

## SIMULACIJA PRENOSA PODATAKA U 5G SISTEMU SIMULATION OF DATA TRANSMISSION IN 5G SYSTEM

Nemanja Juzbaša, Željien Trpovski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

### Oblast - ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

**Kratak sadržaj** – Rad prikazuje tehničke realizacije 5G sistema mobilne telefonije, sa osvrtom na softversku realizaciju prenosa podataka korišćenjem UI NYSIM simulatora.

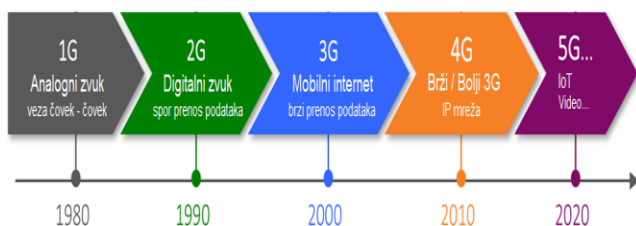
**Ključne reči:** 5G, New Radio, LTE-Advanced, OFDMA, gNB.

**Abstract** – The paper presents the technical realizations of the 5G mobile telephony system, with a focus on software implementation of data transmission using the UI NYSIM simulator.

**Keywords:** 5G, New Radio, LTE-Advanced, OFDMA, gNB.

### 1. UVOD

5G sistem je nastao kao namenski oblikovan sistem, postavljen u specifično-razvojnog prostoru, takavom da predstavlja makro potrebu modernog društva. Funkcionalnost sistema se ostvaruje primenom novih frekvencijskih opsega, te upotrebom razvijenih veoma složenih MIMO sistema, koji za krajnji cilj ostvaruje hiper brzu povezanost svih uređaja i korisnika. Sadržaj teksta u nastavku se odnosi na koncept implementacije upravo definisanog sistema, te predstavlja jedan vid kompromisa između želje korisnika i trenutnih tehničkih mogućnosti.



Slika 1. Kadenca razvoja mobilnih sistema prenosa

### 2. 5G OSNOVE

Osnove 5G New Radio sistema zasnivaju se na familiji čelijskih sistema među koje svrstavamo i prethodne tehnološke generacije poput GSM, EDGE, GPRS, HSPA, W-CDMA te LTE. 3GPP je standardizaciona organizacija na čijim protokolima su zasnovane prethodne generacije a na čijim tehničkim specifikacijama se vrši razvoj i održavanje novih tehnoloških komunikacionih sistema. 5G je naslednik trenutno eksploatisane 4. generacije mobilne telekomunikacione mreže, nadovezuje se na najnapredniji vid tehnologije pod nazivom LTE-A Pro.

#### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Željien Trpovski, vanr. prof.

### 2.1 5G zahtevi

3GPP telo je postavilo zahteve koje 5G NR treba da ispunji, oni su sledeći:

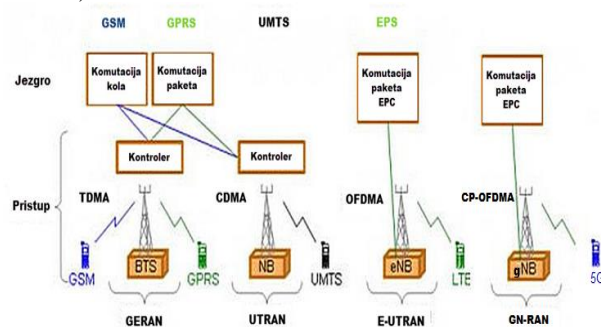
- ❖ Brzine prenosa za eMBB > 10 Gb/s,
- ❖ Masivne mašinske komunikacije - mMTC > 1M/km<sup>2</sup>,
- ❖ Odziv kod ultra pouzdanih komunikacija - URLLC < 1ms.

### 2.2 Faze standardizacije

Evolucija svih čelijskih mobilnih sistema prenosa podataka ogleda se u izdanjima 3GPP UMTS. Izdanja sa početnom oznakom Rel-4, do Rel-15 imaju sumirani uticaj na razvoj sistema koji danas kolokvijalno nosi naziv 5G.

