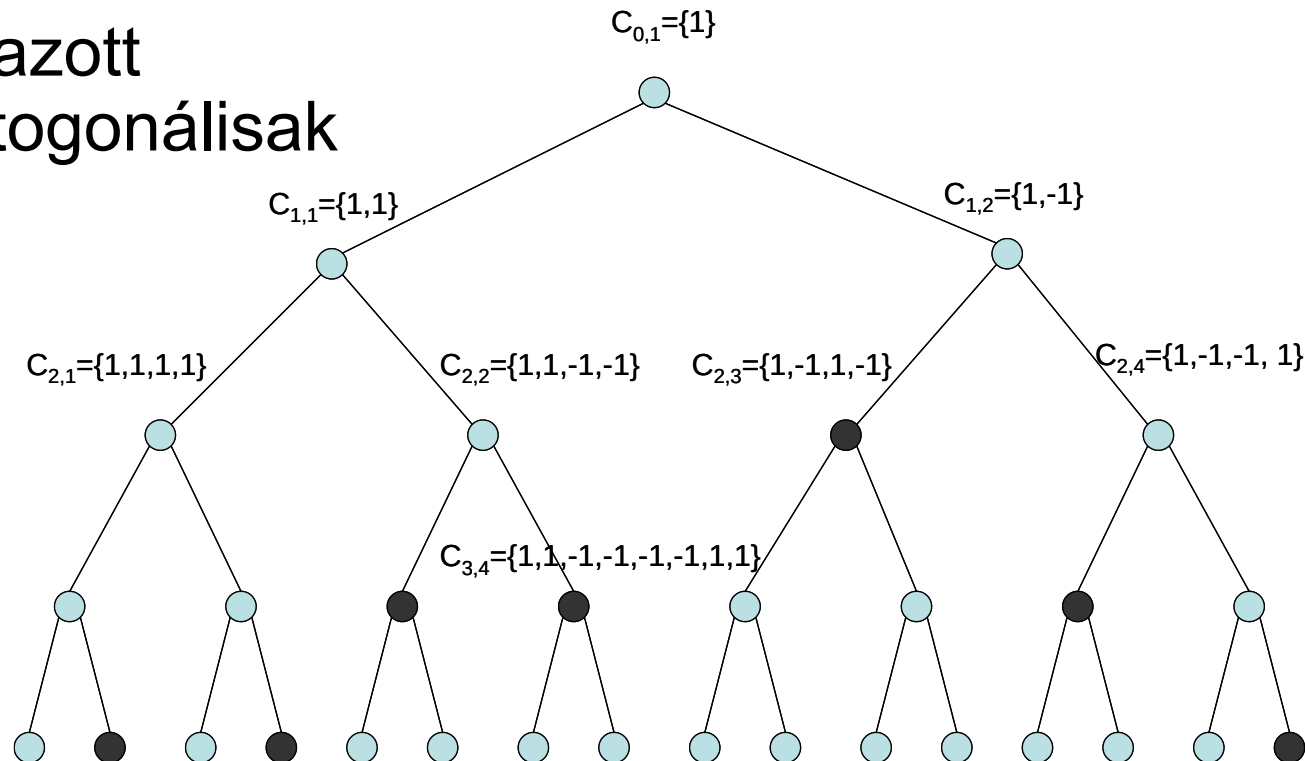


- a példában is szereplő kódok: ún. Walsh-Hadamard kódok, UMTS-ben hívják OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) kódoknak is
- kódképzés: 2^n hosszúságú kódok vannak

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

- 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 $\rightarrow$ ennyi kapcsolat max.
- UMTS-ben: ezek az ún. csatornaképző (channelization) kódok

- OVSF kód másik ábrázolása: kódfa
- mód van többféle átviteli sebesség megvalósítására, kiosztás!
- az egy szinten levő kódok ortogonálisak
- szülő/leszármazott kódok nem ortogonálisak



- amennyiben a 2^n ($n=2 \dots 9$) hosszú kódot pillanatnyilag M_n kapcsolat használja, mindig igaz, hogy

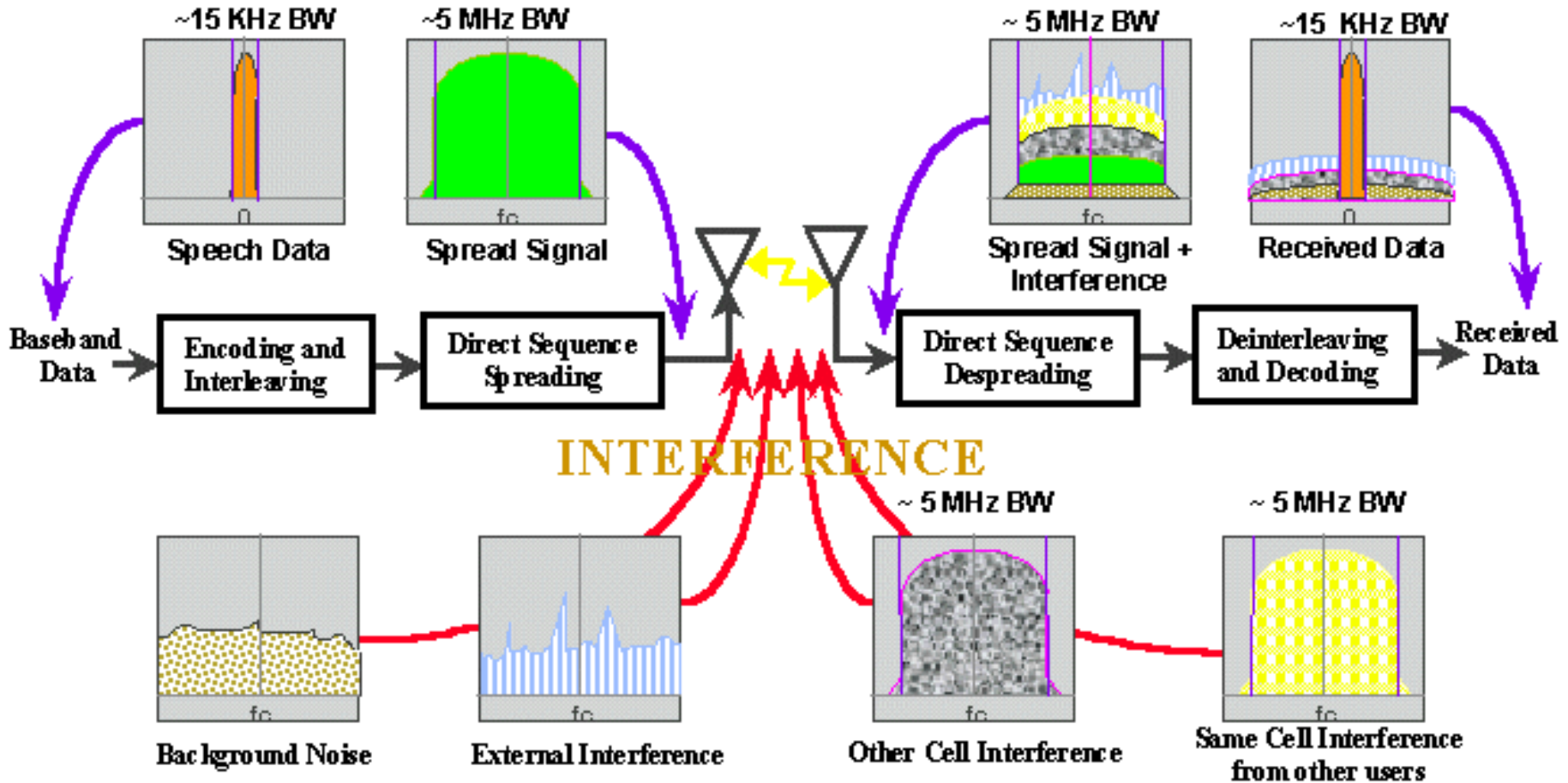
$$\sum_{n=2}^9 2^{9-n} \cdot M_n \leq 512$$

- Problémák:
 - 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

- 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 scrambling kód az UE-t azonosítja; a W-H kód az UE különböző csatornáit
 - DL irány: a scrambling kód a cellát azonosítja; a W-H kód a cellán belüli downlink csatornákat (különböző userek különböző csatornáit)

- fizikai sebességek:
 - min. kódhossz 4, max. 512 (DL) vagy 256 (UL)
 - chipsebesség: fixen 3,84 Mcps
- fizikai bitsebesség: $3,84/L \cdot 2$ a DL-ben, ahol L a kódszó hossza
 - $\cdot 2$ azért, mert QPSK moduláció van
 - azaz max. 1,92 Mbps, min. 15 kbps DL irányban
 - ez a kontroll+adat együttes sebessége
 - UL irányban: nincs $\cdot 2$ szorzó, mert az adat és a kontroll I-Q multiplexált

KÓDOSZTÁS MŰKÖDÉSE FREKVENCIATARTOMÁNYBAN





Wideband CDMA és UMTS kódok

- Alap paraméterek:
 - Direct Sequence (DS) Spreading technique
 - FDD/TDD duplexing lehetőség, 10 msec keret
 - 3,840 Mchip/sec
 - Flexibilis vivő kijelölés (4,4 – 5,2 MHz, 200 kHz-es lépésekben)
 - Bázisállomások közötti szinkronizálás (FDD nem pontos, TDD pontos)
 - Változtatható szórási faktor
 - Forward Error Correction (CRC, konvolúciós kódoló, turbó kódoló)
 - Nagy és változtatható adatsebesség

- A fizikai csatornák főbb karakterisztikái
 - Fő struktúra
 - 10 msec frame, 15 slots (0,667 msec/db), 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:
 - Csatornaképző kód, változó szórási faktor, ortogonális kódok (SF=4-256 (512))
 - Zagyváló kódok (38400 chip hosszú); B-M: Gold-kód része $10^{81}-1$ hosszú; M-B: rövid szóró kód (rövid Kasami kód (256 chip) 150-szer ismételve) vagy hosszú szóró kód (Gold-kód része $2^{18}-1$ hosszú)

- Kapacitás

- Adatsebesség követelmények/elképzelések

- Vidéki: 144 kbit/sec (384 kbit/sec), 500 km/h
- Elővárosi: 384 kbit/sec (512 kbit/sec), 120 km/h
- Beltéri, lokális: 2 Mbit/sec, 10 km/h
- További lehetőségek az adatsebesség növelésére

- Megvalósított adatsebességek

- 12,2 kbps beszédátvitel
- 64, 144 (128), 384 kbps adatátvitel (rádiós hordozó): ez hasznos adatátviteli sebesség
- gyakorlati megoldás: a puffer telítettségétől függően kapcsolgatja a rendszer az egyes sebességű hordozókat az előfizetők között
- a sebességekhez tartozó fizikai SF downlinkben: 64 (beszéd), 32, 16, 8

- Flexibilitás

- Változtatható adatsebesség (BER, késleltetés)
- Keverhető szolgáltatások
- Áramkör- és csomagkapcsolt mód

- 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

- ezért: különböző előfizetők csatornáinak elválasztására a W-H kód DL-en alkalmas, UL-en 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 adatcsatornái
- a W-H kódokat UL irányban egy előfizető különböző csatornáinak (adat, többféle adat és kontroll) megkülönböztetésére használjuk

- hogyan választjuk el 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

- 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

	Szinkronizáló kód	Csatorna-képző kód	Zagyváló kód UL	Zagyváló kód DL
Típus	Gold kód: elsődleges és másodlagos szinkronizáló kódok (PSC/SSC)	OVSF kód	Komplex Gold kód részek (hosszú) vagy komplex S(2) kód (rövid) PN kód	Komplex Gold kód részek Pseudo Noise (PN) kódok
Hossz	256 chip	4-512 chip	38400 chip / 256 chip	38400 chip
Időtartam	66,67 μ s	1,04 μ s - 133,34 μ s	10 ms / 66,67 μ s	10 ms
Számuk	1 elsődleges / 16 másodlagos kód	= spreading factor 4 - 256 UL, 4 - 512 DL	16 777 216	512 elsődleges + mindegyikhez 15 másodlagos kód
Szórás	Nem terjeszti ki a sáv szélességet.	Kiterjeszti a sáv szélességet.	Nem terjeszti ki a sáv szélességet.	Nem terjeszti ki a sáv szélességet.
Használat	Lehetővé teszi, hogy a mobilok megtalálják és szinkronizáljanak a cellák fő vezérlő csatornáira	UL: az azonos mobiltól érkező adat és vezérlés szétválasztása DL: cellán belüli terminálok szétválasztása	Terminálok elválasztása	Szektorok/cellák elválasztása



UMTS rádiós csatornák

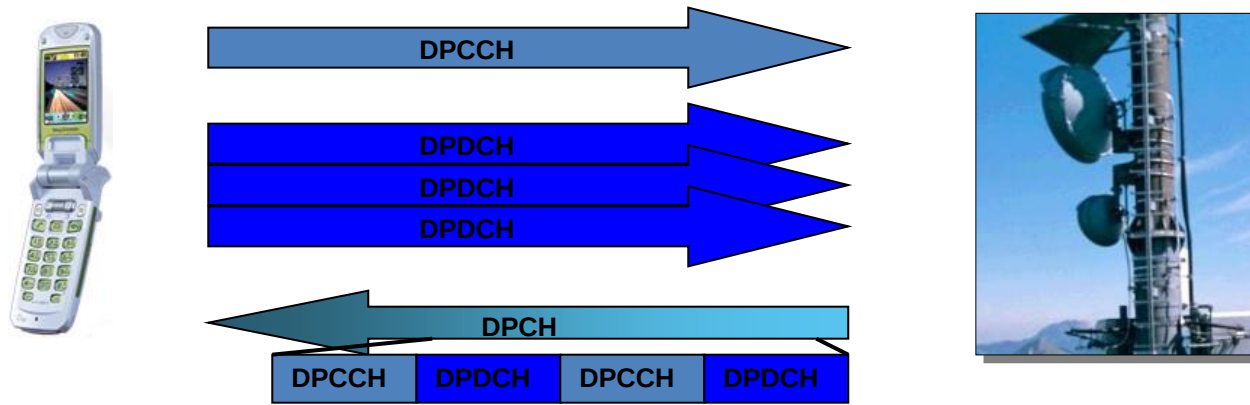
- Logikai csatornák:
 - Broadcast Control Channel (BCCH), Downlink (DL)
 - Paging Control Channel (PCCH), DL
 - Dedicated Control Channel (DCCH), UL/DL
 - Common Control Channel (CCCH), UL/DL
 - Dedicated Traffic Channel (DTCH), UL/DL
 - Common Traffic Channel (CTCH), Unidirectional (egy-
többes kapcsolat)

- Transzport csatornák:
 - Dedicated Transport Channel (DCH), UL/DL, DCCH és DTCH-ra mappelve
 - Broadcast Channel (BCH), DL, BCCH-ra mappelve
 - Forward Access Channel (FACH), DL, BCCH, CCCH, CTCH, DCCH és DTCH-ra mappelve
 - Paging Channel (PCH), DL, PCCH-ra mappelve
 - Random Access Channel (RACH), UL, CCCH, DCCH és DTCH-ra mappelve
 - Uplink Common Packet Channel (CPCH), UL, DCCH és DTCH-ra mappelve
 - Downlink Shared Channel (DSCH), DL, DCCH és DTCH-ra mappelve

- **Fizikai csatornák:**

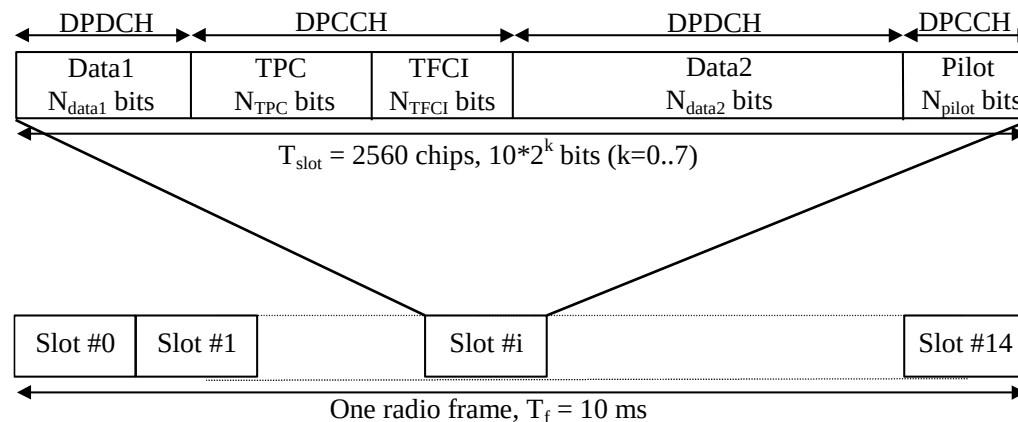
- Primary Common Control Physical Channel (PCCPCH), BCH-ra mappelve
- Secondary Common Control Physical Channel (SCCPCH), FACH, PCH-ra mappelve
- Physical Random Access Channel (PRACH), RACH-ra mappelve
- Dedicated Physical Data Channel (DPDCH), DCH-ra mappelve
- Dedicated Physical Control Channel (DPCCH), DCH-ra mappelve
- Physical Downlink Shared Channel (PDSCH), DSCH-ra mappelve
- Physical Common Packet Channel (PCPCH), CPCH-ra mappelve
- Synchronisation Channel (SCH)
- Common Pilot Channel (CPICH)
- Acquisition Indicator Channel (AICH)
- Paging Indication Channel (PICH)

- Dedikált csatornák
 - Uplink
 - Dedicated Physical Control Channel (DPCCH)
 - Dedicated Physical Data Channel (DPDCH)
 - Downlink
 - Dedicated Physical Channel (DPCH)



DPCH:

- Mivel a közös csatornák folyamatosan jönnek, nincsen hallható hatás
- idő multiplexálás
- SF = 4-512, QPSK moduláció
- Max. 1,96 Mbps adatsebesség
- Legalacsonyabb sebesség DTx technikával 1500 Hz
- TFCI, TPC, Pilot
 - Common Pilot Channel (CPICH)
 - Fix 30 kbps, SF=256



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 DEDIKÁLT CSATORNÁK I.

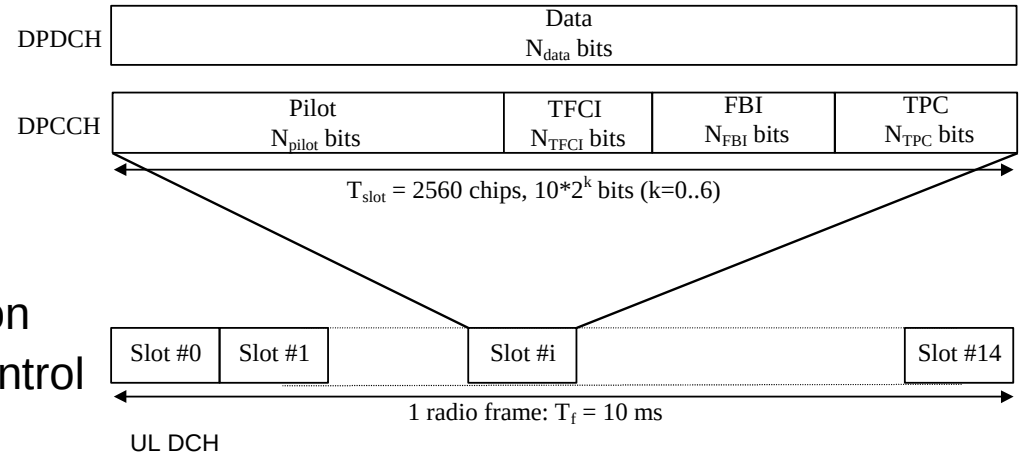
- DPCCH

- Fix SF=256
- 4 részből áll
 - Pilot szimbólumok
 - TFCI = Transport-Format Combination Indicator
 - FBI = Feedback Information
 - TPC = Transmit Power Control

- DPDCH

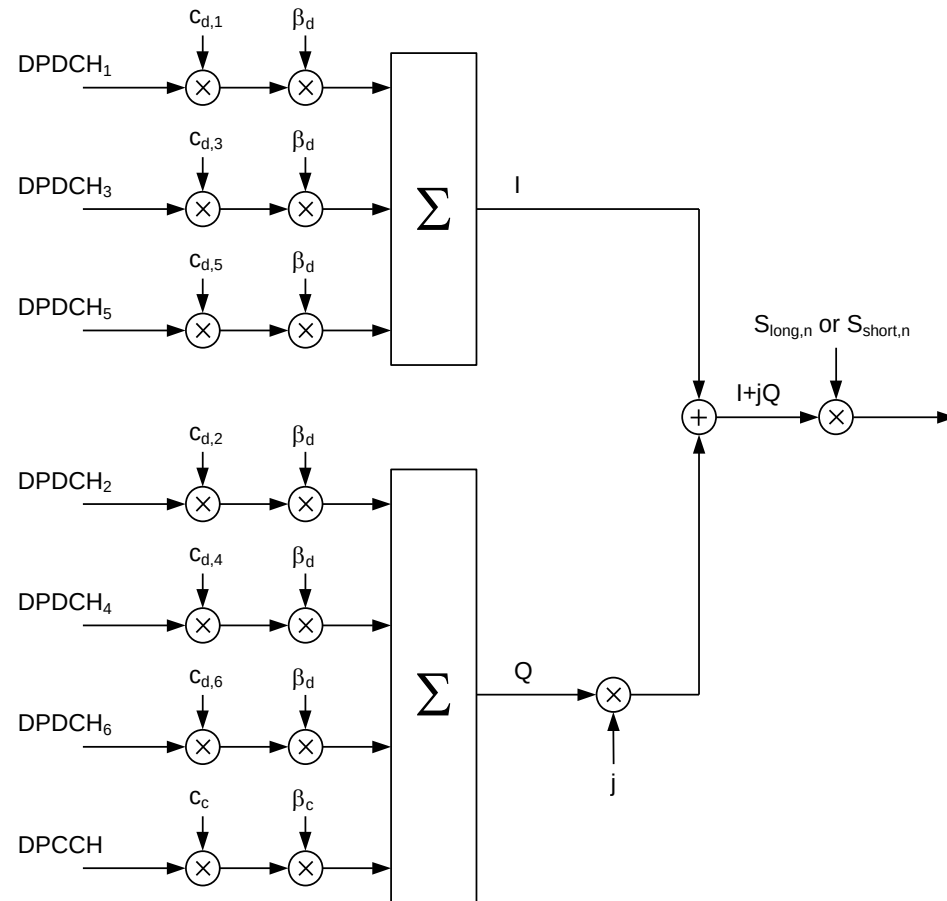
- SF=256..4
- 10,2 kbits/időrés
- Max 0,96 Mbit/sec data rate

- Egy uplink átvitelhez egy DPCCH és legalább egy DPDCH szükséges



- Pilot
 - Vevőben csatorna becslés
- TFCI
 - DPDCH adatsebesség, csatorna kódolás, interleaving paraméter indikátor minden keretre
 - Ha hibás, elvész a keret, nagyon védett
- TPC
 - Teljesítmény szabályzó parancs
 - Mindig jelen van a pilottal együtt
- FBI
 - Closed loop PC használatakor

- DPCCH és DPDCH I/Q multiplexált
 - hallható jelenségek miatt
 - Csökkenti az átvitel csúcs-átlag teljesítmény arányt
 - Egy kóddal (SF=4) csatorna kódolva max. 400-500 kbps
 - Nagyobb sebességhez max. 6 párhuzamos kódot lehet használni



$$3.84 \text{ Mcps} / 256 = 15 \text{ kbps}$$

DPDCH SF	DPDCH channel bit rate (kbps)	Max. user data rate with 1/2 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



UMTS és az interferencia

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

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

- P^{vett} számítása P^{adott} szorozva csatorna csillapításával (Path Loss – PL) : $P_x^{\text{vett}} = P_x^{\text{adott}} \cdot PL$

- Downlink SINR

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

- 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

$$P_x^{\text{vett}} = P_x^{\text{adott}} \cdot PL$$

- PL a csatorna csillapítása adott távolságra

- 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



Cellakeresés

- Cella keresésnél először ismerni kell a cellára specifikus scrambling kódot
- Összesen $2^{18}-1$ kód létezik
 - Lassú a keresés
- Cella keresésre összesen 8192 kódot specifikáltak
 - Ez még mindig sok.
 - A kódokat 512, egyenként 16 kódból álló halmazba rendezték.
 - Ezek közül az első az elsődleges, a többi 15 másodlagos scrambling kód lett egy halmazban
 - Most már csak 512 kódot kellene megkülönböztetni
 - Még mindig lassú a keresés

- További gyorsítás miatt az 512 elsődleges kódból 16 csoportot szerveztek, melyekben egyenként 8 elsődleges kód található.
- Feladat egy kódcsoporthoz meghatározni, majd ennek ismeretében kikeresni a nyolc kód közül a cella specifikus scrambling kódot.

- Funkció: a cellakeresés során a terminál (UE) keres egy cellát, szinkronizál a bázisállomáshoz és meghatározza a downlink scrambling kódot
- két eset megkülönböztetése:
 - kezdeti cellakeresés (initial cell search): a terminál bekapcsolásakor
 - cél cella keresés (target cell search): a terminál aktív vagy készenléti (idle) állapotában, a vételi teljesítmény romlásakor cellaváltás (handover) történik
- az elsődleges zagyváló kódok kiosztása befolyásolhatja:
 - a szinkronizáció sebességét
 - a művelet számításigényét (komplexitás), ezáltal a terminál energiafelvételét
 - nem befolyásolja: az interferencia mértékét

- Készülék bekapcsolása után a szinkronizációs csatornából nyert információból kell a cella specifikus scrambling kódot kinyerni.
- Ez három lépésben végezhető el:
 - Slot szinkronizáció
 - Az SCH keret minden időrésében (2560 chipből) az első 256 chip mindig a P-SCH és vele párhuzamosan az S-SCH. A P-SCH minden cellában azonos!!!
 - A P-SCH ismeretében egy illesztett szűrő segítségével megtaláljuk az időrés szinkront.
 - Második lépés: Keret szinkronizáció
 - S-SCH felhasználásával megtörténik a keretszinkronizálás és a (scrambling) kódcsoport meghatározása.
 - Korreláltatjuk a vett jelet minden SSC szekvenciával.
 - Scrambling kód meghatározás
 - Korreláció számítással kiválasztjuk a lehetséges nyolc kód közül a megfelelőt, melyet a CPICH csatornán keresztül detektálunk.
 - Ezután a scrambling kód ismeretében detektálhatóvá válik a P-CCPCH, ahol a rendszer és cella specifikus BCH információ kiolvasható.

- Csatornaképző kódok (channelisation codes)
 - Típus: Walsh-Hadamard kódok (OVSF)
 - Funkció: fizikai csatornák elkülönítése egy terminálnál (UL)
terminálok kapcsolatainak elkülönítése egy cellában (DL)
 - Hossz: 4-512 (256) / szimbólum, a spektrum szórást végzi
- Zagyváló kódok (scrambling codes)
 - Típus: álvéletlen (PN) kódok
 - Funkció: terminálok megkülönböztetése (UL)
szektorok megkülönböztetése (DL)
- Szinkronizációs kódok (synchronisation codes)
 - Típus: Golay és Hadamard szekvenciák
 - Funkció: terminál szinkronizálása a bázisállomáshoz (keret szinkron, időrés szinkron, kódcsoporthoz)

DL scrambling kódok

- 512 elsődleges (primary) kód, cellánként egy kiosztva
- 15 másodlagos (secondary) kód minden elsődleges kódra
- 64 kódcsoporthoz:
8 elsődleges scrambling kód kódcsoporthoz

Szinkronizációs kódok

- 1 elsődleges kód, minden cellára azonos, P-SCH csatornán sugározva
- 64 másodlagos kód, cellánként 1 kiosztva, S-SCH csatornán sugározva
- 64 kódcsoporthoz:
1 másodlagos szinkronizációs kód kódcsoporthoz

Kódcsoporthoz keresztül az elsődleges scrambling kód és a másodlagos szinkronizációs kód összerendelése!

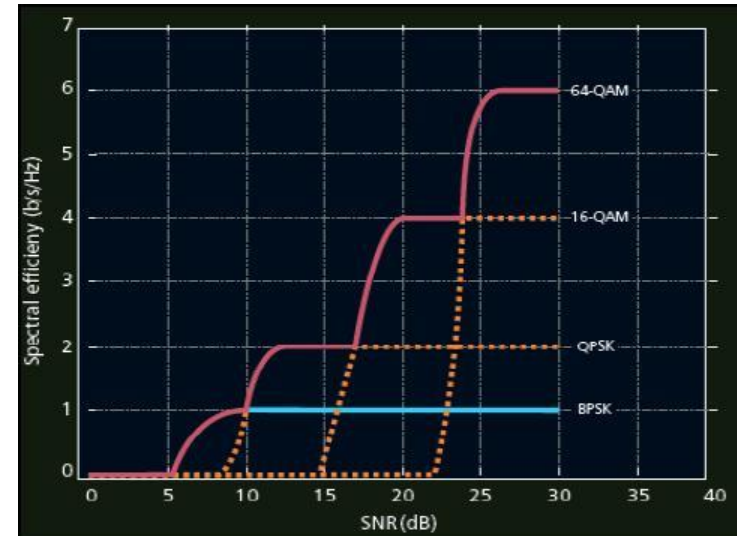
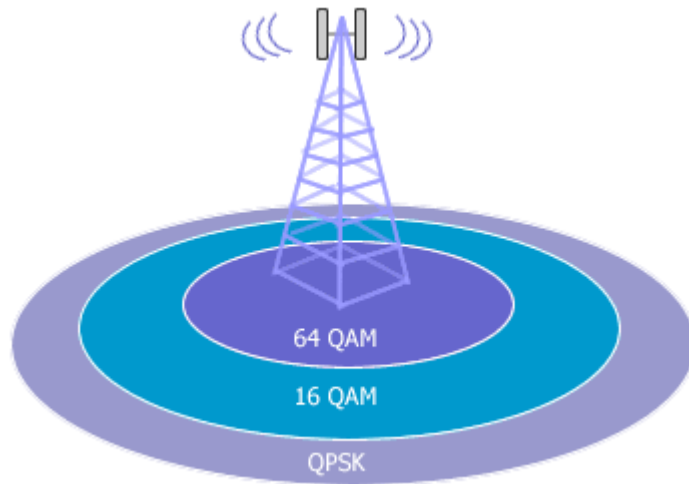


UMTS továbbfejlesztése

- 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, 2 ms hosszú keret (3 slot)
- elvi max. sebesség tehát: $15 \times 480 \times 2 = 14400$ kbps a fizikai réteg legalján jó csatorna esetén, valójában CQI=30 és legjobb készülék esetén RLC réteg kb. 12,8 Mbps-t lát
- osztott csatorna ($\leftrightarrow$ 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 adaptáció: a készülék folyamatosan méri a pilot csatornán a csatorna minőségét $\rightarrow$ egy CQI 0...30 értéket riportol

- 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 valószínűsége max. 0,1
- ha mégis elvesz 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

- Adatsebesség megnövelhető a DL irányban 8-14,4 Mbps-re (20 Mbps MIMO rendszerben)
- A rendszer tartalmaz adaptív modulációt és kódolást (AMC/ACM)
 - WiMAX, LTE, műholdas és mikrohullámú kommunikáció



- 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

- *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



HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK





HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK

4G LTE architektúra

Mobil kommunikációs hálózatok/rendszerek
4. előadás

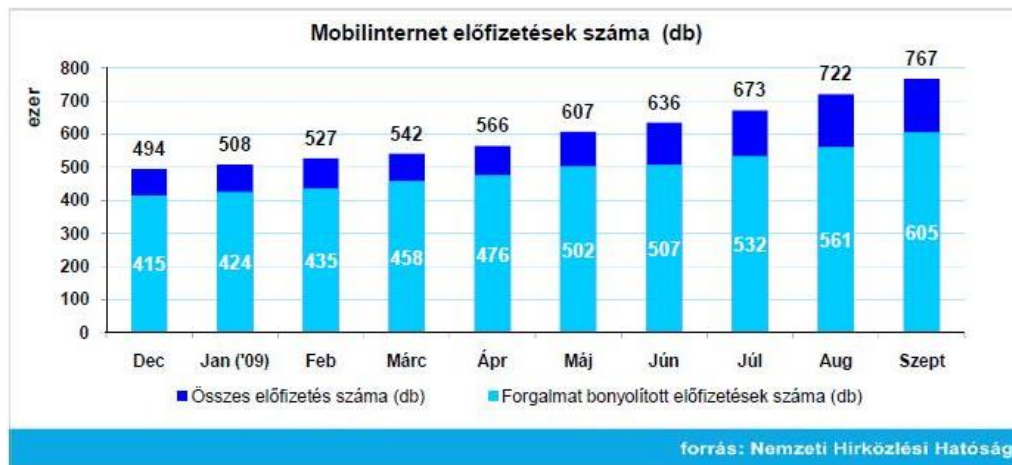
Gódor Győző

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu

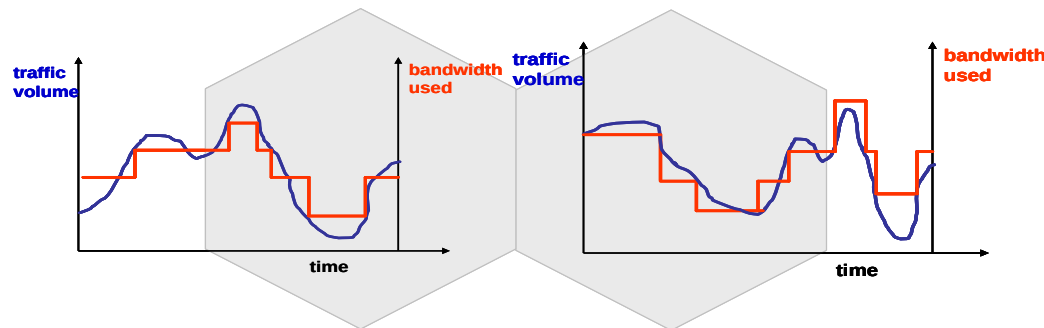
Budapest,
2020. 10. 01.



- Sikeresnek bizonyult a „mobil Internet”
 - hazánkban minden harmadik szélessávú Internet előfizetés
 - világszerte dinamikus növekedés
 - átviteli sebességek: néhány Mbps elérhető HSPA-val
 - csatornától, userek számától stb. függ
 - az Internet technológia minden lehetőségének kiszolgálására még nem alkalmas (pl. szélessávú video, IPTV)



- 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



- Az új technológia nehézségekkel jár (hátrányok)
 - teljes hálózatra kiterjedő beruházás szükséges, vagy kétmódú előfizetői eszközök kellenek
 - nincs visszafelé kompatibilitás
 - van már egy vetélytárs technológia (mobil WiMAX)
 - áramkörkapcsolt hanghívást nem támogat → VoLTE szolgáltatás bevezetése szükséges

- LTE rádiós követelmények
 - legalább 100 Mbps DL és 50 Mbps UL átviteli csúcssebesség, 20 MHz használatával
 - nagyobb sáv szélességeken 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 sáv szélességen legalább 400
 - nem aktív mobilok számára nincs explicit követelmény, de tipikusan jóval nagyobb

- LTE rádiós követelmények
 - többféle sáv szélesség 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: downlink, uplink 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



4G LTE architektúra – System Architecture Evolution

- Az LTE „architektúrája”
- Valójában:
 - LTE = 4G rádiós interfész
 - SAE = 4G hálózat
 - Együtt: Evolved Packet System – EPS

- Többféle hozzáférési hálózat támogatása
 - 3GPP és nem 3GPP
 - 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 vezeték nélküli 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

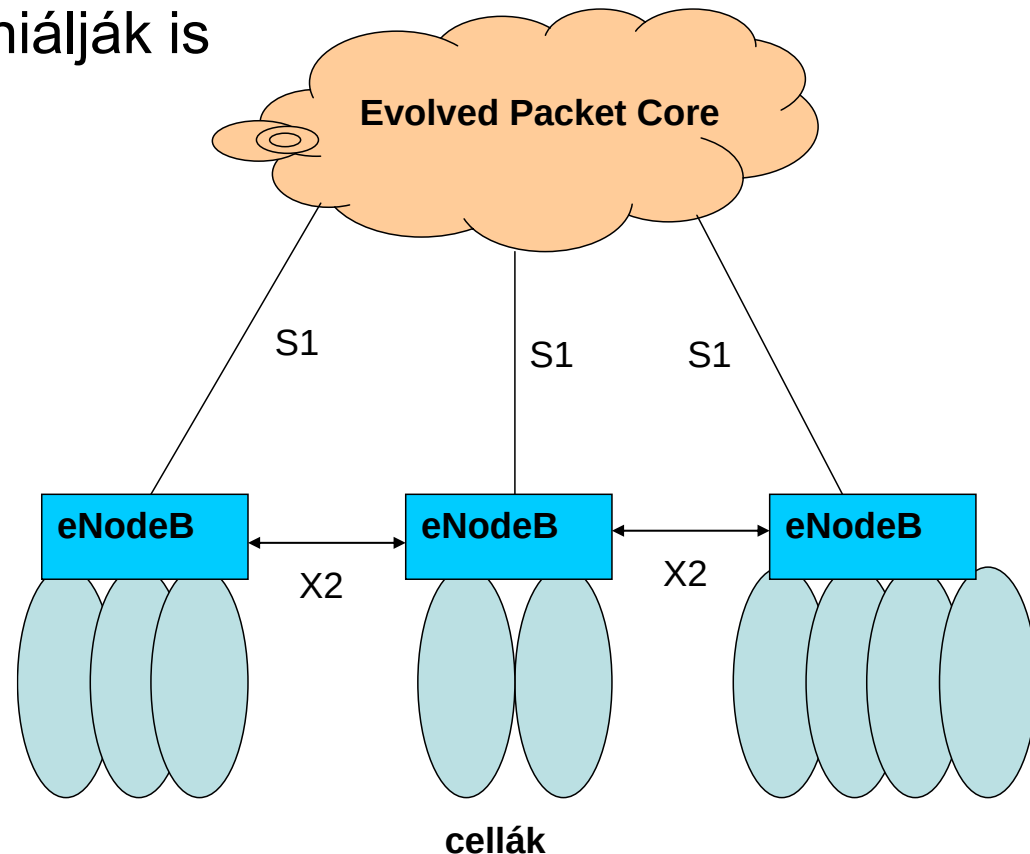
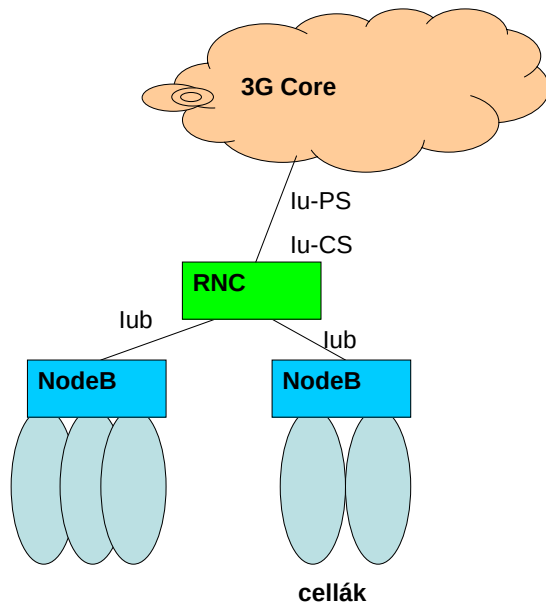
- Rendszer architektúra:
 - a működéshez szükséges funkciók logikai csomópontokhoz rendelve
 - interfészek a csomópontok közt
 - két fő blokk:
 - maghálózat (Core Network, CN):
EPC, Evolved Packet Core;
 - rádiós hozzáférési hálózat (Radio Access Network, RAN):
E-UTRAN, Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
- 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

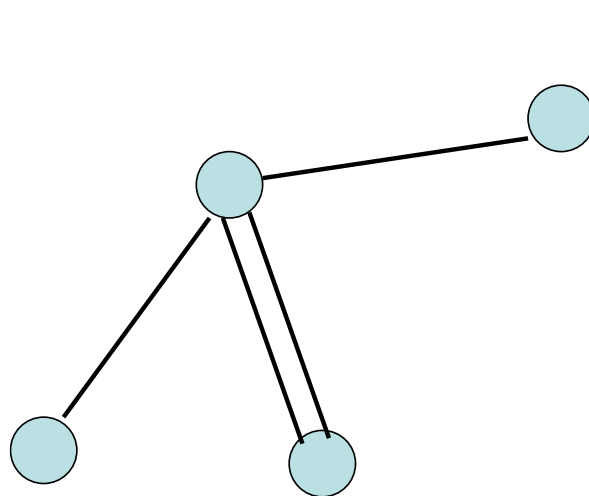
- Maghálózat funkciók – SAE
 - számlázás
 - előfizető menedzsment
 - mobilitás menedzsment (a mobil helyzetének követése)
 - hordozó szolgáltatások kezelése, szolgáltatási minőség kezelése
 - előfizetők adatfolyamain végrehajtandó eljárások (policy) kezelése
 - kapcsolódás külső hálózatokhoz
 - más szolgáltató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

- E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)
 - handover: adattovábbításon alapul
 - állomások közti kommunikáció szükséges: rádiós erőforrás menedzsment, interferencia kontroll
 - erre szolgál az X2 interfész
 - régi eNodeB továbbítja az új eNodeB-nek a felhasználónak szóló IP csomagokat handover után
 - felépítése hasonló a 3G Iur-hez (RNC-k közti interfész)
 - topológiai vonatkozások

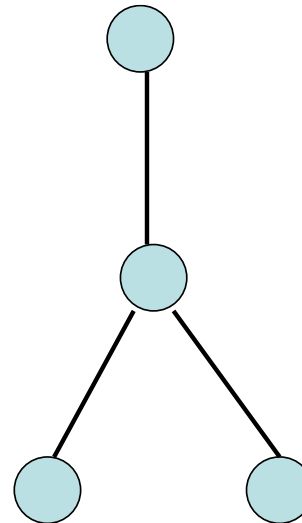
- nincs központi elem (RNC)
- a korábbi RNC funkciók az eNodeB-ben
 - ilyen 3G NodeB is létezik már
 - HSPA+ szabványok definiálják is
- biztonsági problémák



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

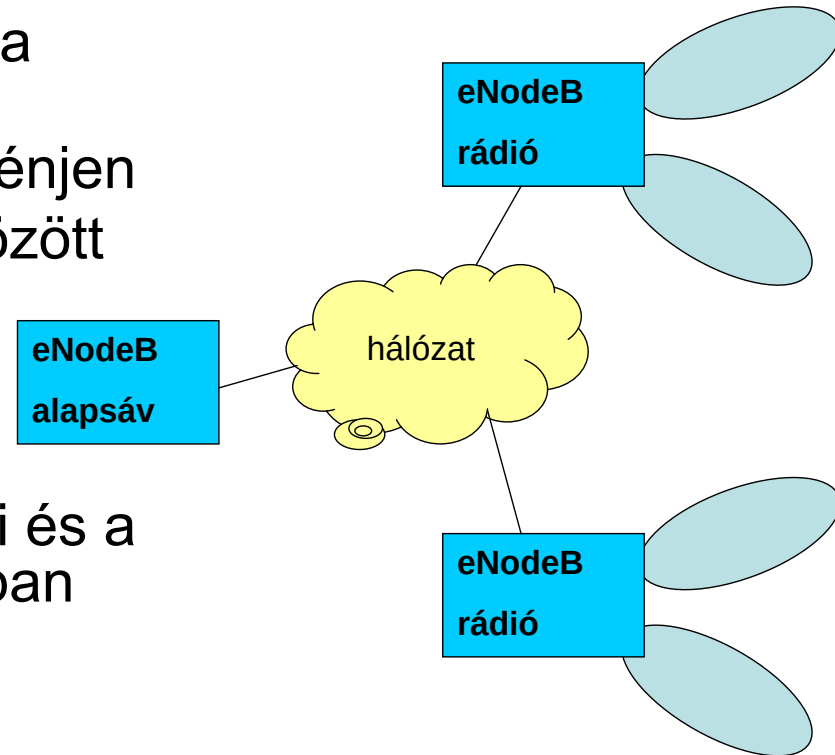


makrodiverziti központi
elem nélkül

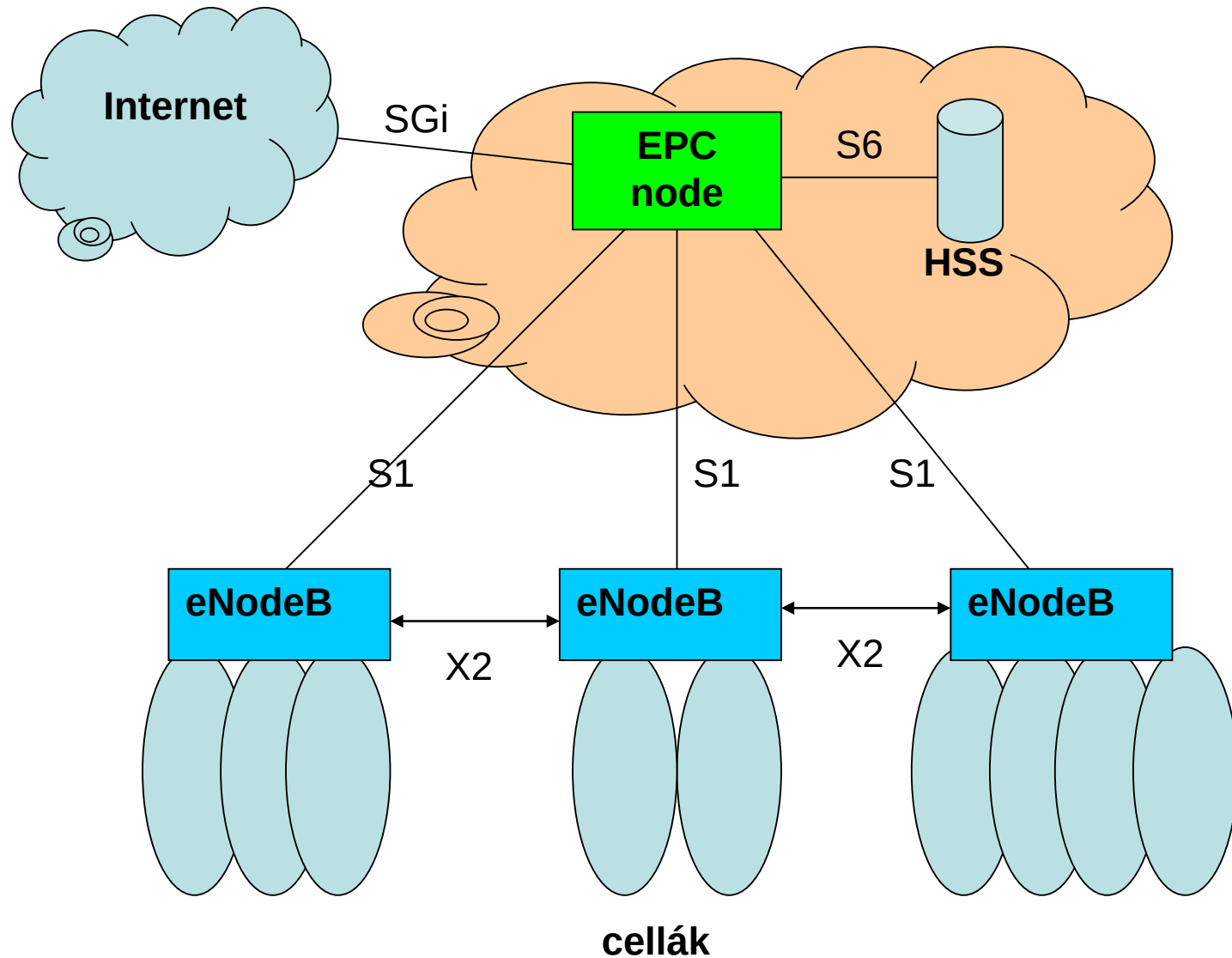


makrodiverziti központi
elemmel

- mobilitás kezelése nehezebb központi elem nélkül:
 - cellaváltást lehetőleg „elrejtetni” a maghálózat előtt
 - ugyanakkor adatvesztés ne történjen
 - csomagtovábbítás eNodeB-k 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

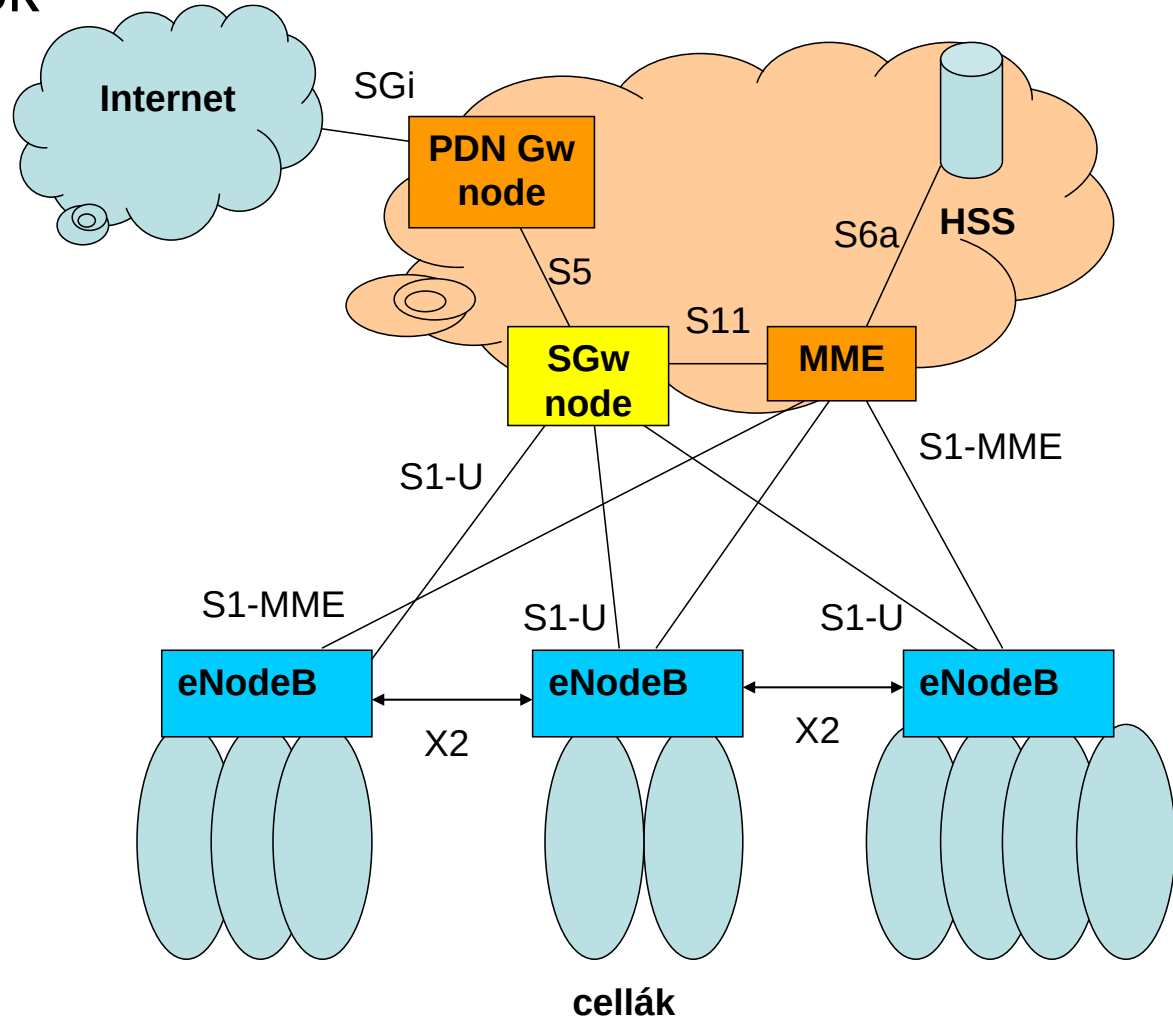


- Fejlett csomagkapcsolt maghálózat,
Evolved Packet Core – EPC:
 - funkcionális architektúra: egy csomópont végez minden maghálózati funkciót
 - akár fizikailag is lehetne egy berendezés
 - gyakorlati szempontból nem megvalósítható
 - + HSS (=HLR+AuC) megmaradt a korábbi hálózatokból
 - Home Subscriber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



- Funkcionális entitások az EPC-ben:

- **Mobilitás kezelő** egység: Mobility Management Entity (MME)
- **Kiszolgáló átjáró** egység: Serving Gateway (SGw)
- **Adathálózati átjáró** egység: Packet Data Network Gateway (PDN Gw)



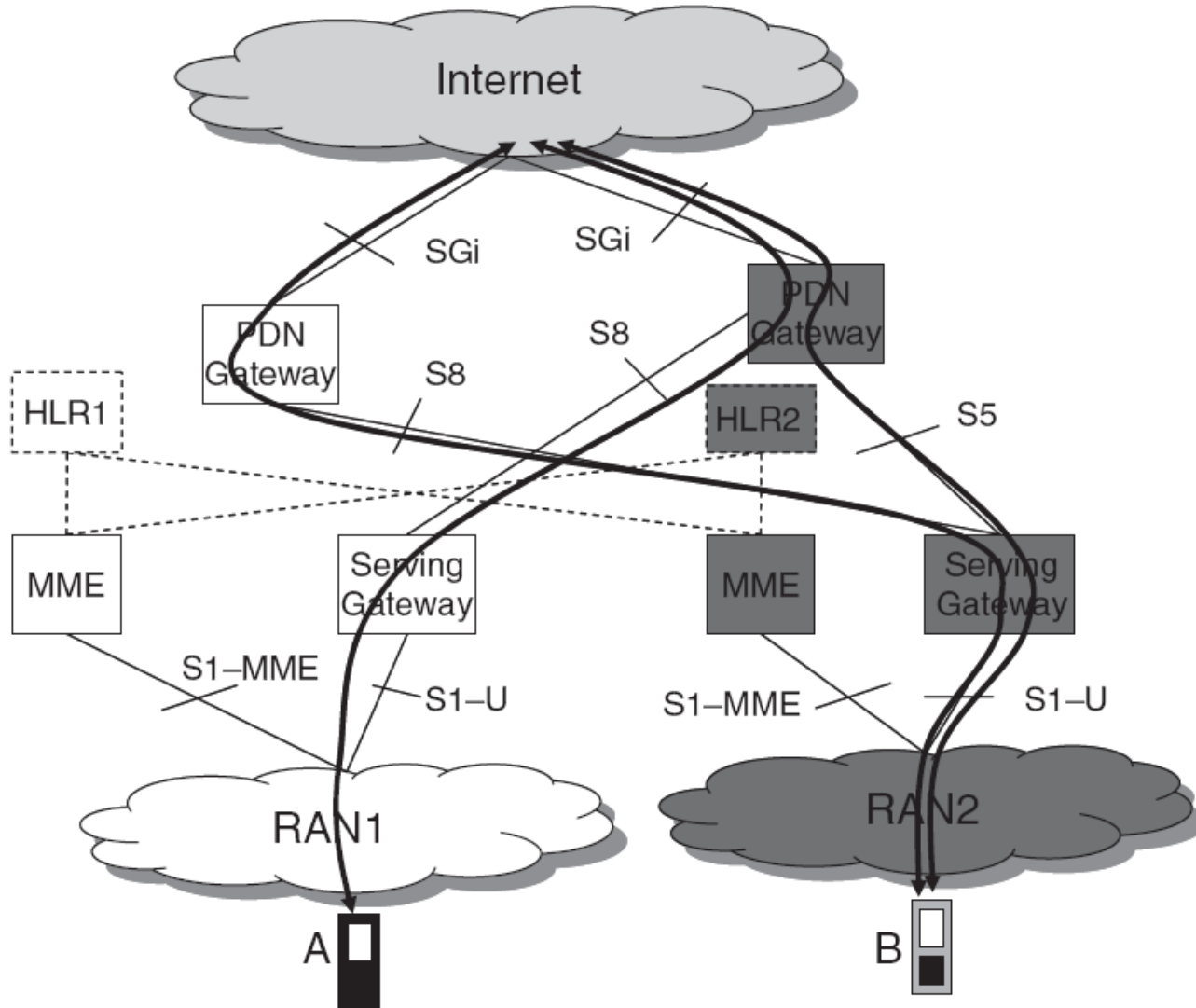
- a vezérlő sík megvalósítója az EPC-ben
- mobilitás támogatás
- előfizető helyének lekérdezése
- paging megfelelő helyre küldése
- útvonalválasztás az előfizető pozíciójának megfelelően
- minden egyéb vezérlési feladat: hordozó felépítése, hitelesítés, titkosítási kulcsok cseréje stb.
- kontroll sík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

- az előfizetői adatok továbbítója az EPC és az eNodeB között (felhasználói sík az EPC-ben)
- 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

- 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)

- Alapvetően: honos hálózat PDN Gw-én keresztül
 - előfizető idegen hálózathoz kapcsolódik
 - idegen hálózati SGw és honos PDN Gw között definiált interfész van erre a célra (S8)
 - honos EPC jelöli ki a használandó IP címet a mobil terminál számára
 - az idegen hálózati SGw a honos PDN Gw felé továbbítja az előfizető csomagjait, ezen keresztül „kerül ki” az UE az Internetre
 - nem eléggé hatékony (a mobil Internet protokollok háromszög útvonalválasztási problémája)
 - viszont a szolgáltató kontrollálja a saját előfizetőjét

- Hatékonyabb megoldás
 - előfizető idegen hálózathoz kapcsolódik
 - idegen EPC jelöli ki a használandó IP címet a mobil terminál számára
 - az UE közvetlenül az idegen hálózaton keresztül kapcsolódik az Internethez
 - nagyobb bizalom szükséges a szolgáltatók között

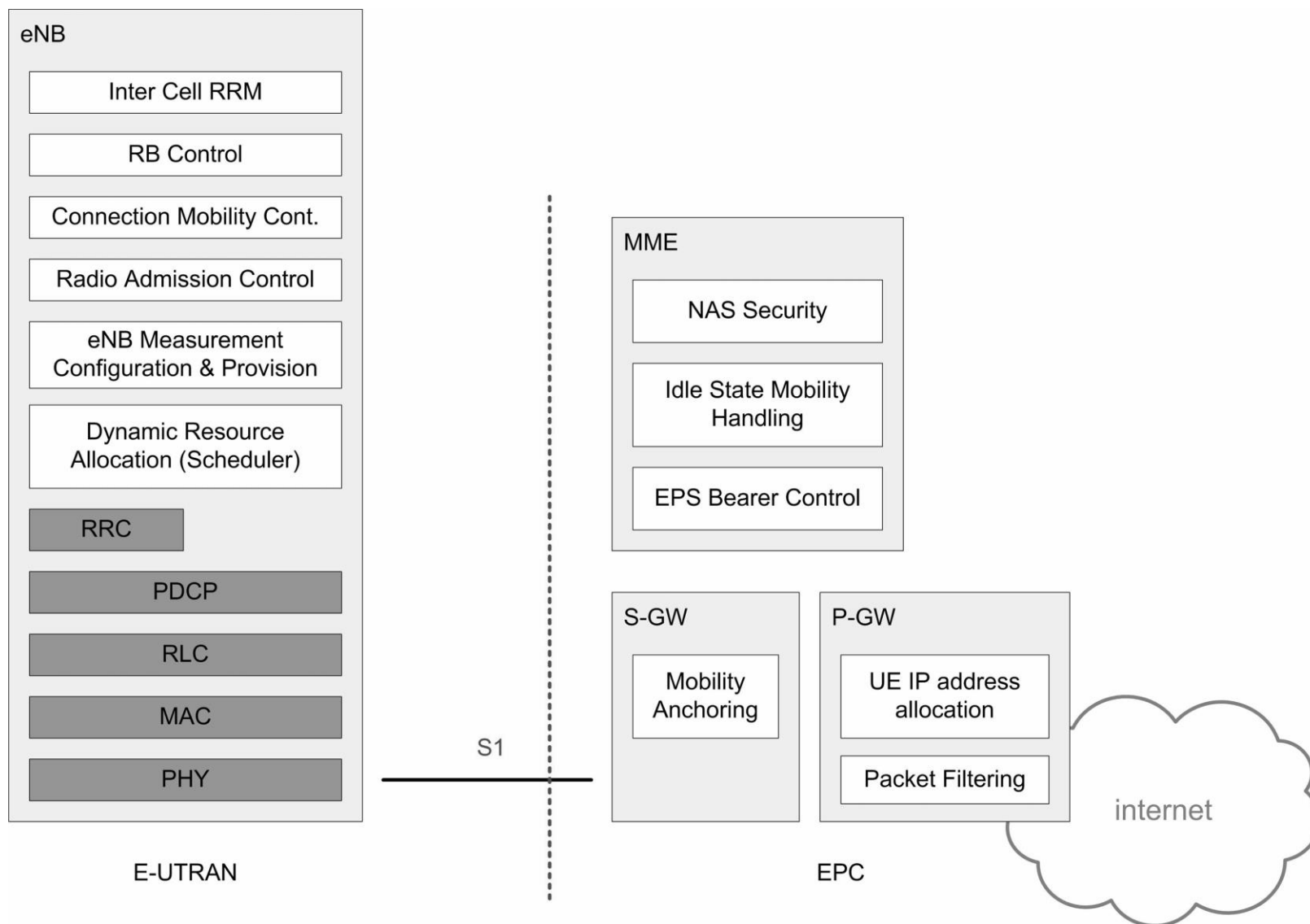


Dahlman, Parkvall, Sköld, Beming: *3G evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*, Academic Press 2008

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

- Rugalmasság:
 - S1 flex
 - egy eNodeB több SGw-hez is csatlakozhat több S1 interfészen
 - robusztusság, rugalmasság
 - hálózati infrastruktúra megosztása (közös eNodeB, saját EPC)
 - Pl. vidéken Telekom és Telenor együttműködés

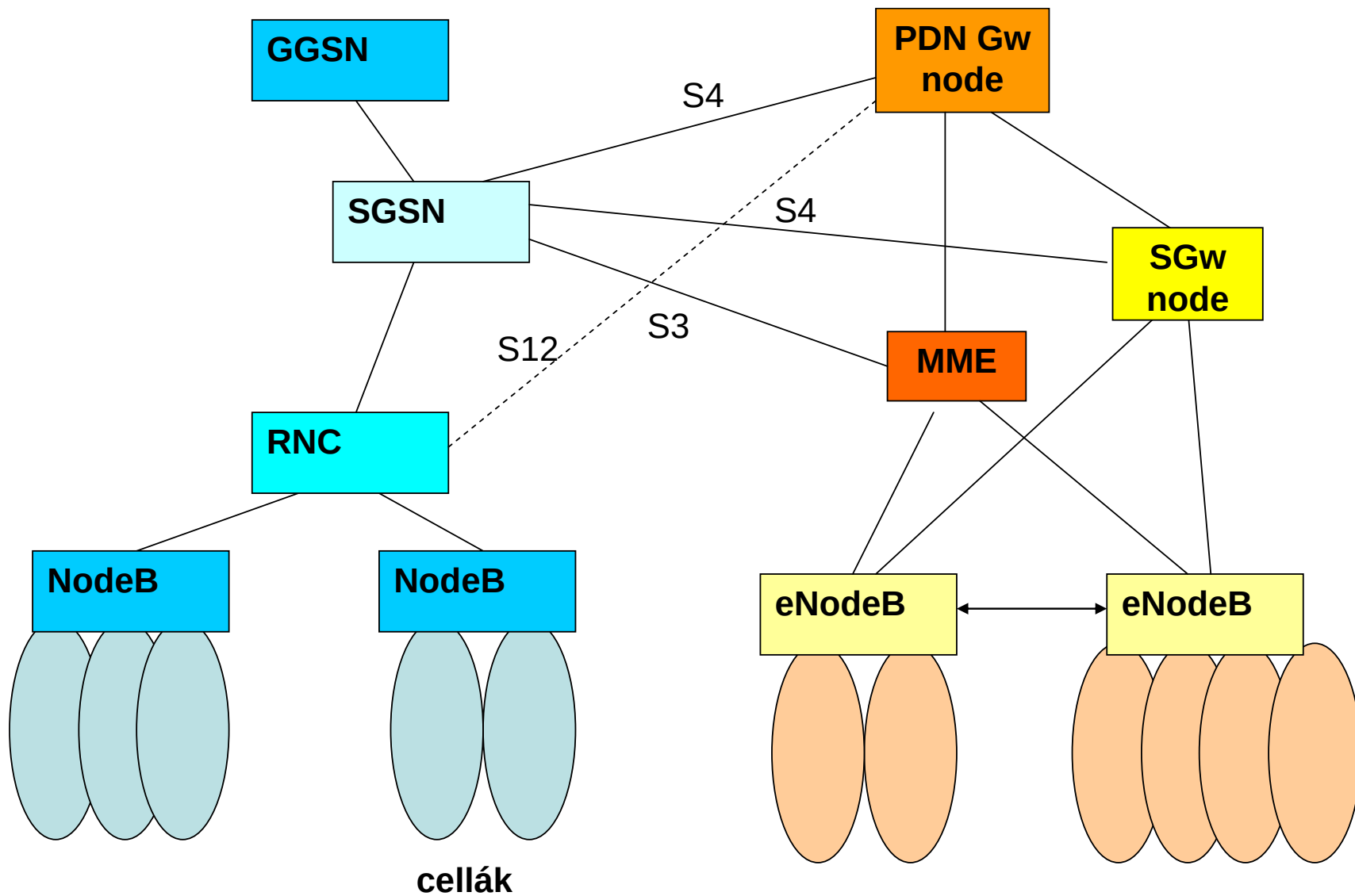
SAE – FUNKCIÓK MEGOSZTÁSA



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

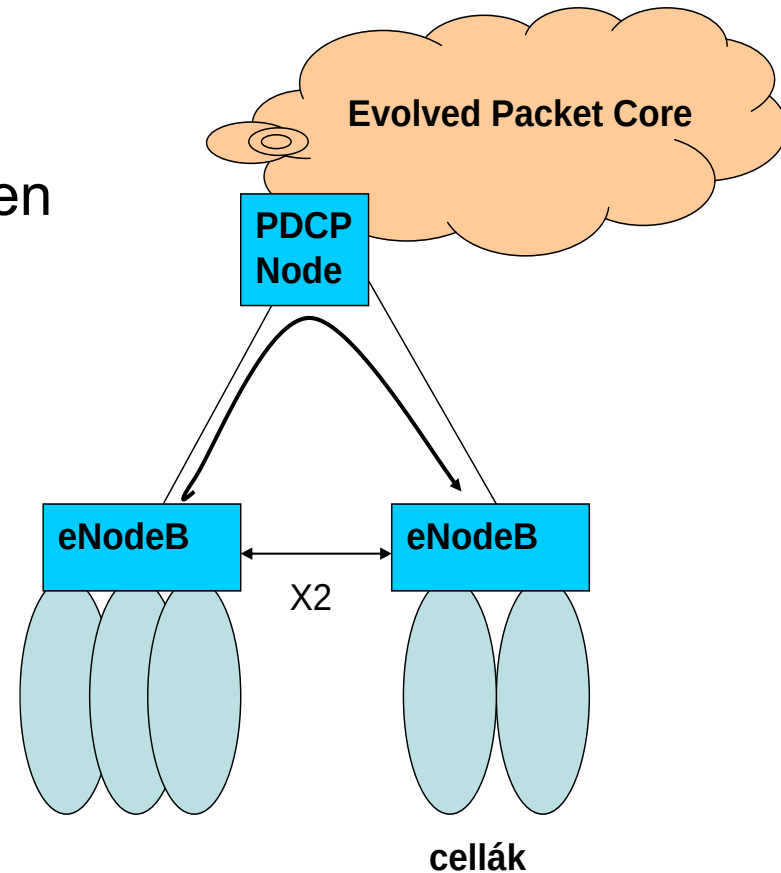
- Megoldás:
 - az SGSN „bekötése” az EPC-be
 - a PDN Gw viselkedik GGSN-ként
 - vagy: S12 interfész a PDN Gw és az RNC között
 - GGSN nem szerepel az átvitelben

LTE-3G EGYÜTTMŰKÖDÉS

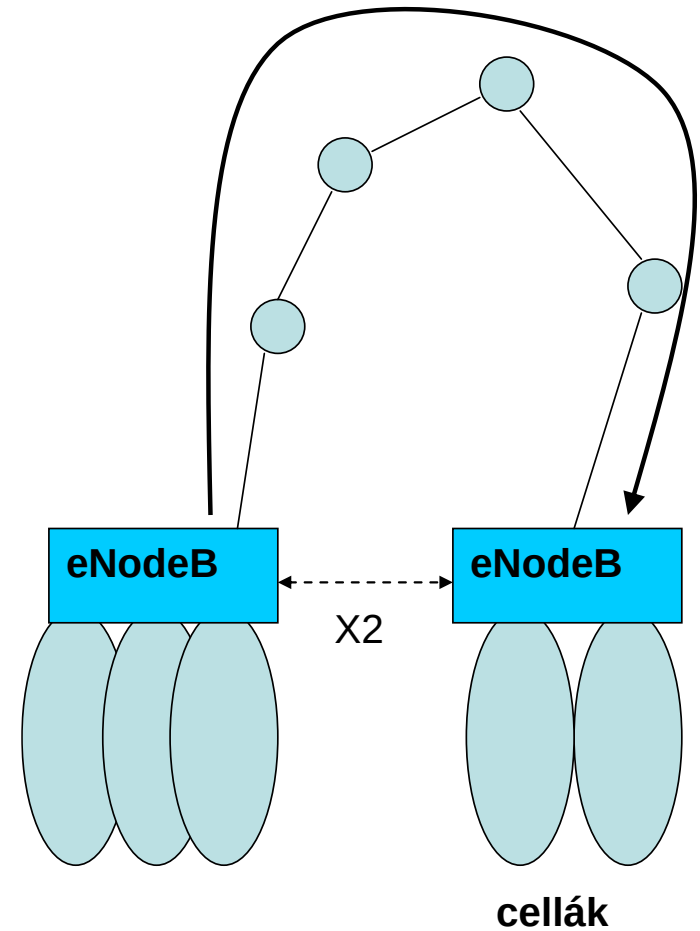


- EPC elvileg egy eszköz lehetne
 - kapacitás, feldolgozási sebesség problémái
 - nagyobb sebességű kapcsolatok, nagyobb adatmennyiség mozgatása
 - robusztusság kérdése, centralizált hálózat
 - lehetne: egyféle eszközben, de több darab
 - rugalmasság, bővíthetőség, korábbi berendezések felhasználhatósága problémás
- Funkcionális elemek külön eszközökben
 - kapacitástól függően mindegyikből több

- Biztonsági szempontok
 - PDCP protokollban titkosítás, az eNodeB-ben
 - eNodeB-k kevésbé védett helyeken
 - fizikailag hozzáférhető, kulcsok esetleg megszerezhetők
- Lehetséges megoldás
 - a PDCP funkció külön eszközben megoldva, az E-UTRAN „szélén”
 - baj: a PDCP a rádiós protokoll „teteje”
 - handover csomagtovábbítás esetén minden forgalom az új eszközözig vissza

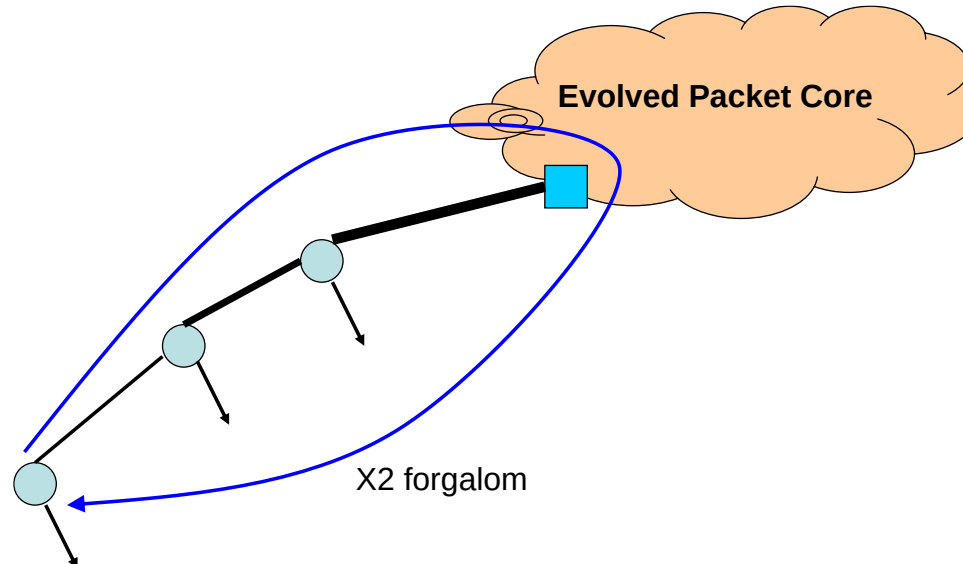


- Topológiai megfontolások
 - X2: csomagtovábbítás
 - teljes előfizetői adatforgalom, nagy sebességgel halad a két eNodeB között egy ideig
 - hasonló probléma volt a soft handover esetén
 - követelmény: az X2 (logikai) interfésszel összekötött eNodeB-k közötti fizikai összeköttetések számának minimalizálása
 - az X2 jelzésinformáció sem elhanyagolható



• Topológiai megfontolások

- érdemes L2 vagy IP szintű aggregációt és elágaztatást sűrűn megvalósítani az E-UTRAN transzport hálózatában
- pl. fix sebességű SDH/PDH kapcsolatok kiépítése az EPC és minden eNodeB között nem hatékony
- ebben az esetben is az E-UTRAN „széléig” oda-vissza kell vezetni fizikailag az X2 forgalmat



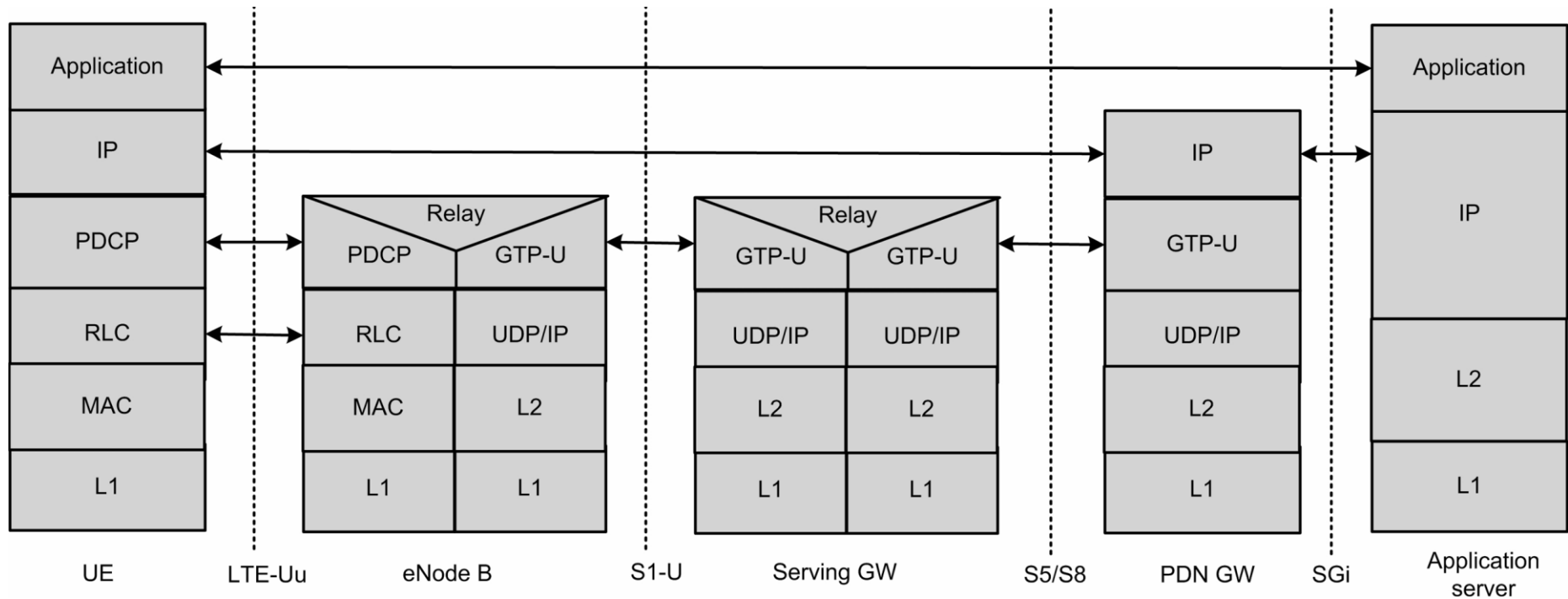


SAE interfészek

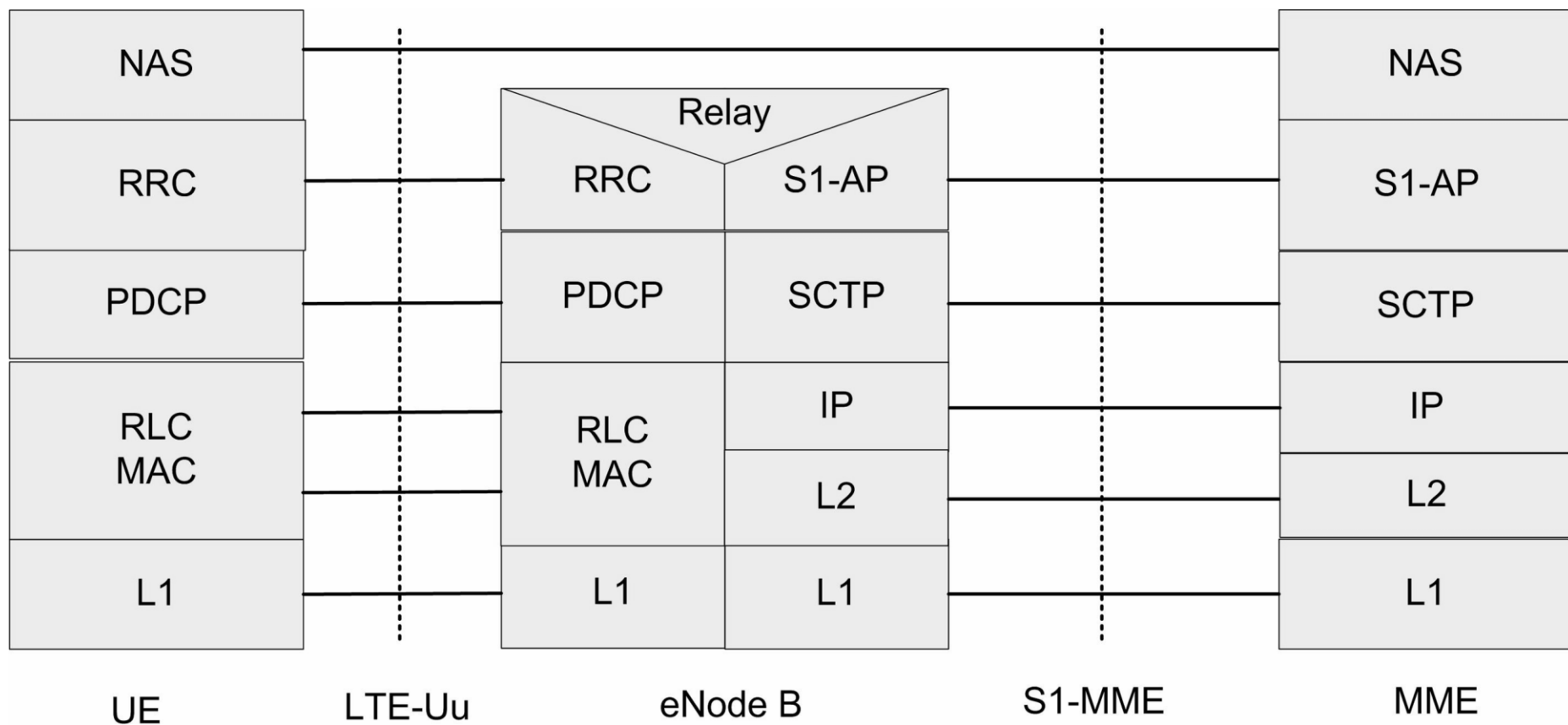
- S1-User interfész:
 - Hasonló az Iu-PS interfészhez
 - E-UTRAN és S-Gw között
 - IP tunneling az eNodeB-től/ig
 - Felhasználói adatokat szállít
 - Útvonal váltás az eNodeB-k között handover közben
- S1-MME interfész:
 - E-UTRAN és MME között
 - Vezérlő információkat hordoz

- S1 Application Protocol – S1-AP:
 - E-UTRAN és EPC közötti jelzésüzenetek szállítása
 - Főbb funkciók:
 - Mobilitás funkciók az UE számára:
 - eNodeB váltás az S1 interfészen (MME-ket és SGW-ket érintő handover esetén)
 - 3GPP RAT-ok közötti handover az S1 interfészen, pl. NodeB → eNodeB váltás
 - S1 interfész menedzsment funkciók az UE és az MME között:
 - Túlterheltség jelzése az S1 interfész vezérlő síkján
 - Terhelés kiegyenlítés MME-k között
 - NAS jelzésüzenetek szállítása
 - Paging

FELHASZNÁLÓI SÍK PROTOKOLL STACK



VEZÉRLŐ SÍK PROTOKOLL STACK



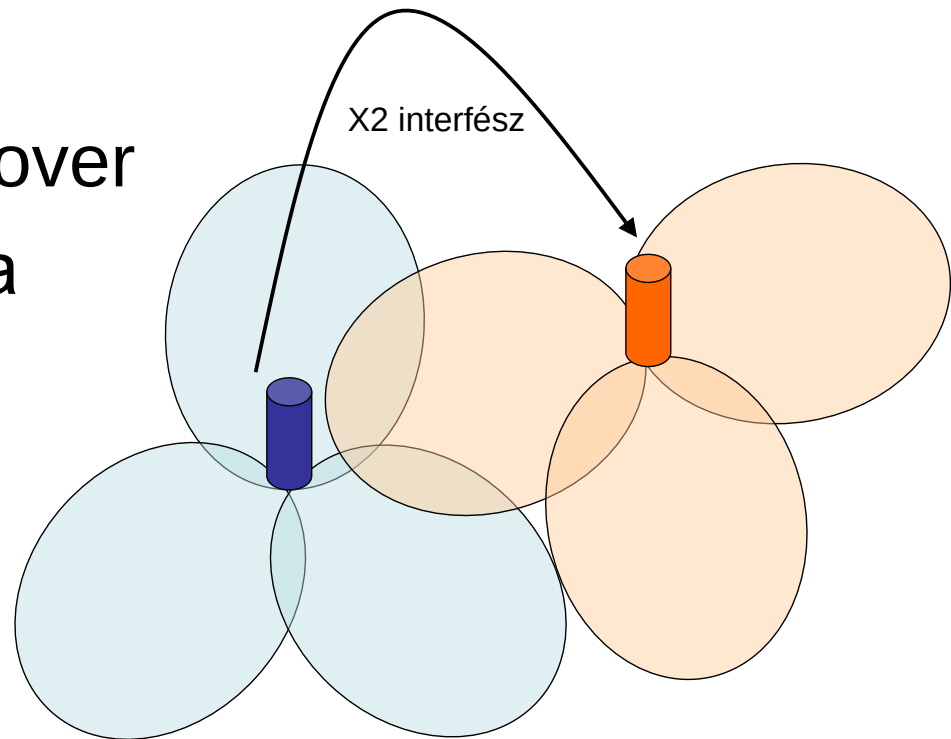
- S3 interfész:
 - MME és SGSN között
 - 3GPP hozzáférési hálózatok között biztosít felhasználói és hordozó információ cserét tétlen és aktív állapotban is
- S4 interfész:
 - SGW és SGSN között
 - Kapcsolódó vezérlő és mobilitás támogató funkciók
- S12 interfész:
 - UTRAN és SGW között
 - Felhasználói sík alagutazása, ha a közvetlen alagút létrejött

S5, S6A, S10, S11 INTERFÉSZEK

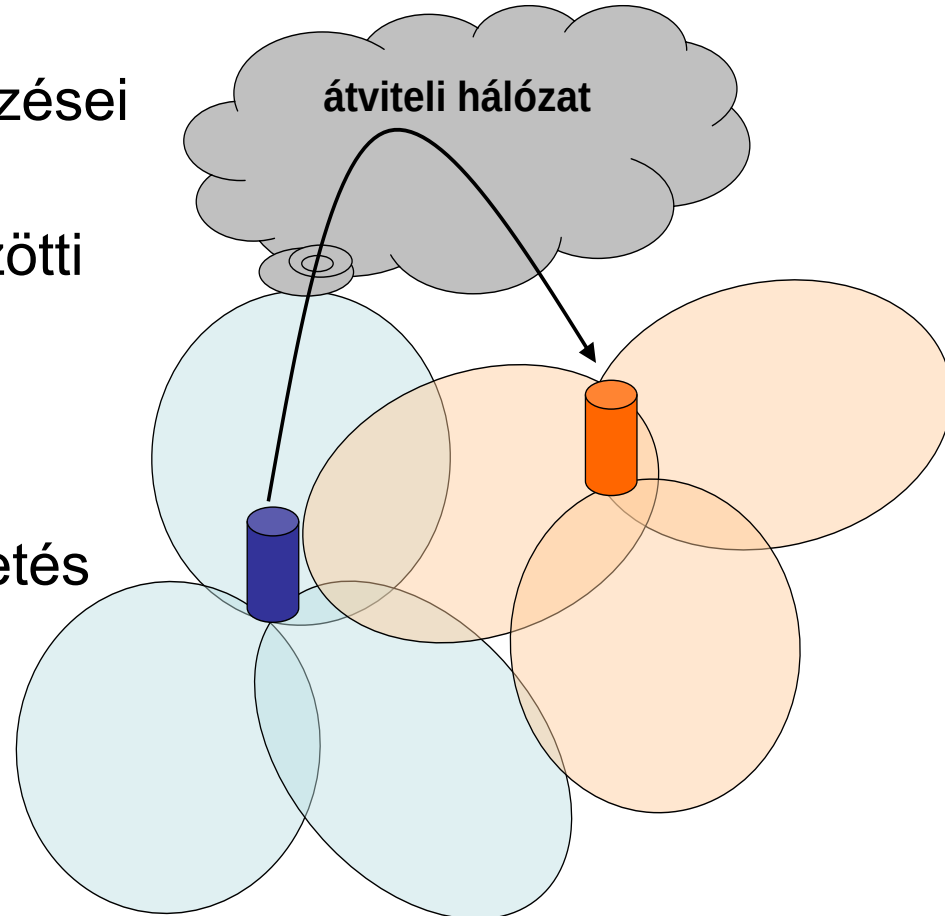
- **S5 interfész:**
 - SGw és PDN Gw között
 - SGw reallokáció UE mozgása miatt
 - Akkor használatos, ha az SGw-nek egy távoli PDN Gw-hez kell csatlakoznia a szükséges PDN kapcsolat miatt
- **S6a interfész:**
 - MME és HSS között
 - Előfizetői és autentikációs adatok továbbítása a felhasználói hozzáférés ellenőrzése miatt
- **S10 interfész:**
 - MME-k között
 - MME reallokáció és MME-k között információ továbbítás
- **S11 interfész:**
 - MME-k között
 - GTP-C protokollon alapul, néhány plusz funkcióval kiegészítve

- SGI interfész:
 - PDN Gw és PDN között
 - PDN lehet egy külső, publikus szolgáltató, vagy akár belső csomaghálózat is, pl. IMS hálózat
- Gx interfész:
 - PCRF és PDN Gw között
 - QoS policy és számlázáshoz kötődő információk továbbítása

- A bázisállomások közötti adat- és kontroll információ átvitele
- Kiemelkedő fontosságú
- veszteségmentes handover
- cellák közti interferencia koordinálása
- → koordinált ütemezés a cellák közt



- Alapvető tulajdonságok:
 - nyílt, szabványos interfész
 - különböző gyártók berendezései összeköthetők
 - támogatja az eNodeB-k közötti jelzésinformációk átvitelét
 - támogatja az eNodeB-k közötti adatátvitelt
 - logikai pont-pont összeköttetés két bázisállomás között
 - rádióhálózati és transzport hálózati funkcionalitás szétválasztva



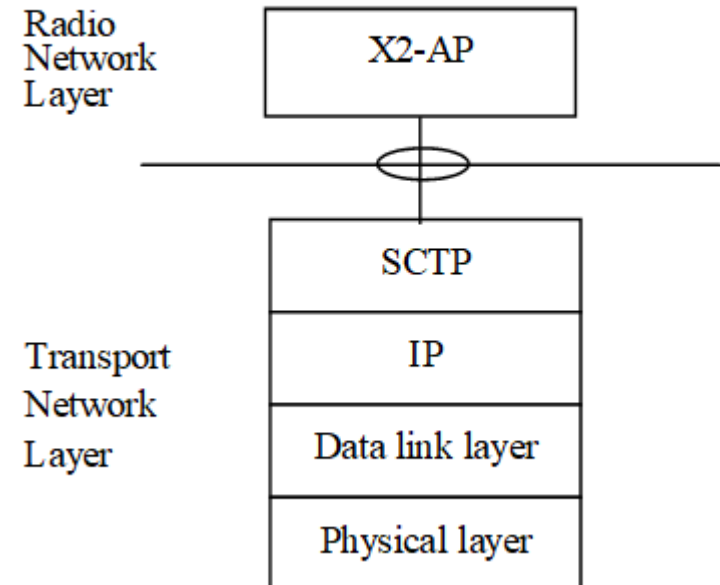
- Mobilitás menedzsment:
 - adatvesztés mentes handover
 - felhasználói adatok továbbítása forrás (ahonnan eltávozik a mobil) eNodeB-tól a cél eNodeB-ig
 - előfizetői kontextus (paraméterek) továbbítása

- Terhelés menedzsment:
 - bázisállomások közti terheltség információ
 - túlterhelési információ

- Cellák közti interferencia koordinálása,
Inter Cell Interference Coordination – ICIC:
 - interferenciaviszonyok jelzése az eNodeB-k között
 - minden erőforrás blokkhoz: nagy interferencia indikátor bit jelzi, ha nagy teljesítménnyel adja az eNodeB
 - vagy ha cella szélén lévő UE nagy teljesítménnyel adja
- enhanced ICIC (eICIC):
 - Almost Blank Subframe – ABS alkalmazása

- Általános X2 menedzsment és hibakezelés:
 - általános hibajelzés
 - X2 kapcsolatok újraindítása megszakadás után
 - konfigurációs adatok cseréje (pl. szomszédos eNodeB-k listája)
 - konfigurációs adatok frissítése

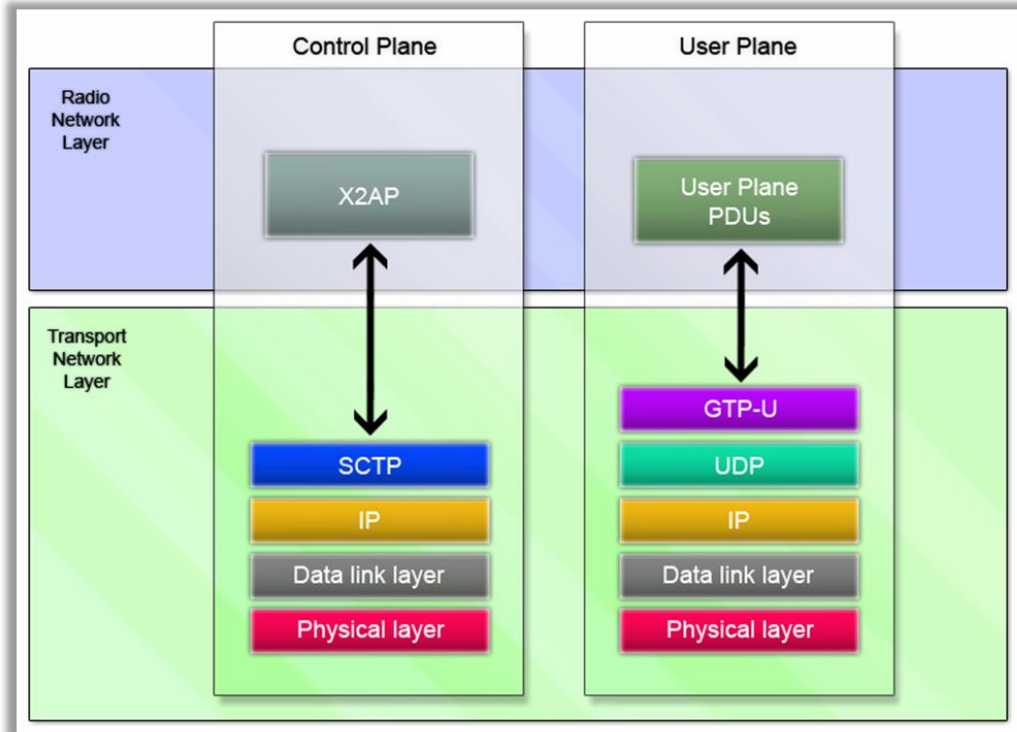
- Kétféle protokoll stack:
 - Vezérlő sík
 - X2 Application Protocol (X2-AP)
 - Internet Protocol (IP)
 - Stream Control Transmission Protocol (SCTP)
 - IP hálózat felett megvalósítandó vezérlőprotokollok támogatására



- Kétféle protokoll stack:

- Felhasználói sík

- a GPRS-ből örökölt GTP/UDP/IP struktúra
- GTP: újracsomagolja az IP datagrammokat, az új célnak megfelelő fejléccel
- többletfunkciókat nem nyújt



- Vezérlő sík
 - X2 interfészen szállítandó vezérlő információk átvitele
 - megbízható átvitel, újraadás
 - routing funkciók támogatása
 - folyamvezérlés

- Stream Control Transmission Protocol
 - hasonlít a TCP-hez (nyugtázás, folyamvezérlés, torlódásvezérlés)
 - multistreaming képesség
 - egy kapcsolaton több párhuzamos adatfolyam átvitele
 - multihoming
 - egy bázisállomás több IP címmel rendelkezhet
 - hálózati hibák elleni védekezésként a másik IP címhez tartozó más útvonalak által a redundancia biztosítva van
 - üzenethatárok megőrzése
 - egy SCTP keretbe egy felsőbb rétegbeli (X2-AP) protokoll adategység kerül
 - ez egyszerűsíti és gyorsítja a kommunikációt
 - bizonyos fajta támadások ellen védett

- Internet Protokoll az X2-n
 - biztonsági funkciók alkalmazása
 - adat integritás
 - adat hitelesség
 - megkülönböztetett szolgáltatások (diffserv)
 - QoS támogatása
 - multicast, broadcast nem támogatott

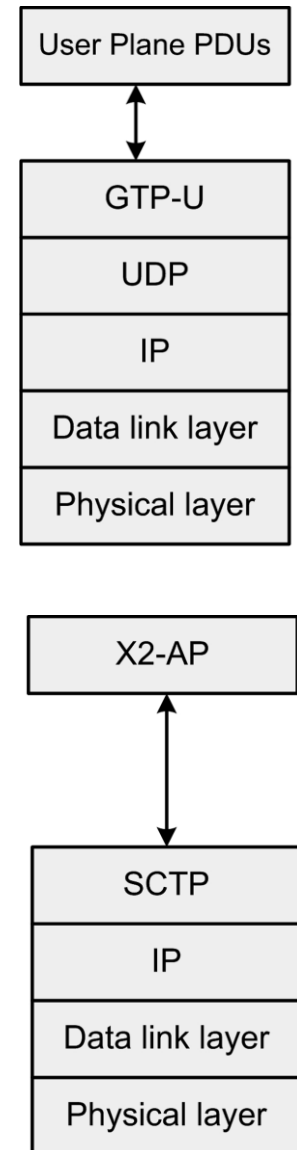
- X2 alkalmazási protokoll (X2-AP)
 - megvalósítja az X2 vezérlő funkcióit
 - elemi eljárásokat definiál
 - üzenet-válasz
 - üzenet

	Funkció	elemi eljárás
Mobilitás	Mobilitás kezelése	• handover előkészítés • SN státusz átvitel • UE paraméterek felszabadítása • handover törlése
	Terhelés kezelése	• erőforrás státusz riport kérés • erőforrás státusz riport
Általános eljárások	Cellaközti interferencia koordinálása	• terhelés jelzés
	Általános X2 menedzsment és hibajelzés	• X2 felépítés • eNodeB konfiguráció frissítése • kapcsolat újraindítása • hibajelzés

- Mobilitás kezelés
 - handover előkészítés
 - handover kérés
 - nyugta vagy elutasítás
 - SN státusz
 - csomagsorszámok átadása
 - UE kontextus felszabadítása
 - amikor a handover megtörtént, az eredeti eNodeB-nél
 - handover törlés
 - ha mégsem történik meg a handover
 - vagy nem válaszolt a cél eNodeB a handover kérésre

X2 INTERFÉSZ – ÖSSZEGZÉS

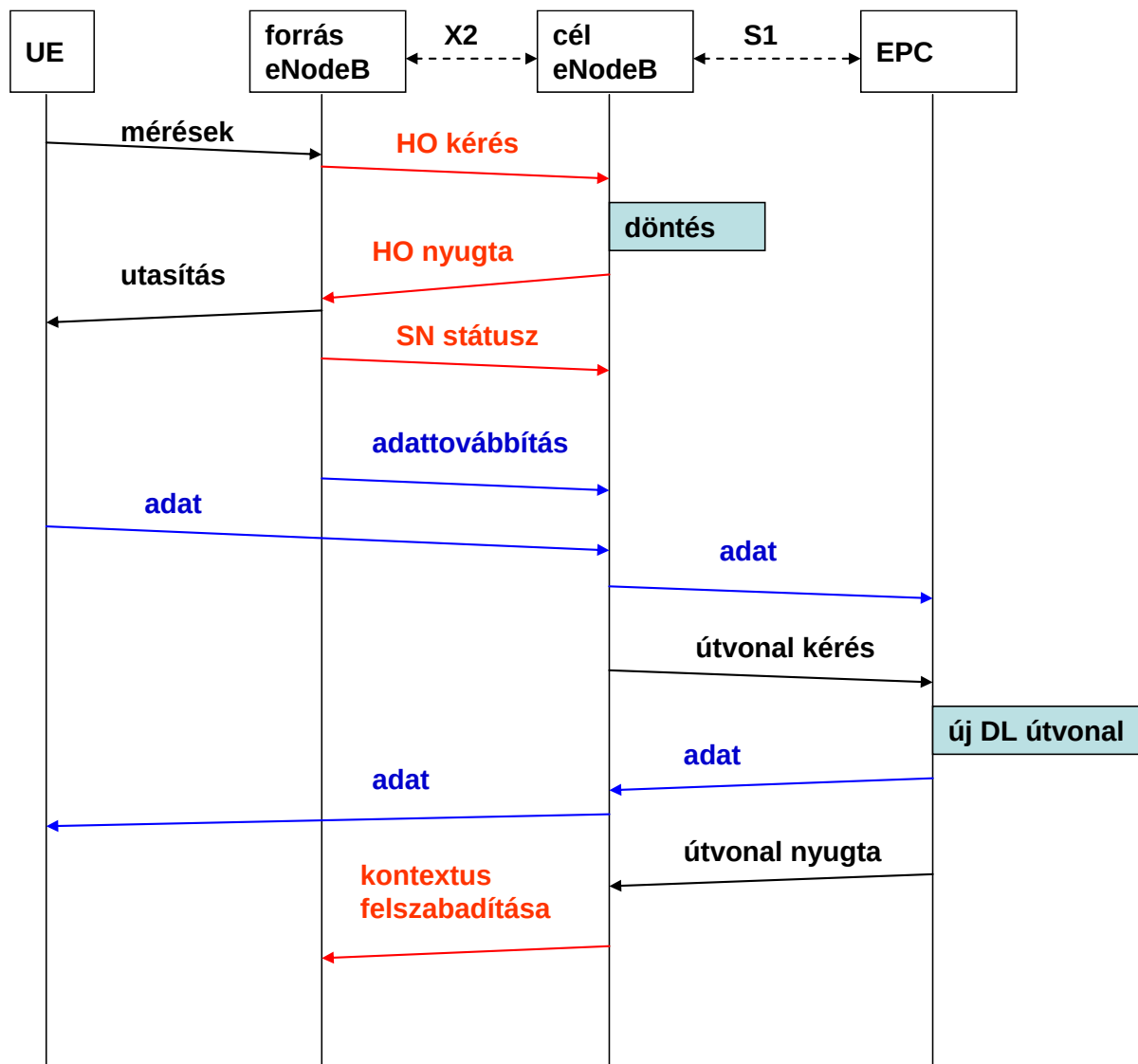
- eNodeB-k között
- X2-U interfész:
 - Felhasználó sík PDU-k szállítása
 - IP alapú, a PDU-kat GTP-U-ba ágyazva UDP/IP felett továbbítja
- X2-C interfész:
 - IP/SCTP alapú, X2-AP szállítja a alkalmazás szintű jelzésüzeneteket
- X2-AP:
 - Handoverhez, mobilitáshoz, terheléshez és interferenciához kapcsolódó információk szállítása



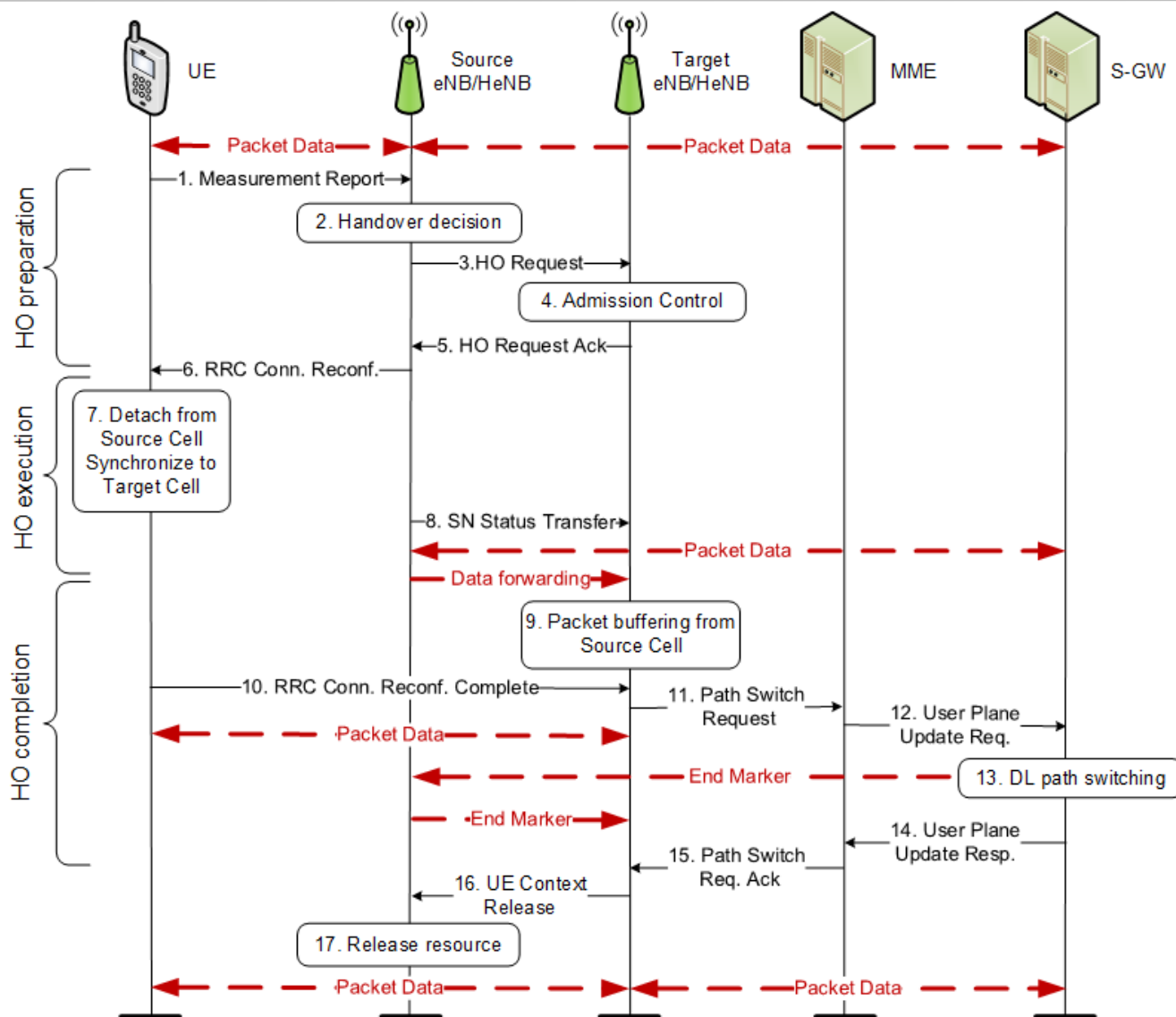


Hívásátadás és mobilitás menedzsment

HANDOVER FOLYAMATA



HANDOVER FOLYAMATA – RÉSZLETESEBBEN

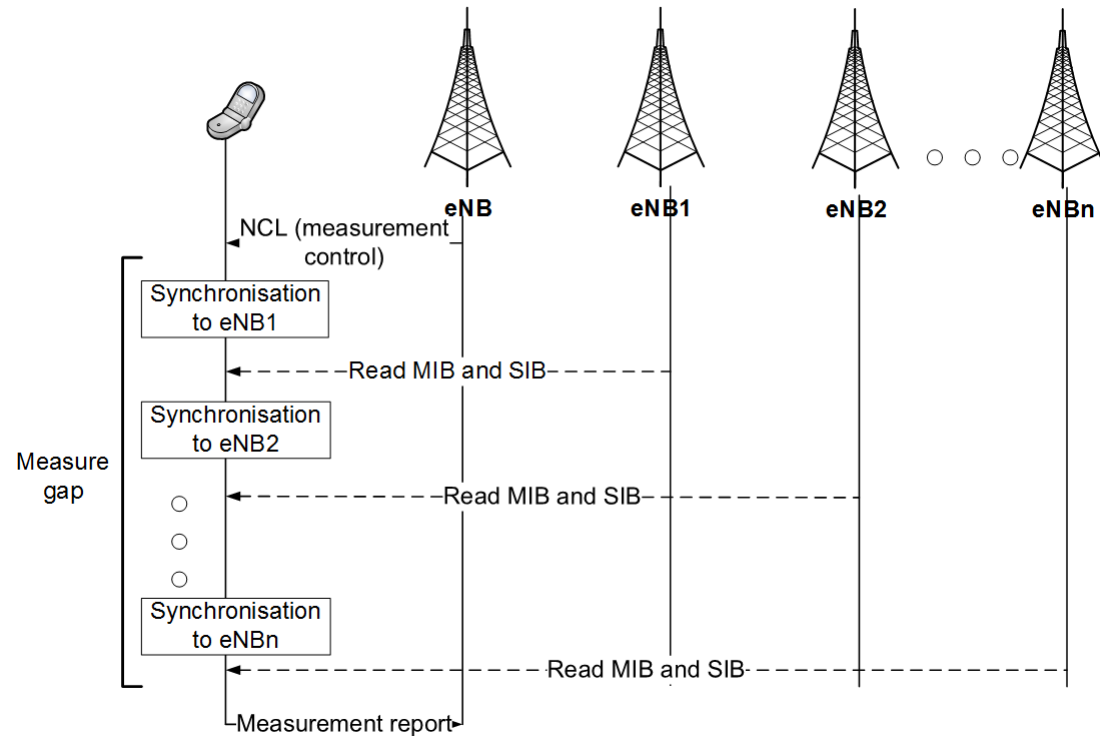


- Mérés konfiguráció:
 - Dedikált RRC jelzések segítségével
 - Mérési objektum: LTE vivő frekvencia
 - Jelentés konfigur.: milyen mennyiségeket, milyen trigger események esetén
 - pl: Serving becomes better/worse than threshold, Serving becomes worse than threshold1 and neighbor becomes better than threshold2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

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

- Probléma: kicsi és
sok cella esetén
nem hatékony

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



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

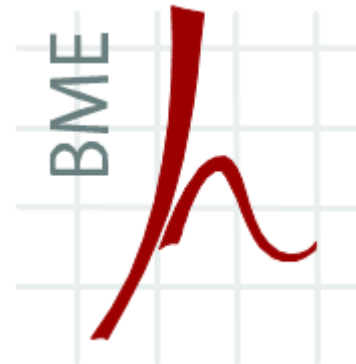
- Hívásátadás végeztével fel kell szabadítani az erőforrásokat a cellánál (UE Context) és frissíteni a pozíciót az MME-nél
- Új útvonalat kell kiépíteni az SGw-től az új cellához, felszabadítani az X2 továbbításra lefoglalt erőforrásait
- Probléma:
 - Ha nem megbízható a backhaul/X2 kapcsolat
- Ötletek: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

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



HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK





4G LTE RÁDIÓS INTERFÉSZ

Mobil kommunikációs hálózatok/rendszerek 6. előadás

Gódor Győző, Dr. Knapp Ádám, Dr. Mráz Albert
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu; mraz@hit.bme.hu

- OFDM alapok
 - OFDMA alapelve, működése
- OFDMA az LTE-ben
- SC-FDMA
- LTE rádiós interfész alapvető ismertetése
 - Keretszerkezet
 - rádiós folyamatok: véletlen hozzáférés, paging
- LTE fejlesztések

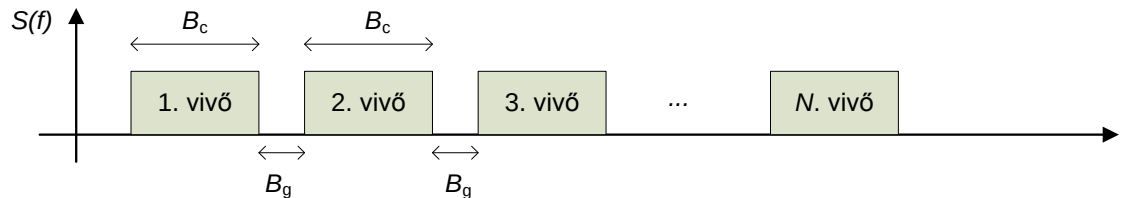
OFDM ALAPOK

Az OFDM története

- Az OFDM többszörös hozzáférési eljárás kezdeti kutatás és kísérletek (**1950-es** évek)
- OFDM készülékek a diszkrét transzformációt (DFT Discrete Fourier Transform) már gyors Fourier-transzformációval (FFT – Fast Fourier Transform) végezték (1970).
- 1980-as években nagy sebességű modemekhez és digitális mobil összeköttetésekhez, 1987-ben már digitális hang műsorszóráshoz (DAB) is használták.
- **90-es évek:** xDSL digitális előfizetői vonala
- **ma:**
 - WLAN eszközök,
 - PLC – Power Line Comm.,
 - DVB-T – Digital Video Broadcasting – Terrestrial,
 - 4G/5G cellás mobil rendszerek

OFDM (alapok)

- Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- Kiindulási problémák:
 - FDMA-ban B_g védősáv szükséges a B_c sávszélességű vivők (amelyek független adatfolyamok átvitelére szolgálnak) között az interferencia miatt a frekvenciatartományban

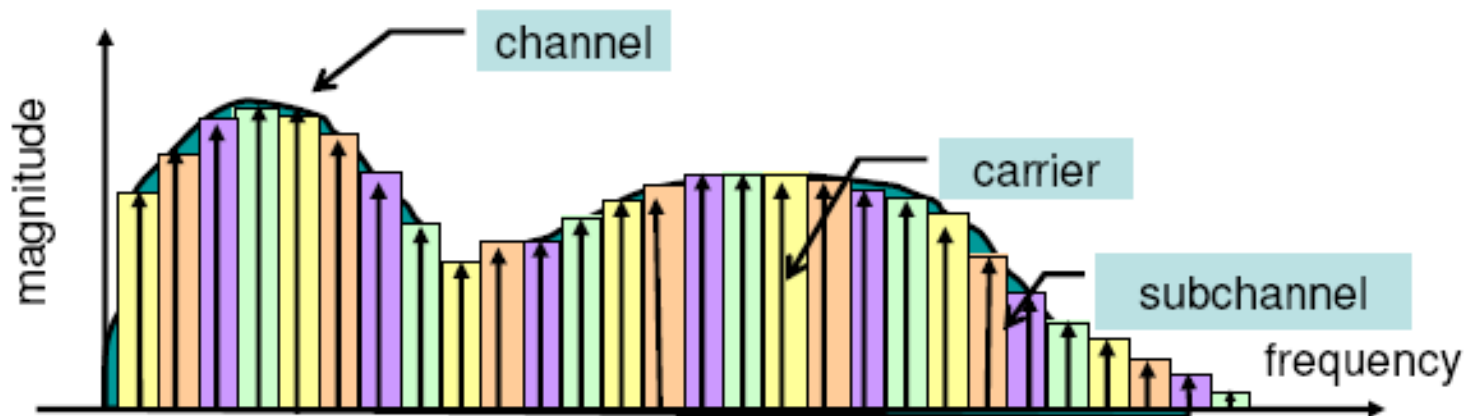


- Kihasztnálatlan frekvenciasávok: a költséges frekvenciaerőforrás pazarlását jelenti! Célszerű lenne csökkenteni a védősávokat.

