

Performanse kooperativnog BPSK diverziti sistema koji na prijemu koristi selekciono kombinovanje

Slavimir Stošović, Nenad Milošević, Bojan Dimitrijević, Zorica Nikolić

Sadržaj — U ovom radu se analizira verovatnoća greške BPSK kooperativnog diverziti sistema koji sadrži dve kooperativne mobilne jedinice (jedna radi kao izvor, a druga kao relej) i određište. Relej saraduje sa izvorom putem protokola sa dekodiranjem i prosleđivanjem i na taj način omogućava prenos podataka do određišta. Razmatra se kanal sa ravnim Rejljevim fedingom. Rezultati pokazuju da kooperativni diverziti donosi poboljšanja, u smislu verovatnoće greške, tek za odnos signal/šum između korisnika koji je veći od neke granične vrednosti.

Ključne reči — BPSK, Decode and Forward protokol, Kooperativni diverziti, Rejljev feding, Verovatnoća greške.

I. UVOD

SAVREMENI razvoj bežičnih komunikacija u borbi protiv degradacija performansi zbog fedinga u kanalu predlaže korišćenje većeg broja antena na mobilnim jedinicama. Nedostatak ovakvog pristupa je povećanje veličine i kompleksnosti hardvera. Da bi se prevazišla potreba za velikim brojem antena, a ipak obezbedio značajan diverziti, predložena je nova metoda, nazvana kooperacija korisnika. Ova metoda podrazumeva da mobilne jedinice razmenjuju svoje antene sa drugim mobilnim jedinicama formirajući time polje virtuelnih antena i kreirajući prostor diverzitija u borbi protiv efekata fedinga [1].

Kooperacija korisnika je analizirana u [2], gde je korist od diverziti prenosa posmatrana za jednostavni CDMA (Code Division Multiple Access) sistem. To pokazuje kako kooperacija povećava polje pokrivenosti ćelijskog sistema u poređenju sa sistemima bez kooperacije. U [3] je predloženo nekoliko protokola kao što su amplify and forward (AF) i decode and forward (DF) i izračunate su njihove performanse. U slučaju AF, signal je jednostavno pojačan i prosleđen u kooperativnoj mobilnoj jedinici ili

Ovaj rad je delom finansiran sredstvima Ministarstva za nauku Republike Srbije u okviru projekta "Razvoj i realizacija nove generacije softvera, hardvera i usluga na bazi softverskog radija za namenske aplikacije" (TR-11030).

Slavimir Stošović, Visoka tehnička škola u Nišu, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš, Srbija, (telefon: 381-69-4169060, e-mail: slavimir.stosovic@vtsnis.edu.rs).

Nenad Milošević, Bojan Dimitrijević, Zorica Nikolić, Elektronski fakultet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija; (telefon: 381-18-529367, e-mail: nenad.milosevic@elfak.ni.ac.rs, bojan.dimitrijevic@elfak.ni.ac.rs, zorica.nikolic@elfak.ni.ac.rs).

tački na određištu dok u slučaju DF, signal je dekodiran u kooperativnoj tački, rekodiran i prosleđen na određište. U [4] je prikazana analiza greške DF protokola sa selekcionim kombinovanjem za MPSK i procena verovatnoće greške. Takođe je prikazano modifikovano selekciono kombinovanje koje uključuje efekat linka između korisnika. U radu se koristi pristup uparene greške za analizu verovatnoće greške po simbolu.

U ovom radu je data teorijska analiza performansi kooperativnog diverziti sistema koji sadrži dve kooperativne mobilne jedinice (kreirane kao izvor i relej) i određište, za BPSK, u okruženju sa ravnim Rejljevim fedingom.

Analizira se verovatnoća greške korišćenjem pristupa uparene greške iz [4]. U ovom pristupu, događaj tačne odluke je razložen na tri moguća slučaja: (1) određište donosi tačnu odluku za simbol primljen direktno od izvora kao i za simbol primljen od izvora preko releja, (2) određište donosi tačnu odluku za simbol primljen direktno od izvora i pogrešnu odluku za simbol primljen od izvora preko releja, i bira prvi simbol, (3) određište donosi pogrešnu odluku za simbol primljen direktno od izvora i pravilnu odluku za simbol primljen od izvora preko releja, i bira drugi simbol. Analitički izraz za verovatnoću greške po simbolu je izvedena kroz ovu dekompoziciju.

