

## POBOLJŠANJE PERFORMANSI OFDM SISTEMA U PRISUSTVU FREKVENCIJSKOG OFSETA NOSIOCA

Zorica Nikolić<sup>1</sup>, Bojan Dimitrijević<sup>1</sup>, Nenad Milošević<sup>1</sup> i Miloš Bandur<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Nišu - Elektronski fakultet,

<sup>2</sup>Univerzitet u Prištini, Kosovska Mitrovica-Fakultet tehničkih nauka,

zorica.nikolic@elfak.ni.ac.rs, bojan.dimitrijevic@elfak.ni.ac.rs,

nenad.miloseviic@elfak.ni.ac.rs, milos.bandur@pr.ac.rs

**Sadržaj:** *U okviru ovog rada biće prezentovani rezultati različitih modifikacija OFDM prijemnika koje obezbeđuju poboljšanje performansi u prisustvu frekventijskog ofseta nosioca. Posebna pažnja biće posvećena OFDM-MDPSK prijemniku sa diferencijalnom detekcijom koji koristi više simbola pri detekciji. Biće izvršena optimizacija parametara sistema ovog prijemnika sa stanovišta kompromisa potrebnog propusnog opsega, brzine rada i postigute verovatnoće greške.*

**Ključne reči:** *Doplerov pomeraj, simbolska verovatnoća greške, frekventijski ofset, OFDM, propusni opeg*

### 1. Uvod

Prvi OFDM sistemi zaživeli su u praksi još pre više od petnaest godina, a sâm koncept realizacije predložen je pre više od četrdeset godina [1]. Bez obzira na to, ovi sistemi su našli svoje mesto u savremenim telekomunikacijama imajući u vidu njihovu mogućnost da obezbede veliku brzinu prenosa, dobro korišćenje spektra i otpornost na intersimbolsku interferencu. Tako se oni koriste u mnogim sistemima kao što je DAB (Digital Audio Broadcasting), DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial), WLAN (Wireless Local Area Network), BWA (Broadband Wireless Access), WiMax (Worldwide interoperability for Microwave access), UWB (Ultra-Wideband), LTE (Long Term Evolution) i mnogi drugi [2].

Glavni nedostatak OFDM sistema je njihova osetljivost na frekventijski ofset. Pojava frekventijskog ofseta narušava ortogonalnost među podnosiocima i stvara interferencu među njima. Može nastati, kako zbog prisustva Doplerovog pomeraja, tako i zbog loše sinhronizacije frekvencija. Ovaj efekat predstavlja glavni faktor koji ograničava smanjenje širine OFDM podnosioca i povećanje brzine prenosa.

U slučaju kada je jednostavna konstrukcija sistema važnija od njegovih performansi, diferencijalna detekcija postaje popularna zamena koherentnoj koja je osetljivija na frekventijski ofset. Performanse kod ovog prijemnika mogu biti poboljšane

uvođenjem DFDD (Decision Feedback Differential Detection) algoritama pri detekciji [3]. Dodatno poboljšanje performansi postiže se u slučaju kada se pri detekciji koristi više od dva simbola i tada imamo MSDD (Multiple-Symbol Differential Detection) prijemnik [4].

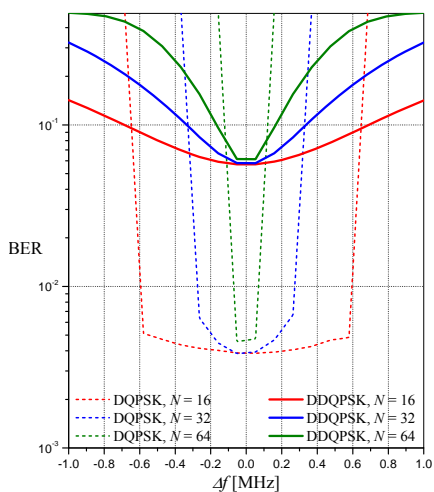
Oba algoritma, DFDD i MSDD, imaju loše performanse u prisustvu značajnijih frekvencijskih ofseta nosioca i zbog toga je neophodna njihova modifikacija u cilju postizanja željenih performansi.

