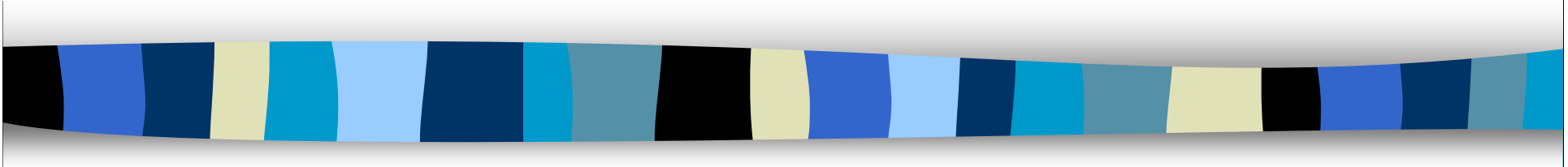
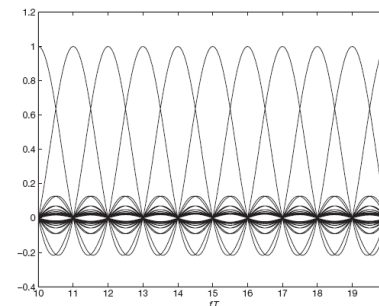


S53WW

WiMAX & OFDM



RIS 2007
Novo mesto
13.01.2007



OFDM – kaj je to, od kdaj je in zakaj je?

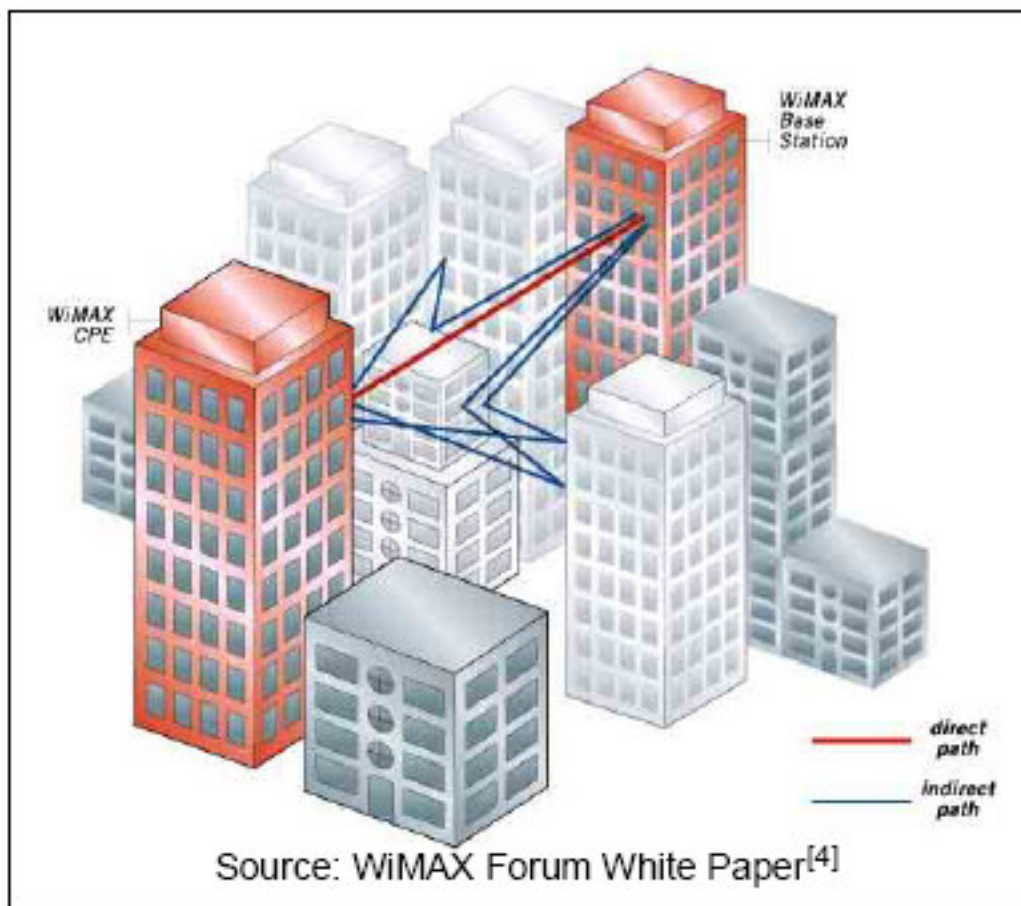
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) =
 - DMT (Discrete Multi Tone) =
 - MCM (Multi Carrier Modulation) =
 - OFM (Ortogonalni Frekvenčni Multipleks)
-
- prvi poskusi s FDM v 60-ih letih prejšnjega stoletja
 - prvi patent za OFDM 1970
 - prva komercialna uporaba
 - » wireline – ADSL v 1995
 - » wireless – DAB 1995

OFDM – kaj je to, od kdaj je in zakaj je?

- HDSL, ADSL, VDSL
- DAB
- DVB (-T, -H, -S)
- DRM - Digital Radio Mondiale
- WLAN (IEEE802.11a,g,n)
- PLC (BPL)
- WiMAX (IEEE802.16d, e)
- UWB (MB-OFDM)
- ...

Zakaj OFDM?

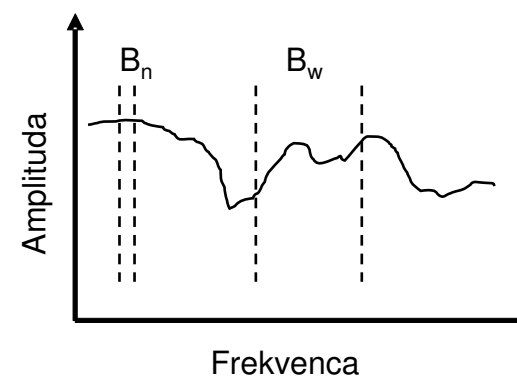
- primer radijskega kanala v urbanem okolju



