

# Performanse sistema sa kooperacijom korisnika na predaji

Jasmina Spasić, Nenad Denić i Zorica Nikolić

**Sadržaj** — U ovom radu je analiziran uticaj kooperacije korisnika u relejnoj mreži na kapacitet kanala i brzinu prenosa. Kooperacija među korisnicima se koristi radi smanjenja uticaja fadinga, koji se javlja zbog prostiranja signala po više putanja prenosa, na performanse sistema. Razmatrana je situacija kada je relejni korisnik blizu predajnika i prikazano je kako performanse sistema variraju u zavisnosti od načina preraspodele snage među korisnicima i informacije o stanju kanala.

**Ključne reči** — Informacija o stanju kanala (CSI), kooperacija korisnika.

## I. UVOD

Performanse bežičnih mreža se mogu poboljšati uvođenjem kooperacije među korisnicima. Pregled kooperativnih mreža je dat u radovima [1], [2]. Kooperativni prenos se realizuje tako što korisnik pored toga što šalje svoje podatke, ponaša se i kao relej za informacije drugog korisnika iz datog sistema, tako da na prijemu pored informacija iz direktnog prenosa postoji i relejna informacija. Na ovaj način se ostvaruje prostorni diverzitet, jer realizacija klasičnog prostornog diverziteta u mobilnim mrežama nije pogodna. Razmotrene su performanse sistema sa kooperacijom na predaji za jednaku i optimalnu preraspodelu snage i potpunu i delimičnu informaciju o stanju kanala.

## II. MODEL SISTEMA

Posmatran je sistem sa tri korisnika, od kojih jedan ima ulogu releja i nalazi se u blizini predajnika. Na ovaj način se realizuje kooperacija na predaji. Prenosni kanali su sa aditivnim belim Gaussian-ovim šumom. Na Sl. 1 je prikazan posmatrani sistem. Vrednost kanala predajnik-prijemnik i relejni korisnik-prijemnik je normalizovana na jedinicu, a između predajnika i relejnog korisnika na vrednost  $\sqrt{k}$ . Jednačine koje opisuju sistem sa kooperacijom na predaji su oblika:

$$\begin{aligned} y_r &= \sqrt{k} e^{j\varphi_2} x + n_r, \\ y &= e^{j\varphi_1} x + e^{j\varphi_3} x_r + n, \end{aligned} \quad (1)$$

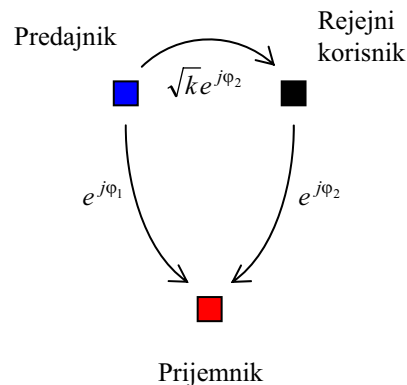
J. Spasić, Ministarstvo unutrašnjih poslova u Nišu, Srbija (telefon: 381-64-3403165; e-mail: mimanec@ptt.yu).

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

N. Denić, Vojska Srbije.

gde su  $x, y, n, x_r, y_r, n_r \in \mathbb{C}$ ,  $k \geq 0$ , i  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 \in [0, 2\pi]$ ;  $x$  je signal koji šalje predajnik,  $y$  je signal koga prima prijemnik iz direktnog prenosa,  $y_r, x_r$  su signali poslani i primljeni od strane relejnog korisnika, respektivno, a  $n$  i  $n_r$  su nezavisne kompleksne Gaussian-ove slučajne promenljive nulte srednje vrednosti i jedinične varijanse.

Snaga kojom relejni korisnik emituje signale je ograničena i proizilazi iz uslova  $E[|x|^2 + |x_r|^2] \leq P$ .



Sl. 1. Sistem sa kooperacijom na predaji.

Utvrđen je uticaj kooperacije na kapacitet kanala i brzinu prenosa za različite postavke sistema. Razmatraju se dva modela CSI:

- potpuna informacija o stanju kanala,
- delimična informacija o stanju kanala (relejni korisnik zna samo fazu  $\varphi_2$ , a prijemnik faze  $\varphi_1$  i  $\varphi_3$ , dok se pretpostavlja da svaki korisnik zna vrednost parametra  $k$ ).