Rad je organizovan na sledeći način: Poglavlje 2 opisuje performanse OFDM-QPSK prijemnika sa dvostrukom diferencijalnom detekcijom. Poglavlje 3 opisuje performanse OFDM-MDQPSK prijemnika sa diferencijalnom detekcijom na osnovu povratne sprege. U poglavlju 4 opisane su karakteristike OFDM-MDPSK prijemnika sa diferencijalnom detekcijom na osnovu više simbola (MSDD algoritam), prikazana je određena modifikacija i izvršen optimalni izbor parametara datog prijemnika. Zaključna razmatranja su data na kraju rada.

## 2. OFDM-QPSK prijemnik sa dvostrukom diferencijalnom detekcijom

U cilju unapređenja performansi OFDM sistema u uslovima frekvencijskog ofseta, u ovom odeljku biće predstavljen OFDM prijemnik sa dvostrukom diferencijalnom detekcijom [7].

Na slici 1 prikazane su karakteristike verovatnoće greške u funkciji frekvencijskog ofseta ( $\Delta f$ ) za slučaj diferencijalne detekcije (DQPSK) i dvostruke diferencijalne detekcije (DDQPSK) OFDM-QPSK signala koje su dobijene korišćenjem Monte Carlo simulacije. Frekvencija nosioca je 2.4 GHz; trajanje OFDM simbola iznosi  $T_s=10^{-2}$   $\mu$ s i odnos signal/šum  $E_b / N_0 = 8$  dB. Parametar krivih je broj OFDM kanala ( $N$ ).



Slika 1. Verovatnoća greške u funkciji frekvencijskog ofseta

Za manje vrednosti parametra  $N$ , frekvencijski ofset ima manji uticaj na performanse sistema, odnosno opseg u kome se može postići zadovoljavajući kvalitet prenosa je

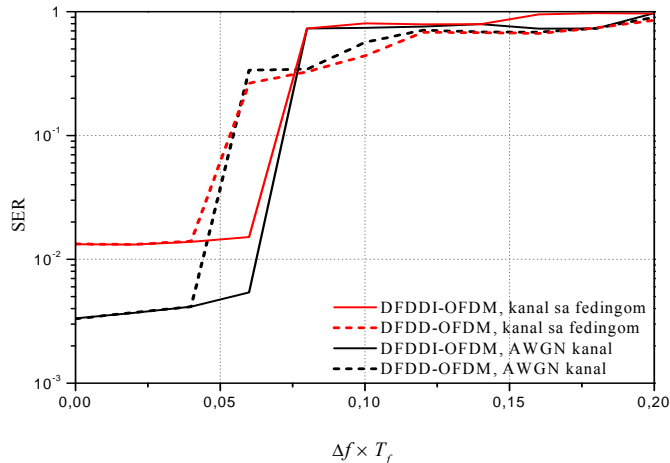
najširi. Sa povećanjem broja OFDM kanala, uticaj frekvencijskog ofseta na kvalitet prenosa takođe raste, odnosno opseg u kome se može postići zadovoljavajući kvalitet prenosa postaje uži. Opseg frekvencijskog ofseta u kome su još uvek zadovoljavajuće performanse sistema je uži kod OFDM/DQPSK sistema, ali se i karakteriše manjom vrednošću verovatnoće greške po bitu. OFDM/DDQPSK sistem je manje osetljiv na frekvencijski ofset, ali ima i značajno veću vrednost verovatnoće greške po bitu u opsegu u kome sistem radi, što predstavlja nedostatak.

### 3. OFDM-MDQPSK prijemnik sa diferencijalnom detekcijom na osnovu povratne sprege

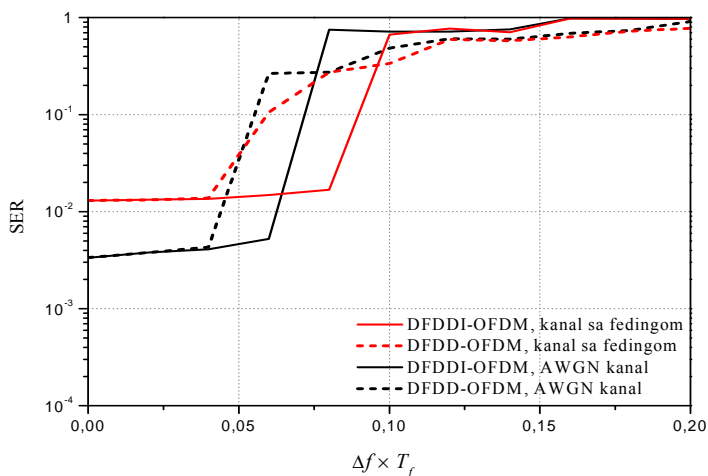
U radovima [8] i [9] predloženo je jednostavno rešenje diferencijalne detekcije sa povratnom spregom (DFDD) koje pruža dobre performanse po veoma niskoj računskoj složenosti.

