

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA**  
Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija

Seminarski rad iz kolegija  
Sustavi za praćenje i vonenje procesa

## **GSM locating**

**Ana Bogdanić**  
**0036406621**

Zagreb, 28. svibnja 2007.

Sadržaj	
Sadržaj.....	2
1. UVOD.....	3
2. METODE POZICIONIRANJA.....	3
2.1. Cell ID metoda.....	3
2.2. Signal Strength metoda.....	4
2.3. Angle of Arrival metoda.....	5
2.4. Time Difference of Arrival (TDOA) metoda.....	5
2.5. Enhanced Observed Time Difference (EOTD) metoda.....	6
2.6. Global Positioning System (GPS) metoda.....	7
2.7 Assisted Global Positioning System (A-GPS) metoda.....	8
3. CELL ID I TIMING ADVANCE.....	9
4. ZAKLJUČAK.....	11
5. LITERATURA.....	11

## 1. UVOD

Ideja o pozicioniranju korisnika u ćelijskim sustavima posljednjih godina postala je vrlo atraktivna. Izvor ove ideje nastao u Sjedinjenim Američkim Državama, i to za potrebe servisa za hitne pozive (*emergency call service*). Naime, razvojem ćelijskih sistema, porastao je i broj korisnika ovih sistema, pa samim tim i broj hitnih poziva koji su upućeni sa mobilnih stanica. Problem je bilo pravovremeno reagiranje na ovakve pozive, s obzirom na to da korisnik često nije mogao opisati svoju lokaciju. Zbog toga je US *Federal Communications Commission* još 1996. godine napravila program u nekoliko faza kojim se operatori u predviđenom vremenskom intervalu obavezuju stvoriti dodatni servis pozicioniranja korisnika u bežičnom ćelijskom sistemu. Sličan program prihvatila je i Evropska Unija, tako da se posljednjih godina razmatraju različite tehnike pozicioniranja korisnika u ćelijskim sustavima. U radu je dat prikaz nekoliko metoda pozicioniranja, a detaljnije je analizirana ona koja se može eksperimentalno proveriti u postojećoj GSM mreži.

## 2.METODE POZICIONIRANJA

Postoji veći broj metoda pozicioniranja mobilne stanice i one se međusobno razlikuju po složenosti, točnosti, po modifikacijama koje je neophodno izvršiti na nivou mreže, mobilne stanice, ili na oba mjesta, kao i po cijeni ovakvog podhvata. Brojni su i načini da se mjerenjem karakteristika signala odredi pozicija korisnika u ćelijskom sistemu. Najpoznatija su mjerenja vremena propagacije, vremenske razlike dolaska signala, ili mjerenje kuta dolaska signala. Slijedi kratak opis nekih od najpoznatijih metoda pozicioniranja.

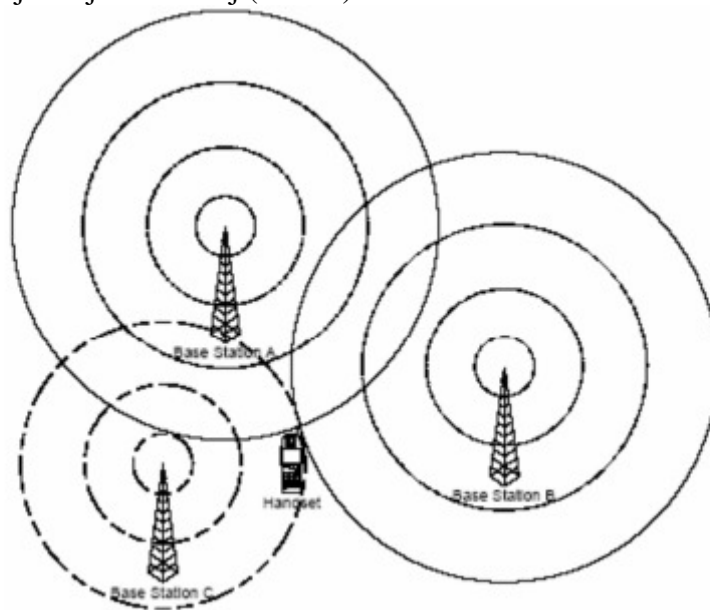
### 2.1. *Cell ID* metoda pozicioniranja mobilnih stanica

