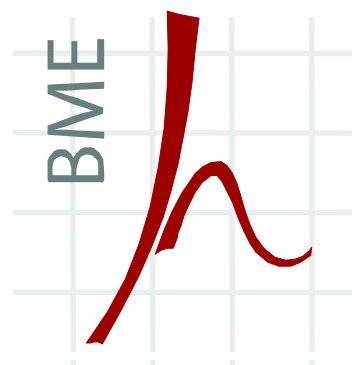




Az IEEE 802.11 szabványcsalád

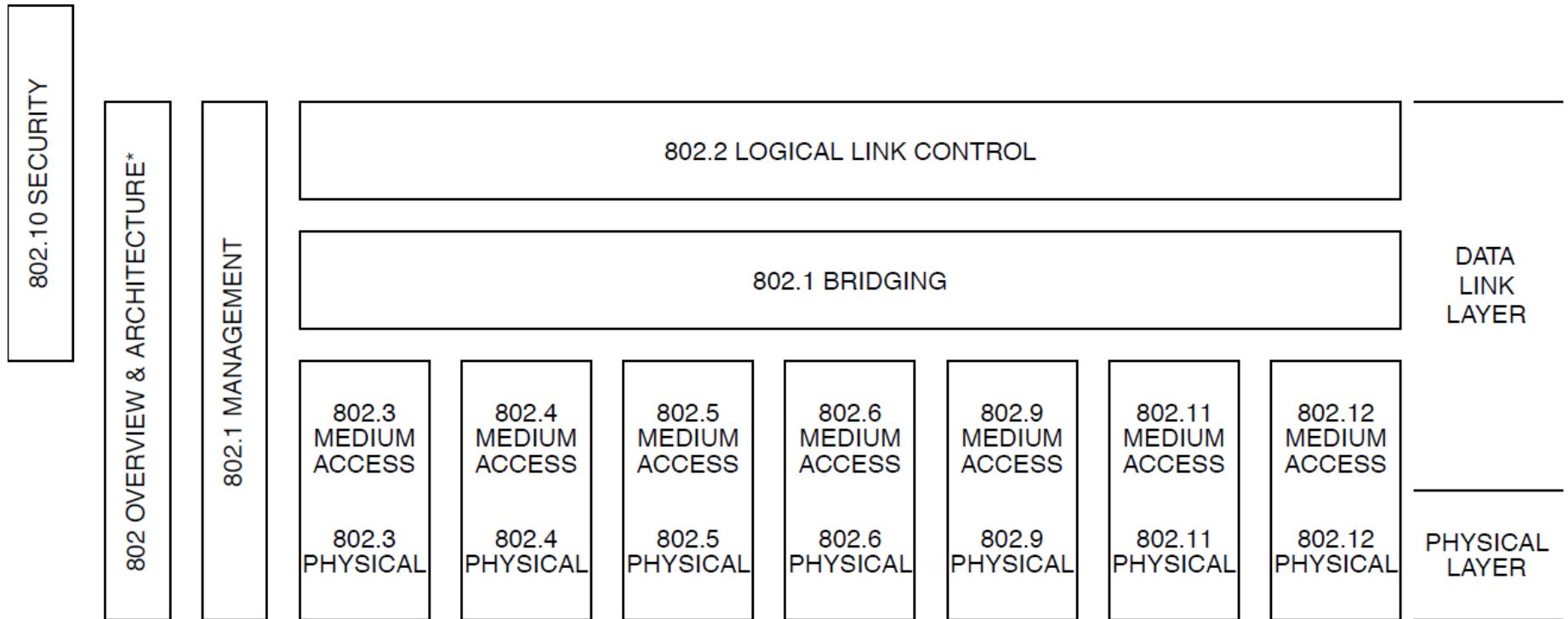


Balogh András
BME-HIT

Elnevezések, fogalmak

- IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
- 802. elnevezésű szabványok: LAN, MAN, PAN
 - Jelentős létező:
 - 802.3 Ethernet
 - 802.11 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 WiFi alliance szerinti elvárt minőséggel működik
- **Wireless Ethernet**
- **Wireless LAN (WLAN)**

A 802.11 szabványcsalád

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

A 802.11 szabványcsalád

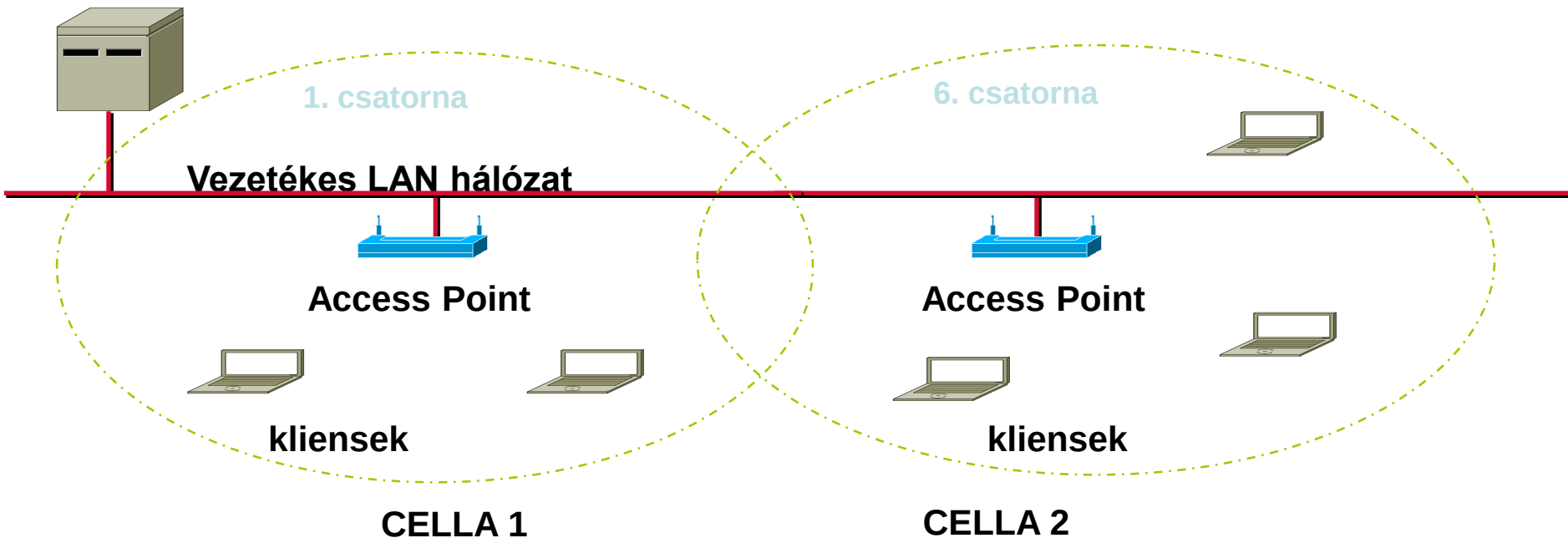
- **802.11n-2009**
 - 5 és 2.4 Gh-zen is működik, OFDM, többantennás átvitel, szélesebb sáv, akár 600 Mbps elvi sebesség.
 - A gyártók már hamarabb, 2007-es draft alapján kijöttek termékekkel
- **802.11-2012**
 - Egységesítés
- **802.11ac-2013**
 - A 802.11n továbbfejlesztése, OFDM, 5GHz sáv, nagyobb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

A 802.11 szabványcsalád

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

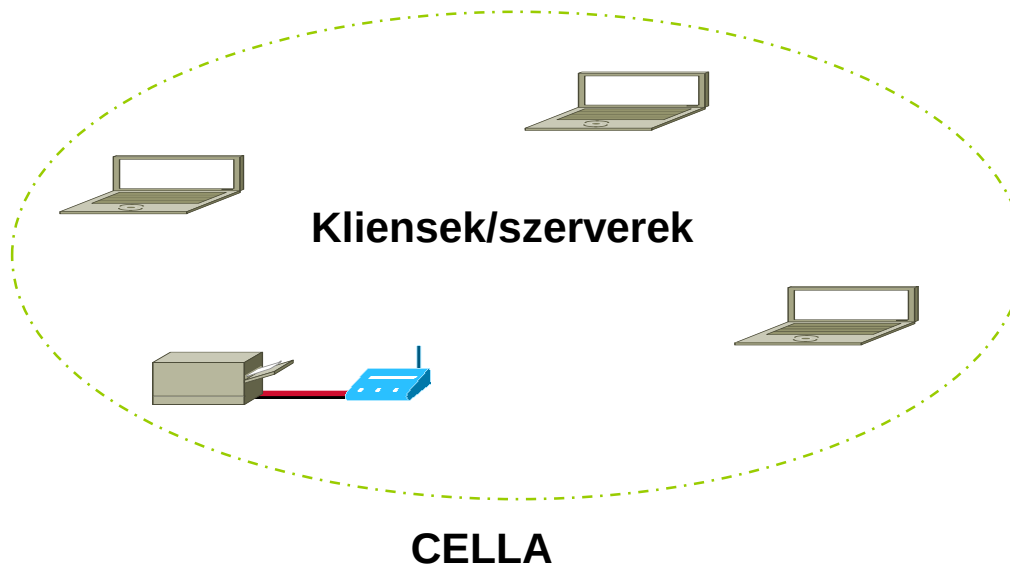
Mi az a Wireless LAN?

- A vezetékes LAN hálózat vezeték nélküli meghosszabbítása.



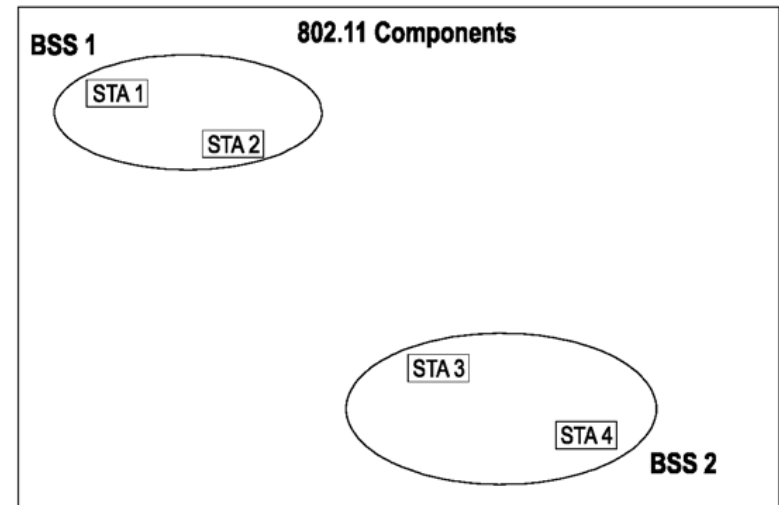
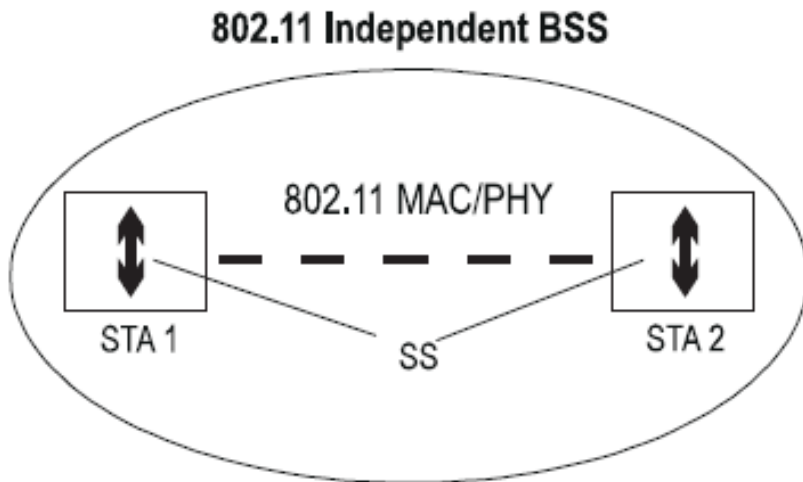
Mi az a Wireless LAN?

