

10. *Napredne komunikacione tehnologije*

Prof. dr Igor Radusinović

igorr@ucg.ac.me

doc. dr Slavica Tomović

slavicat@ucg.ac.me

Napredne komunikacione tehnologije

- LTE
- SDN
- NFV
- IoT*
- 5G

LTE

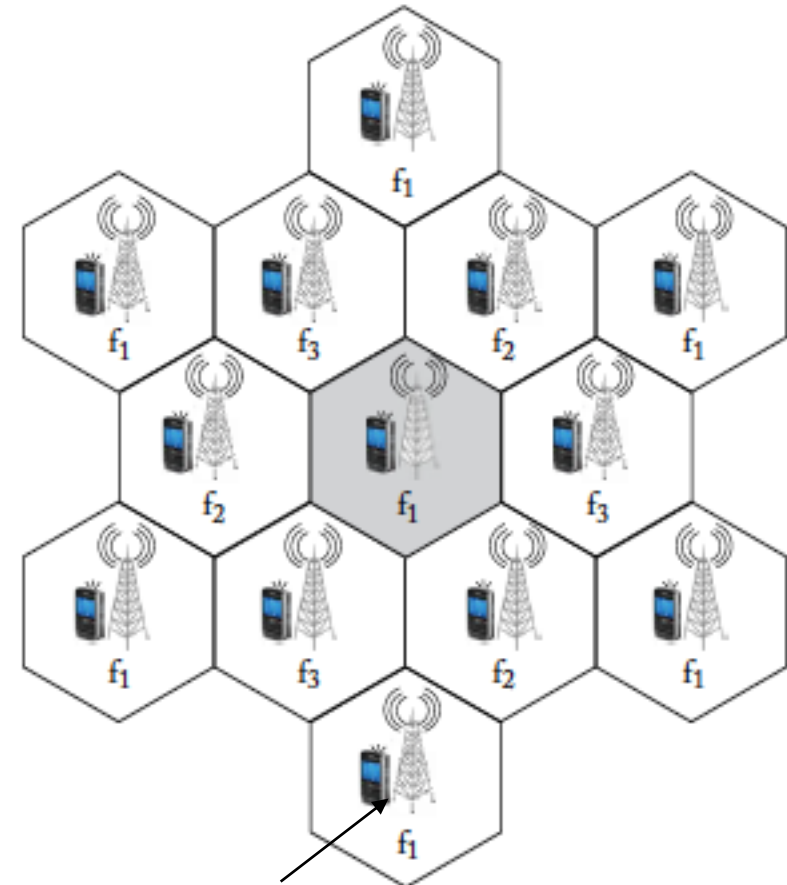
Celularne mreže

- ❑ Zadatak mobilne mreže je pružanje globalnog mobilnog pristupa uz dobar kvalitet prenosa podataka, govora, audio i video sadržaja.
- ❑ Mobilna mreža je bazirana na nepouzdanom medijumu za prenos na kome je prisutno slabljenje signala, refleksija, difrakcija,...
- ❑ Pouzdanost komunikacije dodatno pogoršava mobilnost korisnika.
- ❑ Korisnički terminali imaju vrlo ograničenu emisionu snagu.
- ❑ Korisnici zahtijevaju kvalitetan servis gdje god se nalazili - servis koji se mora održavati dok su u pokretu.

LTE

Celularne mreže

- ❑ Ključna osobina dizajna mobilne mreže je podjela geografskog područja na ćelije.
- ❑ Korisnici u ćelijama komuniciraju sa baznom stanicom (BS).
- ❑ Susjedne ćelije koriste različite frekvencije zbog ograničavanja smetnji.
- ❑ Smetnje se smanjuju prilagođavanjem emisione snage udaljenosti između korisničkih uređaja i BS.
- ❑ U novije vrijeme susjedne ćelije mogu koristiti istu frekvenciju korišćenjem novih tehnika smanjenja smetnji
- ❑ U cilju pružanja pouzdanog servisa, mobilna mreža funkcioniše u licenciranim frekvencijskim opsezima.
- ❑ Prenos podataka između korisničkih uređaja i BS je strogo regulisan od strane BS-a kako bi se izbjegle kolizije i ispunili zahtjevi u pogledu performansi aktivnih konekcija.
- ❑ BS je povezana na jezgro mreže koju čine čvorovi čiji je zadatak rutiranje saobraćaja od i prema Internetu/drugim telekomunikacionim mrežama
- ❑ Pored BS u celularnoj mreži postoje i druga čvorišta zadužena za funkcije uspostavljanja i održavanje korisničkih veza.

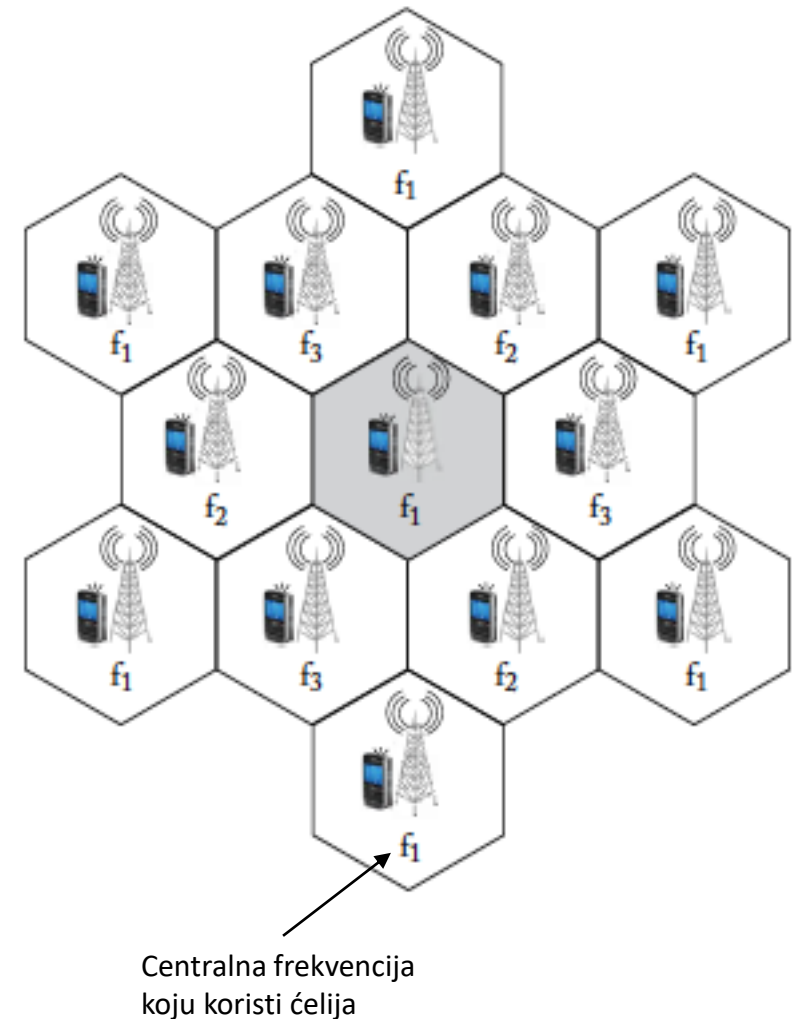


Centralna frekvencija koju koristi ćelija

LTE

Celularne mreže

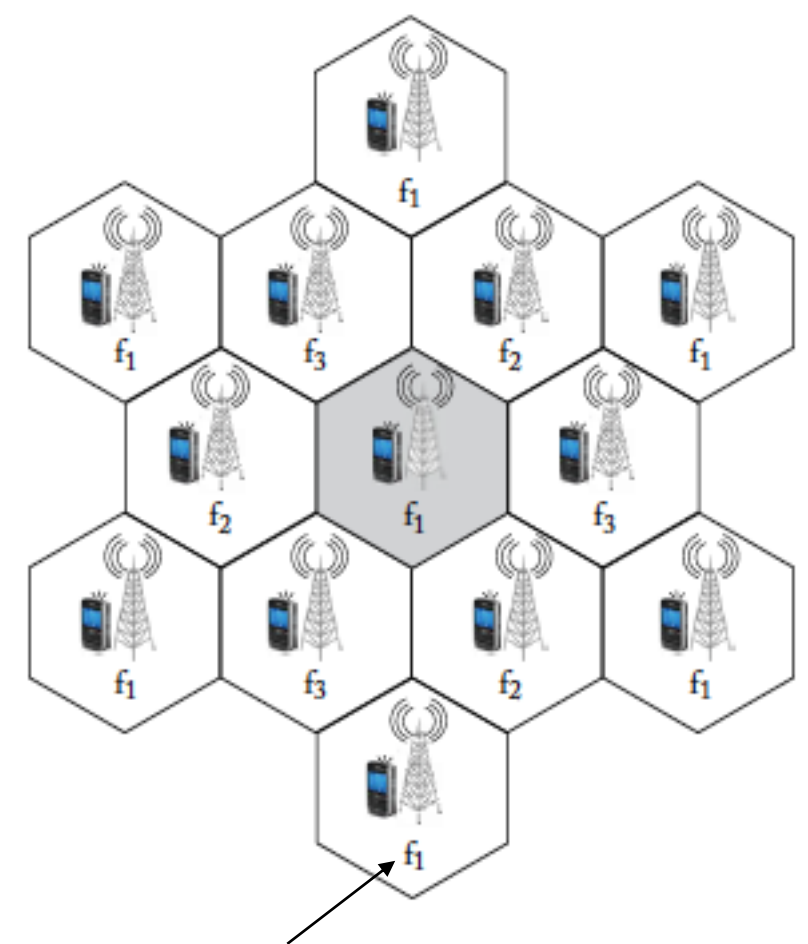
- Da bi se povezao na mrežu, korisnički uređaj osluškuje signale sa BS-a.
- Bira BS čiji je signal detektovao kao najjači.
- Svaka BS određuje periodične vremenske slotove tokom kojih novi korisnici mogu poslati svoje zahtjeve za povezivanje.
- Korisnički uređaj šalje odabranom BS-u zahtjev za povezivanje tokom jednog od ovih vremenskih slotova.
- Ako zahtjev ne zapadne u koliziju sa zahtjevima drugih korisnika i ako postoje raspoloživi resursi, BS utvrđuje odgovarajuće vremenske slotove i frekvencije za komunikaciju s korisničkim uređajem.



LTE

Celularne mreže

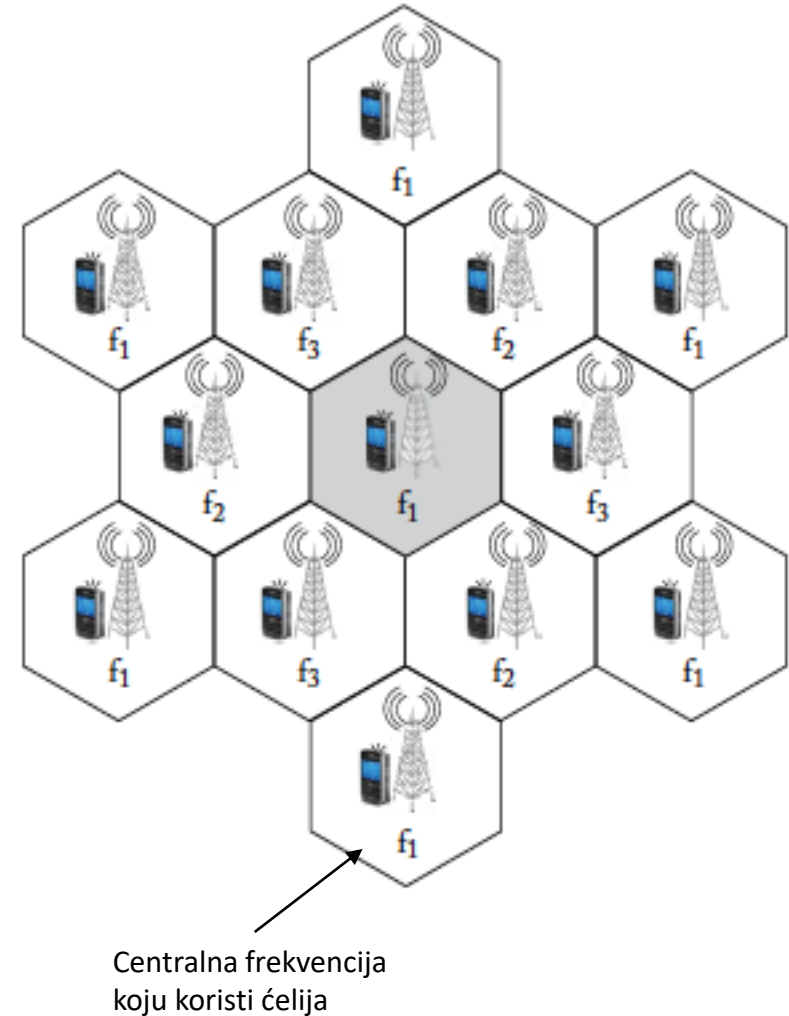
- Svaki korisnički uređaj je dodijeljen čvorištu koje igra ulogu "matičnog registra" i vodi evidenciju o njegovoj lokaciji.
- Korisnički uređaj periodično šalje signal koji prima BS na koju je povezan, a zatim BS šalje poruku "matičnom registru" da bi se ažurirala lokacija korisničkog terminala.
- Da bi kontaktirala korisnički terminal, mreža provjerava u "matičnom registru" njegovu lokaciju, odnosno BS na koju je povezan, a zatim informacije namijenjene korisniku usmjerava na tu BS.
- Kada se korisnik kreće iz jedne u drugu ćeliju, nova BS preuzima komunikaciju u procesu koji se naziva *handover*.
- Korisnički terminal periodično izvještava mrežu o jačini signala iz okolnih BS-a na osnovu čega mu mreža pomaže da odradi eventualni handover na novu BS.