U referenci [10] je predložen unapređeni DFDD algoritam primenjen na OFDM sistem, označen sa DFDDI-OFDM (*DFDD improved*), sa ciljem da se dodatno poboljšaju performanse DFDD algoritma u okviru OFDM sistema, a sa stanovišta manje osetljivosti na frekvencijski ofset nosioca.

Na slikama 2 i 3 su prikazane verovatnoće greške po simbolu u zavisnosti od normalizovanog frekvencijskog ofseta za dva različita skupa OFDM parametara  $\{N=32, N_{VC}=4, T_{CP}=T_{GI}=4T_c\}$  i  $\{N=64, N_{VC}=8, T_{CP}=T_{GI}=8T_c\}$ , za 4DPSK modulaciju. Normalizovani frekvencijski ofset je određen kao  $\Delta f \times T_f$ , gde je trajanje OFDM frejma definisano sa  $T_f = T_s \times (N + CP + GI)$ .



Slika 2. Verovatnoća greške po simbolu u zavisnosti od normalizovanog frekvencijskog ofseta za  $N=32, N_{VC}=4, T_{CP}=T_{GI}=4T_c$ , 4DPSK modulacija



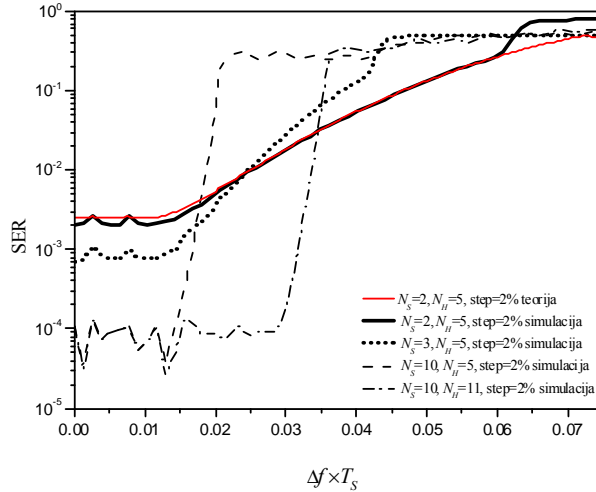
Slika 3. Verovatnoća greške po simbolu u zavisnosti od normalizovanog frekvencijskog ofseta za  $N=64$ ,  $N_{VC}=8$ ,  $T_{CP} = T_{GI} = 8T_c$ , 4DPSK modulacija

Poređenjem odgovarajućih krivih na slikama 2 i 3, može se uočiti značajan dobitak u performansama sistema u prisustvu frekvencijskog ofseta, primenom DFDDI-OFDM prijemnika. Dobitak je značajan u oba slučaja, kanalu sa fedingom, kao i AWGN kanalu.

#### 4. OFDM-MDPSK prijemnika sa diferencijalnom detekcijom na osnovu više simbola (MSDD algoritam)

MSDD algoritam može biti upotrebljen kod OFDM prijemnika u cilju poboljšanja performansi u prisustvu frekvencijskog ofseta [11].

Performanse ovog sistema su analizirane Monte-Carlo simulacijama. Frekvencija nosioca je 2.4 GHz, trajanje svakog OFDM kanala je  $T_s = 10$  ns. Verovatnoća greške po bitu u funkciji frekvencijskog ofseta za 8DPSK-OFDM prikazana je slici 4. Sa povećanjem vrednosti parametra  $N_S$  (broj simbola pri odlučivanju) verovatnoća greške opada za nulti frekvencijski offset. Sa povećanjem broja hipoteza ( $N_H$ ) ovaj sistem postaje manje osetljiv na frekvencijski offset.



Slika 4. Verovatnoća greške po simbolu u funkciji frekvencijskog ofseta 8DPSK modulacija, AWGN kanal, SNR = 18dB.

