

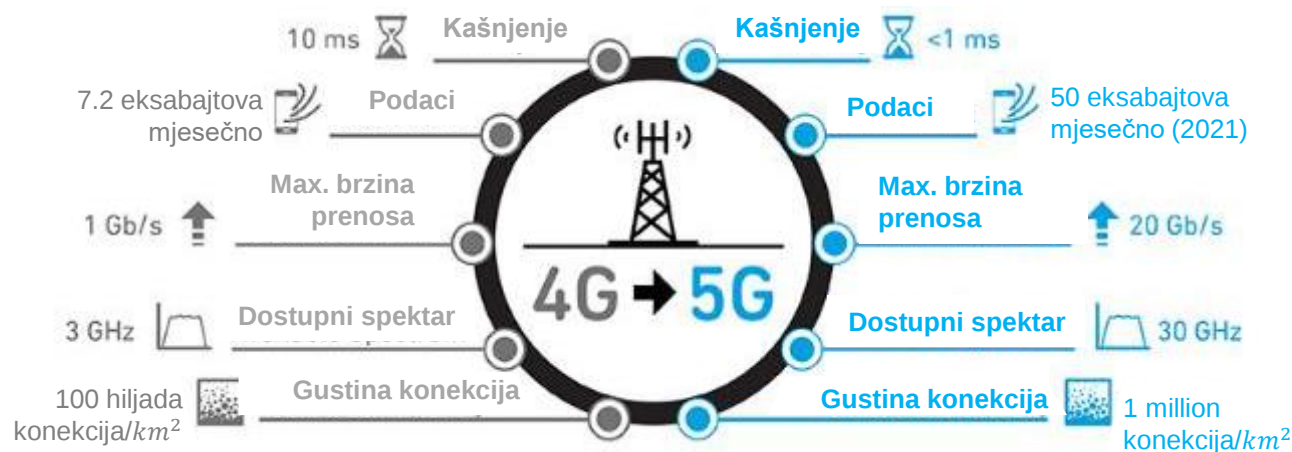
5G mreže

- Među trendovima koji motivišu razvoj 5G tehnologija posebno se ističu:
 - Drastičan porast mobilnog saobraćaja.
 - CISCO predviđa da će se ukupni mobilni saobraćaj povećati oko 7 puta u periodu od 2017. do 2022. godine.
 - Usvajanje IoT rešenja u različitim granama industrije.
 - Predviđanja su da će broj povezanih IoT uređaja do 2023. godine iznositi 31.4 milijardi.
 - Kontinuitet pojavljivanja novih servisa
 - npr. 3D video visoke rezolucije, proširena realnost, mobilni Cloud, aplikacije za taktilni Internet.
- Navedeni trendovi namežu veliki broj izazova na koje je neophodno odgovoriti povećanjem kapaciteta mreže, poboljšanjem energetske efikasnosti i iskorišćenosti spektra, kao i skalabilnijim metodama upravljanja mrežnim resursima.

5G – Tehnički zahtjevi

- Ultra velike brzine prenosa i ultra malo kašnjenje
 - Maksimalna brzina prenosa (u idealnim uslovima): 10-20 Gb/s
 - Kašnjenje <1ms
 - Očekivana propusnost na nivou jednog korisnika u urbanim/polu-urbanim zonama 100Mb/s.
- Masovna konektivnost
 - Podrška za 10 puta veći broj uređaja u odnosu na 4G mreže.
- Fleksibilna i inteligentna mreža
 - Softverski-definisana mrežna arhitektura, mogućnost analize podataka u realnom vremenu i pružanje personalizovanih i inteligentnih servisa
- Pouzdan rad
 - Obezbijediti dostupnost i pouzdanost mreže na nivou od 99%, kao i mogućnost automatske rekonfiguracije u slučaju kvara.
- Energetski i ekonomski isplativa infrastruktura
 - 5G sistemi bi trebalo da budu 50-100 puta energetski efikasniji od LTE sistema, i ekonomičniji u pogledu potrebnih ulaganja u infrastrukturu

