

ANALIZA PERFORMANSI DUAL CELL I MIMO TEHNOLOGIJA U HSPA MREŽI

Dragan Danilović¹, Goran Marković²

¹Vip Mobile d.o.o

² Saobraćajni fakultet u Beogradu

Sadržaj: U radu je dat pregled performansi DC-HSDPA i MIMO-HSDPA tehnologija, kao i njihovo poređenje sa performansama SC tehnologije u realnoj HSPA+ mreži. Prikazani su rezultati stacionarnih i mobilnih merenja performansi u urbanoj sredini tokom perioda kada je intezitet saobraćaja u mreži najmanji. Stacionarni testovi su sprovedeni za download FTP fajla veličine 100MB pri čemu je merena prosečna brzina prenosa podataka. Mobilna merenja su sprovedena na ruti koja je uključivala različitih radio uslove što je omogućilo korelaciju različitih radio parametara. U radu je prikazano kako se kretao protok na ruti tokom merenja, kao i korelacija protoka i RSCP vrednosti za sve tri tehnologije. Cilj rada je da prikaže dobitak u performansama koji ostvaruju DC i MIMO za kranjeg korisnika u odnosu na klasičnu SC tehnologiju u različitim radio uslovima u realnoj mreži.

Ključne reči: DC-HSDPA, MIMO-HSDPA, SC-HSDPA, RSCP, prostorno multipleksiranje, beamforming.

1. Uvod

Od budućih bežičnih mreža očekuje se da omoguće prenos podataka velikim protokom, reda veličine onih koji se postižu u žičnim mrežama (50-100 Mb/s). Ovako veliki protok prouzrokuje zauzetost širokog frekvencijskog opsega. Kako je danas propusni opseg ograničen resurs jasno je da spektralna efikasnost mora biti povećana kako bi se zadovoljili zahtevi za velikim brzinama.

MIMO (Multiple Input Multiple Output) tehnologija je jedno od potencijalnih rešenja za povećanje protoka, bez potrebe za povećanjem snage predajnika ili raspoloživog propusnog opsega. Kao *MIMO* tehnika najčešće se označava tehnika prostornog multipleksiranja (*Spatial multiplexing*) mada se *MIMO* koristi kao zajedničko ime za skup tehnika koje se zasnivaju na višestrukim antenama na prijemu i/ili predaji, gde se posebnim načinom obrade signala ostvaruju znatno bolje karakteristike za kapacitet kanala u odnosu na klasične jednoantenske sisteme. Najznačajnija osobina *MIMO* sistema je sposobnost da pretvori višestruku propagaciju, što je obično nedostatak u bežičnim komunikacijama, u prednost koja se sastoji u povećanju korisničke brzine

prenosa podataka [2]. Ovo je dovelo do velikog interesovanja za mogućim unapređenjem *SISO HSDPA* (*Single Input Single Output HSDPA*) sistema, zbog činjenice da bi se ovakvo rešenje moglo veoma lako implementirati u postojeću mrežu. Proces uvođenja *MIMO* u *HSPA* (*High Speed Packet Access*) je bio dug proces u okviru *3GPP*. Razvijeni su različiti pristupi i sprovedene su obimne studije performansi. Konačna odluka je podrazumevala proširenje šeme zatvorene petlje predajnog diversitija (*TxAA*, *Transmit Adaptive Arrays*), koji je uveden u *3GPP Release 99*. *MIMO-HSDPA* je konačno standardizovan u *3GPP Release 7*, gde se uz korišćenje modulacione šeme *16-QAM* može postići maksimalna brzina prenosa podataka od 28Mb/s. Nova šema koju koristi *MIMO-HSDPA* naziva se *Dual-stream Transmit Adaptive Arrays (D-TxAA)* i podržava prenos od dva toka podataka.