Sa porastom vrednosti parametra  $N_S$  verovatnoća greške po simbolu opada za nulti frekvencijski offset. Za velike vrednosti parametra  $N_S$  sistem postaje osetljiviji na frekvencijski offset. Ta osetljivost se može dodatno popraviti povećavanjem broja hipoteza

#### Rekonfigurabilni MSDD OFDM/MDPSK prijemnik <sup>[12]</sup>

Sa namerom da se proširi opseg frekvencijskog ofseta u kome se zadržavaju zadovoljavajuće performanse MSDD-OFDM sistema (pri nultom ofsetu frekvencije) predložena je nova rekonfigurabilna struktura koja je označena sa RMSDD-OFDM.

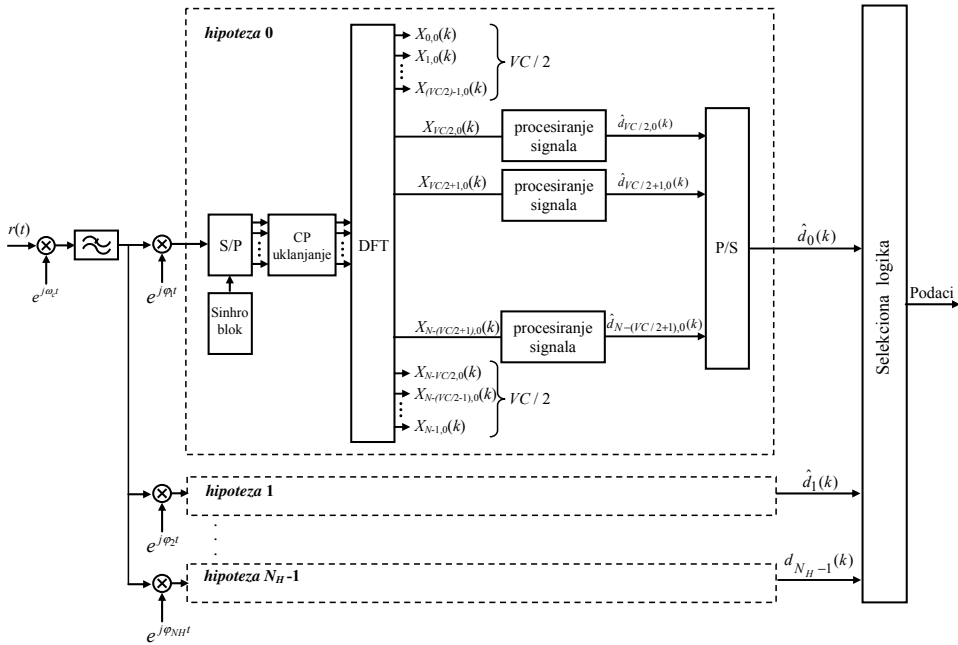
Na predaji  $i$ -ti odmerak OFDM simbola se može prikazati izrazom:

$$s(i) = \sqrt{\frac{1}{N}} \sum_{n_c=0}^{N-1} A_{n_c}(k) e^{j2\pi \frac{n_c i}{N}}, 0 \leq i \leq N-1 \quad (1)$$

$A_{n_c}(k)$  je vrednost amplitude za  $n_c$ -ti podnosilac  $k$ -tog OFDM frejma:

$$A_{n_c}(k) = A_{n_c}(k-1) e^{j2\pi \frac{d_{n_c}(k)}{M}} \quad (2)$$

$d_{n_c}(k) \in \{0, 1, \dots, (M-1)\}$  predstavlja simbol koji je prenet  $n_c$ -tim OFDM kanalom i  $k$ -tim OFDM frejmom.  $N$  je broj OFDM kanala.  $M$  je modulacioni nivo za MDPSK modulaciju.



Slika 5. Blok šema RMSDD-OFDM prijelnika sa frekvencijskim hipotezama

Primljena sekvenca podataka u  $n_c$ -tom OFDM kanalu i  $k$ -tom OFDM frejmu, pri idealnoj sinhronizaciji frejma i vremenskoj sinhronizaciji, nakon uklanjanja cikličnog prefiksa glasi:

$$X_{n_c}(k) = \sqrt{\frac{1}{N}} \sum_{i=kN}^{k(N+1)-1} [s(i) + n(i)] e^{-j2\pi \frac{in_c}{N}}, 0 \leq n_c \leq N-1 \quad (3)$$

$n(i)$  predstavlja beli Gausov šum sa spektralnom gustinom snage  $N_0/2$ .

