Modeliranje procesa upravljanja mobilnošću u LTE mreži

Sanić, Silvio

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:580052

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Silvio Sanić

MODELIRANJE PROCESA UPRAVLJANJA MOBILNOŠĆU U LTE MREŽI

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

DIPLOMSKI RAD

MODELIRANJE PROCESA UPRAVLJANJA MOBILNOŠĆU U LTE MREŽI

HANDOVER PROCEDURES MODELLING IN LTE NETWORK

Mentor: dr. sc. Marko Matulin

Student: Silvio Sanić, 0135216072

Zagreb, rujan 2016.

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu analizirani su procesi upravljanja mobilnošću u LTE (eng. *Long Term Evolution*) mreži, odnosno opisane su procedure prekapčanja poziva koje se primjenjuju između ćelija u LTE mreži i procedure prekapčanja poziva prema ostalim tehnologijama. U trenutku kada izvorišna bazna stanica zatraži prekapčanje poziva prema odredišnoj baznoj stanici, sustav će prespojiti poziv na novu ćeliju na način da korisnik ne primjeti nikakve promjene. Procedure prekapčanja poziva prikazane su UML (eng. *Unified Modelling Language*) dijagramima, pri čemu je odabran dijagram međudjelovanja, koji daje naglasak na vremenski redoslijed kojim se odvija međudjelovanje sudionika odnosno objekata u sustavu. Iz analize procedura u potpunosti se može spoznati tijek procesa prekapčanja, koji bitno ovisi o radio-uvjetima korisnika. Samo pokretanje procedure prekapčanja poziva ne znači da je ona uspješno obavljena, stoga je prikazano u kojem slučaju će doći do neuspješnog prekapčanja poziva i što je uzrok tome.

KLJUČNE RIJEĆI: LTE, prekapčanje poziva, korisnička oprema, bazna stanica

SUMMARY

This final paper focuses on analyzing the processes of LTE (*Long Term Evolution*) network mobility management, that is, it describes the handover procedures that are used between LTE network cells and the procedures of handovers towards other technologies. In the moment when the source eNodeB asks to handover to source eNodeB, the system will handover to a new cell in such manner that the user would not even notice a difference. The procedures of handovers are shown with Unifield Modelling Language diagrams, namely the sequence diagram which emphasizes the sequence of events in the interaction between participants or the objects in the system. By analyzing said procedures, the course of the handovers can be completely comprehend, which heavily relies on the radio conditions of the user. Just starting the handover procedure the call does not necessary mean that it has been successfully finished; it is shown in which case will the handover be unsuccessful and what causes it.

KEYWORDS: LTE, handover, User Equipment, eNodeB

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Konvergencija 3G mreža prema 4G mrežama 3
   2.1. Razvoj mobilnih komunikacija prije 3G 3
   2.2. Opći pokretni telekomunikacijski sustav 5
      2.2.1. Razvoj arhitekture UMTS sustava kroz 3GPP izdanja 6
      2.2.2. UMTS klase kvalitete usluga 9
      2.2.3. Metode preuzimanja poziva 10
      2.2.4. WCDMA tehnologija 13
   2.3. Evolucija WCDMA sustava 14
      2.3.1. Tehnologija brzog paketskog pristupa u silaznoj vezi (HSDPA) 14
      2.3.2. Tehnologija brzog paketskog pristupa u uzlaznoj vezi (*HSUPA*) 16
      2.3.3. Daljnji razvoj 19
   2.4. Dugoročna evolucija 3G sustava - LTE 20
3. LTE korištene tehnologije 23
   3.1. LTE radijsko sučelje 23
      3.1.1. Ortogonalno multipleksiranje frekvencijskim odvajanjem (OFDM) 23
      3.1.2. Višestruki pristup s frekvencijskom raspodjelom na jednom nositelju (SC-FDMA) 25
   3.2. MIMO tehnologija 26
      3.2.1. Prostorna raznolikost (*Spatial diversity*) 27
      3.2.2. Prostorno multipleksiranje 28
4. Arhitektura LTE mreže 29
   4.1. Razvoj i standardizacija 29
   4.2. Struktura mreže 30
   4.3. Pristupna mreža 31
   4.4. Jezgrena mreža 32
      4.4.1. Entitet za upravljanje resursima i terećenje (PCRF) 33
      4.4.2. Poslužitelj domaćih pretplatnika (HSS) 34
      4.4.3. Pristupnik za paketnu podatkovnu mrežu (P-GW) 34
      4.4.4. Pristupnik posluživanja (S-GW) 34
      4.4.5. Mrežni entitet za upravljanje mobilnošću (MME) 35
   4.5. Protokolska arhitektura 36
5. Analiza i modeliranje procesa preuzimanja poziva 39
   5.1. Analiza i modeliranje Intra LTE procesa preuzimanja poziva bez promjene S-GW-a baziranog na X2 sučelju 40
   5.2. Analiza i modeliranje Intra LTE procesa preuzimanja poziva baziranog na S1 sučelju 43

5.3. Analiza i modeliranje Intra-LTE odbijenog procesa preuzimanja poziva baziranog na S1 sučelju 50

5.4. Analiza i modeliranje Inter-RAT procesa preuzimanja poziva između E-UTRAN i UTRAN Iu mode sustava 53

6. Parametri preuzimanja poziva 57

6.1. Ulazni mjereni parametri 57

6.2. Pokazatelji uspješnosti primopredaje 58

6.3. Kontrolni parametri 59

7. Zaključak 60

LITERATURA 61

Popis kratica 64

Popis slika 68

Popis dijagrama 68

1. Uvod

Ljudi žive u informacijskom društvu koje postaje sve više automatizirano i robotizirano. Mobilne komunikacije i informacijsko komunikacijske tehnologije (eng. *Information and communications technology*, ICT) posebno se intenzivno razvijaju i predstavljaju ključan element u navedenom procesu. Zadnjih tridesetak godina razvijeno je već nekoliko generacija mobilnih komunikacija. Svaka generacija mobilnih mreža donosi nešto novo, međutim ono što ih objedinjuje je da svaka nova generacija nastoji biti bolja od prethodne po brzinama prijenosa, kapacitetu, mobilnosti korisnika, propusnosti po korisniku sl. Kod sustava treće generacije došlo je do razine gdje nije bilo prostora za daljnji razvoj i unaprijeđenje mreže u mjeri koja bi zadovoljila korisnike i same operatore. Krenulo se u razvoj i implementaciju nove fleksibilnije tehnologije pod nazivom dugoročna evolucija LTE.

LTE tehnologija podržava brzine od najmanje 100 Mb/s u silaznoj vezi i 50 Mb/s u uzlaznoj vezi, što je značajni pomak u odnosu na prethodne tehnologije. Frekvencijski spektar od 1800 i 2600 MHz smanjuje domet baznih stanica u odnosu na prijašnje tehnologije što rezultira gušćim rasporedom baznih stanica (*eNodeB* čvorova). Upravljanje mobilnošću je kod svakog sustava vrlo važan čimbenik funkcioniranja mreže. Jedan od glavnih LTE ciljeva je osigurati brzo i neprimjetno preuzimanje poziva između susjednih ćelija (područje pokriveno jednim eNodeB čvorom) uz istovremeno održavanje mreže.

Cilj ovog diplomskog rada je primjenom UML dijagrama opisati i prikazati procese preuzimanja poziva između ćelija u LTE mreži i isto tako prikazati preuzimanje poziva prema ostalim tehnologijama. Iz definiranih i opisanih procedura vidjet će se tijek razmjene poruka između različitih mrežnih elemenata.

Glavni zadatak ovog diplomskog rada je analizirati procese upravljanja mobilnošću u LTE mreži, odnosno opisati različite procedure prekapčanja ili preuzimanja poziva, što je najefikasnije prikazati primjenom UML dijagrama. Kako bi se realizirao dijagram potrebno je detaljno opisati redoslijede događaja, odnosno tijek razmjena poruka između različitih mrežnih elemenata.

Diplomski rad se sastoji od sedam poglavlja:

1. Uvod
2. Konvergencija 3G mreža prema 4G mrežama
3. LTE korištene tehnologije
4. Arhitektura LTE mreže
5. Analiza i modeliranje procesa preuzimanja poziva
6. Parametri preuzimanja poziva
7. Zaključak.

U drugom poglavlju opisani su glavni standardi i tehnologije korištene u prethodnoj generaciji, te potreba za novom generacijom. Treće poglavlje prikazuje korištene tehnologije u četvrtoj generacije. Sljedeće četvrto poglavlje prikazuje arhitekturu LTE mreže, gdje su prikazani i detaljnije opisani elementi mreže. Jezgra ovog diplomskog rada je peto poglavlje, gdje su modelirani i analizirani *Intra-LTE* procesi preuzimanja poziva bazirani na X2 i S1 sučelju, te *Inter-RAT* proces preuzimanja poziva između UTRAN i E-UTRAN pristupnih mreža. U šestom poglavlju definirani su parametri preuzimanja poziva. Zadnje poglavlje, odnosno zaključak donosi osvrt na razrađenu temu cjelokupnog diplomskog rada.

2. Konvergencija 3G mreža prema 4G mrežama

Razvoj mobilnih komunikacijskih mreža je počeo prije nešto manje od pola stoljeća. Kao što im i samo ime govori, mreže obavljaju komunikaciju, odnosno prijenos različitih tipova podataka. Mobilne komunikacijske mreže se najjednostavnije definiraju kroz njihove generacije i korištene standarde. Nakon prve generacije mobilnih mreža, temeljenih na analognom pristupu, drugom generacijom postepeno se uvodi kanalska i paketna komutacija digitalnim pristupom.

Tema ovog poglavlja su mreže definirane u trećoj generaciji mobilnih mreža, i njihova konvergencija prema sljedećoj generaciji. Međunarodna standardizacijska organizacija (eng. *3rd Generation Partnership Project*, 3GPP) zadužena za standardizaciju i specifikaciju telekomunikacijskih elemenata u svom prvom izdanju posvećenom 3G mrežama 1999. godine definira Opći pokretni telekomunikacijski sustav (eng. *Universal Mobile Telecommunication System*, UMTS*),* temeljen na novom radijskom pristupu koji se zasniva na višestrukom pristupu u kodnoj raspodjeli (eng. *Wideband Code Division Multiple Access,* WCDMA). U ovom poglavlju je opisan razvoj arhitekture UMTS sustava kroz 3GPP izdanja, opisane su klase kvalitete istog, te metode preuzimanja poziva. Daljnjim razvojem WCDMA sustava uveden je brzi paketni pristup (eng. *High Speed Packet Access*, HSPA), koji se kontinuirano unaprjeđuje putem novih izdanja 3GPP specifikacija. Brzine prijenosa podataka rastu, a korisnici prihvaćaju nove tehnologije i bolje od očekivanja.

Prije implementacije HSPA tehnologije, 3GPP grupa počinje s razvojem LTE standarda. Definirani su osnovni zahtjevi nove mreže koja mora donijeti znatna unaprjeđenja kako bi opravdala standardizacijske norme.

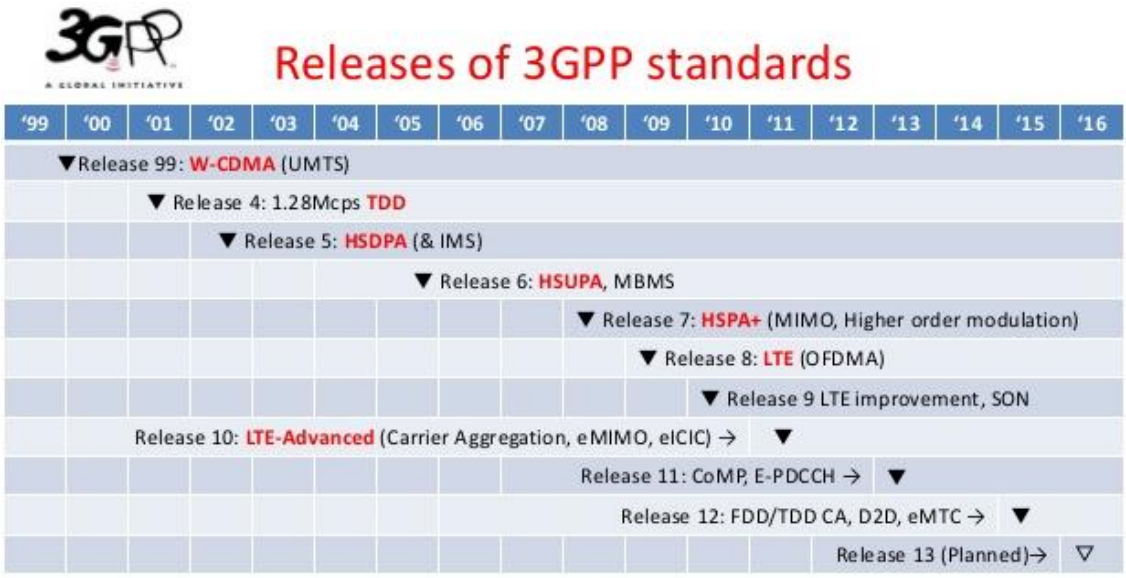
2.1. Razvoj mobilnih komunikacija prije 3G

Razvoj mobilnih tehnologija počeo je 70-ih godina prošlog stoljeća. Uz prvu komercijalnu mobilnu mrežu pod nazivom NMT nastalu 1981. godine tu su i AMPS (eng. *Advance Mobile Phone Service*), TACS (eng. *Total Access Communications System*), NTACS (eng. *Narrowband Total Access Communications System*) i JTACS (eng. *Japanese Total Access Communication System*) sustavi prve generacije. Zasnovani su na analognom FDMA pristupu i govornim uslugama. Pojavom digitalne

komunikacije tijekom 1980-ih, otvorila se prilika za razvoj druge generacije mobilnih komunikacijskih mreža. Nova mreža je prvi puta pokrenuta u Finskoj 1991. godine pod nazivom GSM (eng. *Global System for Mobile Communications*), pri čemu je korištena TDMA tehnologija. Uvedene su podatkovne usluge za mobilne telefone, počevši sa slanjem SMS (eng. *Short Message Service*) poruka, prijenos podataka putem komutacije kanala, koje omogućavaju prijenos elektroničke pošte i druge podatkovne aplikacije. Koriste se višestruke ćelije i mogućnost prijenosa poziva iz jedne ćelije u drugu. Osim GSM-a u ovu generaciju mobilnih mreža spadaju PDC, IS-95 i iDEN standardi.

Daljnja evoluacija mreža druge generacija uzrokovana paketnim prijenosom podataka dovodi do pojave GPRS (eng. *General Packet Radio Service*) tehnologije, koja je kompatibilna s GSM standardom. GPRS je izvorno standardiziran od strane Europskog instituta za telekomunikacijske norme (ETSI), te integriran u GSM *Release* 97 i novijim izdanjima, a definiran je kao 2.5 generacija mobilnih mreža. Sljedeći korak je razvoj EDGE (eng. *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) tehnologija zasnovanih na GSM sustavu. Uz niske troškove i sitne izmjene u infrastrukturi, EDGE je implementiran kao nadogradnja GPRS sustava, koji na postojeću GSM mrežu dodaje paketnu komutaciju i kao nadogradnja sustava temeljenog na komutaciji kanala.

Intenzivan rad na standardizaciji 3G tehnologija rezultirao je projekt partnerstva (eng. *Organizational Partners*) za treću generaciju 3GPP, koje združuje šest telekomunikacijskih organizacija za razvoj standarda (ARIB, ATIS, SSCA, ETSI, TTA i TTC). Proizvodnja tehničkih specifikacija za 3G temelji se na evoluiranoj GSM mreži u okviru IMT 2000 projekta (eng. *International Mobile Telecommunications*) Međunarodne telekomunikacijske unije (ITU), [2].



Slika 1. Evolucija 3GPP tehnologija, [6]

3GPP standardi strukturirani su kao izdanja (*releases*), kao što je vidljivo na slici 1. U R99 specificirana je prva UMTS 3G mreža koja uključuje CDMA zračno sučelje. Sljedeća izdanja su se bavila problematikom povećanja brzine u pristupnom (radio) dijelu mreže, [2].

2.2. Opći pokretni telekomunikacijski sustav

Razvoj tehničkih specifikacija od strane 3GPP organizacije za WCDMA pristup u FDD (eng. *Frequency Division Duplex*), i TDD (eng. *Time Division Duplex*), modu rezultira bržom pojavom mreže treće generacije. Prva mreža je nastala u Japanu 2001. godine, a zatim u Europi pod nazivom Opći pokretni telekomunikacijski sustav. UMTS predstavlja prirodni evolucijski put od 2G na 3G za više od 90% od 1,5 milijarde GSM korisnika. Za razliku od prijašnjih sustava, UMTS je prvi sustav kojim se uz pokretljivost terminala rješavaju osobna pokretljivost, te pokretljivost, prenosivost i transparentnost usluga.

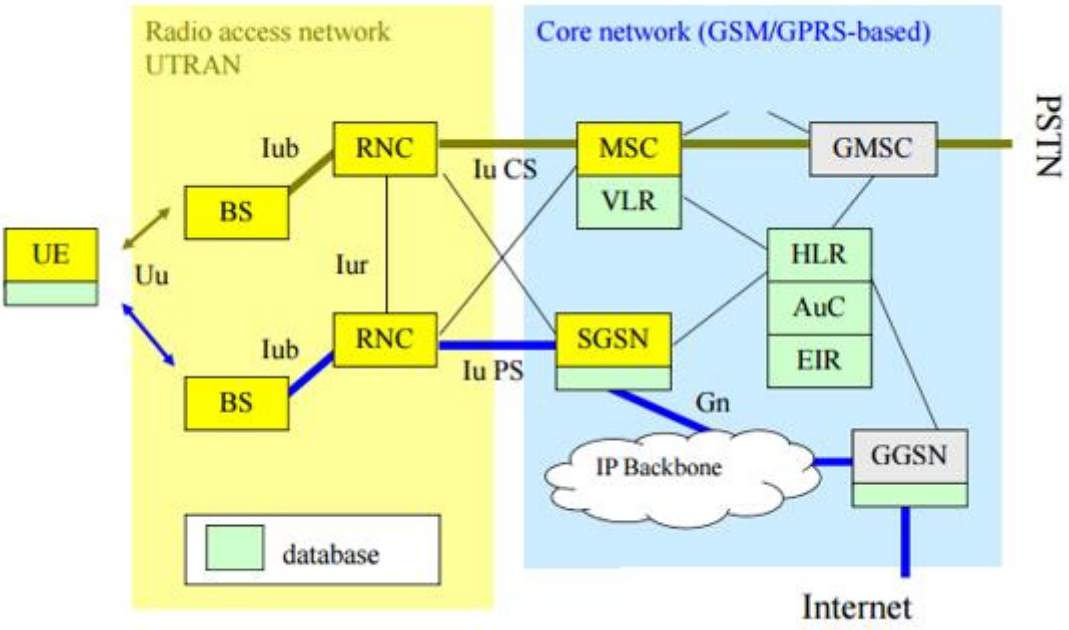
Prema [4], na UMTS, kao sustav nove generacije mobilnih mreža postavljani su mnogi zahtjevi (motivirani prvenstveno novim uslugama zasnovanim na Internetu) kao što su: osobna pokretljivost uz prijenos govora, podataka i multimedije, brzina prijenosa do 144 kb/s u svim uvjetima, do 384 kb/s na otvorenom prostoru, a do 2 Mb/s u zatvorenom prostoru, komutacija kanala i paketa, simetričan i asimetričan prijenos, kvaliteta govora usporediva s onom u fiksnoj mreži, potpora uslugama od uskopojasnih

do širokopojasnih, uz mogućnost potpore više usluga istodobno, integracija s fiksnom mrežom, koegzistencija s drugom generacijom i brzi pristup Internetu u pokretu.

2.2.1. Razvoj arhitekture UMTS sustava kroz 3GPP izdanja

Release 99 je prvo izdanje UMTS standarda zasnovanog na WCDMA tehnologiji, s podrškom za GSM, EDGE, GPRS i WCDMA radijske pristupne mreže, gdje dolazi do uvođenja različitih klasa kvalitete usluge. Arhitektura UMTS sastoji se od jezgrene mreže (eng. *Core Network*) i radio pristupne mreže, koja je nazvana UTRAN (eng. *Universal Terrestrial Radio Access Network*), a temelji se na poboljšanoj ili izmijenjenoj arhitekturi GSM sustava. UTRAN obavlja funkcije komutiranja i usmjeravanja poziva, sustavne kontrole pristupa, pitanja sigurnosti i privatnosti, upravljanja i kontrole radijskih resursa, te kontrole radijskog prijenosa između korisničke opreme i mreže. Iz 3GPP specifikacija i standardizacije UTRAN zajedno s korisničkom opremom (eng. *User Equipment,* UE) koristi potpuno nove protokole temeljene na potrebama nove WCDMA tehnologije [1]. UTRAN se sastoji od korisničkog terminala UE i radijskog mrežnog podsustava (eng*. Radio Network Subsystem,* RNS), što je osnovni element pristupne mreže.

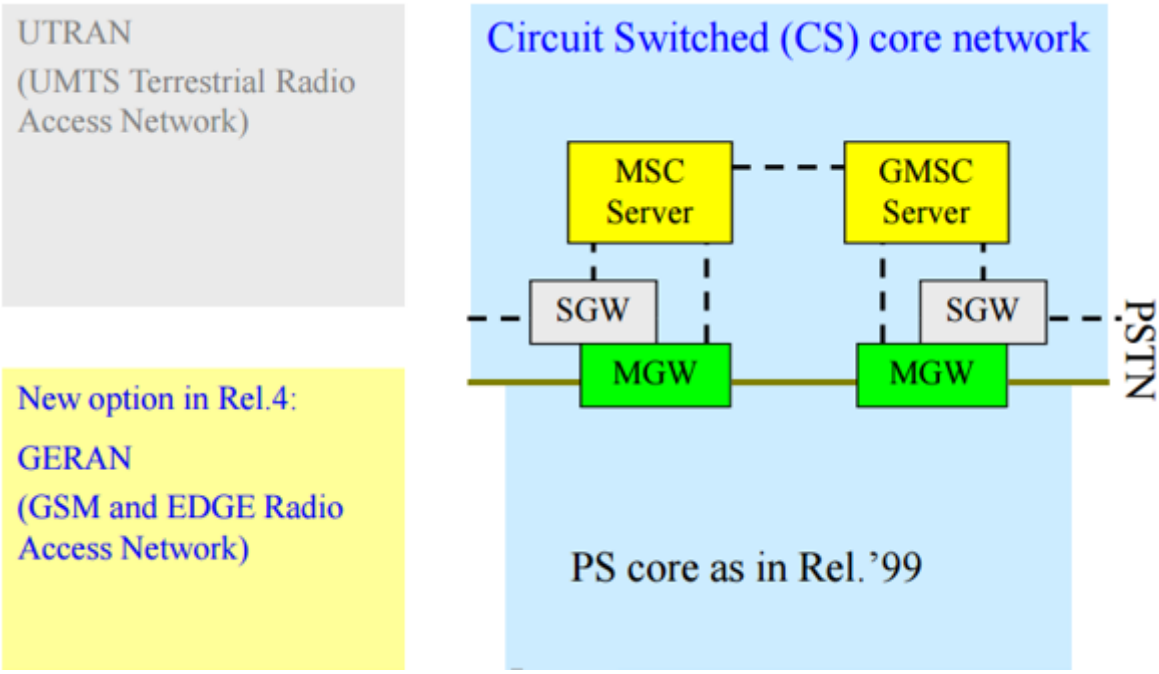
Kako se navodi u [7] radijski mrežni podsustav sadrži upravljač radijske mreže (eng. *Radio Network Controller*, RNC) te jedan ili više baznih stanica s radijskim primopredajnim dijelom, koji podržavaju FDD/TDD način rada (slika 2). Prijelaz iz jedne u drugu ćeliju može se obaviti bez kašnjenja, tj. postupkom mekog prekapčanja (eng. *soft handover*), kako bi se pomoću više istodobnih radijskih veza osigurao kontinuitet poziva (postupak mekog prekapčanja opisan u daljnjem tekstu). Bazna stanica obavlja pretvorbu između Iub i Uu sučelja, upravlja radijskim resursima, obavlja modulaciju (podržava FDD, TDD i CDMA), obavlja korelaciju grešaka, povezuje pozive s korisničkim terminalom, te sakuplja podatke o performansama. U praksi pokriva između 3 i 6 ćelija.



