

# Radijske pristupne mreže

Doc. dr. sc. Gordan Šišul

# **Radijske mreže gradskih područja**

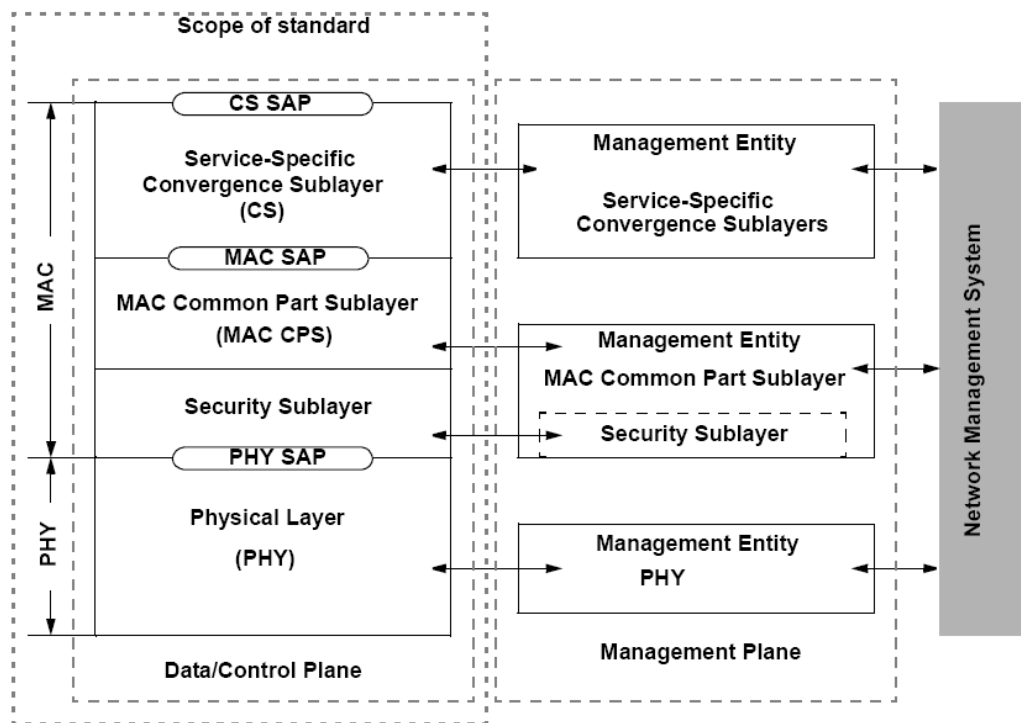
**(osobitosti tehnologije WiMAX, obilježja norme IEEE 802.16-2004, OFDM radijsko sučelje)**

# Osobitosti tehnologije WiMAX

- Odnosi se na sve što je pokriveno normama 802.16-2004 (nepokretne mreže) i 802.16e (mobilne mreže)
- Svaka od tih normi nosi neke osobitosti
- Zajedničko: uporaba sofisticiranih algoritama i tehnologija, različite konfiguracije rada
  - WiMAX tehnologija pokriva različita frekvencijska područja, širine kanala, načine pristupa, dupleksne načine rada, modulacijske postupke i kodiranja, inteligentne antene, mrežne konfiguracije, šifriranje podataka, definiranje vrste usluge...

# Obilježja norme IEEE 802.16-2004

- Normom su obuhvaćena dva sloja: sloj upravljanja pristupa mediju (MAC, *Medium Access Control*) i fizički sloj (PHY, *Physical Layer*)
- Prikaz MAC i PHY sloja (preuzeto izravno iz norme IEEE 802.16-2004) – referentni model



# Obilježja norme IEEE 802.16-2004

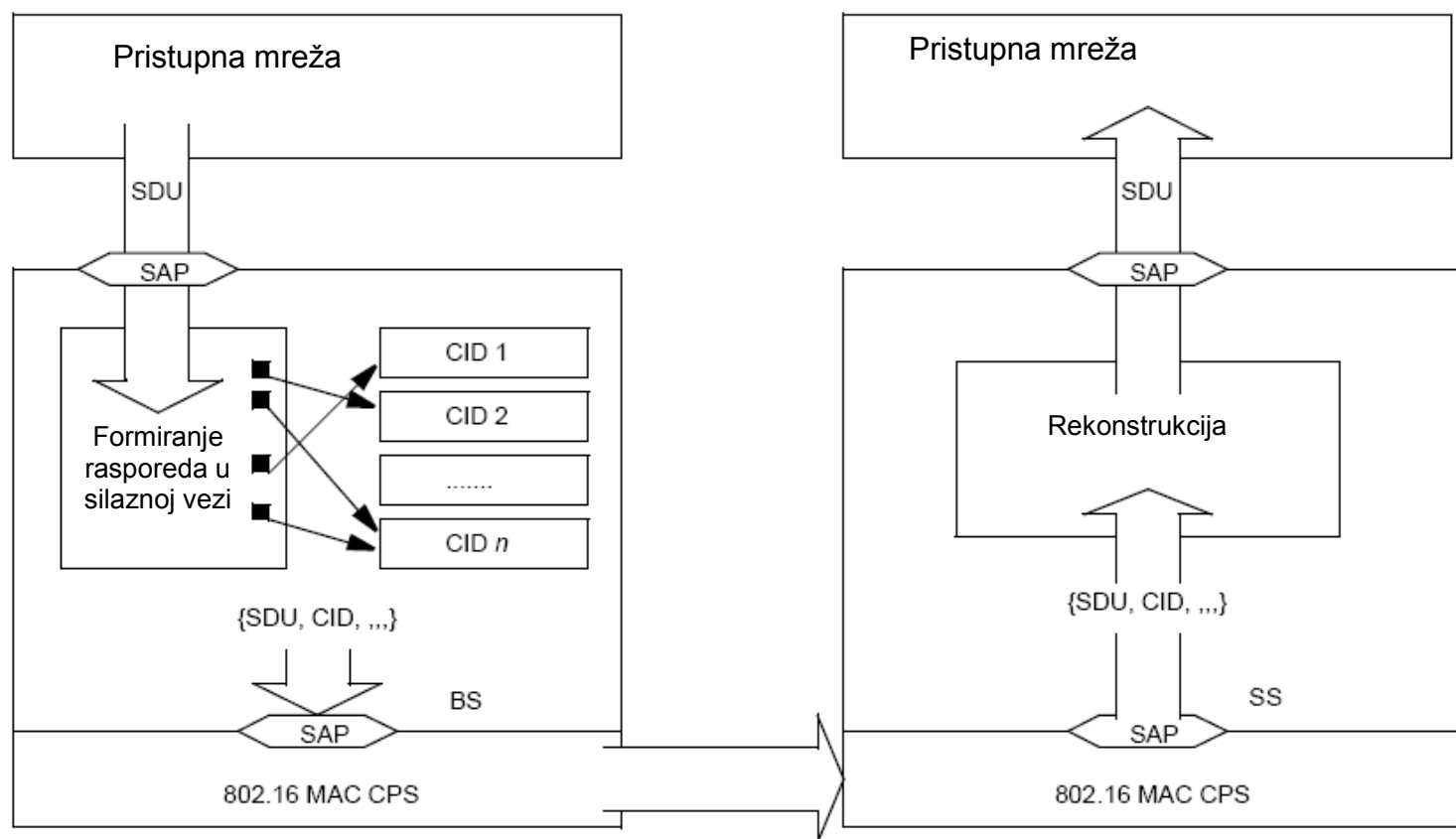
- Sloj upravljanja pristupa mediju sastoji se od tri podsloja :
  - Podsloj konvergencije usluga (CS – *Convergence Sublayer*) – osigurava transformaciju i preslikavanje podataka iz vanjske mreže (ATM CS i paketni CS: IPv4, IPv6, Ethernet, WLAN) iz i prema MAC CPS (MAC CPS, *Medium Access Control Common Part Sublayer*) kroz pristupne točke usluga (CS SAP, *Convergence Sublayer Service Access Point*). Na taj način je omogućena komunikacija sloja upravljanja pristupa prema vanjskoj telekomunikacijskoj mreži.
  - Zajednički MAC podsloj (MAC CPS) osigurava funkcionalnost pristupa sustavu, dodjelu pojasa, ostvarivanje i održavanje veze. On preuzima podatke iz raznih podslojeva konvergencije usluga kroz pristupne točke usluga (MAC SAP).
  - Sigurnosni podsloj – osigurava autorizaciju usluga, razmjenu sigurnosnih ključeva i šifrirano kodiranje podataka radi zaštite od neovlaštenog pristupa.

# Obilježja norme IEEE 802.16-2004

- Protokolna podatkovna jedinica iz višeg sloja (PDU, *Protocol Data Unit*) povezana s odgovarajućom MAC vezom uključuje se u podatkovnu jedinicu usluga (SDU – *Service Data Unit*) zaduženu za komunikaciju između slojeva.
- Klasificiranjem MAC SDU (MAC SDU, *Medium Access Control Service Data Unit*) paket se preslikava u oblik za prijenos u mreži (odredišna IP adresa, prioritet prijenosa, CID).
- Klasificiranje se vrši pomoću identifikatora spajanja CID (*Connection Identifier*).

