

# Pregled naprednih tehnoloških rješenja LTE-Advanced standarda

Anita Šimurina

**Sadržaj** – Long Term Evolution-Advanced standard treba u značajnoj mjeri da prevaziđe International Mobile Telecommunications-Advanced standard zadržavajući punu kompatibilnost sa LTE (Rel. 8) standardom. Da bi se zadovoljili visoki sistemski zahtjevi LTE-Advanced standarda, trenutno se razmatra implementacija velikog broja naprednih tehnoloških rješenja. Radi lakšeg sagledavanja uloge i pozicije realizovanih i budućih tehnoloških rješenja u ispunjavanju sistemskih zahtjeva LTE-Advanced standarda, u ovom radu je dat kratak pregled i sistematizacija sprovedenih analiza.

**Ključne riječi** – CoMP prenos, MIMO, raspoređivanje, releji, tehnika agregacije nosioca, tehnike višestrukog pristupa.

## I. UVOD

IMT-Advanced (*International Mobile Telecommunications-Advanced*) je ime, definisano od strane ITU (*International Telecommunication Union*), za mobilne bežične širokopoljasne komunikacione sisteme nove generacije (beyond IMT-2000) čiji se prvi standardi očekuju početkom 2011. god.

3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) je razvio širokopoljasni radio pristup zasnovan na komutaciji paketa zvani Evolved UTRA (*Universal Terrestrial Radio Access*) i UTRAN (*Universal Terrestrial Radio Access Network*) za postojeći 3G spektar, kako bi se ostvarile bolje performanse sistema i lagano prešlo sa postojećih IMT-2000 sistema. Evolved UTRA i UTRAN se takođe nazivaju LTE (*Long-Term Evolution*), a specifikacija radio interfejsa za LTE je završena sa Release 8 u 2008. godini (u daljem tekstu Rel. 8 LTE).

Na Svetskoj Radiokomunikacionoj Konferenciji održanoj 2007. godine je dogovoreno korišćenje novog frekvencijskog spektra za IMT, a ITU-R je zatražio od naučne zajednice da ponudi nove tehnologije radio pristupa (interfejsa) za sisteme beyond IMT-2000, tj. IMT-Advanced. Sa ovim zahtjevom kao pobudom, 3GPP je započeo studiju izvodljivosti za LTE-Advanced koji predstavlja evoluciju Rel. 8 LTE-a. LTE-Advanced će pružiti veće mogućnosti praćene većim sistemskim zahtjevima u odnosu na Rel. 8 LTE, prevazilazeći zahtjeve za IMT-Advanced, a pritom zadržavajući punu kompatibilnost sa Rel. 8 LTE. Da bi se zadovoljili visoki sistemski zahtjevi za LTE-Advanced o kojima se više može naći u [1], razmatraju se razne tehnike a u daljem tekstu će biti više riječi o najvažnijim od njih. U [2] su predstavljene diskusije i sporazumi o tehnikama

višestrukog pristupa u LTE-Advanced, dok su u [3] dati analiza i poređenje metoda balansiranja opterećenja i algoritama raspoređivanja paketa. MIMO unapređenja data su [4]. CoMP prenos i relejna tehnika su u [5] predstavljene onako kako se razmatraju u 3GPP, a relejna tehnika je takođe analizirana i u [6]. Jedno od važnih pitanja koje se otvara uvođenjem releja jeste handover u multi-hop celularnim mrežama a pažnja se ovom pitanju posvećuje u [7]. Radi lakšeg sagledavanja uloge i pozicije realizovanih i budućih tehnoloških rješenja u ispunjavanju sistemskih zahtjeva LTE-Advanced standarda, pomenute tehnike su objedinjene u [8], a u ovom radu je zbog ograničenog prostora dat kratak pregled i sistematizacija sprovedene analize.

U drugom dijelu rada će biti riječi o tehnikama višestrukog pristupa, tehnicima agregacije nosioca koja se uvodi da bi se omogućilo proširenje spektra uz zadržavanje kompatibilnosti sa Rel. 8 LTE-om i raspoređivanju resursa. U trećem dijelu pažnja je posvećena MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) tehnicima koja treba da obezbijedi veću spektralnu efikasnost i veće protoke, a u četvrtom CoMP (*Coordinated Multi-Point*) prenosu koji treba da obezbijedi veću propusnost korisnika na ivici ćelije. U petom dijelu biće riječi o relejnoj tehnici koja se uvodi sa ciljem ostvarivanja bolje pokrivenosti, nakon čega slijedi zaključak u šestom dijelu.