Najjednostavnija metoda pozicioniranja korisnika u suvremenim ćelijskim sistemima je *Cell Identification* (Cell ID) metoda. Ova metoda koristi koordinate servisne bazne stanice kao i samu servisnu ćeliju u cilju računanja pozicije mobilnog korisnika. Informacije o servisnoj ćeliji su tehnički dostupne u mobilnoj mreži. Na osnovu poznatih koordinata bazne stanice (geografska širina i geografska dužina) kao i informacije o servisnoj ćeliji, moguće je grubo odrediti poziciju mobilnog korisnika, odnosno moguće je odrediti lokalnu zonu u kojoj se korisnik vjerovatno nalazi. Osnovna prednost ove metode je u tome što ne zahtjeva nikakve modifikacije mobilne stanice (*handset*), nikakve proračune, već samo minimalne promjene na nivou mreže. Mana ove metode pozicioniranja je nedovoljna točnost, s obzirom na to da točnost ovisi o gustoći ćelija i veličini same ćelije. Ovo posebno predstavlja problem u ruralnim oblastima gdje su ćelije obično velike.

Dakle, ocjena ove metode je da ona daje lošu (u ruralnim oblastima) do umjerenu točnost (u urbanim oblastima). Dodatno, ionako slaba točnost može biti dalje smanjena imajuću na umu da, zbog prirode propagacije, servisna ćelija ne mora uvijek biti ona ćelija koja je najbliža korisniku. Ipak, ova metoda je, kao što će biti obrazloženo kasnije, zbog svoje jednostavnosti izabrana za početnu točku u razvoju ta\_njih metoda pozicioniranja.

## 2.2. *Signal Strength* metoda pozicioniranja mobilnih stanica

Merenje jačine signala primljenih od nekoliko baznih stanica također se može iskoristiti u svrhe pozicioniranja korisnika odnosno mobilne stanice. Ako su poznate jačine signala primljenih od bar tri bazne stanice, lokacija mobilne stanice se može odrediti kao točka presijecanja tri kruga čiji je radijus određen na osnovu izmjerene jačine signala, uz pretpostavku da jačine signala uniformno opadaju sa udaljenošću, po poznatom zakonu širenja. U biti riječ je o trigonometriji. Prednost ovog načina pozicioniranja je u tome što ga je lako implementirati u postojeću GSM mrežu, s obzirom na to da mobilna stanica, osim servisne, "prati" signale još nekoliko baznih stanica koje dominiraju u pogledu jačine signala. Mana ove metode je u tome što se u velikoj mjeri oslanja na teorijske pretpostavke o uniformnom opadanju jačine signala sa udaljenošću, koje nisu uvijek održive naročito u urbanim oblastima. Višestruka propagacija signala, koja nastaje kao posljedica refleksija od raznih prepreka na putu između bazne i mobilne stanice, kao i dodatno slabljenje jačine signala usljed prepreka, može imati za posljedicu velike greške prilikom računanja pozicije mobilne stanice. Ova metoda stoga pokazuje lošu točnost u urbanim oblastima, a umjerenu do dobru točnost u ruralnim oblastima, pod uvjetom da mobilna stanica može "vidjeti" bar tri bazne stanice, što u ruralnim oblastima nije uvijek slučaj (slika 1).



Slika 1. *Signal Strength* metoda pozicioniranja

## 2.3. *Angle of Arrival* metoda pozicioniranja

Ova metoda koristi relativni kut pod kojim signal sa tri bazne stanice prispjeva do mobilne stanice, ili apsolutni kut pod kojim signal sa mobilne stanice prispjeva do dvije ili tri bazne stanice. Dakle, ova tehnika se oslanja na relativno novu tehnologiju korištenja antenskih nizova koji prijemniku omogućavaju funkciju otkrivanja pravca nailaska radiovalova. Kut se može odrediti mereći fazne razlike duž antenskog niza (fazna interferometrija) ili gustoće snage duž

