

# Analiza elemenata arhitekture telekomunikacijske mreže za isporuku usluge navigacije korisnika

---

**Crnković, Božo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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:119:365395>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**ZAVRŠNI RAD**

**ANALIZA ELEMENATA ARHITEKTURE TELEKOMUNIKACIJSKE MREŽE  
ZA ISPORUKU USLUGE NAVIGACIJE KORISNIKA**

**ANALYSIS OF TELECOMMUNICATION NETWORK ARCHITECTURE  
ELEMENTS FOR DELIVERY OF USER NAVIGATION**

**Mentor:**

**Izv. prof. dr. sc. Marko Periša**

**Student:**

**Božo Crnković**

**0066298496**

**Zagreb, rujan 2023.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 22. svibnja 2023.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**  
Predmet: **Arhitektura telekomunikacijske mreže**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 7258

Pristupnik: **Božo Crnković (0066298496)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Analiza elemenata arhitekture telekomunikacijske mreže za isporuku usluge navigacije korisnika**

Opis zadatka:

U radu je potrebno navesti i opisati elemente arhitekture TK mreže za isporuku usluge navigacije korisnika u zatvorenom i otvorenom prostoru.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

izv. prof. dr. sc. Marko Periša

# SAŽETAK

U današnjem digitalnom dobu, telekomunikacijske mreže su postale neizostavan temelj za širok spektar usluga koje su dostupne. Jedna od ključnih usluga koja se oslanja na ovu infrastrukturu je navigacija korisnika, koja igra ključnu ulogu u svakodnevnom životu.

Ovaj završni rad se bavi analizom elemenata arhitekture telekomunikacijske mreže koji omogućuju isporuku usluge navigacije korisnika kako u zatvorenom tako i na otvorenom prostoru. Istražit će se kako su telekomunikacijske mreže ključne za ovu uslugu, kako se podaci prikupljaju, obrađuju i dostavljaju korisnicima te kako se osigurava visoka razina kvalitete i pouzdanosti ovog važnog servisa. Kroz detaljnu analizu arhitekture, tehnologija i procesa, otkrit će se kako telekomunikacijske mreže omogućavaju korisnicima da se kreću sigurno i učinkovito u svijetu.

KLJUČNE RIJEČI: navigacija; arhitektura; elementi mreže; telekomunikacija

# SUMMARY

In today's digital age, telecommunications networks have become an essential foundation for a wide range of services available. One of the key services that relies on this infrastructure is user navigation, which plays a key role in everyday life.

This final paper will focus on analyzing the elements of the telecommunications network architecture that enable the delivery of user navigation services both indoors and outdoors. It will be investigated how telecommunication networks are crucial to this service, how data is collected, processed, and delivered to users, and how a high level of quality and reliability is ensured for this vital service. Through a detailed analysis of architecture, technologies, and processes, it will be revealed how telecommunication networks enable users to navigate safely and efficiently in the world.

KEY WORDS: Navigation; Architecture; Network Elements; Telecommunications

## Sadržaj:

1. Uvod .....	1
2. Segmentacija elemenata telekomunikacijske mreže .....	3
3. Analiza elemenata arhitekture TK mreže za isporuku usluge navigacije korisnika u zatvorenom prostoru .....	5
3.1. Infracrveno zračenje .....	6
3.1.1. Metoda i-Navigacije korištenjem razlike u temperaturi između zida i osnovne površine .....	6
3.1.2. Navigacija korištenjem vlastite reflektirajuće topline .....	8
3.2. Radiofrekvencijska identifikacija (eng. <i>Radio Frequency Identification</i> - RFID) .....	10
3.3. Bežična lokalna mreža (eng. <i>Wireles local area network</i> - WLAN) .....	11
3.4. Bluetooth niske energije (eng. <i>Bluetooth Low Energy</i> - BLE) .....	12
3.4.1. Algoritam pozicioniranja .....	12
3.4.2. Baza podataka .....	13
3.4.3. Navigacija .....	15
3.4.4. Korisničko sučelje .....	15
4. Analiza elemenata arhitekture TK mreže za isporuku usluge navigacije korisnika u otvorenom prostoru .....	16
4.1. Globalni navigacijski satelitski sustavi .....	17
4.1.1. GPS .....	17
4.1.2. GLONASS .....	20
4.1.3. GALILEO .....	21
4.2. Senzori .....	22
5. Metode određivanja lokacije korisnika .....	25
5.1. Metode određivanja lokacije korisnika u zatvorenom prostoru .....	25
5.1.1. Trilateracija .....	25
5.1.2. Triangulacija .....	26
5.1.3. Fingerprinting .....	27
5.1.4. Metoda lokalizacije blizine .....	28
5.1.5. Metoda analize vida .....	29
5.2. Metode određivanja lokacije korisnika na otvorenom .....	29
5.2.1. Određivanje položaja s četiri ili više satelita .....	29
5.2.5. Metoda izračuna razlike vremena dolaska signala .....	30
6. Zaključak .....	32
LITERATURA .....	33
POPIS SLIKA .....	35

## 1. Uvod

U današnjem dobu brze digitalne transformacije i povezanosti, telekomunikacijske mreže igraju ključnu ulogu u podržavanju širokog spektra usluga koje oblikuju naš način života i poslovanja. Jedna od tih ključnih usluga koja se oslanja na naprednu infrastrukturu telekomunikacijskih mreža je navigacija korisnika. Navigacija je postala nezaobilazni dio naših svakodnevnih aktivnosti, bilo da putujemo gradom, istražujemo nepoznate lokacije ili pratimo smjernice za postizanje poslovnih ciljeva. Sve ovo postaje moguće zahvaljujući integraciji tehnologije navigacije u našu svakodnevicu, a telekomunikacijske mreže su ključni čimbenik koji omogućuje ovu povezanost.

Ovaj završni rad usmjeren je na analizu elemenata arhitekture telekomunikacijske mreže koji omogućuju isporuku usluge navigacije korisnicima u zatvorenim prostorima, kako i na otvorenom. Cilj ovog rada je pobliže opisati i analizirati elemente telekomunikacijske mreže koji se koriste pri isporuci usluge navigacije, različite tehnologije i pristupe navigaciji isto kao i metode, algoritme i formule izračuna lokacije korisnika.

Rad je podijeljen u šest cjelina kroz koje će se opisati podjela telekomunikacijske mreže, različiti element mreže koji se koriste ovisno o potrebi te različite metode i pristupi:

1. Uvod
2. Segmentacija elemenata telekomunikacijske mreže
3. Analiza elemenata telekomunikacijske mreže za isporuku usluge navigacije korisnika u zatvorenom prostoru
4. Analiza elemenata telekomunikacijske mreže za isporuku usluge navigacije korisnika u otvorenom prostoru
5. Metode određivanja lokacije korisnika
6. Zaključak

U drugom poglavlju opisana je podjela telekomunikacijske mreže. Također opisano je koja je svrha određenog segmenta mreže i funkcija.

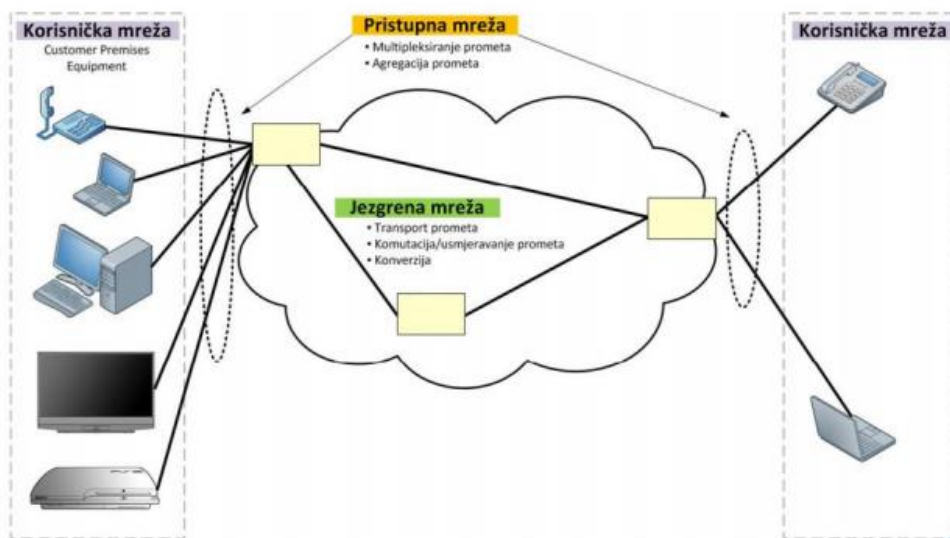
U trećem poglavlju izvršena je analiza elemenata arhitekture telekomunikacijske mreže za ispostavu usluge navigacije korisnika u zatvorenim prostorima. Opisane su tehnologije kojima se određuje lokacija, kartografski sustavi te senzori, softveri i algoritmi koji zajedno pružaju uslugu.

U četvrtom poglavlju izvršena je analiza elemenata arhitekture telekomunikacijske mreže za ispostavu usluge navigacije korisnika na otvorenom prostoru. Opisani su satelitski sustavi koji omogućuju određivanje lokacije. Također opisani su i kartografski sustavi, senzori i ostali elementi uz pomoć kojih se usluga ispostavlja.

Peto poglavlje opisuje metode uz pomoć kojih se izračunava i određuje lokacija korisnika. Opisane su neke od najpoznatijih metoda poput: trianguracije, trilateracije, *Fingerprintinga*, metoda lokalizacije blizine, metoda analize vida, metoda određivanja lokacije s četiri satelita i metoda izračuna razlike vremena dolaska signala.

## 2. Segmentacija elemenata telekomunikacijske mreže

Telekomunikacijsku mrežu moguće je podijeliti na tri osnovna dijela : korisničku mrežu, pristupnu mrežu i jezgrenu mrežu. Korisnička strana se uvijek nalazi na dijelu mreže kojeg se još naziva korisnička mreža. Koji čine krajnji, terminalni uređaji. Korisnici ili krajnji uređaji se povezuju na jezgrenu mrežu, a što im omogućava pristupna mreža koja je dio komunikacijske mreže. Na taj se način informacije usmjeravaju i prenose s jednog dijela mreže na drugi. Prikaz segmentacije nalazi se na slici 1 [1].



Slika 1. Segmentacija telekomunikacijske mreže, [1]

Glavna svrha mreže jest dostavljanje informacija s traženom kvalitetom, pri čemu bi složeni mrežni mehanizmi trebali ostati nevidljivi za korisnike usluge i aplikacije. Mreža se sastoji od dva osnovna dijela: pristupne mreže (eng. *access network*), koja omogućuje korisnicima povezivanje sa svojim uređajima, kao što su fiksni telefoni, mobilni uređaji i osobna računala te jezgrene mreže (eng. *core network*), koja povezuje sustave u pristupnoj mreži i omogućuje komunikaciju s drugim mrežama [2].

Pristupna mreža može biti žična (eng. *wireline*) ili bežična (eng. *wireless*). Žični pristup karakterističan je za fiksne mreže, koristeći bakrene vodiče poput parica u telefonskoj mreži. Bežični pristup omogućuje komunikaciju dok se krećemo, koristeći radijske kanale u mobilnim mrežama. Važno je napomenuti da se u mobilnim mrežama samo bežični pristup koristi za komunikaciju [2].

Jezgrena mreža igra ključnu ulogu u komutiranju i usmjeravanju informacijskih tokova. Također sudjeluje u pružanju različitih usluga i aplikacija, njihovoj prilagodbi korisnicima, osigurava zaštitu podataka te se bavi lociranjem korisnika u mobilnim mrežama i drugim složenim funkcijama. Jezgrena mreža se sastoji od visoko kapacitiranih i visokoproduktivnih



sustava koji povezuju sustave u pristupnoj mreži i ostvaruju veze s drugim mrežama u zemlji i inozemstvu. Za prijenos podataka koriste se optička vlakna [2].

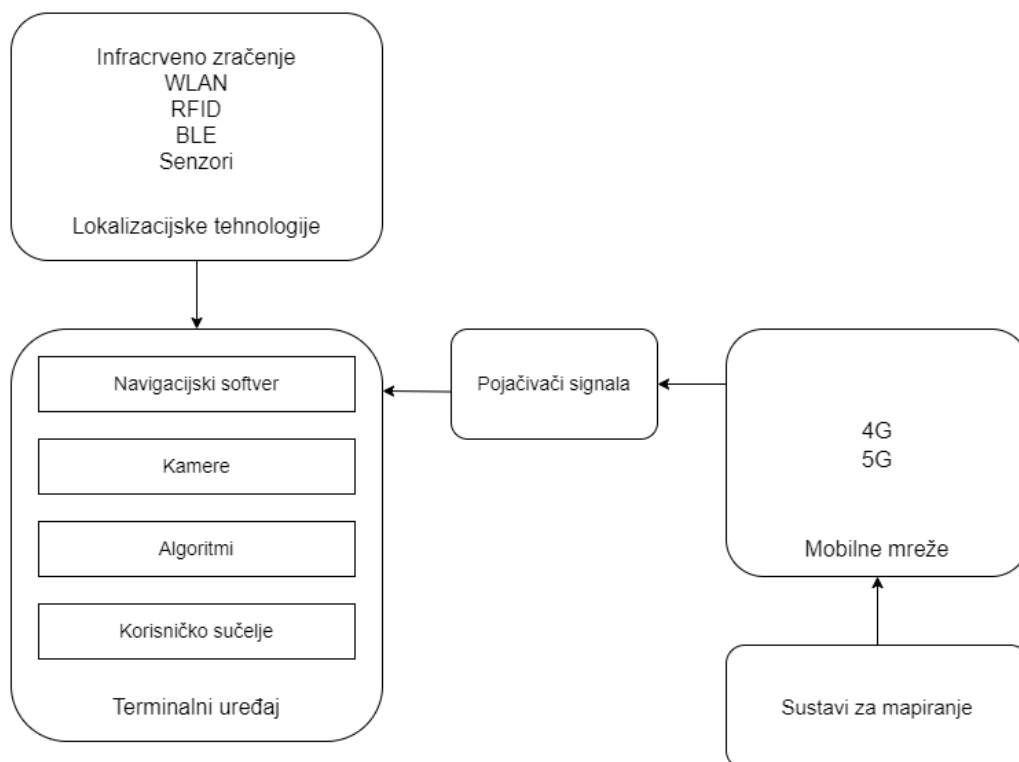
Važno je napomenuti da je jezgrena mreža često zajednička za više pristupnih mreža, kao što su različite mobilne mreže ili fiksne i mobilne mreže. Ovo omogućuje učinkovitije korištenje raspoloživih kapaciteta i pruža bolje rješenje [2].

