

8. Komutacija u mobilnim telekomunikacionim mrežama

Komutacija u mobilnim telekomunikacionim mrežama

Sadržaj

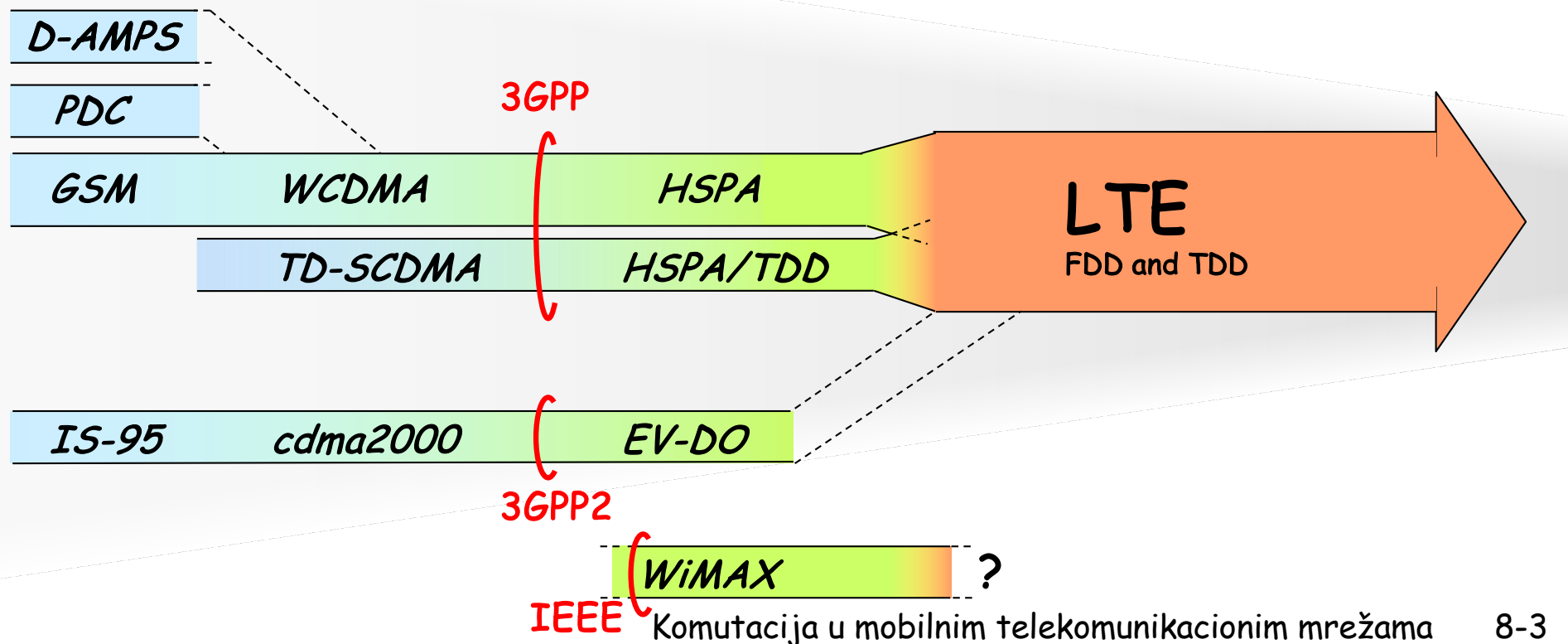
□ 4G

- Standardizacija
- Frekvencijski opsezi
- Servisi i arhitektura
- Arhitektura protokola
- Mrežne procedure

Globalna konvergencija

LTE je trenutno vodeća mobilna širokopojasna tehnologija

- Konvergencija 3GPP i 3GPP2 tehnologija
- Konvergencija FDD i TDD u jednu tehnologiju



Standardizacija 4G mreže

U preporuci ITU-R M.1645 ostavljeni su sljedeći ciljevi za četvrtu generaciju (4G) mobilne tehnologije, nazvane IMT-Advanced od strane ITU-a:

- ❑ Sistem treba da podrži maksimalne brzine prenosa podataka od 1Gbit/s kada je mobilni terminal nepomičan ili se sporo kreće, i 100 Mb/s kada je terminal u vozilu u pokretu.
- ❑ Sistem treba da podrži širok spektar simetričnih, asimetričnih i unidirekcionih usluga sa različitim nivoima kvaliteta usluge (QoS) u all IP mreži.
- ❑ Sistem treba da bude u skladu sa zahtjevima za spektrom i spektralnom efikasnošću IMT-Advanced, kako je specificirano od strane ITU-R.

Standardizacija 4G mreže

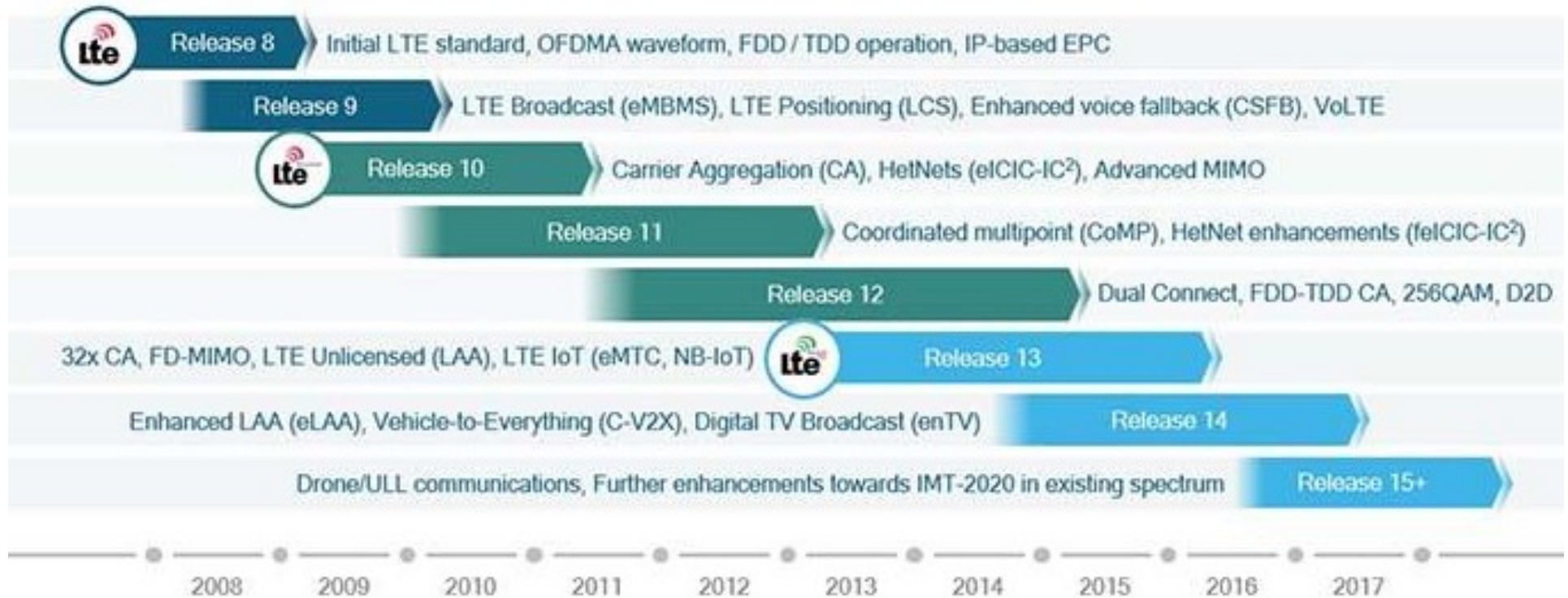
3GPP je započeo rad na standardizaciji u skladu sa zahtjevima IMT-Advanced-a 2004. godine. Osnovni ciljevi LTE (*Long Term Evolution*) standardizacije definisani su tako da LTE sistem treba da:

- ❑ bude optimizovan za IP-baziran saobraćaj podataka i mora biti kompatibilan sa IMS (*3GPP IP Multimedia System*) jezgrom mreže, pri čemu neće podržavati usluge komutacije kola.
- ❑ podrži brzine prenosa podataka od 100 Mb/s na *downlink-u* i 50 Mb/s na *uplink-u*.
- ❑ unosi kašnjenje (RTT - *Round Trip Time*) između terminala i mreže ispod 10 ms, pri čemu uspostavljanje nove veze ne treba da traje duže od 300 ms.
- ❑ ima efikasnost iskorišćenja spektra koja je dva do četiri puta veća od HSPA Rel-6 sistema.
- ❑ ima skalabilnu širinu opsega između 1,5 i 20 MHz.
- ❑ ima jednostavniju arhitekturu od 3G
- ❑ ima minimalnu potrošnju energije terminala
- ❑ obezbijedi kompatibilnost unazad sa prethodnim tehnologijama
- ❑ garantuje sigurnost barem na nivou njegovih prethodnika.

Standardizacija 4G mreže

- ❑ LTE je definisan u 3GPP seriji standardna TS 36, počevši od Rel-8.
- ❑ TS 36.300 pruža detaljan pregled arhitekture, funkcionalnosti i protokola LTE-a.
- ❑ 3GPP LTE standardi su razvijeni i objavljeni kao uzastopni standardi, a ključne karakteristike definisane su u sljedećim izdanjima:
 - 3GPP Rel-8 je uveo LTE radio i evoluciju nove SAE (*System Architecture Evolution*) mreže.
 - 3GPP Rel-9 je unaprijedio LTE sa interoperabilnošću UMTS-a (3G).
 - 3GPP Rel-10 je prvi put specificirao LTE-A (*Long-Term Evolution Advanced*) karakteristike kako bi zadovoljilo zahtjeve *IMT Advanced 4G* i uveo podršku za agregaciju nosilaca, LTE relejne čvorove i ICIC (*Inter-Cell Interference Coordination*).
 - 3GPP Rel-11 je nastavio sa specificiranjem LTE relejnih čvorova, uveo nove LTE opsege, poboljšao agregaciju nosioca i podršku za ICIC.
 - 3GPP Rel-12 je uveo nove tehnike agregacije nosilaca i MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*), kao i poboljšanu podršku za male ćelije.
 - 3GPP Rel-13 je pružio podršku za korišćenje LTE-a u nelicenciranim opsezima, MTC (*Machine Type Communications*) i dodatne konfiguracije sa više antena.
 - 3GPP Rel-14 i Rel-15 su uveli poboljšanja u oblastima kao što su kritični podaci, TV usluge, podrška za Internet stvari (IoT), unapređenje MTC, podrška daljem razdvajanju funkcija korisničke i kontrolne ravni, povećanje kapaciteta mreže i minimizacija kašnjenja usled vremena obrade.

Razvoj LTE



LTE
LTE Advanced 4
LTE Advance Pro

Frekvencijski opsezi 4G mreže

- ❑ LTE podržava i FDD (*Frequency Division Duplex*) i TDD (*Time Division Duplex*) metode za razdvajanje *uplink* i *downlink* prenosa.
- ❑ FDD koristi odvojene pod-opsege za *uplink* i *downlink*, uz zaštitni opseg između njih.
- ❑ TDD dijeli jedan opseg za *uplink* i *downlink* koristeći vremensko razdvajanje.
- ❑ TDD koristi zaštitni period od 5 ili 10 ms između *uplink* i *downlink* podokvira potpunog LTE okvira.
- ❑ Posebni TDD podokviri prenose kako *uplink* tako i *downlink* saobraćaj u različitim slotovima i zaštitni slot između njih.
- ❑ TDD koristi asimetričnu konfiguraciju gdje je broj *downlink* podokvira veći od broja *uplink* podokvira.
- ❑ Početna LTE Rel-8 specifikacija definisala je 27 radio opsega za LTE sistem.
- ❑ 18 FDD opsega i osam TDD opsega.

Frekvencijski opsezi 4G mreže

- ❑ Svaki određeni radio opseg ima svoju vlastitu širinu opsega.
- ❑ Svaki FDD opseg sastoji se od dva pod-opsega iste širine između 10 i 75 MHz.
- ❑ Širina svakog TDD opsega je između 16 i 60 MHz.
- ❑ Globalni opsezi
 - Frekvencijski opseg 824-960 MHz ima tri FDD opsega: 5, 6 i 8
 - Frekvencijski opseg 1428-1500 MHz ima jedan FDD opseg: 11
 - Frekvencijski opseg 1710-2170 MHz ima šest FDD opsega: 1-4, 9-10
 - Frekvencijski opseg 1880-1920 MHz ima dva TDD opsega: 33 i 39
 - Frekvencijski opseg 2010-2025 MHz ima jedan TDD opseg: 34
 - Frekvencijski opseg 2300-2400 MHz ima jedan TDD opseg: 40
 - Frekvencijski opseg 2500-2690 MHz ima jedan FDD opseg: 7
 - Frekvencijski opseg 2570-2620 MHz ima jedan TDD opseg: 38
- ❑ SAD
 - Frekvencijski opseg 700-800 MHz ima četiri FDD opsega: 12-14, 17
 - Frekvencijski opseg 1850-1990 MHz ima tri TDD opsega: 35-37
- ❑ Japan
 - Frekvencijski opseg 815-890 MHz ima dva FDD opsega: 18 i 19

Frekvencijski opsezi 4G mreže

- ❑ Dodatni radio opsezi su definisani za LTE nakon Rel-8.
- ❑ Ovi dodatni opsezi su uvedeni uglavnom kako bi podržali prenamjenu opsega za LTE prilikom povlačenja starih celularnih mreža koje su se oslanjale na te opsege.
- ❑ Većina LTE implementacija se oslanja na FDD, dok se TDD široko koristi u Kini i Sjedinjenim Američkim Državama, ali i u nekim dijelovima Evrope.

Frekvencijski opsezi 4G mreže

- ❑ Mobilni terminal može istovremeno koristiti više LTE radio opsega kako bi povećao brzinu prenosa podataka u odnosu na ono što jedan opseg može pružiti.
- ❑ LTE specifikacije definišu dva načina za postizanje tog cilja:
 - CA (*Carrier Aggregation*)
 - gdje se više CC (*Component Carrier*) nosilaca iste radio tehnologije iz jednog eNodeB-a kombinuje kao nosilac široke propusnosti.
 - Saobraćaj se dijeli na CC u MAC sloju protokola.
 - Jedan od CC može se koristiti kao primarni, za prenos RRC (Radio Resource Control) kontrolne signalizacije i HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) odgovora, dok se drugi sekundarni nosioci koriste samo za korisničke podatke.
 - LTE CA je uvedena u 3GPP Rel-10 sa podrškom za tri kombinacije CA opsega.
 - U Rel-11, broj kombinacija povećan je na 30, a maksimalna podržana širina CA opsega bila je 40 MHz.
 - Nakon Rel-11, specificirano je još više kombinacija CA opsega do ukupne širine od 100 MHz sa pet CC.
 - Agregacija nosilaca se obično koristi za *downlink* gdje se može agregirati više nosilaca.
 - Na *uplink*-u, najčešće je dovoljan jedan nosilac, ali specifikacije podržavaju agregiranje dva nosioca.
 - DC (*Dual Connectivity*)
 - gdje se paralelno koristi nekoliko CC iz različitih eNodeB-ova.
 - Jedan od eNodeB-a je glavni, a drugi je sekundarni.
 - Saobraćaj se dijeli na komponente već na nivou PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) protokola.
 - Pošto svaki eNodeB pokreće svoju vlastitu MAC jedinicu, svaki CC ima svoj raspored, HARQ procese i put za prenos kontrolnih podataka.
 - LTE DC je uvedena u 3GPP Rel-12, ali u poređenju sa agregacijom nosilaca, DC nije široko implementiran.

Servisi i arhitektura LTE sistema

- ❑ LTE je isključivo sistem za prenos podataka, optimizovan za tokove podataka sa komutacijom paketa.
- ❑ LTE radio tehnologija je sredstvo za pružanje mobilnom uređaju veoma brze uvijek dostupne IP povezanosti.
- ❑ 3GPP je odlučio da isključi podršku za komutaciju kola u LTE kako bi pružio najbolju podršku za prenos podataka IP paketima.
- ❑ LTE može ponuditi tradicionalne usluge prenosa govora na dva načina:
 - CSFB (*Circuit switched fallback*) gdje se UE preusmjerava na drugu radio tehnologiju kao što su UMTS ili GSM za ovu vrstu poziva.
 - IMS (*IP multimedia subsystem*) VoLTE (Voice over LTE) usluga prenosa govora bazirana na paketima bazirana na LTE komutaciji paketa.
- ❑ Čak i bez podrške za komutaciju kola, LTE sistem ostaje kompleksan kako bi podržao besprekorne IP data konekcije bez obzira na lokaciju i stanje mobilnosti LTE terminala i druge tačke IP toka podataka.
- ❑ Dodatna složenost dolazi iz diferencijacije QoS usluge između različitih tipova tokova podataka.
- ❑ LTE sistem treba da osigura performanse multimedijalnih tokova bez obzira na prisustvo drugih paralelnih tokova podataka ili fluktuacije radio kanala koje uzrokuju terminali u pokretu.

Servisi i arhitektura LTE sistema

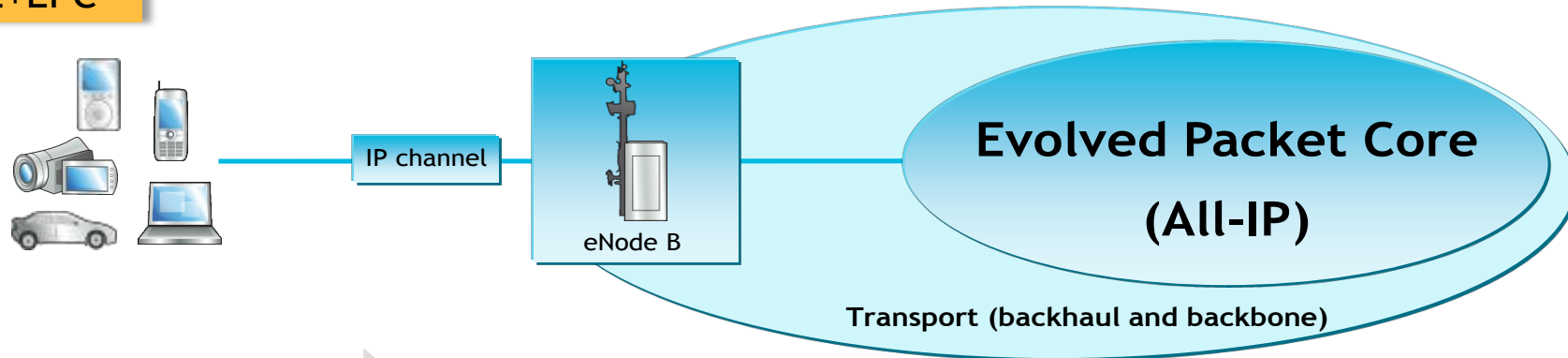
LTE mobilni sistem ili EPS (*Evolved Packet System*) se sastoji od sljedeća tri podsistema:

- ❑ UE (*User Equipment*): LTE terminal i njegova UICC (*Universal Integrated Circuit Card*) sa USIM aplikacijom.
- ❑ E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*): LTE radio mreža sastavljena od niza eNodeB (ili eNB) baznih stanica.
 - Arhitektura i funkcije E-UTRAN-a opisane su u 3GPP TS 36.401.
- ❑ EPC (*Evolved Packet Core*) ili jezgro LTE mreže koje se sastoji od:
 - MME (*Mobility Management Entity*) entiteta
 - S-GW (*Serving-GateWay*),
 - P-GW (*Packet data-GateWay*) i
 - PCRF (*Policy and Charging Rule Function*)
 - Detaljan opis arhitekture i funkcionalnosti EPC-a može se pronaći u 3GPP TS 23.401.

LTE mrežna arhitektura

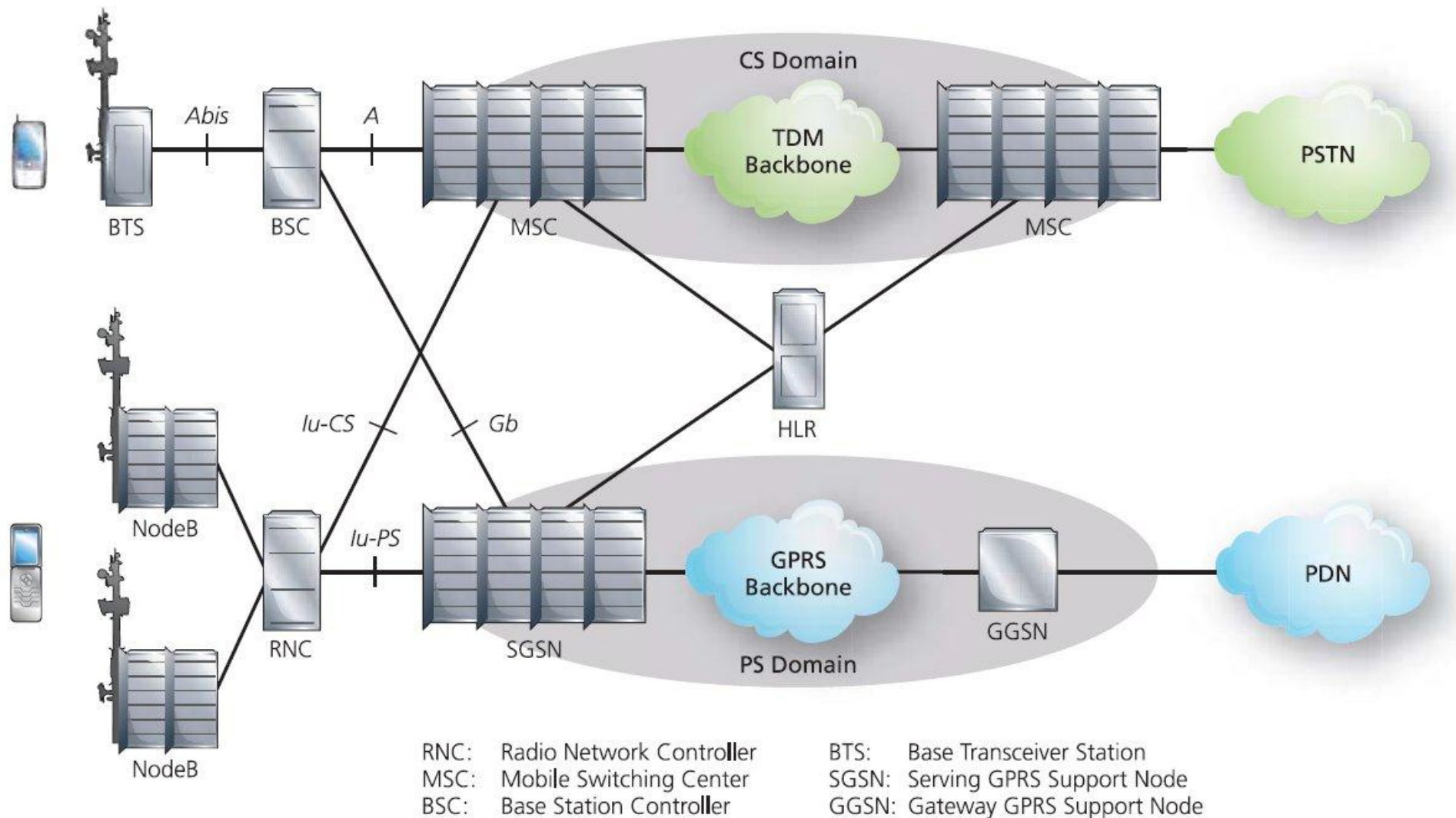
Evolved Packet Core (3GPP TS 23.401 V14.5.0 (2017-09))

LTE+EPC



- ❑ Jezgro mobilne mreže koje nudi *end-to-end* IP (all IP)
- ❑ Jasna podjela kontrolne ravni i ravni podataka
- ❑ Jednostavna flat IP arhitektura sa jednim jezgrom
- ❑ eNodeB=E-UTRAN
- ❑ Evolved Packet System=EPC+E-UTRAN
- ❑ Multi pristupna mreža
 - 3GPP radio pristup (LTE, 3G i 2G)
 - Ne 3GPP radio pristup (HRPD; WLAN i WiMAX)
 - Fiksni pristup (Ethernet, DSL, kablovska i optika)
- ❑ Tri ključne paradigme: mobilnost, zaštita i politika menadžmenta

Jezgra 2G/3G mreža



Servisi i arhitektura LTE sistema

- ❑ Paralelno sa definisanjem novog 4G LTE *air* interfejsa, 3GPP je revidirao arhitekturu celularne mreže.
- ❑ Ova radnja re-arhitekture nazvana je SAE (*System Architecture Evolution*) s ciljem postizanja jednostavne *flat* mrežne arhitekture.
- ❑ SAE ciljevi su bili smanjenje broja vrsta mrežnih elemenata, minimizacija kašnjenja u prenosu, povećanje kapaciteta mreže i pojednostavljenje protokola potrebnih za kontrolu funkcija mreže.
- ❑ Jezgro EPC-a je pojednostavljeno u poređenju sa prethodnim sistemima jer nema potrebe za mrežnim elementima za komutaciju kola, a i domen komutacije paketa je reorganizovan.
- ❑ U tradicionalnoj GPRS (*General Packet Radio Service*) arhitekturi SGSN (*Serving GPRS Serving Node*) i GGSN (*Gateway GPRS Serving Node*) čvorovi imaju uloge i u kontroli mreže i u prenosu korisničkih podataka.
- ❑ SGSN je fokusiran na pružanje usluge UE uređaju i praćenje njegove lokacije.
- ❑ GGSN upravlja prenosom paketa prema eksternim mrežama i GTP tunelima.
- ❑ Put korisničkih podataka prolazi kroz oba GSN čvora.
- ❑ Arhitektura SAE-a imala je za cilj razdvajanje mrežnih elemenata za dvije ravni: korisničku i kontrolnu ravan.

Servisi i arhitektura LTE sistema

- ❑ Ovo je bilo u skladu s vizijom ITU-T izjave Q.1702, koja je predlagala razdvajanje transportnih i kontrolnih funkcija mreže.
- ❑ Zadatak korisničke ravni je prenos korisničkih podataka između UE uređaja i eksternih mreža za prenos podataka.
- ❑ U EPC-u, SAE GW je odgovoran za funkcije korisničke ravni.
- ❑ SAE GW se može logički (i često i fizički) podijeliti na dva dijela: S-GW koji podržava veze prema UE uređajima i P-GW koji podržava veze prema različitim eksternim mrežama za prijenos podataka.
- ❑ Kontrolna ravan upravlja funkcijama korisničke ravni i UE uređajem.
- ❑ U SAE arhitekturi, funkcije kontrolne ravni uglavnom su centralizovane u novi mrežni element MME, koji ne učestvuje u prenosu korisničkih podataka.
- ❑ Bitno je da LTE arhitekturi MME obavlja signalizaciju i kontrolne zadatke koji su bili dio odgovornosti SGSN-a u GPRS-u, dok se zadaci prenosa korisničkih podataka GSN elemenata obavljaju od strane SAE GW čvorova.
- ❑ Razdvajanje funkcionalnosti kontrolne i korisničke ravni imalo je uticaja na dizajn mrežnih elemenata.

Servisi i arhitektura LTE sistema

- ❑ Ranije radio tehnologije (GSM, GPRS i UMTS) oslanjale su se na posebno dizajniranu hardversku opremu za različite mrežne elemente.
- ❑ Razdvajanje signalizacije i prenosa korisničkih podataka u različite elemente omogućilo je operarorima da se oslanjaju na standardnu hardversku opremu.
- ❑ Uređaji signalizacije, poput MME, mogu biti implementirani na standardnoj serverskoj platformi dok se SAE čvorovi mogu oslanjati na standardnu IP hardversku platformu rutera.
- ❑ Samo su softverski slojevi specifični za LTE i SAE.
- ❑ Međutim, razdvajanje nije bilo potpuno sa osnovnom SAE arhitekturom.
- ❑ LTE eNodeB brine se o upravljanju radio resursima, a MME o upravljanju mobilnošću, dok se upravljanje sesijama obavlja kroz tijesnu saradnju MME, S-GW i P-GW.
- ❑ Razdvajanje funkcija korisničke i kontrolne ravni za upravljanje sesijama obavljeno je kao dio LTE-A od Rel-14 nadalje, otvaranjem puta za arhitekturu 5G mreže.
- ❑ Funkcije S-GW i P-GW su podijeljene na odvojene funkcije kontrolne i korisničke ravni u Rel-14 (3GPP TS 23.214).

Servisi i arhitektura LTE sistema

- ❑ Da bi podržao besprekorne prenose paketa između različitih radio tehnologija, pretplatnik LTE-a uvijek ima konekcije za prenos paketa prema eksternim mrežama putem SAE GW, bez obzira na to koju vrstu radio tehnologije UE koristi.
- ❑ LTE UE uspostavlja EPS *bearer* kontekste sa P-GW, koji dodjeljuje UE uređaju IP adresu.
- ❑ Ta adresa se bez problema koristi čak i kada UE prelazi s LTE-a na HSPA, WCDMA ili GPRS mreže.
- ❑ Kada UE mijenja svoju radio tehnologiju pristupa, S-GW ponovo povezuje tokove korisničkih podataka sa eNodeB na SGSN čvor, koji počinje da poslužuje UE uređaj.
- ❑ Da bi podržao konektivnost sa EPC jezgrom, SGSN čvorovi su unaprijedjeni sa dvije nove interfejs podrške: podrška S4 interfejsu prema S-GW i podrška S3 interfejsu prema MME.
- ❑ U UTRAN i GERAN mrežama, veze između različitih vrsta mrežnih elemenata su fiksne i hijerarhijske.
- ❑ Bazna stanica je povezana s jednim kontrolerom bazne stanice (BSC) ili RNC, koji je povezan s jednim SGSN-om.

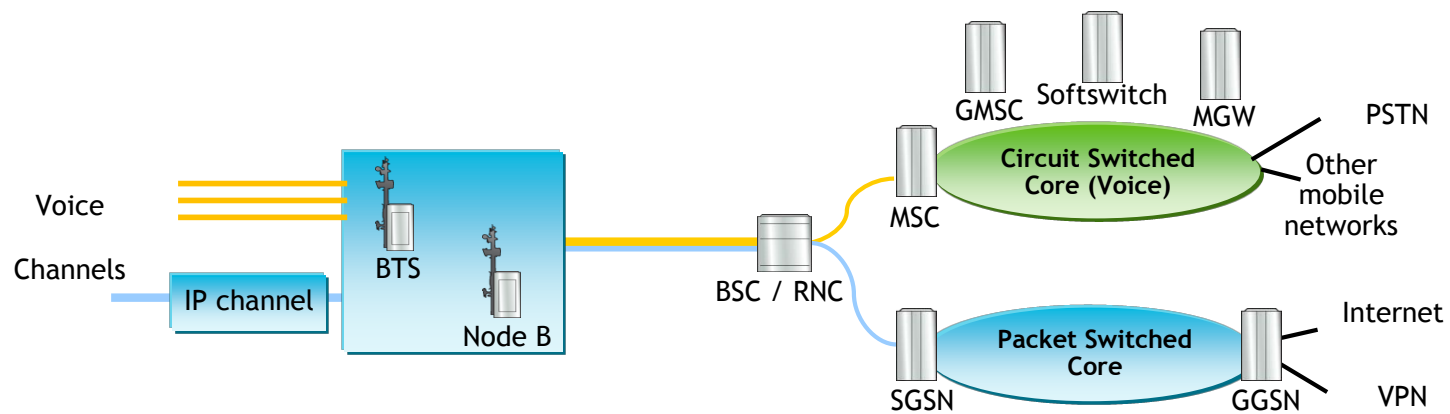
Servisi i arhitektura LTE sistema

- ❑ SAE arhitektura mijenja takve fiksne odnose.
- ❑ U geografskom području postoje brojne eNodeB bazne stanice, S-GW i MME čvorovi, koji dinamički i fleksibilno formiraju logičke veze između sebe.
- ❑ Jedan UE uvijek ima samo jednu kombinaciju servisnih eNodeB, MME-a i S-GW-a (osim kada se vrši prenos između baznih stanica).
- ❑ Kada se razmatra cijela grupa UE uređaja u ćeliji, jednu eNodeB baznu stanicu može kontrolisati više MME-a i prenositi podatke korisnika od/do više S-GW-ova koji polsužuju različite UE uređaje.
- ❑ Važno je napomenuti da dok postoji samo jedan servisni S-GW za UE uređaj, UE uređaj može biti povezan s više P-GW-ova istovremeno, kako bi bio povezan s više eksternih mreža za prenos podataka.