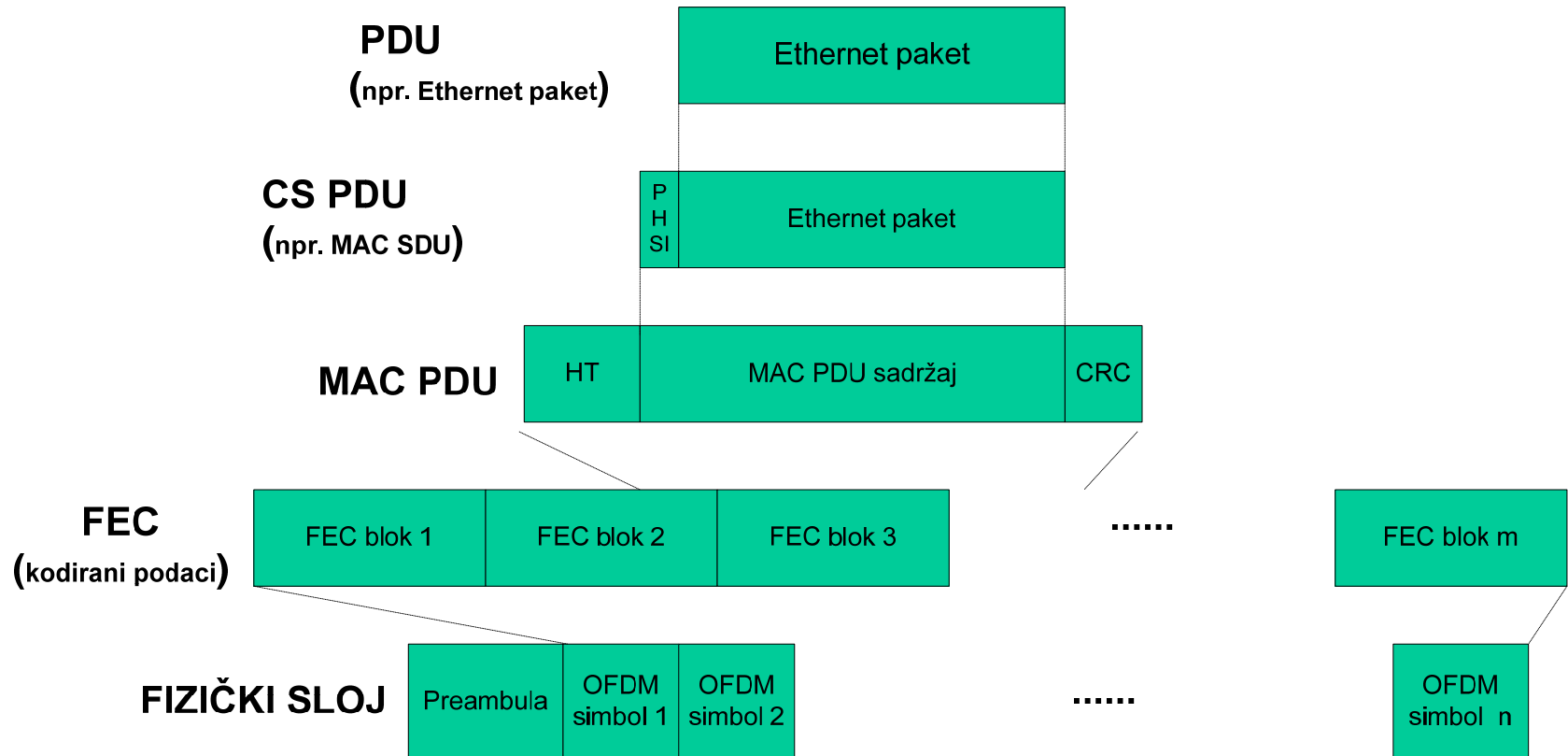
# Obilježja norme IEEE 802.16-2004

- Klasifikacija i preslikavanje podataka od bazne postaje prema korisničkoj postaji



# Obilježja norme IEEE 802.16-2004

- Tijek podataka između slojeva





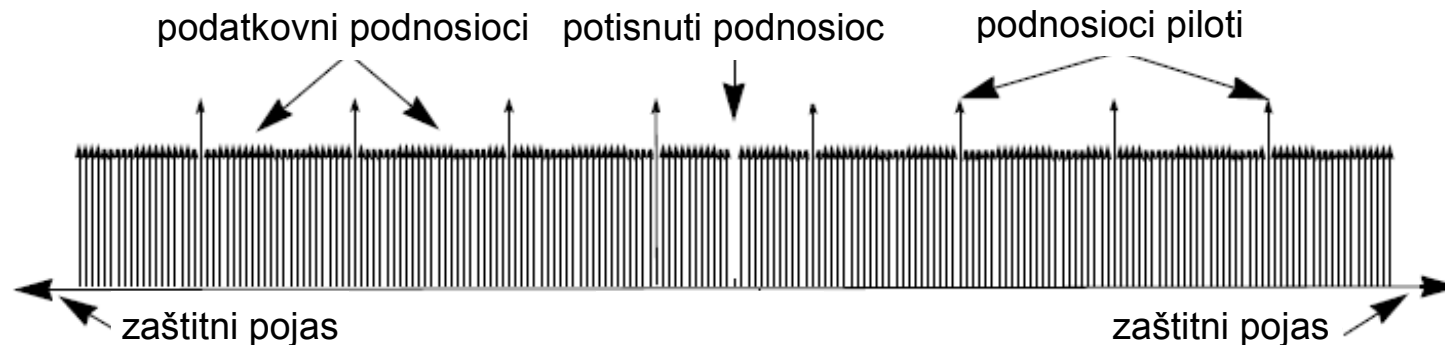
# Obilježja norme IEEE 802.16-2004

- MAC sloj omogućava korištenje pet različitih radijskih sučelja na fizičkom sloju
- Prikaz sloja upravljanja pristupa mediju i fizičkih slojeva u normi IEEE 802.16-2004

Zajednički sloj upravljanja pristupa mediju (MAC)				
11–66 GHz <b>SC PHY</b>	2–11 GHz <b>SCa PHY</b>	2–11 GHz <b>OFDM PHY</b>	2–11 GHz <b>OFDMA PHY</b>	2–11 GHz <b>HUMAN</b>
11 – 66 GHz	ispod 11 GHz	ispod 11 GHz	ispod 11 GHz	ispod 11 GHz
izdavanje dozvole	izdavanje dozvole	izdavanje dozvole	izdavanje dozvole	ne izdaju se dozvole

# OFDM radijsko sučelje

- Prikaz spektra OFDM simbola



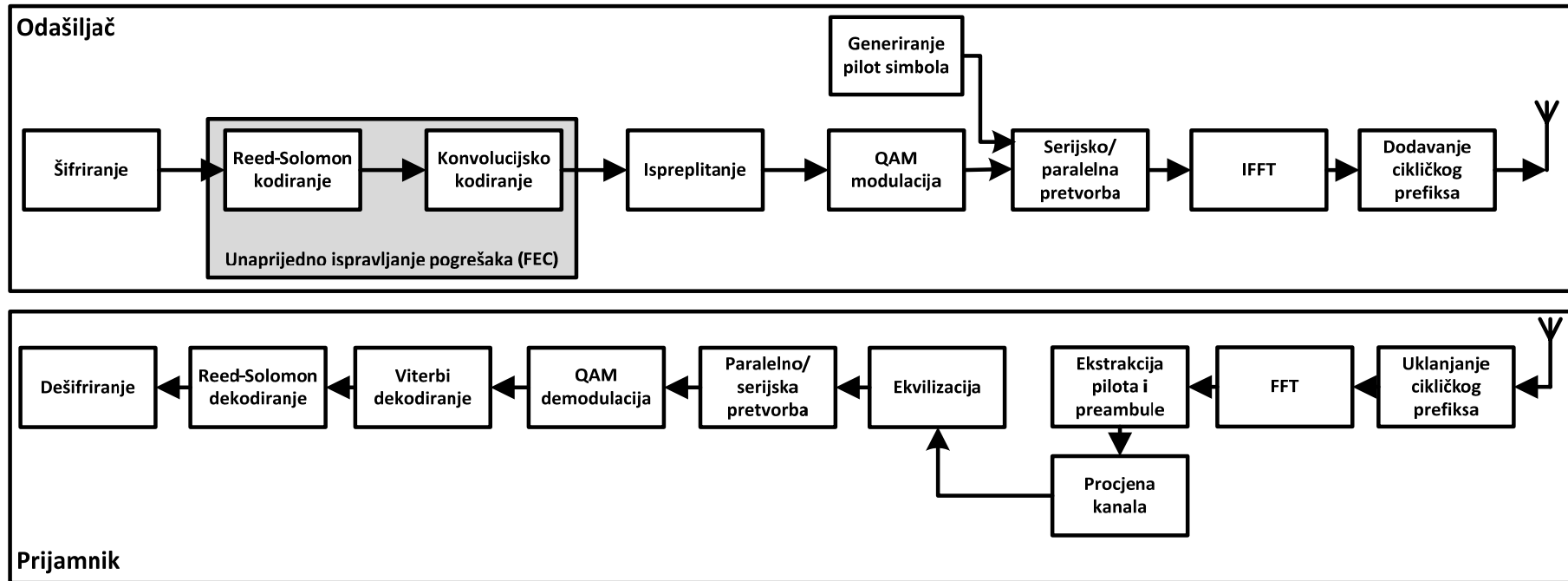
- OFDM signal

$$s(t) = \text{Re} \left\{ e^{j2\pi \cdot f_c t} \sum_{k=-N_{used}/2}^{N_{used}/2} c_k \cdot e^{j2\pi \cdot k \cdot \Delta f (t-T_g)} \right\}$$

- $t$                       – vrijeme od početka OFDM simbola  $0 < t < T_s$ ,
- $c_k$                     – kompleksni broj koji predstavlja podatak koji treba biti prenesen nosiocem  $k$ , u trajanju OFDM simbola; njegova vrijednost definira točku u I-Q konstelacijskom dijagramu,
- $f_c$                     – središnja frekvencija

# OFDM radijsko sučelje

- Dijagram osnovnih dijelova WiMAX-OFDM radijskog sučelja



# OFDM radijsko sučelje

- OFDM radijsko sučelje
  - Najčešći način rada za nepokretni širokopojasni pristup predstavlja OFDM radijsko sučelje.
  - OFDM simbol sastoji se od velikog broja moduliranih podnosilaca, koji su nastali inverznom diskretnom Fourierovom transformacijom.
  - U WiMAX-u se koristi fiksni broj od 256 nosilaca.
  - Svaki od podnosioca je moduliran (BPSK, QPSK, 16–QAM, 64–QAM).
  - Sustav podržava višestupanjsku prilagodljivu modulaciju, kojom se postiže maksimalna brzina prijenosa podataka te različita kodiranja, uz zadovoljavajuću razinu prijemnog signala.

