

# Pregled i komparativna analiza nekih savremenih tehnika diverzita

Nenad Milošević, Bojan Dimitrijević, Zorica Nikolić  
- rad po pozivu -

**Sadržaj** — U ovom radu je dat pregled i komparativna analiza nekih tehnika diverzita, koje imaju primenu kod savremenih mobilnih komunikacionih sistema. Zbog ograničenja vezanih za veličinu aparata, cenu i drugo, predložen je alternativni način za realizaciju diverzita, koji se ostvaruje kooperacijom korisnika. Kod jedne od varijanti kooperativnog prenosa, korisnik, pored slanja svog signala, služi i kao repetitor za signale ostalih korisnika (relejni prenos). U radu su date karakteristike releja sa pojačanjem, releja sa dekodiranjem, selektivnog releja i inkrementalnog releja. Analize pokazuju da najbolje performanse ima inkrementalni relej, koji je najsloženiji. Na kraju su prikazane performanse sistema koji koristi kooperativni diverzitet sa kodovanjem.

**Ključne reči** — Kooperativni diverzitet, Mobilne komunikacije, verovatnoća greške.

## I. UVOD

BEŽIČNI prenos signala prati feding koji je bitan razlog pogoršanja performansi komunikacionih sistema. Kada se u kanalu sa ravnim fedingom javi značajno smanjenje odnosa signal-šum usled destruktivnog kombinovanja pristiglih (višestrukih) komponenti signala u prijemnoj anteni, prijemnik se može naći u stanju dubokog fedinga. Tokom ovog vremena, da bi pouzdano detektovao korisni signal, prijemniku je neophodna alternativna putanja emitovanog signala sa prihvatljivom vrednošću odnosa signal-šum. U tom slučaju se uvode dodatni putevi prenosa ili kanali u cilju povećanja verovatnoće prijema adekvatnog nivoa signala [1]. Ovaj koncept se zasniva na tome da je mala verovatnoća da se u nekorelisanim ili usko korelisanim diverzitivnim putevima prenosa signala istovremeno javlja veliko slabljenje signala. Broj diverzitivnih puteva zavisi od željene pouzdanosti sistema. Međusobna razdvojenost diverzitivnih puteva prenosa se može ostvariti korišćenjem frekvencijskog, vremenskog i prostornog domena ili kombinacijom pomenutih tehnika. Na prijemu se signali sa različitih puteva prenosa, bez obzira koji se metod koristi za postizanje diverzitivnog prenosa, mogu kombinovati na više načina. Glavna odlika i osnovna prednost sistema sa diverzitivnim prenosom je da se njime postiže povećanje

odnosa signal/šum (SNR) na nivou dekodovanja, korišćenjem informacija sa više puta prenosa koje su prijemniku na raspolaganje.

Prednosti sistema sa više ulaza i više izlaza (MIMO) su danas uveliko poznate [2]-[3]. Prostorni diverzitet u ovim sistemima se realizuje pomoću više antena na predaji i prijemu, ali u mobilnim komunikacijama klasična realizacija prostornog diverzita nije prihvatljiva zbog ograničenja vezanih za veličinu aparata, cene, raspoloživog frekvencijskog opsega i dr. Alternativni način za realizaciju prostornog diverzita, sa samo jednom antenom na mobilnom aparatu, se ostvaruje međusobnom kooperacijom korisnika [4]-[7]. Postoji više načina realizacije kooperativnog diverzita u bežičnim mrežama, a jedna mogućnost kako se kooperacija korisnika može implementirati u bežičnu mrežu je da korisnici, pored funkcije predajnika, imaju i funkciju repetitora za informacije koje primaju od drugih korisnika.

Realizacija relejnog prenosa može biti različita, a u radu će biti dat pregled performansi releja sa pojačanjem, releja sa dekodiranjem, selektivnog releja i inkrementalnog releja. Pored ovih tehnika, biće razmotren i kooperativni prenos kod koga predajnik koduje informaciju, relejna stanica je dekodira i, u zavisnosti od njene ispravnosti prosleđuje dalje ili ne.

## II. KOOPERATIVNI DIVERZIT

Na slici 1 je prikazan osnovni koncept bežične mreže u kojoj je realizovan kooperativni diverzitet [4]. Prenos je realizovan tako da terminali  $T_1$  i  $T_2$  šalju informacije do terminala  $T_3$  i  $T_4$ , respektivno. Ova postavka može da se primeni na bežičnu mrežu u kojoj su  $T_1$  i  $T_2$  korisnički mobilni aparati, dok je  $T_3$  ( $T_3 = T_4$ ) bazna stanica. Ako se posmatra bežična lokalna mreža kada je  $T_3 \neq T_4$ , tada je reč o mreži terminala, a kada je  $T_3 = T_4$  terminal  $T_3$  je pristupna tačka za posmatranu mrežu. Bežične mreže su tako realizovane da je moguća međusobna kooperacija između terminala koji emituju informacije, pri čemu su više terminala u mogućnosti da prime i obrađuju poslate signale. Na osnovu toga se zaključuje da terminali  $T_1$  i  $T_2$  umesto da nezavisno obavljaju prenos, mogu međusobno da primaju poslate signale, koje posle odgovarajuće obrade šalju dalje. U dosadašnjim bežičnim mrežama signali, koji su primljeni od drugih korisnika sistema, su bili ignorisani i odbacivani.

