

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Alen Kuharić

**Prikupljanje podataka o protoku vozila uporabom
mobilnih telefona**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT**

Zagreb, 19. travnja 2016.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Lokacijski i navigacijski sustavi**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 3478

Pristupnik: **Alen Kuharić (0135225213)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Prikupljanje podataka o protoku vozila uporabom mobilnih telefona**

Opis zadatka:

Napraviti pregled dosadašnjih istraživanja u području prikupljanja podataka o protoku vozila uporabom različitih metoda. Opisati građu mobilnih sustava i navesti infrastrukturne zahtjeve za prikupljanje podataka. Definirati smjernice za prikupljanje podataka o protoku vozila uporabom mobilnih mreža. Analizirati postupak prikupljanja podataka na segmentu prometne mreže simulacijom. Odrediti parametre zagušenja na osnovi podataka dobivenih simulacijom.

Zadatak uručen pristupniku: 21. ožujka 2016.

Mentor:



doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**Prikupljanje podataka o protoku vozila uporabom
mobilnih telefona**

**Data Acquisition of Vehicle Flow Using Mobile
Phones**

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra
Student: Alen Kuharić, 0135225213

Zagreb, rujan 2016.

Prikupljanje podataka o protoku vozila uporabom mobilnih telefona

SAŽETAK

Mobilni uređaji generiraju signalizacijske poruke u svrhu održavanja kvalitete usluge. Sakupljanjem tih podataka te njihovom analizom moguće je razviti ITS sustav bez velikih ulaganja u infrastrukturu i njezinog održavanja. Korištenjem signalizacijskih procedura generiranih zbog prijenosa podataka u uzlaznoj i silaznoj vezi moguće je osigurati dovoljno veliki uzorak prijeko potreban za procjenu prometnih parametara na cestovnim prometnicama.

KLJUČNE RIJEČI: Inteligentni transportni sustavi; mobilne mreže; procjena protoka prometa; procjena brzine vozila;

Data acquisition of vehicle flow using mobile phones

SUMMARY

Mobile devices generate signaling messages in order to maintain service quality. By collecting these data and their analysis it is possible to develop ITS systems without major investments in infrastructure and its maintenance. By using the signaling procedures generated for data transfer in uplink and downlink can provide enough sample is indispensable to assess parameters of traffic on road.

KEYWORDS: Intelligent Transportation System; Traffic Flow Estimation; Traffic Density Estimation; Vehicle Speed Estimation

SADRŽAJ:

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | UVOD | 1 |
| 2 | PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA | 2 |
| 2.1 | Određivanje protoka vozila | 3 |
| 2.1.1 | Određivanje protoka vozila koristeći HO događaje | 3 |
| 2.1.2 | Određivanje protoka vozila koristeći NLU događaje..... | 5 |
| 2.2 | Određivanje gustoće prometa | 6 |
| 2.2.1 | Određivanje gustoće prometa koristeći CA događaje | 6 |
| 2.2.2 | Određivanje gustoće prometa koristeći PLU događaje | 8 |
| 2.3 | Određivanje brzine vozila | 13 |
| 2.3.1 | Određivanje brzine vozila korištenjem procijenjenog protoka i gustoće prometa..... | 13 |
| 2.3.2 | Određivanje brzine vozila koristeći duple HO događaje..... | 14 |
| 2.4 | Metode predviđanja | 15 |
| 2.4.1 | CP based algoritam | 15 |
| 2.4.2 | Back-Propagation algoritam..... | 18 |
| 3 | GRADA MOBILNIH SUSTAVA I INFRASTRUKTURNI ZAHTJEVI ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA | 20 |
| 3.1 | Evolucija pokretnih komunikacijskih mreža | 20 |
| 3.2 | Mobilni ćelijski koncept..... | 21 |
| 3.3 | Arhitektura GSM mreže | 22 |
| 3.3.1 | GPRS..... | 25 |
| 3.3.2 | EDGE | 26 |
| 3.4 | Arhitektura UMTS mreže | 27 |
| 3.4.1 | UTRAN | 30 |
| 3.4.2 | HSDPA | 30 |
| 3.5 | Arhitektura LTE mreže..... | 31 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5.1 EPC | 32 |
| 3.5.2 E-UTRAN | 33 |
| 3.5.3 Osnovne značajke zračnog sučelja..... | 34 |
| 3.5.4 LTE protokolni složaj..... | 35 |
| 3.6 INFRASTRUKTURNI ZAHTJEVI ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA | 36 |
| 3.6.1 SENZORI | 36 |
| 3.6.2 RAČUNALNI VID | 37 |
| 3.6.3 FCD | 39 |
| 3.6.4 CFCD | 41 |
| 4 PRIKUPLJANJE PODATAKA O PROTOKU VOZILA | 43 |
| 4.1 Signalizacijske procedure za upravljanje mobilnošću GERAN pristupnom mrežom | 43 |
| 4.1.1 Stanja veze | 43 |
| 4.1.2 Ažuriranje lokacije | 45 |
| 4.2 Signalizacijske procedure za upravljanje mobilnošću UTRAN pristupnom mrežom | 48 |
| 4.2.1 Stanja veze | 49 |
| 4.2.2 Upravljanje mobilnošću | 52 |
| 4.3 Signalizacijske procedure za upravljanje mobilnošću E-UTRAN pristupnom mrežom..... | 58 |
| 4.3.1 Stanja veze | 58 |
| 4.3.2 Ažuriranje lokacije | 60 |
| 4.4 Prikupljanje signalizacijskih poruka | 69 |
| 4.4.1 Sučelja i mrežni čvorovi za sakupljanje signalizacijskih poruka | 75 |
| 4.4.2 Privatnost i anonimnost prikupljenih podataka | 77 |
| 5 SIMULACIJA POSTUPKA PRIKUPLJANJA PODATAKA NA SEGMENTU PROMETNE MREŽE | 79 |
| 5.1 Generiranje putanje i mjernih izvješća..... | 79 |

| | | |
|-----|--|----|
| 5.2 | Map matching algoritam | 80 |
| 5.3 | Podešavanje ulaznih parametara | 80 |
| 5.4 | Prikaz izlaznih prometnih parametara | 84 |
| 6 | ODREĐIVANJE PARAMETRA ZAGUŠENJA..... | 88 |
| 6.1 | Protok..... | 88 |
| 6.2 | Gustoća | 89 |
| 6.3 | Brzina | 89 |
| 7 | ZAKLJUČAK | 91 |
| | POPIS LITERATURE | 92 |
| | POPIS AKRONIMA I KRATICA..... | 95 |
| | POPIS ILUSTRACIJA | 98 |

1 UVOD

Veliki zahtjevi društva za mobilnošću doprinijeli su velikim brojem vozila na cestovnim prometnicama. Kako bi efektivno upravljali sa prometom na cestovnim prometnicama korištene su tradicionalne metode za prepoznavanje te prebrojavanje vozila čiju je infrastrukturu skupo implementirati te održavati. Budući da su sve prometnice pokrivene signalom mobilnih mreža te je u svrhu održavanja kvalitete usluge neophodno praćenje lokacije svakog pojedinog aktivnog mobilnog uređaja. Međunarodna telekomunikacijska unija je potvrdila da je stopa penetracije mobilnih uređaja veća od 100% tako da možemo smatrati da je svako vozilo opremljeno barem jednim mobilnim uređajem čije se praćenje od strane mobilnih mreža može iskoristiti za razvoj jednog ITS sustava bez potrebe za velikim financijskim ulaganjima. Metoda za sakupljanje takvih podataka zove se CFCD (engl. *Cellular Floating Car Data*) te se smatra da je ideja za takvo sakupljanje podataka stvorena početkom dvadeset i prvog stoljeća.

U ovome radu opisane su neke od dosadašnjih metoda za sakupljanje CFCD podataka te njihova analiza u svrhu definiranja stvarno vremenskih prometnih parametara. Opisana je građa mobilnih sustava kroz generacije te tradicionalni i CFCD infrastrukturni zahtjevi za prikupljanje podataka. Signalizacijske procedure za upravljanje mobilnošću mobilnog uređaja kroz generacije pristupnih tehnologija opisane su u četvrtom poglavlju. U petom poglavlju opisan je simulacijski program za sakupljanje CFCD podataka na segmentu prometne mreže te su u posljednjem poglavlju opisane nove ideje za sakupljanje CFCD podataka u komercijalnim mrežama najnovije generacije.

2 PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

U inteligentnim transportnim sustavima ITS postoje tri vrste popularnih pristupa za prikupljanje podataka o lokaciji vozila, to su fizički detektor vozila, pomoću vozila opremljenih sa GPS uređajima i pomoću metode određivanja pozicije mobilnog uređaja tj. CFCD (engl. *Cellular Floating Car Data*). Realna je pretpostavka sa svako vozilo posjeduje minimalno jedan mobilni uređaj čije signalizacijske poruke za upravljanje mobilnošću možemo iskoristiti za određene stvarno vremenske usluge ili aplikacije. Osim toga, ITU (engl. *International Telecommunication Union*) je pokazala da je stopa penetracije mobilnih uređaja veća od 100% u mnogim zemljama tako da možemo pretpostaviti da svaka osoba tj. vozilo je opremljeno minimalno jednim mobilnim uređajem. Ovaj rad predlaže analitičke modele i metode procjene prometnih informacija temeljenih na CFCD kako bi se dobilo povoljno rješenje za stvaranje stvarno vremenske usluge u ITS-u.

Pomoću nekih dosadašnjih istraživanja analiziran je odnos između prometnih informacija i količine signalizacije mobilne mreže, npr. HO (engl. *handover*), CA (engl. *call arrivals*), NLU (engl. *normal location update*) PLU i (engl. *periodic location update*) na dijelovima ceste te se predlažu metode procjene prometnih informacija na temelju statističkih podataka signalizacije.

Na primjer, Caceres i dr. [1] prikupljaju i broje handover događaje, koji su generirani kad MS uđe u područje novog BS-a za procjenu protoka prometa. Osim toga, predloženo je da se prate pozivni događaji generirani na područjima između različitih BS-a kako bi procijenili protok prometa [2]. Chen je predložio metodu da se prate NLU događaji koji su generirani kada je MS ušao u novo područje LAC-a (engl. *location area code*) te procijeniti stanje u prometu u skladu s količinom NLU događaja [3]. Za procjenu gustoće prometa Lai je predložio da se koristi metoda koja prati CA događaje, te da se analiziraju odnosi između gustoće prometa i količine CA događaja [4].

2.1 Određivanje protoka vozila

Protok vozila predstavlja broj vozila koja prolazi kroz točku na djelu prometnice u zadanom vremenskom periodu. On je varijabla koja se koristi za kvantificiranje potražnje (broj vozila koja žele da putuju pokraj točke tijekom određenog razdoblja). Iako, ovaj parametar se može shvatiti kao korištenje prometnice prilikom zahtjeva za transport, on pruža intuitivan opis ponašanja prometa u određenom vremenskom razdoblju.

Protok se u prometu mjeri na različite načine, neki od načina su ručno brojanje, raznovrsni senzori i računalni vid, što zahtijeva instalaciju dodatnih elemenata na cestama. Brojači prometa pružaju informacije o količini vozila koja se kreću pokraj zadane točke ili dijela prometnice. Promet se uobičajeno prebrojava automatski na više lokacija, čime se osigurava ograničenu pokrivenost cjelokupnog transportnog sustava. Rezultati takvog prebrojavanja ovise o postojećoj infrastrukturi detektora koju je skupo proširiti ili izmijeniti zbog troškova instalacije i održavanja. Protok vozila nije konstantan, nego se mijenja ovisno o mobilnosti stanovništva, kategoriji prometnice, sezone itd. Nove alternativne metode su potrebne kako bi se opisao promet na brz, precizan i kontinuiran način, po prihvatljivoj cijeni.

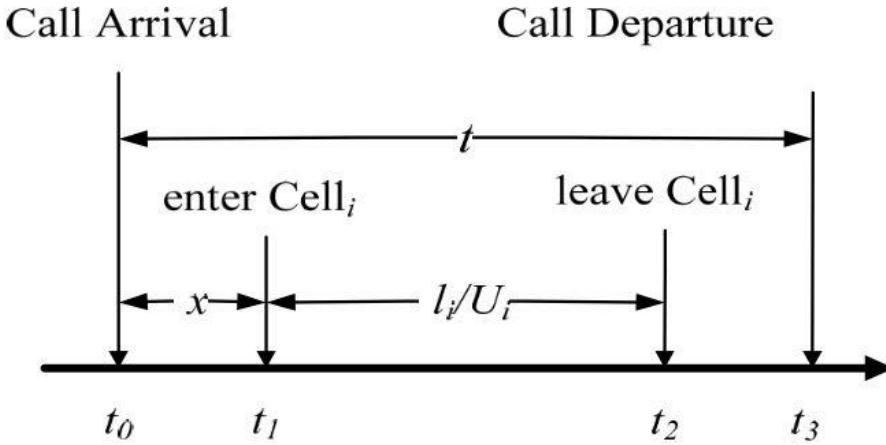
Jedan od načina za dobivanje ove informacije je kroz sustav mobilnih mreža. U usporedbi s fiksnim senzorima, mobilni uređaji pružaju informacije o ponašanju prometa u bilo kojem području pokrivenim signalom GSM mreže, bez potrebe za dodatnom infrastrukturom. U tim slučajevima, protok će biti povezan s kretanjem MS-a kroz točku ili područje. Stoga postoje određeni događaji i procesi u GSM mreži koji se odnose na upravljanje mobilnosti te omogućuju detekciju promjene područja na prometnici.

2.1.1 Određivanje protoka vozila koristeći HO događaje

Kada se aktivna MS u automobilu kreće iz područja pokrivanja jednog BS-a u područje pokrivanja drugog BS-a, komunikacijski kanal prvog BS-a biti će otpušten dok će drugi BS ako postoji slobodan kanal pružiti MS-u. Ovaj proces se zove HO.

Cestovne prometnice su pokrivene nizom BS-a te aktivni MS u vozilu se kreće tom prometnicom. Slika 1. prikazuje vremenski dijagram za HO određenog BS-a. MS

u vozilu obavlja uspostavu poziva u vremenu t_0 (na Slici 1.) te odlazi u HO zonu koja se nalazi na granici pokrivanja dva BS-a.(na Slici 1.), zatim će BSC ili RNC naređiti drugom BS-u da dodjeli slobodan kanal MS-u. U ovom trenutku, ako drugi BS ima slobodan kanal, veza između MS-a i BS-a biti će uspješno uspostavljana. Količina HO inkremenira za jedan.



Slika 1. Vremenski dijagram za HO događaje, [4]

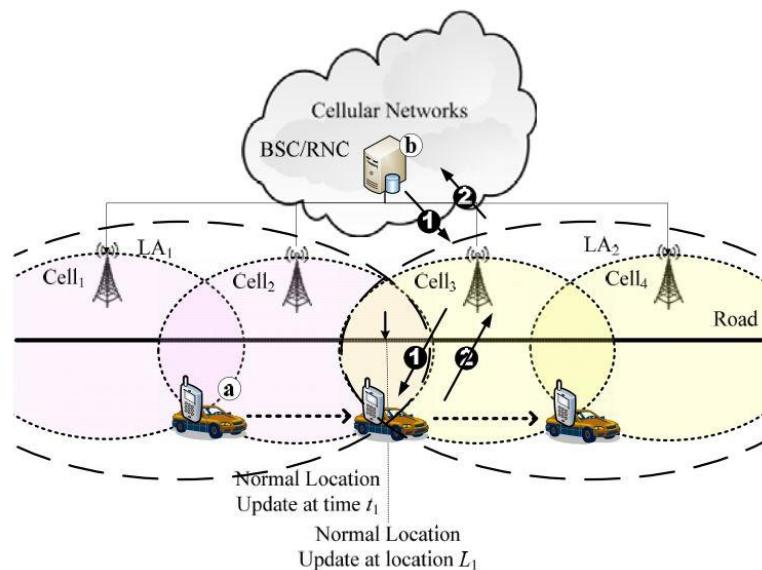
U ovom radu, istraživanje prepostavlja da se vrijeme trajanja poziva (t) eksponencijalno distribuira $1/\mu$ za generiranje HO događaja. Budući da je udaljenost od granica područja pokrivanja BS-a l , a brzina vozila U , vrijeme koje je MS drži poziv je t . Varijabla x je vremenska razlika putovanja iz lokacije dolznog poziva CA do ulaska u određenu ćeliju. Vrijeme putovanja l/U je vremenska razlika između t_1 i t_2 koje je vozilo provelo u ćeliji. Ovaj pristup uzima u obzir da bi trajanje poziva (t) trebalo biti veće od x . Varijabla Q je protok prometa. Količina HO događaja (h_i) na dijelu ceste koje pokriva BS tj. ćelije može se izraziti preko Formule (1). Procijenjeni protok prometa (q) može se izračunati preko Formule (2) [4]

$$h_i = Q_i \times \int_{x=0}^{\infty} \Pr(t > x) dx = Q_i \times \int_{x=0}^{\infty} \int_{t=x}^{\infty} \mu e^{-\mu t} dt dx = \frac{Q_i}{\mu} \quad (1)$$

$$q_{i,h} = h_i \times \mu \quad (2)$$

2.1.2 Određivanje protoka vozila koristeći NLU događaje

Slika 2 prikazuje prostorni dijagram za kretanje vozila i NLU događaje na cestovnoj prometnici. Ovdje istraživanje pretpostavlja da je prometnica pokrivena sa dva LA-a koji su podijeljeni u skup ćelija i komuniciraju su MS-om (Slika 2) u vozilu na cesti. U nastavku su objašnjeni koraci kretanja po prometnici.



Slika 2. Prostorni dijagram za kretanje vozila i NLU događaji na cestovnoj prometnici, [4]

Korak 1: MS neprekidno dobiva LAI kodove od BSC-a i RNC-a (Slika 2.) unutar GSM i UMTS mreže za pomoć mreži u potencijalnom odlučivanju ažuriranja lokacije.

Korak 2: Kada se automobil kreće iz LA₁ u LA₂, izvršava se NLU procedura. MS šalje poruku na BSC ili RNC. Istovremeno, ovo istraživanje bilježi poruke koje sadrže lokacije od NLU l_1 i NLU vremena t_1 . Kada jedno vozilo prolazi kroz lokaciju NLU događaja, NLU događaj je uvijek aktiviran. Tako da ovo istraživanje pokazuje da je taj iznos NLU-a ($q_{l,n}$) je jednak protoku prometa (Q) na lokaciji aktiviranja NLU događaja. [4]

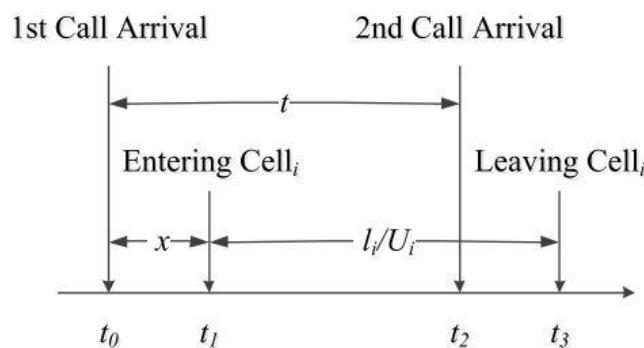
2.2 Određivanje gustoće prometa

Gustoća prometa usko je povezana sa zagušenjem prometa, tako da su metodologije za procjena slične. Gustoća prometa određuje razmak između vozila koja se manifestira slobodom upravljanja vozila na prometnici. Ona je još jedan ključni parametar za mjerjenje kvalitete usluge na dionici prometnice. Gustoća prometa je definirana kao broj vozila koja zauzimaju određenu duljinu trake ili prometnicu u određenom trenutku, osim stacionarnih vozila. Obično se izražava kao broj vozila po kilometru (voz/km). Izravno mjerjenje gustoće je zahtjevno, jer zahtijeva različite fiksne mjerne stanice instalirane na značajno dugačke autoceste. Međutim, ako su dostupni određeni podaci, gustoća prometa se može izračunati pomoću kvocijenta protoka i brzine vozila, ali to vrijedi samo pod određenim uvjetima.

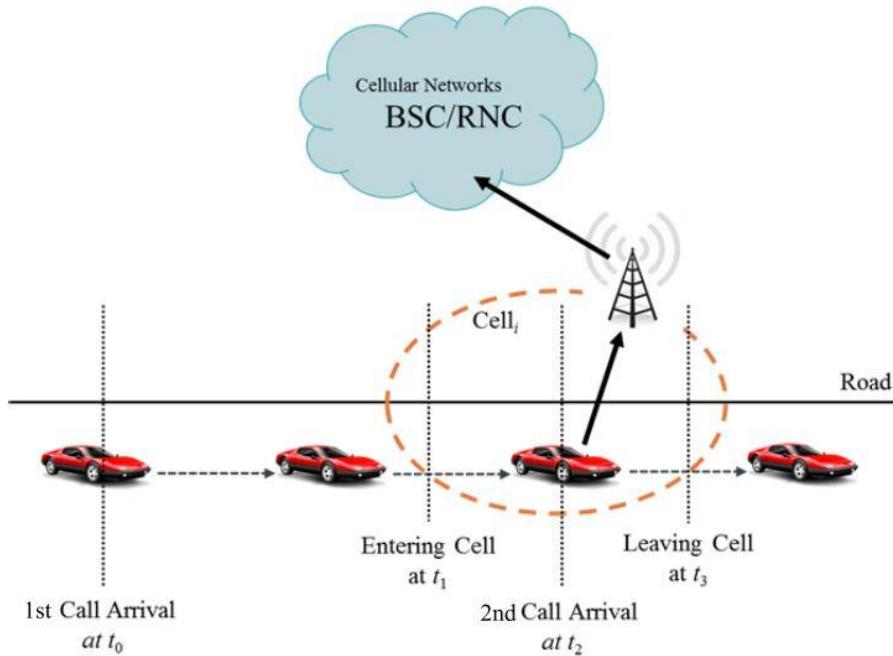
Za procjenu prometa gustoće, ovo istraživanje uzima u obzir količinu CA i PLU događaja (p_i) za procjenu gustoće prometa (K_i) dijela prometnice na području pokrivanja ćelije.

2.2.1 Određivanje gustoće prometa koristeći CA događaje

Slika 3. prikazuje vremenski dijagram kretanja vozila i CA događaja na prometnici. Kada MS u vozilu koje se kreće po prometnici inicira prvi poziv u vremenu t_0 i ulazi u područje pokrivanja ćelije u trenutku t_1 , te zatim MS inicira drugi poziv u vremenu t_2 prije izlaska iz područja pokrivanja ćelije u vremenu t_3 . Na slici 4. je prikazan scenarijski dijagram kretanja vozila i CA događaja na prometnici. [4]



Slika 3. Vremenski dijagram kretanja vozila i CA događaja na prometnici, [4]



Slika 4. Scenarijski dijagram kretanja vozila i CA događaja na prometnici, [4]

Ovo istraživanje predlaže novi model za procjenu odnosa u iznosu od CA (r_i) i gustoće prometa (k_i). Ovaj pristup uzima u obzir komunikacijski ponašanje, stanje u prometu i udaljenosti pokrivanja određene ćelije pri procjeni gustoće prometa.

Pretpostavke usvojene u modelu su prikazane u dalnjem tekstu.

- Broj CA događaja prema i od jednog MS-a po automobilu uz prometnicu može se evaluirati. Brzina dolazaka poziva u ćeliju je λ i može se mjeriti od strane mobilnog operatera.
- Vrijeme između dolazaka τ je eksponencijalno distribuirano sa srednjom $1 / \lambda$
- Stvarni protok vozila Q_i , stvarna brzina vozila U_i i stvarna gustoća prometa K_i prometnice može se prikupiti iz podataka VD na dijelu ceste na koje se odnosi na područje pokrivanja ćelije. Gustoća prometa može se procijeniti kao $K_i = Q_i / U_i$
- x predstavlja vrijeme provedeno od prvog CA događaja do ulaska u ćeliju
- l predstavlja duljinu cestovne prometnice pokrivene ćelijom
- mjeranjem izlaza dobivamo a_i što predstavlja količinu CA događaja na segmentu prometnice pokrivene ćelijom.

Ovaj pristup uzima u obzir vrijeme CA događaja, vrijeme boravka MS-a unutar ćelije, kako bi procijeniti količinu CA događaja (a_i). Iznos CA na dijelu prometnice može se izraziti preko formule (3). Ovo istraživanje polazi od toga da je procijenjeni protok vozila (q_i) je jednak protoku u stvarnom prometu (Q). Stoga, procijenjena gustoća prometa ($K_{i,a}$) može se procijeniti korištenjem formule (4) [4]

$$\begin{aligned}
 a_i &= Q_i \times \Pr[t_1 < t_2 < t_3] \\
 &= Q_i \times \int_{x=0}^{\infty} \Pr\left[x < \tau < x + \frac{l_i}{U_i}\right] dx \\
 &= Q_i \times \int_{x=0}^{\infty} \int_{\tau=x}^{x+\frac{l_i}{U_i}} \lambda e^{-\lambda \tau} d\tau dx \\
 &= Q_i \times \frac{1 - e^{-\frac{\lambda l_i}{U_i}}}{\lambda} \\
 \Rightarrow 1 - \frac{\lambda a_i}{Q_i} &= e^{-\frac{\lambda l_i}{U_i}} \\
 \Rightarrow 1 - \left(1 - \frac{\lambda a_i}{Q_i}\right)^{\frac{1}{\lambda l_i}} &= 1 - e^{-\frac{1}{U_i}} \\
 \Rightarrow 1 - \left(1 - \frac{\lambda a_i}{Q_i}\right)^{\frac{1}{\lambda l_i}} &\approx \frac{1}{U_i}, \text{ where } \lim_{U_i \rightarrow \infty} 1 - e^{-\frac{1}{U_i}} = \frac{1}{U_i} \\
 \Rightarrow Q_i \left[1 - \left(1 - \frac{\lambda a_i}{Q_i}\right)^{\frac{1}{\lambda l_i}}\right] &\approx \frac{Q_i}{U_i} = K_i, \text{ where } \lim_{U_i \rightarrow \infty} 1 - e^{-\frac{1}{U_i}} = \frac{1}{U_i}
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$k_{i,a} = q_i \left[1 - \left(1 - \frac{\lambda a_i}{q_i}\right)^{\frac{1}{\lambda l_i}}\right] \approx \frac{Q_i}{U_i} = K_i, \text{ where } \lim_{U_i \rightarrow \infty} 1 - e^{-\frac{1}{U_i}} = \frac{1}{U_i} \tag{4}$$

2.2.2 Određivanje gustoće prometa koristeći PLU događaje

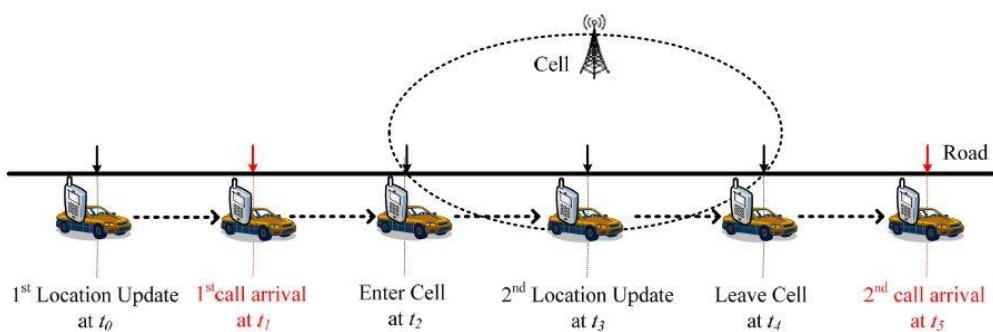
Kada uzimamo u obzir vjerojatnost da će se PLU događaj aktivirati u određenoj ćeliji, ovo istraživanje mora uzeti u obzir sljedeća dva scenarija:

- ne postoji poziv između dva uzastopna PLU događaja
- postoji nekoliko poziva između dva uzastopna PLU događaja

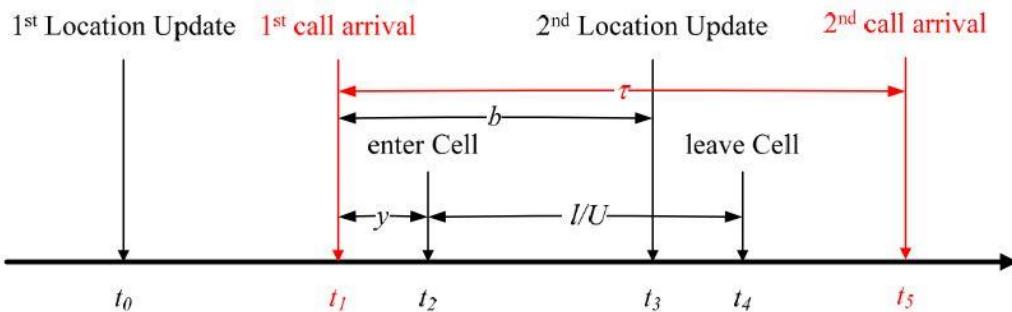
Ovo istraživanje razmatra i sumira oba scenarija za određivanje vjerojatnosti PLU događaja u određenoj stanici za procjenu gustoće prometa. [4]

2.2.2.1 Scenarij 1: Ne postoji poziv između dva uzastopna PLU događaja

Dijagram kretanja vozila je prikazan na slici 5, a vremenski dijagram je prikazan na slici 10. za scenarij 1. Vozilo sa MS-om se kreće po prometnici. Prvi PLU događaj se aktivira u trenutku t_0 zatim vozilo ulazi u područje ćelije u vremenu t_1 . Drugi PLU događaj se aktivira u trenutku t_2 , potom vozilo napušta ćeliju u vremenu t_3 . [4]



Slika 5. Dijagram kretanja vozila i PLU događaji na prometnici gdje ne postoji poziv između dva uzastopna PLU događaja



Slika 6. Vremenski dijagram za kretanje vozila i PLU događaji na prometnici gdje ne postoji poziv između dva uzastopna PLU događaja, [4]

Pretpostavke i parametri ovoga modela su definirani u nastavku.

- Postoji samo prometnica u ćeliji.
- b [hr]: Vrijeme ciklusa PLU događaja.

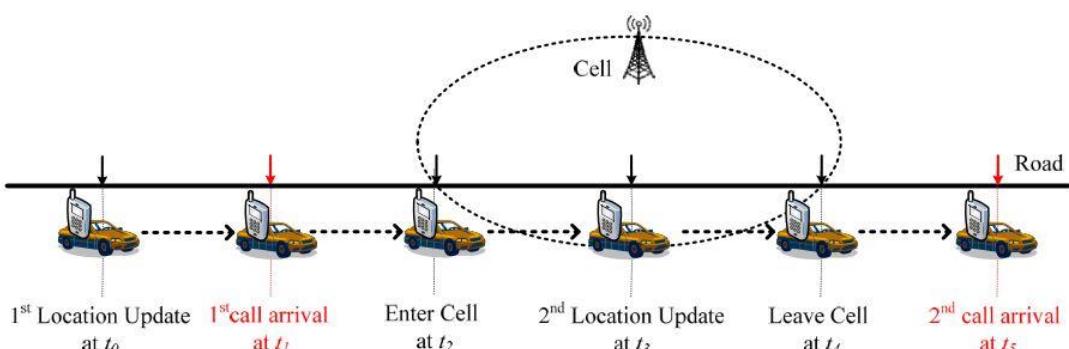
- x [hr]: Vrijeme između prvog PLU događaja i ulaska u područje ćelije. Ovo istraživanje pretpostavlja da je vremenska funkcija $f(x)$ ravnomjerna distribucija funkcije kao $f(x) = 1 / b$.
- l [km]: Duljina segmenta prometnice pokrivenog područjem pokrivenim ćelijom.
- U [km/h]: Prosječna brzina automobila koji prelazi područje ćelije.

U ovom scenariju, vjerojatnost PLU događaja aktiviranog na području ćelije je prikazan formulom (5).

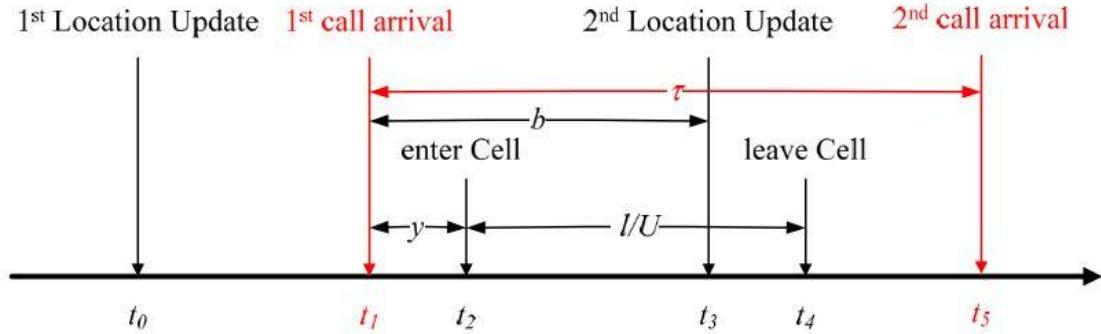
$$\begin{aligned} \Pr(\text{Scenario 1}) &= \Pr\left(x + \frac{l}{U} > b\right) \\ &= \int_{x=b-\frac{l}{U}}^b f(x)dx = \int_{x=b-\frac{l}{U}}^b \frac{1}{b} dx = \frac{l}{Ub} \end{aligned} \quad (5)$$

2.2.2.2 Scenarij 2: Postoji nekoliko poziva između dva uzastopna PLU događaja

Dijagram kretanja vozila je prikazan na slici 7., dok je vremenski dijagram za scenarij 2 prikazan na slici 8. Vozilo sa MS-om se kreće po prometnici. Prvi PLU događaj se aktivira u trenutku t_0 . Zatim dolazi poziv tj. CA događaj u vremenu t_1 , a vozilo ulazi u područje pokrivanja ćelije u vremenu t_2 . Drugi PLU događaj se aktivira u vremenu t_3 , a vozilo napušta ćeliju u vremenu t_4 . Nakon toga stiže drugi poziv tj. CA događaj u trenutku t_5 . [4]



Slika 7. Dijagram kretanja vozila i PLU događaji na prometnici gdje postoji nekoliko poziva između dva uzastopna PLU događaja, [4]



Slika 8. Vremenski dijagram za kretanje vozila i PLU događaji na prometnici gdje postoji nekoliko poziva između dva uzastopna PLU događaja, [4]

Prepostavke i parametri ovoga modela su definirani u nastavku.

