

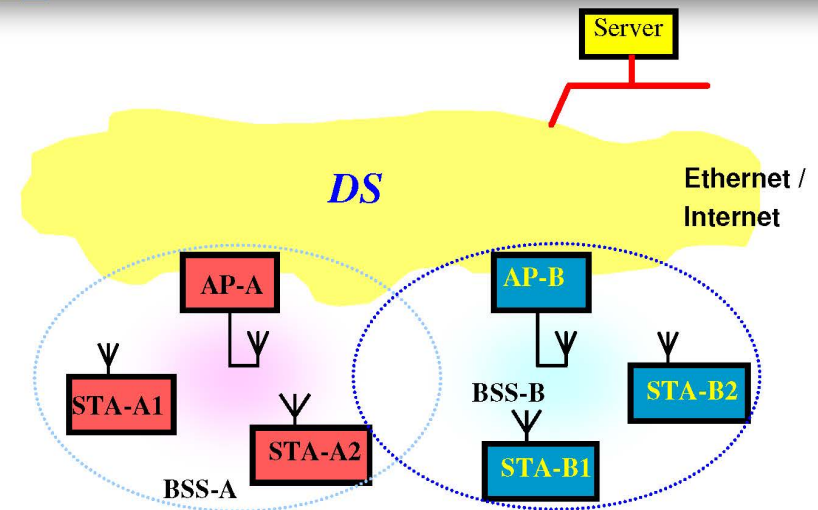
Robert Vilhar, S53WW

WLAN

Komunikacijski protokoli

FE, Ljubljana

14.04.2012



■ WLAN štrikarija

1985: FCC sprosti 2,4 GHz ISM pas za SS komunikacijske sisteme

IEEE 802.11 - 1997:

- FHSS (2GFSK / 4GFSK)
- 2,4 GHz / 1 MHz BW
- 1; 2 Mbps

IEEE 802.11b - 1997:

- DSSS (DPBSK & DQPSK)
- 2,4 GHz / 22 MHz BW
- 1; 2 Mbps

IEEE 802.11a - 1999:

- OFDM
- 5 GHz / 20 MHz BW
- 6; 9; 12; 18; 24; 36; 48; 54 Mbps

IEEE 802.11b (HR) - 1999:

- DSSS (DQPSK / CCK)
- 2,4 GHz / 22 MHz BW
- 1; 2; 5,5; 11 Mbps

IEEE 802.11g (ERP) - 2003:

- DSSS / CCK; OFDM
- 2,4 & 5 GHz / 20 MHz BW
- 1; 2; 5,5; 11 + 6; 9; ...; 54 Mbps

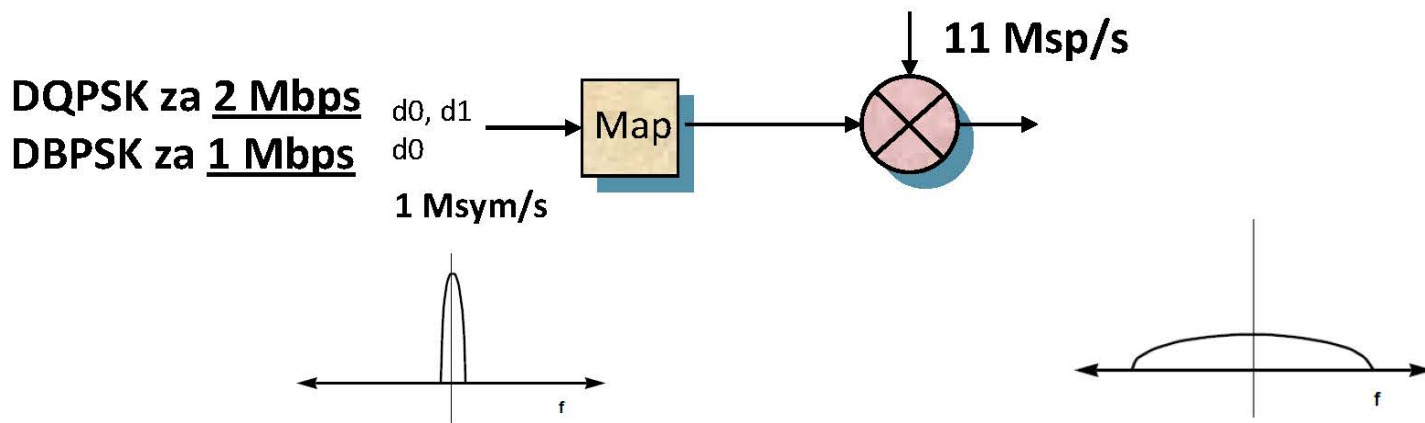
IEEE 802.11n - 2009:

- OFDM; 1 x 1 / 2 x 2 / 4 x 4 MIMO
- 2,4 & 5 GHz / 20 & 40 MHz BW
- 6; ...; 600 Mbps

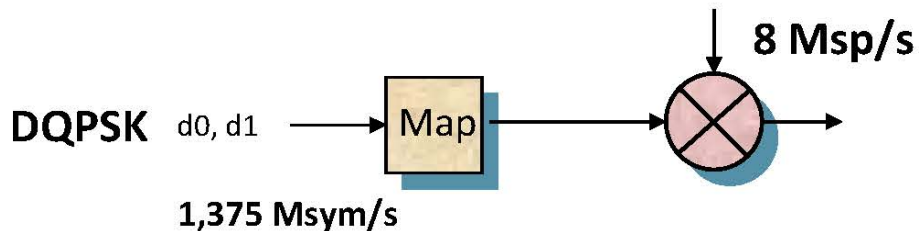
802.11b - PHY

Modulacija z razpršenim spektrom (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum)

Barkerjevo zaporedje dolžine 11
 +1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1

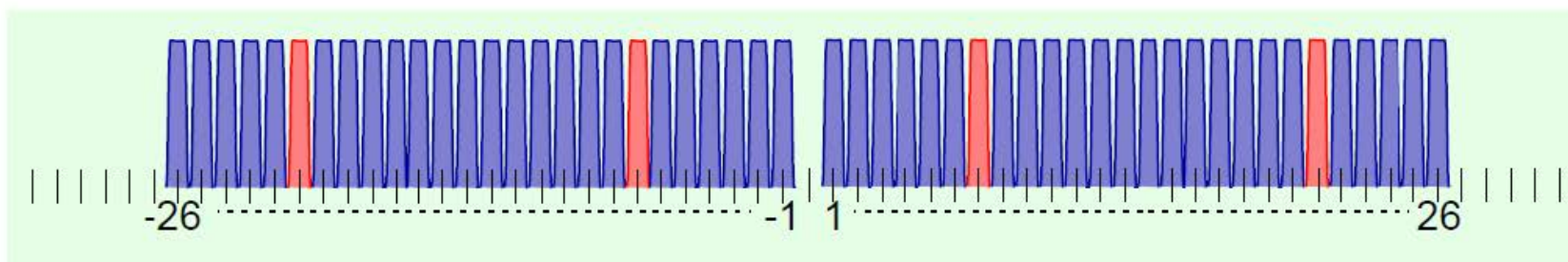


$d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7$ → 8 za **5,5 Mbps** ali 64 za **11 Mbps**
 komplementarnih zaporedij (CCK) dolžine 8



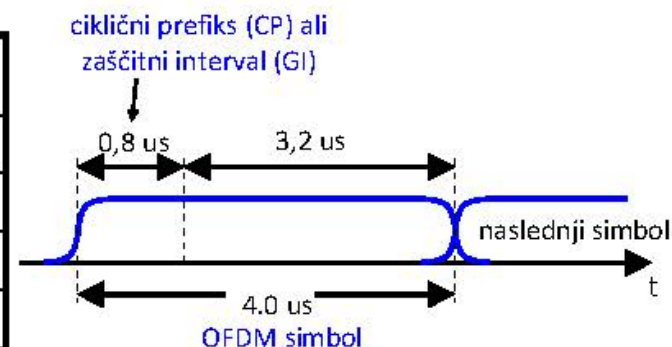
■ 802.11a - PHY

Ortogonalni frekvenčni multipleks (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplex)



64 FFT / 52 podnosilcev (48 podatkovnih in 4 piloti ter 12 praznih nosilcev) / širina podnosilca 312,5 kHz / trajanje OFDM simbola 4 us

Kapaciteta v Mbps	Modulacija	Kodiranje	Bitov na OFDM simbol
6	BPSK	1/2	24
9	BPSK	3/4	36
12	QPSK	1/2	48
18	QPSK	3/4	72
24	16QAM	1/2	96
36	16QAM	3/4	144
48	64QAM	2/3	192
54	64QAM	3/4	216



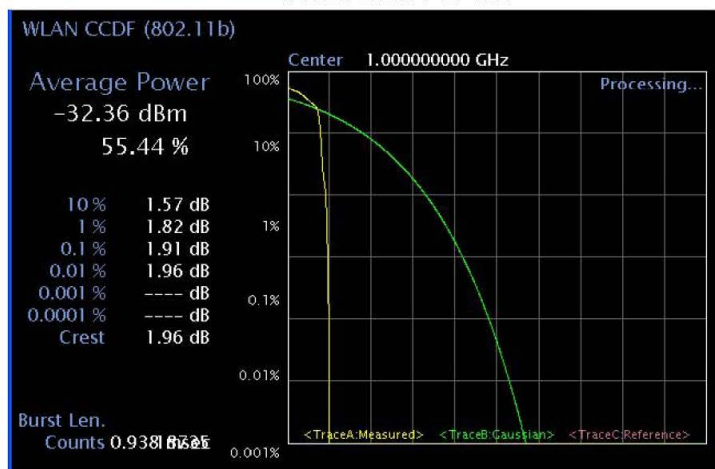
$$= 48 \times 6 \times .75$$

(št. nosilcev X bitov/simbol X stopnja kodiranja)