Postoji ukupno  $N_H$  blokova, ograničenih isprekidanom linijom, koji predstavljaju različite frekvencijske hipoteze. Ulazni signal se množi signalom sa odgovarajućim frekvencijskim ofsetom  $\theta_{n_h}$

$$\theta_{n_h} = n_h \Delta\phi - \frac{(N_H - 1)\Delta\phi}{2}, n_h = 0, \dots, N_H - 1 \quad (4)$$

gde  $n_h$  predstavlja broj hipoteze,  $\Delta\phi$  je fazni korak.

U bloku za procesiranje signala vrši se izbor jedne faze od ponuđenih:  $\Phi_{n_c, n_h} = \{\varphi_{n_c, n_h}(k), \varphi_{n_c, n_h}(k-1), \dots, \varphi_{n_c, n_h}(k-N_B+1)\}$  i to onaj koji daje maksimalnu vrednost sume  $S_{n_c, n_h}(k)$ , za svaki OFDM kanal i svaku hipotezu, pri čemu je:

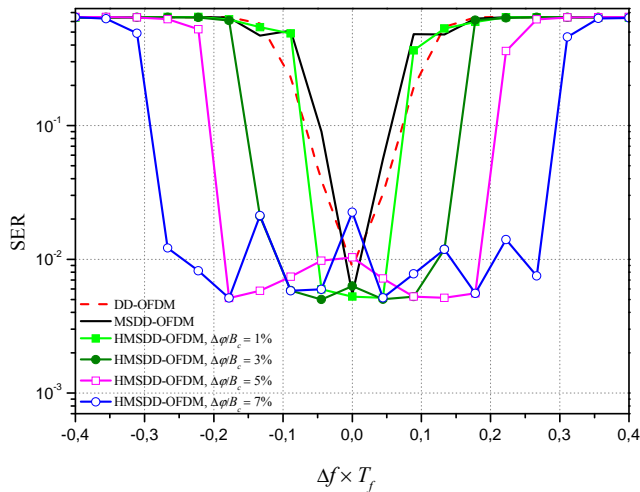
$$S_{n_c, n_h}(k) = \left| \sum_{n_b=0}^{N_B-1} X_{n_c, n_h}(k-n_b) e^{-j\varphi(k-n_b)} \right|^2 \quad (5)$$

$X_{n_c, n_h}(k - n_b)$  je  $n_b$ -ti preneti MDPSK simbol u  $n_c$ -tom OFDM kanalu i za  $n_h$ -tu hipotezu;  $n_b = 0, \dots, N_B - 1$ ;  $n_h = 0, \dots, N_H - 1$ ;  $n_c = 0, \dots, N - VC - 1$ .  $N_B$  je broj simbola korišćenih za detekciju kod MSDD algoritma.  $N_H$  predstavlja ukupan broj hipoteza.

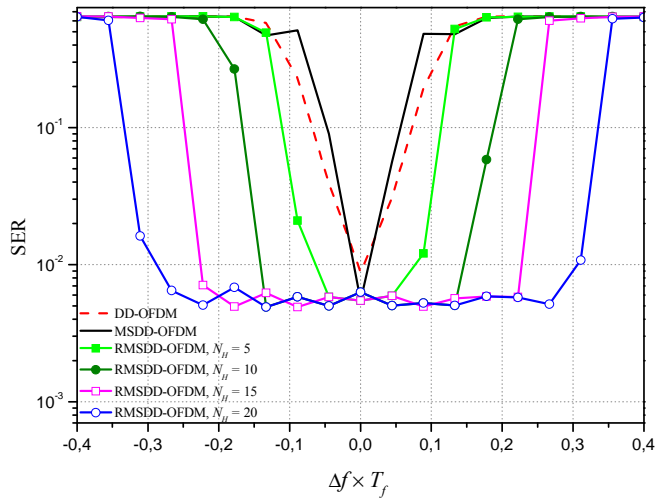
U slučaju kada nema frekvencijskog ofseta, predloženi prijemnik daje bolje performanse od DD-OFDM prijemnika i jednako dobre performanse kao MSDD-OFDM prijemnik.