Upravljačke i kontrolne funkcije su bitne kako bi se osiguralo da se potrebni resursi na poslužiteljima dodijele korisnicima sukladno njihovim zahtjevima za usluge i aplikacije. Usluge i aplikacije mogu biti podržane poslužiteljima u jezgrenom dijelu mreže ili poslužiteljima koji su povezani putem pristupne mreže, pa čak i poslužiteljima koji se nalaze i su dostupni u drugim mrežama [2].

Kako bi korisnici iz različitih mreža mogli međusobno komunicirati i koristiti usluge, ključno je ostvariti fizičko i logičko povezivanje između tih mreža [2].

### 3. Analiza elemenata arhitekture TK mreže za isporuku usluge navigacije korisnika u zatvorenom prostoru

U navigaciji korisnika u zatvorenom prostoru koriste se različite tehnologije i metode kako bi se ispunili svi zahtjevi i potrebe korisnika sa što većom preciznošću i jednostavnošću. U nastavku ovog rada biti će opisana arhitektura te neke od najpoznatijih tehnologija za navigaciju korisnika u zatvorenom prostoru.



Slika 2. Arhitektura mreže za isporuku usluge navigacije u zatvorenom, [3]

Sustav za mapiranje omogućuje prikupljanje, pohranu, analizu i vizualizaciju podataka, kako bi se stvorile digitalne karte i informacije o lokacijama. Podatci mapa mogu biti različitog porijekla kao što su ručno unesene informacije o terenu i snimke zgrada i prostora. Prikupljeni podatci se pohranjuju u bazi podataka koja je strukturirana tako da omogućuje brzo pretraživanje željenih podataka. Bazu je bitno održavati da bude ažurna te da se zastarjeli podatci brišu iz baze.

Mobilne mreže imaju važnu ulogu u ispostavi usluge jer pružaju pristup kartografskim podatcima u stvarnom vremenu. Također, putem mobilne mreže pristupamo podatcima poput gužve u nekoj prostoriji ili trgovini te o lokaciji osoba koje dijele lokaciju s nama.

Pojačivači signala imaju važnu ulogu u ispostavi usluge, jer osiguravaju kvalitetu veze i siguran i brz pristup kartografskim podacima. Pojačivač signala skuplja slab signal izvan zgrade te ga provodi kroz uređaj za pojačavanje signala te ga distribuira unutar zgrade putem antena koje su rasprostranjene u zgradi kako bi pružile ravnomjernu uslugu. Ovakvi uređaji su iznimno bitni u prostorija koji imaju debele ili metalne zidove koji ometaju prijenos signala. Pojačivači također imaju ugrađene filtere koji pomažu smanjiti smetnje i osiguravaju čišći i kvalitetniji signal.

Terminalni uređaji prikupljaju sve kartografske podatke primljene putem mobilne mreže, te uz pomoć tehnologija kojima se određuje lokacija, koje će detaljnije biti opisane u nastavku, i ostalih senzora i algoritama pruža navigacijsku uslugu. Na uređaju se putem korisničkog sučelja prikazuju karte sa smjernica ili slikama koje pružaju što bolje iskustvo korištenja. Mogućnosti poput pomicanja na karti, približavanja i prikaza informacija o gužvama u određenim prostorijama i trgovinama [3].

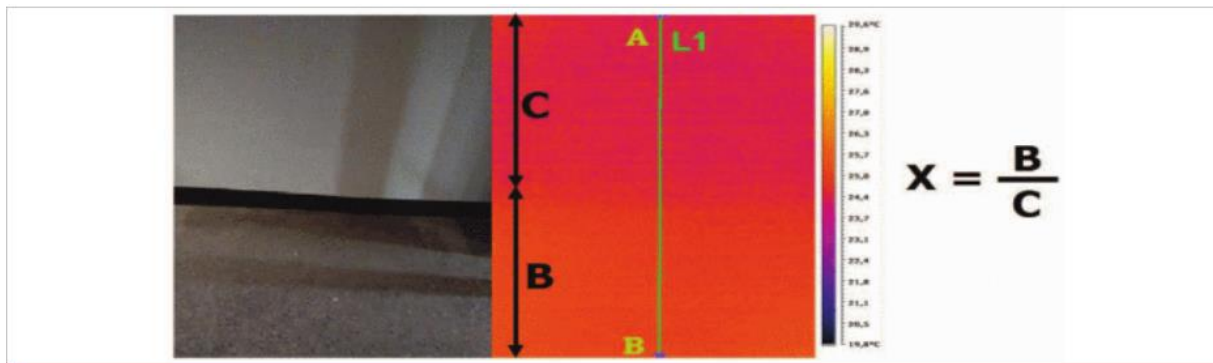
U nastavku će detaljno biti opisane tehnologije koje su neizostavan dio pružanja navigacijske usluge u zatvorenom prostoru.

### 3.1. Infracrveno zračenje

Tehnologija infracrvenog zračenja (eng. *Infrared* - IR) u svrhu navigacije najčešće se koristi kod slijepih i slabovidnih osoba. U nastavku će biti opisane metode koje koriste infracrveno zračenje za navigaciju korisnika.

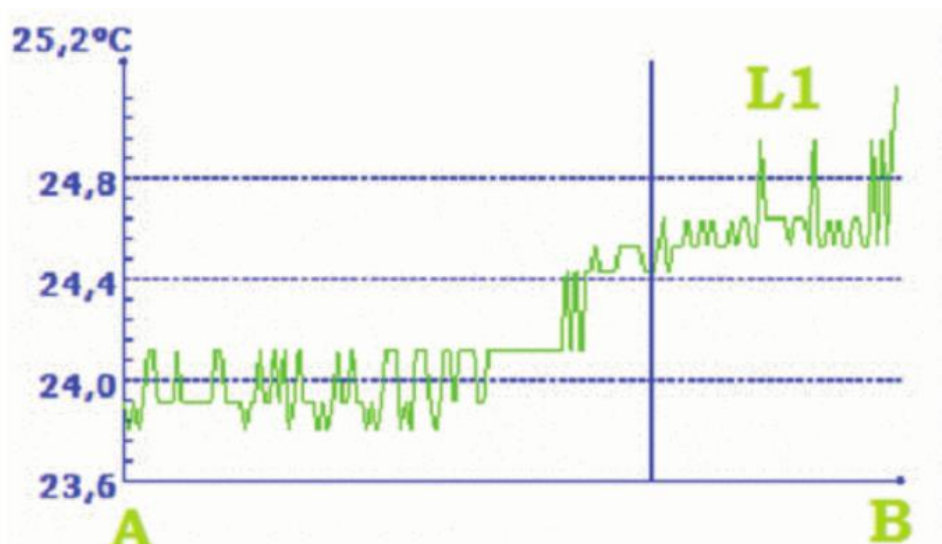
#### 3.1.1. Metoda i-Navigacije korištenjem razlike u temperaturi između zida i osnovne površine

Metoda koristi razlike u temperaturama koje se mjere pomoću termografske kamere, a te razlike često potječu od različitih svojstava površina, kao što su zid i pod, prikazano slikom 3, koja prikazuje usporedbu slika snimljenih konvencionalnom kamerom i termografskom kamerom unutar zgrade. U prikazanoj zgradi, zid i pod izrađeni su od različitih materijala, što rezultira različitim bojama i teksturama. Svaki od tih materijala ima različiti stupanj emisiviteta, što znači da će imati različite temperature na termografskoj slici. Na primjer, pod je napravljen od kamena s emisivitetom koeficijenta 0,93, dok je zid obojen emajl bojom i ima emisivitet koeficijenta 0,90 [4].



Slika 3. Razlika emisiviteata podloga [4]

Na termografskoj slici, označena je linija L1, za koju je zatim izrađen dijagram temperature, gdje se može primijetiti razlika u temperaturama zida i osnovne površine od približno 0,5°C. Temperaturni dijagram prikazan je na slici 4.



Slika 4. Temperaturni dijagram L1, [4]

Za određivanje udaljenosti D između osobe i unutarnjeg zida primijenjena je metoda termografske kamere [4].

$$D = \frac{H(1 + \tau(\beta + \alpha) + X)}{1 + X\tau \tan(90 - \beta)}$$

H - visina senzora

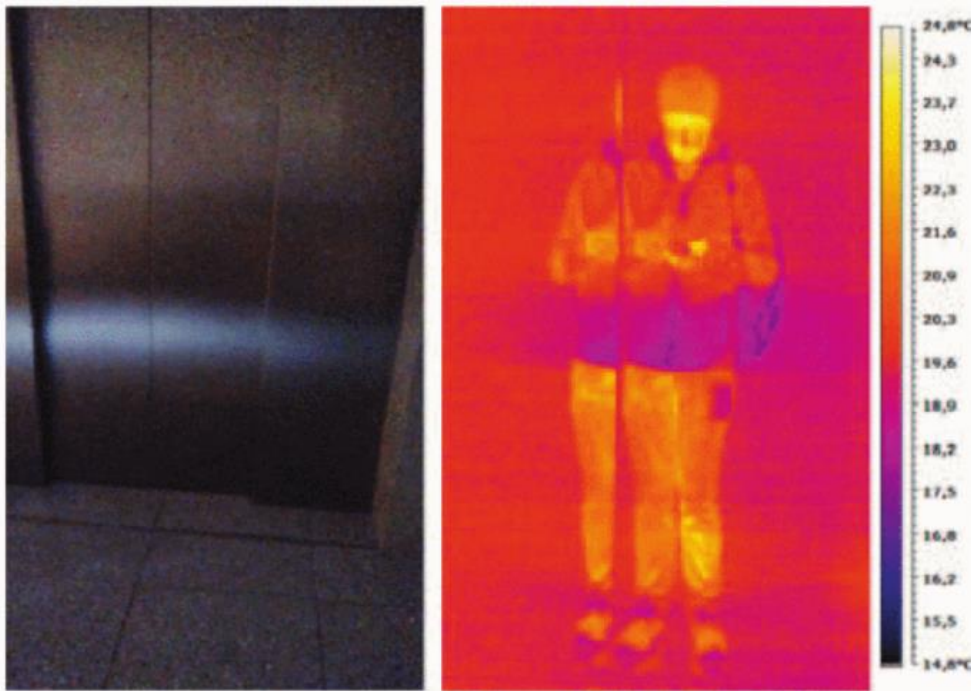
X - očitavanje s termografske kamere

$\alpha$  – kut vidnog polja (*field of view* - FOV) infracrvenog senzora

$\beta$  - kut nagiba senzora mjeren prema tlu

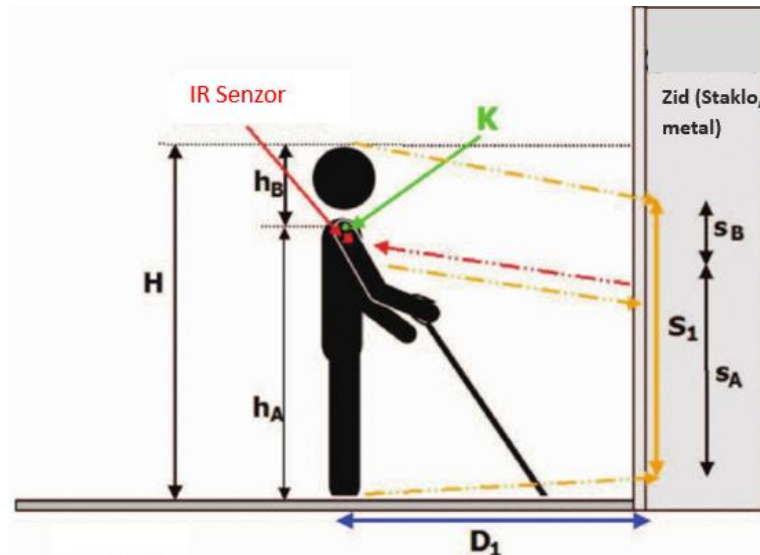
### 3.1.2. Navigacija korištenjem vlastite reflektirajuće topline

U ovoj metodi određuje se udaljenost između osobe i odabranog objekta koristeći toplinu koju osoba generira, a koja se reflektira od površine objekta s visokim koeficijentom refleksije, niskim emisivitetom. Materijali s visokim koeficijentom refleksije uključuju staklo, aluminij, krom, polirane metale, sjajne površine i slično. Primjer refleksije topline od strane osobe na poliranoj metalnoj površini, kao što su vrata lifta, prikazan je na slici 5 [4].