## II. TEHNIKE ŠIROKOPOJASNOG VIŠESTRUKOG PRISTUPA U LTE-ADVANCED

Od LTE-Advanced se zahtijeva da ostvari veću spektralnu efikasnost u odnosu na Rel. 8 LTE, a s obzirom da predstavlja njegovo unapređenje, mora zadržati punu kompatibilnost sa Rel. 8 LTE-om. Dva glavna pitanja vezana za LTE-Advanced tehnike višestrukog pristupa tiču se osnovnih (bazičnih) tehnika višestrukog pristupa i proširenja spektra. Više o diskusijama vezanim za ova pitanja može se naći u [2], a u daljem tekstu ovog poglavlja dat je rezime donešenih odluka po pitanju tehnika višestrukog pristupa i naglašena su pitanja koja treba dalje razmotriti.

Za LTE-Advanced, kao osnovni višestruki pristup na *downlink*-u je odabran OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) zbog kompatibilnosti sa Rel. 8 LTE, velike fleksibilnosti u alokaciji resursa i dobrih performansi uz korišćenje MIMO tehnike. Na *uplink*-u je usvojen *Clustered DFTS-OFDM* (*Discrete Fourier Transform Spread OFDM*). Jedina razlika između *Clustered DFTS-OFDM* i *SC-FDMA* (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) je ta što *Clustered DFTS-OFDM* omogućava alokaciju nesusjednih opsega, dok *SC-FDMA* dozvoljava jedino alokaciju susjednih opsega odnosno kontinualnog dijela spektra.

Anita Šimurina (tel: 0038267619350, e-mail: anita.simurina@mensa.me)  
Mentor: Prof. dr Igor Radusinović, Univerzitet Crne Gore,  
Elektrotehnički fakultet, Podgorica (e-mail: igorr@ac.me)

Da bi se opseg proširio na više od 20 MHz, a istovremeno zadržala kompatibilnost sa Rel. 8 LTE-om, uvodi se tehnika agregacije nosioca (*carrier aggregation*). CC (*Component Carrier*) je definisan kao jedinica za agregaciju nosioca i ima maksimalni opseg od 20 MHz koliko iznosi opseg Rel.8 LTE sistema. Uvođenje tehnike agregacije nosioca otvorilo je pitanje tehnika višestrukog pristupa za prenos preko više CC (*multiple-CC* prenos). Već je dogovoreno da se za *downlink multiple-CC* prenos koristi OFDM, jer je OFDM sam po sebi oblik prenosa višestrukim nosiocima i već je primijenjen u Rel. 8 LTE, mada treba razmotriti detalje poput zaštitnog opsega između CC. Na *uplink*-u je usvojen NxDFS-OFDM kod kojeg se radi po jedna DFT za svaki CC, i N paralelnih DFS-OFDMova se grupišu za NxCC prenos. Pitanja koja su za *multi-CC* ostala otvorena tiču se kontrolne signalizacije: da li da PDCCH (*Physical Downlink Control Channel*) može ukazivati na resurse unutar nekog drugog CC-a ili samo unutar CC-a u kojem je PDCCH alociran, zatim da li ACK/NACK *uplink* prenos realizovati korišćenjem više *uplink* CC-a za prenos preko više PUCCH (*Physical Uplink Control Channel*) ili korišćenjem jednog *uplink* CC-a za prenos preko jednog PUCCH, i nekompatibilni CC.

U LTE-Advanced sistemu se različito tretiraju LTE-Advanced i Rel. 8 LTE korisnici: LTE-Advanced korisnik istovremeno pristupa svim CC-ima dok su pojedinačni Rel. 8 LTE korisnici su ograničeni na upotrebu resursa unutar samo jednog CC-a. Stoga, prisustvo Rel. 8 LTE korisnika uvodi potrebu za balansiranjem opterećenja jer, očigledno, od izbalansiranosti opterećenja na CC-e zavisiće i performanse kompletnog sistema. Predložene su dvije metode balansiranja opterećenja:

1) *Round Robin* (RR) balansiranje se zasniva na tome da se Rel. 8 LTE korisnik dodjeljuje CC-u koji ima najmanji broj korisnika. Dakle, mehanizam pokušava ravnomjerno rasporediti saobraćajno opterećenje po svim CC-ima. Ipak postoji mala razlika u opterećenju različitih CC-a, jer je način na koji korisnici napuštaju sistem slučajan.