Poređenje 4G i 5G standarda

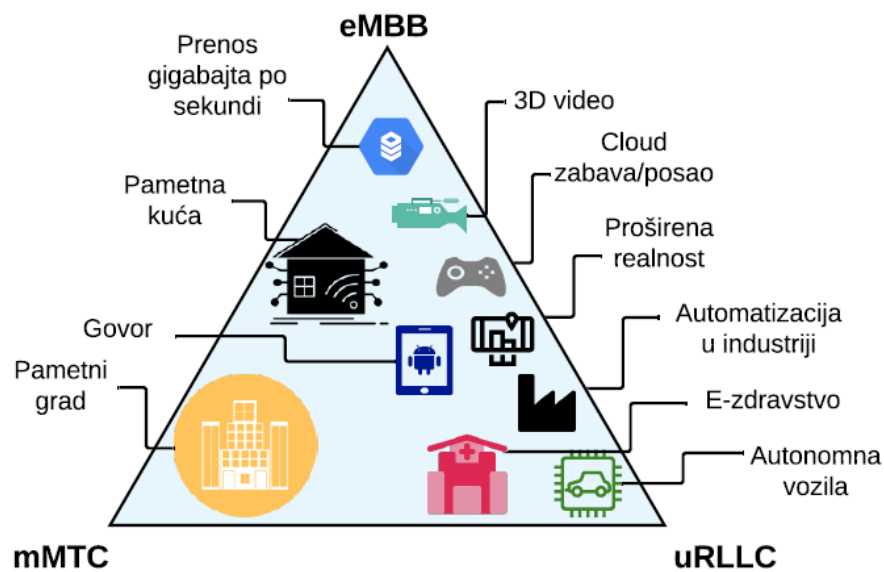


Indikator	IMT-2020	IMT-Advanced
Maksimalna brzina prenosa (<i>Gbps</i>)	20	1
Kapacitet po jedinici površine (<i>Mbps/m²</i>)	10	0.1
Gustina konekcija (<i>br. uređaja /km²</i>)	10 ⁶	10 ⁵
Kašnjenje (<i>ms</i>)	1	10
Mobilnost (<i>km/h</i>)	500	350
Propusnost (<i>Mbps</i>)	100-1000	10
Spektralna efikasnost	3x	1x
Energetska efikasnost	100x	1x