# OFDM radijsko sučelje

- OFDM radijsko sučelje (nastavak)
  - Podnosioci u OFDM spektru mogu biti:
    - podatkovni podnosioci (192)
    - pilotski podnosioci (8) i
    - potisnuti podnosioci.
  - Pilotski podnosioci uvijek su modulirani s određenim poznatim kodovima po BPSK modulacijskoj shemi.
  - Svrha potisnutih podnosilaca je osiguravanje zaštitnog pojasa prema susjednom kanalu na frekvencijskoj osi.
  - Sustav podržava širine kanala u opsegu od 1,25 do 28 MHz.
  - Moguć je TDD i FDD dupleksni način rada.
    - FDD je bolji za simetričnu vrstu prijenosa, dok je TDD bolji za asimetrični način prijenosa podataka.
  - Koristi se TDMA način pristupa. Sustav podržava mreže P2MP (najčešća) i MESH.

# OFDM radijsko sučelje

- Četiri osnovna parametra ( $BW$ ,  $N_{\text{used}}$ ,  $n$ ,  $G$ ) karakteriziraju OFDM simbol. Ostali parametri dobiju se putem proračuna.
- Parametri OFDM radijskog sučelja

Oznaka	Opis
$BW$	Nominalna širina kanala: od 1,25 MHz do 28 MHz (kod ETSI sustava 1,75; 3,5; 7,0; 14,0; 28,0 MHz)
$N_{\text{FFT}}$	Ukupni broj OFDM podnosioca: 256 (fiksni)
$N_{\text{used}}$	Broj podatkovnih podnosilaca: 200 (uključujući 8 pilota, položaji pilota -88, -63, -38, -13, 13, 38, 63, 88)
$n$	Faktor uzorkovanja ( <i>sampling factor</i> ): 8/7, 86/75, 144/125 (316/275, 57/50) (za sustave koji koriste širinu pojasa koja je višekratnik 1,75 MHz, $n = 8/7$ ) Skupa s $BW$ i $N_{\text{used}}$ definira razmak podnosilaca i trajanje korisnog dijela simbola.
$G$	Omjer trajanja zaštitnog intervala i korisnog vremena simbola: 1/4, 1/8, 1/16 i 1/32

# OFDM radijsko sučelje

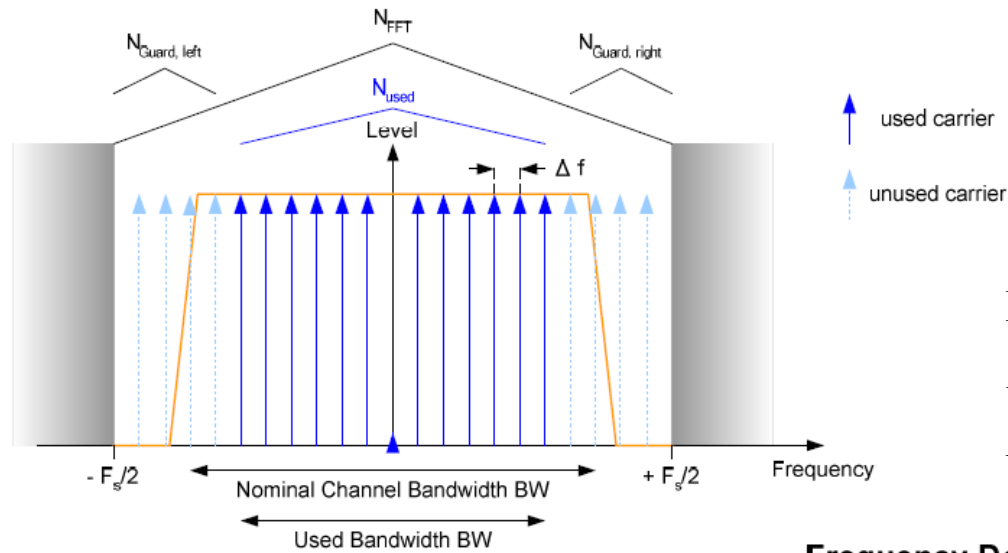
- Parametri OFDM radijskog sučelja (nastavak)

Oznaka	Opis
$F_{uz}$	Frekvencija uzoraka ( <i>sampling frequency</i> ) $F_{uz} = \text{floor}(n \times BW / 8000) \times 8000$ <sup>1</sup> (od 1,72 do 32 MHz)
$\Delta f$	Razmak podnosilaca: 15,625 kHz za $BW = 3,5$ MHz, $\Delta f = F_{uz} / N_{FFT}$
$T_b$	Trajanje korisnog dijela simbola, $T_b = 1 / \Delta f$
$T_g$	Trajanje zaštitnog intervala: $T_g = G \times T_b$
$T_s$	Ukupno trajanje simbola: $T_s = T_b + T_g$
$T_{uz}$	Vrijeme uzorkovanja ( <i>sampling time</i> ), $T_{uz} = T_b / N_{FFT}$
$N_{d-p}$	Broj donjih zaštitnih podnosilaca: 28, (podnosioci od -128 do -101)
$N_{d-u}$	Broj gornjih zaštitnih podnosilaca: 27, (podnosioci od 101 do 127)
$N_{pch}$	Broj logičkih podkanala (0–16)

<sup>1</sup> floor - funkcija zaokruživanja na manji cijeli broj

# OFDM radijsko sučelje

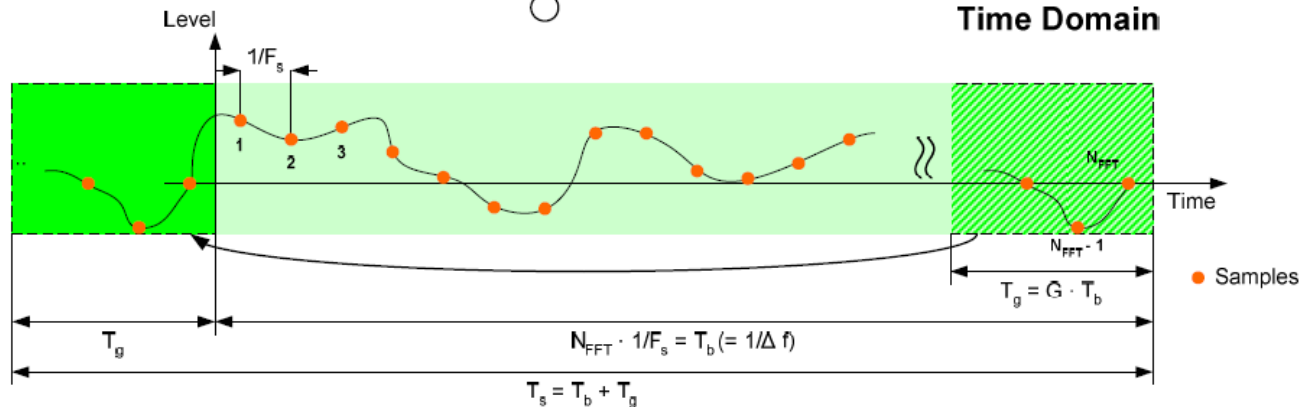
- Objašnjenje OFDM parametara



$$\text{Korišteni (used bandwidth) } BW = N_{\text{used}} \times \Delta f$$

$$BW \neq N_{\text{FFT}} \times \Delta f$$

Frequency Domain



Time Domain

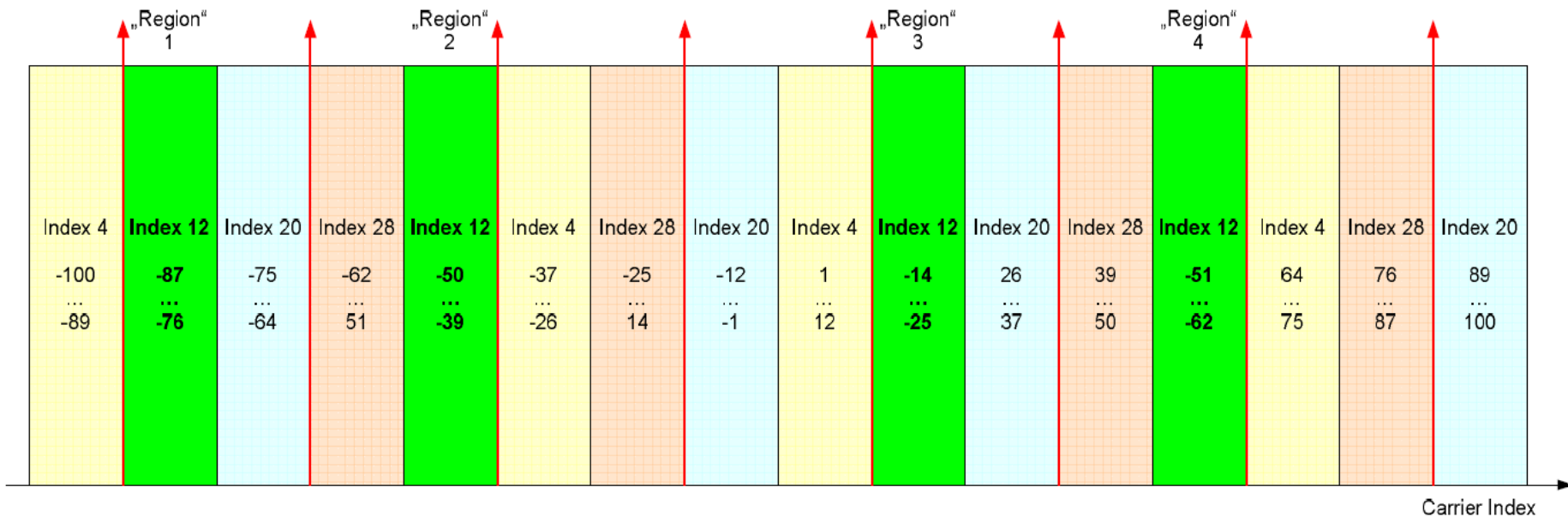


# OFDM radijsko sučelje

- U odnosu na WLAN trajanje simbola je znatno duže (glavna razlika).
  - Veća robusnost u odnosu na višestazno širenje
  - Prijenos na veće udaljenosti i NLOS komunikaciju
- Normom je predviđen rad do 16 logičkih podkanala u jednom OFDM kanalu, premda **sustavi najčešće rade s jednim logičkim podkanalom.**
  - može biti i 2, 4, 8 logičkih podkanala
- Rad s dinamičkim dodjeljivanjem kapaciteta u logičkim podkanalima je predviđen u OFDMA fizičkom sloju.
- Struktura okvira različita je za FDD i TDD dupleks
  - Postoje licencirani proizvodi za obje vrste

