

Komunikacijski protokoli

8. Protokoli usmjeravanja u Internetu
Protokoli RIP, OSPF i BGP

Creative Commons



- **slobodno smijete:**
 - **dijeliti** – umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
 - **remiksirati** – prerađivati djelo
- **pod sljedećim uvjetima:**
 - **imenovanje.** Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
 - **nekomercijalno.** Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
 - **dijeli pod istim uvjetima.** Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencom koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

Sadržaj predavanja

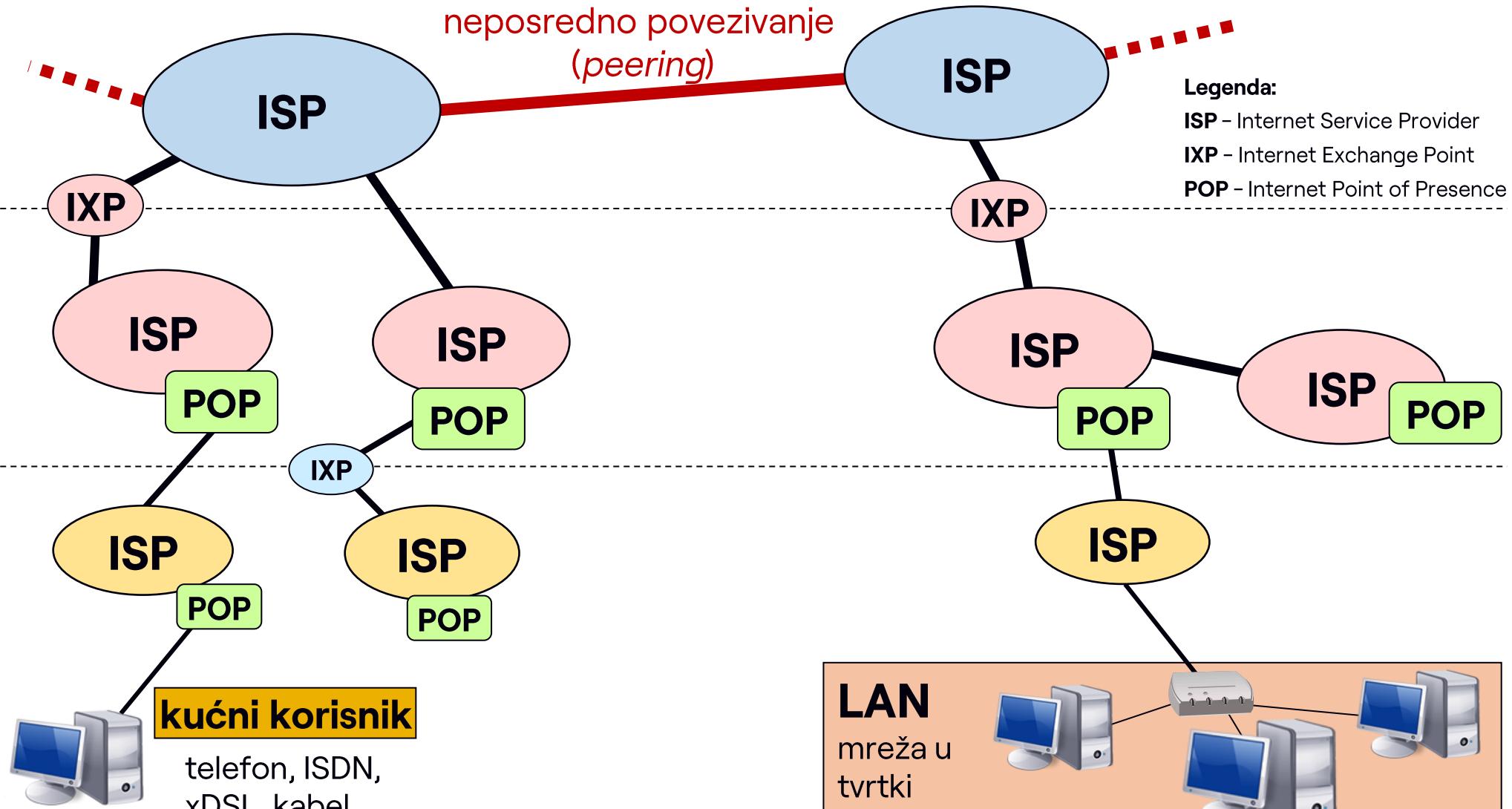
- Protokoli usmjeravanja
 - Routing Information Protocol (**RIP**)
 - Open Shortest Path First (**OSPF**)
- Protokoli usmjeravanja između **autonomnih** sustava
 - Osnove protokola BGP
 - Primjer **BGP** mreže
- Hrvatska akademska mreža CARNet
 - Croatian Internet eXchange (CIX)

Protokoli usmjeravanja

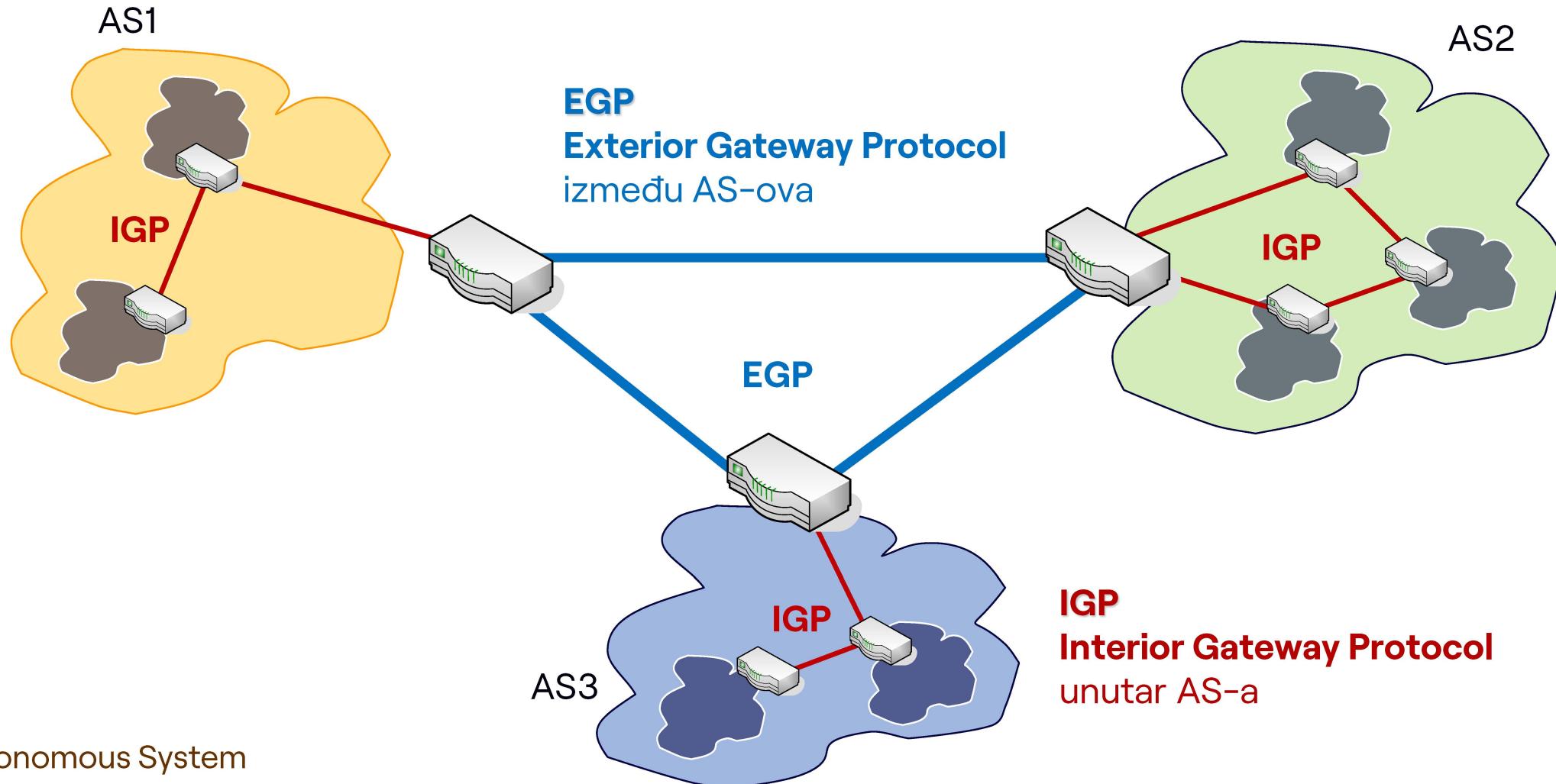
- **Protokoli usmjeravanja** izvedeni su u usmjeriteljima, a uključuju strategiju usmjeravanja i algoritme usmjeravanja
- Proces usmjeravanja:
 - prikuplja znanje o ostalim usmjeriteljima i računalima na Internetu
 - ažurira i pohranjuje podatke o topologiji mreže i/ili stanju putova u **tablice usmjeravanja**
 - na osnovu podataka u tablicama usmjeravanja, za svaki datagram bira put i proslijeđuje ga po odabranom putu prema sljedećem usmjeritelju

Organizacija Interneta

Tier 1



Klasifikacija protokola usmjeravanja



Protokoli usmjeravanja

IGP protokoli:

- ***Routing Information Protocol (RIPv2)***
 - temelji se na (dinamičkom) algoritmu vektora udaljenosti
- ***Open Shortest Path First Protocol (OSPFv2)***
 - temelji se na (dinamičkom) algoritmu stanja poveznice

EGP protokol (u praksi, samo jedan!):

- ***Border Gateway Protocol (BGPv4)***
 - algoritam vektora puta (engl. vector path)
 - sličan algoritmu vektora udaljenosti, ali uzima u obzir putove ili "staze" kao niz AS-ova na putu do odredišta

Algoritam usmjeravanja

- “Puni” tablicu usmjeravanja i time određuje kako će se datagram s nekom odredišnom adresom usmjeriti do sljedećeg usmjeritelja
- Zahtjevi: jednostavnost, korektnost, robusnost, stabilnost, optimalnost i pravednost
- Kriterij optimalnosti puta: kašnjenje, udaljenost, cijena, sigurnost
- Vrste: statički i dinamički

Klasifikacija algoritama usmjeravanja

- **neadaptivni (statički) algoritmi**
 - unaprijed izračunati putovi na temelju nekog(ih) kriterija (npr. udaljenost, cijena, ...)
 - putovi se postavljaju prilikom prvog pokretanja čvora i više se ne mijenjaju; ne uzimaju u obzir trenutno stanje
- **adaptivni (dinamički) algoritmi**
 - donose odluke o usmjeravanju temeljene na mjeranjima ili procjeni važećeg stanja u mreži (npr. aktualna topologija, opterećenje, ...)
 - pitanja "skupljanja znanja" o stanju u mreži i prilagodbe:
 - što pratiti? (udaljenost, broj skokova, opterećenje, cijenu,...?)
 - koga pitati? (samo susjedne čvorove, sve čvorove, ...?)
 - kada reagirati? (periodički, na promjenu topologije – opterećenja, ...?)

Algoritmi usmjeravanja

- Usmjeravanje najkraćim putem
 - Preplavljivanje
 - Usmjeravanje prema vektoru udaljenosti
 - Usmjeravanje prema stanju poveznice
- }
- neadaptivni algoritmi**
-
- Posebni slučajevi:
 - hijerarhijsko usmjeravanje
 - opće razašiljanje, difuzija (engl. *broadcast*)
 - višeodredišno razašiljanje (engl. *multicast*)
 - kada su krajnji čvorovi u pokretu (pristup Internetu u pokretu)
 - kada nema infrastrukture (ad-hoc mreže)
- }
- adaptivni algoritmi**

Protokol *Routing Information Protocol* (RIP)

- Standardizirani protokol IETF STD 56 - RIP Version 2 (RFC 2453)
- Svojstva RIPv2:
 - Besklasno usmjeravanje
 - Maske podmreža
 - Ruta sljedećeg skoka (*next hop route*)
 - Autentifikacija
 - Višedredišno usmjeravanje (*multicast*)
- RIPng – proširenja za IPv6
- Koristi UDP na transportnom sloju
- Temelji se na algoritmu vektora udaljenosti (*distance vector*)
- Dvije vrste izvođenja
 - aktivno – usmjeritelji
 - pasivno – računala

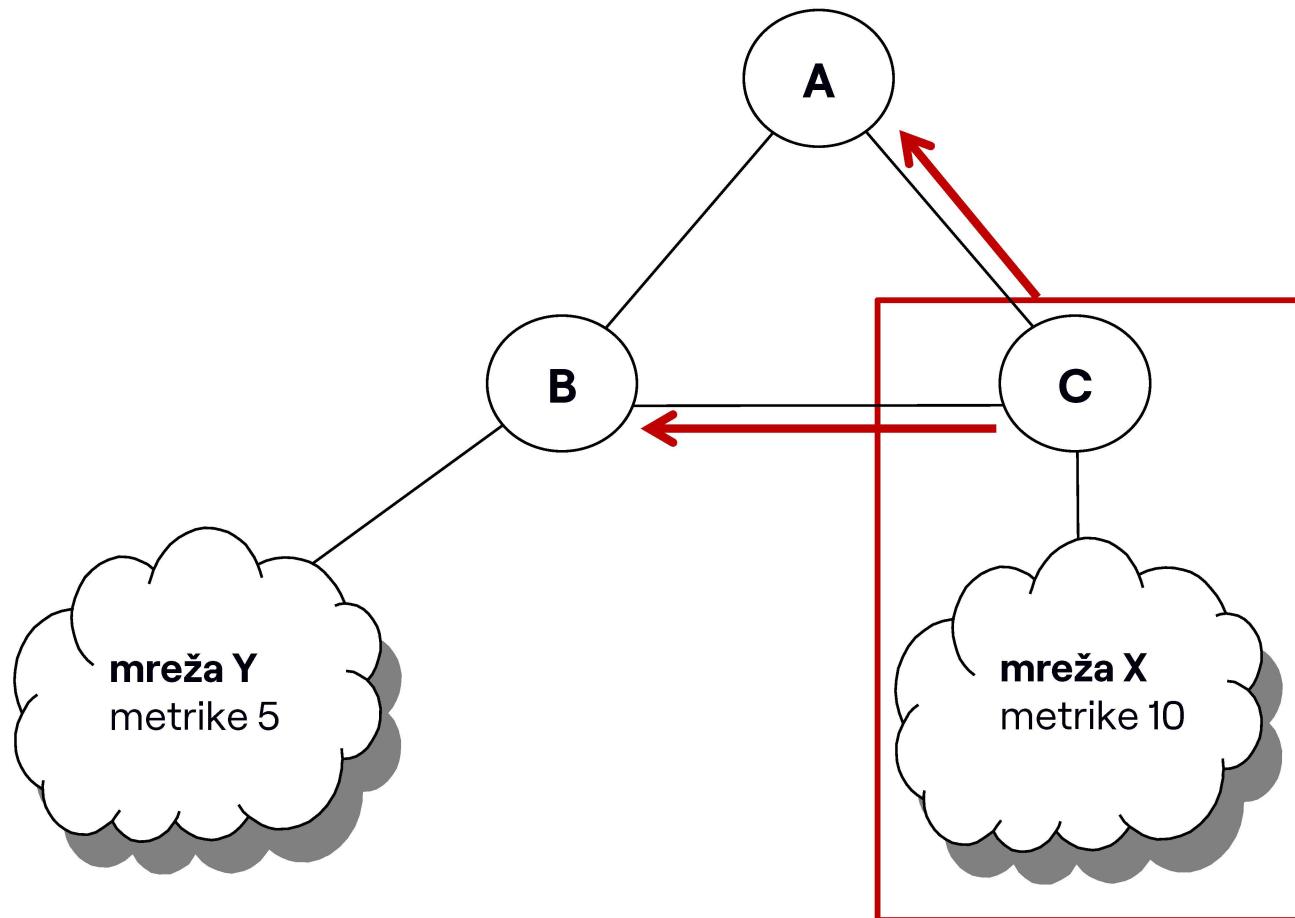
Operacije protokola RIP

- Osnovne operacije
 - Prilikom pokretanja šalje poruku svim susjedima tražeći kopije njihovih tablica usmjeravanja
 - U aktivnom načinu rada šalje tablice usmjeravanja susjednim usmjeriteljima **svakih 30 sekundi**, periodički
 - Svaka promjena topologije (metrike) šalje se ostalim usmjeriteljima skupnim razašiljanjem (broadcast)
 - Usmjeritelj prihvata tablicu usmjeravanja, uspoređuje podatke sa svojom te ažurira ako je potrebno
 - Ako usmjeritelj ne dobije poruku od susjeda **unutar 6 ciklusa** (180 s) ruta se postavlja na beskonačnu metriku (16), a nakon 60 s se briše

Ograničenja protokola RIP

- Ograničenja
 - Ne uzima u obzir propusnost poveznica, već samo **udaljenost** (broj skokova)
 - Maksimalna **metrika 16** (mreža nakon toga nedostupna)
 - metrika = broj skokova
 - ograničenost na 16 skokova
 - neprikladan za velike mreže
 - Neprikladan za **brze promjene** topologije u mreži – spora konvergencija
 - “Brojanje u beskonačnost”
 - Detekcija ispada poveznice do **180** sekundi (6 ciklusa)
 - Koristi fiksnu metriku temeljenu na duljini puta (broj skokova)

RIP – punjenje tablice usmjeravanja (korak 1)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža Y	B	2
default	B	

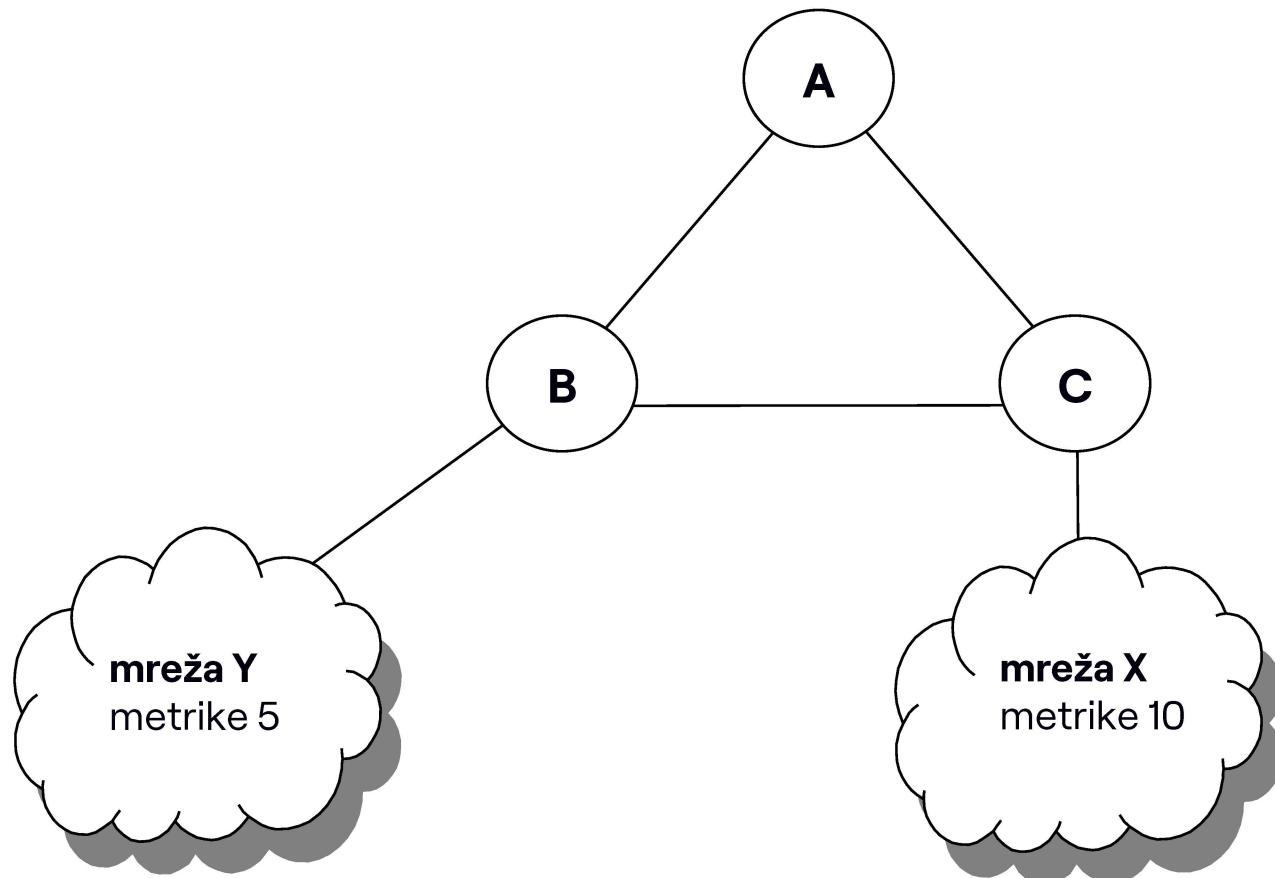
Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža Y	-	1
default	A	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1

RIP – punjenje tablice usmjeravanja (korak 2)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	B	2
default	B	

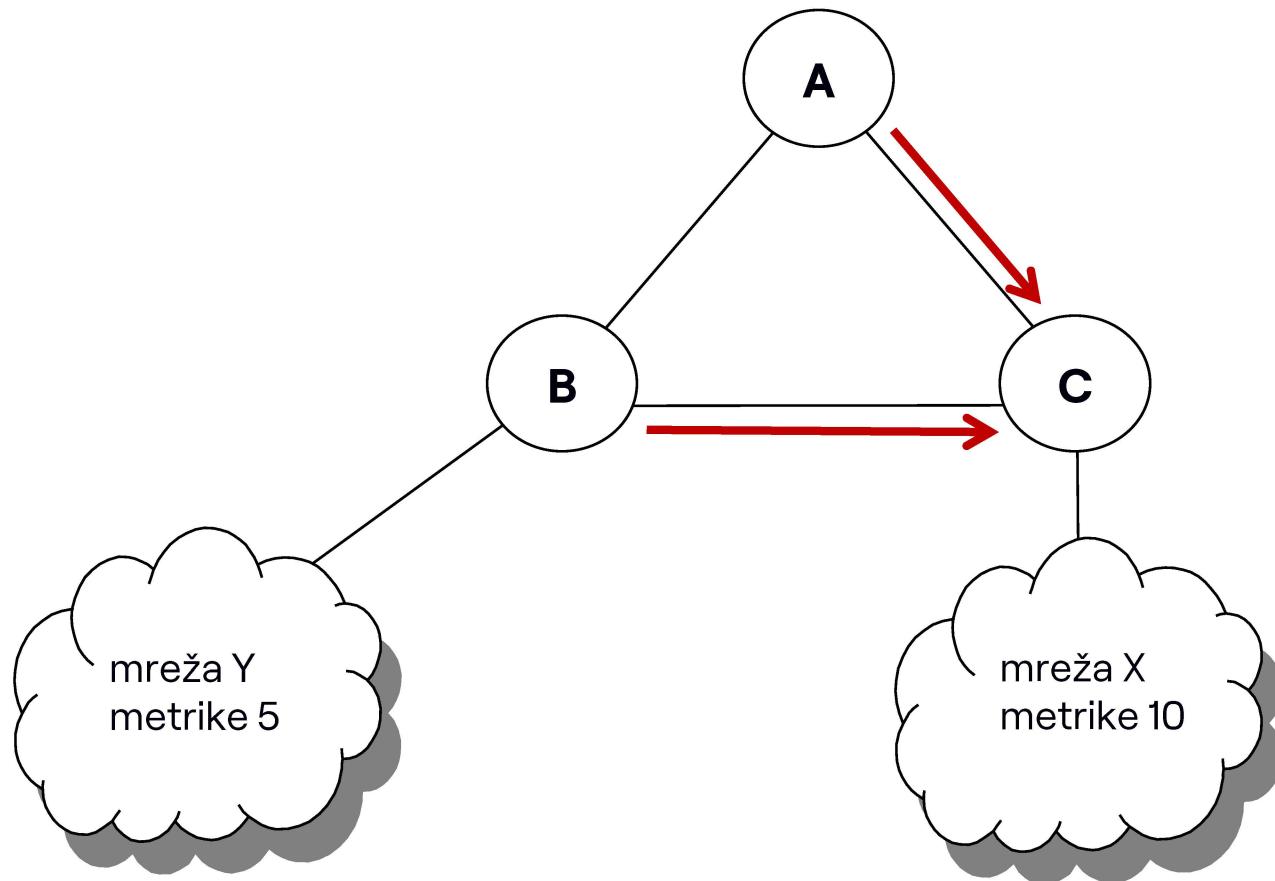
Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
default	A	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1

RIP – punjenje tablice usmjeravanja (korak 3)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	B	2
default	B	

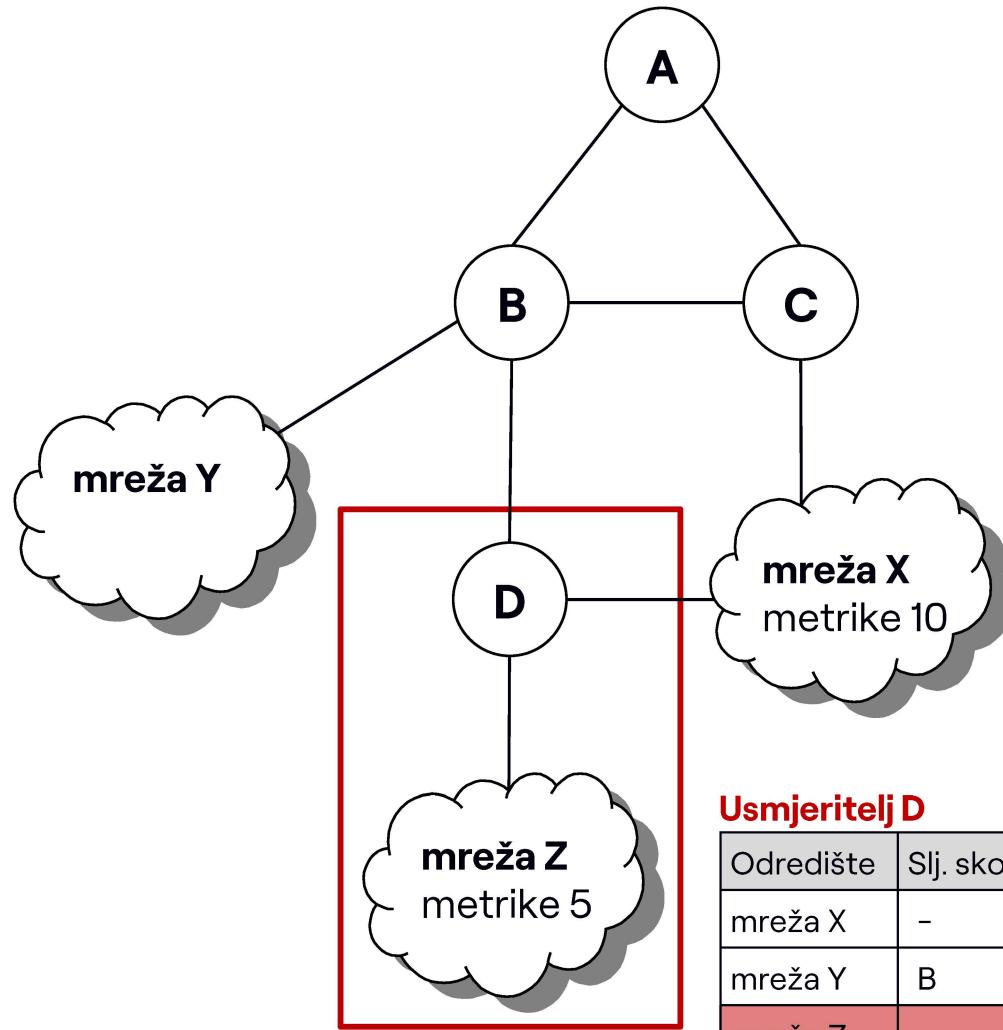
Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
default	A	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
default	B	

RIP – primjer uvođenja novog usmjeritelja



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	B	2
mreža Z	B	3
default	C	

Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
mreža Z	D	2
default	C	

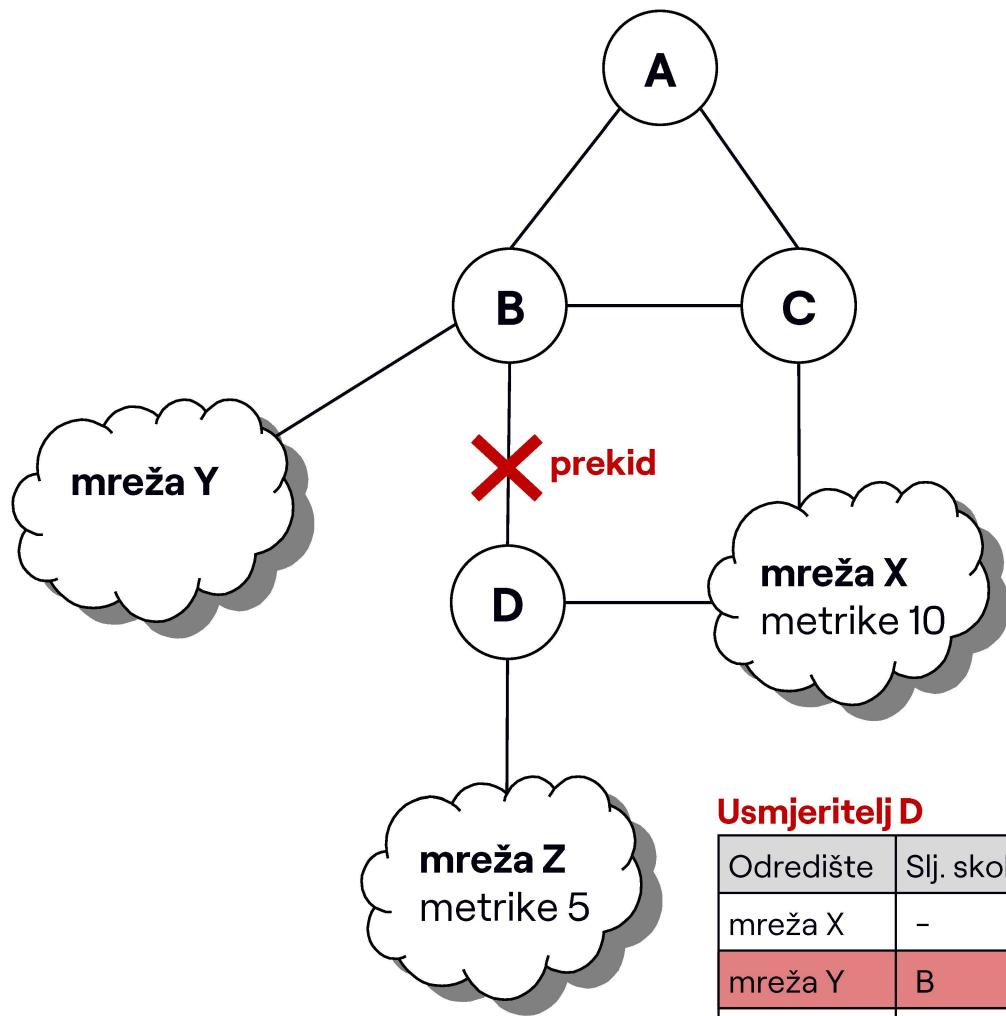
Usmjeritelj D

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
mreža Z	-	1
default	B	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
mreža Z	B	3
default	B	

RIP – primjer prekida veze (1)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	B	2
mreža Z	B	3
default	C	

Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
mreža Z	D	16
default	C	

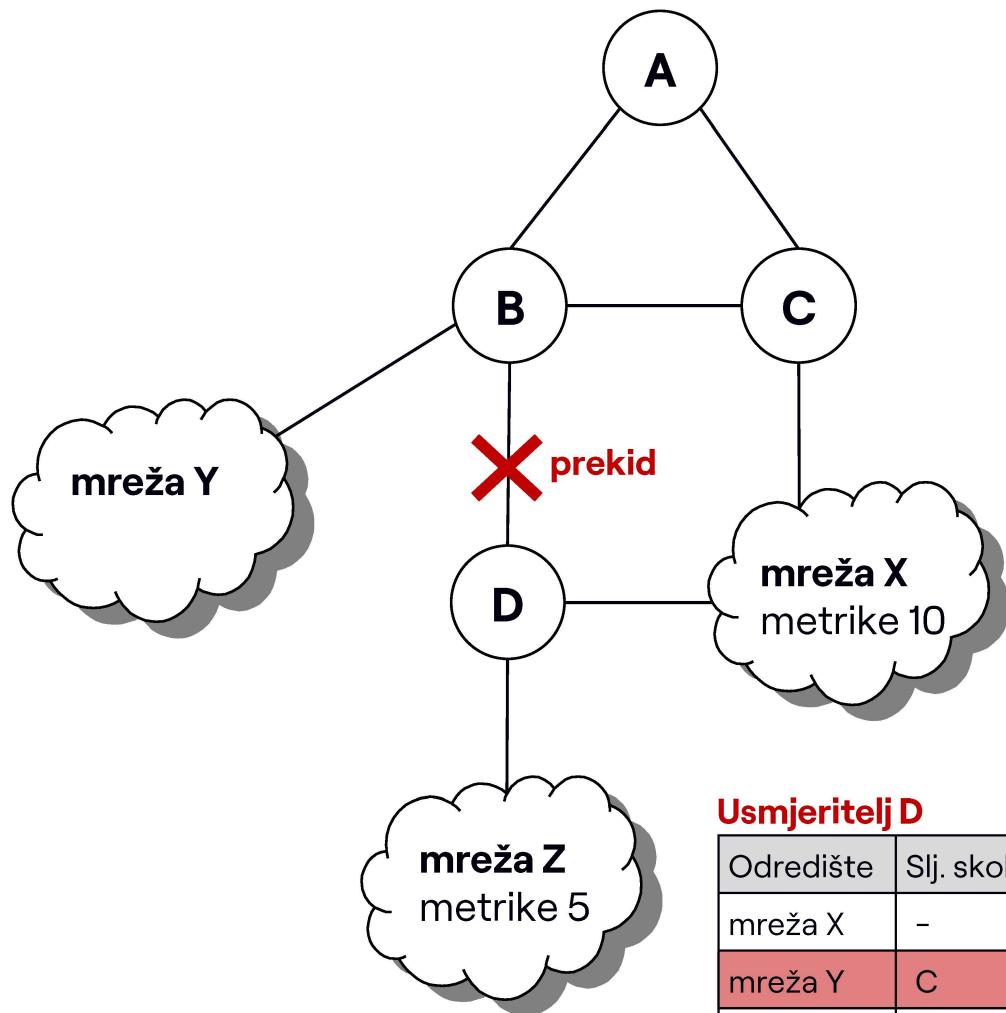
Usmjeritelj D

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
mreža Z	-	1
default	B	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
mreža Z	B	3
default	B	

RIP – primjer prekida veze (2)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	B	2
mreža Z	C	13
default	C	

Usmjeritelj B

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	2
mreža Y	-	1
mreža Z	C	13
default	C	

Usmjeritelj D

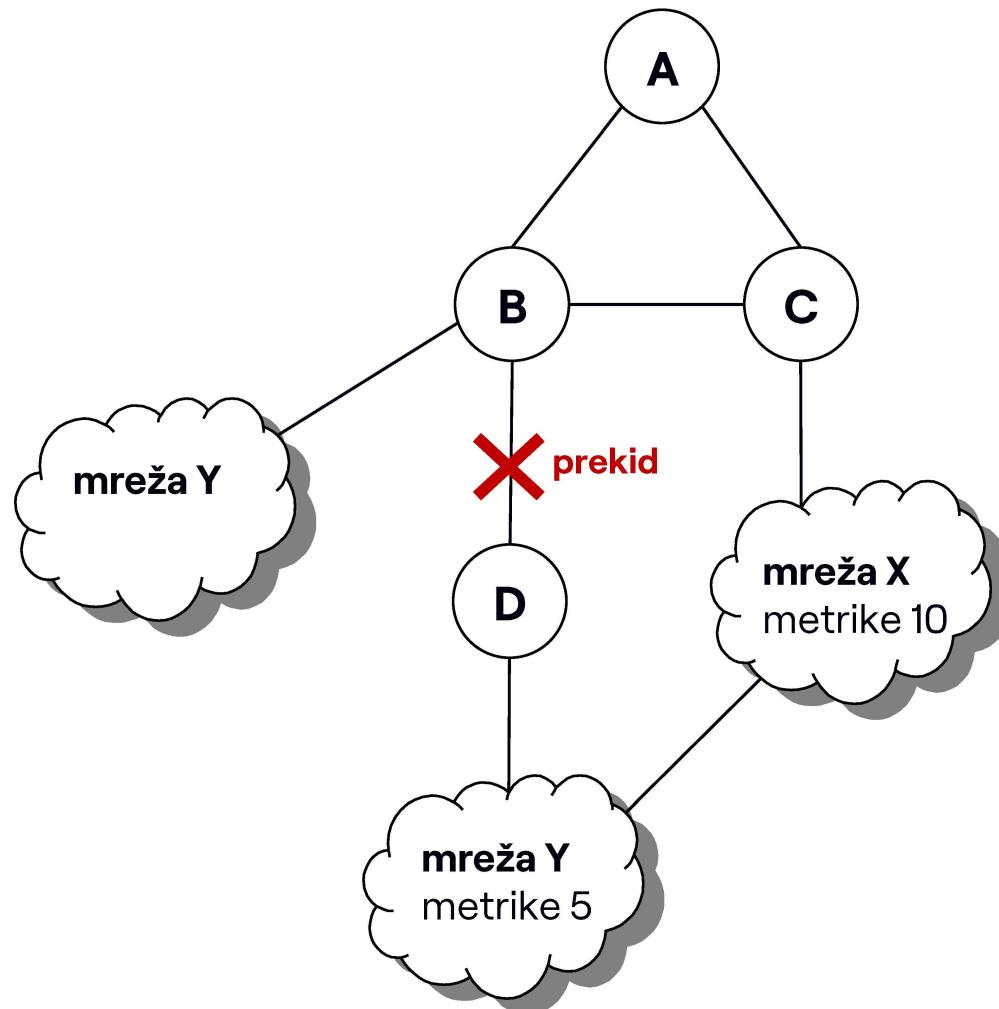
Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	C	13
mreža Z	-	1
default	B	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	1
mreža Y	B	2
mreža Z	D	12
default	B	

Zadatak

Objasnite slučaj kad dođe do prekida između usmjeritelja B i D te B dobije tablicu usmjeravanja od A prije nego što o novonastalom prekidu obavijesti usmjeritelja A!
Što će se dogoditi?



Poboljšanja protokola RIP

- Rješenja za “brojanje u beskonačnost” (*counting to infinity*)
 - zanemariti povratne informacije o ruti od usmjeritelja koji su naučili o ruti upravo od tog usmjeritelja (podjela obzorja - *split horizon*)
 - Ne rješava problem u svim slučajevima
 - može se slati povratna informacija s metrikom 16 (*split horizon with poisoned reverse*)
 - nakon detekcije prekida postaviti vremensku kontrolu (60–120 sekundi) i za to vrijeme zanemariti bilo kakve nove informacije o ruti (zadržavanje promjene o prekidu - *hold-down*)
- Rješenje za sporu konvergenciju
 - Informacija o promjeni šalje se čim se promjena dogodi (*triggered updates*)

Format poruke RIPv2

0	8	16	24	31
Tip RIP datagrama	inačica		ne koristi se	
Identifikacija protokola (2 za IPv4)		Veza s ostalim protokolima (route tag)		
IP adresa (rute koja se šalje)				
maska podmreže				
sljedeći skok				
metrika				

- Tip: 1 – zahtjev, 2 – odgovor
- Veza s ostalim usmjeravajućim protokolima IGP, EGP
- IP adresa, maska podmreže, sljedeći skok i metrika su polja koja predstavljaju tijelo paketa RIP (informacije u ruti) – route table entries (RTE)
- RTE zapisa može biti najviše 25 u jednom paketu RIP

RIPng – RIPv6

- **RIPng – RIPv6**
- RFC 2080
- Nema većih razlika između RIP-2 i RIPng
 - 128-bitna adresa

Protokol Open Shortest Path First Protocol (OSPF)

- Standardizirani protokol IETF STD 54 – OSPFv2 (RFC 2328)
- Koristi algoritam stanja poveznice (*link-state*)
 - Stablo najkraćih putova (shortest path first tree)
 - Brza konvergencija
 - Podržava CIDR
 - Mali promet generiran prilikom komunikacije usmjeritelja
 - Složeniji protokol od RIP-a
- Proširenje za IPv6
 - OSPFv3 (RFC 5340, RFC 5838 – OSPFv3 over IPv4 for IPv6 transition)

Operacije protokola OSPF (1)

- Osnovne operacije:
 - Otkrivanje susjednih usmjeritelja (*neighbor discovery*)
 - Izbor nadležnog (*designated*) usmjeritelja i pomoćnog nadležnog usmjeritelja (*backup*)
 - Sinkronizacija tablica usmjeravanja
 - Kreiranje/održavanje tablica usmjeravanja
 - Oglašavanje stanja poveznica (*LSA - Link State Advertisement*)

Operacije protokola OSPF (2)

- Hierarchyko usmjeravanje – primjena u velikim mrežama
 - Grupiranje mreža u tzv. područja (areas)
 - Svako područje ima nadležnog i pomoćnog nadležnog usmjeritelja
 - Kategorizacija usmjeravanja
 - *internal, border, AS boundary, backbone*
- Više paralelnih ruta (*multipath routing*)
 - *Equal Cost Multi-Path routing* (ECMP) – uravnoteženje opterećenja između ruta s jednakom težinom (cijenom)
- Svaki usmjeritelj ažurira raspodijeljenu bazu podataka LSDB (*Link State Database*)
 - Sadrže podatke o usmjeriteljima s kojima nisu izravno povezani

Operacije protokola OSPF (3)

- Identične informacije o usmjerenju u svim usmjeriteljima (u stabilnom stanju)
 - Usmjeritelji posjeduju **cjelokupnu sliku** o topologiji mreže
 - Svaki usmjeritelj informacije o stanju poveznica šalje nadležnom i pomoćnom nadležnom usmjeritelju
 - **Preplavljanje** prilikom oglašavanja stanja poveznice
 - Nadležni i pomoćni nadležni usmjeritelj primljene informacije o stanju poveznica šalju svim ostalim usmjeriteljima u području
- Uzima u obzir kapacitet poveznice prilikom računanja rute
 - Računanje **najkraćeg puta** – Dijkstrin algoritam
- Šalju se samo **promjene** u tablici usmjerenja, ne cijele tablice
- Autentifikacija

OSPF-poruke

- Tipovi paketa/poruka
 - 1 - *Hello* - otkrivanje i održavanje susjednih odnosa između usmjeritelja
 - 2 - *Database Description* - opisuju bazu podataka, poruke se izmjenjuju tijekom inicijalne sinkronizacije;
 - 3 - *Link State Request* - poruka kojom se zahtjeva stanje linka;
 - 4 - *Link State Update* - poruke kojima se opisuju ili osvježavaju stanja linka;
 - 5 - *Link State Acknowledgment* - poruke kojima se potvrđuje osvježeno stanje linka;

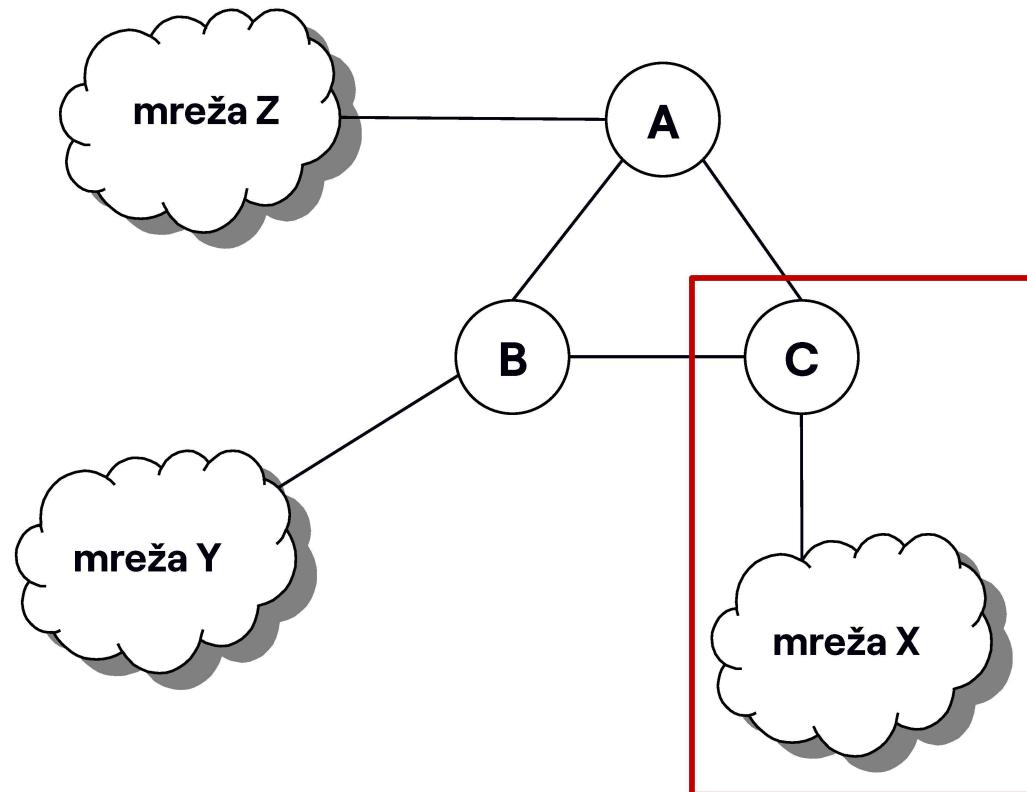
Protokol Hello

- Otkrivanje susjeda periodičkim slanjem *Hello* paketa
- Usmjeritelj šalje *Hello* pakete **svakih 10 sekundi**, dobiva njihov ***Hello* paket natrag** i time detektira postojanje susjeda
- Ukoliko ne dobije *Hello* paket **unutar 40 sekundi**, zaključuje da je došlo do **prekida veze**
 - Prestaje oglašavati vezu
 - Usmjerava pakete drugim putem

Sinkronizacija baza podataka

- **Inicijalna sinkronizacija**
 - Dva usmjeritelja tek počinju komunicirati
 - Razmjena baza podataka
 - Šalju se zaglavlja svih LSA-ova (serijom paketa *Database Description*)
 - Nakon toga zahtjevi za LSA kojih nema (*Link State Request*) i odgovori (*Link State Update*)
- **Kontinuirana sinkronizacija**
 - Pojavom novih paketa za oglašavanje stanja linka (LSA)
 - Preplavljanjem
 - Počinje kada usmjeritelj želi osvježiti neki od svojih LSA-ova ukoliko mu se promjenilo neko od lokalnih stanja

OSPF primjer – punjenje tablica usmjeravanja (1)



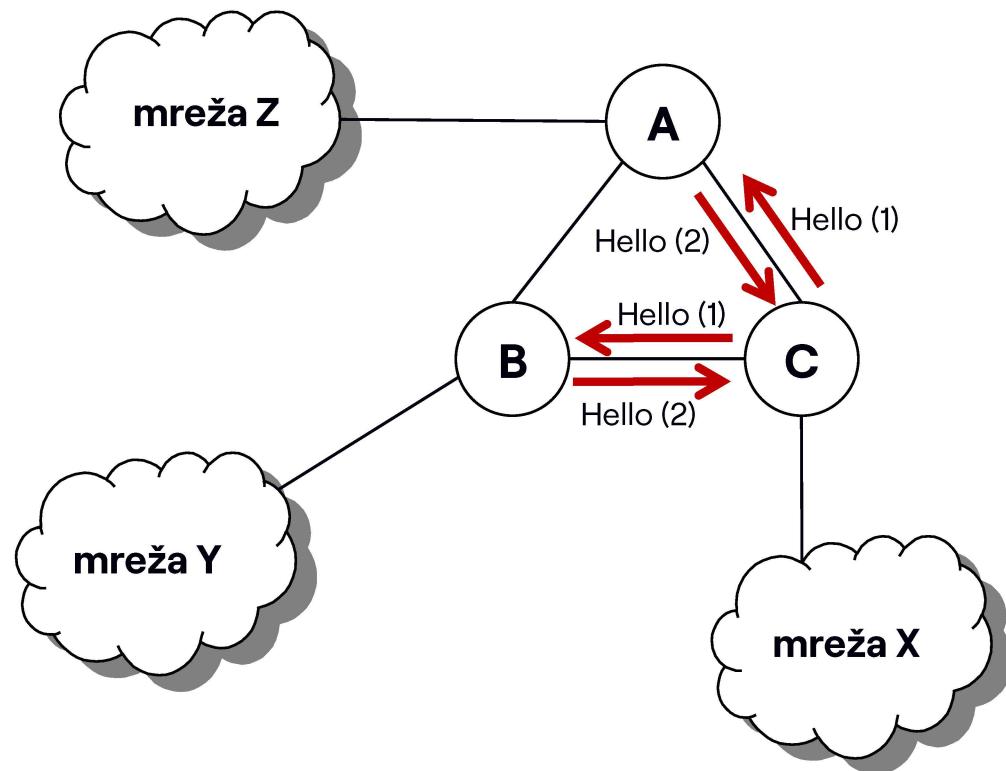
Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža Y	B	20
mreža Z	-	10
default	B	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	10

OSPF primjer – upoznavanje (koraci 1 i 2) (2)



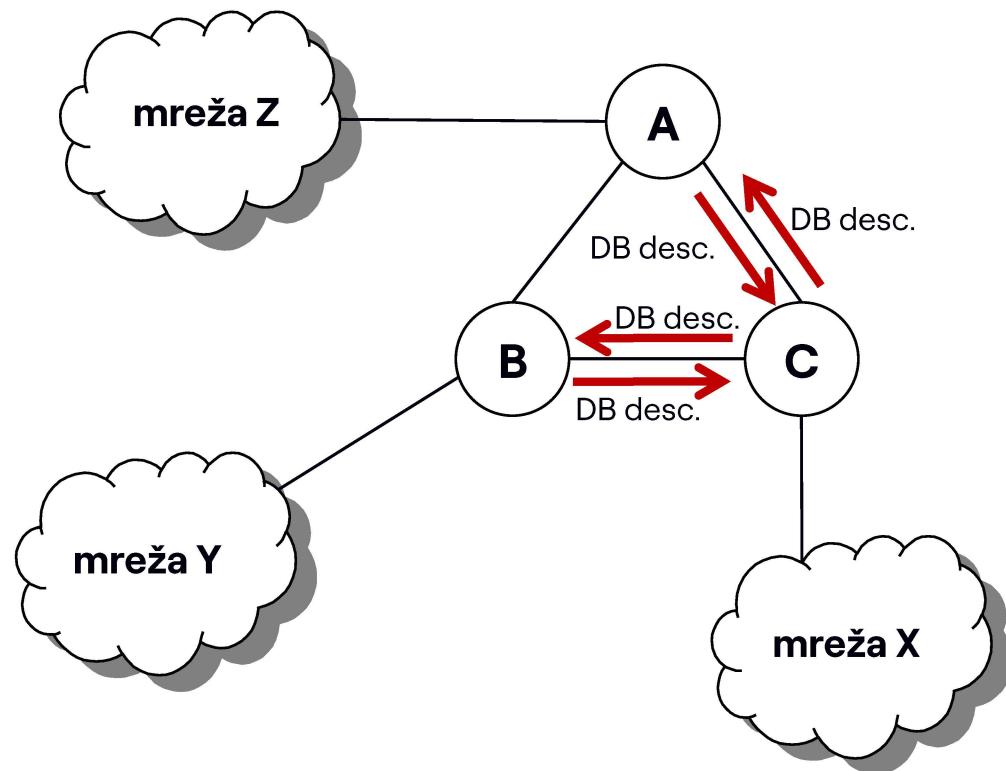
Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža Y	B	20
mreža Z	-	10
default	B	

Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	10

OSPF primjer – inicijalna sinkronizacija (korak 3) (3)



Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	C	20
mreža Y	B	20
mreža Z	-	10
default	B	

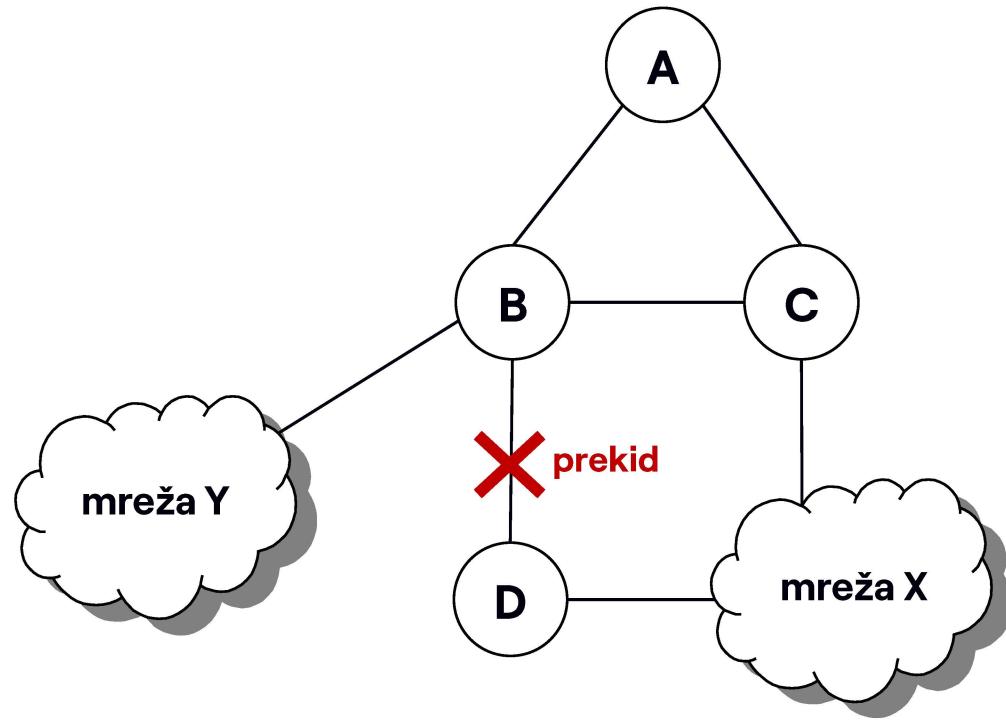
Usmjeritelj C

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	-	10
mreža Y	B	30
mreža Z	A	20
default	A	

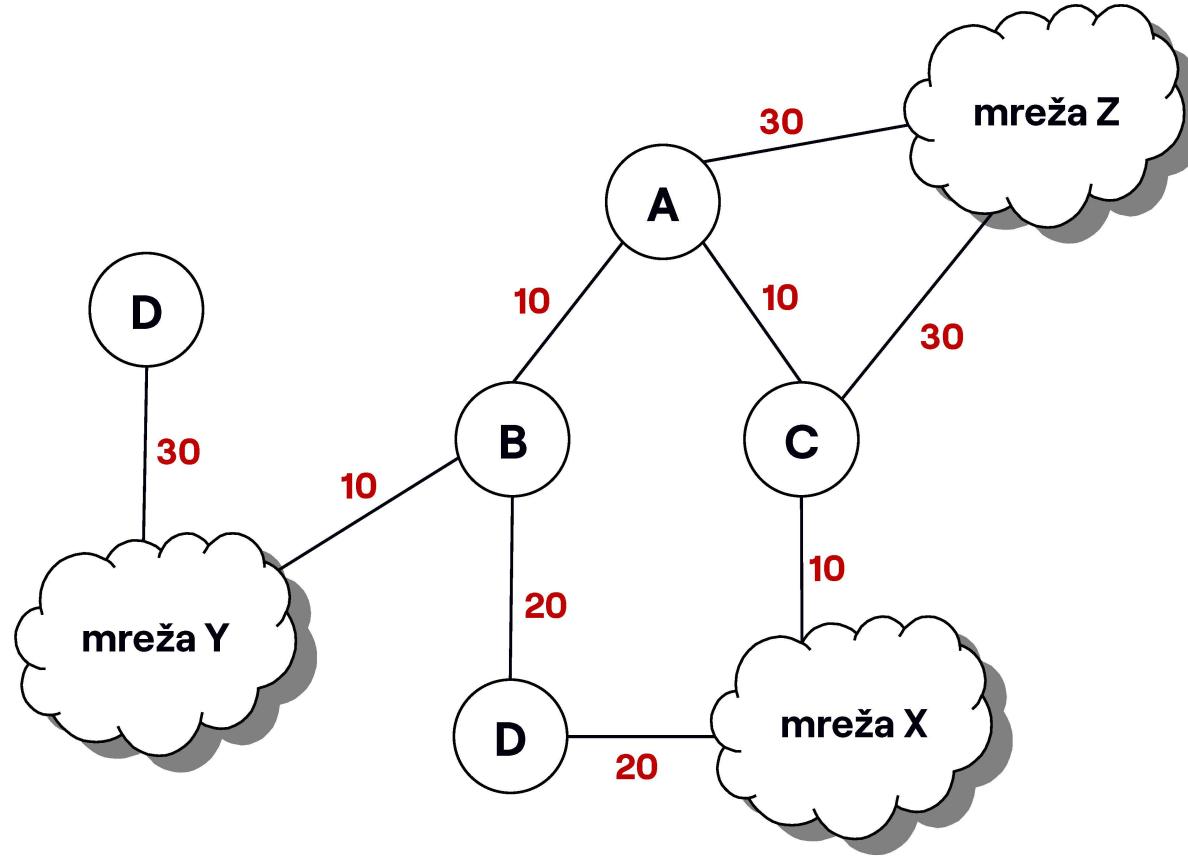
OSPF primjer – inicijalna sinkronizacija (korak 3) (3)

Usmjeritelj A

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	B	80
	C	60
mreža Y	B	90



Primjer OSPF – određivanje puta



LSBD

	A	B	C	D	E
A		10	10		
B	10			20	
C	10				
D		20			
E					
X			10	20	
Y		10			30
Z	30		30		

Usmjeritelj E

Odredište	Slj. skok	Metrika
mreža X	B	60
mreža Y	-	30
mreža Z	B	70

OSPF-zaglavje

0	8	16	24	31
verzija	tip paketa	Duljina paketa		
Oznaka (ID) izvornog OSPF usmjeritelja				
oznaka (ID) OSPF područja				
zaštitna suma		tip autentifikacije		
autentifikacija (64 bits)				

Proširenje za IPv6

- Nema većih razlika, većina naslijedena iz IPv4
- Glavne su promjene vezane uz adresu
 - Veća adresa
 - IPv6 adrese se nalaze samo u paketima LSA, ostali OSPF paketi ne sadrže IPv6 adresu
 - Susjedni usmjeritelji se identificiraju prema broju (ID), a ne prema adresi (kod Hello protokola)
 - Polja za autentifikaciju su izbačena iz OSPF zaglavlja – autentifikacija se oslanja na IPv6 AH i ESP

Zadatak

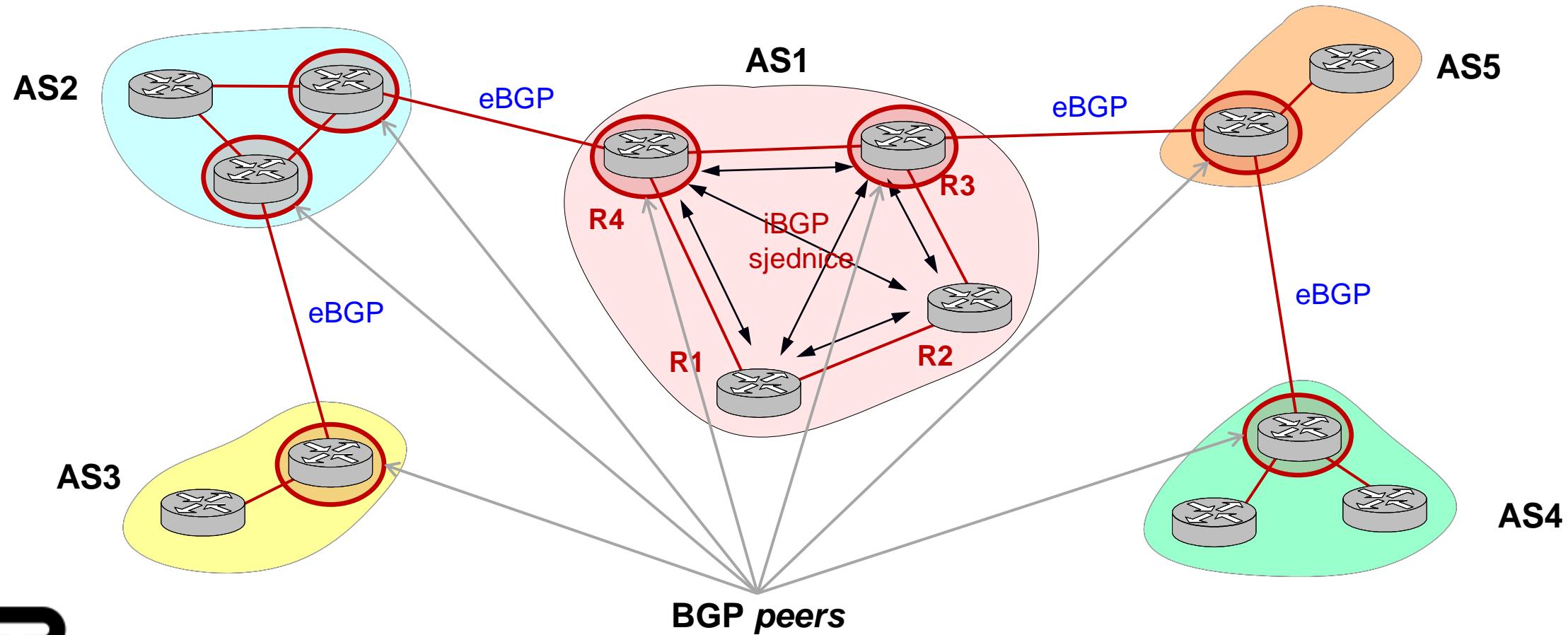
- Zadajte topologiju mreže prikladnu za usporedbu protokola usmjeravanja RIP i OSPF. Za svaki od protokola definirajte tablice usmjeravanja te prikažite promjene u slučaju proširenja mreže (dodavanje novog usmjeritelja), prekida neke poveznice ili isпадa jednog od usmjeritelja.

Pojam autonomnog sustava AS

- Skup mreža i usmjeritelja temeljenih na istim načelima pod zajedničkom upravom i zajedničkom politikom usmjeravanja “prema van”, odnosno prema ostalim AS-ovima
- Jedinstveni broj AS
 - Javni i privatni AS-ovi
 - Davatelji internetskih usluga ISP-ovi (T-Com, VIPNet, Iskon, Metronet, Optima Telekom ...)
- Koriste jedinstveni IGP protokol usmjeravanja
- “Rubni” (vanjski) usmjeritelj na AS-u koji koristi eBGP naziva se “peer”
 - Administrativne granice, povezuje različite AS-ove
 - Izmjenjuje informacije/poruke o putovima s drugim AS-ovima –Network Layer Reachability Information (NLRI)

Komunikacija autonomnih sustava

- Komunikacija AS-ova odvija se preko BGP usmjeritelja (**BGP peers** ili **BGP speakers**)



Vrste autonomnih sustava

- **Stub AS** – AS s jednim izlazom, ima vezu sa samo jednim AS-om te prenosi samo lokalni promet
- **Multihomed AS** – povezan je s više AS-ova, ali ne prenosi tranzitni promet
- **Transit AS** – povezan je s više od jednog AS-a i u skladu sa definiranim pravilima prenosi tranzitni i lokalni promet
- **Protokol BGP neovisan je o korištenom protokolu IGP**

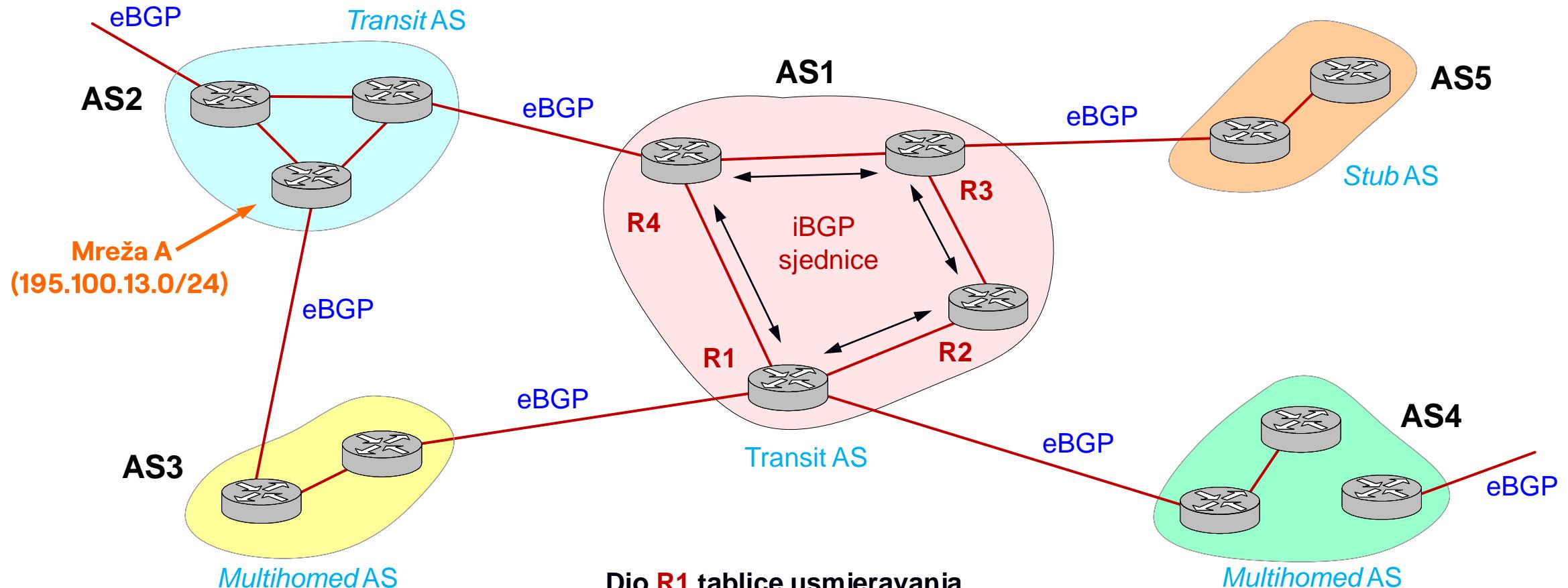
Border Gateway Protocol (BGP)

- Draft Standard protokol, BGP-4 (RFC 4271)
- **Protokol usmjeravanja (EGP)**
- **Komunikacija usmjeritelja između autonomnih sustava (AS)**
- Razmjena usmjerivačkih informacija između davatelja internetskih usluga (ISP-ova) te ISP-ova i većih korisnika
- **Jedini EGP u Internetu**
- Koristi TCP, port 179
- Podržava TCP veze između BGP usmjeritelja između AS-ova

Border Gateway Protocol (BGP)

- Temelji se na **algoritmu vektora staza** (path-vector algorithm)
 - sličan algoritmu vektora udaljenosti, uzima u obzir stanje staze kao niz AS-ova na putu do odredišta
- Neovisan o korištenom IGP-u unutar AS-a
- Dva moda rada
 - unutarnji BGP (internal, **iBGP**) – između usmjeritelja unutar istog AS-a
 - vanjski BGP (external, **eBGP**) – između usmjeritelja različitih AS-ova

BGP usmjeritelji i vrste AS-ova



Dio R1 tablice usmjeravanja

Odredište	Slj. skok	RP
195.100.13.0/24	R4	BGP
R3	R2	IGP

Korišteni protokol
usmjeravanja

BGP operacije

- Dvije kategorije prometa
 - **lokalni** – izvorište i odredište unutar istog AS-a
 - **tranzitni** – izvorište i odredište u različitim AS-ovima
- Tranzitni BGP usmjeritelji
 - dopuštaju prolazak **tranzitnog** prometa
 - može nametnuti ograničenja
 - obično imaju **potpune tablice usmjeravanja**
 - Preko 500,000 ruta (<http://bgp.potaroo.net>)
- Korištenjem **CIDR** i **združivanja staza** (*route aggregation*) smanjuju se veličine tablica usmjeravanja

Osnove protokola BGP

- Usmjerava internetski promet između usmjeritelja na temelju algoritma vektora staza
- Pronalazak susjednih usmjeritelja **vrši se ručno** (administrator mreže)
- Kad usmjeritelji uspostave **TCP vezu** (*BGP speakers*), razmijene cijele tablice usmjeravanja
- Usmjeritelji izmjenjuju informacije o stazama (NLRI)
- Tablica usmjeravanja sadrži informacije o stazama prema AS-u u kojem se nalazi odredišna mreža

BGP staza

- Staza se sastoji od sljeda autonomnih sustava koje treba proći do odredišta
 - Mogu postojati višestruke staze
 - Dopušta se primjena različitih politika usmjeravanja
 - Svaku stazu obilježavaju skup parametara (atributa) koji definiraju politiku usmjeravanja
 - Staza kojom se usmjerava paket odabire se na temelju:
 - parametara staza
 - dostupnosti staze
 - dodatnih pravila o prihvaćanju paketa (političkih, sigurnosnih,...)
 - pravila o propuštanju paketa
 - ugovora između usmjeritelja...
- atributa**

BGP RIB

- BGP staze se objavljuju pomoću poruke UPDATE
- Svaki usmjeritelj sadrži bazu staza RIB (BGP Routing Information Base)
- Baza RIB sadrži tri vrste popisa
 - Popis neobrađenih staza koje su primljene od susjednih usmjeritelja – uzimaju se u obzir kod procesa odluke (Adj-RIBs-In)
 - Popis staza s lokalnim informacijama o usmjeravanju do kojih se dolazi primjenom vlastitih pravila usmjeravanja i provođenjem procesa odluke nad popisom neobrađenih ruta (Loc-RIB)
 - Popis staza koje se šalju susjednim usmjeriteljima slanjem *update* poruka (Adj-RIBs-Out)

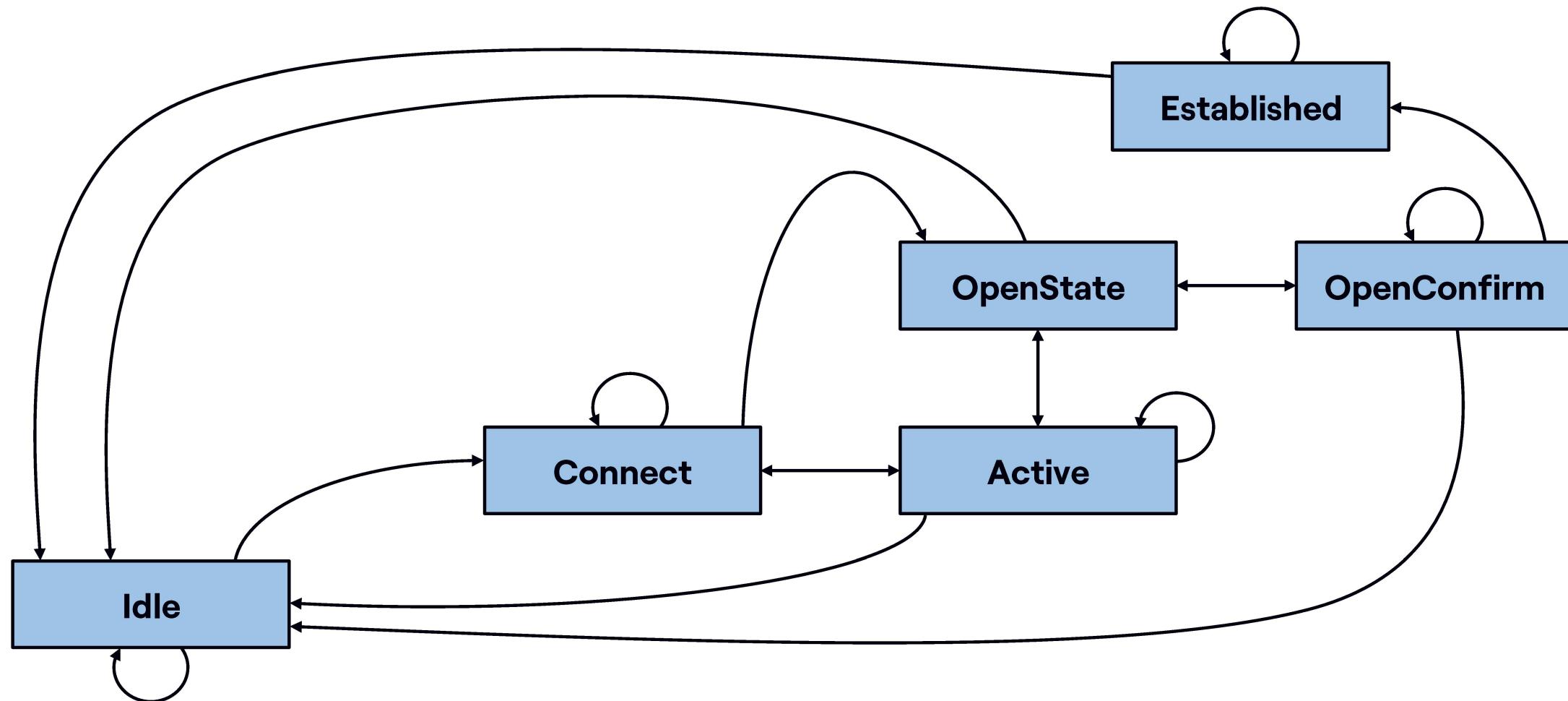
BGP poruke

- Veličina poruke je od 19 (zaglavlje) do 4096 okteta
- Tri polja: oznaka (*marker*), veličina (*length*) i **vrsta** (*type*)
- **Vrste** BGP poruka:
 - **OPEN**
 - Uspostava veze (sjednice) između susjednih usmjeritelja i izmjena početnih postavki (identificiranje međusobnih mogućnosti)
 - **UPDATE**
 - Razmjena informacija o stazama (objava novih i ukidanje zastarjelih) nakon uspostave sjednice
 - **KEEPALIVE**
 - Održavanje sjednice između usmjeritelja, potvrda nakon poruke *open*
 - **NOTIFICATION**
 - Obavijesti o pogreškama i zatvaranju sjednice

Komunikacija protokolom BGP

- Komunikacija BGP usmjeritelja u internetskoj mreži može se predočiti modelom konačnog automata
- Definirana su šest stanja:
 - *Idle*
 - *Connect*
 - *Active*
 - *OpenState*
 - *OpenConfirm*
 - *Established*

Model konačnog automata protokola BGP



BGP atributi staze

- Nalaze se unutar poruke **UPDATE**
- Omogućavaju usmjeriteljima primjenu vlastite politike usmjeravanja
 - **dobro poznati obavezni** (*well-known mandatory*)
 - dobro poznati **neobavezni** (*well-known discretionary*)
 - **izborni tranzitni** (*optional transitive*)
 - odnose se na sve AS-ove (globalni)
 - izborni **lokalni** (*optional non-transitive*)
 - odnose se na AS koji ih prima
- Svaka staza može imati jedan ili više izbornih atributa kao dodatak dobro poznatim atributima

Atributi staze

- 1 - ORIGIN
- 2 - AS path
- 3 - Next hop
- 4 - Multi-Exit Discriminator (MED)
- 5 – Local preference
- 6 – Atomic aggregate
- 7 - Aggregator

Atribut *ORIGIN*

- **Definira porijeklo staze (origin)**
- **Dobro poznati obavezni atribut staze**
- Generira ga usmjeritelj od kojeg staza potječe
- Polje atributa je veličine jednog okteta
- **IGP-0:** put koji se prenosi unutar polja NLRI potječe iz istog AS-a u kojem se nalazi usmjeritelj
- **EGP-1:** put koji se prenosi unutar polja NLRI potječe iz drugog AS-a
- **Incomplete-2:** put koji se prenosi unutar polja NLRI dobiven je nekim drugim načinom (**nije poznat**)

Atribut AS path

- **Definira stazu** – listu AS-ova (segmenata puta) koje treba proći do odredišta
- **Dobro poznati obavezni atribut staze**
- Svaki segment puta AS-a zapisan je trojkom:
 - **tip** (skup AS-ova koje je poruka *update* prešla),
 - **duljina** (broj prijeđenih AS-ova),
 - **vrijednost** (brojevi AS-ova)
- Korisno kod višestrukih staza – različiti atributi za isto odredište
- Izbjegavanje petlji
- Filtriranje – zabrana usmjeravanja paketa kroz određeni AS
- Preferiranje staze

Atribut *Next hop*

- Definira IP adresu usmjeritelja na koji prvo treba usmjeriti paket kako bi došao do odredišta (sljedeći skok)
- Dobro poznati obavezni atribut staze
- Kod ažuriranja puta atribut se modifcira samo ako dolazi od BGP usmjeritelja (peer) eBGP vezom

Atribut MED

- Višeizlazni diskriminirajući atribut MED (Multi-Exit Discriminator)
- **Služi za odabir jednog od više ponuđenih staza prema istom AS-u**
- **Izborni lokalni atribut**
- Usmjeritelji daju savjete svojim susjedima kojim putem poslati pakete prema njima (dolazni promet)
- Atribut predstavlja savjet samog AS-a kojem se šalju paketi
 - preferira se određeni put prema vlastitom AS-u
- Kada prema AS-u postoji više mogućih staza, odabire ona staza koja ima najmanju vrijednost atributa MED (uzimajući u obzir i ostale attribute odnosno kada se put ne može odabrati na temelju ostalih atributa)

Atribut *Local preference*

- Određuje politiku usmjerenja odlaznog prometa
- Dobro poznati neobavezni atribut staze
- Atribut se izmjenjuje između lokalnih usmjeritelja istog AS-a
 - Atribut ne utječe na ostale autonomne sustave
- U slučaju kada postoji više izlaznih staza iz AS-a odabire se onaj koji ima veću vrijednost atributa što označava veći prioritet staze

Atribut *Atomic aggregate*

- **Združena staza do odredišta**
- **Dobro poznati neobavezni atribut staze**
- Združivanje staze omogućava da više putova sa svojim karakteristikama može biti združeno i objavljeno kao jedan put u svrhu reduciranja broja putova
 - Smanjen broj staza koji se moraju pohranjivati i izmjenivati između usmjeritelja
- Vrijednost atributa obično odgovara polju *tip* u atributu *AS path* i sastoji se od liste AS-ova od kojih je napravljen združena staza

Atribut Aggregator

- Izborni tranzitni atribut
- Uključen u poruke koje su nastale zdrživanjem staza
- Zdrživati se mogu staze koji imaju iste attribute
- Daje do znanja da je usmjeritelj zdržio rutu i zapisuje svoj AS broj i IP adresu

Primjer združivanja staza

- **Pronaći združenu stazu za sljedeće putove (adrese)**

- 192.168.98.0 (11000000.10101000.01100010.00000000)
- 192.168.99.0 (11000000.10101000.01100011.00000000)
- 192.168.100.0 (11000000.10101000.01100100.00000000)
- 192.168.102.0 (11000000.10101000.01100110.00000000)
- 192.168.104.0 (11000000.10101000.01101000.00000000)
- 192.168.105.0 (11000000.10101000.01101001.00000000)
 (11000000.10101000.01100000.00000000)
 192 .168. .96 .0

Združena staza je 192.168.96.0/20
Maska podmreže 255.255.240.0

Primjer združivanja staze (2)

- Oprez: rješenje sadrži i staze koji ne pripadaju združenom putu
 - 192.168.96.0, 192.168.97.0, 192.168.101.0, 192.168.103.0
- Združena staza mora isključiti prve dvije staze koje ustvari ne pripadaju združenoj stazi
 - 192.168.96.0, 192.168.97.0
- Združena staza mora sadržavati prvu adresu koja pripada združenoj stazi
- **Rješenje:**
 - **192.168.98.0/20**

Primjer združivanja staze (3)

- Združena staza 10.10.1.32/27
- Priпадa li združenoj stazi adresa 10.10.1.44/27?
- Priпадa li združenoj stazi adresa 10.10.1.90/27?

