

PERFORMANSE ALGORITMA ZA ISTOVREMENU PROCENU FREKVENCIJSKOG I VREMENSKOG OFSETA OFDM SISTEMA

Veljko Stankoviæ, Nenad Miloš eviæ, Zorica Nikolaiæ
Elektronski fakultet, Niš

I UVOD

Postojeæi bež ièni komunikacioni sistemi su projektovani za prenos jedne odreðene vrste podataka, na primer govora u mobilnoj telefoniji, ili prenos podataka velikom brzinom u bež iènim lokalnim mrež ama (LAN). Naredna generacija bež iènih š irokopojasnih komunikacionih sistema (WBMCS - Wireless Broadband Multimedia Communications Systems) bi trebalo da obezbedi veliki broj služ bi. Prenos korisnièkih signala bi trebao da se vrš i brzinama koje prelaze 2 Mb u sekundi. Prenos podataka ovako velikim brzinama u mobilnim komunikacionim sistemima zahteva da se posebna paž nja obrati reš avanju problema intersimbol interference (ISI) koja se javlja usled prostiranja signala preko kanala sa frekvencijski selektivnim fedingom.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) predstavlja modulacionu tehniku koja je predlož ena za primenu u mobilnim komunikacionim sistemima (UMTS) [1] i bež iènim lokalnim mrež ama (WLAN) [2]. Prenos podataka velikom brzinom kod OFDM sistema se ostvaruje na taj naèin š to se celokupni raspolož ivi frekventni opseg deli na veæi broj podosega koji se koriste za paralelni prenos informacionih sekvenci manjeg bitskog protoka. Svaka od ovih informacionih sekvenci paralelno moduliš e jedan od viš e meðusobno ortogonalnih nosioca. Ortogonalnost nosioca se postiž e tako š to se rastojanje izmeðu njih u frekventnom domenu bira tako da je jednako reciproènoj vrednosti trajanja simbola koji se prenose preko svakog od podopsega. OFDM se sve viš e razmatra za primenu u mobilnim komunikacionim sistemima zato š to se na jednostavan naèin bori protiv intersimbol interference koja se javlja usled prostiranja signala preko kanala sa frekvencijski selektivnim fedingom. Poveæanje trajanja simbola koji se prenose preko pojedinih podopsega omogućava da se prenos signala preko svakog od podopsega tretira kao prenos preko kanala sa frekvencijski neselektivnim fedingom.

Razvoj DSP procesora je omogućio da se modulacija i demodulacija OFDM signala jednostavno realizuje primenom diskretne Fourier-ove transformacije (DFT) i inverzne DFT. Nakon generisanja OFDM simbola primenom IDFT, cikličnim produž enjem tih simbola sa mož e gotovo potpuno eliminisati intersimbol interference.

Jedan od glavnih nedostataka OFDM-a jeste osetljivost na frekventni ofset. Èak i veoma mala razlika izmeðu frekvencija lokalnih oscilatora predajnika i prijemnika OFDM signala mož e rezultirati gubitkom ortogonalnosti nosioca i pojavom presluš avanja izmeðu susednih podopsega ICI (Intercarrier interference). Intenzitet ICI direktno zavisi od vrednosti frekventnog ofseta pa se pre demodulacije primenom DFT mora izvrš iti korekcija frekventnog ofseta.

Demodulacija na prijemu se vrš i tako š to se OFDM simbol odmerava, a odmerci se dovode na ulaz DFT bloka. U

sluèaju kada predajnik i prijemnik nisu sinhronizovani, u zavisnosti od vrednosti vremenskog ofseta mož e doæi do pojave ICI i intersimbol interference izmeðu dva susedna OFDM simbola. Kada je vremenski ofset kraæi od trajanja cikličnog produž etka OFDM simbola dolazi do promene faze koja se linearno poveæava sa rednim brojem nosioca š to rezultuje degradacijom performansi sistema.