- Dolasci poziva na i od MS-a po jednom vozilu uz prometnicu mogu se ocijeniti. Brzina dolazaka poziva je λ [poziv / h].
- Vrijeme između dolazaka τ je eksponencijalno distribuirano sa srednjom $1 / \lambda$
- Vrijeme između dolazaka poziva je funkcija $g(\tau)$ koja je eksponencijalna razdioba funkcije $g(\tau) = \lambda e^{-\lambda\tau}$
- y [h]: Vrijeme između prvog poziva i vremena ulaska u područje ćelije
- Vremenska funkcija $h(y)$ je ravnomjerna distribucija funkcije kao $h(y) = 1 / (2b)$.

U ovom scenariju, vjerojatnost PLU događaja da će se aktivirati u stanici je prikazan formulom 6.

$$\begin{aligned}
 \Pr(\text{Scenario 2}) &= \Pr\left(\tau > b \cap y + \frac{l}{U} > b\right) \\
 &= \Pr(\tau > b) \times \Pr\left(y > b - \frac{l}{U}\right) \\
 &= \int_{\tau=b}^{\infty} g(\tau) d\tau \times \int_{y=b-\frac{l}{U}}^b h(y) dy \\
 &= \int_{\tau=b}^{\infty} \lambda e^{-\lambda\tau} d\tau \times \frac{l}{2Ub} \\
 &= e^{-\lambda b} \frac{l}{2Ub}
 \end{aligned} \tag{6}$$

2.2.2.3 Razmatranje i sumiranje oba scenarija

Ovo istraživanje koristi formulu (7) kako bi razmotrilo i sumiralo oba scenarija za vjerojatnost PLU događaja u određenoj ćeliji za procjenu gustoće prometa.

$$\begin{aligned}
 \Pr(\text{PLU}) &= \Pr(\tau > b) \times \Pr(\text{Scenario 1}) + \Pr(\tau < b) \times \Pr(\text{Scenario 2}) \\
 &= e^{-\lambda b} \times \frac{l}{Ub} + (1 - e^{-\lambda b}) \times \left(e^{-\lambda b} \frac{l}{2Ub} \right) \\
 &= (3 - e^{-\lambda b}) \times \left(e^{-\lambda b} \frac{l}{2Ub} \right)
 \end{aligned} \tag{7}$$

Formulom (7) dobivamo vjerojatnost da će se PLU događaj aktivirati u određenoj ćeliji za jedno vozilo. Da bi pronašli vjerojatnosti PLU događaja aktiviranih u određenoj ćeliji za sva vozila, ovo istraživanje množi vjerojatnost dobivenu iz formule (7) sa protokom prometa Q [vozilo/h]. Količina PLU događaja (događaj / sat) na dijelu prometnice pokrivene ćelijom može se izraziti preko formule (8), koja pokazuje odnos između količine PLU događaja i stvarne gustoće prometa. Ovo istraživanje koristiti formulu (9) za procjenu gustoće prometa $K_{i,p}$. [4]

$$\begin{aligned}
 p_i &= Q_i \times \Pr(\text{PLU}) \\
 &= Q_i \times (3 - e^{-\lambda b}) \times \left(e^{-\lambda b} \frac{l}{2U_i b} \right) \\
 &= K_i \times (3 - e^{-\lambda b}) \times \left(e^{-\lambda b} \frac{l}{2U_i b} \right)
 \end{aligned} \tag{8}$$

$$k_{i,p} = \frac{p_i}{(3 - e^{-\lambda b}) \times \left(e^{-\lambda b} \frac{l}{2b} \right)} \tag{9}$$

2.3 Određivanje brzine vozila

Brzina vozila je jedan od najviše proučavanih parametara za procjenu kvalitete usluge kretanja prometnicom, ovisno o potražnji koju podržava, osobito u urbanim sredinama. Brzina se obično mjeri na mjestu ili kratkom dijelu prometnice za određivanje brzine kretanja vozila koja prolaze. Njezino mjerjenje ovisi o mnogim čimbenicima, kao što su kategorije cesta (urbana, međugradska, autocesta,...), širine prometnice ili broj trakova. Osim toga, postoje i drugi promjenjivi čimbenici koji utječu na njezin iznos, kao što su klima, doba dana, razni događaji... Različite alternativne metode se koriste za mjerjenje poput vozila opremljenih navigacijskom opremom ili senzora ugrađenih u prometnicu. Obje alternative predstavljaju dodatni trošak u smislu instalacije i održavanja opreme

2.3.1 Određivanje brzine vozila korištenjem procijenjenog protoka i gustoće prometa

U nastavku su prikazane formule za procjenu brzine pomoću:

- procijenjenog protoka vozila iz NLU događaja ($q_{i,n}$),
- procijenjenog protoka vozila iz HO događaja ($Q_{i,h}$),
- procijenjene gustoće prometa pomoću CA događaja ($k_{i,a}$),
- procijenjene gustoće prometa pomoću PLU događaja ($k_{i,p}$).

Na temelju odjeljaka 2.1 i 2.2, mogu se procijeniti brzine vozila formulama (10), (11), (12), i (13). [4]

$$u_{i,na} = \frac{q_{i,n}}{k_{i,a}} = \left[1 - \left(1 - \frac{\lambda a_i}{q_{i,n}} \right)^{\frac{1}{\lambda l_i}} \right]^{-1} \quad (10)$$

$$u_{i,ha} = \frac{q_{i,h}}{k_{i,a}} = \left[1 - \left(1 - \frac{\lambda a_i}{\mu h_i} \right)^{\frac{1}{\lambda l_i}} \right]^{-1} \quad (11)$$

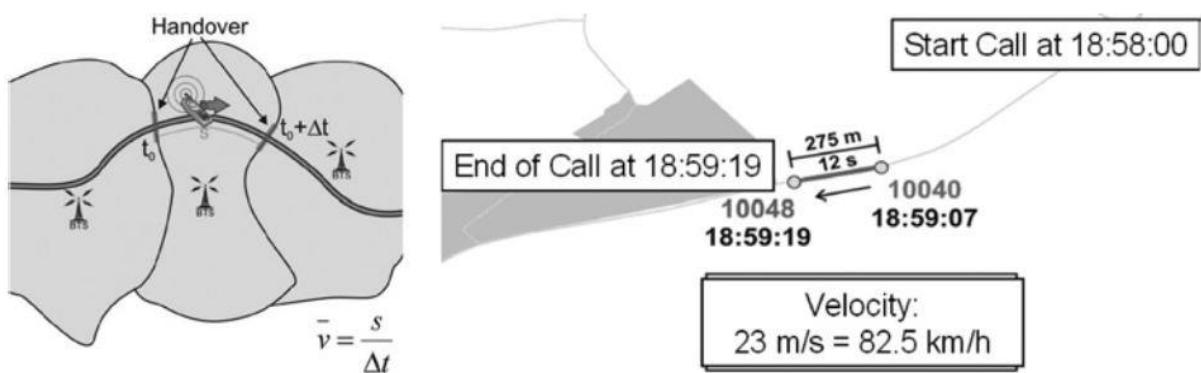
$$u_{i,np} = \frac{q_{i,n}}{k_{i,p}} = \frac{q_{i,n}(3 - e^{-\lambda b}) \left(e^{-\lambda b} \frac{l}{2b} \right)}{p_i} \quad (12)$$

$$u_{i,hp} = \frac{q_{i,h}}{k_{i,p}} = \frac{\mu h_i (3 - e^{-\lambda b}) \left(e^{-\lambda b} \frac{l}{2b} \right)}{p_i} \quad (13)$$

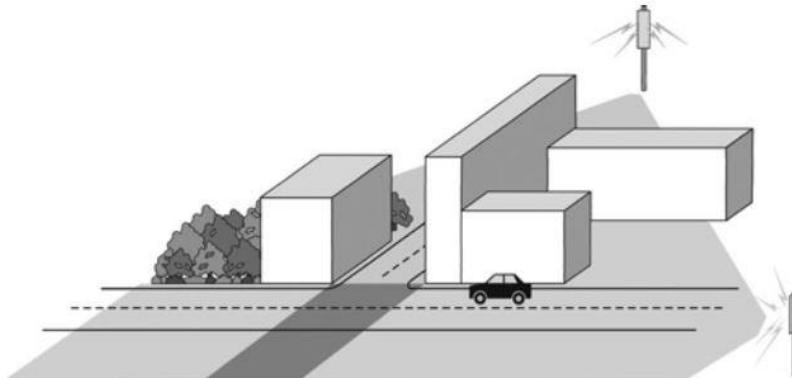
2.3.2 Određivanje brzine vozila koristeći duple HO događaje

Dvostruki HO događaji bi trebali imati informacije o vremenu ulaska (početni HO) i izlaska (konačni HO) iz određene ćelije. Ta će vremena, zajedno s položajem granice između ćelija koje su poznate operateru, pomoći u procjeni prosječne brzine za segment prometnice koja prolazi kroz područje pokrivanja određene ćelije (Slika 9). [1]

Jedan od problema ovog pristupa je da se uzima u obzir uzorak samo onih MS-a koji čine dovoljno duge pozive da prijeđu preko cijelog područja pokrivanja ćelije, što nije česta pojava. Osim toga, ovaj pristup će biti pouzdan samo u onim slučajevima u kojima postoji samo jedna prometnica u graničnom pojasu između dvije ćelije, tako da može biti jedinstveno identificirana. To je, u pravilu, na glavnim autocestama ili cestama gdje nema drugih cesta u blizini koje bi mogle zbuniti identifikaciju. U slučaju urbanih područja Birle i Wermuth predlažu korištenje područja gdje se HO događaji javljaju zbog preklapanja pokrivenosti uzrokovanih postojanjem zgrada (Slika 10). [1]



Slika 9. Određivanje brzine vozila koristeći duple HO događaje, [1]



Slika 10. Preklapanja pokrivenosti signalom uzrokovanih postojanjem zgrada, [1]

To pomaže identifikaciji jedinstvenih lokacija u urbanim područjima unutar ćelije više nego s tipičnim preklapanjem ćelija. Međutim, ova metoda zahtijeva dodatne informacije o jačini signala susjednih BS-ova, to jest, izvještaje mjerjenja kako bi identificirali rutu kojom MS prolazi kroz ćeliju. Dobiveni rezultati uvelike poboljšavaju točnost procjene brzine u urbanim sredinama.

2.4 Metode predviđanja

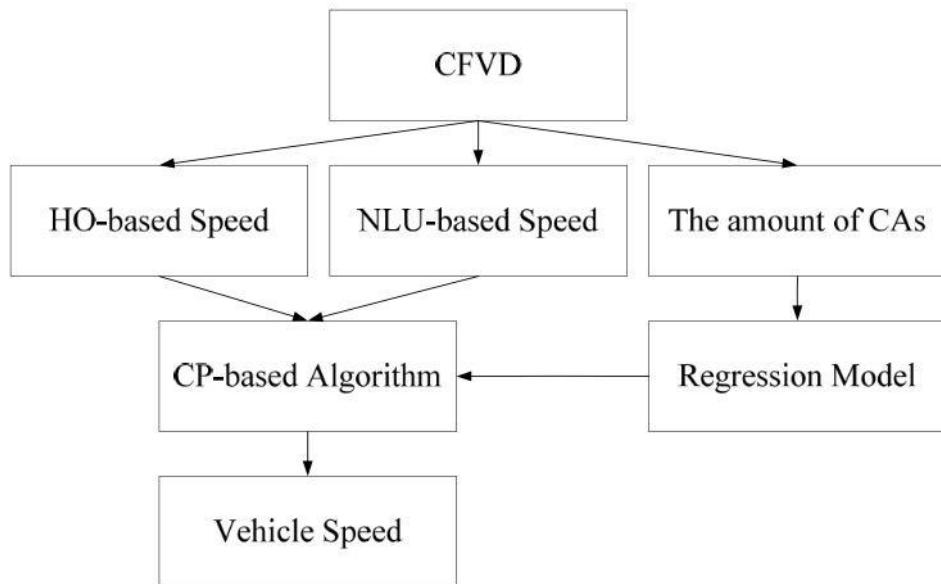
Za metode predviđanja informacija u prometu korišteno je nekoliko istraživanja, neka od njih su navedena u nastavku. CP-based metoda uzima u obzir procjenu protoka prometa i procijenjenu gustoću prometa zasnovanu na mobilnim mrežama za procjenu brzine vozila. Za procjenu brzine vozila također je korišten BPNN (engl. *Back-Propagation Neural Networks*) algoritam koji predviđa buduću brzinu vozila u skladu sa trenutnim prometnim informacijama dobivenih CFCD modelom. [4]

2.4.1 CP based algoritam

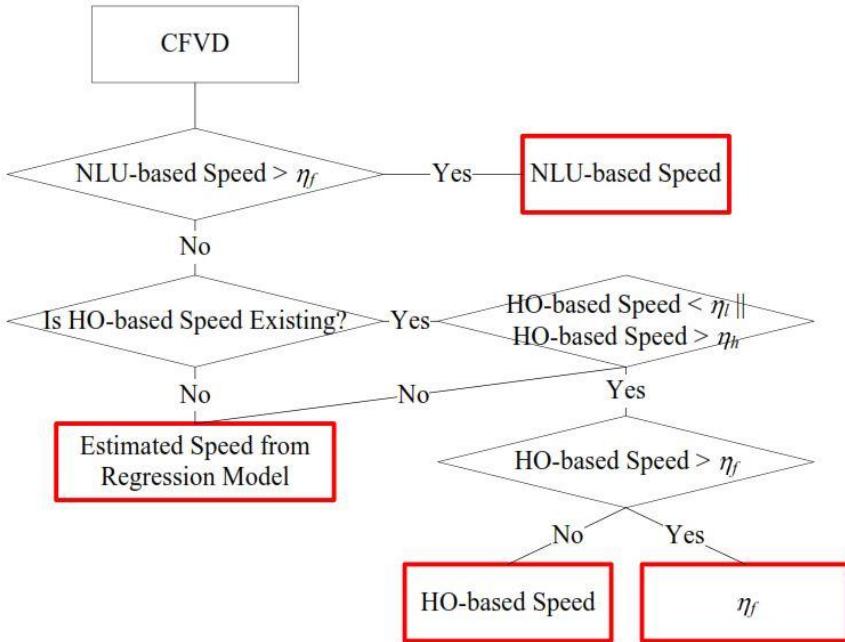
Količina NLU i CA događaja obično je veća od količine HO i PLU događaja tako da se informacija o procijenjenom prometu sa nižom razinom slučajnosti može dobiti od NLU i CA događaja. Osim toga, ovo istraživanje koristi metodu strojnog učenja i razmatra obije metode NLU i HO kako bi predložilo algoritam za procjenu brzine vozila. Predloženi algoritam se zove CP-based algoritam (prikazan na slici 12).

U skladu s poglavljem 2.2, količina CA događaja je povezana sa gustoćom prometa, što znači da je količina CA događaja recipročna brzini vozila. Osim toga, ovo istraživanje koristi regresijski model i podatke o povijesti brzine vozila i količine CA događaja za analizu parametara u formuli (14). Postoje W ciklusi u povijesti podataka, brzina vozila $u_{i,\omega}$, i količina CA događaja se bilježi za svaki i -ti segment prometnice i u svakom ω -tom ciklusu za procjenu brzine vozila. Tada su brzina vozila dobivena iz NLU događaja, brzina vozila dobivena iz HO događaja i procijenjena brzina vozila sa regresijskom modelom se razmatraju i analiziraju CP-based algoritmom kako bi odredili brzinu vozila. Dijagram toka ovog algoritma je prikazan na slici 12. [4]

$$\alpha_i = \frac{W \left(\sum_{\omega=1}^W a_{i,\omega} u_{i,\omega} \right) - \left(\sum_{\omega=1}^W a_{i,\omega} \right) \left(\sum_{\omega=1}^W u_{i,\omega} \right)}{W \left(\sum_{\omega=1}^W (a_{i,\omega})^2 \right) - \left(\sum_{\omega=1}^W a_{i,\omega} \right)^2} \text{ and } \beta_i = \frac{1}{W} \left(\sum_{\omega=1}^W u_{i,\omega} - \alpha_i \sum_{\omega=1}^W a_{i,\omega} \right) \quad (14)$$



Slika 11. Faktori uzeti u obzir u CP-based algoritmu, [4]



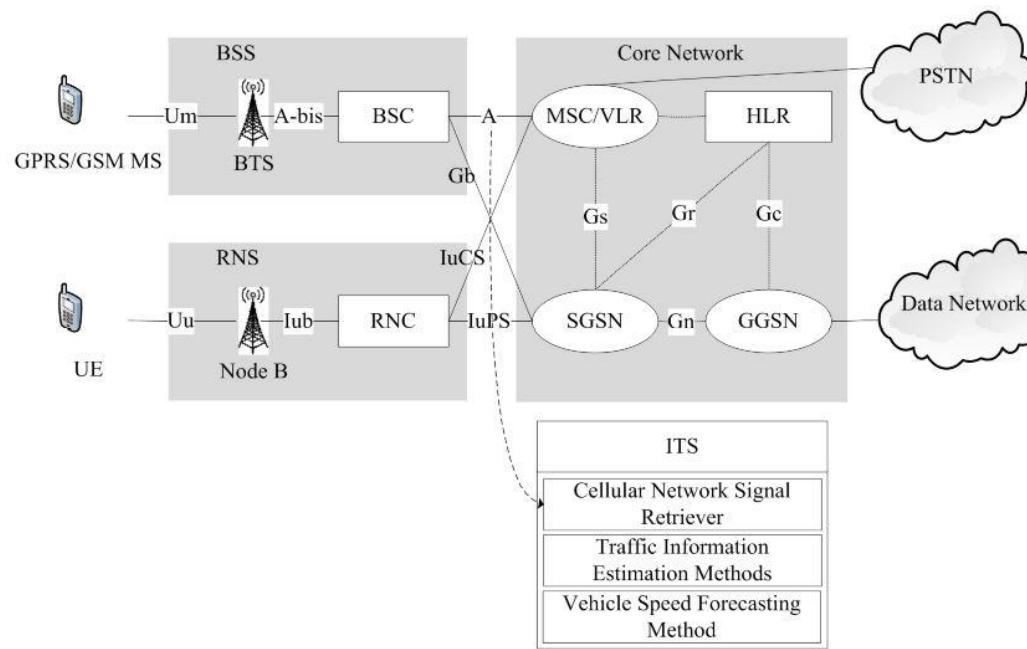
Slika 12. CP-based algoritam, [4]

U skladu s rezultatima eksperimenta u prethodnim istraživanjima, koristeći NLU događaje može se pružiti procjene brzine vozila visoke točnosti kada je promet u slobodnom toku. Tako da NLU događaje uzimamo u obzir kada je procijenjena brzina veća od praga brzine slobodnog toka. Na kratkom segmentu prometnice ne možemo koristiti NLU događaje za procjenu brzine tako da se koriste HO događaji i procijenjena brzina vozila iz regresijskog modela u skladu s količinom CA događaja. Procjena brzine vozila pomoću HO događaja nije uvijek moguća te u skladu sa količinom CA događaja se treba provjeravati u svakom ciklusu. Metoda procjene pomoću HO događaja može osigurati visoku razinu točnosti procjene brzine vozila kada je prometnica u stanju zagušenja ili slobodnog toka. Što znači da se HO događaji koriste za procjenu kada je brzina kretanja vozila veća od granice velike brzine (slobodan tok) i manja od granice male brzine (zagrušenje), za brzine između granica koristi se procijenjena brzina vozila od regresijskog modela u skladu s količinom CA događaja. [4]

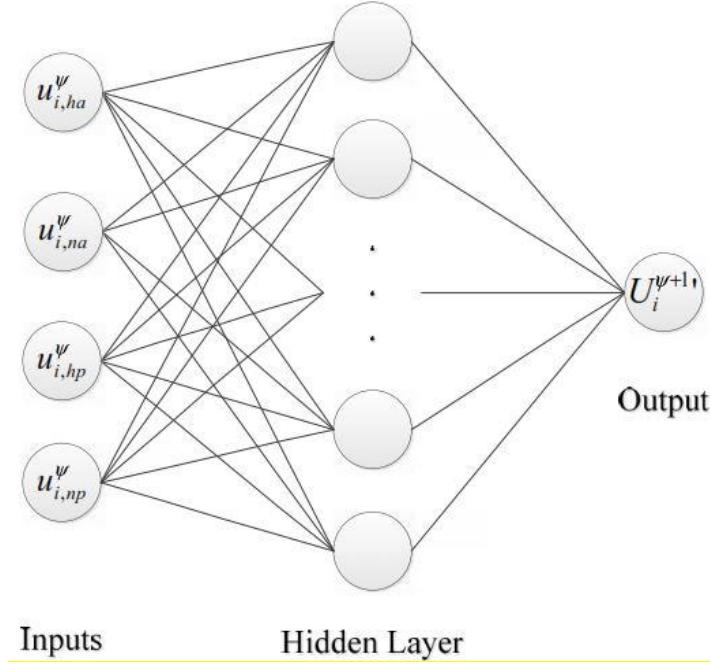
2.4.2 Back-Propagation algoritam

Inteligentni transportni sustav, koji se sastoji od uređaja za analizu signala CNSR (engl. *Cellular network signal retriever*), metode za procjenu informacija o prometu i metode za predviđanje brzine vozila, osmišljen je i proveden ITS sustav za procjenu i predviđanje informacija u prometu (prikazano na Slici 13). ITS može sakupiti signale mobilne mreže (npr. *NLU*, *PLU*, *HO* i *CA*) putem A i IuCS sučelja te analizirati signale za procjenu informacije o trenutnom stanju u prometu (npr. protok, gustoća i brzina vozila). Procijenjena brzina vozila može biti uzeta kao ulazna karakteristika u metodi za predviđanje brzine vozila. [4]

U ovom poglavlju prosječna brzina vozila na dijelu prometnice i u ciklusu ψ je izražena kao U_i^ψ , a procijenjena brzina vozila pri ciklusu ψ može se izraziti jednadžbama (10) - (13). Ovo istraživanje prikuplja vrijednosti trenutnih informacija o prometu $U_{i,ha}^\psi$, $U_{i,na}^\psi$, $U_{i,hp}^\psi$ i $U_{i,np}^\psi$ kao karakteristike ulaznih neurona u BPNN modelu kako bi predviđeli buduće brzine vozila (Slika 14.). U modelu postoji četiri neuronska ulaza, jedan skriveni sloj, a vrijednost predviđene brzine vozila $U_i^{\psi+1}$ se dobiva na izlazu iz modela. [5]



Slika 13. ITS temeljen na BPNN algoritmu, [4]



Slika 14. Model BPNN algoritma, [5]

U fazi učenja, povijesni skupovi podataka iz signala mobilne mreže dobivenih uređajem za analizu signala i fizičkim detektora vozila prikupljaju se i obračunava iznos NLU, PLU, HO i CA događaja. Brzina vozila može se procijeniti sukladno procjenom protoka pomoću NLU i HO događaje te procjenom gustoće prometa pomoću PLU i CA događaja za dobivanje vrijednosti $U_{i,ha}^\psi$, $U_{i,na}^\psi$, $U_{i,hp}^\psi$ i $U_{i,np}^\psi$ u ciklusu ψ . Prosječna brzina vozila $U_i^{\psi+1}$ na jednom segmentu prometnice i u sljedećem ciklusu ($\psi+1$) može biti sakupljena pomoću detektora vozila na prometnici. Predložena metoda prognoziranja brzine vozila na temelju BPNN modela uzima $U_{i,ha}^\psi$, $U_{i,na}^\psi$, $U_{i,hp}^\psi$ i $U_{i,np}^\psi$ kao ulazne karakteristike te $U_i^{\psi+1}$ kao izlaznu karakteristiku za učenje neuronske mreže.

U fazi izvođenja modela, stvarno vremenske procijenjene brzine vozila mogu se dobiti pomoću predložene metode za procjenu prometnih informacija temeljenih na korištenju CFCD modela. Procijenjene brzine vozila ($U_{i,ha}$, $U_{i,na}$, $U_{i,hp}$, $U_{i,np}$) segmenta prometnice mogu se koristiti za učenje neuronske mreže u fazi učenja te predvidjeti kratkoročne brzine vozila u sljedećem ciklusu. [5]

3 GRAĐA MOBILNIH SUSTAVA I INFRASTRUKTURNI ZAHTJEVI ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA

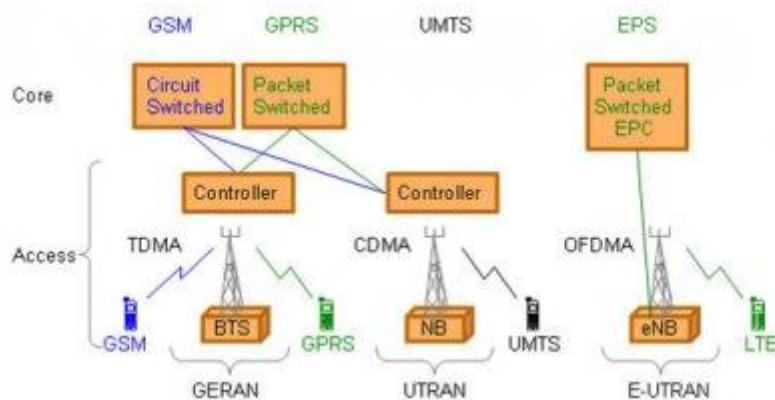
Kako bi razumjeli mehanizme koji omogućavaju da se odredi položaj MS-a pomoću signalacijskih poruka koje MS šalje prema mobilnoj mreži trebali bi se upoznati sa arhitekturom mobilnih mreža, sustavom za upravljanje mobilnošću te signalacijskim procedurama. Zatim će biti opisani infrastrukturni zahtjevi za prikupljanje podataka o kretanju vozila tradicionalnim metodama. Na kraju poglavljia će biti opisana CFCD metoda sa kojom ćemo se baviti do kraja istraživanja.

3.1 Evolucija pokretnih komunikacijskih mreža

Jedan od mnogo razloga za razvoj ćelijskih mobilnih sustava i njihove implementacije su bila ograničenja konvencionalnih mobilnih telefonskih sustava [6]:

- ograničeno područje posluživanja,
- male performanse usluge (mali broj raspoloživih kanala u odnosu na broj korisnika),
- neefikasno iskorištavanje frekvencijskog spektra

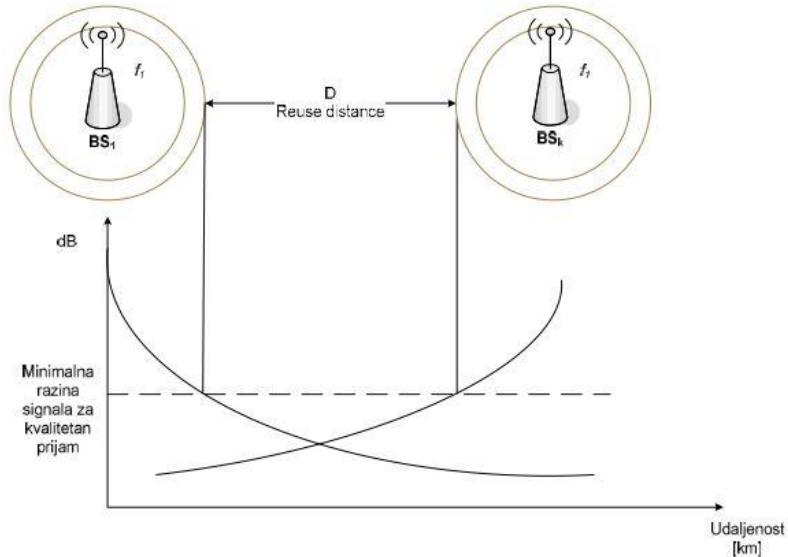
Veliki zahtjevi korisnika su zbog mobilnosti, različitih zahtjevnih usluga te velike brzine podatkovnog prometa uvjetovale razvoj jezgrenih mreža i pripadnih mobilnih pristupnih tehnologija prikazanih na slici 15.



Slika 15. Razvoj jezgrenih mreža i pripadnih mobilnih pristupnih tehnologija, [7]

3.2 Mobilni ćelijski koncept

U GSM pristupnoj mreži jedan radio-kanal se sastoji od para frekvencija jedna za svaki smjer prijenosa (full-duplex rad). Jedna frekvencija f koja je upotrijebljena na jednom geografskom području koje se naziva ćelija sa radijusom pokrivanja R može biti upotrijebljena u drugoj ćeliji sa istim radijusom pokrivanja na udaljenosti D . [6]



Slika 16. Koncept ponovne upotrebe iste frekvencije, [6]

Koncept ponovne upotrebe iste frekvencije može biti upotrijebljen u vremenskoj i prostornoj domeni. Upotrebe iste frekvencije u vremenskoj domeni rezultira zauzimanjem iste frekvencije u različitim vremenskim odsječcima i to se naziva TDM (engl. *Time Division Multiplexing*). Ponovna upotreba iste frekvencije (engl. *frequency reuse*) je osnovni koncept ćelijskog mobilnog radio-sustava, korisnici na različitim geografskim lokacijama (različite ćelije) mogu istovremeno koristiti isti frekvencijski kanal. Ponovnom upotrebom iste frekvencije može se drastično povećati efikasnost spektra. [6]

Razlog cijepanja, tj. dijeljenja ćelija, je poboljšanje efikasnosti iskorištenja spektra. Ponovna upotreba iste frekvencije je jedan koncept, a cijepanje ćelija je drugi. Kada veličina prometa u ćeliji dosegne vrijednost da frekvencijski kanali ne mogu osigurati zadovoljavajući broj poziva (gubici su veći od dozvoljenih), originalna ćelija može biti podijeljena u manje ćelije. [6]

Postoje dvije vrste tehnika cijepanja ćelija:

- permanentno cijepanje i
- dinamičko cijepanje.

Kada se mobilna stanica za vrijeme razgovora kreće i napušta područja pokrivanja bazne stanice u kojoj se nalazila, jakost signala opada. Ćelija tj. bazna stanica koju napušta zatražit će prekapčanje (*handover*) na drugu ćeliju. Sustav će prospojiti poziv na novu frekvenciju u novoj ćeliji bez prekidanja poziva ili obavještavanja korisnika o tome. Procesiranje prekapčanja je važan zadatak za svaki mobilni sustav. [6]

Kod pristupne tehnologije CDMA (engl. *Code Division Multiple Access*) isti frekvencijski nositelj može biti upotrijebljen u svim ćelijama. To omogućava dizajnerima mreže da ne trebaju voditi brigu o raspoređivanju frekvencija u ćelijama. [6]

3.3 Arhitektura GSM mreže

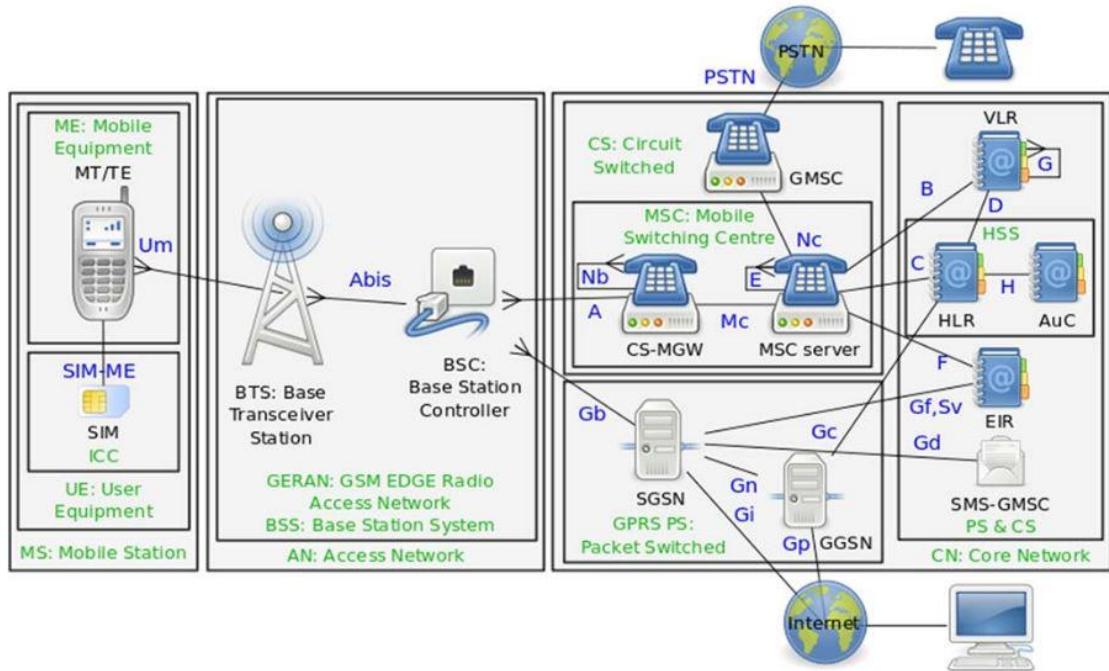
GSM često nazivamo tehnologijom mobilnih mreža druge generacije. Karakteriziraju ga podrška glasovnog poziva te digitalni prijenos podataka TDMA pristupom na bazi komutacije kanala. Jedan je od najrasprostranjenijih sustava današnjice. [7]

Čimbenici koji su potakli razvoj GSM-a mogu se iskazati kroz:

- potrebu za većim prometnim kapacitetom,
- mogućnost neograničenog kretanja na međunarodnoj razini (*roaming*),
- zahtjeve za proširenjem asortimana usluga.