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



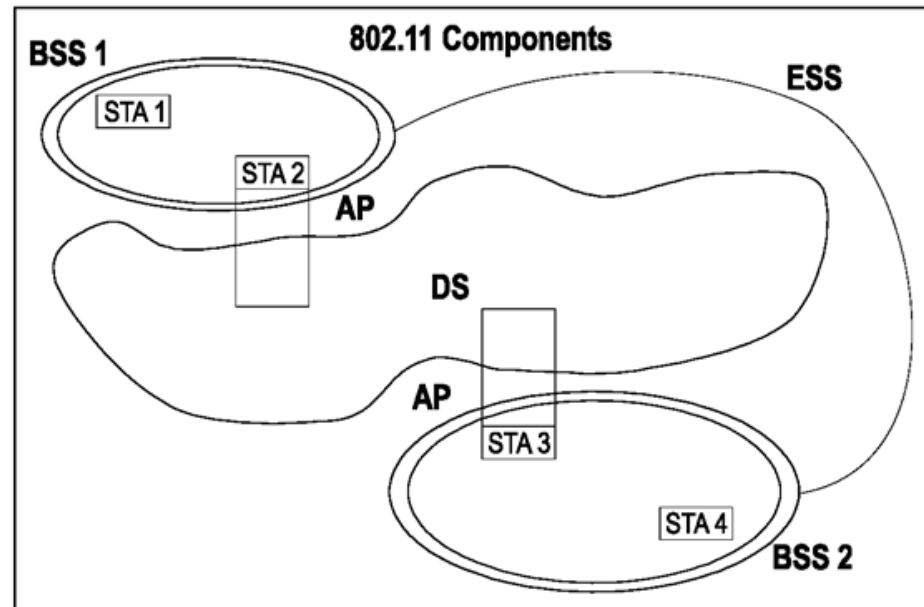
802.11 hálózatok felépítése

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



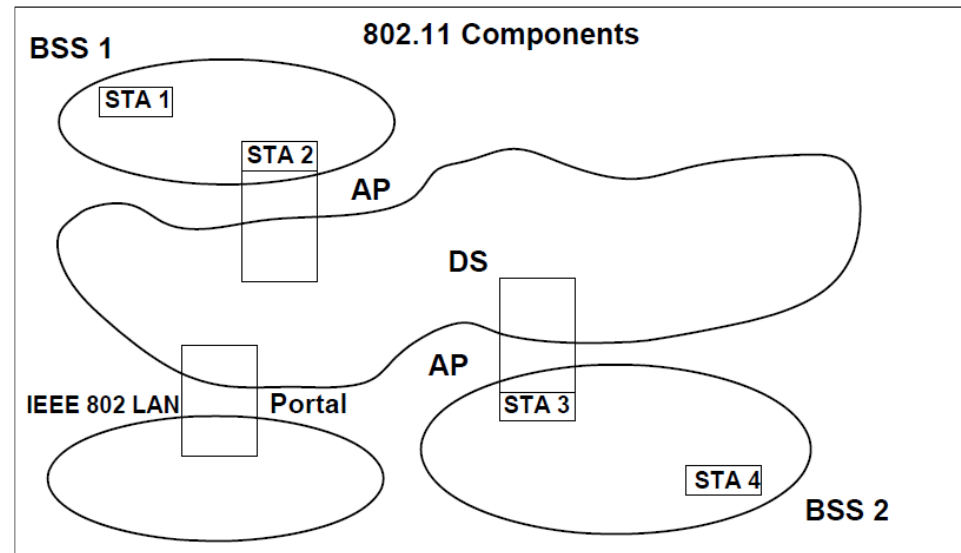
802.11 hálózatok felépítése

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



802.11 hálózatok felépítése

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

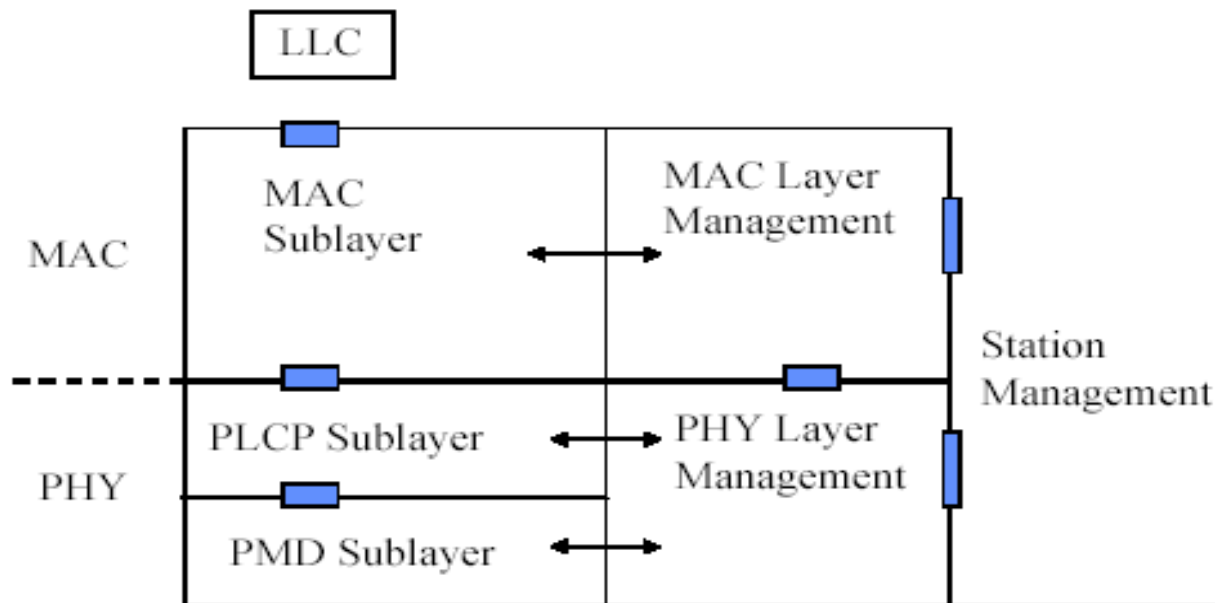


802.11 hálózatok felépítése

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

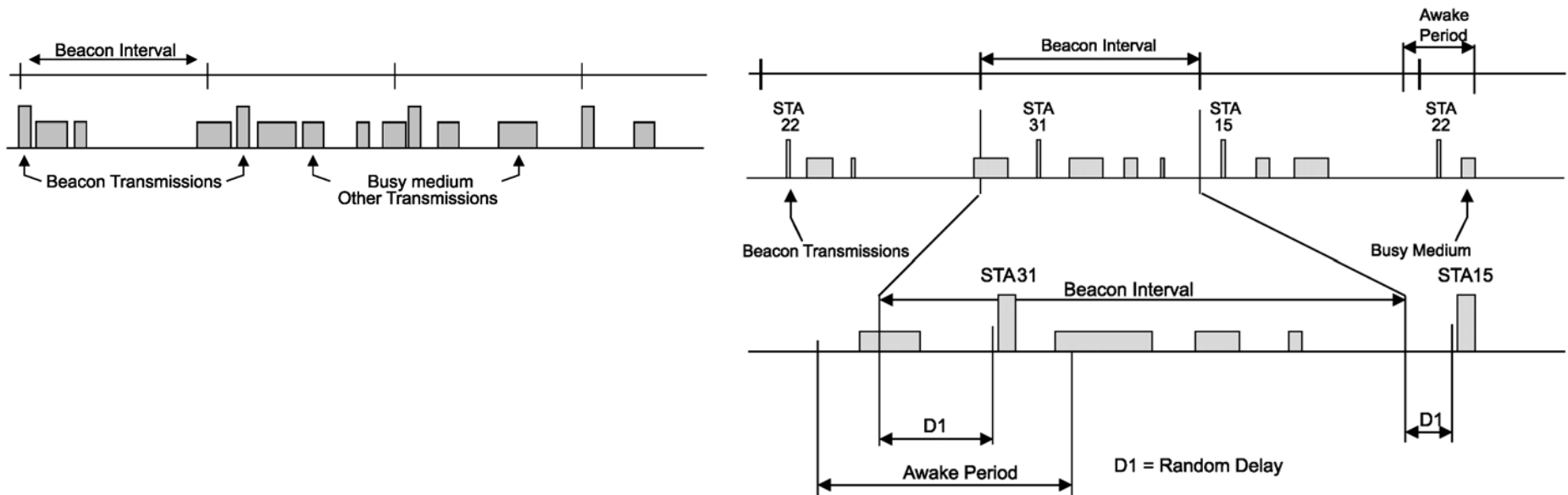


Protokoll rétegek

- **MAC Entitás**
 - Aszinkron adatátviteli szolgáltatás az LLC felé
 - Pont-pont és Broadcast / multicast címezés és átvitel
 - Alapvető: osztott médium, nincs előre allokáció, minden STA veszi a fizikai/MAC keretet, amelyről a cím mezők alapján dönti el, ha neki szól
 - Közeghozzáférés-vezérlés
 - 802.11e QoS kiegészítéssel
 - Fragmentáció / összefűzés
 - Nagyobb LLC csomagok esetén
 - Sorrendhelyesség megtartása / sorrendcsere
 - Hitelesítés / titkosítás
- **A MAC rétegek által ellátott tipikus szabványos funkciókon túl a 802.11 MAC további funkciókat is ellát, melyeket tipikusan 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
 - Vivőérzékeléssel 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
 - Lekérdezéssel (polling) alapul
- **Versengéses időszak: Contention Period (CP), DCF**
- **Versenymentes: Contention-free Period (CFP), PCF**
- **Versengéses és versenymentes időszakok követik egymást**
 - Gyakorlat: Mivel a PCF működés opcionális a szabványban, a gyártók nem nagyon valósítják meg.

Közeghozzáférési eljárás

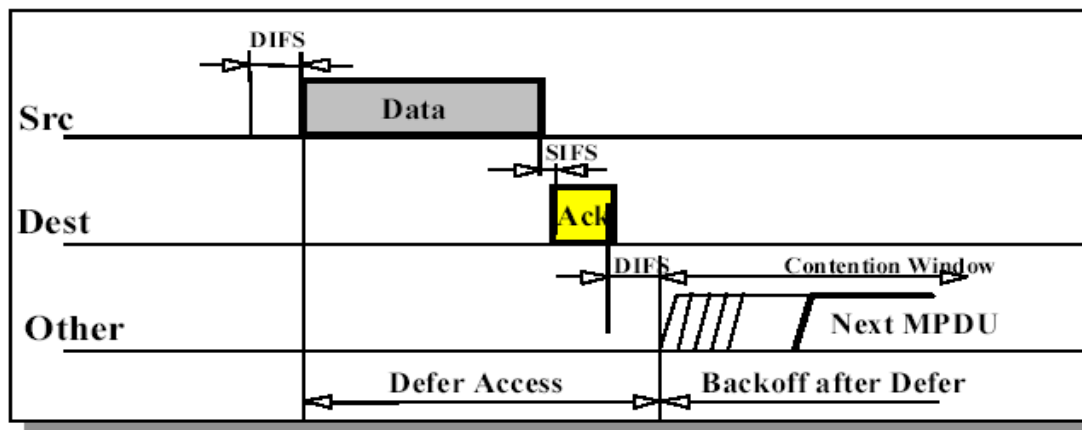
- Az alap közeghozzáférési módszer a DCF
 - CarrierSense Multiple Access megoldásra épül,
 - Collision Avoidance mechanizmussal kiegészítve (CSMA/CA)
 - Eredeti Ethernet MAC: CSMA/CD (Collision Detection) alapú, ütközés érzékelés
- Amikor keret létrejön, akkor az adni kívánó állomás figyeli a közeget: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

Közeghozzáférési eljárás

- Az ütközési helyzeteket fel kell tudni ismerni és így a MAC réteg újraadhatja a csomagot és nem a felsőbb rétegeknek kell ezzel 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 időig várnia kell
 - Ez a DCF keretek közti idő (DIFS, DCF Inter Frame Space)
 - A DIFS idő letelte után szintén a backoff mechanizmus által meghatározott számú üres időrésnek kell következnie a csatornán

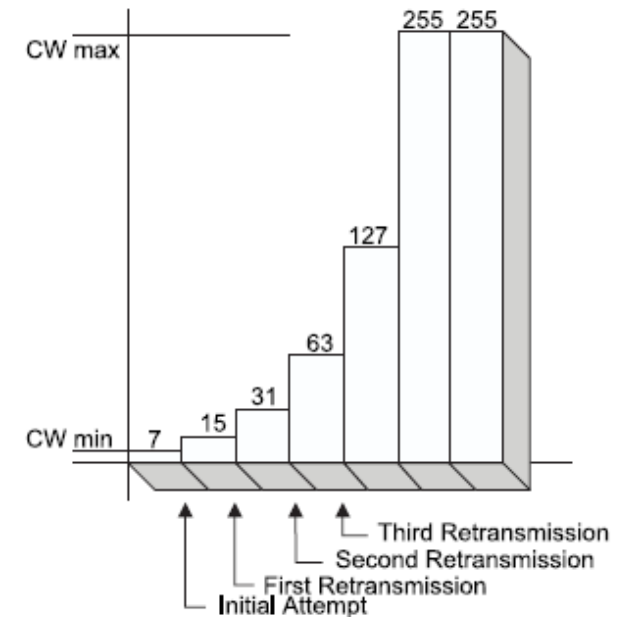
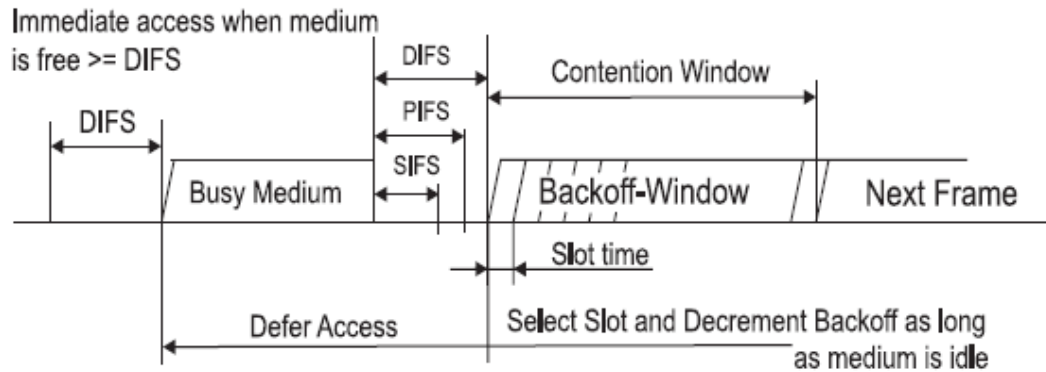
Közeghozzáférési eljárás

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



Közeghozzáférési eljárás

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

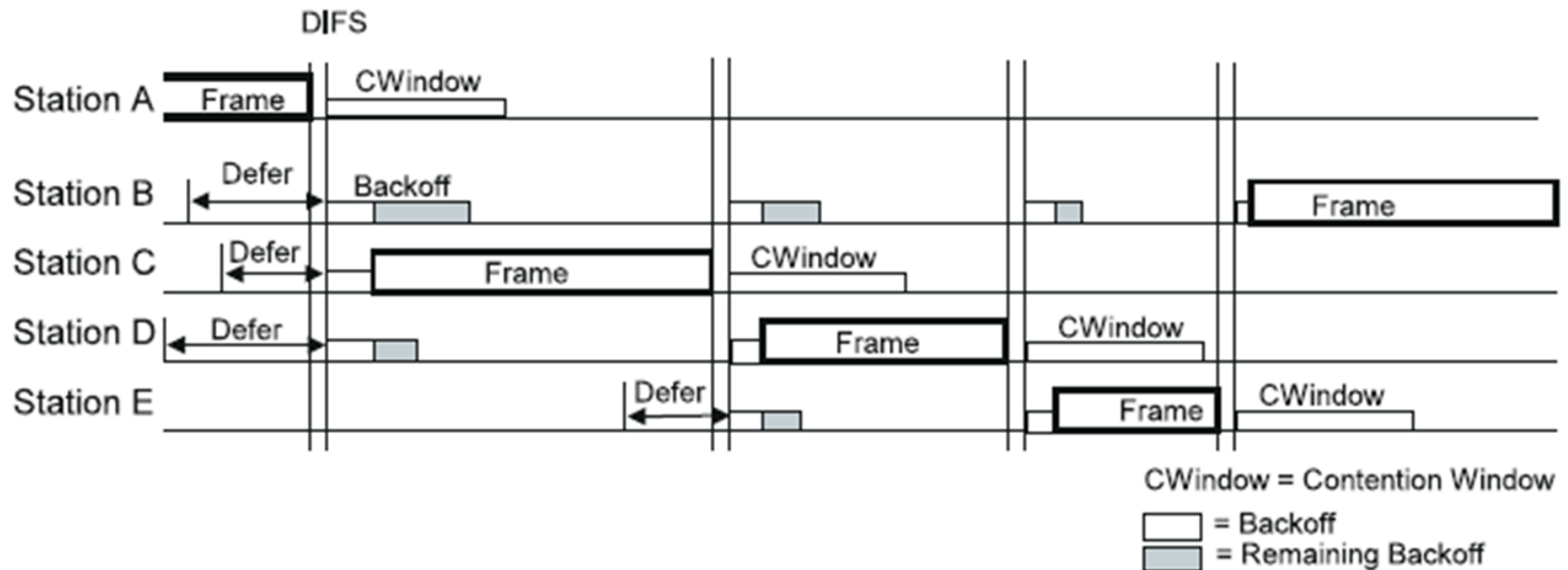
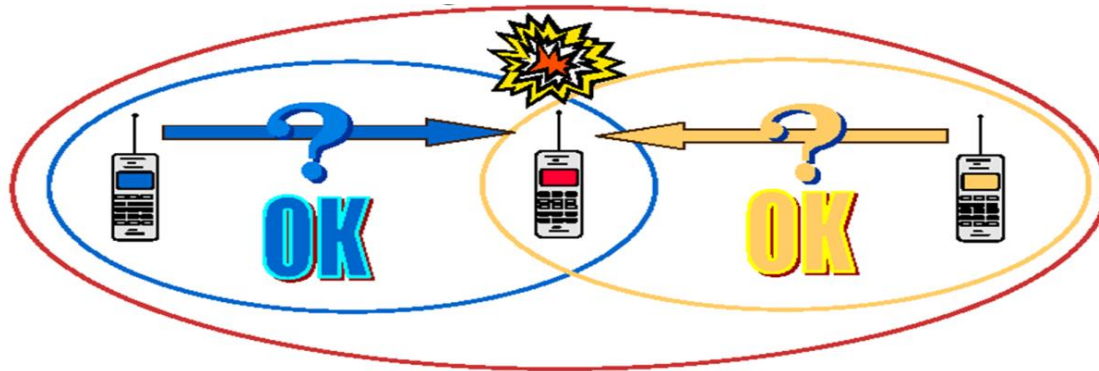