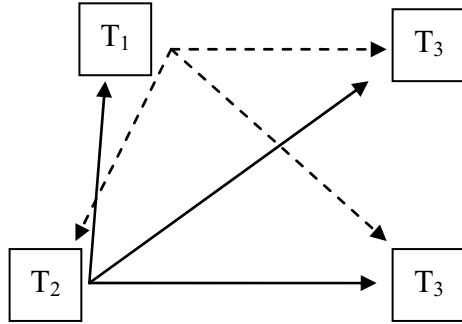
Realizovanjem kooperativnog prenosa informacija moguće je racionalnije iskorišćenje resursa terminala  $T_1$  i  $T_2$ , kao što su snaga i propusni opseg. Do graničnog

Nenad Milošević, Elektronski fakultet u Nišu, Srbija (e-mail: nemilose@elfak.ni.ac.yu).

Bojan Dimitrijević, Elektronski fakultet u Nišu, Srbija (e-mail: dbojan@elfak.ni.ac.yu).

Zorica Nikolić, Elektronski fakultet u Nišu, Srbija (e-mail: zora@elfak.ni.ac.yu).

slučaja se dolazi kada svi terminali koji mogu da obavljaju prenos podataka, sve svoje resurse koriste za prenos informacija jednog terminala, npr. sa slike 1 terminala  $T_1$ , tada se  $T_1$  ponaša kao izvor informacija, a  $T_2$  ima funkciju releja. Na ovaj način se ostvaruje diverziti prenos u bežičnom okruženju, jer čak i za slučaj jakog fedinga između  $T_1$  i  $T_3$ , informacija se uspešno prenosi preko  $T_2$ . Na isti način  $T_1$  i  $T_2$  mogu da usmere svoje resurse radi prenosa informacija korisnika  $T_2$ .



Sl. 1. Koncept bežične mreže sa kooperativnim diverzitom

Relejni prenos signala je osnova za razvoj kooperativnog prenosa. Kako se relejima i kooperativnim diverzitom formira virtuelni skup antena, bitno je poznavanje funkcionisanja sistema sa više antena ili sistema sa više ulaza i više izlaza, a naročito je od značaja poznavanje ograničenja pri radu u bežičnim kanalima, kao i verovatnoće greške koja se tim prenosom ostvaruje.

Dva važna parametra posmatranog sistema su SNR i spektralna efikasnost. Ovi parametri se definišu u funkciji od standardnih parametara u kontinualnom vremenskom kanalu. Za kontinualni vremenski kanal u kome je za prenos dostupno  $W$  herca propusnog opsega, diskretni vremenski model ima  $W$  dvo-dimenzionih simbola po sekundi ( $2D/s$ ).

Ukoliko predajni terminali imaju ograničenje vezano za srednju snagu u kontinualnom vremenskom modelu kanala od  $P_c$  džula po sekundi, u diskretnom vremenskom domenu se ovo preslikava u ograničenje  $P = 2P_c / W$  [J/2D], pošto svaki terminal može da obavlja prenos samo tokom polovine opsega, u okviru direktnog prenosa i kooperativnog diverzita. Zbog toga se kao parametar kanala umesto klasičnog SNR-a koristi slučajna promenljiva  $SNR |a_{i,j}|^2$ , gde je:

$$SNR = \frac{2P_c}{N_0 W} = \frac{P}{N_0} \quad (1)$$

pri čemu je SNR prosečan odnos signal-šum bez uticaja fedinga, koeficijenti  $a_{i,j}$  predstavljaju uticaj gubitaka na putu, efekat senke i frekventno neselektivni feding. Indeks  $i$  označava izvorni ili relejni terminal, dok indeks  $j$  označava relejni ili odredišni terminal. Kooperativne tehnike u potpunosti koriste prednosti diverzitivnog prenosa ukoliko se SNR kanala izvor-relej povećava proporcionalno sa povećanjem SNR-a kanala izvor-odredište.

Pored SNR-a, bitan parametar posmatranog sistema je

brzina prenosa  $r$  [bit/s] ili spektralna efikasnost terminala:

$$R = 2r / W \text{ [b/s/Hz]}. \quad (2)$$

U jednačini (2) brzina je normalizovana brojem stepena slobode koje ima svaki terminal, a ne ukupnim brojem stepena slobode u kanalu.

Sistem se može opisati parametrima ( $SNR, R$ ), ali se dobija više informacija i rezultati su pregledniji ukoliko se sistem predstavi parovima ( $SNR_{norm}, R$ ) ili ( $SNR, R_{norm}$ ), gde je:

$$SNR_{norm} = \frac{SNR}{2^R - 1}, \quad (3)$$

$$R_{norm} = \frac{R}{\log(1 + SNR \sigma_{s,d}^2)}. \quad (4)$$

Za kanal sa kompleksnim aditivnim Gausovim šumom (AWGN) i propusnim opsegom ( $W/2$ ), pri čemu je SNR oblika  $SNR \sigma_{s,d}^2$ , a  $SNR_{norm} > 1$  je SNR normalizovan minimalnim SNR-om kojim se postiže spektralna efikasnost  $R$ . Slično,  $R_{norm} < 1$  je spektralna efikasnost normalizovana maksimalnom mogućom spektralnom efikasnošću, tj. kapacitetom kanala. Odavde proizilazi da su parovi parametara ( $SNR_{norm}, R$ ) i ( $SNR, R_{norm}$ ) međusobno dualni. Za određeni model fedinga oba para parametra imaju svoje dobre i loše strane u zavisnosti od razmatranih aspekata sistema; rezultati za ( $SNR_{norm}, R$ ) prikazuju vezu između normalizovanog SNR-a i spektralne efikasnosti, dok rezultati za ( $SNR, R_{norm}$ ) daju vezu između reda diverzita i normalizovane spektralne efikasnosti.