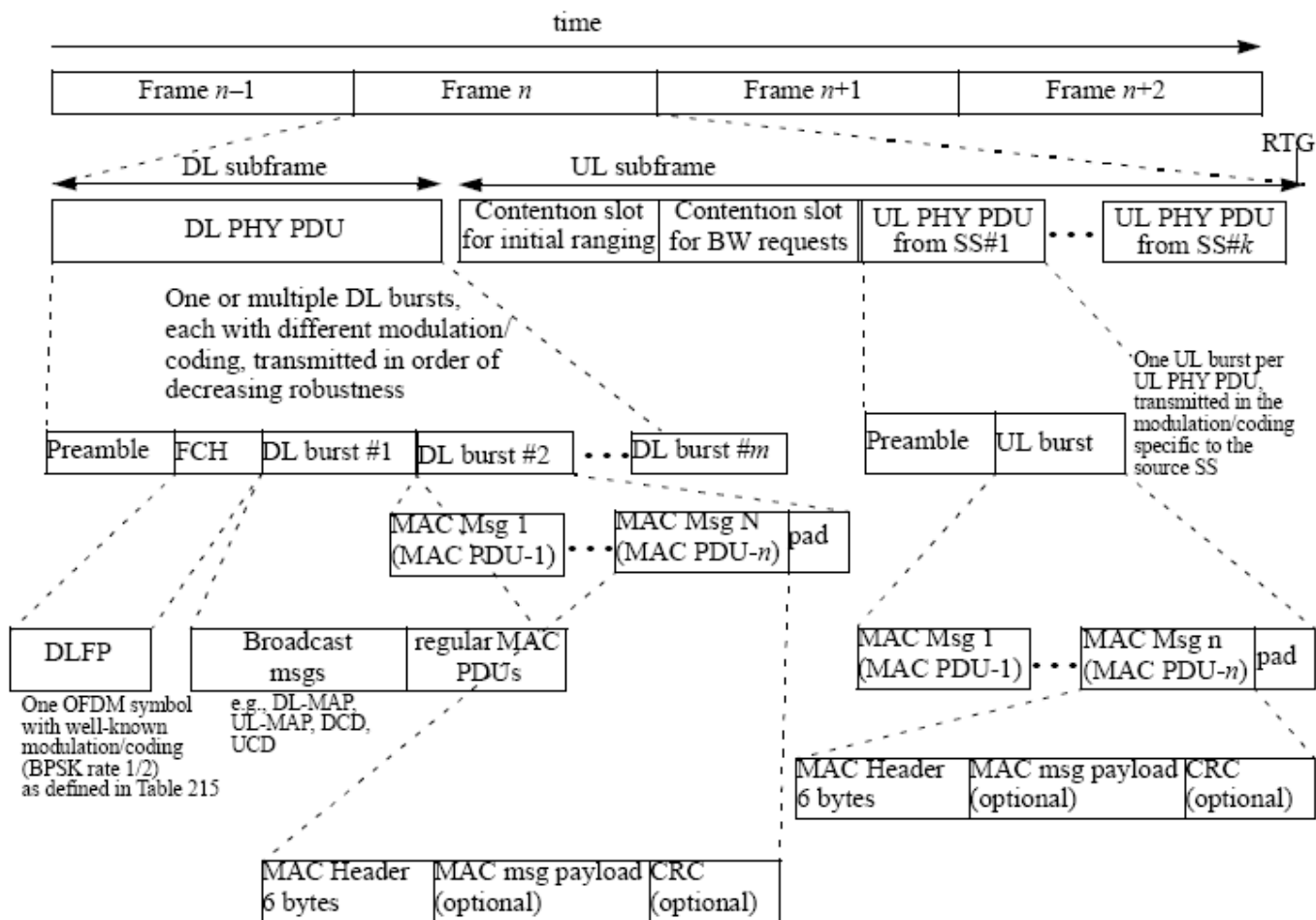
# OFDM radijsko sučelje

- Primjer s 4 logička podkanala (označeni istom bojom)
  - rijetko se koristi ovaj način rada
  - detaljno će se objasniti u usporedbi OFDM/OFDMA



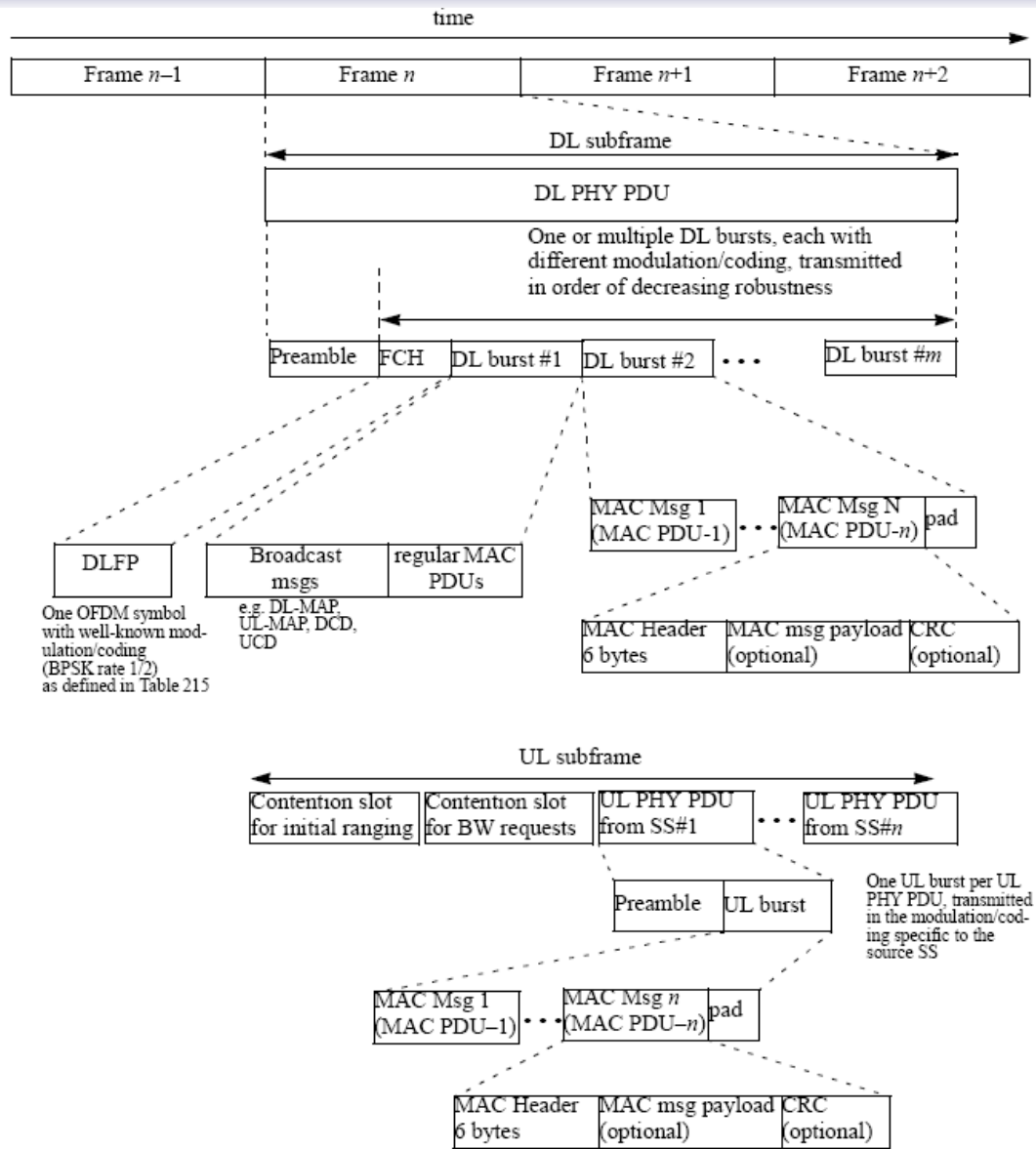
# OFDM radijsko sučelje

- Struktura okvira za TDD način rada (preuzeto u izvornom obliku iz norme)



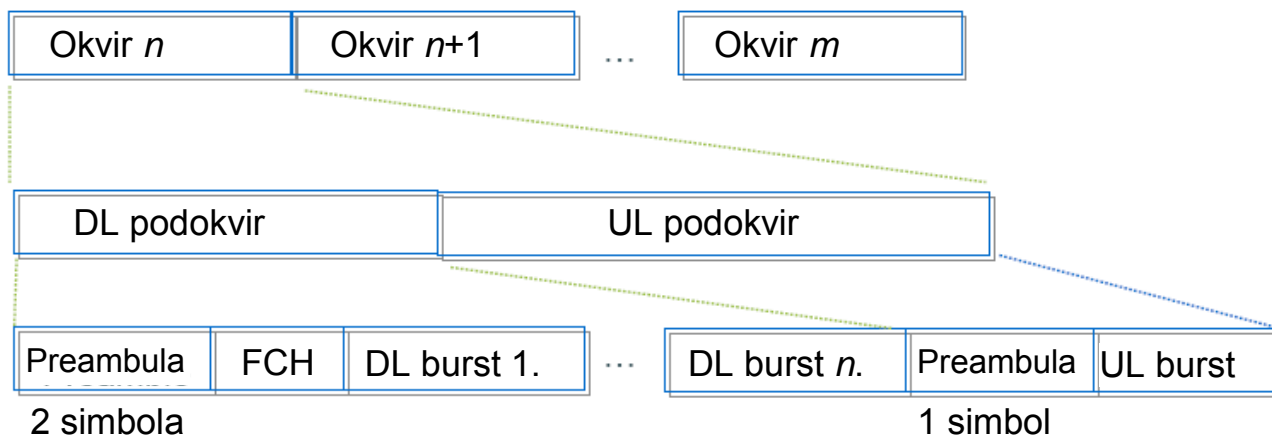
# OFDM radijsko sučelje

- Struktura okvira za FDD način rada (preuzeto u izvornom obliku iz norme)