Figure 52—Backoff procedure

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 -> B-nél ütközés

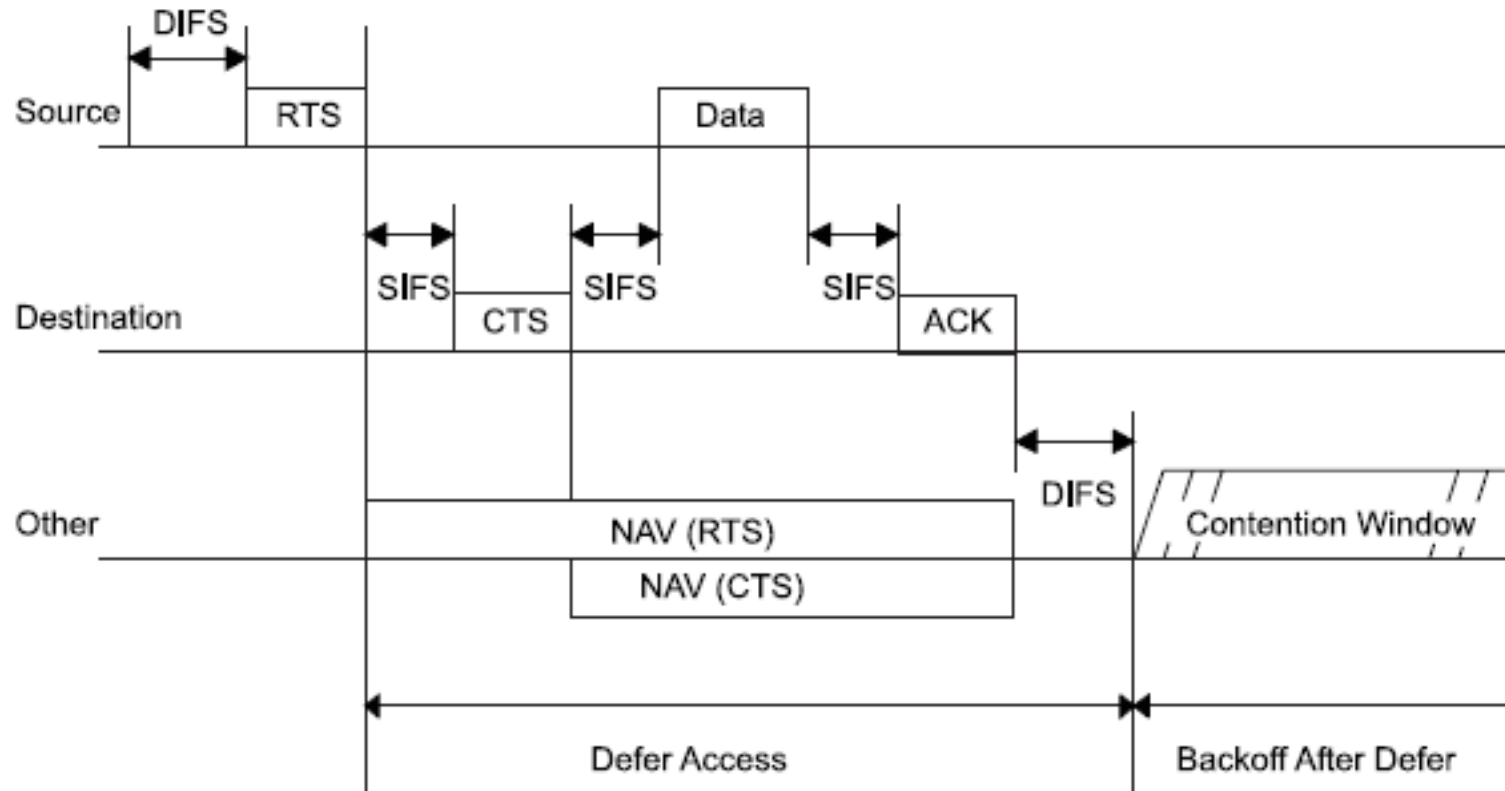


Közeghozzáférési eljárás

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

Közeghozzáférési eljárás

- Virtuális közeghozzáférés

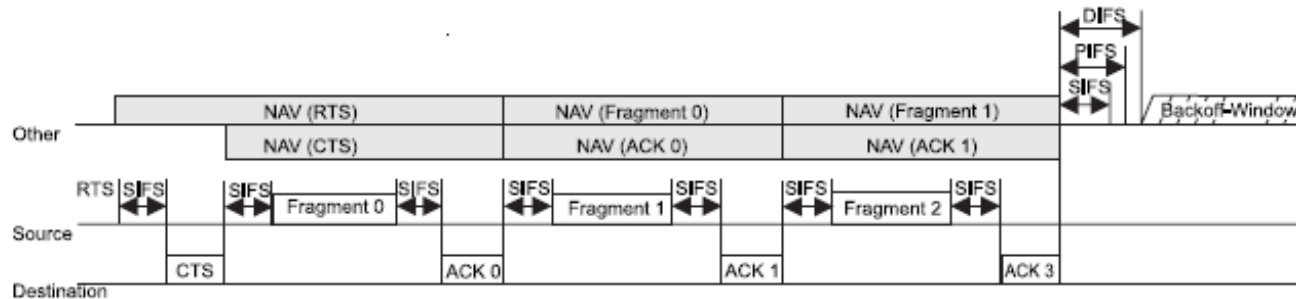


Közeghozzáférési eljárás

- Szegmentálás

- Feldarabolt felsőbb csomagok esetén

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



Közeghozzáférési eljárás

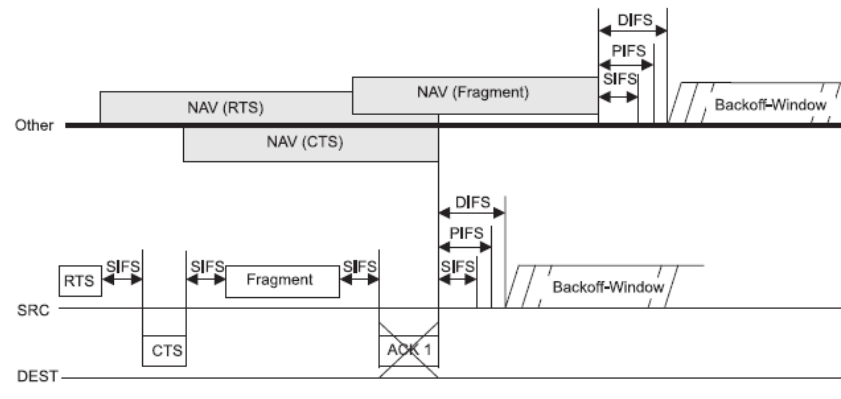
- Szegmentálás

- Feldarabolt felsőbb csomagok esetén

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

- Virtuális vivőérzékelés

- Általában a következő keret végére mutat az időtartam mező
 - Ha elvész egy ACK akkor néhányan tévesen hihetik, hogy foglalt a médium

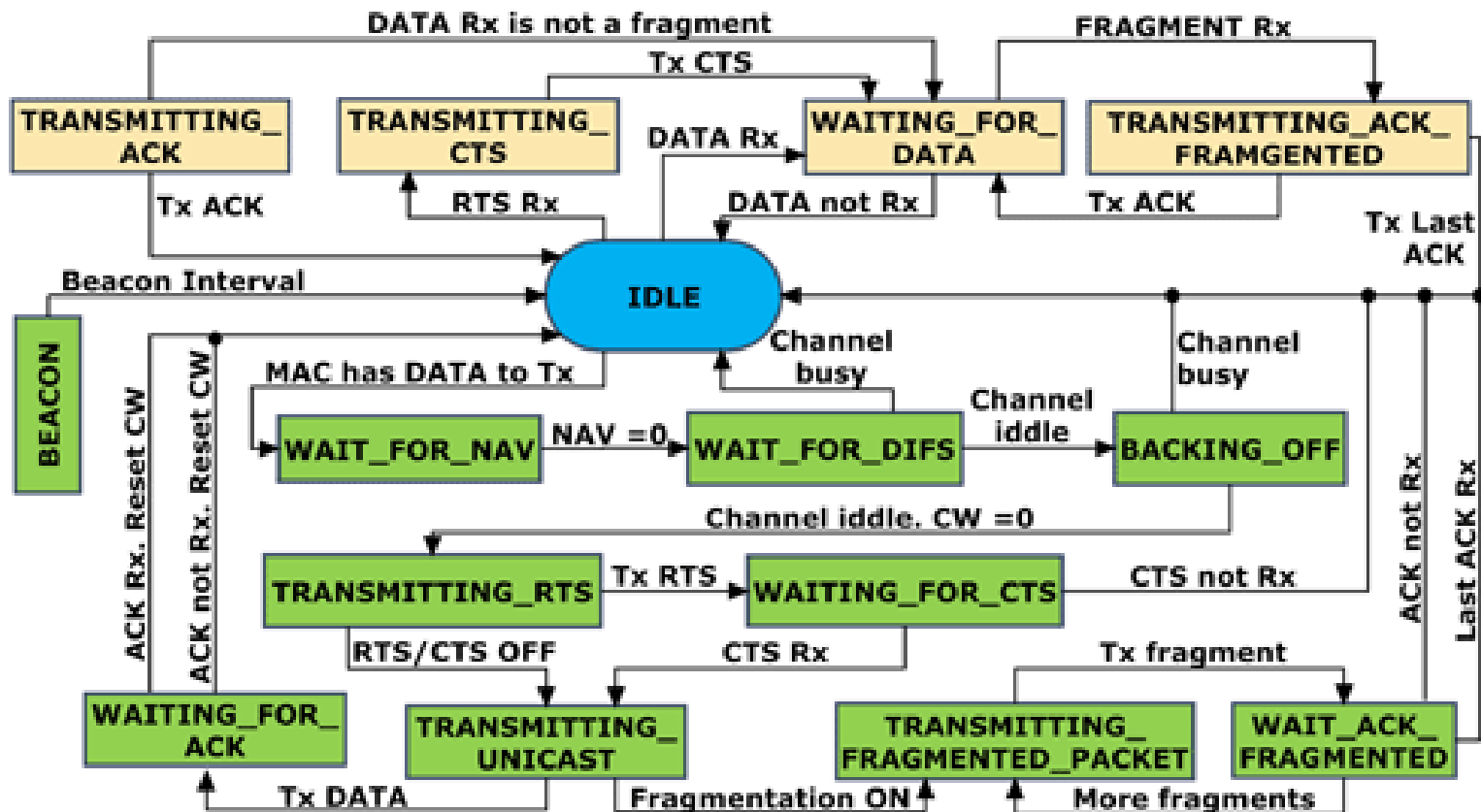


Közeghozzáférési eljárás

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

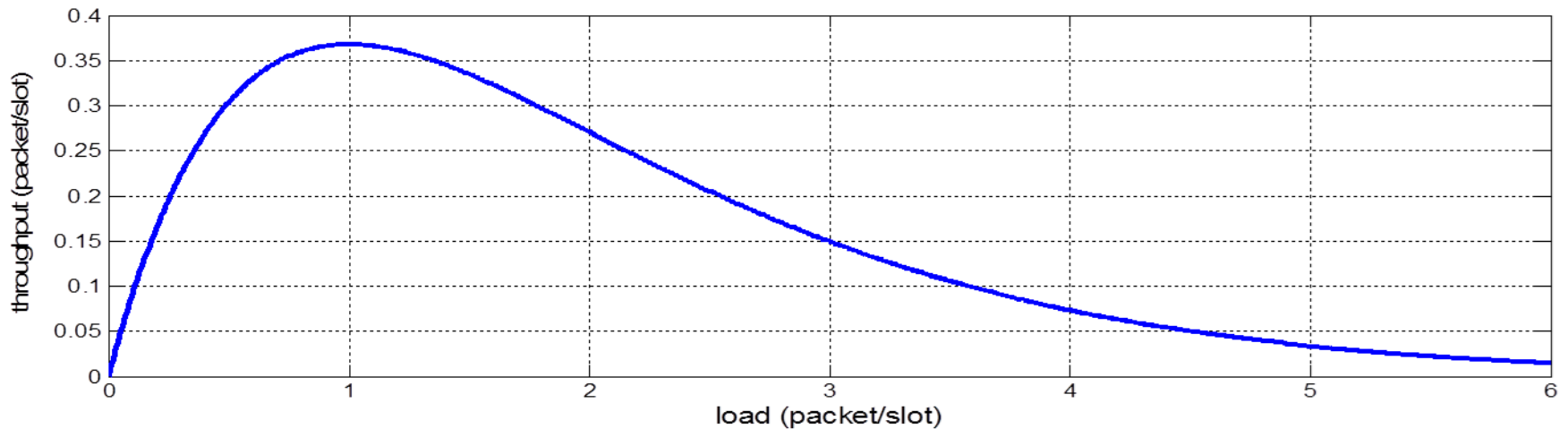
Közeghozzáférési eljárás

- DCF állapotgép:

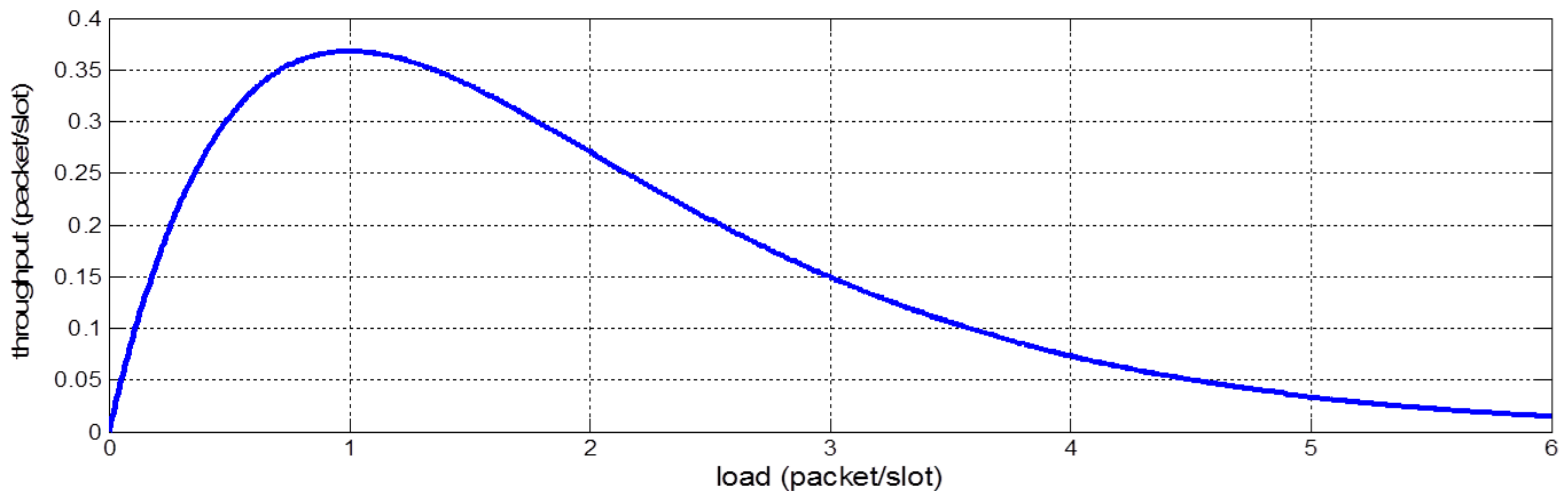


Közeghozzáférési eljárás

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



Közeghozzáférési eljárás



- Ez a jelleg minden véletlen hozzáférésű (versengéses) csatornát jellemez
 - A protokoll konkrét részleteivel a 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 „elszáll” a rendszer