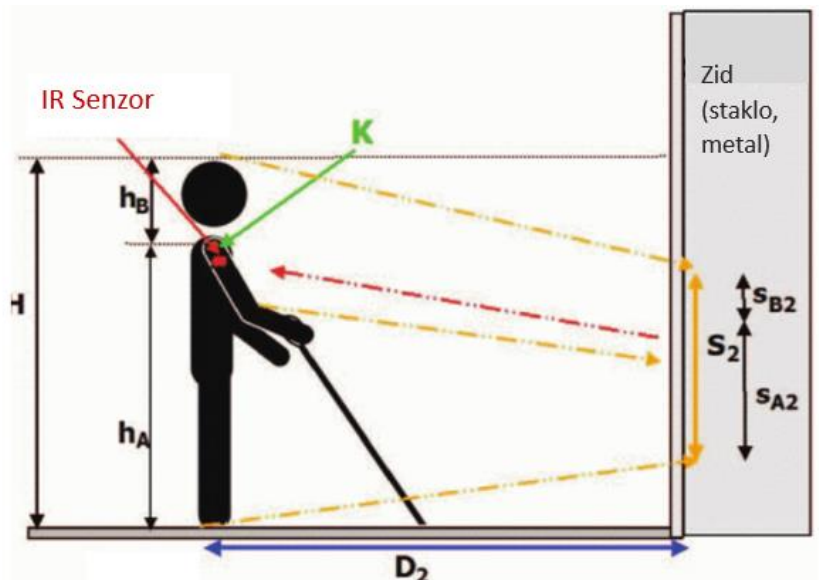


Slika 5. lijevo – objekt visokog koeficijenta refleksije; desno – refleksija topline ljudskog tijela od objekta, [4]

Slika 6 i slika 7 prikazuju položaj slijepa osobe na kratkoj (D1) i dugoj (D2) udaljenosti od odabranog objekta. IR senzor montiran na ruci detektira toplinsko zračenje koje osoba generira, a koje se reflektira od zida. Iz termografske slike generirane termalnim senzorom dobivamo sliku S koja proizlazi iz topline reflektirane od objekta i generirane ljudskim tijelom. Veličina S slike je proporcionalna udaljenosti D. Na slici 5 slijepa osoba je na udaljenosti D1 i generira reflektiranu sliku veličine S1. Slično tome, za udaljenost D2, generira se slika veličine S2 [4].

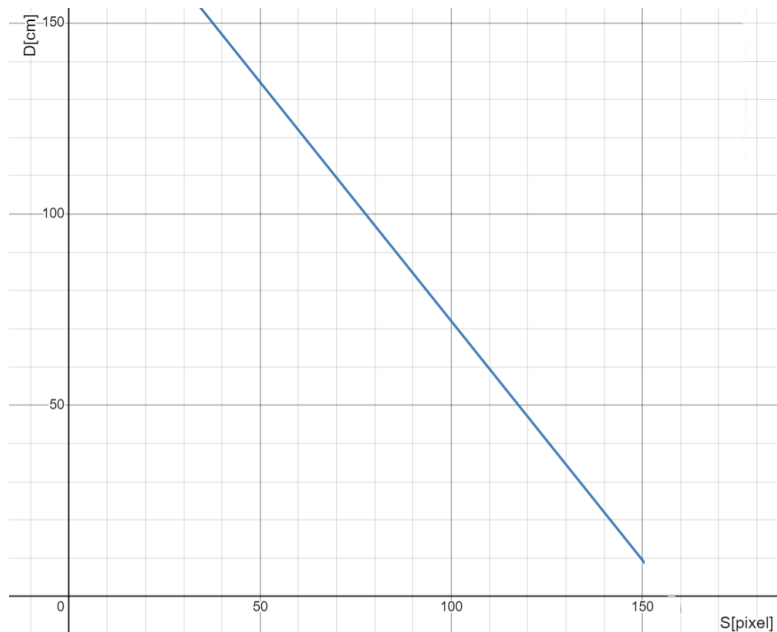


Slika 6. Slijepa osoba na kratkoj udaljenosti od zida, [4]



Slika 7. Slijepa osoba na većoj udaljenosti od zida, [4]

Slika 8 prikazuje ovisnost udaljenosti  $D$  osobe o veličini  $S$  slike dobivene iz termalnog senzora. Ovisnost udaljenosti  $D$  o veličini  $S$  je linearna i uglavnom ovisi o parametrima primijenjenog senzora i visini osobe  $H$ . Vrijednost  $S$  se mjeri brojem piksela. Prije prvog korištenja, potrebno je označiti barem dvije točke  $D$  u odnosu na parametar  $S$  kako biste mogli pronaći formulu za linearnu funkciju koja opisuje tu ovisnost. Na temelju određene formule linearne funkcije i očitavanja vrijednosti  $S$  iz termografske kamere, moguće je odrediti udaljenost slijepa osobe od odabranog objekta.



Slika 8. Ovisnost udaljenosti slijepe osobe o veličini slike, [4]

### 3.2. Radiofrekvencijska identifikacija (eng. *Radio Frequency Identification*- RFID)

U unutarnjem sustavu za praćenje pomoću RFID-a, čitač RFID-a treba čitati podatke o snazi signala (eng. *Received Signal Strength Indicator* - RSSI) i kvaliteti veze (eng. *Link Quality Indication* - LQI) s aktivnim RFID oznakama tijekom faze prikupljanja RSSI podataka. Ako je LQI ispod određene granice, određeni podaci o RSSI-ju se filtriraju. Ovdje se metoda razlikuje od većine uobičajenih scenarija jer predlaže integraciju čitača RFID-a u sam ciljni uređaj koji se koristi kao referentna točka. Aktivne RFID oznake postavljaju se unutar infrastrukture kao referentne točke s poznatim položajima na unutarnjoj karti [5].

Drugim riječima, korisnik drži ciljni uređaj integriran s čitačem RFID-a, umjesto da nosi RFID oznaku kao ciljni objekt za osobno pozicioniranje. Stoga, ciljni uređaj integriran s čitačem RFID-a koji korisnik drži obavlja računalne operacije u svim fazama, a ne infrastrukturni server. U stvarnosti, infrastrukturni server prikuplja i obrađuje više distribuiranih podataka [5].

U unutarnjim sustavima za pozicioniranje pomoću RFID-a, postoji inherentni i neizbježan problem vezan uz karakteristike RSSI-a. Ove karakteristike su često pogođene ozbiljnim pomacima koji su posljedica vanjskih elektromagnetskih smetnji ili odjeka od više signala. Za rješavanje ovog problema, prvo je potrebno filtrirati i uskladiti izmjerene RSSI podatke kako bismo dobili pouzdanu i preciznu vrijednost. Nakon toga, u fazi mjerenja udaljenosti, ciljni uređaj integriran s RFID čitačem pretvara očitane RSSI podatke u geometrijsku udaljenost između cilja odnosno RFID čitača i referentne točke odnosno RFID oznake. Ovo se postiže korištenjem modela gubitka signala koji je prilagođen za velike unutarnje prostore [5].

Kada se dobiju točni podaci o udaljenosti, ciljni uređaj koji ima ugrađeni RFID čitač prelazi na fazu procjene položaja. Koristi nekoliko metoda za procjenu položaja na temelju mjerenja udaljenosti između cilja (RFID čitača) i referentne točke (RFID oznake). Istovremeno, ocjenjuje se orijentacija cilja pomoću digitalnog kompasa u fazi procjene orijentacije. Nakon toga, ciljni uređaj generira unutarnju kartu na temelju koordinata položaja svih otkrivenih referentnih točaka u fazi izrade karte. Zatim usklađuje procijenjenu koordinatu položaja cilja s unutarnjom kartom u fazi usklađivanja karte. Na kraju, zaslon ciljnog uređaja koji ima ugrađeni RFID čitač prikazuje informacije o položaju i orijentaciji cilja na unutarnjoj karti [5].

U tijeku općeg RFID sustava za unutarnje pozicioniranje, faze mjerenja udaljenosti i procjene položaja obično su najzahtjevnije i najsklonije pogreškama među svim fazama. Faza mjerenja udaljenosti pati od efekta pomaka RSSI-a, dok faza procjene položaja pati od pogreške u mjerenju udaljenosti i računalne složenosti multilateracije. Stoga se primjenjuje šest metoda za poboljšanje sustava za unutarnje pozicioniranje putem RFID-a:

- 1) resetiranje pozicioniranja putem QR koda
- 2) klasifikacija homogenih RFID čitača i oznaka
- 3) uklanjanje pomaka pomoću Kalmanovog filtra
- 4) linearna transformacija RSSI-a u udaljenost
- 5) Heronova bilateracija za procjenu položaja
- 6) mapiranje orijentira na granicama.

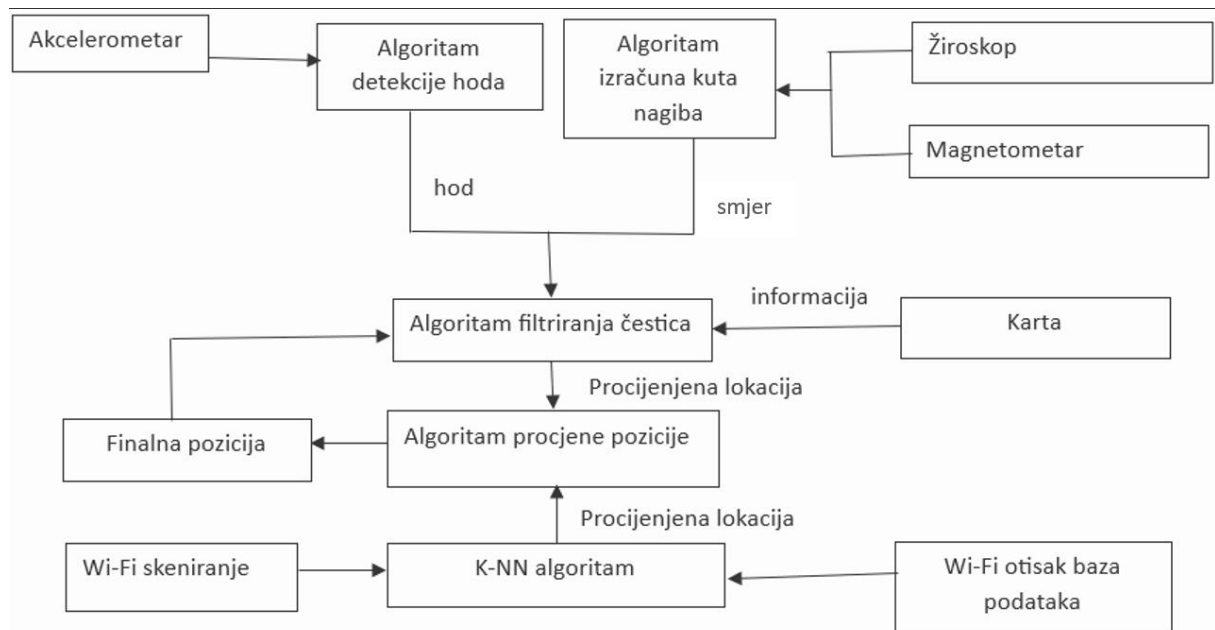
Ovo se postiže korištenjem samo jednog ručnog RFID čitača i jednog para aktivnih RFID oznaka kako bi se postigao rezultat u stvarnom vremenu i visoka preciznost unutarnjeg pozicioniranja putem RFID-a. Osim Heronove bilateracije za procjenu položaja, ostalih pet metoda može se klasificirati kao tehnike predobrade i postobrade podataka [5].

### 3.3. Bežična lokalna mreža (eng. *Wireless local area network- WLAN*)

Sustav za unutarnje pozicioniranje kombinira tehniku pozicioniranja putem Wi-Fi-a (eng. *Wireless Fidelity – Wi-Fi*) s inercijalnim navigacijskim sustavom. Kao što se može vidjeti na slici 9, osnovna ideja inercijalne navigacije temelji se na upotrebi senzora za praćenje pokreta. Prvo, koristi se akcelerometar kako bi se prikupili podaci o ubrzanju, a zatim se koristi algoritam za prepoznavanje koraka kako bi se procijenilo kako osoba hoda. Nakon toga, žiroskop i magnetometar se koriste za dobivanje informacija o smjeru kretanja i brzini rotacije uređaja. Smjer u kojem osoba ide određuje se putem algoritma koji računa kut nagiba. Konačno, procijenjena pozicija osobe dobiva se primjenom algoritma za filtriranje čestica koji usklađuje podatke s unutarnjom kartom prostora [6].



Što se tiče tehnike unutarnjeg pozicioniranja putem Wi-Fi otiska, prvo se terminal koristi za skeniranje i zapisivanje snaga primljenih Wi-Fi signala. Nakon toga, ovi podaci se uspoređuju s bazom podataka Wi-Fi otisaka putem online provjere. Za kraj, koristi se algoritam k-najbližih susjeda (eng. *k nearest neighbor* - k-NN) kako bi se procijenila pozicija osobe koja hoda. U isto vrijeme, konačna pozicija osobe određuje se kombiniranjem procijenjene pozicije dobivene putem inercijalne navigacije i pozicije procijenjene putem Wi-Fi signala, a to se izračunava pomoću algoritma za filtriranje čestica [6].