- impulzni odziv kanala



- frekvenčni odziv kanala

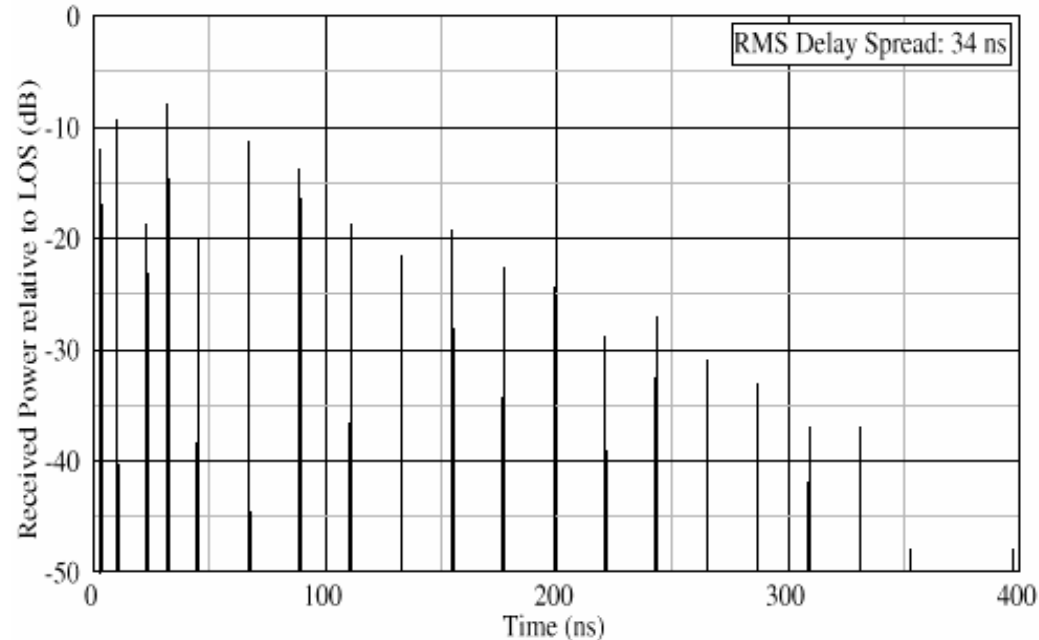


RIS 2007, Novo mesto, 13.01.2007 – S53WW – WiMAX & OFDM

Tap number	Relative tap delay [ns]	Relative tap amplitude [dB]	Doppler spectrum
1	0	-10.0	Classical
2	100	-8.0	Classical
3	300	-6.0	Classical
4	500	-4.0	Classical
5	700	0.0	Classical
6	1 000	0.0	Classical
7	1 300	-4.0	Classical
8	15 000	-8.0	Classical
9	15 200	-9.0	Classical
10	15 700	-10.0	Classical
11	17 200	-12.0	Classical
12	20 000	-14.0	Classical

Table 3. Fading profile 1 of GSM/DCS models with 12 taps in hilly terrain.

- primer impulznega odziva radijskega kanala v ruralnem okolju na 900MHz

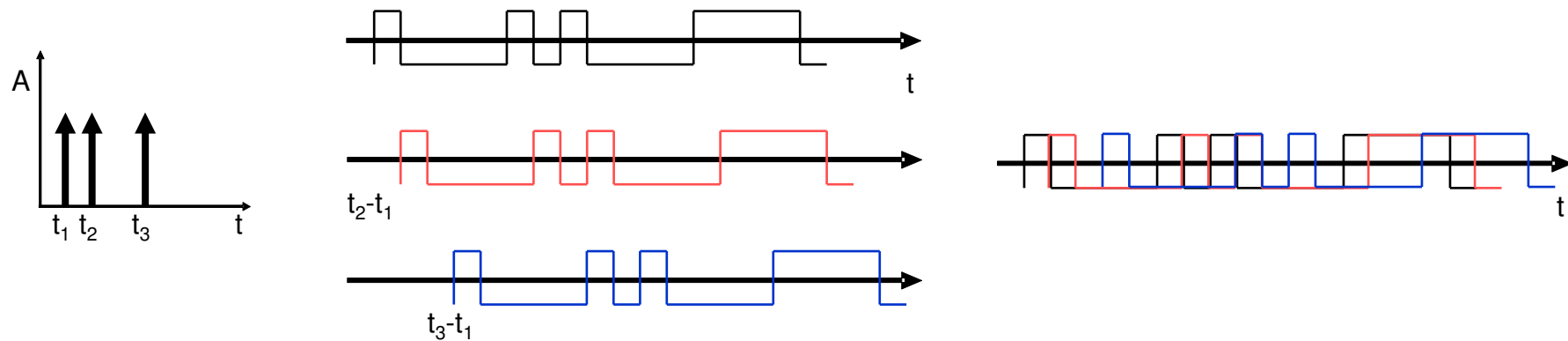


Typical Indoor Power Delay Profile

- primer impulznega odziva radijskega kanala znotraj stavbe na 2,4GHz

- primer: številna modulacija na enem nosilcu (single carrier modulation)
 - kapaciteta prenosa: 10Mbitov/s – bitna hitrost
 - čez radijski kanal prenašamo simbole - simbolna hitrost
 - glede na vrsto modulacije lahko prenašamo z enim simbolom več kot en bit

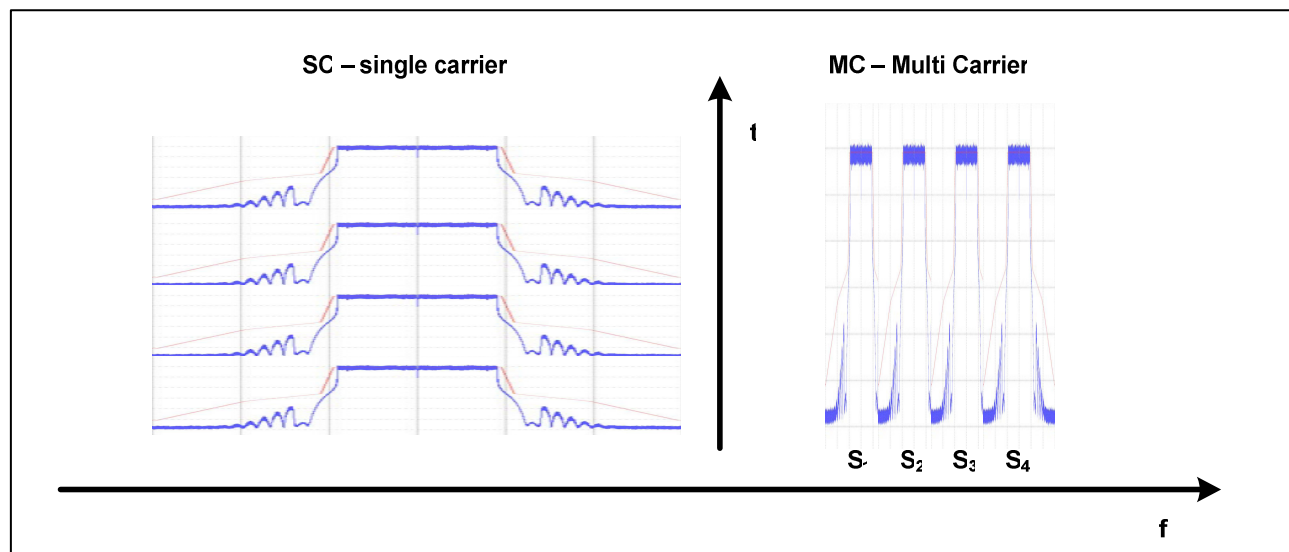
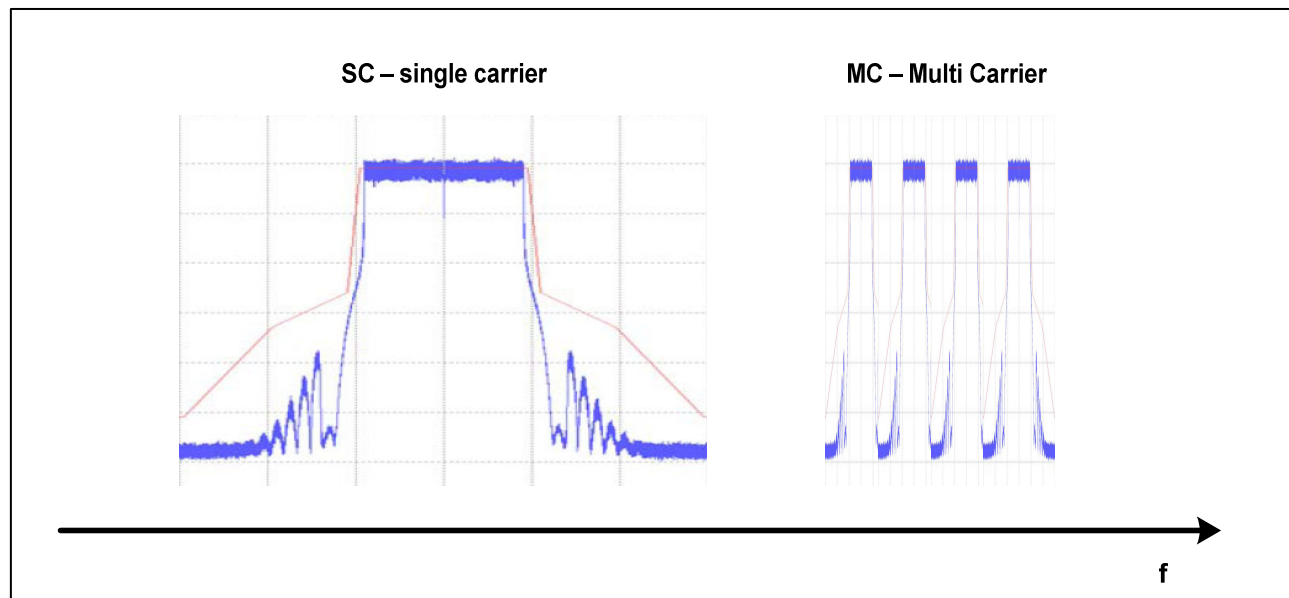
modulacija	bitov/simbol	dolžina simbola	pasovna širina ($\alpha=0,5$)
BPSK	1	0,1us	15MHz
QPSK	2	0,2us	7,5MHz
64QAM	6	0,6us	2,5MHz