Razmatraju se i dva modela preraspodele snage među korisnicima:

- svi korisnici sa istom snagom na predaji, tj.  $E[|x|^2] = E[|x_r|^2] = P/2$ ;
- snaga je optimalno preraspodeljena, tj.  $E[|x|^2] \leq \alpha P$ ,  $E[|x_r|^2] \leq (1 - \alpha)P$ , gde je  $\alpha \in [0, 1]$  parametar koji se optimizuje.

Kombinovanjem ovih modela moguća su četiri slučaja:

- 1 slučaj*) Sistem sa optimalnom preraspodelom snage i potpunom CSI;
- 2 slučaj*) Sistem sa jednakom preraspodelom snage i potpunom CSI;
- 3 slučaj*) Sistem sa optimalnom preraspodelom snage i delimičnom CSI;
- 4 slučaj*) Sistem sa jednakom preraspodelom snage i delimičnom CSI.

### III. KOOPERATIVNE TEHNIKE

Za sistem prikazan na Sl. 1 izrazi za kapacitet kanala i brzine prenosa su definisani u radu [1], a za potrebe ovog rada se uzimaju u obzir gornje granice pomenutih izraza.

Pri označavanju promenljivih, stepen definiše specifični slučaj, tako da je  $C^1$  kapacitet kanala za prvi slučaj. Radi poređenja dobijenih rezultata definiše se kapacitet kanala za sistem bez kooperacije, npr. ako korisnik emituje signale sa snagom  $P$ , kapacitet kanala je:  $C_n = C(1)$ , gde je  $C(x) = \log_2(1 + xP)$ .

Ukoliko se pretpostavi da je u sistemu snaga optimalno preraspoređena, predajnik emituje signal snagom  $\alpha P$ ,  $0 \leq \alpha \leq 1$ , a relejni korisnik emituje snagom  $(1 - \alpha)P$ .

Gornja granica za kapacitet kanala za sistem sa kooperacijom na predaji je data jednačinom:

$$C = \max_{0 \leq \rho \leq 1} \min \left\{ C(\alpha(k+1)(1-\rho^2)), C(1+2\rho\sqrt{\alpha(1-\alpha)}) \right\}, \quad (2)$$

gde je  $\rho$  koeficijent korelacije između signala koje šalju predajnik i relejni korisnik. Za prvi i treći slučaj parametar  $\alpha$  se optimizuje, dok za drugi i četvrti slučaj ima vrednost  $1/2$ .

U sistemu sa kooperacijom korisnika može da se ostvari sledeća brzina prenosa:

$$R = \max_{0 \leq \rho \leq 1} \min \left\{ C(\alpha k(1-\rho^2)), C(1+2\rho\sqrt{\alpha(1-\alpha)}) \right\}, \quad (3)$$

gde  $\rho$  ima isto značenje kao u (2), pri čemu je ponovo neophodna optimizacija parametra  $\alpha$  za prvi i treći slučaj, dok za drugi i četvrti slučaj  $\alpha$  ima vrednost  $1/2$ .

#### A. Sistem sa optimalnom preraspodelom snage i potpunom CSI (prvi slučaj)

Analizom izraza za gornju granicu kapaciteta kanala iz (2) proizilazi da se optimalna vrednost za parametar  $\rho$  ( $\rho^*$ ) dobija izjednačavanjem dva izraza iz zagrade. Ukoliko se izrazi ne mogu izjednačiti uzima se maksimalna vrednost manjeg izraza. Optimalna vrednost parametra  $\alpha$  ( $\alpha^*$ ) se dobija izjednačavanjem izvoda izraza iz (2) sa nulom.

Gornja granica kapaciteta kanala za sistem sa kooperacijom na predaji za prvi slučaj je oblika:

$$C^1 = C\left(\frac{2(k+1)}{k+2}\right) \quad (4)$$

gde su optimalne vrednosti parametara:  $\rho^* = \sqrt{k/(k+4)}$  i  $\alpha^* = (k+4)/(2k+4)$ .

Brzina prenosa koja se može ostvariti u posmatranom sistemu je oblika:

$$R^1 = \begin{cases} C\left(\frac{2k}{k+1}\right), & \text{za } k \geq 1, \\ C(k) & \text{za } k < 1, \end{cases} \quad (5)$$

gde su optimalne vrednosti parametara  $\rho^* = \sqrt{(k-1)/(k+3)}$  i  $\alpha^* = (k+3)/(2k+2)$  za  $k \geq 1$ , ili  $\rho^* = 0$  i  $\alpha^* = 1$  u suprotnom.

