

# **Lokalna brezžična (WLAN) in osebna brezžična omrežja (PAN)**

N. Zimic

## **IEEE 802.11**

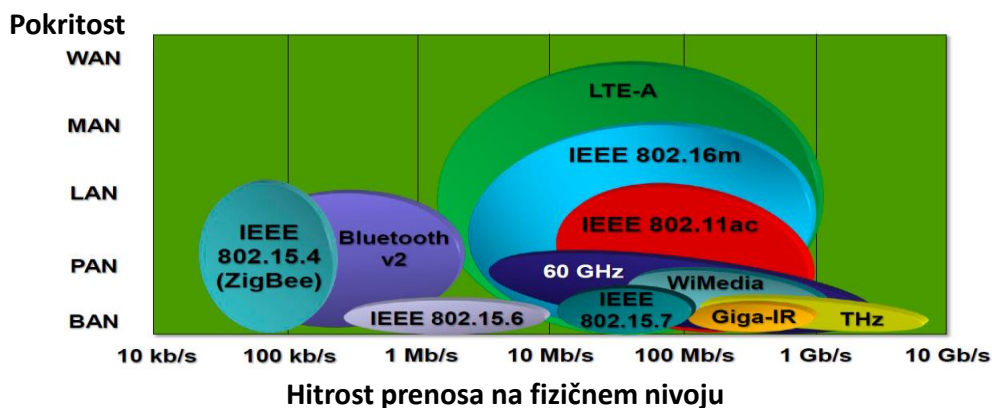
# Omrežja LAN in PAN

- V določenih primerih je težko natančno razdeliti protokole v posamezne skupine
- Pojavljajo se novi termini, kot so na primer BAN (*Body Area Network*)
- Pojavljajo se nove zahteve (senzorska omrežja, ...)

# Kaj je WLAN?

	Wireless Local Area Network WLAN	Wireless Personal Area Network WPAN
Pokritost	Na prostem: nekaj 100m V prostoru: nekaj sob/hiša	Na prostem: do 10m V prostoru: ena soba
Hitrost prenosa	Visoka	Zelo visoka
Oddajna moč	Zmerna	Majhna
Poraba	Zmerna, ni kritično	Majhna, kritično
Strošek	Zmeren	Majhen
Uporaba	Prenosljivo	Mobilno
Topologija	Infrastrukturni način z dostopom do ožičenega omrežja	Posebej prirejena povezava med naravami
Velikost omrežja	Lahko velika	Majhna
Trajanje povezave	Dolgo	Kratko

# Kaj obsega?



N. Zimic

4-5

# Pričakovanja in zahteve

	Hitrost prenosa (Mb/s)	Max. PLR	Max. zakasnitev (ms)
Internet, <i>streaming</i> AV	0,1 – 4	$10^{-4}$	200
HDTV	19,2 – 24	$10^{-7}$	200
Blu-Ray	50	$10^{-7}$	20
Interaktivne igre	> 100	$10^{-2}$	10
Nizko kompresiran video (H.264)	200	$10^{-7}$	20
Nekompresiran video (1080p, 24-bit, 60 fps)	≈400	$10^{-8}$	10

N. Zimic

4-6

# Standard IEEE 802.11

Standard	Področje
IEEE 802.11	Medium access control (MAC): One common MAC for WLAN applications
	Physical layer: Infrared at 1 and 2 Mbps
	Physical layer: 2.4-GHz FHSS at 1 and 2 Mbps
	Physical layer: 2.4-GHz DSSS at 1 and 2 Mbps
IEEE 802.11a	Physical layer: 5-GHz OFDM at rates from 6 to 54 Mbps
IEEE 802.11b	Physical layer: 2.4-GHz DSSS at 5.5 and 11 Mbps
IEEE 802.11c	Bridge operation at 802.11 MAC layer
IEEE 802.11d	Physical layer: Extend operation of 802.11 WLANs to new regulatory domains (countries)
IEEE 802.11e	MAC: Enhance to improve quality of service and enhance security mechanisms

N. Zimic

4-7

# Standard IEEE 802.11 ...

IEEE 802.11f	Recommended practices for multivendor access point interoperability
IEEE 802.11g	Physical layer: Extend 802.11b to data rates >20 Mbps
IEEE 802.11h	Physical/MAC: Enhance IEEE 802.11a to add indoor and outdoor channel selection and to improve spectrum and transmit power management
IEEE 802.11i	MAC: Enhance security and authentication mechanisms
IEEE 802.11j	Physical: Enhance IEEE 802.11a to conform to Japanese requirements
IEEE 802.11k	Radio resource measurement enhancements to provide interface to higher layers for radio and network measurements
IEEE 802.11m	Maintenance of IEEE 802.11-1999 standard with technical and editorial corrections

N. Zimic

4-8

## Standard IEEE 802.11 ...

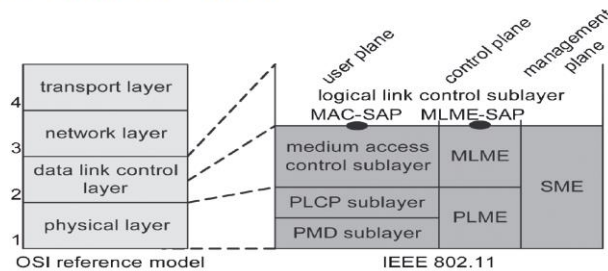
IEEE 802.11n	Physical/MAC: Enhancements to enable higher throughput
IEEE 802.11p	Physical/MAC: Wireless access in vehicular environments
IEEE 802.11r	Physical/MAC: Fast roaming (fast BSS transition)
IEEE 802.11s	Physical/MAC: ESS mesh networking
IEEE 802.11.2	Recommended practice for the Evaluation of 802.11 wireless performance
IEEE 802.11u	Physical/MAC: Interworking with external networks
IEEE 802.11v	Wireless Network Management
IEEE 802.11w	Protected Management Frames
IEEE 802.11y	3650–3700 MHz Operation in USA
IEEE 802.11z	Extensions to Direct-Link Setup (DLS)

## Standard IEEE 802.11 ...

IEEE 802.11aa	Video Transport Streams
IEEE 802.11ac	Very High Throughput <6Ghz
IEEE 802.11ad	Very High Throughput 60GHz <i>60GHz is a promising technology that will provide throughputs over 1Gbps</i>
IEEE 802.11ae	Prioritization of Management Frames
IEEE 802.11af	TV White Spaces
IEEE 802.11ah	Sub 1GHz <i>The main application of IEEE 802.11ah is sensor network, e.g. smart metering.</i>
IEEE 802.11ai	Fast Initial Link Setup

# Značilnosti IEEE 802.11

The IEEE 802.11 Reference Model



- Layer 1: PHY transmission scheme
- Layer 2: MAC protocols, MAC Layer Management Entity (MLME)
- Layer 1 & 2: Station Management Entity (SME)
- Interface to higher layers: Service Access Points (SAPs)

# Značilnosti IEEE 802.11 ...

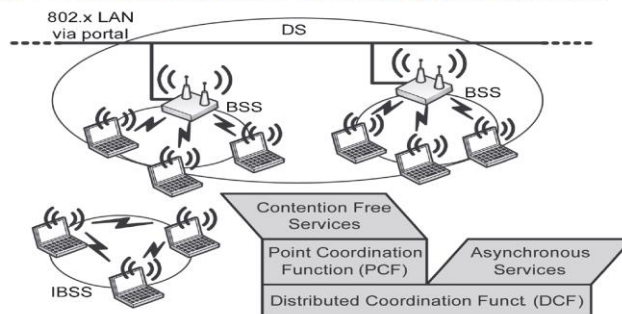
- PLME (*PHY Layer Management Entity*) – nadzor in upravljanje fizične plasti
- PMD (Physical Medium Dependent) – nivo, ki je povezan z medijem
- PLCP (*Physical Layer Convergence Protocol*) – prilagajanje zahtev MAC plasti fizični plasti
- SAP (*Service Access Point*) – dostopna točka med plastmi

# Značilnosti IEEE 802.11 ...

- MLME (*MAC Layer Management Entity*) – upravljanje MAC plasti
- PLME (*PHY Layer Management Entity*) – upravljanje fizične plasti
- SME (*Station Management Entity*) – upravljanje naprave

# Arhitektura omrežja

## The IEEE 802.11 Architecture and Coordination Functions



- BSS = Basic Service Set, with access point for infrastructure connection
- IBSS = Independent BSS, for ad hoc networks; DS = Distribution System

## Arhitektura omrežja ...

- Dva osnovna načina delovanja omrežja:
  - BSS (*Basic Service Set*) – omrežje je vodeno s strani dostopne točke
  - IBSS (*Independent Basic Service Set*) – omrežje se postavlja ad-hoc
- BBS omrežja se lahko povezujejo v večja omrežja ESS (*Extended Service Set*). V tem primeru so dostopne točke (BBS) povezane preko DS (*Distribution System*)

## Naloge naprav v omrežju

- V BBS omrežju se izvajajo naloge postaje (SS – *Station Services*)
  - osnovna naloga je prenos paketov (MSDU – *MAC Service Data Unit*)
  - Poleg tega omogoča preverjanje pristnosti (*Authentication*)

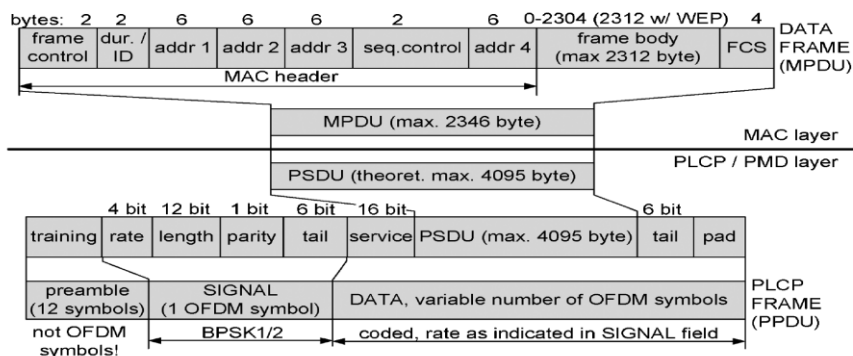


# Naloge naprav v omrežju ...

- V omrežju BSS DS skrbi za prenos podatkov med napravami, ki nimajo možnosti neposrednega prenosa
- Dostopne točke izvajajo naloge DSS (*Distribution System Services*), ki poleg prenašanja paketov obsegajo
  - asociacijo, deasociacijo in integracijo v omrežje

