Integracija navigacijskih i komunikacijskih sustava za poboljšanje navigacijskih sposobnosti

Jandrijević, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:601254

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-23**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ivan Jandrijević

INTEGRACIJA NAVIGACIJSKIH I KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA ZA POBOLJŠANJE NAVIGACIJSKIH SPOSOBNOSTI

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 24. travnja 2017.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Mobilni komunikacijski sustavi**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4260

Pristupnik: **Ivan Jandrijević (0135210794)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Integracija navigacijskih i komunikacijskih sustava za poboljšanje navigacijskih sposobnosti**

Opis zadatka:

Navesti najznačajnije satelitske navigacijske sustave i opisati način određivanja lokacije korisnika pomoću tih sustava. Objasniti princip određivanja lokacije korisnika putem IP adresa i navesti koji uvjeti pritom moraju biti zadovoljeni. Objasniti način određivanja lokacije korisnika u dvije ili tri dimenzije primjenom metode trilateracije i matematički definirati sustav koji je potrebno riješiti kako bi se lokacija jednoznačno odredila. Opisati metodu izračuna razlike vremena dolaska signala (TDOA) koja se koristi pri određivanju lokacije korisnika u 4G mobilnim mrežama. Navesti primjere integracije sustava automatskog lociranja korisnika kombiniranom primjenom mobilnih mreža i satelitskih navigacijskih sustava.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

INTEGRACIJA NAVIGACIJSKIH I KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA ZA POBOLJŠANJE NAVIGACIJSKIH SPOSOBNOSTI

INTEGRATION OF NAVIGATION AND COMMUNICATION SYSTEMS FOR IMPROVING NAVIGATION CAPABILITIES

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra

Student: Ivan Jandrijević

JMBAG: 0135210794

Zagreb, travanj 2018.

SAŽETAK

Navigacija je složena znanost koja se bavi procesom nadgledanja i kontroliranja kretanja nekog objekta ili osobe od točke A do točke B kroz koju su se razvili razni oblici navigacijskih sustava. GNSS ili globalni navigacijski satelitski sustavi su imali jednu od najvažnijih uloga u poboljšanju navigacijskih sposobnosti od kojih je GPS najpoznatiji i najrasprostranjeniji sustav. GPS, kao i ostali GNSS-ovi, koristi metodu trilateracije za određivanje lokacije korisnika čiji je osnovni način rada takav da svaki od satelita šalje podatak o signalu i vremenu prema GPS prijamnicima koji zatim računaju udaljenost između satelita i njih samih. Komunikacijski sustavi također mogu služiti za navigiranje koji pomoću metoda kao što je TDOA (metoda izračuna razlike vremena dolaska signala) mogu odrediti preciznu lokaciju. TDOA je metoda koja se koristi kod geo-lociranja izvora radio signala. Dodatno, u 4G mrežama nam omogućuje prilično preciznu procjenu lokacije (<100m) korisnika, u vrlo kratkome vremenu. Također koristi se i A-GPS sustav koji omogućuje određivanje lokacije korisnika kombiniranom primjenom mobilnih mreža i GPS navigacijskog sustava kada signali sa GPS satelita teško dolaze do prijamnika.

Ključne riječi: navigacija; GNSS; GPS; trilateracija; lokacija; mobilne mreže; A-GPS

SUMMARY

Navigation is a complex science that deals with the process of monitoring and controlling the movement of an object or a person from point A to point B through which various forms of navigational systems have developed. GNSS or global navigation satellite systems have had one of the most important roles in improving navigational capabilities, GPS being the most widely known and most widespread system. GPS, as well as other GNSSs, uses a trilateration method to determine the location of a user, and the basic method of operation is such that each of the satellites sends signal and time information to GPS receivers, which then calculate the distance between the satellites and themselves. Communication systems can also serve to navigate and by using methods such as TDOA (method of calculating the difference of signal arrival time) can determine a precise location. TDOA is the method used for geo-locating the radio signal source. Additionally, in 4G networks, it can provide a fairly accurate location estimate (<100m) of users, in a very short time. Also, there is an A-GPS system, also used to determine the location of users, using a combination of mobile networks and GPS navigation systems when signals from GPS satellites can't easily reach the receiver.

Keywords: navigation; GNSS; GPS; trilateration; location; mobile networks; A-GPS

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. NAJZNAČAJNIJI SATELITSKI NAVIGACIJSKI SUSTAVI I NJIHOV NAČIN ODREĐIVANJA LOKACIJE 3
   - 2.1 Satelitski navigacijski sustavi 3
   - 2.2 GPS (Global Positioning System) 5
   - 2.3 GLONASS 7
   - 2.4 GALILEO 8
3. NAČIN ODREĐIVANJA LOKACIJE KORISNIKA 10
   - 3.1 Osnove geografskih koordinata 10
   - 3.2 Računanje lokalne geografske udaljenosti 11
   - 3.3 Pozicioniranje i trilateracija 12
   - 3.4 Matematički model i interpretacija u 2D prostoru 15
   - 3.5 Matematički model i interpretacija u 3D prostoru 15
   - 3.6 Trilateracija - zaključak 16
4. A-GPS 17
5. ODREĐIVANJE LOKACIJE KORISNIKA PUTEM IP ADRESA I UVJETI KOJI PRITOM MORAJU BITI ZADOVOLJENI 19
6. ODREĐIVANJE LOKACIJE KORISNIKA KORIŠTENJEM METODE IZRAČUNA RAZLIKE VREMENA DOLASKA SIGNALA (TDOA) 22
7. INTEGRACIJA SUSTAVA AUTOMATSKOG LOCIRANJA KORISNIKA KOMBINIRANOM PRIMJENOM MOBILNIH MREŽA I SATELITSKIH NAVIGACIJSKIH SUSTAVA 26
   - 7.1 Komponente i procesi servisa baziranih na određivanju lokacije 27
   - 7.2 Android lokacijsko aplikacijsko programsko sučelje (*application programming interface*, API) 28
     - 7.2.1 Upravitelj lokacije 28
     - 7.2.2 Pružatelj lokacije 28
   - 7.3 Google Maps 29
     - 7.3.1 Directions API 29
     - 7.3.2 Places API 29
8. ZAKLJUČAK 30
9. LITERATURA 31
10. POPIS SLIKA 33
11. POPIS KRATICA 34

1. UVOD

Od samog početka svijeta ljudi su pokušavali odrediti svoju lokaciju i na razne načine što jednostavnije i brže stići do nekog odredišta, odnosno navigirati se.

Navigacija je složena znanost koja se bavi procesom nadgledanja i kontroliranja kretanja nekog objekta ili osobe od točke A do točke B. Terry Pratchet je to vrlo dobro objasnio u svojoj knjizi „*Wings*“: „Ne možemo biti izgubljeni, mi smo ovdje, znamo gdje smo, mi samo ne znamo gdje nismo.“ Ono što se pokušava reći je da u navigaciji nije dovoljno znati samo svoju lokaciju, nego i lokaciju mjesta na koje se ide. Riječ navigacija dolazi od latinske riječi *navigare* (ploviti, ploviti preko, ploviti morem) koja je nastala iz riječi *navis* što znači brod.

Davno prije nastanka magnetskog kompasa ljudi su već plovili preko oceana. Navigirali su se uz pomoć ptica koje bi pustili s broda i kada bi ptica poletjela u nekom smjeru, pratili bi ju jer su znali da se u tom smjeru nalazi kopno. Prilikom plovidbe za kretanje su se koristili zvijezdama koje su koristili kao fiksnu točku, a kasnije kompasima, radarima i slično. Kako je vrijeme prolazilo tako se dolazilo do sve boljih rješenja za navigiranje.

Postoje razni oblici navigacije. Oni najjednostavniji kao što je usmeno objašnjavanje smjera u kojem se treba kretati, preko korištenja karata pa sve do satelitskih navigacijskih sustava koji su danas integrirani u gotovo svaku granu prometa. Integracijom satelitskih navigacijskih sustava u razne oblike prometa uvelike je pridonijelo povećanju sigurnosti, smanjenju zagađenja okoliša, smanjenom vremenu putovanja, jednostavnosti putovanja itd.

Integracija satelitskih navigacijskih sustava je uvelike pomogla brodovima i zrakoplovima u njihovim putovanjima, ali također i u cestovnom prometu. Moderni život zahtjeva stalni porast mobilnosti. Povećava se potreba za korištenjem osobnih automobila pa samim time i izgradnja novih prometnica i drukčijih prometnih rješenja. Kretanje u urbanim sredinama osobnim automobilima postalo je vrlo kompliciranо pa ljudi diljem svijeta svakodnevno koriste navigacijske sustave za kretanje. Najpoznatiji satelitski navigacijski sustav GPS *(Global Positioning System)* dostupan je svakoj osobi. GPS je sustav za pozicioniranje razvijen u Sjedinjenim Američkim Državama. U punoj upotrebi danas su još ruski GLONASS i od 2016. godine europski GALILEO. Prvi dio rada odnosit će se na satelitske navigacijske sustave te će svaki od ta tri sustava biti zasebno objašnjena. U sljedećem dijelu bit će prikazane formule za računanje udaljenosti i načini određivanja lokacija korisnika metodom trilateracije koju koriste satelitski navigacijski sustavi. Postoji još

mnogo navigacijskih rješenja i svako od njih ima svoje prednosti kao i nedostatke. Neka od njih su određivanje lokacije korisnika putem IP adrese i korištenjem metode izračuna razlike vremena dolaska signala koje će biti obrađeno u nastavku rada. Na osnovi toga pokušava se kombinirati više navigacijskih sustava i nastoji dobiti točnija i povoljnija navigacijska rješenja. Stoga će na kraju rada biti opisana integracija sustava automatskog lociranja korisnika kombiniranom primjenom mobilnih mreža i satelitskih navigacijskih sustava.

2. NAJZNAČAJNIJI SATELITSKI NAVIGACIJSKI SUSTAVI I NJIHOV NAČIN ODREĐIVANJA LOKACIJE

2.1 Satelitski navigacijski sustavi

Satelitski navigacijski sustavi omogućuju određivanje položaja, brzine i drugih veličina na temelju radijskih valova primljenih sa satelita.

GNSS ili u punom nazivu *Global Navigation Satellite System* sustavi koriste satelite koji kruže u Zemljinoj orbiti i konstantno šalju signale prema Zemlji koji sadrže razne informacije, a na Zemlji se nalazi prijamnik koji prima te kodirane signale. Na temelju udaljenosti od Zemlje, odnosno orbite u kojoj se nalaze, satelite svrstavamo u tri različite kategorije:

- LEO *Low Earth Orbit* (nisko orbitalni)
- MEO *Medium Earth Orbit* (srednje orbitalni)
- GEO *Geostationary Earth Orbit* (geostacionarni).

LEO sustavi nalaze se na visinama od 500 km do 1500 km. Zbog vrlo male udaljenosti od Zemlje nemaju veliku pokrivenost Zemljine površine. Vidljivost im traje od 10 minuta do 40 minuta. Imaju kratko vrijeme kašnjenja signala, jaču snagu signala na Zemlji, niske troškove lansiranja i kratak vijek trajanja.

MEO sustavi nalaze se na visinama od 5000 km do 12000 km iznad Zemlje. Vidljivost satelita je od 2 sata do 8 sati. Za potpunu pokrivenost Zemljine površine potrebno je od 8 do 20 satelita. Imaju duži vijek trajanja, ali zbog veće udaljenosti i veća kašnjenja signala (70 ms - 80 ms).