Iz ovih razloga je potrebno da se pre demodulacije OFDM signala izvrš i korekcija frekventnog ofseta i uspostavi sinhronizam izmeðu predajnika i prijemnika. Sve metode koje se koriste pri sinhronizaciji kod OFDM sistema se mogu podeliti u dve grupe. U prvu grupu spadaju metode kod kojih se procena frekventnog i vremenskog ofseta vrš i primenom specijalnih pilot signala èime se smanjuje efikasnost sistema poš to se deo frekventnog opsega ili vremenskih kanala koristi za procenu ovih parametara [3], [4]. U drugu grupu spadaju metode koje koriste strukturu i osobine OFDM signala da bi izdvojile potrebnu informaciju o frekventnom i vremenskom ofsetu [5], [6]. U ovom radu biæ analizirane performanse algoritma koji se mož e koristiti za istovremenu procenu frekventnog i vremenskog ofseta koji je dat u radu [7]. Kriterijumska funkcija koja se koristi pri proceni frekventnog i vremenskog ofseta predstavlja snagu ICI koja se javlja usled prisustva frekventnog ofseta i snaga smetnje koja se javlja usled intersimbol interference izmeðu susednih OFDM simbola kada DFT prozor nije idealno postavljen. Rad je organizovan na sledeæi naèin: u drugom odeljku biæ dat opis OFDM sistema, a u treæem opis algoritma koji se koristi pri sinhronizaciji. U èetvrtom odeljku æ biti prezentovani rezultati simulacije. U petom odeljku æ biti dat zaključak.

II MODEL SISTEMA

Ulazna binarna informaciona sekvenca se deli na blokove od po 2 bita koji moduliš u N_d ortogonalnih nosioca. Svaki od nosioca je modulisan primenom DQPSK modulacije. Celokupni raspolož ivi frekventni opseg je podeljen na N podopsega koji se koriste za prenos DQPSK signala, pri èemu je $N = N_d + 3$. Prvi i N -ti podopseg se ne koriste za prenos signala i koriste se da bi formirali zaš titni frekventni opseg izmeðu susednih OFDM grupa nosioca [1], [8]. Drugi podopseg se koristi za prenos referentnog signala sa poznatom fazom koji se koristi pri demodulaciji DQPSK signala na mestu prijema. Kompleksna anvelopa OFDM simbola je jednaka:

$$d(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} D_n \exp\left(j \frac{2\pi}{T_0} nt\right), \quad -T_g \leq t \leq T_0 \quad (1)$$

gde je sa $d(t)$ oznaèena kompleksna anvelopa OFDM simbola, sa N je oznaèen broj nosioca koji se dodeljuju jednom korisniku, sa D_n kompleksni DQPSK simbol. Sa T_0

je označeno trajanje OFDM simbola, a sa T_g trajanje cikličnog proširenja OFDM simbola. Pri tome važi i $D_n \in \{1, j, -1, -j\}$ i $D_1 = 1$, $D_0 = 0$, $D_{N-1} = 0$. U ovom radu posmatra se slučaj kada se OFDM signal prostire preko kanala sa aditivnim belim Gausovim šumom.

Signal na prijemu se nakon konverzije naniže može predstaviti u sledećem obliku:

$$r(t) = e^{i\Delta f t} d(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} D_n \exp\left(j2\mathbf{p}\left(\frac{n}{T_0} + \Delta f\right) \cdot t\right) + n(t) \quad (2)$$

gde je sa Δf označen frekventni ofset. Sa $n(t)$ je označen aditivni beli Gauss-ov šum na ulazu u prijemnik nulte srednje vrednosti i varijanse \mathbf{s}_n^2 . U toku odmeravanja se javlja greška u sinhronizaciji \mathbf{t} :

$$r_k \equiv r(t)\Big|_{t=k\frac{T_0}{N}+\mathbf{t}} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} D_n e^{j2\mathbf{p}\left(\frac{n}{T_0} + \Delta f\right)\left(\frac{kT_0}{N} + \mathbf{t}\right)} + n_k \quad (3)$$

gde je sa n_k označen odmerak Gauss-ovog šuma. Odmerci signala y_k se potom dovode na ulaz kola za DFT na čijem izlazu se dobija:

$$\tilde{D}_m = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} r_k e^{-j\frac{2\mathbf{p}}{N}km}, \quad 0 \leq m \leq N-1 \quad (4)$$

