

Digitalne modulacije

OFDM *Orthogonal Frequency Division Multiplex*

Uvod

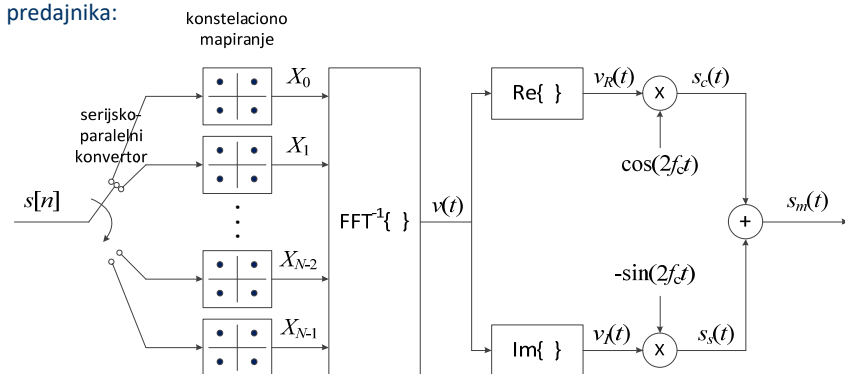
- OFDM je tehnika prenosa koja se često koristi kod bežičnog prenosa
 - Koristi se u standardima:
 - IEEE 802.11a,g,n – wifi
 - DRM – digitalni radio
 - DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial), DVB-H (Digital Video Broadcasting – Handheld)
 - 3GPP – standard za mobilnu telefoniju treće generacije ...
- Kod žičnog prenosa, OFDM se često naziva DMT (*Discrete Multi Tone*)
 - Koristi se u standardima:
 - ADSL, VDSL
 - PLC (*Power Line Communications*) ...

- Kod OFDM-a, informacioni niz između predajnika i prijemnika se prenosi pomoću frekvencijskog multipleksa moduliranih signala
 - Nosioči moduliranih signala međusobno su ortogonalni – otuda i naziv OFDM
- Za razliku od „običnog“ frekvencijskog multipleksa, gde signali iz multipleksa prenose informacije potekle od različitih izvora, namenjene za više korisnika, kod OFDM-a signali iz multipleksa prenose informacije emitovane od strane jednog izvora ka jednom korisniku
 - Frekvencijski opseg između predajnika i prijemnika deli se na mnoštvo kanala, definisanih odgovarajućim nosiocima
 - Informacioni tok emitovan od izvora deli se u OFDM modulatoru na podtokove koji se paralelno prenose po različitim kanalima
 - Na svakom kanalu koristi se neki od standardnih linearnih modulacionih postupaka – QAM ili PSK
 - S obzirom da je QAM uopštenje svih linearnih modulacija, od sada ćemo smatrati da se koristi QAM

- Izbor modulacionog postupka (tj. broja simbola u alfabetu) na svakom kanalu je nezavisan, i zavisi samo od stanja (odnosa signal-šum) u datom kanalu
 - Protoci po pojedinim kanalima su različiti
- Na prijemu se primljeni (paralelni) podtokovi ponovo kombinuju u jedinstven (serijski) tok ka korisniku
- Razdvajanjem informacionog toka (sa visokim digitalnim protokom) na mnoštvo paralelnih podtokova sa nižim protocima, postiže se da brzina signaliziranja u pojedinim kanalima bude relativno mala
 - Na taj način se omogućava olakšano potiskivanje/eliminacija fenomena koji ometaju prenos :
 - Slabljenje na visokim učestanostima
 - Uskopojasna interferencija
 - Frekvencijski selektivni fading
 - Drugim rečima, moguće je potiskivanje ISI bez korišćenja kompleksnih transverzalnih filtara

Model OFDM sistema za prenos preko AWGN kanala

- Pretpostavimo da je:
 - N – broj nosilaca
 - NT – trajanje signalizacionog intervala po nosiocu
 - $\Delta f = \frac{1}{NT}$ – frekvencijsko rastojanje između nosilaca (jednako je minimalnom rastojanju kod nekoherentne FSK)
 - $f_k = \frac{k}{NT}, k = 0, \dots, N$ – nosioci u osnovnom opsegu
- Blok šema predajnika:



Digitalne modulacije

5/11

- Na ulazu u OFDM predajnik je serijski tok informacionih bita $s[n]$
- Serijsko-paralelni konvertor deli informacioni tok na paralelne podtokove
- Na osnovu ulaznih informacionih podtokova, blokovi u kojima se vrši konstelaciono mapiranje emituju nizove QAM simbola $\{X_k\}, 0 \leq k \leq N - 1$
- Simboli $X_k, 0 \leq k \leq N - 1$, predstavljaju kompleksne brojeve, modula $|X_k|$ i argumenta $\arg(X_k)$
- Blok označen sa FFT^{-1} vrši inverznu brzu Furijeovu transformaciju
 - Od ulaznih QAM simbola konstruiše signal u osnovnom opsegu $v(t)$
- Posmatrajmo prvi signalizacioni interval
- Važi:

$$v(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi k \frac{t}{T}}$$

Digitalne modulacije

6/11

- Dalje je:

$$\begin{aligned}
 v_R(t) &= \operatorname{Re} \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi k \frac{t}{T}} \right\} = \sum_{k=0}^{N-1} \operatorname{Re} \{ X_k e^{j2\pi k \frac{t}{T}} \} \\
 &= \sum_{k=0}^{N-1} |X_k| \left(\cos(\arg X_k) \cos\left(2\pi k \frac{t}{T}\right) - \sin(\arg X_k) \sin\left(2\pi k \frac{t}{T}\right) \right) \\
 &= \sum_{k=0}^{N-1} |X_k| \cos\left(2\pi k \frac{t}{T} + \arg X_k\right) \\
 v_I(t) &= \operatorname{Im} \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi k \frac{t}{T}} \right\} = \sum_{k=0}^{N-1} \operatorname{Im} \{ X_k e^{j2\pi k \frac{t}{T}} \} = \\
 &= \sum_{k=0}^{N-1} |X_k| \left(\cos(\arg X_k) \sin\left(2\pi k \frac{t}{T}\right) + \sin(\arg X_k) \cos\left(2\pi k \frac{t}{T}\right) \right) \\
 &= \sum_{k=0}^{N-1} |X_k| \sin\left(2\pi k \frac{t}{T} + \arg X_k\right)
 \end{aligned}$$

- $s_c(t)$ i $s_s(t)$ su komponente modulisanog signala u fazi i kvadraturi, respektivno:

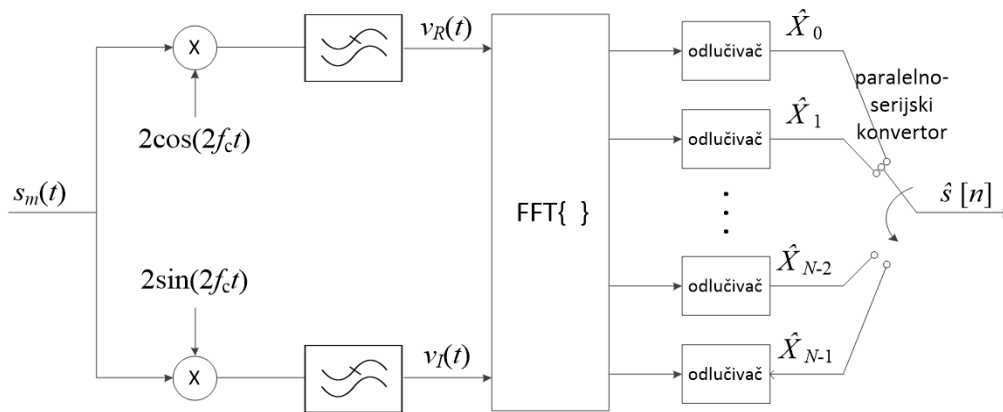
$$\begin{aligned}
 s_c(t) &= v_R(t) \cos(2\pi f_c t) = \sum_{k=0}^{N-1} |X_k| \cos\left(2\pi k \frac{t}{T} + \arg X_k\right) \cos(2\pi f_c t) \\
 s_s(t) &= -v_I(t) \sin(2\pi f_c t) = - \sum_{k=0}^{N-1} |X_k| \sin\left(2\pi k \frac{t}{T} + \arg X_k\right) \sin(2\pi f_c t)
 \end{aligned}$$

- Modulisani signal je:

$$\begin{aligned}
 s_m(t) &= s_c(t) + s_s(t) \\
 &= \sum_{k=0}^{N-1} |X_k| \left(\cos\left(2\pi k \frac{t}{T} + \arg X_k\right) \cos(2\pi f_c t) - \sin\left(2\pi k \frac{t}{T} + \arg X_k\right) \sin(2\pi f_c t) \right) \\
 &= \sum_{k=0}^{N-1} |X_k| \cos\left(2\pi \left(f_0 + \frac{k}{T}\right) t + \arg X_k\right)
 \end{aligned}$$

- Vidi se da je OFDM signal zbir N modulisanih signala, čije su učestanosti $f_0 + \frac{k}{T}$, amplitude $|X_k|$ i faze $\arg X_k$, $0 \leq k \leq N-1$

- Blok šema prijmnika:



- U praksi se bazični OFDM postupak dopunjuje nizom postupaka, čija je svrha poboljšanje kvaliteta prenosa:
 - Između OFDM simbola umeću se tzv. zaštitni intervali (*guard intervals*), u okviru koji se emituju ciklični prefiksi koji se koriste za eliminaciju ISI
 - Koriste se zaštitno kodovanje
 - Koristi se frekvencijski i vremenski interleaving
 - Izbor modulacije u svakom kanalu je adaptivan i vrši se na osnovu povratnih informacija o kvalitetu prijema
- Problemi kod OFDM modulacije su:
 - Osetljivost na fazni i frekvencijski ofset
 - Osetljivost na nelinearnosti realnih karakteristika modulacionih sklopova

KRAJ