GEO sateliti orbitiraju na 35 786 km iznad Zemljine površine. Vidljivost im je 24 sata i moguća je pokrivenost cijele Zemljine površine sa samo 3 satelita. Rotacija im je sinkronizirana s rotacijom Zemlje, orbitiraju na ekvatorskoj liniji i završavaju rotaciju za točno jedan dan. Imaju dug vijek trajanja, no zbog njihove udaljenosti lansiranja su skupa, snaga signala na Zemlji je mala i kašnjenja su veća (oko 275 ms).[1]

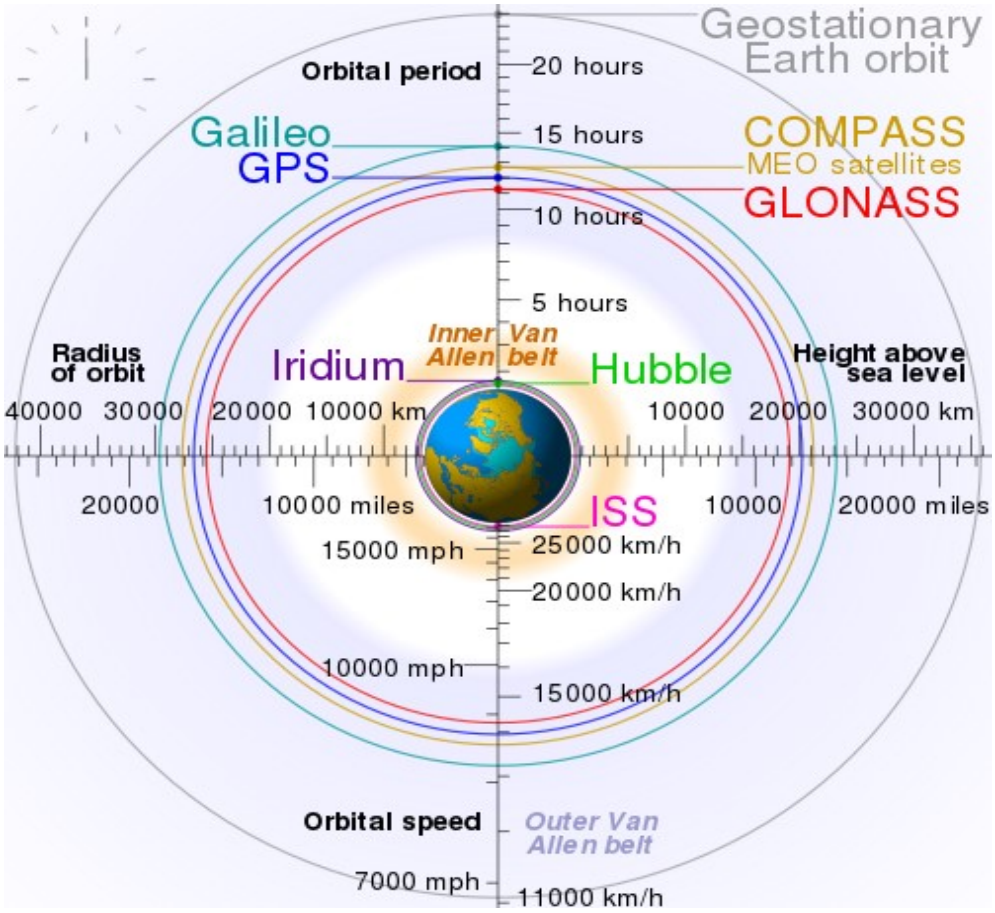
Jedna od glavnih prednosti globalnih satelitskih navigacijskih sustava u usporedbi s onima na Zemlji je ta što je potreban puno manji broj odašiljača za pokrivanje cijele Zemljine površine. GNSS-u su dodijeljene frekvencije u rasponu od 1559 MHz do 1610 MHz. Taj spektar frekvencije dodijelila su međunarodna tijela kao što je ITU ili u punom nazivu

[1] Dev R. *LEO, MEO & GEO Satellite Systems*: A Comparison. Dostupno na: http://durofy.com/leo-meo-geo-satellite-systems/ [pristupljeno: siječanj, 2018.]

International Telecommunication Union. Prilikom prolaska signala kroz atmosferu on može postati iskrivljen, a to dovodi do smanjenja točnosti informacije koja dolazi do prijamnika.

GNSS za svoj rad koristi grupu satelita od više različitih satelitskih navigacijski sustava. Za određivanje točne lokacije prijamnika potrebno je 4 satelita, a može se koristiti i više. Sateliti koriste vrlo precizne atomske satove, a prijamnici na Zemlji kvarcne satove.[2]

Najznačajniji globalni satelitski navigacijski sustavi su američki GPS, ruski GLONASS, europski Galileo i kineski Compass, a postoje i regionalni satelitski navigacijski sustavi kao što su indijski IRNSS i japanski QZSS. Prvi i najznačajniji GNSS u punoj operativnosti je GPS, a nakon njega su u upotrebu pušteni GLONASS i Galileo. Na slici 1. prikazani su svi satelitski navigacijski sustavi, njihov položaj u Zemljinoj orbiti i koliko su udaljeni od Zemlje.

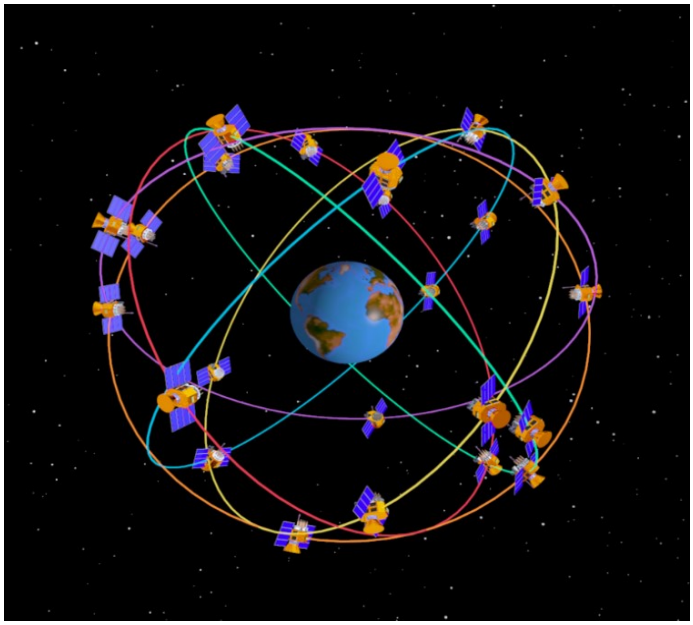


Slika 1. Udaljenost satelitskih navigacijskih sustava od Zemlje [7]

[2] Kos T, Grgić M, Krile S. *Hiperbolni i satelitski sustavi za navigaciju*. Naše more, 2004; 51(5-6):189-199.

2.2 GPS (Global Positioning System)

GPS je satelitski navigacijski sustav kojeg je razvilo Ministarstvo obrane SAD-a. NAVSTAR ili u punom nazivu *NAVigation Satellite Timing And Ranging system* je službeni naziv za GPS koji koristi Ministarstvo obrane SAD-a. Sustav je građen za korištenje u vojne svrhe, ali je dvije godine nakon pokretanja dozvoljeno korištenje i u civilne svrhe. GPS je u civilnom sektoru doživio najveći razvoj u posljednjih desetak godina zbog velikog unaprjeđenja GPS prijamnika koji su danas lako dostupni svima. Svakodnevno ga koristi stotine milijuna ljudi diljem svijeta za navigaciju prilikom vožnje automobila, tijekom raznih sportskih aktivnosti te mnogih drugih stvari.



Slika 2. Kretanje GPS satelita oko Zemlje [1]

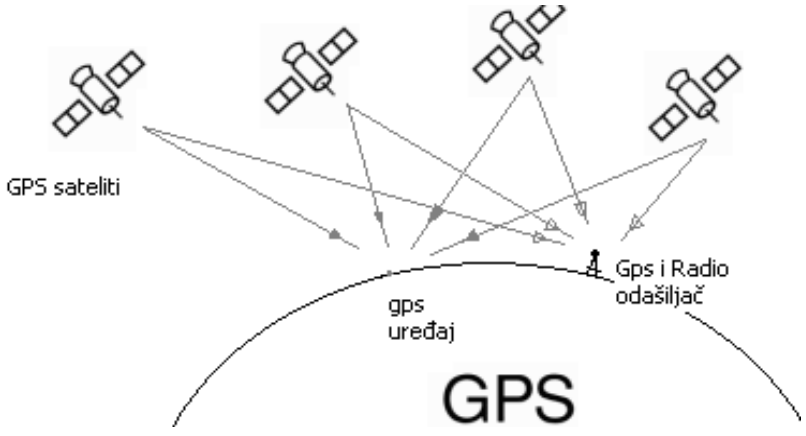
Prvi GPS satelit lansiran je u orbitu 1978. godine, a sustav je bio upotpunjen s 24 satelita već 1994. godine i proglašen potpuno operativnim 1995. godine. Za potpunu pokrivenost zemaljske kugle potrebna su minimalno 24 satelita dok danas oko Zemlje kruže 32 satelita u slučaju da koji otkaže i zbog veće točnosti. Jedan GPS satelit teži otprilike 1000 kg, a širok je oko 6 metara s rastegnutim solarnim panelima. Kao što se vidi na slici 2. kreću se u 6 orbitalnih ravnina, nagib odnosno inklinacija orbitalne ravnine je 55° prema ekvatoru. Nalaze se na udaljenosti od 20 183 km i kruže oko Zemlje brzinom od oko 11 000 km na sat. Sateliti pri toj brzini obiđu Zemlju svakih 11h i 58 min. Imaju ugrađen mali raketni pogon kako bi mogli prilagoditi svoj put po potrebi i ostati na putanji. [3]

[3] Kos, T., Grgić, M., Krile, S.: *Hiperbolni i satelitski sustavi za navigaciju,* Naše more, vol. 51, no. 5-6, p. 189-199, 2004.

Napajaju se solarnom energijom i napravljeni su da traju 10 godina. Sateliti odašilju signal na dvije frekvencije L1 i L2. L1 je frekvencija od 1575,42 MHz koja je primarno namijenjena za civilnu upotrebu. Sustav se konstantno nadograđuje i lansiraju se novi sateliti što znači da će preciznost biti još veća i učinit će sustav još korisnijim.

GPS ne služi samo za navigaciju, svaki od satelita u sebi ima ugrađen atomski sat i vrijeme se šalje zajedno sa signalom. Ti se signali koriste, na primjer, i za sinkronizaciju baznih stanica u mobilnim mrežama. Signali koji se šalju su vrlo male snage od 20 W do 50 W pa je zato bitno da GPS prijamnik ima „otvoreni pogled" prema nebu.