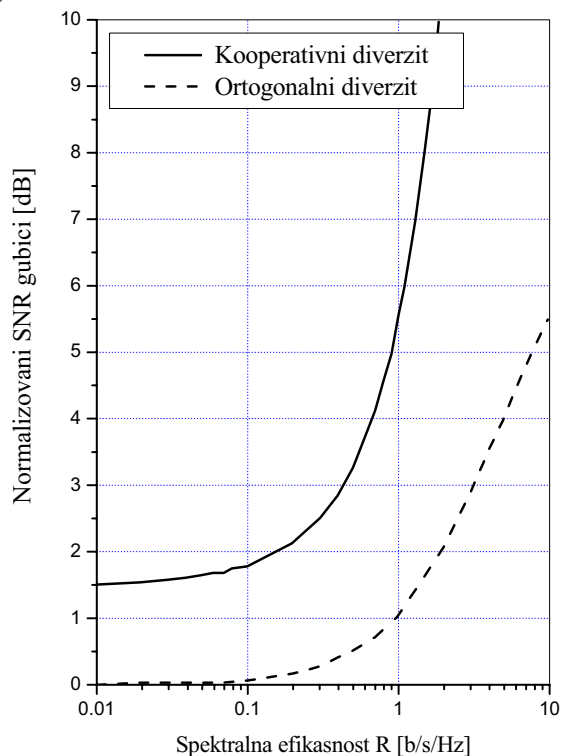
U posmatranom sistemu su svi terminali sa istom snagom na predaji i istim nivoima šuma, dok se varijacije SNR-a i gubici na putu definišu promenom varijanse fedinga. Takođe, usvojeno je da je  $R_1 = R_2 = R$ .

Kao što je već rečeno, biće poređene sledeće četiri tehnike kooperativnog diverzita: relej sa pojačanjem, relej sa dekodiranjem, selektivni relej i inkrementalni relej. U svim slučajevima se radi o polu-dupleksnom prenosu, odnosno, terminali ne mogu istovremeno da šalju i da primaju podatke. Kod releja sa pojačanjem, relejna stanica samo pojačava primljeni signal, bez ikakve obrade. Ovaj pojačani signal se zatim u baznoj stanici kombinuje sa originalnim signalom koji je stigao bez posredstva relejne stanice. Kod releja sa dekodiranjem, vrši se obrada primljene informacije u relejnoj stanici. Relejni terminal primljenu informaciju može da obrađuje na više načina. Na primer, može u potpunosti da dekodira informaciju ili da vrši dekodiranje po simbolu, dok odredište obavlja potpuno dekodiranje. Na ovaj način, promenom performansi relejnog terminala i njegove složenosti se dolazi do željenog rezultata. U nastavku rada je primenjen princip potpunog dekodiranja u relejnom terminalu. Relej se dekodiranjem je ograničen kvalitetom direktnog prenosa između izvornog i relejnog terminala. Ukoliko procenjena vrednost kvaliteta kanala između predajnika i relejne stanice padne ispod određenog praga, samo izvorni terminal nastavlja prenos do odredišnog terminala. Ako je kvalitet kanala iznad definisanog praga, relejni terminal prosleđuje informaciju koju je primio od izvornog

terminala primenom tehnike releja sa pojačanjem ili releja sa dekodiranjem, u cilju realizacije diverzitnog prenosa. Za fiksni i selektivni relej pri većim brzinama prenosa, usled čestog slanja relejnih informacija, smanjuje se efikasnost iskorišćenja kanala. Kod inkrementalnog releja određeni terminal šalje povratnu informaciju, od jednog bita, koja izvornom terminalu ukazuje na uspešnost direktnog prenosa. Ako je direktni prenos uspešan, relejni prenos se ne koristi. Time se značajno poboljšava spektralna efikasnost u odnosu na fiksni i selektivni relej.

Detaljna analiza osnovnih tehnika kooperativnog diverzita je data u [4], [8], [9], a ovde će biti prikazani najznačajniji rezultati.