Slike 6 i 7 prikazuju verovatnoću greške po simbolu u zavisnosti od normalizovanog frekvencijskog ofseta  $\Delta f \times T_f$ , sa  $\Delta\varphi / B_c$  i  $N_H$  kao parametrom, respektivno. Ostali parametri su  $N_B = 4$  i  $E_s / N_0 = 12$  dB.

Ove slike pokazuju da predloženi RMSDD-OFDM prijemnik, u poređenju sa druga dva prijemnika, ima znatno širi opseg frekvencijskog ofseta u kome poseduje dobre performanse. Povećanjem proizvoda  $\Delta\varphi / B_c \times N_H$ , taj opseg postaje veći. Međutim, ako ovaj proizvod postane veći od 50% širine jednog OFDM kanala, dolazi do oscilovanja vrednosti simbolske verovatnoće.

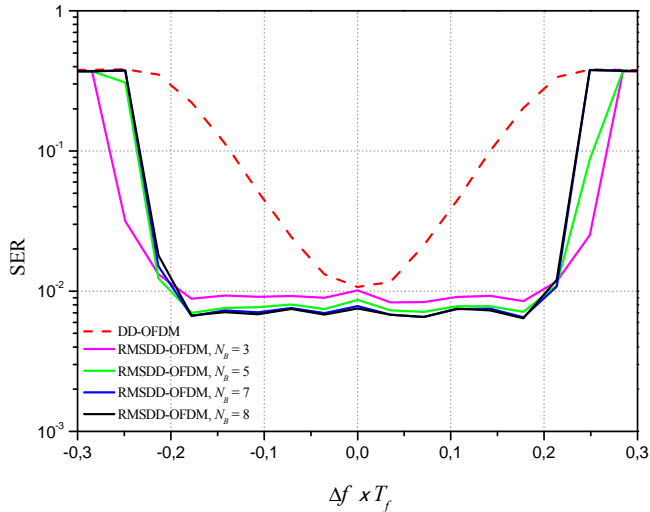


Slika 6. SER u zavisnosti od normalizovanog frekvencijskog ofseta (4DPSK)



Slika 7. SER u zavisnosti od normalizovanog frekvencijskog ofseta (4DPSK)

Verovatnoća greške po simbolu u zavisnosti od normalizovanog frekvencijskog ofseta  $\Delta f \times T_f$  za BDPSK modulaciju ( $N_B$  je parametar) prikazana je na slici 8. Ostali parametri su  $\Delta\phi / B_c = 5\%$ ,  $N_H = 8$  i  $E_s / N_0 = 7$  dB.



Slika 8. SER u zavisnosti od normalizovanog frekvencijskog ofseta (BDPSK)

Punom linijom su prikazane performanse RMSDD-OFDM za različite vrednosti parametra  $N_B$ . Sa povećanjem  $N_B$  dobijaju se bolje performanse, ali se opseg frekvencijskog ofseta, u kome ovo važi, sužava. U posmatranom slučaju optimalni izbor parametra  $N_B$  je 5.



## 5. Zaključci

U ovom radu prezentovane su različite modifikacije OFDM-MDPSK prijemnika, koje imaju za cilj smanjenje verovatnoće greške pri nultom frekvencijskom ofsetu kao i proširenje opsega frekvencijskog ofseta u kome sistem ima zadovoljavajuće performanse.

Posebna pažnja posvećena je OFDM-MDPSK prijemniku sa diferencijalnom detekcijom koji koristi više simbola pri detekciji (MSDD). Prikazana je jedna modifikacija ovog prijemnika koja je nazvana *Rekonfigurabilni MSDD OFDM/MDPSK prijemnik*. Ovim prijemnikom je postignuto poboljšanje performansi pri nultom frekvencijskom ofsetu, ali i proširenje opsega frekvencijskog ofseta. Proširenje opsega se postiže ili povećanjem broja hipoteza, čija je negativna strana povećanje kompleksnosti sistema ili povećanjem odnosa  $\Delta\phi/B_c$ , koji ne povećava kompleksnost sistema, ali postoji mogućnost pojave nestabilnosti za velike vrednosti  $\Delta\phi/B_c$ . U radu je izvršen izbor optimalnih parametara posmatranog sistema vodeći računa o kompromisu između što manje verovatnoće greške i što veće širine dopuštenih frekvencijskih ofseta nosioca koji ne remete performanse u velikoj meri.