GSM mreža sastoji se od nekoliko cjelina kako to prikazuje slika 15:

- mobilna stanica MS (engl. *Mobile station*),
- podsustav bazne stanice, tj. GERAN pristupne mreže,
- podsustav mobilne centrale, tj. jezgrene mreže.



Slika 17. Arhitektura GSM/GPRS mreže, [9]

MS – pokretna stanica (uređaj, terminal) koji služi za pristup mreži, sadrži svu potrebnu opremu za pristup mobilnim uslugama GSM mreže [6]

BTS (engl. *Base Transceiver Station*) – bazna stanica kojom se ostvaruje radijski pristup do MS. BTS uključuje opremu koja se odnosi na radio transmisijska sučelja potrebna za pristup mobilnoj mreži [6]

BSC (engl. *Base Station Controller*) – upravljač bazne stanice za nekoliko grupiranih baznih stanica, prisutan u GSM-u, a kod ostalih čelijskih standarda funkcije BSC-a ugrađene su u MSC. BSC se smatra centralnom točkom sustava bazne stanice, on upravlja radio mrežom i izvodi sljedeće funkcije: [6]

- upravljanje pozivima i prekapčanjima,
- upravljanje radio mrežom,
- transkodiranje i prilagođavanje brzina,
- koncentracija prometa,
- upravljanje transmisijom za bazne stanice,
- daljinsko upravljanje baznim stanicama.

MSC (engl. *Mobile Switching Center*) je komutacijsko čvorište ćelijske mreže koje obavlja osnovne komutacijske funkcije i specijalizirane funkcije vezane uz pokretnu mrežu. MSC je odgovoran za uspostavu, usmjeravanje, upravljanje i nadzor poziva od i prema mobilnim korisnicima. Uz svaki MSC, dolaze i baze s podacima o vlastitim i preplatnicima drugih mreža: [6]

- Domaći lokacijski registar HLR (engl. *Home Location Register*);
- Gostujući lokacijski registar VLR (engl. *Visitor Location Register*);
- Centar za provjeru autentičnosti AuC (engl. *Authentication Centre*);
- Registr identifikacije opreme EIR (engl. *Equipment Identification Register*).

GMSC – (engl. *Gateway MSC*) - prilazni/povezni pokretni komutacijski centar odnosno poveznik prema drugim mrežama za koje je potrebno prevođenje protokola. GMSC je integriran u istim čvorovima gdje je MSC. [6]

HLR sadrži podatke o svim preplatnicima GSM mreže. To je centralna baza podatka koja sadrži detalje o svakom preplatniku mobilnog telefona koji je autoriziran da može koristiti jezgrentu mrežu GSM mreže. HLR sprema podatke o svakoj SIM kartici izdanoj od mobilnog operatera, a svaki SIM ima jedinstven identifikator koji se naziva IMSI (engl. *International Mobile Subscriber Identity*) te on predstavlja primarni ključ za svaki HLR zapis. [6]

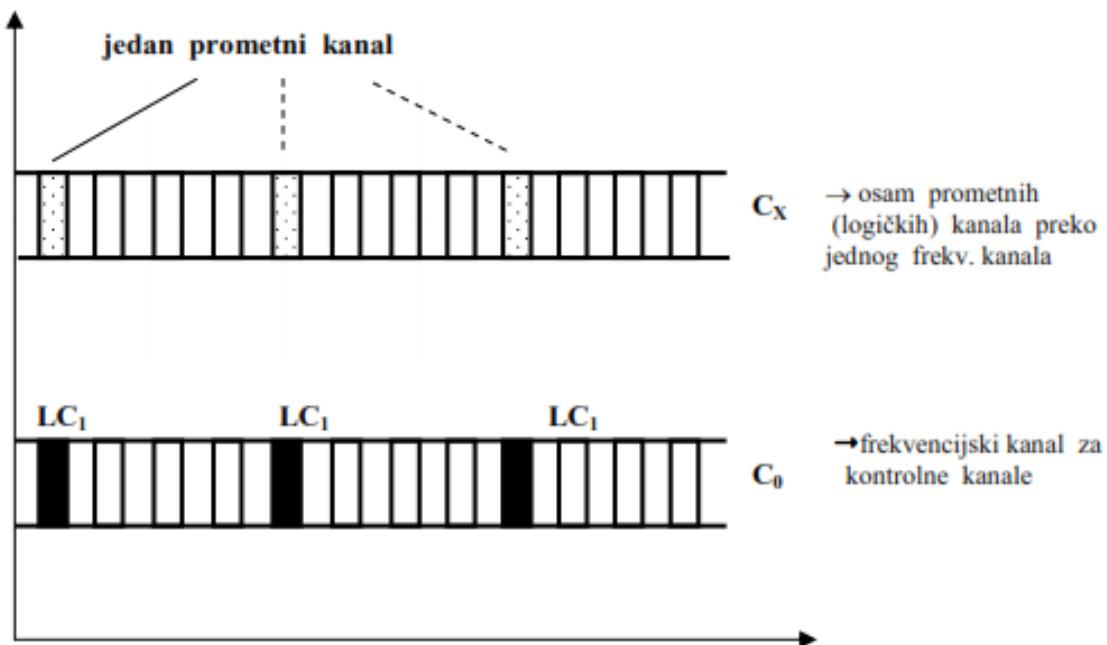
VLR sadrži podatke o vlastitim preplatnicima i preplatnicima drugih mreža. VLR je privremena baza podataka, te predstavlja dio mobilnog sustava u kome se spremaju informacije o svim mobilnim stanicama koje su trenutno pod nadležnošću određene centrale mobilne mreže MSC koja ih poslužuje odnosno omogućava uslugu. [6]

AuC je baza podataka koja pamti tajni ključ koji služi za autorizaciju korisnika i za kriptiranje komunikacije svakog preplatnika. Povezani je s HLR-om i može biti ugrađen u isti uređaj. [6]

EIR registar predstavlja bazu podataka koja sadrži listu mobilnih uređaja koji mogu pristupiti sustavu, gdje se svaki MS identificira sa svojim IMEI (engl. *International Mobile Station Equipment Identity*). Ukoliko dođe do otuđenja MS uređaja moguće ga je staviti u EIR registar kao nedozvoljen za uporabu pomoću IMEI broja. [6]

Primjenom TDMA (engl. *Time Division Multiple Access*) multipleksiranja više prometnih tj. logičkih kanala ostvaruje se jednim frekvencijskim kanalom. Principi

TDMA naznačeni su na slici 12. (za TDMA s 8 govornih kanala preko jednog frekvencijskog kanala određene pojasne širine). Vremenski odsječak (*time slot*) koji nosi govorni kanal i "zaštitu" ima dužinu 0,577 ms. [6]



Slika 18. Višestruki pristup s vremenskom podjelom kanala (TDMA), [6]

3.3.1 GPRS

GPRS je mobilna podatkovna usluga dostupna korisnicima GSM-a. Često se opisuje kao 2.5G, tj. tehnologija između druge i treće generacije mobilne telefonije. Omogućuje umjerene brzine prijenosa podataka koristeći nekorištene TDMA kanale u GSM-u.

GPRS arhitektura se ne razlikuje uvelike od GSM-a, te ima ugrađene dodatne čvorove kako u pristupnom dijelu tako i u jezgrenom dijelu mreže koji omogućavaju paketni prijenos podataka.

Nakon uvođenja GPRS-a na BSC-u je bila potrebna nadogradnja softvera i novi hardver paketna kontrolna jedinica PCU (engl. *Packet Control Unit*). Njegova osnovna uloga je usmjeravanje podatkovnog prometa prema GPRS mreži. PCU izvodi neke od zadataka procesiranja BSC-a, ali samo za podatkovni promet. Dodjeljivanjem kanala za govorni i podatkovni promet upravlja BTS, ali kada je kanal

jednom dodijeljen podatkovnom prometu, PCU preuzima potpunu kontrolu nad tim kanalom. PCU je uglavnom ugrađen na BSC-u, ali se može u nekim arhitekturama naći i kao dio BTS-a.[8]

GGSN (engl. *Gateway GPRS support node*) je prospojni čvor koji podržava GPRS, predstavlja sučelje i usmjernik prema eksternim mrežama. GGSN sadrži informacije potrebne za usmjeravanje za one GPRS terminale koji koriste tuneliranje paketa kroz internu glavnu mrežu koja se temelji na IP protokolu prema SGSN-u. GGSN također prikuplja informacije potrebne za terećenje koje su povezane s upotrebom eksternih podatkovnih mreža i može služiti kao filter za dolazni promet. [8]

SGSN (engl. *Serving GPRS support node*) je odgovoran za autentikaciju GPRS terminala, registraciju u mreži, upravljanje mobilnošću i skupljanje informacija za terećenje koje se odnose na upotrebu zračnog sučelja. [8]

3.3.2 EDGE

EDGE omogućava poboljšani GPRS (EGPRS), koji se može koristiti za bilo koju aplikaciju koja koristi paketni prijenos, uglavnom za internetske konekcije. Aplikacije koje zahtijevaju brži prijenos podataka, kao što su video usluge, se koriste povećanjem brzine prijenosa podataka. Pored GMSK EDGE koristi 8PSK (engl. *Phase Shift Keying*) modulaciju, koja ima veću spektralnu učinkovitost, ali i manju otpornost na šum.

U općem slučaju uvođenje ove tehnologije zahtjeva promjene na MS-u, BTS-u i BSC-u, dakle značajnu softversku i hardversku nadogradnju. [10]

3.4 Arhitektura UMTS mreže

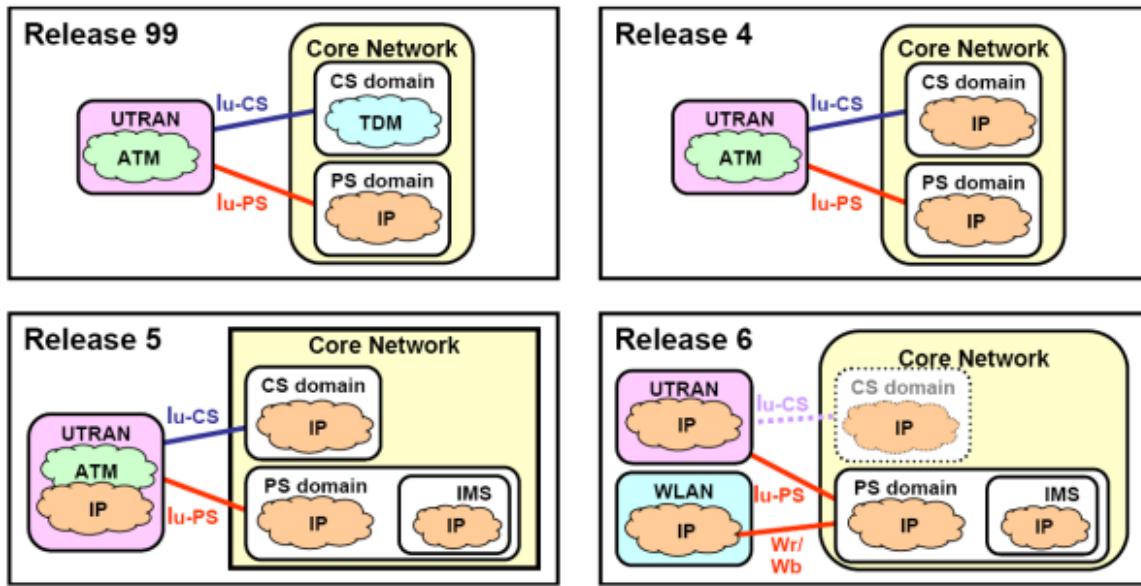
WCDMA (engl. *Wideband Code Division Multiple Access*) predstavlja bežičnu pristupnu tehnologiju, koja se također naziva i UMTS zemaljski radio pristup (UTRA), razvijen od strane društva za projektiranje mobilne telefonije treće generacije. 3GPP ima za cilj da uskladi i do detalja standardizira slične prijedloge od strane ETSI, ARIB, TTC, TTA. WCDMA je jedna od glavnih tehnologija za implementaciju mobilnih sustava treće generacije. Temeljen je na tehnologiji bežičnog pristupa, propisanoj 1999. godine od strane ETSI Alpha group. [10]

Europski Institut za Telekomunikacijske Standarde ETSI definirao je standard za paneuropski sustav treće generacije nazvan UMTS (engl. *Universal Mobile Telecommunication System*). Osnovan je UMTS Forum. Koncept UMTS-a tretira se više kao ekstenzija GSM-a nego kao njegova zamjena. Ključno novo svojstvo je pristupno zračno sučelje za simetrični i asimetrični paketni promet sa širom pojasmom širinom. [6]

Scenarij razvoja UMTS sustava:

- Release 99 – Prvo izdanje UMTS standarda zasnovanog na tehnologiji WCDMA, donosi podršku za GSM/EDGE/GPRS/WCDMA radijske pristupne mreže.
- Release 4 – Odvajanje kanalne i paketne domene u jezgrenoj mreži, dolazi do razdvajanja funkcionalnosti MSC i MGW unutar jezgrene mreže, podrška za MMS.
- Release 5 – Prvo izdanje koje uključuje IMS. Cilj je podrška uvođenju više medijskih usluga i pristupna mreža UTRAN zasnovana na IP protokolu. Glavni signalizacijski protokol je SIP. upravljanje kvalitetom usluge QoS i napredno upravljanje uslugama i mogućnostima naplate. Uvođenje HSDPA.
- Release 6 – Integracija s WLAN tehnologijom. Podrška za QoS. Usluge PoC i MMS. Uvođenje MBMS, HSUPA i naprednih mogućnosti terećenja.
- Release 7 - Dodavanje širokopojasnog fiksnog pristupa kroz IMS. Glatko prebacivanje govornih poziva između kanalne i paketne domene s ispoštovanim zahtjevima na kvalitetu usluge. [8]

Razvoj UMTS sustava radio pristupa kroz izdanja je prikazan na slici 19.



Slika 19. Razvoj UMTS sustava kroz izdanja, [8]

U nastavku na slici 20. su prikazani temeljni čvorovi korišteni u UMTS izdanju 5. Objasnjenje su njihove funkcije i relacije.

MGW (engl. *Media Gateway*) je translacijska oprema ili usluga koja pretvara digitalne tokove medija između različitih telekomunikacijskih mreža kao što su: PSTN, SS7, mreža nove generacije ili PBX-a. MGW omogućava multimedijalne komunikacije kroz mrežu nove generacije preko više transportnih protokola kao što su ATM (engl. *Asynchronous Transfer Mode*) i IP. [7]

SGW (engl. *Signaling Gateway*) izvodi konverziju signalizacije (u oba smjera) na transportnoj razini između SS7 bazirajući se na prijenosu signalizacije upotrijebljene u mrežama prije mreža definiranih u Izdanju 4 i prijenosu signalizacije u mrežama temeljenim na IP-u koja se koristi u mrežama nakon Izdanja 99. SGW ne prevodi poruke aplikacijskog sloja ali može prevoditi slojeve ispod da osigura odgovarajuće usmjeravanje signalizacije. [7]

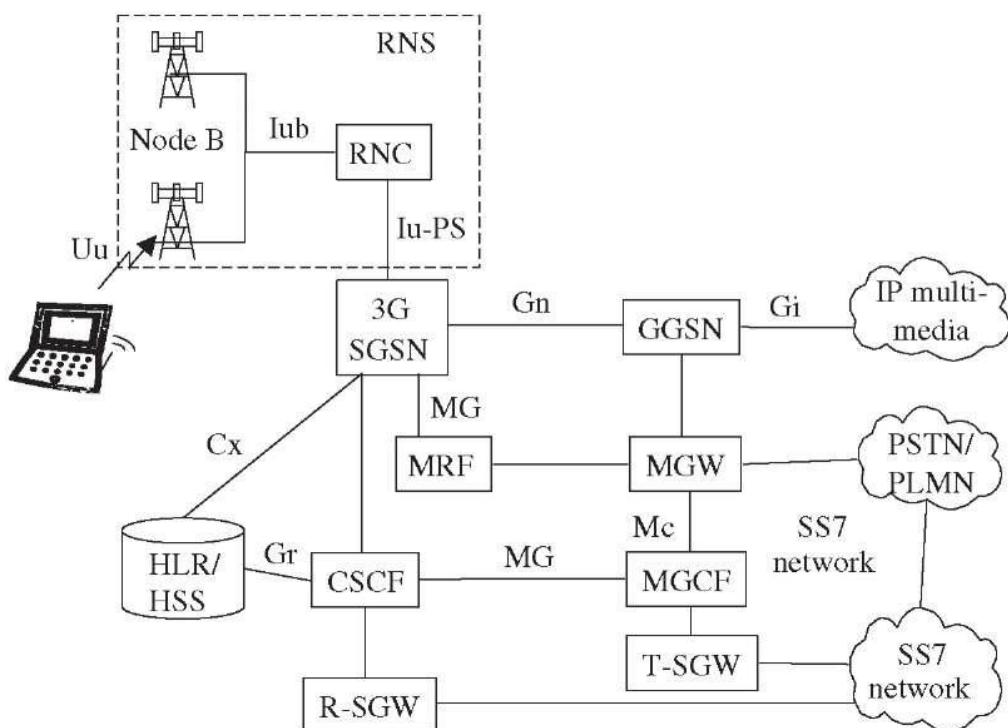
CSCF (engl. *Call Session Control Function*) je glavna funkcija IMS-a. Služi za kontrolu sesije poziva zajedno sa drugim entitetima. To je primarna funkcija jezgre mreže. Postoje tri entiteta odgovorna za kontrolu sesije:

- P-CSCF (engl. *Proxy Call Session Control Function*),
- I-CSCF (engl. *Interrogating Call Session Control Function*),

- S-CSCF (engl. Serving Call Session Control Function).

Svaki entitet čuva detalje u vezi sesije koja je u progresu kao i status registracije pretplatničkog uređaja. [8]

MGCF (engl. *Media Gateway Control Function*) pruža pristup IP/SIP domeni, iako se ne smatra dijelom IMS-a. MGCF se povezuje na PSTN (engl. *Public Switched Telephone Network*) domenu, igrajući ulogu gateway-a između SS7 mreže i IP/SIP-a. [8]



Slika 20. Arhitektura UMTS mreže Release 5, [8]

IMS je standardiziran od strane 3GPP (engl. *Third Generation Partnership Project*) i prihvaćen je od strane drugih standardizacijskih tijela kao što su ETSI/TISPAN sa ciljem postizanja mreže koja je čitava bazirana na IP protokolu (All-IP) te predstavlja osnovu mreža nove generacije NGN (engl. *New Generation Network*). Unutar UMTS jezgrene mreže IMS je definiran kao komponenta koja osigurava podršku za multimedijalne usluge u mreži temeljenoj na IP protokolu. IMS koristi SIP protokol (engl. *Session Initiation Protocol*), definiran od strane IETF (engl. *Internet Engineering Task Force*) za kontrolu multimedijalnih sesija. [7]

3.4.1 UTRAN

UMTS standard može se gledati kao produžetak već postojeće mreže, gdje se uvode dva nova elementa RNC (engl. *Radio Network Controller*) i Node B. UTRAN pristupna mreža je podijeljena na individualne RNS (engl. *Radio Network System*), gdje je svaki RNS kontroliran sa RNC. RNC je povezan na skup Node B elemenata gdje svaki može da opslužuje jednu ili više ćelija. Već postojeći element i kao što su MSC, SGSN i HLR mogu se prilagoditi UMTS zahtjevima, ali RNC, Node B i MS su nanovo dizajnirani. RNC je zamjena za BSC, a Node B igra gotovo istu ulogu kao i BTS. GSM i GPRS mreže biće nadograđene i nove funkcije biće integrirane u mrežu koja sadrži već postojeća A, Gb, Abis te nova sučelja lu, lub i lur.. RNC omogućava autonomno upravljanje resursima u UTRAN-u. On obavlja istu funkciju kao i BSC omogućavajući centralnu kontrolu za RNS elemente (RNC i Node B).

Prilikom uvođenja treće generacije ćelijskih sustava, nisu sva područja bila obuhvaćena WCDMA mrežom. Kao rezultat nepokrivenosti i dalje se koristila GSM mreža kako bi se osigurala odgovarajuća pokrivenost. Primjenom preuzimanja poziva između različitih sustava omogućena je kompatibilnost arhitektura tih sustava. Jedan od najznačajnijih dijelova izvedbe UMTS mreže je preuzimanje poziva između UTRAN UMTS i GSM-a, koja je smanjila troškove implementacije novoga sustava i ostvarenjem dodatnog kapaciteta. [7]

3.4.2 HSDPA

Velika brzina prijenosa podataka paketnim modom u pristupnoj mreži na silaznoj vezi prema korisniku, HSDPA (engl. *High Speed Downlink Packet Access*), dio je HSPA (engl. *High Speed Packet Access*) standarda koji je definirao 3GPP (engl. *3rd Generation Partnership Project*) u dokumentu naziva Release 5. HSDPA predstavlja tehnološku nadogradnju WCDMA (engl. *Wideband Code Division Multiple Access*) mreže treće generacije. HSDPA omogućuje potrebnu brzinu prijenosa podataka koju zahtijevaju nove usluge. Teoretska brzina kod HSDPA iznosi 14,4 Mb/s, dok se u eksploataciji brzine kreću od 1 Mb/s – 10 Mb/s.

Kako bi se postiglo spomenuto povećanje brzine prijenosa podataka HSDPA tehnologijom, bilo je potrebno uvesti neke tehnološke promjene na postojećoj mreži treće generacije (WCDMA). Spomenute promjene na postojećoj mreži su minimalne što osigurava brzu implementaciju HSDPA tehnologije. Tehnološke promjene su:

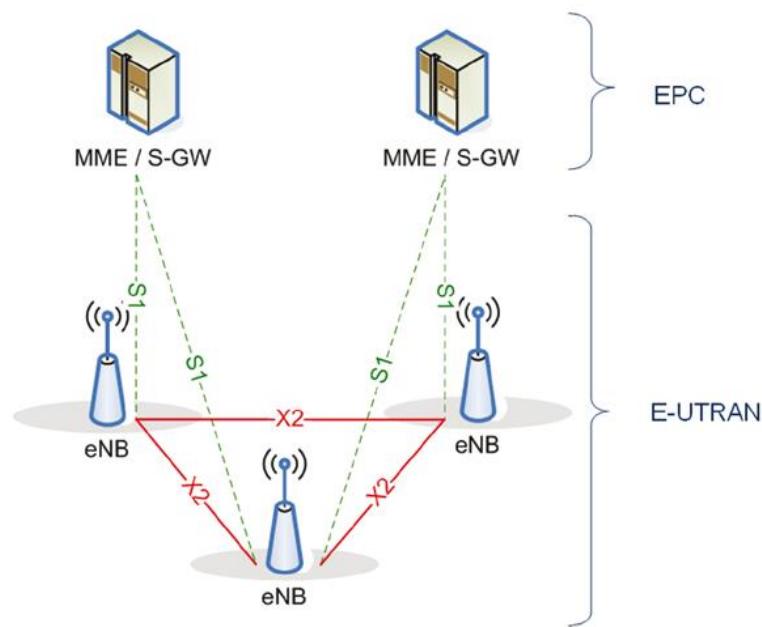
- Zajednički transportni kanal u silaznoj vezi i kodirana transmisija;
- Modulacijske tehnike višeg reda;
- Kratak vremenski interval transmisije;
- Brza adaptacija kanala;
- Brza i pravedna dodjela pristupa korisnicima;
- Hibridni automatski zahtjev za ponovnom transmisijom HARQ (engl. *Hybrid Automatic Repeat Request*).

3.5 Arhitektura LTE mreže

Kada spominjemo LTE i SAE zapravo se referenciramo na tehnologije koje specificira 3GPP kao temelj za evoluciju 3G mobilnih mreža. Stvarna mreža zasnovana na tim tehnologijama zapravo će tvoriti evoluirani paketni sustav EPS (engl. *Evolved Packet System*). EPS se sastoji od evoluirane paketne jezgrene mreže EPC (engl. *Evolved Packet Core*) i evoluirane UMTS zemaljske radijske pristupne mreže E-UTRAN (engl. *Evolved UTRAN*). [11]

EPC pruža pristup prema vanjskim podatkovnim mrežama (npr. Internet) i operatorskim servisima (npr. MMS, MBMS), upravlja funkcijama vezanima uz sigurnost (autentikacija, dodjela sigurnosnih ključeva), pretplatničke informacije, naplatu i mobilnost prema drugim pristupnim mrežama (GERAN, UTRAN, CDMA2000, WLAN ...), te prati mobilnost ne-aktivnih terminala. [11]

E-UTRAN obavlja sve radijske funkcije za aktivne terminale. Sastoji se od radijskih osnovnih postaja eNB (engl. e-Node B). Između EPC i E-UTRAN-a nalazi se S1 sučelje, dok su eNB povezane X2 sučeljem. Korisnički terminal povezan je izravno na E-UTRAN, no dio funkcionalnosti protokolnog složaja kontrolne ravnine zatvara se u EPC. EPS podržava isključivo paketnu domenu PS (engl. *Packet Switched*) servisi koji tradicionalno koriste komutaciju kanala CS (engl. *Circuit Switched*) prenositi će se također preko PS nositelja. [11]



Slika 21. Generalna EPS arhitektura, [11]

3.5.1 EPC

Evoluiranu paketnu jezgenu mrežu tvore slijedeći logički čvorovi:

- u kontrolnoj ravnini – MME (*engl. Mobility Management Entity*)
- u korisničkoj ravnini – S-GW (*engl. Serving Gateway*) i P-GW (*engl. Packet Data Network Gateway*)

MME zaključuje protokole kontrolne ravnine prema korisničkom terminalu te obrađuje sljedeće funkcije vezane uz mobilnost i upravljanje sesijom:

- UE attach/detach procedura – omogućuje mobilnoj stanici da se registrira na mrežu ili od registrira sa iste,
- sigurnost – funkcije autentikacije i autorizacije radi provjere identiteta korisnika, odobravanje pristupa mreži i praćenje korisničke aktivnosti,
- upravljanje EPS nositeljem – uspostava, izmjena i raskidanje EPS nositelja,
- mobilnost neaktivnih korisnika – nadzor korisnika u stanju mirovanja, pri čemu se položaj korisnika prati samo na razini područja praćenja TA (*engl. Tracking Area*),
- pozivanje korisnika (paging),
- prekapčanje prema drugim tehnologijama (IRAT handover) – upravlja mobilnost prilikom prelaska prema drugim mrežama (GSM, WCDMA ...).

Korisnik je spojen na isti MME čvor sve dok se nalazi u unutar područja koje nadzire isti skup MME-ova (MME pool). [11]

Funkcionalnosti S-GW i P-GW čvorova za slučaj bez roaminga nalaze se unutar mreže istog operatora te mogu biti implementirane u kombiniranom P/S-GW čvoru (također se koristi i naziv SAE-GW). Najčešće su izvedeni kao softverska nadogradnja postojećeg GGSN čvora. P/S-GW predstavlja sidrišnu točku korisničke ravnine terminala koji se kreće između više eNB čvorova. Do promjene S-GW dolazi samo ukoliko korisnik prelazi u područje drugog S-GW skupa (S-GW pool), dok se isti P-GW zadržava sve dok je korisnički terminal priključen na mrežu. [11]

3.5.2 E-UTRAN

U odnosu na UTRAN mrežu, E-UTRAN donosi značajno pojednostavljenje arhitekture. Kako se izostavlja čvor za upravljanje RNC, jedan dio njegovih funkcionalnosti prebačen je u EPC (točnije S-GW), no većina njih prebacuje se u eNB. [11]

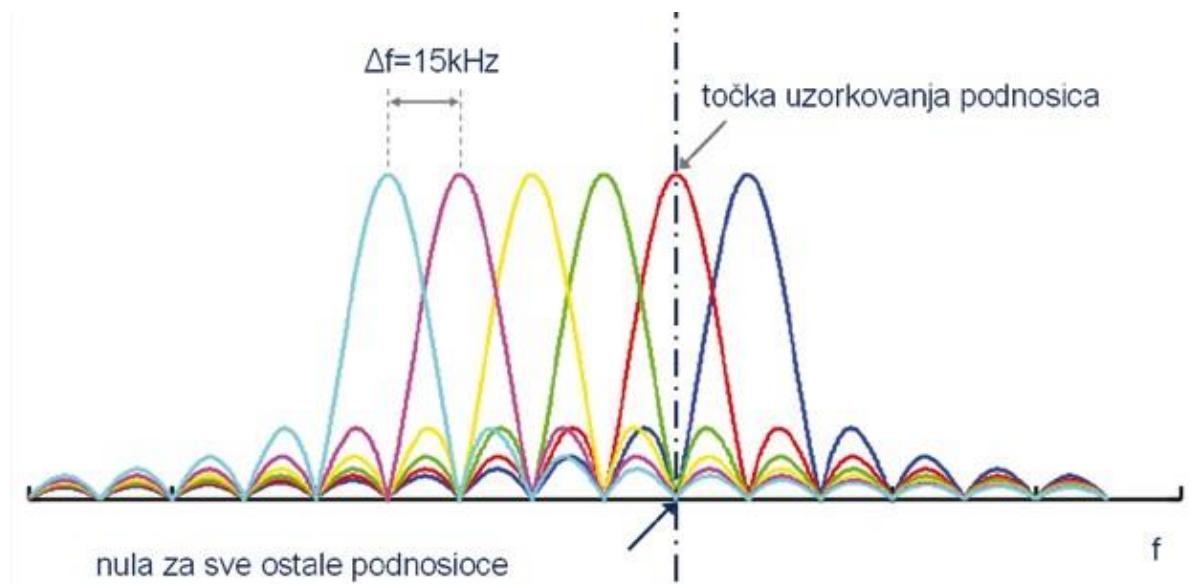
eNB predstavlja čvor radijske pristupne mreže zadužen za radijsko odašiljanje i prijem od strane korisničke opreme UE (engl. *User Equipment*) u jednoj ili više ćelija. Lista eNB funkcionalnosti uključuje: [11]

- kontrolu ćelija i podršku MME skupu – eNB posjeduje i kontrolira radijske resurse svojih ćelija, koji su zahtijevani od i odobreni određenom MME skupu (engl. *MME pool*),
- kontrolu mobilnosti – za aktivne terminale, uključuje UE naloge za obavljanje mjerena i izvršenja prekapčanja (engl. *handover*) kad je to potrebno,
- sigurnost kontrolne i korisničke ravnine – šifriranje (engl. *ciphering*),
- upravljanje dijeljenim kanalom – pridjeljivanje resursa dijeljenog kanala i kanala za slučajni pristup,
- segmentaciju i spajanje – na RLC (engl. *Radio Link Control*) sloju se obavlja adaptacija korisnih paketa na veličinu prijenosnog bloka (engl. *transport block*),
- upravljanje Re transmisijom (HARQ procesi),

- raspoređivanje korisnika (engl. *scheduling*) – uz podršku definiranih QoS klasa,
- funkcionalnosti fizičkog sloja tj. pseudo-slučajno kodiranje (engl. *scrambling*),
- mjerjenje i prijavljivanje – podaci prikupljeni mjeranjima koriste se za upravljanje radijskim resursima RRM (engl. *Radio Resource Management*),
- automatizirani rad i nadzor.