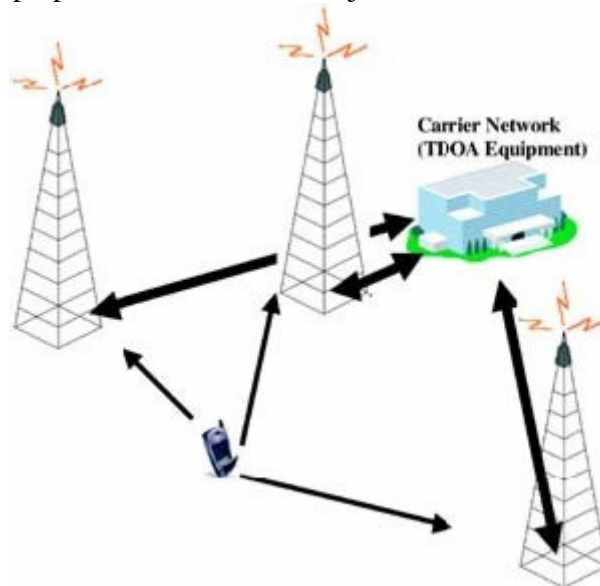
niza (*beamforming*). S obzirom na to da je upotreba antenskih nizova na mobilnoj stanici nepraktična, što zbog veličine, što zbog problema regulacije i separacije niza, naziv ove metode obično upućuje na slučaj instalacije antenskih nizova na strani baznih stanica. Opremanje baznih stanica antenskim nizovima u cilju omogućavanja usmjerene transmisije i poboljšanja kapaciteta mreže predviđa se u sistemima treće generacije (3G), pa je to možda i budućnost ove metode.

## 2.4. *Time Difference of Arrival (TDOA)* metoda

Ova metoda, kao i EOTD metoda koja će kasnije biti opisana, pripada grupi tehnika hiperboličke trigonometrije. Osnovni princip je mjerenje vremenske razlike dolaska signala mobilne stanice do tri ili više baznih stanica. Vremenske razlike dolaska signala predstavljaju u matematičkom smislu hiperbole u čijem presjeku se nalazi pozicija mobilne stanice. Kako se pozicija može odrediti u presjeku već dvije hiperbole, minimalni broj baznih stanica za ovu metodu je tri. U konačnom slučaju, treba riješiti sistem jednačbi oblika:

$$R_{i,j} = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} - \sqrt{(X_j - x)^2 + (Y_j - y)^2}, R_{i,j} = c \cdot \tau_{i,j} \quad (1)$$

gdje je  $R_{i,j}$  - veličina koje odgovara izmjerenoj vremenskoj razlici  $\tau_{i,j}$  dolaska signala od mobilne stanice  $(x,y)$  do baznih stanica  $(X_i, Y_i)$  i  $(X_j, Y_j)$ . Za rješenje spomenutog sustava nelinearnih jednačbi postoji više metoda (Chan-ov, Fang-ov, Taylor-ov) i rješenje problema je relativno jednostavno ukoliko je riječ o sustavu u kojem broj nepoznanica odgovara broju jednačbi. Ipak, u cilju postizanja veće točnosti, sustav se proširuje na veći broj baznih stanica, čime se i matematički model za rješenje takvog sustava jednačbi zakomplicira. Pored toga, kao i kod *Signal Strength* metoda, podrazumijeva se pretpostavka da jačine signala uniformno opadaju sa udaljenošću, po poznatom zakonu širenja .



**Slika 2.** Metoda pozicioniranja TDOA

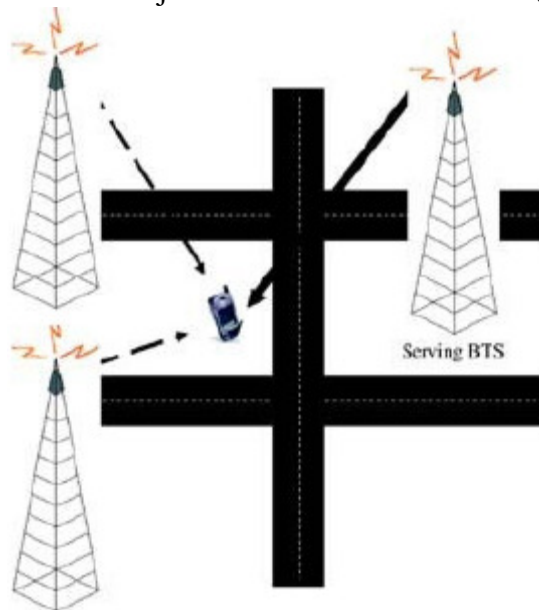
- Bazne stanice primaju signal s mobilne stanice
- TDOA Equipment