Algoritam usmjeravanja

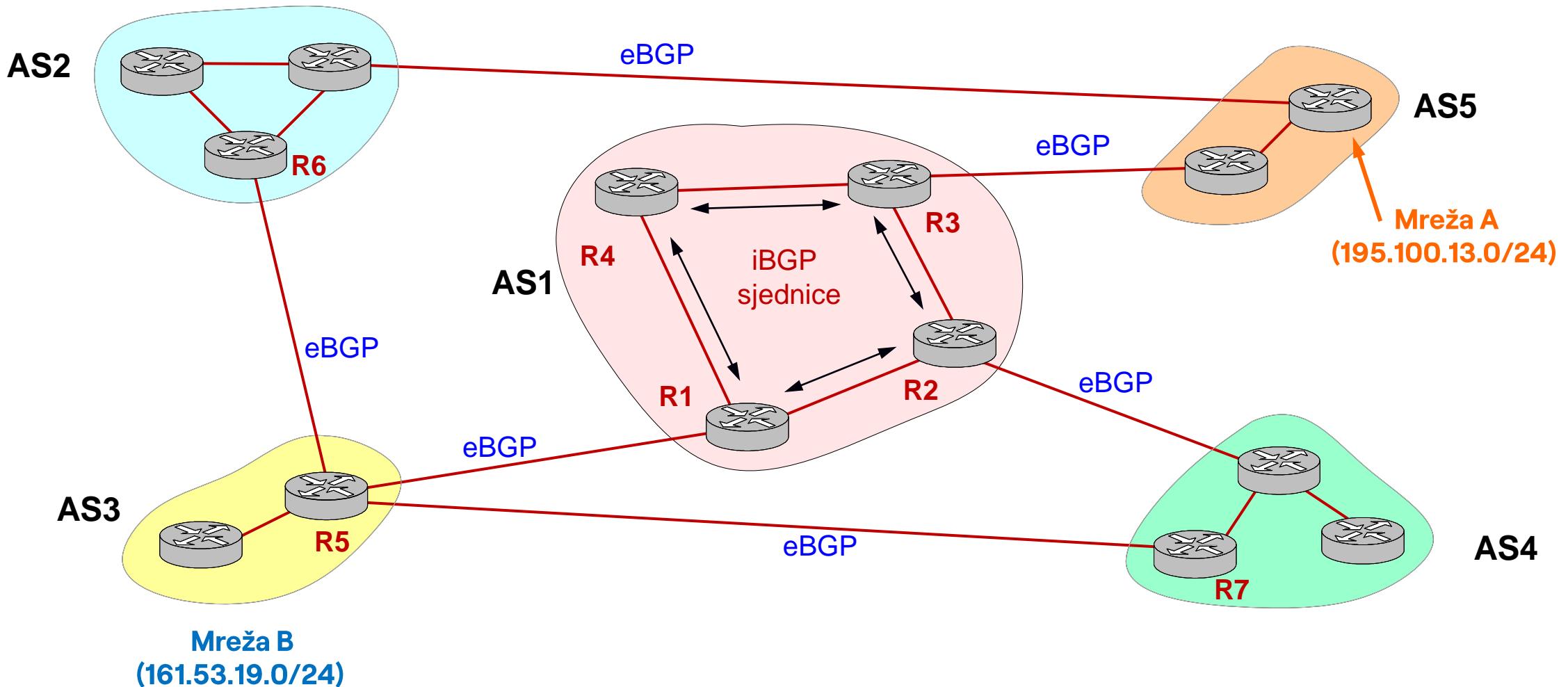
- Algoritam usmjeravanja odlučuje o “**najboljoj stazi**” za zadano odredište na temelju **procesa odluke** (*decision process*)
- Nema definiranog pravila već se primjenjuje **vlastita politika** lokalnog administratora AS-a definirana u PIB (Policy Information Base)
- Promatraju se neobrađene staze objavljeni u RIB-u (Adj-RIBs-In)

Primjer algoritma usmjeravanja

- **Proces donošenja odluke o stazi:**

- odaberi stazu s najvećom vrijednosti atributa *local pref*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaberi stazu koja je domaćeg porijekla (*origin*), dobivena iz vlastitog AS-a. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaberi stazu s najkraćim atributom *AS path*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaberi stazu s manjom vrijednosti atributa *origin*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaberi stazu s najmanjim atributom *MED*. Ako se staza ne može odrediti na temelju ovog kriterija prijeđi na sljedeći korak
- odaberi stazu koja je definirana na temelju eBGP

Primjer odabira staze na temelju atributa



Primjer odabira staze od AS3 prema AS5

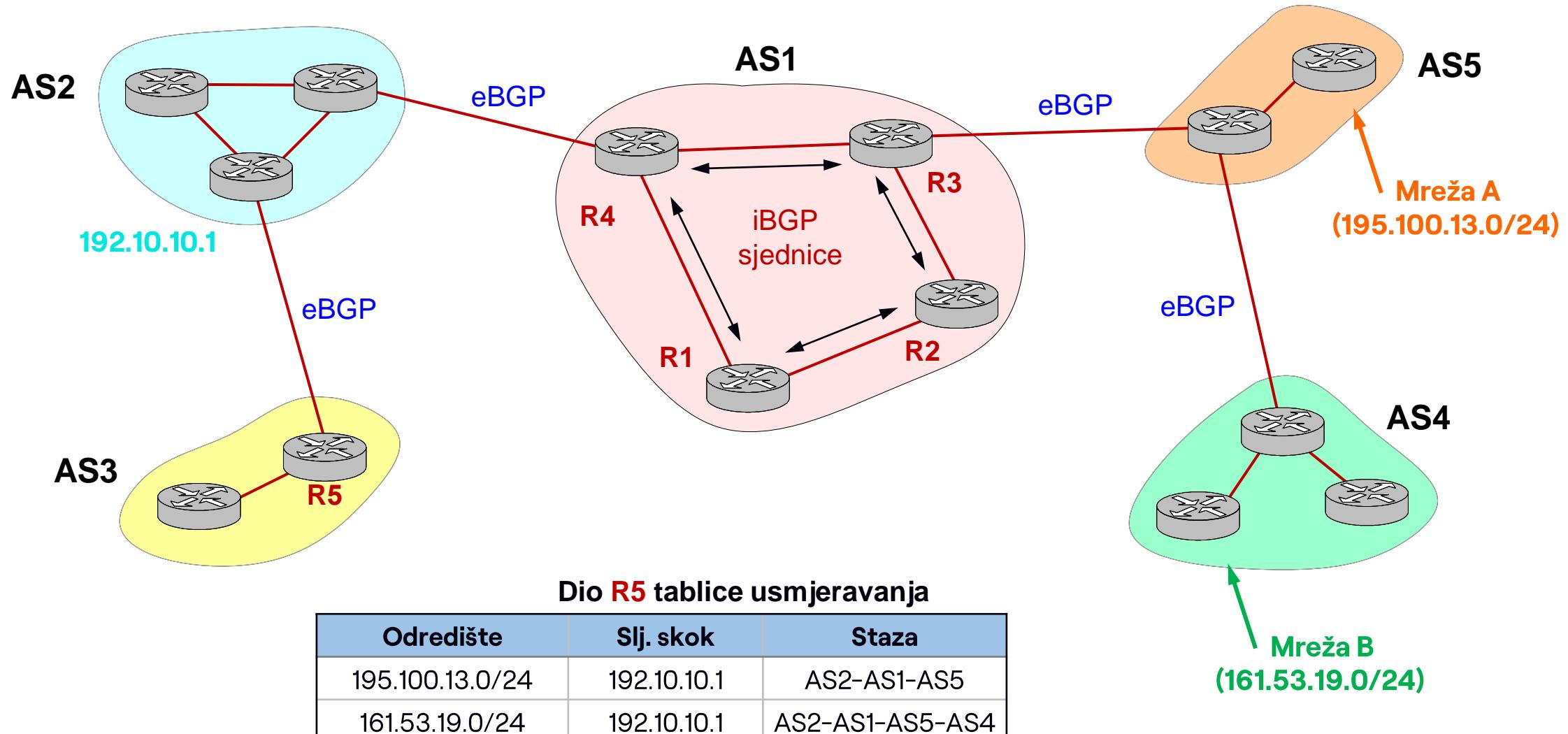
- Atributi staze 1
 - Origin: IGP-0
 - AS path: AS2 – AS5
 - Local preference: 3
 - **MED: 1**
- Atributi staze 2
 - Origin: IGP-0
 - AS path: AS1 – AS5
 - Local preference: 3
 - **MED: 2**
- Atributi staze 3
 - Origin: IGP-0
 - **AS path: AS4 – AS1 – AS5**
 - Local preference: 3
 - MED: 3

Ažuriranje tablice usmjeravanja

- Vrši se razmjenom poruka *BGP updates*
- Komunikacija između susjednih BGP usmjeritelja
- Izmjenjuju informacije o putovima (NLRI)
- **Oglašavaju** se moguće staze prema AS-ovima

- Tablica usmjeravanja
 - odredište, put
- Uz oznaku puta navodi se sljedeći skok
- **Ukoliko dođe do prekida u mreži put se briše!**

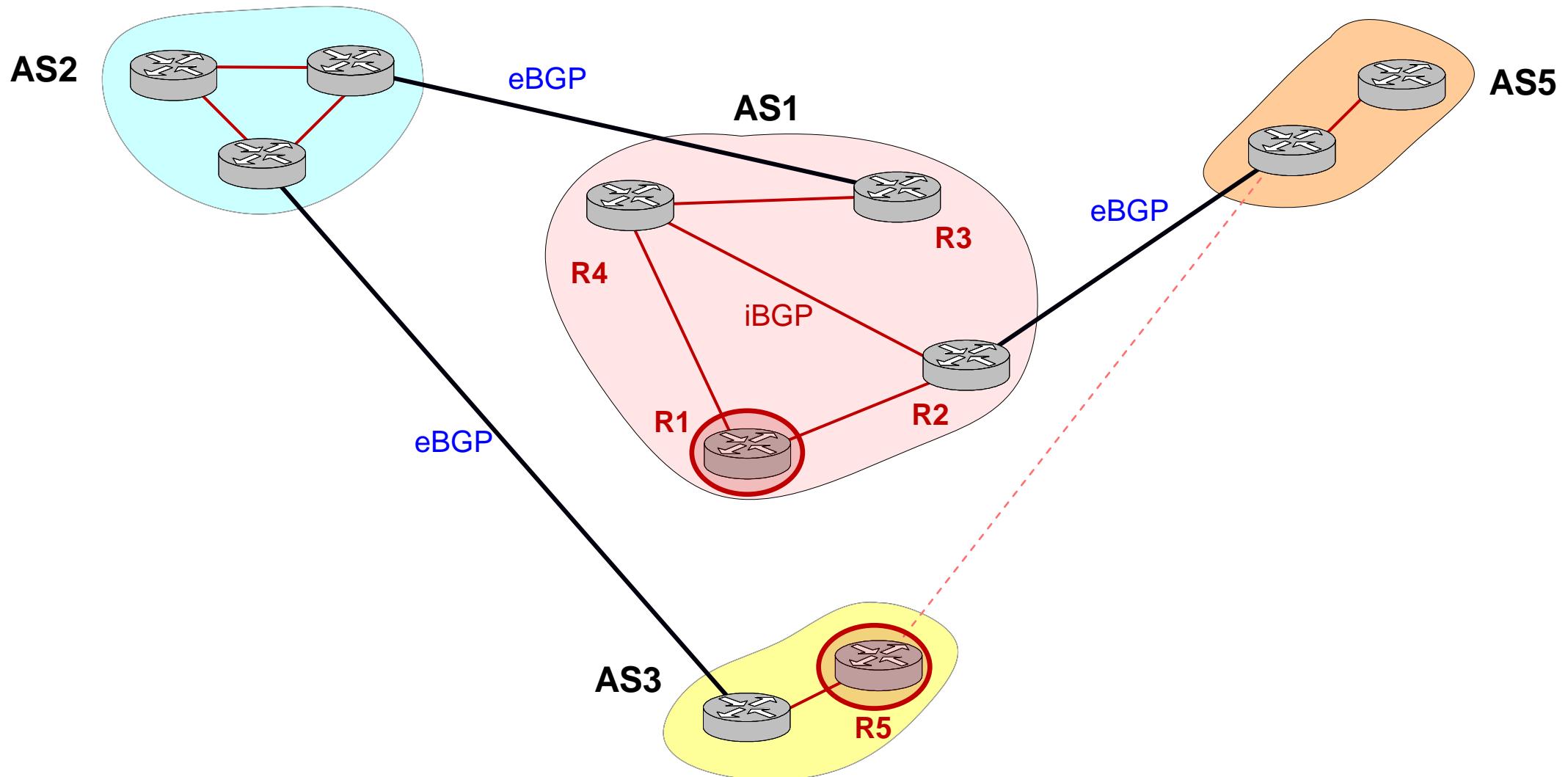
Primjer BGP tablice usmjeravanja



Zadatak

- Za zadanu mrežu na slici (sljedeći slajd) prepostavite da AS2 i AS5 koriste OSPF, a AS1 i AS3 koriste RIP kao IGP-protokol usmjeravanja.
- Za usmjeravanje između AS-ova koriste se protokoli eBGP i iBGP.
- Za početak prepostavite da nema fizičke veze između AS3 i AS5.
- Usmjeritelj R1 zna put do usmjeritelja R5 i informacija o toj stazi zapisana je u tablici usmjeravanja.

Slika uz zadatak



Ažuriranje tablice usmjerenja

- Hoće li zapis o toj stazi biti usmjeren preko usmjeritelja R2 ili preko usmjeritelja R4? Objasnite.
- Pretpostavite da između AS3 i AS5 postoji fizička veza (označeno crtano na slici). Pretpostavite da usmjeritelj R1 zna da je R5 dostupan preko AS2, kao i preko AS5. Hoće li usmjeravanje ići preko usmjeritelja R2 ili R4? Objasnite.
- Pretpostavite da se na putu između AS3 i AS5 nalazi još jedan autonomni sustav – AS4 (nije prikazan na slici). Pretpostavite da usmjeritelj R1 zna da do R5 može doći preko AS2-AS3, odnosno AS5-AS4-AS3. Hoće li usmjeravati preko R2 ili preko R4? Objasnite.

Regionalni internetski registar

- Regionalni internetski registar RIR (Regional Internet Registry) vrši raspodjelu brojeva AS-a i IP adresa dobivenih od IANA (Internet Assigned Number Authority)
- Aktivno je pet registara s područjem djelovanja:
 - **RIPE NCC (RIPE Network Coordination Centre) – Europa, Bliski Istok i središnja Azija**
 - ARIN (American Registry for Registry Numbers) – Sjeverna Amerika i dijelovi Kariba
 - APNIC (Asia-Pacific Network Coordination Centre) – Azija i Tihij ocean
 - LACNIC (Latin American and Caribbean Internet Address Registry) – Latinska Amerika i Karibi
 - AfriNIC (African Network Information Centre) – Afrika

Hrvatska akademska istraživačka mreža

- Hrvatska akademska istraživačka mreža (CARNet)
- Upravlja s 164092 IP adrese
 - 82.132.0.0 – 82.132.127.255 (/17), 32767 adresa
 - 161.53.0.0 – 161.53.255.255 (/16), 65535 adresa
 - 192.84.105.0 – 192.84.105.255 (/24), 255 adresa
 - 193.198.0.0 – 193.198.255.255 (/16), 65535 adresa
- Ostvaruje vezu s Internetom preko pan-europske istraživačke mreže GEANT brzinom 100 Gbit/s (2018.)
- Veza prema drugim ISP-ovima u Hrvatskoj ostvarena je kroz **mjesto razmjene internetskog prometa u Hrvatskoj – CIX** (Croatian Internet eXchange)

CIX

- **Croatian Internet eXchange (CIX) je hrvatsko nacionalno središte za razmjenu internetskog prometa**
- Otvoren je za sve ISP-ove u RH, kako za komercijalne tako i nekomercijalne, odnosno privatne mreže
- Uspostavom izravnih komunikacijskih kanala među hrvatskim ISP-ovima postiže se velika ušteda u razmjeni podataka među hrvatskim internetskim korisnicima.
 - izravno međusobno povezivanje ISP-ova smanjuje nepotrebni promet kroz treće mreže
- **CIX članice dogovaraju međusobni peering za izmjenu prometa**
- Protokol usmjeravanja je BGPv4, a baza za dokumentiranje CIX peeringu je RIPE baza podataka

Komunikacijski protokoli

9. Podatkovna komunikacija i
protokoli u pokretnoj mreži (2G/3G)

Creative Commons



- **slobodno smijete:**
 - **dijeliti** – umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
 - **remiksirati** – prerađivati djelo
- **pod sljedećim uvjetima:**
 - **imenovanje.** Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
 - **nekomercijalno.** Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
 - **dijeli pod istim uvjetima.** Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencom koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

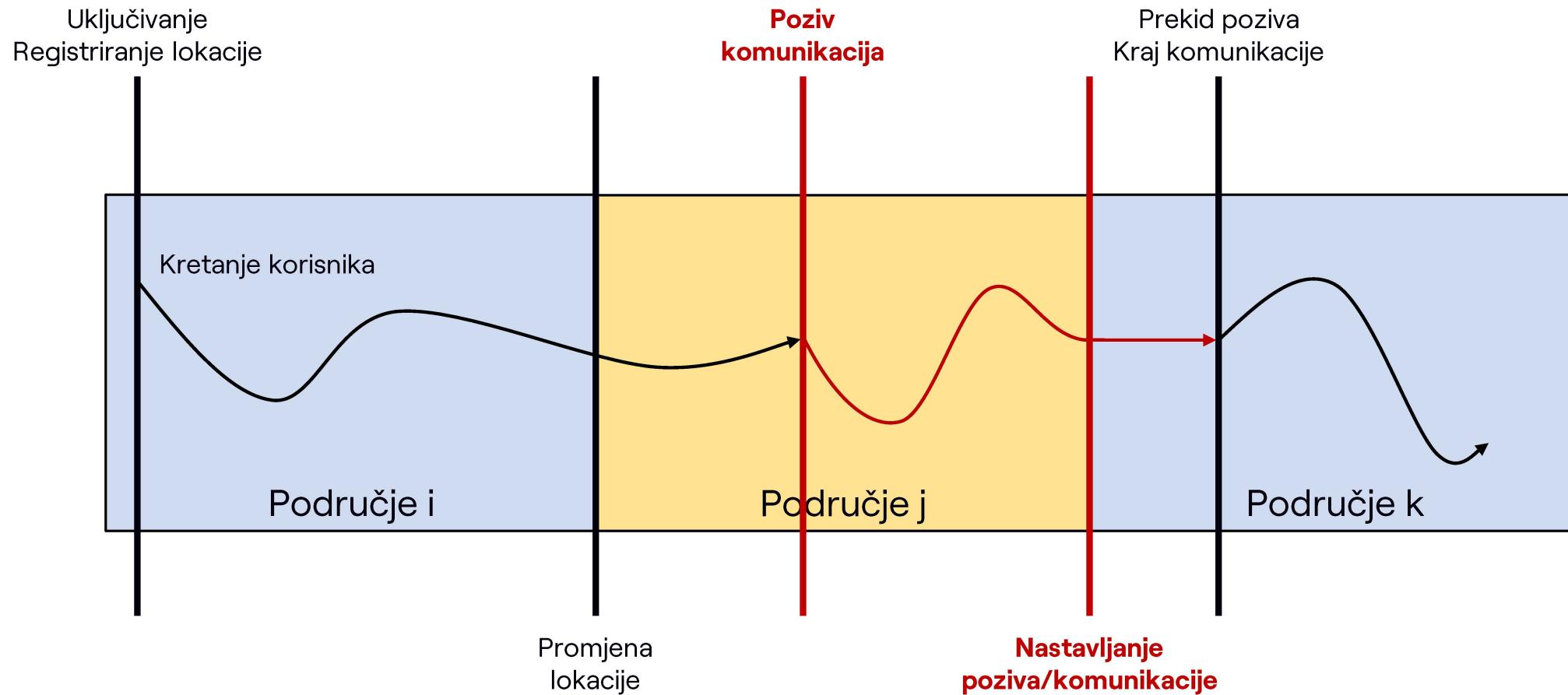
Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

Sadržaj predavanja

- Evolucija sustava pokretnih telekomunikacija
- Globalni sustav pokretnih komunikacija – GSM
- Opće paketske radijske usluge – GPRS
 - Protokoli SNDCP i GTP
 - Postupak pristupa Internetu
- Sustav poboljšanih brzina prijenosa podataka – EDGE
- Pokretna mreža UMTS
 - UMTS radijska pristupna mreža
 - Sučelja i protokoli jezgrene mreže UMTS

Model pokretljivosti



Pokretljivost terminala, osoba i usluga

- **Pokretljivost terminala (*Terminal Mobility*)**

- Bežični pristup – prijenosni terminal
- Inteligencija mreže: određivanje lokacije terminala i praćenje kretanja

- **Pokretljivost osoba (*Personal Mobility*)**

- Žični ili bežični pristup
- Inteligencija mreže: identifikacija osobe i dostup osobi

- **Pokretljivost usluga (*Service Mobility*)**

- Usluga se ostvaruje u kretanju te pri prijelazu između mreža
- Inteligencija mreže: odabir najpovoljnijeg pristupa

- **Pokretljivost sjednice (*Session Mobility*)**

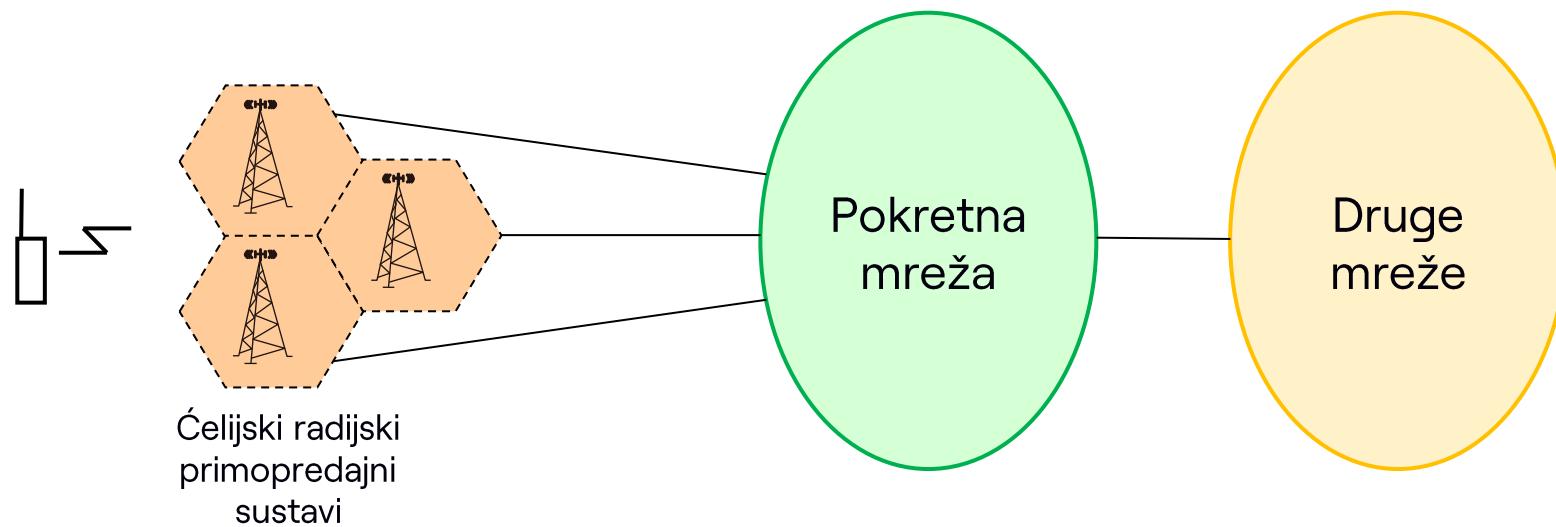
- Prebacivanje sjednice sa jednog uređaja na drugi na zahtjev korisnika
- Inteligencija mreže: određeni događaj pokreće prebacivanje poziva na temelju definiranih pravila od strane korisnika

Pokretna mreža (*Mobile Network*)

- **Javna mreža** u kojoj se pristup zasniva na **radijskoj komunikaciji** koja omogućuje pokretljivost korisničke opreme – terminala na području pokrivanja radijskim signalom
- **Jezgrena mreža**
 - Izvodi se kao fiksna mreža
- **Pristupna mreža**
 - Radijska pristupna mreža temeljena na sustavu ćelija

Opća arhitektura pokretne mreže

- Ćelijski radijski primopredajni sustav
- Čvorovi za povezivanje unutar pokretne mreže i s drugim mrežama



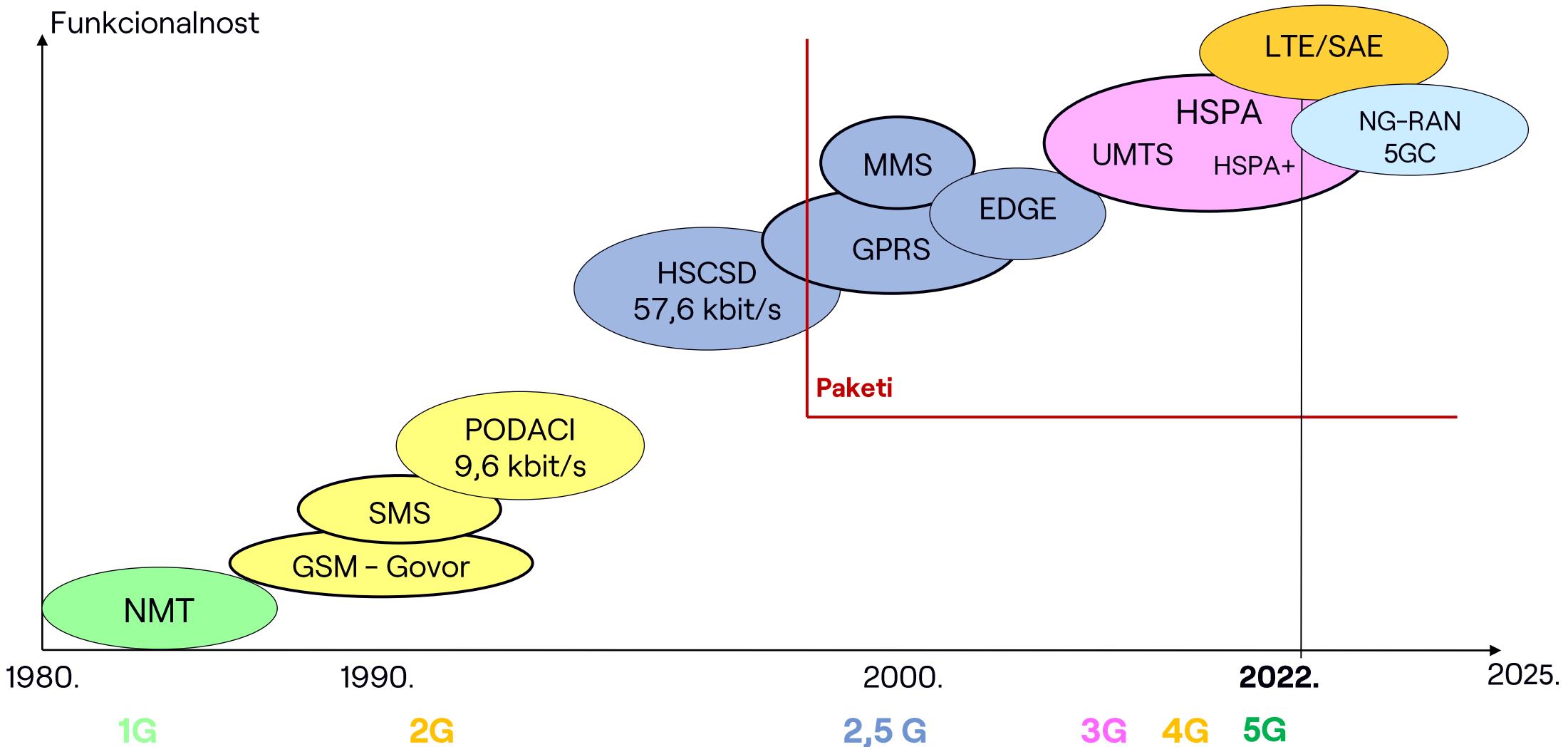
Evolucija sustava pokretnih telekomunikacija (1)

- Generacije sustava: u svim generacijama **višestruki pristup** – više korisnika pristupa skupini komunikacijskih kanala
- **Prva generacija 1G**
 - **Analogni sustavi**, višestruki pristup u **frekvencijskoj** podjeli (*Frequency Division Multiple Access, FDMA*)
- **Druga generacija 2G**
 - **Digitalni sustavi**, Višestruki pristup u **vremenskoj** podjeli (*Time Division Multiple Access, TDMA*), 124 frekvencije x 8 kanala = 992 kanala, GSM (*Global System for Mobile communications*), GSM-900/DCS-1800 (*Digital Communication System*)
 - **Prijenos govora dominantan, komutacija kanala**
 - 2,5G – HSCSD, GPRS, EDGE – **podaci**

Evolucija sustava pokretnih telekomunikacija (2)

- Treća generacija, 3G
 - Međunarodne pokretne telekomunikacije 2000 (International Mobile Telecommunications 2000, IMT-2000)
 - Europa: Opći pokretni telekomunikacijski sustav (Universal Mobile Telecommunications System, UMTS)
 - Širokopojasni višestruki pristup u kodnoj podjeli (Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA)
- 3,5G: Brzi paketski pristup - High Speed Packet Access, HSPA (HSDPA/HSUPA)
- Evolucija brzog paketskog pristupa - High Speed Packet Access Evolution, HSPA+
- 4G: Dugoročna evolucija radijske pristupne mreže - Long Term Evolution, LTE
- 5G

Evolucija mreže



Globalni sustav pokretnih komunikacija

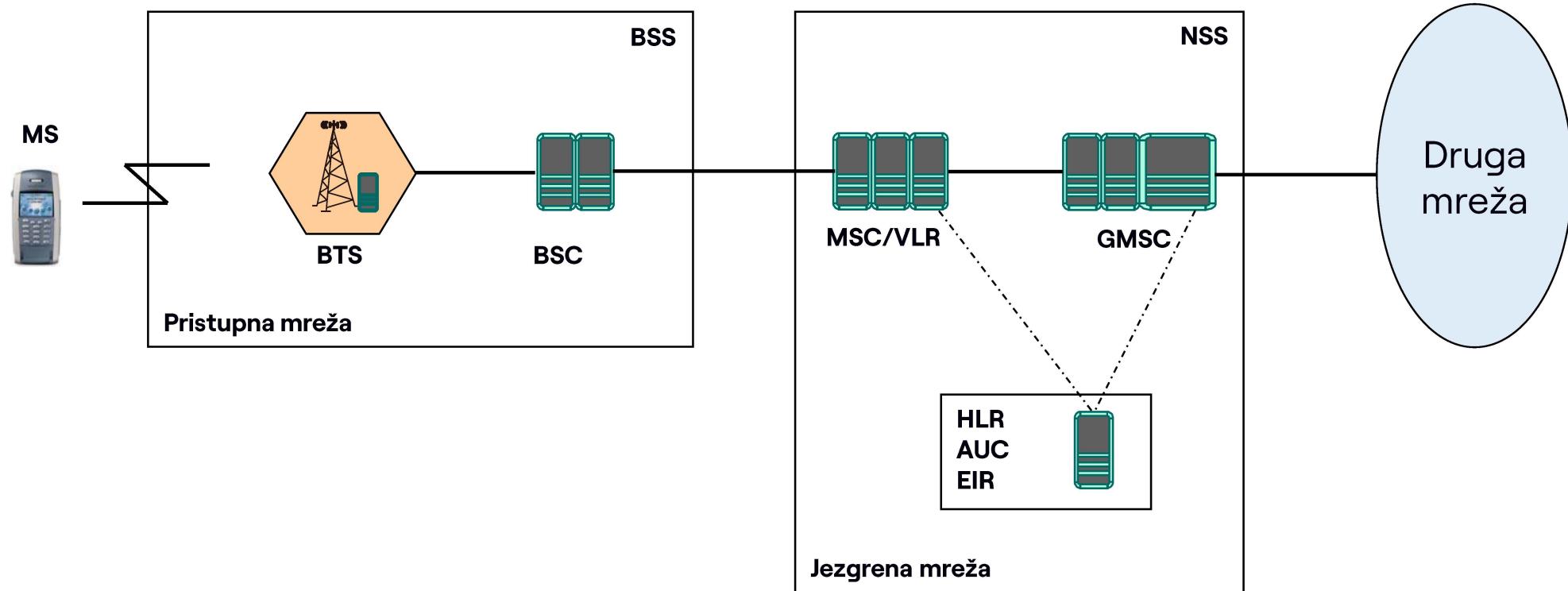
Global System for Mobile communications, GSM

- **Mrežni sustav** (*Network System, NSS*)
 - Prilazni pokretni komutacijski centar (*Gateway Mobile Switching Centre, GMSC*)
 - Pokretni komutacijski centar (*Mobile Switching Centre, MSC*)
- **Sustav baznih postaja** (*Base Station System, BSS*)
 - Upravljač bazne postaje (*Base Station Controller, BSC*)
 - Primopredajna bazna postaja (*Base Transciever Station, BTS*)
- **Pokretna postaja** (*Mobile Station, MS*)
 - Korisnički terminal (pokretni telefon)

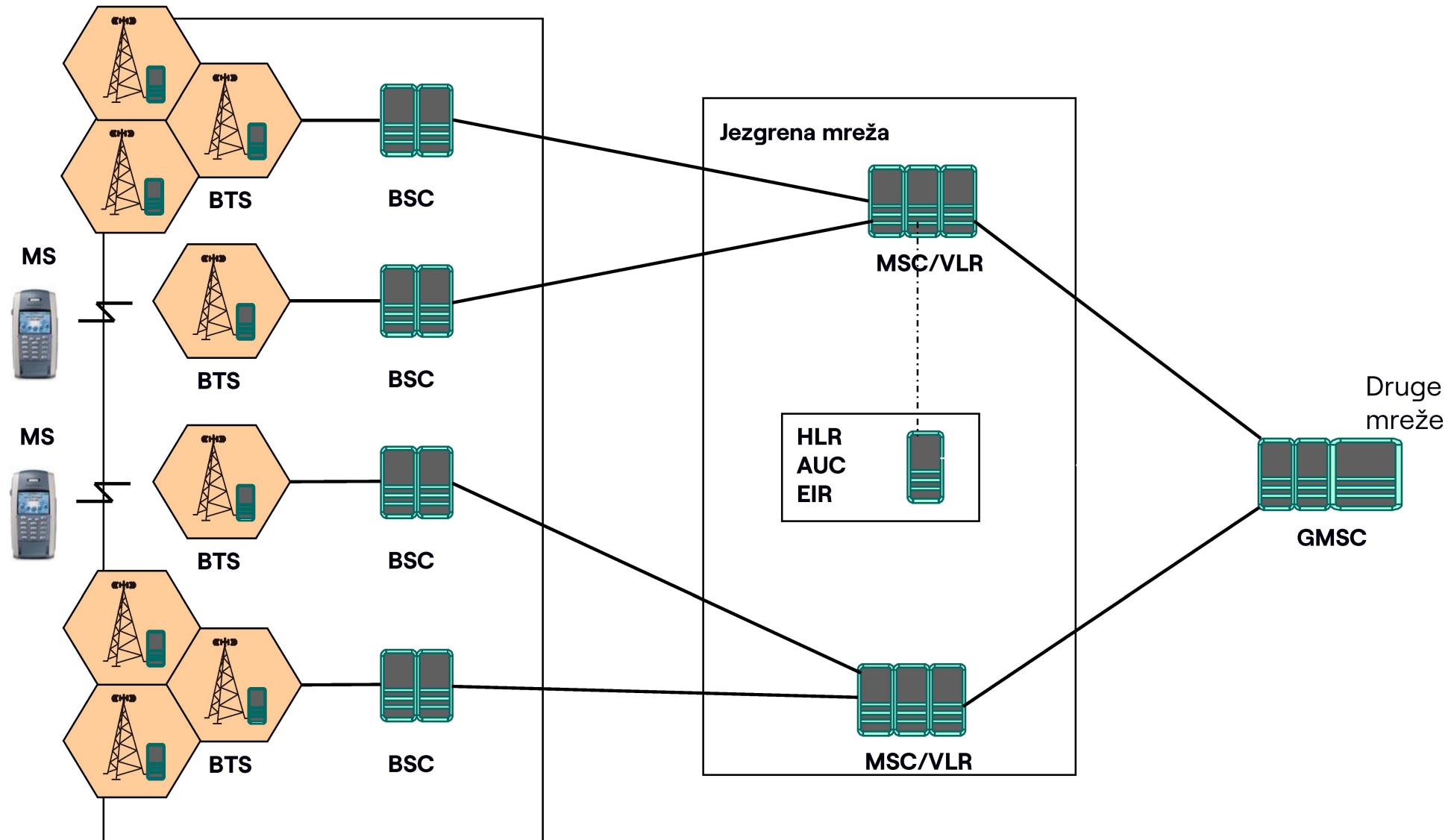
Arhitektura GSM mreže (1)

- **Domaći lokacijski registar** (*Home Location Register, HLR*)
 - Podaci o vlastitim (domaćim) pretplatnicima
- **Gostujući lokacijski registar** (*Visitor Location Register, VLR*)
 - Uz svaki MSC,
 - Podaci o vlastitim pretplatnicima i pretplatnicima drugih mreža
- **Centar za provjeru autentičnosti** (*Authentication Centre, AUC*)
 - Provjera autentičnosti pretplatnika
- **Registar identifikacije opreme** (*Equipment Identification Register, EIR*)
 - Provjera vlasnika pokretne postaje

Arhitektura GSM mreže (2)



GSM mreža



Upravljanje pokretljivošću

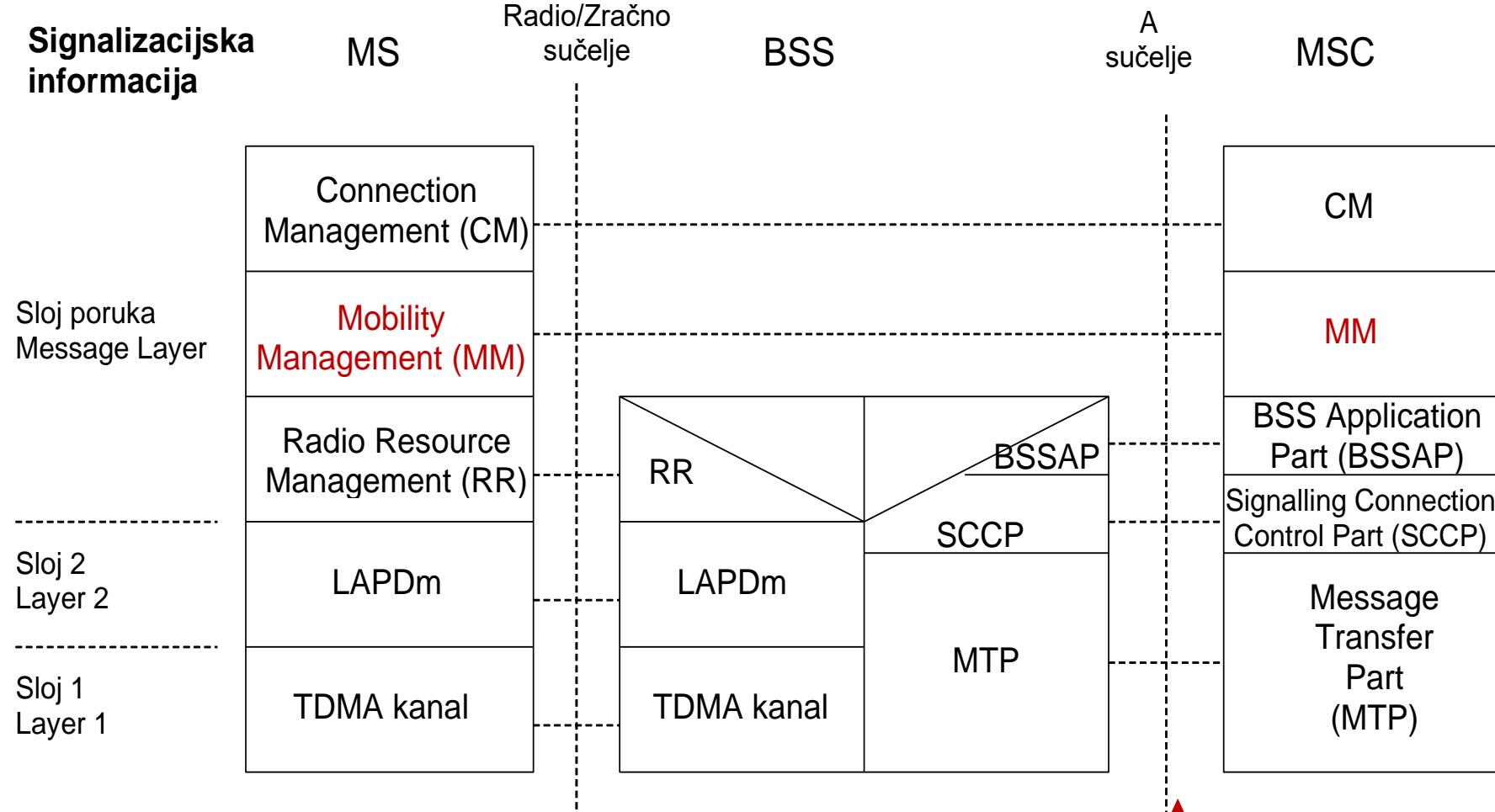
Domaći lokacijski registar (HLR - *Home Location Register*)

- Trajni zapis pretplatničkih podataka vlastitih pretplatnika
- Trenutna lokacija vlastitih pretplatnika

Posjetiteljski lokacijski registar (VLR - *Visitor Location Register*)

- Privremeni zapis dijela pretplatničkih podataka vlastitih i tuđih pretplatnika koji su trenutno u lokacijskom području
- Tuđi pretplatnici se poslužuju temeljem ugovora o prelaženju između mreža

Komunikacijski protokoli GSM-a



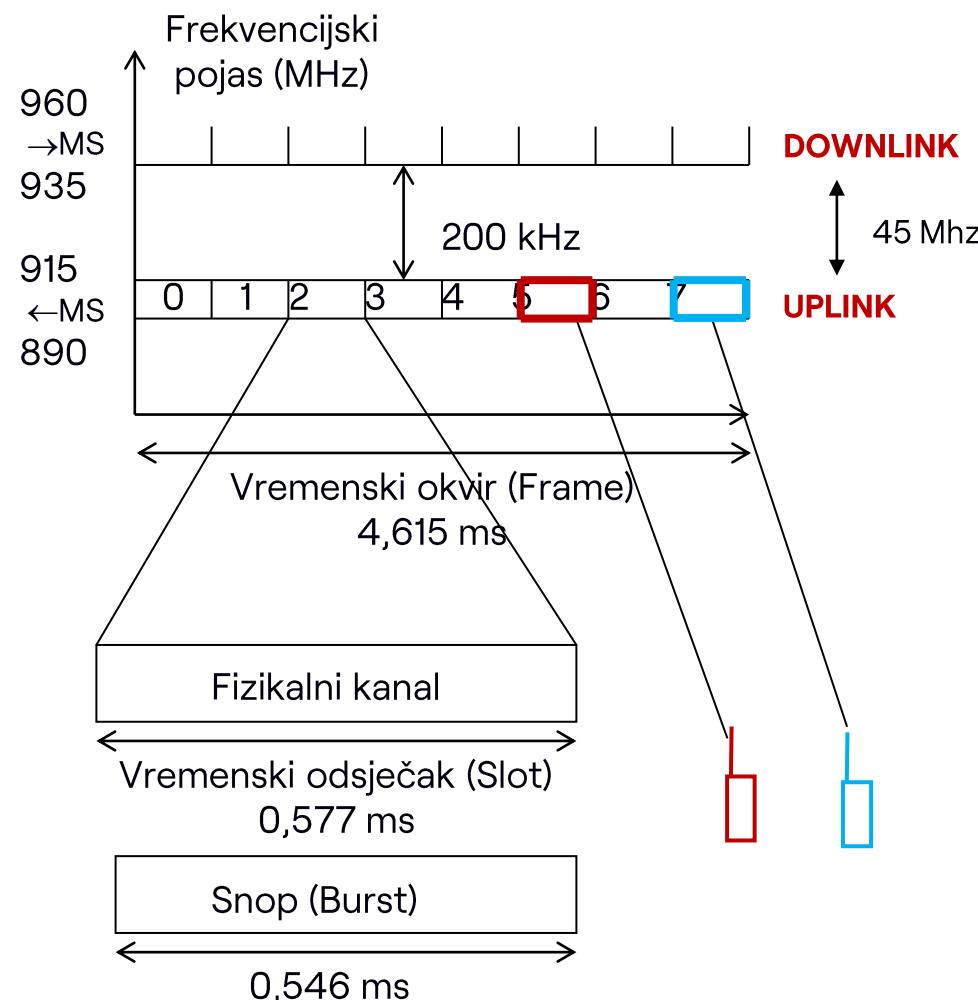
Korisnička informacija

MS – BSS: TDMA kanal

BSS – MSC – GMSC: 64 kbit/s govorni kanal

Sustav signalizacije zajedničkim kanalom
SS7

Fizikalni kanal (sloj 1)



Fizikalni kanali:
124 frekvencijskih x 8 vremenskih = 992

Kapacitet

- broj frekvencija u ćeliji, ograničeni broj
- **izbjegavanje interferencije**
- uplink-downlink odvojeni 45Mhz (890–935Mhz)
- kanali razmaknuti 200kHz u istom smjeru
- susjedne ćelije – različite frekvencije
- udaljene ćelije – iste frekvencije

Širina pojasa (bandwith)

- 2x25 MHz

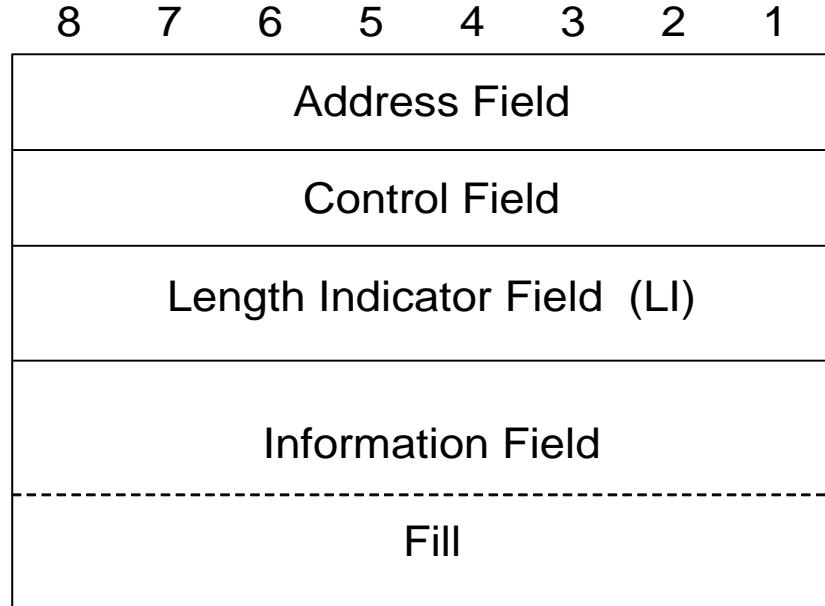
Modulacija

- GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying Modulation)

Prometni i kontrolni kanali

- spajanje MS – skenira cijeli frekv. spektar i prihvata najači kontr. kanal

Protokol sloja veze (sloj 2)



LI - označava duljinu Information Field
Fill - punjenje do 23 okteta

LAPDm (*Link Access Protocol D mobile*)

- izведен iz ISDN LAPD

Rješenje za radio kanal

- Fiksna duljina – razgraničavanje okvirom
- Bez zastavica (*flag*) na početku/kraju
- Informacijsko polje od 184 bita se kriptografski kodira u 456 bita, koji stanu u 4 snopa (4 x 114 bita)

Protokoli sloja poruka (sloj 3)

- **Podsloj za upravljanje radijskim resursima** (*RR - Radio Resource Management Sublayer*)
 - uspostavljanje fizikalne veze preko radijskog kanala za prijenos signalizacije između MS i BSS
- **Podsloj upravljanja pokretljivošću** (*MM - Mobility Management Sublayer*)
 - uspostavljanje, održavanje i prekidanje veze, uključivanje, lociranje, isključivanje između MS i MSC
- **Podsloj upravljanja vezom** (*CM - Connection Management Sublayer*)
 - dodatne usluge i SMS između MS i MSC

Opće paketske radijske usluge

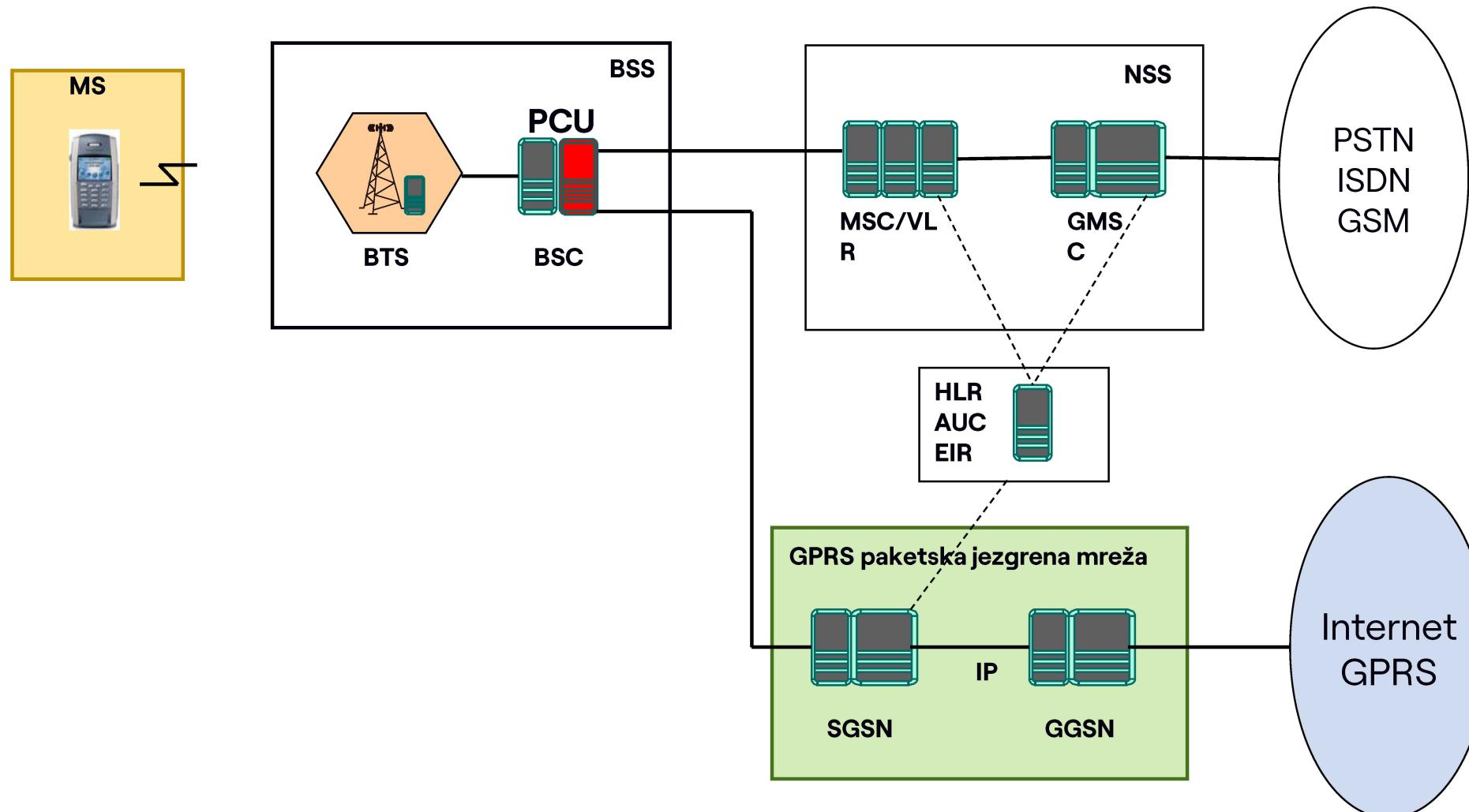
General Packet Radio Service, GPRS

- Proširenje GSM-a s **komutacijom paketa**
- Korištenje do 8 kanala iste frekvencije po jednom korisniku
- Male promjene u pristupnoj mreži
 - BSC se proširuje s **paketskom kontrolnom jedinicom** (Packet Control Unit, PCU)
 - PCU se povezuje s paketskim dijelom mreže protokolom IP
- Brzina prijenosa podataka do 115,2 kbit/s
- Naplata po količini prometa

GPRS čvorovi

- **Uslužni GPRS potponi čvor** (Serving GPRS Support Node, SGSN)
 - Poslužuje korisnika
- **Prilazni GPRS potporni čvor** (Gateway GPRS Support Node, GGSN)
 - Povezuje korisnika s drugim podatkovnim mrežama

Arhitektura mreže GPRS



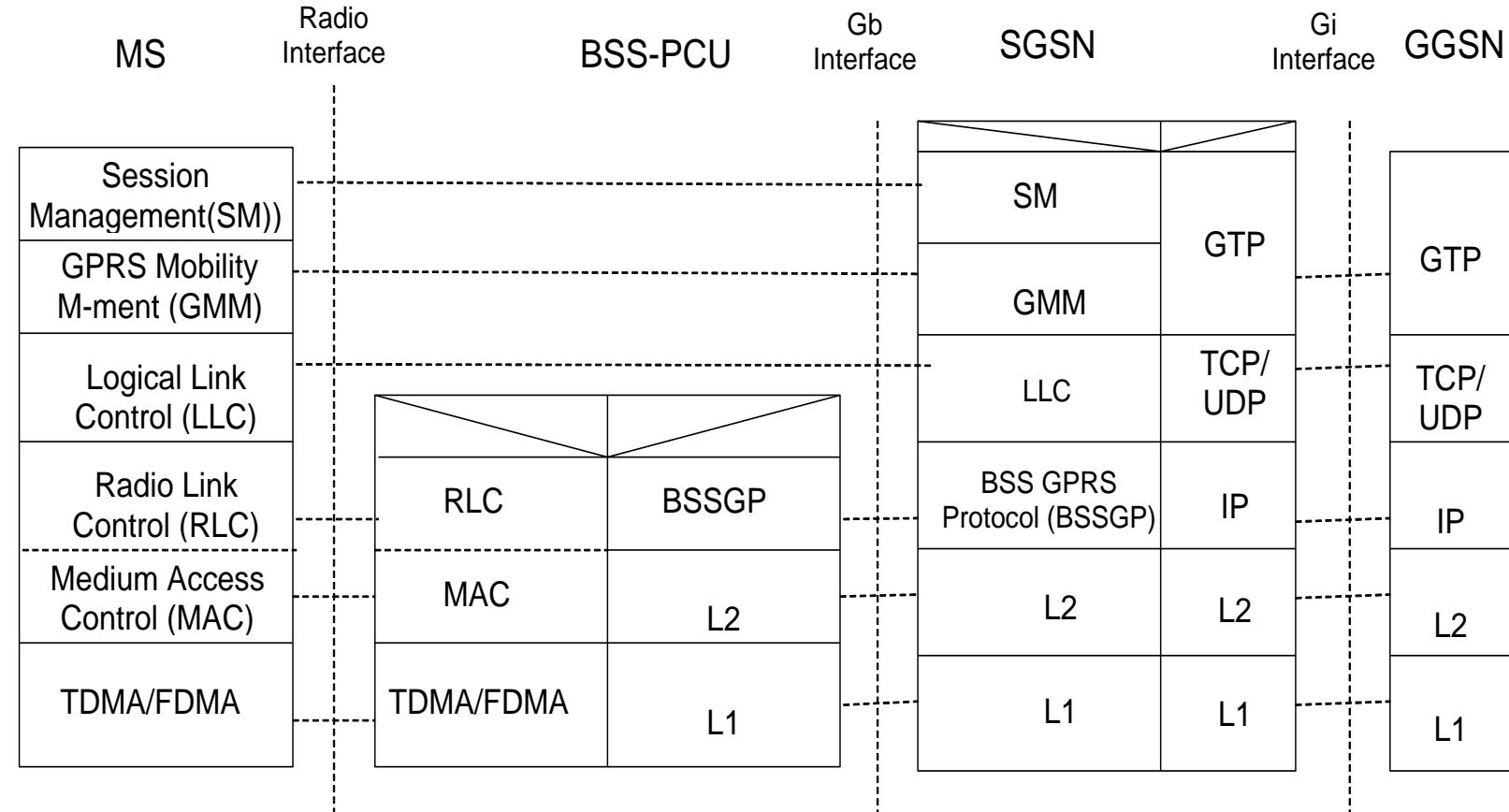
Uslužni GPRS potporni čvor (SGSN)

- Usmjeravanje paketa iz/u područje usmjeravanja (RA) od/prema MS
- Kriptografska zaštita i provjera autentičnosti
- Upravljanje sjednicom
- Upravljanje pokretljivošću
- Upravljanje logičkom vezom prema MS
- Prikupljanje podataka za naplatu
- Suradnja s HLR, MSC, BSC, GMSC i GGSN

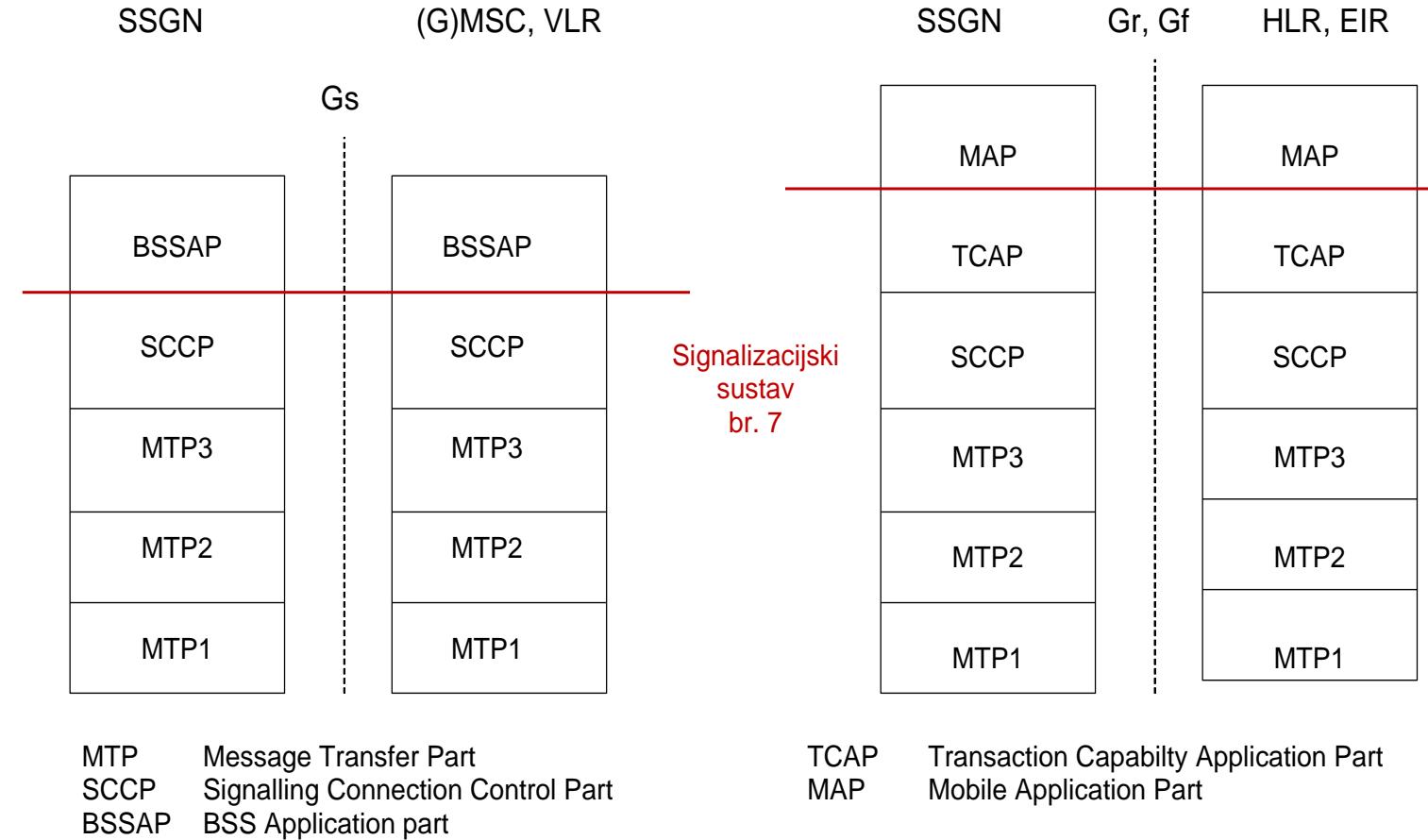
Prilazni GPRS potporni čvor (GGSN)

- Sučelje prema vanjskim IP mrežama
- Upravljanje GPRS sesijom i uspostavljanje komunikacije prema vanjskim mrežama
- Pridruživanje korisnika pravom SGSN-u
- Upravljanje pokretljivošću
- Upravljanje logičkom vezom prema MS
- Prikupljanje podataka za naplatu
- Suradnja s SGSN-om

GPRS protokoli: kontrolna/signalizacijska ravnina (1)



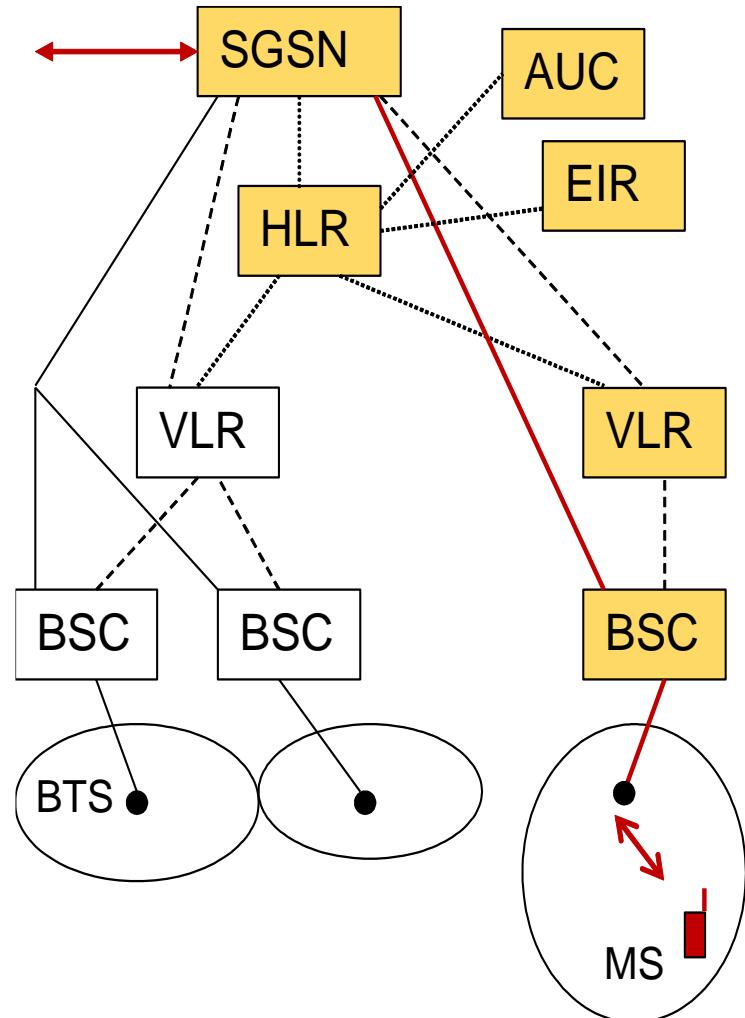
GPRS protokoli: kontrolna/signalizacijska ravnina (2)



Paketska komunikacija u pokretnoj mreži

- Kanalska komunikacija: upravljanje vezom
 - GSM: Connection Management
- Paketska komunikacija: **upravljanje sjednicom**
 - GPRS: Session Management
- Pokretljivost: **zapis o kretanju**
 - GPRS: Mobility Management Context
- Protokoli: **zapis o paketskom protokolu** (karakteristikama veze)
 - GPRS: Packet Data Protocol Context
- Radijski kanal: **podatak o fizikalnom kanalu**
 - GPRS: Temporary Block File

Uključivanje MS-a



Uključivanje (Attachment)

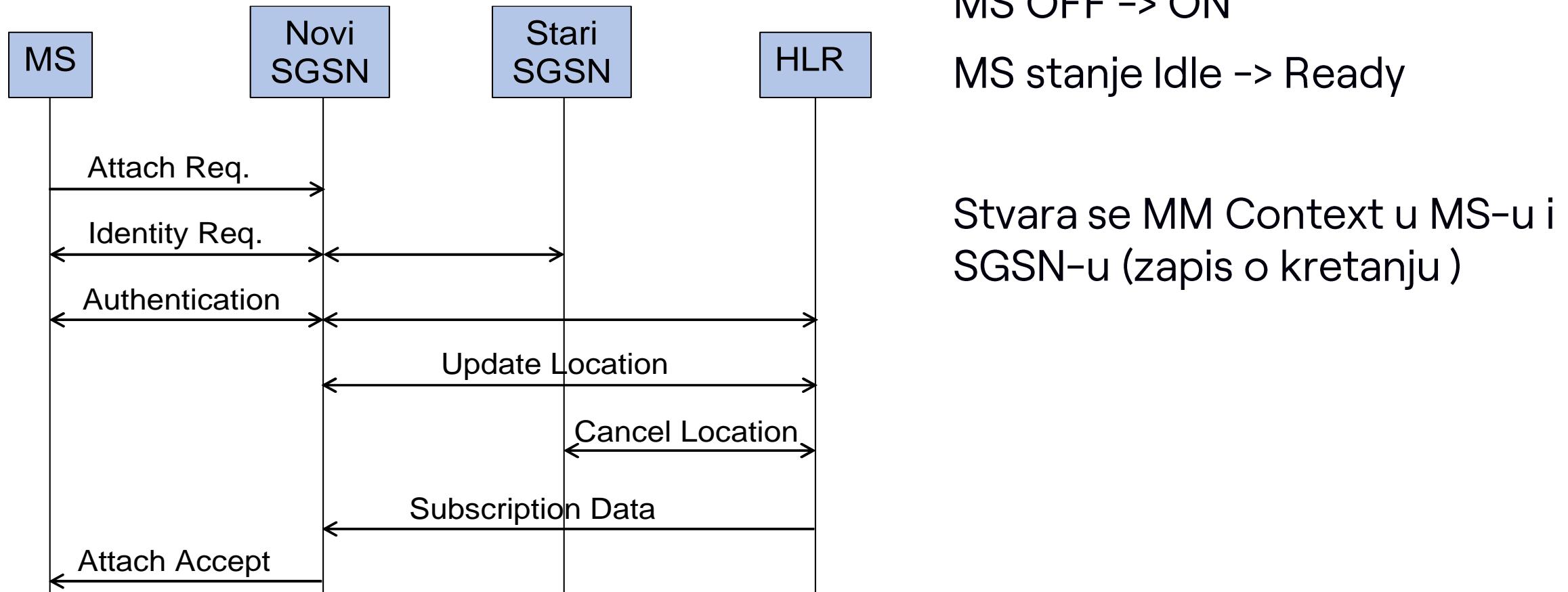
MS šalje zahtjev SGSN-u

- provjera autentičnosti (AUC) i identiteta opreme (EIR)
- nova lokacijska informacija u VLR i HLR
- SGSN vraća potvrdu

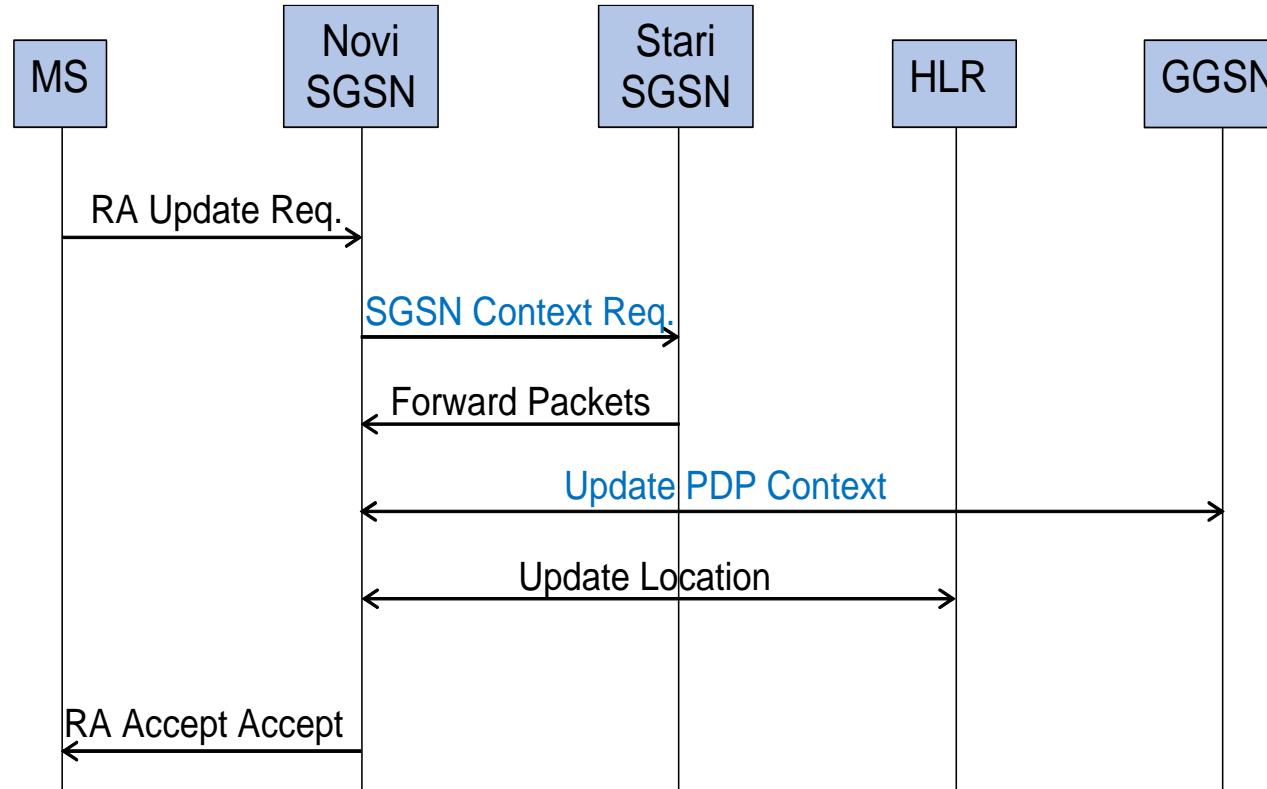
Rezultat:

- RA u kojem je MS je poznat
- pokrenuto upravljanje pokretljivošću

Uključivanje MS-a u području novog SGSN-a



Ažuriranje lokacije kod promjene SGSN-a



SGSN Context sadrži:

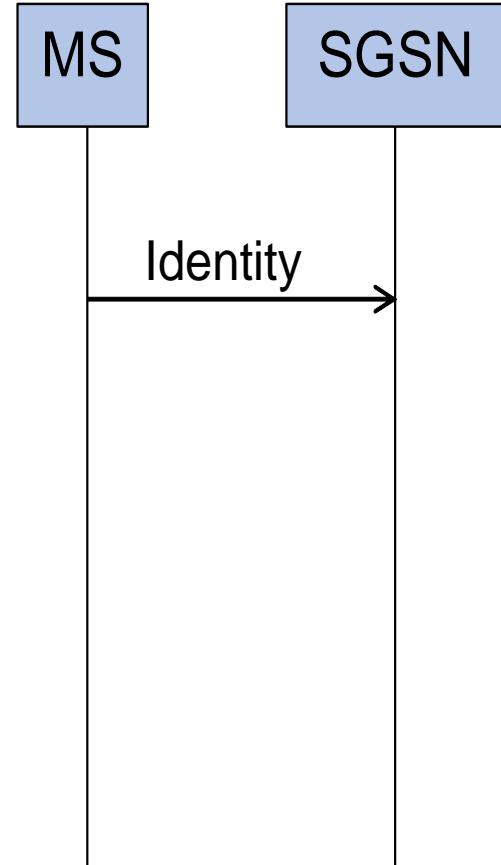
MM Context

PDP Context

PDP Packet Data Protocol

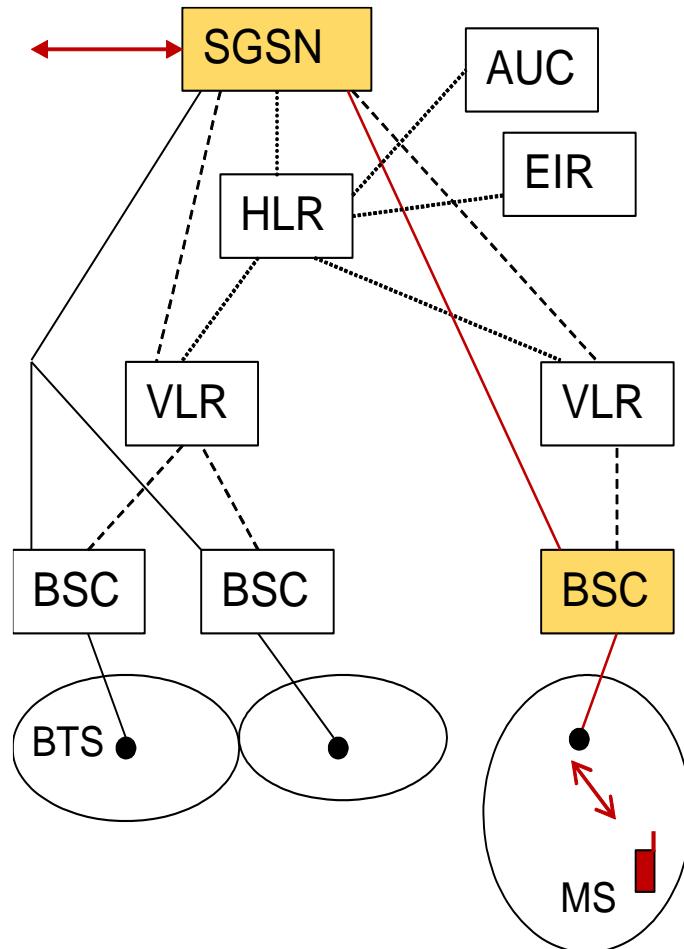
Zapis karakteristika veze

Promjena ćelije



- Promjena lokacije unutar RA

Komunikacija



MS odašilje pakete prema mreži

- MS zahtijeva kanal BTS – BSC
- MS dobiva kanal
- MS odašilje pakete prema SGSN

MS prima pakete iz mreže

- SGSN šalje zahtjev do BSC
- MS dobiva kanal
- SGSN šalje podatke prema MS

Zapis o paketskom protokolu

Packet Data Protocol Context

- zapis o karakteristikama veze pohranjen u MS, HLR, SSGN i GGSN
- određuje komunikaciju MS – GGSN
- koristi se za komunikaciju MS s vanjskom mrežom (Internet)
- aktivira se pri uključivanju MS ili komandom prije početka komunikacije

Podatak o fizikalnom kanalu

TBF (Temporary Block Flow)

- dodijeljuje PCU za prijenos paketa od/prema MS
- MS može imati TBF u jednom ili oba smjera

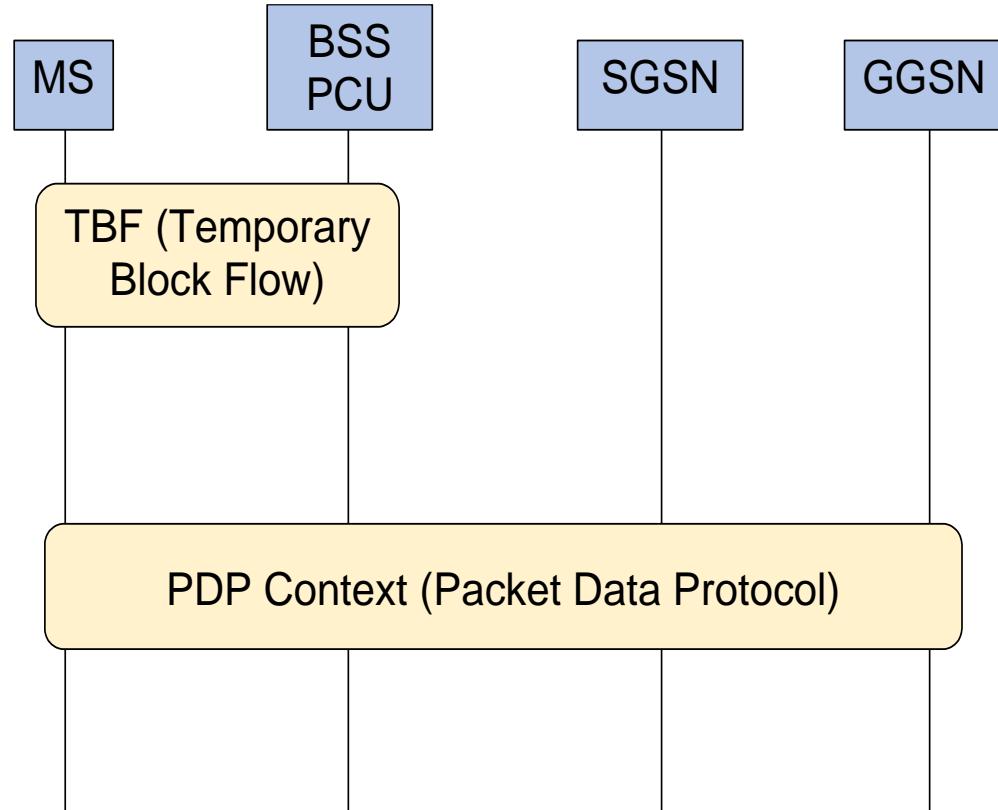
TFI (Temporary Flow Identity)