Közeghozzáférési eljárás

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

Közeghozzáférési eljárás

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

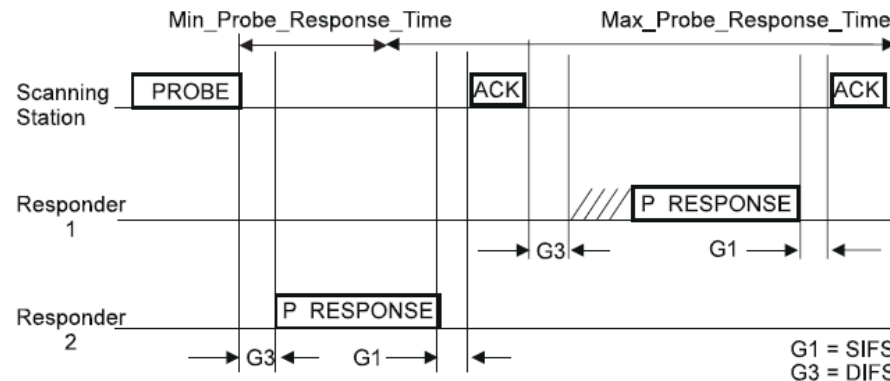
- Miért nincs működő PCF implementáció?
 - Nincs mechanizmus a terminálok igényeinek explicit jelzésére (van-e adnivalója)
 - Illetve nehézkes megoldani, az AP-hez való csatlakozás során adandó meg, hogy a STA akar-e a lekérdezendők listáján lenni
 - Tehát mindenki megadja, hogy akar, majd ha nincs adata,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

Menedzsment folyamatok

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

Menedzsment folyamatok

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



Menedzsment folyamatok

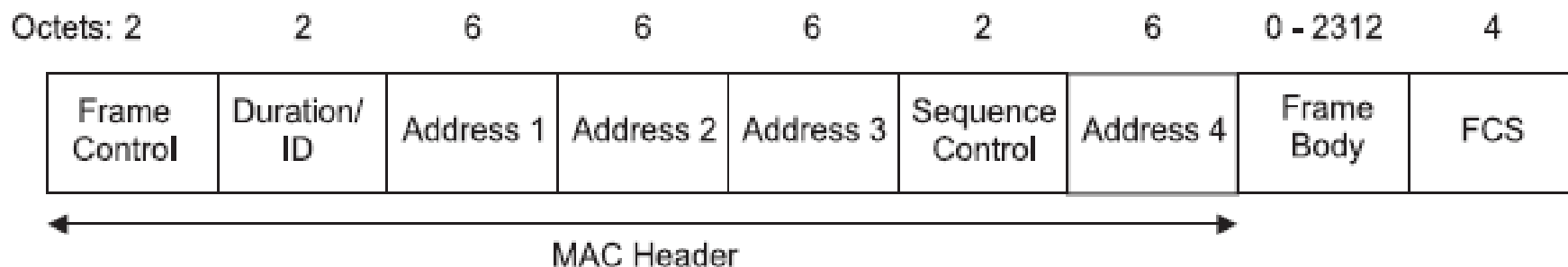
- **Hitelesítési eljárás:**
 - Hitelesítési üzenetváltás
 - Létezik a null hitelesítés (-> nyílt WiFi)
- **Csatlakozási eljárás:**
 - Sikeres hitelesítés után, információcsere a terminál és AP képességeiről, valamint néhány AP-s környezetben meglesz a mobil helye
- **Szinkronizáció megtartása:**
 - Az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

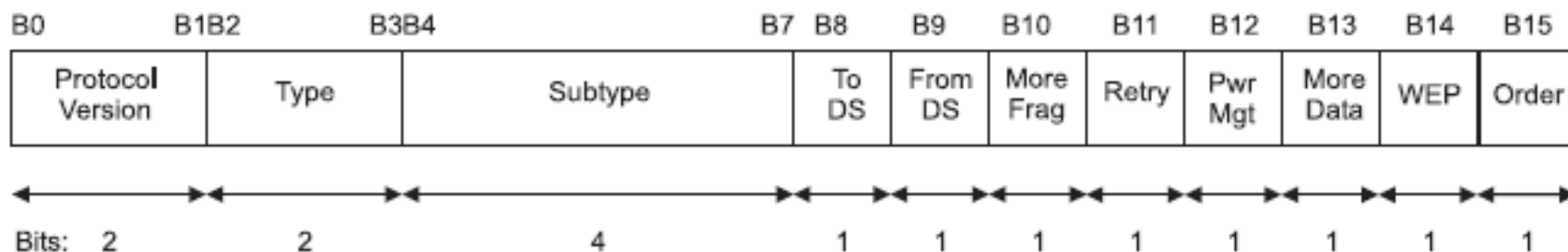


Keret típusok

- **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

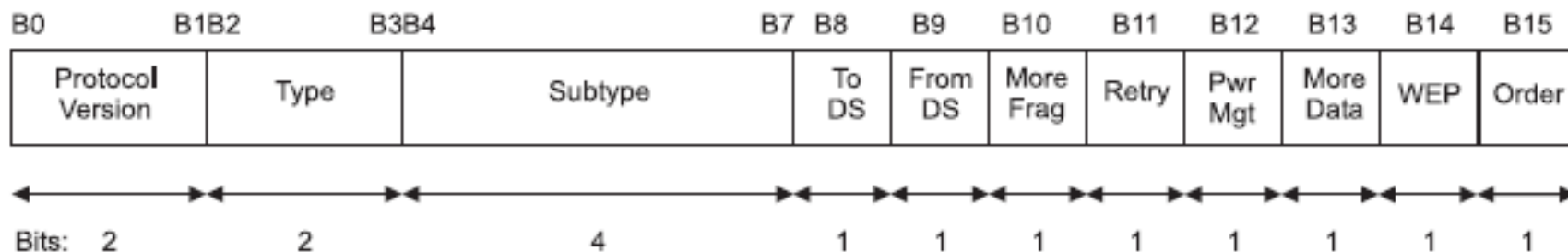
- MAC Frame Control:



- 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

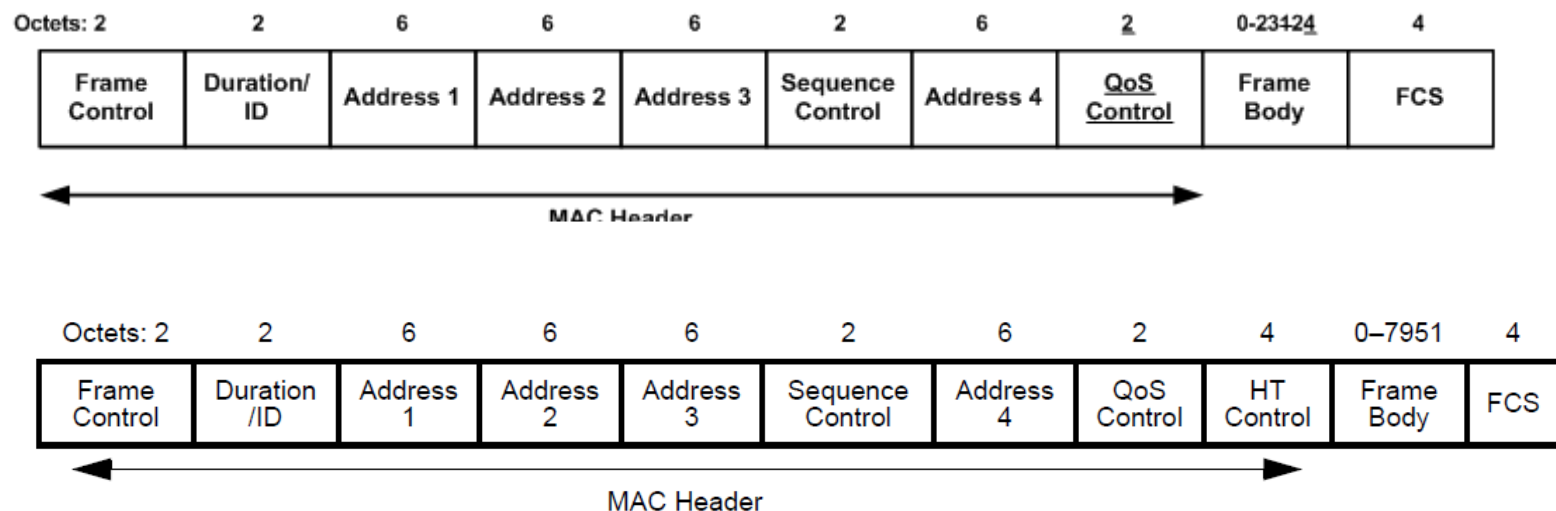
- Korai verzióktól kezdve felmerült az igény a QoS támogatásra
 - Konkrétan: VoIP és videóátvitel
- Késleltetés-érzékeny applikációk számára garanciát nyújtani
- Probléma: Az elosztott közeghozzáférés nem determinisztikus
- Probléma: A központosított, polling alapú megoldás korábban említett okok miatt nem terjedt el
- Prioritást kellene biztosítani a késleltetés-érzékeny forgalmaknak
 - Ez még mindig nem feltétlenül garancia
- A 802.11e a MAC működését és funkcionalitását módosítja, az ezekhez szükséges fizikai módosításokkal
 - Bevezeti a QoS képes terminál és AP fogalmát
 - Bevezeti a QBSS-t
 - QoS keretformátum
 - Prioritás megállapítására mechanizmus
 - QoS biztosításának másik lehetősége:
 - Terhelés alatti QoS: a fizikai átviteli sebesség az igények előtt járjon
 - + protokoll időzítések 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
 - Késeltetett
 - Azonnali
- No ACK: a STA jelezheti, ha nem kér nyugtát
- Új teljesítmény-menedzsment
 - Hagyományos
 - AP beaconben jelzi, ha alvó mobil számára adat jön
 - Új: ütemezett módon
 - Elsősorban VoIP-hoz találták ki

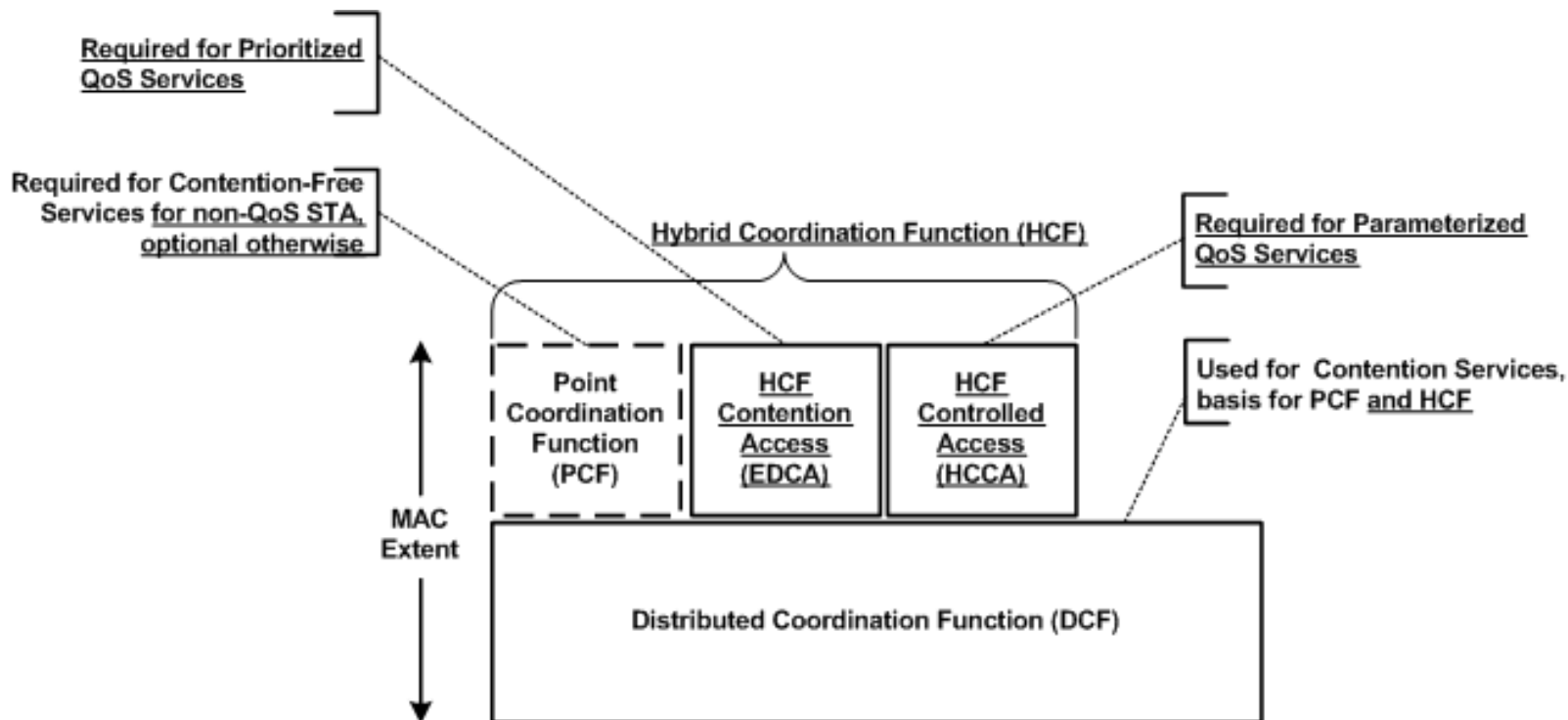
802.11e-2005 – Quality of Service

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



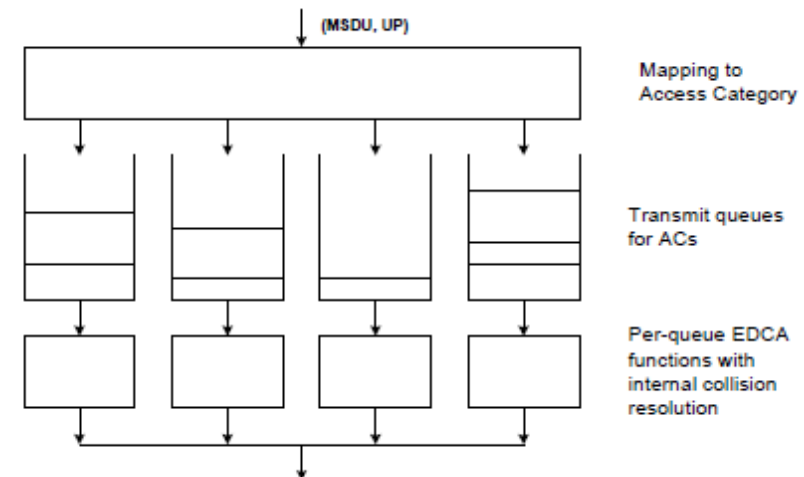
802.11e-2005 – Quality of Service

- Közeghozzáférési módszerek kiegészítése
 - Hybrid Coordination Function (HCF)