EPC jezgro

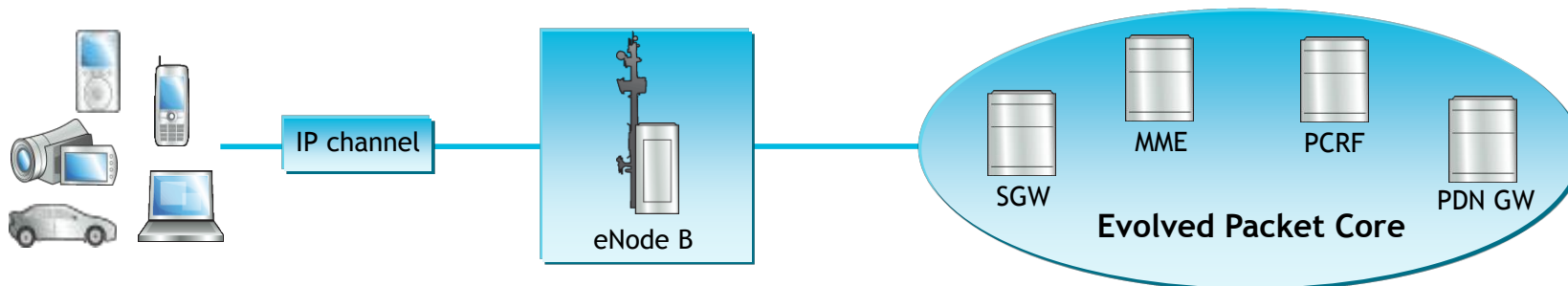
2G/3G

GSM
GPRS
EDGE
UMTS
HSPA

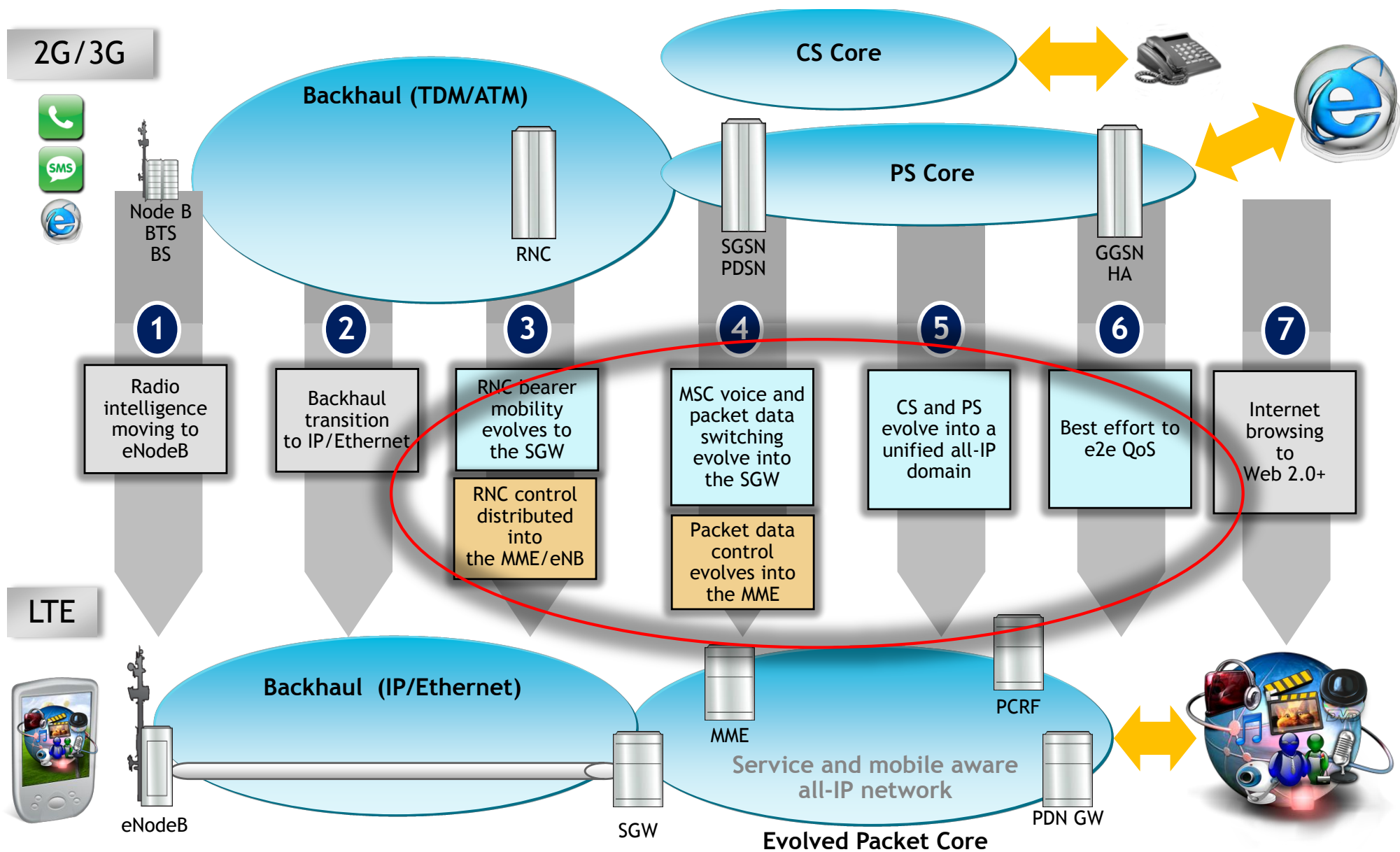


- Serving Gateway (SGW)
- Packet Data Network (PDN) Gateway (PGW)
- Mobility Management Element (MME)
- Policy and Charging Rules Function (PCRF)

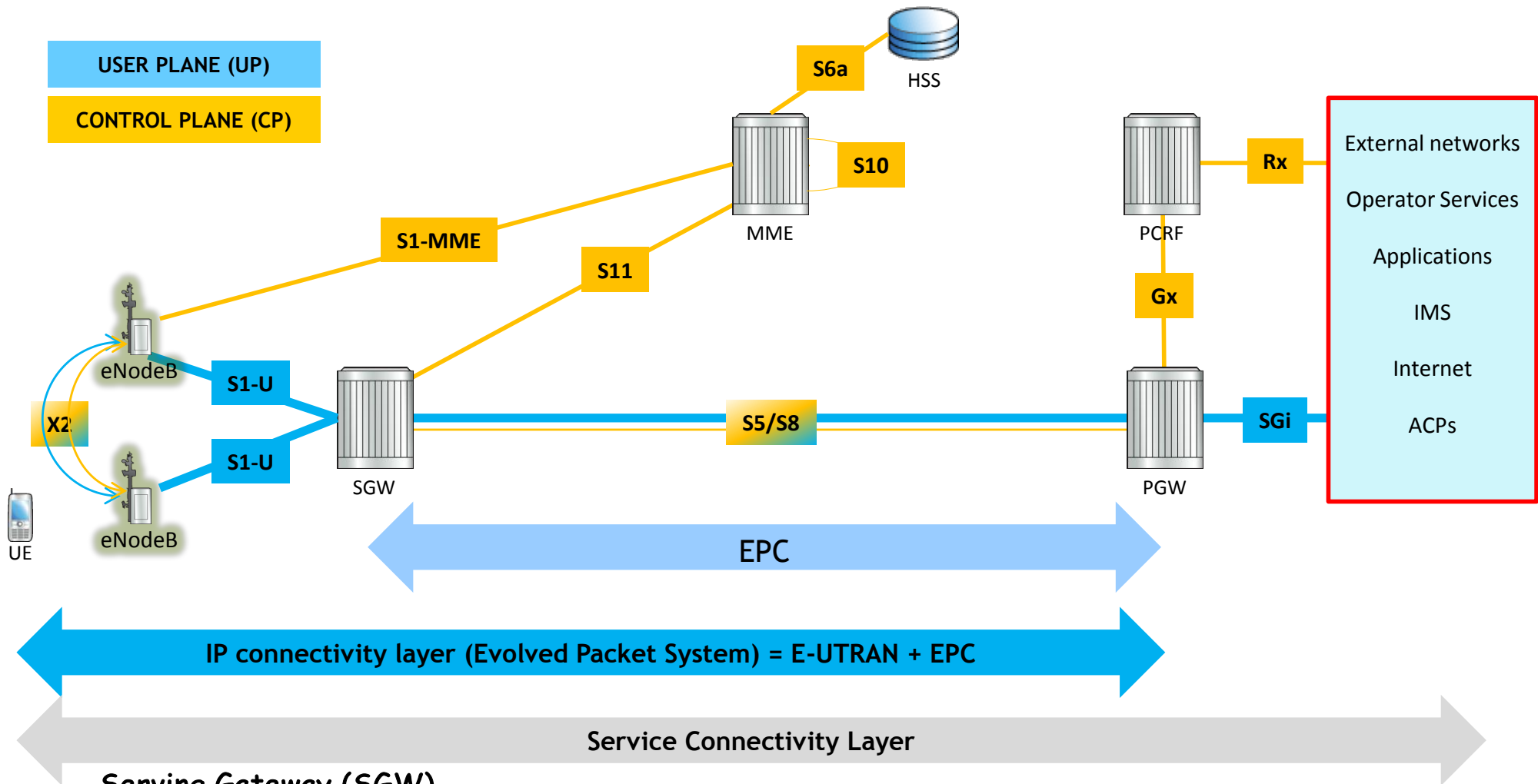
LTE/EPC



All-IP mobilna transformacija

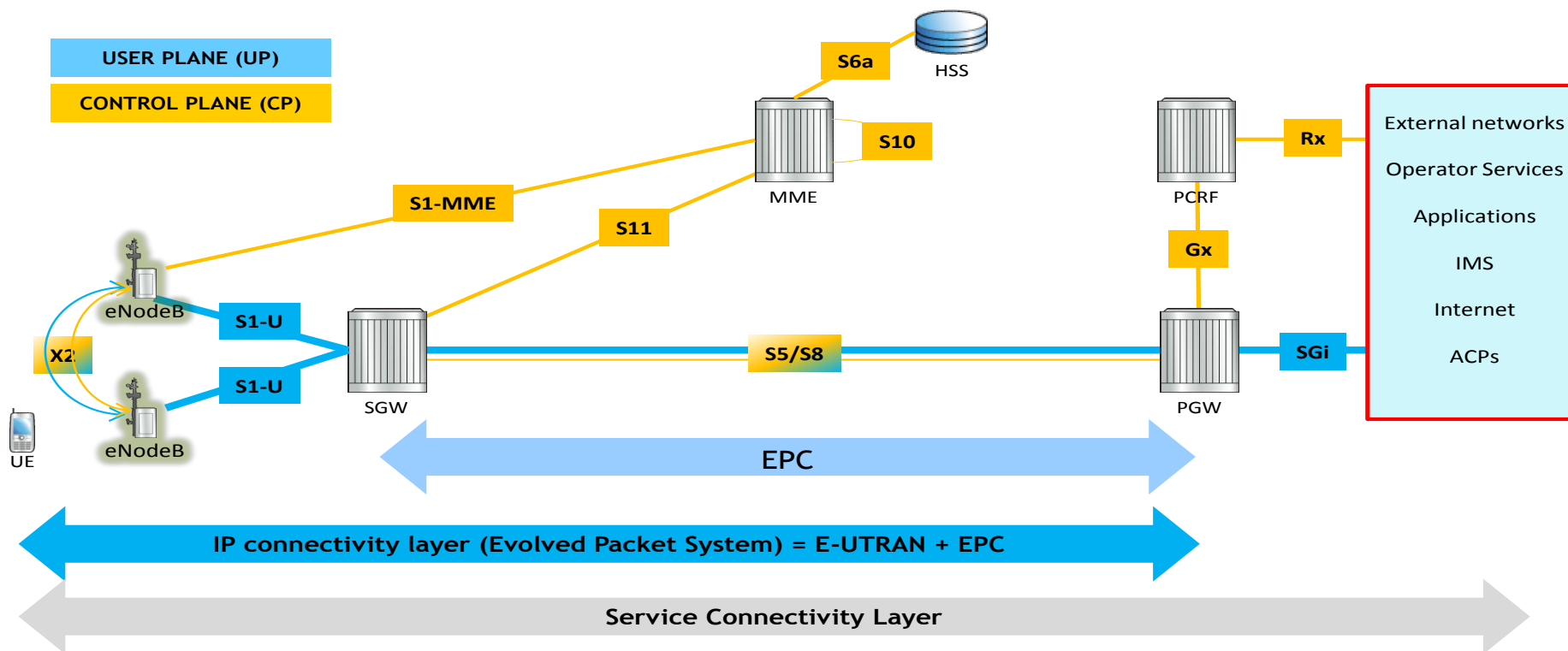


EPC elementi i interfejsi



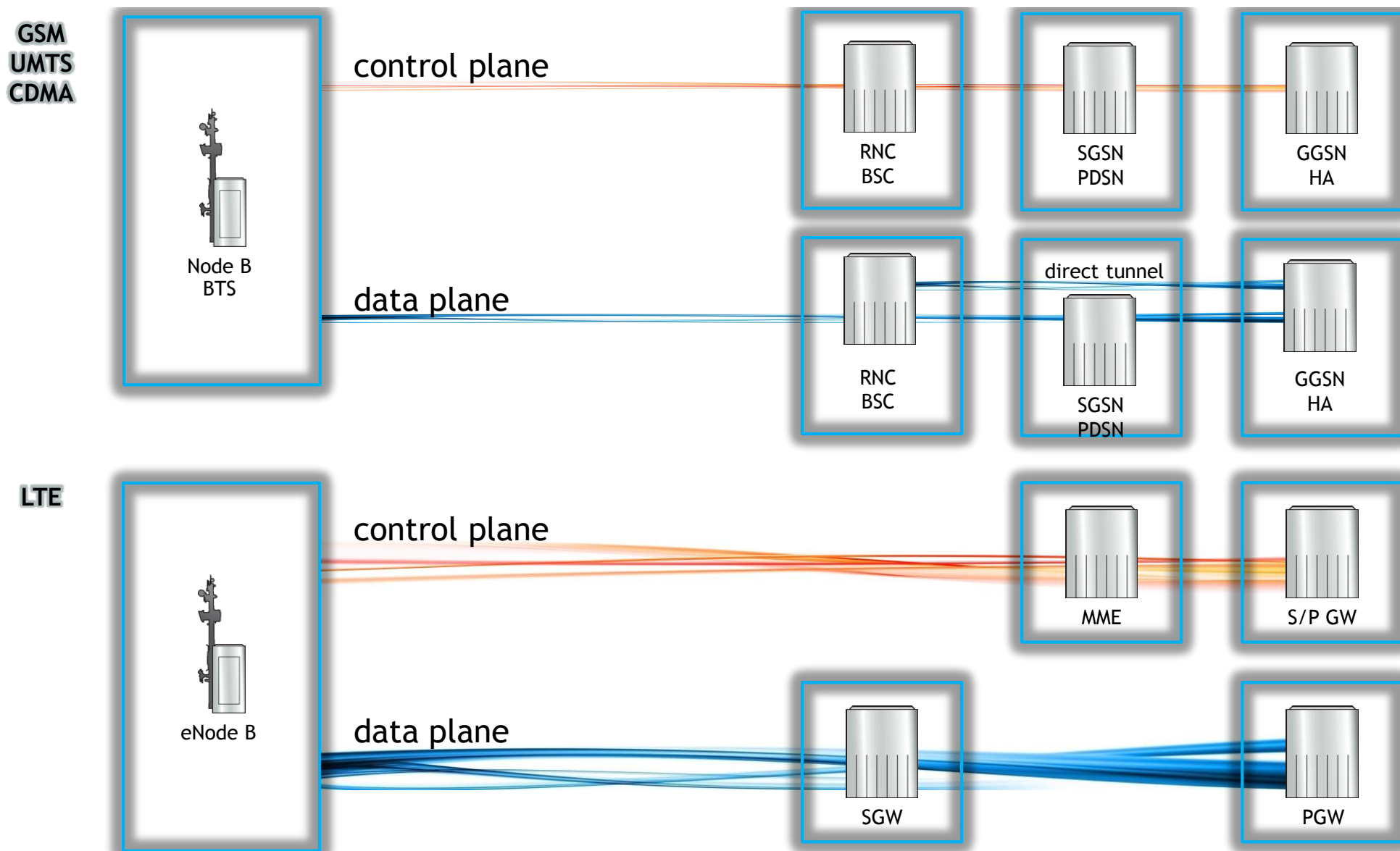
- Serving Gateway (SGW)
- Packet Data Network (PDN) Gateway (PGW)
- Mobility Management Element (MME)
- Policy and Charging Rules Function (PCRF)
- Access Control Policy (ACP)
- Home Subscriber Server (HSS)

EPC elementi i interfejsi



- ❑ Serving Gateway (SGW) poslužuje veliki broj eNode-ova fokusirajući se na skalabilnost i zaštitu
- ❑ Packet Data Network (PDN) Gateway obavlja IP menadžment, povezivanje na eksterne mreže podataka, fokusira se na visoko skalabilno povezivanje i QoS podršku
- ❑ Mobility Management Element (MME) je element kontrolne ravni, odgovoran za upravljanje velikim brojem konekcija i mobilnosti (hiljade eNodeB-ova)
- ❑ Policy and Charging Rules Function (PCRF) kontroliše tokove na nivou mreže: detekcija, tarifiranje na bazi QoS-a i tokova, autorizuju korišćenja QoS resursa mreže (upravljaju milionima tokova podataka)

Flat IP = manje hijerarhije znači manje kašnjenje



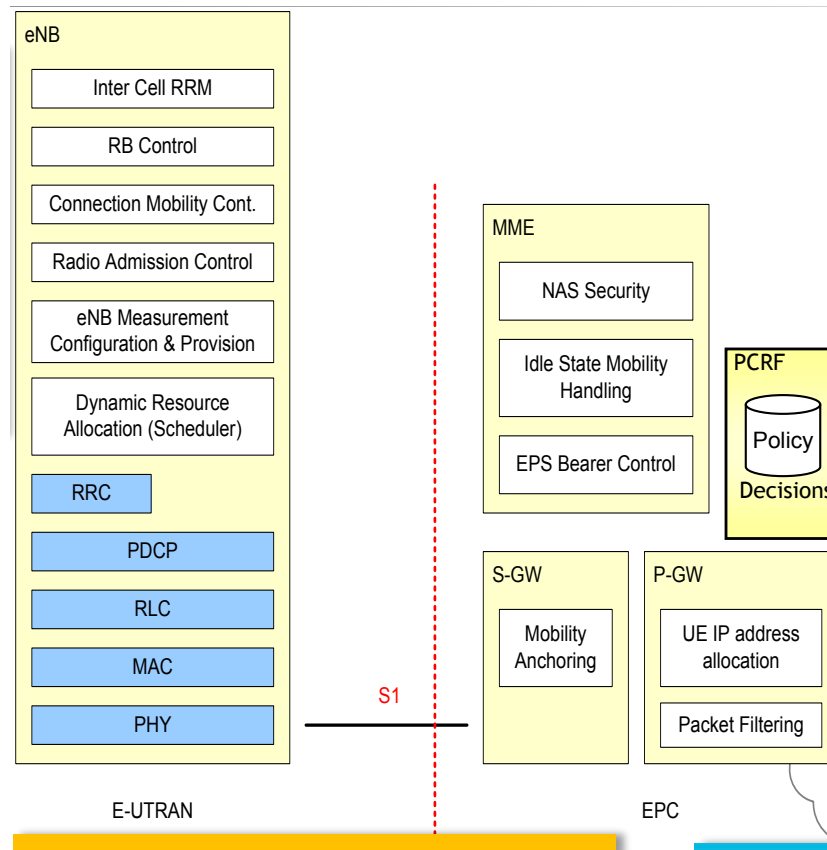
Pregled EPC komponenti

eNodeB: sve radio pristupne funkcije

- Kontrola radio pristupa
- Raspoređivanje UL i DL
- Raspoređivanje i prenos paging-a i sistemskog broadcast-a
- Kompresija IP zaglavlja (PDCP)
- Outer-ARQ (RLC)

Mobility Management Entity

- Autentikacija
- Menadžment *tracking area list-a*
- Dostupnost UE koji je u idle modu
- Izbor S-GW/PDN-GW
- Signalizacija čvora unutar jezgra mreže za mobilnost između 2G/3G i LTE
- Funkcije menadžmenta bearer-a



Serving Gateway

- Anchor lokalne mobilnosti za inter-eNB handovere
- Anchoring mobilnosti za inter-3GPP handover-e
- Baferovanje DL paketa u *idle* modu
- Zakonsko presrijetanje
- Rutiranje i prosleđivanje

Policy, Charging & Rules Function

- Mrežna kontrola SDF-a, detekcija, tarifiranje QOS i tokova
- Odlučivanje dinamičke politike u tretiranju toka servisnih podatka u PCEF (xGW)
- Autorizacija QoS resursa

PDN Gateway

- IP anchor tačka za bearer-e
- Alokacija IP adrese UE
- Filtiranje paketa po korisniku
- Povezivanje na paketsku mrežu

Evolved Node B (eNode B)

- ❑ LTE (ili E-UTRAN) bazna stanica, može sadržavati više radio predajnika, prijemnika i antena koje pokrivaju LTE ćeliju.
- ❑ eNodeB posjeduje računarski sistem koji upravlja funkcionalnostima eNodeB i komunikacionim vezama od eNodeB do EPC.
- ❑ LTE RAN nema vanjski RAN mrežni element (kao što je RNC kod UMTS) za koordinaciju funkcija više eNodeB-ova.
- ❑ Oblast odgovornosti eNodeB-a slična je kombinaciji odgovornosti UTRAN NodeB i RNC-a.
- ❑ Ova arhitektura je odabrana kako bi se minimizovala kašnjenja i poboljšala skalabilnost mreže za *bursty* paketski saobraćaj, uključujući dosta signalizacije za aktiviranje i deaktiviranje veza.
- ❑ Za tokove korisničkih podataka, eNodeB funkcioniše kao *bridge* na sloju 2 OSI modela, prenoseći korisničke podatke između sloja veze radio interfejsa i komunikacionog linka prema EPC-u.

Evolved Node B (eNode B)

eNodeB ima sljedeće zadatke:

- ❑ Modulacija i multipleksiranje na LTE *air* interfejsu.
- ❑ Upravljanje fizičkim radio kanalima i njihovim strukturama okvira, kodiranje kanala, sinhronizacija, prilagođavanje brzine prenosa i raspoređivanje prenosa na LTE interfejsu.
- ❑ Upravljanje radio resursima i upravljanje interferencijama, kontrola prijema, i prilagođavanje snage prenosa različitim algoritmima kako bi se osigurala stabilnost radio veza i kvaliteta usluge za sve trenutno povezane UE uređaje.
- ❑ Upravljanje radio nosiocima pomoću RRC protokola.
- ❑ Kontrola prenosa za UE uređaje u aktivnom RRC stanju.
- ❑ Povezivanje tokova korisničkih podataka između UE uređaja i EPC-a.
- ❑ Kompresija zaglavlja IP paketa radi uštede kapaciteta radio mreže što je posebno važno za male VoIP pakete koji se prenose u realnom vremenu.
- ❑ Šifrovanje podataka koji se prenose preko radio interfejsa.
- ❑ Upravljanje porukama kontrolne ravni između UE uređaja i MME-a.

MME (Mobility Management Entity)

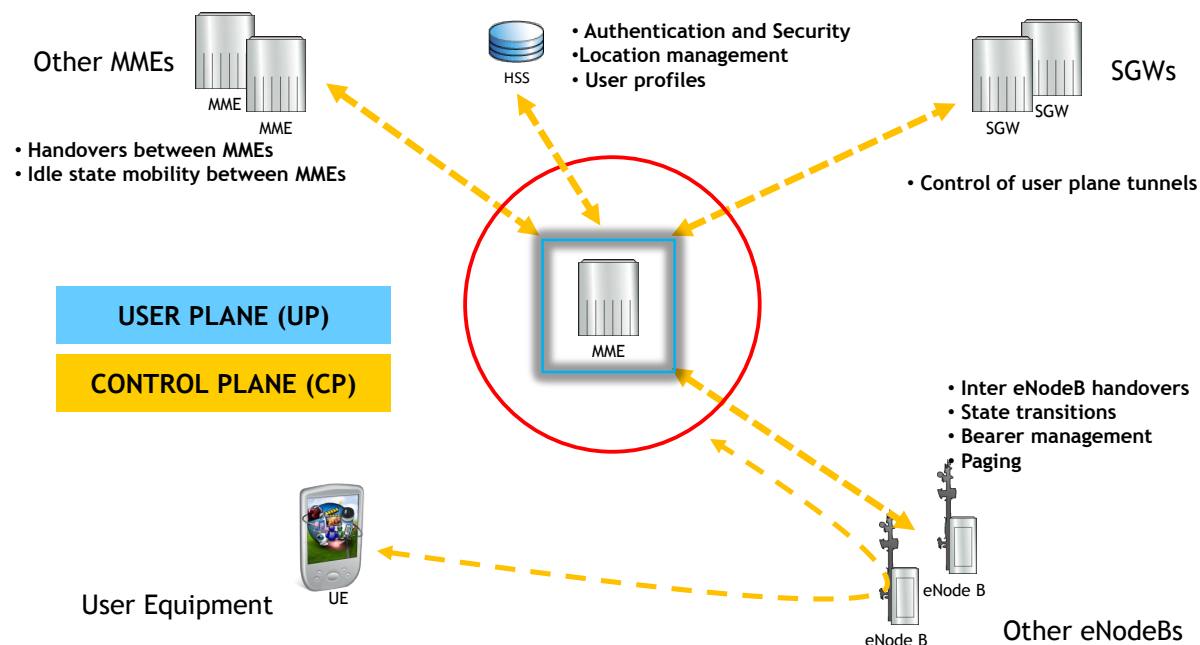
MME ima sljedeće zadatke:

- ❑ Komunicira sa HSS kako bi autentifikovao pretplatnika kada UE uređaj bude povezan sa LTE uslugom u području koje upravlja MME. Pretplatnikov IMSI identifikator informiše MME koji HSS treba kontaktirati. Nakon uspješne autentifikacije, MME traži od HSS-a informacije o profilu pretplatnika koji opisuju odobrene usluge za pretplatnika. MME čuva profil za kontrolu usluge UE uređaja dok MME upravlja njegovom komunikacijom.
- ❑ Sprovodi i štiti razmjenu NAS (*Non-Access Stratum*) poruka sa UE uređajem. Obezbjeduje ključeve koj eNodeB-u koriste za zaštitu poruka pristupnog sloja.
- ❑ Dodjeljuje GUTI (*Global Unique Temporary Identity*) UE uređaju kako bi izbjegao slanje IMSI identifikatora na radio interfejs i omogućio težim praćenje UE uređaja trećoj strani. Kada se UE uređaj prebaci sa jednog MME-a na drugi, stari MME prenosi mapiranje između GUTI i IMSI novom MME-u.
- ❑ Bira S-GW i P-GW za nove kontekste EPS *bearera*-a.
- ❑ Upravlja mobilnošću LTE UE uređaja. MME obavještava HSS o trenutnoj lokaciji UE uređaja. MME prati neaktivne UE uređaje u svojem području praćenja (TA - Tracking Area) i aktivne UE uređaje za ćelije u kojima se nalaze.

MME (Mobility Management Entity)

MME ima sljedeće zadatke:

- ❑ Upravljanje stanjem i resursima UE uređaja tokom *handover*-a i prelazaka između neaktivnog i aktivnog RRC stanja.
- ❑ MME učestvuje u *handover*-ima kada se *handover* ne vrši između dva eNodeB-a povezana preko X2 interfejsa.
- ❑ Kontrola slanja *paging* poruka neaktivnim UE uređajima za pokušaje povezivanja koji se iniciraju od strane mobilne mreže.
- ❑ Kontrola CSFB-a (*Circuit Switched Fallback*) kada UE uređaj, koji je povezan sa LTE mrežom, prima dolazni poziv komutacije kola iz UMTS ili GSM jezgra mreže.

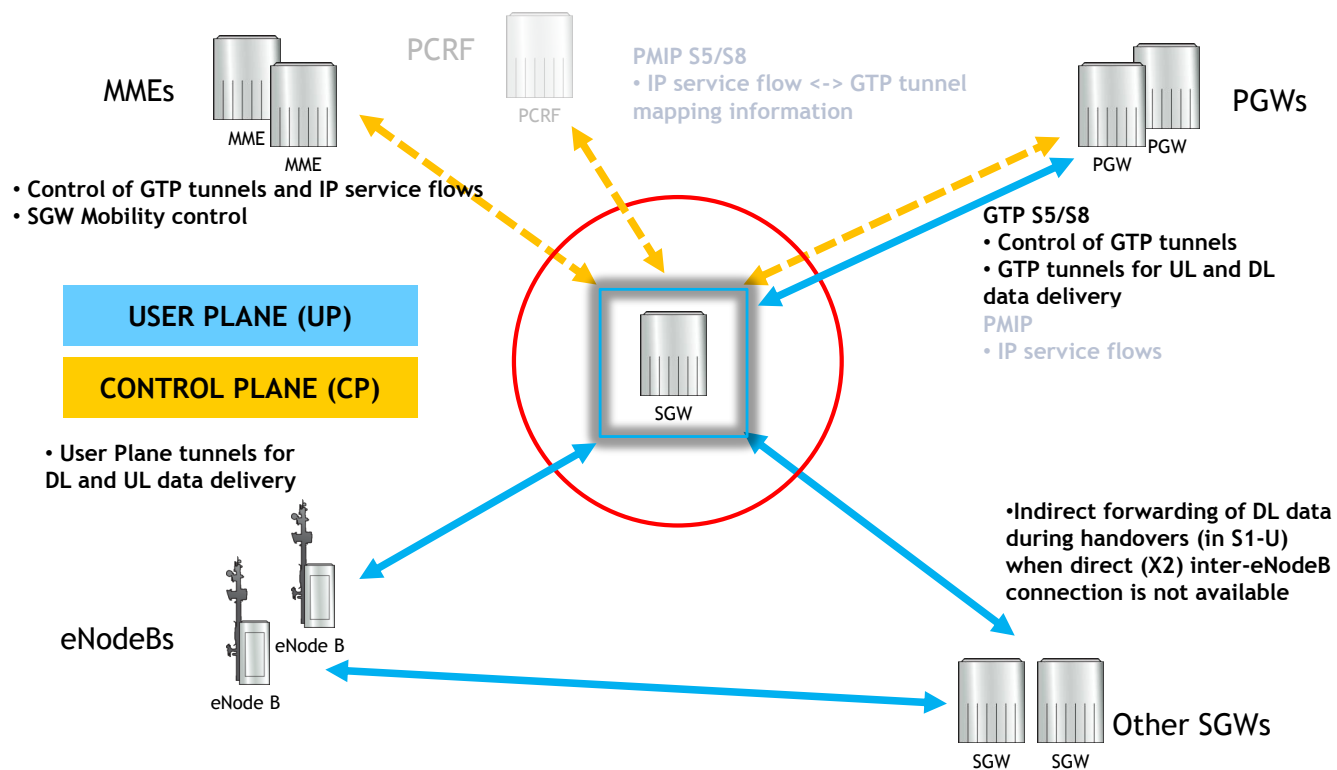


S-GW (Serving Gateway)

S-GW obavlja sledeće funkcije:

- ❑ Prosleđivanje korisničkih podataka unutar GTP tunela između P-GW i eNodeB.
- ❑ U SAE arhitekturi GTP tuneli se pod kontrolom MME-a i P-GW-a, ali se tuneli rutiraju do eNodeB-a preko S-GW-a.
- ❑ Baferovanje *downlink* paketa i pokretanje *paging*-a za UE uređaje u *idle* modu.
- ❑ Posredovanje u zahtjevima za povezivanje između MME-a i P-GW-a.
- ❑ Sa LTE-om, inicijativa za aktivaciju konteksta EPS *bearer*-a može doći ili od UE uređaja ili od mreže. U slučaju da UE uređaj zatraži aktivaciju veze za pakete podatke, S-GW će proslijediti zahtjev od MME-a do P-GW-a. U drugom slučaju, kada je zahtjev za aktivacijom pokrenut od strane mreže, S-GW će proslijediti zahtjev od P-GW-a do MME-a. Ova tri čvora moraju biti sinhronizovana za svaku novu vezu, jer GW uređaji brinu o kreiranju GTP tunela do eNodeB-a, a MME upravlja konfiguracijom radio *bearer*-a koji su povezani.
- ❑ Stvara bazu za vezu kada UE uređaj vrši handover između dva eNodeB-a ili dvije radio tehnologije. Po zahtjevu MME-a odgovornog za handover, S-GW otvara GTP tunel do ciljanog eNodeB-a ili SGSN-a prema kojem se UE kreće. Nakon završetka handovera, S-GW raskida GTP tunel prema starom eNodeB-u, koji više ne služi UE uređaju. Handover može takođe izazvati promjenu S-GW-a, i u takvim slučajevima P-GW ostaje kao sidro.

