

OFDM-CDMA SISTEM SA PILOT TONOM I PREKIDAČKIM PROSTORNIM DIVERSITY-JEM NA PREDAJI

Elvis Babačić, *Agencija za telekomunikacije Crne Gore*
Zoran Veljović, *Elektrotehnički fakultet u Podgorici*

Sadržaj – Razvoj bežičnih multimedijalnih sistema stvorio je potrebu za značajno većim kapacitetom mobilnih radio sistema novih generacija. Da bi se obezbijedio potreban kapacitet u uslovima izraženog frekvencijski selektivnog fedinga moraju se razviti nove tehnike prenosa. U ovom radu se razmatra mogućnost unapređenja BER (Bit Error Rate) performansi OFDM-CDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - Code Division Multiple Access) transmisiona šeme upotrebom prekidačkog prostornog diversity-ja na predajnoj strani i pilot tonske estimacije sa TDC (Threshold Detection Combining) kombinovanjem na prijemu. Simulacije su pokazale da se primjenom TDC kombinovanja sa optimalnim pragom može značajno smanjiti nivo interferencije između različitih korisnika koja je posljedica narušene ortogonalnosti. Takođe, primjenom prekidačkog prostornog diversity-ja sa dvije predajne antene može se redukovati uticaj multipath fedinga na kvalitet ostvarene mobilne radio veze.

1. UVOD

Mobilni radio sistemi novih generacija treba da obezbijede velike digitalne protoke (do 100 Mb/s, čak i do 1Gb/s u slučaju spore mobilnosti) [1], odnosno da pruže veliki kapacitet *down linka* (veza bazna stanica – mobilna jedinica). Da bi se to postiglo u uslovima izraženog frekvencijski selektivnog fedinga, koji je karakterističan na frekvencijskim opsezima koji su predloženi za takve sisteme, moraju se razviti nove prenosne tehnike. Kao najozbiljniji kandidat za mobilne radio sisteme poslije treće generacije (*Beyond third Generation – B3G*) ističe se kombinacija OFDM i CDMA tehnika koja će se u nastavku ovog rada označavati kao OFDM-CDMA.

OFDM je veoma efikasna tehnika za smanjenje uticaja frekvencijski selektivnog fedinga na kvalitet ostvarene mobilne radio veze. Na ovoj tehnici se zasnivaju DAB (*Digital Audio Broadcasting*), DVB (*Digital Video Broadcasting*), kao i višestruki pristup u WLAN (*Wireless Local Area Network*) mrežama. OFDM slijedi koncept paralelne transmisiona šeme, pri čemu paralelni podnizovi modulišu set ortogonalnih podnosilaca. Na taj način se smanjuje širina zahtijevanog opsega i do 50 % u odnosu na slučaj kada podnosioci nijesu ortogonalni. Dodatnu snagu OFDM-a predstavlja zaštitni interval (*guard interval*), koji se ubacuje ispred svakog OFDM simbola i na taj način dodatno smanjuje nivo intersimbolske interferencije (ISI) u sistemu, [1].

Glavne karakteristike CDMA tehnike su mogućnost višestrukog pristupa (koristi se u 3G sistemima), smanjenje uticaja fedinga, zaštićenost prenošenog signala od neovlašćenog pristupa i otpornost na uskopojasne smetnje, [1].

Glavni nedostak OFDM-CDMA koncepta je velika osjetljivost na razdešavanje ortogonalnosti podnosilaca. Razlog tome je osjetljivost OFDM-a na frekvencijski ofset i fazni šum.

Za bežične multimedijalne sisteme, koji treba da budu dio četvrte generacije mobilnih radio sistema, kandidovani su frekvencijski opsezi oko frekvencija 5, 17, 40 i 60 GHz. Najviše se istražuje frekvencijski opseg na 60 GHz. Korišćenje ovog opsega u *indoor* okruženju po scenariju "jedna soba – jedna ćelija" (piko ćelije) podrazumijeva prisustvo *Rice*-ovog fedinga.