3.5.3 Osnovne značajke zračnog sučelja

LTE radijsko sučelje zasniva se na upotrebi ortogonalnog multipleksiranja frekvencijskim odvajanjem OFDM (engl. *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) s OFDMA (engl. *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) višestrukim pristupom u silaznoj vezi te višestrukog pristupa s frekvencijskom raspodjelom na jednom nositelju SC-FDMA (engl. *Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) u uzlaznoj vezi. Za ostvarivanje visokih brzina prijenosa bitna je i podrška više-antenskih rješenja kako na osnovnoj postaji, tako i u terminalima. To uključuje metode višeslojnih prijenosa, tj. višestruki ulaz – višestruki izlaz MIMO (engl. *Multiple Input Multiple Output*), kao i tehnike odašiljačke i prijemne raznolikosti (engl. *TX/RX diversity*) te upravljanja dijagramom zračenja antene (engl. *beamforming*). [11]

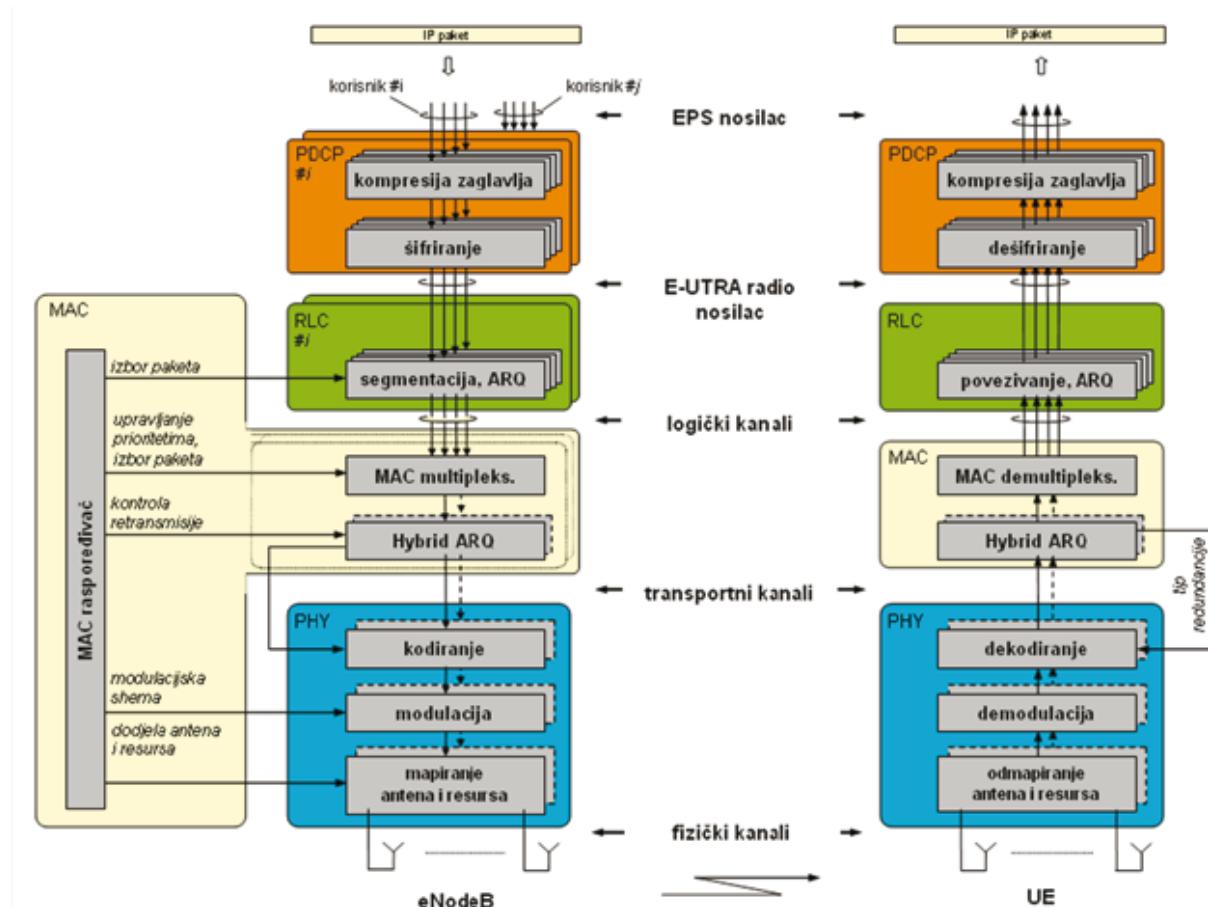


Slika 22. OFDM podnosioci, [11]

OFDM je modulacijska tehnika izrazito otporna na frekvencijski selektivno slabljenje (engl. *fading*) i stoga pokazuje dobre performanse u visoko vremenski disperzivnim radijskim okružjima (što je najčešći slučaj u urbanom okruženju). Sveukupni tok podataka razdvaja se u veliki broj tokova koji se potom prenose na zasebnim podnositeljima (engl. *subcarriers*). [11]

3.5.4 LTE protokolni složaj

Na slici 17. je prikazan LTE protokolni složaj. EPS nositelj (koji odgovara PDP kontekstu) prenosi podatke s 3. sloja te uslugu sa kraja na kraj. Njega na radijskom sučelju prenosi E-UTRA radijski nositelj kojeg pak prenose radijski kanali (logički, transportni i fizički).



Slika 23. Struktura LTE radijskog sučelja, [11]

3.6 INFRASTRUKTURNI ZAHTJEVI ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA

Kako bi prikupili podatke za kasniju analizu, procjenu i prognozu postoji tri metode za automatsko prikupljanje podataka o kretanju vozila u prometu a to su senzori, računalni vid te različite izvedbe FCD metode. [12]

3.6.1 SENZORI

Senzor je uređaj koji mjeri fizikalnu veličinu (npr. svjetlost, jakost elektromagnetskog polja, radio val i mnoge druge) i pretvara ju u signal pogodan za daljnju obradu (najčešće u električni signal).

Automatski brojači prometa se sastoje od jednog ili više senzora, naprave za snimanje te komunikacijske opreme. Ima mnogo različitih vrsta senzora i sam njihov izbor uvijek ovisi o uvjetima na terenu. Naj popularniji tipovi su navedeni u slijedećim odlomcima.

3.6.1.1 INDUKTIVNA PETLJA

Induktivne petlje ukopavaju se 25 mm - 50 mm ispod površine prometne trake te mogu detektirati elektromagnetne smetnje uzrokovane blizinom velikih metalnih predmeta kao što su vozila. Ovaj senzor karakteriziraju visoka točnost, različiti oblici ovisno o namjeni, zahtjevno postavljanje te podložnost kvaru ukoliko je podloga loše kvalitete. On je još uvijek jedna od najraširenijih tehnologija za detekciju vozila na cestovnim prometnicama.

3.6.1.2 INFRACRVENI SENZORI

Infracrveni senzori generiraju snop svjetlosti čije prekide prouzrokuju vozila koja se kreću prometnicom. Obično se sastoje od izvora infracrvene svjetlosti te foto elementa koji u ovisnosti o jačini svjetlosti mijenja vrijednosti izlaznog signala. Uobičajeno se postavlja iznad prometnice a karakteriziraju ga mali utjecaj vremenskih prilika, pristupačna cijena i pojava zaklanjanja.

3.6.1.3 RADAR

Radarsko mjerjenje brzine je mjerjenje čije se načelo rada zasniva na mjerenu razlike frekvencija (Dopplerov učinak) između emitiranog i od vozila kojemu se mjeri brzina reflektiranog signala u mikrovalnometru frekvencijskom području. Ovo mjerjenje karakteriziraju dvije izvedbe CW (engl. *Continuous Wave*) i FMCW (engl. *Frequency Modulated Continuous Wave*), relativno točni rezultati te nemaju utjecaja vremenskih prilika.

3.6.1.4 PIEZODETEKTORI

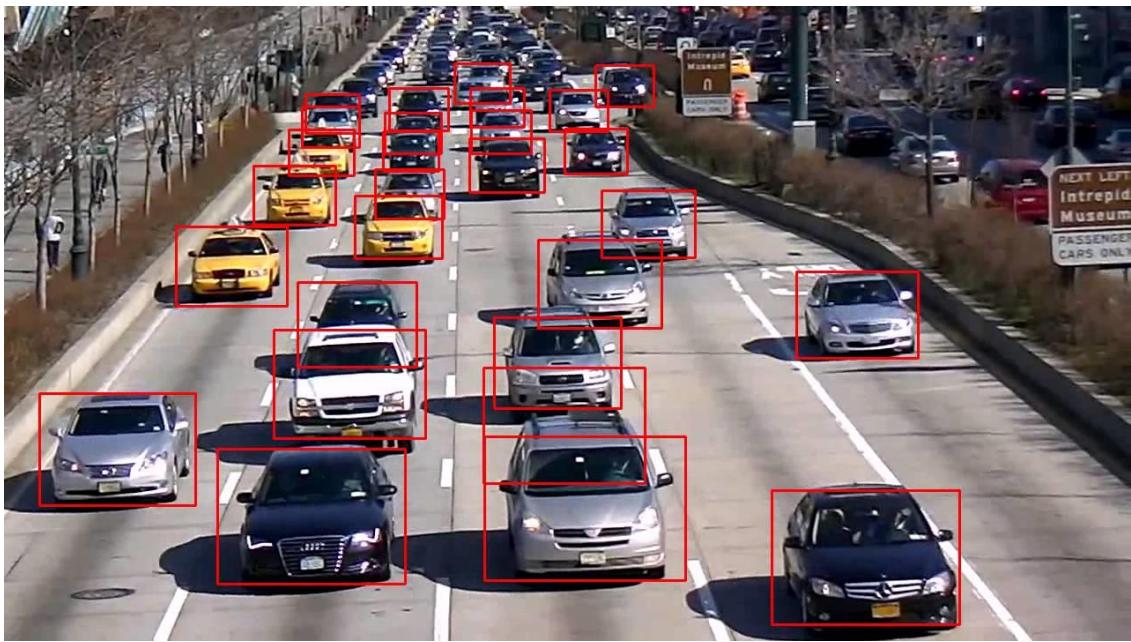
Piezodetektori su pričvršćeni za površinu prometne trake koji sadrže snop žica, koje putem piezo-električnog efekta, generiraju ili variraju protok električne struje u trenutku kad su nagnječena kotačima vozila. Neke izvedbe piezodetektora mogu mjeriti težinu vozila.

3.6.2 RAČUNALNI VID

Kamera se u zadnjih nekoliko godina pojavljuje kao novi senzor, naročito u cestovnom prometu. Moguće je mjerjenje većeg broja prometnih parametara jednim senzorom. Razvojem tehnologije došlo je do pojeftinjenja robusnih kamera sa malim ugrađenim računalima specijalne namjene za sve vremenske uvjete. Došlo je do povećanje propusnosti komunikacijske mreže, te novih naprednih algoritma za obradu slike. Sva ova tehnologija je potrebna za ostvarivanje slijedećih značajki za obradu slike u prometu i transportu: [13]

- detekcija vozila i pješaka,
- klasifikacija vozila (motocikl, automobil, kamion,...),
- trajektorija vozila,
- stanje cestovne prometnice.

Na slici 24. je prikazano prepoznavanje vozila na prometnici sa računalnim vidom



Slika 24. Prepoznavanje vozila na prometnici sa računalnim vidom, [13]

Kod obrade slike primjenjuju se: [13]

- neuronske mreže za klasifikaciju detektiranih pokretnih objekata i
- neuronske mreže i genetski algoritam u detekciji objekata.

Prometni parametri koje dobivamo računalnim vidom su:

- Prometni tok - osnovni pokazatelj opterećenja prometnice, [vozilo/h],
- Ishodišno-odredišna OD matrica (engl. *Origin-Destination matrix*) - broj vozila po jedinici vremena ovisan o mjestu ulaska i izlaska,
- Redovi na raskrižju,
- Udaljenost između vozila,
- Duljina vozila,
- Srednja brzina vozila,
- Vrijeme putovanja između čvorova.

3.6.3 FCD

Danas je FCD (engl. *Floating Car Data*) sastavni dio brojnih prometnih informacijskih centara te postaje predmet istraživanja brojnih projekata. Sustav koristi profesionalnu (taxi) ili komercijalnu navigacijsku opremu (pametni telefon) za sakupljanje podataka o lokaciji vozila. Ovaj podatak je bitan izvor za informacije u prometu te intelligentnim transportnim sustavima. To znači da je svako propisno opremljeno vozilo djeluje kao senzor kretanja na prometnicama. Na temelju tih podataka, prometni tokovi u prometu se mogu identificirati, vrijeme putovanja može se izračunati, a izvješća o prometu mogu biti odmah generirana. Udio FCD modela za stvaranje vjerodostojne slike prometa je od 1,5 % do 10 %. Učestalost poruka o lokaciji vozila je od nekoliko sekundi do nekoliko minuta. [12]

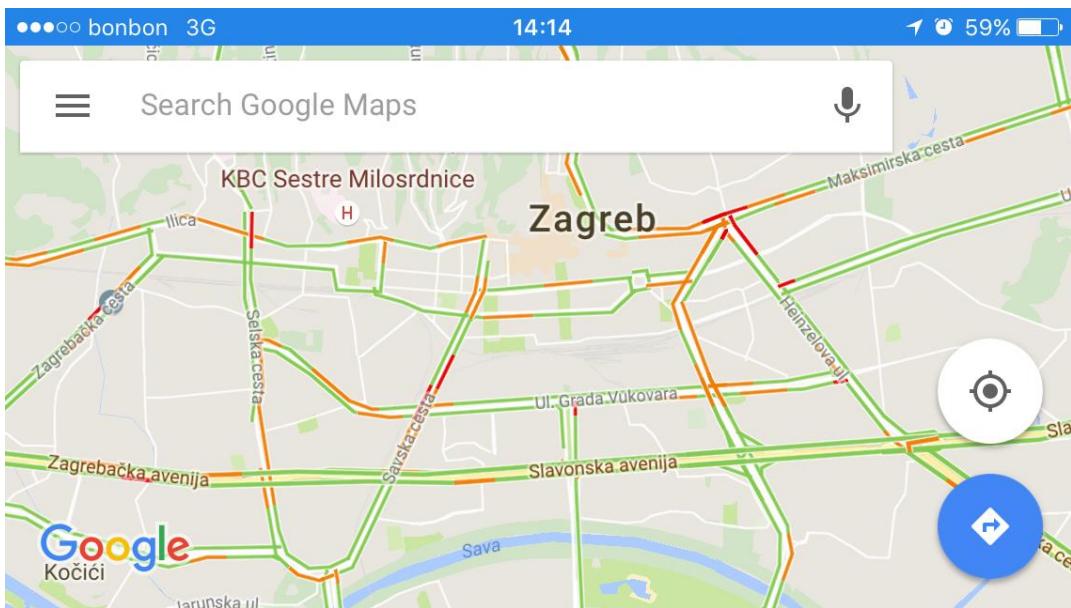
Postoji dvije vrste FCD modela za sakupljanje prometnih informacija:

- Nenamjenski - slanje poruka slučajno (pametni telefoni);
- Namjenska vozila - stalno šalju poruke (taxi, flotna vozila).

3.6.3.1 NENAMJENSKI FCD

Kao što je već rečeno u drugom poglavlju, ITU je pokazala da je stopa penetracije mobilnih uređaja veća od 100 % u mnogim zemljama tako da možemo pretpostaviti da svaka osoba tj. vozilo je opremljeno minimalno jednim mobilnim telefonom. Budući da veliki udio mobilnih telefona su pametni telefoni, moguće je koristiti njihove GPS lokacije te anonimno proslijediti tu informaciju podatkovnim prijenosom na analizu u svrhu prikaza stvarno vremenskih informacija o prometu.

Primjerice, instalacijom i pokretanjem navigacijske aplikacije Google Maps na android ili iOS pametnom telefonu te uključivanjem lokacijskih servisa, tj. GPS-a, šalju se anonimni podaci o kretanju vozila prometnicom te na temelju analiziranih podataka određuje se stanje na prometnicama.



Slika 25. Google Maps aplikacija, [14]

Karakteristike nemajenskog FCD modela su:

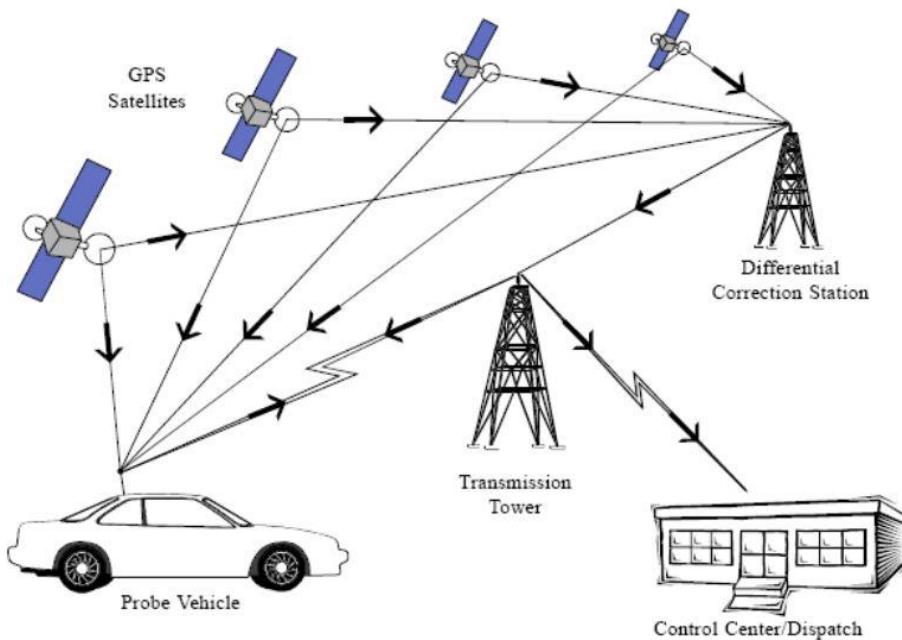
- pametni telefoni su praktični uređaji za sakupljanje GPS podataka,
- nije potrebna nikakva dodatna oprema,
- korisnici moraju pokrenuti aplikaciju te ju držati pokrenutu u pozadini,
- velika potrošnja baterije.

3.6.3.2 NAMJENSKI FCD

Sustav koristi GPS uređaj (engl. *Global Positioning System*) za sakupljanje podataka o položaju od nekoliko stotina vozila taksi tvrtki. Kako bi dispečeri upravljali sa rasporedom vožnje svako taxi vozilo mora poslati GPS položaj sjedištu najmanje jednom u minuti, tako da se njegova lokacija može iskoristiti kao FCD sonda. Ova procedura dovodi do potpunog obuhvata podataka svih glavnih prometnica, gotovo bez troškova. Za razliku od konvencionalnih sustava, FCD pristup omogućuje prikaz realnih vremena putovanja i optimalan izračun rute za individualne i komercijalne korisnike prometnice. Zabilježeni podaci su obrađeni za analizu prometne situacije pružajući uslugu mobilnosti za privatne i poslovne korisnike prometnice. [12]

Ova metoda za sakupljanje podataka o prometu ima nekoliko prednosti. Nema dodatnih troškova za hardver i softver. Taksi tvrtke koriste vlastitu komunikacijsku

infrastruktuру i frekvencije. Nas slici 26. je prikazan koncept funkcioniranja FCD metode za prikupljanje podataka o kretanju taxi vozila po prometnici. [12]



Slika 26. Koncept funkcioniranja FCD metode za prikupljanje podataka, [12]

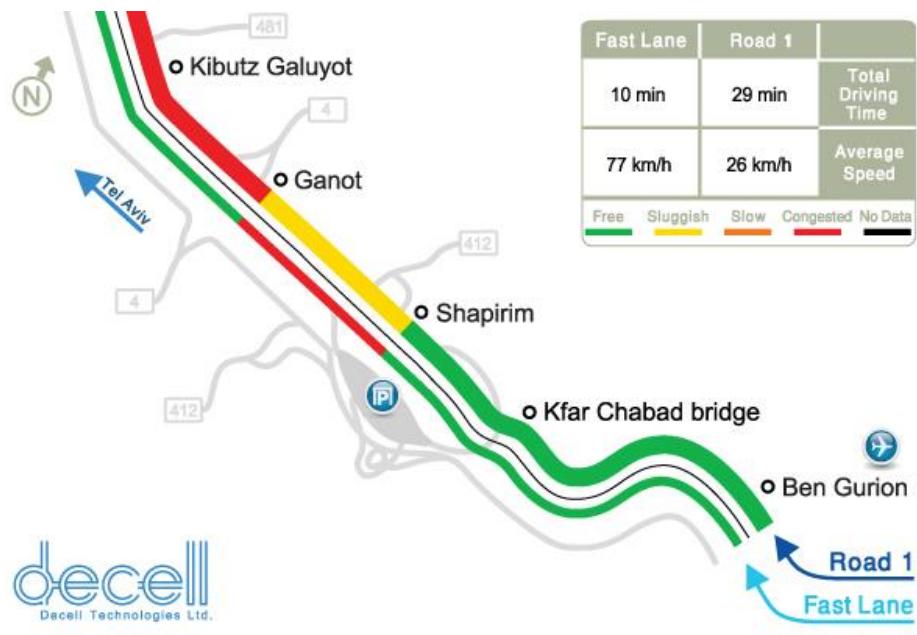
3.6.4 CFCD

Mobilni telefoni i pristupne bazne stanice prenose različite vrste signala kako bi mogli prenositi glasovni poziv i podatke bez prekida. Kako bi to ostvarili postoje mehanizmi koji služe za upravljanje mobilnošću MS-a. Pomoću tih mehanizama prilikom prelaska MS-a iz područja prekrivanja jedne bazne stanice u drugu ne dolazi do prekida te se zadržava zadana kvaliteta usluge. Kako bi mehanizam upravljanja mobilnošću funkcionirao aktivan MS prilikom prelaska iz područja prekrivanja jedne bazne stanice u drugu signalizacijskom porukom koja sadrži sve detalje nove bazne stanice obavještava mrežu, odnosno neaktivovan MS prilikom prelaska iz jedne grupe baznih stanica u drugu LA signalizacijskom porukom obavještava mrežu o tome. Signalizacijske poruke sadrže sljedeće informacije, IMSI (engl. *International Mobile Subscriber Identity*), LAI (engl. *Location Area Identifier*) i CI (engl. *Cell Identity*). Budući da su mreži poznati podaci o lokacijama baznih stanica, području njihova prekrivanja odnosno granica, moguće je na temelju tih informacija odrediti lokaciju MS-a.

CFCD podaci se dobivaju iz mobilne mreže. Glavna prednost ove metode je da nije potrebna nikakva dodatna infrastruktura na mjestu prikupljanja podataka te svaki mobilni telefon zapravo postaje senzor što je velika prednost u usporedbi sa ostalim metodama sa finansijske strane. Infrastrukturni zahtjevi u ovoj metodi su analitički serveri za sakupljanje i presretanje signalizacijskih poruka između mobilnog uređaja i mrežnog čvora zaduženog za upravljanje mobilnošću mobilnih uređaja.

Budući da je ova metoda sakupljanja podataka relativno mlada u odnosu na ostale metode (oko 10 godina), a razvoj mobilne telekomunikacijske industrije je u punome jeku, u nastavku ovoga istraživanja baviti ćemo se samo CFCD metodom sakupljanja podataka.

Na slici 27. je prikazana usluga prikaza stvarno vremenskih informacija u prometu na temelju CFCD metode za sakupljanje informacija u prometu razvijenog od strane tvrtke Decell Technologies L.t.d.



Slika 27. Usluga prikaza stvarno vremenskih informacija u prometu, [16]

4 PRIKUPLJANJE PODATAKA O PROTOKU VOZILA

U ovome poglavlju će biti definirane smjernice za prikupljanje podataka o protoku vozila uporabom mobilnih mreža. Kako bi sakupili potrebne signalizacijske poruke koji prenose informaciju o lokaciji vozila na prometnici detaljno su opisana stanja te signalizacijske procedure korištene od strane mobilnih uređaja unutar vozila za pristup i održavanje mobilnosti u mobilnim mrežama.

4.1 Signalizacijske procedure za upravljanje mobilnošću GERAN pristupnom mrežom

Kako bi prepoznali podatke koji su nam potrebni za sakupljanje te kasniju analizu trebali bi se pobliže upoznati sa signalizacijskim procedurama za upravljanje mobilnošću u GERAN mobilnim pristupnim mrežama. U ovome poglavlju su opisana stanja te signalizacijske procedure i mehanizmi neophodni za upravljanje mobilnošću uređaja u GERAN pristupnoj mreži.

4.1.1 Stanja veze

Kako bi MS ustanovio da postoji poziv koji je usmijeren prema njegovom broju on kao prvo mora ustanoviti da li je njen BTS zove. Zbog toga MS mora periodično pratiti tzv. paging kanal njenog BTS-a.

CCH-multiframe u trajanju od 235 ms sadrži nekoliko CCCH blokova u kojima BTS-a šalje paging pozive. Da bi se štedjela baterija MS-e, stvaraju se paging grupe, tako da MS ne mora dekodirati svaki CCCH blok već jedan u svakom n-tom CCH multiframe-u. Parametar "n" se može po volji definirati u OMC (engl. *Operation and Maintenance Center*). Ako je na primjer odabранo $n= 6$, tada MS treba tek svakih 1,4 sekundi poslušati paging kanal. Ostalo vrijeme je neaktivna. Ovaj način rada zove se DRX (engl. *Discontinuous Reception*), koji znatno štedi bateriju MS-a. [10]

4.1.1.1 Stanje mirovanja

Stanje Mirovanja je stanje u kojemu mobilni uređaj ne koristi resurse mreže u svrhu očuvanja baterije. To je stanje u kojem MS, iako je uključena, nikog ne zove niti ona nekoga zove. Međutim i u tom stanju, MS nije pasivna nego je uključena u cijeli niz aktivnosti.

Kako se MS u području mreže može stalno kretati, podatak o njenom trenutnom prebivalištu je pohranjen u VLR-u i to u obliku LAI broja. Ukoliko se MS kreće unutar ćelija iz tog LA područja, MS ne obavještava mrežu. MS naime, sluša BCCH u kojem je sadržan broj LAI. Ako je on isti sa onim koji i MS ima pohranjen u SIM kartici, MS zna da je u novoj ćeliji ali u istom LA te ne reagira. Takav način organizacije mreže ima velike prednosti jer omogućava značajne uštede internih mrežnih javljanja. [10]

Ako se korisnik kreće sa MS-om koja je u stanju mirovanja može doći do promjene ćelije. Tu promjenu treba razlikovati od promjene za vrijeme govora koju zovemo Handover. Značajna razlika je u tome da u stanju mirovanja MS sama odlučuje o promjeni ćelije. Za stvaranje odluke o promjeni ćelije MS-i služi nekoliko parametara. [10]

Mjerenja snage BCCH signala spojene BTS i BTS-a susjednih ćelija. Ako su srednje vrijednosti snage signala susjedne ćelije znatno više od vrijednosti vlastite BTS-e, MS će donijeti odluku o preseljenju u novu ćeliju. To je C1 kriterij za promjenu ćelije. Ako se nova ćelija nalazi u istoj LA, MS mijenja ćeliju bez obavještavanja mreže. [10]

4.1.1.2 Aktivno stanje

Ukoliko je MS aktivan, smatra se da je uspostavio sve potrebne komunikacijske i signalizacijske kanale te koristi uslugu poziva. Njegova se lokacija prati na razini BTS-a zbog održavanja veze sa mrežom te osiguravanja propisane kvalitete usluge QoS. [10]

4.1.1.3 GPRS stanja

GSM mreža je podijeljena na LA područja. MS obavještava mrežu svaki put kada promjeni LA i za vrijeme *attach* procedure. Kod GPRS se koristi isti princip, sa time da se ovdje zone zovu RA područja. [10]

Pri upravljanju mobilnošću u GPRS mrežama moguća stanja MS-a su:

- Aktivno stanje (engl. *ACTIVE*, *READY*). Mobilnost se prati na nivou ćelije. *READY* timer se postavlja na 44 sekunde, i ako se ne šalje ništa prelazi u *STANDBY* stanje;
- Stanje pripravnosti (*STANDBY*). Korisnik je spojen na mrežu, ali ne šalje podatke. Mobilnost se prati na nivou RA;
- Stanje mirovanja. Korisnik nije spojen na mrežu;

Ovaj model je jedinstven za paketni radio dok kod GSM-a postoje samo dva stanja: Stanje mirovanja i aktivno stanje.

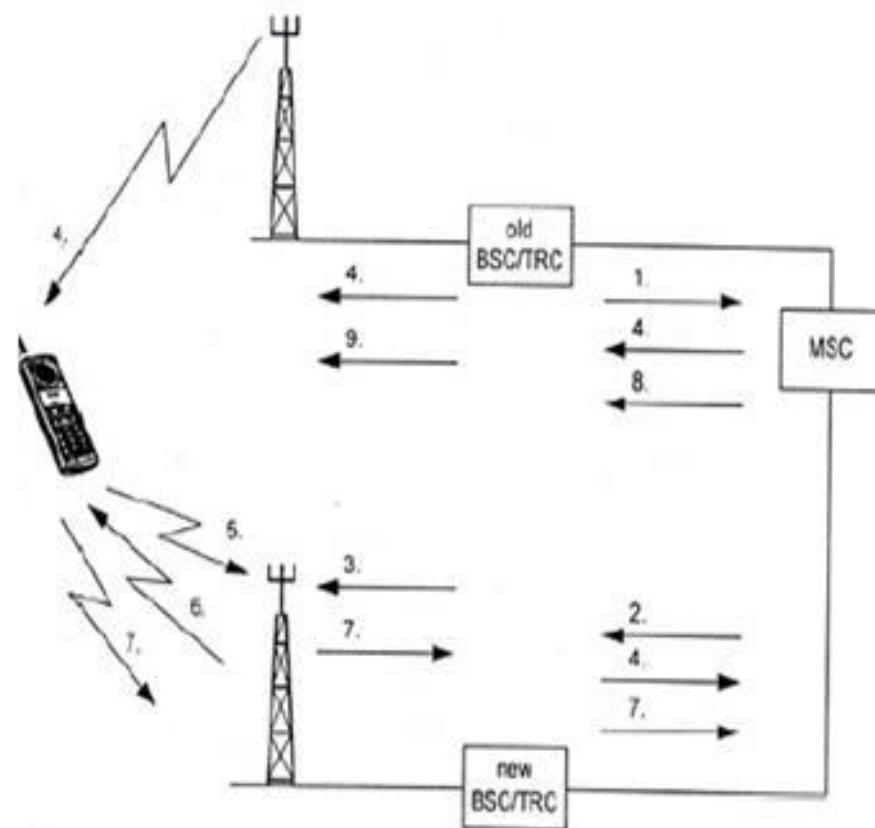
4.1.2 Ažuriranje lokacije

Procedura ažuriranja lokacije pri promjeni područja pokrivanja jednog MSC-a je opisana u poglavlju 4.1.2.1 sa pripadajućim sekvencijalnim dijagramom prikazanim na slici 27. Dok je promjena područja pokrivanja između 2 različita MSC-a opisana u poglavlju 4.1.2.2 sa pripadajućim sekvencijalnim dijagramom prikazanim na slici 28.

4.1.2.1 Handover u području jednog MSC-a [10]

1. BSC, šalje MSC-u zahtjev za handover u kojem naznači novu ćeliju u koju dolazi MS;
2. MSC zna koji BSC kontrolira novu ćeliju u koju dolazi MS i upućuje tom BSC-u zahtjev za handover;
3. Novi BSC nalaže zaduženoj BTS-u da otvorí TCH kanal;
4. Novi BSC šalje poruku MS-i preko MSC -a i starog BSC-a;

5. MS se prilagodi na novu frekvenciju i šalje Handover Access burst u ispravnom vremenskom slotu;
6. Tada nova BTS šalje TA informaciju (engl. *Time Alignment*);
7. MS šalje Handover Complete poruku MSC -u preko novog BSC –a;
8. MSC naređuje starom BSC-u da oslobodi stari TCH jer više nije u upotrebi;
9. Stari BSC naređuje staroj BTS-i da oslobodi stari TCH.

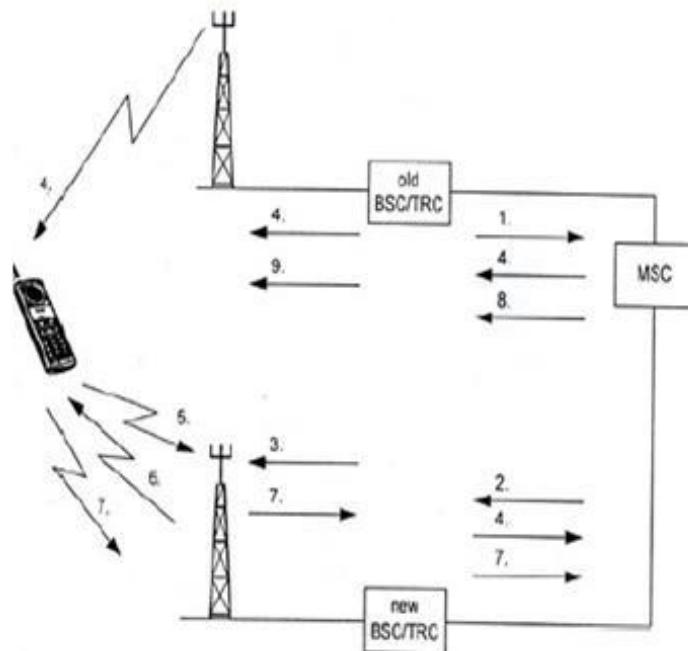


Slika 28. Sekvencijski dijagram handovera u području jednog MSC-a, [10]

4.1.2.2 Handover između različitih MSC-a [10]

1. Stari BSC šalje MSC-u (MSC-A) handover zahtjev u kojem naznači novu ćeliju u koju dolazi MS;
2. MSC-A identificira novu ćeliju pod okriljem novog BSC-a te traži od njega pomoć;
3. MSC-B definira novi handover broj i šalje handover zahtjev novom BSC-u;
4. Novi BSC nalaže novoj BTS-u da aktivira TCH kanal;

5. tome biva obaviješten i MSC-B koji o tome obavještava i MSC-A dajući mu ujedno i handover broj;
6. Između MSC-A i MSC-B se uspostavlja nova veza, obično preko PSTN linija;
7. MS-A šalje handover zapovijed MS-i preko staroga BSC-a;
8. MS se prilagodi novoj frekvenciji te šalje Handover Access burst u korektnom vremenskom sloju;
9. Kada BTS-a primi Handover Access burst, šalje TA informaciju;
10. MS šalje Handover Complete poruku starom MSC -u preko novoga BSC-a i novoga MSC/V LR-a;
11. Novi put je zabilježen u MSC-A i poziv je proslijeden;
12. Stari TCH je deaktiviran kod starog BSC-a.



Slika 29 Sekvencijski dijagram handovera između različitih MSC-a, [10]

Stari MSC-A ostaje glavni kontrolor poziva do završetka poziva jer poznaje podatke o učesniku i time informacije o naplati poziva. Nakon završetka razgovora, MS inicijalizira proceduru "Location Update" jer je prelazeći pod kontrolu novoga MSC-a promijenila LA. LA naime, uvijek komunicira samo sa jednim MSC-om. U tom slučaju HLR osvježava svoje podatke uz pomoć VLR-B a istovremeno nalaže VLR-A da izbriše sve podatke o pretplatniku koji je napustio njegovo područje. [10]

4.1.2.3 GPRS handover

U GSM-u u modu stanja mirovanja MS inicira promjenu ćelije”, dok u ACTIVE modu rada BSC inicira handover. U GPRS mreži promjena ćelije se vrši bez obzira da li MS šalje pakete ili ne. Ukoliko se radi o telefonu Klase A, tj. koji podržava istovremeno i govor i podatke, handover za govor ima prednost u odnosu na promjenu ćelije za GPRS. [10]

U slučaju kad se obavlja transfer podataka:

1. MS vrši radio mjerjenja u svojoj i susjednim ćelijama.
2. MS na osnovu mjerjenja proračunava da li da radi handover i u koju ćeliju.
3. Na osnovu proračuna MS odlučuje o handoveru, tj. kada i u koju novu ćeliju se vrši handover, za razliku od GSM gdje MS šalje izvještaj o mjerjenjima mreži na osnovu toga mreža odlučuje o handoveru, obavještava MS koja je nova ćelija i alocira neophodne resurse.