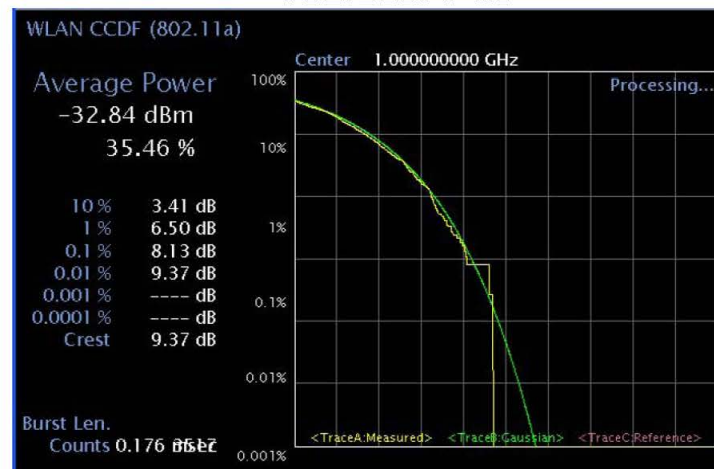
■ Glavni razliki med 802.11a in 802.11b PHY

- PAPR – razmerje med vršno in povprečno močjo

802.11b: 2 dB



802.11a: 9 dB



Primer: ojačevalnik z 1,5 W vršne moči da povprečno izhodno moč 1 W za DSSS in samo 200 mW za OFDM.

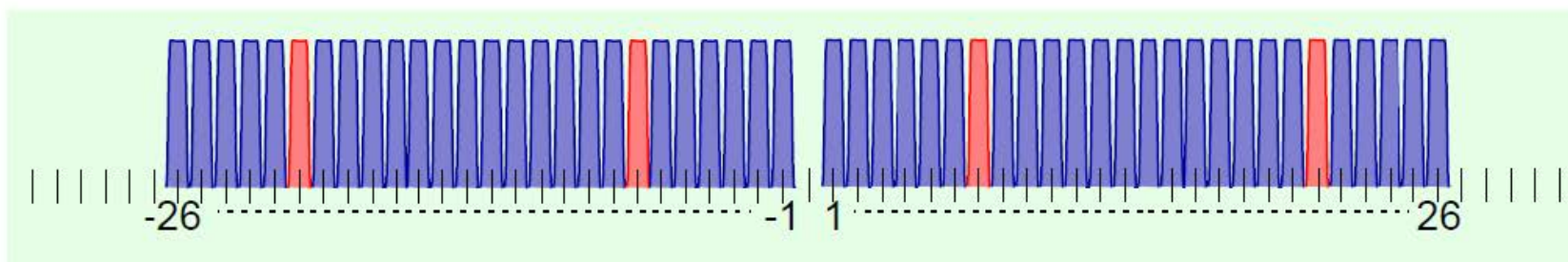
- OFDM je zelo občutljiv na stabilnost frekvence

cca. +/- 1% širine nosilcev \rightarrow 1% od 312 kHz \rightarrow \sim +/- 3 kHz \rightarrow

oscilatorja za simbolno uro in oddajno frekvenco morata biti sinhronizirana na skupen referenčni oscilator zaradi lažje izvedbe sinhronizacije v omejenem času (16 us) trajanja učne sekvence

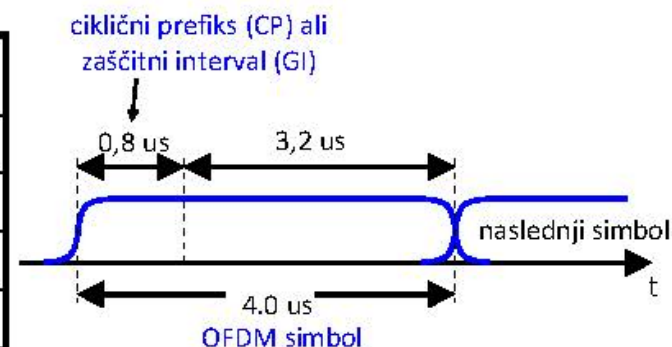
■ 802.11a - PHY

Ortogonalni frekvenčni multipleks (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplex)



64 FFT / 52 podnosilcev (48 podatkovnih in 4 piloti ter 12 praznih nosilcev) / širina podnosilca 312,5 kHz / trajanje OFDM simbola 4 us

Kapaciteta v Mbps	Modulacija	Kodiranje	Bitov na OFDM simbol
6	BPSK	1/2	24
9	BPSK	3/4	36
12	QPSK	1/2	48
18	QPSK	3/4	72
24	16QAM	1/2	96
36	16QAM	3/4	144
48	64QAM	2/3	192
54	64QAM	3/4	216

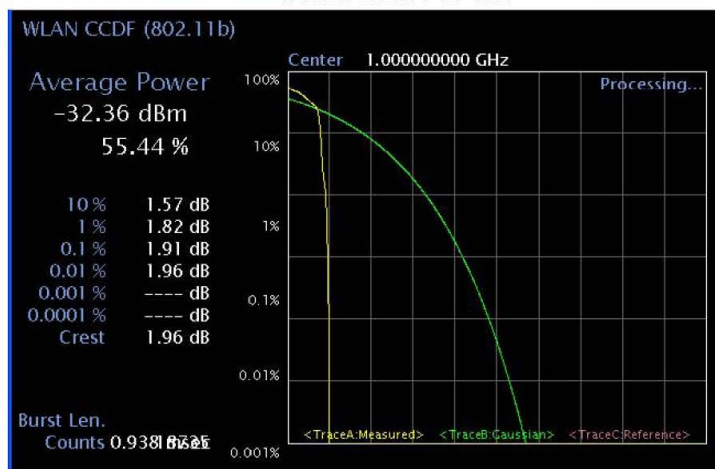


= $48 \times 6 \times .75$
(št. nosilcev X bitov/simbol X stopnja kodiranja)

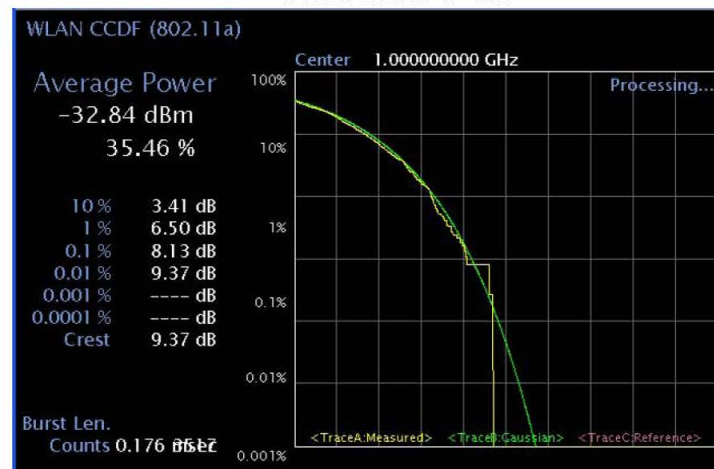
■ Glavni razliki med 802.11a in 802.11b PHY

- PAPR – razmerje med vršno in povprečno močjo

802.11b: 2 dB



802.11a: 9 dB



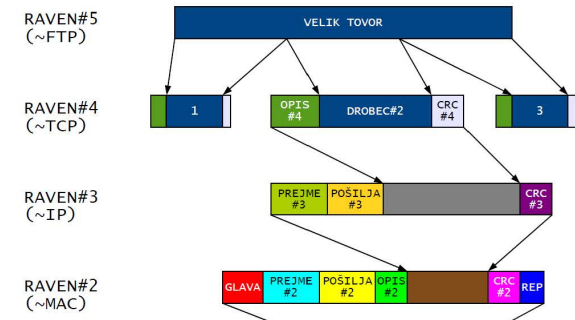
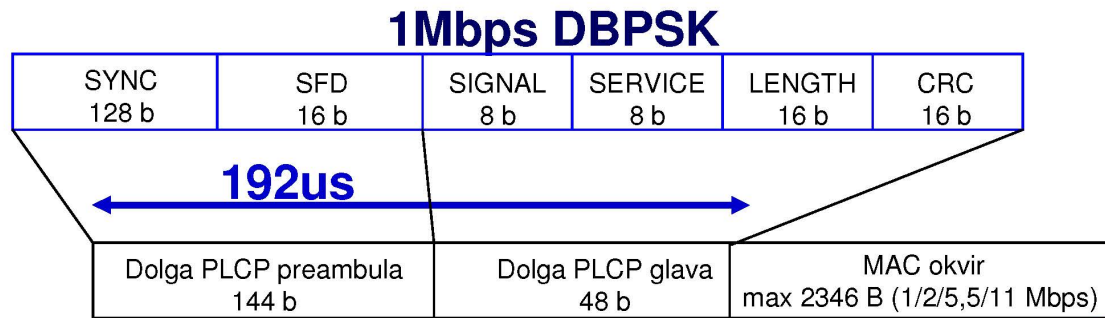
Primer: ojačevalnik z 1,5 W vršne moči da povprečno izhodno moč 1 W za DSSS in samo 200 mW za OFDM.