Slika 2. Mrežna arhitektura UMTS sustava, *release* 99, [8]

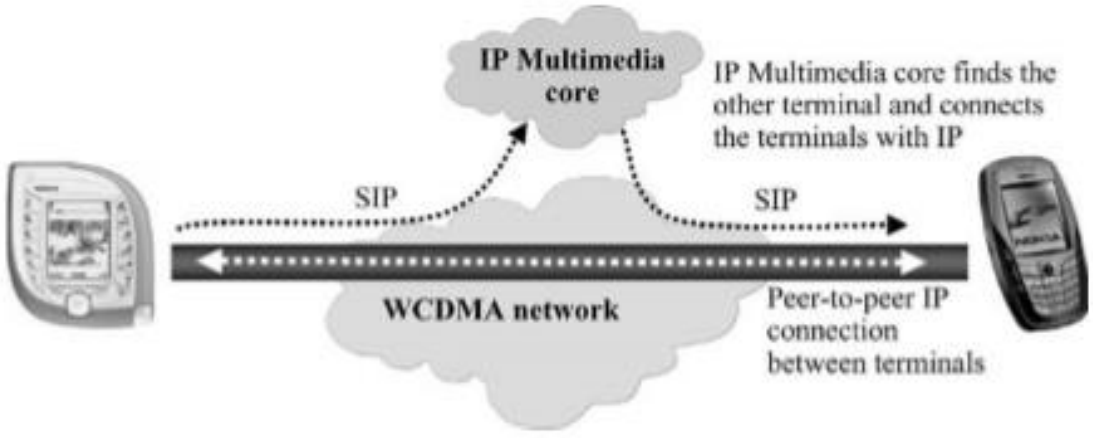
Prema izdanju R99 jezgrena mreža je zapravo nadograđena GSM/GPRS jezgrena mreža s kanalskim i paketskim dijelom. Podjela dolazi s zahtjevima kako bi zadovoljila potrebe za različitim prijenosima podataka, od *real time* komunikacije, *non-real time* komunikacije i prijenosa podataka komutacijom paketa. Mreža bi trebala biti horizontalno ustrojena, tj. dijeliti istu prijenosnu infrastrukturu, te pojedine usluge trebaju biti dostupne korisnicima bez obzira gdje se oni nalazili, pri čemu bi svaka mreže imala vlastitu upravljačku logiku, [1].

U izdanju *Release 4* objavljenog 2001. godine radijska pristupna mreža ostaje ista. Jezgrena mreža je u razvoju pri čemu se razdvajaju kanalne i paketske domene. Dolazi do podjele MSC funkcija (slika 3) na MSC poslužitelj (eng. *server*) i MGW (*Media GateWay*). MSC poslužitelj sadrži kontrolu poziva i zadužen je za kontrolnu signalizaciju. MSC poslužitelj sadrži i VLR za održavanje mobilnih podataka pretplatnika usluga. MGW sadrži prebacivanje funkcije i kontrolira MSC poslužitelj. Isto tako preko njega se uspostavlja veza među korisnicima. SGW (*Signalling GateWay*) je komponenta mreže odgovorna za prijenos signalizaciju poruke.



Slika 3. Mrežna arhitektura UMTS sustava, *release* 4, [8]

Godinu dana kasnije prema izdanju *Release* 5 definirana je komponenta IMS (eng. *Ip Multimedia Subsystem*). IMS predstavlja rješenje integracije pokretnih telekomunikacija s Internetom, te se može reći da ima najvažniju razvojnu ulogu u jezgrenoj mreži UMTS-a (slika 4). Cilj uvođenja IMS-a je stvaranje mreže koja bi čitava bila bazirana na IP protokolu (*ALL-IP*). IMS omogućuje operatorima pružanje multimedijskih usluga izgrađenih na Internet protokolu, pri čemu se koristi SIP protokol (eng. *Session Initiation Protocol*), koji upravlja višemedijskim pozivima. Definiran je od strane IETF organizacije (eng. *Internet Engineering Task Force*).

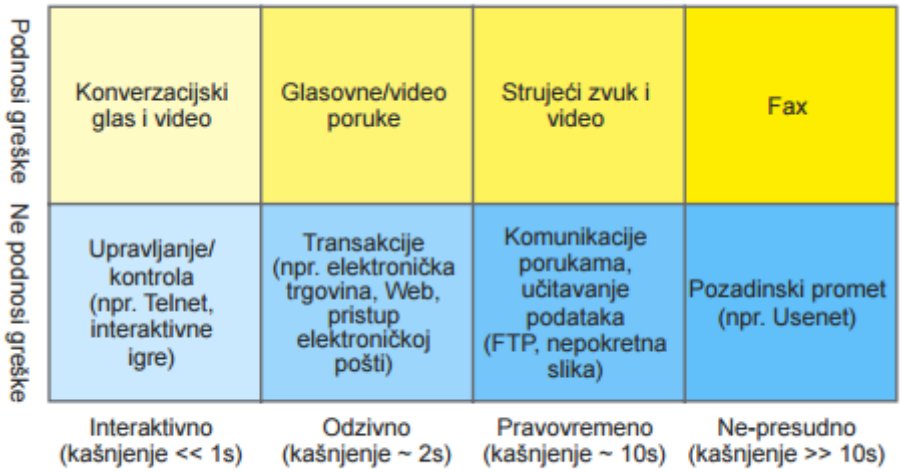


Slika 4. Osnovni princip IMS komponente, [1]

IMS omogućuje pružanje novih multimedijskih usluga, pružanje usluga u stvarnom vremenu, korištenje više usluga preko jednog prijenosnog kanala, te održavanje višemedijskih sjednica između više korisnika. Koristi od uvođenja IMS-a imaju dakle i operatori i davatelji usluga, a i krajnji korisnici, [1].

2.2.2. UMTS klase kvalitete usluga

Predloženi standardi 3GPP organizacije definiraju slojevitu arhitekturu kvalitete usluge za sustav UMTS. Specifikacije definiraju četiri klase kvalitete usluge, svaka od klasa kvalitete usluge definira koji tip usluge podržava. Ono što razlikuje svaku klasu prvenstveno je gornja granica vremena kašnjenja. Sve klase su definirane na aplikacijskom sloju, u smislu očekivanih performansi s kraja na kraj, a ostvarene su kroz interakcije prijenosnih usluga na nižim slojevima. Na slici 5 prikazane su korisnički usmjerene kategorije kvalitete usluge, gdje je prikazano dozvoljeno vrijeme kašnjenja, te koja usluga podnosi greške za vrijeme komunikacije.



Slika 5. Korisnički usmjerene kategorije kvalitete usluge, [9]

Prema očekivanim performansi na aplikacijskom sloju od strane 3GPP u [9] definirane su četiri klase UMTS usluga:

- Konverzacijska (eng. *conversational*) klasa – predstavlja konverzacijske aplikacije sa strujanjem podataka koje su iznimno osjetljive na kašnjenje. U tu skupinu spadaju telefonski razgovor, prijenos govora preko IP-a (eng. *Voice over IP*, VoIP), video telefonija i videokonferencija. Ovu klasu

karakterizira manje dozvoljeno kašnjenje od 400 ms, te male varijacije kašnjenja.

- Strujeća (eng. *streaming*) klasa – predstavlja stvarno-vremenske aplikacije koje sadrže jednosmjerno strujanje podataka, kao npr. video ili audio *streaming*. U ovoj klasi je prihvatljivo malo kašnjenje, uz manje varijacije kašnjenja.
- Interaktivna (eng. *interactive*) klasa – predstavlja klasične podatkovne aplikacije kojima krajnji korisnik pristupa određenom sadržaju na njegov upit. Time se misli na pregledavanje *Web*-a, upiti prema bazi podataka, te usluge temeljenje na lokaciji. Ovu klasu definira malo kružno kašnjenje, a varijacije kašnjenja nisu važne. Isto tako je važno da se učestalost pogrešaka pri prijenosu paketa svede na minimum.
- Pozadinska (eng. *background*) klasa – predstavlja aplikacije kojima je dozvoljeno veće kašnjenje od aplikacija prethodnih klasa, uz minimalnu učestalost pogreške. Osnovna značajka je da odredište ne očekuje podatke u nekom određenom vremenu. Usluge koje pripadaju ovoj klasi su: SMS, MMS, elektronička pošta (eng. *e-mail*) i slično.

2.2.3. Metode preuzimanja poziva

Preuzimanje poziva ili drugim nazivom prekapčanje (eng. *handover*) kod UMTS sustava važno je kao i kod svakog drugog staničnog telekomunikacijskog sustava. Vrlo je važno da se primopredaja obavi neprimjetno, kako korisnik nebi bio svjestan bilo kakve promjene. Ukoliko bi došlo do propusta tijekom procesa preuzimanja, poziv bi bio prekinut, narušava se kvaliteta usluge posluživanja (QoS) što doprinosi nezadovoljstvu korisnika, te je potrebno minimizirati neželjene propuste, odnosno pogreške, [13]. Unutar UMTS-a moguće je definirati više vrsta prekapčanja. Postoje četiri osnovne vrste UMTS prekapčanja:

- Tvrdo prekapčanje (eng. *Hard handover*),
- Meko prekapčanje (eng. *Soft handover*),
- Mekše prekapčanje (eng. *Softer handover*) i
- UMTS/GSM prekapčanje (eng. *Inter-system handover*).

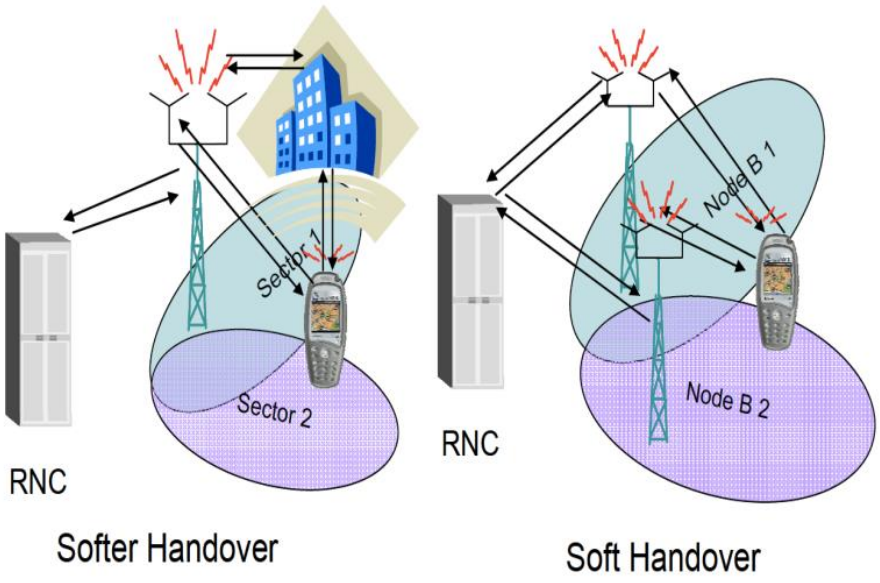
Metoda tvrdog prekapčanja počela se upotrebljavati u GSM sustavu, no pošto UMTS mreža koegzistira s GSM mrežom nužno je da se ova metoda i dalje koristi. Proces preuzimanja poziva može se obaviti s prekidom ili bez prekida usluge. Osnovna metodologija procesa je vrlo jednostavna, postoji nekoliko osnovnih faza kod preuzimanja. Kada mreža odluči da je primopredaja potrebna, ovisno o jakosti signala postojeće veze i kanala susjednih stanica, veza između bazne stanice i korisničke opreme se prekida, te se uspostavlja s baznom stanicom koja odašilje jači signal. Prije uspostave nove radio veze uklanjaju se stare radio veze u korisničkoj opremi, [13]. Potreba za procesom tvrdog prekapčanja može biti inicirana od strane korisničke opreme ili od strane mreže.

Prema [1] postoje dva tipa tvrdog prekapčanja:

- *Inter*- frekvencijsko prekapčanje (*UE* prelazi na ćeliju koja radi na drugom frekvencijskom području)
- *Intra*- frekvencijsko prekapčanje (koriste se iste frekvencije).

Glavni problem kod tvrdog prekapčanja je to što svaki neuspjeli pokušaj uspostavljanja veze kod prelaska na novu ćeliju može dovesti do neuspjelog prekapčanja, odnosno prekida radio veze.

Proces mekog preuzimanja poziva omogućilo je uvođenje CDMA tehnologija. Događa se kada je korisnička oprema spojena na više kanala u isto vrijeme. Korisnička oprema zadržava radio vezu na obje ćelije (slika 6), sve dok se ne dodjeli novi kanal u odredišnoj ćeliji. S obzirom na činjenicu da meko prekapčanje koristi nekoliko istovremenih veza, susjedne bazne stanice djeluju na istoj frekvenciji. Proces mekog prekapčanja koristi viši stupanj mrežnih resursa u odnosu na tvrdo prekapčanje, no to se kompenzira povećanom pouzdanosti i performansama primopredaje, [13].



Slika 6. Usporedba mekog i mekšeg preuzimanja poziva, [16]

Kod mekšeg prekapčanja mobilna stanica se nalazi na prostoru pokrivenom od strane više sektora iste bazne stanice. Korisnička oprema i bazna stanica istovremeno komuniciraju putem dva odvojena kanala (kao i kod mekog prekapčanja), no ovdje svaki kanal pripada drugom sektoru. Do ove vrste preuzimanja poziva dolazi kada UE prima signale različitih sektora od iste bazne stanice (npr. izravan signal bez prepreka na putu i signal koji nastaje refleksijom od određenog objekta, slika 6).

UMTS/GSM prekapčanje ili drugim nazivom *Inter-system* prekapčanje je potrebno kako bi se omogućila kompatibilnost između različitih tehnologija, prvenstveno između UMTS i GSM sustava. Do ovoga prekapčanja dolazi kada korisnička oprema dolazi na područje ćelije koje nije u potpunosti prekriveno UMTS mrežom, te kapaciteti sustava su ograničeni. Ukoliko ne postoji drugo rješenje, tada će se poziv preusmjeriti na GSM mrežu, [13].

Postoje dvije podjele ove vrste prekapčanja:

- Kompresijski mod (eng. *compressed mode handover*) – korisnička oprema koristi vremenske praznine nastale tijekom analize prijema GSM baznih stanica. UE koristi popis stanja susjednih baznih postaja dobivenih od strane UMTS mreže, te odabire odgovarajuću baznu stanicu. Nakon toga odvija se primopredaja poziva, korisnička informacija se pritom kompresira u vremenskoj domeni kako ne bi došlo do gubitka podataka.

- Slijepi mod (eng. *blind handover*) – UMTS mreža odabire optimalnu baznu stanicu. Bazna stanica predaje korisničkoj opremi potrebne podatke o novoj ćeliji u koju prelazi, bez da oprema prethodno uspostavi vezu s GSM baznom stanicom. Nakon toga korisnička oprema locira kanal nove ćelije, te dobiva podatke o vremenskom usklađivanju, te se obavlja prekapčanje, [13].

2.2.4. WCDMA tehnologija

Zbog većih brzina prijenosa podataka širokopojasnom mrežom, koja omogućuje značajan broj podatkovnih i glasovnih usluga krajnjim korisnicima, u arhitekturi UMTS-a uvodi se novi radijski pristup koji se zasniva na višestrukom pristupu u kodnoj raspodjeli (WCDMA). Prema [3] ključne funkcionalnosti koje mora osigurati WCDMA tehnologija kako bi zadovoljila zahtjeve za UMTS uslugama su:

- podrška velikih brzina prijenosa (do 384 kbit/s);
- podrška za više simultanih nosilaca i varijabilne brzine prijenosa u svakoj vezi;
- efikasna kontrola snage koja je u WCDMA sustavima važna radi smanjenja interferencije u cijeloj mreži (time i povećanja kapaciteta) i istovremeno smanjenja snage potrebne za prijenos signala (čime se produljuje trajanje baterije mobilnog uređaja);
- podrška za paketni prijenos.

Prema [4], razlozi za uvođenje WCDMA tehnologije su bolje iskorištenje kapaciteta, bolja pokrivenost, veće brzine prijenosa podataka od prijašnjih tehnologija (TDMA i CDMA). Tehnologija je prikladna za paketski i kanalski prijenos, mogućnost višestrukih usluga korištenih istovremeno u jednom terminalu, te hijerarhijsko strukturiranje ćelija. Tehnologija širokopojasnih digitalnih radio komunikacija namijenjenih Internetu, multimediji, videu i drugim zahtjevnim aplikacijama koristi FDD, pri čemu *uplink* i *downlink* koriste različite frekvencijske pojaseve za prijenos podataka. Kod WCDMA sustava koriste se pojasevi u *uplinku* od 1920 – 1980 MHz, a u *downlinku* od 2110 – 2170 MHz. Prema [3] koriste se različiti tipovi kodova, podijeljeni u dvije osnovne grupe:

- kanalizacijski (eng. *Orthogonal Variable Spreading Factor*, OVSF) kodovi koji se koriste za odvajanje transmisija s jednoga predajnika;
- *"scrambling"* kodovi koji se koriste kako bi se razlikovali različiti predajnici.

Modulacijska tehnika koju koristi WCDMA je QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) i razlikuje se od modulacijske tehnike koju koristi GSM. Širina frekvencijskoga pojasa u WCDMA sustavima je 5 MHz. U proširenom spektru je informacija manje osjetljiva na uskopojasne interferencije i prigušenje, gustoća snage spektra je smanjena nekoliko puta čime se postiže da se informacija može prenijeti, čak i ako je pozadinski šum snažniji, nema fiksnog ograničenja kapaciteta (broja istovremenih korisnika) nego je glavno ograničenje povećanje razine interferencije od drugih pretplatnika, itd. [3].

2.3. Evolucija WCDMA sustava

Prve korake u razvoju WCDMA tehnologije predstavljaju uvođenje brzog paketnog pristupa silaznom vezom (eng. *High Speed Downlink Packet Access*, HSDPA) u izdanju R5 te unaprijeđene uzlazne veze (eng. *Enhanced Uplink*, E-UL) u izdanju R6. Nešto kasnije u R7 nastala je tehnologija za uzlaznu vezu pod nazivom HSUPA (eng. *High Speed Uplink Packet Access*). Cilj je evoluirati uzlaznu vezu korištenjem istih tehnika kao kod HSDPA. U ovom poglavlju opisane su navedene tehnologije s temeljnim karakteristikama, te unaprijeđenjima koje donose.

2.3.1. Tehnologija brzog paketskog pristupa u silaznoj vezi (HSDPA)

Tehnologija brzog paketskog pristupa (eng. *High Speed Packet Access*, HSPA) je uvedena prvo za silaznu vezu pod nazivom HSDPA u izdanju *Release* 5, te je unaprjeđivana u daljnjim izdanjima. Ova tehnologija je nadogradnja rješenja višekodnog pristupa u kodnoj raspodjeli WCDMA. Na početku je ostvarena brzina iznosila 1,8 Mb/s, dok je kasnije porasla na 14,4 Mb/s. HSDPA je osmišljen kako bi se povećala brzina prijenosa podataka u silaznom smjeru, pri čemu se koriste tehnike brzog ponovnog slanja na fizičkom sloju, te brze prilagodbe veze u baznoj stanici. U ovom poglavlju će biti opisane glavne tehničke karakteristike u HSDPA, a to su:

- HSDPA kanali,
- algoritmi koji dodjeljuju kanale,
- prilagodba veze ili adaptacija linka,
- modulacijske tehnike i
- brza retransmisija.

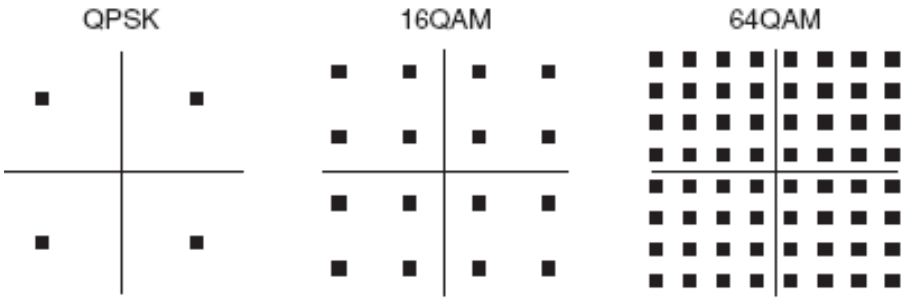
Jedna od najvažnijih karakteristika HSDPA je nova struktura kanala. Prema izdanju R99 postoje tri kanala za rad u silaznoj vezi, DCH (*Dedicated Channel*), FACH (*Forward Access Channel*) i DSCH (*Downlink Shared Channel*). U dokumentu *Release* 5 dolazi do izmjene u silaznoj vezi, odnosno uvedeni su neki novi kanali, međutim, treba napomenuti da je DCH kanal i dalje ključan. Za korisničke podatke uvodi se dijeljeni kanal *High Speed DSCH*. To je kanal velike brzine, koji omogućava podršku za podatkovne aplikacije zahtjevnijih performansi. *High-Speed Dedicated Physical Control Channel* (HS-DPCCH) je kanal u uzlaznoj vezi, dodjeljen korisniku za prijenos signalizacijskih poruka o uspješnosti dekodiranja pripadajućeg *downlink* prometa, te za prijenos informacija o izmjerenoj kvaliteti kanala u silaznoj vezi, dok se *High-Speed Shared Control Channel* (HS-SCCH) se koristi za prijenos signalizacijskih informacija. U *Release* 6, signalizacija se može slati i bez DCH kanala, Korisnički podaci šalju se HS-DSCH kanalom, a kontrolne informacije HS-SCCH kanalom, [1].