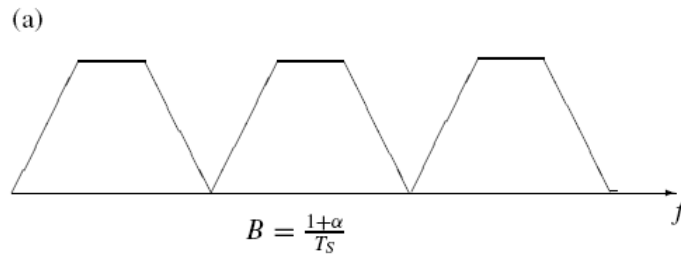


Prenos enake količine informacije v enakem času (npr. BPSK 10Mb/s):

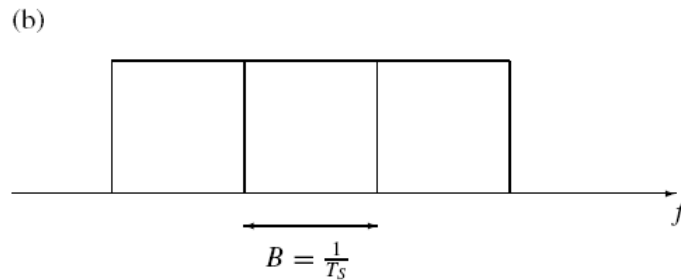
- na enem nosilcu; dolžina simbola 100ns

- na 4-ih nosilcih, vsak moduliran z BPSK 2,5Mb/s; dolžina simbola 400ns

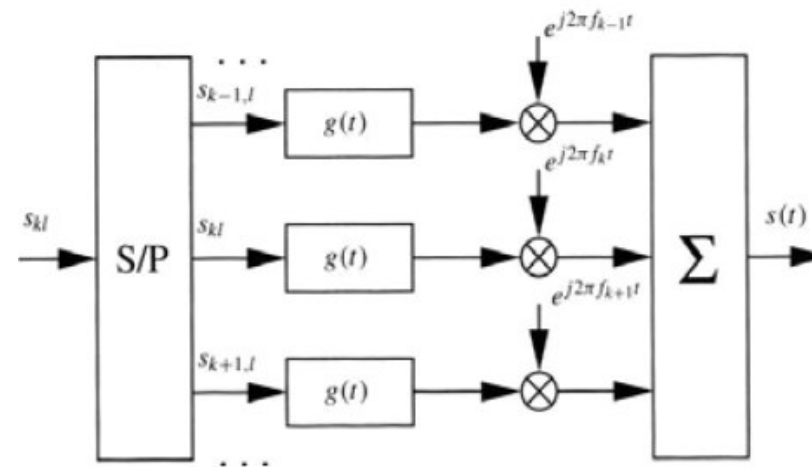
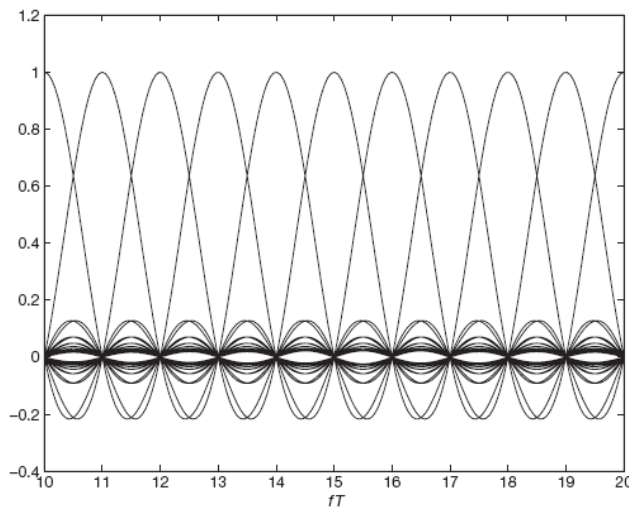