2) *Mobile Hashing* (MH) balansiranje se zasniva na *hash* algoritmu korisnika. Izlazne *hash* vrijednosti imaju uniformnu raspodjelu nad konačnim skupom, i direktno mapiraju CC indekse. Na taj način se obezbjeđuje dugoročno balansiranje opterećenja po CC-ima, dok u datom trenutku, opterećenje nije izbalansirano po CC-ima te sistem trpi smanjenje iskorišćenja kanala.

Sljedeći korak je raspoređivanje paketa (*Packet Scheduling* - PS) gdje se donosi odluka o tome koje resurse jedan korisnik može zauzeti unutar CC-a. Ukoliko je PS nezavisno po CC-u, ne uzimaju se u obzir resursi koji su korisniku dodijeljeni na drugim CC-ima, pa i u slučaju ravnopravne dodjele resursa jednog CC-a LTE-Advanced korisnik (jer pristupa većem broju CC-a) dobija N puta više resursa nego Rel. 8 LTE korisnik. Da bi Rel. 8 LTE korisnici dobili količinu resursa uporedivu onoj koju dobiju LTE-Advanced korisnici potreban je među-CC PS. Među-CC PS, uzimajući u obzir resurse koji su korisniku dodijeljeni na svim CC-ima, prioritet pri alokaciji resursa daje Rel. 8 LTE korisnicima i na taj način ostvaruje bolju alokaciju resursa. Posledica je veća propusnost Rel. 8 LTE korisnika u odnosu na istu u slučaju nezavisnog PS-a a time i ostvarivanje bolje pokrivenosti.

U [3] su detaljnije urađeni analiza i poređenje

pomenutih metoda balansiranja opterećenja i algoritama raspoređivanja paketa. Rezultati simulacija koji su predstavljeni u [3] pokazuju da bolje performanse sistema po pitanju srednje propusnosti ćelije i srednje propusnosti korisnika ostvaruje RR nego MH metoda balansiranja opterećenja, kada je u sistemu prisutan veliki procenat Rel. 8 LTE korisnika. Dobitak u performansama koji RR ostvaruje u odnosu na MH metodu se smanjuje porastom procenta prisutnih LTE-Advanced korisničkih jedinica, jer time opada i potreba za metodom balansiranja opterećenja. Što se tiče PS algoritama, kao što je već rečeno, među-CC PS algoritam ostvaruje bolje performanse jer pri alokaciji resursa prioritet daje Rel. 8 LTE korisnicima.

### III. MIMO

Uvođenje MIMO tehnike ima za cilj ostvarivanje veće spektralne efikasnosti i većih brzina prenosa. IMT-Advanced sistemi će zahtijevati visoku spektralnu efikasnost kako bi se ostvarile zahtijevane brzine prenosa od 1Gb/s i više. Unaprijeđeni MIMO igra veoma važnu ulogu u ispunjenju ovih zahtjeva. U LTE-Advanced, primjenjivaće se veći broj antena nego što je slučaj kod LTE. Na strani eNB se može primijeniti veći broj antena nego na strani korisničke jedinice. Kada se na strani eNB koristi veći broj antena, javlja se potreba za primjenom MU-MIMO (*multi user* MIMO), kod kojeg prijemne antene pripadaju većem broju korisnika.

Novina po pitanju SU-MIMO (*single user* MIMO) u odnosu na Rel. 8 LTE su *2-stream* i *4-stream* prenos na *uplink*-u i *8-stream* prenos na *downlink*-u. Dakle, maksimalni broj MIMO prenosnih nivoa je povećan sa 4 na 8 na *downlink*-u i do 4 na *uplink*-u. Na ovaj način se ostvaruje vršna spektralna efikasnost 15 b/s/Hz i 30 b/s/Hz na *uplink*-u i *downlink*-u, respektivno. Potrebno je dalje razmatranje unapređenja dizajna referentnih signala pri čemu se mora voditi računa o zadržavanju kompatibilnosti. Više o unapređenju SU-MIMO može se naći u [4].

