Analiza i uloga protokola za upravljanje mobilnošću u situacijama prelaženja korisnika između mreža

Čuljak, Antonio

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:119:844544

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

Antonio Čuljak

ANALIZA I ULOGA PROTOKOLA ZA UPRAVLJANJE MOBILNOŠĆU U SITUACIJAMA PRELAŽENJA KORISNIKA IZMEĐU MREŽA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 19. travnja 2016.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Tehnologija telekomunikacijskog prometa II**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 3564

Pristupnik: **Antonio Čuljak (0135223180)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Analiza i uloga protokola za upravljanje mobilnošću u situacijama prelaženja korisnika između mreža**

Opis zadatka:

Prikazati i usporediti postojeća rješenja i protokole za makro mobilnost te ukazati na ključne probleme pri upravljanju prekapčanjem kao što su signalizacijski overhead i potrebna snaga za obradu poruka vezanih za prekapčanje, osiguranje dovoljne razine QoS-a te učinkovito korištenje mrežnih resursa. Usporediti postojeća rješenja za problem makro mobilnosti te ukazati na ključne probleme pojedinih rješenja. Korištenjem UML dijagrama prikazati procese razmjene poruka između različitih entiteta.

Zadatak uručen pristupniku: 4. ožujka 2016.

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

ANALIZA I ULOGA PROTOKOLA ZA UPRAVLJANJE MOBILNOŠĆU U SITUACIJAMA PRELAŽENJA KORISNIKA IZMEĐU MREŽA

ANALYSIS AND ROLE OF MACRO-MOBILITY PROTOCOLS

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Student: Antonio Čuljak, 0135223180

Zagreb, rujan 2016.

ANALIZA I ULOGA PROTOKOLA ZA UPRAVLJANJE MOBILNOŠĆU U SITUACIJAMA PRELAŽENJA KORISNIKA IZMEĐU MREŽA

SAŽETAK

Upravljanje mobilnošću se nameće kao jedan od najzahtjevnijih i najvažnijih problema za mobilne komunikacije preko Interneta, a do toga dovodi konvergencija Interneta i mobilnih komunikacija te sve veći porast broja mobilnih korisnika. Upravljanje mobilnošću omogućuje poslužujućoj mreži lociranje trenutne mrežne točke na koju je spojen mobilni uređaj za isporuku podataka (upravljanje lokacijom) i održavanje veze mobilnog pretplatnika prilikom promjene pristupne točke (upravljanje prekapčanjem).

Mobile IP je najkorišteniji protokol za upravljanje makro mobilnošću. Kao dodatak MIP-u, opisane su dvije arhitekture za makro mobilnost: upravljanje mobilnošću koristeći SIP protokol i upravljanje mobilnošću bazirano na mrežnom agentu za interoperabilnost (NIA).

KLJUČNE RIJEČI: UMTS; upravljanje mobilnošću; upravljanje lokacijom; upravljanje prekapčanjem; makro mobilnost; *Mobile* IP; SIP; NIA

ANALYSIS AND ROLE OF MACRO-MOBILITY PROTOCOLS

SUMMARY

With the convergence of the Internet and wireless mobile communications and with the rapid growth in the number of mobile subscribers, mobility management emerges as one of the most important and challenging problems for wireless mobile communication over the Internet. Mobility management enables the serving networks to locate a mobile subscriber's point of attachment for delivering data packets (location management), and maintain a mobile subscriber's connection as it continues to change its point of attachment (handoff management).

Mobile IP is the most widely used protocol for macro-mobility management. In addition to Mobile IP, two macro-mobility architectures are discussed: SIP-based mobility management and network inter-working agent-based mobility management (NIA).

KEYWORDS: UMTS; mobility management; location management; handoff management; macro-mobility; Mobile IP; SIP; NIA

SADRŽAJ:

1. UVOD 1
2. UMTS arhitektura 3
2.1. Korisnička oprema 6
2.2. UTRAN pristupna mreža 8
2.3. Jezgrena mreža 9
2.4. Protokolarni složaj 10
3. Koncepti upravljanja mobilnošću 13
4. Upravljanje mobilnošću 18
4.1. Operacije upravljanja mobilnošću 19
4.1.1. Upravljanje Lokacijom 19
4.1.2. Upravljanje prekapčanjem 20
4.2. Opći model upravljanja mobilnošću 22
5. Različite situacije kod prelaženja korisnika između različith mreža 25
5.1. Vrste mobilnosti 26
5.2. Prikaz mikro i makro mobilnosti UML dijagramom 27
6. Opis *macro-mobility* protokola 30
6.1. IP za podršku mobilnosti (*Mobile IP*) 30
6.2. Upravljanje mobilnošću koristeći SIP protokol (MMUSE) 34
6.3. Upravljanje mobilnošću bazirano na NIA 37
6.4. Usporedba opisanih rješenja 39
7. Zaključak 40
Literatura 41
Popis kratica 43
Popis slika 47

1. UVOD

Upravljanje mobilnošću je temeljna tehnologija koja omogućuje nesmetan pristup mrežama nove generacije i mobilnim uslugama i nameće se kao jedan od najzahtjevnijih i najvažnijih problema za mobilne komunikacije preko Interneta. Upravljanje mobilnošću obrađuje informacije o lokaciji korisnika kako bi se mogli dostaviti podaci te održava korisničku vezu tijekom promjene bazne stanice.

Svrha diplomskog rada je prikazati postojeća rješenja i protokole za makro mobilnost te ukazati na ključne probleme pri upravljanju prekapčanjem. Cilj diplomskog rada je prikazati postojeća rješenja korištenjem UML dijagrama i prikazati procese razmjene poruka između različitih entiteta prilikom izvođenja određenih procedura. Materija diplomskog rada podijeljena je u 7 poglavlja, uključujući uvod i zaključak, kako slijedi:

1. Uvod
2. UMTS arhitektura
3. Koncepti upravljanja mobilnošću
4. Upravljanje mobilnošću
5. Različite situacije kod prelaženja korisnika između mreža
6. Opis *macro-mobility* protokola
7. Zaključak

U drugom poglavlju se opisuje UMTS mreža. Definiraju se elementi koji čine određenu cijelinu, njihove funkcionalnosti, najvažnija sučelja preko kojih komuniciraju te su prikazani protokolarni složaji za korisničku i kontrolnu ravninu.

Funkcionalnost upravljanja mobilnošću zahtijeva da mreža ima određenu logičku strukturu. U trećem poglavlju prikazana je logička struktura pristupne mreže i opisana su područja koja je sačinjavaju te je prikazan slijed razmjene poruka između korisničke opreme i jezgrene mreže prilikom izvršavanja procedura za ažuriranje lokacije i ažuriranje područja usmjeravanja.

Glavne funkcionalnosti upravljanja mobilnošću dijele se na upravljanje lokacijom i upravljanje prekapčanjem. U četvrtom poglavlju opisane su procedure upravljanja lokacijom i upravljanja prekapčanjem i prikazan je opći model mobilnosti te su opisane komponente koje ga čine.

Upravljanje mobilnošću u heterogenim mrežama je mnogo složenije nego što je to u homogenim mrežama i obično uključuje različite slojeve TCP/IP protokolarnog složaja. U petom poglavlju klasificirana su rješenja upravljanja mobilnošću u kategorije koje su potom opisane. Također, opisane su dvije vrste mobilnosti i za svaku od njih prikazan jedan dijagram koji prikazuje slijed razmjene poruka prilikom prekapčanja.

U šestom poglavlju su opisana tri rješenja za problem makro mobilnosti. Prikazane su arhitekture pojedinih rješenja, opisane su procedure koje se izvršavaju i prikazan je dijagram međudjelovanja koji prikazuje slijed razmjene poruka prilikom određenih procedura za svako rješenje.

2. UMTS arhitektura

Raspon dostupnih bežičnih mrežnih tehnologija danas uključuje mobilne sustave (GSM/GPRS[1], UMTS[2], LTE[3]), bežične sustave velikih pokrivenosti (npr. WiMax), bežične mreže lokalne pokrivenosti (npr. WLAN[4]) te bežične mreže osobne pokrivenosti (npr. *Bluetooth*). Napredniji mobilni terminalni uređaji mogu imati više aktivnih sučelja u isto vrijeme čime se povećava heterogenost pristupnih tehnologija a to dovodi do jednog od ključnih izazova u mrežama sljedeće generacije (engl. Next Generation Network - NGN), odnosno besprijekorne integracije različitih načina na koje korisnik može pristupiti mreži, [1].

Za bežične mreže nove generacije predviđena je infrastruktura temeljena na IP protokolu koja pruža podršku za razne heterogene pristupne tehnologije. Ključan izazov za sve-IP (engl. *All-IP*) mreže sljedeće generacije je dizajn inteligentnih tehnika za upravljanje mobilnošću koje iskorištavaju tehnologiju baziranu na IP-u za postizanje globalnog *roaminga* između različitih pristupnih tehnologija. Bežične mreže nove generacije zahtijevaju integraciju i interoperabilnost tehnika za upravljanje mobilnošću u heterogenoj mreži, [2].

Bežične mreže bazirane na IP protokolu su pogodnije za podršku sve većeg broja mobilnih podatkovnih usluga i multimedijskih usluga, jer mogu približiti uspješnu paradigmu Internet usluga mobilnim operatorima i korisnicima. IP-bazirane bežične mreže se mogu integrirati sa Internetom kako bi se korisnicima omogućio pristup informacijama, aplikacijama i uslugama koje su dostupne preko Interneta. Osim toga, IP tehnologije pružaju bolje rješenje za transparentnu integraciju različitih radio tehnologija tako da ih korisnik doživljava kao jednu komunikacijsku mrežu, [3].

UMTS mreža je evoluirala od GSM/GPRS mreže te prvobitno nije zamišljena kao IP mreža. UMTS mreža doživjela je razne promjene tokom vremena kroz razna izdanja koja objavljuje vodeći konzorcij za bežičnu industriju 3GPP (*3rd Generation*

---

[1] GSM/GPRS - *Global System for Mobile/General Packet Radio Service*
[2] UMTS - *Universal Mobile Communication System*
[3] LTE - *Long Term Evolution*
[4] WLAN - *Wireless Local Area Network*

Partnership Project). U izdanju R4 se prvi put uvodi IP tehnologija u jezgrenoj mreži a zatim se u izdanju R5 uvodi IP tehnologija unutar pristupne mreže.

3GPP združuje šest telekomunikacijskih organizacija za razvoj standarda i osigurava svojim članovima proizvodnju izvještaja i specifikacija koje definiraju 3GPP tehnologije. Proizvodnja tehničkih specifikacija za 3G temelji se na evoluiranoj GSM jezgrenoj mreži. 3GPP standardi strukturirani su kao izdanja (engl. *Releases*). Prva UMTS 3G mreža koja uključuje CDMA[5] zračno sučelje specificirana je u R99. U tablici 1 prikazana su izdanja 3GPP-a za UMTS mrežu, [4].

Tablica 1: 3GPP izdanja za UMTS mrežu

3GPP izdanje	Godina izdanja	Informacije
3GPP R99	1999	Prvo izdanje UMTS standarda
3GPP R4	2001	Dodavanje značajki kao npr. all-IP jezgrena mreža
3GPP R5	2002	Prvo izdanje koje uključuje IMS i HSDPA. Cilj je podrška uvođenju višemedijskih usluga i pristupna mreža UTRAN zasnovana na IP protokolu.
3GPP R6	2004	Integracija s WLAN-om. Uvođenje HSUPA i naprednih mogućnosti terećenja.
3GPP R7	2007	Fokusira se na smanjenju kašnjenja, poboljšanje QoS-a i stvarno-vremenskih aplikacija.

Izvor: [4]

Arhitektura UMTS mreže se može modelirati na više načina, ovisno o tome što se želi prikazati. Arhitektura sa gledišta mreže i mrežnih elemenata se može podijeliti na tri dijela. Prema [5] ti dijelovi su:

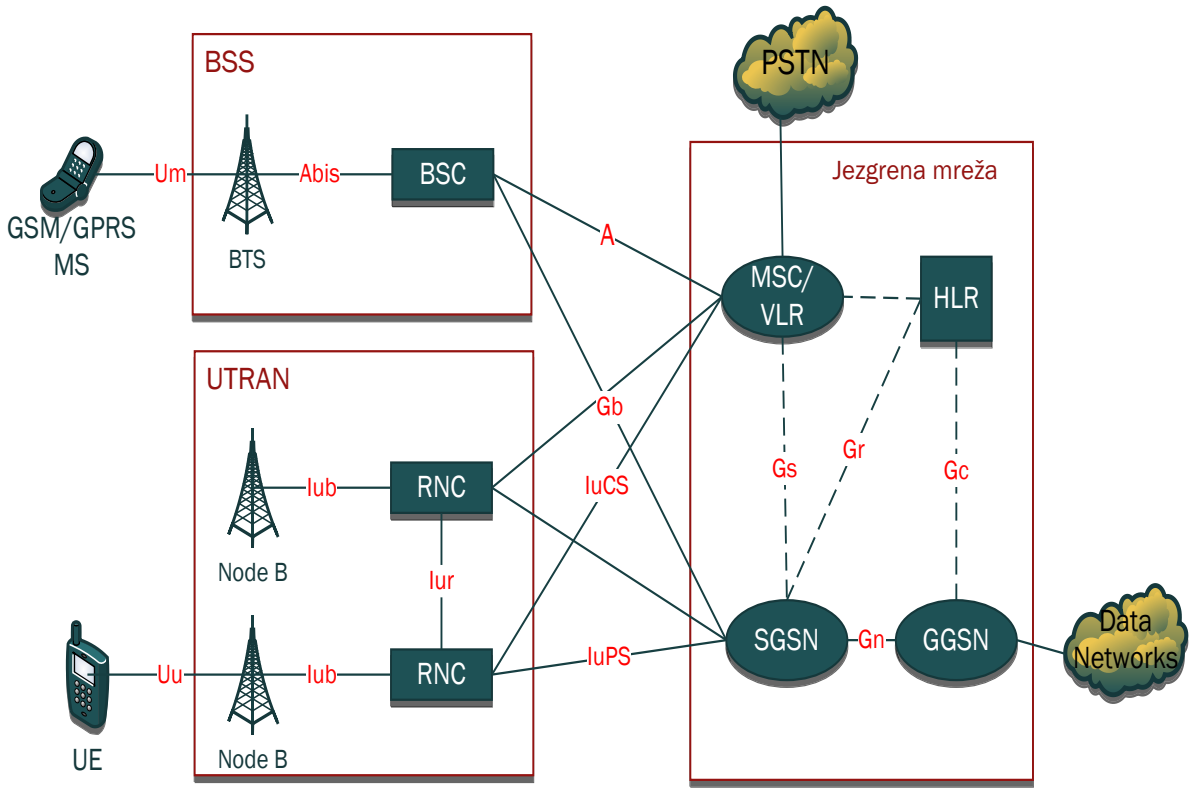
1. Korisnička oprema (engl. *User equipment* - UE) - Korisnička oprema predstavlja mobilni uređaj ili neki drugi uređaj koji se spaja na pristupnu mrežu putem bežične radio veze.

[5] CDMA - *Code Division Multiple Access*

2. UTRAN pristupna mreža (engl. *UMTS Terrestrial Radio Access Network* - UTRAN) - Pristupna mreža se sastoji od baznih stanica (*Node B*) koje su povezane sa kontrolerom baznih stanica (engl. *Radio Network Controller* - RNC)
3. Jezgrena mreža (engl. *Core Network* - CN) - jezgrena mreža je povezana sa ostalim mrežama kao što su javna telefonska mreža PSTN (engl. *Public Switched Telephone Network*), Internet mreža te ostale mobilne mreže a odgovorna je za rutiranje, autentikaciju, lociranje i dr.

Na slici 1 prikazana je arhitektura GSM/GPRS/UMTS sustava. Isprekidane linije predstavljaju signalizacijske veze dok pune predstavljaju podatkovne i signalne veze. Jezgrena mreža se sastoji od dvije uslužne domene, domene s komutacijom kanala (engl. *Circuit-switched* - CS) te domene s komutacijom paketa (engl. *Packet-switched* - PS). Korisnička oprema se povezuje sa baznom stanicom preko Uu radio sučelja koje se temelji na WCDMA[6] tehnologiji. U UMTS mreži svaka je bazna stanica povezana sa RNC-om preko Iub sučelja, svaki RNC je povezan sa jezgrenom mrežom preko Iu sučelja te RNC može biti povezan sa nekoliko RNC-ova preko Iur sučelja, [6].