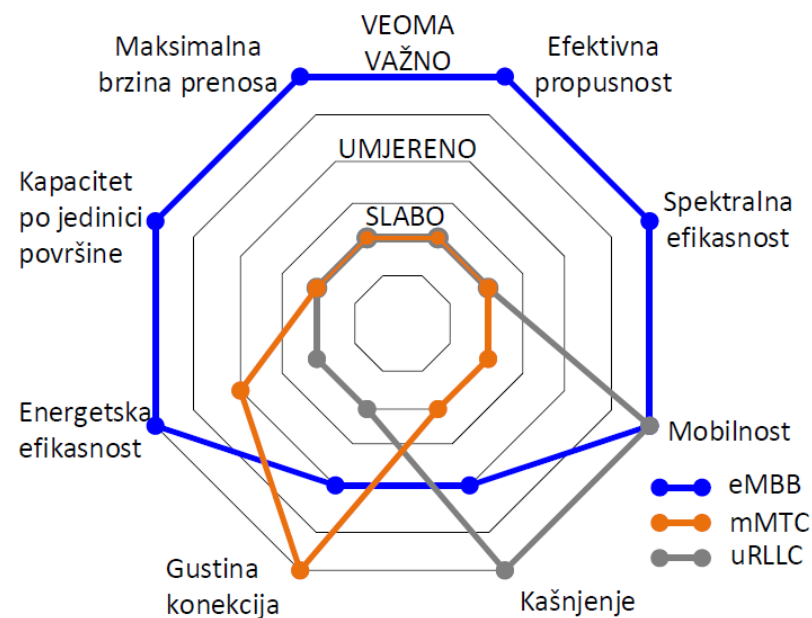
5G servisi

- Pобољшanje mobilne širokopojasne mreže (eMBB - *Enhanced Mobile Broadband*)
 - eMBB ima za cilj da zadovolji potrebe ljudi za digitalnim načinom života, i fokusira se na aplikacije koje imaju stoge zahtjeve za propusnim opsegom, kao što su ultra HD video, virtuelna i proširena stvarnost.
- Ultra pouzdana komunikacija malog kašnjenja (uRLLC - *Ultra Reliable Low Latency Communication*)
 - Cilj uRLLC servisne grupe je da podrži digitalnu transformaciju industrije. Fokusira se na servise osjetljive na kašnjenje, kao što su bezbjednost u asistiranim i autonomnim vozilima, monitoring i upravljanje u realnom vremenu, udaljene medicinske intervencije itd. Današnje mreže ne podržavaju ove servise.
- Masovne mašinske komunikacije (mMTC - *Massive Machine Type Communications*).
 - Mašinske komunikacije se odnose na uređaje koji komuniciraju bez ljudske intervencije. Teži da ispuni zahtjeve IoT aplikacija koje periodično prikupljaju manje količine podataka iz baterijski napajanih senzorskih mreža, i obrađuju ih sa ciljem unaprijeđenja nekog proizvodnog procesa ili kvaliteta života.

5G servisi



5G servisne grupe



Značaj različitih indikatora performansi za različite klase servisa

5G New Radio (NR)

- 3GPP standardi
- Prva verzija standarda poznata je kao *Release 15*
- Tehnologije:
 - Milimetarski talasi
 - CP-OFDM
 - Nova struktura frejma
 - Masivni MIMO
 - *Beamforming*
 - ...

5G NR - Spekter

- Koristi se spekter na nižim (*low band*), srednjim (*mid band*) i visokim (*high band*) učestanostima
- Release 15 pokriva učestnosti od ispod 1 GHz pa do 52.6 GHz
- Predviđeno korišćenje *milimetarskih talasa* (>24GHz)
- Visokofrekvencijski dio spektra (>6GHz) dostupan je na više opsega koji variraju po regionima
- Mnogi opsezi još uvijek nisu dostupni zbog servisa koje je potrebno ukinuti
- Slabljenje u slobodnom prostoru proporcionalno je kvadratu učestanosti i kvadratu rastojanja
 - 88 dB slabljenje na 30 GHz, za rastojanje od 20 m
 - Radijus *mmWave* ćelije oko 100m

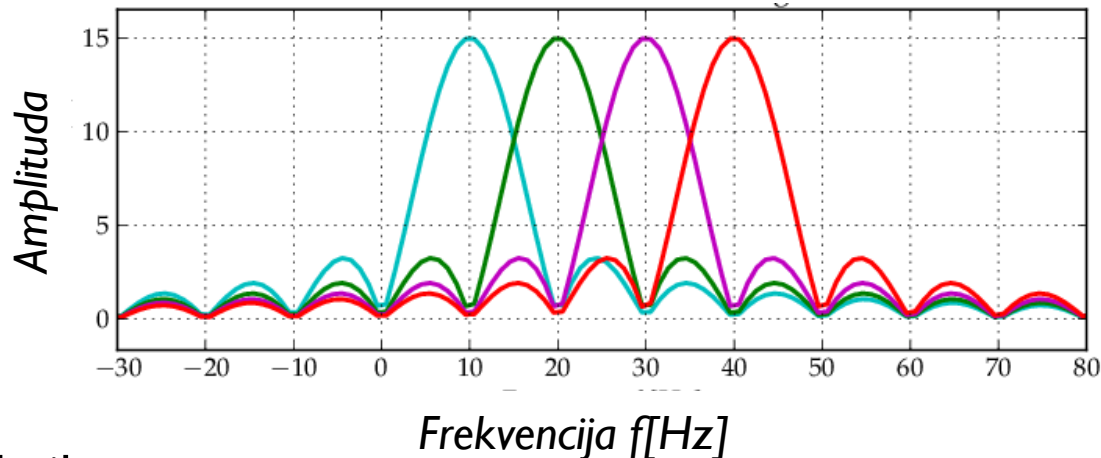
5G NR - Spektrar

- *Low-band* opseg (<1 GHz) koristi se za pokrivanje većih ruralnih, polu-urbanih i urbanih zona, kao i za pružanje podrške za IoT.
 - Veliki domet, male brzine prenosa.
- *Mid-band* opseg (2-6 GHz) nudi kompromis između pokrivenosti i brzine prenosa.
- *High-band* opseg (24-52.6GHz) nudi veoma velike brzine prenosa uz mali domet.