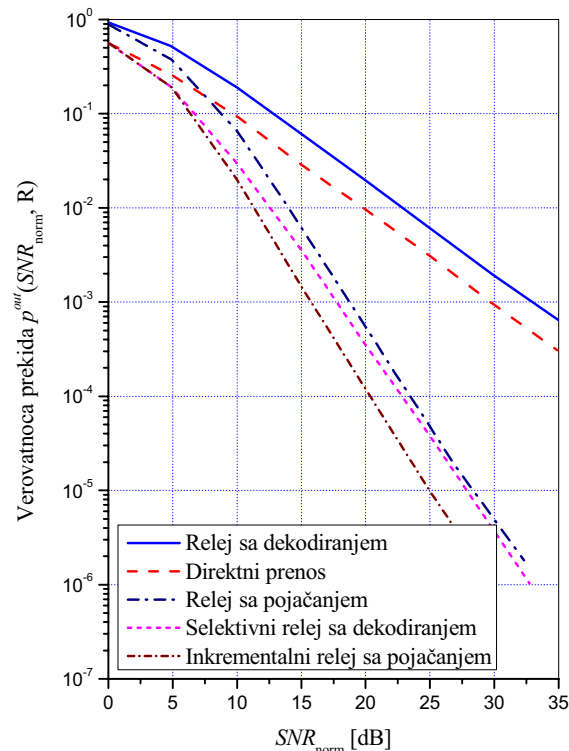
Izjednačavanjem performansi releja sa pojačanjem ili selektivnog releja sa dekodiranjem sa diverzitivnom granicom, dobijaju se gubici SNR-a pri kooperativnom diverzitu. Na slici 2 prikazani su SNR gubici pri ortogonalnom diverzitu u odnosu na klasičan diverzit kako bi se pokazala cena polu-dupleksnog prenosa, kao i gubici kooperativnih diverzitivnih tehnika u odnosu na diverzitivnu granicu koji pokazuju cenu polu-dupleksnog prenosa i ponovnog prenosa primljenih informacija. Slika pokazuje da i pored toga što polu-dupleksni prenos unosi odgovarajući pad u performansama, osnovni razlog pada SNR-a je ponovno pojačanje i kodiranje primljenog signala.



Sl. 2. Gubici SNR-a u kooperativnim tehnikama i ortogonalnog diverzitivnog prenosa u odnosu na diverzitivnu granicu

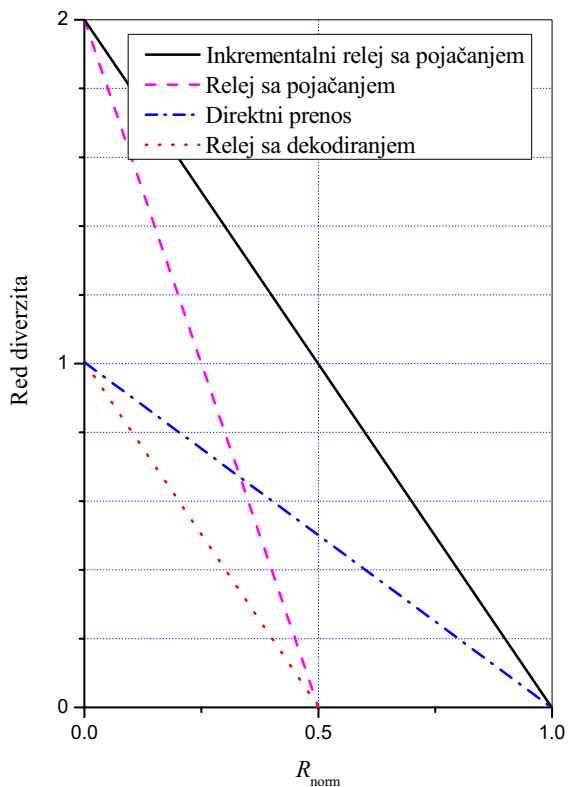
Na slici 3 su prikazane verovatnoće prekida za nekoliko kooperativnih tehnika u funkciji od  $SNR_{norm}$  za male vrednosti  $R$ -a, za simetrične mreže, odnosno za mreže kod kojih je varijansa šuma jednaka pri komunikaciji između bilo koja dva terminala. Sa slike 3 se vidi da sa porastom SNR-a za 10 dB verovatnoća prekida je jedan do dva reda veličine manja za kooperativni diverzit. U odnosu na

diverzitivnu granicu, relej sa pojačanjem i selektivni relej sa dekodiranjem ostvaruju pad od 1.5 dB. Krive za fiksni i selektivni relej, za svaki dodatni bit/s/Hz spektralne efikasnosti, se pomeraju u desno za 3 dB, u oblasti velikog  $R$ -a. Performanse inkrementalnog releja sa pojačanjem se ne menjaju kad  $R$  raste, u oblasti velikog SNR-a. Kooperativni diverzit postiže verovatnoću greške od  $10^{-3}$ , uz uštedu energije od 12-15 dB u odnosu na direktni prenos.



Sl. 3. Verovatnoća greške u zavisnosti od  $SNR_{norm}$ , za malo  $R$ , u simetričnim mrežama