OFDM (alapok)

- Célkitűzések:
 - FDM-hez képest szabaduljunk meg a védősávoktól: próbáljuk meg „egymásba tolni” frekvenciatartományban a **különböző vivőket**, a hatékony frekvenciasáv felhasználás érdekében.
 - „**Lassítsuk le**” az adatátvitelt megvalósító **időtartománybeli jeleket** (a szimbólumidő növelésével) úgy, hogy **eközben** tartsuk fenn a **nagy adatsebességet**. (Az ISI érzékenység miatt szükséges).
- Megvalósítás (köv. dia):
 - A nagysebességű adatfolyam szétbontása (S/P) átalakítással számos alacsony sebességű ún. **OFDM alvivőre**.
 - A szétbontott adatfolyamokat külön-külön modulál(hat)juk
 - Ortogonális alvivők kialakítása a frekvenciatartománybeli „**egymásba tolhatóság**” érdekében.
 - Időbeli védősáv minden szimbólum elején az ISI védelem miatt (lásd később).

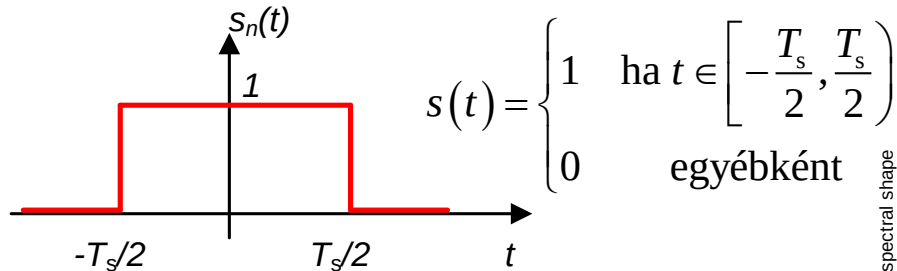
- A frekvencia-szelektív csatorna flat-fadinges alcsatornákra osztása.
- A gyors soros adatfolyam lassú párhuzamos folyamokra bontása.
- Megnö a szimbólumidő
- Pilot csatornák: szinkronizálás



OFDM (alvivők spektruma)

▪ Ortogonális alvivő-készlet kialakítása

- Az időtartománybeli jelalak:



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

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

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

- Vivőtávolság:

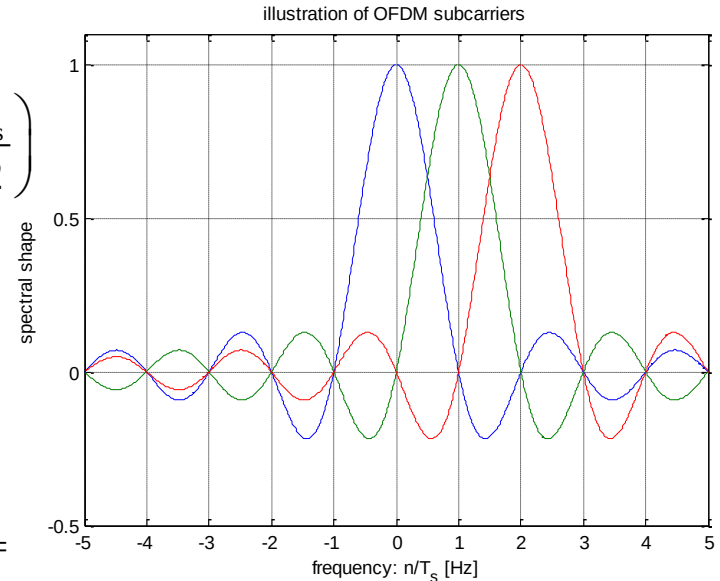
$$\Delta f_c = \frac{1}{T_s}$$

szimbólumidő

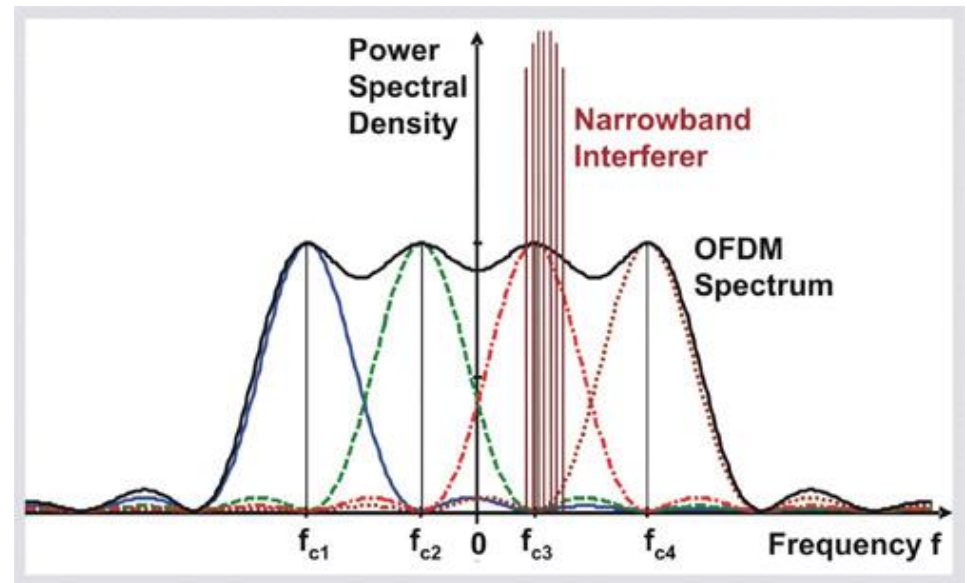
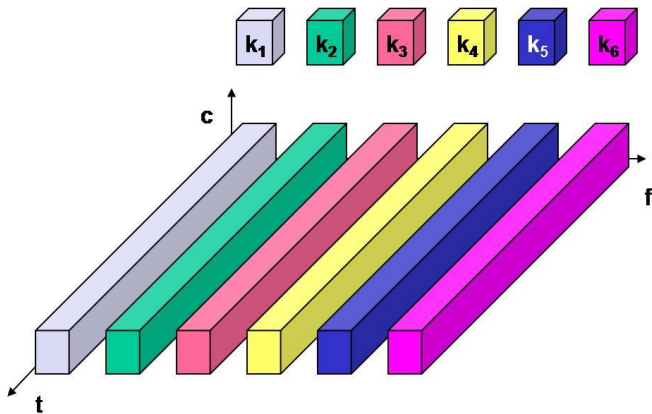
Az ortogonalitás matematikailag: ha a skalárszorzat 0

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

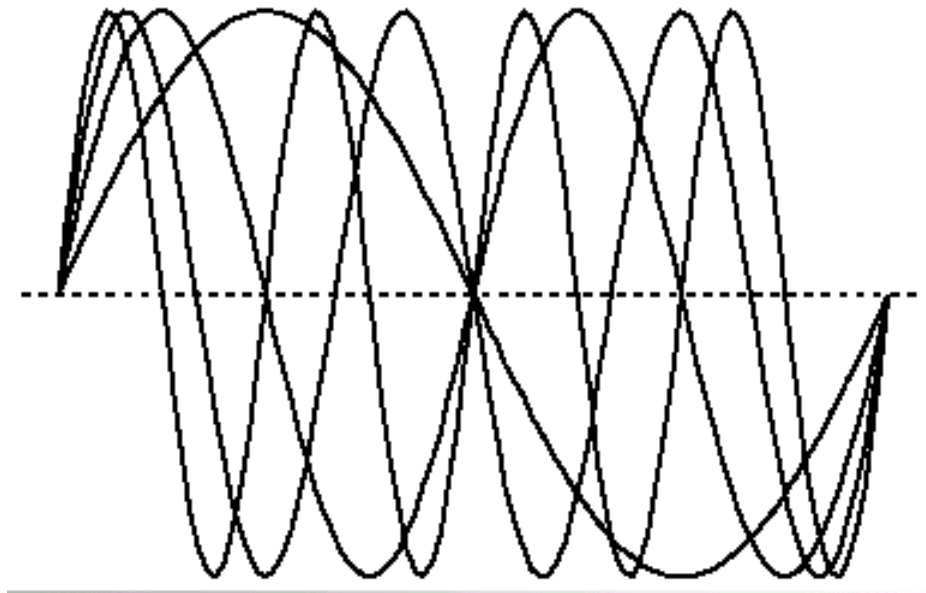
$$i, j \in \mathbb{Z} \quad i \neq j$$



- Az alvivők ortogonálisak egymásra: ahol az egyik vivőnek maximuma van, ott a többi vivő eltűnik.
- Vivők közti távolság fordítottan arányos a szimbólumidővel: $\Delta f = 1/T_s$

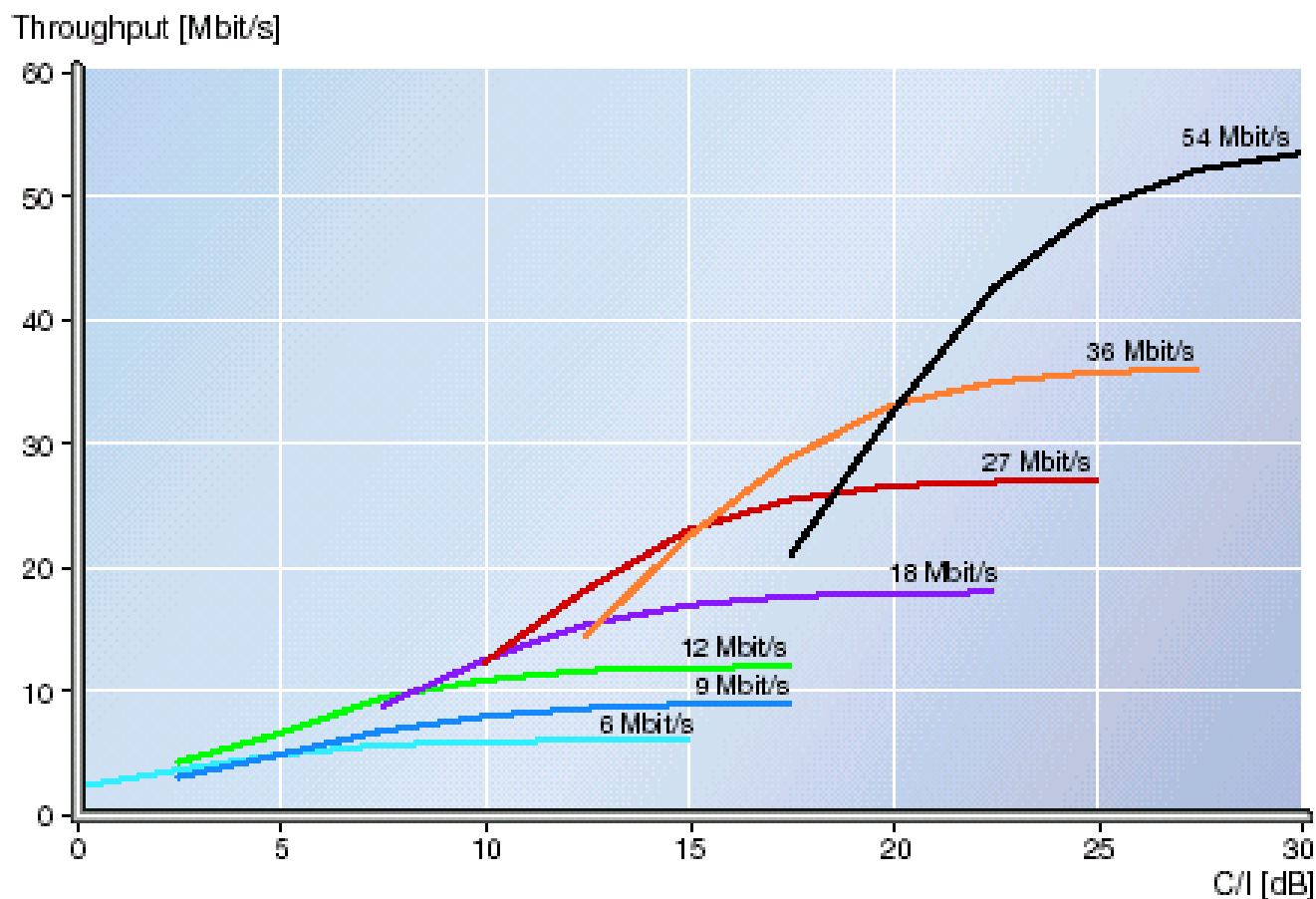


- **Időtartományban** a szomszédos alvivők között pontosan egy ciklus különbség van.
- Ez adja az ortogonalitást



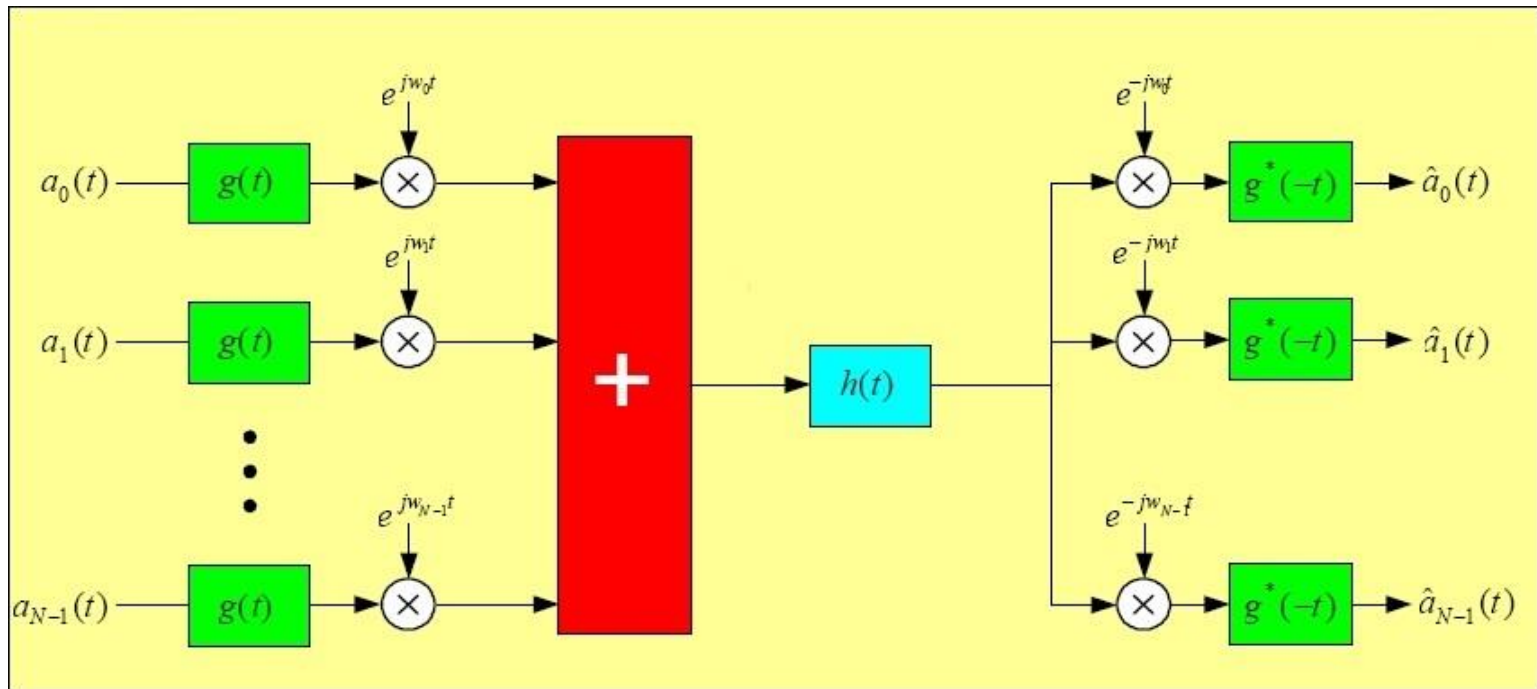
- Digitális jelfeldolgozás IFFT/FFT.
- Többutas terjedés (ISI) ellen védőidő alkalmazása
- A több vivő miatt ellenáll a frekvencia-szelektív fadingnek.
- Változtatható adatsebességek
 - Link adaptáció: adaptív kódolás és moduláció

LINK adaptáció



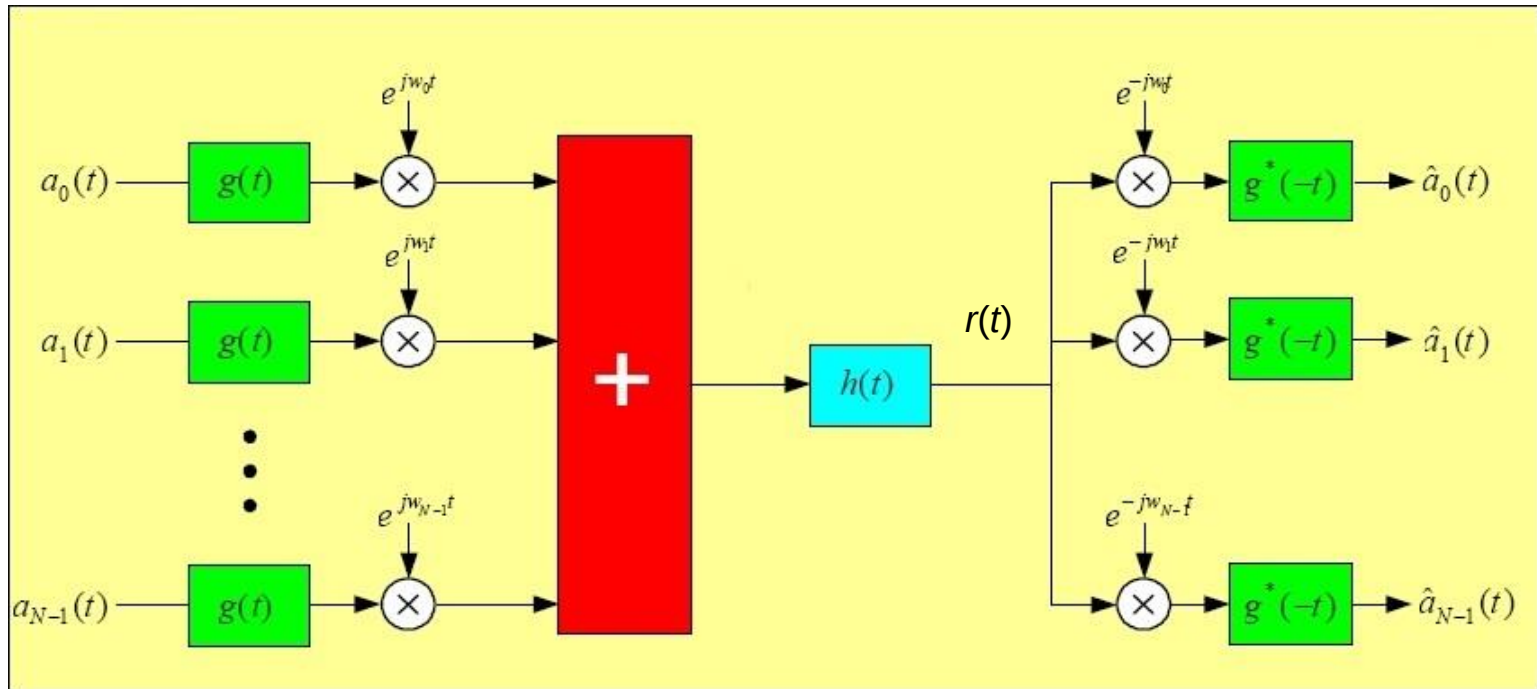
OFDM adó felépítése (elvi)

- a bejövő modulált (QPSK,QAM) szimbólumokat (a_0, a_1 stb.)
- egy soros - párhuzamos átalakítás után modulálja az adott alvivő frekvenciájával, majd az így kapott jelfolyamot összeadja, így jön létre az OFDM jel komplex alapsávi jel.



OFDM vevő felépítése (elvi)

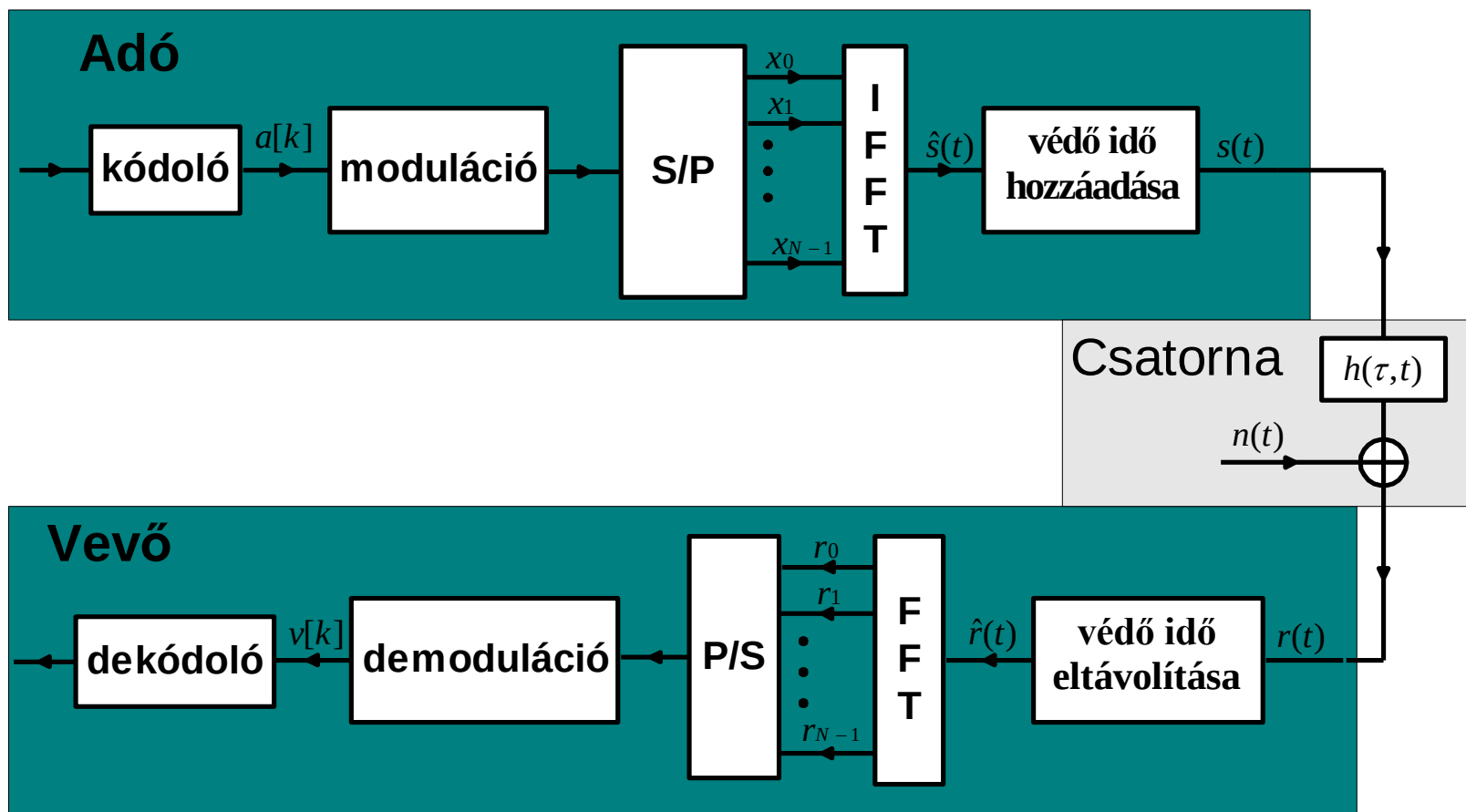
- Az OFDM demoduláláshoz az egyes OFDM **alvivő frekvenciák szerinti korrelátorokra** lesz szükség a vevőben (minden alvivőre egy darab). A bejövő $r(t)$ jelet lekeverjük a frekvenciáról, majd a korrelátor segítségével visszkapjuk az eredetileg küldött modulált szimbólumokat.



OFDM jelgenerálás

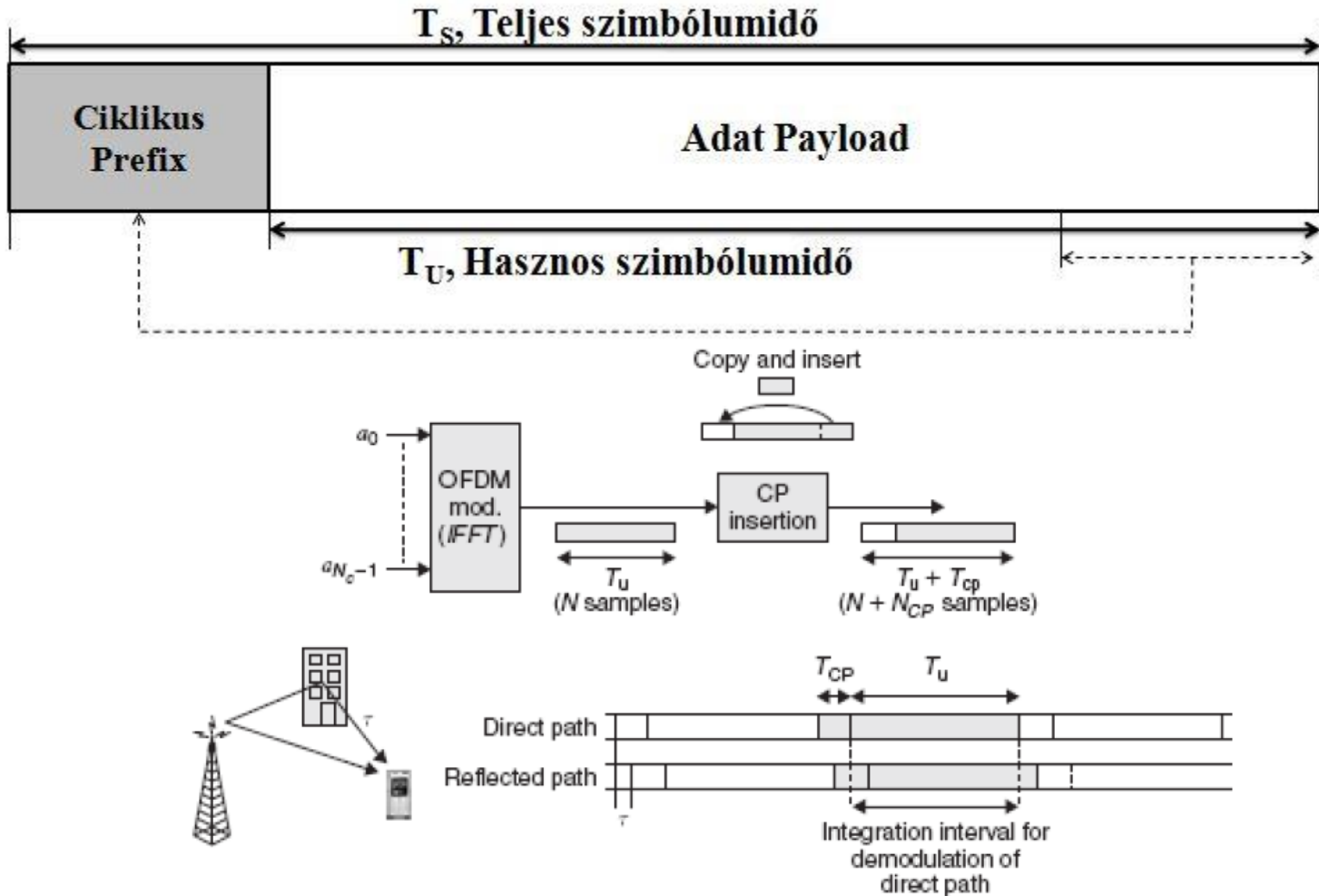
Inverse Discrete Fourier Transform (IDFT), IFFT

Ez a kulcs. ennek hiánya miatt késett a technológia elterjedése.



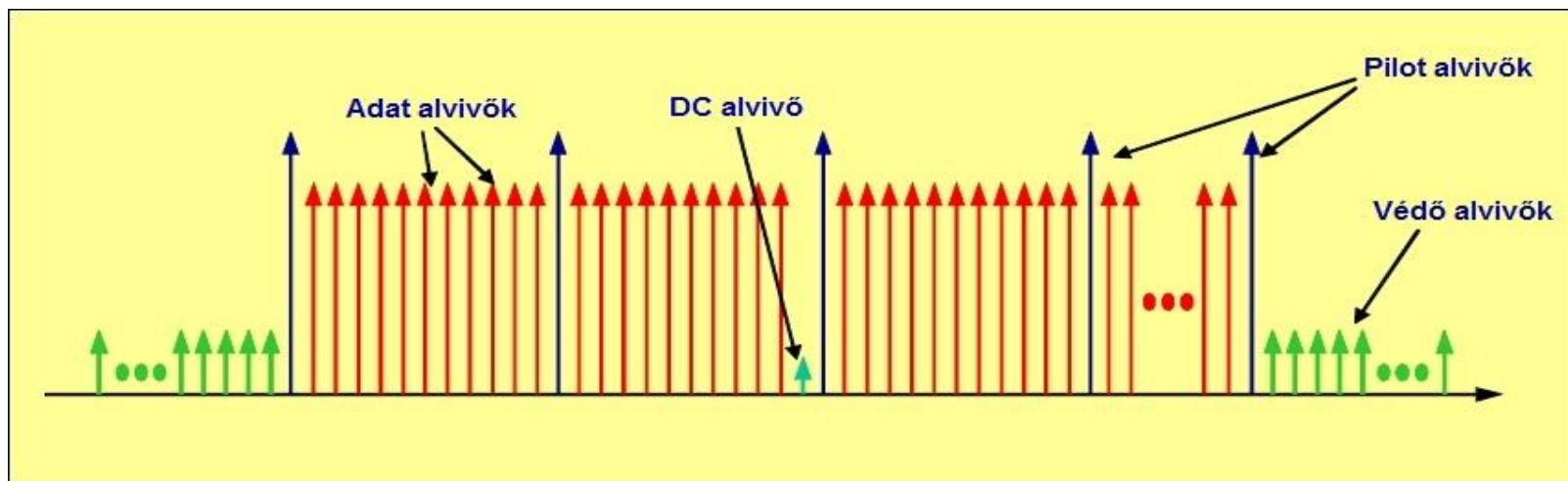
Ciklikus prefix – CP

- A többutas terjedés (Inter-Symbol Interference – ISI) elleni védekezés: „védőidő”



Alvivők típusai

- Adat alvivők: adattok továbbítására használatosak.
- Pilot: **ismert(!)** szekvencia, a csatornabecsléshez használják
 - Cél: valamilyen mértékben **tisztában kell lennünk a csatorna tulajdonságaival (csillapítás, fázistolás)** az alvivők mentén a működés érdekében. A pilot alvivők ennek felderítésében nyújtanak segítséget.
 - „néhol” találhatók csak meg: frekvencia és időtartományban szétszórva (lásd később)
- DC: null/”üres”, ha az FFT jel nincs modulálva
- Védősáv: 5+5% a sáv két szélén
 - Pl.: $BW = 10 \text{ MHz} \rightarrow \text{védősáv: } 500+500 \text{ kHz} \rightarrow \text{vagyis csak a „középső” } 9 \text{ MHz-et használjuk adatátvitelre } 10 \text{ MHz-es vivő esetén.}$



OFDM előnyei

- Alkalmazkodás a csatorna állapotához bonyolult csatornakegyenlítési eljárások nélkül.
- Robusztus a keskenysávú interferenciával szemben.
- Az Inter-Symbol Interference (ISI) nagymértékű csökkentése.
- A többutas terjedésből származó frekvenciaszelektív fadinggel szembeni robusztusság.
- Hatékony (gyors) megvalósítás Fast Fourier Transform (FFT) segítségével.
- Kevésbé érzékeny a szinkronizációs hibákra.
- A Frequency-Division Multiplexing (FDM)-mel szemben nincs szükség hangolt alvivős vevőszűrőre.
- Nagy spektrális hatékonyság.
- FDM-mel szemben nincs szükség védősávokra az egyes vivők között.

OFDM hátránya

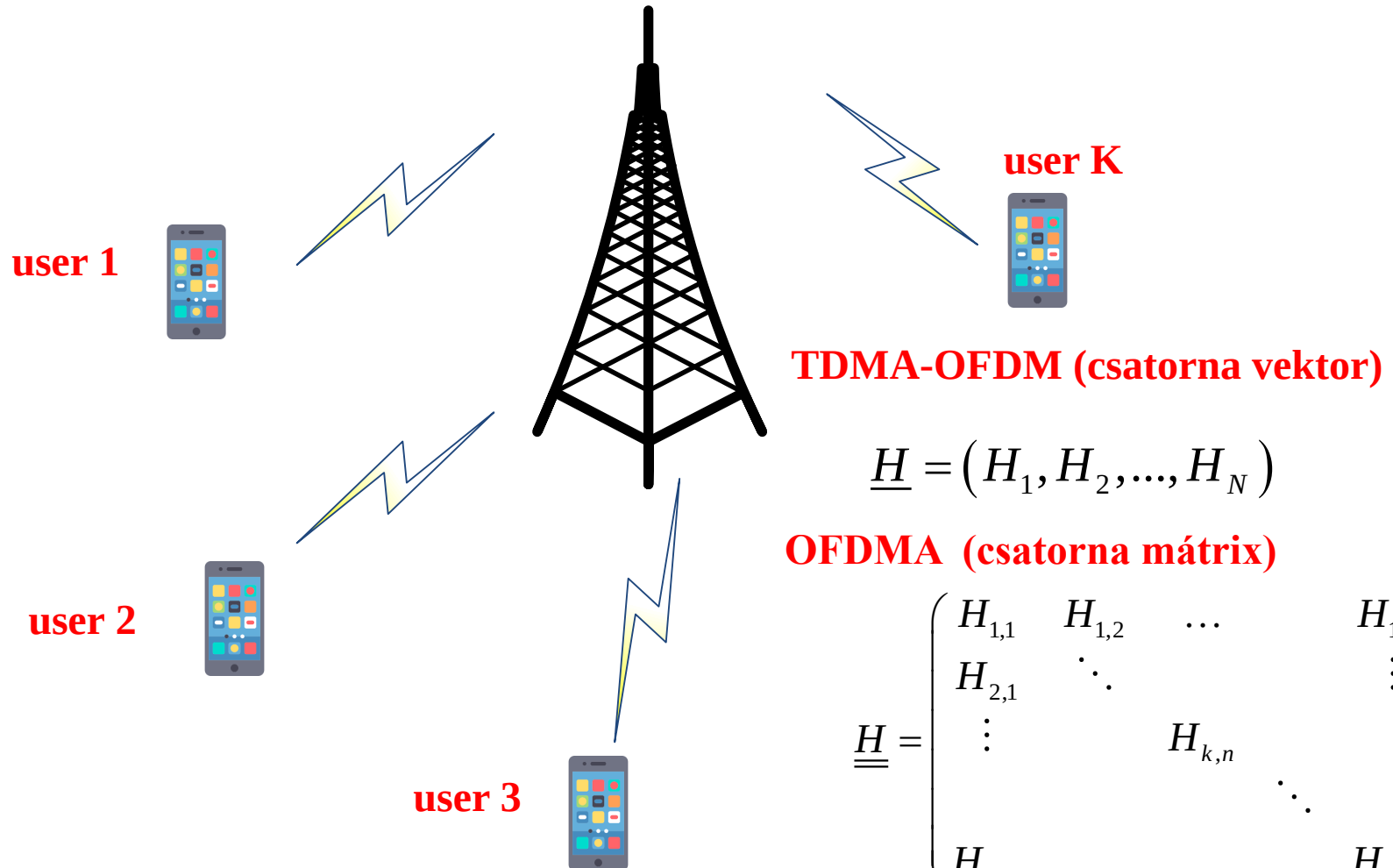
- A sok alvivő véletlenszerű használata összességében **nagyon ingadozó kisugárzott teljesítményt** eredményez:
 - Peak to Average Power Ratio (PAPR)
 - Ez elsősorban az uplinken okoz gondot a végfokok miatt.
- **Alkalmazás:**
 - Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL), Very high bit-rate Digital Subscriber Line (VDSL)
 - Számos Wi-Fi (IEEE 802.11a/g) Wireless Local Area Network (LAN) alkalmazás.
 - Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) (802.16-2004, 802.16e-2005)
 - Power Line Communication (PLC), UWB stb.
 - **3GPP Long Term Evolution (LTE)**

OFDMA (bevezetés)

- OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)
- Az OFDM több-felhasználós változata
- Többszörös hozzáférés megvalósítása:
 - az OFDM alvivőknek meghatározott részhalmazait **szétoszthatjuk a felhasználók között**
 - egyetlen alvivő egyszerre csak egy felhasználóhoz tartozhat
 - egy felhasználóhoz természetesen több alvivő is tartozhat
 - A kiosztás történik
 - a csatorna aktuális állapotához alkalmazkodva
 - A felhasználói igények alapján (E-mail, HD video, ftp, stb.)
 - Igazságosság (fairness) szempontokat figyelembevéve

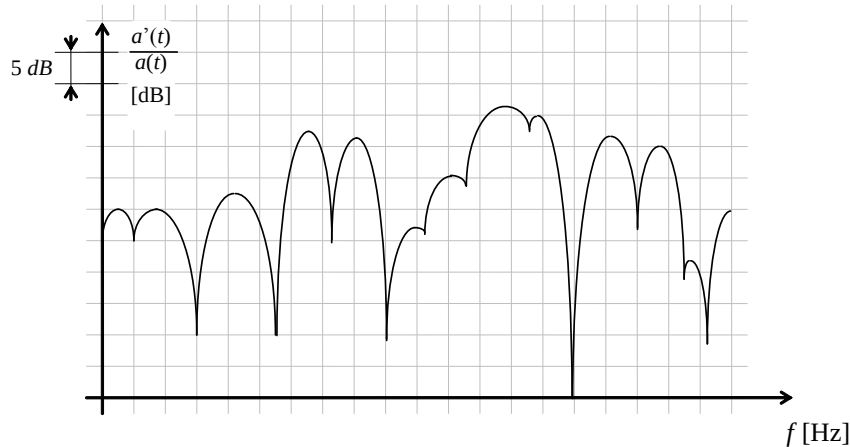
OFDMA (a rádiós csatorna)

- Rendszermodell

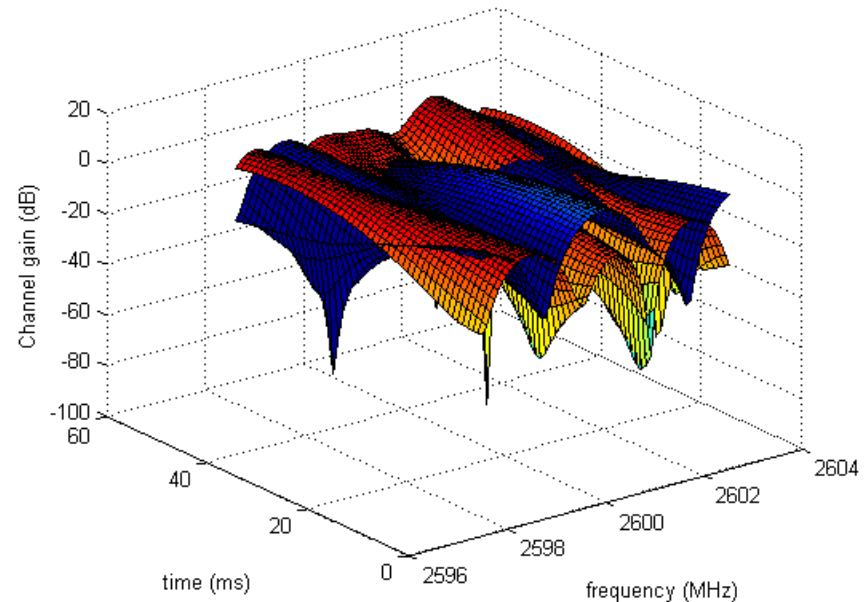


OFDMA Multiuser diversity

- A rádiós **csatorna állapotának** (frekvenciaválasz) **figyelembevételén** alapuló OFDMA alvivő allokáció
- **Az alvivő allokációnál kihasználjuk**, hogy egy adott időpillanatban a rádiós csatorna teljesítményátvittele **nem feltétlenül azonos** egy kiválasztott frekvencián a cellában jelen lévő **különböző felhasználók esetén**
- **Példa: jobb alsó ábra.** Két felhasználó kétféleképpen érzékeli a csatornát különböző időpillanatokban és frekvenciákon. A rádiós csatorna teljesítményátviteli tényezőjét ábrázoltuk.
- **Egy lehetséges OFDMA alvivő kiosztási megoldás:** minden adott alvivőt külön-külön egy adott pillanatban ahhoz a felhasználóhoz rendelünk, akinél az adott frekvencián a legnagyobb az átviteli tényező mérhető (referenciajelekkel mérjük. Lásd később).



A vett jel teljesítményének változása a frekvencia függvényében

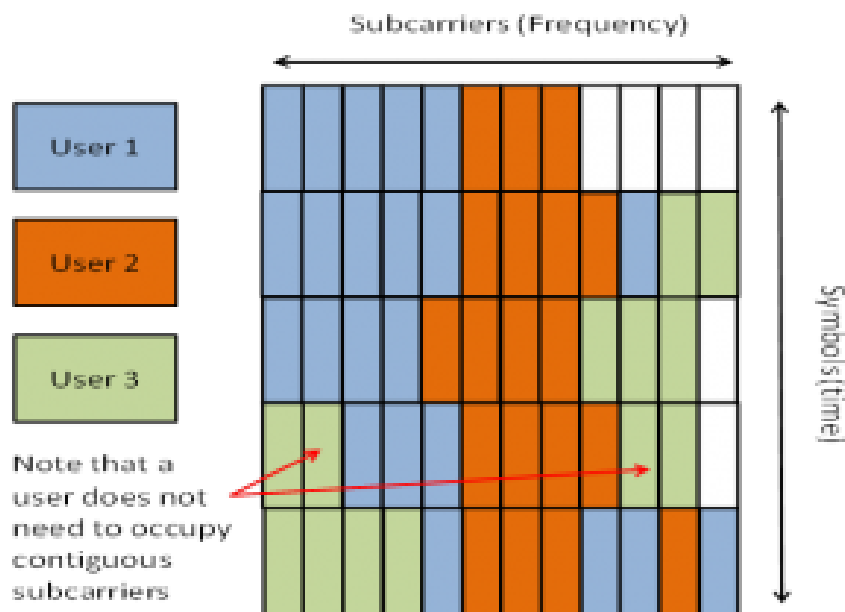


Az idő- és frekvencia-variáns csatorna szemléltetése
(A multiuser diversity illusztrációja)

OFDMA erőforráskezelés

- Cél: a rádiós átvitel spektrális hatékonyságának (bit/s/Hz) a maximalizálása úgy, hogy a felhasználók között igazságosan osszuk el az erőforrásokat:
- Eszközök:
 - Alvivő kiosztás a csatornainformáció figyelembevételével
 - Adaptív M -QAM moduláció minden egyes alvivőn
 - Adaptív adóteljesítményszabályzás minden egyes alvivőn
- Az optimalizálási feladat:
 - Lehet pl. adatsebesség maximalizálás vagy adóteljesítmény minimalizálás
 - **NP nehéz probléma!!!** Csak szuboptimális megoldásokkal lehet operálni
 - Userek közötti fairness-beli szempontok figyelembevétele

- Idő-frekvencia erőforrás „háló”
 - A felhasználókat alvívönként allokálhatjuk, amely ütemezési periódusonként változhat



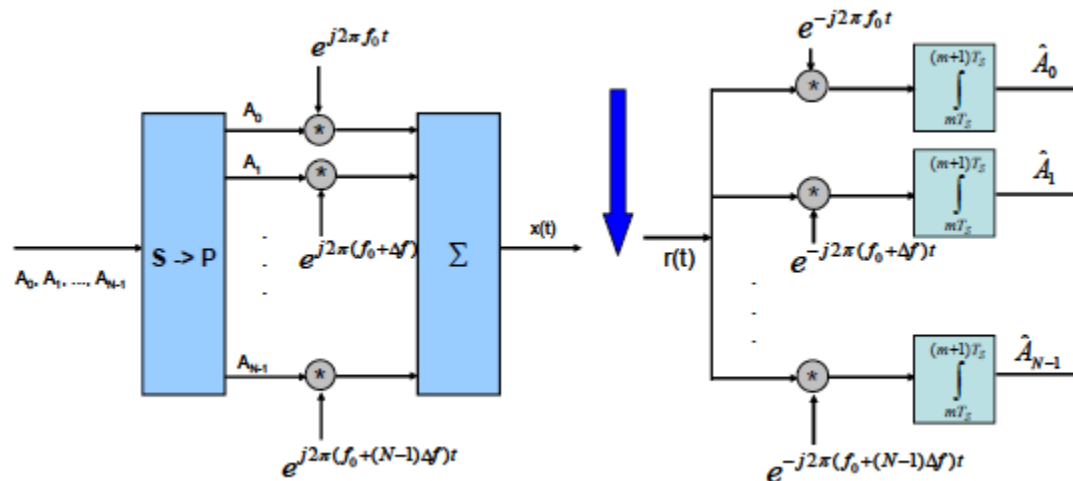
A 3GPP LONG TERM EVOLUTION (LTE) RÁDIÓS INTERFÉSZ

LTE rádiós jellemzők

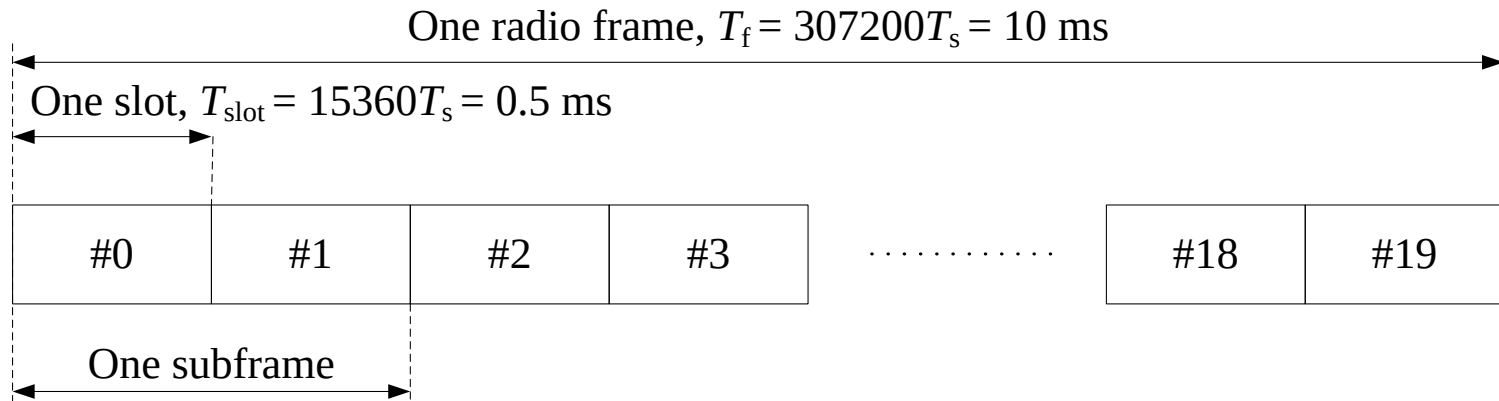
- OFDM alapú rádiós interfész
 - downlink: OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)
 - uplink: Single Carrier-FDMA, más néven DFTS-OFDM (Discrete Fourier Transform Spread OFDM) – ez is OFDM alapú
 - lehetővé teszi a rugalmas sávhasználatot
 - frekvencia szelektív fading hatása elleni védekezés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

LTE OFDM paraméterek

- segédvivők távolsága 15 kHz (Δf)
- ennek megfelelően a szimbólumidő 66,67 μs ($1/15\,000$)
- ciklikus prefix (~védőidő): 5,2 μs az időzés első szimbóluma előtt, 4,7 μs a többi szimbólum előtt (normál prefix), vagy 16,7 μs (bővített prefix)
- $\Delta f = 7,5$ kHz is definiált, multicast hálózatokhoz (műsorszórás az LTE hálózaton)



- Alap időzítés
 - alap időegység $T_s = 1/(15000 \times 2048)$ 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



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: 12 vagy 14 kSymb/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 $\rightarrow$ 3 bit), erős hibavédelem
- ha nincs szükség ilyen erősre: lyukasztás (~törölt bitek)
- a csatorna minőségétől függően

Adaptív moduláció és kódolás

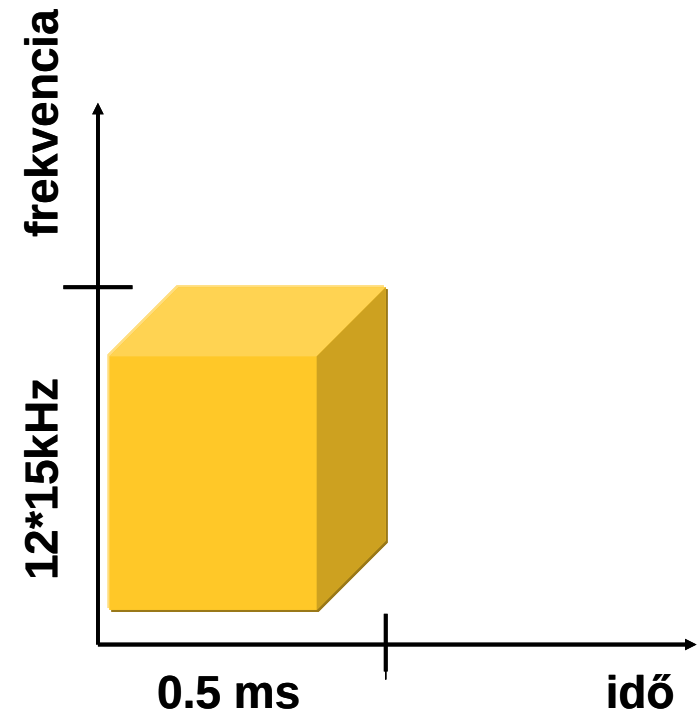
- jó csatorna → nagy állapotszámú moduláció, gyenge hibavédelem (kevés redundancia) → nagy hasznos átviteli sebesség
- rossz csatorna → alacsony állapotszámú moduláció, erős hibavédelem (sok redundancia) → alacsony hasznos átviteli sebesség
- csatornaméréseken (referenciajelek alapján) és csatornaállapot jelentéseken alapszik

Hibrid újraküldés

- növelt redundancia: az újraküldés erősebb hibavédő kódolással
- chase combining: az újraküldött és a sérült csomagot kombinálja

Fizikai szintű rádiós erőforrás

- fizikai erőforrás blokk (Physical Resource Block – PRB)
- 12 segédvivő ($12 \cdot 15 \text{ kHz} = 180 \text{ kHz}$)
- egy időrésben (0,5 ms)
- a legkisebb egység, ami egy előfizetőnek adható
- $12 \cdot 6$ vagy $12 \cdot 7$ szimbólum időrésenként
- összesen 144 ($2 \cdot 12 \cdot 6$) vagy 168 ($2 \cdot 12 \cdot 7$) szimbólum alkeretenként
- kiosztás: egy előfizetőnek egy PRB egy alkeretben (2 időrés)



Fizikai erőforrás blokk – PRB

Fizikai szintű pillanatnyi átviteli sebességek egy PRB-vel

	normál 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



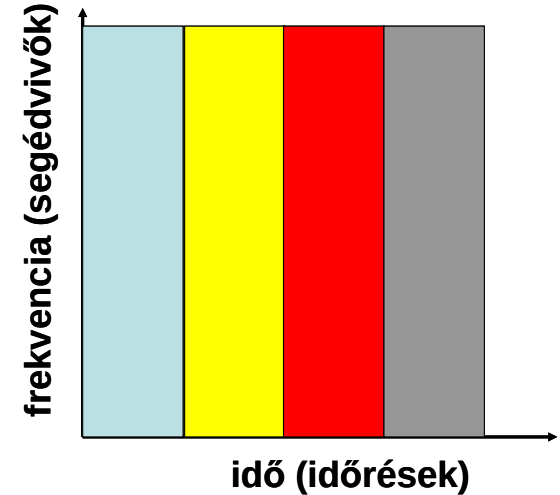
Elvi maximális fizikai sebesség 100,8 Mbps

A gyakorlatban: kb. 75 Mbps a kontroll csatornák miatt



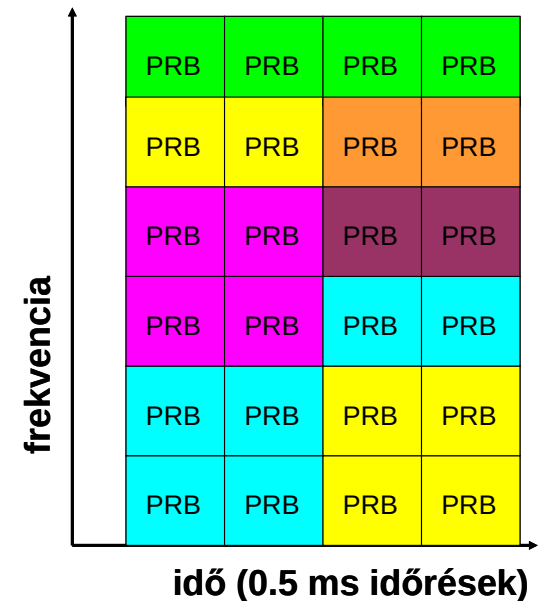
OFDM (WLAN, WiMAX, DVB): minden segédvivő egy előfizető adatát viszi

- a csatorna időben van megosztva



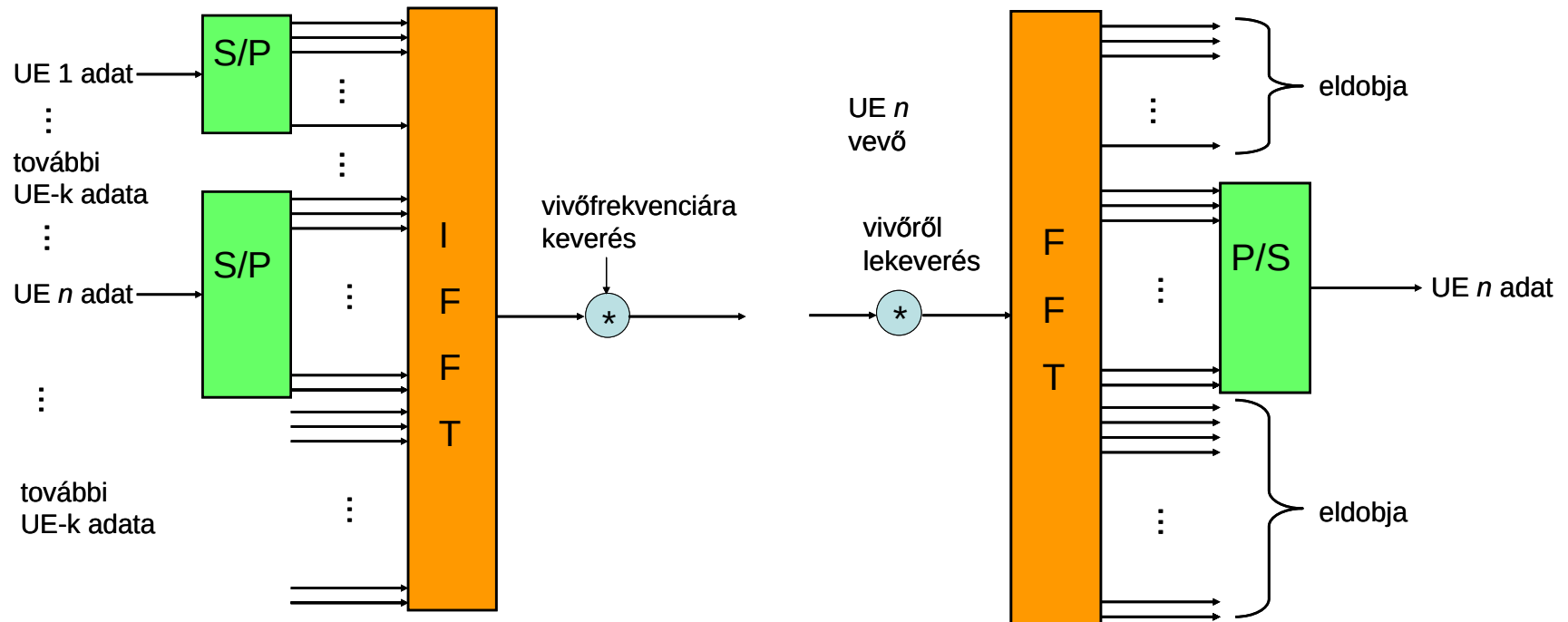
OFDMA (LTE, mobil WiMAX): a segédvivők egy része (PRB-k egy része) juthat egy előfizetőnek

- a csatorna időben és frekvenciában megosztva



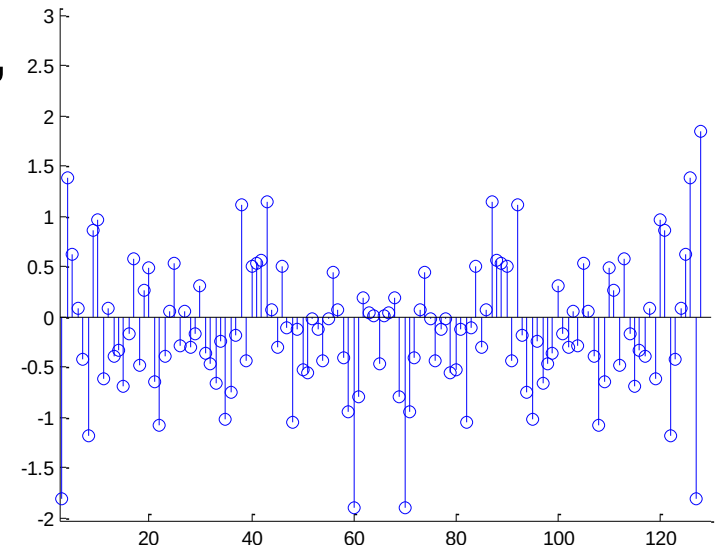
Megvalósítás a gyakorlatban

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



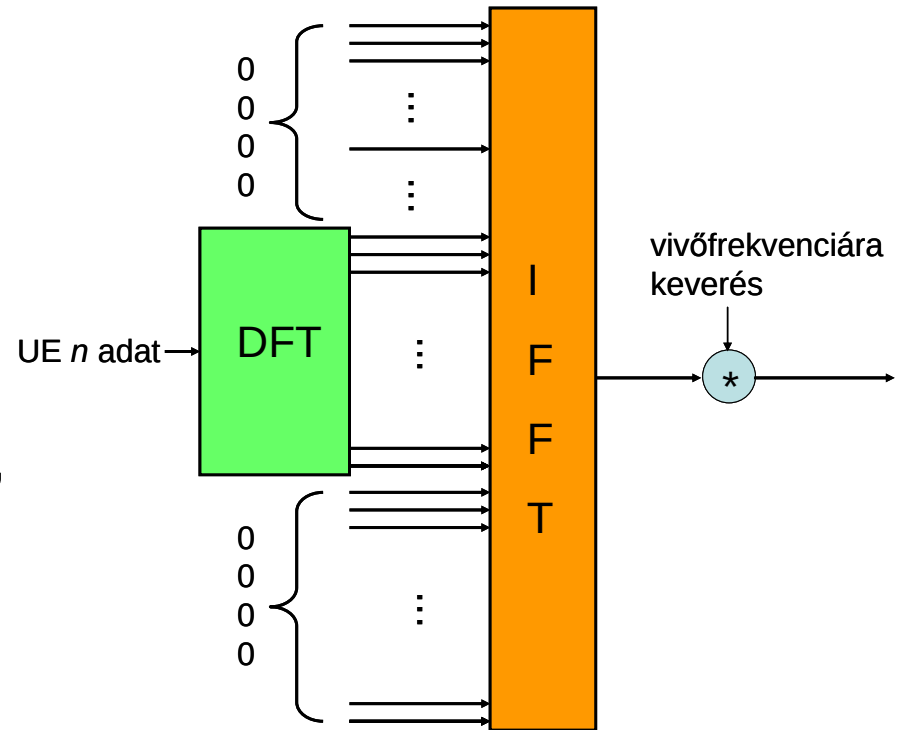
Megvalósítás a gyakorlatban

- jellemző: nagy dinamikataromány (csúcs/átlag teljesítmény, PAPR nagy)
- UE-ben a fogyasztás miatt nem előnyös.
- 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

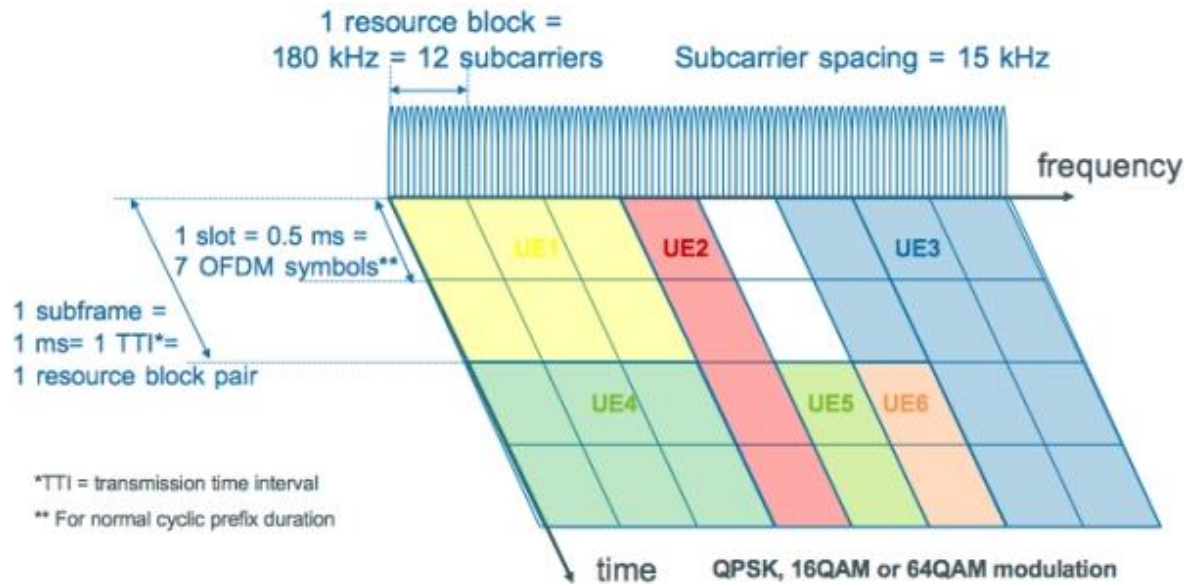


Uplink megoldás

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

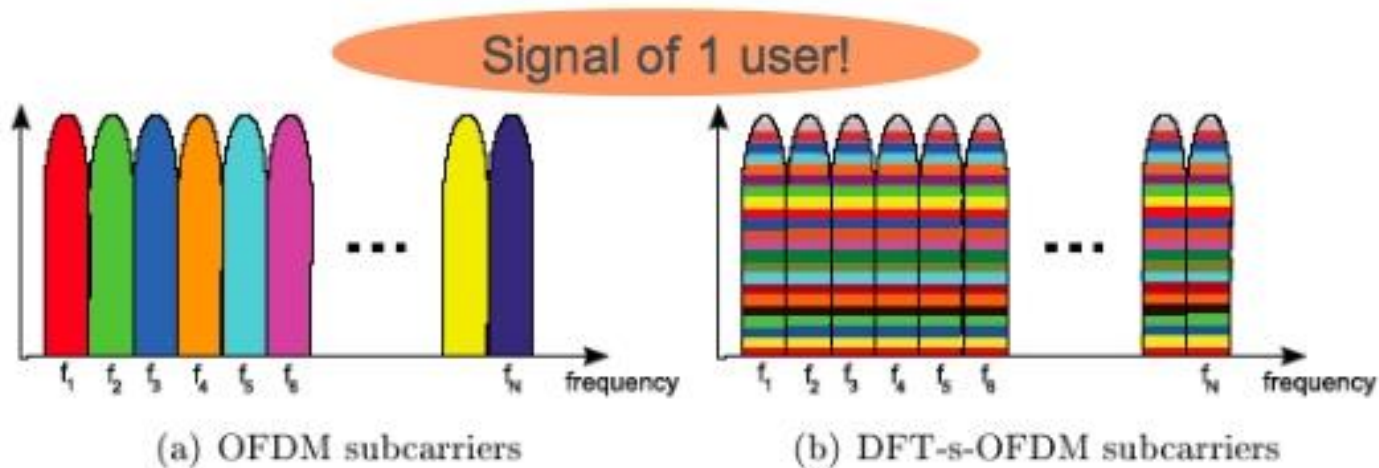


OFDMA – LTE Downlink



- Az eNodeB TTI-onként (1 ms) **döntést hoz** a rendelkezésre álló PBR-k (újra-) **felosztásáról** a különböző **felhasználói igényeknek** és a **csatorna állapotának** megfelelően.
 - TTI: Transmission Time Interval – 1 ms átviteli idő intervallum (emlékezzünk: ennyi volt a subframe időtartam)
- A rendelkezésre álló erőforrás blokkok száma természetesen a sávszélességtől függ, amely – ellentétben az UMTS fix 5 MHz-vel – 1,4 és 20 MHz között skálázható.

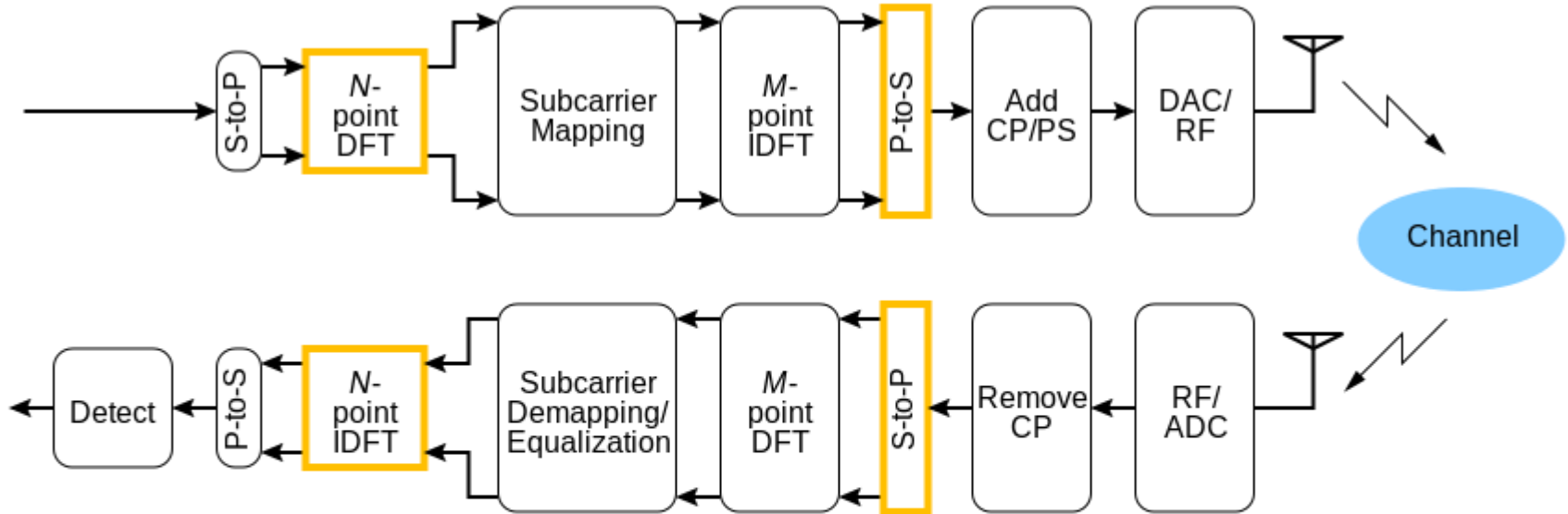
SC-FDMA – LTE Uplink



SC-FDMA

- Különbség: OFDMA-nál egy alvivő csakis egy adott szimbólumhoz tartozó információt szállít, míg a SC-FDMA esetében minden egyes felhasznált alvivő az összes átvitt szimbólum információját hordozza, így formálva egyetlen hordozóvá a felhasználóhoz rendelt alvivőket.
- Előnye: kedvező csúcs-átlag teljesítmény viszony (PAPR: Peak-to-Average Power Ratio)
 - költséghatékonyabb teljesítményerősítők alkalmazása a UE-kben

OFDMA vs. SC-FDMA



* $N < M$

* S-to-P: Serial-to-Parallel

* P-to-S: Parallel-to-Serial

SC-FDMA: ☐ + ☐

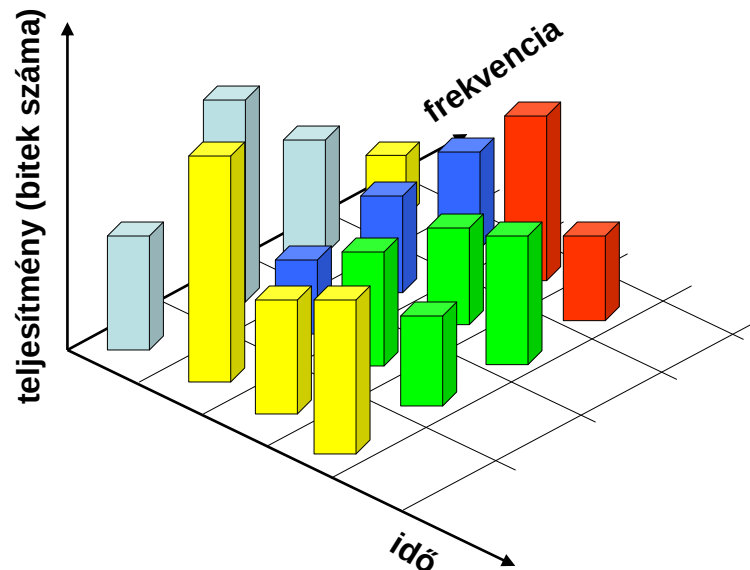
OFDMA: ☐

Osztott csatorna megközelítés

- erőforrás rács: frekvencia és idő (idő-frekvencia rács)
- a bázisállomás ütemezője osztja ki az előfizetőknek
- nem szabványos

Ütemezési feladat

- melyik PRB-t
- melyik időrészben
- mekkora adóteljesítménnyel (nagyobb teljesítmény → jobb jel/zaj viszony → kisebb redundancia, magasabb állapotú moduláció → több hasznos bit/PRB)
- melyik előfizető részére
- összes adóteljesítmény, PRB-k száma, időrések száma korlátos



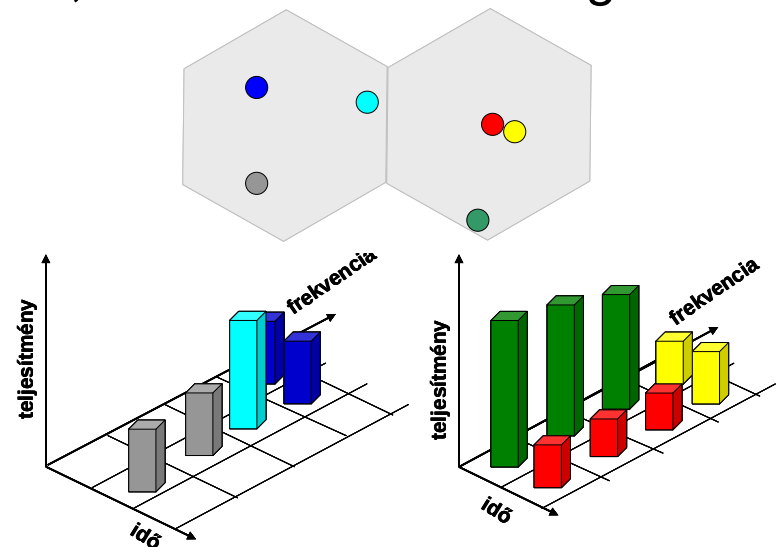
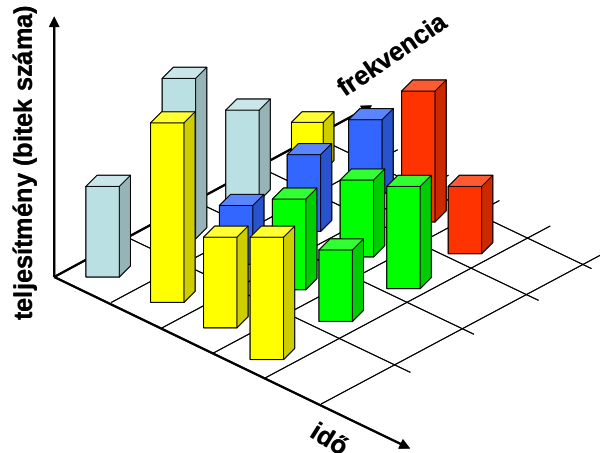
LTE OFDMA csatornamegosztás

- A rendszer gondoskodik az **interferencia csökkentéséről**
- 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 is megjelent egy logikai összeköttetés az LTE-ben. Korábban ilyen nem volt. Ezen az interfészen keresztül beszélnek meg a szomszédos bázisállomások a fentieket.
 - A szomszédos cellákban okozott interferencia:
 - kisebb SINR $\rightarrow$ kisebb adatsebesség/PRB
 - ütközések minimalizálása
 - igények kielégítése, fairness, QoS, átviteli sebesség és cellaátvitel maximalizálása

LTE OFDMA csatornamegosztás

Elosztott ütemező több cella között: 3 dimenziós erőforrás kiosztása (frekvencia, idő, teljesítmény)

- minden bázisállomás ugyanazt az erőforrás-rácsot használja:
- **Közeleli termináloknak** kis teljesítménnyel azonos PRB kiosztható. Nekik nem kell olyan nagy teljesítménnyel „kiabálni”, mert közel vannak. (ekkor azt mondjuk, hogy a frequency-reuse=1)
- **Távoli termináloknak** nagyot kell „kiabálnunk” (nagy teljesítménnyel), mert távol vannak. Őket viszont ne tegyük ugyanarra az alvivőre (vagy PRB-re) két szomszédos cella esetén, mert interferenciát fognak okozni egymásnak.



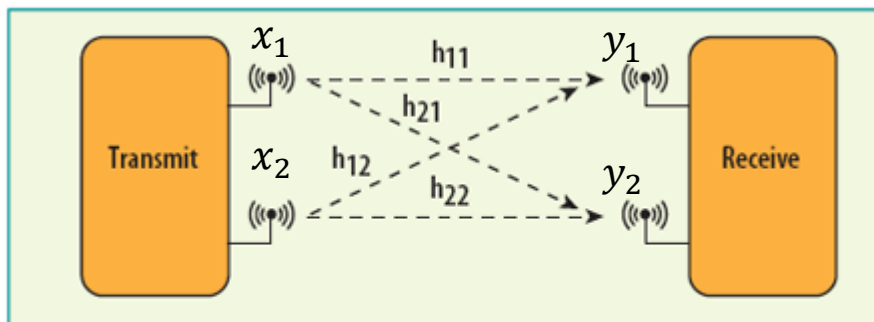
MIMO: „többantennás átvitel”

- MIMO: Multiple Input/Multiple Output



MIMO: „többantennás átvitel”

- Az adó-vevő elrendezés:



1. This block diagram shows a typical 2 x 2 multiple-input, multiple-output (MIMO) antenna system.

$$y_1 = h_{11} \cdot x_1 + h_{21} \cdot x_2$$

$$y_2 = h_{12} \cdot x_1 + h_{22} \cdot x_2$$

- MIMO csatornamátrix:** N_T adóantennák száma, N_R vevőantennák száma

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \cdots & h_{1,N_R} \\ h_{2,1} & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & h_{n_T,n_R} & \vdots \\ & & \ddots & \\ h_{N_T,1} & \cdots & & h_{N_T,N_R} \end{pmatrix}$$

MIMO: „többantennás átvitel”

Multiple Input Multiple Output – MIMO

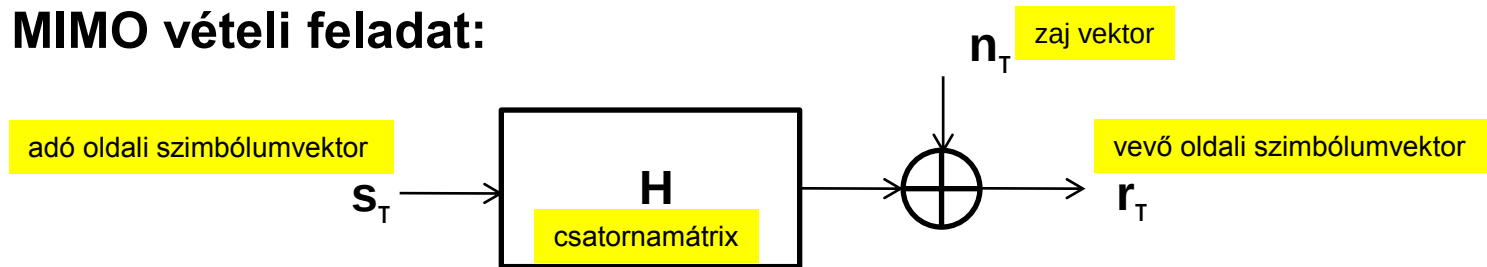
- antennák elhelyezése: „elég messze”, terminálon problémás lehet (pl. laptop négy sarkán)
- használati lehetőségek:
 - **nyalábformálás**: adott irányban nagyobb az antenna „erősítése” → jobb lefedettség az irányban
 - **adóoldali/vevőoldali diverziti**: a több antennán adott/vett jelek megfelelő kombinálásával: 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 (multiuser) MIMO**: mint a térbeli multiplexálás, de több előfizetőnek szóló csomagok

MIMO: térbeli multiplexálás

- Alapelv: Független adatfolyamokat viszünk át
 - **azonos frekvenciasávban**
 - **egyidőben**
 - A **kapacitás elvileg többszörözhető** $\min(N_T, N_R)$ szerint
 - Pl.: **4x2**-esnél **2-szeres** az elvi(!) növekedés, **de 3x2-esnél is!**
- A hatékonyság akkor nagy, a csatornamátrix elemeinek **térbeli korreláltsága alacsony**.
 - Szélsőséges példa: **közvetlenül egymás mellé teszem az adót és a vevőt**: a csatornamátrix elemek **nagyon hasonlóak** lesznek. **Nem fog működni az átvitel**.
 - Alacsony térbeli korreláltság, sok visszaverődést tartalmazó környezetben valószínű az alacsony térbeli korreláltság („nagyon különbözőek” lesznek a csatornamátrix elemei)

MIMO: A csatornainformáció (CSI) rendelkezésre állása

■ A MIMO vételi feladat:



■ a vett $\mathbf{r}$ szimbólumvektor birtokában és a $\mathbf{H}$ csatornamátrix becsült elemeinek segítségével kell megoldást adnunk az $\mathbf{s}$, adó oldai vektor elemeinek a becslésére.

■ Különböző MIMO vételi algoritmusok léteznek, amelyeket itt nem részletezünk.

■ A $\mathbf{H}$ csatornamátrix elemeit az adó által küldött referenciajelek segítségével becsüljük, amelyeket a vevőben ismerünk. A vett (megváltozott) és az adó oldali minták összehasonlításából következtetünk a csatornamátrix elemekre.

■ Problémák:

■ a referenciajelek is zajos csatornán haladnak át, ezért nem lehet tökéletesen megbecsülni a csatornát.

■ nem mindig áll rendelkezésre a vevő, vagy adó oldalon a csatornainformáció

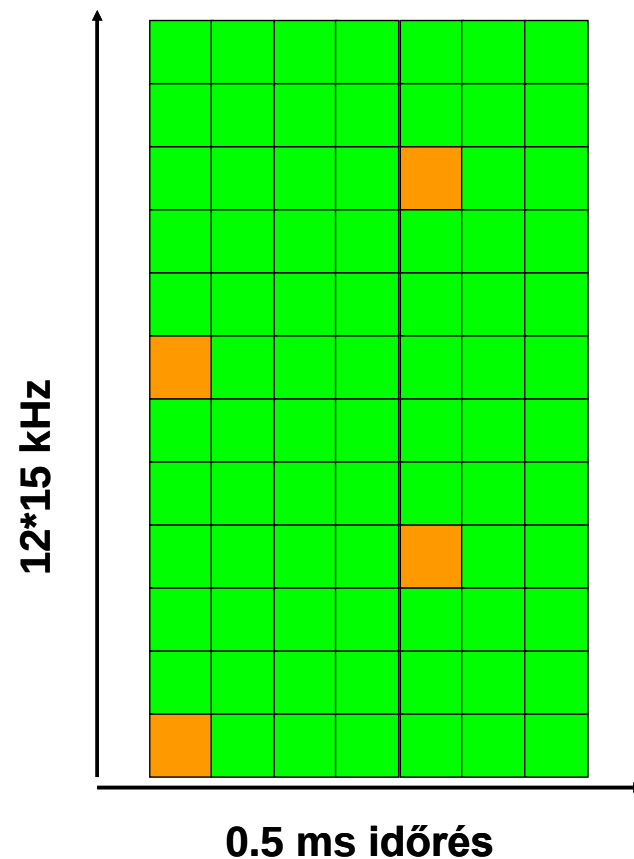
MIMO: „többantennás átvitel”

MIMO az LTE-ben:

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

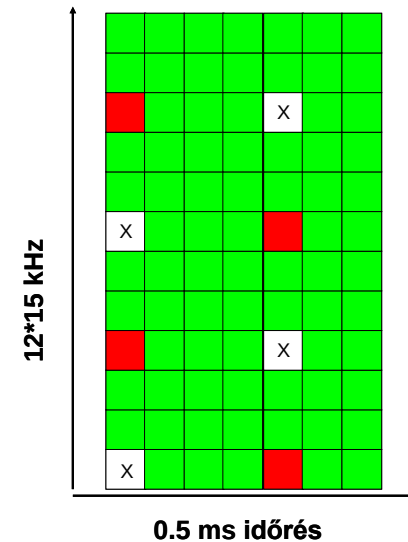
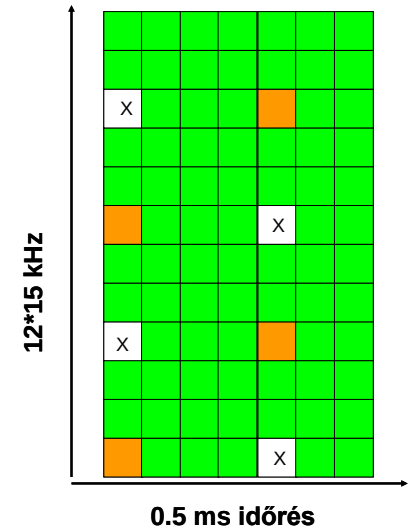
Ismert referencia jel szükséges:

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



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 határfok

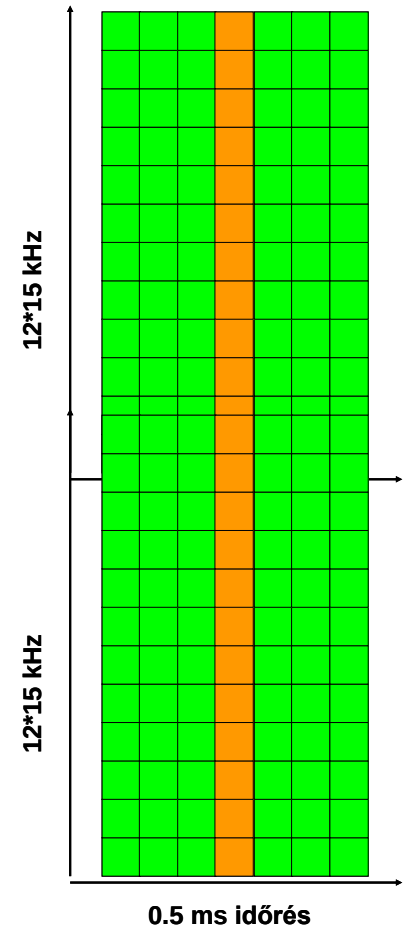


Cellaazonosító

- a referencia jel: ismert sorozat
- 510 féle sorozat van definiálva
- 170 csoport, csoportonként 3
- 170 álvéletlen sorozat, háromféle ortogonális sorozattal szorozva
- jelentőség: cellák közti interferencia minimalizálása a csoporton belül, tipikusan egy eNodeB 3 cellájára
- referencia jelek ugratása frekvenciában: alkeretenként, 10 hosszú sorozat, 170 van definiálva
- nem, vagy kevésszer ütköznek a különböző állomások referencia jelei

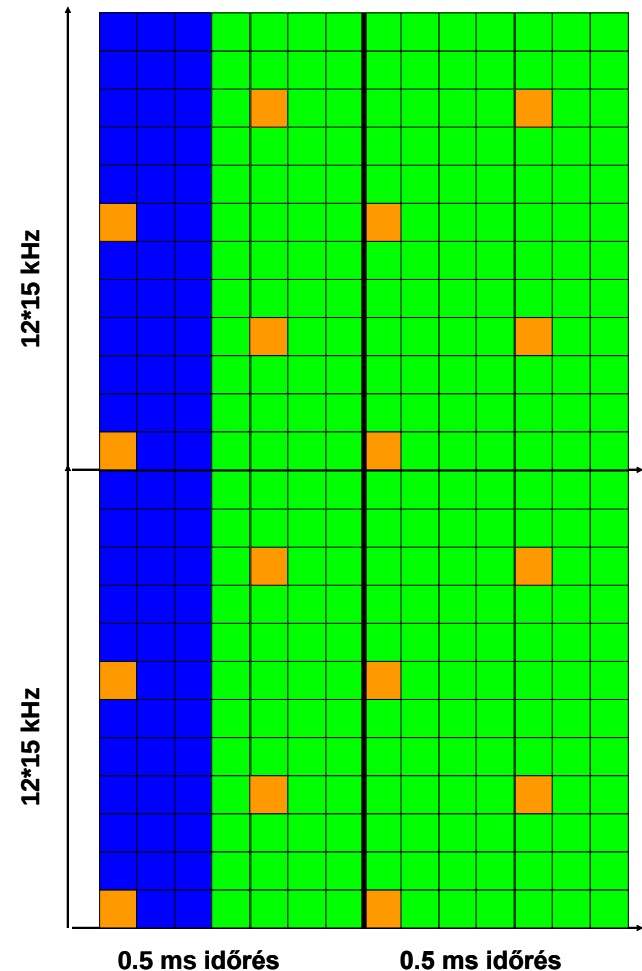
Uplink referencia jelek

- 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 sáv szélességben (6/7-es kihasználtság)
- megfelelő jelek definiálva, szomszédos cellák UE-jei ne zavarják egymást
- csatornamérés: teljes sáv szélességben kellene ismerni
 - időnként UE a teljes sávra kiterjedő referencia jelet ad (channel sounding)



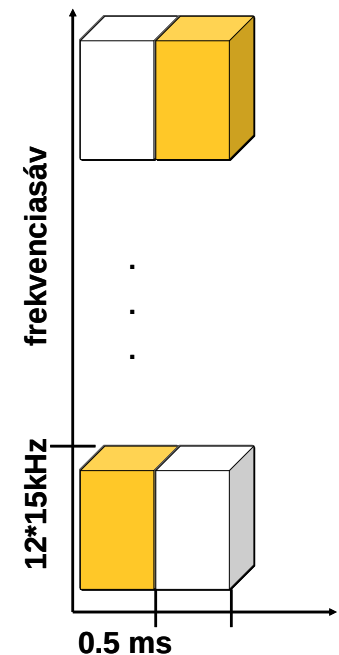
Downlink irányú vezérlőinformációk

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



Uplink irányú vezérlőinformációk

- pozitív és negatív nyugták
- **UE által mért csatornaminőség jellemzője periodikusan** (Channel Quality Indicator – CQI)
- 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, időreseként váltakozva
- következő PRB-k, ha szükséges
- PUCCH



Cellakeresés folyamata

Kommunikáció előtt

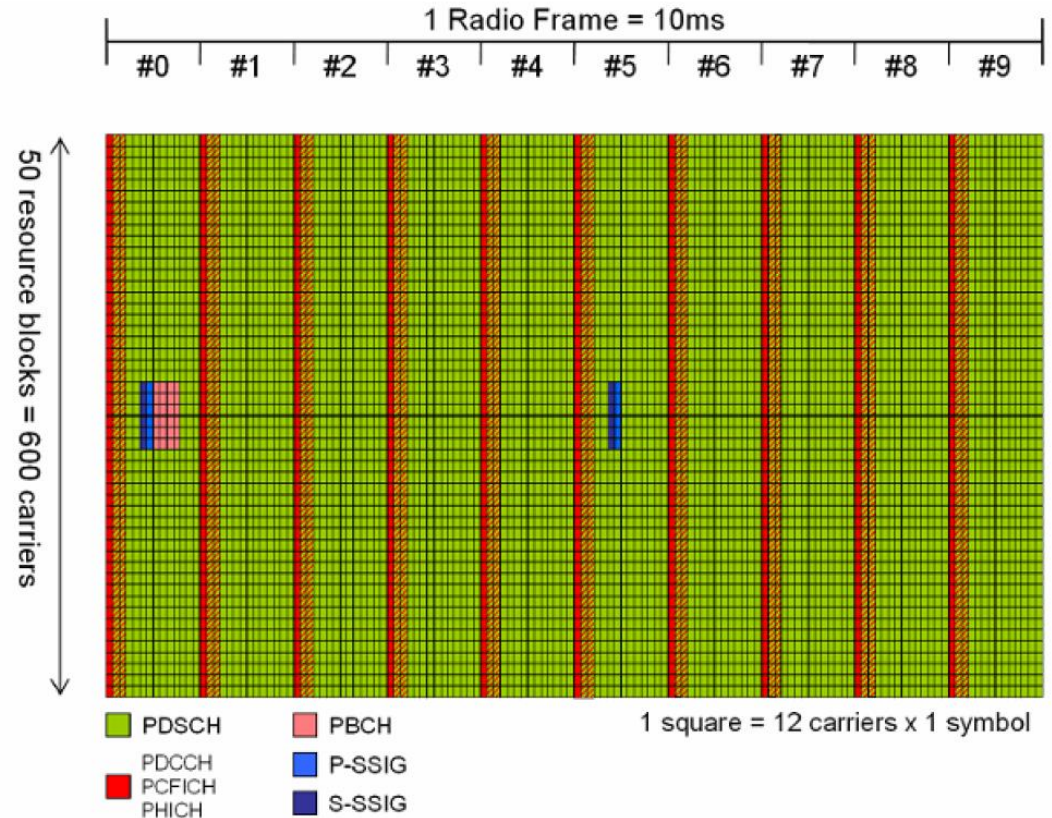
- hálózatot kell találni
- szinkronizálni kell a cellában alkalmazott keretszerkezethez

Szinkronizációs jel

Cellakeresés folyamatata

Hol találjuk pontosan az előző slide-on bemlített elsődleges és másodlagos szinkronizációs jeleket?