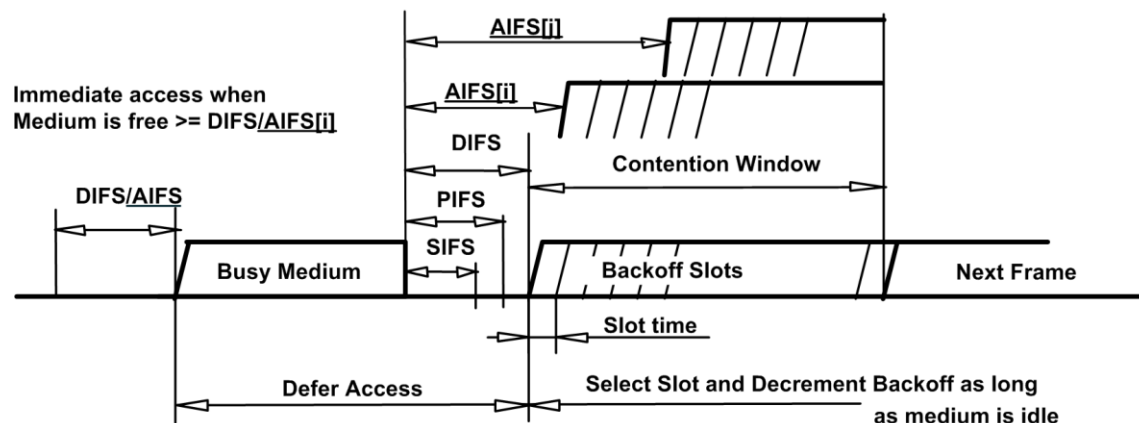


802.11e-2005 – Quality of Service

- **Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)**
 - A forgalom továbbítása prioritások figyelembevételével
 - A prioritások alapján a forgalmak megkülönböztetése
- **A prioritások biztosításának módja**
 - A csatornafigyelési idő és az adás, vagy backoff mechanizmus előtt megkövetelt üres idők különböznek (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



802.11e-2005 – Quality of Service

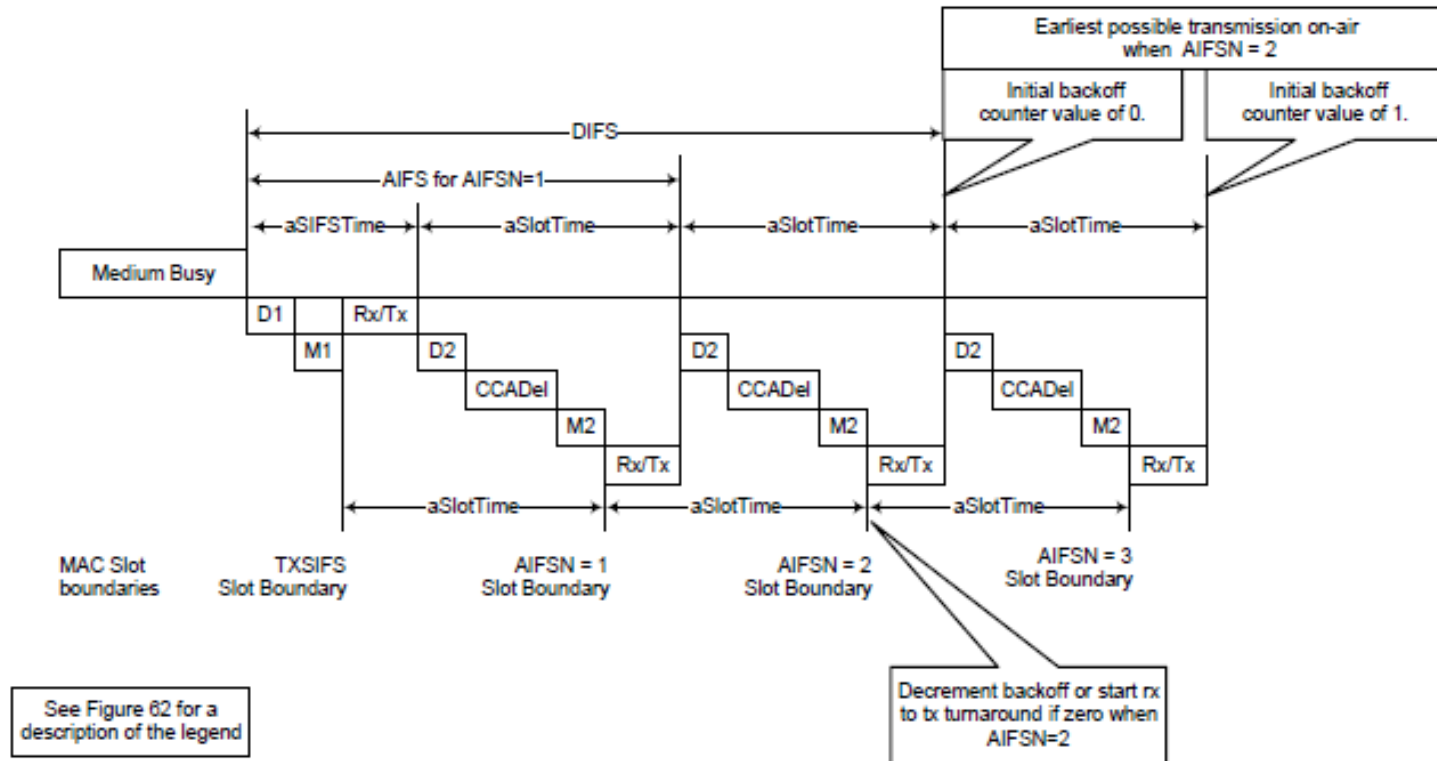


- **EDCA működéssel:**
 - Nagyobb prioritású kevesebbet vár
 - Rövidebb backoff ablakból sorsol magának várakozási időt
- **AP használhat AIFSN=1-et, a többi csak nagyobb AIFS-t**
 - Eddig az AP-nek nem volt prioritása

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

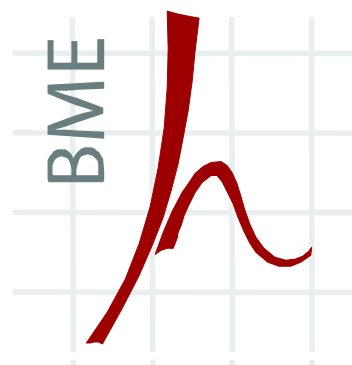
802.11e-2005 – Quality of Service

- $DIFS = aSIFSTime + 2 \cdot aSlotTime$
- $AIFS[AC] = AIFSN[AC] \times aSlotTime + aSIFSTime$.
- 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

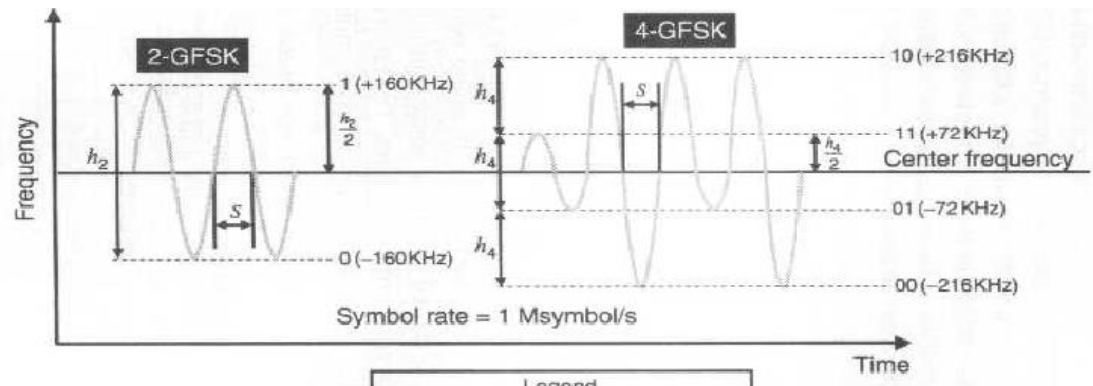
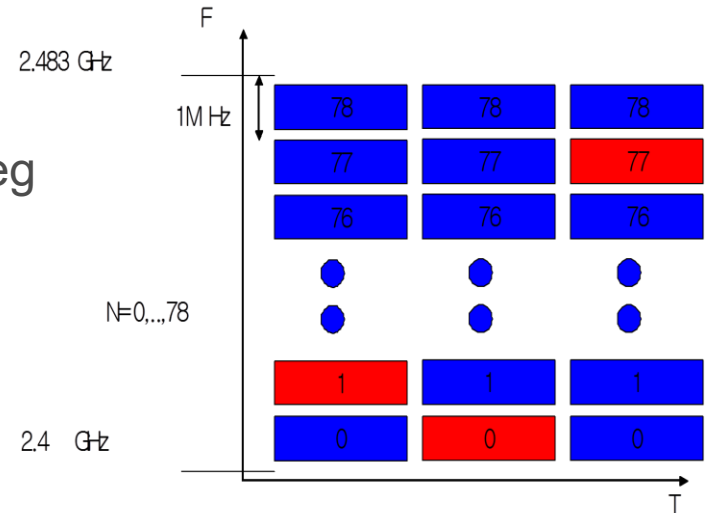


A különböző 802.11 verziók működési alapjai

802.11 Fizikai réteg

- FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)**

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



802.11 Fizikai réteg

- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

- Preamble+Header 1 Mbps-mal
 - Adat lehet 1 vagy 2 Mbps
 - Signal: Adatsebesség
 - Service: RFU
- DBPSK (1 Mbps)
 - Differenciális BPSK
- DQPSK (2 Mbps)
- 1 μ s szimbólumidő
- 20 μ s időrés

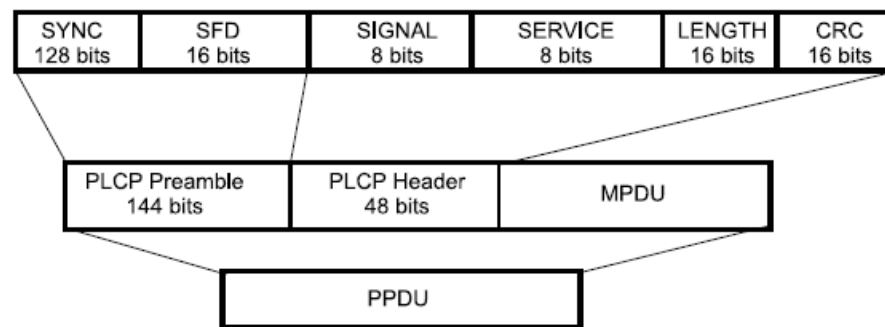


Table 65—1 Mbit/s DBPSK encoding table

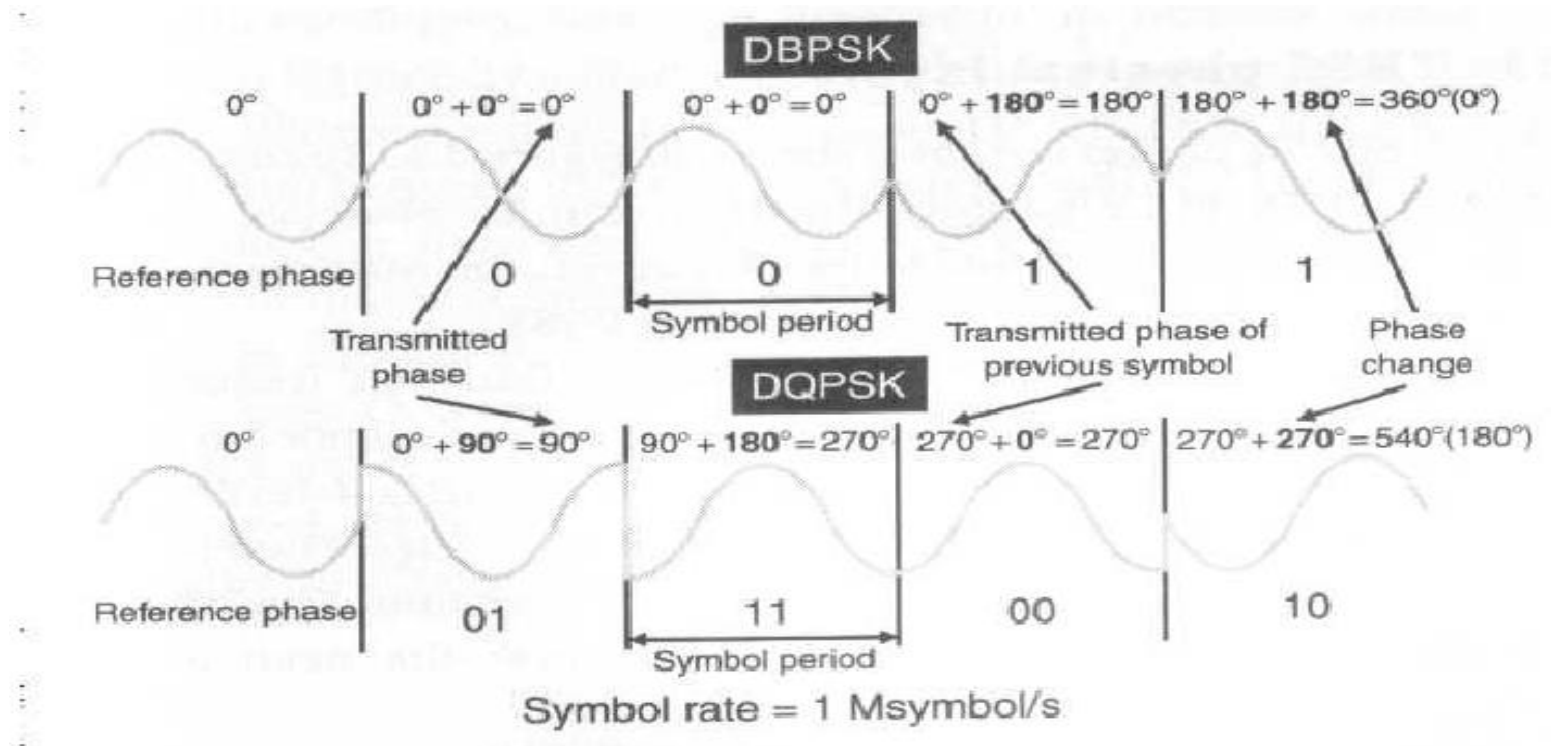
Bit input	Phase change (+j ω)
0	0
1	π

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

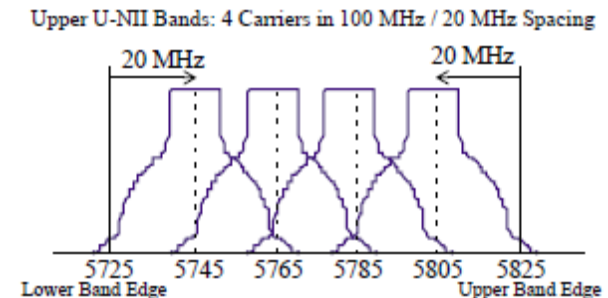
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
 - 22 MHz széles sáv
 - 14 csatorna
 - Fizikai jelzési sebesség: 11 Mcps
 - 11 chip hosszú Barker kód szórja a spektrumot
 - +1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1
 - Adó: a Barker + vagy – előjellel viszi át (1 v 0 bit esetén)
 - Vevő: szorozza a Barkerrel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