### 2.3 Sistemska arhitektura

Prilikom evolucije mobilne tehnologije, tehnološka rešenja su zahtevala drugačiji pristup te se arhitektura sistema menjala. Potpuna komutacija paketa se koristi od četvrte generacije, čime se saobraćaj govora i podataka u potpunosti prenosi pomoću IP protokola a za pristup mreži se koristi OFDMA. Iskorak u odnosu na LTE-A Pro predstavlja peta generacija koja za pristup koristi CP-OFDMA (Cyclic-Prefix Orthogonal Frequency Division Multiple Access).

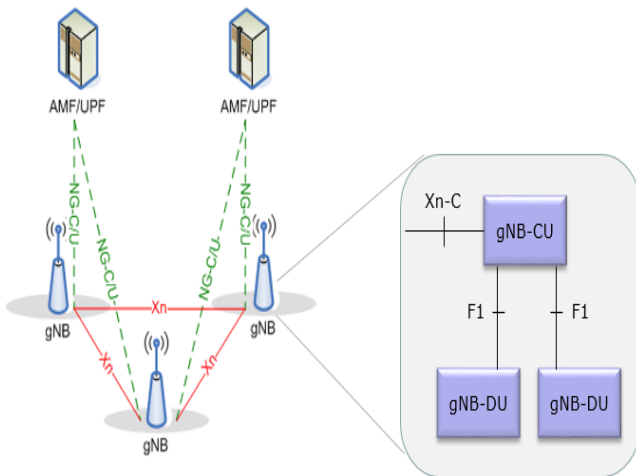


Slika 2. Arhitektura mobilnih sistema prenosa

Pristupnu mrežu 5G NR-a čini mreža međusobno povezanih baznih stanica pod nazivom gNB (next generation NodeB), koji su povezani preko Xn interfejsa, koji služi za signalizaciju i prosleđivanje paketa između gNB-ova tokom handover-a. Oni zajedno sačinjavaju flat arhitekturu.

Strukturu gNodeB bazne stanice delimo na:

1. gNodeB-CU (Centralized Unit), centralnu jedinicu koja obrađuje protokole i usluge koji nisu u stvarnom vremenskom toku,
2. gNodeB-DU (Distributed Unit), distribuiranu jedinicu koja obrađuje protokole i usluge na fizičkom sloju u realnom vremenu.

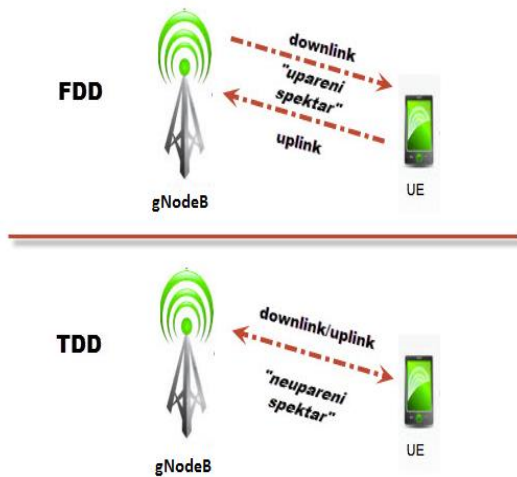


Slika 3. Struktura gNB

## 2.4 Aspekti 5G NR interfejsa

U 5G NR su podržana dva moda rada:

1. FDD (Frequency Division Duplex) i
2. TDD (Time Division Duplex).



Slika 4. FDD i TDD rad

Kod FDD moda imamo dva frekventijska nosioca, jedan za uplink transmisiju  $F_{ul}$  i jedan za downlink transmisiju  $F_{dl}$ . Obe transmisije mogu se obavljati simultano u okviru ćelije. Izolacija između date dve transmisije postignuta je korišćenjem predajno/prijemnih filtera tj. duplex filtera i dovoljno velikog razmaka između frekventijskih opsega. Kod TDD moda imamo jedan frekventijski nosilac, s tim što sada nije moguća simultana transmisija downlink-a i uplink-a tj. transmisije se dešavaju u različitim vremenskim trenucima na nivou jedne ćelije.