5G NR - Multipleksiranje

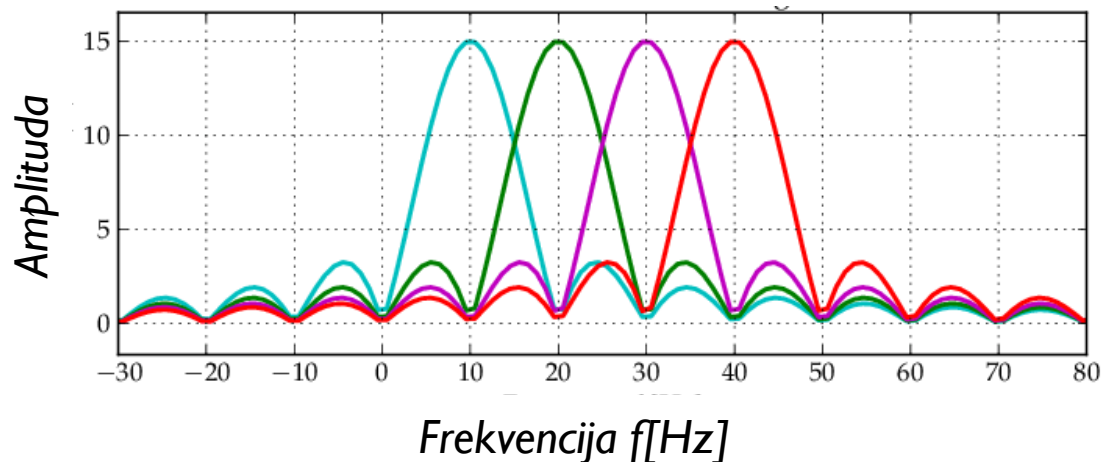
- Tehnike multipleksiranje bazirane na OFDM-u



- Nove tehnike:
 - *Cyclic Prefix – OFDM (CP-OFDM)*
 - *Spectrum Filtered OFDM (f-OFDM)*
 - *Filtered Bank Multicarrier (FBMC)*
 - *Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)*
 - *Pattern Division Multiple Access (PDMA)*
 - *Low Density Spreading (LDS)*
 - *Sparse Code Multiple Access (SCMA)*
 - *Interleave-Division Multiple Access (IDMA)*

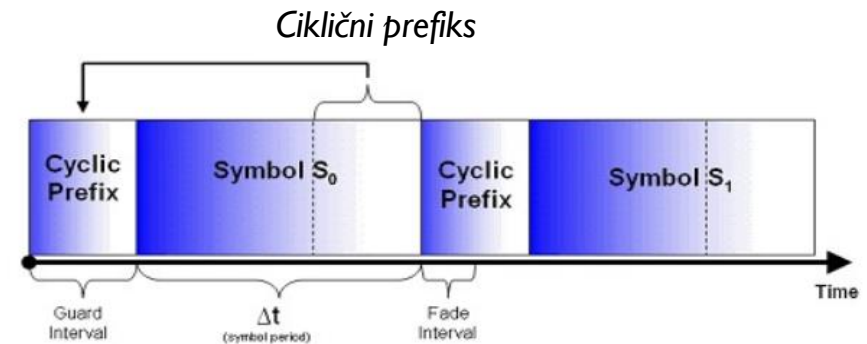
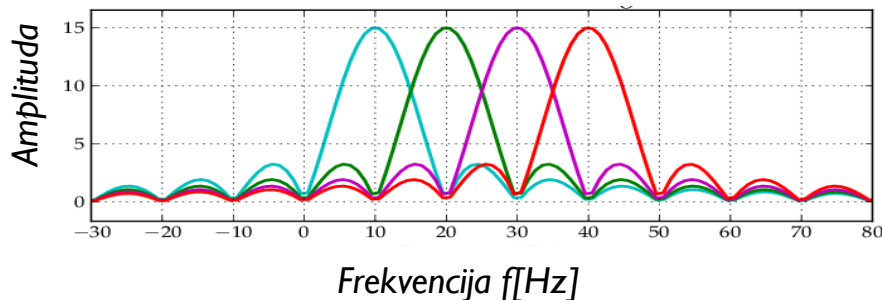
OFDM - podsjećanje