Slika 9. Sustav pozicioniranja, [6]

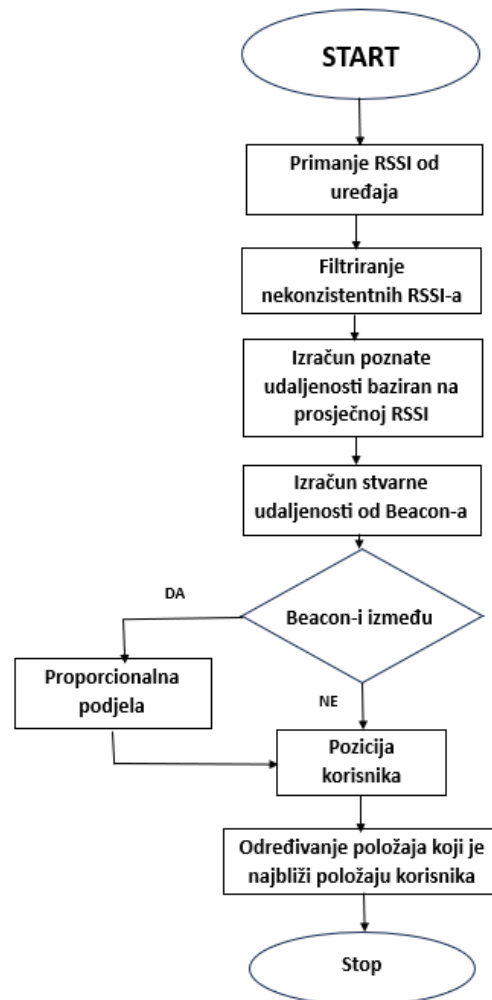
### 3.4. Bluetooth niske energije (eng. *Bluetooth Low Energy- BLE*)

Ova tehnologija primjenjuje aplikaciju koja koristi mjerenja Bluetooth niske energije RSSI za procjenu pozicije korisnika. Za odabir najboljeg puta, koristi se prilagođeni Dijkstrin algoritam za najkraći put, koji je prilagođen za neusmjerene grafove. Ova aplikacija pruža korisničko sučelje temeljeno na smjeru i dodatnu vizualnu podršku putem slika [7].

#### 3.4.1. Algoritam pozicioniranja

Pozicionirajući algoritam se sastoji od pet ključnih koraka, što je prikazano na slici 10. Prvi korak uključuje mjerenje i filtriranje primljenih RSSI signala od svakog odašiljača. Nakon toga, koristi se *Log-Distance Path Loss Model* za određivanje udaljenosti od svakog odašiljača na temelju prosječnih vrijednosti RSSI-ja. U trećem koraku, algoritam koristi te udaljenosti kako bi procijenio stvarne koordinate korisnika, uzimajući u obzir udaljenost između korisnikova uređaja i odašiljača. Sljedeći korak uključuje procjenu pozicije korisnika. Ako se korisnik nalazi između dva odašiljača, aplikacija izračunava njegovu poziciju putem proporcionalne podjele. U

situaciji kada korisnik vidi samo jedan odašiljač ili je drugi odašiljač predaleko, pozicija uređaja pretpostavlja se na suprotnoj strani u odnosu na taj odašiljač. U završnom koraku, izračunata pozicija pripisuje se najbližoj poziciji koja je pohranjena u bazi podataka [7].



Slika 10. Proces određivanja najbliže sobe [7]

### 3.4.2. Baza podataka

Za potrebe pohrane podataka o pozicijama, poveznicama, prostorijama, odašiljačima i osobama, izrađena je specifična baza podataka. Slika 11 pruža pregled strukture te baze podataka. Unutar baze podataka, svaki uređaj predstavlja Bluetooth odašiljač i posjeduje jedinstveno "id" polje koje ga identificira. U "rssi" polju čuva se vrijednost RSSI koja se mjeri na udaljenosti od 1 metra od odašiljača. MAC adresa uređaja također se zapisuje u polje "mac". Atribut "poravnanje" koristi se u situacijama kada je dostupan samo jedan odašiljač kako bi se odredilo na kojoj strani odašiljača bi se korisnik trebao nalaziti [7].

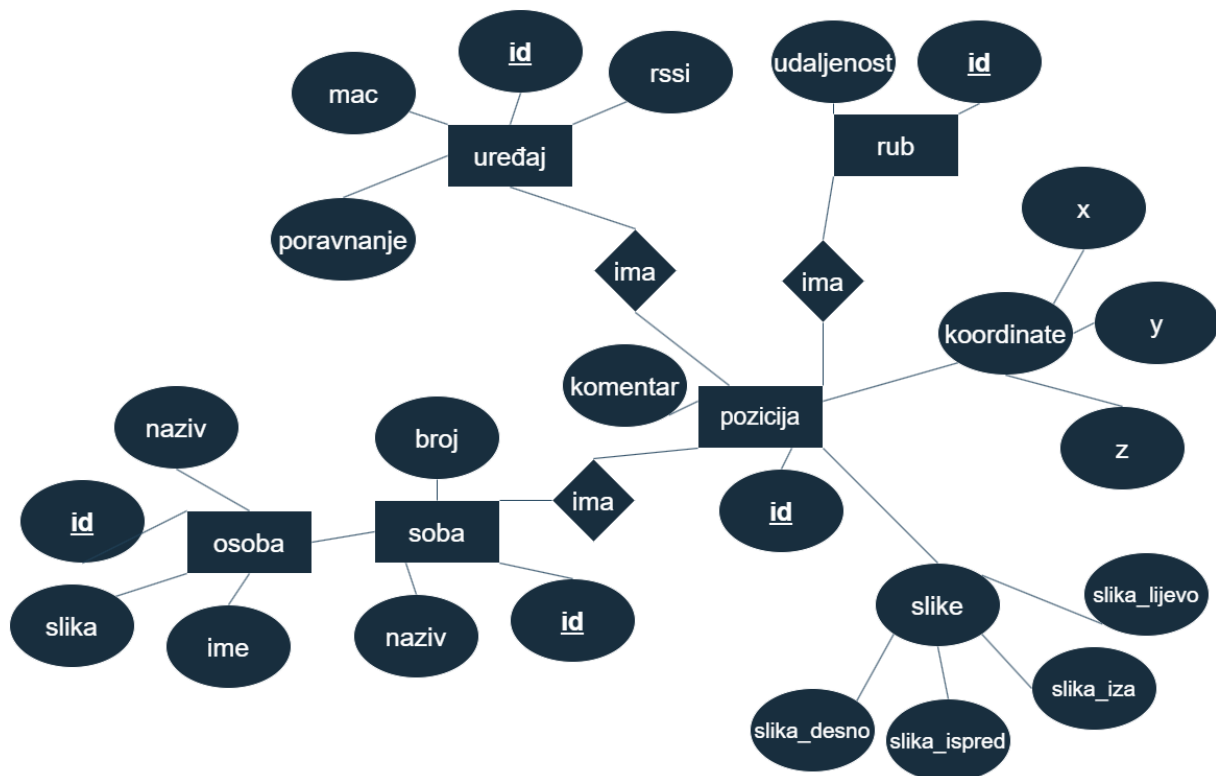
Tablica "soba" služi za označavanje prostorija unutar zgrade. Sadrži informacije o broju prostorije te naslovu za svrhe pretrage. Dodatno, sadrži popis stanovnika prostorije. Ovisno o kontekstu, tablica prostorija može biti proširena unosima slika, primjerice u trgovačkim

centrima gdje svaka prostorija ili trgovina ima jedinstven izgled, dok u uredskim zgradama slike nisu potrebne jer sva vrata izgledaju identično [7].

Tablica "osoba" sadrži informacije o osobama, uključujući sliku, naziv i ime za svrhe pretrage.

Entitet "pozicija" predstavlja različite pozicije unutar zgrade i sadrži osam atributa. "x", "y" i "z" atributi predstavljaju kartezijanske koordinate unutar zgrade. Atribut "komentar" sadrži opis lokacije koji nudi dodatne, intuitivne informacije o poziciji uređaja. Ovaj atribut može biti koristan u slučaju kvara baterije ili odašiljača kako bi se očuvala informacija o lokaciji uređaja, čak i kada uređaj nije operativan. Osim toga, četiri atributa rezervirana su za podršku navigaciji temeljenoj na slikama. Iako većina pozicija pripada prostorijama i odašiljačima, postoje i neovisne pozicije koje se pohranjuju kako bi se ispunile praznine između prostorija i osiguralo glatko navigiranje [7].

Poveznice "rub" pohranjuju podatke o dvama čvorovima (pozicijama) i udaljenosti između njih. Poveznice su bitne za funkcionalnost algoritma za pronalaženje najkraćeg puta.



Slika 11. baza podataka, [7]

### 3.4.3. Navigacija

Za izračun navigacijskog puta, koristi se Dijkstrin algoritam za pronalaženje najkraćeg puta. Ovaj algoritam se primjenjuje na usmjerenim grafovima, pri čemu su pozicije koje već imamo čvorovi tog grafa [7].

Dijkstrin algoritam se koristi za pronalazak najkraćeg puta u usmjerenim grafovima. Algoritam razdvaja sve pozicije u dva skupa: fiksne (eng. *settled*) i ne fiksne (eng. *unsettled*). Početno su sve pozicije ne fiksne i treba ih ocijeniti. Pozicija postaje fiksna kada se odredi najkraći put do nje. Na početku, udaljenost od izvora do svih čvorova postavljena je na visoku vrijednost. Algoritam se izvršava dok skup ne fiksnih pozicija sadrži čvorove. U svakoj iteraciji odabire se najbliži čvor izvoru iz skupa ne fiksnih pozicija. Pronalaze se susjedi tog grafa, pri čemu su čvorovi susjedi ako su povezani bridom. Za svakog susjeda, ako se udaljenost od izvora do tog čvora može smanjiti korištenjem tog susjeda, ažurira se udaljenost. Tada se čvor prebacuje iz ne fiksnog u fiksni skup, a bilježi se prethodnik svake pozicije. Originalni algoritam je namijenjen usmjerenim grafovima i provjerava samo susjede povezane bridom [7].

Kako bismo izbjegli ponovno izračunavanje najkraćeg puta svaki put kada se promijeni pozicija korisnika tijekom kretanja, odabrali smo određišnu poziciju kao izvor za Dijkstrin algoritam.

### 3.4.4. Korisničko sučelje

Aplikacija koristi dva korisnička sučelja: temeljeno na slikama i temeljeno na smjeru.

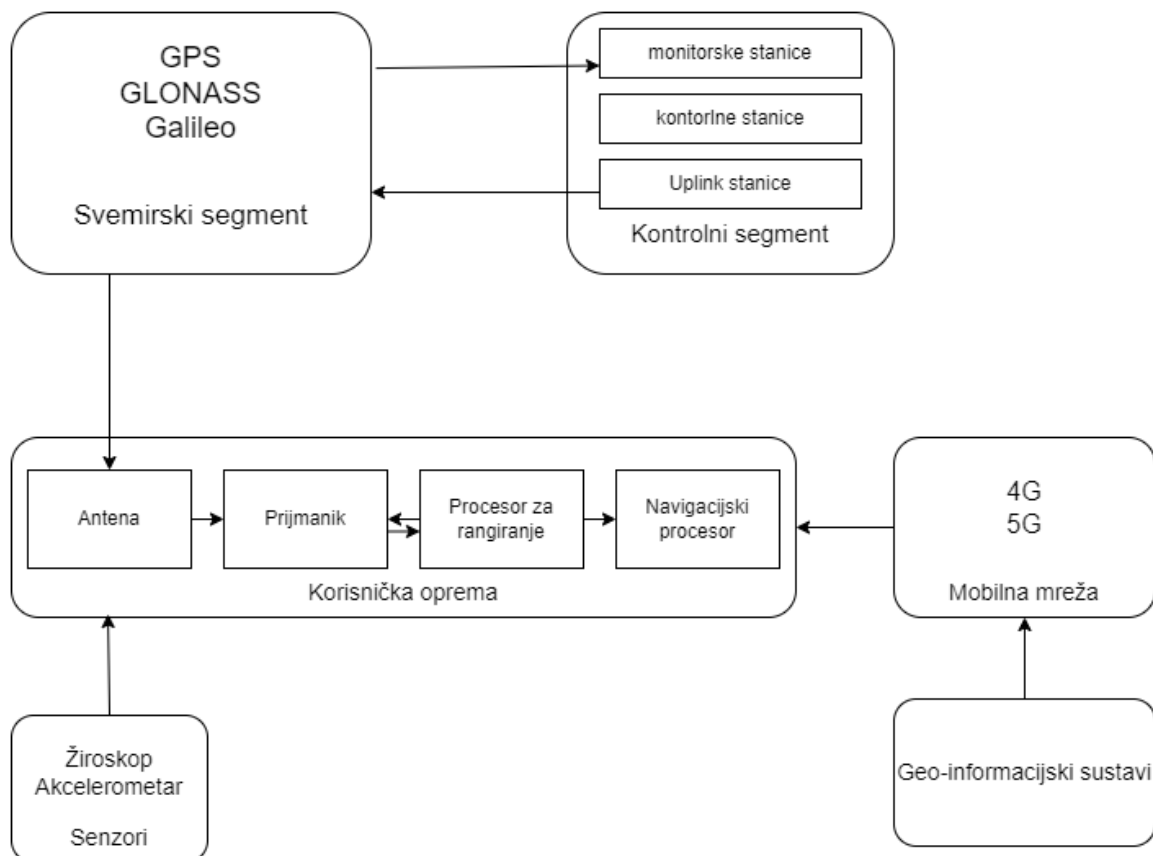
Aplikacija započinje s određišnom pozicijom, te koristi iteraciju kroz čvorove. Kada pronađe čvor čija se x ili y koordinata poklapa s trenutačnom pozicijom korisnika, prikazuje udaljenost između tih dviju pozicija. Ovaj način pruža precizniju informaciju o potrebnom pomaku, omogućujući korisniku stvarniju predodžbu udaljenosti do odredišta. Također, ukupna udaljenost do odredišta vidljiva je korisniku [7].