S-GW (Serving GateWay)

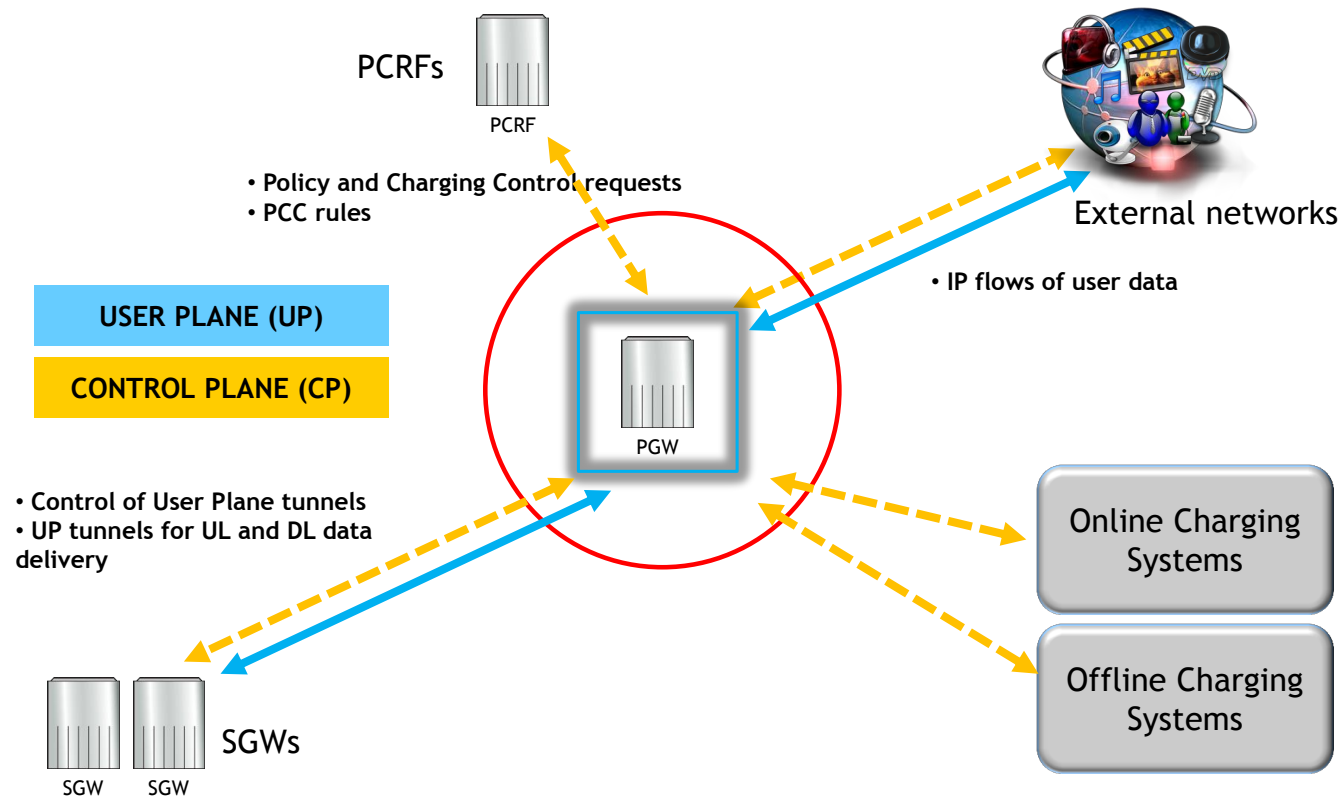


P-GW ili PDN-GW (Packet Data Gateway)

P-GW obavlja sledeće funkcije:

- ❑ Povezuje EPS *bearer*-e UE uređaja sa eksternim mrežama za prenos podataka ili IMS jezgrom mreže operatora. Upravlja GTP tunelima za EPS *bearer*-e na osnovu zahtjeva koji stižu ili od S-GW ili od čvorova PCRF.
- ❑ Dodjeljuje IP adrese UE uređaju uz pomoć DHCP servera, eksternih IP mreža, ili putem automatske konfiguracije IPv6. UE uređaj dobija IP adresu svaki put kada se poveže sa LTE mrežom, i može dobiti dodatne IP adrese prilikom povezivanja sa novim mrežama za prenos podataka.
- ❑ Prosleđuje korisničke podatke između S-GW i eksterne IP mreže i filtrira pakete prema pravilima navedenim u TFT (*Traffic Flow Template*) specificiranog za taj tok podataka. Filtriranje paketa se vrši kako bi se primijenila politika koja dolazi od PCRF-a, određujući QoS parametre toka podataka.
- ❑ Prikuplja informacije o naplati usluga koje su korištene ili o količini prenesenih podataka preko konekcija, u skladu sa korisničkim profilom usluga dostupnim iz HSS-a.
- ❑ Stvara bazu za vezu kada neaktivan UE uređaj mijenja svoju ćeliju tako da se mijenja S-GW ili kada UE uređaj prelazi između 3GPP i ne-3GPP pristupa.

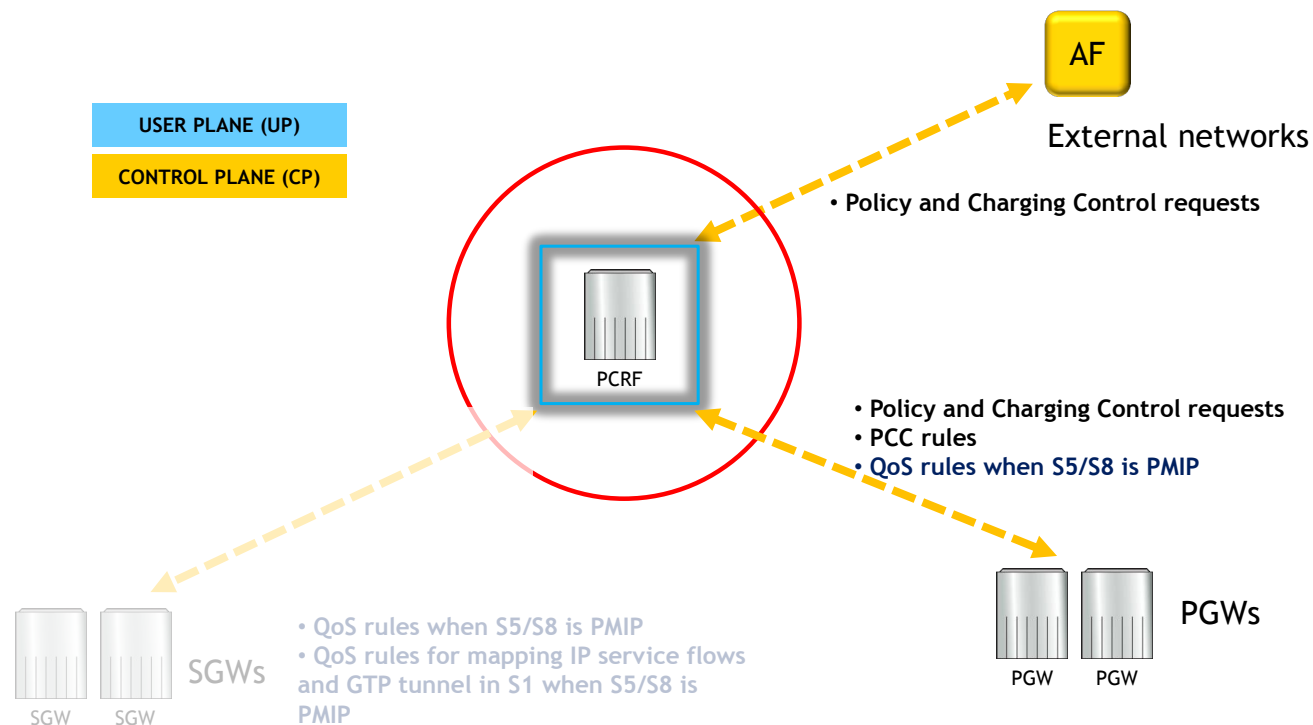
P-GW ili PDN-GW (Packet Data Gateway)



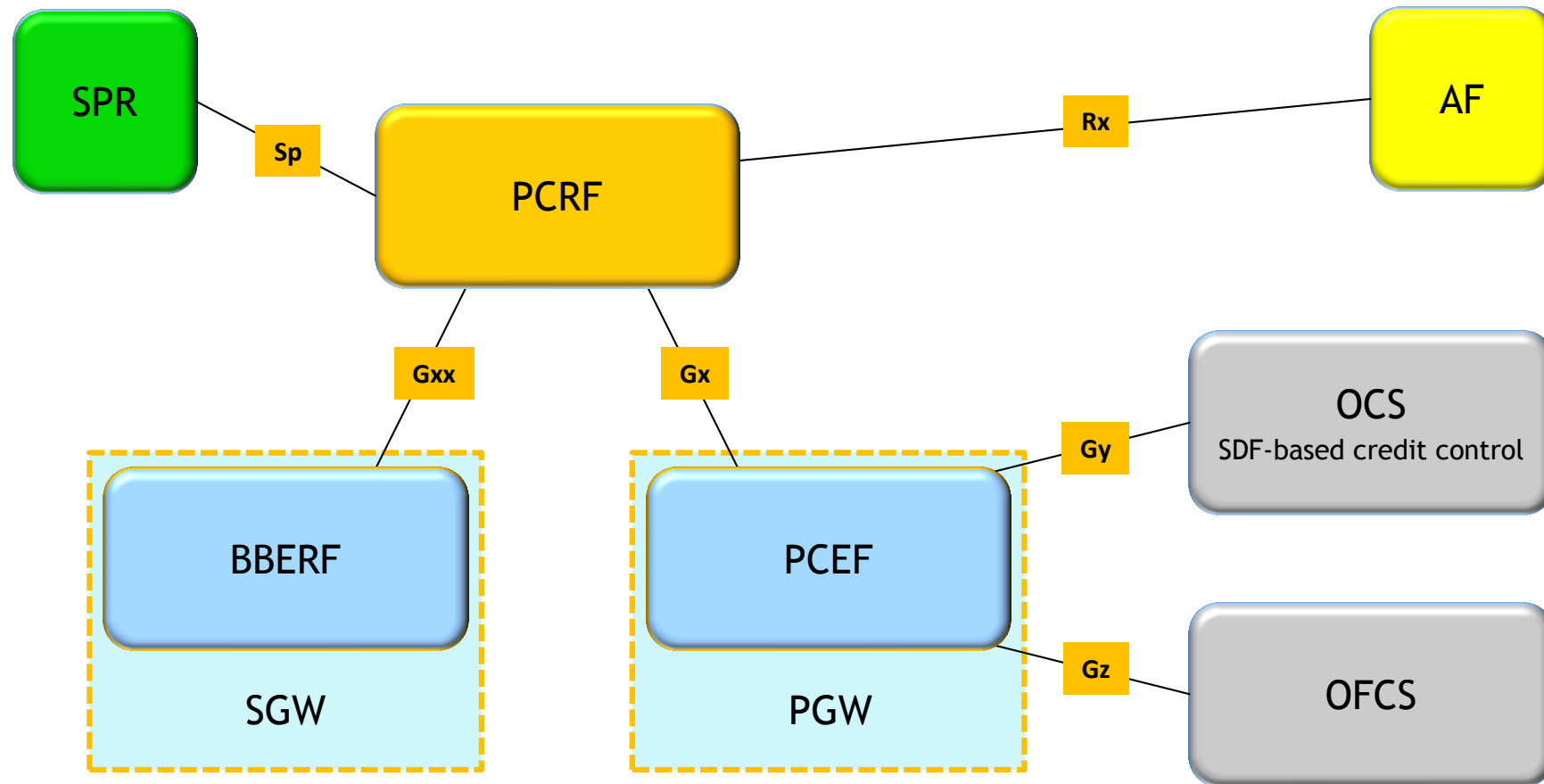
PCRF (Policy, Charging & Rules Function)

PCRF ima sledeće funkcije:

- ❑ kontroliše QoS politike veza kreirane za UE uređaje.
- ❑ prima zahtjeve za povezivanje ili od P-GW ili od CSCF (*Call State Control Function*) jezgra IMS mreže.
- ❑ provjerava primijenjenu politiku i šalje PCC (*Policy Control*) pravila P-GW-u, koji postavlja svoju konfiguraciju filtriranja podataka i naplate u skladu sa tim.



Policy Charging and Control (PCC) arhitektura



BBERF = Bearer Binding and Event Reporting Function
OCS = Online Charging System
OFCS = Offline Charging System
PCEF = Policy and Charging Enforcement Function
SPR = Subscription Profile repository

ePDG (Evolved Packet Data Gateway)

ePDG ima sledeće funkcije:

- ❑ Prekida siguran tunel sa UE uređajem kada nevjerodostojna ne-3GPP pristupna mreža koristi UE uređaj za povezivanje sa EPC-om.
- ❑ Na ovaj način, korisnici mogu biti povezani, na primjer, sa 3GPP IMS servisom, kako bi koristili VoWiFi servis (IP govorne usluge preko WLAN-a podržane od strane operatora).
- ❑ Povezuje korisničke tokove podataka sa P-GW-om iz kojeg se može pristupiti vanjskoj mreži za prenos podataka.

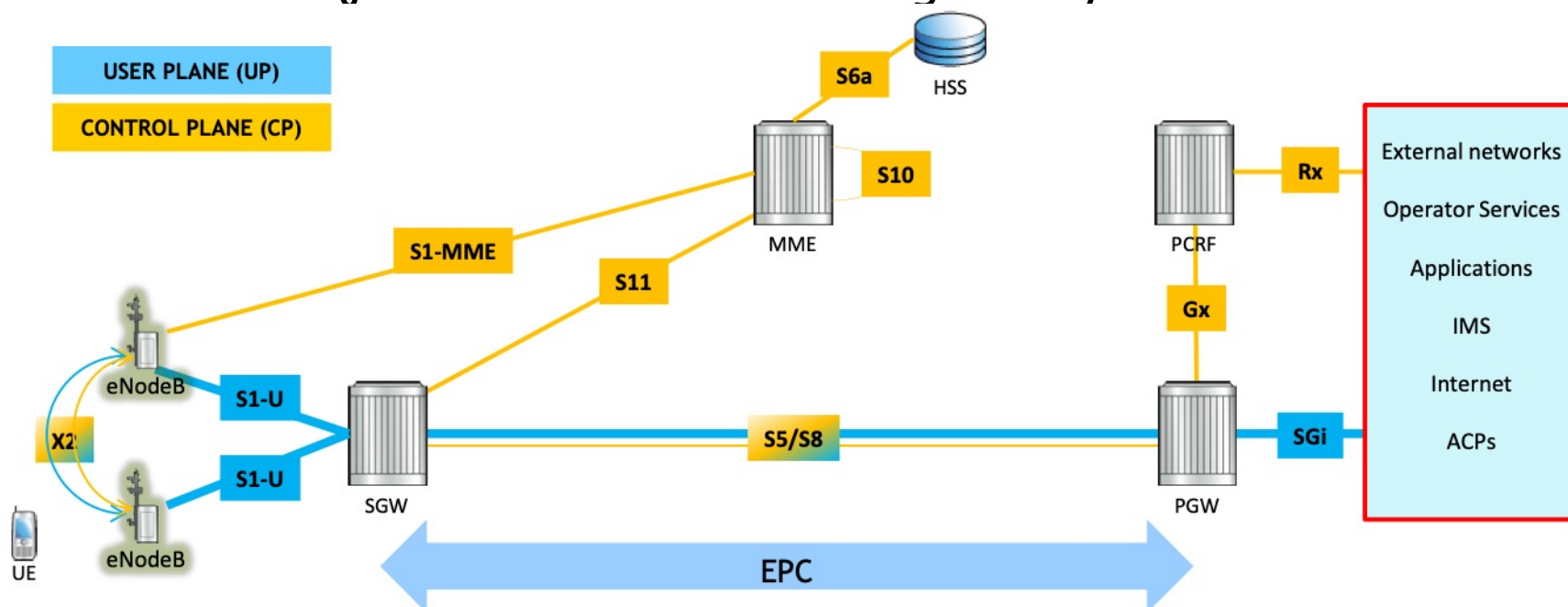
HSS (Home Subscriber Server)

- ❑ HSS je odgovoran za autentifikaciju pretplatnika, upravljanje podacima o pretplati i upravljanje lokacijom UE uređaja, kao i za UMTS.

LTE interfejsi

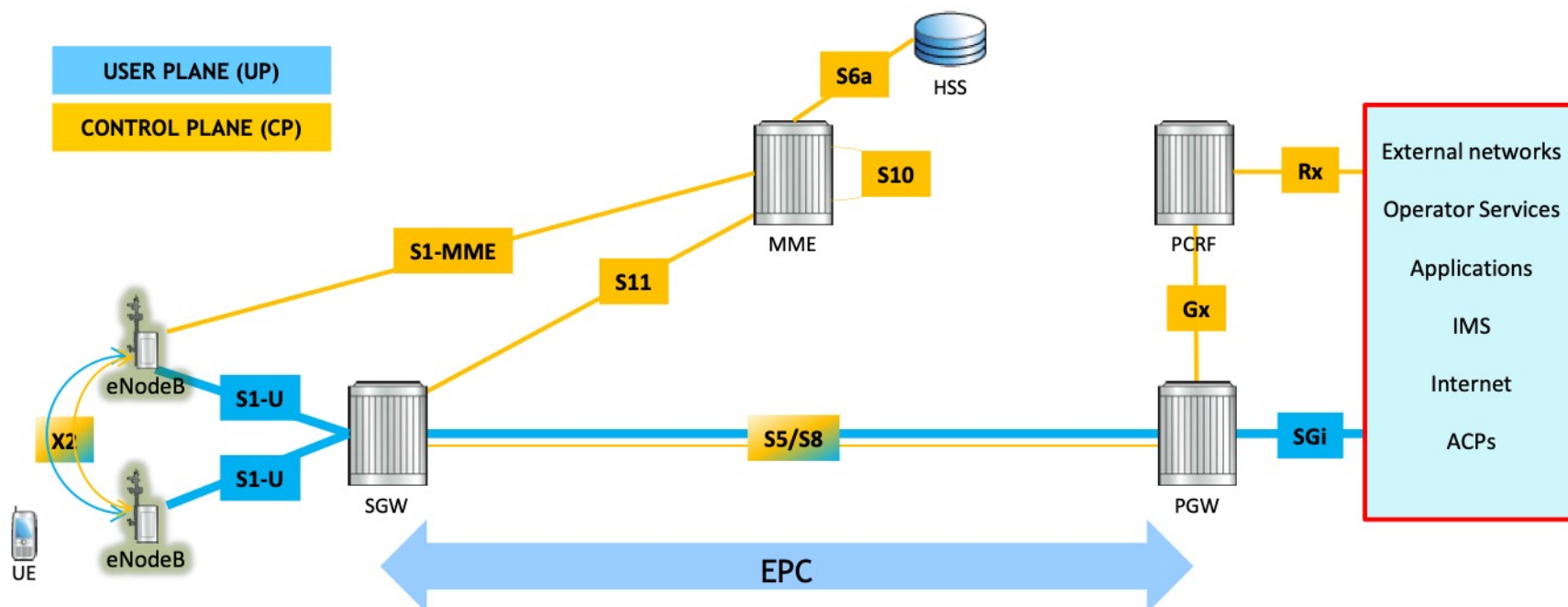
Pošto su arhitekture LTE E-UTRAN i EPC mreže prilično različite od GERAN i UTRAN mrežnih arhitektura, LTE/SAE mreža ima svoj vlastiti spisak referentnih tačaka:

- ❑ LTE-Uu: Radio interfejs između LTE UE i eNodeB
- ❑ X2: Interfejs između dvije eNodeB bazne stanice
- ❑ S1-U: Interfejs između eNodeB bazne stanice i S-GW gateway-a
- ❑ S1-MME: Interfejs između eNodeB bazne stanice i MME čvora
- ❑ S2b: Interfejs između ePDG i P-GW gateway-a



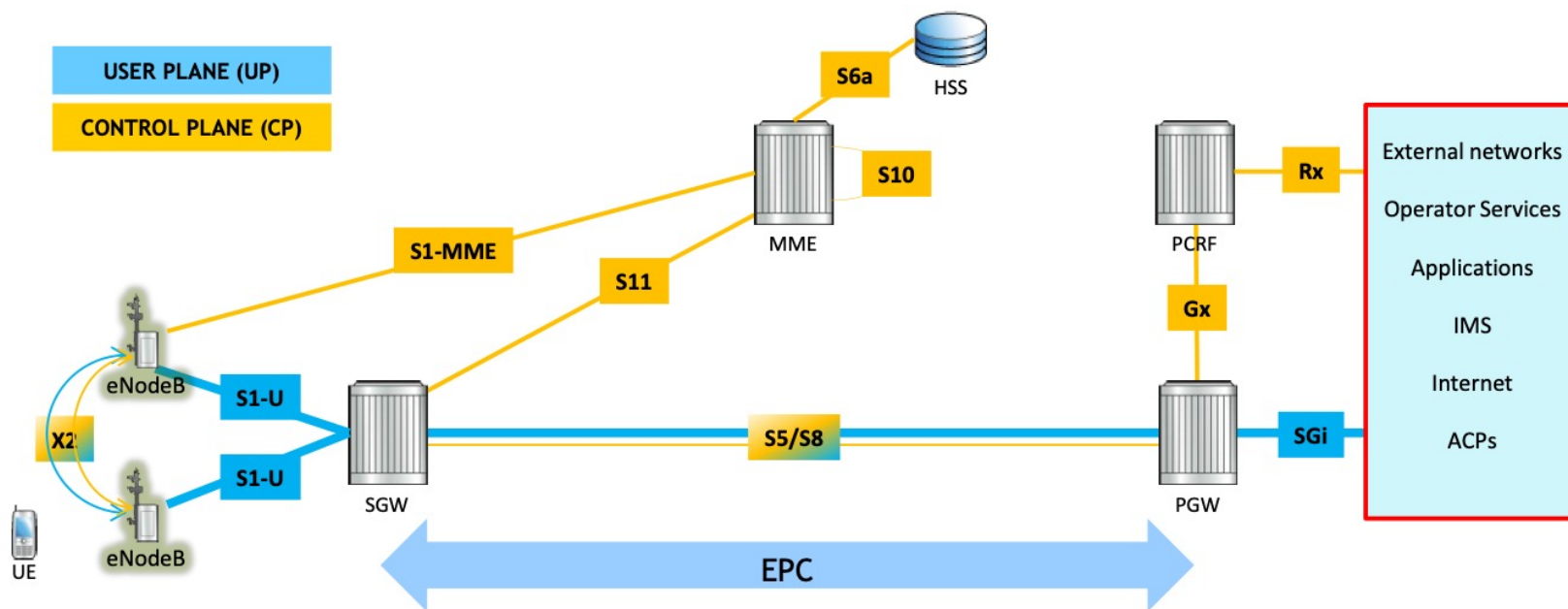
LTE interfejsi

- ❑ S3: Interfejs između MME i SGSN koji podržava UTRAN ili GERAN mrežu
- ❑ S4: Interfejs između S-GW i SGSN koji podržava UTRAN ili GERAN mrežu
- ❑ S5/S8: Interfejs između S-GW i P-GW gateway-a. Kada se koristi IP home routing u roamingu u inostranstvu, ovaj interfejs se izvodi preko međunarodne IP roaming razmjene (IPX) mreže.
- ❑ S6a: Interfejs između MME i HSS



LTE interfejsi

- ❑ S9: Interfejs između PCRF-ova matične i posjećene mreže
- ❑ S10: Interfejs između dva MME čvora
- ❑ S11: Interfejs između S-GW gateway-a i MME čvora
- ❑ S12: Interfejs između S-GW gateway-a i RNC UTRAN mreže
- ❑ Gx: Interfejs između P-GW gateway-a i PCRF
- ❑ SGs: Interfejs između MME i MSC/VLR čvora koji podržava GERAN ili UTRAN
- ❑ SGi: Interfejs između P-GW gateway-a i servisnog domena kao što je IMS



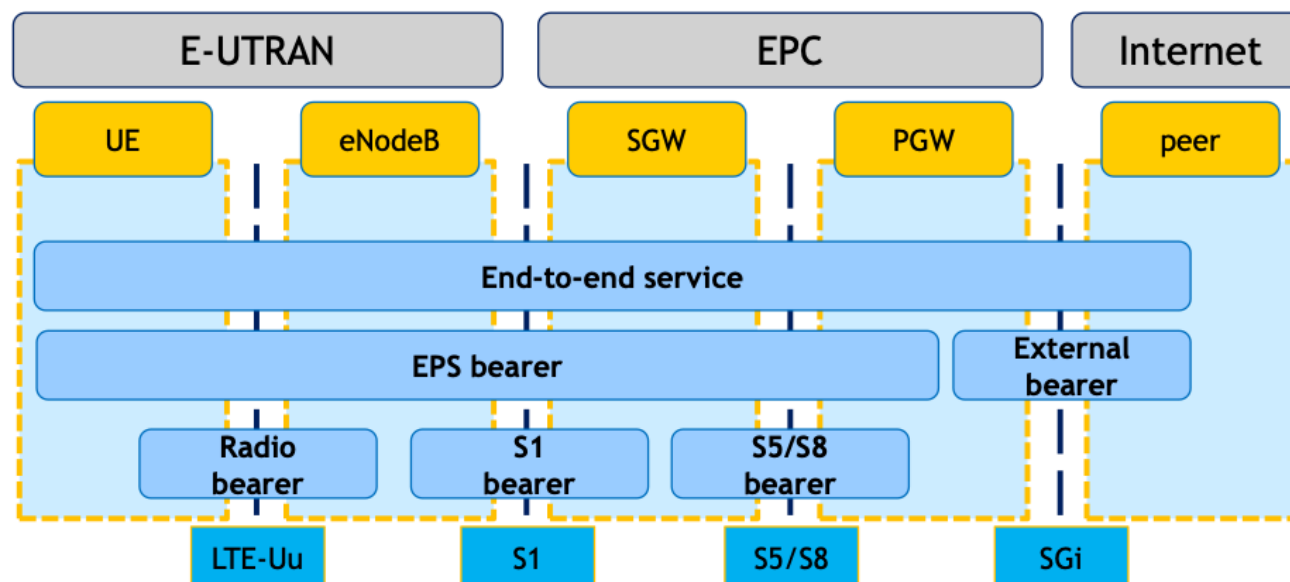
LTE RNTI

LTE proširuje koncept RNTI (*Radio Network Temporary Identity*), koji je uveden u UMTS, sa nizom novih tipova koji se mogu koristiti za identifikaciju jednog UE uređaja, grupe UE uređaja ili svih UE uređaja koji borave u ćeliji. Neki primjeri su :

- ❑ C-RNTI (*Cell RNTI*) se koristi kao i u UMTS-u za identifikaciju određenog UE uređaja koji ima RRC vezu.
- ❑ SI-RNTI (*System Information RNTI*) je dobro poznata fiksna vrijednost koju UE koristi za dekodiranje informacija o sistemu.
- ❑ P-RNTI (*Paging RNTI*) je dobro poznata fiksna vrijednost koju UE koristi za dekodiranje poruka za pozivanje.
- ❑ RA-RNTI (*Random Access RNTI*) se koristi za kodiranje RAR (*Random Access Response*) poruke. RA-RNTI identifikuje resursni element unutar kojeg je UE poslao preambulu za slučajni pristup.
- ❑ Potpuni popis se može pronaći u dokumentu 3GPP TS 36.321.

LTE bearer model

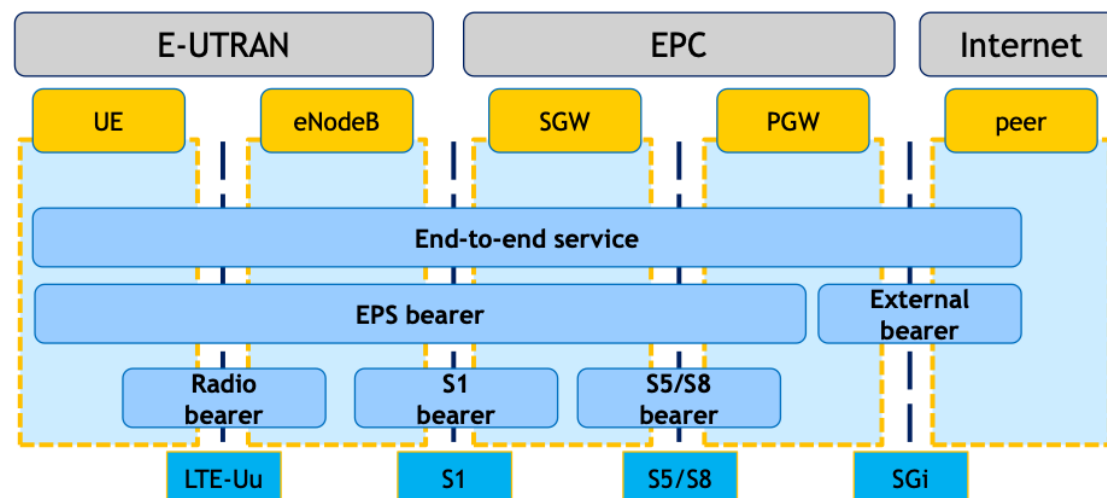
- ❑ Veze za prenos podataka sa poznatim QoS između različitih elemenata LTE mreže modelovane su kao bearer-i različitih tipova, koristeći model sličan UMTS mrežama.
- ❑ LTE QoS i modeli nosilaca opisani su u 3GPP TS 23.401 i TS 36.300.
- ❑ Model je hijerarhijski, tako da su bearer-i na višem sloju formirani iz lanca bearer-a ispod njih.



LTE bearer model

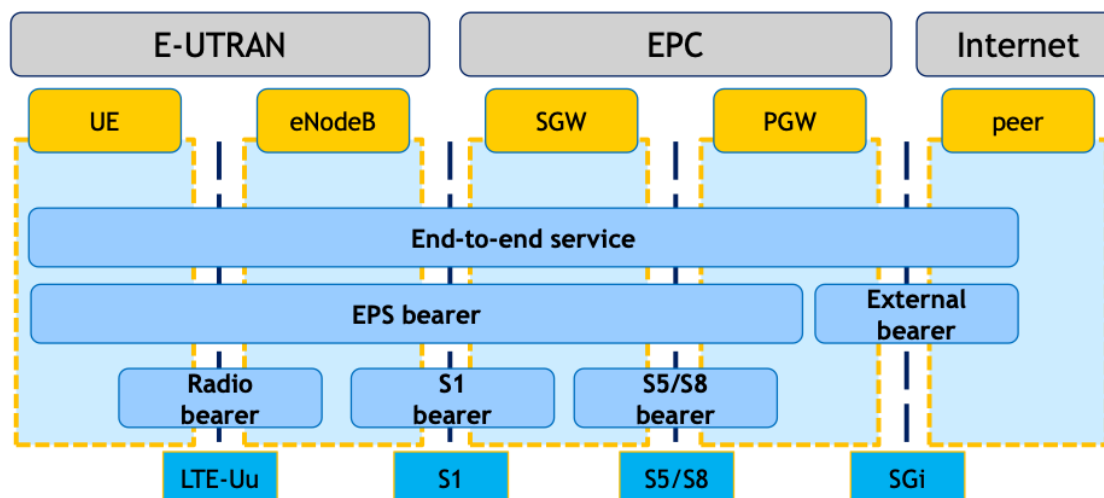
LTE bearer-i najnižeg nivoa su:

- ❑ Radio *bearer* je veza *air* interfejsa između UE uređaja i eNodeB bazne stanice. Protokoli radio *bearer*-a su LTE fizički sloj, MAC protokol, RLC (*Radio Link Control*) protokol i PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*). Radio *bearer*-i mogu biti podeljeni na *bearer*-e za signalizaciju i *bearer*-e za podatke.
- ❑ S1 *bearer* predstavlja vezu između eNodeB bazne stanice i S-GW.
- ❑ S5/S8 *bearer* predstavlja vezu između S-GW i P-GW.