LTE

Celularne mreže

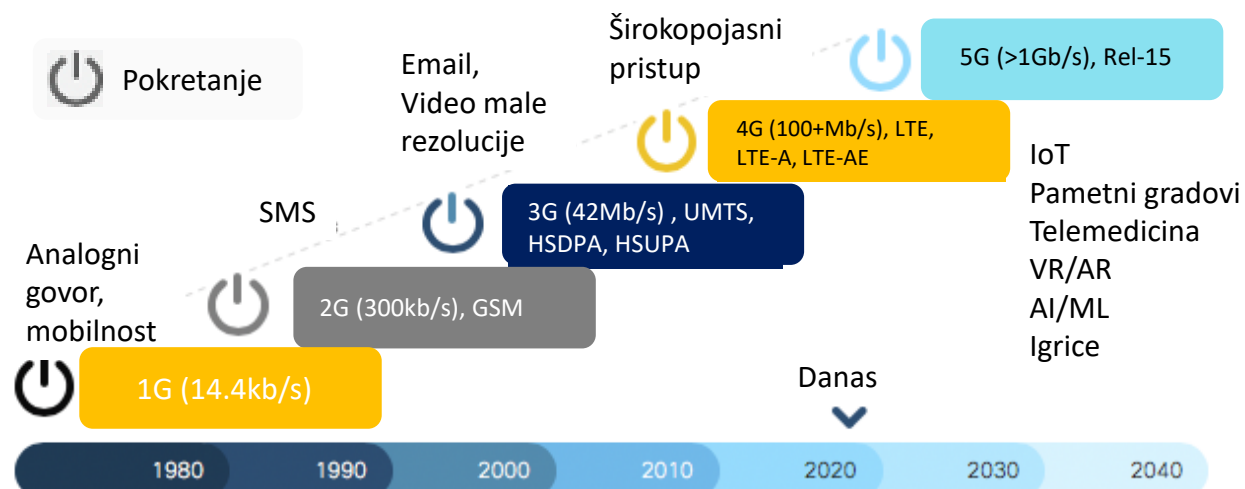
- ❑ BS prenosi podatke brzinom koja je određena odabranim modulacionim postupkom.
- ❑ Ovu brzinu dijele svi aktivni korisnici u ćeliji.
- ❑ Broj aktivnih korisnika u ćeliji je ograničen brzinom prenosa BS podijeljenom sa brzinom prenosa pojedinačnog korisnika.
- ❑ Zona pokrivanja ćelije bi trebala biti približno obrnuto proporcionalna gustini aktivnih korisnika.
- ❑ U praksi, pošto modulacija može zavisiti od kvaliteta korisničke veze, precizno dijeljenje je mnogo složenije!
- ❑ Ćelije su manje u gusto naseljenom gradskom području nego u rijetko naseljenom ruralnom području.
- ❑ Radijus ćelije se kreće obično od 1km do 20 km.
- ❑ Treba imati na umu da kada su ćelije manje, handoveri su češći.
- ❑ U celularnim mrežama korišćena emisiona snaga je relativno mala.
- ❑ LTE korisnički uređaj koristi maksimalnu emisionu snagu od oko 0.2W, dok je maksimalna emisiona snaga LTE BS koja funkcioniše na kanalu širine 10 MHz oko 40 W.
- ❑ Veće ćelije zahtijevaju relativno veću emisionu snagu ka i od korisničkih uređaja.



LTE

Celularne tehnologije

- ❑ LTE je specifična implementacija mobilne mreže.
- ❑ Standardizovao je 3GPP (3rd Generation Partnership Project).
- ❑ Ključni elementi evolucije mobilnih mreža su:
 - ❑ migracija sa komutacije kola na komutaciju paketa
 - ❑ podržavanje mobilnosti korisnika
 - ❑ prenos multicasta,
 - ❑ povećanje brzine prenosa,
 - ❑

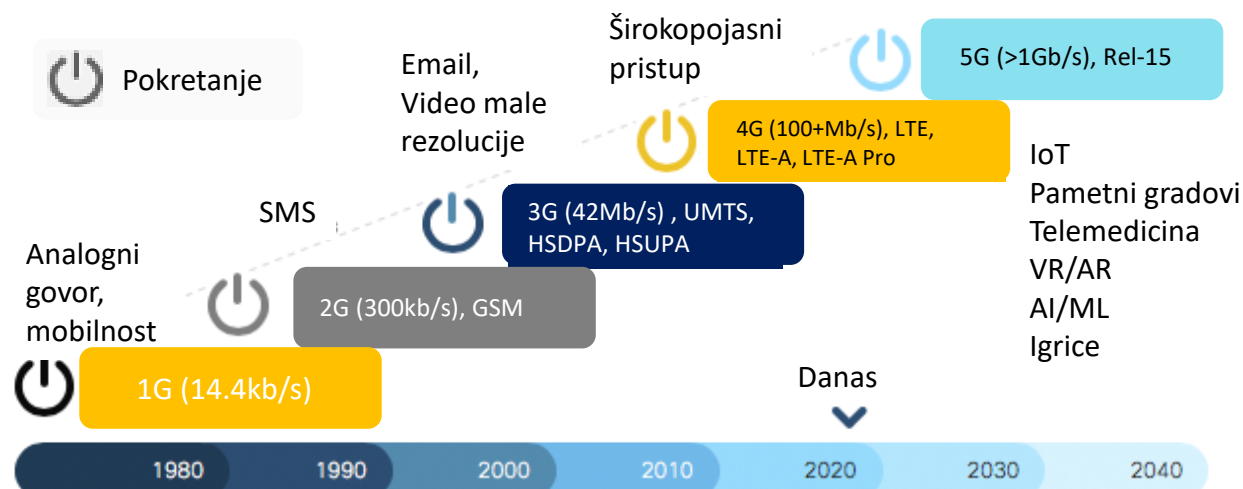


Source: Cisco VNI Global Mobile Data Traffic Forecast, 2017-2022

LTE

Celularne tehnologije

- ❑ Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) je specificiran Rel-99
- ❑ UMTS je namijenjan za mobilne podatke i mobilne govorne usluge.
- ❑ UMTS prenosi govor koristeći komutaciju kola, a podatke prenosi korišćenjem komutaciju paketa.
- ❑ High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) je definisan u Rel-5, povećava brzinu prenosa i smanjuje kašnjenja na downlinku
- ❑ High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) je specificiran u Rel-6, poboljšava performanse uplinka, uvodi VoIP (Voice over Internet Protocol) pomoću svoje QoS (Quality of Service) podrške za servise u realnom vremenu i Multimedia Broadcast and Multicast Service (MBMS) za point-to-multipoint komunikaciju.

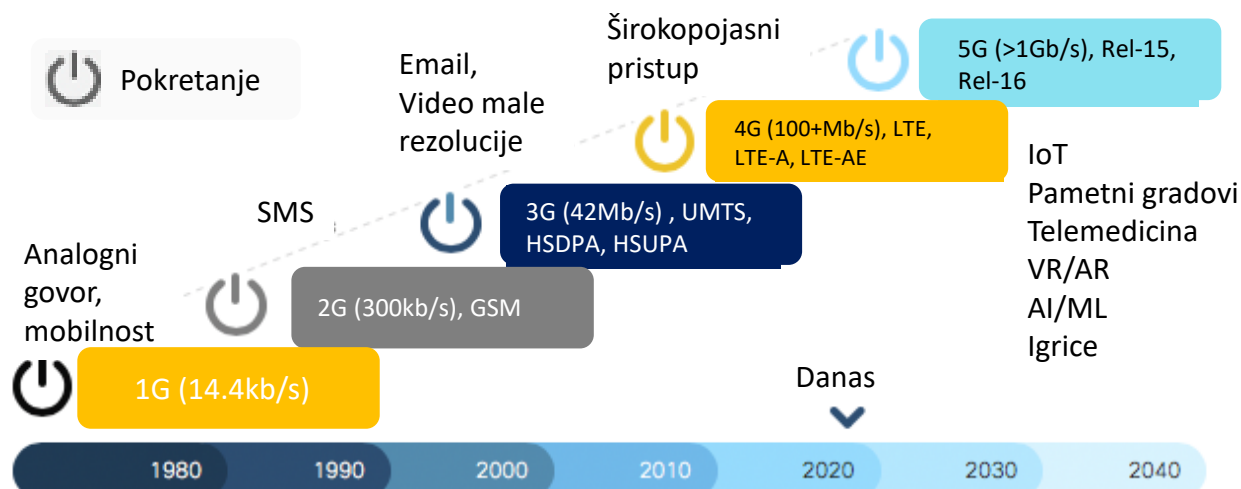


Source: Cisco VNI Global Mobile Data Traffic Forecast, 2017-2022

LTE

Celularne tehnologije

- ❑ LTE je uveden Rel-8 specifikacijom
- ❑ Njegova ključna osobina je da na fizičkom nivou koristi Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access (OFDMA)
- ❑ Brži i pouzdaniji LTE-Advanced specificiran u Rel-10 (MIMO, 100MHz opseg,...), Rel-11(HetNet, CoMP, ...) i Rel 12(256-QAM za HetNet..)
- ❑ Rel-13 i Rel-14 sadrže specifikaciju LTE Advanced Pro (najbrži LTE, 3Gb/s, 256-QAM, Massive MIMO, LTE-Unlicensed i LTE IoT)
- ❑ Rel-15 specificira 5G tehnologiju
- ❑ Rel 16 je posvećen "5G faza 2" tehnologiji
- ❑ Rel 17 tek treba da definiše osnovne karakteristike "beyond 5G" mreže



Source: Cisco VNI Global Mobile Data Traffic Forecast, 2017-2022

LTE

Karakteristike LTE tehnologije

- ❑ Međunarodna unija za telekomunikacije (ITU) je 2008. definisala zahtjeve za radio pristupnu tehnologija četvrte generacije (4G).
- ❑ Između ostalog mobilni i stacionarni korisnički uređaji trebaju da imaju maksimalne brzine prenosa od 100Mb/s i 1Gb/s, respektivno.
- ❑ Osnovna verzija LTE obično se naziva a 3.9G ili pre-4G tehnologija jer ne zadovoljava sve pomenute zahtjeve.
- ❑ Razvoj LTE-a definiše skup zahtjeva koji specificiraju brzinu prenosa na downlinku od 100Mb/s (za kanal širine 20MHz) i kašnjenje u radio dijelu mreža manje od 5ms
- ❑ Bazne stanice čine Radio Access Network (RAN)
- ❑ Podržava brzu mobilnost i ima visoke performanse pristupne mreže
- ❑ Širina kanala kod LTE je od 1,4-20 MHz.
- ❑ LTE podržava dvije tehnike za uplink/downlink prenos:
 - ❑ Frequency Division Duplex (FDD)
 - ❑ Time Division Duplex (TDD).
- ❑ Odluka o korišćenju FDD ili TDD zavisi od dostupnosti spektra telekomunikacionom operatoru.

LTE

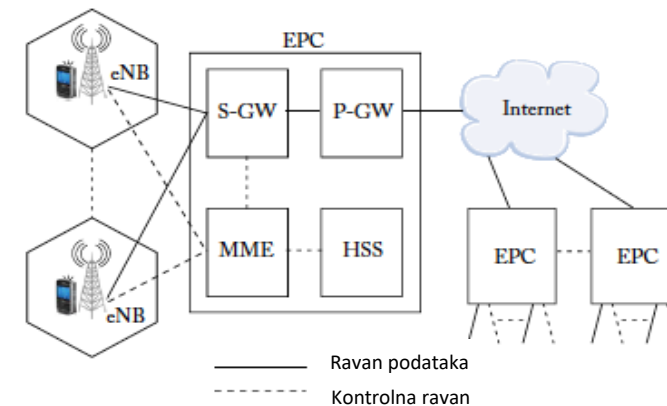
Karakteristike LTE tehnologije

- ❑ LTE koristi "openloop" i "closedloop" algoritme kontrole snage na uplinku radi smanjenja inter-ćelijske interferencije i uštede baterije na korisničkim uređajima.
- ❑ Kod "openloop" kontrole snage, korisnički uređaj procjenjuje slabljenje downlink pilot signala poznate snage i podešava svoju emisionu snagu pretpostavljajući sličan gubitak uslijed propagacije po uplinku.
- ❑ Kod "closedloop" kontrole snage, BS izričito upućuje korisnički uređaj da li da poveća ili smanji emisionu snagu na osnovu jačine primljenog signala.
- ❑ Standardi ne specificiraju korišćenje bilo kojeg algoritma kontrole snage na downlink-u. Ova odluka je ostavljena operatoru.
- ❑ Da bi povećao brzinu i pouzdanost prenosa podataka, LTE koristi sljedeće tehnike:
 - ❑ Adaptive Modulation and Coding (AMC),
 - ❑ Hybrid-Automatic Repeat request (H-ARQ)
 - ❑ MIMO.

LTE

Karakteristike LTE tehnologije

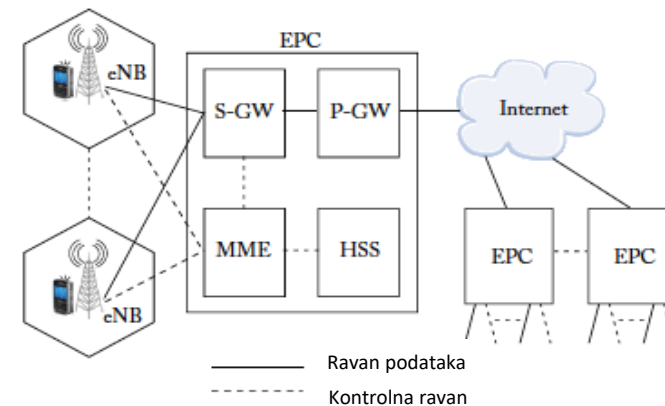
- ❑ BS LTE mreže je Evolved Node B (eNB),
- ❑ eNB se povezuju na žično IP jezgro Evolved Packet Core (EPC)
- ❑ Kontrolna ravan prenosi kontrolne podatke
- ❑ Ravan podatka prenosi korisničke podatke
- ❑ Ravan podatka je povezana na Internet i druge telekomunikacione mreže
- ❑ EPC sadrži sledeća čvorišta
 - ❑ Mobile Management Entity (MME),
 - ❑ Home Subscriber Server (HSS),
 - ❑ Serving Gateway (S-GW),
 - ❑ Packet Data Network Gateway (P-GW)
 - ❑ ...