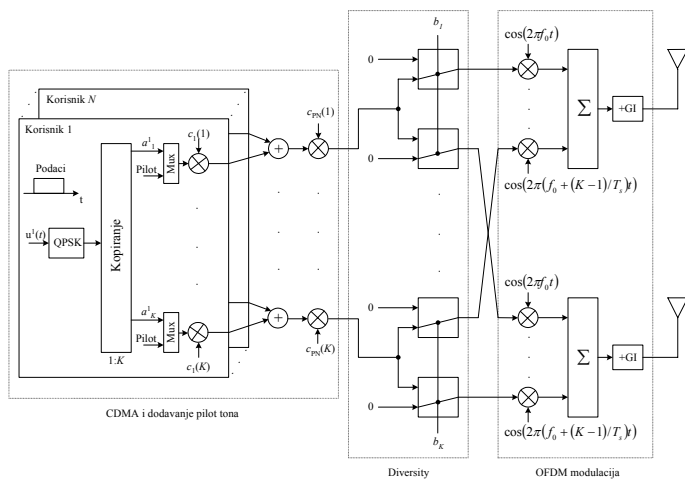
U cilju smanjenja uticaja *multipath* fedinga na kvalitet ostvarene mobilne radio veze u ovom radu je razmatrana primjena prostornog *diversity*-ja na predaji sa selekcijom antene, koja će se dalje u radu označavati kao prekidački prostorni *diversity* na predaji, [2].

Djelovanjem frekvencijski selektivnog fedinga dolazi do narušavanja ortogonalnosti OFDM podnosilaca, kao i do narušavanja ortogonalnosti između različitih korisnika (špreadovanje u frekvencijskom domenu se realizuje kodovanjem signala koji potiču od različitih korisnika sa nekim od ortogonalnih kodova). Kao posljedica narušene ortogonalnosti javlja se interferencija između podnosilaca (*Intercarrier Interferention - ICI*) kao i interferencija između pojedinih korisnika (*multi-user* interferencija). Jedna od tehnika kojom se postiže povraćaj ortogonalnosti jeste ekvalizacija u frekvencijskom domenu. Ova tehnika zahtijeva primjenu estimacije vremenski promjenljive prenosne funkcije mobilnog radio kanala. U ovom radu je tretirana pilot tonska estimacija i odgovarajuće kombinovanje na prijemu. U [3] je predloženo TDC kombinovanje (*Threshold Detection Combining*) sa detekcijom optimalnog praga. Pokazano je da ova tehnika kombinovanja daje najbolje rezultate u povraćaju ortogonalnosti i smanjenju interferencije između pojedinih korisnika.

Cilj ovog rada je da se ispitaju mogućnosti unapređenja BER performansi OFDM-CDMA sistema primjenom prekidačkog prostornog *diversity*-ja na predaji sa dvije predajne antene i pilot tonske estimacije funkcije prenosa mobilnog radio kanala. Kao tehnika kombinovanja na prijemu koristi se TDC sa detekcijom optimalnog praga.

2. MODEL SISTEMA

Blok šema OFDM-CDMA predajnika sa prekidačkim prostornim *diversity*-jem na predaji i pilot tonom prikazana je na slici 1.



Slika 1. OFDM-CDMA predajnik sa pilot tonom i prekidačkim prostornim diversity-jem na predaji

Na slici 1 se uočavaju tri strukturna dijela razmatranog OFDM-CDMA sistema. Prvi je CDMA dio koji obezbjeđuje višesruki pristup spredovanjem u frekvencijskom domenu. Ideja je da se isti simboli (korisni plus pilot simboli) kopiraju u K paralelnih grana i prenose na različitim frekvencijama. U drugom dijelu je implementiran *diversity*, dok treći dio predstavlja dva OFDM modulatora koji daju dva nezavisna signala koji se emituju preko dvije predajne antene.