- A sötét- és világoskék kockákat figyeljük!
- az **első és hatodik alkeret első időzésében az utolsó két szimbólumban**
- frekvenciában: a **sáv közepén 6 db PRB**



Cellakeresés

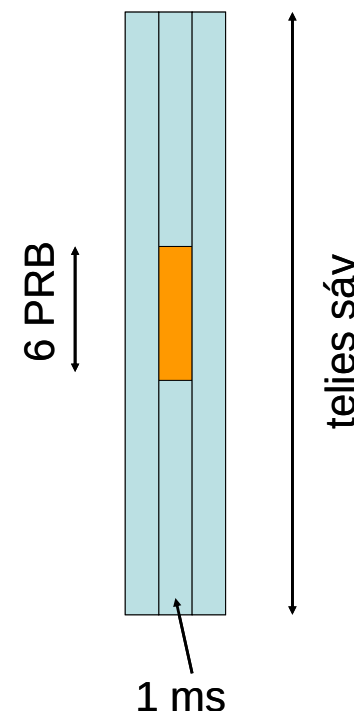
- háromféle elsődleges szinkronizációs jel van
- a mobil ezekre illesztett szűrővel keres
- hol keresi (milyen frekvenciasávban): a készülékbe táplált lehetséges vivőkön, illetve korábbi tapasztalatok alapján
- ha megvan: 5 ms (fél keret) szinkronba kerül
 - továbbá: a cellaazonosító csoporton belül (3 féle) megvan a cellaazonosító jel
- ezután: másodlagos szinkronizációs jel párokat keres (s_1 , s_2 a két félkeretben)
 - ha ez megvan, akkor a keretszinkron is megvan
 - továbbá: a másodlagos szinkron jel egyértelműen azonosítja a cellaazonosító csoportot

Véletlen hozzáférés

Bejelentkezés, kapcsolatfelépítés

- a mobil már megtalálta a hálózatot
- bejelentkezéshez: véletlen hozzáférés (random access) szükséges
 - kezdeti bejelentkezésakor (nem csatlakozott állapotból)
 - „idle állapotból”
 - aktív állapotban, ha egy ideig nem volt feltöltési irányú adás

- A mobil Random Access Preamble-t 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 10^{-5} s.
 - nagyobb cellák esetén a véletlen hozzáférési alkeret után sem szabad hasznos információ számára lefoglalni



Hálózatból induló kapcsolatfelvétel

Kapcsolatfelvétel a hálózat irányából – paging:

- hanghívás, videohívás
- Cél: az energiahatékonyság növelése → a vevő lehetőleg „alvó módban” legyen, csak ritkán kelljen paging információt figyelnie
- periodikusan a fizikai kontroll erőforrásokat detektálja a mobil, a köztes időben „alszik”
- a fizikai kontroll erőforrásokon jelzi a rendszer, ha bejövő paging információ van → kijelöli a paging információ helyét
- a mobil a paging infót veszi, **ha a saját azonosítója is benne van**, akkor véletlen hozzáféréssel **aktív állapotba kerül**

Az LTE FEJLŐDÉSE A 3GPP LTE RELEASE-EK ÖSSZEFOGLALÁSA

[HTTP://WWW.3GPP.ORG/SPECIFICATIONS/67-RELEASES](http://www.3gpp.org/specifications/67-releases)

LTE Release 8 (2008)

- A 3GPP Release 8 legfontosabb újításai a következők:
 - akár **300 Mbit/s downlink és 75 Mbit/s uplink átviteli sebesség** (4x4 MIMO és 20 MHz esetén);
 - legfeljebb **10 ms késleltetés**;
 - **különböző támogatott sáv szélességek**: 1,4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz, amikkel különböző telepítési stratégiákat tesznek lehetővé;
 - **Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (OFDMA)** alkalmazása downlink irányban;
 - **Single-Carrier Frequency Domain Multiple Access (SC-FDMA)** alkalmazása uplink irányban;
 - **MIMO antennák használata** (akár 4x4);
 - frekvencia (Frequency Division Duplex – **FDD**) és idő duplex (Time Division Duplex – **TDD**) működési módok;
 - **sík rádiós hozzáférési hálózati architektúra**: GSM BSC és UMTS RNC entitások helyett az eNodeB-kbe került az intelligencia;
 - **teljesen IP alapú maghálózat**: System Architecture Evolution (SAE).

- LTE **femtocellák** bevezetése Home eNodeB (HeNB) formájában;
- **MIMO nyalábformálás** (MIMO Beamforming);
- önszervező hálózati (Self Organising Network – **SON**) képességek, például a véletlen hozzáférési csatorna (Random Access Channel – RACH) optimalizálása;
- fejlett multimédiás üzenetszórás és csoportos üzenetküldési szolgáltatások (evolved Multimedia Broadcast Multicast Services – **eMBMS**) azonos multimédiás tartalom több címzetthez történő hatékony továbbításához;
- lokalizációs szolgáltatások (Location Services – **LCS**) a mobil készülékek pontos helymeghatározásához

LTE Release 10 (2011, LTE Advanced)

- Az LTE kiterjesztése. Az ITU-T által megfogalmazott 4G követelményeknek (IMT Advanced) (2009) ez a szabvány hivatott megfelelni.
- **Ez a verzió lett a „valódi” 4G.** Az LTE csak „3,9G” volt.
- akár **3 Gbit/s downlink és 1,5 Gbit/s uplink** átviteli sebesség;
- **vivő aggregálás**: legfeljebb öt, különálló vivő kombinálása egy legfeljebb 100 MHz-es sávszélességű rendszerre;
- magasabb szintű **MIMO antenna konfigurációk**: megengedett lett a 8x8 downlink és a 4x4 uplink irányban;
- **átjátszó állomások** (relay nodes) megjelenése a hálózati architektúrában, amik támogatják a nagyon különböző cellaméretekkel rendelkező heterogén hálózatokat (Heterogeneous Network – HetNet);
- fejlesztett cellák közötti interferencia koordináció (enhanced Inter-Cell Interference Coordination – **eICIC**) a cellahatáron elérhető teljesítmény javítása miatt

- **javítja a vivőaggregációt, MIMO-t és eICIC-t**, valamint az átjátszó állomásokkal kapcsolatos módszereket;
- új frekvenciasávokat definiál;
- fejlettebb vevőket tesz lehetővé;
- bevezeti a fejlesztett fizikai downlink kontrol csatornát (Enhanced Physical Downlink Control Channel – **ePDCCH**), amit a fizikai downlink osztott csatorna (Physical Downlink Shared Channel – **PDSCH**) erőforrásain is lehet továbbítani magasabb kontrol csatorna kapacitást biztosítva;
- több cellával való egyidejű kommunikációt támogató módszert (Coordinated MultiPoint transmission and reception – **CoMP**) mutat be

- kis cellák (**small cell**) támogatása;
- **vivő aggregálás javítása**;
- **256-QAM támogatása**;
- gép-gép kommunikációra (**Machine Type Communication** – MTC) optimalizált UE kategória definiálása;
- LTE-WiFi integráció támogatása azáltal, hogy a szolgáltatónak nagyobb kontrollja van a WiFi session-ök felett;
- LTE működés biztosítása ISM frekvenciasávokon (LTE in Unlicensed spectrum – LTE-U vagy LTE License Assisted Access – **LTE-LAA**)

- **vivőaggregáció további javítása:** lehetőség biztosítása 32 komponens vivő összefogására, amivel 640 MHz sávszélesség érhető el;
- MTC fejlesztése úgy, hogy újabb, alacsonyabb komplexitású készülék kategóriát definiál, ami kisebb sávszélesség és teljesítmény használatával hosszabb akkumulátor élettartamot biztosít;
- **LTE-LAA finomítása;**
- **beltéri pozicionálás javítása;**
- fejlettebb több felhasználós átviteli technikák támogatása;
- **64 antenna portos MIMO támogatása**

- további javítások a rádiós interfészen;
- LTE-LAA és LTE-WLAN aggregáció (LTE WiFi link Aggregation – LWA) fejlesztése;
- eszköz-eszköz (**Device-to-device** – D2D vagy sidelink a 3GPP terminológiában) és jármű-minden (Vehicle-to-everything – V2X vagy V2X sidelink a 3GPP terminológiában) kommunikáció hatékonyabbá tétele, illetve bevezetése;
- **vivőaggregáció** további fejlesztése

„Mekkora az LTE adatsebessége?”

▪ Attól függ:

- Pl. SISO, 20 MHz-en -> 75 Mbps maximális sebesség
- Vivő sávszélessége (1,4-től 20 MHz lehet)
- Alkalmazott moduláció (64, 256-QAM)
- MIMO antennák száma (2x2, 4x4)
- Hány db vivőt fogunk össze
- „Hányan vannak a cellában”. Ha egyedül, akkor lehet a fenti bármelyik. De ha tízen, akkor csak a tizede!!!

Gyakorlati példák 20 MHz-es LTE telepítési scenáriókra:

- 2CA, 2x2 MIMO, 64-QAM: DL adatsebesség: $2 \times 2 \times 75 = 300$ Mbit/s
- 3CA, 2x2 MIMO, 64-QAM: DL adatsebesség: $3 \times 2 \times 75 = 450$ Mbit/s
- 3CA, 4x4 MIMO, 256-QAM: DL adatsebesség: $3 \times 4 \times \log_2(256) / \log_2(64) \times 75 = 1200$ Mbit/s



HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK

Ürinternet

2020. október 22.

Mobil kommunikációs rendszerek/Mobil kommunikációs hálózatok

Dr. Bacsárdi László

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

bacsardi@hit.bme.hu





Dr. Bacsárdi László

docens, laborvezető

Mobil Kommunikáció és Kvantumtechnológiák Laboratórium
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
1117 Budapest, Magyar tudósok krt. 2.

szoba: I.B.117, e-mail: bacsardi@hit.bme.hu



MANT

Magyar Asztronautikai Társaság



HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK

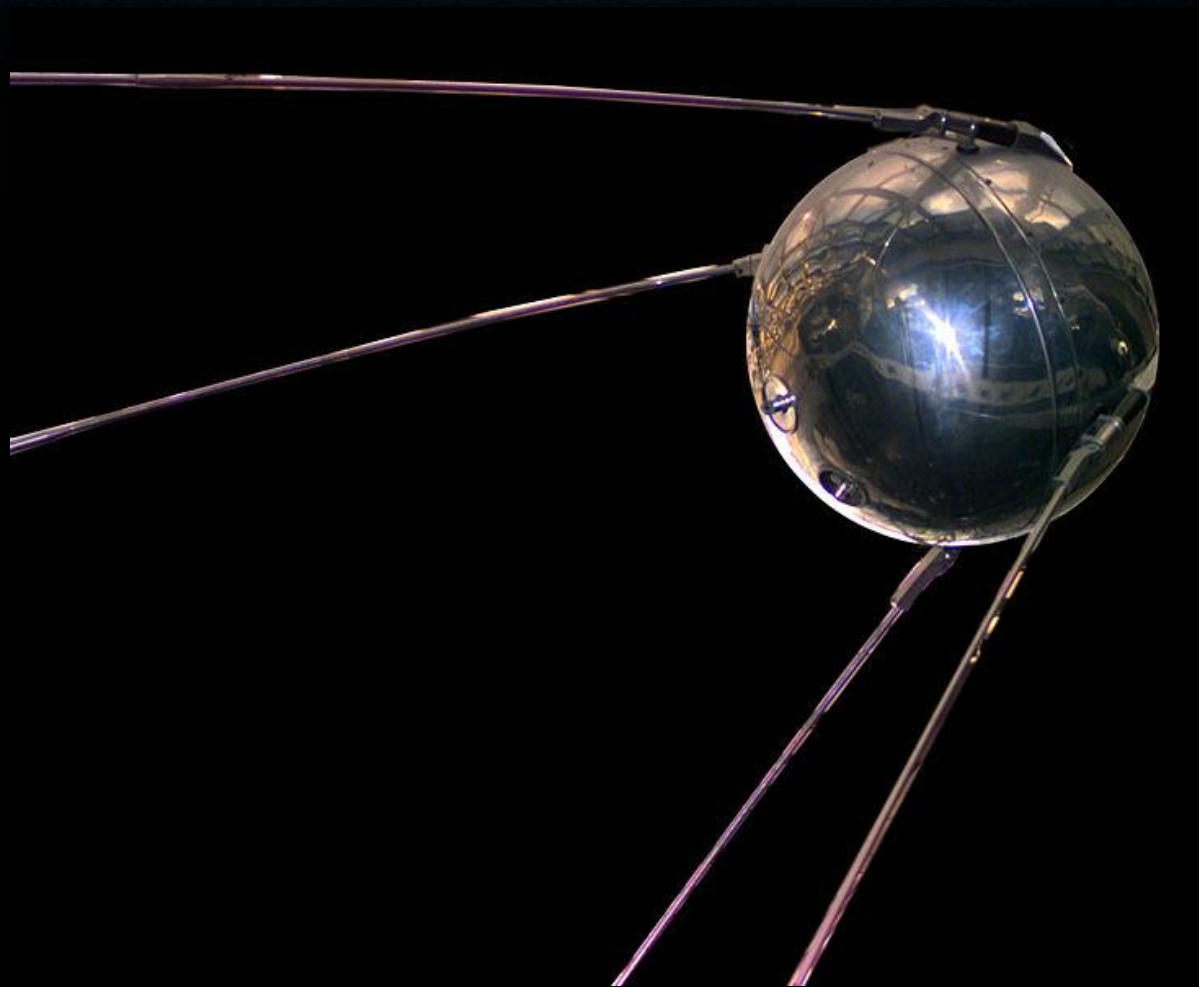
www.hit.bme.hu



SPACE GENERATION
ADVISORY COUNCIL

- Műholdak szerepe
- Sky-fi: „Internet az űrből”
- Starlink és társai
- Terrabit per másodperc az űrben
- További európai irányok

1957. október 4.



„Eljön az idő, amikor olyan szerkezetet építünk, amellyel madarak módjára repülünk keresztül az égbolton, miközben nyugodtan olvashatunk.”

(Roger Bacon)

„A Föld az emberiség bölcsője, de nem maradhatunk örökké bölcsőben”

(K. E. Ciolkovszkij)

„Képtelenség a Holdra lőni, mert a leghevesebb robbanóanyag sem tud akkorát lőni, hogy eljusson a Holdra”

„Az űrkutatás merő humbug”

„Erkölcsei jogunk csak akkor lesz a világűrbe menni, ha megállítottuk az éhezést s a Földön lévő bajokat



„A dongó fizikailag nem lenne képes repülni.
De a dongó ezzel nincs tisztában, úgyhogy
továbbra is repül.”

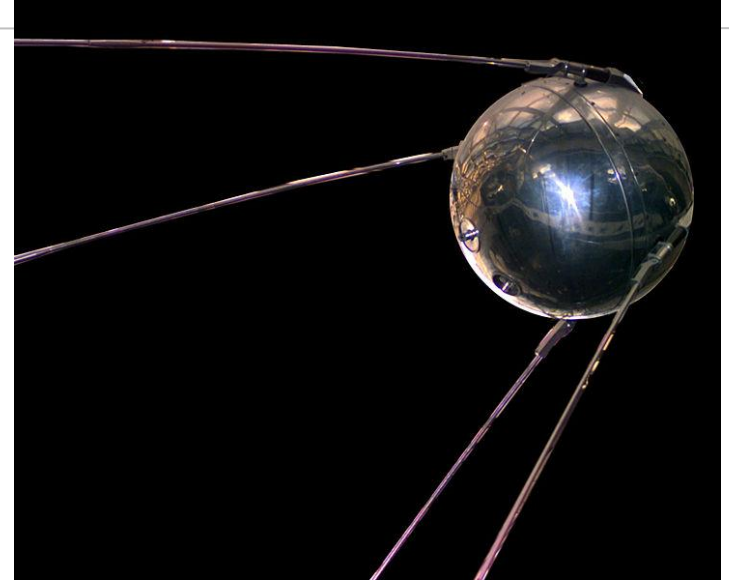
(Mary Kay Ash)

AZ ŰRKOMMUNIKÁCIÓ KEZDETEI

Szputnyik-1 (1957. október 4.)

SCORE (1958. december 18.)

Intelsat-1A (1965. április. 6.)



Képek forrása:

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sputnik_asm.jpg

http://en.wikipedia.org/wiki/File:INTELSAT_I_%28Early_Bird%29.jpg



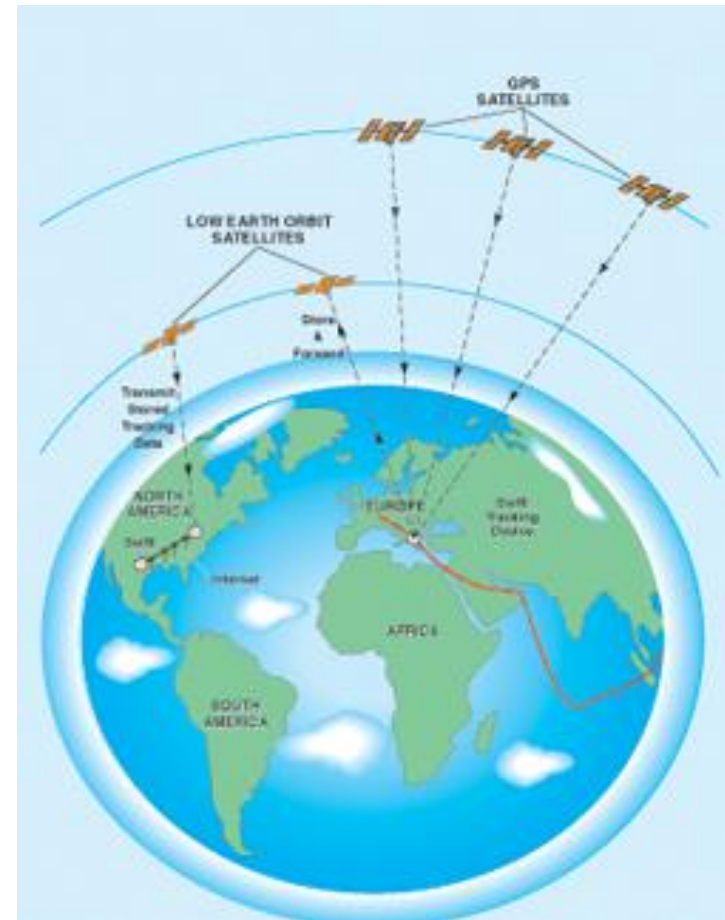
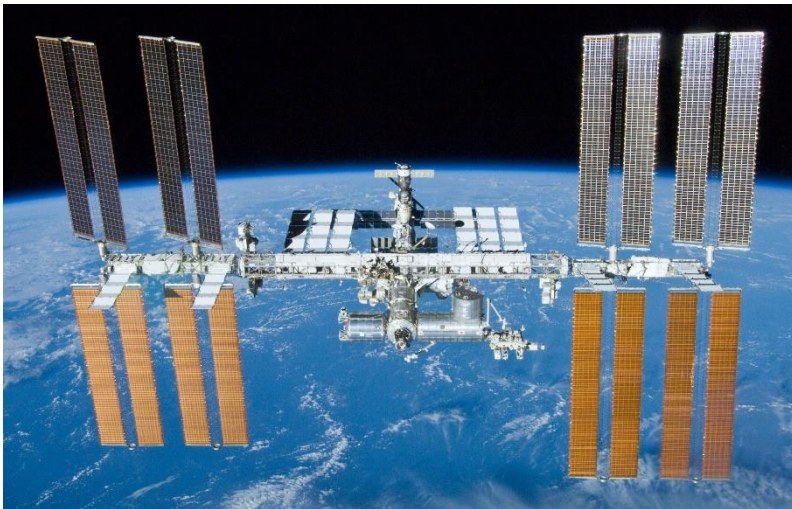
Fotó: NASA

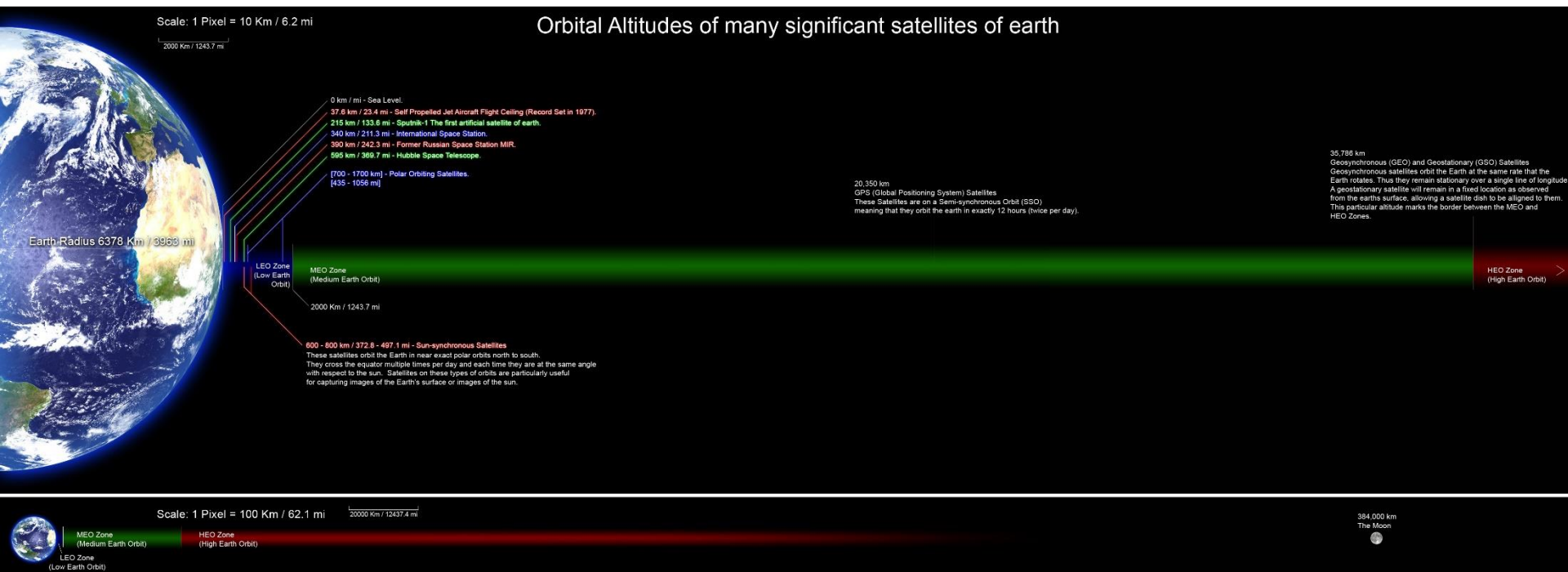


LEO (Low Earth Orbit)

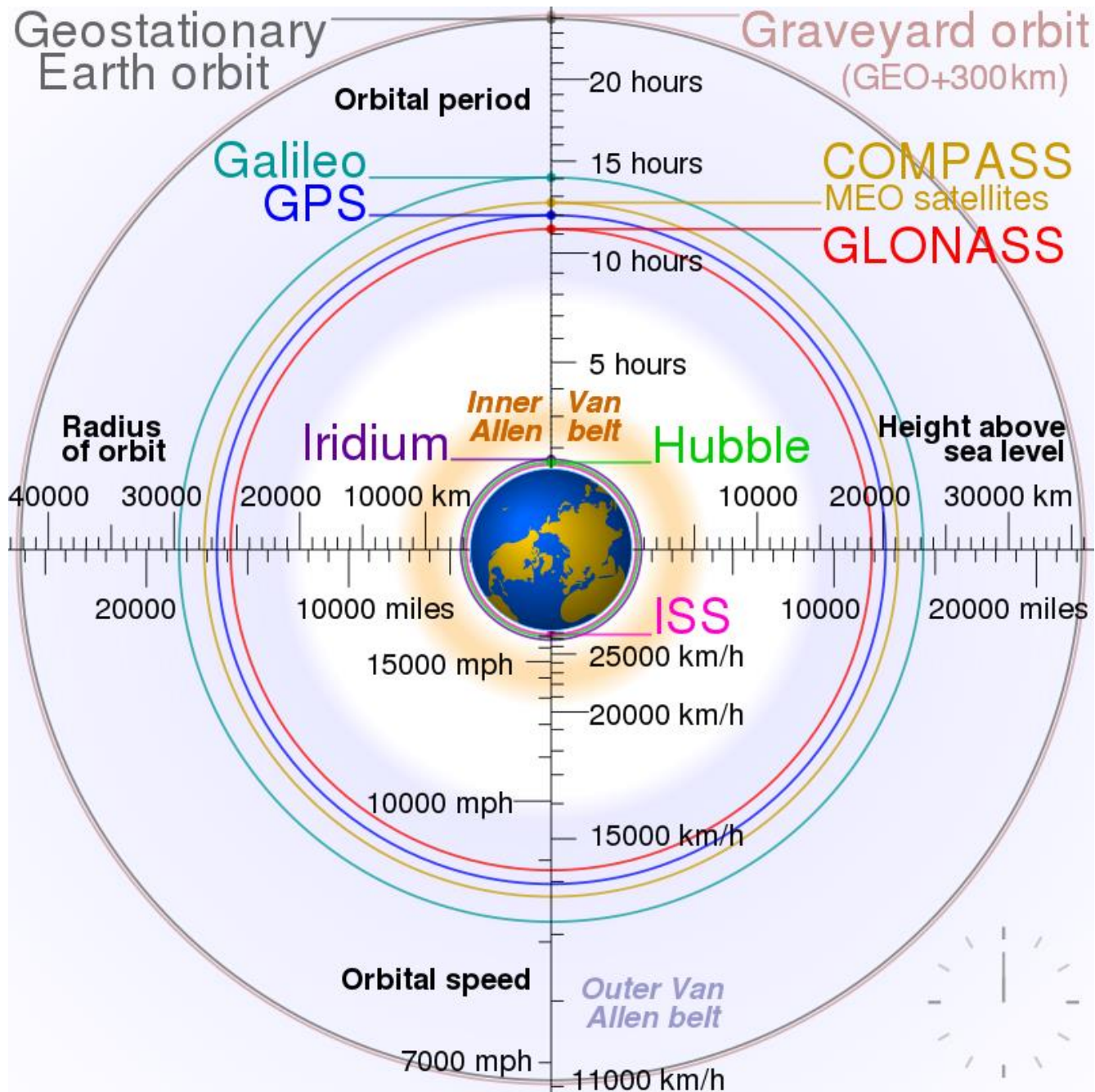
MEO (Middle Earth Orbit)

GEO (Geostationary Orbit)





Kép forrása: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/82/Orbitalaltitudes.jpg>





Kép forrása: https://hu.wikipedia.org/wiki/SpaceX#/media/F%C3%A1jl:Entrance_to_SpaceX_headquarters.jpg



Ürinternet (sky-fi)

CAN'T STOP ELON MUSK —

SpaceX plans worldwide satellite Internet with low latency, gigabit speed

SpaceX designing low-Earth orbit satellites to dramatically reduce latency.

JON BRODKIN - 11/17/2016, 10:08 PM

Newsweek

U.S.

WORLD

BUSINESS

TECH & SCIENCE

CULTURE

SPORTS

OPINION



TECH & SCIENCE

SATELLITE STARTUP RAISES \$1.2BN FOR SPACE INTERNET

BY ANTHONY CUTHBERTSON ON 12/20/16 AT 8:22 AM

THE VERGE

TECH

SCIENCE

CULTURE

CARS

REVIEWS

LONGFORM

VIDEO

MORE



REPORT

SCIENCE

SPACE

SpaceX is pushing hard to bring the internet to space

by Russell Brandom | @russellbrandom | Mar 17, 2017, 9:14am EDT

60 Starlink hold: az első nagy lépés

2019.05.24 07:25

A hónap száma, Lássuk és halljuk egymást, Space

Pályára állították a SpaceX globális műholdas internetszolgáltatást célzó konstellációjának első 60, egyelőre tesztcéllal készült darabját.

Már 2018 elején [azt írtuk](#), hogy bekövetkezhet az áttörés a globális, űralapú internetszolgáltatás létrehozásáért folyó versenyben. Azóta valóban történtek kísérleti műholdindítások például Kínából, beindult a OneWeb, és bővült az O3b műholdak konstellációja is. De most egy igazi nagygúy, Elon Musk SpaceX vállalata is beszállt a vetélkedésbe. A cég saját Falcon-9 hordozórakétájával május 24-én, magyar idő szerint 4:30-kor indították alacsony Föld körüli pályára a floridai Cape Canaveral 40-es startállásából a Starlink első hatvan kis műholdját. Ezúttal tehát a SpaceX biztosította a rakétát és a megrendelő is saját maga volt, így garantált a versenyelőnye a szintén a műholdas internetes piacra törő konkurens vállalkozásokhoz képest.

A több milliárd dolláros Starlink program célja szélessávú, műholdas közvetítéssel megvalósuló internetszolgáltatás nyújtása. A globális lefedettséget megcélzó tervek megvalósításához akár közel 12 ezer (!) különálló űreszköze lehet szükség.



SpaceX submits paperwork for 30,000 more Starlink satellites

by Caleb Henry — October 15, 2019



SpaceX could one day operate 42,000 Starlink satellites if it builds and launches 30,000 in addition to the 12,000 for which it already has FCC approval. Credit: SpaceX

Communications Working Group

Space Internet Opportunities and Risks



SPACE GENERATION
ADVISORY COUNCIL

Our Group @ SGC2015



Moderator: Emma Braegen (Australia)

Subject Matter Experts: Praskovia Milova (Russia), Andreas Hornig (Germany)

Delegates: Anders Fuglseth (Norway), Anne Thye (Denmark), Brandon Morrison (USA), Elizabeth Hillstrom (USA), Gal Sekler (Israel), Hripsime Matevosyan (Armenia), Ignasi Lluch Cruz (Spain), Janna Bruner (Israel), Jesus Gonzalez (Colombia), Jørn Efteland (Norway), Kristian Solbakken (Norway), Laszlo Bacsardi (Hungary), Mansoor Shar (UK), Nikolai Joseph (USA), Semion Semionov (Israel), Terje Bratlie (Norway), William Crowe (Australia), Yevgeny Tsodikovich (Israel)

Thanks to **Don Cornwell** for your help and advice!

Sky-fi dawn of the space Internet era



In the near future billions of people across the globe could benefit from broadband internet access in remote areas provided by balloons, drones and satellites. After investigating the possibilities, risks and opportunities of these technologies members of the Space Generation Advisory Council (SGAC), a group of students and young professionals in the space sector, have made four recommendations to help spread the 'sky-fi' concept.

The internet plays an essential role in everyday life - from communication, broadcasting and navigation to real-time information about any topic and, of course, virtually all business and government operations now depend on it. In the developed world, people can hardly imagine a daily routine without the Internet but, despite the benefits it delivers to 21st century life, only 39% of the world's population has internet access - meaning some four billion people continue to live their lives without it.

Internet access could greatly improve the lives of these four billion people, so many companies are now seeking to provide internet services to the developing world.

broadcasting router, gateway or antenna, which is eventually connected to the global network via fibre optic cables.

However, such architecture is not feasible in many developing countries, where the requirement of building new infrastructure is a significant barrier to internet access. Often this is compounded by the sheer expense of connecting populations distributed over large areas where the adjacent infrastructure - such as electricity - might also be absent or of insufficient reliability.

The idea of providing global internet coverage to disconnected populations has been widely discussed by both academia and commercial companies. In 2013, a student team at the International Space University (ISU) suggested providing sustainable and affordable internet

László Bacsárdi
Head of Institute
of Informatics
and Economics,
University of Sopron,
Hungary

ROOM

The Space Journal room.eu.com

Space challenge for international law

Olga Volynskaya, p.34

US needs to prepare for space threat

Elbridge Colby, p.16

Searching for water

Julie Castillo-Rogez, p.76

Why we need space artists

David A Hardy, p.98

Gravity waves

Karelle Steliez, p.10

Saving Earth from an expanding Sun

David Brin, p.80

Spring/Summer 2016
\$14.99 CDM \$12.99 US

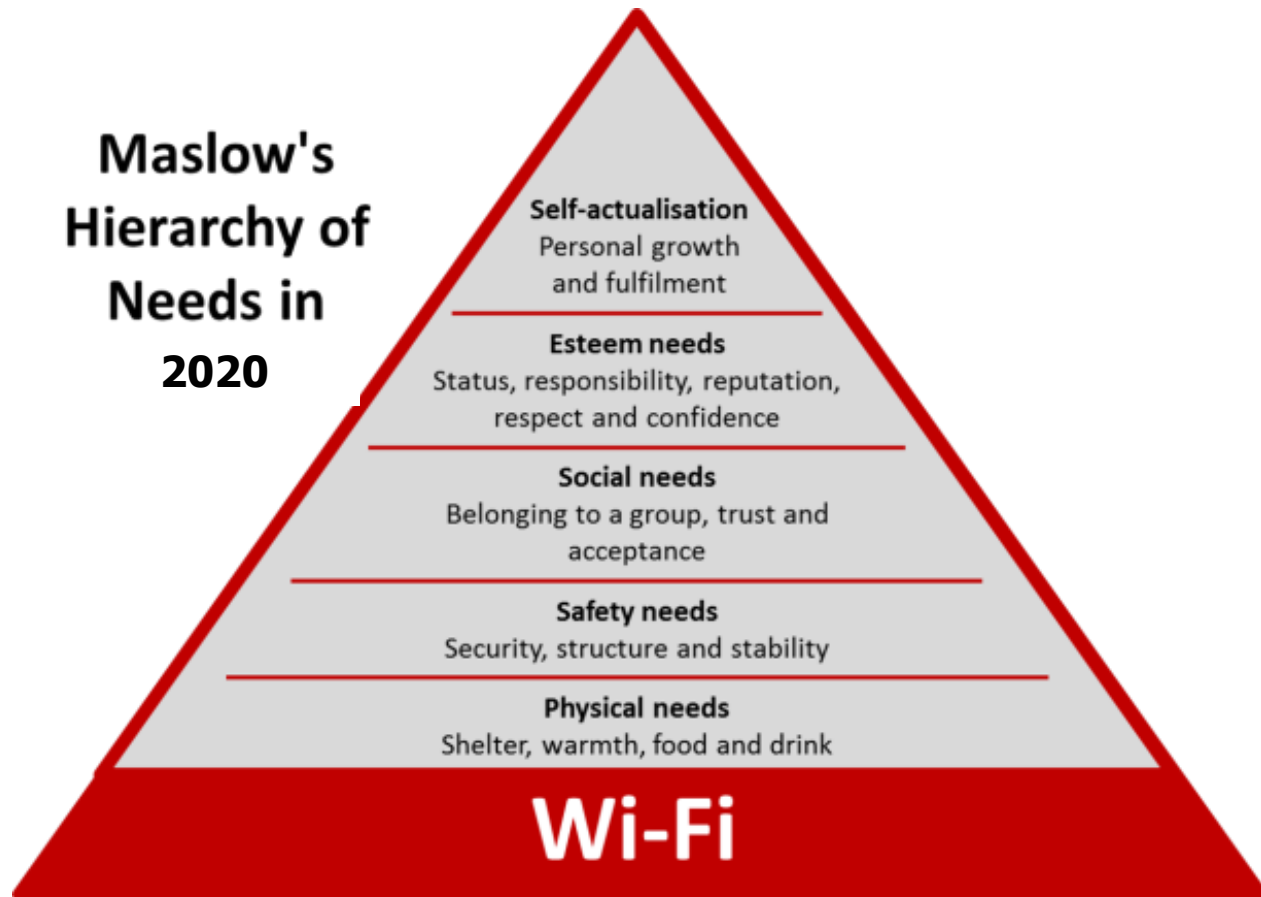


#1 (7) 2016

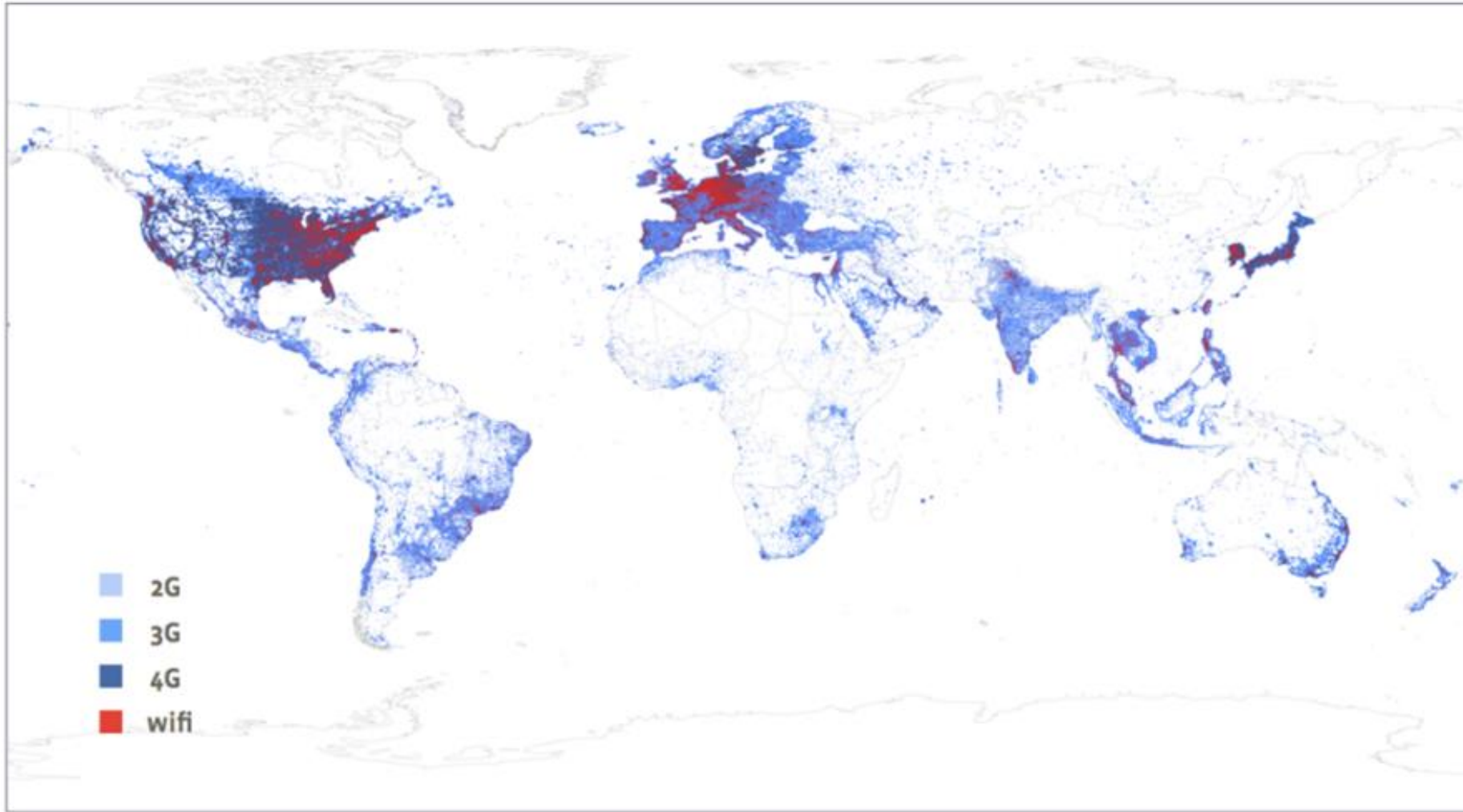
Display until 01/06/2016

De miért is?

Maslow's Hierarchy of Needs in 2020



De miért is?



De miért is?



Szereplők

The Google logo, featuring the word "Google" in its characteristic multi-colored font (blue, red, yellow, green, blue, red).The Facebook logo, consisting of the word "facebook" in white lowercase letters on a blue rectangular background.The OneWeb logo, featuring a stylized globe icon to the left of the word "neWeb" in a green sans-serif font. Below the word "neWeb" is the tagline "Access for Everyone" in a smaller, lighter green font.The SpaceX logo, featuring the word "SPACEX" in a blue, bold, sans-serif font, followed by a stylized grey swoosh that curves upwards and to the right.

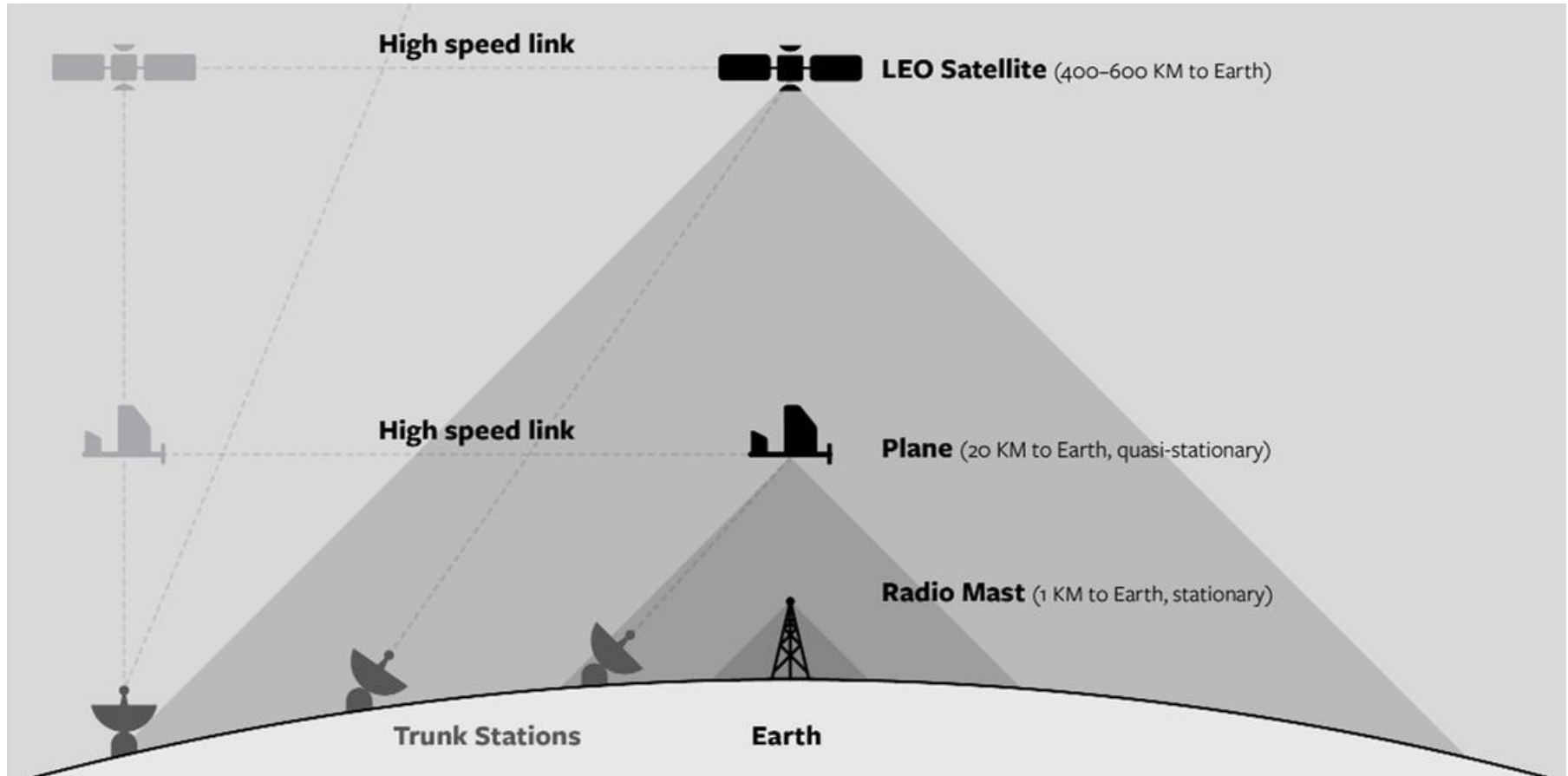
Szereplők

Google

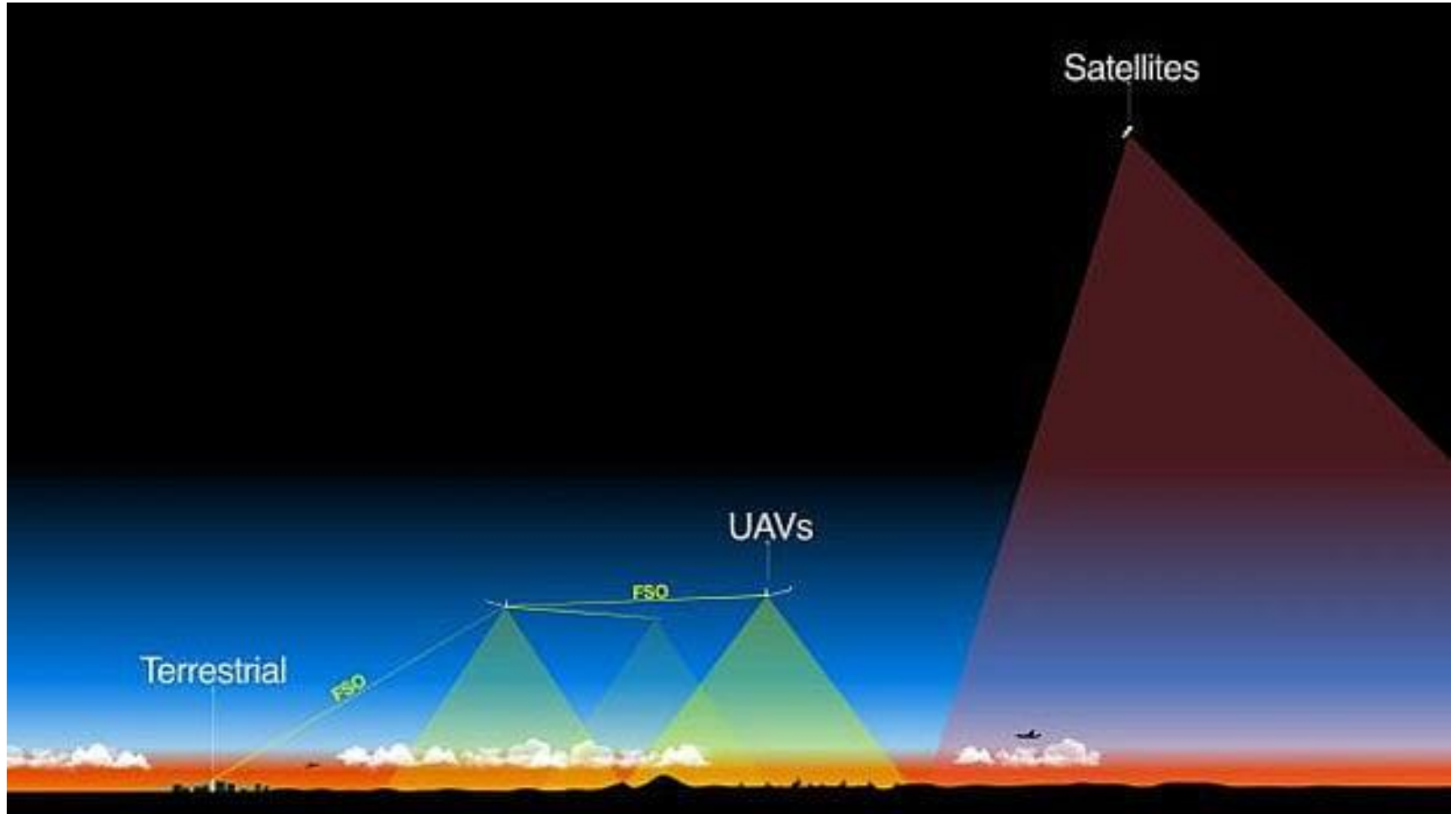


SPACEX

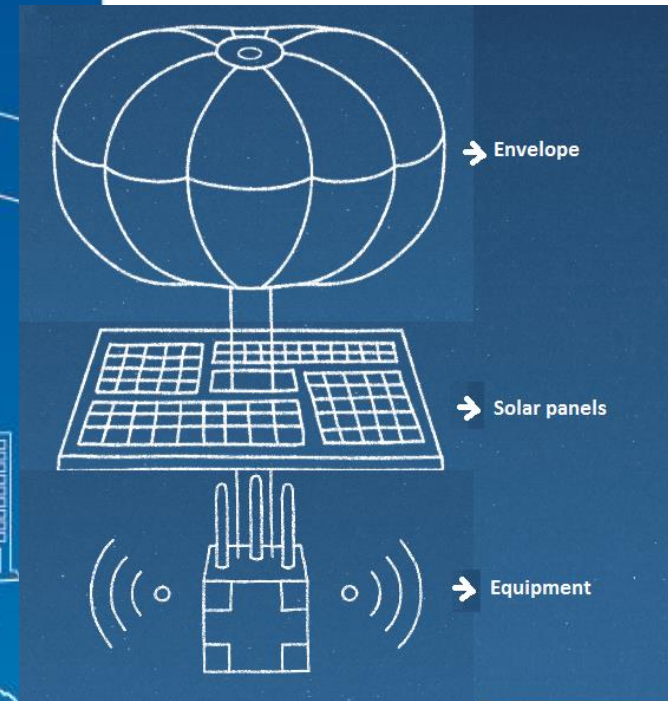
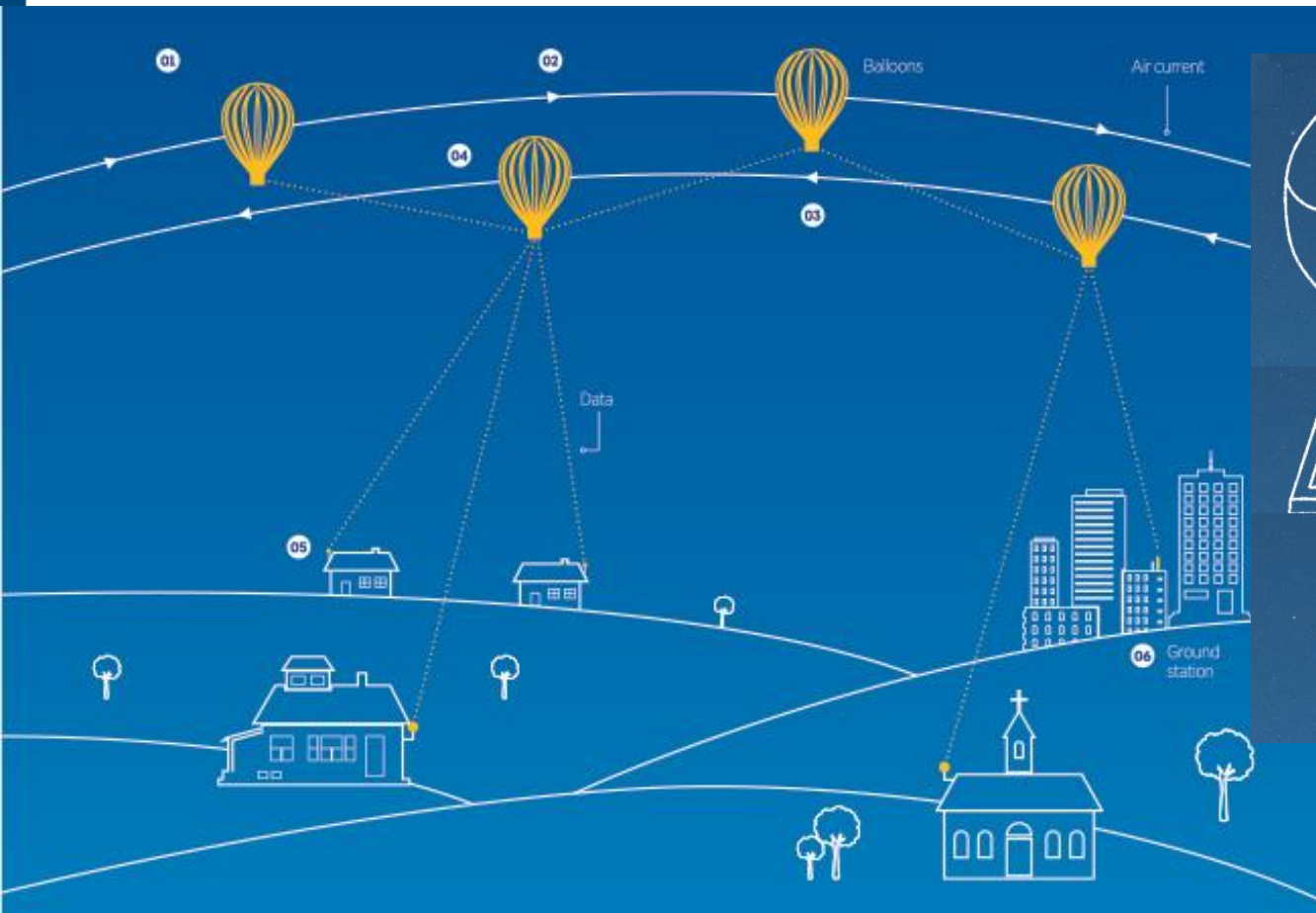
Lefedettségi nézőpontból (1)



Lefedettségi nézőpontból (2)



Google – Project Loon



Project Loon



Project Loon



Project Loon



Project Loon



Facebook – Aquila



Kép: C. Metz, Facebook is about to test its enormous solar-powered drone, Wired, Jul 2015

Aquila



Kép: H. Kelly, Facebook's giant internet drone nails test flight, CNN, July 21 2016

Aquila



Aquila

AQUILA

To help bring internet connectivity to more people, Facebook is designing solar-powered airplanes that will beam internet signal to people in remote, underserved regions within a 60-mile diameter. Each aircraft is designed to be in the air for up to 90 days at a time.

FLIGHT ALTITUDE

Aquila is designed to fly at altitudes between 60,000 and 90,000 feet.

60-MILE COMMUNICATION DIAMETER

WINGSPAN

Aquila has a wingspan bigger than a Boeing 737 airplane.



WEIGHT

Aquila weighs a third as much as an electric car. About half the mass of the airplane is devoted to batteries.



POWER USAGE

At 60,000 feet, Aquila can fly using just 5,000 W of power — about as much as three hair dryers.



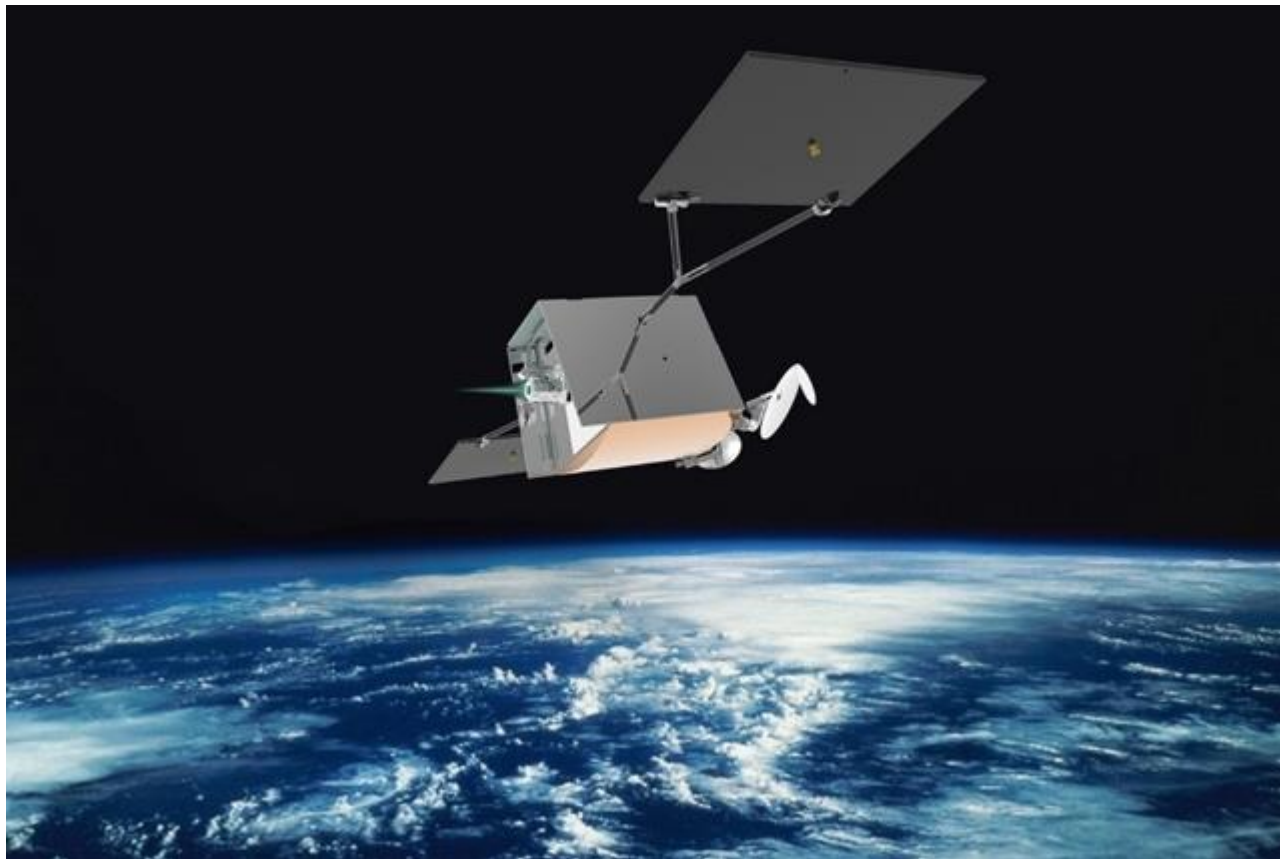
WHY SOLAR

Solar airplanes are a less expensive way to deliver internet than fiber or microwave links. They require less maintenance, and don't need to land as often as traditional aircraft.

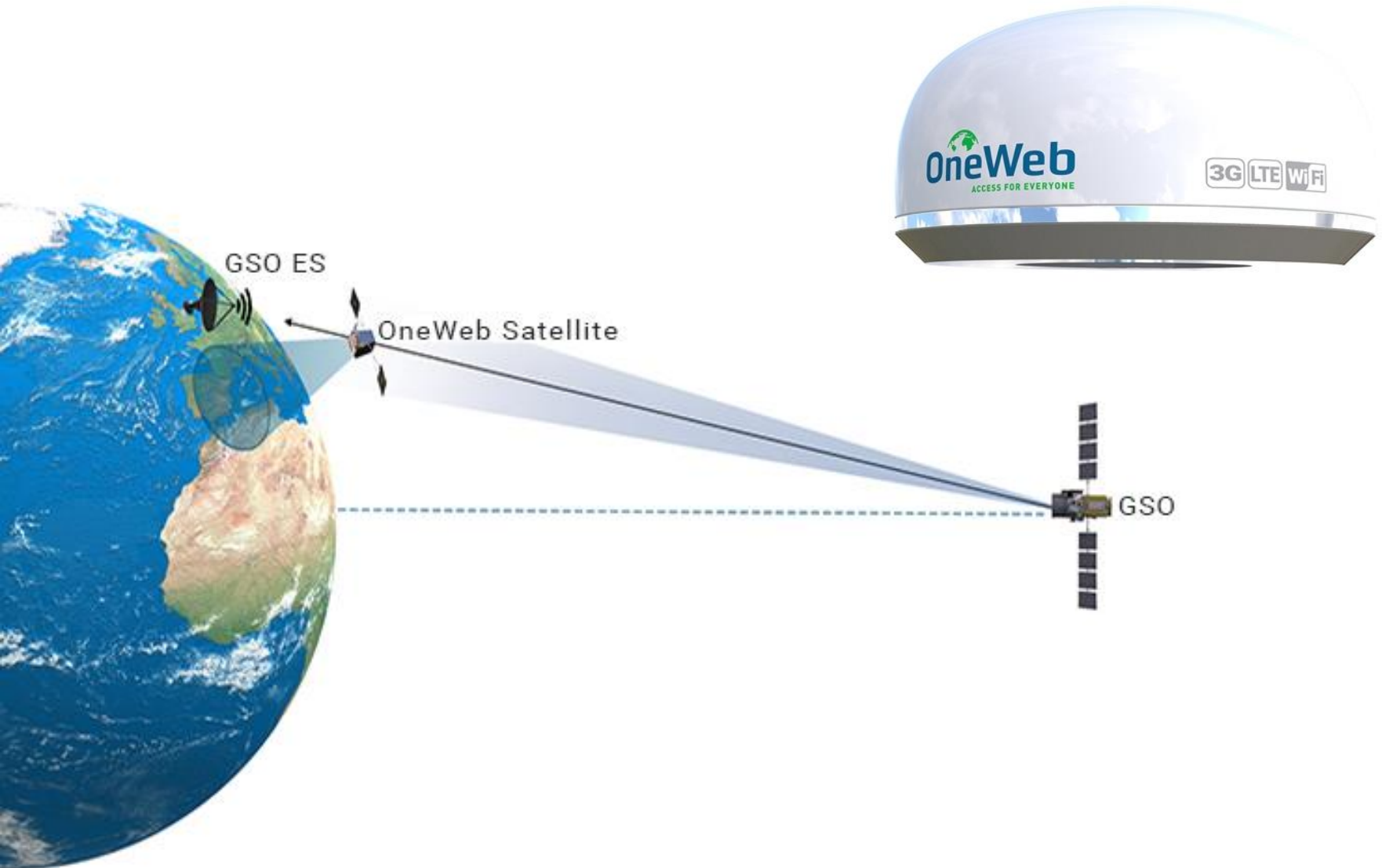
SPEED

Because it's very large, Aquila is very slow. It flies at less than 80 miles per hour. That's the best endurance speed, allowing Aquila to stay aloft for months at a time.

Műholdseregek



OneWeb – 2015



OneWeb – 2020



LEO Constellation



User
Terminals



Ground
Network



Point of
Presence (PoPs)

Peering &
Internet



Műholdszerek

SpaceX – Starlink

HIGH SPEED INTERNET ACCESS ACROSS THE GLOBE

With performance that far surpasses that of traditional satellite internet, and a global network unbounded by ground infrastructure limitations, Starlink will deliver high speed broadband internet to locations where access has been unreliable, expensive, or completely unavailable.

Starlink is targeting service in the Northern U.S. and Canada in 2020, rapidly expanding to near global coverage of the populated world by 2021.



Késleltetés (latency)

- New York – London, kábel: 62,7 ms
- GEO műhold: 240 ms
 - 13000 kilométeres lefedettség
- Starlink műhold: ígéret: 20 ms alatt
 - 500 km-es lefedettség
 - 31ms-os speedtest.net eredmények idén augusztusban

CONFIRMED STARLINK SPEED TESTS

📶 PING ms 31
📶 DOWNLOAD Mbps 50.71
📶 UPLOAD Mbps 14.09

SpaceX Starlink



GO



Frontier
Los Angeles, CA

📶 PING ms 33
📶 DOWNLOAD Mbps 35.49
📶 UPLOAD Mbps 17.70

SpaceX Starlink



GO



Willine Network
Los Angeles, CA

📶 PING ms 42
📶 DOWNLOAD Mbps 44.76
📶 UPLOAD Mbps 15.88

SpaceX Starlink



GO



Spectrum
Los Angeles, CA

📶 PING ms 42
📶 DOWNLOAD Mbps 60.24
📶 UPLOAD Mbps 12.52

SpaceX Starlink



GO



Aerioconnect Ir
Los Angeles, CA

📶 PING ms 53
📶 DOWNLOAD Mbps 45.04
📶 UPLOAD Mbps 6.57

SpaceX Starlink



GO



Aerioconnect Ir
Los Angeles, CA

📶 PING ms 75
📶 DOWNLOAD Mbps 44.80
📶 UPLOAD Mbps 4.58

SpaceX Starlink



GO



Atlantic Metro
Los Angeles, CA

📶 PING ms 94
📶 DOWNLOAD Mbps 43.83
📶 UPLOAD Mbps 17.64

SpaceX Starlink



GO



Frontier
Los Angeles, CA

📶 PING ms 31
📶 DOWNLOAD Mbps 36.72
📶 UPLOAD Mbps 10.82

SpaceX Starlink



GO

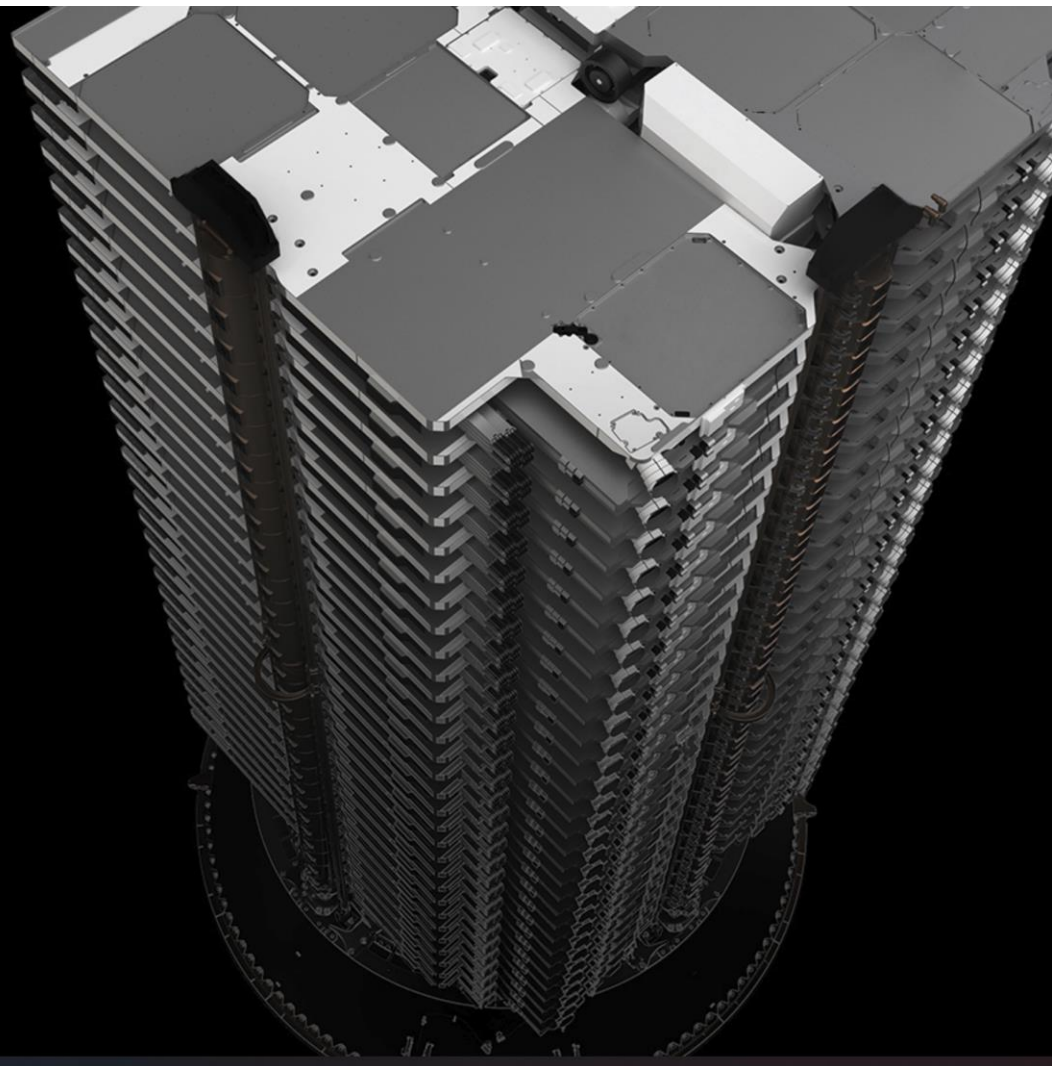


Frontier
Los Angeles, CA

https://www.reddit.com/r/Starlink/comments/i8n1s5/here_is_a_summary_of_the_recently_found_starlink/

LESS MASS, MORE COMPACT

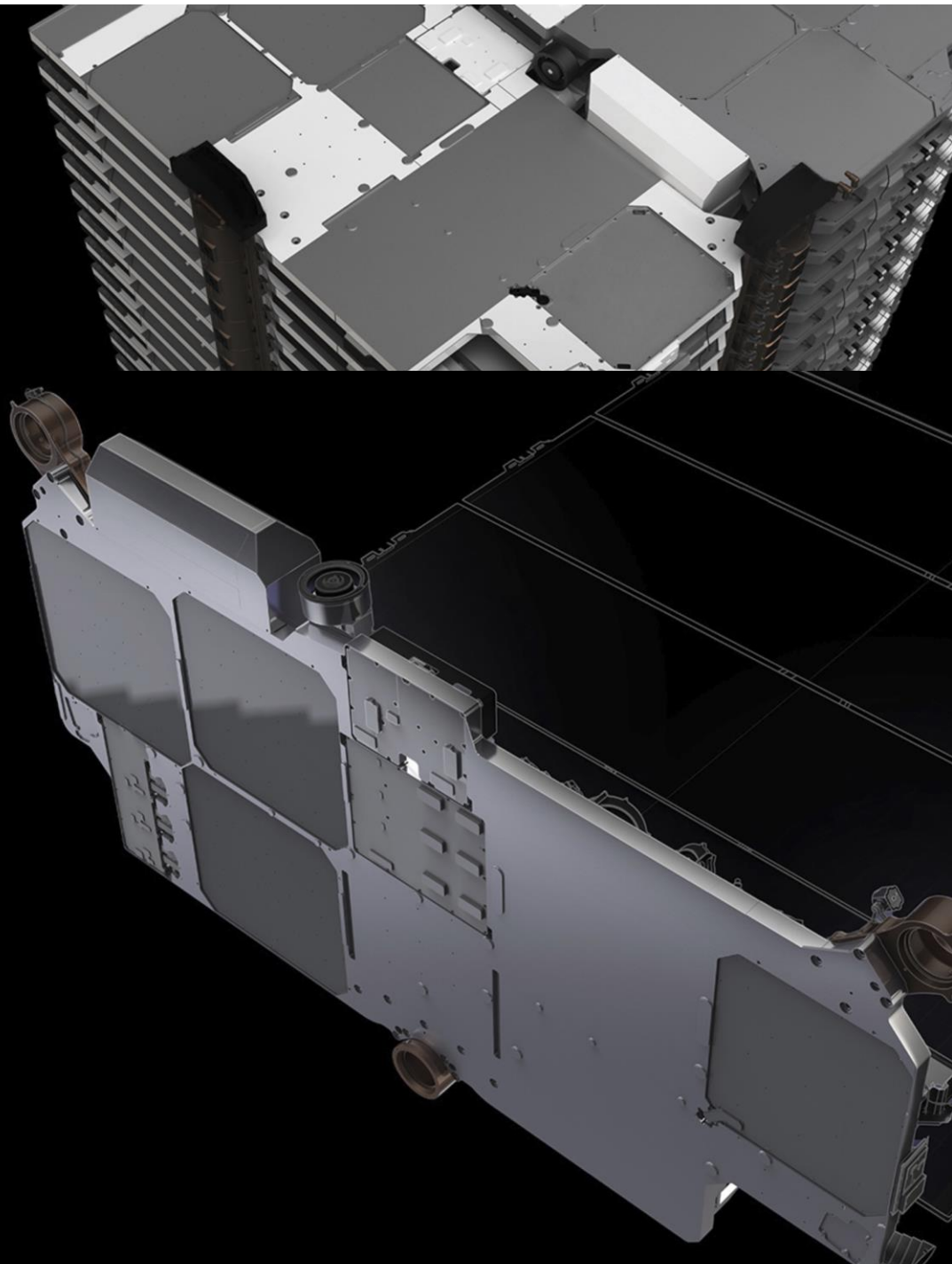
Each satellite weighs approximately 260kg and features a compact, flat-panel design that minimizes volume, allowing for a dense launch stack to take full advantage of the launch capabilities of SpaceX's Falcon 9 rocket.



LESS MASS, MORE

ANTENNAS

With 4 powerful phased array antennas on each satellite, an enormous amount of throughput can be placed and redirected in a short time, for an order of magnitude lower cost.



Starlink Initial Phase

1,584 satellites into 72 orbital planes
of 22 satellites each



Hogyan működik a terminál?

Instructions are simply:

- Plug in socket
- Point at sky

These instructions work in either order. No training required.

(Elon Musk, Twitter, 2020. január 7.)

Európai tervek



European Space Agency




esa

BORDER AND MARITIME SURVEILLANCE

HUMANITARIAN MISSIONS

CRISIS AND DISASTER MANAGEMENT

GOVERNMENTAL SATELLITE COMMUNICATIONS

ARCTIC COMMUNICATIONS

KEY INFRASTRUCTURE MONITORING

Satcom for safety and security

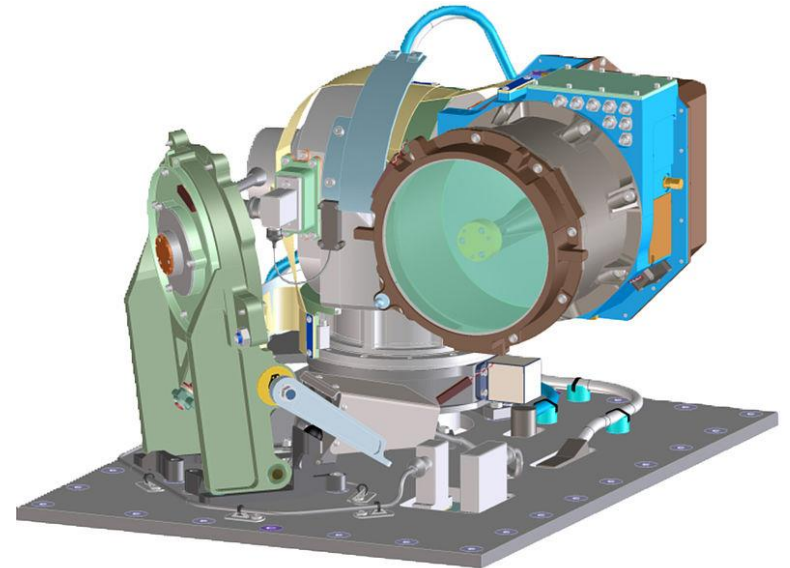
→ Watch video

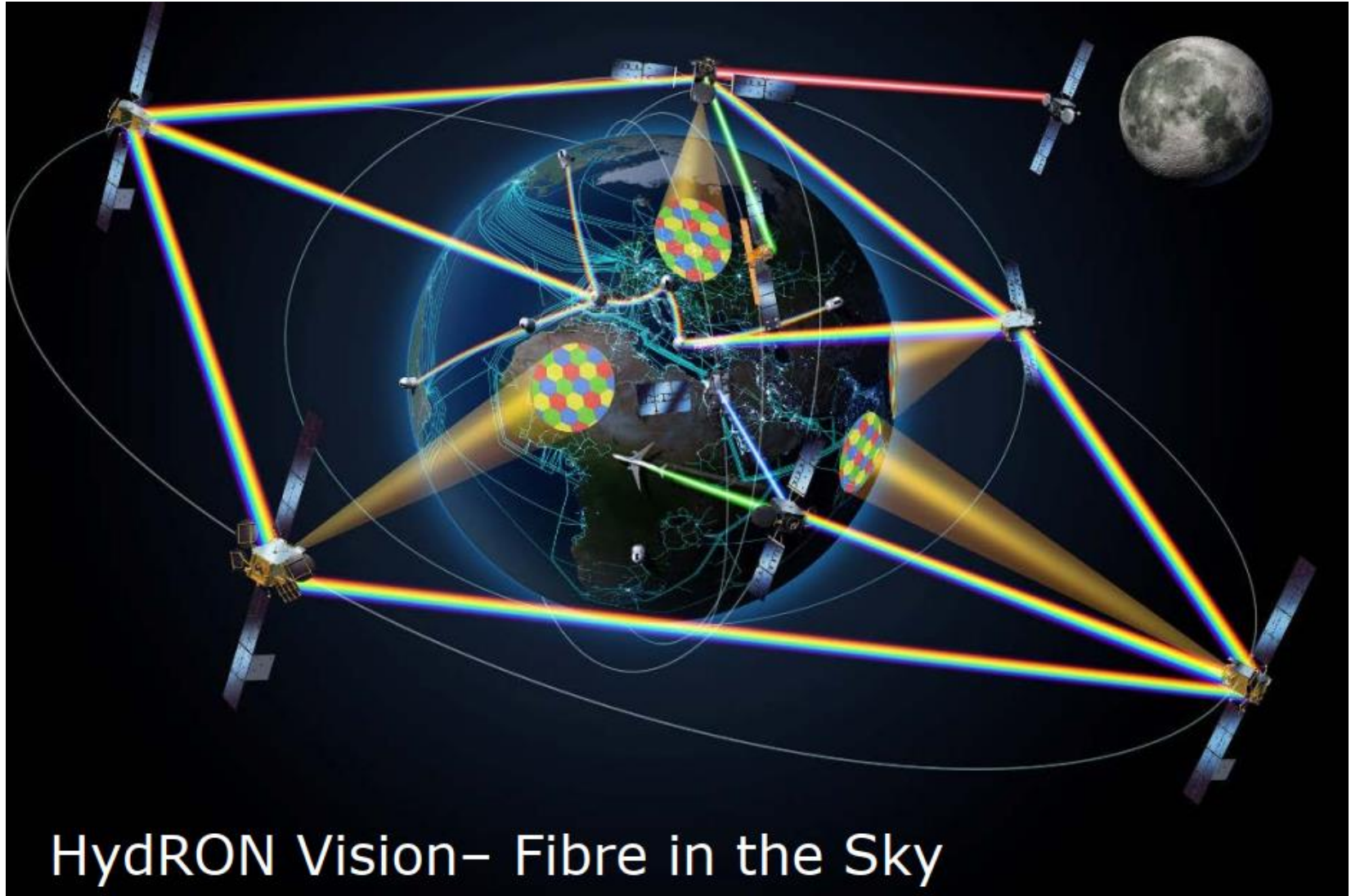
● ● ● ● ● ● ●

ARTES 4.0 PROGRAMCSOPORTOK - VÁLOGATÁS



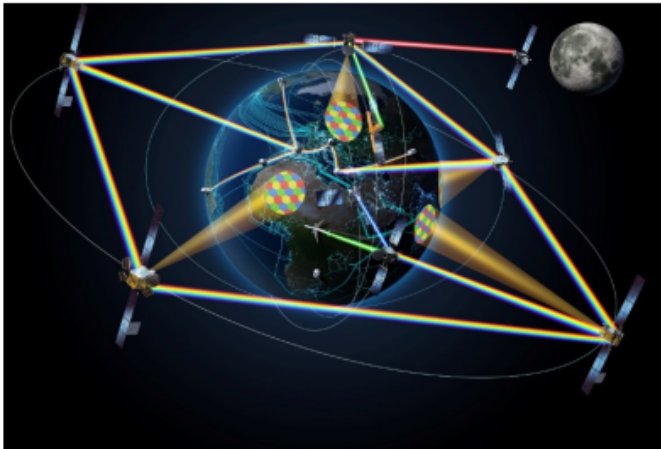
- Motiváció:
 - Nagyságrendekkel magasabb bitráta
 - Szűk nyaláb
 - Kisebb energiaveszteség
 - Kisebb interferencia
- Kihívás:
 - Precíz célzás
 - Lézernyaláb
 - Kereskedelmi húzóerő hiánya





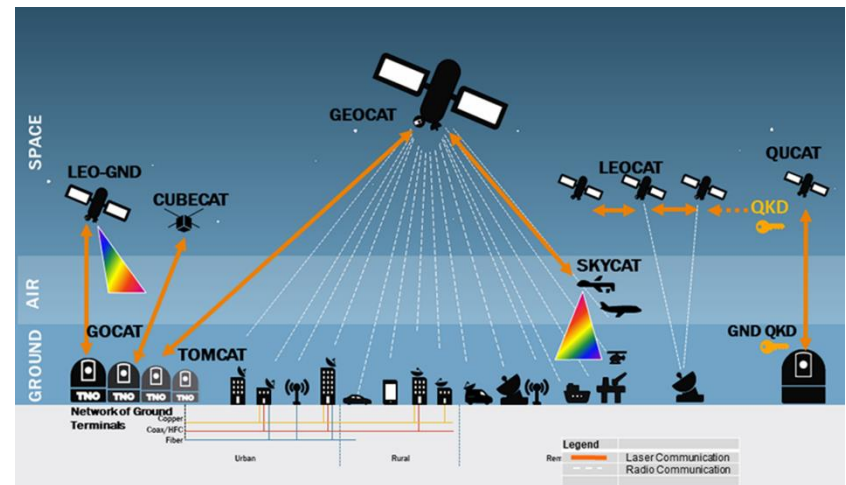
HydRON Project Objectives

- To define the full E2E architecture of the visionary HydRON Mission (HydRON-M) that meets the needs of its identified potential users on the medium/long-term.
- To define and implement a HydRON Demonstration System (HydRON-DS) that allows the demonstration and validation of the essential technologies by European and Canadian industries by 2025-2026.



- ✓ Terabit Space-Ground links and Space-Space links
- ✓ High speed optical / electrical switching
- ✓ Collection and distribution of end user data
- ✓ Terabit Optical Transport Network in Space
- ✓ Seamless integration into terrestrial networks

- HydRON: High Throughput Optical Network
 - Tisztán optikai (nem hibrid)
 - Műholdas és földi rendszerek integrációja
 - Demó 2025-2026-ban
 - Optimalizált
 - Terrabit/másodperc bitsebesség
 - Internet az égben
 - Optikai útválasztók
 - QKD-képes

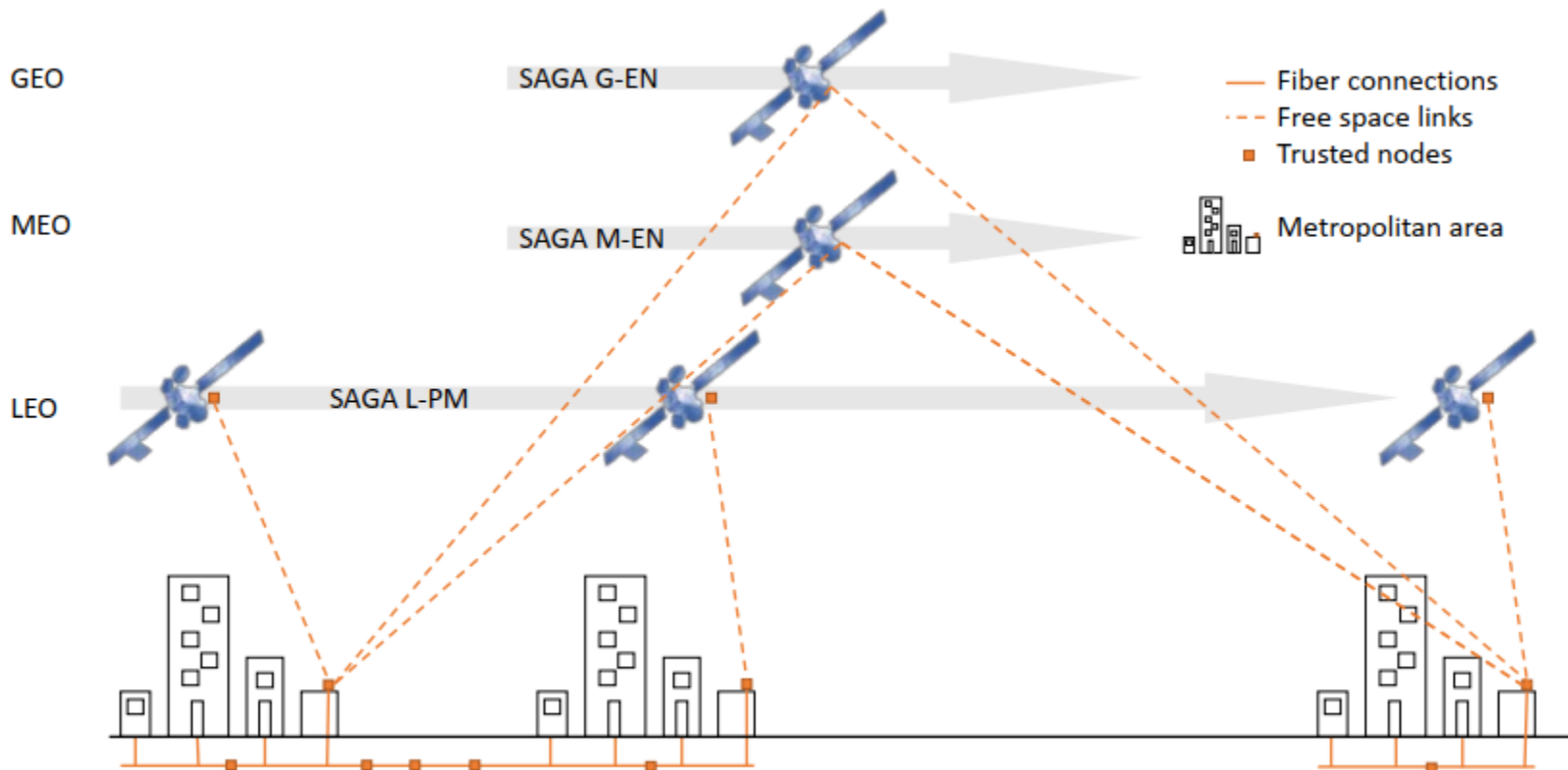


Secure Satcom for Safety and Security (4S)

„driven by the need to adopt high levels of cyber-security and respond to cyber-warfare „

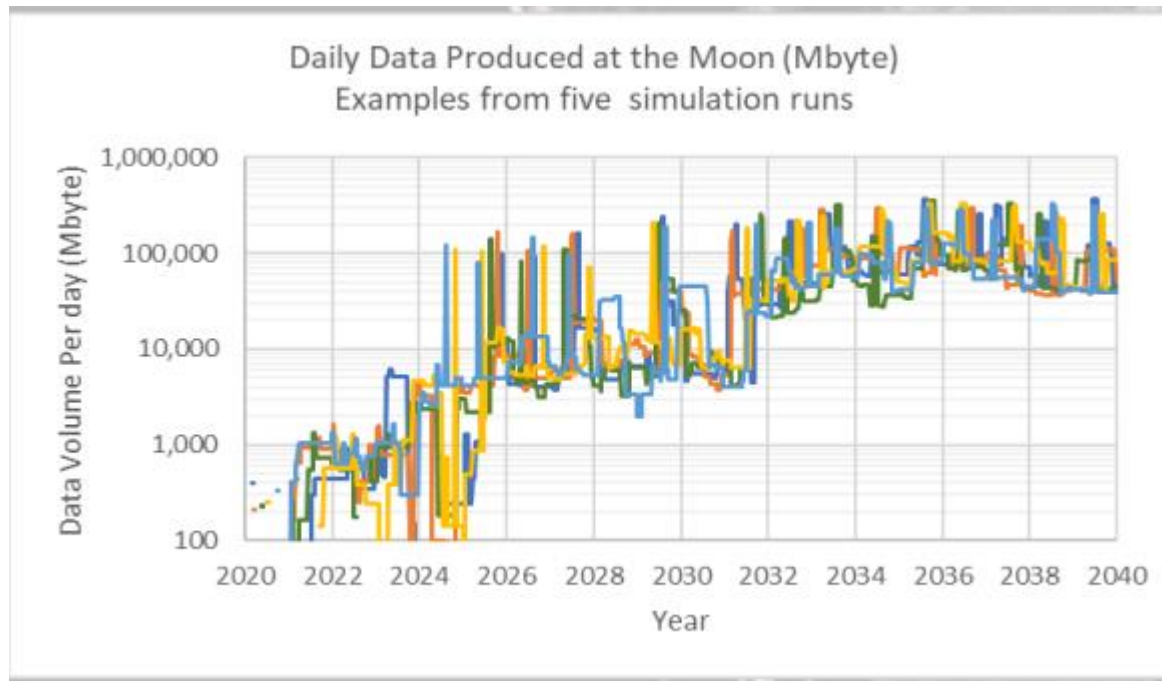


SAGA: SECURITY AND CRYPTOGRAPHIC PROJECT





HOLDI KOMMUNIKÁCIÓ ADATIGÉNYE



Az Európai Űrügynökség több igazgatósága együttműködik a Hold kutatásával kapcsolatos programokban

A távközlési igazgatóság a holdi kommunikációra koncentrál



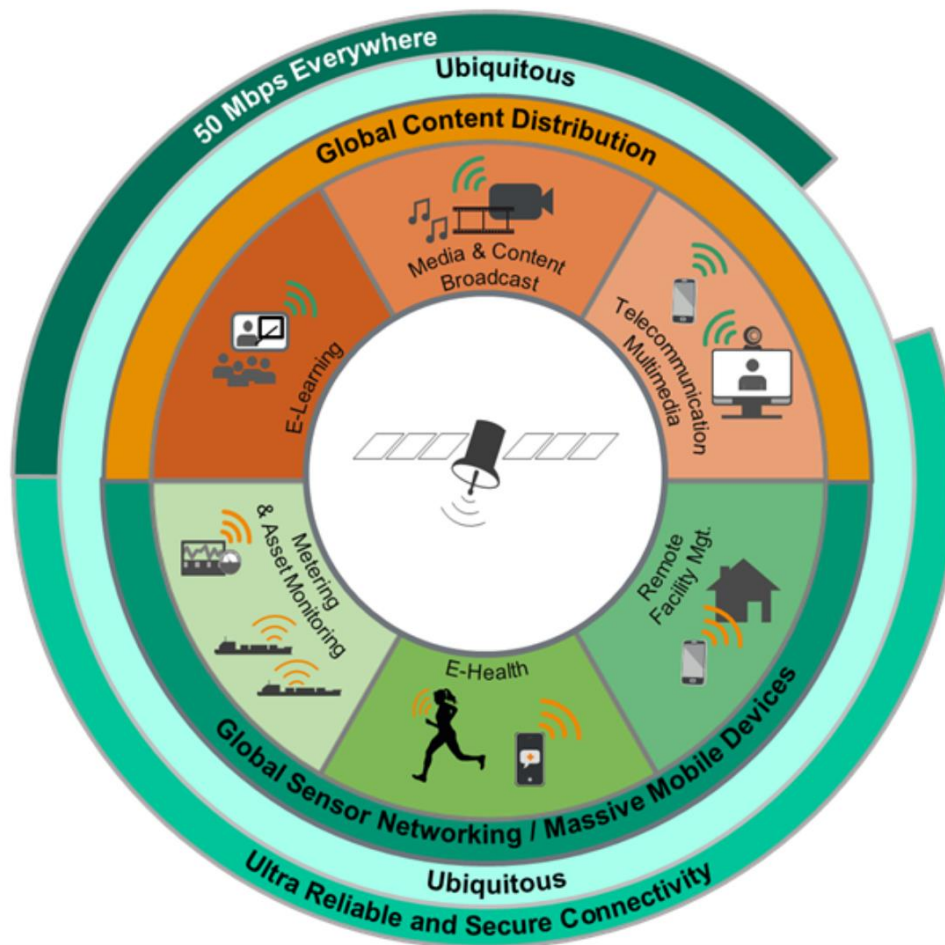
First Lunar relay satellite
communication and
navigation service

Lunar Pathfinder
[launch in Q4 2022]



High-data rate satellite
communications and navigation
constellation

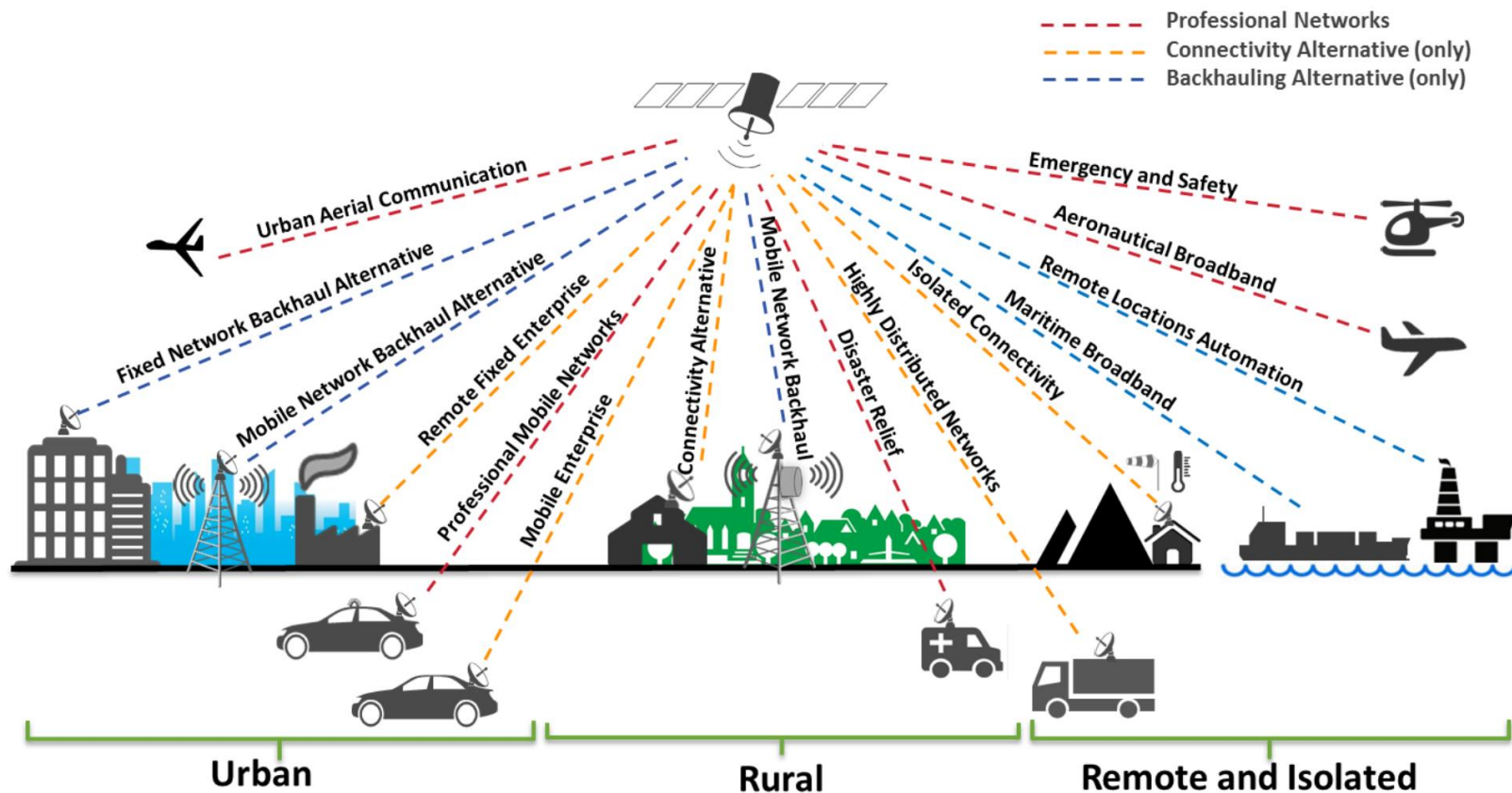
**Lunar Communication and Navigation
Services (LCNS)**



5G exemplary use cases



SATELLITE FOR 5G (2)





Elon Musk ✓ @elonmusk · Oct 22, 2019

Sending this tweet through space via Starlink satellite 🛰️👉

💬 4.6K

↻ 25.7K

❤️ 240.8K



Elon Musk ✓
@elonmusk

Whoa, it worked!!

8:05 AM · Oct 22, 2019 · [Twitter for iPhone](#)

6.4K Retweets **109.3K** Likes



HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK

A legújabb mobilhálózat: 5G (I. rész)

Mobil kommunikációs hálózatok
8. előadás (2020.10.29.)

Előadó: Dr. Mráz Albert, vezetőnküli szakértő
Magyar Telekom

Tananyag: Gódor Győző, Dr. Knapp Ádám, Dr. Mráz Albert
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu

Budapest,
2020. 10. 29.