- OFDM je zelo občutljiv na stabilnost frekvence

cca. +/- 1% širine nosilcev \rightarrow 1% od 312 kHz \rightarrow \sim +/- 3 kHz \rightarrow

oscilatorja za simbolno uro in oddajno frekvenco morata biti sinhronizirana na skupen referenčni oscilator zaradi lažje izvedbe sinhronizacije v omejenem času (16 us) trajanja učne sekvence

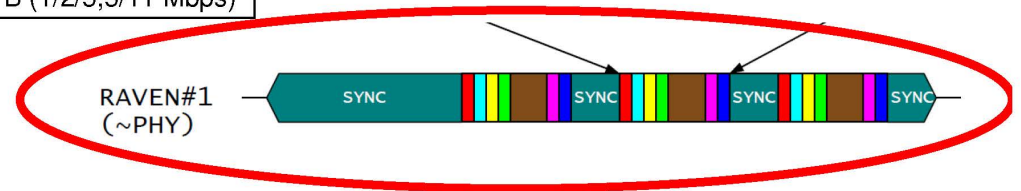
■ 802.11b – radijski okvir z dolgo preambulo



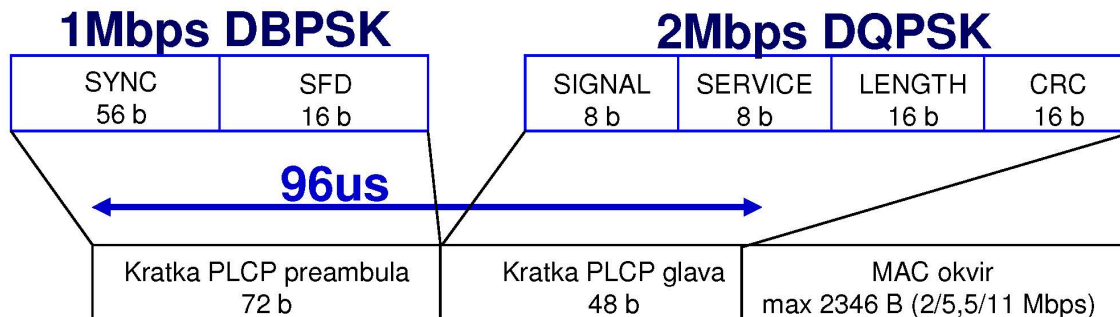
Dolžina okvirja za 1500 B MAC tovor z glavo (1534 B)

12464 us pri 1 Mbps

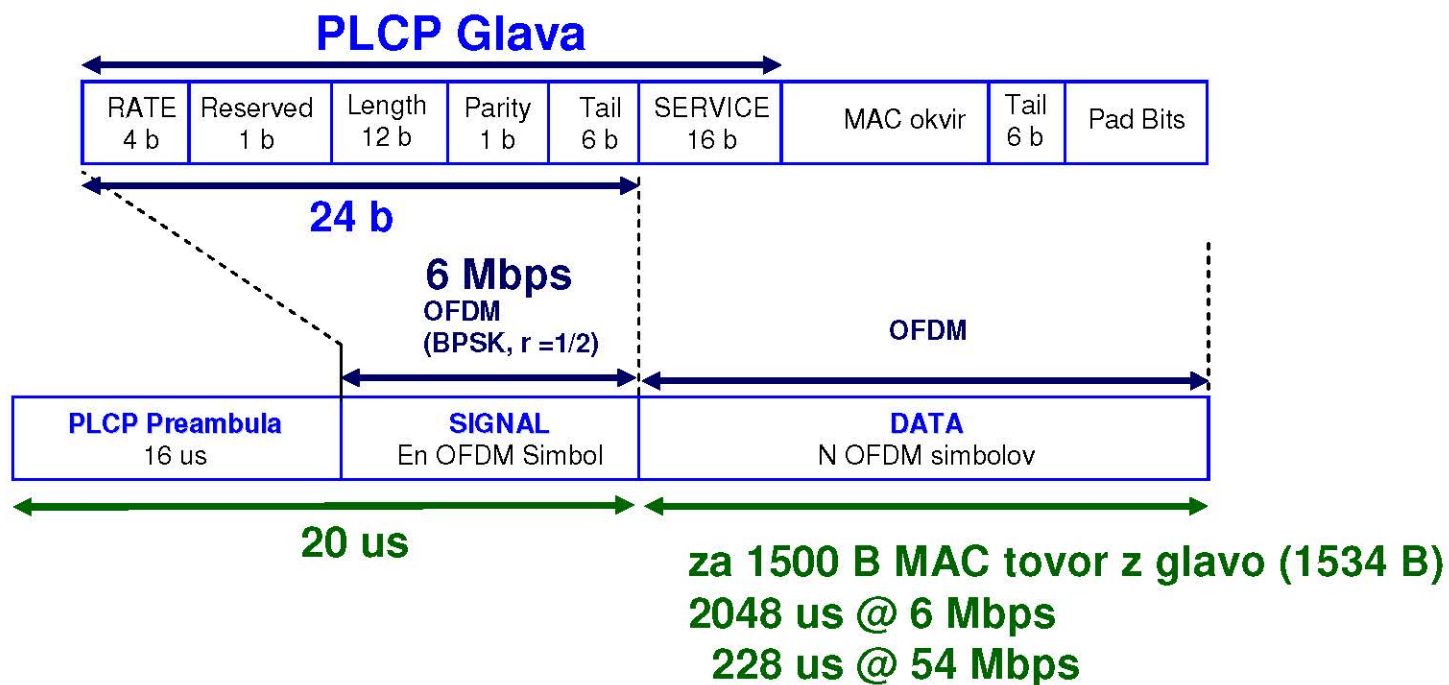
1308 us pri 11 Mbps



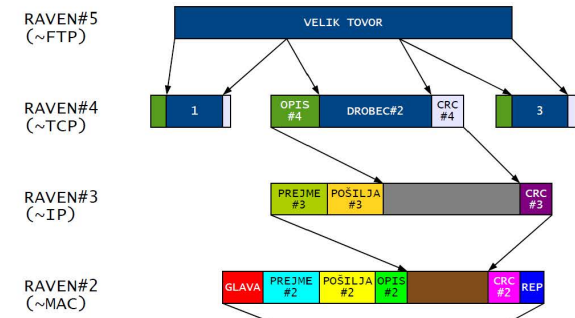
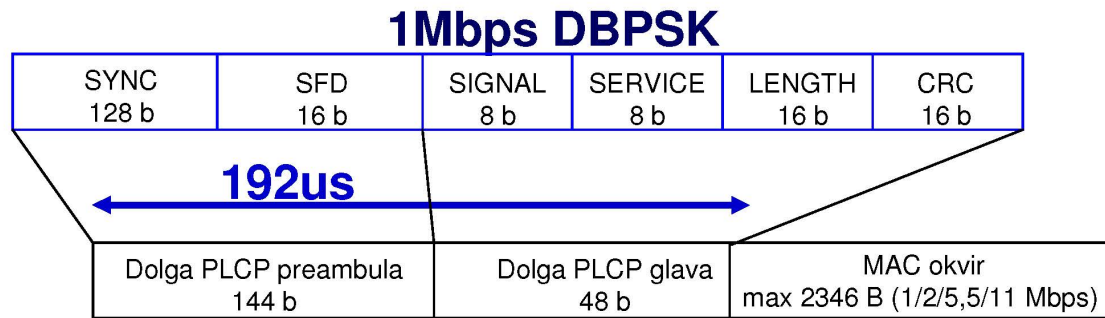
Radijski okvir s kratko preambulo



■ 802.11a – radijski okvir



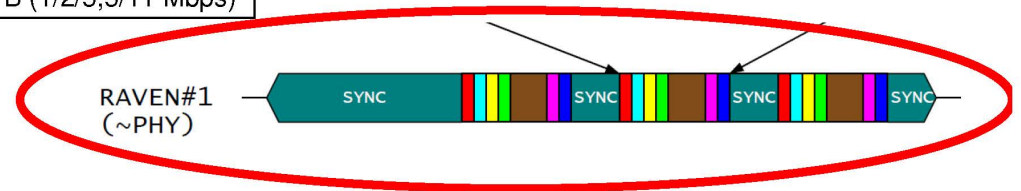
■ 802.11b – radijski okvir z dolgo preambulo



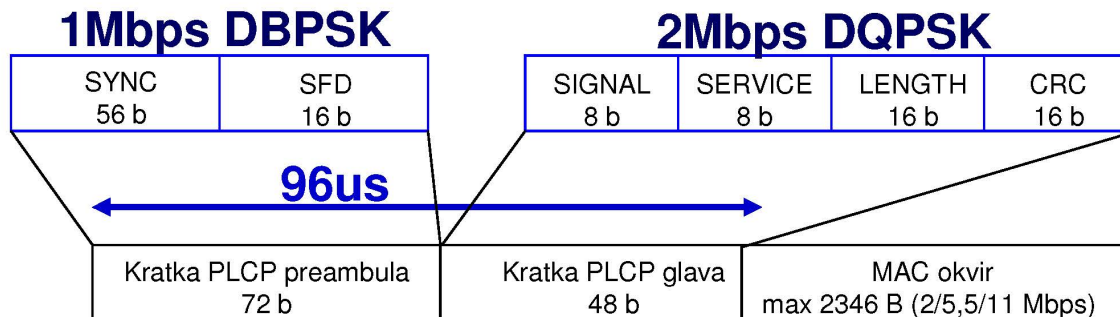
Dolžina okvirja za 1500 B MAC tovor z glavo (1534 B)