Neka je MS je uključena u prijenos podataka u DL. Na osnovu odašiljanja informacija susjednih ćelija, MS zaključuje da su u drugoj ćeliji bolji uvjeti rada. Kada pređe u drugu ćeliju, onda šalje podatke o osvježivanju svoje lokacije prema SGSNu. SGSN prima podataka o promjeni ćelije, i otkriva da je u toku transfer podataka, i obavještava PCU koja je bila odgovorna za staru ćeliju. Poruka sadrži adresu nove i stare ćelije i identitet MS. [10]

PCU provjerava da li je odgovoran za tu ćeliju. Ako jest, onda sve podatke koji nisu poslati ili potvrđeni, pomjera u red za novu ćeliju. PCU dodjeljuje nove resurse za MS u novoj ćeliji i prijenos se nastavlja. Ukoliko PCU nije odgovoran za novu ćeliju, obrisati će podatke predviđene za MS, a ponovnu transmisiju će ostaviti da obave protokoli sa višeg nivoa. [10]

4.2 Signalizacijske procedure za upravljanje mobilnošću UTRAN pristupnom mrežom

Kako bi prepoznali podatke koji su nam potrebni za sakupljanje te kasniju analizu trebali bi se pobliže upoznati sa signalizacijskim procedurama za upravljanje

mobilnošću u UTRAN mobilnim pristupnim mrežama. U ovome poglavlju su opisana stanja te signalizacijske procedure i mehanizmi neophodni za upravljanje mobilnošću uređaja u UTRAN pristupnoj mreži.

4.2.1 Stanja veze

Definirana su dva načina za rad UE – neaktivni i aktivni (engl. *Dedicated Mode*). U neaktivnom parni entitet UE za RRC¹ je u Node B, dok je u aktivnom u SRNC. UMTS terminali su obično nazivani korisnička oprema ili UE (engl. *User equipment*), u osnovi postoje operativna režima: Stanje mirovanja i Povezan (engl. *Connected Mode*). [10]

Kada se UE uključi, on ulazi u stanje mirovanja, odnosno on je priključen na mrežu, ali nije aktiviran prijenos podataka. U pasivnom režimu rada, UE prima poruke od mreže na paging kanalu, ali ne prenosi ništa nazad prema mreži. Kada se uspostavi RRC veza, terminal se prebaci u stanje Povezan, u kome UE može biti u bilo kojem od sljedećih četiri RRC uslužna stanja: Cell_DCH, Cell_FACH, Cell_PCH i URA_PCH. U Rel. 99 Cell_DCH stanju, korisnički podaci se prenose putem namjenskog kanala DCH. U posljednjim izdanjima, ukoliko mreža podržava HSPA, HS - DSCH (engl. High Speed Downlink Shared Channel) i poboljšani DCH (E-DCH) se također mogu koristiti za silaznu i uzlaznu vezu. U Cell_FACH stanju, podaci se prenose preko zajedničkih kanala, tipično, RACH (engl. *Random Access Channel*) za uplink, i FACH (engl. *Forward Access Channel*) za DL. U Cell_PCH i URA_PCH stanjima, UE slušaju PCH i BCH kanale, ali uplink prijenos podataka nije moguć. [10]

Prelazi između stanja zavise od nivoa među spremnika zauzetosti BO na RLC (engl. *Radio Link Control*) sloju. Tipično, tranzicija iz Cell_DCH u Cell_FACH se odvija kada je BO nula, a prag oslobađanja tajmera za DCH je premašen. Prelazak nazad na Cell_DCH se vrši, ako BO nivo premašuje graničnu vrijednost za određeno vrijeme, tj. kada postoje podaci koji čekaju da se prenesu. Štoviše, ako je period neaktivnosti u Cell_FACH dovoljno dug (u rasponu 2-10 s) UE može da promjeni svoje stanje u Cell_PCH ili URA_PCH. Prelazak nazad na Cell_FACH ili Cell_DCH

¹ RRC sloj pruža UTRAN i E-UTRAN mreži dio signalizacije veze s gornjim slojevima. Signalizacijska veza se koristi između korisnika opreme i jezgrene mreže za prijenos informacije sa gornjeg sloja. [18]

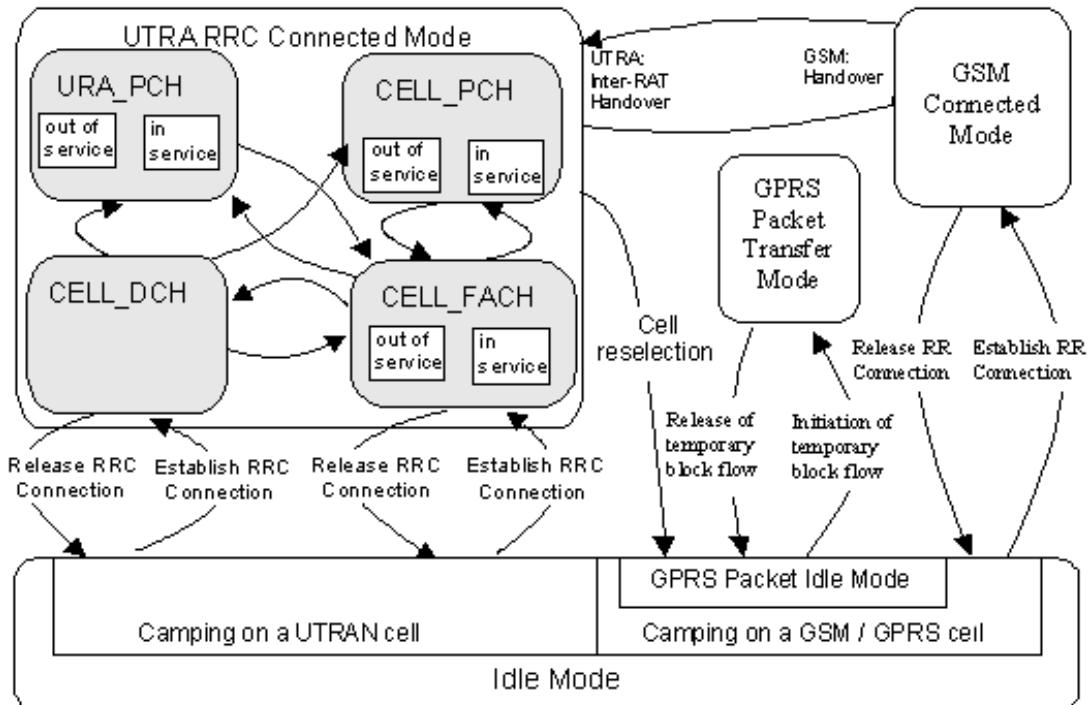
se vrši ako se detektira aktivnost korisnika. RRC režim može biti promijenjen od povezanosti do mirovanja, ukoliko tajmer neaktivnosti izazove prelaz, ili je RNC (engl. *Radio Network Controller*) zagušen, u tom slučaju se RRC veza raskida. [10]

RRC prelazi stanja imaju direktni utjecaj na iskustvo o performansama krajnjeg korisnika. Na primjer, prelazak iz Cell_FACH u Cell_DCH izaziva uspostavljanje DCH i eventualno odgovarajućih HSPA kanala, što je proces koji zahtjeva par sekundi da se završi. Ovo može pogoršati korisničko iskustvo kada se koristi, na primjer, web pretraživač, koji obično obuhvata dugi periodi neaktivnosti. Još jedan važan aspekt je potrošnja baterije u svakom stanju. Kompromis je slijedeći: ako UE duže ostaje u Cell_DCH, više energije se troši; mrežni resursi su duže dodijeljeni, ali korisnik postiže nominalno veće brzine prijenosa podataka. [10]

U ovom režimu postoje slijedeća stanja:

1. CELL_DCH stanje. Koristi se za veze sa komutacijom kanala ili veze visoke brzine sa komutacijom paketa;
2. CELL_FACH stanje. UE i UTRAN mogu da šalju informacije u bilo kom trenutku. Ne postoje dodijeljeni resursi. Koristi se za slanje informacija pomoću „bursta“.
3. CELL_PCH stanje. UE spava, ali UTRAN zna lokaciju ćelije. Koristi kada ne postoji aktivnost u toku veze sa komutacijom paketna.
4. URA_PCH stanje Slično CELL_PCH, ali se koristi za ograničavanje procedura ćelijskog ažuriranja UE. Koristi kada nema aktivnosti u toku paketne veze, ali uz vrlo mobilan UE.

Sva dosadašnja stanja i prijelazi između njih su prikazani na slici 30.



Slika 30. GSM i UMTS stanja i njihovi prijelazi, [10]

Na slici 31. prikazane su procedure mobilnosti, fizički kanali, transportni kanali i logički kanali za svako RRC stanje. Stanje mirovanja je također uključeno. Fizičke kanale, koji su dostupni u datom stanju UE može da koristi u zavisnosti od zahtjeva i UE sposobnosti. Za svaki transportni kanal, mogućnost da se korist i zavisi od toga dali je s njim vezani fizički kanal dostupan. Također, transportne kanale koje nije moguće koristiti u datom stanju, moguće je dodijelit i UE za upotrebu u drugim stanjima u kojima su dostupni fizički kanali koji ih podržavaju. [10]

| State | Mobility procedures | Uplink | | | Downlink | | |
|---------------------|---|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------|--------------------|------------------------------|
| | | Physical channels | Transport channels | Logical channels | Physical channels | Transport channels | Logical channels |
| 0. Idle Mode | Cell selection & reselection | PRACH | RACH | CCCH | PCCPCH | BCH | BCCH |
| | | | | | AICH | | |
| | | | | | SCCPCH PICH | PCH | PCCH |
| | | | | | SCCPCH | FACH | CTCH |
| 1. CELL_ DCH | Active set update Hard handover Inter-system handover | DPCH DPDCH | DCH | DCCH DTCH | DPCH | DCH | DCCH DTCH |
| | | | | | PDSCH | DSCH | |
| | | | | | SCCPCH | FACH | BCCH CTCH |
| 2. CELL_ FACH | Cell selection & reselection Cell update | PRACH | RACH FAUSCH | CCCH DCCH DTCH | PCCPCH | BCH | BCCH |
| | | | | | AICH | | |
| | | PCPCH | CPCH | | SCCPCH | FACH | CCCH DCCH DTCH CTCH |
| 3. CELL_ PCH | Cell selection & reselection Cell update | | | | PCCPCH | BCH | BCCH |
| | | | | | SCCPCH PICH | PCH | PCCH |
| 4. URA_ PCH | Cell selection & reselection URA update | | | | PCCPCH | BCH | BCCH |
| | | | | | SCCPCH PICH | PCH | PCCH |

Slika 31. Procedure mobilnosti, fizički, transportni i logički kanali za svako RRC stanje

4.2.2 Upravljanje mobilnošću

Upravljanje mobilnošću MM (engl. *mobility management*) obuhvaća sve procedure, metode i identitete potrebne da podrži znanje o lokacijama UE kada se kreće u mreži. Uključeni entiteti u MM procesima su UE i: [10]

- SGSN podržava paketni (PS) režim rada, tj. prijelaze između stanja u okviru paketnog menadžmenta mobilnosti (PMM);
- MSC/VLR podržava režim komutacije kanala (CS) tj., prelaze između stanja (MM);
- HLR za rad u domaćoj mreži u MM/PMM stanju povezanosti;

- RNC podržava ažuriranja ćelija i /ili URA;
- GGSN/GMSC podržava MM u slučaju roaminga;
- posjećena PLMN.

Paging javlja kada UTRAN želi da komunicira sa UE. Pošto UE nije aktivan da bi se sačuvao vijek baterije koristeći isprekidani prijem DRX, UTRAN postavlja odgovarajući PI (engl. *Paging Indicator*) na PICH kada ima paging poruku koja treba da bude dostavljena UE. Kada se UE probudi, on vidi postavljen svoj PI i sluša PCH (engl. *Paging Channel*) na sekundarnom zajedničkom kontrolom fizičkom kanalu SCCPCH. Postoji fiksno vremensko kašnjenje koje daje vrijeme UE da počne uspješno čitanje PCH transportnog kanala. Ovaj primjer pokazuje kako se vrši paging za UE u RRC pasivnom režimu rada. [10]

UE može biti pozvan za govorni CS ili paketni PS servis. Pošto je UE u RRC pasivnom režimu rada, njegova lokacija je poznata samo na nivou CN i stoga se paging distribuira u definiranom geografskom području (npr. LA).

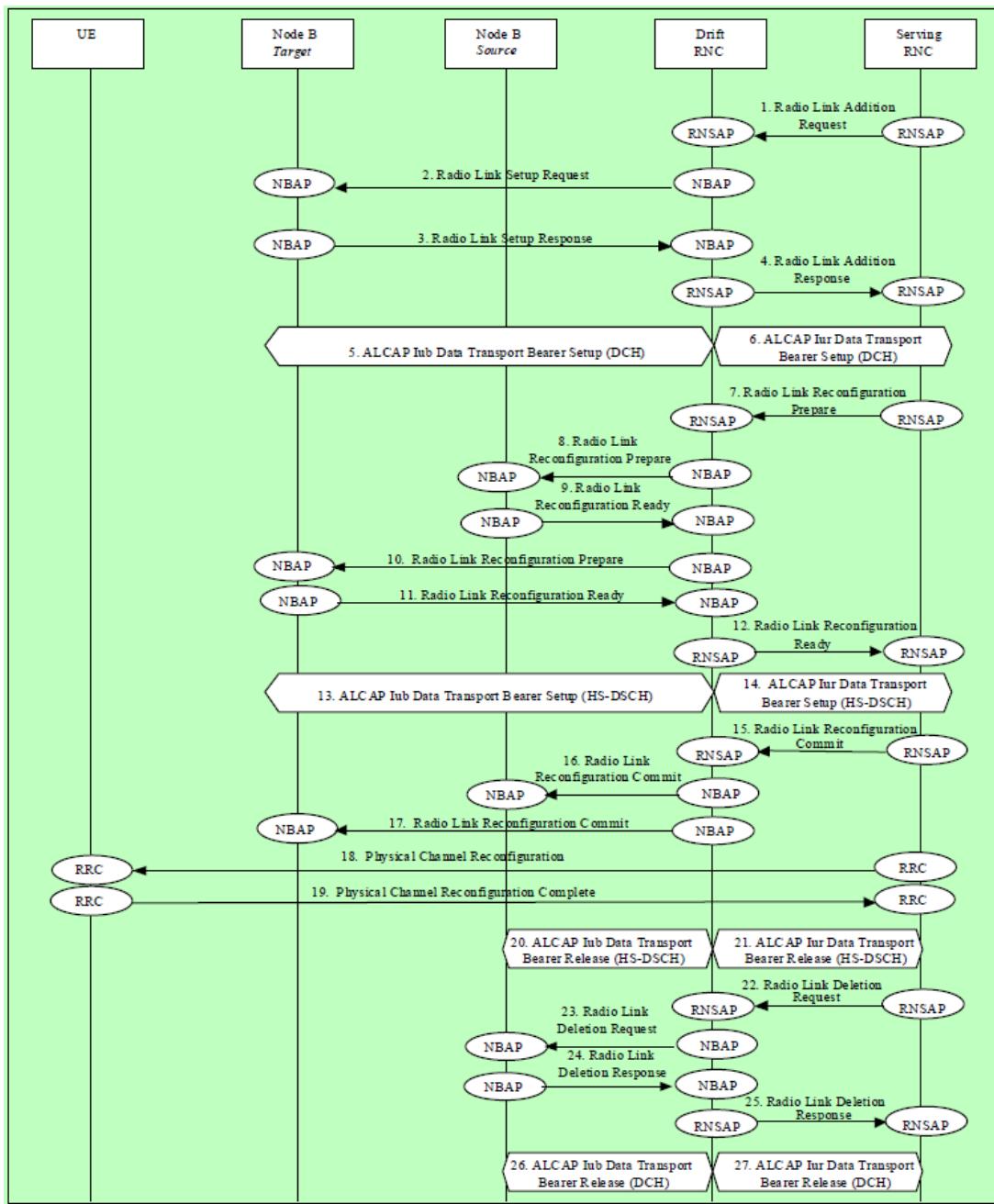
Ova procedura, opisana u režimu mirovanja RRC, odnosi se i na RRC u povezanom režimu u stanjima CELL_PCH i URA_PCH. [8]

Ova situacija se može desiti u slučaju da postoji jezgra mreže sa dvije domene, čija su upravljanja mobilnošću nezavisna jedna od druge. Postoje dva moguća rješenja: [10]

- UTRAN koordinira zahtjev za paging uz postojeću RRC vezu,
- UE koordinira zahtjev za paging uz postojeću RRC vezu.

4.2.2.1 Promjena ćelije služećeg HS-DSCH u Hard handover-u

U sljedećem primjeru postupak HS-DSCH mobilnosti se izvršava u dva koraka: prvi korak je uspostavljanje novog radio linka bez HS - DSCH resursa, slijedeći korak je transfer HS – DSCH resurse za taj novi radio link, a nakon toga oslobođanje starog radio linka. U radio sučelju se koristi kombinirani postupak, slika 32. [10]



Slika 32. Procedura HS-DSCH mobilnosti u tvrdom handoveru, [10]

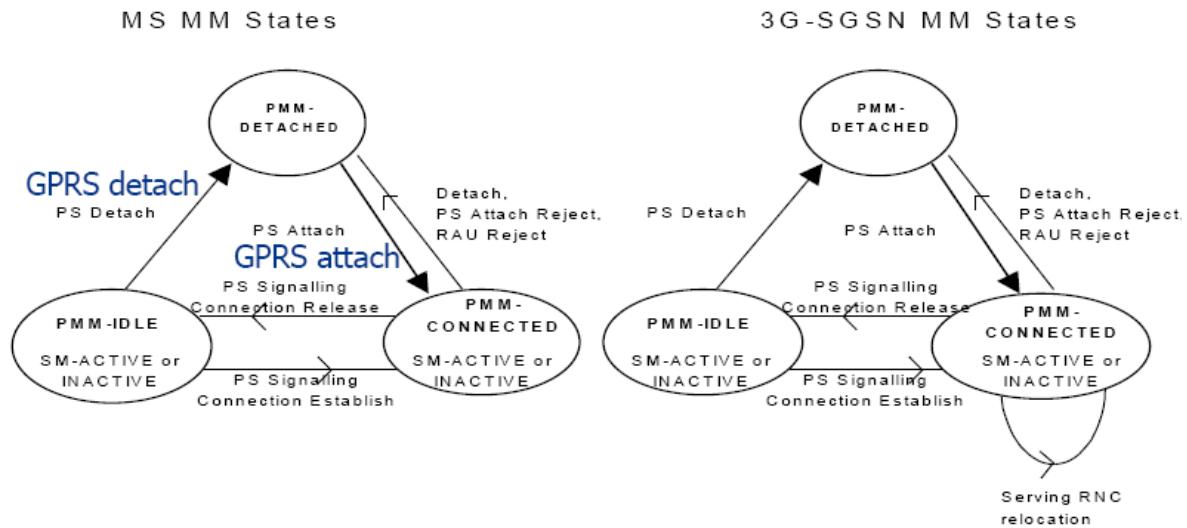
1. SRNC odlučuje da je potrebno izvršiti hard handover u kombinaciji sa promjenom ćelije služećeg HS-DSCH. On priprema RNSAP poruku Radio Link Addition Request, i šalje prema DRNC.
2. DRNC dodjeljuje radio resurse za novi radio link i zahtjeva od odredišnog Node B da uspostavi novi radio kanal slanjem NBAP poruke Radio Link Setup Request.

3. Target Node B dodjeljuje resurse, započinje prihvat na fizičkom nivou na DPCH kanalu na novom radio linku i odgovara slanjem NBAP poruke Radio Link Setup Response.
4. DRNC odgovara SRNC-u sa RNSAP porukom Radio Link Addition Response čime je uspostavljen DCH transportni nosilac.
5. DRNC inicira uspostavljanje novih lub Data Transport Bearers koristeći ALCAP protokol. Ovaj zahtjev sadrži AAL2 Binding Identity da veže lub Data Transport Bearer sa DCH.
6. U slučaju kad nema kombiniranja u DRNC, SRNC inicira uspostavljanje novog Iur Data Transport Bearer koristeći ALCAP protokol. Ovaj zahtjev sadrži AAL2 Binding Identity da veže Iur Data Transport Bearer nosilac sa DCH.
7. SRNC priprema RNSAP poruku Radio Link Reconfiguration Prepare i šalje prema DRNC.
8. DRNC zahtjeva od izvornog HS-DSCH Node B da izvrši sinkroniziranu radio link Re konfiguraciju slanjem NBAP poruke Radio Link Reconfiguration Prepare, uklanjajući svoje HS-DSCH resurse za izvorni HSDSCH radio link.
9. Izvorni HS-DSCH Node B vraća NBAP poruku Radio Link Reconfiguration Ready.
10. DRNC zahtjeva od odredišta HS-DSCH Node B da izvrši sinkroniziranu radio link Re konfiguraciju slanjem NBAP poruke Radio Link Reconfiguration Prepare, dodajući HSDSCH resurse za odredište HS-DSCH Radio link.
11. Odredišni HS-DSCH Node B vraća NBAP poruku Radio Link Reconfiguration Ready.
12. DRNC vraća RNSAP poruku Radio Link Reconfiguration Ready prema SRNC.
13. DRNC inicira uspostavljanje novog lub Data Transport Bearers nosioca korištenjem ALCAP protokola. Ovaj zahtjev sadrži AAL2 Binding Identity da veže lub Data Transport Bearer sa HSDSCH;
14. SRNC može inicirati uspostavljanje novog Iur Data Transport Bearer koristeći ALCAP protokol. Ovaj zahtjev sadrži AAL2 Binding Identity da veže Iur Data Transport Bearer nosilac sa HS-DSCH;
15. HS-DSCH transportni nosilac prema odredištu HS-DSCH Node B je uspostavljen. SRNC šalje RNSAP poruku Radio Link Reconfiguration Commit prema DRNC uključujući SRNC izabrano vrijeme aktivacije u formi CFN.

16. DRNC šalje NBAP poruku Radio Link Reconfiguration Commit izvornom HS-DSCH Node B uključujući vrijeme aktivacije. U naznačeno vrijeme aktivacije izvorni HS-DSCH Node B prestaje, a ciljni HS-DSCH Node B započinje predaju po HS-DSCH prema UE.
17. DRNC šalje NBAP poruku Radio Link Reconfiguration Commit prema odredištu HS-DSCH Node B uključujući vrijeme aktivacije. U naznačeno vrijeme aktivacije izvorni HS-DSCH Node B a ciljni HS-DSCH Node B započinje predaju po HS-DSCH prema UE.
18. SRNC također šalje RRC poruku Physical Channel Reconfiguration prema UE.
19. U naznačeno vrijeme aktivacije UE odbacuje tekući aktivni skup i inicira uspostavu DPCH u odredišnoj ćeliji. Kad se sinkronizacija na fizičkom nivou uspostavi u odredišnoj ćeliji ona pokreće prijem i predaju DPCH i HS-DSCH prijem u odredišnoj ćeliji. UE vraća RRC poruku Physical Channel Reconfiguration Complete prema SRNC;
20. DRNC inicira oslobođanje starog lub Data Transport nosioca do izvornog HS-DSCH Node B koristeći ALCAP protokol.
21. Ako je u točki 14 uspostavljen Iur Data Transport Bearer tada SRNC inicira oslobođanje starog Iur Data Transport nosioca koristeći ALCAP protokol;
22. SRNC tada završava proceduru šaljući RNSAP poruku Radio Link Deletion Request ka DRNC. U poruci je naznačena izvorna ćelija koju treba brisati.
23. DRNC šalje NBAP poruku Radio Link Deletion Request ka izvornom Node B.
24. Izvorni Node B oslobađa resurse izvornog radio linka i vraća NBAP poruku Radio Link Deletion Response prema DRNC.
25. DRNC vraća RNSAP poruku Radio Link Deletion Response prema SRNC.
26. DRNC inicira oslobođanje starog lub DCH Transport nosioca ka izvornom HS-DSCH Node B koristeći ALCAP protokol.
27. Ako je novi Iur Data Transport Bearer uspostavljen u točki 6. tada SRNC inicira oslobođanje starog Iur DCH Transport nosioca koristeći ALCAP protokol.

4.2.2.2 Upravljanje mobilnošću podatkovnog prometa

PMM (engl. *Packet mobility management*) je nezavisan od broja i stanja PDP konteksta pretplatnika. Osnovna stanja PMM su dana na slici 33. [10]



Slika 33. Osnovna PMM stanja, [10]

U oba stanja, PMM mirovanje i PMM povezan, upravljanje sesijom može ili ne mora da aktivira PDP kontekst (dodijeljena dinamička IP adresa). U PMM stanju mirovanja signalizacijska veza ne postoji. UE nema veze sa UTRAN, samo sa CN. Nema prijenosa podataka. Paging identifikacija se vrši na osnovu IMSI ,TMSI i p-TMSI. [10]

U PMM povezanim stanju signalizacijska veza postoji. Adresiranje se obavlja putem U-RNTI (engl. *UTRAN Radio Network Temporary Identity*). Pozicija UE može bit i poznata na različitim nivoima: [10]

- Nivo URA (engl. *UTRAN Registration Area*): URA je specificirani skup ćelija, koji se mogu identificirati na kanalu emitiranja (BCCH).
- Ćelijski nivo: Različite vrste kanala mogu da se koristi za prijenos podataka: Zajednički transportni kanali (RACH, FACH, CPCH, DSCH) i dodijeljeni transportni kanali (DCH).

Prije nego što mobilna stanica započne proces slanja paketa podataka, odnosno prije uspostave sesije za prijenos paketa podataka neophodno je da se prijavi pomoću Attach procedure. Ova signalizacijska procedura je zapravo preuzeta iz sustava GSM/GPRS. [10]

4.3 Signalizacijske procedure za upravljanje mobilnošću E-UTRAN pristupnom mrežom

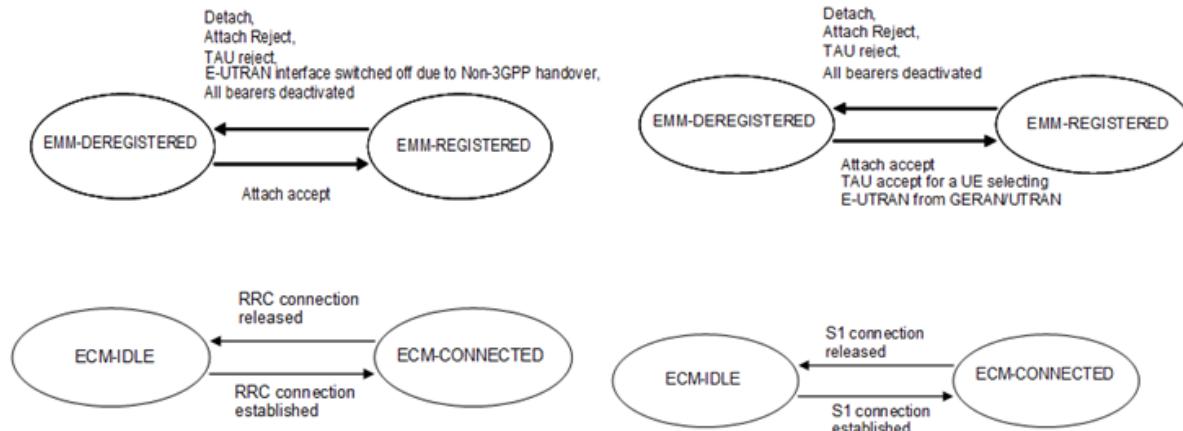
Kako bi prepoznali podatke koji su nam potrebni za sakupljanje te kasniju analizu trebali bi se pobliže upoznati sa signalizacijskim procedurama za upravljanje mobilnošću u E-UTRAN mobilnim pristupnim mrežama. U ovome poglavlju su opisana stanja te signalizacijske procedure i mehanizmi neophodni za upravljanje mobilnošću uređaja u E-UTRAN pristupnoj mreži.

4.3.1 Stanja veze

Kroz izvršenje NAS (engl. *Network Access Stratum*) procedura za upravljanje mobilnošću, korisnik se nakon svake procedure može naći u nekom od stanja mobilnosti, tj. EMM stanja (engl. *Evolved Mobility Management States*). U tom pogledu definiraju se korisnička stanja mobilnosti u EPC okruženju pod kontrolom MME sustava: EMM-DEREGISTERD i EMM-REGISTERED. Svako od ovih stanja ima svoja pod stanja poput: EMM-REGISTERED-INITIATED, EMM-DEREGISTERED-INITIATED, i sl. [10]

Pored izvršenja procedura koje upravljaju mobilnošću, u okviru EPC elemenata se izvršavaju i konekcijski orientirane upravljačke procedure ECM (engl. *Evolved Connection Management*) nakon kojih se korisnik može naći u nekom od ECM stanja. [10]

Najbitnija ECM Stanja koja su pod kontrolom PGW su: ECM-IDLE i ECM-CONNECTED. Generalno, ova su EMM i ECM stanja međusobno nezavisna, što znači da bilo koje EMM stanje može da se dodjeli korisniku dok je u nekom od ECM stanja, ali ipak neke relacije pri promjeni stanja ipak postoje. Primjer je prelazak iz EMM DEREGISTERED u EMM REGISTERED stanje preko ECM CONNECTED stanja. Ove promjene stanja i procedure koje ih generiraju su grafički prikazane na slici 34. [10]



Slika 34. Promjene UTMS stanja i procedure koje ih generiraju, [10]

EMM-DEREGISTERED je stanje kada se korisnički uređaj ne može, u kontekstu mobilnosti, vidjeti na MME, tj. za mrežu je nedostupan. MME za tog korisnika nema validnu informaciju o lokaciji na koju je zadnji put korisnik bio prijavljen. Međutim, neke korisničke informacije su pohranjene unutar MME u ovom stanju, a vezane za autentikaciju i autorizaciju, te servisne profile, koje su aktualni u smislu zadnje uspješne prijave na mrežu. [10]

EMM-REGISTERD- stanje se korisniku dodjeljuje nakon uspješno obavljene prijavne procedure (engl. *Attach*) na E-UTRAN mrežu koja dodatno podrazumijeva i uspješnu autentikaciju. Također, prilikom kretanja korisničkog uređaja kroz E-UTRAN mrežu ili prijavi sa GERAN/UTRAN na E-UTRAN, te promjeni TA, radi se TA Update procedura koja korisnika dovodi u EMM-REGISTERED stanje. Prije samog podešavanja ovog stanja se, u okviru prijavne procedure, radi i provjera autentikacije korisnika mreži i obratno, te autorizacije na servise koje korisnik koristi, te ukoliko je sve uspješno prošlo dodjeljuje se ovo stanje korisniku. To znači da iz ovog stanja korisnik može započeti sa korištenjem servisa na koje je pretplaćen. Iz stanja registriranosti korisnik u normalnim procedurama odjave sa mreže prelazi u stanje neregistriranosti, ali i ukoliko je izvršio handover sa E-UTRAN na WLAN mrežu, stanje na MME će za tog korisnika preći u EMM-DEREGISTERED, bez obzira što ima aktivnu konekciju preko ne-3GPP nosioca. [10]

ECM-IDLE stanje je kada korisnički uređaj ne izvršava nikakvu NAS signalizaciju sa MME-om, a nema niti aktivan korisnički kontekst na E-UTRAN mreži odnosno ne postoji S1-MME niti S1-U konekcija. U ovom stanju nema aktivnog prijenosa korisničkih podataka, a uređaj vrši konstantne selekcije i re selekcije ćelija te selekcije PLMN-a. [10]

ECM-CONNECTED stanje se uspostavlja kada korisnik ostvari vezu između UE uređaja i elemenata mreže. Konekcija se ostvaruje uspostavom Radio Resource Connection linka između UE i eNodeB-a, te kroz S1_MME vezu. U ovom stanju je lokacija korisnika poznata do nivoa eNodeB ID-a, a kako se promet po uspostavljenom IP putu ostvaruje, to je promjena korisničke lokacije upravljana handover procedurama. Raskidom RRC ili S1 konekcije korisnik iz ovog stanja prelazi u stanje mirovanja. [10]

4.3.2 Ažuriranje lokacije

U LTE tehnologiji svi opisani handoveri koji se ostvaruju unutar UTRAN, te HSPA mreže su podržani, te prelazak sa jedne eNodeB na drugu eNodeB baznu stanicu je također kontroliran od strane mreže. Handover sa ćelije na ćeliju unutar istog eNodeB je omogućen kroz Handover Control funkciju unutar eNodeB-a i proširen je sa automatskom razmjenom mjerениh rezultata jačine signala na ćeliji. [8]

Tako se uvode nove logičke funkcionalne cjeline i to: MME kao osnovni entitet zadužen za realizaciju mobilnosti, te Serving i Packet Gateway. [10]

4.3.2.1 Podsustav MME

Podsustav MME (engl. *Mobility Management Entity*) primarno je zadužen za realizaciju upravljačkih funkcija, koje omogućavaju: dostupnost i mobilnost kretanje korisničkog uređaja kroz E-UTRAN pristupnu tehnologiju. Ove funkcionalnosti u 2G/3G pristupnim mrežama su smještene unutar SGSN-a, te se često u izvedbi realizacije jedinstvenog hardverskog sustava može naći integrirana SGSN/MME funkcionalnost. Najvažnije funkcionalnosti MME podsustava što se tiče mobilnosti UE uređaja su navedene u nastavku. [10]

Upravljanje dostupnošću korisnika dok je prijavljen na E-UTRAN, a pri tome nema aktivan servisni zahtjev, tj. ne razmjenjuje nikakav korisnički promet. Ova funkcija se u naziva Mobility Management UE–Idle mode, a podrazumijeva na primjer procedure prozivanja (Paging), obnavljanja lokacije, upravljanje timerima za periodičnu prijavu i sl. [10]

Upravljanje listom područja praćenja TA (engl. *Tracking Area*), odgovara za uređenje TA identiteta (TAI), objavljuje i upravlja njima sa eNodeB, te obnavlja TAI koji korisnik kretanjem ili drugim mrežnim okolnostima mijenja. Cjelokupna E-UTRAN mreža je sa aspekta MME sistema organizirana kroz niz TA, pri čemu jedna TA sadrži više radijskih ćelija. U okviru 2G i 3G pristupnih mreža je slična organizacija mreže kroz Location Area i Routing Area, a koje su u toj izvedbi bile upravljane putem BSC i RNC te SGSN sustava. Ovdje je eNodeB direktno sa MME nadležan za upravljanje TA. [10]

Dodatno, S-GW učestvuje u realizaciji handovera koji se događaju među više eNodeB, te između tehnologija GRAN/UTRAN/E-UTRAN. Neposredno nakon preusmjeravanja korisničke putanje S-GW šalje tzv. "End" oznake SGSN ili RNC/BSC te eNodeB podsustavima.