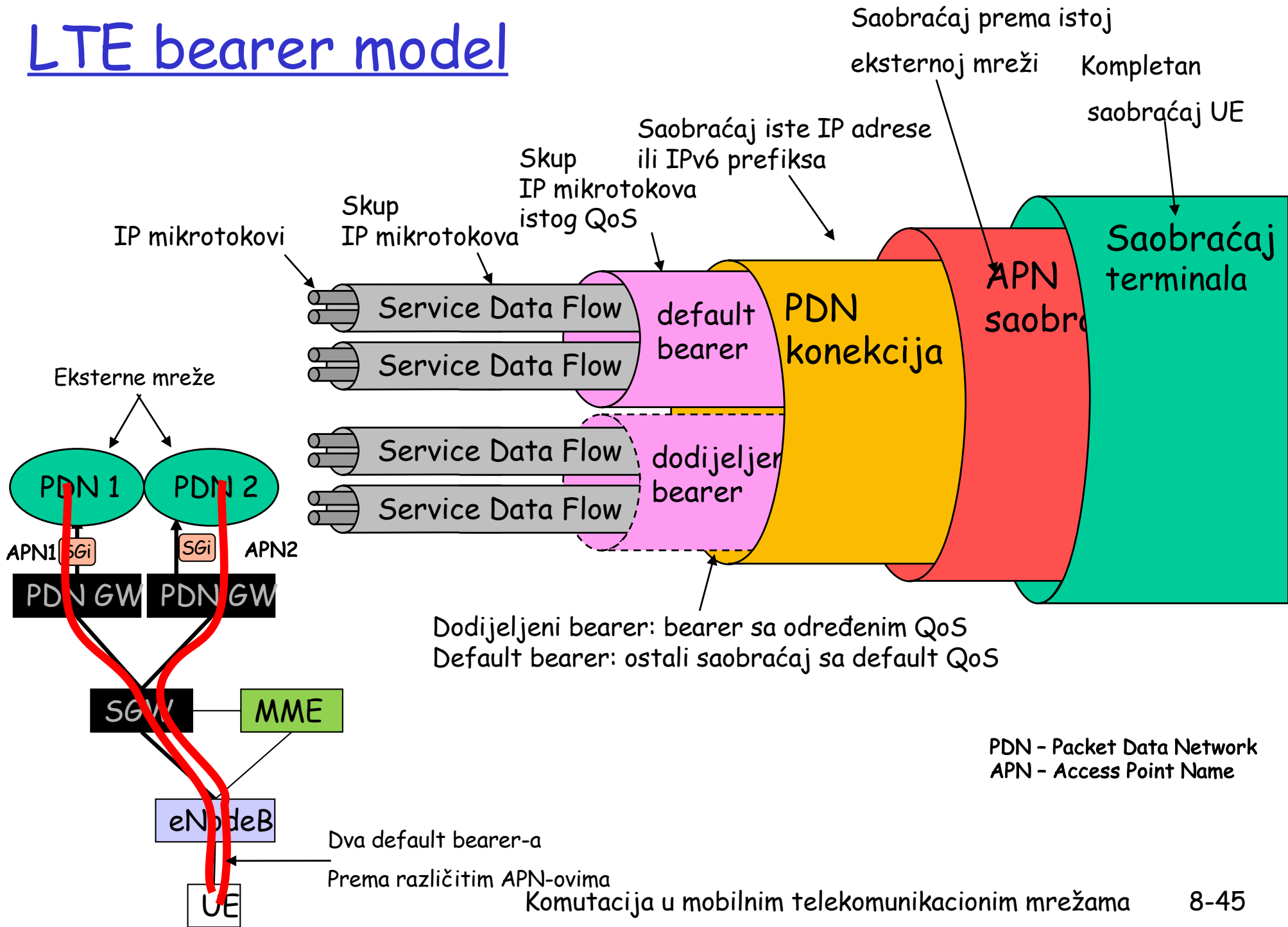


LTE bearer model

- ❑ Radio pristupni *bearer* je centralna komponenta modela koja obezbeđuje vezu UE uređaja za prijenos podataka preko radio pristupne mreže do EPC jezgra mreže.
- ❑ Čitava veza između UE uređaja i P-GW, sastavljena je od opisanih *bearer-a*, naziva se *EPS bearer (E-UTRAN Packet System Bearer)*.
- ❑ *EPS bearer* prenosi pojedinačan tok korisničkih podataka sa određenim QoS zahtjevima.



LTE bearer model



LTE arhitektura protokola

- ❑ Arhitektura protokola LTE ima svoje korijene u arhitekturi protokola UMTS-a, iz koje se razvila LTE grupa protokola.
- ❑ Protokoli korišćeni na radio-interfejsu imaju ista imena u ova dva sistema.
- ❑ Ime pojedinačnog protokola identifikuje svrhu protokola i njegovu lokaciju u skupu protokola.
- ❑ Arhitektura radio-protokola LTE opisana je u 3GPP TS 36.300, a arhitektura protokola EPC u TS 23.401.
- ❑ LTE ima dva skupa protokola za sljedeće namjene:
 - Protokoli za korisničku ravan korišćeni za prenos tokova korisničkih podataka
 - Protokoli za kontrolnu ravan korišćeni za signalizaciju između elemenata LTE mreže

LTE arhitektura protokola

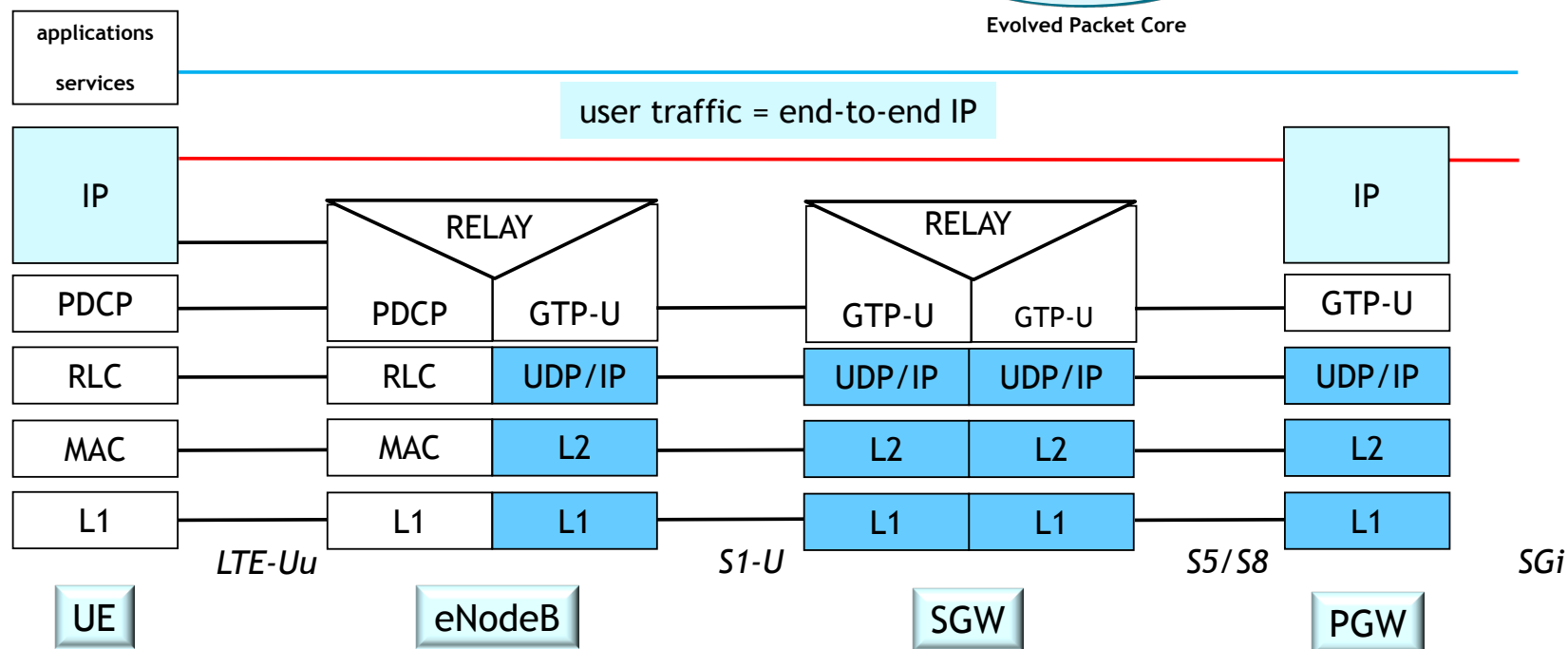
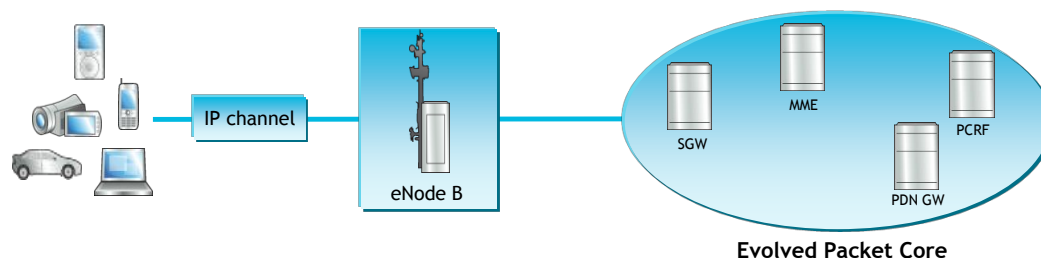
- LTE protokoli mogu se kategorizovati na sljedeći način:
 - Protokoli za prenos podataka koji se koriste za prenos korisničkih podataka ili signalizacionih poruka preko interfejsa između dva sistema. Ovi protokoli fizičkog i nivoa linka zajednički su za korisničku i kontrolnu ravan. Na radio-interfejsu, zajednički protokoli su LTE PHY (fizički sloj), LTE MAC i RLC (veza). Unutar E-UTRAN i EPC, mrežni sloj koristi zajednički par IP/UDP protokola za prenos kako korisničkih podataka, tako i signalizacije, osim na S1 i X2 interfejsima, gdje se umjesto UDP koristi pouzdan SCTP (*Stream Control Transmission Protocol*) protokol za signalizaciju. Donji slojevi linka i fizičkog sloja nisu specificirani, ali tipične implementacije oslanjaju se na Ethernet preko optičkih vlakana ili mikrotalasni radio. Za praktične implementacije, S1 i X2 linkovi često nijesu odvojeni P2P linkovi. Umjesto toga, kako S1, tako i X2 mogu koristiti jedan link od eNodeB do lokalnog IP rutera za agregaciju, koji konačno rutira IP pakete ka drugim eNodeB baznim stanicama, MME-u ili S-GW-u.
 - Protokoli za kontrolu radio mreže koji se koriste od strane MME-a i S-GW-a prema UE uređaju i eNodeB baznoj stanici. Ovi protokoli koriste se za upravljanje radio pristupnim *bearer*-om. MME koristi RRC protokol preko LTE-Uu interfejsa prema UE uređaju. I MME i S-GW koriste S1AP protokol preko S1 interfejsa prema eNodeB baznoj stanici. eNodeB koristi X2AP protokol preko X2 interfejsa za handover kontrolu .

LTE arhitektura protokola

- Protokoli za mobilnost i sigurnost između MME-a i UE uređaja. MME koristi NAS EMM (*EPS Mobility Management*) preko LTE-Uu interfejsa prema UE uređaju za registraciju i upravljanje lokacijom, autentifikaciju i kontrolu enkripcije.
- Protokoli za upravljanje i transport sesija korisničkih podataka između različitih elemenata mreže koji doprinose sesijama podataka. MME koristi NAS ESM (*EPS Session Management*) protokol preko LTE-Uu interfejsa prema UE uređaju za upravljanje kontekstom paketa podataka. Upotreba ESM protokola nije uvijek neophodna, na primjer, u slučajevima kada UE pregovara o vezama s CSCF serverima IMS jezgra mreže, koji će zatim zatražiti od EPC mreže da pruži UE potrebne veze za prenos podataka. Put podataka od P-GW prema eNodeB sastoji se od GTP-U tunela koje upravljaju P-GW, S-GW i eNodeB s GTP-C protokolom. Na radio-interfejsu, eNodeB koristi PDCCP (*Packet Data Convergence Protocol*) protokol za prenos korisničkih paketa podataka UE uređaju.

LTE arhitektura protokola

Protokoli za korisničku ravan korišćeni za prenos tokova korisničkih podataka

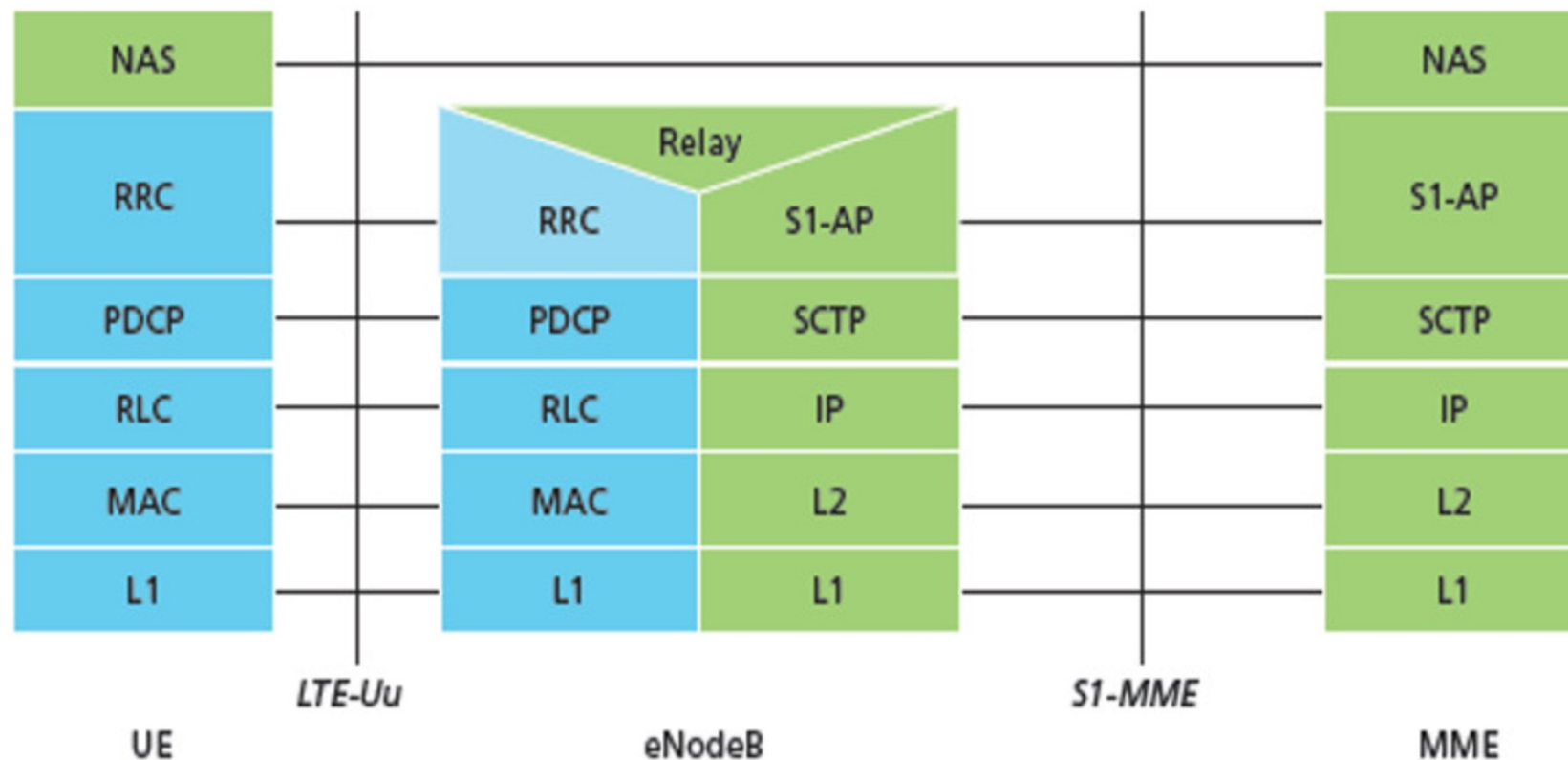


RLC - Radio Link Control
 GTP- GPRS Tunneling Protocol
 PDCP - Packet Data Convergence Protocol

* S5/S8 reference point between S-GW and PDN-GW can also be GTP based

LTE arhitektura protokola

Protokoli za kontrolnu ravan korišćeni za signalizaciju između elemenata LTE mreže



SCTP (Stream Control Transmission Protocol)

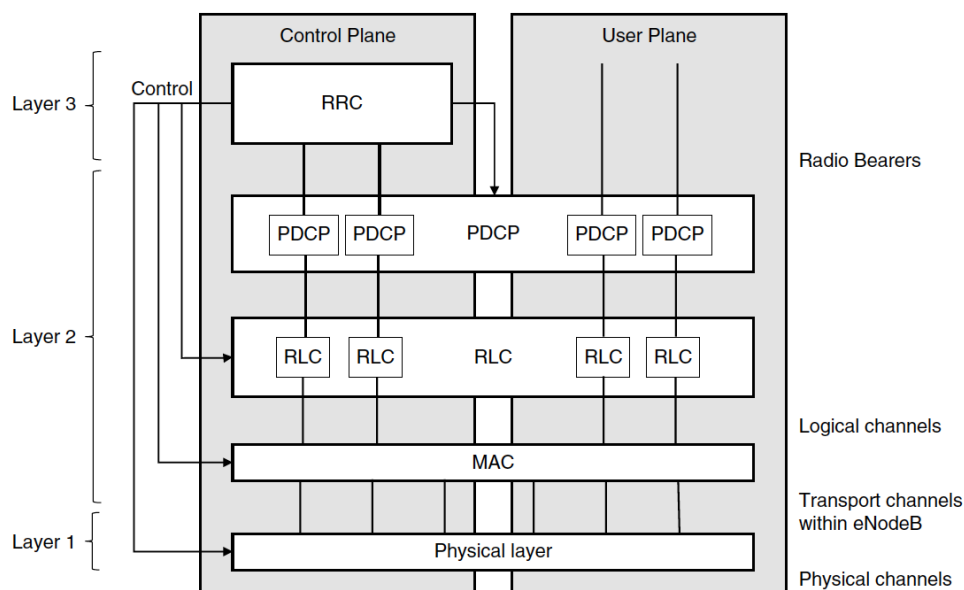
RRC (Radio Resource Control)

NA (Non-Access Stratum)

S1AP (S1 Application Protocol)

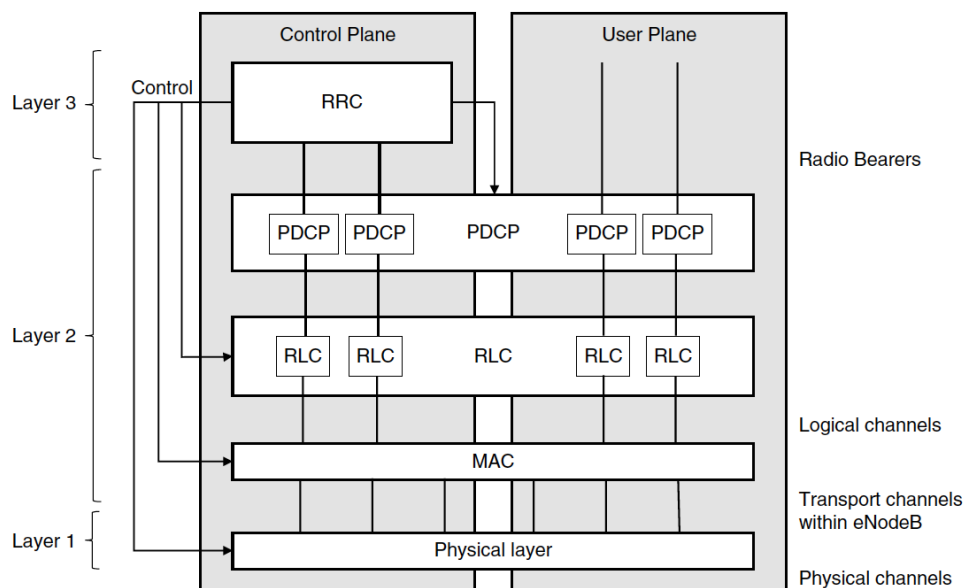
Arhitektura LTE radio kanala

- ❑ Logički kanali u LTE-u koriste se za grupisanje tokova podataka različitih vrsta radi transporta unutar radio *bearer*-a.
- ❑ Koncept logičkog kanala je sličan za UMTS i GSM.
- ❑ LTE MAC protokol mapira tokove podataka s logičkih kanala na transportne kanale korišćene prema fizičkom sloju LTE.
- ❑ Fizički sloj mapira primljene transportne blokove na fizičke kanale radio-interfejsa LTE.
- ❑ U UTRAN mreži, transportni kanali koriste se između RNC i NodeB, tako da se transportni blokovi prenose Iu FP protokolom preko fizičke veze između ovih čvorova.



Arhitektura LTE radio kanala

- ❑ U LTE-u, kako se MAC i fizički sloj nalaze unutar eNodeB, nema razloga (protokolska veza između dva čvora) za postojanje sloja transportnih kanala u modelu.
- ❑ Ipak, odluka je donesena od strane 3GPP-a da se zadrži trostruka arhitektura kanala i pripadajuća terminologija LTE MAC i fizičkih slojeva je naslijeđena od WCDMA dizajna.
- ❑ Detaljni specifikacije kanala i mapiranja između njih mogu se pronaći u 3GPP TS 36.300.



LTE radio interfejs

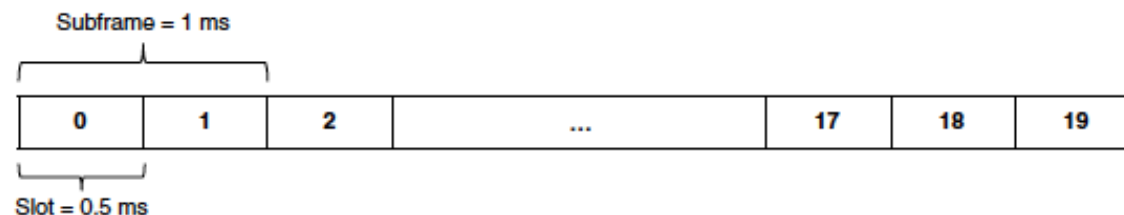
- ❑ LTE koristi OFDMA multipleksiranje za *downlink* i SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) multipleksiranje za *uplink*.
- ❑ Multipleksiranje se koristi za odvojene tokove prenosa prema/od različitih UE-a i različite tokove podataka svakog pojedinačnog UE-a.
- ❑ Opis LTE fizičkog sloja može se pronaći u 3GPP TS 36.201.
- ❑ Ova specifikacija takođe sadrži sažetak drugih 3GPP specifikacija koje se odnose na LTE fizički sloj.
- ❑ Na *downlink*-u, OFDMA podrazumijeva podjelu LTE opsega na uske OFDM podnosioce, pri čemu se svaki od njih moduliše nezavisno.
- ❑ OFDM podnosioci su ortogonalni kako bi se izbjegla interferencija između podnosilaca.
- ❑ Ortogonalnost se postiže odgovarajućim izborom razmaka podnosilaca i naprednim metodama filtriranja.
- ❑ Jedan tok podataka se prenosi preko više OFDM podnosilaca.
- ❑ OFDMA je multi-korisnička verzija OFDM-a gdje se blokovi podnosilaca dodjeljuju za višestruke tokove podataka jednom korisnika ili većem broju korisnika OFDMA sistema.

LTE radio interfejs

- ❑ LTE koristi fiksni razmak od 15 kHz između podnosilaca, što znači da postoji razlika od 15 kHz između osnovnih frekvencija svakog podnosioca.
- ❑ S druge strane, širina opsega pojedinačnog podnosioca u LTE OFDMA je 15 kHz.
- ❑ U poređenju sa 200kHz GSM kanalima, podnosioci u LTE su prilično uski.
- ❑ *Downlink* LTE OFDMA funkcioniše na sledeći način:
 - Niz bita koji se prenos preko grupe podnosilaca moduliše se QAM modulacijom kako bi se generisao niz QAM simbola.
 - LTE Rel-8 podržava QPSK, 16-QAM ili 64-QAM modulacije gdje jedan simbol predstavlja dva, četiri ili šest bita podataka, respektivno.
 - U kasnijim 3GPP LTE izdanjima dodana je podrška za 128-QAM sa 7 bita podatka i 256-QAM sa 8 bita podataka po simbolu.
 - Niz simbola QAM distribuira se paralelnim OFDMA podnosiocima dodijeljenog bloka podnosilaca.

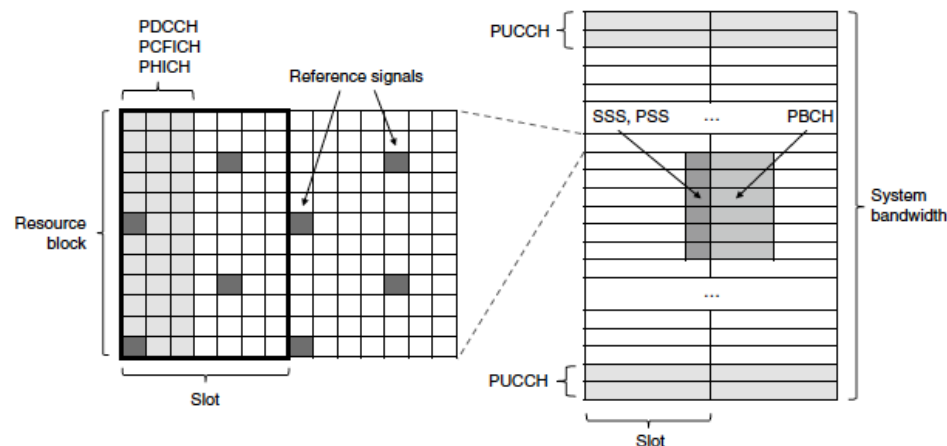
LTE struktura frejma i fizički kanali

- ❑ Struktura okvira radio interfejsa LTE koristi okvire trajanja 10 ms koji se prenose preko podkanala.
- ❑ Svaki okvir je podijeljen na 10 podokvira, svaki trajanja 1 ms.
- ❑ Podokvir se sastoji od dva susjedna slota tako da ima 20 slotova u okviru.
- ❑ Sedam ili šest OFDM simbola se prenosi u svakom slotu, zavisno o dužini cikličkog prefiksa OFDM simbola.
- ❑ LTE TTI (*Transmission Time Interval*) je 1 ms.
- ❑ Ovo znači da je LTE podokvir jedinica za alokaciju radio resursa u vremenskom domenu.
- ❑ U kombinaciji s frekvencijskom dimenzijom, alokacija se vrši kao resursni blok, sastavljen od podokvira na 12 susjednih podkanala.
- ❑ eNodeB može odabrati režim prenosa i brzinu prenosa za svaki resursni blok koji je raspoređen za UE u ćeliji.
- ❑ LTE TTI je značajno kraći od WCDMA TTI od 10 ms, a čak i kraći od HSPA TTI od 2 ms.
- ❑ Kratki TTI donosi sljedeće prednosti LTE sustavu: kraće kašnjenje pri alokaciji radio resursa ili podešavanju brzine prenosa i smanjenje kašnjenja.



LTE struktura frejma i fizički kanali

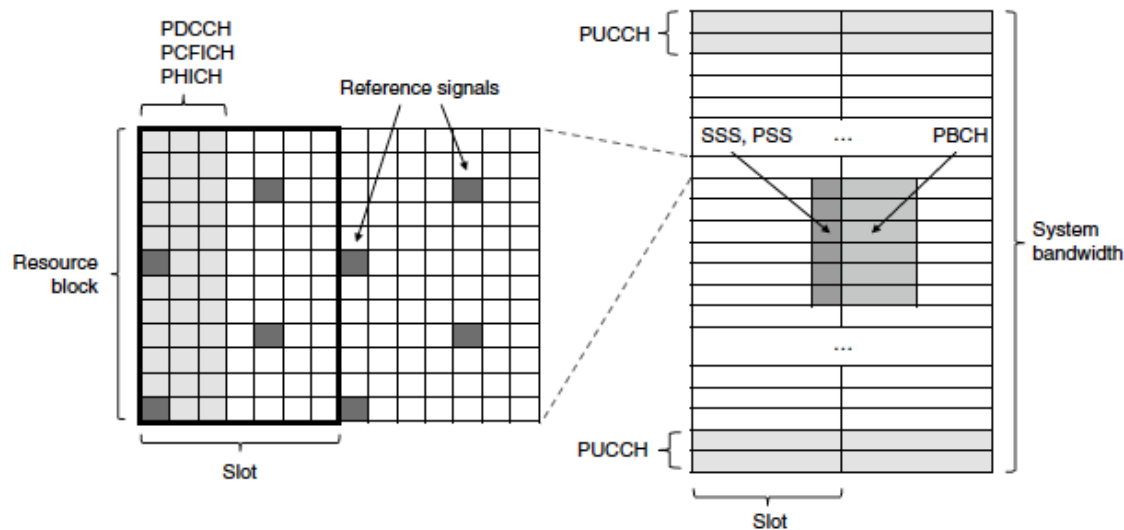
- ❑ LTE sistem koristi nešto jednostavniju strukturu fizičkih kanala u poređenju sa WCDMA.
- ❑ Fizički WCDMA kanali su kodno multipleksirani, dok fizički LTE kanali koriste vremensko i frekvencijsko multipleksiranje.
- ❑ U LTE prostoru podkanala i resursnih blokova, fizički kanali se nalaze na unaprijed određenim pozicijama resursnih elemenata.
- ❑ Podaci za signalizaciju se prenose putem kontrolnih kanala u prvih nekoliko resursnih elemenata svakog podokvira, dok se ostali resursni elementi podokvira koriste za korisničke podatke na zajedničkim kanalima.
- ❑ Broj resursnih elemenata koji se koriste za kontrolne kanale dinamički se prilagođava po resursnom bloku.
- ❑ Referentni signali su raspoređeni na fiksne pozicije unutar resursnog bloka kako bi pravilno predstavljali adekvatan uzorak frekvencija podkanala tokom vremenskog domena unutar bloka.



LTE struktura frejma i fizički kanali

Downlink kanali

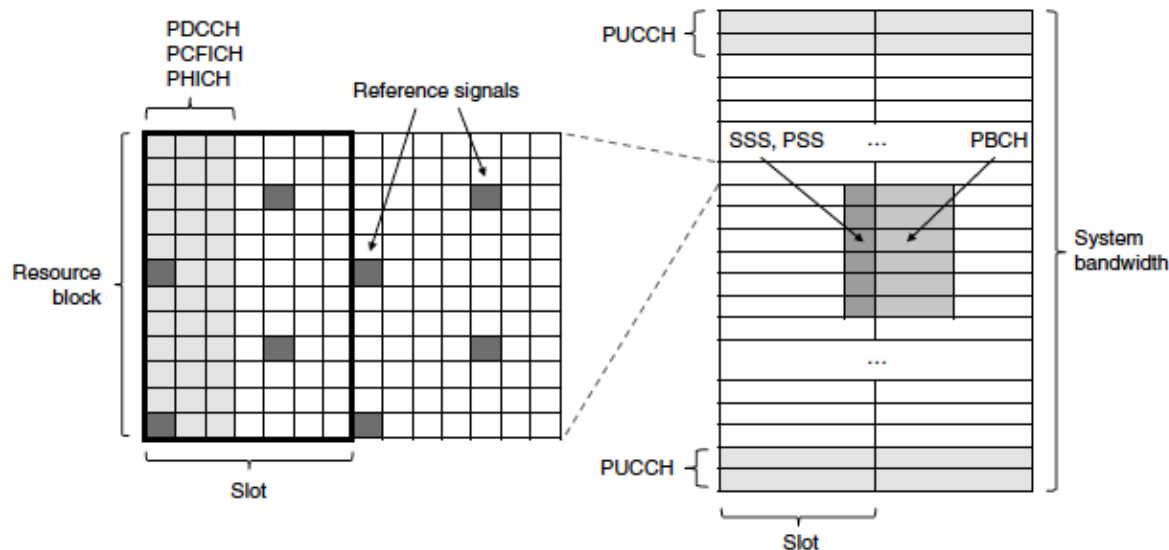
1. PSCH (*Primary Synchronization CHannel*) kanal prenosi PSS (*Primary Synchronization Signal*) koje UE koristi za dobijanje sinhronizacije slota i frekvencijskog ofseta sa ćelijom. PSS signali se šalju jednom u četiri uzastopna LTE okvira u sredini širine opsega LTE sistema.
2. SSCH (*Secondary synchronization channel*) prenosi SSS (*Secondary Synchronization Signals*) signale koje UE koristi za dobijanje granica okvira, nauči dužinu cikličkog prefiksa, otkrije da li se ćelija koristi za FDD ili TDD, i konačno dekodira fizički identifikator ćelije (kao kombinaciju PSS i SSS). Kao i PSS, i SSS signali se šalju jednom u četiri uzastopna LTE okvira.



LTE struktura frejma i fizički kanali

Downlink kanali

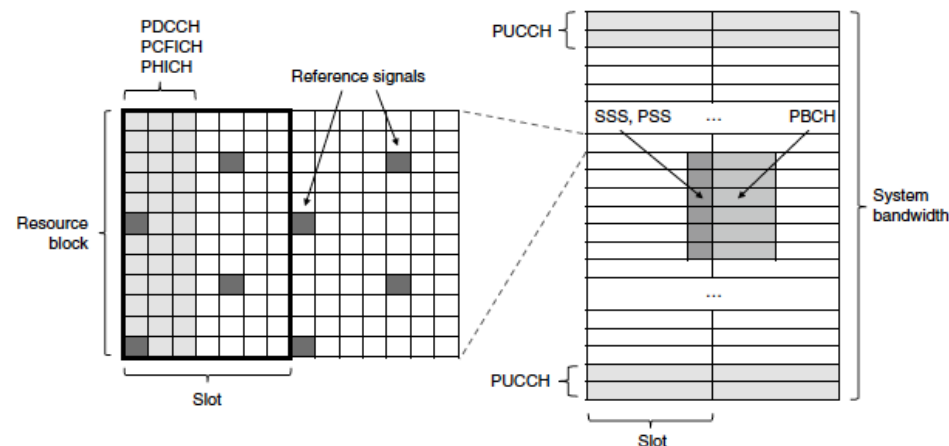
3. PBCH (*Physical Broadcast Channel*) prenosi kritične mrežne parametre za pristup ćeliji unutar MIB (*Master Information Block*) koji se emituje u ćeliji. Kanal PBCH se uvijek može pronaći na fiksnom položaju LTE resursne mreže kako bi UE lako mogao da ga pronađe bez dodatnih informacija od strane eNodeB-a. Posebni resursni elementi su rezervisani za PBCH iz resursnih blokova koji zauzimaju 72 podkanala u sredini širine opsega LTE sistema. Na tim podkanalima, tri simbola se koriste za PBCH u svakom četvrtom okviru, odmah nakon što se prenesu PSS i SSS signali.