12464 us pri 1 Mbps

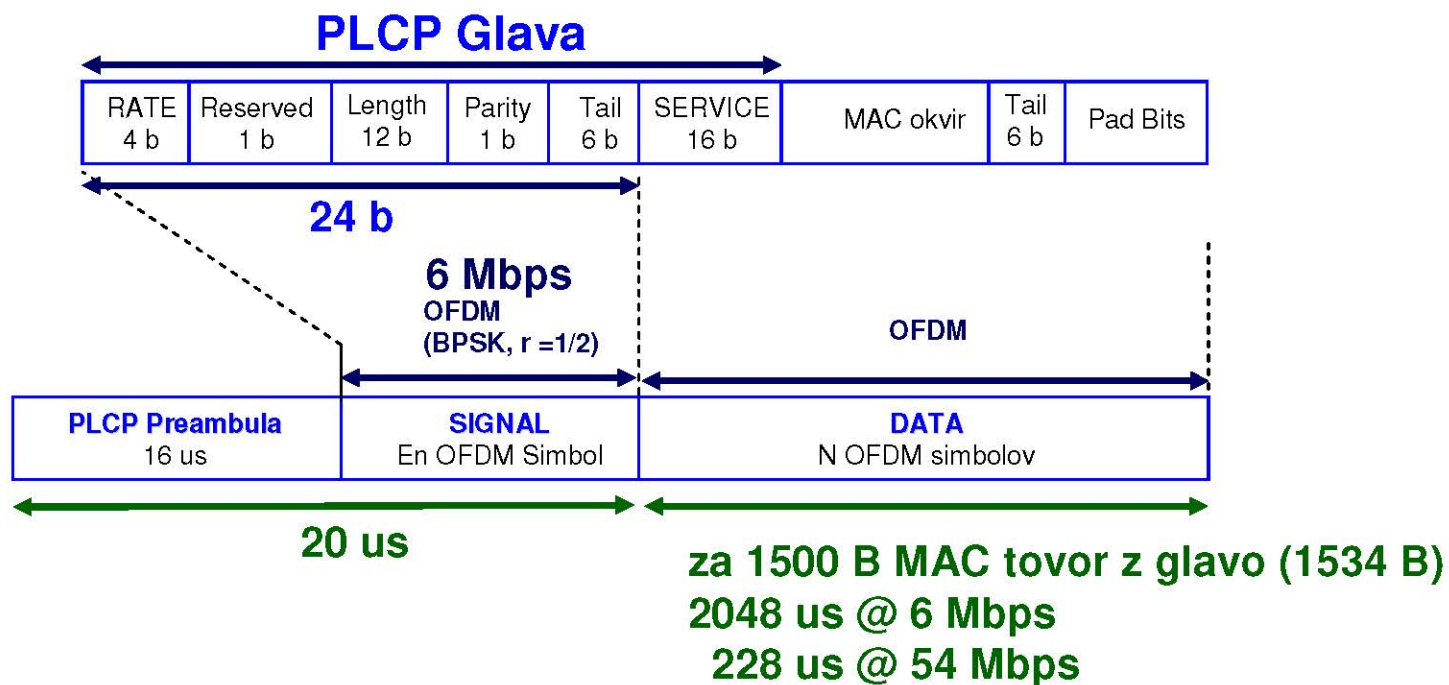
1308 us pri 11 Mbps



Radijski okvir s kratko preambulo

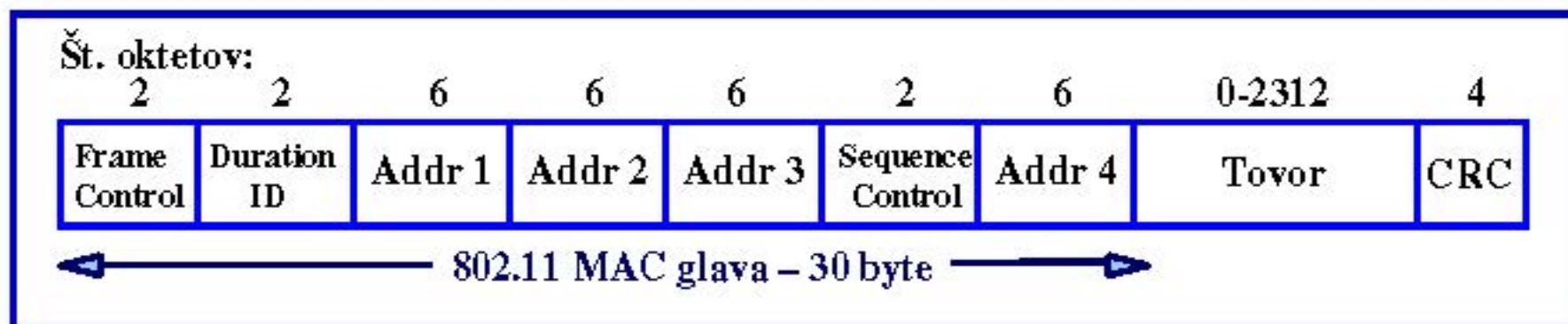


■ 802.11a – radijski okvir



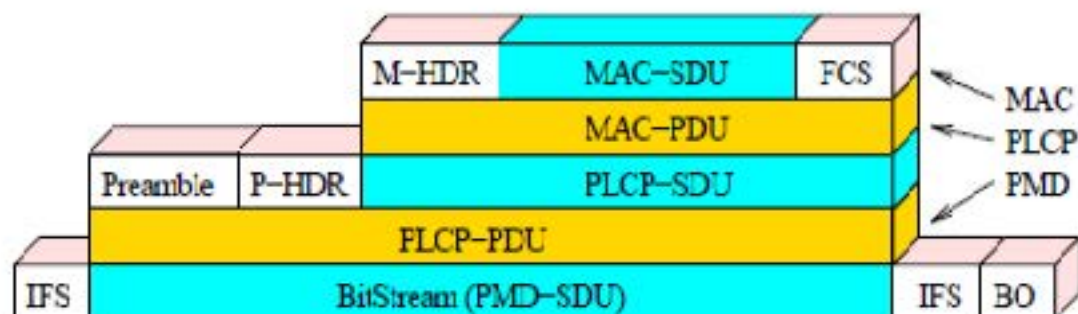
- 802.11g
 - v standardu veliko opcij in načinov, v praksi samo trije:
 - 802.11a (ko v okolici ni 802.11b odjemalcev)
 - 802.11a z RTS/CTS ali CTS-to-Self zaščito 802.11b odjemalcev
 - 802.11b s kratko preambulo

802.11 – MAC okvir



Tipi MAC okvirjev:

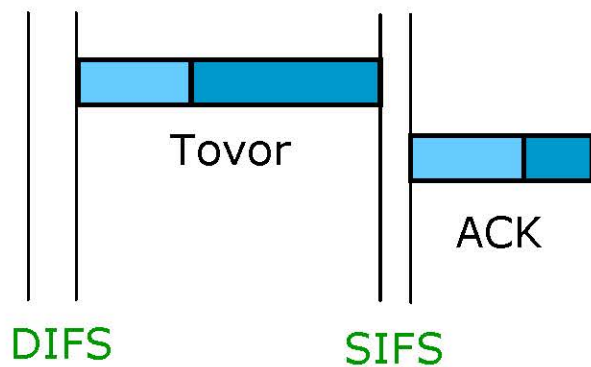
- **podatkovni**
- **kontrolni** (ACK, RTS, CTS) – vedno uporabljajo najbolj robustno modulacijo
- **upravni** (sondiranje, beacon, de/avtentikacija, de/asociacija, ...)