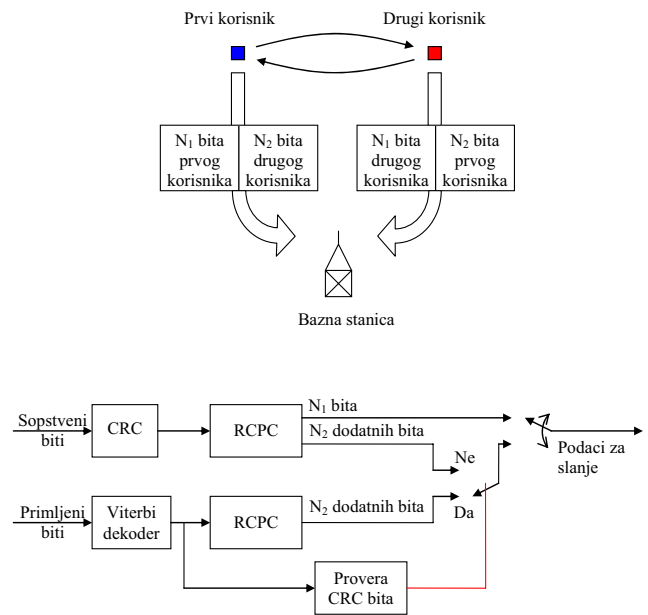
Na slici 4 su prikazane karakteristike direktnog prenosa i kooperativnog diverzita. Od pomenutih kooperativnih tehnika, inkrementalni relej sa pojačanjem postiže najveći red diverzita za svako  $R_{norm}$ ; ova kriva se podudara sa krivom za diverzitivnu granicu u oblasti velikog SNR-a. Sa slike 4 se vidi da je za vrednosti  $R_{norm} < 1/3$  najpogodniji relej sa pojačanjem, dok za vrednosti  $R_{norm} > 1/3$ , direktni prenos.



Sl. 4. Red diverzita u zavisnosti od  $R_{norm}$  za direktni prenos i kooperativni diverzitet

Poboljšanje pomenutih tehnika kooperativnog prenosa može da se postigne kanalnim kodovanjem informacija [10] - [11]. Sistem koji se posmatra se sastoji od dva korisnika i bazne stanice. Primenjena je BPSK modulacija i oba korisnika su sa istom snagom na predaji. Kanali između korisnika (međukorisnički) i između korisnika i bazne stanice (uplink) su međusobno nezavisni sa ravnim Rejljevim fadingom i aditivnim belim šumom nulte srednje vrednosti (AWGN). Pretpostavlja se da svi korisnici imaju podatke o stanju kanala i koriste koherentnu detekciju. Takođe se pretpostavlja da su međukorisnički kanali recipročni, odakle proizilazi da su koeficijenti fadinga isti.

Korisnici svoje izvorne podatke dele na blokove kojima se dodaju CRC biti, tako da je veličina bloka  $K$ . Ovakav blok se tada kodira, tako da za brzinu prenosa  $R$ , imamo  $N = K / R$  kodiranih bita po izvornom bloku. Dva korisnika kooperiraju tako što dele  $N$ -bitne ramove na dva uzastopna segmenta. U prvom segmentu, svaki korisnik šalje  $N_1 = K / R_1$  bita brzinom  $R_1 > R$ , koji se može posmatrati kao podskup skupa od  $N$  bita originalne informacije. Svaki korisnik prima i dekodira podatke drugog korisnika. Ukoliko je dekodiranje primljene poruke, koja se prenosi brzinom  $R_1$ , obavljeno uspešno, korisnik prenosi u dodatnih  $N_2$  bita, u drugom segmentu, informacije koje je primio od drugog korisnika, pri čemu je  $N_1 + N_2 = N$ . Dodatni biti se određuju tako da se u kombinaciji sa prvim segmentom ostvari brzina prenosa  $R$ . Ukoliko se dekodiranje ne obavi uspešno, u dodatnih  $N_2$  bita se prenose informacije samog korisnika.