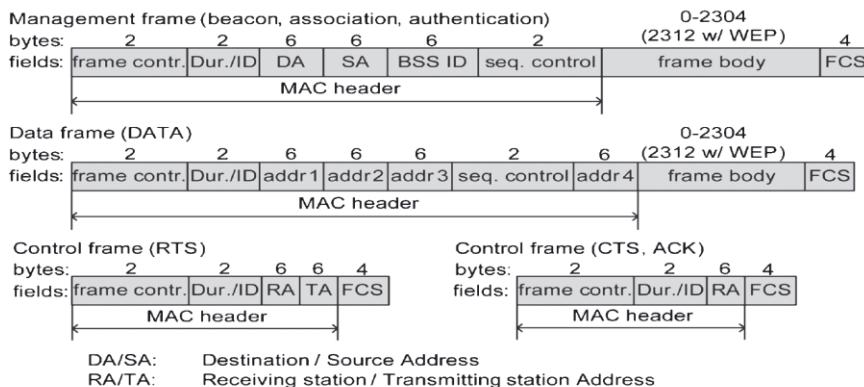
# MAC paketi in fizični nivo

## Frame Mapping from MAC down to PLCP



# Oblike MAC paketov

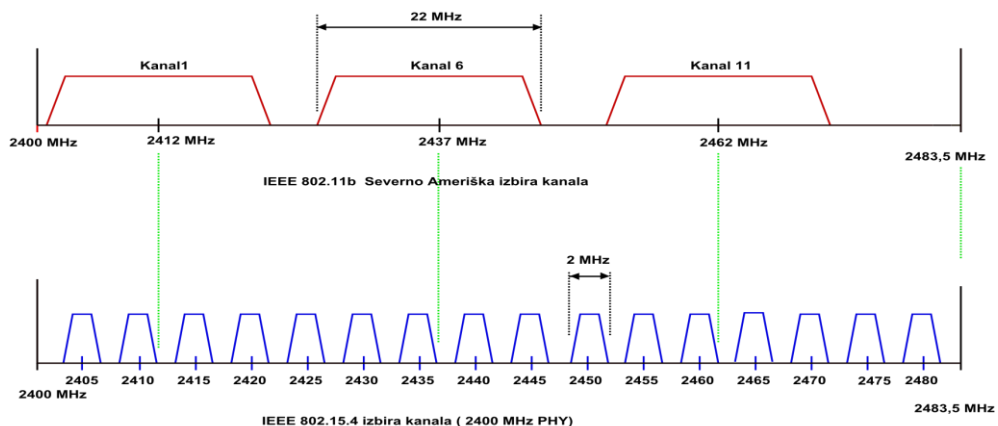
## Formats of MAC Frames (MAC Protocol Data Unit, MPDU)



N. Zimic

4-19

# Frekvenčni kanali (2.4 ISM)



N. Zimic

4-20

## Kodiranje za IEEE 802.11a

Parameter	Vrednost
Frekvenca vzorčenja $1/T$	20 MHz
Trajanje OFDM periode $T_b$	$64T = 3,2 \mu\text{s}$
Varnostni interval $T_g$	$16T = 0,8 \mu\text{s}$
Trajanje OFDM simbola $T'_b = T_g + T_b$	$80T = 4 \mu\text{s}$
Število podatkovnih pod-nosilcev	48
Število pilotskih pod-nosilcev	4
Razmik med pod-nosilci $D_f$	$1/T_b = 0,3125 \text{ MHz}$
Razmik med zunanji pod-nosilci	$(N_{total} - 1)D_f = 15,9375 \text{ MHz}$

N. Zimic

4-21

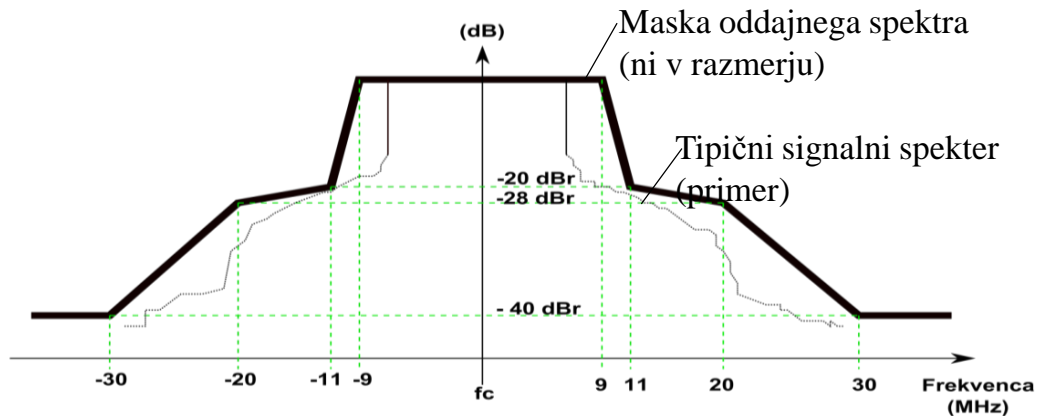
## Kodiranje za IEEE 802.11a

Hitrost prenosa [Mbps/s]	Modulacija	Kodirno razmerje ( $R$ )	Kodiranih bitov na pod-nosilec	Kodiranih bitov na OFDM simbol	Podatkovnih bitov na OFDM simbol	$P_{min}(R)$ [dBm]	$SINR_{max}(R)$ [dB]
6	BPSK	$\frac{1}{2}$	1	48	24	-82	18
9	BPSK	$\frac{3}{4}$	1	48	36	-81	21
12	QPSK	$\frac{1}{2}$	2	96	48	-79	22
18	QPSK	$\frac{3}{4}$	2	96	72	-77	25
24	16QAM	$\frac{1}{2}$	4	192	96	-72	25
36	16QAM	$\frac{3}{4}$	4	192	144	-70	32
48	64QAM	$\frac{2}{3}$	6	288	192	-66	34
54	64QAM	$\frac{3}{4}$	6	288	216	-65	35

N. Zimic

4-22

# Frekvenčni spekter 802.11a

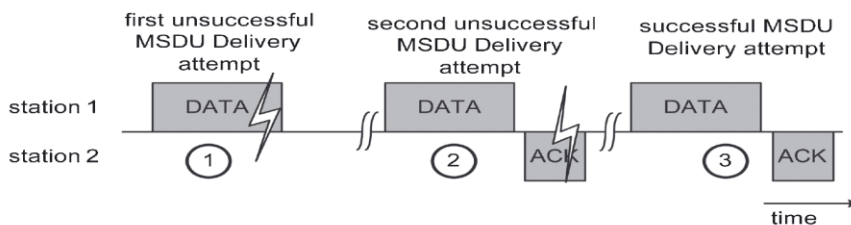


N. Zimic

4-23

# Potrjevanje sprejema

## Frame Exchanges with Acknowledgements (ACKs)



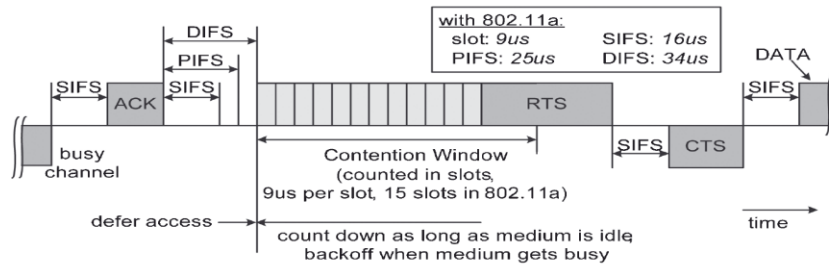
- First attempt: DATA frame from station 1 is not received, no ACK.
- Second attempt: because of the missing ACK from station 2, station 1 retransmits the DATA frame. This is successfully received, the corresponding ACK is sent as response, but missed by station 1 (for example because of interference).
- Third and successful attempt: DATA and ACK are both successfully received.

N. Zimic

4-24

# Izogibanje trkom

## Contention for Collision Avoidance



- SIFS = Short Interframe Space (no CCA carrier sensing)
- PIFS = PCF Interframe Space = SIFS + aSlotTime (with CCA)
- DIFS = DCF Interframe Space = PIFS + aSlotTime (with CCA)
- SIFS is too short for CCA, hence only needed for transceiver turnaround

N. Zimic

4-25

# Izogibanje trkom ...

- aSlotTime – velikost predalčka
- SIFS – čas med kontrolnimi sporočili (RTS, CTS)
- PIFS – čas do predalčkov (za PCF)
- DIFS – čas do predalčkov (za DCF)

N. Zimic

4-26

## Izogibanje trkom ...

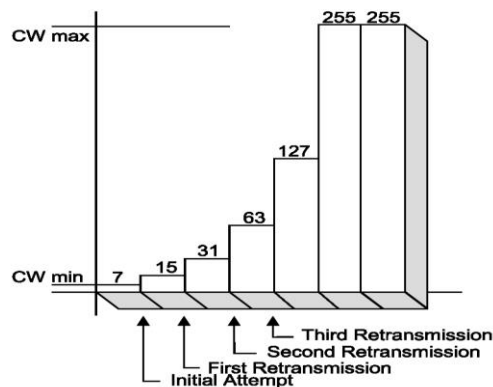
- CW – (*Contention Window*) Okno iz katerega se naključno izbere število predalčkov, ki jih mora naprava počakati pred oddajo paketa
- CWmin najmanjša vrednost CW
- CWmax največja vrednost CW
- CW se podvoji pri vsaki ponovitvi
- Naprava izbere naključno število  $r$  iz območja (  $0-CW$  ), ki določa zakasnitev v številu predalčkov. Število se začne zmanjševati po času DIFS

N. Zimic

4-27

## Izogibanje trkom ...

- Povečevanje okna pri ponovitvah

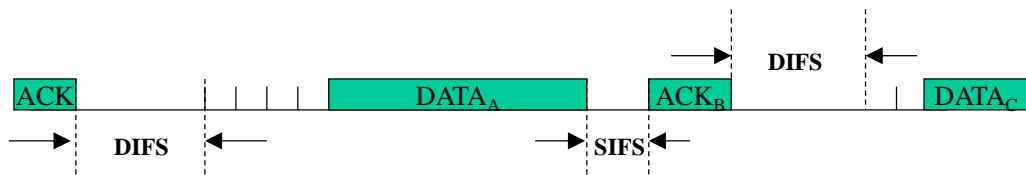


N. Zimic

4-28

## Izogibanje trkom ...

- Primer: naključno število  $r_a = 4$ ,  $r_b = 6$



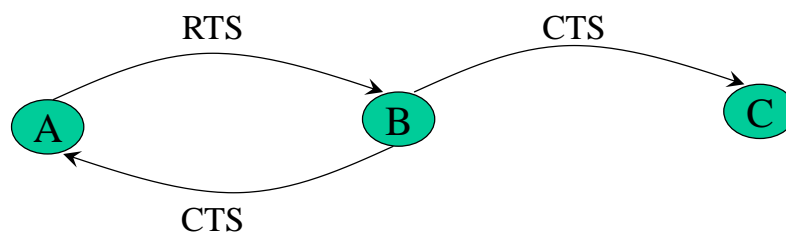
- Kaj se zgodi, če bi bili naključni števili enaki?
- Kaj bi se zgodilo, če bi prišlo do trka in bi bili dolžini podatkov različni?