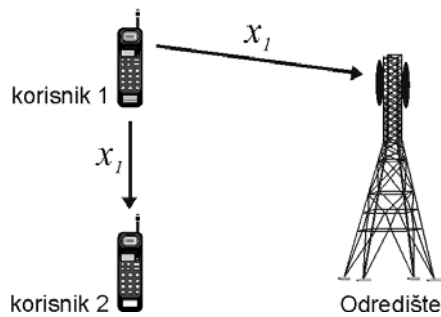
U poglavlju II opisan je model sistema za kooperativni diverziti koristeći DF protokol sa selekcionim kombinovanjem. U poglavlju III data je verovatnoća greške po simbolu za BPSK prenos u kanalu sa ravnim Rejljevim fedingom. Numerički rezultati su prikazani u poglavlju IV.

II. MODEL SISTEMA

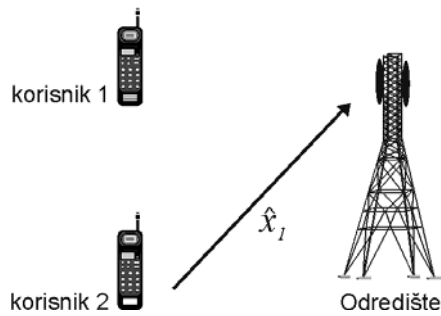
Model sistema sadrži dva aktivna korisnika (korisnik 1 i korisnik 2) koji pokušavaju da prenesu signal do određišta. Možemo da uočimo dva ciklusa. U prvom ciklusu korisnik 1 radi kao izvor, dok korisnik 2 radi kao relej. Ukupno vreme koje je potrebno korisniku 1 za prenos je podeljeno na dva jednaka vremenska frejma. Za vreme frejma 1, korisnik 1 prenosi svoj podatak do korisnika 2 i određišta, kao što je prikazano na slici 1. Kompleksni primljeni signal u osnovnom opsegu u određištu i kod korisnika 2 u vremenskom frejmu 1 je modelovan, respektivno, kao:

$$r_{1D} = h_{1D}x_1 + n_{1D}, \quad (1)$$

$$r_{12} = h_{12}x_1 + n_{12}, \quad (2)$$



Sl.1. Vremenski frejm 1



Sl.2. Vremenski frejm 2

gde su h_{1D} i h_{12} slučajni kompleksni koeficijent fedinga u kanalu od korisnika 1 do odredišta i od korisnika 1 do korisnika 2, respektivno. x_1 je BPSK preneti simbol korisnika 1, n_{1D} i n_{12} su aditivni šum kanala od korisnika 1 do odredišta i od korisnika 1 do korisnika 2, respektivno. U kanalima svih linkova vlada nezavisni Rejljev feding. Zahvaljujući nezavisnosti Rejljevog fedinga, h_{1D} i h_{12} su nezavisne kompleksne cirkularne Gausove slučajne promenljive sa nultim srednjim vrednostima i varijansama Ω_{1D} i Ω_{12} , respektivno, i nezavisne od aditivnih šumova. Aditivni šumovi n_{1D} i n_{12} su nezavisne i identične kompleksne cirkularne Gausove slučajne promenljive sa nultom srednjom vrednošću i varijansom $2N_0$. Simbol x_1 ima energiju $2E_s$ i pripada BPSK konstelaciji \mathcal{S} datoj sa $\mathcal{S} = \{S_1, S_2\}$, gde je

$$\begin{aligned} S_1 &= \sqrt{2E_s} \\ S_2 &= -\sqrt{2E_s} \end{aligned} \quad (3)$$

Podaci koje je poslao korisnik 1 su detektovani od strane korisnika 2 i detektovani signal \hat{x}_1 se dobija na osnovu pravila odlučivanja:

$$\hat{x}_1 = \arg \left\{ \max_{s \in \mathcal{S}} \operatorname{Re}(s^* h_{12}^* r_{12}) \right\}, \quad (4)$$

gde $(\cdot)^*$ znači kompleksno konjugovano. U vremenskom frejmu 2, korisnik 2 prosleđuje podatak korisnika 1 ka odredištu kao što je prikazano na slici 2. Kompleksni signal primljen na odredištu u vremenskom frejmu 2 je modelovan kao:

$$r_{12D} = h_{2D} \hat{x}_1 + n_{2D}, \quad (5)$$

gde su h_{2D} i n_{2D} dobitak fedinga i dodati šum u kanalu, respektivno, od korisnika 2 do odredišta, sa raspodelom $CN(0, \Omega_{2D})$ i $CN(0, 2N_0)$, respektivno. h_{2D} i n_{2D} su nezavisne od h_{1D} , h_{12} , n_{1D} i n_{12} . Pretpostavljamo da korisnik 2 poznaje pojačanje fedinga h_{12} i odredište zna

pojačanja fedinga h_{1D} i h_{2D} . Na odredištu se odluke r_{1D} i r_{2D} upoređuju, i u slučaju konflikta, signal koji odgovara maksimalnom izlazu od $|h_{1D}|^2$ i $|h_{2D}|^2$ je izabran kao odluka. Šema je optimalna u smislu potrošnje energije zato što se na odredištu vrši demodulacija podataka a zatim bira onaj koji ima jaču putanju signala. Konačno, demodulisani signal \hat{x}_1 , rezultat selekcije kombinovanja na odredištu, je prema tome dat sa:

$$\hat{x}_1 = \begin{cases} \arg \left\{ \max_{s \in \mathcal{S}} \operatorname{Re}(s^* h_{1D}^* r_{1D}) \right\}, & |h_{1D}|^2 > |h_{2D}|^2, \\ \arg \left\{ \max_{s \in \mathcal{S}} \operatorname{Re}(s^* h_{2D}^* r_{12D}) \right\}, & |h_{2D}|^2 > |h_{1D}|^2. \end{cases} \quad (6)$$

Operacija u ciklusu II je slična kao u ciklusu I osim što su korisnici zamenili njihove uloge. Tako, u ciklusu II, korisnik 2 je izvor a korisnik 1 je relej. Dok su oba ciklusa u operacijama simetrična, mi podrazumevamo da je ciklus I za naše analize, generalno bez gubitaka.

III. ANALIZA VEROVATNOĆE GREŠKE

Neka γ_{1D} , γ_{12} i γ_{2D} označavaju trenutni odnos signal-šum (SNR) na linku od korisnika 1 do odredišta, između korisnika 1 i 2, kao i između korisnika 2 i odredišta, respektivno. Definisani su kao:

$$\gamma_{1D} = \frac{E_s |h_{1D}|^2}{N_0}, \quad \gamma_{12} = \frac{E_s |h_{12}|^2}{N_0}, \quad \gamma_{2D} = \frac{E_s |h_{2D}|^2}{N_0}. \quad (7)$$

Γ_{1D} , Γ_{12} , Γ_{2D} označavaju prosečan SNR od korisnika 1 do odredišta, prosečan SNR na interuser linku i prosečan SNR na linku od korisnika 2 do odredišta, respektivno, tako da je:

$$\begin{aligned} \Gamma_{1D} &= E[\gamma_{1D}] = \frac{E_s \Omega_{1D}}{N_0}, \quad \Gamma_{12} = E[\gamma_{12}] = \frac{E_s \Omega_{12}}{N_0}, \\ \Gamma_{2D} &= E[\gamma_{2D}] = \frac{E_s \Omega_{2D}}{N_0}, \end{aligned} \quad (8)$$

gde $E[\cdot]$ označava očekivanu vrednost. γ_{1D} , γ_{12} i γ_{2D} su nezavisne slučajne promenljive sa eksponencijalnom raspodelom.

Za analizu SEP za ovu kooperativnu diverzitetnu šemu, koristimo pristup uparene greške. Neka $P_{k,l}(\gamma_{12})$ označava uslovnu verovatnoću greške po γ_{12} , da je simbol S_k prenet preko interuser linka i dekodiran kao S_l , za $k, l = 1, 2$. Zbog toga je $P_{k,k}(\gamma_{12})$ uslovna verovatnoća tačne odluke kada je prenet simbol S_k . Iz (2) $P_{k,l}(\gamma_{12})$ može biti izražena kao:

$$\begin{aligned} P_{k,l}(\gamma_{12}) &= \Pr \left(\frac{2\pi(l-1)}{2} - \frac{\pi}{2} \right. \\ &\quad \left. < \operatorname{faza}(h_{12}^* (h_{12} S_k + n_{12})) \right. \\ &\quad \left. < \frac{2\pi(l-1)}{2} + \frac{\pi}{2} \mid h_{12} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