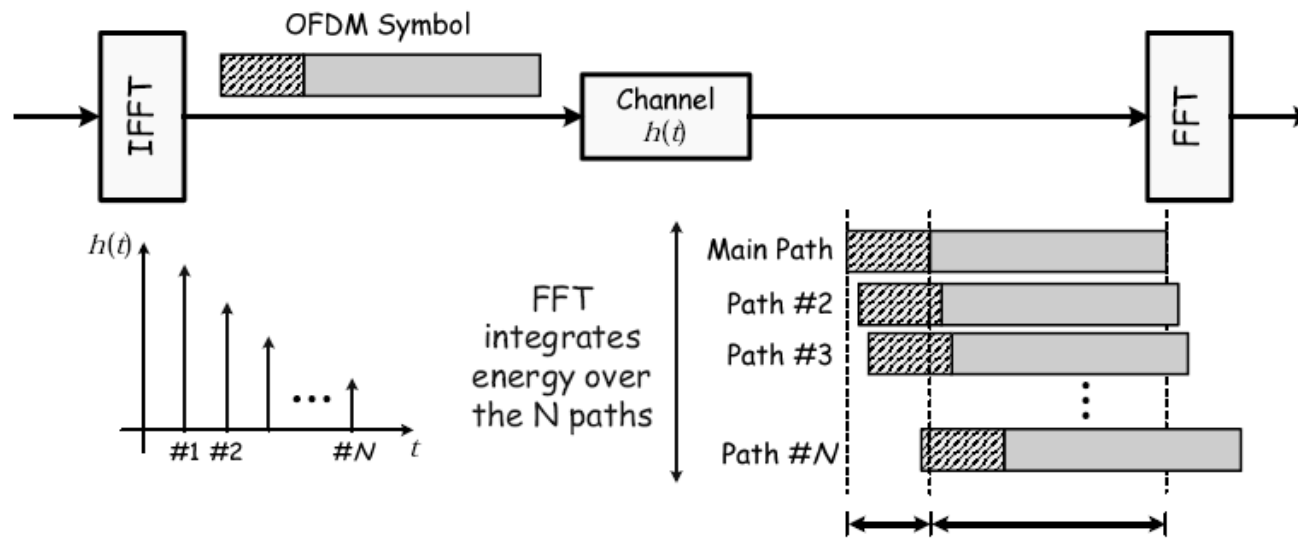


FDM - potreben razmak med nosilci zaradi neidealnega filtriranja

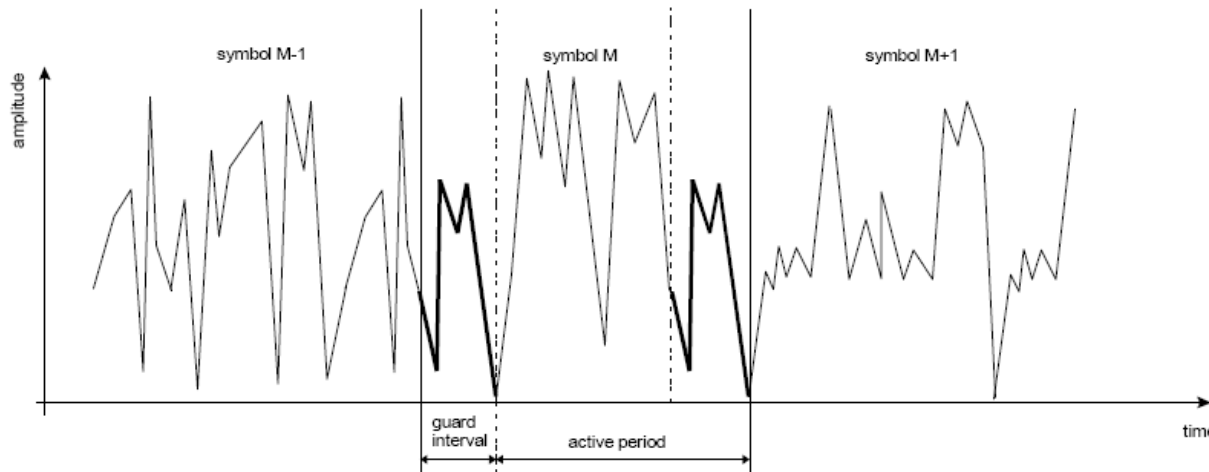


OFDM – spektri posameznih nosilcev se dotikajo (deloma prekrivajo)



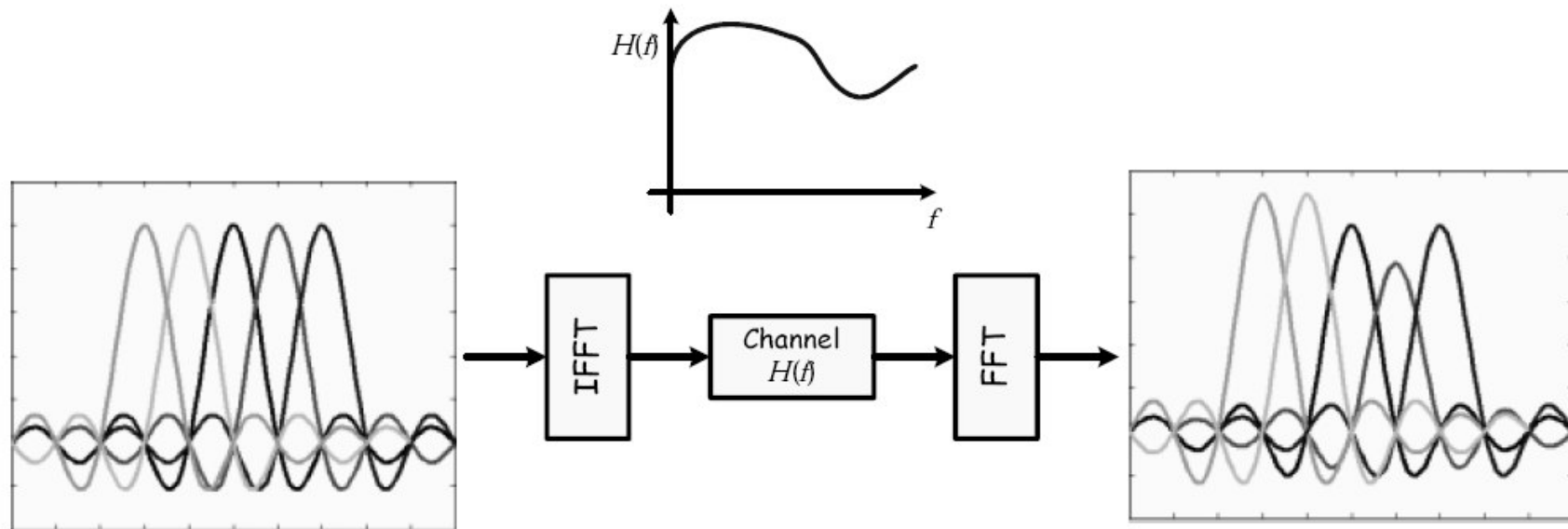


rešitev problema intra-simbolne interference s pomočjo zaščitnega intervala (guard interval)



oziroma cikličnega prefiksa (cyclic prefix)

zaradi cikličnega prefiksa postane simbol periodičen in se frekvenčno prenosno karakteristiko kanala lahko popravlja s preprostim izravnalnikom v frekvenčnem prostoru (frequency equalizer)



WiMax OFDM

256 podnosilcev:

- 192 podatkovnih
- 8 pilotskih
- 56 zaščitnih

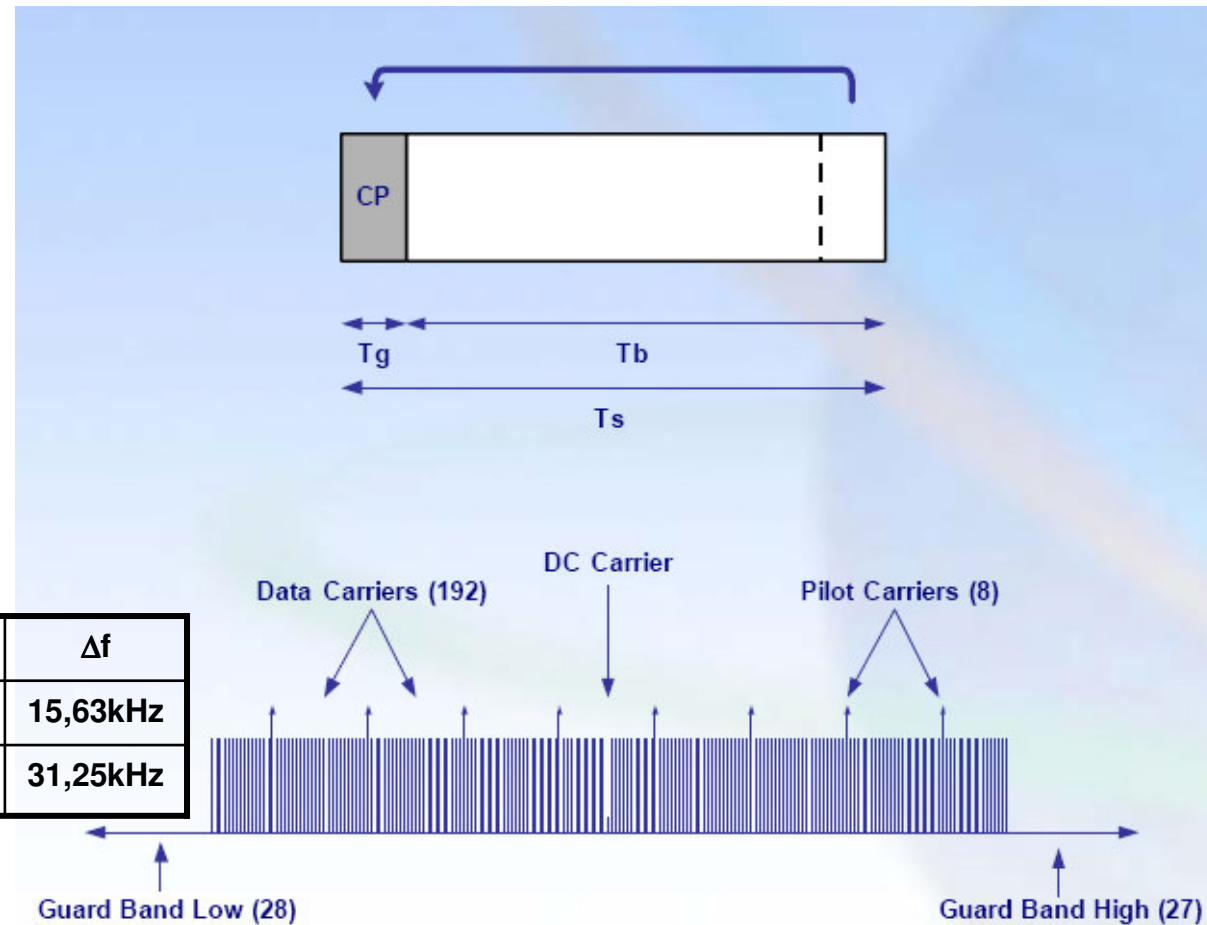
Modulacija na podnosilcih:

- BPSK $\frac{1}{2}$
- QPSK $\frac{1}{2}$ in $\frac{3}{4}$
- 16QAM $\frac{1}{2}$ in $\frac{3}{4}$
- 64QAM $\frac{2}{3}$ in $\frac{3}{4}$

CP:

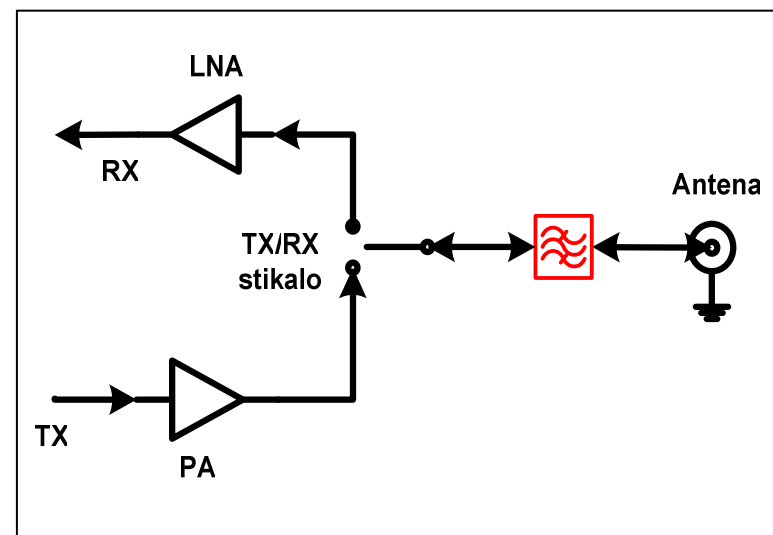
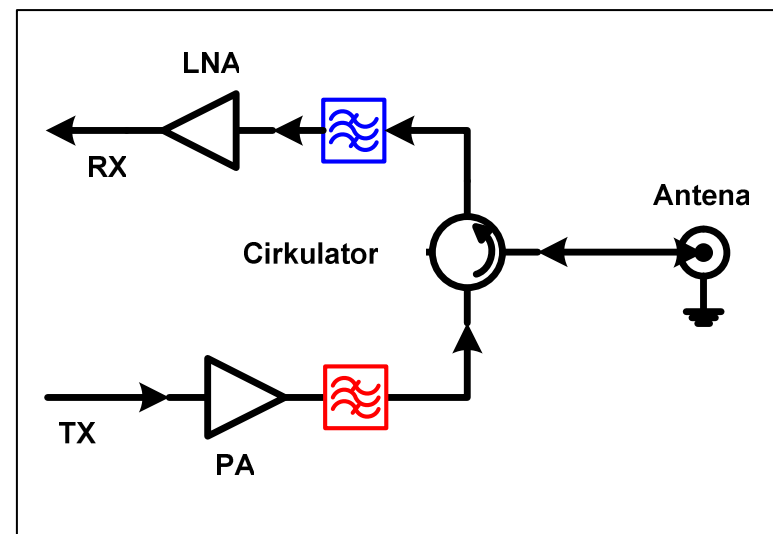
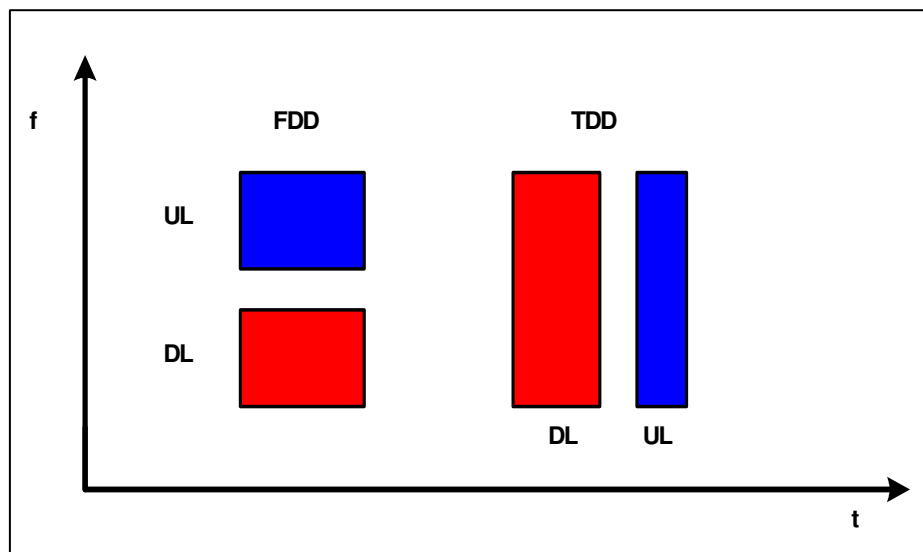
1/4, 1/8, 1/16, 1/32