#### B. Sistem sa jednakom preraspodelom snage i potpunom CSI (drugi slučaj)

U drugom slučaju i predajnik i relej emituju signale jednakom snagom  $P/2$ , pa je vrednost parametra  $\alpha = 1/2$ .

Gornja granica kapaciteta kanala je definisana izrazom:

$$C^2 = \begin{cases} C\left(\frac{2k}{k+1}\right) & \text{za } k \geq 1, \\ C\left(\frac{1+k}{2}\right) & \text{za } k < 1, \end{cases} \quad (6)$$

gde je optimalna vrednost parametara  $\rho^* = (k-1)/(k+1)$  za  $k \geq 1$  i  $\rho^* = 0$  u suprotnom.

Brzina prenosa je definisana izrazom:

$$R^2 = \begin{cases} C\left(\frac{2(k-1)}{k}\right) & \text{za } k \geq 2, \\ C\left(\frac{k}{2}\right) & \text{za } k < 2, \end{cases} \quad (7)$$

ako je optimalna vrednost parametra  $\rho^* = (k-2)/k$  za  $k \geq 2$  i  $\rho^* = 0$  u suprotnom.

#### C. Sistem sa optimalnom preraspodelom snage i delimičnom CSI (treći slučaj)

U slučaju kada nije dostupna potpuna CSI, optimalni rezultati se dobijaju zamenom  $\rho = 0$  u (2). Kako za određivanje brzine prenosa nije neophodna informacija o fazi signala, koristi se isti izraz kao za prvi slučaj.

Gornja granica kapaciteta kanala je oblika:

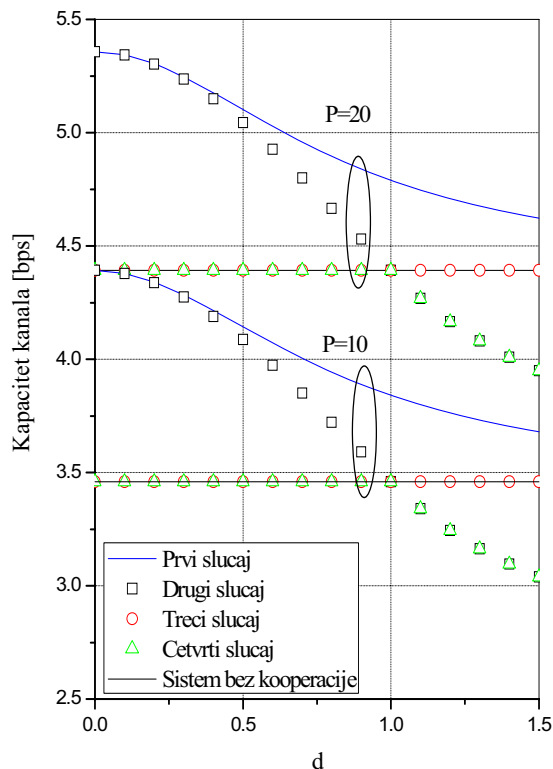
$$C^3 = C(1), \quad (8)$$

pri čemu  $\alpha$  ima vrednost iz opsega  $[1/(k+1), 1]$ .

Brzina prenosa je definisana izrazom:

$$R^3 = \begin{cases} C(1) & \text{za } k \geq 1, \\ C(k) & \text{za } k < 1, \end{cases} \quad (9)$$

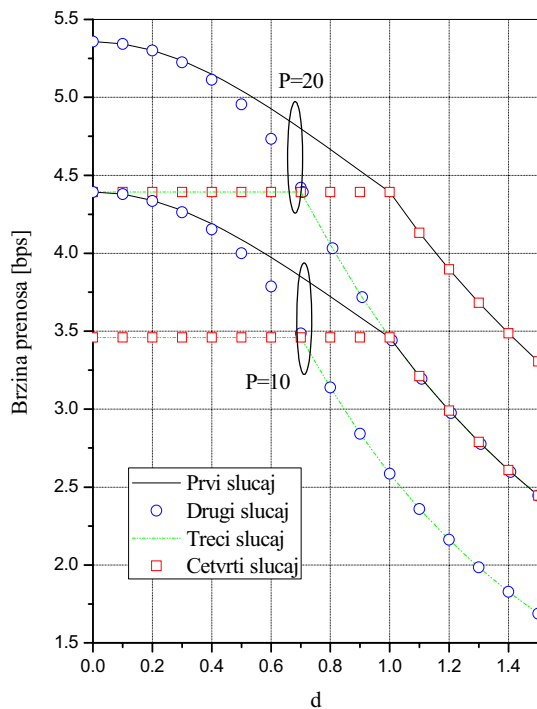
gde  $\alpha^*$  ima vrednost iz opsega  $[1/k, 1]$  za  $k \geq 1$ , i  $\alpha^* = 1$  u suprotnom.