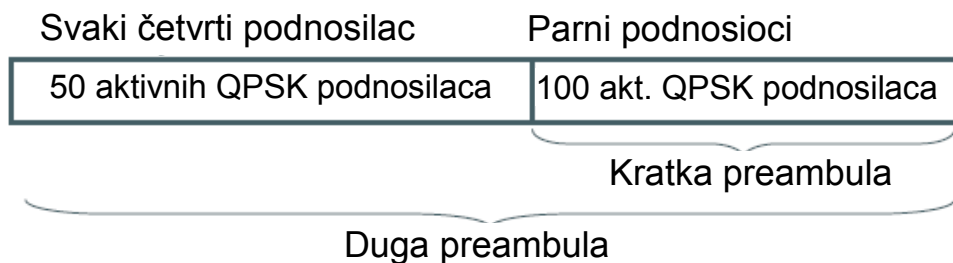


# OFDM radijsko sučelje

- Pojednostavljena struktura okvira i definicija preambule (TDD)



## Definicija preambule

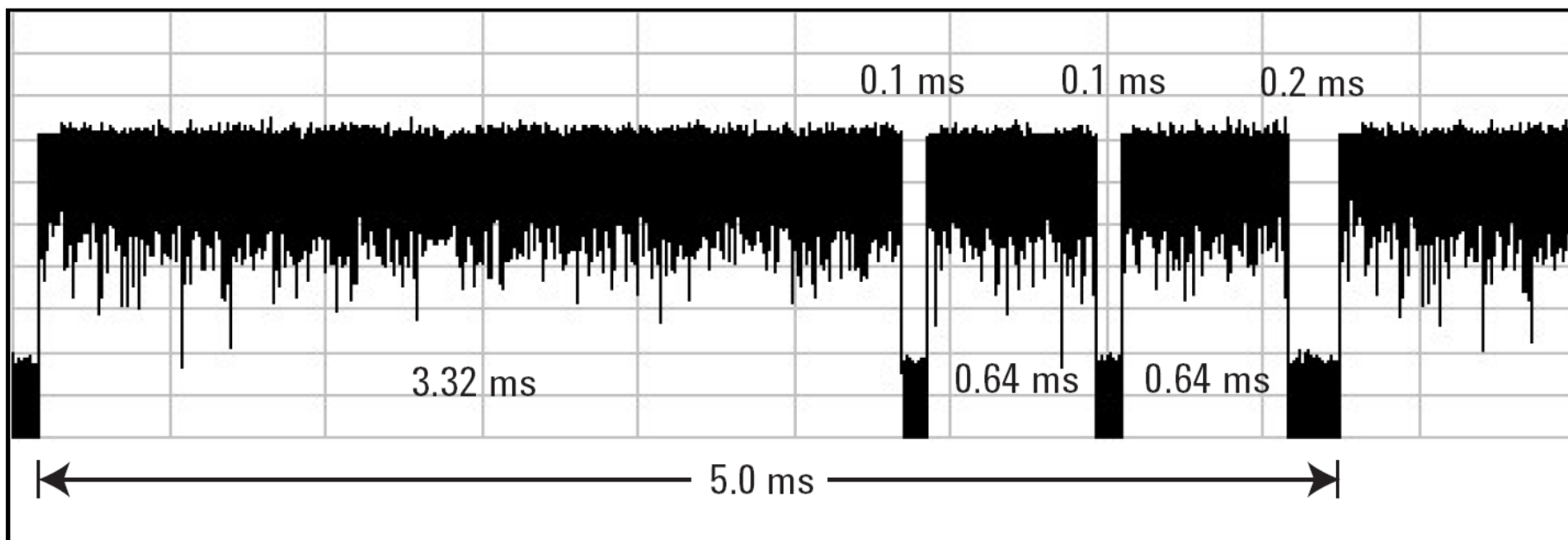


# OFDM radijsko sučelje

- Jedan OFDM okvir može trajati od 2,5 do 20 ms i kod TDD sustava on se sastoji od podokvira silazne veze i podokvira uzlazne veze.
- Između podokvira postoji određeno zaštitno vremensko područje.
  - TTG (*transmit/receive transition gap*) – zaštitno područje između podokvira silazne i podokvira uzlazne veze
  - RTG (*receive/transmit transition gap*) - zaštitno područje između podokvira uzlazne veze i novog okvira (ponovnog odašiljanja bazne postaje)
- Svaki podokvir započinje odašiljanjem preambule
  - duga preambula
  - kratka preambula

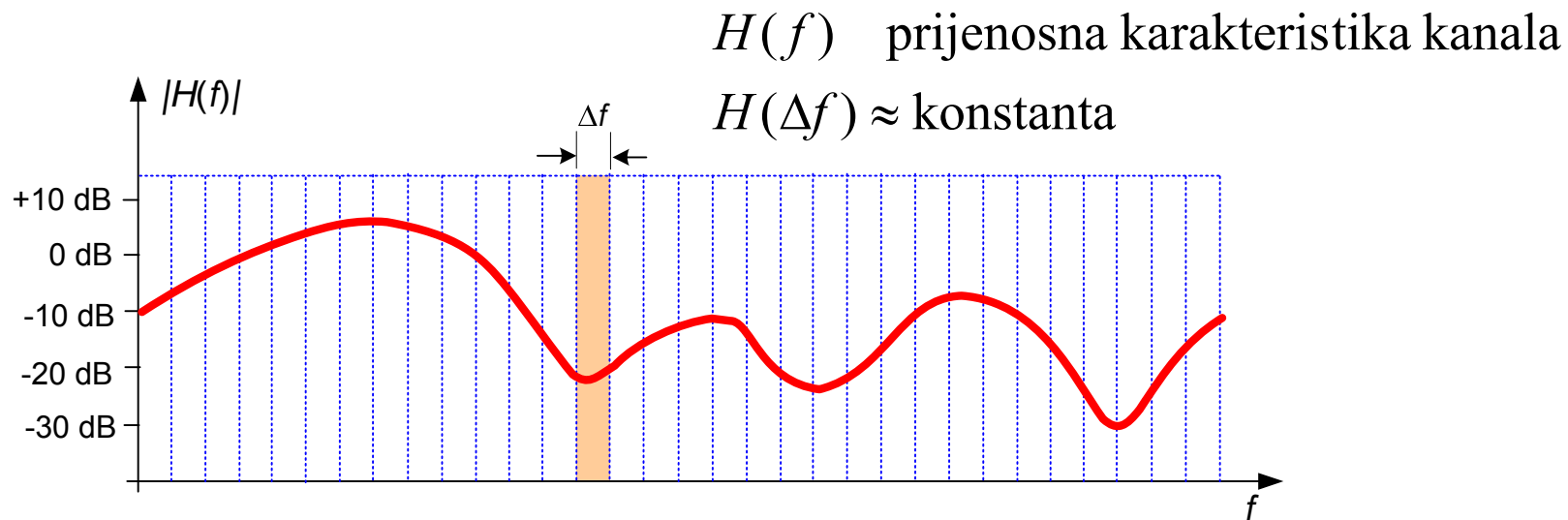
# OFDM radijsko sučelje

- Primjer jednog WiMAX OFDM signala (vremenska domena)
  - trajanje okvira 5 ms, silazni podokvir traje 3,32 ms, a dva uzlazna podokvira traju 0,64 ms svaki
  - poslije silaznog okvira ima zaštitno područje u trajanju od 100  $\mu$ s (TTG) kao i poslije prvog uzlaznog podokvira
  - RTG na ovom signalu iznosi 200  $\mu$ s



# OFDM radijsko sučelje

- Preamble sadrže poznate simbole, a podaci se prenose na ograničenom broju podnosilaca. Svrha preambula je dobiti informaciju o stanju kanala kako bi prijamnik mogao odrediti odziv kanala i ispravno primiti poruke. Simboli preambule se odašilju s dvostrukom snagom.