*-mjeri vremensku razliku dolaska signala do baznih stanica  
-na osnovu ovih podataka računa geografsku dužinu i širinu*

Ova metoda podrazumijeva da postoji precizna sinkronizacija baznih stanica u cilju točnog mjerenja vremena. Zbog toga je ovakav sistem potrebno opremiti dodatnim hardverom koji omogućava točno mjerenje vremena dolaska signala. Ta dodatna hardverska jedinica se zove LMU -*location measurement unit*. Ona može biti u sklopu bazne stanice, a može postojati i kao samostalna. Dakle, prednost ove metode je što pokazuje solidnu točnost, ne zahtjeva nikakve izmjene na strani mobilne stanice, što je s obzirom na njihovu brojnost vrlo značajno, ali zahtjeva instalaciju dodatne opreme (LMU) kao i dodatnog softvera na nivou mreže. Dodatni problem je zahtjev da se LMU mora instalirati na svakoj baznoj stanici, što predstavlja prilično skup pothvat sa točke gledišta operatera (slika 2).

### **2.5. Enhanced Observed Time Difference (EOTD) metoda**

Ova metoda je vrlo slična TDOA metodi. Razlika je u tome što u ovom slučaju mobilna stanica mjeri vremensku razliku dolaska signala od tri ili više sinkroniziranih baznih stanica, čije se koordinate moraju točno znati (zahtjevana točnost je oko 10m). Dakle, i ova metoda zahtjeva instalaciju LMU, ali ne i u svakoj baznoj stanici, što je značajna prednost u odnosu na TDOA. Ipak, i ova metoda zahtjeva modifikacije i na strani mobilne stanice (slika 3).



**Slika 3.** Metoda EOTD pozicioniranja

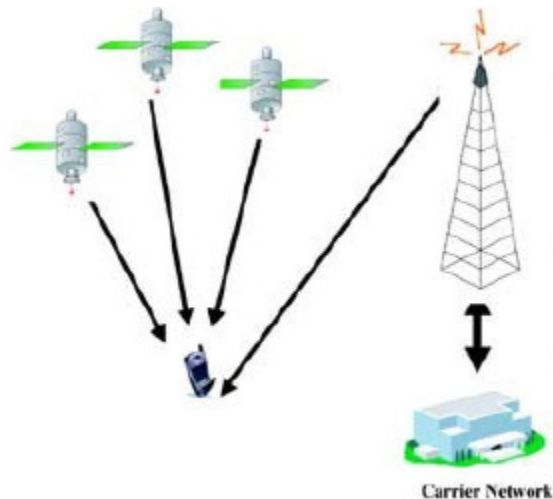
- Mobilna stanica «sluša» burst-ove poslane s okolnih baznih stanica
- Mobilna stanica bilježi vremena primanja burst-ova
- Pozicija se određuje na osnovu:
  - BS koordinata
  - Vremena primanja burst-ova
  - Vremenske razlike između svake BS