LTE

Karakteristike LTE tehnologije

- ❑ S-GW preko P-GW prenosi uplink i downlink saobraćaj ka i od javnog ili privatnog Interneta.
- ❑ S-GW obezbeđuje i razmjenu podataka između eNB-ova istog operatora.
- ❑ MME je posvećen funkcijama kontrolne ravni (provjera identiteta korisnika prilikom uspostavljanja veze, izbor S-GW, pomoć pri handover-u, praćenje korisničkih uređaja u *idle* modu, sigurnosna kontrola).
- ❑ MME od HSS-a dobija informacije o pretplatničkom statusu korisnika
- ❑ Kada je korisnik van svoje mreže, mreža kojoj pristupa kontaktira njegov matični HSS radi provjere autentičnosti i dobijanja odgovarajućih informacija o korisniku.
- ❑ HSS igra ulogu "matičnog registra".



LTE

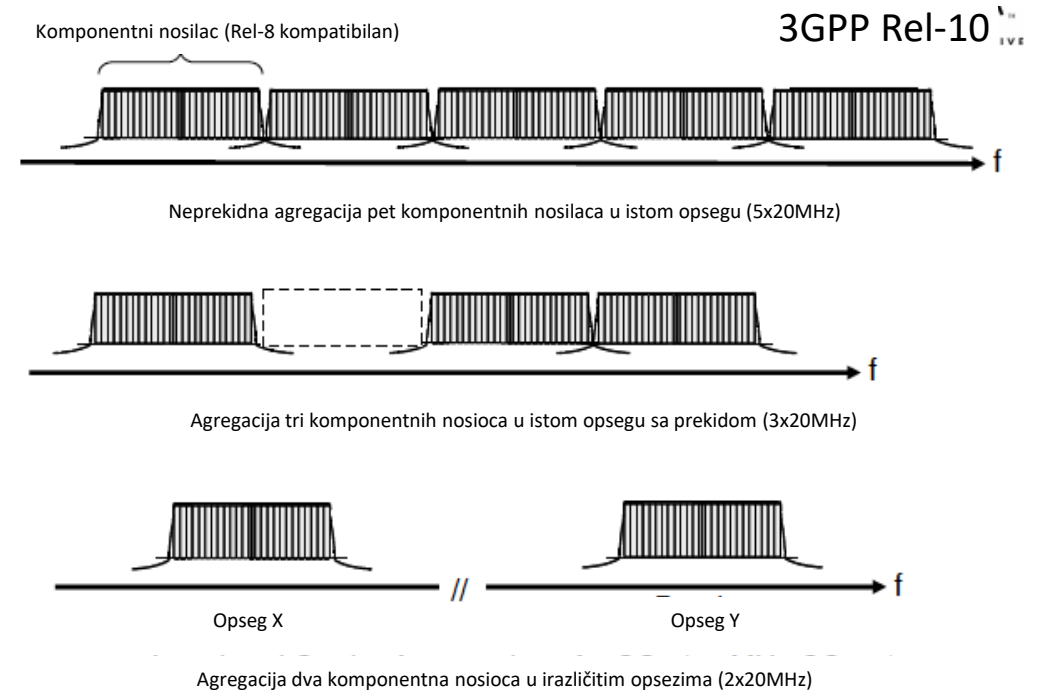
LTE Advanced

- ❑ Kao što je već rečeno LTE Advanced, kao unaprijeđena verzija LTE, je počeo postepeno da se uvodi počev od 3GPP-a Release 10 pa sve do Release-12.
- ❑ Između ostalog korisniku se nudi brzina od 1Gb/s
- ❑ LTE-Advanced je odobren kao 4G tehnologija od strane ITU-a 2012. godine.
- ❑ Ključna unapređenja koja donosi LTE Advanced su:
 - ❑ Agregacija nosilaca
 - ❑ Unaprijeđeni MIMO
 - ❑ Relejni čvorovi
 - ❑ Coordinated Multi Point Operation (COMP)

LTE

LTE Advanced

- ❑ Agregacija nosilaca omogućava operatoru da ponudi širi kanal svojim klijentima, ako ima licencu za više od jednog kanala na određenoj lokaciji.
- ❑ Svaki nosilac koji se koristi za agregaciju se naziva komponentnim nosiocem, a može imati širinu kanala od 1,4, 3, 5, 10 ili 20 MHz.
- ❑ Do pet komponentnih nosilaca se može kombinovati tako da se ponudi širi kanal do 100 MHz, pri čemu se agregacija nosilaca obavlja nezavisno za uplink i downlink.
- ❑ Komponentni nosioci ne moraju biti na bliskim učestanostima, čak mogu biti u različitim opsezima.
- ❑ Budući da komponentni nosioci mogu imati različito pokrivanje zbog različitih propagacionih karakteristika, obično komponentni nosilac sa većim pokrivanjem se označava kao primarni nosilac a dodatni sekundarni komponentni nosioci se dodaju po potrebi.
- ❑ Primarni komponentni nosilac je odgovoran za održavanje radio veze sa korisničkim uređajem.



LTE

LTE Advanced Pro

- ❑ Unaprijeđena verzija LTE-Advanced, uvedena dokumentima Release 13 i Release 14 (3GPP).
- ❑ Korisniku se nudi brzina od 3Gb/s
- ❑ Kašnjenje u radio dijelu mreže je manje od 2ms što je važno za vremenski kritične aplikacije
- ❑ Kompatibilan je sa LTE i LTE-Advanced korisničkim uređajima
- ❑ LTE-Advanced je odobren kao 4.9G tehnologija od strane ITU-a 2015. godine i biće integrisan u 5G mrežu
- ❑ Ključna unapređenja koja donosi LTE Advanced su:
 - ❑ Korišćenje nelicenciranog opsega
 - ❑ Poboljšanje agregacije nosilaca
 - ❑ Poboljšanja za MTC (Machine Type Communications)
 - ❑ Poboljšanja za D2D
 - ❑ Elevacioni beamforming i višedimenzioni MIMO
 - ❑ Poboljšanje multi-user komunikacije
 - ❑ Indoor pozicioniranje
 - ❑ Jednoćelijski point-to-multipoint

Softverski definisane mreže (SDN)

- ❑ U tradicionalnim mrežama ravan podataka i kontrolna ravan implementirani su na svakom uređaju
- ❑ SDN kontrolna ravan je razdvojena od ravni podataka i *logički centralizovana*
- ❑ Inicijalno motivisan problemima koji prate virtuelizaciju servera u "big data" eri
 - ❑ Mrežni administratori moraju da osiguraju da je VLAN kojem pripada VM dodijeljen onom portu sviča na koji je povezan fizički server.
 - ❑ Potrebno je rekonigurisati VLAN svaki put kada se VM pomjeri na drugi server.
- ❑ Drugi motiv: korišćenje pametnih telefona, tableta i *notebook* računara za pristup resursima kompanijskih mreža
 - ❑ Administratori moraju biti u stanju da rapidno odgovore na dinamičke promjene inteziteta saobraćaja, QoS zahtjeve i sigurnosne zahtjeve.
 - ❑ Upravljanje tradicionalnim mrežama je veoma kompleksno i sporo.

Softverski definisane mreže (SDN)

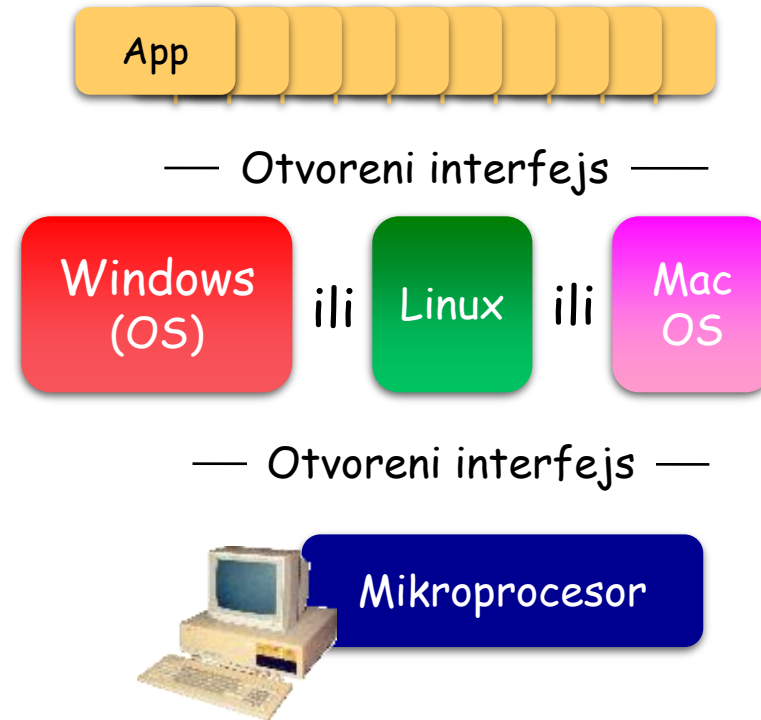
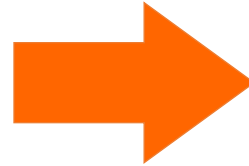
Zašto logički centralizovana kontrolna ravan?

- ❑ Jednostavnije upravljanje mrežom: rijede su greške u konfiguraciji, veća fleksibilnost u kontroli saobraćajnih tokova
- ❑ API između kontrolne ravni i ravni podataka omogućava "programiranje" rutera
 - ❑ Centralizovano "programiranje" je lakše: tabele prosleđivanja se računaju centralizovano i distribuiraju.
 - ❑ Distribuirano "programiranje" je teže: tabele prosleđivanja računaju distribuirani algoritmi (protokoli) koji su implementirani na svakom ruteru.
- ❑ Otvorena implementacija kontrolne ravni

Analogija: evolucija od mejnfrejma do PC računara

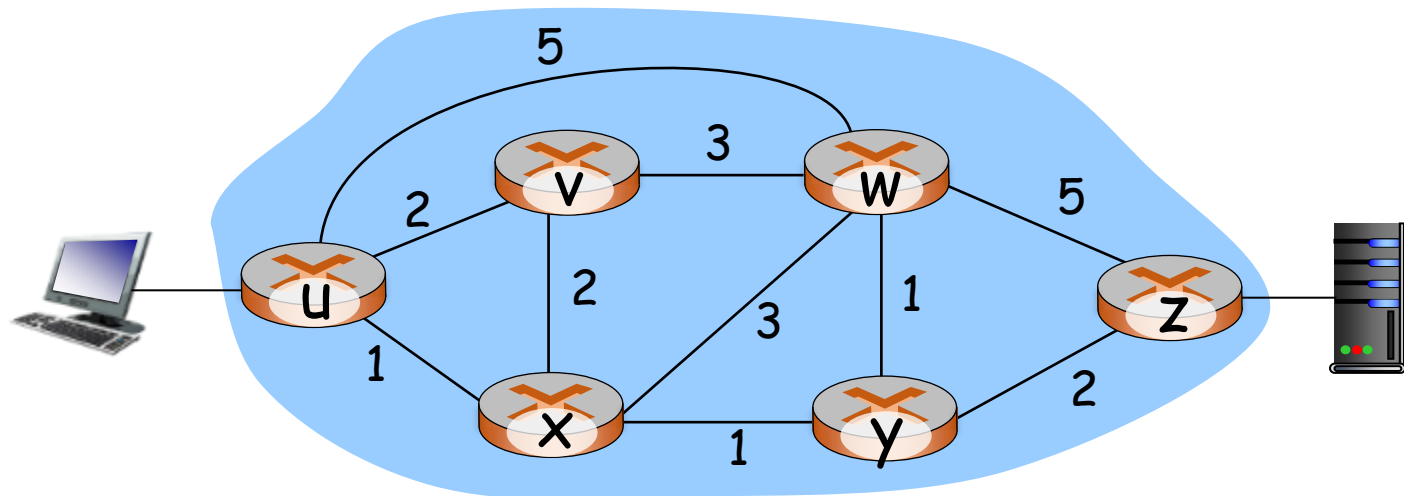


Vertikalno integrisan
Zatvorenog koda
Spore inovacije
Mala industrija



Horizontalno integrisan
Otvoreni interfejsi
Brze inovacije
Ogromna industrija

Inženjering saobraćaja: kompleksnost distribuiranog rutiranja

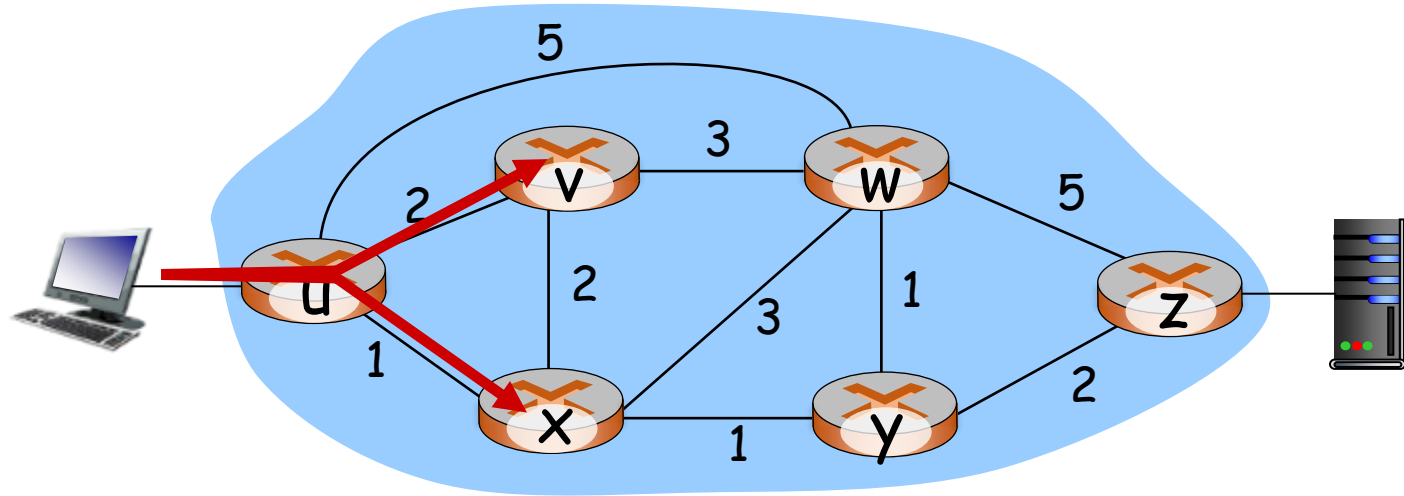


P: Šta ako mrežni operator želi da se saobraćaj od u do z prenosi rutom uvwz, a saobraćaj od x do z rutom?