Budući da više korisnika dijeli HS-DSCH kanal, potrebno je imati metodu raspoređivanja kako bi bio osiguran pristup za sve korisnike. Bazna stanica poslužuje određen broj korisnika, te upravlja rasporedom slanja podataka u različitim vremenskim intervalima (*Transmission Time Intervals*, TTI). Raspored se provodi u MAC (eng. *Medium Access Control*) protokolu na BTS-u. Treba voditi računa o optimalnom iskorištenju resursa, te da svi korisnici mogu doći na „red“. Algoritmi za raspoređivanje kanala su: *Proportional Fair*, *Round Robin* i *Max C/I* algoritam. *Proportional Fair* algoritam favorizira korisnike s dobrim radio uvjetima, no osigurava svima minimalnu razinu usluge. *Round Robin* poslužuje korisnike ciklički, odnosno bez prioriteta. Algoritam je jednostavniji, no ima lošiju izvedbu od prethodnog. *Max C/I* algoritam dodjeljuje kanale korisnicima s najboljim radio uvjetima, [5].

Brza adaptacija linka omogućava korištenje učinkovitije modulacije i kodiranja kanala čime se osigurava veća brzina prijenosa. Prilagodba veze je vrlo dinamična, svake dvije sekunde se provjerava veza putem HS-DSCH kanala. Osim odluke raspoređivanja, MAC protokol odlučuje svake dvije sekunde koje kodiranje i modulacijska tehnika će se koristiti. Korisnička oprema izvještava baznu stanicu o kvaliteti radio signala šaljući *CQI* (*Channel Quality Indicator*) poruke, [5].

Dvije glavne WCDMA značajke, varijabilni čimbenik raspršenja i brza kontrola snage se kod HSDPA zamjenjuju prilagodljivom modulacijom i kodiranjem (eng. *Adaptive Modulation and Coding*, AMC). Koristi se povratna informacija korisničkog

terminala kako bi se odredila najbolja modulacijska tehnika i kodirajuća shema za zadane uvjete u kanalu, te kako bi se maksimizirao tok podataka prema korisničkoj opremi. Osim QPRSK koriste se 16QAM i 64QAM modulacijske tehnike, koje se najčešće koriste kod prijenosa digitalnih signala. Na slici 7 prikazani su QPSK, 16QAM i 64QAM dijagrami stanja, dakle što je više točaka na dijagramu, to se više bitova može prenijeti po simbolu, [5].



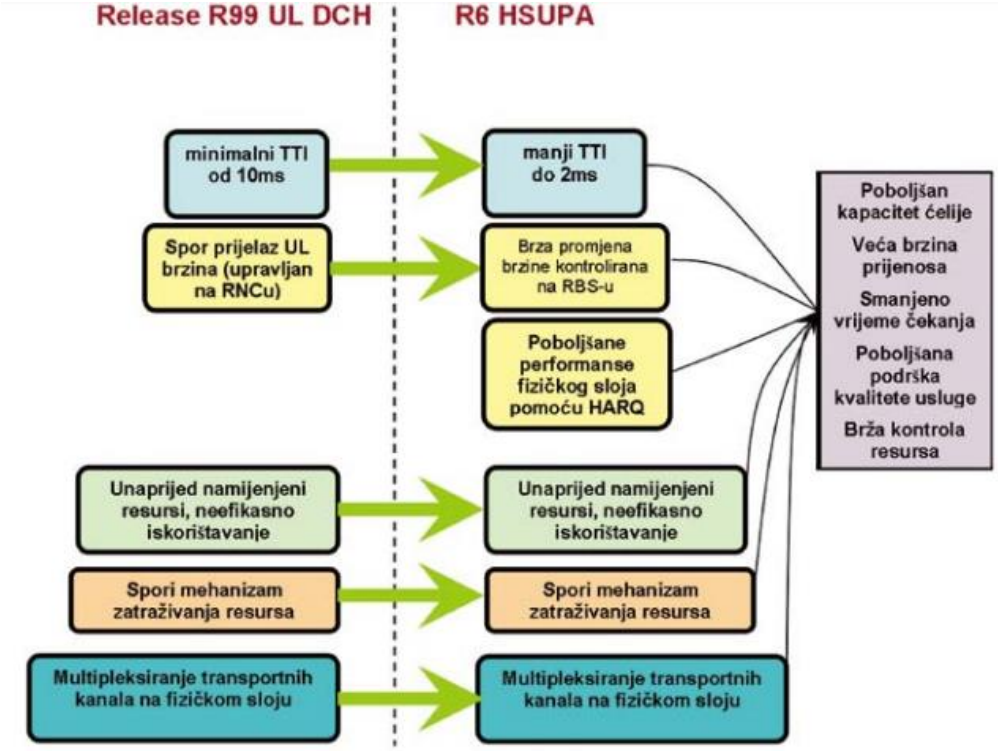
Slika 7. QPSK, 16 QAM i 64 QAM dijagrami stanja, [5]

Signalizacija na prvom sloju ukazuje na potrebu za retransmisijom, što rezultira dosta kraćim kružnim kašnjenjem (eng. *round trip time*) u odnosu na prvo izdanje 3GPP organizacije. HARQ (eng. *Hybrid Automatic Repeat Request*) je kombinacija kodiranja u svrhu ispravljanja pogreške (eng. *Forward Error Correction*, FEC) i ARQ kontrole pogreške. Može raditi na dva načina, s identičnim retransmisijama (*soft/chase combinating*) i neidentičnim retransmisijama (*incremental recundancy*). Korištenje identičnih retransmisija zove se meko kombiniranje. Bez obzira na broj retransmisija, stopa podudaranja operacije je uvijek nepromijenjena za svaki prijenos istog paketa. FEC kodovi detektiraju i ispravljaju određeni broj grešaka bez toga da se ponovno šalju krivo preneseni podaci, [5].

2.3.2. Tehnologija brzog paketskog pristupa u uzlaznoj vezi (*HSUPA*)

U izdanju R7 nastala je HSUPA tehnologija za uzlaznu vezu. Cilj je bio evoluirati uzlaznu vezu korištenjem istih tehnika kao kod HSDPA. Poboljšana uzlazna veza temelji se na smanjenju latencije (kašnjenja), povećanju brzine prijenosa podataka, te povećanje kapaciteta, što je prirodna dopuna HSDPA tehnologiji. Kao i kod HSDPA, HSUPA ne zahtjeva znatnije infrastrukturne promjene što se tiče arhitekture mreže. U protokolnoj infrastrukturi nema izričitih izmjena, osim što se uvode novi MAC protokoli u korisničke terminale, bazne stanice i RNC-ove. Vrlo je važno da su relativno visoke

brzine prijenosa podataka podržane gdje god se korisnik nalazio, [15]. Na slici 8 može se iščitati razvoj tehnologije u manje od jednog desetljeća, odnosno funkcionalnosti tehnologija.



Slika 8. Usporedba funkcionalnosti sustava prema R99 i HSUPA tehnologije prema R6, [15]

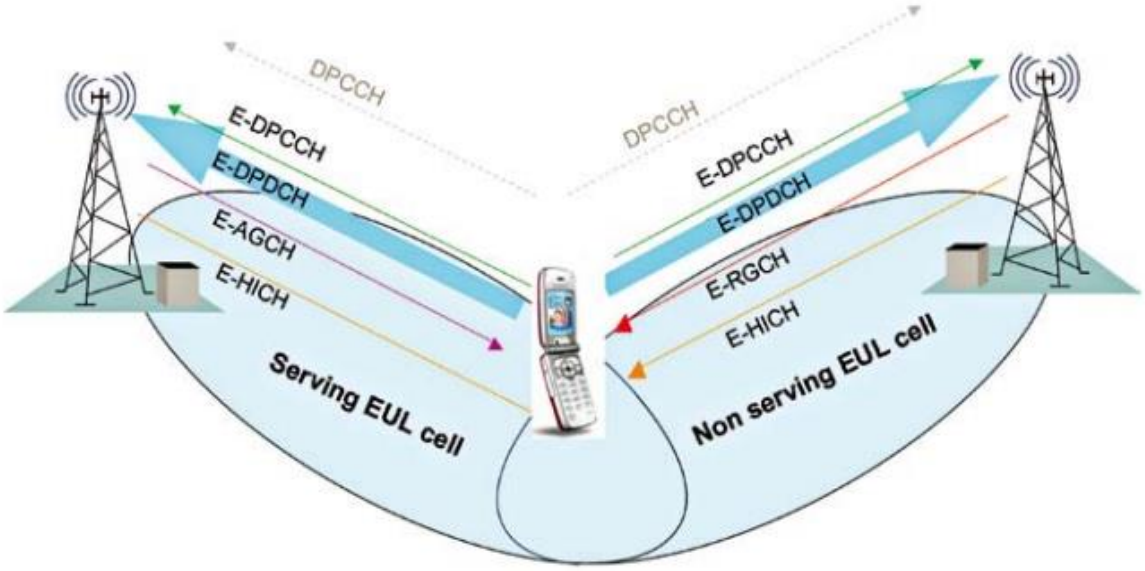
Kako bi tehnologija ispunila sve ciljeve, uvedene su nove značajke:

- Više kodna transmisija (eng. *Multi code transmission*),
- Kratko vrijeme odašiljanja (eng. *Short Transmission Time Interval*, TTI),
- Brzi hibridni zahtjev za ponovnim slanjem podataka (eng. *Fast hybrid Automatic Repeat request*) i
- Brzo raspoređivanje (eng. *Fast scheduling*).

Prema izdanju R99 veza je implementirana na fizičkom sloju s kanalima DCH i RACH (*Random Access Channel*). U cilju pružanja potrebne brzine prijenosa podataka i sposobnosti unutar HSUPA dolazi do stvaranja novih kanala koji pružaju dodatne signalizacijske i podatkovne mogućnosti. U izdanju R6, predstavljen je novi *uplink* transportni kanal nazvan E-DCH, (*Enhanced Dedicated Channel*). Kanal podržava značajke poput HARQ i brzog raspoređivanja paketa. Svaki korisnik ima svoj E- DCH prema NodeB-u. DPCCH (*Dedicated Physical Control Chanel*) ostaje iz R99, no njegova potreba ovisi o uslugama koje su mapirane u DCH-u, [15].

Kako je navedeno u [15] uvode se i novi kanali na fizičkom sloju (slika 9):

- E-AGCH (*Enhanced Absolute Grant Channel*) - služi za prenošenje informacija o apsolutnoj snazi poslužujuće ćelije po kojoj se terminal prilagođava za prijenos podataka. Također prenosi identifikacijske informacije o korisniku (ID- ERNTI).
- E- RGCH (*Enhanced Relative Grant Channel*) - koristi SF 128 i QPSK modulaciju, a prenosi informacije o relativnoj snazi neposlužujeće ćelije.
- E- HICH – HARQ (*Indicator Channel*) - koristi SF 128 i QPSK modulaciju, prenosi korisničkoj opremi informacije o uspješnosti dekodiranja pripadajućeg prometa s Node B u vidu ACK/NACK poruka.
- E-DPDCH (*Enhanced Dedicated Physical Channel*) - služi E-DCH kanalu za prijenos korisničkih podataka brzinama do 5,76 Mbps.
- E-DPCCH (*Enhanced Dedicated Physical Control Channel*) - kontrolni kanal pridružen E-DCH kanalu, služi za prenošenje kontrolnih informacija potrebnih E-DPDCH kanalu.



Slika 9. Konfiguracija HSUPA kanala, [15]

Brzi hibridni ARQ protokol je sličan protokolu korištenom u HSDPA. Bazna stanica može brzo zahtijevati ponovno slanje pogrešno primljenih podataka, što rezultira manjim retransmisijskim kašnjenjima. HSUPA podržava meko prekapčanje poziva, gdje sve aktivne bazne stanice i sektori pokušavaju dekodirati podatke. Ukoliko

jedna od njih pošalje ACK poruku, tada se šalje informacija na MAC sloj da je ACK primljen, te se na tom sloju smatra da je transmisija uspješna.

Brzo raspoređivanje (*Fast scheduling*) omogućuje bržu preraspodjelu resursa između terminalnih uređaja iskorištavajući koncept *burstiness*, što znači da kod određenih aplikacija pri prijenosu podataka komutacijom paketa dolazi do generiranja velikog toka paketa u kratkom vremenu, nakon čega se tok smanji. Isto tako omogućuje da sustav identificira korisnike s visokom stopom prijenosa podataka, te se brzo prilagođava razinama interferencije. Sve navedeno utječe na povećanje brzine prijenosa podataka. Dijeljeni resursi na *uplinku* mogu biti ukupna primljena snaga bazne stanice koju je vidio prijamnik ili omjer ukupne snage koja je primila bazna stanica od svih uređaja i terminalnog šuma. Količina zajedničkih resursa koje terminal koristi ovisi o stopi podataka koji se šalju. Općenito što je veća brzina prijenosa podataka, veća je potreba prijenosne snage, te potrošnja resursa. Algoritam za dodjelu pristupa nije standardiziran i postoje razne strategije raspoređivanja, među kojima su definirana dva osnovna mehanizma:

- Planirane transmisije - kontrolirane su od bazne stanice, te ne mogu zadovoljiti potrebu svih korisnika za minimalnom brzinom prijenosa.
- Neplanirane transmisije - kontrolirane su od strane RNC-a, te definiraju minimalne brzine prijenosa za svakog korisnika.

Uz brzi hibridni zahtjev za ponovnim slanjem podataka i metodu brzog raspoređivanja važno je spomenuti i lakšu višekodnu transmisiju, te kraće vrijeme odašiljanja vremenskih intervala koje sada iznosi od 2 do 10 ms. Prema R99 TTI je u uplinku iznosio 10 ms, 20 ms ili 40 ms, [5].

U izdanju R7 definirana je komponenta *Continous Packet Connectivity – CPC.* Dizajniran je u cilju unaprjeđenja performansi za usluge malih brzina osjetljivih na kašnjenje. Poboljšava signalizaciju na fizičkom sloju, što rezultira manjom latencijom, većim kapacitetom i duljim trajanjem baterije, [2].

2.3.3. Daljnji razvoj

WCDMA/UMTS i HSPA tehnologije bilježe veliki globalni uspjeh. Prema [17] 2009. godine UMTS mrežu koristilo je preko 300 milijuna pretplatnika, dok preko 60 milijuna imaju pristup HSPA sustavu i taj broj eksponencijalno je u porastu budući da

je HSPA dobro marketinški potkovan. Putem HSPA sada se obavlja 70 % sveukupnog prometa u 3G mrežama. Ključni pokretač ovog trenda je povećana uporaba širokopojasnog pristupa Internetu. Stoga osim uvođenja HSUPA u izdanju R6, dolazi do unaprjeđenja uzlazne veze E-UL čime se ostvaruje vrlo kompetitivan radijski pristup. Tadašnja implementacija HSPA mreže se temelji na R7 izdanju, koji zahvaljujući višem redu modulacije i uvođenju više-antenskih rješenja (eng. *Multiple Input, Multiple Output,* MIMO) podržava *download* brzine prijenosa podataka od 28 Mb/s i *uplink* brzine od 11,5 Mb/s. MIMO tehnologija omogućuje znatna poboljšanja u propusnosti i dometu bez potrebe za povećanjem frekvencijskog opsega ili snage. Izdanje R7 donijelo je i uvođenje komponente CPC, koja poboljšava kapacitet, te vijek trajanja baterije u korisničkim terminalima, [17].

U svibnju 2009. godine dolazi do izdanja R8. U silaznoj vezi koristi se kombinacija MIMO i 64QAM tehnologija, u dvojnoj ćeliji brzina podataka putem dvije frekvencije od 5MHz može doseći do 42 Mb/s. Novo izdanje uključuje integrirani Mobilni širokopojasni pristup (*Integrated Mobile Broadcast*, IMB), što omogućava postojećim WCDMA operatorima isplativiji način emitiranja putem frekvencije 5MHz od pojedinačnog spektra. Rad na izdanju R9 fokusira se na podršku prema značajkama koje bi dodatno povećale brzine prijenosa. U silaznoj vezi bi te brzine prešle i granicu od 100 Mb/s korištenjem tri do četiri frekvencije od 5MHz, dok u uzlaznoj vezi dolazi do četiri puta manje brzine korištenjem dva frekvencijska spektra od 5MHz. Daljnji razvoj tehnologije vodi prema uvođenju LTE sustava, koji se temelji na *single-carrier* višestrukom pristupu (SC-FDMA) u uzlaznoj vezi i OFDM (eng. *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) tehnologije u silaznoj vezi, [17].

2.4. Dugoročna evolucija 3G sustava - LTE

Upotreba usluge mobilnog Internata i količina prenesenih podataka mobilnim uređajima je u stalnom porastu zahvaljujući sve rasprostranjenijoj 3G tehnologiji brzog paketskog pristupa (HSPA). Vrlo važno je spomenuti i pojavu prvog *Apple iPhone* uređaja 2007. godine, nakon kojega su se pojavili uređaji bazirani na *Google Android* operativnom sustavu. Zahtjevi i očekivanja korisnika su u porastu, najviše zbog aplikacija i usluga, koji isti ti pametni telefoni (eng. *smartphones*) omogućuju. Operatorima je u cilju učinkovitije pružati usluge, uz zadržavanje prihoda, te smanjenje troškova izgradnje i održavanja infrastrukture, [2]. Povećanje kapaciteta postojećeg

mobilnog komunikacijskog sustava se može postići na dva načina: Korištenjem manjih ćelija i povećanjem širine prijenosnog pojasa. Problem se javlja zbog toga što je dostupni spektar frekvencija konačan, pa se postojeći sustav ne može unaprijediti u onoj mjeri koja je potrebna. Sve to djeluje kao pokretač dugoročne evolucije 3G sustava kroz uvođenje nove, fleksibilnije tehnologije LTE. Ponekad se poistovjećuju pojmovi LTE i 4G, no nisu u potpunosti jednaki. LTE je jedan od standarda 4G sustava, koji je prvotno smatran dio 3G sustava, pošto se temelji na napretku 3G tehnologije. S razvojem tehnologije i standarda 4G i LTE su postali sinonimi.

U [19] se navodi da su ključni ciljevi s aspekta performansi i mogućnosti koje 3GPP stavlja pred LTE:

- visoke brzine prijenosa – cilja se na vršne brzine prijenosa podataka veće od 100 Mbps u silaznoj vezi, odnosno 50 Mbps u uzlaznoj vezi, te ostvarivost 2-3 puta većih brzina na rubu ćelije u odnosu na HSPA *Release* 6,
- smanjenje vremena čekanja – niska latencija (ispod 10 ms) u korisničkoj ravnini zbog poboljšanja performansi protokola u višim slojevima (npr. TCP) kao i smanjenje kašnjenja povezanog s procedurama u kontrolnoj ravnini (npr. uspostava sjednice/sesije, ispod 100 ms),
- visoka spektralna efikasnost (bps/Hz/site) – 2-3 puta veća u odnosu na HSPA *Release* 6,
- umjerena potrošnja snage u terminalima,
- fleksibilnost upotrebe različitih frekvencijskih opsega – mogućnost upotrebe raznih frekvencijskih područja (bilo već postojećih ili novih), uz široku mogućnost izbora širine pojasa (1,4; 3; 5; 10; 15 ili 20 MHz), te izbor između FDD ili TDD moda rada,
- pojednostavljena arhitektura – manje čvorova, a time i manje signalizacije, korištenje samo paketske domene (all-IP rješenje),
- pojednostavljeno održavanje – podrška za samo-organizirajuće mreže (SON – eng. *Self Organizing Networks*), npr. mogućnost automatske konfiguracije,
- isplativa migracija s trenutačnih mreža - mogućnost ponovnog korištenja dosadašnjih investicija.

Jedan od najbitnijih elemenata u implementaciji LTE mreža je dostupnost i cijena frekvencijskog spektra - radi ostvarivanja što veće podatkovne propusnosti i

kapaciteta najvećih dobitaka, potreban je i što širi spektar, a samim time se javlja i potreba za nabavkom dodatnih frekvencijskih područja.

E-UTRAN (eng. *Evolved Universal Terrestrial Access Network*) je prvi put uveden u 3GPP izdanju R8 kao pristupni dio Evoluiranog paketnog sustava (eng. *Evolved Packet System, EPS*). Glavni zahtjevi za novu pristupnu mrežu su visoka iskoristivost spektra, visoke brzine prijenosa, kratko vrijeme obilaska, kao i fleksibilnost frekvencija, te bolja propusnost, [10].

3. LTE korištene tehnologije

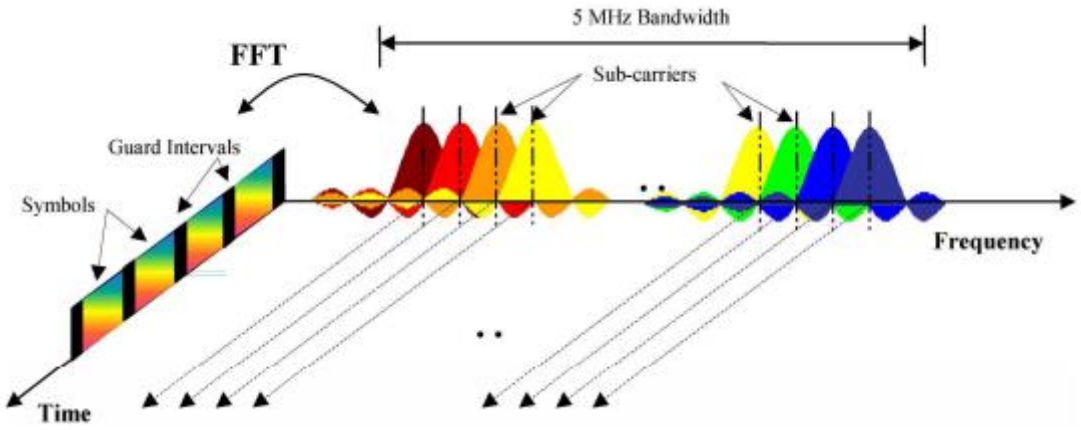
Na svakom aspektu LTE sustava vidi se određeno unaprjeđenje korištenih tehnologija u odnosu na prijašnje sustave. U ovom poglavlju definirano je radijsko sučelje, gdje se podaci u silaznoj vezu multipleksiraju ortogonalnim multipleksiranjem frekvencijskim odvajanjem, dok se u uzlaznoj koristi višestruki pristup s frekvencijskom raspodjelom na jednom nositelju. Antenski sustavi se sastoje od više ulaza i više izlaza, što doprinosi većem kapacitetu sustava, većim brzinama prijenosa podataka, te znatno poboljšanje iskoristivosti spektra. Definirana je prostorna raznolikost koja utječe na robusnost radio veze, te prostorno multipleksiranje usmjereno ka povećanju količine prenesenih podataka.