BW	T_s	T_g pri CP=1/4	Δf
3,5MHz	80us	16us	15,63kHz
7MHz	40us	8us	31,25kHz

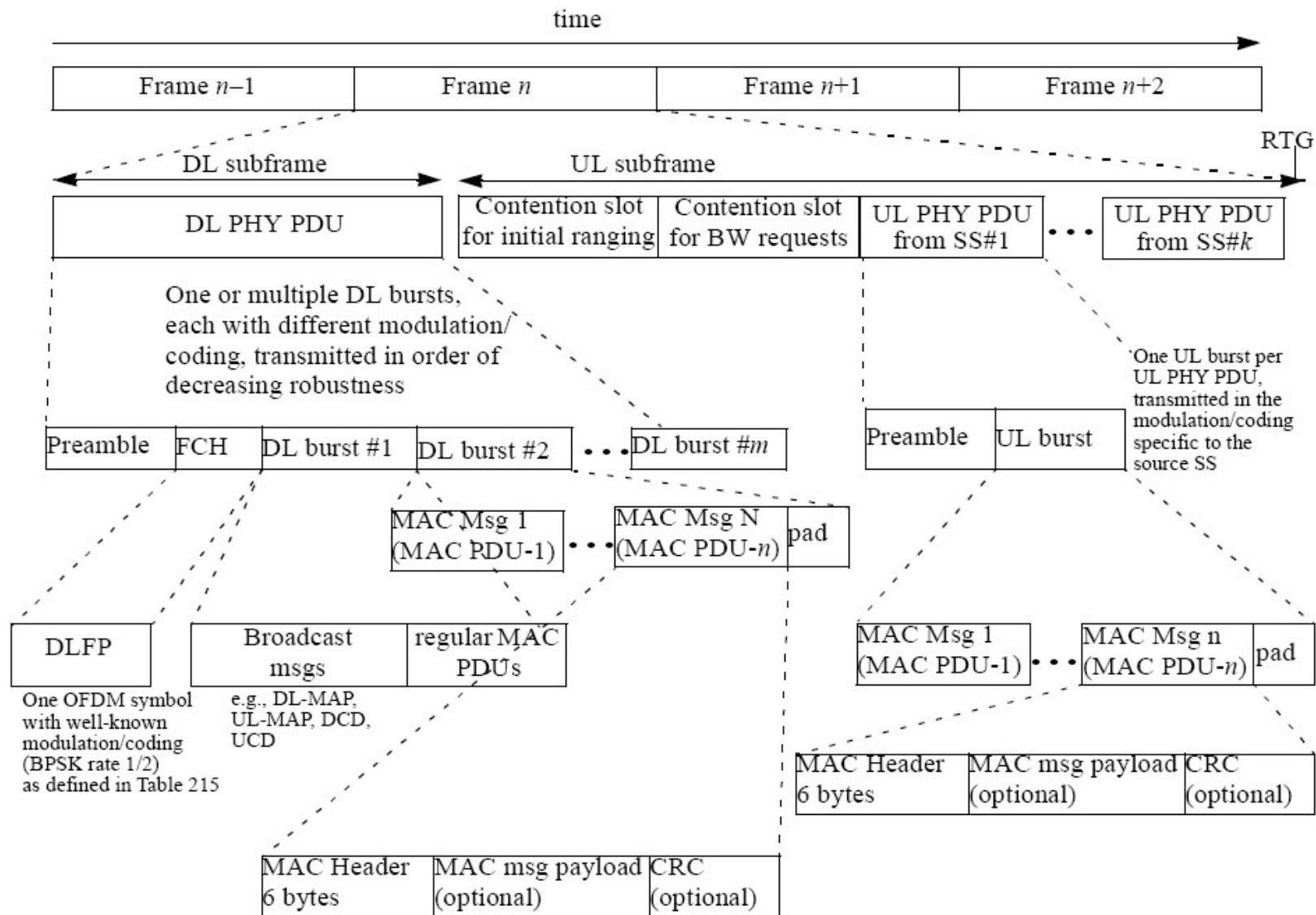


Dupleksni način

- TDD – časovni dupleks
- FDD – frekvenčni dupleks



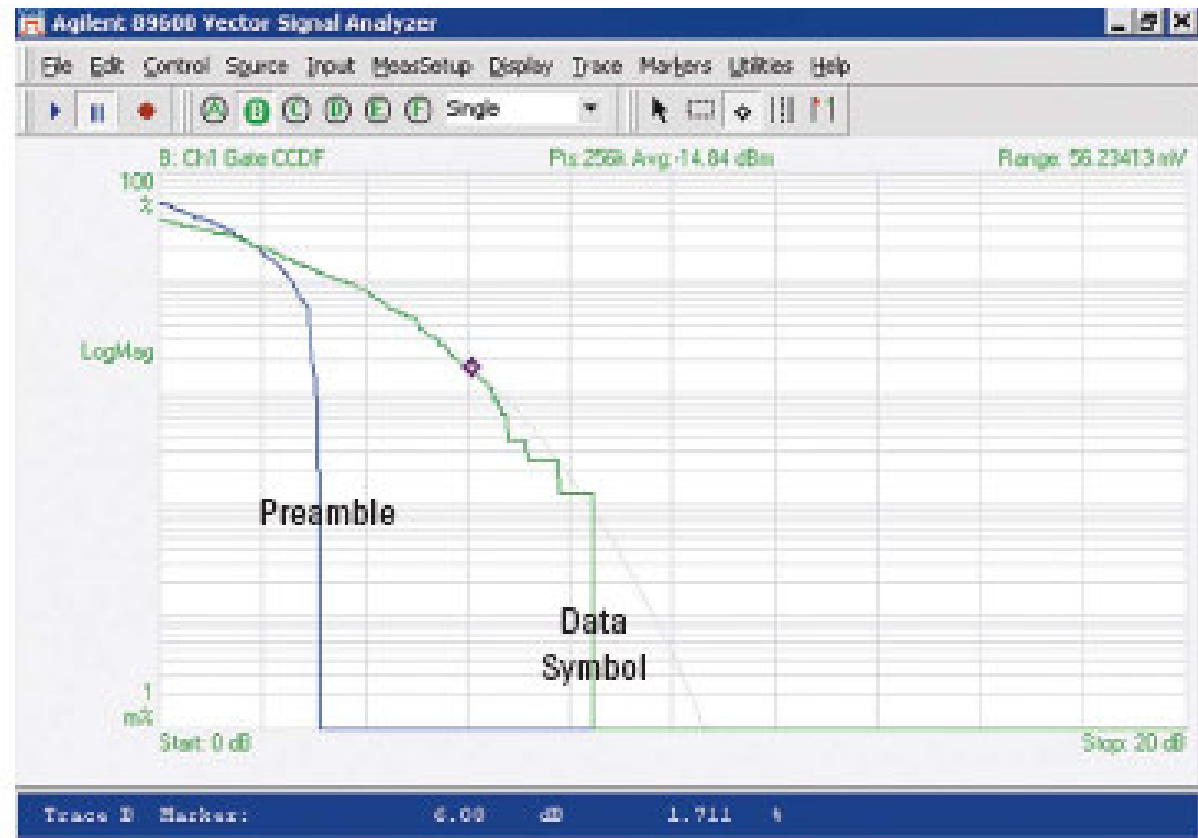
Vsebina časovnega okvirja – 2,5/5/8/10/12,5/20ms