O: moramo definisati težinske faktore linkova tako da algoritam rutiranja bira baš te rute (ili nam je potreban novi algoritam rutiranja)!

Težinski faktori linkova su jedini vid kontrole: loše!

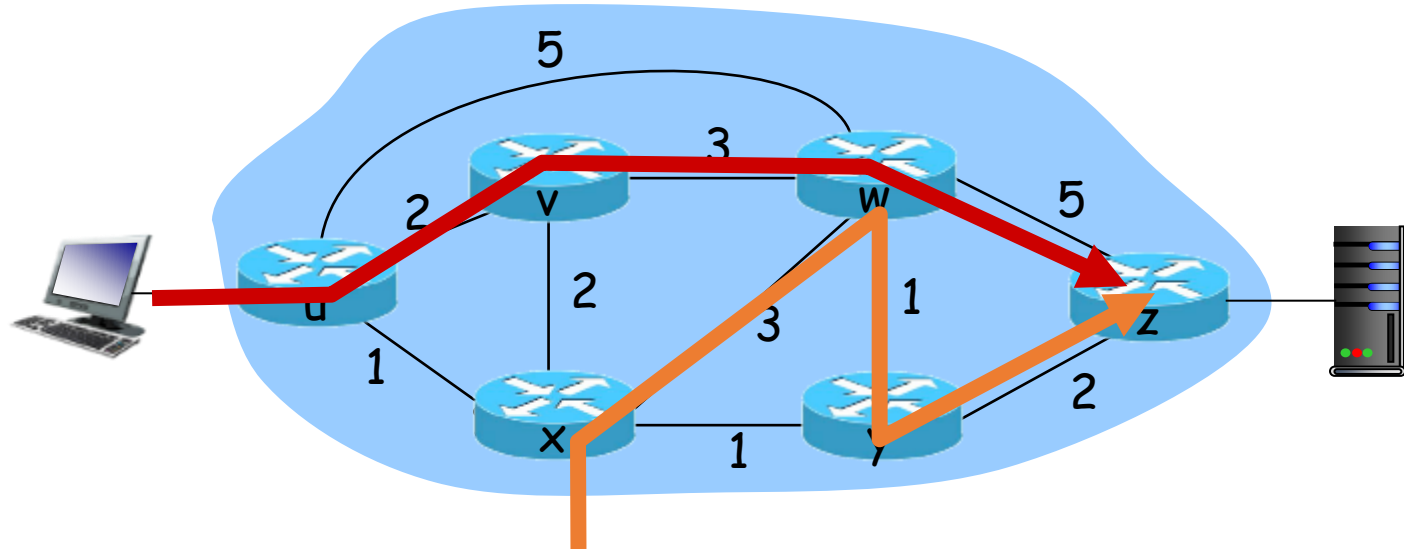
Inženjering saobraćaja: teško



P: šta ako mrežni operator želi da podijeli saobraćaj između u i z preko dvije rute: uvwz i uxyz (balansiranje saobraćaja)?

O: nije moguće to uraditi (potreban novi algoritam rutiranja)

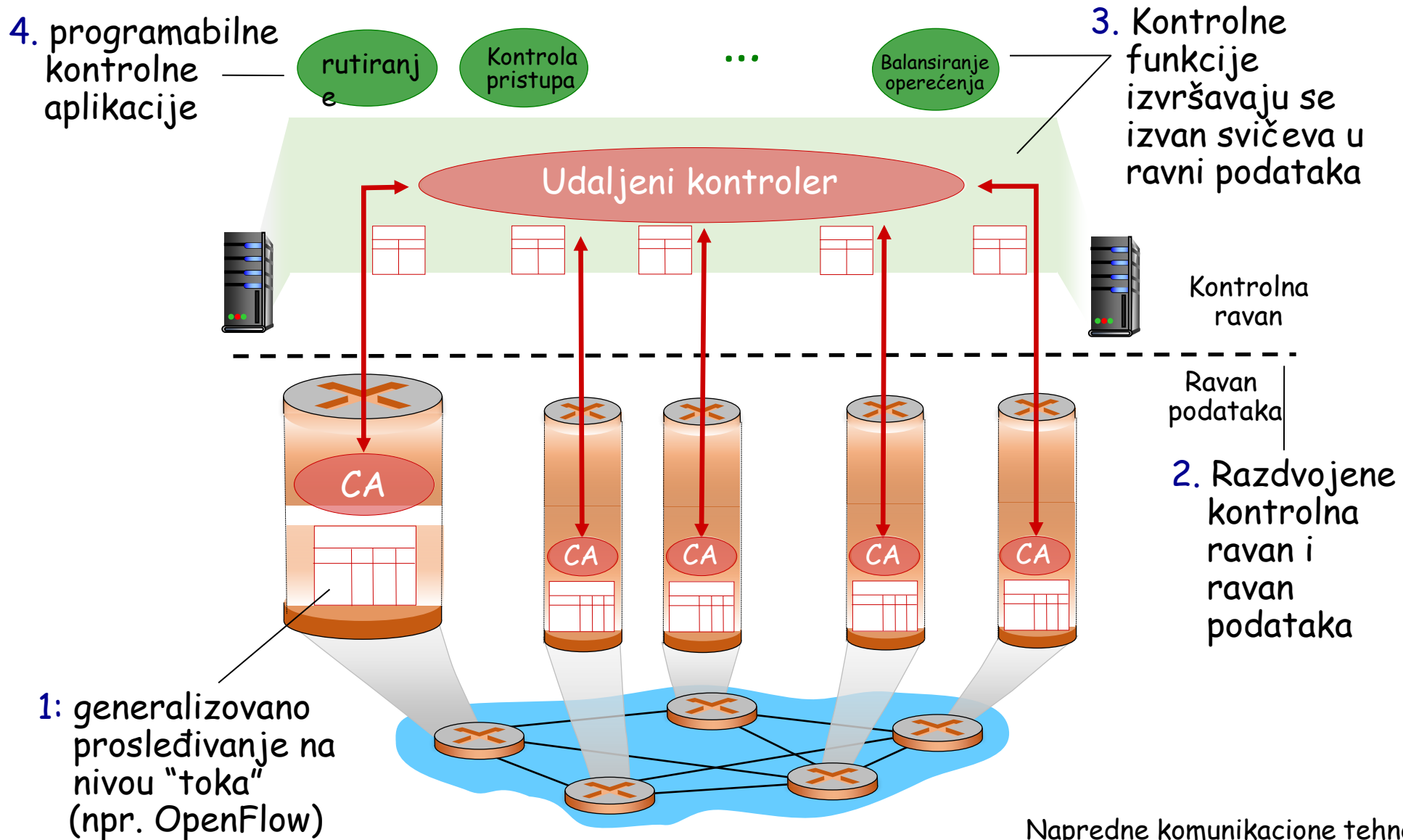
Inženjering saobraćaja: teško



P: Šta ako w želi da rutira plavi i crveni saobraćaj na različite načine?

O: Nije moguće (sa rutiranjem na osnovu destinacione IP adrese, link-state i distance-vector rutiranjem)

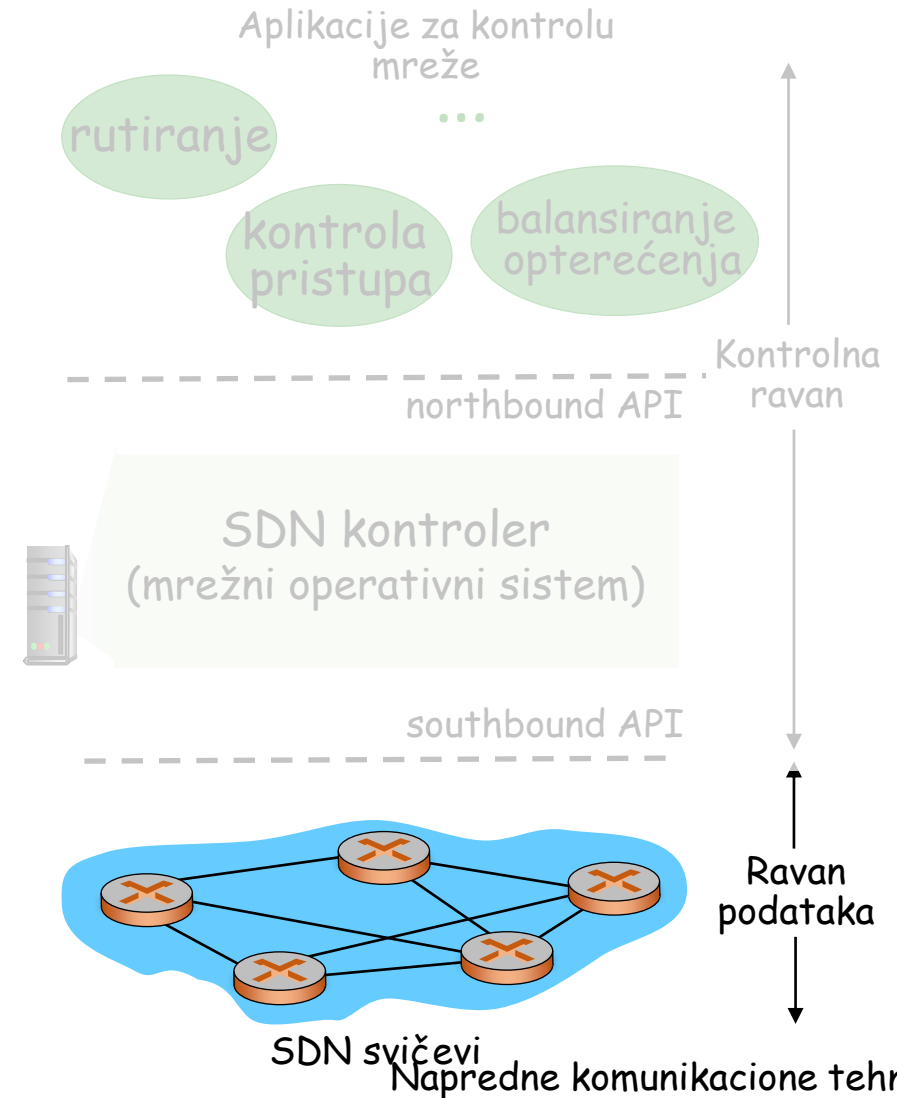
Softverski definisano umrežavanje (SDN)



SDN perspektiva: svičevi u ravni podataka

Ravan podataka

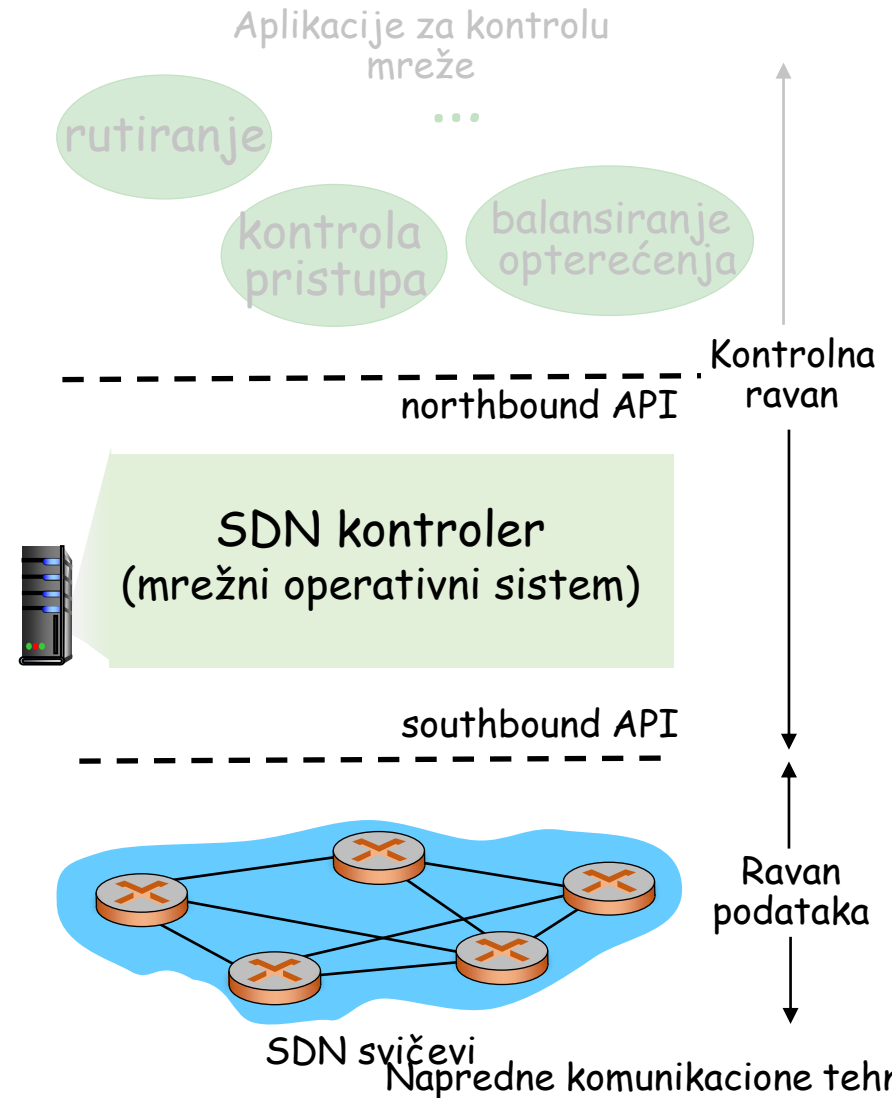
- ❑ Brzi, jednostavni svičevi, implementirani u hardveru
- ❑ Prosleđivanje se vrši na osnovu tabele tokova koju instalira kontroler
- ❑ Tabele tokova generalizuju tabele prosleđivanja
- ❑ API za kontrolu tabela tokova (npr. OpenFlow)
 - ❑ Definiše šta može da se kontroliše a šta ne može
- ❑ Protokol za komunikaciju sa kontrolerom (npr. OpenFlow)