- označava pojedini TBF
- MS pri dodjeli TBF dobiva informaciju o PDCH koje koristi i TFI

Acknowledged/Unacknowledged Transfer

- retransmisijska/bez retransmisijska na radijskom sučelju

PDP kontekst i TBF



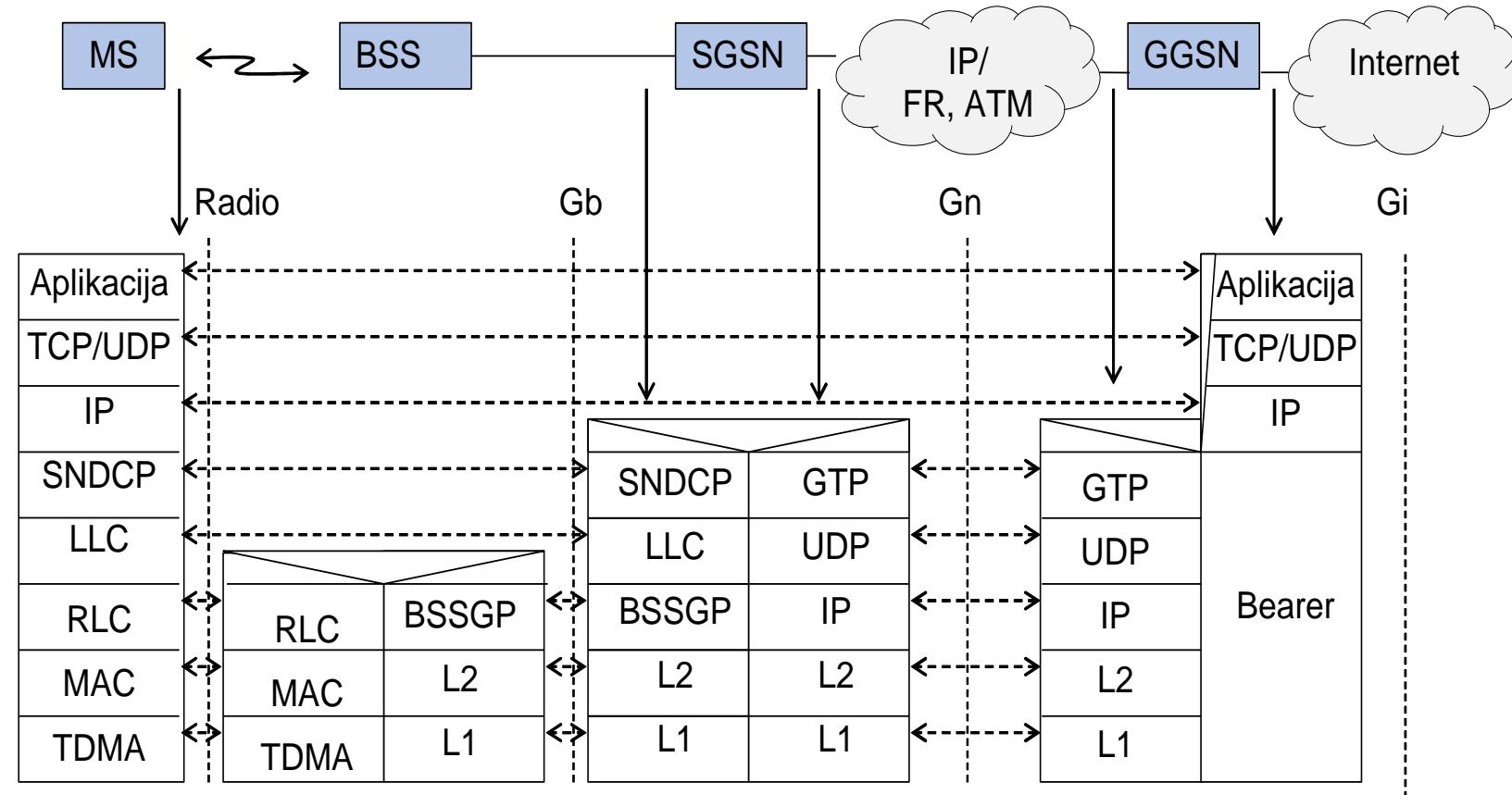
TBF

- opis komunikacije na radijskom sučelju (PDCH kanali za MS)

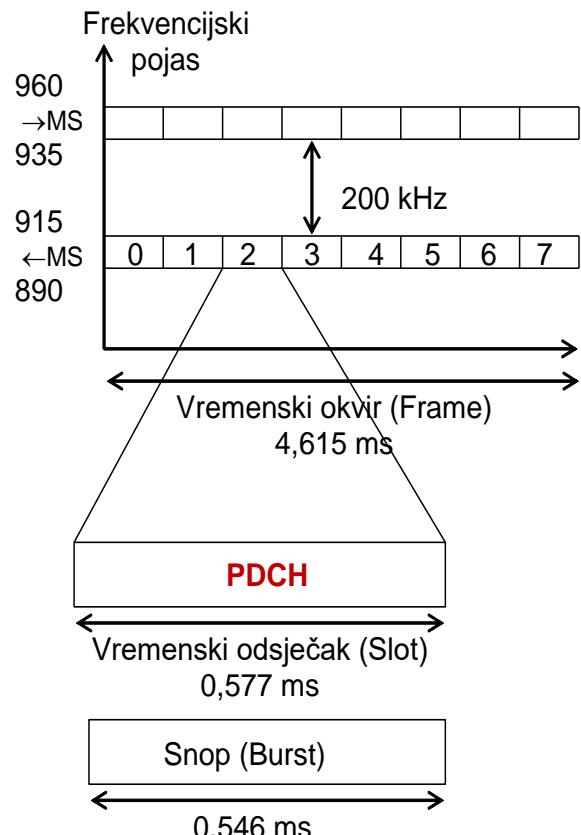
PDP Context

- zapis o karakteristikama veze: vrsta mreže, adresa pristupne točke, protokoli, QoS, ... (MS, BSS-PCU, SGSN, GGSN)

GPRS protokoli: korisnička/transmisijska ravnina



Fizikalni kanal (sloj 1)



Fizikalni kanali:
124 frekvenčijskih x 8 vremenskih = 992

PDCH (Packet Data CHannel)

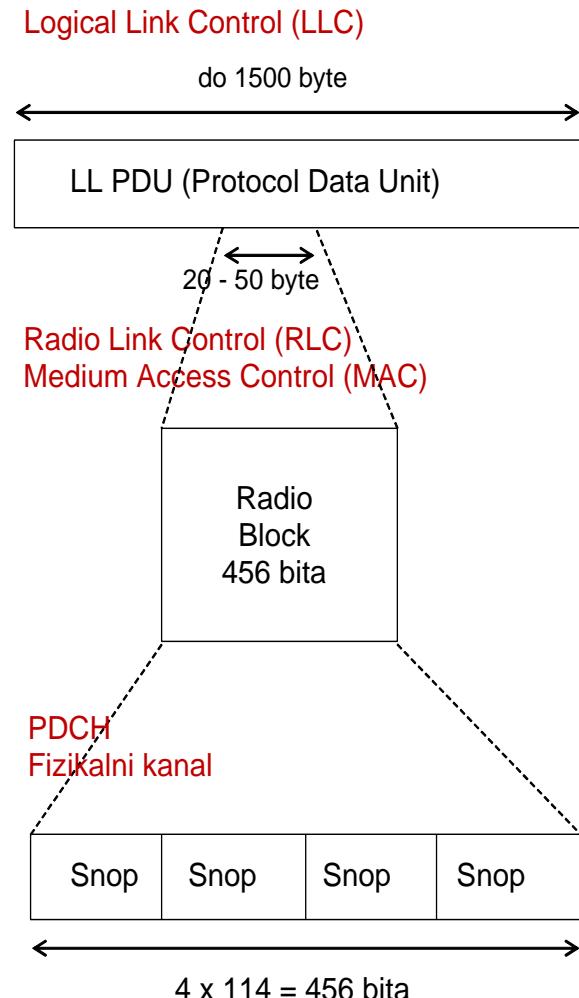
- jedan vremenski odsječak (kao GSM kanal)
- svaki PDCH mogu rabiti svi korisnici u ćeliji/više PDCH jedan korisnik
- broj PDCH u ćeliji: fiksani ili se mijenja dinamički (do 4, 8)

Logički kanali

Multiokvir (Multiframe)

$$52 \times \text{okvir} = 240 \text{ ms}$$

Kontrola i pristup mediju (sloj 2)



Logical Link Control (LLC)

- “najviši” GPRS protokol
- prijenos LL PDU između MS i SGSN

Radio Link Control (RLC)

- kontrola pristupa kanalu

Medium Access Control (MAC)

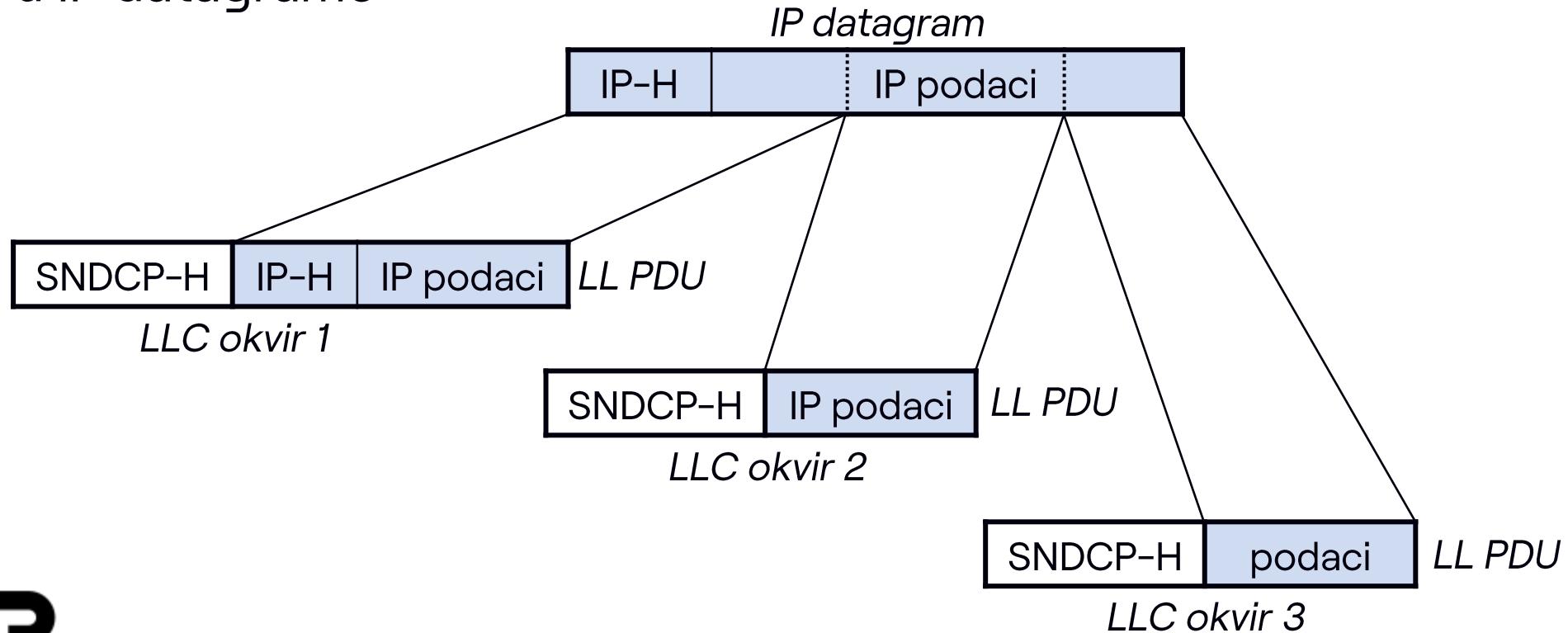
- raspoređivanje zahtjeva za kanal

Protokol SNDCP (sloj 3)

- **SNDCP – Sub-Network Dependent Convergence Protocol**
 - Između protokola IP i najvišeg GPRS protokola (LLC)
 - Prilagođava protokol IP radu u GPRS-u
 - Prenosi podatke između MS-a i SGSN-a
 - Multipleksira više konekcija mrežnog sloja (PDP konteksta) u jednu logičku vezu sloja LLC
 - Komprimira i dekomprimira korisničke podatke i zaglavlja višeg sloja
 - Fragmentira IP pakete koji se prenose u obliku LLC okvira i opet spajaju u IP pakete na drugoj strani

Prijenos podataka MS – SGSN

- IP datagrami se **komprimiraju** (IP zaglavje i podaci) na izvorišnoj strani (MS ili SGSN), **fragmentiraju** na LLC okvire (LL PDU ≤ 1500 okteta) i u obliku prikladnom za radijski prijenos opet dijele na MAC/RLC blokove veličine 20-50 okteta te šalju preko BSS do SGSN (i obratno) gdje se ponovo sastavljaju u IP datagrame



Protokol GTP

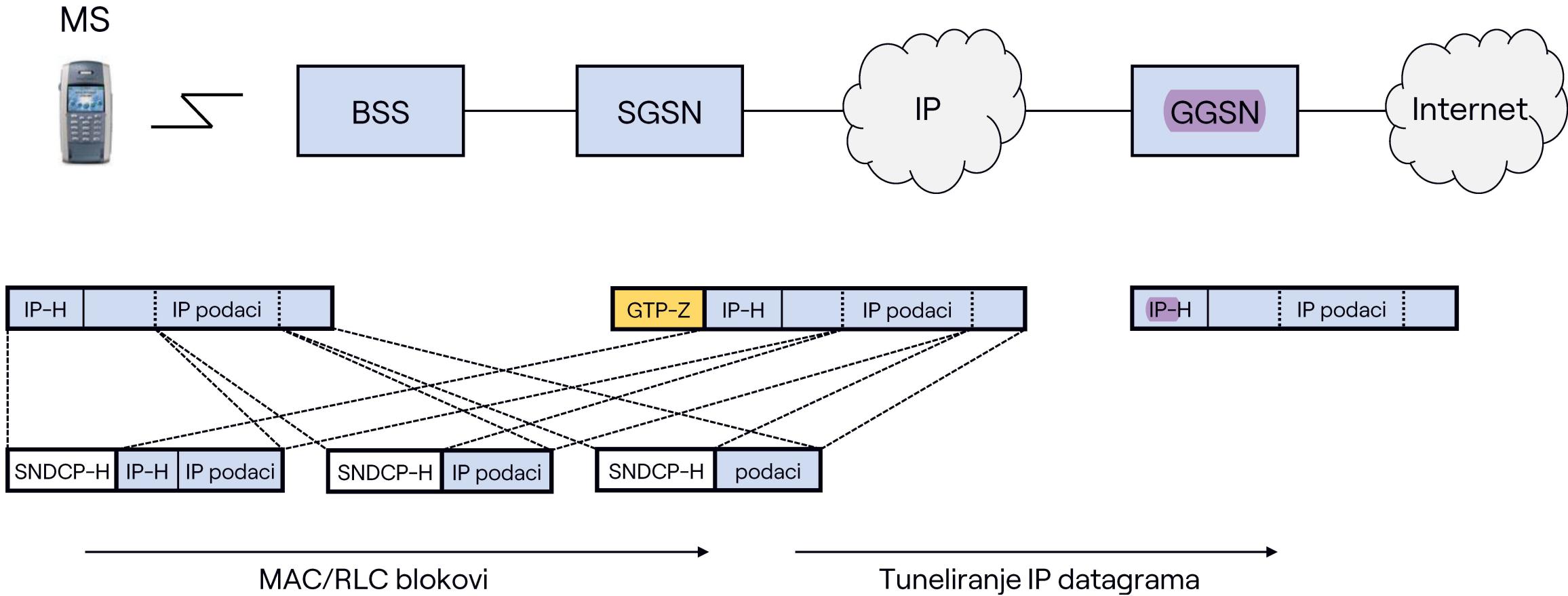
- **GTP – GPRS Tunneling Protocol**

- Prijenos podataka između SGSN-a i GGSN-a
- Ovija pakete mrežnog sloja
- Tunelira korisničke podatke i odgovarajuće signalizacijske informacije između mrežnih čvorova
- Kreira, modificira i briše tunel
- IP paketima dodaje GTP zaglavlje

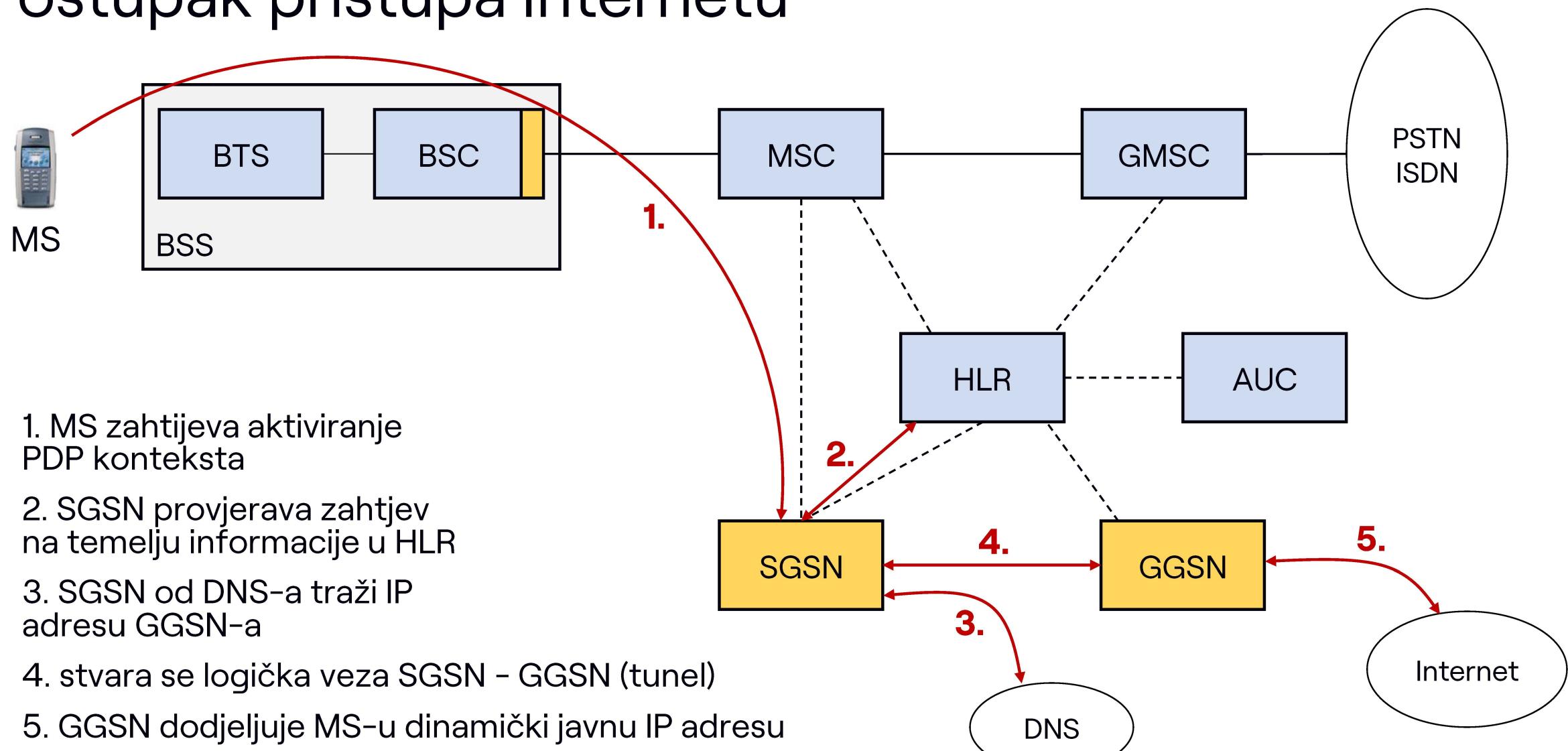
IP datagram



Podatkovna komunikacija korisnika s Internetom



Postupak pristupa Internetu



Sustav poboljšanih brzina prijenosa podataka

Enhanced Data rates for Global Evolution, EDGE

- Zahtjeva **veću promjenu radijskog dijela** pristupne mreže
 - Sustav baznih postaja E-RAN (EDGE Radio Access Network)
- Uvodi **promjenu modulacijskog postupka** u GSM mreži
 - Umjesto GMSK primjenjuje se 8PSK (*8 Phase Shift Keying*)
 - Umjesto 14,4 kbit/s dobiva se 48 kbit/s po jednom kanalu
 - Zauzimanje 8 kanala na istoj frekvenciji, $48 \times 8 = \mathbf{384 \text{ kbit/s}}$
- Nedostatak
 - Poboljšanu brzinu prijenosa podataka **nije moguće postići unutar cijelog područja pokrivanja ćelije**

Komunikacija porukama

- **Usluga kratkih poruka**
 - (*Short Messaging Service, SMS*)
- **Poboljšana usluga izmjene poruka**
 - (*Enhanced Messaging Service, EMS*)
- **Usluga višemedijskih poruka**
 - (*Multimedia Messaging Service, MMS*)

SMS usluga

- Uvodi se **posebni centar za uslugu kratkih poruka** (*Short Message Service Centre*, SMS-C)
 - Primanje i slanje SMS pruka od/prema pokretnoj postaji
 - Zadržava poruku dok ne dobije poruku o primitku ili dok ne istekne definirano vrijeme valjanosti poruke
- Duljina poruke je **160 znakova**, uz mogućnost ulančavanja
- EMS proširuje sadržaj poruke
 - Uz tekst, točkaste slike i kratke melodije

Standardizacija 3. generacije

- International Telecommunication Union
 - ITU (www.itu.org) - **IMT-2000**
- European Telecommunications Standard Institute ETSI
 - (www.etsi.org) - **UMTS**
- UMTS Forum (www.umts-forum.org)
 - neprofitna udruženja operatora, proizvođača i regulacijskih tijela
- 3GPP (3. Generation Partnership Project)
 - standardizacijska tijela i neprofitne udruženja
- OHG (Operators Harmonisation Group)

Opći pokretni telekomunikacijski sustav

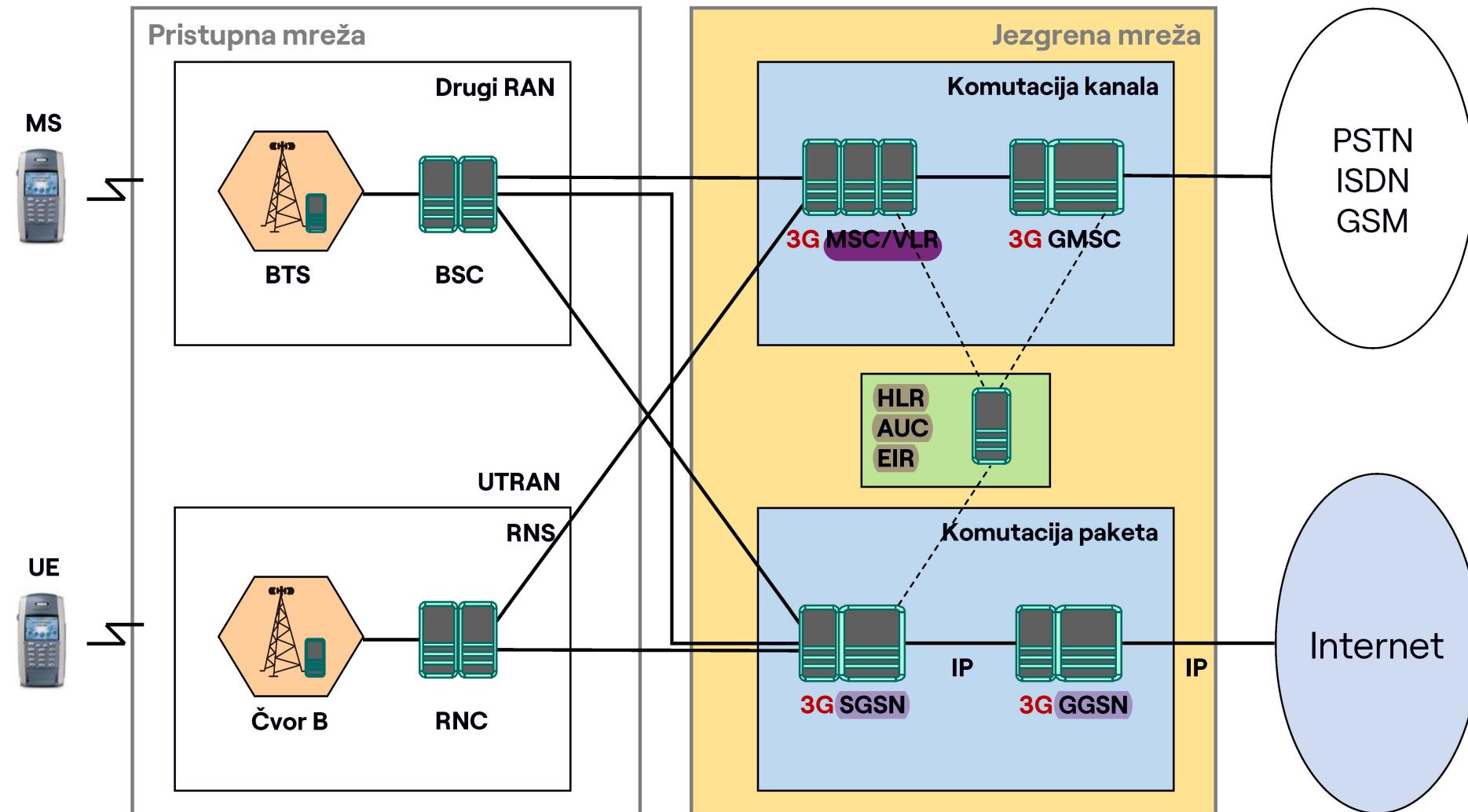
Universal Mobile Telecommunication System, UMTS

- Nova **radijska pristupna mreža u odnosu na pristupnu mrežu 2G**
- Određene promjene i u jezgrenoj mreži
 - Komutacija kanala – posluživanje 2G i 3G korisnika
 - Komutacija paketa – nove funkcionalnosti uslužnog i prilaznog čvora
- Uz pokretljivost terminala, riješena je **osobna pokretljivost te pokretljivost, prenosivost i transparentnost usluga**

UMTS zahtjevi

- Velika brzina prijenosa, osobna pokretljivost uz prijenos govora, podataka i multimedije
- do 144 kbit/s u svim uvjetima, do 384 kbit/s na otvorenom prostoru, do 2 Mbit/s u zatvorenom prostoru
- komutacija kanala i paketa
- simetrični i asimetrični prijenos
- kvaliteta govora usporediva s onom u fiksnoj mreži
- više istodobnih usluga
- integracija s fiksnom mrežom
- koegzistencija s 2. generacijom (GSM)
 - prebacivanje poziva između GSMA u UMTSa
- brzi pristup Internetu u pokretu

Arhitektura mreže UMTS (3GPP R99)



UMTS zemaljski radijski pristup

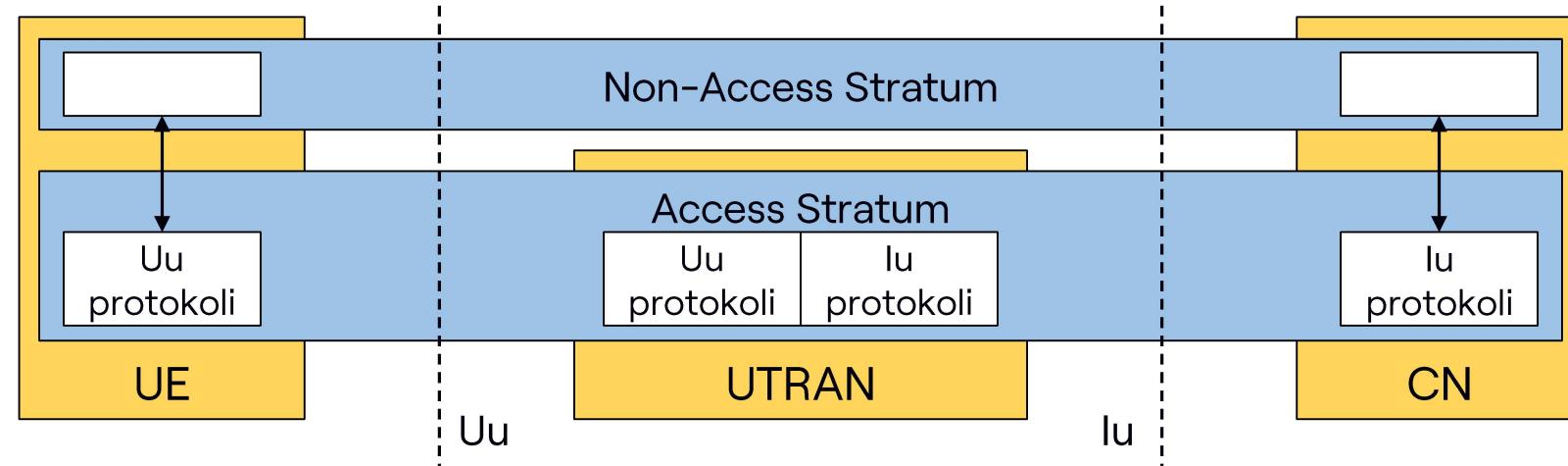
- **Zemaljski radijski pristup** (*UMTS Terrestrial Radio Access, UTRA*)
 - Širokopojasni višestruki pristup u kodnoj podjeli (*Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA*)
 - Veći kapacitet i bolja pokrivenost u odnosu na pristupnu mrežu 2G
 - Mogućnost varijabilne brzine prijenosa
 - Prikladnost za paketski i kanalski prijenos
 - Višestruke istodobne usluge u jednom terminalu
 - Hijerarhijsko strukturiranje ćelija
 - Protokol IP uvodi se u radijsku pristupnu mrežu

UTRAN funkcije

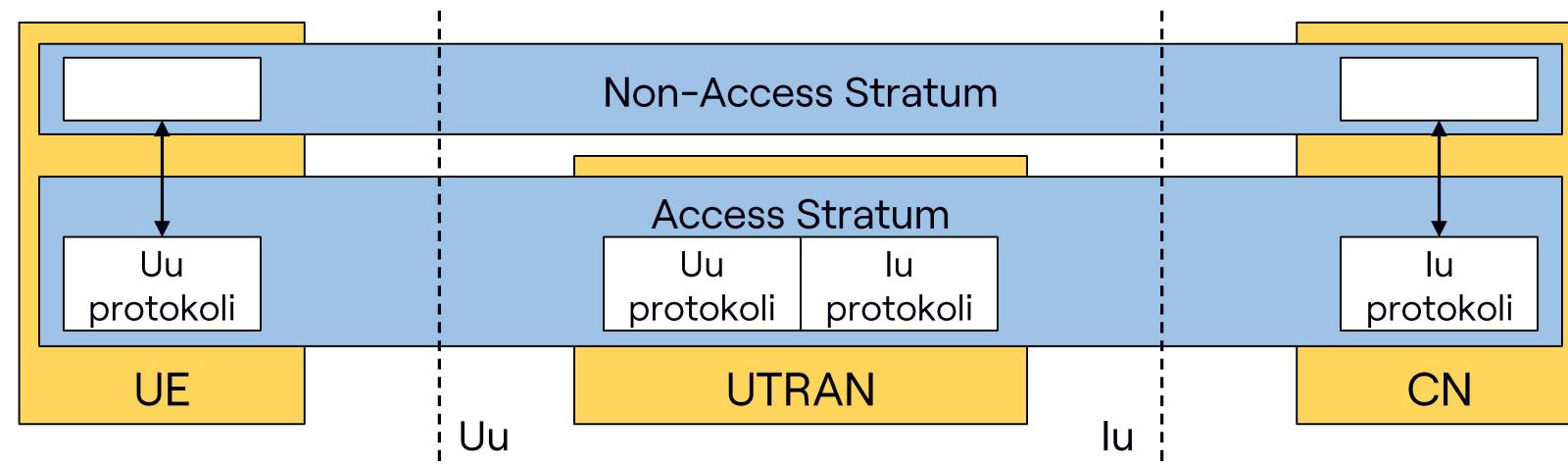
- Sustavna kontrola pristupa
- Sigurnost i privatnost
- Upravljanje i kontrola radijskih resursa
- Kontrola radijskog prijenosa i veze između korisničke opreme i mreže
- Prijenos korisničkih podataka između korisničke opreme i mreže

UTRAN arhitektura protokola

Korisnička ravnina (User Plane)



Kontrolna/signalizacijska ravnina (Control/Signalling Plane)

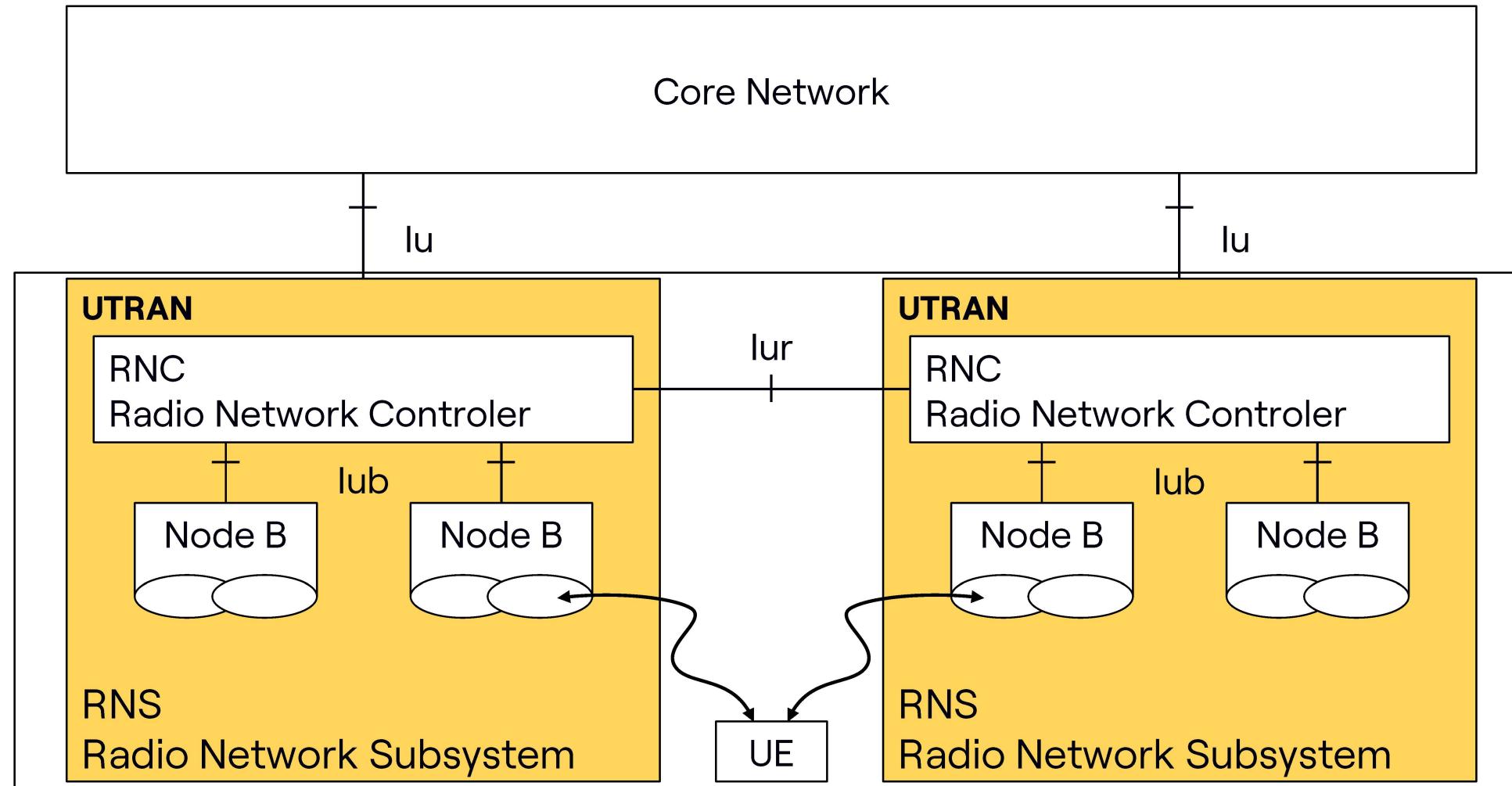


Radijski mrežni podsustav

Radio Network Subsystem, RNS

- **Osnovni element UMTS** zemaljske radijske **pristupne mreže** (*UMTS Terrestrial Radio Access Network, UTRAN*)
- Sadrži
 - Upravljač radijske mreže (*Radio Network Controller, RNC*)
 - Kontrolni RNC (CRNC – Controlling RNC)
 - Uslužni RNC (SRNC – Serving RNC)
 - Prihvativni RNC (DRNC – Drifting RNC)
 - Čvor B s radijskim primopredajnim dijelom (*Node B*)
 - Pokriva više ćelija (3-6)

UTRAN arhitektura pristupne mreže



Čvor B

- Pretvorba podatkovnog toka između sučelja lub i Uu
- Upravljanje radijskih resursa
- Modulacija
 - Podržava FDD, TDD i CDMA
- Fizikalni i transportni kanali
- Korekcija pogrešaka u radijskom prijenosu
- Povezivanje poziva s UE
- Prikupljanje prometnih podataka

UTRA – UMTS Terrestrial Radio Access

W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access)

- širokopojasni višestruki pristup s kodnom podjelom
- otvoreni prostor, široko područje, javna mreža
- 1920 -1980 MHz (up) , 2110 - 2170 MHz (down)
- FDD (Frequency Division Duplex)

TD-CDMA (Time Division Code Division Multiple Access)

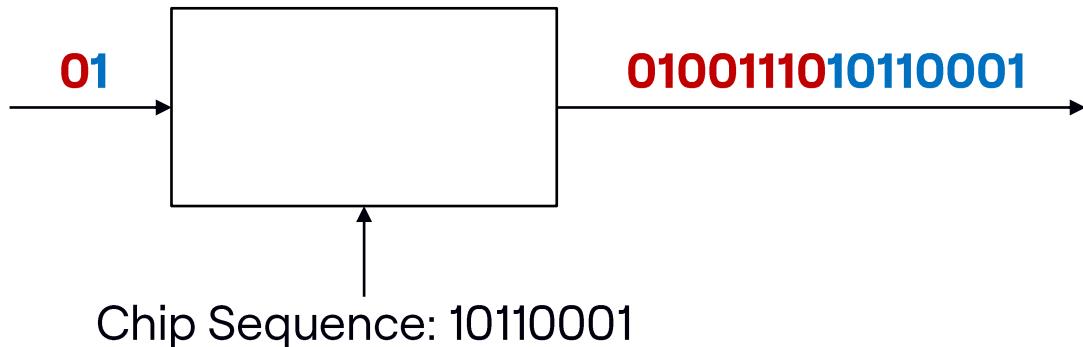
- višestruki pristup s kodnom podjelom i vremenskom podjelom
- zatvoreni prostor, uže područje, privatna mreža
- 1900 – 1920 i 2010 – 2025 MHz
- TDD (Time Division Duplex)

CDMA (Code Division Multiple Access)

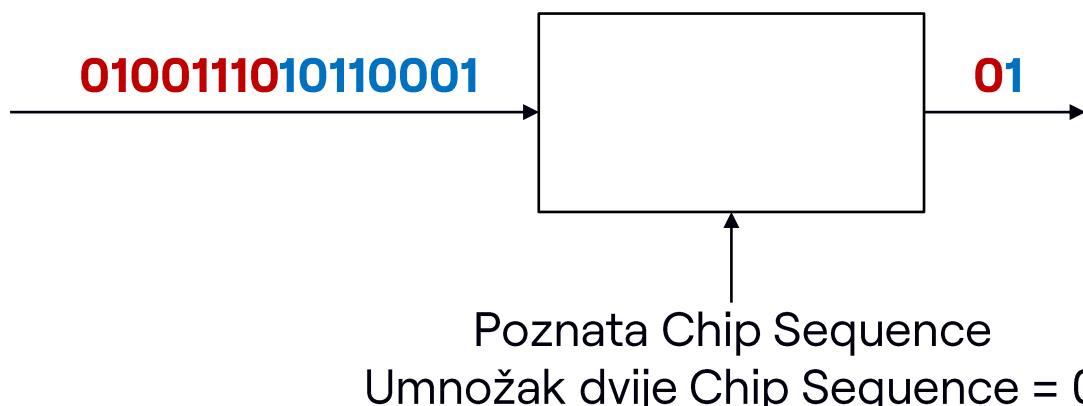
- Korisnici dijele isti frekvencijski spektar u isto vrijeme, a razlikuju se po dodijeljenim kodovima
- Različiti tipovi kodova
 - Orthogonal Variable Spreading Factor, OVSF
 - “Scrambling” kodovi
- Modulacijska tehnika
 - *Quadrature Phase Shift Keying*, QPSK
- “Soft” handover – “meko” prebacivanje poziva
 - Nema prekida veze prilikom mijenjanja bazne stanice
 - Korisnički terminal ima vezu s više baznih stanica istovremeno

CDMA (Code Division Multiple Access)

Predaja

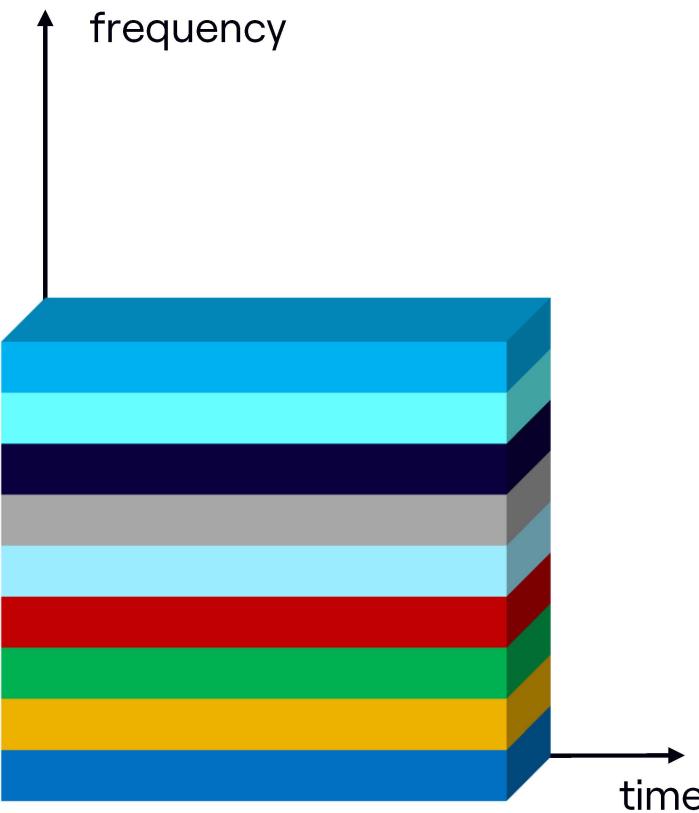


Prijam

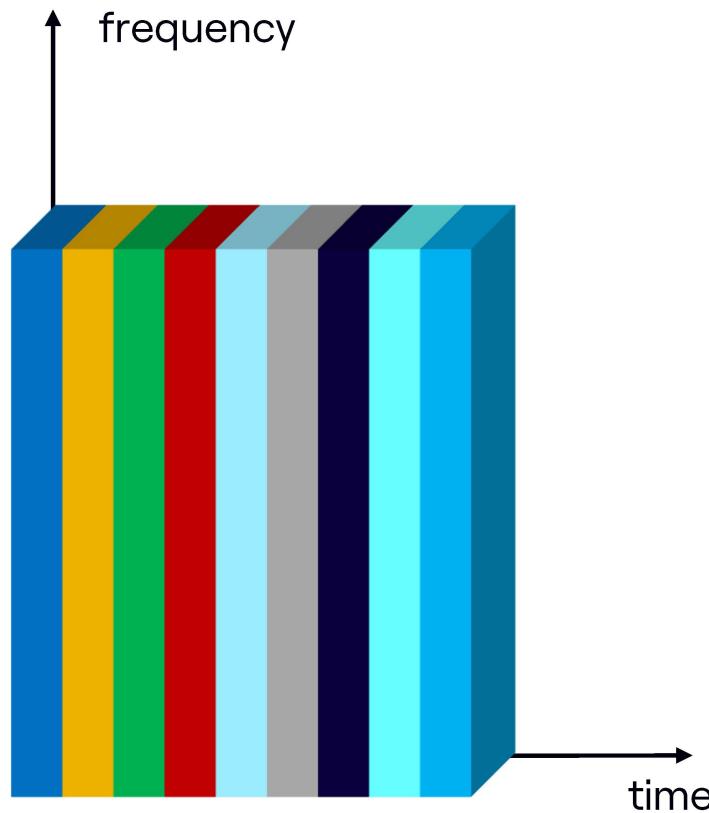


- svakoj MS dodjeljuje se jednoznačni kod (Chip Sequence)
- "1" u prijenosu zamjenjuje se s **Chip sequence**, "0" s **komplementarnom Chip sequence**
- prošireni frekvencijski spektar – raspršeni spektar (Spread Spectrum)

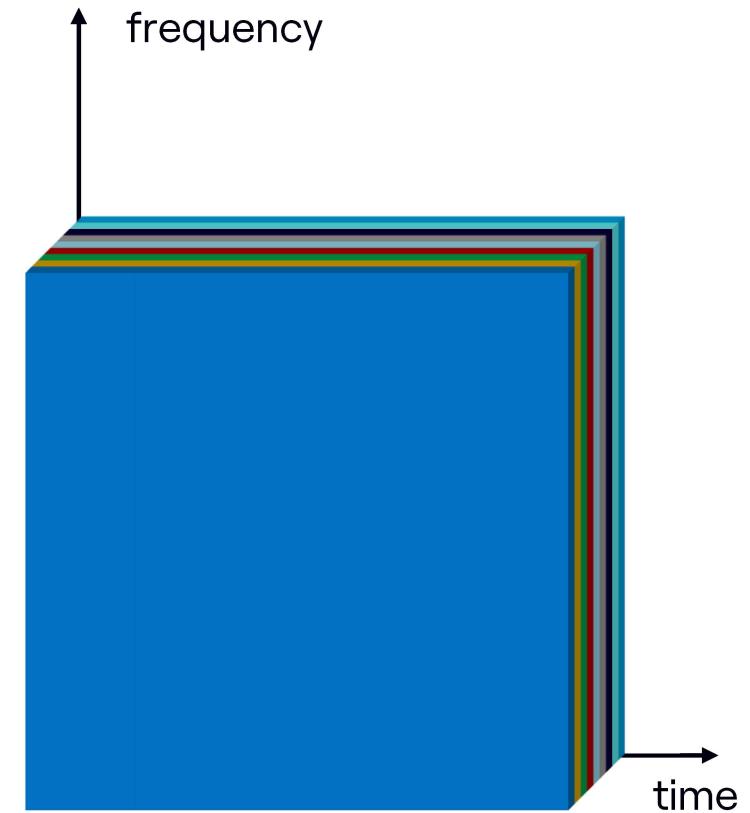
Usporedba višestrukih pristupa



FDMA



TDMA



CDMA

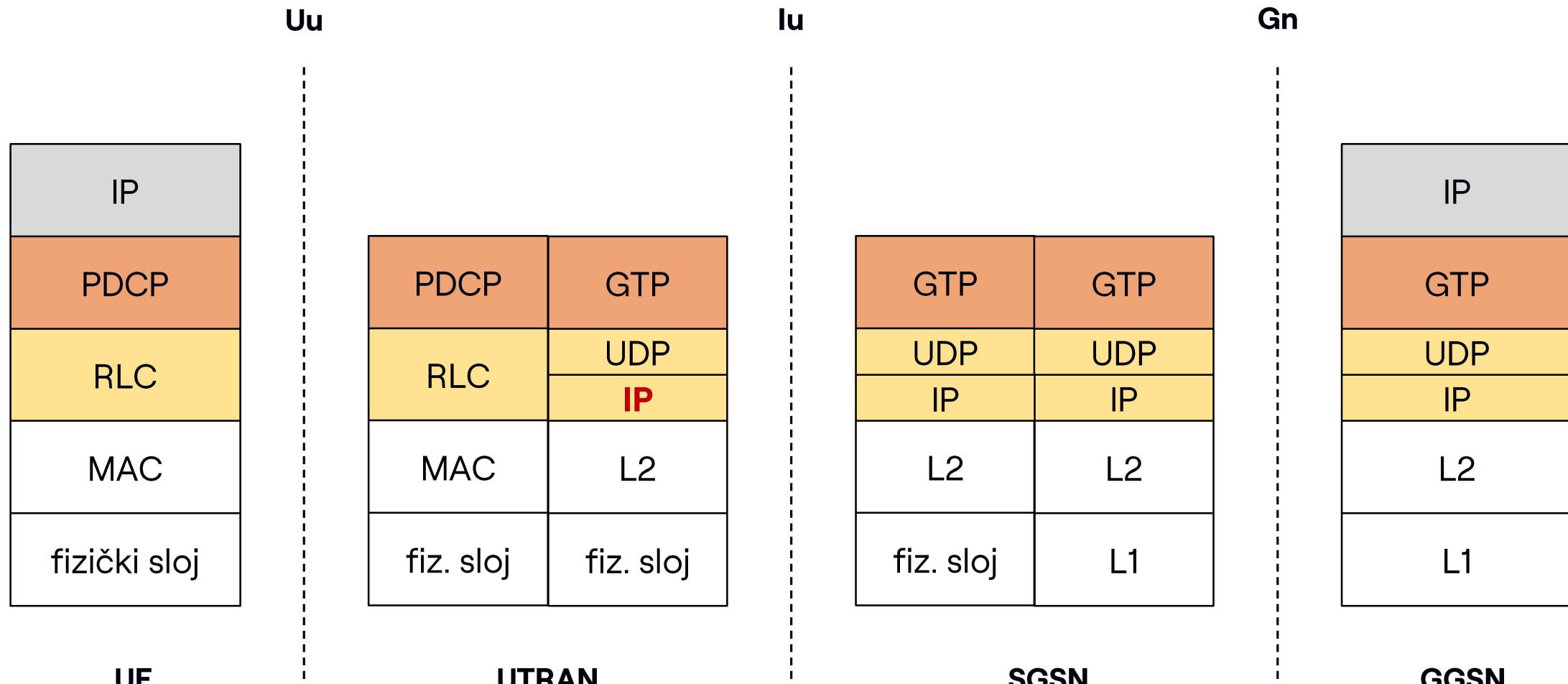
Razlozi WCDMA

- veći kapacitet i bolja pokrivenost od TDMA i drugih CDMA rješenja
- varijabilna i visoka brzina prijenosa
- paketski i kanalski prijenos
- višestruke istodobne usluge u jednom terminalu
- hijerarhijsko strukturiranje ćelija
- širina frekvencijskog pojasa 5 MHz
- prošireni frekvencijski spektar – raspršeni spektar (*spread spectrum*) –
 - manja osjetljivost na uskopojasne interferencije i prigušenje
 - nema fiksnog ograničenja kapaciteta (broja istovremenih korisnika)
- nedostatak
 - povećanje razine interferencije od drugih pretplatnika

Jezgrena mreža

- **Dio s komutacijom kanala**
 - Izведен iz rješenja za GSM
- **Dio s komutacijom paketa**
 - Izведен iz rješenja za GPRS
- Dio funkcija upravljanja pokretljivošću preuzima RNC
- Rješenja ovise o načinu uvođenja UMTS-a
 - Potpuno nova mreža
 - Uz postojeći GSM i sl.

Protokoli korisničke ravnine



Protokol PDCP

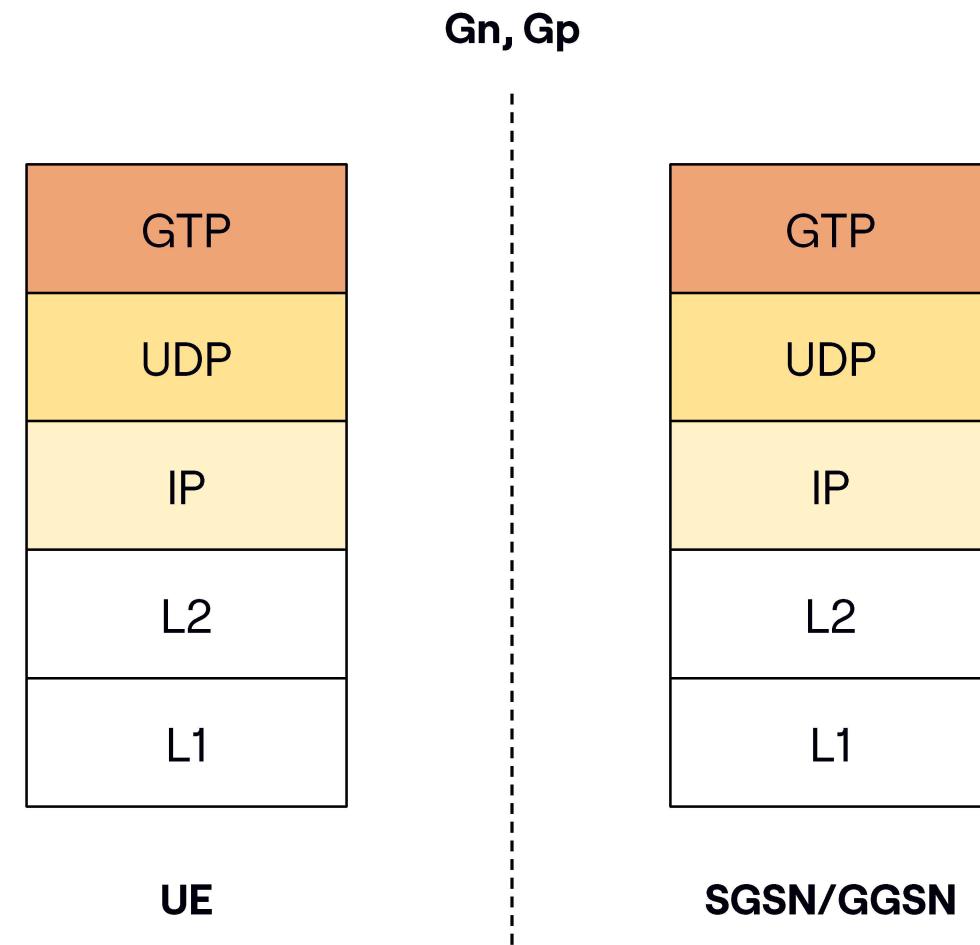
- **Packet Data Convergence Protocol – PDCP**

- Funkcionalnost slična protokolima SNDCP i LLC u GPRS-u
- Prijenos podataka (IP paketa) između korisničkog terminala i radijske pristupne mreže
- Sažimanje (kompresija) korisničkih podataka i zaglavlja višeg sloja
- Segmentiranje IP paketa u MAC/RLC blokove prikladne za radijski prijenos preko zračnog sučelja

Mrežni elementi

- GGSN
 - Povezan s drugim mrežama
- SGSN
 - Područje usmjeravanja
 - Obuhvaća nekoliko RNC-ova
 - Upravljanje pokretljivošću
 - Upravljanje sjednicom
 - QoS
 - tuneliranje

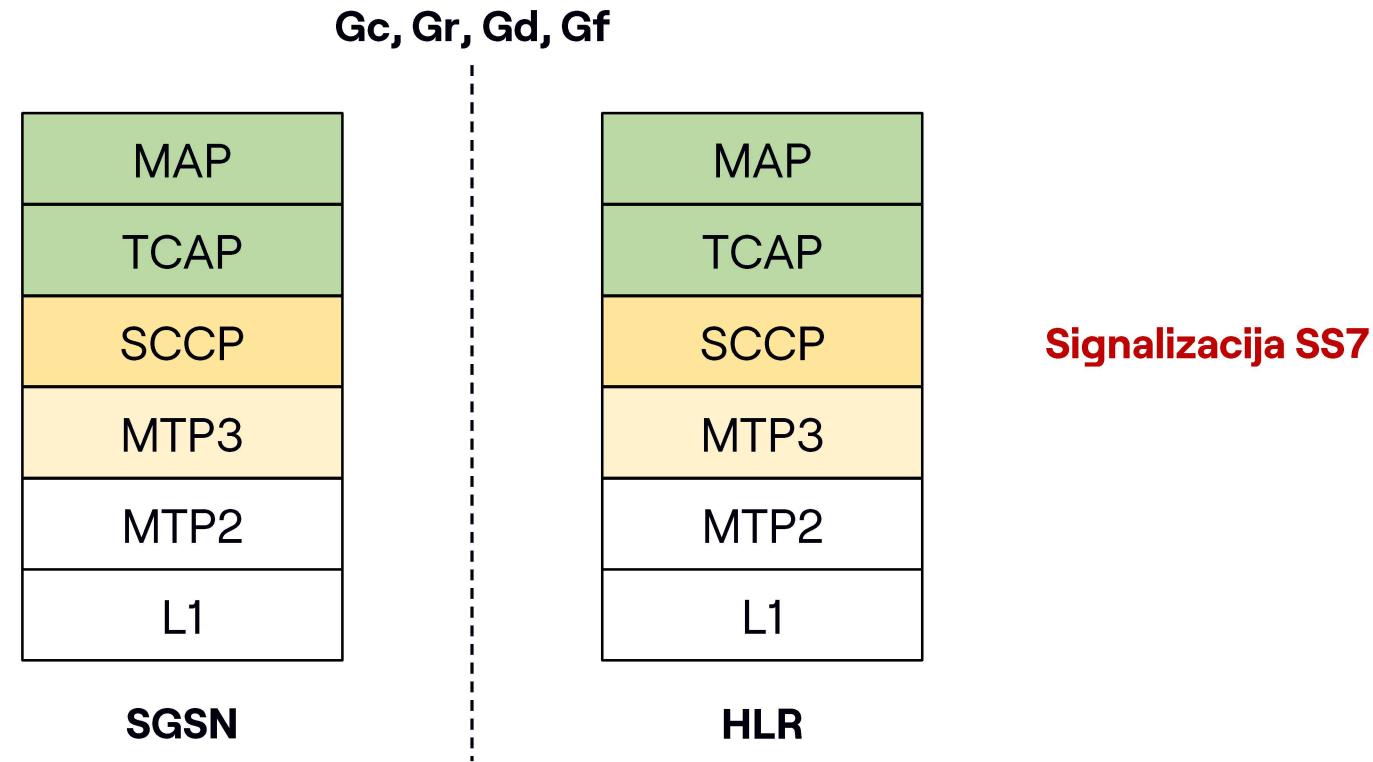
Protokoli paketske komunikacije



Gn i Gp sučelja

- Komunikacija SGSN i GGSN-a te između SGSN-ova unutar iste PLMN
 - GTP – tuneliranje podataka između entiteta jezgrene mreže
 - Upravljačke poruke
- Gp sučelje
 - Između SGSN različitih PLMN
 - Funkcija kao kod Gn uz dodatne sigurnosne funkcije

Protokoli paketskog dijela sučelja MAP



MAP – Mobile Application Part

TCAP – SS7 Transaction Capabilities Application Part

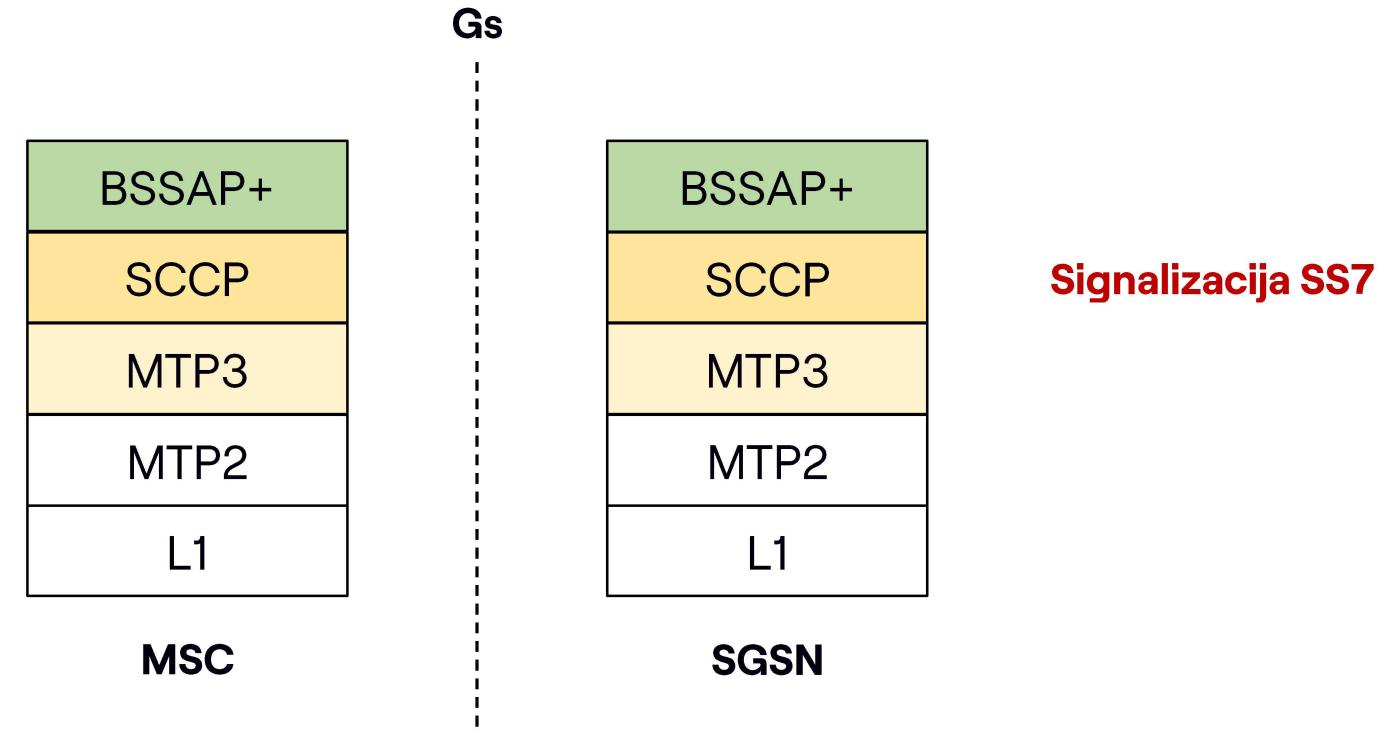
SCCP – Signaling Connection Control Part

MTP – Message Transfer Part

Sučelja MAP

- Gc sučelje: GGSN – HLR (tuneliranje preko SGSN-a)
 - Informacije o usmjeravanju za komutaciju paketa
- Gr sučelje: SGSN – HLR
 - Lokacija korisnika
- Gd sučelje: SGSN – SMS prilaz
- Gf sučelje: SGSN – EIR

Protokoli između kanalskog i paketskog dijela mreže



BSSAP – BSS Application Part

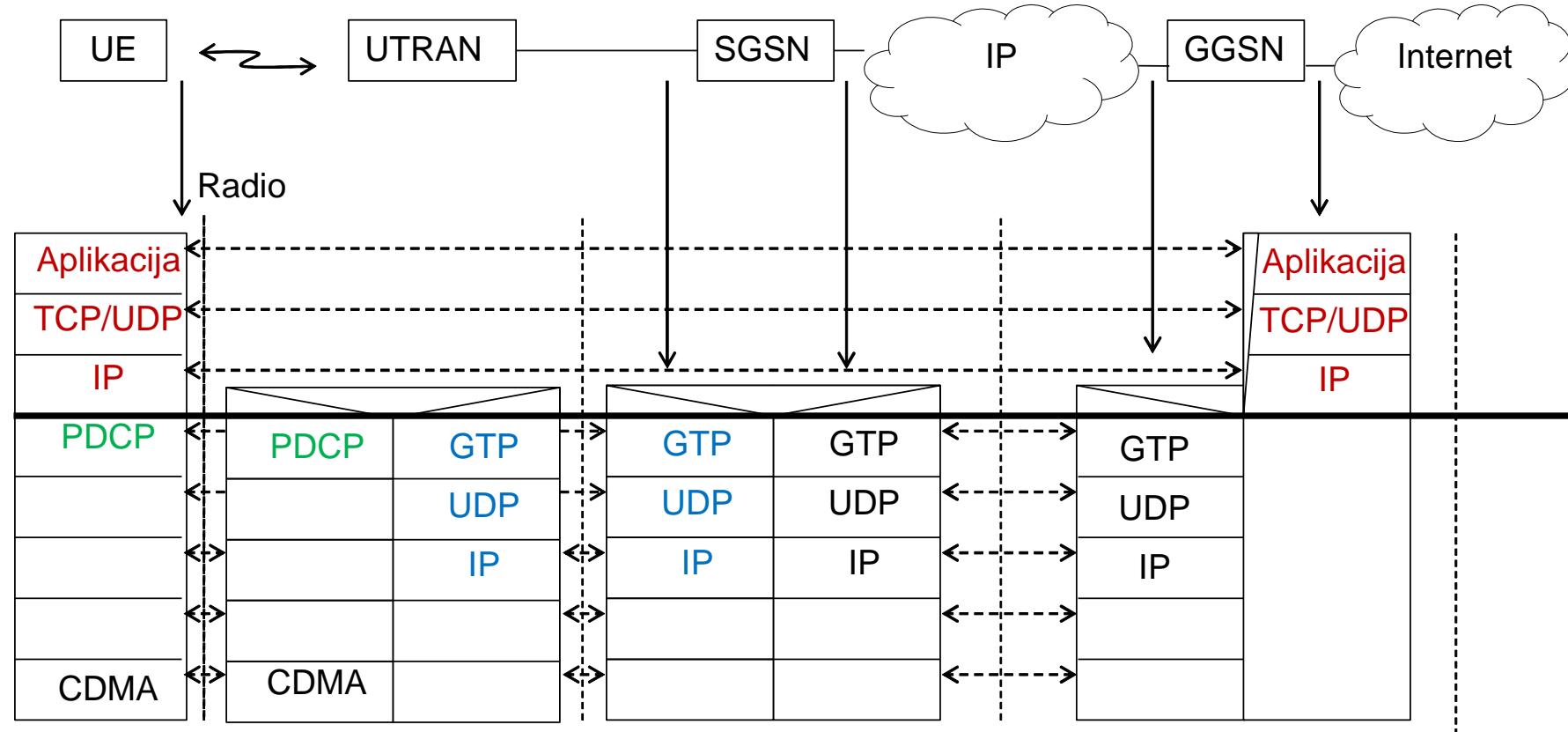
SCCP – Signaling Connection Control Part

MTP – Message Transfer Part

Gs sučelje

- MSC – SGSN sučelje
 - Proširenje BSSAP
 - Koordinacija kanalske i paketske komunikacije
 - Reduciranje upravljačke informacije o lokaciji korisnika
 - Reduciranje signalizacije s HLR-om

Pristup Internetu iz mreže UMTS



Opći pokretni telekomunikacijski sustav – UMTS

- Pokretni sustav s kraja na kraj
- Međunarodno prelaženje
- Integrirana sigurnost i naplata
- Višemedijske usluge
- Standardizacija
 - ITU, ETSI, UMTS Forum, 3GPP, OHG
 - Izdanja (release), odlike (feature)
 - R99, R4, R5 – IP u pristupnoj mreži, uvođenje IMS-a u R5, HSDPA
 - R6 – UMTS – WLAN, MBMS, HSUPA
 - R7 – UMTS – fiksni pristup
 - R8, R9, R10 – “sve IP”, LTE/SAE

Pregled izdanja 3GPP specifikacija UMTS-a

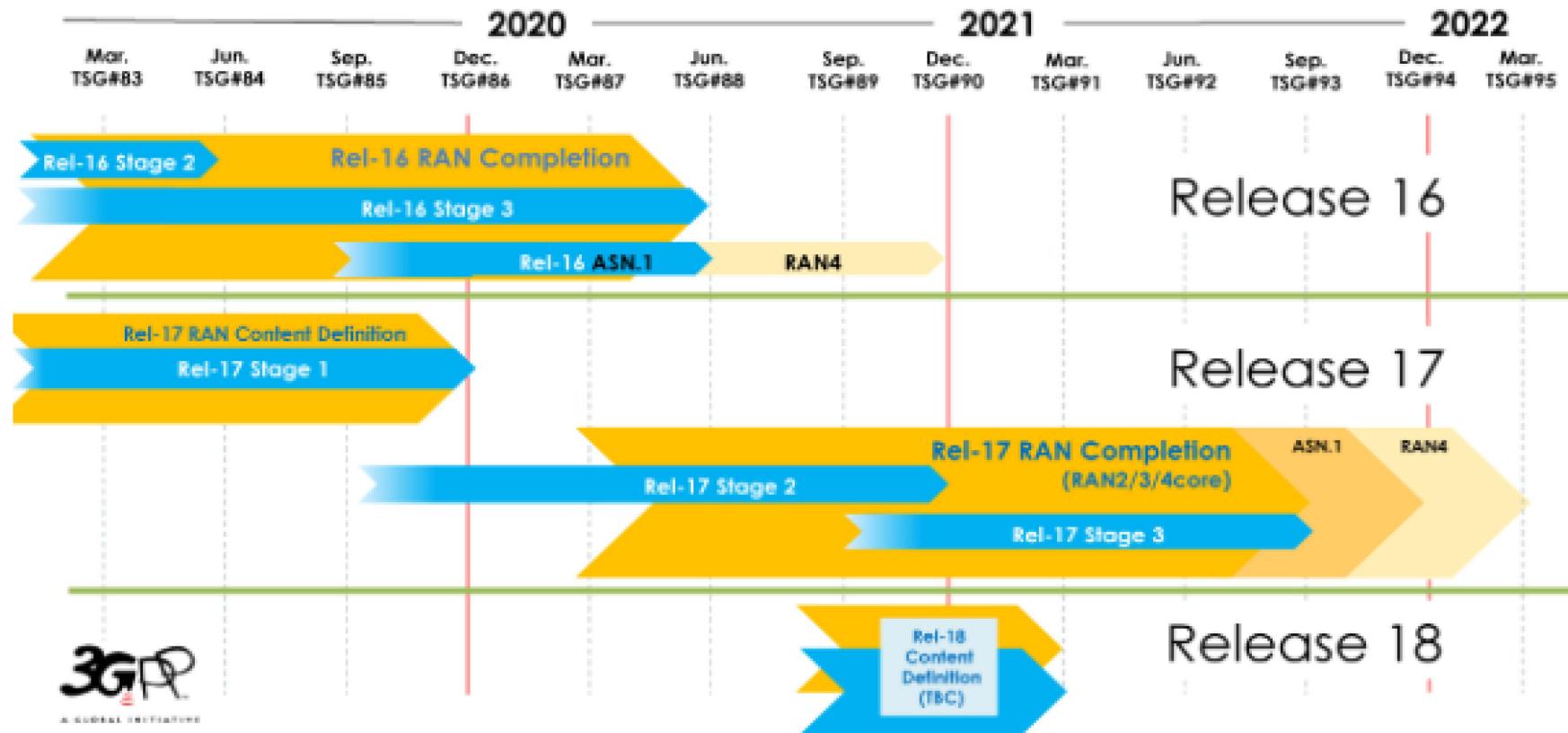
Izdanje UMTS	Najvažnije odlike
Release 99 (1999.)	Prvo izdanje UMTS standarda, temelji se na tehnologiji W-CDMA.
R4 (2001.)	Razdvaja kanalsku i paketsku domenu u jezgrenoj mreži.
R5 (2003.)	Prvo izdanje koje uključuje IMS , višemedijske usluge, IP u pristupnoj mreži UTRAN, SIP. Upravljanje kvalitetom usluge i napredne mogućnosti upravljanja uslugama i njihove naplate. Uvodi se HSDPA.
R6 (2004-2005.)	Integracija s WLAN-ovima. Poboljšanja u upravljanju kvalitetom usluge i podrška za usluge trenutnog poručivanja, prisutnosti, MMS. Uvodi se MBMS, HSUPA i napredniji načini naplate.
R7 (2006-2007.)	Dodaje se širokopojasni fiksni pristup kroz IMS . Glatko prebacivanje govornog poziva između kanalne i paketske domene uz osiguranu kvalitetu usluge. HSPA
R8 (2007-2008.)	Prelazak na sve-IP mrežu . Razrada dugoročne evolucije 3G mreže. Višemedijska konferencija u IMS-u, sustav javnog upozoravanja, HSPA+ (Evolved HSPA), Long Term Evolution (LTE).
R9 (2008-2009.)	Dugoročna evolucija radijske pristupne mreže (LTE), implementacija LTE . Jezgrena mreža SAE. Evolucija IMS-a. Unaprijeđenje pokretljivosti između WLAN/WiMAX mreža i UMTS/LTE pokretne mreže (I-WLAN), HSUPA, LTE/EPC.
R10 (2010. – 2011.)	Napredni LTE (LTE-A) , početak razvoja četvrte generacije pokretnih mreža (4G), OFDMA, prošireni MIMO, femtocelije, Voice over LTE (VoLTE)

Pregled izdanja 3GPP specifikacija UMTS-a

Izdanje UMTS	Najvažnije odlike
R11 – R14 (2011. – 2017.)	Napredni LTE (LTE-A), razvoj četvrte generacija pokretnih mreža (4G), OFDMA, prošireni MIMO, razvoj IMS-a, sigurnost, QoS, Machine-Type Communication, femtoćelije, Voice over LTE (VoLTE).
R15 (2017. – 2020.)	Unapređenje pokrivenosti, kapaciteta i brzine prijenosa HET-NET: Heterogeneous Network, 5G, LTE-M, IoT
R16 (2018. – 2020.)	5G, Massive MTC, Vehicle-to-Everithing Communication, IoT
R17 (2019.-2022.)	5G, Cellular IoT, 5G-RAN, NR, 5GC, IoT

Izvor: <http://www.3gpp.org/>

Pregled izdanja 3GPP specifikacija UMTS-a

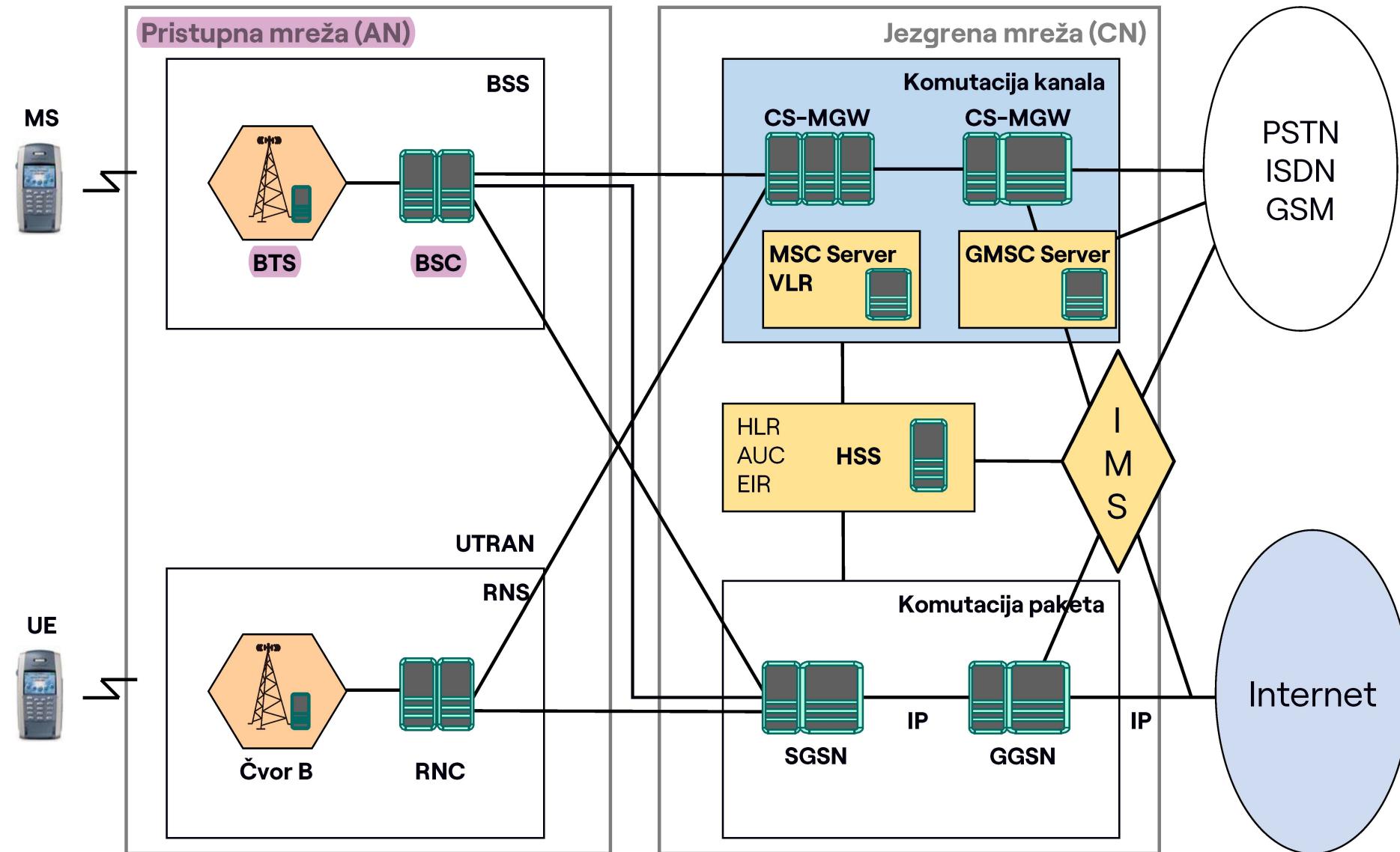


Source: 3GPP TSG SA#87e, 17-20 March 2020, e-meeting document SP-200222

© 3GPP 2020

Izvor: <http://www.3gpp.org/>

Arhitektura mreže (3GPP R8)



Poslužitelj pretplatničkih podataka (HSS)