Arhitektura GPS sustava sastoji se od 4 segmenta: prostorni (satelitski) segment, kontrolni segment, korisnički segment i prijenosni medij. Prostorni (satelitski) segment sastoji se od 24 satelita koji emitiraju signale potrebne za određivanje lokacije. Kontrolni segment ima zadatak da održava funkcionalnost sustava, koordinira rad svih segmenata i definira korekcije pogrešaka. Sastoji se od glavne kontrolne stanice u Colorado Springsu (SAD) i ostalih pomoćnih kontrolnih stanica raspoređenih na Zemlji oko ekvatora. Pomoćne kontrolne stanice primaju podatke od satelita i šalju ih glavnoj stanici. Glavna kontrolna stanica ispravlja te primljene podatke i šalje ih natrag GPS satelitima. Korisnički segment su prijamnici koji primaju informacije od satelita, obrađuju ih uz pomoć matematičkih algoritama i određuju lokaciju. Postoje dvije kategorije korisničkog segmenta, a to su autorizirani i neautorizirani korisnici. Pod autorizirane korisnike spadaju američka vojska i posebne državne službe, a neautorizirani su civilni korisnici diljem svijeta. Prijenosni medij predstavljaju konstelacija satelita te frekvencijski spektar koji koristi GPS sustav za slanje informacija. [4]



Slika 3. Određivanje pozicije prijamnika [12]

[4] Brčić, D. *Temeljni postupak određivanja položaja satelitskim navigacijskim sustavima*. [Predavanje] Pomorski fakultet u Rijeci; 2012.

Način određivanja lokacije: Sateliti konstantno emitiraju signal prema Zemlji u jednakim intervalima. Signali putuju brzinom svjetlosti i na Zemlji ih primaju razni uređaji koji u sebi imaju ugrađene GPS prijamnike kao što su mobiteli, satovi te navigacijske jedinice u automobilu, brodu, avionu itd. Kao što je prikazano na slici 3., za određivanje pozicije potrebno je primiti signal od 4 različita satelita. Signal koji stiže sa satelita sadrži vrijeme odašiljanja signala, podatke o orbitalnoj putanji satelita, korekciji sata satelita i lokaciji svih satelita u sazviježđu, koeficijent za preračunavanje GPS vremena u UTC (*Universal Time Coordinated*) i ionosferski model. Propagacija ionosfere može imati utjecaj na brzinu propagacije signala i prouzrokovati netočno vrijeme te samim time smanjiti preciznost GPS pozicije. Iz tog razloga stiže i ionosfeski model kako bi se uklonile moguće pogreške. GPS prijamnici mogu izračunati koliko su udaljeni od kojeg satelita po razlici vremena slanja i stizanja signala te s pomoću matematičke metode trilateracije odrediti svoju točnu lokaciju. Iz navedenih razloga su atomski sat i vrlo precizno vrijeme jako bitni jer razlika od nekoliko nanosekundi napravila bi veliku pogrešku u određivanju lokacije i sustav bi bio beskoristan.

2.3 GLONASS

GLONASS ili u punom nazivu *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* razvio je Sovjetski Savez kao odgovor na američki GPS. Njegov je razvoj započeo 70-ih godina kao eksperimentalni vojni komunikacijski sustav. Prvi satelit lansiran je u orbitu 1982. godine i to je prvi operativni satelitski navigacijski sustav nakon GPS-a. Jedna od glavnih razlika u početcima bila je u planiranom vijeku trajanja satelita. GLONASS sateliti lansirani 80-ih godina imali su predviđeni vijek trajanja do dvije godine, dok su kod GPS-a predviđali sedam godina. Radi unaprjeđenja sustava 2003. godine lansiran je GLONASS-M satelit koji povećava snagu u frekvenciji L2. Kasnije se unaprijedio na GLONASS-K koji još ima različitih verzija (k1, k2, km) i cilj mu je dodavanje treće civilne frekvencije L3.

Njegov princip rada je sličan kao i kod GPS-a, najmanje 4 satelita potrebna su prijamniku da izračuna točnu lokaciju u tri dimenzije i sinkronizira se s vremenom sustava. U orbiti se trenutno nalazi 27 satelita. Za rad sustav GLONASS koristi 24 satelita koji kruže oko Zemlje u tri orbitalne ravnine. U svakoj orbitalnoj ravnini mora biti 8 satelita. Udaljeni su od Zemlje 19 140 km s kutom nagiba ravnine od 64.8° što znači da se nalaze u MEO orbitalnoj visini, 1060 km niže od GPS-a. Orbitalni period traje 11 sati i 15.8 minuta, a orbitalne ravnine raspoređene su pod kutom od 120° jedna u odnosu na drugu. Prema tome, vrijeme obilaska je 8/17 zvjezdanog dana što znači da nakon 8 dana GLONASS-sateliti naprave točno 17 orbitalnih rotacija. Sateliti su raspoređeni svakih 45° u svakoj orbitalnoj ravnini. Svaki satelit

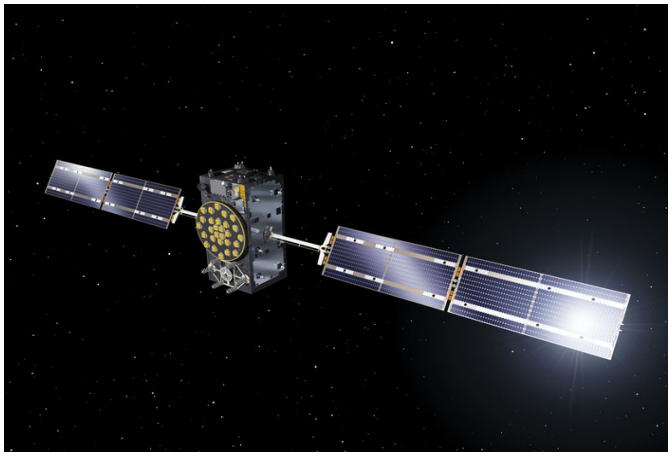
također emitira dvije frekvencije L1 i L2 od kojih je jedna za civilnu, a druga za vojnu upotrebu. Frekvencijski spektar koji koriste je 1602 MHz – 1615 MHz. Kod odašiljanja frekvencije, jedna od razlika u usporedbi s GPS-om je da se ovdje identifikacija satelita odvija na temelju odašiljačke frekvencije. Odašiljačka frekvencija satelita je jedinstvena za svaki pojedini satelit i služi za identifikaciju. [5]

GLONASS sustav sastoji se od tri segmenta: prostorni, kontrolni i korisnički segment. Prostorni segment sastoji se od satelita, a kontrolni segment od glavne kontrolne stanice smještene u Moskvi i od mreže pomoćnih kontrolnih stanica smještenih po Rusiji. Princip rada kontrolnog segmenta je sličan kao i kod GPS-a.

Kompatibilnost GLONASS-a i GPS-a danas je sve bolja pa korištenjem satelita oba sustava možemo dobiti još precizniju lokaciju.

2.4 GALILEO

Galileo je europski globalni navigacijski sustav koji pruža vrlo precizne i globalno dostupne usluge pozicioniranja pod civilnom kontrolom. Prvi testni sateliti lansirani su u orbitu 2005. i 2008. godine pa je nakon toga 2011. godine počelo lansiranje prvih operativnih satelita. U prosincu 2016. godine prvi put je postao operativan i korisnicima su dostupne početne usluge. Trenutno se sastoji od 18 satelita, ali se sustav konstantno nadograđuje i ispituju se nove usluge koje bi trebale biti dostupne sa završetkom sustava 2020. godine. Po završetku sustava sastojat će se od 30 satelita. [6]



Slika 4. Izgled Galileo satelita [5]

[5] Novatel. *GLONASS (Global Navigation Satellite System)*. Dostupno na: https://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-3-satellite-systems/glonass [pristupljeno: veljača, 2018.]
[6] European Space Agency. *Galileo Navigation*. Dostupno na: https://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo/What_is_Galileo [pristupljeno: veljača, 2018.]

30 će satelita biti raspoređeno u 3 orbitalne putanje kojima je nagib u odnosu na ekvator 56°. Svaka putanja će sadržavati po 8 operativnih satelita i po 2 aktivno pričuvna satelita. Nalazit će se u MEO orbiti na visini od oko 23 222 km iznad Zemljine površine, a vrijeme potrebno za jedan orbitalni period je 14 sati. Princip određivanja lokacije sličan je kao i kod GPS sustava, prijamnici na Zemlji primaju signal od najmanje četiriju satelita i s pomoću metode trilateracije izračunavaju svoju točnu lokaciju. Civilni korisnici će dovesti do znatnog navigacijskog napretka. Galileo kao i GPS radi na dvjema frekvencijama:

- otvorenoj frekvenciji koja ima mogućnost pogreške u radijusu do 1 m
- komercijalnoj s točnošću u radijusu do 10 cm namijenjenu proizvođačima specijaliziranih navigacijskih uređaja ili programerima softvera plaćenih aplikacija.

Galileo je interoperabilan s GPS i GLONASS sustavima, ali će pružati još mnoge dodatne usluge koje ostali satelitski navigacijski sustavi nemaju kao što su:

- OS, otvorene usluge (*Open Service*) – vezane su za široko tržište, primjer je navigacija u vozilima, koristi se bez izravne naplate te je dostupna bilo kojem korisniku opremljenom s prijamnikom.
- CS, komercijalne usluge (*Commercial Service*) – vezane su za poslovno tržište aplikacija, zahtijeva se bolja funkcionalnost od OS, plaćanje naknade uz ponudu dodatne vrijednosti na usluge.
- SoL, usluge očuvanja života (*Safety Of Life Service*) – vezane su za sve transportne aplikacije gdje ljudski život može biti ugrožen ako je izvedba navigacijskog sustava nestala bez upozorenja u stvarnom vremenu.
- SAR, usluge pronalaženja i spašavanja (*Search And Rescue Service*) – europski doprinos međunarodnom humanitarnom traganju i spašavanju.
- PRS, javno regulirane usluge (*Public Regulated Service*) – namijenjen je javnim službama kao što su policija, carinska služba, službe spašavanja.[7]

[7] Sugja-Jovetić, I., *Pogodnosti korištenja usluga temeljenih na lokaciji primjenom satelitskog sustava Galileo*, Diplomski rad, Zagreb, 2016.

3. NAČIN ODREĐIVANJA LOKACIJE KORISNIKA

Način određivanja lokacije korisnika u dvodimenzionalnom, odnosno trodimenzionalnom prostoru zahtijeva grupu satelita koja se brojčano sastoji od minimalno tri satelita u orbiti nad određenim područjem. Kao što je već spomenuto, najpoznatiji svemirski globalni navigacijski satelitski sustav naziva se *Global Positioning System* (GPS). GPS koristi metodu trilateracije za određivanje lokacije korisnika. Osnovni način rada jest takav da svaki od satelita šalje podatak o signalu i vremenu prema GPS prijamnicima koji zatim računaju udaljenost između satelita i njih samih, a pritom uzimajući u obzir i vrijeme kašnjenja dok su ti podaci pristigli do tih uređaja. Brzinu prijenosa signala aproksimiramo brzini svjetlosti te nam je za izračun trenutne lokacije korisnika potreban signal od barem tri satelita. [8]

3.1 Osnove geografskih koordinata

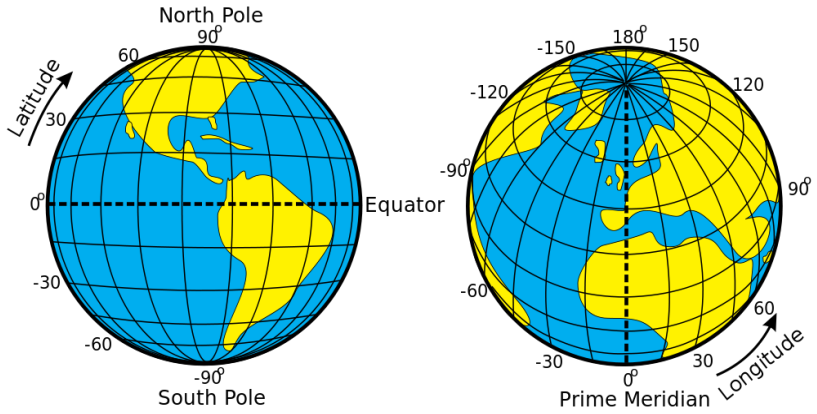
Kako bi se u potpunosti shvatio princip rada, korištenje i uloga metode trilateracije neophodno je osnovno znanje i objašnjenje geografskih koordinata. Područje primjene metode trilateracije je široko pa se tako može koristiti od takozvanog računanja pozicije za unutrašnje pozicioniranje (*Indoor positioning*) pa sve do područja detekcije potresa. U skladu s tim, svaka primjena metode trilateracije zahtijeva senzore visoke preciznosti i konzistentnosti kako bi podaci i rezultati mogli biti što pouzdaniji i sigurniji.