[6] WCDMA - *Wideband CDMA*



Slika 1: GSM/GPRS/UMTS mrežna arhitektura
Izvor: [6]

UTRAN pristupna mreža i jezgrena mreža zajedno čine administrativnu domenu mobilnog operatora. Jezgrena mreža je podijeljena u domenu s komutacijom kanala i domenu s komutacijom paketa. Mobilna korisnička oprema komunicira sa više baznih stanica preko bežičnog Uu sučelja, [7].

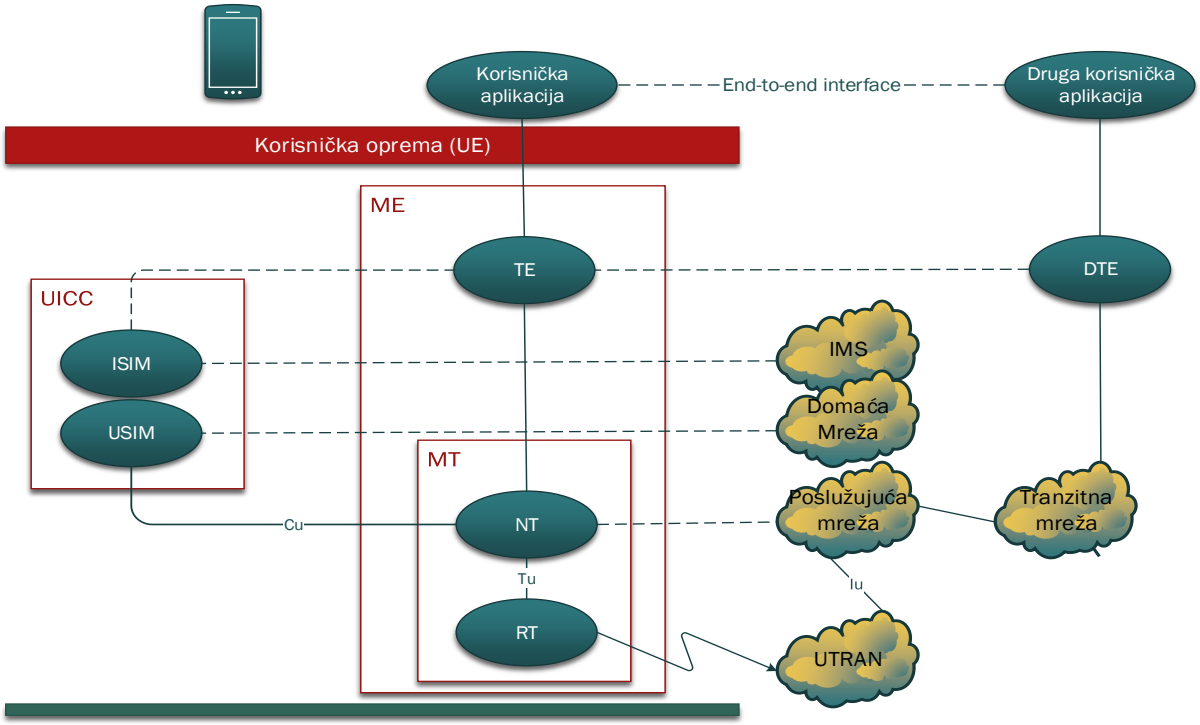
2.1. Korisnička oprema

UMTS terminal ili korisnička oprema je najvidljiviji mrežni element sa gledišta krajnjeg korisnika. Uglavnom se smatra kao element koji pruža aplikacijsko sučelje i usluge za krajnjeg korisnika. Međutim, funkcije terminala su znatno šire, [5].

S gledišta mreže, korisnička oprema je odgovorna za one komunikacijske funkcije koje su potrebne na drugom kraju radio sučelja, isključujući bilo kakve aplikacije krajnjeg korisnika. Obvezne funkcionalnosti UMTS terminala se uglavnom odnose na interakciju između terminala i mreže, [5].

Korisnička oprema se često prikazuje kao jedan jedinstveni monolitni uređaj, uglavnom zbog toga što je operator isporučio fizički nedjeljivu opremu. U

sofisticiranim mobilnim sustavima, korisnička oprema se često doživljava kao skup međusobno povezanih modula sa nezavisnom grupom funkcija. Na slici 2 prikazana je referentna arhitektura korisničke opreme, [5].



Slika 2: Referentna arhitektura korisničke opreme
Izvor: [5]

Korisnička oprema se sastoji od mobilne opreme (engl. *Mobile equipment* - ME) i univerzalnog sklopa (engl. *Universal integrated circuit card* - UICC). UICC je korisnički ovisan dio a sadrži najmanje jednu ili više USIM (engl. *Universal Subscriber Identity module*) kartica i odgovarajući aplikacijski software. USIM je u osnovi logički koncept koji je fizički implementiran u UICC a sadrži sve potrebne podatke za autentikaciju i pristup UMTS mreži. UICC može sadržavati ISIM (engl. *IMS identity module*) aplikacije za IMS usluge.

ME je korisnički neovisan dio mobilnog uređaja a sastoji se od različitih modula. Terminalna oprema (engl. *Terminal equipment* - TE) je dio koji pruža aplikacijske funkcije za krajnjeg korisnika, kao što su kontrola poziva te upravljanje sesijama klijenta. Modul MT (engl. *Mobile termination*) je dio koji prekida radio prijenos od mreže i prema mreži te prilagođava mogućnosti terminalne opreme. Sa gledišta mobilnog sustava, MT je zapravo terminalni uređaj. MT ima sposobnost da

promijeni svoju lokaciju unutar pristupne mreže ili da se prebaci na područje pokrivanja druge pristupne mreže.

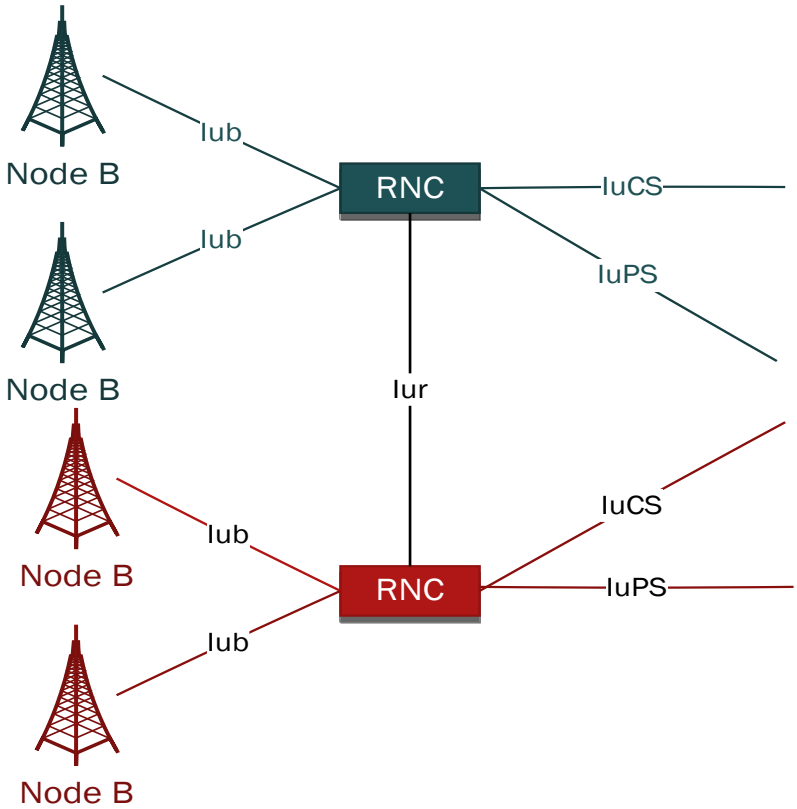
Modul NT (engl. *Network termination*) je dio MT modula koji je ovisan o jezgrenoj mreži. NT koristi protokole bez pristupa (engl. *Non-access stratum protocols*) za upravljanje mobilnošću te za upravljanje komunikacijom i sesijama. Modul RT (engl. *Radio termination*) je također dio MT modula a vezan je za pristupnu mrežu. Za razliku od NT modula, RT koristi protokole sa pristupom (engl. *Access stratum protocols*) kao što su MAC, RLC i RRC povrh fizičke radio veze, [5].

2.2. UTRAN pristupna mreža

Kao što je već rečeno, UMTS mreža je evoluirala od GPRS-a, na način da su neke funkcije upravljanja radio resursima prebačene sa jezgrene mreže na pristupnu mrežu. Ova promjena u arhitekturi omogućila je da se pristupna mreža i jezgrena mreža mogu razvijati nezavisno jedna o drugoj.

Glavna zadaća UTRAN pristupne mreže je stvoriti i održavati radio pristupne nositelje (engl. *Radio Access Bearers* - RAB) za komunikaciju između korisničke opreme i jezgrene mreže, [5].

UTRAN pristupna mreža se sastoji od baznih stanica (Node B) te modula za upravljanje baznim stanicama (RNC). Skupina baznih stanica je povezana sa RNC-om preko Iub sučelja. RNC s kojim je bazna stanica povezana se naziva CRNC (engl. *Controlling RNC*). Jedan RNC sa svim povezanim baznim stanicama se naziva RNS (engl. *Radio Network Subsystem*). Na slici 3 prikazana je UTRAN pristupna mreža sa svim sučeljima, [8].



Slika 3: UTRAN pristupna mreža
Izvor: [4]

Bazna stanica funkcionira na fizičkom i mrežnom sloju te prosljeđuje podatke prema CRNC-u. Bazna stanica mjeri kvalitetu i snagu radio veze prema korisničkoj opremi te o tome izvještava pripadajući CRNC. Na temelju primljenih podataka CRNC može smanjiti ili povećati snagu radio signala na baznoj stanici ili korisničkoj opremi. RNC je komutacijski i kontrolni element UTRAN pristupne mreže a nalazi se između Iub i Iu sučelja te ima treće sučelje Iur koje povezuje jedan RNC sa drugim, [8].

2.3. Jezgrena mreža

Na UMTS jezgrenu mrežu se može gledati kao na osnovnu platformu za sve komunikacijske usluge koje su pružaju korisnicima. Osnovne komunikacijske usluge se dijele na usluge s komutacijom kanala i usluge s komutacijom paketa, [5].

Osnovni elementi domene komutacije kanala su MSC poslužitelj (engl. *MSC Server*) i medijski pristupnik (engl. *Media Gateway*). MSC poslužitelj je osnovni upravljački element domene komutacije kanala, a zadužen je za upravljanje pozivima (uspostavljanje, nadziranje i raskidanje poziva), upravljanje dodatnim uslugama,

upravljanje i prikupljanje tarifnih i obračunskih podataka, upravljanje funkcijama vezanim za mobilnost pretplatnika i za upravljanje radom medijskih pristupnika. Medijski pristupnik je središnji element prijenosnog sloja u domeni komutacije kanala a zadužen je za funkcionalnosti kao što su eliminacija jeke (*echo-cancelling*), enkodiranje/dekodiranje govora iz pulsno-kodne modulacije (engl. *Pulse Code Modulation* - PCM) u AMR[7] kodek i obratno, omogućavanje poziva između više od dva pretplatnika te interaktivne poruke pretplatnicima. Medijski pristupnik je također zadužen i za prilagođavanje podataka koji se prenose različitim prijenosnim tehnologijama, [9].

Osnovni elementi domene komutacije paketa su SGSN čvor (engl. *Serving GPRS Support Node*) i GGSN čvor (engl. *Gateway GPRS Support Node*). SGSN čvor usmjerava podatke unutar vlastite UMTS mreže te izvan mreže preko GGSN čvora a sadrži funkcije za kontrolu podatkovnih sesija, funkcije lociranja i praćenja pretplatnika kao i funkcije upravljanja i prikupljanja tarifnih i obračunskih podataka. SGSN čvor je također odgovoran za autentikaciju te upravljanje mobilnošću, a unutar mreže se obično nalazi više do jedan, ovisno o veličini mreže. GGSN čvor predstavlja vezu prema vanjskim podatkovnim mrežama (npr. Internet), a sadrži i funkcije kontrole podatkovnih sesija, funkciju dodjele IP adresa te funkcije za potvrdu vjerodostojnosti korisnika, [9].

Najvažniji elementi zajednički za obje domene su registar vlastitih pretplatnika (engl. *Home Location Register* - HLR) i centar za provjeru vjerodostojnosti (engl. *Authentication Centre* - AuC). HLR je središnja baza podataka koja sadrži podatke o vlastitim pretplatnicima kao što su vrsta pretplate, dodatne usluge, lokacija pretplatnika i sl. AuC čvor je baza podataka koja zajedno sa HLR čvorom sudjeluje u potvrdi vjerodostojnosti korisnika, [9].

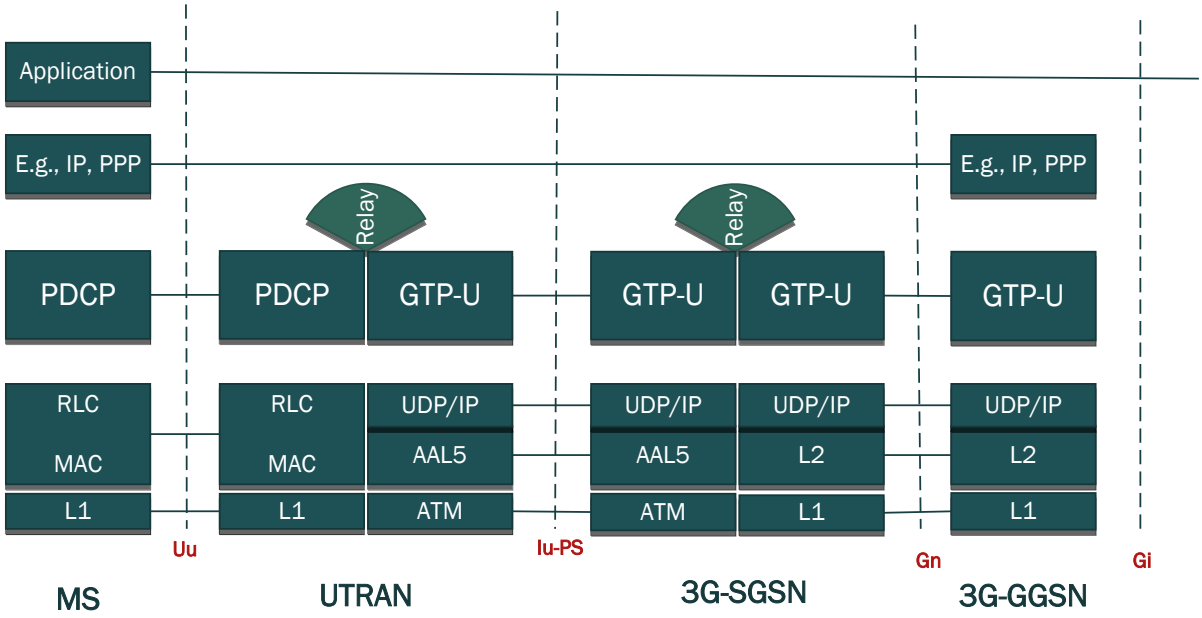
2.4. Protokolarni složaj

Sa gledišta strukture protokola i njihove odgovornosti, 3G mreža se dijeli na dvije domene: *access stratum* (AS) i *non-access stratum* (NAS). AS sadrži protokole koji su odgovorni za aktivnosti između korisničke opreme i pristupne mreže. NAS

[7] AMR - *Adaptive Multirate*

sadrži protokole koji su odgovorni za aktivnosti između korisničke opreme i jezgrene mreže, [5].

Različiti protokolarni složaji su definirani za korisničku i kontrolnu ravninu. Korisnička ravnina (engl. *User plane*) je odgovorna za prijenos korisničkih podataka, kao što su govor ili aplikacijski podaci preko AS protokola. Na slici 4 prikazan je protokolarni složaj korisničke ravnine za domenu sa komutacijom paketa, [10].