- **Glavna baza podataka o korisnicima**
 - Identifikacija korisnika, numeracija, adresiranje
 - Kontrola pristupa mreži
 - Informacija o autentifikaciji i autorizaciji korisnika
 - Informacija o lokaciji korisnika
 - Repozitorij korisničkih profila (*user profile*)
 - Upravljanje pokretljivošću
 - Podrška za uspostavu poziva i sjednice
 - Podrška sigurnosti
 - Podrška pružanja usluge

Komunikacijski protokoli

10. Podatkovna komunikacija i
protokoli u pokretnoj mreži (2G/3G)

Creative Commons



- slobodno smijete:
 - **dijeliti** – umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
 - **remiksirati** – prerađivati djelo
- pod sljedećim uvjetima:
 - **imenovanje.** Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
 - **nekomercijalno.** Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
 - **dijeli pod istim uvjetima.** Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencom koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

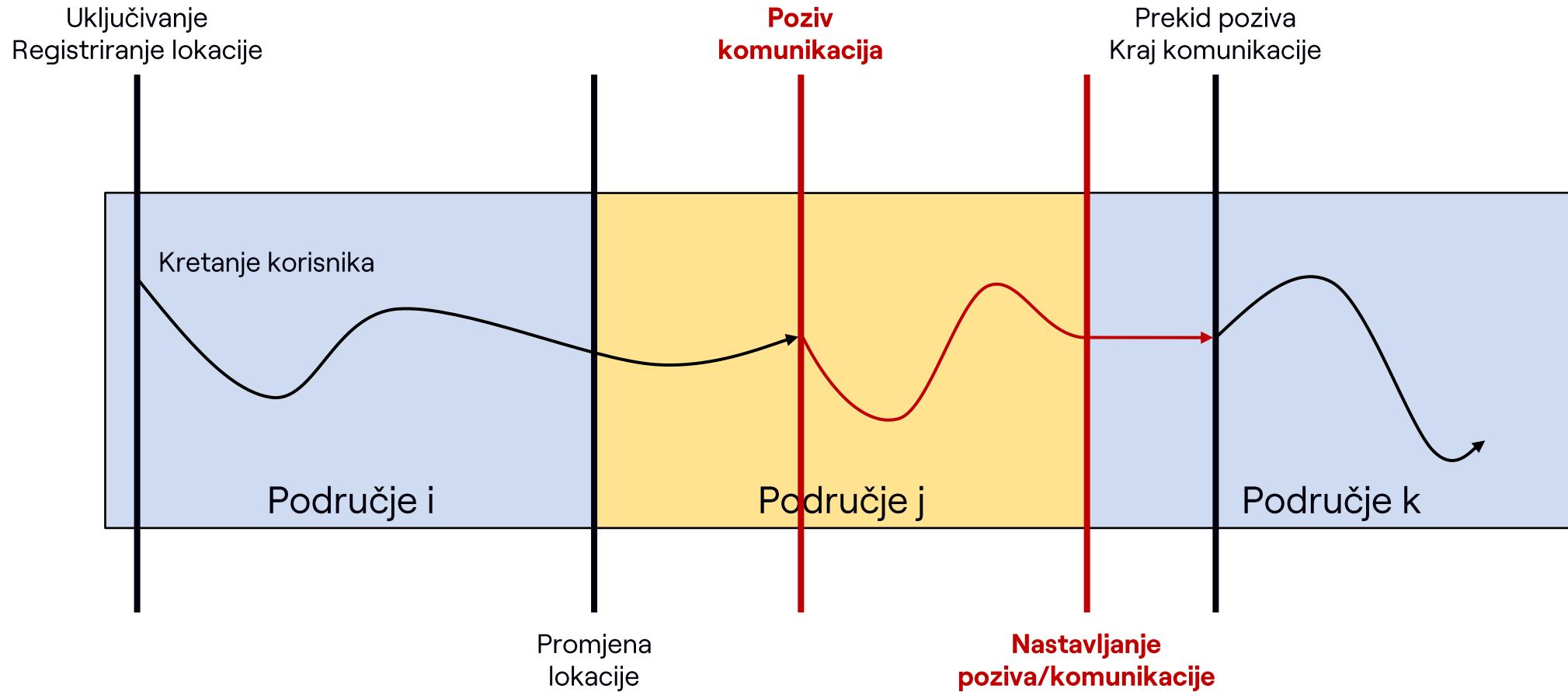
Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

Sadržaj predavanja

- Evolucija sustava pokretnih telekomunikacija
- Globalni sustav pokretnih komunikacija – GSM
- Opće paketske radijske usluge – GPRS
 - Protokoli SNDCP i GTP
 - Postupak pristupa Internetu
- Sustav poboljšanih brzina prijenosa podataka – EDGE
- Pokretna mreža UMTS
 - UMTS radijska pristupna mreža
 - Sučelja i protokoli jezgrene mreže UMTS

Model pokretljivosti



Pokretljivost terminala, osoba i usluga

- **Pokretljivost terminala (*Terminal Mobility*)**

- Bežični pristup – prijenosni terminal
- Inteligencija mreže: određivanje lokacije terminala i praćenje kretanja

- **Pokretljivost osoba (*Personal Mobility*)**

- Žični ili bežični pristup
- Inteligencija mreže: identifikacija osobe i dostup osobi

- **Pokretljivost usluga (*Service Mobility*)**

- Usluga se ostvaruje u kretanju te pri prijelazu između mreža
- Inteligencija mreže: odabir najpovoljnijeg pristupa

- **Pokretljivost sjednice (*Session Mobility*)**

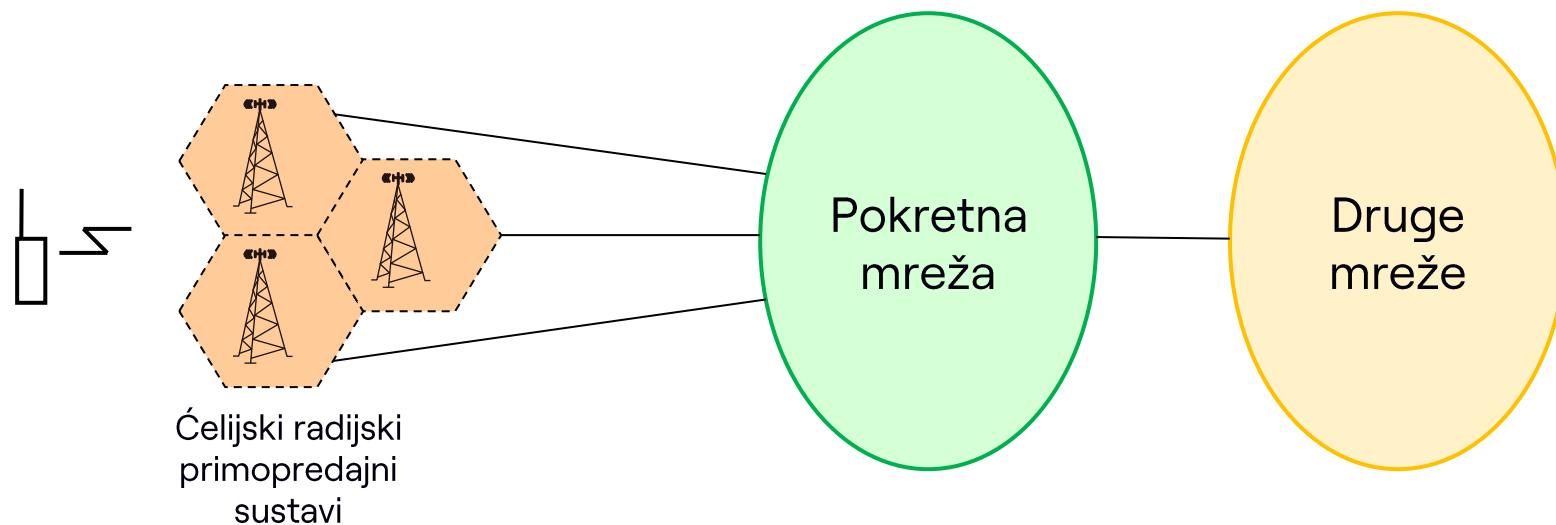
- Prebacivanje sjednice sa jednog uređaja na drugi na zahtjev korisnika
- Inteligencija mreže: određeni događaj pokreće prebacivanje poziva na temelju definiranih pravila od strane korisnika

Pokretna mreža (*Mobile Network*)

- **Javna mreža** u kojoj se pristup zasniva na **radijskoj komunikaciji** koja omogućuje pokretljivost korisničke opreme – terminala na području pokrivanja radijskim signalom
- **Jezgrena mreža**
 - Izvodi se kao fiksna mreža
- **Pristupna mreža**
 - Radijska pristupna mreža temeljena na sustavu ćelija

Opća arhitektura pokretne mreže

- Ćelijski radijski primopredajni sustav
- Čvorovi za povezivanje unutar pokretne mreže i s drugim mrežama



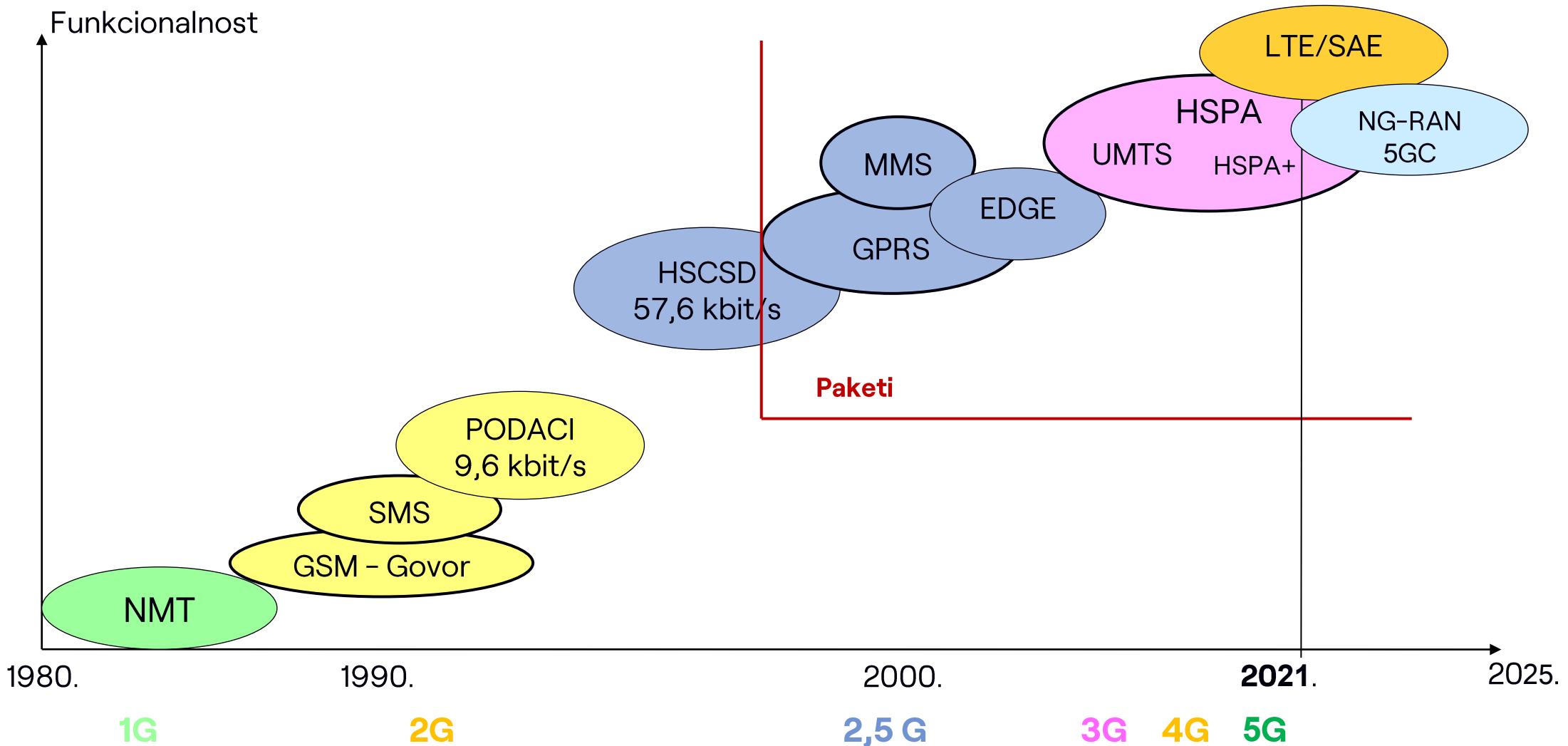
Evolucija sustava pokretnih telekomunikacija (1)

- Generacije sustava: u svim generacijama **višestruki pristup** – više korisnika pristupa skupini komunikacijskih kanala
- **Prva generacija 1G**
 - **Analogni sustavi**, višestruki pristup u **frekvencijskoj** podjeli (*Frequency Division Multiple Access, FDMA*)
- **Druga generacija 2G**
 - **Digitalni sustavi**, Višestruki pristup u **vremenskoj** podjeli (*Time Division Multiple Access, TDMA*), 124 frekvencije x 8 kanala = 992 kanala, GSM (*Global System for Mobile communications*), GSM-900/DCS-1800 (*Digital Communication System*)
 - **Prijenos govora dominantan, komutacija kanala**
 - 2,5G – HSCSD, GPRS, EDGE – **podaci**

Evolucija sustava pokretnih telekomunikacija (2)

- Treća generacija, 3G
 - Međunarodne pokretne telekomunikacije 2000 (International Mobile Telecommunications 2000, IMT-2000)
 - Europa: Opći pokretni telekomunikacijski sustav (Universal Mobile Telecommunications System, UMTS)
 - Širokopojasni višestruki pristup u kodnoj podjeli (Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA)
- 3,5G: Brzi paketski pristup - High Speed Packet Access, HSPA (HSDPA/HSUPA)
- Evolucija brzog paketskog pristupa - High Speed Packet Access Evolution, HSPA+
- 4G: Dugoročna evolucija radijske pristupne mreže - Long Term Evolution, LTE
- 5G

Evolucija mreže



Globalni sustav pokretnih komunikacija

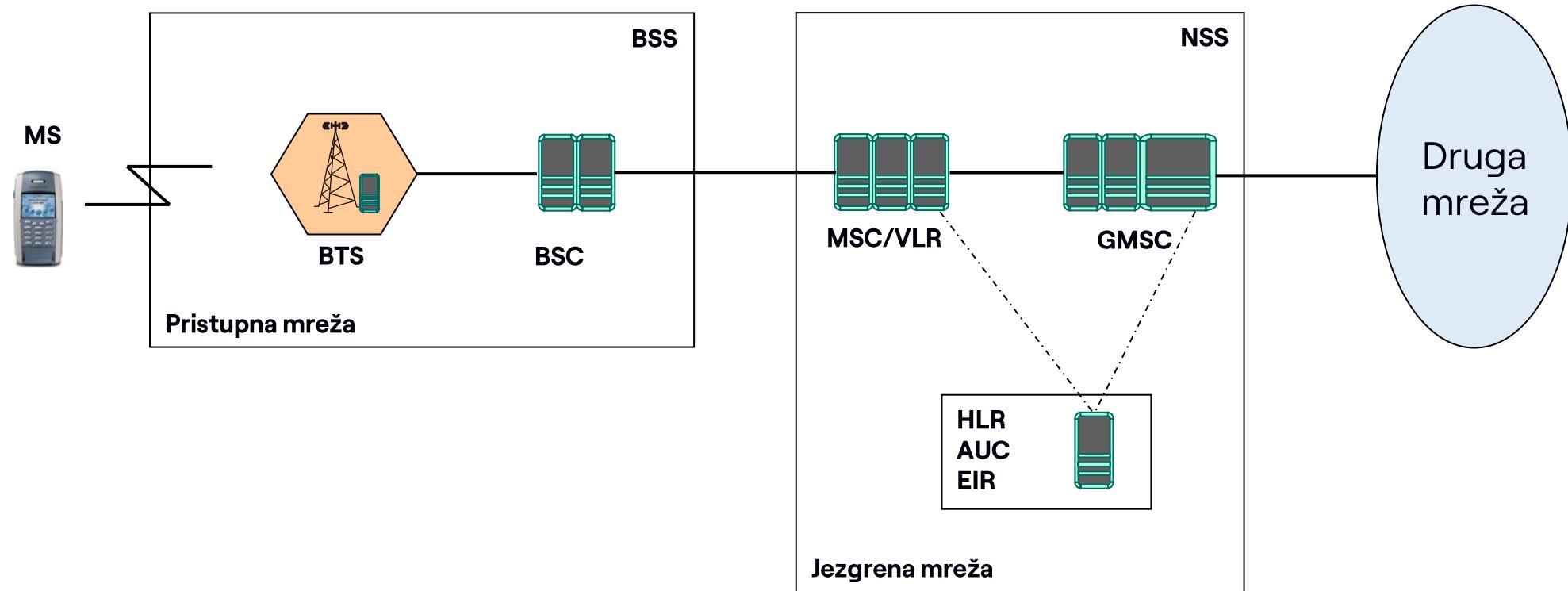
*Global System for Mobile communications, **GSM***

- **Mrežni sustav** (*Network System, NSS*)
 - Prilazni pokretni komutacijski centar (*Gateway Mobile Switching Centre, GMSC*)
 - Pokretni komutacijski centar (*Mobile Switching Centre, MSC*)
- **Sustav baznih postaja** (*Base Station System, BSS*)
 - Upravljač bazne postaje (*Base Station Controller, BSC*)
 - Primopredajna bazna postaja (*Base Transciever Station, BTS*)
- **Pokretna postaja** (*Mobile Station, MS*)
 - Korisnički terminal (pokretni telefon)

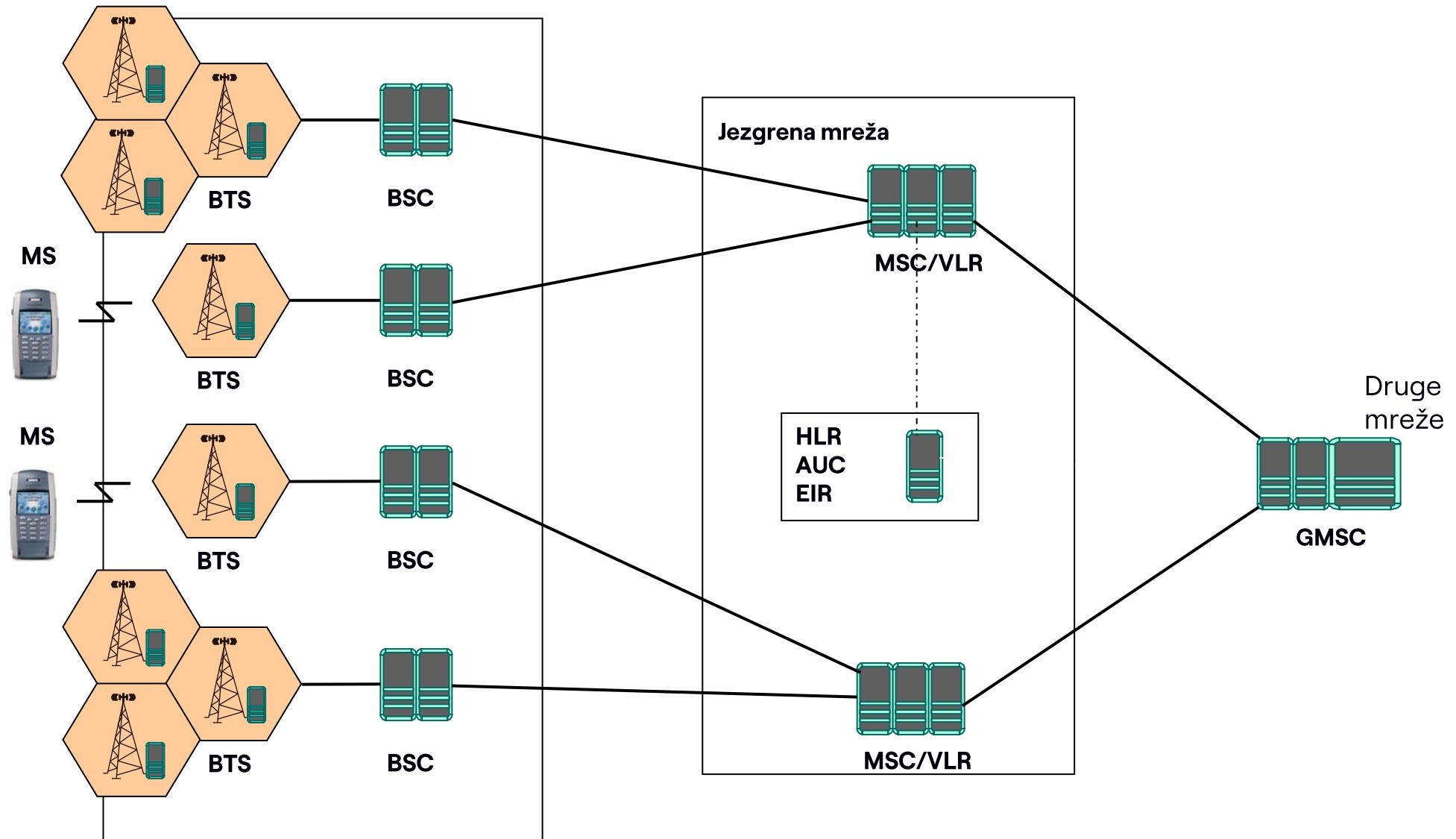
Arhitektura GSM mreže (1)

- **Domaći lokacijski registar** (*Home Location Register, HLR*)
 - Podaci o vlastitim (domaćim) pretplatnicima
- **Gostujući lokacijski registar** (*Visitor Location Register, VLR*)
 - Uz svaki MSC,
 - Podaci o vlastitim pretplatnicima i pretplatnicima drugih mreža
- **Centar za provjeru autentičnosti** (*Authentication Centre, AUC*)
 - Provjera autentičnosti pretplatnika
- **Registar identifikacije opreme** (*Equipment Identification Register, EIR*)
 - Provjera vlasnika pokretne postaje

Arhitektura GSM mreže (2)



GSM mreža



Upravljanje pokretljivošću

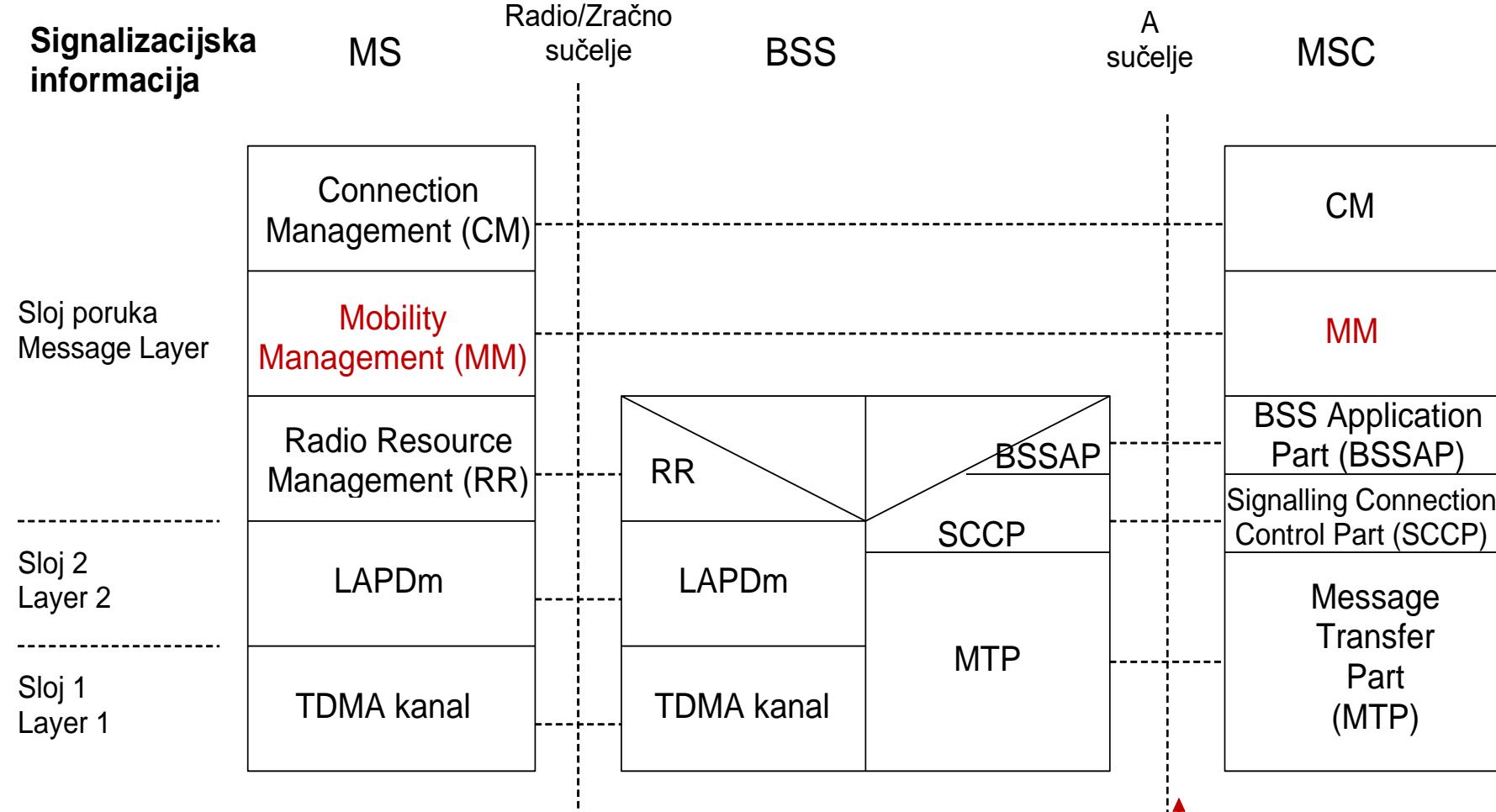
Domaći lokacijski registar (HLR - *Home Location Register*)

- Trajni zapis pretplatničkih podataka vlastitih pretplatnika
- Trenutna lokacija vlastitih pretplatnika

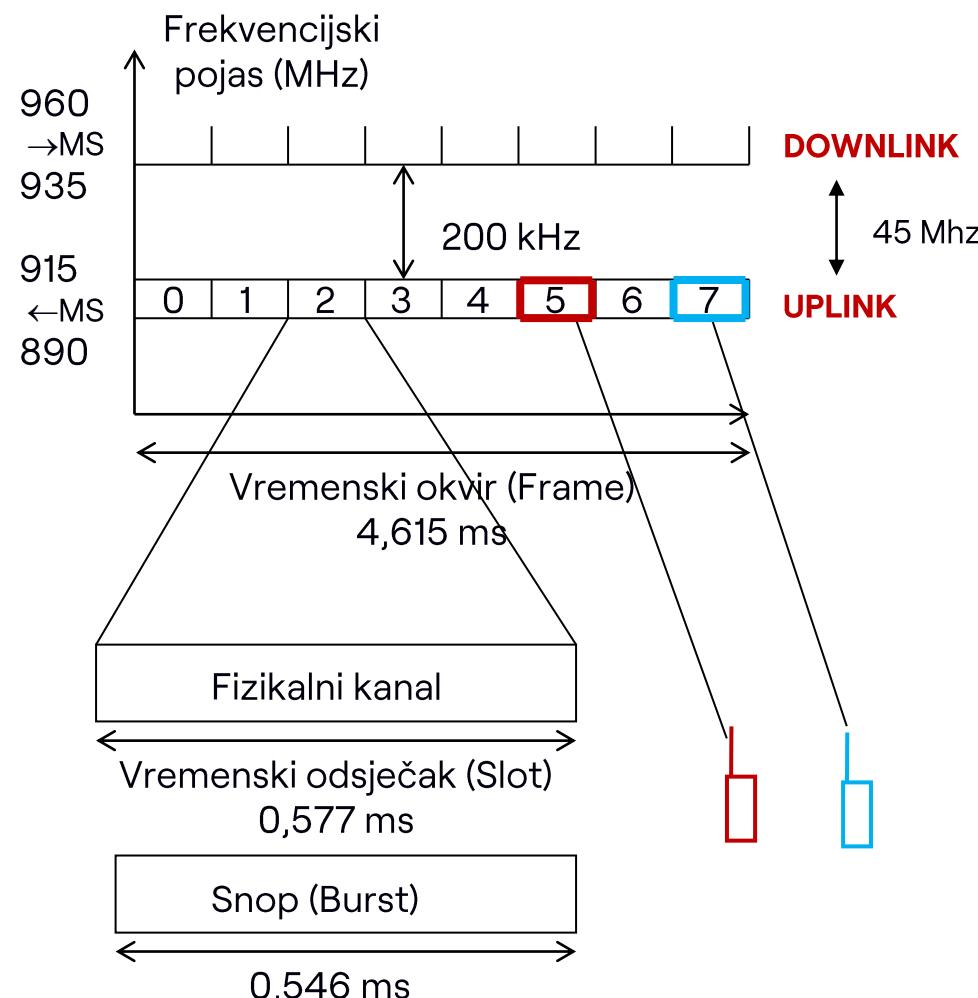
Posjetiteljski lokacijski registar (VLR - *Visitor Location Register*)

- Privremeni zapis dijela pretplatničkih podataka vlastitih i tuđih pretplatnika koji su trenutno u lokacijskom području
- Tuđi pretplatnici se poslužuju temeljem ugovora o prelaženju između mreža

Komunikacijski protokoli GSM-a



Fizikalni kanal (sloj 1)



Fizikalni kanali:
124 frekvencijskih x 8 vremenskih = 992

Kapacitet

- broj frekvencija u ćeliji, ograničeni broj
- **izbjegavanje interferencije**
- uplink-downlink odvojeni 45Mhz (890-935Mhz)
- kanali razmaknuti 200kHz u istom smjeru
- susjedne ćelije – različite frekvencije
- udaljene ćelije – iste frekvencije

Širina pojasa (bandwith)

- $2 \times 25 \text{ MHz}$

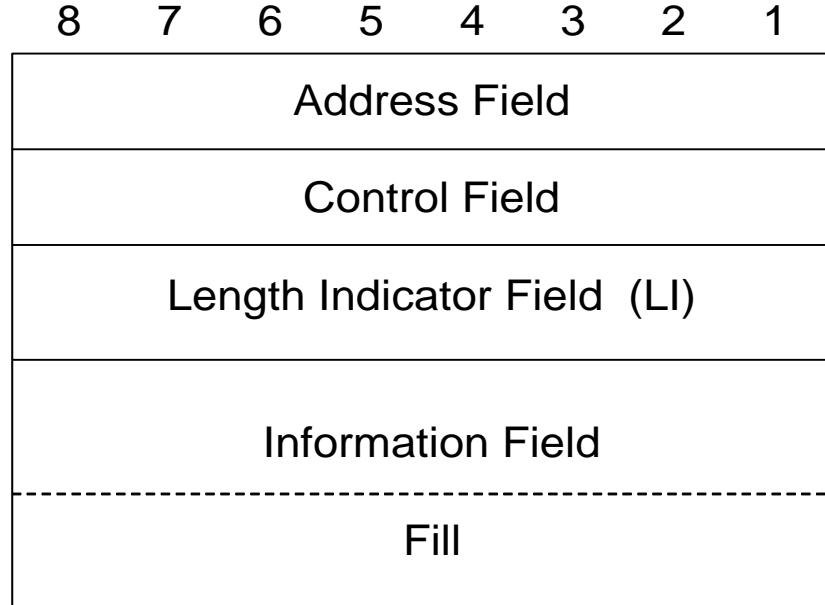
Modulacija

- GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying Modulation)

Prometni i kontrolni kanali

- spajanje MS – skenira cijeli frekv. spektar i prihvata najjači kontr. kanal

Protokol sloja veze (sloj 2)



LI - označava duljinu Information Field
Fill - punjenje do 23 okteta

LAPDm (*Link Access Protocol D mobile*)

- izведен iz ISDN LAPD

Rješenje za radio kanal

- Fiksna duljina – razgraničavanje okvirom
- Bez zastavica (*flag*) na početku/kraju
- Informacijsko polje od 184 bita se kriptografski kodira u 456 bita, koji stanu u 4 snopa (4 x 114 bita)

Protokoli sloja poruka (sloj 3)

- **Podsloj za upravljanje radijskim resursima** (*RR - Radio Resource Management Sublayer*)
 - uspostavljanje fizikalne veze preko radijskog kanala za prijenos signalizacije između MS i BSS
- **Podsloj upravljanja pokretljivošću** (*MM - Mobility Management Sublayer*)
 - uspostavljanje, održavanje i prekidanje veze, uključivanje, lociranje, isključivanje između MS i MSC
- **Podsloj upravljanja vezom** (*CM - Connection Management Sublayer*)
 - dodatne usluge i SMS između MS i MSC

Opće paketske radijske usluge

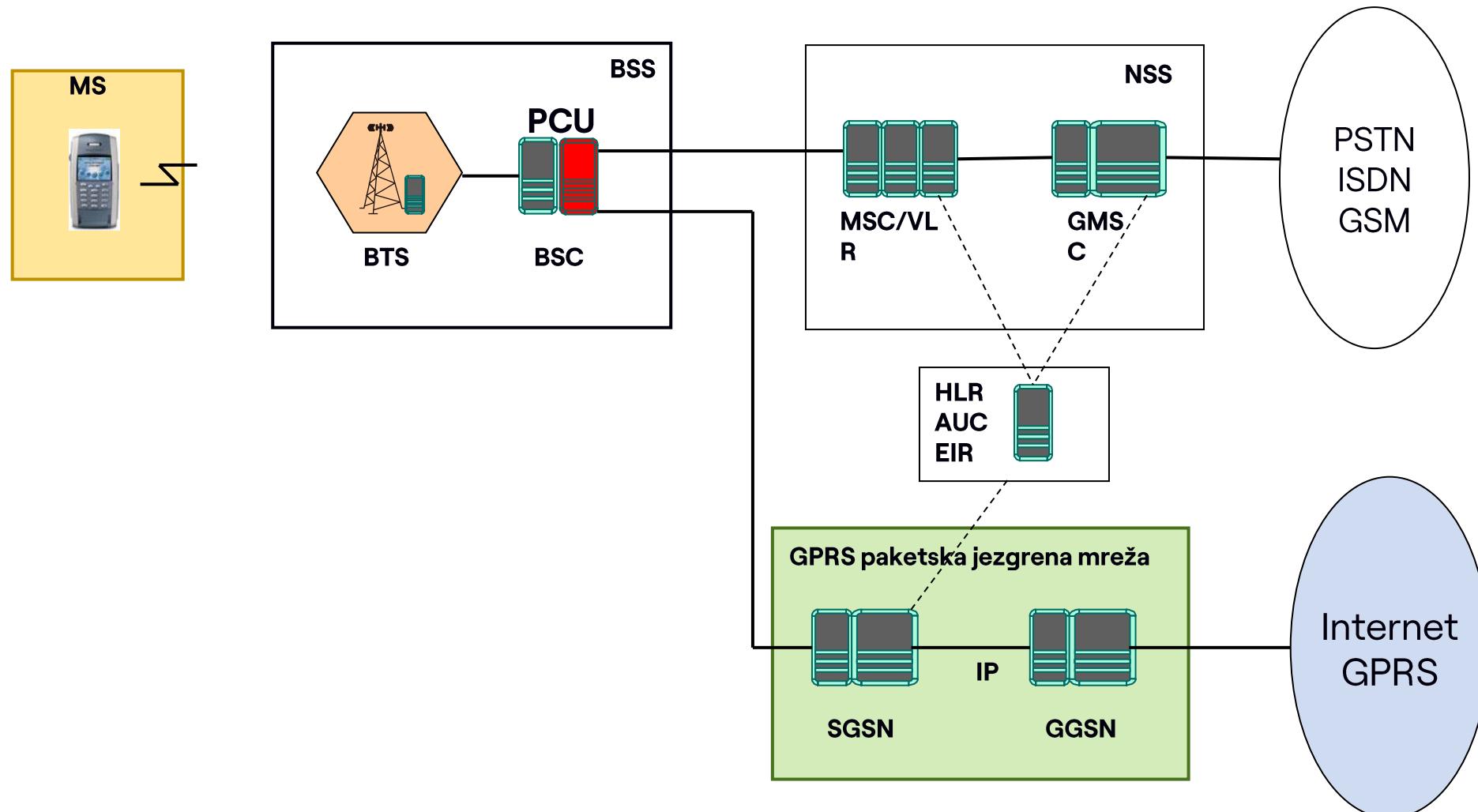
General Packet Radio Service, GPRS

- Proširenje GSM-a s **komutacijom paketa**
- Korištenje do 8 kanala iste frekvencije po jednom korisniku
- Male promjene u pristupnoj mreži
 - BSC se proširuje s **paketskom kontrolnom jedinicom** (Packet Control Unit, PCU)
 - PCU se povezuje s paketskim dijelom mreže protokolom IP
- Brzina prijenosa podataka do 115,2 kbit/s
- **Naplata po količini prometa**

GPRS čvorovi

- **Uslužni GPRS potponi čvor** (Serving GPRS Support Node, SGSN)
 - Poslužuje korisnika
- **Prilazni GPRS potporni čvor** (Gateway GPRS Support Node, GGSN)
 - Povezuje korisnika s drugim podatkovnim mrežama

Arhitektura mreže GPRS



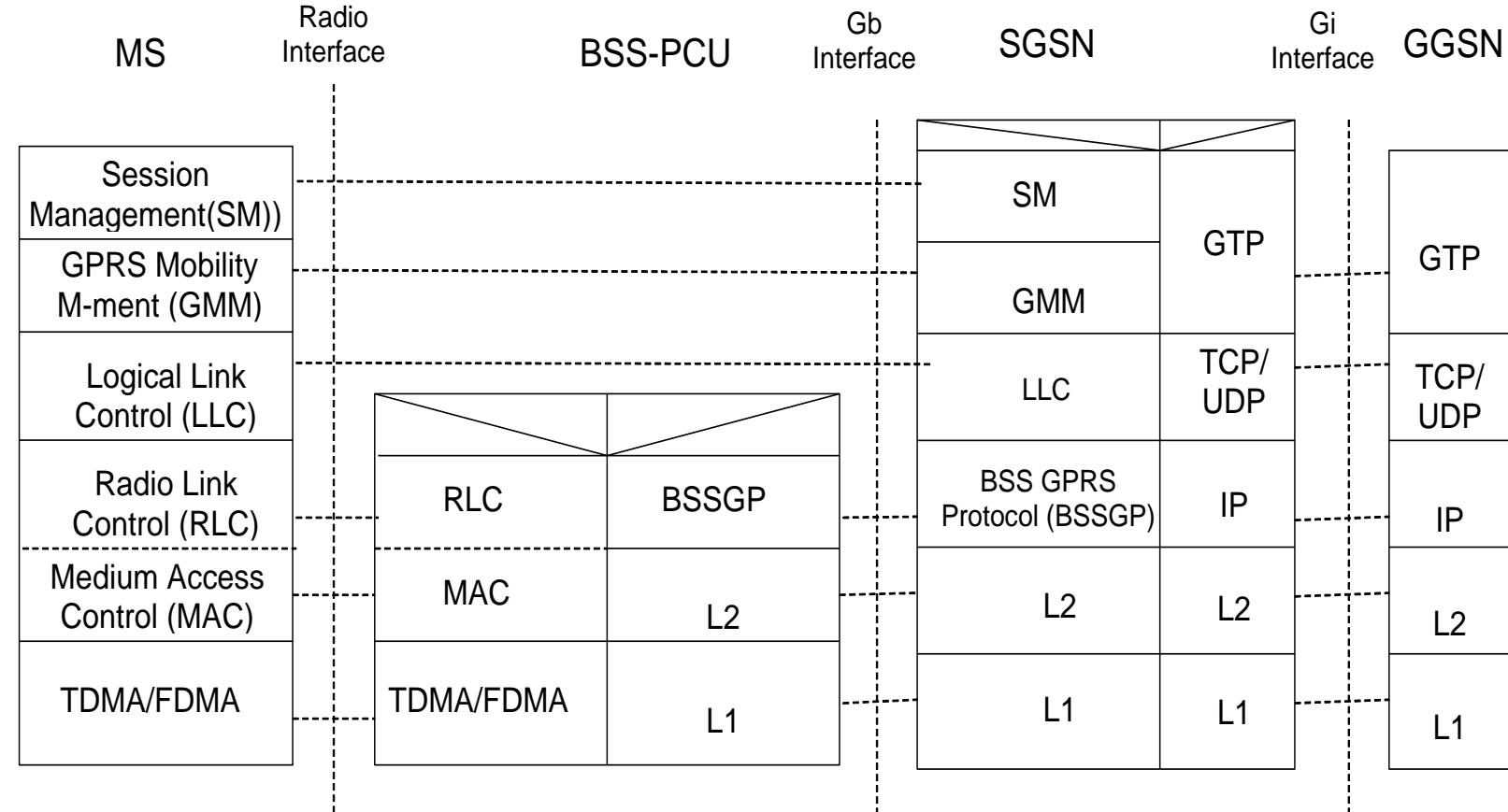
Uslužni GPRS potporni čvor (SGSN)

- Usmjeravanje paketa iz/u područje usmjeravanja (RA) od/prema MS
- Kriptografska zaštita i provjera autentičnosti
- Upravljanje sjednicom
- Upravljanje pokretljivošću
- Upravljanje logičkom vezom prema MS
- Prikupljanje podataka za naplatu
- Suradnja s HLR, MSC, BSC, GMSC i GGSN

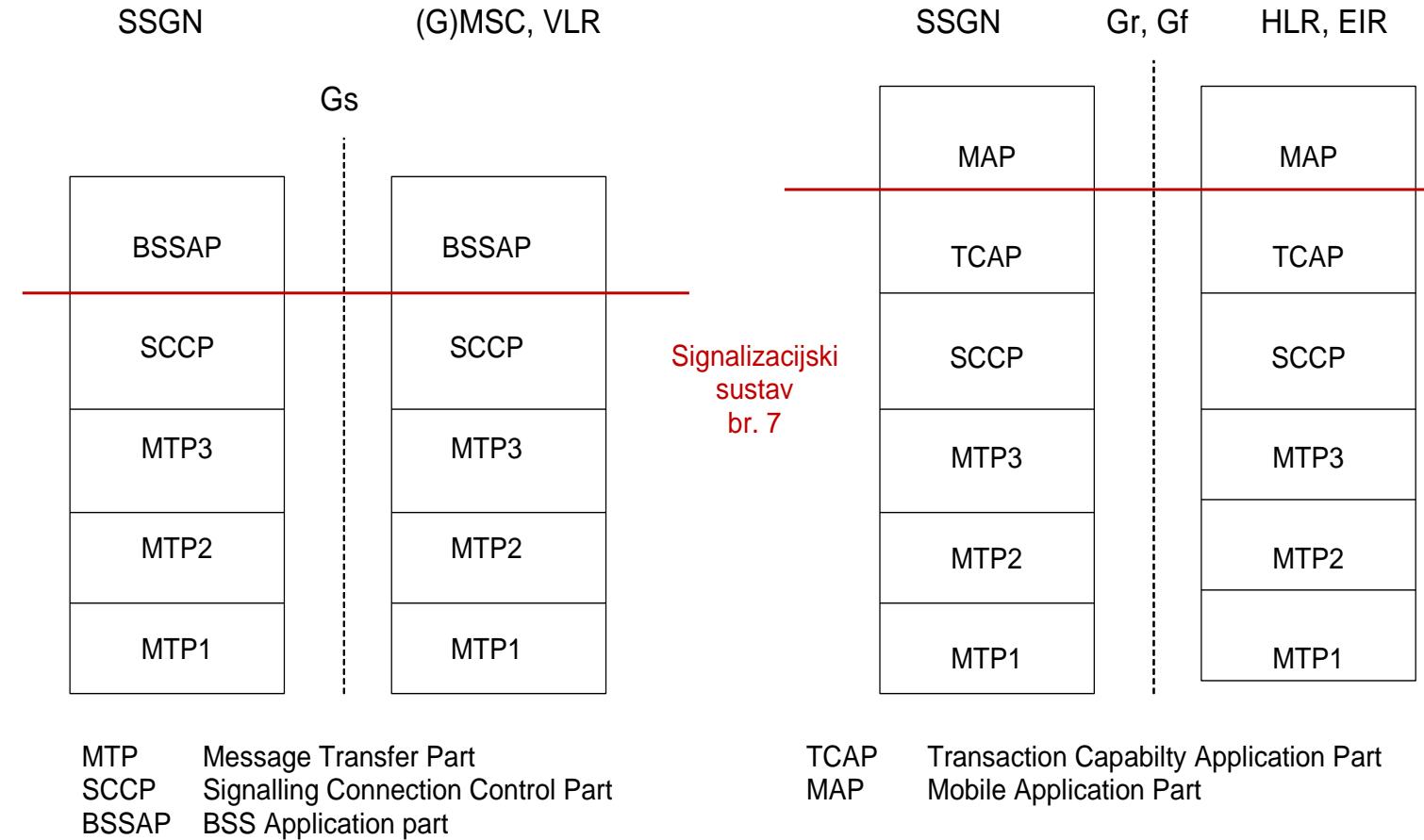
Prilazni GPRS potporni čvor (GGSN)

- Sučelje prema vanjskim IP mrežama
- Upravljanje GPRS sesijom i uspostavljanje komunikacije prema vanjskim mrežama
- Pridruživanje korisnika pravom SGSN-u
- Upravljanje pokretljivošću
- Upravljanje logičkom vezom prema MS
- Prikupljanje podataka za naplatu
- Suradnja s SGSN-om

GPRS protokoli: kontrolna/signalizacijska ravnina (1)



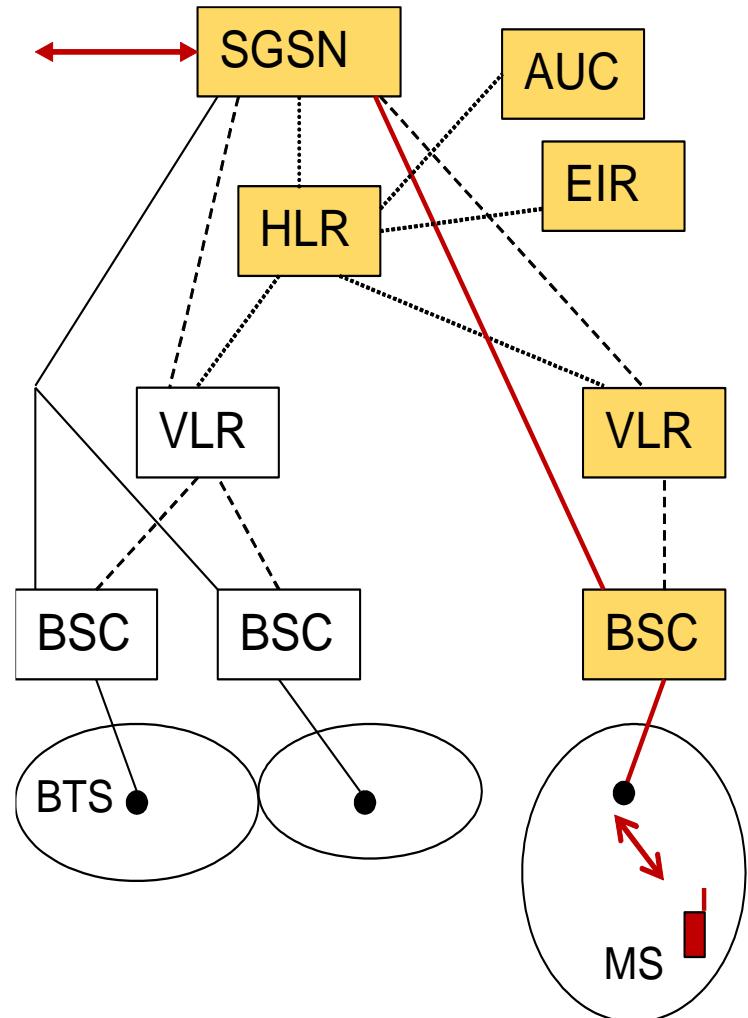
GPRS protokoli: kontrolna/signalizacijska ravnina (2)



Paketska komunikacija u pokretnoj mreži

- Kanalska komunikacija: upravljanje vezom
 - GSM: Connection Management
- Paketska komunikacija: **upravljanje sjednicom**
 - GPRS: Session Management
- Pokretljivost: **zapis o kretanju**
 - GPRS: Mobility Management Context
- Protokoli: **zapis o paketskom protokolu** (karakteristikama veze)
 - GPRS: Packet Data Protocol Context
- Radijski kanal: **podatak o fizikalnom kanalu**
 - GPRS: Temporary Block File

Uključivanje MS-a



Uključivanje (Attachment)

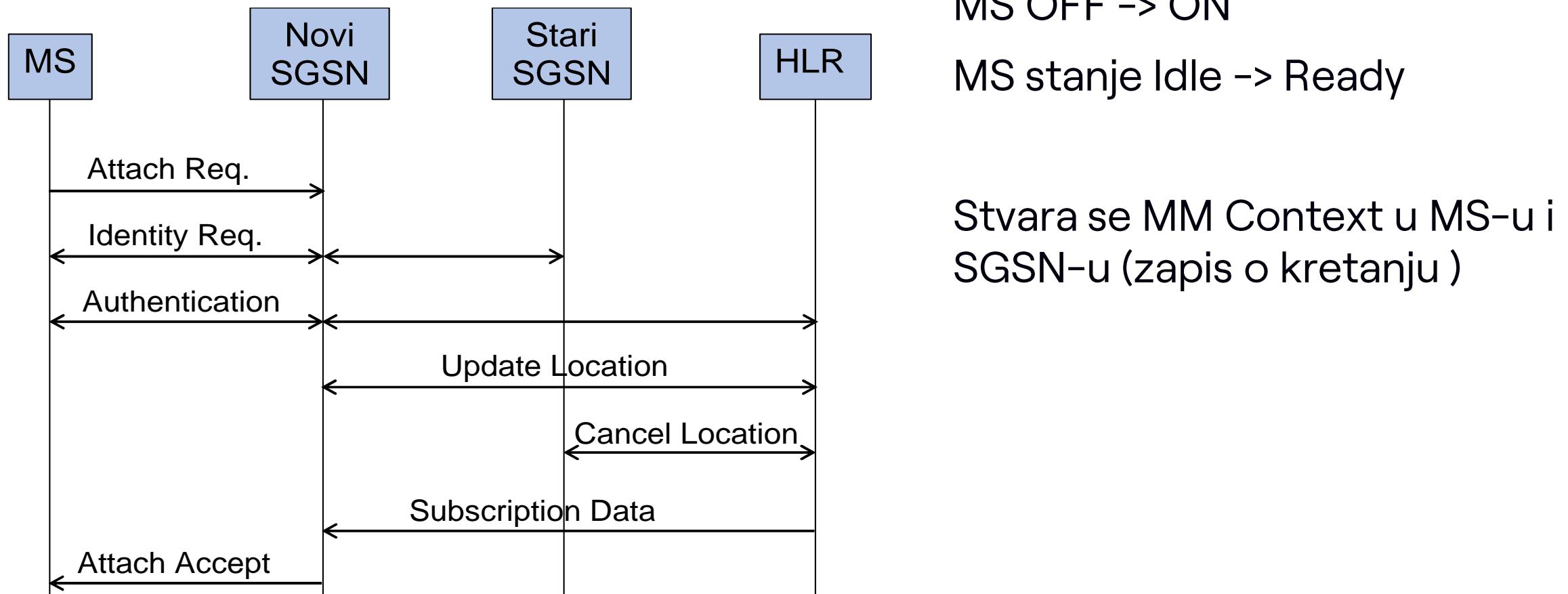
MS šalje zahtjev SGSN-u

- provjera autentičnosti (AUC) i identiteta opreme (EIR)
- nova lokacijska informacija u VLR i HLR
- SGSN vraća potvrdu

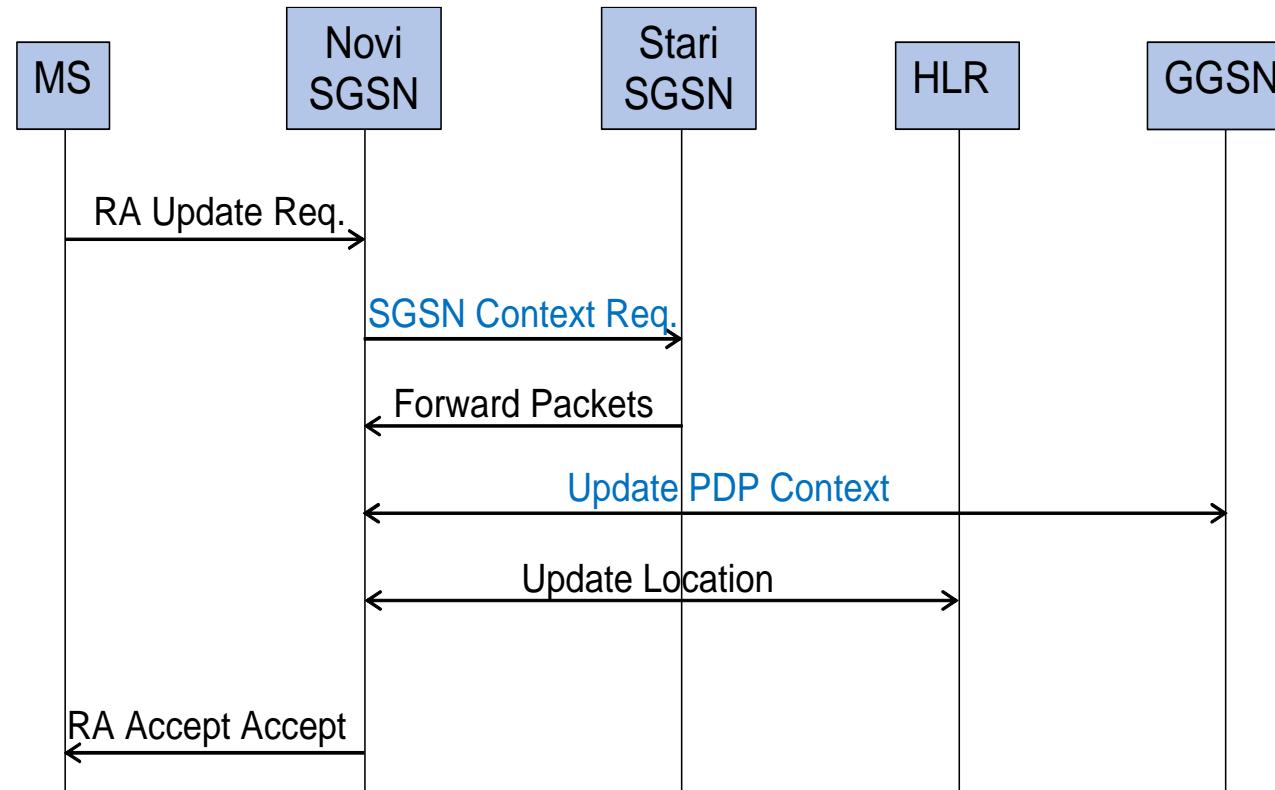
Rezultat:

- RA u kojem je MS je poznat
- pokrenuto upravljanje pokretljivošću

Uključivanje MS-a u području novog SGSN-a



Ažuriranje lokacije kod promjene SGSN-a



SGSN Context sadrži:

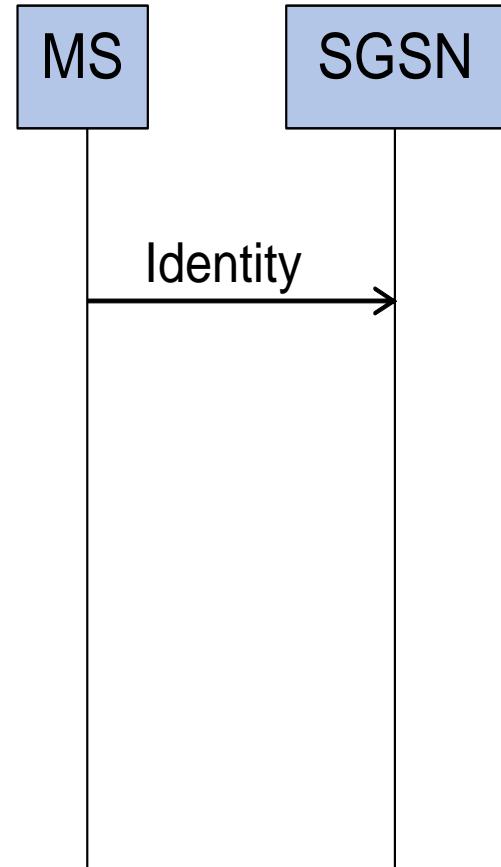
MM Context

PDP Context

PDP Packet Data Protocol

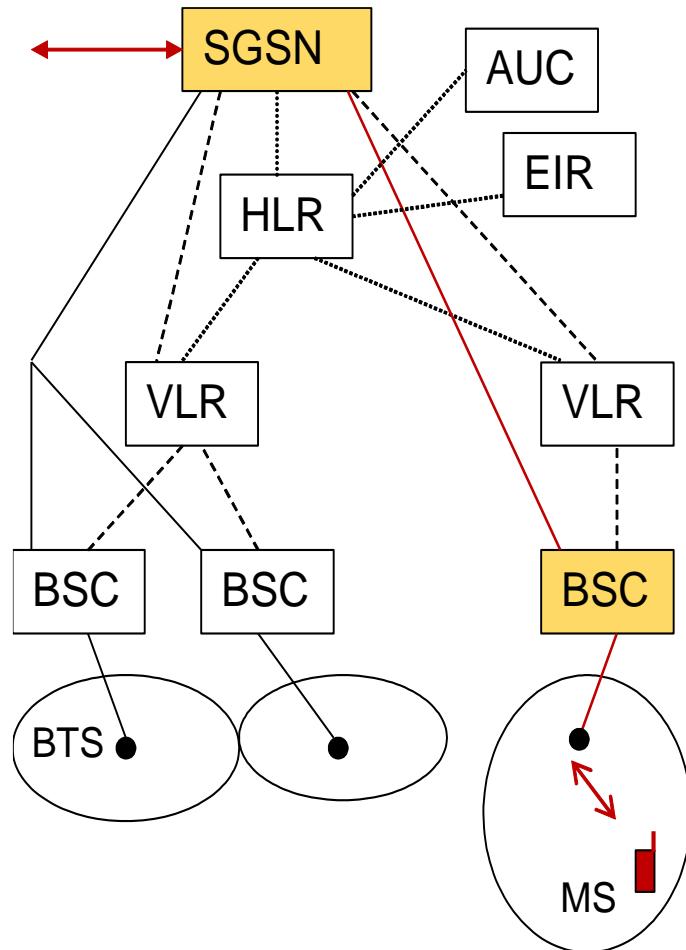
Zapis karakteristika veze

Promjena ćelije



- Promjena lokacije unutar RA

Komunikacija



MS odašilje pakete prema mreži

- MS zahtijeva kanal BTS – BSC
- MS dobiva kanal
- MS odašilje pakete prema SGSN

MS prima pakete iz mreže

- SGSN šalje zahtjev do BSC
- MS dobiva kanal
- SGSN šalje podatke prema MS

Zapis o paketskom protokolu

Packet Data Protocol Context

- zapis o karakteristikama veze pohranjen u MS, HLR, SSGN i GGSN
- određuje komunikaciju MS – GGSN
- koristi se za komunikaciju MS s vanjskom mrežom (Internet)
- aktivira se pri uključivanju MS ili komandom prije početka komunikacije

Podatak o fizikalnom kanalu

TBF (Temporary Block Flow)

- dodijeljuje PCU za prijenos paketa od/prema MS
- MS može imati TBF u jednom ili oba smjera

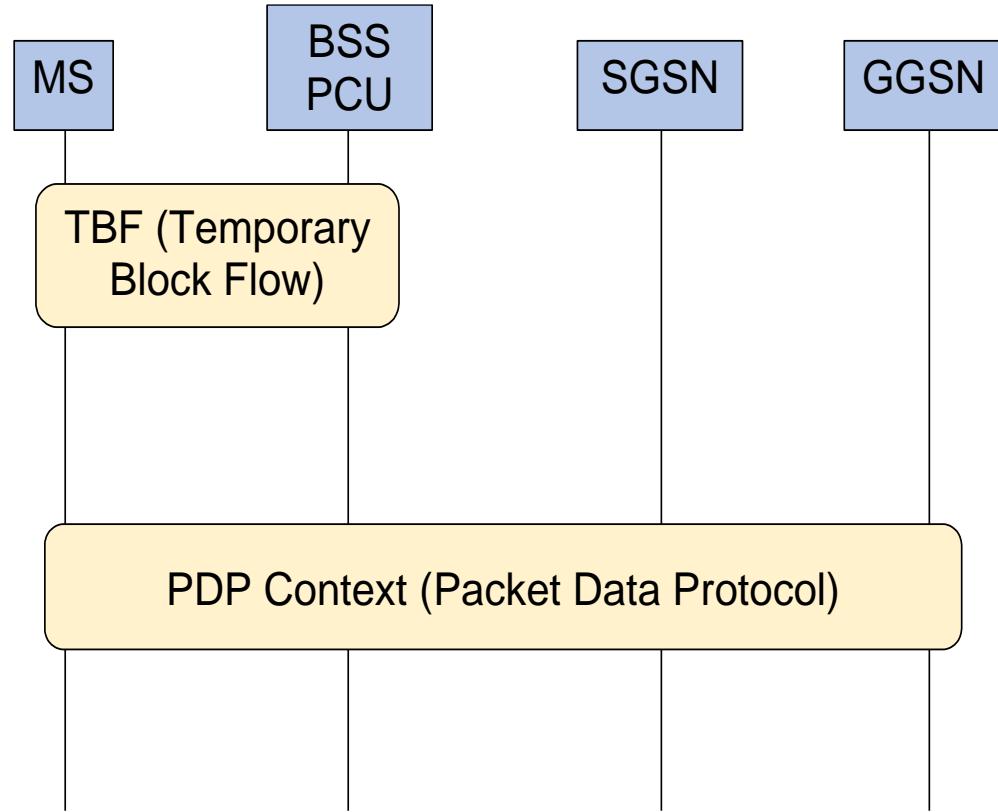
TFI (Temporary Flow Identity)

- označava pojedini TBF
- MS pri dodjeli TBF dobiva informaciju o PDCH koje koristi i TFI

Acknowledged/Unacknowledged Transfer

- retransmisijska/bez retransmisijska na radijskom sučelju

PDP kontekst i TBF



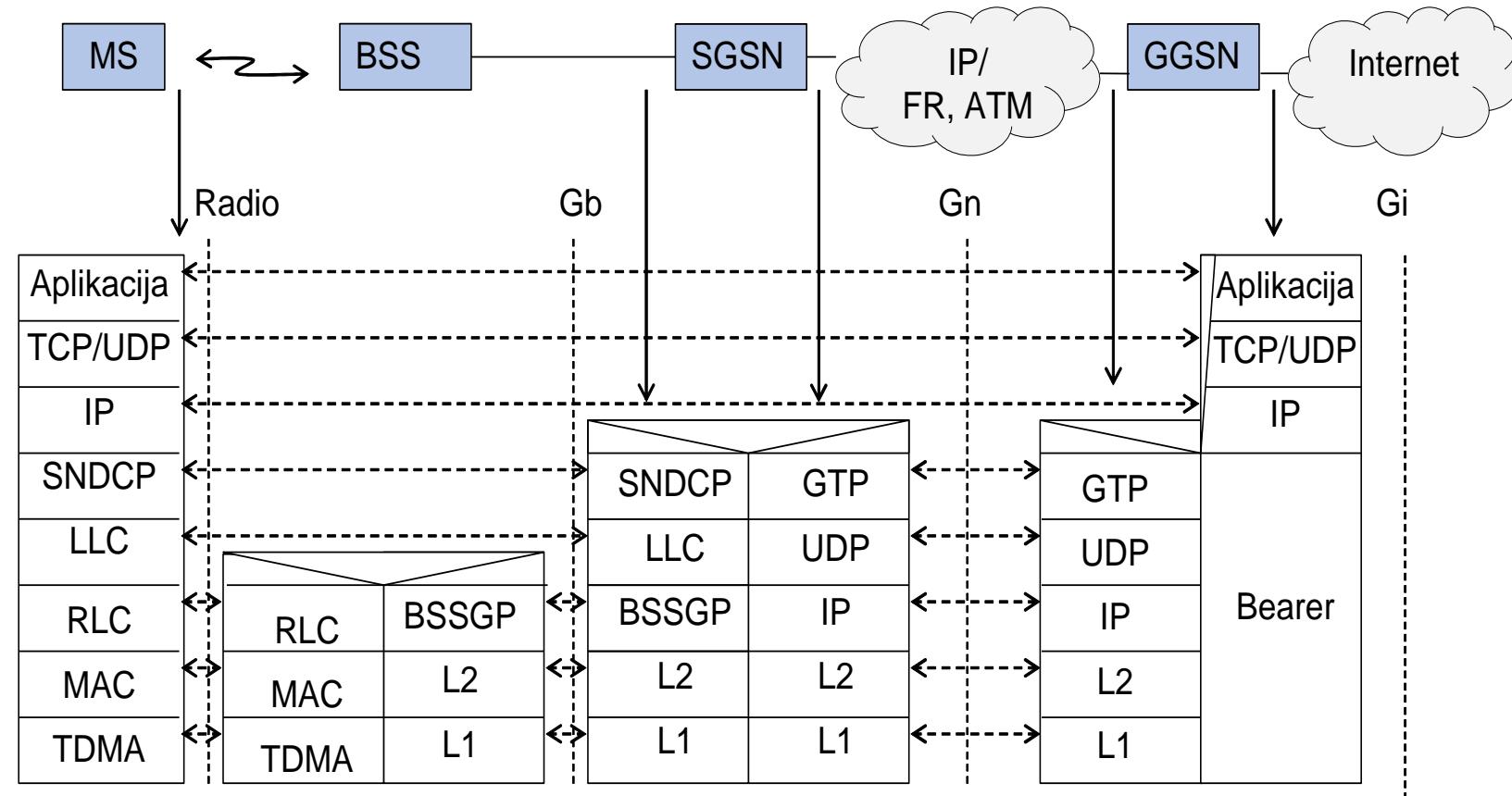
TBF

- opis komunikacije na radijskom sučelju (PDCH kanali za MS)

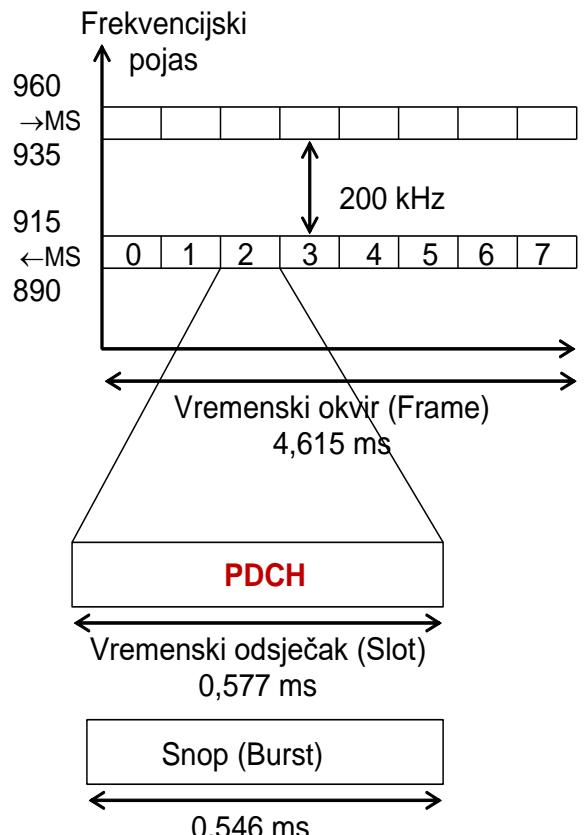
PDP Context

- zapis o karakteristikama veze: vrsta mreže, adresa pristupne točke, protokoli, QoS, ... (MS, BSS-PCU, SGSN, GGSN)

GPRS protokoli: korisnička/transmisijska ravnina



Fizikalni kanal (sloj 1)



Fizikalni kanali:
124 frekvenčijskih x 8 vremenskih = 992

PDCH (Packet Data CHannel)

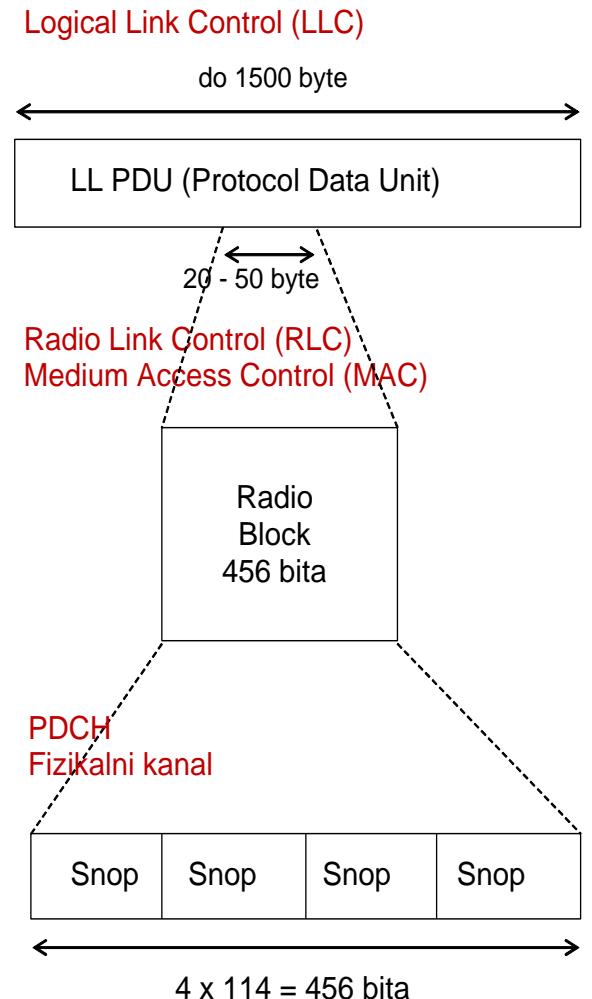
- jedan vremenski odsječak (kao GSM kanal)
- svaki PDCH mogu rabiti svi korisnici u ćeliji/više PDCH jedan korisnik
- broj PDCH u ćeliji: fiksani ili se mijenja dinamički (do 4, 8)

Logički kanali

Multiokvir (Multiframe)

$$52 \times \text{okvir} = 240 \text{ ms}$$

Kontrola i pristup mediju (sloj 2)



Logical Link Control (LLC)

- “najviši” GPRS protokol
- prijenos LL PDU između MS i SGSN

Radio Link Control (RLC)

- kontrola pristupa kanalu

Medium Access Control (MAC)

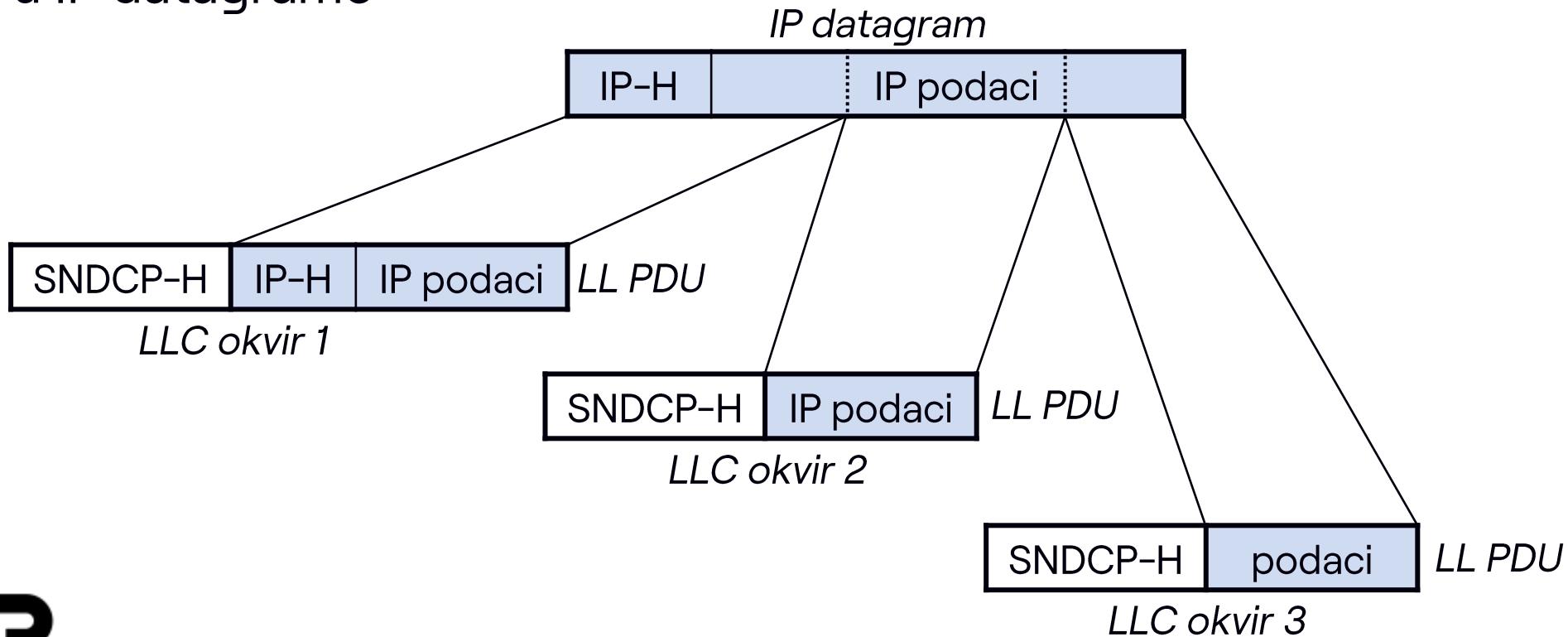
- raspoređivanje zahtjeva za kanal

Protokol SNDCP (sloj 3)

- **SNDCP – Sub-Network Dependent Convergence Protocol**
 - Između protokola IP i najvišeg GPRS protokola (LLC)
 - Prilagođava protokol IP radu u GPRS-u
 - Prenosi podatke između MS-a i SGSN-a
 - Multipleksira više konekcija mrežnog sloja (PDP konteksta) u jednu logičku vezu sloja LLC
 - Komprimira i dekomprimira korisničke podatke i zaglavlja višeg sloja
 - Fragmentira IP pakete koji se prenose u obliku LLC okvira i opet spajaju u IP pakete na drugoj strani

Prijenos podataka MS – SGSN

- IP datagrami se **komprimiraju** (IP zaglavje i podaci) na izvorišnoj strani (MS ili SGSN), **fragmentiraju** na LLC okvire (LL PDU \leq 1500 okteta) i u obliku prikladnom za radijski prijenos opet dijele na MAC/RLC blokove veličine 20-50 okteta te šalju preko BSS do SGSN (i obratno) gdje se ponovo sastavljaju u IP datagrame



Protokol GTP

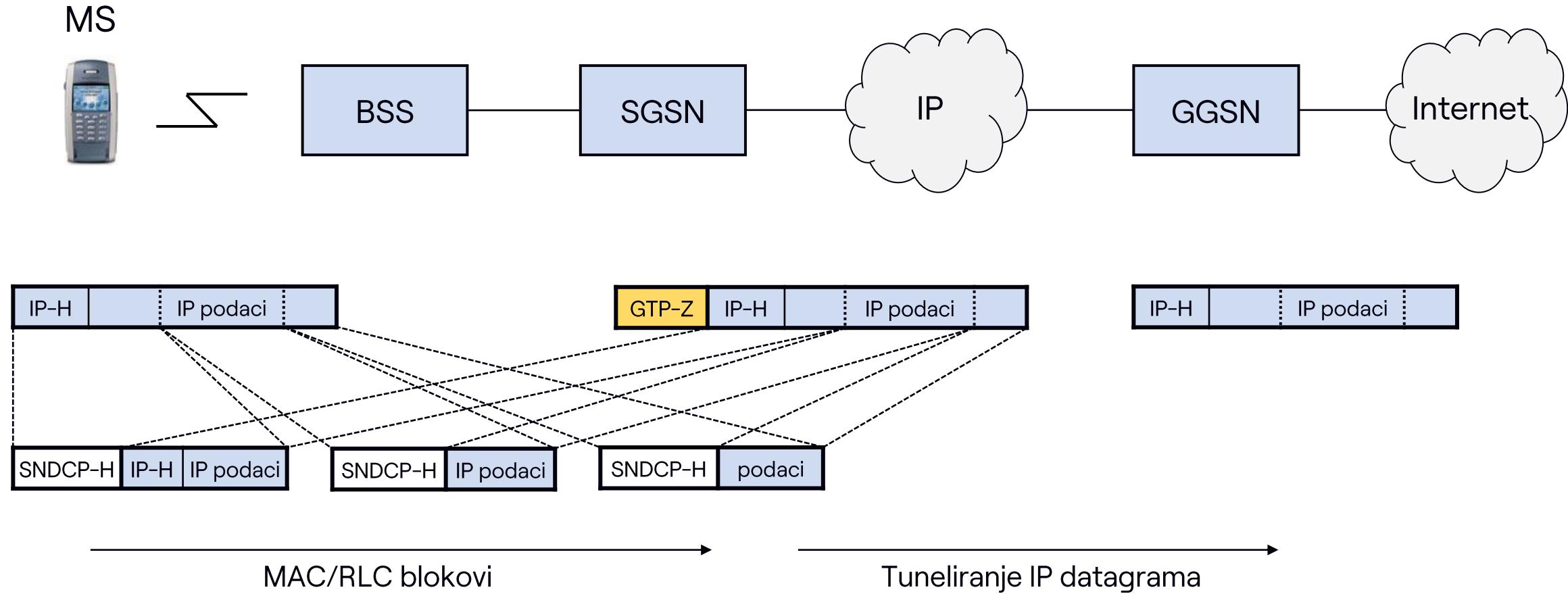
- **GTP – GPRS Tunneling Protocol**

- Prijenos podataka između SGSN-a i GGSN-a
- Ovija pakete mrežnog sloja
- Tunelira korisničke podatke i odgovarajuće signalizacijske informacije između mrežnih čvorova
- Kreira, modificira i briše tunel
- IP paketima dodaje GTP zaglavlje