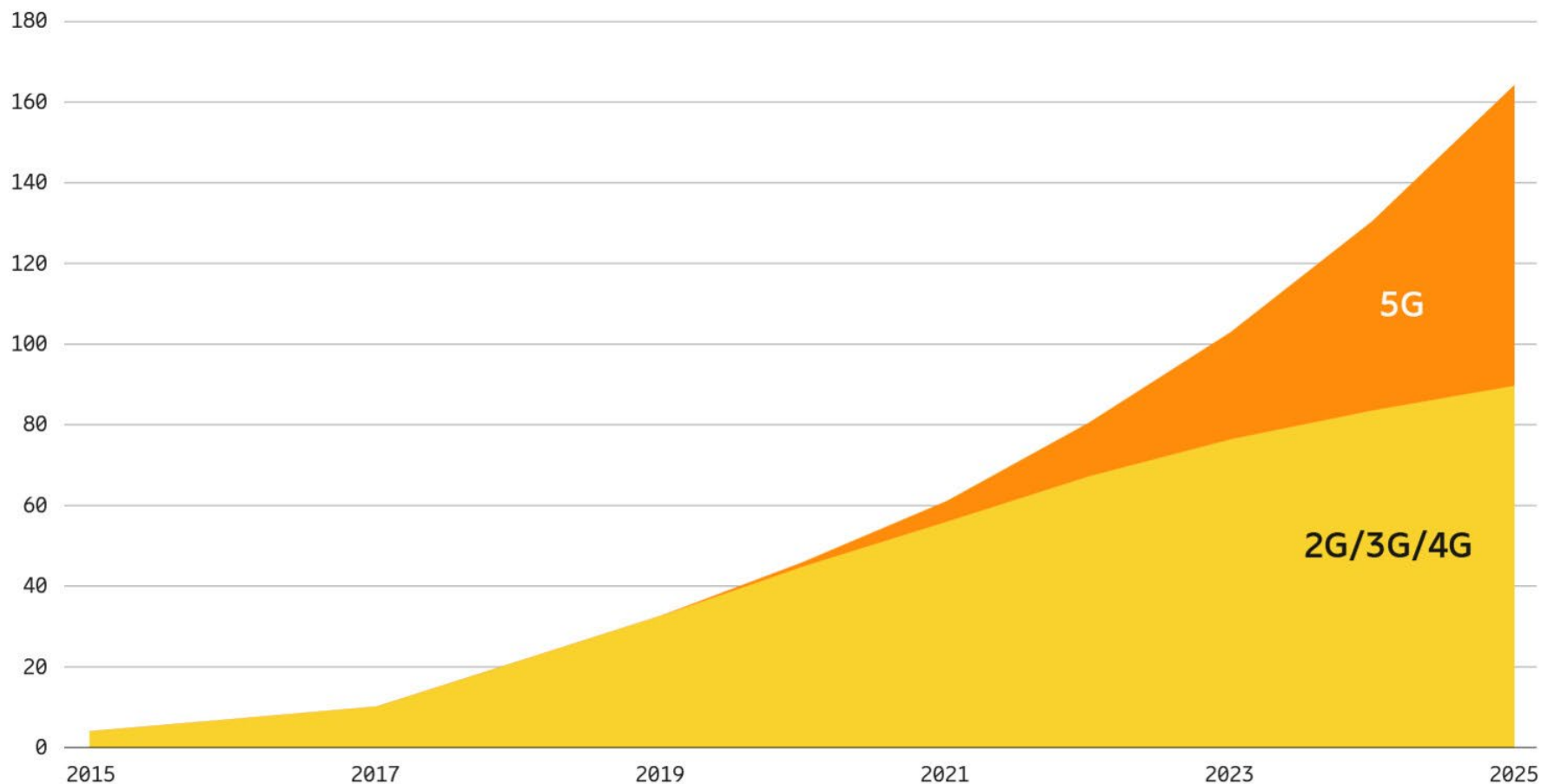


- Miért van szükségünk 5G-re?
 - Motivációk, hajtóerők
 - Mire számíthatunk a közeljövőben?
 - Statisztikák, használati esetek
- 5G követelmények
- Szabványosítás jelenlegi állapota
 - 3GPP 5G architektúra és rádiós interfész
- Technológiai megoldások az 5G-ben
 - Magasabb frekvenciasávok használata
 - Okos antennák, felhő (cloud) RAN, tömeges (massive) MIMO
- 5G Magyarországon



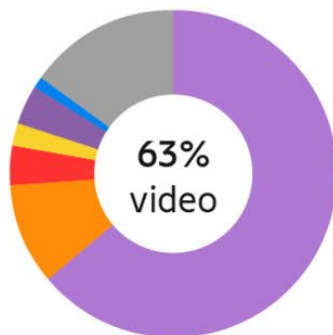
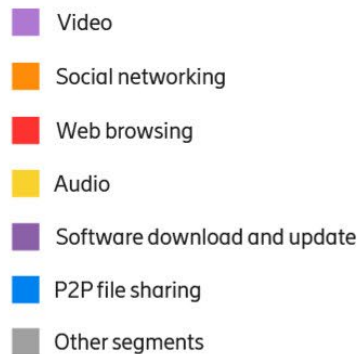
Hajtóerők és motivációk

Forrás: [Ericsson Mobility Report](#), 2020 június

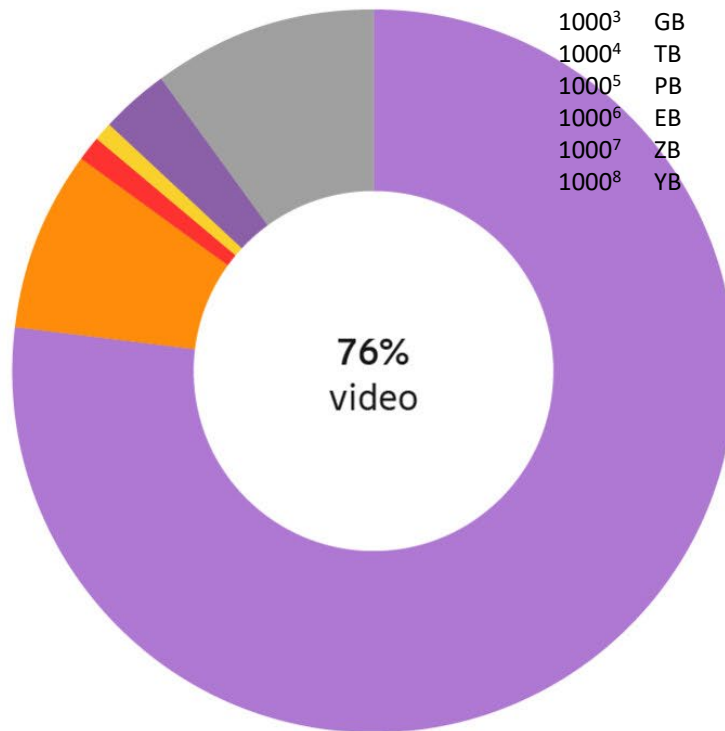


Note: This graph does not include traffic generated by fixed wireless access (FWA) services

Forrás: Ericsson Mobility Report, 2016 November



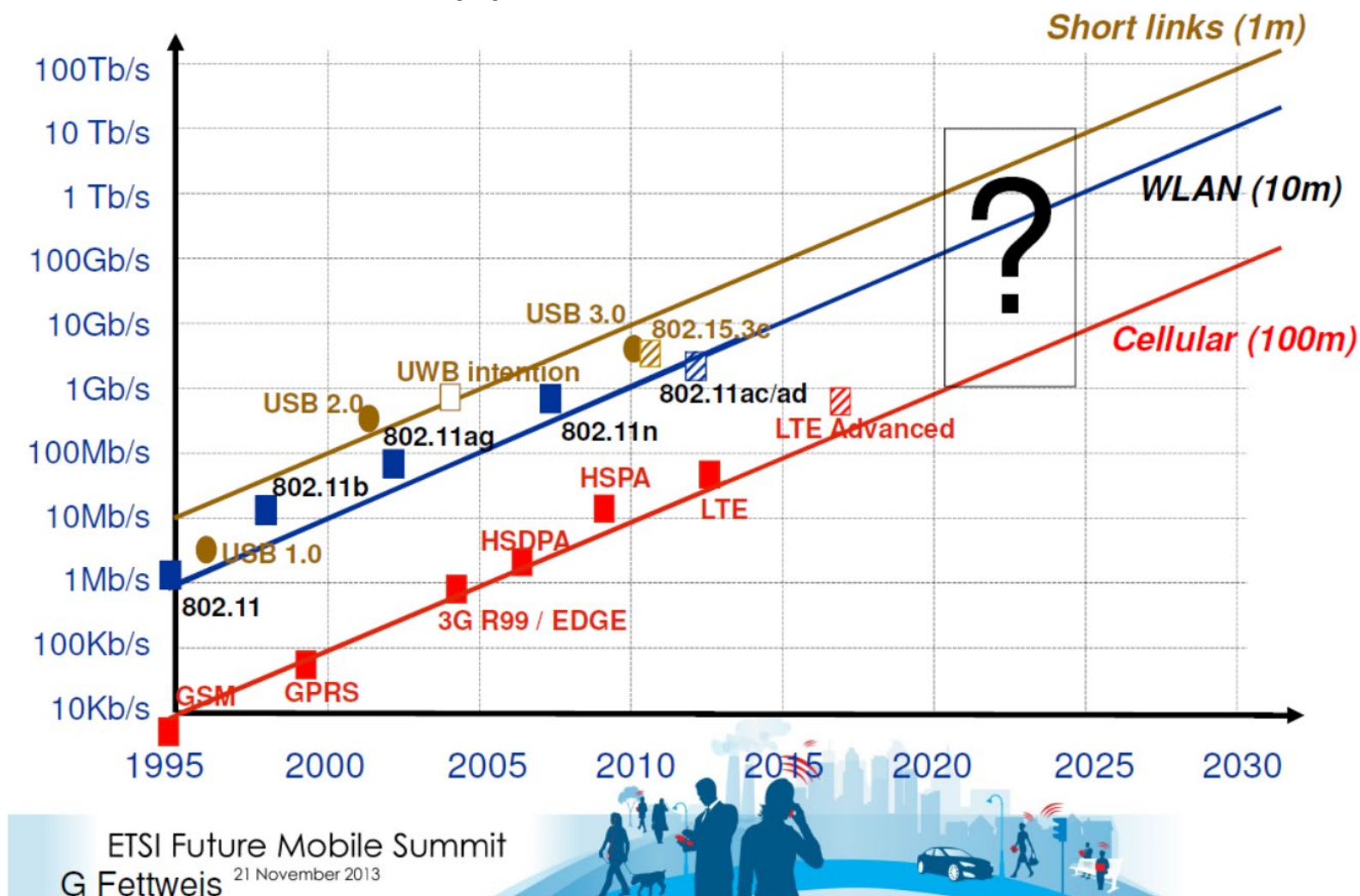
2019
33EB
per month



2025
164EB
per month

Value	Metric	
1	B	byte
1000	kB	kilobyte
1000 ²	MB	megabyte
1000 ³	GB	gigabyte
1000 ⁴	TB	terabyte
1000 ⁵	PB	petabyte
1000 ⁶	EB	exabyte
1000 ⁷	ZB	zettabyte
1000 ⁸	YB	yottabyte

Forrás: ETSI Future Mobile Summit 2013



- Nagy kapacitásigény a sűrűn lakott területeken
 - LTE kis cellák (Release 12)
 - LTE kiscellák ISM sávban (Release 13)
 - További, széles (>1 GHz) allokáció szükséges → új rádiós technológia lehet szükséges.
- Integráció a különféle technológiák közt
- IoT (Internet of Things)
- „Teljes” lefedettség:
 - Az ún. „coverage” sávok a subGHz sávok (700, 800, 900 MHz).
 - Mindhárom nagy szolgáltatónak van belőle.
 - A jelenlegi sávokban az LTE jó → az alap lefedettség LTE marad hosszú távon
- Költséghatékonyság
 - Adat és kontroll elválasztása, minél több funkció megoldása közös IT platformon szoftverben → virtualizáció, felhő



5G szabványosítás jelenlegi állapota, mérőldkövek

- **IMT-2020:**

- International Mobile Telecommunications-2020
- Az ITU-R (ITU Radiocommunication Sector) követelményeket fogalmazott meg az 5G hálózatokkal, készülékekkel és szolgáltatásokkal szemben.
- Genova, 2015 július
- korábban: IMT-2000 – 3G; IMT-Advanced – LTE
- részletes műszaki követelmények meghatározása (2016)
- Cél: azon technológiák definiálása, amik megfelelnek az ITU IMT-2020 rendszer követelményeinek
- Többek között megfogalmazták, hogy a rendszer képes legyen a **20 Gbps csúcs adatsebesség** elérésére
- A szabványosítás befejezése 2020 végére várható

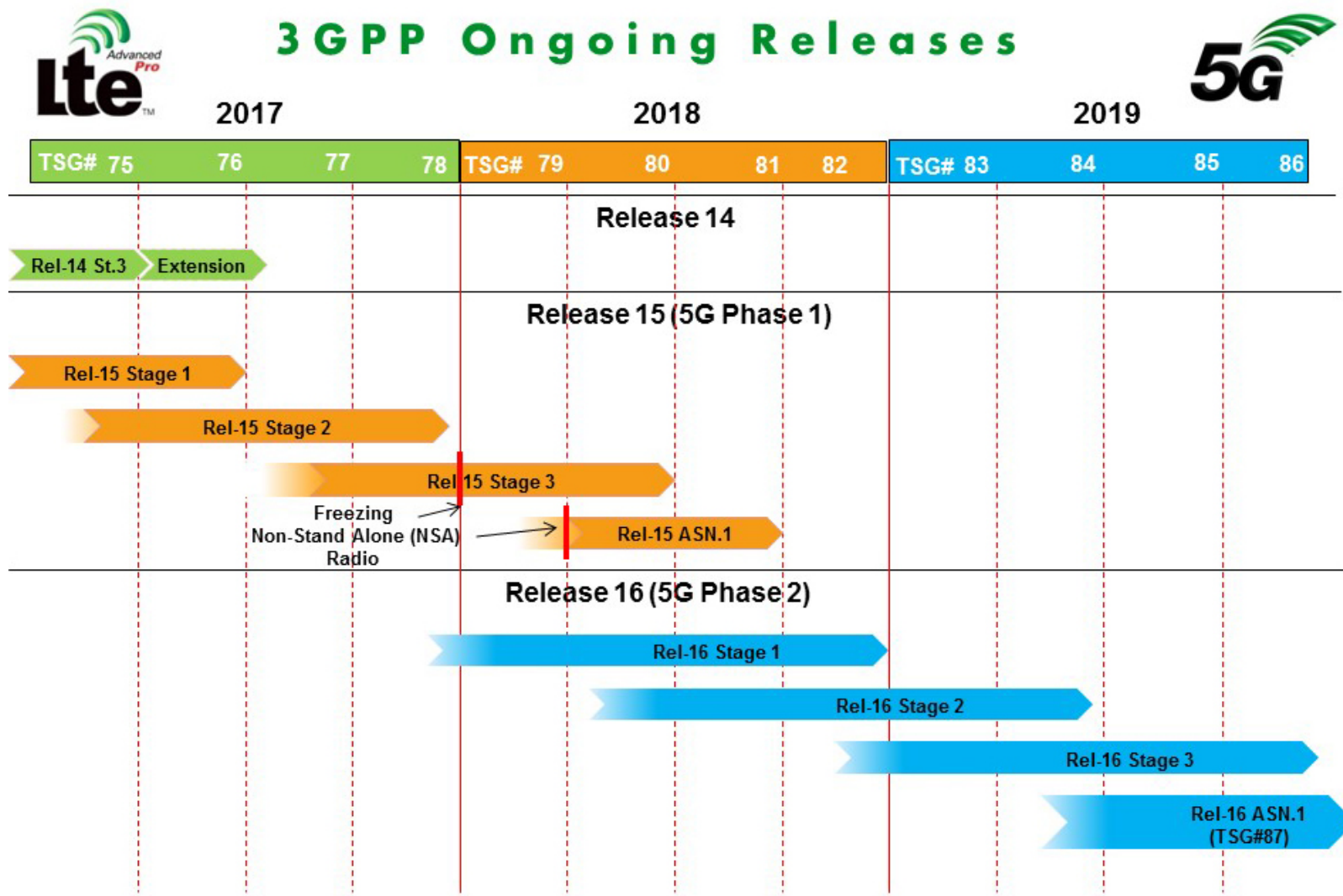
- 3GPP (3rd Generation Partnership Project)
 - Egy partnerségi projekt, amely különböző országok szabványosítási szervezeteit foglalja magába. Eredetileg a 3G (UMTS) szabvány megalkotására hozták létre.
- A 3GPP szabványokat mindig átveszi az ETSI is (Európai Távközlési Szabványügyi Intézet)
- 3GPP-n belül szabványosítják az 5G-t is.
- A 3GPP szabványokról [itt érhető el](#) a legfrissebb információ
- **Az első 5G szabvány a [Release 15](#) volt** (2018-ban került végleges állapotba)
- Új LTE és a HSPA (3G) verziók szabványosítása is folytatódott időközben
 - Az 5G követelmények befolyásolják az LTE-t is



Release 15

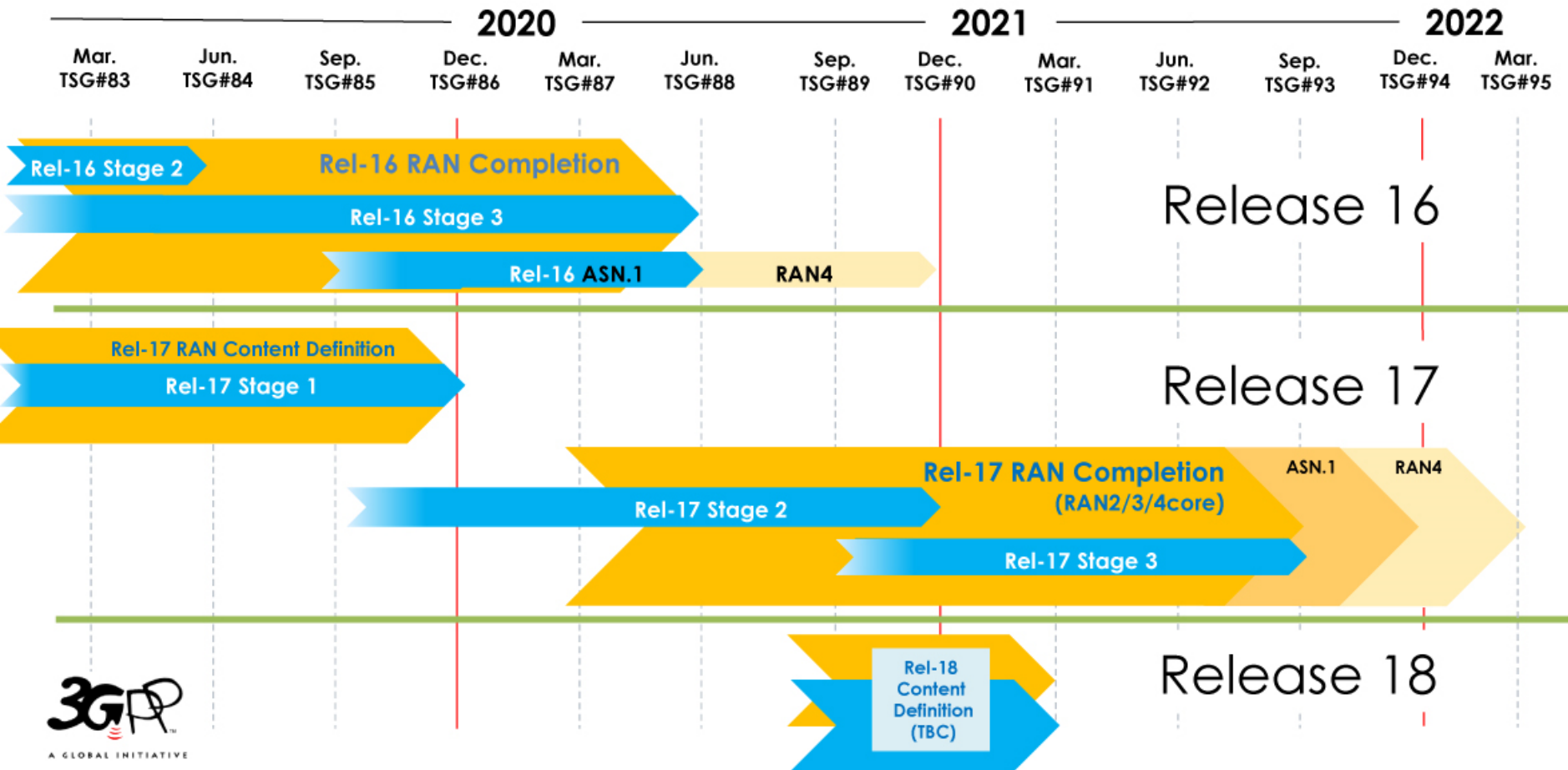
- NR
- The 5G System – Phase 1
- Massive MTC and Internet of Things (IoT)
- Vehicle-to-Everything Communications (V2x) Phase 2
- Mission Critical (MC) interworking with legacy systems
- WLAN and unlicensed spectrum use
- Slicing – logical end-2-end networks
- API Exposure – 3rd party access to 5G services
- Service Based Architecture (SBA)
- Further LTE improvements
- Mobile Communication System for Railways (FRMCS)

3GPP II. VISSZATEKINTÉS KORÁBBI SZABVÁNYOKRA



Forrás: <http://www.3gpp.org/specifications/releases>

3GPP III.: A 2020-AS ÁLLAPOT



Source: 3GPP TSG SA#87e, 17-20 March 2020, e-meeting document SP-200222

© 3GPP 2020

Forrás: <http://www.3gpp.org/specifications/releases>

- 6. generációs WLAN/WiFi integrálva lesz az 5G-be
 - 5. generáció: 802.11ac
 - Helyi hálózati technológia
 - Olcsó, sok gyártó, ISM sávok használata
 - Az 5G rendszerben a forgalom jelentős részét fogja továbbítani
 - 6. generáció: 802.11ad/ax
- IETF
 - Az internet protokollokért felelős szabványosítási szervezet
 - A 3GPP átvesz szabványokat vagy együttműködik azok kidolgozásában az IETF-fel



5G forgatókönyvek és követelmények

- Nagy felhasználó-sűrűség,
széles sávú szolgáltatások
 - videó átvitel
 - személy-személy,
személycsoport videó
megosztás, nagyon nagy
felbontással, fejkamerák, 3D
sebesség és videóátvitel
igénye
 - videó/fotómegosztás
stadionban/koncerten/nagy
tömeget vonzó eseményen/ről
 - több tízezer kapcsolat/km²



- Nagy felhasználó-sűrűség, széles sávú szolgáltatások
 - okos iroda
 - több száz egyidejű kapcsolathoz nagy adatmennyiség, feldolgozási sebesség és videó
 - táv-jelenlét, videokonferencia
 - játék, videójáték, AR, VR (Augmented Reality, Virtual Reality)
 - szolgáltató által nyújtott felhő szolgáltatások
 - felhő szolgáltatások elérése

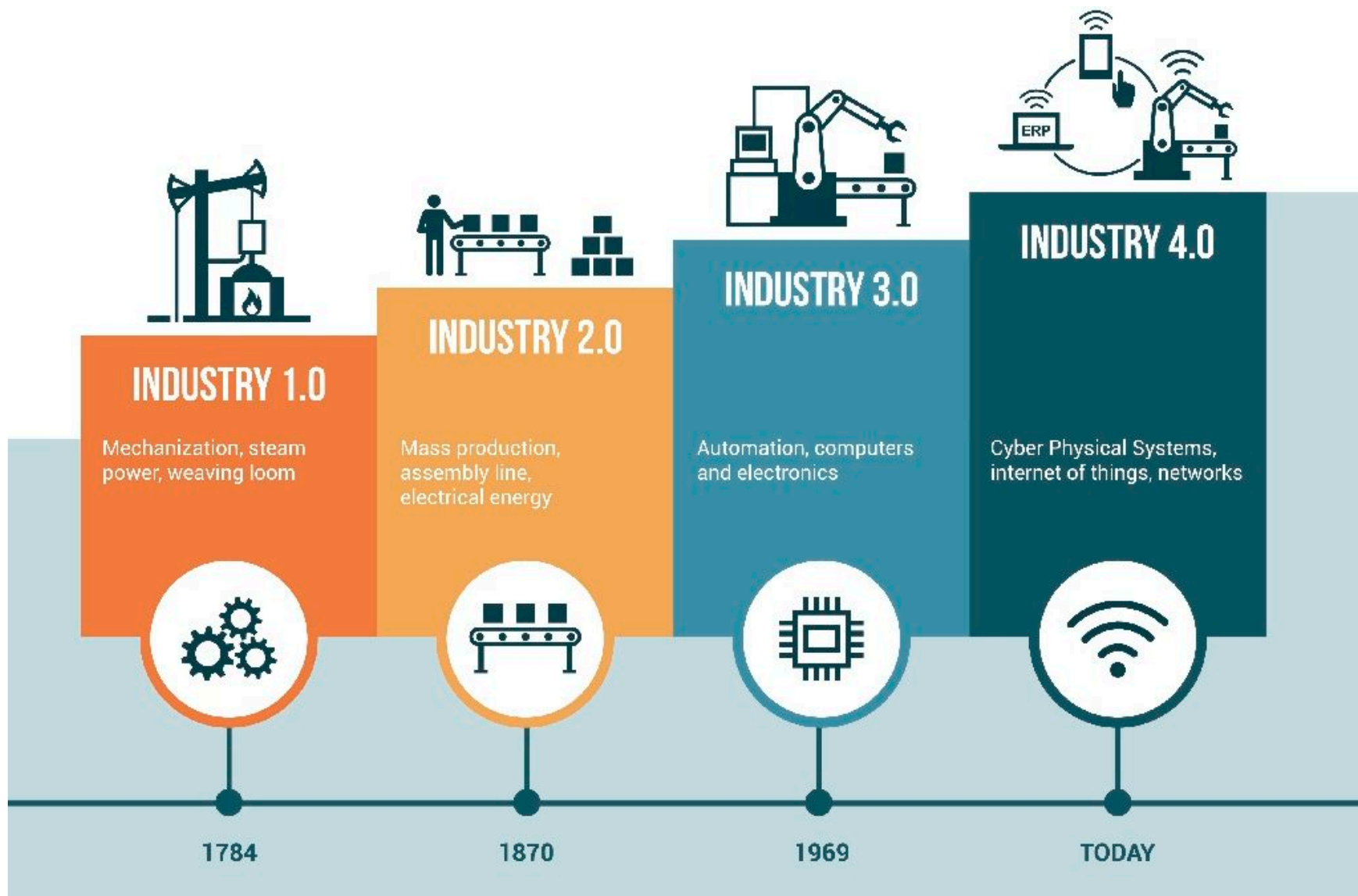


- Széles sáv mindenhol
 - 50+ Mbps lefedettség
 - min érték, cella szélén is
 - ultra-olcsó hálózatok
 - megéri kiépíteni bárhol (?)
- Felhasználói mobilitás
 - nagysebességű vonat
 - 500 km/h, több száz kapcsolat
 - mobil hotspot, mozgó hálózat
 - tömegközlekedés
 - távoli számítások (remote computing)
 - közlekedési eszközökhöz rendelt, vagy közlekedés közben végzett
 - 3D connectivity
 - légi járművek, drónok, ejtőernyősök

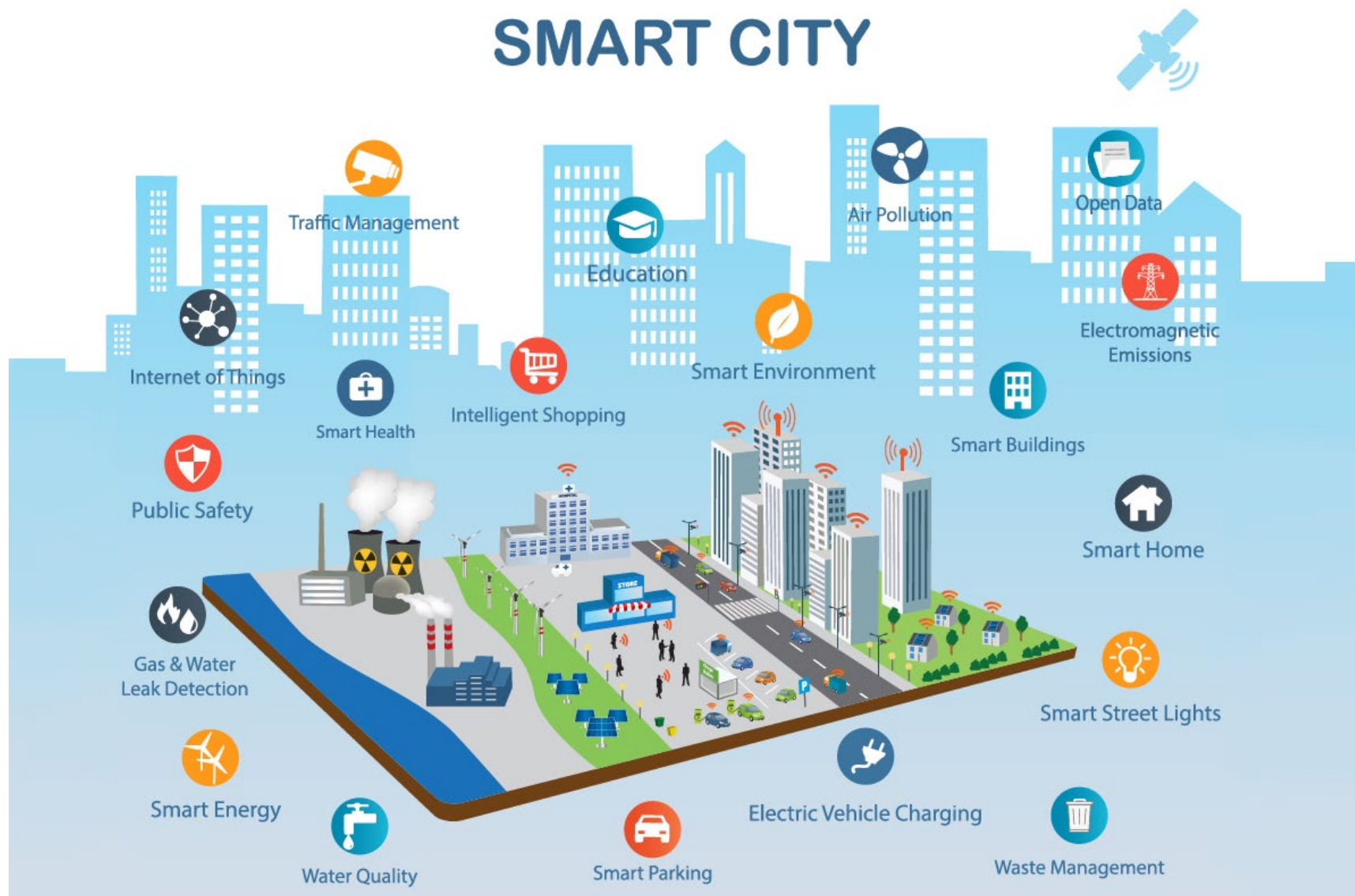
- Nagyon nagy tömegű dolgok internete (IoT)
 - M2M, MTC, MassiveMTC
 - testen viselt okoseszközök, ruhák
 - egészségügyi, sport, fitness
 - szenzorhálózatok
 - városi infrastruktúra, okos város, közművek, közlekedési alkalmazások
 - kritikus infrastruktúrák hálózata
 - (mobil) videó felügyeleti rendszerek
 - autóiipari alkalmazások, járműveken „infotainment” és kontroll, járművek közti információcsere, ütközés-detektálás stb., intelligens közlekedési rendszerek
- Sokan: 5G lehetővé teszi az IoT-ot
 - valójában: az IoT történik
 - az 5G kifejlesztését/elterjedését erősen motiválja
 - az IoT lehetővé teszi az 5G-t
 - sokan az 5G egyik fő üzleti motivációját látják az IoT-ben

- (Extrém) valós idejű alkalmazások
 - „tapintható” (tactile) internet
 - valós idejű távirányítás, távmedicina
 - 1ms alatti késleltetés
- Katasztrófavédelmi alkalmazások
 - küldetés-kritikus beszédátvitel
 - széles sávú adat/videó
 - gyorsan telepíthető szolgáltatás
- PSTN szerep
- Kontextus- és helyfüggő szolgáltatások
 - a hálózat által nyújtott
 - törekvés arra, hogy a mobil szolgáltató tartalomszolgáltatóvá is váljon

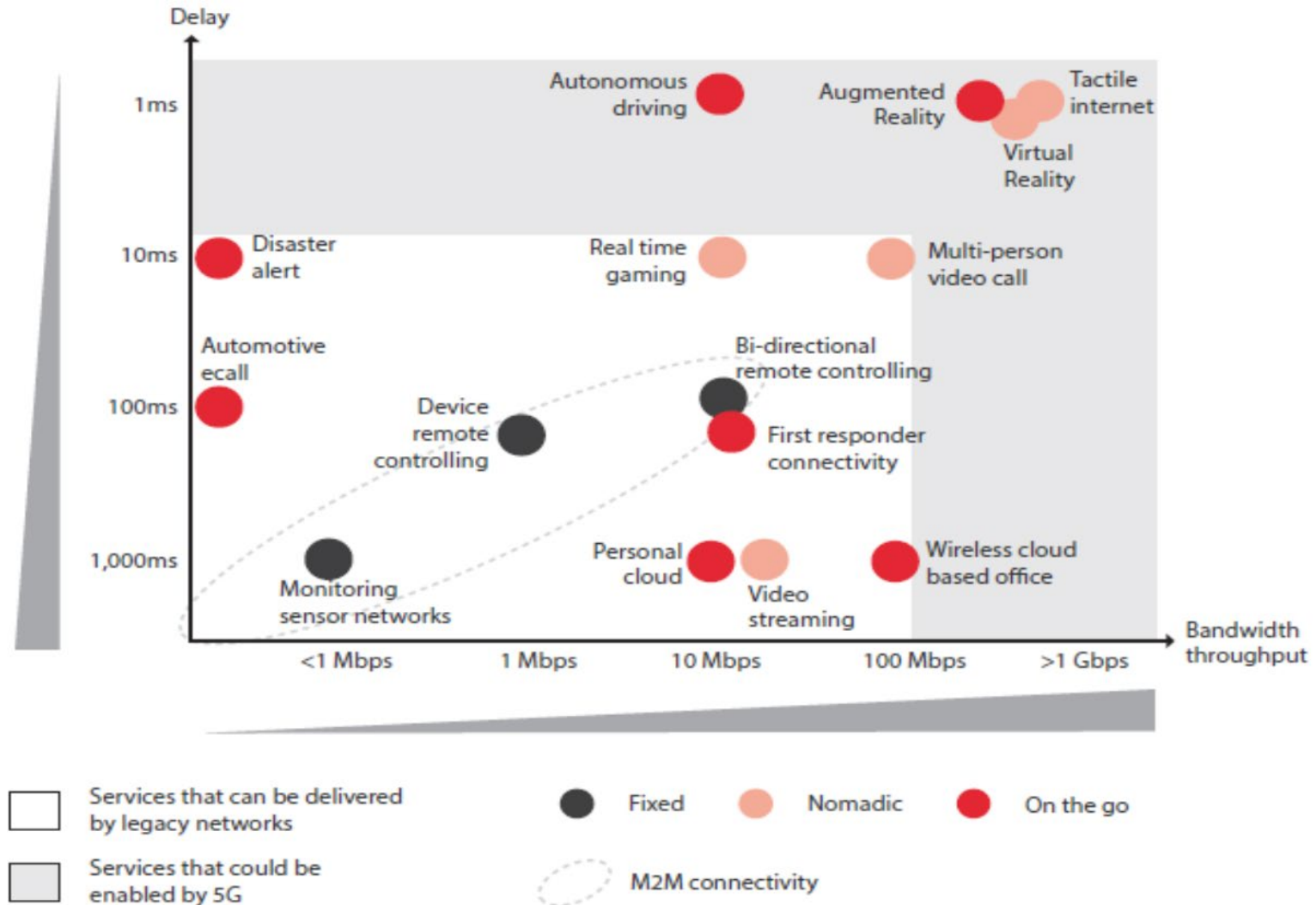
- Ultra nagy megbízhatóság
 - társul az 1ms alatti késleltetés-igénnyel
 - automatizált közlekedésirányítás, önjáró járművek vezérlése
 - együttműködő robotok vezérlő hálózata
 - különböző környezetekben, különböző funkciójú automaták vezérlése
 - egészségügyi alkalmazások
 - monitorozás, beavatkozás
 - távirányítás, drónok
 - készenléti szervek
- Broadcast-szerű szolgáltatások
 - hírek, események: videó, kép, szöveg
 - helyi, regionális, nemzeti



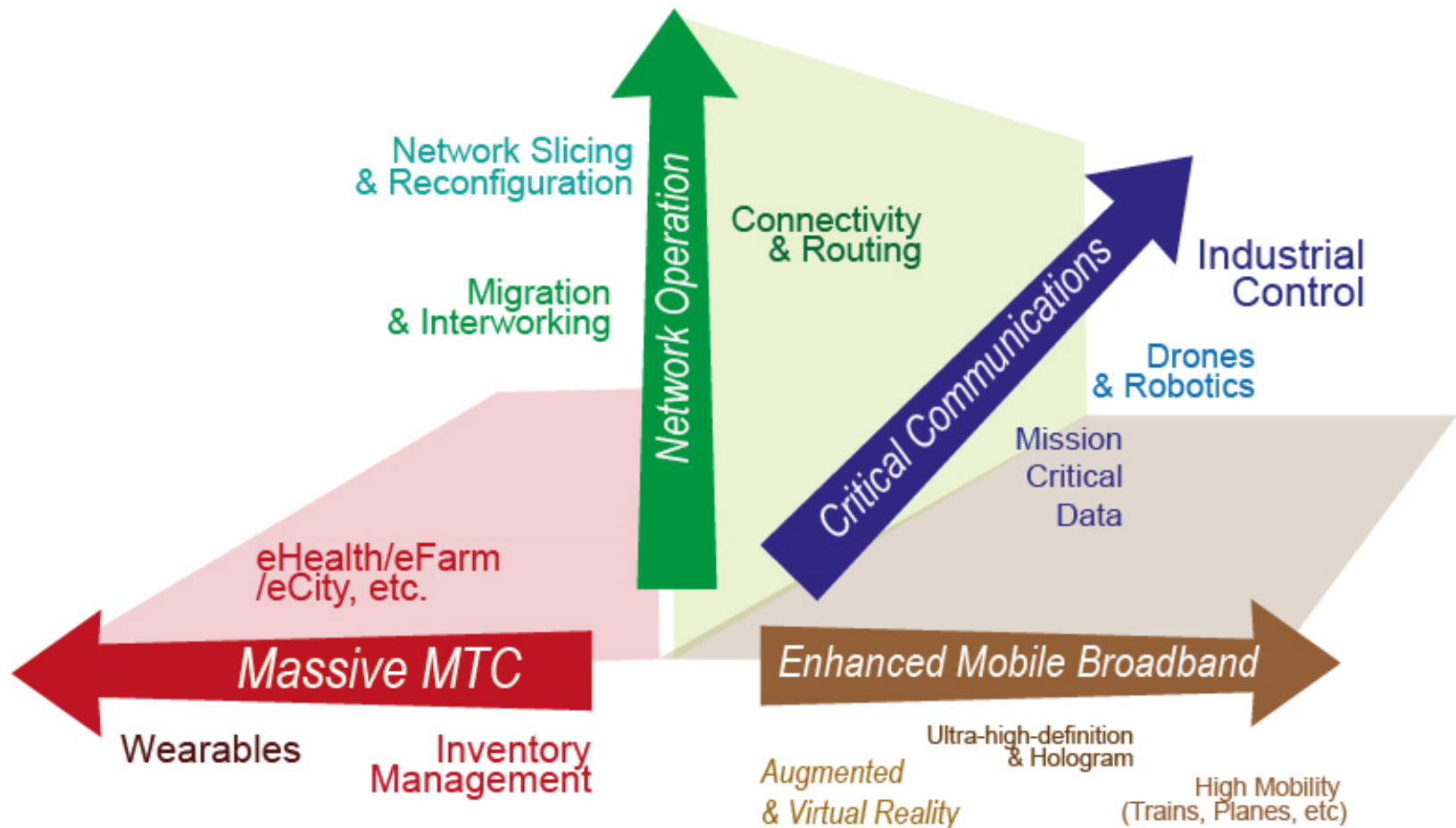
SMART CITY



Forrás: www.gsma.com/network2020/understanding-5g/



Forrás: SA1 completes its study into 5G requirements,
http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1786-5g_reqs_sa1



KÖVETELMÉNYEK – 3GPP

- Forrás: 5G service requirements (TS22.261), http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1831-sa1_5g
- 3GPP 5G követelmények megfelelnek vagy még erősebbek, mint az ITU IMT-2020 követelményei

Felhasználói adatsebesség	DL: 100 Mbps – 1 Gbps UL: 50 Mbps – 500 Mbps
Max. adatsebesség	DL: 20 Gbps UL: 10 Gbps
Max. spektrális hatékonyság	DL: 30 bit/s/Hz UL: 15 bit/s/Hz
Sávszélesség	100 MHz – 1 GHz
Mobilitás	500 km/h-ig
Késleltetés	URLLC: 0,5 ms (rádiós interfészen) eMBB: 4 ms (rádiós interfészen)
Kapcsolat sűrűség	250 000 felhasználó/km ²
Energia hatékonyság	100x IMT-Advanced
Területi forgalmi kapacitás	15 Mbps/m ²



5G frekvenciasávok

5G FREKVENCIASÁVOK I.

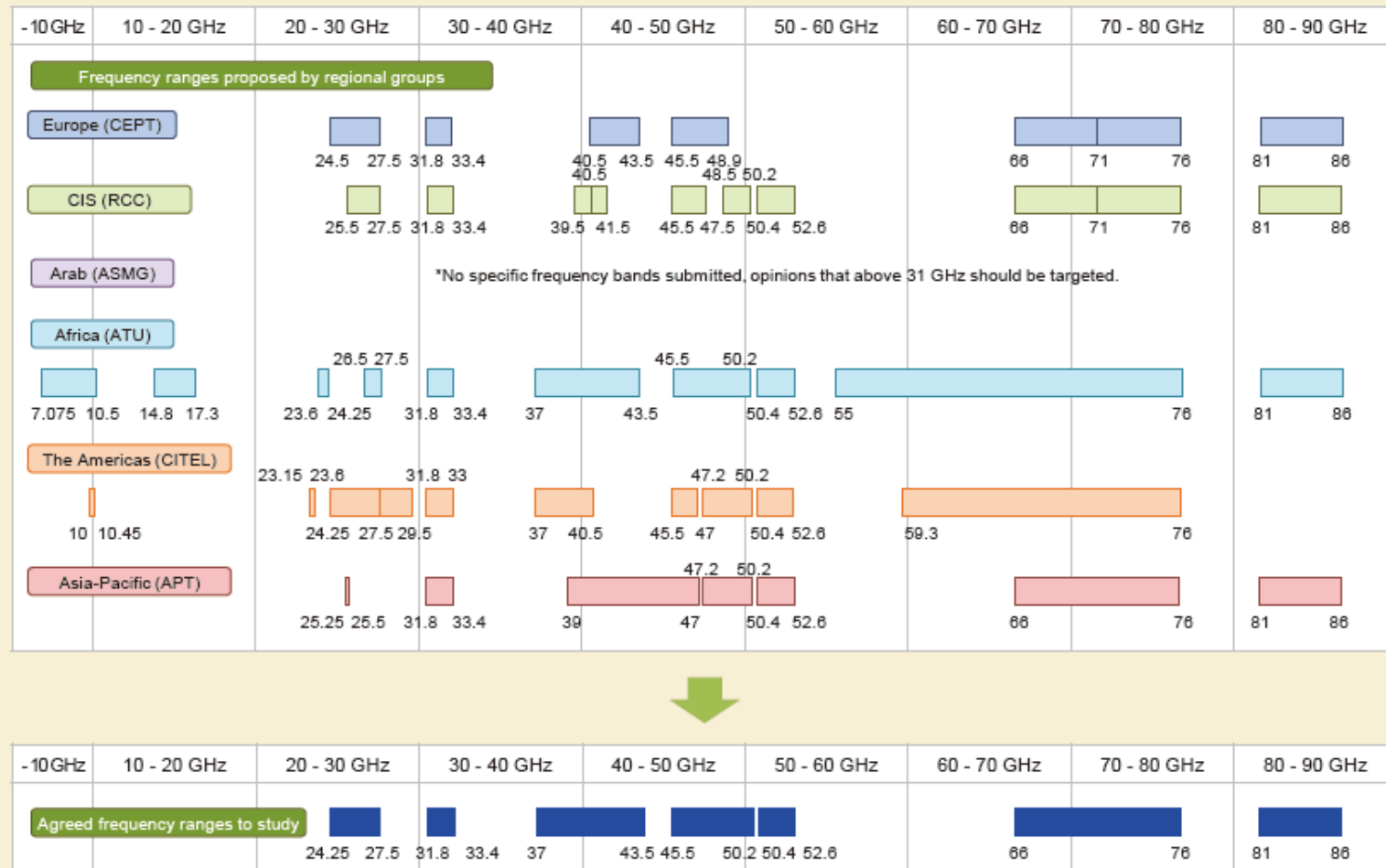
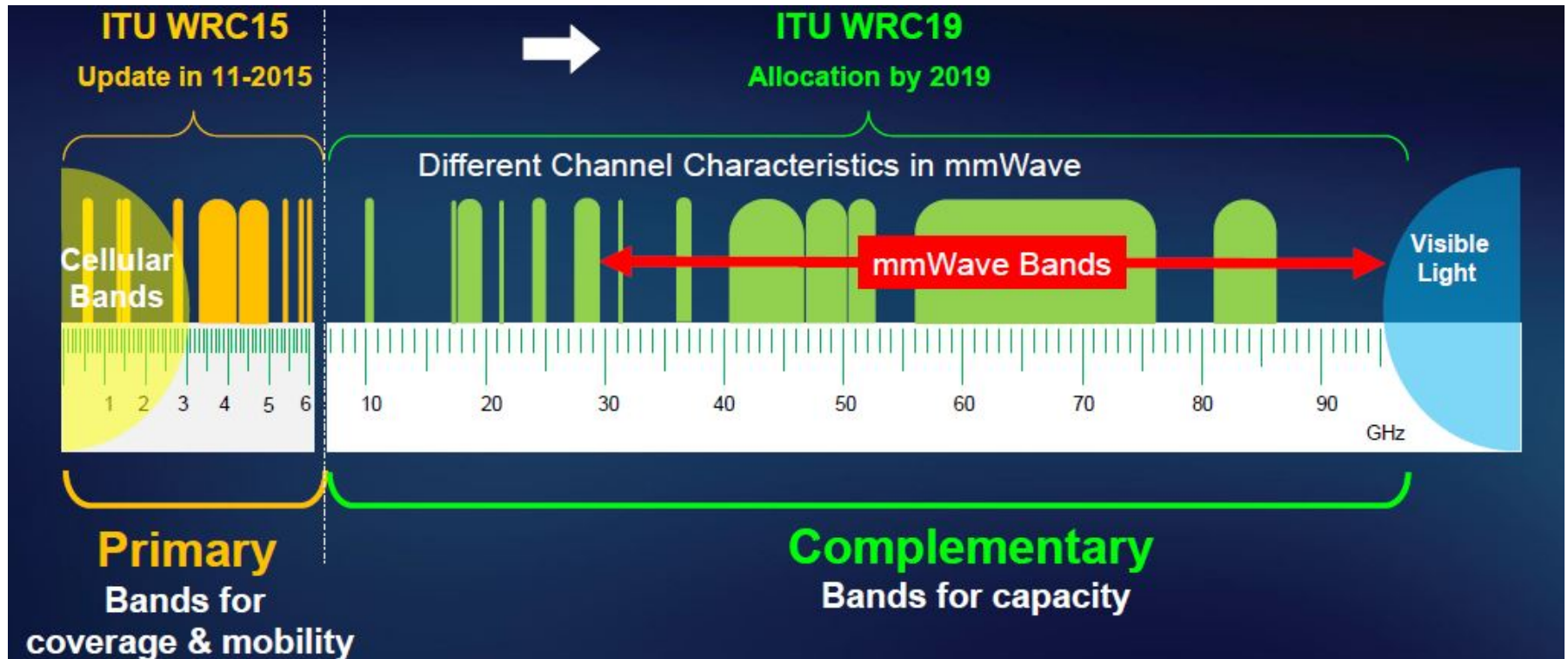


Figure 2 Frequency ranges to study for IMT Identification in WRC-19

Forrás: <https://www.quora.com/What-will-be-the-frequencies-for-5G-and-which-antennas-are-used-in-mobile-for-5G>

- 5G NR két tartományban fog üzemelni:
 - sub-6 GHz: 6 GHz alatt (450 MHz – 6 GHz)
 - mmWave: 6 GHz felett (24250 MHz – 52600 MHz)



Forrás: <https://www.linkedin.com/pulse/5g-nr-numerology-ray-khastur>

- **sub-6 GHz** frekvenciasávok 6 GHz alatt (450 MHz–6 GHz):
 - a maximális sáv szélesség 100 MHz;
 - alvivő távolság jellemzően 15 illetve 30 kHz lehet, de a 60 kHz is engedélyezett.
- **mmWave** frekvenciasávok 6 GHz felett (24 250 MHz - 52 600 MHz):
 - a maximális sáv szélesség 400 MHz;
 - alvivő távolság 60 illetve 120 kHz lehet.

ALVIVŐ TÁVOLSÁGOK AZ 5G FREKVENCIASÁVOKBAN

R4-170xxxx	2GHz	2.5GHz	3.5GHz	6GHz	24GHz	43.5GHz	52.3GHz
Qualcomm (1797)	15k, 30k, 60k					120k, 240k	
Nokia (0724)	15k						
		30k					
			60k				
				120k			
				240k			
Ericsson (1166)	15k, 30k, 60k				60k, 120k, 240k, 480k (*)		
Huawei (1314)	15k, 30k, 60k						
Intel (2031)	15k, 30k, 60k					60k, 120k	

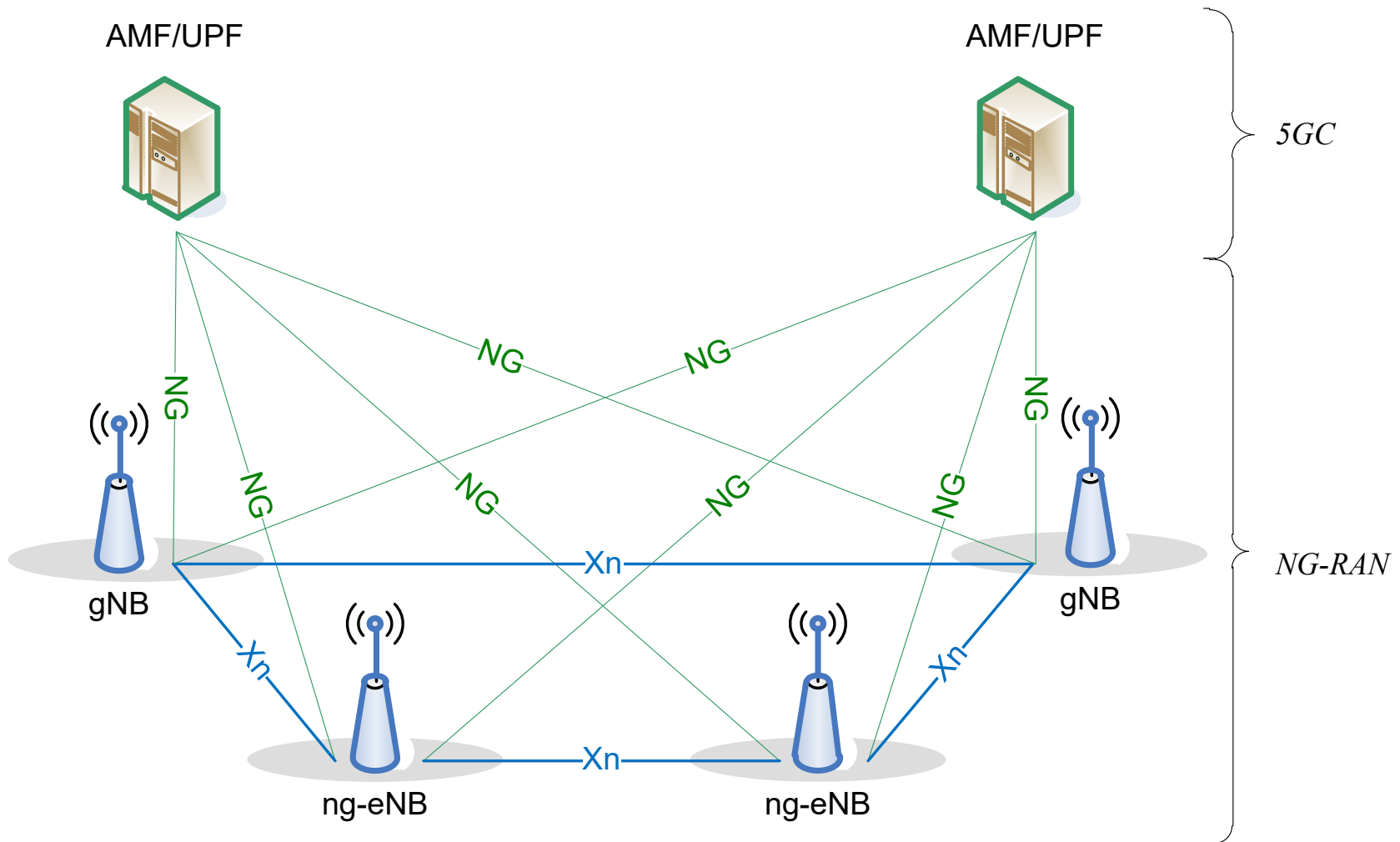
* These are a set of possibilities, not proposals. Final set will depend on evaluations 480k should not be precluded at this stage.

Forrás: <https://www.linkedin.com/pulse/5g-nr-numerology-ray-khastur>



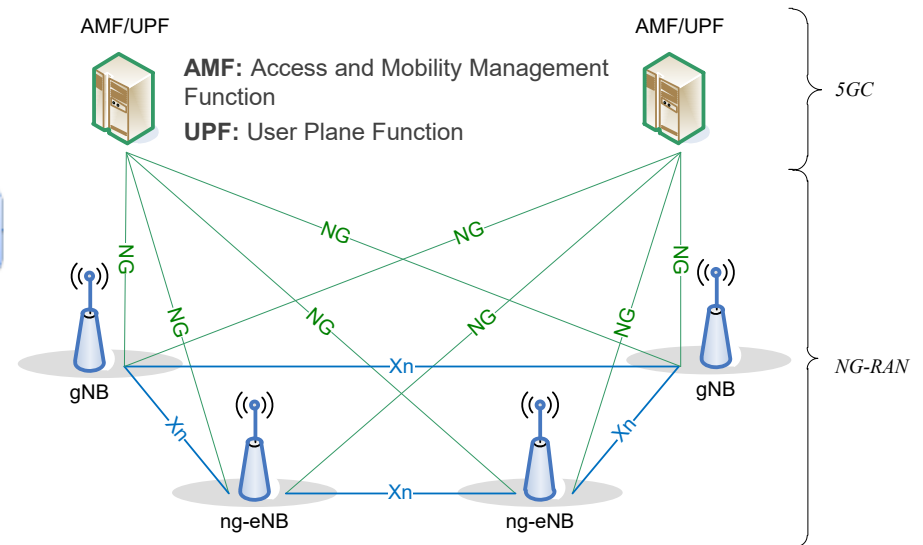
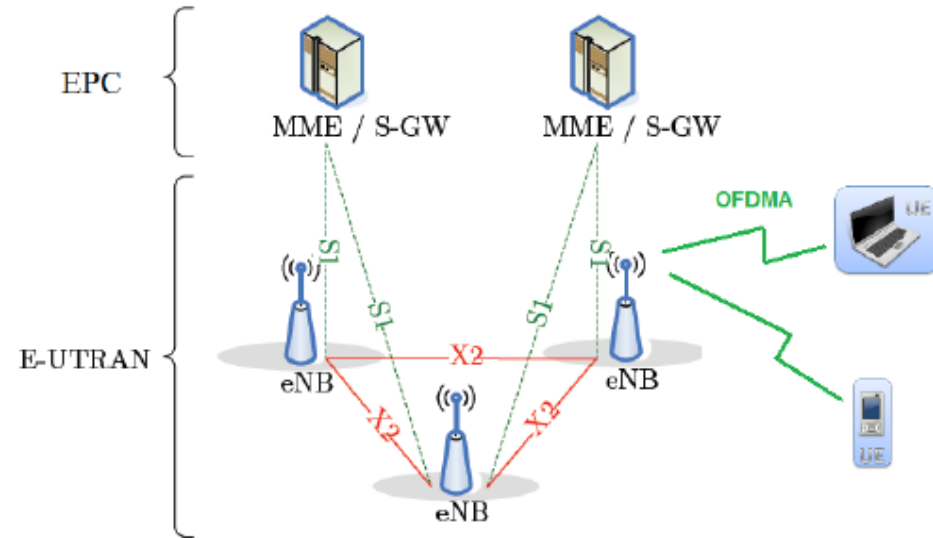
3GPP Radio Access Network (5G)

- Architektúra:
 - NG-RAN:
 - Két típusú (logikai) elem:
 - **gNB** (ez az „5G bázisállomás”)
 - » NR felhasználói sík és vezérlő sík protokollok biztosítás a UE számára
 - **ng-eNB** (next gen. eNodeB, „újgenerációs 4G bázisállomás”)
 - » E-UTRA (vagyis „4G”) felhasználói sík és vezérlő sík protokollok biztosítás a UE számára
 - » *Megjegyzés: sokáig lesznek még „nem 5G-képes” telefonok.*
 - (logikai) interfészek:
 - **Xn interfész**: bázisállomások között (gNB és ng-eNB között)
 - **NG interfész**: 5G core és RAN elemek (gNB, ng-eNB) között
 - **5G maghálózat (5G core network – 5GC):**
 - AMF: Access and Mobility Management Function
 - UPF: User Plane Function
 - (SMF: Session Management Function)



Forrás: TS 38.300 NR; Overall description; Stage-2

4G vs. 5G ARCHITEKTÚRA



Forrás: 3GPP TS 36.300 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2.

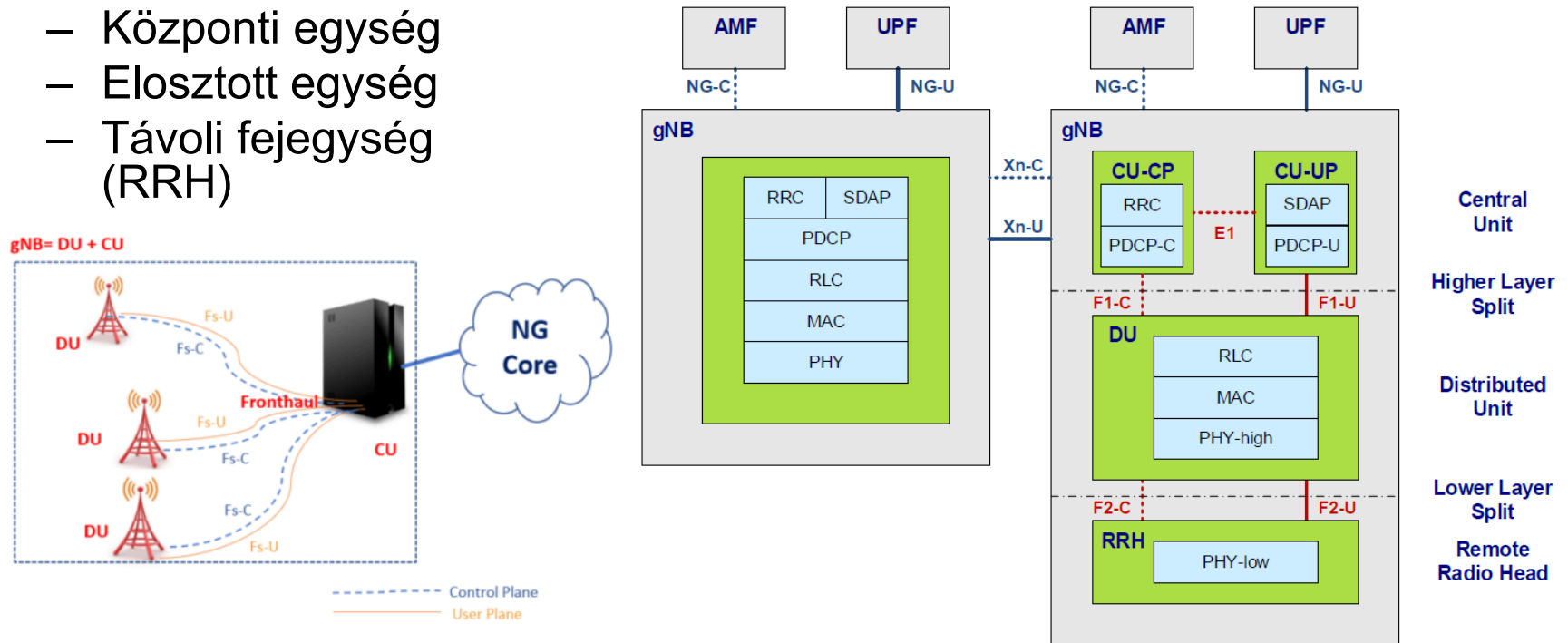
Forrás: TS 38.300 NR; Overall description; Stage-2

- Alapelvek és koncepciók:

- **Felhasználói sík** (User Plane – UP) és **vezérlő sík** (Control Plane – CP) funkcióinak **szétválasztása**
- Független skálázhatóságot, fejlődést és rugalmas telepítést tesz lehetővé
- Moduláris funkció tervezés (pl. hálózati szeletek – **network slicing**)
- A folyamatok szolgáltatásokként való definiálása (ha lehet), így az újrafelhasználásuk egyszerűbb
- Függőségek minimalizálása a hozzáférési hálózat és a maghálózat között
- A hálózati funkciók közvetlenül más hálózati funkciókkal is együttműködhetnek, ha szükséges
- Egységesített hitelesítési keretrendszer támogatása
- „állapotmentes” hálózati funkciók támogatása, amikben a számítási erőforrás el van választva a tárolási erőforrástól
- Képesség felderítés támogatása
- Egyidejű hozzáférés a helyi és központi szolgáltatásokhoz.
- UP (User Plane) funkciók a hozzáférési hálózatba is telepíthetők az **alacsony késleltetés** követelmények és lokális adatok miatt

Forrás: 3GPP 23.501 System Architecture for the 5G System; Stage 2 (Release 15)

- Többféle logikai egységből állhat össze a NR gNB:
 - Központi egység
 - Elosztott egység
 - Távoli fejegység (RRH)



- Az operátorok azt javasolják, hogy a 3GPP szabványosítsa az F1 és F2 interfészeket, hogy a többgyártós környezetnek kedvezzenek

Forrás: 5G RAN Interfaces and eCPRI, <http://www.nomor.de>

- Rádiós erőforrás menedzsment: rádiós vivők vezérlése, rádiós hozzáférés vezérlés, kapcsolati mobilitás vezérlés, ütemezés
- IP fejléc tömörítés, adatok titkosítása és integritás védelme
- Felhasználói sík adatainak továbbítása az UPF-nek
- Vezérlő sík adatainak továbbítása az AMF-nek
- Kapcsolat felépítés és lebontás
- AMF-től származó paging üzenetek ütemezése és kiküldése
- Broadcast információk ütemezése és kiküldése

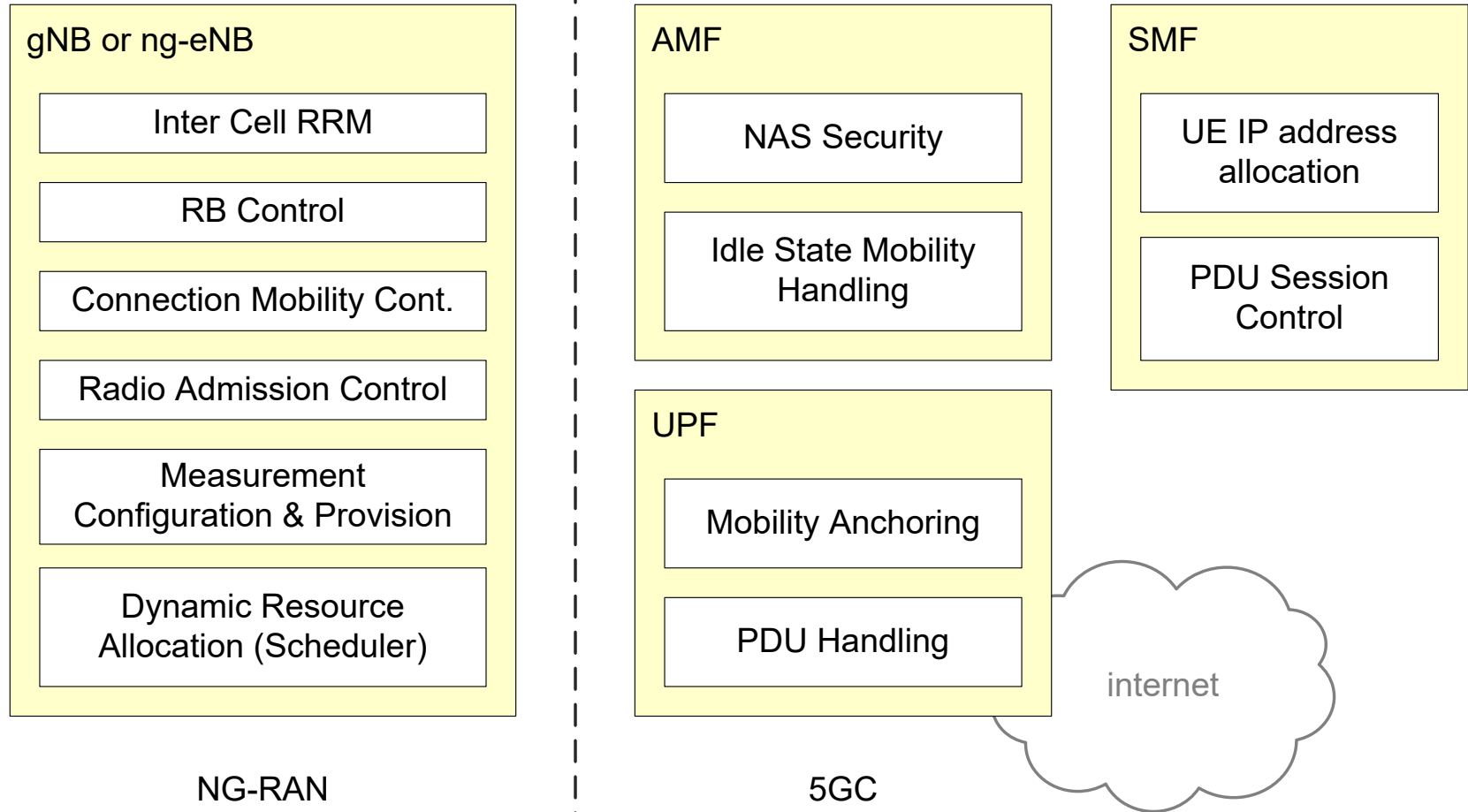
- A mobilitáshoz és ütemezéshez kapcsolódó mérések és mérési jelentési konfigurálása
- Session menedzsment
- Network slicing támogatása
- QoS folyam menedzsment és adat rádiós vivőkre képzése
- Rádiós hozzáférési hálózat megosztása
- Dual Connectivity (4G & 5G egyszerre azonos frekvencián)
- NR és E-UTRA szoros együttműködésének támogatása

- **AMF: Access and Mobility Management Function**
- NAS (Non Access Stratum) jelzésüzenetek kezelése és biztonságossá tétele
- AS (Access Stratum) biztonság vezérlés
- Maghálózat elemek közötti mobilitási jelzés üzenetek kezelése
- Rendszeren belüli és rendszerek közötti mobilitás támogatás
- Paging üzenetek vezérlése, IDLE állapotú UE-k felderítése
- Regisztrációs terület menedzsment
- Mobilitás menedzsment
- Hozzáférés hitelesítés roaming-ot is ideértve
- Network slicing támogatás
- SMF (Session Management Function) kiválasztás

- **UPF: User Plane Function**
- Horgony pont RAT-on belüli és RAT közötti mobilitásban
- Adat hálózati átjáró: csomag routolás és továbbítás
- Csomag megfigyelés és felhasználói síkra érvényes szabályok betartatása
- Adatforgalom nyilvántartása
- Felhasználói sík QoS kezelése, pl: csomag szűrés
- Uplink forgalom verifikációja
- Downlink csomag puffereelés és downlink adat értesítés triggerelése

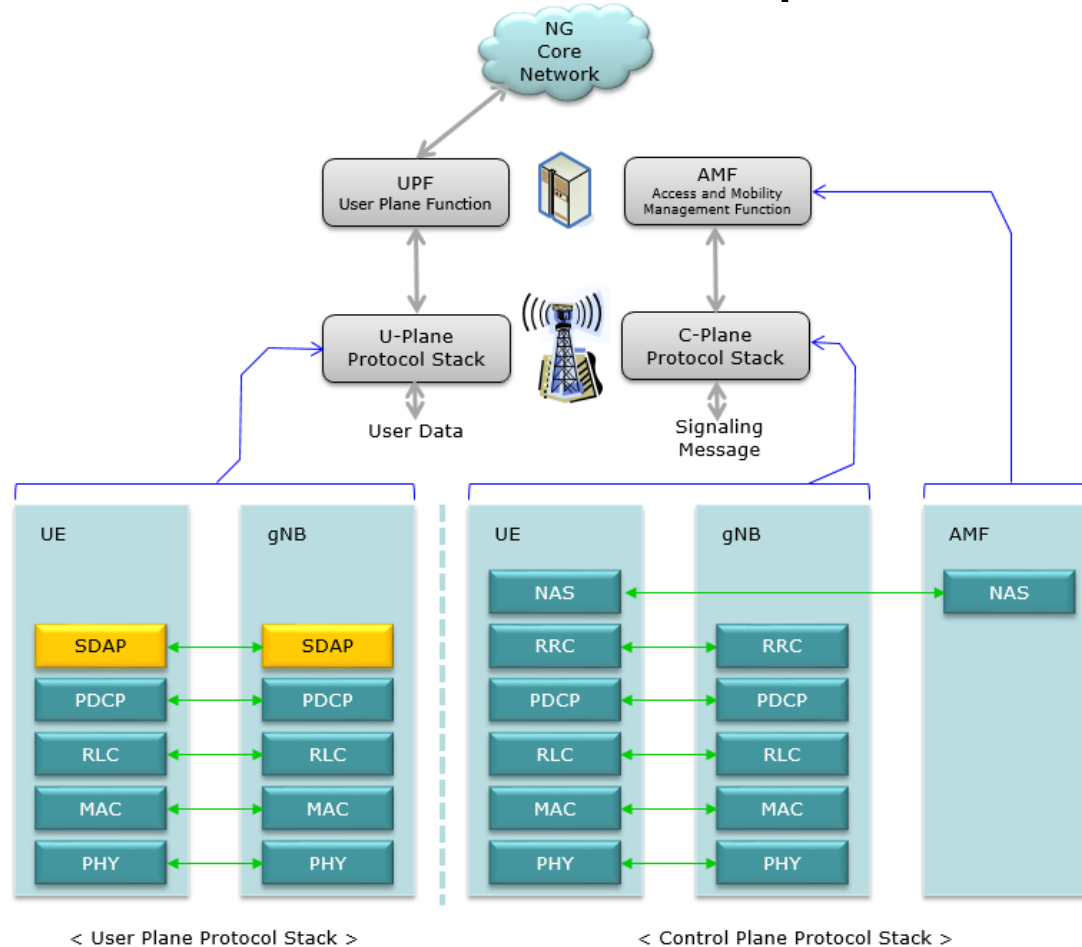
- **SMG: Session Management Function**
- UE IP cím allokáció és menedzsment
- UP (User Plane) funkciók kiválasztása és vezérlése
- UPF-nél lévő forgalom irányítás konfigurálása, hogy a forgalmat a megfelelő irányba routolja
- QoS és szabályok érvényesítésének vezérlése

• Funkciók megosztása NG-RAN és 5GC között



Forrás: TS 38.300 NR; Overall description; Stage-2

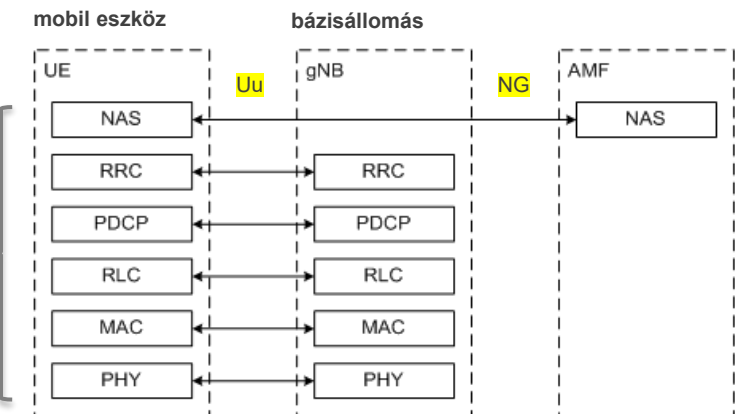
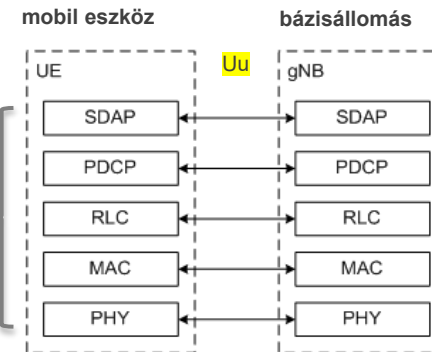
- Felhasználói sík és vezérlő sík protokoll stackje



Forrás: TS 38.300 NR; Overall description; Stage-2, <http://www.sharetechnote.com/html/5G>

INTERFÉSZEK: ÁLTALÁNOS SÁGOK

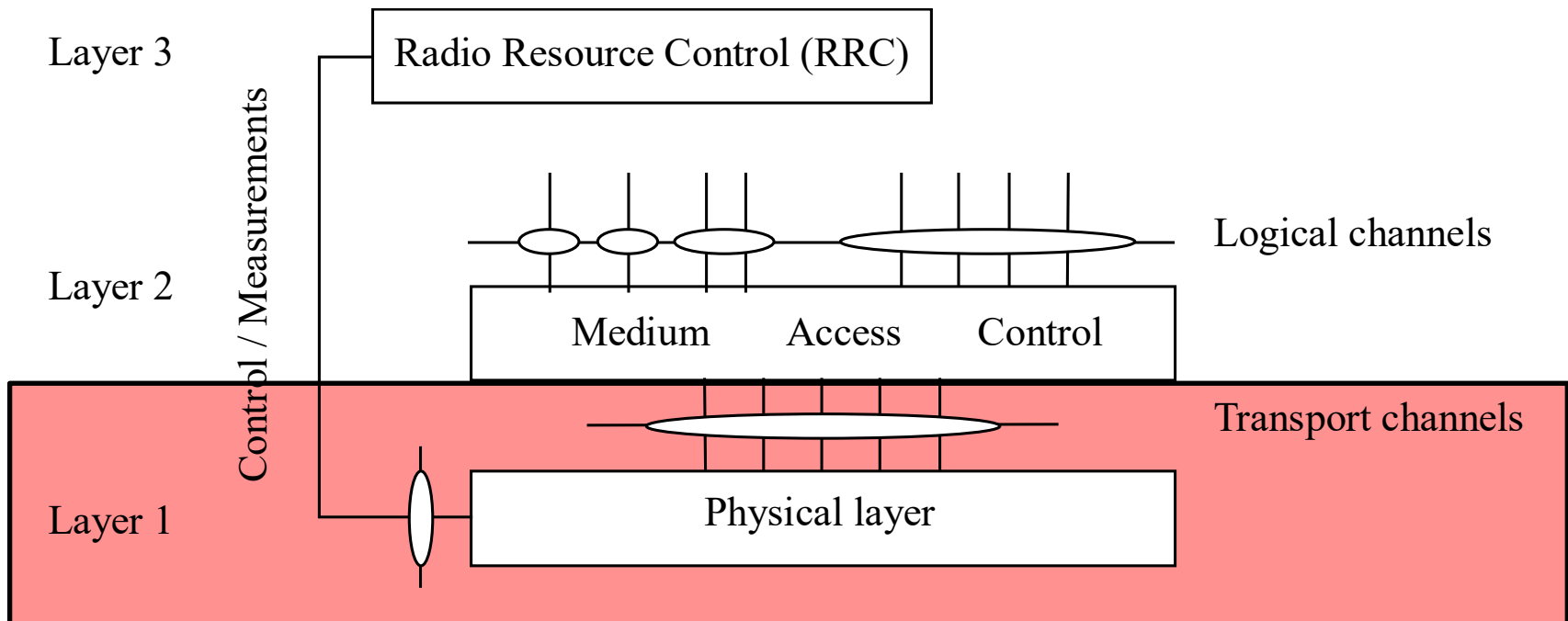
- **Uu** (az UE és a gNB között) és **NG** (CoreNW és gNB között) **interfészek** **protokolljai** két részre vannak osztva:
 - **Felhasználói sík** **protokolljai**
 - Ezek olyan protokollok, amik **felhasználói adatokat szállítják** a hozzáférési rétegben (Access Stratum (AS))
 - **Új réteg jelent meg LTE-hez képest:** SDAP (Service Data Adaptation Protocol)
 - QoS folyamatok rádiós adat vivőkhöz rendelése
 - Marking QoS flow ID (QFI) in both DL and UL packets (DL: due to reflective QoS and UL: due to new QoS framework)
 - **Vezérlő sík** **protokolljai**
 - Ezek olyan protokollok, amik **vezérlik** az UE és a hálózat közötti **kapcsolatot** különböző szempontok szerint (pl. hívásátadás, szolgáltatás igénybevétele, erőforrások kezelése)
 - NAS üzenetek transzparens átvitele





5G rádiós interfész

- A rádiós interfész az UE és a hálózat között található.
- A fizikai réteg adatátvitelre alkalmas szolgáltatásokat (service) biztosít a felsőbb rétegeknek.
- A rádiós interfész 3 rétegből áll: Layer 1, 2 és 3.



Forrás: 3GPP TS 38.201 V1.1.0 (2017-11)

- **Közeghozzáférés és moduláció** → OFDM, QAM, QPSK stb. – **akárcsak a 4G-ben.**
- Külön frekvenciasávok 6 GHz alatt és millimeter wave (mmW) sávok. – **új keretszerkezetet és OFDM-et igényel**
- Frekvenciasávok: kb. **1 GHz és 100 GHz között.**
- **5G NR** – 15 kHz-es alvivő távolság DE 2 hatványaival multiplikálható (**Numerológia**)
 - Nagyobb alvivő táv → kevesebb idő egy OFDM szimbólumra
→ kevesebb késleltetés a kommunikációban
- 5G NR-ben **új slot: „mini-slot”**
 - Az LTE-ben 7 OFDM szimbólum = 1slot (0,5 ms)
 - A „mini-slot” kettő vagy több- szimbólum

- „mini-slots” → **Ultra-Reliable Low-Latency Communication (URLLC)**
 - Cél: késleltetés csökkentése
- MIMO: jóval nagyobb hangsúly a szabványban (a 4G-hez képest).
- **Új csatornakódolás** (néhány use-case esetén):
 - Turbo kódok: 3G, 4G (5G-ben is)
 - Low-Density Parity-Check (LDPC) kódok (mobile broadband – eMBB use case esetén)
 - Polar kódok (eMBB use case esetén – control plane)

- RLC: nincs konkatenáció (csomag összefűzés)
- Változások a MAC réteg-ben: HARQ Round-trip Time: ~9ms-ről 0.25-16 ms-re változik
- PDCP: csomag duplikálás felismerése (nagyobb megbízhatóságért)
- Új réteg a PDCP fölé: **Service Data Adaptation Protocol (SDAP)** – QoS folyamatok kezelése.

- A fizikai réteg feladata (a 3GPP szabvány alapján):
 - Hiba felderítés a transzport csatornán és jelzése a magasabb rétegek felé
 - transzport csatorna FEC kódolása/dekódolása
 - Hybrid ARQ soft-combining;
 - Transzport csatornák leképzése fizikai csatornákra
 - Moduláció, demoduláció
 - Frekvencia- és időszinkron biztosítása
 - Rádiós mérések elvégzése és továbbítása felsőbb rétegeknek
 - Multiple Input Multiple Output (MIMO) antenna jel feldolgozás;
 - RF feldolgozás.



HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK

A legújabb mobilhálózat: 5G (II. rész)

Mobil kommunikációs hálózatok
9. előadás (2020.11.05.)

Előadó: Dr. Mráz Albert, vezetőnküli szakértő

Magyar Telekom (mraz.janos.albert@telekom.hu)

Tananyag: Gódor Győző, Dr. Knapp Ádám, Dr. Mráz Albert

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

godorgy@hit.bme.hu

Budapest,
2020.11.05.

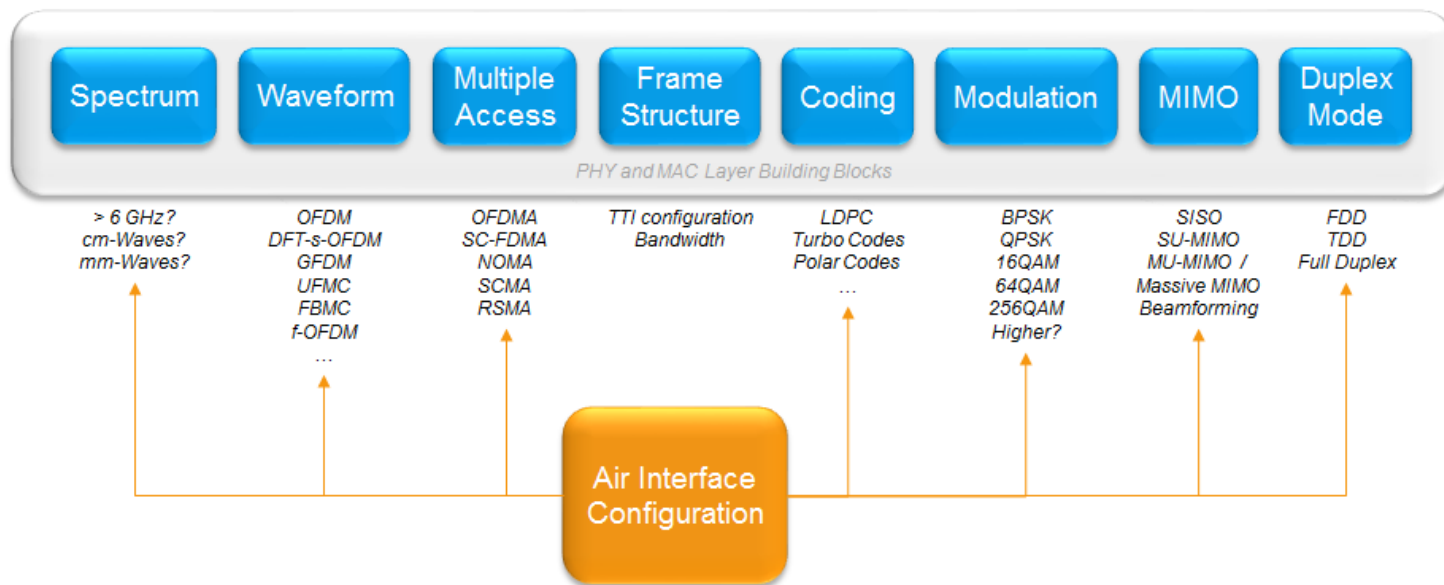


5G NEW RADIO „ÉPÍTŐKOCKÁI”

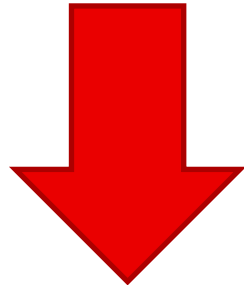
- A NR újításai:
 - Modulációs sémák,
 - spektrum/hullámforma,
 - Keret struktúra,
 - Referencia jelek,
 - multi-antenna adás/vétel
 - Csatorna kódolás

Forrás:

http://www.communicationstoday.co.in/images/reports/1MA271_0e_5G_waveform_candidates.pdf

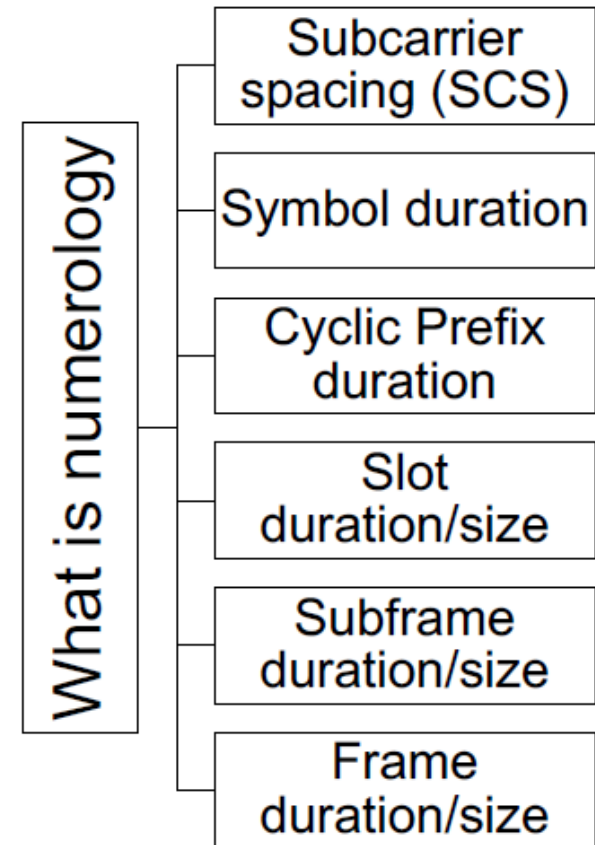


- 4G: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
 - „Egy digitális többvivős modulációs eljárás, ahol sok egymáshoz közel elhelyezkedő ortogonális alvivő szállítja a felhasználók forgalmát”.
- Előnyök:
 - Nagy spektrális hatékonyság
 - UE-k számára nem sem erőforrás igényes a jelfeldolgozás
 - Széles sávon, nagy adatátviteli sebesség érhető el általa
 - **cyclic prefix** használatával a vivők közti interferencia csökkenthető.

- Az 5G szabványosítása során számos hullámforma szóba került:
 - **OFDM with Cyclic Prefix (CP-OFDM)**
 - Filter Bank Multi-Carrier (FBMC)
 - Universal Filtered MultiCarrier (UFMC)
 - Generalized Frequency Division Multiplexing (GFDM)
 - Filtered OFDM (f-OFDM)
- 
- Ericsson: „**Az 5G-ben folyó versenyben a CP-OFDM győzött!**” (2017. május)

- **3GPP megegyezett, hogy CP-OFDM lesz az 5G-ben**
 - **Numerológia** (változtatható alvivő távolság, cyclic prefix) UL és DL esetén is!
- NR fizikai rétege tehát Orthogonal Frequency Division Multiplexing (**OFDM**) cyclic prefix- szel (**CP**) UL és DL irányba is – D2D kommunikáció miatt kell UL-nél is!
- Uplink esetén, Discrete Fourier Transform-spread-OFDM (**DFT-s-OFDM**) – CP-OFDM is támogatott.
- Frequency Division Duplex (**FDD**) és Time Division Duplex (**TDD**) is támogatott!

- A numerológia (számmisztika) az 5G egy érdekes újítása.
- Az alvivők közti távolság az 5G-ben **15 kHz** (alapesetben), de a numerológiának hála, **ez a távolság megnövelhető.**
- Ennélfogva a szimbólum- és a slot hossza skálázható az alvivő távolsággal.



Forrás: 3GPP TS 38.211 NR; Physical channels and modulation(Release 15),
3GPP TS 38.201 V2.0 (2017-12-20), NI:5G Standardization Resource Guide: 3GPP Status Update & Overview

- 2^μ skálázási faktor, ahol $\mu \in \{0, 1, \dots, 4\}$ definiálja az alvivő távolságot úgy, hogy $15 \text{ kHz} * 2^\mu$
- Alvivő távolságok 15 kHz-től 240 kHz-ig terjedhetnek

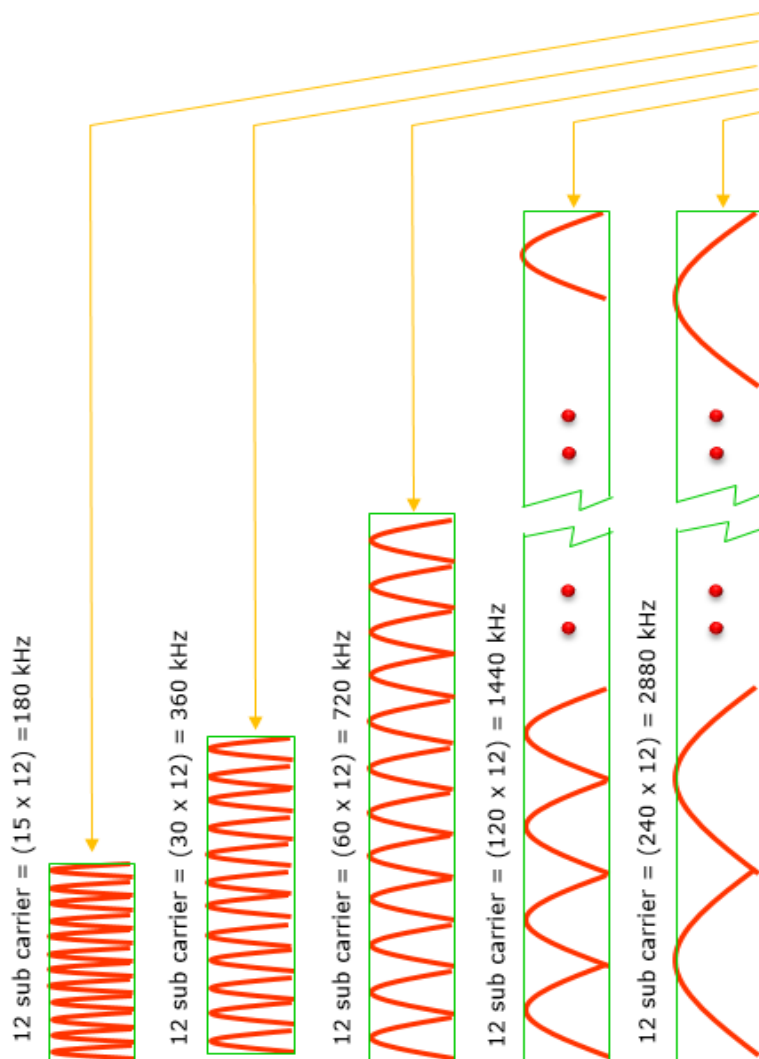
μ	$15 \text{ kHz} * 2^\mu$	Ciklus prefix	Adat	Szinkron.
0	15	Normál	Igen	Igen
1	30	Normál	Igen	Igen
2	60	Normál, Kiterjesztett	Igen	Nem
3	120	Normál	Igen	Igen
4	240	Normál	Nem	Igen

Forrás: 3GPP TS 38.211 NR; Physical channels and modulation(Release 15),
3GPP TS 38.201 V2.0 (2017-12-20), NI:5G Standardization Resource Guide: 3GPP Status Update & Overview

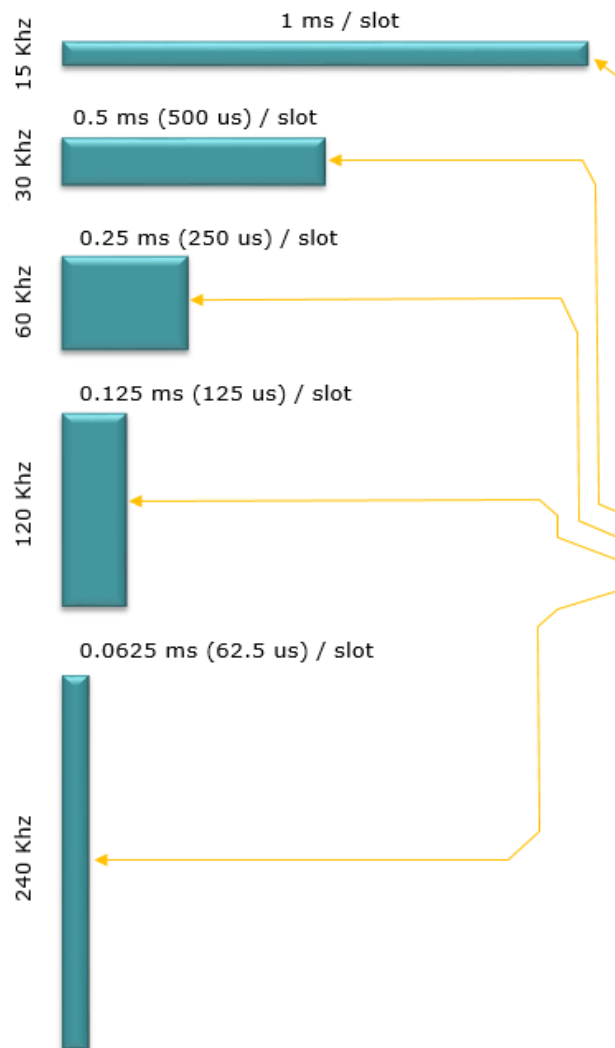
Forrás: <http://www.sharetechnote.com/html/5G>

38.211 Table 4.2-1

μ	$\Delta f = 2^\mu \cdot 15$ [kHz]	Cyclic prefix
0	15	Normal
1	30	Normal
2	60	Normal, Extended
3	120	Normal
4	240	Normal



NOTE : In LTE, there is only type of subcarrier spacing (15 KHz), whereas in NR multiple types of subcarrier spacing are available. This is the biggest difference between LTE and NR numerology



Forrás: <http://www.sharetechnote.com/html/5G>

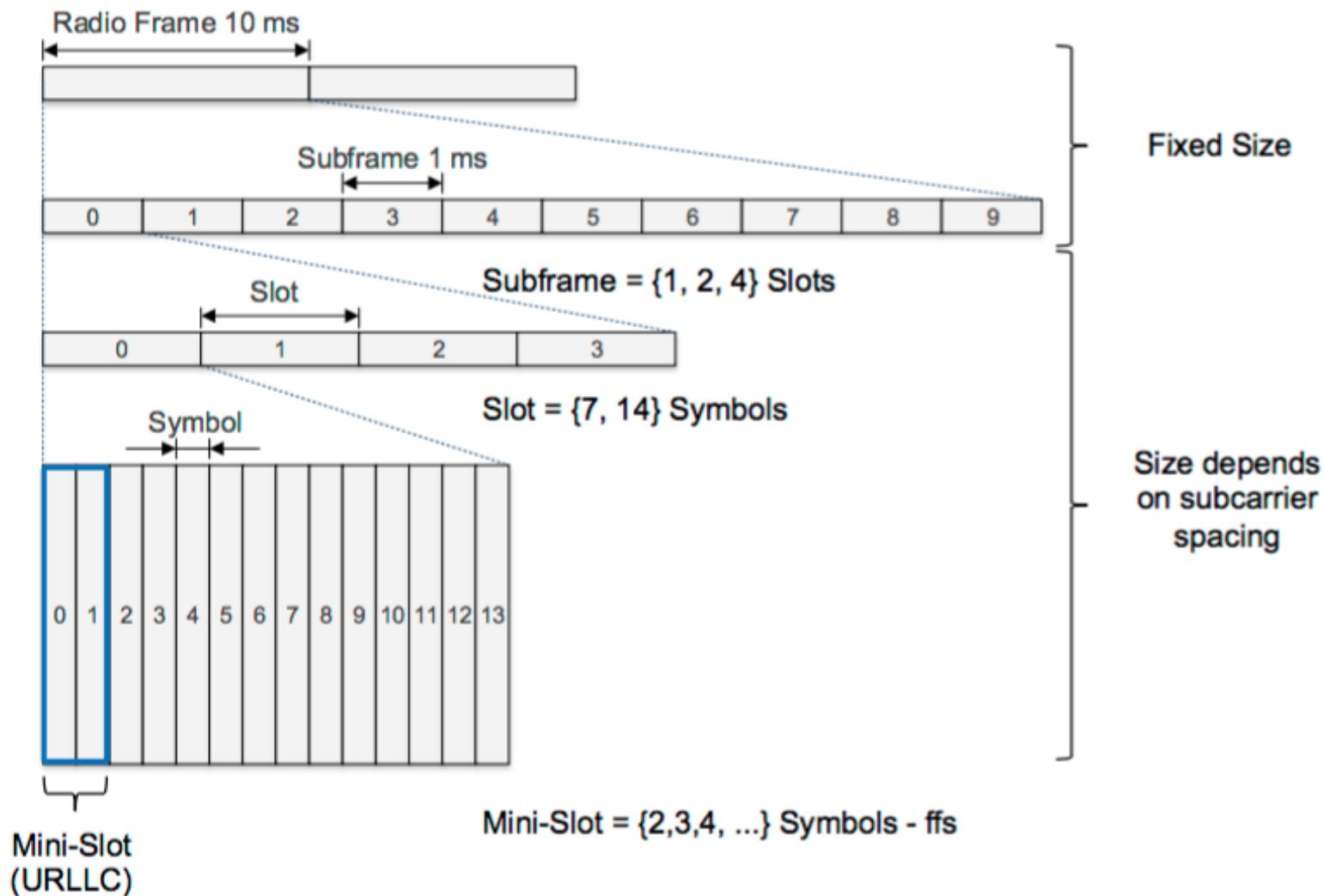
Ha „gyorsabban beszélünk” (nagyobb alvivő sávszélességgel), akkor kevesebb idő alatt (alacsonyabb slot idő) is „el tudjuk mondani”, amit akartunk.

< 38.211 – v2.0.0 Table 4.3.2-1 >

μ	$N_{\text{slot symb}}$	$N_{\text{frame, slot}, \mu}$	$N_{\text{subframe, slot}, \mu}$
0	14	10	1
1	14	20	2
2	14	40	4
3	14	80	8
4	14	160	16
5	14	320	32

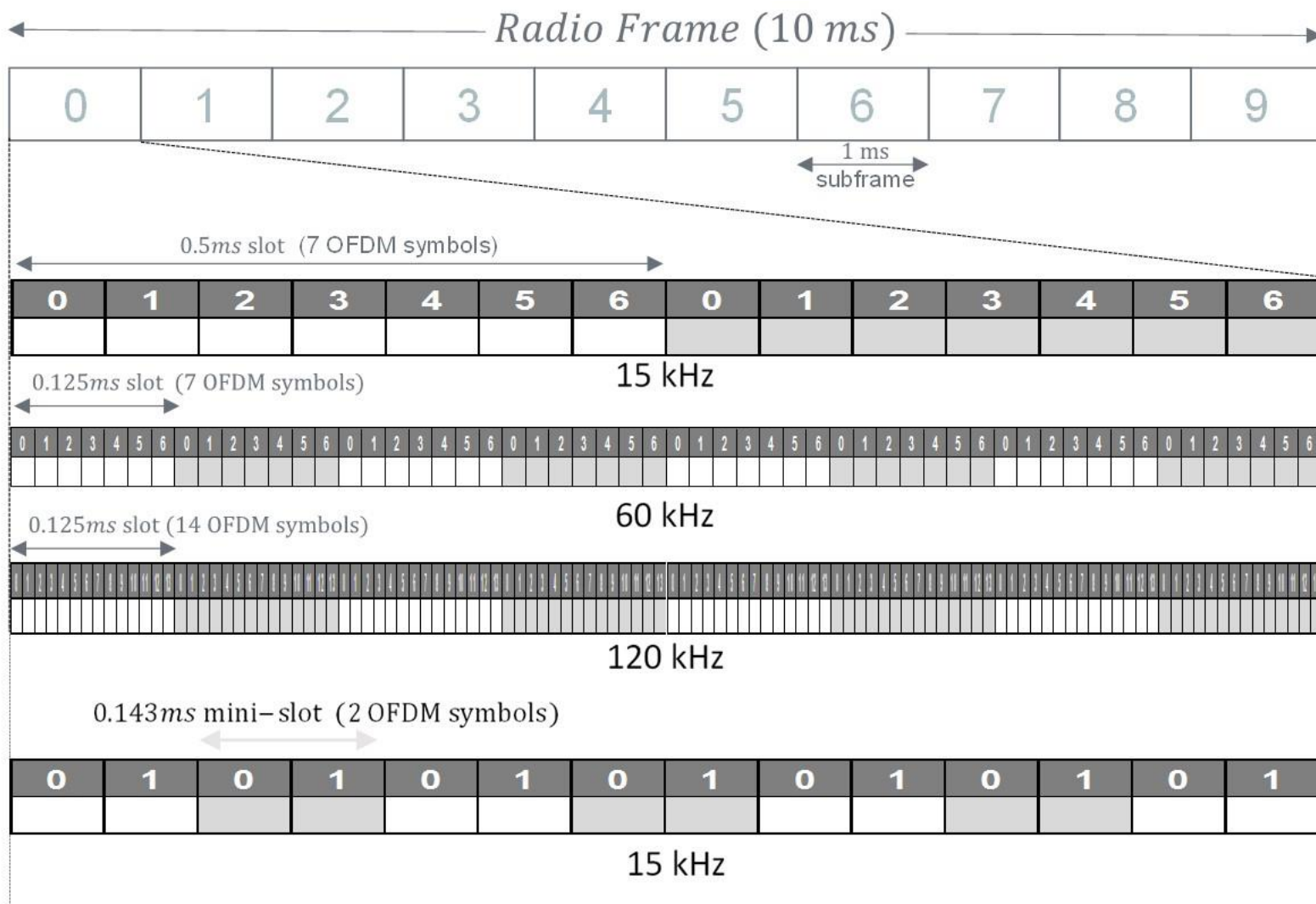
- Az 5G-s Keret struktúra biztosítja a fizikai jelek időzítésének alapját.
 - Pl. adatátvitelhez szükséges szinkronizáció, szimbólum szinkron stb.
 - A keret felépítése megegyezik az LTE-vel (backward kompatibilitás)
 - A rádiós keretek és alkeretek hossza fix.
 - Viszont a **slot-ok és szimbólumok hossza változhat** az alvivő távolság függvényében!
- **Szabályok:**
 - Minden keret 10 ms időtartamú
 - minden alkeret 1 ms időtartamú
 - 10 db alkeret alkot egy keretet
 - Normál CP esetén 14 OFDM szimbólum alkot egy slotot
 - A slotok száma az 1 ms-os alkeretben: 2^μ db. (a slot hossza eszerint 1 ms/darabszám->rövidebbek lesznek a slotok)
 - Az alvivő távolságok : $15 \cdot 2^\mu$ kHz
 - $\mu=0,1,2,3,\dots$

KERET STRUKTÚRA II.



Forrás: <http://www.nomor.de/2017-08-WhitePaperNomor-5G-Frame-Structure-v1-2.pdf>

KERET STRUKTÚRA III.