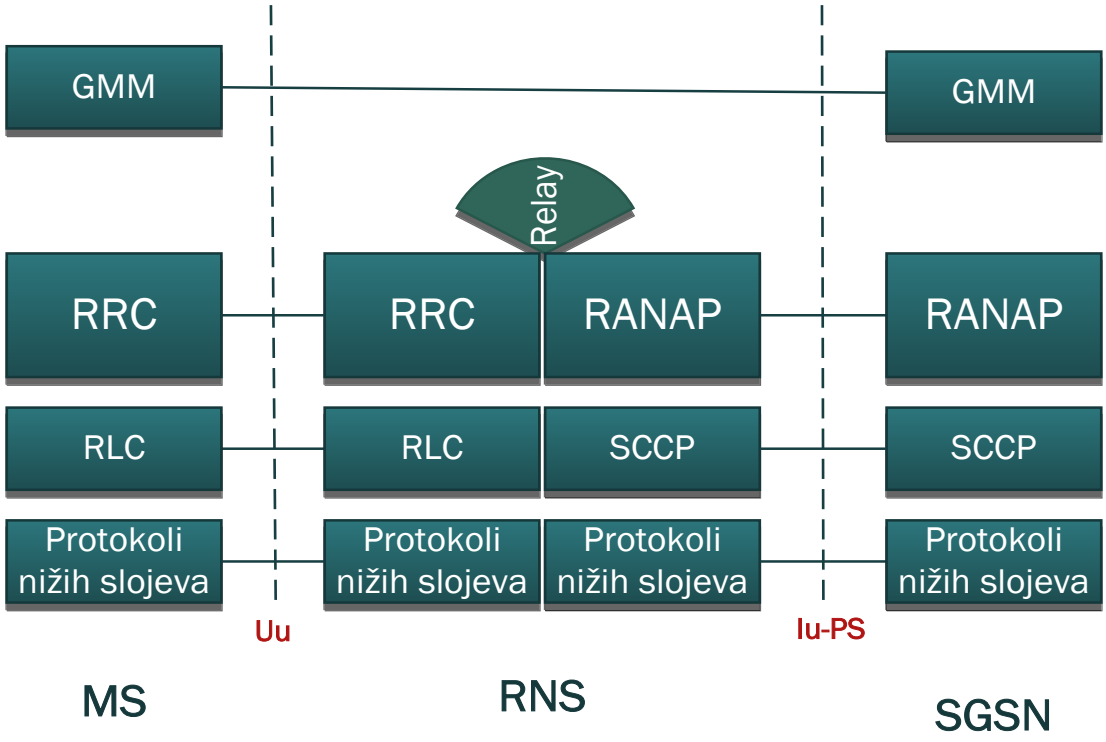
Slika 4: Protokolarni složaj za korisničku ravninu
Izvor: [10]

PDCP protokol (engl. *Packet Data Convergence Protocol*) pruža transparentnost za protokole višeg sloja a ključna funkcionalnost je komprimiranje zaglavlja IP paketa u korisničkoj ravnini, [10].

RLC protokol (engl. *Radio Link Control*) osigurava nadzor logičke veze preko radio sučelja tj. kontrola toka i kontrola greške te segmentacija podataka i ponovno sastavljanje. MAC protokol (engl. *Medium Access Control*) vrši mapiranje između logičkih i transportnih kanala te segmentira podatke u transportne blokove. MAC i RLC protokoli su protokoli sloja podatkovne veze odnosno drugog sloja OSI referentnog modela, [10].

Kontrolna ravnina (engl. *Control plane*) sadrži protokole koji kontroliraju radio pristupne nositelje (RAB) i povezanost između korisničke opreme i mreže. Kontrolna

ravnina obavlja poslove vezane za upravljanje mobilnošću te upravljanje sesijama. Na slici 5 prikazan je protokolarni složaj kontrolne ravnine za domenu sa komutacijom paketa, [10].



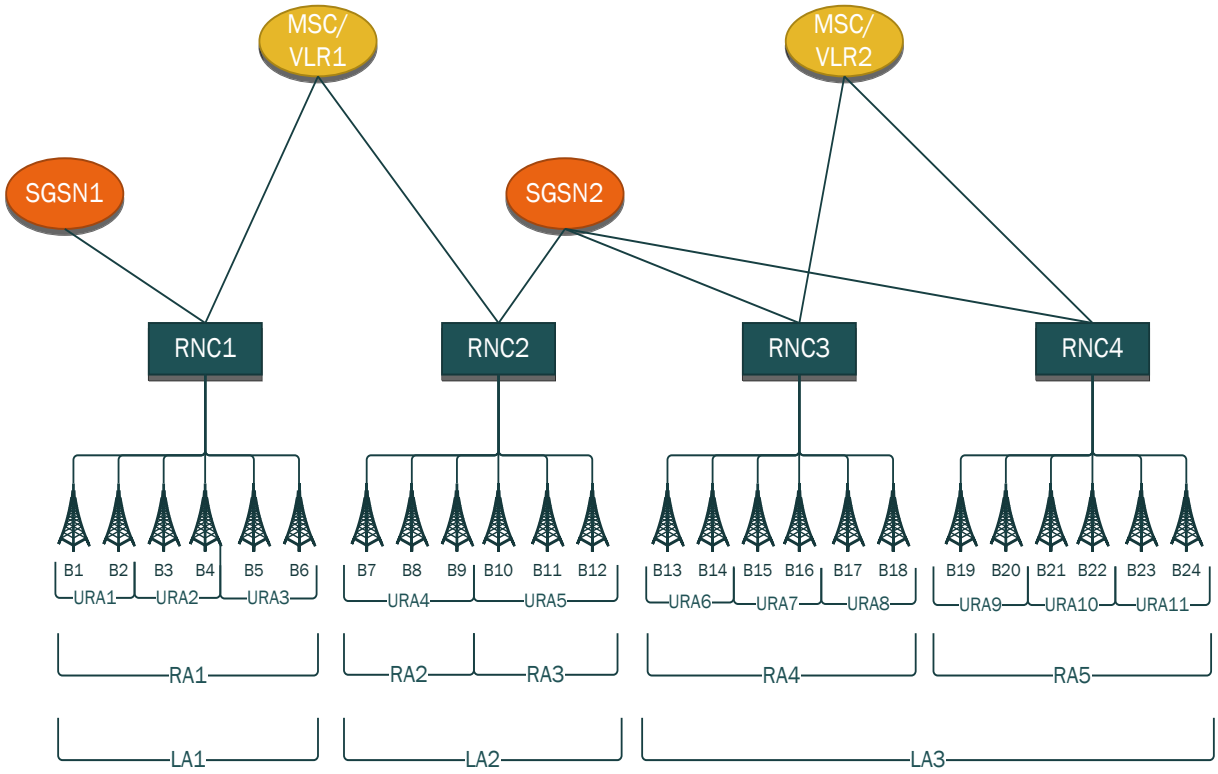
Slika 5: Protokolarni složaj za kontrolnu ravninu
Izvor: [10]

RRC protokol (engl. *Radio Resource Control*) je odgovoran za pouzdanu vezu između korisničke opreme i UTRAN pristupne mreže a SCCP protokol (engl. *Signaling Connection Control Part*) je odgovoran za pouzdanu vezu između UTRAN pristupne mreže i SGSN čvora. Povrh SCCP protokola, RANAP protokol (engl. *Radio Access Network Application Part*) podržava transparentan prijenos signalizacije za aktivnosti upravljanja mobilnošću između korisničke opreme i jezgrene mreže. RANAP je također odgovoran za SRNS ponovno lociranje te upravljanje radio pristupnim nositeljima. GMM protokol (engl. *GPRS Mobility Management*) podržava funkcionalnost upravljanja mobilnošću, [10].

3. Koncepti upravljanja mobilnošću

Funkcionalnost upravljanja mobilnošću zahtijeva da mreža ima određenu logičku strukturu. Struktura se može prikazati logičkim dijelovima pristupne mreže. Dakle, ti logički entiteti djeluju poput "karte" za procedure upravljanja mobilnošću i njihovo parametriranje. UMTS mreža sadrži četiri logička područja (slika 6). Prema [5] to su:

1. Lokacijsko područje (engl. *Location Area* - LA)
2. Područje usmjeravanja (engl. *Routing Area* - RA)
3. UTRAN registracijsko područje (engl. *UTRAN Registration Area* - URA)
4. Ćelija (engl. *Cell*)



Slika 6: Logička struktura pristupne mreže
Izvor: [8]

U domeni s komutacijom kanala, LA je područje u kojem se korisnička oprema, odnosno korisnik, može slobodno kretati bez provođenja postupka ažuriranja lokacije (engl. *Location update* - *LU*). LA se sastoji od minimalno jedne ćelije i maksimalno svih ćelija koje su pod jednim VLR-om. U postupku ažuriranja

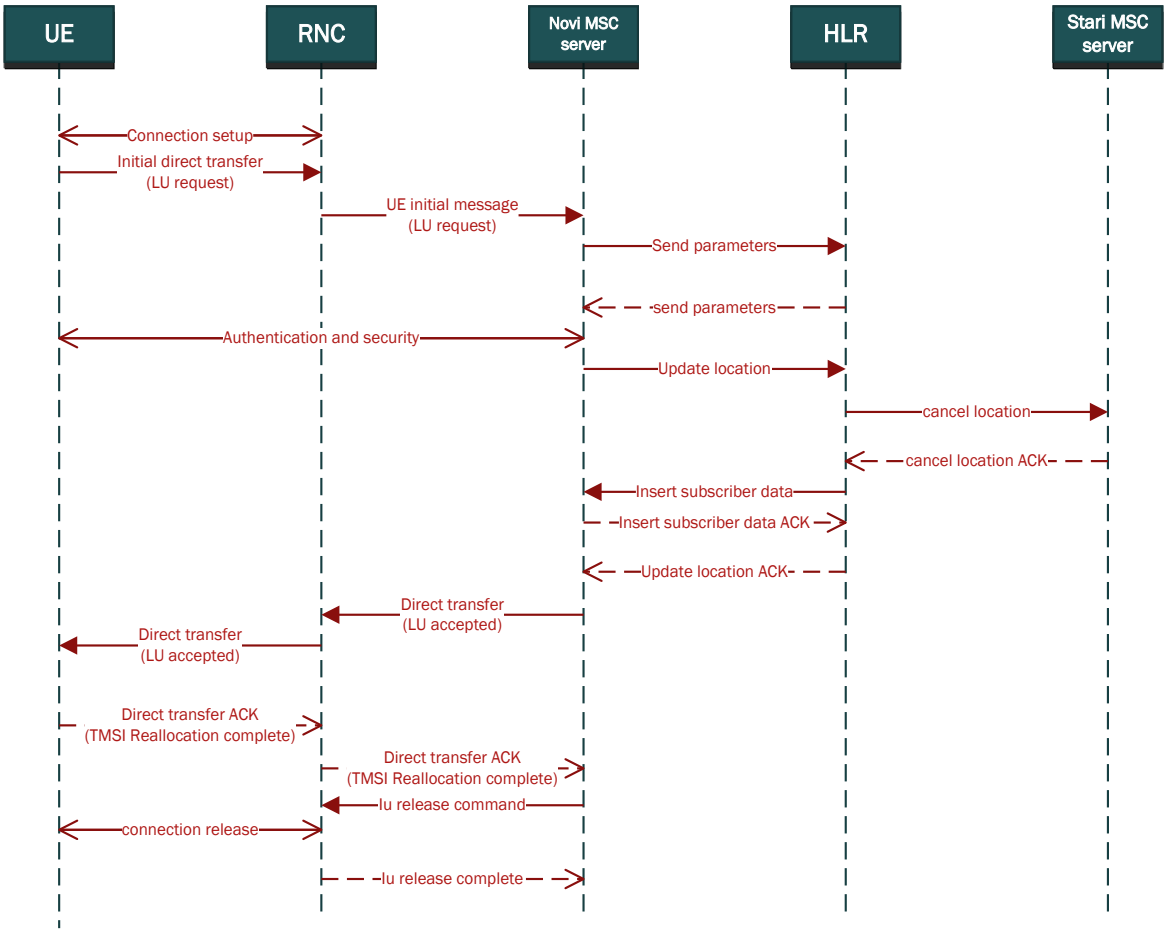
lokacije, lokacija korisničke opreme je ažurirana u VLR-u sa LA točnošću. Ova informacija je potrebna za uspostavljanje poziva a za dobivanje ove informacije VLR poziva željenu korisničku opremu u lokacijskom području, gdje je korisnička oprema obavila posljednje ažuriranje lokacije. Svako lokacijsko područje se jedinstveno identificira sa LAI (engl. *Location Area Identity*), [5].

U domeni s komutacijom paketa, RA je područje u kojem se korisnik može kretati bez provođenja postupka koje se naziva RA ažuriranje. RA je podskup od LA, odnosno jedan LA može imati nekoliko RA unutar sebe ali ne i obrnuto. Osim toga, jedan RA se ne može nalaziti unutar dva lokacijska područja, kao što je prikazano na slici 6.

U UMTS mreži, UTRAN pristupna mreža je djelomično uključena u funkcionalnost upravljanja mobilnošću i stoga sadrži lokalnu registraciju mobilnosti koja se naziva UTRAN registracijsko područje (URA). URA je područje koje je pokriveno nizom ćelija a poznato je samo pristupnoj mreži i nije vidljivo jezgrenoj mreži. Svaki put kada korisnička oprema ulazi u novo područje, potrebno je obaviti postupak URA ažuriranja, [5].

Najmanji entitet korišten u ovoj logičkoj strukturi upravljanja mobilnošću se naziva ćelija. U pristupnoj domeni ćelija je najmanji entitet koji ima vlastiti javno vidljiv identitet koji se naziva ID ćelije. ID ćelije je broj koji bi trebao biti jedinstven unutar mreže, [5].

Na slici 7 prikazan je slijed razmjene poruka između korisničke opreme i dijela jezgrene mreže koji se odnosi na domenu s komutacijom kanala pri procesu ažuriranja lokacije (LU). Korisnička oprema pohranjuje LAI u pretplatničkoj kartici (USIM) i ako se taj broj ne podudara sa onim koji je korisnička oprema dobila od sustava, korisnička oprema pokreće proceduru ažuriranja lokacije kako bi jezgrena mreža znala trenutnu lokaciju.



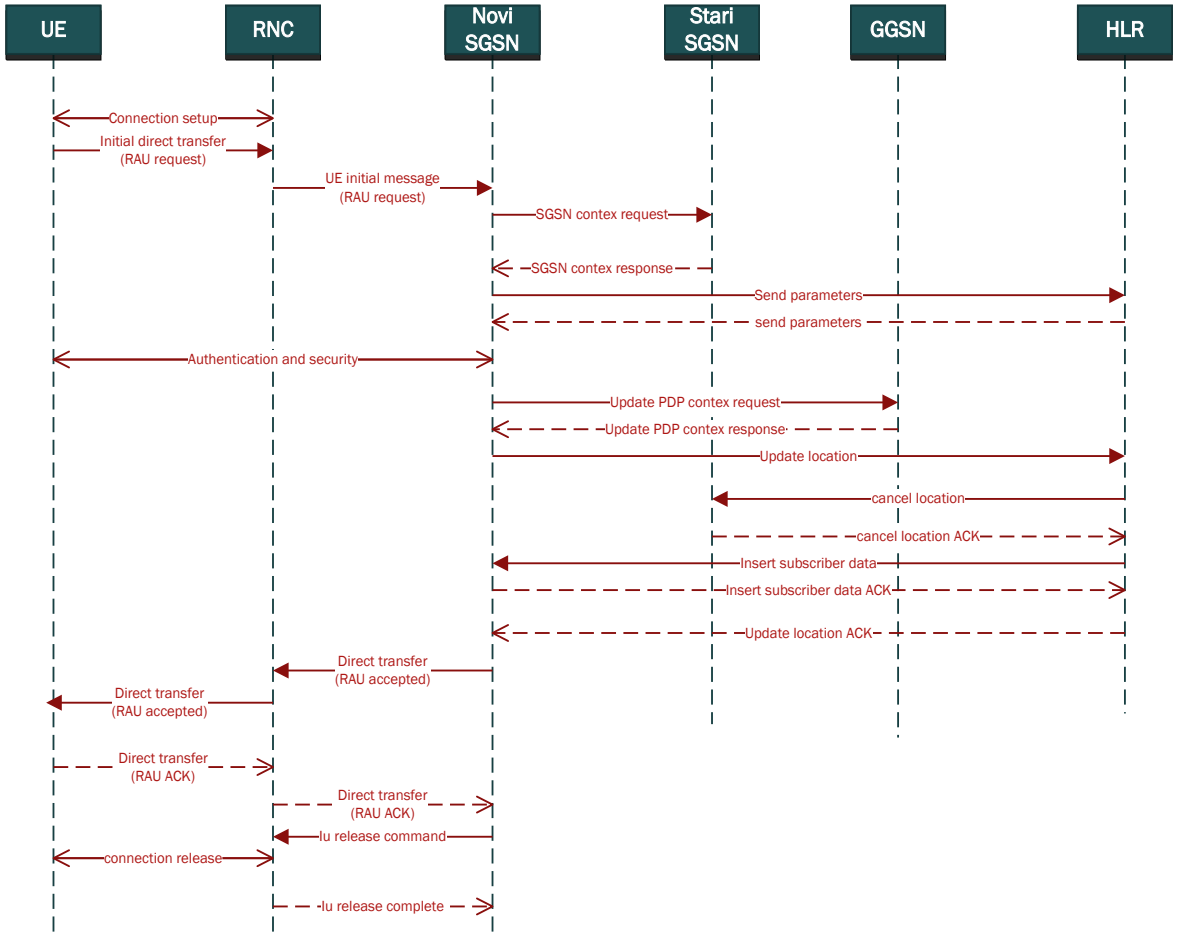
Slika 7: Proces ažuriranja lokacije
Izvor: [5]

Poruka *LU request* šalje se do poslužujućeg RNC-a kako bi je mogao dalje prenijeti jezgrenoj mreži. Poruka sadrži stari i novi LAI te identifikacijske informacije o pretplatniku što je obično TMSI[8]. VLR funkcionalnost u MSC serveru provjerava ima li autorizacijske vektore za dotičnog pretplatnika. Ako ih nema, sigurnosni parametri se dohvaćaju iz HLR-a porukom *send parameters*. Po primitku ovih parametara VLR je u stanju pokrenuti sigurnosne procedure za autentikaciju i šifriranje. Ako se novi i stari LAI razlikuju, VLR obavještava HLR o novoj lokaciji te HLR zatim poništava staru lokaciju korisničke opreme porukom *cancel location* i počinje unos nove lokacije porukom *insert subscriber data*. Nakon što je VLR ažurirao podatke o lokaciji korisnika, jezgrena mreža izvještava korisničku opremu o uspješno izvedenoj proceduri porukom *LU accepted* koja sadrži novi TMSI broj za korisnika. Potom RNC prenosi ovu informaciju do korisničke opreme. Korisnička oprema potvrđuje

[8] TMSI - *Temporary Mobile Subscriber Identity*

ažuriranje lokacije i novi TMSI slanjem poruke *TMSI reallocation complete* prema MSC serveru. Kada VLR primi potvrdu o realokaciji, pokreće oslobađanje Iu sučelja porukom *Iu release command*. RNC pokreće otpuštanje RRC veze, nakon čega to potvrđuje porukom *Iu release complete* koju šalje MSC serveru.