3.1. LTE radijsko sučelje

LTE radijsko sučelje se na silaznoj vezi zasniva na upotrebi ortogonalnog multipleksiranja frekvencijskim odvajanjem (OFDM) s OFDMA (eng. *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) višestrukim pristupom. Kod uzlazne veze koristi se višestruki pristup s frekvencijskom raspodjelom na jednom nositelju (eng. *Single Carrier Frequency Division Multiple Access,* SC-FDMA). Za ostvarivanje visokih brzina prijenosa bitna je i podrška više-antenskih rješenja kako na baznoj stanici, tako i u terminalima. To uključuje metode višeslojnih prijenosa, tj. višestruki ulaz – višestruki izlaz (*Multiple Input Multiple Output,* MIMO), kao i tehnike odašiljačke i prijemne raznolikosti (eng*. TX/RX diversity*) te upravljanja dijagramom zračenja antene (eng. *beamforming*).

3.1.1. Ortogonalno multipleksiranje frekvencijskim odvajanjem (OFDM)

Za moduliranje podataka, LTE u silaznoj vezi koristi OFDM tehnologiju. OFDM je danas široko rasprostranjena višenosilačka (eng. *multicarrier*) modulacijska tehnika u brojnim, pogotovo radijskim, tehnologijama. Umjesto moduliranja jednog nosioca signalom velike simbolske brzine, kao što je slučaj s klasičnim *single-carrier* modulacijama, OFDM koristi veliki broj međusobno ortogonalnih podnosilaca (eng. *subcarriers*) i obavlja moduliranje istih simbolima znatno duljeg trajanja. Na slici 10 prikazan je raspored OFDM podnosioca.



Slika 10. Prikaz OFDM modulacijske tehnike, [12]

Serijski slijed podataka velike brzine razdijeli se na više paralelnih sljedova. Svaki od paralelnih sljedova manje je brzine i on zasebno modulira jedan od više nosilaca. Nastali modulirani signali zauzimaju manje širine pojasa. Svaki od nastalih moduliranih signala smješta se u zasebni pojas. Podaci se prenose paralelno uz pomoć više nosilaca (slika 10). Zbog relativno male širine pojasa svakog od više moduliranih signala male su promjene frekvencijske prijenosne karakteristike komunikacijskog kanala unutar pojasa svakoga moduliranog signala. Zbog ortogonalnosti nosilaca nema interferencije među njima, pa nema potrebe za zaštitnim frekvencijskim opsezima. Tako se spektri susjednih nosilaca mogu i preklopiti, te se ukupan spektar koristi vrlo efikasno. Dugo trajanje simbola na podnosiocima čini ih otpornim na frekvencijski selektivan *fedding* u kanalu. Korištenjem cikličkog prefiksa (eng. *cyclic prefix*) i relativno jednostavne ekvalizacije u frekvencijskoj domeni OFDM minimizira efekte frekvencijski selektivnih kanala, [20].

Osnova OFDM modulacije je kvadraturno amplitudna modulacija (eng. *Quadrature Amplitude Modulation,* QAM) koja se koristi za moduliranje podnosilaca. LTE definira QPSK, 16-QAM i 64-QAM modulacije, opisane u poglavlju 2.3.1. Na taj način se od ulaznih bita kreiraju simboli za moduliranje podnosilaca. Korištenjem 64-QAM moguće je ostvariti brzinu prijenosa preko 300 Mb/s. Međutim, upotreba ove modulacijske tehnike predstavlja problem za pojačala snage u baznim stanicama, s obzirom na veliki odnos vršne i srednje vrijednosti snage signala. Rješenje ovog problema su bazne stanice male snage s malom zonom pokrivanja (*hotspot)* ali s ostvarenim velikim protokom podataka. OFDM tehnologija uz velike brzine prijenosa, što je jedan od ključnih LTE zahtjeva pogodna je i zbog toga što je vrlo otporna na

smetnje. OFDM se može koristiti u FDD i TDD modu. Jedan od ključnih parametara koji su povezani s upotrebom OFDM-a u okviru LTE je izbor propusnosti. Raspoloživa širina pojasa utječe na niz odluka, uključujući broj nosioca koji mogu biti smješteni u OFDM signal, što pak utječe na duljinu simbola. Broj OFDM podnosilaca prema [2] može biti u rasponu između manje od sto, pa sve do nekoliko tisuća, a veličina kanala u rasponu od nekoliko stotina Hz do nekoliko kHz, npr. kod kanala veličine 1.25 MHz korišteno je 128 podnosioca, dok kod kanala veličine 20 MHz, broj podnosioca iznosi čak 2048.

3.1.2. Višestruki pristup s frekvencijskom raspodjelom na jednom nositelju (SC-FDMA)

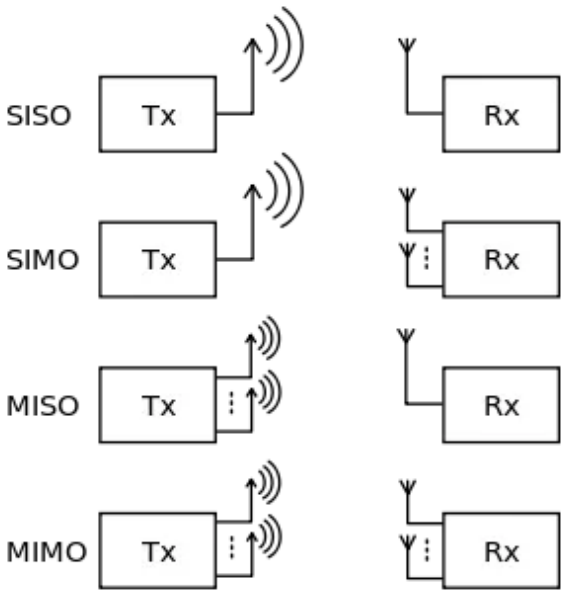
U pronalaženju najboljeg rješenja za prijenos podataka u uzlaznoj vezi, 3GPP organizacija je usvojila obećavajuću tehniku visokih brzina prijenosa SC-FDMA. Kao i kod FDMA, SC-FDMA se koristi u FDD i TDD modu. OFDMA optimalno ispunjava zahtjeve za silaznu vezu, međutim njegova svojstva nisu idealna za drugi smjer. Razlog za to su loša svojstva PAPR indeksa (eng. *Peak to average Power*) OFDMA signala, koji se ogleda u lošem pokrivanju signalom od strane korisnika. SC-FDMA signali imaju bolja PARP svojstva u odnosu na OFDM signal. Ipak, obrada istog signala ima određene sličnosti s obradom OFDM signala, pa se njihovi parametri u *uplinku* i *downliku* mogu uskladiti.

Postoji nekoliko mogućih načina generiranja signala SC-OFDMA. Za LTE je izabran DFT-sOFDM (eng. DFT-*spread*-OFDM). Na taj način, modulacijski simboli pomoću DFT iste dužine prevodi se u frekvencijsko područje. Rezultat slobodnih kanala se šalje prema baznoj stanici. Za QPSK modulaciju koristi se, 16QAM i 64QAM, gdje je potonji podržan na opciji mobilnog uređaja. Kao i kod OFDMA signala, također se ovdje dodaje ciklički prefiks. Klasifikacija sredstava u komunikaciji korisnika provodi se na baznu stanicu. Bazna stanica uz korisničku opremu određuje format prijenosa. U klasifikaciji bazne stanice uzima se u obzir nekoliko čimbenika kao što su: QoS parametri, kvaliteta veze, mogućnosti mobilnih uređaja itd. Slično, kao pri komunikaciji silaznom vezom, korisničkoj opremi se dodjeljuje određeni broj blokova. Veličina bloka za oba smjera komunikacije u frekvencijskom području uključuje 12 kanala. Zbog upotrebe DFT-a upotrebljava se 2, 3 ili čak 5 blokova. Podaci se prenose u tzv. kanalu *Pusch* (eng. *Physical Uplink Shared Channel*). Glavna razlika između SC-FDMA i

OFDMA signala je da se svaki korišteni SC-FDMA kanal za prijenos signala sadrži podatke o svim modulacijskim simbolima. SC-OFDMA, svaki kanal emitira samo podatke koji se odnose na specifične modulirane simbole.

3.2. MIMO tehnologija

Jedan od glavnih LTE ciljeva je povećanje kapaciteta mobilne mreže. Važnu ulogu u postizanju tog cilja ima više-antenska tehnika MIMO, koja omogućava LTE mreži dodatno poboljšavanje protoka podataka, te učinkovitije korištenje spektra dobivenog korištenjem OFDM-a. Iako MIMO dodaje kompleksnost sustava u smislu obrade i broja potrebnih antena, omogućuje daleko veće brzine prijenosa podataka, te znatno poboljšanje iskoristivosti spektra. Kao rezultat toga, MIMO je uključen kao sastavni dio LTE.



Slika 11. Moguće kombinacije antenskih sustava s više ulaza i izlaza, [25]

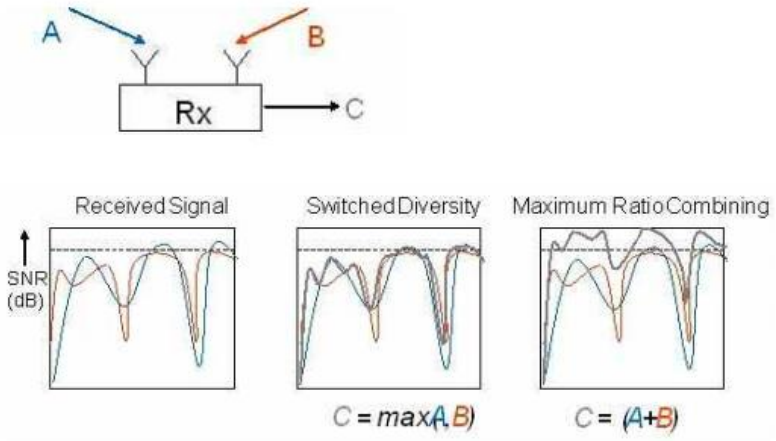
Slika 11 prikazuje sve moguće kombinacije antenskih sustava prema njihovom broju ulaza i izlaza. Ulazi i izlazi u ovom slučaju odnose se na radio stanice koje prenose signal, a ne na uređaje s antenama. Glavni razlozi korištenja ovog sustava su povećanje kapaciteta, što omogućuje bolje performanse, bez povećanja propusnosti i korištene snage. Postiže se raspodjela ukupne snage slanja od svih dostupnih antena.

MIMO povećava brzinu prijenosa podataka koristeći višestruke antene na prijamnoj i odašiljačkoj strani koje emitiraju/primaju neovisne tokove podataka preko

svake od antena (do 4x4). MIMO se može realizirati pomoću jedne od dviju navedenih metoda: prostorni multipleksiranje (engl. *Spatial multiplexing*), čime se povećava spektralna iskoristivost, te prostorna raznolikost (eng. *Spatial diversity*), čime se povećava pouzdanosti radio veze. Spektralna učinkovitost u praksi znači više prenesenih bitova u sekundi po jedinici propusnosti (Herz-u). Ovisno o kvaliteti radio veze obje metode se također mogu kombinirati jedna s drugom, [22].

3.2.1. Prostorna raznolikost (*Spatial diversity*)

Kao što je spomenuto, prostorna raznolikost ne utječe na brzinu prijenosa podataka, već na robusnost radio veze. Ovom metodom, prijenos istih podataka odvija se putem više staza. Prostorna raznolikost je podijeljena na prijem i na prijenos. Prilikom primanja raznolikosti (eng. *RX Diversity*), koristi se više antena na strani prijemnika nego na strani odašiljača. Najjednostavniji scenarij SIMO 1x2, (eng. *Single Input Multiple Output*) prikaz na slici 11, sastoji se od dvije RX i jedne TX antene. Zbog različitih kanala, na prijemnoj strani dolaze dva „slaba“ signala. Postoje dvije metode koje se mogu koristiti u ovom slučaju na strani prijemnika, kako bi se smanjio odnos signal-šum. Metoda koja uvijek odabere najjači signal naziva se *Switched diversity*. Zbrojem svih primljenih signala dobiva se veliki maksimalni omjer (eng. *Maximum Radio Combining*). Prednost ovoga sustava je što je jednostavan u implementaciji, (slika 12).



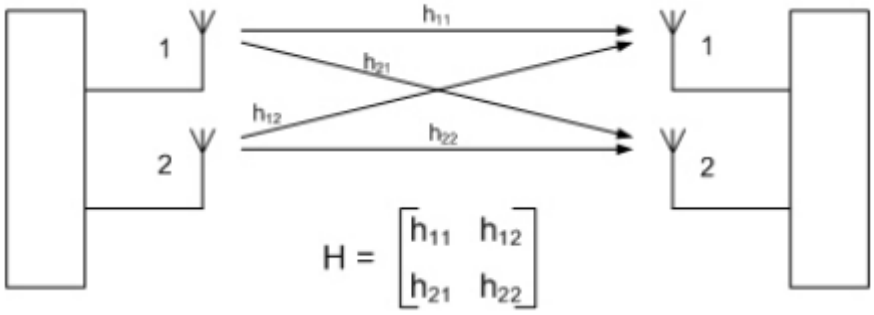
Slika 12. RX *diversity,* [22]

Primjer sustava raznovrsnog prijenosa (eng. *TX Diversity*) gdje se koristi više odašiljačkih i jedna prijemna antena je MISO 2x1 (eng. *Multiple Input Single Output*), prikazan na slici 11. Odašiljač istovremeno prenosi iste podatke na više antena.

Prednost ovog sustava je redundancija na strani bazne stanice. Redundantni signali generiraju se pomoću prostorno-vremenskih kodova, razvijenih za slučaj gdje se nalaze dvije antene. Osim što se kopije signala emitiraju s različitih antena, također se emitiraju u različito vrijeme. To se zove odgođena raznolikost (eng. *Delayed diversity*), [22].

3.2.2. Prostorno multipleksiranje

U usporedbi s prostornom raznolikosti, prostorno multipleksiranje usmjereno je na povećanje količine prenesenih podataka. Da bi došlo do toga, podaci su odvojeni u dva slijeda, te se prenose neovisno putem zasebnih antena.



Slika 13. Konfiguracija MIMO 2x2, [22]

Kod MIMO emitiranja putem jednog kanala dolazi do interakcije između poprečnih veza. Problem se može eliminirati na dva načina. Pomoću izračuna matrice H (slika 13) mogu se izračunati poprečne komponente na strani prijamnika. U metodi otvorene petlje (eng. *open-loop method*) prijenos uključuje posebne dijelove, također poznate prijemniku. Prijemnik može obavljati procjenu kanala. U metodi zatvorene petlje (eng. *closed-loop method*), prijemnik izvještava o statusu kanala na odašiljaču, putem posebnog povratnog kanala. To omogućuje da reagira na promjenu okolnosti, [22].

4. Arhitektura LTE mreže

Za razliku od prethodnih modela staničnih sustava koji su koristili i komutaciju kanala, LTE je dizajniran samo za podršku uslugama baziranih na komutaciji paketa. Ima za cilj pružiti besprijekornu povezanost između korisničke opreme (UE) i mreže paketnog prijenosa (eng. *Packet Data Network*, PDN) bez ikakvih remećenja aplikacija krajnjih korisnika tijekom kretanja.

Gledano s više razine, mreža se sastoji od Evoluirane paketske jezgrene mreže (eng. *Evolved Packet Core*, EPC) i pristupne mreže (eng. *Evolved Terrestrial Radio Access Network*, E-UTRAN). Dok se jezgreni dio mreže sastoji od mnogo logičkih čvorova, pristupni dio mreže se u biti sastoji samo od jednog čvora, Evoluirane bazne stanice (eng. *eNodeB*), koji je spojen na korisničkom opremom. Svaki od tih elemenata mreže je povezan pomoću sučelja koja su standardizirana kako bi se omogućila interoperabilnost različitim proizvođačima. To nudi mogućnost mrežnim operatorima da koriste elemente mreže proizvedene od strane raznih proizvođača, odnosno pri implementaciji mreže mogu spajati i razdvajati logičke elemente mreže ovisno o poslovnim razlozima.

Dok termin LTE obuhvaća evoluciju *Universal Mobile Telecommunication* radio pristupa putem E-UTRAN mreže, isti je praćen evolucijom aspekta, nevezanih uz radio i objedinjenih pod nazivom evolucija arhitekture sustava (eng. *System Architecture Evolution, SAE)*. Pojednostavljeno LTE i SAE zajedno tvore Evoluirani paketni sustav EPS. EPS koristi koncept EPS nositelja za usmjeravanje IP prometa od pristupnika za paketnu podatkovnu mrežu (eng. PDN *gateway*) do korisničke opreme. Nositelj je IP paket koji definira određenu kvalitetu usluge (QoS) između pristupnika i korisničke opreme. E-UTRAN i EPC zajedno postavljaju i oslobađaju nositelje u skladu s zahtjevima aplikacija. Ovo poglavlje se bazira na cjelokupnoj EPS mrežnoj arhitekturi, uz pregled funkcija pristupne i jezgrene mreže.

4.1. Razvoj i standardizacija

Proces standardizacije Evoluiranog paketnog sustava počinje 2004. godine, u vrijeme dok mobilni operateri nisu ni implementirali HSDPA tehnologiju u svoje mreže.

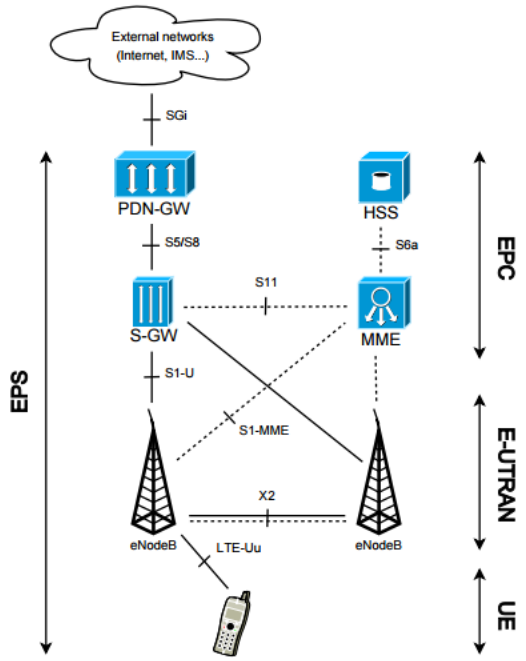
Prvo potpuno izdanje EPS sustava od strane 3GPP organizacije završeno je četiri godine poslije početka procesa standardizacije, u prosincu 2008. godine.

EPS se može podijeliti u dvije različite funkcionalne cjeline: radio pristupnu mrežu E-UTRAN i jezgrenu mrežu EPC. Ti dijelovi dizajnirani su unutar različitih razvojnih skupina 3GPP organizacije. E-UTRAN je razvijen u radnoj skupini pod nazivom LTE, odakle je nova radio pristupna tehnologija dobila ime u svakodnevnoj terminologiji. Radna skupina odgovorna za EPC nazvana je evolucija arhitekture sustava (SAE), [11].

4.2. Struktura mreže

Jedna od korištenih metoda za poboljšanje performansi EPS-a u odnosu na prijašnje sustave je nova struktura jezgrene mreže. Arhitektura radio pristupne mreže (RAN) i jezgrene mreže (CN) je obnovljena u odnosu na arhitekturu UMTS-a. Glavni aspekt ove obnove je taj da se arhitektura mreže što više izravna, odnosno izbačen je centralizirani kontrolor, elementi su višefunkcionalni i smanjen je njihov broj. Smanjuju se kašnjenja uzrokovana višestrukim elementima koji procesuiraju signal i tokove podataka. Još jedan veliki zahtjev za mrežu je *all-IP* funkcionalnost. Ta funkcionalnost omogućuje mnogo efikasnije iskorištenje resursa, jer nema potrebe za rezervacijom istih, već su resursi korišteni samo kada je to potrebno. Dakle, EPC jezgrena mreža i EPS sustav generalno gledano, ne sadrže dio za prospajanje kanala, [11].

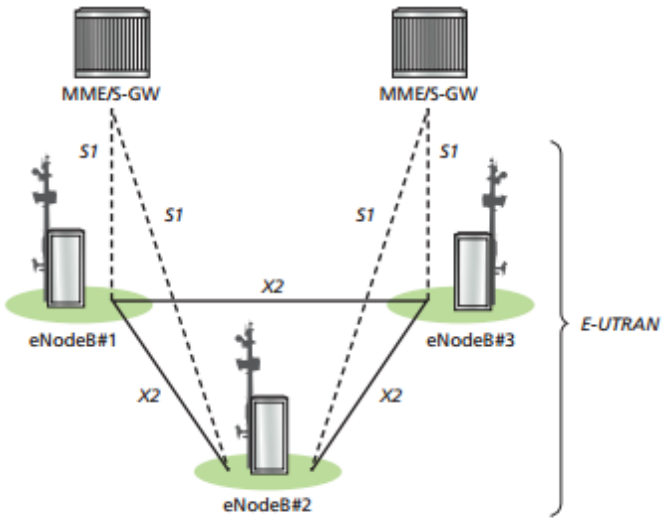
Mreža se sastoji od četiri velike logičke cjeline: korisničke oprema, evoluirane pristupne mreže evoluirane jezgrene mreže i uslužnog sloja (eng. *Services layer*). Uslužni sloj sadrži pristup Internetu kao i neke specifične usluge operatera kao što je IMS. IMS okvir je potreban za primjerice glasovne pozive i glasovne usluge, budući da EPS ne sadrži izravnu podršku za taj tip komunikacije. Logički dijelovi zajedno s njihovim mrežnim elementima i sučeljima su prikazani na slici 14. U nastavku će biti opisani elementi zajedno s funkcionalnostima istih, [11].



Slika 14. Mrežna EPS arhitektura, [11]

4.3. Pristupna mreža

Evoluirana pristupna mreža E-UTRAN sastoji se od više čvorova eNodeB, kao što je prikazano na slici 15. Čvorovi su međusobno povezani putem sučelja poznatog kao „X2“, a s jezgrenom mrežom putem S1 sučelja - preciznije, s MME su povezane putem S1-MME sučelja, a s S-GW putem S1-U sučelja. Protokoli koji se koriste između korisničke opreme i čvorova eNodeB su poznati kao „*AS protocols*“, [14].



Slika 15. E-UTRAN mrežna arhitektura, [14]

Prema [14], E-UTRAN je odgovoran za sljedeće radijske povezane funkcije:

- Upravljanje radio resursima (eng. *Radio resource management*, RRM) – odnosi se na sve funkcije radio nositelja (eng. *radio bearers*), kao što su kontrola istih, kontrola radio prijema, kontrola radijske mobilnosti, raspoređivanja i dinamične raspodjele resursa za korisničku opremu za silaznu o dolaznu vezu.
- Kompresija zaglavlja (eng. *Header Compression*) - pomaže da se osigura učinkovito korištenje radijskog sučelja kompresijom IP zaglavlja u paketima, što može predstavljati značajan *overhead*, pogotovo za manje pakete, koji se koriste primjerice kod VoIP-a.
- Sigurnost (eng. *Security*) - svi podaci koji se šalju putem radio sučelja su šifrirani.
- Povezivanje s EPC-om, koje se sastoji od signalizacije prema MME i putu nositelja (eng. *bearer path*) prema S-GW-u.