SDN perspektiva: SDN kontroler

SDN kontroler (mrežni OS):

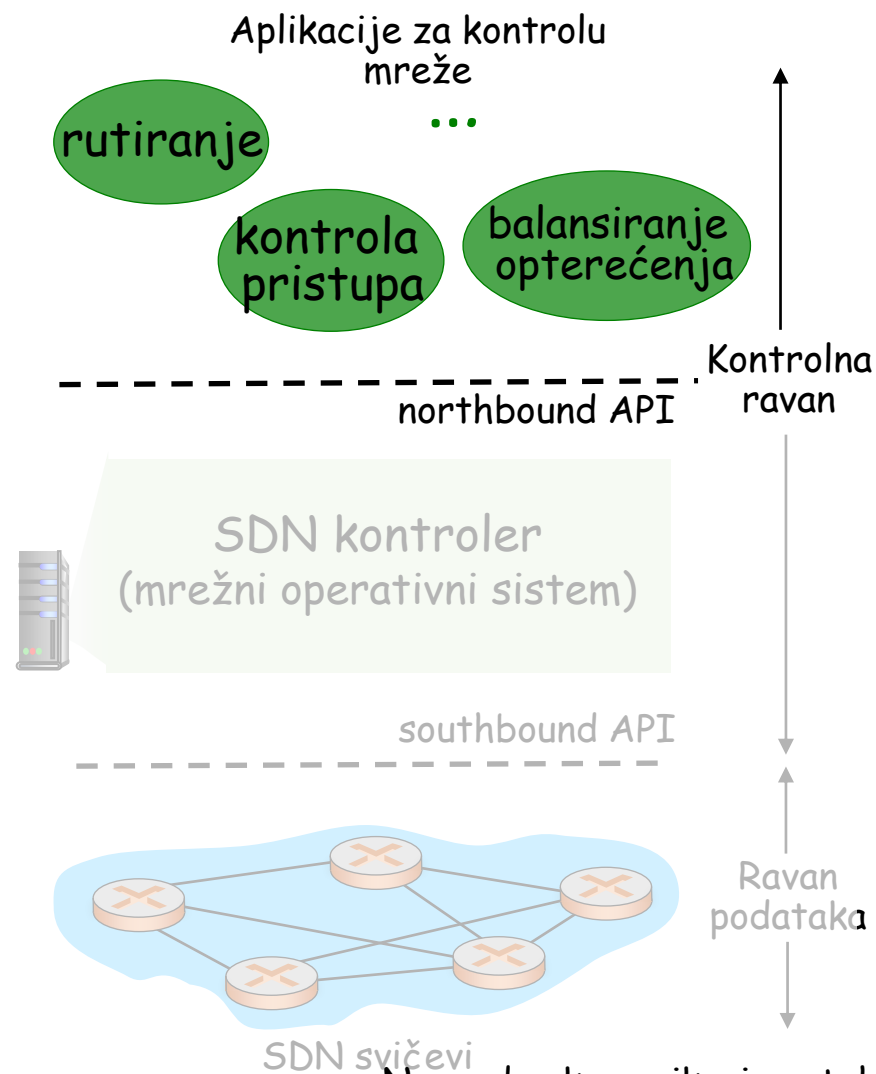
- ❑ Održava informacije o stanju mreže
- ❑ Interakcija sa mrežnim kontrolnim aplikacijama putem northbound API-ja
- ❑ Interakcija sa mrežnim svičevima preko southbound API-ja
- ❑ Implementiran kao distribuiran sistem zbog performansi, skalabilnosti, robustnosti na greške i kvarove



SDN perspektiva: kontrolne aplikacije

Mrežne kontrolne aplikacije:

- ❑ "Mozak" upravljanja: implementiraju kontrolne funkcije koristeći API koji pruža SDN kontroler
- ❑ Može ih kreirati i treća strana: različita od proizvođača SDN svičeva i kontrolera



Virtuelizacija mrežnih funkcija (NFV)

Virtuelizacija

- ❑ Pretvara fizičke resurse u logičke, ili virtuelne, resurse
- ❑ Omogućava korisnicima i aplikacijama iznad nivoa apstrakcije da upravljaju i koriste "logičke" resurse bez ulaza u detalje o stvarnim fizičkim resursima

NFV

- ❑ Razdvajanje mrežnih funkcija od hardvera, i stvaranje uslova za izvršavanje mrežnih funkcija u formi softverskih komponenti na serverima opšte namjene, svičevima, storidž uređajima ili cloud-u
- ❑ Virtuelne mrežne funkcije (eng. **Virtual Network Functions-VNFs**) se mogu sastojati od jedne ili više virtuelnih mašina na kojima se izvršavaju različiti softveri i procesi koji zamjenjuju ulogu određenih hardverskih uređaja
- ❑ Obično se više VNF-ova se koristi u sekvenci kako bi se korisnicima pružili servisi od interesa

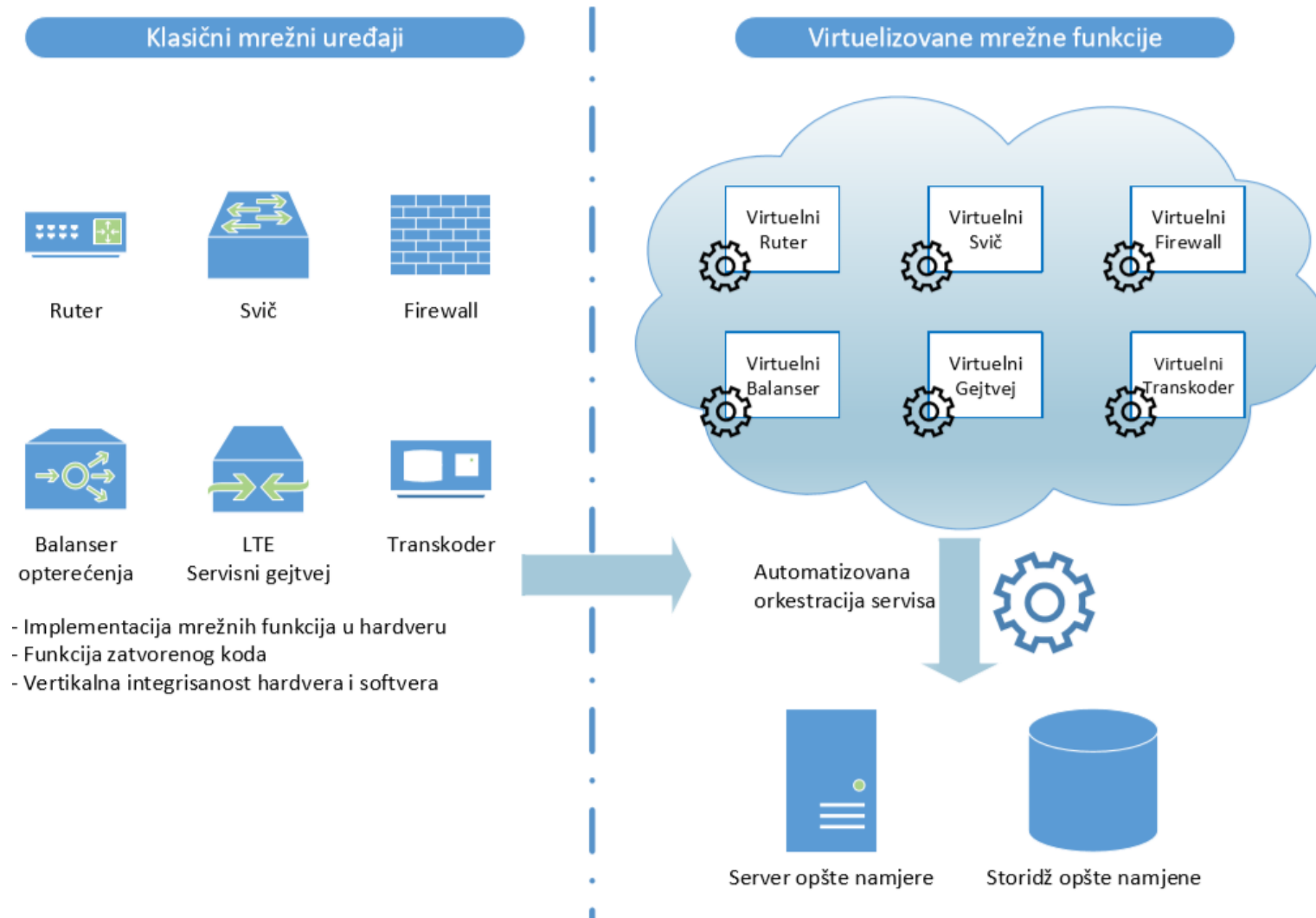
Mane hardverske implementacije mrežnih funkcija

- ❑ Današnje mreže sadrže veliki broj hardverskih uređaja na kojima su vertikalno integrisane različite mrežne funkcije (npr. rutiranje, balansiranje opterećenja, dubinska inspekcija paketa, firewall)

Mane tradicionalnog pristupa

- ❑ Softver koji je implementiran na ovim uređajima je zatvorenog koda i nudi vrlo ograničene mogućnosti za udaljenu rekonfiguraciju
- ❑ Novi servisi zahtijevaju nove tipove hardverskih uređaja
- ❑ Novi hardver znači nove kapitalne troškove
- ❑ Kompleksna integracija i upravljanje velikim brojem uređaja
- ❑ Jednom kada se saobraćajno opterećenje približi mrežnom kapacitetu (npr. 70% iskorišćenosti), vrši se upgrade opreme kako bi mreža mogla da odgovori na buduće zahtjeve
- ❑ Bilo kakva nepredviđena distorzija saobraćaja može izazvati probleme u funkcionisanju mreže

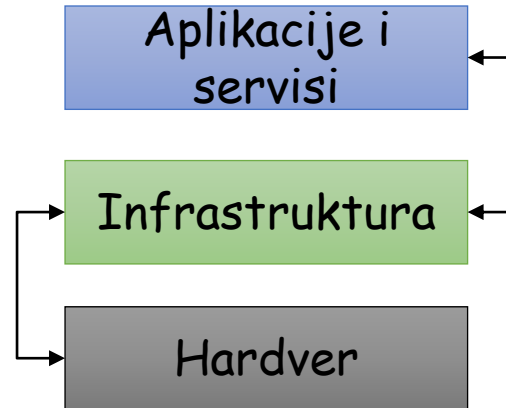
NFV transformacija



Internet stvari (IoT)

- ❑ Globalna infrastruktura koja omogućava umrežavanje velikog broja fizičkih ili virtuelnih uređaja (mehaničkih i digitalnih mašina i predmeta) primjenom širokog spektra ICT tehnologija.
- ❑ Obezbjeđuje efikasno povezivanje digitalnog i fizičkog svijeta, tj. povezivanje senzorskih i aktuatorskih uređaja sa Internetom.
- ❑ **M2M komunikacija** - IoT uređaji direktno i indirektno međusobno razmjenjuju podatke.
- ❑ Krajnji korisnici putem web-a i mobilnih aplikacija pristupaju podacima koje šalju senzorski uređaji, konfiguriraju uređaje i upravljaju IoT sistemima.
- ❑ **Primjena:** pametni gradovi, pametna domaćinstva, logistika, digitalna transformacija industrije, zdravstva, uprave, poljoprivrede itd.