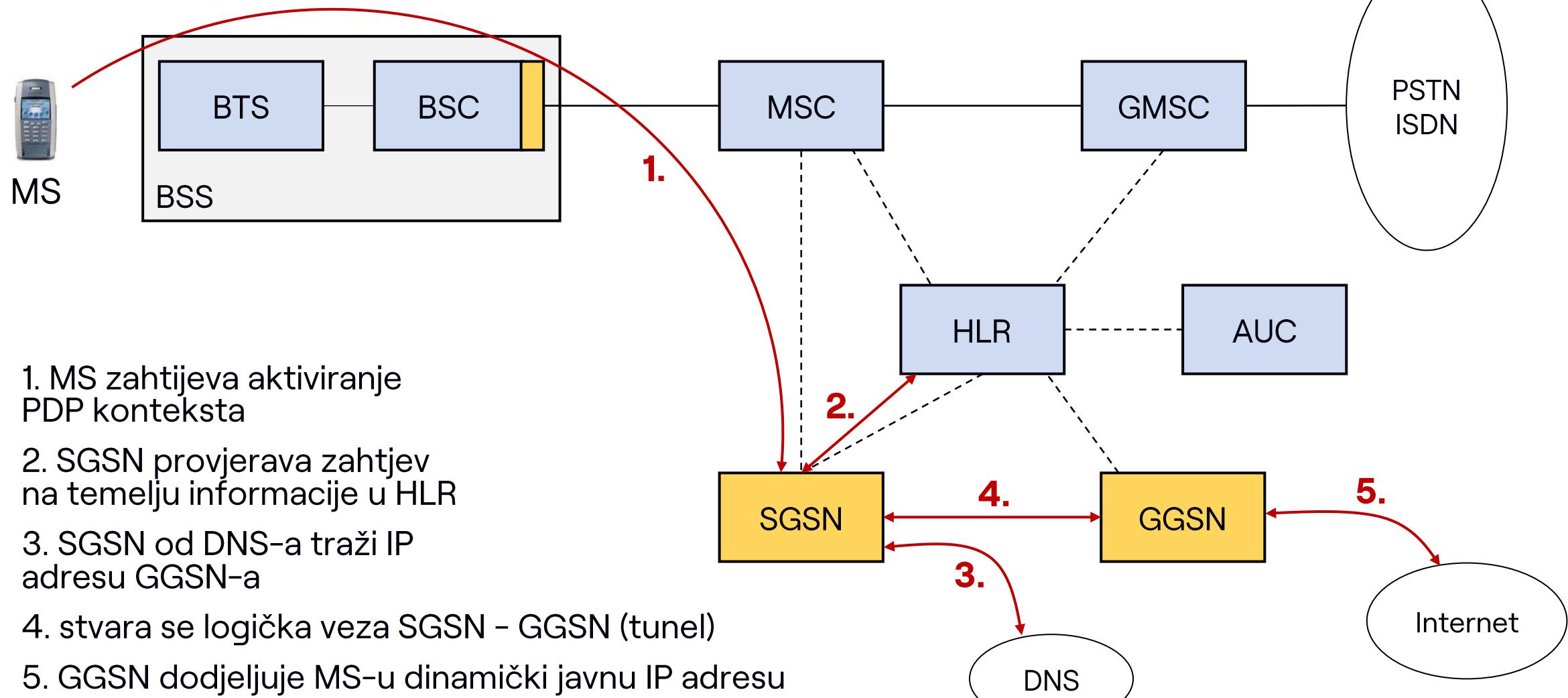
IP datagram



Podatkovna komunikacija korisnika s Internetom



Postupak pristupa Internetu



Sustav poboljšanih brzina prijenosa podataka

Enhanced Data rates for Global Evolution, EDGE

- Zahtjeva **veću promjenu radijskog dijela** pristupne mreže
 - Sustav baznih postaja E-RAN (EDGE Radio Access Network)
- Uvodi **promjenu modulacijskog postupka** u GSM mreži
 - Umjesto GMSK primjenjuje se 8PSK (*8 Phase Shift Keying*)
 - Umjesto 14,4 kbit/s dobiva se 48 kbit/s po jednom kanalu
 - Zauzimanje 8 kanala na istoj frekvenciji, $48 \times 8 = \mathbf{384 \text{ kbit/s}}$
- Nedostatak
 - Poboljšanu brzinu prijenosa podataka **nije moguće postići unutar cijelog područja pokrivanja ćelije**

Komunikacija porukama

- **Usluga kratkih poruka**
 - (*Short Messaging Service, SMS*)
- **Poboljšana usluga izmjene poruka**
 - (*Enhanced Messaging Service, EMS*)
- **Usluga višemedijskih poruka**
 - (*Multimedia Messaging Service, MMS*)

SMS usluga

- Uvodi se **posebni centar za uslugu kratkih poruka** (*Short Message Service Centre*, SMS-C)
 - Primanje i slanje SMS pruka od/prema pokretnoj postaji
 - Zadržava poruku dok ne dobije poruku o primitku ili dok ne istekne definirano vrijeme valjanosti poruke
- Duljina poruke je **160 znakova**, uz mogućnost ulančavanja
- EMS proširuje sadržaj poruke
 - Uz tekst, točkaste slike i kratke melodije

Standardizacija 3. generacije

- International Telecommunication Union
 - ITU (www.itu.org) - **IMT-2000**
- European Telecommunications Standard Institute ETSI
 - (www.etsi.org) - **UMTS**
- UMTS Forum (www.umts-forum.org)
 - neprofitna udruga operatora, proizvođača i regulacijskih tijela
- 3GPP (3. Generation Partnership Project)
 - standardizacijska tijela i neprofitne udruge
- OHG (Operators Harmonisation Group)

Opći pokretni telekomunikacijski sustav

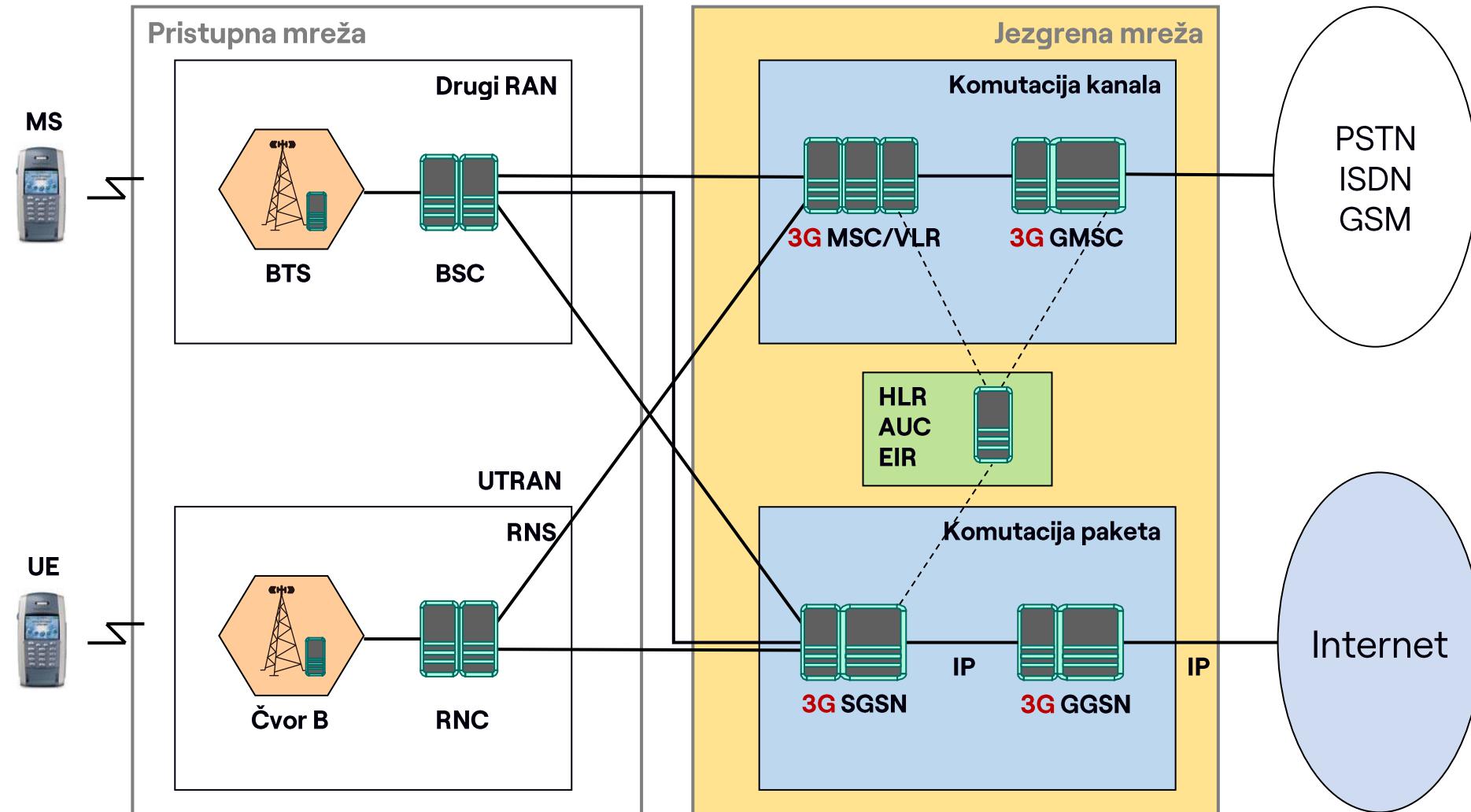
Universal Mobile Telecommunication System, UMTS

- Nova **radijska pristupna mreža u odnosu na pristupnu mrežu 2G**
- Određene promjene i u jezgrenoj mreži
 - Komutacija kanala – posluživanje 2G i 3G korisnika
 - Komutacija paketa – nove funkcionalnosti uslužnog i prilaznog čvora
- Uz pokretljivost terminala, riješena je **osobna pokretljivost te pokretljivost, prenosivost i transparentnost usluga**

UMTS zahtjevi

- Velika brzina prijenosa, osobna pokretljivost uz prijenos govora, podataka i multimedije
- do 144 kbit/s u svim uvjetima, do 384 kbit/s na otvorenom prostoru, do 2 Mbit/s u zatvorenom prostoru
- komutacija kanala i paketa
- simetrični i asimetrični prijenos
- kvaliteta govora usporediva s onom u fiksnoj mreži
- više istodobnih usluga
- integracija s fiksnom mrežom
- koegzistencija s 2. generacijom (GSM)
 - prebacivanje poziva između GSMA u UMTSa
- brzi pristup Internetu u pokretu

Arhitektura mreže UMTS (3GPP R99)



UMTS zemaljski radijski pristup

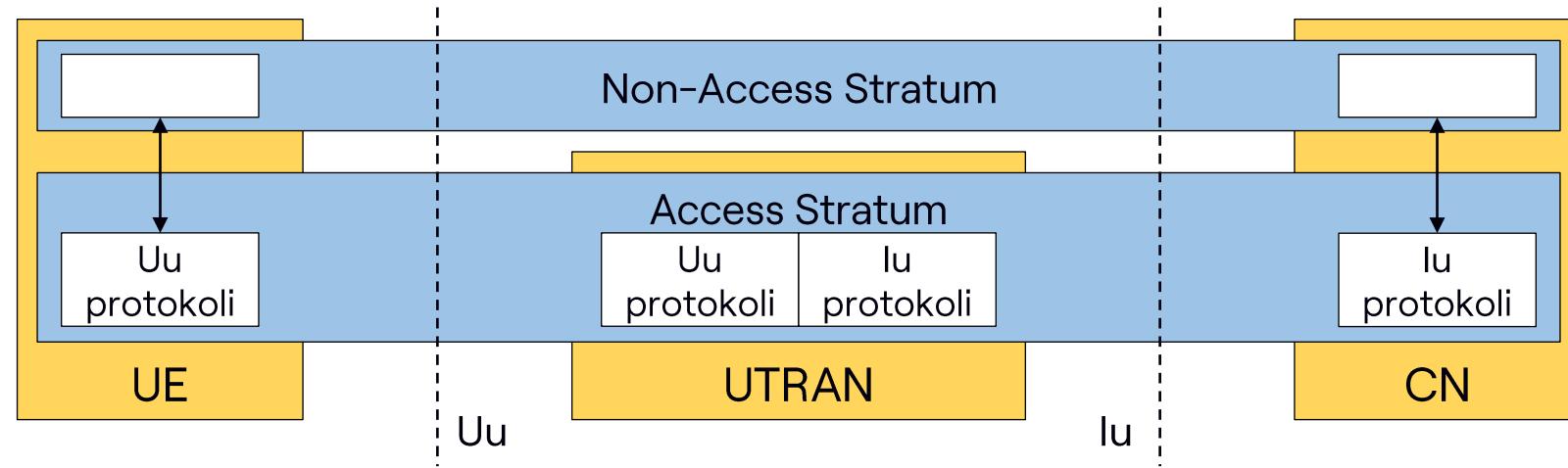
- **Zemaljski radijski pristup** (*UMTS Terrestrial Radio Access, UTRA*)
 - Širokopojasni višestruki pristup u kodnoj podjeli (*Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA*)
 - Veći kapacitet i bolja pokrivenost u odnosu na pristupnu mrežu 2G
 - Mogućnost varijabilne brzine prijenosa
 - Prikladnost za paketski i kanalski prijenos
 - Višestruke istodobne usluge u jednom terminalu
 - Hijerarhijsko strukturiranje ćelija
 - Protokol IP uvodi se u radijsku pristupnu mrežu

UTRAN funkcije

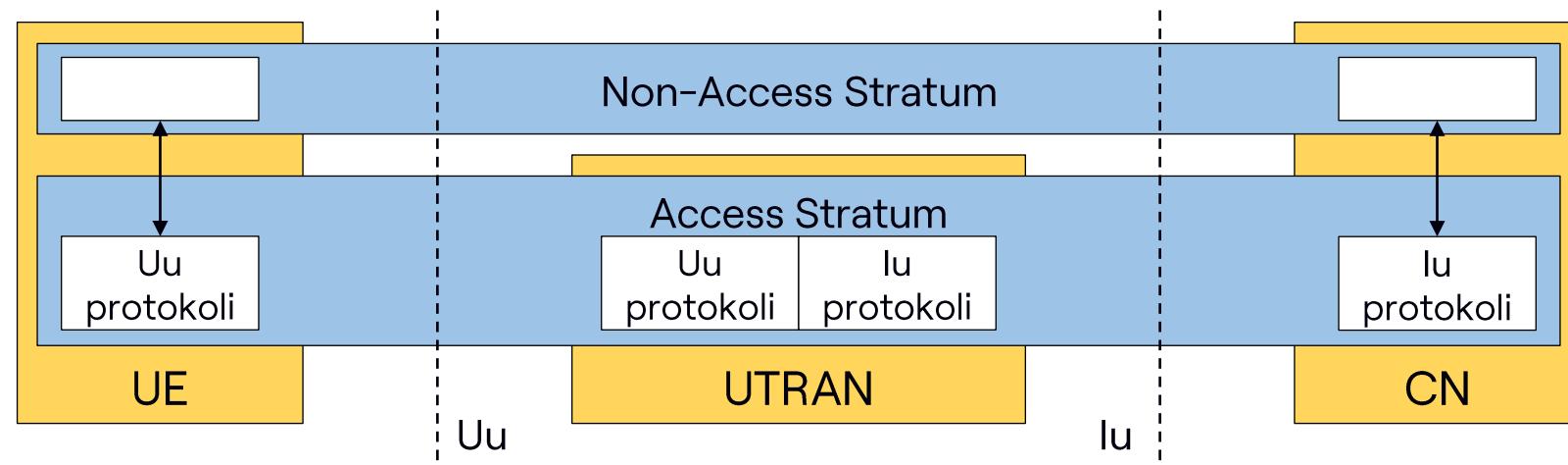
- Sustavna kontrola pristupa
- Sigurnost i privatnost
- Upravljanje i kontrola radijskih resursa
- Kontrola radijskog prijenosa i veze između korisničke opreme i mreže
- Prijenos korisničkih podataka između korisničke opreme i mreže

UTRAN arhitektura protokola

Korisnička ravnina (User Plane)



Kontrolna/signalizacijska ravnina (Control/Signalling Plane)

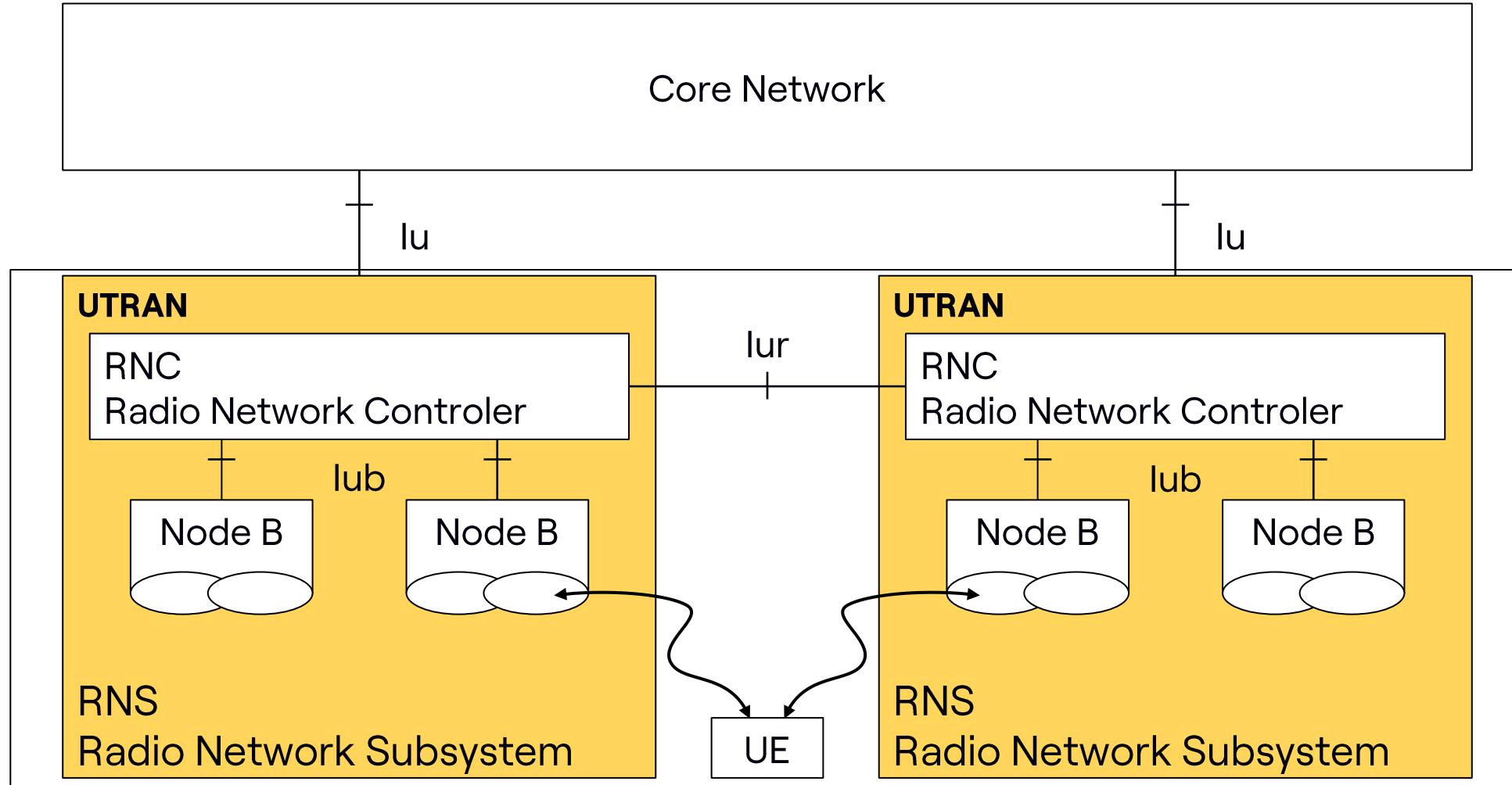


Radijski mrežni podsustav

Radio Network Subsystem, RNS

- **Osnovni element UMTS** zemaljske radijske **pristupne mreže** (*UMTS Terrestrial Radio Access Network, UTRAN*)
- Sadrži
 - Upravljač radijske mreže (*Radio Network Controller, RNC*)
 - Kontrolni RNC (CRNC – Controlling RNC)
 - Uslužni RNC (SRNC – Serving RNC)
 - Prihvativni RNC (DRNC – Drifting RNC)
 - Čvor B s radijskim primopredajnim dijelom (*Node B*)
 - Pokriva više ćelija (3-6)

UTRAN arhitektura pristupne mreže



Čvor B

- Pretvorba podatkovnog toka između sučelja lub i Uu
- Upravljanje radijskih resursa
- Modulacija
 - Podržava FDD, TDD i CDMA
- Fizikalni i transportni kanali
- Korekcija pogrešaka u radijskom prijenosu
- Povezivanje poziva s UE
- Prikupljanje prometnih podataka

UTRA - UMTS Terrestrial Radio Access

W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access)

- širokopojasni višestruki pristup s kodnom podjelom
- otvoreni prostor, široko područje, javna mreža
- 1920 – 1980 MHz (up) , 2110 – 2170 MHz (down)
- FDD (Frequency Division Duplex)

TD-CDMA (Time Division Code Division Multiple Access)

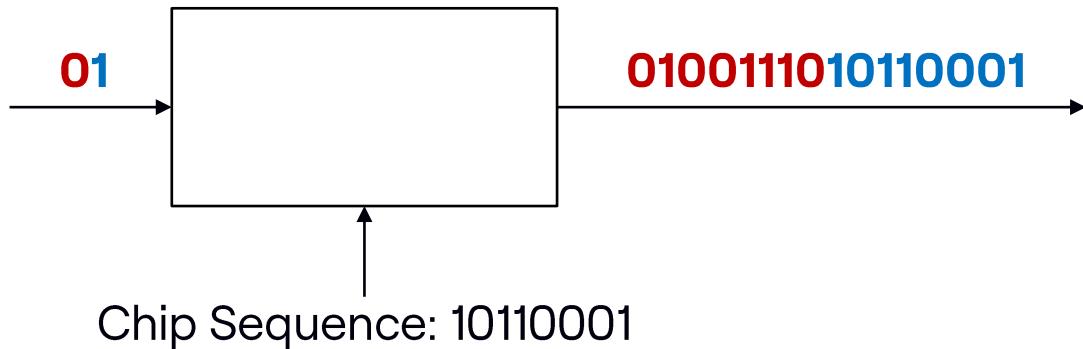
- višestruki pristup s kodnom podjelom i vremenskom podjelom
- zatvoreni prostor, uže područje, privatna mreža
- 1900 – 1920 i 2010 – 2025 MHz
- TDD (Time Division Duplex)

CDMA (Code Division Multiple Access)

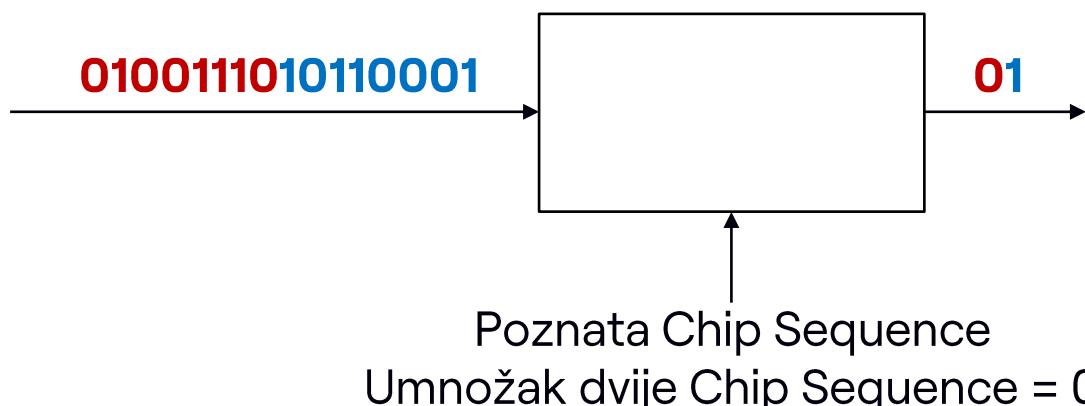
- Korisnici dijele isti frekvencijski spektar u isto vrijeme, a razlikuju se po dodijeljenim kodovima
- Različiti tipovi kodova
 - Orthogonal Variable Spreading Factor, OVSF
 - “Scrambling” kodovi
- Modulacijska tehnika
 - *Quadrature Phase Shift Keying*, QPSK
- “Soft” handover – “meko” prebacivanje poziva
 - Nema prekida veze prilikom mijenjanja bazne stanice
 - Korisnički terminal ima vezu s više baznih stanica istovremeno

CDMA (Code Division Multiple Access)

Predaja

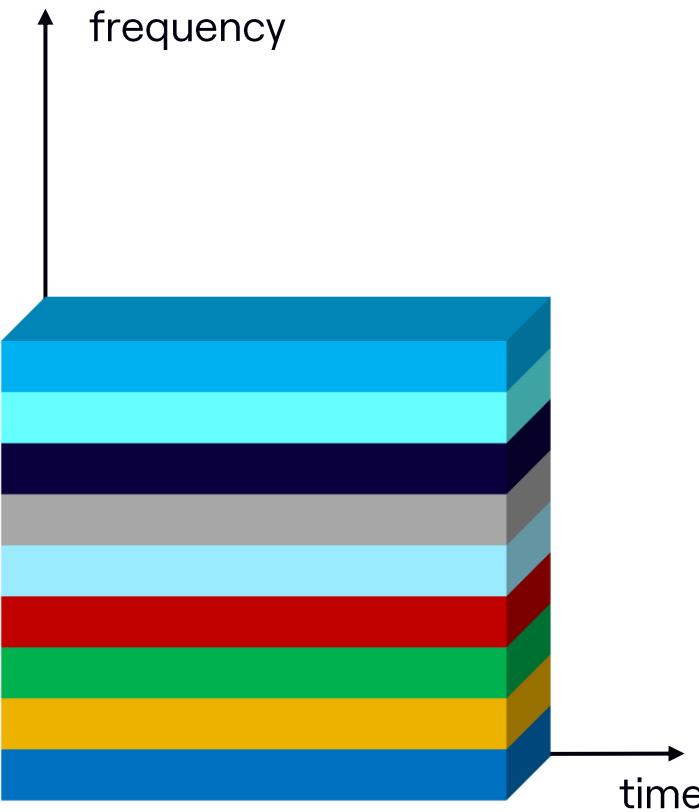


Prijam

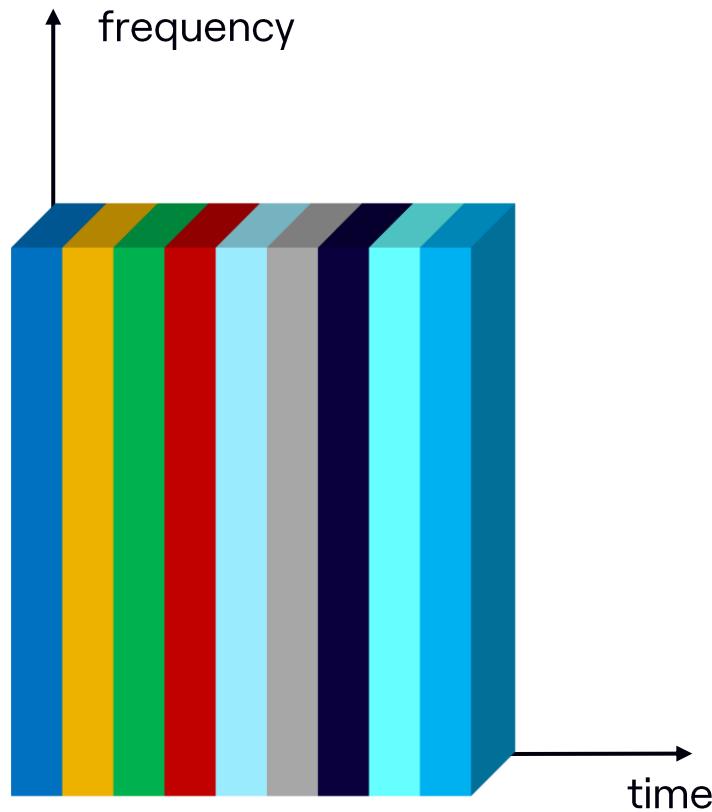


- svakoj MS dodjeljuje se jednoznačni kod (Chip Sequence)
- "1" u prijenosu zamjenjuje se s **Chip sequence**, "0" s **komplementarnom Chip sequence**
- prošireni frekvencijski spektar – raspršeni spektar (Spread Spectrum)

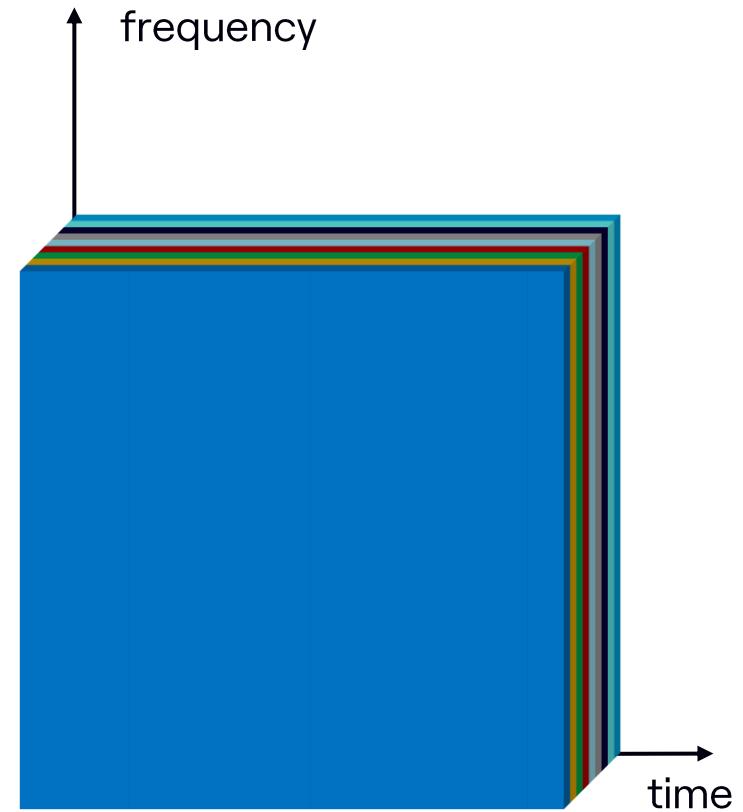
Usporedba višestrukih pristupa



FDMA



TDMA



CDMA

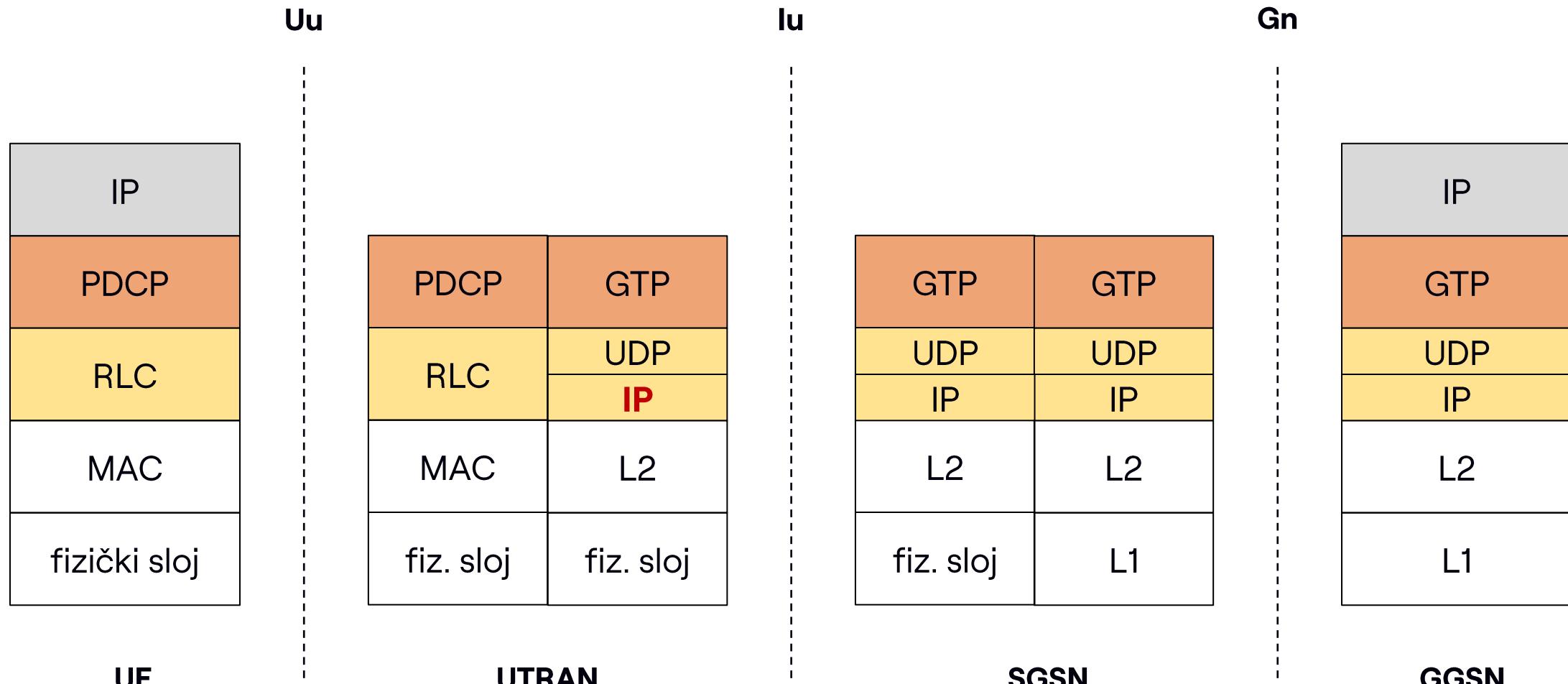
Razlozi WCDMA

- veći kapacitet i bolja pokrivenost od TDMA i drugih CDMA rješenja
- varijabilna i visoka brzina prijenosa
- paketski i kanalski prijenos
- višestruke istodobne usluge u jednom terminalu
- hijerarhijsko strukturiranje ćelija
- širina frekvencijskog pojasa 5 MHz
- prošireni frekvencijski spektar – raspršeni spektar (*spread spectrum*) –
 - manja osjetljivost na uskopojasne interferencije i prigušenje
 - nema fiksnog ograničenja kapaciteta (broja istovremenih korisnika)
- nedostatak
 - povećanje razine interferencije od drugih pretplatnika

Jezgrena mreža

- **Dio s komutacijom kanala**
 - Izведен iz rješenja za GSM
- **Dio s komutacijom paketa**
 - Izведен iz rješenja za GPRS
- Dio funkcija upravljanja pokretljivošću preuzima RNC
- Rješenja ovise o načinu uvođenja UMTS-a
 - Potpuno nova mreža
 - Uz postojeći GSM i sl.

Protokoli korisničke ravnine



Protokol PDCP

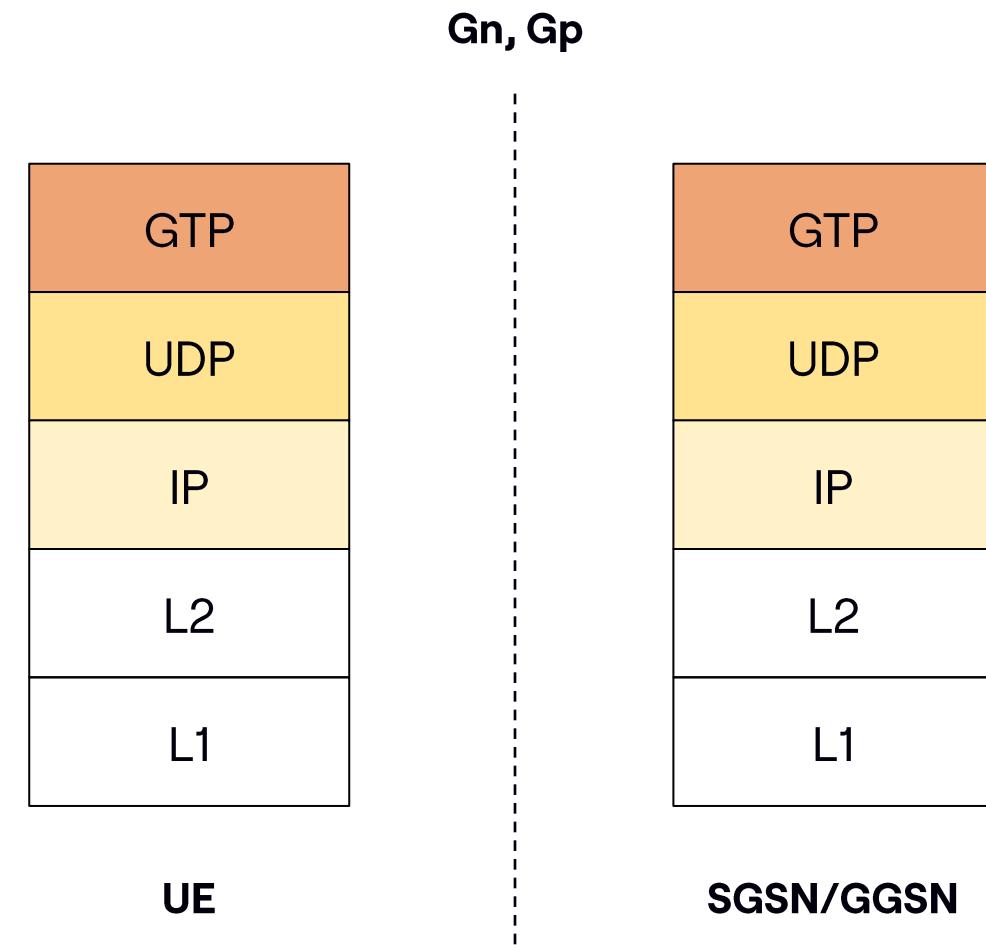
- **Packet Data Convergence Protocol – PDCP**

- Funkcionalnost slična protokolima SNDCP i LLC u GPRS-u
- Prijenos podataka (IP paketa) između korisničkog terminala i radijske pristupne mreže
- Sažimanje (kompresija) korisničkih podataka i zaglavljiva višeg sloja
- Segmentiranje IP paketa u MAC/RLC blokove prikladne za radijski prijenos preko zračnog sučelja

Mrežni elementi

- GGSN
 - Povezan s drugim mrežama
- SGSN
 - Područje usmjeravanja
 - Obuhvaća nekoliko RNC-ova
 - Upravljanje pokretljivošću
 - Upravljanje sjednicom
 - QoS
 - tuneliranje

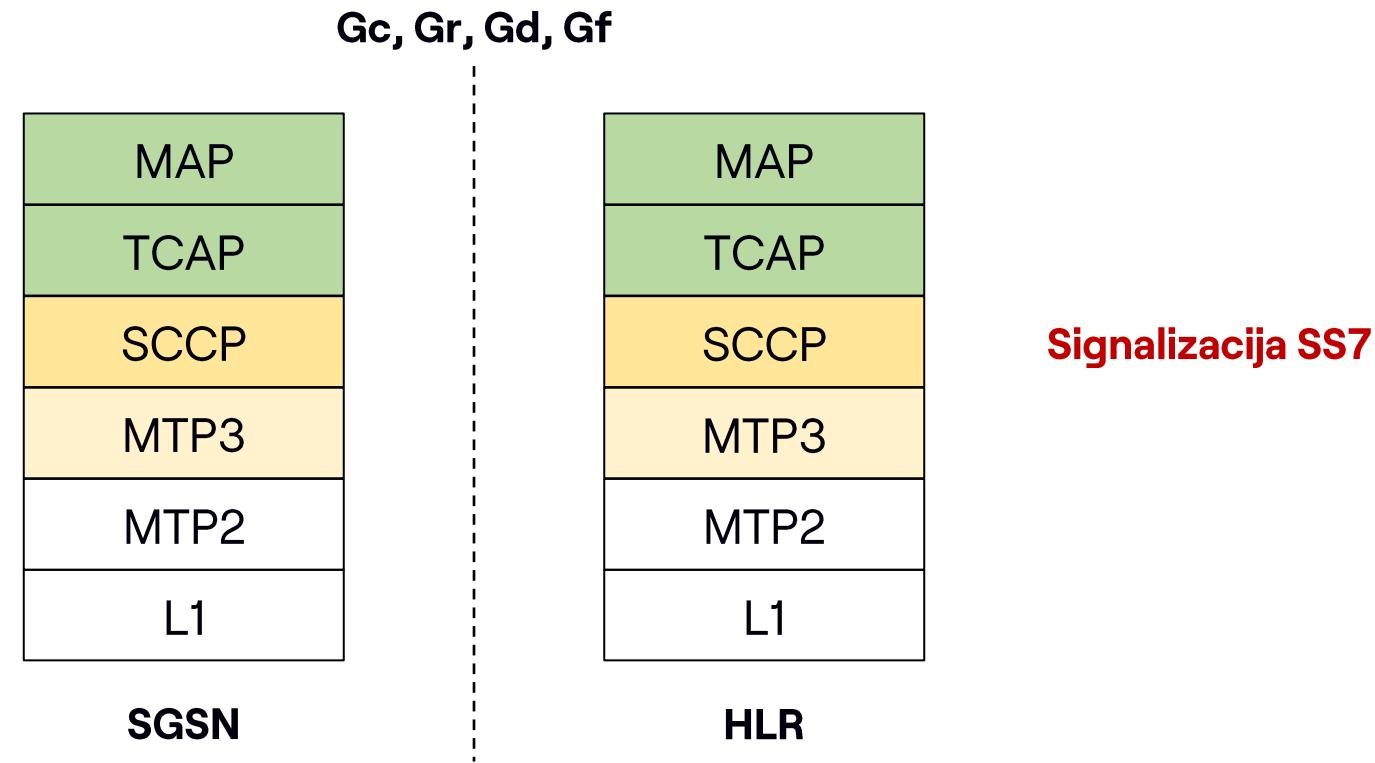
Protokoli paketske komunikacije



Gn i Gp sučelja

- Komunikacija SGSN i GGSN-a te između SGSN-ova unutar iste PLMN
 - GTP – tuneliranje podataka između entiteta jezgrene mreže
 - Upravljačke poruke
- Gp sučelje
 - Između SGSN različitih PLMN
 - Funkcija kao kod Gn uz dodatne sigurnosne funkcije

Protokoli paketskog dijela sučelja MAP



MAP – Mobile Application Part

TCAP – SS7 Transaction Capabilities Application Part

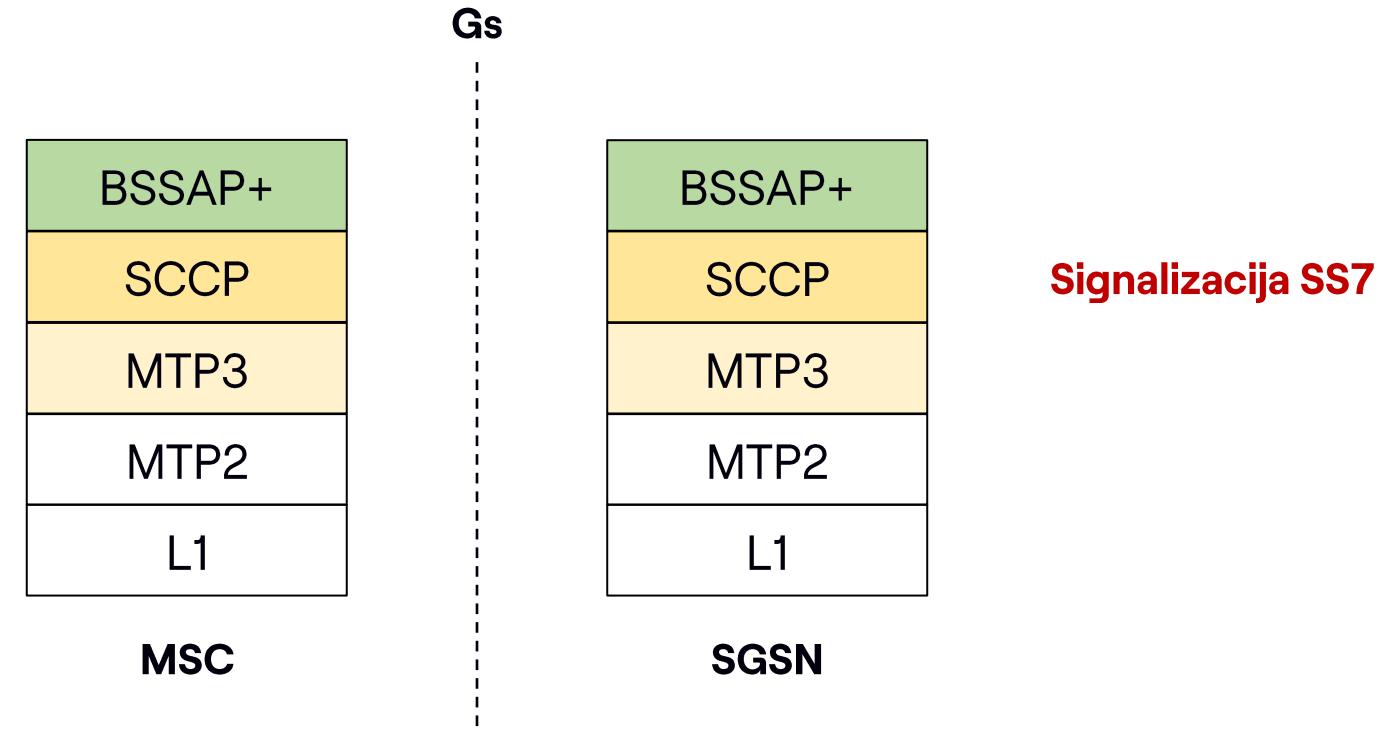
SCCP – Signaling Connection Control Part

MTP – Message Transfer Part

Sučelja MAP

- Gc sučelje: GGSN – HLR (tuneliranje preko SGSN-a)
 - Informacije o usmjeravanju za komutaciju paketa
- Gr sučelje: SGSN – HLR
 - Lokacija korisnika
- Gd sučelje: SGSN – SMS prilaz
- Gf sučelje: SGSN – EIR

Protokoli između kanalskog i paketskog dijela mreže



BSSAP – BSS Application Part

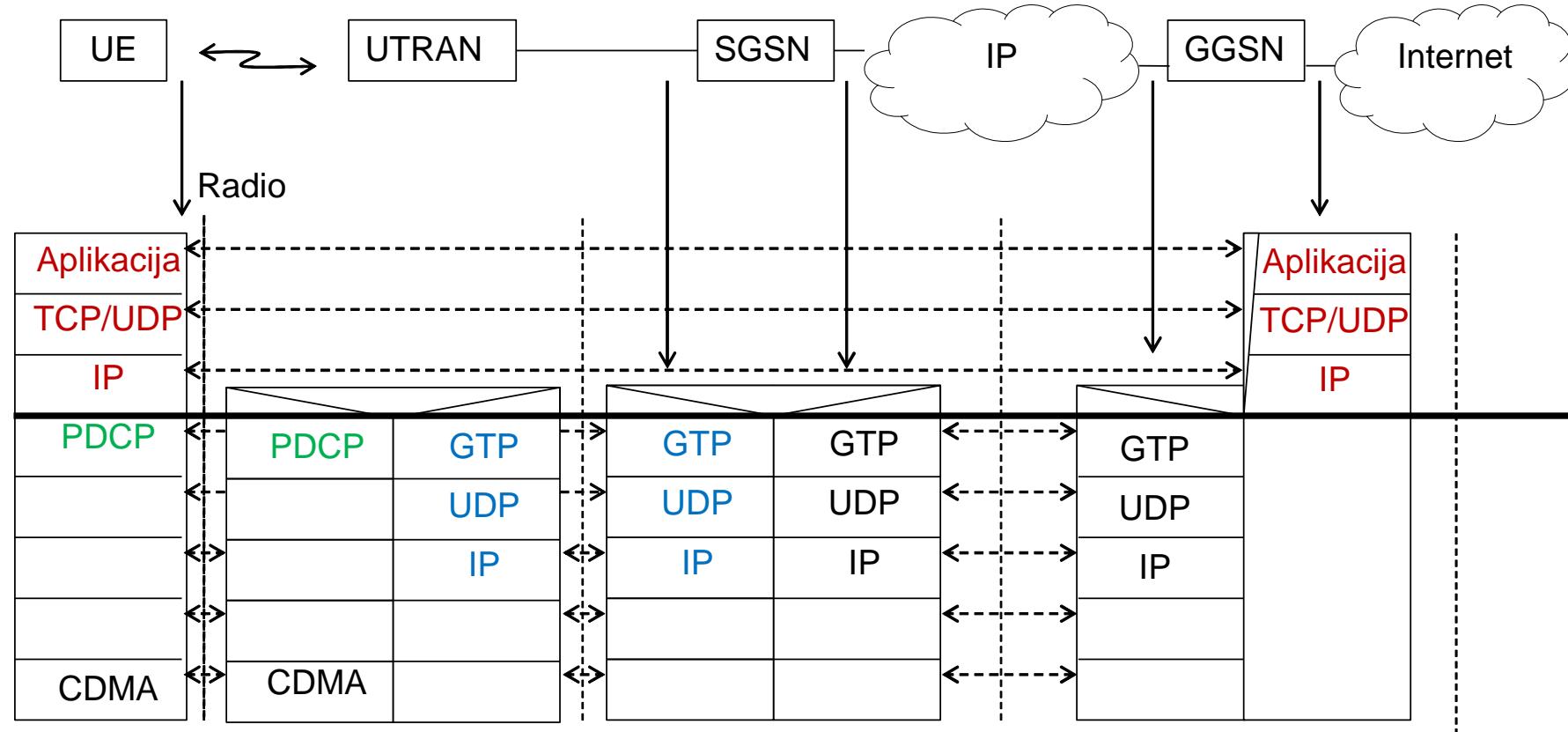
SCCP – Signaling Connection Control Part

MTP – Message Transfer Part

Gs sučelje

- MSC – SGSN sučelje
 - Proširenje BSSAP
 - Koordinacija kanalske i paketske komunikacije
 - Reduciranje upravljačke informacije o lokaciji korisnika
 - Reduciranje signalizacije s HLR-om

Pristup Internetu iz mreže UMTS



Opći pokretni telekomunikacijski sustav – UMTS

- Pokretni sustav s kraja na kraj
- Međunarodno prelaženje
- Integrirana sigurnost i naplata
- Višemedijske usluge
- Standardizacija
 - ITU, ETSI, UMTS Forum, 3GPP, OHG
 - Izdanja (release), odlike (feature)
 - R99, R4, R5 – IP u pristupnoj mreži, uvođenje IMS-a u R5, HSDPA
 - R6 – UMTS – WLAN, MBMS, HSUPA
 - R7 – UMTS – fiksni pristup
 - R8, R9, R10 – “sve IP”, LTE/SAE

Pregled izdanja 3GPP specifikacija UMTS-a

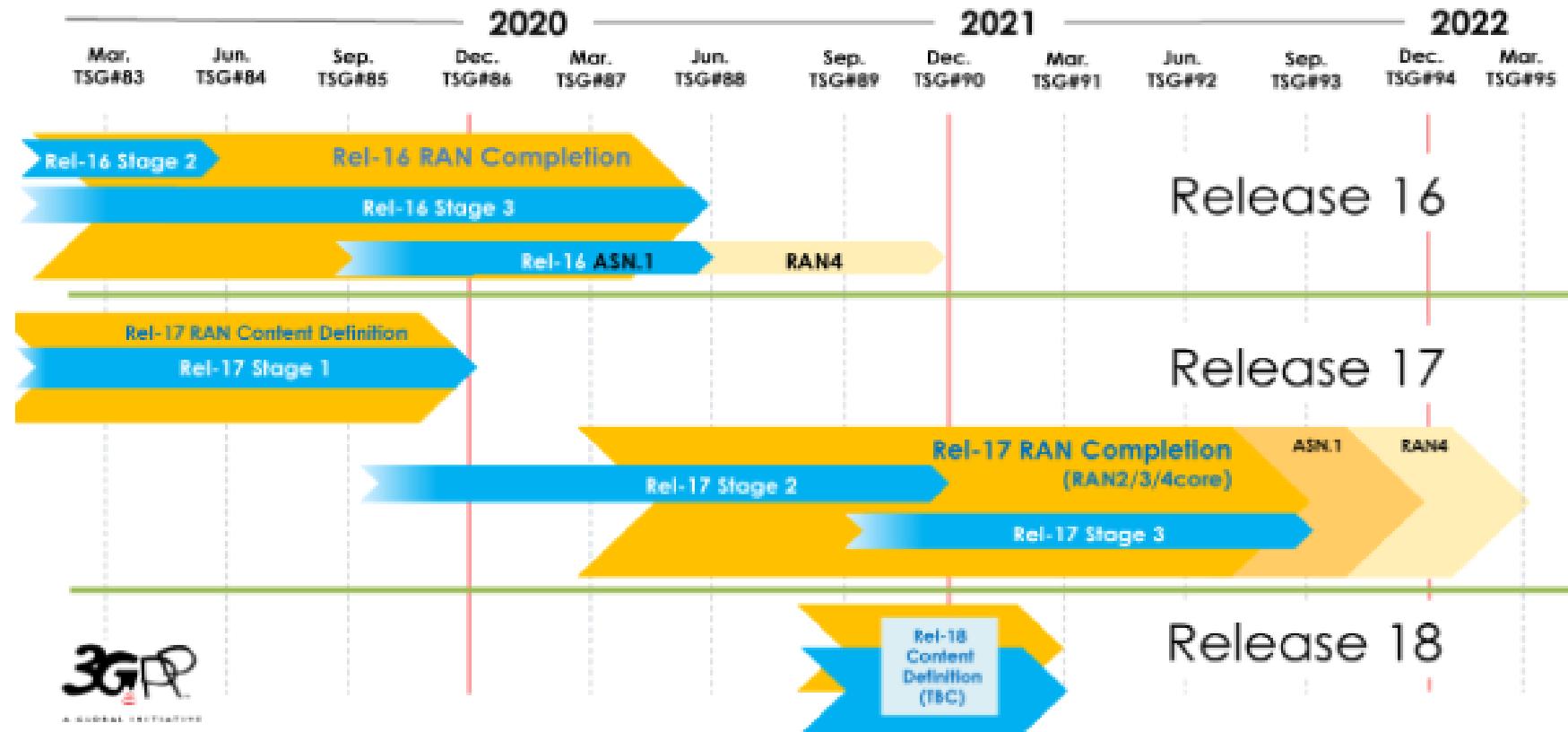
Izdanje UMTS	Najvažnije odlike
Release 99 (1999.)	Prvo izdanje UMTS standarda, temelji se na tehnologiji W-CDMA.
R4 (2001.)	Razdvaja kanalsku i paketsku domenu u jezgrenoj mreži.
R5 (2003.)	Prvo izdanje koje uključuje IMS, višemedijske usluge, IP u pristupnoj mreži UTRAN, SIP. Upravljanje kvalitetom usluge i napredne mogućnosti upravljanja uslugama i njihove naplate. Uvodi se HSDPA.
R6 (2004-2005.)	Integracija s WLAN-ovima. Poboljšanja u upravljanju kvalitetom usluge i podrška za usluge trenutnog poručivanja, prisutnosti, MMS. Uvodi se MBMS, HSUPA i napredniji načini naplate.
R7 (2006-2007.)	Dodaje se širokopojasni fiksni pristup kroz IMS. Glatko prebacivanje govornog poziva između kanalne i paketske domene uz osiguranu kvalitetu usluge. HSPA
R8 (2007-2008.)	Prelazak na sve-IP mrežu. Razrada dugoročne evolucije 3G mreže. Višemedijska konferencija u IMS-u, sustav javnog upozoravanja, HSPA+ (Evolved HSPA), Long Term Evolution (LTE).
R9 (2008-2009.)	Dugoročna evolucija radijske pristupne mreže (LTE), implementacija LTE. Jezgrena mreža SAE. Evolucija IMS-a. Unaprijeđenje pokretljivosti između WLAN/WiMAX mreža i UMTS/LTE pokretne mreže (I-WLAN), HSUPA, LTE/EPC.
R10 (2010. – 2011.)	Napredni LTE (LTE-A), početak razvoja četvrte generacije pokretnih mreža (4G), OFDMA, prošireni MIMO, femtocelije, Voice over LTE (VoLTE)

Pregled izdanja 3GPP specifikacija UMTS-a

Izdanje UMTS	Najvažnije odlike
R11 – R14 (2011. – 2017.)	Napredni LTE (LTE-A), razvoj četvrte generacija pokretnih mreža (4G), OFDMA, prošireni MIMO, razvoj IMS-a, sigurnost, QoS, Machine-Type Communication, femtoćelije, Voice over LTE (VoLTE).
R15 (2017. – 2020.)	Unapređenje pokrivenosti, kapaciteta i brzine prijenosa HET-NET: Heterogeneous Network, 5G, LTE-M, IoT
R16 (2018. – 2020.)	5G, Massive MTC, Vehicle-to-Everithing Communication, IoT
R17 (2019.-2021.)	5G, Cellular IoT, 5G-RAN, NR, 5GC, IoT

Izvor: <http://www.3gpp.org/>

Pregled izdanja 3GPP specifikacija UMTS-a

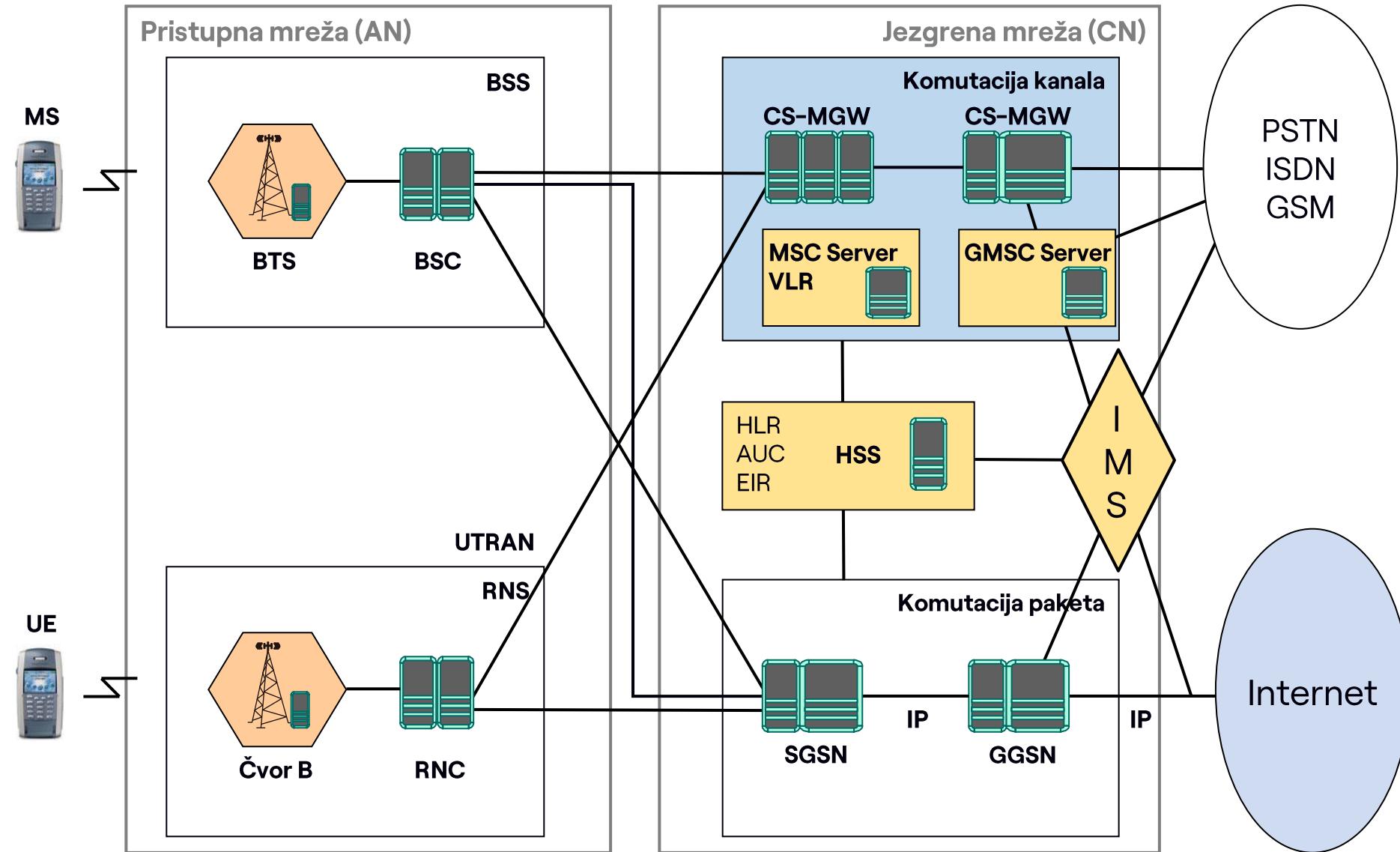


Source: 3GPP TSG SA#87e, 17-20 March 2020, e-meeting document SP-200222

© 3GPP 2020

Izvor: <http://www.3gpp.org/>

Arhitektura mreže (3GPP R8)



Poslužitelj pretplatničkih podataka (HSS)

- **Glavna baza podataka o korisnicima**
 - Identifikacija korisnika, numeracija, adresiranje
 - Kontrola pristupa mreži
 - Informacija o autentifikaciji i autorizaciji korisnika
 - Informacija o lokaciji korisnika
 - Repozitorij korisničkih profila (*user profile*)
 - Upravljanje pokretljivošću
 - Podrška za uspostavu poziva i sjednice
 - Podrška sigurnosti
 - Podrška pružanja usluge

Komunikacijski protokoli

11. Brzi paketski pristup (HSPA)
Signalizacijski protokoli u Internetu
Protokoli i usluge pokretne mreže 4G
Virtualni operator pokretne mreže

Creative Commons



- **slobodno smijete:**
 - **dijeliti** – umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
 - **remiksirati** – prerađivati djelo
- **pod sljedećim uvjetima:**
 - **imenovanje.** Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
 - **nekomercijalno.** Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
 - **dijeli pod istim uvjetima.** Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencom koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

Sadržaj predavanja

- Razvoj pristupne mreže UMTS
 - Tehnologije brzog paketskog pristupa
 - Internetski višemedijski sustav (IMS)
 - Protokol SIP
- Komunikacijski protokoli mreže 4G
 - Evoluirana paketska jezgrena mreža
- Mreža sljedeće generacije
- Virtualni operator pokretne mreže

Razvoj pristupne mreže UMTS

Tehnologije brzog paketskog pristupa

3,5G: Razvoj pristupne mreže

High Speed Packet Access, HSPA

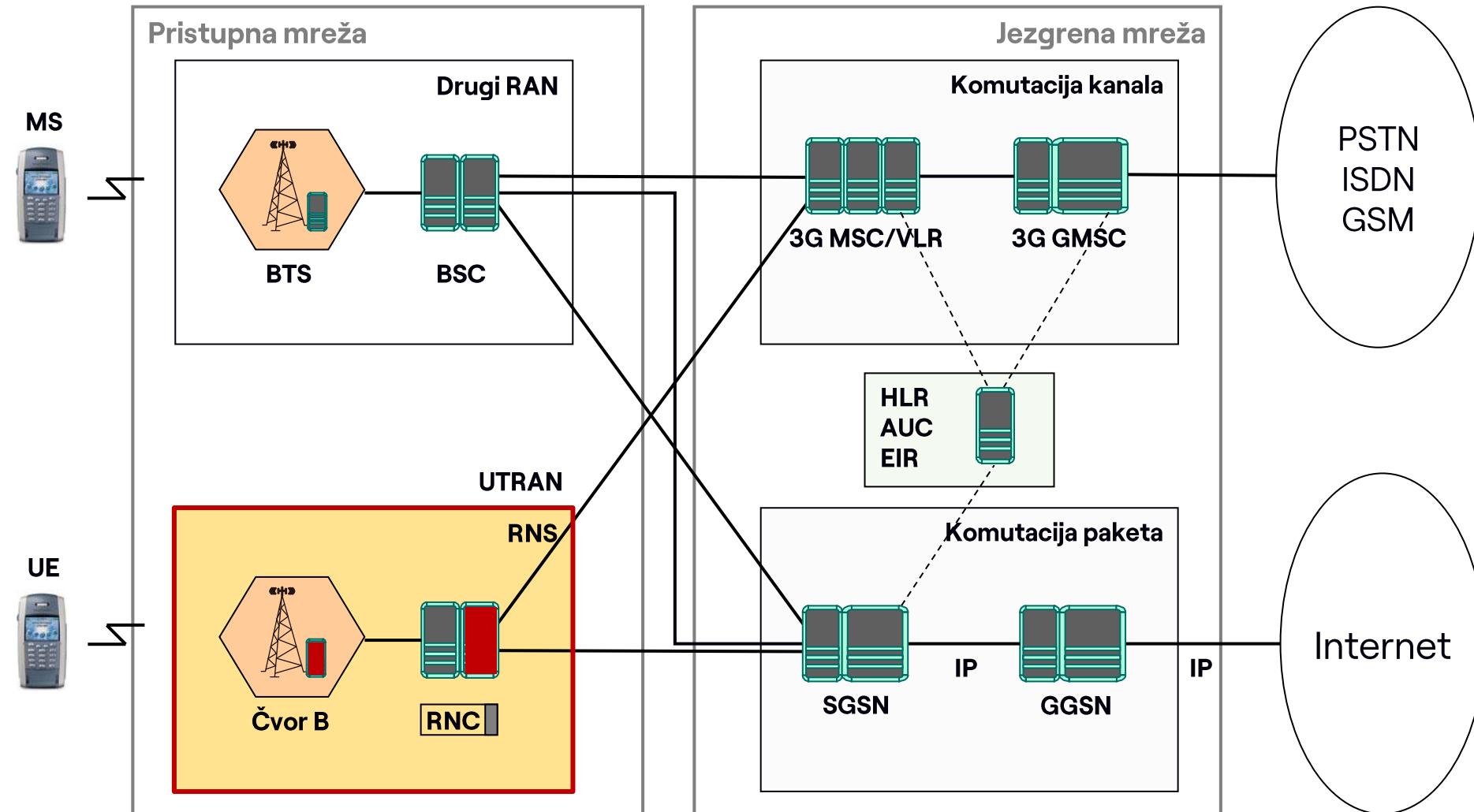
- Tehnologija brzog paketskog pristupa
 - Povećanje brzine prijenosa u dolaznom i odlaznom smjeru
- Unaprijeđuje UMTS radijsku pristupnu mrežu
- Prelazak s izdanja R5 na R6
- **Brzi paketski pristup u dolaznom smjeru, HSDPA**
 - Maksimalna brzina od 14,4 Mbit/s, u praksi do 7,2 Mbit/s
- **Brzi paketski pristup u odlaznom smjeru, HSUPA (High Speed Uplink Packet Access)**

Brzi paketski pristup u dolaznom smjeru

High Speed Downlink Packet Access, HSDPA

- **Nadogradnja WCDMA tehnologije**
- **Ne zahtjeva uvođenje novih dodatnih čvorova** u mrežu
- Samo hardverska i softverska **nadogradnja** radijskog mrežnog podsustava RNS
 - Nadogradnja radijskog mrežnog upravljača RNC i čvora B
 - Osigurava se **veći broj fizičkih kanala** u pristupu

Nadogradnja UMTS mreže za podršku HSDPA



Nadogradnja UMTS mreže za podršku HSDPA (2)

- Uvodi se **adaptivna modulacija i kodiranje** (AMC - *Adaptive Modulation and Coding*)
 - Koristi se povratna informacija od korisničkog terminala kako bi se utvrdila **najbolja modulacijska tehnika i kodirajuća shema za zadane uvjete u kanalu** te time maksimizirao tok podataka prema korisničkoj opremi
 - Terminal **komunicira s više čvorova B** i definira listu baznih stanica koje je moguće koristiti za komunikaciju (FCSS - *Fair Scheduling and Fast Cell Site Selection*)
 - Odabire ćeliju koja trenutno pokazuje **najbolje prijenosne karakteristike** za slanje podataka
 - Uz QPSK modulaciju koristi se i **16QAM modulacija** koja omogućava veće brzine prijenosa podataka u slučaju boljih radijskih uvjeta

Nadogradnja UMTS mreže za podršku HSDPA (3)

- Bazna stanica **dinamički** mijenja kapacitete dodijeljene korisnicima na temelju trenutnih uvjeta u mreži za određeno područje
- Korisnicima koji se nalaze u području s **boljim uvjetima** doznačuje se **veći kapacitet** prijenosne mreže i veće prijenosne brzine čime se postiže efikasnije zauzeće kanala
 - Dijeljenje kanala omogućava dinamičku dodjelu kapaciteta, **ovisno o broju korisnika** koji se nalaze na istom području;
 - Brza adaptacija linka omogućava korištenje **učinkovitije modulacije i kodiranja** kanala čime se osigurava veća brzina prijenosa;
 - Dinamičko raspoređivanje kanala omogućava dinamičku dodjelu većeg kapaciteta korisnicima s većim zahtjevima;
 - Brza retransmisija osigurava ponovno slanje samo onih podataka pri čijem je prijenosu došlo do pogreške
- Čvor B preuzima određene funkcionalnosti od čvora RNC

Nadogradnja UMTS mreže za podršku HSDPA (4)

- Uvode se **novi kanali**
 - Zauzeće kanala ovisi o duljini intervala koji se definira za svakog korisnika posebno (TTI – *Transit Time Interval*)
 - Varijabilna duljina okvira prema vrsti prometa
 - Kraća duljina okvira
 - Dva terminala – isti kanal s različitim TTI
- Uvođenje u urbanim područjima i zatvorenim prostorima

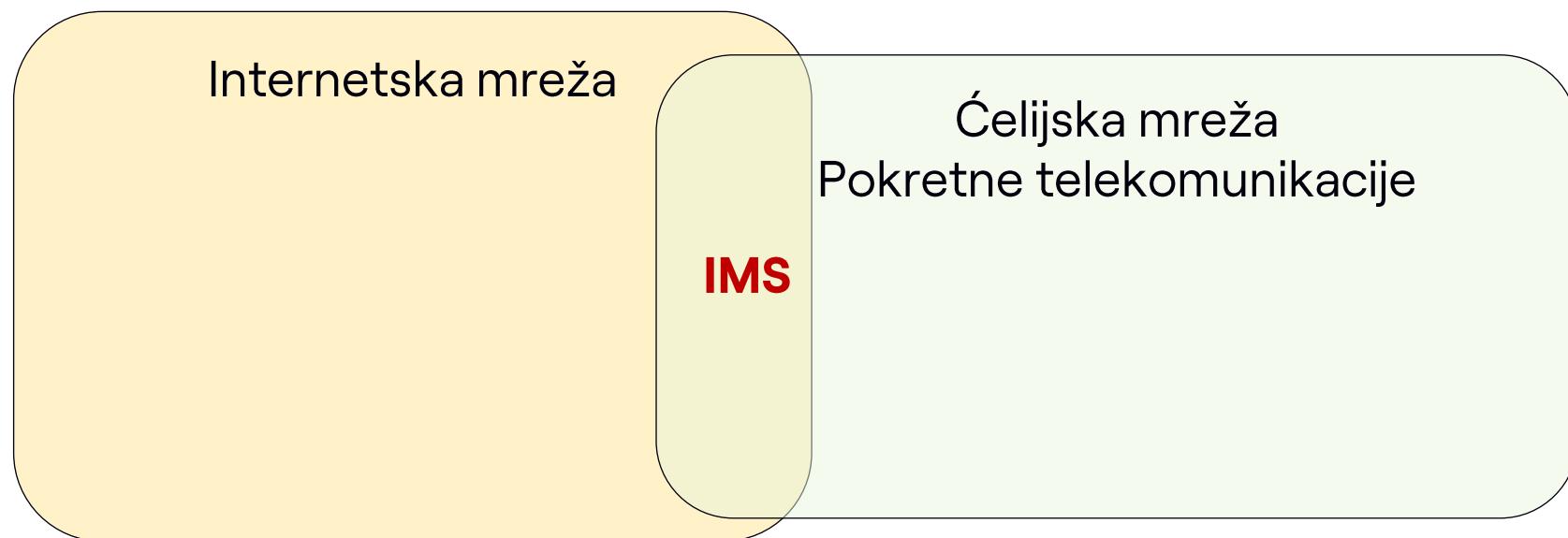
Evolucija brzog paketskog pristupa

High Speed Packet Access Evolution, HSPA+

- Nadogradnja tehnologije brzog paketskog pristupa HSPA
 - Pokretni širokopojasni pristup Internetu
 - Poboljšanje radijskih performansi tehnologije HSPA
 - Optimizacijski postupci za dodatno smanjenje kašnjenja u prijenosu podataka te povećanja kapaciteta
 - Potpuno iskorištenje mogućnosti višestrukog pristupa WCDMA (5 MHz)
 - Dopušta paketski prijenos govora i podataka
 - **Brzina prijenosa podataka do 42 Mbit/s, za sada 21 Mbit/s (DL), te 11,5 Mbit/s, za sada 5 Mbit/s (UL)**
 - Prvi korak prema pristupnoj tehnologiji LTE te novoj jezgrenoj mreži SAE (System Architecture Evolution)
 - SAE podrazumijeva samo paketsku domenu (sve-IP) te podržava pokretljivost između različitih pristupnih mreža

IMS

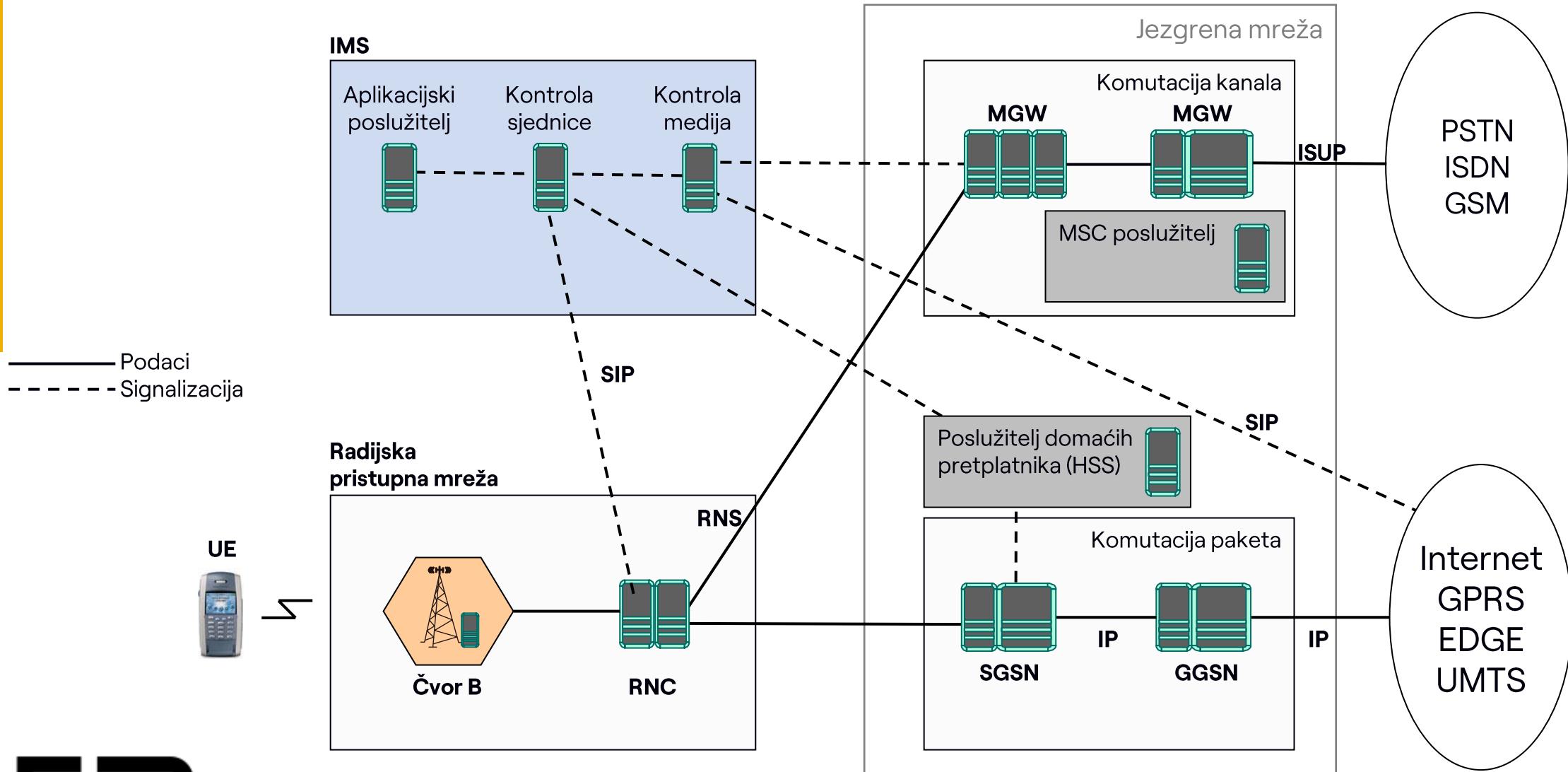
- **IP višemedijski sustav, IP Multimedia Subsystem, IMS**
- Integracija Interneta i pokretnih mreža



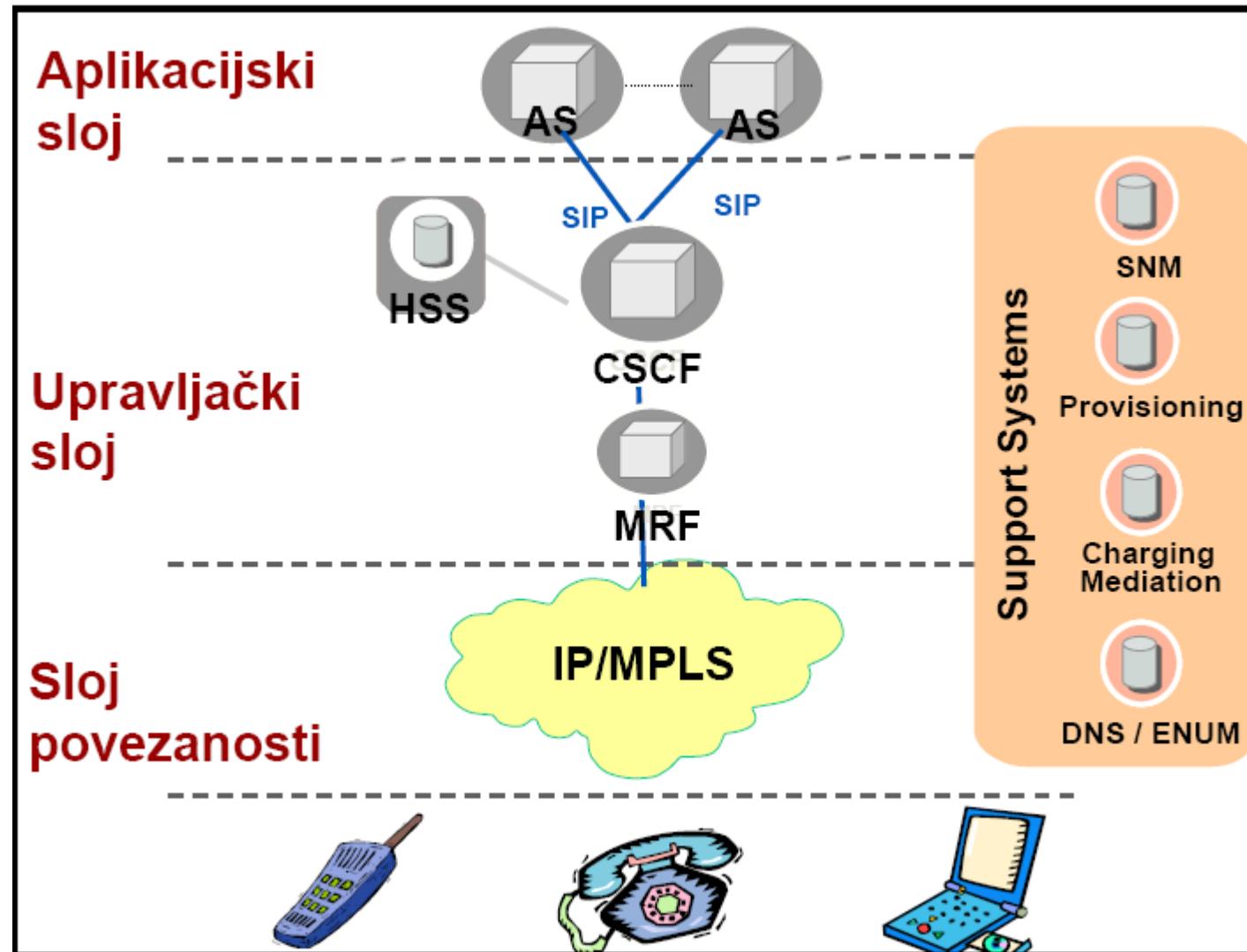
Internetski višemedijski sustav

- Omogućuje preusmjeravanje prometa
 - Komutacija kanala – Internet
 - Komutacija paketa – PSTN, ISDN
 - Integracija pokretnih telekomunikacija s Internetom
 - Pružanje usluga u stvarnom vremenu
 - Višemedijske sjednice između više korisnika
- SIP (*Session Initiation Protocol*)
 - Upravlja višemedijskim pozivima

Arhitektura IMS-a u mreži UMTS



Arhitektura IMS-a (1)



Arhitektura IMS-a (2)

- Aplikacijski sloj
 - Odvaja sadržaj i usluge od povezivanja i pristupa
- Upravljački sloj
 - Zajednička IP temeljna struktura
- Sloj povezanosti
 - Veze prema različitim pristupnim mrežama

Sloj povezanosti

- UE se može povezati na IMS putem različitih pristupnih mreža
 - Temelji se na IP protokolu
 - Pokretni RAN
 - WiMAX/WiFi
 - Fixed-Line BAN
 - Podrška za povezivanje preko pristupnika
 - PSTN
 - SIP, H.323
 - VoIP sustavi koji nisu kompatibilni s IMS

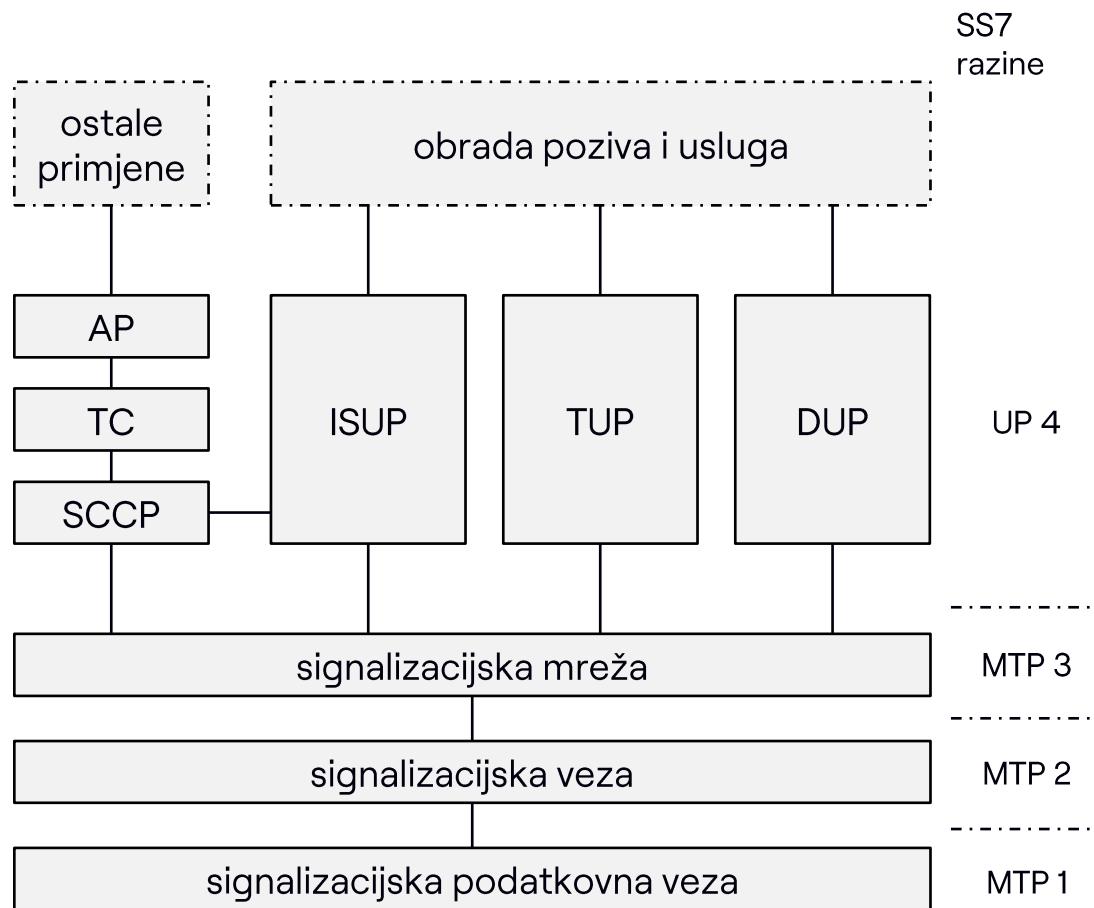
Signalizacija u mreži

- Da bi se uspostavila, održavala i prekinula veza za potrebe **korisničkog informacijskog toka**, potreban je dodatni, **upravljački informacijski tok** kojim se izmjenjuju informacije o adresama korisnika (pozivni broj), stanju korisnika (slobodan/zauzet, dostupan/nedostupan), dijelovima mreže koji sudjeluju u vezi i sl.
- Upravljačku ili signalizacijsku informaciju većim dijelom stvaraju i rabe sustavi u mreži, a pravila izmjene upravljačke informacije opisana su **signalizacijskim protokolima**.