802.11b Fizikai réteg

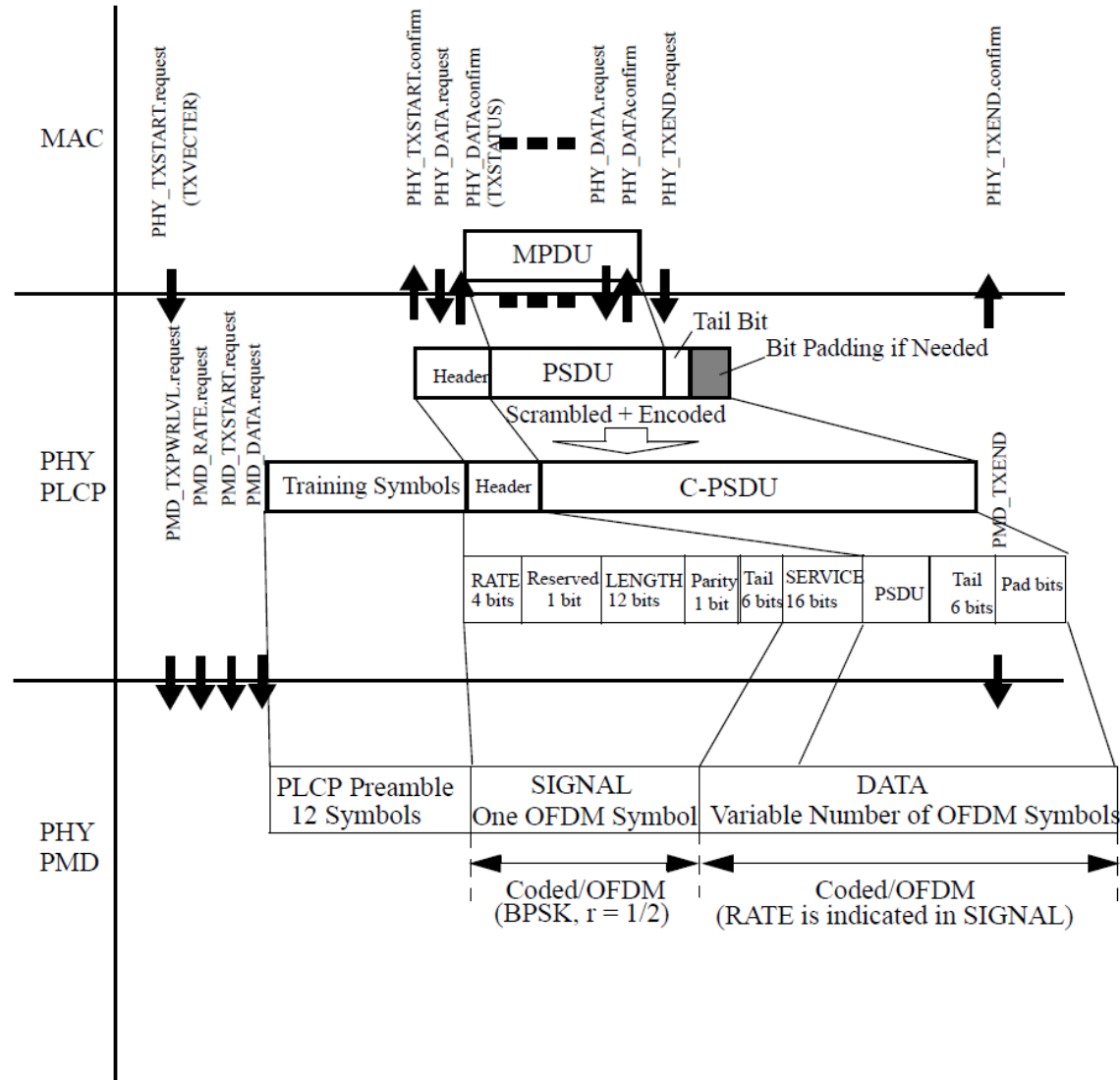
- High Rate DSSS
 - 11 Mcps áll rendelkezésre
 - Tetszőleges ± 1 sorozat 11 M szimbólum/s-mal (DBPSK)
 - DQPSK esetén 2 párhuzamos ± 1 sorozat
 - CCK (Complementary Code Keying)
 - 8 hosszú komplex kódok: $11/8x$ sebességnövekedés
 - 5.5 Mbps: 8 hosszú kód 4 bitet kódol ($11/8 \cdot 4$)
 - 2 bit: Melyik kód a lehetséges 4 közül
 - 2 bit: DQPSK-ban mennyi fázisfordítás a chipeken
 - 11 Mbps: 8 hosszú kód 8 bitet kódol ($11/8 \cdot 8$)
 - 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 5GHz ISM sávok használatát
- Bevezeti az adaptív csatornakódolást és modulációt
- A nagyobb funkcionalitás miatt bonyolultabbá válik
- A jó vételhez jól kell ismerni a csatorna állapotát és fejlett fizikai eljárásokat kell futtatni
 - Emiatt kellene a beállítósorozatok (training symbols)
 - Adaptív erősítés (AGC)
 - Pontos szimbólum-időzítés
 - Diverzitás-kiválasztás
 - Frekvencia-elcsúszás becslése és korrekciója
 - Linearizáció, csúcstényező csökkentése, stb.
- Teljesen új rádiós interfész
- Nem kellett igazodni a 802.11b-hez, teljesen új
 - Meglévő eszközök nem tudtak benne működni
 - Nehézkesebben terjedt el
 - AP-k akkoriban: a, b, g



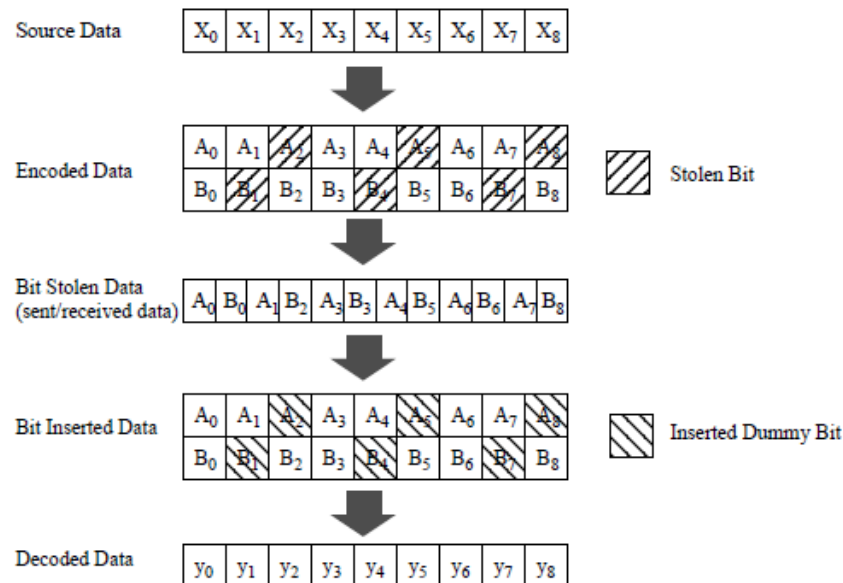
802.11a Fizikai réteg



802.11a Fizikai réteg

- 20 MHz-es sávok az 5GHz-es tartományban
- 64 pontos FFT:
 - $20/64=0.3125$ MHz 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)

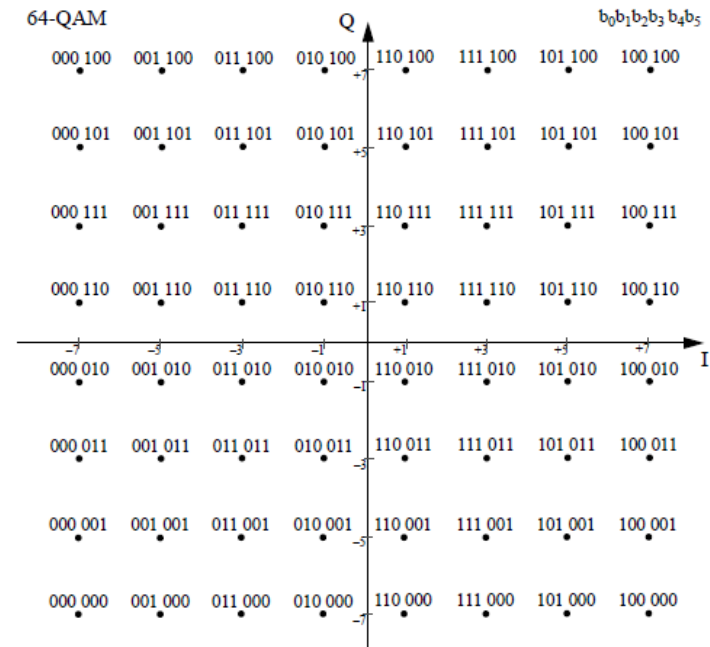
Punctured Coding ($r = 3/4$)



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

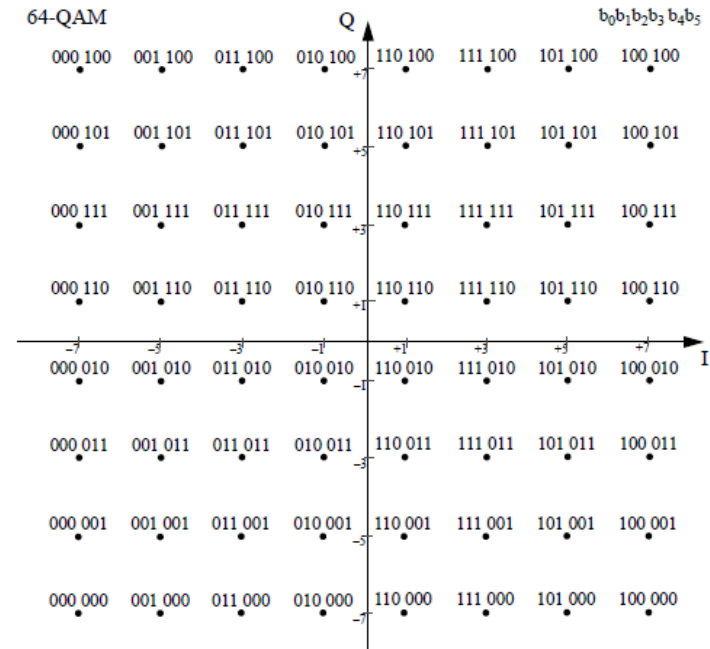
Data rate (Mbits/s)	Modulation	Coding rate (R)	Coded bits per subcarrier (N_{BPSC})	Coded bits per OFDM symbol (N_{CBPS})	Data bits per OFDM symbol (N_{DBPS})
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16-QAM	1/2	4	192	96
36	16-QAM	3/4	4	192	144
48	64-QAM	2/3	6	288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



802.11a Fizikai réteg

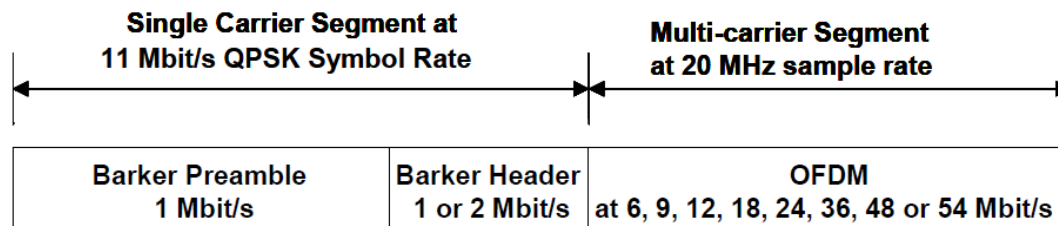
- 64 QAM zavarmentes esetben 6 bit / segédvivő
- 216 bit/4 us = 54 Mbps (Coding Rate = 3/4)
 - Azokban a pillanatokban, amikor adat megy (!)
 - Legkevésbé hibátűrő
 - Mac+PLCP fejlécek + backoff intervallumok miatt kb. 35 Mbps

Data rate (Mbits/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



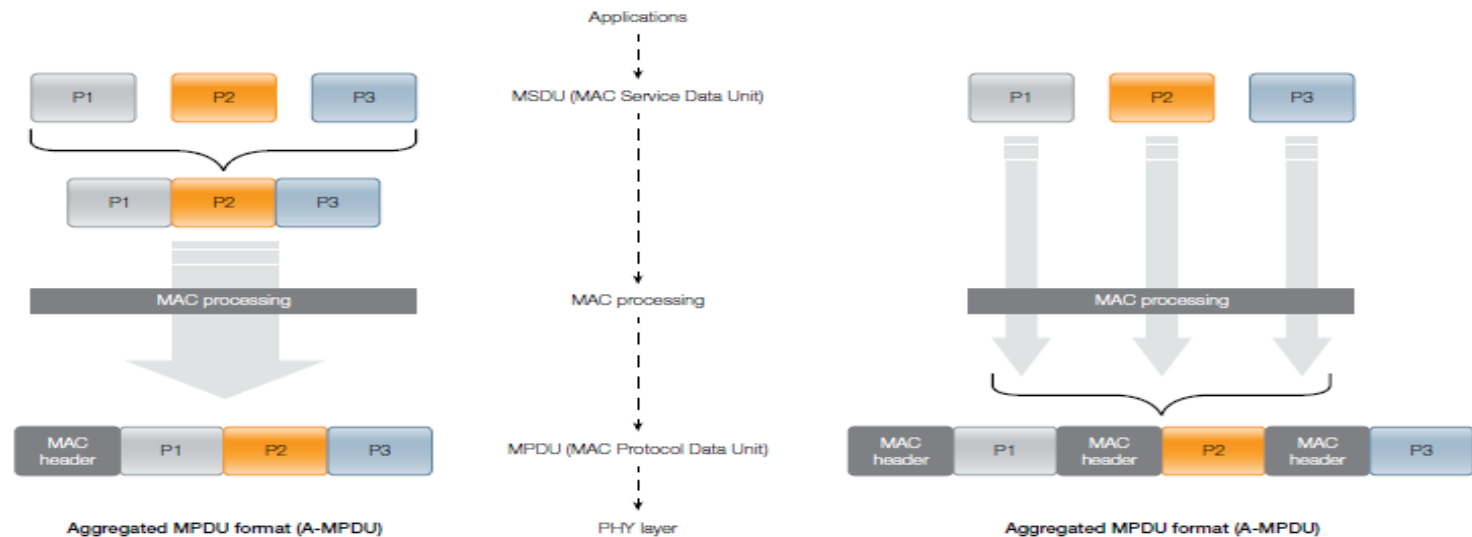
802.11g Fizikai réteg

- 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 –val
 - Utána az adat rész lehessen 802.11a, vagy b kompatibilis
- Ezeket valósítja meg a 802.11g szabvány
 - DSSS-OFDM fizikai réteg
- Ennek ára a nagyobb fizikai réteg overhead
 - Viszont legacy 802.11 és 802.11b tud együttműködni
- Többféle verzió együttélése esetén:
 - A rendszer össz átvitelét rontják a korábbi verzióval működő eszközök
 - Hiszen időt foglalnak, de kevés adatot visznek át