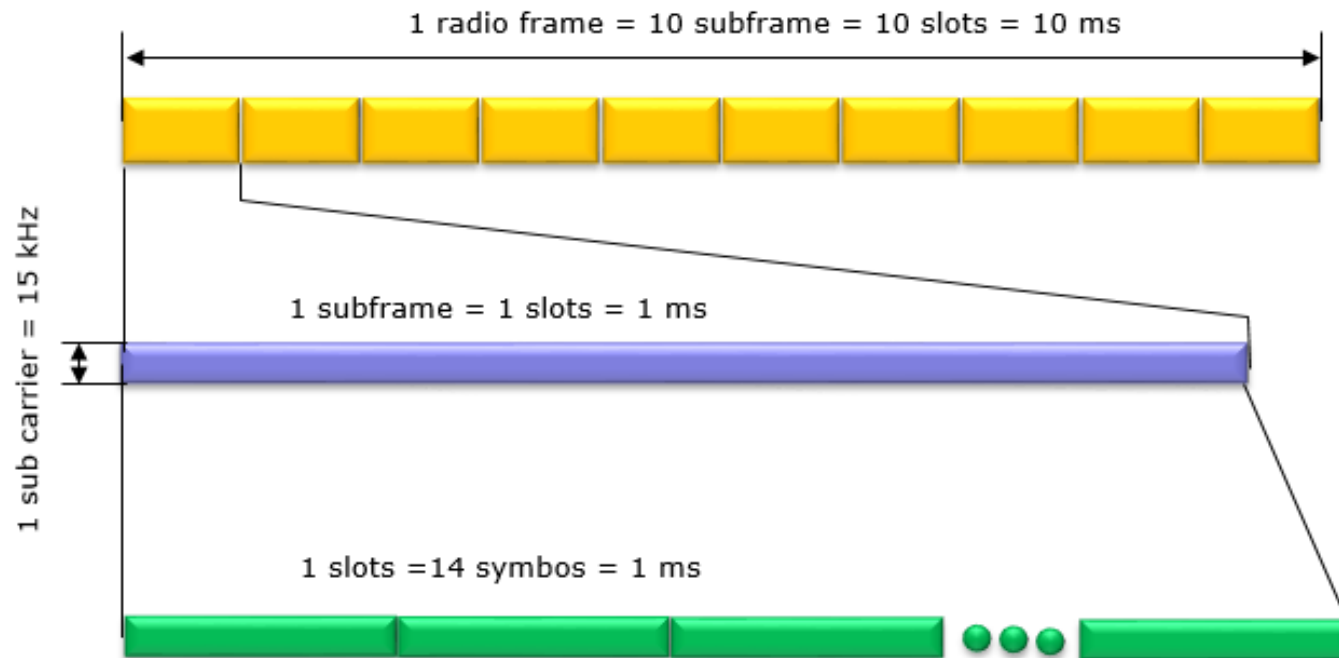


Forrás: <https://www.linkedin.com/pulse/5g-nr-numerology-ray-khastur>

KERET STRUKTÚRA (PÉLDA 1)

< 38.211 – v2.0.0 Table 4.3.2-1 >

μ	$N_{\text{slot, symb}}$	$N_{\text{frame, } \mu}^{\text{slot}}$	$N_{\text{subframe, } \mu}^{\text{slot}}$
0	14	10	1
1	14	20	2
2	14	40	4
3	14	80	8
4	14	160	16
5	14	320	32

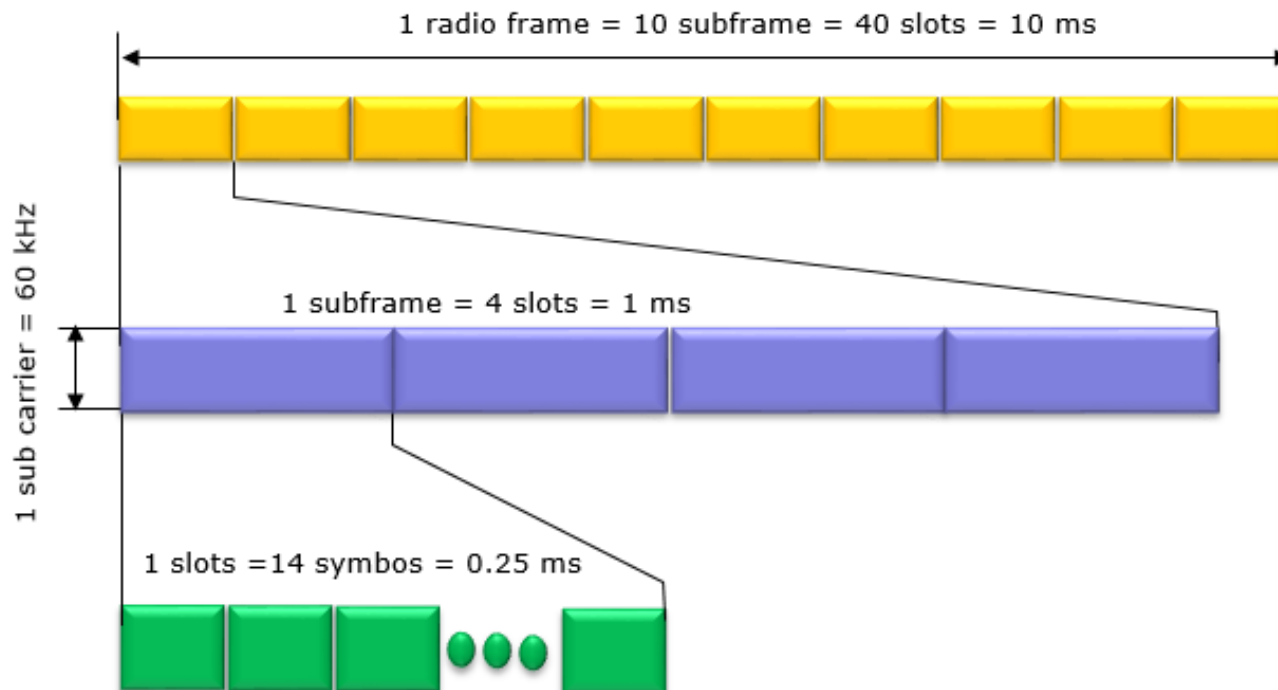


Forrás: <http://www.sharetechnote.com/html/5G>

KERET STRUKTÚRA (PÉLDA 2)

< 38.211 – v2.0.0 Table 4.3.2-1 >

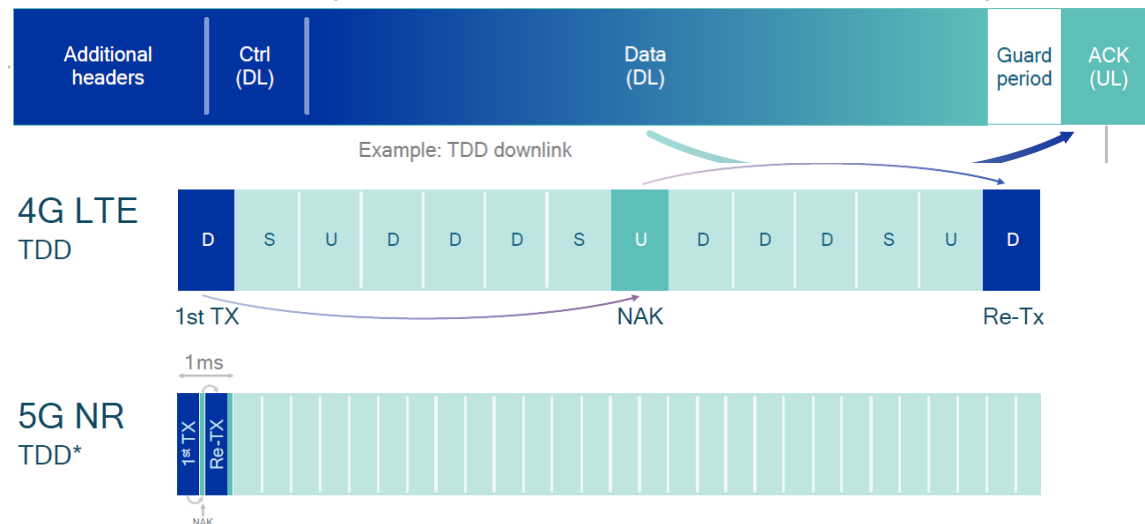
μ	$N_{\text{slot}}^{\text{symb}}$	$N_{\text{slot}}^{\text{frame}, \mu}$	$N_{\text{slot}}^{\text{subframe}, \mu}$
0	14	10	1
1	14	20	2
2	14	40	4
3	14	80	8
4	14	160	16
5	14	320	32



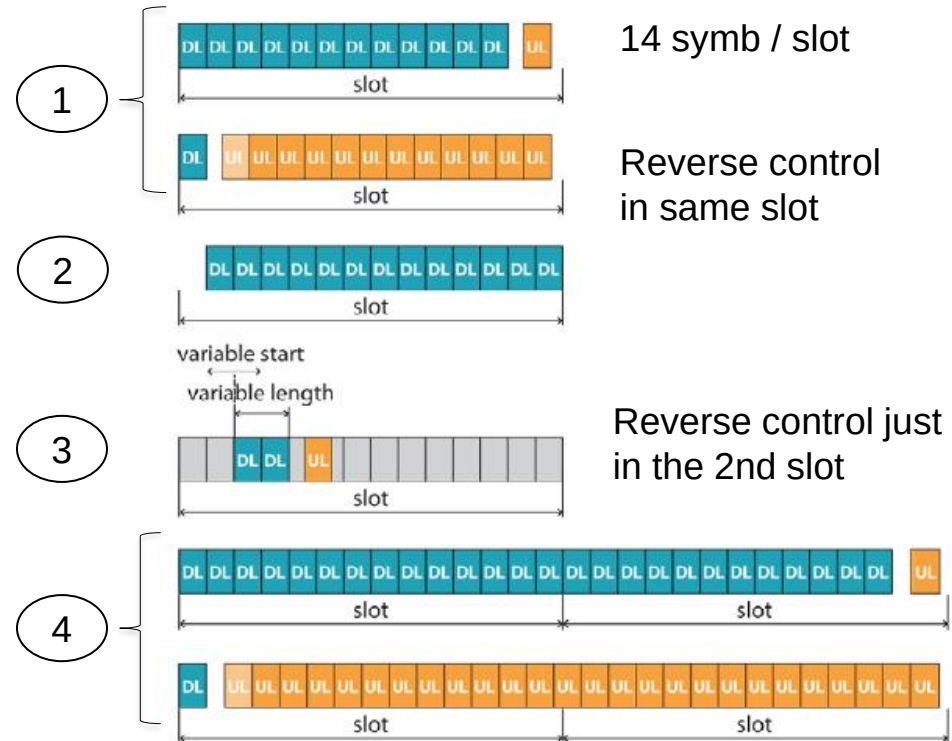
Forrás: <http://www.sharetechnote.com/html/5G>

- Self contained TDD subframe:
 - *The data can be decoded based on the slot info (scheduling, data, ACK/NACK), no additional info needed from other slot.*
 - Flexibilis design: Nincs előre meghatározott kapcsolat a slot-ok között.
 - Eredménye: nagyon-nagyon kicsi késleltetés (1 ms), gyorsabb alkalmazkodás a csatorna változásaihoz.

Időrés:



- Dinamikus UL/DL allokáció
 - A DL/UL szimbólumok aránya slot-onként eltérő lehet.
 - A szabvány nagyfokú szabadságot ad a slot feltöltéséhez, például nagy downlink irányú kommunikáció esetén a slot jelentős része downlink irányú, vagy fordítva jelentős uplink irányú forgalom esetén a slot többsége uplink irányú forgalmat szállít
 - Példa:
 - Az egyik irány dominál, eMBB (film nézés, streaming) – 1. slot



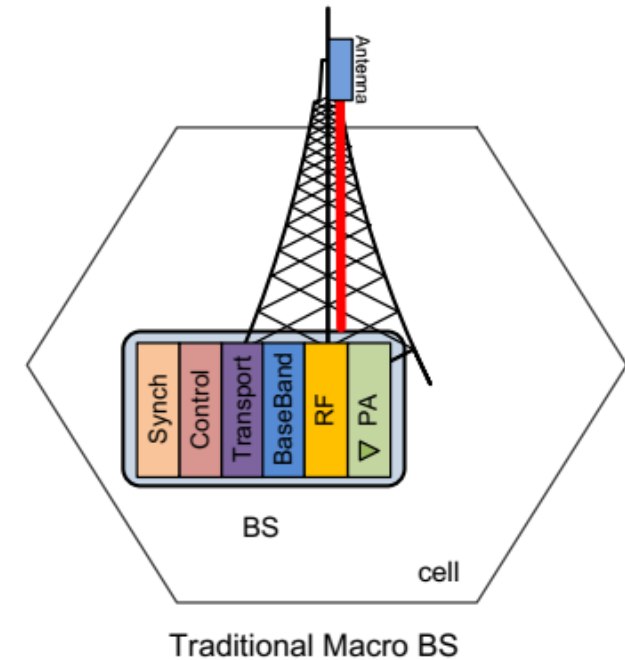


Technológiai megoldások az 5G-ben

- Bázisállomás evolúció
 1. Hagyományos bázisállomás (múlt)
 2. BS szeparált rádiós fejegységgel (RRH) (jelen)
 3. Felhő RAN (C-RAN) (jövő)
- Nagy mértékű központosított telepítés
 - Százezres nagyságrendben csatlakozhatnak RRH-k egy központi BBU „hotelhez”
 - 4G-ben, optikai linken 20 km lehet a max. távolság
- Együttműködő rádiós technológiák támogatása
- Valós idejű virtualizációs képességek nyílt platform alapokon → C-RAN egy az NFV (Network functions virtualization) alkalmazások közül

A KIINDULÁS: ALL-IN-ONE MAKRO BÁZISÁLLOMÁS

- Analóg, digitális és áramellátási funkciók közös „szekrényben” kaptak helyet
- Áramellátás, tartalék akkumulátor, légkondicionálás, környezet figyelés és felhordó hálózati berendezés
- **Baseband funkció:**
 - az átviendő bitsorozatból **megalkotja** a modulált komplex alapsávi jelet
- **Rádiófrekvenciás (RF) funkció:**
 - Az „RF jelet” generálja. Vagyis az **alapsávi jelet „felkeveri”** a vivőfrekvenciára (manapság max. 3500 MHz-re)
 - All-in-one esetben „**lent van**” a „**szekrényben**”
- **Az RF jel** (ami már „nagy frekvenciás”) az RF egységből **rész kábel**en jut el a BS torony tetején lévő **antennákhoz**:
 - Ez probléma, ugyanis az antennára juttatandó, kisugárzandó jelünk ekkor már a vivőfrekvencia tartományában van (jelenleg akár 3500 MHz), emiatt **különleges kábel szükséges** az antennára juttatásához. **Ezek a kábelek „vastagok, drágák és nehezek”**

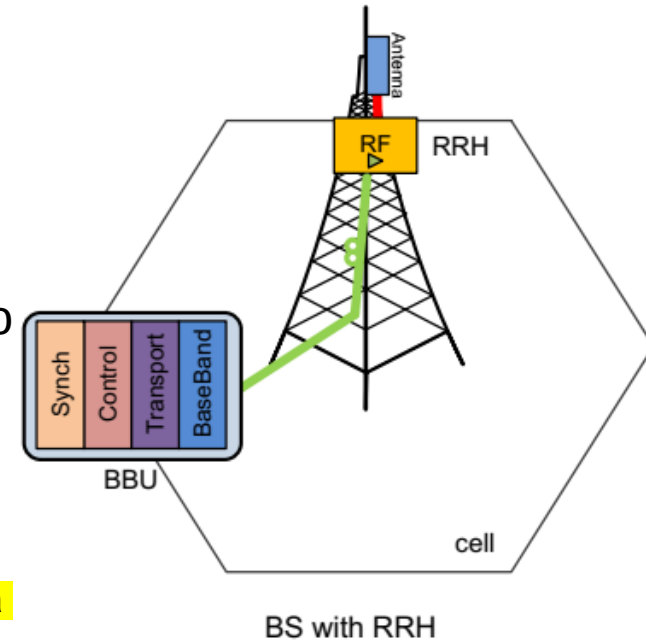


 Fiber – Digital BaseBand  Coax cable – RF

Forrás: A. Checko, H. L. Christiansen, Y. Yany, L. Scolari, G. Kardaras, M. S. Berger, L. Dittmann, Cloud RAN for Mobile Networks – a Technology Overview, IEEE Comm. Surveys & Tutorials

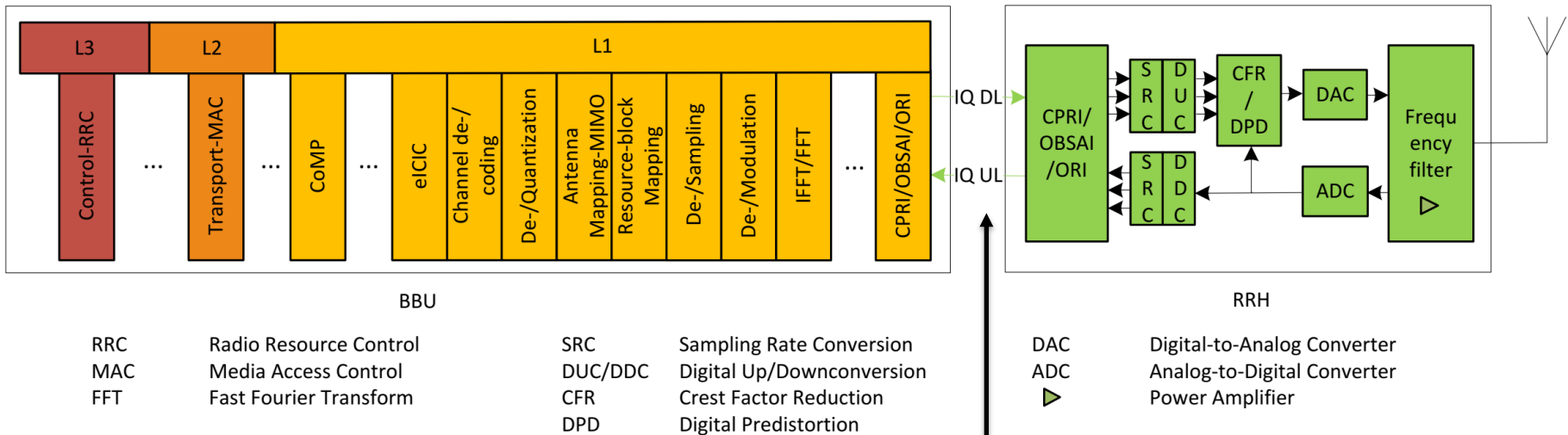
TOVÁBBFEJLESZTÉS: ELOSZTOTT BÁZISÁLLOMÁS I.

- **RRH/RRU** (Remote Radio Head/Unit):
 - a rádiós funkciókat ellátó egység vagy rádiós fejegység
- **BBU** (Baseband Unit):
 - előállítja a komplex alapsávi jelet (ahogyan az all-in-one bázisállomásnál)
- **Az RRU és a BBU-t egymástól szétválasztjuk** (az elosztott bázisállomásban)!
 - A BBU-nak így már nem is kell minden bázisállomásban ott lennie („lent a szekrényben”).
- A digitális alapsávi jeleket optikán továbbítják (Radio over Fiber)
 - Open Base Station Architecture Initiative (OBSAI)
 - Common Public Radio Interface (CPRI)
- Az **RRU-t a torony tetejére**, közvetlenül az antenna mellé telepítik.
 - **Így már nem kell a „sok vastag” RF rész kábelnek „felmennie a toronyba”!!!**
- Az RRU és BBU akár néhány száz méterre is lehet egymástól (inkább néhány tíz méter)



Forrás: A. Checko, H. L. Christiansen, Y. Yany, L. Scolari, G. Kardaras, M. S. Berger, L. Dittmann, Cloud RAN for Mobile Networks – a Technology Overview, IEEE Comm. Surveys & Tutorials

• LTE példa a BBU és az RRH funkcióira



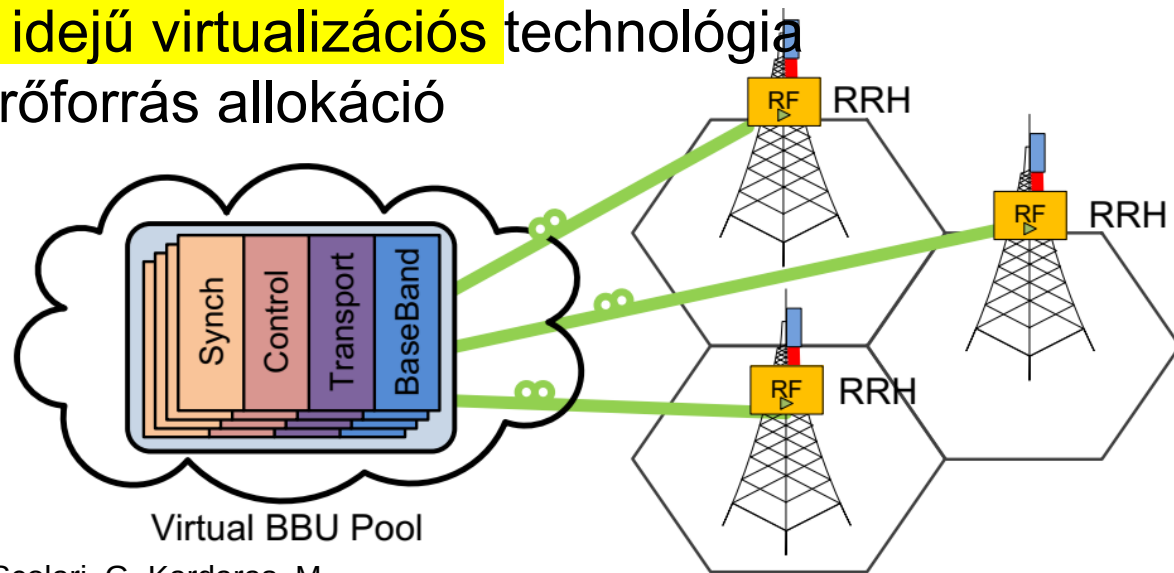
Forrás: A. Checko, H. L. Christiansen, Y. Yany, L. Scolari, G. Kardaras, M. S. Berger, L. Dittmann, Cloud RAN for Mobile Networks – a Technology Overview, IEEE Comm. Surveys & Tutorials

- A komplex alapsávi modulált jel itt „halad” (In-phase és Quadrature (IQ) komponensek)

- Az UL és DL is itt halad mindkét irányba

FELHŐ/KÖZPONTOSÍTOTT RAN I.

- Az elosztott bázisállomás rendszer architektúrális fejlődése
- Az adatközpontok hálózati technológiájára épül, hogy alacsony költségű, nagy megbízhatóságú, alacsony késleltetésű és nagy sáv szélességű hálózat az ún. BBU hotelben
- **BBU hotel:** több bázisállomáshoz tartozó alapsávi egységeket (BBU-kat) magába foglaló entitás. A bázisállomásoktól földrajzilag elkülönül.
- Nyílt platformok, **valós idejű virtualizációs technológia**
- **Dinamikus** elosztott erőforrás allokáció
- **Több gyártós, több technológiás környezet támogatása.**

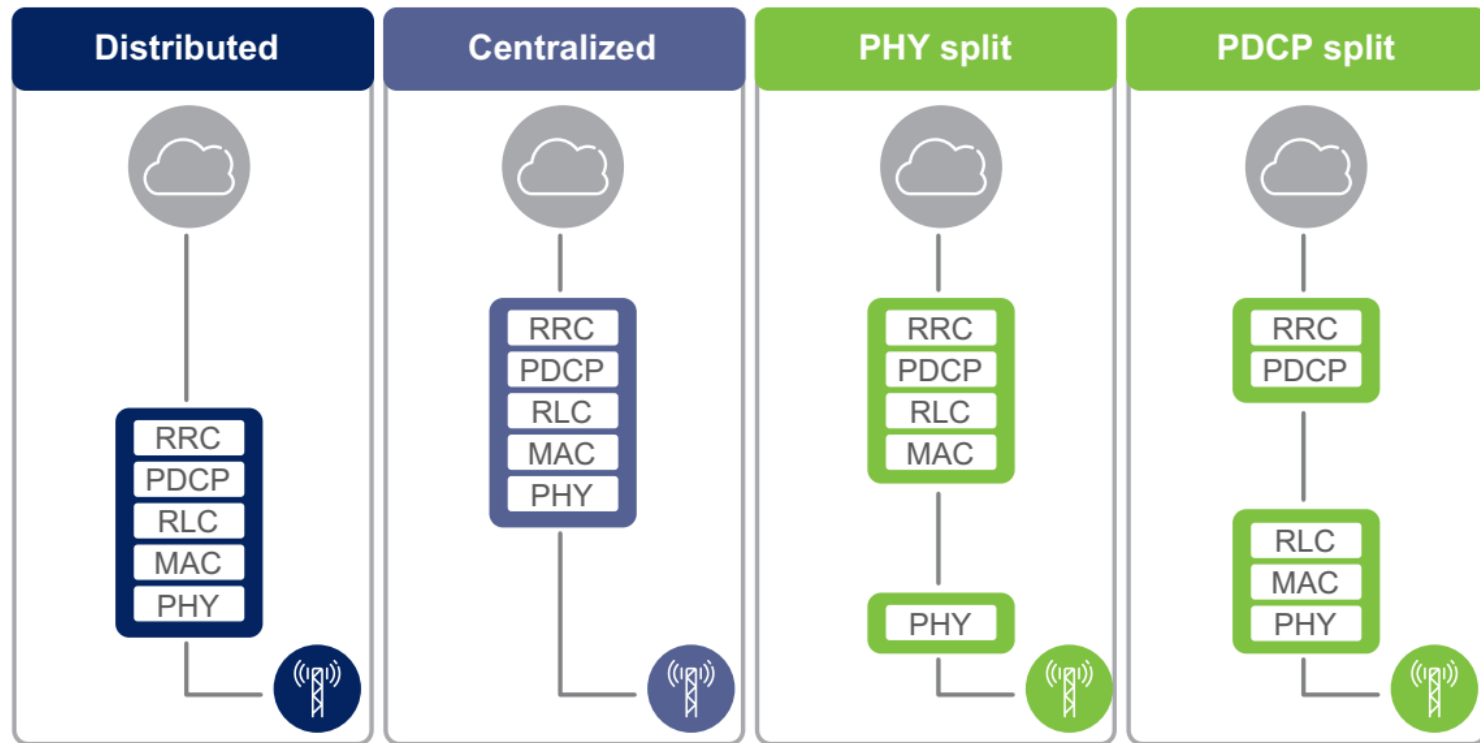


Virtual BBU Pool

C-RAN with RRHs

Forrás: A. Checko, H. L. Christiansen, Y. Yany, L. Scolari, G. Kardaras, M. S. Berger, L. Dittmann, Cloud RAN for Mobile Networks – a Technology Overview, IEEE Comm. Surveys & Tutorials

- Példák a rádiós hozzáférési protokoll réteg funkcionális felosztásaira C-RAN-ban



Forrás: Ericsson White Paper: Cloud RAN

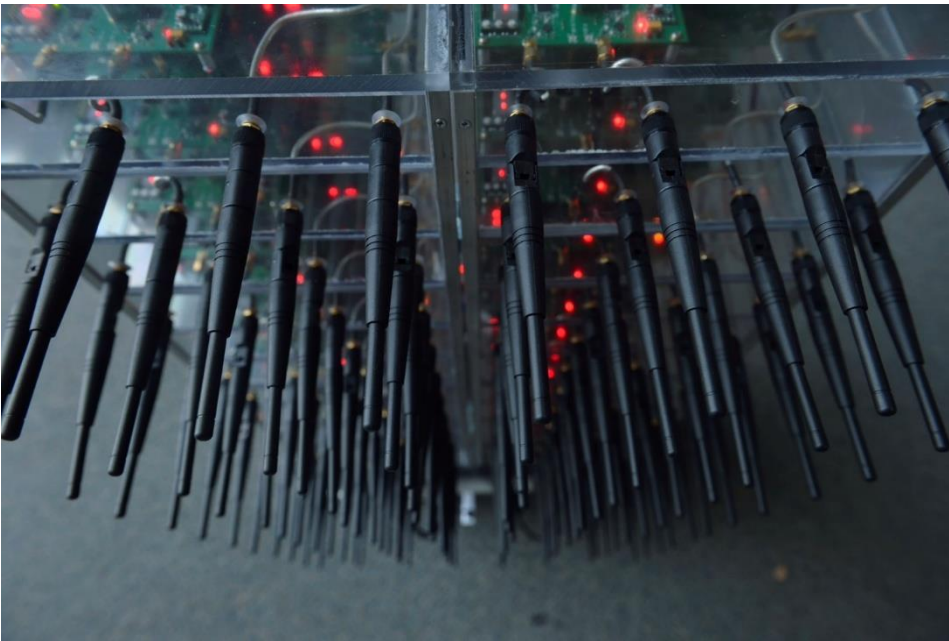
- Egységes hardver számos alkalmazáshoz
 - Üzemeltetéshez egyféle ember kell
 - Tartalékban egyféle kártya kell
 - Felügyelet/hibajelzések stb. egyféle
 - Hardver bővítés: egyféle. Egyféle, de nem egy gyártótól: szabványosított hardver architektúra. Ezek bármelyikén fut elvileg ugyanaz a hypervisor
- Szoftverben elvégezhető a többi
 - Több rádiós interfész futtatása pl. 3G, LTE ugyanazon a hardveren. Ez már évek óta működik C-RAN nélkül is. Ugyanaz a BBU „készülék” működteti a különböző technológiákat)
 - Új rádiós interfész feature (legalábbis egy részük...) bevezetése
 - Új kapacitás hozzáadása:
 - Pl. Új cellát, új RRH-t telepítünk, a cloudban létrehozunk egy megfelelő kapacitású BBU-t hozzá
 - Egyszerűsített konfigurálás

- dinamikus adaptáció a forgalomhoz
- forgalom egyenetlenségének kisimítása, trónkölési nyereség
 - időben, térben
- mobilitás elfedése a maghálózat felé
- handover kezelés
- CoMP megvalósíthatóság, interferenciakezelés, közös erőforrás-menedzsment
- a **C-RAN site-on futhat EPC** is. (Ettől még messze vagyunk a gyakorlatban 2020-ban).

- fronthaul (vagyis a BBU és RRU közötti) kapacitás nagyon nagy kell
 - nem ugyanannyi, mintha az RRH helyére egy teljes bázisállomást tennénk, hiszen a CPRI-n már a rádiós minták mennek digitalizálva
 - ez meglehetősen erős limitáció
 - fejlesztések: **I-Q tömörítési** módszerek
- késleltetés adódhat a PHY teteje és a PHY alja közé (hálózat van közte)
 - **szinkronizációs problémák** (TDD-nél viszont nagyon fontos a szinkron)
- bizonyos rádiós eljárásoknál (pl. CoMP, vagy elosztott MIMO), amelyek különböző, egymástól távolabb lévő antenna együttműködését kívánják, nagyon pontos szinkron szinkron szükséges
 - ezt akkor is meg kell oldani és nehéz megoldani, ha nem felhőben van a RAN

TÖMEGES (MASSZÍV) MIMO I.

- 32, 64, 128 antenna a hálózati csomóponton
- 6,8, 16 a felhasználói eszközön
- sok x sok MIMO a backhaul céljára



Forrás: <http://argos.rice.edu>



Forrás: Lund University, Ove Edfors LuMaMi
– A flexible testbed for massive MIMO

- MIMO támogatás erősen jelen van az LTE szabványban
- 9 átviteli mód
 - diverziti
 - térbeli multiplexelés
 - többfelhasználós MIMO
 - nyalábformálás
- Mennyiségi növekedés
 - számítási komplexitás
 - Hely, de  magasabb frekvenciasáv
- Elosztott MIMO
 - CoMP

- Nagyszámú BS antenna
 - sokfelhasználós MU-MIMO
 - ~ 10 UE ugyanazon a fizikai erőforráson
 - $\sim 10x$ rendszerkapacitás

- Massive beamforming: bár szigorúan véve nem MIMO, de a nyalábformálás ide érthető
 - nyaláb irányítás (beam steering): akár TTI-nként kapcsolt nyalábok
 - több nyaláb egyszerre ( vs. MU-MIMO)
 - mozgó hálózatokhoz backhaul

- Előnyök (MU-MIMO + beamforming kontextusban)
 - a spektrális hatékonyság nagyarányú növelése, BS sűrítés nélkül
 - csatorna, fading kisimítása: az ingadozásokat a térbeli diverzitás segít kiküszöbölni
 - jó szeparáció esetén az ütemezett felhasználók csatornái elválaszthatók  viszonylag egyszerű adó/vevő eljárások
 - pontosabban: a komplexitás arányaiban nem nő annyit

- ha nagyszámú adatfolyamot szeretnénk multiplexálni, **nagyon jó csatornabecslés kell**, minden antenna-pár között
 - ez FDD-ben különösen sok overheadet jelent
 - sokan csak TDD-re vizionálják a sok x sok MIMO-t
 - Pilot („mérő”-) jelek miatt erőforrás „pazarlás”
- pilot szennyezés (interferencia) a szomszédos cellák között
 - megoldások: kooperáció a cellák között (pilotokat együttesen ütemezik)
 - különböző pilot osztályok, más-más célra:
 - (van többféle referenciajel már az LTE-ben is)

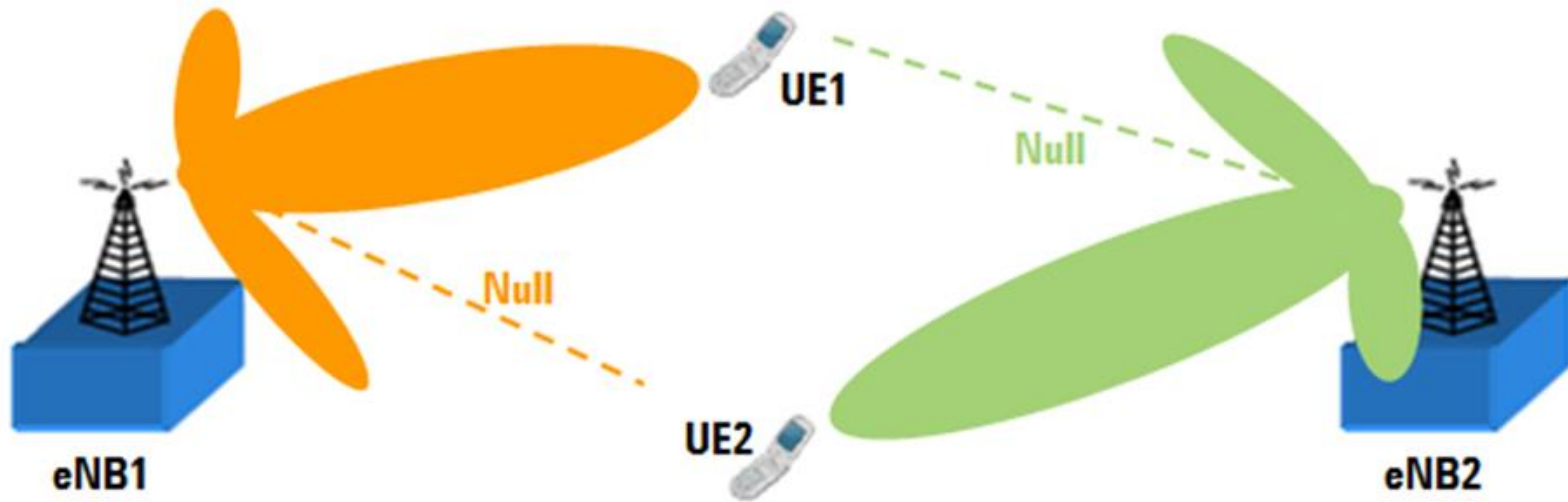
- hagyományos BS:
 - néhány antenna, néhány nagy teljesítményű jó hatásfokú erősítő



- helyett több tíz (száz) antenna → kis adóteljesítmény, más végfok → pl. végfokkal összeintegrált antenna, kis méret
- a formafaktor nem feltétlenül rosszabb, mint manapság
- skálázhatóság → mindegyiket más jel hajtja (előkódolás stb.),
- minden antennához egy-egy jelfeldolgozási lánc → hogy kötjük be?
- csatolás, költségek

- Hagyományos megközelítés
 - Az antenna tömb kisugárzási karakterisztikájának változtatása, a kisugárzott teljesítmény **irányának vezérlése mechanikai forgatás nélkül.**
 - **Ezt úgy érjük el**, hogy az egyes antenna elemek relatív **amplitúdó- és fázistolással** sugározzák ki a rádiós jelet, így az egész antenna tömbből jövő jel adott irányba koherensen összegződik
 - A jelszint növelésére és az interferencia csökkentésére használatos
 - Vételnél használható ki

- Hagyományos megközelítés

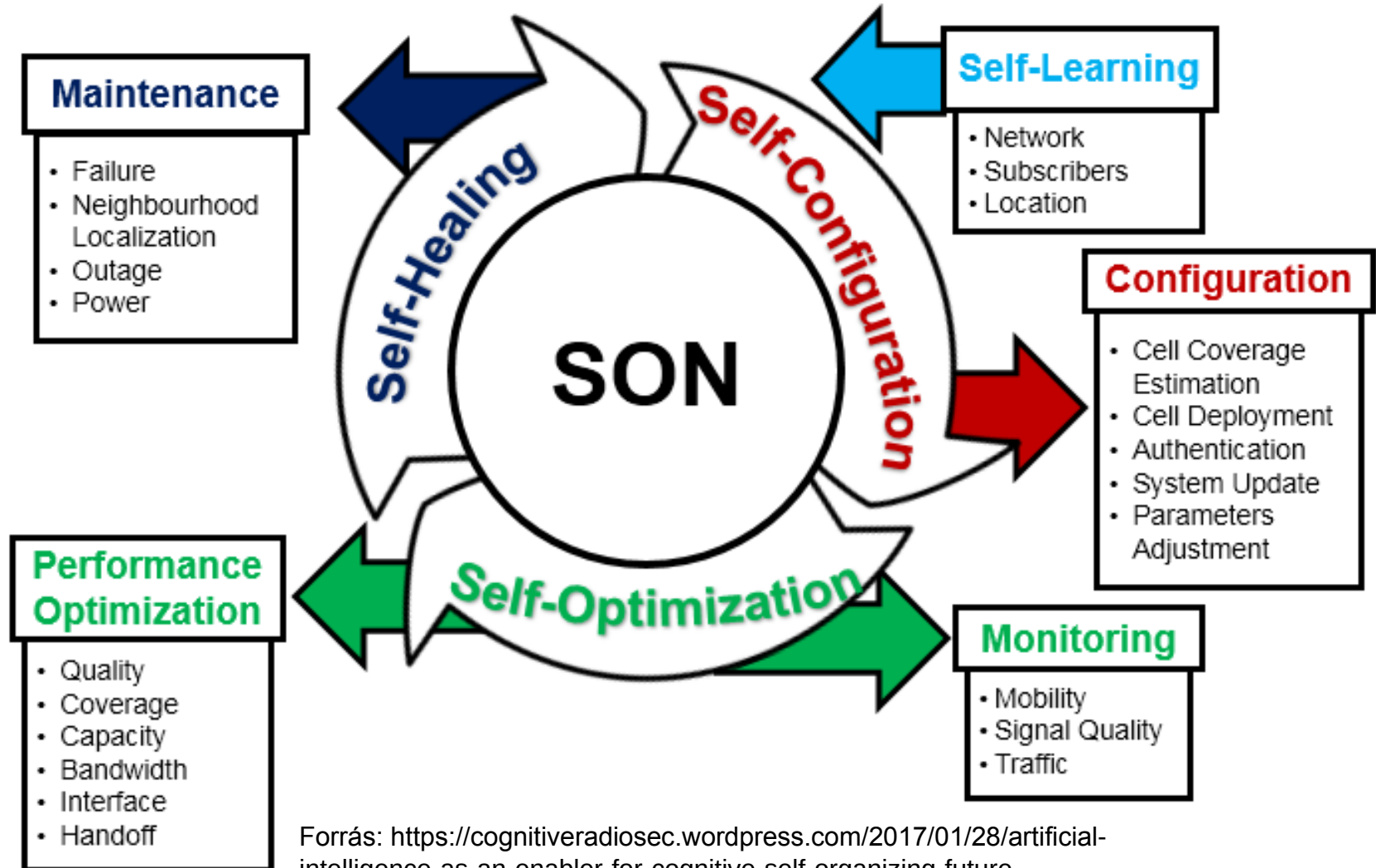


Forrás: Design and Test Challenges for 8x8 MIMO Devices for LTE Advanced,
<https://www.wirelessdesignmag.com/article/2013/12/design-and-test-challenges-8x8-mimo-devices-lte-advanced>

- Komplex jelfeldolgozás
 - Nagyszámú antennaelemmel egyszerre több nyaláb is formálható
 - Idő- és frekvenciaosztásos nyalábok
- A cellahatárok újraformálódnak
- **Mobil követése** a nyalábbal (magas SINR elérés így)
- Hogy/hol használható?
 - Vezeték nélküli backhaul fix és mobil „hozzáférési pontoknak”
 - Mozgó hálózatok
 - Magasabb frekvenciasávok (mmWave)

- **Self-Organizing Network (SON):** automatizált technológia, ami a mobil RAN hálózatok tervezését, konfigurálását, menedzsmentjét, **optimalizálását** és javítását teszi egyszerűbbé és gyorsabbá
- 3GPP és az NGMN definiálta
- „plug-and-play” módszer a távközlési szektorban
- Tulajdonságok:
 - Automatikus szomszéd reláció (Automatic Neighbor Relation–ANR)
 - Automatikus csatlakozás menedzsment
 - Öntesztelés
 - Mobilitás terhelés elosztás és forgalom irányítás
 - Energia takarékoság
 - Lefedettség és kapacitás optimalizálás (teljesítmény, antenna dőlésszög (tilt) beállítás)
 - RACH optimalizálás

SELF-ORGANIZING NETWORK



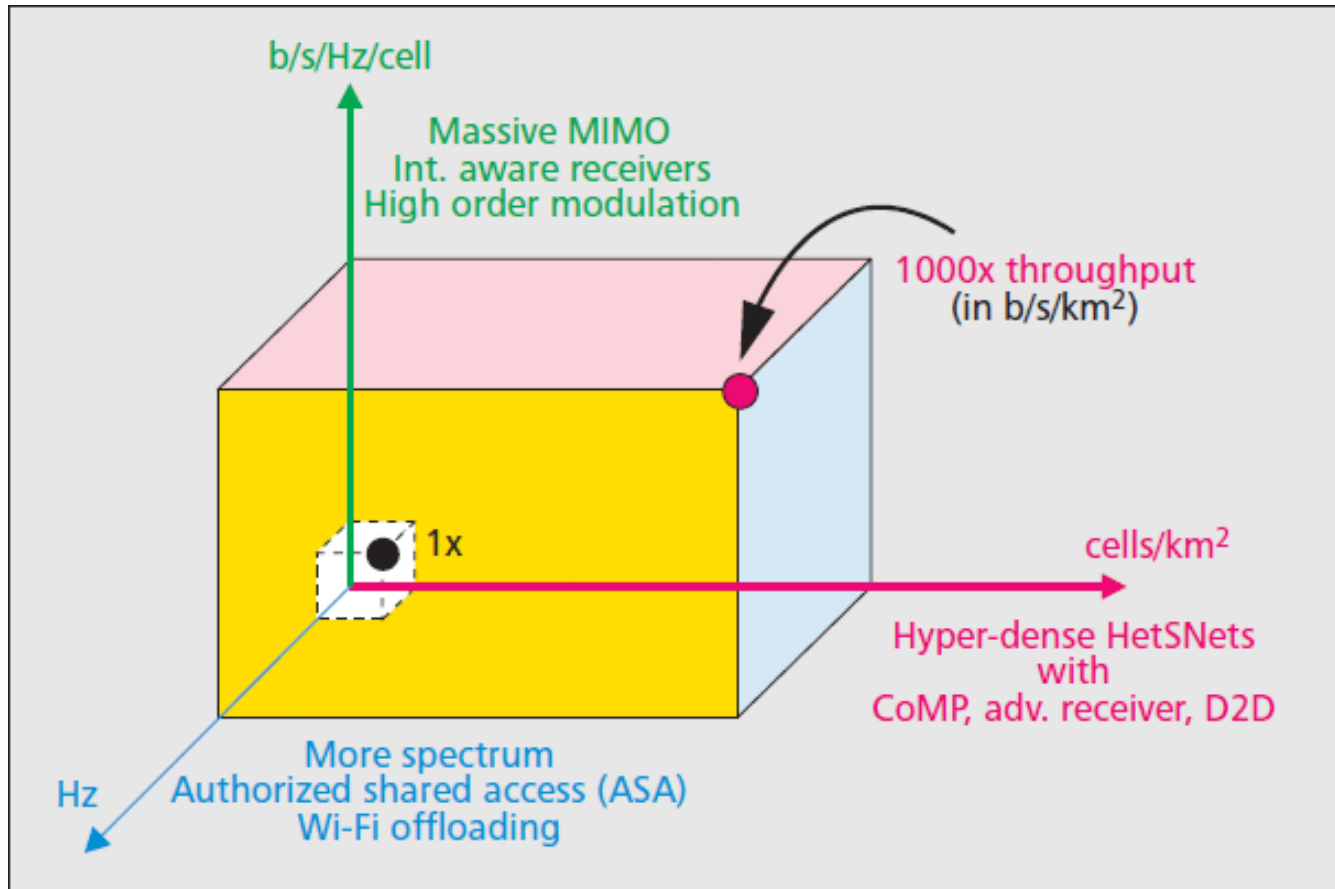
Forrás: <https://cognitiveradiosec.wordpress.com/2017/01/28/artificial-intelligence-as-an-enabler-for-cognitive-self-organizing-future-networks/>

- Gyűjtőfogalom: kis teljesítményű cellás hozzáférési pontok
- lefedettség néhány 10 métertől néhány kilométerig
- Frekvencia újrafelhasználás
- Típusai
 - Attocellák, femtocellák, pikocellák és mikrocellák
- Vezeték nélküli szolgáltatást biztosítanak beltérben és kültéren egyaránt
- extend service coverage and/or increase network capacity
- Kiterjesztik a szolgáltatás lefedettségét és/vagy növelik a hálózat kapacitását
- Több rétegű mobil hálózatok
- A szabványban definiálva vannak, de jelenleg (2020) Magyarországon nincsenek elterjedve.

- A **HetNet** (Heterogeneous network) egy olyan hálózat, amiben **makrocellák, kis cellák, bizonyos esetekben WiFi hálózati elemek működnek együtt**, hogy megoldják a vezeték nélküli szolgáltatás lefedettségi, kapacitás és hívásátadási problémáit
- Több rádiós hozzáférési technológia használata
 - GSM/GPRS, UMTS/HSPA, LTE/LTE-A, Wi-Fi
- Működés különböző cella méretek, hierarchikusan

- Három alapvető módja van a kapacitás bővítésnek:
 1. több frekvenciasáv vásárlása/használata (igen drága)
 2. spektrális hatékonyság növelése (a lehető legújabb technológiák használata)
 3. a hálózat sűrítése:
 - új site-ok építése: bonyolult (akár jogilag is) és költséges)
 - több cella telepítése: azt jelenti, hogy a site (a torony, víztorony, templom stb.) már rendelkezésre áll, vagyis nem kell új site-ot építeni.

- Shannon–Hartley formula: $C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$





Az 5G Magyarországon

- A jelenlegi 5G-re használható sávok Magyarországon
 - **3600 MHz TDD**
 - Emlékszünk: **TDD-nél kell a keretszinkron**. A szolgáltatóknak egymással szinkronizálni kell az NR rádiós keretet
 - A pontos sáv: **3410 – 3800 MHz (összesen 390 MHz sáv szélesség)**
 - Ezen a sávon kezdődött meg a kereskedelmi 5G szolgáltatás Magyarországon 2019-ben.
 - **A teljes 3500 MHz-es sáv 2020-ban lett kiosztva.** A Vodafone indította el elsőként a kereskedelmi 5G szolgáltatást, mert ő korábban rendelkezett 3500 TDD frekvenciával.
 - Több szolgáltató is bekapcsolásra készen állt az infrastruktúrával, de a spektrum értékesítés 2019-ről 2020-ra csúszott.
 - A felosztás:
 - Telekom: 120 MHz
 - Vodafone: 110 MHz
 - Telenor: 140 MHz
 - Digi: 20 MHz
 - További, alacsonyabb sávokon is meg fog jelenni az 5G szolgáltatás a közeljövőben Magyarországon, ahogyan az előfizetői igények azt indokoltá teszik (megtérülés).

- 5G koalíció

- Alakulás: Budapesten, 2017. 06. 19-én
- Közel 50 kormányzati intézménnyel, cégekkel, egyetemekkel, kutatóintézetekkel, illetve professzionális és civil szervezetekkel a következő generációs mobil telekommunikációs technológia fejlesztésért Magyarországon



- Ericsson és Magyar Telekom demonstrálta az első 5G-s linket Mo-n:
 - Közös demonstrációt tartottak az 5G New Radio-ról, ahol 22 Gbps-os letöltési sebességet értek el
 - Az Ericsson mérnökei bemutatták a legfrissebb mobil rádiós berendezést, ami még a 5G NR előzmény követelményeire épült
 - A demonstráció a 15 GHz-es frekvenciasávban működött 800 MHz-es sáv szélességgel



- Magyar Telekom demonstrálta az első 5G-s kapcsolatot Mo.-n:
 - Magyar Telekom a budapesti székházában
 - Előzmény: Deutsche Telekom – 2017 október Berlin Európa első valós 5G-s kapcsolat (3,7 GHz-es spektrumban akár 2 Gbps sebességgel és mindössze 3 ms késleltetés)
 - A 3,7 GHz-es spektrumban működő teszthálózat szabványosítás előtti 5G rendszerrel valósult meg, és a Huawei Technologies kereskedelmi bevezetésre kész 5G hálózati eszközeit használta.





HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK





DEPARTMENT OF
NETWORKED SYSTEMS
AND SERVICES

A Short Introduction to Quantum Computing and Communications

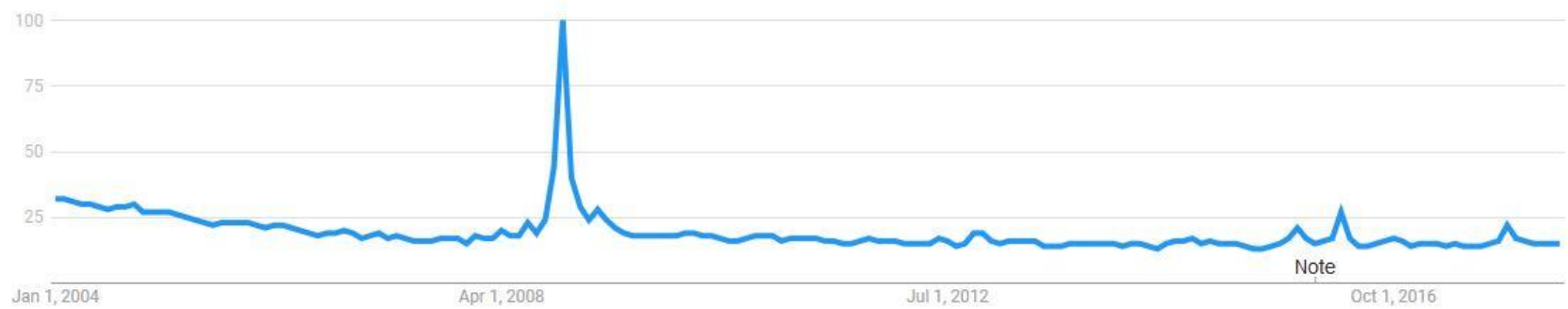
László Bacsárdi, PhD

Department of Networked Systems and Services
Budapest University of Technology and Economics
bacsardi@hit.bme.hu

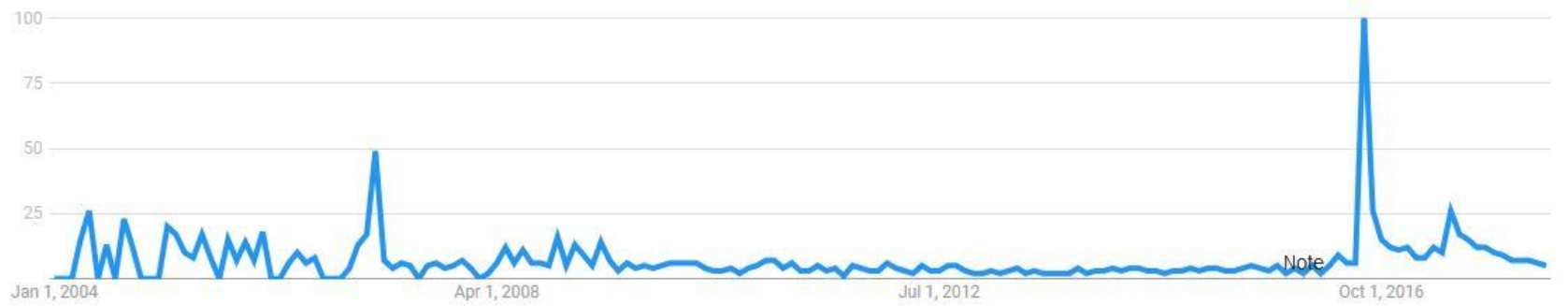
Nov 19, 2020







Data Source: Google Trends



Data Source: Google Trends





The future is Quantum.

The Second Quantum Revolution is unfolding now, exploiting the enormous advancements in our ability to detect and manipulate single quantum objects. The Quantum Flagship is driving this revolution in Europe.

[LEARN MORE](#)



European Commission organises event on quantum communication infrastructure

Published on: 04/10/2019

On 30 September, the European Commission and the European Space Agency (ESA) organised a joint industry day on “quantum communication infrastructure (QCI) for Europe – space segment”. This event was aimed at helping European industry and researchers develop the necessary technology for this emerging sector. The main goal was to share and discuss various options for potential space infrastructure for different use cases with QCI stakeholders.



- quantum key distribution (fiber and free-space)
 - quantum random numbers
 - quantum medium access control
 - quantum error correction
 - quantum cryptography
 - quantum repeaters and networks
 - quantum based space communications
 - using neural networks in quantum applications
 - visualizing multi-qubit systems using fractal representation
-
- undergraduate and graduate courses about quantum computing and communications

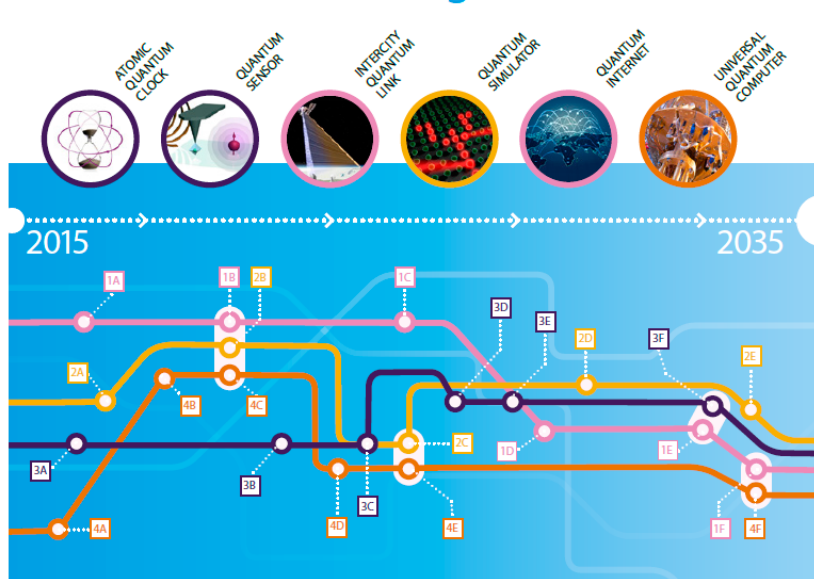


Quantum Manifesto

A New Era of Technology

May 2016

Quantum Technologies Timeline



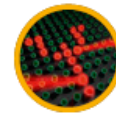
Atomic quantum clocks can be synchronised with GPS to provide very high levels of timing stability and traceability, even in hostile environments where GPS is unavailable or denied. These timing solutions can be useful within future smart networks, for instance for the synchronization of energy grids, as well as in telecoms, broadcasting, energy and security.



Quantum sensors that exploit quantum superposition and/or entanglement to achieve a higher sensitivity and resolution will be purchased and used by companies and public institutions for demanding construction projects; for instance, to measure voids under the ground and to detect mineral deposits or legacy infrastructure. They will also be used to provide non-invasive point-of-care diagnosis.



A secure **intercity quantum link** between a number of European capitals will allow transmission of highly sensitive data without any risk of interception. It may contain ground or satellite-based protected nodes derived from the development of trusted nodes and quantum repeaters.



Quantum simulators can be constructed for the special purpose of simulating materials or chemical reactions. Simulation allows new processes or properties to be explored before the material exists, as a tool to design new materials that are needed in multiple sectors, such as energy or transport.



A global **quantum-safe communication network** – a quantum internet combining quantum with classical information and encryption – offers security for internet transactions against the threat of a quantum computer breaking purely classical encryption schemes.

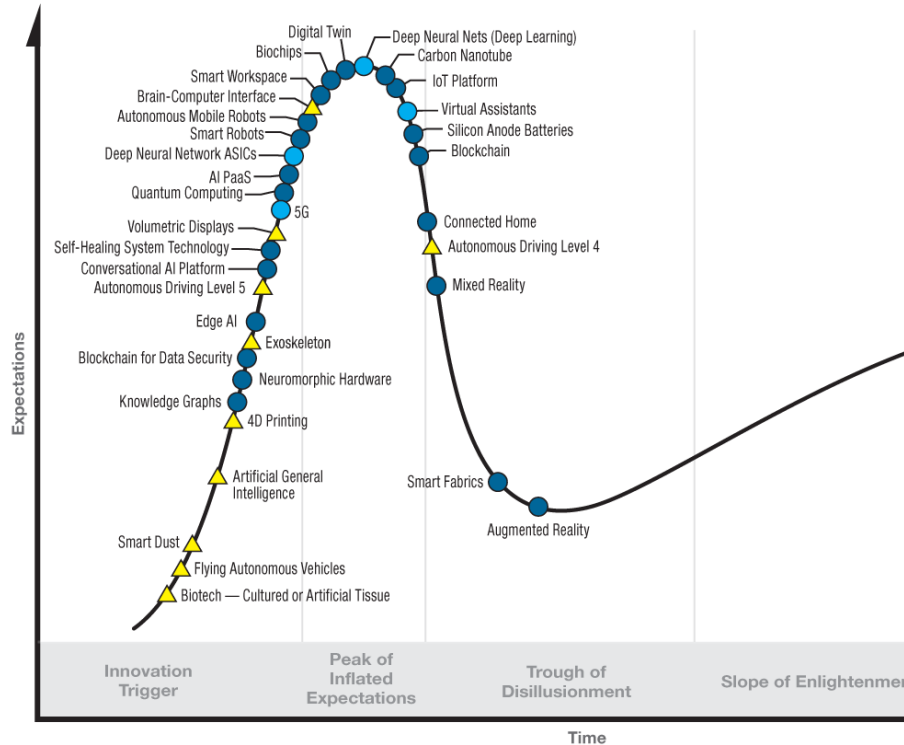


Universal quantum computers will be available with computational power at a level of performance that will exceed even the most powerful classical computers of the future. They will be reprogrammable machines used to solve demanding computational problems, such as optimisation tasks, database searches, machine learning and image recognition. They will contribute to Europe's smart industry, helping to make European manufacturing industries more efficient.

Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2019

Trends

Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018



gartner.com/SmarterWithGartner

Source: Gartner (August 2018)

© 2018 Gartner, Inc. and/or its affiliates. All rights reserved.

5 Unknown Problems
100,000+ qubits

1 Chemistry
100 – 200 qubits

4 Material Science
100s – 1,000s qubits

Quantum Computing
Key Potential Applications

2 Optimization
100s – 1,000s qubits

3 Machine Learning
100s – 1,000s qubits

gartner.com/SmarterWithGartner

Source: "Nature," Wikipedia
© 2019 Gartner, Inc. All rights reserved.

Gartner



Trend No. 10: Quantum computing

- Quantum computing is a type of nonclassical computing that is based on the quantum state of subatomic particles that represent information as elements denoted as quantum bits or “qubits.”
- Quantum computers are an exponentially scalable and highly parallel computing model. A way to imagine the difference between traditional and quantum computers is to imagine a giant library of books.
- While a classic computer would read every book in a library in a linear fashion, a quantum computer would read all the books simultaneously. Quantum computers are able to theoretically work on millions of computations at once. Quantum computing in the form of a commercially available, affordable and reliable service would transform some industries.
- Real-world applications range from personalized medicine to optimization of pattern recognition. This technology is still in an emerging state, which means it is a good time for businesses to increase their understanding of potential applications and consider any security implications. Aside from a select group of businesses where specific quantum algorithms would provide a major advantage, most enterprises could remain in exploration phase through 2022 and begin exploiting the technology later.
- Read more:
<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/the-cio-s-guide-to-quantum-computing/>

China Launches Pioneering 'Hack-Proof' Quantum-Communications Satellite

By Mike Wall, Space.com Senior Writer | August 16, 2016 06:13pm ET

f 385

t 54

g+ 19

reddit 37

st 1388

MORE ▼



China launched the first-ever quantum-communication satellite, known as QUESS, atop a Long March-2D rocket from the Jiuquan Satellite Launch Center on Aug. 15, 2016 (Aug. 15 local time).

Credit: Xinhua/Jin Liwang

'Much better than expected': Chinese 'hack-proof' quantum communication satellite put into service

Published time: 19 Jan, 2017 04:43

[Get short URL](#)

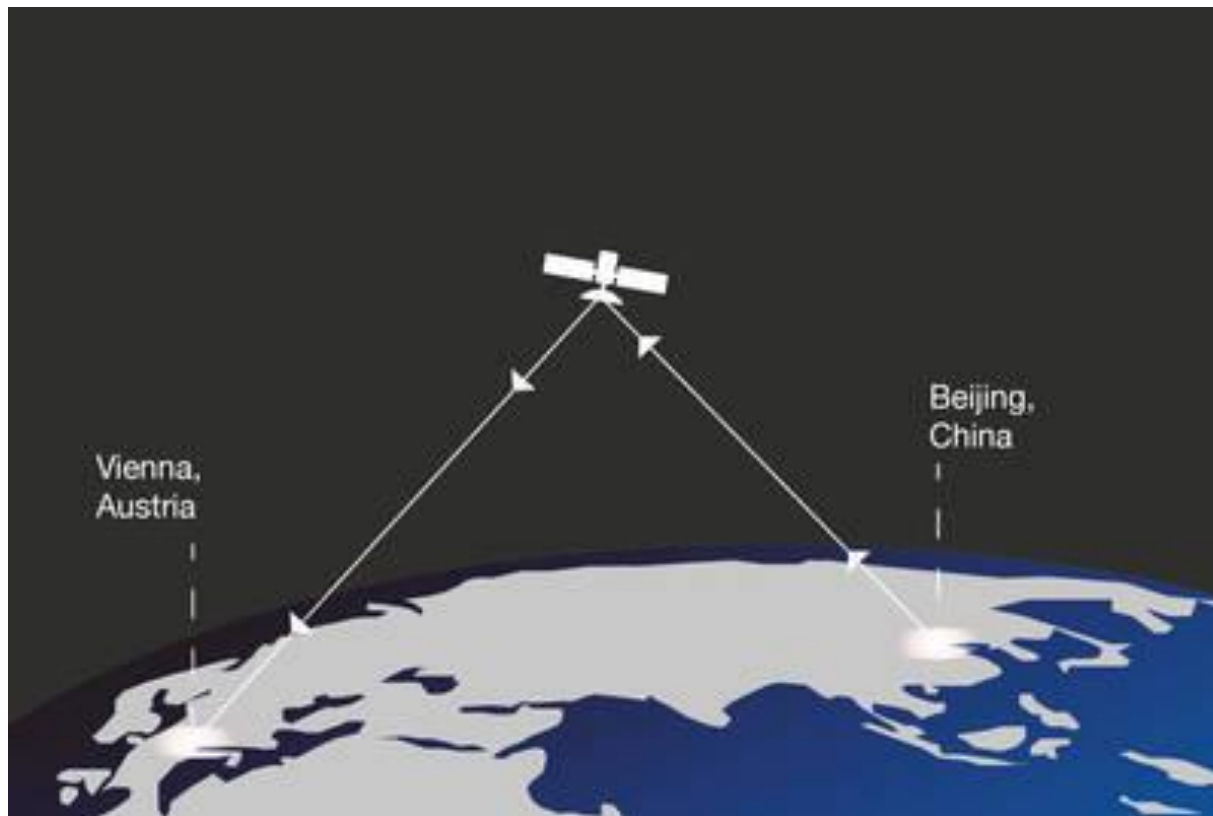


Beijing Aerospace Control Center. © Ju Zhenhua / Xinhua / Global Look Press via ZUMA Press



The world's first quantum communication satellite is now officially operational following months of in-orbit testing, the Chinese Academy of Sciences (CAS) announced, saying that performance of the device is "much better" than was initially expected.

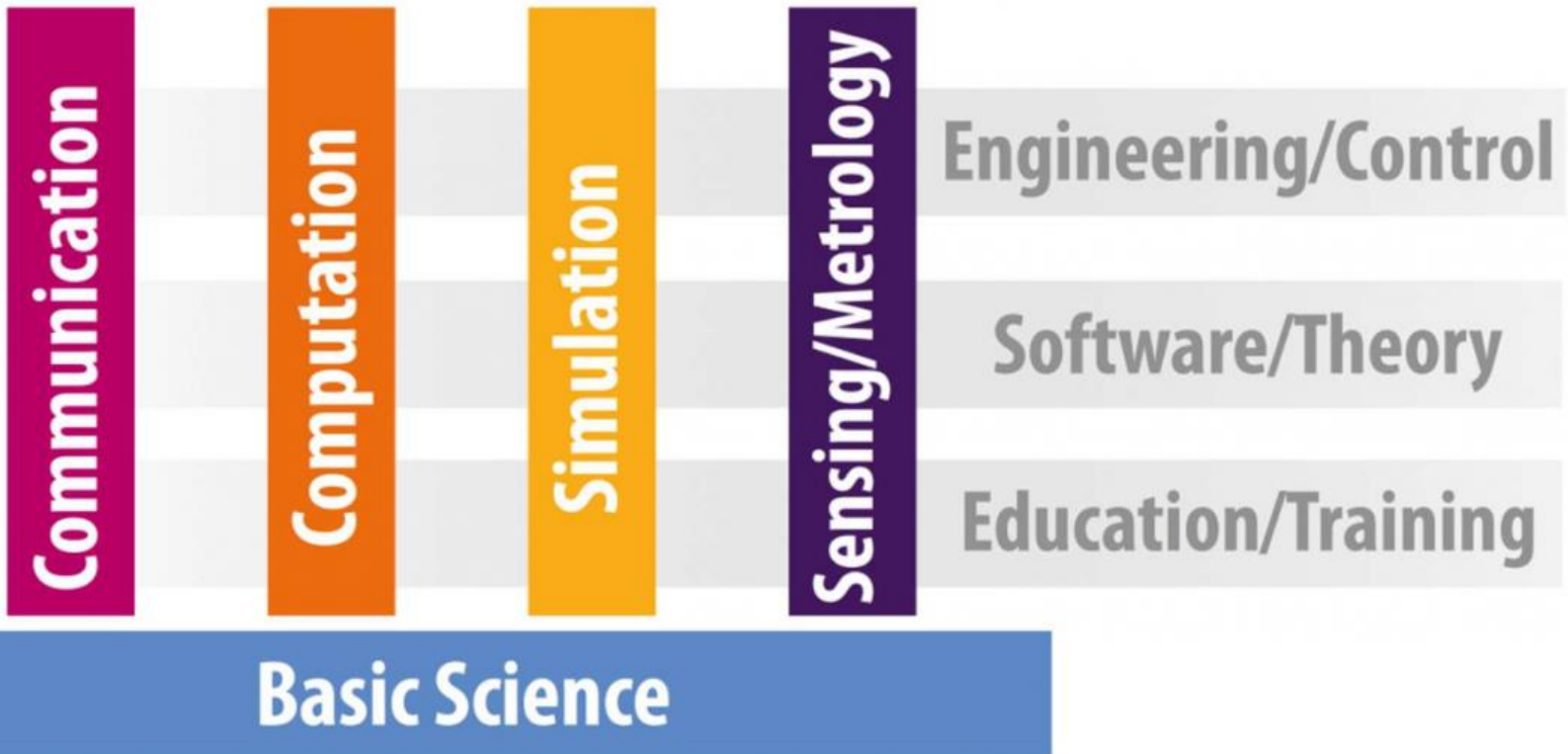
Source of image: <https://www.rt.com/news/374167-china-quantum-satellite-operational/>



Quantum Manifesto

A New Era of Technology

May 2016





The scientific and technological legacy of the 2 milestones such as **quantum mechanics** and **p** Both endeavours have opened new avenues for understanding of Nature, and are true landmarks. Quantum theory and space science form building research framework for exploring the **boundaries** through the unique working conditions offered performed in space.

Secure
Communication

Time and
Frequency Services

Earth Sensing and
Observation

Fundamental
Physics

Research & Development



Metropolitan Quantum Communication

Using coherent quantum communication to enhance the security of intra-city cryptography. Coherent Quantum Key Distribution Our quantum key distribution systems are based on coherent telecommunication technology. Quantum states are distributed with state-of-the-art rates of 10 Gbaud via an optical fiber link,...

Satellite Quantum Communication

We use quantum-enhanced satellites to provide quantum communication on a global scale. Quantum Communication on a global scale Current quantum communication technologies are limited by a fixed amount of tolerable loss for the quantum signals. In fibers, this loss scales...

Quantum Random Number Generation

Harnessing the power of quantum mechanics to generate true and unique, high-speed random numbers. Quantum random numbers from the vacuum While a coin toss or the casting of a die may seem random, short-term behaviour is very predictable when for example...

Quantum Encryption and Science Satellite (QEYSSat)



Principal Investigator Professor Thomas Jennewein

Institute for Quantum Computing (IQC) researcher Thomas Jennewein is pioneering new applications for quantum technologies, in particular quantum communications networks in space.



Recent media

04/27/17 - [Press release](#) from Innovation, Science and Economic Development Canada

02/02/17 - [Wired article](#) by Sophia Chen

12/22/16 - ["We've got photons!"](#)

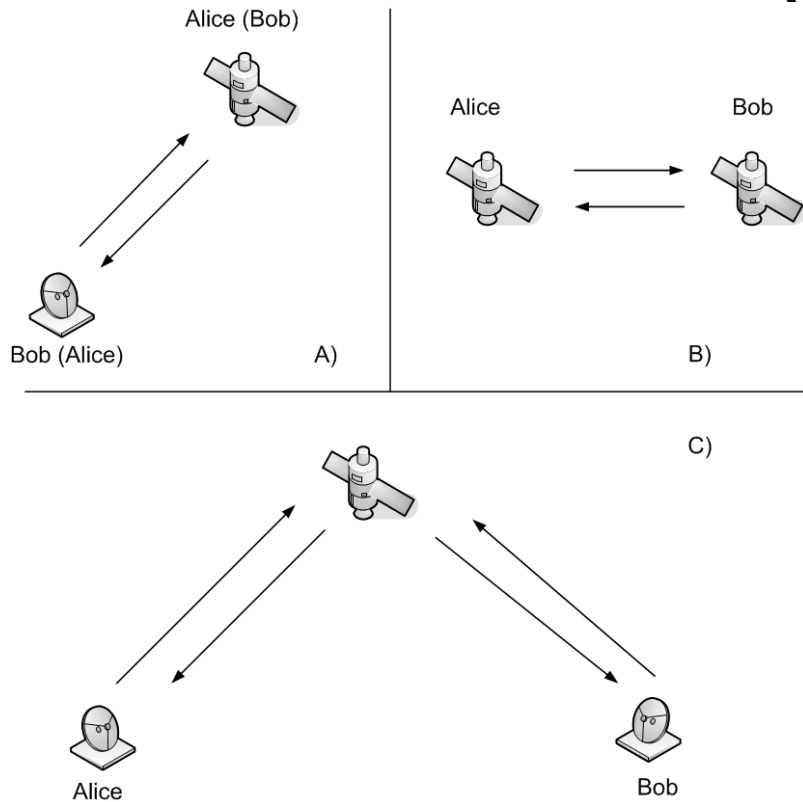
12/21/16 - [Researchers successfully demonstrate prototype for space-based quantum-secured communication](#)

12/20/16 - [Globe and Mail article](#) by Ivan Semeniuk

09/12/16 - [IQC researchers successfully conduct airborne demonstration of quantum key distribution](#)

05/05/16 - [IQC researcher awarded CSA grant to demonstrate quantum communications technologies aboard student space mission](#)

QKD



The latest version of the Quantum Satellite Communication Simulator is available:

<http://mcl.hu/quantum/simulator/>

	Sputnik-1 (215 km)	International Space Station (340 km)	Former Russian Space Station MIR (390 km)	Hubble Space Telescope (595 km)	700 km	Polar Orbiting Satellites	1700 km	Upper limit of Low Earth Orbit (2000 km)
QBER (uplink) =	0.000157	0.000237	0.000278	0.000507	0.000659		0.00327	0.004449
QBER (downlink) =	0.000108	0.00011	0.000111	0.000119	0.000124		0.000219	0.000262

$$|\varphi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$$

$$|\varphi\rangle^{\otimes 2} = a|00\rangle + b|01\rangle + c|10\rangle + d|11\rangle$$

$$|\varphi\rangle^{\otimes 4} = a|0000\rangle + b|0001\rangle + \dots + o|1110\rangle + p|1111\rangle$$

QUREGISTER

1th postulate: quantum bit

- Vector in Hilbert space

$$|\varphi\rangle = \sum_{i=0}^{2^n-1} \varphi_i |i\rangle$$

2th postulate : logic gates

- Unitary transform
- Elementary logic gates

$$U^\dagger \equiv U^{-1}$$

3rd postulate : Q/C conversion

- Measurement statistics
- Post measurement state

$$P(m | |\varphi\rangle) = \langle \varphi | M_m^\dagger M_m | \varphi \rangle$$

$$|\varphi'\rangle = \frac{M_m |\varphi\rangle}{\sqrt{\langle \varphi | M_m^\dagger M_m | \varphi \rangle}}$$

4th postulate : registers

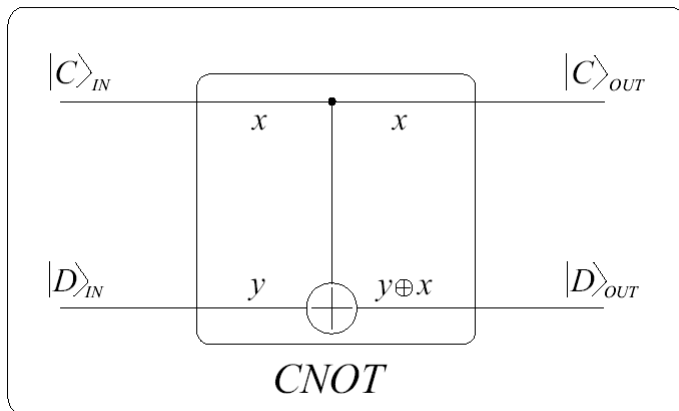
- Tensor product

$$|\varphi\rangle = |0\rangle \otimes \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}} = \frac{|00\rangle + |01\rangle}{\sqrt{2}}$$

- NO-cloning: only orthogonal and/or known states can be copied!
 - Differentiation (measurability) and making perfect copies are twin brothers.
 - Amplification=copying!
 - NO universal COPY command!!!
- Entanglement – special resource
 - Non tensor product states.
 - Measuring one half of the pair will influence the measurement result of the other half.
 - Information can not be delivered in this way between distant points!

$$|\varphi\rangle = \varphi_0|00\rangle + \varphi_1|01\rangle + \varphi_2|10\rangle + \varphi_3|11\rangle$$

$$|\varphi\rangle = \varphi_0|00\rangle + \varphi_3|11\rangle$$



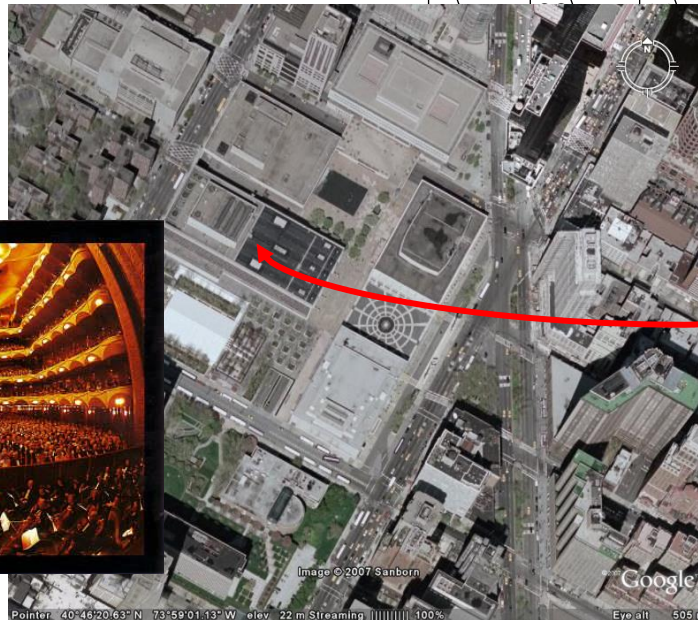
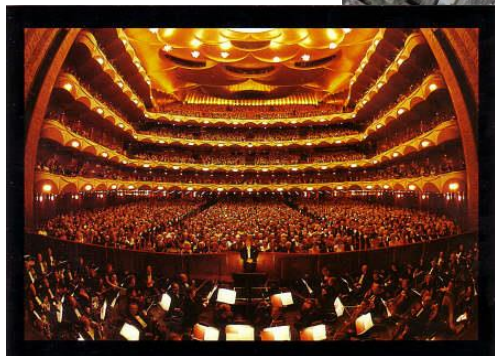
- Upper wire: control
- Lower wire: data

$$|\beta_{00}\rangle = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}},$$

$$|\beta_{01}\rangle = \frac{|01\rangle + |10\rangle}{\sqrt{2}},$$

$$|\beta_{10}\rangle = \frac{|00\rangle - |11\rangle}{\sqrt{2}},$$

$$|\beta_{11}\rangle = \frac{|01\rangle - |10\rangle}{\sqrt{2}}.$$

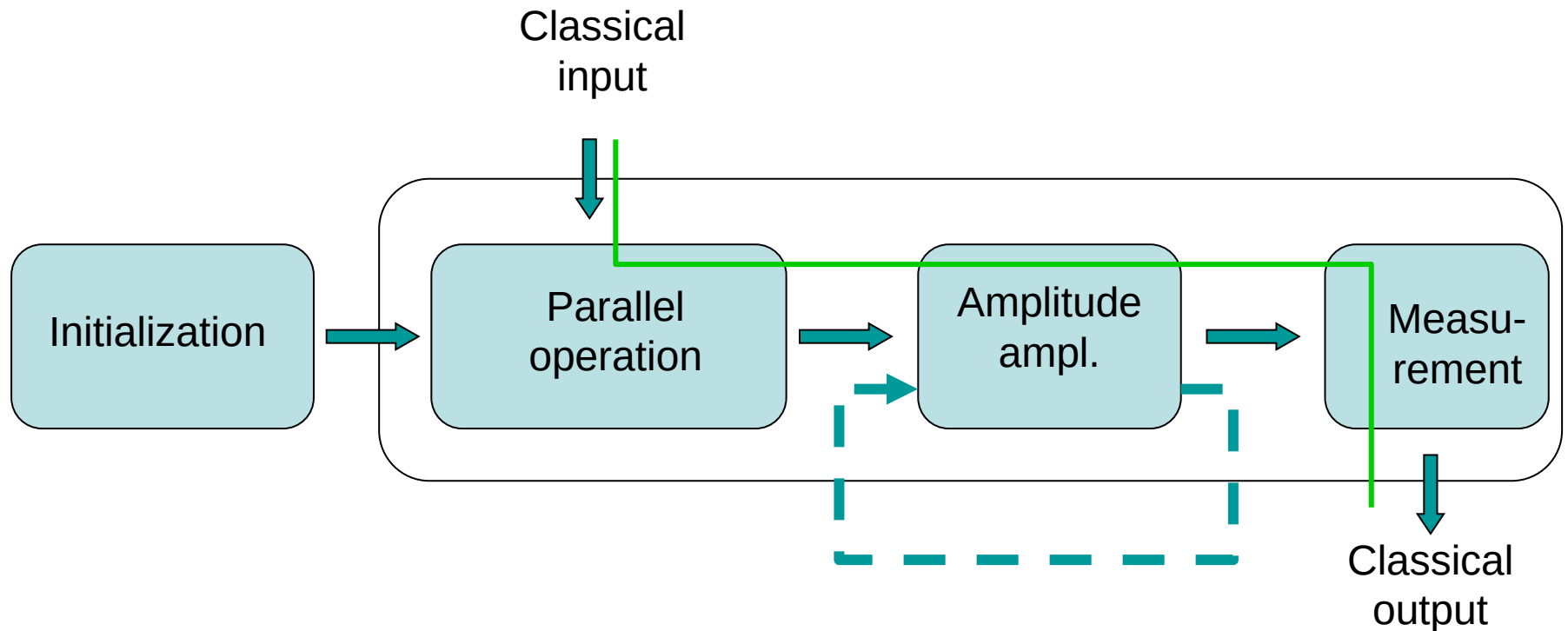


$$|\varphi\rangle = \varphi_0|00\rangle + \varphi_3|11\rangle$$



Application: Quantum Computing

GENERAL MODEL OF QUANTUM ALGORITHMS



WW

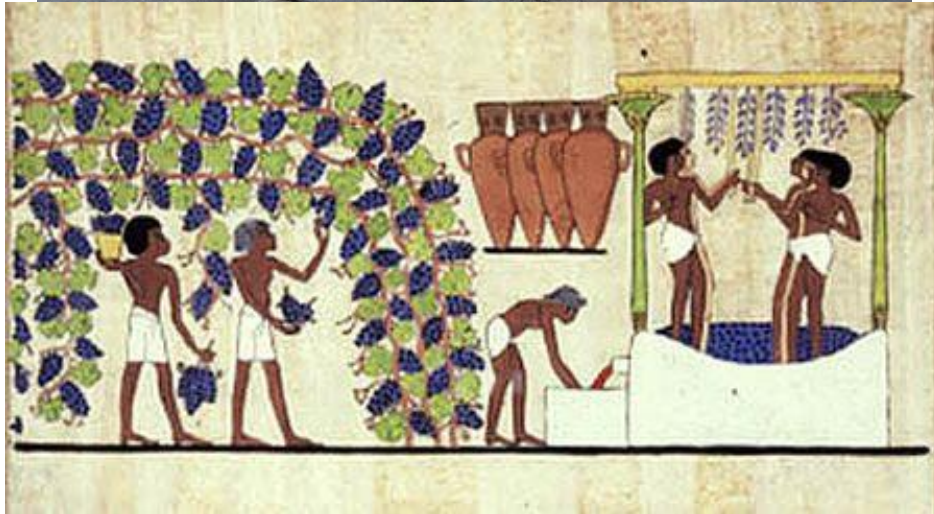


What was the basic problem of the hunting/gathering prehistoric men?

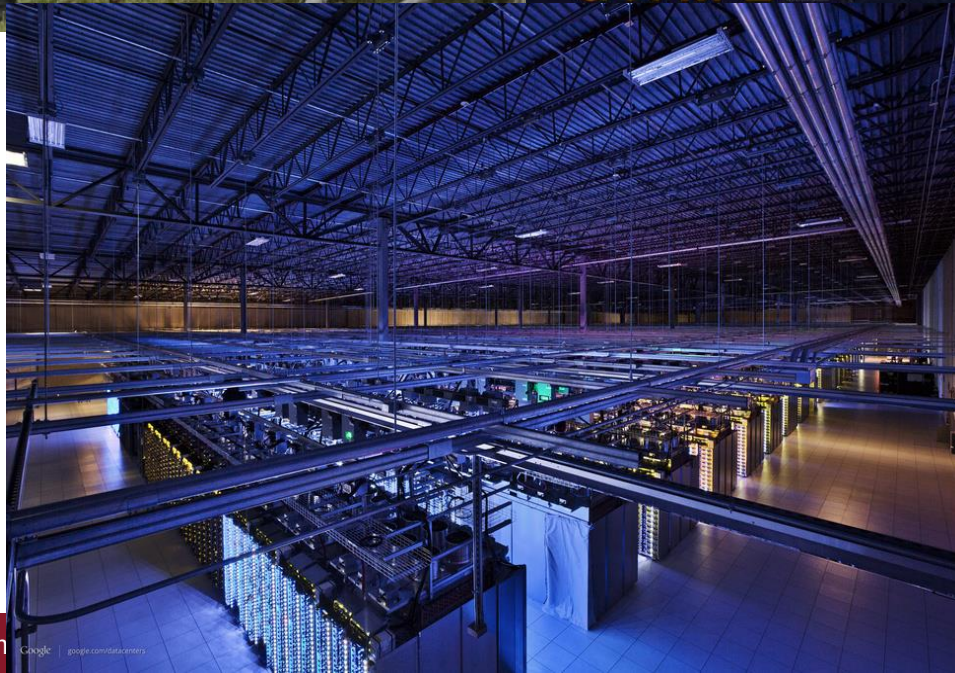
What is the reason?

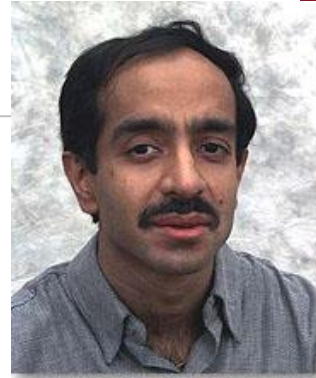
How to solve it?





HISTORY OF DATA BASE SEARCHING V3



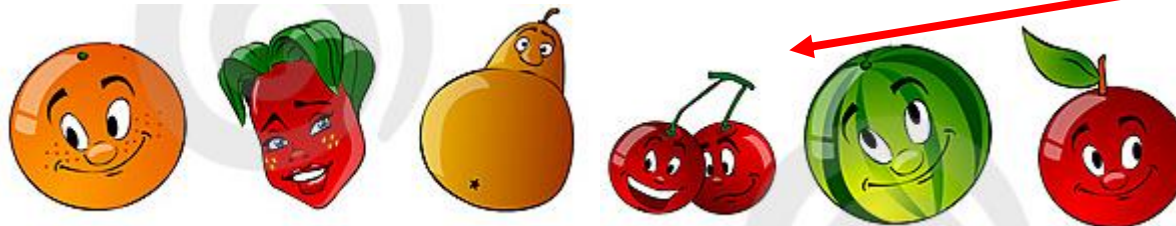


Lov Grover (1961-)

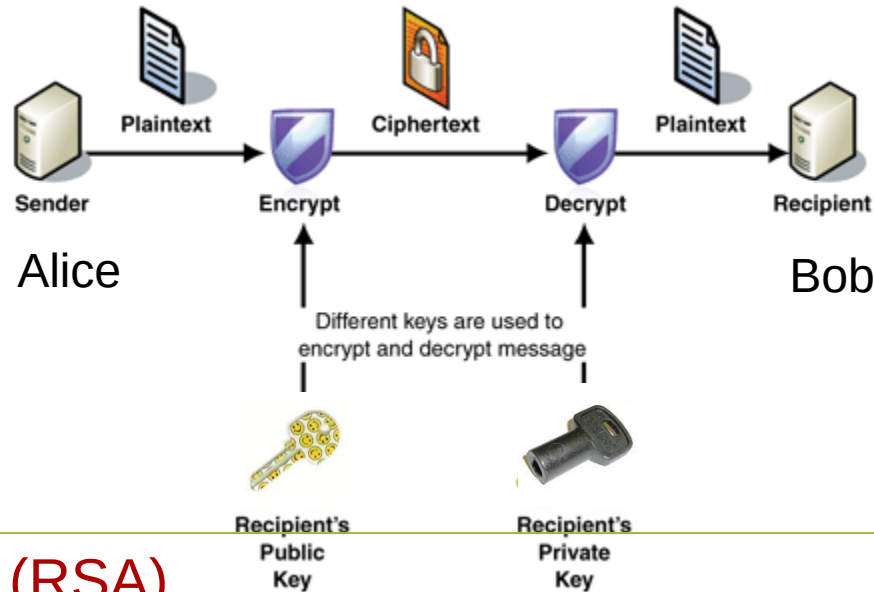
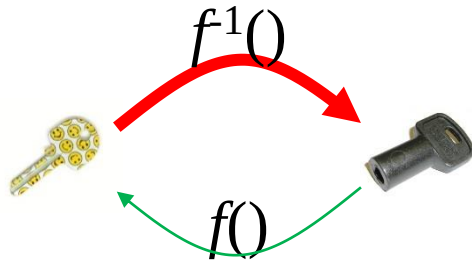
- Grover algorithm
- Unsorted data based with N different item. $DB[x]$
- Classical complexity?
- Quantum complexity:

$$O(\sqrt{N})$$

- Application areas are not restricted to computing
 - Optimal route selection in a large network
 - Signal detection, stc.

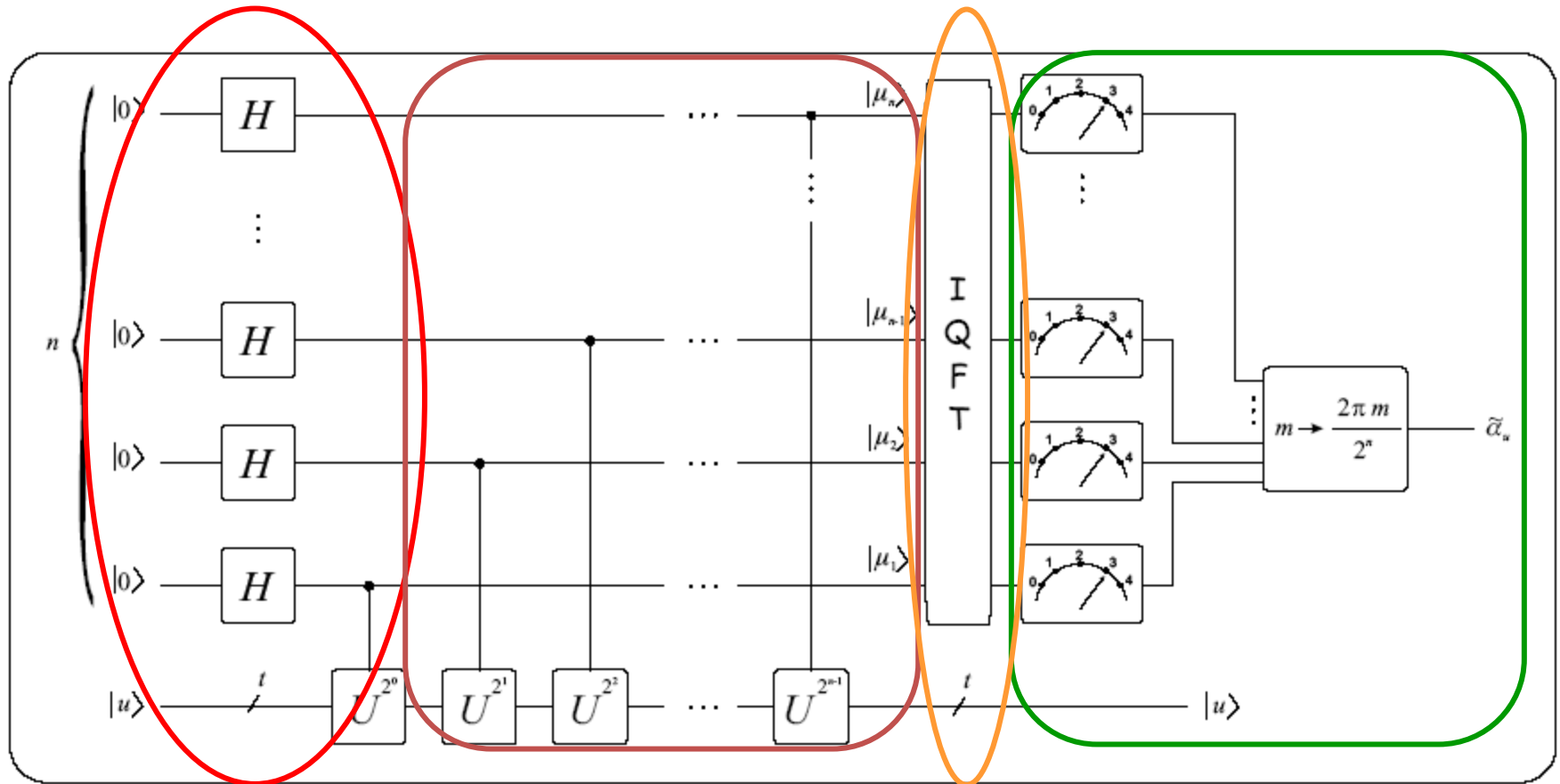


$x = ?$



- **Public key cryptography (RSA)**
 - Public key for encryption, secret key for decryption
 - Key generation: using the product of two huge prime numbers
 - Hacking: computing the prime factors
- There exists no efficient method for prime factorization.
- At least classically.
- **However Shor's quantum order finding algorithm...**

RSA BREAKING DEVICE



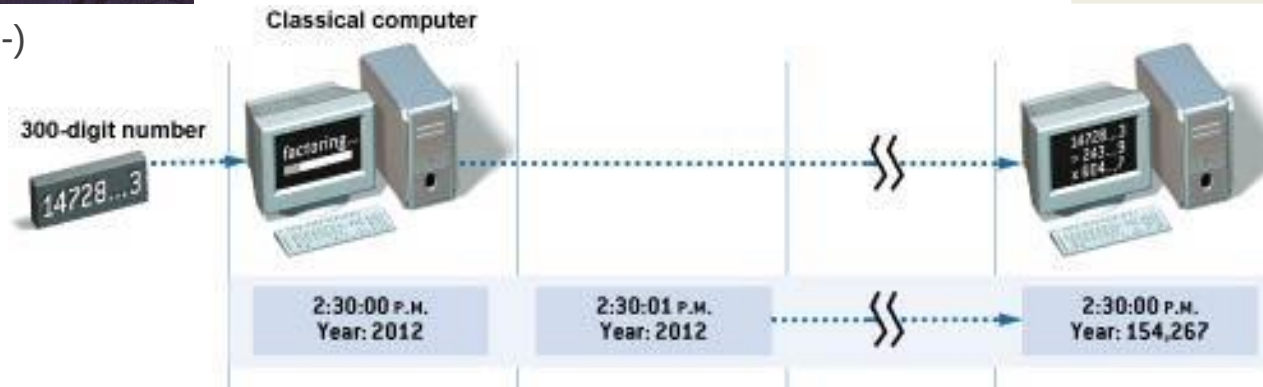
POWER OF SHOR'S ALGORITHM



Peter Shor (1959-)

$$O(\log^3(N))$$

152 000
years





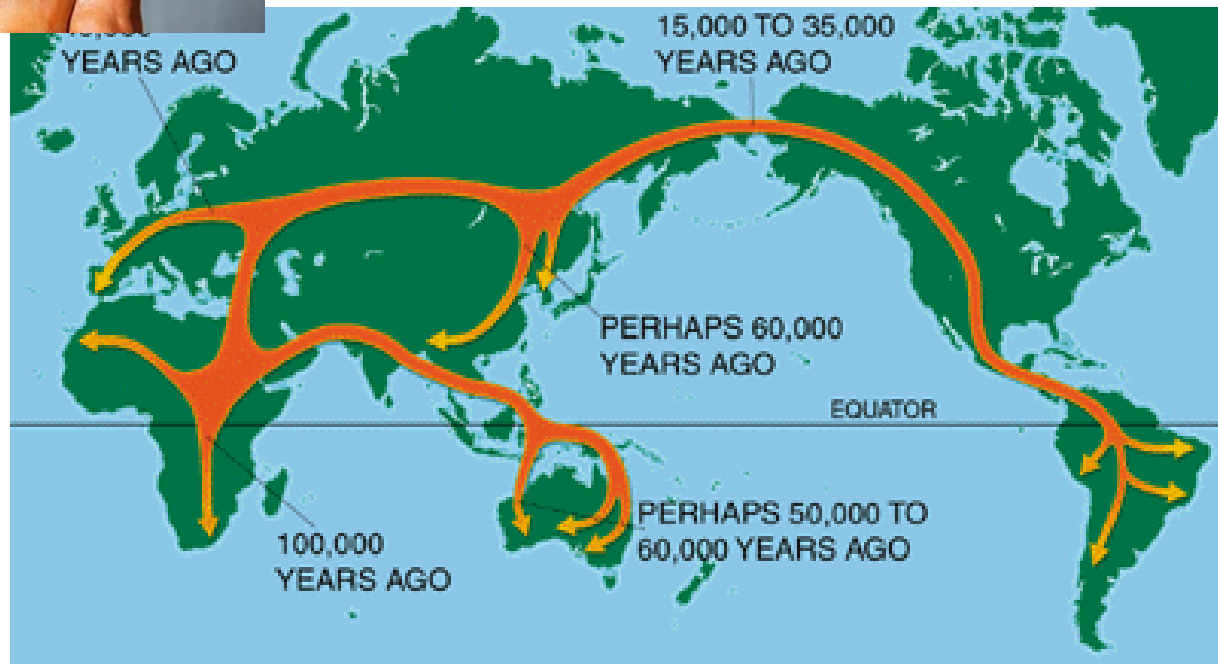


Adam (~ 150 000 BC)

152 000
years

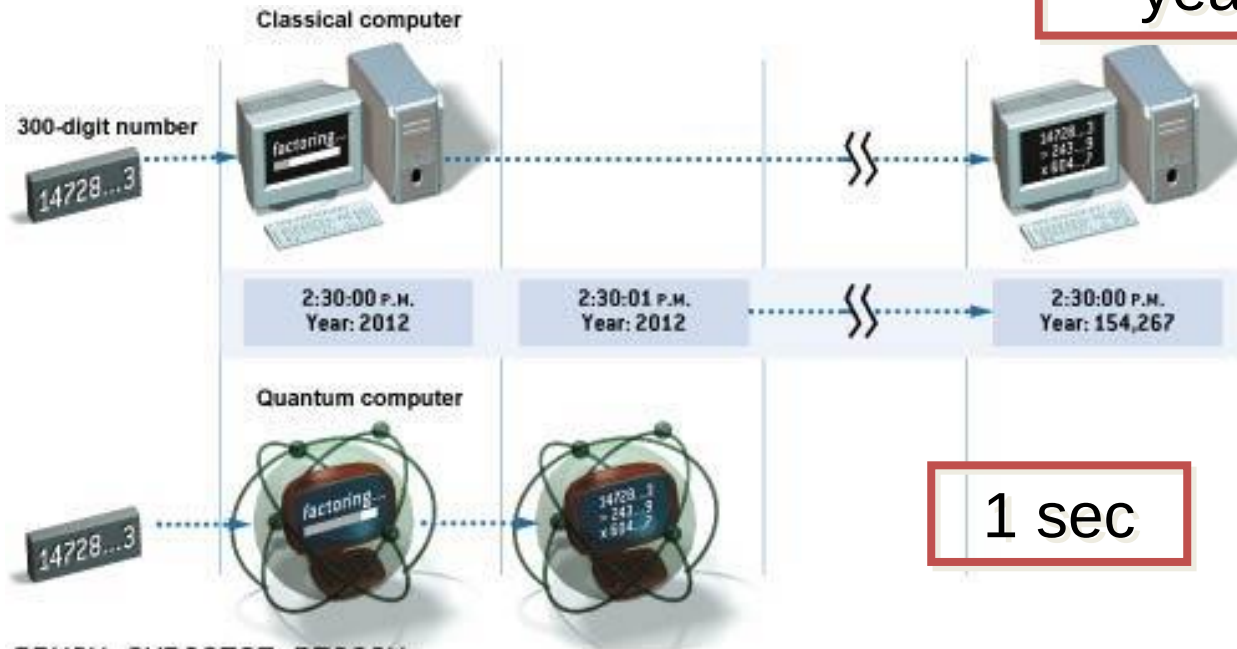


Starman (2018-2002018)



$$O(\log^3(N))$$

152 000
years



BRYAN CHRISTIE DESIGN



Table 9.1 Code-breaking methods and related complexity

Method	$n = 128$	$n = 128$	$n = 1024$	$n = 1024$	1s barrier
BF	$1.8 \cdot 10^7$ s	0.58 year	$1.3 \cdot 10^{142}$ s	$4 \cdot 10^{134}$ year	80 bit
BC	$6 \cdot 10^{-4}$ s	$1.9 \cdot 10^{-11}$ year	$3.5 \cdot 10^8$ s	11.29 year	273 bit
G	$4 \cdot 10^{-3}$ s	$1.3 \cdot 10^{-10}$ year	$1.1 \cdot 10^{65}$ s	$3.7 \cdot 10^{57}$ year	159 bit
S	$2 \cdot 10^{-5}$ s	$6.6 \cdot 10^{-14}$ year	0.01 s	$3.4 \cdot 10^{-11}$ year	10000 bit

- BF: *brute force* classical method which scans the integer numbers from 2 to $\lceil \sqrt{N} \rceil$ with complexity $O(\sqrt{N})$,
- BC: *best classical* method requiring $O(\exp[c \cdot \text{ld}^{\frac{1}{3}}(N) \text{ld}^{\frac{2}{3}}(\text{ld}(N))])$ steps,
- G: *Grover* search based scheme with $O(N^{\frac{1}{4}})$,
- S: *Shor* factorization with $O(\text{ld}(N)^3)$.