MU-MIMO je glavna tehnika kada je u pitanju povećanje kapaciteta sistema, pa se za LTE-Advanced razmatraju MU-MIMO unapređenja. Kod MU-MIMO, više korisnika se istovremeno opslužuju na istom podnosiocu separacijom u prostornom domenu. Dok se kod SU-MIMO svi prostorni nivoi jednog podnosioca dodjeljuju istom korisniku, kod MU-MIMO se prostorni nivoi podnosioca dodjeljuju različitim korisnicima. U SU-MIMO, broj prostornih nivoa koji se mogu iskoristiti ograničen je brojem antena na korisničkoj jedinici, a potencijalni prostorni nivoi su izgubljeni jer korisnička jedinica vjerovatno ima manje antena nego eNB. U MU-MIMO, mogu se iskoristiti svi prostorni nivoi koje podržava eNB, što znači povećanje spektralne efikasnosti u odnosu na SU-MIMO. Glavni izazov kada je u pitanju MU-MIMO je dizajn predkoder za prostorno razdvajanje korisnika. Puni potencijal MU-MIMO se može iskoristiti korišćenjem ne-linearnih predkoder koji obezbjeđuju performanse bliske teorijski maksimalnim. Međutim, složenost ne-linearnih algoritama je relativno velika, i što je još važnije, takve šeme zahtijevaju da predajnik perfektno poznaje stanje kanala do svih korisnika. S druge strane, mogu se primijeniti MU-MIMO tehnike koje su manje složene i zasnivaju se na linearnim predkoderima. Linearni predkoderi se mogu lakše koristiti kada predajnik posjeduje ograničene informacije o stanju kanala. Ipak,

cijena koja se ovdje plaća je degradacija performansi u poređenju sa teorijski optimalnim rješenjima. Jednostavne verzije linearnog predkodiranja su razmatrane u standardizaciji 3GPP LTE-a. Istraživanja u razvoju sistema naredne generacije uključuju šeme unaprijeđenog linearnog predkodiranja kao i ne-linearne predkodere manje složenosti.

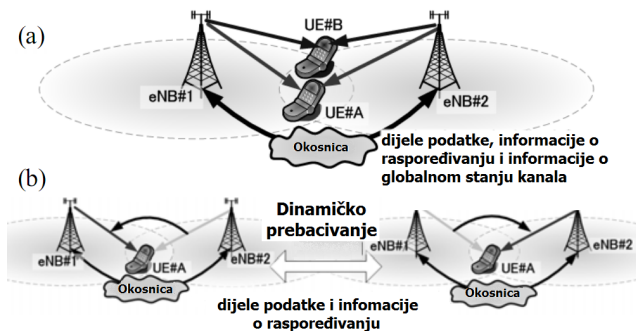
#### IV. COORDINATED MULTI-POINT PRENOS

CoMP (*Coordinated multi-point*) prenos je tehnika od koje se očekuje da pruži značajno povećanje propusnosti dostupne korisnicima na ivici ćelije i propusnosti kompletnog sistema. Aktivno je razmatrana, pogotovo kada je u pitanju *downlink* CoMP prenos, uvodeći dinamičku koordinaciju više prostorno odvojenih prenosnih tačaka (kao što su eNB, relejna stanica, udaljena radio oprema, *Home eNB*).

Primjena CoMP prenosa na *downlink*-u je interesantnija od njegove primjene na *uplink*-u, i ima mnogo veći značaj. Zbog toga će u daljem tekstu biti riječi o *downlink* CoMP prenosu. Što se *uplink* CoMP prenosa tiče, on podrazumijeva prijem signala koji emituje korisnička jedinica na više geografski odvojenih prenosnih tačaka (čvorova).

Sušтина *downlink* CoMP prenosa je značajno umanjjenje destruktivne interferencije ili formiranje konstruktivnog signala između susjednih ćelija, dakle ostvarivanje većeg odnosa SINR (*Signal to Interference and Noise Power Ratio*). Razlikuju se dva principa – *Joint Processing* i *Coordinated beamforming/scheduling*.