## 2.6. *Global Positioning System (GPS)* metoda

Pozicioniranje korisnika, odnosno mobilne stanice, moguće je i korištenjem sistema za globalno pozicioniranje, GPS. GPS je satelitski navigacijski sistem koji se sastoji od većeg broja satelita, pri čemu je u svakom trenutku i na svakom mjestu na zemlji moguće "vidjeti" bar tri satelita, što je dovoljan uvijet za određivanje lokacije korisnika koji posjeduje GPS prijemnik. Sistem radi na principu merenja vremena propagacije signala od satelita do prijemnika na zemlji, dakle, vrlo slično metodi TOA (*Time of Arrival*), ali realno većim dijelom u uvjetima direktne vidljivosti. Kao rezultat mjerenja vremena, dobija se sfera unutar koje se nalazi prijemnik. Mjerenjem vremena dolaska signala sa drugog i trećeg satelita, konačno se, u presjeku tri sfere, dobija tražena pozicija GPS prijemnika. Dakle, ako je mobilna stanica opremljena GPS prijemnikom, moguće je odrediti, i to vrlo točno, poziciju mobilnog korisnika. Nedostaci ove metode su upravo u ovoj činjenici, jer se podrazumjevaju modifikacije na strani mobilne stanice koja se mora opremiti GPS prijemnikom. Također, povećava se i potrošnja baterija mobilne stanice, a nije zanemarivo ni vrijeme potrebno za pozicioniranje i to naročito u početnoj fazi određivanja lokacije. Važan uvijet je i da takva mobilna stanica u svakom trenutku mora "vidjeti" bar tri satelita, što često nije moguće, naročito u gustom, urbanom okruženju. Za sada, pozicioniranje u *indoor* uvjetima nije moguće. Glavna prednost ove metode je relativno visoka točnost, kao i minimalne izmjene na nivou postojeće mreže.

## 2.7. *Assisted Global Positioning System (A-GPS)* metoda

Ova metoda nastala je kao pokušaj da se iskoristi dobra točnost koju nudi GPS, a da se istovremeno izbjegnu nedostaci prethodno opisane metode. Zovu je i napredna verzija pozicioniranja pomoću GPS prijemnika. U procesu određivanja lokacije mobilnog korisnika primjenom ove metode, uključeni su mobilna stanica opremljena GPS prijemnikom, ćelijska mreža, kao i referentna GPS mreža, povezana sa ćelijskom mrežom. Referentna GPS mreža sastoji se od prijemnika koji kontinuirano "komuniciraju" sa satelitima i gdje je uvijek ispunjen uvijet optičke vidljivosti između prijemnika i satelita. Kada mobilna stanica (opremljena GPS prijemnikom) zahtjeva određivanje svoje pozicije, GPS referentna mreža, preko ćelijske mreže, šalje podatke ka mobilnoj stanici u cilju lakšeg i bržeg pozicioniranja. Ti podaci obuhvaćaju informacije o tome koji su sateliti u tom trenutku najpogodniji za komunikaciju, kao i gdje se oni nalaze. Na taj način se značajno smanjuje vrijeme odziva GPS, tj. vrijeme određivanja pozicije prijemnika, s obzirom na to da je u početnoj fazi potrebno i do desetak minuta dok se ne uspostavi veza sa dostupnim satelitima. A-GPS metoda je točnija i zahtjeva manju potrošnju električne energije od standardnog GPS metoda. Prednost je i u tome što se točnost može dodatno povećavati, primjenom korekcije diferencijalnog GPS. Mana je veća složenost sustava, i naravno potrebne modifikacije na strani mobilne stanice (slika 4).



**Slika 4.** A-GPS metoda pozicioniranja

- Inicira se zahtjev za pozicioniranje
- Location serveru se šalje približna pozicija MS( Cell ID najbliže BS)
- Location server šalje MS popis relevantnih satelita
- MS očitava s GPS-a i šalje location serveru
- Location server računa poziciju MS

Postoji više različitih klasifikacija metoda za pozicioniranje korisnika, ali najrasprostranjenija je podjela na metode koje zahtjevaju modifikacije na nivou mreže, *networkbased*, na nivou mobilne stanice, *handset-based (mobilebased)*, ili takozvane hibridne metode koje kombiniraju različite aspekte prethodna dva načina pozicioniranja. Svaka od prethodno opisanih metoda pozicioniranja pripada nekoj od ovih podjela, što je prikazano i u tabeli 1 koja sumira osnovne karakteristike nabrojanih metoda pozicioniranja.