Slično, $P_{k,l}(\gamma_{2D})$ označava uslovnu verovatnoću po γ_{2D} , da je simbol S_k prenet preko linka između korisnika 2 i odredišta i dekodiran kao S_l , za $k, l = 1, 2$. Ovo može da se izrazi slično kao u (9):

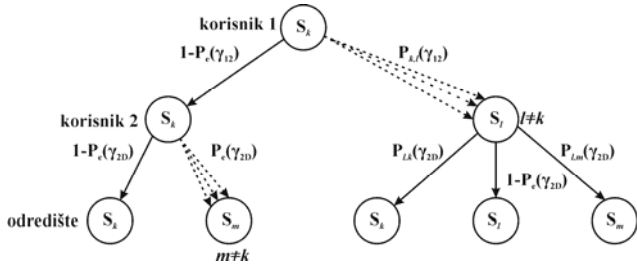
$$P_{k,l}(\gamma_{2D}) = \Pr\left(\frac{2\pi(l-1)}{2} - \frac{\pi}{2} < \text{angle}(h_{2D}^*(h_{2D}S_k + n_{2D})) < \frac{2\pi(l-1)}{2} + \frac{\pi}{2} \mid h_{2D}\right) \quad (10)$$

Koristeći statističkih osobina za n_{12} i n_{2D} , možemo napisati ove uslovne verovatnoće kao:

$$P_{k,l}(\gamma) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi - \frac{2\pi(l-k)}{2} + \frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{\gamma \sin^2\left(\frac{2\pi(l-k)}{2} - \frac{\pi}{2}\right)}{\sin^2\phi}\right) d\phi - \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi - \frac{2\pi(l-k)}{2} - \frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{\gamma \sin^2\left(\frac{2\pi(l-k)}{2} + \frac{\pi}{2}\right)}{\sin^2\phi}\right) d\phi \quad (11)$$

Zahvaljujući simetriji BPSK konstelacije, uslovna verovatnoća greške γ_{1D} , γ_{12} i γ_{2D} za bilo koji preneti S_k , u oznaci $P_e(\gamma_{1D})$, $P_e(\gamma_{12})$ ili $P_e(\gamma_{2D})$, respektivno, je data sa:

$$P_e(\gamma) = 1 - P_{k,k}(\gamma) = -\frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \exp\left(-\frac{\gamma \sin^2\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\sin^2\phi}\right) d\phi \quad (12)$$



Sl. 3. Rezultati događaja kada korisnik 1 prenosi simbol S_k

Razmotrimo dijagram tipa stablo na Sl. 3 koji prikazuje rezultate događaja kada korisnik 1 prenosi simbol S_k . Sa slike se uočava da je uslovna verovatnoća tačne odluke u toku kooperacije data sa:

$$P_{c_{k12D}}(\gamma_{12}, \gamma_{2D}) = (1 - P_e(\gamma_{12}))(1 - P_e(\gamma_{2D})) + \sum_{l \neq k} P_{k,l}(\gamma_{12})P_{l,k}(\gamma_{2D}) \quad (13)$$

gde je $P_{k,l}(\cdot)$ dato sa (7) i $P_e(\cdot)$ dato sa (8). Uсловna verovatnoća greške je prema tome:

$$P_{e_{k12D}}(\gamma_{12}, \gamma_{2D}) = 1 - P_{c_{k12D}}(\gamma_{12}, \gamma_{2D}) \quad (14)$$

Uсловna verovatnoća tačne odluke u toku prenosa bez kooperacije, uslovljena sa γ_{1D} je:

$$P_{c_{k1D}}(\gamma_{1D}) = 1 - P_e(\gamma_{1D}) \quad (15)$$

Uсловna verovatnoća greške u toku prenosa bez kooperacije je onda:

$$P_{e_{k1D}}(\gamma_{1D}) = 1 - P_{c_{k1D}}(\gamma_{1D}) = P_e(\gamma_{1D}) \quad (16)$$