Jednačina (4) se može napisati u sledećem obliku:

$$\tilde{D}_m = D_m \frac{\sin(\mathbf{p}\mathbf{e})}{N \sin\left(\frac{\mathbf{p}\mathbf{e}}{N}\right)} \exp\left(j\left(\frac{2\mathbf{p}}{T_0}(m+\mathbf{e})\mathbf{t} + \mathbf{p}\mathbf{e} \frac{N-1}{N}\right)\right) + \sum_{\substack{n=0 \\ n \neq m}}^{N-1} D_n \frac{\sin(\mathbf{p}(n-m+\mathbf{e}))}{N \sin\left(\frac{\mathbf{p}(n-m+\mathbf{e})}{N}\right)} e^{j\left(\frac{2\mathbf{p}}{T_0}(m+\mathbf{e})\mathbf{t} + \mathbf{p}(n-m+\mathbf{e})\frac{N-1}{N}\right)} + n_m \quad (5)$$

gde je sa $\mathbf{e} = \Delta f T_0$ označen normalizovani frekventni ofset, a sa n_m Gaussov šum:

$$n_m = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=k}^{N-1} n_k e^{-j\frac{2\mathbf{p}}{N}km}$$

III OPIS ALGORITMA

Prvi član u jednačini (5) predstavlja oslabljeni i fazno pomereni koristan signal. Drugi član predstavlja ICI koja se javlja usled frekventnog ofseta. Pošto to je za $m=0$ i $m=N-1$ $D_m=0$, možemo da pišemo:

$$\tilde{D}_m = \sum_{\substack{n=0 \\ n \neq m}}^{N-1} D_n \frac{\sin(\mathbf{p}(n-m+\mathbf{e}))}{N \sin\left(\frac{\mathbf{p}(n-m+\mathbf{e})}{N}\right)} e^{j\left(\frac{2\mathbf{p}}{T_0}(m+\mathbf{e})\mathbf{t} + \mathbf{p}(n-m+\mathbf{e})\frac{N-1}{N}\right)} + n_m \quad (6)$$

odakle vidimo da u našim frekventnim podopsezima postoji samo član koji odgovara ICI. U slučaju kada se pre DFT izvrši i potpuna kompenzacija frekventnog ofseta, snaga ICI za sve nosioce pa i za nosioce za $m=0$ i $m=N-1$ je jednaka nuli. U slučaju kada je vremenski ofset veći od cikličnog produženja pored ICI se javlja i intersimbol interferenca između susjednih OFDM simbola.

Postupak određivanja početka simbola i frekventnog ofseta je sledeći. Najpre se izvrši i odmeravanje signala na ulazu u prijemnik i formira se vektor \mathbf{r} čiji su elementi dati jednačinom (3) za $k=0, \dots, N-1$. Zatim se formira vektor:

$$V(\hat{\mathbf{e}}) = \left[1 \exp\left(-j\frac{2\mathbf{p}\hat{\mathbf{e}}}{N}\right) \cdots \exp\left(-j\frac{2\mathbf{p}\hat{\mathbf{e}}}{N}k\right) \cdots \exp\left(-j\frac{2\mathbf{p}\hat{\mathbf{e}}}{N}(N-1)\right) \right]$$

gde je sa $\hat{\mathbf{e}}$ označena procena frekventnog ofseta. Uz pomoć vektora $V(\hat{\mathbf{e}})$ se dobija vektor $\mathbf{y} = \text{diag}(V(\hat{\mathbf{e}})) \cdot \mathbf{r}$ čiji su elementi mogu predstaviti u sledećem obliku

$$y_k = \exp\left(-j\frac{2\mathbf{p}\hat{\mathbf{e}}}{N}k\right) \cdot r_k, \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (7)$$