Na mrežnoj strani sve ove funkcije se obavljaju u čvorovima eNodeB, te svaki od njih može biti odgovoran za upravljanje višestrukim stanicama. Za razliku od prijašnjih tehnologija druge i treće generacije, LTE integrira funkciju radio regulatora u čvoru eNodeB. To omogućuje interakciju između različitih protokolskih slojeva radio pristupne mreže (RAN), čime se smanjuje vrijeme čekanja i poboljšava učinkovitost. Takva distribuirana kontrola eliminira potrebu visoke raspoloživosti, te visoke razine kontrole, što pak dovodi do smanjenja troškova. Osim toga, kako LTE ne podržava meko prekapčanje, nema potrebe za funkcijama kombiniranja centraliziranih podataka u mreži, [14].

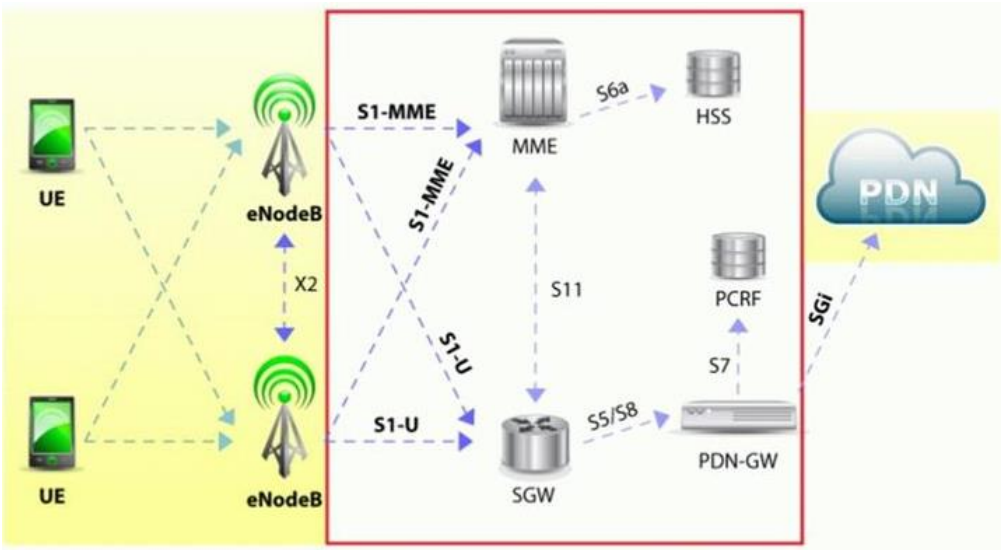
Jedna od posljedica nedostatka centraliziranih regulatornih čvorova je primjerice kada korisnička oprema prelazi na područje pokrivenosti drugog čvora *eNodeB*, mreža mora prenijeti sve informacije vezane za tu korisničku opremu zajedno sa svim pohranjenim podacima na novi *eNodeB*. Stoga su potrebni određeni mehanizmi kako bi se izbjegli gubici podataka tijekom primopredaje.

4.4. Jezgrena mreža

Jezgrena mreža EPC je odgovorna za cjelokupnu kontrolu korisničke opreme, te za uspostavu veze korisničke opreme i nositelja. Glavni logički čvorovi EPC-a su:

- pristupnik za paketnu podatkovnu mrežu (*PDN Gateway* - PGW),
- pristupnik posluživanja (*Serving Gateway*- SGW) i

- mrežni entitet za upravljanje mobilnošću (*Mobility Management Entity*- MME).



Slika 16. EPC mrežna arhitektura, [18]

Osim ovih elemenata (čvorova), EPC također uključuje i druge logičke čvorove (slika 16) koji obavljaju određene funkcije, kao što su: *Home Subscriber Server* (HSS), *Policy Control* i *Charging Rules Function* (PCRF). Kao što je već navedeno, EPS pruža komunikaciju određene kvalitete usluge (QoS) prema nositelju, kontrolu multimedijskih aplikacija, kao što je VoIP, te osigurava podršku IMS-a koji se nalazi izvan samog EPS-a, [14].

4.4.1. Entitet za upravljanje resursima i terećenje (PCRF)

Entitet za upravljanje resursima i terećenje PCRF (eng. *The Policy Control and Charging Rules Function*), odgovoran je za donošenje politika u skladu s kapacitetima mreže, kontrolu funkcionalnosti toka, temeljenoj na funkciji za kontrolu i provođenje pravila (eng. *Policy Control Enforcement Function,* PCEF*)*, koja se nalazi u PGW-u. PCRF je isto tako odgovoran za pružanje usluge s obzirom na pretplatnički profil. Prema PCEF i pomoću QCI (eng. *QoS Class Identifier*) mreža osigurava određeno tretiranje toka podataka, u skladu s pretplatom korisnika. PCRF isto tako osigurava nadzor mreže. Od mrežnog elementa AF (eng. *Application Function*) prima informacije o sjednici i mediju koje prije spremanja može provjeriti i odlučiti jesu li pouzdane, [14].

4.4.2. Poslužitelj domaćih pretplatnika (HSS)

Poslužitelj domaćih pretplatnika (eng. *Home Subscriber Server*, *HSS*) predstavlja bazu podataka koja sadrži podatke o pretplatnicima, njihovim profilima, uslugama, ograničenjima i ostalim parametrima bitnim za pružanje usluga. Isto tako sadrži informacije o PDN-ovima na koje se korisnik može spojiti. To može biti u obliku naziva pristupne točke (eng. *access point name*, APN) ili PDN adrese (ukazuje pretplatničke IP adrese). HSS isto tako sadrži dinamičke informacije kao što je identitet MME entiteta, na koji je korisnik trenutno registriran, [14].

4.4.3. Pristupnik za paketnu podatkovnu mrežu (P-GW)

Pristupnik za paketnu podatkovnu mrežu (eng. *Packet Data Network Gateway*, PDN-GW) je pristupnik prema drugim IP mrežama. To ne moraju biti javne mreže poput Interneta, već to mogu biti i privatne mreže i mreže u vlasništvu operatora, poput IMS-a. PDN-GW dodjeljuje IP adresu korisničkoj opremi za svaku pojedinu vanjsku mrežu na koju je spojen. U odnosu na UMTS jezgrenom mrežu, PDN-GW ima sličnu ulogu kao GGSN. PDN-GW je odgovoran za mapiranje dolaznih IP paketa prema odgovarajućem nosiocu u EPC te njihovo daljnje prosljeđivanje, kao i za prikupljanje podataka o naplati. Na temelju ovih funkcionalnosti, protok podataka za različite korisnike može biti odvojen te se obavlja identifikacija usluga koje zahtijevaju poseban QoS, kao što VoIP pozivi. Budući da je PDN-GW krajnji element u EPS-u, on je ujedno i najviša razina sidrenja mobilnosti na raspolaganju. S-GW se može promijeniti tijekom aktivne sesije, ali sve dok je korisnička oprema spojena na određene vanjske mreže, PDN-GW ostaje nepromijenjen bez obzira na mobilnost unutar mreže operatora, [11].

4.4.4. Pristupnik posluživanja (S-GW)

Pristupnik posluživanja S-GW je glavni element korisničke ravnine u jezgrenoj mreži. Njegova osnovna funkcija je upravljanje konekcijama koje prolaze kroz korisničku ravninu te njihov prijenos na odgovarajući element u mreži. S-GW funkcionira kao fiksna točka mobilnosti (eng. *mobility anchor*) u inter-eNodeB procesu primopredaje (proces će biti kasnije opisan). U trenutku kada korisnička oprema prelazi na područje usluge novog e-NodeB čvora, MME upućuje zahtjev S-GW-u za prebacivanje puta korisničke ravnine prema novom čvoru. Isti S-GW tada i dalje

poslužuje novi e-NodeB čvor. Međutim, ako je novi e-NodeB čvor na području drugog S-GW-a, novi S-GW mora biti izabran od strane MME-a. S-GW također djeluje kao fiksna točka mobilnosti (eng. *mobility anchor*) u međudjelovanju s GSM i UMTS sustavima. Moguće je doći do situacije kada je korisnička oprema u stanju mirovanja, a time i bez aktivne veza s mrežom, a podaci počnu teći prema njoj. Tada S-GW pohranjuje nadolazeće pakete i zahtjeva od MME-a početak procedure pozivanja zadanog korisnika. Nakon što je otvoren put za korisničku opremu, S-GW prosljeđuje pohranjene pakete kao i one koje još nadolaze, [11].

4.4.5. Mrežni entitet za upravljanje mobilnošću (MME)

Mrežni entitet za upravljanje mobilnošću MME povezan je s eNodeB-om preko S1-MME sučelja (slika 16). MME je glavna signalizacijska komponenta u mreži i može se smatrati kao središte inteligencije i kontrole mreže. Uloga MME-a može se usporediti sa čvorom koji podržava paketski prijenos podatka (eng. *Serving General Packet Radio Service Support Node,* SGSN) u UMTS mreži. Međutim velika razlika u usporedbi sa SGSN-om je ta da MME predstavlja element kontrolne ravnine. UMTS standard definira sličnu značajku tzv. izravni tunel (eng. *Direct Tunnel*) koja omogućuje korisničkoj ravnini izravno preusmjeravanje iz RNC-a na *Gateway GPRS Support Node* (GGSN) umjesto da ide preko SGSN-a.

MME funkcionalnosti uključuju i rukovanje lokacijom korisničke opreme kao i kontrolu procedure pozivanja korisnika (eng. *Paging Procedure*). MME obavlja funkciju pohrane lokacije korisničke opreme s točnošću područja praćenja (eng. *Tracking Area*, TA) u slučaju da je korisnik u stanju mirovanja ili s točnošću ćelije u slučaju aktivne veze. Tijekom Intra procesa preuzimanja (proces će biti definiran u narednim poglavljima), MME je odgovoran za kontrolu preuzimanja poziva na putu korisničke ravnine od S-GW prema novom eNodeB, uz njegov zahtjev. To znači da MME prati svaki proces prekapčanja poziva koji se događa unutar njegovog područja usluge. Također služi kao signalna točka sidrenja mobilnosti (eng. *Signalling anchor point*) tijekom preuzimanje prema GSM i UMTS sustavima.

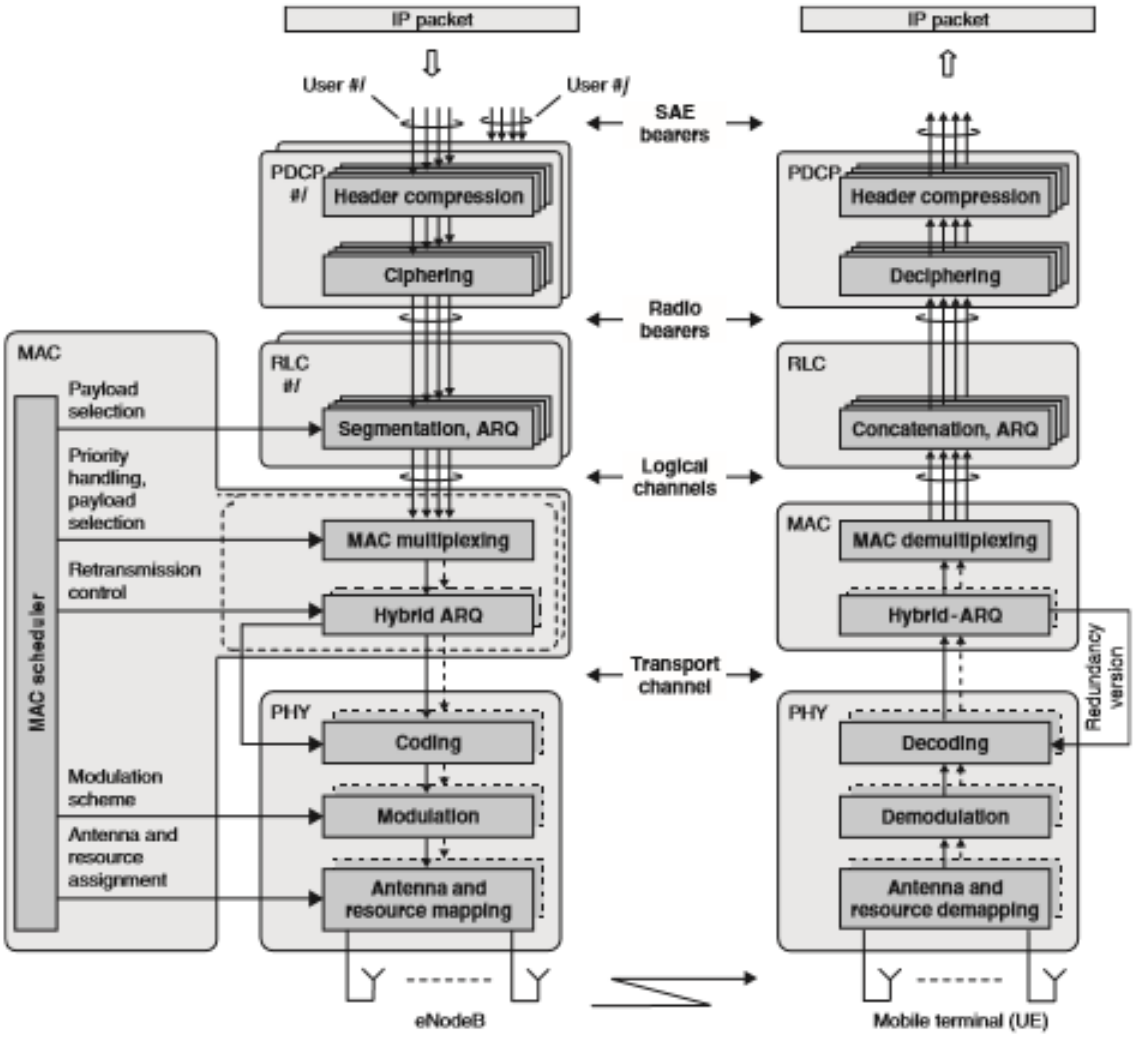
Kada se korisnička oprema spaja na mrežu, MME je odgovoran za provjeru autentičnosti, pomoću poslužitelja domaćih korisnika HSS. MME obavlja autorizaciju, odnosno provjeru ima li određeni pretplatnik pravo na korištenje mreže. Uz autentifikaciju, MME kontrolira sigurnosne funkcije između korisničke opreme i mreže.

MME je odgovoran za upravljanje i prekid *Non-Access-Stratum* (NAS) signalizacije. NAS poruke se izmjenjuju između korisničke opreme i MME-a. Ova signalizacija se koristi za EPS upravljanje mobilnošću (eng. *EPS Mobility Management*, EMM) i EPS upravljanje sesijom (eng. *EPS Session Management*, ESM). Postupci izvedbe s EMM-om obavljaju spajanje i odvajaju praćenje područja ažuriranje i provjeru autentičnosti. ESM upravlja uspostavom nositelja pokrenutom od strane korisničke opreme i procedurama modifikacija, [11].

4.5. Protokolska arhitektura

Slično kao kod WCDMA/HSPA tehnologije, te ostalim suvremenim komunikacijskim sustavima, obrada podataka je i kod LTE standarda strukturirana prema različitim slojevima protokola. Neki od tih slojeva slični su onima korištenim u WCDMA/HSPA, no postoje određene razlike, djelomično i zbog razlike u ukupnoj arhitekturi sustava. Opći pregled arhitekture LTE protokola za silaznu vezu prikazan je na slici 17. Nisu svi subjekti prikazani na slici primjenjivi u svim situacijama. Npr. ni MAC raspoređivanje, ni hibridni ARQ s mekim kombiniranjem se ne koriste za emitiranje informacija o sustavu. LTE protokolska struktura u uzlaznoj vezi slična je strukturi u *downlinku* prikazanoj na slici 17, iako postoje razlike s obzirom na format prijenosa i prijenos podataka putem više antena, što će biti objašnjeno u daljnjem tekstu.

Podaci koji se prenose u *downlinku* ulaze u obliku IP paketa na jedan od SAE nositelja. Prije prijenosa preko radio sučelja, dolazni IP paketi su prošli kroz više protokolskih entiteta, sažetih i detaljnije opisanih u nastavku.



Slika 17. LTE protokolska arhitektura (*downlink*), [1]

Packet Data Convergence Protocol, PDCP obavlja kompresiju IP zaglavlja, kako bi se smanjio broj potrebnih bitova za prijenos putem radio sučelja. Mehanizam kompresije zaglavlja (eng. *header-compression mechanism*) se temelji na ROHC-standardiziranom algoritmu, korištenom u WCDMA i drugim standardima. PDCP je također odgovoran za šifriranje i zaštitu cjelovitosti prenesenih podataka. Na strani prijamnika, PDCP protokol obavlja odgovarajuća dešifriranja i dekompresijske operacije. Po svakom radijskom nositelju nalazi se jedan PDCP entitet konfiguriran za mobilni terminal.

Radio Link Control (RLC) je odgovoran za segmentaciju, retransmisijama i *in-sequence* isporukama do viših slojeva. Za razliku od WCDMA tehnologije, ovdje se RLC protokol nalazi u eNodeB čvoru, budući da kod LTE sustava postoji samo jedan tip čvora u radio pristupnoj mreži. RLC nudi usluge PDCP protokolu u obliku radijskih

nositelja. Postoji jedan RLC entitet po radio nosiocu, koji je konfiguriran za terminalni uređaj.

Medium Access Control (MAC) provodi hibridne ARQ retransmisije i raspoređivanje (eng. *scheduling*) u *downlinku* i *uplinku*. Funkcionalnosti raspoređivanja se nalaze na eNodeB-u, koja sadrži jedan MAC subjekt po ćeliji za *downlink* i *uplink*. Dio hibridnog-ARQ protokola prisutan je i u slanom i u primajućem dijelu MAC protokola. MAC nudi usluge RLC-u u obliku logičkih kanala.

Physical Layer (PHY) upravlja kodiranjem i dekodiranjem, modulacijom i demodulacijom, više antenskim mapiranjem (eng. *multi-antenna mapping*) i drugim funkcijama fizičkog sloja. Fizički sloj isto tako pruža usluge MAC sloja u obliku prometnih kanala.

5. Analiza i modeliranje procesa preuzimanja poziva

Mobilnost je vrlo bitna komponenta mobilnih telekomunikacijskih sustava. Tijekom procesa kretanja korisničke opreme, odgovarajuća razina mobilnosti omogućuje mala kašnjenja glasovnih usluga ili *real time* video *streaming*. Jedan od glavnih LTE ciljeva je osigurati brzo i neprimjetno preuzimanje poziva između susjednih ćelija uz istovremeno održavanje sesije. Uz LTE tehnologiju, korisnici mogu obavljati telefonske pozive uz istovremeno kretanje brzinom od 350 km/h, u nekim područjima čak i više, što znači da će proces primopredaje biti češći i brži. Uz dizajniranu podršku mobilnost, korisnicima je osigurana i kvaliteta usluge (QoS). Stopa uspješnosti primopredaje je ključni pokazatelj zadovoljstva korisnika, te je bitno da se navedeni postupak odvija neprimjetno i što je brže moguće. Dakle optimiziranje procesa primopredaje se smatra važnim pitanjem LTE mreže, [24].

Kako je navedeno u [21], LTE sustav ne sadrži procese mekog i mekšeg preuzimanja poziva (opisane u poglavlju 2.2.3.), već se traženo stanje mobilnosti korisnika održava pomoću tvrdog preuzimanja poziva. Postoje tri moguće vrste preuzimanja poziva:

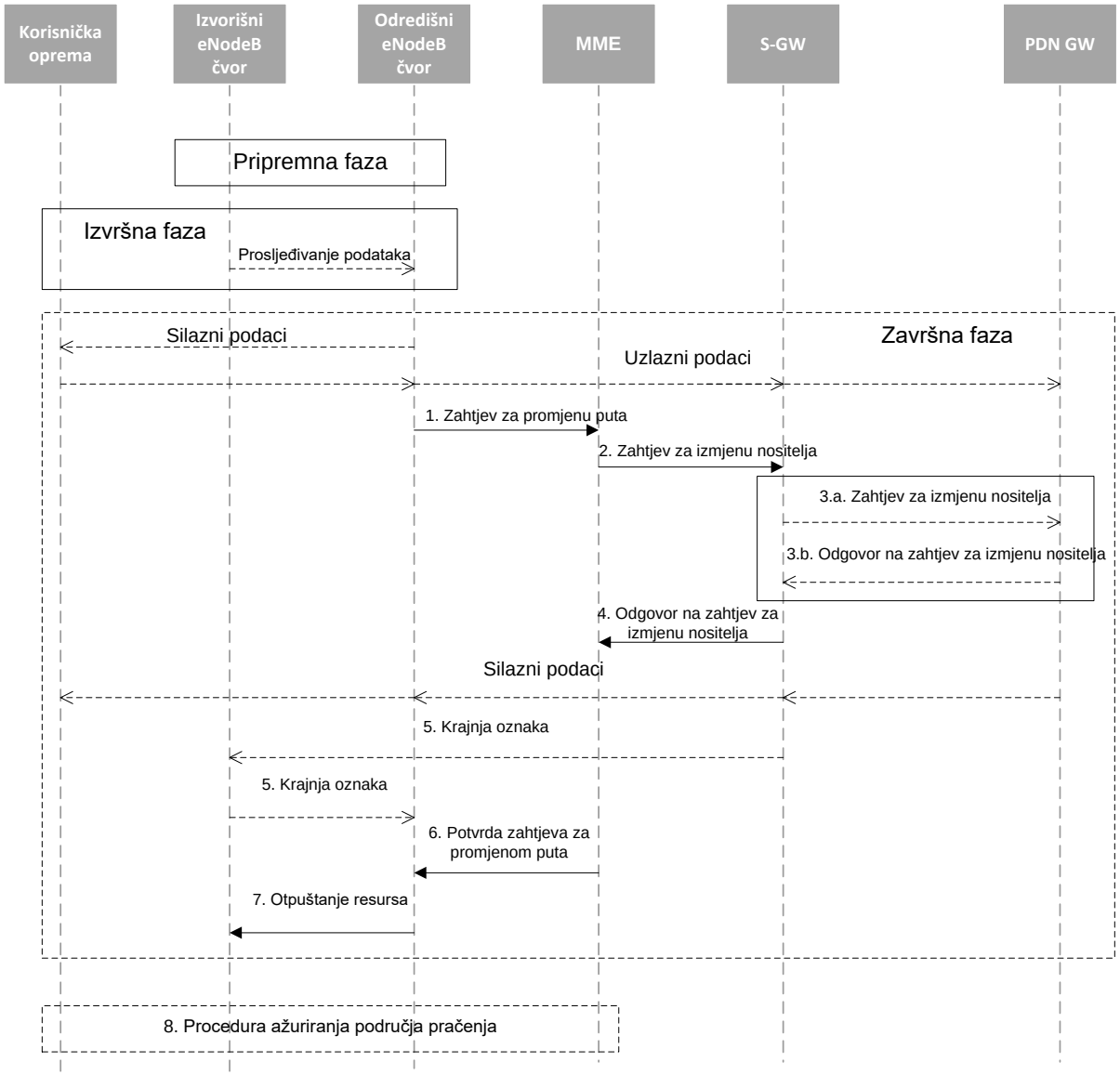
- *Intra-LTE Handover* - proces gdje su izvorišni i odredišni čvorovi eNodeB dio iste LTE mreže,
- *Inter-LTE Handover* - proces primopredaje se odvija prema drugim LTE čvorovima (Inter-MME i Inter- SGW),
- *Inter-RAT Handover* - proces primopredaje između različitih radijskih tehnologija (npr. primopredaja poziva iz LTE sustava prema WCDMA sustavu).