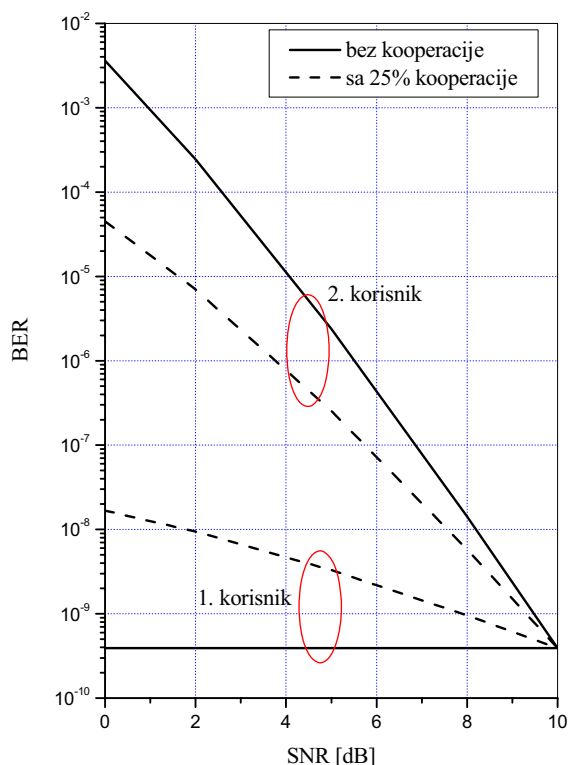


Sl. 5. Diverzitetni prenos sa kooperacijom sa kodovanjem

Svaki korisnik uvek prenosi ukupno  $N$  bita po izvornom bloku, podeljenih u dva segmenta, a nivo kooperacije se definiše kao odnos prenetih bita za drugog korisnika i svih bita ( $N_2 / N$ ). Na slici 5 je prikazana ilustracija načina rada ovog metoda. Postoji mnogo vrsta kodova koji mogu da se primene, a u daljem tekstu će biti razmatrani RCPC (rate-compatible-punctured-convolutional) kodovi. Kako su korisnici nezavisni u drugom segmentu i nemaju informaciju da li je drugi korisnik pravilno dekodirao njihove podatke, postoje četiri različita slučaja prenosa u drugom segmentu. Prvi slučaj je da oba korisnika pravilno dekodiraju primljene informacije, pa oba u drugom segmentu pošalju informaciju drugog korisnika, što je dato na slici 5. Drugi slučaj je da ni jedan korisnik ne dekodira primljenu informaciju ispravno, čime se sistem vraća u nekooperativni rad za taj blok. I na kraju, ukoliko jedan korisnik obavi uspešno dekodiranje, a jedan ne, tada oba šalju iste informacije u drugom segmentu. U baznoj stanici se primljene dve kopije istih informacija optimalno kombinuju pre dekodiranja, čime se postiže veća tačnost.

Na sledećim slikama su prikazani rezultati analize dobijeni u [11]. Date su vrednosti verovatnoće greške po bitu pri kodiranoj kooperaciji sa RCPC kodovima [10]. Koristi se familija RCPC kodova memorije  $M = 4$ , periode odmeravanja  $P = 8$ , pri čemu je izvorni blok veličine  $K = 128$ . Za spori fading se koristi brzina kodiranja  $R = 1/2$ , a za slučaj brzog fadinga je  $R = 2/5$ . Vrednosti ostalih parametara su preuzete iz rada [10].

Na slici 6 su dati rezultati za brzi Rejljev fading sa srednjim SNR-om međukorisničkog kanala od 10 dB, uz različit kvalitet uplink kanala drugog korisnika. SNR uplink kanala prvog korisnika je 10 dB, a SNR kanala drugog korisnika varira od 0 dB do 10 dB. Posmatramo kooperaciju od 25%.



Sl. 6. Zavisnost verovatnoće greške po bitu od SNR-a drugog korisnika za brzi feding

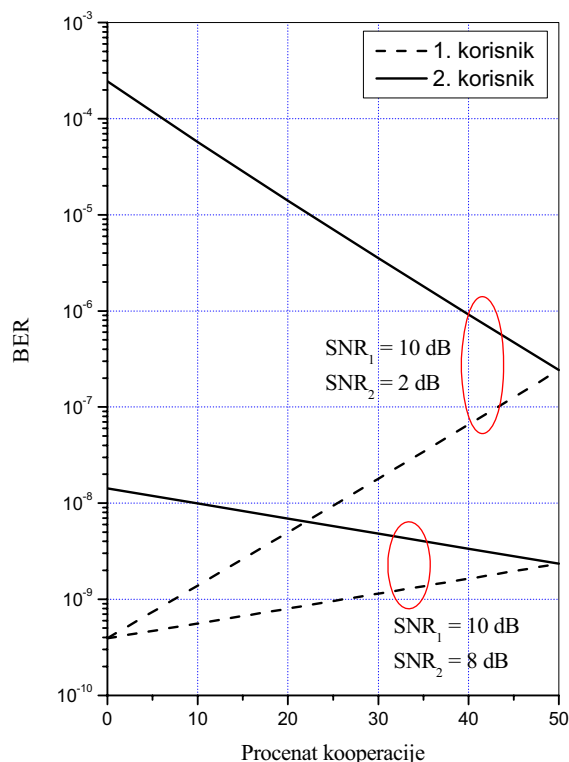
Poenta upotrebe kodirane kooperacije je da se korisnicima sa slabijim karakteristikama omogući bolji prenos podataka i bolji prijem.

Sa slike se vidi da prilikom kooperacije dolazi do slabljenja karakteristika prvog korisnika jer kooperira sa korisnikom sa dosta slabijim karakteristikama, ali se time karakteristike drugog korisnika podižu na prihvatljivi nivo. Za iste uplink kanale korisnika (10 dB) verovatnoće greške oba korisnika su iste, jer signali koji stižu do odredišta su isto oslabljeni, bilo da se prenose direktnim kanalom, bilo da ih partner posle detekcije prosleđuje do bazne stanice.

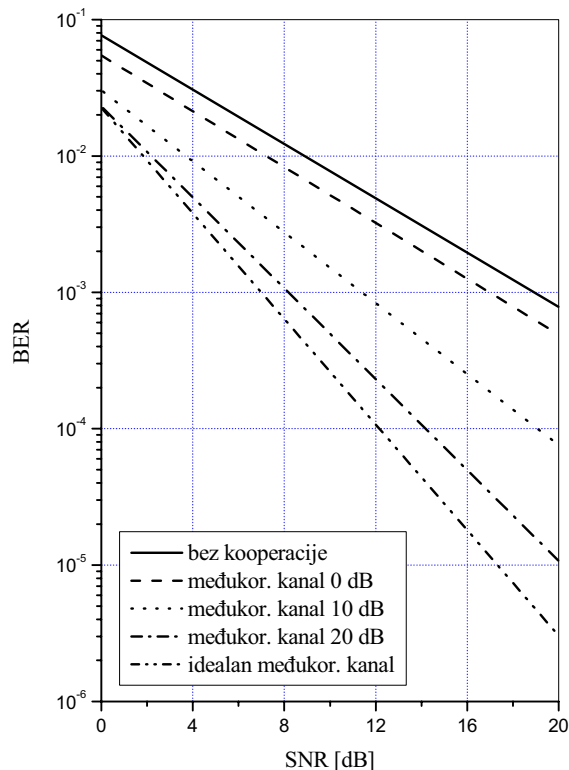
Na slici 7 je prikazano ponašanje verovatnoće greške po bitu za brzi feding kada je SNR uplink kanala prvog korisnika 10 dB. Posmatra se promena performansi kada je jedan korisnik dosta slabijih performansi kada je SNR uplink kanala drugog korisnika 2 dB, i kada su korisnici približno bliskih performansi kada je SNR uplink kanala drugog korisnika 8 dB. Vidi se da što je slabiji kvalitet performansi jednog korisnika, to dolazi do drastičnijih poboljšanja njegovih performansi kada kooperira sa korisnikom sa boljim performansama.