Razmatramo tri moguća slučaja tačne odluke, kao što je izloženo u uvodu. Verovatnoća tačne odluke P_C na odredištu može biti izračunata kao suma tri očekivane uslovne verovatnoće:

$$P_C = E_{\gamma_{1D}, \gamma_{2D}, \gamma_{12}} [P_1(\gamma_{1D}, \gamma_{2D}, \gamma_{12})] + E_{\gamma_{1D}, \gamma_{2D}, \gamma_{12}; \gamma_{1D} > \gamma_{2D}} [P_2(\gamma_{1D}, \gamma_{2D}, \gamma_{12})] + E_{\gamma_{1D}, \gamma_{2D}, \gamma_{12}; \gamma_{1D} < \gamma_{2D}} [P_3(\gamma_{1D}, \gamma_{2D}, \gamma_{12})] \quad (17)$$

Uсловna verovatnoća

$$P_1(\gamma_{1D}, \gamma_{2D}, \gamma_{12}) = P_{c_{k1D}}(\gamma_{1D})P_{c_{k12D}}(\gamma_{12}, \gamma_{2D}) \quad (18)$$

odgovara tačnoj odluci za primljeni simbol kroz link između korisnika 1 i odredišta i primljeni simbol kroz link od korisnika 1 do odredišta preko korisnika 2,

$$P_2(\gamma_{1D}, \gamma_{2D}, \gamma_{12}) = P_{c_{k1D}}(\gamma_{1D})P_{e_{k12D}}(\gamma_{12}, \gamma_{2D}) \quad (19)$$

odgovara tačnoj odluci za primljeni simbol kroz link između korisnika 1 i odredišta i pogrešnoj odluci primljenog simbola kroz link između korisnika 1 i odredišta preko korisnika 2, i

$$P_3(\gamma_{1D}, \gamma_{2D}, \gamma_{12}) = P_{e_{k1D}}(\gamma_{1D})P_{c_{k12D}}(\gamma_{12}, \gamma_{2D}) \quad (20)$$

odgovara pogrešnoj odluci za primljeni simbol kroz link između korisnika 1 i odredišta i tačnu odluku za primljeni simbol kroz link između korisnika 1 i odredišta, preko korisnika 2.

Konačno se za verovatnoću greške po simbolu dobija:

$$P_e = 1 - (P_1 + P_2 + P_3) = \frac{1}{2} \frac{\rho_{1D}}{2} - \frac{\rho_{2D}\rho_{12}}{2} + \frac{\varepsilon_{12D}\rho_{12D}}{2}(1 - \rho_{12}) + \frac{\rho_{12D}\rho_{12}}{2} \quad (21)$$

gde su

$$\rho_{1D} \triangleq \sqrt{\frac{\Gamma_{1D}}{1 + \Gamma_{1D}}}, \quad \rho_{2D} \triangleq \sqrt{\frac{\Gamma_{2D}}{1 + \Gamma_{2D}}}, \quad \rho_{12} \triangleq \sqrt{\frac{\Gamma_{12}}{1 + \Gamma_{12}}} \quad (22)$$

$$\rho_{12D} \triangleq \sqrt{\frac{\Gamma_{1D}\Gamma_{2D}}{\Gamma_{1D} + \Gamma_{2D} + \Gamma_{1D}\Gamma_{2D}}}, \quad \varepsilon_{12D} \triangleq \frac{\Gamma_{2D}}{\Gamma_{1D} + \Gamma_{2D}}$$

U [4] je pokazano da u slučaju bez kooperacije verovatnoća greške po simbolu iznosi

$$P_{e,av}(x) = -\frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sin^2\phi}{x + \sin^2\phi} d\phi \quad (23)$$

IV. NUMERIČKI REZULTATI

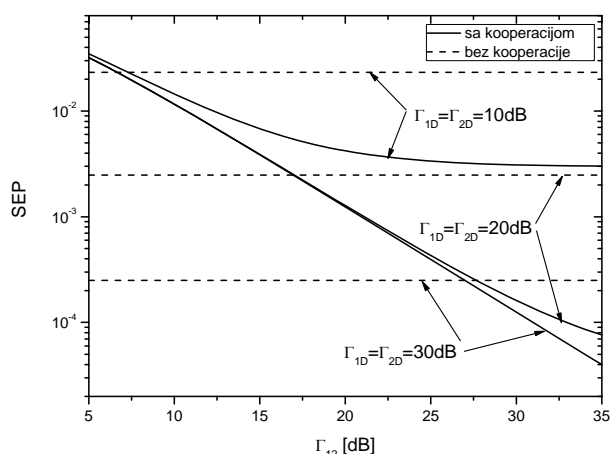
Numerički rezultati, dati u daljem tekstu, pokazuju uticaj parametara sistema na performanse sistema.