Vektor \mathbf{y} predstavlja vektor odmeraka signala na ulazu u prijemnik nakon što je izvršena korekcija frekventnog ofseta. Ovaj signal se potom vodi na ulaz DFT. DFT odmeraka u vektoru \mathbf{y} za $m=0$ i $m=N-1$ označavamo sa Y_0 i Y_{N-1} :

$$Y_0 = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} y_k \quad \text{i} \quad Y_{N-1} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} y_k e^{-j\frac{2\mathbf{p}}{N}(N-1)k}$$

U slučaju kada je $\hat{\mathbf{e}} = \mathbf{e}$ ICI je potpuno eliminisana i važi da je $Y_0 = 0$ i $Y_{N-1} = 0$ Formiramo kriterijumsku funkciju:

$$W(\hat{\mathbf{e}}) = |Y_0(\hat{\mathbf{e}})|^2 + |Y_{N-1}(\hat{\mathbf{e}})|^2 \quad (8)$$

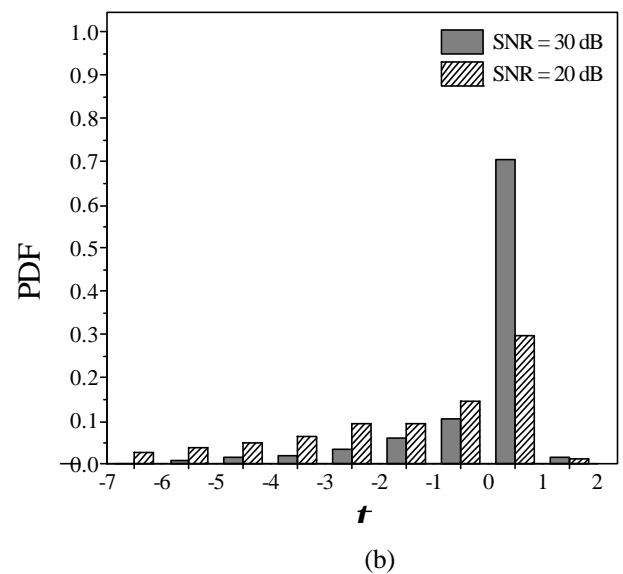
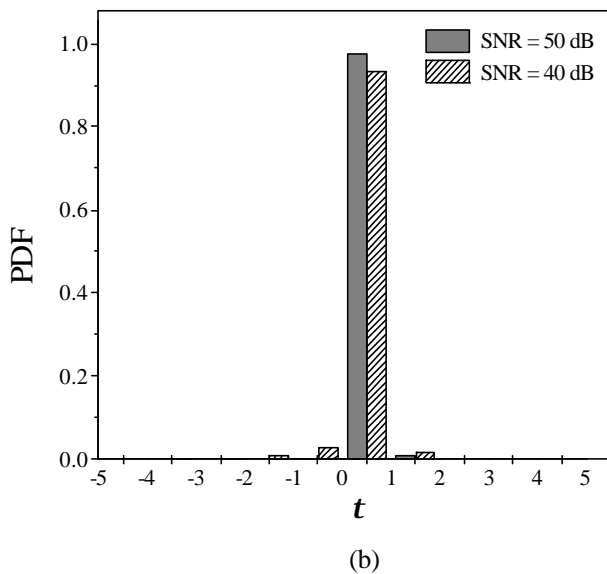
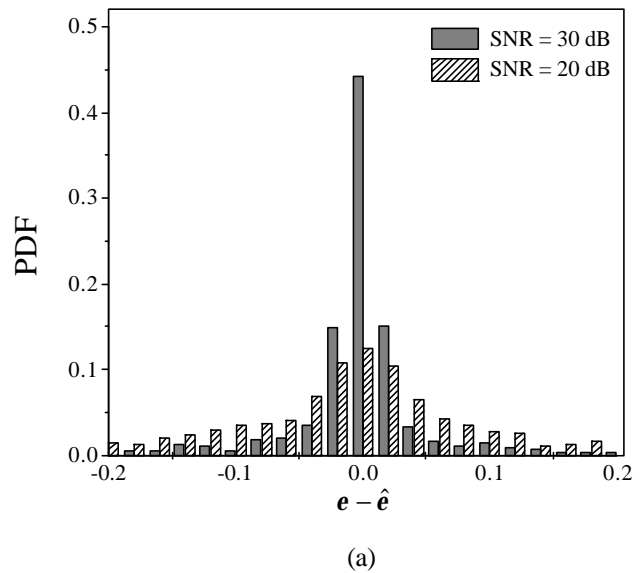
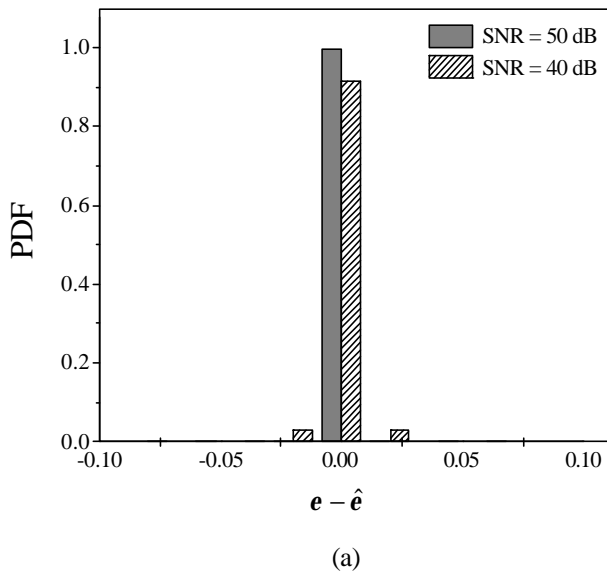
Funkcija data jednačinom (8) ima minimum u slučaju kada se početak DFT prozora nalazi unutar cikličnog produženja OFDM simbola ili na početku samog OFDM simbola. Odavde sledi da se početak OFDM simbola može odrediti na osnovu položaja minimuma funkcije $W(\hat{\mathbf{e}})$. Procena frekventnog ofseta predstavlja vrednost $\hat{\mathbf{e}}$ za koju se dobija minimalna vrednost funkcije $W(\hat{\mathbf{e}})$. Praćenjem promena vrednosti funkcije $W(\hat{\mathbf{e}})$ u toku vremena i vrednosti $\hat{\mathbf{e}}$ za koje funkcija $W(\hat{\mathbf{e}})$ dostiže minimum moguće je odrediti početak OFDM simbola i vrednost frekventnog ofseta.

IV REZULTATI SIMULACIJE

Performanse ovog algoritma su ispitane simulacijom. Ukupan broj nosioca iznosi $N=24$. $N_d=21$ nosioc je korišćen za prenos DQPSK simbola i uzeto je da se referentnim nosiocem prenosi simbol $D_1=1$. Nakon IDFT svakom OFDM simbolu je dodat prefiks od $N_g=5$ odmeraka. Odluka o početku OFDM simbola se donosi onda kada vrednost funkcije date jednačinom (8) poraste za 10 dB u odnosu na minimalnu vrednost. Pri simulaciji je uzeto da je frekventni ofset konstantan $\mathbf{e}=0.3$.

Na slici 1. su prikazani histogrami greške procene frekventnog ofseta $\mathbf{e}-\hat{\mathbf{e}}$ i greške procene vremenskog ofseta za vrednosti odnosa signal-šum na ulazu u prijemnik 40 dB i 50 dB. Kako se sa ovih slika može videti, verovatnoća ispravne procene frekventnog i vremenskog ofseta su maksimalne za ove vrednosti odnosa signal-šum.