Na slici 8 prikazan je slijed razmjene poruka između korisničke opreme i dijela jezgrene mreže koji se odnosi na domenu s komutacijom paketa pri procesu ažuriranja područja usmjeravanja (RAU) ako se promijeni SGSN. Korisnička oprema pohranjuje najnoviji RA prilikom ažuriranja područja usmjeravanja i ako se on ne podudara sa primljenim, vrši se RAU procedura.



Slika 8: RAU proces
Izvor: [5]

U prvom koraku UE šalje poruku *RAU request* koja sadrži staru i novu RA vrijednost. Poruka preko Iu sučelja stiže do novog SGSN-a koji poznaje susjedna RA

područja i njihov odnos sa ostalim SGSN elementima u mreži. Na temelju tih informacija novi SGSN može odrediti stari SGSN, te od njega zatražiti podatke o pretplatniku slanjem *SGSN context request* poruke. Nakon toga, novi SGSN je u poziciji zatražiti od HLR-a pružanje autentikacijskih vektora. HLR izračunava i vraća skup vektora porukom *send parameters*. Novi SGSN sada može pokrenuti autentikaciju i kontrolu sigurnosti za UE preko UTRAN mreže. Nakon uspješne autorizacije i sigurnosnih aktivnosti, novi SGSN obavještava GGSN da je promijenjen SGSN i da su informacije o PDP kontekstu promijenjene u skladu sa tim.

Novi SGSN sada može ažurirati lokaciju slanjem poruke *update location* prema HLR-u. Po primitku poruke, HLR poništava staru vezu između korisničke opreme i starog SGNS-a. Kada se stara veza poništi, HLR započinje prijenos korisničkog profila prema novom SGSN-u porukom *insert subscriber data*. Nakon što je korisnički profil ažuriran u novom SGSN-u, šalje se poruka *RAU accepted* koja sadrži novi P-TMSI[9] broj. Korisnička oprema pohranjuje novi P-TMSI broj na USIM i odgovara porukom *RAU ACK*. Novi SGSN oslobađa veze korištene u ovoj transakciji naredbom *Iu release*.

[9] P-TMSI - *Packet Temporary Mobile Subscriber Identity*

4. Upravljanje mobilnošću

Upravljanje mobilnošću je temeljna tehnologija koja omogućuje nesmetan pristup mrežama nove generacije i mobilnim uslugama. Buduće IP bazirane bežične mreže podržavaju sve vrste multimedijskih usluga, uključujući stvarno-vremenske usluge kao što je govor ili video strujanje (engl. *Video streaming*) te ostale usluge kao što su *e-mail*, pretraživanje na Internetu te prijenos podataka (FTP[10]), [3].

Upravljanje mobilnošću se nameće kao jedan od najzahtjevnijih i najvažnijih problema za mobilne komunikacije preko Interneta, a do toga dovodi konvergencija Interneta i mobilnih komunikacija te sve veći porast broja mobilnih korisnika, [11].

Iako postoje razne mreže koje zadovoljavaju potrebe korisnika, one su komplementarne jedna drugoj u smislu njihovih sposobnosti i pogodnosti za različite aplikacije. Integracija mreža omogućuje mobilnim korisnicima da su uvijek povezani na pristupnu mrežu koja ima najbolje uvjete, ovisno o njihovim zahtjevima. Integracija heterogenih mreža dovodi do raznolikosti u pristupnim tehnologijama i mrežnim protokolima, [12].

Kako bi se zadovoljili zahtjevi mobilnih korisnika u okviru heterogenog okruženja, potrebna je zajednička infrastruktura za povezivanje više pristupnih mreža kako bi se podacima moglo pristupiti s bilo kojeg mjesta i u bilo koje vrijeme. Za učinkovitu isporuku usluga, mreže sljedeće generacije zahtijevaju nove mehanizme upravljanja mobilnošću, gdje je lokacija svakog korisnika proaktivno određena prije nego što je usluga isporučena, [12].

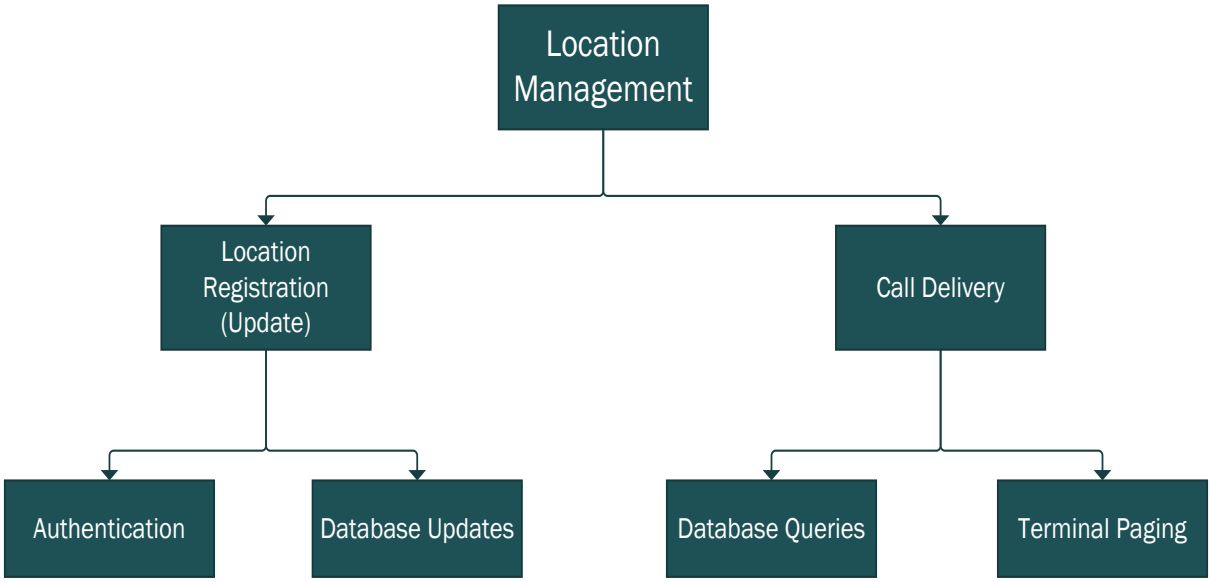
Upravljanje mobilnošću obrađuje informacije o lokaciji korisnika kako bi se mogli dostaviti podaci te održava korisničku vezu tijekom promjene bazne stanice. Glavne funkcionalnosti upravljanja mobilnošću odnose se na upravljanje lokacijom (engl. *Location Management*) i upravljanje prekapčanjem (engl. *Handoff Management)*, [2].

[10] FTP - *File Transfer Protocol*

4.1. Operacije upravljanja mobilnošću

4.1.1. Upravljanje Lokacijom

U bežičnim sustavima nove generacije, dva su tipa *roaminga* za mobilne uređaje: unutar domene (engl. *Intrasystem*) i izvan domene (engl. *Intersystem*). Kretanje korisnika između različitih ćelija istog sustava je roaming unutar domene i tehnike upravljanja mobilnošću za taj slučaj su bazirane na sličnim mrežnim sučeljima i protokolima. *Roaming* izvan domene odnosi se na kretanje korisnika između različitih okosnica (engl. *Backbone*), protokola, tehnologija ili pružatelja usluga, [2].



Slika 9: Operacije upravljanja lokacijom
Izvor: [12]

Upravljanje lokacijom omogućuje sustavu praćenje lokacije mobilnih uređaja prilikom komunikacije. Kao što je vidljivo na slici 9, upravljanje lokacijom sastoji se od dvije glavne operacije. Prva je registracija ili ažuriranje lokacije (engl. *Location Registration*), u kojoj mobilni uređaj periodički izvještava sustav da ažurira baze podataka o lokaciji sa novim informacijama. Druga operacija je isporuka poziva (engl. *Call Delivery*). U toj operaciji sustav određuje trenutnu lokaciju mobilnog uređaja na temelju informacija koje su dostupne u bazama podataka onda kada je pokrenut zahtjev za komunikaciju prema tom mobilnom uređaju. Operacija isporuke poziva uključuje dva glavna koraka. Prvi korak je utvrđivanje poslužiteljske baze podataka

pozvanog mobilnog uređaja a drugi korak je lociranje ćelije ili podmreže u kojoj se mobilni uređaj nalazi, [12].

Upravljanje lokacijom je proces koji omogućuje sustavu određivanje trenutne lokacije mobilnog uređaja tj. trenutne mrežne točke na koju je mobilni uređaj povezan i preko koje može primiti podatke od sustava. Upravljanje lokacijom u mrežama nove generacije je ključno pri pružanju usluga koje se temelje na lokaciji korisnika (*Location Based Services* - LBS), [3].

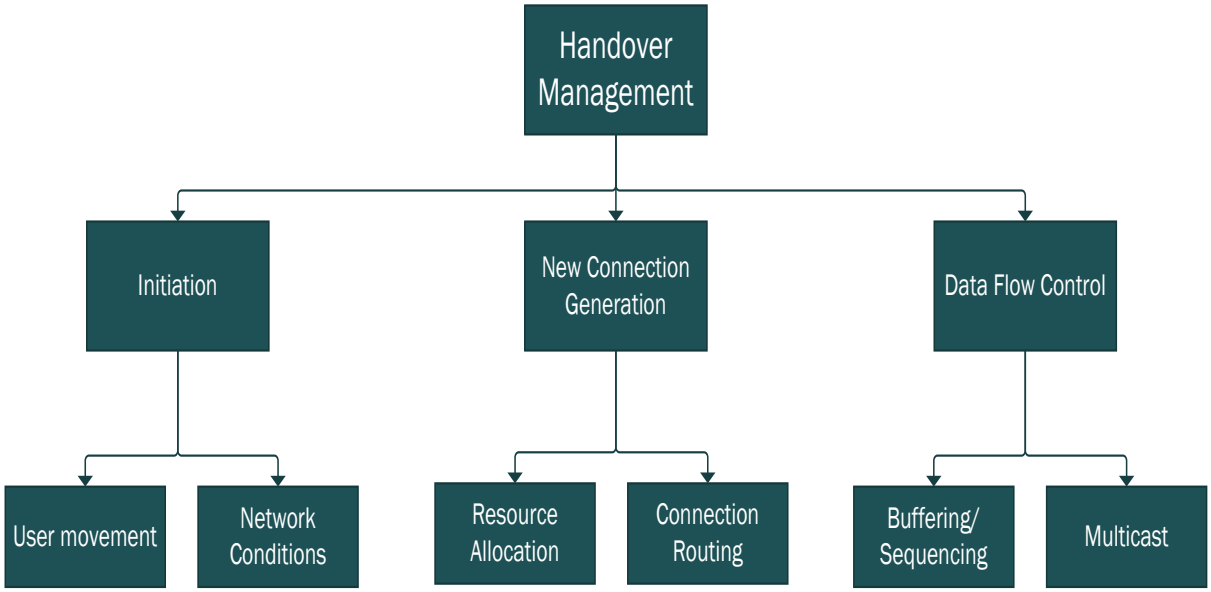
Prema [2], dizajn sheme za upravljanje lokacijom mora razmotriti sljedeća važna pitanja:

- minimiziranje signalizacijskog *overhead-a* i kašnjenja pri isporuci usluge,
- osiguranje dovoljne kvalitete usluge (QoS[11]) za različite aplikacije,
- u područjima potpunog preklapanja, gdje istovremeno postoji nekoliko bežičnih mreža, potrebno je dizajnirati efikasan i robustan algoritam koji će odabrati mrežu kroz koju će mobilni uređaj izvršiti registraciju, odlučujući o tome koliko često i na koji način treba biti pohranjena informacija o lokaciji te kako odrediti točan položaj mobilnog uređaja u određenom vremenskom okviru.

4.1.2. Upravljanje prekapčanjem

Upravljanje prekapčanjem je proces u kojem mobilni uređaj zadržava aktivnu vezu pri prijelazu s jedne pristupne točke na drugu. Postoje tri faze u procesu prekapčanja i prikazane su slikom 10. Prva faza je iniciranje prekapčanja (engl. *initiation*) i ona je potaknuta od strane mobilnog uređaja, mrežnog agenta ili promjenom mrežnih uvjeta. Druga faza je generiranje nove konekcije (engl. *new connection generation*) u kojoj mreža mora pronaći nove resurse (engl. *Resource Allocation*) te izvršiti dodatne operacije usmjeravanja (engl. *Connection Routing*). Na kraju, kontrola toka (engl. *Data flow control*) treba održavati isporuku podataka pri promjeni konekcije u skladu sa dogovorenom kvalitetom usluge, [12].

[11] QoS - *Quality of Service*



Slika 10: Operacije upravljanja prekapčanjem
Izvor: [12]

Ovisno o kretanju mobilnog uređaja, moguće su razne vrste prekapčanja, koje se prema [12] u suštini mogu podijeliti u dvije skupine: horizontalno prekapčanje (engl. *intra-system handoff*) i vertikalno prekapčanje (engl. *inter-system handoff*). Horizontalno prekapčanje se odnosi na prekapčanje u homogenim mrežama i događa se kada snaga signala na trenutno spojenoj baznoj stanici padne ispod određene razine i pritom se vrši prekapčanje na drugu baznu stanicu koja koristi istu pristupnu tehnologiju. Vertikalno prekapčanje se događa u heterogenim mrežama onda kada korisnik izlazi iz područja poslužiteljske mreže i ulazi u područje pokrivanja druge mreže, kada je korisnik spojen na mrežu i odluči se prebaciti na drugu mrežu te kada je potrebno ukupno opterećenje na mreži raspodijeliti između različitih sustava, [12].

Prema [2], dizajn tehnika za upravljanje prekapčanjem, u all-IP mrežama sljedeće generacije, ima sljedeće izazove:

- minimiziranje signalizacijskog *overhead-a* te potrebne snage za obradu poruka,
- osiguranje QoS-a prilikom prekapčanja:
    - ekstra niska razina kašnjenja prilikom horizontalnog i vertikalnog prekapčanja, što uključuje vrijeme procesiranja signalizacijskih poruka,

kašnjenje prilikom podešavanja ruta i resursa, vrijeme transformacije formata, itd.,
    - ograničeno prekidanje korisničkog prometa,
    - neuspjeh prekapčanja te stopa gubitka paketa približna nuli.
- učinkovito korištenje mrežnih resursa te
- poboljšana skalabilnost, pouzdanost i robusnost.