Korisničko sučelje temeljeno na slikama koristi slike koje korisnik treba slijediti kako bi stigao do odredišta. Na svakih 5 metara snimljena je slika u svim dostupnim smjerovima i povezana s pozicijom u bazi podataka. Aplikacija automatski pronalazi najbližu poziciju s odgovarajućim slikama i prikazuje sliku koja pokazuje smjer prema sljedećoj poziciji [6].

Korisničko sučelje temeljeno na smjeru koristi kompasni modul uređaja korisnika kako bi omogućilo precizno vođenje. Za postizanje točnog vođenja korisnika potrebno je izračunati ispravke za unutarnje smjerove [7].

## 4. Analiza elemenata arhitekture TK mreže za isporuku usluge navigacije korisnika u otvorenom prostoru

Za potrebe navigacije korisnika na otvorenom koriste se satelitski sustavi koji uz pomoć terminalnih uređaja sa sensorima omogućuju navigaciju. U nastavku ovog poglavlja biti će obrađeni najbitniji satelitski sustavi i senzori kao i ostali elementi koji se koriste pri pružanju usluge navigacije korisnika na otvorenom.



Slika 12. Arhitektura mreže za ispostavu usluge navigacije na otvorenom, [8]

Geo-informacijski sustavi prikupljaju, pohranjuju i analiziraju podatke o geografskim kartama te ih obrađuju za korištenje. Podatci se prikupljaju iz različitih izvora poput: satelitskih podataka i snimki, zračnih fotografija te ručno unesenih informacija o lokacijama. Podatci se pohranjuju u digitalnu bazu koja omogućuje brz pristup potrebitim podacima. Prikupljeni podatci se analiziraju radi raspodjele, usporedbe i proračuna podataka. Geo-informacijski sustavi omogućuju vizualizaciju podataka različitim tehnikama poput: bojanja, prikaza simbola i realnih slika. Kvalitetna baza, uz to što mora biti brzo dostupna, često je ažurirana i održavana.

Mobilna mreža, isto kao i kod arhitekture za pružanje usluge lokacije u zatvorenom i tu ima sličnu ulogu. Brz i nesmetan pristup podacima o karti i lokaciji nužan je za kvalitetu usluge navigacije. [8]

Svemirski segment arhitekture je skup satelita koji šalje signal iz svemira. Kontrolni segment na Zemlji prati status satelita te upravlja radom satelita. Korisnička oprema prima signal te ga obrađuje kako bi se dobila lokacija korisnika, brzina i vrijeme. Ovakav način određivanja lokacije povećava svoju kvalitetu dodatno korištenjem senzora, koji prate smjer kretanja, reguliraju brzinu kretanja i u suradnji s dobivenim informacijama iz svemira putem korisničke opreme i algoritama softverski rješenja, pružaju uslugu visoke kvalitete. [8]

#### 4.1. Globalni navigacijski satelitski sustavi

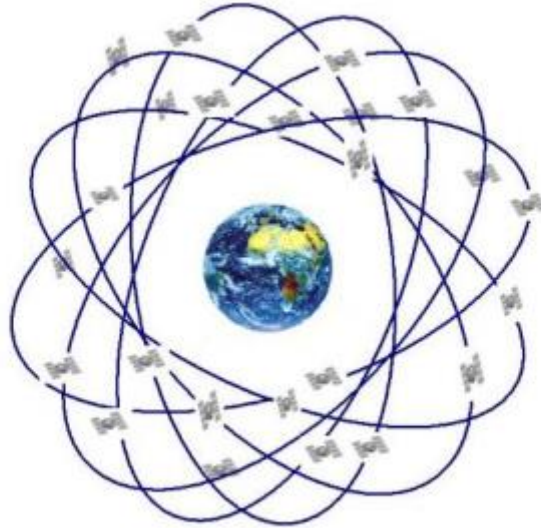
GNSS je skup satelitskih navigacijskih sustava koji omogućuju precizno određivanje položaja, brzine i vremena na površini Zemlje. Ovi sustavi koriste mrežu satelita koji emitiraju signale koje prijammnici na Zemlji mogu detektirati i interpretirati kako bi izračunali svoju točnu poziciju. GNSS sustavi uključuju više satelitskih konstelacija, kao što su Globalni pozicijski sustav (eng. *Global Positioning System* - GPS), ruski globalni navigacijski satelitski sustav (rus. *Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema* - GLONASS) i europski sustav satelitske navigacije Galileo [9].

Ovi sustavi omogućuju širok spektar primjena, uključujući navigaciju za vozila, brodove i zrakoplove, upravljanje prometom, kartografiju, precizno pozicioniranje u geodetskim i inženjerskim aplikacijama te druge tehnološke i komercijalne svrhe. Kombiniranjem signala iz različitih GNSS konstelacija, korisnici mogu postići veću točnost, pouzdanost i dostupnost informacija o svojoj lokaciji i kretanju [9].

##### 4.1.1. GPS

GPS, globalni sustav pozicioniranja, je mreža od 32 satelita koja neprestano šalje šifrirane informacije putem vrlo slabih radijskih signala. To omogućava prijammnicima da precizno utvrde svoju poziciju na Zemlji. GPS sustav omogućuje određivanje položaja prijammnika u tri dimenzije - geografske širine, duljine i nadmorske visine, s točnošću od nekoliko metara. Također, omogućuje precizno izračunavanje brzine i vremena, s minimalnim odstupanjem od nekoliko nanosekundi [10].

Sustav GPS je razvijen od strane Ministarstva obrane Sjedinjenih Američkih Država, a prvi GPS satelit je lansiran u orbitu 1978. godine. Sustav je postao potpuno funkcionalan 1994. godine s lansiranjem 24. satelita. Iako je prvobitno osmišljen za vojne svrhe, GPS je nakon odluke američkog kongresa otvoren i za civilnu uporabu. Kao rezultat toga, navigacijski sustav postao je dostupan svim korisnicima. Od 1980-ih do danas, GPS se široko koristi u raznim civilnim područjima, uključujući automobile, planinarenje, ribolov, biciklizam i mnoge druge aktivnosti. Sustav je tijekom godina doživio značajan napredak, poboljšavajući proizvodnju i dostupnost GPS prijammnika [10].



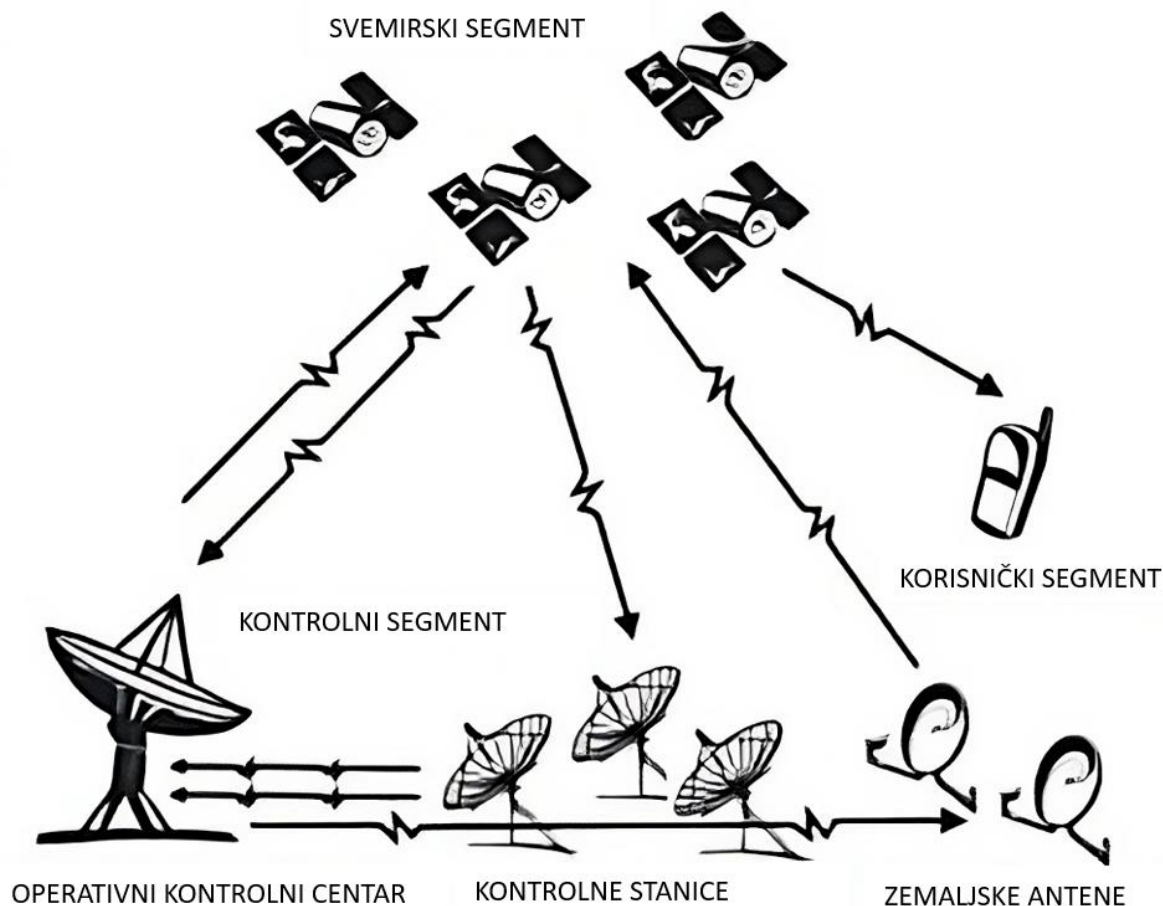
Slika 13. GPS, [10]

Sustav GPS se strukturira u tri osnovne komponente:

- a) svemirski segment
- b) kontrolni segment
- c) korisnički segment

Na Slici 11 prikazana je konstelaciju GPS satelita. Svemirski segment ovog sustava sastoji se od satelita koji putuju gotovo kružnim orbitama oko Zemlje. Ukupno ima 32 satelita raspoređena u šest orbitalnih ravnina. Ove ravnine su nagnute pod kutom od  $55^\circ$  u odnosu na ekvator, a sateliti se nalaze na visini od otprilike 20.183 km iznad površine Zemlje. Bitno je napomenuti da svaki satelit obiđe Zemlju svakih 11 sati i 58 minuta. Signali koje ovi sateliti šalju prema Zemlji emitiraju se s vrlo malom snagom, obično između 20 W i 50 W, što ističe koliko je važno imati jasan pogled na nebo kada se koristi GPS [10].

Navigacijska poruka koju satelit šalje prijatelju sadrži informacije o svojoj orbiti i vremenske podatke, opću statusnu poruku o sustavu te ispravke za utjecaj ionosfere. Signali koje sateliti šalju su precizno usklađeni s atomskim satovima. Kako bi se održala funkcionalnost sustava, Ministarstvo obrane SAD-a je financiralo nabavku novih satelita, čime se podržava postojeća infrastruktura sustava i povećava preciznost GPS prijatelju putem povećanja broja signala. Raspored satelita u orbitama pažljivo je planiran kako bi se osigurala pouzdanost i dostupnost ovog sustava [10].



Slika 14. Komponente GPS-a, [10]

Slika 14 prikazuje kako su raspoređene komponente sustava GPS. Kontrolni segment obuhvaća sveobuhvatno upravljanje cijelim sustavom i nadgleda se putem zemaljskih kontrolnih stanica distribuiranih širom svijeta. Ovaj segment uključuje glavnu kontrolnu postaju, opservacijske stanice za praćenje i zemaljske kontrolne stanice. Kontrolni segment ima zadaću upravljati GPS satelitima, pratiti njihove pozicije i ispravljati orbitalne i vremenske parametre. Globalno postoje pet kontrolnih stanica: Havaji, Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein i Colorado Springs. Četiri autonomne stanice stalno prate satelite, dok jedna služi kao glavna kontrolna postaja. Četiri autonomne stanice neprestano prikupljaju podatke od satelita i šalju ih glavnoj kontrolnoj postaji, gdje se podaci ispravljaju prije nego što se ponovno šalju satelitima [10].