- Podaci su modulirani setom ortogonalnih nosilaca.
- Tok podataka se dijeli u N paralelnih tokova kako bi se redukovao protok podataka, a svaki od tih manjih protoka se prenosi preko sopstvenog podnosioca.
- Nosioци su međusobno ortogonalni tako što je između njih biran odgovarajući frekvencijski razmak – maksimum signala svakog od podnosioca odgovara nulama svih ostalih signala
- Dozvoljeno spektralno preklapanje među nosiocima, jer će ortogonalnost obezbijediti da prijemnik bude u mogućnosti da razdvoji OFDM podnosiocе.



OFDM - podsjećanje

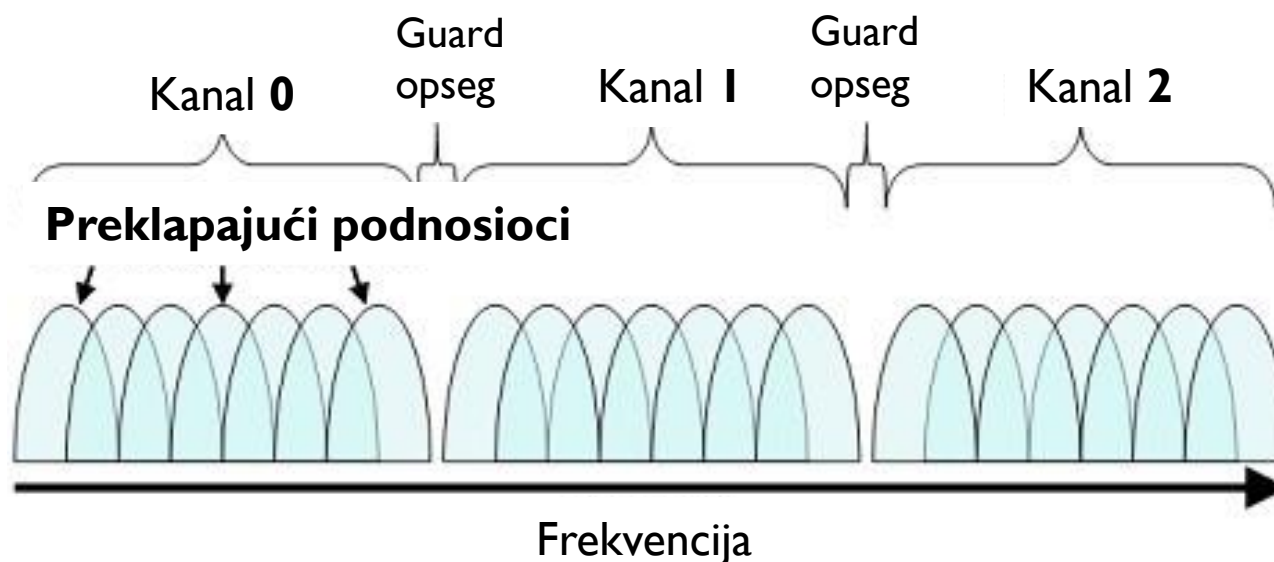
- Ukoliko kanal nije idealan dolazi do intersimbolske interferencije.
- Podgodno je posmatrati OFDM signal u obliku okvira (frejmova) podataka, tako da se može smatrati da će kanal proizvoditi ISI u okviru frejma, a takođe i IFI (*inter-frame* interferencija) među susjednim frejmovima
- Uvođenje zaštitnog intervala dužine L između dva susjedna frejma omogućava "apsorbaciju" kašnjenja u kanalu, a time se uklanja IFI.
 - Ovo se može ostvariti ubacivanjem L vodećih nula u svaki okvir na predaji i njihovim uklanjanjem na prijemu.
 - Kako bi se takođe uklonila ISI iz okvira, bolje je koristiti *ciklični prefiks* umjesto zaštitnog intervala koji se sastoji od svih nula. U ovom slučaju, posle uklanjanja prefiksa na prijemu, dobija se ciklična konvolucija prenošenog okvira podataka i kanala.
 - Ciklični prefiks podrazumijeva dodavanje prefiksa simbolu koji je jednak njegovom kraju.