Na slici 2. je prikazan histogram greške procene frekventnog i vremenskog ofseta za vrednosti odnosa signal-šum 30 dB i 20 dB. Povećanjem snage šuma raste verovatnoća pogrešne procene usled smanjenja vrednosti



Slika 1. Histogram pogreš ne procene frekventnog (a) i vremenskog ofseta (b) za $SNR = 50dB$ i $SNR = 40dB$..

Slika 2. Histogram pogreš ne procene frekventnog (a) i vremenskog ofseta (b) za $SNR = 30dB$ i $SNR = 20dB$.

praga na osnovu koga se donosi odluka o položaju minimuma funkcije $W(\hat{\mathbf{e}})$.

ovaj algoritam nepogodnim za primenu u sistemima sa visokim nivoom šuma i jakim fadingom.

V ZAKLJUČAK

U ovom radu je izvršena analiza performansi algoritma za istovremenu procenu frekventnog i vremenskog ofseta. Prema predlogu OFDM sistema za UMTS, svakom korisniku se dodeljuje $N = 24$ podopsega za prenos informacije, pri čemu se dva krajnja podopsega ne koriste za prenos i koriste se kako bi formirali zaštitne frekventne opsege između dva opsega koji su dodeljeni različitim korisnicima. Praćenjem snage ICI u ovim podopsezima moguće je odrediti početak OFDM simbola i vrednost frekventnog ofseta. Pokazano je da pri velikim vrednostima odnosa signal-šuma ovaj algoritam daje dobre rezultate. Međutim, smanjenjem vrednosti odnosa signal-šuma sposobnost ovog algoritma da ispravno proceni vrednosti vremenskog i frekventnog ofseta opada. Osetljivost praga odlučivanja na promene vrednosti odnosa signal-šuma čini

LITERATURA:

- [1] Concept group Beta, "OFDMA Evaluation Report-The multiple access proposal for the UMTS Radio Air Interface (UTRA)", ETSI SMG Meeting, No. 24, Madrid, Spain, Dec. 1997.
- [2] "Broadband Radio Access Networks (BRAN); Inventory of broadband radio technologies and techniques", ETSI Tech. Rep., DTR/BRAN-030001, 1998.
- [3] P. Moose, "A Technique for orthogonal frequency-division multiplexing frequency offset correction", IEEE Trans. on Comm., vol. 42., Oct. 1994.
- [4] U. Lammert, M. Speth, H. Meyr, "OFDM burst frequency synchronization by single carrier training data", IEEE Comm. Letters, vol 1., March 1997.

- [5] J. J. van Beck, M. Sandell, P. O. Borjesson, "*ML Estimation of Time and Frequency offset in OFDM Systems*", IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 45, July 1997.
- [6] M. Sandell, J. J. van Beek, P. O. Borjesson, "*Timing and frequency synchronization in OFDM systems using the cyclic prefix*", Proc. Int. Symp. Synchronization, Essen, Germany, Dec. 1995.
- [7] J. H. Gunther, H. Liu, A. L. Swidlehurst, "*A new approach for symbol frame synchronization and carrier frequency estimation in OFDM communications*", <http://www.citeseer.nj.nec.com>.
- [8] R. van Nee, R. Prasad, *OFDM Wireless Multimedia Communications*, Artech House, London, 2000.

Abstract: In this paper we analyse the performance of algorithm for simultaneous frequency offset estimation and OFDM symbol synchronization. It is shown that this algorithm has good performance for high levels of signal to noise ratio. When the value of the signal to noise ratio decrease below 20 dB ability of the system to track frequency offset and the beginning of the OFDM system rapidly decrease.

PERFORMANCE OF THE ALGORITHM FOR SIMULTANEOUS FREQUENCY AND TIMING OFFSET ESTIMATION, Veljko Stankoviæ, Nenad Miloševiæ, Zorica Nikolaiæ