Za slučaj 3G SGSN-a koji podržava S4 sučelje, S-GW predstavlja točku Interkonekcije te dalje preusmjerava promet ka P-GW. S4 podrška od sučelja je neophodna ukoliko se želi osigurati mobilnost na nivou svih 3GPP tehnologija u svim smjerovima. [10]

4.3.2.2 Upravljanje mobilnošću

Omogućavanje kretanja korisničkog uređaja kroz jednu pristupnu tehnologiju ili kroz više njih podržanih od iste jezgrene domene, se ostvaruje kroz funkcije upravljanja kretanjem. Za slučaj ECM-IDLE stanja, tj. neaktivne paketne konekcije, ove funkcije se izvršavaju unutar MME sustava. Da bi MME mogao pratiti kretanje korisnika kroz E-UTRAN mrežu, ista je podijeljena na sektore pokrivanja koje se nazivaju Tracing Area, koje su određene su svojim identifikatorom TAI (engl. *TA Identity*). Na ovaj način se postiže granulacija pokrivanja u pristupu na nivou zone praćenja dok je korisnik samo prijavljen na mrežu. Slično je u UTRAN mreži izvršena

granulacija na nivo RAI (engl. *Routing Area Identity*) odnosno u GERAN mreži na nivou LAI (engl. *Location Area Identity*). Svaki MME sadrži listu svih TAI nad kojim je nadležan. MME pamti na kojem je TAI korisnik bio registriran kada je posljednji put bio u ECM-IDLE stanju. Nad tom TA MME vrši prozivanje na svim ćelijama koje pripadaju toj zoni praćenja. [10]

Ukoliko korisnik nije u stanje mirovanja, tj. nije netom prekinuo aktivnu konekciju, a ipak je registriran na mreži, EMM-REGISTERED stanje, onda će umjesto MME prozivanja, sam terminalni uređaj sa određenim vremenskim odmakom vršit i javljanje trenutno pripadajućoj zoni praćenja. To javljanje predstavlja TA Update proceduru, a periodičnost je određena TAU tajmerom. Sve dok je korisnik u registriranom stanju on izvršava ova periodična javljanja, na osnovu čega MME bilježi posljednje vrijeme javljanja kao i posljednju TA sa koje se korisnički uređaj javio. Ukoliko nekoliko puta uzastopno ne dođe do javljanja terminalnog uređaja, MME zaključuje da je korisnik nedostupan te pokreće procedure eksplisitne odjave sa mreže, pa se korisnik stavlja u EMM-DEREGISTERED stanje. Međutim, korisnik može bit i privremeno nedostupan na E-UTRAN mreži iz razloga što je na primjer prešao na UTRAN ili GERAN ili na WLAN mrežu. Da bi se spriječila eksplisitna odjava u takvim slučajevima se može koristit i mehanizam, sa ISR funkcijama (engl. *Idle Mode Signaling Reduction*), koji po isteku TAU timer postavlja ISR timer. Kada istekne i ovaj timer parametar koji određuje privremeni identitet korisnika koji se koristi u sljedećoj prijavi na mrežu TIN (engl. *Temporary Identity used in Next update*), se postavlja na GUTI vrijednost, čime se uređaju nalaže da mora izvršit i TAU ili RAU i LAU po prijavi na E-UTRAN/UTRAN ili GERAN mrežu. TAU tajmer se resetira pri dolasku korisnika u stanje mirovanja ili po napuštanju E-UTRAN mreže zbog handovera. ISR tajmer se resetira pri svakoj novoj uspješnoj prijavi lokacije. Promjene TAU/RAU/LAU tajmara ne uzrokuju promjenu RAT tipa na kojoj se korisnik nalazi, niti promjene stanja na UTRAN ili GERAN mreži utiču na vrijednost TAU tajmara. Jedino slučajevi handovera među tehnologijama pristupa međusobno utiču na ove tajmere, tako što ih resetiraju na onoj tehnologiji koju je korisnik u toku handovera napustio. Ukoliko je korisnik u stanju mirovanja na MME-u privremeno napustio EUTRAN mrežu, onda MME Pokreće Implicit Detach Proceduru i postavlja ID timer na vrijednost koja je veća od ISR timera i relativno je velika, ali ne briše korisnika niti njegove nosioce. U ovom stanju se reducira prozivanje korisnika i odbijaju se zahtjevi prema korisniku dok je u ovom stanju, ali se pretpostavlja da je

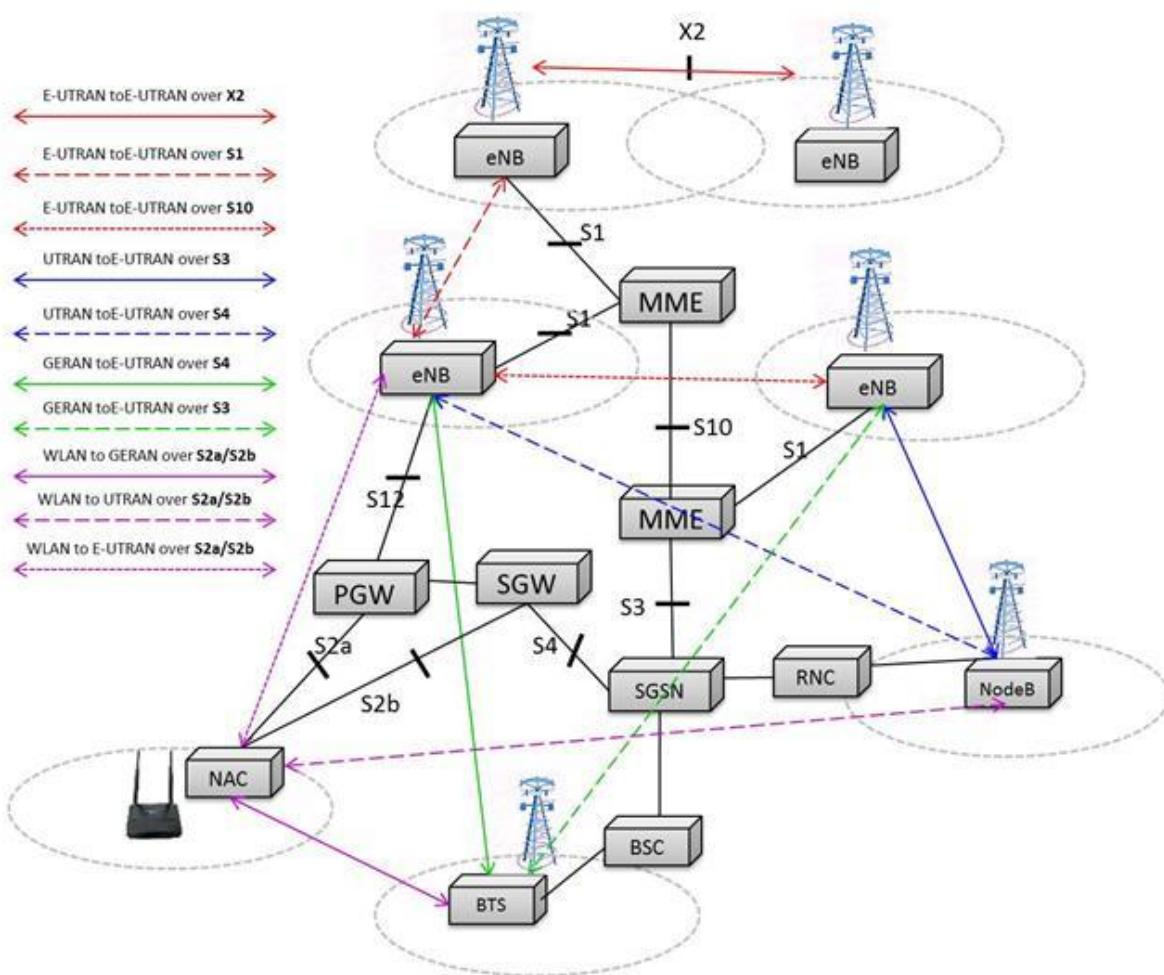
korisnik privremeno nedostupan i da će se u određenom vremenskom intervalu korisnik vratit i na mrežu. Ukoliko istekne ID tajmer MME vrši brisanje korisnika i njegovih nosioca sa mreže. [10]

ISR (engl. *Idle Mode Signaling Reduction*) funkcija omogućuje mehanizme za smanjenje signalizacije prema korisniku u toku promjene ćelije unutar istog radio pristupa tj. RAT, a dok je u stanju mirovanja, odnosno u Standby modu GPRS stanja. Ova funkcija je sastavni dio upravljanja terminalnog uređaja koji podržava multi-access, GERAN/UTRAN/E-UTRAN,WLAN i sl. ISR se isključivo uključuje od strane MME sistema, a svaki uređaj koji ima ovu funkcionalnost objavljuje je kroz TAU i RAU procedure. [10]

Pored procedura za upravljanje mobilnošću korisnika u GERAN i UTRAN mreži, elementarne funkcionalnost i čine i Handover funkcije, koje osiguravaju neprekidnost odnosno kontinuitet komunikacijske sesije dok se korisnik kreće kroz mrežu. U okviru EPS domene, također se realiziraju handover orientirane funkcije, a koje podržavaju kontinuitet paketne veze dok se korisnik kreće kroz E UTRAN pristupnu mrežu i pri tome mijenja TA bilo unutar istih eNodeB stanica, između dva eNodeB u području pokrivanja istog MME-a, ili pak između dva eNodeB koji pripadaju područjima različitih MME sistema. U svakom od ovih slučajeva se ostvaruje Inter-RAT (E-UTRAN) handover slučaj pri čemu se razlikuju referentne točke preko kojih se razmjenjuje signalizacija (X2, S1 ili S10 respektivno). [10]

U svim 3GPP pristupnim mrežama, koje su vezane na EPC jezgru, podržani su svi handover slučajevi, ali i handoveri između različitih tipova 3GPP mreža sa i na E-UTRAN mrežu. Oni se definiraju kao Intra-3GPP handoveri, a podrazumijevaju očuvanje kontinuiteta sesije i korisničkih podataka prilikom promjena LA, RA i TA, odnosno pri prelasku sa/na GERAN na/na E-UTRAN, te sa/na UTRAN na/na E-UTRAN pristup. Ovdje se podrazumijeva da su element i jezgre koja poslužuje GERAN i UTRAN pristup ostvaruje preko SGSN funkcionalnog čvora koji je preko S4 sučelja povezan na SGW/PGW sistem. Tako se ovi Intra3GPP handoveri ostvaruju kroz S4 S1 Referentne točke, odnosno handover signalizacija se razmjenjuje između SGSN, MME, SGW i PGW funkcionalnih nosioca, koji mogu biti integrirani u istim hardverskim čvorovima. [10]

Bitno je naglasiti da se Handover izvršava u dvije faze, a u skladu sa 3GPP specifikacijama i to: pripremna faza koja podrazumijeva razmjenu konečijski orijentiranih signalnih poruka kako bi se stvorili uvjeti za prijenos korisničke sesije sa stare ćelije na novu, te sama faza izvršenja, gdje se praktično vrši skretanje korisničkog toka podataka na novu putanju. Simbolički prikaz mogućih handover slučajeva u EPC-u te referentne točke signalizacije su prikazane na slici 35. [10]



Slika 35. Neki od mogućih handover slučajeva i referentne točke, [10]

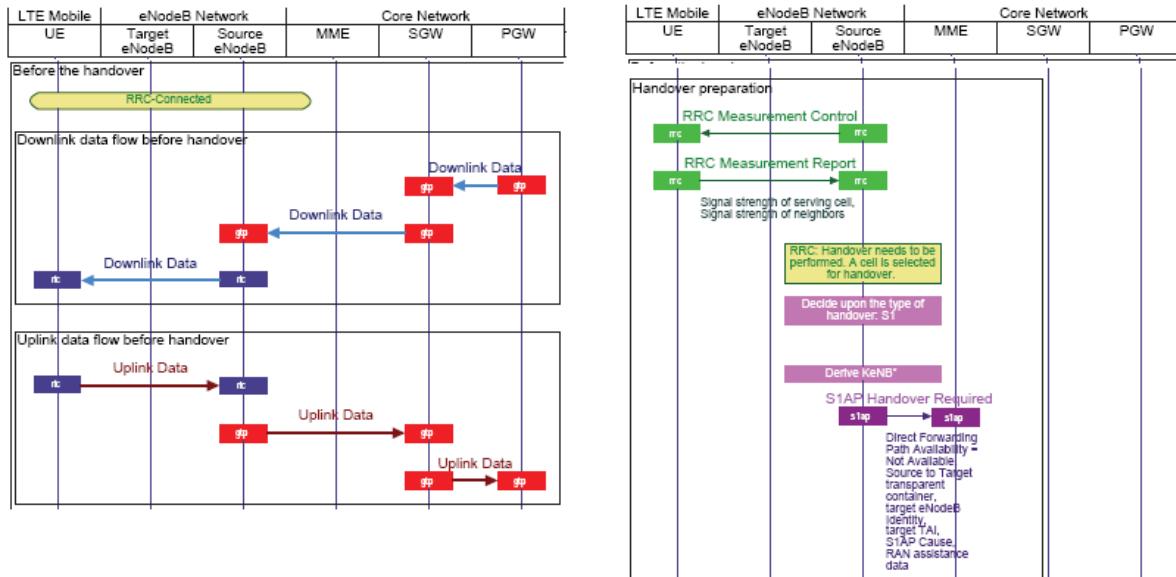
Sa slike je vidljivo da, u zavisnosti od raspoloživih sučelja i uspostavljenih konekcija, te tipa prelaska, handover signalizacija može da se odvija kroz jednu, dvije ili više referentnih točaka. Tako, na primjer prelazak sa E-UTRAN na E-UTRAN ćeliju može bit i ostvaren preko X2 referentne točke ukoliko su ćelije susjedne, ali može se odvijati i preko S1 odnosno i S10 referentnih točaka, ako nema X2 sučelja te su

vezani na različite MME sustave. Također, prelazak sa UTRAN 3G ćelije, na E-UTRAN ćeliju može koristi i Iu, S3, S1 i/ili S10 referentne točke, ali i Iu, S4, S5 i S12 referentnu točku, odnosno S11 i S12 ukoliko je uspostavljen direktni tunel između RNC-a i PGW te PGW-a i eNodeB-a. [10]

S1 Handover

Sljedeća razmjena poruka, slika 26. prikazuje slučaj S1 handovera između dva eNodeB-a između kojih X2 sučelje nije omogućeno.

1. UE i Source eNodeB su u stanju RRC CONNECTED.
2. Downlink podaci teku od SGW ka UE preko izvornog eNodeB.
3. Uplink podaci teku od UE ka SGW preko izvornog eNodeB.
4. Mreža postavlja mjerne pragove za slanje izvještaja o mjeranjima.
5. Kvaliteta signala susjedne ćelije je bolji nego kod poslužujuće ćelije.
6. RRC koristi posljednja mjerena da odluči da li je potreban handover na drugu ćeliju. Ciljna ćelija je izabrana i identificiran je njen eNodeB.
7. Izvorni eNodeB odlučuje da pokrene S1 bazirani handover prema ciljnom eNodeB jer nema X2 sučelje sa ciljnom eNodeB. S1 handover se može aktivirati i ukoliko X2 handover nije uspio.
8. Izvorni eNodeB šalje poruku "Handover Required" ka MME. Izvorni eNodeB pokazuje koji nosioci su predmetni za proslijedivanje podataka. X2 sučelje nije dostupno, direktno proslijedivanje nije opcija. Podaci će morati da se prenesu preko SGV. Ciljni TAI se šalje MME da olakša izbor pogodnog ciljnog MME.

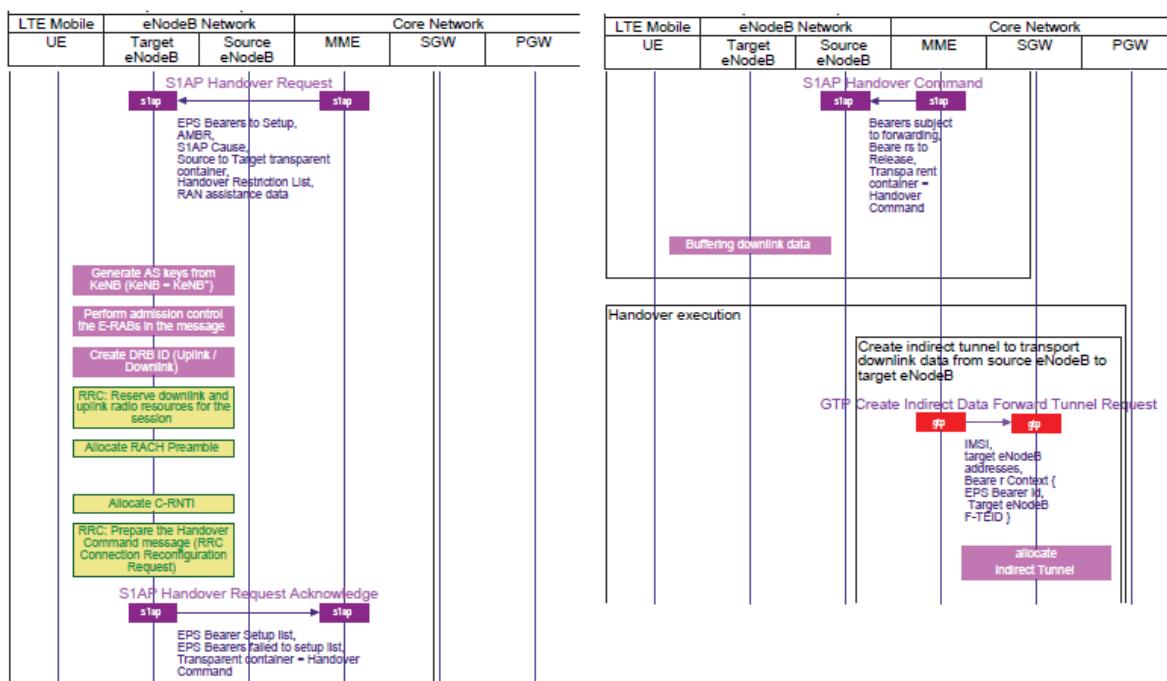


Slika 36. Razmjena poruka u S1 handoveru (1. dio), [10]

9. MME šalje poruku „Handover Request“ ciljnom eNodeB. Ova poruka stvara UE kontekst u ciljnom eNodeB, uključujući i informacije o nosiocima i osiguravanje konteksta. Za svaki EPS nosilac, parametri "Bearers to Setup" obuhvaćaju adresu SGV i uplink TEID za korisničku ravninu, kao i EPS Bearer QoS.
10. Provjera da li su resursi dostupni na ciljnom eNodeB da prihvati ovu sesiju.
11. Dodjela identifikatora dodijeljenih radio nosilaca za UL i DL.
12. Ciljni eNodeB izdvaja resurse za UE koji će se koristiti.
13. Ciljna eNodeB izdvaja RACH preambulu za UE. UE će koristiti ovu preambulu da pošalje slobodan RACH.
14. Novi C-RNTI je dodijeljen UE.
15. Poruka „Handover Request“ uključuje RACH preambulu koju treba poslati ka terminalu. Ova poruka sadrži informacije o dodijeljenim radio resursima.
16. Ciljni eNodeB odgovara MME-u sa porukom „Handover Request Acknowledge“. Ova poruka nosi ugnježđenu handover upravljačku poruku „RRC Connection Reconfiguration Request“ u transparentnom kontejneru. Parametar „EPS Bearer Setup list“ sadrži listu adresa i TEID identifikatora dodijeljenih ciljnom eNodeB za downlink saobraćaj po S1 U referentnoj točki i adrese i TEID-e za prijem podataka, ako je potrebno.
17. Izvorni MME šalje handover upravljačku (engl. *Handover Command*) poruku izvornom eNodeB. Parametar nosioci za prosljeđivanje (engl. *Bearers Subject*

(to Forwarding) obuhvaća spisak adresa i TEID-a namijenih za prosljeđivanje. Parametar nosioci za oslobođanje (engl. *Bearers to Release*) obuhvaća spisak nosilaca koji trebaju da budu oslobođeni.

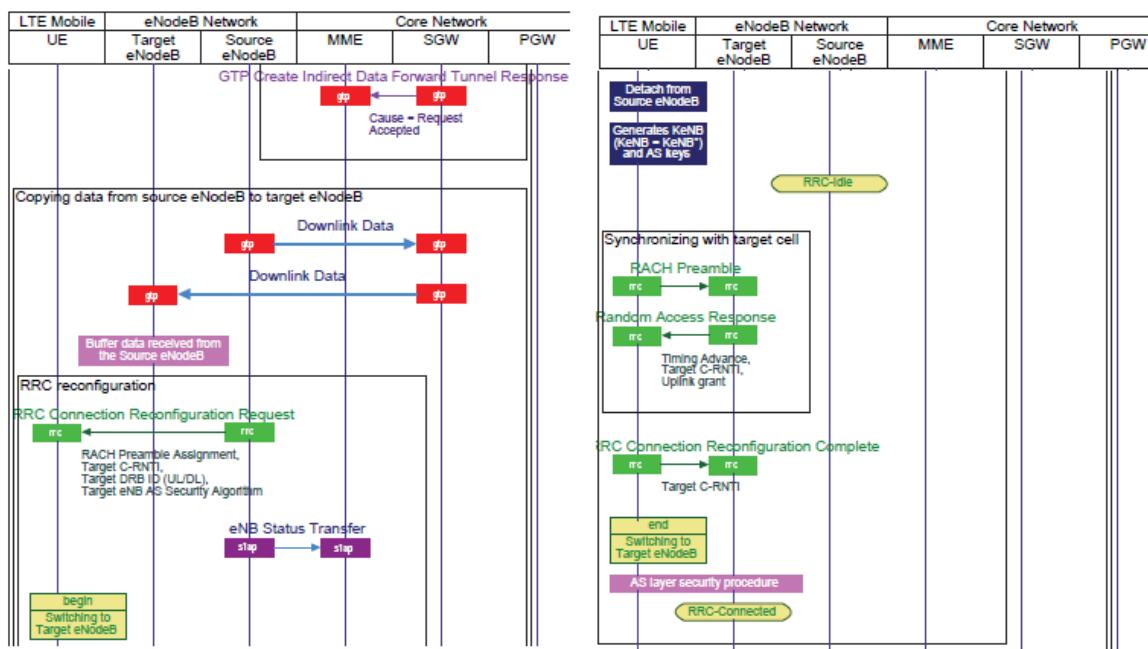
18. Ciljni eNodeB je spreman da spremi u među spremnik downlink podatke koji će biti primljeni u toku handovera.
19. Ne postoji X2 put između izvornog i ciljnog eNodeB-a, tako da treba da se uspostavi tunel između izvornog i ciljnog eNodeB-a putem SGV.
20. SGW kreira indirektni tunel.



Slika 37. Razmjena poruka u S1 handoveru (2. dio), [10]

21. DL podaci se prenose iz izvornog eNodeB prema ciljnom eNodeB preko upravo uspostavljenog indirektnog tunela.
22. Podaci se ne mogu poslati na cilj dok se ne završi RRC rekonfiguracija.
23. Izvorni eNodeB šalje handover komandu prema UE. Poruka sadrži novi C- RNTI i novi DRB ID. RACH preambula je također uključena u RACH kanal slobodnog pristupa. Po prijemu ove poruke UE će ukloniti bilo kakve EPS nosioce za koje nije dobila odgovarajuće EPS radio nosioce u ciljnoj ćeliji.
24. Izvorni eNodeB šalje ciljnom eNodeB poruku „Status Transfer“ preko oba MME-a, da bi prenijela PDCP i HFN status E- RAB-a za koje se očuvanje PDCP statusa primjenjuje.

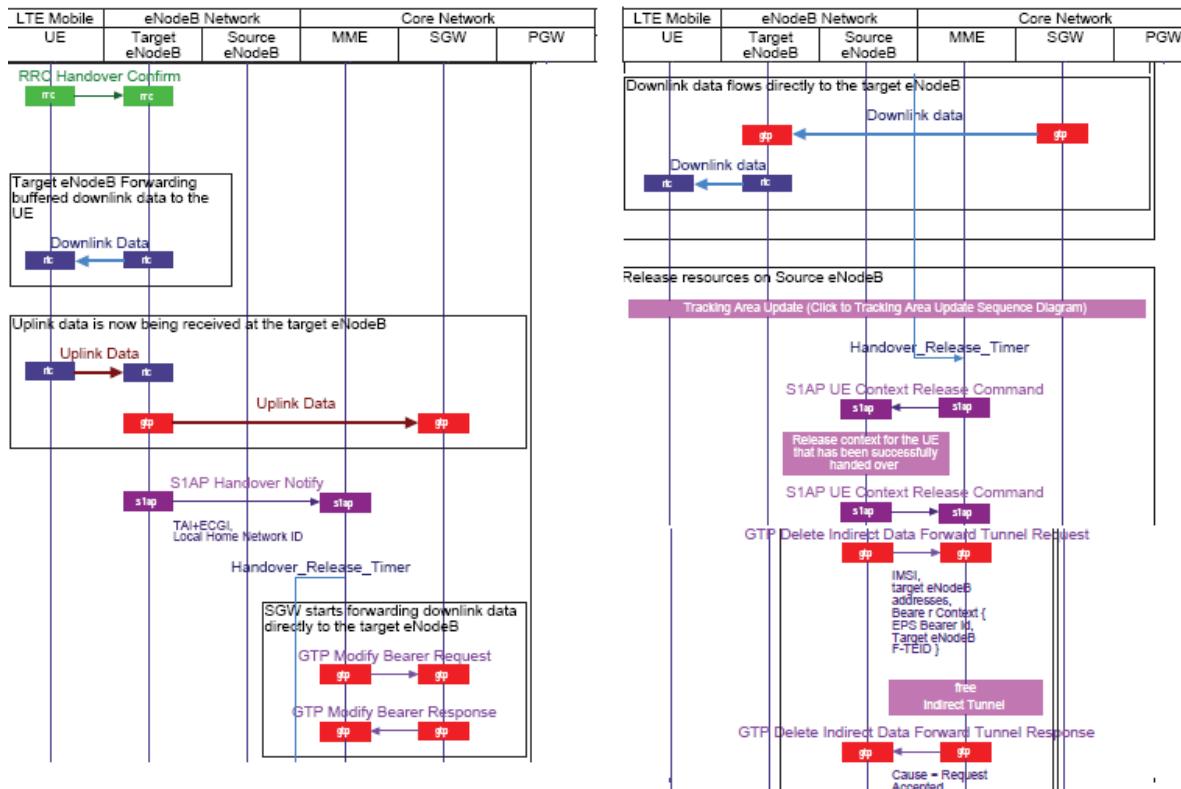
25. U međuvremenu, UE je primio handover komandu i vrši prelazak na novu ciljnu celiju.
26. U ovom trenutku, UE je odvojen od izvornog eNodeB, ali još uvijek nije komunicira sa ciljnim eNodeB. UE je u RRC - stanju mirovanja. UE koristi preambulu dodijeljenu u handover komandi da pošalje RACH ciljnom eNodeB.
27. Ciljni eNodeB prihvata zahtjev i odgovara sa podešavanjem vremena i odobrenjem UL resursa.
28. UE koristi dodijeljene resurse za prijenos poruke „Handover Confirm“ sa ugniježđenom porukom (engl. *RRC Connection Reconfiguration Complete*).
29. UE nije povezan sa ciljnim eNodeB. Vrši prijelaz u RRC CONNECTED.



Slika 38. Razmjena poruka u S1 handoveru (3. dio), [10]

30. Nakon što je UE uspješno sinkronizirana sa ciljnom celijom, ona šalje poruku „Handover Confirm“ ciljnom eNodeB. DL paketi upućeni iz izvornog eNodeB mogu se poslati na UE. Također, uplink paketi se mogu slati iz UE, koji se prosljeđuju ciljnom SGW i prema PDN GW.
31. Podaci u downlink među spremniku se šalju do terminala.
32. UL podaci se primaju od terminala.
33. UL podaci teku direktno od ciljnog eNodeB na SGW.
34. Ciljni eNodeB šalje poruku „Handover Notify“ ciljnom MME.

35. Handover je uspješan. Starta se timer za odloženo čišćenje resursa.
 36. Handover je uspješan. DL put može da bude prebačen od izvornog eNodeB na ciljni eNodeB.
 37. SGV je prebacio put do ciljnog eNodeB, tako da se DL podaci direktno dostavljaju ciljnom eNodeB.
 38. UE može vršiti TA ažuriranje oblasti zbog promjene ćelije.
 39. Timer za oslobođanje resursa (engl. *Resource Release*) je istekao. Sada resursi u izvornom eNodeB mogu da se oslobole.
 40. Inicira se oslobođanje resursa izvornog eNodeB.
 41. MME zahtjeva uklanjanje indirektnog tunela između izvornog i ciljnog eNodeB.
 42. SGW uklanja dati indirektni tunel između izvornog i ciljnog eNodeB-a.
- Razmjena poruka je dana na slici 39.



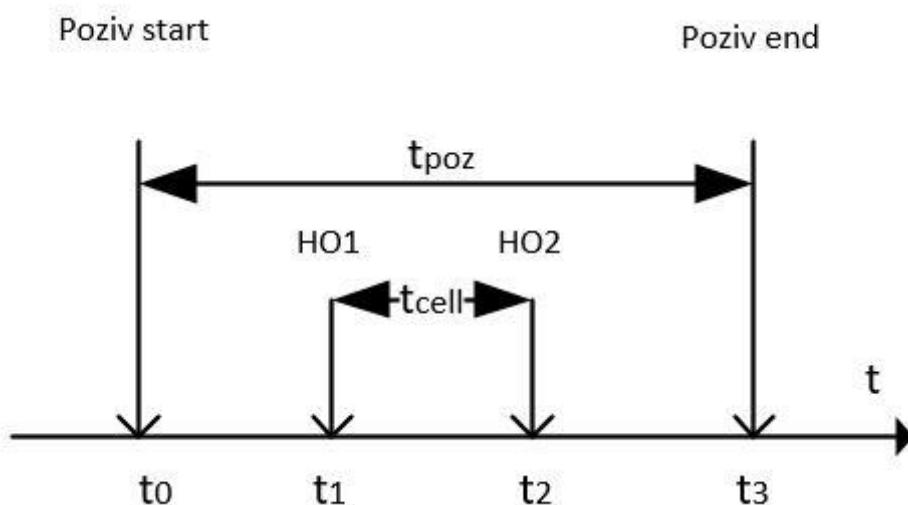
Slika 39. Razmjena poruka u S1 handoveru (4. dio), [10]

4.4 Prikupljanje signalizacijskih poruka

Kada se MS kreće iz područja jedne LA u drugu, NLU događaj je aktiviran kako bi obavijestio mrežu da je MS promijenio LA, LA naime, uvijek komunicira samo sa

jednim MSC-om. Sadržaj signalizacijskih poruka se sastoji od IMSI (engl. *International Mobile Subscriber Identity*), LAI identifikatora, identifikatora ćelije CI (engl. *Cell identity*) te vremena i razloga ažuriranja. Jednak sadržaj poruka se nalazi u signalizacijskim porukama generiranim periodnom aktivacijom PLU događaja.

Ukoliko se aktivan MS kreće iz područja pokrivanja jedne ćelije u područje druge dolazi do generiranja signalizacijskih poruka aktiviranih HO događajem, te ako MS bude aktivan na cijelom području jedne ćelije znači da će biti generirane dvije poruke, jedna za ulaz a druga za izlaz iz iste ćelije. Budući da generirane poruke sadrže vrijeme aktivacije te identifikacijsku oznaku ćelije, moguće je doći do informacije koliko dugo je aktivan MS boravio na području pokrivanja jedne ćelije te vremena ulaska tj. izlaska iz iste. Ovaj scenarij je dobar jer bi njegova analiza donesla najpreciznije rezultate. Njegov vremenski dijagram je prikazan na slici 40.