5G NR - Multipleksiranje

Identifikovani nedostaci OFDM-a:

- Potrebni zaštitni intervali između različitih frekvencijskih kanala (eng. *guard bands*)
- Na čitavom frekvenijskom opsegu koristi se isti razmak između podnosioca
- Veličina simbola i cikličnog prefiksa je konstantna
- Svi korisnici moraju biti striktno vremenski sinhronizovani na *uplink-u*



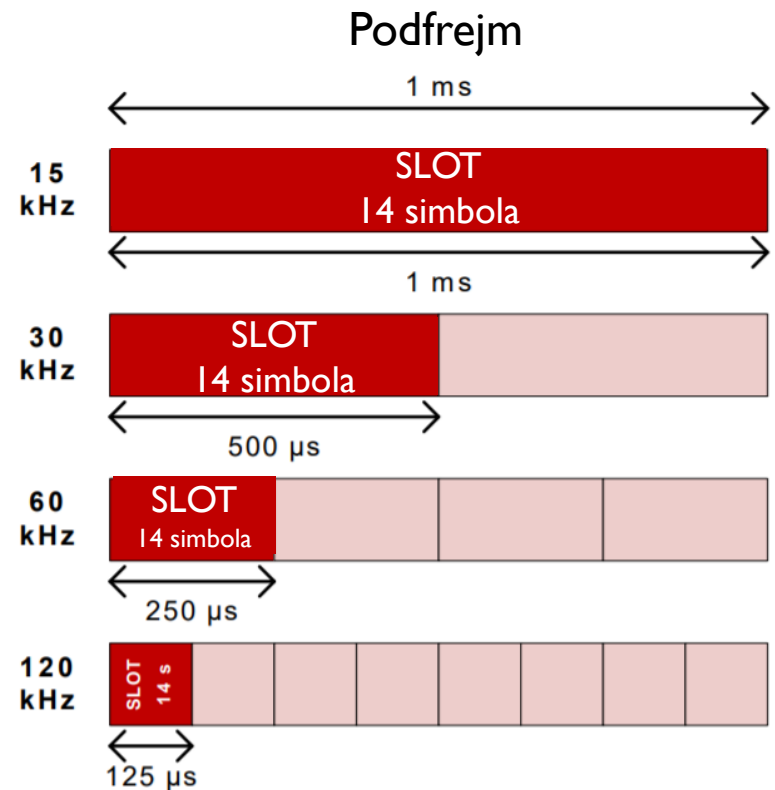
5G NR - Multipleksiranje

CP-OFDM

- Sličan LTE OFDM-u
- Dok LTE koristi fiksni razmak između podnosioca (15kHz), kod CP-OFDM-a je razmak između podnosioca promjenjiv (15kHz, 30kHz, 60kHz, 120kHz itd.)
- Moguće različite dužine cikličnog prefiksa
- Različiti OFDM parametri mogu da se koriste za različite aplikacije
- Korisnici u različitim podopsezima ne moraju biti vremenski sinhronizovani
- Manje bočne latice
- Veća spektralna efikasnost