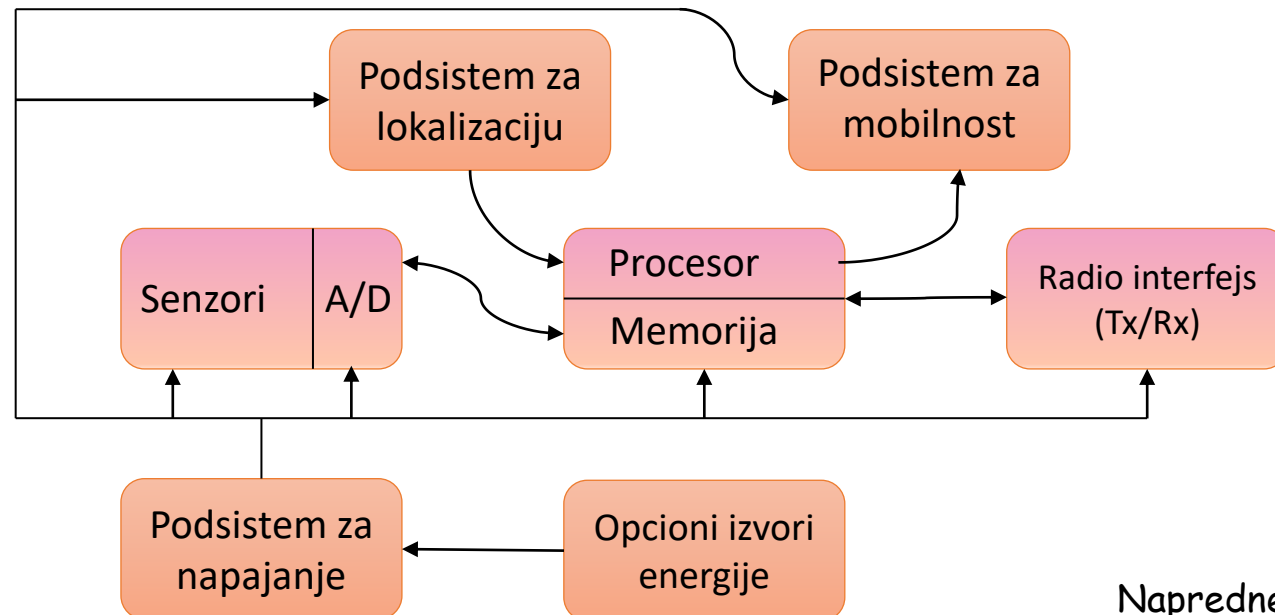
Internet stvari - struktura



- ❑ **Hardver** - "Pametni" uređaji sa ugrađenim računarskim funkcionalnostima koji međusobno razmjenjuju informacije i uče na osnovu iskustva.
- ❑ **Infrastruktura** - Omogućuje povezivanje uređaja na bežičnu ili neku drugu računarsku mrežu; Obezbeđuje okruženje za razvoj IoT aplikacija kroz kanale za upravljanje podacima i uređajima.
- ❑ **Aplikacije i servisi** - Prikupljanje podataka sa uređaja, obrada i prenos podataka.

IoT uređaji

- U opštem slučaju, strukturu senzorskog čvora čine: *modul za napajanje i upravljanje napajanjem*, *senzorska jedinica*, *procesorska jedinica/mikrokontroler* i *radio primopredajnik* (komunikacioni modul).
- U zavisnosti od namjene uređaja, arhitektura može obuhvatiti i podsisteme za lokalizaciju, mobilnost i dodatne izvore energije.
- Primjeri IoT uređaja: kućni aparati, pametni telefoni, štampači, automobili, industrijske mašine, računari, uređaji u energetske sistemima, uređaji u zdravstvenim sistemima i razni drugi.



IoT uređaji

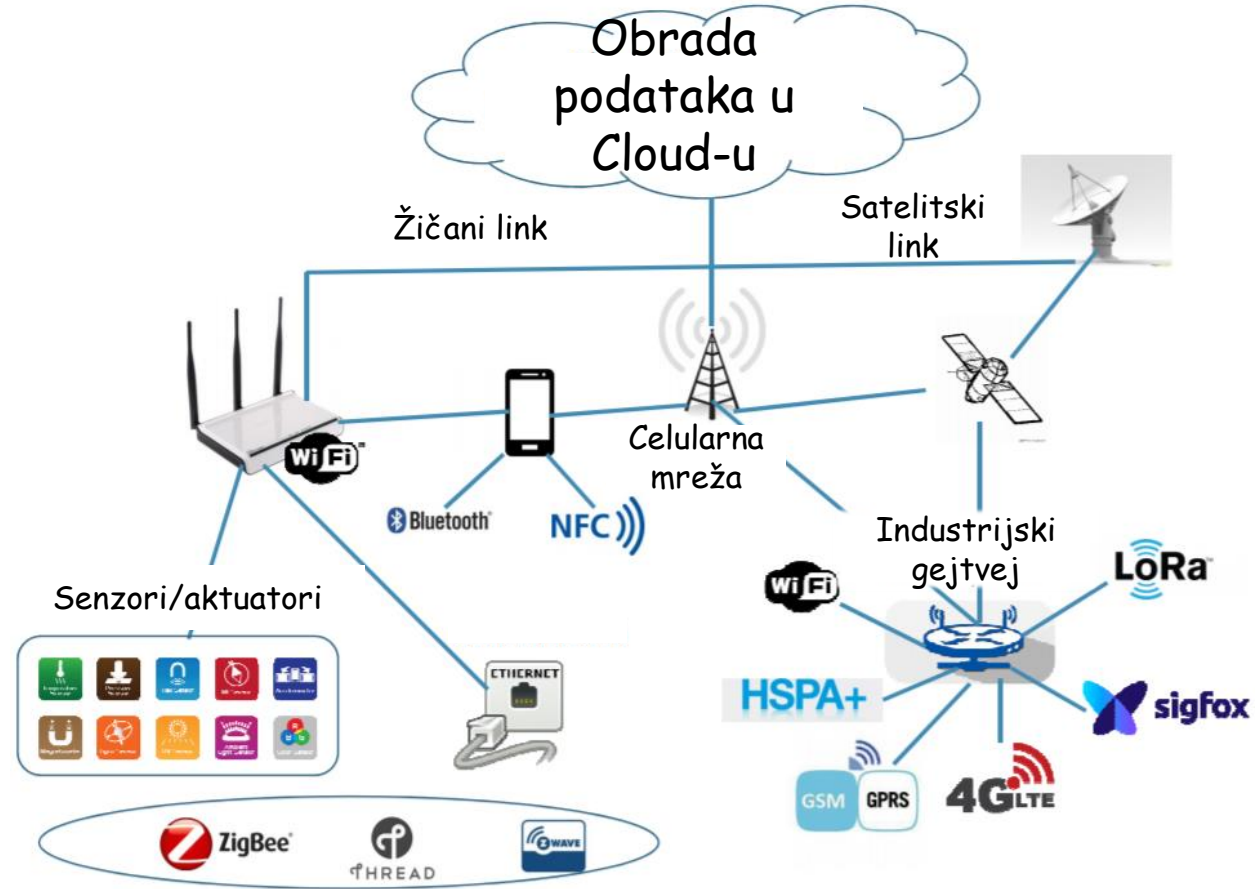
- ❑ Modul za napajanje obezbjeđuje pouzdan izvor napajanja potreban za rad kompletnog sistema.
- ❑ Uloga senzorskih uređaja (čvorova) je prikupljanje informacija o okruženju u kojem se nalaze i prenos informacija u vidu električnih signala.
- ❑ Ako je na izlazu senzora analogni signal, za njegovu konverziju u digitalni oblik se koristi analogno-digitalni (A/D) konvertor. Takav digitalni signal se prosleđuje na ulaz mikrokontrolera.
- ❑ Mikrokontroler preuzima i obrađuje digitalne podatke, a zatim ih, po potrebi, skladišti u memoriju.
- ❑ Primopredajnik je radio-frekvencijski (RF) modul koji se koristi za prenos podataka, tj. za fizičku realizaciju komunikacije sa drugim čvorovima.
- ❑ Mnoge IoT mreže osim samih senzora sadrže i aktuatore kojima se djeluje na okruženje (npr. ventili koji kontrolišu protok tečnosti ili gasa, pumpa koja reguliše količinu goriva ili motor koji otvara/zatvara vrata).

IoT uređaji

Karakteristike IoT uređaja

- ❑ **Dinamička samoadaptivnost** - uređaji se dinamički prilagođavaju okruženju i reaguju na promjene iz okruženja.
- ❑ **Autonomnost** - Konfiguriraju se uz minimalno učešće korisnika.
- ❑ **Interoperabilnost komunikacionih protokola** - Međusobnu komunikaciju ostvaruju putem standardizovanih interoperabilnih komunikacionih protokola.
- ❑ **Jedinstveni identitet** - Imaju jedinstven simbolički ili numerički identifikator, npr. IP adresu ili jedinstveni identifikator resursa (eng. *Uniform Resource Identifier, URI*).
 - ❑ Pomoću jedinstvenog identifikatora korisnici pristupaju uređaju preko Interneta, daljinski upravljaju uređajem, konfiguriraju i prate njegov status.
- ❑ **Umreženost** - Povezani su u računarsku mrežu koja omogućuje da međusobno komuniciraju i da budu vidljivi ostalim uređajima i aplikacijama.
- ❑ **Ograničeni resursi** - mala procesorska snaga, mala memorija i često baterijsko napajanje.

Generalna IoT arhitektura

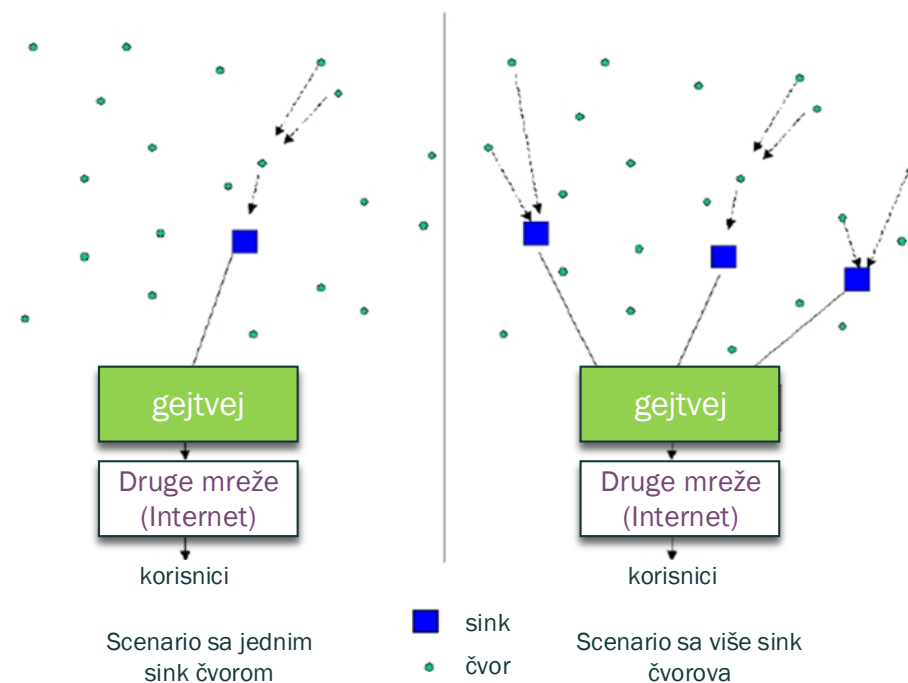


Bežične senzorske mreže (WSNs)

- Mreža prostorno distribuiranih senzorskih uređaja, koji na kooperativan način saraduju u realizaciji mjernih i komunikacionih zadataka.
- *Imaju ključnu ulogu u IoT razvoju!*
- Osnovne aktivnosti:
 - Prikupljanje podataka
 - Razmjena podataka
 - Prenos relevantnih informacija o mrežnom okruženju (npr. temperatura, pritisak, zvuk, kretanje, osvjetljenje i dr.) ka centralnom čvoru - koordinatoru (*sink* čvoru) ili baznoj stanici.
- WSN koordinador vrši agregaciju prikupljenih podataka i nakon toga ih prosleđuje ka spoljnoj mreži preko gejtvej uređaja (GW).
- U nekim slučajevima koordinador lokalno obrađuje podatke, aktivira alarm i šalje odgovarajuće instrukcije aktuatorskim i senzorskim uređajima u zavisnosti od vrijednosti primljenog podatka (*Edge computing*)

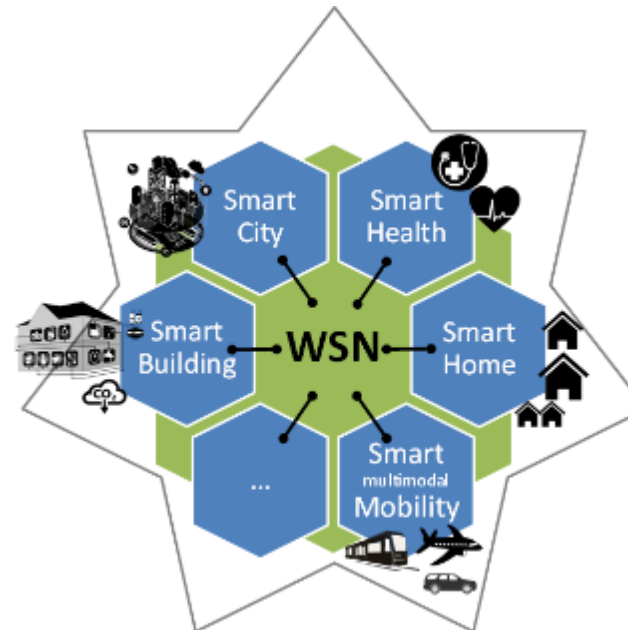
Bežične senzorske mreže

- Brojne IoT aplikacije podrazumijevaju prenos podataka preko većeg broja čvorova i linkova - hopova, do koordinatora WSN mreže.
- Funkcija GW je agregacija podataka primljenih od senzorskih čvorova, kontrola mrežnog statusa, prosleđivanje agregiranih podataka ka web platformi ili lokalno skladištenje.
- Preko odgovarajuće web platforme podaci postaju dostupni za vizuelizaciju, analizu, daljinsko očitavanje i dr.