JP (*Joint Processing*) se karakteriše dostupnošću podataka na svakoj od prenosnih tačaka koje učestvuju u zajedničkom prenosu ka jednoj korisničkoj jedinici. JP se dalje dijeli na zajednički prenos JT (*Joint Transmission*) i dinamički izbor ćelije DCS (*Dynamic Cell Selection*), kao što je prikazano na Sl. 1.



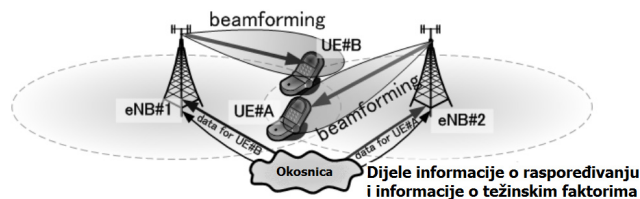
Sl. 1. Princip funkcinisanja JP: a) JT, b) DCS

Na Sl. 1 (a) prikazan je primjer JT, gdje se podaci ka jednoj korisničkoj jedinici prenose istovremeno sa više prenosnih tačaka. Tako primljeni podaci se kombinuju u korisničkoj jedinici. Ovdje mora postojati inter-ćelijska sinhronizacija takva da signali sa svih prenosnih tačaka na mjesto prijema stižu u intervalu koji ne prevazilazi trajanje CP (*Cyclic Prefix*), zbog ISI (*Inter Symbol Interference*).

Na Sl. 1 (b) prikazan je primjer DCS. Kako se i ovdje radi o podvrsti JP, podaci su dostupni na svim saradujućim prenosnim tačkama, s tom razlikom što je ovdje u datom trenutku aktivna samo jedna prenosna tačka dok su ostale blokirane. Prebacivanje sa jedne na drugu prenosnu tačku iz skupa se obavlja dinamički zavisno od SINR.

*Coordinated beamforming/scheduling* karakteriše se

dostupnošću korisničkih podataka na samo jednoj od saradujućih prenosnih tačaka, onoj koja opslužuje korisničku jedinicu. Saradujuće tačke dijele informacije o raspoređivanju i *beamforming*-u tako da se interferencija izbjegava na način kao što je prikazano na Sl. 2.



Sl. 2. Princip funkcinisanja *Coordinated beamforming/scheduling*

CoMP prenos zahtijeva prenos velike količine podataka linkovima okosnice mreže, pa glavni ograničavajući faktor za CoMP prenos predstavlja ograničenje kapaciteta i kašnjenja koje unose linkovi okosnice mreže. Zbog toga je potrebno pažljivim odabirom CoMP šeme tražiti kompromis između poboljšanja performansi sistema koje se ostvaruje primjenom CoMP tehnike i degradacije performansi uslijed ograničenja kapaciteta i kašnjenja *backhaul*-a.

#### V. RELEJI

Releji su tehnika koja se uvodi sa ciljem proširenja zona pokrivanja koje nude visoke protoke. Relejima se takođe teži omogućavanju npr. grupne mobilnosti, privremenog razvoja mreže, pokrivanju prethodno nepokrivenih oblasti u kojima je postavljanje žične okosnice mreže ili nemoguće ili nepraktično i vrlo skupo. U LTE-Advanced definisana su dva tipa relejnih stanica (RN, *Relay Node*): Tip-I i Tip-II relejne stanice.

Tip-I RN obezbjeđuje korisnički servis korisničkoj jedinici koja se ne nalazi u zoni pokrivanja bazne stanice. Stoga, ovaj tip relejne stanice mora prenositi kompletan signal, i ovakav RN nije transparentan korisničkoj jedinici.

Tip-II RN treba da poboljša kvalitet servisa i kapacitet linka korisničkoj jedinici koja se već nalazi u zoni pokrivanja bazne stanice. Dakle, cilj je povećanje kapaciteta ostvarivanjem višestruke propagacije, pa nema potrebe da ovaj tip RN prenosi kompletan signal već samo podatke korisničkog saobraćaja. Ovaj tip RN je transparentan korisničkoj jedinici.

Uvođenje relejnih stanica otvara mnoga pitanja. O nekim od njih biće riječi u daljem tekstu, a u pitanju su relejne prenosne šeme, dodjela resursa linku između relejne stanice i okosnice mreže i handover.