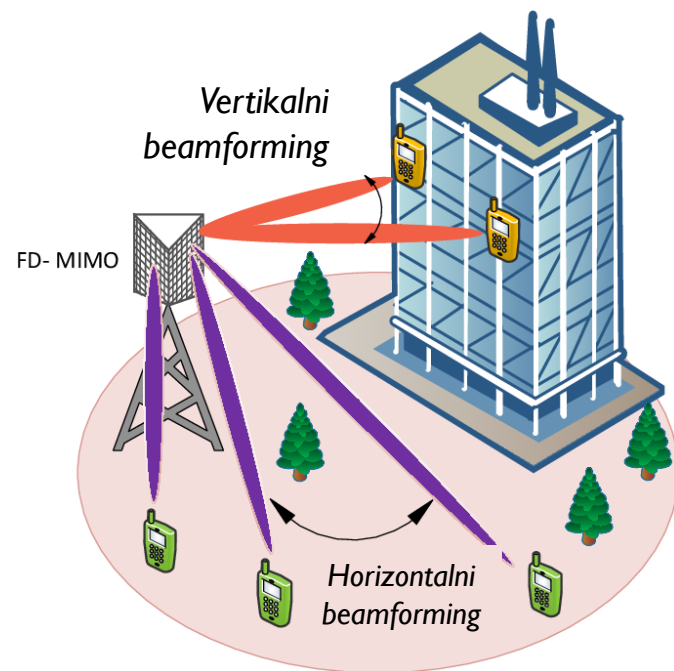
5G NR – Struktura frejma

- Trajanje frejma 10ms
- Podfrejm trajanja 1ms (kompatibilnost sa LTE)
- Slotovi za planirani prenos (eng. *scheduled communication*)
 - 14 OFDM simbola po slotu
 - Trajanje slota varira sa razmakom između podnosioca
 - Moguća agregacija slotova za potebe masivnijih prenosa podataka
- Mini-slot za neplaniranu komunikaciju
 - 2, 4 ili 7 OFDM simbola
 - URLLC aplikacije



5G NR – *Beamforming* i Masivni MIMO

- Naprednije *beamforming* tehnike u odnosu na LTE
- Visoko usmjereno zračenje u prostoru
- LTE koristi *beamforming* samo za prenos podataka
- 5G NR koristi *beamforming* i za kontrolnu signalizaciju
- Na višim učestanostima koristi se za prošireno pokrivanje fokusiranjem energije
- Na nizim i srednjim učestanostima, gdje slabljenje nije toliki problem, *beamforming* je ključni dio MIMO sistema koji značajno povećavaju kapacitet mreže
- 5G NR podržava distribuirani MIMO koji omogućava da korisnik prima različite dijelove jednog toka podataka sa više različitih antena
- Masivni MIMO – znatno veći broj antenskih elemenata na baznim stanicama (manje dimenzije antena koje emituju na visokim učestanostima)