Brutal!



Arnold Schwarzenegger (1947-)

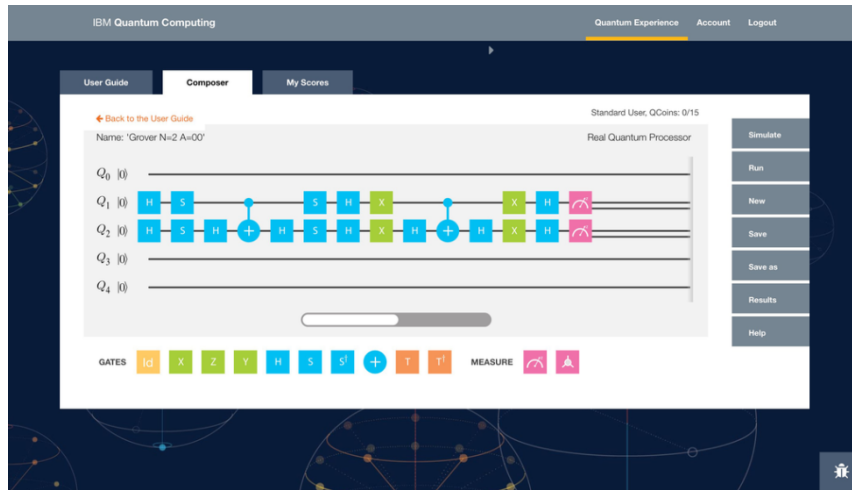
D-WAVE

Jan 2017: D-Wave2000Q



D:wave
The Quantum Computing Company™

IBM QUANTUM COMPUTER ACCESS!



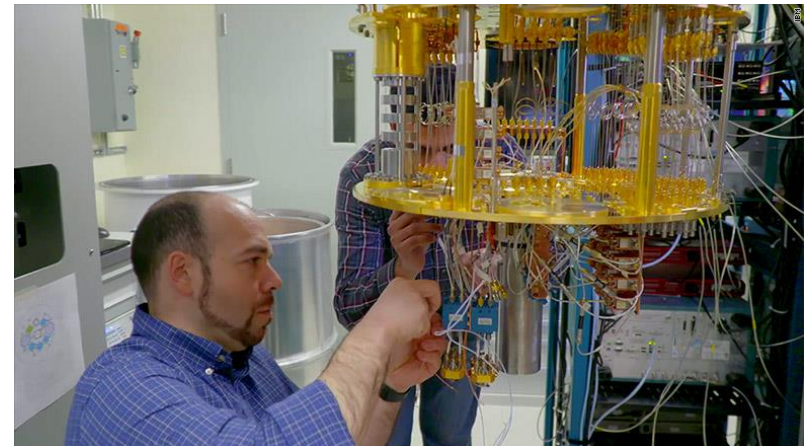
2016: 5 qubit

<https://quantum-computing.ibm.com/>

2017: 16 qubit

IBM Q Awards:

<https://qx-awards.mybluemix.net/>

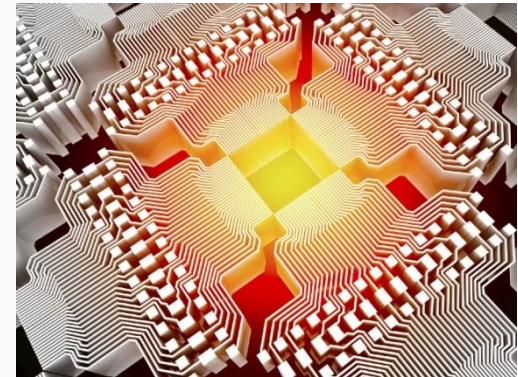


Quantum Programing language: Q#

```
operation BellTest (count : Int, initial: Result) : (Int,Int)
{
    body
    {
        mutable numOnes = 0;
        using (qubits = Qubit[1])
        {
            for (test in 1..count)
            {
                Set (initial, qubits[0]);

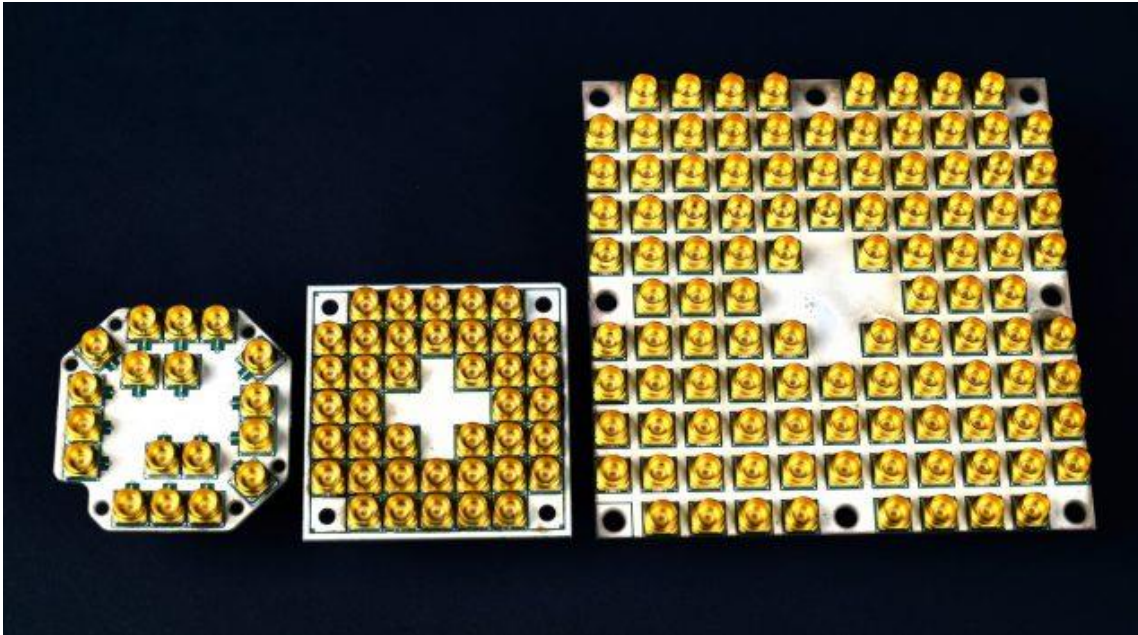
                let res = M (qubits[0]);

                // Count the number of ones we saw:
                if (res == One)
                {
                    set numOnes = numOnes + 1;
                }
            }
            Set(Zero, qubits[0]);
        }
        // Return number of times we saw a |0> and number of times we saw a |1>
        return (count-numOnes, numOnes);
    }
}
```



News 2018 !!!

<https://docs.microsoft.com/en-us/quantum/index?view=qsharp-preview>



News
2018 !!!

Intel Corporation's 49-qubit quantum computing test chip, code-named "Tangle Lake," is unveiled at 2018 CES in Las Vegas.

<https://www.extremetech.com/computing/261734-intel-unveils-new-quantum-computer-declares-quantum-breakthrough>

GOOGLE, SEPTEMBER 2019



https://index.hu/techtud/2019/09/24/a_google_elerte_a_kvantumfolelyt/



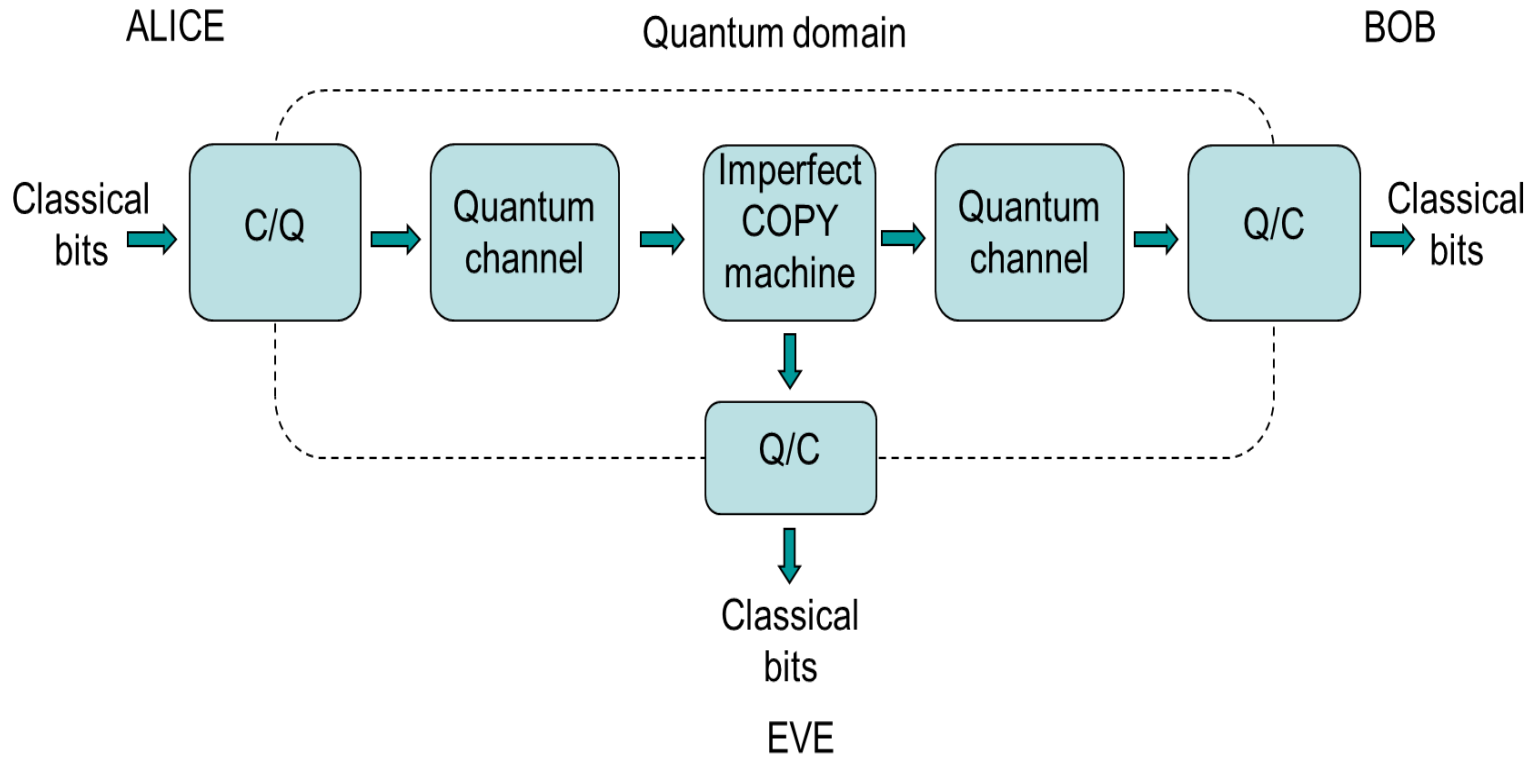
The World's Highest Performing Quantum Computer is Here

Get the story behind how Honeywell has delivered the largest quantum volume ever

Our team of scientists, engineers and technicians, have built what is currently the highest performing quantum computer available.



Application: Quantum Key Distribution

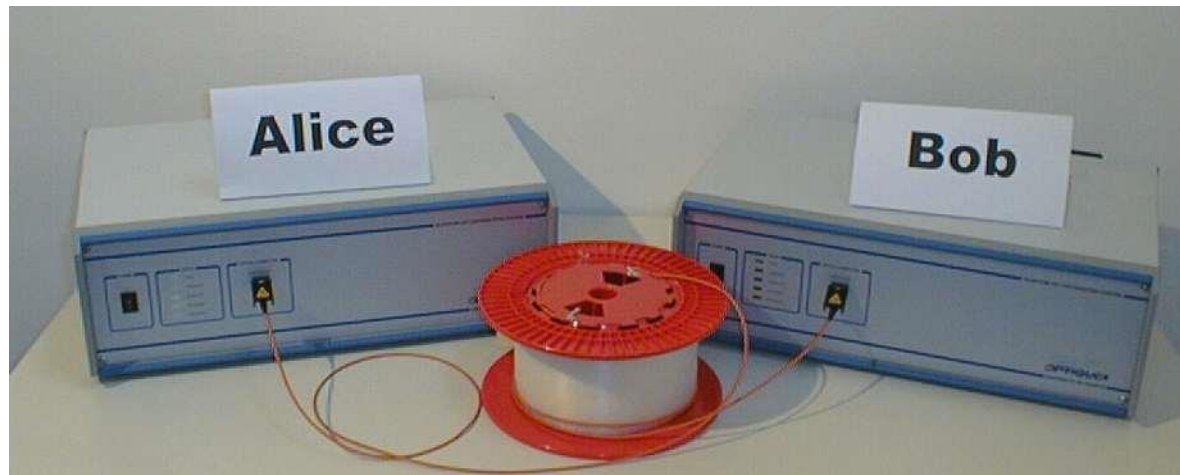
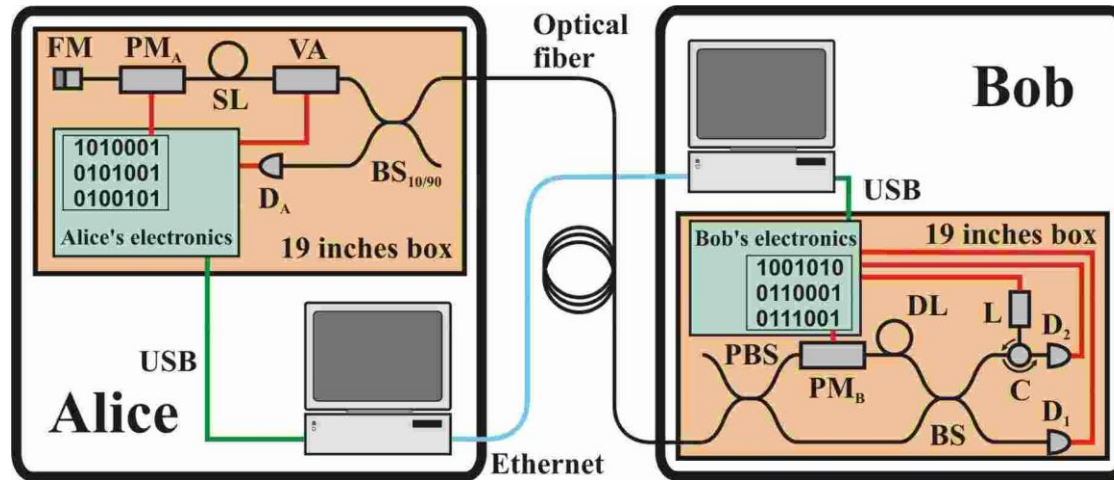


E91

BB84

B92

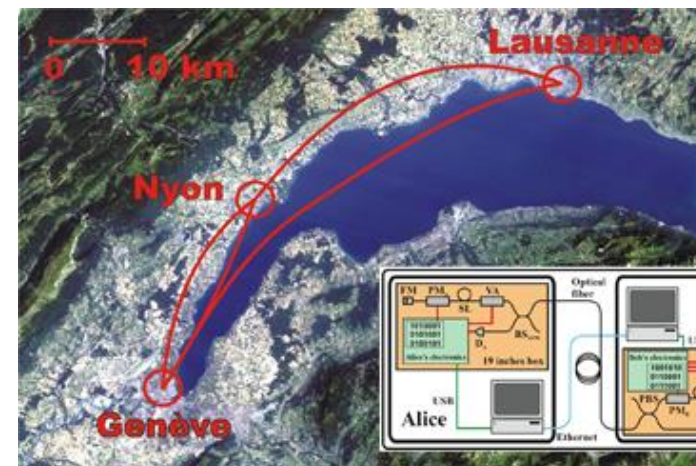
S09



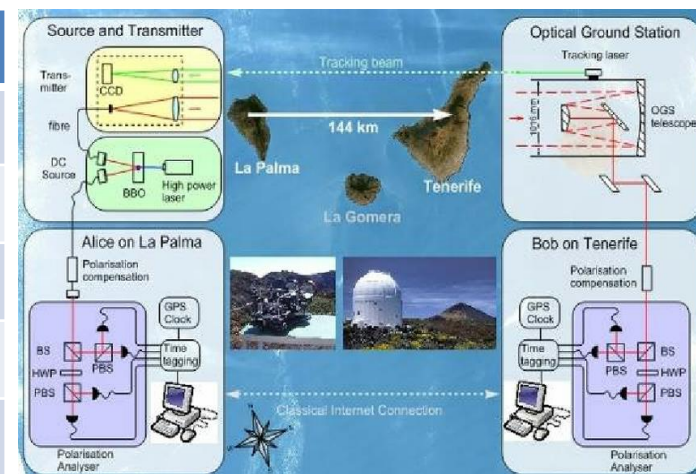
DISTANCES



1989/91	0.3 m
1993	1100 m
1995	23 km
2007	67 km
2016	404 km

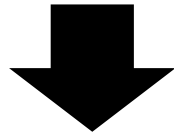


1991	0.3m
1996	75 m
1998	1 km
2002	10 km
2006/2007	144 km
2016	space



Vision: Quantum Internet in Europe

Distributed quantum computers, and quantum sensors interconnected via quantum communication networks



- 1) The Quantum Technologies Flagship
- 2) Develop and deploy in the EU an end-to-end quantum-secure communication infrastructure (QCI)

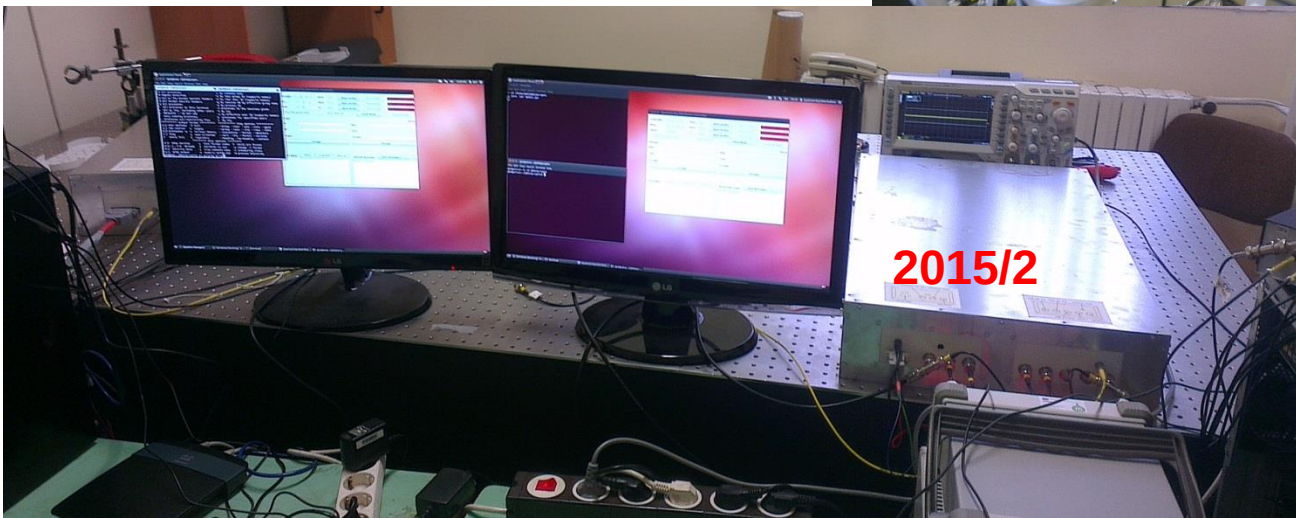
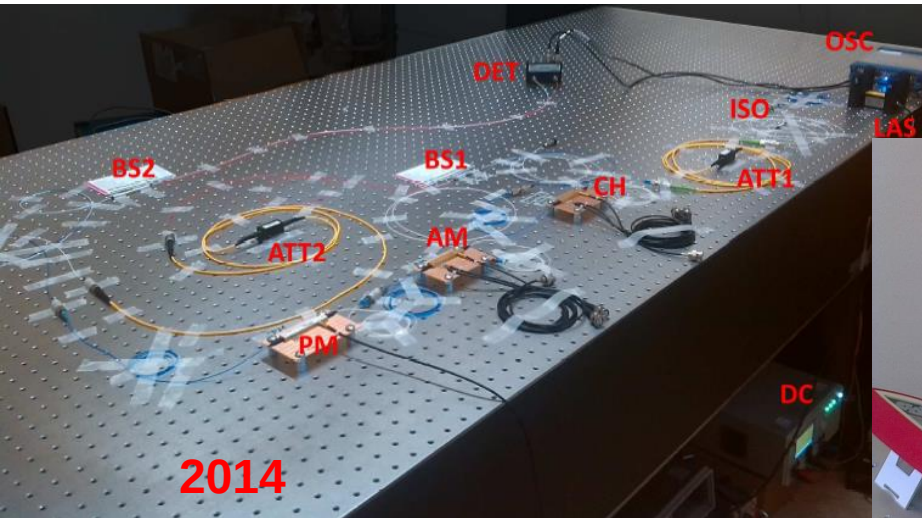
Towards a quantum communication infrastructure

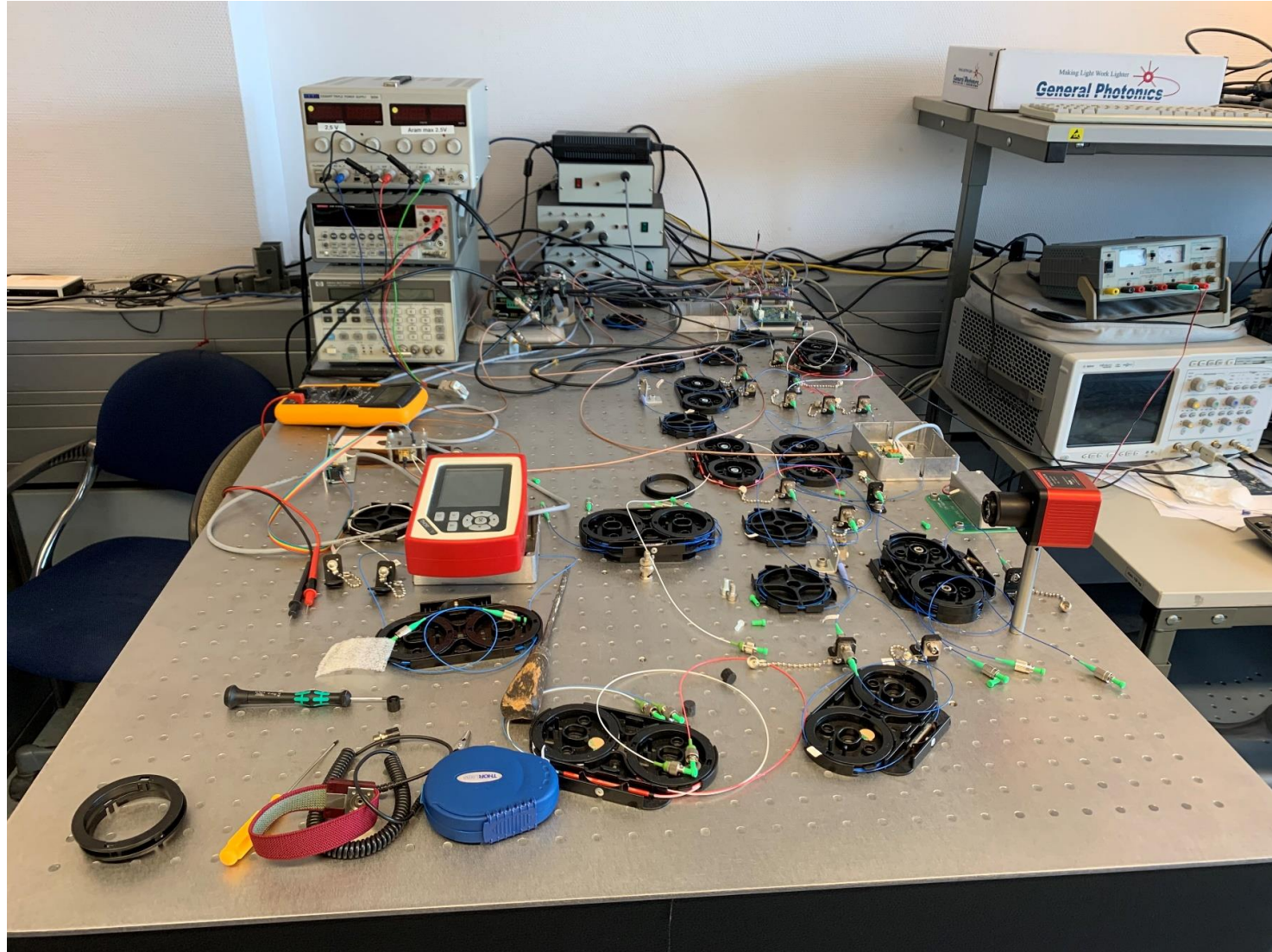
- A pan-European infrastructure integrating quantum cryptography into conventional communication networks
- A terrestrial and space segment

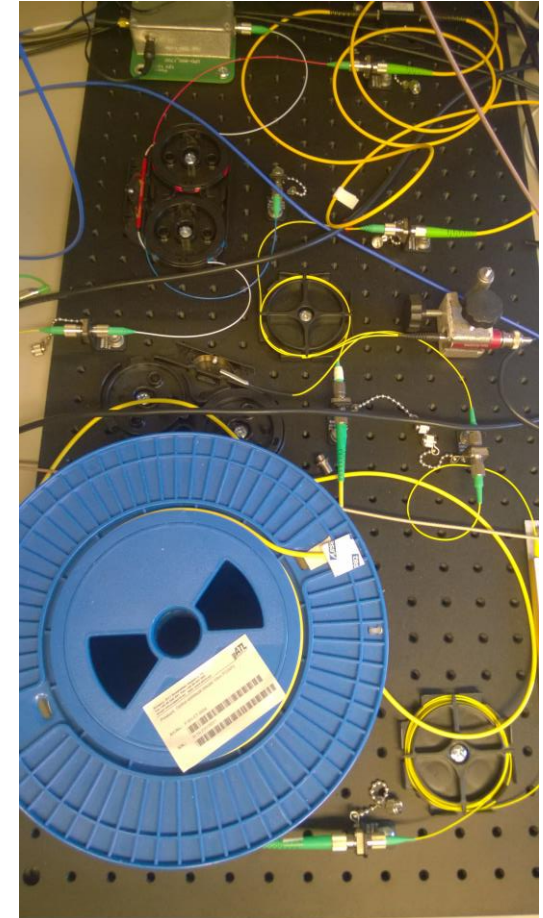
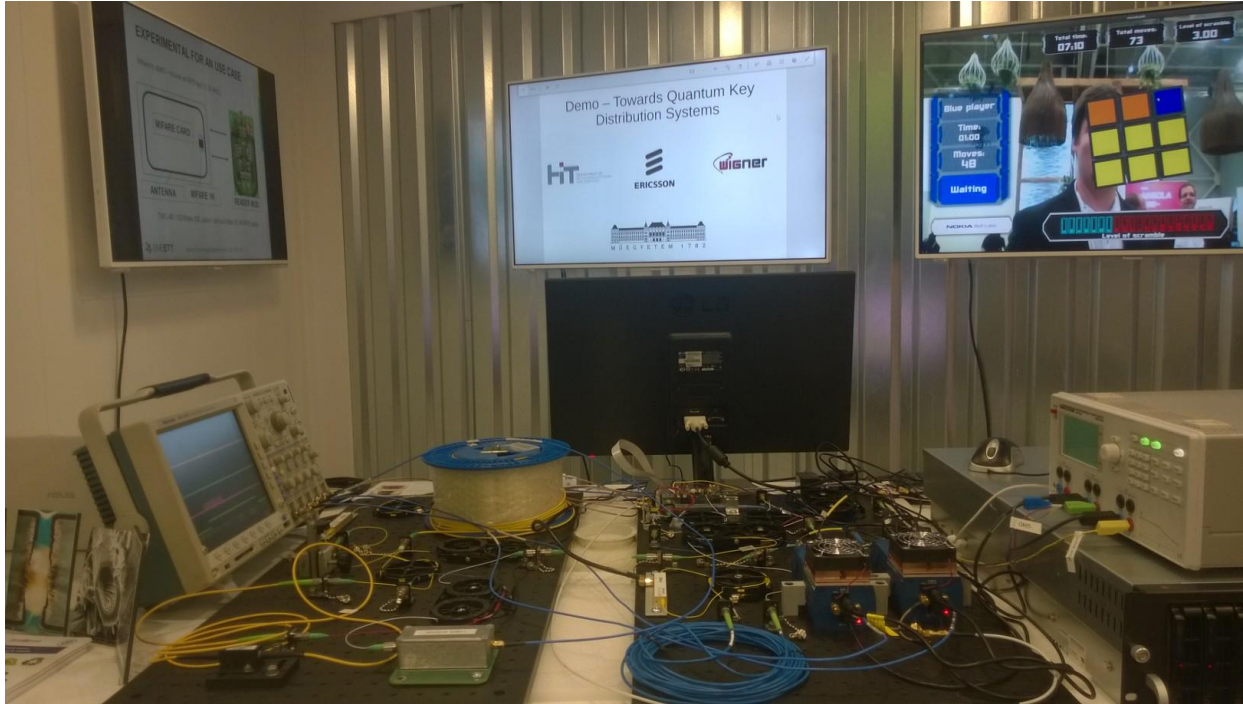


Applications: Quantum Key Distribution (QKD), Time & Frequency distribution, etc.

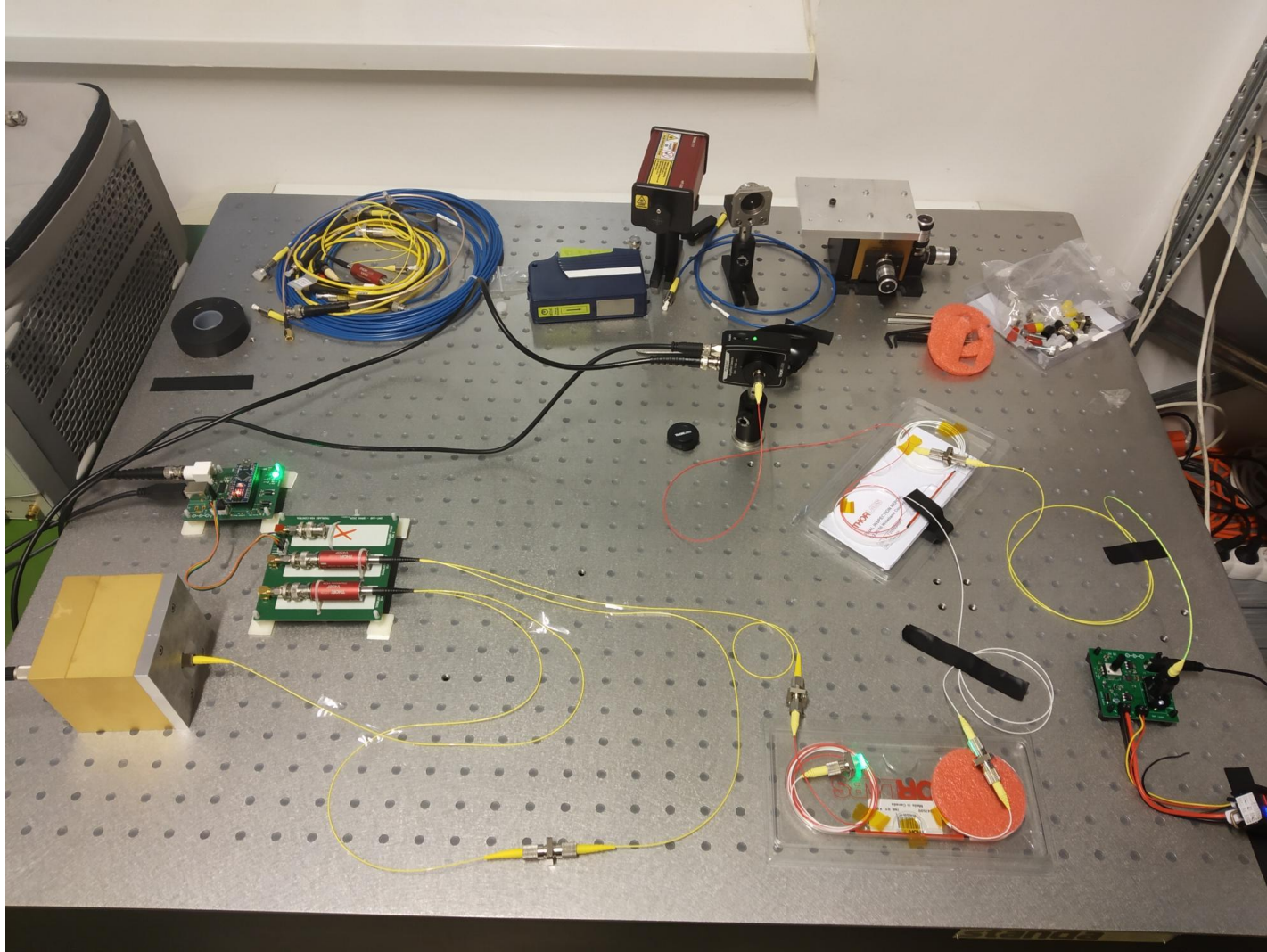








Fiber-based QKD, single photon, BB84 protocol



- Quantum mechanics offers unique possibilities for engineering problems.
- Efficient quantum algorithms are available.
- Quantum computers in their childhood, but something is happening.
- There are many available quantum communications products on the market (QRNG, QKD)

Kvantum innováció a BME VIK-en - Eredmények és tervek

A rendezvény típusa: Előadás

Tudományterület: Távközlés, informatika

A rendezvény időpontja: 2020.11.25. 16:00 - 17:30

A rendezvény online helyszíne: Microsoft Teams

Szervező intézmény(ek): BME VIK, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

Kapcsolattartó: Bacsárdi László (bacsardi@hit.bme.hu, 06-1-463-2556)

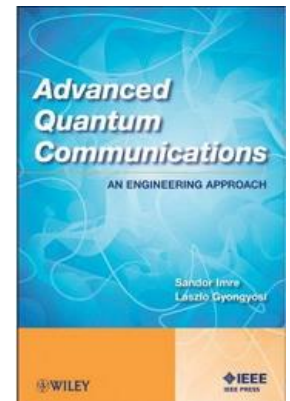
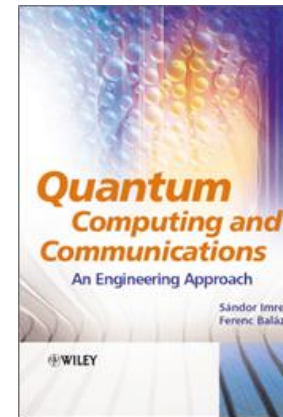
https://tudprog.bme.hu/tudomany_unnepe/2020/Kvantum-innoacio-a-BME-VIK-en-eredmenyek-es-tervek.html

Quantum Technology Flagship: <http://qt.eu>

Quantum Technology in Space: <http://qtspace.eu>

Hungarian Quantum Technology Flagship:
<https://wigner.mta.hu/quantumtechnology/en>

Our website: <http://mcl.hu/quantum>





bacsardi@hit.bme.hu



HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK

Helyi rádiós hálózatok – Bluetooth

Mobil kommunikációs hálózatok/rendszerek
11. előadás

Gódor Győző

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu

Budapest,
2020. 11. 26.





A BLUETOOTH NÉV EREDETE

- A Bluetooth név Harald Blåtand („Kékfogú” Harald) dán király nevének angol változata, aki 958-tól, illetve 976-tól 986-ig volt Dánia és Norvégia uralkodója, és nagyon szerette az áfonyát, ezért kék lett a foga.
- Harald arról volt nevezetes, hogy egyesítette a lázongó dán, norvég és svéd törzseket.
- Ehhez hasonlóan a Bluetooth-t is arra szánták, hogy egyesítsen és összekössön olyan különböző eszközöket, mint a számítógép vagy a mobiltelefon.

MI IS AZ A BLUETOOTH?

- A Bluetooth egy nyílt szabvány rövidtávú rádiós kommunikációra. Elsősorban vezeték nélküli PAN, azaz ad hoc vagy peer-to-peer (P2P) hálózatok létrehozására alkalmazzák.
- A Bluetooth egy olcsó, kis teljesítményű rádiós technológia, ami kis méretű ad hoc hálózatok, azaz piconetek kialakítását teszi lehetővé.

NÉHÁNY BLUETOOTH ESZKÖZ



10GAMERS



IT168



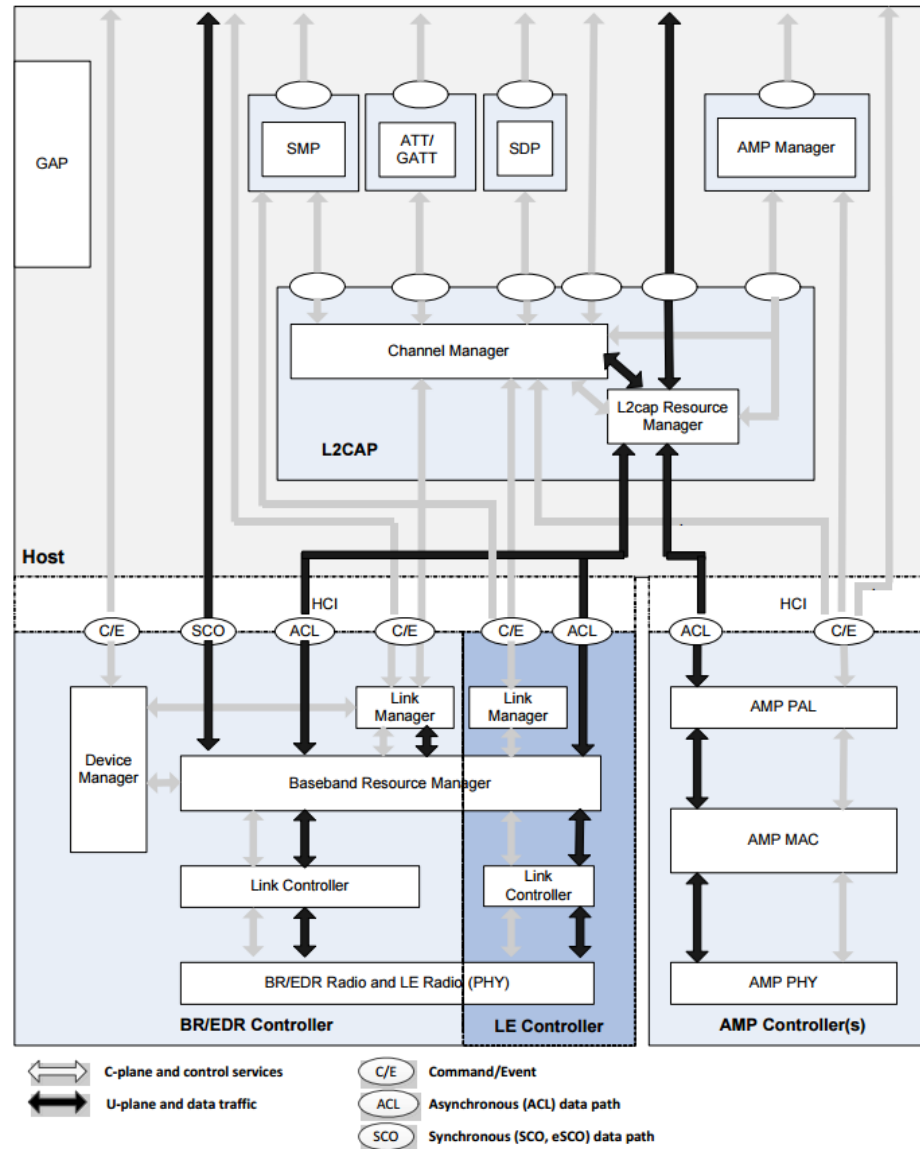
Bluetooth



- 1994-ben indult, 1998-ban megalakult a Bluetooth Special Interest Group (SIG)
 - Alapítók: Ericsson, IBM, Intel, Toshiba és Nokia
 - Később további cégek is csatlakoztak
 - „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 és Retransmission módok bevezetése az L2CAP rétegben
- 2004 – Bluetooth v2.0: 3 Mbps
 - EDR (Enhanced Data Rate) bevezetése
 - $\pi/4$ -DQPSK (2 Mbps) és 8DPSK (3 Mbps)
 - Teljesítménykímélő üzemmódok (low duty cycle)
- 2014 novemberétől ezek a verziók már nem támogatottak

- 2007 – Bluetooth v2.1: 3 Mbps
 - Secure Simple Pairing és kötelező titkosítás
 - Párosítás (Out of band) OOB adatokkal (pl. NFC)
 - Újabb fogyasztáscsökkentési megoldások
 - Továbbiakban: „Hagyományos” Bluetooth
- 2009 – Bluetooth v3.0: 24 Mbps
 - 802.11 ad hoc link bevezetése (AMP – Alternate MAC/PHY)
 - Felderítés és kapcsolódás BR/EDR interfészen
 - AMP egységek keresése
 - Kapcsolódás és forgalom áterelése
 - 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
- 2016 – Bluetooth v5.0
 - Internet of Things
 - 2 Mbps PHY a BLE számára
- 2019 – Bluetooth v5.1
 - Eszközök pozicionálása és követése
 - Angle of Arrival (AoA) és Angle of Departure (AoD)
- 2019. dec. – Bluetooth v5.2
 - LE Audio
 - Enhanced Attribute Protocol (EATT), az Attribute Protocol (ATT) továbbfejlesztése

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 Connection Manager-ével (CM) 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
 - Alternate 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 funkcionálisok definiálása
 - Eszközfelderítési és kapcsolódási mechanizmusok
 - Biztonsági mechanizmusok

- 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
 - Attribute Protocol (ATT)/Generic Attribute Profile (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

- 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, kezelése, módosítása, frissítése
 - LE esetén: Link Layer Protocol (LL) segítségével
 - BR/EDR esetén: 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

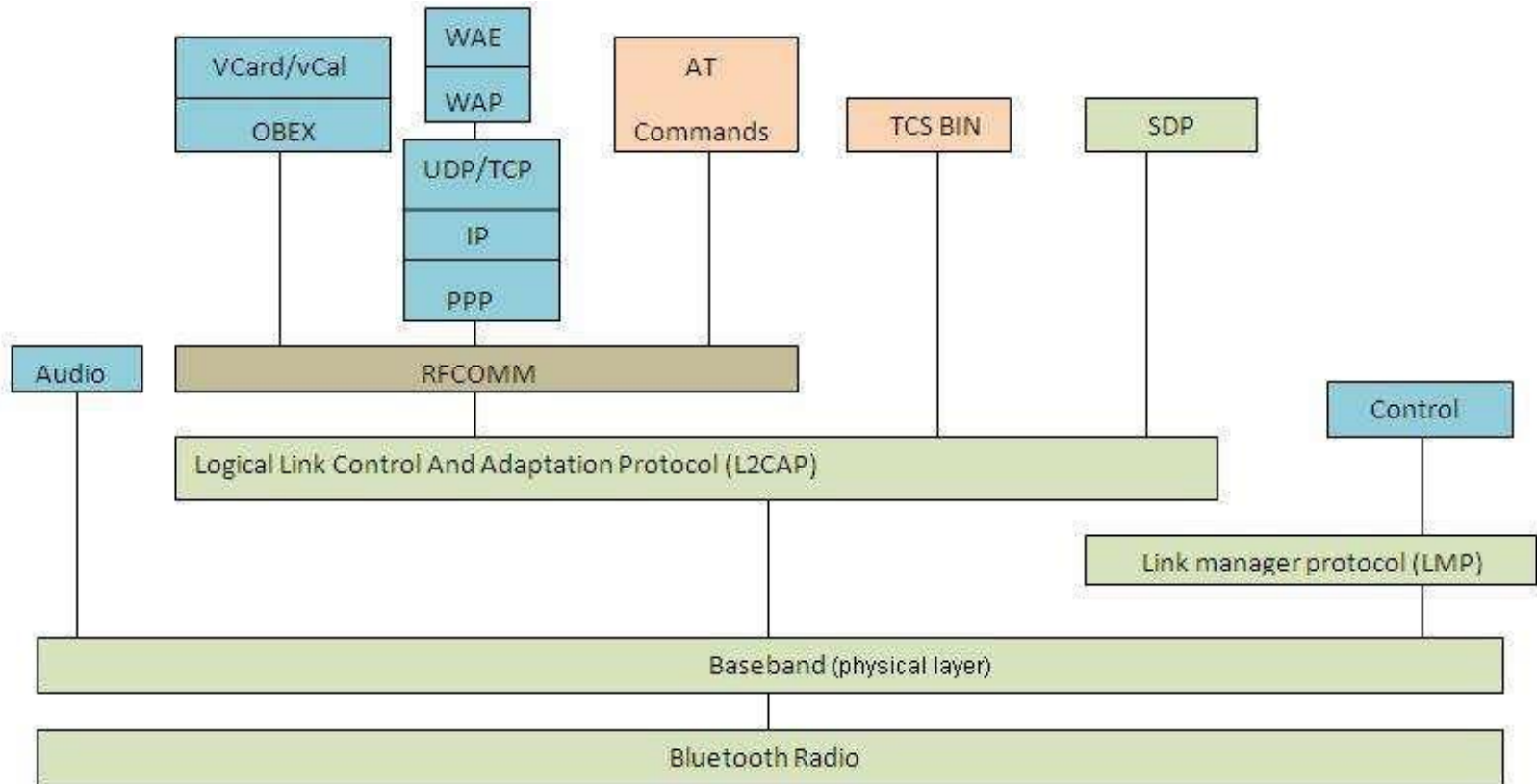
- AMP-specifikus architektúra blokkok
 - AMP PAL (Protocol Adaptation Layer)
 - Interfész az AMP MAC és az L2CAP/AMP Manager között
 - AMP MAC
 - IEEE 802-nek megfelelő MAC réteg
 - AMP PHY
 - Alkalmas fizikai réteg

- Host-Controller Interface (HCI)
 - Inkább interfész, mint protokoll arra az esetre, ha a 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

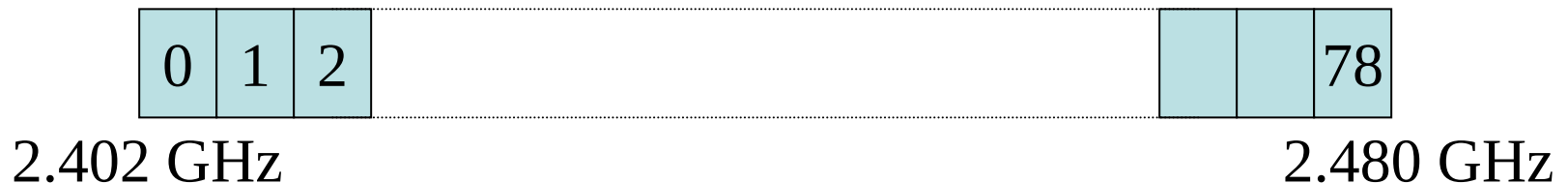
BR/EDR PROTOKOLL STACK



Bluetooth Protocol Stack

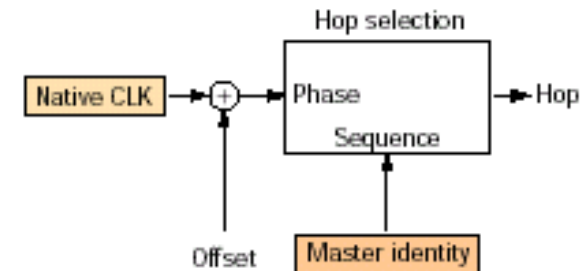
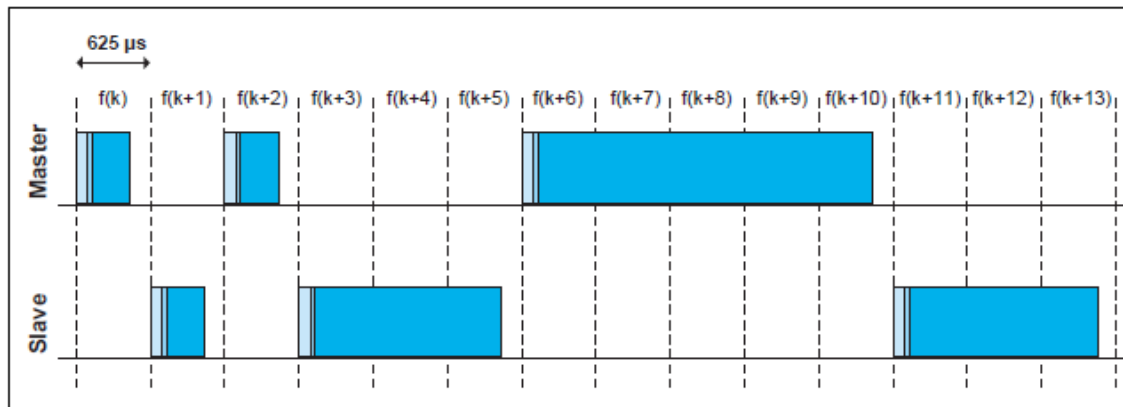
- Core protocols
- Cable replacement protocol
- Telephony Control protocols
- Adopted protocols

- 2,4 GHz-es ISM sáv
- Frekvenciaugratásos szórt spektrum (FHSS)
 - 1600 hops/s
 - 625 μ s/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. 20 dBm (100 mW), ~100 m
 - Class 2: max. 4 dBm (2,5 mW), ~10 m
 - Class 3: max. 0 dBm (1 mW), ~1 m

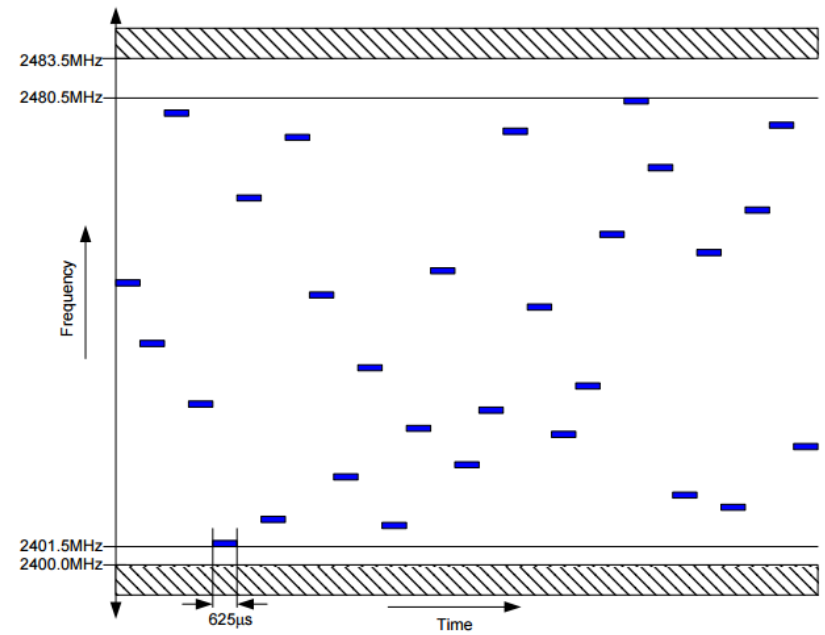
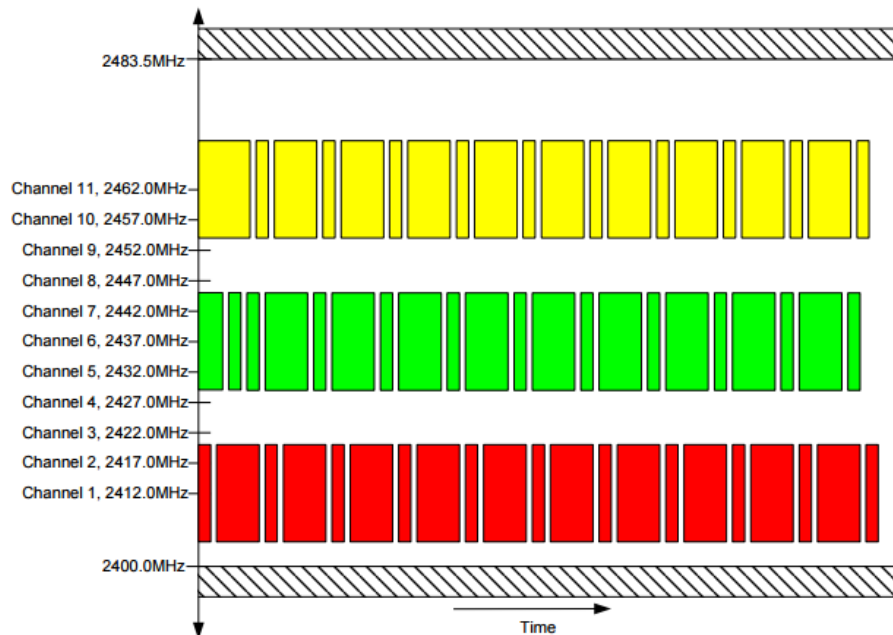


- Alapvető eljárásokat definiál a Bluetooth eszközök egymás közötti kommunikációjának megvalósításához
- Definiálja a(z):
 - Bluetooth linket
 - Piconet fogalmát és létrehozásának módját
 - Erőforrások megosztását egy piconeten belül
 - Csomagformátumokat
- Link Controller
 - A Bluetooth kapcsolat koordinációját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

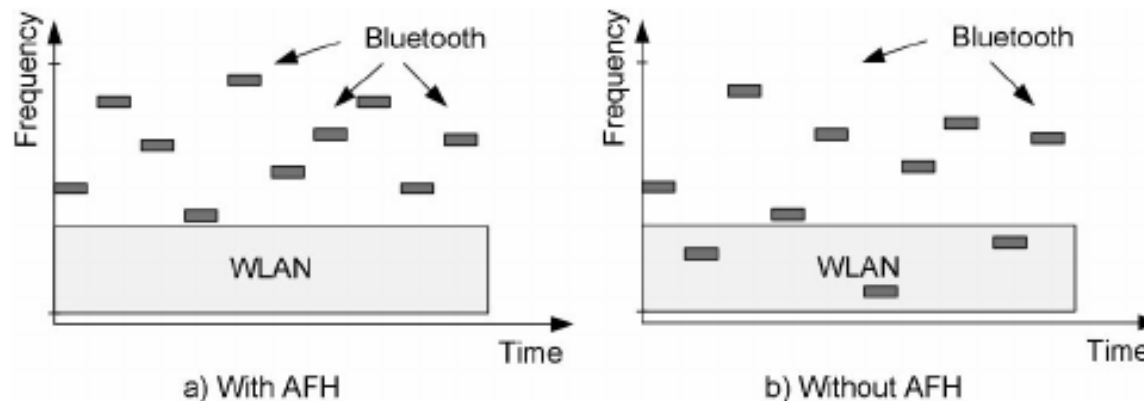
- Ad hoc működés: Piconet
 - 1 Master és max. 7 aktív Slave
 - Parked eszközből több is lehet
 - A kommunikációt a Master szabályozza
 - Minden Slave egység hozzá igazítja az óráját
 - Basic Piconet Channel: véletlen frekvenciaugratási sorozat (79 csatorna)
 - Adapted Piconet Channel: Basic Piconet Channel 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



- 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



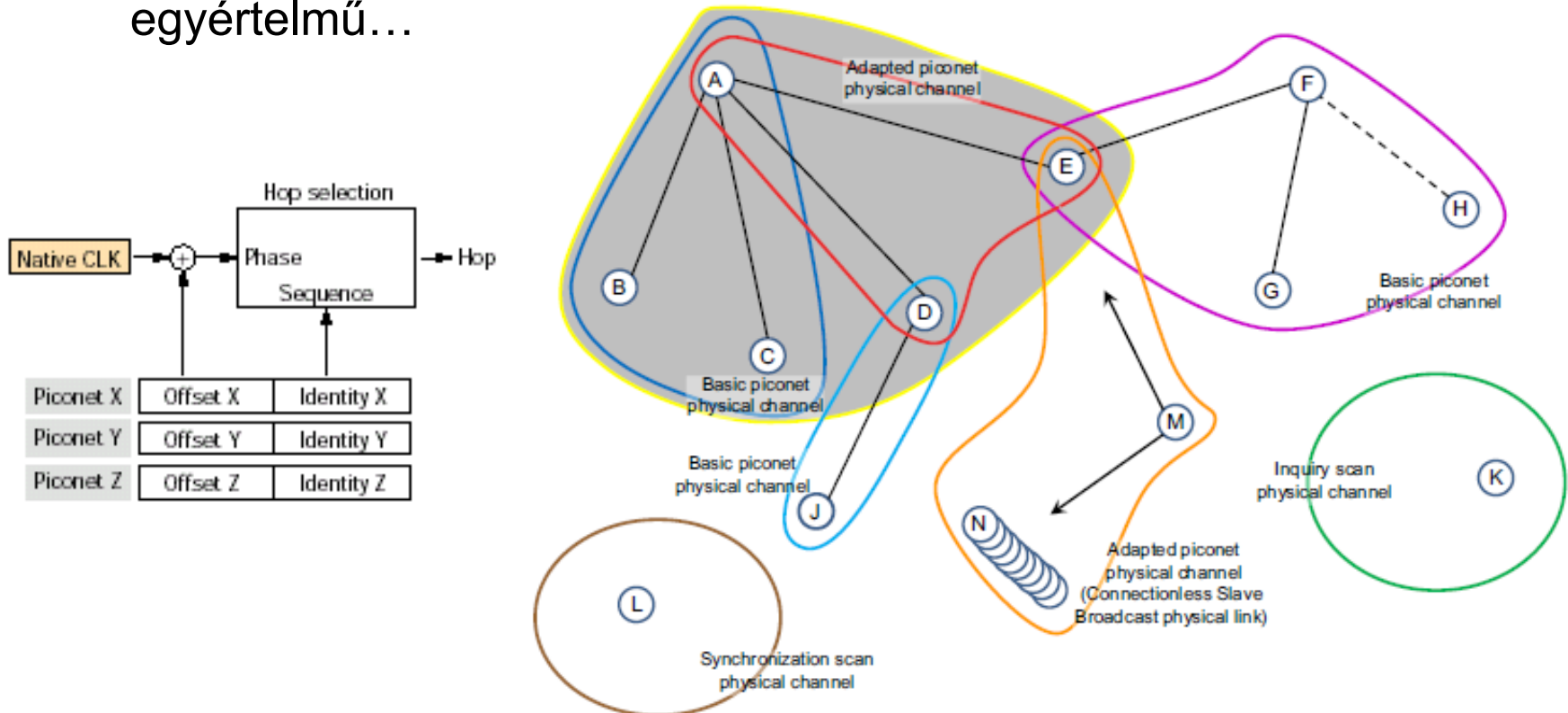
- Bluetooth FHSS vs. 802.11
 - A Bluetooth komoly interferenciaforrást képvisel
 - Ha elég jó a 802.11 spektrális kihasználtsága, akkor nagy valószínűséggel ütközni fog
 - Nincs előírva a Listen Before Talk FHSS-re a 2,4 GHz-es ISM sávban
 - Az együttélést az Adapted Piconet Channel segíti (AFH)
 - Explicite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



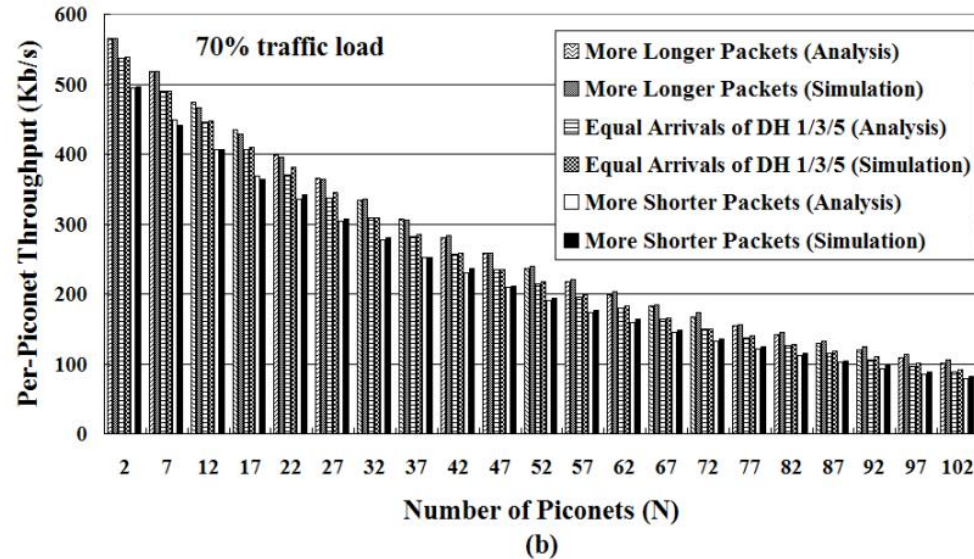
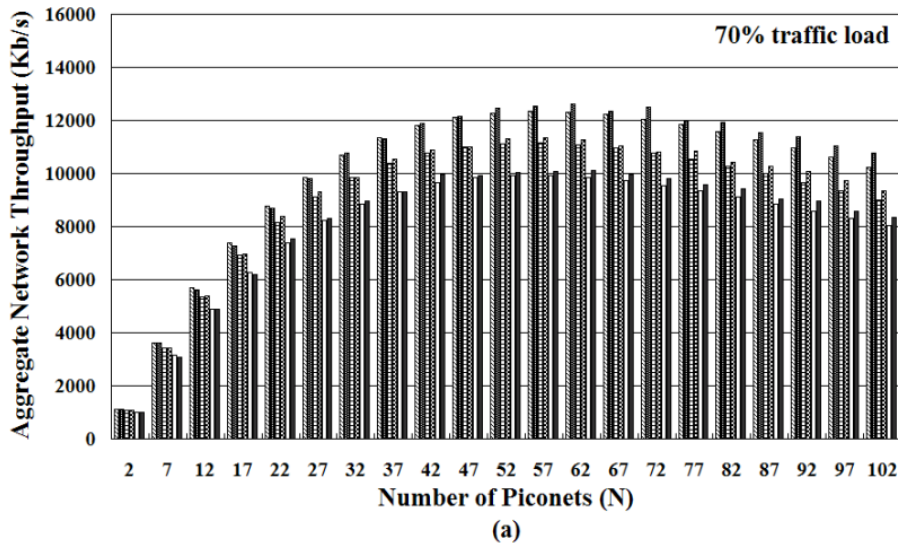
BR/EDR BLUETOOTH – BASEBAND

- Scatternet: több összekapcsolt Piconet

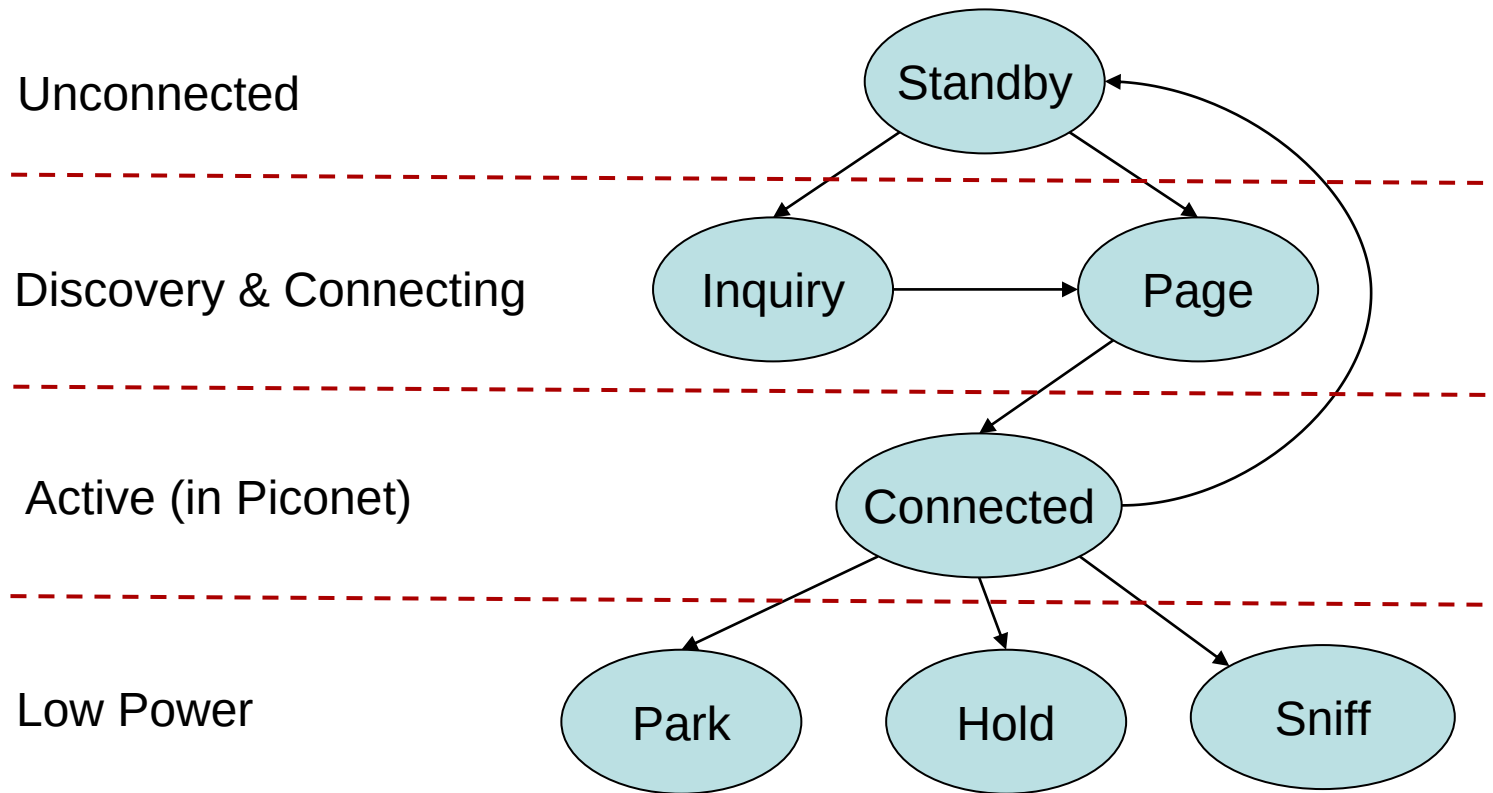
- Olyan ugratási sorozatok szükségesek, amelyek nem ütköznek
- Ekkor minden adott Piconeten belüli hop egy ofszettel eltolható
- Elvileg nagyobb az így elérhető throughput, de ez nem olyan egyértelmű...



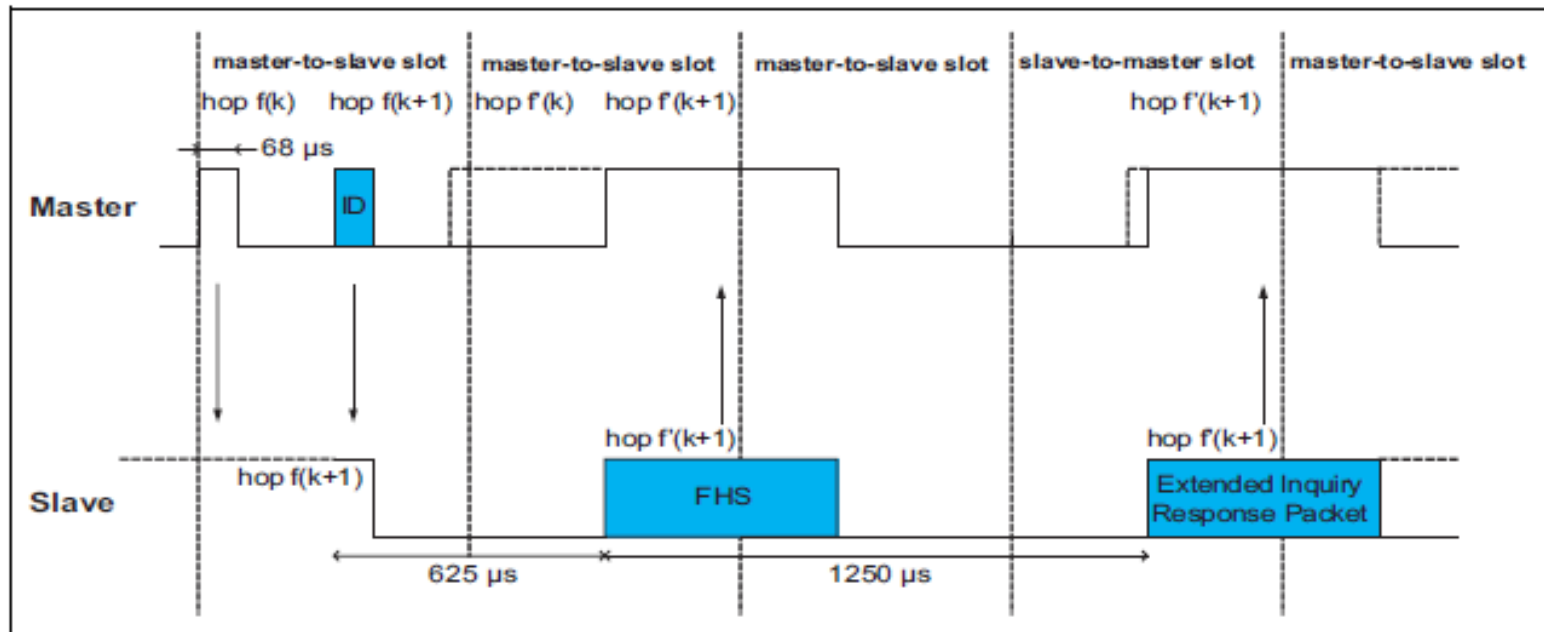
- Több független piconet egymásra gyakorolt hatása
 - Itt nem oldható meg az ütközésmentes ütemezés
 - Nincsenek szinkronban a Piconetek
 - Sok egymástól független frekvenciaugratási minta
 - Előbb-utóbb átlapolódnak
 - Így végeredményben: ALOHA



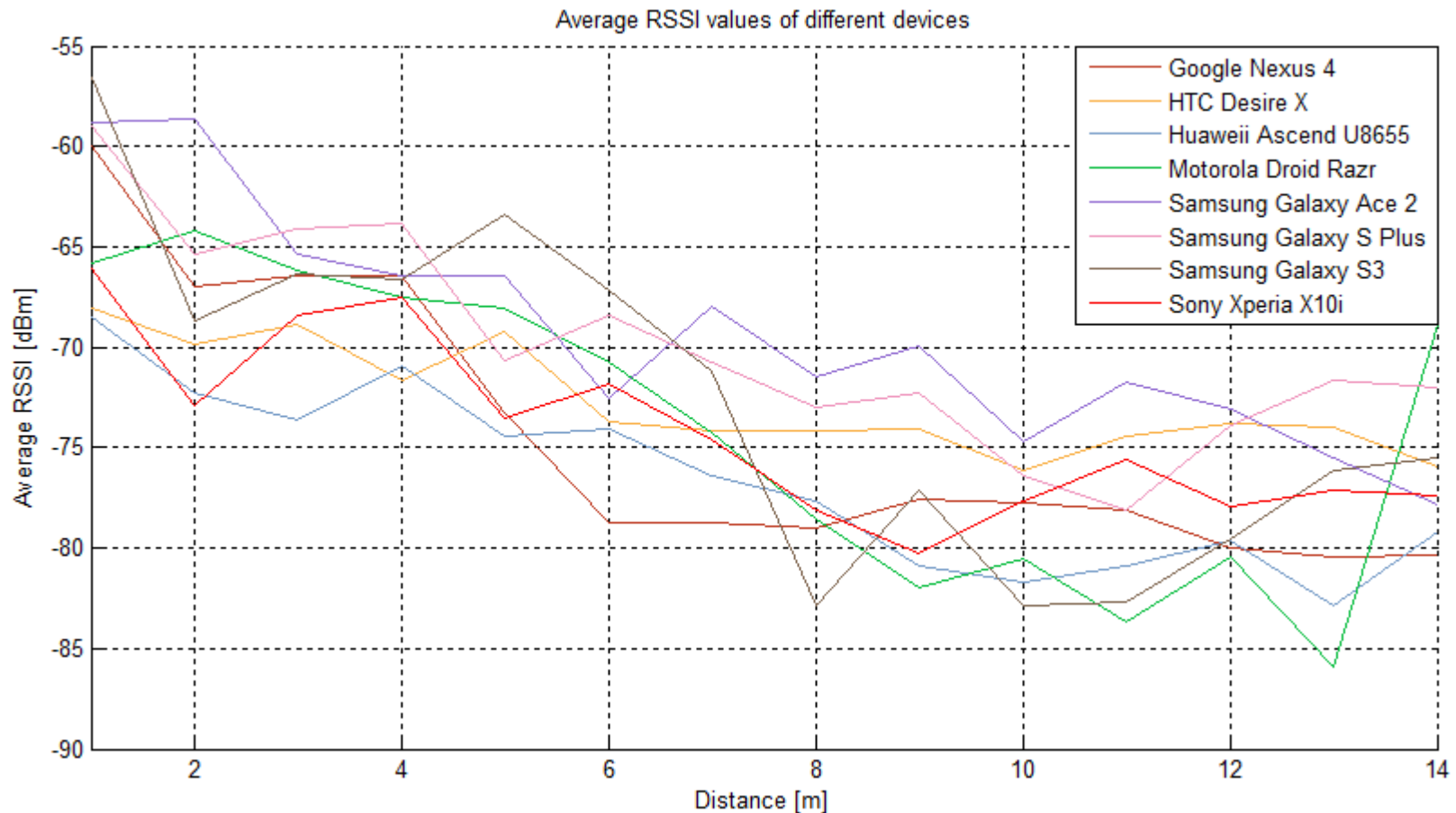
- Link Controller állapotgép



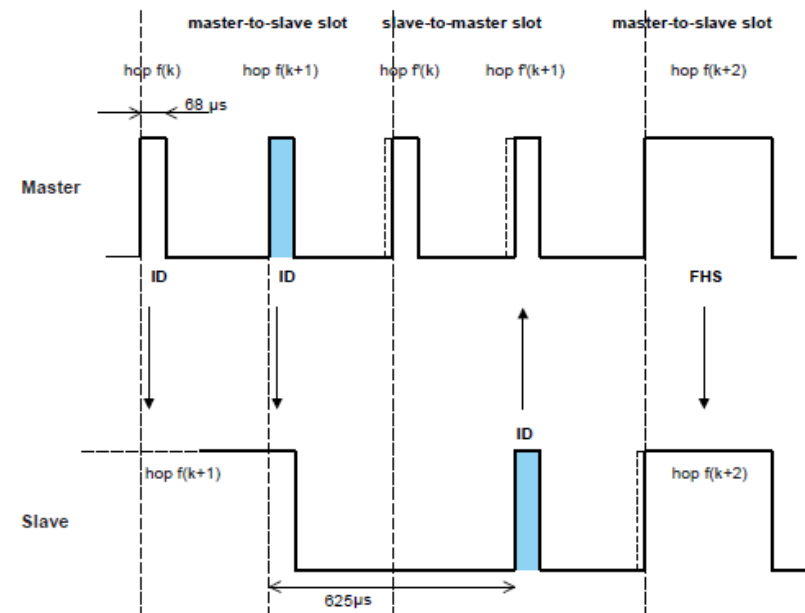
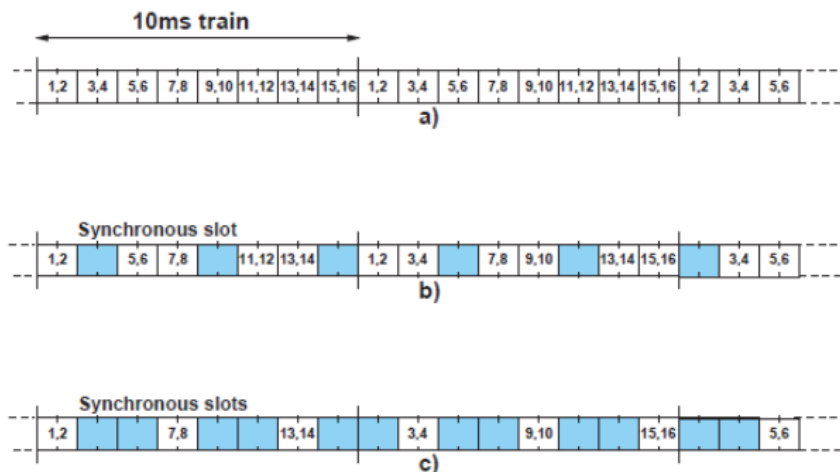
- Inquiry: eszközök felderítése
 - Aki felderít, az ID csomagokat sugároz 3200 hops/s ugrásokkal
 - Aki felderíthető és hallotta, az FHS-sel, majd EIR-rel (opc.) válaszol
 - Inquiry Scan csatornán:
 - 32 db véletlenszerűen megválasztott csatornából álló sorozat
 - Mindenki a saját órája és MAC címe alapján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

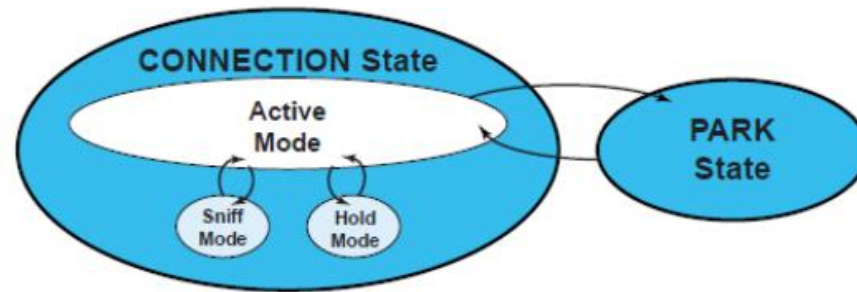


- Inquiry: eszközök felderítése
 - Mérés: RSSI értékek ingadozása tipikus irodai környezetben



- 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-vel válaszol
 - Ekkor létrejön a szinkron a két eszköz között
 - Ez már nem olyan lassú (2-3 mp)
 - Master FHS csomagja tartalmazza a Piconet paramétereit

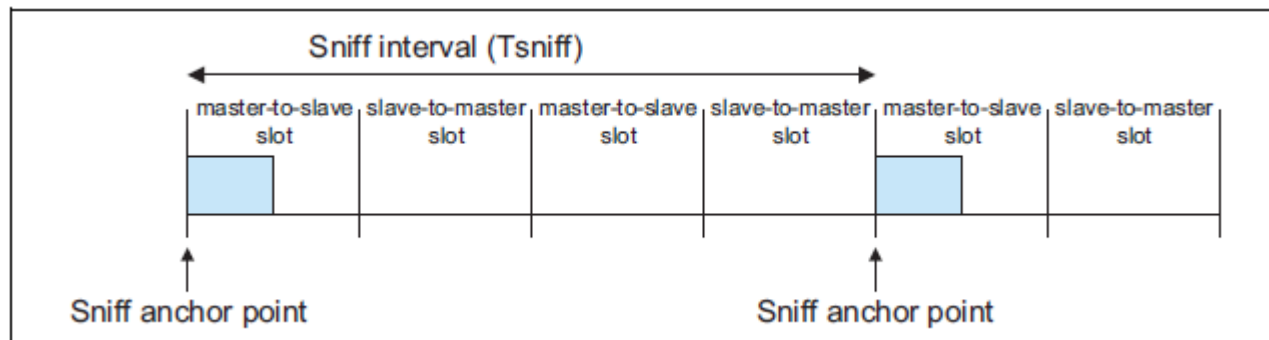




• Low Power állapotok

– Sniff mód

- Csökkentett kitöltési tényezővel működik az eszköz
- Minden n. Master slot-ban ébred csak fel
- Csak ACL linkek esetén használható



- Low Power állapotok

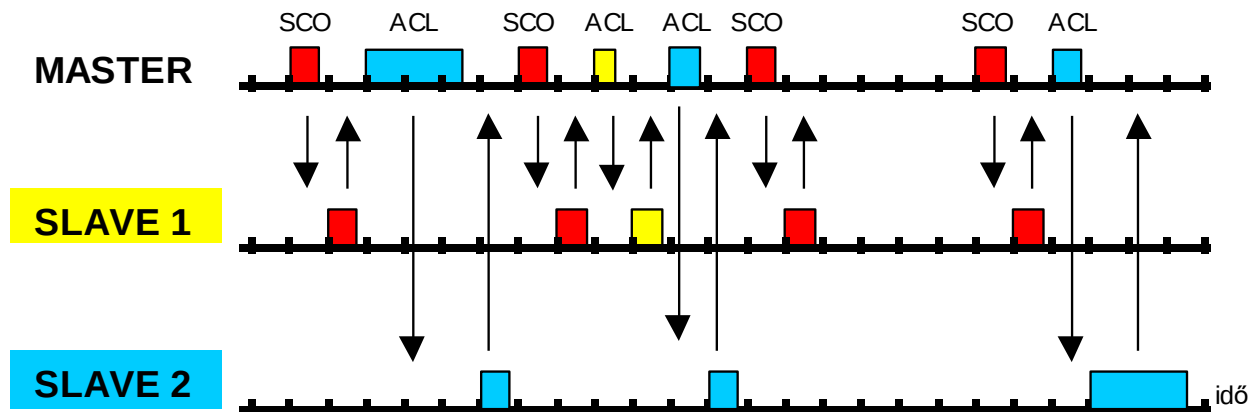
- Hold mód

- Az ACL linkeket felfüggeszti, az SCO linkeket megtartja
- Akkor alkalmazzák, ha erőforrást szükséges a Slave-nek felszabadítani 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 a Master és a Slave oldalról is
 - A ki- és a beléptetés is
- Periodikusan fel-felébred
 - Broadcast időrásben + szinkronizáció végett

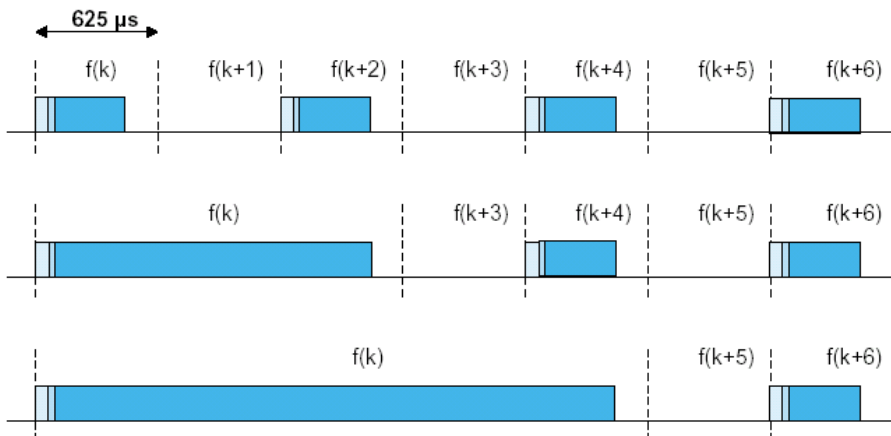
- Logical Transports:
 - SCO (Synchronous Connection Oriented)
 - Szimmetrikus, kvázi vonalkapcsolt
 - pont-pont kapcsolatok számára
 - fix időközönként foglalnak le réspárokat (up/down)
 - Háromféle egyréses beszédcsomagok
 - 64 kbps-os hangátvitelhez
 - NO, 2/3, 1/3 FEC lehetséges
 - ugyanakkor beszédre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



• Logical Transports:

– ACL (Asynchronous Connection-oriented)

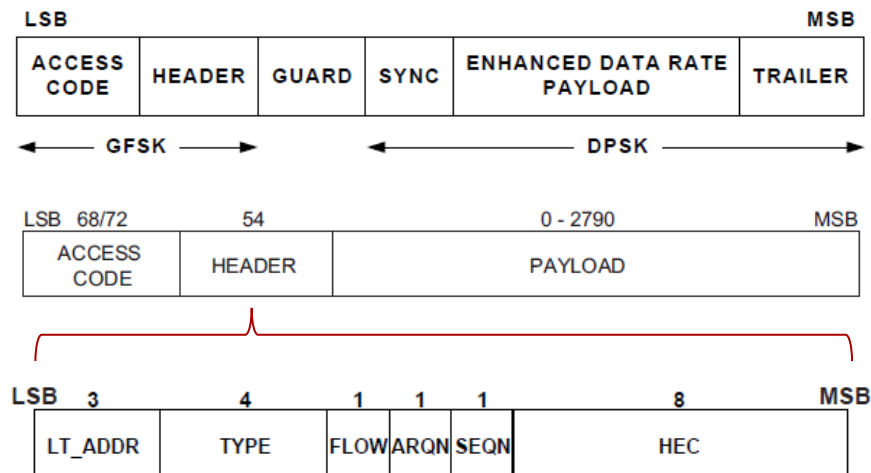
- Szimmetrikus, vagy aszimmetrikus
- Csomagkapcsolt
- Pont-multipont börsztös adatkapcsolatok számára
- A mester implicit (a kérés maga a downlink csomag) pollinggal kérdezi le a szolgákat
- 1-3-5 réses csomagok lehetségesek
- NO (DHx) vagy 2/3 (DMx) FEC lehetséges
- Adatra gyors ARQ: a vett downlink 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

• Csomagformátum

- Access Code (68/72 bit)
 - Minden fizikai csatornára egyedi
 - Tartalmazza a preambulomot
- 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)

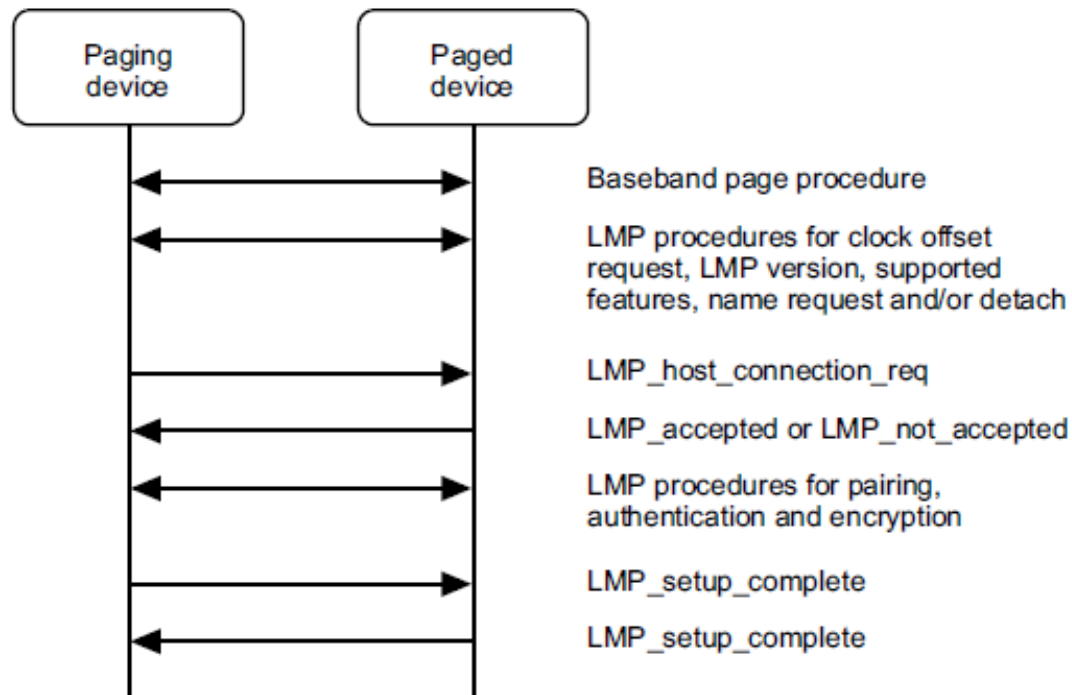


- Két link menedzsment entitás között teremtet kapcsolatot
 - Segítségével állíthatók be a Bluetooth linkek
- Tranzakció alapú
- Feladatok:
 - Távoli (peer) eszköz képességeinek felderítése
 - Teljesítmény kímélő üzemmódok, biztonság, QoS
- LMP PDU csomagformátum
 - TID (1 bit): a tranzakció kezdeményezőjének 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

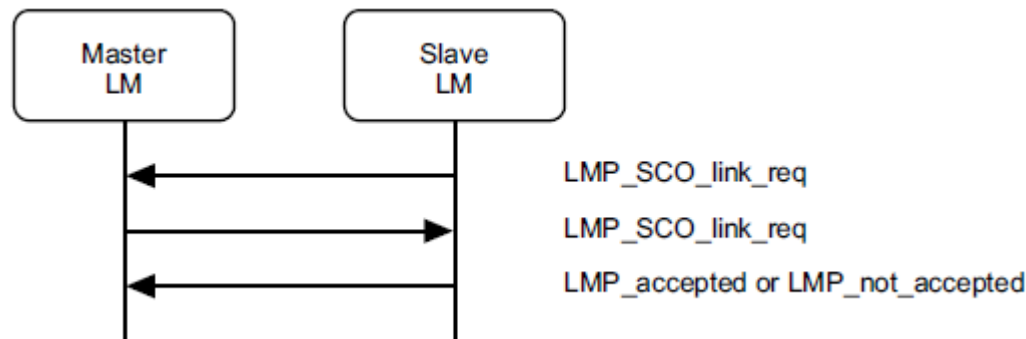
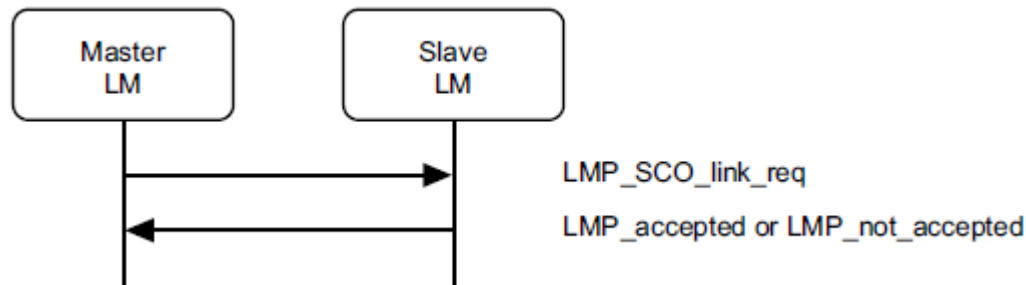


LMP PDU with 7 bit OpCode

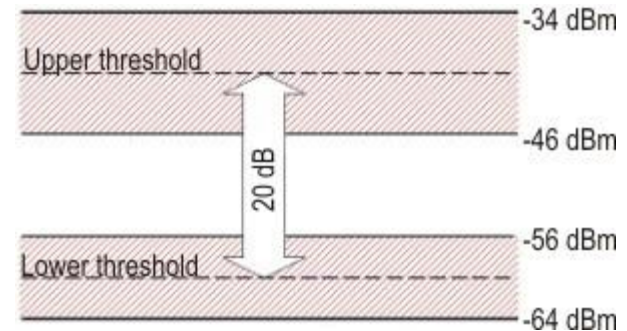
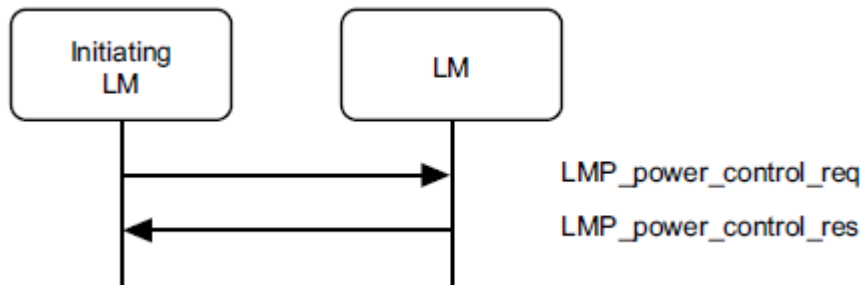
- Példa: Paging procedúrát követő üzenetváltások
 - A kapcsolódást követően rendelkezésre áll egy ACL
 - Minden jelzésüzenet ezen közlekedik
 - Ezt ACL-C (al)típusú transzportnak nevezik
 - Támogatott Feature-ök: 140 bites maszk



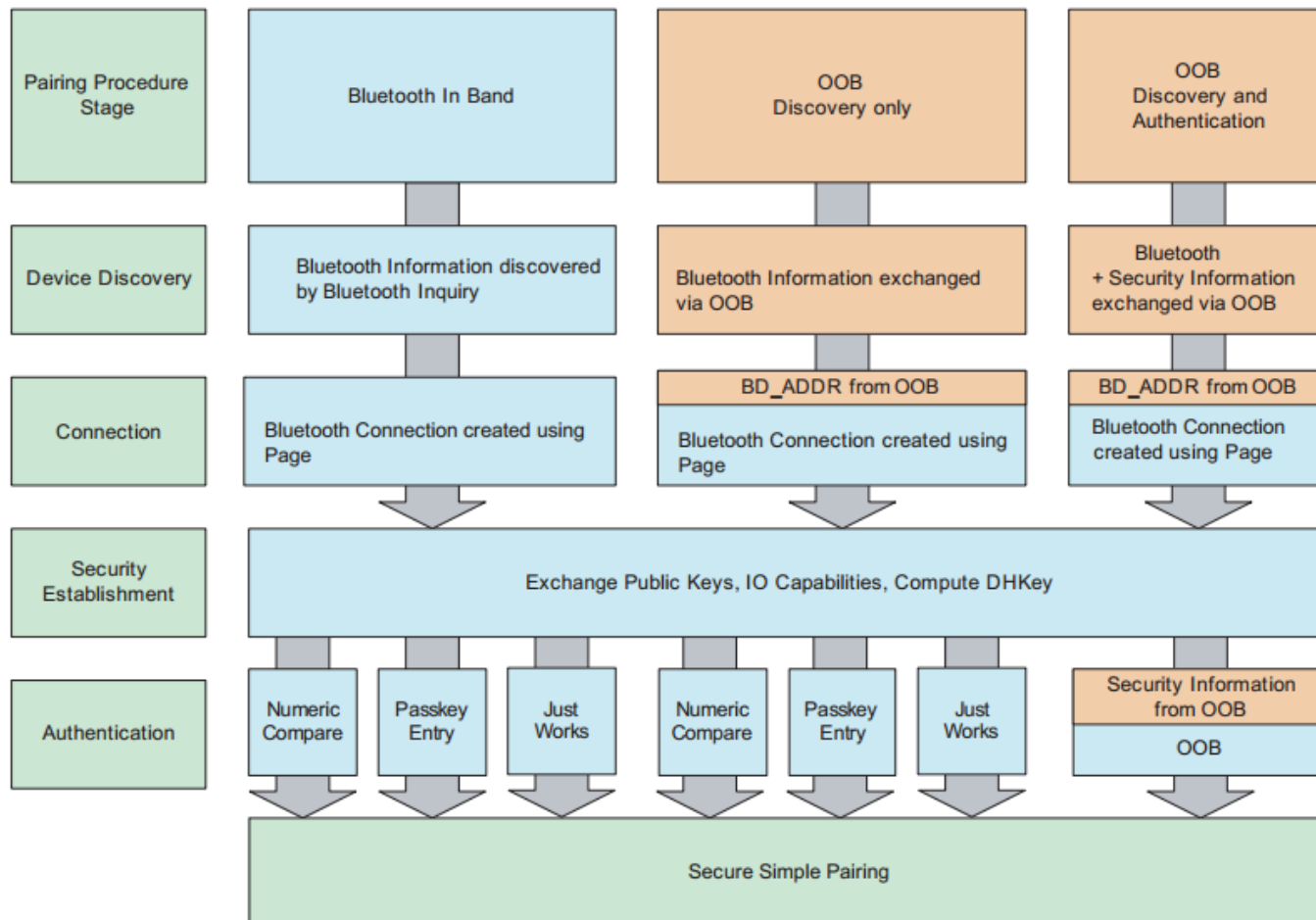
- Példa: SCO logikai transzport felépítése
 - Master és Slave is kezdeményezheti egyaránt



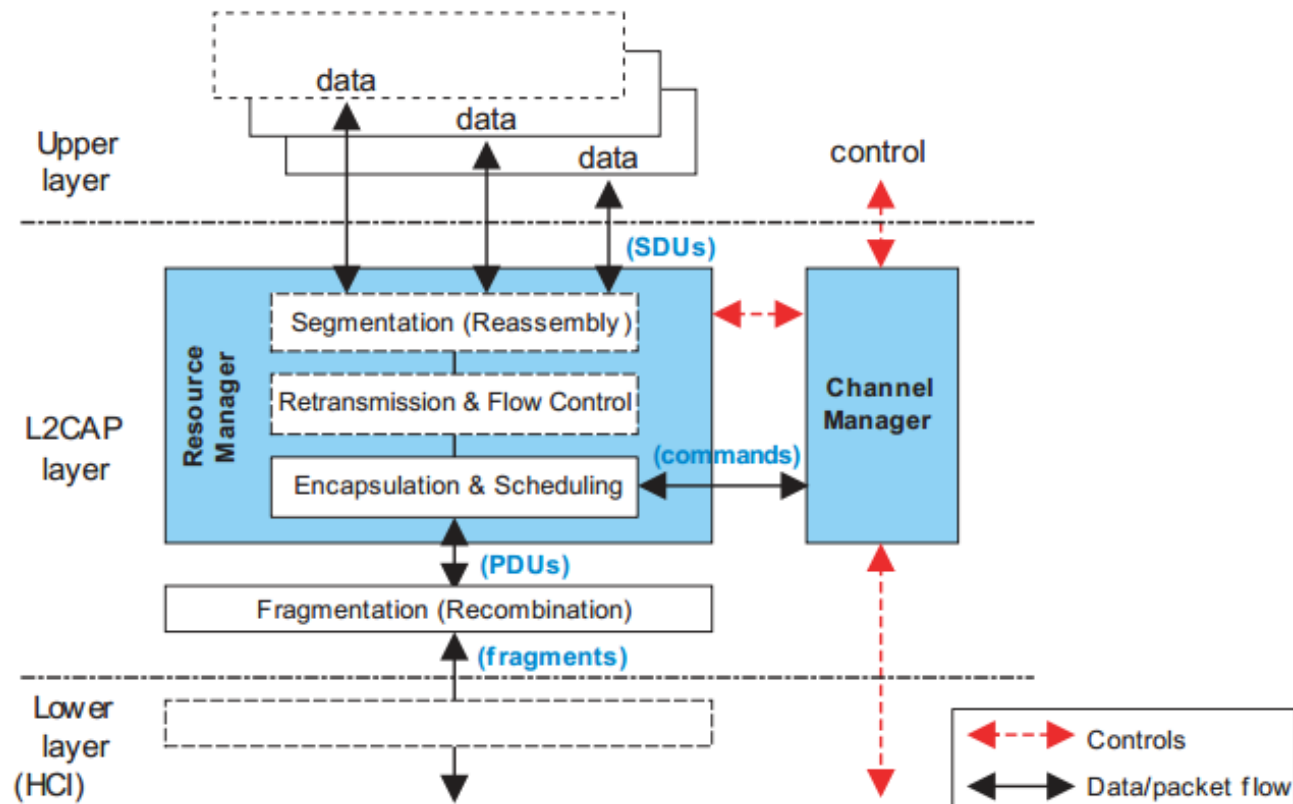
- Példa: Adaptív teljesítményszabályzási mechanizmus
 - Master és Slave is kezdeményezheti egyaránt
 - Célja: az adási, és így a vételi teljesítmény egy bizonyos GRPR (Golden Receive Power Range) zónában tartása
 - Kevesebbet fogyaszt
 - Kisebb zavarást képvisel



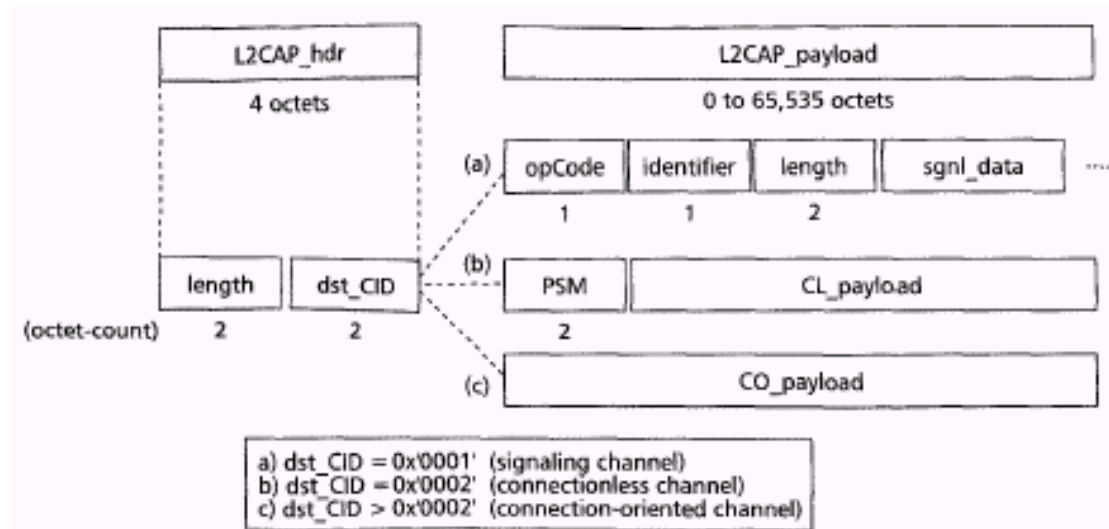
- Párosítási mechanizmusok
 - Autentikáció (MITM) és link titkosítás (Passive Eavesdropping)



- Elrejt 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



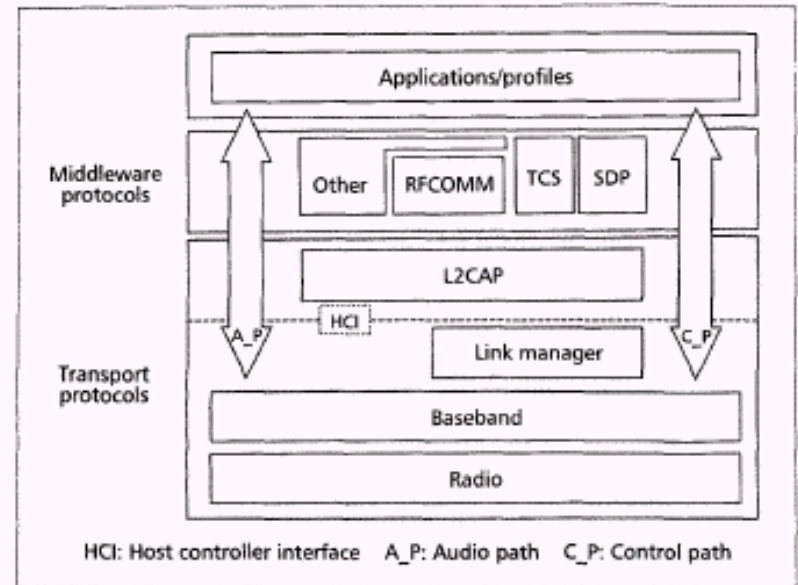
- Az L2CAP forgalom kétféle logikai csatornán zajlik
 - A csatorna végpontokat egy Channel ID (CID) azonosítja
 - Connectionless (CL), CID=0x'0002'
 - Egyirányú
 - Nincs jelzéscsatorna
 - Connection oriented (CO), CID>0x'0002'
 - Kétirányú
 - Kapcsolatfelépítés szükséges
 - Jelzéscsatornát biztosít CID=0x'0001'-vel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



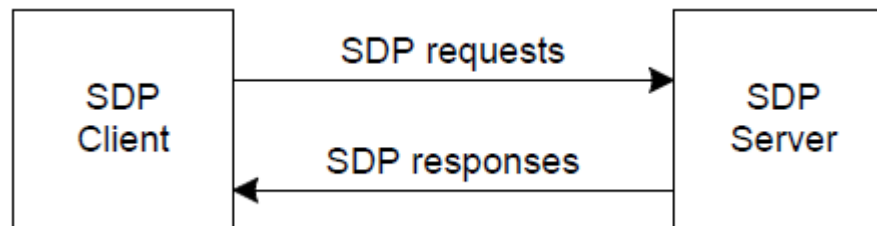
- Csomagformátum
 - Max. méret 65 535 bájt
 - (a) jelzéscsatorna:
 - opCode: a jelzési adat azonosítója
 - identifier: a kérések és válaszok párosításához
 - length: adatmező hossza
 - sgnl_data: jelzési adata
 - (b) connectionless csatorna:
 - PSM: Protocol and Service Multiplexer
 - Segítségével lehet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

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 protokoll együttesre (Service) építkeznek
 - A legtöbbet a Bluetooth SIG adaptálta és felügyeli
- A Service Discovery Protocol (SDP) célja ezen diverzitás összefogása és menedzselhető formába öntése

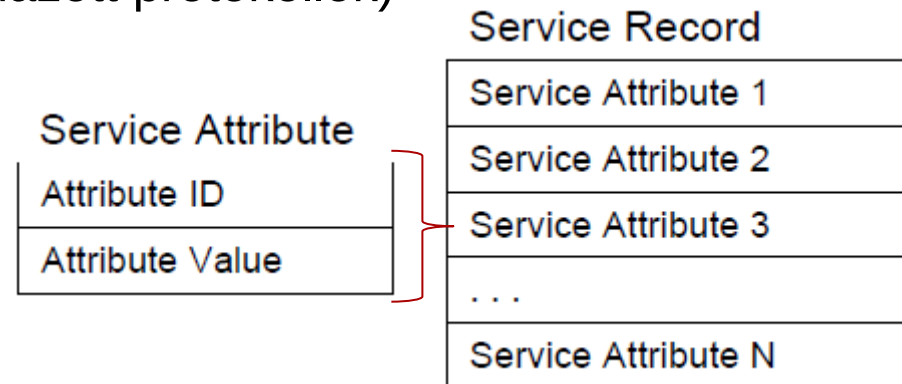


- Célja az egyes szolgáltatások (alkalmazások) protokollfüggőségeinek felderíthetővé tétele bármely fél által
 - Kérés/válasz jelleggel
- Service Registry
 - Service-ek adatbázisa
 - Service azonosítás/keresés
 - UUID-k (Universal Unique ID) segítségével
 - Hozzáférés
 - Service Record Handle (~pointer)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



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

- SDP Service bejegyzések (Record)
 - Alaptípus: Service Attribute
 - Lehet generikus, vagy alkalmazás 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.