Učinkovite tehnike upravljanja mobilnošću su kritične za uspjeh nove generacije bežičnih sustava. Upravljanje prekapčanjem još je važnije u četvrtoj generaciji mreža jer podržavaju multimedijske usluge. Učinkovita podrška za upravljanje prekapčanjem podrazumijeva minimalno kašnjenje (engl. *Handoff latency*) i gubitak paketa prilikom prekapčanja. Kašnjenje je osobito kritično za stvarnovremenske aplikacije kao što je govor, stvarnovremenski video te *streaming* usluge dok je gubitak paketa prilikom prekapčanja važan i za stvarnovremenske usluge i za ostale usluge, [3].

Upravljanje prekapčanjem postaje kritično u četvrtoj generaciji mreža pa tako usluge kao što su prijenos podataka (FTP) zahtijevaju da je gubitak paketa jednak nuli prilikom prekapčanja dok usluge *online* igrica zahtijevaju jako malo kašnjenje. Stoga, efikasan dizajn upravljanja prekapčanjem podrazumijeva minimiziranu stopu neuspjeha prilikom prekapčanja, stopu gubitka paketa te kašnjenje, [3].

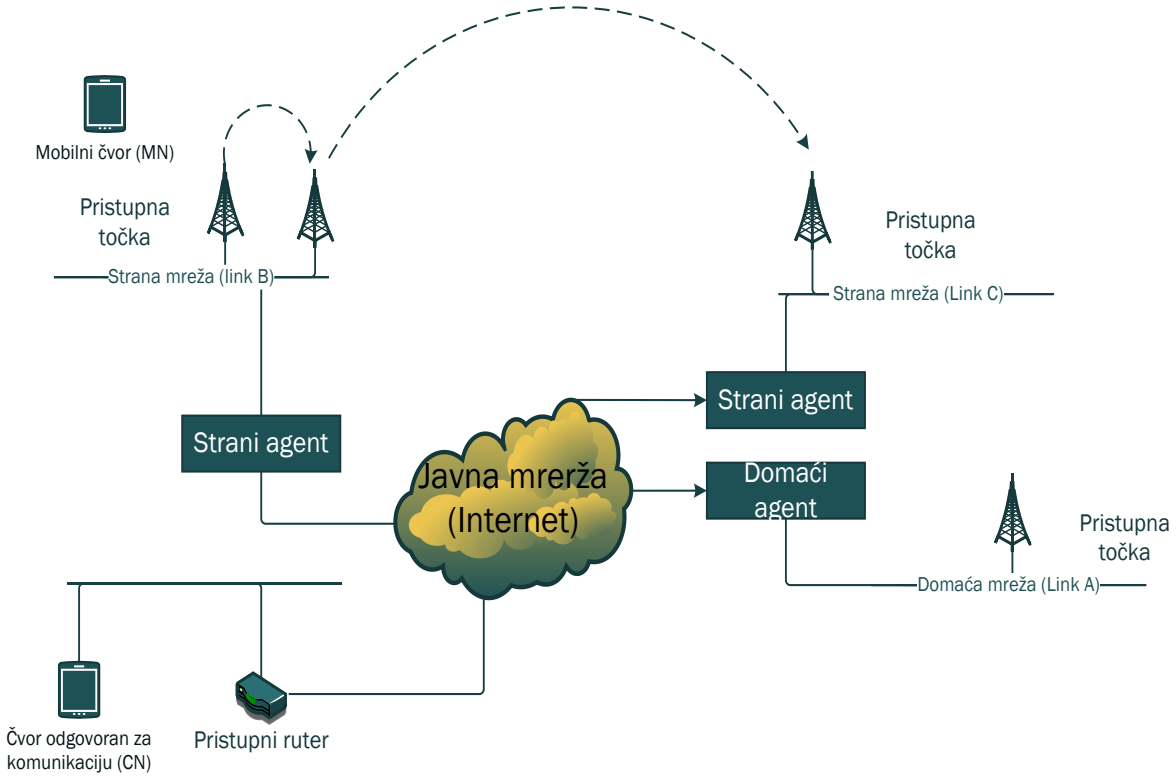
4.2. Opći model upravljanja mobilnošću

Opći model upravljanja mobilnošću prikazan je na slici 11. Prema [13], komponente od kojih se sastoji model su sljedeće:

1. Dva mrežna entiteta - Mobilni čvor (engl. *Mobile node* - MN) je terminalni uređaj koji može promijeniti svoju pristupnu točku na mreži te pritom ostati dostupan. Čvor odgovoran za komunikaciju (engl. *Corresponding node* - CN) je mobilni ili stacionarni čvor koji može komunicirati sa mobilnim čvorom slanjem ili primanjem paketa.
2. Dvije mreže - Domaća mreža (engl. *Home network*) je jedinstvena mreža u kojoj je mobilni čvor stalno dostupan drugim čvorovima koji su odgovorni za

komunikaciju, preko prvobitno dodijeljene adrese koja se naziva domaća adresa (engl. *Home address* - H@). Strana mreža (engl. *Foreign network*) je mreža na koju je trenutno priključen mobilni čvor umjesto na prvobitnu domaću mrežu, te je dostupan mreži preko nove generirane adrese koja se naziva *Care-of-Address* (CoA).

3. Dvije adrese - Domaća adresa je statična i nepromjenjiva IP adresa dodijeljena mobilnom čvoru a koristi se za identifikaciju veze i kao IP adresa kada je mobilni čvor unutar domaće mreže. CoA je IP adresa koja služi za identifikaciju trenutne mrežne točke na koju je spojen mobilni čvor kada je u stranoj mreži.
4. Dva agenta - Domaći agent (engl. *Home agent* - HA) je usmjerivač u domaćoj mreži koji omogućava dostupnost mobilnog čvora kada se nalazi u stranoj mreži. Strani agent (engl. *Foreign agent* - FA) je usmjerivač u stranoj mreži koji asistira mobilnom čvoru pri pristupu Internetu primajući pakete dostavljene na CoA.



Slika 11: Opći model mobilnosti
Izvor: [13]

Osnovna pretpostavka je da IP adresa uvijek identificira lokaciju čvora na Internetu. Ako čvor promijeni lokaciju na Internetu, mora biti generirana i dodijeljena nova IP adresa čvoru kako bi se paketi mogli usmjeravati na novu lokaciju. Dakle, osnovna funkcija upravljanja mobilnošću na Internetu je translacija originalne IP adrese (H@) u novu privremenu adresu (CoA), [13].

5. Različite situacije kod prelaženja korisnika između različith mreža

Upravljanje mobilnošću u heterogenim mrežama je mnogo složenije nego što je to u homogenim mrežama i obično uključuje različite slojeve TCP/IP protokolarnog složaja. Nekoliko protokola je predloženo za mreže nove generacije koje se temelje na IP protokolu i ta rješenja pružaju podršku za mobilnost na različitim slojevima TCP/IP referentnog modela. Prema [2], rješenja upravljanja mobilnošću klasificirana su u sljedeće kategorije:

- rješenja mrežnog sloja (sloj 3)
- rješenja sloja podatkovne veze (sloj 2)
- rješenja poprečnog sloja (sloj 3 + sloj 2)

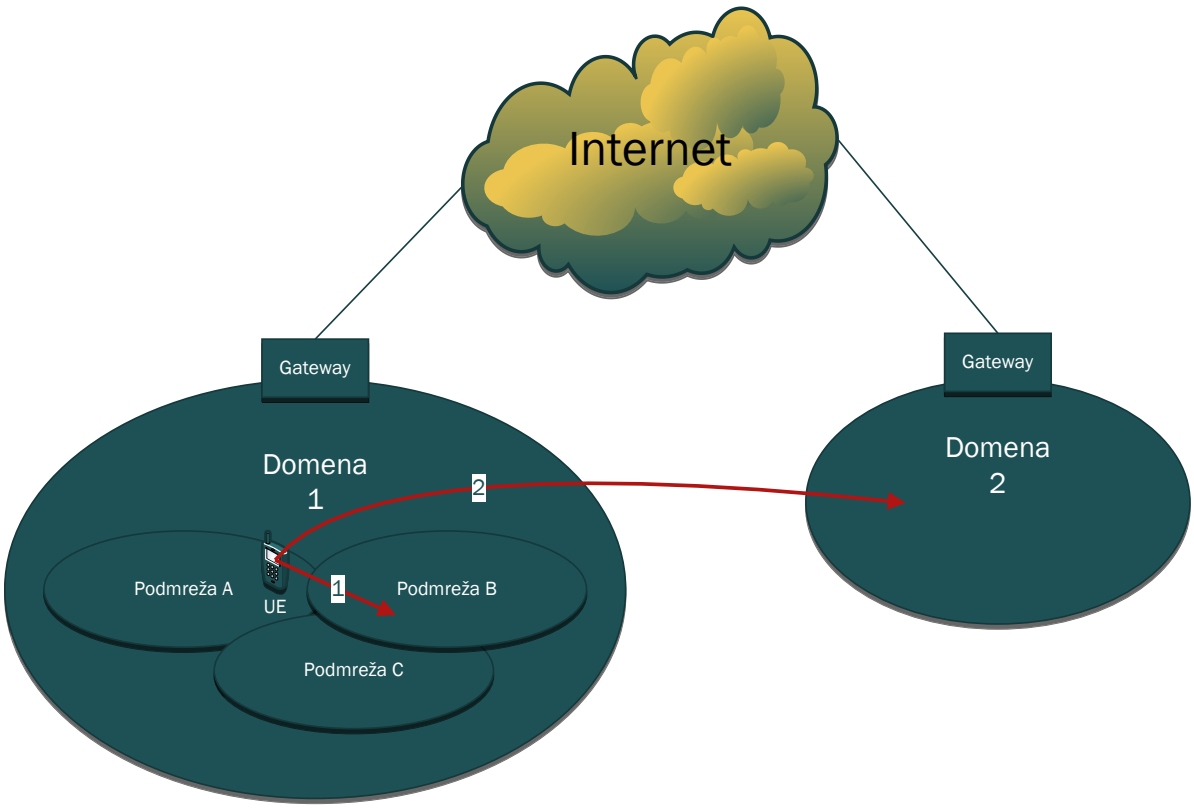
Rješenja mrežnog sloja pružaju značajke vezane za mobilnost na IP sloju i ne oslanjaju se na određenu bežičnu pristupnu tehnologiju. Poruke signalizacije za potrebe mobilnosti prenose se zajedno sa ostalim IP prometom.

Rješenja sloja podatkovne veze osiguravaju neprekinutu komunikaciju kada mobilni uređaj mijenja položaj unutar područja pokrivanja pristupnog usmjernika (engl. *Router*). Obično se koriste dodatni pristupnici (engl. *Gateway*) kako bi se riješili problemi interoperabilnosti i međusobnog rada prilikom *roaminga* između raznih heterogenih pristupnih mreža. Signalizacijske poruke prenose se bežičnim putem te su rješenja podatkovnog sloja usko povezana s određenom bežičnom tehnologijom. Mobilnost koju pružaju ova rješenja naziva se pristupna mobilnost ili mobilnost podatkovne veze.

Rješenja poprečnog sloja uglavnom su predložena za upravljanje prekapčanjem a njihov cilj je postići prekapčanje na mrežnom sloju uz pomoć sloja podatkovne veze. Prikupljajući unaprijed izvješća o jačini signala te informacije o kretanju korisnika od sloja podatkovne veze, sustav može napraviti kvalitetnije pripreme za prekapčanje na mrežnom sloju, i tako eliminirati gubitak paketa i smanjiti kašnjenje prilikom prekapčanja, [2].

5.1. Vrste mobilnosti

Prema [2] rješenja za upravljanje mobilnošću na mrežnom sloju mogu se u širem smislu svrstati u dvije kategorije: *micro-mobility* i *macro-mobility* rješenja. Kretanje korisnika, odnosno mobilnog uređaja, između dvije podmreže unutar iste domene, kao što je prikazano na slici 12 (strelica 1), naziva se lokalna mobilnost ili *micro-mobility*. Lokalna mobilnost u UTRAN mreži je kretanje korisnika između dviju baznih stanica kada obje bazne stanice pripadaju istoj pristupnoj mreži, a u WLAN-u to je kretanje između dvije pristupne točke koje pripadaju istoj mreži.



Slika 12: micro i macro mobilnost
Izvor: [14]

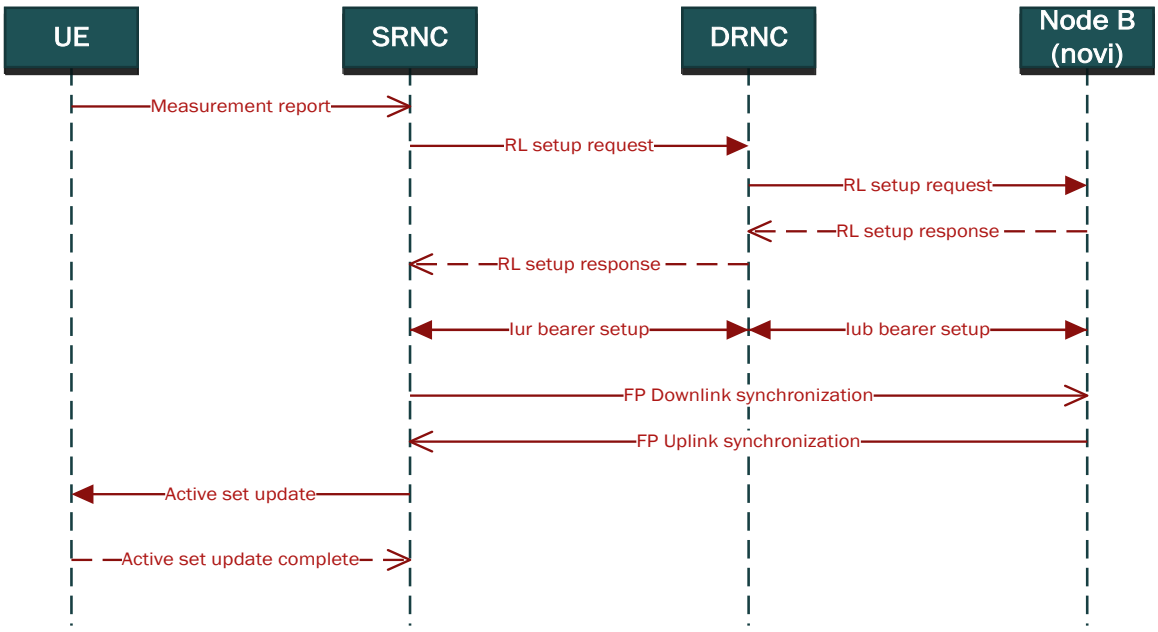
Kretanje mobilnog uređaja između dviju mrežnih domena naziva se *macro mobility*. Domena predstavlja administrativno tijelo i može uključivati razne pristupne mreže, kao što je WLAN, 3G ili 4G mreža. Mreže sljedeće generacije uključuju različite heterogene mreže, a svaka od tih mreža može koristiti različite pristupne tehnologije i stoga je potrebno zadovoljavajuće rješenje koje će podržavati sve pristupne tehnologije, [2].

Mobilnost utječe na cijeli protokolarni složaj, od fizičkog sloja, sloja podatkovne veze i mrežnog sloja sve do transportnog i aplikacijskog sloja. Primjeri utjecaja mobilnosti na protokolarni složaj uključuju ponovnu upotrebu radio resursa na fizičkom sloju, enkripciju i kompresiju na sloju podatkovne veze, kontrolu zagušenja na transportnom sloju te pronalazak usluge na aplikacijskom sloju. Mrežni sloj pruža usmjeravanje iz jedne mreže u drugu preko neovisnih veza. Mobilnost je u suštini problem translacije adresa, i stoga je najprirodnije taj problem riješiti na mrežnom sloju na način da se promijeni usmjeravanje paketa prema novoj pristupnoj točki na koju je spojen mobilni uređaj.

Implementacija mehanizama za upravljanje mobilnošću na mrežnom sloju može zaštititi protokole viših slojeva od prirode fizičkog medija te učiniti mobilnost trasnparentnu za aplikacije i protokole viših slojeva kao što je TCP protokol, [13].