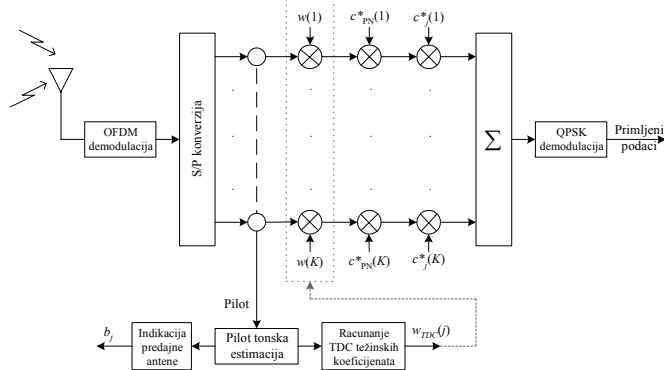
Pretpostavljeno je da u komunikaciji učestvuje N korisnika. Na strani bazne stanice binarni simboli su mapirani u QPSK signale. Pilot ton je implementiran u svakoj paralelnoj grani na izlazu iz sklopa za kopiranje, i multipleksiran sa QPSK simbolima koji nose poruku. Na taj način je napravljen slot koji se sastoji od N_{slot} simbola od kojih su N_p pilot simboli, a N_d su simboli podataka. Simboli koji potiču od pojedinih korisnika se spreduju u frekvencijskom domenu korišćenjem spreading sekvence $c_n(k) = \{-1, 1\}$ dužine K . Spreading sekvence pojedinih korisnika su međusobno ortogonalne, tako da je broj mogućih korisnika u sistemu $N \leq K$.

Poslije spredovanja u frekvencijskom domenu, signali koji potiču od različitih korisnika se sabiraju. Potom se vrši dodatno spredovanje signala dugom, pseudo-slučajnom sekvencom (PN), $c_{PN}(i) = \{-1, 1\}$, $i = 1, 2, \dots, R$. PN sekvencu se koristi za dodatno smanjenje interferencije između korisnika izazvane destrukcijom ortogonalnosti podnosilaca. Dodatno, kod celularnih sistema, ova sekvencu se koristi za smanjenje interferencije između pojedinih ćelija.

Nakon svega opisanog, multipleksni signal u svakoj paralelnoj grani se dovodi na ulaz prekidača koji vrši prebacivanje signala na jednu ili drugu antenu. Prekidačem upravlja kontrolni signal b_j , $j = 1, 2, \dots, K$ koji predstavlja indikator selekcije antene. Ovaj signal daje povratnu informaciju od prijemnika o stanju u mobilnom radio kanalu. U slučaju da je stanje mobilnog radio kanala na frekvenciji određenog podnosioca (određene paralelne grane) povoljnije kada se signal emituje preko prve antene, prekidač usmjerava signal na tu antenu. Signal koji se šalje preko druge antene na tom podnosiocu ima vrijednost nula. Na taj način se formiraju

dva nezavisna signala koja se, poslije OFDM modulacije, emituju preko različitih antena. Ovo predstavlja prekidački prostorni *diversity* na predaji, [2]. OFDM modulacija podrazumijeva modulaciju seta od K ortogonalnih podnosilaca dobijenim signalima i dodavanje zaštitnog intervala, koji je ovdje realizovan u formi cikličnog prefiksa.

Odgovarajući prijemnik j -tog korisnika u OFDM-CDMA sistemu sa pilot tonom i prekidačkim prostornim *diversity*-jem na predaji je prikazan na slici 2.



Slika 2. OFDM-CDMA prijemnik j -tog korisnika

Odgovarajući OFDM-CDMA prijemnik sadrži jednu prijemnu antenu. Ta antena prima signale sa obje predajne antene zato što je na predaji izvršeno usmjeravanje signala na pojedinim podnosiocima na predajnu antenu koja obezbjeđuje bolje propagacione uslove. Kontrolni signal b_j na osnovu koga se vrši selekcija antene formira se u prijemniku na osnovu pilot simbola koji se šalju jednom, a zatim i drugom predajnom antenom. U prijemniku se, takođe na osnovu primljenog pilot tona, izračunavaju težinski koeficijenti za TDC kombinovanje. Pri tome se detektuje optimalna vrijednost praga za svaku pojedinačnu vrijednost odnosa signal-šum po bitu (E_b/N_0), [3].