Stoga kažemo da TDD radi u neuparenom spektru i zbog toga nije potreban duplex filter na terminalu.

Međutim s obzirom da uplink i downlink dele isti frekventijski opseg, signali ove dve transmisije mogu se međusobno interferirati.

Tada u TDD modu rada bazne stanice moraju biti međusobno sinhronizovane na nivou jedne ćelije. Ali zato kod FDD nemamo interferencije, zato što postoji frekventijski razmak između opsega i bazne stanice ne moraju biti sinhronizovane.

## 2.5 Frekventijski opsezi

5G NR nasleđuje sve frekventijske opsege definisane za LTE, konstantan rast potrebe za novim frekventijskim opsezima. Dva frekventijska opsega:

1. 5G FR1 - Niži frekventijski opsezi, do 6GHz, te
2. 5G FR2 - Viši frekventijski opsezi, koji nisu bili u upotrebi, alokacijom ovih opsega moguće je koristiti mm talase.

Niže frekventijske opsege, < 6 GHz (450 MHz – 6.000 MHz), karakteriše bolja teritorijalna bazna pokrivenost kao i propusni opseg kanala od 100 MHz.

Više frekventijske opsege, > 24 GHz (24.250 MHz – 52.600 MHz), karakteriše lošija teritorijalna bazna pokrivenost kao i propusni opseg kanala od 50 do 400 MHz. 5G teorijski može iskoristiti frekvencije do 300 GHz, zavisno od otvorenih frekventijskih opsega regulatornih tela.

## 3. 5G NR TEHNIKE PRISTUPA

Spektralna efikasnost ima presudnu ulogu, te su izabrani različiti pristupi za download i upload pristup, prevažno zbog odnosa vršne i srednje vrednosti snage prenetog signala.

U downloadu se koristi OFDMA gde je vrednost PAPR-a (Peak-to-Average Power Ratio) velika. Zbog potrošnje električne energije a time isplativosti, SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) metoda se koristi za uplink.

### 3.1 OFDMA

Glavna prednost OFDMA u odnosu na druge tehnike prenosa sa jednim nosiocem jeste njegova sposobnost da se nosi sa selektivnom frekvencijom kanala za širokopojasnu komunikaciju. Podaci su podeljeni u paralelne tokove, a svaki je moduliran posebnim skupom podnosioca.

Širina opsega svakog podnosioca je postavljena na manju vrednost od širine opsega koherencije kanala. Drugim rečima, celokupan dodeljeni kanal je zauzet u vidu sume međusobno ortogonalnih uskopojasnih podnosioca.

Takođe, OFDM sistem vrlo efikasano koristi spektr, zbog načina pravougaonih preklapajućih nosioca čime se omogućava fleksibilno podešavanje frekvencija. Diskretni OFDM signal se izražava na sledeći način:

$$S_{OFDMA}[k] = \sum_{n=0}^{N-1} d_n \exp\left(j2\pi k \frac{n}{N}\right) \quad (1)$$

gde je  $d_n$  kompleksni simbol podataka podnosioca  $n$ , a  $N$  predstavlja ukupan broj podnosioca. OFDM može lako implementirati algoritmom inverzne brze furijeve transformacije (IFFT). Nakon toga se dodaje ciklični prefiks (CP), kopiranjem poslednjeg dela IFFT sekvence i dodavanjem na početak u funkciji zaštitnog intervala.

CP-OFDM sistemi su osetljiviji na greške u sinhronizaciji kao i OOB (Out-of-band-emissions).

Uklanjanje nedostataka predlažu sledeći kandidati za talasni oblik 5G NR sistema.

### 3.2 OFDMA 5G kandidati

Kandidate za 5G NR tehnike pristupa delimo na dve grupe:

1. šeme sa više nosioca,
2. šeme sa jednim nosiocem.