Jedan od glavnih izazova za čovječanstvo kroz povijest predstavljao je problem mapiranja Zemljine kugle. Rješenje koje se danas koristi za mapiranje obuhvaća tri ključna faktora, a to su:

- širina *(latitude,* oznaka ϕ*)*
- dužina *(longitude,* oznaka λ*)*
- visina *(altitude,* oznaka *h).*

Slika 5. označava osnovne elemente i pojmove Zemljine kugle koji nam služe kao referentne točke s pomoću kojih određujemo lokaciju svakog objekta na kugli zemaljskoj. Prilikom izračuna koristimo poznati radijus zemlje R pri čemu se geografska širina i dužina definiraju stupnjevima u odnosu na centar Zemlje, a vizualni oblik vidimo na slici 1.

[8]Agarwal T. How GPS System Works? Dostupno na: https://www.elprocus.com/how-gps-system-works/ [pristupljeno: veljača, 2018.]



Slika 5. Geografska širina i dužina prikazana u stupnjevima u odnosu na centar Zemlje. [22]

Primjera radi, za izračun širine, sljedeće reference sustava moraju biti zadovoljene:

- ekvator ima širinu $\phi = 0°$
- sjeverni pol ima širinu $\phi = 90°$
- južni pol ima širinu $\phi = -90°$.

Drugim riječima, računanje geografske širine predstavlja luk prema sjevernom i južnom polu Zemljine kugle dok je kod računanja geografske dužine situacija obrnuta, odnosno predstavlja udaljenost određene točke od početnog meridijana prema istoku. Naposljetku, nevidljiva linija koja spaja dva pola naziva se nulti meridijan, a njegove su karakteristike sljedeće:

- nulti meridijan ima dužinu $\lambda = 0°$
- pomicanjem prema istoku povećava se dužina sve do dijametralno različitog nultog meridijana pri kojem dužina iznosi $\lambda = 180°$
- pomicanjem prema zapadu smanjuje se dužina sve do $\lambda = -180°$.

Zaključak prethodno opisanih pojmova jest da su geografske dužine u iznosu od $\lambda = 180°$ i $= -180°$ dio istog meridijana.

Za razliku od geografske širine i dužine, visina se računa u kilometrima (oznaka km) počevši od razine mora koja predstavlja h = 0 km.

3.2 Računanje lokalne geografske udaljenosti

Računanje geografske udaljenosti možemo podijeliti u dvije kategorije: računanje malih udaljenosti (primjerice udaljenost između dva sela ili grada) i računanje velikih udaljenosti (primjerice udaljenost između satelita i uređaja na Zemlji). Jedna od ključnih razlika jest što u prvom slučaju prilikom računanja udaljenosti od točke A do točke B nije

potrebno uzimati u obzir zakrivljenost planeta te se koristi Euklidova udaljenost između te dvije točke, a definira se formulom:

$$D = R * \sqrt{\Delta\phi^2 + (\cos\phi_m \Delta\lambda)^2}. \quad (1)$$

Pri čemu je:

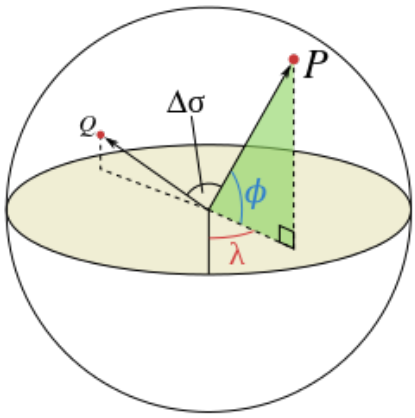
- R *radijus* Zemlje
- $\Delta\phi = |\phi_2 - \phi_1|$
- $\Delta\lambda = |\lambda_2 - \lambda_1|$
- $\phi_m = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}$.

S druge strane, kao što je već prethodno spomenuto, kod većih udaljenosti potrebno je uzeti u obzir zakrivljenost Zemlje, a takav koncept računanja još je poznatiji kao *Great-Circle distance*.

Matematički, računanje najmanje udaljenosti između dvije točke na kugli računa se formulom:

$$D = R\Delta\sigma. \quad (2)$$

Pri čemu je $\Delta\sigma$ kut u stupnjevima između P i Q sa slike 6. poznatiji kao *Centralni kut*.[9]



Slika 6. Primjer računanja udaljenosti između dvije točke na kugli [14]

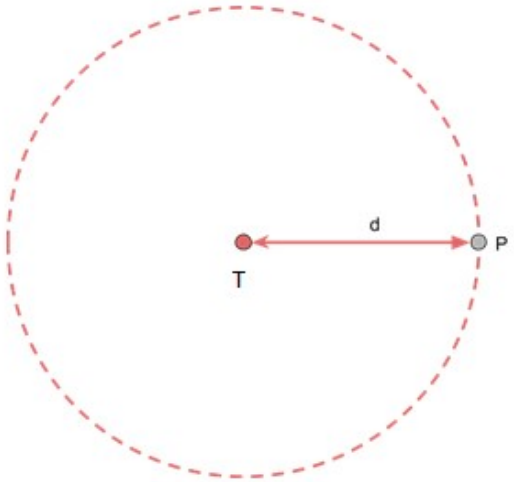
3.3 Pozicioniranje i trilateracija

Kao što je već prethodno spomenuto, za uspješno računanje metodom trilateracije potrebno je minimalno sakupiti podatke od tri različita satelita, međutim što je broj satelita veći to će i sama preciznost izračuna biti točnija.

[9] Zucconi A. Positioning and Trilateration. Dostupno na: https://www.alanzucconi.com/2017/03/13/positioning-and-trilateration/ [pristupljeno: veljača, 2018.]

Udaljenost između dva objekta u prostoru je poprilično jednostavan zadatak ako u obzir uzmemo korištenje raznih senzora čija je primjena i svrha upravo u tome, međutim detekciju točno određene lokacije specifičnog objekta je nešto sasvim drugačije i kompleksnije za postići. Jedan od pristupa pronalaženja točne lokacije objekta u prostoru sastoji se od detekcije udaljenosti objekta od jednog senzora ili uređaja, povećanja broja tih istih senzora i pronalaženja presjeka između svih senzora u odnosu na taj objekt. Upravo je ovakav pristup temelj računanja metodom trilateracije. Riječ trilateracija dolazi iz engleskog rječnika, a nastala je povezivanjem riječi trilater(al) i ation. Izvedenica je riječi "mjerenje" (*Surveying*) što u ovom kontekstu predstavlja metodu određivanja relativne pozicije triju ili više točki pritom uzimajući u obzir da se te točke ponašaju kao vrhovi trokuta ili više njih čiji kutovi i stranice mogu biti izračunate. Dakle, sama riječ trilateracija opisuje metodu pronalaska pozicije objekta u prostoru.

Sljedeći primjer prikazuje prethodno opisani scenarij. Slika 6. prikazuje odašiljač signala (u daljnjem primjeru satelit) koji odašilje signal određenog radijusa te neku točku P, odnosno korisnika čiju je lokaciju potrebno detektirati. Udaljenost *d* je poznati parametar, međutim lokacija nije jer u slučaju da postoji samo jedan postavljeni satelit, lokacija može biti na bilo kojem mjestu koje zadovoljava duljinu *d*.[10]

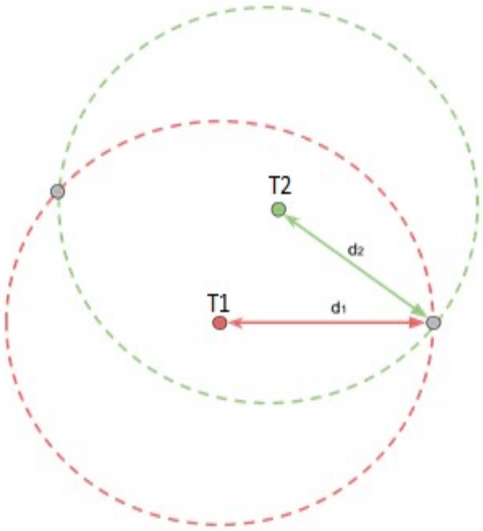


Slika 7. Udaljenost između jednog satelita do točke u radijusu signala

Ako uz postojeći satelit T1, dodamo novi satelit T2, situacija se znatno mijenja, odnosno sa n mogućih korisnika koji zadovoljavaju zadanu udaljenost, sada je mogućnost

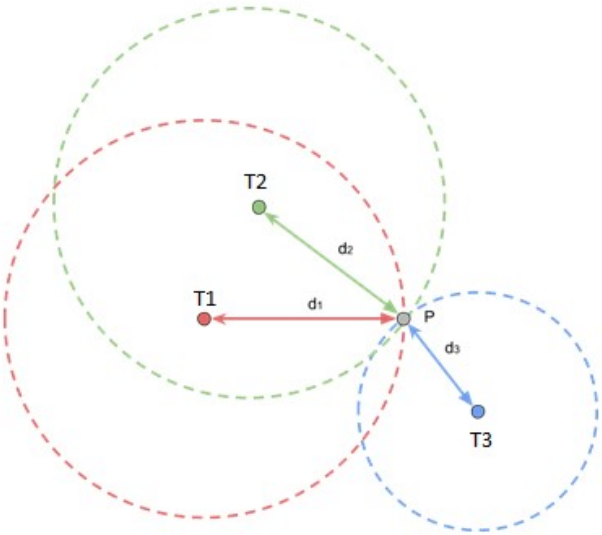
[10]Zucconi A. Positioning and Trilateration. Dostupno na: https://www.alanzucconi.com/2017/03/13/positioning-and-trilateration/ [pristupljeno: veljača, 2018.]

pronalaska lokacije sužena na samo dvije moguće. Na slici 8. se vrlo lako primijeti presjek dvije kružnice u isto toliko točaka.



Slika 8. Dva satelita čiji se signali preklapaju

S obzirom na to da je krajnji cilj detektirati točnu lokaciju korisnika ili uređaja potrebno je dodati još barem jedan satelit. Slika 9. prikazuje zajednički presjek sva tri satelita u točno jednoj točki koja predstavlja lokaciju korisnika te su time svi parametri zadovoljeni. Svaki od ovih satelita ima različitu jačinu signala ovisno o tome na kojoj su udaljenosti u odnosu na Zemljinu površinu postavljeni te je upravo to razlog zašto je na slici 9. jedan radijus veći od drugoga. Na ovaj je način opisan i primjerom prikazan postupak rada metode trilateracije.