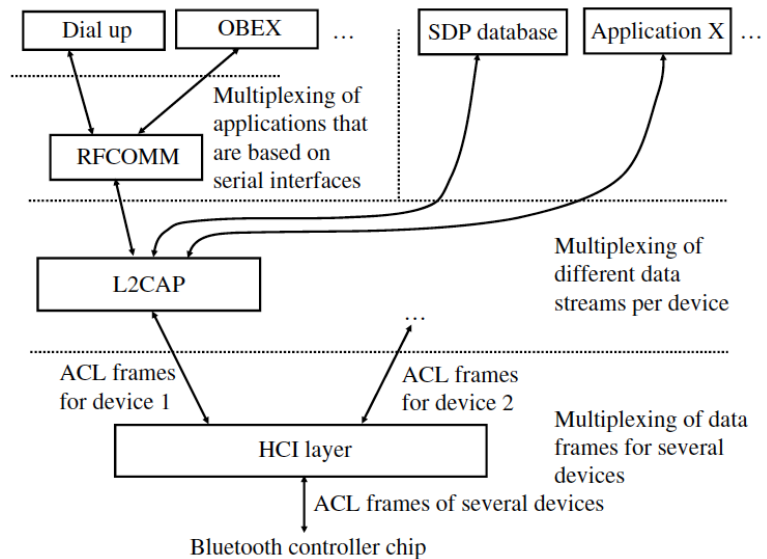
- Példa: Serial Port Profile
 - Note1: Bluetooth Assigned Numbers

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

• Radio Frequency Communications (RFCOMM)

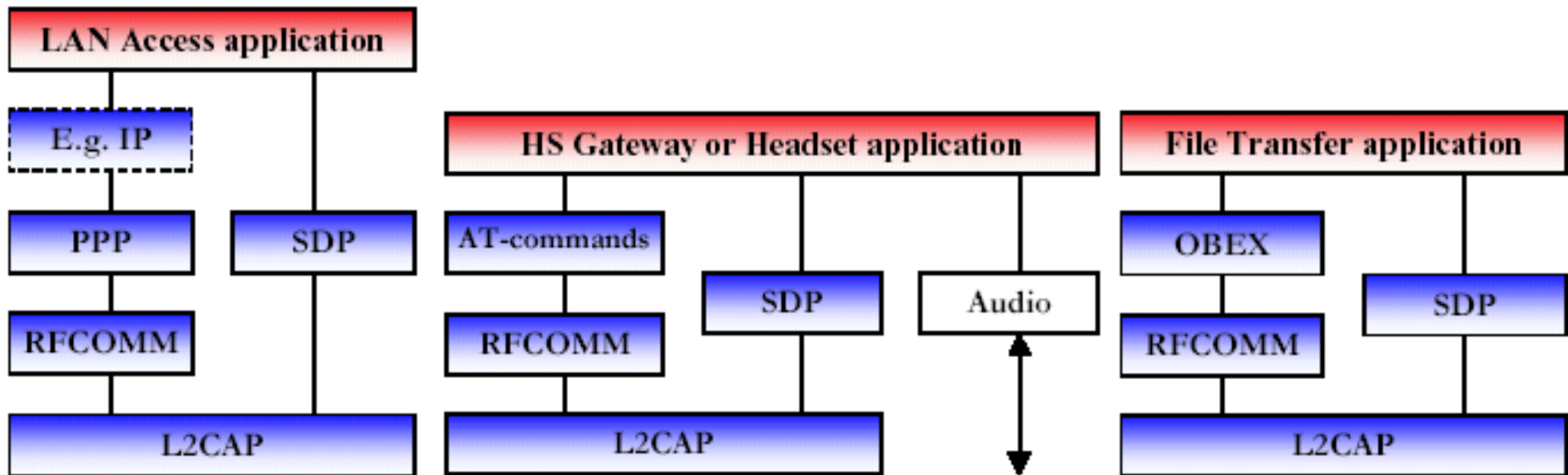
- „Soros port” szolgáltatás
- Teljes soros interfész szimulációja

- Küldési és fogadási üzenetek
- Jelzési üzenetek is
 - Request to Send (RTS),
 - Clear to Send (CTS),
 - Data Terminal Ready (DTR),
 - Data Set Ready (DSR),
 - Data Carrier Detect (CD) és
 - Ring Indicator (RI).



- Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (UART)
 - Tipikusan RS-232, de ennek a max. sebessége 115 kbps
 - Nagyobb adatátviteli sebesség eléréséhez UART, akár 1,5 Mbps

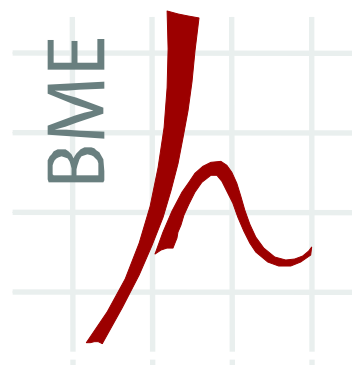
- A protocol stack felett elhelyezkedő szoftverek együttese
 - Profilok, protokollok stb.
- A szervezés gyakorlatilag a Bluetooth modul gyártójától független alkalmazásfejlesztést tesz lehetővé





HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK





Az IEEE 802.11 szabványcsalád

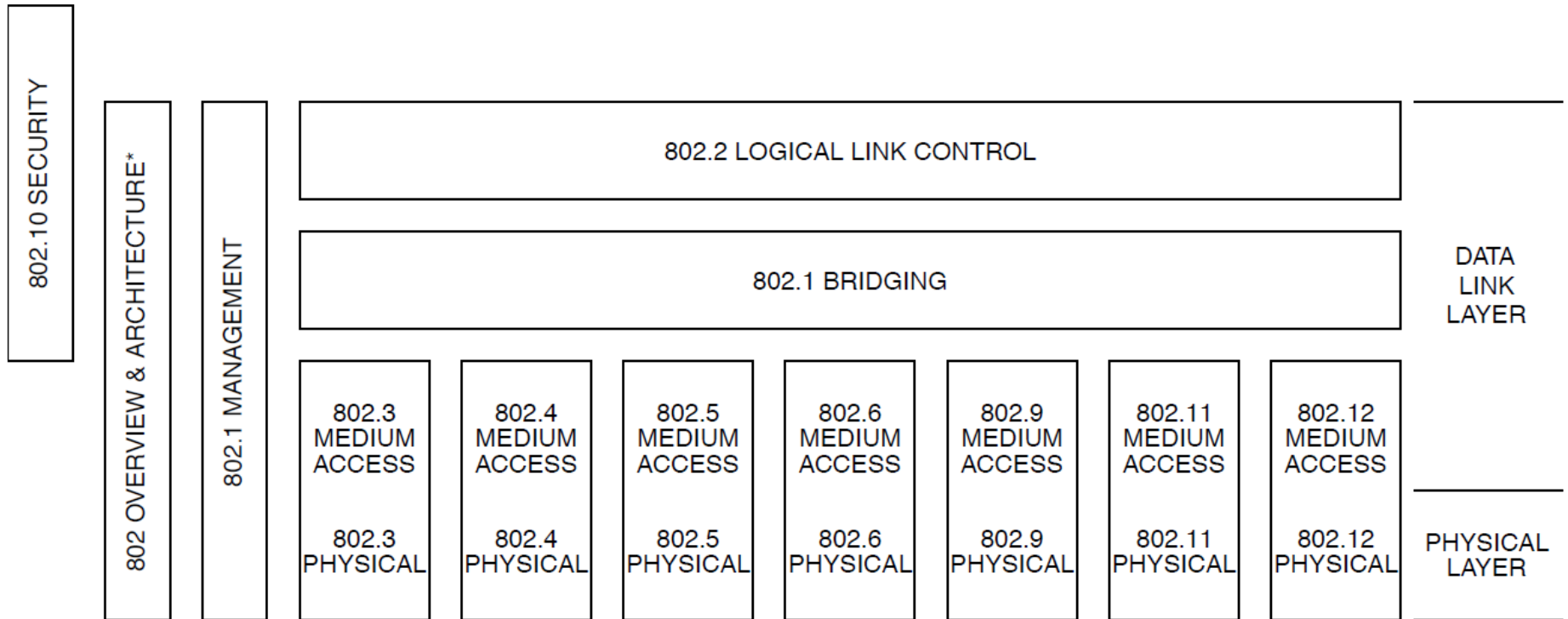


Gódor Győző
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu

Elnevezések, fogalmak

- IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
- 802. elnevezésű szabványok: LAN, MAN, PAN
 - Jelentős létező:
 - 802.3 Ethernet
 - 802.11 vezeték nélküli
 - 802.15 vezeték nélküli, kis hatótávolságú
 - 802.16 WiMAX, vezeték nélküli 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
- **Teljesítőkéesség:**
 - A Wi-Fi 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**
 - 5 GHz 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 egybegyűrt szabvány

A 802.11 szabványcsalád

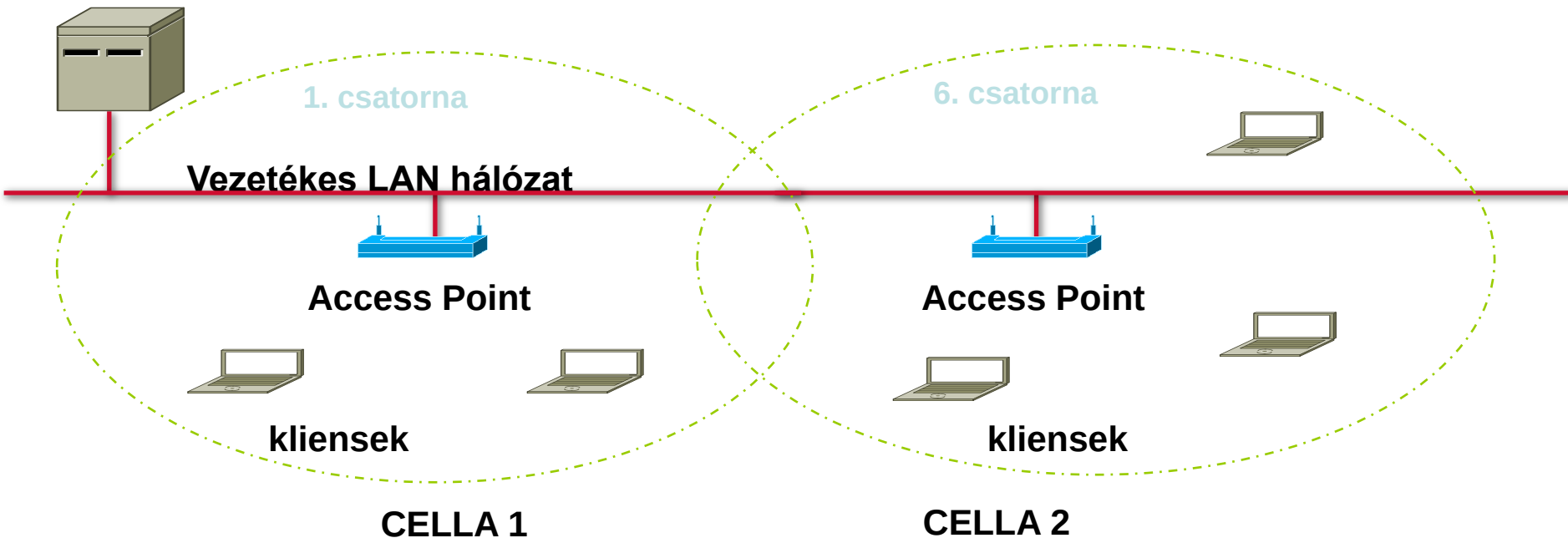
- **802.11n-2009**
 - 5 és 2,4 GHz-en is működik, OFDM, többantennás átvitel, szélesebb sáv, akár 600 Mbps elvi sebesség.
 - A gyártók már hamarabb, 2007-es draft alapján kijöttek termékekkel
- **802.11-2012**
 - Egységesítés
- **802.11ac-2013**
 - A 802.11n továbbfejlesztése, OFDM, 5 GHz sáv, nagyobb sáv szélesség, MIMO, nagyobb állapotszámú moduláció, elvi sebesség 6 Gbps fölött
- **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

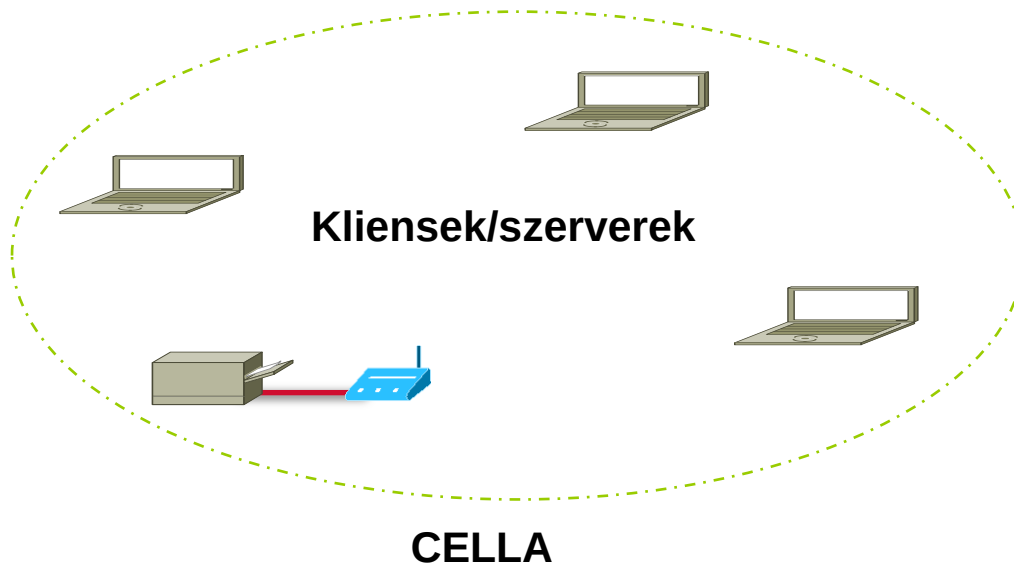
Mi az a Wireless LAN?

- A vezetékes LAN hálózat vezeték nélküli meghosszabbítása.



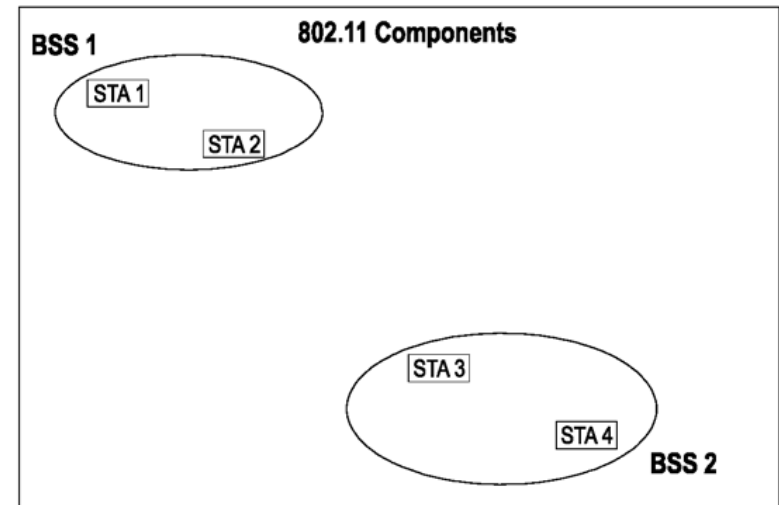
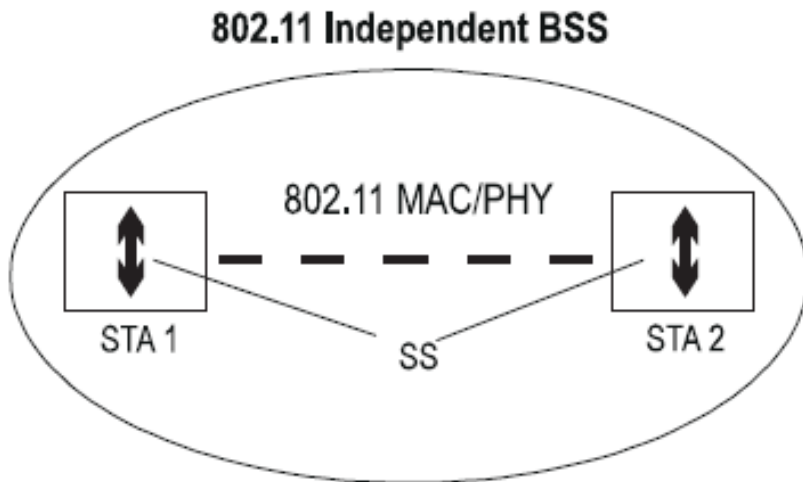
Mi az a Wireless LAN?

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



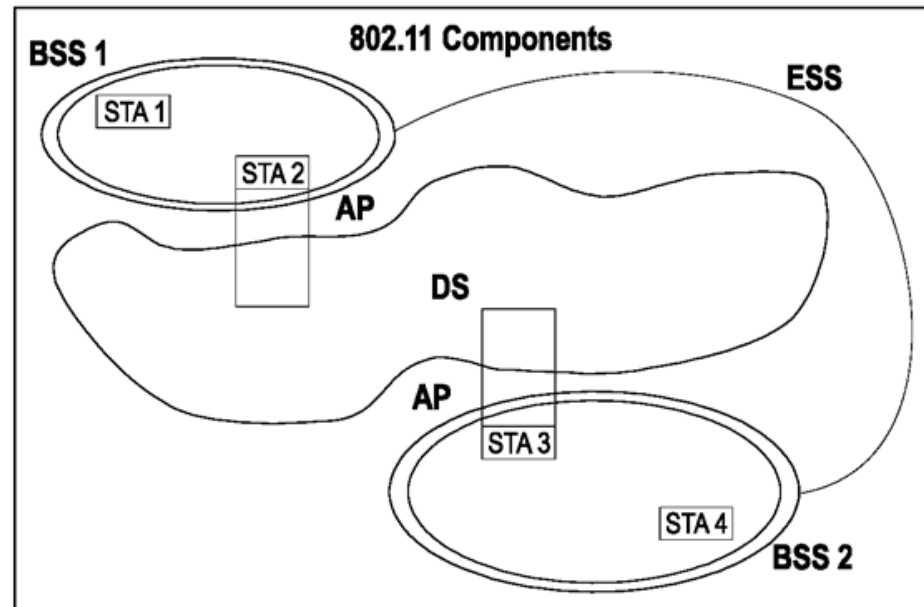
802.11 hálózatok felépítése

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



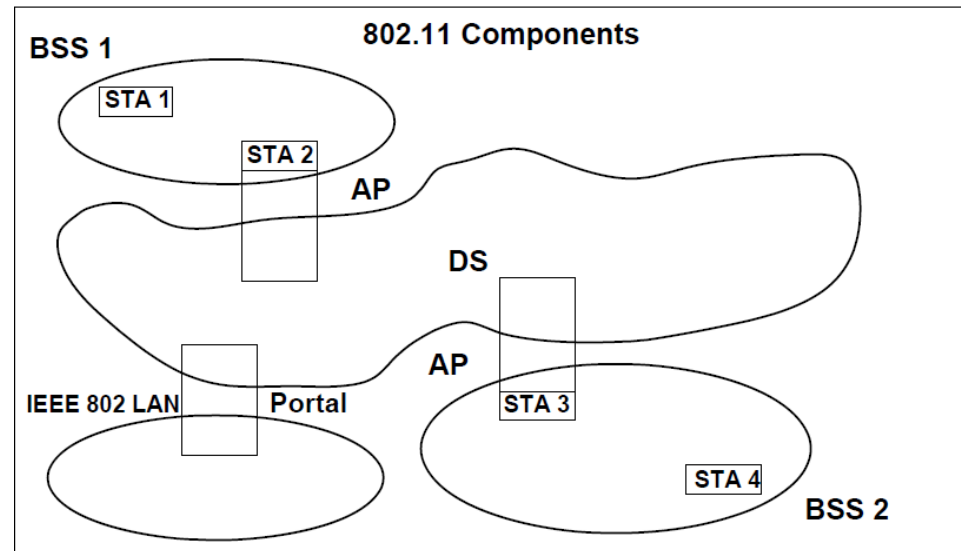
802.11 hálózatok felépítése

- **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 hálózat felé
- Mindezt „**Infrastruktúra mód**”-nak hívjuk
 - Létezik **ad-hoc** mód:
 - Nincs Infrastruktúra
 - Nincs AP

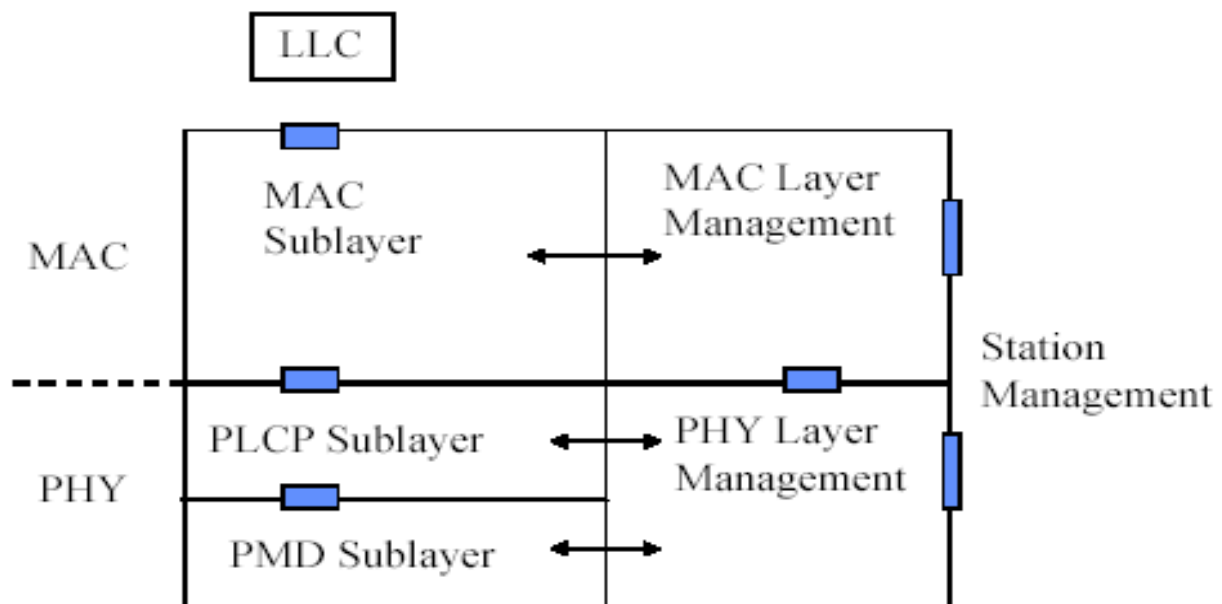


802.11 hálózatok felépítése

- **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 tűnik, 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

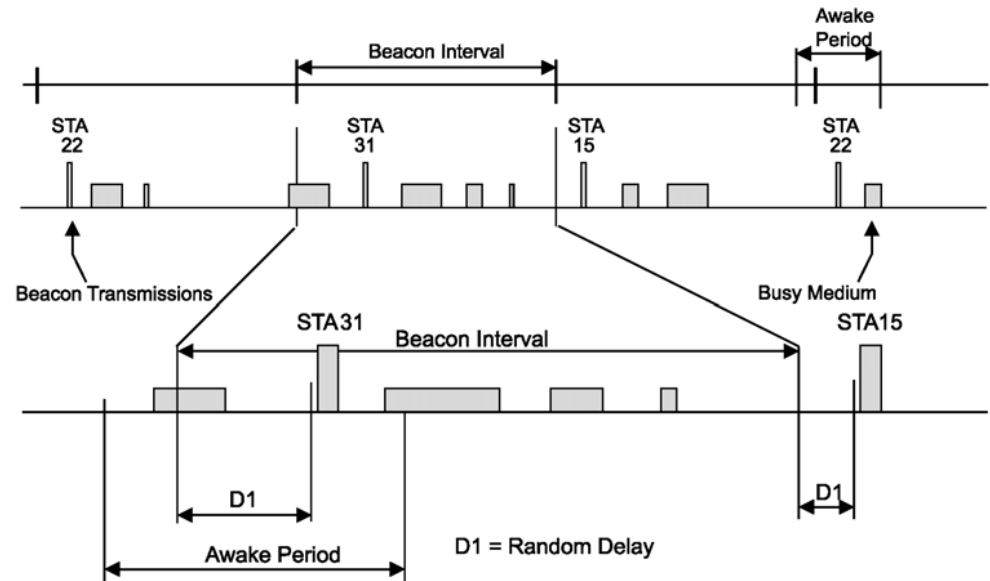
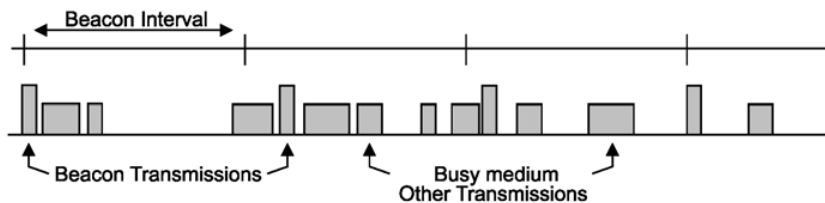


Protokoll rétegek

- **MAC Entitás**
 - Aszinkron adatátviteli szolgáltatás az LLC felé
 - Pont-pont és Broadcast / multicast címezés és átvitel
 - Alapvetően: 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 felsőbb 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

A rádiótelefon hálózat fejlesztésének és üzemeltetésének gyakorlata

Készítette: Tremmel János

Bemutakozás - Tremmel János

- 1983-88: Okleveles villamosmérnök - BME Villamosmérnöki kar, Híradástechnika szak
- 1988-90: Távközlési szakmérnök - BME Villamosmérnöki kar, Híradástechnika szak
- 1991: Műszaki doktor - BME
- 1999-01: MBA – Budapesti Közgazdaságtudományi Egyetem
- 2007-09: MBA International Business Management – Purdue University (USA),
Tilburg University (The Netherlands), Central European University (Hungary)
- 2017-18: AI Technológia profiknak (Kürt Akadémia, Magyarország)
- Munkakörök:
 - 1991-92: Rádiómérnök, mikrohullámú tervezőmérnök – Westel Rádiótelefon Kft.
 - 1992-94: Rádió osztályvezető – Westel Rádiótelefon Kft.
 - 1994-98: Rádió osztályvezető – Westel900 Rt.
 -
 -
 -
 - 2018-2020: Hálózatechnológia igazgató – Magyar Telekom Nyrt.

Gordos Géza tanár úrra emlékezem és hivatkozom

„Kollégák! A mérnök három fő ellensége:

- a zaj,
- a torzítás
- és a főkönyvelő.”

Akkor még nem értettem igazán, ma már jobban.

A zajhoz a cellás rendszerek tulajdonsága miatt az interferenciát is hozzáadom gondolatban.

A főkönyvelő faktort pedig tágabban érdemes szemlélni: mivel nagy, drága rendszerről van szó, sok-sok döntéshozót kell meggyőzni különböző szinteken (és minden évben, minden projektben), hogy a szűk erőforrásokból szánjanak a mobil hálózat fejlesztésére, üzemeltetésére, azaz legyen

PÉNZ, PARIPA és FEGYVER!

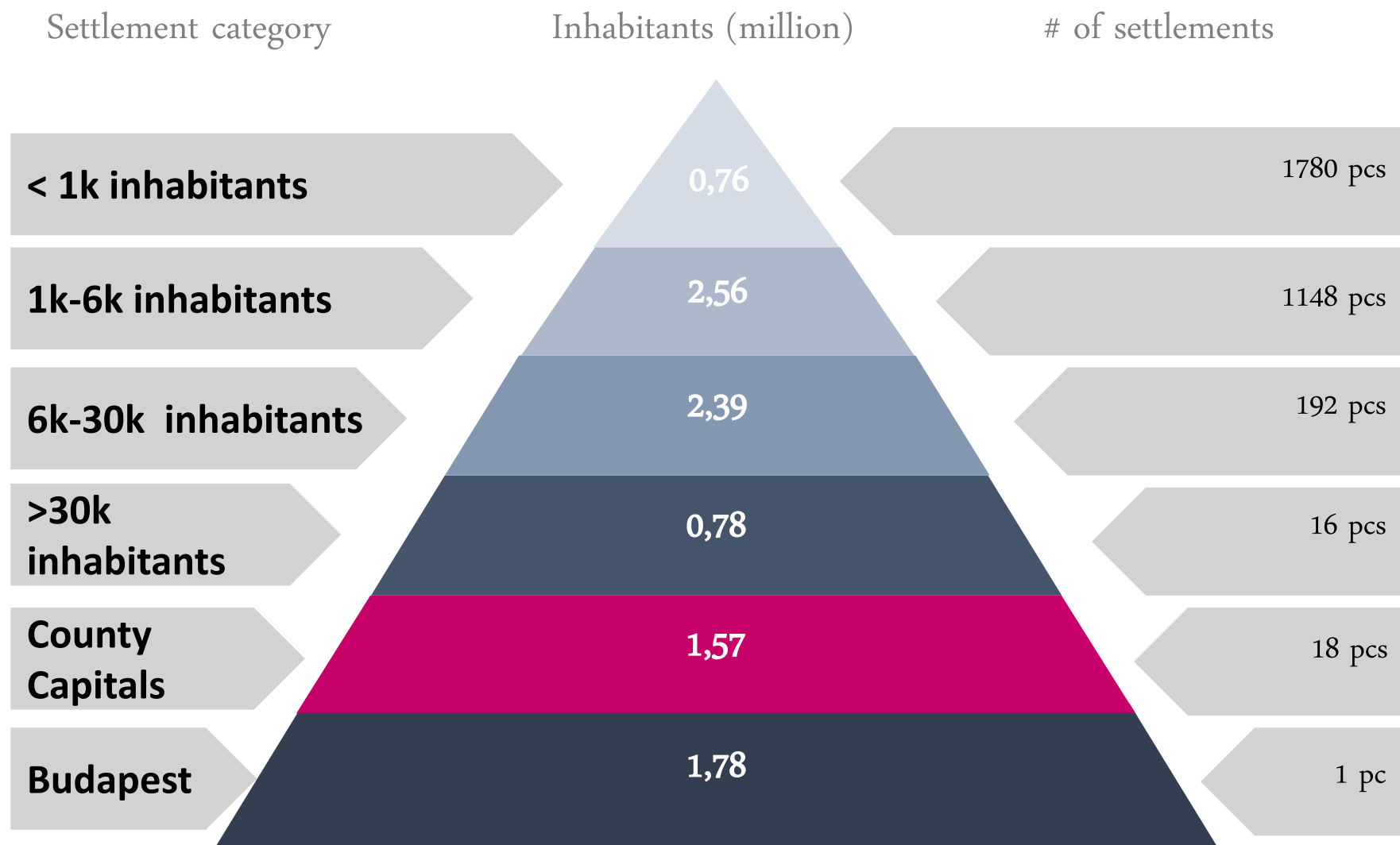
Az előadás célja

Hogyan válik a tudományból realitás?

Amint látni fogják, nem pusztán elméleti, műszaki optimumot keresünk, hanem a való életben szokásos, egymásnak ellentmondó feltételeknek és célfüggvényeknek kívánunk eleget tenni.

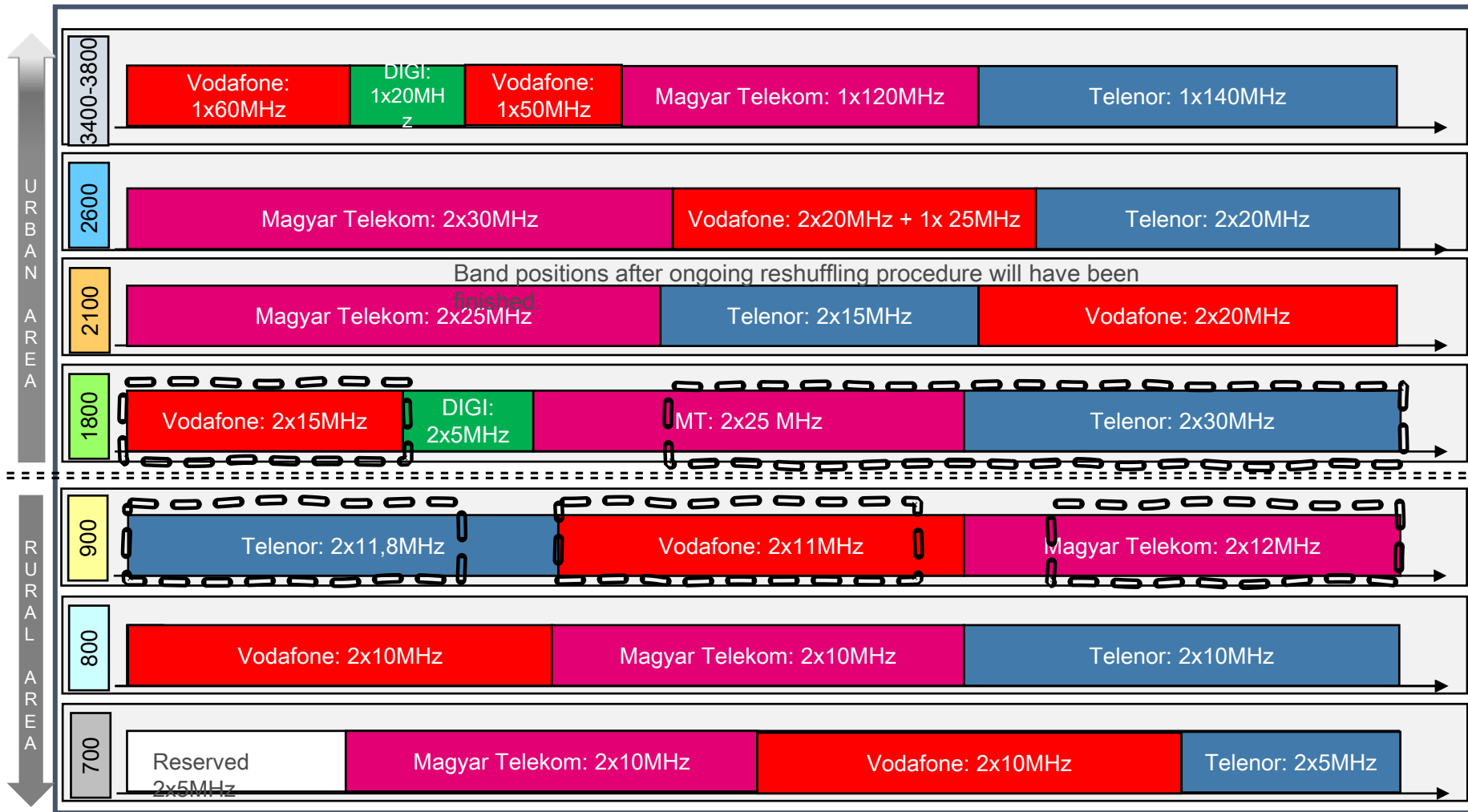
- Kiválóan működjön (minőség világszínvonalú legyen)
- Versenytársnál gyorsabban csináljuk meg (több ügyfél elérése -> nagyobb piacrész lesz a miénk)
- Kevés a pénz (véges erőforrásért való folyamatos versenyzés a feladatunk)
- Szakértő a témához alig van (szállítóválasztással párhuzamosan tanulunk)
- Külső engedélyek beszerzése hosszadalmas, kockázatos (hogyan megkapjuk-e). Rengeteg hatóság.
- Drága és nehéz telephelyet találni (lakossági ellenállás)
- Felkészíteni a Marketing, Sales, Ügyfélszolgálat munkatársait az új szolgáltatásokra
- Felkészíteni az IT rendszereket az új szolgáltatásokra (bonyolultság nő folyamatosan)
- Mit végezzenek a belső munkatársak és mit az alvállalkozók? (Örök dilemma.)
- Kivezetni bármit is óriási belső és külső ellenállásba ütközik
(Lásd: 2G már 26,5 éves Magyarországon!)

A lakosság eloszlása nagy kihívás az aprófalvak miatt



Mobil spektrum helyzete

A frekvencia szűkös erőforrás. Állami monopólium, versenyeztetik, majd kizárólagos jogosultságba adják 15-20 évre.



12 LOTs of 2x5 MHz blocks are on sale @1800 (2x60 MHz)

6 LOTs of 2x5 MHz blocks are on sale @900 (2x30 MHz)

Mi az értéke az egyes frekvenciasávoknak?

A kérdés nem triviális.

- Frekvencia nélkül nincs mobil szolgáltatás. Ez az üzletág ahol a tulajdonosnak 15-20 évente újra és újra meg kell vennie a saját üzletét.
- A közgazdaság szerint, ha jelenértékre diszkontáljuk az összes inkrementális bevételt, költséget, beruházást és adót, amit az új frekvencia miatt realizálunk, akkor megkapjuk azt az elméleti maximum árát a frekvenciasávnak, ami mellett még nem veszítettünk.
- Főleg GHz alatti (vidéki) frekvenciákon az NMHH által esetlegesen előírt lefedettségi követelmények néha oly erősek, hogy ezek is csökkentik a frekvencia értékét.
- DE! Senki sem tudja, még a Marketing sem, hogy 5-10-20 év múlva mire és hogyan fogják az emberek használni a mobilt. -> A bevételi előrejelzés gyér, óvatos mindenki, hátha bevasalják rajta később ...
- A beruházási és a folyó költség egy fokkal pontosabban becsülhető, de az inflációt, a valutaárfolyamokat, a még nem ismert technológiák árát becsülni bátor dolog 😊. Megtesszük néha.
- Az eredmény általában az, hogy a bevétel nem fedezi a költségeket, nem érdemes frekvenciát venni.
- Ez ellentmond a józan észnek (hisz örök emberi igényt szolgálunk ki), meg az oligopol piac elméletének.
- Ekkor bevetjük a heurisztikus, holisztikus gondolkodást és műszaki létünkre nekiállunk eladni az ötleteinket, meggyőződésünket a marketing, a sales, a pénzügy, a stratégia, majd a vezetők és a tulajdonos felé. (Gordos Géza 3. intelme!)

Ha ez nem sikerül, NINCS hálózatfejlesztés!😞

Versenytársak vagy partnerek a hálózatépítésben?

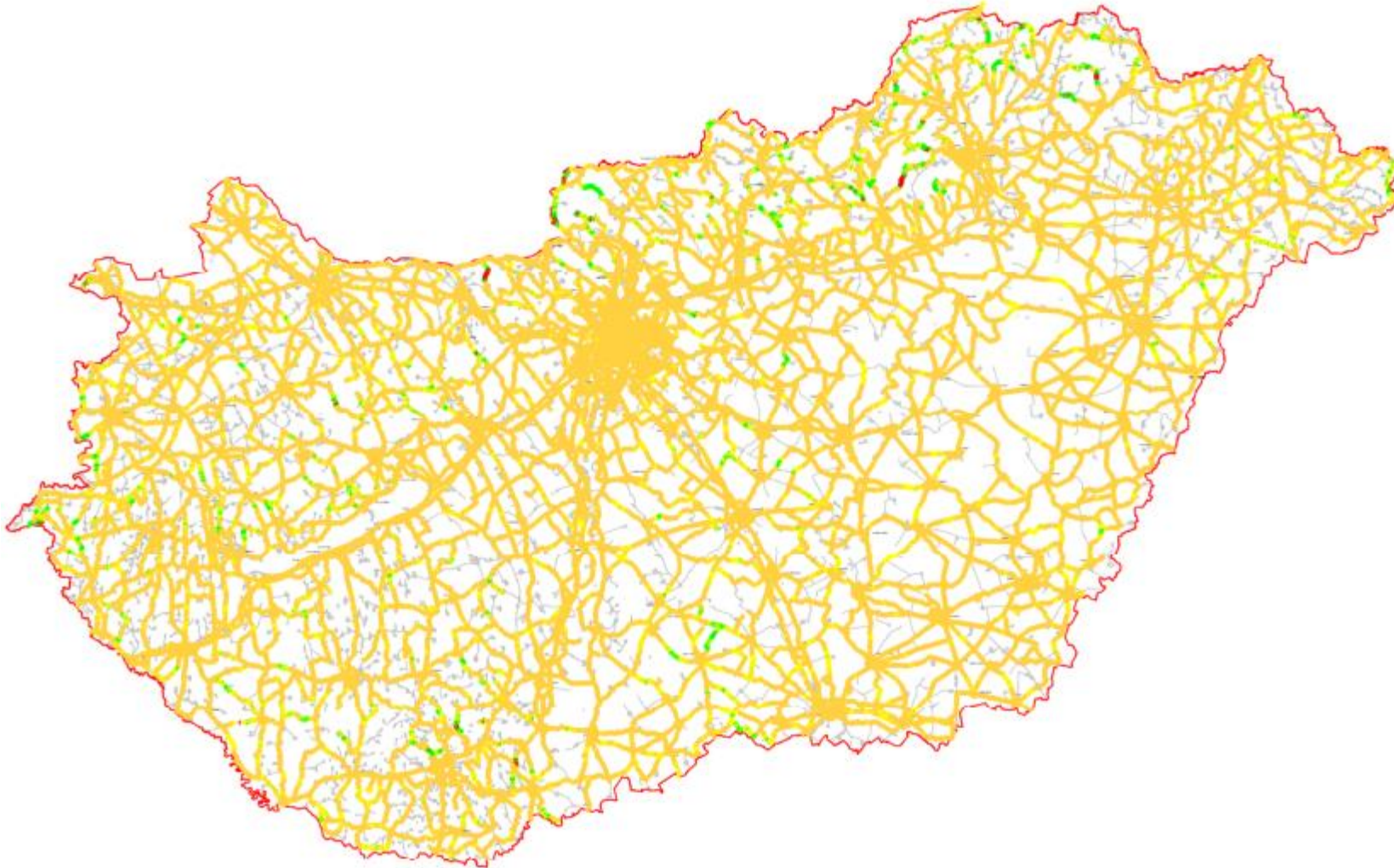
- 1990-94: NMT 450 analóg rádiótelefon hálózat (1G) – monopólium (Westel)
- 1994-99: GSM900 dig. rádiótelefon hál. (2G) – oligopólium (Westel, Westel900, Pannon)
 - Az első felében keményen versenyeztünk, és önző módon nem adtuk bérbe a tornyainkat egymásnak (Mogyoród!)
 - A második felében már kialakult a toronymegosztás gyakorlata, ahol kölcsönösen figyelembe vettük a másik antennáinak statikai terheit új torony építésekor, és kialakult erősítés esetén is a költségmegosztás képlete
- 1999-16: Vodafone megjelenése, GSM1800 hálózatok kiépítése - oligopólium (Westel900, Pannon, Vodafone); analóg hálózat leállt, frekvenciát visszaadtuk az államnak - lejárát előtt!
 - Vodafone kezdetben nem tudott antenna helyeket ajánlani a nemlétező tornyain, de pár év után ő is elfogadta a toronymegosztási eljárást (Ma Magyarországon a tornyok 90%-a közösen használt! 😊)
 - Átmeneti jelleggel Nemzeti roaming keretében Vodafone kapott hozzáférést a meglévő mobil hálózatokhoz, így országos lefedettséggel tudta hirdetni magát – hamar saját lábára állt!
- 20016-jelen: A Digi nagyon sok helyre szeretett volna bejönni, de maga nem kívánt drágább tornyokat építeni, hogy a többiek is tudják használni azokat -> kicsit a körön kívül rekedt
- A toronybérlettel párhuzamosan futott fel az átviteltechnika kölcsönös biztosítása az access síkon, míg a gerinc irányokban természetesen a Telekom tudta a legtöbb optikai összeköttetést biztosítani és bérbe adni
- Mobil pénztárgépek: osztrák SIM kártyákon bonyolódik, amelyek mindhárom hazai szolgáltatóra tudnak roamingolni -> nagyobb lefedés és megbízhatóság, de a „sógorok” mindent látnak! Januártól még inkább.

Lefedettség mérésének buktatói I.

- A hullámterjedés statisztikailag becsülhető (gyors és lassú fading). Térben és időben adott valószínűséggel megmondható, mekkora is a térerő. Statisztikát viszont egy méréssel nem szép dolog ellenőrizni...
- Mérőautóval, de akár hátizsákos bejárással is pusztán vonalas méréseink lesznek, míg a lefedettség számító programok területre/lakosságszámra adnak statisztikai becslést. Hogy vessük össze a kettőt?
Még ha az NMHH egy frekvencia tenderben pontosan specifikálja is a mérési módszerét (mintavételezését), ettől még nem tudjuk pontosan, mire terveztessük a programmal a hálózatot...
- Az analóg (1G) és a GSM (2G) hálózatokon a hang szolgáltatás dominált, viszonylag pontosan lehetett meghatározni azon térerősség értékeket, amelyekhez egy adott beszédminőség párosult. (köv. oldal.)
- A kültéri lefedettség mellett így létrehoztuk a „in-car, in-door, deep in-door” kategóriákat is, mindegyikhez pontosan modellezett extra csillapításokat társítva, és így felfelé tolva a szükséges térerőszinteket.
- Aztán elkezdtek eltűnni az antennák a telefonokról, egyre rosszabb lett az RF képességük, amit a hálózat folyamatos után húzásával próbáltunk pótolni: teljesítmény emelés, szektorizálás, vételi antenna előerősítő, repeater, mikro bázisállomás adott pontra, állomások sűrítése (költség monoton nő).

ÁLLOMÁS GRID-ET SÜRÍTENI DRÁGA MULATSÁG!

GSM mért lefedettségi térkép



Lefedettség mérésének buktatói II.

- 3G, 4G, 5G estében még bonyolultabb a dolog. Az adatszolgáltatás egyre fontosabb és nagyobb sebességű lesz, vajon melyik sebességszintre értelmezzük a térerő küszöbököt? Átlaggal, vagy 90% valószínűséggel számoljunk?
- Egy lépés az applikáció szintű lefedettség definíció: x %-ban böngészésre alkalmas, y %-ban video streamingre, z%-ban fájl letöltésre.
- Ráadásul a „lefedettség” és a cella terhelése negatívan korrelál: lehet, hogy a térerő alapú lefedettség kiváló, de már akkora a cellában a forgalom, hogy a gyakori ütközések és versenyzések miatt csak kevés erőforrás jut egy ügyfélre, „belassul” a szolgáltatás, mintha extra csillapítás lépett volna fel.
- Ha egy TCP/IP jelfolyam belassul, vagy meg is áll, rajtunk kívüli okai is lehetnek, mégis az ügyfél elsősorban rajtunk kezdi a hibakeresést -> ezért jobb, ha mi is állandóan monitorozzuk magunkat és másokat is, hogy egyből tudjuk, kinél van a hiba.
- Sajnos az általunk jónak gondolt szintek (térerő és/vagy adatsebesség) nem mindig egyezik meg akár a tulajdonos, akár az NMHH által jónak tartottal -> rengeteg plusz átszámítás, megfeleltetés, magyarázat
- Levelek, lombok hatása érzékelhető: -> télen jobban terjed a jel
- Esőben, hóban a magasabb frekvenciák jobban csillapítanak -> napos időben jobban terjed a jel

Érdekességek állomásokról és tornyokról

- Bázisállomás helikopteres emelése: ritkán alkalmazzuk, mert drága, de néha elkerülhetetlen, főleg sűrűn épített belvárosi környezetben, ha az utcáról a daru nem fér hozzá az állomás helyéhez a tetőn (video)
- Egész tornyot is beemeltünk már helikopterrel, az sokkal nehezebb és izgalmasabb feladat
- Egy 70 m-es torony tetejére nyáron is kabátban érdemes fölmennie annak, aki ott órákon át dolgozni fog, az erős légmozgás miatt
- Közben 50 cm-t kileng a torony teteje (rugalmas szerkezet)
- 91 nyarán a Bükk-fennsík tetején építettük az ország első digitális nagykapacitású mikrohullámú gerinchálózatát. A féltonnás , 3 m átmérőjű parabolaantennát kb. 60 m magasra tudta emelni az autódaru, hiányzott még fél méter, hogy a fogadó csonkra lehessen bilincselni. A szakmunkás biztosítás nélkül várta és cigarettázott, majd kézi emelővel és kötelekkel megoldotta. Én feljebb voltam 3 m-el, de nem mertem odanézni. Sok ilyen névtelen és bátor embernek köszönhetjük a hálózatunkat. Közben a torony is ingott, meg az autódaru gémje is...
- A tornyokat statikailag méretezik elcsavarodásra is, ami különösen fontos volt korábban, amikor még sok nagy átmérőjű parabola antenna volt rajtuk- csak 0,2-0,4 fok volt megengedett.

Fejlesztési életpép a hősidőkből



Üzemeltetési életkép 2013-ból



2020. dec. 3.

A rádiótelefon hálózat fejlesztésének és üzemeltetésének
gyakorlata

Engedélyeztetési nehézségek, álcázás

- Sehol a világon nincs erre jó megoldás. Az áramot lehet földkábelben vinni, de a térerőt nem.
- A légügy piros-fehérre festett tornyot szeretne, a környezetvédelem meg zöldet. Mi vagyunk közöttük...
- Figyelembe kellett veyük a gólyák vonulási útvonalát.
- Valahol 4 látványtervet is készítették velünk különböző hegycsúcsokról, mégsem jött össze a torony.
- A Hortobágyon gémeskútnak szerettük volna álcázni a tornyot, nem engedték. 20-25 éve volt egy nagy tűz, szegény tűzoltók nem tudtak telefonálni. A többit szóban elmondom.
- Van egy-két műanyag fenyőnek álcázott állomás, de legalább úgy kirí a lombos fás környezetéből, mint egy mezei torony. Csak 3x drágább. És a karbantartása is.
- Széteső műemléki épület valahol Budapesten, a faszindelyes tető rettenetesen beázott. Felajánlottuk, hogy a padlásra betesszük az antennákat, a tetőt meg műanyag zszindelyutánzattal fedjük le, az utcáról nem lehetett volna észrevenni a különbséget. Fát szerettek volna, ami sajnos nedvességgel telítődve erősen csillapít... Nem jött össze, az épület tovább oszladozott.
- Az álcázás nagyon megdrágítja az állomást, és így sem tökéletes sokszor, ráadásul rádiótechnikailag plusz csillapítással kell számolni, vagy bizonyos irányok részleges kitakarásával.
- Szép példákat mutatok a következő oldalakon.

Környezetbe simuló megoldások I.



2020. dec. 3.



A rádiótelefon hálózat fejlesztésének és üzemeltetésének gyakorlata



16

Környezetbe simuló megoldások II.



2020. dec. 3.



A rádiótelefon hálózat fejlesztésének és üzemeltetésének gyakorlata

Építés közbeni állapot



17

Kapacitás – mit értünk alatta?

- A 2% GoS Erlang B képlet csodálatosan működött az NMT és a GSM tervezéséhez.
 - 3G-től kezdődően a torlódás nem fogható meg ilyen egyszerűen, mivel lassulást éreznek az ügyfelek egyre jobban, a cella throughput-ja viszont még nő, igaz, a Round Trip Time (RTT) is. Itt tehát még nehezebb megmondanunk, mennyi tartalék van a cellában: ízlés (=lassulás) kérdése...
 - Ha a hálózat szintjére lépünk, a kapacitás definíciója még homályosabb. Példa:
Legyen három cellánk: A 10%, B 50% és C 90% kihasználtsággal.
Mennyi a hálózat kapacitása? Még mennyi forgalmi növekményt képes felvenni?
 1. A tízszeres, B kétszeres, C 1,1-szeres növekedést bír produkálni, *dupla forgalmat átengedve* eredőben. A cellák kihasználtsága 100% lesz.
 2. A-ba hiába férne még, arra csak ritkán megy az ügyfél. Tapasztalat, hogy minden cella magához képest növekszik, így kb. *10% növekedés után* a cellák kihasználtsága: 11%, 55%, 99% lesznek.
 3. De mondhatjuk azt is, hogy csak ha már x%-a celláknak torlódik, akkor értük el a kapacitásunk plafonját. Ha 33,3% torlódó cellát megengedünk, akkor *99%-os forgalom növekedés* mellett a celláink ~20%, 99,5%, 100% kihasználtságon fognak járni.
1. és 3. eset most véletlenül ad hasonló eredményt, egyébként nagyon eltérnek. A gyakorlatban a 3. mechanizmust alkalmazzuk, de 5-20% torlódó cella aránnyal.

Kapacitás – csak felnőtteknek

- A hierarchikus cellastruktúra az előbbieket „tönkreteszi”.
- Legyen egy állomáson 4G 800 és 1800 MHz-en. Ekkor a magasabb frekvenciájú és kisebb területű kapacitáscellába beerőltetünk annyi forgalmat, amit csak bírunk, hogy a nagyobb területű, univerzálisabb alacsony frekvenciás cellában képezzünk tartalékot.
- Egy átlag állomáson könnyen lehetséges:
 - 3 szektor 900 MHz GSM
 - 3 szektor 1800 MHz GSM
 - 3 szektor 2100 MHz UMTS HSPA (3G)
 - 3 szektor 800 MHz LTE (4G)
 - 3 szektor 1800 LTE
 - 3 szektor 2600 MHz LTE
 - 3 szektor 700 MHz 5G vidéken vagy 3,5 GHz 5G városban
- A cella ütemező algoritmus szabályozható, ettől is függ a cella végkapacitása
- Az átviteltechnika ritkán, de képezhet korlátot, mielőtt az állomás (fenti sok cella együttese) betorlódna
- A központhálózat még ritkábban torlódik, de pl. Karácsonykor, bankcsőd, napfogyatkozás vagy hóesés, esetleg háború, forradalom idején előfordulhat

Sok milliárdos villanyszámla és a spórolás lépései

- A 90-es években az NMT és a GSM keretek, meg a mikrohullámú eszközök miatt 20 lábas konténereket építettünk elsősorban és beltéri eszközöket telepítettünk beléjük a könnyebb szervizelhetőség miatt (sokat kellett méregetni).
- 2000-es évek második felében a 3G telepítésével együtt modernizáltunk és kezdtek kiürülni a konténerek. Az addigi két klímás hűtés mellé beszereltünk ventilátoros átszellőztetőt (saját fejlesztés volt), ami sokszor elég volt az év nagy részében, még nyár éjszakákon is. Elsősorban a telepített akkumulátorok számára volt fontos a 22-25 fokos állandó hőmérséklet, az elektronika többet is kibírt volna.
- 2010-15 között a 4G elterjesztése kapcsán egy újabb modernizálás zajlott, melynek során több száz konténert számoltunk fel és tértünk át az outdoor kabinetekre. A felszín csökkenésével arányosan csökkent a napsugárzás hőterhelése.
- A most folyó 5G telepítéssel és modernizálással pedig ez az indoor -> outdoor folyamat befejeződik: csak azokon a helyeken marad meg a beltéri konténer, vagy helyiség, ahol jelentős átviteltechnika és/vagy Tetra bázisállomás is van. És lehet már átszellőztetni az outdoor-t is klíma nélkül, mert az új Lítium aksik bírják a magasabb hőmérsékletet is.
- Ráadásul az outdoor állomásokon az infrastruktúrát is a szállító felügyeleti rendszere koordinálja a rádiótechnikával együtt és a szomszédos állomásokat is figyelve: pl. ha valahol vissza kell venni a kimenő teljesítményt túlmelegedés miatt, a környező állomásokon növeli a teljesítményt, hogy a lefedettség ne csökkenjen túlságosan. (AI alapú vezérlés.)

Áram nélkül nincs távközlés – kitartani a végsőkéig

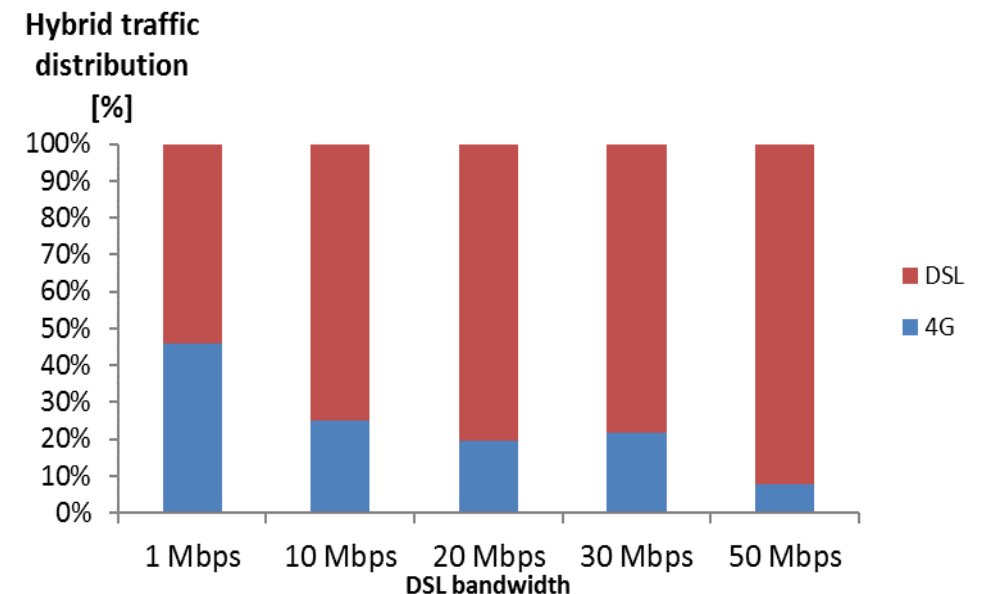
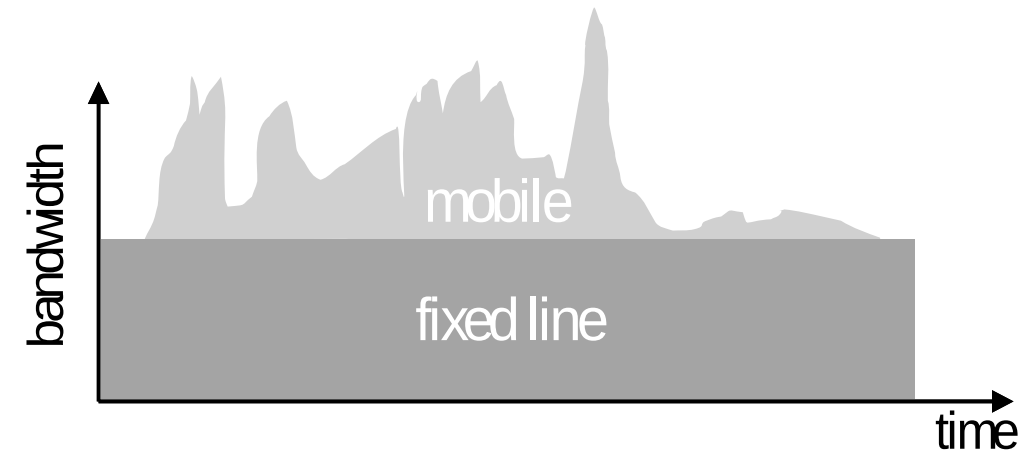
112 és társai

- Az erős töltő és az akkumulátor nem olcsó, ráadásul az ólom akkumulátorok miatt erős klímák kellettek, amik sokat fogyasztanak -> egy sima bázisállomáson (kevés átviteltechnikával) eléggé korlátozott kapacitás beépítésére volt csak pénzünk
- De tudtuk, hogy Magyarországon az áramszünetek fele 30 percnél rövidebb
- „Kényszerleszállás” prioritási rendje: ha már kevés van az akkumulátorokban, akkor a bázisállomás különböző végfokozatait fokozatosan lekapcsoljuk (frekvenciák közt van fontossági rend!), hogy az állomás átviteltechnikája, és így a mögöttes állomások még a lehető legtovább működhessenek
- A legtöbb helyszínen alkalmas mobil dízelgenerátorok csatlakoztatására, amit vagy az üzemeltetés, vagy külső alvállalkozó vontat a helyszínre normaidő betartásával (télen a villanyvezetékek leszakadása miatt néha 2-3 napig is működtetjük őket)
- Egyik legfontosabb kérdés a hálózatfelügyeleti központban (Service Network Operations Center), ha egy állomás-fürt leszakad hirtelen: optikai kábelvágás vagy áramszünet okozta? Hiszen egész más lépések és szakértők kellenek.

Most értünk el ennek a kérdésnek a gépi megválaszolásához !☺

Hybrid access – mobil rásegítés az xDSL-re

- Bár hatalmas léptekkel fejleszti a Telekom az optikai access hálózatát (GPON), de egyes területeken még évekig üzemben lesz a sodrott vezetékpárat használó ADSL (2-25 Mbps) és a VDSL (30-100 Mbps) technológia
- A 2015-től rendelkezésre álló kiterjedt LTE800-es hálózat szabad kapacitásait fel szeretnénk volna használni
- A DT csoport kifejlesztett egy olyan xDSL-LTE HGW-t, ami intelligensen támaszkodott az xDSL+LTE kettősre: csak akkor kapcsolta be az LTE „boost-ot”, amikor a használat igazán indokolta, hogy óvja a mobil hálózatot a túlterheléstől, ugyanakkor az ügyfél a gyorsulást érezte, amikor szüksége volt rá ☺. Egy speciális szerver egyesítette a két TCP/IP-t.
- Így turbózza az 50-60 Mbps élményét tudtuk adni
- Priorításban az ilyen forgalmakat lejjebb soroltuk a normál mobil forgalomhoz képest. Ez torlódáskor számít csak.
- A legfontosabb, mint egy Wifi esetén is, az antenna elhelyezése.
- Nem engedjük meg a HGW elhordozását más címre és a csak mobil lábra támaszkodást, mivel a tarifa vezetékes volt.



Hanghívás redundancia – fillérekért

A gráf optimalizálás ereje

- A mezei bázisállomások jellemzően fűrtökben lógnak egy-egy IP csomóponton, többségük már optikával bekötve, de 1+0 módon (drága a redundancia sajnos!)
- A Magyarországon gyakori kábelvágások miatt (4-12 óra megállás!) kerestem egy olcsó és gyors keskenysávú tartalékolási módot a 2G hang részleges megvédésére
- Az optika terjedése miatt leszerelésre került mikróknak egy második életet akartunk adni (olcsó)
- KÉRDÉS: hova tegyük le az első X db mikró összeköttetést, hogy a 2G hangforgalom legnagyobb részét tartalékolhassuk?
- A válaszhoz nem volt elég az egyes fűrtök sorba rendezése forgalom szerint, hanem olyan fűrt párokat kellett találnunk, amelyek együtt adják a legnagyobb forgalmakat ÉS van legalább egy-egy tagjuk közt optikai átlátás.
- Nagyon bejött: 50 mikróval > 20% 2G hangforgalmat lehetett megvédeni 😊
Ez meglepő számomra, hisz oly nagy a Telekom hálózatának a gráfja...
Alátámasztja azt a megfigyelést, hogy pár célzott éllel távoli csomópontokat is nagyon közel lehet hozni (így lehetséges, hogy bármelyikünk max. 6-7 távolságra legyen egy híres embertől)

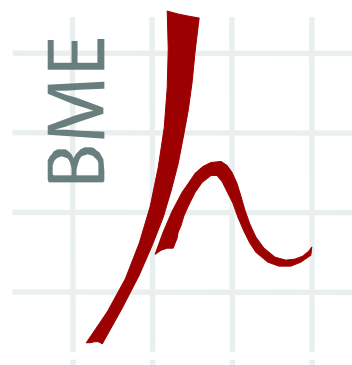
Sztenderd elemekből építkezve világszínvonalat értünk el – mert úgy építettük, mint egy katedrális

Lakótelep: kocka, 50 évre tervezett <---> **Katedrális:** művészi forma, 1000 évre tervezett

- A legfontosabb itt is az ember (Minarik Ede mosodás: „Kell egy csapat!”):
 - Tervezés: FENNTARTHATÓ ÁLLOMÁSGRID, hogy sokáig ne kelljen hozzányúlni, ha romlik a telefonok RF tudása; igényes és pontos telephely kiválasztás és akvizíció; optimális antenna magasság és irány
 - Építés: kiképzett és vizsgáztatott alvállalkozók; igényesség; 4 szem elv (fejlesztés + üzemeltetés); pontos dokumentáció fényképekkel; erős telephelygazda funkció
 - Üzemeltetés: automatizálni, amit csak lehet, beleértve a gyökérok megtalálását is; objektív és ügyfélszemszögű szolgáltatáskiesési mutatórendszer létrehozása; rendszeres post-mortem jelentések, ezek feldolgozása plenáris megbeszéléseken -> ugyanazt a hibát kétszer ne kövessük el, legyünk innovatívak a hibáinkban (is)!
 - A felhasznált technológia, a kiválasztott szállítók tudása
 - Folyamatos önképzés – a céges tanfolyamok mellett saját irányokban elmélyülés

2015-19 között ötször nyertük meg sorozatban a P3 „Best in Test” magyarországi benchmarkját





Az IEEE 802.11 szabványcsalád

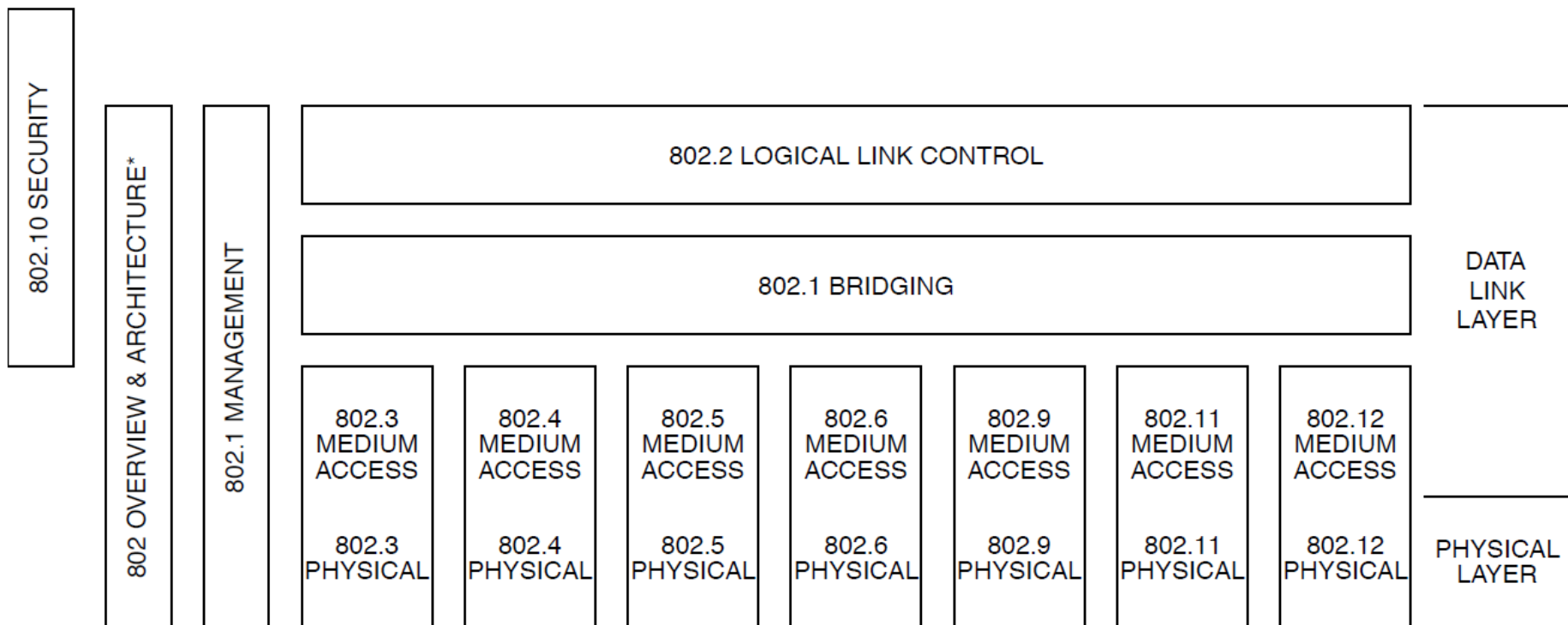


Gódor Győző
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
godorgy@hit.bme.hu

Elnevezések, fogalmak

- IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
- 802. elnevezésű szabványok: LAN, MAN, PAN
 - Jelentős létező:
 - 802.3 Ethernet
 - 802.11 vezeték nélküli
 - 802.15 vezeték nélküli, kis hatótávolságú
 - 802.16 WiMAX, vezeték nélküli 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
- **Teljesítőkéesség:**
 - A Wi-Fi 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**
 - 5 GHz 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 egybegyűrt szabvány

A 802.11 szabványcsalád

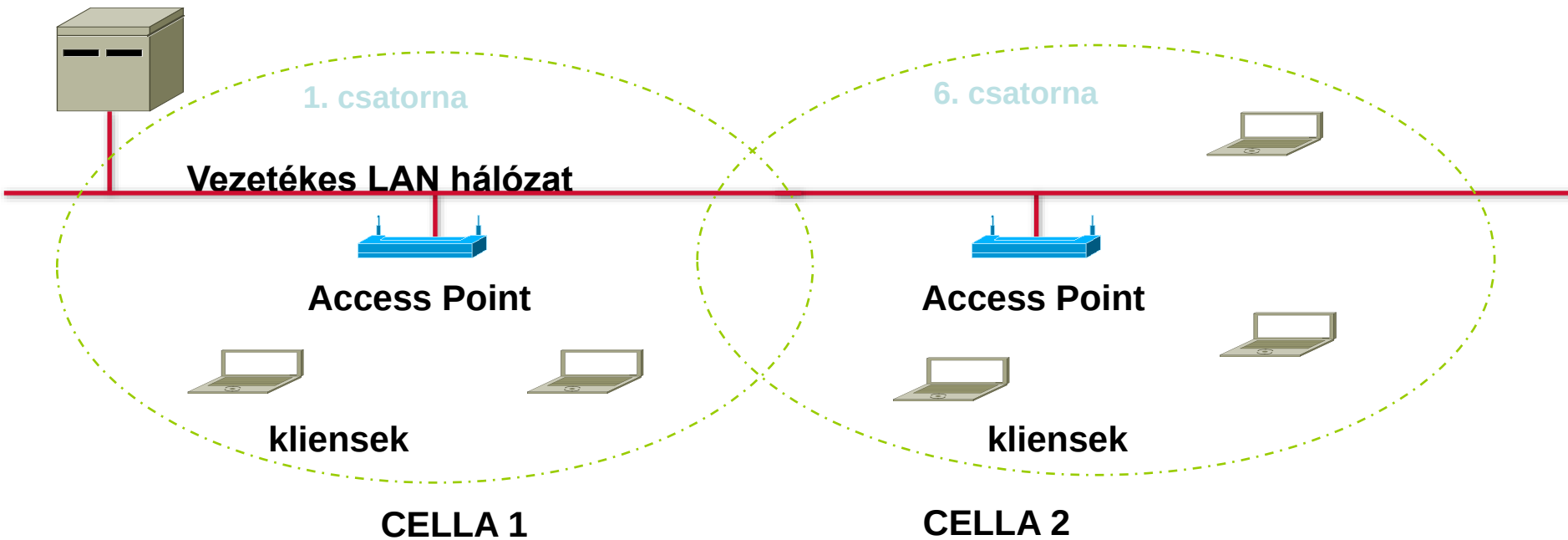
- **802.11n-2009**
 - 5 és 2,4 GHz-en is működik, OFDM, többantennás átvitel, szélesebb sáv, akár 600 Mbps elvi sebesség.
 - A gyártók már hamarabb, 2007-es draft alapján kijöttek termékekkel
- **802.11-2012**
 - Egységesítés
- **802.11ac-2013**
 - A 802.11n továbbfejlesztése, OFDM, 5 GHz sáv, nagyobb sáv szélesség, MIMO, nagyobb állapotszámú moduláció, elvi sebesség 6 Gbps fölött
- **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

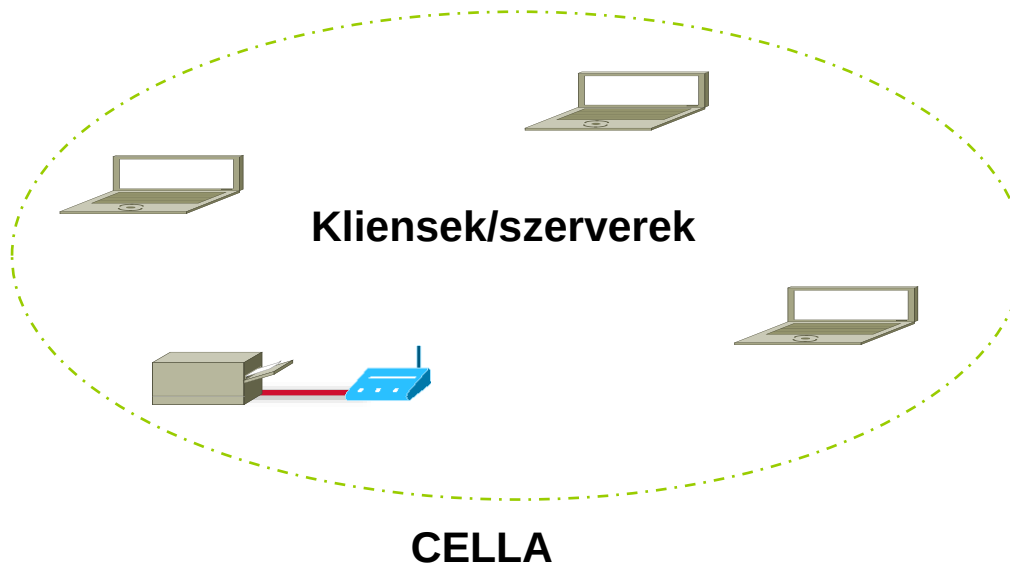
Mi az a Wireless LAN?

- A vezetékes LAN hálózat vezeték nélküli meghosszabbítása.



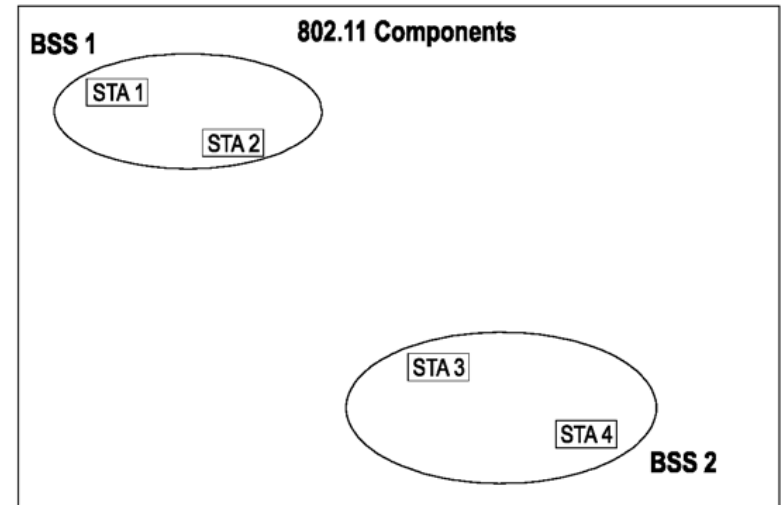
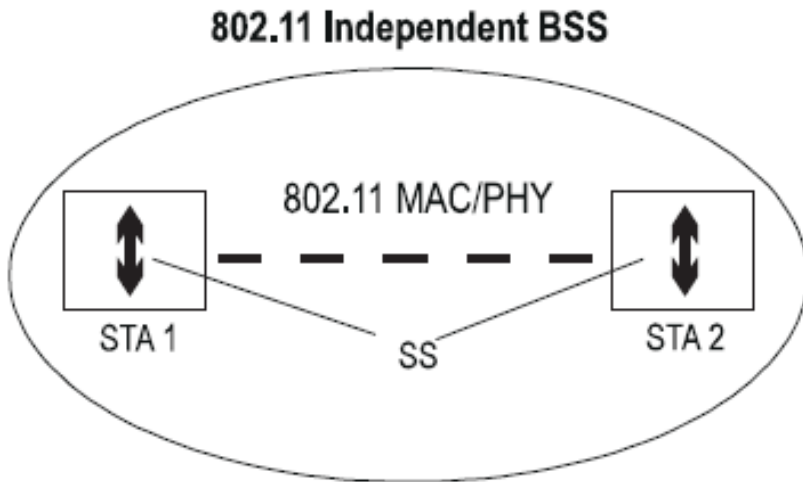
Mi az a Wireless LAN?

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



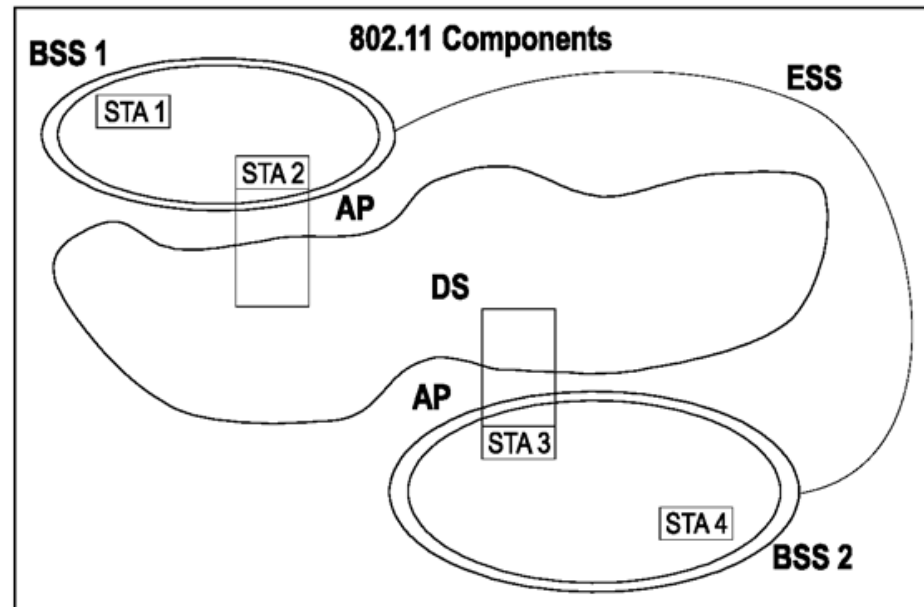
802.11 hálózatok felépítése

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



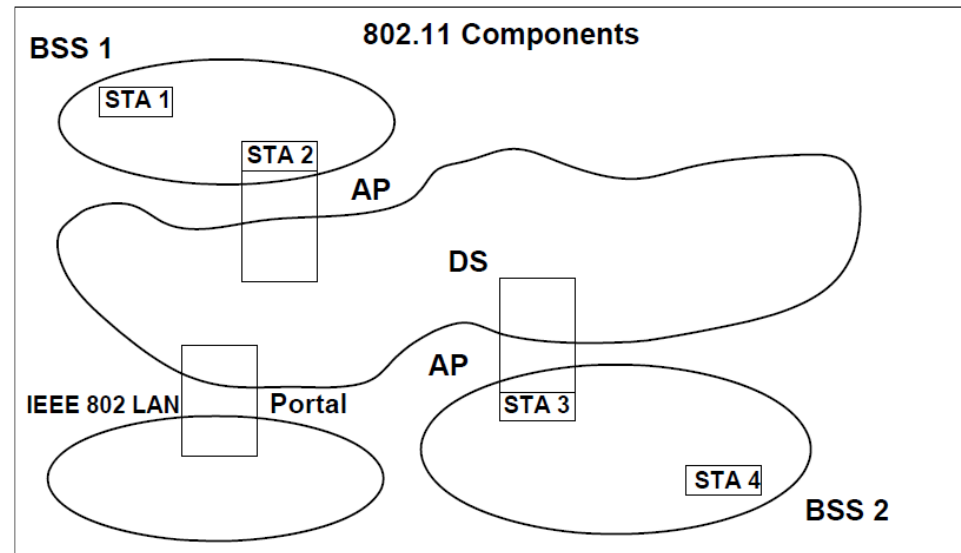
802.11 hálózatok felépítése

- **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 hálózat felé
- Mindezt **„Infrastruktúra mód”**-nak hívjuk
 - Létezik **ad-hoc** mód:
 - Nincs Infrastruktúra
 - Nincs AP

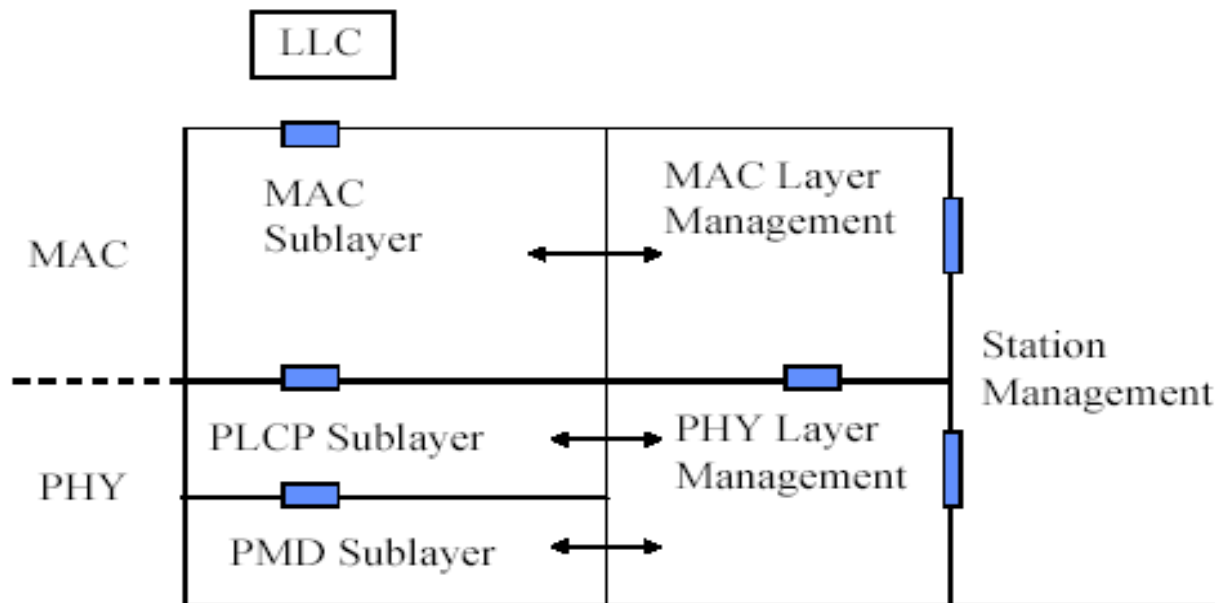


802.11 hálózatok felépítése

- **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 tűnik, 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

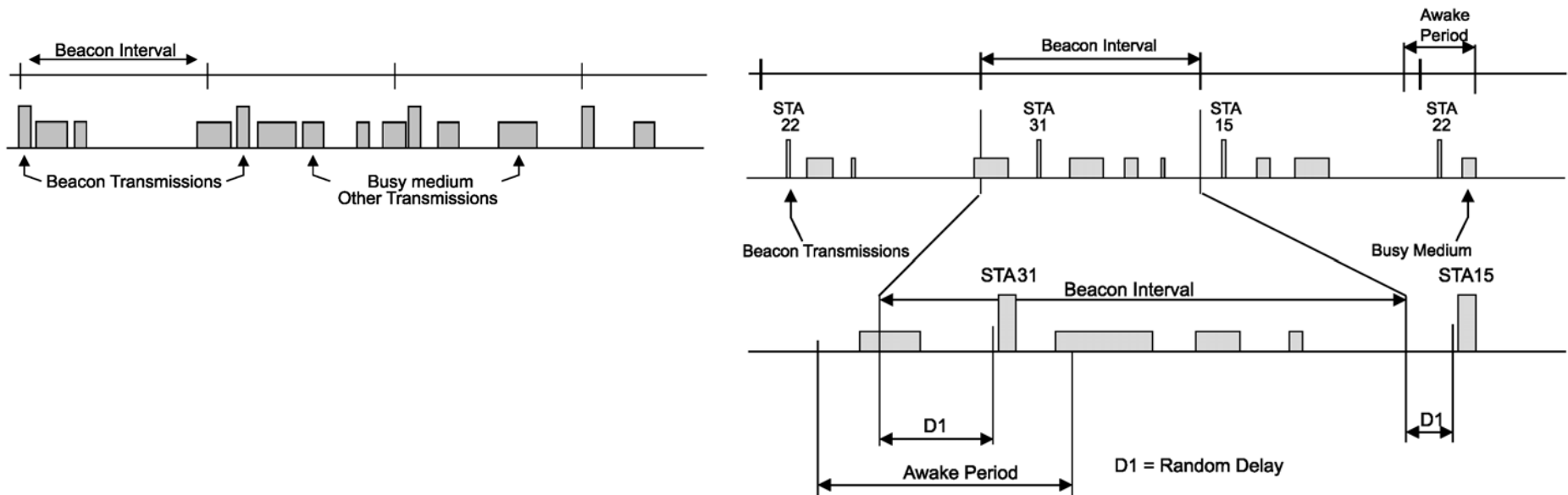


Protokoll rétegek

- **MAC Entitás**
 - Aszinkron adatátviteli szolgáltatás az LLC felé
 - Pont-pont és Broadcast / multicast címezés és átvitel
 - Alapvetően: 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 felsőbb 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

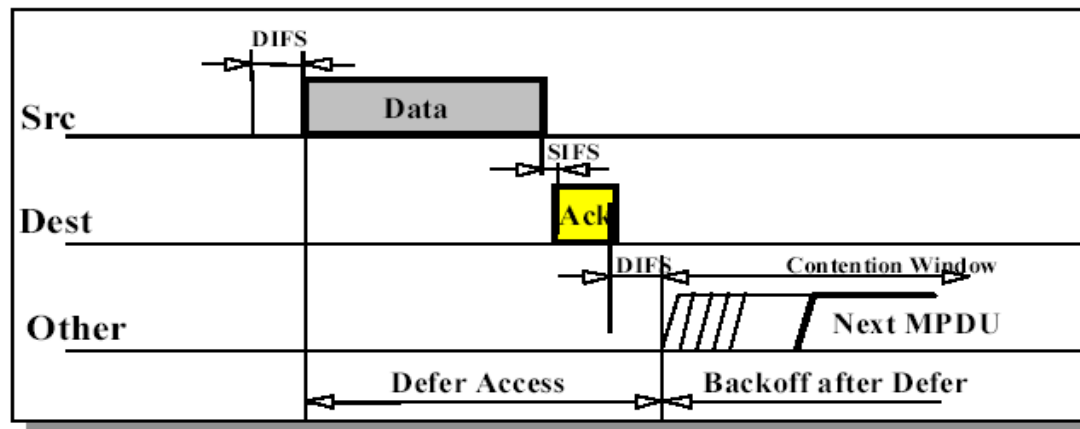
- Az alap közeghozzáférési módszer a DCF
 - Carrier Sense Multiple Access megoldásra épül,
 - Collision Avoidance mechanizmussal kiegészítve (CSMA/CA)
 - Eredeti Ethernet MAC: CSMA/CD (Collision Detection) alapú, ütközés érzékelés
- Amikor keret létrejön, akkor az adni kívánó állomás figyeli a közeget: 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 foglalkozni, 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 ideig 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

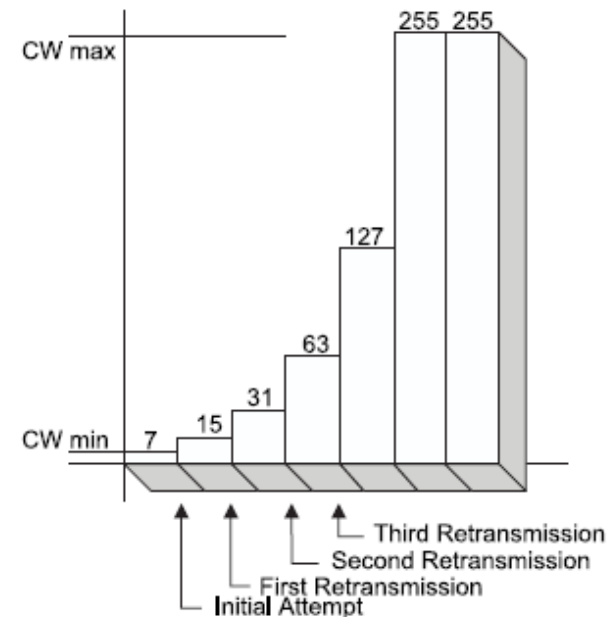
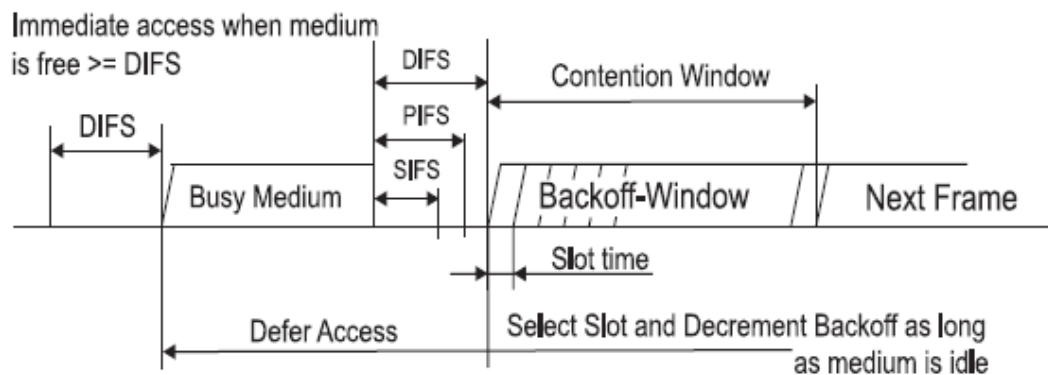
Közeghozzáférési eljárás

- 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, újraküldi 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 próbálkozások 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

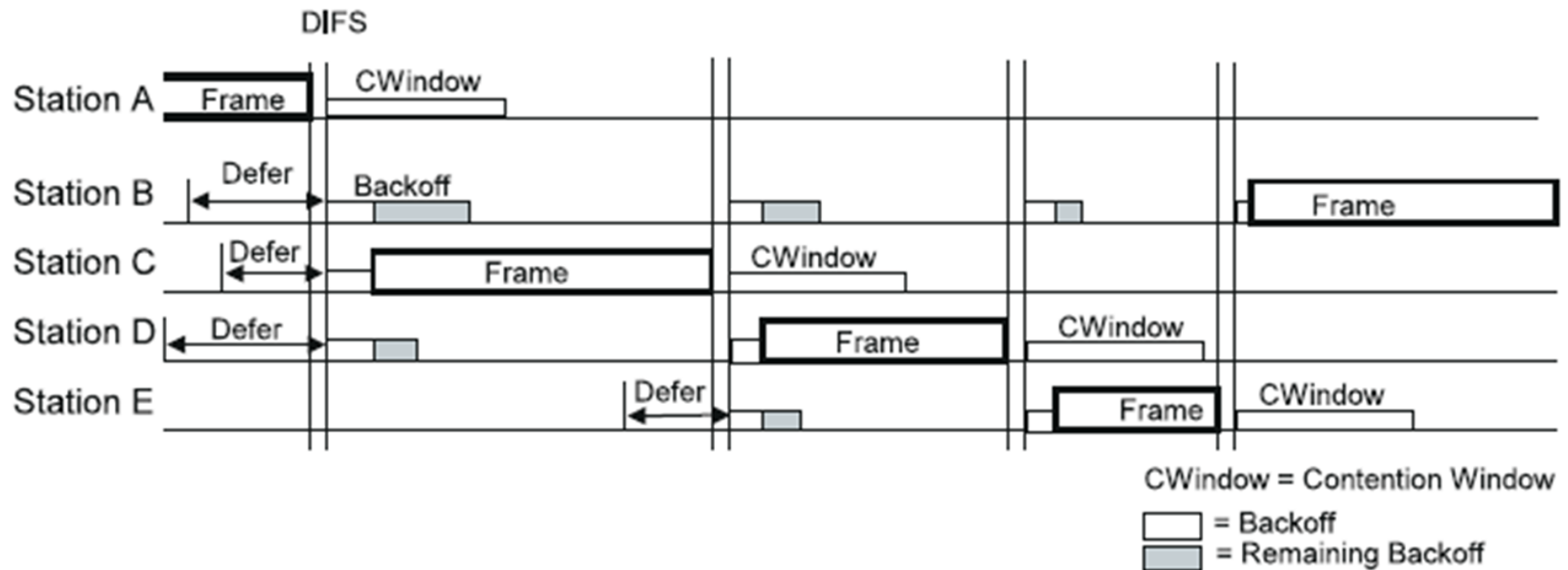
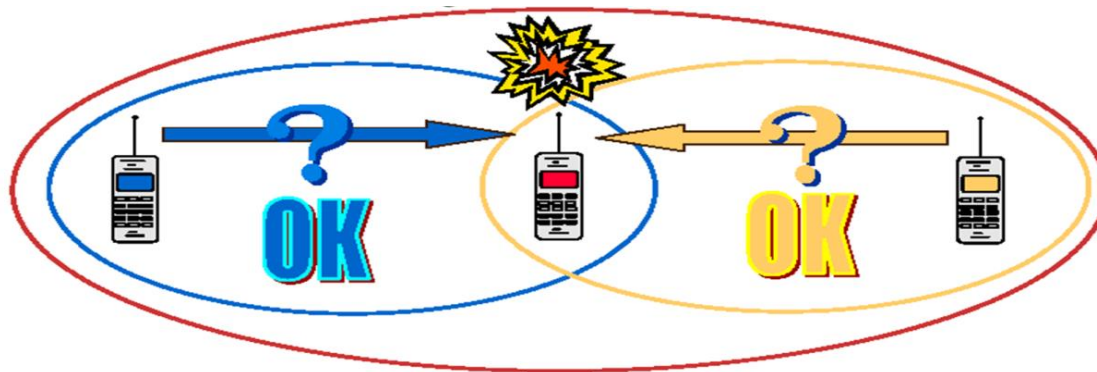


Figure 52—Backoff procedure

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 $\rightarrow$ B-nél ütközés