Neka je trenutni estimat funkcije prenosa mobilnog radio kanala na frekvenciji k -tog podnosioca za q -ti slot $\tilde{H}(k/T_s, qT_{slot})$, gdje je T_s trajanje OFDM simbola, a T_{slot} trajanje slotu. Estimirani težinski koeficijent za k -ti podnosilac, za svaki m -ti simbol podataka u q -tom slotu je:

$$\omega_{TDC}(k, qN_{slot} + m) = \begin{cases} \frac{\tilde{H}^*(k/T_s, qT_{slot} + mT)}{\left| \tilde{H}(k/T_s, qT_{slot} + mT) \right|^2}, & \text{za } \left| \tilde{H}(k/T_s, qT_{slot} + mT) \right| \geq h_{Th} \\ \frac{1}{h_{Th}} \frac{\tilde{H}(k/T_s, qT_{slot} + mT)}{\left| \tilde{H}(k/T_s, qT_{slot} + mT) \right|}, & \text{za ostalo } \left| \tilde{H}(k/T_s, qT_{slot} + mT) \right| \end{cases}$$

Ovdje je h_{Th} detektovana optimalna vrijednost praga za svaku pojedinačnu vrijednost odnosa signal-šum po bitu (E_b/N_0) za TDC kombinovanje.

3. REZULTATI SIMULACIJE

OFDM-CDMA transmisiona šema sa pilot tonom i prekidačkim prostornim *diversity*-jem na predaji opisana u dijelu 2 simulirana je primjenom originalno razvijenog simulacionog modela. U simulacijama je pretpostavljen mobilni radio kanal na 60 GHz u *indoor* okruženju sa *Rice*-ovim fadingom i aditivnim bijelim *Gauss*-ovim šumom (AWGN). Kao parametri takvog kanala uzeti su maksimalno vremensko prenošenje signala (*delay spread*) (T_{max}), *Rice*-ov faktor (koji predstavlja odnos snage direktne komponente signala i sume snaga reflektovanih komponenti, izražen u dB) (K_{dB}), i frekvencijski ofset (koji je posljedica *Doppler*-ovog pomjeraja) ($f_D T$).

Ortogonalni podnosioci u predajniku su realizovani primjenom inverzne brze *Fourrier*-ove transformacije (IFFT). Pretpostavljena je QPSK modulacija, dok se za spredovanje u frekvencijskom domenu koristi *Walsh Hadamard* kod. U svakom slotu su 4 pilot simbola i 60 korisnih simbola, što daje ukupno 64 simbola po slotu.

Kontrolni signal koji upravlja radom prekidača u dijelu šeme koja implementira *diversity* dobijen je na osnovu estimirane funkcije prenosa mobilnog radio kanala. Kada amplitudska karakteristika mobilnog radio kanala pri emisiji signala preko prve antene veći nego pri emisiji preko druge, vrijednost kontrolnog signala u dijelu sistema koji formira signal za prvu antenu je 1, dok je njegova vrijednost u dijelu sistema koji formira signal za drugu antenu 0, i obratno. Na taj način se vrši selekcija antene koja obezbjeđuje bolje propagacione uslove za pojedine podnosioc.

Na strani prijemnika simulirano je TDC kombinovanje, pri čemu se optimalne vrijednosti praga h_{Th} za svaku vrijednost odnosa signal-šum po bitu (E_b/N_0), računaju u posebnom podprogramu.

Simulacioni parametri za OFDM-CDMA transmisionu šemu i mobilni radio kanal prikazani su u tabeli 1 i tabeli 2.

Tabela 1. Simulacioni parametri za OFDM-CDMA sistem

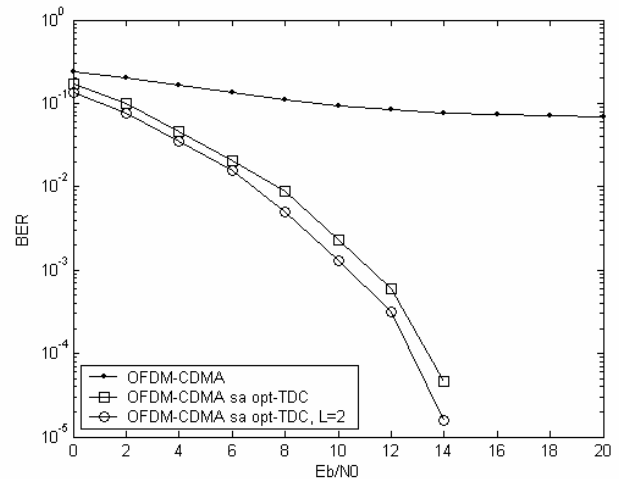
Kapacitet sistema	50 Mb/s
Broj korisnika (N)	32
Bpoj podnosilaca (K)	128
Broj predajnih <i>diversity</i> grana (L)	2
Broj pilot simbola po slotu (N_{pilot})	4
Broj korisnih simbola po slotu	60