N. Zimic

4-29

## Izogibanje trkom ...

- Naprava C je izven dosega naprave A
- Ker naprava C ne sprejema signala naprave A, se lahko zgodi, da bi začela oddajati med oddajanjem naprave A

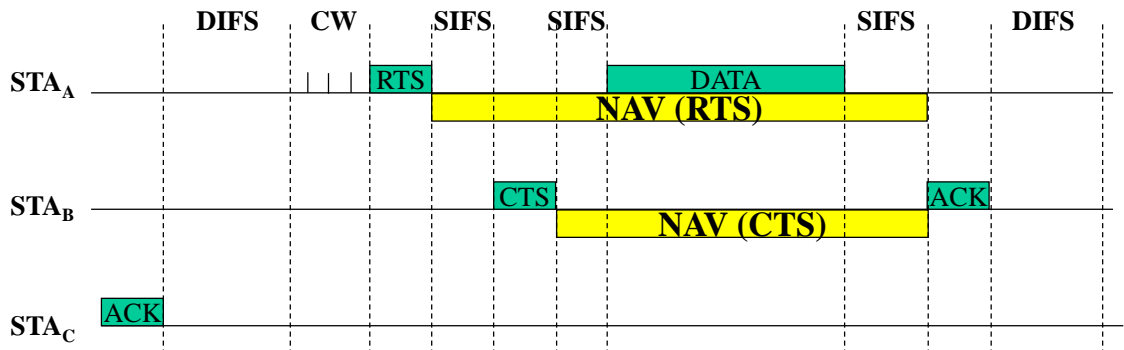


N. Zimic

4-30

# Izogibanje trkom ...

- NAV – *network allocation vector*: rezervacija medija

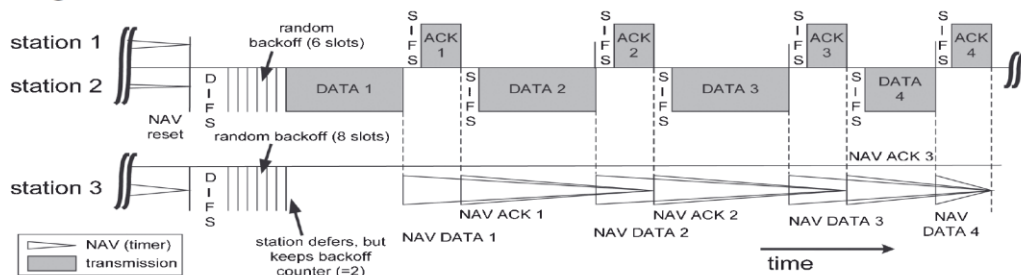


N. Zimic

4-31

# Delitev dolgih paketov

## Fragmentation



N. Zimic

4-32



## Upravljavski paketi

- Upravljavski paketi (*management frame*) so podobni podatkovnim paketom, vendar se razlikujejo v oznaki tipa
- Upravljavski paketi se tvorijo in zaključijo na MAC nivoju

## Upravljavski paketi

- Upravljavski paketi so:
  - *beacon* (periodični paketi, ki služijo predvsem za sinhronizacijo),
  - paketi za priključevanje v omrežje (*association*),
  - paketi za preverjanje pristnosti (*authentication*) ter
  - iskanje sosedov (*probe request/response*)

# Nadzorovan dostop

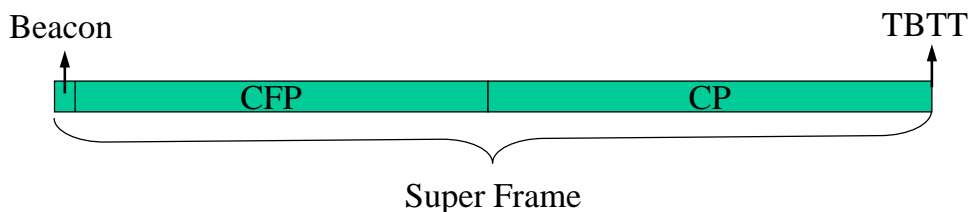
- PCF - *Point Coordinated Function*: čas, ko je omrežje upravljano z ene točke, ki se imenuje:
  - PC *Point Coordinator* ali
  - AP *Access Point*
- Takšen način delovanja je v omrežju BSS
- Dostopna točka pošilja pakete *beacon*.
- Takoj po poslanem paketu *beacon* zasede omrežje in nadzira delovanje omrežja. Ker v tem času ni tekmovalaj za omrežje, se ta čas imenuje CFP (*Contention Free Period*).

N. Zimic

4-35

# Nadzorovan dostop ...

- Celoten čas med paketi *beacon* (*Superframe*) je razdeljen na:
  - CFP (*Contention Free Period*)
  - CP (*Contention Period*)
- V času CP lahko vse naprave dostopajo do medija DCF (*Distributed Coordinated Function*)



N. Zimic

4-36

# Nadzorovan dostop ...

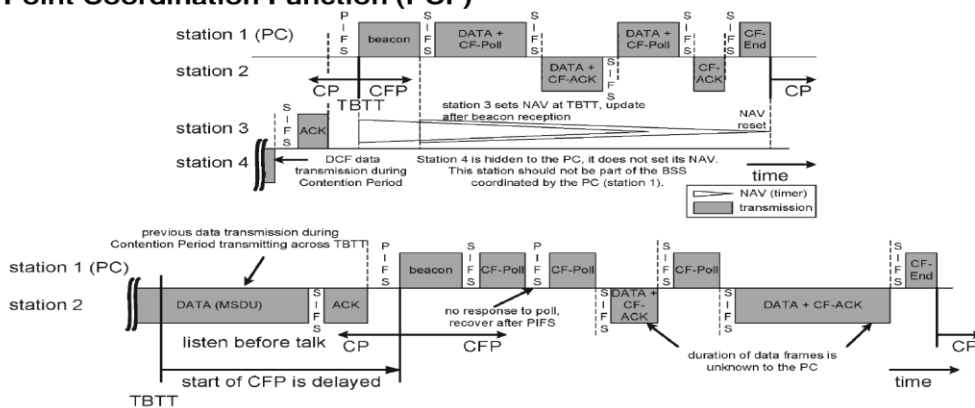
- V času CFP nadzorna postaja PC oddaja svoje pakete in povprašuje ostale naprave po podatkih (*Poll*).
- Ker je dostop nadzorovan s strani PC, v tem času ni trkov.
- Pozvana naprava mora v času SIFS odgovoriti na klic, sicer po času PIFS naprava nadaljuje s svojimi aktivnostmi.
- Naprava PC s posebnim paketom (CF-End) obvesti ostale naprave o koncu CFP periode.
- Za tem se začne perioda CP, kjer naprave enakopravno dostopajo do omrežja.

N. Zimic

4-37

# Nadzorovan dostop ...

## Point Coordination Function (PCF)



N. Zimic

4-38

# Časovna sinhronizacija

- Časovna sinhronizacija je potrebna:
  - za podporo fizičnem nivoju,
  - za funkcije, kot je na primer vključitev v omrežje,
  - za postopke, ki zmanjšujejo porabo energije.

# Časovna sinhronizacija ...

- Sinhronizacija se izvaja s paketi *beacon*, ki se pošiljajo z najvišjo prioriteto.
- Paketi *beacon* se pošiljajo periodično in naprave prejmejo informacijo, kdaj bo poslan naslednji paket *beacon*.
- V omrežju BSS dostopna točka pošilja pakete *beacon* in vse ostale naprave glede na to popravljajo svojo lokalno uro.

# Časovna sinhronizacija ...

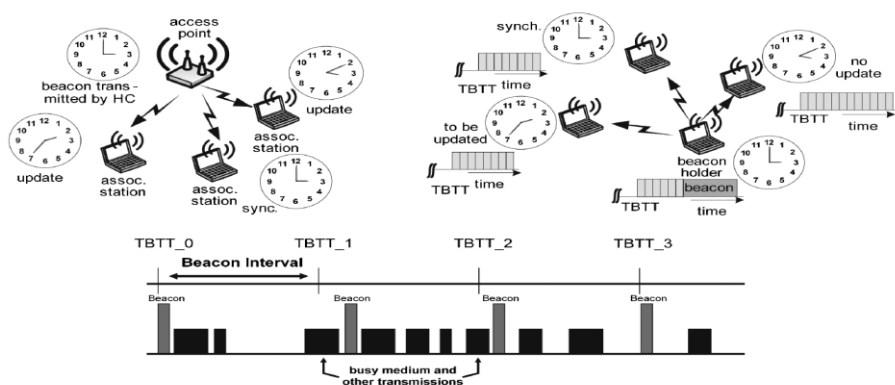
- V omrežju IBSS vse naprave pošiljajo kontrolne pakete:
  - naprava popravlja svojo uro samo v primeru, če je čas v prejetem paketu pred lokalnim časom (lokalna ura zaostaja)
  - po končanem ciklu sinhronizacije se postaje sinhronizirajo na napravo, katere lokalni čas je bil pred časom ostalih naprav
  - naprave pošiljajo kontrolni paket neodvisno po »back off« algoritmu. Ko naprava prejme kontrolni paket, svojega ne pošlje.

N. Zimic

4-41

# Časovna sinhronizacija ...

## TSF Timer Updates



N. Zimic

4-42

## Iskanje naprav

- Odvisno od tipa omrežja, mora naprava poiskati dostopno točko oziroma ostale naprave, v primeru ad hoc omrežja (IBSS).
- Iskanje je lahko pasivno ali aktivno.

## Iskanje naprav ...

- V pasivnem načinu iskanja naprava prisluškuje posameznim kanalom in sprejema pakete *beacon*.
- Ti paketi poleg časa vsebujejo tudi informacije o omrežju.