Slika 9. Primjer određivanja lokacije s tri satelita T1, T2 i T3 u točki P

3.4 Matematički model i interpretacija u 2D prostoru

U dvodimenzionalnom prostoru stvari su ipak jednostavnije, ali isto tako i lakše za shvatiti i razumjeti te u skladu s tim primijeniti na trodimenzionalni prostor. Neka točka (x, y) nalazi se unutar kruga ako i samo ako zadovoljava sljedeću jednadžbu:

$$(x - c_x)^2 + (x - c_y)^2 = d_1^2 . \quad (3)$$

Također, iz svakog uređaja koji odašilje signal moguće je definirati jednadžbu, a opisuje se koordinatama koje predstavljaju geografsku širinu i dužinu. Drugim riječima, čitav model trilateracije može se opisati matematičkim formulama i uvjetima na način da se pronađena točka P definira s koordinatama (φ, λ) i zadovoljava uvjete formula:[11]

$$(\varphi - \varphi_1)^2 + (\lambda - \lambda_1)^2 = d_1^2 \quad (4)$$

$$(\varphi - \varphi_2)^2 + (\lambda - \lambda_2)^2 = d_2^2 \quad (5)$$

$$(\varphi - \varphi_3)^2 + (\lambda - \lambda_3)^2 = d_3^2 \quad (6)$$

3.5 Matematički model i interpretacija u 3D prostoru

Metoda trilateracije se nerijetko koristi u sustavima u kojima je nepraktična upotreba ostalih metoda za određivanje točne lokacije korisnika, a upravo je to vrlo čest slučaj u trodimenzionalnom prostoru. Metoda trilateracije znatno olakšava rad takvih sustava čija se povratna informacija dobiva u realnom vremenu. Glavna razlika između računanja pozicije nekog objekta metodom trilateracije u trodimenzionalnom i dvodimenzionalnom prostoru jest u tome što trodimenzionalni prostor zahtjeva uvođenje još jedne dodatne koordinate z. Komponenta z u ovom slučaju predstavlja visinu nekog objekta u prostoru, a jednadžba za računanje pozicije objekta u trodimenzionalnom prostoru glasi:[12]

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = d_1^2 \quad (7)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = d_2^2 \quad (8)$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = d_3^2 \quad (9)$$

[11] Hada P. Trilateration and Triangulation [Przentacija] Nepal engineering college Bhaktapur. Kolovoz, 2015. Dostupno na: https://www.slideshare.net/gokulsaud/triangulation-and-trilateration-pdf [pristupljeno: ožujak, 2018.]

[12] Jarvis, R., Mason, A., Thornhill, K., Zhang, B.: *Indoor Positioning System,* Master work, Louisiana State University, 2011.

$$(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2 = d_4^2 \quad (10)$$

Prednosti i nedostaci računanja trilateracije u dvodimenzionalnom, odnosno trodimenzionalnom prostoru ne mogu se jednoznačno definirati jer u oba prostora postoje neke značajke koje su bolje i lošije od drugog. Nastavno na prethodno navedeni primjer, dodavanjem četvrtog odašiljača signala u dvodimenzionalnom prostoru, preciznost pronalaska točne lokacije objekta u prostoru bit će znatno preciznija dok je u trodimenzionalnom prostoru situacija nešto drugačija jer se tamo dodavanjem dodatnog objekta postiže detekcija vrijednosti nepoznate z komponente. Što je sustav kompleksniji to će vrijeme računanja biti duže što je još jedna prednost rada u dvodimenzionalnom prostoru.[13]

3.6 Trilateracija - zaključak

Svaki objekt na Zemljinoj površini koji predstavlja uređaj kojim se vrši mjerenje, kao i satelit, sadrži antenu kako bi slanje podataka između ta dva objekta bilo uspješno obavljeno. Satelit odašilje signal i njegovu snagu koja se naziva RSSI (*Received Signal Strength Indication*), a računa se na temelju udaljenosti između satelita i uređaja koji je stacioniran negdje na Zemlji. Na temelju snage signala dobivamo informaciju o udaljenosti.[14]

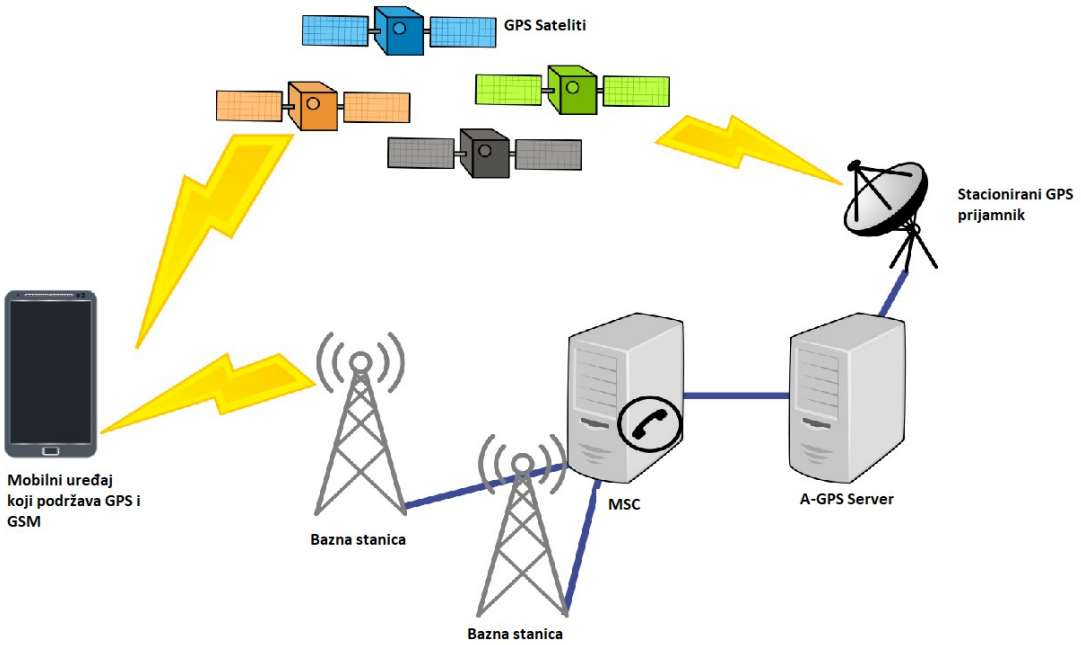
[13] Hereman, W., Murphy, Jr, W. S.: *Determination of a Position in Three Dimensions Using Trilateration and Approximate Distances,* Department of Mathematical and Computer Science, Colorado, 1995.
[14] Doukhnitch, E., Salamah, M., Ozen, E.: *An efficient approach for trilateration in 3D positioning,* Computer Communications, vol. 31, no. 17, p. 4124-4129, 2008.

4. A-GPS

A-GPS je sustav koji omogućuje određivanje lokacije GPS prijamnika kombiniranom primjenom mobilnih mreža i GPS navigacijskog sustava. Kao što je ranije spomenuto u radu za određivanje točne lokacije GPS prijamnika potreban je „otvoreni pogled“ prijamnika prema satelitima. A-GPS može raditi na svim mobilnim mrežama kao što su GPRS, GSM i UMTS mrežama temeljenima na CDMA, a najkorisniji je u slučajevima kada se prijamnik nalazi na mjestima do kojih teško dolazi signal sa satelita. To je sustav koji omogućuje da GPS prijamnik radi u okruženjima kao što su zgrade, razna ograđena područja, urbane sredine, itd. na način da mu pruža informacije koje bi inače dobivao preko satelitskih signala putem komunikacijskih kanala. Preciznost koju pruža se nalazi u intervalu od 10 m do 100 m ovisno o području u kojem se prijamnik nalazi.

Osim što služi za preciznije pozicioniranje u zatvorenim prostorima A-GPS pruža i bolje vrijeme pokretanja jer za primanje signala sa satelita treba od 30 sekundi do 2 minute ovisno o lokaciji, količini informacija i smetnjama. Također još jedna od prednosti je ta da je prijamniku potrebno manje procesorske snage da izračuna trenutnu lokaciju, pa je samim tim i manja potrošnja energije na bateriji uređaja koji služi kao prijamnik. Sam po sebi A-GPS ne može odrediti precizno lokaciju kao i GPS sustav, ali kombiniranom primjenom pokrivaju sva područja. Većina mobilnih davatelja usluga usvojila je A-GPS tehnologiju kako bi ispunili zahtjeve FCC-a (Federal Communications Commission) Federalne komisije za komunikacije SAD-a. Kao što je prikazano na slici 10. koncept A-GPS se sastoji od mobilnog uređaj koji u sebi ima ugrađen GPS prijamnik, A-GPS servera sa referentnim GPS prijamnikom i bežične mreže čija se infrastruktura sastoji od baznih stanica i MSC (*mobile switching center*) mobilnog komutacijskog centra. Kod A-GPS komunikacijska mreža i infrastruktura se koriste kako bi pomogle mobilnom uređaju prilikom određivanja lokacije. Osnovna ideja je bila uspostaviti GPS referentnu mrežu čiji prijamnici imaju „otvoreni pogled“ prema nebu i mogu kontinuirano raditi. Navedena referentna mreža je povezana sa mobilnom infrastrukturom i kontinuirano prati stanje konstelacije u realnom vremenu te daje precizne podatke za svaki satelit. [15]

[15] Asghar, M. Z., Ahmad, S., Yasin, M.R., i Qasim, M.: *A Review of Location Technologies for Wireless Mobile Location-Based Services*, Journal of American Science, vol. 10, no. 7, p. 110-118, 2014.



Slika 10. Koncept rada A-GPSa

GPS i A-GPS ne rade jako dobro u urbanim područjima visoke gustoće zbog ograničene vidljivosti satelita, a obično ne rade niti u zatvorenom prostoru zbog ometanja signala. Kao rezultat toga, dostupnost preciznog i pouzdanog pozicioniranja ograničena je na područjima gdje ljudi provode većinu svog vremena. To se uspijelo popraviti korištenjem HSGPS-a (high-sensitivity GPS) čipova koji uz pomoć velikog broja korelatora mogu popraviti preciznost preko jako slabih GPS signala. Dok HSGPS radi pod teškim uvjetima (npr. urbane sredine, zatvoreni prostori) i dalje je pozicijska točnost i vrijeme do prvog popravljanja lošije nego u idealnim uvjetima. Mnogi novi A-GPS sustavi koriste HSGPS, ali čak ni ti prijamnici nisu uvijek u mogućnosti dobiti jako preciznu lokaciju u zatvorenom prostoru, pogotovo unutar zgrada koje su izgrađene od punog čelika ili više slojeva betona i opeke.[16]

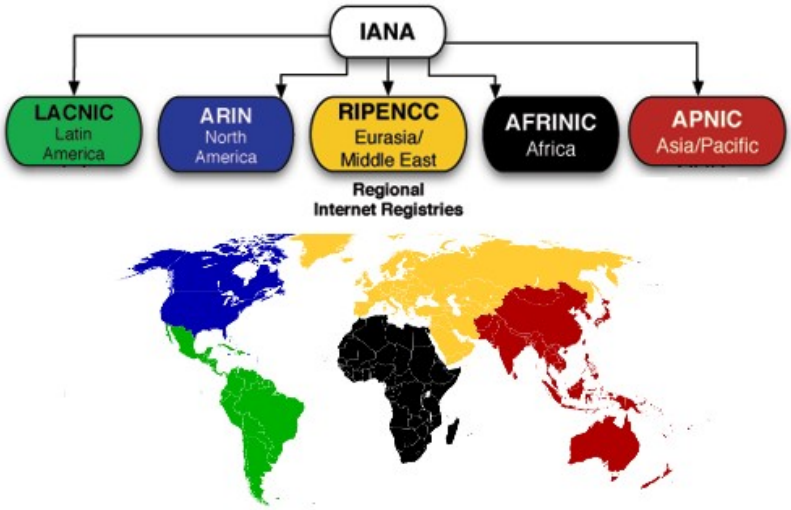
[16] Zandbergen, A. P.: *Accuracy of iPhone Locations: A Comparison of Assisted GPS, WiFi and Cellular Positioning, Department of Geography University of New Mexico,* vol.13 no. 1, p. 5-26, 2009.