Na slici 8 je prikazano ponašanje BER-a za recipročne međukorisničke kanale različitog kvaliteta ako se posmatra spori feding. Korisnici su sa istim karakteristikama uplink kanala, dok je ostvarena kooperacija 50%. Sa slike se vidi da povećanjem kvaliteta međukorisničkog kanala dolazi do značajnog pada u verovatnoći greške po bitu. Npr. za međukorisnički kanal sa SNR-om od 20 dB za verovatnoću greške od  $10^{-3}$  ostvaruje se poboljšanje veće od 10 dB u odnosu na slučaj kada korisnici ne kooperiraju. Do poboljšanja performansi

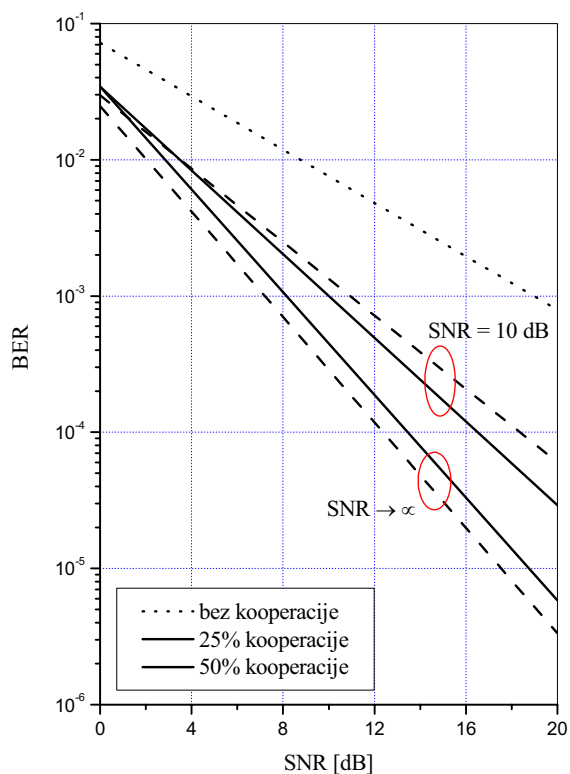
dolazi i kada je kvalitet međukorisničkih kanala 0 dB i to za 2-3 dB u opsegu od 0-20 dB srednjeg SNR-a uplink kanala.



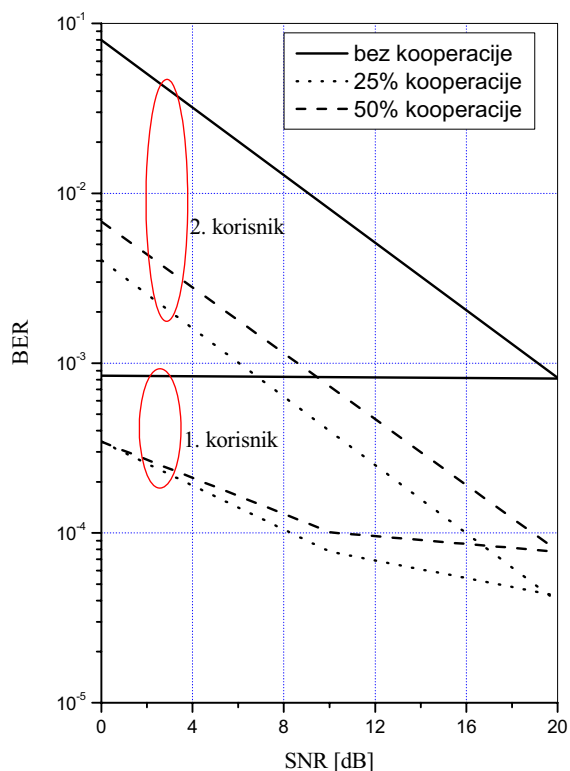
Sl. 7. Zavisnost verovatnoće greške po bitu od procenta kooperacije



Sl. 8. Verovatnoća greške po bitu za spori Rejljev feding za 50% kooperacije korisnika, ukoliko su uplink kanali oba korisnika sa istim SNR-om, a međukorisnički kanali su recipročni



Sl. 9. Poređenje verovatnoća greške po bitu za 50% i 25% kooperacije korisnika za spori Rejljev feding sa istim SNR-om uplink kanala oba korisnika