## Iskanje naprav ...

- V aktivnem načinu naprava pošlje paket z zahtevo (*probe frame*) ter počaka na odgovor ostalih naprav (*probe response*).
- Ker gre za aktivno zahtevo, ni potrebno čakati na periodične pakete *beacon*.
- Lahko se zgodi, da je število postaj v aktivnem iskanju manjše (v primeru enosmerne komunikacije).

## Kakovost storitev

- Kakovost storitev se lahko delno nadzoruje tudi z uporabo koordinacije prometa PCF (*Point Coordination Function*).
- Težave, ki nastopijo v tem primeru so:
  - Nedoločljiv čas med dvema paketoma *beacon*, ki lahko zakasni za največ 4,9 ms
  - Nedoločljiv čas pošiljanja paketov postaje, ki je bila pozvana za pošiljanje paketov (poll). Najdaljši paket lahko obsega 2312 zlogov. Čas pošiljanja paketa je odvisen od modulacije.

## Kakovost storitev ...

- Standard IEEE 802.11e vpeljuje funkcijo hibridnega koordinatorja HCF (*Hybrid Coordination Function*) za upravljanje kvalitete storitev.
- HFC določa dva načina dostopa do medija:
  - tekmovanje za dostop do medija,
  - nadzorovan dostop do medija.
- Tekmovalni način se imenuje EDCA (Enhanced Distributed Channel Access).
- Nadzorovani način dostopa je HCCA (HCF Controlled Channel Access).

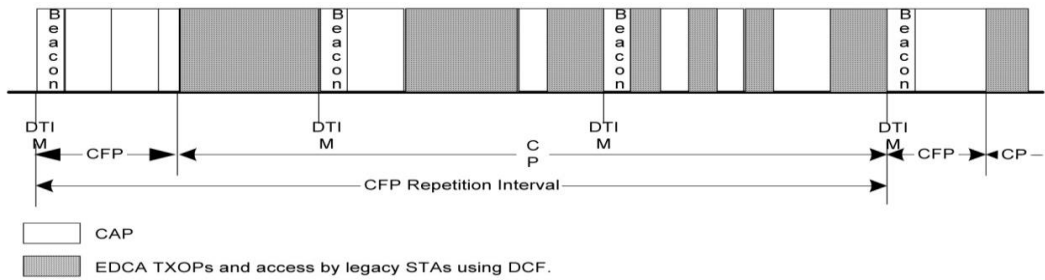
## Kakovost storitev ...

- V superokviru (*superframe*) sta še vedno dva načina delovanja: CP, CFP.
- EDCA način pošiljanja se lahko uporablja samo v periodi s tekmovanjem CP.
- HCCA se lahko uporablja v obeh periodah, s tem, da mora v fazi CP rezervirati čas tako kot vsi ostali paketi. Rezerviran čas se imenuje CFP (*Controlled Access Phase*).
- Vse naprave morajo upoševati omejitev časa zasedanja medija TXOP, ki je postavljen v paketu *beacon*.



# Kakovost storitev ...

- Primer rezervacije medija

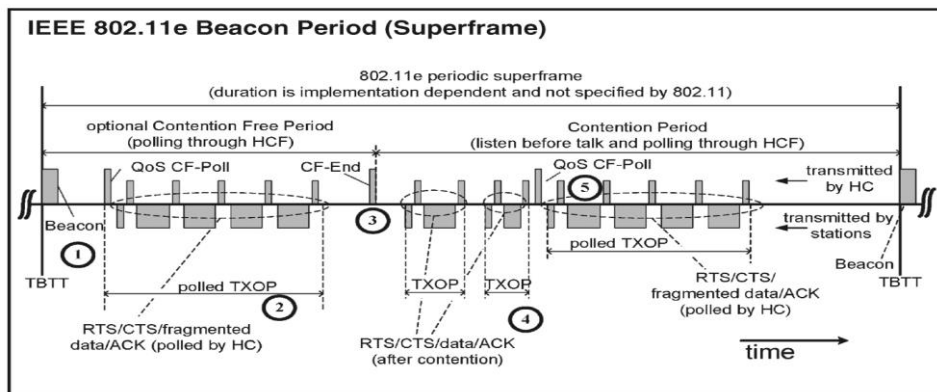


N. Zimic

4-49

# Kakovost storitev ...

- Primer superokvirja



N. Zimic

4-50

## Kakovost storitev ...

- Za zagotavljanje kakovosti storitev je potrebno uvesti prioriteto pri pošiljanju paketov.
- Omenjene funkcionalnosti uvaja standard IEEE 802.11e.
- Omrežje s prioritetami se označuje s QBSS.
- Prioritete pri pošiljanju paketov se dosežejo s povečevanjem časa DIFS pri paketih z nižjo prioriteto.

## Kakovost storitev ...

- Zaradi daljšega časa lahko paketi z višjo prioriteto zasedejo prenosni kanal.
- Definiran je tudi čas možnosti oddajanja TXOP (transmission opportunity), ki določa najdalši čas, ko naprava lahko zaseda medij (oddaja).
- Tabela prikazuje prevedbo prioritete standarda IEEE 802.1D.

# Kakovost storitev ...

## Prevedba priorit et standarda IEEE 802.1D

Priority	802.1D User Priority	Priority	802.11e Access Category (AC)	Service Type
lowest	1		AC_BK	background
	2		AC_BK	background
	0		AC_BE	best effort
	3		AC_BE	best effort
	4		AC_VI	video
	5		AC_VI	video
	6		AC_VO	voice
	7		AC_VO	voice
highest				

N. Zimic

4-53

# Kakovost storitev ...

## Zakasnitev paketov AIFS

AC	CWmin	CWmax	AIFSN	AIFS*	TXOPlimit
Legacy 802.11	15	1023	2	34 us	
AC_BK	15	1023	7	79 us	0/0
AC_BE	15	1023	3	43 us	0/0
AC_VI	7	15	2	34 us	6.016/3.008 ms
AC_VO	3	7	2	34 us	3.264/1.504 ms

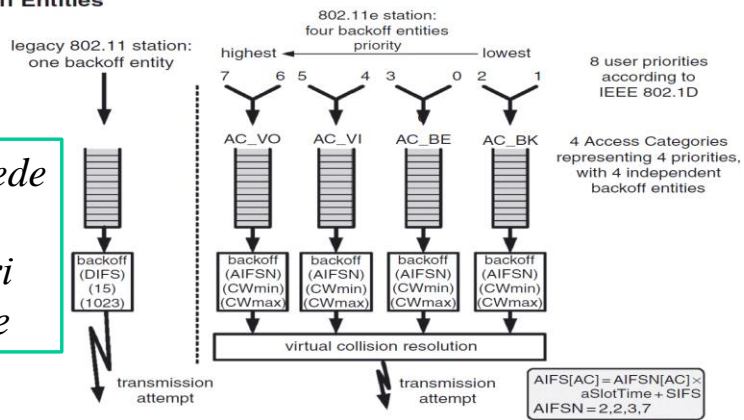
N. Zimic

4-54

# Kakovost storitev ...

## 802.11e Backoff Entities

Za štiri razrede  
prioritet so  
potrebne štiri  
čakalne vrste

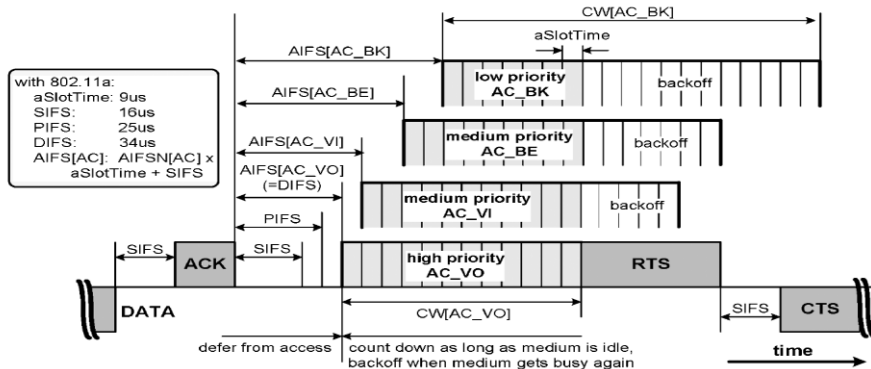


N. Zimic

4-55

# Delovanje algoritma

## EDCA Contention-based Medium Access



N. Zimic

4-56

## Nadzor nad porabo energije

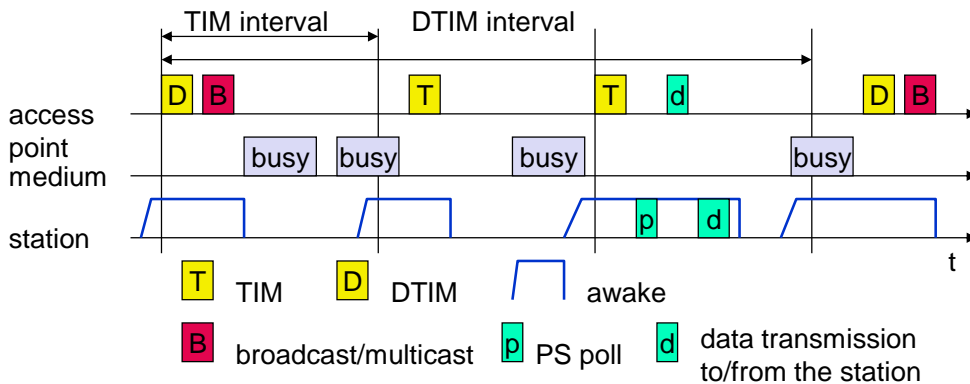
- Naprava mora dostopno točko obvestiti, da deluje v načinu majhne porabe energije.
- Dostopna točka hrani vse pakete (tudi s skupinskimi naslovi) do trenutka, ko je naprava pripravljena sprejeti pakete.
- Naprave v načinu majhne porabe energije morajo poslušati pakete *beacon*, da pridobijo parametre za sprejem paketa TIM.
- Dostopna točka pošlje pakete takoj, ko od naprave prejme paket PS-Poll.

## Nadzor nad porabo energije

- Poleg parametra TIM se uporablja tudi parameter DTIM.
- Parameter DTIM se pojavi v vsakih nekaj paketov *beacon*.
- Ko se pojavi parameter DTIM, vstopna točka na poziv pošlje vse pakete, vključno s paketi s skupinskimi naslovi (*broadcast* in *multicast*). Ti paketi se ob običajnih periodah TIM ne pošiljajo.