5. ODREĐIVANJE LOKACIJE KORISNIKA PUTEM IP ADRESA I UVJETI KOJI PRITOM MORAJU BITI ZADOVOLJENI

S obzirom na količinu informacija koju prosječna osoba dobije putem računala i način na koji dolazi do njih te se sve češća razna poslovanja preusmjeravaju upravo putem računala. Samim time u određenim situacijama korisnik nije primoran fizički promijeniti lokaciju kako bi došao do određenog sadržaja ili informacije, no to ne znači da ponekad nije potrebno znati lokaciju korisnika koji pristupa određenom resursu na Internetu. Razlozi mogu biti razni, a jedno od takvih je u svrhu otkrivanja neprimjerenog ili ilegalnog sadržaja, online naručivanja putem popularnih stranica poput Amazona ili eBaya, internetskog oglašavanja ili pak postavljanja zadanog jezika ovisno o lokaciji prilikom pristupa određenoj web adresi i drugim raznim uslugama. Rješavanje ovakvih problema vrši se putem procesa određivanja lokacije korisnika na temelju IP *(Internet Protocol)* adrese što znači da je za što preciznije određivanje potrebna velika količina informacija, prvenstveno IP adresa, koje se mapiraju u tablici, odnosno nekoj određenoj bazi podataka te lokacija za koju su vezane, odnosno koja sadrži određeni skup IP adresa.

Glavni izvor informacija za pojedinu IP adresu nalazi se u regionalnom internetskom registru koji alocira i dodjeljuje IP adrese po organizacijama koje se nalaze u njihovim područjima usluga kao što je prikazano na slici 10., a to su redom:

- Američki registar za internetske brojeve (ARIN)
- RIPE mrežni koordinirani centar (RIPE NCC)
- Azijsko-pacifički mrežno informacijski centar (APNIC)
- Latinsko-američki i karipski internetski adresni registar (LACNIC)
- Afrički mrežni informacijski centar (AfriNIC).



Slika 11. Regionalni internetski registar [22]

Glavna ideja je prikupljanje korisnikovih informacija putem različitih izvora i aplikacija koje od korisnika zahtijevaju određene ulazne podatke njihovih lokacija kako bi pristupili određenom sadržaju. Jedan od takvih primjera su aplikacije za vremensku prognozu koje zahtijevaju točan grad i mjesto u kojem se nalaze kako bi korisnik saznao kakvo će biti vrijeme u njegovom mjestu. Prilikom slanja tih informacija, takvi sustavi najčešće mogu pristupiti IP adresi s kojeg je došao sadržaj te se ista pohranjuje u neku od baza podataka te se kasnije prosljeđuju geolokacijskim sustavima.

U čitavom ciklusu za određivanje korisnikove lokacije putem IP adrese postoji niz različitih faza koje se moraju izvršiti. Prva faza je prikupljanje korisnikovih podataka, odnosno IP adresa iz različitih izvora. Druga faza sastoji se od rudarenja podataka i vršenja određene statističke i analitičke obrade u svrhu mapiranja istih s pripadajućim lokacijama. Treća faza je obrada i pohrana tih podataka za daljnju upotrebu. Takvim složenim operacijama bave se geolokacijski servisi čija upotreba iziskuje novčana sredstva s obzirom da imaju pristup raznim bazama podataka koje daju informacije potrebne za određivanje nečije online lokacije čak i na razini poštanskog broja lokacije s čije korisnik trenutno pristupa nekom resursu putem računala. Jedan od svjetski najpopularnijih takvih servisa, odnosno sustav geolokacijskih usluga naziva se *IP2Location* koji garantira rješenje za pronalazak informacija o korisnikovoj zemlji u kojoj se služi računalom, kao i regiji, gradu, zemljopisnoj širini, dužini, poštanskom broju, vremenskoj zoni, brzini veze, ISP-u, nazivu domene pa čak i identifikacijskom broju vremenske stanice, mobilnom uređaju i mnogim drugim informacijama.

Takvi su sofisticirani sustavi vrlo sigurni i pouzdani te zahtijevaju vrlo specifične stručnjake koji su u stanju izgraditi i održavati takav jedan kompleksan informacijski sustav čiji su podaci koje posjeduje od iznimne važnosti i privatnosti.

Najčešće korištena tehnika kod IP geolokacije sastoji se od izgradnje baze podataka koja čuva adrese i mapira ih s geografskim lokacijama. Postoji nekoliko značajnijih takvih baza podataka koje se konstantno ažuriraju na raznim web servisima i stranicama na Internetu.

Kao što je već prethodno spomenuto, krajnji i glavni cilj IP geolociranja je pronaći preciznu vrijednost geografske širine i dužine sa ciljanog uređaja spojenog na Internet. Međutim postoje brojne poteškoće i izazovi u postizanju tog cilja, prije svega tu je sama veličina i kompleksnost Interneta kao takvog u kombinaciji s njegovom pristupačnošću svima što znači da ne postoji jednoznačni autoritet nad informacijom koja je pristigla. Drugi značajni problem je činjenica da ne postoji standardizirani protokol koji daje geografski položaj uređaja koji se spaja na Internet. Treća prepreka jest u tome što mnogi ne mobilni uređaji (primjerice osobna računala) koji pristupaju Internetu nisu opremljeni opremom za geolociranje poput GPS-a ili nekog drugog uređaja specificiranog za određivanje lokacije ili možda i imaju uređaj, ali se ne šalje nikakav izvještaj zbog privatnosti samog korisnika.

Postoje dvije glavne metode prilikom geolociranja putem IP adresa korisnika. Prva metoda jest, poput prethodno opisanog scenarija, koristiti se bazama podataka te zapisanih IP adresa i geografskih lokacija, a druga se metoda sastoji od korištenja aktivne sonde koja se nalazi unutar određene geografske regije i vrši mjerenja. Glavni problem kod mjerenja geolokacije putem IP adrese korisnika je preciznost koja iznosi od 10 km pa do nekoliko stotina kilometara što znači da je to zapravo preciznost veličine nekog grada, odnosno države. U većini slučajeva možemo se osloniti na pouzdanost informacije iz koje države dolazi koji upit sa zadanom IP adresom.

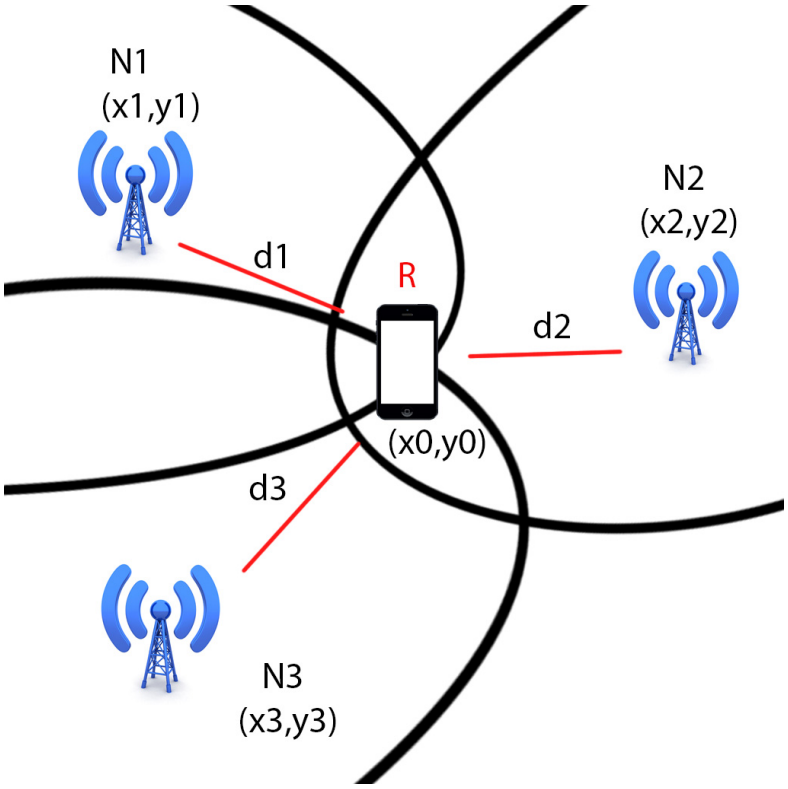
6. ODREĐIVANJE LOKACIJE KORISNIKA KORIŠTENJEM METODE IZRAČUNA RAZLIKE VREMENA DOLASKA SIGNALA (TDOA)

Osiguravanje kvalitete usluge u 4G mrežama svakodnevni je izazov za sve one uključene u planiranje, implementaciju i održavanje takvih mreža. U svrhu ostvarivanja i održavanja određenih ciljeva vezanih za 4G mreže koristi se više različitih metoda, a jedna od njih je i metoda izračuna razlike vremena dolaska signala (*time difference of arrival, TDOA*). TDOA je metoda koja se koristi kod geolociranja izvora radio signala. Dodatno, u 4G mrežama omogućuje nam se prilično precizna procjena lokacije korisnika (<100 m) u vrlo kratkome vremenu.[17]

Kako bi bili u mogućnosti uspješno odrediti lokaciju prijamnika pomoću TDOA metode, potrebno je ostvariti uspješnu sinkronizaciju u vremenu između odašiljača i prijamnika. U situacijama kada je za uspješno određivanje udaljenosti nužno nadoknaditi izostanak sinkronizacije satnih mehanizama između odašiljača i prijamnika, koristi se razlika u vremenu dolaska signala odaslanih s više različitih referentnih stanica. Kako bi se uspješno odradilo mjerenje vremena koje će se koristiti prilikom određivanja lokacije prijamnika, nužno je da postoji sinkronizacija između mobilne i bazne stanice ili baznih stanica međusobno. Ako ovaj zahtjev nije ispunjen, mora se ostvariti naknadna sinkronizacija primjenom dodatne komponente u sustavu, LMU (*Location Measurement Unit*) jedinice. LMU jedinice vrše neophodna mjerenja vremena dolaska signala s referentne i susjednih baznih stanica.

TDOA metoda koristi matematički princip hiperbolične lateracije za uspješno određivanje lokacije korisničkog prijamnika. Slika 1. prikazuje korištenje hiperbolične lateracije prilikom korištenja TDOA metode.

[17] Interference Hunting. The Value of TDOA Measurements in Maintaining 4G Network Performance. Dostupno na: http://anritsu.typepad.com/interferencehunting/2017/02/the-value-of-tdoa-measurements-in-maintaining-4g-network-performance.html [pristupljeno: ožujak, 2018.]