Sl. 10. Performanse sistema za asimetrične uplink kanale korisnika sa sporim Rejljevim fedingom

Na slici 9 su poređene performanse sistema sa 50 % i 25% kooperacije korisnika, ukoliko su međukorisnički kanali idealni i ukoliko je srednji SNR kanala 10 dB. Uplink kanali korisnika su ponovo istih karakteristika (isti srednji SNR). Kada je međukorisnički kanal idealan tada

oba korisnika uvek kooperiraju i za 50% kooperacije se dobijaju bolji rezultati. Sa pogoršanjem međukorisničkog kanala situacija se menja. Slika 9 pokazuje da za 25% kooperacije se dobijaju bolji rezultati nego za 50 %, kada je SNR međukorisničkog kanala 10 dB i to za 2 dB za korisnika sa kvalitetnijim uplink kanalom.

Na slici 10 se razmatra slučaj kada su korisnici sa uplink kanalima različitog kvaliteta. Fiksirana je vrednost srednjeg SNR-a uplink kanala prvog korisnika na 20 dB, dok se srednji SNR uplink kanala drugog korisnika kreće u opsegu 0-20 dB. Međukorisnički kanal je sa SNR-om od 10 dB. Slika pokazuje da se performanse drugog korisnika, koji je sa gorim uplink kanalom, drastično poboljšavaju kada se uvede kodirana kooperacija i to za 11-13 dB u odnosu na slučaj bez kooperacije. Usled kooperacije dolazi do poboljšanja performansi i prvog korisnika koji je sa kvalitetnijim uplink kanalom.

### III. ZAKLJUČAK

Klasične tehnike diverzita, kao što su frekvencijski ili prostorni, nisu pogodne za primenu u mobilnim komunikacijama, jer su prilikom projektovanja mobilnih aparata prisutna mnoga ograničenja, u koja spadaju veličina, potrošnja energije i cena. Zbog toga se moraju primeniti neke alternativne tehnike diverzita, a u ovom radu je objavljen i prikazane su performanse kooperativnog diverzita. Kod kooperativnog diverzita, korisnik ne komunicira samo sa baznom stanicom, već i sa drugim korisnicima, koji se ponašaju kao repetitori za njegov signal. U radu su prikazane performanse fiksno releja (relej sa pojačanjem i relej sa dekodiranjem), selektivnog releja i inkrementalnog releja. Najbolje performanse ima inkrementalni relej, ali po cenu veće složenosti, jer je potrebna povratna informacija o kvalitetu kanala od bazne stanice ka korisniku. Performanse ovih tehnika kooperativnog diverzita mogu da se poprave uključivanjem kanalnog kodovanja, ali uz još veću kompleksnost.

### LITERATURA

- [1] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, Inc., 2001.
- [2] I. E. Telatar, "Capacity of multi-antenna Gaussian channels," *Europ. Trans. Telecommun.*, vol. 10, pp. 585-596, Nov.-Dec. 1999.
- [3] A. Narula, M. D. Trott, and G.W. Wornell, "Performance limits of coded diversity methods for transmitter antenna arrays," *IEEE Trans. Inform.Theory*, vol. 45, pp. 2418-2433, Nov. 1999.
- [4] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [5] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity, Part I: System description," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, pp. 1927-1938, Nov. 2003.
- [6] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity, Part II: Implementation aspects and performance analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, pp. 1939-1948, Nov. 2003.
- [7] J. Spasić, N. Milošević, Z. Nikolić, "Performance of Receiver in System with Cooperative Reception", Zbornik radova TELSIKS 2007, Niš, September, 2007.
- [8] B. Dimitrijević, J. Spasić, Z. Nikolić, "Comparative analysis of cooperative diversity and classical spatial diversity", Zbornik radova ICEST 2007, Ohrid, Jun, 2007.

- [9] J. Spasić, N. Milošević, Z. Nikolić, "Performanse kooperativnog diverzita u bežičnim mrežama", Zbornik radova TELFOR 2006, pp. 273-277, Beograd, Novembar, 2006.
- [10] T. E. Hunter and A. Nosratinia, "Diversity through coded cooperation," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 5, no. 2, Feb. 2006.
- [11] N. Milošević, J. Spasić, Z. Nikolić, "Analysis of cooperative diversity with coding", INDEL, pp. 220-224, Banja Luka, November, 2006.

#### ABSTRACT

An overview and comparative analysis of some diversity techniques, used in modern mobile communication systems, is considered in this paper. Due to limitations of mobile units, such as dimensions, price, and power consumption, an alternative diversity system is proposed being realized by user cooperation. In such a

system, a user, besides its primary function, is used as a repeater for other users' signals. This paper examines fixed relaying protocols in which the relay either amplifies what it receives, or fully decodes, re-encodes, and retransmits the source message. Also, more complex protocols, such as selection relaying and incremental relaying, are also analysed. Incremental relaying has the best performances, but it is the most complex. All mentioned techniques may be improved by using additional channel coding, but this also brings more complexity and power consumption.

#### **OVERVIEW AND COMPARATIVE ANALYSIS OF SOME MODERN DIVERSITY TECHNIQUES**

Nenad Milošević, Bojan Dimitrijević, Zorica Nikolić