Signalizacija u mreži s komutacijom kanala

- Sustav signalizacije zajedničkim kanalom SS7
 - Javna fiksna nepokretna mreža (PSTN)
 - Javna pokretna mreža (GSM)
- Prvenstveno kod prijenosa govora
 - telefonski pozivi,
 - telekonferencija...

Sustav signalizacije zajedničkim kanalom



Dio za prijenos poruka

(Message Transfer Part, MTP)

Korisnički dio

(User Part, UP)

Aplikacijski dio

(Application Part, AP)

Transakcijske mogućnosti

(Transaction Capabilities, TC)

Kontrolni dio za signalizacijske veze

(Signaling Connection Control Part, SCCP)

ITU: *Signalling System No. 7, SS7*

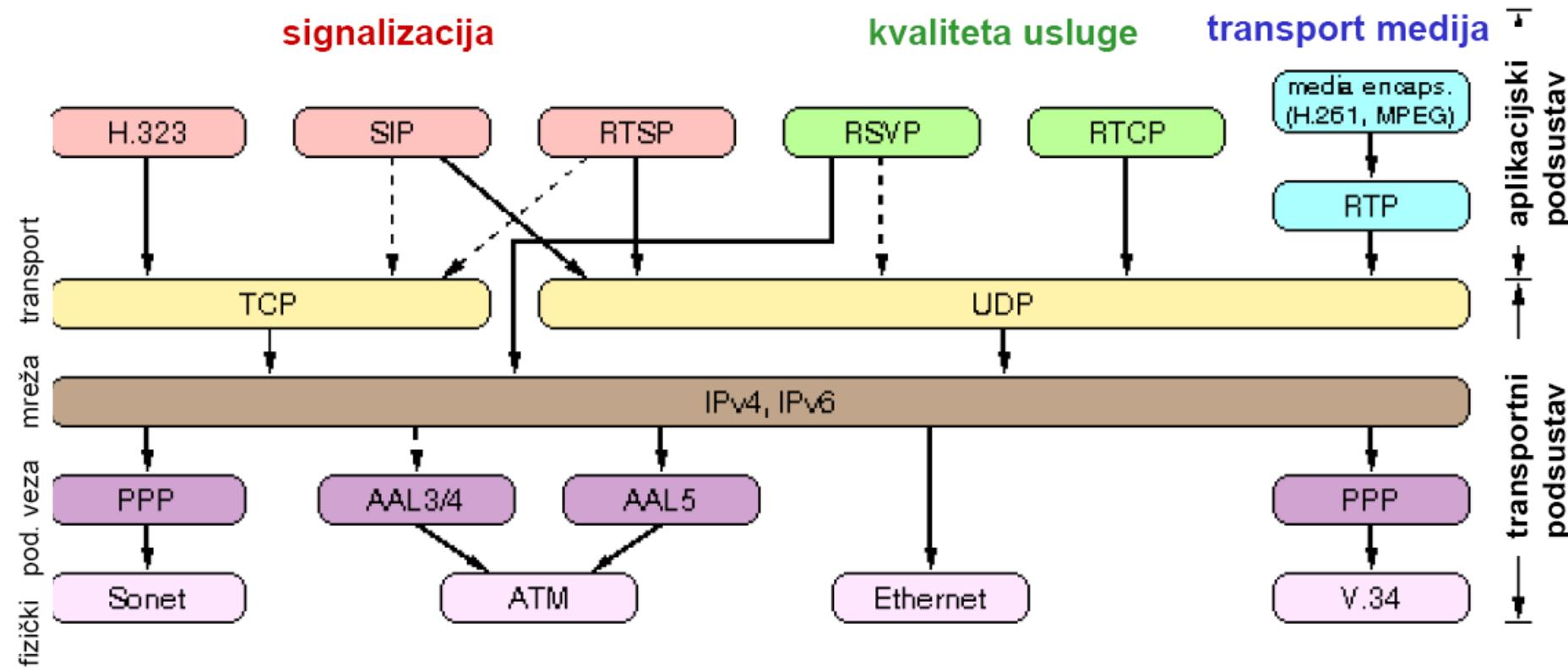
Signalizacija u mreži s komutacijom paketa

- Internetska mreža IP
- **Kako ostvariti “kvalitetan” telefonski poziv Internetom?**
 - internetsku telefoniju VoIP (Voice over IP, IP telefonija),
 - višemedijsku konferenciju...?
- **Primjenom signalacijskog protokola u Internetu (na aplikacijskom sloju)**
ili/i
- **Korištenjem/prijenosom postojećeg signalacijskog protokola Internetom (SIG over IP)**

Signalizacijski protokoli u Internetu

- **Signalizacijski protokoli u Internetu**
 - **SIP (Session Initiation Protocol)**
 - H.323
 - MGCP (Media Gateway Control Protocol)
 - TRIP ...
- **Prijenos signalizacijskog protokola Internetom**
 - **SIGTRAN**
 - Prijenos signalizacije SS7 mrežom IP (SS7 over IP)
 - BICC (Bearer Independent Control Call)
 - Prijenos signalizacije SS7 ISUP paketskom mrežom

Protokol SIP u protokolnom složaju



Oznake:

RTP – Real-time Transport Protocol
 RTCP – RTP Control Protocol
 RTSP – Real Time Streaming Protocol
 RSVP – Resource Reservation Protocol

SDP – Session Description Protocol
 TCP – Transmission Control Protocol
 UDP – User Datagram Protocol
 IP – Internet Protocol

PPP – Point-to-Point Protocol
 ATM – Asynchronous Transfer Mode
 AAL – ATM Adaptation Layer

Izvor: <http://www.cs.columbia.edu/~hgs/internet/>

Glavne značajke protokola SIP

- Protokol za uspostavu sjednice, SIP
- RFC 3261: Session Initiation Protocol
- Protokol aplikacijskog sloja koji služi za pokretanje, promjenu i raskid sjednice s jednim ili više sudionika
 - Pronalazi korisnika u mreži radi uključivanja u sjednicu
 - Razmjenjuje podatke/parametre o sjednici (pregovara o sjednici)
 - Upravlja sudionicima u sjednici - upućuje poziv korisniku za sudjelovanje u sjednici, raskida sjednicu s korisnikom
 - Mijenja parametre sjednice u toku sjednice

Uloga protokola SIP

- Osnovna ideja: omogućiti pozivanje korisnika u sjednicu putem jedinstvene adrese (**neovisno o trenutnom položaju**)

[sip:]<user>@(<host>|<domain>)

npr: kp-gj@zavod.tel.fer.hr

- Omogućava **osobnu pokretljivost** korisnika
- Primjeri sjednica
 - Pozivi u internetskoj telefoniji
 - Distribucija višemedijskog sadržaja
 - Višemedijska konferencija

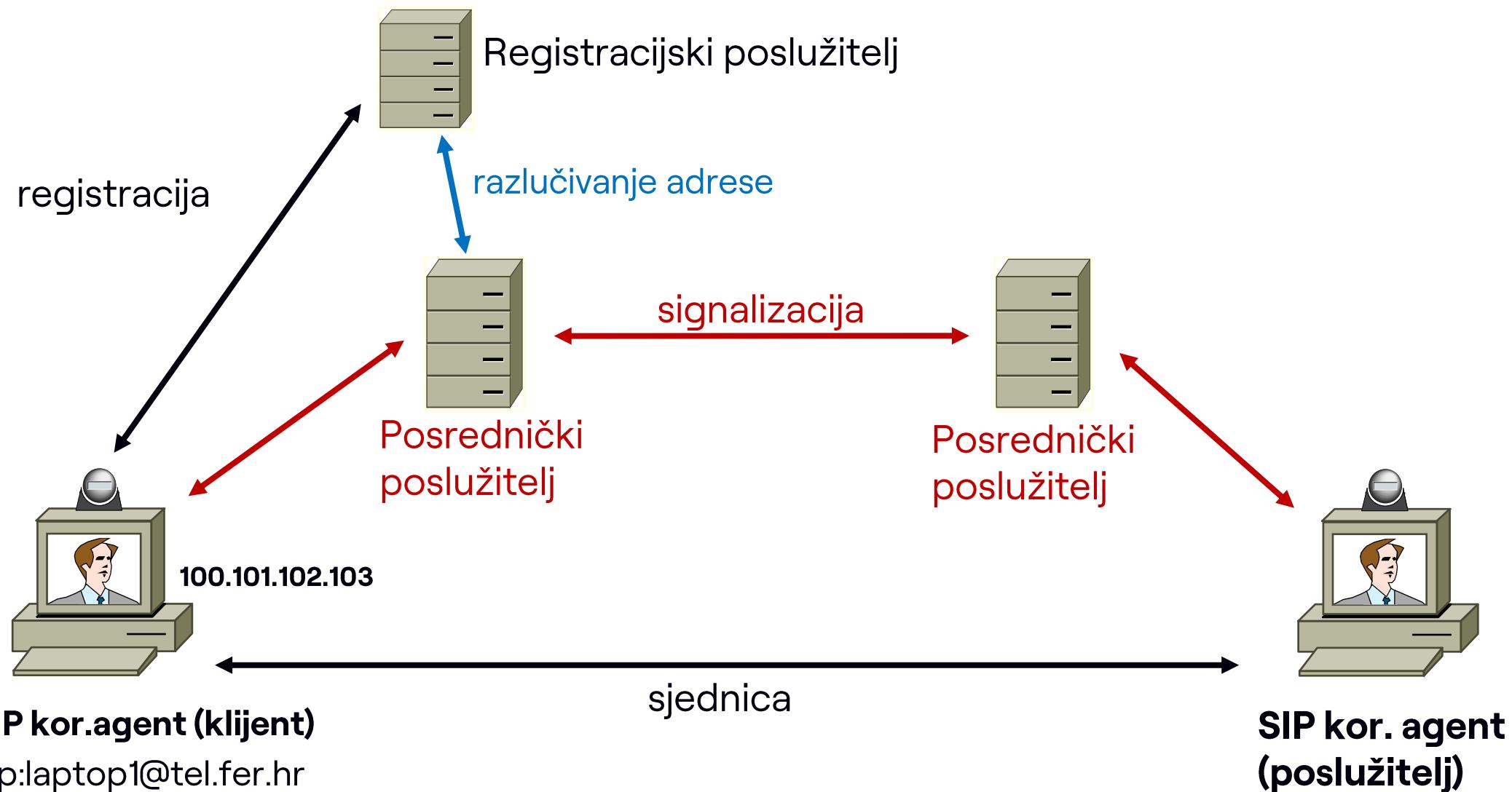
SIP arhitektura (1)

- SIP koristi posredničke poslužitelje (*proxy*) za preusmjeravanje poziva prema trenutnom položaju pozvane osobe
- Entiteti:
 - **Korisnički agent** (*user agent – UA*)
 - UA klijent, UA poslužitelj
 - **Posrednički poslužitelj**
 - SIP usmjeritelj
 - Prima SIP poruke od korisničkog agenta ili drugog posredničkog poslužitelja
 - Usmjerava ih i prosljeđuje odredištu

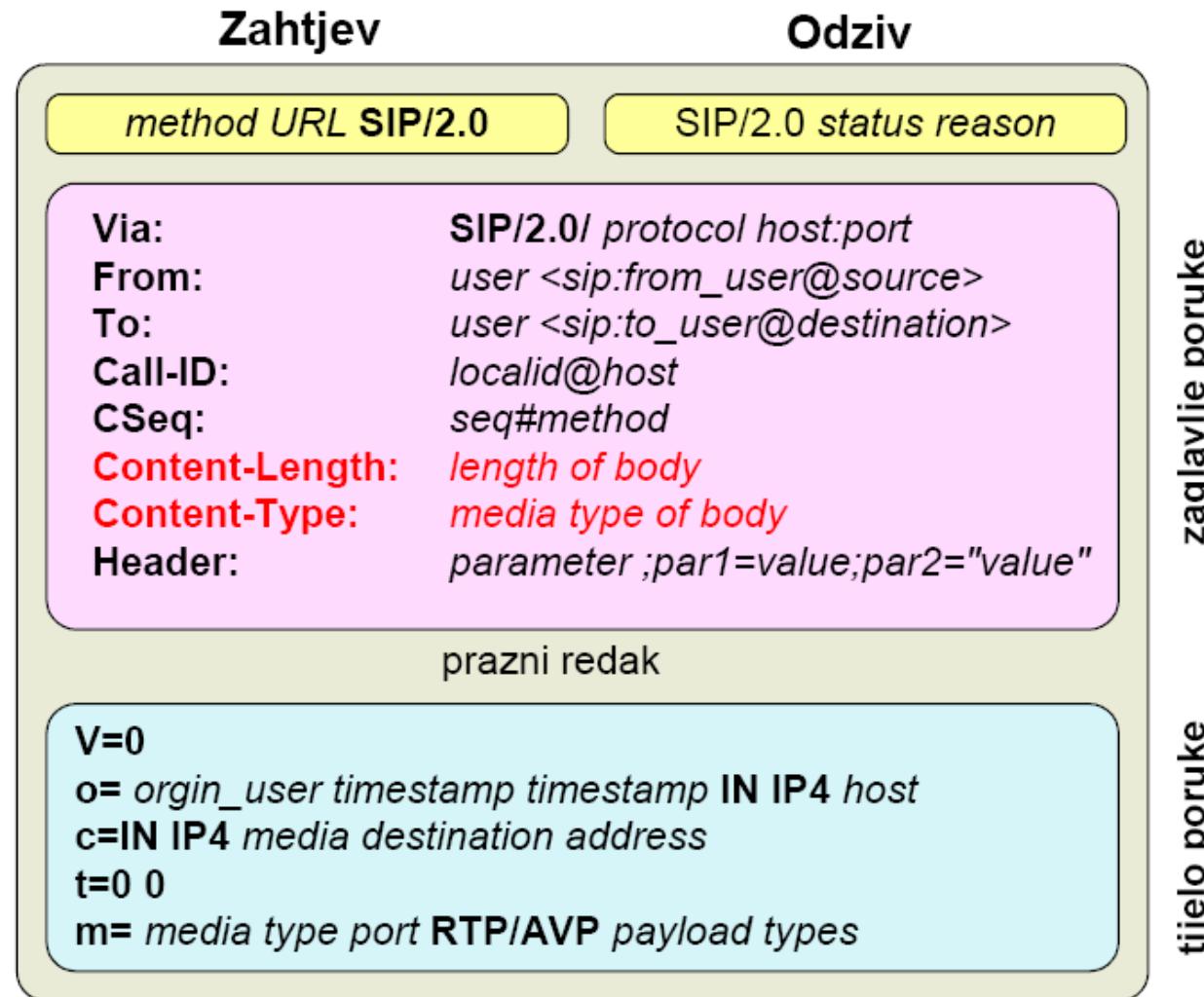
SIP arhitektura (2)

- **Poslužitelj za preusmjeravanje** (*redirect server*)
 - Prihvata zahtjeve za uspostavom sjednice
 - Ne prosljeđuje zahtjeve nego samo vraća adresu odgovarajućeg poslužitelja
- **Registracijski poslužitelj** (*registrar*)
 - Registrira korisnike unutar domene
 - Prihvata zahtjeve za registracijom
 - Održava podatke o korisnicima i njihovim trenutnim lokacijama unutar domene
- **Lokacijski poslužitelj**

SIP arhitektura (3)



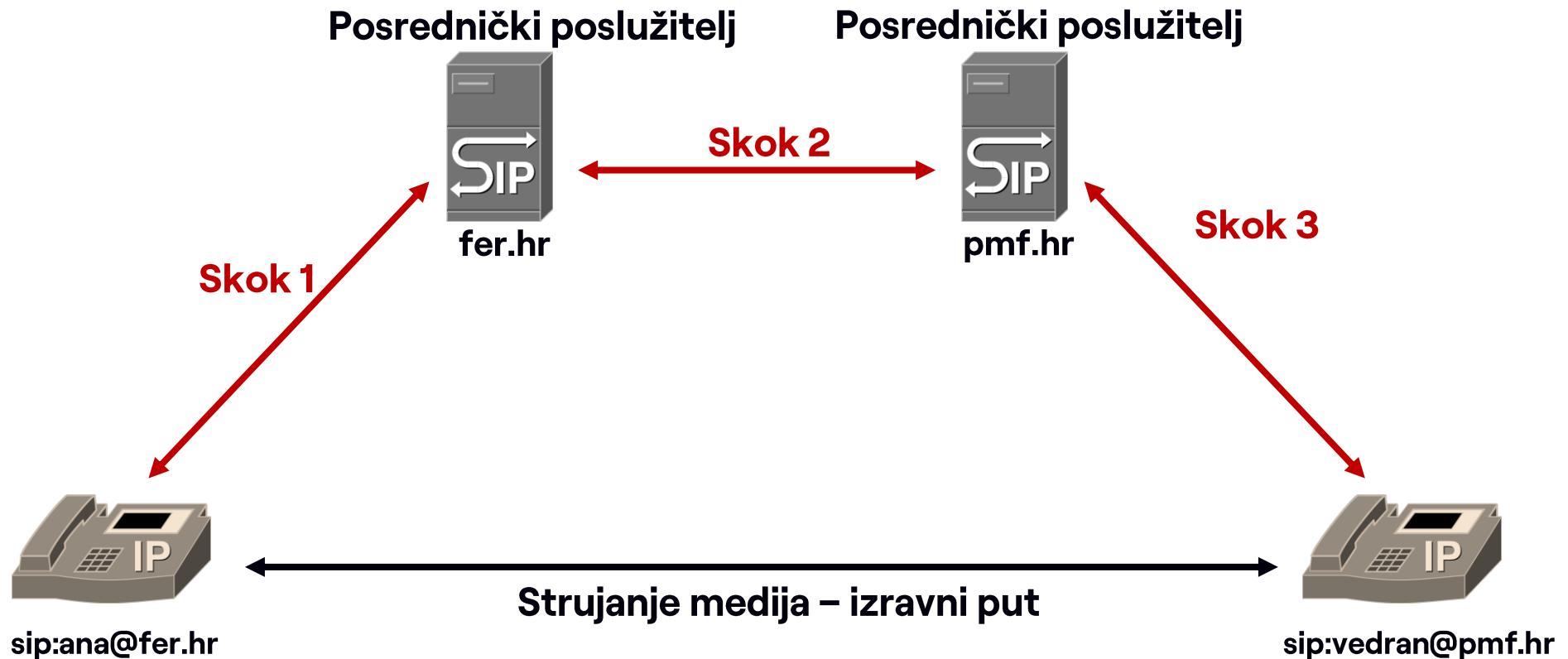
Format poruke



Uspostava sjednice

- Izravno
- Preko posredničkog(ih) poslužitelja

↔ upravljanje sjednicom (TCP/UDP)
↔ medij/podaci (RTP preko UDP)



Prijenos signalizacije mrežom IP

Protokoli:

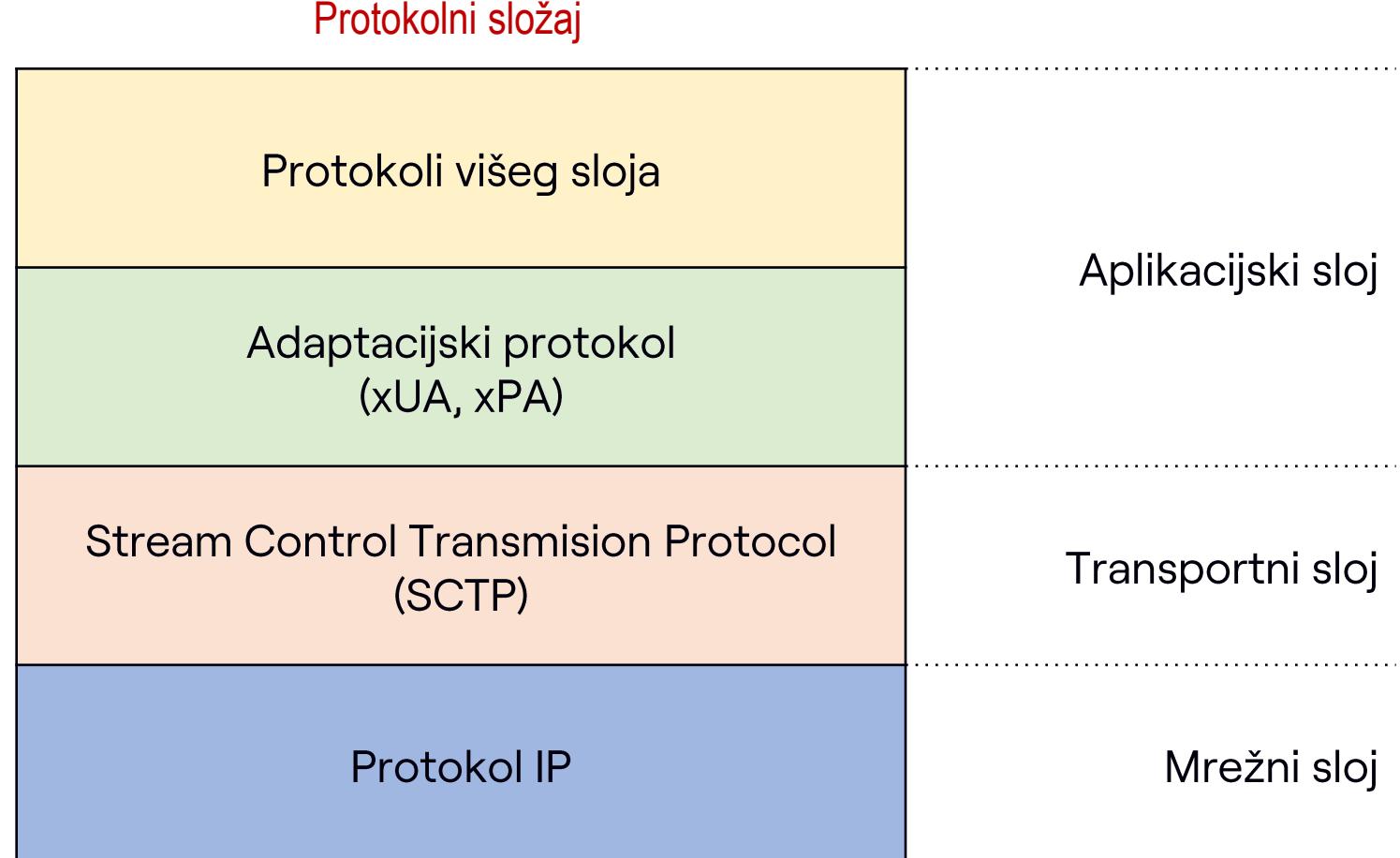
- SIGTRAN
 - SCTP (Stream Control Transmission Protocol)
 - MGCP (Media Gateway Control Protocol)
 - BICC (Bearer Independent Control Protocol)
 - IAX (Inter-Asterisk eXchange Protocol)
 - TRIP (Telephone Routing over IP)

SIGTRAN

Signaling Transport , SIGTRAN

- Skup protokola koji omogućavaju prijenos signalizacije **SS7 preko mreže IP**
- IETF, RFC 2719, arhitektura
- Tri komponente
 - Protokol za adaptaciju
 - Podržava specifične SS7 protokole
 - M2UA, M2PA, M3PA, SUA, IUA
 - **Stream Control Transmission Protocol (SCTP)**
 - Podržava skup pouzdanih prijenosnih funkcija za prijenos signalizacije
 - Internetski protokol IP

SIGTRAN protokolni složaj



Protokol SCTP

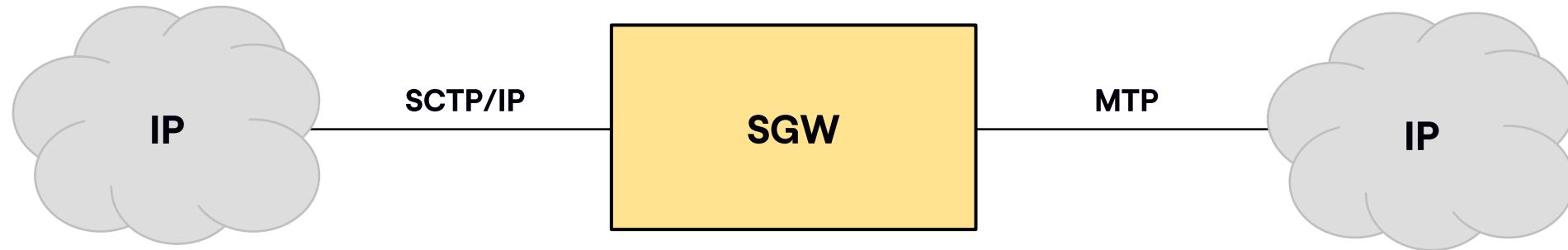
Stream Control Transmission Protocol, SCTP

- Internetski protokol transportnog sloja, sličan protokolu TCP
 - RFC 4960, STD-1
- spojno-orientirani pouzdani protokol
 - pruža spojnu uslugu transporta struje okteta povrh nespojnog IP-a
 - uspostavlja logičku vezu između procesa na krajnjim računalima
 - osigurava pouzdan transport s kraja na kraj pomoću mehanizama potvrde i retransmisije, uz očuvani redoslijed struje okteta i upravljanje transportnom vezom, kontrola zagušenja
- **Poboljšanja u odnosu na TCP**
 - Podržava veliki broj sjednica (engl. *high fun-out*)
 - Brzo otkrivanje pogrešaka uz kontrolu zagušenja

Konverzija protokola SS7/IP

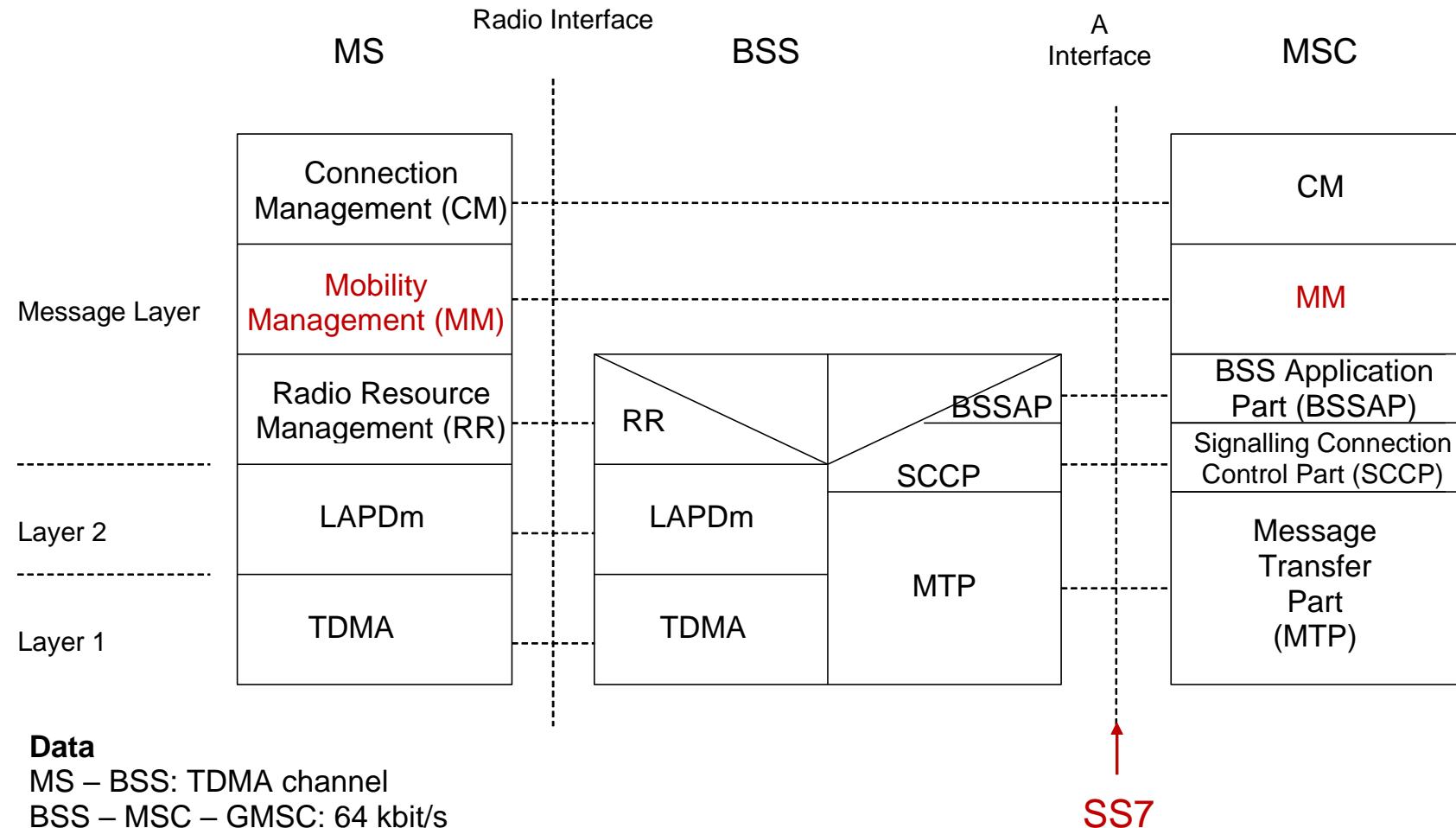
Signaling Gateway, SGW

- Omogućuje prijenos signalizacije SS7 kroz mrežu IP odnosno vrši konverziju protokola na transportnom sloju za prijenos signalizacije (u oba smjera) između SS7 i mreže IP

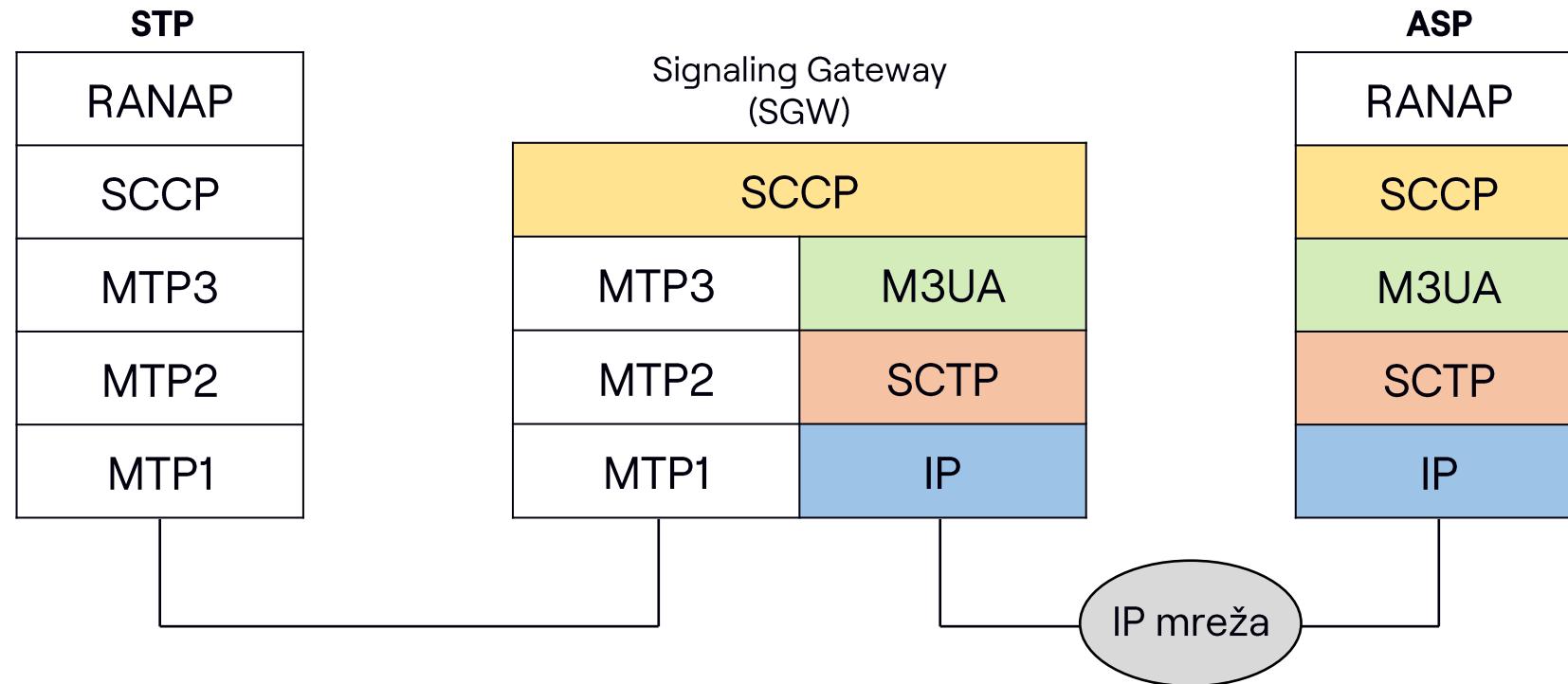


SGW - Signaling Gateway

Primjer: prijenos protokola GSM mrežom IP



Primjer: prijenos GSM protokola mrežom IP



STP – SS7 Signaling Transfer Point (npr. MSC)

ASP – Application Server Process – MGC, IP SCP ili IP HLR

Protokol MGCP

Media Gateway Control Protocol, MGCP

- Tri naziva i standarda:
 - Media Gateway Control Protocol, MGCP – RFC 3435
 - MEGACO – Media Gateway Control Protocol (IETF) – RFC 3235
 - H.248 (ITU-T)
- Signalizacijski protokol za upravljanje čvorovima za prijenos podataka (Media Gateway, MGW) u paketskim mrežama (IP) i mrežama s komutacijom kanala (PSTN)
- Upravljanje PSTN pozivima preko mreže IP (PSTN over IP)
- Koristi protokol RTP/RTCP te protokol UDP na transportnom sloju

Protokoli BICC i IAX

Bearer Independent Control Protocol, BICC

- Proširenje signalizacije SS7 ISUP za uspostavu poziva u paketskim mrežama

Inter-Asterisk eXchange Protocol, IAX

- Signalizacijski protokol za uspostavljanje, održavanje i raskidanje višemedijskih sjednica te strujanje medija putem internetske mreže (RFC 4546)
 - Prvenstveno služi za upravljanje i prijenosom podataka kod telefonskih poziva mrežom IP (VoIP)
 - Koristi protokol UDP na transportnom sloju, vrata 4569, ne koristi protokol RTP za prijenos podataka

Četvrta generacija pokretnih mreža

Long Term Evolution (LTE)
Evoluirana paketska jezgrena mreža

Četvrta generacija pokretnih mreža (4G)

Long Term Evolution, LTE

- 3GPP Release 8 (2008. g.)
- Velike brzine prijenosa: od 100 do 300 Mbit/s
- Potpuna IP arhitektura
- Smanjenje vremena čekanja (kašnjenja)
- Bolja iskoristivost i učinkovitost frekvencijskog spektra
- Smanjenje potrošnje u terminalima
- Pojednostavljena arhitektura
- FDD i TDD, WCDMA
- OFDMA

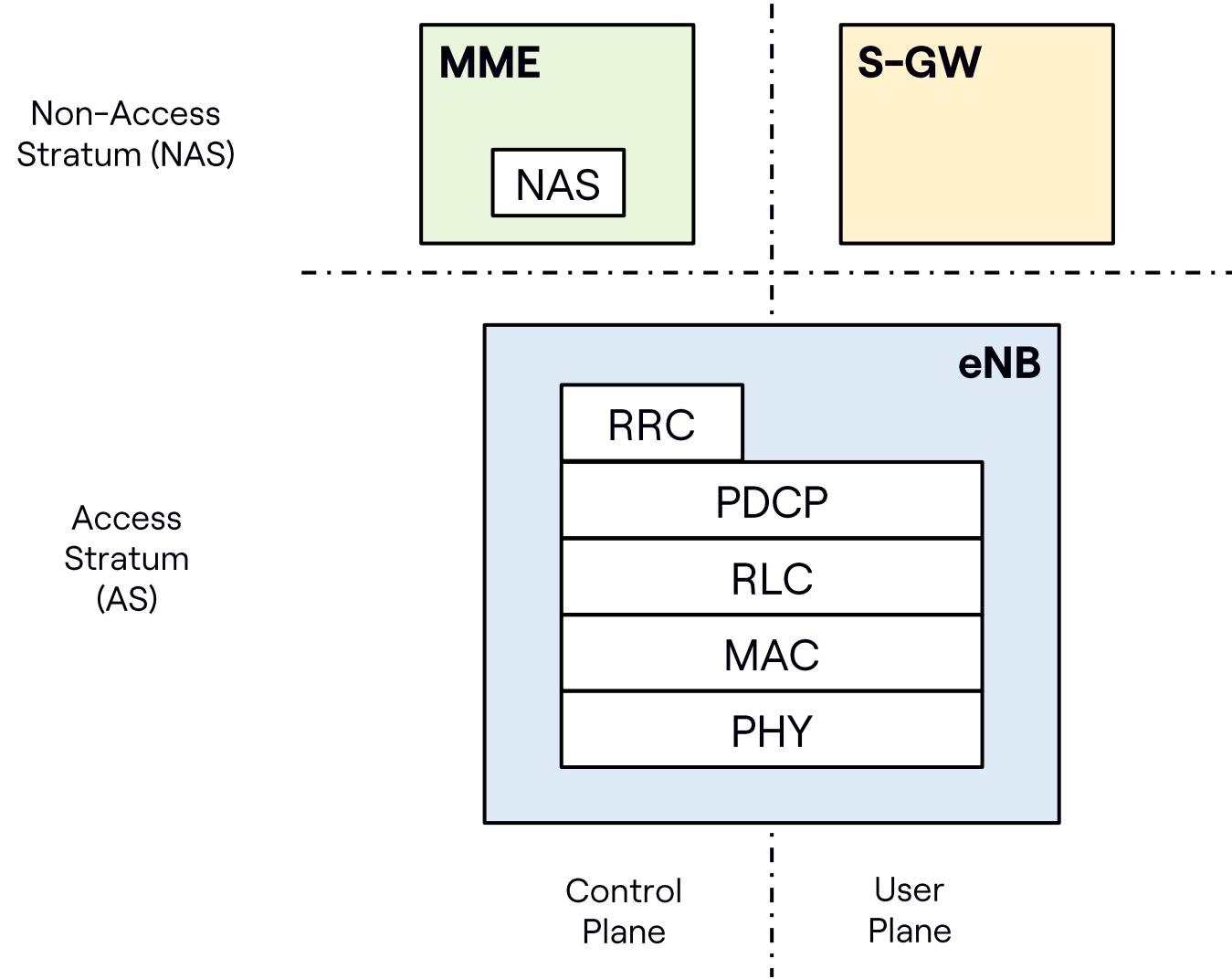
E-UTRAN

- Uključuje samo čvorove eNodeB (eNB)
 - Upravljanje čelijama
 - Upravljanje pokretljivošću, prekapčanje
 - Šifiranje
 - Upravljanje dijeljenim kanalom (protokol MAC)
 - segmentiranje i spajanje (protokol RLC)
 - Retransmisija (protokol HARQ)
 - Raspoređivanje korisnika za kanal (uz podršku QoS)
 - OFDM modulacija, kodiranje
 - Upravljanje radijskim resursima (protokol RRM)
 - Nadzor radijske mreže

Zračno sučelje

- OFDM (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) – višestruki pristup ortogonalnim multipleksiranjem u frekvencijskoj podjeli za silaznu vezu
- SC-FDMA (engl. *Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) – višestruki pristup u frekvencijskoj podjeli na jednom nosiocu za uzlaznu vezu
- MIMO (engl. *Multiple Input Multiple Output*) - velike brzine prijenosa pomoću višeantenskih rješenja koje podržavaju višestruki ulaz – višestruki izlaz
- Prikladnost za neusmjereni ili grupno razašiljanje
- Modulacije: QPSK, 16QAM i 64QAM

Protokoli korisničke i upravljačke ravnine



Ne-pristupni stratum

Non-Access Stratum (NAS)

- Upravljanje sjednicom/vezom između terminala UE i jezgrene mreže
- Registracija
- Autentifikacija
- Upravljanje lokacijskom informacijom
- Aktivacija/deaktivacija radijskog nosioca

Upravljanje radijskim resursima

Radio Resource Control (RRC)

- Uspostava, održavanje i raskidanje radijske veze
- Sigurnost
- Pokretljivost
- Upravljanje kvalitetom usluge (QoS)
- Izvještavanje o mjeranjima na radijskom sučelju (UE)
- Prijenos podataka između UE i NAS
- Informacije o razašiljanje

Protokol PDCP

Packet Data Convergence Protocol (PDCP)

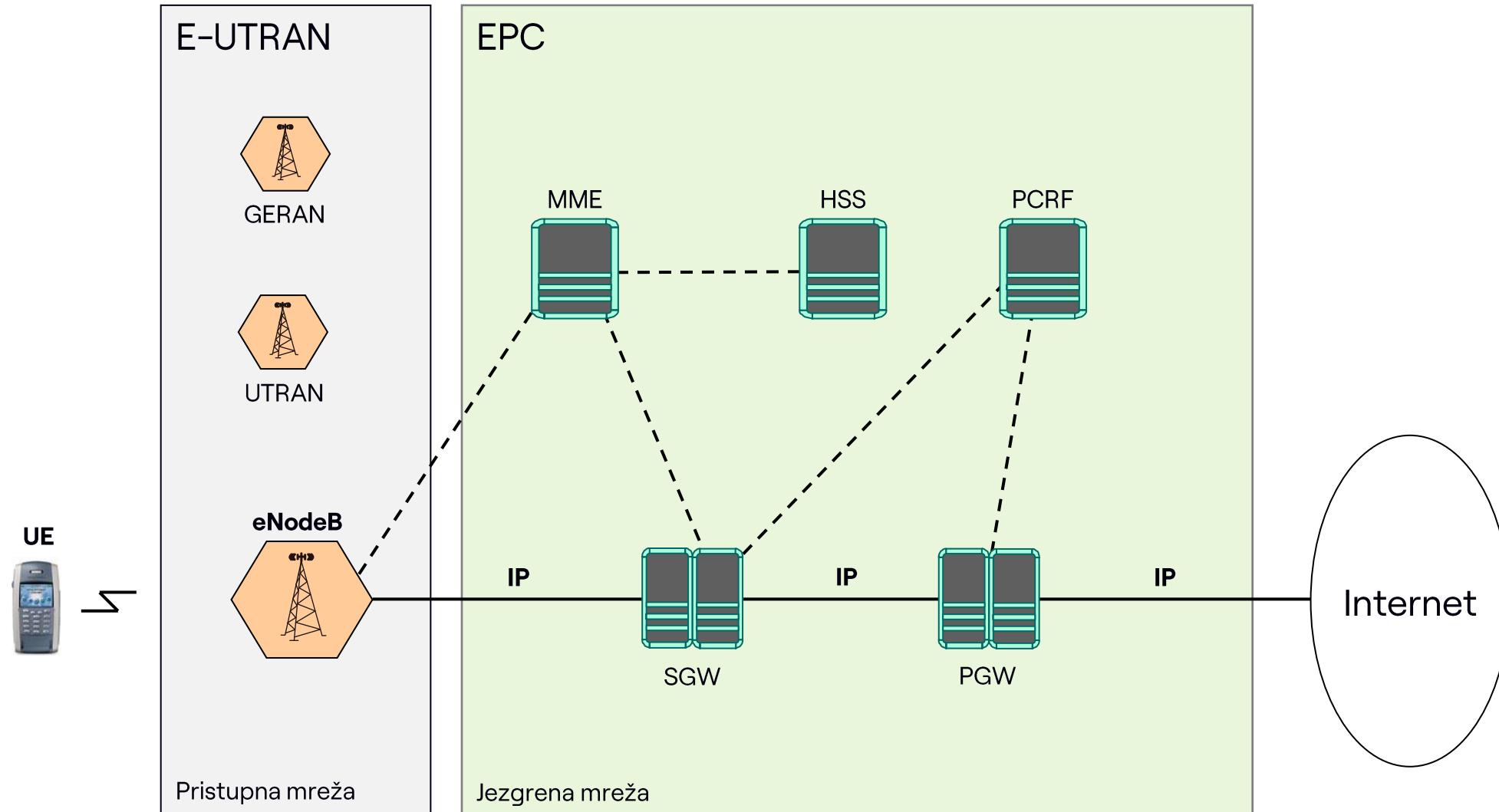
- Kompresija
- Šifriranje
- Kontrola toka PDCP-paketa
 - Retransmisija
 - Potvrda
 - Detekcija duplih PDCP-paketa

Kontrola radijske veze

Radio Link Control (RLC)

- Ispravljanje pogrešaka metodom ARQ
- Dijeljenje podataka na veličinu radijskih transportnih blokova i spajanje segmenata u slučaju potrebe za retransmisijom
- Upravljanje pristupom, MAC (Medium Access) Control
 - Multipleksiranje/demultipleksiranje RLC blokova
 - Ispavljanje pogrešaka metodom HARQ (Hybrid ARQ)

Arhitektura EPS



Jezgrena mreža EPC-SAE

Evolved Packet Core, EPC System Architecture Evolution, SAE

- Podržava pristupnu mrežu E-UTRAN uz smanjenje broja mrežnih elemenata
- Pojednostavljenje funkcionalnosti
- Smanjenje kašnjenja
- Mogućnost povezivanja i prekapčanja (engl. *handover*) s fiksnim i ostalim bežičnim pristupnim tehnologijama.
- LTE i SAE zajedno čine evoluirani paketski sustav (engl. *Evolved Packet System, EPS*) koji predstavlja četvrtu generaciju pokretnih mreža (4G) i u potpunosti se temelji na protokolu IP.

Upravljački čvor

Entitet upravljanja pokretljivošću (engl. *Mobility Management Entity*, MME)

- Temeljni čvor jezgrene mreže
- Brine o signalacijskim porukama koje se izmjenjuju između UE i čvorova jezgrene mreže
- Nadležan je za velik broj čvorova eNodeB pristupnog dijela mreže
- Osnovne funkcionalnosti: sigurnost, autentifikacija, prekapčanje poziva, dodjela mrežnih resursa, upravljanje pristupom, sjednicom i vezom te upravljanje lokacijom terminala u mirovanju.

Čvorovi prilaza

- **Uslužni prilazni čvor** (engl. Serving Gateway, S-GW) i
- **Paketski mrežni prilazni čvor** (engl. Packet-Data Network Gateway, PDN GW ili skraćeno P-GW).
- **Paketski mrežni prilazni čvor P-GW**
 - usmjerava podatke od jezgrenog dijela mreže prema ostalim paketskim mrežama,
 - predstavlja krajnju točku pokretne mreže te ostvaruje vezu s ostalim mrežama,
 - odgovoran za dodjelu IP-adrese korisničkim uređajima, naplatu te za pružanje usluga s određenom kvalitetom (QoS).

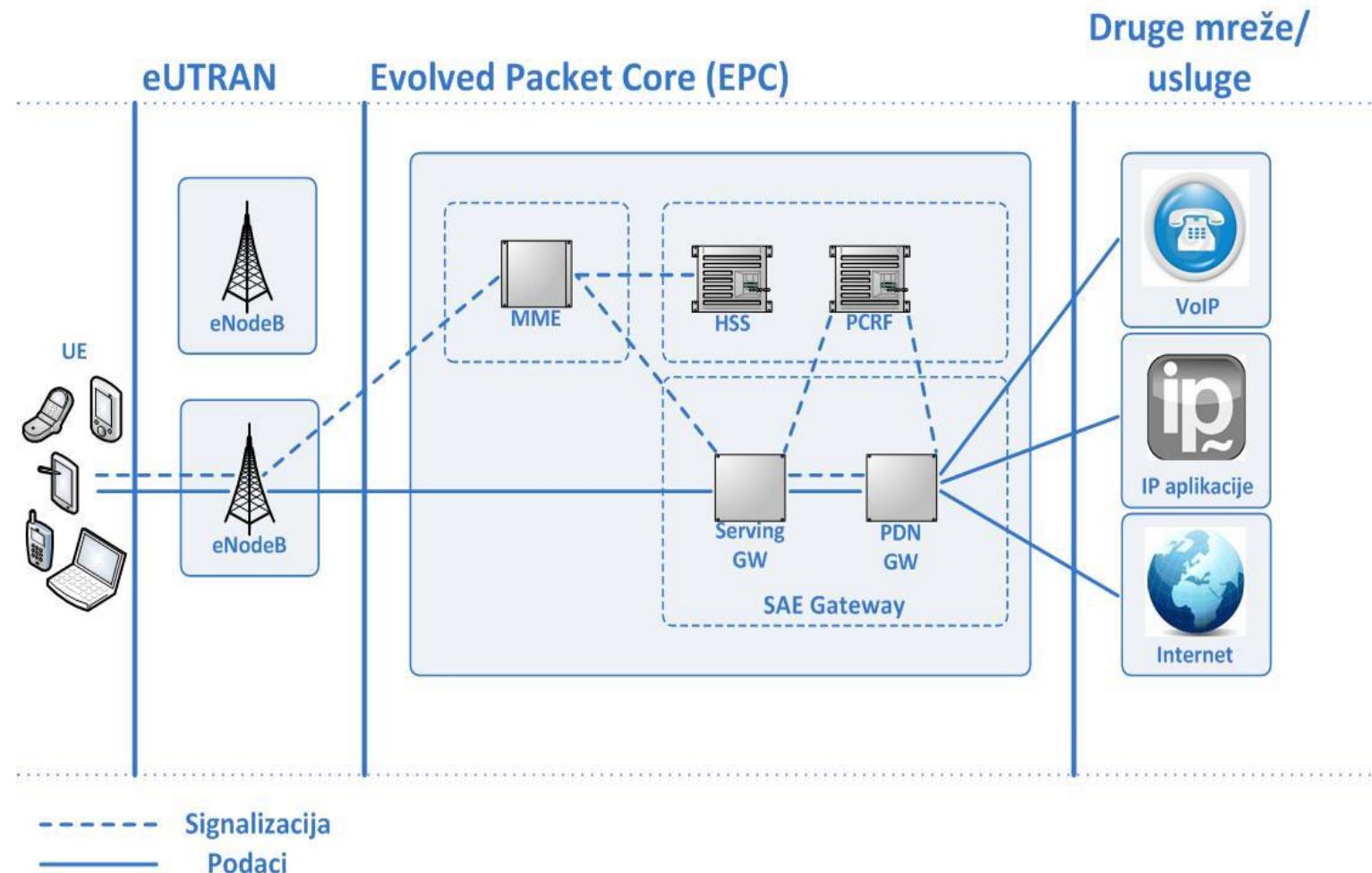
Uslužni prilaz

- **Uslužni prilazni čvor S-GW**
 - tunelira podatke prema P-GW
 - prati kretanje korisničkog terminala između čvorova eNodeB pristupne mreže
 - sadrži ostale funkcije za upravljanje pokretljivošću
 - brine o uspostavi veze s korisnicima drugih mreža kao što su GPRS i UMTS

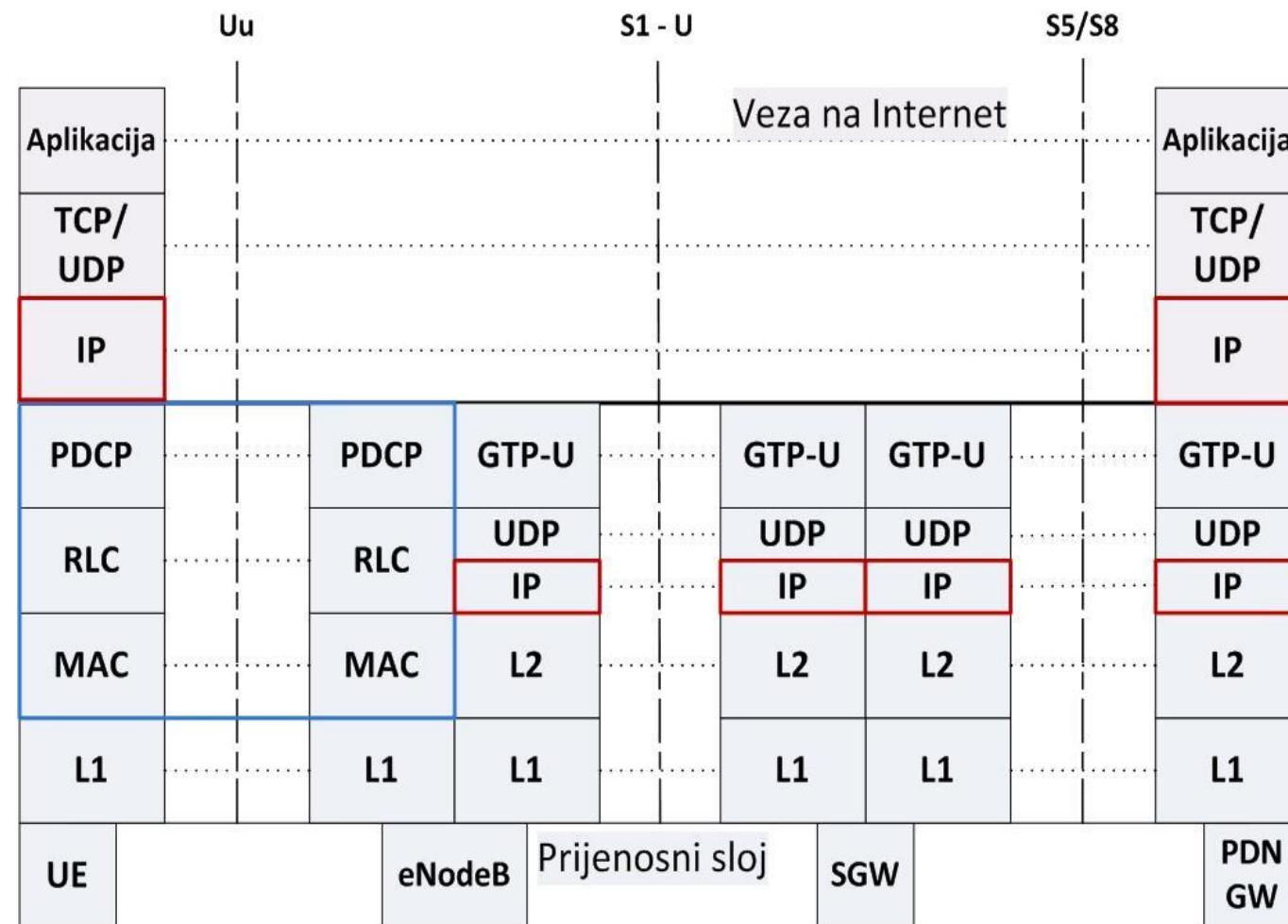
Ostali čvorovi jezgrene mreže

- **Poslužitelj domaćih pretplatnika** (HSS)
 - predstavlja bazu podataka koja sadrži podatke o pretplatnicima, njihovim profilima, uslugama, ograničenjima i ostalim parametrima bitnim za pružanje usluga
- **Čvor za upravljanje resursima i terećenjem** (engl. *Policy Control and Charging Rules Function*, PCRF)
 - terećenje, autorizacija, pružanje usluge s obzirom na pretplatnički profil, provođenje pravila operatora i sl.

Napredni LTE (LTE-A)



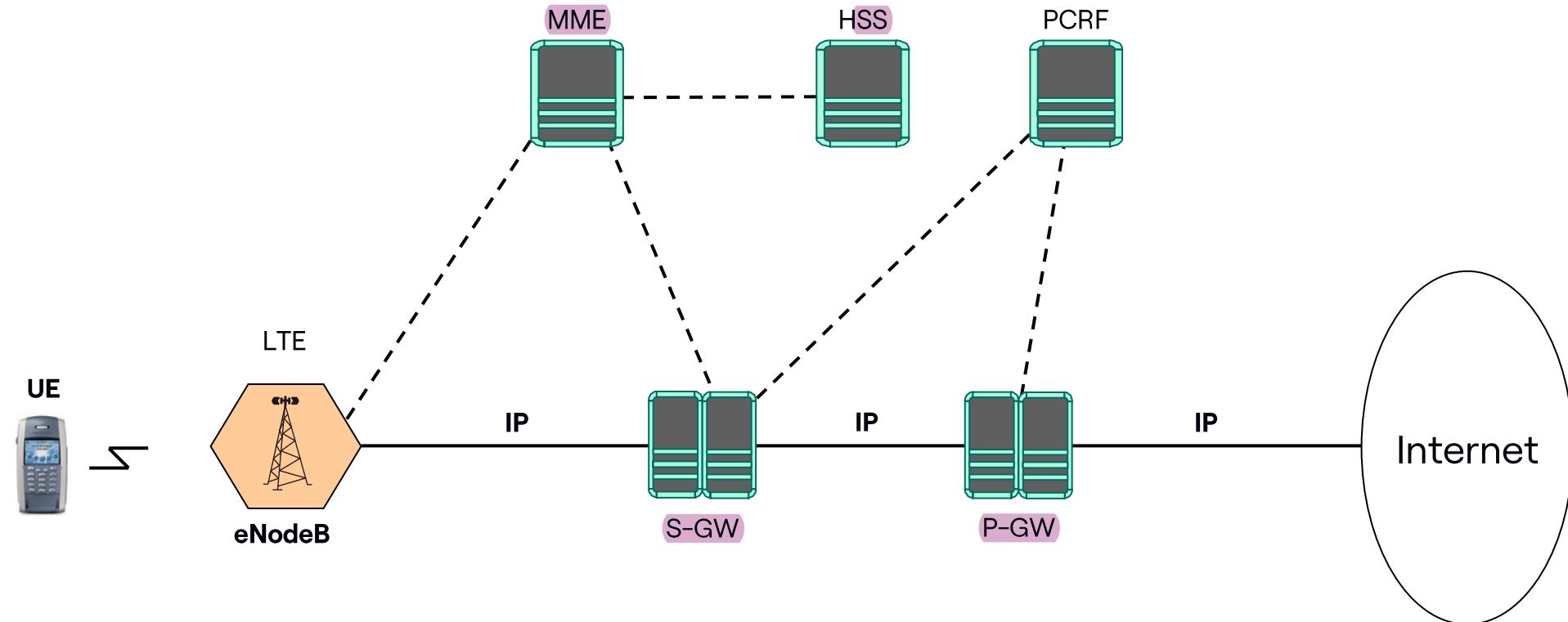
Korisnički protokolni složaj



Pristup Internetu putem LTE/SAE

- U osnovi isto kao i kod mreže UMTS
- Prilikom uključivanja UE u mrežu, čvor MME kreira UE-kontekst u kojem su zapisane karakteristike veze i mogućnosti korisničkog terminala dobivene na temelju korisničkog profila preuzetog iz HSS-a
- Kreiranjem konteksta, korisničkom terminalu je dodijeljena IP-adresa
- Uspostavom veze na relaciji UE i P-GW, omogućen je pristup Internetu za ostvarivanje pokretnih internetskih usluga

Pristup Internetu putem LTE/SAE (2)



Prijenos govora mrežom 4G

Voice over LTE (VoLTE)

- Prijenos govora putem pokretne mreže temeljenoj na IP protokolu - VoIP (Voice over IP)
- Arhitektura se temelji na višemedijskom sustavu IP (IMS – IP Multimedia Subsystem)
- **Problem:** veliki broj signalizacijskih poruka kod prijenosa govora

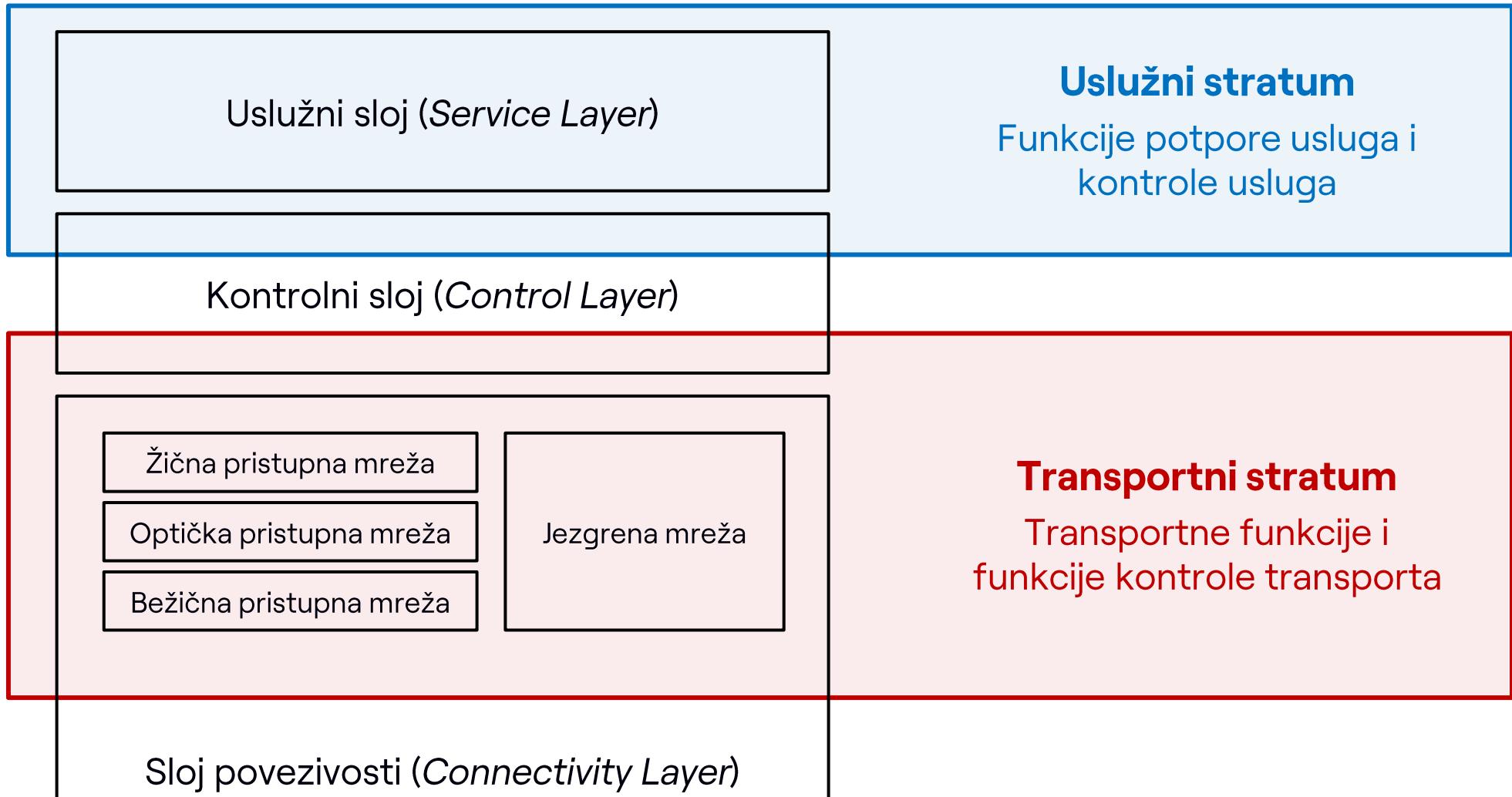
Mreža sljedeće generacije (NGN)

Mreža sljedeće generacije

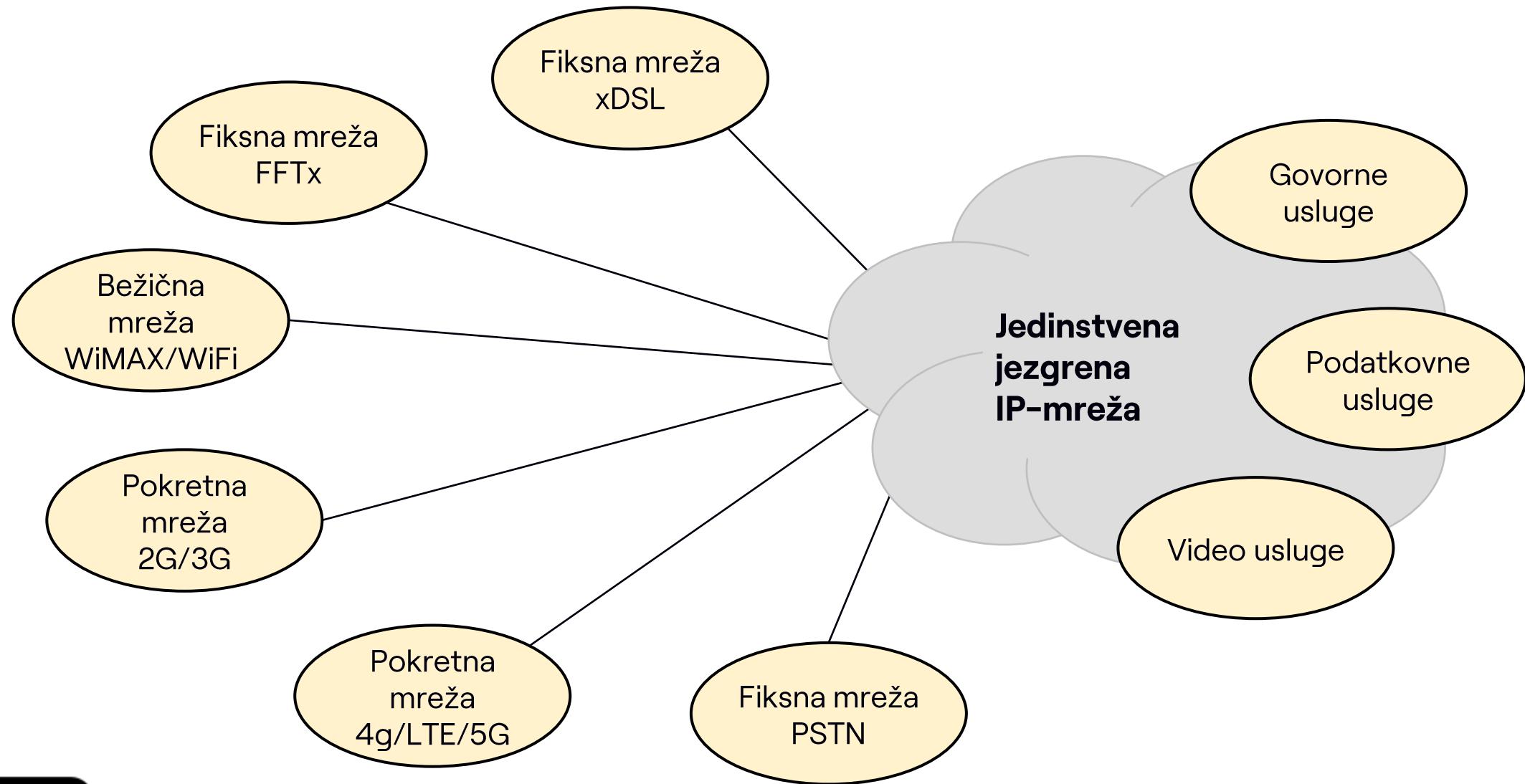
Next Generation Network, NGN

- Paketski zasnovana mreža koja omogućuje uporabu višestrukih širokopojasnih tehnologija s potporom za kvalitetom usluge u kojoj su uslužne funkcije neovisne o transportnim tehnologijama. → IP-mreža
- Omogućuje nesputani korisnički pristup mrežama i konkurentskeim davateljima usluga. → žična, bežična i optička pristupna mreža
- Podržava neograničenu pokretljivost koja omogućuje konzistentno i sveprisutno pružanje usluga. → stacionarno, nomadsko i pokretno komuniciranje