Slika 12. TDOA metoda

TDOA izračun između referentnih stanica N_i i N_1 definira se kao:

$$d_{i,1} = d_i - d_1 \tag{11}$$

$$d_{i,1} = ct_i - ct_1 = c(t_i - t_1) \tag{12}$$

Pri čemu je:

- $d = ct$,
- $i = 2,3,4 \ldots . m$,
- d = udaljenost između dviju stanica
- c = brzina svjetla
- t = predstavlja vrijeme potrebno da se signal propagira od jedne do druge stanice.

U slučaju kada je više referentnih stanica uključeno u određivanje položaja prijamnika, koristi se sljedeća jednadžba:

$$d_{i,1} = (t_i - t_0)c - (t_1 - t_0)c = (t_i - t_1)c\,, \tag{13}$$

pri čemu je t_0 vrijeme sata prijamnika R.

Treba primijetiti kako ove razlike nisu podložne potencijalnim greškama u satnome mehanizmu prijamnika R (t_0) jer se poništavaju prilikom oduzimanja mjerenja vremena dolaska s dvije različite stanice.

Udaljenost d_2 između prijamnika R i referentne stanice N_2 može se izračunati korištenjem sljedeće jednadžbe:

$$d_2{}^2 = (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2. \tag{14}$$

TDOA vrijednost povezana za referentnu stanicu N_i je $t_i - t_1$, odnosno predstavlja razliku između vremena dolaska signala od prijamnika R do stanica N_i i N_1. Jednako tako, definiramo i razliku u udaljenostima kao $d_{i1} \triangleq d_i - d_1$.

Prethodno zapisana jednadžba za udaljenost d_2 između prijamnika R i referentne stanice N_2 može se zapisati kao TDOA mjerenje $d_{2,1}$ kao:

$$(d_{2,1} + d_1)^2 = K_2{}^2 - 2x_2x_0 - 2y_2y_0 + d_1{}^2, \tag{15}$$

pri čemu je:

- $K_2{}^2 = x_2{}^2 + y_2{}^2$, (16)
- 0, 0 = koordinate referentne stanice N_1
- x_0, y_0 = koordinate prijamnika R
- x_2, y_2 = koordinate stanice N_2
- x_3, y_3 = koordinate stanice N_3
- d_1 = udaljenost između N_1 i R
- d_2 = udaljenost između N_2 i R
- d_3 = udaljenost između N_3 i R.

Sređivanjem prethodne jednadžbe dolazimo do:

$$-x_2x_0 - y_2y_0 = d_{2,1}d_1 + \frac{1}{2}(d_{2,1}{}^2 - K_2{}^2) \tag{17}$$

Na jednak način možemo zapisati:

$$-x_3x_0 - y_3y_0 = d_{3,1}d_1 + \frac{1}{2}({d_{3,1}}^2 - {K_3}^2), \quad (18)$$

gdje je ${K_3}^2 = {x_3}^2 + {y_3}^2$. (19)

Prethodne dvije jednadžbe mogu biti zapisane u matričnom obliku kao:

$$Hx = Sd_1 + M, \quad (20)$$

pri čemu je:

- $S = \begin{bmatrix} -d_{2,1} \\ -d_{3,1} \end{bmatrix}$
- $M = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} {K_2}^2 - {d_{2,1}}^2 \\ {K_3}^2 - {d_{3,1}}^2 \end{bmatrix}$.

Ovako zapisanu jednadžbu možemo iskoristiti kako bi odredili x, uz nepoznati d_1:

$$x = H^{-1}Sd_1 + H^{-1}M.\ ^{18} \quad (21)$$

[18] Khalel, Ayad M. H.: *Position Location Techniques in Wireless,* Blekinge Institute of Technology, School of Engineering, Swedwn, 2010.

7. INTEGRACIJA SUSTAVA AUTOMATSKOG LOCIRANJA KORISNIKA KOMBINIRANOM PRIMJENOM MOBILNIH MREŽA I SATELITSKIH NAVIGACIJSKIH SUSTAVA

Servisi bazirani na određivanju lokacije korisnika doživjeli su veliki uzlet na polju mobilnih podatkovnih usluga uslijed značajnog napretka bežičnih komunikacija te tehnologija za određivanje lokacije. Kada govorimo o servisima baziranima na određivanju lokacije, zapravo govorimo o aplikacijama koje koriste saznanja o geografskoj lokaciji koja su im omogućili mobilni uređaji sposobni za takve usluge. Mobilni uređaji svoju lokaciju dobivaju iz više različitih izvora, a konačna lokacija je najčešće rezultat integracije sustava automatskog lociranja korisnika kombiniranom primjenom mobilnih mreža i satelitskih navigacijskih sustava. Takvi servisi mogu pružati usluge poput navigacije do određene lokacije, lociranja prijatelja ili obitelji na društvenim mrežama, praćenja kretanja korisnika, lociranja točaka od posebnog značaja itd.

Navedene servise možemo podijeliti u sljedeće kategorije:

- servisi za hitne slučajeve ili javnu sigurnost
- u slučajevima opasnosti lokacija korisnika mobilnog uređaja lako je odrediva

1. korisnički servisi
    a. navigacija – navigiranje prema određenoj destinaciji pomoću pripremljenih karata, određivanje gustoće prometa na ruti
    b. oglašavanje bazirano na lokaciji – slanje oglasa korisnicima koji se nalaze u blizini određene lokacije
    c. pronalazak obitelji i prijatelja – pomaže prilikom određivanja trenutne lokacije obitelji ili prijatelja
    d. pretraživanje zasnovano na lokaciji – omogućuje korisnicima pretraživanje informacija baziranih na svojoj trenutnoj lokaciji (obližnji restorani, bolnice, itd.)
    e. mobilne igrice bazirane na lokaciji.
2. poslovni servisi
    a. lociranje i praćenje kretanja pokretnina
    b. otprema terenskih usluga baziranih na lokaciji
    c. optimizacija dostavnih ruta
    d. lakše upravljanje mobilnom radnom snagom.

7.1 Komponente i procesi servisa baziranih na određivanju lokacije

Servisi bazirani na određivanju lokacije podržavaju sljedeće infrastrukturne komponente:

1. mobilni uređaji – pristup lokacijskim uslugama moguć je uz pomoć raznih prijenosnih uređaja koji se koriste za slanje i primanje korisničkih zahtjeva; takvi prijenosni uređaji dolaze u obliku mobilnih telefona, tableta, prijenosnih navigacijskih uređaja itd.
2. aplikacije – aplikacija je programska podrška razvijena za specifičnu vrstu mobilnog uređaja te se koristi kao sučelje za pristup servisima baziranima na određivanju lokacije
3. komunikacijska mreža – komunikacijska mreža je mobilna mreža koja se koristi za slanje i primanje zahtjeva između korisnika i pružatelja usluge
4. lokacijska komponenta – kako bi bilo moguće pratiti korisnikovu trenutnu lokaciju, lokacijska komponenta nužan je dio svake lokacijske usluge jer nije moguće očekivati od korisnika da svaki puta ručno ažurira svoju trenutnu lokaciju koju bi onda koristili lokacijski servisi
5. servisni serveri – servisni serveri zaduženi su za obradu korisničkih zahtjeva te slanje rezultata korisniku; servisne servere održavaju pružatelji lokacijskih usluga; oni pružaju usluge poput izračuna ruta ili traženja specifičnih relevantnih informacija baziranih na lokaciji korisnika.

Sljedeće točke prikazuju procesne korake usluga baziranih na određivanju lokacije:

1. Korisnik šalje zahtjev servisnim serverima s pomoću aplikacije instalirane na svom mobilnom uređaju. Takva aplikacija bazira svoj rad na lokacijskim servisima.
2. Prilikom slanja servisnog zahtjeva, lokacijska komponenta dohvaća korisnikovu trenutnu lokaciju koja se zatim šalje preko komunikacije mreže sve do servisnih servera.
3. Servisni serveri obrađuju geospecifične informacije dobivene od korisnika te traže relevantne podatke u svojim bazama podataka.
4. Konačno, tražena informacija biva slana natrag korisniku na njegov mobilni uređaj putem komunikacijske mreže.

7.2 Android lokacijsko aplikacijsko programsko sučelje (*application programming interface*, API)

Trenutno najpopularniji operacijski sustav za mobilne telefone, Android, sadrži paket naziva *android.location* s pomoću kojega je implementirano sučelje za određivanje trenutne geolokacije. Ovaj paket sadrži više različitih programskih klasa s pomoću kojih ostvaruje svoje funkcionalnosti: *Address, Criteria, Geocoder, GpsSatellite, GpsStatus, Location, LocationManager i LocationProvider.*

Android Location API metoda zahtjeva eksplicitne dozvole „*ACCESS_COARSE_LOCATION*“ i „*ACCESS_FINE_LOCATION*“. Preko tih dozvola Android sustav dobiva sve informacije o aplikaciji koja koristi aplikacijsko programsko sučelje. *„ACCESS_COARSE_LOCATION*“ dozvoljava aplikaciji pristup približnoj lokaciji uređaja dobivenoj mobilnom ili Wi-Fi mrežom. „*ACCESS_FINE_LOCATION*“ omogućuje aplikaciji pristup preciznoj lokaciji mobilnog uređaja dobivenoj mobilnom ili Wi-Fi mrežom te satelitskim navigacijskim sustavom.

7.2.1 Upravitelj lokacije

„*LocationManager*“ pomaže kod upravljanja svih komponenata koje su nužne za ispravan rad lokacijski baziranog sustava. On omogućuje pristup Android lokacijskim servisima. To se postiže instanciranjem objekta iz „*LocationManager*“ klase kroz *„getSystemService(Context.LOCATION_SERVICE)“.*

7.2.2 Pružatelj lokacije

„*LocationProvider*“ klasa je superklasa koja sustavu baziranom na lokaciji dostavlja konačnu lokaciju uređaja dobivenu od različitih izvora. Ta informacija biva pohranjena u „*Location*“ klasi. Svaki Android uređaj može odrediti svoju lokaciju s obzirom na više različitih izvora, no obično imamo sljedeće *„LocationProvidere“* na raspolaganju:

1. mreža – korištenje mobilne ili Wi-Fi mreže za određivanje lokacije; može imati veću preciznost u zatvorenim prostorima nego primjerice GPS sustav
2. GPS – koristi GPS prijamnike unutar Android uređaja za određivanje lokacije s pomoću satelita; najčešće ima puno veću preciznost određivanja lokacije od one dobivene mobilnim mrežama
3. pasivno – omogućuje očitavanje lokacije s pomoću drugih komponenti Android sustava; najčešće zbog očuvanja energije.

Kako bi se dobila lista svih izvora za određivanje lokacije koji su dostupni pojedinom Android uređaju, potrebno je pozvati „*callProviders"* funkciju:

List providers=locationManagerObject.getProviders(true)

7.3 Google Maps

Jedna od usluga koje objedinjuje sve ranije spomenute funkcionalnosti je „*Google Maps*". Android nam omogućuje da integriramo „*Google Maps*" u svoju vlastitu aplikaciju te time dobivamo mogućnosti prikaza bilo koje lokacije na Google-ovim kartama, generiranja i prikaza različitih ruta te slično. Google nam omogućuje ovu uslugu putem „*google play services*" paketa koji se može preuzeti eksterno s „*Android developers*" stranica ili putem „*SDK managera*". „*Google Map API*" ključ nužan je ako želimo integrirati Google-ove mape s našom aplikacijom.

Kako bi bio u mogućnosti upravljati mapama u raznim lokacijski baziranim sustavima, Android ima više različitih objekata poput primjerice „*MapViewa*" koji omogućuje prikaz karata.