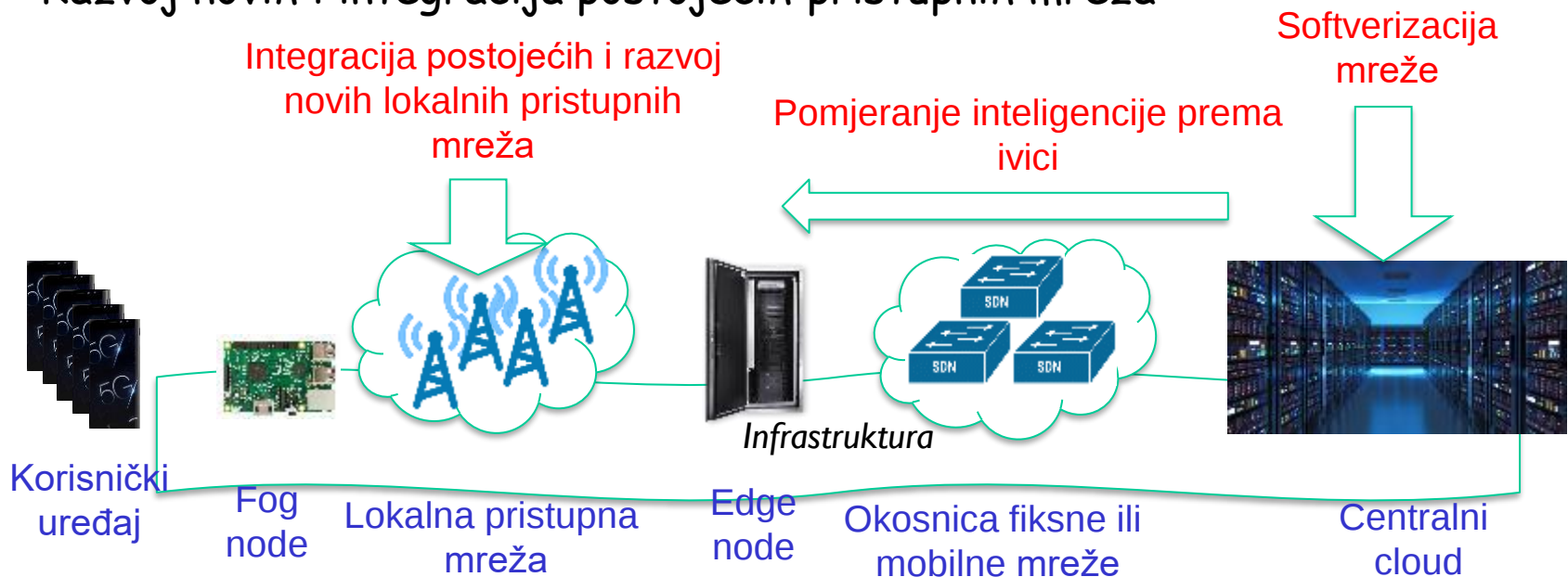


5G infrastruktura

SDN/NFV

5G je sveobuhvatni softverski sistem koji koristi sve raspoložive resurse

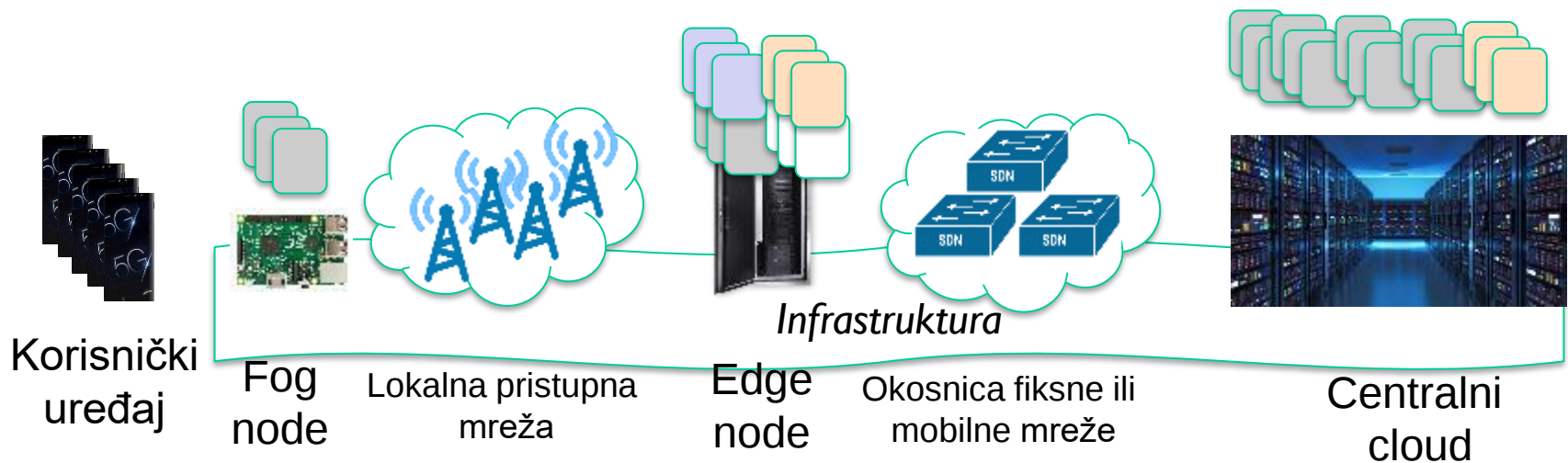
- Mrežne funkcije su realizovane u sofveru (konvergencija sa IT)
 - Fleksibilnija softverski definisana mrežna infrastruktura
 - Paralelni razvoj više specijalizovanih mreža
- Mrežne funkcije će biti instalirane i na uređajima ivice mreže
- Razvoj novih i integracija postojećih pristupnih mreža



5G infrastruktura

Prednosti:

- Softverske mrežne funkcije iz infrastrukture izvlače najbolje
- Komunikaciona infrastruktura se može prilagoditi potrebama
- Mrežne funkcije (servisi, pouzdanost, zaštita) mogu biti implementirane bilo gdje
- Ista tehnologija za razne primjene



5G infrastruktura

- Izmještanje mrežnih funkcija sa mrežnog sistemskog nivoa na uređaj/fog, edge, centralni cloud
- Poboljšanje performansi (balansiranje opterećenja i veća pouzdanost)
- Slajsovanje mreže - virtuelna mreža za svaki servis
- Otpornost komunikacije od kraja do kraja
- Zaštita na infrastrukturnom nivou
- Siguran i pouzdan menadžment konekcije
- Orkestracija mrežnih funkcija u realnom vremenu