LTE struktura frejma i fizički kanali

Downlink kanali

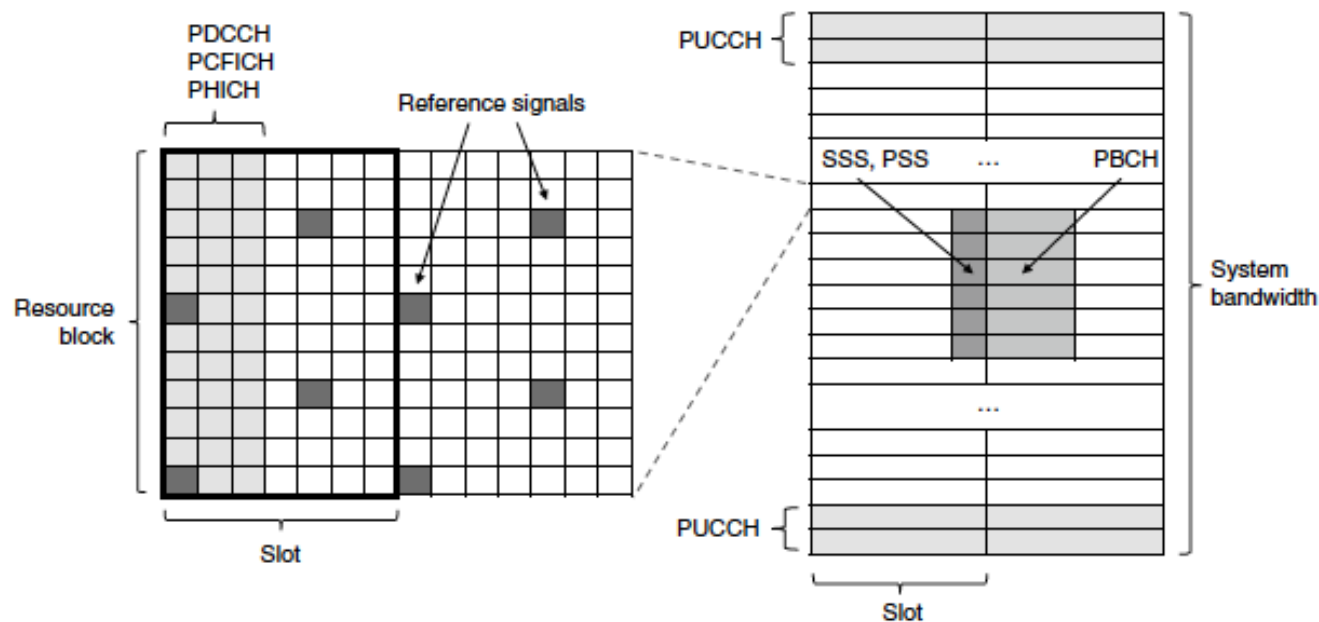
4. PDCCH (*Physical downlink control channel*) prenosi DCI (*Downlink Control Information*) poruke kako bi informisao UE o resursnim blokovima koji su mu dodijeljeni na uplink i downlink smjeru. Osim što obavještava o lokaciji dodijeljenih resursnih blokova u LTE resursnoj mreži, DCI poruke obavještavaju UE o različitim detaljima koji se odnose na resursni blok, kao što su MCS, parametri HARQ procesa, nivoi snage za *downlink* prenos, i opcije za višestruke antene. LTE koristi zanimljivu šemu za kodiranje odredišnih UE DCI poruka poslatih putem zajedničkog PDCCH kanala kao CCE (*Control Channel Elements*). Unutar DCI poruke postoji CRC suma provjere koja se izračunava iz poruke i jedinstvenog C-RNTI (*Cell Radio Network Temporary Identity*) identifikatora odredišnje UE. Ako UE može ispravno izračunati CRC sumu provjere iz primljene DCI poruke i svog vlastitog C-RNTI identifikatora, zna da je odredište za poruku. PDCCH kanal se prenosi unutar 1-3 OFDMA simbola od početka svakog podokvira na svakom podkanalu.



LTE struktura frejma i fizički kanali

Downlink kanali

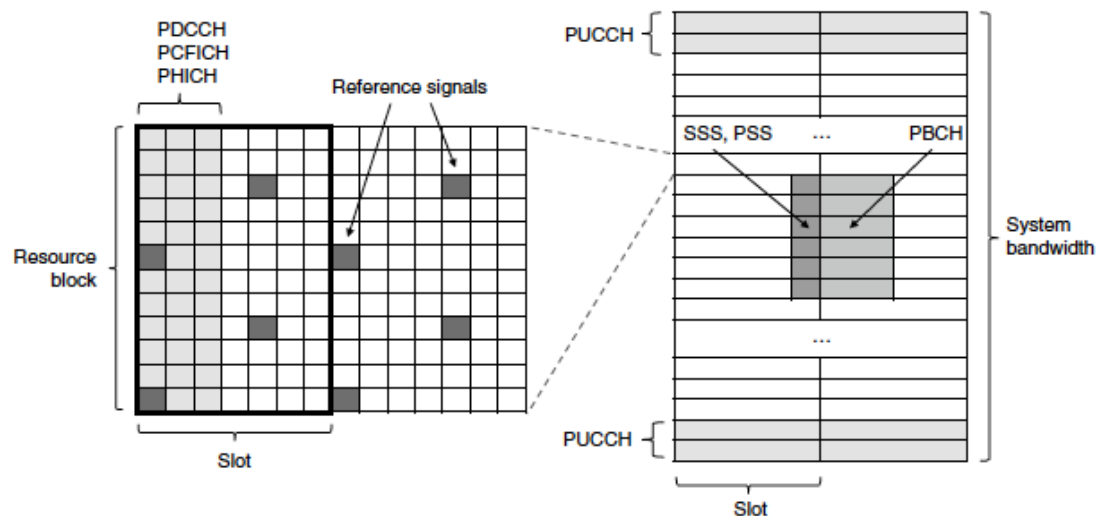
5. PCFICH (*Physical control format indicator channel*) kanal se koristi za informisanje o tome koliko OFDMA simbola je rezervisano iz podokvira za PDCCH kanal. Veličina PDCCH zavisi od trenutnog profila korišćenja radio mreže LTE. Ako se mreža koristi uglavnom za mali broj veza visokih brzina, većina resursa može se koristiti za podatke, a PDCCH treba samo jedan OFDMA simbol po podokviru. S druge strane, ako se mreža koristi uglavnom za VoIP pozive niske propusnosti, potrebno je više resursa za PDCCH kanal kako bi mreža mogla upravljati višestrukim simultanim VoIP vezama velikog broja UE.



LTE struktura frejma i fizički kanali

Downlink kanali

6. PDSCH (*Physical downlink shared channel*) je zajednički kanal koji se koristi za većinu *downlink* LTE saobraćaja, kao što su podaci ili signalizacija višeg sloja, uključujući informacije o sistemu i poruke za pozivanje UE u stanju mirovanja. Paging poruke se prenose u PDSCH kanalu na posebnom resursnom bloku rezervisanom u tu svrhu. Svi UE u stanju mirovanja moraju se probuditi kako bi osluškivali paging resursni blok. Ovi posebni resursni blokovi nisu mapirani u fiksnoj strukturi LTE okvira, već im eNodeB govori o njihovom položaju putem signalizacije poslate preko PDCCH kanala.
7. PHICH (*Physical HARQ Indicator Channel*) prenosi eNodeB HARQ potvrde za podatke poslate od strane UE.
8. PMCH (*Physical multicast channel*) prenosi *downlink multicast* poruke.



LTE struktura frejma i fizički kanali

Uplink kanali

1. PRACH (*Physical Random Access CHannel*) se koristi od strane UE za slanje poruka za slučajan pristup. Kapacitet PRACH-a može se prilagoditi tako da kanal ima jedan resursni blok u periodu između 1 i 20 ms, kako je definisano unutar PDCCH signalizacije.
2. PUCCH (*Physical uplink control channel*) koristi se od strane UE-a za signalizaciju kada UE nema dodjelu na PUSCH (*Physical Uplink Shared Channel*). PUCCH se može koristiti za HARQ potvrde, zahtjeve za raspoređivanjem korisničkih podataka i izvještaje o kvalitetu kanala (CQI). Različiti formati PUCCH poruka definisani su za ove svrhe. eNodeB obavještava UE-e o dostupnim resursnim blokovima PUCCH-a i formatima koji će se koristiti na svakom od njih. Na taj način, UE može koristiti odgovarajuće blokove za određene vrste svojih poruka. Resursni blokovi PUCCH-a nalaze se na najnižim i najvišim podnosiocima korišćenog LTE opsega. Više UE-a može istovremeno koristiti isti resursni blok PUCCH-a, budući da se koristi kodno multipleksiranje kako bi se odvojio prenos različitih UE-a na istom bloku.
3. PUSCH (*Physical Uplink Shared Channel*): dijeljeni fizički kanal putem kojeg UE može slati korisničke podatke ili signalizaciju.

LTE logički kanali

Skup logičkih kanala koje pruža LTE MAC evoluirao je iz onih koji se koriste za WCDMA sistem:

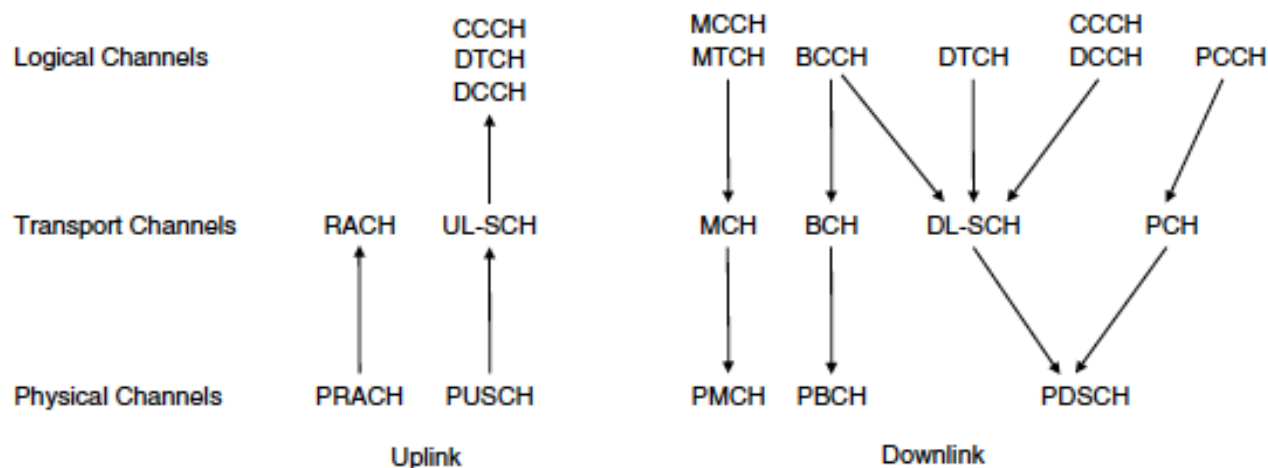
- ❑ BCCH (*Broadcast Control Channel*) je *downlink* kanal za emitovanje MIB-a svim UE-ovima koji se nalaze na ćeliji. MIB omogućava UE-ovima pristup dijeljenim SCH kanalima.
- ❑ PCCH (*Paging control channel*) je *downlink* kanal po kojem eNodeB šalje *paging* poruke kako bi obavijestio UE-ove o mobilnim podacima sa mobilnog uređaja prema UE-u.
- ❑ CCCH (*Common control channel*) je bidirekcionalni kanal koji dijele svi UE-ovi jedne ćelije. Svaka poruka poslata od strane eNodeB-a na CCCH ima samo jednog odredišnog UE-a. CCCH kanal se koristi za dostizanje UE-ova koji nisu u aktivnom RRC režimu.
- ❑ DCCH (*Dedicated control channel*) je bidirekcionalni signalni kanal posvećen jednom pojedinačnom UE-u.
- ❑ DTCH (*Dedicated traffic channel*) je bidirekcionalni kanal za prenos korisničkih podataka posvećen jednom pojedinačnom UE-u.
- ❑ MCCH (*Multicast control channel*) je *downlink* kanal koji se koristi za prenos signalnih poruka radi kontrole upotrebe MTCH kanala.
- ❑ MTCH (*Multicast traffic channel*) je *downlink* kanal koji se koristi za prenos podataka istovremeno grupi UE-ova koji se nalaze na ćeliji.

LTE transportni kanali

Definisani su sljedeći transportni kanali za LTE:

□ Downlink kanali:

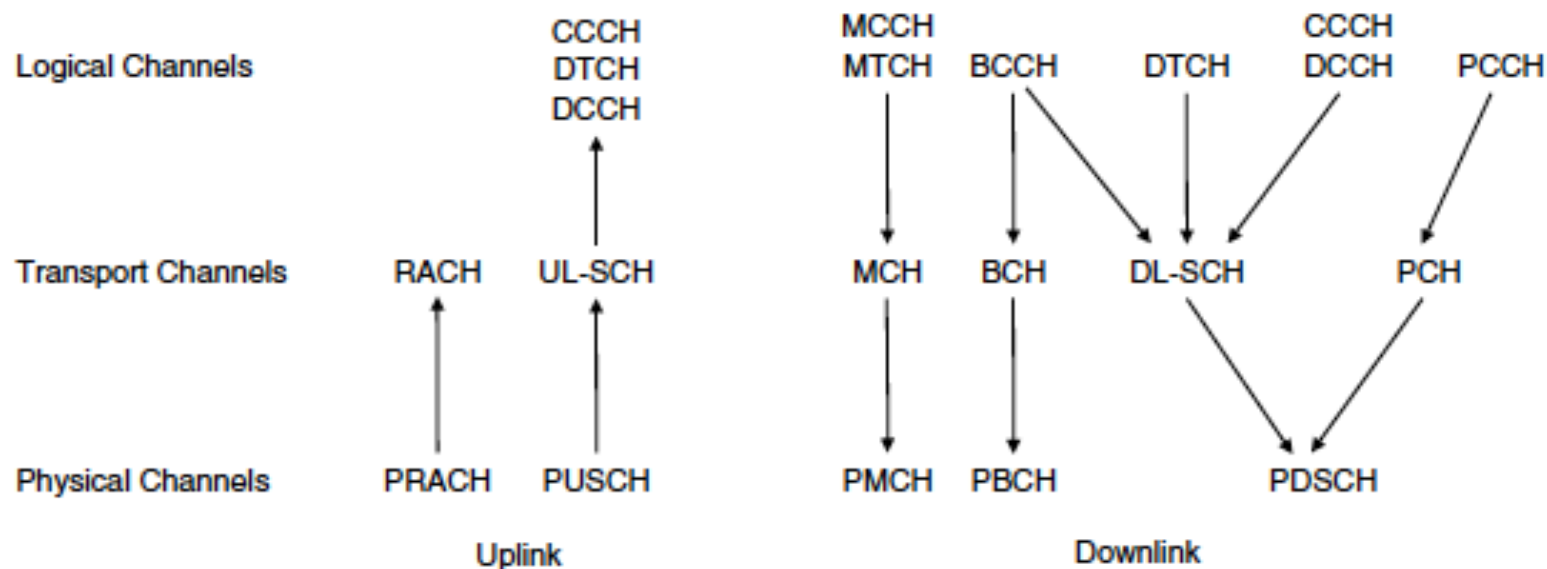
- BCH (*Broadcast channel*) se koristi za prenos logičkog toka podataka BCCH, koji sadrži informacije o PDSCH dekodiranju, emitovane svim UE-ovima koji se nalaze u ćeliji. eNodeB prosleđuje bilo koje poruke sa transportnog kanala BCH na fizički kanal PBCH. BCH kanal ćelije WCDMA prenosi sve SYSTEM INFORMATION poruke, ali u LTE-u se BCH kanal koristi samo za MASTER INFORMATION i SYSTEM INFORMATION BLOCK 1 (SIB1) poruke. LTE BCH prenosi samo minimalni set parametara, koji su potrebni UE-u za dekodiranje PDSCH kanala na kojem se prenose ostale LTE SYSTEM INFORMATION poruke. Poruka o MASTER INFORMATION obavještava UE o korišćenju frekvencijskog opsega, konfiguraciji PHICH kanala i broju SFN okvira.
- PCH (*Paging channel*) se koristi za prenos logičkog toka podataka PCCH, koji čini poruke paging-a poslate UE-ovima da ih premjesti iz stanja RRC_IDLE u stanje RRC_CONNECTED. Bazna stanica prosleđuje bilo kakve poruke sa transportnog kanala PCH na fizički kanal PDSCH.
- DL-SCH (*Downlink shared channel*) se koristi za prenos korisničkih podataka, SYSTEM INFORMATION i ostale vrste signalizacije ka UE-u. eNodeB koristi RRC protokol za alociranje resursa DL-SCH za UE-ove u stanju RRC_CONNECTED.
- MCH (*Multicast channel*) se koristi za emitovanje određenih tokova korisničkih podataka (kao što su IP-TV ili radio) istovremeno na više UE-ova.



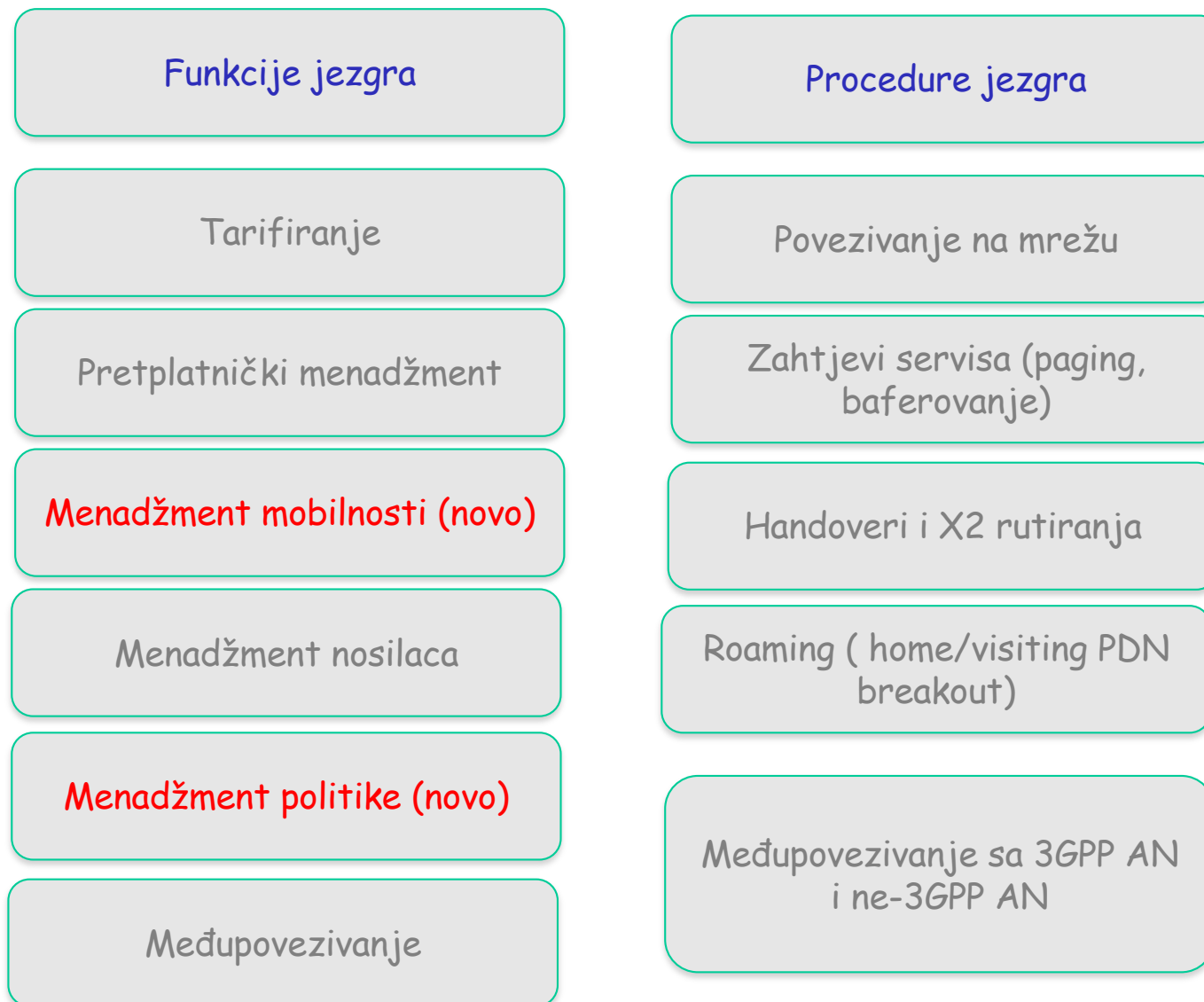
LTE transportni kanali

Uplink kanali:

- ❑ RACH (*Random access channel*) se koristi za slanje zahtjeva za slučajan pristup kada UE želi dobiti *uplink* dozvolu(e) za slanje korisničkih podataka ili poruke za ažuriranje lokacije. Bazna stanica prosleđuje poruke sa fizičkog kanala PRACH na transportni kanal RACH.
- ❑ UL-SCH (*Uplink shared channel*) se dijeli između više UE-ova za slanje korisničkih podataka ili RRC signalizacije ka mreži. UE mora biti u stanju RRC_CONNECTED da bi koristio kanal UL-SCH i dobio alociranje resursa za prenos.



EPC: Funkcije i procedure jezgra



RRM (*Radio Resource Management*)

- ❑ RRM (*Radio Resource Management*) podrazumijeva funkcije eNodeB-a za raspodjelu LTE radio blokova korisnicima koji se povezani na LTE ćeliju i upravljanje različitim parametrima koji utiču na prenos unutar tih blokova.
- ❑ RRM ima sljedeće ciljeve:
 - Efikasno korišćenje radio frekvencija dodijeljenih LTE mreži kako bi se maksimalno iskoristio kapacitet mreže.
 - Pravedna alokacija radio resursa korisnicima kako bi se zadovoljile njihove komunikacione potrebe.
 - Minimizovanje međućelijskog ometanja između istih podnosilaca u susjednim ćelijama.

RRM

LTE Initial access

- ❑ U ovoj fazi UE obavlja sljedeće zadatke:
 - Pronalazi LTE ćelije, bira mrežu i pristupa ćeliji.
 - Otvara RRC vezu radi razmjene signalizacionih poruka s mrežom.
 - Povezuje se sa LTE uslugom i autentifikuje.
 - Obavještava o svojim opcionim mogućnostima i dobija inicijalni default bearer za korisničke podatke.
- ❑ U RRC_IDLE stanju, UE pretražuje LTE radio frekvencije kako bi pronašao odgovarajuću ćeliju.
- ❑ Za izbor ćelije, UE primjenjuje prioritete izbora PLMN-a koji su pohranjeni u USIM (*Universal Subscriber Identity Module*) aplikaciji.
- ❑ Pregledi nisu ograničeni samo na LTE radio frekvencije.
- ❑ UE može takođe pregledati frekvencije koje su dodijeljene drugim radio tehnologijama.
- ❑ Kada se pronađe odgovarajuća LTE ćelija, UE se povezuje sa LTE mrežom pridruživanjem ćeliji.

RRM

LTE Initial access

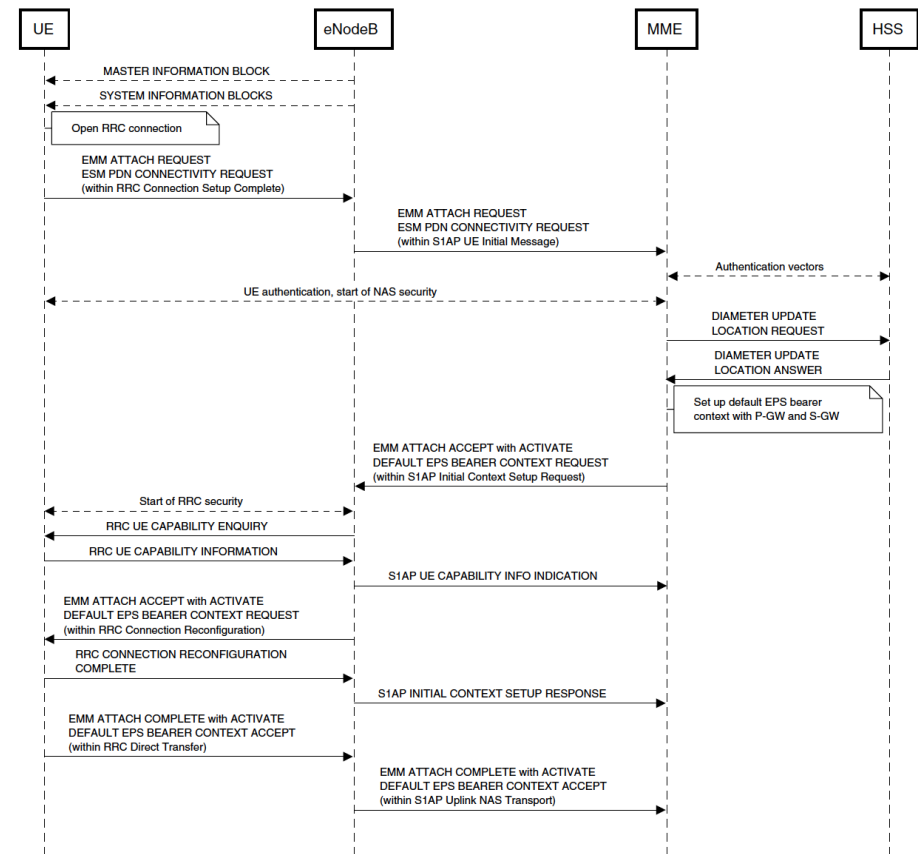
- ❑ LTE ćelija se identifikuje pomoću svog identifikatora ćelije.
- ❑ LTE ima dva tipa identifikatora ćelije.
 - Kratki fizički identifikator ćelije ima jednu od 504 dostupne vrijednosti i prenosi se putem SCH sinhronizacionih kanala ćelije. Fizički identifikator ćelije koristi se za razlikovanje različitih ćelija bez dekodiranja zajedničkih dolaznih kanala.
 - Pored fizičkog identifikatora ćelije, eNodeB ima duži globalno jedinstveni identifikator LTE ćelije, koji UE saznaje iz poruka o sistemskim informacijama ćelije.
- ❑ Fizički identifikator ćelije predstavlja kombinaciju dvije vrijednosti sinhronizacionog signala:
 - PSS (*Primary Synchronization Signal*) ima tri moguće vrijednosti
 - SSS (*Secondary Synchronization Signal*) ima 168 mogućih vrijednosti
- ❑ eNodeB koristi sledeću šemu za slanje svojih sinhronizacionih signala:
 - U frekvencijskom domenu, sinhronizacioni signali se šalju u šest radio blokova u sredini LTE sistemskog opsega.
 - U vremenskom domenu, sinhronizacioni signali se šalju dva puta u svakom frejmu u pomenutim blokovima. U tim blokovima, LTE frejmovi imaju dva fiksna položaja za sinhronizacione signale, na kraju prvog i jedanaestog slota frejma.
 - PSS i SSS se šalju u dva susjedna OFDMA simbola na kraju odgovarajućeg slota.
- ❑ Kada UE uspješno obradi oba sinhronizaciona signala, sinhronizovao se sa LTE strukturom frejma i dekodirao fizički identifikator ćelije.

RRM

LTE Initial access

1. Nakon uključivanja, UE pokušava pronaći sinhronizacione signale u sredini radio opsega dodijeljenog za LTE. Kada UE prepozna PSS na LTE opsegu, postiže sinhronizaciju frejma sa ćelijom. Nakon toga, UE završava proces sinhronizacije čitanjem SSS, što upotpunjava fizički identifikator ćelije za UE.

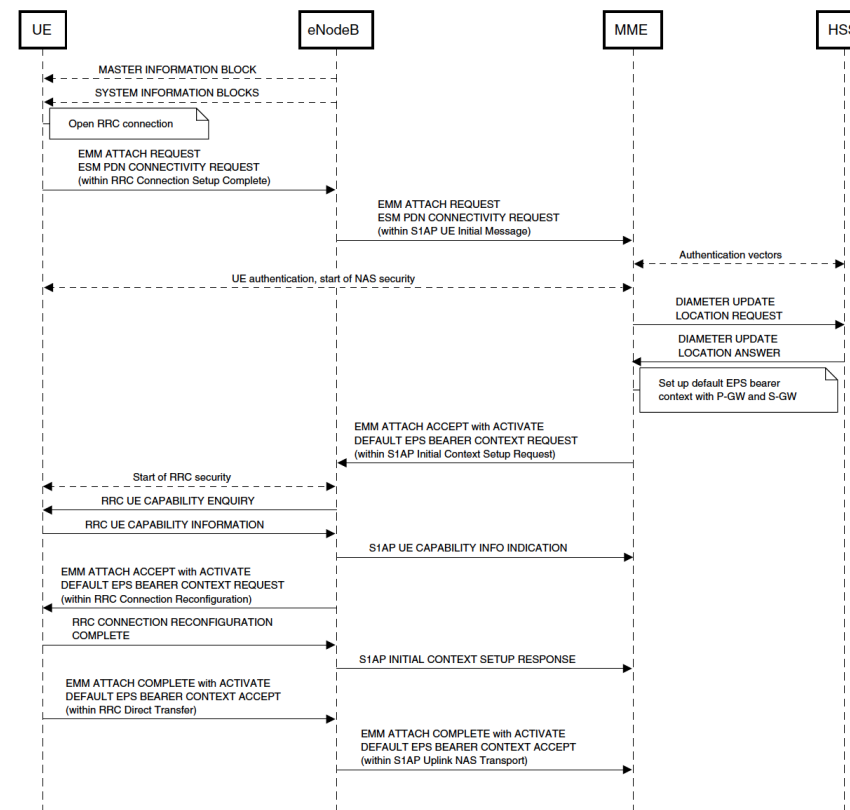
2. Zatim, UE čita MIB (*Master Information Block*) sa PBCH (*Physical Broadcast Channel*) kanala, koji se prenosi na istom radio opsegu od 1,08 MHz kao i sinhronizacioni signali. Master informacioni parametri omogućavaju UE-u pristup PDCCH (*Physical downlink control channel*) kanalu i konačno pronalaženje SIB1 (*System Information Block 1*). UE počinje slušati PDSCH (*Physical downlink shared channel*) kanal kako bi pročitao ostale blokove sistema informacija koje periodično šalje eNodeB. SIB1 sadrži parametre koji se odnose na izbor mreže i pristup ćeliji, kao i raspoređivanje. Iz SIB2, UE pronalazi konfiguraciju ostalih LTE fizičkih kanala u ćeliji i vrijednosti različitih tajmera i drugih konstanti. UE izvršava postupak izbora mreže.



RRM

LTE Initial access

3. Tokom procesa otvaranja veze, UE šalje EMM (Evolved Mobility Management) ATTACH REQUEST poruku sa ESM (Evolved Session Management) PDN CONNECTIVITY REQUEST porukom MME-u. U zahtjevu za pridruživanje, UE šalje adresu MME-a sa kojom je UE prethodno registrovan i PLMN identifikator preferiranog operatora. U zahtjevu za PDN konektivnost, UE može specificirati APN (Access Point Name) preko kojeg želi biti povezan sa određenom PDN. Ako se parametar APN izostavi, mreža će umjesto toga koristiti zadani APN naveden unutar korisničkog profila korisnika.