Tabela 2. Simulacioni parametri za mobilni radio kanal

Maksimalno vremensko proširenje prenošenog signala (T_{max})	150 ns
<i>Rice</i> -ov faktor (K_{dB})	4 dB
Frekvencijski ofset ($f_D T$)	0.001

Vjerovatnoća greške po bitu (BER) u funkciji odnosa signal-šum po bitu (E_b/N_0) prikazana je na slici 3. Sa slike se može zaključiti da je OFDM-CDMA sistem veoma osjetljiv na frekvencijski ofset koji dovodi do narušavanja ortogonalnosti.

Takođe se vidi da se primjenom TDC kombinovanja sa detekcijom optimalnog praga značajno poboljšavaju BER performanse sistema. Dalje, može se zaključiti da primjenom prostornog *diversity*-ja sa dvije predajne antene možemo dodatno unaprijediti BER performanse sistema. Pri tome se ostvaruje *diversity* dobitak od 1-2 dB za sve vrijednosti vjerovatnoće greške po bitu.



Slika 3. BER performanse OFDM-CDMA sistema

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je opisana OFDM-CDMA transmisiona šema sa pilot tonom i prekidačkim prostornim *diversity*-jem na predaji. Razmatrane su mogućnosti poboljšanja BER performansi OFDM-CDMA sistema primjenom pilot tonske estimacije sa TDC kombinovanjem na prijemu i prekidačkog prostornog *diversity*-ja sa dvije predajne antene. Pretpostavljen je mobilni radio kanal na 60 GHz u *indoor* okruženju sa *Rice*-ovim fadingom. Razmatrani sistem je simuliran primjenom originalno razvijenog simulacionog modela. Simulacije su pokazale veliku efikasnost TDC kombinovanja sa detekcijom optimalnog praga u suzbijanju *multi-user* interferencije. Takođe, pokazano je da se primjenom prekidačkog prostornog *diversity*-ja sa dvije predajne antene može ostvariti *diversity* dobitak od 1-2 dB za sve razmatrane vrijednosti vjerovatnoće greške po bitu.

LITERATURA

- [1] S. Hara and R. Prasad, *Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communications*, Artech House, London, 2004.
- [2] Xiaodong Ren, Shidong Zhou, and Zucheng Zhou, *A Multicarrier Transmit Diversity Scheme with Antenna Selection for MC-CDMA*, IEICE Trans. Commun., vol. E87-B, pp 2394-2396, NO.8 August 2004.
- [3] T. Sao and F. Adachi, *Pilot-Aided Threshold Detection Combining for OFDM-CDMA Down Link Transmissions in a Frequency Selective Fading Channel*, IEICE Trans. Commun., vol. E85-B, N^o 12, pp. 2816-2826, 2002.

Abstract – Development of wireless multimedia systems make a need for significant bigger capacity of new generation mobile radio systems. To provide required capacity in frequency selective fading conditions, new transmission techniques must be developed. In this paper possibilities of improving BER (Bit Error Rate) performance of OFDM-CDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - Code Division Multiple Access) transmission scheme by using switching space transmit diversity and pilot tone estimation with TDC (Threshold Detection Combining) at the receiving side are considered.

Computer simulations show that TDC with optimal threshold detection can decrease level of multi-user interference, which is result of orthogonality destruction. Also, by using switching space diversity with two transmit antennas influence of multipath fading on mobile radio link quality can be reduced.

OFDM-CDMA SYSTEM WITH PILOT TONE AND SWITCHING SPACE TRANSMIT DIVERSITY

Elvis Babačić, Zoran Veljović