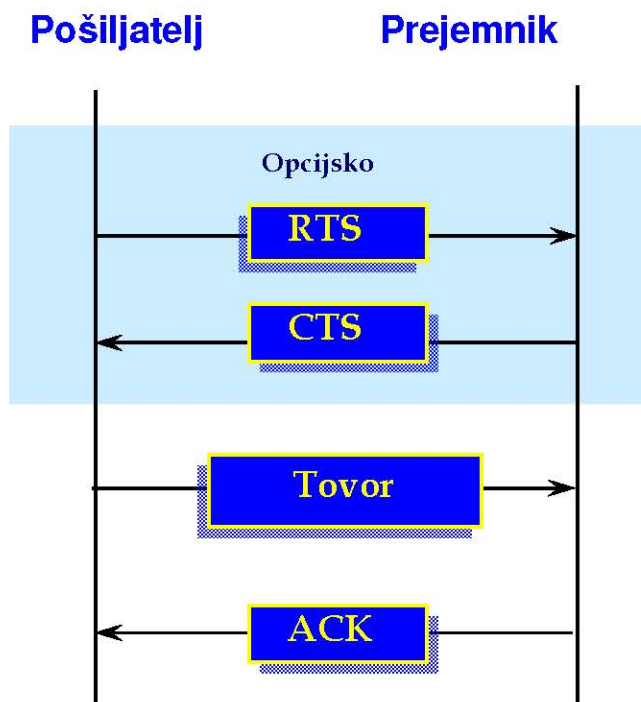
■ Izmenjava radijskih okvirjev

V osnovi so možne naslednje kombinacije izmenjave okvirjev:

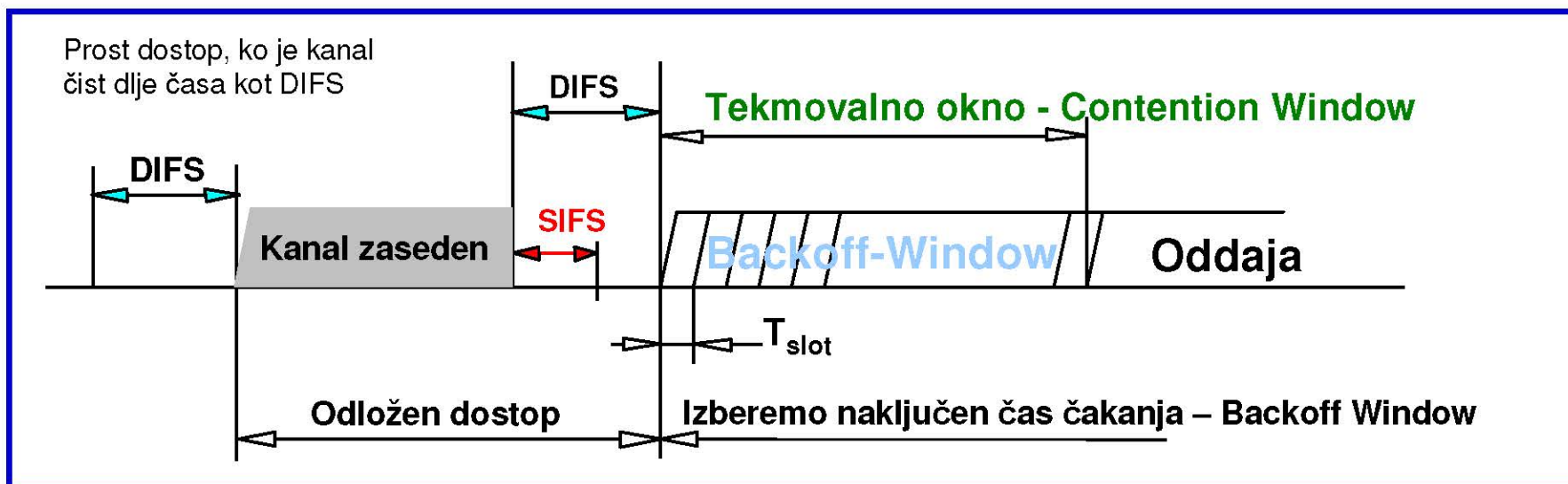
- Data - ACK
- RTS - CTS - Data - ACK
- Data - ACK - Data - ACK (fragmentiran/drobljen MAC tovor/MSDU)
- RTS - CTS - Data - ACK - Data - ACK (fregmentiran MSDU)



Inter Frame Space	802.11b	802.11a, g
SIFS	10 us	16 us
$DIFS = 2 \times T_{slot} + SIFS$	50 us	34 us
T_{slot}	20 us	9 us



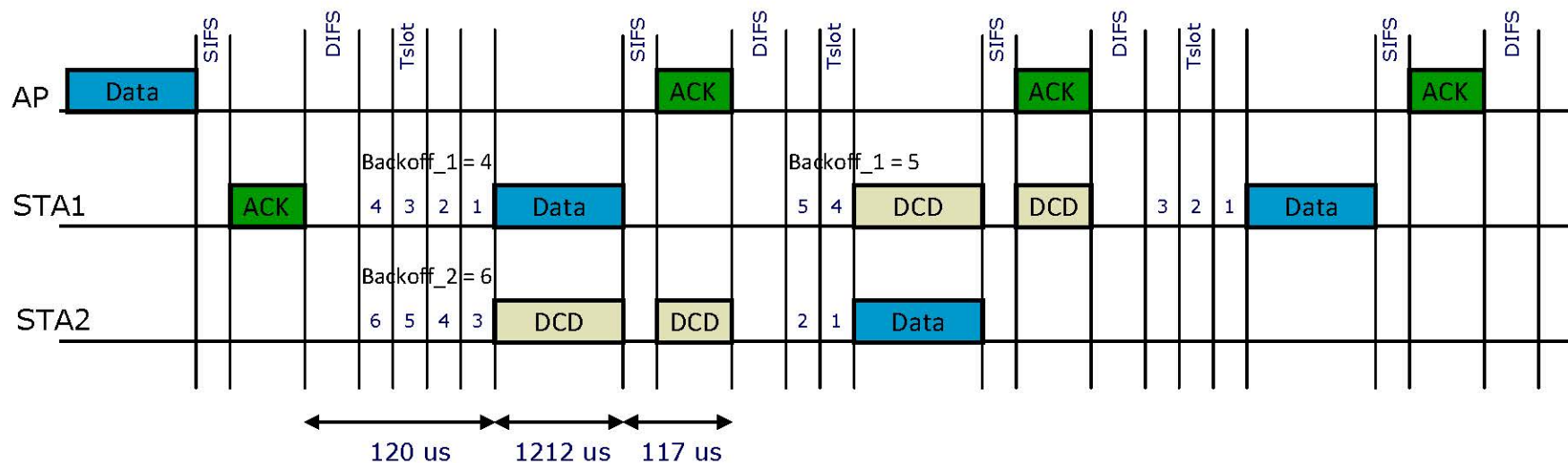
■ Sodostop do kanala – CSMA/CA



CSMA/CA – Carrier Sense Multiple Access w/ Collision Avoidance
(Tekmovalni) sodostop z zaznavanjem nosilca in z izogibanjem trkom

1. Kanal mora biti prost DIFS časa
2. Potem določimo Backoff okno = $T_{slot} * \text{naključno število med } [0, CW_{min}]$
3. Backoff števec manjšamo z vsakim T_{slot} , ko je kanal prost
4. Gremo na oddajo, ko je Backoff števec = 0
5. V primeru trka se tekmovalno okno poveča za dvakrat

■ Sodostop do kanala – CSMA/CA



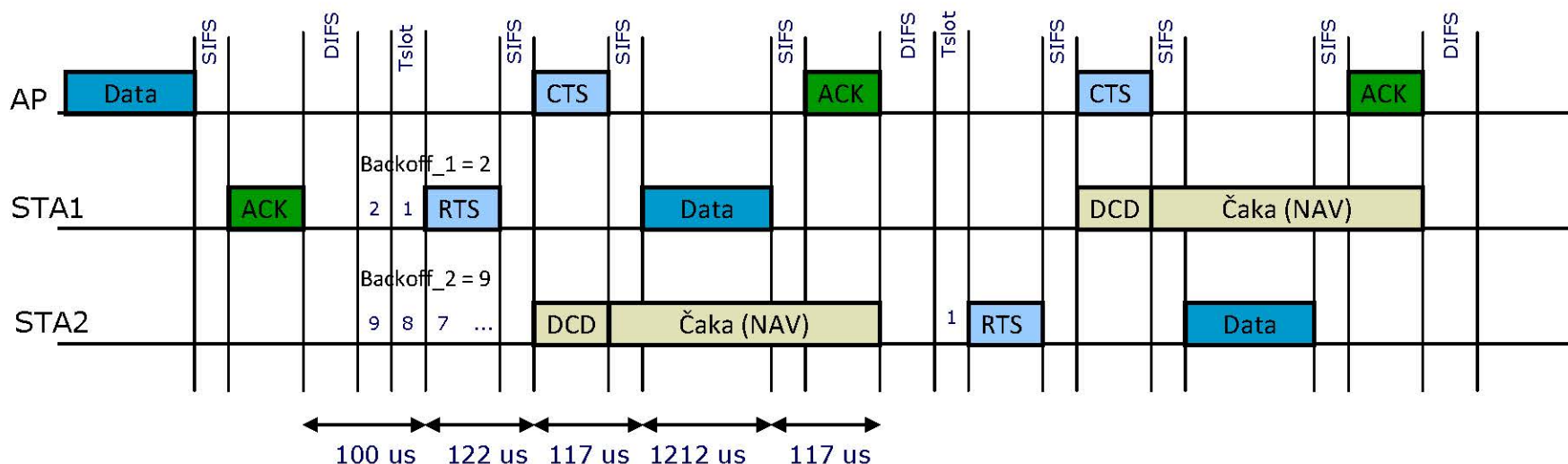
802.11b s kratko preambulo:

Data = 1534 Byte / 11 Mbps / 1212 us

ACK = 14 Byte / 11 Mbps / 107 us

SIFS = 10 us / DIFS = 50 us / Tslot = 20 us

■ Sodostop do kanala – CSMA/CA s skrito postajo



802.11b s kratko preambulo:

Data = 1534 Byte / 11 Mbps / 1212 us

ACK = CTS = 14 Byte / 11 Mbps / 107 us

RTS = 20 Byte / 11 Mbps / 112 us

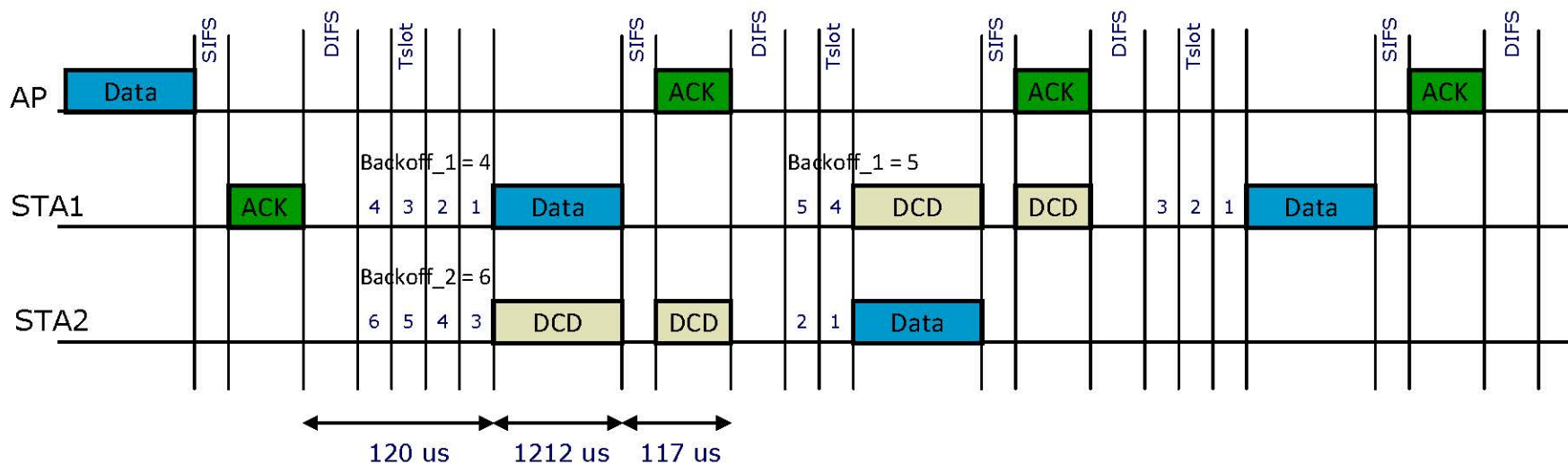
SIFS = 10 us / DIFS = 50 us / Tslot = 20 us

Za izboljšanje učinkovitosti RTS/CTS zaščite, se ta protokol aktivira samo za dolge podatkovne okvirje (npr. > 200 B; RTS threshold je nastavljen).

Vsi podatkovni in ACK/RTS/CTS okvirji vsebujejo podatek o času zasedbe kanala!!!

802.11g omrežje smatra vse 802.11b odjemalce kot skrite postaje in jih o zasedbi kanala z OFDM signalom obvešča z RTS/CTS protokolom v 1 Mbps DSSS modulaciji!!!

■ Sodostop do kanala – CSMA/CA



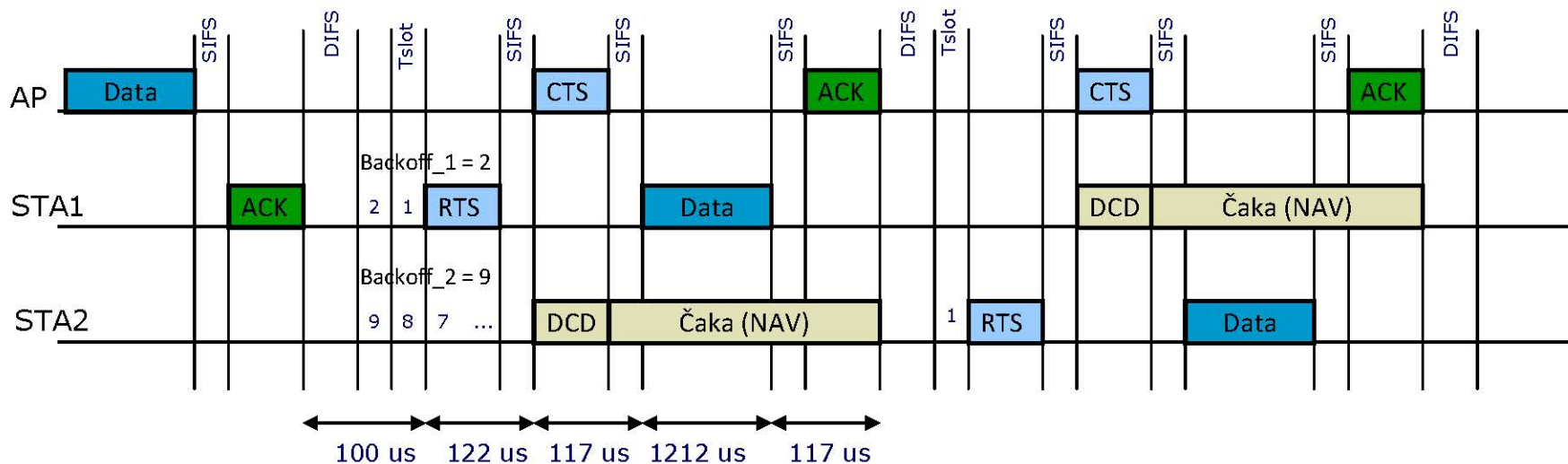
802.11b s kratko preambulo:

Data = 1534 Byte / 11 Mbps / 1212 us

ACK = 14 Byte / 11 Mbps / 107 us

SIFS = 10 us / DIFS = 50 us / Tslot = 20 us

■ Sodostop do kanala – CSMA/CA s skrito postajo



802.11b s kratko preambulo:

Data = 1534 Byte / 11 Mbps / 1212 us

ACK = CTS = 14 Byte / 11 Mbps / 107 us

RTS = 20 Byte / 11 Mbps / 112 us

SIFS = 10 us / DIFS = 50 us / Tslot = 20 us

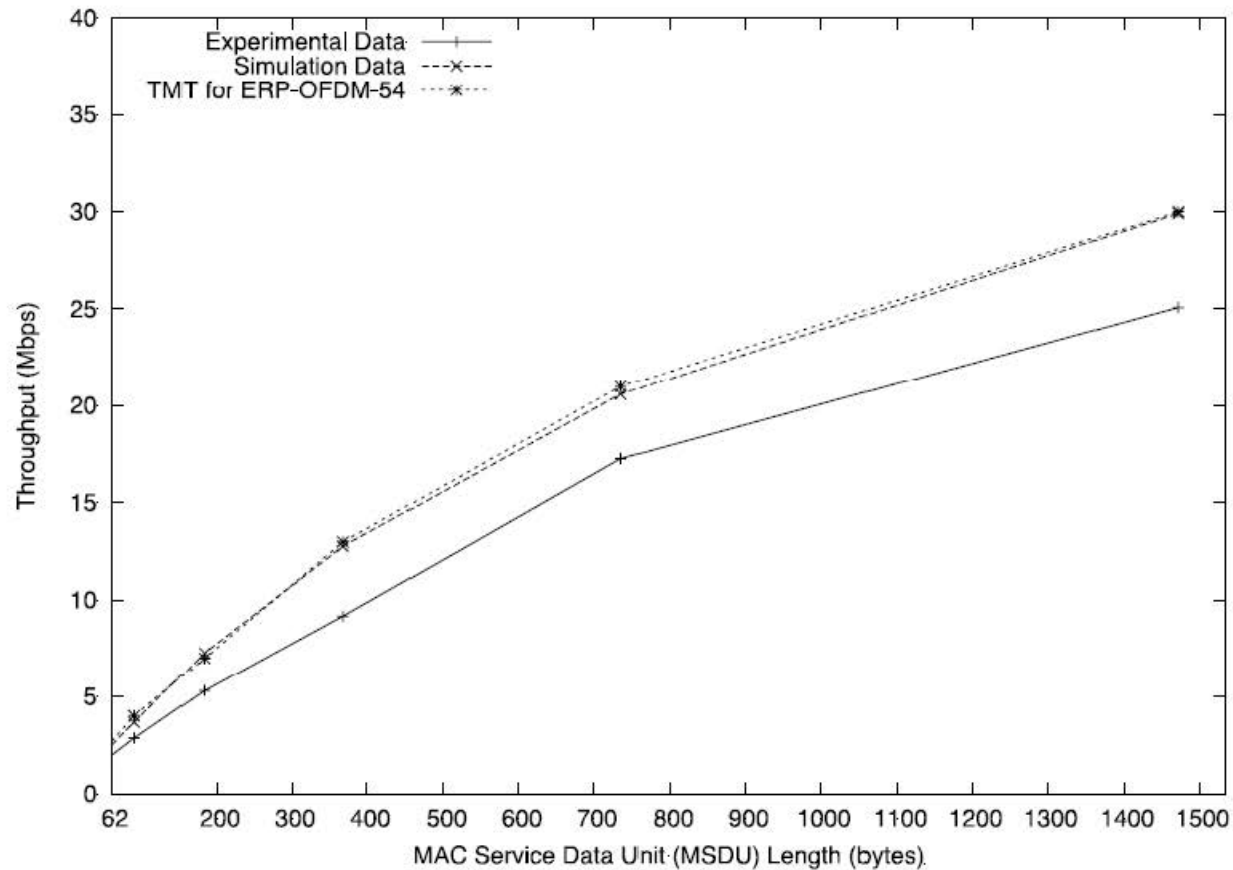
Za izboljšanje učinkovitosti RTS/CTS zaščite, se ta protokol aktivira samo za dolge podatkovne okvirje (npr. > 200 B; RTS threshold je nastavljen).