Cena?

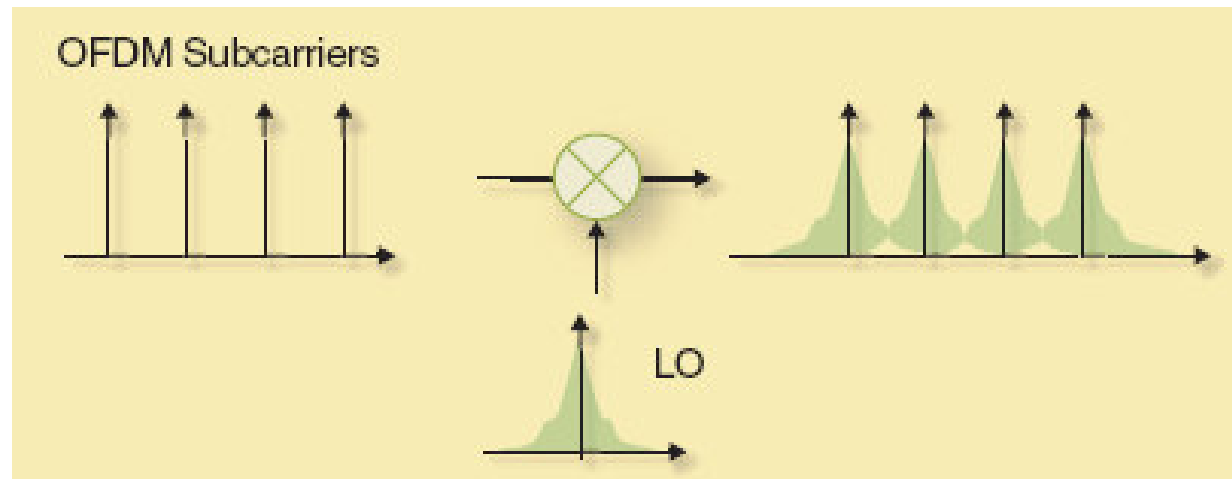
- veliko razmerje med vršno in povprečno močjo
 - OFDM simbol je vsota 200 naključnih podnosilcev
 - PAPR ~ 10dB

- linearen močnostni ojačevalnik z zelo slabim izkoristkom (za 1W povprečne izhodne moči potrebujemo 10W ojačevalnik)
- nižje dinamično območje ADC in DAC pretvornikov
- neučinkovita raba baterije pri prenosnih napravah



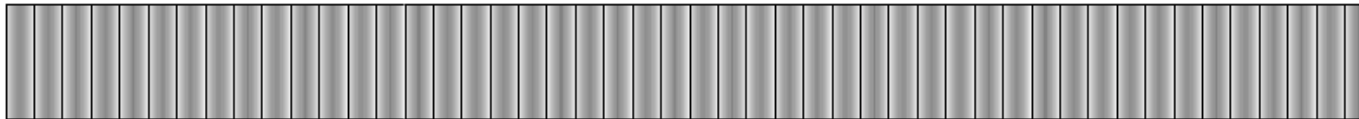
Cena?

- velika občutljivost na frekvenčno stabilnost in fazni šum
 - frekvenčna nestabilnost povzroča motnje med podnosilci (ICI) – frekvenci oddajnika in sprejemnika smeta biti narazen manj kot 2% razmaka med podnosilci (to na 3,5GHz in $BW=3,5\text{MHz}$ ($\Delta f = 15,63\text{kHz}$) pomeni frekvenčno stabilnost 0,09ppm!)
 - potreben nizek fazni šum blizu nosilca lokalnih oscilatorjev (DSB integriran fazni šum med cca. 300Hz in 1MHz mora biti manjši od -34dBc/Hz!)



Posebne lastnosti WiMax standarda

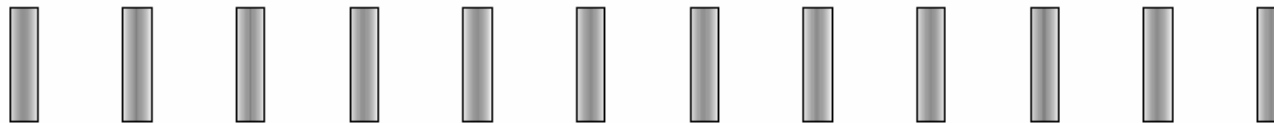
- subkanalizacija (1, 2, 4, 8 ali 16 skupin podnosilcev (16 podkanalov je vseh 192 podnosilcev – torej 12 podnosilcev na kanal) in OFDM sodostop (OFDMA)