U ovom poglavlju bit će detaljno analizirani Intra-LTE procesi preuzimanja poziva bazirani na S1 i X2 sučelju, te Inter-RAT proces preuzimanja između E-UTRAN i UTRAN *Iu mode* pristupnih mreža. Proces preuzimanja mora biti detaljno isplaniran i jednoznačno definiran, što je moguće prikazati pomoću UML (eng. *Unified Modeling Language*) dijagrama. Oni nude skup dobro određenih grafičkih prikaza i omogućuju dobro razumijevanje strukture i ponašanja određenog sustava. Procese preuzimanja poziva najbolje je prikazati pomoću dijagrama međudjelovanja, koji daje naglasak na vremenski redoslijed kojim se odvija međudjelovanje sudionika odnosno objekata u sustavu.

5.1. Analiza i modeliranje Intra LTE procesa preuzimanja poziva bez promjene S-GW-a baziranog na X2 sučelju

Proces preuzimanja poziva *Intra-LTE* (*Intra-MME / SGW*) koristi se kod prekapčanja korisničke opreme iz izvorišnog čvora (eng. *Source eNodeB*, S-eNB), prema odredišnom čvoru (eng. *Target eNodeB*, T-eNB) pomoću X2 referentne točke, pri čemu MME ostaje nepromijenjen. Osim X2 referentne točke, između izvorišnog i odredišnog čvora eNodeB, postupci se oslanjaju na S1-MME referentnu točku između MME i ciljanog čvora eNodeB. Postupak primopredaje obavlja se bez sudjelovanja EPC-a, odnosno poruke se izravno razmjenjuju između eNodeB čvorova. MME čvor koji je odgovoran za kontrolu preuzimanja poziva na putu korisničke ravnine od S-GW prema novom eNodeB ostaje nepromijenjen, te na njegov zahtjev S-GW ostaje nepromijenjen. Između S-GW- a i izvorišnog eNodeB-a prisutna je IP povezanost, kao i između S-GW-a i ciljanog eNodeB-a. U nastavku ovog poglavlja na dijagramu 1 prikazani su elementima koji sudjeluju u razmjenjivanju poruka. Određene poruke su označene punom, a određene isprekidanom crtom. Moguće je uočiti da odredišni elementi, na koje stižu poruke označene punom crtom čekaju dok se izvrše poruke u pozadini, odnosno poruke označene isprekidanom crtom ukoliko ih ima (možda lakše za uočiti na dijagramu 2). Ispod dijagrama su detaljno opisani koraci u komunikaciji između elemenata koji sudjeluju u procesu primopredaje.

Na dijagramu 1. se nalaze tri osnovne faze: pripremna, izvršna i završna. Pripremna faza nastaje kada izvorišni eNodeB čvor utvrdi da je nužno pokrenuti proces primopredaje putem X2 sučelja. Nakon toga u izvršnoj fazi, izvorišni eNodeB šalje poruku zahtjeva za pokretanje primopredaje (eng. *handover request*) koji sadrži postavljene nositelje prema odredišnom eNodeB čvoru. Zatim odredišni eNodeB vraća potvrdnu poruku za pokretanje primopredaje (eng. *handover request acknowledge*) koja sadrži radio sučelja sa informacijama (listu uspostavljenih EPS nositelja, listu odbijenih EPS nositelja i *handover* naredbe za korisničku opremu). U slučaju da dodjela primopredajnih resursa nije uspješno obavljena (npr. resursi nisu dostupni na odredišnoj strani) odredišni eNodeB čvor umjesto potvrdnom porukom za pokretanje primopredaje odgovara porukom o neuspjehu izvršne faze (eng. *handover preparation failure*), što znači da neće doći do pokretanja završne faze.



Dijagram 1. Intra LTE proces preuzimanja poziva bez promjene S-GW-a baziran na X2 sučelju, [23]

1. Odredišni eNodeB čvor šalje poruku zahtjeva za promjenom puta (eng. *Path Switch Request*) MME-u čime ga obavještava da je korisnička oprema prešla na područje druge ćelije, uključujući i TAI (eng. *Tracking Area Identifier*) i ECGI (eng. E-UTRAN *Cell Global Identifier*) podatke o odredišnoj ćeliji i popis EPS nositelja. MME utvrđuje da S-GW nastavlja posluživati korisničku opremu.

2. MME šalje poruku zahtjeva za izmjenom nositelja (eng. *Modify Bearer Request*), po vezi javne podatkovne mreže prema S-GW-u za svaku pojedinu PDN (eng. *Public*

Data Network) vezu gdje je zadani nositelj prihvaćen od strane odredišnog eNodeB čvora.

MME koristi popis EPS nositelja koji će biti promijenjeni, primljen u prvom koraku kako bi se utvrdilo je li neki od namjenskih nositelja u kontekstu korisničke opreme nije bio prihvaćen od strane odredišnog eNodeB čvora. MME otpušta odbijene nositelje aktiviranjem procedure za otpuštanje nositelja. Ako S-GW primi silazne pakete ne prihvaćenih nositelja, odbacit će te pakete i neće poslati obavijest o silaznim podacima MME-u.

Ako zadani nositelj u javnoj podatkovnoj mreži (PDN) nije prihvaćen od strane odredišnog eNodeB čvora, te postoji više aktivnih PDN veza, MME će odbaciti sve nositelje PDN veze i aktivirati proceduru za prekid PDN veze. Ako niti jedan od zadanih EPS nositelja nije prihvaćen od strane odredišnog eNodeB čvora, ili dolazi do LIPA (eng. *Local* IP *Access*) PDN neobjavljene veze, MME će postupiti prema koraku 6.

3. Ako je S-GW primio informacije o lokaciji korisnika i/ili o vremenskoj zoni i/ili informacije o posluživanju mreže (eng. *Serving Network* IE) i/ili korisničke informacije CSG iz koraka 2, obavještava PDN GW o tim informacijama kako bi se one mogle koristi u svrhu npr. naplate slanjem poruke zahtjeva o izmjeni nositelja po PDN vezi prema PDN GW-u na kojeg se to odnosi. S-GW će vratiti poruku o zahtjevu za izmjenom nositelja čvoru MME kao odgovor na poruku zahtjeva za izmjenom nositelja.

4. S-GW počinje slati silazne pakete odredišnom eNodeB čvoru koristeći novoprimljene adrese i TEID (eng. *The Tunnel Endpoint* ID) informacije. Poruka odgovora na zahtjev za izmjenom nositelja (eng. *Modify Bearer Response message*) se šalje natrag na MME čvor.

5. Kako bi pomogao u funkciji promjene redoslijeda u odredišnom eNodeB čvoru, S-GW šalje jedan ili više paketa s krajnjom oznakom (eng. *end marker packet*) na stari put odmah nakon promjene puta.

6. MME potvrđuje poruku zahtjeva za promjenom puta (eng. *Path Switch Request message*) slanjem potvrdne poruke o zahtjevu za promjenom puta. Ukoliko dolazi do promjene AMBR (eng. *Aggregate Maximum Bit Rate*), npr. odbijeni su svi EPS nositelji u odredišnom čvoru eNodeB, koji su bili povezani s istim APN-om. MME će dostaviti

ažuriranu vrijednost AMBR-a s korisničke opreme prema odredišnom eNodeB čvoru u poruci potvrde (ACK) o zahtjevu za izmjenom puta.

Ako neki od nositelja nisu uspješno izmijenjeni u jezgrenoj mreži, MME će u potvrdnoj poruci navesti koji nositelji nisu uspostavljeni, te pokrenuti postupak otpuštanja nositelja kako bi otpustio resurse jezgrene mreže, gdje je došlo do neuspješno izmijenjenih EPS nositelja. Odredišni eNodeB čvor će obrisati odgovarajuće nositelje kada dobije obavijest da ti nositelji nisu uspostavljeni u jezgrenoj mreži.

Ako ni jedan od zadanih EPS nositelja nije izmijenjen uspješno u jezgrenoj mreži ili ako nisu prihvaćeni od strane odredišnog eNodeB čvora ili LIPA PDN veza nije objavljena, MME će poslati poruku o neuspješnom zahtjevu za promjenom puta (eng. *Path Switch Request Failure message*) odredišnom eNodeB čvoru. MME zatim obavlja eksplicitno odspajanje korisničke opreme.

7. Slanjem poruke za otpuštanjem resursa odredišni eNodeB čvor obavještava izvorišni eNodeB čvor o uspješno obavljenom procesu preuzimanja i aktivira oslobađanje resursa.

8. Korisnička oprema inicira proceduru ažuriranja područja praćenja. Ako je aktiviran ISR (eng. *Idle Mode Signaling Reduction*) kada MME čvor prihvaća zahtjev za ažuriranje područja praćenja, MME će održavati ISR uz navođenje u *Tracking Area Update Accept* poruci kako je isti ISR aktiviran, [23].

5.2. Analiza i modeliranje Intra LTE procesa preuzimanja poziva baziranog na S1 sučelju

Postupak primopredaje poziva baziran na S1 sučelju koristi se kada nije moguće koristiti X2 sučelje. Intra – LTE proces preuzimanja poziva može biti uspješno izveden, odbijen ili poništen. Do odbijanja procesa dolazi od strane odredišnog eNodeB čvora u slučaju da niti jedan od traženih nositelja nije uspostavljen u poruci zahtjeva za primopredajom (opširnije u sljedećem poglavlju). Proces se smatra poništenim ako izvorišni eNodeB čvor u bilo kojem trenutku otkaže primopredaju. Ovo poglavlje opisuje uspješno izveden proces primopredaje, koji će biti prikazan na dijagramu 2, sa detaljnom analizom objekata i porukama koje se izmjenjuju. Isto kao i

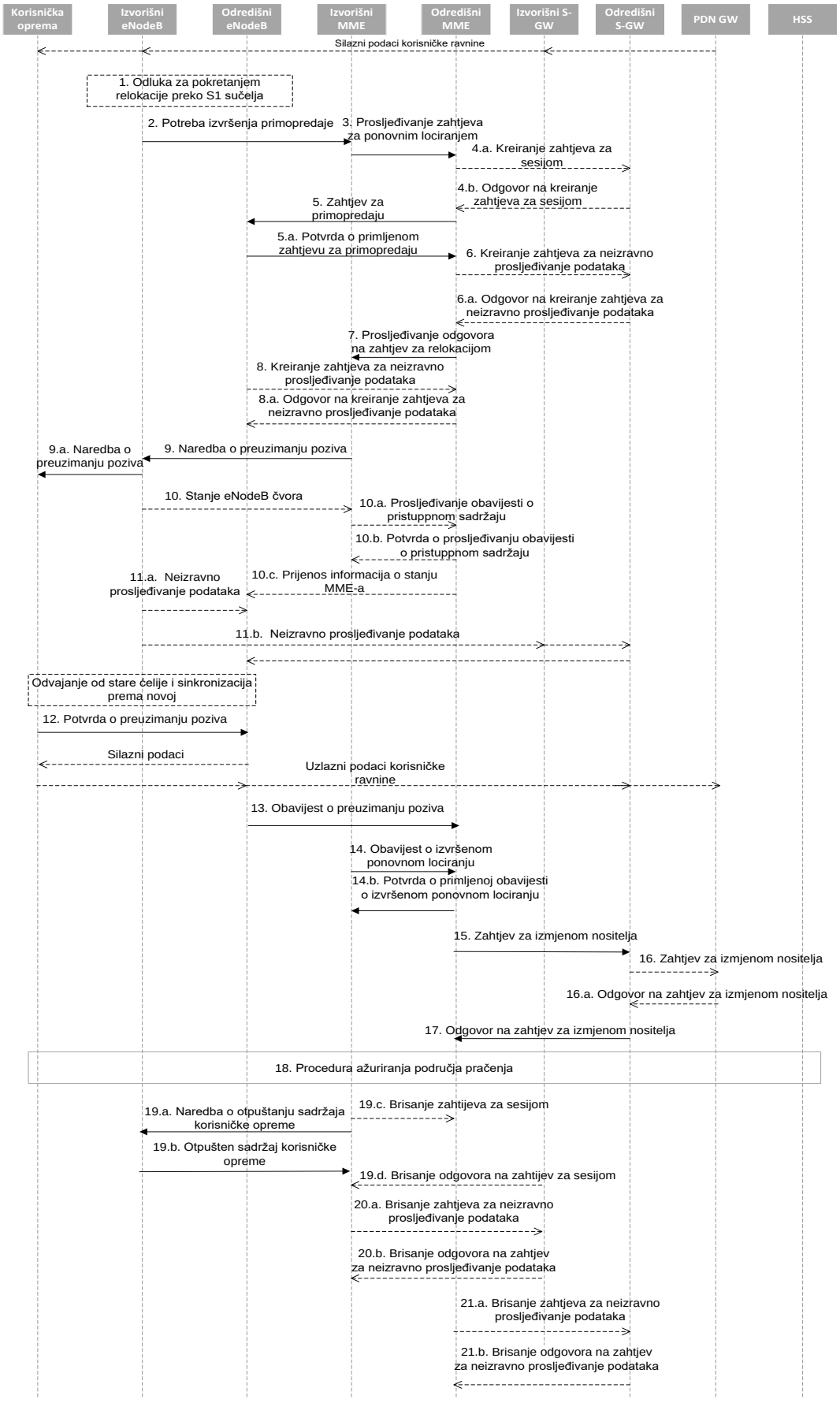
kod prethodnog dijagrama, elementi su povezani punim i isprekidanim strelicama, npr. u koraku 9.a mobilna stanica primi naredbu za prekapčanjem i „čeka“ da se odrade određene aktivnosti prikazane isprekidanim strelicama, da bi se u 12 koraku prespojila.

Izvorišni čvor S-eNB inicira primopredaju slanjem poruke zahtjeva za primopredaju (eng. *Handover Required*) preko S1-MME referentne točke. Ovaj postupak može promjeniti MME i/ili S-GW. Izvorišni MME (eng. *Source* MME) odabire ciljani MME (eng. *target* MME). MME nebi trebao biti promijenjen tijekom procesa inter-eNodeB primopredaje, osim ako korisnička oprema napušta područje nadležno od strane MME-a. MME određuje treba li S-GW biti promjenjen, te ukoliko je to potrebno, MME odabire odredišni S-GW.

S-eNB čvor odlučuje EPS nositelje kojima prosljeđuje pakete od izvorišnog eNodeB čvora prema odredišnom. EPC ne mijenja odluke donesene od strane RAN čvora. Paketsko prosljeđivanje može se odvijati izravno od odredišnog prema ciljanom eNodeB čvoru ili neizravno preko SGW-a.

Dostupnost izravnog puta prosljeđivanja navedena od strane MME se utvrđuje unutar izvorišnog eNodeB čvora. Ako je između eNodeB čvorova dostupna X2 povezivost, izravni put prosljeđivanja je dostupan. Ukoliko izravni put prosljeđivanja nije dostupan, može se koristiti neizravno prosljeđivanje. Izvorišni MME čvor koristi oznaku sa S-eNB-a kako bi se utvrdilo primjenjuje li se neizravno prosljeđivanje, te ukazuje odredišnom MME-u hoće li primijeniti neizravno prosljeđivanje. Odredišni MME na temelju primljenih podataka odlučuje hoće li koristiti metodu neizravnog prosljeđivanja podataka.

Ako MME primi zahtjev za prekidom procesa preuzimanja od strane eNodeB-a, s naznakom da je S1 proces primopredaje u tijeku, tada MME pokreće isti proces temeljen na S1 sučelju sve dok proces ne smatra završenim, osim u slučaju promjene S-GW-a.



Dijagram 2. Intra LTE proces preuzimanja poziva baziran na S1 sučelju, [23]

1. Izvorišni eNodeB čvor odlučuje inicirati proces primopredaje poziva temeljen na S1 sučelju prema odredišnom eNodeB čvoru. Proces se može pokrenuti ukoliko nema X2 veze prema odredišnom eNodeB čvoru, ukoliko je došlo do neuspjelog procesa primopredaje putem X2 sučelja ili pomoću dinamičke informacije dobivene od izvorišnog eNodeB čvora.

2. Izvorišni eNodeB čvor šalje poruku o potrebi izvršenja primopredaje poziva prema izvorišnom MME čvoru. Izvorišni eNodeB čvor označava koji nositelji su subjekti prosljeđivanja podataka. Dostupnost puta za izravno prosljeđivanja (eng. *Direct Forwarding Path Availability*) pokazuje je li direktno prosljeđivanje od izvorišnog eNodeB čvora prema odredišnom eNodeB čvoru dostupno. Ovaj pokazatelj s izvorišnog eNodeB čvora može se temeljiti npr. na prisutnosti X2 sučelja. Odredišni TAI podaci (eng. *Tracking Area Identity*) se šalju prema MME čvoru kako bi se olakšao izbor novog odredišnog MME čvora.

3. Izvorišni MME odabire odredišni MME čvor i ako je odlučio ponovno locirati MME, šalje poruku prosljeđivanja zahtjeva za ponovnim lociranjem (eng. *Forward Relocation Request*) prema odredišnom MME. TAI informacije su poslane prema odredišnom MME čvoru, kako bi se utvrdilo postoji li potreba za novim S-GW čvorom.

Izvorišni MME obavlja kontrolu pristupa korisničke opreme provjerom CSG (eng. Closed Subscriber Group) pretplate, kada je CSG ID pružen od strane izvorišnog eNodeB čvora. Ako je odredišna ćelija CSG ćelija, te ukoliko za određeni CSG ID nema pretplate, izvorišni MME će odbiti primopredaju.

4. Ako je MME čvor relociran, odredišni MME provjerava može li izvorišni S-GW čvor posluživati korisničku opremu, te ukoliko ne može, oprema odabire novi S-GW čvor. Ako MME nije relociran, izvorišni MME odlučuje o promjeni S-GW-a. Ako izvorišni S-GW nastavlja posluživati korisničku opremu, u ovom koraku nema slanja poruka.

Ako je odabran novi S-GW, odredišni MME šalje poruku o kreiranju zahtjeva za sesijom (eng. *Create Session Request*) po PDN vezi prema odredišnom S-GW-u. Odredišni S-GW dodjeljuje S-GW adrese i TEID informacije za uzlazni promet na S1_U referentnu točku (jedan TEID po nositelju). Odredišni S-GW šalje poruku odgovora na kreiranje zahtjeva za sesijom (eng. *Create Session Response*) prema odredišnom S-GW-u.

5. Odredišni MME šalje poruku zahtjeva za primopredaju (eng. *Handover Request*) prema odredišnom eNodeB čvoru. Ova poruka kreira sadržaj korisničke opreme u odredišnom eNodeB čvoru, uključujući podatke o nositeljima i sigurnosnom kontekstu. Svakom EPS nositelju dodijeljeni su S-GW adrese, *uplink* TEID informacije korisničke ravnine i QoS.

5.a. Odredišni eNodeB čvor šalje poruku potvrde o primljenom zahtjevu za preuzimanje poziva (eng. *Handover Request Acknowledge*) prema odredišnom MME čvoru. Ukoliko dolazi do promjene AMBR-a na korisničkoj opremi, svi EPS nositelji povezani s istim APN-om će biti odbijeni u odredišnom eNodeB čvoru. MME će dostaviti nove signale modificirane UE-AMBR vrijednosti prema odredišnom eNodeB čvoru. Ako niti jedan od zadanih EPS nositelja neće biti prihvaćen od strane odredišnog eNodeB čvora, odredišni MME će odbiti primopredaju.

6. Ako dolazi do neizravnog prosljeđivanja i S-GW je promijenjen, odredišni MME postavlja parametre za prosljeđivanje slanjem poruke za kreiranjem zahtjeva za neizravno prosljeđivanje podataka (eng. *Create Indirect Data Forwarding Tunnel Request*) prema odredišnom S-GW-u. S-GW šalje poruku odgovora prema odredišnom MME čvoru. Ako S-GW nije promijenjen, neizravno prosljeđivanje se može postaviti u koraku 8.

7. Ako je MME promijenjen, odredišni MME šalje poruku prosljeđivanja odgovora na zahtjev za relokacijom (eng. *Forward Relocation Response*) prema izvorišnom MME čvoru. Za neizravno prosljeđivanje, ova poruka sadrži adrese S-GW-a i TEID informacije za neizravno prosljeđivanje. Indikator promjene S-GW-a pokazuje novi odabrani S-GW.

8. Ako se primjenjuje neizravno prosljeđivanje, izvorišni MME čvor šalje poruku kreiranja zahtjeva za neizravno prosljeđivanje podataka (eng. *Create Indirect Data Forwarding Tunnel Request*) prema S-GW-u. Poruka sadrži adrese i TEID informacije za prosljeđivanje, te ukoliko je S-GW promijenjen, u poruci prema odredišnom S-GW-u nalazi se i identifikator tunela (eng. *tunnel identifier*).

S-GW šalje odgovor na poruku kreiranja zahtjeva za neizravno prosljeđivanje podataka prema izvorišnom MME čvoru.

9. Izvorišni MME čvor šalje poruku naredbe o preuzimanju poziva (eng. *Handover Command*) prema izvorišnom MME-u koja uključuje popis nositelja koji su subjekti prosljeđivanja i listu nositelja koji će biti otpušteni.

9.a. Naredba o preuzimanju poziva konstruirana je koristeći *Target to Source* spremnik, te se šalje prema korisničkoj opremi. Po prijemu navedene poruke, korisnička oprema će ukloniti sve neodgovarajuće EPS nositelje.

10. Izvorišni eNodeB čvor šalje poruku o stanju eNodeB čvora prema odredišnom eNodeB čvoru preko MME čvora, kako bi prenio PDCN i HFN status E-RAB-a za koje se primjenjuje očuvanje PDCP statusa. Ova poruka može biti izostavljena, ukoliko za niti jedan E-RAB ne vrijedi očuvanje PDCP statusa. Ukoliko dođe do promjene MME čvora, izvorišni MME šalje tu informaciju odredišnom MME-u putem poruke prosljeđivanja obavijesti o pristupnom sadržaju (eng. *Forward Access Context Notification*), koju odredišni MME potvrđuje. Izvorišni MME ili ukoliko je MME promjenjen, odredišni MME čvor šalje tu informacije prema odredišnom eNodeB čvoru putem poruke o stanju eNodeB-a (eng. *eNodeB Status Transfer message*).