#### 3.2.1 Šeme sa više nosilaca

1.) *Prozoriranje*: Prekide između susednih simbola, usled pravougaonog oblika prozora u vremenskom domenu izaziva visoku OOBE za CP-OFDM. Prozorirani OFDM (W-OFDM) ravna ove oštre ivice na direktan način, sa malom složenosti. Osnovni opseg W-OFDM može se izraziti na sledeći način:

$$S_{W-OFDMA}[k] = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=0}^{N-1} d_{m,n} g[k - m(N + L_{CP} + L_{Ext})] \exp\left(j2\pi k \frac{n}{N}\right) \quad (2)$$

$d_{m,n}$  su složeni podaci koji se prenose na n-tom podnosiocu i m-ti OFDM simbol,  $L_{CP}$  predstavlja dužinu CP,  $L_{Ext}$  je vrednost proširenja prozora, a  $g[k - m(N + L_{CP} + L_{Ext})]$  je funkcija prozoriranja.

2.) *Filtriranje podnosioca*,  $a^*$  FBMC (Filter bank multicarrier) daje dobru lokalizaciju frekvencijskog domena produžavanjem trajanja impulsa u vremenskom domenu nakon čega se koriste dizajnirani filtri za oblikovanje. Osnovni opseg FBMC/OQAM izražava se na sledeći način:

$$S_{FBMC-OQAM}[k] = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=0}^{N-1} d_{m,n} g\left[k - m\frac{N}{2}\right] \exp\left(j2\pi k \frac{n}{N}\right) \exp(j\Phi_{m,n}) \quad (3)$$

gde  $g$  predstavlja prototip filtra,  $\Phi_{m,n}$  je dodatni fazni pojam podnosioca  $n$  i indeksu simbola  $m$ , koji se izražava kao  $\frac{\pi}{2}(m + n)$ .  $d_{m,n}$  je stvarna vrednost jer se realni i imaginarni delovi prenose sa zakašnjenjem.

3.) *Filtriranje podnosioca*,  $b^*$  GFDM, Generalizovano frekvencijsko multipleksiranje, takođe primenjuje filtriranje podnosioca poput FBMC-a. Međutim, filteri za oblikovanje impulsa su kružno savijeni preko određenog broja simbola. GFDM simbol je predstavljen na sledeći način:

$$S_{GFDM}[k] = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} d_{m,n} g_{m,n}[(k - mN) \bmod (MN)] \exp\left(j2\pi k \frac{n}{N}\right) \quad (4)$$

gde  $d_{m,n}$  predstavlja kompleksne podatke koji se prenose pomoću n-tog podnosioca i m-tog podsimbola,  $g_{[m]}$  prikazuje prototipni filter. Iako filteri prototipa FBMC moraju da ispunjavaju uslov ortogonalnosti, prototipovi GFDM nemaju data ograničenja.

4.) *Filtriranje MCM*,  $a^*$  UFMC, Univerzalni filter sa više nosilaca primenjuje podpojasno filtriranje kako bi se smanjio OOBE. Podpojasno filtriranje, kompromis između filtriranja celog opsega i filtriranja podnosioca. bazni UFMC signal predstavlja se na sledeći način:

$$S_{UFMC}[k] = \sum_{b=0}^{B-1} \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{n=0}^{N-1} d_{m,n}^b g_b[l] \exp\left(j2\pi k \frac{n-1}{N}\right) \quad (5)$$

gde  $d_{m,n}^b$  predstavlja kompleksne podatke koji se prenose pomoću n-tog podnosioca i b-tog podpojasa, a  $g_b[l]$  prikazuje frekvencijski ekvivalentnu funkciju prozoriranja filtra vremenskog domena (FIR). Stoga je svaka dužina bloka  $L + N - 1$ .