na prijmniku primljeni signal se množi s  $1/H(f)$

pretpostavka: kanal se ne mijenja do nailaska nove preambule

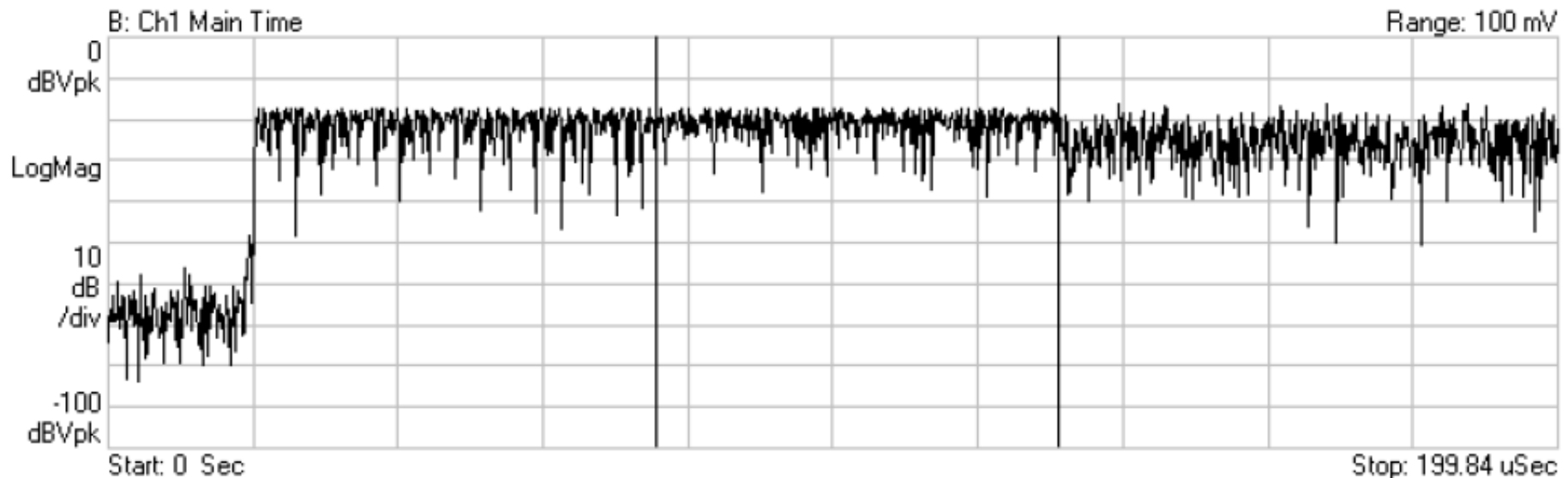


# OFDM radijsko sučelje

- Osim procjene kanala preambule služe i za sinkronizaciju prijamnika s odašiljačem
- Duga preambula traje 2 simbola
  - prvi simbol koristi 50 od mogućih 200 podnosioca (svaki četvrti), podnosioci su QPSK modulirani
  - drugi simbol koristi 100 od mogućih 200 podnosioca (parne podnosioce) i oni su QPSK modulirani
- Kratka preambula traje 1 simbol
  - struktura je identična drugom simbolu duge preambule
- Ako je trajanje silazne veze veliko (sastoji se od puno simbola) poželjno je ubaciti "*mid*"-ambulu između silaznih *burstova*
  - ima oblik kratke preambule te istu funkciju

# OFDM radijsko sučelje

- Izgled duge preambule (mjereno vektorskim analizatorom spektra, mjerenje u vremenskoj domeni)



# OFDM radijsko sučelje

- Nakon preambule odašilje se FCH (*Frame Control Header*) koji je implementiran kao jedan OFDM simbol. Sastoji se od 88 bitova koji su BPSK modulirani. Razlog tome je u činjenici da sadrži kritične informacije sustava (npr. ID bazne postaje, profile silaznih *burstova*...).
  - Ima informacije o sadržaju okvira (lokacije i modulacije podataka namijenjenih pojedinim korisnicima). FCH ne sadrži dovoljno informacija da u potpunosti opiše profil sustava, ali prijamnici mogu započeti s dekodiranjem.

# OFDM radijsko sučelje

- U silaznoj vezi nakon zaglavlja (FCH), odašilju se burstovi podataka namijenjeni određenim korisnicima
- Unutar jednog bursta ne mijenja se vrsta modulacije, ali se modulacija može mijenjati u različitim burstovima
- Burstovi koji koriste robusne modulacijske postupke odašilju se prvi (redoslijed: BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM)
- Silazni burstovi sadrže jedan ili više simbola, kontrolne i korisničke podatke
- Jedan simbol u burstu može imati između 12 i 108 bajtova izvornih podataka

# OFDM radijsko sučelje

- Modulacija i kodiranje
  - postoji 7 definiranih načina odašiljanja

Modulacija	Veličina nekodiranog bloka u bajtovima	Veličina kodiranog bloka u bajtovima	Ukupan omjer koda	Reed-Solomon kod ( $N, K, T$ )	omjer koda konvolucijskog kodera
BPSK	12	24	1/2	(12,12,0)	1/2
QPSK	24	48	1/2	(32,24,4)	2/3
QPSK	36	48	3/4	(40,36,2)	5/6
16-QAM	48	96	1/2	(64,48,8)	2/3
16-QAM	72	96	3/4	(80,72,4)	5/6
64-QAM	96	144	2/3	(108,96,6)	3/4
64-QAM	108	144	3/4	(120,108,6)	5/6

# OFDM radijsko sučelje

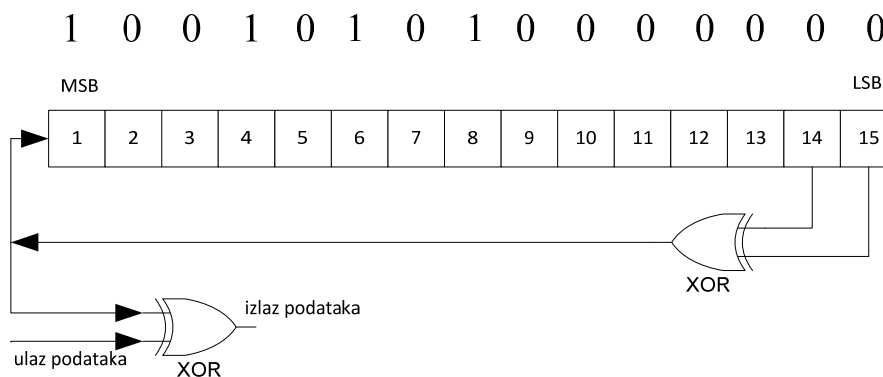
- Kanalno kodiranje

- Kanalno kodiranje osigurava zaštitu od pogreške koja će se vrlo vjerojatno pojaviti prilikom prijenosa kroz prijenosni medij. Zbog specifičnosti rasprostiranja elektromagnetskih valova i izloženosti signala raznim utjecajima i smetnjama, potrebno je prije postupka modulacije u signal ugraditi zaštitu od pogreške. Kanalno kodiranje se sastoji od tri sukcesivna postupka:
  - postupka slučajnog raspršivanja podataka (*randomisation*), ovaj postupak neki nazivaju i šifriranje
  - postupka zaštitnog kodiranja podataka (FEC – *Forward Error Correction*) i
  - postupka ispreplitanja podataka (*interleaving*).
- Postupak zaštitnog kodiranja podataka podrazumijeva unošenje dodatnih bitova koji ne nose informaciju, već služe za kontrolu prilikom dekodiranja i ispravljanje pogrešno prenesenih bitova.

# OFDM radijsko sučelje

## – Šifriranje

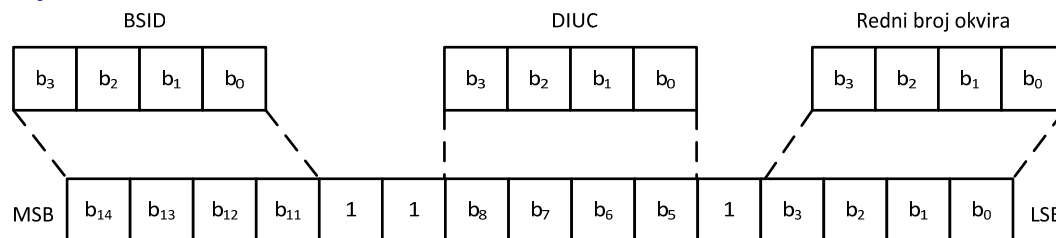
- Šifriranje se provodi nad svakim burstom podataka u silaznoj i uzlaznoj vezi. Za svaki blok podataka šifriranje se provodi nezavisno. Veličina bloka podataka u vremenskom odsječku odgovara veličini nekodiranog bloka, tj. količini podataka koja će biti odaslana u jednom OFDM simbolu.
- Ako količina podataka u bloku ne odgovara propisanoj veličini nekodiranog bloka, blok se nadopunjava.
- Preamble se ne šifriraju. Šifrirani bitovi računaju se pomoću početne sekvence, a zatim se kombiniraju operacijom ekskluzivno ili (XOR).
- Postupak se provodi s generatorom pseudo slučajnog slijeda bitova (PRBS – *Pseudo Random Binary Sequence*)
- Na početku svakog okvira, PRBS registar se inicijalizira s kodnom riječi "100101010000000"



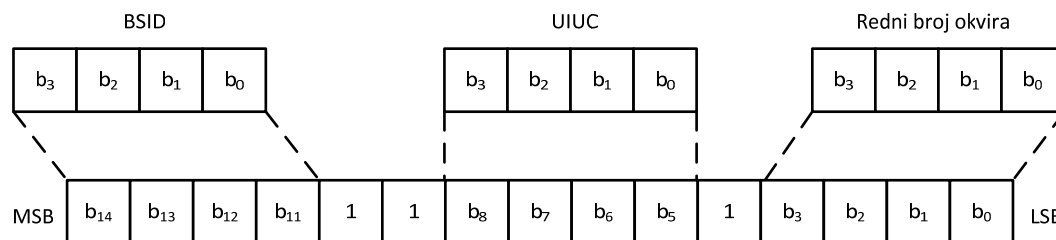
# OFDM radijsko sučelje

## – Šifriranje (nastavak)

- na početku svakog sljedećeg bursta, u silaznoj vezi, registar se inicijalizira vektorom prema slici:



- za uzlaznu vezu, inicijalizacija se provodi sljedećim vektorom:



- Polja BSID, DIUC i UIUC označavaju identifikaciju bazne postaje (*base station id*), kod namjene silaznog podokvira (*downlink interval usage code*) i kod namjene uzlaznog podokvira (*uplink interval usage code*). Navedena polja su sekvence duge četiri bita definirane normom, koja se prenose u zaglavlju okvira.
- Svrha šifriranja je izbjegavanje dugih nizova logičkih nula ili jedinica u podatkovnoj sekvenci, te pružanje najniže razine enkripcije.