Postoji više načina za uspostavljanje komunikacije između eNB i UE jedinice dvostrukim hopom preko relejne stanice. Prvi je „Pojačaj i Prosljedi“ (AF, *Amplify and Forward*) gdje relejna stanica prima signal, pojačava ga i prosljeđuje. Ova šema je vrlo jednostavna i ima vrlo malo kašnjenje, ali pojačava i šum. Drugi je „Selektivno dekodiranje i prosljeđivanje“ (DCF, *Selective Decode and Forward*) gdje relejna stanica dekodira primljeni signal i ako su dekodirani podaci prema cikličnoj provjeri redundanse tačni, obavlja kodiranje i prosljeđuje dobijeni signal. DCF šema omogućava kontrolu greške na RN ali unosi veće kašnjenje. Treći način je „Demodulacija i Prosljeđivanje“ (DMF, *Demodulation and Forward*) u

kojem relejna stanica demoduliše primljeni signal i donosi odluku bez dekodiranja primljenog signala a zatim moduliše i prosleđuje novi signal. Prednosti DMF šeme ogledaju se u jednostavnosti obrade i malom unesenom kašnjenju, ali ne može izbjeći greške na nivou simbola nastale pri odlučivanju. U [6] su detaljnije opisani parametri i rezultati simulacije koja poredi performanse AF, DMF i DCF šeme. Rezultati simulacija pokazuju da od navedene tri šeme pri različitim uslovima radio kanala, DCF uvijek nudi najveću efikasnost prenosa, što je posledica potiskivanja uticaja fedinga u prvom hopu i prenosa rekonfigurisanog signala u drugom hopu.

Za LTE-Advanced, kao bežična konekcija između donor eNB i RN definisani su *inband* i *outband* relej režimi. U slučaju *inband* releja, bežični link okosnice dijeli isti frekvencijski opseg sa linkovima korišćenim za direktnu eNB-UE komunikaciju (unutar ćelije donor eNB-a), dok u slučaju *outband* releja bežični link okosnice ima dodijeljeni frekvencijski opseg koji se ne koristi za eNB-UE komunikaciju. Trenutno se pretežno izučavaju *inband* releji jer se *outband* relej može realizovati kao implementacioni detalj, dok realizacija *inband* releja zahtijeva pažljivo razmatranje uslova kompatibilnosti sa Rel. 8 LTE specifikacijama. Da bi se omogućio *inband* (RN-eNB) link okosnice, RN će podržavati podjelu resursa na bazi vremenske raspodjele. U cilju realizacije multipleksiranja na bazi vremenske raspodjele između eNB-RN i RN-UE prenosa i zadržavanja kompatibilnosti sa Rel. 8 LTE, predloženi su konfiguracioni MBSFN (Multicast-Broadcast SFN) sub-frejmovi na RN-UE linku kao jedan od načina za obavještanje korisničkih jedinica da subfrejmovi ne sadrže podatke korisničkih jedinica.

Performanse handovera zavise od rasporeda relejnih stanica. U [7], date su dvije strukture rasporeda relejnih stanica. Kod prve strukture multi-hop celularne mreže (MCN 1) relejne stanice se postavljaju po obodu ćelije, dok se kod druge strukture multi-hop celularne mreže (MCN 2) relejne stanice postavljaju na granici između dvije ćelije, pri čemu u MCN 2 relejnom stanicom upravljaju dvije susjedne bazne stanice. U MCN 2 se prilikom izvršavanja interćelijskog handovera ne mijenja opslužujuća relejna stanica, što značajno pojednostavljuje proceduru handovera. U [7], predstavljeni su rezultati simulacije performansi handovera za pomenute MCN strukture i single-hop celularnu mrežu (SCN). Rezultati su sledeći: MCN 2 pojednostavljuje proces handovera, povećava propusnost korisnika na ivici ćelije, smanjuje srednje kašnjenje uslijed handovera odnosno broj signalizacionih poruka koje se prenose tokom procedura handovera, značajno smanjuje srednje vrijeme obustavljanja servisa uslijed handovera u odnosu na SCN i MCN 1, ali nudi lošije performanse u odnosu na SCN i MCN 1 po pitanju propusnosti korisnika koji se ne nalaze na ivici nego u unutrašnjosti ćelije. Osim toga, MCN 2 podrazumijeva komplikovanije upravljanje mrežom. Stoga, potrebno je dalje izučavanje kako bi se razvila adaptivna ili hibridna MCN struktura, koja bi povećala propusnost korisnika u unutrašnjosti ćelije zadržavajući efikasnost handovera i pritom riješila problem komplikovanog upravljanja mrežom.