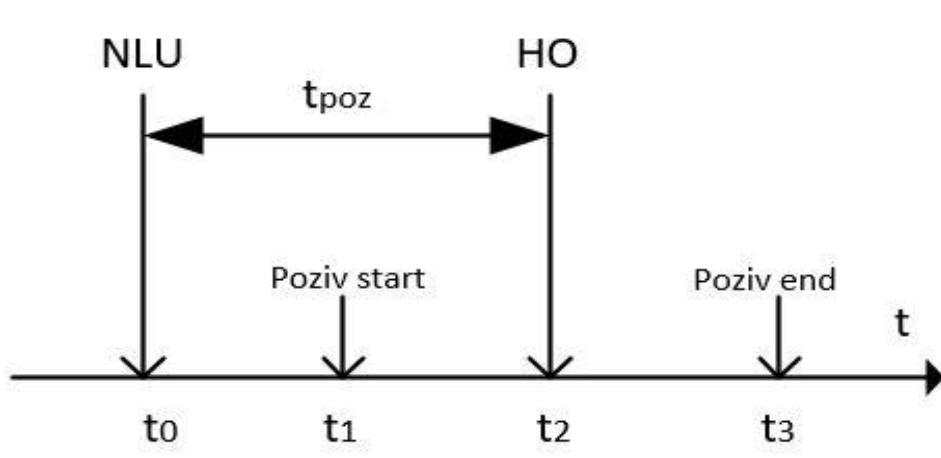


Slika 40. Vremenski dijagram HO HO scenarija

U drugim scenarijima kombinacijom nekih od signalizacijskih poruka poput HO, NLU, PLU i CA za upravljanje mobilnošću uređaja mogli bi povećati uzorak prijeko potreban za analizu. Kako bi to postigli u nastavku će se spominjati nova signalizacijska poruka koja obavještava MS da postoje podaci za prijenos prema MS-u DL ili iniciranje zahtjeva za slobodnim kanalom za slanje podataka od MS-a prema mreži UL. Svaki od ovih događaja se ponaša poput *Call Arrival* događaja samo što se ne radi o pozivu nego o podatkovnom prijenosu. Budući da su današnji zahtjevi korisnika uvelike usmjereni prema uslugama koji koriste podatkovni promet ovakvi događaji nisu rijetkost. U nastavku će biti opisane kombinacije signalizacijskih poruka

čiji bi sadržaj analizirali te upotrijebili za procjenu prometnih parametara na cestovnim prometnicama.

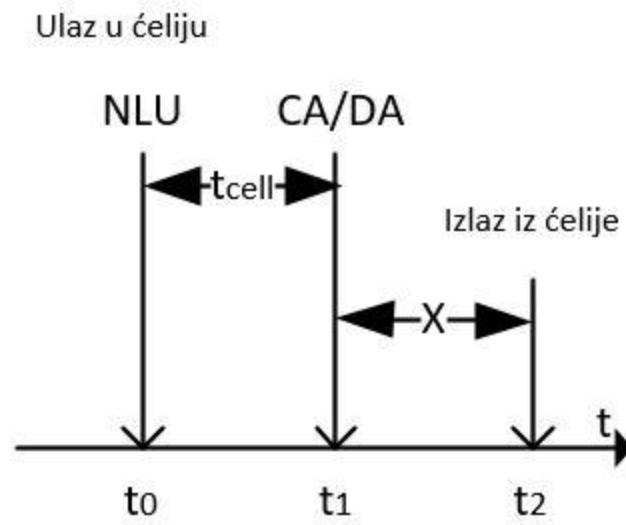
Kombinacijom NLU i HO događaja tj. kretanjem MS-a iz područja pokrivanja jednog RA, LA, TA u drugi RA, LA, TA u čijoj se prvoj ćeliji aktivira poziv koji traje minimalno do prolaska granice pokrivanja prve dvije ćelije u odredišnoj RA, LA, TA odnosno pojavljivanja HO događaja. Primjer ove kombinacije je prikazan na slici 41. a moguća je i kombinacija u obrnutom redoslijedu.



Slika 41. Vremenski dijagram NLU HO scenarija

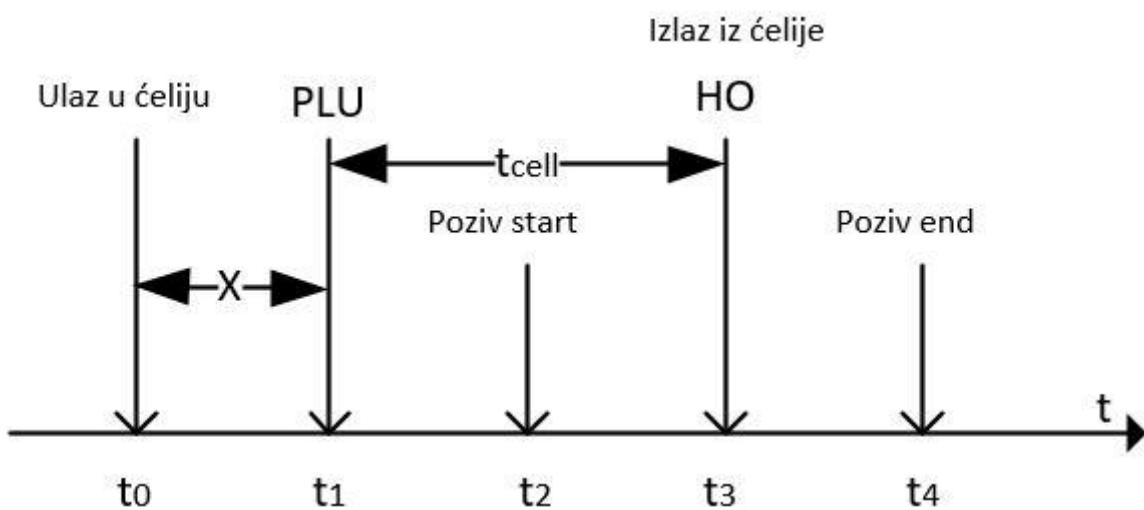
Analizom ovakve kombinacije događaja moguće je precizno odrediti vrijeme boravka MS-a na području pokrivanja jedne ćelije pod uvjetom da su generirane signalizacijske poruke iz susjednih ćelija (poznato mreži).

Kombinacijom NLU i CA odnosno DA (engl. *Data Arrival*) događaja tj. kretanjem MS-a iz područja pokrivanja jednog RA, LA, TA u drugi RA, LA, TA u čijoj se prvoj ćeliji aktivira poziv odnosno zahtjev za prijenosom podataka moguće je sa malo manjom preciznošću odrediti vrijeme boravka MS-a na području pokrivanja jedne ćelije pod uvjetom da su generirane signalizacijske poruke iz susjednih ćelija (poznato mreži). Primjer ove kombinacije je prikazan na slici 42. a moguća je i kombinacija u obrnutom redoslijedu.



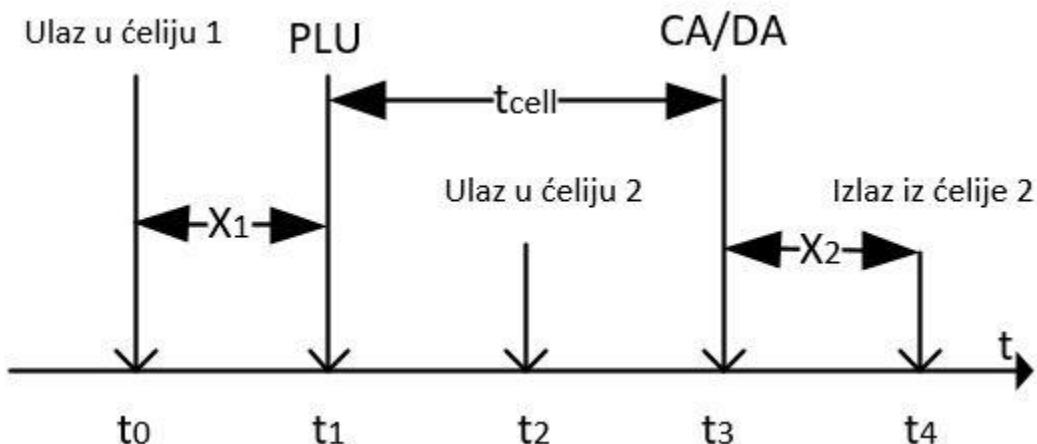
Slika 42 Vremenski dijagram NLU CA/DA scenarija

Kombinacijom PLU i HO događaja tj. aktiviranjem PLU događaja zbog isticanja pripadajućeg timera (ažuriranje lokacije) nakon kojega slijedi poziv koji traje minimalno do prolaska granice sa slijedećom susjednom čelijom odnosno aktivacijom HO događaja. Analizom ove kombinacije događaja moguće je sa malo manjom preciznošću odrediti vrijeme boravka MS-a na području pokrivanja jedne čelije pod uvjetom da su generirane signalizacijske poruke iz susjednih čelija (poznato mreži). Primjer ove kombinacije je prikazan na slici 43., a moguća je i kombinacija u obrnutom redoslijedu.



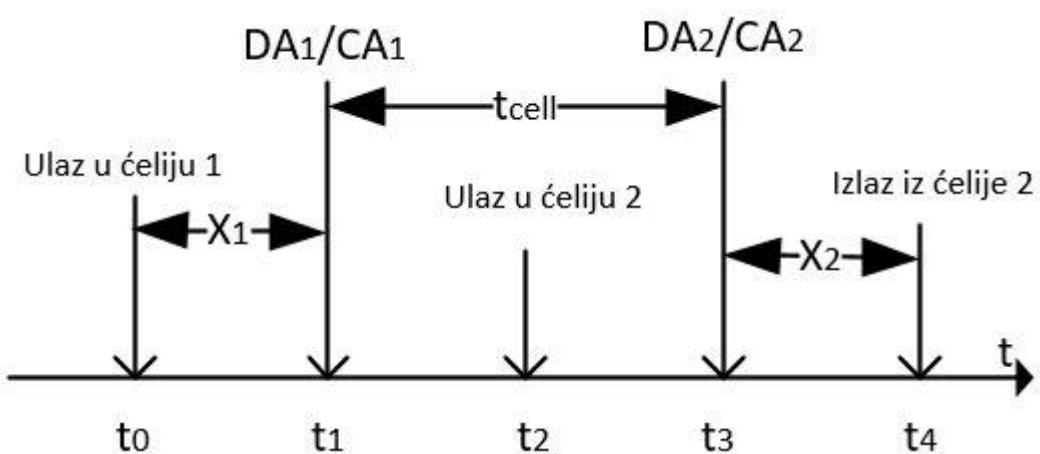
Slika 43. Vremenski dijagram PLU HO scenarija

Kombinacijom PLU i CA odnosno DA događaja tj. aktiviranjem PLU događaja zbog isticanja pripadajućeg timera (ažuriranje lokacije) nakon kojega slijedi poziv ili zahtjev za prijenosom podataka moguće je sa malom preciznošću odrediti vrijeme boravka MS-a na području pokrivanja dvije ćelije pod uvjetom da su generirane signalizacijske poruke iz susjednih ćelija (poznato mreži). Primjer ove kombinacije je prikazan na slici 44. a moguća je i kombinacija u obrnutom redoslijedu.



Slika 44. Vremenski dijagram PLU CA/DA scenarija

Kombinacijom dva DA, dva CA ili DA i CA događaja tj. aktiviranjem dva zahtjeva za prijenosom podataka na području pokrivanja dvije susjedne ćelije, aktiviranjem dva poziva na području pokrivanja dvije susjedne ćelije ili aktiviranjem poziva na području pokrivanja jedne ćelije te aktiviranjem zahtjeva za prijenosom podataka na području pokrivanja druge susjedne ćelije moguće je sa malom preciznošću odrediti vrijeme boravka MS-a na području pokrivanja dvije ćelije pod uvjetom da su generirane signalizacijske poruke iz susjednih ćelija (poznato mreži). Primjer ove kombinacije je prikazan na slici 45.

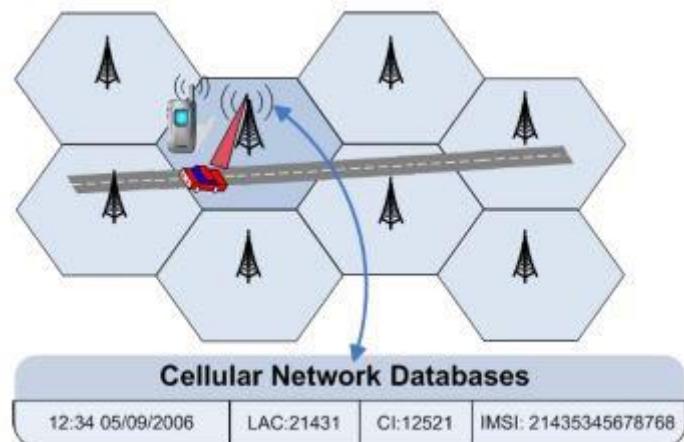


Slika 45. Vremenski dijagram CA/DA scenarija

Glavni nedostatak zadnja četiri scenarija je nepoznavanje jedne varijable tj. vremena izlaska odnosno ulaska u ćeliju. Moguće je određenim algoritmima i timerima procijeniti vrijeme x kako bi ovu kombinaciju signalizacijskih događaja uzeli u obzir za procjenu protoka na cestovnim prometnicama.

Aktivacijom CA, DA ili PLU događaja pokreće se timer te uzorak za procjenu ulazi u obzir samo ako je unutar određenog vremenskog perioda (varijabilno te ovisi o brzini generiranja HO događaja na granici pokrivanja susjednih ćelija) sustav primio signalizacijsku poruku iz susjednih ćelija. Budući da mreža ima geografske podatke o lokacijama ćelija moguće je pomoću redoslijeda pojavljivanja događaja odrediti smjer kretanja vozila.

Sve ove signalizacijske poruke automatski su pokrenute te služe za upravljanje mobilnošću mobilnog uređaja. Postoje mrežni čvorovi čiji je zadatak primanje tih poruka te na temelju njihovog sadržaja donose odluke i upravljaju sa mobilnošću uređaja. U tim čvorovima te pojedinim signalizacijskim kanalima moguće je presresti te poruke u stvarnom vremenu, analizirati te iskoristiti kao izvor podataka za razne ITS sustave. Neke od tih mrežnih čvorova navode se u slijedećem poglavljju. Na slici 46. je prikazano vozilo koje se kreće prometnicom pokrivenom signalom ćelija te neki od signalizacijskih podataka koji se sakupljaju putem mreže.



Slika 46. Signalizacijski podatci koji se sakupljaju putem mreže, [18]

4.4.1 Sučelja i mrežni čvorovi za sakupljanje signalizacijskih poruka

U današnje vrijeme u većim gradovima koristi se LTE-SAE arhitektura te sva signalizacija za upravljanje mobilnošću prolazi kroz MME (4g) i SGSN (3g) čvorove. Handover signalizacija se razmjenjuje između SGSN, MME, SGW i PGW funkcionalnih nosioca, koji mogu biti integrirani u istim hardverskim čvorovima.

Podsustav MME (engl. *Mobility Management Entity*) primarno je zadužen za realizaciju upravljačkih funkcija, koje omogućavaju: dostupnost i mobilnost i, tj. kretanje korisničkog uređaja kroz E-UTRAN pristupnu tehnologiju. Ove funkcionalnosti u 2G/3G pristupnim mrežama su smještene unutar SGSN-a, te se često u izvedbi realizacije jedinstvenog hardverskog sustava može naći integrirana SGSN/MME funkcionalnost. Signalizaciju i interakciju sa SGSN-om, tzv. S3 signalizacija- koja pruža podršku upravljanja kretanjem terminalnog uređaja, a kroz naslijedene 3GPP tehnologije, ostvarujući interakcije sa 3G SGSN sustavom. Za slučaj da su SGSN i MME funkcija ugrađene na istom elementu onda je S3 referentna interakcija određena ugrađenim funkcijama

MME sustav ostvaruje interakciju sa naslijedenim SGSN sustavom, koji funkcionalno gledano ostvaruje niz navedenih funkcionalnosti za 2G i 3G mreže. Da bi mogao koegzistirati sa EPC uređenjem, SGSN mora proširiti skup svojih funkcija za razmjenu signalizacijskih poruka sa EPC nosiocima, selekciju nadležnog S-GW i P-GW, te selekciju nadležnog MME sustava za procedure mobilnosti i handover. Ova

proširenja su određena kroz S4 sučeljnu podršku te definirani kroz Rel 8 i daljnje specifikacije. [10]

Dodatno, S-GW učestvuje u realizaciji handovera koji se događaju među više eNodeB, te između tehnologija GRAN/UTRAN/E-UTRAN. Neposredno nakon preusmjeravanja korisničke putanje S-GW šalje tzv. "End" oznake SGSN ili RNC/BSC te eNodeB podsustavima.

U jezgrenim mrežama druge generacije SGSN pristupni čvor poslužuje mobilnu stanicu. SGSN je zadužen za MM (engl. *Mobility Management*) MS-a. Također je zadužen za šifriranje paketno orijentiranih podataka, jer je BTS samo odgovoran za šifriranje ne paketno orijentiranih podataka. Logički link je transparentan kroz BSC i sva signalizacija usmjerena ka SGSN-u će ići od MS-a kroz BSC prema SGSN-u, i obrnuto.

Kod prijenosa podataka servisni čvorovi SGSN i GGSN usmjeravaju pakete podataka na pravu adresu. Preko GTP-U tunela (engl. *Tunneling Protocol*) paketi podataka se transportiraju između pristupne radio-mreže i GGSN čvora koji ih šalje prema mreži za prijenos paketa podataka.

Za slučaj 3G SGSN-a koji podržava S4 sučelje, S-GW predstavlja točku inter konekcije te dalje preusmjerava promet prema P-GW. S4 podrška od sučelja je neophodna ukoliko se želi osigurati mobilnost na nivou svih 3GPP tehnologija u svim smjerovima. [10]

Kao što je navedeno signalizacija se razmjenjuje između SGSN, MME, SGW i PGW funkcionalnih nosioca, koji mogu biti integrirani u istim hardverskim čvorovima. [8] U tim čvorovima postoje baze podataka koje sadrže sve ažurne podatke potrebne za upravljanje mobilnošću uređaja. Samom pojавom signalizacijske poruke sustav bi trebao filtrirati samo one poruke koje sadrže informaciju o cilijama koje pokrivaju cestovne prometnice, te navedenim algoritmima i metodama eliminirati stacionarne korisnike od mobilnih. Nakon provedene analize sustav bi trebao anonimizirati oznake te zaštiti privatnost korisnika. Takvi zaštićeni podaci se spremaju u posebno odvojene baze podataka te korištenjem okidača, transakcija i procedura analiziraju te prikazuju u obliku prometnih parametara na dijelovima prometnica pokrivenih signalom baznih stanica.

4.4.2 Privatnost i anonimnost prikupljenih podataka

Korištenje podataka iz mobilnih mreža uključuje suradnju korisnika koji ih pruža. Tako da bi trebali sa aspekta privatnosti razjasniti sustav. Svi korisnici usluga koje pružaju mobilni operateri u pravnom okviru su uređeni propisima nadležnih za zaštitu privatnosti telefonskih pretplatnika. Podaci o lokaciji uređaja će biti primljeni i obrađeni na adekvatan i anonimiziran način, u skladu s važećim propisima. Isto će se dogoditi s bilo kojom drugom vrstom informacije uzete iz mobilne mreže. Stoga će korištenje podataka iz uređaja biti legalno te neće prekršiti zakon o privatnoj zaštiti podataka, budući da anonimni podaci ne povezuju informacije sa specifičnim korisnicima. Cilj je samo dobiti informacije od anonimnih sondi koje se kreću kroz prometnu mrežu, neovisno o karakteristikama pretplatnika ili druge vrste informacije povezane s njim. [1]

S druge strane, protuzakonito je da netko koristi mobitel za vrijeme vožnje prema zakonu mnogih zemalja. Stoga dobivanje podataka iz telefona u uporabi (aktivni uređaji) u vozilima nije podržan. Međutim, ako je jedan putnik sa mobilnim uređajem postoji u vozilu, vozilo se također može smatrati sondom, bez povrede zakona.

Kako bi i mobilni korisnici i mreža bili zaštićeni ETSI² (engl. *European Telecommunications Standard Institute*) je definirao osnovne sigurnosne ciljeve koji moraju biti ostvareni u GSM mreži. Ti ciljevi su sljedeći: [8]

- Tajnost identiteta pretplatnika - Pruža zaštitu od lociranja pretplatnika prislушкиvanjem razmjene signalizacijskih poruka na radio sučelju;
- Autentikacija identiteta pretplatnika - Štiti mrežu od neovlaštene upotrebe i mobilnog pretplatnika od lažnog predstavljanja od strane neovlaštenog napadača;
- Povjerljivost pretplatnikovih podataka na radio sučelju - Osigurava se tajnost podataka tako što se glas ili podaci šifriraju (Ciphering);

² ETSI je neprofitna organizacija čija je zadaća producirati telekomunikacijske standarde koji će se koristiti u Evropi u budućnosti.

- Povjerljivost ne konekcijskih podataka na radio sučelju - Osigurava se tajnost preplatničkih podataka koji se prenose na signalizacijskim kanalima (npr. SMS poruke) tako što se šifriraju;
- Povjerljivost signalizacijskih informacija - Osigurava se tajnost signalizacijskih podataka nakon što se uspostavi veza. To mogu biti: IMSI, IMEI, itd.

Ciphering je proces kontinuiranog šifriranja svih podataka koje MS odašilja. Isto to čini i BTS kada šalje signale MS-i. Kako su ključevi za šifriranje poznati samo MS-i i BTS-i prisluškivanje tuđih razgovora je znatno otežano i bez dodatne opreme, u pravilu, nemoguće. [10]

5 SIMULACIJA POSTUPKA PRIKUPLJANJA PODATAKA NA SEGMENTU PROMETNE MREŽE

Polazna točka za simulaciju je model statične uravnotežene dodjele s Nizozemskom kao fokusom istraživanja te prosječan glavni prometni sat kao njegov vremenski period. Ovaj model izračunava intenzitet prometa u satu te druge prometne parametre. Osim toga, dosljednost je postignuta između usmjeravanja dionice, prebacivanje intenziteta vezanog uz vrijeme putovanja i vremena provedenog na putu. Izvorišno odredišna matrica i cestovna mreža koriste se uz dopuštenje "TNO Inro" navodeći SMART prometni model. [19]

5.1 Generiranje putanje i mjernih izvješća

Zadani model generira put i težinu satnice puta. Na temelju tih podataka pojedinačne putanje su izračunate za vrijeme perioda promatranja. Zbog razloga efikasnosti putanje se računaju samo za ispitne vožnje. Broj ispitanih putovanja od izvorišta do odredišta je određen nasumičnim odabirom na principu broja putovanja i vremena provedenog na putu za svako putovanje. Ove ispitne vožnje prijedlažu rutu na temelju unaprijed izračunatih prilika statičnih ruta iz statičkog modela. Prolazno vrijeme svakog vozila na ruti biti će izračunato raspodjelom vjerojatnosti oko vremena provedenog na putu. [19]

Tele operateri koji promatraju mobilne uređaje u svrhu održavanja mobilnosti, trebaju kontinuirano nadzirati nekolicinu parametara da bi održali vezu. Zbog svih ovih parametara, te mogućih dodatnih parametara sa vremenskim intervalom, generirana su mjerna izvješća koja stvaraju seriju zapažanja na principu kojeg se može procijeniti brzina vozila koje se uzima u obzir. [19]

Simulacija generira mjerne izvještaje u nekoliko koraka:

- Periodi u kojima su inicirani pozivi su generirani nasumično,
- zatim su određeni trenutci u kojima su generirana mjerna izvješća,
- sadržaj mjernih izvješća je određen na temelju položaja na kojem se vozilo nalazi u trenutku kad je mjerne izvješće generirano.

5.2 Map matching algoritam

Map matching je algoritam koji omogućava smještanje podataka o lokaciji vozila na digitalnu kartu [13]. Osnovna podjela je na:

- algoritme koji rade u stvarnom vremenu i
- algoritme koji se izvršavaju nad prikupljenim podacima.

u literaturi se sugeriraju različiti pristupi:

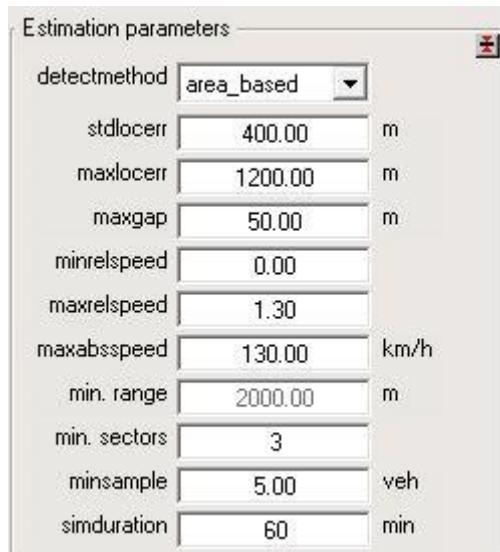
- polu deterministički pristup,
- probabilistički pristup,
- pristup pomoću neizrazite logike,
- pristup metodama prepoznavanja oblika (neuronske mreže),

Bitna stavka kod algoritama koji se izvode u stvarnom vremenu je jednostavnost i brzina izvođenja pa je potrebno načiniti kompromise oko same preciznosti u cilju efikasnosti. [20]

U simulaciji map matching algoritam dodjeljuje svakom mjernom izvješću poziciju na mreži. Karakteristika GSM podataka o lokaciji je relativno neprecizno pozicioniranje. Udaljenost od bazne stanice mreže zabilježena je u koracima od 500 metara, dok je kut zabilježen na razini sektora, pri čemu većina baznih stanica koristi tri sektora. U ovom slučaju, to je niska rezolucija. Tipična vrijednost za standardnu devijaciju pogreške u ovom slučaju je 400 metara. [19]

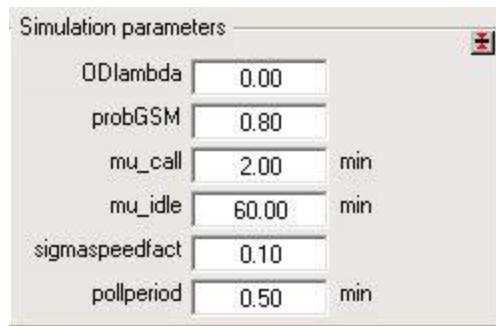
5.3 Podešavanje ulaznih parametara

Podešavanjem parametara za prikaz procijenjenih izlaznih parametara uređujemo minimalne odnosno maksimalne vrijednosti koje direktno utječu na rezultat simulacije. Ti parametri prikazani su na slici 46. [21]



Slika 47. Parametri za procjenu

Unosom simulacijskih parametara zapravo popunjavamo kartu sa nasumičnim točkama koje predstavljaju mobilne uređaje. Ti parametri prikazani su na slici 47.



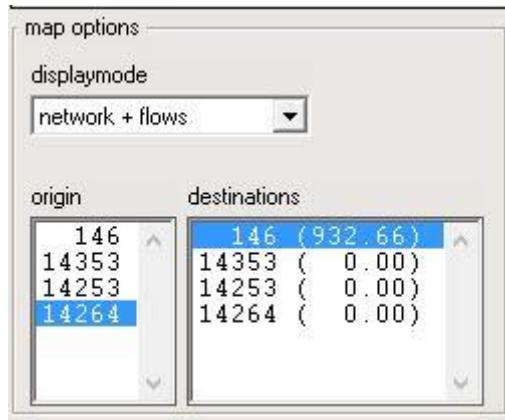
Slika 48. Simulacijski parametri

Mijenjanjem parametara karte može se utjecati na prikaz parametara koje karta prikazuje. Postoje četiri karte za prikaz a to su:

- Network je najjednostavniji prikaz karte, na njemu je prikazana samo struktura cestovnih prometnica,
- Network + flows prikazuje strukturu cestovnih prometnica na karti te dodatno prikazuje prometne parametre na svim prometnicama,
- Network + origin based flows prikazuje strukturu cestovnih prometnica te dodatno prikazuje prometne parametre za jedno izvorište koje korisnik treba odabrati,

- Network + OD flows prikazuje strukturu cestovnih prometnica te dodatno prikazuje prometne parametre za jedan izvorišno odredišni par koji korisnik treba odabrati. [21]

Sučelje da odabir parametara karte je prikazano na slici 48.



Slika 49. Parametri karte

Pomoću sučelja za odabir parametara puta mogu se provjeriti detalji svake vožnje. Ova funkcionalnost se koristi pomoću dvije liste. Gornja lista sadrži popis svih vožnji na cestovnoj mreži generiranih simulacijom. Svaka vožnja sadrži identifikacijsku oznaku, oznaku izvorišta i odredišta vožnje, broj veza na ruti te broj telefonskih poziva u zadanom simulacijskom vremenskom periodu. [21] Kada je odabrana vožnja na prvoj listi na karti se prikazuju slijedeći elementi:

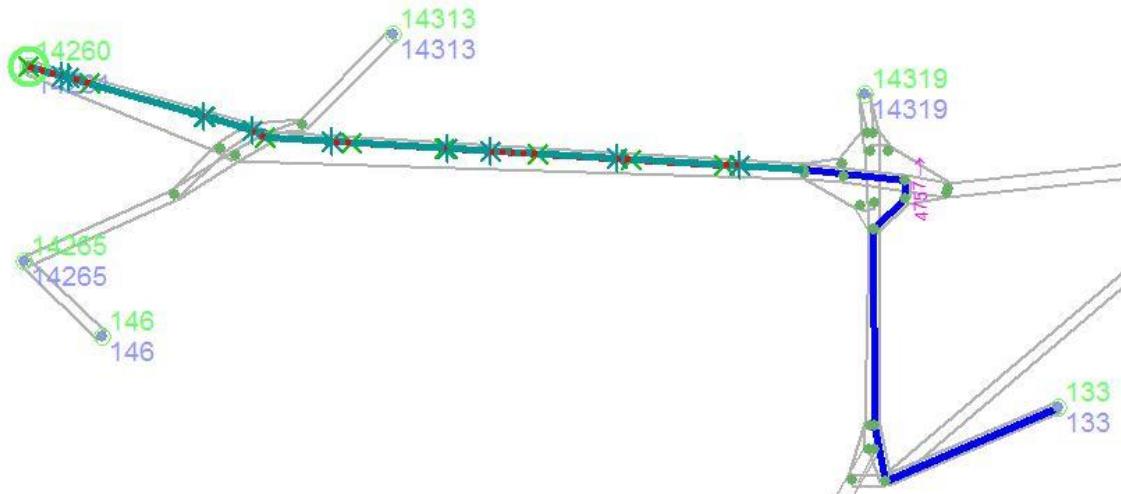
- Ruta je prikazana plavom bojom uzduž prometnice;
- Crvenom bojom su prikazani dijelovi prometnice na kojoj je bio aktiviran telefonski poziv;
- Zelenim križevima su označene lokacije na kojima su generirana mjerna izvješća;
- Nakon što je odrađen map matching proces plavim zvjezdicama su označene lokacije vozila koja nisu stacionarna;
- Svjetlo plavom bojom su označene rute kojima je map matching proces dodijelio vozila.

U nastavku na slici 49. su prikazani parametri puta, dok je na slici 50. prikazan vizualni prikaz parametara puta

| Trip details | | | | | | |
|--------------|-----|-------|--------|--------|--|--|
| ID | Org | > Dst | #links | #calls | | |
| 263 | 136 | 14073 | 2 | 1 | | |
| 264 | 136 | 14073 | 2 | 1 | | |
| 265 | 136 | 14073 | 2 | 1 | | |
| 266 | 136 | 14073 | 2 | 1 | | |
| 267 | 136 | 14073 | 2 | 1 | | |
| 268 | 136 | 14073 | 2 | 1 | | |

| Link MeanTT ActTT CumTT [min] | | | | | | |
|-------------------------------|------|------|------|--|--|--|
| 136 | 2.13 | 1.54 | 1.54 | | | |
| 10615 | 3.57 | 3.25 | 4.79 | | | |

Slika 50. Parametri puta

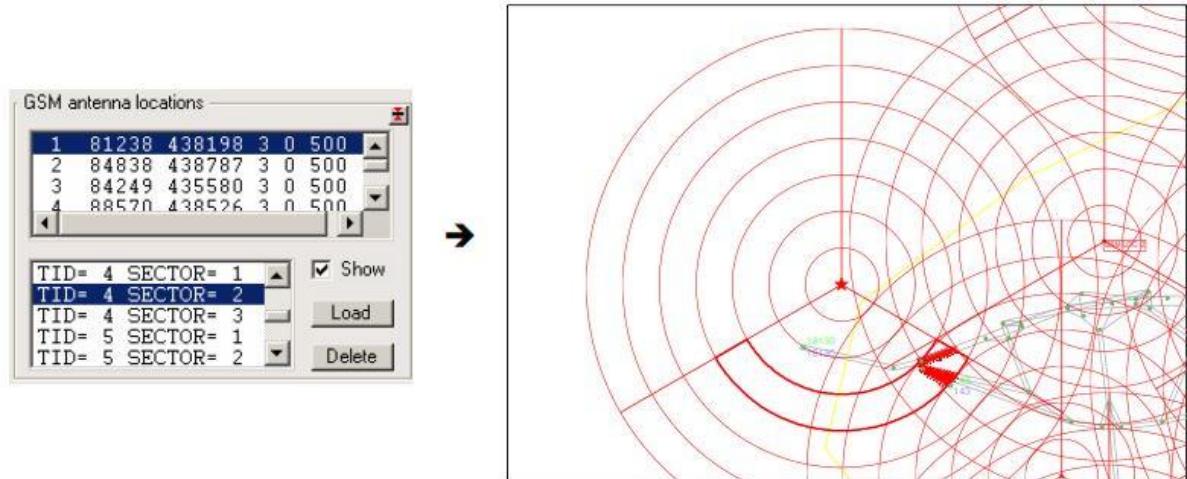


Slika 51. Vizualni prikaz parametara puta

Lokacijski parametri GSM antena su prikazani na slici 51. Podešavanjem ovih parametara moguće je postaviti slijedeće vrijednosti: [21]

- Lokaciju bazne stanice sa X i Y koordinatom;
- Broj sektora u ćeliji;
- Početni kut prvog sektora;
- Veličina koraka za TA vrijednost;
- Maksimalni broj koraka za TA vrijednost.