802.11n rendszerek

- **Cél: Nagyobb átviteli sebesség**
 - Keret aggregáció: több MAC keret összevonása és együttes elküldése
 - RIFS : csökkentett keretek-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 byte-ra (korábban 4095)
- Csoportos nyugtázás
 - Az adó kérhet csoportos nyugtát, azaz több kerethez egy nyugtát
 - Ilyenkor egy nyugta több keretet, egy keret-sorozaton belül mindegyiket nyugtázza
 - Amelyiket nem, azt kell újraküldeni
 - Bizonyos alkalmazásoknál nem jó, mert extra késleltetést jelenthet a szelektív újraadás
- 2 us redukált 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

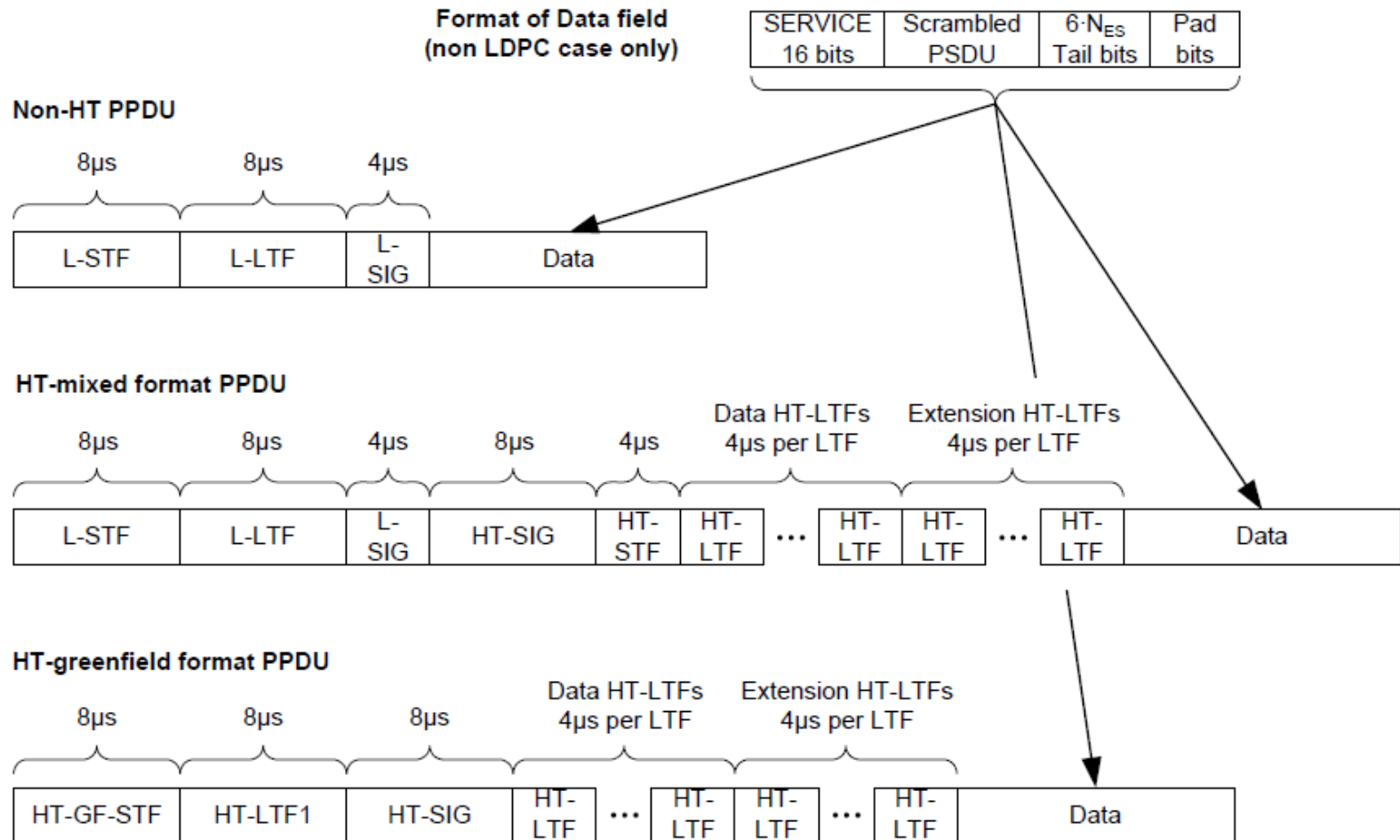
- 40 MHz-es sávok használata
 - Korábban: gyártói megoldásként már alkalmazták a 2*20 Mhz együttes használatát, tulajdonképpen 2 db 802.11a/g átvitelt párhuzamosan
 - Itt: egyben kezelt 40 MHz csatorna
 - Szintén csak zöldmezős módon lehet alkalmazni
 - Ez nem mindig lehetséges, illik támogatni az (a,b,g) 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 802.11 a/g
 - Nincs 40 MHz csatornahasználat, még akkor sem, ha lenne ilyen képességű terminál
 - Kevert HT formátum: 802.11n klienseknek HT, többieknek nem-HT
 - Hasonlóan a 802.11g-nél
 - A fizikai előtag 802.11a/g-nek megfelelő
 - Kell egy elsődleges 20 Mhz csatorna, ezeken történik a régebbi eszközök kiszolgálása, valamint a beacon, management és kontroll keretek küldése
 - Az n-es készülékek 40 MHz-n

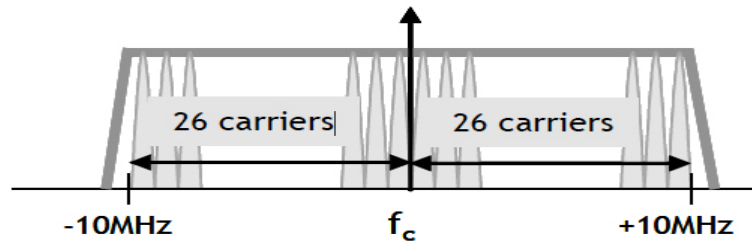
802.11n rendszerek

- 802.11n AP üzemmódok

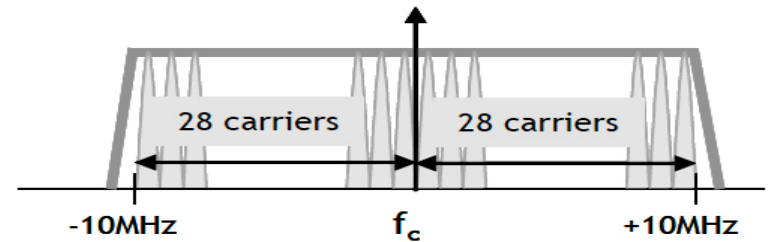


802.11n rendszerek

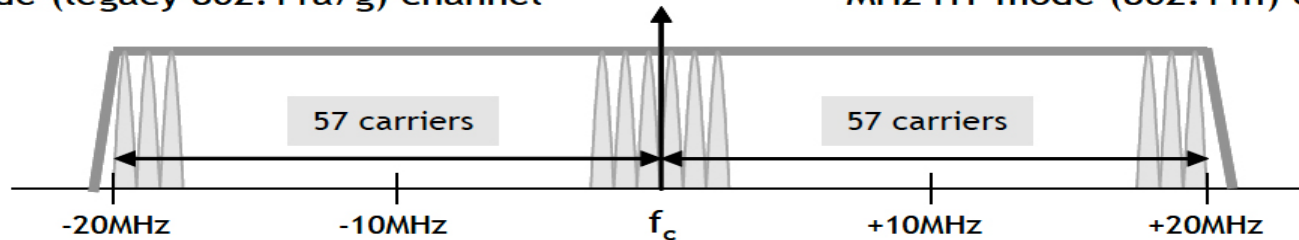
- OFDM megoldás a különböző formátumokban
 - Ezért nem kompatibilis a 20 MHz HT formátum sem
 - 4, illetve 6 pilot segédvivő



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



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



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

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

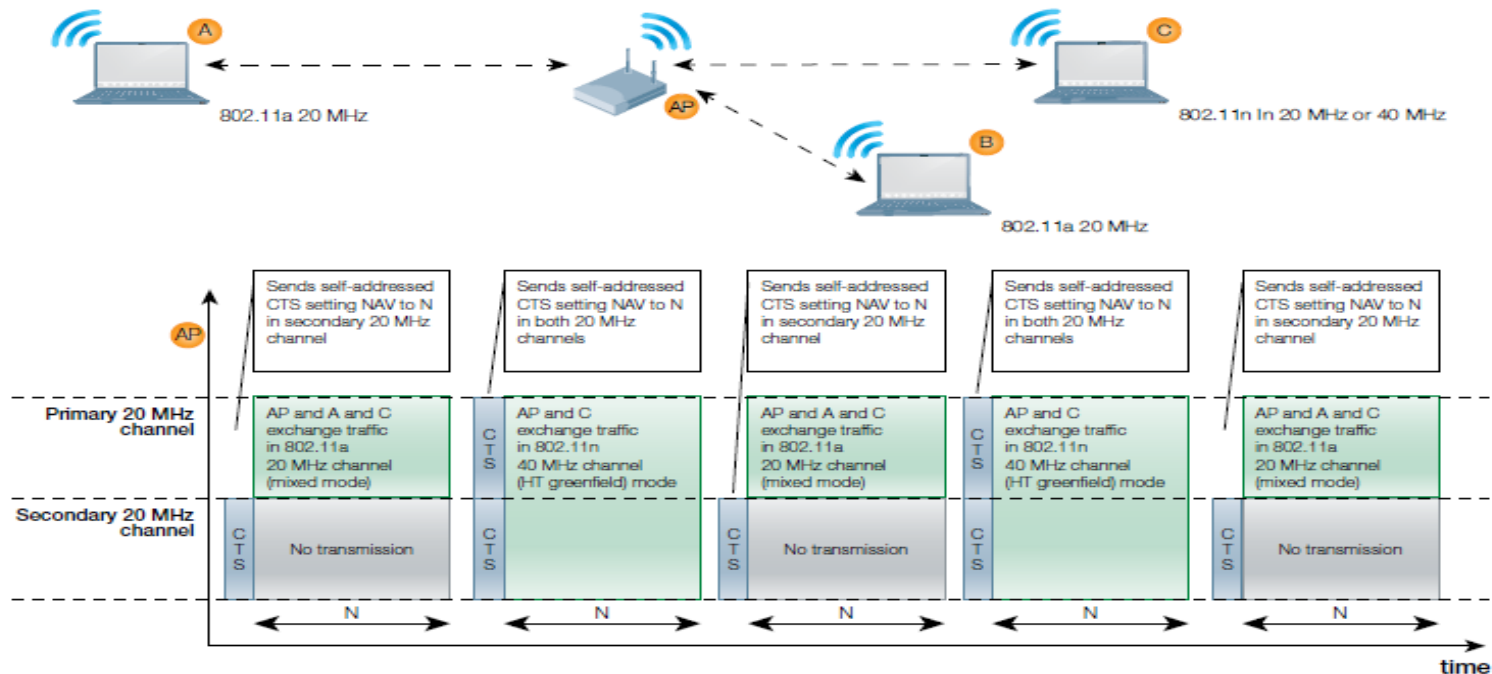
802.11n rendszerek

- Új, rövidebb ciklikus prefix bevezetése: 0.4 us
 - Tipikus a rövid hatósugarú, beltéri használat, itt nem várható ennél nagyobb terjedési úthossz-különbség (120 méter)
- Opcionálisan ún. LDPC (Low Density Parity Check) hibavédő kódolás
- Elérhető (pillanatnyi) sebességek tehát
 - 20 MHz, 52 segédvivő, 0.8 us GI, 64QAM, 5/6-os kódolás:
 - $(52 \cdot 6 \cdot 5/6) / (4 \text{ us}) = 70 \text{ Mbps}$
 - 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

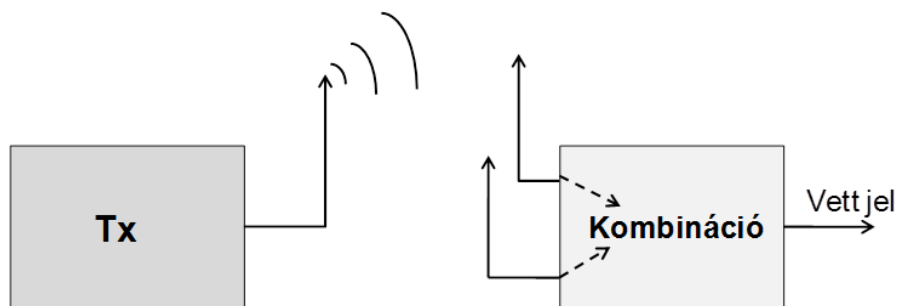


802.11n rendszerek

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

802.11n rendszerek

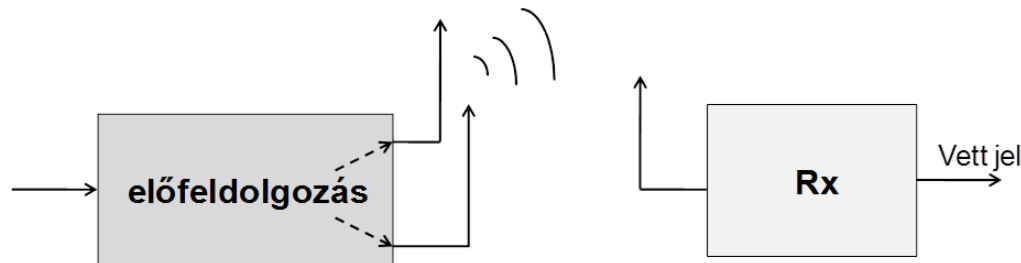
- **Maximális arányú kombinálás (MRC)**
 - Több vevőantenna esetén
 - Az antennákon vett jeleket súlyozva összegzi
 - A hatása olyan, mintha a vevőantennák számával szorzódna a jel-zaj viszony
 - Szükséges hozzá a csatornaállapot ismerete minden antennán
 - A pilot szimbólumok és a training segítségével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



802.11n rendszerek

- Tér-idő kódolás (STBC)

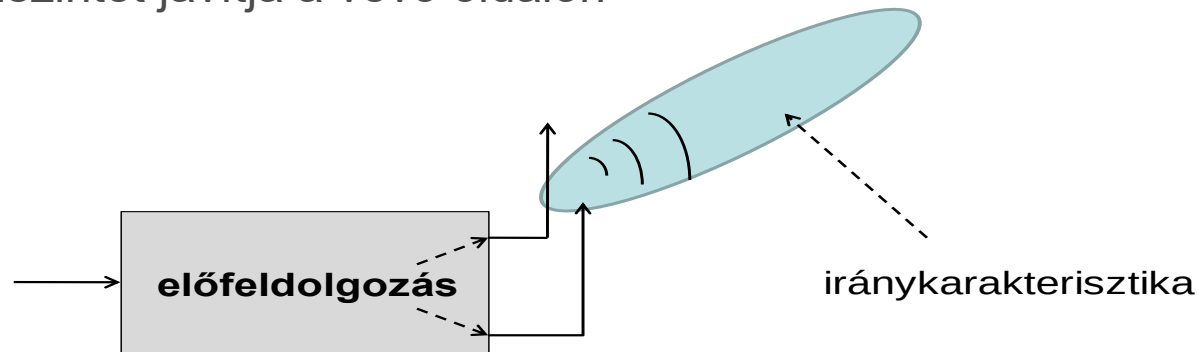
- Több adóantenna küld, adóoldali diverzitás
- Több időegységben a különböző antennákon
 - Az antennák számának megfelelő különböző jelet küld
 - Az SNR javítható jelentősen
 - A vevőben kell ismerni (mérni) a csatornaállapotot, illetve a tér-idő kódot
 - Tér-idő kód: mikor-melyik antenna
- Olyan a hatása,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