# Nadzor nad porabo energije

- Primer zbujanja naprav



N. Zimic

4-59

# Sobivanje IEEE 802.11 b/g

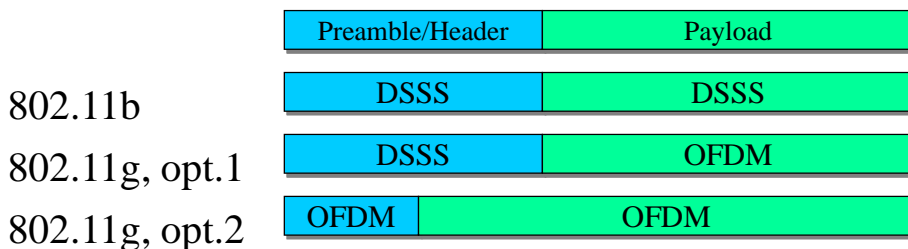
- Pri sobivanju se mora napredni standard podpreti starejšim standardom.
- Če je v omrežju naprava, ki ne podpira novejših standardov, se morajo vse kontrolne informacije prenašati tako, da jih vse naprave lahko sprejmejo.
- Pomembni so vsi kontrolni paketi (*beacon*, RTS, CTS, ACK, ...).
- Pomembno je predvsem sprejemanje paketov, ki vsebujejo podatek o zasedenosti omrežja (NAV).

N. Zimic

4-60

# Sobivanje ...

- Zaželeno je, da je prenosov z nizkimi hitrostmi čim manj, kar pomeni, da naprave med prenosom spreminjajo hitrost in način modulacije.



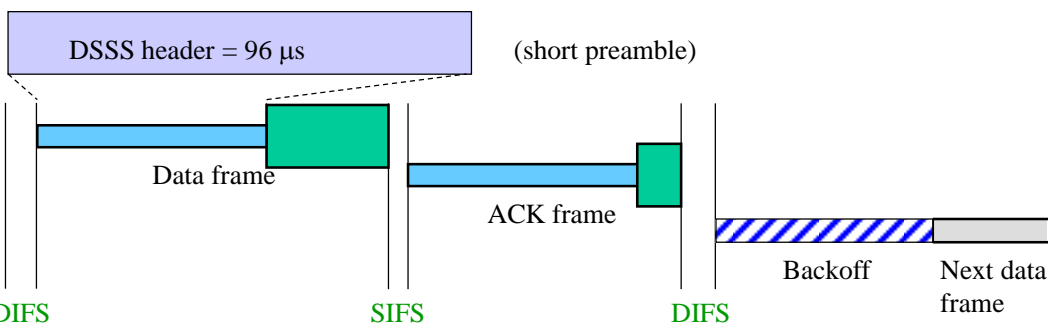
N. Zimic

4-61

# Sobivanje ...

- Primer paketa IEEE 802.11g v omrežju z napravami tip IEEE 802.11b.

DSSS header =  $144+48$  bits =  $192 \mu\text{s}$  (long preamble)

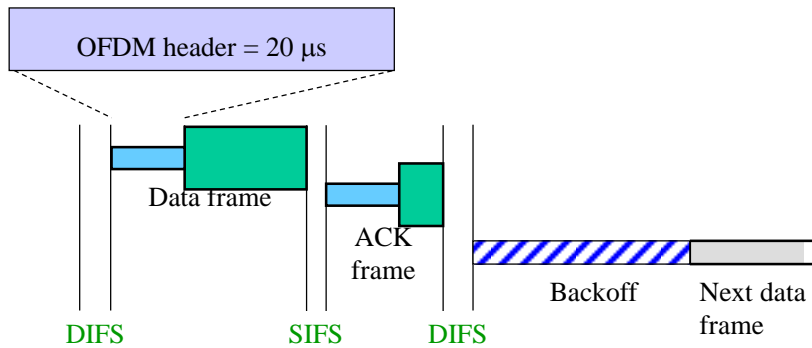


N. Zimic

4-62

# Sobivanje ...

- Primer paketa IEEE 802.11g v omrežju, kjer ni sobivanja.

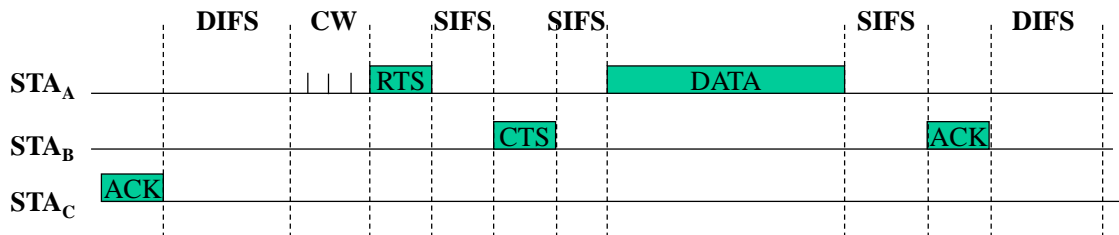


N. Zimic

4-63

# Hitrost prenosa

- Časi pri prenašanju paketa



$$T = T_{DIFS} + T_{CW} + T_{RTS} + T_{SIFS} + T_{CTS} + T_{SIFS} + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{ACK}$$

$$T = 82\mu\text{s} + T_{CW} + T_{RTS} + T_{CTS} + T_{DATA} + T_{ACK}$$

N. Zimic

4-64



## Hitrost prenosa ...

- Hitrost prenosa pri prenosu podatkovnega paketa s potrditvijo pri naslednjih predpostavkah:
  - Hitrost prenosa 54 Mbps
  - $CW_{min} = 15, T_{slot} = 9 \mu s$
  - $T_{CW} = CW_{min} * \frac{T_{slot}}{2} = 67,5 \mu s$
  - $L_{DATA} = 1500 \text{ byte}$
  - $T_{DATA} = 20 \mu s + \frac{8 * L_{DATA}}{54 * 10^6} = 244 \mu s$  (čas simbola je 4  $\mu s$ )
  - $T_{ACK} = 20 \mu s + \frac{8 * 14}{54 * 10^6} = 24 \mu s$  (čas simbola je 4  $\mu s$ )

N. Zimic

4-65

## Hitrost prenosa ...

- Hitrost prenosa s potrditvijo:

$$R = \frac{8 * L_{DATA}}{T_{DIFS} + T_{CW} + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{ACK}}$$

$$R = \frac{8 * 1500}{67,5 \mu s + 34 \mu s + 224 \mu s + 16 \mu s + 24 \mu s} = 32,8 \text{ Mbps}$$

- Pri upoštevanju paketov CTS in RTS je hitrost prenosa:

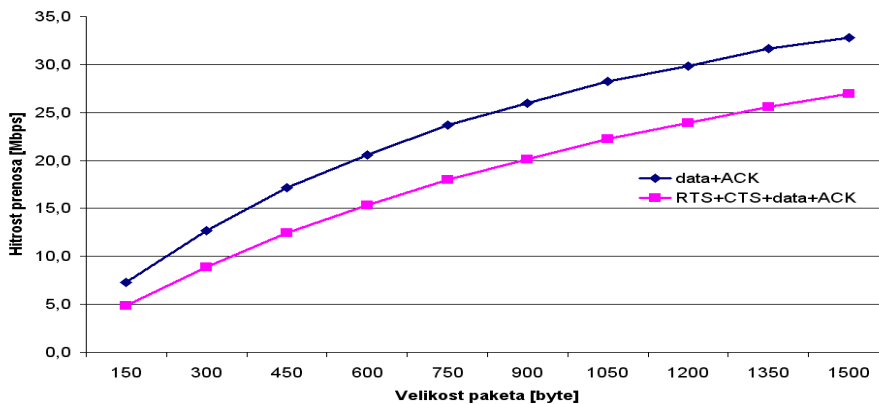
$$R = 26,9 \text{ Mbps}$$

N. Zimic

4-66

# Propustnost ...

Vpliv velikosti paketa na hitrost prenosa



N. Zimic

4-67

# Standard IEEE 802.11n

- Nadgradnja starejših standardov IEEE 802.11 a/b/g
- Omogoča večje hitrosti prenosa
- Omogoča uporabo več anten (MIMO)
- Izboljšan doseg (dvakrat boljši doseg v prostoru, trikrat izven prostorov)
- Povečana zanesljivost prenosa podatkov
- Hkrati lahko uporablja dva kanala (40 MHz)
- Omogoča sobivanje s starejšimi standardi (a/b/g)

N. Zimic

4-68

# Izboljšave na fizičnem nivoju

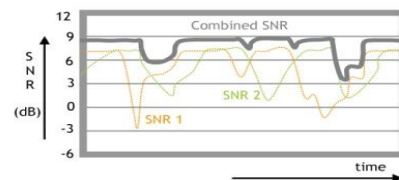
- Uporaba več anten MIMO
  - Združevanje signalov
  - Prostorsko kodiranje
  - Prenos z več snopi
  - Usmerjanje radijskega snopa
- Hkratna uporaba dveh kanalov
- Krajši interval *guard*

N. Zimic

4-69

# Združevanje sprejetih signalov

- V primeru, ko imamo več sprejemnih anten, lahko sprejete signale združujemo tako, da je združen signal močnejši. Komunikacija deluje tudi v primeru, ko ima oddajnik samo eno anteno.



N. Zimic

4-70

# Prostorsko kodiranje

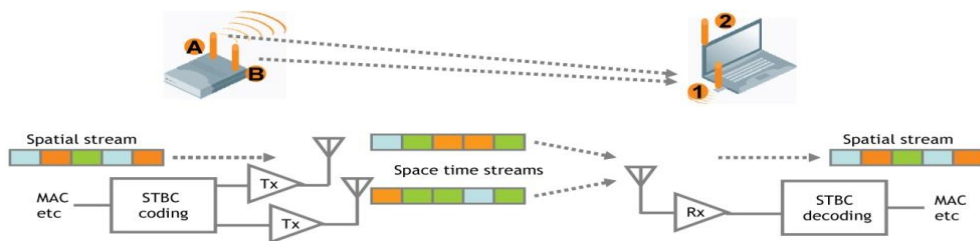
- Prostorsko kodiranje (Space block coding) omogoča, da se pri oddajniku z dvema antenama in sprejemniku z eno anteno, poveča zanesljivost prenosa podatkov.
- Takšen način kodiranja zmanjšuje vpliv nihanja moči signala (fading), saj se informacija prenaša po dveh poteh.
- Eden izmed načinov kodiranja signala je Alamuti code.
- Simboli se po vsaki anteni pošiljajo v različnih zaporedjih.