Provjeravanje dometa ćelije može se obaviti označavanjem kućice „show“, crvenom zvjezdicom je prikazana lokacija bazne stanice a koncentričnim kružnicama su označeni koraci za TA vrijednost. Označavanjem kućice „show“ možemo provjeriti pod čije područje pokrivanja spada vozilo, pod koji sektor ćelije pripada te njegova pretpostavljena TA vrijednost. [21]



Slika 52. Lokacijski parametri GSM antena

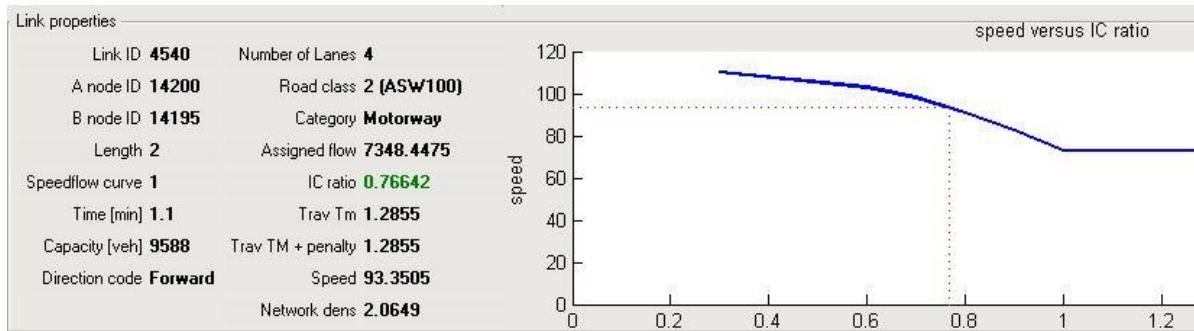
Simulacija prometnog modela se pokreće u sljedeća tri koraka: [21]

- Odabirom padajućeg izbornika za simulaciju na gornjem djelu sučelja odabiremo opciju „Simulate probe data“ pomoću koje popunjavamo kartu sa nasumičnim lokacijama mobilnih uređaja;
- Zatim u istom padajućem izborniku odabiremo opciju „Map-match probe data“ pomoću koje odvajamo stacionarne od mobilnih korisnika;
- Na kraju u istom padajućem izborniku odabiremo opciju „Estimate speed and flow“.

5.4 Prikaz izlaznih prometnih parametara

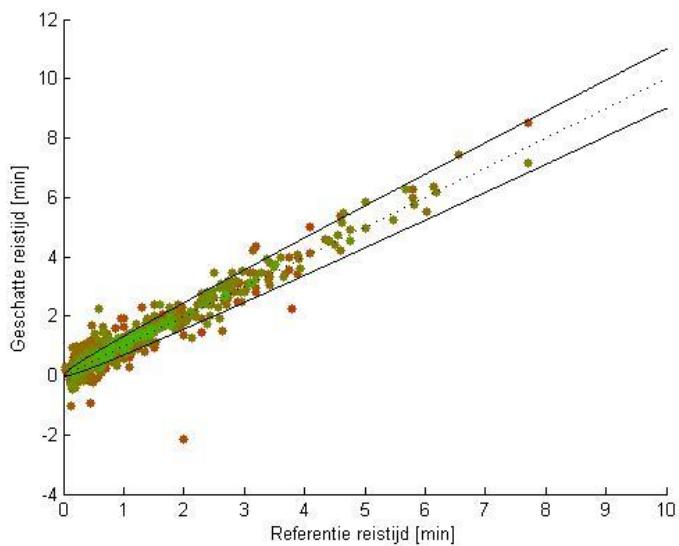
Na svakoj vezi rute je definiran i izračunat veliki broj atributa. Veze mogu biti odabrane na karti ili u pripadajućem sučelju za pronašetak rute. Kada je odabrana jedna ili više veza aktivira se sučelje „Link properties“ na kojemu su prikazani svi

prometni parametri veze prometnice. Na slici 52. su prikazani numerički i grafički prikaz prometnih parametara na odabranoj vezi rute. [21]



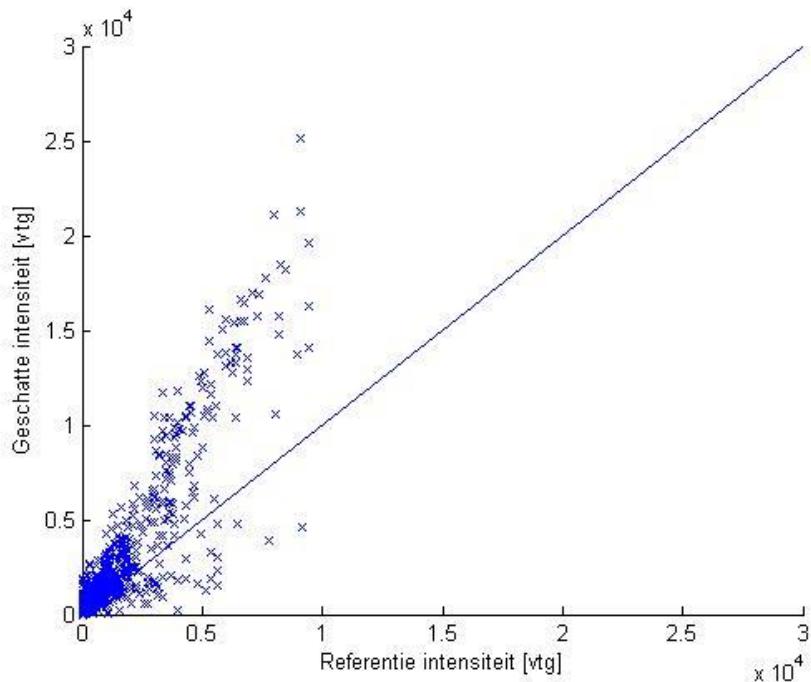
Slika 53. Numerički i grafički prikaz prometnih parametara na vezi

U nastavku su prikazani razni grafički pokazatelji prometnih parametara u prometnoj mreži. Odabirom „Graphs“ padajućeg izbornika prikazuju se svi grafovi i histogrami. Na slici 53. prikazana je usporedba simuliranog i procijenjenog vremena prolaska vezom na ruti prometnice. Graf može biti prikazan za bilo koju kategoriju prometnice odnosno sve prometnice. Boja točke u grafu označava koliko je vozila uzeto u obzir za procjenu vremena prolaska vezom na dijelu prometnice. Ukoliko je točka zelenija uzeto je u obzir više vozila nego da je crvenija. Graf je moguće uvećati odabirom dijela koji nas zanima dok odabirom točke na grafu se prikazuje ID oznaka veze. [21]



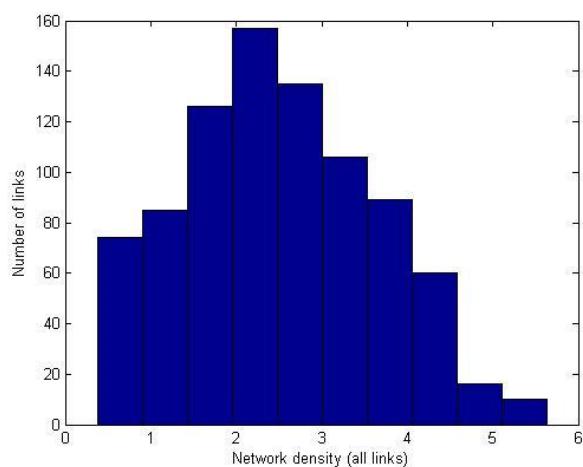
Slika 54. Usporedba simuliranog i procijenjenog vremena prolaska vezom

Na slici 54. je prikazana usporedba simuliranog i procijenjenog protoka na vezi. Odabirom križića na grafu prikazuje se ID oznaka pripadajuće veze.



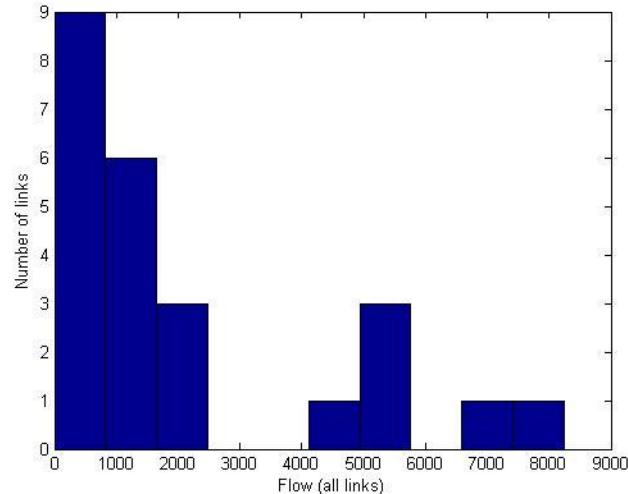
Slika 55. Usporedba simuliranog i procijenjenog protoka na vezi

Histogram je stupčasti grafikon na kojem se prikazuju podaci o učestalosti pojavljivanja. Na slici 55. prikazan je histogram gustoće prometa na svim vezama u mreži.



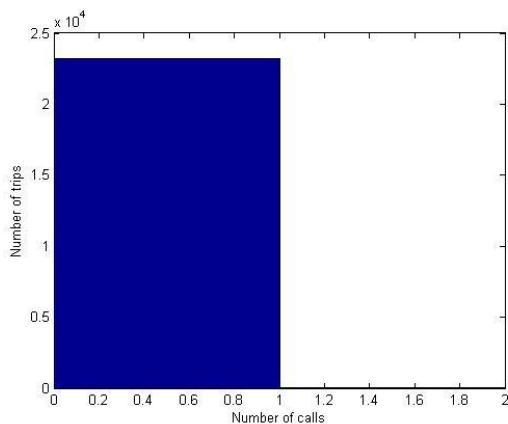
Slika 56. Histogram gustoće prometa na svim vezama u mreži

Na slici 56. prikazan je histogram protoka prometa na svim vezama u mreži. Radi lakšeg očitanja grafa odabirom dijela histograma koji nas zanima moguće je uvećati stupce i pripadajuću skalu.

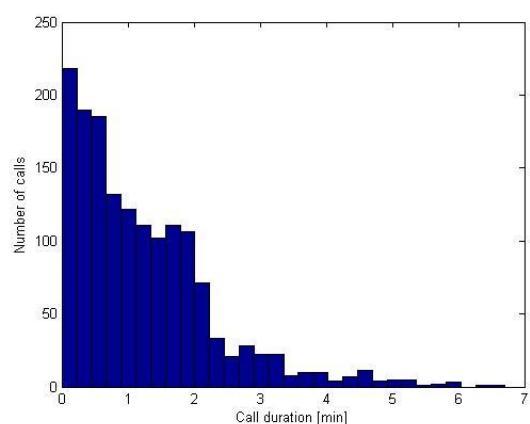


Slika 57. Histogram protoka prometa na svim vezama u mreži

Na slijedeća dva histograma (slike 57. i 58.) prikazane su distribucije upućenih odnosno primljenih poziva te trajanje tih poziva. Radi lakšeg očitanja grafa odabirom dijela histograma koji nas zanima moguće je uvećati stupce i pripadajuću skalu.



Slika 58. Histogram broja generiranih poziva



Slika 59. Histogram trajanja poziva

6 ODREĐIVANJE PARAMETRA ZAGUŠENJA

Kako bi analizirali sakupljene podatke sustav bi trebao eliminirati one podatke koje odstupaju od varijabilnih referentnih vrijednosti. On će to učiniti raznim filterima i timerima. Kao što je navedeno u poglavlju 4.4 sakupljene podatke možemo podijeliti u tri kategorije ovisno o stupnju pogreške korištenog podatka tj. poznavanja svih vremena ulazaka odnosno izlazaka iz ćelije koji se generiraju samo kod HO i NLU događaja. Te kategorije su:

1. Najmanji stupanj pogreške – podaci koji koriste HO i NLU događaje.
2. Srednji stupanj pogreške – podaci koji koriste barem jedan NLU ili HO, i CA, DA odnosno PLU događaje (nepoznato jedno vrijeme ulaska odnosno izlaska iz ćelije)
3. Najveći stupanj pogreške – podaci koji koriste PLU, CA, DA događaje (nepoznata dva vremena ulaska odnosno izlaska iz ćelije)

Podaci za analizu se prvo uzimaju iz prve kategorije u kojoj je najmanji stupanj pogreške, ukoliko sustav nema dovoljan broj uzoraka iz prve kategorije on će koristiti podatke iz druge odnosno treće kategorije kako bi osigurao dovoljan broj uzoraka za analizu.

Kako bi sustav maksimalno umanjio stupanj pogreške u drugoj i trećoj kategoriji vrši se slijedeća procedura. Aktivacijom CA, DA ili PLU događaja pokreće se timer te uzorak za procjenu ulazi u obzir samo ako je unutar određenog vremenskog perioda (varijabilno te ovisi o brzini generiranja HO događaja na granici pokrivanja susjednih ćelija) sustav primio bilo koju signalizacijsku poruku iz susjednih ćelija.

Budući da mreža ima geografske podatke o lokacijama ćelija moguće je pomoću redoslijeda pojavljivanja događaja odrediti smjer kretanja vozila.

6.1 Protok

Budući da definicija protoka vozila predstavlja broj vozila koja prolazi kroz točku na djelu prometnice u zadanim vremenskim periodu vrlo jednostavno je odrediti

protok prebrojavanjem signalizacijskih događaja prve kategorije sa područja pokrivanja jedne ćelije u zadanom vremenskom periodu.

6.2 Gustoća

Kao što je navedeno u poglavlju 2.2 gustoća prometa je definirana kao broj vozila koja zauzimaju određenu duljinu trake ili prometnicu u određenom trenutku, osim stacionarnih vozila. Obično se izražava kao broj vozila po kilometru (voz/km). Izravno mjerjenje gustoće je zahtjevno, jer zahtijeva različite fiksne mjerne stanice instalirane na značajno dugačke autoceste što kod CFCD ne predstavlja nikakav problem budući da su prometnice u potpunosti pokrivene signalom mobilnih mreža.

Budući da sustav za upravljanje mobilnošću MS-a sadrži podatke o lokacijama aktivnih korisnika na području pokrivanja jedne ćelije moguće je analizom tih podataka na način da se eliminiraju stacionarni korisnici od mobilnih odrediti gustoću vozila na dijelu prometnice pokrivene signalom jedne ćelije.

U današnje vrijeme operateri mobilnih mreža na području velikih gradova sa izraženim cestovnim prometom optimiziraju sustav na način da usmjeravaju signal na područje cestovne prometnice tako da konačni oblik ćelije poprima oblik elipse što nam uvelike olakšava eliminiranje stacionarnih korisnika.

6.3 Brzina

Brzina kretanja vozila po prometnici se definira kao pređeni put vozila u zadanom vremenskom periodu. Budući da je sustavu poznata duljina dijela prometnice omeđena granicama pokrivanja pojedine ćelije jedina nepoznata varijabla za dobivanje srednje brzine vozila na tome dijelu prometnice je vrijeme potrebno da vozilo prođe tim dijelom prometnice.

Određivanje srednjeg vremena prolaska dijela prometnice pokrivenog signalom jedne ćelije vrši se uzimanjem fiksnog broja uzoraka iz tri kategorije navedene na početku poglavlja. U prve dvije kategorije uzima se podatak o provedenom vremenu unutar jedne ćelije dok treća kategorija sadrži informaciju o vremenu boravka na dvije ćelije. Budući da je broj uzoraka fiksan ukoliko nema dovoljno podataka prve

kategorije, sustav će uzimati podatke iz druge odnosno treće kategorije. Ukoliko sustav uzme podatak iz treće kategorije podijeliti će ga sa dva budući da on sadrži informaciju o boravku na području dvije ćelije. Ukoliko podatak odstupa od nominalnih vrijednosti on će biti odbačen.

7 ZAKLJUČAK

Skoro sva dosadašnja istraživanja na temu prikupljanja CFCD podataka putem mobilnih mreža usmjereni su prema mobilnim uređajima sa aktivnom uslugom poziva. U današnje vrijeme došlo je do velikih korisničkih zahtjeva za uslugom prijenosa podataka u kojem pravcu su i razvijane nove generacije mobilnih mreža. Učestalost pojavljivanja signalizacijskih događaja koje generiraju mobilni uređaji je velika zbog velikog broja aplikacija koje u pozadini komuniciraju sa mrežom te stvarno vremenskih usluga. Ovi događaji uglavnom obuhvaćaju poruke generirane za trenutno korištene sustave koji koriste FCD metode sakupljanja podataka, ukoliko se za njihov prijenos koristi sustav mobilnih mreža (npr. Google maps i Waze). Kako bi povećali preciznost i efektivnost lociranja vozila u ITS sustavu pomoći mobilnih mreža bilo bi dobro u jednoj od budućih generacija pristupnih mobilnih mreža implementirati ITS sustav koji će koristiti sinergiju oba sustava u svrhu povećanja kvalitete života putnika, većeg stupnja sigurnosti odnosno smanjiti broj nesreća te u konačnici skratiti vrijeme putovanja.

POPIS LITERATURE

- [1] N. Caceres, J. Wideberg i F. Banitez, »Review of traffic data estimations extracted from cellular networks,« Listopad 2008.. [Mrežno]. Dostupno na: https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Benitez/publication/3481045_Review_of_traffic_data_estimations_extracted_from_cellular_networks/links/00b4953cd450120c88000000.pdf?origin=publication_list. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [2] N. Caceres, L. Romero, F. Benitez i J. Del Castillo, »Traffic flow estimation models using cellular data,« Rujan 2012.. [Mrežno]. Dostupno na: https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Benitez/publication/260543536_Traffic_Flow_Estimation_Models_Using_Cellular_Phone_Data/links/0deec53cd4343d740e000000.pdf?origin=publication_list. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [3] C.-H. Chen, H.-C. Chang, C.-Y. Su, C.-C. Lo i H.-F. Lin, »Traffic speed estimation based on normal location updates,« Travanj 2013.. [Mrežno]. Dostupno na: <https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/22345/1/00032035050002.pdf>. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [4] C. Chen, »Traffic Information Estimation Methods Based on Cellular Network Data,« 2013.. [Mrežno]. Dostupno na: http://thesis.topco-global.com/TopcoTRC/2014_Thesis/AI0012.pdf. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [5] L. Wei-Kuang , K. Ting-Huan i C. Chi-Hua, »Vehicle Speed Estimation and Forecasting Methods,« Veljača 2016.. [Mrežno]. Dostupno na: www.mdpi.com/2076-3417/6/2/47/pdf. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [6] Š. Mrvelj, »POKRETNE ĆELIJSKE MREŽE 2. I 3. GENERACIJE,« Prosinac 2009.. [Mrežno]. Dostupno na: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa/Materijali/9_predavanje.pdf. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [7] »LTE Architecture Design Picture,« [Mrežno]. Dostupno na: <http://www.wirecomm.in/tag/lte/>. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].

- [8] Š. Mrvelj, »3G Tehnologija i koncepti,« [Mrežno]. Dostupno na: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa_II/Matijali/9predavanja.pdf. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016].
- [9] »Personal computer, Networking, Internet and media,« [Mrežno]. Dostupno na: http://youworld10.blogspot.hr/2012_09_01_archive.html. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [10] M. Škrbić, M. Hadžialić, J. Baraković Husić, K. Huseinović i S. Gološ, Signalizacioni sistemi u mobilnim čelijskim mrežama, Sarajevo: ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET U SARAJEVU, 2014..
- [11] T. Blajić, »LTE – nova tehnologija za mobilni širokopojasni pristup,« 2010.. [Mrežno]. Dostupno na: http://arhiva.ericsson.hr/etk/revija/Br_1_2010/04.pdf. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [12] N. Jelušić, »PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PROMETNIH TOKOVA,« 2014.. [Mrežno]. Dostupno na: http://www.fpz.unizg.hr/tog/wp-content/uploads/2014/07/METiTeh_2014-06-18_ZA-TONCI.pdf. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [13] E. Ivanjko i H. Gold, »Računalni vid u prometu i transportu,« 2014.. [Mrežno]. Dostupno na: <http://www.fpz.unizg.hr/eivanjko/files/UI/UIP16RacunalniVid.pdf>. [Pokušaj pristupa 2016.].
- [14] »google maps,« [Mrežno]. Dostupno na: <https://itunes.apple.com/us/app/google-maps-real-time-navigation/id585027354?mt=8>. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [15] R. Schäfer, K. Thiessenhusen i P. Wagner, »A TRAFFIC INFORMATION SYSTEM BY MEANS OF REAL-TIME FLOATING-CAR DATA,« Sječanj 2002.. [Mrežno]. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/224793343_A_traffic_information_system_by_means_of_real-time_floating-car_data. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [16] »decell,« [Mrežno]. Dostupno na: http://www.decell.com/Press_Room/PR/fastlane.html. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].

- [17] A. Ulvan, R. Bestak i M. Ulvan, »Handover Scenario and Procedure in LTE-based Femtocell Networks,« 2010. [Mrežno]. Dostupno na: https://www.thinkmind.org/download.php?articleid=ubicomm_2010_9_40_10304. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016].
- [18] J. Wideberg, N. Caceres i F. Benitez, »DERIVING TRAFFIC DATA FROM A CELLULAR NETWORK,« [Mrežno]. Dostupno na: <http://www.esi2.us.es/GT/docs/its2006.pdf>. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [19] J. de Haan, N. Schmorak i R. Smit, »GSM als informatiebron voor Verkeersbeleid Simulatiestudie Uitgebreide samenvatting,« 2003. [Mrežno]. Dostupno na: <http://www.modelit.nl/modelit/pdf/longsummary.pdf>. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [20] M. Muštra, »Map matching,« 2015.. [Mrežno]. Dostupno na: [http://e-student.fpz.hr/Predmeti/L/Lokacijski_i_navigacijski_sustavi_\(2\)/Materijali/06-Map_matching.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/L/Lokacijski_i_navigacijski_sustavi_(2)/Materijali/06-Map_matching.pdf). [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [21] J. de Haan, N. Schmorak i R. Smit, »GSM als informatiebron voor Verkeersbeleid Simulatiestudie Handleiding simulatietool,« 2003. [Mrežno]. Dostupno na: <http://www.modelit.nl/modelit/pdf/manualSimulator.pdf>. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [22] S. A. Cedex, »ETSI TS 125 331,« Travanj 2016.. [Mrežno]. Dostupno na: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/125300_125399/125331/13.02.00_60/ts_125331v130200p.pdf. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].
- [23] J. de Haan, N. Schmorak i R. Smit, »GSM als informatiebron voor Verkeersbeleid Analyse van plaatsbepalingsmethodes en uitwerking scenario's,« 2003.. [Mrežno]. Dostupno na: <http://www.modelit.nl/modelit/pdf/factfindingfinal.pdf>. [Pokušaj pristupa Svibanj 2016.].

POPIS AKRONIMA I KRATICA

| akronim kratica | ili | Prijevod Ili Opis Akronima Ili Kratice |
|--------------------|-----|---|
| CFCD | | (Cellular Floating Car Data) |
| ITS | | (Intelligent Transportation Systems) |
| GPS | | (Global Positioning System) |
| ITU | | (International Telecommunication Union) |
| HO | | (Handover) |
| CA | | (Call Arrival) |
| NLU | | (Normal Location Update) |
| PLU | | (Periodic Location Update) |
| BS | | (Base Station) |
| LAC | | (Location Area Code) |
| MS | | (Mobile Station) |
| GSM | | (Global System For Mobile Communications) |
| BSC | | (Base Transceiver Station) |
| BPNN | | (Back-Propagation Neural Networks) |
| TDM | | (Time Division Multiplexing) |
| CDMA | | (Code Division Multiple Access) |
| TDMA | | (Time Division Multiple Access) |
| MSC | | (Mobile Switching Center) |
| HLR | | (Home Location Register) |
| VLR | | (Visitor Location Register) |
| AuC | | (Authentication Centre) |
| EIR | | (Equipment Identification Register). |
| GMSC | | (Gateway Msc) |
| IMSI | | (International Mobile Subscriber Identity) |
| IMEI | | (International Mobile Station Equipment Identity) |
| PCU | | (Packet Control Unit) |
| GGSN | | (Gateway GPRS Support Node) |
| SGSN | | (Serving GPRS Support Node) |
| PSK | | (Phase Shift Keying) |

| | |
|-------|---|
| GMSK | (Gaussian Minimum Shift Keying) |
| WCDMA | (Wideband Code Division Multiple Access) |
| 3GPP | (Third Generation Partnership Project) |
| ETSI | (European Telecommunications Standards Institute) |
| UMTS | (Universal Mobile Telecommunication System) |
| IMS | (IP Multimedia Subsystem) |
| IP | (Internet Protocol) |
| SIP | (Session Initiation Protocol) |
| QoS | (Quality of Service) |
| WLAN | (Wireless Local Area Network) |
| MMS | (Multimedia Messaging Service) |
| HSUPA | (High Speed Uplink Packet Access) |
| MGW | (Media Gateway) |
| PSTN | (Public Switched Telephone Network) |
| ATM | (Asynchronous Transfer Mode) |
| SGW | (Signaling Gateway) |
| CSCF | (Call Session Control Function) |
| NGN | (New Generation Network) |
| IETF | (Internet Engineering Task Force) |
| RNS | (Radio Network System) |
| HSDPA | (High Speed Downlink Packet Access) |
| HSPA | (High Speed Packet Access) |
| HARQ | (Hybrid Automatic Repeat Request) |
| EPS | (Evolved Packet System) |
| EPC | (Evolved Packet Core) |
| PS | (Packet Switched) |
| MME | (Mobility Management Entity) |
| S-GW | (Serving Gateway) |
| P-GW | (Packet Data Network Gateway) |
| TA | (Tracking Area) |
| UE | (User Equipment) |
| RRM | (Radio Resource Management) |
| OFDM | (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) |

| | |
|---------|---|
| OFDMA | (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) |
| SC-FDMA | (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) |
| MIMO | (Multiple Input Multiple Output) |
| CW | (Continuous Wave) |
| FMCW | (Frequency Modulated Continuous Wave) |
| FCD | (Floating Car Data) |
| LAI | (Location Area Identifier) |
| CI | (Cell Identity) |
| DRX | (Discontinuous Reception) |
| OMC | (Operation And Maintenance Center) |
| TA | (Time Alignment) |
| RACH | (Random Access Channel) |
| FACH | (Forward Access Channel) |
| RLC | (Radio Link Control) |
| PI | (Paging Indicator) |
| PCH | (Paging Channel) |
| PMM | (Packet Mobility Management) |
| TAI | (Ta Identity) |
| RAI | (Routing Area Identity) |
| ISR | (Idle Mode Signaling Reduction) |
| URA | (Utran Registration Area) |
| NAS | (Network Access Stratum) |

POPIS ILUSTRACIJA

| | | |
|-----------|--|----|
| Slika 1. | Vremenski dijagram za HO događaje, [4] | 4 |
| Slika 2. | Prostorni dijagram za kretanje vozila i NLU događaji na cestovnoj prometnici, [4]..... | 5 |
| Slika 3. | Vremenski dijagram kretanja vozila i CA događaja na prometnici, [4] | 6 |
| Slika 4. | Scenarijski dijagram kretanja vozila i CA događaja na prometnici, [4].... | 7 |
| Slika 5. | Dijagram kretanja vozila i PLU događaji na prometnici gdje ne postoji poziv između dva uzastopna PLU događaja..... | 9 |
| Slika 6. | Vremenski dijagram za kretanje vozila i PLU događaji na prometnici gdje ne postoji poziv između dva uzastopna PLU događaja, [4] | 9 |
| Slika 7. | Dijagram kretanja vozila i PLU događaji na prometnici gdje postoji nekoliko poziva između dva uzastopna PLU događaja, [4]..... | 10 |
| Slika 8. | Vremenski dijagram za kretanje vozila i PLU događaji na prometnici gdje postoji nekoliko poziva između dva uzastopna PLU događaja, [4] | 11 |
| Slika 9. | Određivanje brzine vozila koristeći duple HO događaje, [1] | 14 |
| Slika 10. | Preklapanja pokrivenosti signalom uzrokovanih postojanjem zgrada,[1] | 15 |
| Slika 11. | Faktori uzeti u obzir u CP-based algoritmu, [4]..... | 16 |
| Slika 12. | CP-based algoritam, [4]..... | 17 |
| Slika 13. | ITS temeljen na BPNN algoritmu, [4]..... | 18 |
| Slika 14. | Model BPNN algoritma, [5] | 19 |
| Slika 15. | Razvoj jezgrenih mreža i pripadnih mobilnih pristupnih tehnologija, [7] | 20 |
| Slika 16. | Koncept ponovne upotrebe iste frekvencije, [6] | 21 |
| Slika 17. | Arhitektura GSM/GPRS mreže, [9] | 23 |
| Slika 18. | Višestruki pristup s vremenskom podjelom kanala (TDMA), [6] | 25 |
| Slika 19. | Razvoj UMTS sustava kroz izdanja, [7] | 28 |
| Slika 20. | Arhitektura UMTS mreže Release 5, [8] | 29 |
| Slika 21. | Generalna EPS arhitektura, [6]..... | 32 |
| Slika 22. | OFDM podnosioci, [6]..... | 34 |
| Slika 23. | Struktura LTE radijskog sučelja, [6]..... | 35 |
| Slika 24. | Prepoznavanje vozila na prometnici sa računalnim vidom, [13] | 38 |
| Slika 25. | Google Maps aplikacija, [14] | 40 |
| Slika 26. | Koncept funkcioniranja FCD metode za prikupljanje podataka, [7] | 41 |
| Slika 27. | Usluga prikaza stvarno vremenskih informacija u prometu, [16] | 42 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Slika 28. | Sekvencijalni dijagram handovera u području jednog MSC-a, [8] | 46 |
| Slika 29 | Sekvencijalni dijagram handovera između različitih MSC-a, [8] | 47 |
| Slika 30. | GSM i UMTS stanja i njihovi prijelazi, [8]..... | 51 |
| Slika 31. | Procedure mobilnosti, fizički, transportni i logički kanali za svako RRC stanje..... | 52 |
| Slika 32. | Procedura HS-DSCH mobilnosti u tvrdom handoveru, [8]..... | 54 |
| Slika 33. | Osnovna PMM stanja, [8] | 57 |
| Slika 34. | Promjene UTMS stanja i procedure koje ih generiraju, [8] | 59 |
| Slika 35. | Neki od mogućih handover slučajeva i referentne točke, [8] | 64 |
| Slika 36. | Razmjena poruka u S1 handoveru (1. dio), [8]..... | 66 |
| Slika 37. | Razmjena poruka u S1 handoveru (2. dio), [8]..... | 67 |
| Slika 38. | Razmjena poruka u S1 handoveru (3. dio), [8]..... | 68 |
| Slika 39. | Razmjena poruka u S1 handoveru (4. dio), [8]..... | 69 |
| Slika 40. | Vremenski dijagram HO HO scenarija..... | 70 |
| Slika 41. | Vremenski dijagram NLU HO scenarija | 71 |
| Slika 42 | Vremenski dijagram NLU CA/DA scenarija | 72 |
| Slika 43. | Vremenski dijagram PLU HO scenarija | 72 |
| Slika 44. | Vremenski dijagram PLU CA/DA scenarija..... | 73 |
| Slika 45. | Vremenski dijagram CA/DA scenarija | 74 |
| Slika 46. | Signalizacijski podatci koji se sakupljaju putem mreže, [18]..... | 75 |
| Slika 47. | Parametri za procjenu | 81 |
| Slika 48. | Simulacijski parametri | 81 |
| Slika 49. | Parametri karte..... | 82 |
| Slika 50. | Parametri puta..... | 83 |
| Slika 51. | Vizualni prikaz parametara puta | 83 |
| Slika 52. | Lokacijski parametri GSM antena..... | 84 |
| Slika 53. | Numerički i grafički prikaz prometnih parametara na vezi | 85 |
| Slika 54. | Usporedba simuliranog i procijenjenog vremena prolaska vezom..... | 85 |
| Slika 55. | Usporedba simuliranog i procijenjenog protoka na vezi | 86 |
| Slika 56. | Histogram gustoće prometa na svim vezama u mreži..... | 86 |
| Slika 57. | Histogram protoka prometa na svim vezama u mreži | 87 |
| Slika 58. | Histogram broja generiranih poziva..... | 87 |
| Slika 59. | Histogram trajanja poziva | 87 |

METAPODACI

Naslov rada: Prikupljanje podataka o protoku vozila uporabom mobilnih telefona

Student: Alen Kuharić

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra

Naslov na drugom jeziku (engleski): Data Acquisition of Vehicle Flow Using Mobile Phones

Povjerenstvo za obranu:

- izv. prof. dr. sc. Dragan Peraković predsjednik
- doc. dr. sc. Mario Muštra mentor
- doc. dr. sc. Ivan Grgurević član
- doc. dr. sc. Niko Jelušić zamjena

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

Zavod: Zavod za informacijsko komunikacijski promet

Vrsta studija: diplomski

Studij: Promet

Datum obrane diplomskog rada: 27. rujna 2016.

Napomena: pod datum obrane diplomskog 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 **Prikupljanje podataka o protoku vozila uporabom mobilnih telefona** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu,

16.9.2016

Student:

Alen Kagaljic
(potpis)