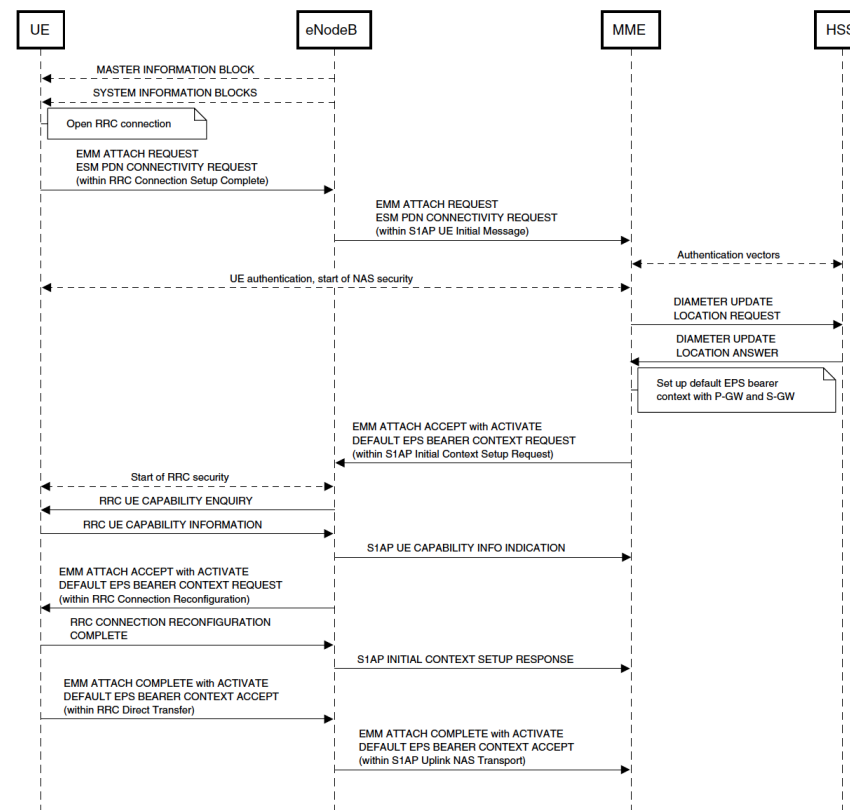


4. MME vrši autentifikaciju pretplatnika i započinje enkripciju i utvrđivanje integriteta na NAS nivou. Nakon toga, MME šalje HSS-u ažuriranu lokaciju UE i dobija podatke o pretplatniku, kao što su zadani APN i QoS parametri koji će se koristiti za zadani EPS bearer. MME nastavlja s kreiranjem inicijalnog default EPS bearer-a. Na kraju, MME šalje EMM ATTACH ACCEPT poruku eNodeB-u i upućuje UE da aktivira default EPS bearer.

RRM

LTE Initial access

5. eNodeB traži od UE njegove LTE mogućnosti slanjem RRC UE CAPABILITY ENQUIRY poruke. Pomoću ove poruke, eNodeB može zatražiti informacije o raznim mogućnostima UE-a, poput kategorije, podržanih kombinacija opsega za agregaciju nosilaca i drugih radio tehnologija poput podrške za GSM, UMTS ili 5G NR EN-DC. eNodeB prosleđuje MME-u vraćene mogućnosti UE-a.



6. eNodeB prosleđuje EMM poruke primljene od MME-a UE-u u sklopu RRC CONNECTION RECONFIGURATION poruke i započinje enkripciju i zaštitu integritet na AS nivou za PDCP protokol. Na kraju, kako eNodeB tako i UE odgovaraju MME-u o završetku postupka pridruživanja i postavljanja inicijalnih default EPS bearer-a.

RRM

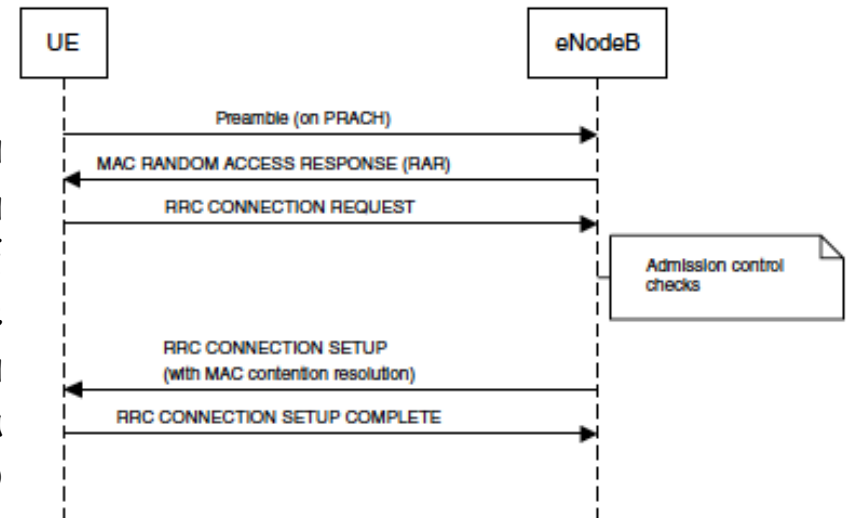
Otvaranje RRC konekcije

- ❑ Da bi mogao komunicirati, UE-u je potrebna dodjela resursa na zajedničkom kanalu.
- ❑ RRC veza je potrebna između UE-a i eNodeB-a za upravljanje dodjelom resursa i drugim aspektima komunikacije.
- ❑ UE ulazi u stanje RRC_CONNECTED pomoću pristupa slučajnim izborom i rješavanjem kolizije.
- ❑ UE može pokrenuti slučajan pristup samostalno ili nakon što je od mreže dobio *paging* poruke.
- ❑ *Paging* može biti aktiviran zbog podataka namijenjenih mobilnom uređaju, dolaznog govornog poziva, ili zbog promjena u sistemskim informacijama.
- ❑ Da bi pozvala UE, eNodeB šalje RRC PAGING poruku preko PDSCH kanala.
- ❑ U tom trenutku, UE još uvijek nema dodjelu resursa na PDSCH, ali u stanju RRC_IDLE, UE mora slušati *paging* slotove na kanalu.
- ❑ UE može primijeniti postupak prekida prijema (DRX - *discontinuous reception*) tokom procesa slušanja.
- ❑ Tokom DRX-om, UE se redovno budi kako bi slušao *paging* slotove, kako je definisano u kontrolnim parametrima DRX bloka SIB2.
- ❑ *Paging* poruka se šalje u TA (*Tracking Area*) ćelijama gdje je UE poslao posljednju TAU (*Tracking Area Update*) poruku.
- ❑ *Paging* poruka sadrži IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) identifikator pretplatnika ili S-TMSI (*Serving Temporary Mobile Subscriber Identity*) identifikator koji je MME dodijelila UE-u.

RRM

Otvaranje RRC konekcije

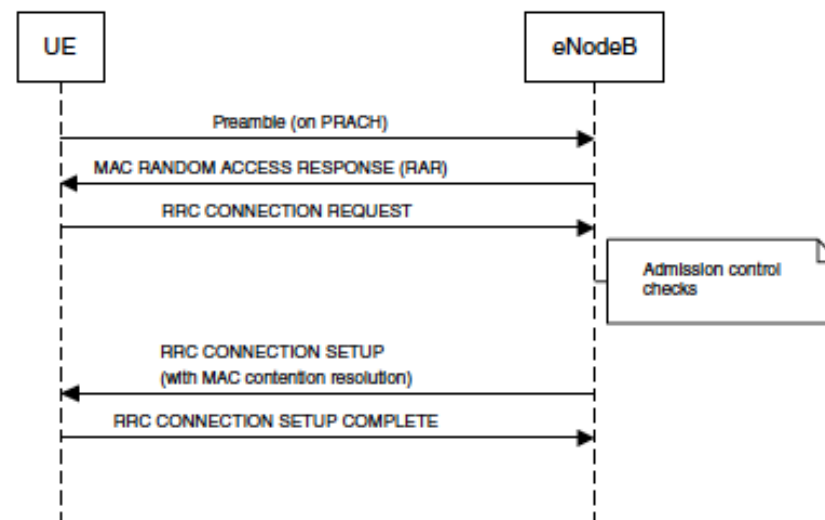
1. Mobilni uređaj (UE), koji se nalazi u stanju RRC_IDLE, čita SIB2 sistemsku informacionu poruku sa PDSCH kanala. Iz SIB2 bloka, UE saznaje konfiguraciju PRACH kanala i sekvence preambula slučajnog pristupa koje se koriste u ćeliji. Preambula je unaprijed definisan niz bita koji se koristi za slučajan pristup. UE nasumično bira jednu od preambula i vremenske slotove PRACH (*Physical Random Access CHannel*) kanala za slanje preambule. Ako UE ne primi RAR (*Random Access Response*) od eNodeB, UE će ponovo poslati preambulu sa većom emisionom snagom .
2. eNodeB odgovara na primljenu preambulu porukom MAC RAR. RAR poruka sadrži originalnu preambulu koja se koristi za slanje RAR-a i različite parametre koje UE treba da koristi na UL-SCH (*UpLink Shared CHannel*) transportnom kanalu. Nakon što primi RAR poruku i dozvolu za PUSCH (*Physical Uplink Shared CHannel*) prenos u DCI (*Downlink Control Information*) poruci, UE koristi dozvolu za slanje RRC CONNECTION REQUEST poruke eNodeB-u. Ova RRC poruka obavještava eNodeB o svrsi (signalizacija, korisnički podaci, govorni poziv, itd.) zbog koje UE traži otvaranje RRC veze.



RRM

Otvaranje RRC konekcije

3. eNodeB procjenjuje primljeni zahtjev za vezu kako bi odlučio da li može otvoriti novu vezu ili ne. U ovom procesu kontrole prijema (*admission control*), eNodeB provjerava dostupnost radio resursa, uzimajući u obzir sve postojeće RRC veze i *bursty* prirodu LTE saobraćaja podataka. eNodeB šalje RRC CONNECTION SETUP poruku UE-u. Ova RRC poruka obavještava UE o različitim aspektima i parametrima vezanim za novu RRC vezu, kao što su konfiguracioni parametri protokola LTE radio interfejsa, logički i fizički kanali koji će se koristiti, inicijalna komanda za kontrolu snage UE, mjerenja ćelije i konfiguracija izvještavanja o CQI. UE ulazi u stanje RRC_CONNECTED i odgovara eNodeB-u potvrđujući da je RRC veza otvorena.



RRM

Oslobađanje RRC konekcije

- ❑ eNodeB šalje RRC CONNECTION RELEASE poruku UE-u kako bi zatražio od UE-a oslobađanje veze. Ova poruka obavještava UE o prioritეტnom redu radio tehnologija i frekvencijskih opsega koje UE može koristiti u budućnosti.
- ❑ UE odgovara eNodeB-u sa RRC CONNECTION RELEASE COMPLETE porukom. Nakon slanja odgovora, UE prestaje koristiti radio vezu. eNodeB može osloboditi radio nosioce koji su korišćeni za vezu.
- ❑ RRC CONNECTION RELEASE poruka također može sadržavati nalog za preusmjeravanje, pomoću kojeg eNodeB upućuje UE da ponovo izabere drugu UTRAN ili GERAN ćeliju.
- ❑ Proces preusmjeravanja može se koristiti umjesto *handover*-a kada nije aktivan prenos podataka, a radio veza između UE-a i eNodeB postane suviše slaba. Nakon sinhronizacije sa novom ćelijom druge radio tehnologije, UE vrši ažuriranje lokacije i rutiranja.

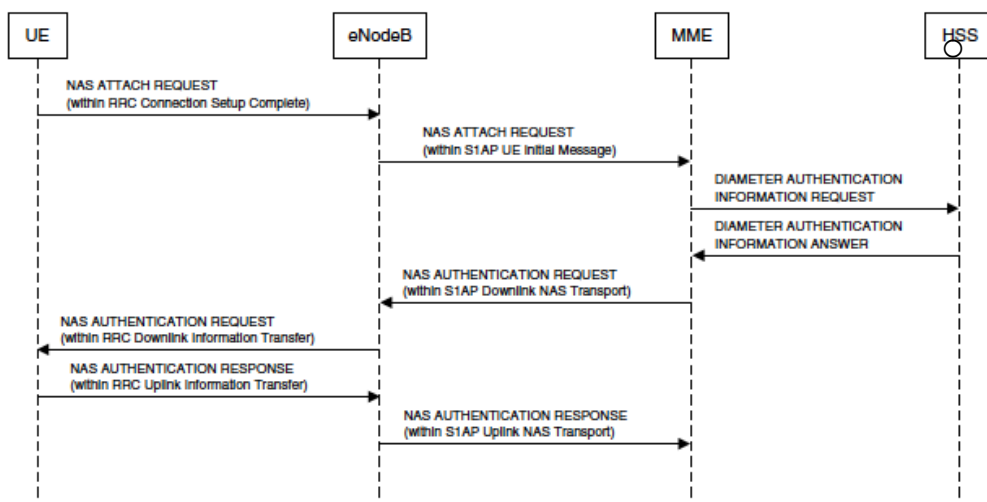
Menadžment sigurnosti

- ❑ UTRAN i LTE sistemi dijele istu AKA (*Authentication and Key Agreement*) metodu koja je prvobitno specificirana za UMTS.
- ❑ Dok dijele rješenje za autentifikaciju, UTRAN i LTE imaju različite dizajne za zaštitu saobraćaja preko *air* interfejsa.
- ❑ U UTRAN mrežama, RLC protokol enkriptuje saobraćaj, osim u RLC transparentnom modu gdje enkripciju vrši UTRAN MAC.
- ❑ U LTE-u, enkripcija se vrši na višim slojevima protokol steka sa protokolima specifičnim za kontekst:
 - AS (Access-Stratum) sigurnost: PDCP protokol enkriptuje i obezbjeđuje integritet RRC signalizacijskih poruka i enkriptuje korisničke podatke između UE i eNodeB.
 - NAS (Non-Access-Stratum) sigurnost: Poruke NAS protokola su enkriptovane i obezbijeđene integritetom putem NAS signalizacione veze između UE i MME.
- ❑ Arhitektura sigurnosti u LTE-u opisana je u 3GPP TS 33.401.

Menadžment sigurnosti

Autentikacija

- ❑ Mreža LTE može autentifikovati korisnika i promijeniti ključeve za enkripciju kao dio postupka inicijalnog povezivanja UE-a, ažuriranja TA i aktivacije konteksta EPS *bearer*-a.
- ❑ Kada UE otvori RRC vezu i pošalje EMM ATTACH REQUEST MME-u, vrši se međusobna autentifikacija između korisnika i mreže.
 - Nakon provjere sigurnosnih karakteristika UE-a iz NAS EMM ATTACH REQUEST poruke, MME šalje DIAMETER AUTHENTICATION INFORMATION REQUEST HSS-u kako bi dobio autentifikacione vektore za pretplatnika. HSS vraća više autentifikacionih vektora, koje MME čuva za eventualne dalje runde ponovne autentifikacije. MME bira jedan od vektora i šalje zahtjev za autentifikaciju UE-u. Ova poruka sadrži identitet servisne mreže, RAND (*Random Number*) i AUTN (*Authentication Token*), kao i identifikator izbora ključa KSI_{ASME} , koji će kasnije biti korišćen za identifikaciju primarnog ključa generisanog iz ovog vektora.
 - UE autentifikuje mrežu na osnovu identiteta servisne mreže, AUTN broja i internog SQN broja koji odgovara AUTN-u. Zatim, UE izračunava RES (*Response*) odgovor na osnovu RAND broja i zajedničke tajne dostupne na UICC (*Universal Integrated Circuit Card*) kartici i šalje odgovornu poruku MME-u.



MME upoređuje primljeni RES sa očekivanim XRES (*Expected Response*) vrijednostima dobijenim od HSS-a. Autentifikacija je uspješna kada se poklapaju.

Menadžment sigurnosti

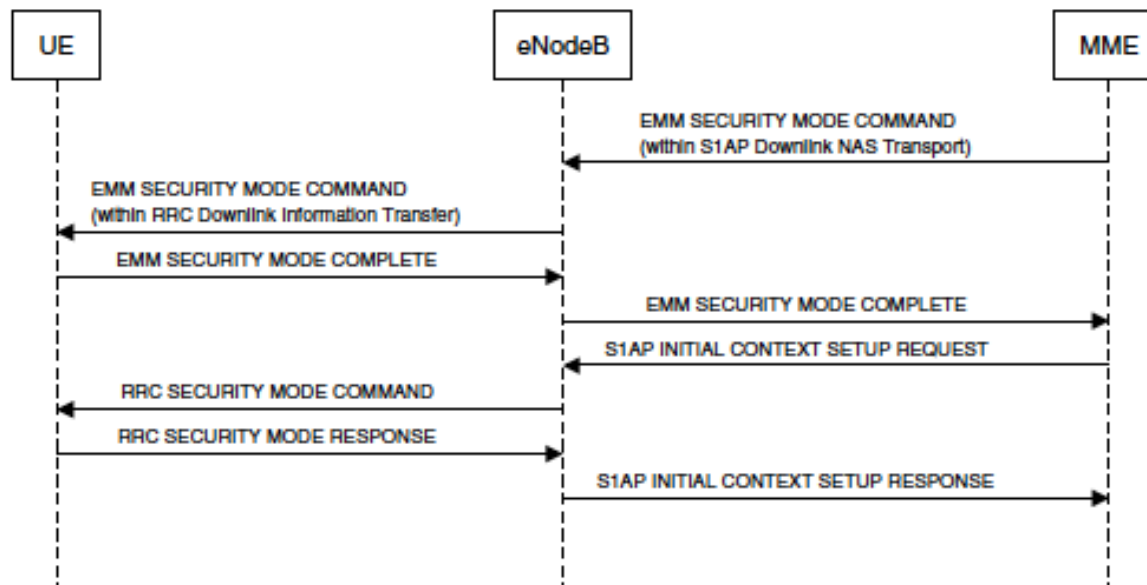
Enkripcija i zaštita integriteta

- ❑ Svi LTE sigurnosni algoritmi koji se odnose na autentifikaciju, enkripciju podataka i zaštitu integriteta zasnivaju se na tajnim ključevima koji se dijele između HSS servera i USIM aplikacije unutar UICC kartice UE-a.
- ❑ Za izračunavanje ključeva, LTE koristi vlastite mehanizme koji podržavaju razdvajanje AS i NAS sigurnosti.
- ❑ LTE koristi AKA algoritam na HSS-u i UE-u kako bi izračunao primarni ključ K_{ASME} , iz kojeg se ostali ključevi izvode od strane MME-a i UE-a:
- ❑ KLJUČ K_{NASint} se koristi za zaštitu integriteta NAS-a
- ❑ KLJUČ K_{NASenc} se koristi za enkripciju NAS-a
- ❑ KLJUČ K_{eNB} koji MME šalje eNodeB-u, od kojeg eNodeB izvodi AS ključeve
- ❑ KLJUČ K_{RRCint} se koristi za zaštitu integriteta RRC poruka
- ❑ KLJUČ K_{RRCenc} se koristi za enkripciju RRC poruka
- ❑ KLJUČ K_{UPenc} se koristi za enkripciju korisničkih podataka
- ❑ Prilikom omogućavanja zaštite saobraćaja, MME šalje identifikator izbora ključa KSI_{ASME} UE-u. Ovaj parametar je indeks K_{ASME} ključa koji će se koristiti za izračunavanje ključeva.

Menadžment sigurnosti

Enkripcija i zaštita integriteta

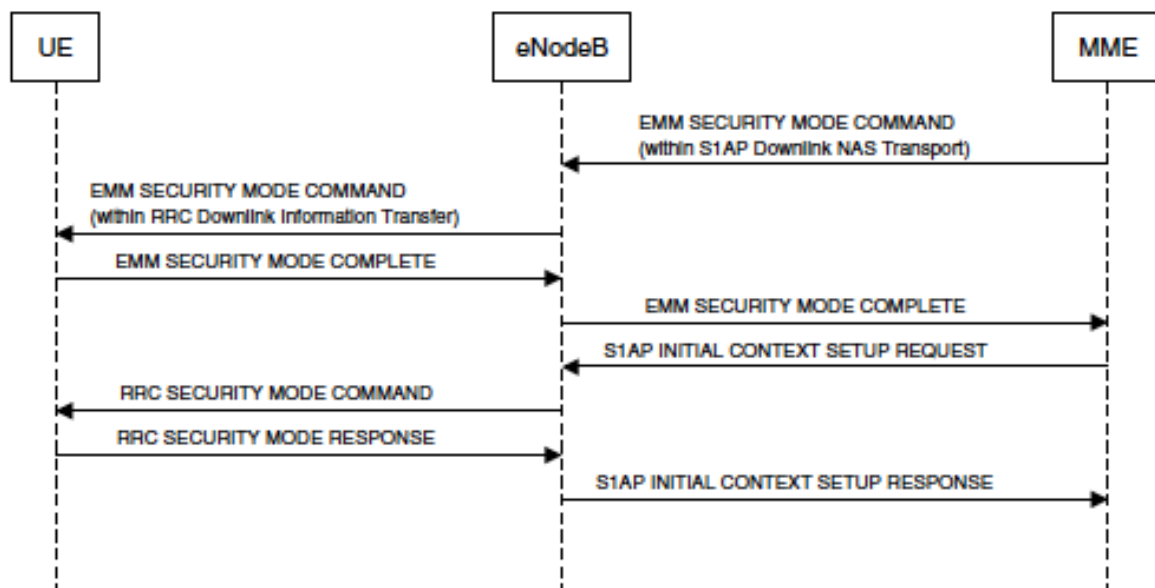
- Enkripcija i zaštita integriteta se pokreću odvojeno za NAS i AS tokom procesa priključivanja UE LTE mreži i kreiranja sigurnosnog konteksta.
- Nakon uspješne autentifikacije pretplatnika, MME šalje poruku EMM SECURITY MODE COMMAND UE-u kako bi aktivirao mehanizme bezbjednosti NAS-a. Poruka je zaštićena integritetom ključa zaštite integriteta NAS-a. Iz ove poruke, UE saznaje algoritme koji će se koristiti za enkripciju i zaštitu integriteta, kao i pokazivač izbora ključa KSI_{ASME} . UE izvodi ključeve za zaštitu integriteta i enkripciju NAS-a uz pomoć KSI_{ASME} i navedenih algoritama. UE pokreće enkripciju NAS-a i šalje odgovor MME-u koji je zaštićen integritetom i enkripcijom.



Menadžment sigurnosti

Enkripcija i zaštita integriteta

- ❑ Pri prihvatanju ATTACH zahtjeva od strane UE-a, MME šalje S1AP INITIAL CONTEXT SETUP REQUEST eNodeB-u kako bi započeo postavljanje sigurnosnog konteksta na nivou RRC-a.
- ❑ Ova poruka sadrži ključ K_{eNB} , iz kojeg eNodeB izvodi AS ključeve zaštite integriteta i enkripcije.
- ❑ Zatim, eNodeB šalje RRC bezbjedonosnu komandu UE-u kako bi mu saopštio algoritme AS sigurnosti i ključ K_{eNB} koji UE koristi za izvodjenje AS ključeva zaštite integriteta i enkripcije.
- ❑ Nakon primjene AS sigurnosti, UE odgovara eNodeB-u.



Paket Data konekcije

Kvalitet servisa

- ❑ QoS model koji je usredsređen na aplikaciju se rijetko koristi u UTRAN-u .
- ❑ Kod LTE je primijenjen drugačiji pristup, prelaskom sa modela usmjerenog na aplikaciju na model usmjeren na mrežu.
- ❑ U UTRAN arhitekturi, aplikacija koja se izvršava na UE je bila odgovorna za upravljanje QoS parametrima svojih veza, dok u LTE arhitekturi to preuzima mreža.
- ❑ LTE RAN samo treba da zna koja se komunikaciona usluga koristi i prosječnu ili maksimalnu brzinu prenosa potrebnu za nju.
- ❑ Kada se koriste standardizovane usluge, poput VoLTE poziva, mreža izvodi potrebne parametre iz signalizacije uspostavljanja poziva, bez dodatne podrške od UE-a.
- ❑ U drugim slučajevima, UE treba da obavijesti mrežu o vrsti komunikacione usluge i potrebnim brzinama prenosa podataka prilikom uspostavljanja novih tokova podataka sa specifičnim QoS zahtjevima.
- ❑ U kontekstu LTE QoS-a, vrsta komunikacione usluge je data kao QCI (*QoS class identifier*) vrijednost novog toka podataka.
- ❑ Dizajn LTE sistema u verziji Rel-8 je uveo devet QCI klasa, sa unaprijed definisanim maksimalnim prihvatljivim kašnjenjima i nivoima grešaka.

Paket Data konekcije

Kvalitet servisa

- ❑ Dodatne klase su uvedene u kasnijim verzijama.
- ❑ Neke klase podržavaju i garantovanu brzinu prenosa podataka.
- ❑ QCI klasa se bira za novu vezu na osnovu karakteristika odgovarajućeg toka podataka.
- ❑ QCI klase utvrđuju redosled prioriteta prilikom *scheduling*-a tokom zagušenja.
- ❑ Najviše prioritete QCI klase se koriste za signalizaciju i govor ili video pozive u realnom vremenu.
- ❑ Klase nižeg prioriteta se koriste za usluge kao što su strimovanje video ili zvuka, kao i za pretraživanje interneta.
- ❑ Pozadinske usluge poput e-pošte ili preuzimanja datoteka mogu koristiti best effort QCI klasu sa najnižim prioritetom.

Paket Data konekcije

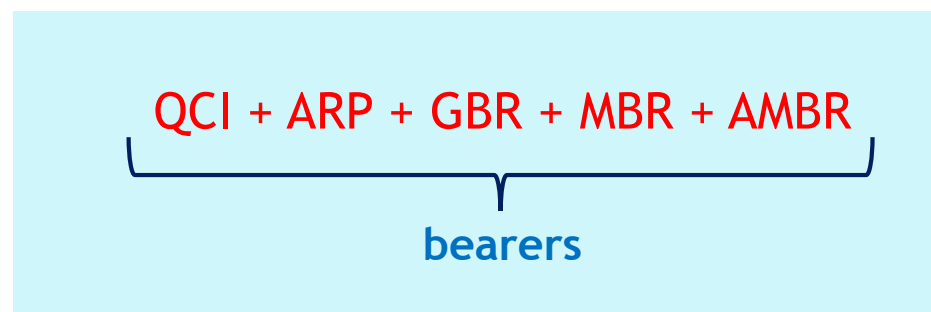
Kvalitet servisa

- Osnovne QoS klase za LTE Rel-8, kako su definisane u 3GPP TS 23.203 su:
 - QCI1: Konverzacijski govor
 - QCI2: Konverzacijski video
 - QCI3: Igrice u realnom vremenu
 - QCI4: Ne-konverzacijski video
 - QCI5: IMS signalizacija
 - QCI6 - QCI9: Govor i video strimovanje, interaktivne igre
- Sljedeći LTE QoS parametri dopunjuju odabranu QCI klasu:
 - GBR (*Guaranteed bitrate*): Zagarantovana prosječna brzina prenosa toka podataka se koristi za GBR QCI klase 1-4.
 - MBR (*Maximum bitrate*): Maksimalna brzina prenosa dostupna za tok podataka.
 - ARP (*Allocation and Retention Priority*): Nivo prioriteta koji se koristi za kontrolu pristupa. Prioritet ARP se koristi kako bi se ograničilo otvaranje dodatnih tokova podataka kada je mreža preopterećena i ograničava kapacitet mreže koji se može koristiti za tokove podataka sa najnižim QCI klasama.
- Parametri QoS-a toka podataka dostavljaju PCRF mrežnom elementu se tokom postupka uspostavljanja ili izmjene konteksta paketnih podataka. PCRF upravlja QoS politikama za EPS *bearer* kontekste. PCRF orkestrira ostatak mreže da podrži tokove podataka prema dogovorenim politikama.

Paket Data konekcije

LTE QoS terminologija

- ❑ Service Data Flow = IP flow
- ❑ SDF-ovi se mapiraju u nosioce od strane IP gateway-ja
- ❑ QoS Class Identifier (QCI)
 - ❑ Broj koji se koristi kao referenca za specifične parametra čvora koji kontroliše prosleđivanje paketa (težinski faktori raspoređivača, pragovi kontrole pristupa, pragovi kontrole bafera,...) koji su prekonfigurisani od operatora vlasnika pristupnog čvorišta
- ❑ Allocation and Retention Priority (ARP)
 - ❑ Primarna namjena ARP-a odlučivanje da li uspostavljanje/modifikacija zahtjeva može biti prihvaćeno ili odbijeno u slučaju limitiranosti resursa
- ❑ Guaranteed Bit Rate (GBR)
- ❑ Maximum Bit Rate (MBR)
- ❑ Aggregate Maximum Bit Rate (AMBR) (za ne-GBR nosioce)



Paket Data konekcije

LTE QCI (QoS Class Identifier, 3GPP TS23.203, rel 14)

5QI	Tip resursa	Nivo prioriteta	Kašnjenje paketa	Vjerovatnoća greške po paketu	Veličina prozora	Primjer servisa
1	GBR	2	100ms	10^{-2}	TBD	Konverzacioni govor
2		4	150ms	10^{-3}	TBD	Konverzacioni video (Live streaming)
3		3	50ms	10^{-3}	TBD	Igre u realnom vremenu, V2X poruke
4		5	300ms	10^{-6}	TBD	Ne-konverzacioni video (buffered streaming)
65		0,7	75ms	10^{-2}	TBD	MCPTT govor korisničke ravni
66		2	100ms	10^{-2}	TBD	Ne MCPTT govor korisničke ravni
75		2,5	50ms	10^{-2}	TBD	V2X poruke
5	Ne GBR	1	100ms	10^{-6}	N/A	IMS signalizacija
6		6	300ms	10^{-6}	N/A	Video (buffered streaming) i TCP saobraćaj
7		7	100ms	10^{-3}	N/A	Govor, Video Live Streaming, Interaktivne igre
8		8	300ms	10^{-6}	N/A	Video (buffered streaming) i TCP saobraćaj
9		9	300ms	10^{-6}	N/A	Video (buffered streaming) i TCP saobraćaj. Tipični default bearer
69		0,5	60ms	10^{-6}	N/A	MCPTT signalizacija osjetljiva na kašnjenje
70		5,5	200ms	10^{-6}	N/A	MCPTT prenos podataka (slično kao QCI 6/8/9)
79		6,5	50ms	10^{-2}	N/A	V2X poruke

Paket Data konekcije

EPS Bearers

- ❑ Da bi se obezbijedila konektivnost korisničkih uređaja (UE) sa mrežom za prenos podataka (PDN), EPC uspostavlja EPS tokove za tokove podataka.
- ❑ EPS tok je kombinacija sljedećih elemenata koji se koriste za transport toka podataka:
 - IP adresa dodijeljena UE-u za korišćenje prema povezanom PDN-u, koji je identifikovan svojim APN (*Access Point Name*)
 - Dogovorene QoS politike za tok podataka, koje se sprovode od strane mreže
 - TFT (*Traffic Filter Template*) šablon koji koriste P-GW i UE za mapiranje i filtriranje paketa različitih tokova za EPS *bearer-e*
 - GTP-U tunela preko kojih se paketi transportuju između eNodeB, S-GW i P-GW čvorova
 - Radio nosioca preko kojih se paketi transportuju između eNodeB i UE-a

Paket Data konekcije

EPS Bearers

- ❑ Kada UE zatraži da bude povezan sa određenim APN-om, mreža će otvoriti *default EPS bearer* prema željenom PDN-u.
- ❑ UE dobija IP adresu i može zatim razmjenjivati podatke sa PDN-om.
- ❑ Podrazumijevani EPS tok ima ne-GBR QCI klasu.
- ❑ Ako neki od tokova podataka prema PDN-u zahtijeva određenu obradu QoS-a; tada će ili UE ili IMS CSCF zatražiti od EPC-a da uspostavi dodatne dodijeljene EPS bearer-e prema istom (ili drugom) PDN-u.
- ❑ QoS parametri koje UE ili CSCF daju za dodijeljeni EPS bearer definišu QoS karakteristike određenog toka podataka.
- ❑ PCRF provjerava zahtjev za QoS u odnosu na politike operatora i profil pretplatnika.
- ❑ Nakon donošenja odluke o politici kontrole, PCRF nalaže P-GW-u da uspostavi EPS *bearer* i odgovarajuća pravila za filtriranje toka saobraćaja.

Paket Data konekcije

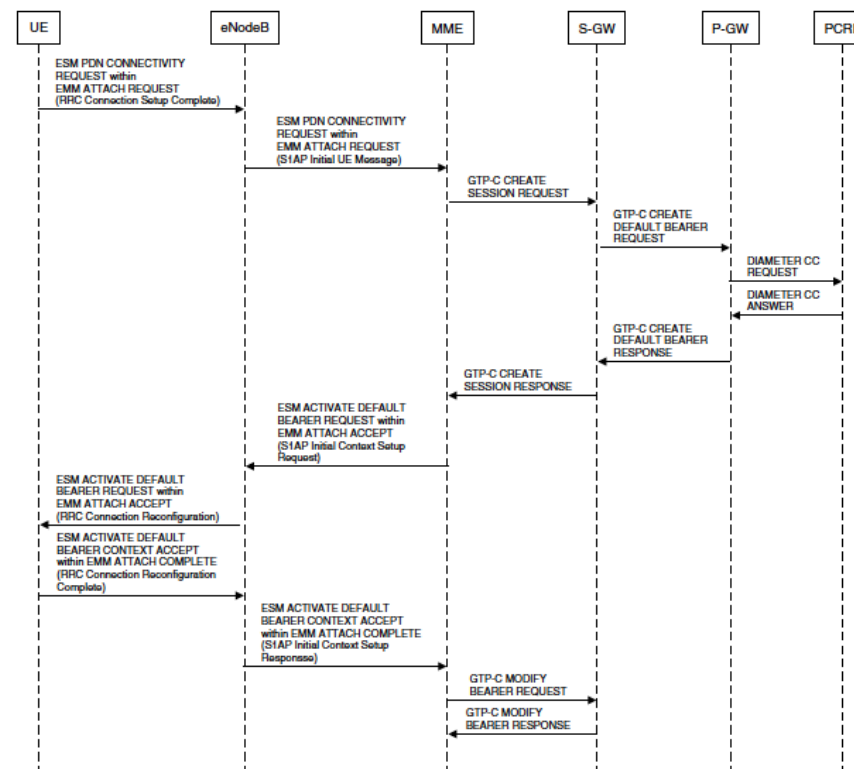
Inicijalni *default* EPS Bearer

- ❑ Kako je prenos podataka osnovna usluga koju pruža LTE mreža, mreža otvara inicijalni *default* EPS bearer ka PDN mreži za UE svaki put kada se UE poveže na LTE.
- ❑ Ili UE ili mreža mogu odabrati određeni PDN za inicijalni default EPS bearer.
- ❑ U prvom slučaju, UE šalje zahtjev za konekciju ka PDN mreži prema željenoj tački pristupa internetu (IAP) zajedno sa zahtjevom za povezivanje na LTE.
- ❑ U drugom slučaju, UE izostavlja naziv APN iz svog zahtjeva za povezivanje na PDN, a mreža će povezati UE prema unaprijed definisanom, specifičnom za pretplatnika, podrazumijevanom PDN-u.