11. Izvorišni eNodeB čvor će započeti prosljeđivanje silaznih podataka od izvorišnog prema odredišnom eNodeB čvoru preko nositelja koji su subjekti prosljeđivanja podataka. To može biti izravno prosljeđivanje (korak 11.a) ili neizravno prosljeđivanje (korak 11.b).

12. Nakon što je korisnička oprema uspješno sinkronizirana na odredišnoj ćeliji, ona šalje poruku potvrde o uspješnom preuzimanju (eng. *Handover Confirm message*) prema odredišnom eNodeB čvoru. Silazni paketni podaci proslijeđeni iz izvorišnog eNodeB mogu se poslati korisničkoj opremi. Isto tako, uzlazni paketni podaci mogu se poslati od korisničke opreme, te proslijediti prema odredišnom S-GW-u i PDN GW-u.

13. Odredišni eNodeB čvor šalje poruku obavijesti o preuzimanju (eng. *Handover Notify* (TAI+ECGI) odredišnom MME-u.

14. Ako je MME promjenjen, odredišni MME šalje poruku obavijesti o izvršenom ponovnom lociranju (eng. *Forward Relocation Complete Notification message*) prema izvorišnom MME-u. Izvorišni MME odgovara slanjem poruke potvrde o primljenoj obavijesti o izvršenom ponovnom lociranju (eng. *Forward Relocation Complete Acknowledge message*) prema odredišnom MME-u. Bez obzira je li MME promijenjen

ili ne, u izvorišnom MME-u se pokreče brojač kako bi nadzirao kada su resursi u izvorišnom eNodeB čvoru otpušteni i je li promijenjen S-GW.

15. MME čvor šalje poruku zahtjeva za izmjenom nositelja (eng. *Modify Bearer Request*) prema odredišnom S-GW-u za svaku PDN vezu. Ako PDN GW zatraži podatke o lokaciji korisničke opreme ili CSG informacije, MME će ih uključiti u poruku. Ukoliko je došlo do promjene vremenske zone, u poruci će biti i promijenjena vremenska zona korisničke opreme.

MME oslobađa odbijene nositelje aktiviranjem procedure za otpuštanje nositelja. Ako S-GW primi pakete silaznom vezom odbijenih nositelja, odbaciti će ih i neće obavijestiti MME

Ako zadani nositelj PDN veze neće biti prihvaćen od strane odredišnog eNodeB čvora i ako su druge PDN veze aktivne, MME će to riješiti kao da niti jedan nositelj PDN veze nije prihvaćen. MME će otpustiti iste PDN veze aktiviranjem procedure za otpuštanje PDN veze (eng. *PDN disconnection procedure*).

16. Ako je S-GW promijenjen, odredišni S-GW dodjeljuje adrese i TEID informacije (jedan TEID po nositelju) za silazni promet s PDN GW-a. Šalje poruku zahtjeva za izmjenom nositelja (eng. *Modify Bearer Request*) po PDN vezi prema PDN GW čvoru/čvorovima.

Ako S-GW nije promijenjen, ali je primio podatke o lokaciji korisnika, vremenskoj zoni, korisničke CSG podatke ili podatke s MME čvora (iz koraka 15), S-GW će obavijestiti PDN GW o tim podacima. Poruka odgovora na zahtjev za izmjenom nositelja (eng. *Modify Bearer Response*) se šalje nazad S-GW-u.

Ako S-GW nije promijenjen i nije primio nikakve korisničke informacije od MME čvora u koraku 15, on neće ni slati navedenu poruku, a silazni paketni podaci sa S-GW-a se odmah šalju prema odredišnom eNodeB čvoru.

17. S-GW šalje poruku odgovora na zahtjev za izmjenom nositelja (eng. *Modify Bearer Response*) prema odredišnom MME čvoru kao odgovor na poruku iz koraka 15.

Ako S-GW ostaje nepromijenjen, on će poslati jedan ili više paketa s završnom oznakom (eng. *end marker*) po starom putu, odmah nakon prelaska na novi put, kako bi se pomoglo u funkciji promjene redoslijeda u odredišnom eNodeB čvoru.

18. Korisnička oprema inicira proceduru ažuriranja područja praćenja (eng. *Tracking Area Update procedure*). Odredišni MME zna da je za određenu korisničku opremu izveden proces preuzimanja i odredišni MME izvodi samo podskup TA procedure ažuriranja, a posebno isključuje sadržaj prijenosnih procedura između izvorišnog i odredišnog MME čvora.

19. Kada istekne brojač započet u koraku 14 izvorišni MME šalje poruku naredbe o otpuštanju sadržaja korisničke opreme (eng. *UE Context Release Command*) prema izvorišnom eNodeB čvoru. Izvorišni eNodeB čvor oslobađa svoje resurse vezane za korisničku opremu i odgovara porukom da je sadržaj otpušten (eng. *UE Context Release Complete*). Kada navedeni brojač istekne i ako je izvorišni MME čvor dobio podatak o promjeni S-GW-a u poruci obavijesti o izvršenom ponovnom lociranju iz koraka 7 brišu se resursi EPS nositelja slanjem poruke brisanja zahtjeva za sesijom (eng. *Delete Session Request*) prema izvorišnom S-GW-u. Izvorišni S-GW odgovara porukom brisanja odgovora na zahtjev za sesijom.

20. Ako se koristi neizravno prosljeđivanje, tada istekom brojača iz koraka 14 izvorišni MME šalje poruku brisanja zahtjeva za neizravnim prosljeđivanjem (eng. *Delete Indirect Data Forwarding Tunnel Request*) prema SGW-u, kako bi oslobodio privremene resurse korištene za neizravno prosljeđivanje, koji su dodijeljeni u koraku 8.

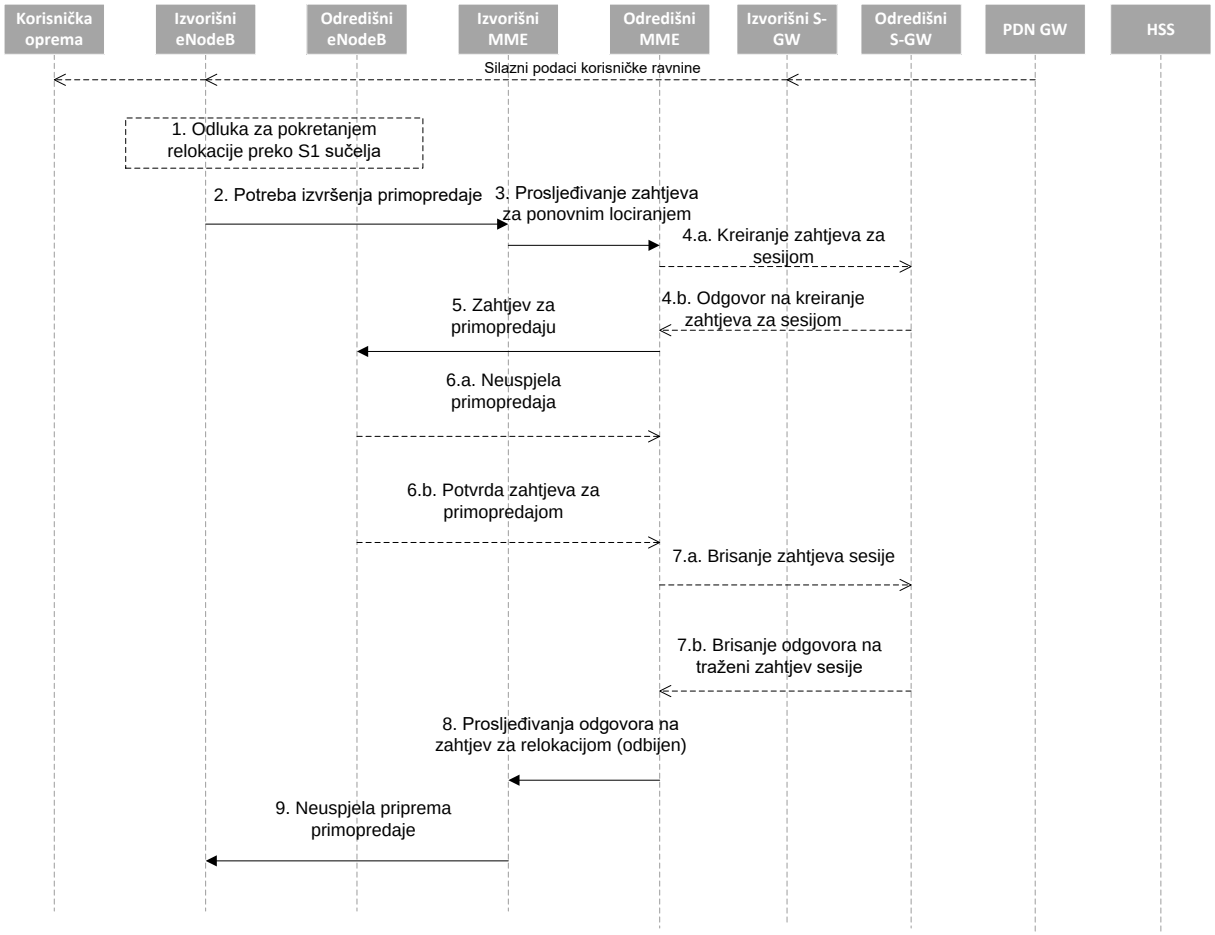
21. Ako se koristi neizravno prosljeđivanje, a S-GW je promijenjen, tada se istekom brojača iz koraka 14 obavještava izvorišni MME da pošalje poruku brisanja zahtjeva za neizravnim prosljeđivanjem (eng. *Delete Indirect Data Forwarding Tunnel Request*) prema odredišnom S-GW-u kako bi oslobodio privremeno dodijeljene resurse za neizravno prosljeđivanje dodijeljene u koraku 6.

5.3. Analiza i modeliranje Intra-LTE odbijenog procesa preuzimanja poziva baziranog na S1 sučelju

Odredišni eNodeB čvor odbacuje korištenje postupaka primopredaje ako nije moguće uspostaviti niti jedan od traženih nositelja u poruci zahtjeva za primopredajom. U tom slučaju *UE context* nije osnovan u odredišnom MME/eNodeB, gdje nema dodjele resursa. Nadalje, odredišni MME odbija zahtjev za primopredajom i briše sve resurse u odredišnom MME-u i odredišnom eNodeB čvoru, ako je odredišni eNodeB

prihvatio zahtjev za primopredajom, a niti jednom od zadanih EPS nositelja ne dodjeljuju se predviđeni resursi. U oba slučaja korisnička oprema ostaje pri izvorišnom eNodeB/MME.

Pri usporedbi dijagrama 2 i dijagrama 3, prvih pet koraka je identično. Na dijagramu 2 pri sljedećem koraku 5.a odredišni eNodeB čvor šalje poruku potvrde o primljenom zahtjevu za preuzimanje poziva (eng. *Handover Request Acknowledge*) prema odredišnom MME čvoru. Na dijagramu 3 pri sljedećem koraku 6.a odredišni eNodeB čvor šalje poruku neuspjeha primopredaje (eng. *Handover Failure message*) prema odredišnom MME čvoru (kasnije detaljnije opisana).



Dijagram 3. INTRA-LTE ODBIJENI PROCES PREUZIMANJA POZIVA BAZIRAN NA S1 SUČELJU, [23]

Koraci 1-5 su identični kao i u prethodnom procesu preuzimanja poziva baziranom na S1 sučelju.

6.a. Ukoliko odredišni eNodeB ne dodjeli sve resurse za bilo koji traženi EPS nositelj, šalje poruku neuspjeha primopredaje (eng. *Handover Failure message*) s uzrokom

prema odredišnom MME-u. Odredišni MME briše sve rezervirane resurse za korisničku opremu u odredišnom MME čvoru.

6.b. Ako odredišni MME čvor primi poruku zahtjeva za potvrdu primopredaje s odredišnog eNodeB čvora, ali niti jedan zadani EPS nositelj nije s liste za postavljanje EPS nositelja, odredišni MME briše sve rezervirane resurse za ovu korisničku opremu u odredišnom MME-u i odredišnom eNodeB čvoru.

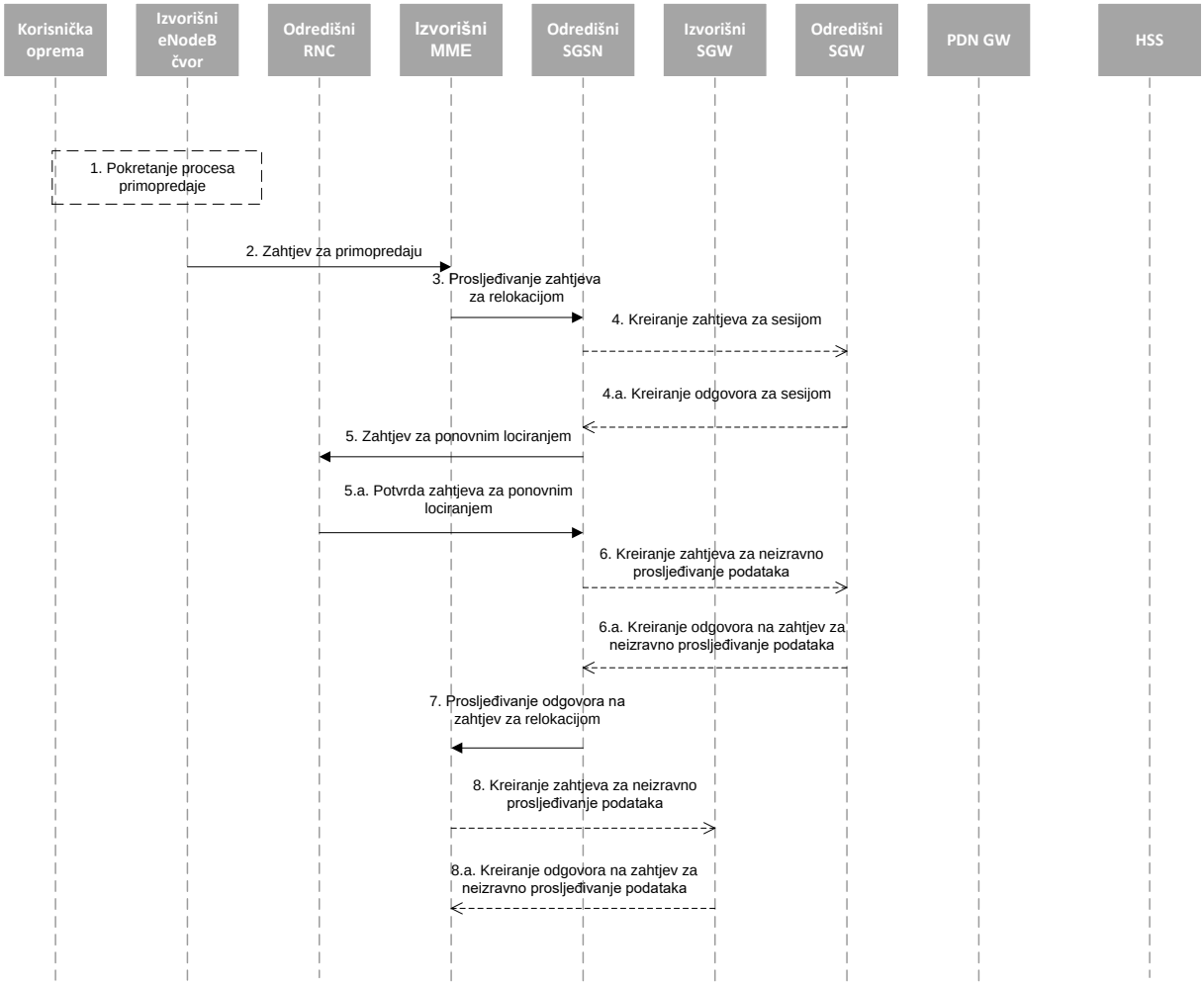
7. Ovaj korak se izvršava samo za promjenu SGW-a, odnosno ako su izvršeni koraci 4 i 4.a. Odredišni MME briše resurse EPS nositelja slanjem poruke zahtjeva za brisanjem sesije (eng. *Delete Session Request*) prema odredišnom SGW-u.

8. Odredišni MME šalje poruku prosljeđivanja odgovora na zahtjev za relokacijom (eng. *Forward Relocation Response*) prema izvorišnom MME-u.

9. Kada izvorišni MME primi poruku prosljeđivanja odgovora na zahtjev za relokacijom (eng. *Forward Relocation Response*), šalje poruku neuspjele pripreme primopredaje (eng. *Handover Preparation Failure*), odnosno poruku o neuspjelom izvršenju procesa primopredaje prema izvorišnom eNodeB čvoru.

5.4. Analiza i modeliranje Inter-RAT procesa preuzimanja poziva između E-UTRAN i UTRAN Iu mode sustava

Ukoliko korisnička oprema sudjeluje u obavljanju hitnih nosećih usluga (eng. *emergency bearer services*) kao što su hitni pozivi, primopredaja prema odredišnom RNC-u se obavlja neovisno o primopredajnoj listi. SGSN provjerava, kao dio ažuriranja područja usmjeravanja (eng. *Routing Area Update*) u fazi realizacije, ako se primopredaja odvija u ograničenom području, te ukoliko je deaktivira *non-emergency Packet Data Protocol* (PDP) *context*. Dijagramom 4 analiziran je proces preuzimanja poziva između LTE i UMTS ćelija.



Dijagram 4. Inter-RAT proces preuzimanja poziva između E-UTRAN i UTRAN Iu mode sustava, [23]

1. Izvorišni eNodeB čvor odlučuje pokrenuti Inter- RAT proces preuzimanja prema odredišnoj pristupnoj mrežu UTRAN Iu Mode. U ovom trenutku uzlazni i silazni korisnički podaci prenose se putem nositelja (jednog ili više) između korisničke opreme i izvorišnog eNodeB čvora, GTP (eng. GPRS *Tunneling Protocol*) protokolom između izvorišnog eNodeB, S-GW-a i PDN GW-a.

Ako je u tijeku hitna noseća usluga (eng. *emergency bearer service*), odredišni eNodeB neće pokrenuti primopredaju prema UTRAN ćeliji, ukoliko nije IMS kapacitirana.

2. Izvorišni eNodeB čvor šalje poruku zahtjeva za primopredaju (eng. *Handover Required*) prema izvorišnom MME-u, kako bi zatražio da jezgrena mreža (CN) uspostavi resurse u odredišnom RNC-u, odredišnom SGSN-u i S-GW-u. Ukoliko postoje nositelji koji će biti subjekti u prosljeđivanja podataka, biti će identificirani od strane odredišnog SGSN čvora (vidi korak 7). Ako je odredišna ćelija hibridna ili CSG ćelija s ograničenim brojem korisnika za pristup (*Closed Subscriber Group*, CSG *cell*), izvorišni eNodeB čvor uključuje identifikacijski broj CSG ID s odredišne ćelije. Ako je odredišna ćelija hibridna, mora se navesti način CSG pristupa.

3. Izvorišni MME čvor utvrđuje iz odredišnog RNC identifikatora (eng. *Target* RNC *Identifier*) ako se radi o IRAT vrsti preuzimanja poziva prema UTRAN *Iu modu*. Isti čvor pokreće postupak dodjele resursa za primopredaju slanjem poruke prosljeđivanja zahtjeva za ponovnim lociranjem (eng. *Forward Relocation Request*) prema odredišnom SGSN čvoru. Ako su izvorišni čvor MME i pripadajući S-GW u stanju aktivirati ISR prema korisničkoj opremi, bit će inducirane informacije *ISR Supported*. Kada je ISR (eng. *idle state signalling reduction*) aktivan, poruku treba poslati na SGSN koji održava ISR za korisničku opremu. Ova poruka sadrži sve aktivne PDN veze u izvorišnom sustavu i za svaku PDN vezu pripadajuće nazive pristupne točke (APN), adrese i parametre krajnje točke po uzlaznoj vezi od S-GW-a za kontrolnu ravninu, te listu sa sadržajem EPS nositelja (eng. *EPS bearer contexts*) .

Izvorišni MME čvor obavlja kontrolu pristupa provjerom CSG pretplate na korisničkoj opremi kada je CSG ID pružen od strane izvorišnog eNodeB čvora. Ukoliko nema pretplate za određeni CSG ID ili je CSG pretplata istekla, a odredišna ćelija je SCG ćelija, izvorišni MME će odbiti primopredaju s odgovarajućim razlogom.

4. Odredišni SGSN čvor određuje hoće li S-GW biti promijenjen, npr. zbog promjene PLMN-a (eng. *public land mobile network*). Ako će S-GW biti promijenjen, odredišni SGSN odabire odredišni S-GW i šalje poruku o kreiranju zahtjeva za sesijom po PDN vezi prema odredišnom S-GW-u. Odredišni SGSN čvor uspostavlja sadržaj EPS nositelja prema naznačenom redoslijedu. SGSN deaktivira EPS nositelje u fazi realizacije koji ne mogu biti uspostavljeni (opisano u koraku 7).

4.a. Odredišni S-GW izdvaja svoje lokalne resurse i odgovora na kreiranje zahtjeva za sesijom (eng. *Create Session Response*) prema odredišnom SGSN čvoru.

5. Odredišni SGSN čvor zahtijeva od RNC-a uspostavu radio mrežnih resursa, odnosno radio pristupnih nositelja (eng. *Radio access bearer*, RAB) slanjem poruke zahtijeva za ponovnim lociranjem (eng. *Relocation Request*). Ako je ograničeni pristup prisutan u *MM context*-u, informacije vezane za uslugu primopredaje će biti uključene u poruci zahtijeva za ponovnim lociranjem od strane odredišnog SGSN čvora kako bi RNC ograničio pristup korisničkoj opremi.

Za svaki uspostavljeni RAB zahtjev, postavljanje svakog RAB nositelja mora sadržavati podatke, kao što su RAB ID, RAB parametre, adrese transportnih slojeva i *Iu Transport Association*. RAB ID informacijski elementi sadrže NSAPI vrijednost i RAB parametre koji određuju QoS.

Na odredišnom RNC čvoru, radio i Iu korisnička ravnina rezervirane su za prihvaćanje RAB nositelja. RNC transparentni spremnik uključuje vrijednosti preuzete se izvorišnog eNodeB čvora.

Ako je odredišna ćelija, CSG ćelija, odredišni RNC će provjeriti CSG ID preuzet s odredišnog SGSN čvora i ukoliko se SCG ID ne podudara s odredišnom ćelijom, ćelija će odbiti primopredaju. Ako je odredišna stanica u hibridnom modu, odredišni RNC će koristiti CSG oznaku članstva za odgovarajući tretman CSG članova, a i ostalih.

5.a. Odredišni RNC alocira resurse i vraća primjenjive parametre odredišnom SGSN čvoru u potvrdnoj poruci zahtijeva za ponovnim lociranjem (eng. *Relocation Request Acknowledge*).