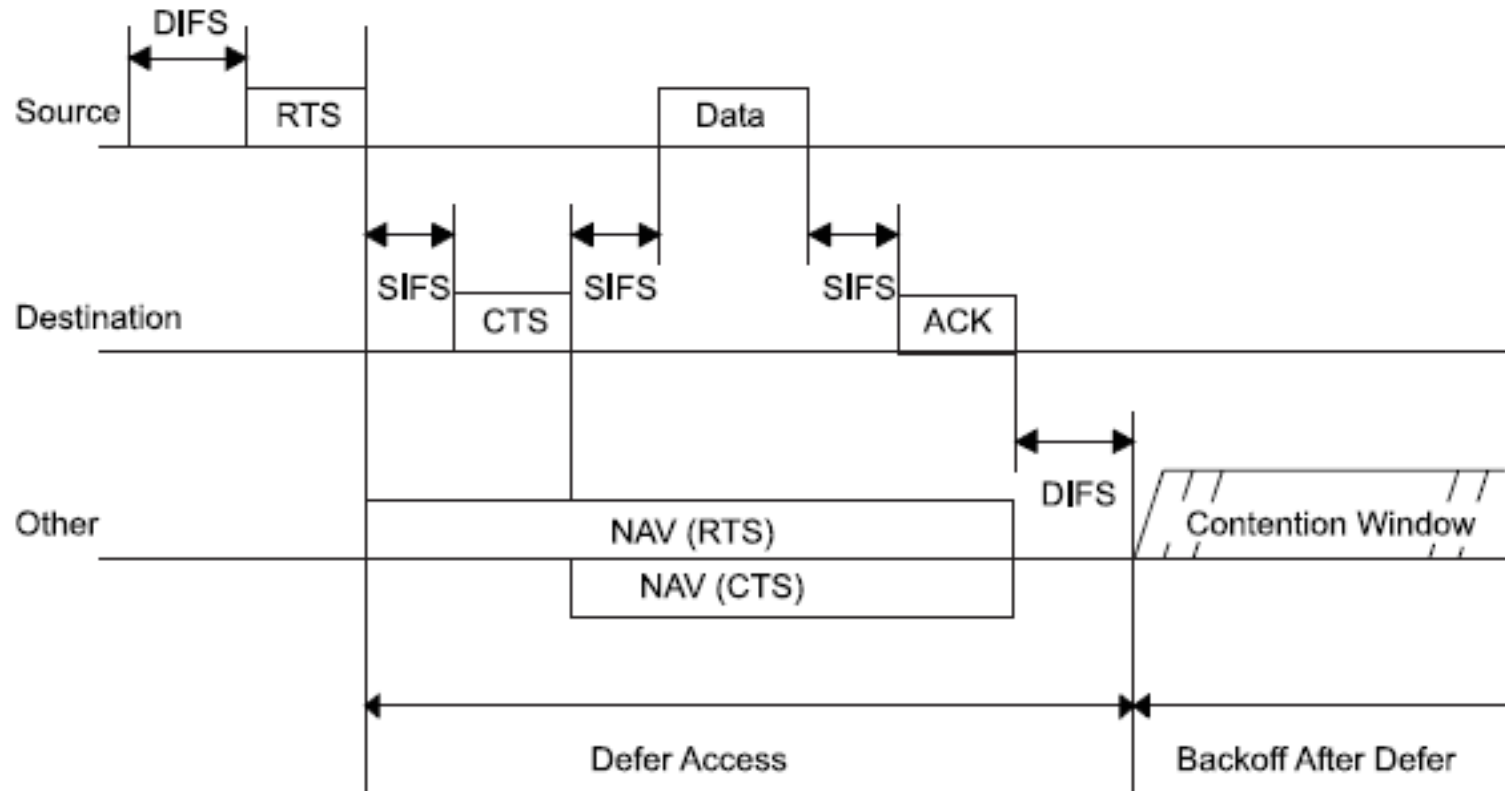


Közeghozzáférési eljárás

- 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

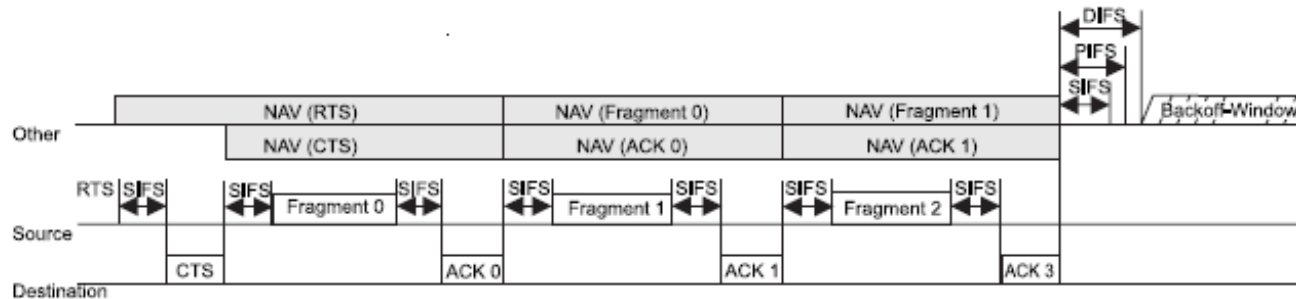


Közeghozzáférési eljárás

- 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

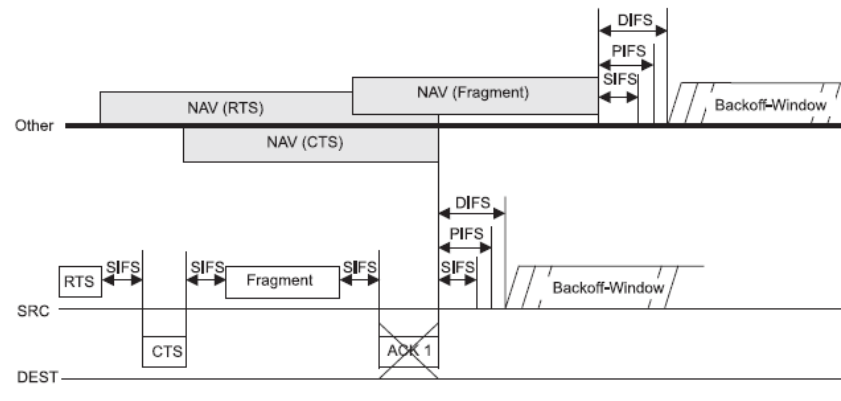
- Szegmentálás

- 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

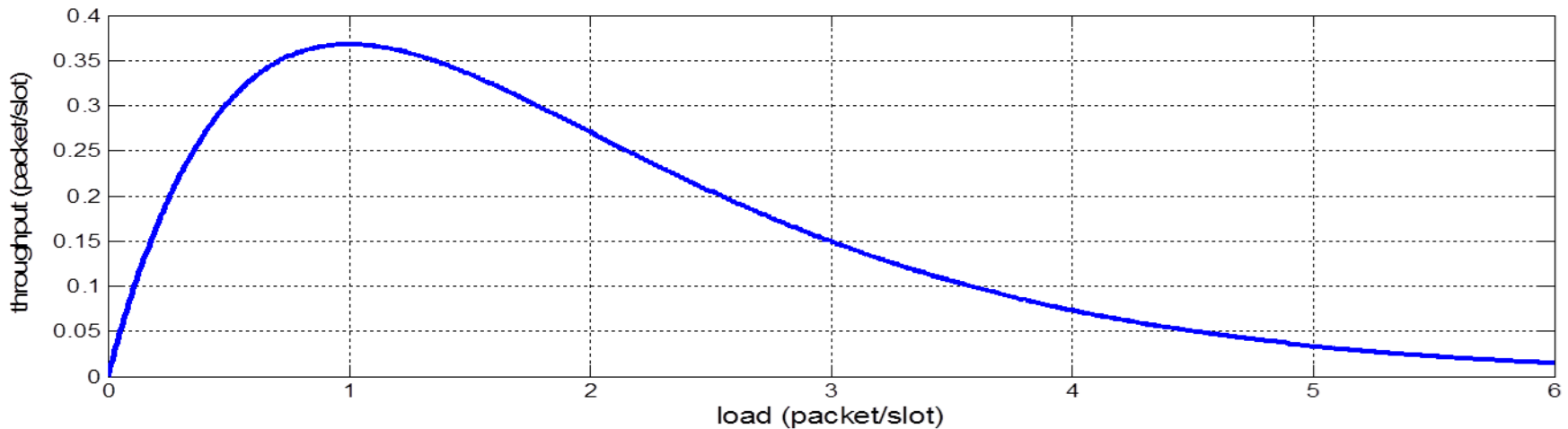


Közeghozzáférési eljárás

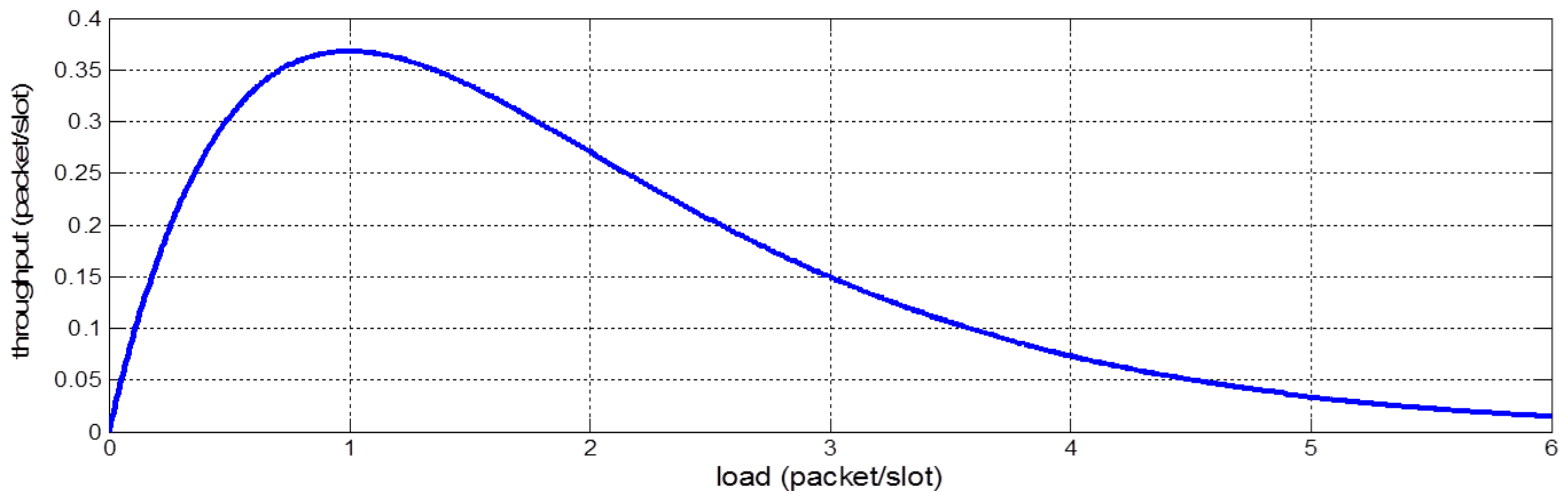
- Szegmentálás
 - Feldarabolt felsőbb csomagok esetén
 - MAC keretek egymás után, SIFS időnként leadandók
 - Ha bármelyik elvész (nincs ACK): normál működéssel versenyzés az újraadásáért
 - Ha sikerül megszerezni a csatornát, a maradék szegmensek megint egymás után küldhetők
 - Virtuális vivőérzékelés
 - Általában a következő keret végére mutat az időtartam mező
 - Ha elvész egy ACK, akkor néhányan tévesen hihetik, hogy foglalt a médium
 - Tipikus az 1500 bájtos 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

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



Közeghozzáférési eljárás



- Ez a jelleg minden véletlen hozzáférésű (versengéses) csatornát jellemez
 - A protokoll konkrét részleteivel a csúcstól „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 visszaáll
 - A görbe lezálló ágán: ütközés → újraküldés → nagyobb load → kisebb throughput → kevesebb csomag fér át → sikertelen újraküldés → load tovább nő → throughput a nullához, load a végtelenhez tart
 - Egy adott terhelés fölött „elszál” a rendszer

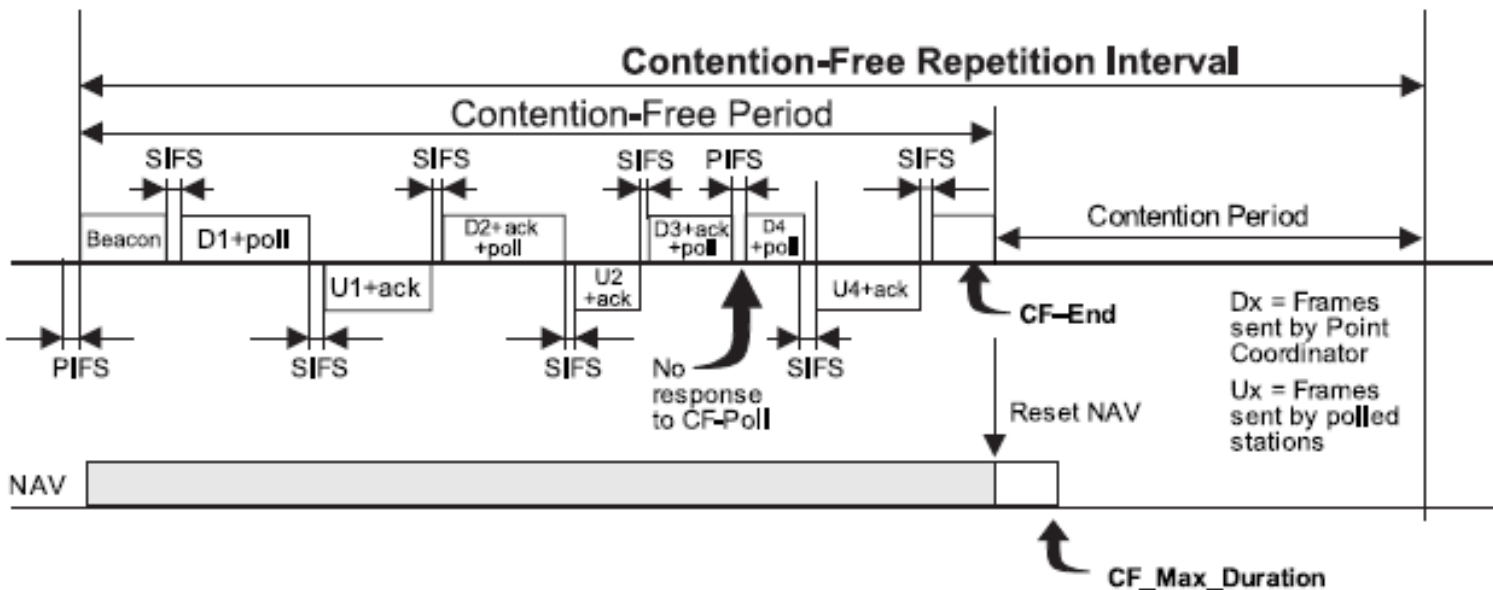
Közeghozzáférési eljárás

- A DCF-ről összességében
 - Nem determinisztikus működésű
 - Random backoff
 - Rosszul skálázódik a terheléssel
 - Más Wi-Fi 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 lehet 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

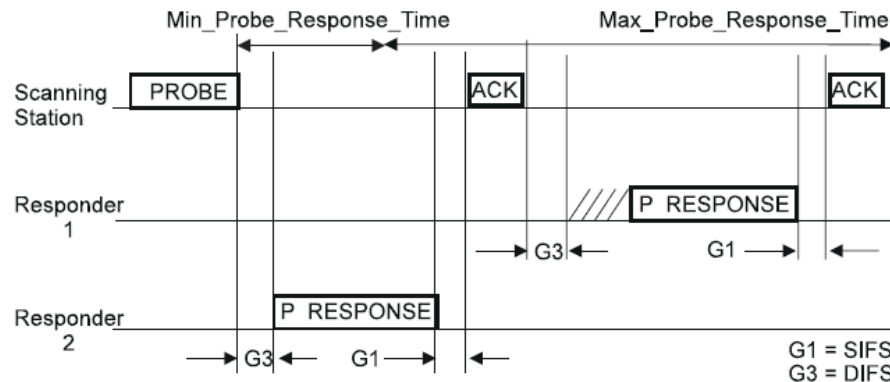
- Miért nincs működő PCF implementáció?
 - Nincs mechanizmus a terminálok igényeinek explicit jelzésére (van-e adnivalója)
 - Illetve nehézkes megoldani, az AP-hez való csatlakozás során adandó meg, hogy a STA akar-e a lekérdezendők listáján lenni
 - Tehát mindenki megadja, hogy akar, majd ha nincs adata, a lekérdezésre null választ ad
 - Így lehet sok felesleges lekérdezés, a csatornaidő elvesztegetése
 - Regionális frekvencia-hozzáférési 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 csatornán folytatja

Menedzsment folyamatok

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



Menedzsment folyamatok

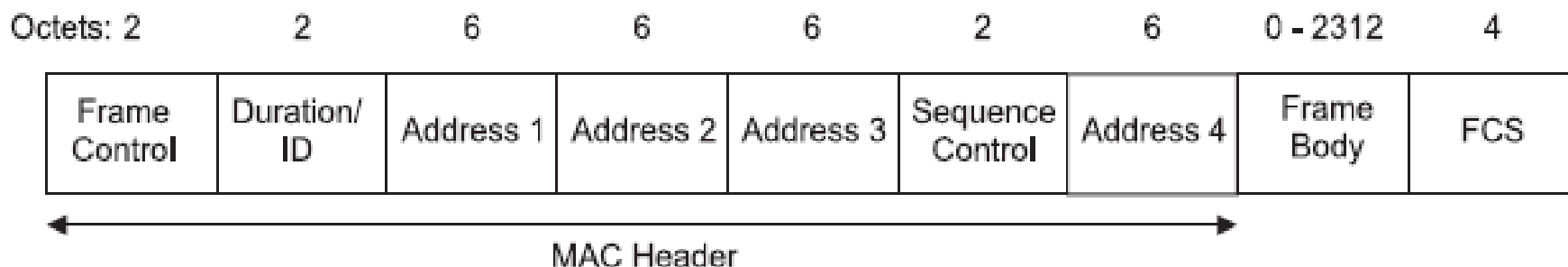
- **Hitelesítési eljárás:**
 - Hitelesítési üzenetváltás
 - Létezik a null hitelesítés (→ nyílt Wi-Fi)
- **Csatlakozási eljárás:**
 - Sikeres hitelesítés után, információcsere a terminál és AP képességeiről, valamint néhány AP-s környezetben meglesz a mobil helye
- **Szinkronizáció megtartása:**
 - Az 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.)

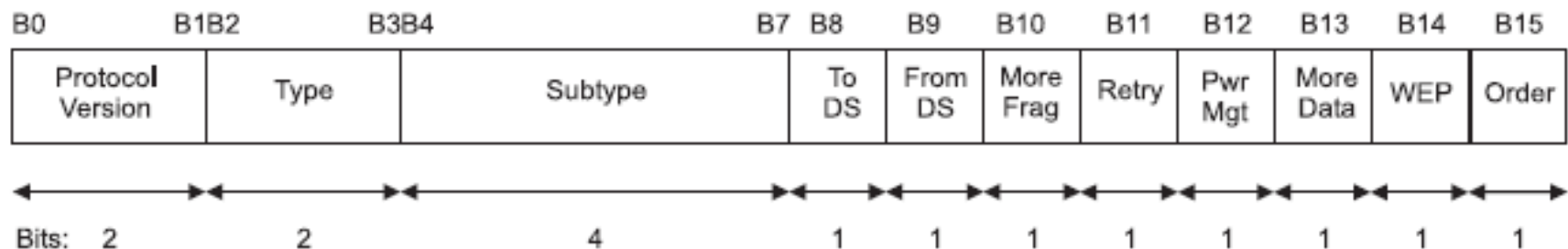


Keret típusok

- **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

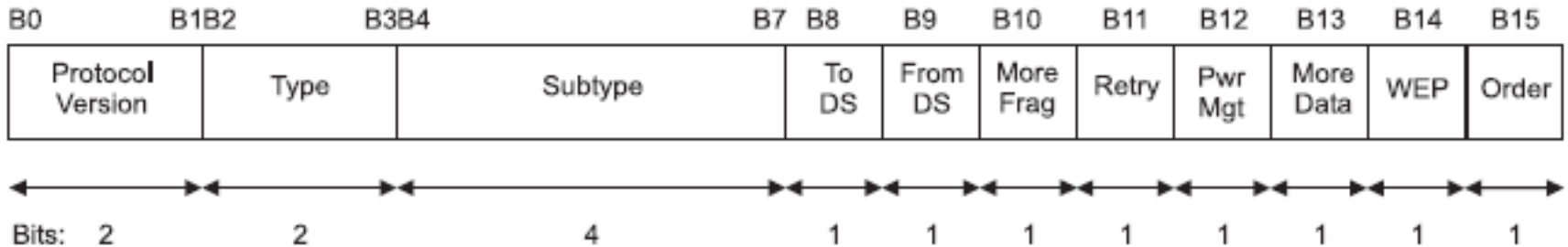
- MAC Frame Control:



- 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 állomás 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

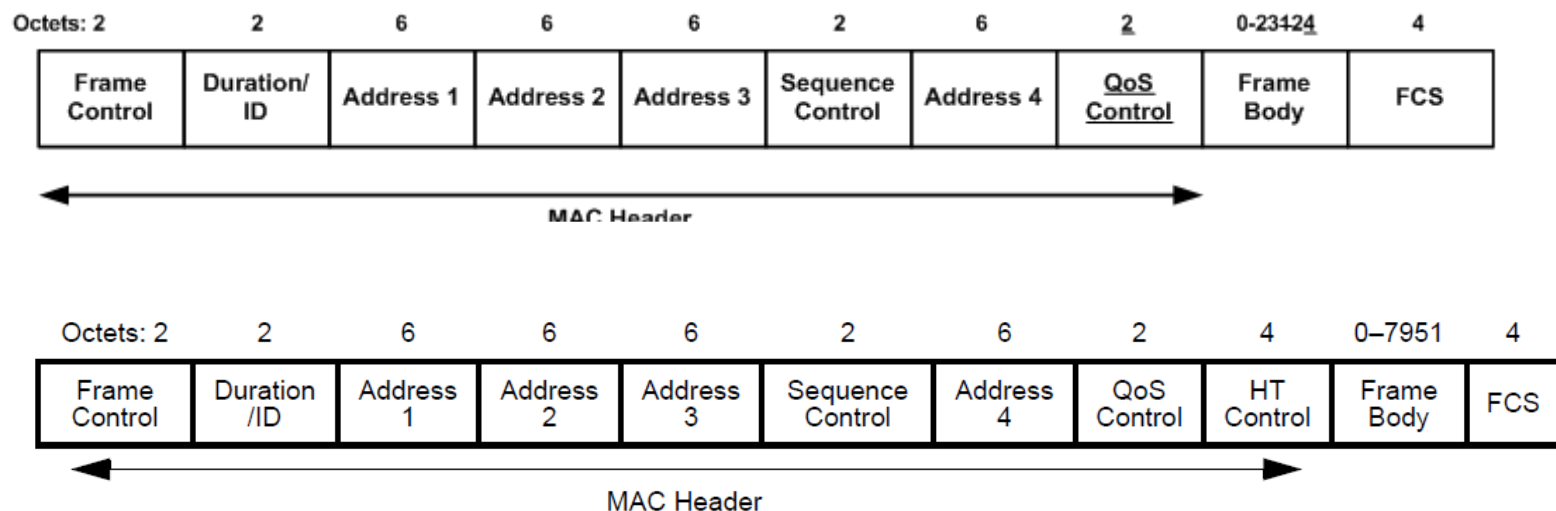
- Korai verzióktól kezdve felmerült az igény a QoS támogatásra
 - Konkrétan: VoIP és videó átvitel
- Késleltetés-érzékeny applikációk számára garanciát nyújtani
- Probléma: az elosztott közeghozzáférés nem determinisztikus
- Probléma: a központosított, polling alapú megoldás korábban említett okok miatt 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 kézbe tartása

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
 - Késleltetett
 - 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

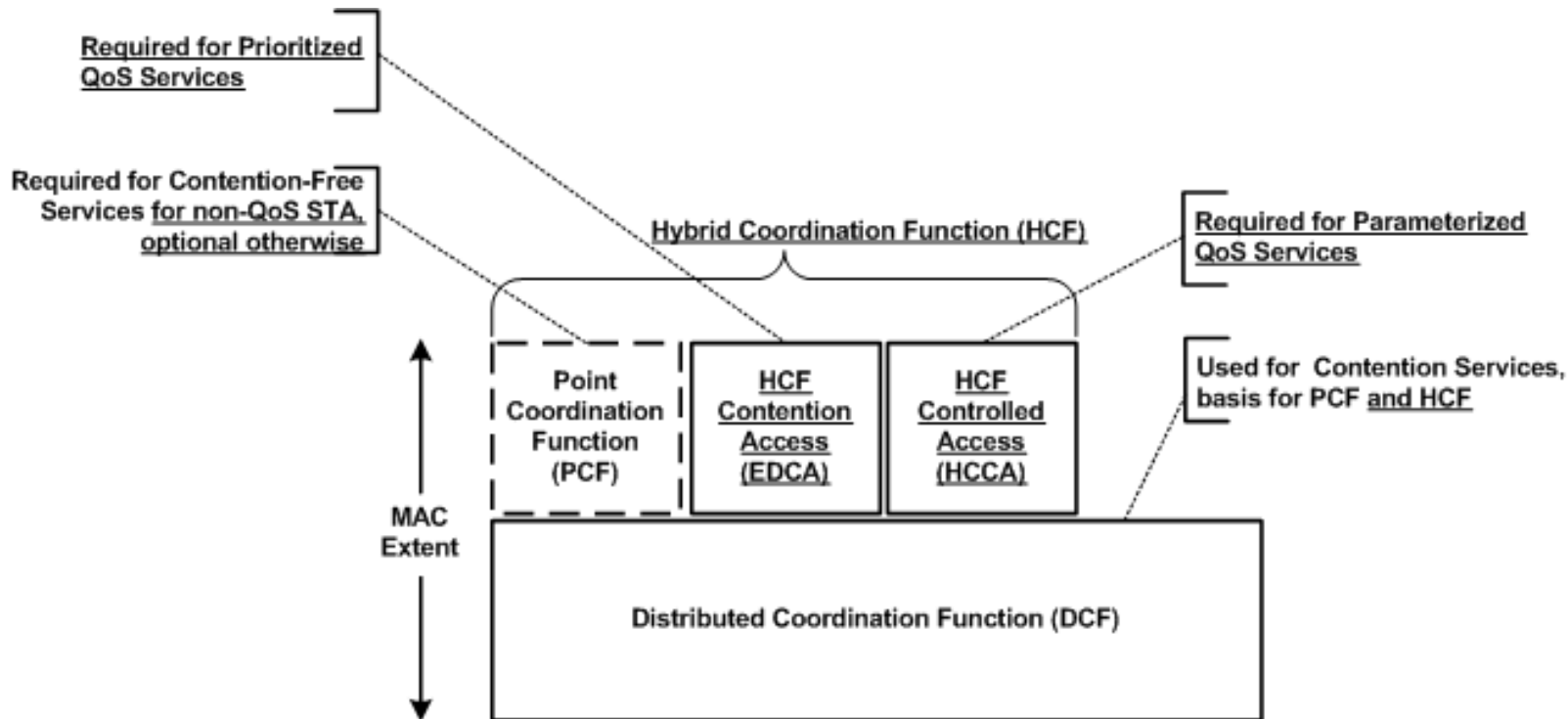
802.11e-2005 – Quality of Service

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



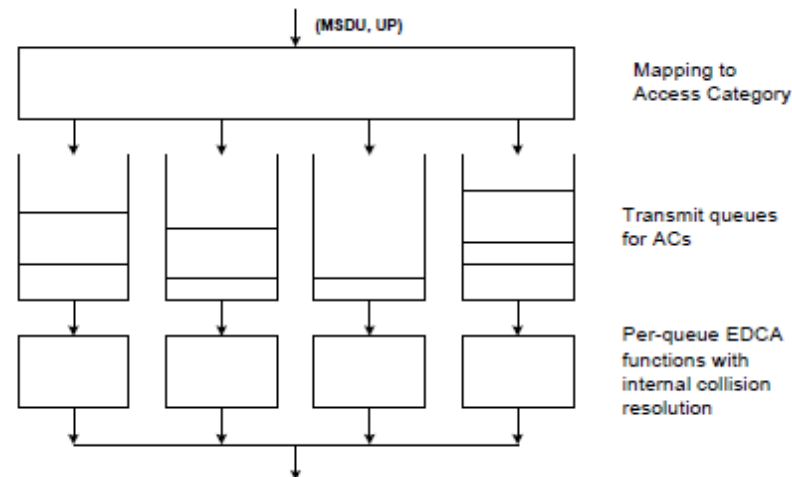
802.11e-2005 – Quality of Service

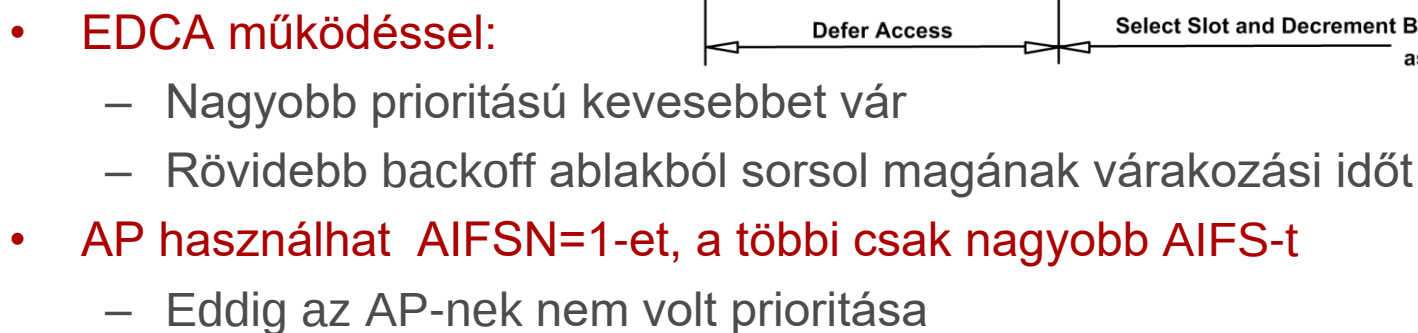
- Közeghozzáférési módszerek kiegészítése
 - Hybrid Coordination Function (HCF)



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 (pIFS)
 - 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

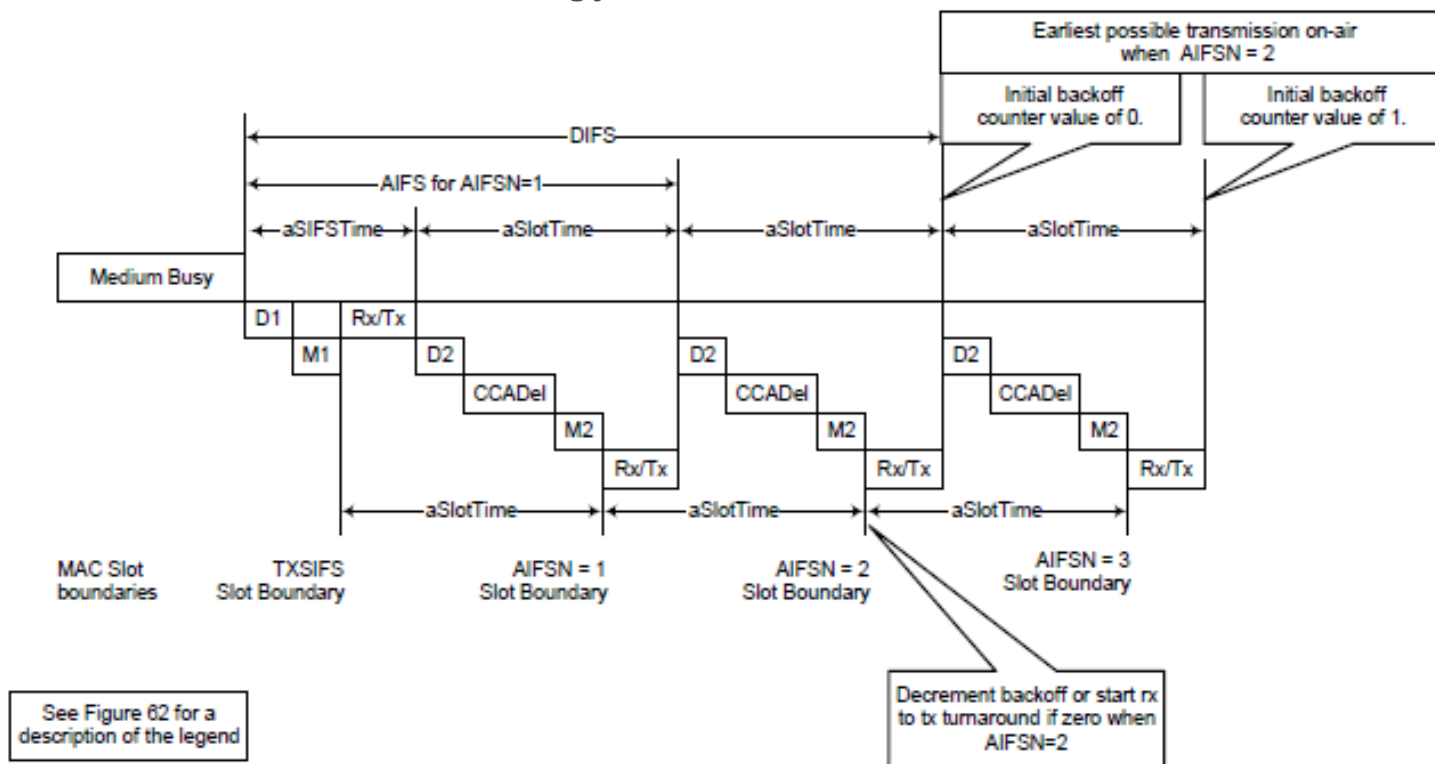




AC	CWmin	CWmax	AIFSN	TXOP limit		
				For PHYs defined in Clause 15 and Clause 18	For PHYs defined in Clause 17 and Clause 19	Other PHYs
AC_BK	aCWmin	aCWmax	7	0	0	0
AC_BE	aCWmin	aCWmax	3	0	0	0
AC_VI	$(aCWmin+1)/2 - 1$	aCWmin	2	6.016 ms	3.008 ms	0
AC_VO	$(aCWmin+1)/4 - 1$	$(aCWmin+1)/2 - 1$	2	3.264 ms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

802.11e-2005 – Quality of Service

- $DIFS = aSIFSTime + 2 * aSlotTime$
- $AIFS[AC] = AIFSN[AC] \times aSlotTime + aSIFSTime$.
- 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, csak az állomásnak szóló pollokkal küldhet/fogadhat TXOP-t

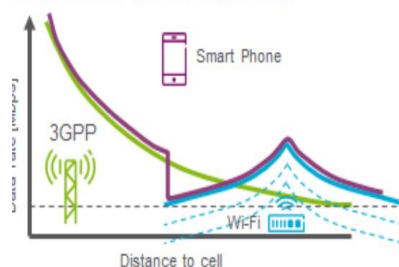
LTE-WiFi együttműködés

- Forró téma: WiFi offload
- A rádiós hálózat tehermentesítése, az ISM sáv kihasználása
- De mobil hálózati előnyök a felhasználó/szolgáltató számára
 - SIM alapú hitelesítés
 - Számlázás
 - Maghálózathoz csatlakozó WiFi hozzáférési hálózat
 - Elvárható minőség az előfizető részéről
- **Nehéz:**
 - Handover
- **Tapasztalat:**
 - WiFi offload nem (nagyon) történik meg, új forgalmat szed fel

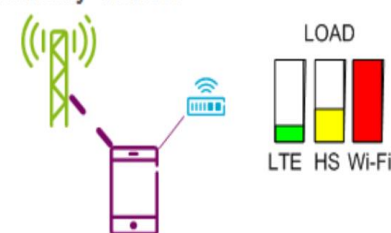
LTE-WiFi együttműködés

- Együttműködés a maghálózatban: nincs rádióhálózati kontroll
 - Szabványos interfészek és mechanizmusok kidolgozva a megbízható (~operátor által üzemeltetett) és nem megbízható WiFi AP-k bekötésére
- A terminál kiválasztja, hogy melyik hálózathoz csatlakozik
 - Ez nem túl optimális
 - Mindig a WiFi-t választja
- Ezért: rádiós hálózatbeli megoldásokon dolgoznak
 - Hálózat segíti a választást
 - Hálózat vezérli, terhelés-elosztás

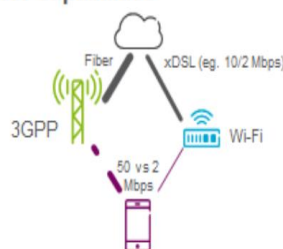
Premature Wi-Fi Selection



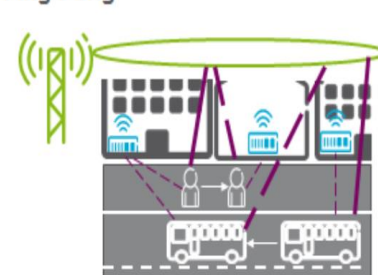
Unhealthy Choices



Lower capabilities



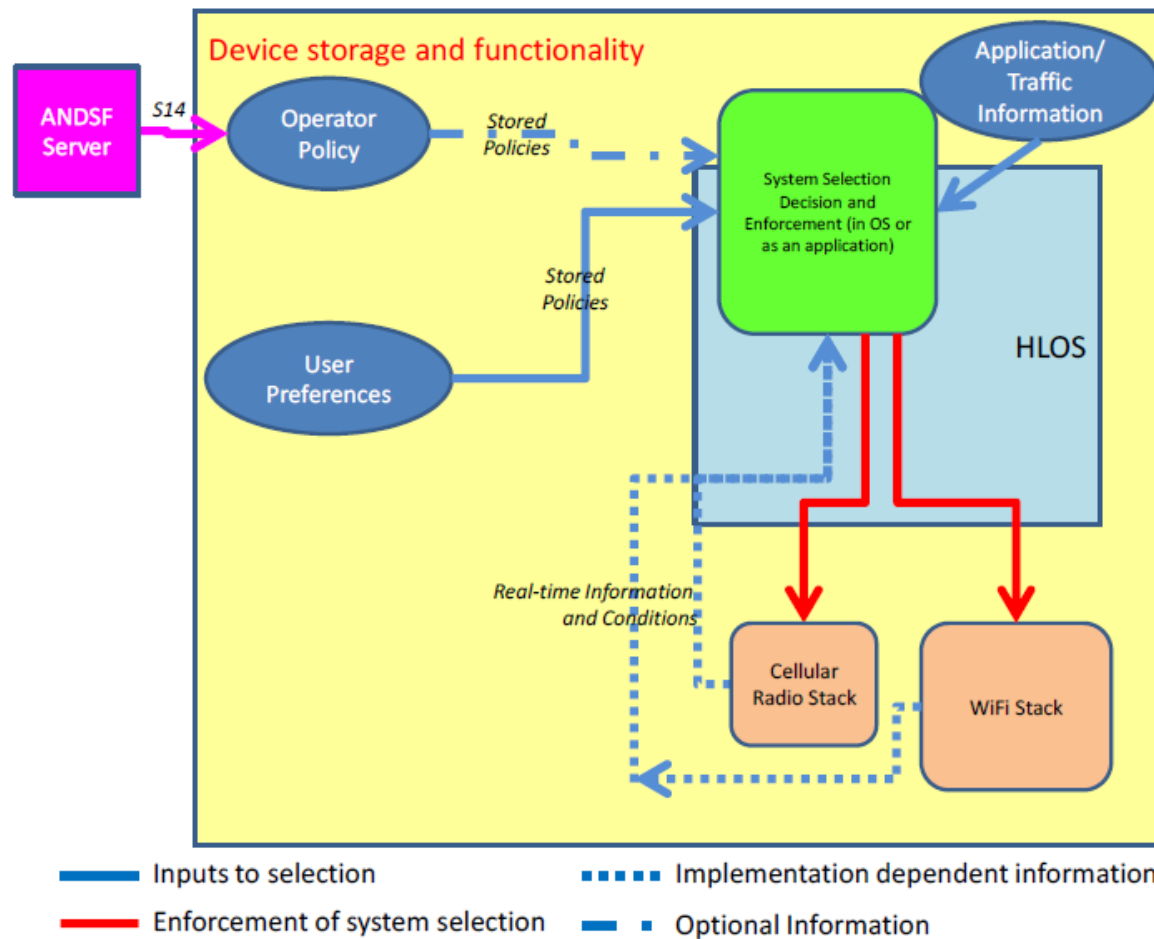
Ping-Pong



A kép forrása: 4G Americas whitepaper,
Integration of Cellular and WiFi networks

LTE-WiFi együttműködés

- ANDSF (Access Network Discovery and Selection Function)
 - Nem csak LTE-WiFi kontextusban

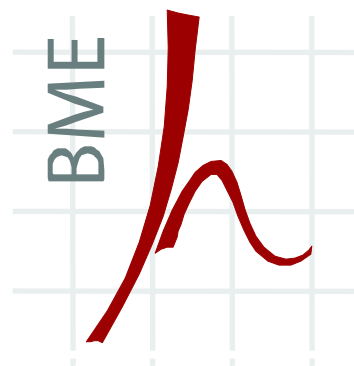


LTE-WiFi együttműködés

- LTE-WiFi vivőegyesítés (carrier aggregation)
 - Elsődleges LTE, másodlagos WiFi vivő
 - Kihasználni az ISM sávot, nyilván
 - Meglévő hardverek terminál/állomás oldalon egyaránt
 - 2015-ben voltak bemutatók
 - UE egyidejűleg mindkét interfészt használja
 - Már vannak olyanok, amelyek képesek erre
 - Szabványosítás: PDCP rétegben (LTE rádiós stack teteje) egyesíteni
 - innen „felfelé” nincs különbség
- A WiFi a szolgáltatói hálózat része így
- Mobilitás támogatva
- Hálózat kontrollálja a forgalmat
- Site szinten ugyanott lehet a WiFi és az LTE

LTE-WiFi együttműködés

- LTE-WiFi aggregáció történik 4G-ben
 - 5G hatás
 - 60 GHz 802.11ad aggregációja
 - 5 GHz 802.11ac aggregációja
 - Lesz Gbps kiscellás/beltéri rádió, ráadásul ingyenes sávban
 - Nem feltétlenül kell saját mm sáv, illetve új 5G rádiós hullámforma
 - Nagyfokú szeparáció miatt nem olyan nagy baj
 - Kivéve, ha minden szolgáltató + userek telepítenek ugyanott ...
- LTE az 5GHz-es sávban: LAA Licenced Assisted Access
- Érdekes: egy kizárólagos, kontrollált sávhasználatot feltételező szabvány átalakítása egy nem engedélyköteles tartományra
 - Tetszőlegesen ki/bekapcsolt AP-k
 - Nem jósolható/kontrollálható forgalom van jelen
 - Max. kisugárzott teljesítményre, max. adáshosszra van korlát az EU-ban, valamint kötelező a vivőérzékeléses mechanizmus használata (LBT: listen before talk)
 - Nem zavarhatja a WiFi-t jobban, mint egy másik WiFi

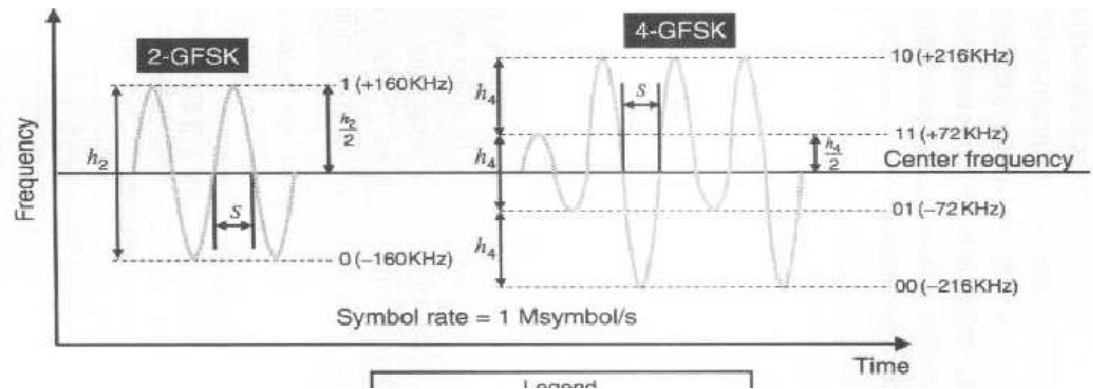
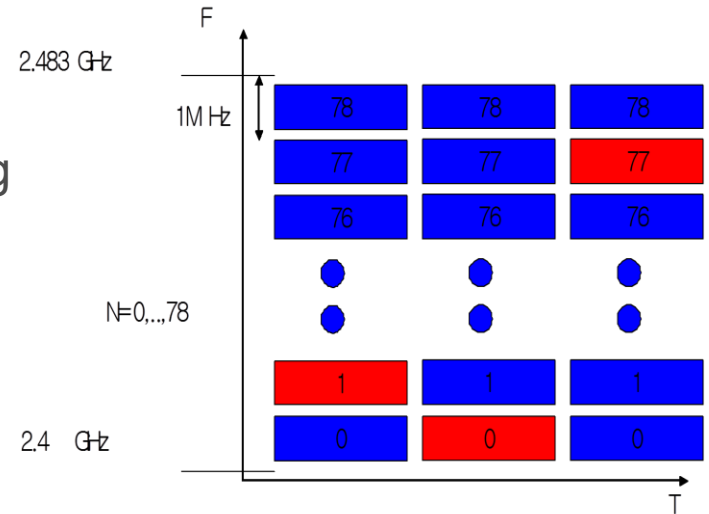


A különböző 802.11 verziók működési alapjai

802.11 Fizikai réteg

- FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)**

- 79 egymást nem átfedő csatorna
- 1 MHz osztással
- 26 átfedő hálózat üzemelhet egyidejűleg
 - Függően az ugratási sorozatoktól
- 2- vagy 4-GFSK (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 μ s szimbólumidő
- 20 μ s időrés

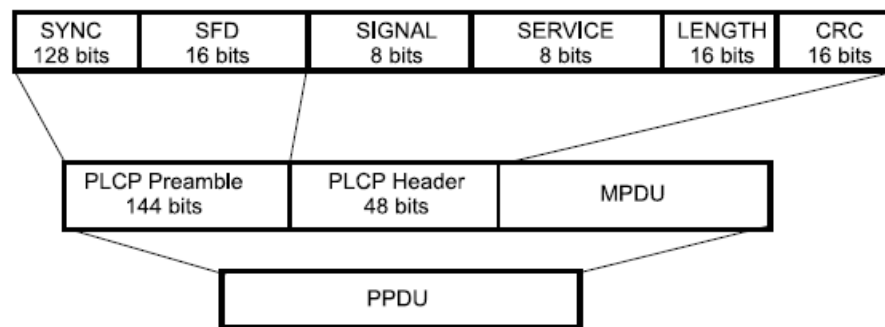


Table 65—1 Mbit/s DBPSK encoding table

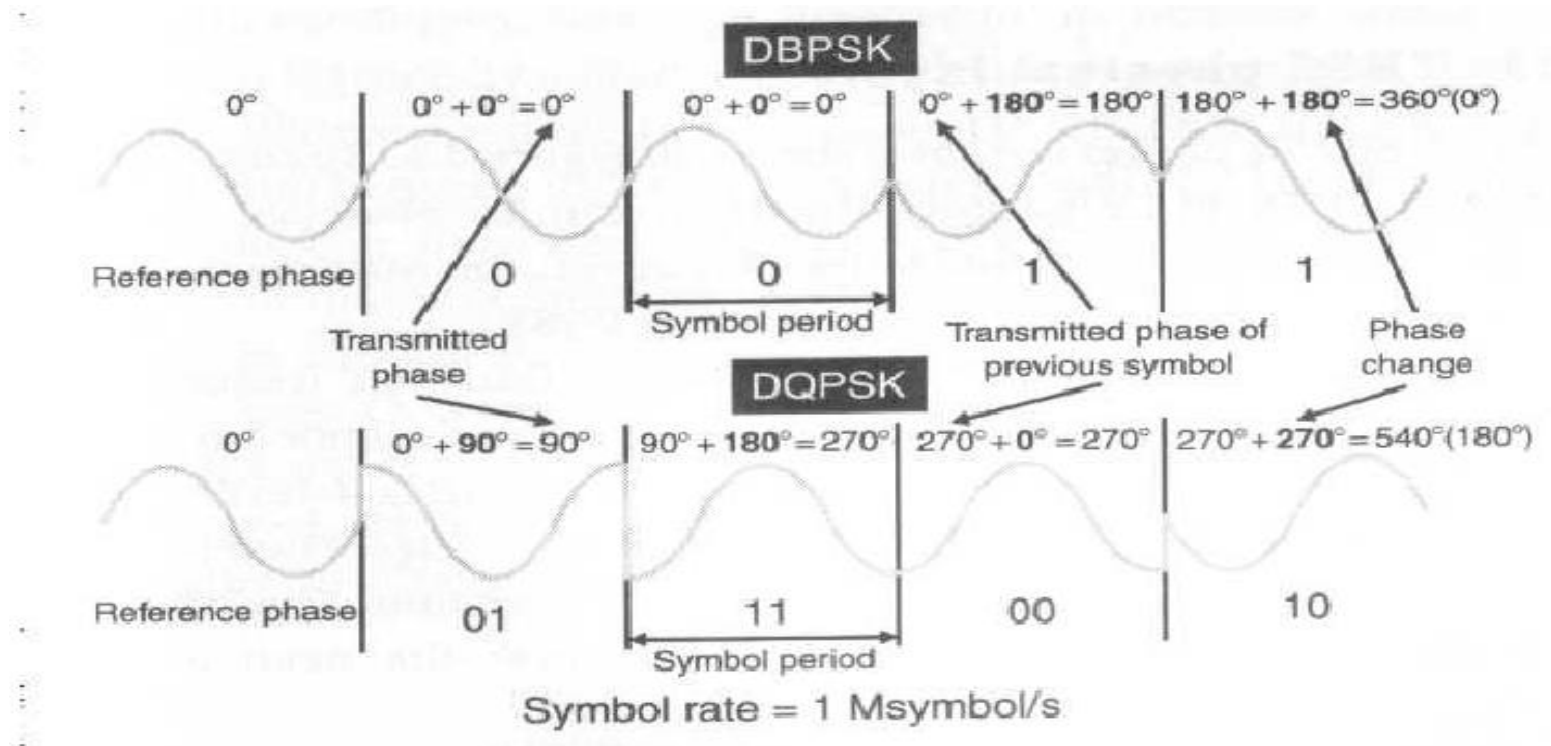
Bit input	Phase change (+j ω)
0	0
1	π

Table 66—2 Mbit/s DQPSK encoding table

Dibit pattern (d0,d1) d0 is first in time	Phase change (+j ω)
00	0
01	$\pi/2$
11	π
10	$3\pi/2$ ($-\pi/2$)

802.11 Fizikai réteg

- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)



802.11 Fizikai réteg

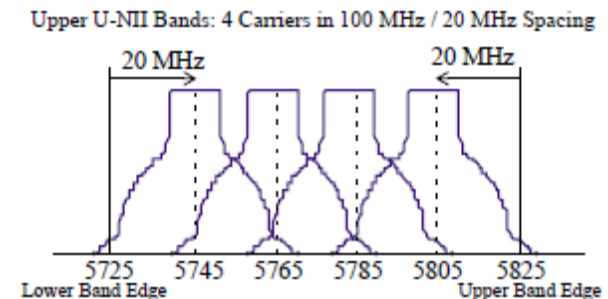
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
 - 22 MHz széles sáv
 - 14 csatorna
 - Fizikai jelzési sebesség: 11 Mcps
 - 11 chip hosszú Barker kód szórja a spektrumot
 - +1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1
 - Adó: a Barker + vagy – előjellel viszi át (1 v 0 bit esetén)
 - Vevő: szorozza a Barkerrel $\rightarrow +1+1+1+1 \dots$ vagy $-1-1-1-1 \dots$ 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

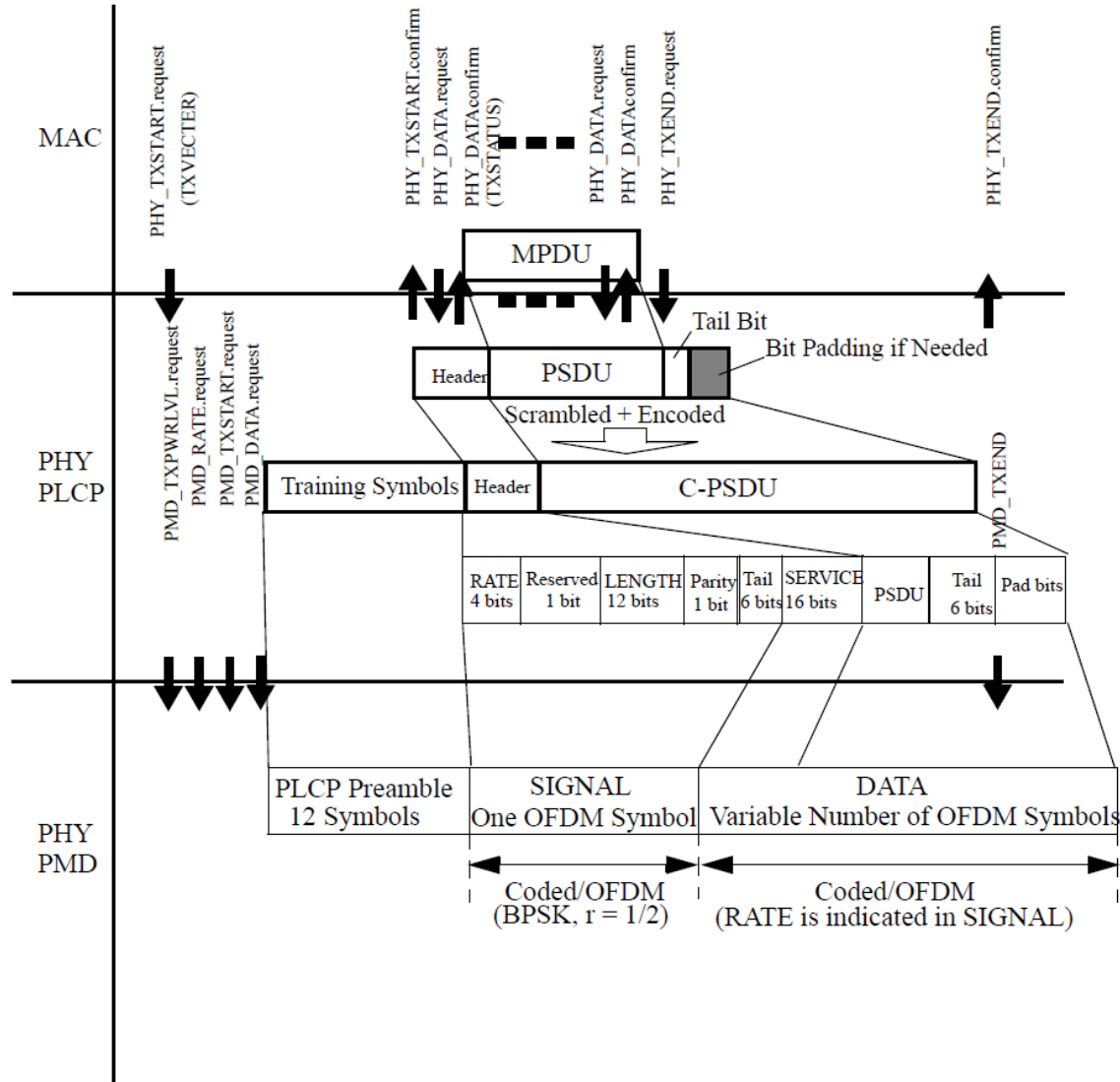
- High Rate DSSS
 - 11 Mcps áll rendelkezésre
 - Tetszőleges ± 1 sorozat 11 Mszimbólum/s-mal (DBPSK)
 - DQPSK esetén 2 párhuzamos ± 1 sorozat
 - CCK (Complementary Code Keying)
 - 8 hosszú komplex kódok: $11/8x$ sebességnövekedés
 - 5,5 Mbps: 8 hosszú kód 4 bitet kódol ($11/8 \cdot 4$)
 - 2 bit: Melyik kód a lehetséges 4 közül
 - 2 bit: DQPSK-ban mennyi fázisfordítás a chipeken
 - 11 Mbps: 8 hosszú kód 4 bitet kódol ($11/8 \cdot 8$)
 - 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 5 GHz 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 kellene a beállító sorozatok (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



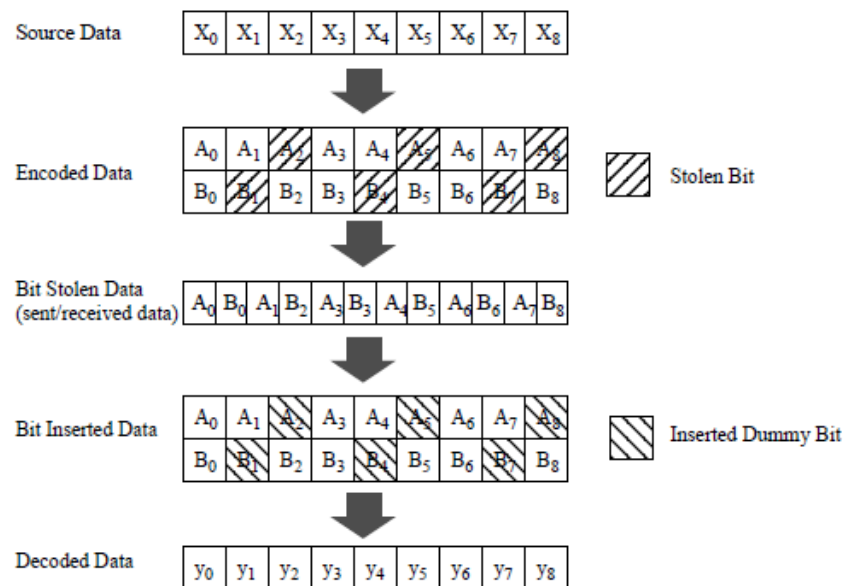
802.11a Fizikai réteg



802.11a Fizikai réteg

- 20 MHz-es sávok az 5 GHz-es tartományban
- 64 pontos FFT:
 - $20/64 = 0,3125$ MHz segédvívők közti távolság (vs LTE: 15 kHz)
 - 3,2 us szimbólumidő (LTE 66,67 us)
 - 0,8 us guard interval (LTE-ben: ciklikus prefix)
 - 48 segédvívő + 4 pilot segédvívő
 - Többféle moduláció minden segédvívőn
 - BPSK, 4-, 16-, 64-QAM
 - $\frac{1}{2}$ konvolúciós kódolás
 - Lyukasztással
- Átfűzés (Interleaving)
- Bitkeverés (Scrambling, Whitening)

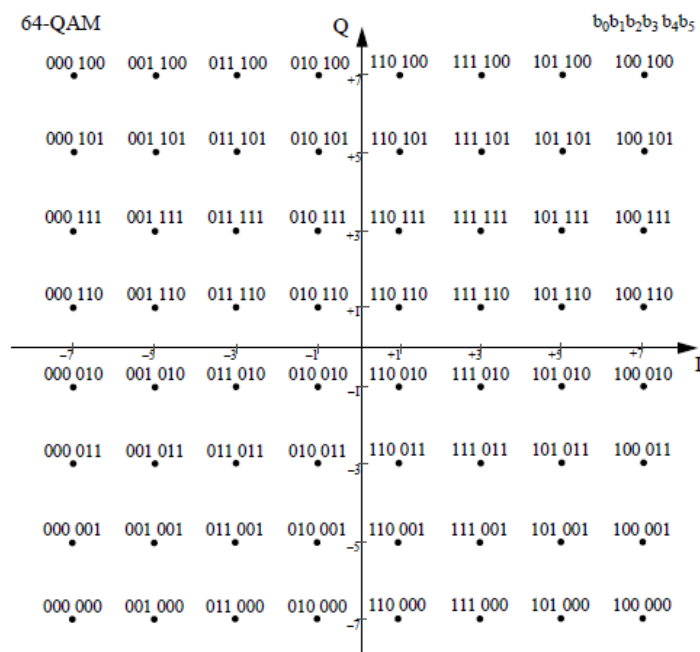
Punctured Coding ($r = 3/4$)



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

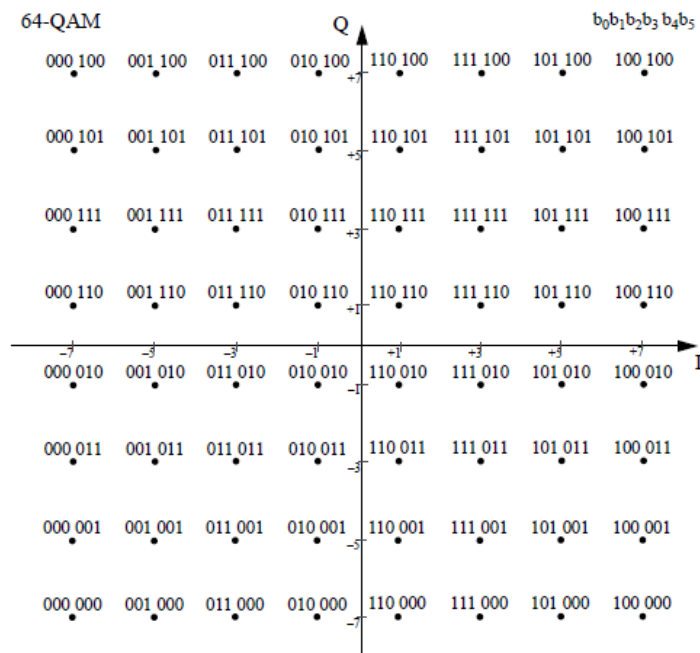
Data rate (Mbits/s)	Modulation	Coding rate (R)	Coded bits per subcarrier (N_{BPSC})	Coded bits per OFDM symbol (N_{CBPS})	Data bits per OFDM symbol (N_{DBPS})
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16-QAM	1/2	4	192	96
36	16-QAM	3/4	4	192	144
48	64-QAM	2/3	6	288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



802.11a Fizikai réteg

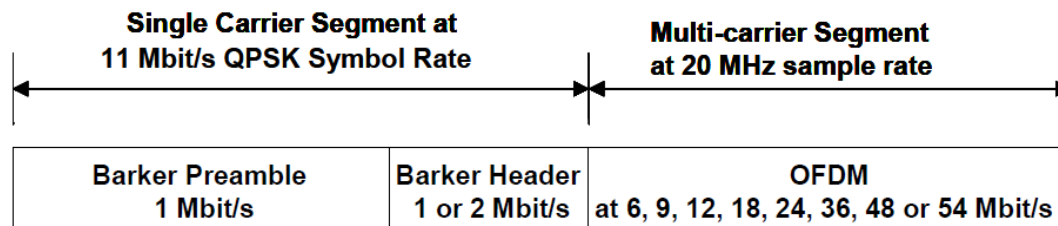
- 64 QAM zavarmentes esetben 6 bit / segédvivő
- 216 bit/4 us = 54 Mbps (Coding Rate = 3/4)
 - Azokban a pillanatokban, amikor adat megy (!)
 - Legkevésebbé hibátűrő
 - MAC+PLCP fejlécek + backoff intervallumok miatt kb. 35 Mbps

Data rate (Mbps/s)	Modulation	Coding rate (R)	Coded bits per subcarrier (N_{BPSK})	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



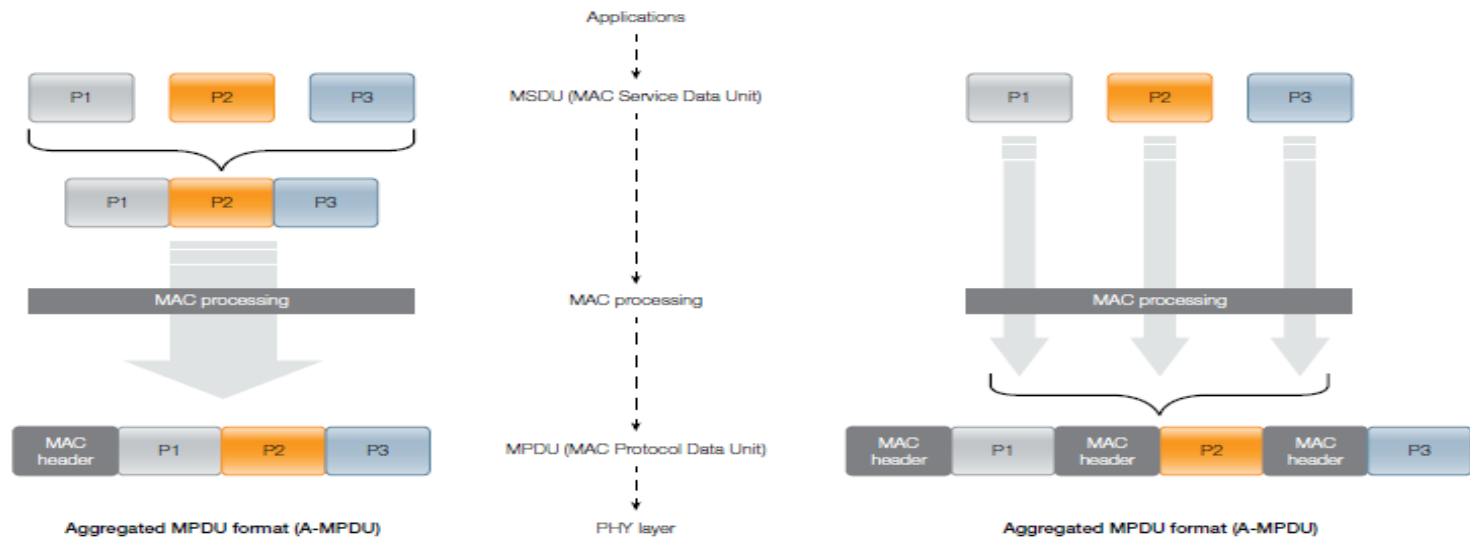
802.11g Fizikai réteg

- 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-vel
 - 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-közi 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 bájtra (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 keretközi 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

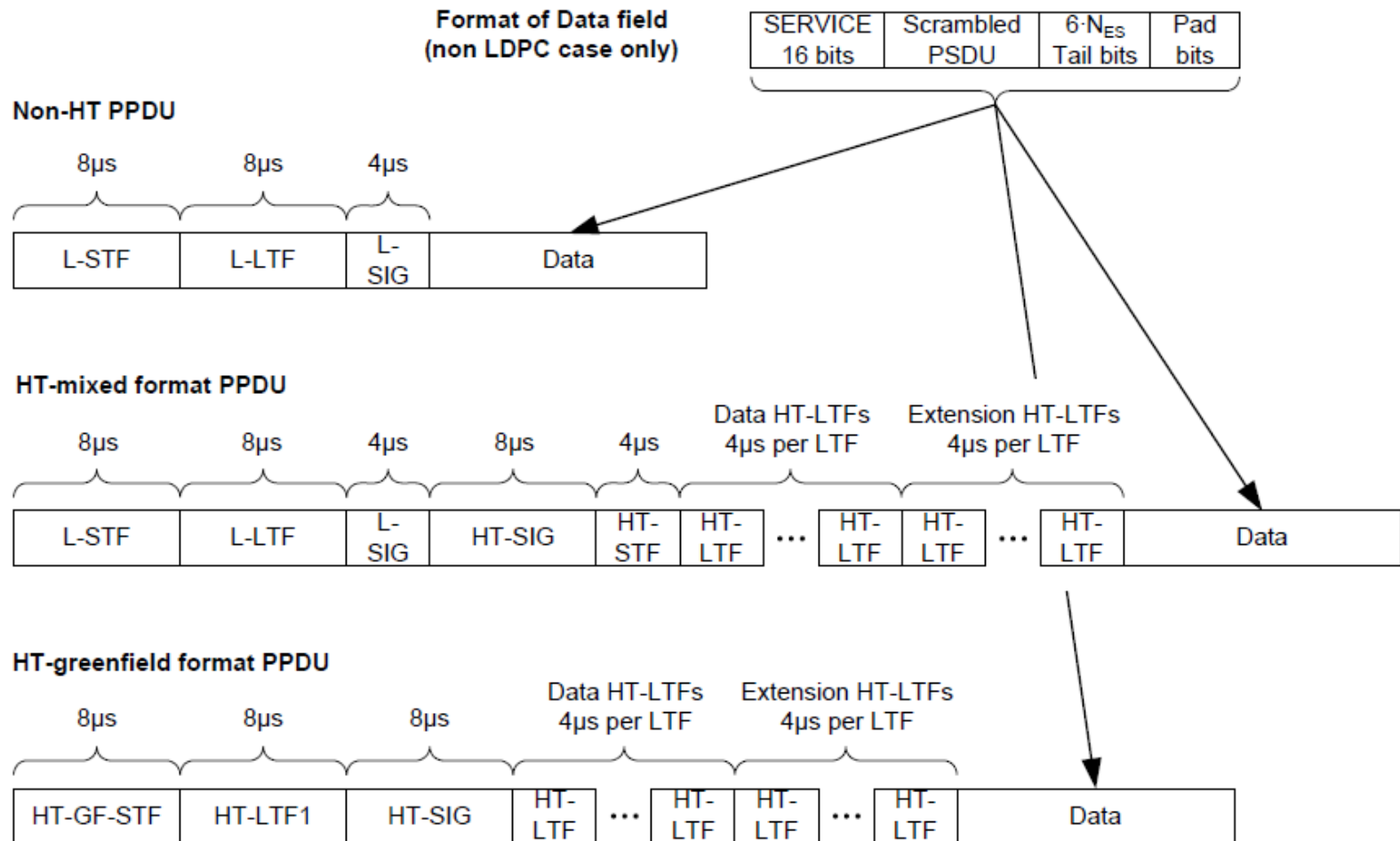
- 40 MHz-es sávok használata
 - Korábban: gyártói megoldásként már alkalmazták a 2*20 MHz együttes használatát, tulajdonképpen 2 db 802.11a/g átvitelt párhuzamosan
 - Itt: egyben kezelt 40 MHz csatorna
 - Szintén csak zöldmezős módon lehet alkalmazni
 - Ez nem mindig lehetséges, illik támogatni az a,b,g 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 termináloknál

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 eszközök nem tudják használni
 - Nem-HT formátum: visszafelé kompatibilis működés
 - Tulajdonképpen 802.11a/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-en

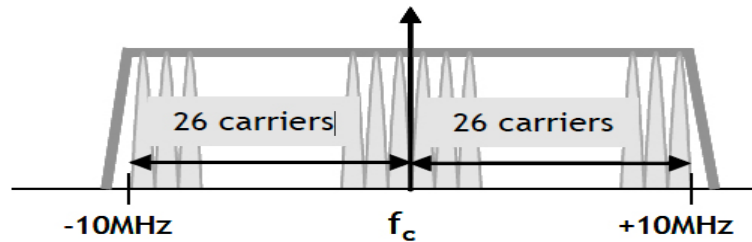
802.11n rendszerek

- 802.11n AP üzemmódok

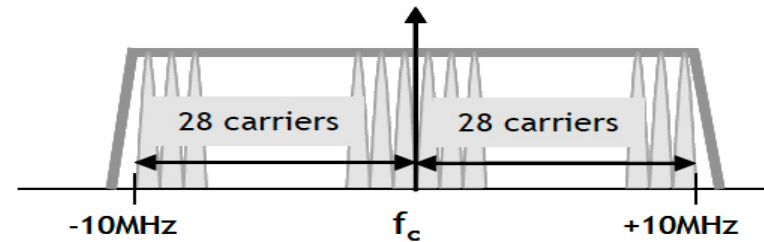


802.11n rendszerek

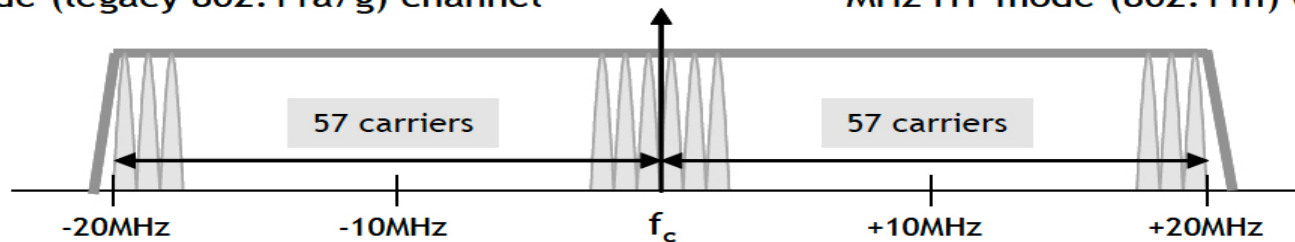
- OFDM megoldás a különböző formátumokban
 - Ezért nem kompatibilis a 20 MHz HT formátum sem
 - 4, illetve 6 pilot segédvívő



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

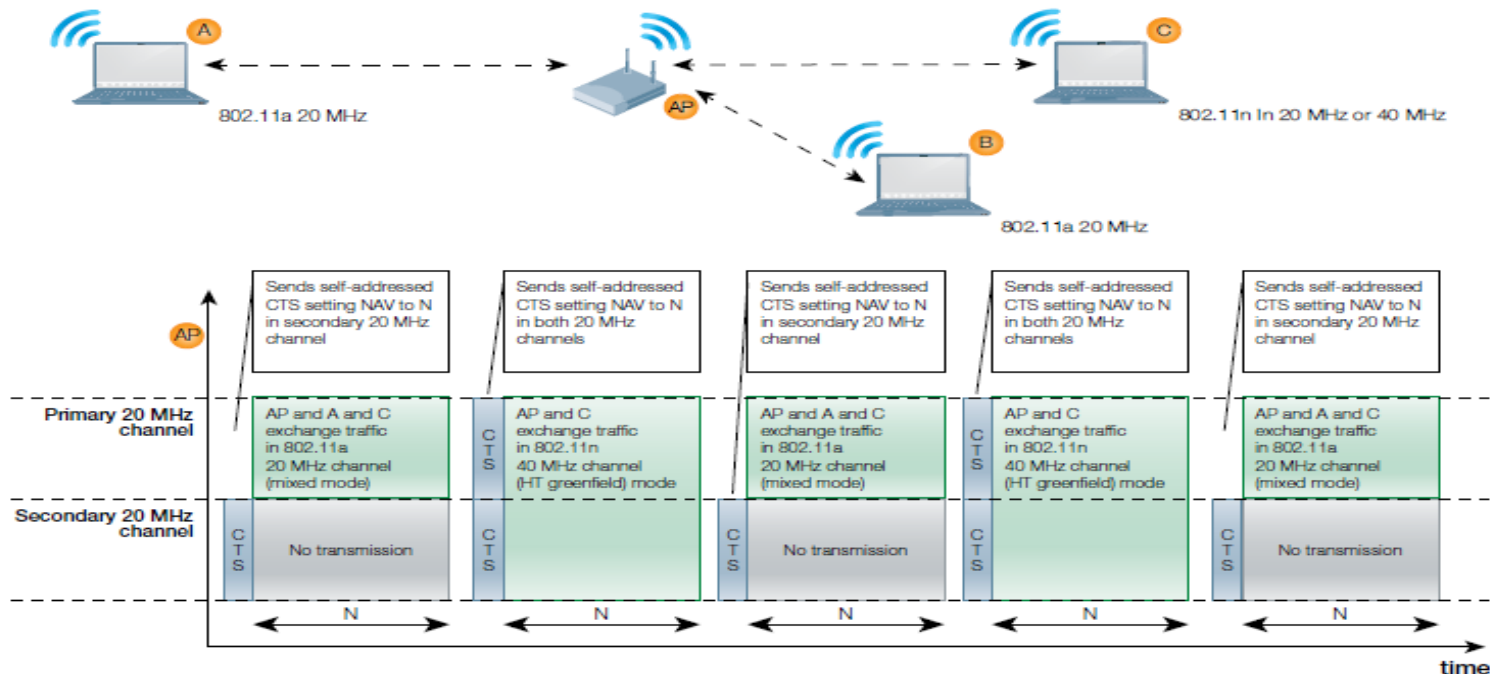
802.11n rendszerek

- 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:
 - $(52 \cdot 6 \cdot 5/6) / (4 \text{ us}) = 70 \text{ Mbps}$
 - 40 MHz, rövid prefix:
 - $(108 \cdot 6 \cdot 5/6) / 3,6 \text{ us} = 150 \text{ Mbps}$
- 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 terhelte 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

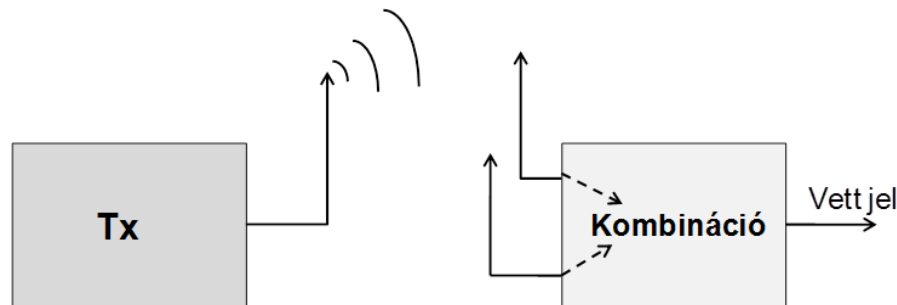


802.11n rendszerek

- Az említett sebességek nem voltak elegendőek
- 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

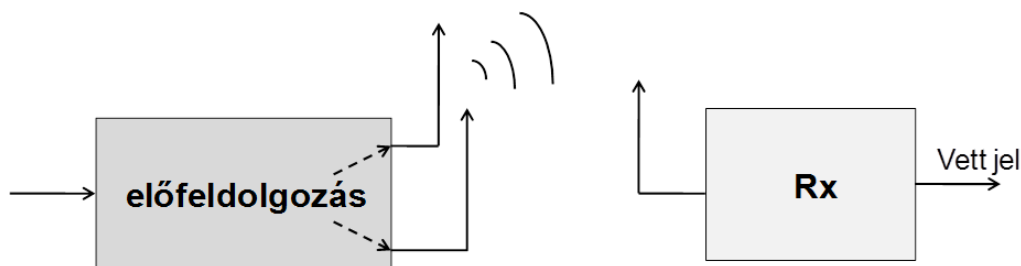
- **Maximális arányú kombinálás (MRC)**
 - Több vevőantenna esetén
 - Az antennákon vett jeleket súlyozva összegzi
 - A hatása olyan, mintha a vevőantennák számával szorzódna a jel-zaj viszony
 - Szükséges hozzá a csatornaállapot ismerete minden antennán
 - A pilot szimbólumok és a training segítségével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



802.11n rendszerek

- Tér-idő kódolás (STBC)

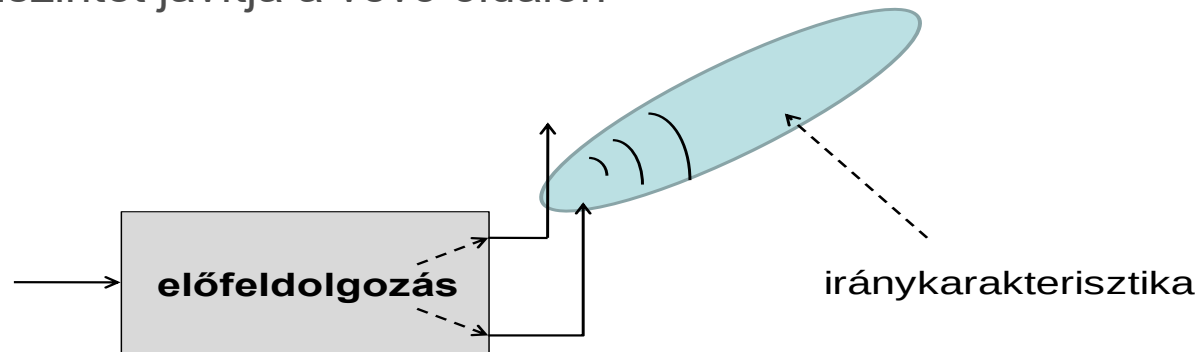
- Több adóantenna küld, adóoldali diverzitás
- Több időegységben a különböző antennákon
 - Az antennák számának megfelelő különböző jelet küld
 - Az SNR javítható jelentősen
 - A vevőben kell ismerni (mérni) a csatornaállapotot, illetve a tér-idő kódot
 - Tér-idő kód: mikor-melyik antenna
- Olyan a hatása,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



802.11n rendszerek

- **Nyalábformálás**

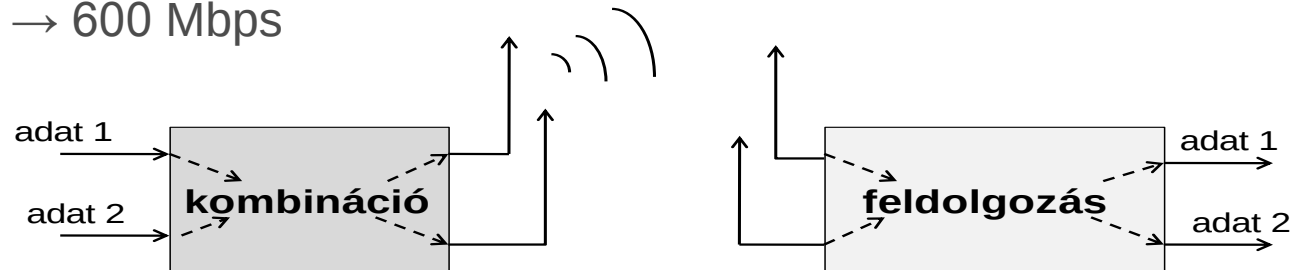
- Több adóoldali antennára megfelelően előfeldolgozott jelet küldve az antenna iránykarakterisztika javítható
 - Adott irányba (keskeny nyalábben) fókuszálja a küldött jelet (hagyományos)
 - Itt: úgy elősúlyozni, hogy a vevőnél fázisban „jól” érkezzenek a különböző antennákról jövő jelek
 - Szükséges, 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



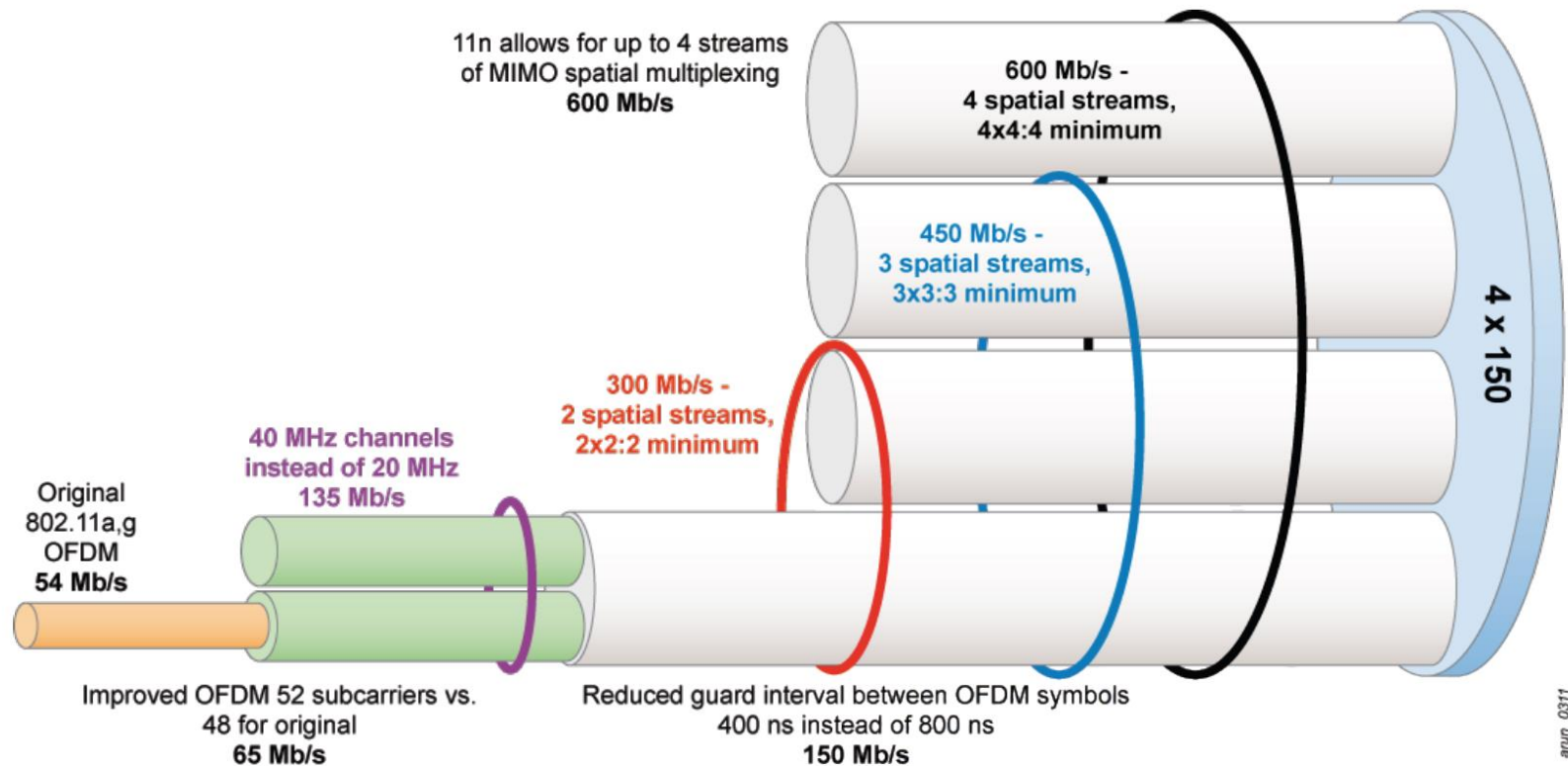
802.11n rendszerek

- **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



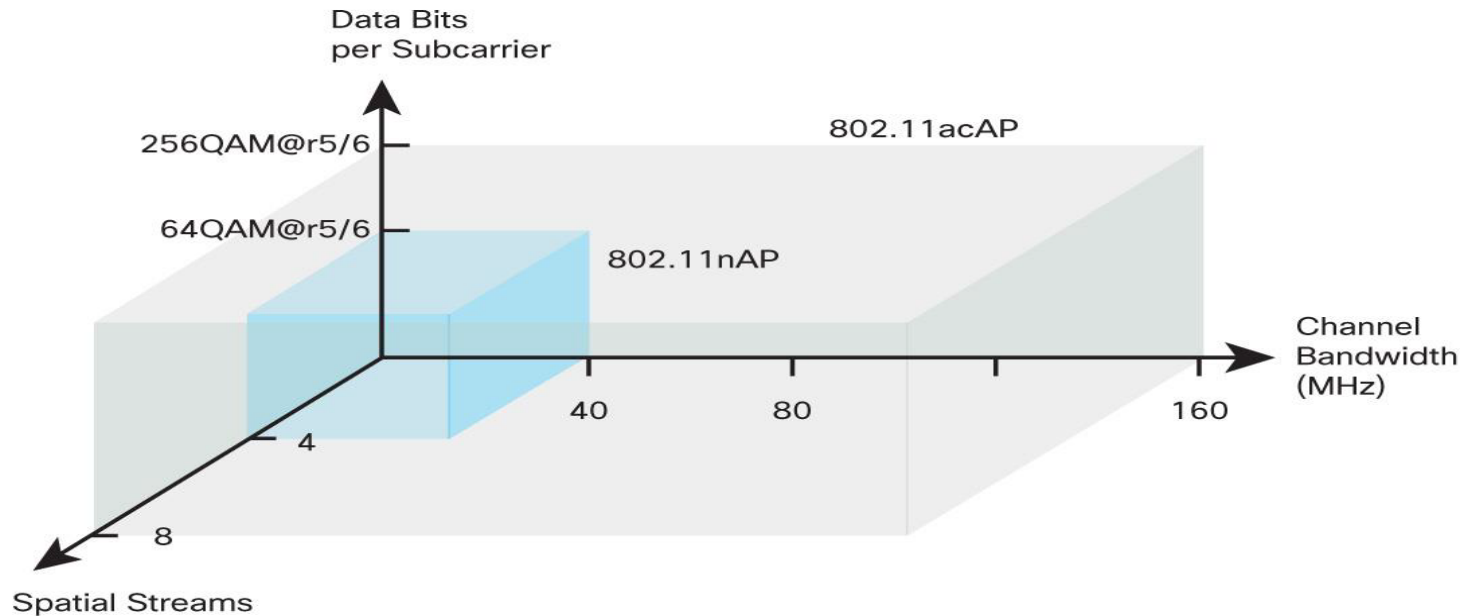
802.11n rendszerek



802.11ac – Very High Throughput

- Új szabvány, amely még nagyobb átviteli sebességet biztosít
 - Nagyfelbontású videó
 - AR alkalmazások
 - Nagyobb rendszer-throughput, 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 5 GHz-n
 - a,n terminálok
- Továbbá kifinomultabb eljárások
- Ez az 5G WiFi

802.11ac – Very High Throughput

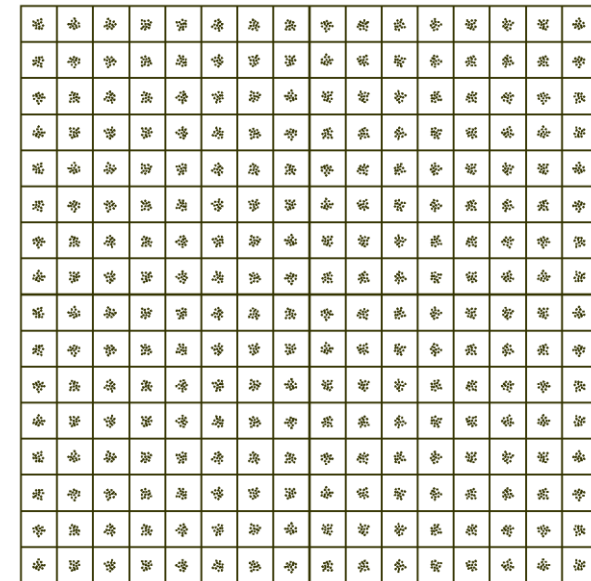


- **A definíció: VHT (Very High Throughput)**
 - Definiált sávszélesség konfigurációk:
20, 40, 80, 160 MHz (szomszédos 20 MHz-enként)
 - 80 + 80 MHz, két 80 MHz nem szomszédos sáv
 - Visszafelé kompatibilitás (sávszélesség tekintetében)
 - A fizikai keret előtagja 20 MHz 802.11a formátumban megy
- **Minden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

802.11ac – Very High Throughput

- OFDM mint eddig, itt is van rövid prefix
- Relatívén még kevesebb pilot segédvívő
 - Több, mint kétszeres növekedés a sávszélesség duplázásával
- Sebességek így (MIMO nélkül):
 - 80 MHz $\rightarrow$ 325 Mbps ($2 \cdot 802.11n \rightarrow 300$ Mbps lenne)
 - 160 MHz $\rightarrow$ 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, színes tévé) 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)

802.11ad – Multi gigabit

- Másik gigabites 802.11 szabvány
 - Ez korábbi, mint az ac
 - Nem is direkt módon való továbbfejlesztése az előzőeknek
- Eredet:
 - A WiGig Alliance ipari szervezet kezdte kidolgozni
 - Elsődleges cél
 - Képernyőkre streamelni nagy felbontású videót volt az
 - Nagyon széles sáv kell, de lehet kicsi hatósugár
- Lehet nyerni spektrális hatékonysággal, többantennás technikákkal
 - De a fizikai sávszélesség növelése az igazi
- IEEE szabványként megjelent

802.11ad – Multi gigabit

- **Fő újdonság: 60 GHz sáv használata**
 - Régióként eltérő szabályozás, de legalább 3,5 GHz széles egybefüggő „üres” sáv mindenhol elérhető
 - Ahol van kiosztás, ott sem nagyon használják
- **60 GHz**
 - Nagyon nagy a terjedési csillapítás
 - Kis adóteljesítmény, kis hatótávolság
 - Ez igazából előny: szomszédos rendszerek nem zavarják egymást
 - Rálátás kell az adó és a vevő között (LOS)
 - Falon/tárgyakon/emberen stb. nem nagyon megy át

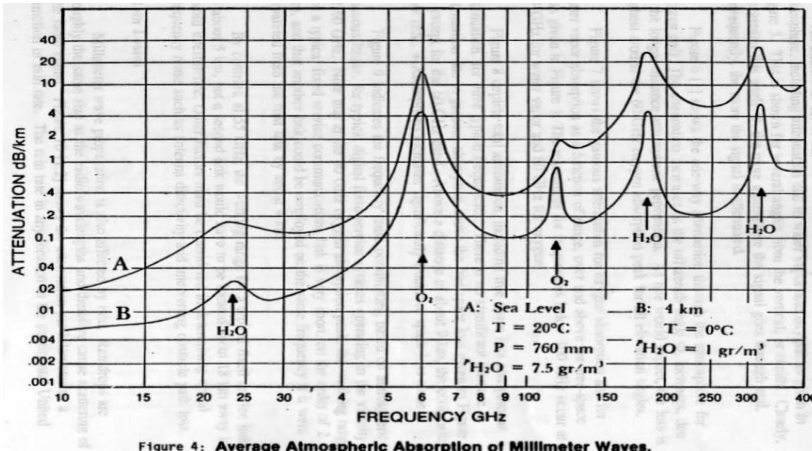
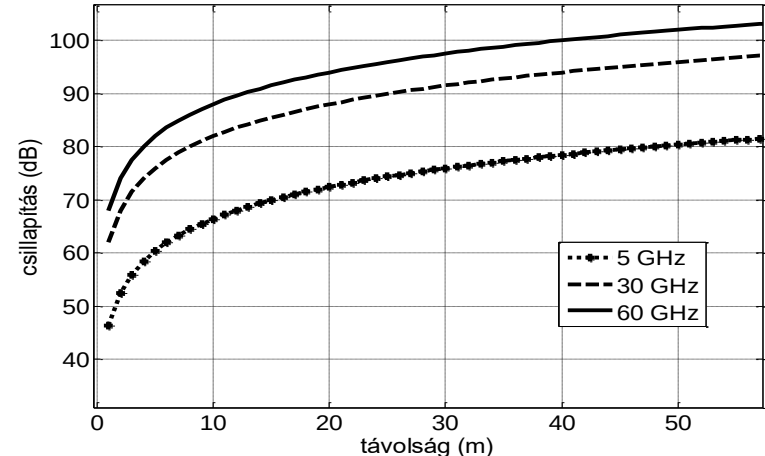
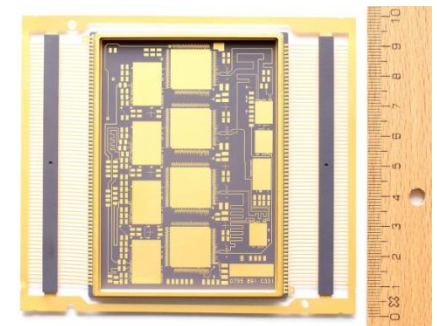
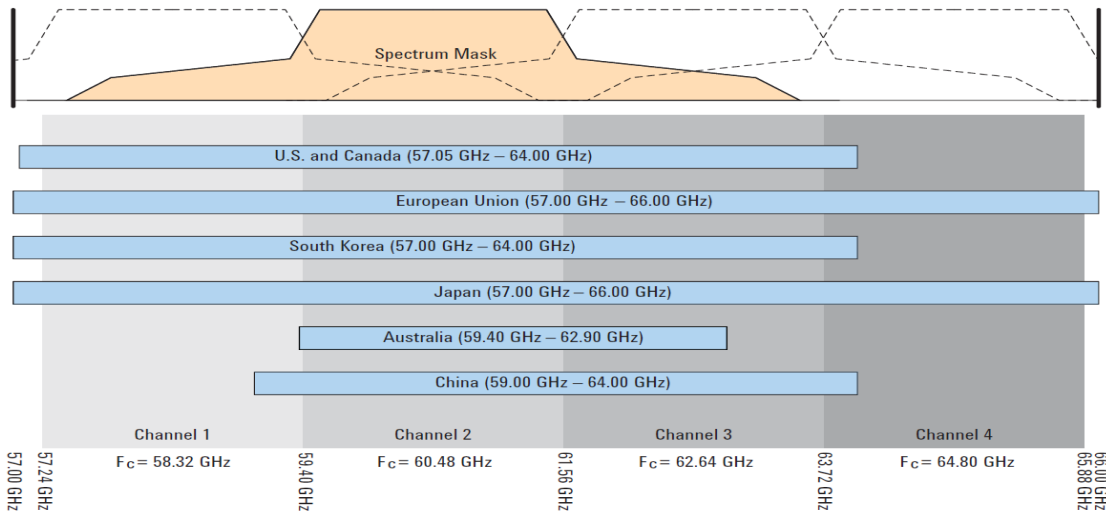


Figure 4: Average Atmospheric Absorption of Millimeter Waves.



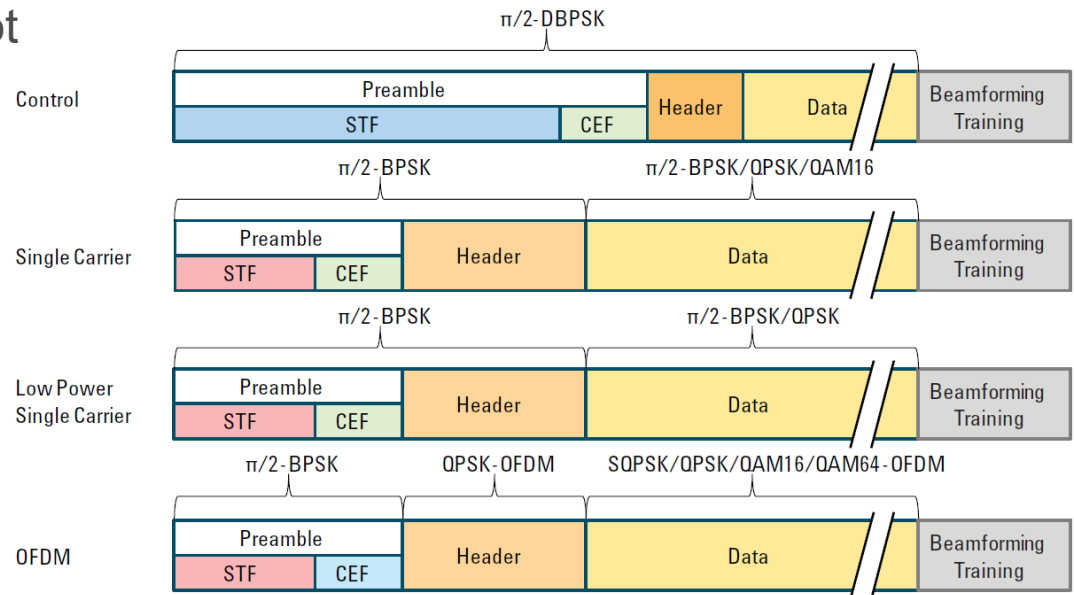
802.11ad – Multi gigabit

- Multiantenna
- Kis hullámhossz (~5 mm), így kis méretű antennarendszerek
 - Jelutak függetlensége
 - Sok antennával nagyobb nyereség érhető el
 - Sok antennával hatásosabb a nyalábformálás is
 - Nagyobb mennyiségű kontroll információ átvitele szükséges
- Új gyártási technológiák, új anyagok az antennagyártásban
 - Kerámia alapú anyagok, műanyagok
- ITU_R ajánlás: 2,16 GHz-es csatornák



802.11ad – Multi gigabit

- IEEE elnevezés: DMG (Directional Multi-Gigabit) fizikai réteg
- LDPC kódolás (korábban: opcionális)
- Háromféle hullámforma a szabványban
 - Szórt spektrumú, ez a fizikai kontroll információ
 - Külön hullámforma a kontroll keretek számára
 - Egyvívős moduláció
 - Ezen belül is megkülönböztetik az alacsony adóteljesítményű egyvívős modulációt
 - OFDM



Forrás: Wireless LAN at 60 GHz - IEEE 802.11ad Explained, Agilent Technologies whitepaper

802.11ad – Multi gigabit

- Adatátviteli képességek
 - Egyvívős hullámforma
 - 1760 Msps szimbólumsebesség a csatornán
 - BPSK, QPSK, 16 QAM
 - Kis teljesítményű egyvívős
 - Adatsebességek 626–2503 Mbps
 - OFDM hullámforma
 - 512 pontos FFT 2640 MHz mintavételen:
 $2640/512 = 5,15625$ MHz segédvívők közti távolság (vs. 3G 5 MHz)
 - A széles sávúság fogalma
 - Szimbólumidő 194 nsec, védőperiódus 48,4 nsec
 - (512 lehetségesből) 336 segédvívő
 - 16 pilot, 3 dc, sáv szélén nem használtak
 - ~ 336 3G sáv egyszerre: elvárjuk a ~300*20 Mbps-t
 - 64 QAM, 13/16 kódarány a legnagyobb sebesség
 - $(336*6*13/16)/(194+48,4 \text{ nsec}) \sim 6756,75 \text{ Mbps}$

802.11ad – Multi gigabit

- Továbbfejlesztési lehetőségek
 - 256 QAM
 - Több segédvivő (512-ig)
 - Channel bonding
 - Multi-stream
 - Pl. 2 stream, 2 csatorna, +100 segédvivő ~ 30 Gbps