# OFDM radijsko sučelje

- Postupak zaštitnog kodiranja podataka (FEC)
  - Postupak zaštitnog kodiranja podataka sastoji se od vanjskog kodiranja pomoću Reed-Solomon postupka, te unutrašnjeg konvolucijskog kodiranja.
  - RS kodiranjem ispravljaju se blokove pogreške, dok se konvolucijskim kodiranjem ispravljaju slučajne pogreške.
  - RS kodiranje izvodi se iz sustavnog RS koda ( $N=255$ ,  $K=239$ ,  $T=8$ )
    - $N$ : ukupan broj bajtova nakon kodiranja
    - $K$ : broj podatkovnih bajtova prije kodiranja
    - $T$ : broj bajtova podataka koji se mogu ispraviti
  - Svaki blok podataka kodiran Reed-Solomon postupkom, kodira se pomoću binarnog konvolucijskog koda. Konvolucijsko kodiranje unosi dodatnu zaštitu od pogreške pri prijenosu.

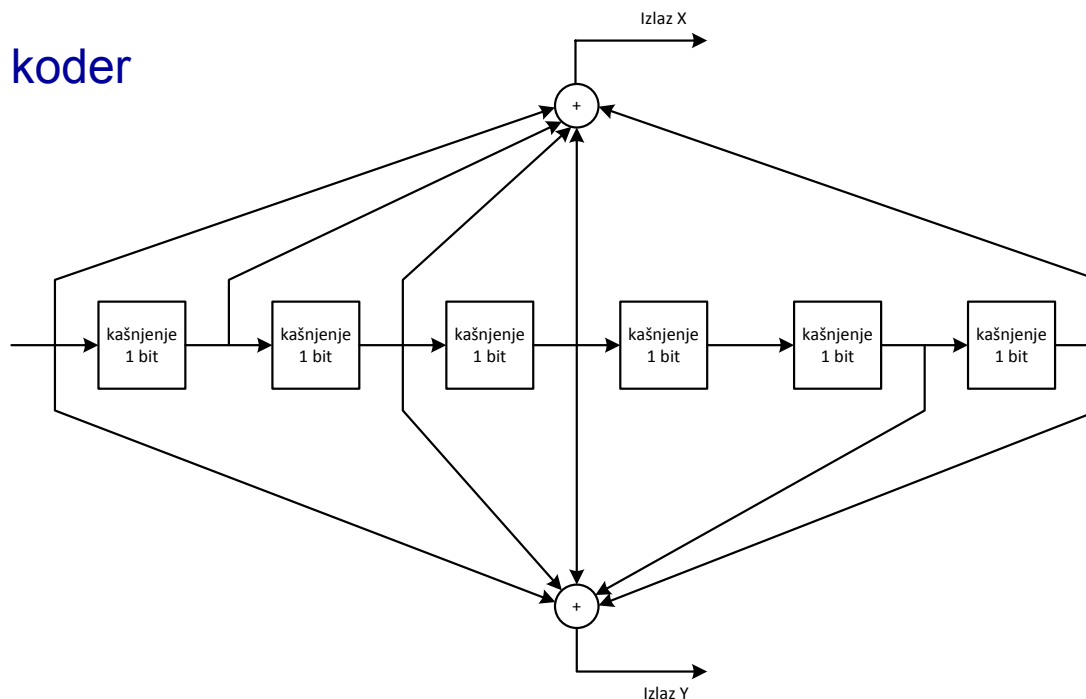
# OFDM radijsko sučelje

## – Postupak zaštitnog kodiranja podataka (nastavak)

- Omjer koda

$$omjer\_koda = \frac{broj\_bita\_prije\_kodiranja\_radi\_zaštite\_od\_pogreške}{broj\_bita\_nakon\_kodiranja\_radi\_zaštite\_od\_pogreške}$$

- Konvolucijski koder



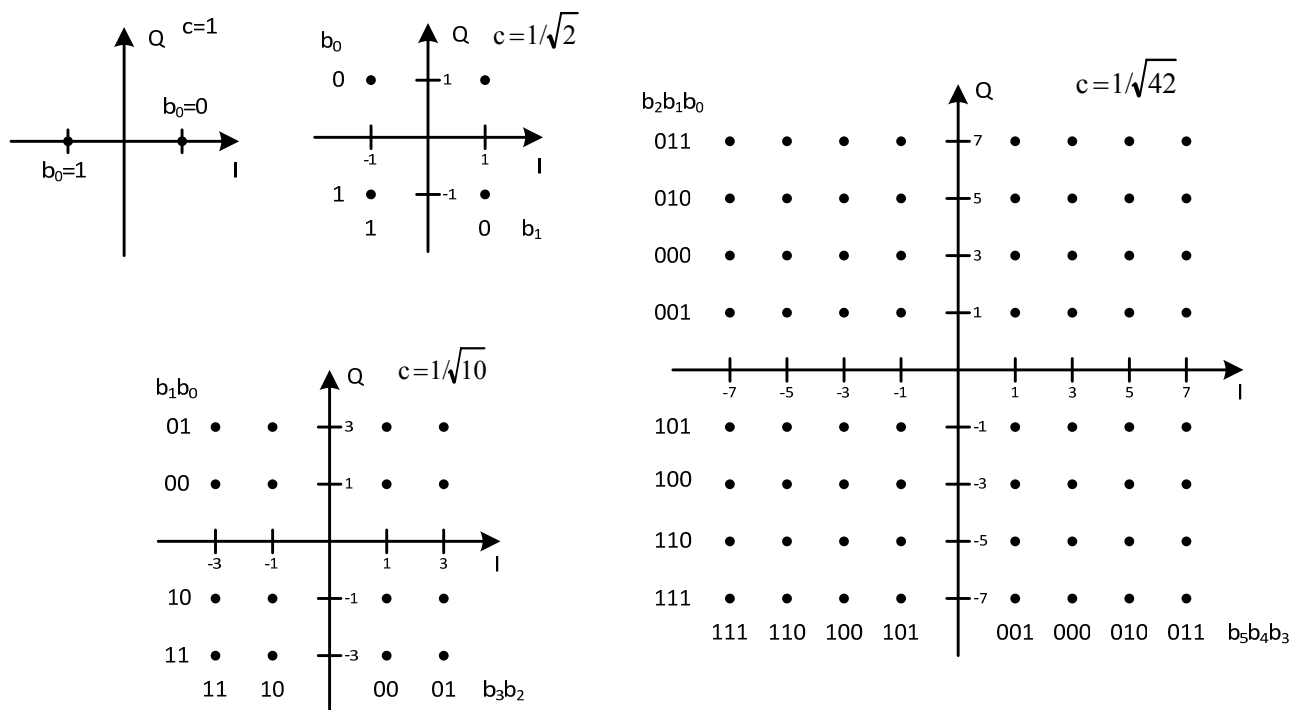
# OFDM radijsko sučelje

- Postupak zaštitnog kodiranja podataka (nastavak)
  - Sustav kodiranja omogućava odabir različitog omjera koda, što omogućava prilagodbu sustava različitim uvjetima propagacije i vrsti prijama. Veći omjer koda omogućava efikasnije iskorištenje kapaciteta, jer se prenosi manje zaštitnih bitova, ali je sustav širokopoasnog bežičnog pristupa osjetljiviji na smetnje koje mogu nastati u prijenosnom mediju.
- Postupak ispreplitanja podataka (*interleaving*)
  - Kodirani podatkovni bitovi dovode se na sklop za blokovsko ispreplitanje, a veličina bloka odgovara broju kodiranih bitova. Sklop je definiran s dvije permutacije. Prva osigurava preslikavanje susjednih kodiranih bitova na različite podnosiocce, dok druga osigurava preslikavanje susjednih kodiranih bitova na manje ili više značajne bitove u QAM konstelaciji. Na taj način se izbjegavaju dugi nizovi nepouzdatih bitova.

# OFDM radijsko sučelje

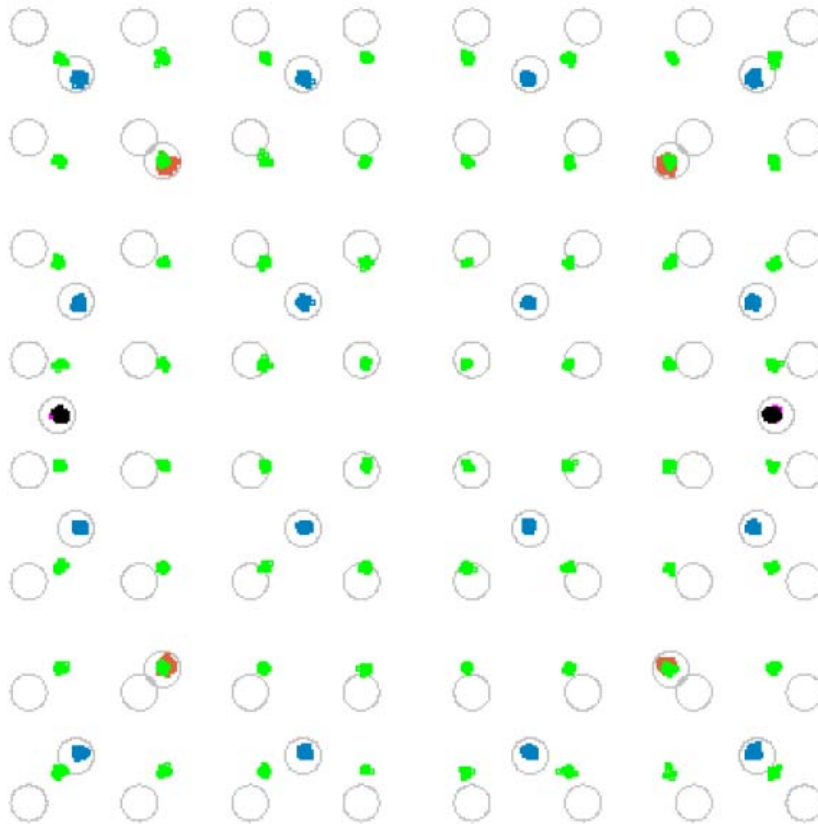
## • Modulacija

- Nakon ispreplitanja bitovi serijski dolaze na QAM modulator koji bitove preslikava u konstelacijske točke. Konstelacije se normiraju faktorom  $c$  kako bi se postigle jednake srednje snage. Za svaku modulaciju,  $b_0$  označava bit najmanje važnosti (LSB).