Vsi podatkovni in ACK/RTS/CTS okvirji vsebujejo podatek o času zasedbe kanala!!!

802.11g omrežje smatra vse 802.11b odjemalce kot skrite postaje in jih o zasedbi kanala z OFDM signalom obvešča z RTS/CTS protokolom v 1 Mbps DSSS modulaciji!!!

■ Prenosna kapaciteta

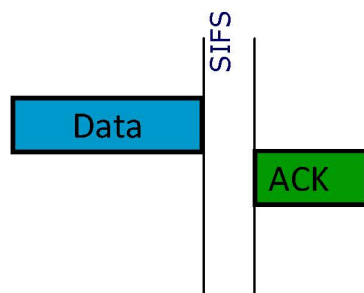
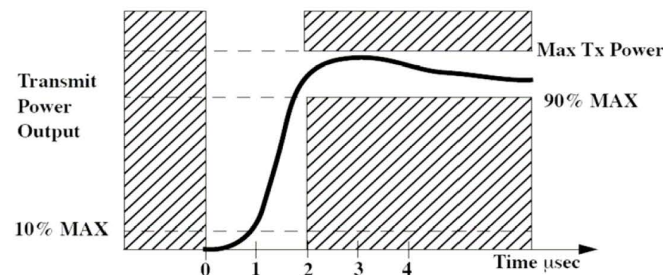
802.11g / 54 Mbps, AP in en STA, brez trčenj, UDP
(z RTS/CTS zaščito cca. pol manj)



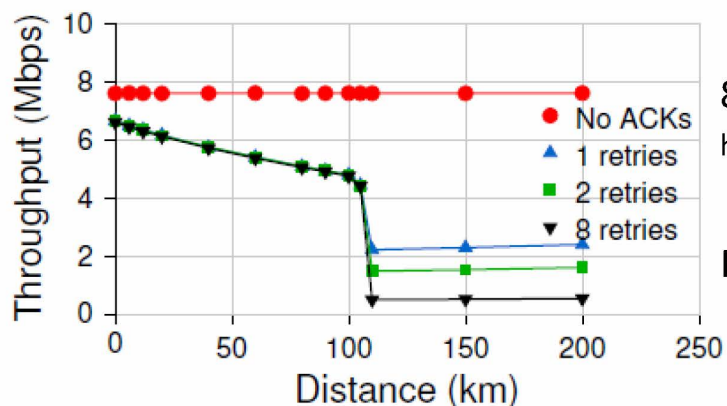
■ Časi preklopa in največji doomet

Najkrajši čas preklopa TX/RX je SIFS (10 us). Ta čas vsebuje:

- izklop/vklop oddajnika (< 2us)
- zakasnitev pri procesiranju sprejetega okvirja
- zakasnitev na radijski poti (1 us = 300 m)



- 10 us = 1500 m tja in nazaj
- Če pošiljatelj ne prejme ACK v času $ACK_{timeout}$, ponavlja paket dokler se ne izteče števec ponovitev (ACK_{retry}). Pretok pade za ACK_{retry} faktor.
- Za daljše zveze je potrebno popraviti $ACK_{timeout}$



802.11b / 11Mbps / UDP / 1440 B / $ACK_{timeout}$ 746 us
<http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2009/EECS-2009-92.pdf>

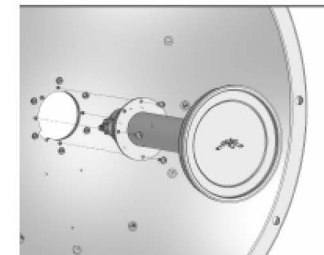
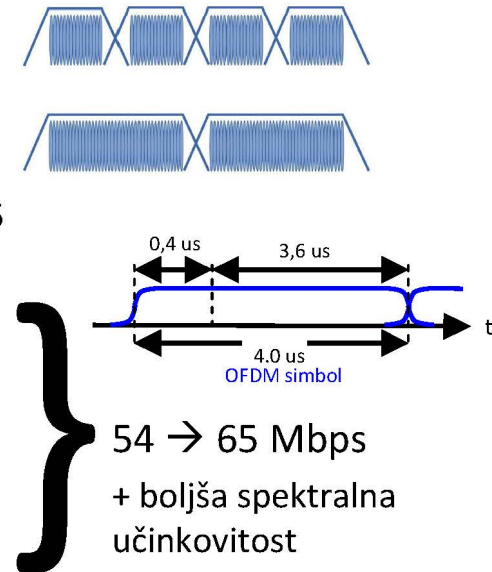
Najdaljši WLAN linki - 100 ... 300 km.

■ Novejše optimizacije - 1

802.11n

■ PHY:

- 2x20 MHz BW (channel bonding) → ++ večja prenosna kapaciteta / -- manjši dolet in večja občutljivost na motnje; naj se uporablja samo na 5 GHz bandu
- krajši CP (400 ns; prej 800 ns) → / - večja občutljivost na dolge odboje
- dodatno kodiranje na najvišji modulaciji - QAM 64-5/6
- povečano število OFDM podatkovnih nosilcev iz 48 na 52
- XPOL MIMO za dolge P2P linke (2x2 MIMO) → ++ dvakrat večja prenosna kapaciteta / - dražja antena (dvopolarizacijska)
- diverzni sprejem in oddaja (RX diversity; TX beamforming) → ++ zanesljivejša zveza (večja rezerva na zvezi)



■ MAC:

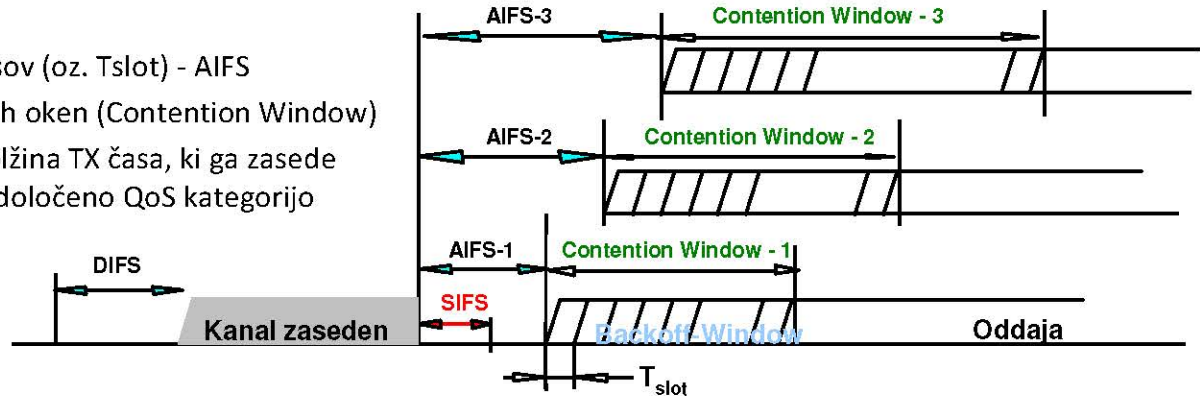
- združevanje MAC tovorov (frame aggregation) → +++ manjša režija (dosežemo enak prenos ne glede na velikost paketov) / -- vsi združeni tovari morajo biti za istega prejemnika; dodana zakasnitev zaradi združevanja
- združevanje ACK oddaj (block ACK) → deluje skupaj s frame aggregation (selektiven ARQ)



■ Novejše optimizacije - 2

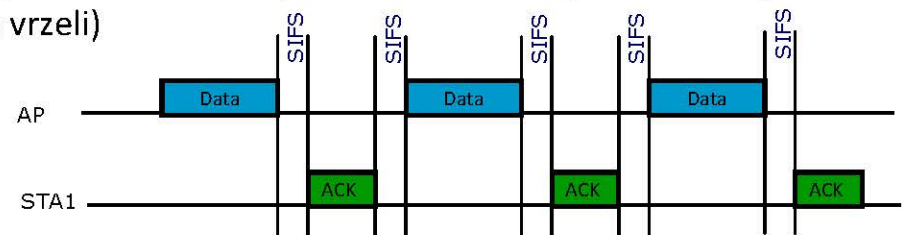
802.11e (QoS)

- vpeljava 4-ih QoS nivojev (govor, video, BE, background – Access Category)
 - s pomočjo različnih IFS časov (oz. Tslot) - AIFS
 - različno dolgih tekmovalnih oken (Contention Window)
 - z TXOP parametrom → dolžina TX časa, ki ga zasede posamezen odjemalec za določeno QoS kategorijo



Razno

- manjše pasovne širine (10 in 5 MHz) → ++ daljši doomet, manj motenj / - nižja prenosna kapaciteta
- nastavitve IFS/ACK/T_{slot} časov → ++ daljši doomet (P2P linki)
- drobljenje MAC tovorov (frame fragmentation) → + manjša občutljivost na motnje / -- slabši izkoristek MAC protokola
- komprimiranje podatkov (HW compression) → + boljši izkoristek prenosa za nekomprimirane podatke
- združevanje PHY okvirjev (frame bursting) → ++ boljši izkoristek MAC protokola z ukinitvijo tekmovanja za N zaporednih DAT+ACK transakcij (samo SIFS časovne vrzeli)



■ Prilagajanje prenosne hitrosti

ARF (Auto Rate Fallback)