5.2. Prikaz mikro i makro mobilnosti UML dijagramom

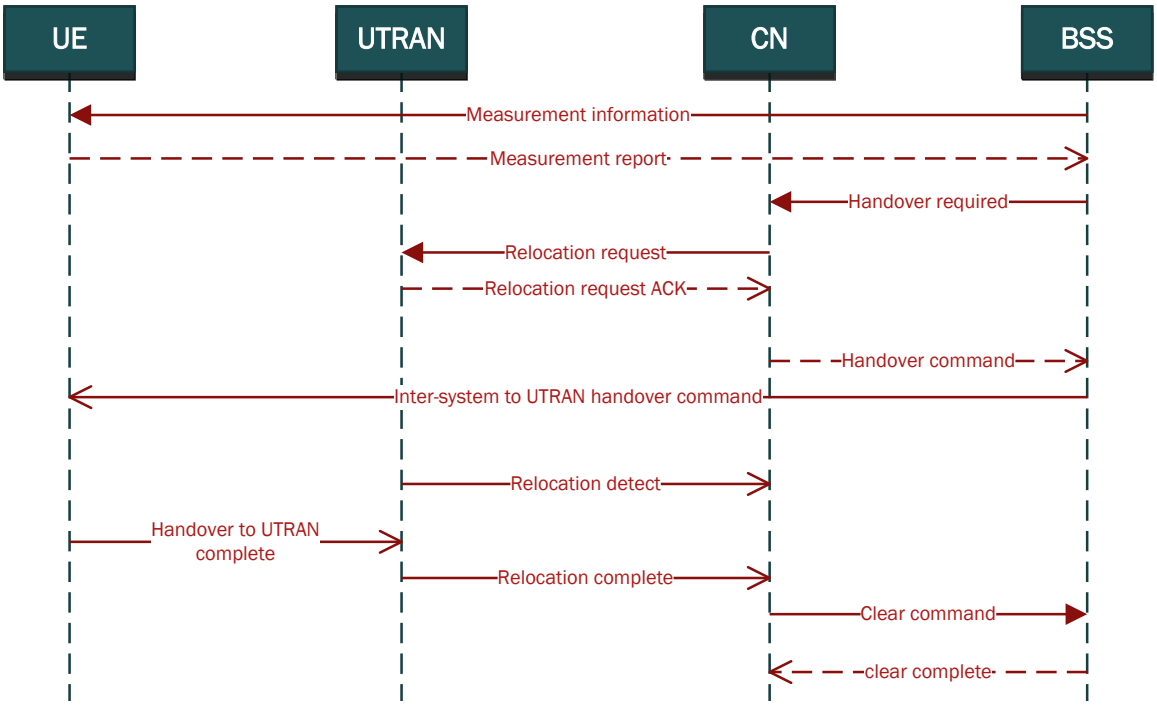
Lokalna mobilnost je kretanje korisnika između dviju podmreža unutar iste domene. Postoje razne varijante lokalne mobilnosti i makro mobilnosti s obzirom na elemente koji sudjeluju u procesu prekapčanja. Na slici 13 prikazana je procedura kod lokalne mobilnosti dijagramom međudjelovanja koja se događa prilikom prekapčanja za slučaj *inter Node B/Inter RNC/intra SGSN*. U ovom slučaju, RNC koji šalje podatke SGSN-u se naziva poslužujući RNC (SRNC) a RNC koji ima tendenciju da postane SRNC se naziva *drift* RNC (DRNC).



Slika 13: UML sekvencijalni dijagram za slučaj lokalne mobilnosti
Izvor: [8]

Kada SRNC odluči uspostaviti novu radio vezu, na temelju primljenih podataka od strane korisničke opreme, šalje poruku *RL setup request* prema DRNC-u kako bi zatražio radio resurse. Ako postoje slobodni radio resursi, DRNC šalje poruku *RL setup request* sa odgovarajućim parametrima prema baznoj stanici te bazna stanica odmah počne primati podatke od korisničke opreme. Nakon alokacije zatraženih resursa bazna stanica šalje poruku *RL setup response* prema DRNC-u te DRNC šalje poruku *RL setup response* prema SRNC-u. Nakon ovih koraka, Iub i Iur nositelji su uspostavljeni i protokoli okvira (*Frame protocols* - FP) su sinkronizirani u odlaznom i dolaznom smjeru. Kada se postigne sinkronizacija SRNC šalje poruku *active set update* korisničkoj opremi kojom ukazuje da je nova radio veza dodana aktivnom skupu. Korisnička oprema uvažava primljeno slanjem poruke *active set update complete*.

Kretanje mobilnog uređaja između dviju različitih mrežnih domena, primjerice iz 2G u 3G mrežu, se definira kao makro mobilnost. Na slici 14 prikazana je procedura kod makro mobilnosti dijagramom međudjelovanja koja se događa prilikom prekapčanja korisničke opreme sa GSM mreže na UMTS mrežu.



Slika 14: Prekapčanje sa GSM na UTRAN mrežu
Izvor: [15]

Slika 14 prikazuje slijed razmjene poruka između elemenata prilikom prekapčanja sa GSM mreže na UTRAN mrežu. U prvom koraku mreža naređuje korisničkoj opremi da izvrši WCDMA mjerenja porukom *Measurement information* koja sadrži informacije o susjednim ćelijama. Kada su ispunjeni zahtjevi za prekapčanje na UTRAN mrežu, BSS pokreće alokaciju resursa za WCDMA ćeliju porukom *relocation request.* Nakon alokacije resursa u novoj ćeliji UTRAN odgovara porukom *relocation request ACK* koja obično sadrži identitet zadane konfiguracije za usluge u upotrebi. Nakon toga BSS šalje poruku korisničkoj opremi kojom signalizira da je potrebno izvršiti prekapčanje na UTRAN. Kad mobilni uređaj primi poruku, prebaci se na WCDMA frekvenciju i počne radio sinkronizaciju. Mobilni uređaj zatim naznačava da je prekapčanje uspješno porukom *handover to UTRAN complete*, nakon čega se oslobađaju resursi u GSM mreži.

6. Opis *macro-mobility* protokola

Bežične mreže sljedeće generacije uključuju različite heterogene mreže i svaka od tih mreža može uključivati različite pristupne tehnologije te je stoga potrebno zadovoljavajuće rješenje za problem makro mobilnosti koje će podržavati različite tehnologije. *Mobile IP* (MIP) je najkorišteniji protokol za upravljanje makro mobilnošću. Kao dodatak MIP-u, dvije arhitekture za makro mobilnost su opisane u nastavku.

6.1. IP za podršku mobilnosti (*Mobile IP*)

Mobile IP je otvoreni standard, definiran od strane IETF[12], koji omogućava korisnicima zadržavanje veze i pokrenutih usluga ili aplikacija prilikom *roaminga* između različitih IP mreža. U IP mrežama, usmjeravanje se temelji na stacionarnim IP adresama, na sličan način kako funkcionira i dostava poštanskih pisama. Uređaj u mreži je dostupan preko IP adrese koja mu je dodijeljena u mreži. Problem nastaje kada se uređaj udalji od domaće mreže i više ne bude dostupan koristeći normalno IP usmjeravanje što rezultira prekidom aktivne usluge. MIP je stvoren kako bi se omogućilo korisnicima zadržavanje iste IP adrese prilikom prijelaza u drugu mrežu, čime se osigurava nesmetano pružanje usluge. Budući da se funkcija mobilnosti MIP-a izvodi na mrežnom sloju, mobilni uređaj se može kretati između različitih bežičnih mreža i pritom održavati vezu te aplikacije u tijeku, [16].

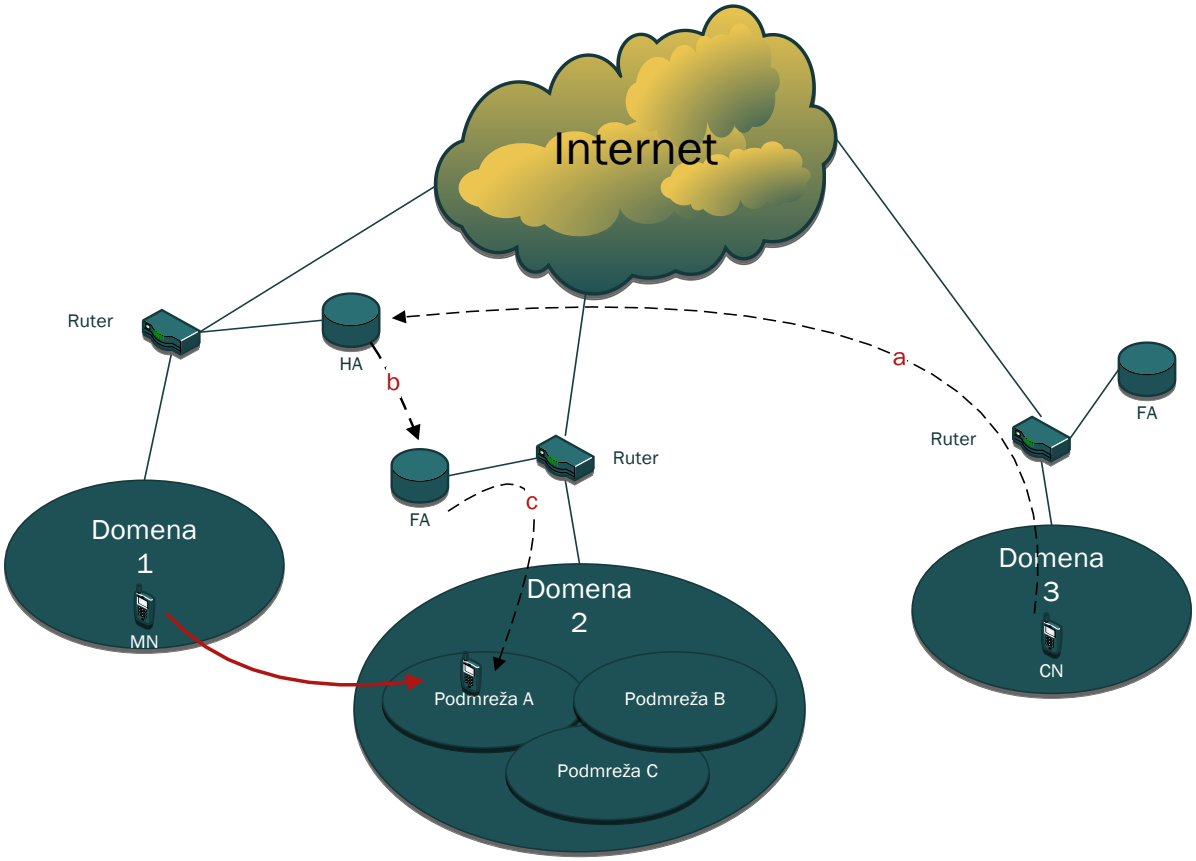
Arhitektura MIP-a prikazana je slikom 15. Prema [2], MIP podržava upravljanje mobilnošću koristeći sljedeće procedure:

- Pronalazak agenta (engl. *Agent discovery*) - mobilni čvor (MN) je u stanju otkriti promjenu mreže na dva načina - oglašavanjem (engl. *Agent advertisement*) ili zahtjevom (engl. Agent solicitation). U postupku oglašavanja, strani agent (FA) i domaći agent (HA) periodički oglašavaju svoju prisutnost šaljući poruke oglašavanja. Ako MN ne primi poruke oglašavanja nakon isteka određenog perioda, šalje se zahtjev agentu. Nakon završetka jedne od ovih metoda, mobilni čvor zaprimi privremenu adresu

[12] IETF - *Internet Engineering Task Force*

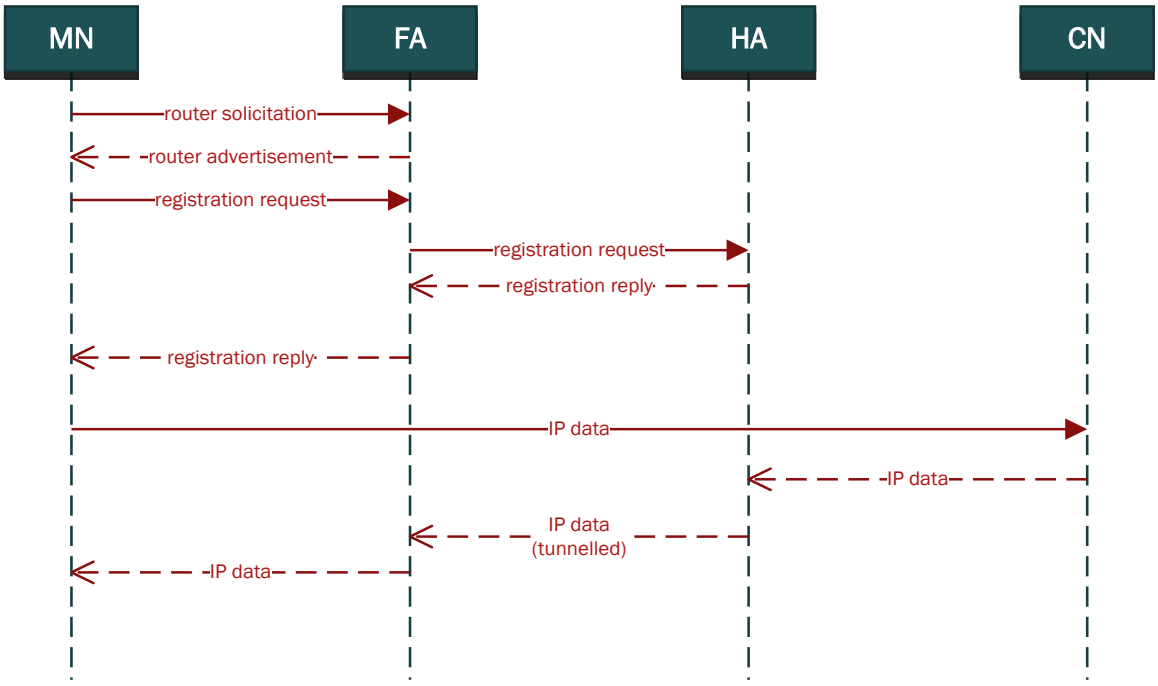
(CoA). CoA može biti od stranog agneta, što znači da svi uređaji u mreži imaju isti CoA, ili može biti *co-located* CoA što znači da je svakom uređaju u mreži dodijeljen vlastiti CoA

- Registracija - glavni cilj registracije je obavijestiti domaćeg agenta o trenutnoj lokaciji mobilnog čvora. Registracija može biti obavljena na dva načina ovisno o lokaciji CoA-e. Ako je CoA od stranog agenta, mobilni čvor šalje zahtjev za registracijom prema stranom agentu koji ga prosljeđuje domaćem agentu. Ako se radi o *co-located* CoA, mobilni čvor može poslati zahtjev direktno prema domaćem agentu.
- Usmjeravanje i tuneliranje - Kada čvor odgovoran za komunikaciju (CN) pošalje IP paket mobilnom čvoru, paket presreće domaći agent (strelica a). Domaći agent enkapsulira paket i tunelira ga prema privremenoj adresi mobilnog čvora (strelica b). Strani agent dekapsulira paket i prosljeđuje ga mobilnom čvoru (strelica c).



Slika 15: Mobile IP arhitektura
Izvor: [2]

Na slici 16 prikazan je dijagram međudjelovanja koji prikazuje slijed razmjene poruka između mrežnih elemenata prilikom procesa registracije i usmjeravanja paketa.