Kada je riječ o korisničkom segmentu, on obuhvaća sve korisnike globalnog pozicioniranja i njihove prijavnike. Postoje dvije kategorije korisnika: autorizirani i neautorizirani. U skupinu autoriziranih korisnika spadaju američka vojska i posebne državne agencije, dok se u skupinu neautoriziranih korisnika ubrajaju svi ostali civilni korisnici širom svijeta. Vojna primjena GPS prijavnika obuhvaća upotrebu u zrakoplovima, brodovima, kopnenim vozilima, raketama i čak pješačkim jedinicama. S druge strane, civilna primjena se početno fokusirala na navigaciju, a kasnije se proširila na različite geodetske i inženjerske aktivnosti u svim granama prostornih djelatnosti. Prijavnici GPS-a postaju sve češće korišteni



kao prijenosni uređaji za sport i rekreaciju, a sve veći broj ih se ugrađuje u osobne automobile kao dio navigacijskog sustava, s ciljem poboljšanja sigurnosti prometa [10].

GPS mjerenja temelje se na konceptu "single-path" signala, gdje se koristi dva sata, jedan na satelitu, a drugi na prijamniku. Mjerena udaljenost dobiva se putem vremenskih mjerenja ili faznih razlika, koja se provode uspoređujući primljeni signal sa satelita i signal stvoren unutar prijamnika. Pri provedbi mjerenja, bitno je također uzeti u obzir izvore pogrešaka koji mogu značajno utjecati na preciznost rezultata [10].

#### 4.1.2. GLONASS

Razvoj navigacijskog sustava GLONASS započeo je 1970. godine kao nastavak uspješnog operiranja nisko orbitalnog sustava Tsicada za satelitsku radionavigaciju. Prvi sateliti GLONASS sustava: Cosmos 1413, Cosmos 1414 i Cosmos 1415 lansirani su u orbitu 1982. godine. Do 1991. godine, ukupno je bilo lansirano 12 funkcionalnih satelita, što je omogućilo globalno pozicioniranje korisnika i označilo početak druge faze razvoja sustava. Planira se da GLONASS postane primarni navigacijski sustav za vozila u Rusiji [11].

GLONASS se sastoji od sustava geostacionarnih satelita koji, metodom trigonometrije, precizno definiraju ciljeve na površini Zemlje i šalju podatke o njihovoj poziciji prijamnicima. Ovaj sustav obuhvaća Rusku Federaciju i susjedne države. Modernizacija sustava uključuje nadogradnju zemaljskog nadzornog sustava i poboljšanja satelitskog segmenta kako bi se produljio vijek trajanja satelita [11].

Važna razlika između GLONASS-a i GPS-a je planirano trajanje satelita. Prva generacija GLONASS satelita imala je predviđeno trajanje od samo dvije godine, dok je prva generacija GPS satelita planirana za trajanje od 7,5 godina. GLONASS sustav je kontinuirano nadograđivan, uključujući lansiranje nove generacije satelita s predviđenim trajanjem od sedam godina [12].

Slično kao i kod GPS-a, u GLONASS sustavu kod grubog stjecanja (eng. *Coarse Acquisition – C/A*) se emitira samo na nositelju L1, dok se kod preciznosti (eng. *Precise - P*) emitira na oba nositelja, L1 i L2. Prijamnici za C/A-kod koriste samo L1 nositelj, dok prijamnici za P-kod mogu mjeriti pseudo udaljenost na obje frekvencije, što omogućuje korekcije ionosferske refrakcije. Kodovi C/A i P imaju brzine od 0,511 Mbit/s i 5,11 Mbit/s, respektivno. Sustav GLONASS emitira dvije vrste navigacijskih poruka, jednu s C/A-kodom i drugu s P-kodom, brzinom od 5 bit/s [13].

U 2010. godini GLONASS sustav je imao 18 aktivnih satelita i jedan rezervni, a danas broji preko 30 satelita. Promjena u frekvencijskom pristupu (eng. *Frequency-division multiple access - FDMA*) na frekvencijama L1 i L2 objavljena je 2008. godine, uključujući binarnu *Offset - Carrier* strukturu na frekvencijama koje približno odgovaraju frekvencijama L1 i L5 GPS signala te Galileo signala [12].

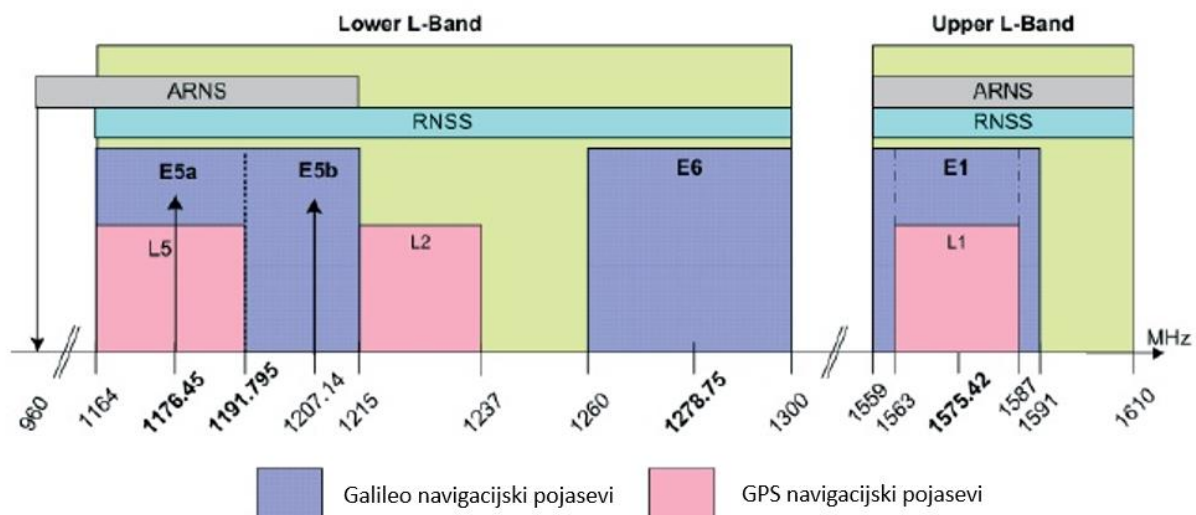
#### 4.1.3. GALILEO

Satelitski navigacijski sustav Galileo predstavlja europski odgovor na američki GPS. Ovaj sustav koristi metodu geometrijske trilateracije kako bi definirao podatke o položaju prijamnika satelitskih signala na površini Zemlje. S obzirom na civilnu kontrolu, Galileo jamči globalnu uslugu te ima i vojnu svrhu, ali također služi i u komercijalne svrhe. Europska Komisija pokrenula je Galileo kao program za satelitsko radijsko-navigacijsko pozicioniranje u suradnji sa Europskom svemirskom agencijom. Europska unija je izabrala samostalni pristup projektu, a to je omogućilo veći utjecaj vlasnika sustava u slučaju potrebe za vojnim djelovanjem [14].

Ključne karakteristike sustava Galileo uključuju:

- a) neovisnost od drugih satelitskih navigacijskih sustava
- b) interoperabilnost s GPS-om
- c) različite servise poput: otvorenih, sigurnosno-kritičnih i reguliranih
- d) uključivanje servisa integriteta unutar i izvan Europe
- e) neovisnost servisa integriteta od Galileo kontrolnog sustava (eng. *Ground Control Segment - GCS*)
- f) globalne servise
- g) globalno pozicioniranje i pristup globalnom vremenskom standardu putem konstelacije satelita
- h) regionalne komponente sustava nadzor i *up-link* stanice
- i) integraciju s regionalnim sustavima
- j) kompatibilnost s mobilnim telefonskim mrežama

Na slici 15 prikazan je pregled signala i servisa Galilea. Zemaljski segment Galilea bit će organiziran u obliku kontrolnog segmenta za sustavno upravljanje GCS, koji će se baviti definiranjem putanja i vremena satelita, te segmenta za integritet sustava nadzora (eng. *Integrity Determination System - IDS*) [12].



Slika 15. Pregled signala i servisa sustava Galileo, [12]

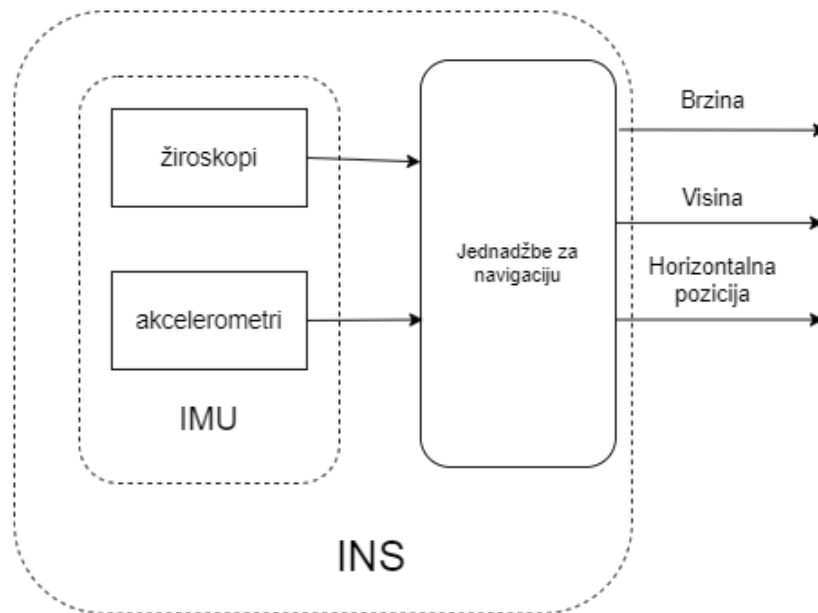
Galileo će se usklađivati s američkim GPS-om i ruskim GLONASS-om kako bi omogućio interoperabilnost. Kada bude u potpunosti operativan, Galileo će se sastojati od 30 satelita i potrebne zemaljske infrastrukture. Očekuje se da će imati veću preciznost od trenutnih sustava, s točnošću od 1 metra. Analogno sustavu GPS, osnovne funkcije Galileja bit će besplatne i dostupne svim korisnicima [12].

#### 4.2. Senzori

Inercijska navigacija predstavlja postupak mjerenja evolucije vektora akceleracije na samom upravljajućem objektu. Kroz integraciju ovih mjerenih podataka, određuju se vektori brzine i pozicije upravljajućeg objekta u odnosu na trenutak lansiranja, kretanja ili polijetanja. Inercijski sustavi sastoje se od osjetilnih komponenti (senzora), centralne upravljačke jedinice, dijelova za prijenos podataka te algoritama za izračun potrebnih parametara [15].

Akcelerometri su osjetila koja mjere linearne akceleracije, koje se potom koriste za izračunavanje prijednog puta putem matematičke obrade podataka. Oni mjere akceleraciju kao vektor koji obuhvaća veličinu, smjer i orijentaciju. Žiroskopi se koriste kako bi održali orijentaciju akcelerometra fiksiranu u odnosu na nerotirajući koordinatni sustav. Senzori se montiraju na platforme koje zajedno s drugim uređajima za izračunavanje koordinatnih razlika između dvije točke čine inercijske navigacijske sustave (eng. *inertial navigation system* - INS) [15].

Svaki inercijski navigacijski sustav sastoji se od senzora poznatih kao inercijski mjerni uređaji (eng. *Inertial Measurement Units* - IMU) i uređaja koji pretvaraju podatke sa senzora u korisne informacije. S obzirom na raznolika gibanja koja su bitna u navigaciji, kao što su translacijska i rotacijska kretanja, koriste se dvije vrste inercijskih mjernih uređaja, tj. akcelerometri i žiroskopi [16].



Slika 16. Shema inercijskog navigacijskog sustava, [16]

Neke vrste žiroskopa koje se danas upotrebljavaju su: mehanički, žiroskop s jednim stupnjem slobode gibanja, žiroskop s dva stupnja slobode gibanja, interdiferencijski optički žiroskop, laserski žiroskop, mikro obrađeni elektro mehanički žiroskopi (eng. *Micro-electromechanical systems* - MEMS) [16].

Mehanički i optički žiroskopi zahtijevaju složene komponente kako bi postigli visoku preciznost, te zahtijevaju kompliciranu tehniku montaže. To rezultira njihovom visokom cijenom. S druge strane, MEMS senzori su konstruirani kao mikroelektroničke poluvodičke komponente, što rezultira manjim brojem komponenti (žiroskop može imati samo tri dijela) i relativno niskom cijenom. MEMS žiroskopi uključuju vibrirajuće elemente koji omogućavaju mjerenje Coriolisovog efekta. Postoji mnogo geometrija za vibrirajuće elemente, a najjednostavnija uključuje masu koja vibrira oko osi poticanja [17].

Žiroskopska svojstva uključuju žiroskopsku inerciju, procesiju, nutaciju i žiroskopski reakcijski moment. Žiroskopska inercija je karakterizirana sposobnošću da se odupre svim vanjskim silama koje pokušavaju promijeniti os rotacije kotača. Fizički, ovo svojstvo se opisuje kao moment količine gibanja ili zamah, čija veličina raste s povećanjem mase kotača, brzine vrtnje i polumjera rotacije. Točnije, veći zamah postiže se povećanjem mase kotača, brzine rotacije i udaljenosti mase od središta rotacije [17].