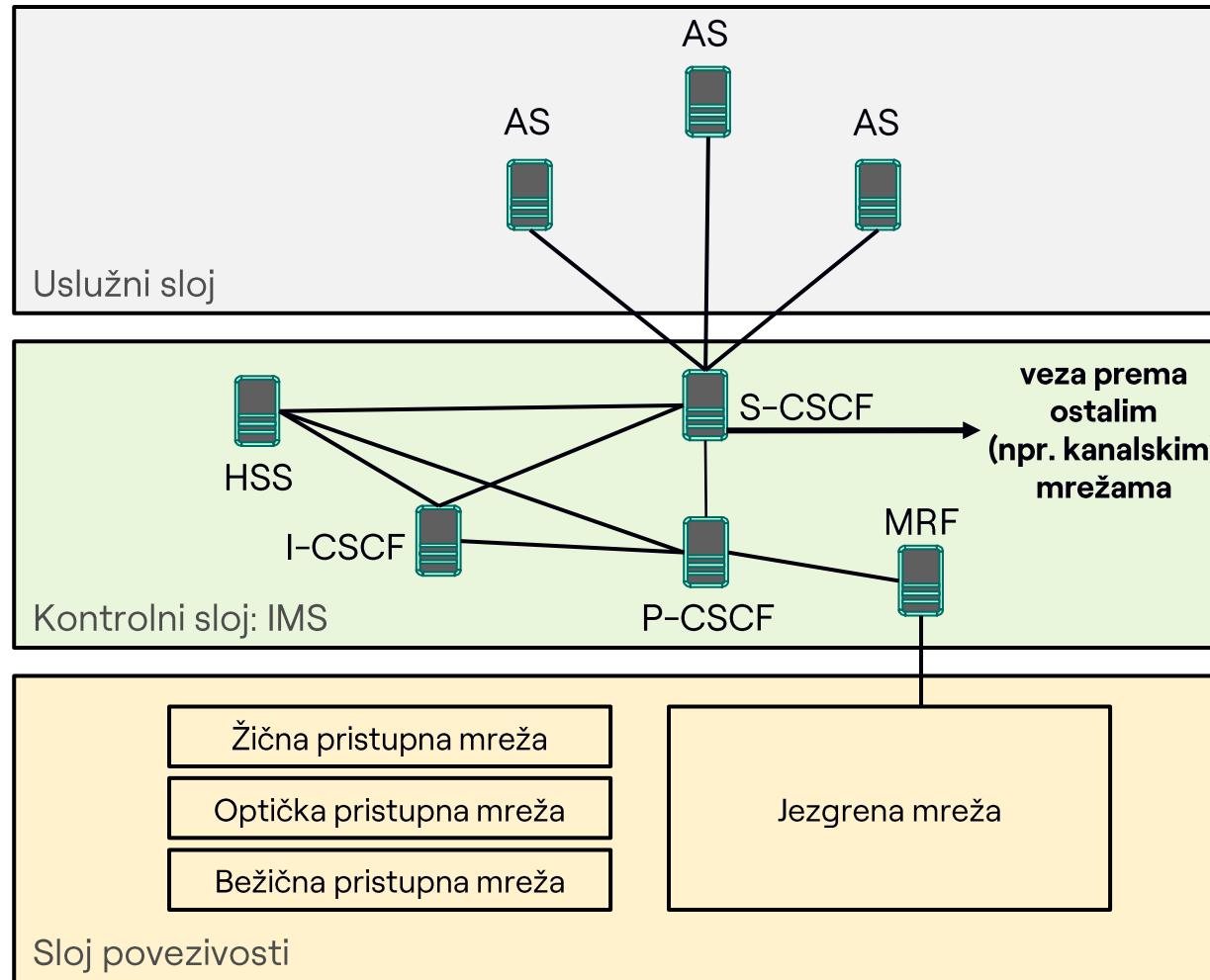
Arhitektura mreže NGN



Pristupni i jezgreni dio mreže NGN



Transformacija u NGN: uvođenje IMS-a

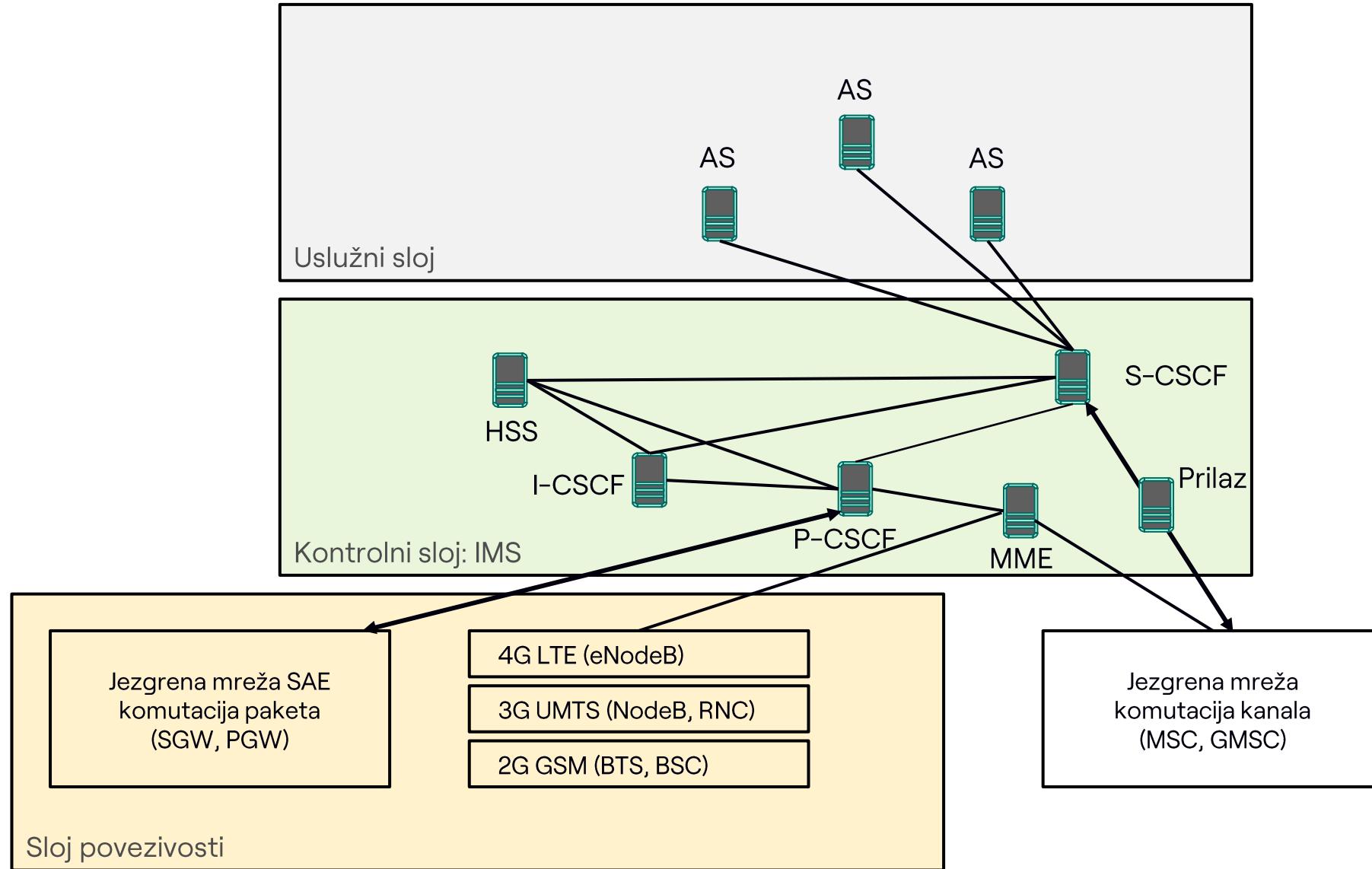


Otvorene platforme:
aplikacijski (SIP) poslužitelji

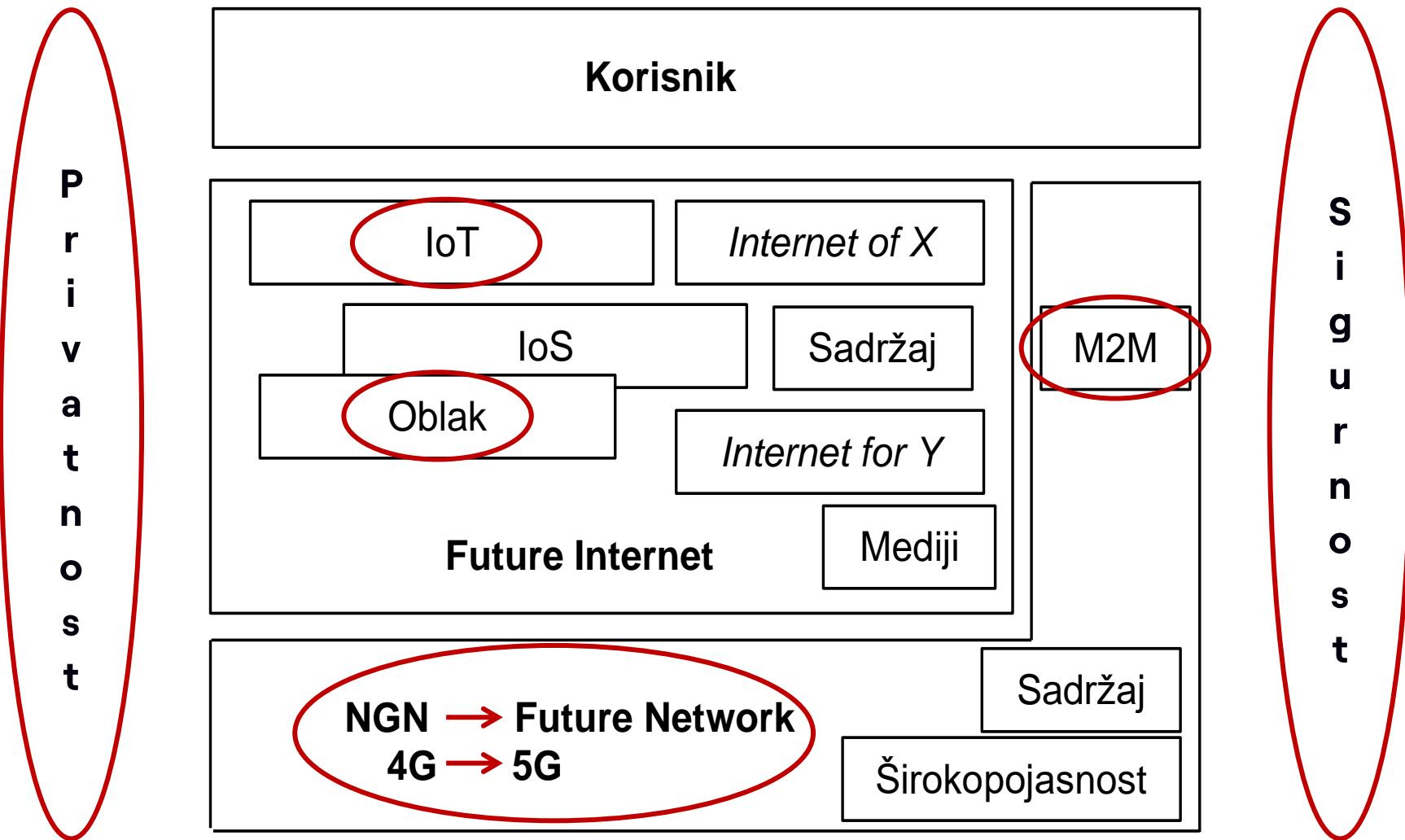
Upravljanje sjednicom:
protokol SIP

Jedinstvena mrežna
tehnologija: protokol IP

4G LTE/SAE - NGN



Razvoj mreže



Virtualni operator pokretne mreže

Virtualni operator pokretne mreže

Mobile Virtual Network Operator, MVNO

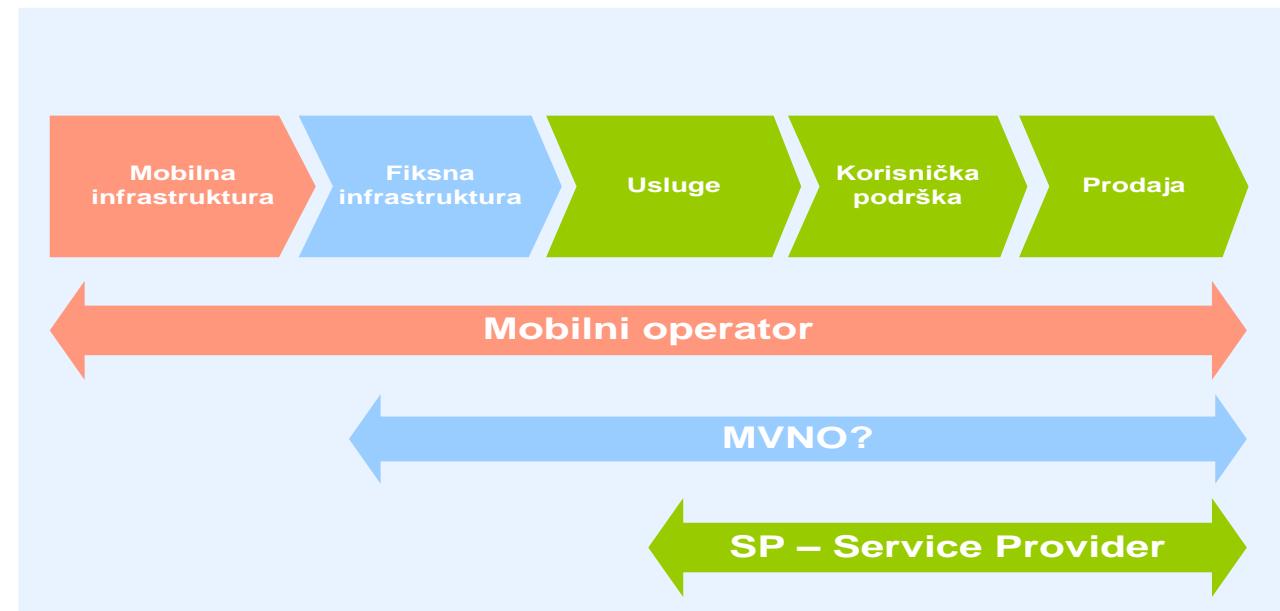
- Nudi pokretne usluge korisnicima
 - Ne posjeduje koncesiju frekvencijskog spektra
 - Ne posjeduje vlastitu infrastrukturu
 - Mrežnim operatorima koji posjeduju koncesiju plaća korištenje njihove pokretne mreže

Prednosti i nedostaci

- **Prednosti**
 - Minimalno ulaganje
 - Nema vlastitu infrastrukturu
 - Konkurentnost
- **Nedostaci**
 - Vezanost za mrežnog operatora

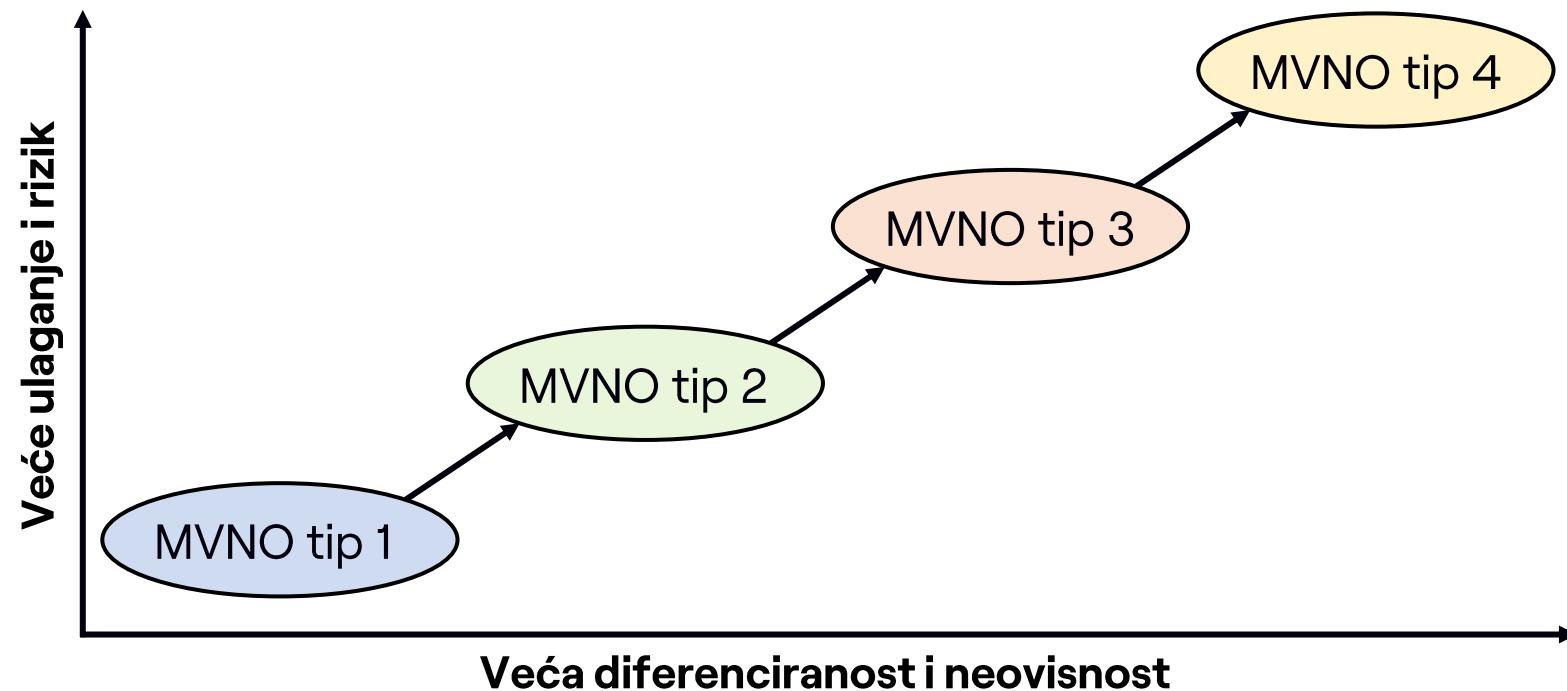
Odnos pokretnog operatora, MVNO-a, davatelja usluge

- Davatelj usluge (engl. *service provider*)
 - nudi određene usluge,
 - nema mrežnu infrastrukturu,
 - posjeduje potrebnu opremu (poslužitelje).



Ovisnost MVNO-a o pokretnom operatoru

- Kategorije MVNO-a
 - četiri tipa MVNO operatora (razine 1 – 4, prema rastućoj neovisnosti)
 - Veći trošak ulaganja – manja ovisnost



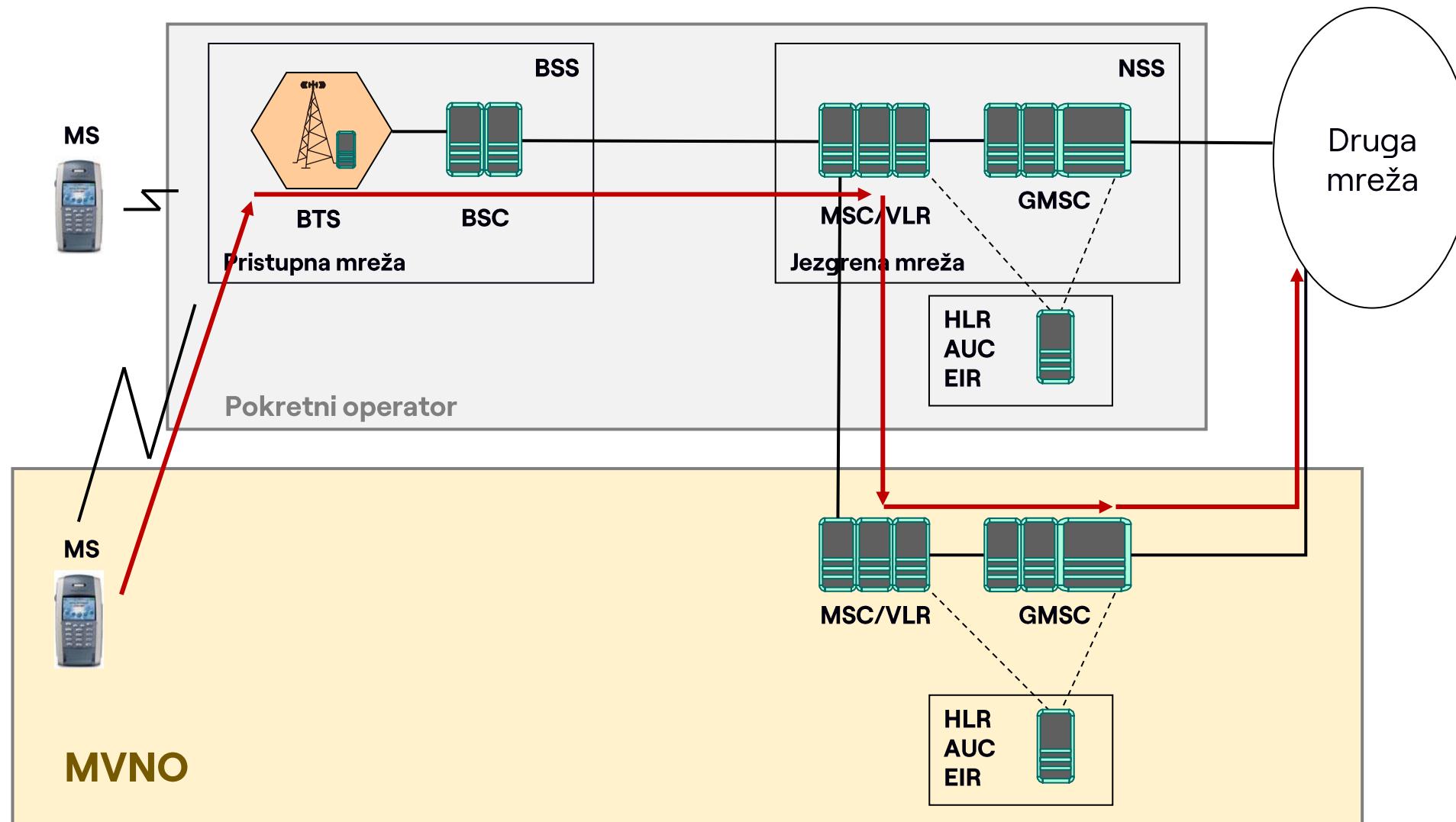
Tipovi MVNO (1)

- **MVNO tip 1**
 - U potpunosti preuzima mrežnu infrastrukturu od svog operatora
 - Pruža osnovne usluge
 - Nizak trošak ulaganja, mali rizik poslovanja
- **MVNO tip 2**
 - Posjeduje određene čvorove pokretne mreže (HLR, HSS)
 - Vlastite SIM kartice za korisnike
 - Nudi neke dodatne usluge

Tipovi MVNO (2)

- **MVNO tip 3**
 - Posjeduje djelomično vlastitu infrastrukturu (HLR, MSC, SGSN, SGW)
 - Nudi niz dodatnih naprednih usluga
 - Vlastita podrška za intelligentnu mrežu
 - Vlastite usluge
- **MVNO tip 4**
 - Posjeduje vlastitu infrastrukturu (HLR/HSS, MSC, GMSC, SGSN, GGSN, SGW, PGW)
 - Podržava vlastito usmjeravanje prometa (vlastiti GMSC/GGSN/PGW)

Prometni tokovi – pokr. operator i MVNO-a tip 4



Primjeri MVNO-a

- **Automobilska tvrtka**
 - Pokretni terminali u automobilima
 - Kupnjom automobila pridobiva korisnike
 - Nudi određene usluge zanimljive u automobilu tijekom vožnje
 - Povoljnija cijena
- **Aviokompanija**
 - U svojim prostorima povoljnije nudi svoje usluge

Virtualni omogućitelj pokretnе mreže

Mobile Virtual Network Enabler, MVNE

- Nema izravan kontakt s korisnicima
- **Nudi tehničku infrastrukturu** (HLR, SMS-C, MMS-C, SGSN, GGSN, SGW, PGW)
- Usluge naplate (PCRF)
- Administracija
- Podrška za bazne postaje
- Niz pokretnih usluga

Komunikacijski protokoli

12. 5G-mreža: protokoli i usluge

Creative Commons



- **slobodno smijete:**
 - **dijeliti** — umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
 - **remiksirati** — prerađivati djelo
- **pod sljedećim uvjetima:**
 - **imenovanje.** Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
 - **nekomercijalno.** Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
 - **dijeli pod istim uvjetima.** Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencom koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

Sadržaj predavanja

- Zahtjevi za 5G mrežu
- Arhitektura
- Značajne funkcionalnosti
 - Virtualizacija mrežnih funkcija (engl. *Network Function Virtualization*, NFV)
 - Programska definirana mreža (engl. *Software Defined Networking*, SDN)
 - Mrežni odsječci (engl. *network slicing*)
- 5G i starije generacije mreža
- Komunikacijski protokoli u 5G-mreži

5G



- Pokretne mreže sljedeće generacije i tehnologije koje se uvode nakon 4G LTE/SAE
- Smanjeno kašnjenje
- Dinamička prilagodba zahtjevima usluga i informacijskog prometa
 - virtualizacija mrežnih funkcija (*Network Function Virtualization*): odvajanje logičke mrežne funkcije i hardvera
 - programski definirana mreža (*Software Defined Network*): odvajanje podatkovne i kontrolne ravnine u jezgrenoj mreži, programsko upravljanje mrežom
 - Mrežni odsječci (*network slicing*): logička podjela mreže s kraja na kraj
- Zahtjevi usluga zasnovanih na sadržaju, velikoj količini podataka i računarstvu u oblaku

ER

Usluge u 5G

- Višemedijske aplikacije (HD video)
- Virtualna stvarnost
- *Taktilni* internet
- IoT-usluge s velikim brojem spojenih uređaja
- Milijun po km²
- Autonomna vožnja

Usluge 5G



Izvor: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/towards-5g>

Što uvodi 5G

- Nova radijska sučelja
- Novi frekvencijski pojasevi
- Povećanje kapaciteta
- Heterogena infrastruktura
 - Različite pristupne tehnologije
- Računarstvo na rubu

5G standardizacija

- 3GPP
- ITU
- Interoperabilnost mreža i uređaja
- Povećana sigurnost sustava
- 3 tipa usluga
 - Veće brzine prijenosa (engl. *enhanced mobile broadband*, eMBB)
 - Veliki broj povezanih uređaja (engl. *massive Internet of Things*, mIoT)
 - Kritične usluge s malim kašnjenjem (engl. *ultra-reliable low latency communications*, URLLC)

Arhitektura 5G mreže

Mreža 5G

- Pristupna mreža – 5G-RAN ili NG-RAN ili NR (New Radio)
- Jezgrena mreža – 5GC (5G Core)
- Arhitekura temeljena na uslugama (Service-Based Architecture, SBA)
- Korisnička ravnina
 - UPF (User Plane Function)
 - usmjerenje datagrama
 - QoS
- Upravljačka ravnina
 - upravljanje sjednicom (Session Management Function, SMF)
 - upravljanje pokretljivošću (Access and Management Mobility Function, AMF)

Funkcije korisničke ravnine

- Interakcija s ostalim mrežama
- Prosljeđuje korisničke podatke koji se prosljeđuju unutar PDU (packet data unit) sjednica

Upravljačka ravnina (1)

- Upravljanje pristupom i pokretljivošću (Access and Management Mobility Function, AMF)
 - Registracija uređaja
 - Upravljanje konekcijom uređaja
 - Sigurnosne funkcije
 - Dobiva ključ za autentifikaciju UE od AUSF
 - Lista mogućnosti uređaja
 - Upravljanje opterećenjem
 - Prosljeđuje poruke od UE za SMF
- Upravljanje sjednicom (Session Management Function, SMF)
 - Upravljanje sjednicom i *roamingom*
 - Upravljanje IP adresama, DHCP poslužitelj

Upravljačka ravnina (2)

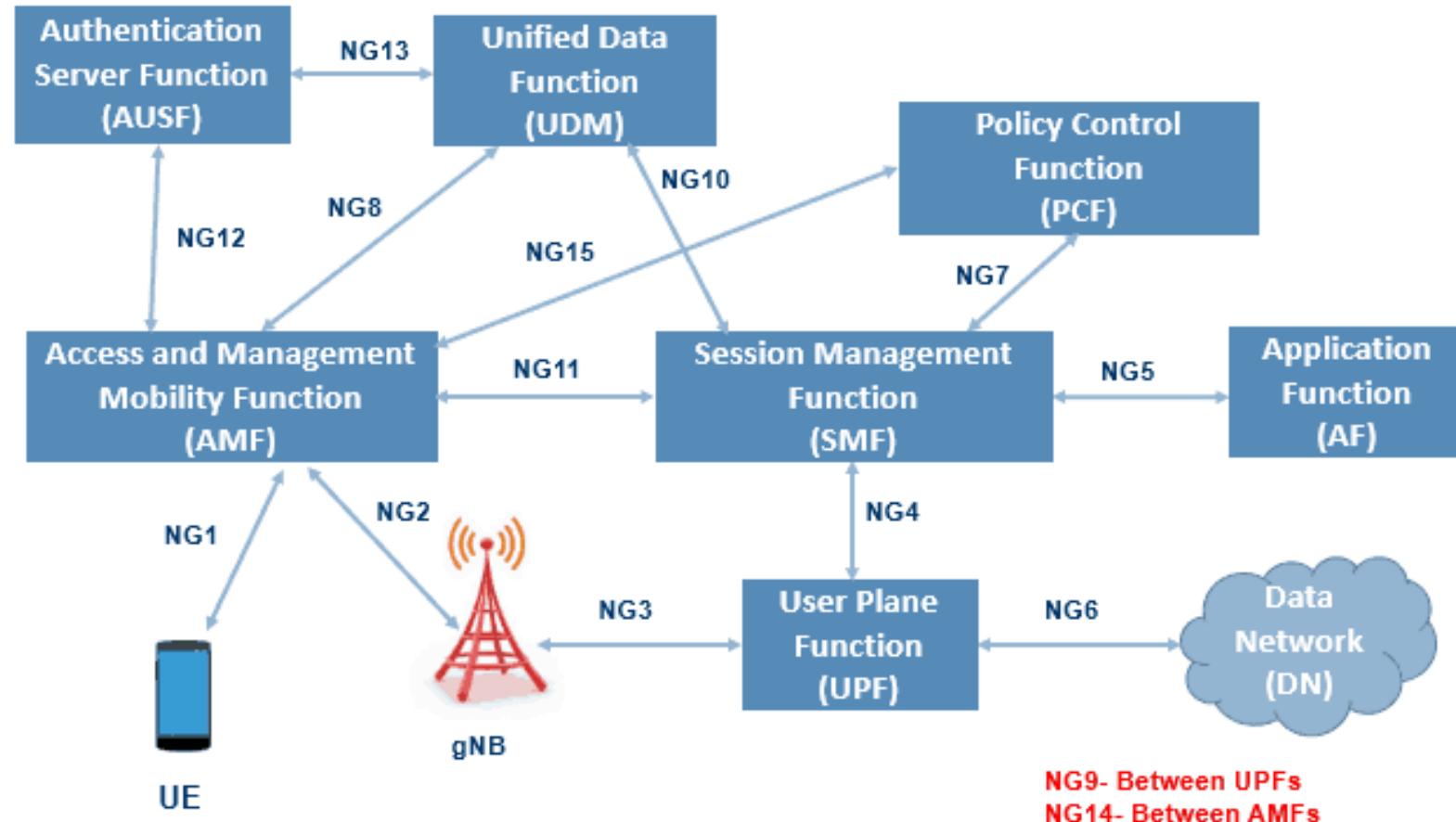
- Upravljanje autentifikacijom (Authentication server function, AUSF)
 - Podaci za autentifikaciju korisnika
 - Upravljanje ključevima za enkripciju
- Objedinjeno upravljanje podacima (Unified Data Management, UDM)
 - Podaci o korisnicima
 - Podaci o korisničkim preplatama
- Pravila za upravljanje mrežom (Policy Control Function, PCF)
 - Politike za upravljanje mrežom, npr. koliki QoS će biti dodijeljen nekoj usluzi na nekom čvoru

Upravljačka ravnina (3)

- Aplikacijska funkcija
 - Interakcija s čvorovima u jezgrenoj mreži za potreba aplikacija
 - Odabir čvora na kojem se izvršavaju aplikacije
 - Za korištenje računarstva na rubu (edge computing)
 - Krajni uređaj, bazna postaja, poslužiteljski sustav

Arhitektura 5G

- 3GPP Release 15 (2018.g.)



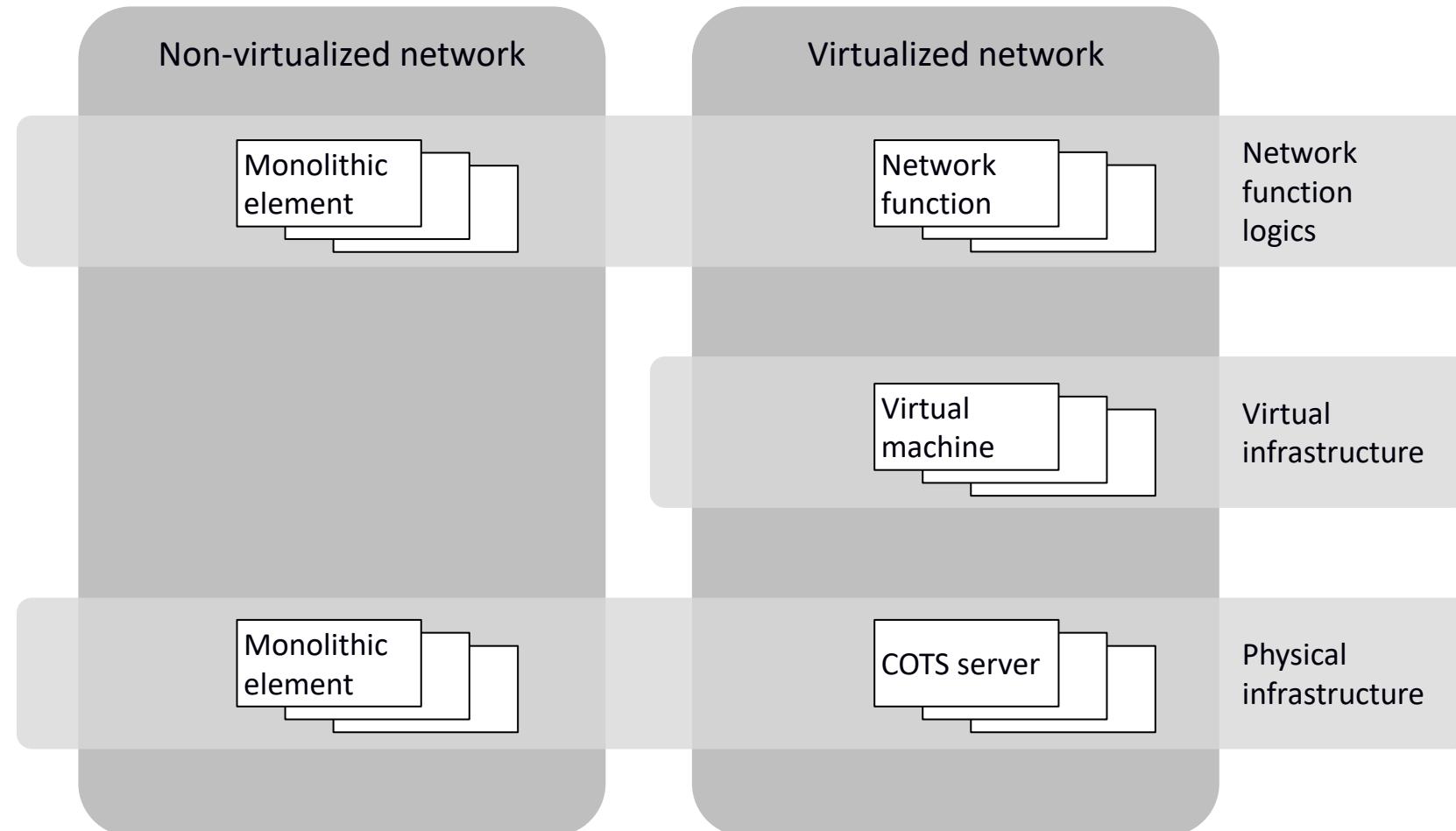
NG9- Between UPFs
NG14- Between AMFs

Značajne funkcionalnosti 5G mreže

Virtualizacija mrežnih funkcija (1)

- Odvajanje sklopolja (hardver) od programske podrške (softver)
- Tradicionalno: određeni čvorovi pokretne mreže (npr. S-GW u 4G) se vrte na dediciranom hardveru
- Virtualizacija: izvršavanje mrežnih funkcionalnosti na široko dostupnom hardveru (npr. Intel x86)
- Koraci za ugradnju u pokretnu mrežu:
 - Uvođenje otvorenih sučelja (API) za mrežne funkcionalnosti
 - Pokretanje mrežnih funkcionalnosti kao virtualnih strojeva
 - Uvođenje NFV infrastrukture (NFVI) za upravljanje mrežnim funkcionalnostima

Virtualizacija mrežnih funkcija (2)



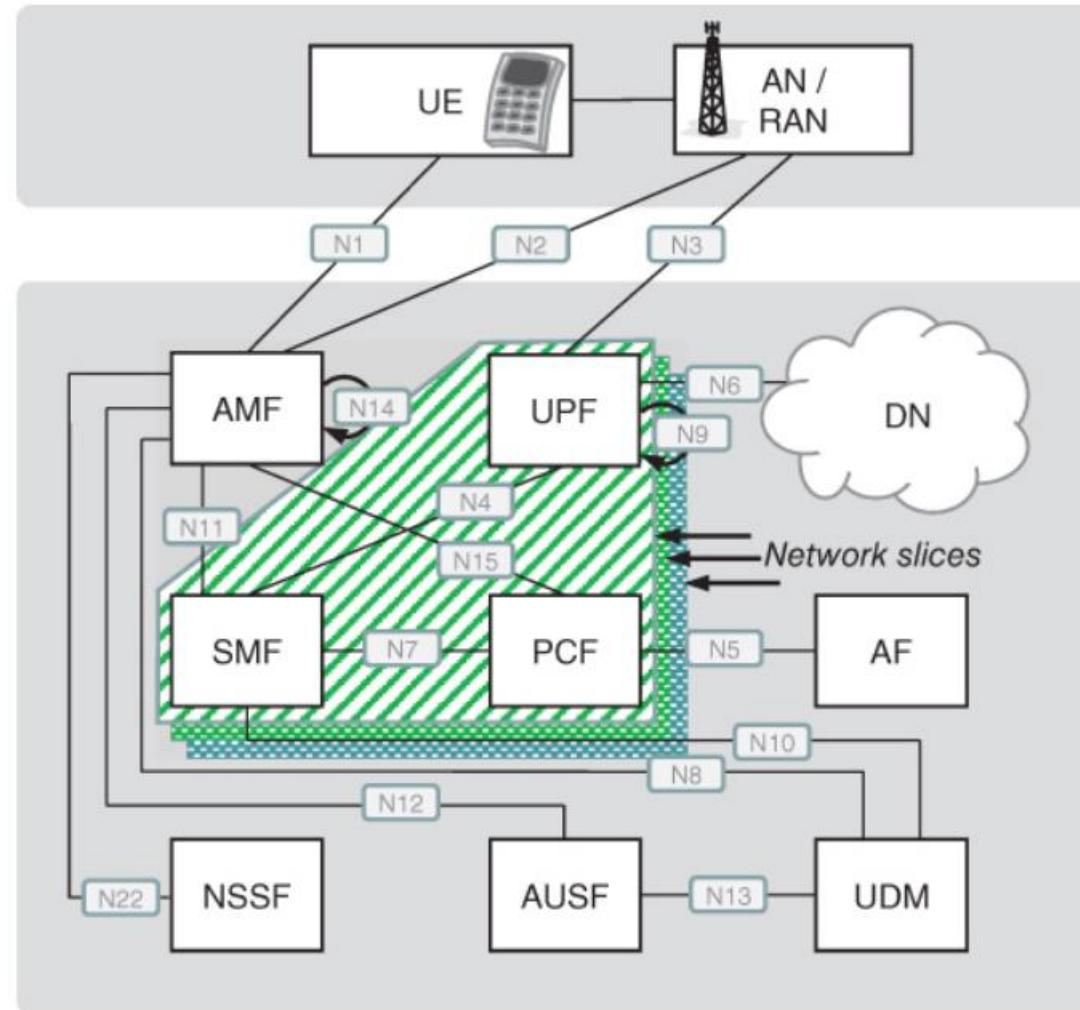
Programski upravljano umrežavanje

- Omogućeno odvajanjem kontrolne i korisničke ravnine
- Upravljanje tokovima podataka prema trenutnom stanju u mreži
- Ovisno o potrebi, mrežne funkcionalnosti (NF) se mogu pokretati na onim čvorovima na kojima mogu najviše pridonijeti povećanju propusnosti i smanjenju kašnjenja
 - Računarstvo na rubu
- Mogućnost SDN-a: cache na rubnim čvorovima

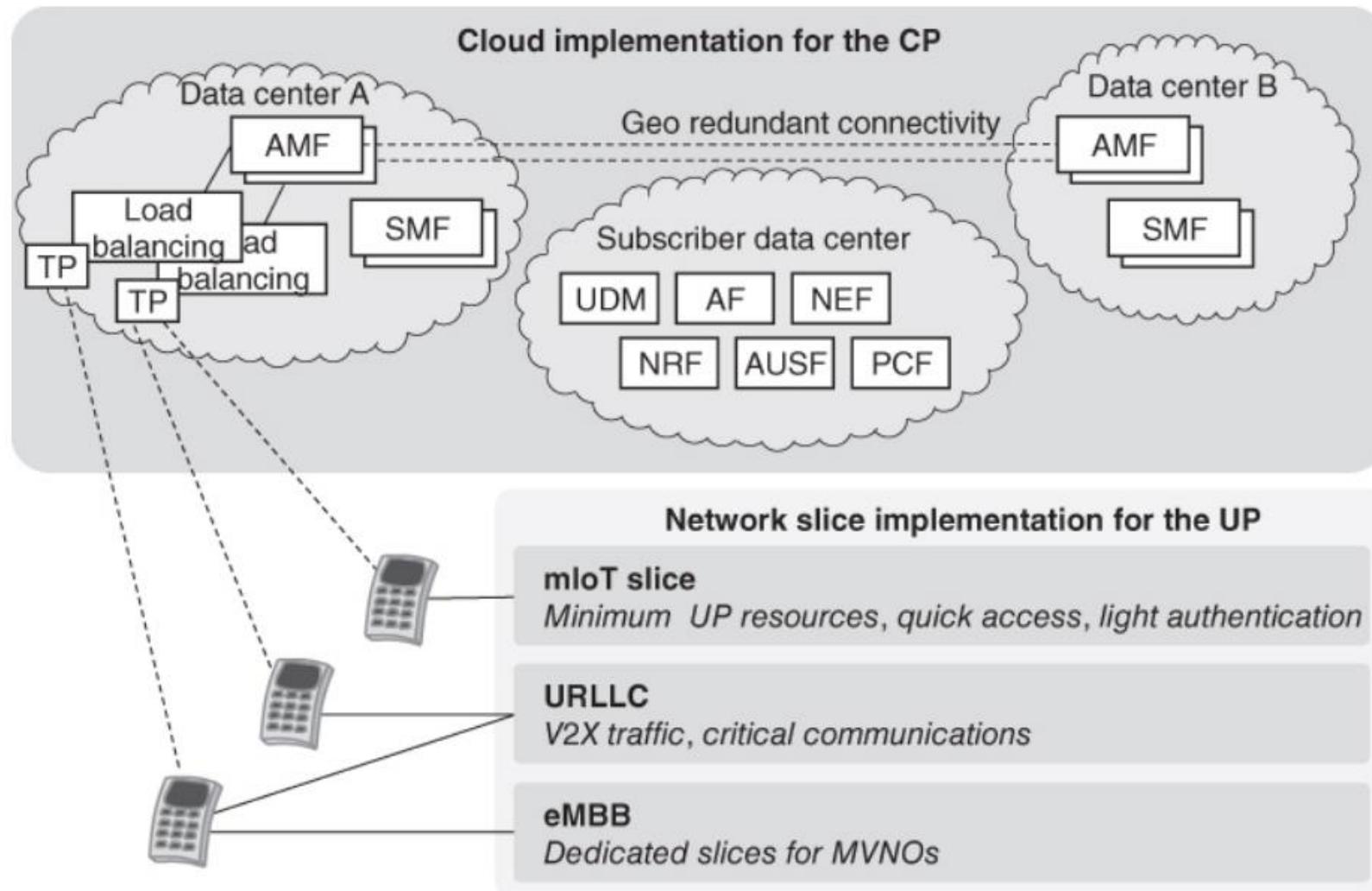
Mrežni odsječci

- Omogućeno SDN-om i NFV-om
- Izoliranje mrežnih resursa za određene usluge
- Virtualne mrežne funkcije (NFV) se grupiraju prema uslugama da bi se optimizirali tokovi podataka kroz mrežu
- Dijelovi mreže su međusobno izolirani
- Mogu se pokretati, osvježavati i brisati po potrebi
- Različiti dijelovi mreže mogu imati različite
 - Sigurnosne postavke
 - Mehanizme za uravnoteženje opterećenja

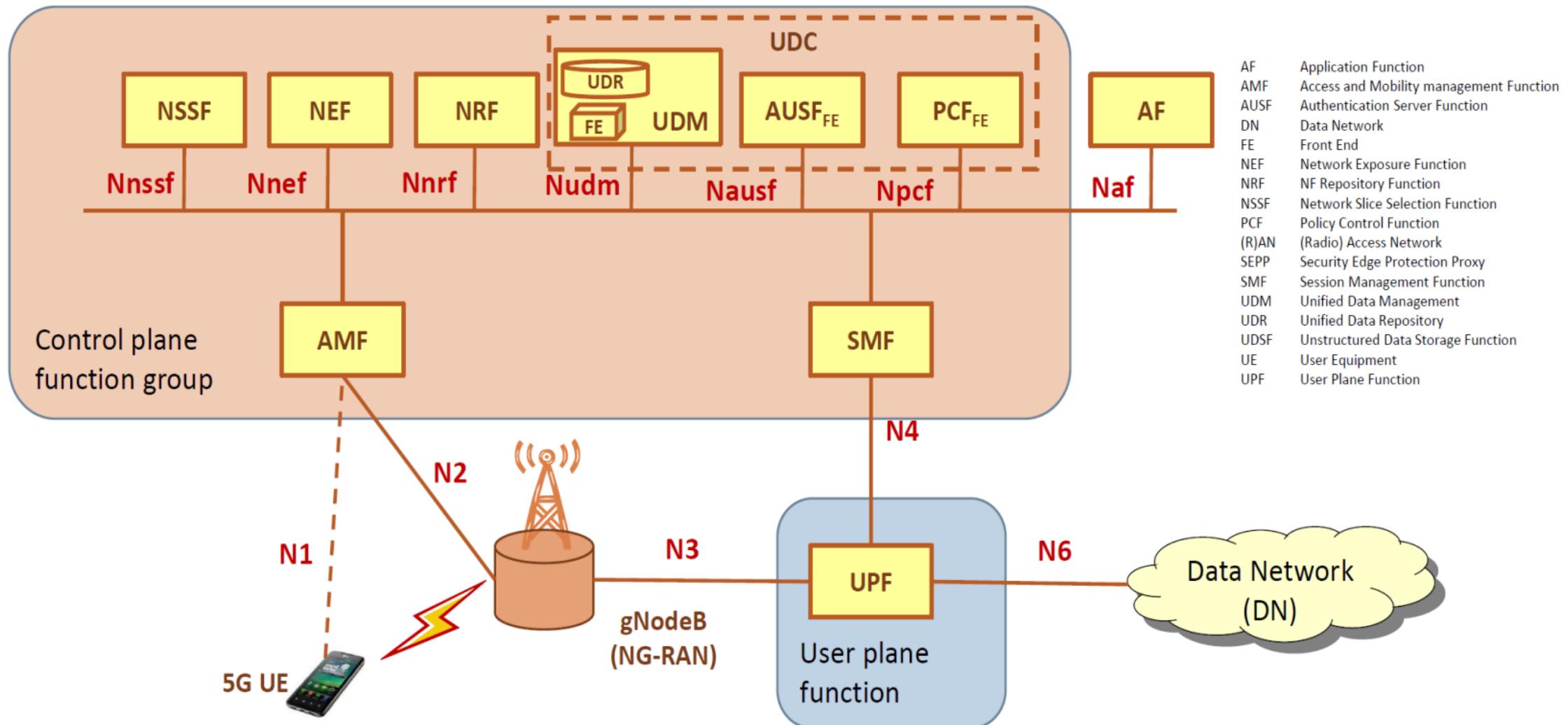
Mrežni odsječci (2)



Mrežni odsječci (3)



5G mrežna arhitektura zasnovana na uslugama



Ostali entiteti

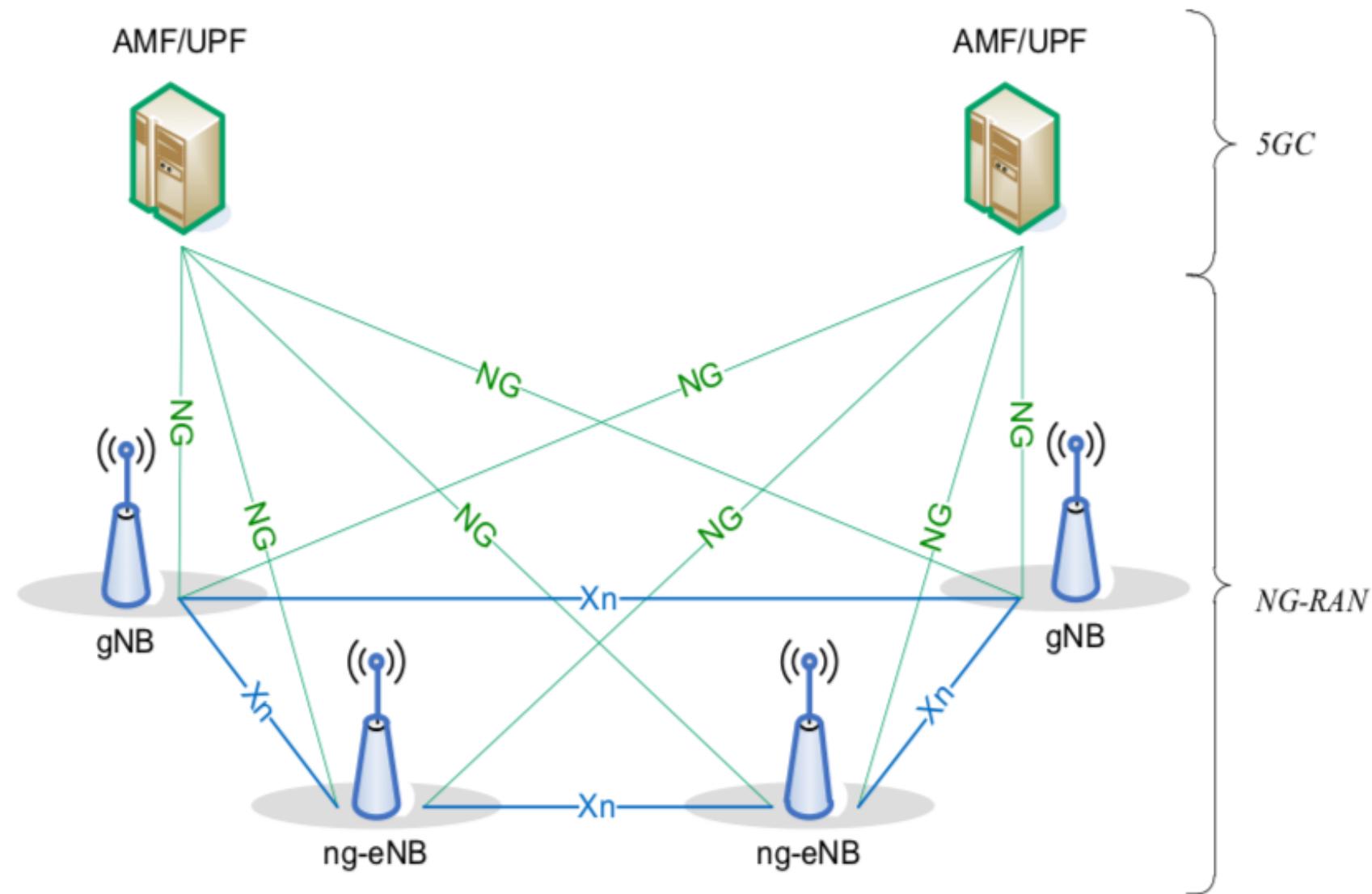
- Odabir mrežnog odsječka (engl. *Network Slice Selection Function*, NSSF)
 - Popis definiranih mrežnih odsječaka
 - Odabir dijela mreže koji poslužuje UE
- Mrežna izloženost (engl. *Network Exposure Function*, NEF)
 - RESTful API za pronađak i pristup mrežnim elementima (SMF, ASF) zapisanih u UDM-u
- Mrežni repozitorij (engl. *Network Repository Function*, NRF)
 - Popis dostupnih usluga, čvorova i dijelova mreže
 - Identifikator, kapacitet, ID mrežnog odsječka ...
 - Standardizirani zapis
 - Registracija mrežnih funkcija i elemenata

Pristupna 5G mreža

Frekvencijski pojasevi

- 2G, 3G, 4G
 - 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz
- 5G – novi pojasevi
 - 3.3-4.2 GHz
 - 4.4-4.99 GHz
 - 24.25-29.5 GHz
- Modulacija: OFDM (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

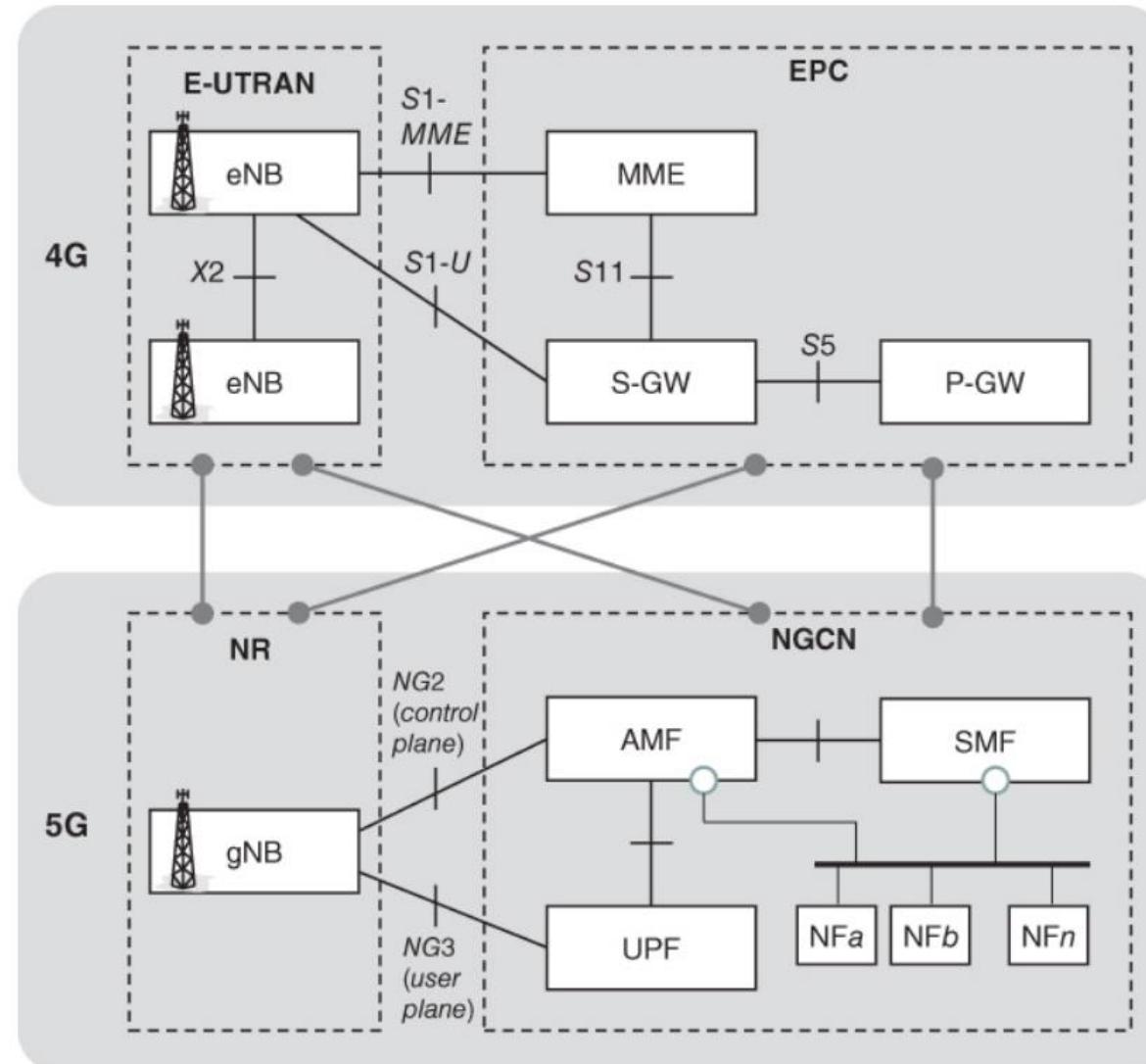
3GPP NG-RAN



Funkcionalnosti čvorova gNB i ng-eNB

- Upravljanje radijskim sučeljem (Radio Resource Management, RRM)
- Upravljanje pristupom i pokretljivošću (Access and Management Mobility Function, AMF)
- Upravljanje sjednicom (Session Management Function, SMF)
- Upravljanje konekcijom s krajnjim uređajima
- Upravljanje rasporedom spajanja uređaja
- Korištenje mrežnih odsječaka

5G i starije generacije mreža (1)

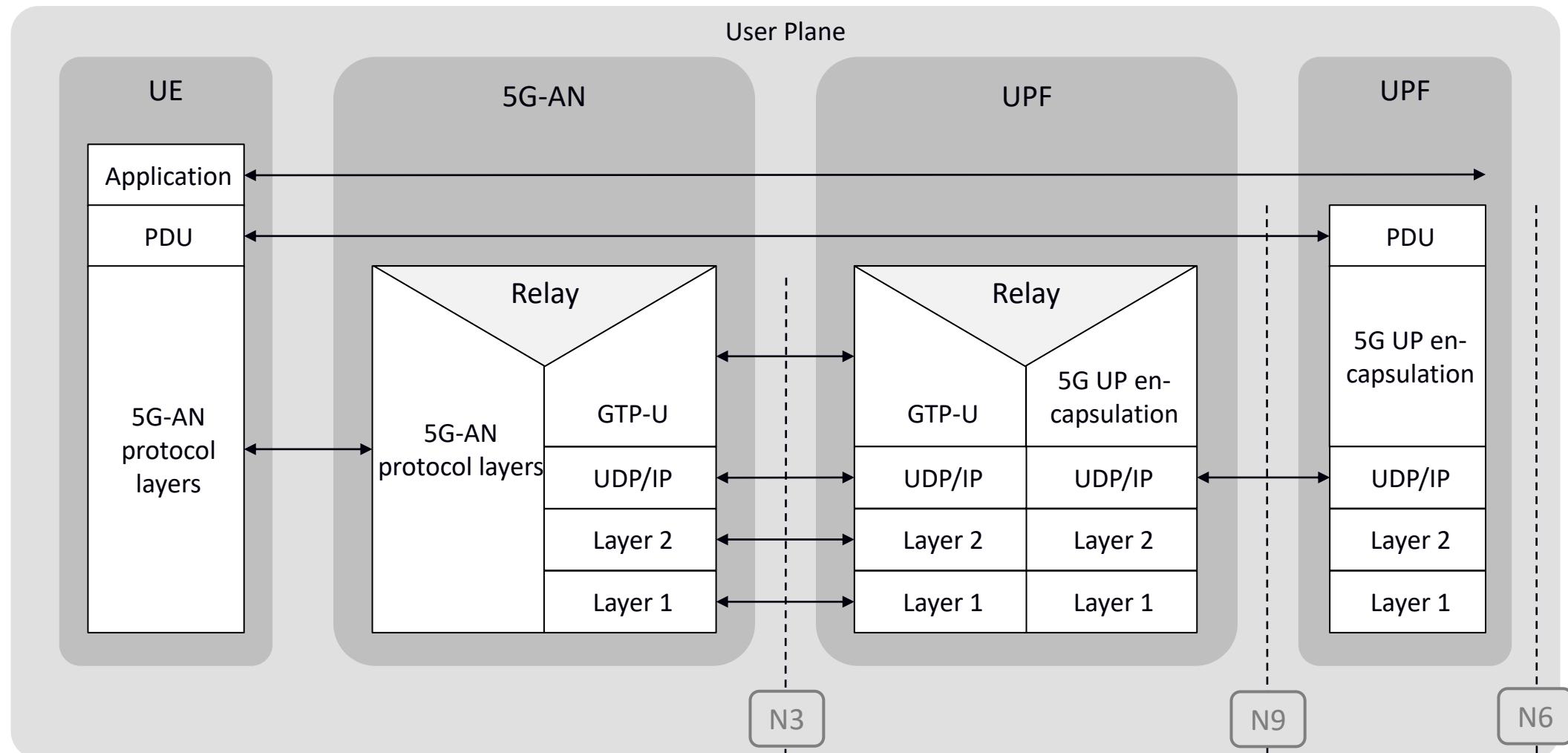


5G i starije generacije mreža (2)

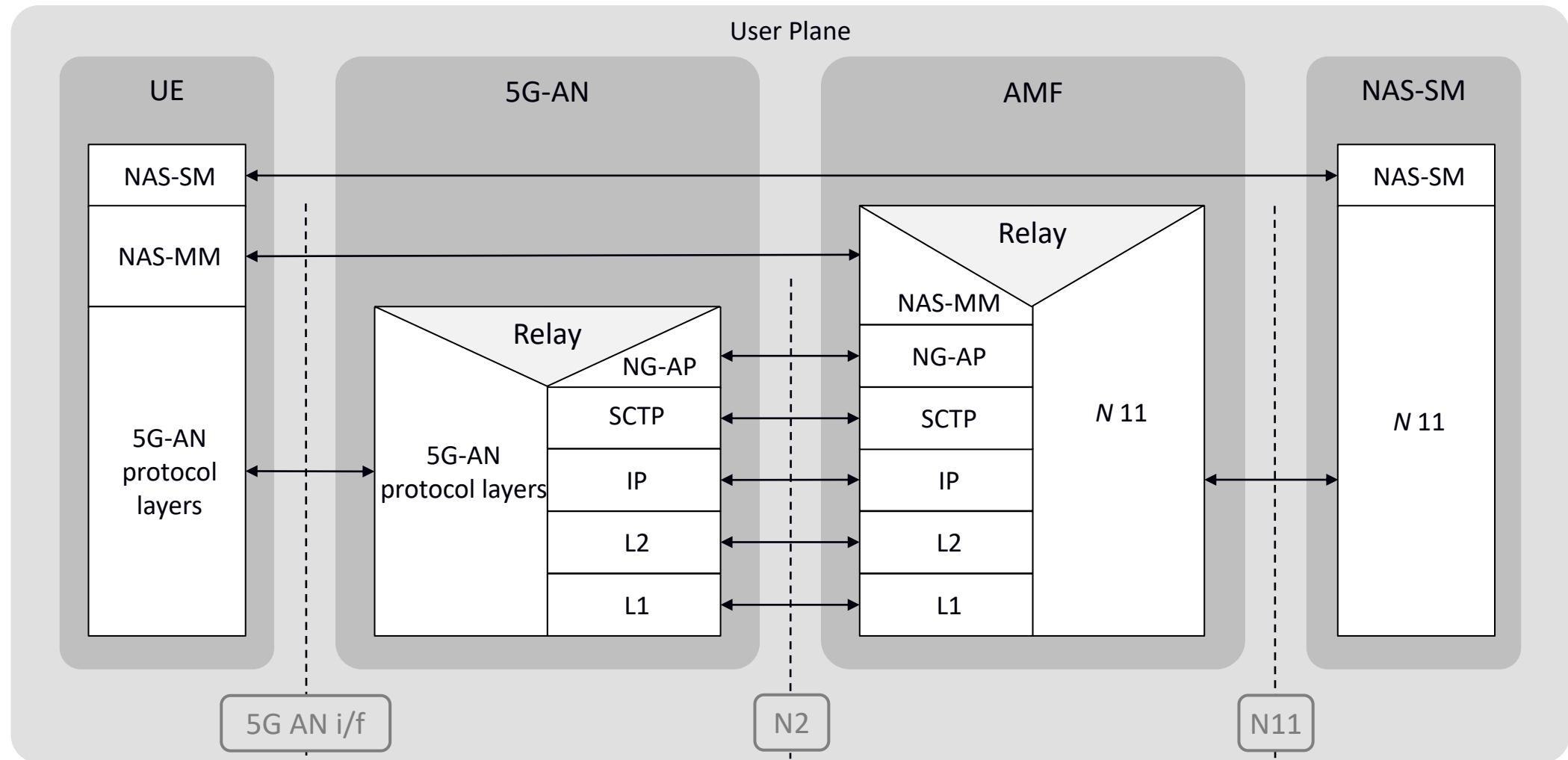
- Prvo se uvode 5G krajnji uređaji (UE, gNB)
- Suživot između LTE eNB i gNB
 - Korištenje samo 4G jezgrene mreže (EPC), kasnije uvođenje 5G jezgrene mreže (NGC)
 - Uvođenje 5G jezgrene mreže i napuštanje 4G jezgrene mreže

Komunikacijski protokoli u 5G mreži

Korisnička ravnina



Kontrolna ravnina



Kontrolna ravnina

- Protokol NAS (engl. *non-access stratum*)
 - Upravljački protokol
 - Upravljanje sjednicama (*Session management, SM*)
 - Upravljanje pokretljivošću (*Mobility management, MM*)
 - Registracija i upravljanje konekcijom
 - Prenosi poruke između UE i jezgrene mreže
 - Čvorovi AMF, SMF
- Protokol NG-AP (engl. *Next Generation – Application Protocol*)
 - Dedicirani protokol za komunikaciju između 5G pristupne mreže i čvora AMF
 - Pruža transportnu uslugu za poruke protokola NAS

Protokol SCTP

- *Stream Control Transmission Protocol*
- Protokol transportnog sloja
- Spojna usluga
- Nastao radi prijenosa signalizacije u mreži PSTN (javna komutirana telefonska mreža)
- Rješava nedostatke protokola TCP
 - Kašnjenje zbog isporuke ispravnog redoslijeda paketa
 - Slanje paketa u oktetima – protokoli višeg sloja moraju pratiti koji okteti čine poruku
 - Nije moguće adresiranje mrežnih entiteta s više mrežnih pristupnih točki (engl. *multi-homed hosts*)
 - Osjetljivost na DoS napade korištenjem zastavice SYN

Literatura

- Jyrki T.J. Penttinen, 5G Explained, Wiley, 2019
- Sassan Ahmadi, 5G NR, Academic Press, 2019
- IETF RFC 4960 – Stream Control Transmission Protocol, 2007, URL:
<https://tools.ietf.org/html/rfc4960>

Komunikacijski protokoli

13. Komunikacija strojeva / Internet stvari
(M2M / IoT)

Creative Commons



- **slobodno smijete:**
 - **dijeliti** — umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
 - **remiksirati** — prerađivati djelo
- **pod sljedećim uvjetima:**
 - **imenovanje.** Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
 - **nekomercijalno.** Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
 - **dijeli pod istim uvjetima.** Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencom koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

Sadržaj predavanja

- Komunikacija strojeva/uređaja (M2M)
- Internet stvari (Internet of Things – IoT)
- Komunikacijski protokoli u sustavima M2M/IoT

Komunikacija strojeva (Machine-to-Machine communication, M2M)

M2M

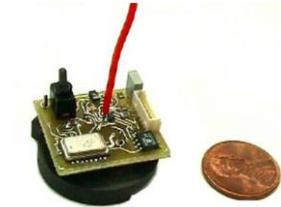
Machine-to-Machine, M2M

Machine Type Communication, MTC

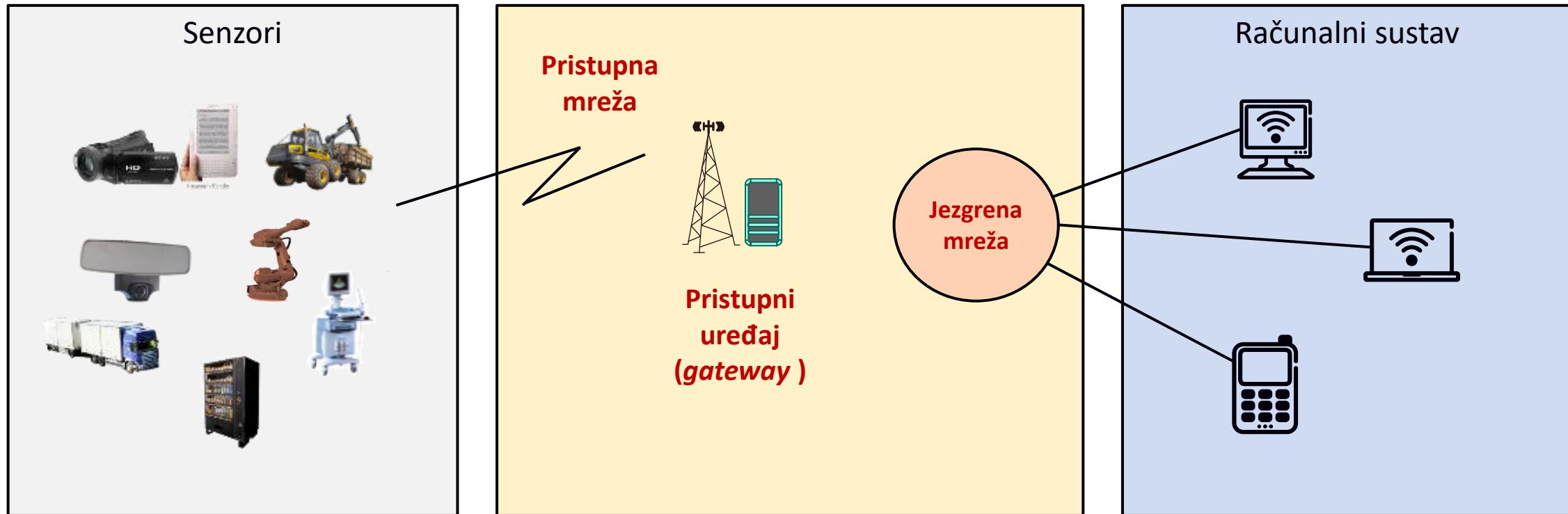
- Sustavi temeljeni na komunikaciji uređaja
 - bez, ili samo s ograničenom intervencijom čovjeka
 - jednostavnii ili pametni (engl. *smart*) uređaji
 - komunikacija se ostvaruje različitim mrežnim tehnologijama

Machine-to-Machine

- **Machine-to-Machine**
 - senzori (mjerjenje protoka vode, temperature,...), pametna osjetila
 - aktuatori, ugrađeni procesori,...
- **Machine-to-Machine**
 - mreža koja omogućava komunikaciju krajnjih uređaja
 - pristupna mreža (bežična, radijska, žična)
 - jezgrena mreža
 - **pristupni uređaj** (engl. *gateway*)
- **Machine-to-Machine**
 - **računalni sustav** koji upravlja drugim uređajima
 - računala i pokretni uređaji koji prikazuju informacije



M2M



Uređaji
M

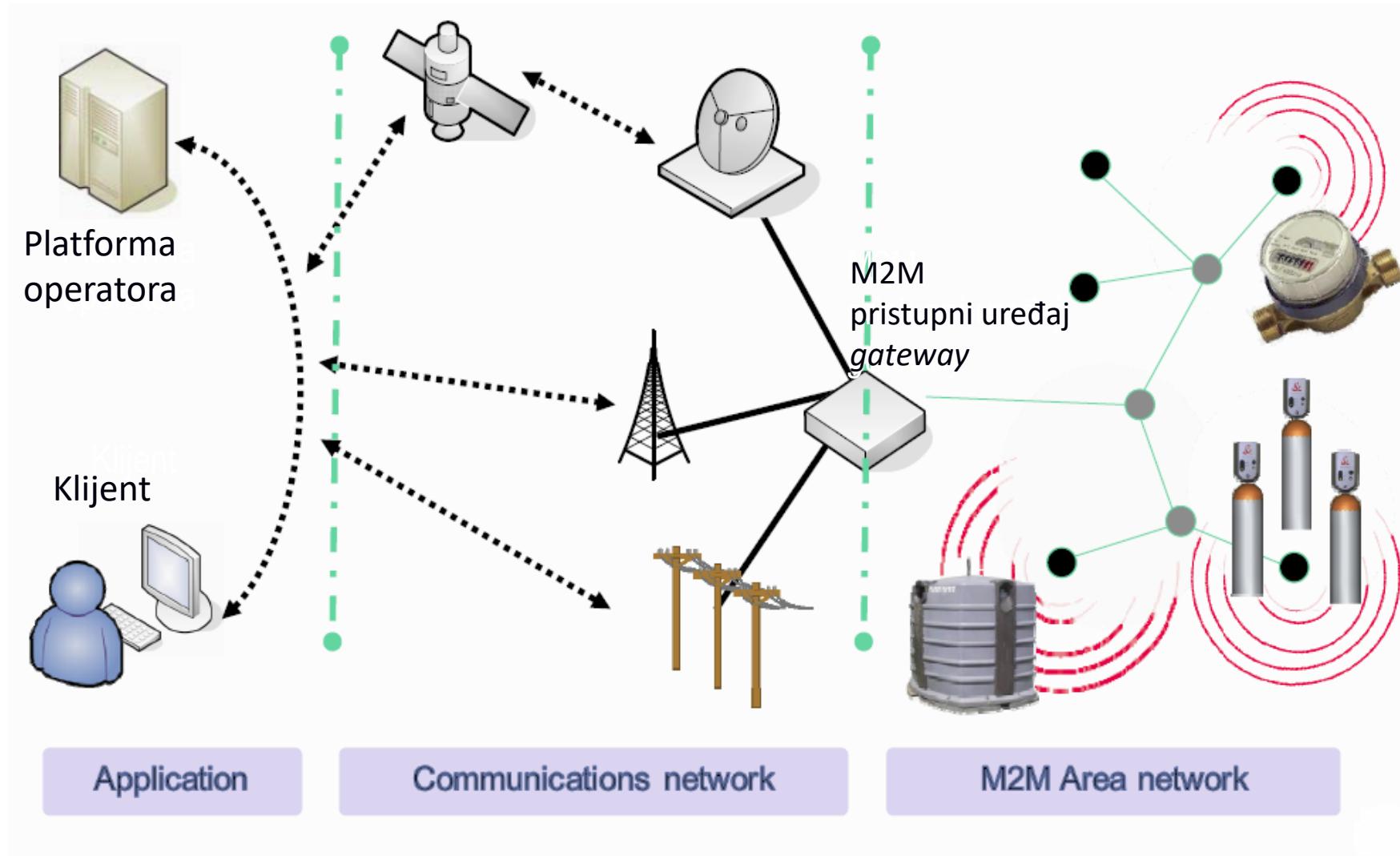
Mreža
2

Uređaji
M

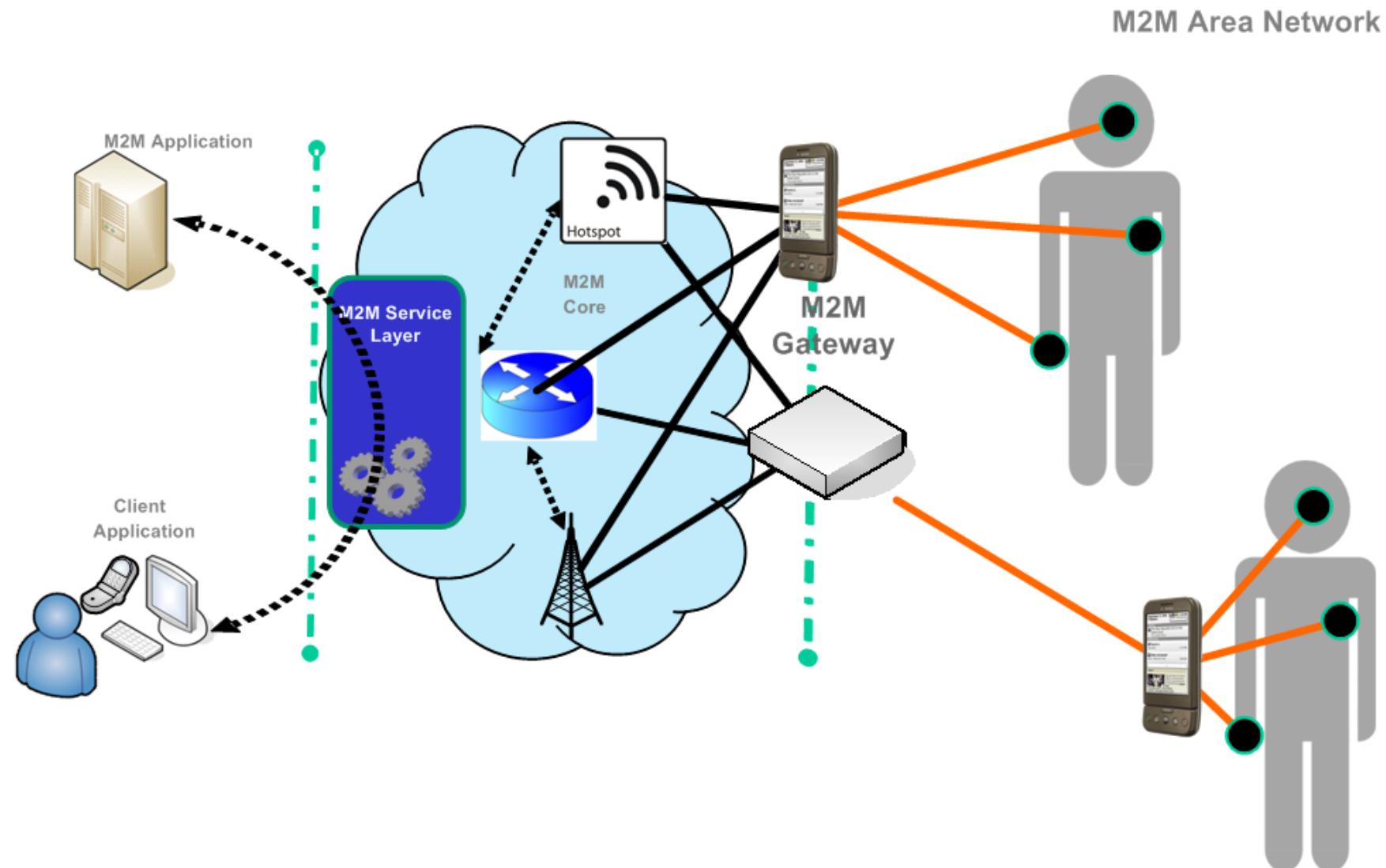
Standardizacija

- 3rd Generation Partnership Project (3GPP)
 - definira specifikaciju za pokretnu mrežu 5G
 - 3GPP koristi naziv “Machine Type Communication” (MTC)
- The European Telecommunications Standards Institute (ETSI)
 - zadužen za standarde fiksne, mobilne, radio, i *konvergirane* internetske tehnologije
 - ETSI Technical Committee – razvija standarde za M2M-komunikaciju
 - povezani su s ostalim standardizacijskim tijelima (BBF, 3GPP, OMA, ZigBee, ...)