Prve *UMTS* mreže su podrazumevale korišćenje jednog nosioca (*SC-HSDPA*, *Single Cell HSDPA*) i imale za glavni cilj što veću pokrivenost 3G signalom. Činjenica da su se *UMTS* (*Universal Mobile Telecommunications System*) licence najčešće izdavale za 10 ili 15 MHz uparene opsege omogućila je mobilnim operatorima da u svojoj mreži implementiraju više od jednog nosioca. Uvođenje drugog nosioca došlo je kao odgovor na porast broja korisnika i saobraćaja u mreži. *DC-HSDPA* (*Dual Cell HSDPA*) predstavlja prvi korak na polju korišćenja većeg broja nosilaca za simultani prenos podataka i predstavlja prirodnu evoluciju *HSDPA*. *DC-HSDPA* je uveden u *3GPP* specifikaciji *Release 8* i omogućava da *UE* (*User Equipment*) prima i emituje na dva susedna nosioca simultano, čime se praktično udvostručuje raspoloživi propusni opseg na 10 MHz, kao i brzina prenosa podataka na maksimalnih 42Mb/s, uz korišćenje *64-QAM* modulacione šeme.

Kako ni jedna od *3GPP* specifikacija ne predviđa korišćenje modulacije većeg reda od *64-QAM*, jasno je da *multicarrier HSPA* i *MIMO* predstavljaju dve ključne tehnologije na kojima će se u budućnosti zasnivati rešenja za povećanje brzina prenosa podataka u *HSPA+* mrežama.

2. Pregled *MIMO* i *DC* tehnologija

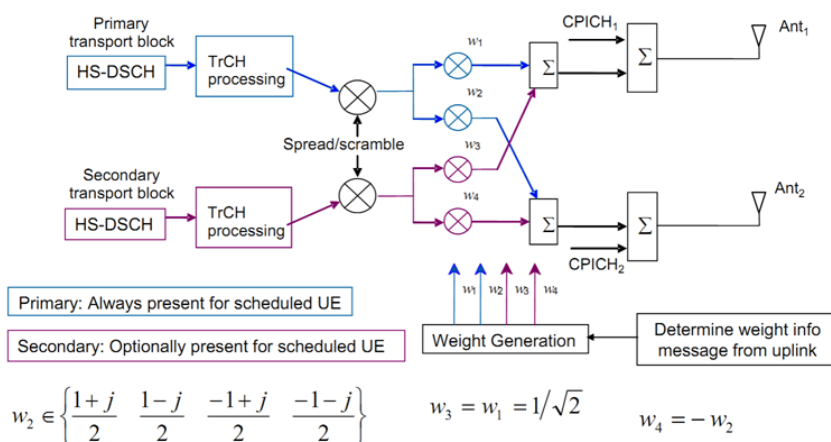
MIMO sistemi rade najbolje u uslovima višestrukih refleksija (u okruženju gde postoji jak fading). Fading je ključna komponenta *MIMO* sistema, obzirom da dovoljno različiti, u najboljem slučaju, nekorelisani fading kanali, su potrebni za razlikovanje tokova podataka koji dolaze sa različitih predajnih antena. U praksi, ovo je ispunjeno za dovoljno veliko međuantensko rastojanje, reda deset talasnih dužina (10λ) ili korišćenjem različito polarizovanih antena [1].

MIMO se teorijski može primeniti za pružanje *HSPA* servisa bilo u gusto naseljenim urbanim ili ruralnim područjima. Međutim, ova tehnologija najveću dobit donosi u gusto naseljenim urbanim područjima koja obično ispunjavaju uslove u kojima *MIMO* ostvaruje najviše performanse:

1. Kraća rastojanja između sajtova i relativno veliki odnos signal-šum (SNR, *Signal to Noise Ratio*);
2. Uslovi višestruke propagacije i relativno sporo kretanje korisničkih terminala.

MIMO HSDPA podrazumeva korišćenje dve predajne i dve prijemne antene, što uz prenos dva nezavisna toka podataka omogućava da kapacitet kanala unutar opsega od

5 MHz bude uvećan do dva puta. Osnovna šema *MIMO-HSDPA* predstavljena je na Slici 1. Da bi se podržao prenos dva toka podataka *HS-DSCH* (*High Speed Downlink Shared Channel*) je modifikovan kako bi podržao dva transportna bloka po TTI (*Transmission Time Interval*). Svaki transportni blok predstavlja jedan tok (*single stream*). Nakon obrade signala na fizičkom nivou (širenje spektra i skremblovanje), za svaki od tokova vrši se prekodiranje proces, a zatim se tako kodovani tokovi šalju na dve antene (Slika 2). Prekodiranje se zasniva na množenju *MIMO* signala težinskim faktorima čime se signal optimizuje za prenos preko radio kanala tako da su dva toka blizu ortogonalnosti na prijemu [3]. Na ovaj način se smanjuje interferencija između dva toka, što prijemniku omogućava da razlikuje signale poslate sa svake od predajnih antena. Ovako poslati signali su pomešani u bežičnom kanalu budući da koriste isti frekvencijski spektar.