5.) *Filtrirani OFDM*,  $b^*$  f-OFDM filtrirajuća granularnost je fleksibilnija od UFMC-a. Podela u vremensko-frekvencijskoj mreži se podešava na osnovu različitog stanja kanala i upotrebe. Uzimajući u obzir ukupan broj blokova B, signal f-OFDM baznog opsega je predstavljen na sledeći način:

$$S_{f-OFDM}[k] = \sum_{b=0}^{B-1} \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} d_{m,n}^b g_b[l] \exp\left(j2\pi k \frac{n-l-mL_{CP}}{N}\right) \quad (6)$$

gde  $d_{m,n}^b$  predstavlja kompleksne podatke koji se prenose na b-tom bloku, n-tom podnosiocu i m-tom podsimbolu,  $g_b[l]$  prikazuje frekvencijski ekvivalentnu funkciju prozoriranja FIR filtra vremenskog domena na b-tom bloku,  $L_{CP}$  predstavlja CP vrednost. Kao što se može videti, f-OFDM održava CP za razliku od UFMC. Stoga je otporniji na ISI i treba manje komplikovan prijemnik.

#### 3.2.2 Šeme sa jednim nosiocem

Šeme sa jednim nosiocem delimo na:

1. CP-DFT-s-OFDM, Predloženi su diskretni Furijeovi transformatori sa DFD-om kako bi se ublažili visoki PAPR problemi u CP-OFDM uz održavanje korisnih karakteristika.
2. ZT-DFT-s-OFDM, Interval zaštite je duboko implementiran u LTE sistemima, postoje dve opcije zaštite: normalani i produženi CP. Međutim, bazna stanica je podešena na samo jedan tip intervala zaštite jer se korišćenjem različitih intervala zaštite dobija različito trajanje simbola što posledično rezultira pogrešnim brojem simbola po frejmu.
3. UW-DFT-s-OFDM (Unique word DFT-spread OFDM) je još jedna šema sa jednim nosiocem koja koristi fleksibilne unutrašnje zaštitne pojase.

### 4. TRENUTNO STANJE

Analitički podaci datiraju od januara do marta 2019. godine, što je vremenski okvir neposredno pre pokretanja prvih komercijalnih 5G usluga u Južnoj Koreji, Sjedinjenim Američkim Državama i NR Kini. Testovi i analitički rezultati govore o velikim očekivanjima koje korisnici usluga baziranim na 5G sistemima očekuju. Statistika govori da evropske države predvide u implementaciji novih tehnologija, kako u kvantitetu tako i u kvalitetu LTE-A usluga.

Rani su dani za 5G, ali videli smo brojna pompezna komercijalna lansiranja u poslednjih nekoliko meseci, sa posebnim naglaskom na američko-azijsko rivalstvo. Većina tržišta je još uvek u procesu preraspodele opsega spektra za upotrebu 5G, među kojima je i tržište u Republici Srbiji.

#### 4.1 5G mreže u eksploataciji

Imajući u vidu da je implementacija 4. generacije tekla usporeno, uvođenje komercijalne eksploatacije 5. generacije prvo uvode visokorazvijene zemlje zapadne Evrope. U oktobru 2019. godine sledeće evropske zemlje imaju aktivna komercijalna rešenja: Velika Britanija, SR Nemačka, Francuska, Italija, Švajcarska, Norveška, Austrija i Španija.

Sumirani efekat svih operatora sa prostora npr. Evrope nije dovoljan da se meri sa 3 mobilna operatora NR Kine: China Mobile, China Unicom i China Telecom. Pomenuti operatori imaju prednosti velikog broja korisnika koji se uvećava, kao i mogućnost da dobave i razviju proizvode po konkurentnijim cenama, u odnosu na zapadne operatore.