Slika 16: Proces registracije i usmjeravanja paketa
Izvor: [17]

Prema [2], MIP ima sljedeće nedostatke:

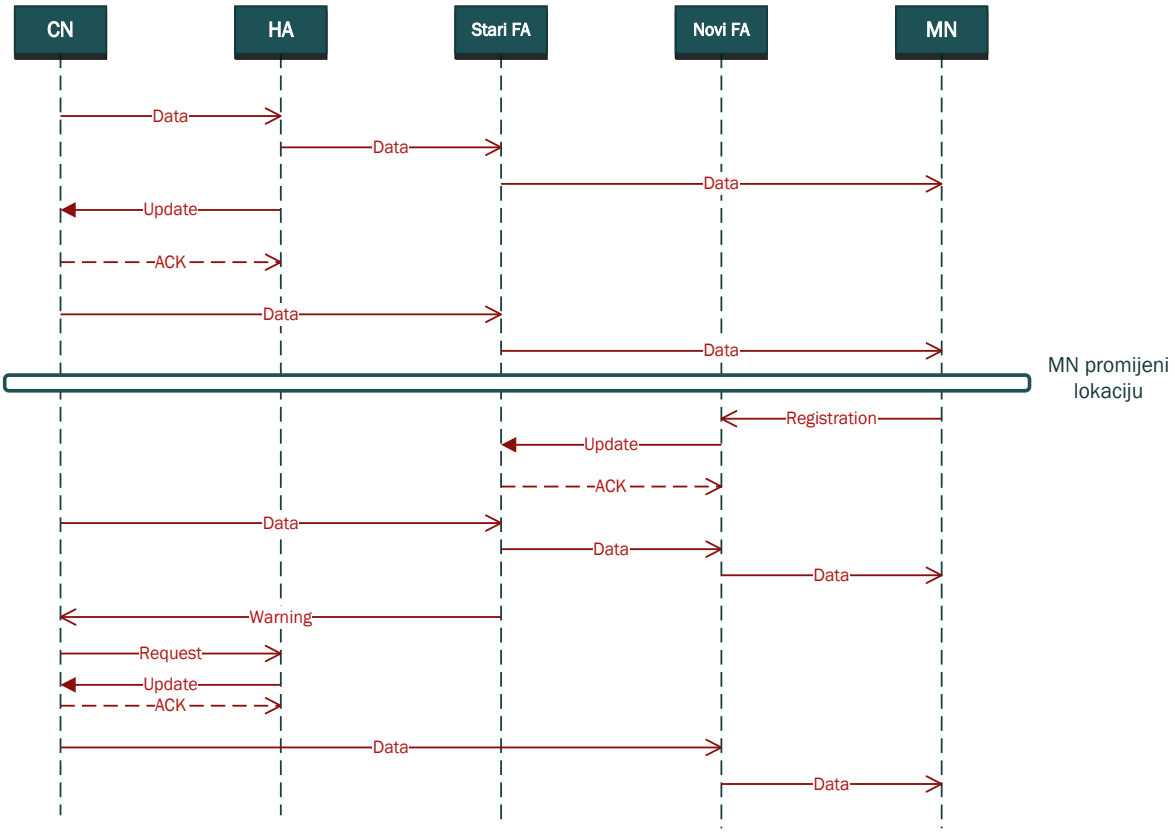
- Pakete koje šalje čvor odgovoran za komunikaciju, prema mobilnom čvoru, prvo presreće domaći agent koji ih zatim tunelira prema mobilnom čvoru. Međutim, mobilni čvor šalje pakete izravno prema čvoru s kojim komunicira. To rezultira dužim rutama i većem kašnjenju pri isporuci paketa. Ovaj problem se naziva trokutasto usmjeravanje (engl. *triangular routing*).
- Kada se mobilni čvor kreće između dvije podmreže, novi CoA ne može obavijestiti stari CoA o trenutnoj lokaciji mobilnog čvora što rezultira u gubitku paketa.
- MIP nije učinkovit mehanizam u scenariju česte mobilnosti jer zahtijeva da mobilni čvor obavijesti domaćeg agenta pri svakoj promjeni podmreže. Troškovi signalizacije pri ažuriranju lokacije i povezanim kašnjenjem mogu biti vrlo visoki ako je velika udaljenost između strane i domaće mreže.

Kako bi se riješio problem trokutastog usmjeravanja i gubitka paketa prilikom promjene stranog agenta, predložena je optimizacija MIP protokola koja se naziva optimizacija usmjeravanja. Optimizacija usmjeravanja se dijeli na dvije glavne funkcionalnosti: obavještavanje čvora koji je odgovoran za komunikaciju o trenutnoj lokaciji mobilnog čvora (engl. *Updating binding caches*) i upravljanje mekim prekapčanjem pri promjeni stranog agenta.

Optimizacija usmjeravanja osigurava resurse koji omogućavaju održavanje poveznice (engl. *binding cache*) sa mobilnim čvorom koja sadrži CoA od čvora. Prilikom slanja IP datagrama prema mobilnom čvoru, ako postoji poveznica sa odredišnim čvorom, moguće je tuneliranje datagrama direktno na CoA koja je označena u poveznici. U odsustvu poveznice, datagrami koji su namijenjeni mobilnom čvoru biti će preusmjereni prema domaćoj mreži mobilnog čvora i potom tunelirani prema privremenoj adresi. Na taj način rješava se problem trokutastog usmjeravanja.

Kada se mobilni čvor kreće i registrira sa novim stranim agentom, temeljni MIP ne obavijesti o tome starog agenta od mobilnog čvora. IP datagrami koje presreće domaći agent nakon registracije su tunelirani na CoA od mobilnog čvora, ali datagrami koji su poslani na staru privremenu adresu prije nego što je registracija obavljena će vjerojatno biti izgubljeni. Optimizacija usmjeravanja osigurava da će stari strani agent biti pouzdano obaviješten o novoj poveznici mobilnog čvora.

Na slici 17 prikazan je dijagram međudjelovanja koji prikazuje optimizaciju usmjeravanja za *mobile* IP.



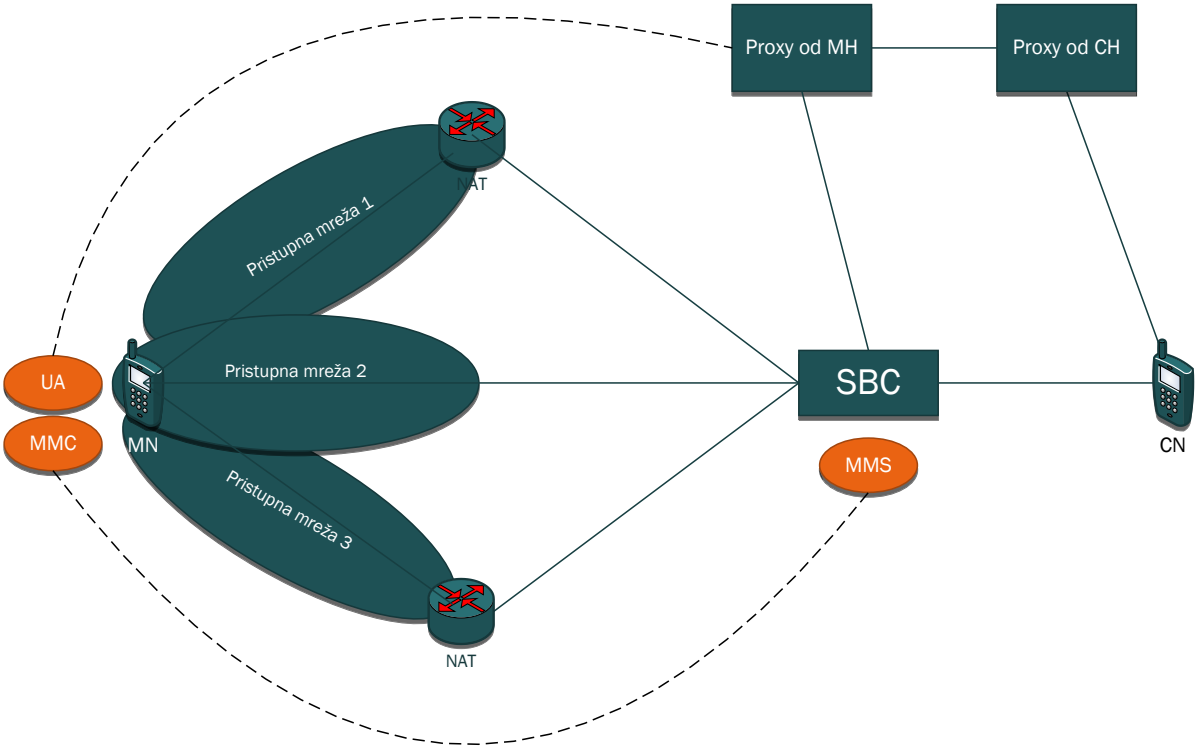
Slika 17: Optimizacija usmjeravanja za MIP
Izvor: [17]

6.2. Upravljanje mobilnošću koristeći SIP protokol (MMUSE)

Drugačiji pristup procedurama upravljanja mobilnošću sastoji se od izvođenja procedura na aplikacijskom sloju, koristeći prednosti SIP[13] protokola. SIP je odabran od strane 3GPP-a kao signalizacijski protokol za uspostavljanje i kontrolu multimedijskih sesija u realnom vremenu, [1].

Rješenje koje podržava vertikalno prekapčanje u bežičnim mrežama sljedeće generacije, a bazira se na SIP protokolu, predloženo je u [1] i naziva se upravljanje mobilnošću koristeći SIP (engl. *Mobility Management Using SIP Extension* - MMUSE). U MMUSE arhitekturi, pretpostavlja se da je mobilni uređaj opremljen sa više mrežnih sučelja i da je svakom od njih dodijeljena različita IP adresa kada je povezan sa više različitih pristupnih mreža. Mobilni uređaj koristi SIP protokol za uspostavu multimedijskih sesija. Arhitektura predloženog rješenja prikazana je na slici 18.

[13] SIP - *Session Inititation Protocol*



Slika 18: MMUSE arhitektura
Izvor: [1]

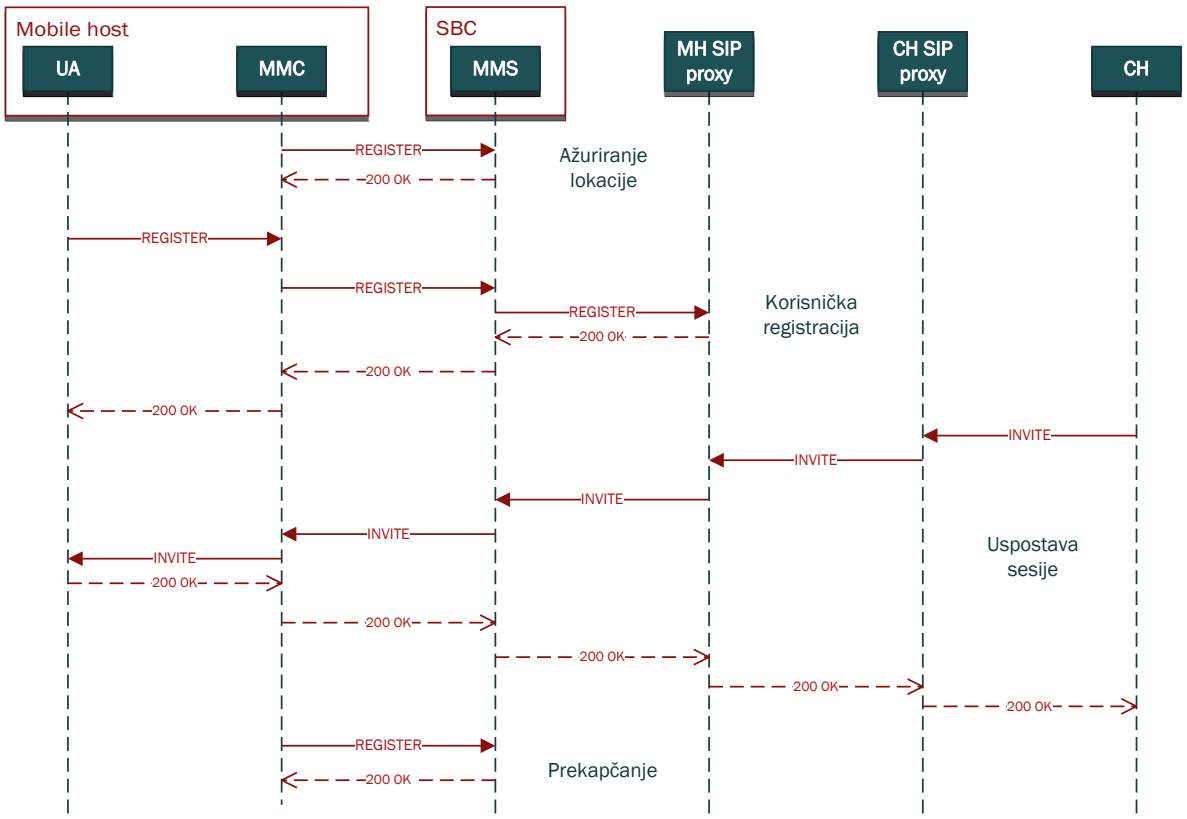
Granični kontroler sesija (engl. *Session Border Controller* - SBC) je uređaj koji se obično nalazi na granici IP mreže i koji upravlja svim sesijama u toj mreži. Entitet koji se naziva server za upravljanje mobilnošću (engl. *Mobility Management Server* - MMS) je smješten unutar SBC-a. MMS surađuje sa entitetom MMC (engl. *Mobility Management Client*) koji se nalazi u svakom mobilnom uređaju. SIP korisnički agent (engl. *User Agent* - UA) i CN nisu obaviješteni o procedurama prekapčanja jer tim procedurama upravljaju MMC i MMS. Na strani mobilnog uređaja, UA vidi samo MMC kao vanjski *proxy* te prema njemu usmjerava SIP signalizaciju i medijske tokove. MMC prenosi pakete do MMS/SBC-a te pakete nadalje slijede put koji je određen uobičajenom procedurom SIP usmjeravanja.

Svaki put kada se mobilni uređaj prebaci s jedne na drugu pristupnu mrežu, šalje se poruka prema MMS-u kako bi se znala lokacija mobilnog uređaja. To se radi preko nove mreže tako da se procedura može izvršiti čak i ako stara mreža postane nedostupna. Ako MMS primi poziv upućen jednom od mobilnih uređaja koje poslužuje, prosljeđuje poziv na odgovarajuće sučelje. Procedura je gotovo identična u slučaju kada mobilni uređaj promijeni pristupnu mrežu tijekom poziva. U tom

slučaju, MMC šalje MMS-u poruku koja sadrži dodatne informacije potrebne za identifikaciju poziva.

Kako bi se minimiziralo vrijeme trajanja prekapčanja, RTP tok koji dolazi od mobilnog uređaja se duplicira koristeći MMC. Kada MMC pokrene poceduru prekapčanja, šalje se zahtjev za prekapčanje MMS-u i počinje dupliciranje RTP paketa na oba sučelja. Čim MMS primi zahtjev za prekapčanje, paketi koji dolaze s novog sučelja su već dostupni. MMS obavlja operaciju prekapčanja i šalje poruku potvrde MMC-u koji kad primi poruku, prestaje duplicirati pakete.

Na slici 19 prikazan je dijagram međudjelovanja koji prikazuje proceduru ažuriranja lokacije, registracije korisnika, uspostave sesije i prekapčanja.



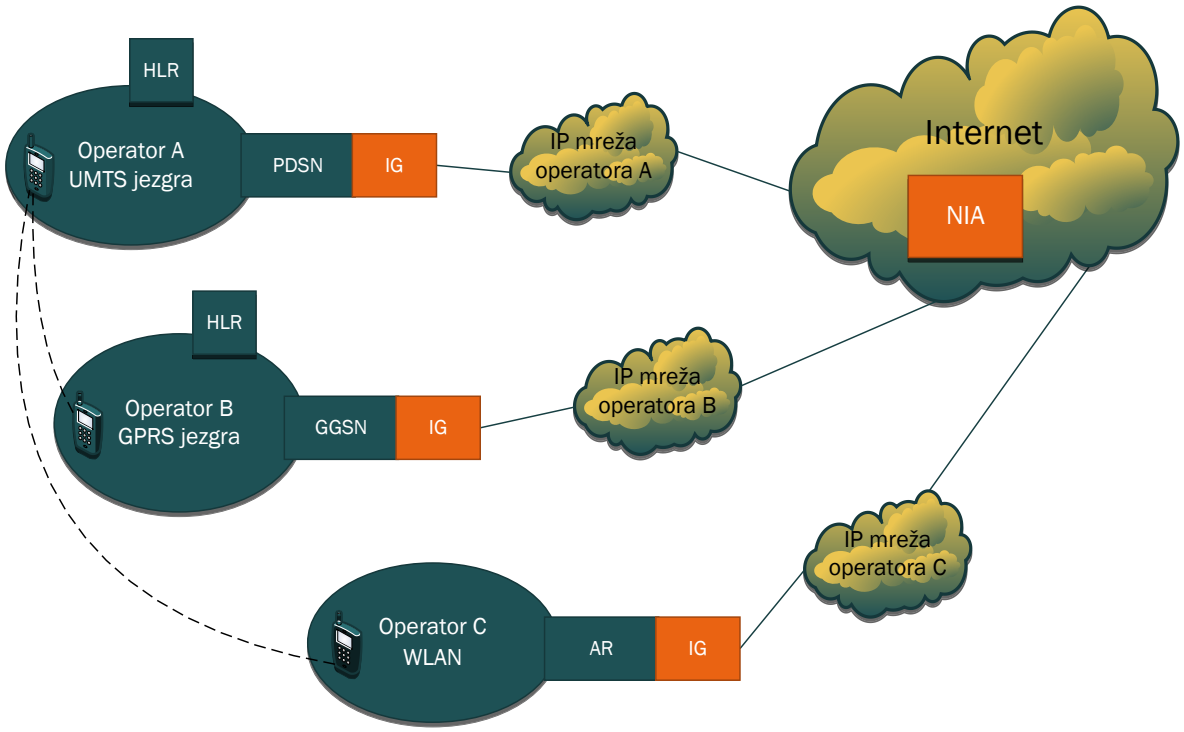
Slika 19: Signalizacijske procedure
Izvor: [1]

6.3. Upravljanje mobilnošću bazirano na NIA

Arhitektura za sveprisutne mobilne komunikacije (engl. *Architecture for ubiquitous Mobile Communication* - AMC) je rješenje za problem makro mobilnosti koje integrira postojeće bežične sustave kako bi se korisniku mogle isporučiti usluge putem najbolje dostupne mreže. AMC je rješenje koje ne narušava ni jedno od lokalnih rješenja za upravljanje mobilnošću. Naprotiv, AMC je dizajniran za interoperabilnost sa bilo kojim od rješenja, [18].