Slika 1. Osnovna šema *MIMO HSDPA* prema *3GPP R7*[3]

Na prijemniku, nakon identifikacije kanalske matrice (pomoću pilot simbola)¹, pojedinačni protoci se odvajaju i estimiraju. Da bi se izvršilo odvajanje signala potrebno je da svaka antena „vidi“ dovoljno različit kanal. Ovaj uslov je najčešće zadovoljen u uslovima višestruke propagacije sa velikim brojem komponenti [4]. Različiti tokovi podataka, zatim se ponovo spajaju kako bi dali originalni signal visokog protoka. Za svaki od tokova *UE* šalje indikator kvaliteta kanala, tzv. *CQI* (*Channel Quality Indicator*) koji zajedno sa *PCI* (*Pre-coding Control Indication*) formira kompozitni *PCI/CQI* izveštaj. Na osnovu ovog izveštaja *NodeB* odlučuje da li da se korsi jedan ili dva toka podataka ka *UE*, koja veličina transportnog bloka i koja modulaciona šema će se koristiti za svaki od tokova. U slučaju loših radio uslova, za male vrednosti *SNR*, neće postojati dobitak usled prostornog multipleksiranja pa će se koristiti konvencionalni predajni diversiteti zatvorene petlje iz *3GPP R99*.

Osnovna ideja simultanog prenosa podataka preko više nosilaca je postizanje bolje iskorišćenosti resursa i spektralne efikasnosti u smislu raspodele združenih resursa svih raspoloživih nosilaca (Slika 2.). Na ovaj način se povećavaju vršne brzine prenosa podataka ali i kapacitet sistema jer se raspoređivanje resursa sada vrši i u frekventnom

¹ Svaka antena emituje nezavisan pilot signal (*CPICH₁* i *CPICH₂*)

domenu. Model zajedničkog deljenja resursa za DC terminale podrazumeva zajedničke baferne za slanje podataka, zajednički scheduler kao i HARQ (Hybrid Automatic Repeat request) entitete za oba nosioca u NodeB-u.

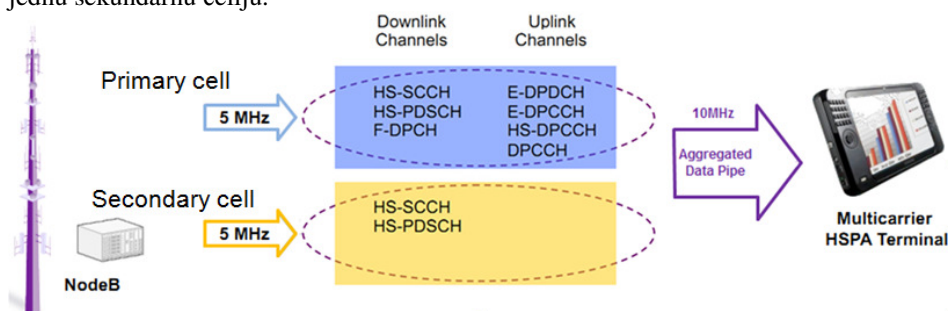


Slika 2. Zajednička alokacija resursa u DC-HSDPA

DC-UE prima podatke paralelno preko dva HS-DSCH kanala, koji pripadaju različitim ćelijama (Slika 3) [5]:

1. Primarna ćelija nosi sve tipove kanala za UE i svaka UE može imati samo jednu primarnu ćeliju;

2. Sekundarna ćelija, nosi samo 3 tipa downlink kanala (HS-SCCH (High Speed-Shared Control Channel), HS-DPCCH (High-Speed Dedicated Physical Control Channel), P-CPICH (Primary Common Pilot Channel)) za UE i svaka UE ima samo jednu sekundarnu ćeliju.