Metoda	Urbano p.	Ruralno P.	Handset	Network
Cell ID	100m-1km	15km	/	Softver
Signal Strength	50m-550m	250m-35km	/	softver
TDOA, EOTD	50m-150m	50m-150m	softver	hardver & softver
A-GPS	10m	5m	hardver & softver	hardver & softver

**Tabela 1.** Karakteristike metoda pozicioniranja



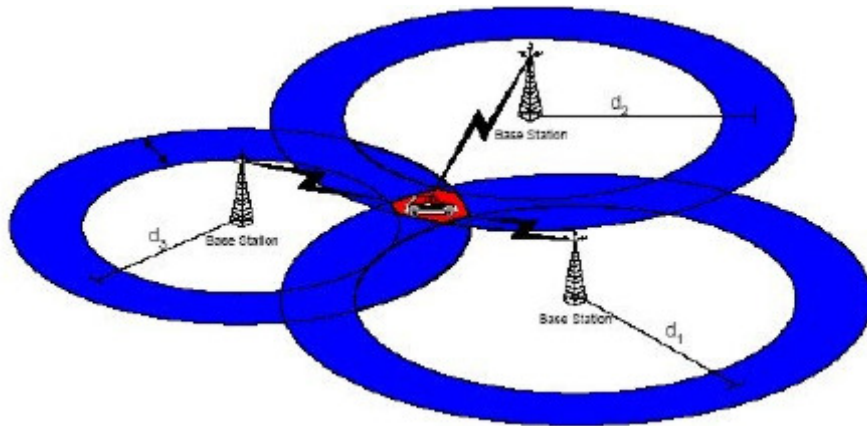
### 3. CELL ID I TIMING ADVANCE

Jedan od značajnih parametara u GSM mreži je tzv. *Timing Advance* (TA). Ovaj podatak se može iskoristiti za potrebe pozicioniranja unutar mreže mada sam po sebi ne predstavlja zasebnu tehniku pozicioniranja, već se koristi kao pomoćni parametar u nekoj od prethodno opisanih metoda. Ovaj parametar se u GSM mreži koristi za sinkronizaciju *burst*-ova. Kao što je poznato, GSM sistem koristi kombinaciju frekvencijskog (FDMA) i vremenskog (TDMA) multipleksiranja. GSM 900 su dodeljeni opsezi od 890MHz do 915MHz za tzv. *downlink* (od BS ka MS), i od 935MHz do 960MHz za *uplink* (MS ka BS). Razmak između uzastopnih radio-nosioca (raster) u GSM sistemu iznosi 200 kHz. S obzirom na raspoloživi opseg, na raspolaganju je ukupno 124 radio-kanala. GSM sistem je realiziran u TDMA tehnici sa 8 vremenskih intervala (*burst*) po jednom radio-nosiocu, što znači da jedan radio-kanal podržava 8 tzv. «fizičkih kanala», koji mogu biti prometni ili kontrolni kanali. Trajanje TDMA *frame*-a iznosi 4.615ms, a kako je unutar njega smješteno 8 vremenskih intervala (*burst*-ova), jednog *burst*-a je 577\_s. Dakle, svakoj mobilnoj stanici je dodjeljen po jedan od 8 vremenskih intervala unutar TDMA *frame*-a. Da bi sistem ispravno funkcionirao, mora biti ostvarena sinkronizacija, odnosno mora se postići da svaka mobilna stanica emitira svoj signal u dodjeljenom joj vremenskom intervalu. Kada će to biti određeno je udaljenošću između mobilne i bazne stanice, a izraženo jedinicom vremena. Naime, nakon dolaska signala od mobilne stanice, bazna stanica provjerava položaj tzv. *training* sekvence u pristiglom *burst*-u (pseudoslučajna sekvenca unutar svakog *burst*-a, smještena u središnjem dijelu, koristi se za sinkronizaciju kao i za smanjenje intersimbolske interferencije). Na osnovu toga određuje se parametar *timing advance*, koji se šalje mobilnoj stanici, što omogućava baznoj stanici da šalje svoj *burst* tako da on stigne u sinkronizaciji do bazne stanice, odnosno, da "upadne" u dodjeljeni vremenski interval. Vrijednost parametra *timing advance* se kreće od 0 do 233μs, kodira se sa 6 bita, tako da TA=0 znači da nema *timing advance*-a, a TA=63 je tako maksimalni *timing advance*. Ovo daje vremensku razliku od 233μs/63=3.7μs. Na osnovu poznatog parametra TA, moguće je direktno odrediti udaljenost između bazne i mobilne stanice:

$$550\left(TA - \frac{1}{2}\right) \leq d < 550\left(TA + \frac{1}{2}\right), TA > 0, \quad (2)$$

$$0 \leq d < 225, TA = 0$$

Parametar TA se određuje na osnovu prve pristigle komponente sa značajnom snagom, a ne na principu maksimalne snage. S obzirom na to da je TA proporcionalno udaljenosti između bazne i mobilne stanice, nameće se ideja korištenja ovog podatka u postupku pozicioniranja mobilne stanice. Najjednostavniji način, koji se može eksperimentalno provjeriti na postojećoj GSM mreži, je kombinacija spomenute metode Cell ID u kombinaciji sa TA, uz primjenu trigonometrije (slika 5).



**Slika 5.** Cell ID i *timing advance*

Postoje situacije kada nije moguće odrediti poziciju mobilne stanice - izostanak trigonometrijskih presjeka, ili postojanje više presjeka, a samim tim i više oblasti "kandidata" u kojima bi se mogla naći mobilna stanica. Jedan od takvih slučajeva, slučaj tzv. "lažne nule". Problem lažne nule javlja se pri prisilnom handover-u na neki od kanala. MS uspijeva otkriti kanal, ali ne uspijeva se prijaviti na BS. Više je mogućih razloga: prezauzetost BS, nedovoljno dobra pozicija MS za emitiranje pa je BS ne registrira i sl. U svakom od ovih slučajeva Net Monitor MS prijavljuje kao parametar TA=0. Taj parametar je moguće očitati, ali ukoliko se on prihvati kao valjan rezultat mjerenja, javlja se velika grješka. Usljed odstupanja ponašanja TA parametra u odnosu na teoriju, može se javiti problem neodređenosti pozicije MS. Naime, postoji prijelazna zona van teorijski definiranog kružnog prstena u okviru koje se može naći MS. Grješke prilikom određivanja pozicije MS mogu nastati i kao posljedica refleksije. BS u ovom slučaju mobilnoj stanici šalje vrijednost TA koja nije nastala kao posljedica direktne optičke vidljivosti, već refleksije, što dovodi do grješke.

Iako se od ove metode ne očekuje mnogo kada je točnost u pitanju, moguće je ipak donekle utjecati na povećanje točnosti.. Ideja je da se ne koristi teorijsko ponašanje parametra TA, već da se napravi model ponašanja ovog parametra na osnovu mjerenja. Dakle, za nekoliko baznih stanica, predstavnika urbanih, suburbanih i ruralnih zona, izvrši se mjerenje parametra TA u zavisnosti o udaljenosti od bazne stanice, formira se model promjene parametra TA, pa se prilikom određivanja pozicije mobilne stanice ne koristi teorijsko ponašanje TA već eksperimentalni model. Proces triangulacije bi u ovom slučaju kao rezultat dao najvjerojatniju poziciju mobilne stanice.

#### **4. ZAKLJUČAK**

I pored brojnih tehnika pozicioniranja korisnika u ćelijskom sustavu, jedinstveno rješenje ovog problema još uvijek ne postoji. U radu je dat prikaz nekoliko metoda pozicioniranja, a detaljnije je analizirana ona koja se može eksperimentalno provjeriti na postojećoj GSM mreži. Predloženo je i moguće poboljšanje ove metode u cilju povećanja točnosti. EU je odredila da svi mobilni operateri do 2005. godine omoguće upravo primjenom ove tehnike servis pozicioniranja u ćelijskim sustavima. Dakle, i pored toga što ne daje odgovarajuću točnost, ova metoda predstavlja početnu točku u razvoju savršenijih metoda pozicioniranja, koje će postati značajno pomoćno sredstvo u mnogim aspektima ljudskog života.

## 5. LITERATURA

[1] Kashif Raja, "*Critical analysis and modelling of location finding service*", 2004.

[2] Andrew Jagoe, "*Mobile location service*", 2002.

[www.gsmdata.com](http://www.gsmdata.com)

[www.gsmworld.com](http://www.gsmworld.com)

[www.ericsson.nl](http://www.ericsson.nl)