AMC integrira heterogene bežične sustave koristeći treću stranu, agenta za mrežnu interoperabilnost (engl. *Network Interoperating Agent* - NIA), što eliminira potrebu za bilateralnim SLA[14] između različitih mrežnih operatora. Ako ne postoji treća strana, operator mora pregovarati o SLA sa svakim drugim operatorom ako želi omogućiti *roaming*. AMC postiže transparentnost nad heterogenostima pojedinog sustava koristeći IP protokol kao protokol za interkonekciju, [14].

Arhitektura predloženog sustava prikazana je na slici 20.

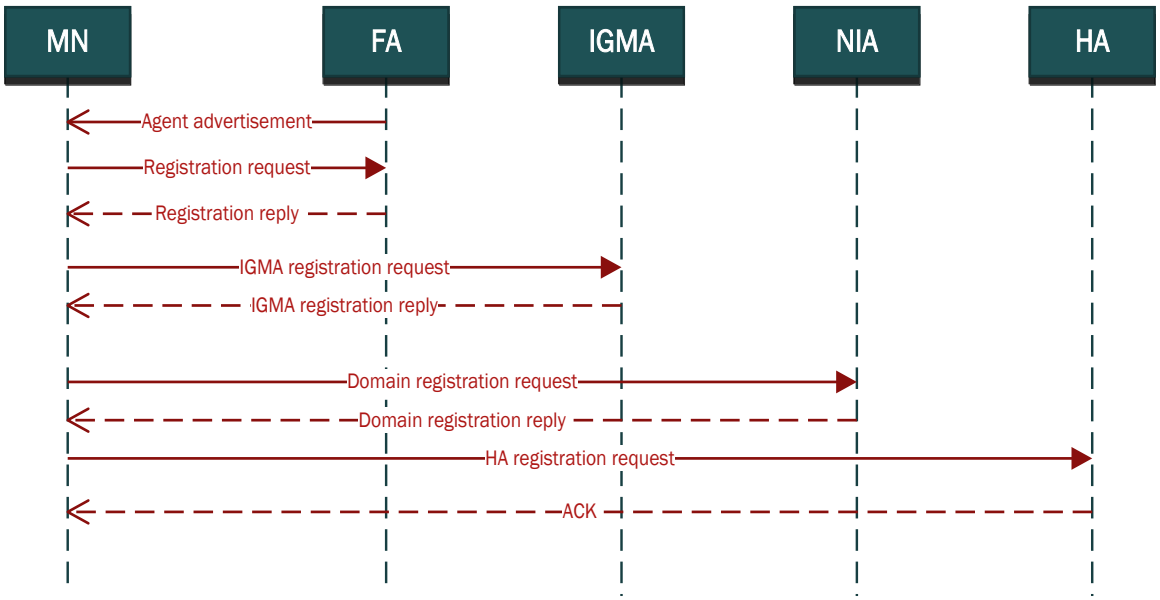


Slika 20: AMC arhitektura
Izvor: [18]

[14] SLA - *Service Level Agreement*

Slika 20 prikazuje AMC rješenje koje se sastoji od tri sustava (UMTS, GPRS, WLAN) kojima upravljaju tri različita operatora. Sustavi su povezani na Internet preko pristupnika (PDSN, GGSN, AR). Treba napomenuti da AMC arhitektura može integrirati i više od tri sustava. Definirana su dva nova entiteta, agent za mrežnu interoperabilnost (NIA) i pristupnik za međusobni rad (engl. *Interworking Gateway* - IG). NIA ima funkciju treće strane a IG ima funkciju pristupnika između pojedinog sustava i NIA-e. NIA se nalazi unutar Interneta dok se IG nalazi u svakom sustavu i djeluje kao pristupnik. IG se može implementirati kao zaseban entitet ili može biti integriran sa pristupnicima kroz koje se pojedini sustav spaja na Internet. Predlaže se integriranje jer se u tom slučaju IG može jednostavno implementirati na postojeću infrastrukturu.

Na slici 21 prikazan je dijagram međudjelovanja koji prikazuje razmjenu poruka između elemenata za slučaj kada mobilni čvor prelazi u novu mrežnu domenu.



Slika 21: Tijek signalizacije prilikom prekapčanja izvan domene
Izvor: [19]

Kada mobilni čvor ulazi u domenu po prvi puta, obavlja se registracija domene na način da se šalje zahtjev za registraciju stranom agentu u toj mreži, nakon čega se dobije NCoA (*Network* CoA) koji služi kao ICoA (*Interworking* CoA) za taj mobilni čvor. Strani agent dodjeljuje mobilnom čvoru određeni IGMA (engl. *Interworking*

Gateway Mobility Agent). Nakon što mobilni čvor dobije potvrdu od stranog agenta, šalje se zahtjev za registraciju dodijeljenom IGMA a zahtjev sadrži parametre kao što je domaća IP adresa mobilnog čvora, NCoA i određene vremenske intervale. Kada IGMA zaprimi zahtjev, vrši unos u predmemoriju koji uključuje CoA i šalje odgovor mobilnom čvoru. Kada MN zaprimi odgovor, šalje zahtjev za registraciju domene prema agentu za mrežnu interoperabilnost koji po primitku poruke dodaje DCoA (*Domain* CoA) u poruku i šalje odgovor. Nakon toga MN je odgovoran za generiranje zahtjeva za globalno ažuriranje lokacije prema HA. Potvrda domaćeg agenta se usmjerava prema mobilnom čvoru kroz NIA, IGMA i FA. Može se uočiti da je NIA korišten samo prilikom prekapčanja izvan domene. Nakon što se MN preseli u novu domenu, NIA više nije uključen i stoga je opterećenja na NIA minimalno.

6.4. Usporedba opisanih rješenja

Tablica 2 prikazuje najvažnije karakteristike opisanih rješenja. Sva opisana rješenja pružaju transparentnu mobilnost uređaja. Za razliku od MIP-a, druga dva rješenja pružaju podršku za besprijekorno prekapčanje i podršku za *paging*. Rješenje bazirano na SIP-u zahtijeva modifikaciju IP stoga krajnjeg korisnika kako bi se mogla podržavati IP enkapsulacija što stvara probleme u globalnom prihvaćanju ovog rješenja. Rješenje bazirano na agentu za mrežnu interoperabilnost pruža naprednu podršku za prekapčanje i izbor najbolje dostupne veze, ali AMC predlaže da MIP upravlja *roamingom* mobilnog uređaja što povlači za sobom problem trokutastog usmjeravanja.

Tablica 2: Najvažnije karakteristike opisanih rješenja

	MIP	SIP	AMC
Transparentna mobilnost	+	+	+
Besprijekorna podrška prekapčanju	-	+	+
Modifikacija IP stoga	-	+	-
Podrška *pagingu*	-	+	+
Predviđanje prekapčanja	-	-	+
Odabir najbolje dostupne mreže	-	-	+
Trokutasto usmjeravanje za stvarnovremenske podatke	+	-	+

Izvor: [14]

7. Zaključak

Učinkovite tehnike upravljanja mobilnošću su kritične za uspjeh nove generacije bežičnih sustava. Upravljanje prekapčanjem postaje kritično u četvrtoj generaciji mreža jer podržavaju multimedijske usluge. Kako bi se zadovoljili zahtjevi mobilnih korisnika u okviru heterogenog okruženja, potrebna je zajednička infrastruktura za povezivanje više pristupnih mreža kako bi se podacima moglo pristupiti s bilo kojeg mjesta i u bilo koje vrijeme.

U radu su razmotrena tri rješenja za problem makro mobilnosti. *Mobile IP* (MIP) je najkorišteniji protokol za upravljanje makro mobilnošću a kao dodatak MIP-u, predložene su dvije arhitekture, jedna bazirana na SIP protokolu a druga bazirana na novom elementu koji se naziva agent za mrežnu interoperabilnost.

MIP nije učinkovit mehanizam u scenariju česte mobilnosti jer zahtijeva da mobilni čvor obavijesti domaćeg agenta pri svakoj promjeni podmreže što može dovesti do visokih troškova i kašnjenja. Rješenje bazirano na SIP protokolu se oslanja na SIP protokol za rukovanje podacima koji su u relanom vremenu i kako bi se implementiralo to rješenje, potrebno je izvršiti modifikacije u IP stogu krajnjeg korisnika što je velik nedostatak. Rješenje bazirano na NIA predlaže poboljšanje algoritama za predviđanje prekapčanja i izbor najbolje dostupne mreže. Također AMC integrira heterogene bežične sustave koristeći treću stranu, što eliminira potrebu za bilateralnim SLA između različitih mrežnih operatora te postiže transparentnost nad heterogenostima pojedinog sustava koristeći IP protokol kao protokol za interkonekciju.

Literatura

[1] S. Salsano; A. Polidoro; C. Mingardi; S. Niccolini; L. Veltri: "*SIP-based Mobility Management in Next Generations Networks*", IEEE Wireless Communications, 2008

[2] F. Akyildiz; J. Xie; S. Mohanty: "*A Survey of Mobility Management in Next-Generation All-IP-Based Wireless Systems*", IEEE Wireless Communications, 2004

[3] N. Chiwetalu; J. Nwachi-Ikpor: "*Handoff Management: A Critical Function in Mobility Management for Fourth Generation (4G) Wireless Networks*", Global Journals Inc., 2014

[4] http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/umts/3g-history.php
Pristupljeno: 12.4.2016

[5] H. Kaaranen; A. Ahtiainen; L. Laitinen; S. Naghian; V. Niemi: "*UMTS networks: Arhitecture, Mobility and Services 2nd edition*", John Wiley & Sons, 2005

[6] Yi-Bing, Li; Yieh-Ran, Haung; Yuan-Kai, Chen: "*Mobility Management: From GPRS to UMTS*", Wireless Communications and Mobile Computing, 2001

[7] M. Chiussi; A. Khotimsky; S. Krishnan: "*Mobility Management in Third-Generation All-IP Networks*", IEEE Communications Magazine, 2002

[8] http://www-i4.informatik.rwth-aachen.de/content/teaching/seminars/sub/2003_2004_ws_docs/MMinUMTS.pdf
Pristupljeno: 18.4.2016

[9] http://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_2_2003/univerzalni_sustav.htm
Pristupljeno: 21.4.2016

[10] https://www.tu-ilmenau.de/fileadmin/public/iks/files/lehre/UMTS/04_UMTS-architecture-ws12.pdf
Pristupljeno: 23.4.2016

[11] http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1011/1011.1956.pdf
Pristupljeno: 12.5.2016

[12] P. Kumar; M. Thirupathi: "*Enhancments in Mobility Management for future Wireless Networks*", International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, 2013
http://www.ijarcce.com/upload/february/6_Enhancements%20in%20Mobility.pdf
Pristupljeno: 12.5.2016

[13] http://www.mediateam.oulu.fi/publications/pdf/85.pdf..
Pristupljeno: 25.6.2016

[14] https://bib.irb.hr/datoteka/219229.MMMgmntAllIP.pdf
Pristupljeno: 7.6.2016

[15] https://www1.ericsson.com/pe/res/thecompany/docs/publications/ericsson_review/2003/2003011.pdf
Pristupljeno: 27.8.2016

[16] http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/solutions_docs/mobile_ip/mobil_ip.html#wp1031802
Pristupljeno: 5.9.2016

[17] http://www.slideshare.net/gaurav_dwivedi/mobile-ip-mobile-communication-internet-protocol
Pristupljeno: 6.9.2016

[18] http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.221.6815&rep=rep1&type=pdf
Pristupljeno: 7.9.2016

[19] http://www.sersc.org/journals/IJFGCN/vol7_no6/3.pdf
Pristupljeno: 7.9.2016

Popis kratica

3GPP	3rd Generation Partnership Project
AMC	Architecture for ubiquitous Mobile Communication
AMR	Adaptive Multirate
AR	Access Router
AuC	Authentication Center
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CN	Corresponding Node
CoA	Care-of-Address
CRNC	Controlling Radio Network Controler
CS	Circuit Switched
DCoA	Domain CoA
DRNC	Drift RNC
FA	Foreign Agent
FP	Frame Protocol
FTP	File transfer Protocol
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMM	GPRS Mobility Management
GPRS	General Packet Radio System
GSM	Global System for Mobile Communication
HA	Home Agent
HLR	Home Location Register
ICoA	Interworking CoA
IETF	Internet Engineering Task Force
IG	Interworking Gateway

IGMA	IG Mobility Agent
IP	Internet Protocol
ISIM	IMS identity module
LA	Location Area
LAI	Location Area Identity
LBS	Location Based Services
LTE	Long Term Evolution
LU	Location Update
MAC	Medium Access Control
ME	Mobile Equipment
MIP	Mobile IP
MMC	Mobility Management Client
MMS	Mobility Management Server
MMUSE	Mobility Management Using SIP extension
MN	Mobile Node
MSC	Mobile Switching Center
MT	Mobile Termination
NCoA	Network CoA
NGN	Next Generation Network
NIA	Network Interoperating Agent
NT	Network Termination
PCM	Pulse Code Modulation
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PS	Packet Switched
PSTN	Public Switched Telephone Network
P-TMSI	Packet Temporary Mobile Subscriber Identity

RA	Routing Area
RAB	Radio Access Bearer
RANAP	Radio Access Network Application Part
RAU	Routing Area Update
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RRC	Radio Resource Control
RT	Radio Termination
RTP	Real Time Protocol
SBC	Session Border Controller
SCCP	Signaling Connection Control Part
SGNS	Serving GPRS Support Node
SIP	Session Initation Protocol
SLA	Service Level Agreement
SRNC	Serving Radio Network Controller
TCP	Transport Control Protocol
TE	Terminal Equipment
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity
UA	User Agent
UE	User Equipment
UICC	Universal integrated circuit card
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
URA	UTRAN Registration Area
USIM	Universal Subscriber Identity module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network

VLR	Visitor Location Registar
WCDMA	Wideband CDMA
WLAN	Wireless Local Area Network
QoS	Quality of Service

Popis slika

Slika 1: GSM/GPRS/UMTS mrežna arhitektura 6
Slika 2: Referentna arhitektura korisničke opreme 7
Slika 3: UTRAN pristupna mreža 9
Slika 4: Protokolarni složaj za korisničku ravninu 11
Slika 5: Protokolarni složaj za kontrolnu ravninu 12
Slika 6: Logička struktura pristupne mreže 13
Slika 7: Proces ažuriranja lokacije 15
Slika 8: RAU proces 16
Slika 9: Operacije upravljanja lokacijom 19
Slika 10: Operacije upravljanja prekapčanjem 21
Slika 11: Opći model mobilnosti 23
Slika 12: micro i macro mobilnost 26
Slika 13: UML sekvencijalni dijagram za slučaj lokalne mobilnosti 28
Slika 14: Prekapčanje sa GSM na UTRAN mrežu 29
Slika 15: Mobile IP arhitektura 31
Slika 16: Proces registracije i usmjeravanja paketa 32
Slika 17: Optimizacija usmjeravanja za MIP 34
Slika 18: MMUSE arhitektura 35
Slika 19: Signalizacijske procedure 36
Slika 20: AMC arhitektura 37
Slika 21: Tijek signalizacije prilikom prekapčanja izvan domene 38

Popis tablica

Tablica 1: 3GPP izdanja za UMTS mrežu 4
Tablica 2: Najvažnije karakteristike opisanih rješenja..... 39

METAPODACI

Naslov rada: Analiza i uloga protokola za upravljanje mobilnošću u situacijama prelaženja korisnika između mreža

Student: Antonio Čuljak

Mentor: izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Naslov na drugom jeziku (engleski): Analysis and roles of macro-mobility protocols

Povjerenstvo za obranu:

- doc. dr. sc. Niko Jelušić, predsjednik
- izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj, mentor
- dr. sc. Marko Matulin, član
- prof. dr. sc. Zvonko Kavran, zamjena

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Zavod za informacijsko komunikacijski promet

Vrsta studija: Diplomski

Studij: Promet (npr. Promet, ITS i logistika, Aeronautika)

Datum obrane završnog rada: 27.09.2016.

Napomena: pod datum obrane završnog rada navodi se prvi definirani datum roka obrane.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada pod naslovom **Analiza i uloga protokola za upravljanje mobilnošću u situacijama prelaženja korisnika između mreža** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 19.9.2016

(potpis)