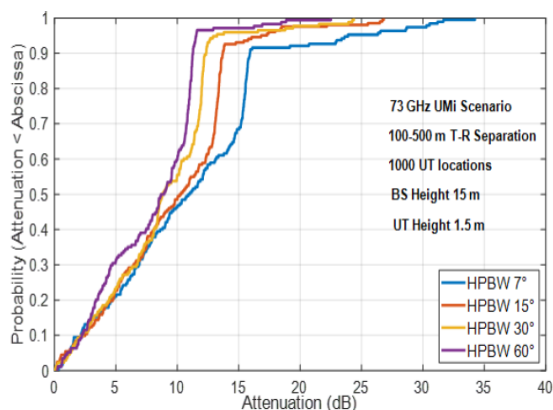
##### 4.1.1. Test faze na prostoru Srbije

Sva tri operatora su pokrenula testne faze 5G NR. Telenor je pokrenuo prvu 5G baznu stanicu u Naučno-tehnološkom parku Beograd. Isti prostor je namenjen kao inkubator privredne aktivnosti, studenti Elektrotehničkog fakulteta Beograd koriste usluge NTP-a.

Na Univerzitetu Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka se ističe kao predvodnik, sa sumiranim radom nekoliko katedrala i odseka. Izdvaja se rad ICONIC centra sa Katedre za telekomunikacije i obradu signala.

5G Mreža nije komercijalno puštena u Republici Srbiji.

#### 5. SIMULACIJA 5G SISTEMA



Slika 5. SE postignut algoritmom hibridnog oblikovanja

Simulacija prenosa podataka vrši se korišćenjem softvera NYU WIRELESS. Simulacije se sprovode na polju milimetarskih talasa. Dostupne su opcije, kojim se može izabrati specifičan user-case, od kojih se može istražiti efekat ljudske blokade na generisane usmerene kanale, četiri seta Tx i Rx antena sa HPBW 7°, 15°, 30°, i 60° su odabrani u UMi scenariju na 73 GHz. Udaljenost T-R rastojanja se kreće od 100 m do 500 m. 1000 simulacija (tj. 1000 UT lokacija) izvode se za svako podešavanje Tx i Rx antene. Poređenje CDF-a senčenja gubitka za usmerene kanale u UMi NLOS scenariju, koristeći prikazana četiri seta Tx i Rx antene sa HPBW 7°, 15°, 30°, i 60° na slici 5 UT-ovi opremljeni užim HPBW antenama imaju veću verovatnoću da će doživeti ozbiljne

gubitke u blokadi. 31% UT-a sa 7° HPBW antenom doživljava gubitak senčenja veći od 15 dB.

#### 6. ZAKLJUČAK

Prvi sistem 5. generacije, implementiran za korišćenje, je bio na raspolaganju u Rusiji 2018. godine tokom Svetskog fudbalskog kupa. U većini svetskih zemalja, ulaganja u uvođenje sistema 5. generacije se mere u desetinama milijardi dolara. Osim tehničkih aspekata, u nekoliko navrata je uvođenje sistema izazvalo političke nesuglasice između velike dvojke, Sjedinjenih Američkih Država i Narodne Republike Kine.

#### 7. LITERATURA

- [1] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved <http://www.3gpp.org/DynaReport/36-series.htm>
- [2] 5G intervju: Natali Delić, Vip mobile <https://pcpress.rs/5g-intervju-natali-delic-vip-mobile/>
- [3] Najbrži ikad prikazan internet u Srbiji - 5G! <https://mondo.rs/MobIT/Tech-Vesti/a1094432/mts-5G-mreza-5G-u-Srbiji-5G-mreza-u-Srbiji.html>
- [4] Telenor rolled-out first 5G station in Serbia <https://www.telenor.rs/en/about-telenor/news/news-and-press-releases/telenor-rolled-out-first-5g-base-station-in-serbia/#>
- [5] Uputstvo za upotrebu NYUSIM simulatora
- [6] Opensignal: Mobile Analytics and Insights <https://www.opensignal.com/global>

#### Kratka biografija:



**Nemanja Juzbaša** rođen je u Karlovcu, R. Hrvatska 1987. god. Upisao se na Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, na Katedru za komunikacione tehnologije i obradu signala. Diplomski rad na temu »Perspektiva razvoja i uvođenja pete generacije mobilne telefonije« odbranio je 2016. godine.



**Željen Trpovski** rođen je u Rijeci 1957. godine. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 1998. god. Oblast interesovanja su telekomunikacije i obrada signala.