Oddaja bazne postaje – vsi nosilci so prisotni

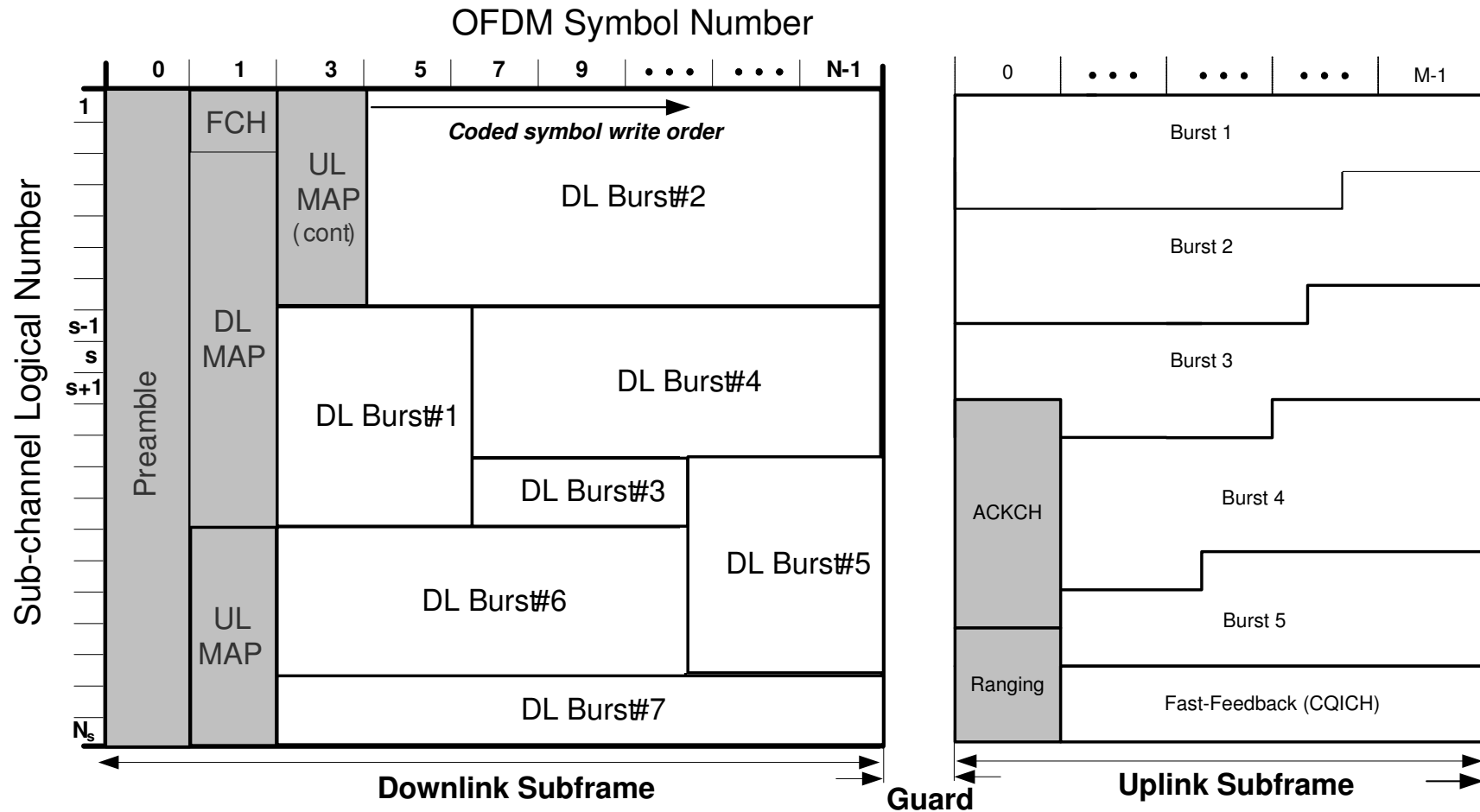


Oddaja uporabniškega modema – vsi nosilci so prisotni (povprečna oddajna moč je P)

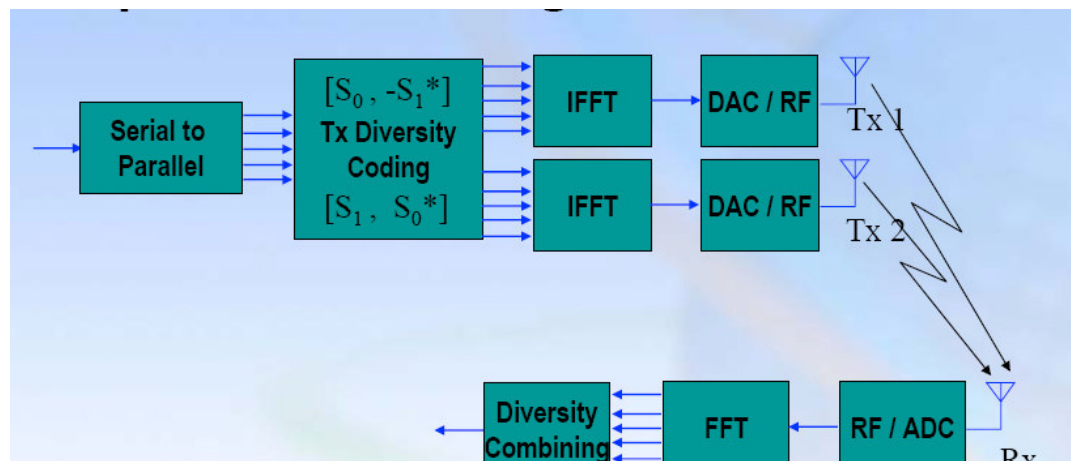


Oddaja uporabniškega modema – samo $\frac{1}{4}$ nosilcev (nivo posameznih nosilcev je štirikrat visji, ker je skupna povprečna moč enaka P)

Posebne lastnosti WiMax standarda - OFDMA

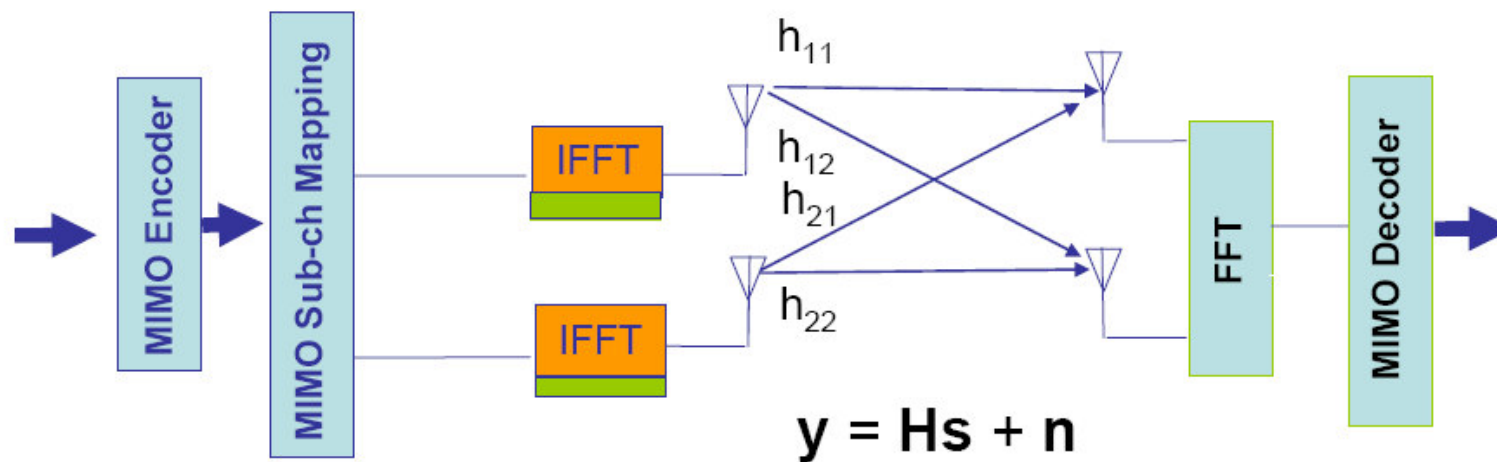


Posebne/opcijske lastnosti WiMax standarda
 - raznoliki (diverzni) sprejem in oddaja in MIMO



Multi-Element Transmitter

Multi-Element Receiver



OFDM v radioamaterščini – koristne povezave.

- <http://drm.sourceforge.net/>
- <http://n1su.com/windrm/>
- <http://www.qsl.net.de/member/hb9tlk/>