N. Zimic

4-71

# Prostorsko kodiranje ...

- Prihaz prenašanja podatkov



802.11n coding example: for two consecutive symbols,  $s_1$  and  $s_2$ :

- In time interval  $t_1$ , transmit  $s_1$  from antenna A and  $s_2$  from antenna B
- In time interval  $t_2$ , transmit  $-s_2^*$  from antenna A and  $s_1^*$  from antenna B

N. Zimic

4-72

## Prenos z več snopi

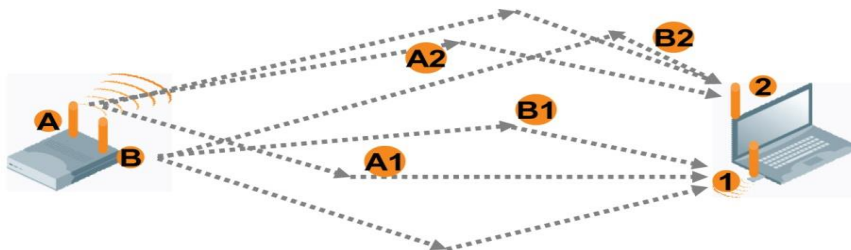
- Največji doprinos pri hitrosti prenosa podatkov v primeru več anten je prenos z več snopi. To pomeni, da v primeru dveh sprejemnih in dveh oddajnih anten, komunikacija poteka preko dveh snopov. To omogoča enkrat hitrejši prenos podatkov.
- V primeru  $n \times n$  ( $n$  oddajnih in sprejemnih anten), je pohitritev  $n$ -kratna.
- Standard IEEE 802.11n omogoča 4 sprejemne in oddajne antene, kar doprinese pohitritev za 4-krat.
- WiFi alianca dopušča do 3 x 3 antene.

N. Zimic

4-73

## Prenos z več snopi ...

- V primeru z MIMO so odboji dobrodošli, saj omogočajo prenos z več snopi. V primeru z eno anteno predstavljajo odboji motnje.

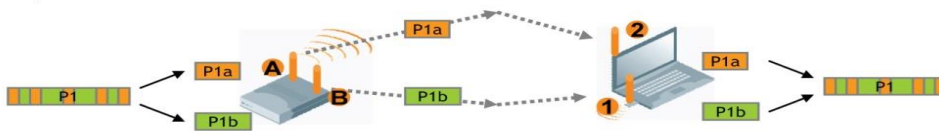


N. Zimic

4-74

## Prenos z več snopi ...

- Signali, ki do antene pridejo po različnih poteh, se seštejejo. Po ustreznem procesiranju signalov lahko iz prejetih signalov izračunamo različne snope. Rezultat je več paralelnih poti za prenos podatkov.



N. Zimic

4-75

## Prenos z več snopi ...

- Notacija zapisa **2x3:2**
  - Prva številka pomeni število oddajnih anten
  - Druga številka pomeni število sprejemnih anten
  - Tretja številka pomeni število snopov
- Čeprav je število sprejemnih anten 3, je lahko število snopov kvečjemu dva (min. števila oddajnih in sprejemnih anten).
- V primeru ko je sprejemnih anten več, se le-te uporabljajo za izboljšanje sprejema signala.

N. Zimic

4-76

## Prenos z več snopi ...

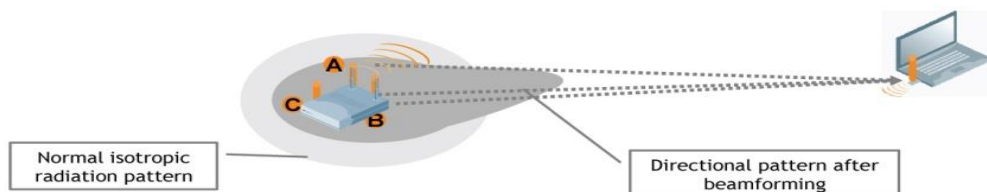
- Standard omogoča 4x4:4
- Običajne konfiguracije anten so:
  - 2x2:2
  - 2x3:2
  - 3x3:2
  - 3x3:3 postaja vse bolj razširjen zaradi večjih potreb
  - 4x4:4 ne podpira WiFi aliance

N. Zimic

4-77

## Usmerjanje radijskega snopa

- Z uporabo več anten lahko usmerjamo radijski signal. S tem dosežemo boljši sprejem ter manjše motenje delovanja sosednjih naprav.

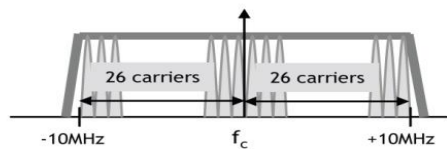


N. Zimic

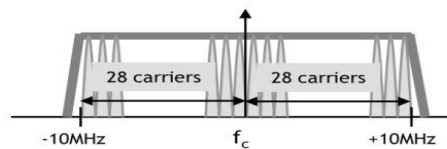
4-78

## Boljša izraba frekvenčnega pasu

- Nov standard omogoča tudi boljšo izrabo frekvenčnega pasu. Število uporabnih podatkovnih nosilcev se tako poveča iz 48 na 52. Število referenčnih nosilcev ostaja enako, to je 4.



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

N. Zimic

4-79

## Hkratna uporaba dveh kanalov

- Standard omogoča hkratno uporabo dveh sosednjih kanalov.
- Na tak način se hitrost več kot podvoji.
- Na 2,4 GHz področju, kjer so na razpolago samo trije kanali, lahko nastopijo težave z ostalimi napravami, ki delujejo na istem frekvenčnem območju.
- Na 5 GHz področju je kanalov več in se takšnim težavam lažje izognemo.

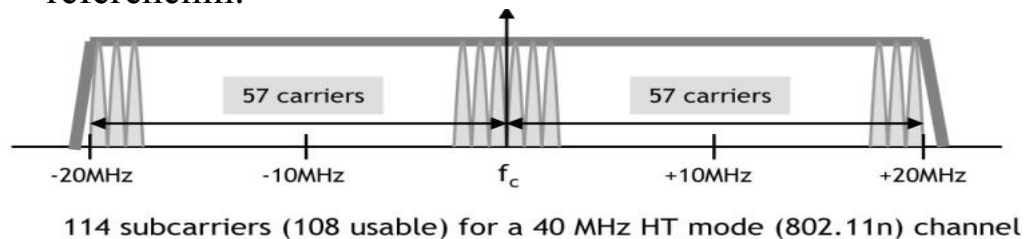
N. Zimic

4-80



## Hkratna uporaba dveh kanalov ...

- Pri združitvi dveh kanalov se število podatkovnih nosilcev poveča tudi na račun prostega prostora med dvema kanaloma. Število vseh nosilcev je 114, od tega je 6 referenčnih.



N. Zimic

4-81

## Krajši interval *guard*

- pri standardu IEEE 802.11 a/b/g se pri simbolu uporablja 800 ns za *guard* interval in 3,2  $\mu$ s za podatkovni nosilec.
- standard IEEE 802.11n omogoča zmanjšanje *guard* intervala iz 800 ns na 400 ns.
- trajanje simbola se tako z 4  $\mu$ s zmanjša na 3,6  $\mu$ s, kar pomeni povečanje hitrosti za dobrih 10 %.

N. Zimic

4-82

# Hitrosti prenosa

Sirina kanala	Interval guard ns	Število snopov	Min. hitrost prenosa Mbps	Max. hitrost prenosa
20	800	1	6,5	65
20	400	1	7,2	72,2
20	800	2	13	130
20	400	2	14,4	144,4
20	800	3	19,5	195
20	400	3	21,7	216,7
20	800	4	26	260
20	400	4	28,9	288,9
40	800	1	13,5	135
40	400	1	15	150
40	800	2	27	270
40	400	2	30	300
40	800	3	40,5	405
40	400	3	45	450
40	800	4	54	540
40	400	4	60	600

N. Zimic

4-83

# Hitrosti prenosa ...

	20 MHz Channel		40 MHz Channel	
	1 stream	2 streams	1 stream	2 streams
	Data Rate, in Mbps			
<b>802.11b</b> 2.4 GHz	1, 2, 5.5, 11			
<b>802.11a</b> 5 GHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54			
<b>802.11g</b> 2.4 GHz	1, 2, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54			
<b>802.11n</b> GI <sup>1</sup> =800ns 2.4 GHz	6.5, 13, 19.5, 26, 39, 52, 58.5, 65	13, 26, 39, 52, 78, 104, 117, 130		
<b>802.11n</b> GI <sup>2</sup> =800ns 5 GHz	6.5, 13, 19.5, 26, 39, 52, 58.5, 65	13, 26, 39, 52, 78, 104, 117, 130	13.5, 27, 40.5, 54, 81, 108, 121.5, 135	27, 54, 81, 108, 162, 216, 243, 270
<b>802.11n, GI=400ns</b> 2.4 and 5 GHz	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2	14.4, 28.9, 43.3, 57.8, 86.7, 115.6, 130, 144.4	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150	30, 60, 90, 120, 180, 240, 270, 300

N. Zimic

4-84

# Hitrosti prenosa ...

MCS Index	Spatial Streams	Modulation Type	Coding Rate	Data Rate Mb/s			
				20 MHz channel		40 MHz channel	
				800ns GI	400ns GI	800ns GI	400ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.50	7.20	13.50	15.00
1	1	QPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
2	1	QPSK	3/4	19.50	21.70	40.50	45.00
3	1	16-QAM	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
4	1	16-QAM	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
5	1	64-QAM	2/3	52.00	57.80	108.00	120.00
6	1	64-QAM	3/4	58.50	65.00	121.50	135.00
7	1	64-QAM	5/6	65.00	72.20	135.00	150.00
8	2	BPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
9	2	QPSK	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
10	2	QPSK	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
11	2	16-QAM	1/2	52.00	57.80	108.00	120.00
12	2	16-QAM	3/4	78.00	86.70	162.00	180.00
13	2	64-QAM	2/3	104.00	115.60	216.00	240.00
14	2	64-QAM	3/4	117.00	130.00	243.00	270.00
15	2	64-QAM	5/6	130.00	144.40	270.00	300.00
...	3	...	...	...	...	...	...
23	3	64-QAM	5/6	195.00	216.60	405.00	450.00
...	4	...	...	...	...	...	...
31	4	64-QAM	5/6	260.00	288.90	540.00	600.00

N. Zimic

4-85

# Hitrosti prenosa ...

- Prejšnja tabela prikazuje hitrosti v primerih, ko je hitrost prenosa za vse snope enaka.
- Zaradi različnih odbojev se pogosto dogaja, da je sprejemni signal posameznega snopa šibkejši in zato se lahko modulacije snopov razlikujejo.