Na Sl. 4 je prikazana zavisnost verovatnoće greške po simbolu (SEP) od odnosa signal/šum na linku između korisnika (Γ_{12}), sa odnosom signal/šum između prvog korisnika i odredišta (Γ_{1D}) i drugog korisnika i odredišta (Γ_{2D}) kao parametrom. Usvojeno je da je $\Gamma_{1D} = \Gamma_{2D}$. Takođe je prikazana i vrednost SEP za prenos bez kooperacije. Ova vrednost zavisi samo od prosečne vrednosti SNR na linku između korisnika i odredišta, pa na grafiku ima konstantnu vrednost.

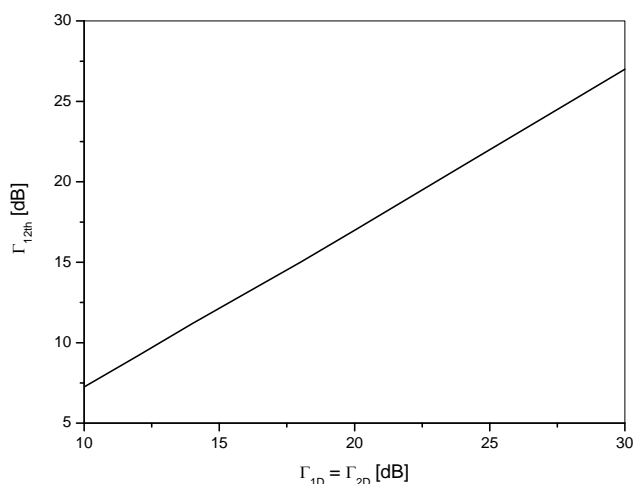
Sa slike se vidi da kooperativni prenos ima bolje performanse u slučaju kada je odnos signal/šum između korisnika (Γ_{12}) veći od nekog praga (Γ_{12th} u daljem tekstu).

Na Sl.5 je prikazana zavisnost granične vrednosti odnosa signal/šum između korisnika, nakon koje je kooperativni prenos bolji od nekooperativnog (Γ_{12th}), od odnosa signal/šum između korisnika i odredišta. Sa slike

se vidi da vrednost praga raste kada raste odnos signal/šum Γ_{1D} i Γ_{2D} .



Sl.4. Poređenje kooperacije i ne-kooperacije za BPSK sa $\Gamma_{1D} = \Gamma_{2D}$



Sl.5. Zavisnost granične vrednosti odnosa signal/šum između korisnika, nakon koje je kooperativni prenos bolji od nekooperativnog, od $\Gamma_{1D} = \Gamma_{2D}$

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu su analizirane performanse BPSK

diverziti sistema u kanalu sa ravnim Rejljevim fadingom. Izveden je izraz za verovatnoću greške po simbolu i prikazan je uticaj parametara sistema na performanse. Pokazano je da kooperativni sistem postiže bolje performanse od sistema bez kooperacije samo za odnos signal/um koji je veći od neke granične vrednosti. Pri tome, pomenuta granična vrednost raste sa povećanjem odnosa signal/šum između pojedinih korisnika i odredišta.

LITERATURA

- [1] A. Nosratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 10, pp. 74-80, Oct. 2004.
- [2] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity—part I: system description," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp. 1927-1938, Nov. 2003.
- [3] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G.W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [4] M. D. Selvaraj, and R. K. Mallik, "Error Analysis of the Decode and Forward Protocol with Selection Combining" *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol. 8, no. 6, pp. 3086-3094, Jun. 2009.

ABSTRACT

In this paper we analyze the error performance of a cooperative diversity system having two cooperating mobile units or users (designated as source and relay) and a destination. The relay cooperates with the source through the decode and forward protocol to enable the transmission of a data symbol from the source to the destination in a flat Rayleigh fading environment. Results show that cooperative diversity becomes effective for a larger range of average signal-to-noise ratio (SNR) of the user to destination link

PERFORMANCE ANALYSIS OF A COOPERATIVE BPSK DIVERSITY SYSTEM USING SELECTION COMBINING RECEIVER

Slavimir Stošović, Nenad Milošević,
Bojan Dimitrijević, Zorica Nikolić