## Zahvalnica

Rezultati prikazani u ovom radu dobijeni su tokom istraživanja u okviru projekata TR-32051 i TR-32037, koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

## Literatura

- [1] R. W. Chang, "Synthesis of band-limited orthogonal signals for multi-channel data transmission", *Bell Labs Tech. J.*, No 45, pp. 1775-1796, 1966
- [2] M. Pun, M. Morelli, C. J. Kuo, *Multi-Carrier Techniques for Broadband Wireless Communications*, London, Imperial College Press, 2007
- [3] H. L. Jeong, Y. C. Jin, S. S. Jong, "Decision feedback differential detection with postdetection diversity reception for DPSK/OFDM systems," in *Proc. The 9th International Conference on Advanced Communication Technology*, vol. 3, 2007, pp. 1898-1901.
- [4] S. Stošović, B. Dimitrijević, N. Milošević, Z. Nikolić, "Frequency offset influence on OFDM/MDPSK system performance," in *Proceedings of ICEST Conference*, Ohrid, FYRO Macedonia, July 2010, pp.29-32
- [5] S. Stošović, B. Dimitrijević, N. Milošević, Z. Nikolić, "OFDM/DPSK System Performance Improvement in the Presence of Frequency Offset Using a Reconfigurable Detection Algorithm," *Electronics and Electrical Engineering*, vol. 119, no. 3, April 2012, pp. 35-38.
- [6] S. Stošović, Z. Nikolić, B. Dimitrijević, D. Antić, N. Milošević, "A Novel OFDM/DQPSK Receiver with Adaptive Remodulation Filter," *Radioengineering*, vol. 21, no. 4, 2012, pp. 1125-1129.
- [7] B. Dimitrijević, S. Stošović, N. Milošević, Z. Nikolić, "OFDM/DQPSK system performance with double differential detection in the presence of frequency offset," in *Proceedings of UNITECH Conference*, Gabrovo, Bulgaria, Nov. 2010, pp. I-282 – I-285.

- [8] F. Edbauer, "Bit error rate of binary and quaternary DPSK signals with multiple differential feedback detection", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 40, pp. 457–460, March 1992
- [9] F. Adachi, M. Sawahashi, "Decision feedback multiple-symbol differential detection for M-ary DPSK," *Electronics Letters*, vol. 29, no. 15, 1993, pp. 1385–1387.
- [10] S. Stošović, B. Dimitrijević, Z. Fedra, "Application of Improved Decision Feedback Differential Detection Algorithm at OFDM/MDPSK System," In *Proceedings of the 22nd International Conference Radioelektronika 2012*, Brno, Czech Republic, April 2012, pp. 1-4.
- [11] B. Dimitrijević, S. Stošović, N. Milošević, Z. Nikolić, "Influence of frequency offset on the reception of OFDM/QPSK signal using MBDD algorithm," *Telfor Journal*, vol. 3 no. 2, Nov. 2011, pp. 78-81.
- [12] Slavimir Stošović, Bojan Dimitrijević, Nenad Milošević, Zorica Nikolić, "OFDM/DPSK System Performance Improvement in the Presence of Frequency Offset Using a Reconfigurable Detection Algorithm," *Electronics and Electrical Engineering*, No. 3(119), April 2012, pp. 35-38.

**Abstract:** *An overview of the frequency offset influence on the performance of OFDM-MDPSK system will be given. Also, we will show the performance analysis of different modifications of the OFDM receivers that improve performance of the system in the presence of the carrier frequency offset. A special attention will be paid to OFDM-MDPSK receiver with differential detection that uses multiple symbols for the detection. An optimization of the receiver's parameters, with the respect to the required bandwidth, speed of the operation and the error probability, will also be considered.*

**Keywords:** *Doppler shift, symbol error probability, frequency offset, OFDM, bandwidth*

## **PERFORMANCE IMPROVEMENT OF OFDM SYSTEM IN THE PRESENCE OF CARRIER FREQUENCY OFFSET**

Zorica Nikolić, Bojan Dimitrijević, Nenad Milošević and Miloš Bandur