- MAC nima predvidene signalizacije za nastavljanje modulacije – torej RX ne more sporočati oddajniku sprejemnih metrik, kot so RSSI, CINR, PER ipd. s katerimi se da izvesti optimalen algoritem
- Oddajnik lahko ugotavlja kvaliteto zveze le preko izgubljenih ACK paketov oz. števila ponavljanj
- Večina algoritmov bazira na adaptivnem “testiranju” zveze z višjo hitrostjo;
 - recimo, osnoven ARF algoritem je vsak 10-i paket poslal z višjo hitrostjo in se odločil na osnovi uspešno sprejetega ACK paketa. Preskok na nižjo hitrost pa se izvede po eni ali dveh ponovitvah paketa.
- Glavni pomankljivosti vseh teh metod:
 - ne mogoče ugotoviti zakaj je bil paket izgubljen
 - predpostavljajo, da bo pri višji prenosni hitrosti več izgubljenih paketov

■ Izračun zveze

■ V prostoru:

- slabljenja na 2,4 GHz:
 - okno 3 dB
 - strop 12-15 dB
 - betonska stena 15 – 20 dB
- veliko odbojev → uporaba večih anten za diverzni sprejem (10-15 dB presiha polja, ko se ljudje gibljejo okoli AP ali STA)
- zveza je močno odvisna od mikrolokacije in okolja

■ Točka-točka (link):

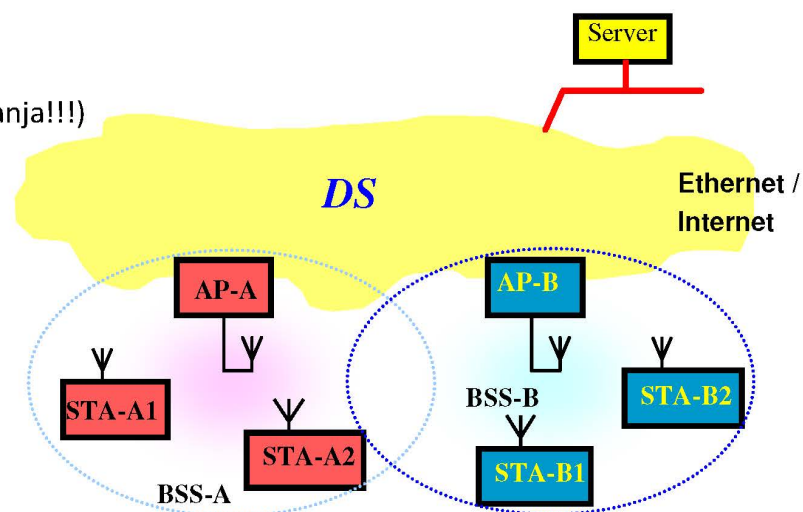
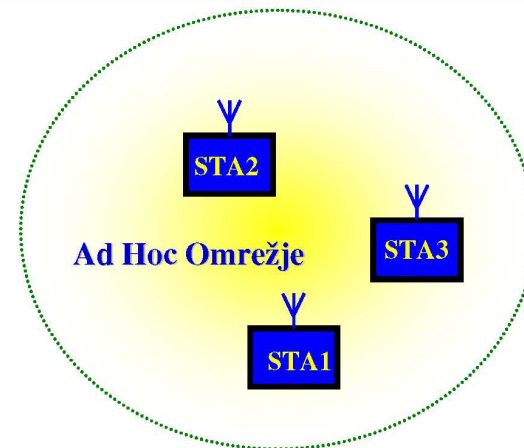
- skoraj vsi parametri so pod kontrolo (razen motenj drugih uporabnikov spektra)
- približna enačba za izračun prostorskega slabljenja (path loss):
 - $PL[\text{dB}] = k * 10 * \text{LOG}(R[\text{m}]) + 40$ @ 2,4 GHz (prištej 7 dB za 5 GHz)
 - $k = 2$ v praznem prostoru (LOS)
 - $k \approx 2,5$ pri odboju od tal
 - $k \approx 3$ v stavbi
 - $k \approx 3,5$ v mestu
- kako izračunamo sprejemni nivo:
 - $\text{Prx}[\text{dBm}] = \text{Ptx}[\text{dBm}] + \text{Gant_tx}[\text{dB}] + \text{Gant_rx}[\text{dB}] - \text{PL}[\text{dB}]$
- potrebujemo vsaj 10 dB rezerve za zanesljivo zvezo, pri daljših zvezah še več

Tipične vrednosti za prag sprejema pri 10E-5 BER (+/- 2 dB)

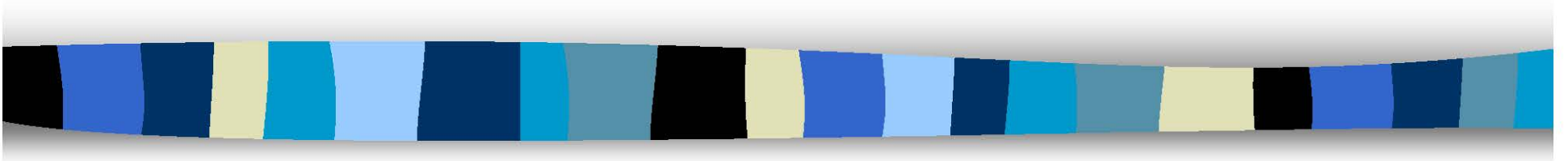
-94 dBm @ 1 Mbps
-93 dBm @ 2 Mbps
-92 dBm @ 5,5 Mbps
-86 dBm @ 6 Mbps
-86 dBm @ 9 Mbps
-90 dBm @ 11 Mbps
-86 dBm @ 12 Mbps
-86 dBm @ 18 Mbps
-84 dBm @ 24 Mbps
-80 dBm @ 36 Mbps
-75 dBm @ 48 Mbps
-71 dBm @ 54 Mbps

■ Omrežna arhitektura

- Odjemalec (STA / Station)
- Dostopna Točka (AP / Access Point)
 - povezuje odjemalce (STA) med sabo ali v distribucijsko omrežje (DS)
- Basic Service Set (BSS)
 - Independent BSS - povezava odjemalcev med sabo (Ad Hoc omrežje)
 - Infrastructure BSS – povezava odjemalcev preko AP
- Extended Service Set (ESS)
 - povezava večih BSS preko DS
- Razdelilni Sistem (Distribution System / DS)
 - kakršnokoli hrbtenično omrežje
- WDS (Wireles Distribution System)
 - brezžičen DS z uporabo AP (nestandardiziran način delovanja!!!)
- Dva načina WDS
 - most (bridge) – povezava dveh AP (točka-točka)
 - ponavljalnik (repeater) – povezava AP-AP in AP-STA



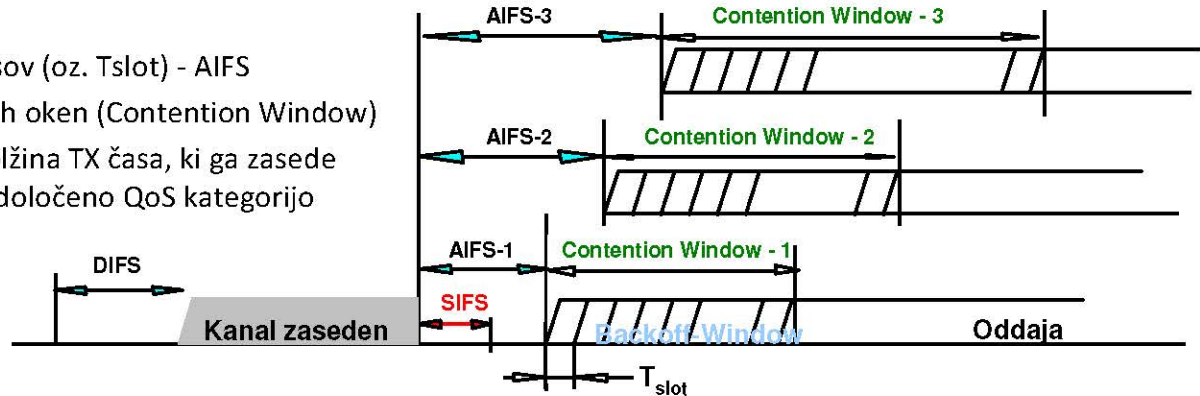
**TNX es
73 de Robi/s53ww**



■ Novejše optimizacije - 2

802.11e (QoS)

- vpeljava 4-ih QoS nivojev (govor, video, BE, background – Access Category)
 - s pomočjo različnih IFS časov (oz. Tslot) - AIFS
 - različno dolgih tekmovalnih oken (Contention Window)
 - z TXOP parametrom → dolžina TX časa, ki ga zasede posamezen odjemalec za določeno QoS kategorijo



Razno

- manjše pasovne širine (10 in 5 MHz) → ++ daljši doomet, manj motenj / - nižja prenosna kapaciteta
- nastavitve IFS/ACK/T_{slot} časov → ++ daljši doomet (P2P linki)
- drobljenje MAC tovorov (frame fragmentation) → + manjša občutljivost na motnje / -- slabši izkoristek MAC protokola
- komprimiranje podatkov (HW compression) → + boljši izkoristek prenosa za nekomprimirane podatke
- združevanje PHY okvirjev (frame bursting) → ++ boljši izkoristek MAC protokola z ukinitvijo tekmovanja za N zaporednih DAT+ACK transakcij (samo SIFS časovne vrzeli)