Što se akcelerometara tiče, obično se koriste dva akcelerometra u sustavu koji mjere akceleraciju u smjerovima S-J i Z-I. U osnovi, akcelerometar funkcionira kao njihalo. Signali s uređaja nose informaciju o tome koliko je to njihalo pomaknuto u odnosu na ravnotežni

položaj. Ti signali se elektronički obrađuju i zatim se vraćaju u akcelerometar putem motora koji generira moment okretanja. Generirani moment okretanja koristi se kako bi se njihalo vratio u početni položaj. Ovaj proces se postiže kroz negativnu povratnu vezu, gdje se dio izlazne veličine vraća na ulaz kako bi se smanjila ulazna veličina i konačno postigla stabilna izlazna vrijednost. Da bi se to postiglo, izlazna veličina mora biti invertirana. Vrijednost signala koji se koristi za vraćanje njihala u početni položaj ovisi o akceleraciji kojoj je uređaj izložen. Ti signali također prolaze kroz pojačalo i šalju se integratoru kako bi se dobio podatak o brzini i poziciji [15].

Bitno je napomenuti da jedna od karakterističnih značajki akcelerometara jest da ne mjere ubrzanje Zemljine gravitacije izravno, već inercijsku akceleraciju. Za ukupno ubrzanje, potrebno je dodati gravitacijsku komponentu Zemlje inercijskom ubrzanju. Kako bismo ublažili ovu manu akcelerometara, ključno je koristiti utjecaj gravitacije iz osnovnog gravitacijskog modela. Računalni sustav koristi taj model kako bi izračunao promjenu gravitacije na temelju pozicije upravljačkog objekta, postižući to putem dvostruke integracije izmjerenog ubrzanja. Većina gravitacijskih modela uzima u obzir geografsku širinu, dužinu i visinu upravljačkog objekta u izračunavanju promjena gravitacije [17].

Za većinu navigacijskih potreba, eliptični gravitacijski model je zadovoljavajući. Međutim, sustavi visoke preciznosti moraju uzeti u obzir i gravitacijske anomalije, odnosno odstupanja od jednostavnog modela. Akcelerometri se općenito mogu podijeliti na mehaničke i poluvodičke tipove. Mehanički akcelerometar sastoji se od mase koja je povezana s okvirom elastičnim vezama, pojednostavljeno rečeno, oprugama [17].

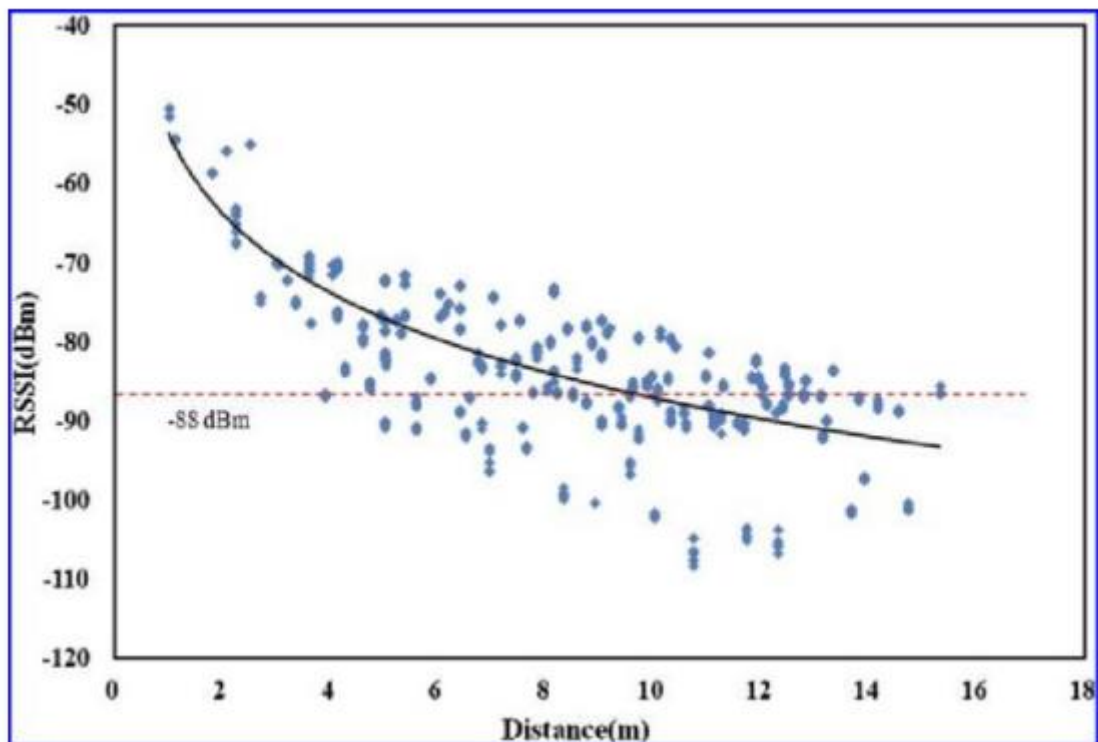
## 5. Metode određivanja lokacije korisnika

U ovom poglavlju bi će navedene neke od najpoznatijih metoda određivanja pozicije korisnika, kako u zatvorenom prostoru tako i na otvorenom. Za određivanje pozicije korisnika koriste se rane metode i algoritmi koji su detaljnije opisani u nastavku ovog poglavlja.

### 5.1. Metode određivanja lokacije korisnika u zatvorenom prostoru

#### 5.1.1. Trilateracija

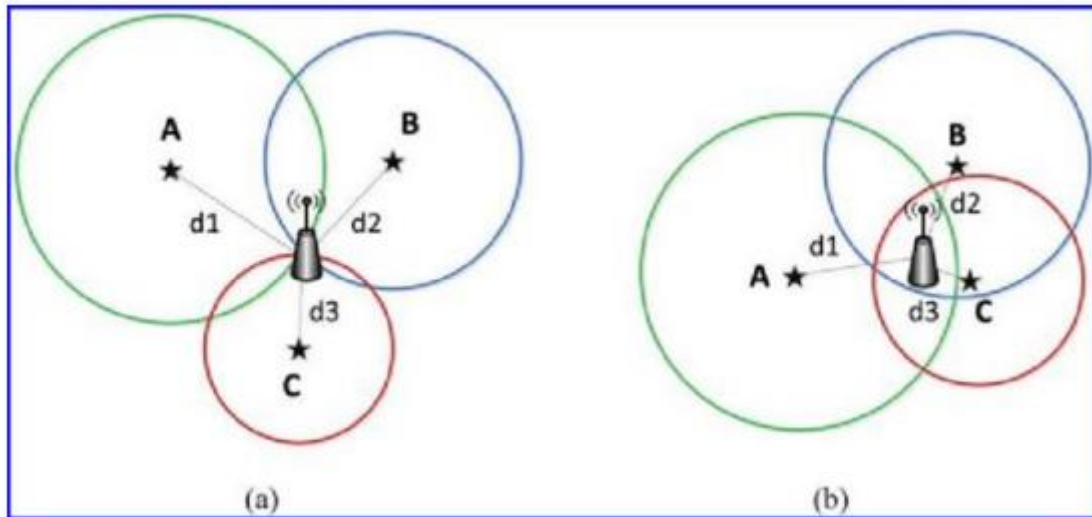
Trilateracija se oslanja na osnovni pristup za određivanje položaja čvora unutar mreže, pri čemu se čvor odnosi na korisnika u ovom kontekstu. Konkretno, položaj čvora se računa kao presjek kružnica. Kada imamo informacije o lokacijama fiksnih odašiljača i udaljenostima od svakog od njih, tada možemo odrediti položaj čvora. Procjenu udaljenosti od odašiljača često možemo približno izračunati korištenjem mjerne veličine RSSI, no važno je napomenuti da veća udaljenost često rezultira većom pogreškom u procjeni udaljenosti [18].



Slika 17. Ovisnost RSSI o udaljenosti, [18]

U dvodimenzionalnom prostoru minimalno su potrebne tri fiksne točke za lokalizaciju jednog varijabilnog čvora. Iako se bavimo 3D prostorom, visinu možemo zanemariti. Geometrijski gledano, stvaramo tri kružnice sa središtima na odašiljačima. Svaka kružnica ima svoj radijus, koji je proporcionalan izmjerenoj udaljenosti korisnika od odašiljača. Teoretski,

presjek tih kružnica određuje poziciju korisnika. Slika 18 prikazuje primjer idealnog i stvarnog scenarija trilateracije [18].



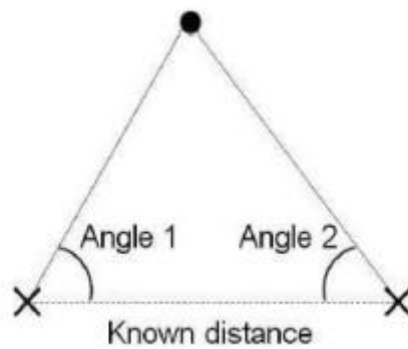
Slika 18. Idealni i stvarni scenarij trilateracije, [18]

Međutim, u stvarnim uvjetima, vjerojatnost postizanja idealnog scenarija prikazanog na slici 18 je mala. Prvi faktor je izračun udaljenosti. Na slici koja prikazuje odnos između udaljenosti, primjećujemo veliku promjenjivost udaljenosti. Ovo može rezultirati situacijom u kojoj se kružnice ne presijecaju i može stvoriti mnogo mogućih točaka za lokaciju. Također, okolina u kojoj se provodi lokalizacija ima značajan utjecaj. Različiti uvjeti u okolini mogu ometati radio signale i uzrokovati netočne vrijednosti udaljenosti [18].

Multilateracija je metodologija s istim značenjem kao trilateracija, s razlikom da koristi više odašiljača. Teoretski, multilateracija bi trebala postići bolje rezultate u odnosu na trilateraciju [18].

#### 5.1.2. Triangulacija

Princip triangulacije, prikazan na slici 19, uključuje mjerenje upadnog kuta ili kut dolaska (eng. *Angle of Arrival* - AOA) i koristi najmanje dvije referentne točke. Procijenjena pozicija odgovara mjestu gdje se pravci definirani kutovima presijecaju [18].

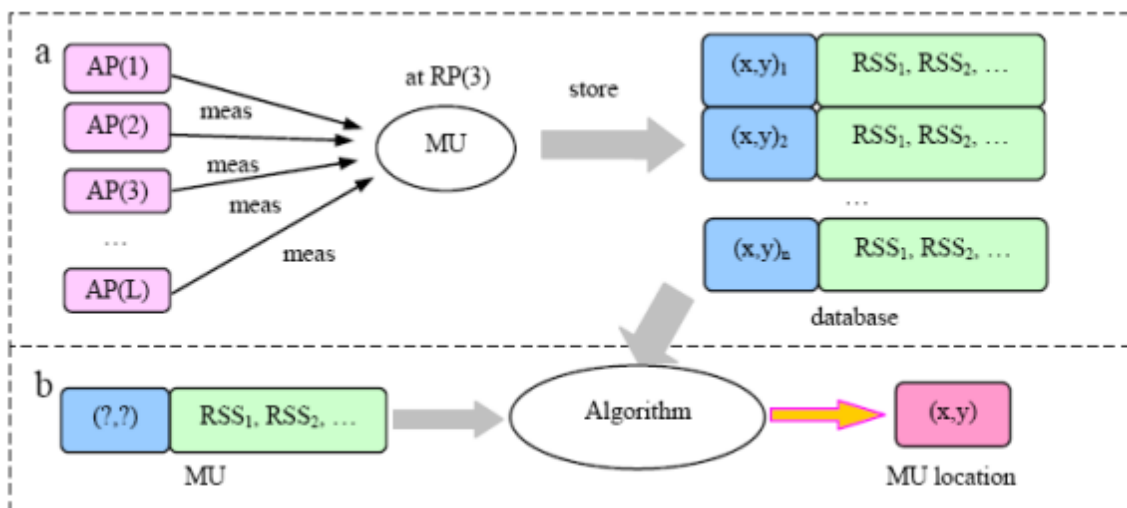


Slika 19. princip triangulacije, [18]

### 5.1.3. Fingerprinting

Jedan od pristupa lokalizaciji je metoda *Fingerprinting* koja se temelji na stvaranju otisaka očitavanja signala. Pretpostavka je da svaka prostorija sadrži skup podataka koji sadrži očitavanja jačine signala od fiksnih odašiljača [18].

Ovaj postupak sastoji se od dvije faze. Prva faza je faza stvaranja skupa podataka, gdje se moraju izmjeriti vrijednosti jačine signala na svakoj točki unutar prostora gdje bi se korisnik mogao nalaziti, a zatim se te vrijednosti pohranjuju u bazu podataka. Druga faza je aktivna faza, u kojoj korisnik očitava trenutne vrijednosti jačine signala i uspoređuje ih s pohranjenim zapisima u bazi podataka [18].



Slika 20. Metoda fingerprinting, [18]



Na prvi pogled, ova metoda rješava izazove trilateracije. Trilateracija je imala izazove vezane uz smetnje i varijabilne udaljenosti. Korištenjem metode *Fingerprinting*, smetnje se bilježe jer je vjerojatno da će se ponovno pojaviti. Tijekom faze prikupljanja podataka, moguće je prikupiti više očitavanja za svaku poziciju, što pomaže rješavanju problema varijabilne udaljenosti [18].

Međutim, unatoč prednostima, ova metoda nosi sa sobom nove izazove. Primarni problem je da se skup podataka stvara u jednom trenutku, dok se faza lokalizacije događa tijekom dužeg vremenskog razdoblja. Promjene u infrastrukturi, unutarnjem dizajnu, rasporedu namještaja i zidova mogu utjecati na ispravnost skupa podataka, jer se trenutne vrijednosti bilježe samo jednom [18].