7.3.1 Directions API

Google „*Directions API*" je servis koji računa put između različitih lokacija, a za prijenos informacija koristi HTTP zahtjeve. Put se može odrediti s obzirom na više različitih vrsta prijevoza, uključujući hodanje, bicikliranje, javni ili privatni prijevoz. Ako bi neka Android aplikacija htjela koristiti ove usluge, potrebno je preuzeti i integrirati „*Directions API*" na isti način kao i „*Google Map API*".

7.3.2 Places API

Google „*Places API*" je servis koji vraća informacije o mjestima koja ima definirana kao točke od posebnog interesa, a za prijenos informacija također koristi HTTP zahtjeve. Ovaj servis omogućuje pretraživanje točaka od posebnog interesa, dohvaćanje detalja o njima te editiranje postojećih objekata. [19]

[19] Doshi, P., Jain, P., Shakwala, A.: *Location Base Services and Integration of Google Maps in Android*, International Journal Of Engineering And Computer Science, vol. 3, no. 3, p. 5072-5077, 2014.

8. ZAKLJUČAK

Integracija navigacijskih i komunikacijskih sustava, prvotno u vojne, a potom i u civilne svrhe, dovodi do velikog napretka u razvoju tehnologije za navigiranje u prostoru. Svaka od tehnologija posjeduje nedostatke koje sama nije u mogućnosti nadomjestiti. Određivanje lokacije samo uz pomoć satelita ponekad može biti jako teško ili nemoguće u zatvorenoj ili bilo kojoj drugoj sredini koja onemogućuje „otvoreni pogled“ prijamnika prema nebu. S druge strane, navigacija samo uz pomoć komunikacijskih sustava može biti vrlo neprecizna te često nedostupna. Integracija ovih dvaju sustava omogućuje nam iskorištavanje najboljih karakteristika oba sustava uz međusobno ispravljanje nedostataka.

Današnja tehnologija pruža nam vrlo precizno i brzo pozicioniranje, a uređaji koji to omogućuju su dovoljno mali te lako dostupni svima. Gotovo svaki noviji mobilni terminalni uređaj posjeduje satelitski prijamnik koji njegovom korisniku omogućuje lako snalaženje u prostoru. U tome mu pomažu razni algoritmi za izračun pozicije, mobilne mreže te satelitski navigacijski sustavi. Sve ranije spomenuto rezultira time da je neki od oblika navigiranja dostupan velikoj većini populacije. To dovodi do značajne optimizacije putovanja, smanjenja utjecaja na okoliš, povećane sigurnosti te manjeg broja pogrešaka u raznim prometnim procesima.

Daljnji napredak satelitskih i komunikacijskih sustava omogućit će još preciznije i brže određivanje lokacije što će zasigurno dovesti do razvoja novih prometnih, a zasigurno i svih ostalih vezanih procesa i tehnologija.

9. LITERATURA

[1] Dev R. *LEO, MEO & GEO Satellite Systems: A Comparison.* Dostupno na: http://durofy.com/leo-meo-geo-satellite-systems/ [pristupljeno: siječanj, 2018.]

[2] Kos T, Grgić M, Krile S. *Hiperbolni i satelitski sustavi za navigaciju*. Naše more, 2004; 51(5-6):189-199.

[3] Brčić D. Temeljni postupak određivanja položaja satelitskim navigacijskim sustavima. [Predavanje] Pomorski fakultet u Rijeci; 2012.

[4] Novatel. *GLONASS (Global Navigation Satellite System)*. Dostupno na: https://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-3-satellite-systems/glonass [pristupljeno: veljača, 2018.]

[5] European Space Agency. *Galileo Navigation*. Dostupno na: https://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo/What_is_Galileo [pristupljeno: veljača, 2018.]

[6] Sugja-Jovetić I. Pogodnosti korištenja usluga temeljenih na lokaciji primjenom satelitskog sustava Galileo. Diplomski rad. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2016.

[7] Bist A. *What is GLONASS And How It Is Different From GPS*. Dostupno na: https://beebom.com/what-is-glonass-and-how-it-is-different-from-gps/ [pristupljeno: veljača, 2018.]

[8] Agarwal T. *How GPS System Works?* Dostupno na: https://www.elprocus.com/how-gps-system-works/ [pristupljeno: veljača, 2018.]

[9] Zucconi A. *Positioning and Trilateration*. Dostupno na: https://www.alanzucconi.com/2017/03/13/positioning-and-trilateration/ [pristupljeno: veljača, 2018.]

[10][10] Pecotić M. *Pozicioniranje na mobitelu bez GPS-a*. Dostupno na: http://www.usporedi.hr/teme/pozicioniranje-na-mobitelu-bez-gps-a [pristupljeno: siječanj, 2018.]

[11] Hada P. *Trilateration and Triangulation* [Przentacija] Nepal engineering college Bhaktapur. Kolovoz, 2015. Dostupno na: https://www.slideshare.net/gokulsaud/triangulation-and-trilateration-pdf [pristupljeno: ožujak, 2018.]

[12] DaWaf C. *An illustration of the central angle*. 2016. Dostupno na: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Central_angle.svg [pristupljeno: ožujak, 2018.]

[13] Jarvis R, Mason A, Thornhill K, Zhang B. *Indoor Positioning System.* Master work. Louisiana: Louisiana State University; 2011.

[14] Hereman W, Murphy Jr WS. Department of Mathematical and Computer Science: *Determination of a Position in Three Dimensions Using Trilateration and Approximate Distances.* Colorado, USA: Colorade school of mines; 1995. Dostupno na:

https://inside.mines.edu/~whereman/papers/Murphy-Hereman-Trilateration-MCS-07-1995.pdf [pristupljeno: ožujak, 2018.]

[15] Doukhnitch E, Salamah M, Ozen E: An efficient approach for trilateration in 3D positioning. *Computer Communications*. 2008; 31(17): 4124-4129. Dostupno na: https://pdfs.semanticscholar.org/4da4/5cdfb09288bd5f1a91fe105e79a30e812db7.pdf [pristupljeno: ožujak, 2018.]

[16] Interference Hunting. The Value of TDOA Measurements in Maintaining 4G Network Performance. Dostupno na: http://anritsu.typepad.com/interferencehunting/2017/02/the-value-of-tdoa-measurements-in-maintaining-4g-network-performance.html [pristupljeno: ožujak, 2018.]

[17] Khalel Ayad MH. *Position Location Techniques in Wireless.* Magistarski rad. Blekinge Institute of Technology, School of Engineering, Swedwn, 2010.

[18] Doshi P, Jain P, Shakwala A: Location Based Services and Integration of Google Maps in Android. *International Journal Of Engineering And Computer Science*. 2014; 3(3): 5072-5077. Dostupno na: http://www.ijecs.in/issue/v3-i3/30%20ijecs.pdf [pristupljeno: veljača, 2018.]

[19] Beg R. *How to Trace and Locate IP Addresses?* Dostupno na: https://emap.pk/blog-1124-how-to-trace-and-locate-ip-addresses [pristupljeno: ožujak, 2018.]

[20] Jurney North. *Understanding Latitude and Longitude.* Dostupno na: http://www.learner.org/jnorth/tm/LongitudeIntro.html [pristupljeno: veljača, 2018.]

[21] Asghar MZ, Ahmad S, Yasin MR, Qasim M. A Review of Location Technologies for Wireless Mobile Location-Based Services. *Journal of American Science*. 2014; 10(7):110-118.
Dostupno na:
https://www.researchgate.net/profile/Dr_Muhammad_Asghar/publication/284349183_A_Review_of_Location_Technologies_for_Wireless_Mobile_Location-Based_Services/links/5651d68208ae1ef92975302c/A-Review-of-Location-Technologies-for-Wireless-Mobile-Location-Based-Services.pdf [pristupljeno: veljača, 2018.]

10. POPIS SLIKA

Slika 1. Udaljenost satelitskih navigacijskih sustava od zemlje 4

Slika 2. Kretanje GPS satelita oko zemlje.....5

Slika 3. Određivanje pozicije prijamnika.....6

Slika 4. Izgled Galileo satelita.....8

Slika 5. Geografska širina i dužina prikazana u stupnjevima u odnosu na centar Zemlje ...11

Slika 6. Primjer računanja udaljenosti dvije točke na kugli.....12

Slika 7. Udaljenost između jednog satelita do točke u radijusu signala 13

Slika 8. Dva satelita čiji se signali preklapaju.....14

Slika 9. Primjer određivanja lokacije sa tri satelita T1, T2 i T3 u točki P 14

Slika 10. Koncept rada A-GPSa.....18

Slika 11. Regionalni internetski registar 20

Slika 12. TDOA metoda.....23

11. POPIS KRATICA

AfriNIC	(*African Network Information Centre*) afrički mrežni informacijski centar
A-GPS	(*Assisted GPS*) pomoćni GPS
API	(*Application Programming Interface*) sučelje za programiranje aplikacija
APNIC	(*Asia - Pacific Network Information Centre*) informacijski centar za azijsko-pacifičku mrežu
ARIN	(*American Registry for Internet Numbers*) američki registar za Internet brojeve
CDMA	(*Code Division Multiple Access*) višestruki pristup sa kodnom raspodjelom kanala
CS	(*Commercial Service*) komercijalna usluga
GEO	(*Geostacionary Earth Orbit*) geostacionarna zemljina orbita
GLONASS	(*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*) globalni navigacijski satelitski sustav
GNSS	(*Global Navigation Satellite System*) globalni navigacijski satelitski sistem
GPRS	(*General Packet Radio Service*) paketna, bežična podatkovna komunikacijska usluga
GPS	(*Global Positioning System*) globalni pozicijski sustav
GSM	(*Global System for Mobile Communications*) globalni sustav za mobilne komunikacije
HSGPS	(*High-Sensitivity* GPS) GPS visoke osjetljivosti
IP	(*Internet Protocol*) internetski protokol

ITU	(*International Telecommunication Union*) međunarodna telekomunikacijska unija
LACNIC	(*Latin America and Caribbean Network Information Centre*) latinsko-američki i karipski internetski adresni registar
LEO	(*Low Earth Orbit*) niska zemljina obita
LMU	(*Location Measurement Unit*) jedinica za mjerenje lokacije
MEO	(*Medium Earth Orbit*) srednja zemljina orbita
MSC	(*Mobile Switching Center*) mobilni centar za prebacivanje
NAVSTAR	(*NAVigation Satellite Timing And Ranging system*) navigacijski satelitski sustav za raspored i raaspon
OS	(*Open Service*) otvorene usluge
PRS	(*Public Regulated Service*) javno regulirana usluga
RIPE - NCC	(*Ripe Network Coordination Centre*) ripe mrežni koordinirani centar
RSSI	(*Received Signal Strength Indication*) oznaka primljene signalne snage
SAR	(*Search And Rescue Service*) usluge pretraživanja i spašavanja
SoL	(*Safety Of Life Service*) usluge za sigurnost života
TDOA	(*Time Difference Of Arrival*) razlika vremena dolaska signala
UMTS	(*Universal Mobile Telecommunications System*) univerzalni mobilni telekomunikacijski sustav
UTC	(*Universal Time Coordinated*) univerzalno koordinirano vrijeme

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni 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 završnog rada pod naslovom **INTEGRACIJA NAVIGACIJSKIH I KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA ZA POBOLJŠANJE NAVIGACIJSKIH SPOSOBNOSTI**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student:

U Zagrebu, 23.4.2018. jandrijević
(potpis)