Slika 3. DC-HSDPA koncept

Kako bi se podržale veće vršne brzine od 14.4 Mb/s, MIMO i DC uvode unapređeni L2, MAC-ehs entitet (enhanced MAC-hs). Ovaj novi podprotokol MAC (Medium Access Control) sloja podržava [5]:

- fleksibilnu veličinu RLC (Radio Link Control) paketa, čime se RLC/MAC overhead smanjuje sa 10% na manje od 1%;
- segmentiranje i reasembliranje paketa kako bi se prenos što je brže moguće prilagodio uslovima na radio kanalu;
- multipleksiranje tokova podataka od više različitih logičkih kanala i redova različitih prioriteta (do 3 reda).

3. Rezultati merenja u realnoj HSPA mreži

U ovom delu rada prezentovani su rezultati mobilnih i stacionarnih merenja performansi DC-HSDPA, MIMO-HSDPA i SC-HSDPA tehnologije u realnoj HSPA+ mreži, tokom vremena kada je intenzitet saobraćaja najmanji. Na ovaj način je smanjen uticaj drugih korisnika odnosno unutar-sistemska interferencija je svedena na najmanju moguću meru. Za potrebe merenja korišćene su kategorije modem,a prikazane u Tabeli 1.

Tabela 1. Kategorije modema korišćene u merenjima

Modem	Release	Kat.	Broj HS-DSCH kodova	Modulacija	HS-DSCH brzina (Mb/s)
Dual Carrier	Release 8	24	15	64-QAM	42.2
MIMO	Release 7	18	15	16-QAM	28
Single Carrier	Release 7	14	15	64-QAM	21.1

Antenski sistem na baznim stanicama je sa polarizacijom diversitijem. Ovo podrazumeva konfiguraciju od dve antene sa različitom polarizacijom (45°), čime je omogućeno da antene budu relativno blizu jedna druge obezbeđujući u isto vreme nisku korelaciju fedinga, što je potrebno da bi MIMO sistem imao zadovoljavajuće performanse.

Za sprovođenje i analizu merenja korišćen je ASCOM Tems Investigation i Tems Discovery softverski alat. Ruta merenja je obuhvatala gradsku zonu (Slika 4.), a prilikom testa je meren protok podataka korišćenjem neprekidne FTP (File Transfer Protocol) sesije.



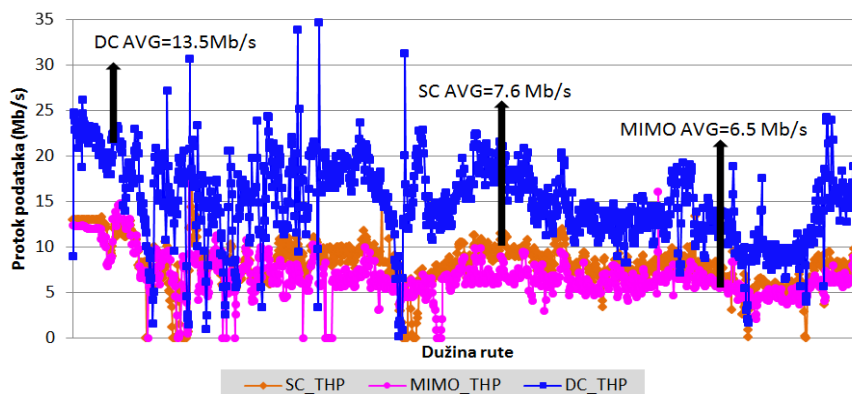
Slika 4. Protok podataka tokom mobilnih merenja za sve tri tehnologije u urbanoj sredini

Fajlovi korišćeni u merenjima nalazili su se na lokalnom serveru kako bi se izbeglo kašnjenje paketa i pada protoka usled preopterećenosti servera drugim servisima (korisnicima). Nivo signala na prijemu se kretao u opsegu od -50 do -100 dBm.