N. Zimic

4-86

## Izboljšave na MAC nivoju

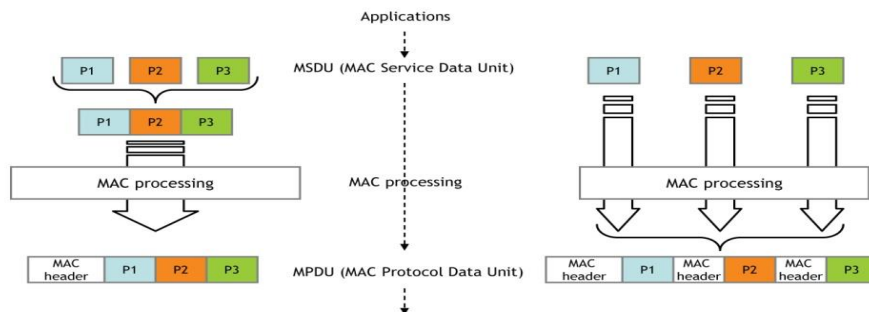
- Združevanje paketov
- Skupinsko potrjevanje paketov
- Zmanjševanje časa med paketi
- Manjša poraba energije

## Združevanje paketov

- Na MAC nivoju se lahko MAC paketi združujejo in pošiljajo kot en paket na fizičnem nivoju (frame aggregation).
- Obstajata dva načina agregacije
  - ko je prejemnik več paketov isti (A-MSDU),
  - ko so prejemniki različni (A-MPDU).
- Zaradi združenega pošiljanja paketov je bilo potrebno uvesti tudi nov način potrjevanja paketov.
- Za boljše izkoriščanje združevanja paketov je velikost paketa na fizični plasti povečana iz 4095 na 65535 zlogov.

# Združevanje paketov ...

- Dva načina združevanja paketov



N. Zimic

4-89

# Skupinsko potrjevanje paketov

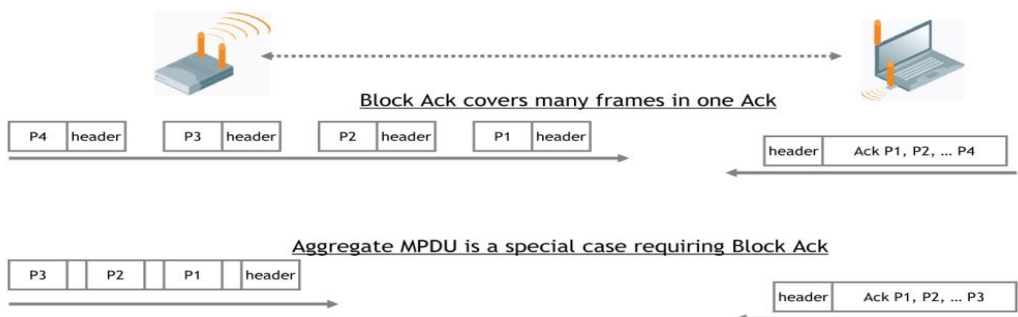
- Starejši standardi so zahtevali potrditev po vsakem prejetem paketu.
- Standard 802.11n uvaja skupinsko potrjevanje prejetih paketov.
- Takšno potrjevanje se uporablja tudi pri potrjevanju združenih paketov.

N. Zimic

4-90

# Skupinsko potrjevanje paketov ...

- Primer skupinskega potrjevanja paketov



N. Zimic

4-91

# Zmanjševanje časa med paketi

- V primeru, ko ista postaja pošilja več paketov, se lahko čas med paketi zmanjša.
- Tako je namesto časa SIFS (Single inter-frame spacing) uvaja nov krajši čas RIFS (Reduced inter-frame spacing)
  - SIFS je 16  $\mu$ s,
  - RIFS je 2  $\mu$ s.
- Čas RIFS se lahko uporablja samo v primeru, če pakete oddaja ista postaja in če celotno omrežje podpira takšen način delovanja.

N. Zimic

4-92

## Manjša poraba energije

- Naprave, ki delujejo v načinu manjše porabe energije (Power save mode) se periodično aktivirajo in poslušajo promet.
- Ker uporaba več anten (MIMO) zahteva poseben postopek za pripravo na delovanje, je energijsko potratna.
- Zato nov standard omogoča uporabo samo ene antene v načinu majhne porabe energije.
- Po potrebi lahko naprava aktivira vse antene.

## Periodičen prenos podatkov

- V načinu majhne porabe energije je dodan način periodičnega prenosa podatkov.
- Naprava se naroči na periodičen prenos podatkov.
- Vstopna točka v enakih intervalih pošilja podatke napravam in za tem sprejema podatke od naprav.
- V predvidenih intervalih morajo naprave sprejemati podatke.

# Periodičen prenos ...

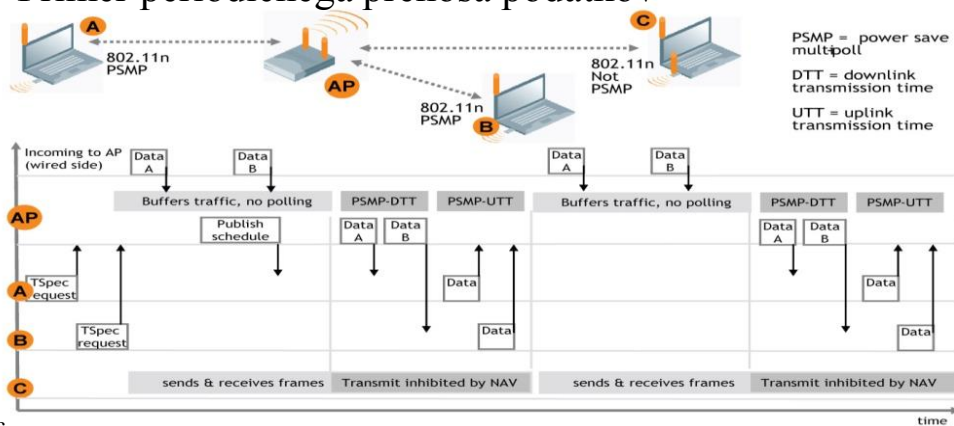
- Ko pride naprava v intervalu PSMP na vrsto za pošiljanje, pošlje podatke. Pošlje lahko več paketov, ki so med seboj ločeni s krajšim časom RIFS.
- Ko poteče daljši čas SIFS, lahko oddaja naslednja postaja.
- Takšen način komunikacije je še posebej primeren v primerih, ko imamo stalen tok podatkov, kot je v primeru IP telefona.

N. Zimic

4-95

# Periodičen prenos ...

- Primer periodičnega prenosa podatkov



N. Zimic

4-96



## Sobivanje z ostalimi napravami

- Omrežje lahko deluje v tako imenovanem načinu *greenfield*, kjer vse naprave delujejo po standardu 802.11n:
  - ta način omogoča največje hitrosti,
  - omogoča uporabo dveh kanalov (40 MHz pas).
- Omrežje lahko deluje v načinu, ko upošteva prisotnost naprav, ki podpirajo samo starejše standarde:
  - dostop do medija mora biti prilagojen starejšim standardom, tako da ga lahko sprejemajo vse naprave v omrežju,
  - lahko zaseda dva kanala (40 MHz pas), vendar mora na obeh kanalih ustrezno pošiljati pakete za dostop oziroma rezervacijo medija (NAV vektor).

N. Zimic

4-97

## Sobivanje z ostalimi napravami

- Primerjava standardov:

	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n
Hitorost prenosa Mbps (max.)	11	54	54	600
Modulacija	CCK, DSSS	OFDM	CCK, DSSS, OFDM	CCK, DSSS, OFDM
Področje	2,4 GHz	5 GHz	2,4 GHz	2,4 in 5 GHz
Število snopov	1	1	1	4
Širina kanala (max.)	20 MHz	20 MHz	20 MHz	40 MHz

N. Zimic

4-98

## Priključitev na dostopno točko

- Osnovni pojmi:
  - Association: postopek med dostopno točko in postajo, ki omogoča napravi priključitev in uporabo vstopne točke
  - Reassociation: omogoča napravi prehod med dvema dostopnima točkama
  - Disassociation: obvestilo o prekinitvi trenutne priključitve.
  - Authentication: Preverjanje pristnosti
  - Deauthentication: obvestilo o prenehanju statusa pristnosti.

## Priključitev na dostopno točko ...

- Pred priključitvijo v omrežje je potrebno preveriti pristnost (*Authentication*).
- Naprava lahko preveri pristnost na večih dostopnih točkah, vendar je lahko priključena samo na eno.
- Priključitev na dostopno točko *Association*:
  - Naprava pošlje zahtevo (*Associate request*) po priključitvi v omrežje.
  - Dostopna točka ji odgovori z ustreznim paketom (*Associate response*).

## Priključitev na dostopno točko ...

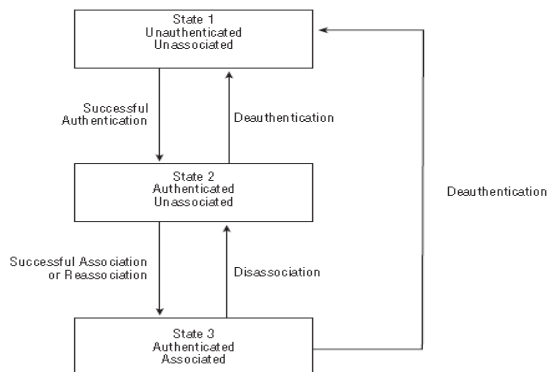
- Prehod med dostopnimi točkami *Reassociation*:
  - Naprava lahko prekine povezavo z eno dostopno točko in se priključi na drugo.
  - Omenjen postopek je potreben, ko je naprava mobilna in se premika iz območja ene dostopne točke v območje druge dostopne točke.
  - Naprava pošlje zahtevo (*reassociation request*) novi dostopni točki.
  - Dostopna točka odgovori (*reassociation response*).
  - Nova dostopna točka pošlje paket (*disassociation frame*) stari dostopni točki.