802.11n rendszerek

- **Nyalábformálás**

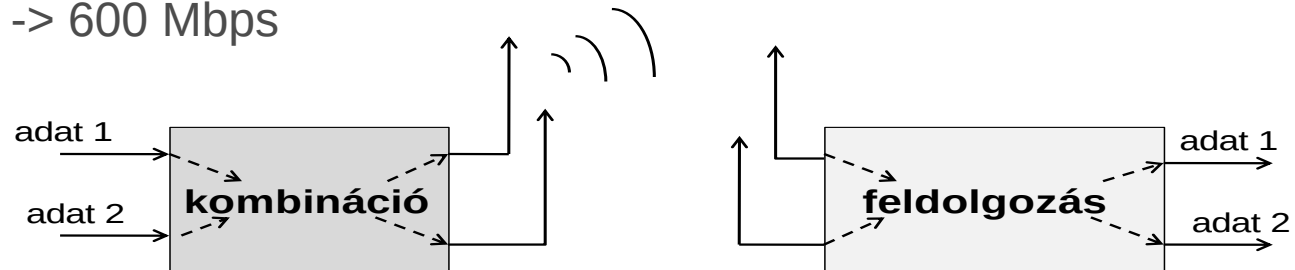
- Több adóoldali antennára megfelelően előfeldolgozott jelet küldve az antenna iránykarakterisztika javítható
 - Adott irányba (keskeny nyalábban) fókuszálja a küldött jelet (hagyományos)
 - Itt: úgy elősúlyozni, hogy a vevőnél fázisban „jól” érkezzenek a különböző antennákról jövő jelek
 - Szükséges,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



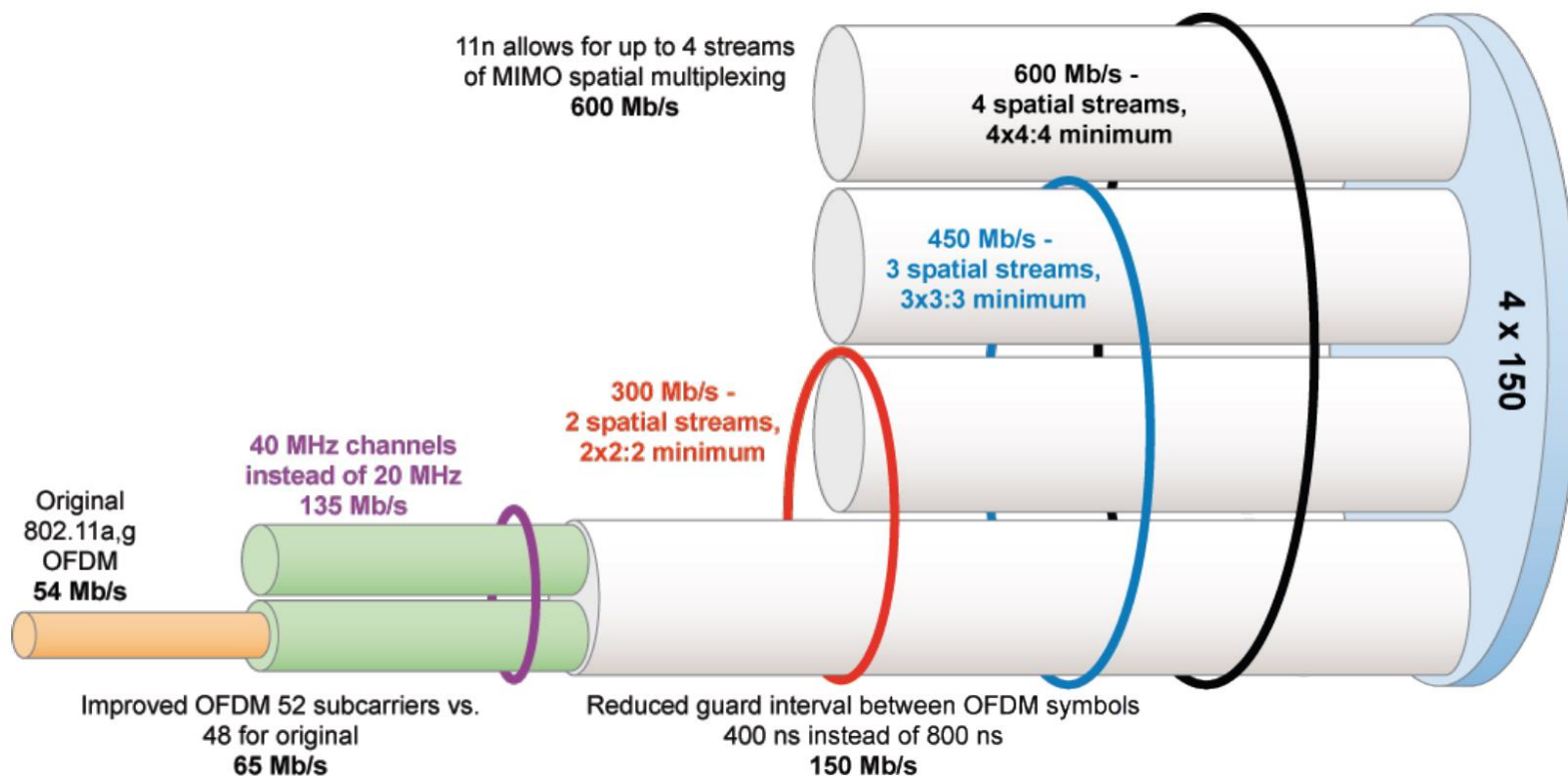
802.11n rendszerek

- **Térbeli multiplexálás**

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



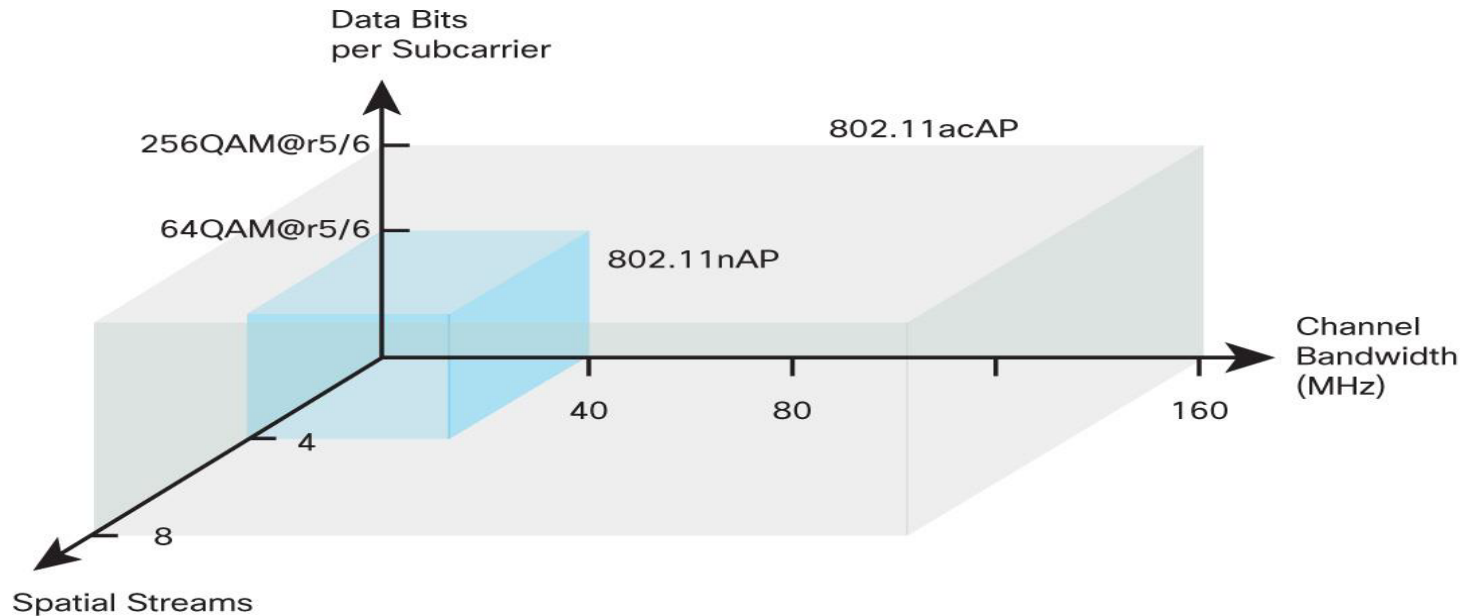
802.11n rendszerek



802.11ac – Very High Throughput

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

802.11ac – Very High Throughput

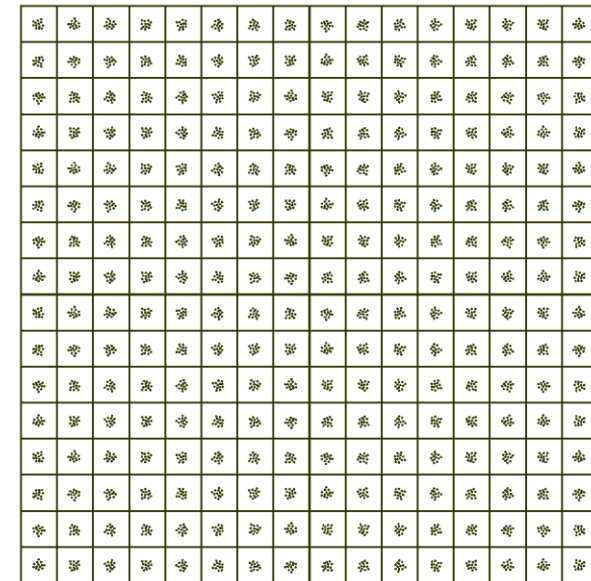


- **A definíció: VHT (Very High Throughput)**
 - Definiált sávszélesség konfigurációk: 20, 40, 80, 160 MHz (szomszédos 20 MHz-enként)
 - 80 + 80 MHz, két 80 MHz nem szomszédos sáv
 - Visszafelé kompatibilitás (sávszélesség tekintetében)
 - A fizikai keret előtagja 20 MHz 802.11a formátumban megy
 - Minden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

802.11ac – Very High Throughput

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

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



802.11ac – Very High Throughput

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

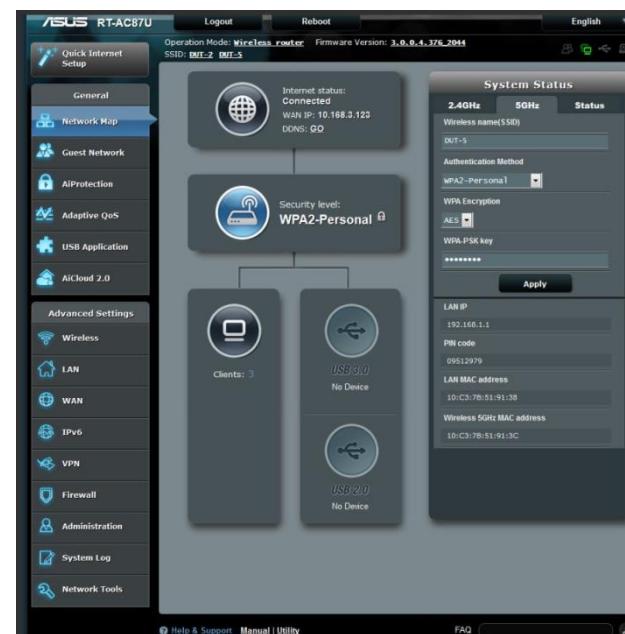
802.11ac – Esettanulmány

- **Asus RT-AC87U**

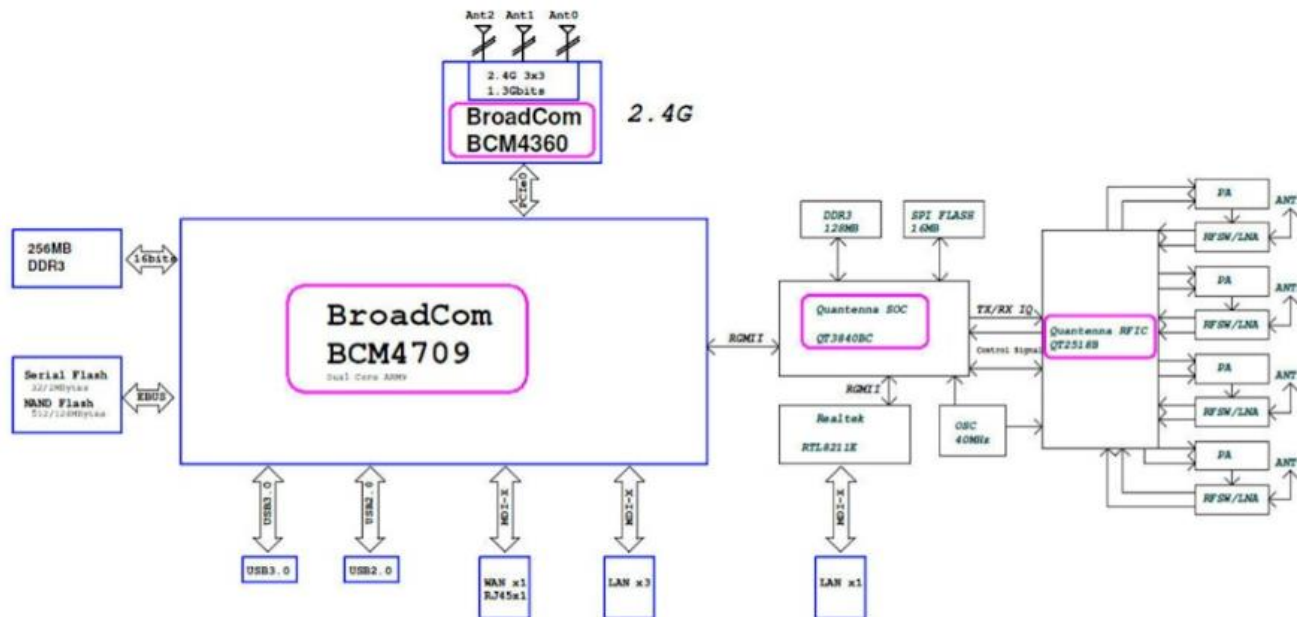
- Az első „wave 2” 802.11ac router
 - A „wave 1” eszközöket 2013-ban mutatták be, ezt követték a „wave 2” eszközök 2016-ban
- 2400 Mbps aggregált throughput
 - 1733 Mbps (4x4 MIMO, 80 MHz, 256 QAM) 5 GHz-en
 - 650 Mbps (3x3 MIMO, 40 MHz, 256 QAM) 2,4 GHz-en
- Mindent tud, ami kellhet (802.11e QoS-t is)
 - USB3.0
 - VPN szerver
 - AsusWRT
 - stb.
- Jelenleg kb. 60-70e HUF környékén kapható

- **Elvi potenciál: 80 MHz -> 160 MHz**

- Ezzel újabb 1733 Mbps-ot lehet nyerni 5 GHz-en
- Nem kell hozzá több antenna:
 - Igazából nem igényel hardveres módosítást
- Az alkalmazott Quantenna QSR1000 akár képes is lehetne rá



802.11ac – Esettanulmány



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