# OFDM radijsko sučelje

- Normirane konstelacije



BPSK (pilots)

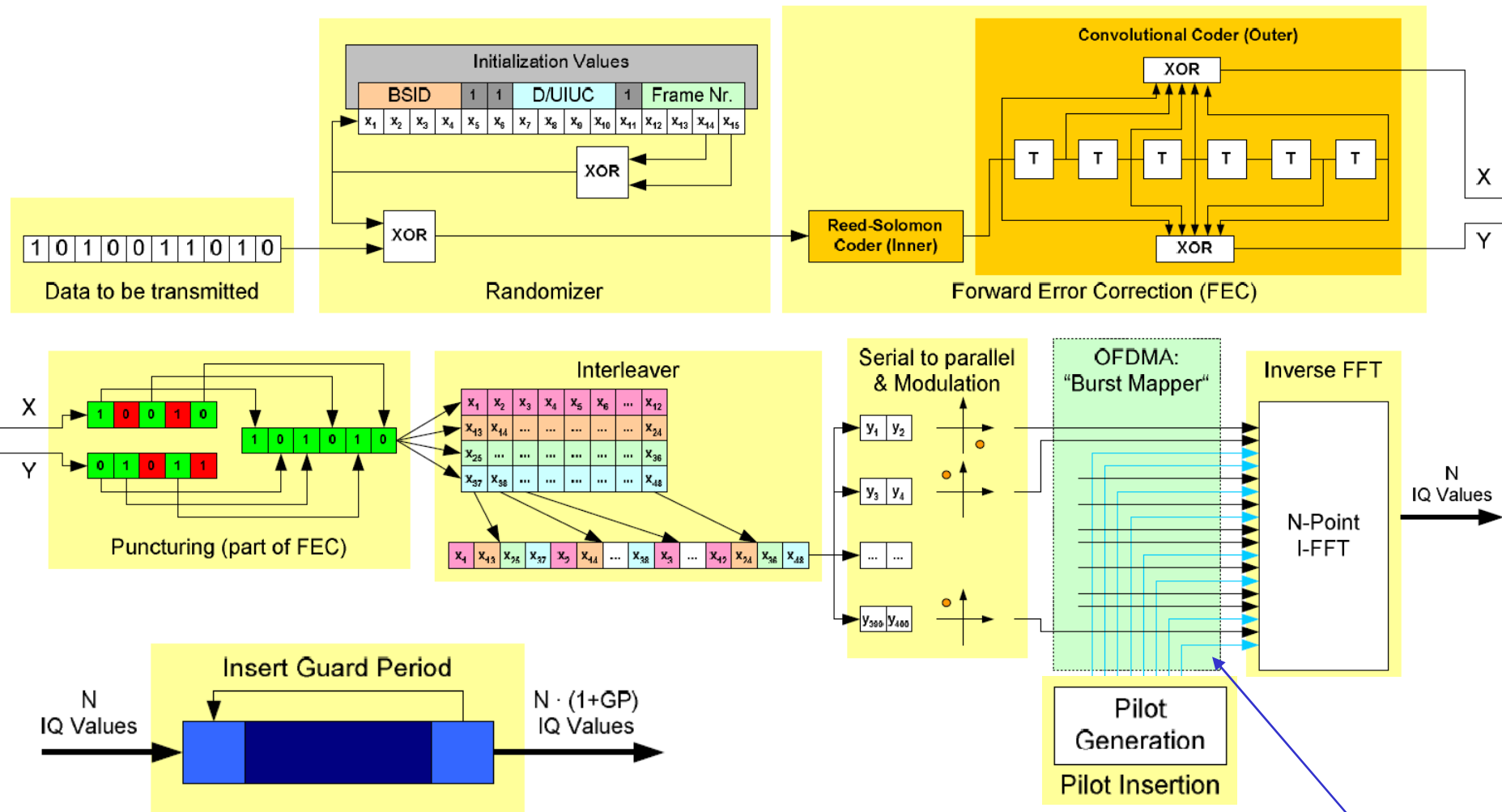
BPSK (FCH)

QPSK

16 QAM

64QAM

# OFDM radijsko sučelje



ovog zelenog bloka nema  
u OFDM radijskom sučelju

# WiMAX Frequency and Time Parameter Table

Nominal BW	Sampling factor (Fs/BW)	256 carrier BW (Fs)	200 carrier BW (Fs x 200/256)	Carrier spacing $\Delta F = Fs/256$	Symbol time $T_b = 1/\Delta F$	Guard interval G	Guard interval time $T_g = G \times T_b$	OFDM symbol time $T_s = T_b + T_g$	Long preamble (DL = 2 x Ts)	Short preamble (UL = Ts)
MHz		MHz	MHz	kHz	$\mu\text{Sec}$		$\mu\text{Sec}$	$\mu\text{Sec}$	$\mu\text{Sec}$	$\mu\text{Sec}$
28.00	8/7	32.00	25.00	125.00	8.00	1/4	2.00	10.00	20.00	10.00
						1/8	1.00	9.00	18.00	9.00
						1/16	0.50	8.50	17.00	8.50
						1/32	0.25	8.25	16.50	8.25
24.00	86/75	27.52	21.50	107.50	9.30	1/4	2.33	11.63	23.26	11.63
						1/8	1.16	10.47	20.93	10.47
						1/16	0.58	9.88	19.77	9.88
						1/32	0.29	9.59	19.19	9.59
20.00	144/125	23.04	18.00	90.00	11.11	1/4	2.78	13.89	27.78	13.89
						1/8	1.39	12.50	25.00	12.50
						1/16	0.69	11.81	23.61	11.81
						1/32	0.35	11.46	22.92	11.46
15.00	86/75	17.20	13.44	67.19	14.88	1/4	3.72	18.60	37.21	18.60
						1/8	1.86	16.74	33.49	16.74
						1/16	0.93	15.81	31.63	15.81
						1/32	0.47	15.35	30.70	15.35
14.00	8/7	16.00	12.50	62.50	16.00	1/4	4.00	20.00	40.00	20.00
						1/8	2.00	18.00	36.00	18.00
						1/16	1.00	17.00	34.00	17.00
						1/32	0.50	16.50	33.00	16.50
12.00	86/75	13.76	10.75	53.75	18.60	1/4	4.65	23.26	46.51	23.26
						1/8	2.33	20.93	41.86	20.93
						1/16	1.16	19.77	39.53	19.77
						1/32	0.58	19.19	38.37	19.19
11.00	316/275	12.64	9.88	49.38	20.25	1/4	5.06	25.32	50.63	25.32
						1/8	2.53	22.78	45.57	22.78
						1/16	1.27	21.52	43.04	21.52
						1/32	0.63	20.89	41.77	20.89
10.00	144/125	11.52	9.00	45.00	22.22	1/4	5.56	27.78	55.56	27.78
						1/8	2.78	25.00	50.00	25.00
						1/16	1.39	23.61	47.22	23.61
						1/32	0.69	22.92	45.83	22.92
7.00	8/7	8.00	6.25	31.25	32.00	1/4	8.00	40.00	80.00	40.00
						1/8	4.00	36.00	72.00	36.00
						1/16	2.00	34.00	68.00	34.00
						1/32	1.00	33.00	66.00	33.00
6.00	86/75	6.88	5.38	26.88	37.21	1/4	9.30	46.51	93.02	46.51
						1/8	4.65	41.86	83.72	41.86
						1/16	2.33	39.53	79.07	39.53
						1/32	1.16	38.37	76.74	38.37
5.50	316/275	6.32	4.94	24.69	40.51	1/4	10.13	50.63	101.27	50.63
						1/8	5.06	45.57	91.14	45.57
						1/16	2.53	43.04	86.08	43.04
						1/32	1.27	41.77	83.54	41.77
5.00	144/125	5.76	4.50	22.50	44.44	1/4	11.11	55.56	111.11	55.56
						1/8	5.56	50.00	100.00	50.00
						1/16	2.78	47.22	94.44	47.22
						1/32	1.39	45.83	91.67	45.83
3.50	8/7	4.00	3.13	15.63	64.00	1/4	16.00	80.00	160.00	80.00
						1/8	8.00	72.00	144.00	72.00
						1/16	4.00	68.00	136.00	68.00
						1/32	2.00	66.00	132.00	66.00
3.00	86/75	3.44	2.69	13.44	74.42	1/4	18.60	93.02	186.05	93.02
						1/8	9.30	83.72	167.44	83.72
						1/16	4.65	79.07	158.14	79.07
						1/32	2.33	76.74	153.49	76.74
2.50	144/125	2.88	2.25	11.25	88.89	1/4	22.22	111.11	222.22	111.11
						1/8	11.11	100.00	200.00	100.00
						1/16	5.56	94.44	188.89	94.44
						1/32	2.78	91.67	183.33	91.67
1.75	8/7	2.00	1.56	7.81	128.00	1/4	32.00	160.00	320.00	160.00
						1/8	16.00	144.00	288.00	144.00
						1/16	8.00	136.00	272.00	136.00
						1/32	4.00	132.00	264.00	132.00
1.50	86/75	1.72	1.34	6.72	148.84	1/4	37.21	186.05	372.09	186.05
						1/8	18.60	167.44	334.88	167.44
						1/16	9.30	158.14	316.28	158.14
						1/32	4.65	153.49	306.98	153.49
1.25	144/125	1.44	1.13	5.63	177.78	1/4	44.44	222.22	444.44	222.22
						1/8	22.22	200.00	400.00	200.00
						1/16	11.11	188.89	377.78	188.89
						1/32	5.56	183.33	366.67	183.33

Product specifications and descriptions in this document subject to change without notice.

© Agilent Technologies, Inc. 2005, Printed in USA, January 20, 2005

5989-2274EN



Agilent Technologies