N. Zimic

4-101

## Priključitev na dostopno točko ...

- Stanja pri priključevanju v omrežje:



N. Zimic

4-102

## Standard 802.11ac

- standard je bil potrjen januarja 2014 in se počasi širi
- nadgradnja obstoječih standardov (b/g/n)
- deluje samo na frekvenčnem področju 5 GHz
- omogoča velike hitrosti prenosa
- omogoča sobivanje s starejšimi standardi

## Prednosti standarda 802.11ac

- omogoča sobivanje s standardom 802.11n in 802.11a
- večja pasovna širina (do 160 MHz)
- sobivanje je omogočeno tudi pri uporabi širokega frekvenčnega pasu (160 MHz)
- večje število snopov (do 8)
- zmogljivejša modulacija (256 QAM)
- v standardu je opredeljeno generiranje snopa (beam forming)
- generiranje več snopov naenkrat (Multiuser MIMO)

# Primerjava na fizičnem nivoju

- Primerjava značilnosti standarda 802.11n in 802.11ac na fizičnem nivoju

PHY	Število nosilcev in širina frekvenčnega pasu (MHz)	Število snopov (MIMO)	Razmerje kodiranja in število bitov na simbol	Trajanje simbola ( $\mu$ s)	Hitrost na fizičnem nivoju (Mbps)
802.11n ali 802.11ac	56 (20) 108 (40)	1 do 4	do 5/6 $\log_2(64) = 5$	3.6 ali 4	311 600
802.11ac	234 (80) 2 x 234 (160)	5 do 8	do 5/6 $\log_2(256) = 6.67$	3.6 ali 4	3.466 6.933

Pri standardu 802.11n se uporabljajo največ trije snopi (WiFi alliance), čeprav standard dopušča 4 snope.

N. Zimic

4-105

# Primerjava hitrosti delovanja

Tehnologija	20 MHz	40 MHz	80 MHz	160 MHz
802.11b	11 Mbps			
802.11a/g	54 Mbps			
802.11n (1 SS)	72 Mbps	150 Mbps		
802.11ac (1 SS)	87 Mbps	200 Mbps	433 Mbps	867 Mbps
802.11n (2 SS)	144 Mbps	300 Mbps		
802.11ac (2 SS)	173 Mbps	400 Mbps	867 Mbps	1.7 Gbps

N. Zimic

4-106

## Primerjava hitrosti delovanja ...

Tehnologija	20 MHz	40 MHz	80 MHz	160 MHz
802.11n (3 SS)	216 Mbps			
802.11ac (3 SS)	289 Mbps	600 Mbps	1.3 Gbps	2.3 Gbps
802.11n (4 SS)	289 Mbps	600 Mbps		
802.11ac (4 SS)	347 Mbps	800 Mbps	1.7 Gbps	3.5 Gbps
802.11ac (8 SS)	693 Mbps	1.6 Gbps	3.4 Gbps	6.9 Gbps

N. Zimic

4-107

## Energijska učinkovitost

- Energijska učinkovitost prenosa podatkov se meri v bitih na mikro Joule.

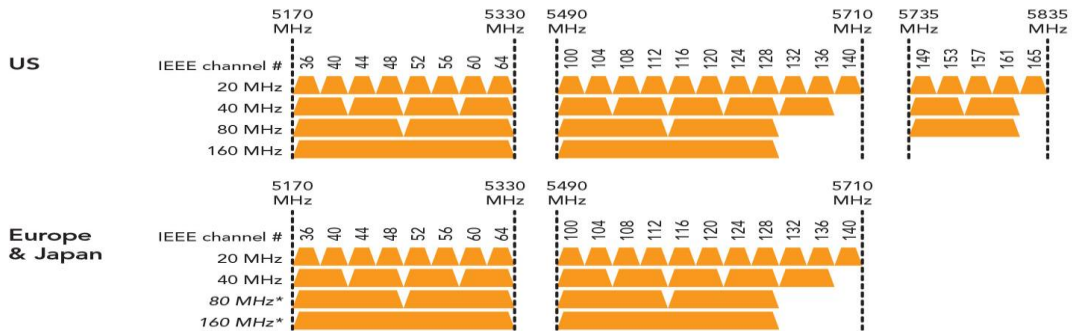
Standard	Učinkovitost prenosa (bit / mikro Joule)
802.11 a/g	280
802.11n (1x1)	680
802.11ac (1x1)	1400

N. Zimic

4-108

# Frekvenčno področje

- Slika frekvenčnega področja 5 GHz



N. Zimic

4-109

# Načini modulacije

- Možni načini modulacije in razmerje kodiranja, ki se uporablja glede na razmerje signal/šum

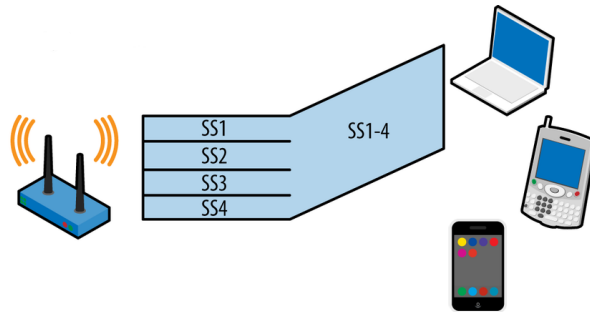
MCS	Modulation	Coding Rate
0	BPSK	1/2
1	QPSK	1/2
2	QPSK	3/4
3	16-QAM	1/2
4	16-QAM	3/4
5	64-QAM	2/3
6	64-QAM	3/4
7	64-QAM	5/6
8	256-QAM	3/4
9	256-QAM	5/6

N. Zimic

4-110

# MIMO – en uporabnik

- MIMO pri komunikaciji z enim uporabnikom



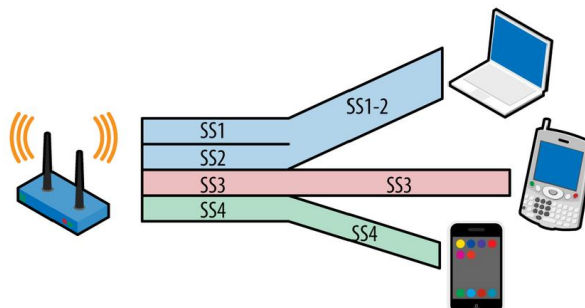
Vir: Matthew Gast, 802.11ac: A Survival Guide

N. Zimic

4-111

# MIMO – več uporabnikov

- MIMO pri komunikaciji z več uporabniki (MU-MIMO)



Vir: Matthew Gast, 802.11ac: A Survival Guide

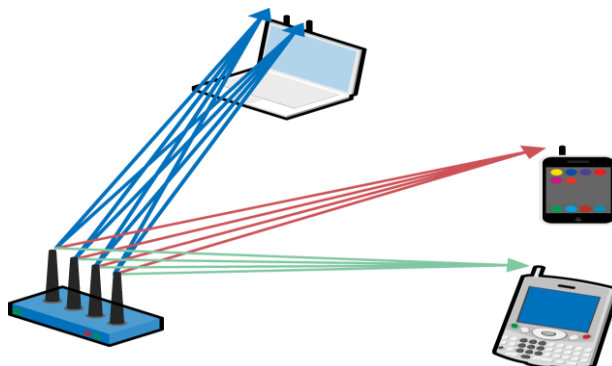
N. Zimic

4-112



# MIMO – generiranje snopa

- MIMO generiranje snopa pri več uporabnikih



N. Zimic

Vir: Matthew Gast, 802.11ac: A Survival Guide

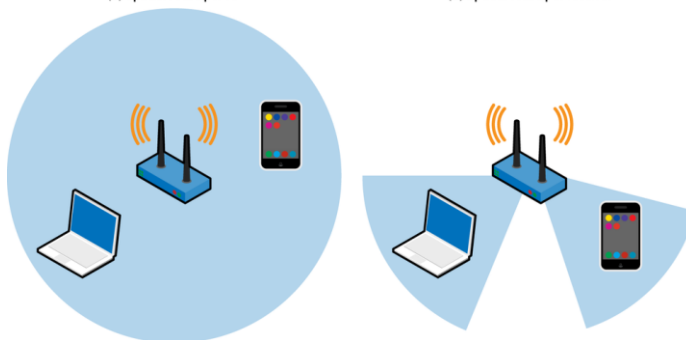
4-113

# MIMO – prostorska delitev

- MIMO prostorska delitev uporabnikov

(a) Spatial reuse per AP

(b) Spatial reuse per receiver



N. Zimic

Vir: Matthew Gast, 802.11ac: A Survival Guide

4-114

# WiFi alliance

- Neprofitno združenje proizvajalcev opreme.
- Skrbi, da naprave različnih proizvajalcev brez težav komunicirajo med sabo.
- Ima preko 600 članov po vsem svetu.
- Skrbi za ustrezno implementacijo standarda.
- Predlaga rešitve pri implementaciji.
- Izvaja testiranje ustreznosti implementacije vseh protokolov, ki jih naprava omogoča.

N. Zimic

4-115

# WiFi alliance ...

**Wi-Fi CERTIFIED™ Interoperability Certificate** Certification ID: WFA7644

 This certificate lists the capabilities and features that have successfully completed Wi-Fi Alliance interoperability testing. Additional information about Wi-Fi Alliance certification programs is available at [www.wi-fi.org/certification\\_programs.php](http://www.wi-fi.org/certification_programs.php).

<b>Tested Spatial Streams</b>	<b>Dual-Band Concurrent Maximum</b>
Transmit	2
Receive	2

**Certificate Date:** August 04, 2009  
**Company:** NETGEAR, Inc.  
**Product:** RangeMax Dual Band Wireless-N Gigabit Router  
**Model/SKU #:** WNDR3700v1/  
**Category:** Access Point for Home or Small Office (Wireless Router)

IEEE Standard	Security	Multimedia
IEEE 802.11a IEEE 802.11b IEEE 802.11g IEEE 802.11n draft 2.0 <b>Optional 802.11n Capabilities</b> - 40 MHz operation in 5 GHz - HT Duplicate (MCS 32)	WP A@ - Enterprise, Personal WP A2@ - Enterprise, Personal <b>EAP Types</b> EAP-TLS EAP-TTLS/MSCHAPv2 PEAPv0/EAP-MSCHAPv2 PEAPv1/EAP-GTC EAP-SIM	WMM@ WMM Power Save  <b>Special Features</b> Wi-Fi Protected Setup™ - PIN - PBC

For more information: [www.wi-fi.org/certification\\_programs.php](http://www.wi-fi.org/certification_programs.php)

N. Zimic

4-116