Paket Data konekcije

Inicijalni default EPS Bearer

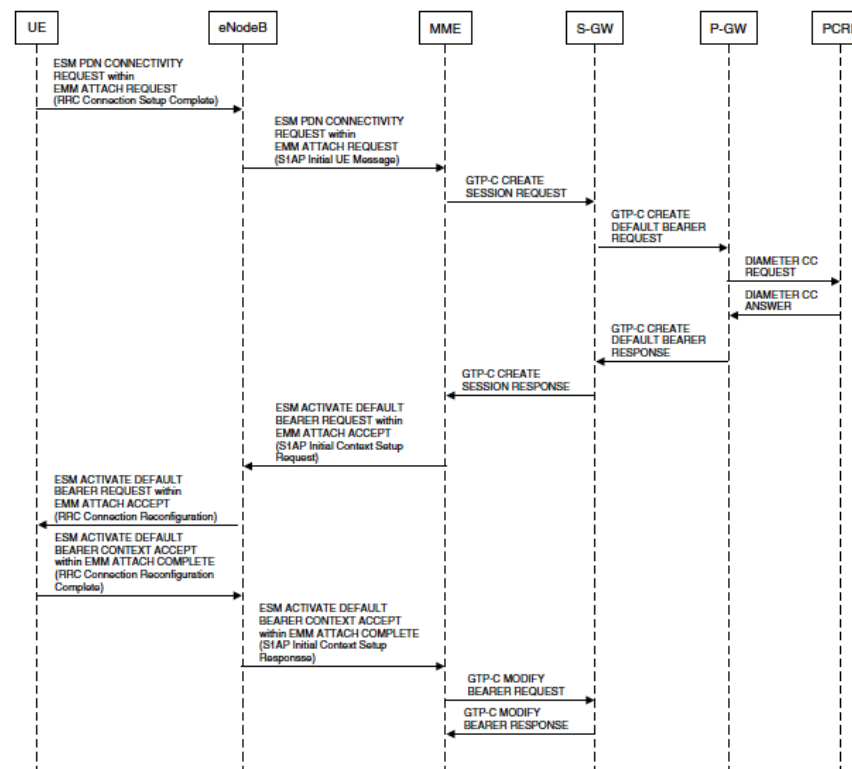
1. UE šalje poruku ESM PDN CONNECTIVITY REQUEST u sklopu poruke EMM ATTACH REQUEST MME-u prilikom povezivanja na LTE servis. Ako zahtjev za povezivanje na PDN sadrži APN, koristiće se za inicijalni default EPS bearer. MME koristi podrazumijevani APN pretplatnika, koji je dobijen iz HSS u zapisu o pretplatniku tokom procesa autentifikacije pretplatnika.



Paket Data konekcije

Inicijalni default EPS Bearer

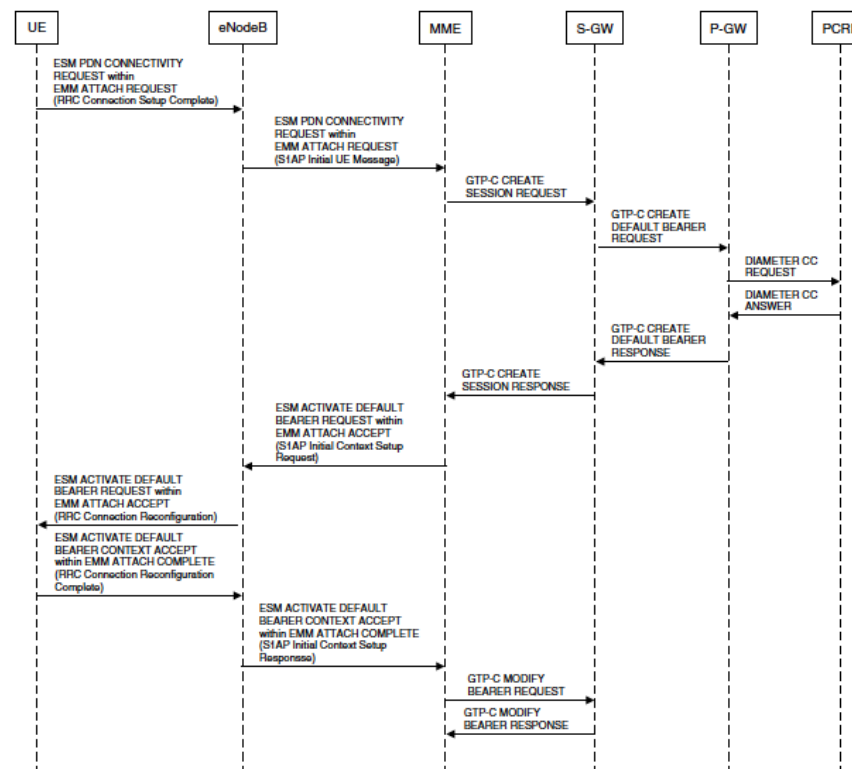
2. MME šalje GTP-C CREATE SESSION REQUEST ka S-GW kako bi pokrenuo kreiranje *default* EPS bearer za UE. Iz ove poruke, S-GW saznaje APN i QoS parametre koji su zatraženi za *bearer*, kao i adresu P-GW koji podržava odgovarajući PDN. S-GW upućuje P-GW da kreira *default* bearer za traženi APN i QCI klasu. P-GW kontaktira PCRF da provjeri da li zahtjev može biti prihvaćen i da dobije pravila tarifiranja i politike kontrole. P-GW odgovara S-GW i nastavlja sa uspostavljanjem GTP-U tunela između P-GW, S-GW i eNodeB. Za EPC jezgro mreže, novi EPS *bearer* je spreman za prosleđivanje paketa na *downstream*. S-GW prijavljuje ovaj status MME-u.



Paket Data konekcije

Inicijalni default EPS Bearer

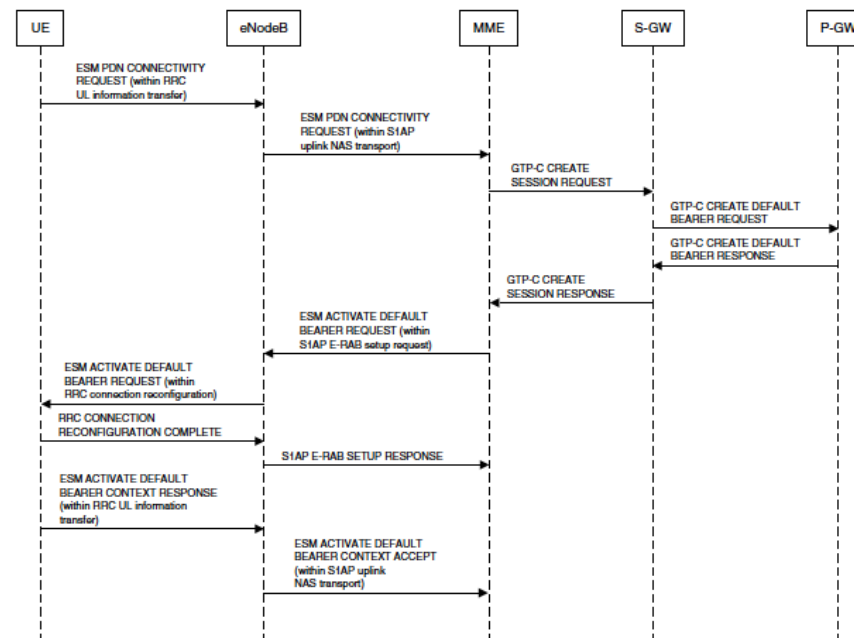
3. Kako bi pripremio radio dio pristupne mreže za EPS *bearer*, MME šalje poruku EMM ATTACH ACCEPT i poruku ESM ACTIVATE DEFAULT BEARER REQUEST ka UE-u. Kada PDN veza podržava IPv6, ESM poruka sadrži privremeni identifikator IPv6 interfejsa, koji UE treba da koristi zajedno sa lokalnim link prefiksom za proces autokonfiguracije IPv6 adrese. Prilikom prosleđivanja EMM i ESM poruka UE-u, eNodeB koristi informacije iz ovih poruka kako bi izgradio radio *bearer*-e ka UE i mapirao ih na EPS bearere ka S-GW. Nakon obrade poruka, UE odgovara eNodeB-u i MME-u.
4. Kako bi završio kreiranje inicijalnog *default bearer*-a, MME šalje poruku GTP-C MODIFY BEARER REQUEST ka S-GW kako bi ga obavijestio da je veza sada otvorena prema UE-u. S-GW može sada poslati sve uskladištene pakete podataka koje je primio od PDN prema UE-u.



Paket Data konekcije

Otvaranje konekcija do drugih PDN mreža

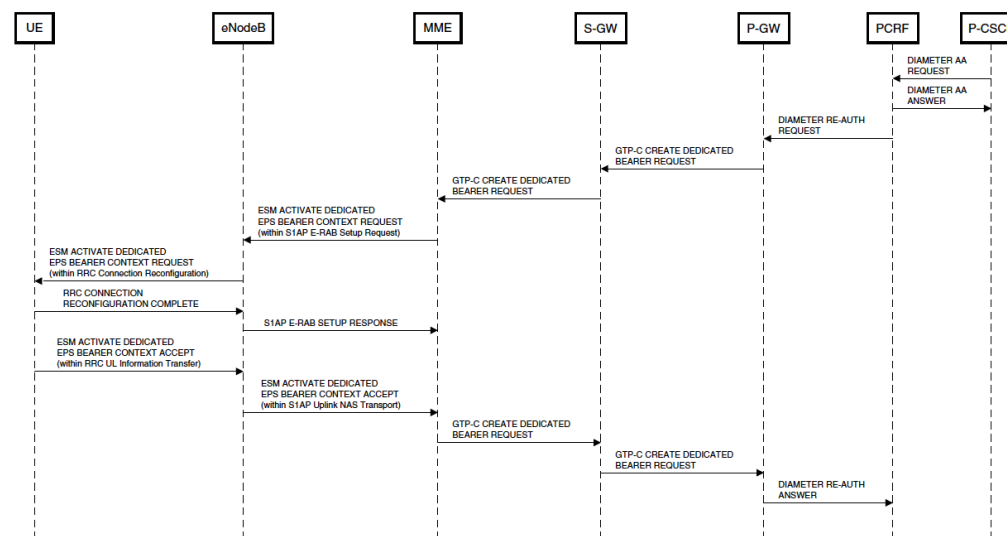
- Ako UE ima tokove podataka prema drugim PDN mrežama, UE može zatražiti od mreže da otvori dodatne *default* EPS bearer-e prema tim APN-ovima.
- UE šalje poruku ESM PDN CONNECTIVITY REQUEST MME-u. ESM poruka sadrži APN mreže za koju se traži povezivanje. MME, S-GW i P-GW će saradivati na isti način kao što to rade prilikom postavljanja inicijalnog default EPS bearer-a prilikom prijave UE-a. Za svaki novi EPS bearer, kreira se novi GTP tunel.
- MME šalje poruku ESM ACTIVATE DEFAULT BEARER CONTEXT REQUEST ka UE-u. eNodeB koristi informacije iz primljenih poruka kako bi uspostavio radio *bearer* ka UE-u i mapirao ga na radio pristupni *bearer* prema S-GW. Nakon obrade poruka i stavljanja novih radio *bearer*-a u upotrebu, UE odgovara eNodeB-u i MME-u.



Paket Data konekcija

Otvaranje dodijeljenih EPS bearer-a

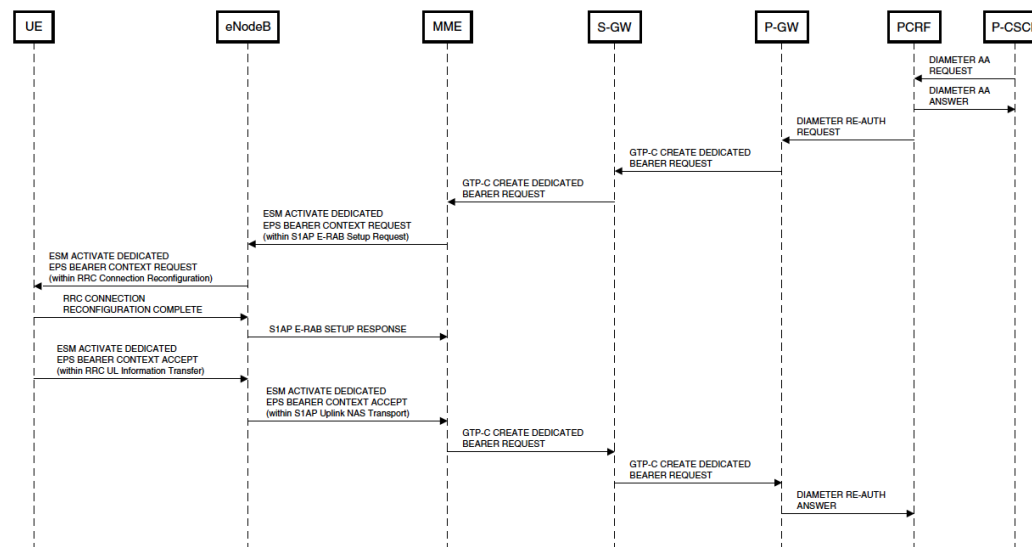
- Dodijeljeni EPS bearer-i se koriste za tokove podataka koji imaju specifične QoS zahtjeve, kao što je multimedija u realnom vremenu. PCRF dobija zahtjev za novim dodijeljenim *bearer*-om ili od UE preko P-GW-a ili od IMS (IP multimedial system) jezgra mrežnih elemenata.



- Kada se uspostavlja dolazni VoLTE poziv prema UE-u, IMS P-CSCF element šalje DIAMETER AA REQUEST ka PCRF-u, tražeći novi tok podataka za UE sa specifičnim QoS parametrima. Nakon autorizacije zahtjeva, PCRF odgovara P-CSCF-u i šalje DIAMETER RE-AUTH REQUEST poruku P-GW-u o potrebi za otvaranjem novog dodijeljenog EPS *bearer* prema UE-u. Ova poruka sadrži pravila kontrole politike sa QoS parametrima koji će se primijeniti na novi *bearer*.
- P-GW šalje GTP-C CREATE DEDICATED BEARER REQUEST poruku ka S-GW-u. Ova poruka opisuje QoS parametre koji će se koristiti u oba smjera *bearer*-a i TFT, koji će se koristiti za identifikaciju paketa podataka korisnika u *uplink* smjeru za ovaj *bearer*. S-GW nastavlja da kreira GTP-U tunele za dodijeljeni *bearer* prema P-GW-u. S-GW kontaktira MME kako bi otvorio nove radio pristupne *bearer*-e prema UE-u.

Paket Data konekcije

Otvaranje dodijeljenih EPS bearer-a



- ❑ MME šalje ESM ACTIVATE DEDICATED EPS BEARER CONTEXT REQUEST ka UE-u preko eNodeB i koristi S1AP protokol da naredi eNodeB-u da kreira potrebne radio *bearer-e* pomoću RRC procedure. eNodeB prosleđuje ESM poruku UE-u u sklopu RRC poruke, koja naređuje UE-u da primijeni polu-perzistentno raspoređivnne paketa govora poslatog preko dodijeljenog bearer-a. ESM poruka sadrži TFT pomoću kojeg UE može utvrditi koji paketi trebaju biti preneseni preko novog dodijeljenog bearer-a. Nakon obrade RRC poruke, UE odgovara eNodeB-u, koji dalje odgovara MME-u. Nakon što UE obradi ESM poruku, odgovara i MME-u.
- ❑ Nakon što primi odgovore od eNodeB-a i UE-a, MME konačno može obavijestiti S-GW o uspješnom kreiranju radio pristupnih bearer-a za novi dodijeljeni EPS bearer. S-GW tada omogućava odgovarajuće GTP-U tunele za prenos podataka ka/od UE-a i potvrđuje izvorni zahtjev od P-GW-a.

Paket Data konekcije

Transport korisničkih podataka

- ❑ Ako je UE u stanju RRC_IDLE, prvo mora uspostaviti RRC vezu prije nego što počne prenos bilo kakvih korisničkih podataka.
- ❑ Ako podaci stignu iz mreže, UE će prvo biti pozvan preko *paging*-a.
- ❑ Poruka za poziv (*paging*) se šalje u svim ćelijama unutar prethodno prijavljene TA.
- ❑ Ako podaci potiču od UE-a ili ako UE primi paging poruku, aktivira se postupak slučajnog pristupa kako bi se uspostavila RRC veza za prenos podataka.
- ❑ Nakon što UE odgovori na paging, uspostavlja se GTP tunel od eNodeB prema S-GW za prenos paketa podataka koji se prenose prema mobilnom korisniku.
- ❑ Nakon završetka postupka slučajnog pristupa i prelaska u stanje RRC_CONNECTED, UE može slati uplink korisničke podatke preko EPS bearer-e na sljedeći način:
 - Prilikom slanja IP paketa u mrežu preko RRC veze, UE upoređuje odredišnu IP adresu, protokol (TCP/UDP) i brojeve portova paketa sa TFT-ovima (TrafficFlow Template) koje je primio unutar poruka za aktivaciju EPS bearer-a. Pomoću TFT-a, UE određuje kojem EPS bearer-u i pripadajućem radio bearer-u pripada paket.
 - UE šalje paket eNodeB preko radio bearer-a određenog pomoću TFT-a.
 - eNodeB prosleđuje IP paket S-GW korišćenjem GTP-U tunela postavljenog za EPS bearer.
 - S-GW prosleđuje IP paket P-GW korišćenjem GTP-U tunela postavljenog za EPS bearer.
 - P-GW rutira IP paket prema odredišnoj PDN mreži.

Paket Data konekcije

Raskidanje veze sa PDN

- ❑ UE se diskonektuje sa PDN deaktiviranjem povezanog EPS bearer-a,
- ❑ UE šalje ESM PDN DISCONNECT REQUEST poruku MME-u.
- ❑ ESM poruka identifikuje EPS *default bearer* koji treba biti deaktiviran.
- ❑ MME šalje GTP-C DELETE SESSION REQUEST S-GW-u.
- ❑ Ova poruka identifikuje EPS *default bearer* koji treba biti deaktiviran, a uzrok deaktiviranja je "UE inicirao oslobađanje PDN".
- ❑ SG-W prosleđuje zahtev GTP-C P-GW-u, nakon čega se GTP-U tuneli deaktiviraju.
- ❑ Nakon što dobije odgovor od S-GW-a, MME oslobađa resurse rezervisane za EPS *bearer* i obavještava UE da deaktivira *bearer*.

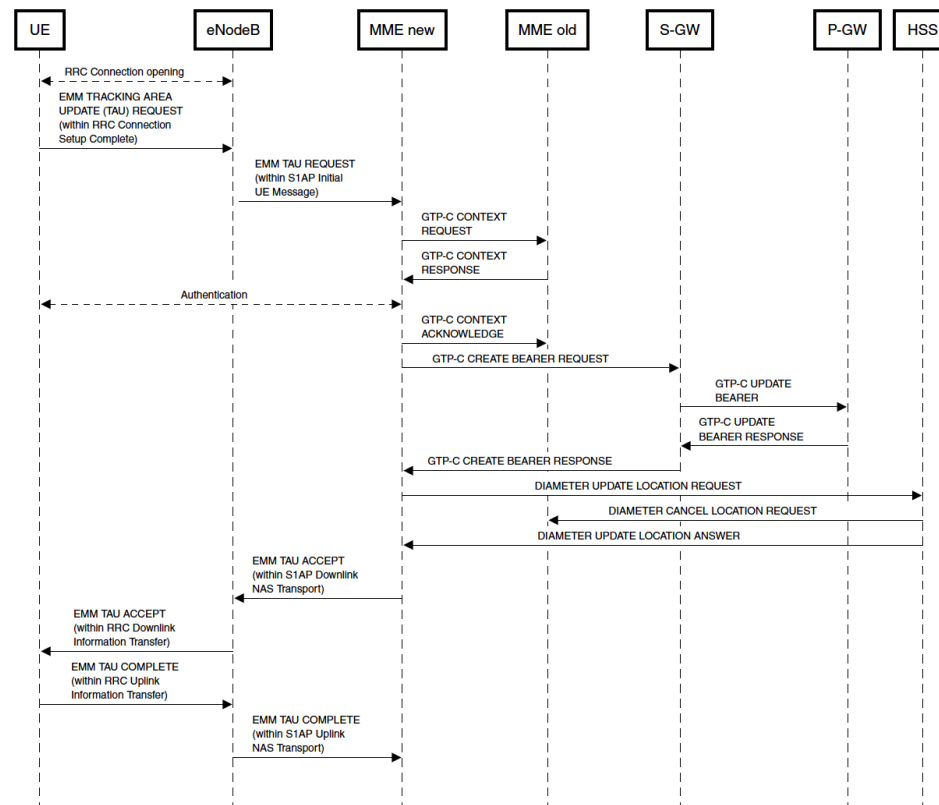
Menadžment mobilnosti

- ❑ Kako LTE sistem ne podržava usluge prenosa govora, njegovo upravljanje mobilnošću obuhvata samo domen komutacije paketa.
- ❑ Zbog nedostatka podrške za soft handover, RRC model stanja LTE-a je jednostavniji u odnosu na onaj u UTRAN-u, što pojednostavljuje upravljanje mobilnošću u LTE-u.
- ❑ U arhitekturi LTE mreže, MME se brine o upravljanju mobilnošću. Informacije o lokaciji UE-a održavaju se u MME na osnovu RRC stanja UE-a:
 - RRC_IDLE: MME zna lokaciju UE-a sa preciznošću LTE *tracking* područja. UE sprovodi postupke ponovnog izbora ćelije i ažuriranja *tracking* područja nezavisno od kontrole mreže.
 - RRC_CONNECTED: MME zna lokaciju UE-a sa preciznošću LTE ćelije. UE može promijeniti ovu ćeliju samo putem postupka handovera koji kontroliše eNodeB.

Menadžment mobilnosti

Reizbor ćelije i ažuriranje TA

- ❑ UE saznaje trenutnu TA i druge LTE ćelije u okolini putem sistemskih informacija koje se emituju u LTE ćeliji.
- ❑ U stanju RRC_IDLE, UE prati kvalitet radio signala koji prima od eNodeB.
- ❑ Ako kvalitet radio signala sa trenutnom ćelijom padne ispod definisanog praga za ponovnog izbora ćelije, UE počinje skeniranje da bi pronašao ćelije sa boljim radio kanalima.
- ❑ UE će konačno odabrati ćeliju koja može pružiti najbolju vezu.
- ❑ U odsustvu odgovarajuće LTE ćelije, UE može takođe odabrati UTRAN ili GERAN ćeliju u skladu sa prioritetima za izbor radio tehnologije.
- ❑ Ovi prioriteti se dobijaju od mreže ili u okviru SYSTEM INFORMATION ili putem RRC CONNECTION RELEASE poruke.
- ❑ UE izvodi postupak ažuriranja TA nakon svog prvog LTE povezivanja ili nakon ponovnog izbora LTE ćelije, što dovodi do dolaska UE-a u novi TA

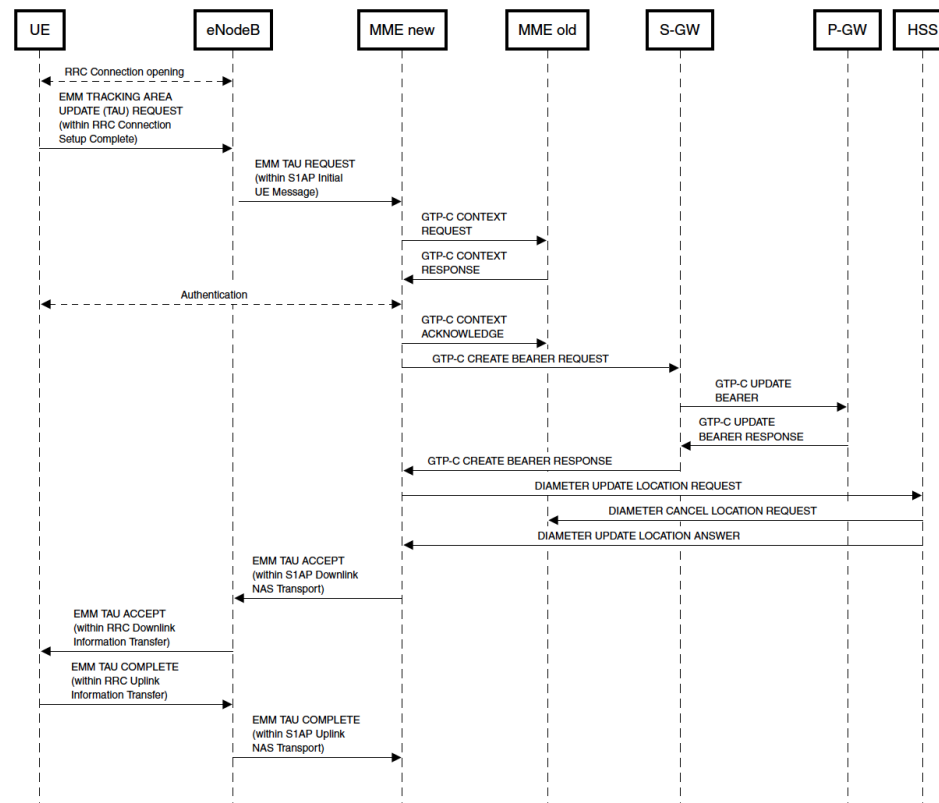


Menadžment mobilnosti

Reizbor ćelije i ažuriranje TA

□ Prije svega, UE mora preći iz RRC_IDLE u RRC_CONNECTED stanje. Na kraju otvaranja RRC veze, UE šalje EMM TRACKING AREA UPDATE (TAU) REQUEST. TAU poruka sadrži RRC parametre kao što su odabrana mreža, stari GUTI UE-a, posljednji posjećeni TA i P-TMSI identifikator UE-a. eNodeB izvodi identitet MME-a iz parametara unutar TAU poruke. eNodeB prosleđuje EMM TAU poruku novom MME i pruža MME-u identitet TA i globalni identifikator ćelije, kako je preuzeto iz primljene TAU poruke.

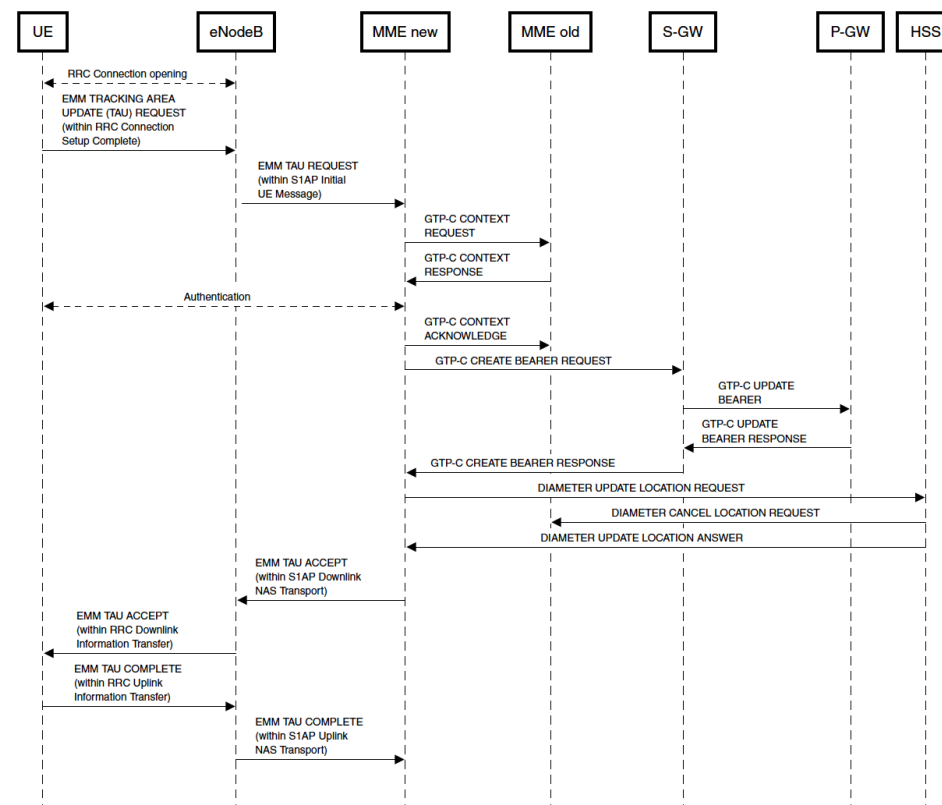
□ Kada su se promijenile servisne MME i S-GW, nova MME izvodi adresu stare MME iz GUTI UE-a. Nova MME šalje GTP-C CONTEXT REQUEST poruku staroj MME da dobije informacije o pretplatniku. Stara MME vraća kontekst UE-a novoj MME, nakon čega nova MME autentifikuje pretplatnika.



Menadžment mobilnosti

Reizbor ćelije i ažuriranje TA

- Nova MME šalje GTP-C CREATE BEARER REQUEST poruku odabranom S-GW. Iz ove poruke, S-GW provjerava kontekste *bearer*-a koji trebaju biti kreirani, protokole i RAT koji se koriste, kao i identifikatore MME-a i UE-a (IMSI) i adrese P-GW gatewaya koji podržavaju kontekste *bearer*-a. S-GW kontaktira P-GW(e) da ga (ih) ažurira i GTP-U tunele prema novom S-GW.



- Nakon što dobije odgovor od S-GW, novi MME šalje DIAMETER UPDATE LOCATION REQUEST poruku HSS-u. U ovoj poruci, MME obavještava o vlastitom identitetu i IMSI UE-a. Parametar vrste ažuriranja poruke tjera HSS da otkaže lokaciju UE-a kod starog MME. Nakon što je HSS zabilježio lokaciju UE-a, odgovara novom MME. Konačno, novi MME šalje EMM TAU ACCEPT poruku UE-u.

Menadžment mobilnosti

Handover u RRC Connected stanju

- ❑ LTE UE je povezan sa samo jednim eNodeB-om u bilo kom trenutku dok koristi LTE usluge.
- ❑ LTE podržava samo *hard handover*-e gdje se veza sa starim eNodeB-om prekida kada UE ponovo uspostavi vezu sa drugim eNodeB-om.
- ❑ U stanju RRC_CONNECTED, handover između dva eNodeB-a se vrše pod kontrolom mreže.
- ❑ Odluka o handoveru se donosi od strane servisirajućeg eNodeB-a na osnovu rezultata mjerenja primljenih od strane UE-a.
- ❑ Odluka o handoveru može biti donesena zbog degradacije radio signala između eNodeB-a i UE-a ili kada eNodeB dostigne granice svojeg kapaciteta.
- ❑ Zavisno od slučaja, eNodeB može odlučiti da izvrši intra-LTE handover između dva eNodeB-a ili inter-RAT handover prema drugoj tehnologiji pristupa mobilne radio mreže, kao što su HSPA ili GSM.
- ❑ LTE UE mjeri kvalitet radio signala i prijavljuje rezultate mjerenja eNodeB-u prema uputstvima koja su dobijena od eNodeB-a.

Menadžment mobilnosti

Handover u RRC Connected stanju

- ❑ UE uvijek mjeri kvalitet trenutno korišćenih LTE signala u pogledu sljedećih parametara:
 - RSSI (*Received Signal Strength Indication*)
 - RSRP (*Reference Signal Received Power*)
 - RSRQ (*Reference Signal Received Quality*) jednak RSRP podijeljen sa RSSI
- ❑ Kada eNodeB anticipira razloge za nadolazeći handover, može narediti UE-u da počne mjeriti susjedne LTE, WCDMA i GSM ćelije, slijedeći prioritete izbora radio-tehnologije i ćelija dostupnih na lokaciji UE-a.
- ❑ Zahtjev za mjerenjem se šalje UE-u u sklopu RRC CONNECTION RECONFIGURATION poruke, koja ukazuje na RAT-ove i frekvencije koje treba mjeriti, kao i postupke izvještavanja koje treba koristiti.
- ❑ Da bi obavljao mjerenja na različitim frekvencijama, eNodeB dodjeljuje UE-u vremenske intervale za mjerenje, tokom kojih se očekuje da UE ne sluša trenutnu LTE ćeliju.
- ❑ eNodeB može zatražiti od UE-a da šalje izvještaje o mjerenju ili u redovnim intervalima ili kada rezultati mjerenja prelaze različite pragove definisane od strane eNodeB-a.