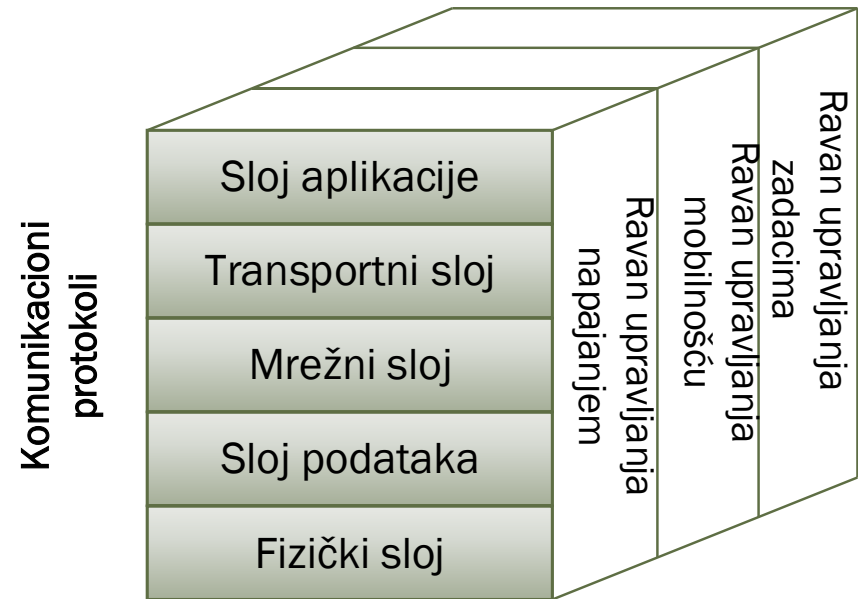
Bežične senzorske mreže

- ❑ Zavisno od okruženja u kome se primjenjuju, bežične senzorske mreže mogu se koristiti za:
 - ❑ Pojedinačna i periodična mjerenja na osnovu kojih je moguća aproksimacija vremenskih ili prostornih funkcija, praćenje promjena ili određivanje graničnih vrijednosti posmatrane veličine.
 - ❑ Vremensko i prostorno praćenje objekata i ciljeva i prenos prikupljenih informacija ka pristupnom uređaju.
- ❑ Razne oblasti primjene:
 - ❑ industrija,
 - ❑ vojska,
 - ❑ geolokacija,
 - ❑ javna bezbjednost,
 - ❑ poljoprivreda,
 - ❑ seizmologija,
 - ❑ zdravstvo, itd.



WSN arhitektura

- Osnovu komunikacija u bežičnim senzorskim mrežama čini slojevit model arhitekture.
- Mehanizmi i protokoli OSI nivoa prilagođeni su zahtjevima IoT aplikacija i ograničenim hardverskim resursima senzorskih uređaja.
- Komunikaciona arhitektura WSN mreža se bazira na pet slojeva: *fizički sloj*, *sloj podataka*, *mrežni sloj*, *transportni sloj* i *sloj aplikacija*.



WSN arhitektura

Fizički sloj

- ❑ Na fizičkom, PHY sloju (eng. *Physical Layer*) se implementiraju mehanizmi koji određuju načine obrade i prenosa signala između senzorskih čvorova.
- ❑ PHY sloj vrši izbor frekvencija za realizaciju bežične komunikacije, generiše noseće frekvencije, vrši detekciju signala, izbor modulacionog postupka i enkripciju podataka.
- ❑ WSN se najčešće implementiraju u ISM opsegu. Pri tome, brojne druge tehnologije koriste ovaj opseg (npr. IEEE 802.11, Bluetooth).
- ❑ Jedan od najpopularnijih standarda za WSN IoT primjene je IEEE 802.15.4, projektovan za aplikacije koje podrazumijevaju vrlo malu potrošnju, jednostavnu implementaciju i malu cijenu realizacije.

WSN arhitektura

Sloj podataka (eng. Data link layer)

- ❑ Čine ga dva podsloja: MAC (eng. *Media Access Control*) i LLC (eng. *Logical Link Control*).
- ❑ MAC podsloj definiše prava pristupa bežičnom medijumu, mehanizme za smanjenje vjerovatnoće kolizija u prenosu paketa, kao i mehanizme za praćenje potrošnje energije senzorskog čvora.
- ❑ LLC podsloj obavlja funkcije adresiranja na nivou linka, kreira zaglavlje frejma i multipleksira saobraćajne tokove.

WSN MAC vs. tradicionalni MAC:

- ❑ Decentralizovana kontrola
- ❑ Linkovi su veoma dinamičnih karaktersitika
- ❑ Veliki broj uređaja po jedinici površine
- ❑ Potrošnja energije ja **najveća** briga!
- ❑ Životni vijek mreže, pouzdanost, skalabilnost i kašnjenje su uglavnom bitniji od propusnosti.

WSN arhitektura

Mrežni sloj

- ❑ Upravlja adresiranjem i rutiranjem podataka dobijenih od transportnog sloja.
- ❑ IP protokol je referentni protokol ovog sloja.
- ❑ U IoT komunikacijama, IPv6 predstavlja referentni protokol prenosa.

Transportni sloj

- ❑ Transportni sloj održava tok podataka između aplikacija.
- ❑ Obezbeđuje:
 - ❑ Generisanje potvrde "od kraja do kraja" da bi se garantovala ispravnost prijema,
 - ❑ Kontrolu protoka,
 - ❑ Kontrolu zagušenja,
 - ❑ Multipleksiranje i demultipleksiranje tokova;

Sloj aplikacije

- ❑ Omogućava isporuku specifičnih usluga do krajnjeg korisnika.

WSN arhitektura

Upravljačka ravan

- ❑ Komunikaciona arhitektura WSN mreže sadrži i tri upravljačke ravni: *upravljanje napajanjem, upravljanje mobilnošću i upravljanje zadacima*.
- ❑ Ravan upravljanja napajanjem obezbeđuje mehanizme za regulisanje potrošnje senzorskog čvora prilikom realizacije tri ključne operacije: monitoring okruženja, obrada podataka i bežična komunikacija.
- ❑ Ravan upravljanja mobilnošću omogućava detekciju i praćenje kretanja senzorskih čvorova.
 - ❑ Senzorski čvor u svakom trenutku ima pregled situacije u okruženju, odnosno ima informaciju o susjednim čvorovima, što omogućava izbor adekvatnog režima potrošnje.
- ❑ Ravan upravljanja zadacima zadužena je za raspoređivanje aktivnosti vezanih za komunikaciju i obradu podataka.
- ❑ Upravljačke ravni pružaju podršku senzorskim čvorovima pri koordinaciji aktivnosti što rezultuje smanjenjem ukupne potrošnje.

IoT komunikacione tehnologije

- Podjela na osnovu udaljenosti prenosa ili pokrivenosti radio-signalom, uz osnovni zahtjev da se primjenjuju tehnologije i rešenja koja obezbjeđuju energetske efikasnost:
 - **WBAN** (eng. *Wireless Body Area Network*),
 - **WPAN** (eng. *Wireless Personal Area Network*),
 - **WLAN** (eng. *Wireless Local Area Network*),
 - **WWAN** (eng. *Wireless Wide Area Network*).
- Pored navedene podjele, u literaturi se IoT komunikacione tehnologije često grupišu kao: *proximity* tehnologije, tehnologije kratkog i tehnologije dugog dometa.
 - U grupu *proximity* tehnologija se ubrajaju RFID i NFC, sa dometom od nekoliko metara i primjenom u oblasti identifikacije i prenosa kratkih paketa.
 - Tehnologije kratkog dometa, koje se označavaju i kao kapilarne (eng. *capillary*), imaju domet do 100-ak metara i pogodne su za realizaciju WBAN, WPAN i WLAN mreža.
 - Posljednjih godina se intenzivno razvijaju tehnologije dugog dometa (do 15-ak kilometara) koje su pogodne za realizaciju velikih WLAN i WWAN mreža

IoT komunikacione tehnologije

- ❑ Uzimajući u obzir karakteristike IoT tehnologija, u literaturi se može pronaći i sledeća kategorizacija:
 - ❑ Tehnologije vrlo kratkog dometa (tipičan predstavnik su NFC sistemi),
 - ❑ Aktivni i pasivni RFID sistemi kratkog dometa,
 - ❑ Sistemi zasnovani na **IEEE 802.15.4** standardima kao što su: ZigBee, 6LoWPAN, 6TiSCH i Thread-bazirani sistemi,
 - ❑ Bluetooth-bazirani sistemi (npr. BLE),
 - ❑ Komercijalni sistemi, npr. Z-Wave, CSRMesh, EnOcean i dr.,
 - ❑ Sistemi bazirani na IEEE 802.11/Wi-Fi, npr. AllSeen Alliance specifikacije ili Open Connectivity Foundation,
 - ❑ Tehnologije dugog dometa (LoRaWAN, SigFox, NB-IoT).

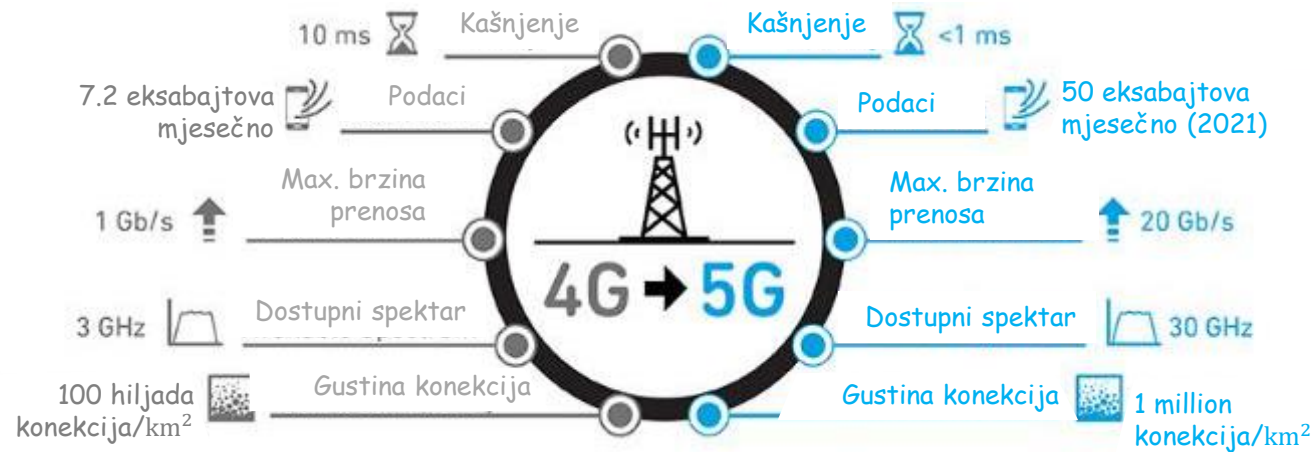
5G mreže

- ❑ 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 nameću 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
- ❑ Pouzdani 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

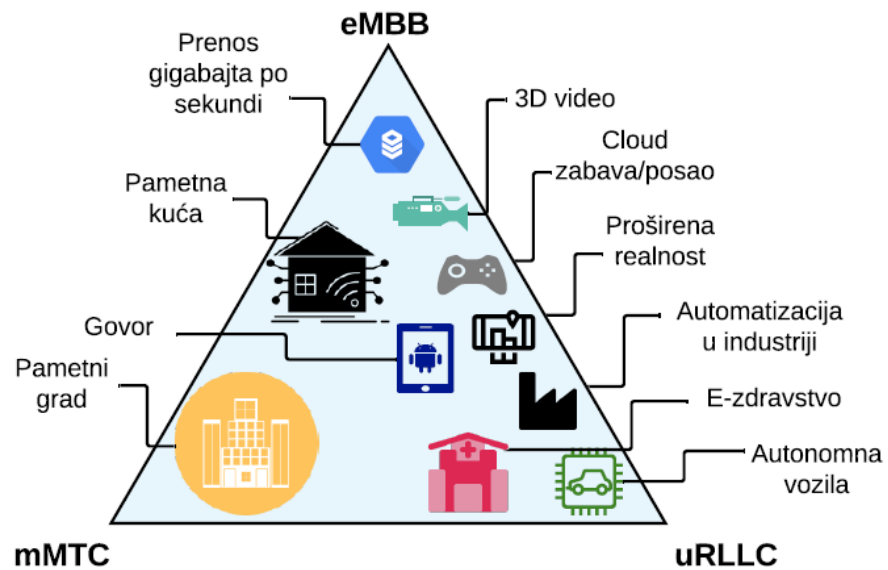


Indikator	IMT-2020	IMT-Advanced
	Maksimalna brzina prenosa (<i>Gbps</i>)	20
Kapacitet po jedinici površine (<i>Mbps/m²</i>)	10	0.1
Gustina konekcija (<i>br. uređaja / km²</i>)	10 ⁶	10 ⁵
Kašnjenje (<i>ms</i>)	1	10
Mobilnost (<i>km/h</i>)	500	350
Propusnost (<i>Mbps</i>)	100-1000	10
Spektralna efikasnost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