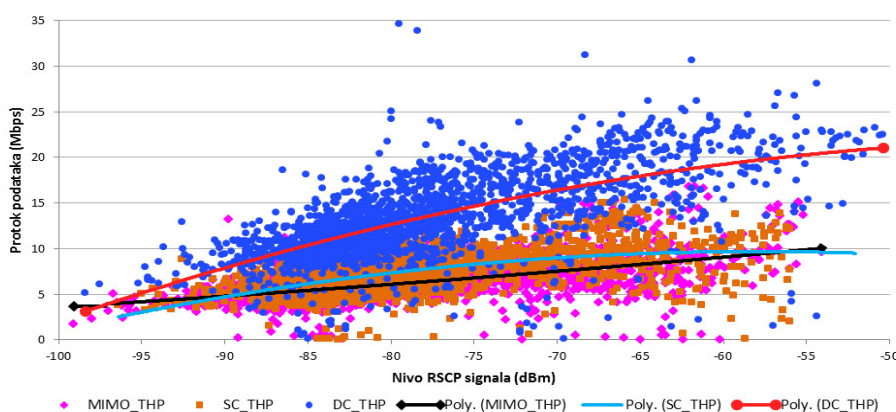
Tabela 1. Prosečna vrednost radio parametara na mernoj ruti

	SC HSDPA	MIMO HSDPA	DC HSDPA
CPICH RSCP Antena 1	-78.12	-80.05	-78.23
CPICH RSCP Antena 2	-80.34	-81.07	-81.72
Protok po nosiocu 1 (kbit/s)	7678.51	6552.75	7068.37
Protok po nosiocu 2 (kbit/s)	/	/	6657.44
Ukupan protok (kbit/s)	7678.51	6552.75	13560.30

Na Slikama 5 i 6 prikazano je kako se kretao protok na ruti kao i korelacija između nivoa prijemnog signala (RSCP) i protoka podataka, respektivno, za sve tri tehnologije. Na oba grafika je očigledno da DC-UE ostvaruje do dva puta veće brzine u odnosu na SC-UE i MIMO-UE. Sa druge strane, SC-UE na skoro čitavom mernom uzorku ostvaruje blagu prednost u odnosu na MIMO-UE. Međutim, sa Slike 6 može se videti da u uslovima lošijeg prijema prijema signala (ispod -92dBm), kao i za izuzetno dobre radio uslove (iznad -57 dBm), MIMO uspeva da ostvari blagu prednost zahvaljujući dobitku usled beamforming-a i prostornog multipleksiranja.



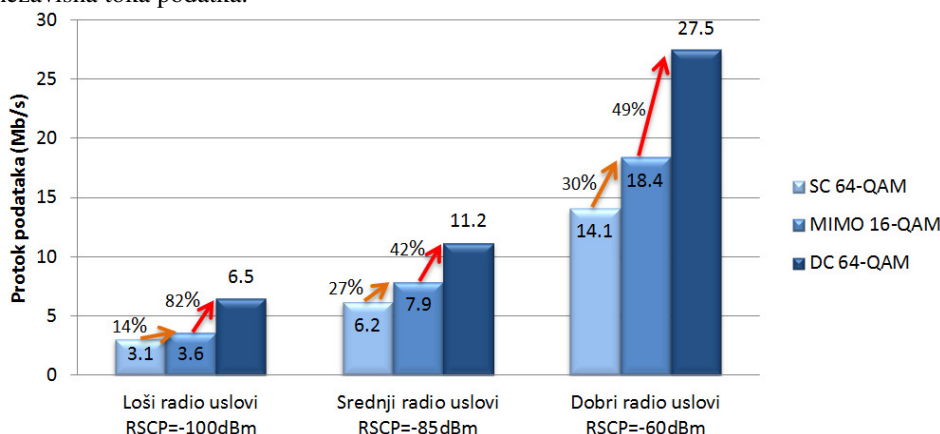
Slika 5. Protok podataka tokom mobilnih merenja za sve tri tehnologije



Slika 6. Korelacija protoka podataka i signala na prijemu

Dobri radio uslovi u stacionarnim merenjima podrazumevali su prosečne vrednosti *RSCP* (*Received signal code power*) nivoa od -60dBm, što je omogućavalo da *DC-UE* i *SC-UE* u 100% vremena koriste *64-QAM* modulaciju. Loši radio uslovi su podrazumevali *RSCP* vrednost manju od -100dBm i korišćenje *QPSK* modulacione šeme.