Nakon slanja potvrdne poruke, odredišni RNC mora biti spreman primiti korisničke podatke (eng. *packet data user*, PDU) u silaznoj vezi putem GTP protokola sa S-GW-

a ili odredišnog SGSN čvora, ako se ne koristi izravni tunel za prihvaćene RAB nositelje.

Lista postavki svakog RAB nositelja je definirana adresom transportnog sloja, što je odredišna RNC adresa za korisničke podatke i *Iu Transport Association*, koje odgovara identifikatoru krajnje točke za prijenos korisničkih podataka silaznom vezom.

Sadržaj EPS nositelja za koje RAB nositelji nisu uspostavljeni nalaze se u odredišnom SGSN čvoru i korisničkoj opremi. Isti EPS nositelji će biti deaktivirani od strane odredišnog SGSN čvora putem eksplicitnih SM (eng. *Session Management*) procedura pri završetku RAU (eng. *Routing Area Update*) procedura.

6. Ukoliko se primjenjuje neizravno prosljeđivanje, promjena S-GW-a i koristi se izravno tuneliranje, odredišni SGSN čvor šalje poruku zahtjeva za neizravnim prosljeđivanjem (eng. *Create Indirect Data Forwarding Tunnel Request message*) prema S-GW-u. Pri neizravnom prosljeđivanju, šalje se ista poruka s različitim sadržajem od prethodne prema S-GW-u.

Neizravno prosljeđivanje se može izvesti putem S-GW-a, koji je različit od S-GW-a koji se koristi kao točka sidrenja kod korisničke opreme.

6.a. S-GW vraća poruku odgovora na zahtjev za neizravnim prosljeđivanjem (eng. *Create Indirect Data Forwarding Tunnel Response*) prema odredišnom SGSN čvoru.

7. Odredišni SGSN čvor šalje poruku prosljeđivanja odgovora na zahtjev za relokacijom (eng. Forward Relocation Response) prema izvorišnom MME čvoru. Naznaka promijenjenog S-GW-a pokazuje koji novi S-GW je odabran.

8. Ako se primjenjuje neizravno prosljeđivanje, izvorišni MME šalje poruku o kreiranju zahtjeva za tunelom za neizravno prosljeđivanje podataka (eng. *Create Indirect Data Forwarding Tunnel Request)* prema S-GW-u.

Neizravno prosljeđivanje može se obavljati putem S-GW-a koji je različit od S-GW-a korištenog kao točka sidrenja korisničke opreme.

8.a. S-GW vraća parametre prosljeđivanja slanjem poruke odgovora na zahtjev za neizravnim prosljeđivanjem (eng. *Create Indirect Data Forwarding Tunnel Response*).

6. Parametri preuzimanja poziva

Za razliku od prijašnjih mobilnih mreža, gdje su se parametri ručno optimizirali i ažurirali, u samoorganiziranim mrežama (eng. *Self Organizing Network*, SON) koristi se automatska optimizacija parametara, odnosno optimizacija pomoću određenih algoritama. LTE je prva tehnologija sa značajkama SON mreža. Osnovni zahtjevi za optimizaciju primopredajnih parametara su usmjereni prema tri cilja: minimizirati kvarove tijekom obavljanja procesa primopredaje, smanjiti nepotrebna prekapčanja i povećati sposobnost balansiranja opterećenja na mreži. Ciljevi su usmjereni prema smanjenju operativnih troškova (eng. *Operating Expenses*, OPEX) i proračunu kapitalnih izdataka (eng. *Capital Expenditure Budget*, CAPEX). Uz ta tri cilja, važno je ujednačiti procese primopredaje, odnosno smanjiti oscilacije i njihove negativne učinke.

Postupci primopredaje sadrže različite parametre korištene kako bi se poboljšale performanse. Aktiviranje procesa prekapčanja obično se temelji na mjerenju kvalitete veze i ostalih parametara poboljšanja performansi. U instaliranim mrežama (eng. *deployed network*) kontrolni parametri koji određuju primopredaju postavljeni su na statičke vrijednosti, a njihova ažuriranja obavljaju se tijekom dužih vremenskih perioda (dani i tjedni), u sklopu održavanja ili kao odgovor na hitne slučajeve. Kao što je već navedeno, optimizacija parametara se odvija pomoću određenih algoritama, npr. *Advanced SOM Algorithm* [27], međutim, u ovom radu neće biti detaljnog opisa navedenog ili ostalih sličnih algoritama.

6.1. Ulazni mjereni parametri

3GPP definira referentni signal primljene snage (eng. *Reference Signal Received Power*, RSRP) kao ulaznu mjerenu vrijednost za algoritam preuzimanja poziva. RSRP se definira kao omjer linearnog prosjeka i doprinosa snage (u W) izvornih elemenata koji prenose specifične referentne signale unutar razmatranog frekvencijskog pojasa. RSRP se mjeri za trenutno posluživanje izvorišnog eNodeB čvora, kao i za druge eNodeB čvorove u korisnikovoj blizini. Koristi se pri rangiranju različitih stanica kod donošenja odluka o prekapčanju. Izračunava se pomoću stanične snage odašiljanja (P_c), gubitaka na putu od korisnika do različitih stanica (L_{ue}), *feding*-a s normalno-logaritamskom distribucijom pomoću standardne devijacije od 3dB (L_{fad}).

Prema [26] dobivene vrijednosti RSRP obračunavaju se po ćeliji i po korisniku prema formuli (1):

$$RSRP_{c,ue} = P_c - L_{ue} - L_{fad} \quad (1)$$

Drugi mjereni parametar je odnos signal šum (eng. *signal-to-interference noise ratio*, SINR) koji proizlazi iz RSRP izmjerene vrijednosti izvorišnog eNodeB čvora i RSRP vrijednosti ostalih eNodeB čvorova u korisnikovoj blizini. Ako se radio uvjeti pogoršavaju do točke gdje se podaci ne mogu više slati prema korisniku, poziv će biti odbačen. Prema [26] SINR vrijednost izračunava se iz vrijednosti RSRP spojene ćelije ($RSRP_{conn}$), vrijednosti RSRP od najviše ometajućih stanica + toplinski šum ($RSRP_{int,noise}$) koji se pribraja prethodnoj vrijednosti. Dobivena SINR vrijednost izračunava se po formuli (2):

$$SINR_{ue} = RSRP_{conn} - RSRP_{int,noise} \quad (2)$$

6.2. Pokazatelji uspješnosti primopredaje

Odnos neuspjeha radio veza (eng. *Radio link failure ratio*) je vjerojatnost da je postojeći poziv izgubljen prije završetka, ako korisnik prijeđe iz područja pokrivenosti signalom (SINR < - 10 dB za vrijeme 1 s). Izračunava se kao omjer broja izgubljenih poziva i prihvaćenih poziva od strane mreža.

Handover učestalost kvara ili omjer neuspjeha prebacivanja poziva (eng. *Handover failure ratio*, HOF) je omjer neuspješnih procesa prekapčanja (N_{HOfail}) i broj pokušaja prekapčanja. Broj pokušaja prekapčanja je zbroj uspješnih (N_{Hosucc}) i neuspješnih procesa prekapčanja poziva. Ako se korisnička oprema pokušava spojiti na odredišni eNodeB čvor zbog boljih radio uvjeta, proces prekapčanja se ne smatra neuspješnim. Oprema će tada pokušati nastaviti posluživanje izvorišnim eNodeB čvorom, ako to ne uspije (korisnik je prešao iz područja pokrivenog izvorišnim eNodeB signalom) poziv će biti odbačen. Drugim riječima, iako su *handover* kvarovi uzrokovani lošim uvjetima, neće izravno sudjelovati prekidom veze, osim ako se ne nastavi posluživanje izvorišnim eNodeB čvorom. *Handback*, odnosno prekidi u nastavku posluživanja izvorišnog čvora se dodaju zbroju neuspjeha radio veza. Prema [26] vrijednost *Handover failure ratio* se izračunava prema formuli (3):

$$HPI_{HOF} = N_{HOfail} / (N_{HOfail} + N_{HOsucc}) \quad (3)$$

Ako je poziv uspješno predan odredišnom eNodeB čvoru, a zatim se njegovo posluživanje vraća prema izvorišnom eNodeB čvoru u vremenu kraćem od kritičnog vremena (T_{crit} = 5 s), onda se to preuzimanje poziva naziva *handover ping – pong (HPP). Ping – pong* omjer prekapčanja (HPI_{HPP}) predstavlja broj *ping-pong* prekapčanja ($N_{HOpp)}$ podijeljen s ukupnim brojem uspješnih prekapčanja, što je zapravo broj *ping-pong* prekapčanja. Prema [26, 27] N_{HOpp}, broj prekapčanja gdje ne dolazi do *ping- pong*-a N_{Honpp} i broj propalih prekapčanja N_{HOfail}.

$$HPI_{HPP} = N_{HOpp} / (N_{HOpp}) + (N_{HOnpp}) + (N_{HOfail}) \quad (4)$$

Omjer neuspjelih poziva (eng. *call droping ratio,* HPI_{DC}) je vjerojatnost da je postojeći poziv prekinut prije planiranog završetka. Poziv može biti prekinut za vrijeme primopredaje, zbog kontrole zagušenja mreže ili ako se korisnička oprema kreće izvan područja pokrivenog signalom. Izračunava se kao omjer broja neuspjelih poziva i broja prihvaćenih poziva od strane mreže. Prema [26, 27] formula (5) glasi:

$$HPI_{DC} = N_{dropped} / N_{accepted} \quad (5)$$

6.3. Kontrolni parametri

Prema [26], definirana su dva kontrolna parametra. Prvi je Histereza (eng. *Hysteresis*), dok je drugi vrijeme potrebno za okidanje procedure prekapčanja (eng. *time to trigger*). Korisnička oprema prati posluživanje izvorišnog eNodeB čvora i stanje susjednih eNodeB čvorova i povremeno obavlja mjerenja *downlink* referentnog signala primljene snage (RSRP) na pilot kanalu. Ako su ispunjeni određeni mrežni konfigurirani uvjeti, korisnička oprema šalje odgovarajući izvještaj mjerenja, čime se pokreće histereza. Važeća vrijednost histereze varira između 0 i 10 dB, s koracima od 0,5 dB, što rezultira 21 važećom vrijednosti histereze.

Time to trigger je vrijeme potrebno da se zadovolje određeni kriteriji da bi se pokrenulo izvješće mjerenja (eng. *measurement report*). *Time to trigger* vrijednosti za LTE mrežu specificirana su od strane 3GPP. Iznosi vremena za pokretanje procedure prekapčanja u sekundama iznose: 0; 0,04; 0,064; 0,08; 0,1; 0,128; 0,16; 0,256; 0,32; 0,48; 0,512; 0,64; 1,024; 1,280; 2,560 i 5,120, [26].

7. Zaključak

Ubrzani razvoj mobilnih mreža dovodi do velikog broja novih tehnologija. Definirani standardi i korištene tehnologije u mobilnim mrežama koje prethode četvrtoj generacijom. Pojavom četvrte generacije dolazi do razvoja bežične tehnologije pod nazivom LTE, koja je na neki način konvergirana s prethodnim tehnologijama. U odnosu na prethodne mobilne mrežne, inteligencija LTE sustava kroz razvoj različitih tehnologija prebačena je iz jezgrenog dijela u krajnje čvorove.

Jedna od temeljnih potreba LTE sustava je mobilnost sustava, koja omogućuje korisnicima odgovarajuću razinu usluge u svakom trenutku i na svakom području, što se prvenstveno odnosi na uslugu poziva. U trenutku kada se korisnička oprema nalazi na području gdje je razina signala odredišnog eNodeB čvora jača od razine signala izvorišnog eNodeB čvora, sustav pokreće prekapčanje poziva na odredišni čvor. Pomoću UML dijagrama analizirani su i modelirani procesi prekapčanja poziva unutar LTE sustava i između sustava prethodne generacije. Pogodni su dijagrami međudjelovanja, koji daju naglasak na vremenski redoslijed kojim se odvija međudjelovanje elemenata u sustavu. Poruke između elemenata sadrže poruke naredbe, prosljeđivanja, zahtjeva, odgovora, provjere, poruke s korisničkim informacijama o lokaciji, vremenskoj zoni i sl. pomoću kojih sustav donosi odluke o daljnjim koracima pri preuzimanju poziva.

Mreža je zadužena za donošenje odluka o nastavku procesa preuzimanja poziva na temelju podataka sadržanih u porukama. Mreža identificira vrstu ćelije u kojoj se nalazi korisnička oprema, te vodi brigu o ograničenjima i zabranama ćelije.

Preuzimanje poziva mora biti brzo i neprimjetno, kako bi korisnik nesmetano nastavio korištenje usluge, međutim može doći i do neuspješnog preuzimanja poziva. Analizirana su tri procesa uspješnog prekapčanja poziva i jedan proces neuspješnog prekapčanja poziva, gdje se vidi kako mreža ne uspijeva dodijeliti sve predviđene resurse i dolazi do neuspjeha primopredaje.

LITERATURA

[1] Holma, H., Toskala, A.: WCDMA for UMTS, Radio Access For Third Generation Mobile Communications, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2004

[2] Dahlman, E., Parkvall, S., Skold, J., Beming, P.:3G Evolution, HSPA and LTE for Mobile Broadband, Academic Press is an imprint of Elsevier, Oxford, 2007

[3] Internet stranica http://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_2_2004/pokretna_telefonija.pdf (1.7. 2016.)

[4] Bažant, A., Car, Ž., Gledec, G., Jevtić, D., Ježić, G., Kunštić, M., Lovrek, I., Matijašević, M., Mikac, B.:Telekomunikacije - tehnologija i tržište, Element, Zagreb, 2007.

[5] Cvitković, M., Modlic, B., Šišul, G.: Brzi paketni pristup; časopis: Naše more 56(5-6)/2009.

[6] Internet stranica: http://image.slidesharecdn.com/282015itri3gppsummitranv01r-160329160510/95/overview-of-ran-activities-release-13-status-5g-timeline-7-638.jpg?cb=1459267554 (1.7. 2016.)

[7] Internet stranica: https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2015/komunikacijske_mreze_i_usluge/Projekt%20Pogled%20ubudu%C4%87nost_izvjesce_2010.pdf (3.7.2016.)

[8] Internet stranica: http://www.tti.unipa.it/~ilenia/course/13-umts-core.pdf (3. 7. 2016.)

[9] Skorin-Kapov, L., Mošmondor, M.: Podrška kvalitete usluge za umreženu virtualnu stvarnost u sustavu UMTS; Revija Br. 1, 2005.

Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Hrvatska; 2005.

https://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_1_2005/podrska_kvalitete_usluge.pdf

[10] Internet stranica: http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte (5. 7. 2016.)

[11] Internet stranica: http://lib.tkk.fi/Dipl/2012/urn100708.pdf (6. 7. 2016.)

[12] Internet stranica: http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/lte-mimo.php (6. 7. 2016.)

[13] Internet stranica: http://www.radioelectronics.com/info/cellulartelecomms/umts/umts-wcdma-handover-handoff.php (8. 7. 2016.)

[14] Internet stranica: http://www.cse.unt.edu/~rdantu/FALL_2013_WIRELESS_NETWORKS/LTE_Alcatel_White_Paper.pdf (6. 7. 2016.)

[15] Internet stranica: https://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_1_2007/brzi_paketni_pristup.pdf (9. 7. 2016.)

[16] Internet stranica: http://cwi.unik.no/wiki/Mobility_and_Handover_in_mobile_systems (6. 7. 2016.)

[17] Internet stranica: https://www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/2009_01/files/HSPA.pdf (11. 7. 2016.)

[18] Internet stranica: http://www.winncom.com/images/lte/Simple_LTE_network.jpg (7. 7. 2016.)

[19] Blajić T. LTE – nova tehnologija za mobilni širokopojasni pristup; Revija Br. 1, 2010.

Ericsson Nikola Tesla d.d.; Zagreb, Hrvatska; 2010.

https://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_1_2010/04.pdf

[20] Internet stranica: https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/kvalifikacijski_Sinanovic_Darko.pdf (14. 7. 2016.)

[21] Internet stranica: http://www.3glteinfo.com/lte-handover-overview/ (14. 7. 2016.)

[22] Internet stranica: https://cdn.rohdeschwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma142/1MA142_0e_introduction_to_MIMO.pdf (16. 7. 2016.)

[23] Internet stranica: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123400_123499/123401/10.05.00_60/ ts_123401v100500p.pdf (16. 7. 2016.)

[24] Internet stranica: http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21093/LTE% 20Handover%20Performance%20Evaluation.pdf (16. 7. 2016.)

[25] Internet stranica: http://www.microwave-link.com/microwave/mimo-technology-for-microwave-links/ (22. 7. 2016.)

[26] Internet stranica: https://biblio.ugent.be/publication/1140647/file/1210278.pdf (24. 7. 2014.)

[27] Internet stranica: http://jwcn.eurasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/1687-1499-2011-98 (25. 7. 2016.)

Popis kratica

3GPP - 3rd Generation Partnership Project

AF - Application Function

AMBR - Aggregate Maximum Bit Rate

AMC - Adaptive Modulation and Coding

AMPS - Advance Mobile Phone Service

APN - Access Point Name

CAPEX - Capital Expenditure Budget

CDMA - Code division multiple access

CPC - Continous Packet Connectivity

CQI - Channel Quality Indicator

CSG - Closed Subscriber Group

DCH - Dedicated Channel

DPCCH - Dedicated Physical Control Chanel

DSCH - Downlink Shared Channel

E-AGCH - Enhanced Absolute Grant Channel

ECGI - E-UTRAN Cell Global Identifier

E-DCH - Enhanced Dedicated Channel

EDGE - Enhanced Data Rates for GSM Evolution

E-DPCCH - Enhanced Dedicated Physical Control Channel)

E-DPDCH - Enhanced Dedicated Physical Channel

EMM - EPS Mobility Management

EPC - Evolved Packet Core

EPS - Evolved Packet System

E-RGCH - Enhanced Relative Grant Channel

ESM - EPS Session Management

ETSI - the European Telecommunications Standards Institute

E-UL - Enhanced Uplink

E-UTRAN - Evolved Universal Terrestrial Access Network

FACH - Forward Access Channel

FDD – Frequency division duplex

FDMA - Frequency division multiple access

FEC - Forward Error Correction

GGSN - Gateway GPRS Support Node

GPRS - General Packet Radio Service

GSM - Global System for Mobile Communications

GTP - GPRS Tunneling Protocol

HARQ - Hybrid Automatic Repeat Request

HPP - handover ping – pong

HSDPA - High Speed Downlink Packet Access

HS-DPCCH - High-Speed Dedicated Physical Control Channel

HSPA - High Speed Packet Access

HSS - Home Subscriber Server

HS-SCCH - High-Speed Shared Control Channel

HSUPA - High Speed Uplink Packet Access

ICT - Information and communications technology

iDEN - Integrated Digital Enhanced Network

IETF - Internet Engineering Task Force

IMB - Integrated Mobile Broadcast

IMS - Ip Multimedia Subsystem

IS-95 - Interim Standard 95

ISR - Idle Mode Signaling Reduction

JTACS - Japanese Total Access Communication System

LIPA - Local IP Access

LTE - Long Term Evolution

MAC - Medium Access Control

MGW - Media GateWay

MIMO - Multiple Input Multiple Output

MISO - Multiple Input Single Output

MME - Mobility Management Entity

MMS - Multimedia Messaging Service

MSC – Mobile switching centre

NGNM - Next Generation Mobile Networks

NMT- Nordic Mobile Telephone

NTACS - Narrowband Total Access Communications System

OFDM - Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

OPEX- Operating Expenses

OVSF - Orthogonal Variable Spreading Factor

PAPR - Peak-to-average Power

PCEF - Policy Control Enforcement Function

PCRF - Policy Control and Charging Rules Function

PDC - Personal Digital Cellular

PDCP - Packet Data Convergence Protocol

PDN - Packet Data Network

PDN-GW - Packet Data Network Gateway

PDU - packet data user

P-GW - PDN Gateway

PHY - Physical Layer

PLMN - public land mobile network

Pusch - Physical Uplink Shared Channel

QAM - Quadrature Amplitude Modulation

QCI - Qos Class Identifier

QoS – Quality of Service

QPSK - Quadrature Phase Shift Keying

RAB - radio access bearer

RACH - Random Access Channel

RLC - Radio Link Control

RNC - Radio Network Controller

RNS - Radio Network Subsystem

RRM - Radio resource management

RSRP - Reference Signal Received Power

SAE - System Arhitecture Evolution

SC-FDMA - Single Carrier Frequency Division Multiple Access

S-eNB - Source eNodeB

SGSN - Serving General Packet Radio Service Support Node

S-GW - Serving Gateway

SIMO - Single Input Multiple Output

SINR - signal-to-interference noise ratio

SIP - Session Initiation Protocol

SMS - Short Message Service

SON - Self Organizing Networks

TA - Tracking Area

TACS - Total Access Communication System

TAI - Tracking Area Identity

TDD – Time division duplex

TDMA – Time division multiple access

TEID - The tunnel endpoint ID

T-eNB - Target eNodeB

TTI - Transmission time intervals

UE - User Equipment

UML - Unified Modelling Language

UMTS - Universal Mobile Telecommunication System

UTRAN - Universal Terrestrial Radio Access Network

VoIP - Voice over IP

WCDMA - Wideband Code Division Multiple Access

Popis slika

Slika 1. Evolucija 3GPP tehnologija 5
Slika 2. Mrežna arhitektura UMTS sustava, *release* 99 7
Slika 3. Mrežna arhitektura UMTS sustava, *release* 4 8
Slika 4. Osnovni princip IMS komponente 8
Slika 5. Korisnički usmjerene kategorije kvalitete usluge 9
Slika 6. Usporedba mekog i mekšeg preuzimanja poziva 12
Slika 7. QPSK, 16 QAM i 64 QAM dijagrami stanja 16
Slika 8. Usporedba funkcionalnosti sustava prema R99 i HSUPA tehnologije prema R6 17
Slika 9. Konfiguracija HSUPA kanala 18
Slika 10. Prikaz OFDM modulacijske tehnike 24
Slika 11. Moguće kombinacije antenskih sustava s više ulaza i izlaza 26
Slika 12. RX *diversity* 27
Slika 13. Konfiguracija MIMO 2x2 28
Slika 14. Mrežna EPS arhitektura 31
Slika 15. E-UTRAN mrežna arhitektura 31
Slika 16. EPC mrežna arhitektura 33
Slika 17. LTE protokolska arhitektura (*downlink*) 37

Popis dijagrama

Dijagram 1. Intra LTE proces preuzimanja poziva bez promjene S-GW-a baziran na X2 sučelju 41
Dijagram 2. Intra LTE proces preuzimanja poziva baziran na S1 sučelju 45
Dijagram 3. Intra-LTE odbijeni proces preuzimanja poziva baziran na S1 sučelju 51
Dijagram 4. Inter-RAT proces preuzimanja poziva između E-UTRAN i UTRAN Iu mode sustava 53