Sl. 2. Kapacitet kanala za sistem sa kooperacijom korisnika na predaji kada je  $P = 10$  i  $P = 20$ .

D. Sistem sa jednakom preraspodelom snage i delimičnom CSI (četvrti slučaj)

U sistemu sa jednakom preraspodelom snage među korisnicima parametar  $\alpha$  ima vrednost 1/2. Za slučaj sa delimičnom CSI, optimalna vrednost parametra  $\rho$  je 0.



Sl. 3. Brzine prenosa u sistemu sa kooperacijom korisnika na predaji za  $P = 10$  i  $P = 20$ .

Gornja granica kapaciteta kanala i brzina prenosa su date izrazima:

$$C^4 = \begin{cases} C(1) & \text{za } k \geq 1, \\ C\left(\frac{1+k}{2}\right) & \text{za } k < 1, \end{cases} \quad (10)$$

$$R^4 = \begin{cases} C(1) & \text{za } k \geq 2, \\ C\left(\frac{k}{2}\right) & \text{za } k < 2. \end{cases} \quad (11)$$

IV. NUMERIČKI REZULTATI

Numerički rezultati za gornju granicu kapaciteta kanala i brzinu prenosa su dati na Sl. 2 i Sl. 3 za  $P = 10$  i  $P = 20$ , pri čemu je pretpostavljeno da su gubici na putu sa eksponentom 2, pa je  $k = 1/d^2$ , gde je  $d$  rastojanje između relejnog korisnika i predajnika.

Najbolji rezultati, kako za kapacitet kanala tako i za brzinu prenosa, su postigniti u prvom slučaju, za sistem sa optimalnom preraspodelom snage i potpunom CSI.

Povećavanjem snage dolazi do poboljšanja performansi sistema, ali sa povećanjem snage na predaji dolazi do većeg nivoa interferencije u sistemu, naročito ako se razmatra veći broj korisnika, tako da je neophodna dalja analiza kojom bi se utvrdili optimalni nivoi snage korisnika na predaji.

V. ZAKLJUČAK

U radu je analiziran uticaj kooperacije korisnika u bežičnoj mreži na kapacitet kanala i brzinu prenosa. U zavisnosti od načina organizacije mreže performanse sistema variraju. Najbolji rezultati za kapacitet kanala i brzinu prenosa se ostvaruju u sistemu sa optimalnom preraspodelom snage među korisnicima i potpunom CSI. Sistem sa optimalnom ili jednakom preraspodelom snage i delimičnom CSI ne pokazuje poboljšanja u poređenju sa sistemom bez kooperacije korisnika. Sa većom snagom na predaji veći je kapacitet kanala i brzina prenosa, ali i interferencija, pa je neophodna dalja analiza kako bi se došlo do optimalnih rezultata.

REFERENCES

- [1] 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.
- [2] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity-Part II: Implementation aspects and performance analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp. 1939–1948, Nov. 2003.
- [3] C. T. K. Ng and A. J. Goldsmith, "Capacity gain from transmitter and receiver cooperation", *Inform. Theory, ISIT 2005*, pp. 397-401, 2005.
- [4] T. M. Cover and A. A. El Gamal, "Capacity theorems for the relay channel," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 25, no. 5, 1979.
- [5] T. E. Hunter and A. Nosratinia, "Cooperation diversity through coding," in *Proc. IEEE Int. Symp. Inform. Theory*, 2002.
- [6] 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.

ABSTRACT

This paper presents how cooperation among users changes system performances. The cooperative system is formed by relay transmission of other user's informations, when relay user is close to transmitter. The numerical results show significant improvement due to cooperation in system with optimal power allocation and full channel state information.

**SYSTEM PERFORMANCES FOR TRANSMITTER COOPERATION**

Jasmina Spasić, Nenad Denić, Zorica Nikolić