U svim radio uslovima, u slučaju *FTP download*-a, *DC-UE* je ostvario najbolje rezultate. Prednost je posebno izražena u lošim radio uslovima, gde se može očekivati i više od dva puta veći protok u odnosu na *SC-UE*. U dobrim radio uslovima, bliže baznoj stanici, *MIMO* korisnici ostvaruju do 30% veći protok u odnosu na *SC-HSDPA* zahvaljujući dobitku usled prostornog multipleksiranja i prenosu sa dva toka podataka, kao i za 50% manji protok u odnosu na *DC-UE*. Sa smanjenjem *SNR* smanjuju se i protok podataka za sve tri tehnologije. Ipak, smanjenje *SNR* ima najveći uticaj na *MIMO* tehnologiju, jer za posledicu ima smanjenje dobitka usled prostornog multipleksiranja dva nezavisna toka podatka.



Slika 7. Protok podataka tokom mobilnih merenja za sve tri tehnologije

Sa pogoršanjem radio uslova *MIMO* korisnici na ivici ćelije će i dalje imati (blagu) prednost u odnosu na *SC-HSDPA* zahvaljujući dobitku usled predajnog diversitija (*MIMO Beamforming*). U lošim radio uslovima *MIMO-UE* ostvaruje prednost (od približno 14%) u odnosu na *SC-UE* i zaostatak od oko 82% u odnosu na *DC-UE*.

4. Zaključak

Stacionarna merenja performansi *HSPA* mreže pokazala su da *DC* i *MIMO* povećavaju vršne brzine prenosa podataka za različite radio uslove pri čemu je ovaj dobitak znatno veći za *DC* tehnologiju. Sistem sa dva nosioca omogućava duplo veće protoke u odnosu na *SC-HSDPA* za čitav opseg *SNR*, dok je dobitak *MIMO* tehnologije izražen tek za visoke vrednosti *SNR*. Zbog toga, glavni cilj uvođenja *DC* tehnologije jeste da se poboljša vrednost protoka podataka za korisnike u lošim radio uslovima, posebno na ivici ćelije, gde tehnike kao što je *MIMO* imaju ograničen efekat. Loše performanse *MIMO* tehnologije u mobilnim merenjima navode na zaključak da mobilnost otežava optimalan izbor težinskih faktora i povećava broj pogrešno prenetih blokova podataka, što za direktnu posledicu ima pad veličine protoka podataka.

Literatura

- [1] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold, P. Beming, *3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband*, Second Edition 2008.
- [2] G. J. Foschini and M. J. Gans, On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas, *Wireless Personal Communications*, 1998.
- [3] 3GPP Technical Report, TR 25.876 version 7.0.0 “Multiple Input Multiple Output in UTRA”, 2007.
- [4] D. Gesbert, J. Akhtar, “Breaking the barriers of Shannon’s capacity: An overview of MIMO wireless system”, *Teletronikk Telenor Journal*, 2002, pp. 53-64.
- [5] 3GPP Technical Report, TR 25.825 version 1.0.0 “Dual-Cell HSDPA Operation”, 2008.
- [6] 3GPP Technical Specification TS 25.321 V8.12.0, “Medium Access Control (MAC) protocol specification”, Technical Specification Group Radio Access Network, 2010.

Abstract – *An overview of the performances for DC-HSDPA, MIMO-HSDPA i SC-HSDPA technologies in real HSPA+ network is given in this paper. We have presented the results of mobile as well as stationary measurements in an urban area during the period of lowest traffic load in the network. The stationary test has been conducted on locations with bad, average and good radio conditions. It consisted of FTP downloading of the 100MB file size, where the key metric was the average user throughput. The mobile test has been conducted on the route with different radio conditions. This allowed us to make a correlation between different radio parameters. We have analysed a correlation between the throughput and the distance on the route and also the throughput and the RSCP value. Our goal was to show what are the gains for the end user from DC and MIMO technologies, for different radio conditions in a real HSPA network.*

Keywords – *DC-HSDPA, MIMO-HSDPA, SC-HSDPA, RSCP, Spatial multiplexing, beamforming.*

PERFORMANCE ANALYSIS OF DUAL CELL AND MIMO TECHNOLOGIES IN HSPA NETWORK

Dragan Danilović, Goran Marković