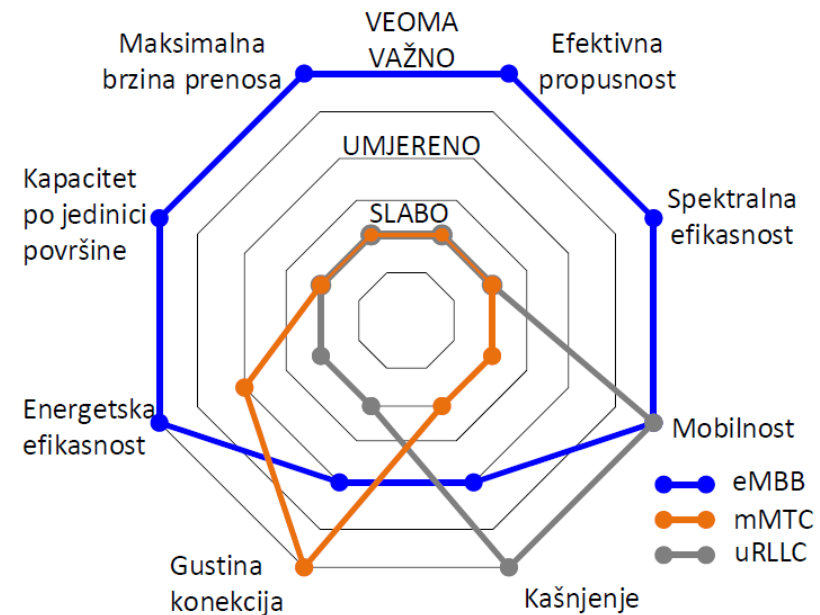
5G servisi

- ❑ Poboljšanje 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 - Spektar

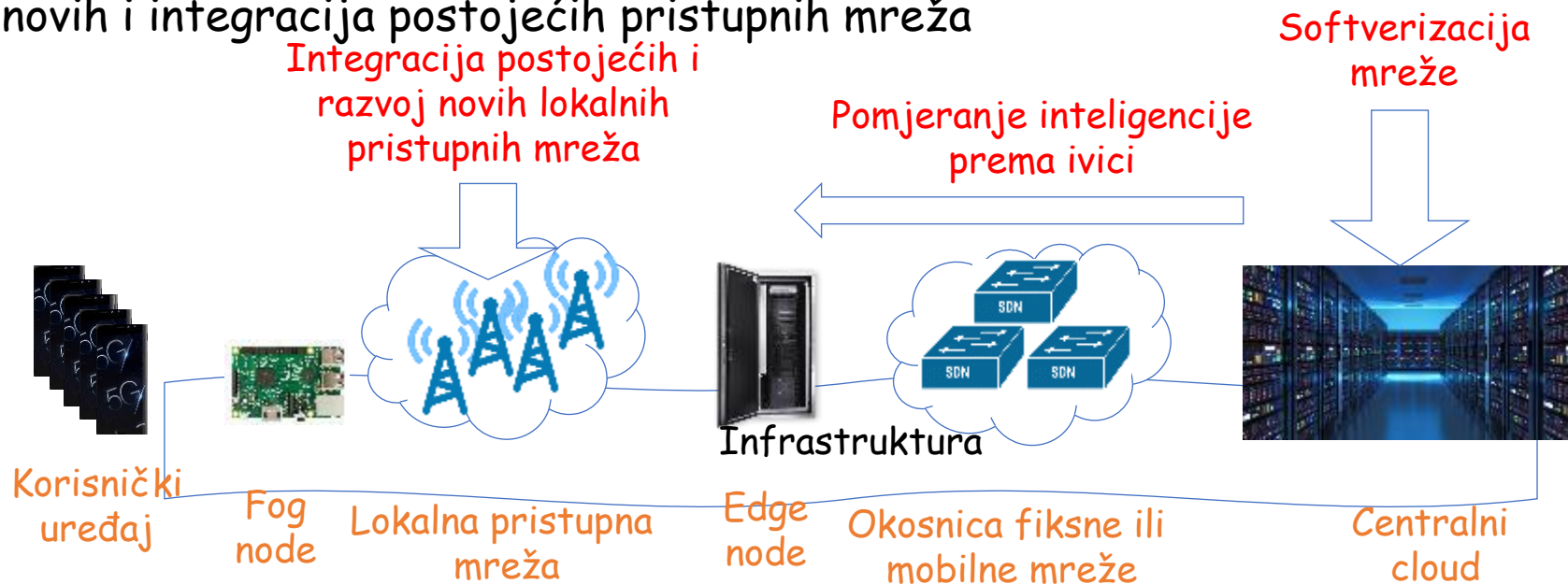
- ❑ Koristi se spektar na nižim (*low band*), srednjim (*mid band*) i visokim (*high band*) učestanostima
- ❑ *Release 15* pokriva učestnosti od ispod 1GHz pa do 52.6 GHz
- ❑ Predviđeno korišćenje **milimetarskih talasa** (>24GHz)
- ❑ Visokofrekvencijski dio spektra (>6GHz) dostupan je na više opsega 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 infrastruktura

SDN/NFV

5G je sveobuhvatni softverski sistem koji koristi sve raspoložive resurse

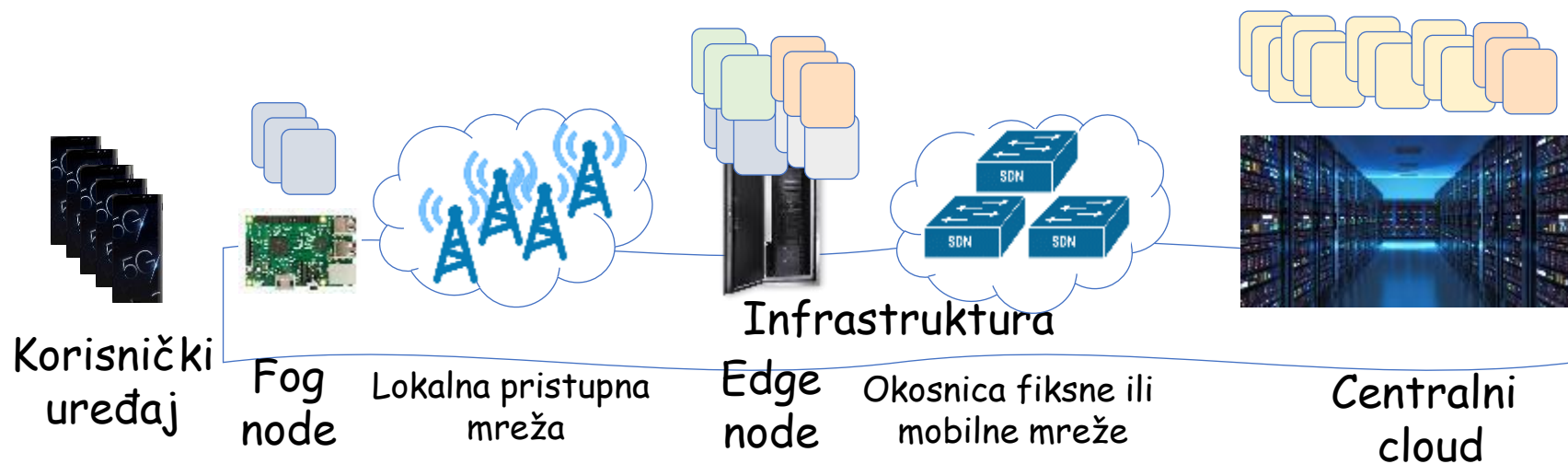
- Mrežne funkcije su realizovane u softveru (konvergencija sa IT)
 - Fleksibilnija softverski definisana mrežna infrastruktura
 - Paralelni razvoj više specijalizovanih mreža
- Mrežne funkcije će biti instalirane i na uređajima ivice mreže
- Razvoj novih i integracija postojećih pristupnih mreža



5G infrastruktura

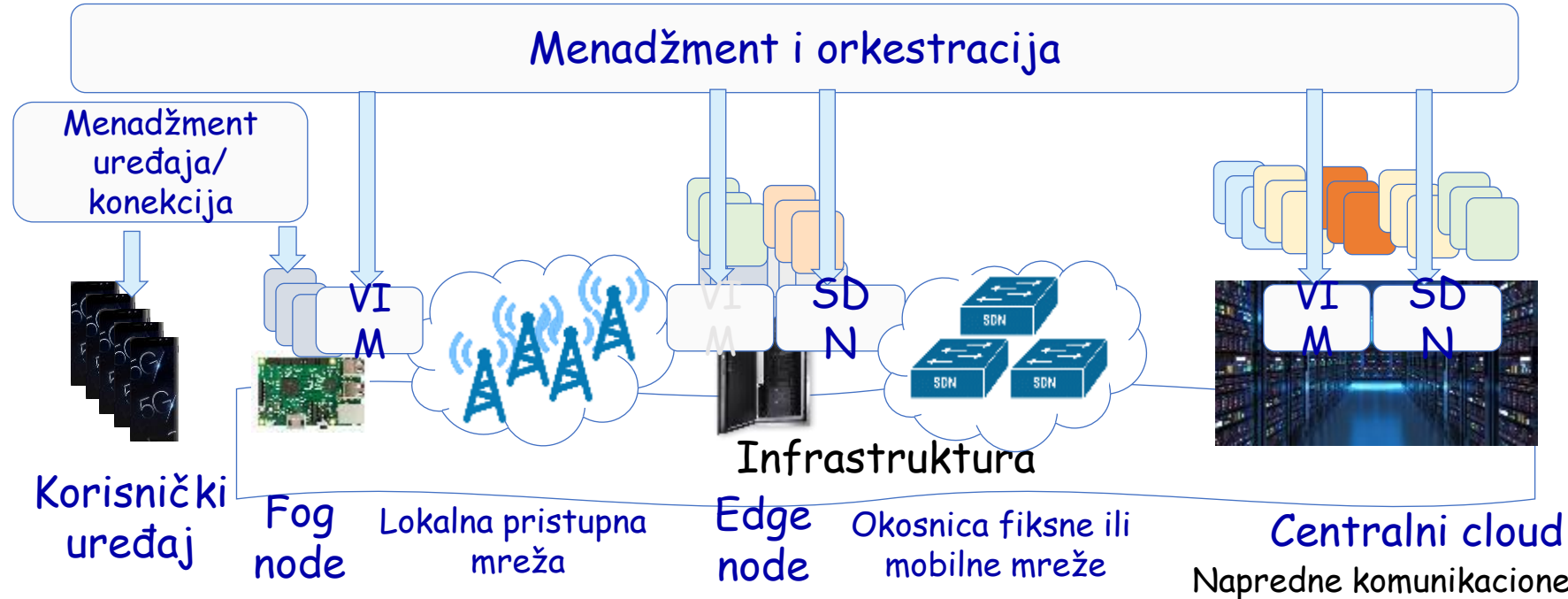
Prednosti:

- ❑ 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

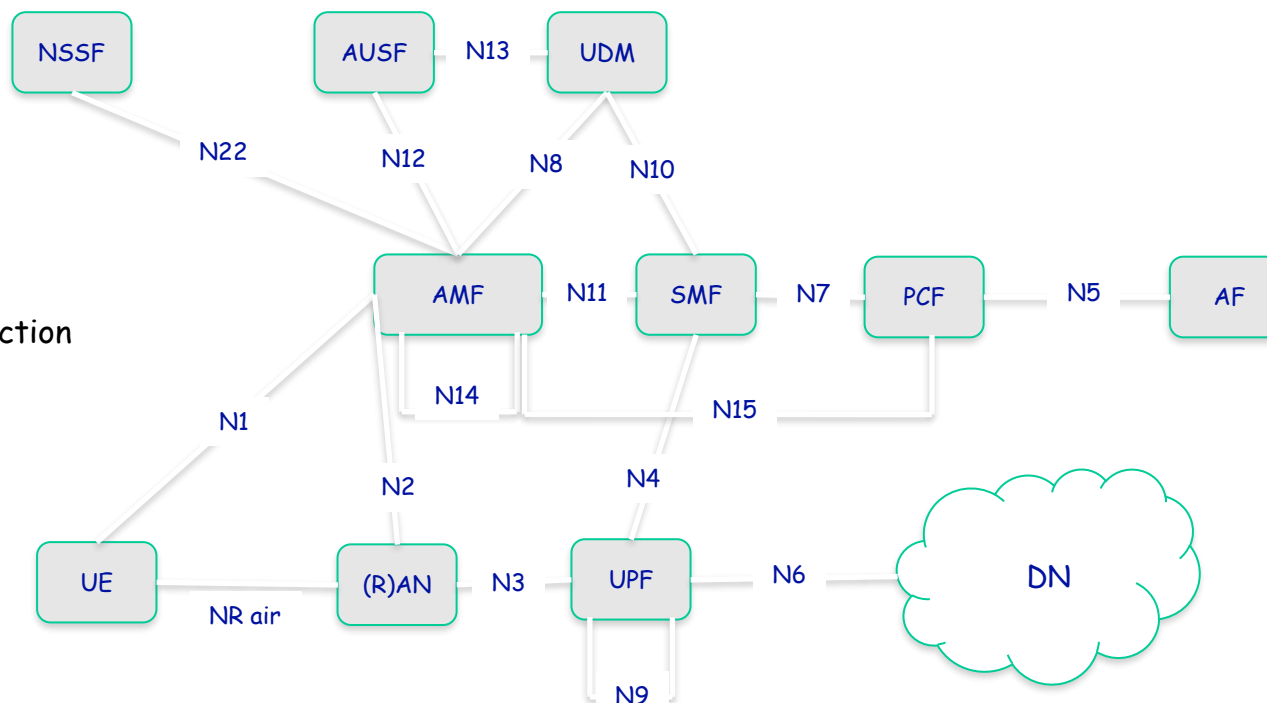
- ❑ Izmještanje mrežnih funkcija sa mrežnog sistemskog nivoa na uređaj/fog, edge, centralni cloud
- ❑ Poboljšanje performansi (balansiranje opterećenja i veća pouzdanost)
- ❑ Slajsovanje mreže - virtuelna mreža za svaki servis
- ❑ Otpornost komunikacije od kraja do kraja
- ❑ Zaštita na infrastrukturnom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



5G jezgro mreže

3GPP TS 23.501

UE - User Equipment
(R)AN - Radio Access Network
DN - Data network
UPF - User Plane Function
AMF - Access and Mobility Management Function
SMF - Session Management Function
PCF - Policy Function
UDM - Unified Data Management
AUSF - Authentication Server Function
NSSF - Network Slice Selection Function
AF - Application Function



- ❑ Access and Mobility Management Function (AMF) je ključni kontrolni entitet
- ❑ Session Management Function (SMF) obuhvata odvojene funkcije mreže koje se bave sesijama
- ❑ User Plane Function (UPF) sadrži funkcije korisničke ravni
- ❑ Policy Function (PCF) sadrži funkcije bazirane na administrativnoj politici
- ❑ ...

5G jezgro mreže

Poređenje sa 3GPP EPC (4G jezgrom mreže)

5G predstavlja evoluciju postojećih telekomunikacionih mreža prema sofverizovanoj mreži