Da bi se RN-ovi opremili funkcionalnostima LTE-Advanced sistema moraju se proučiti mnogi detalji, npr. struktura kontrolnog kanala i saobraćajnog kanala, njihovo

multipleksiranje na eNB-RN linku, dizajn zaštitnog (*guard*) intervala za prebacivanje predaje i prijema za RN, HARQ podrška na eNB-RN linku, kao i detaljna protokolska arhitektura na interfejsu između eNB i RN.

## VI. ZAKLJUČAK

U ovom radu dat je pregled najvažnijih tehnika za ostvarivanje visokih sistemskih zahtjeva postavljenih LTE-Advanced standardu. Objedinjavanje analize ovih tehnika je urađeno sa ciljem lakšeg sagledavanja uloge i pozicije realizovanih i budućih tehnoloških rješenja u ispunjavanju sistemskih zahtjeva LTE-Advanced standarda.

Bilo je riječi o tehnikama višestrukog pristupa i tehnici agregacije nosioca čije uvođenje omogućava proširenje spektra uz zadržavanje kompatibilnosti sa Rel. 8 LTE. Zatim je pažnja posvećena MIMO tehnici koja treba da obezbijedi veću spektralnu efikasnost i veće protoke, CoMP prenosu koji treba da obezbijedi veću propusnost korisnika na ivici ćelije, i na kraju relejnoj tehnici koja se uvodi sa ciljem ostvarivanja bolje pokrivenosti.

## LITERATURA

- [1] Yoshihisa Kishiyama, Hidekazu Taoka, Motohiro Tanno, Takehiro Nakamura, „Standardization activities and system requirements for LTE-Advanced in 3GPP,” The 12<sup>th</sup> International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2009)
- [2] Yoshikazu Kakura, Takamichi Inoue, Le Liu, „Broadband multiple access techniques in LTE-Advanced,” The 12<sup>th</sup> International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2009)
- [3] Yuanye Wang, Klaus I. Pedersen, Preben E. Mogensen and Troels B. Sørensen, „Resource Allocation Considerations for Multi-Carrier LTE-Advanced Systems Operating in Backward Compatible Mode,” *IEEE*, 2009
- [4] Timo Lunttila, Matti Kiiski, Kari Hooli, Kari Pajukoski, Peter Skov, Antti Toskala, „Multi-antenna techniques for LTE-Advanced,” The 12<sup>th</sup> International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2009)
- [5] Daichi Imamura, Masayuki Hoshino, Ayako Iwata, Seigo Nakao, Takahisa Aoyama, „Coordinated Multi-Point Transmission/Reception and Relay techniques for LTE-Advanced,” The 12<sup>th</sup> International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2009)
- [6] Yang Yang, Honglin Hu, Jing Xu, Guoqiang Mao, „Relay technologies for WiMAX and LTE-Advanced Mobile systems,” *IEEE Communications Magazine*, October 2009.
- [7] Sunghyun Cho, Edward W. Jang and John M. Cioffi, „Handover in Multihop Cellular Networks,” *IEEE Communications Magazine*, July 2009.
- [8] Anita Šimurina, „Glavne tehnike za ostvarivanje sistemskih zahtjeva za LTE-Advanced tehnologiju,” Specijalistički rad, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica 2010.

## ABSTRACT

LTE (Long Term Evolution)-Advanced standard will exceed the requirements of International Mobile Telecommunications-Advanced while maintaining full backward compatibility with Rel. 8 LTE. In order to facilitate consideration of the role and position of realized and future technology outlines for achieving system requirements of LTE-Advanced standard, this paper gives a brief overview and sistematization of performed analysis.

## REVIEW OF ADVANCED TECHNIQUES OF LTE-ADVANCED STANDARD

Anita Šimurina