Menadžment mobilnosti

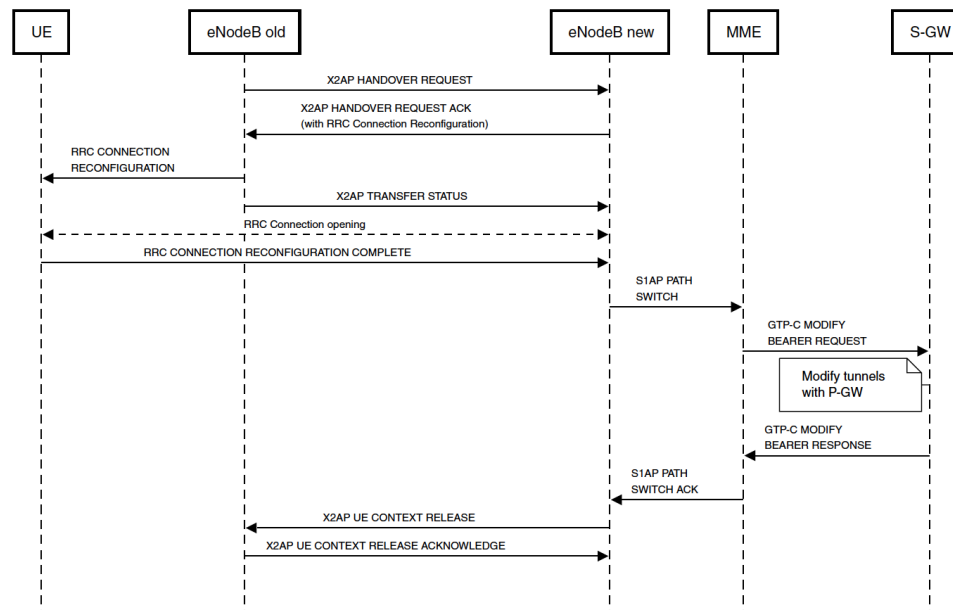
Handover u RRC Connected stanju

- ❑ Ovo se naziva izvještavanje o mjerenju na osnovu događaja (*event-based measurement reporting*).
- ❑ Zahtjev za mjerenjem može također ukazivati kada UE može preskočiti trenutna mjerenja ćelije kako bi umjesto toga izmjerio susjedne ćelije.
- ❑ UE vrši tražena mjerenja i sažima rezultate unutar RRC MEASUREMENT REPORT poruke koja se šalje eNodeB-u.
- ❑ Da bi donio odluku o prekidu, eNodeB uzima u obzir mjerenja UE-a prema različitim ciljnim ćelijama i trenutnim nivoima opterećenja tih ciljnih ćelija, koje je eNodeB dobio putem inter-eNodeB ili inter-RAT signalizacije.

Menadžment mobilnosti

Handover u RRC Connected stanju

- Ako se prebacivanje vrši između dva eNodeB povezana putem X2 interfejsa, onda se radi o vrstom handovera koja poznata je kao X2 handover.



1. Servisni eNodeB šalje X2AP HANDOVER REQUEST poruku eNodeB-u ciljne ćelije. Ciljni eNodeB provjerava da li može preuzeti odgovornost za tokove podataka UE-a. Handover se vrši samo na eNodeB koji ima dovoljno kapaciteta da podrži QoS zahtjeve svih trenutnih radio pristupnih bearer-a i novih koje bi UE dobio tokom handover-a. Da bi pripremio handover, ciljni eNodeB uspostavlja nove GTP-U tunele prema S-GW-u kako bi se omogućilo rutiranje bilo kojih paketa sa UE-a ka PDN odmah nakon handover-a. Na kraju, ciljni eNodeB šalje potvrdu starom eNodeB-u. Ciljni eNodeB opisuje nove radio veze za UE unutar RRC CONNECTION RECONFIGURATION poruke, koja je ugrađena u X2AP odgovor.

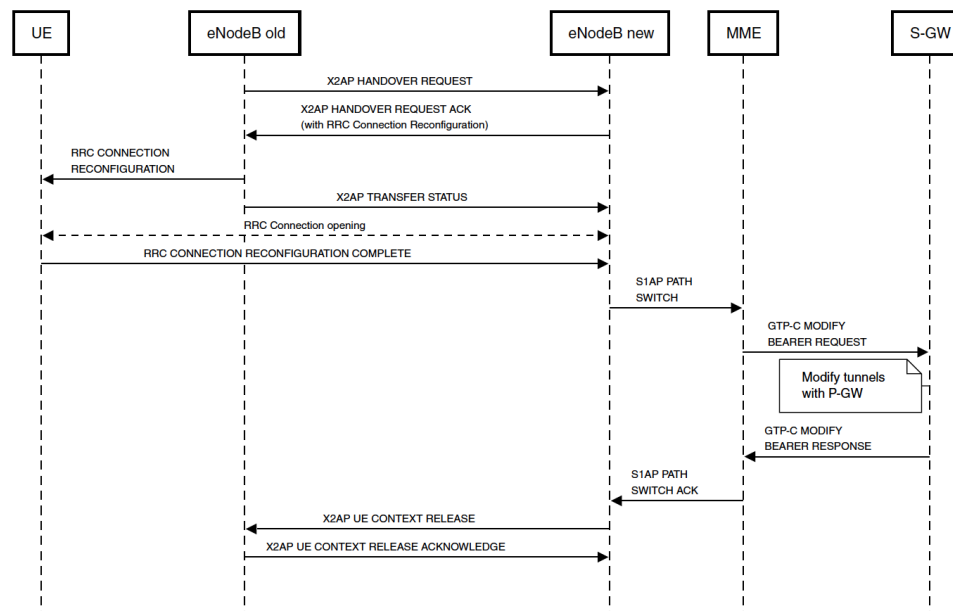
Menadžment mobilnosti

Handover u RRC Connected stanju

2. eNodeB-ovi stvaraju između sebe privremeni GTP tunel, koji se koristi tokom procesa handover-a dok konačno podešavanje tunela ne bude završeno. Stari eNodeB šalje X2AP STATUS TRANSFER poruku ciljnom eNodeB-u kako bi pokrenuo prosleđivanje *downlink* korisničkih podataka preko privremenih GTP tunela.

3. Stari eNodeB prosleđuje poruku RRC CONNECTION RECONFIGURATION UE-u, koji koristi informacije iz poruke da se poveže na novu ćeliju. UE se sinhronizuje sa ciljnom ćelijom i koristi slučajni pristup da zahtijeva da ciljni eNodeB otvori RRC vezu. UE koristi novu RRC vezu da pošalje RRC CONNECTION RECONFIGURATION COMPLETE poruku ciljnom eNodeB-u. Prenos korisničkih podataka sada može nastaviti preko ciljne ćelije.

4. Ciljni eNodeB šalje S1AP PORUKU O PREKIDANJU PUTANJE MME-u, koji zatim obavještava S-GW o handoveru. S-GW uspostavlja nove GTP tunele prema ciljnom eNodeB-u i raskida GTP tunele prema starom eNodeB-u. Nakon završetka prebacivanja putanje, ciljni eNodeB obavještava stari eNodeB da oslobodi kontekst UE-a. Privremeni GTP tunel između eNodeB-a se takođe raskida.



Menadžment mobilnosti

Handover u RRC Connected stanju

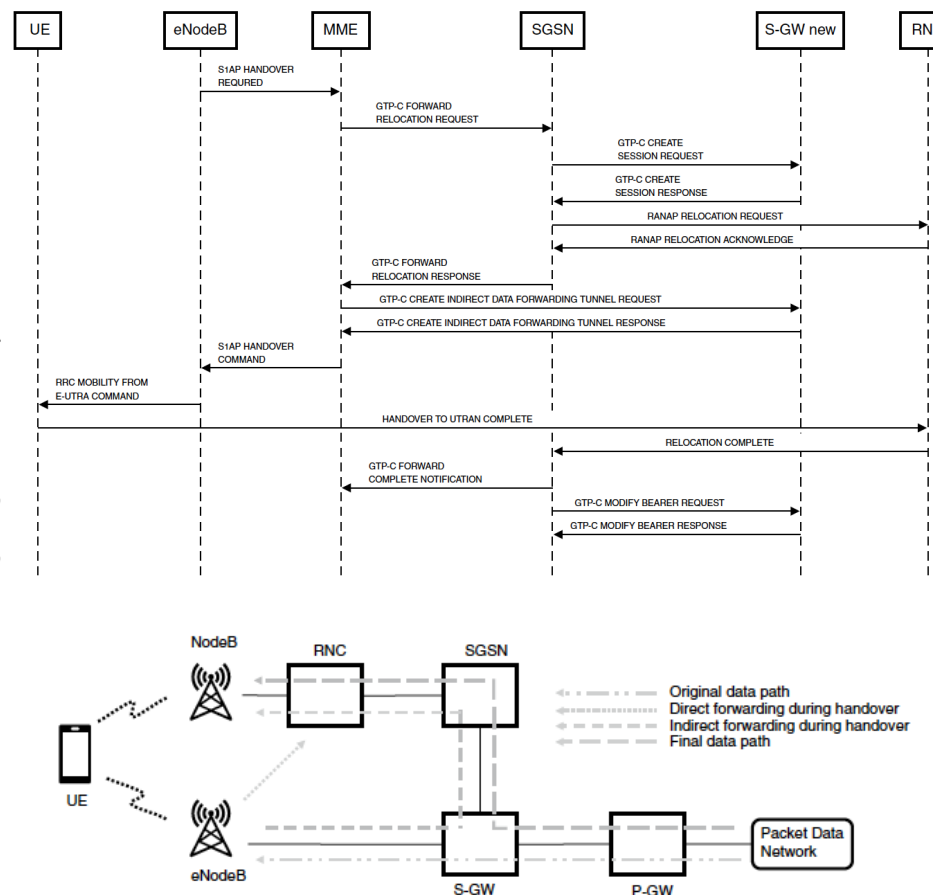
- ❑ Ako dva eNodeB-a nemaju X2 vezu, handover je poznat kao S1 handover, jer u ovom slučaju eNodeB-ovi komuniciraju korišćenjem S1 interfejsa preko MME-a.
- ❑ MME takođe koordinira privremeno prosleđivanje *downlink* podataka između eNodeB-ova tokom izvršenja handover-a.
- ❑ MME takođe učestvuje u svim inter-RAT handover-ima.
- ❑ U inter-RAT handover-u iz E-UTRAN (LTE) u UTRAN, putanja podataka vezana za P-GW od EPC-a će biti preusmjerena ka RNC-u UTRAN mreže.
- ❑ GTP-U tunel se uspostavlja tokom handovera između SGSN-a na UTRAN strani i S-GW-a na E-UTRAN strani.
- ❑ Kreiranjem tunela koordinira SGSN na osnovu zahtjeva od strane MME-a.
- ❑ Dok proces *handover*-a traje, *downlink* podaci se mogu proslijediti direktno iz eNodeB-a ka RNC-u ili indirektno putem S-GW-a i SGSN-a do RNC-a, u zavisnosti od odluke koju donosi MME.

Menadžment mobilnosti

Handover u RRC Connected stanju

Handover paketskih podataka između različitih radio pristupnih tehnologija (inter-RAT) iz LTE u UTRAN mrežu se obavlja na sledeći način:

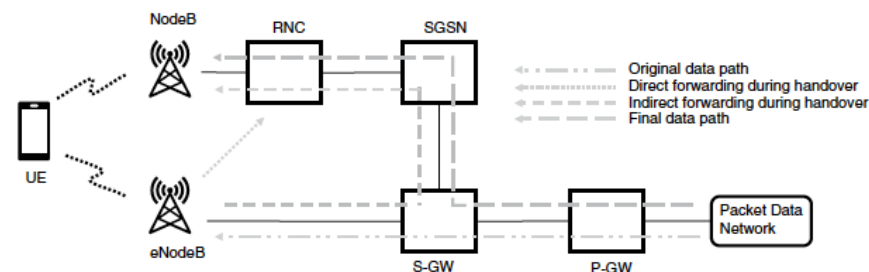
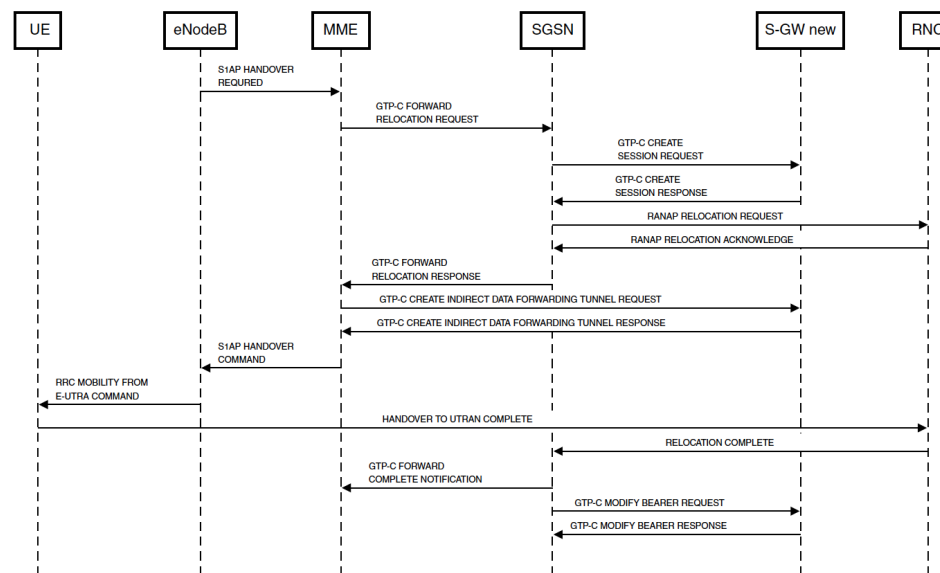
1. eNodeB odlučuje da će se izvršiti inter-RAT handover za UE i šalje poruku S1AP HANDOVER REQUIRED MME-u. Ova S1AP poruka identifikuje ciljni RNC i UTRAN ćeliju prema kojoj će se izvršiti prebacivanje.



Menadžment mobilnosti

Handover u RRC Connected stanju

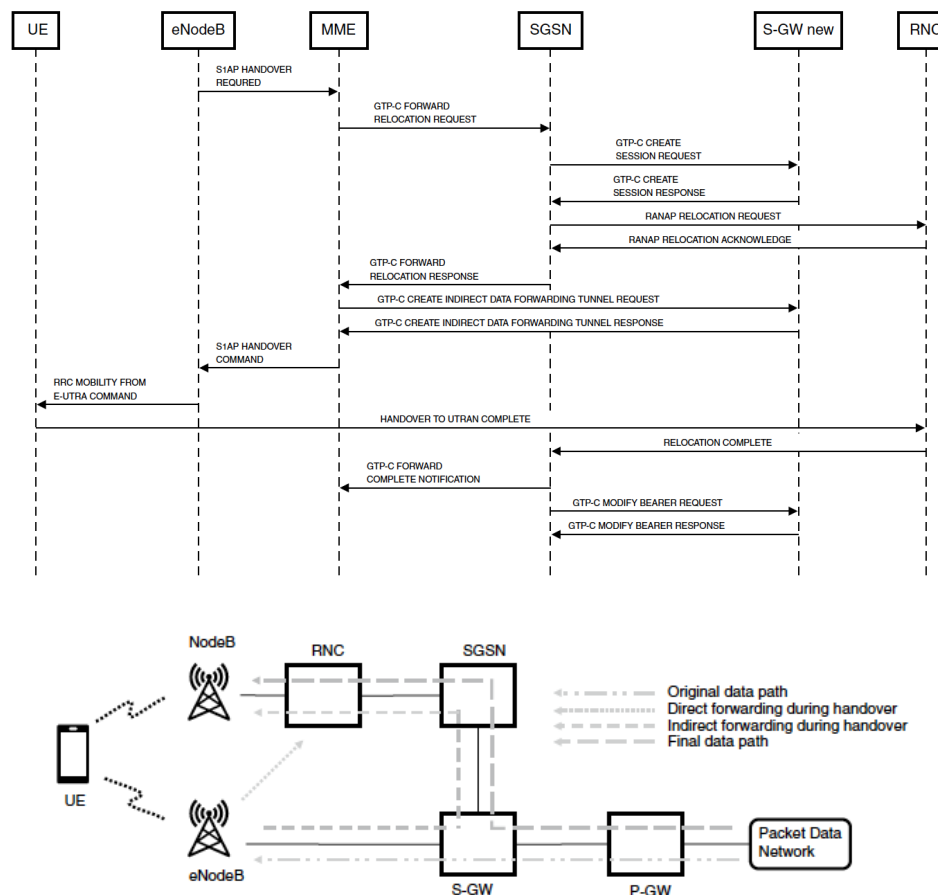
2. MME šalje GTP-C FORWARD RELOCATION REQUEST poruku SGSN čvoru UTRAN mreže. Iz ove poruke, SGSN saznaje EPS kontekste bearer-a UE-a koji će biti ponovo uspostavljeni na UTRAN strani i identitet S-GW-a koji trenutno poslužuje UE. SGSN bira S-GW za novi put podataka korisnika i šalje GTP-C CREATE SESSION REQUEST poruku S-GW-u za svaku PDN vezu UE-a. Nakon što je S-GW alocirao lokalne resurse, odgovara SGSN-u, koji zatim kontaktira UTRAN RNC za pokretanje priprema za handover, kao što su uspostavljanje radio pristupnih bearer-a za UE. Nakon obavljanja ovih aktivnosti, SGSN šalje GTP-C poruke odgovora MME-u.



Menadžment mobilnosti

Handover u RRC Connected stanju

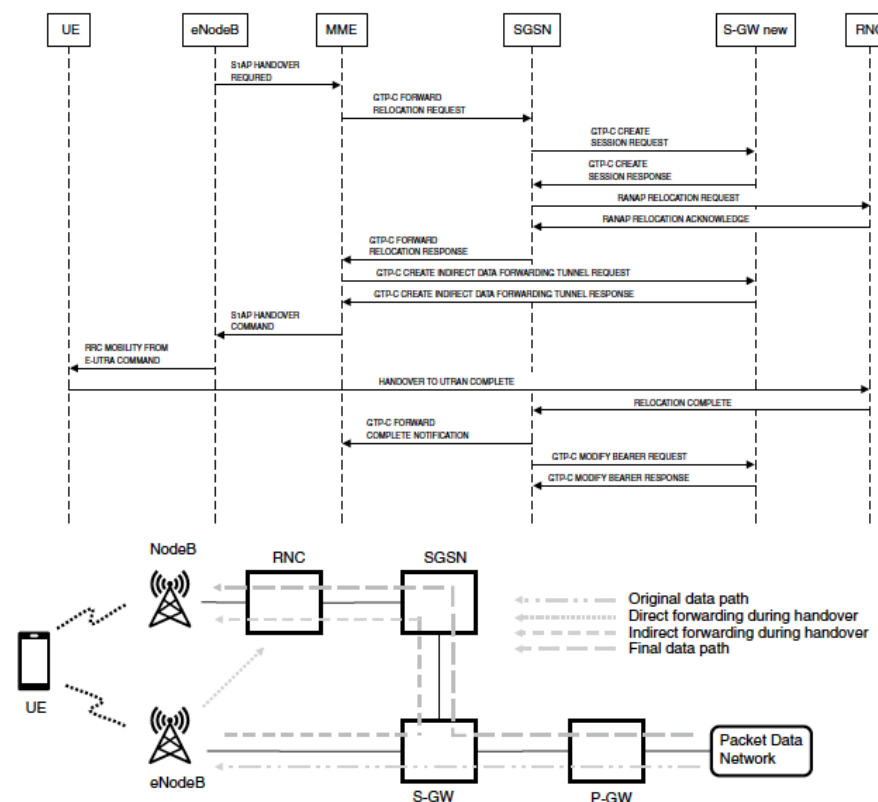
3. Ako je S-GW promijenjen i korišćeno je indirektno prosleđivanje (umesto direktnog prosleđivanja iz eNodeB-a ka RNC-u), SGSN i MME šalju GTP-C CREATE INDIRECT DATA FORWARDING TUNNEL REQUEST poruke starom i novom S-GW-u za uspostavljanje GTP-U tunela za privremeno prosleđivanje downlink podataka između eNodeB-a i RNC-a putem S-GW-a. Nakon što je put podataka spreman, MME šalje naredbu za handover eNodeB-u koji poslužuje UE. Nakon što eNodeB primi S1AP naredbu za handover, šalje RRC naredbu za handover UE-u i počinje prosleđivanje korisničkih podataka prema UTRAN-u.



Menadžment mobilnosti

Handover u RRC Connected stanju

4. Nakon što se UE poveže sa UTRAN ćelijom, obavještava RNC o završetku handovera i zatim vrši ažuriranja lokacije i oblasti rutiranja. RNC obavještava SGSN o premještanju UE-a kako bi se pripremio za prijem uplink korisničkih podataka paketa od RNC-a. Zatim, SGSN obavještava MME i završava procedure modifikacije bearer-a s S-GW-om i P-GW-om. Konteksti bearer-a sada su premješteni iz LTE-a u UTRAN, a novi GTP tunel između SGSN-a i novog S-GW-a je uspostavljen.



Govorne komunikacije i SMS

- ❑ S obzirom na to da LTE mreže uopšte ne podržavaju domen komutacije kola, CSFB (*Circuit Switched FullBack*) se koristi da bi se LTE UE prebacio na drugu radio-tehnologiju kao što je UTRAN ili GERAN kako bi primao ili pokretao tradicionalne govorne pozive.
- ❑ Bez obzira što se UTRAN mreže postepeno povlače, očekuje se da će CSFB ka GERAN-u ostati važeći scenario upotrebe za 4G telefone ili mreže bez podrške za VoLTE.
- ❑ CSFB je specificiran u 3GPP TS 23.272 i TS 29.118.
- ❑ Pošto je EPC mrežni sistem komutacije paketa, nema inherentnu podršku SMS poruka koje su dizajnirane kao dodatne usluga mreža komutacije kola.
- ❑ Signalizacija LTE radio interfejsa ima ugrađenu podršku za SMS između UE-a i MME-a.
- ❑ MME koristi novi SG interfejs prema MSC/VLR kako bi kontaktirao centar za kratke poruke.
- ❑ Ovaj metod dostave SMS-a naziva se *SMS over SG*, a specificiran je u 3GPP TS 23.272.

Govorne komunikacije i SMS

- ❑ Da bi primao ili inicirao mobilne pozive komutacije kola ili kratke poruke preko SG interfejsa, LTE UE se mora registrovati u domen komutacije kola prilikom priključivanja na LTE uslugu komutacije paketa.
- ❑ Da bi to postigao, UE šalje poseban CSFB indikator unutar EMM ATTACH REQUEST poruke kako bi definisao tip priključivanja kao kombinovani EPS/IMSI priključak.
- ❑ Nakon što MME pronade CSFB indikator u EMM poruci, šalje SGsAP LOCATION UPDATE REQUEST preko SG interfejsa prema MSC/VLR-u kako bi registrovao UE u domen komutacije kola i ažurirao njegovu lokaciju MSC/VLR-u.
- ❑ MME utvrđuje LAI (*Location Area Identification*) na strani komutacije kola iz TA na koje je UE registrovan na LTE mrežu.
- ❑ LAI se sastoji od UTRAN ili GERAN ćelija i razlikuje se od LTE TA.
- ❑ Kada mobilni poziv komutacije kola stigne, LTE mreža može prozvati UE unutar svog TA.
- ❑ U CSFB postupku dolaska mobilnog poziva komutacije kola, UE je obaviješten o TA koji je prijavljen domenu komutacije kola.
- ❑ Međutim, s obzirom da ne postoji savršeno podudaranje između TA i LA, LA može biti prijavljeno netačno.

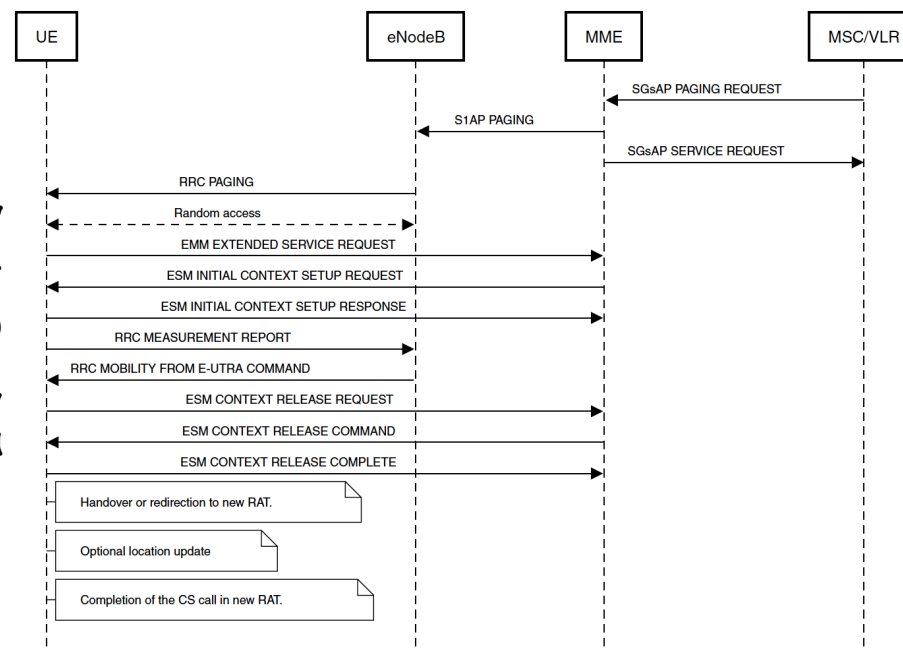
Govorne komunikacije i SMS

- ❑ Ako UE otkrije nakon promjene RAT-a da je njegovo stvarno LA različito od prijavljenog, mora odmah izvršiti postupak ažuriranja LA.
- ❑ Poziv može biti pravilno uspostavljen tek nakon što je postupak ažuriranja LA završen.
- ❑ To je zato što jezgro komutacije kola mreže može imati različite MSC/VLR-e koji poslužuju stvarno područje lokacije i drugo područje koje je prijavio MME.
- ❑ Nakon izvođenja kombinovanog EPS/IMSI priključka, UE može primiti zahtjeve za aktivaciju sa indikatorom razloga kao dolazni mobilni poziv komutacije kola ili mobilni SMS.
- ❑ U slučaju SMS-a, UE ostaje u LTE-u, a SMS se prenosi UE-u unutar LTE signalizacije.
- ❑ U slučaju poziva komutacije kola, MME naređuje UE-u da se prebaci na drugu radio-tehnologiju, ili sa handoverom paketskih podataka ako UE ima aktivne sesije paketskih podataka ili sa CCO (Cell Change Order) naredbom (CCO) ako UE miruje.
- ❑ Za generisanje mobilnih poziva komutacije kola, UE zahtijeva od mreže da pokrene handover paketskih podataka ili promjenu ćelije na drugu radio-tehnologiju za aktiviranje govornog poziva.

Govorne komunikacije i SMS

CSFB za govorni poziv

1. MSC/VLR šalje poruku SGsAP PAGING REQUEST preko SG interfejsa MME-u UE-a, u skladu s lokacijom UE-a kako je poznato MSC/VLR-u. Kada je UE u stanju mirovanja, MME upućuje eNodeB-ove unutar TA da pošalju paging poruku UE-u.

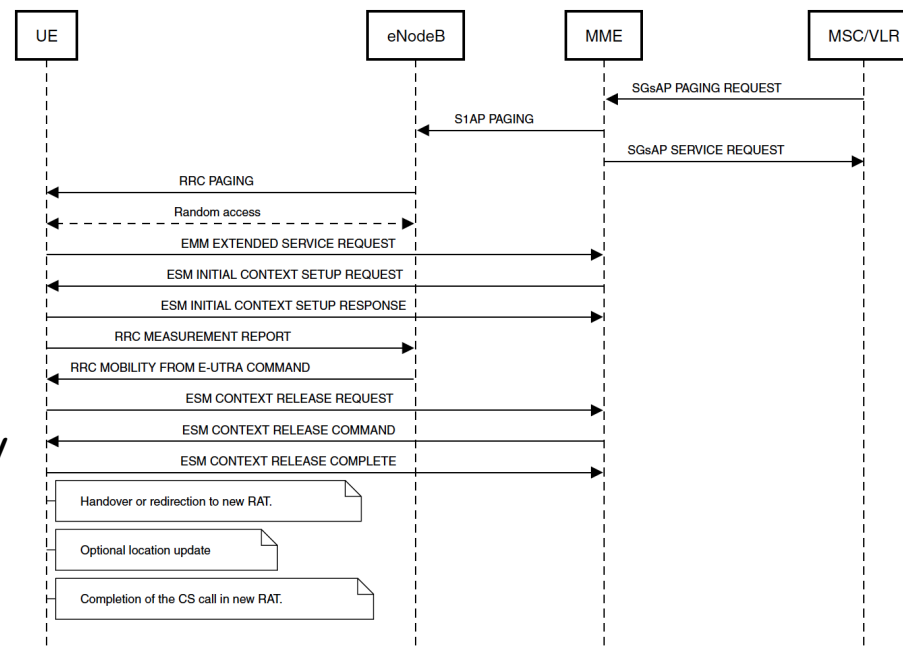


2. Nakon što UE primi paging poruku, izvodi postupak slučajnog pristupa kako bi otvorio RRC vezu. UE šalje MME-u EMM EXTENDED SERVICE REQUEST sa CSFB indikatorom kako bi primio mobilni poziv komutacije kola. EMM poruka označava status zahtjeva kao prihvaćen ili odbijen, u zavisnosti od toga šta je korisnik odlučio uraditi sa pozivom. MME odgovara UE-u sa ESM INITIAL CONTEXT SETUP REQUEST koji takođe sadrži CSFB indikator. ESM poruka obavještava UE o LA na koju je UE registrovan za pozive komutacije kola.

Govorne komunikacije i SMS

CSFB za govorni poziv

3. UE počinje mjeriti ćelije sa radio-tehnologijama kako mu je naređeno od strane MME-a za CSFB postupak. UE prijavljuje rezultate mjerenja eNodeB-u pomoću RRC MEASUREMENT REPORT poruke. Zavisno od sposobnosti nove ciljne mreže i stanju UE-a, UE se prebacuje na drugi RAT putem PSHO (*packet switched handover*) oslobađanja RRC veze sa preusmjeravanjem ili CCO postupka u slučaju GSM-a. Prije promjene radio-tehnologije, UE može osloboditi svoj LTE kontekst. Uspostavljanje poziva komutacije kola završava se izborom odgovarajućih postupaka specifičnih za ciljanu radio-tehnologiju.



Nakon što se poziv komutacije kola završi i ako LTE RAT ima prioritet, UE može izvršiti postupak slučajnog pristupa u LTE mrežu kako bi se vratio na LTE uslugu i poslao novu poruku za praćenje. Takođe je moguće da mreža koristi postupak prisilne selekcije ćelije kako bi vratila UE u stanje mirovanja u LTE mreži.

Govorne komunikacije i SMS

SMS over SG

SMS preko SG za poruke koje potiču od mobilnog uređaja funkcioniše na sledeći način:

1. UE otvara RRC vezu prema eNodeB-u i šalje RRC UPLINK INFORMATION TRANSFER poruku koja sadrži kratku poruku (SM-TL i SM-RL protokolske jedinice podataka).
2. eNodeB prosleđuje kratku poruku MME-u putem S1AP UPLINK NAS TRANSPORT poruke.
3. MME šalje kratku poruku MSC/VLR-u putem SGsAP UPLINK UNITDATA poruke. MSC/VLR prosleđuje poruku SMSC centru za kratke poruke.

SMS preko SG za poruke namijenjene mobilnom terminalu funkcioniše na sljedeći način:

1. MSC/VLR šalje SGsAP PAGING REQUEST MME-u da bi probudio UE za prijem kratke poruke. Kao rezultat toga, MME pokreće proceduru povezivanja sa eNodeB-ovima unutar zabilježenog TA UE-a. Paging zahtjev ukazuje na razlog paginga kao što je dolazni SMS. MME obavještava MSC/VLR o proceduri paginga i dobija nazad kratku poruku poslanu UE-u. MME prosleđuje kratku poruku eNodeB-u.
2. UE odgovara na paging i otvara RRC vezu putem slučajnog pristupa. eNodeB prosleđuje SMS poruku UE-u i prima izvještaj o prijemu SMS-a.