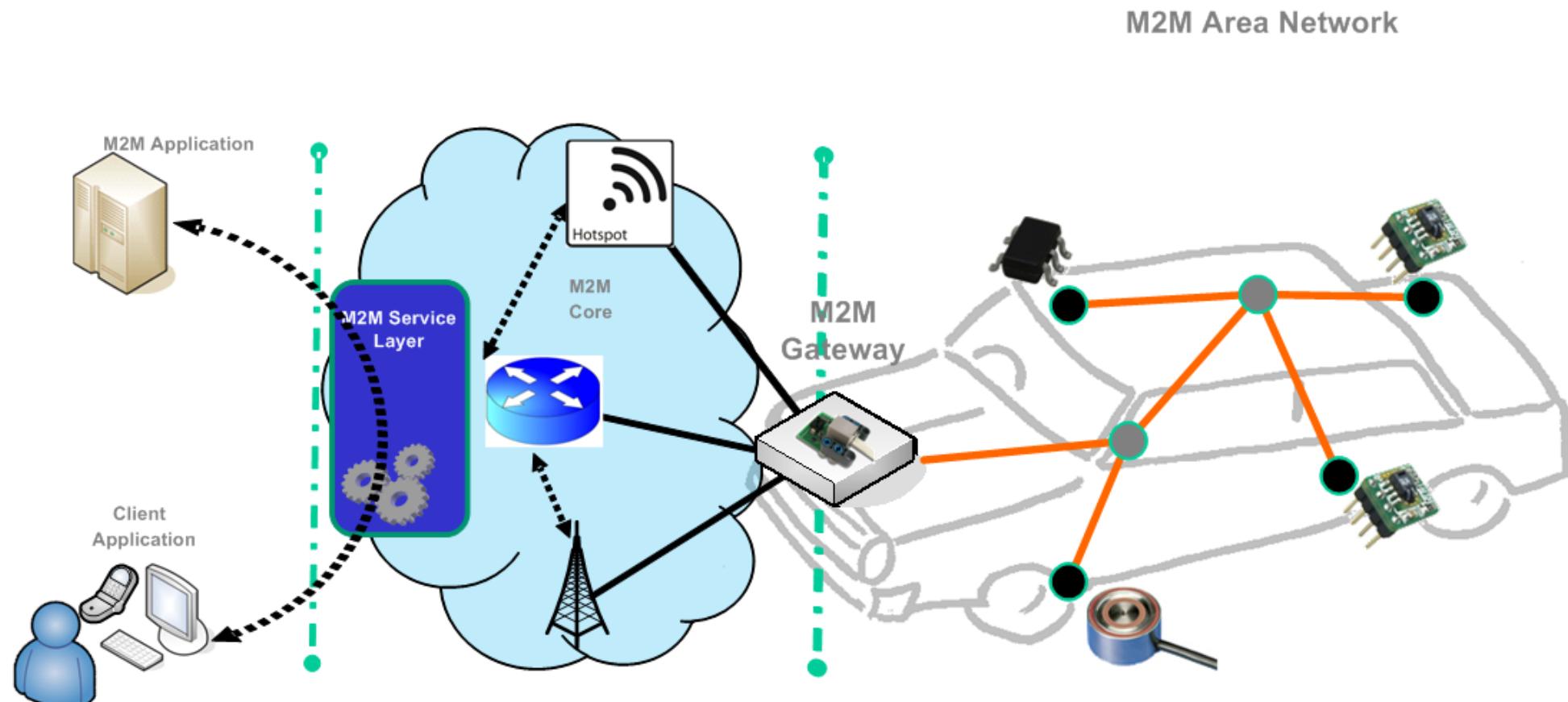
Arhitektura prema ETSI



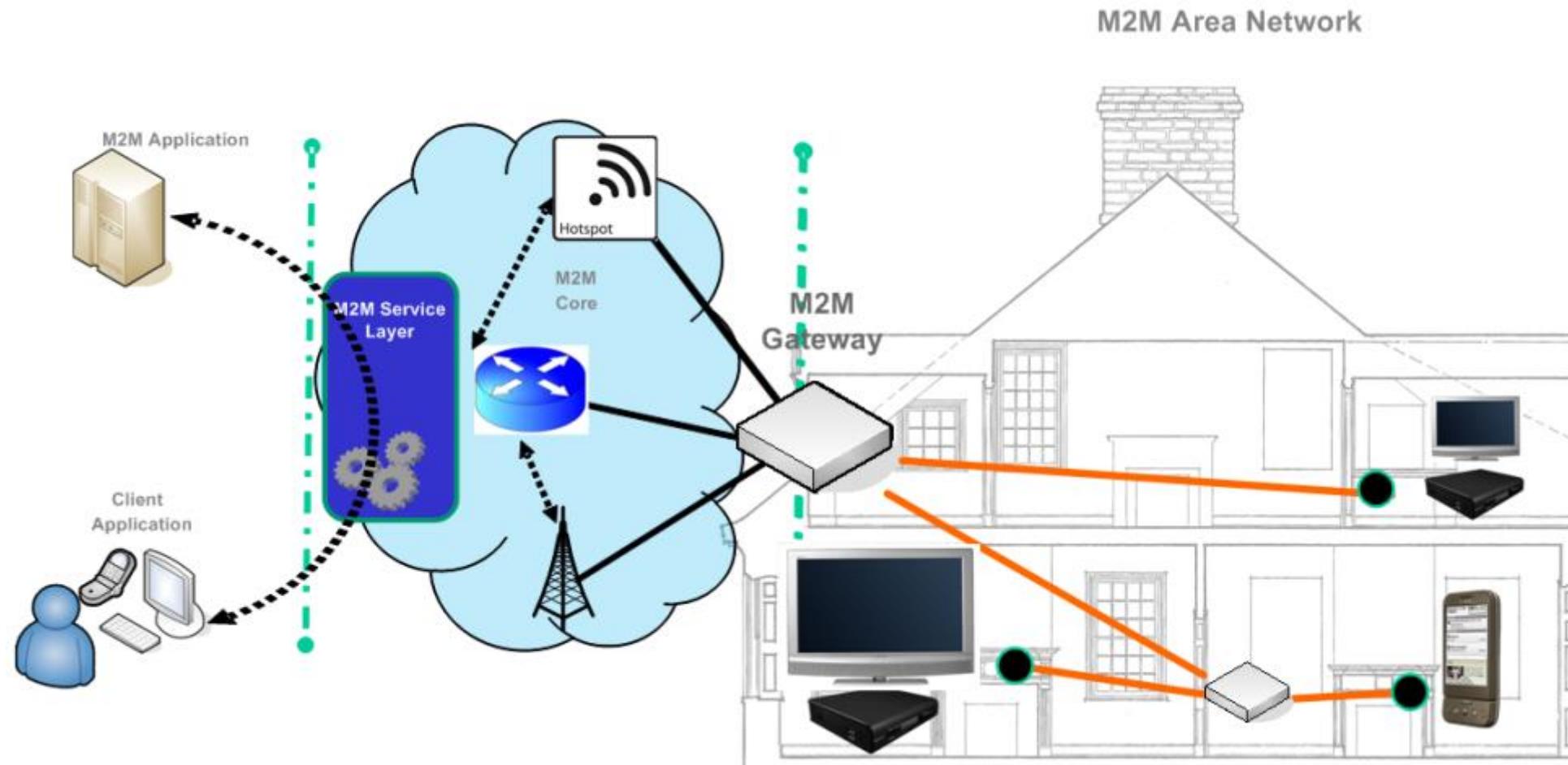
Primjena u e-zdravstvu



Primjena u automobilskoj industriji



Primjena u kućanstvu



Internet stvari (*Internet of Things, IoT*)

Internet stvari

Definicija*:

- „Samokonfigurirajući i adaptivan sustav koji se sastoji od mreže senzora i pametnih objekata sa svrhom povezivanja *svih* stvari na Internet, uključujući svakodnevne i industrijske objekte, kako bi ih se učinilo inteligentnima, programabilnima i sposobnijima za interakciju s ljudima.“

*Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), New Technology Connections: Future Directions, Future Directions Innitiative, 2015

IoT ekosustav

- (Pametni) uređaji – „stvari”: senzori i aktuatori
- Mrežna infrastruktura temeljena na protokolu IP:
 - Nepokretne mreže (xDSL, optika)
 - Pokretne mreže (2G, 3G, 4G, 5G) – NB-IoT, LTE-M
 - Bežične mreže – WLAN, LoRa, LoRaWAN
 - Osobne mreže – Bluetooth, 6LowPAN
- (Horizontalne) platforme za ostvarivanje usluga
- Povezane tehnologije
 - Računarstvo u oblaku
 - Velika količina podataka
- **Standardizacija i interoperabilnost imaju ključnu ulogu!**

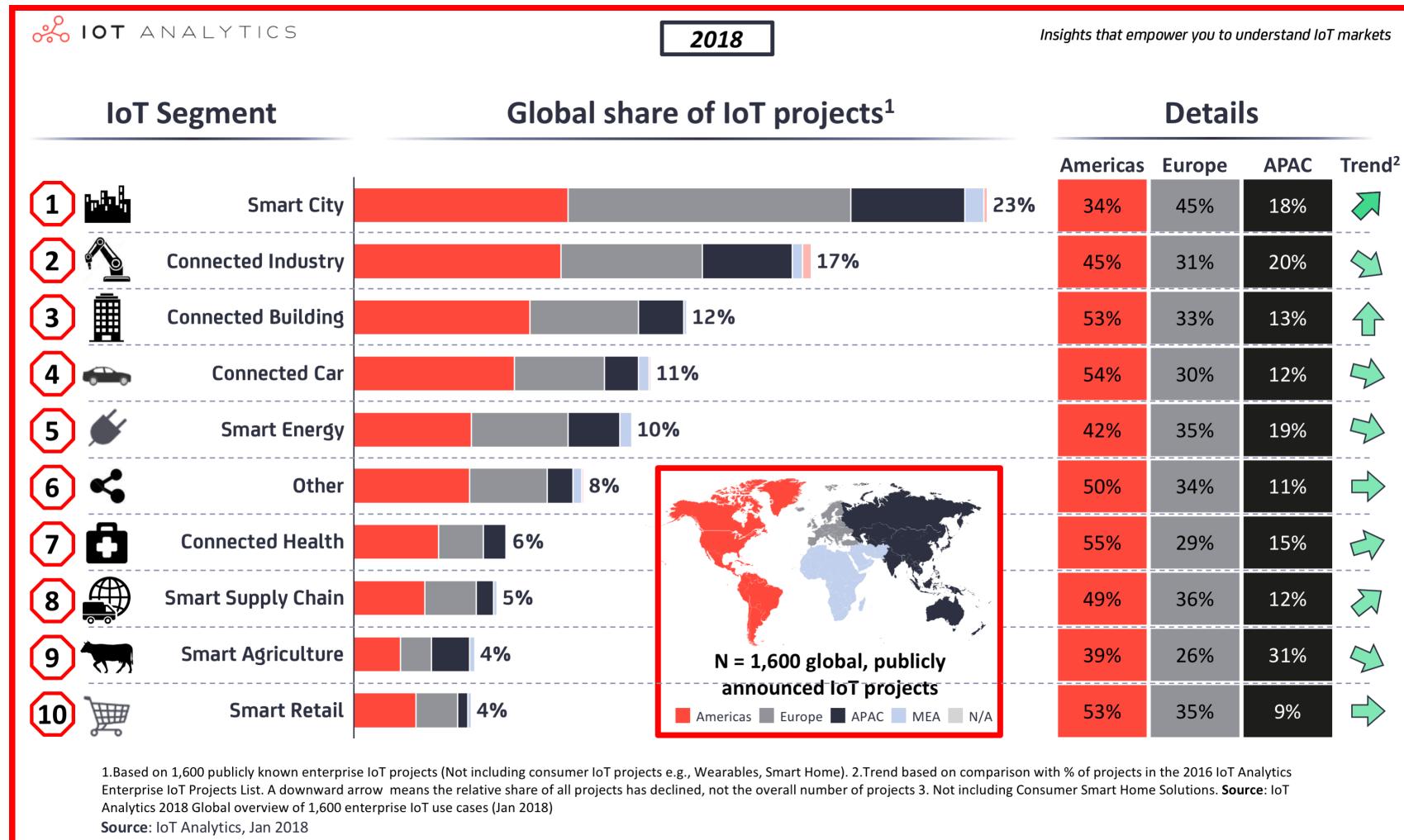
Područja primjene IoT (1)

- Veoma različita područja u kojima se ostvaruju usluge, s različitim zahtjevima:
 - za industriju (energija, transport, proizvodnja, hrana i drugo),
 - izravno povezane s ljudima (medicina, zdravstvena zaštita, samostalno življenje i drugo).
- Od posebne su važnosti za IoT-usluge njihov kontinuitet i raspoloživost.
- Dodatno, za kritične sustave i infrastrukturu kao što je energija, treba postići zahtijevanu pouzdanost:
 - specifična rješenja istražuju se u okviru Interneta energije (engl. *Internet of Energy*, IoE).

Područja primjene IoT (2)

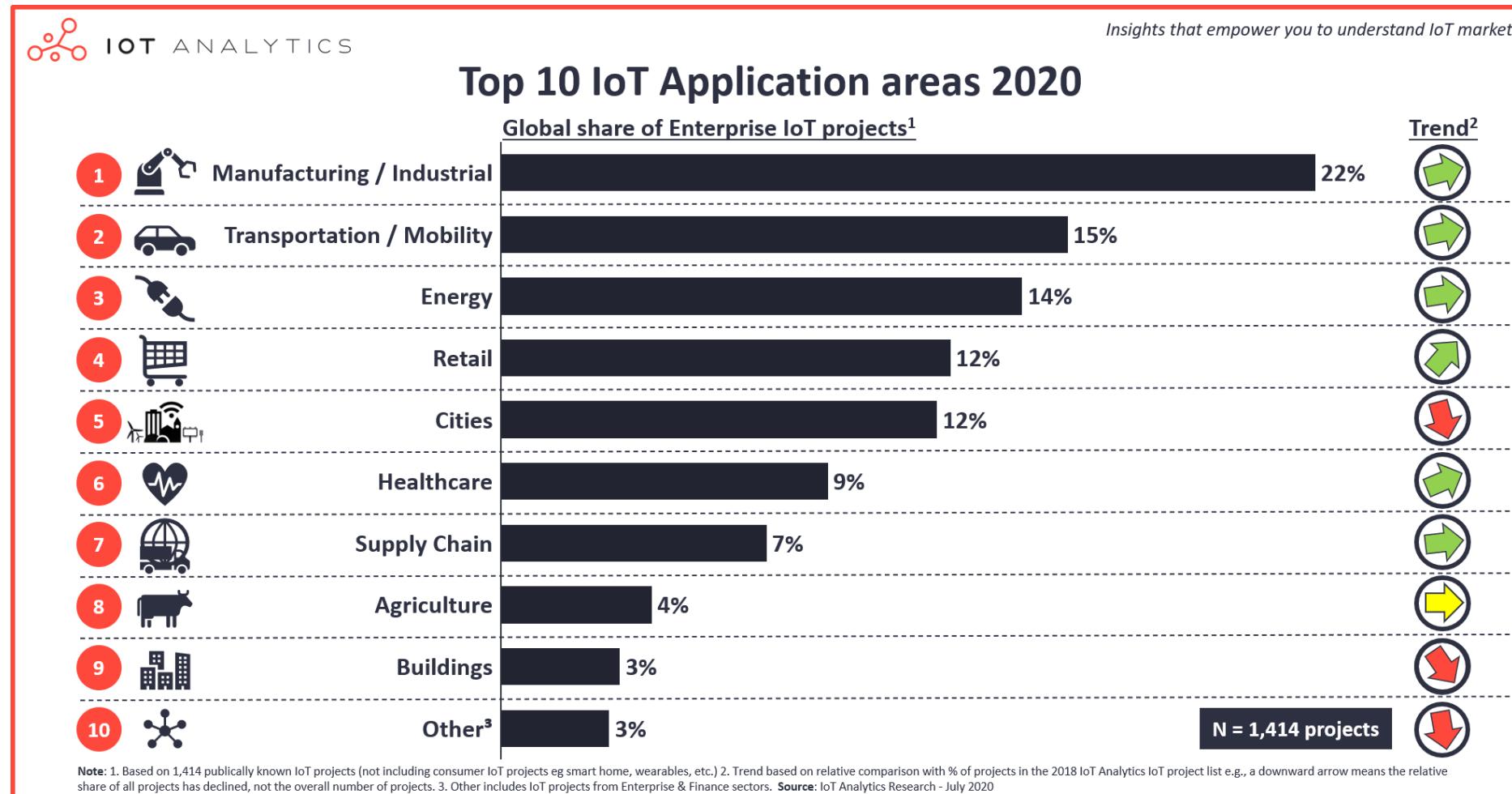
- Pametni grad (engl. *Smart City*)
- Pametno kućanstvo (engl. *Smart Home*)
- Pametna energija (engl. *Smart Energy*)
- Pametni transport (engl. *Smart Transport*)
- Pametna proizvodnja (engl. *Smart Manufacturing*)
- Pametno zdravstvo (engl. *Smart Health*)
- Pametna vlada (engl. *Smart Government*)
- Pametno iskustvo kupca (engl. *Smart Customer Experience*)
- Pametne financije (engl. *Smart Finance*)
- ...

Predviđanje IoT-tržišta 2020



Izvor: The Top 10 IoT Segments in 2018 – based on 1,600 real IoT projects, <https://iot-analytics.com/top-10-iot-segments-2018-real-iot-projects/>, 2018.

IoT-tržište 2020



Zahtjevi usluga

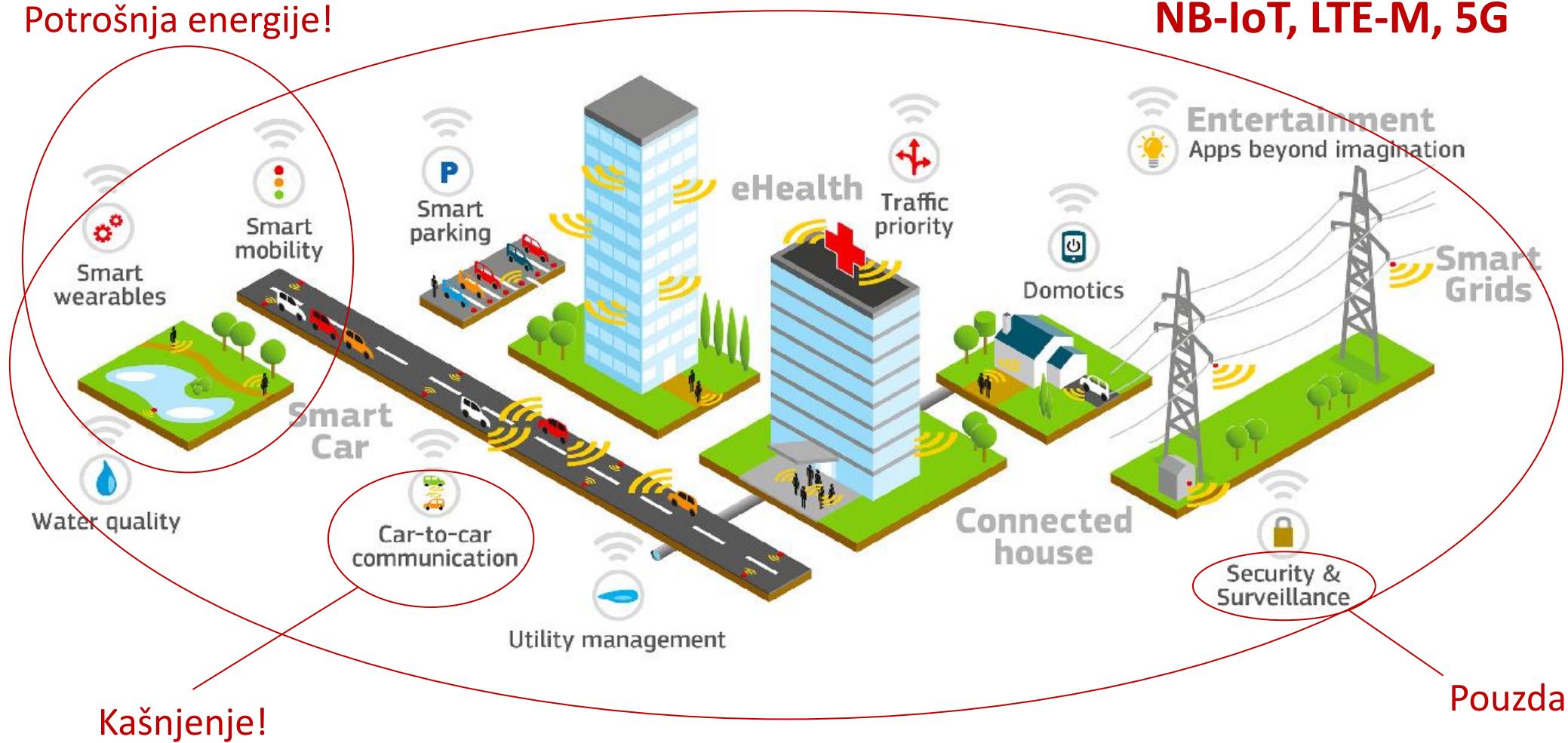
Potrošnja energije!

Kašnjenje!

Prostorna pokrivenost!
Mnogo uređaja!

NB-IoT, LTE-M, 5G

Pouzdanost!



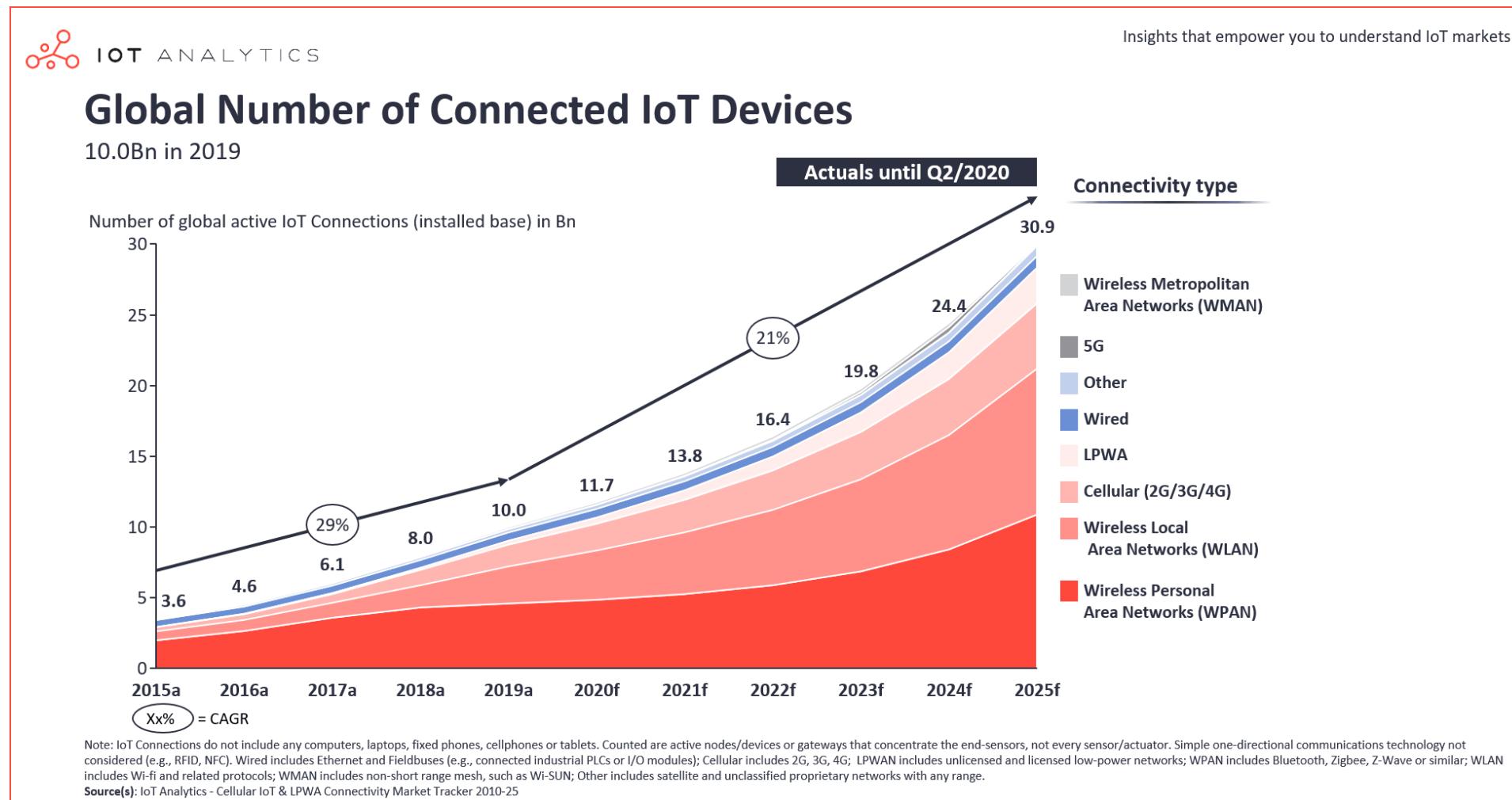
Zahtjevi na IoT vezani uz informacijsku sigurnost i privatnost (1)

- **Tajnost:**
 - informacija nije dostupna ili izložena neovlaštenim osobama, entitetima ili procesima;
- **Cjelovitost:**
 - točnost i potpunost informacije;
- **Raspoloživost:**
 - informacija je dostupna na zahtjev i omogućeno je njen korištenje od strane ovlaštenih osoba, entiteta ili procesa;
- **Vjerodostojnost:**
 - osoba, entitet ili proces je zaista onaj kojim se predstavlja;

Zahtjevi na IoT vezani uz informacijsku sigurnost i privatnost (2)

- **Odgovornost:**
 - obveza izvještavanja o aktivnostima i preuzimanja odgovornosti za njih;
- **Neporicanje:**
 - sposobnost dokazivanja događaja ili aktivnosti i osoba, entiteta ili procesa koji su ih pokrenuli ili u njima sudjelovali;
- **Pouzdanost:**
 - konzistentno ponašanje i rezultati.
- **Potencijalni problemi vezani uz privatnost:**
 - mogućnost lociranja stvari predstavlja prijetnju privatnosti i kad osoba nije izravno povezana s nekom stvari,
 - posredno je moguće povezati stvar s osobom (stvar pripada osobi, stvar se nalazi u istom prostoru s osobom)

Predviđanje rasta broja IoT-uredjaja



Izvor: IoT Analytics
Research, 2020.

Komunikacijski protokoli u sustavima M2M / IoT

Komunikacijski protokoli u sustavima M2M/IoT

- pristupne mreže (engl. *access networks*)
 - skupljanje i prijenos senzorskih podataka, upravljanje aktuatorima
 - Lokalne i osobne mreže (WLAN, WPAN): Zigbee (XBee), X10, Bluetooth LE, itd.
 - Mrežne tehnologije širokog područja (LPWAN): NB-IoT, LTE-M, LoRaWAN, Sigfox
- aplikacije (engl. *end-user applications*)
 - prikaz senzorskih podataka na web aplikaciji ili aplikaciji za pokretne uređaje
 - HTTP, CoAP, MQTT, XMPP, itd.
- upravljanje uređajima (engl. *device management*)
 - konfiguracija uređaja, prijava grešaka u radu
 - OMA-DM, TR-069, LWM2M, itd.

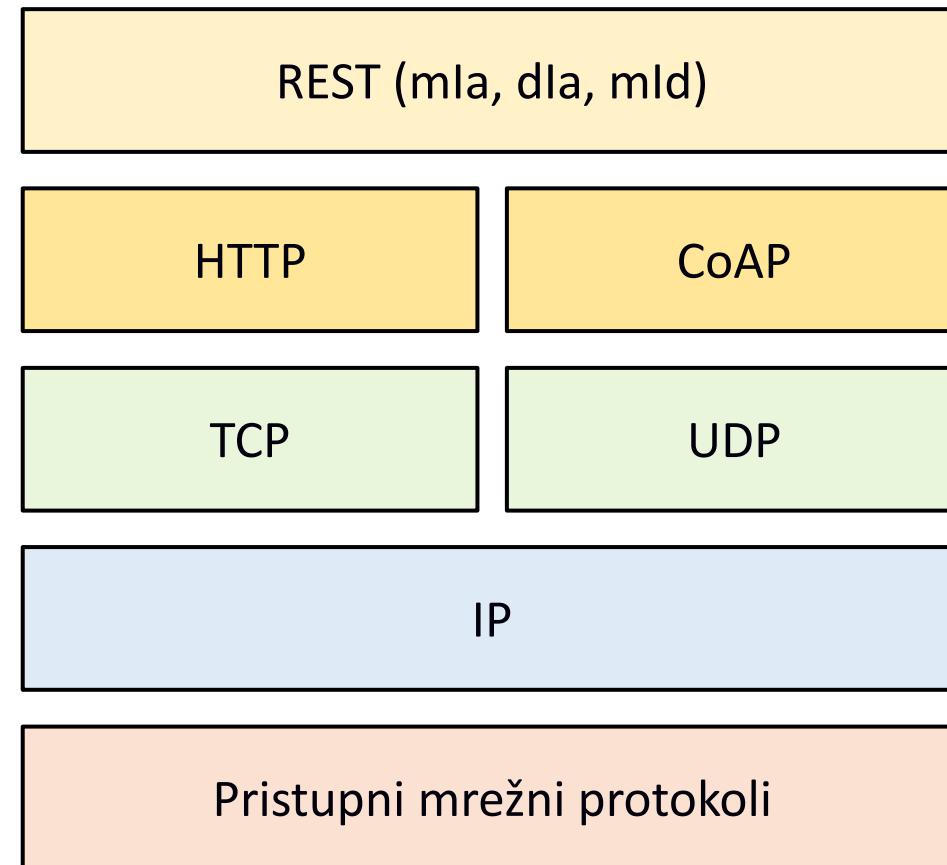
Paradigma REST

- *REpresentational State Transfer*
- autor: Roy Fielding (2000.)
 - vrsta softverske paradigmе za raspodijeljene komunikacijske sustave
 - sastoji se od minimalno dva entiteta: klijenta koji šalje zahtjev i poslužitelja koji nakon obrade zahtjeva vraća odgovor klijentu
 - zahtjevi i odgovori zasnovani su na prijenosu reprezentacije resursa
 - resurs može biti bilo kakav tip podatka koji mora imati jedinstvenu adresu

Paradigma REST – Obilježja

- zasniva se na sljedećim obilježjima:
 - model klijent-poslužitelj (engl. *client-server*)
 - ne pamti stanje (engl. *stateless*)
 - priručna memorija (engl. *cacheable*)
 - slojeviti sustav (engl. *layered system*)
 - trenutna izgradnja koda (engl. *code on demand*)
 - uniformno sučelje (engl. *uniform interface*)
- CRUD:
 - create, read, update and delete

Paradigma REST – Protokolni složaj



Protokol HTTP

HyperText Transfer Protocol

- aplikacijski protokol
 - HTTP verzija 1.1 (RFC 2616, 6/1999)
 - HTTP verzija 2 (HTTP/2) (RFC 7540, 5/2015)
 - HTTP verzija 3 u izradi (zasnovan na draftu „Hypertext Transfer Protocol (HTTP) over QUIC“)
- definira format i način razmjene poruka
- tekstualan zapis, sličan formatu e-mail poruke i MIME-standarda
- vrste poruka:
 - zahtjev (engl. *request*)
 - odgovor (engl. *response*)

Protokol HTTP – Poruke

```
GET /index.html HTTP/1.1  
Host: www.example.com
```

HTTP zahtjev

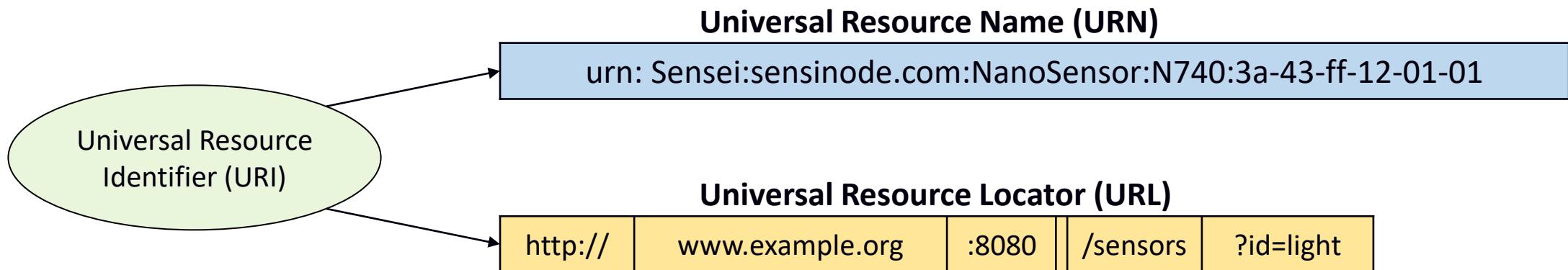
```
HTTP/1.1 200 OK  
Date: Mon, 23 May 2005 22:38:34 GMT  
Server: Apache/1.3.3.7 (Unix) (Red-Hat/Linux)  
Last-Modified: Wed, 08 Jan 2003 23:11:55 GMT  
ETag: „3f80f-1b6-3e1cb03b”  
Content-Type: text/html; charset=UTF-8  
Content-Length: 138  
Accept-Ranges: bytes  
Connection: close
```

HTTP odgovor

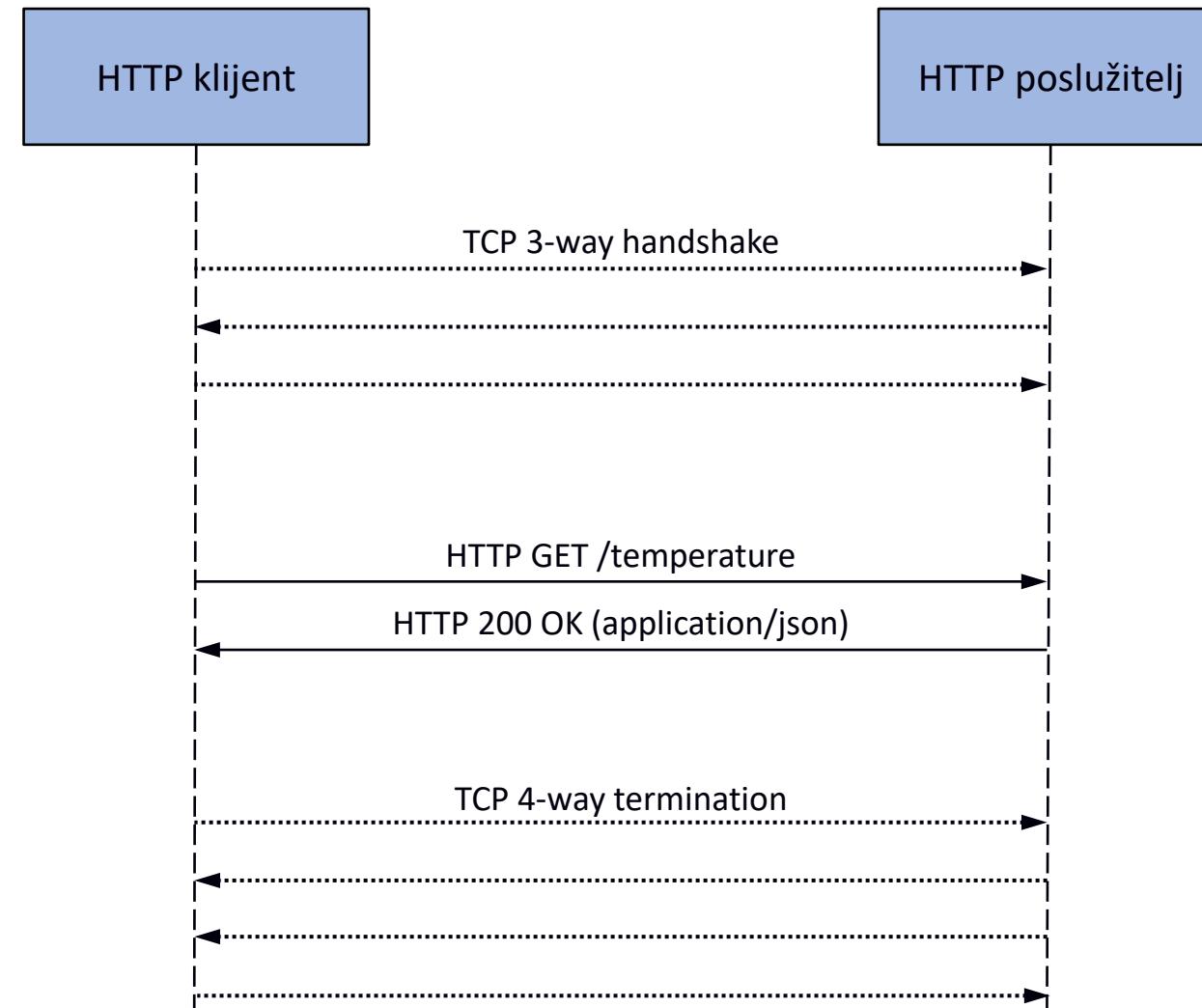
```
<html>  
<head><title>An Example Page</title></head>  
<body>Hello World, this is a very simple HTML  
document.</body>  
</html>
```

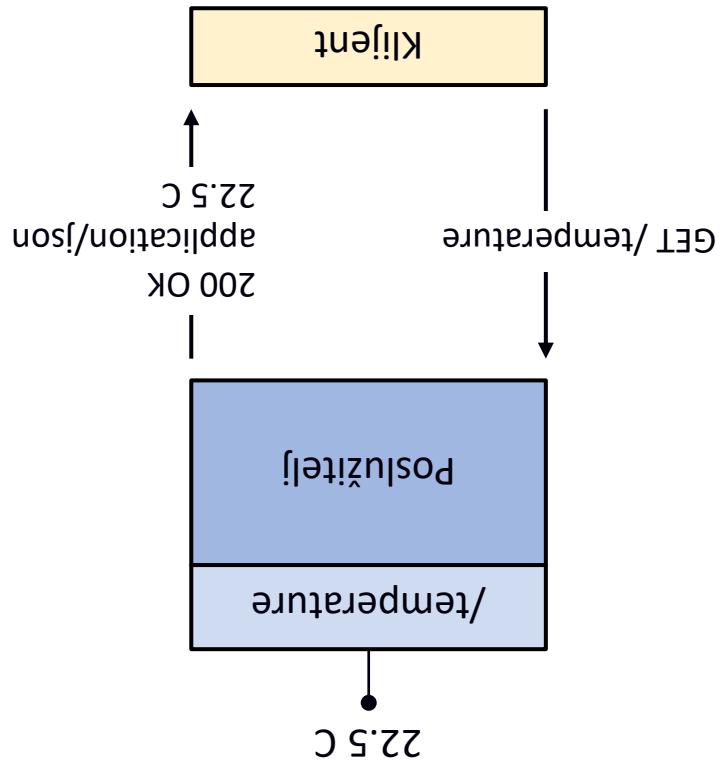
Protokol HTTP – URI

- Universal Resource Identifier (URI)
 - jedinstveni identifikator resursa (RFC 3986, 1/2005)
- Universal Resource Name (URN):
 - identificira resurs po imenu u određenom prostoru imena
- Universal Resource Locator (URL):
 - sadrži shemu, ime ili IP-adresu poslužitelja, broj porta, putanju te po potrebi još upit



Protokol HTTP – Tijek komunikacije





- podrška za CRUD: POST/GET/PUT/DELETE
- tipovi podataka (RFC 6838, 1/2013)
- Primjer:

Protokol HTTP – REST

Protokol CoAP

Constrained Application Protocol

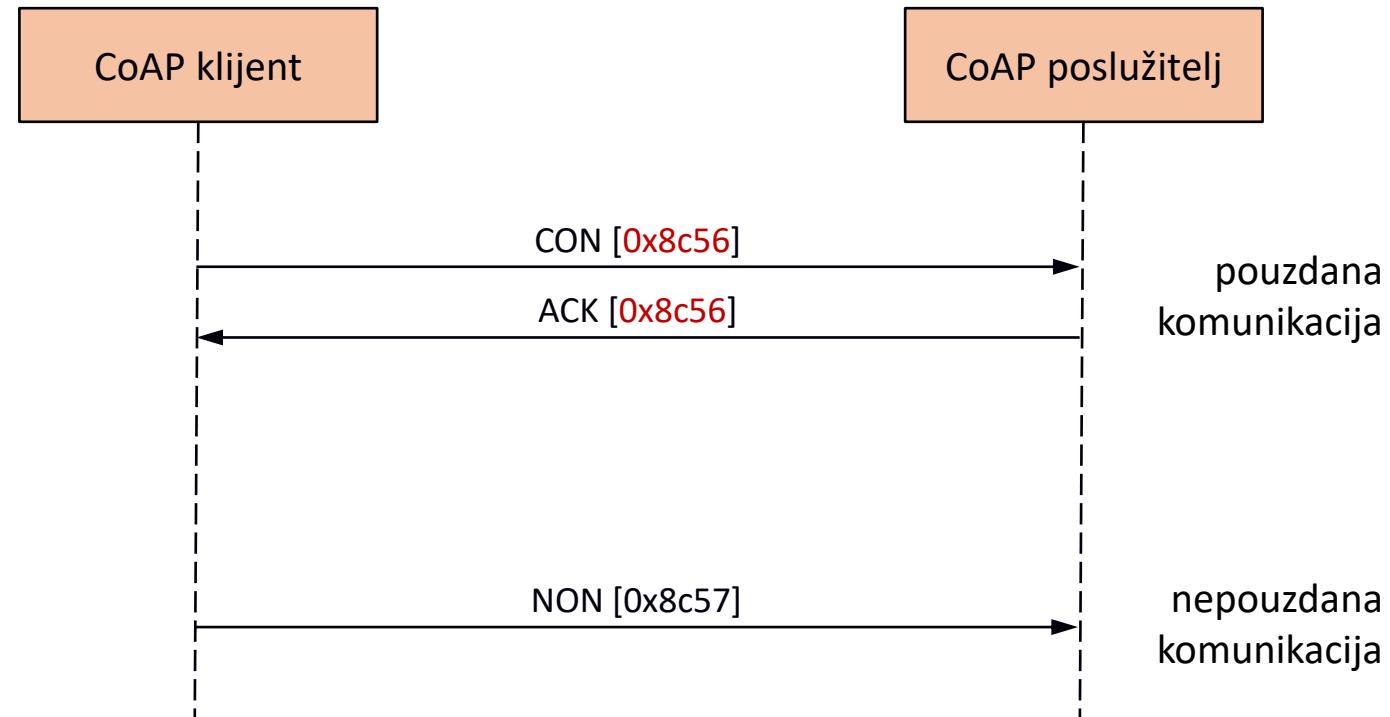
- aplikacijski protokol
 - definiran u RFC 7252 (6/2014)
- vrlo učinkovit RESTful protokol
- idealan za uređaje s manjom potrošnjom energije
- specijaliziran za M2M/IoT aplikacije
- podrška za višeodredišno razašiljanje
- jednostavna translacija u/iz protokola HTTP

Protokol CoAP – Obilježja

- **Obilježja:**
 - ugrađena podrška za web-prijenos (*coap://*)
 - jednostavno zaglavlje (4 byte) s puno opcionalnih polja
 - asinkrona razmjena poruka
 - koristi protokol UDP na transportnom sloju (podrška za *unicast* i *multicast* komunikaciju)
 - podrška za URI i CRUD (koristi slični skup metoda kao i HTTP, te slične statusne kôdove) → jednostavna translacija iz/u HTTP
 - sigurnost: protokol DTLS (*Datagram Transport Layer Security*)
 - dodatne opcije u prijenosu: *Observe (pub /sub)* i *Block* (fragmentacija)

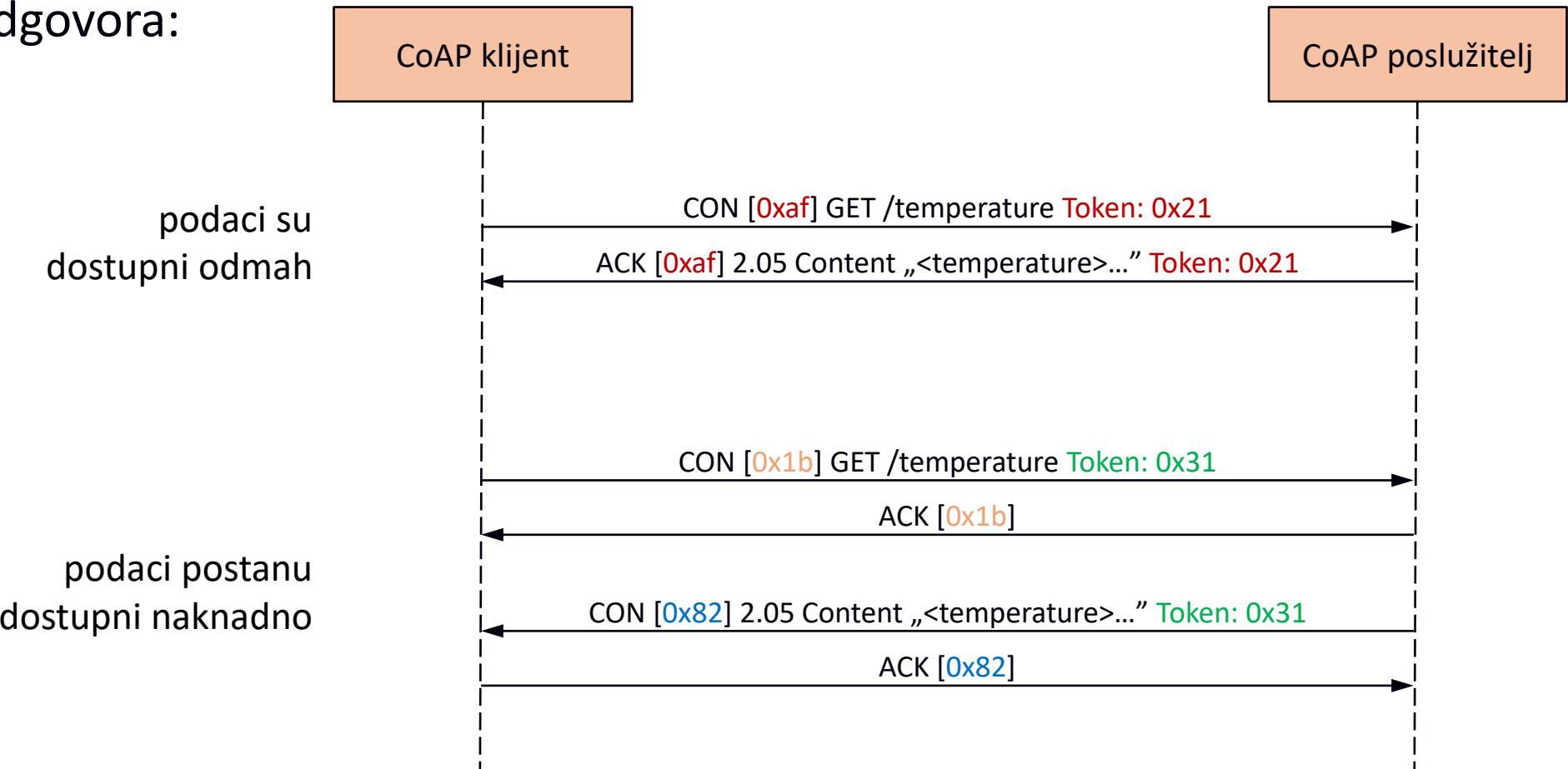
Protokol CoAP – Poruke

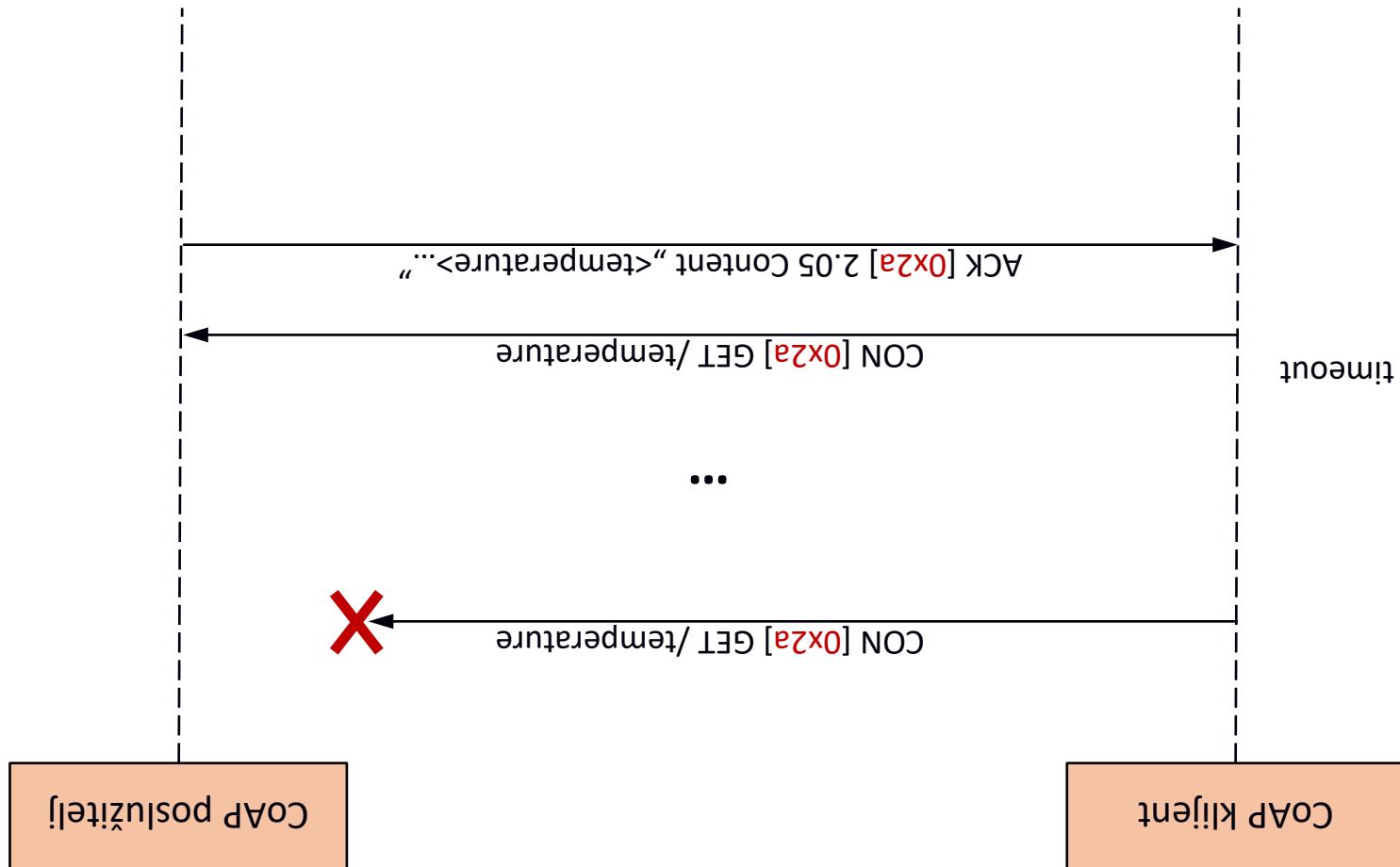
- četiri tipa poruka: CON (*Confirmable*), NON (*Non-confirmable*), ACK (*Acknowledgement*), RST (*Reset*)
- dvije vrste slanja podataka: pouzdan ili nepouzdan način



Protokol CoAP – Tijek komunikacije

- dvije vrste odgovora:



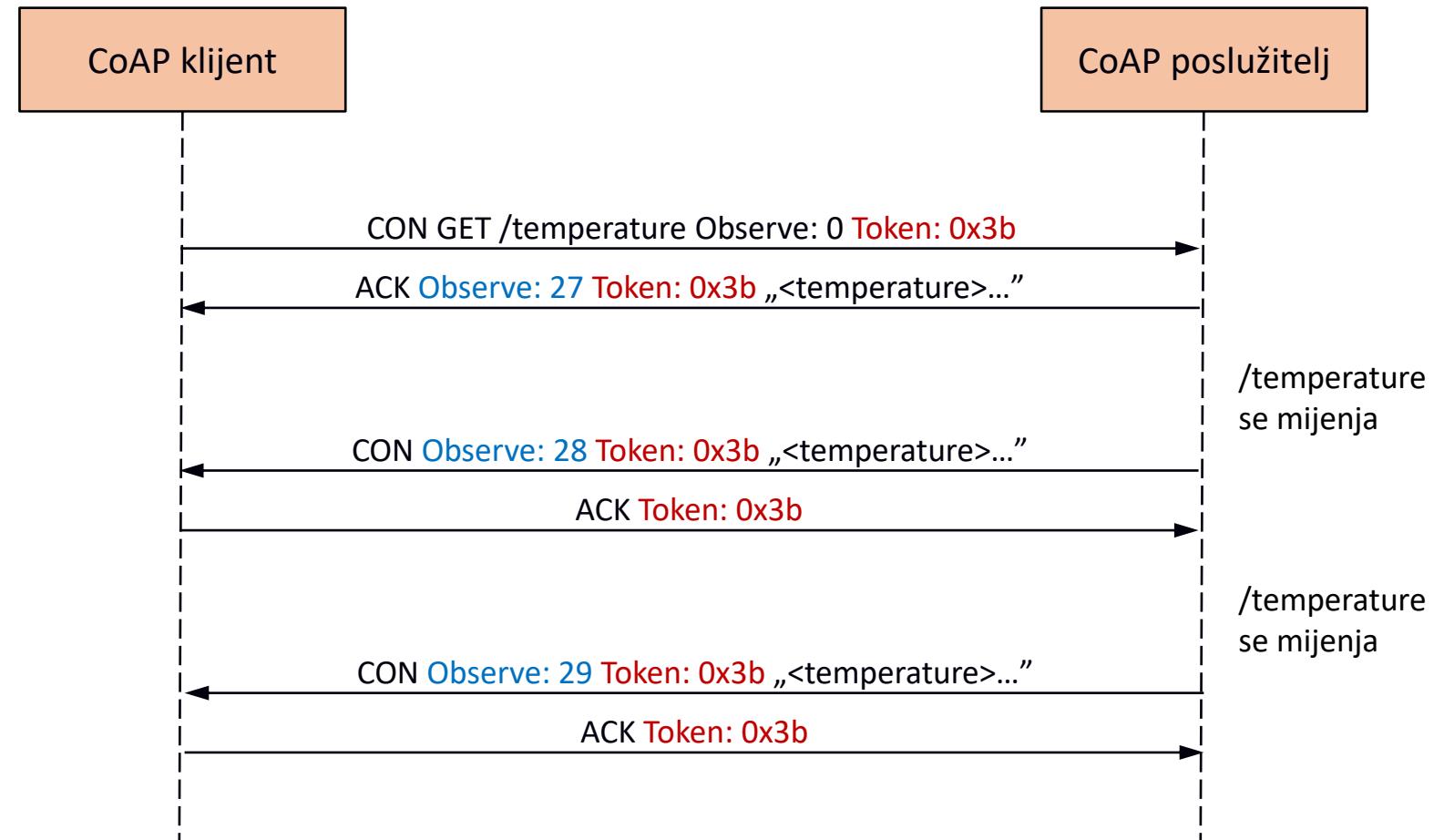


- greška u prijenosu:

Protokol CoAP – Greška u prijenosu

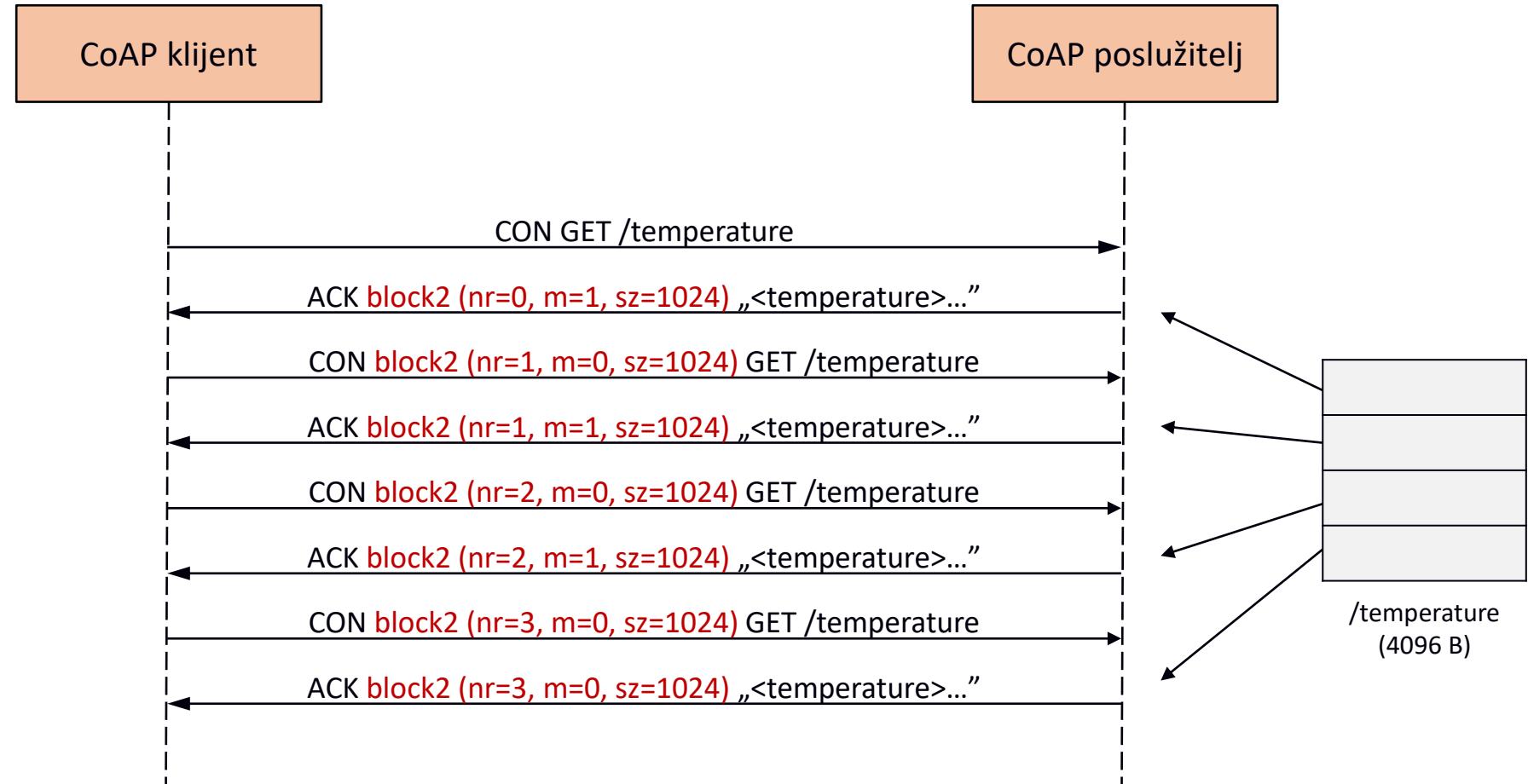
Protokol CoAP – Observe

- polje *Observe* :



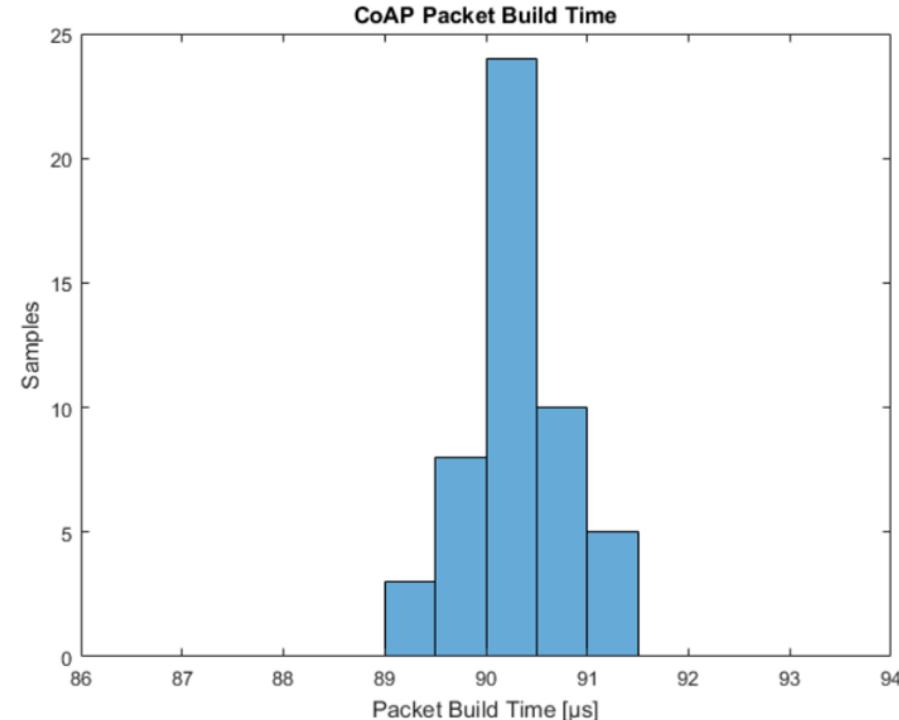
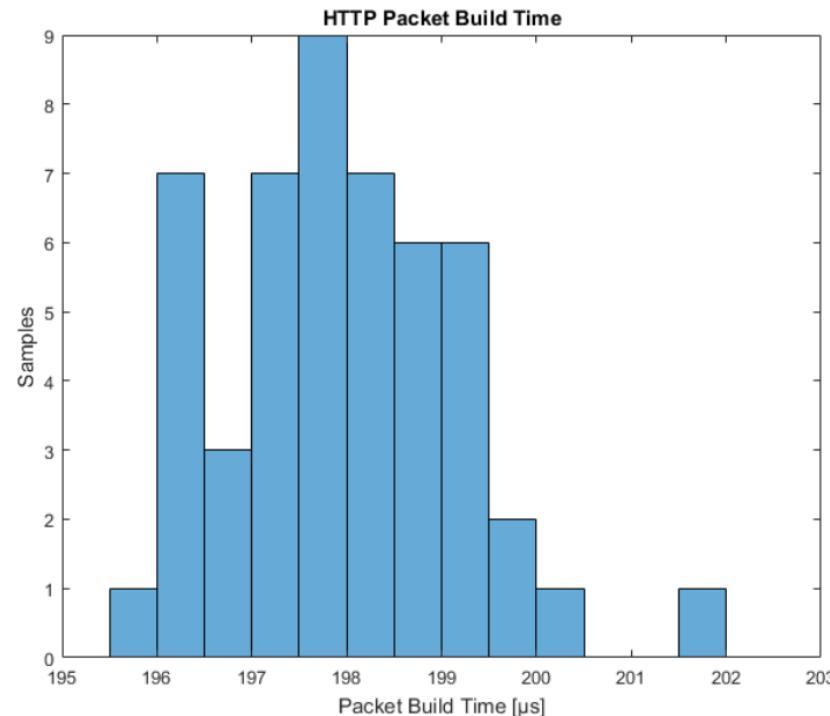
Protokol CoAP – Block

- polje *Block* :



Usporedba: HTTP-CoAP

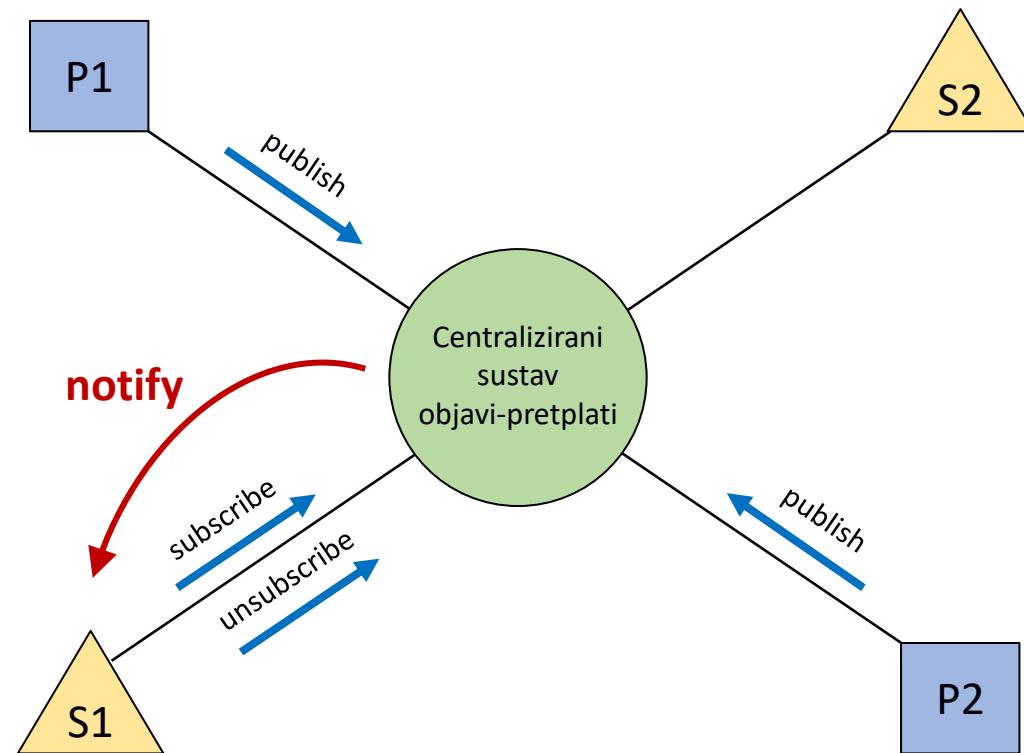
- Vrijeme stvaranja paketa



Izvor: D. Wildmark, J. Tengvall, *Designing Applications for use of NB-IoT*, Bachelor thesis, Malmö University, 2017

Paradigma Objavi-Pretplati (1)

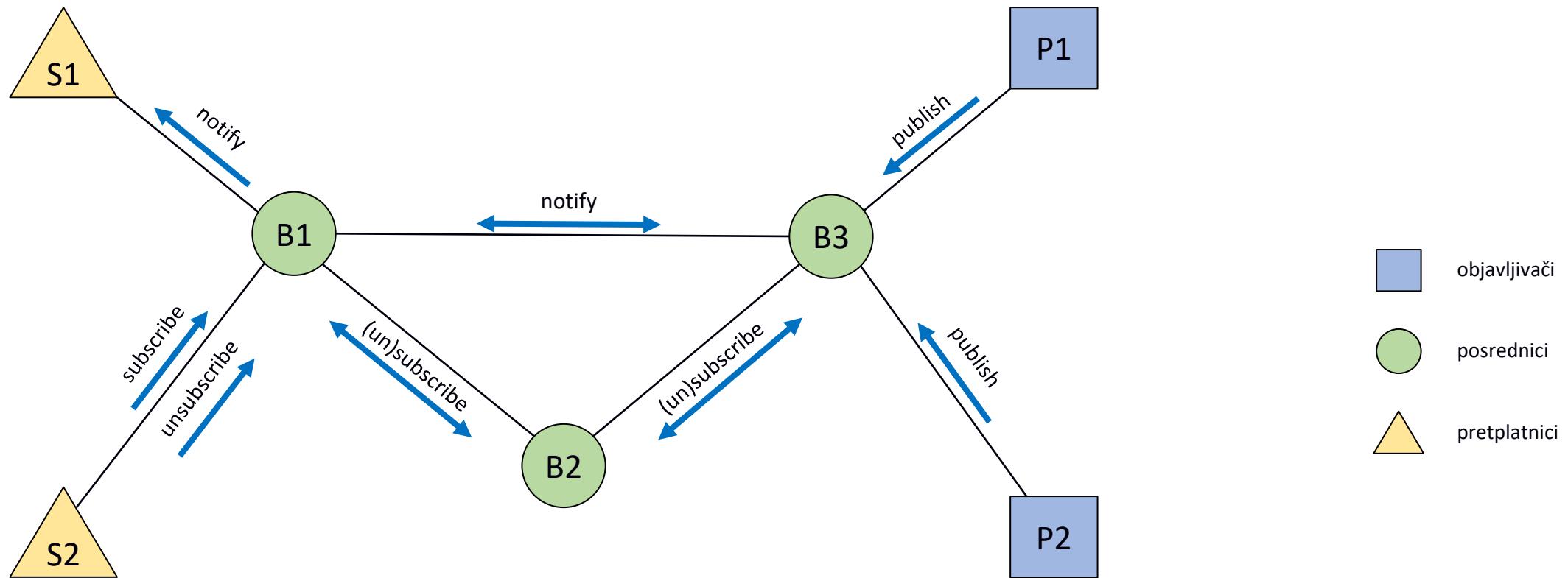
- centralizirana arhitektura:



(Izvor: *Raspodijeljeni sustavi - 3. Procesi i komunikacija: komunikacija porukama, model objavi-preplati, dijeljeni podatkovni prostor*, FER, 2018./2019.)

Paradigma *Objavi-Pretplati* (2)

- raspodijeljena arhitektura:



(Izvor: *Raspodijeljeni sustavi - 3. Procesi i komunikacija: komunikacija porukama, model objavi-preplati, dijeljeni podatkovni prostor*, FER, 2018./2019.)

Protokol MQTT

- nekada: *MQ (message queuing) Telemetry Transport*
- aktualna verzija: MQTT v5.0 (OASIS Standard, 5/2018)
- zasniva se na arhitekturi objavi-preplati i izvodi se preko konekcije temeljene na protokolnom složaju TCP/IP
- namijenjen je za rad na uređajima s:
 - malom procesorskom i memorijskom snagom
 - baterijama malog kapaciteta
 - niskim prijenosnim brzinama
 - ali potencijalno visokim kašnjenjem i promjenjivom dostupnošću

Protokol MQTT – Entiteti

- entiteti:
 - MQTT poslužitelj (broker): posreduje u prijenosu poruka između klijenata-objavljavača i klijenata-preplatnika
 - prihvata konekcije od klijenata
 - prihvata poruke koje objavljaju klijenti-objavljavači
 - prosljeđuje poruke klijentima-preplatnicima
 - obrađuje zahtjeve klijenata za početkom odnosno krajem pretplate na temu
 - gasi konekcije klijenata prema poslužitelju
 - klijenti: razlikuju se klijenti-objavljavači i klijenti-preplatnici
 - spajaju se na poslužitelja
 - objavljaju poruke u temama
 - pretplaćuju se na određenu temu odnosno ukidaju pretplatu na temu
 - gase konekciju prema poslužitelju

Protokol MQTT – QoS

- tri QoS (*Quality of Service*) razine MQTT poruka:

QoS 0	isporuka najviše jedan put (engl. <i>at most once delivery</i>)
QoS 1	isporuka barem jedan put (engl. <i>at least once delivery</i>)
QoS 2	isporuka točno jedan put (engl. <i>exactly once delivery</i>)

- tipovi MQTT poruka:

Tip poruke	Objašnjenje
CONNECT	Klijent šalje poslužitelju zahtjev za stvaranjem konekcije
CONNACK	Poslužitelj klijentu vraća potvrdu o konekciji
PUBLISH	Slanje poruke
PUBACK	Potvrda o slanju poruke
PUBREC	Potvrda o primanju poruke
PUBREL	Potvrda o otpuštanju poruke
PUBCOMP	Potvrda o uspješnom slanju poruke

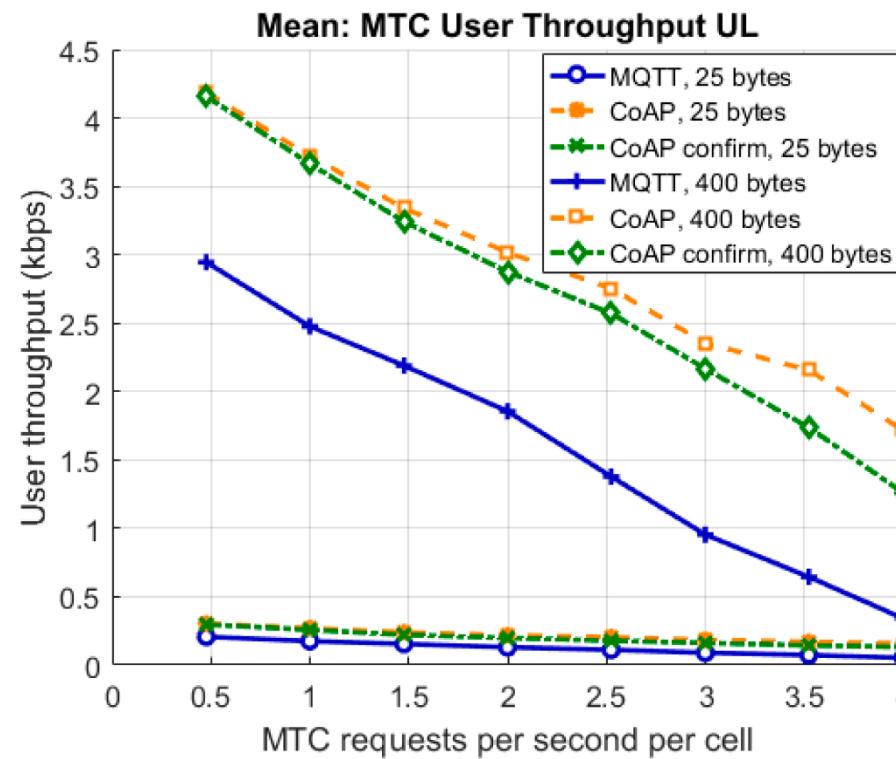
Protokol MQTT – Poruke

- tipovi MQTT poruka (nastavak):

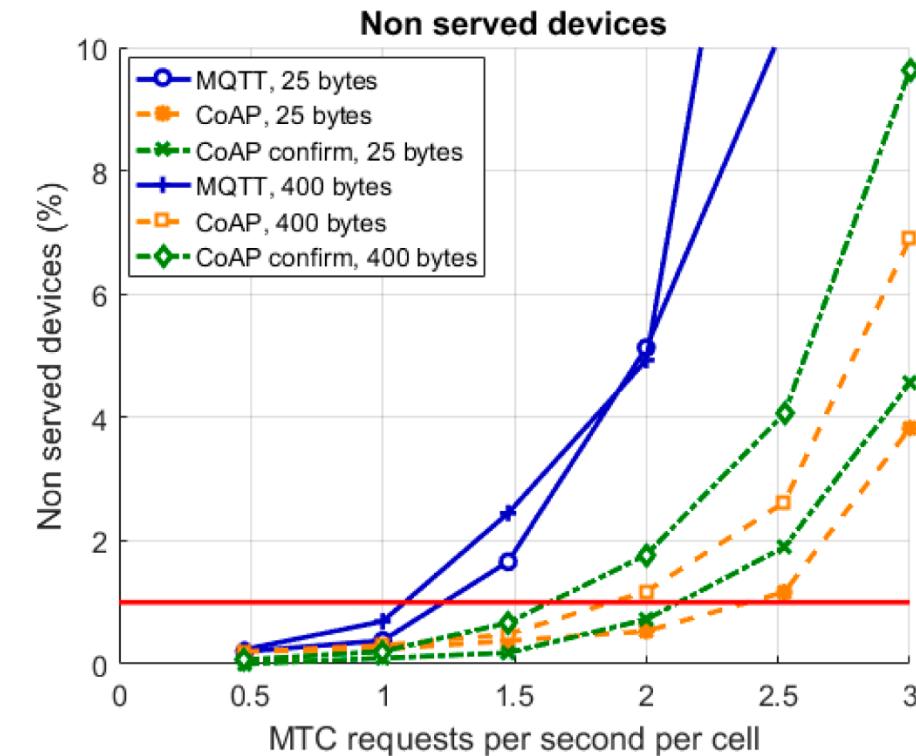
Tip poruke	Objašnjenje
SUBSCRIBE	Klijent šalje poslužitelju zahtjev za pretplatom
SUBACK	Poslužitelj klijentu vraća potvrdu o pretplati
UNSUBSCRIBE	Klijent šalje poslužitelju zahtjev za ukidanjem pretplate
UNSUBACK	Poslužitelj klijentu vraća potvrdu o ukidanju pretplate
PINGREQ	Klijent šalje poslužitelju zahtjev PING
PINGRESP	Poslužitelj klijentu vraća potvrdu o zahtjevu PING
DISCONNECT	Klijent javlja poslužitelju da ukida stvorenu konekciju
AUTH	Razmjena informacija o autentifikaciji između klijenta i poslužitelja

Usporedba: CoAP-MQTT

- Propusnost



- Broj odbačenih zahtjeva



Izvor: A. Larmo, A. Raitilainen, J. Saarinen, *Impact of CoAP and MQTT on NB-IoT system performance*, Sensors 19 (1), 2018

Protokol XMPP

- originalno razvijen 1999. pod imenom Jabber
- inicijalno u širokoj uporabi u okviru sustava trenutnog poručivanja (engl. *instant messaging*) i praćenja prisutnosti, kasnije se uporaba širi na sustave objavi-preplati, VoIP, mrežne igre, društvene mreže, itd.
- arhitektura:
 - decentralizirani model klijent-poslužitelj (ne postoji centralni poslužitelj!)
 - klijenti su raspoređeni u domene
 - na transportnom sloju koristi se protokol TCP
 - svaki entitet ima jedinstvenu adresu, tzv. JabberID (korisničko_ime@domena.tld/resurs)

Protokol XMPP – XML strofa

- najmanja jedinica u komunikaciji protokolom XMPP: XML strofa (engl. *XML stanza*)
- razlikuju se:
 - strofa za poruke (*message*):
 - normal, chat, groupchat, headline, error
 - strofa za prisutnost (*presence*)
 - strofa za informacije (*info/query, iq*)
- namespace deklaracija: npr. „jabber:client“ ili „jabber:server“

Protokol XMPP – Poruke

- Primjer isječka za prijenos poruke:

```
<message
    to='romeo@example.net'
    from='juliet@example.com/balcony'
    type='chat'
    xml:lang='en'>
    <subject>I implore you!</subject>
    <subject
        xml:lang='cz'>&#x00DA;p&#x011B;nliv&#x011B; prosim!</subject>
    <body>Wherfore art thou, Romeo?</body>
    <body xml:lang='cz'>Pro&#x010D;e&#x017D; jsi ty, Romeo?</body>
</message>
```

Protokol XMPP – XEP

- XMPP Extension Protocol (XEP): mogućnost proširivanja osnovnog standarda
- primjeri XEP-a za IoT područje:
 - XEP-0323: Internet of Things – Sensor Data
 - XEP-0324: Internet of Things – Provisioning
 - XEP-0325: Internet of Things – Control
 - XEP-0326: Internet of Things – Concentrators

Aplikacijski protokoli: Zaključak

- **HTTP vs. CoAP**
 - HTTP je osnova weba i kao takav sigurno neće biti zamijenjen CoAP-om
 - nova verzija protokola HTTP uvodi kompresiju zaglavlja te podršku za *push* s poslužiteljske strane
 - CoAP osigurava financijske uštede zbog efikasnije komunikacije s velikim brojem uređaja i njihove smanjene potrošnje baterija
 - protokol CoAP nudi veću fleksibilnost (Observe, Block)
- **MQTT vs. XMPP**
 - MQTT je iznimno efikasan protokol
 - XMPP je vrlo prilagodljiv protokol (XEP) dokazan u velikim decentraliziranim raspodijeljenim sustavima u praksi

Literatura

- 3GPP Technical Report 22.868, v8.0.0, 3GPP, 2007.
- G. Lawton: Machine-to-Machine Technology Gears Up for Growth, IEEE Computer, vol. 37(9), pp. 12-15, 2004.
- oneM2M - Standards for M2M and the Internet of Things, <http://www.onem2m.org/about-onem2m/why-onem2m>
- oneM2M Technical Specification TS-0001-V1.6.1, oneM2M, 2015.
- oneM2M Technical Specification TS-0002-V1.0.1, oneM2M, 2015.
- oneM2M Technical Report TR-0009-V0.7.0, oneM2M, 2014.
- Roy T. Fielding: Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures, doctoral thesis, University of California, Irvine, 2000.
- M. Belshe, R. Peon i M. Thomson: Hypertext Transfer Protocol Version 2 (HTTP/2), RFC 7540, 2015.
- T. Berners-Lee, R. Fielding i L. Masinter: Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax, RFC 3986, 2005.
- ARM IoT Tutorial - CoAP: The Web of Things Protocol, Zach Shelby, 2014.

Literatura

- Z. Shelby, K. Hartke i C. Bormann: The Constrained Application Protocol (CoAP), RFC 7252, 2014.
- A. Castellani, S. Loreto, A. Rahman, T. Fossati i E. Dijk: Guidelines for HTTP-CoAP Mapping Implementations, draft-ietf-core-http-mapping-07, 2015.
- MQTT Version 5.0, OASIS Standard, <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/cs02/mqtt-v5.0-cs02.pdf>, 2018.
- P. Saint-Andre: Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP): Core, RFC 6120, 2011.
- Jabber.org, <http://www.jabber.org/>
- Tapiro Levä: Feasibility analysis of new Internet protocols, doctoral thesis, Aalto University, 2014.
- Komunikacijske mreže - 10. Internetske usluge: World Wide Web, Elektronička pošta, FER, 2018./2019.
- D. Wildmark, J. Tengvall, *Designing Applications for use of NB-IoT*, Bachelor thesis, Malmö University, 2017
- Raspodijeljeni sustavi - 3. Procesi i komunikacija: komunikacija porukama, model objavi pretplati, dijeljeni podatkovni prostor, FER, 2018./2019.

Literatura

- A. Larmo, A. Ratilainen, J. Saarinen, Impact of CoAP and MQTT on NB-IoT system performance, Sensors 19 (1), 2018
- OMA Device Management Protocol (2016), http://www.openmobilealliance.org/release/DM/V1_3-20160524-A/OMA-TS-DM_Protocol-V1_3-20160524-A.pdf
- Lightweight Machine to Machine Technical Specification: Core, http://openmobilealliance.org/RELEASE/LightweightM2M/V1_1-20180612-C/OMA-TS-LightweightM2M_Core-V1_1-20180612-C.pdf
- K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, F. Meyer, ICT Express, A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment, ICT Express 5 (1), 2019, pp. 1-7
- Izvor: NB-IoT networks - Traffic engineering and advanced wireless network planning, https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/ITU-ASP-CoE-Training-on-/Session5_NB_IoT%20networks.pdf
- Mobile IoT guide: How NB-IoT and LTE-M are helping IoT take off, <https://iot.telekom.com/resource/blob/data/177214/02ccc79436c73ed5a6632ffc04a438d6/mobile-iot-guide-2019.pdf>