Važno je naglasiti i značajan nedostatak - zahtjev za temeljitim ručnim prikupljanjem podataka, što potencijalno zahtijeva redovito ažuriranje [18].

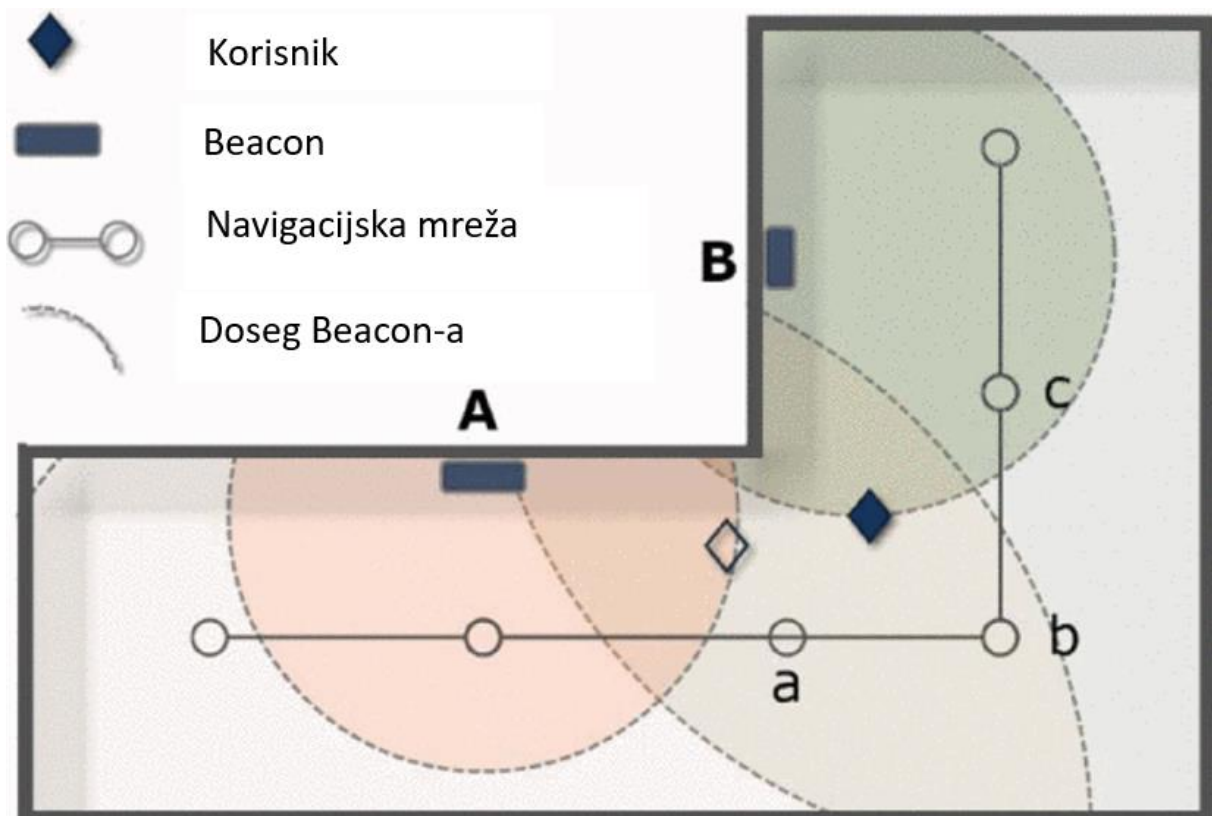
#### 5.1.4. Metoda lokalizacije blizine

Princip lokalizacije blizine se dominantno primjenjuje u sustavima temeljenim na radiofrekvenciji, koristeći mrežu antena s fiksnom pozicijom unutar zgrada. Kada se prepozna osoba koja nosi mobilni uređaj, lokacija se izračunava uzimajući u obzir najbližu antenu. U slučajevima gdje mobilni uređaj detektira signal ne samo s jedne antene, već s više njih, proračun lokacije objekta temelji se na anteni koja prima najsnažniji signal [19].

Lokacija dobivena kroz postupak lokalizacije putem blizine bit će integrirana s navigacijskom mrežom koju generira alat za uređivanje karata. Na slici 21 je prikazan primjer kako bi ovaj proces mogao funkcionirati. Tlocrt prikazuje prisutnost tri odašiljača s uniformnim postavkama. Izrađeni romb označava stvarnu trenutnu poziciju osobe, dok obrubljeni romb označava prethodnu poziciju. Rezultat lokalizacije putem blizine u ovom primjeru je odašiljač B [19].

Ovisno o prethodnom mapiranju, prateća pozicija bi mogla biti označena s a, b ili c. Kao primjer, ako je odašiljač B već bio povezan s odašiljačem B i bio je postavljen na poziciju a, on bi mogao biti premješten dalje duž navigacijske mreže na poziciju b. U slučaju da odašiljač A postane neopažljiv, mogao bi biti premješten na poziciju c ili dalje duž navigacijske mreže [19].

Ovo, naravno, predstavlja prilično pojednostavljenu razradu, no temeljni principi koji se mogu primijeniti su slični, uz uključivanje procesa filtriranja i interpolacije kako bi se zaglađivali pokreti [19].



Slika 21. Metoda lokalizacije blizine, [19]

### 5.1.5. Metoda analize vida

Tehnologija vizualne analize temelji se na procjeni lokacije putem slika koje dolaze s jedne ili više točaka. Obično se koriste jedna ili više postavljenih kamera unutar sustava za praćenje unutarnje lokacije kako bi obuhvatile cijeli prostor i snimile slike u stvarnom vremenu, na kojima se identificiraju pratiodci [18].

Za procjenu položaja, slike ciljeva koje su snimljene uspoređuju se s prethodno prikupljenom bazom podataka. Također, tehnika pozicioniranja putem analize vida pruža korisne informacije o lokaciji za usluge koje se temelje na analizi slika [18].

## 5.2. Metode određivanja lokacije korisnika na otvorenom

### 5.2.1. Određivanje položaja s četiri ili više satelita

Lokacija korisničkog prijamnika mora biti na točki presjeka satelitskog dometa, rezultirajući u pojedinačnoj točki. Ova točka istovremeno predstavlja i jedinstvenu poziciju korisničkog prijamnika. Minimalno je potrebno četiri vidljiva satelita kako bi se položaj satelitskog prijamnika jednoznačno odredio. Korištenjem četiri jednadžbe s četiri nepoznanice omogućeno je jednoznačno utvrđivanje stvarne lokacije prijamnika, gdje su di

pseudoudaljenosti,  $(x_k, y_k, z_k)$  koordinate prijamnika,  $(x_i, y_i, z_i)$  koordinate i-tog satelita ( $i \in [1,4]$ ), a  $dt$  predstavlja pogrešku korisničkog sata [20].

$$d_1 = \sqrt{(x_k - x_1)^2 + (y_k - y_1)^2 + (z_k - z_1)^2} + c \times dt$$

$$d_2 = \sqrt{(x_k - x_2)^2 + (y_k - y_2)^2 + (z_k - z_2)^2} + c \times dt$$

$$d_3 = \sqrt{(x_k - x_3)^2 + (y_k - y_3)^2 + (z_k - z_3)^2} + c \times dt$$

$$d_4 = \sqrt{(x_k - x_4)^2 + (y_k - y_4)^2 + (z_k - z_4)^2} + c \times dt$$



Slika 22. Domet i presjek četiri satelita, [20]

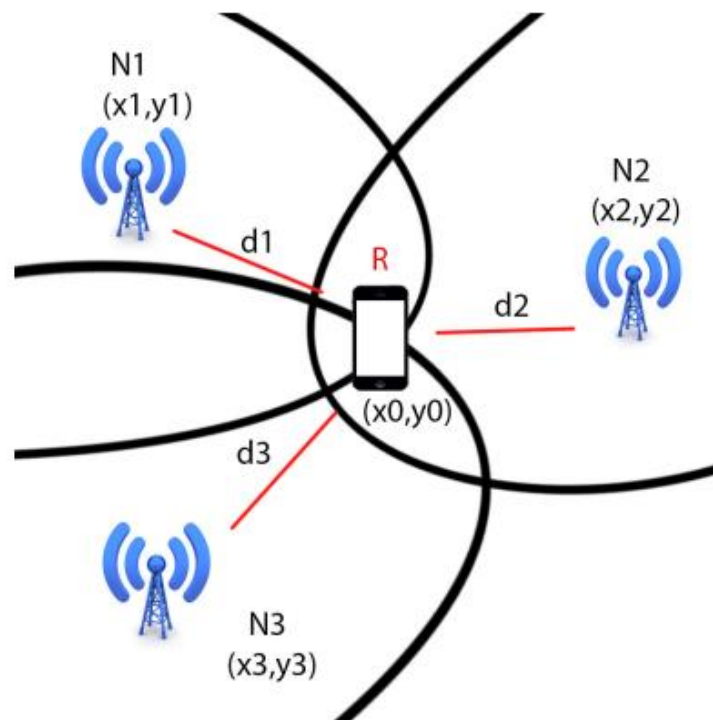
#### 5.2.5. Metoda izračuna razlike vremena dolaska signala

Metoda izračuna razlike vremena dolaska signala (eng. *Time Difference of Arrival – TDOA*) je metoda koja se koristi za geolociranje izvora radio signala. Osim toga omogućuje izuzetno precizno određivanje lokacije korisnika, unutar 100 metara u iznimno kratkom vremenskom okviru [21].

Za uspješno određivanje lokacije prijamnika putem TDOA metode, ključno je postići preciznu sinkronizaciju vremena između odašiljača i prijamnika. Ako postoji nesinkroniziranost u vremenu između odašiljača i prijamnika, što može utjecati na preciznost izračuna udaljenosti, TDOA metoda se oslanja na razliku u dolasku signala poslanih s različitim referentnih stanica. Da bi se uspješno izvršila ova mjerenja vremena, koja su ključna za određivanje lokacije prijamnika, nužno je postići sinkronizaciju između mobilne stanice i bazne stanice ili među različitim baznim stanicama. Ako taj zahtjev nije ispunjen, naknadna sinkronizacija se postiže korištenjem dodatnih komponenti u sustavu, poput jedinice za mjerenje lokacije (eng. *Location*

*Measurement Unit* - LMU). LMU jedinice provode potrebna vremenska mjerenja dolaska signala s referentnih i susjednih baznih stanica [21].

TDOA metoda koristi matematički princip hiperbolične lateracije za uspješno određivanje lokacije korisničkog prijamnika. Slika 23 prikazuje korištenje hiperbolične lateracije prilikom korištenja TDOA metode [21].



Slika 23. TDOA metoda, [21]

## 6. Zaključak

U sklopu ovog završnog rada duboko smo istražili ključne elemente arhitekture telekomunikacijske mreže i tehnologije koje omogućuju isporuku usluge navigacije korisnicima. Telekomunikacijske mreže igraju nezamjenjivu ulogu u podržavanju navigacijskih usluga, bez obzira na to radi li se o kretanju unutar zatvorenih ili otvorenih prostora.

Arhitektura telekomunikacijskih mreža, s njezinim složenim sustavima povezivanja, komutiranja i usmjeravanja podataka, predstavlja temelj koji omogućuje preciznu i brzu navigaciju. Te tehnologije, zajedno s integracijom različitih senzora i uređaja, pružaju korisnicima bogato iskustvo navigacije.

U zatvorenim prostorima, zbog slabog pristupa satelitima i nedovoljno preciznosti, koriste se preciznije tehnologije poput Infracrvenog zračenja, Wi-Fi-a, Bluetooth i sličnog te mnogo senzora integriranih u terminalne uređaje radi veće preciznosti i točnosti. Kvaliteta usluge i pristupačnost korištenja je pružena kroz korisničko sučelje i detaljnu softversku obradu.

S druge strane, na otvorenom se koriste sateliti za navigaciju, jer nije potrebna tolika preciznost s obzirom na velike prostore, te zbog dostupnosti. Najpoznatiji satelitski sustavi opisani u ovom radu su GPS, GLONASS i GALILEO koji uz pomoć senzora pružaju odlične rezultate u navigaciji korisnika na otvorenom.

Navigacija na otvorenom i u zatvorenom zahtjeva algoritme i metode koji su nužni za preciznost navigacije i određivanje lokacije korisnika. Rad je opisao neke od najpoznatijih koje se koriste u današnje vrijeme, kao što su metoda trilateracije, metoda trilinguracije, *Fingerprinting* metoda te metode određivanja lokacija brojem satelita te razlike izračuna vremena dolaska signala.

Tijekom završnog rada smo također istražili izazove i mogućnosti koje se pojavljuju u području navigacije korisnika, uključujući poboljšanja u sigurnosti, dostupnosti i učinkovitosti. Razumijevanje ove arhitekture i tehnologije ključno je za daljnji razvoj navigacijskih usluga, posebno u kontekstu rastuće potrebe za povezanošću u današnjem svijetu.

## LITERATURA

- [1] Peraković D, Periša M. Auditorna predavanja iz kolegija Arhitektura telekomunikacijske mreže. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2021. Preuzeto s: <https://moodle.srce.hr/2021-2022/> [Pristupljeno: 22. kolovoza 2023.]
- [2] Lovrek I. Telekomunikacijska tehnologija i specifičnost telekomunikacijskog tržišta. Zagreb. Element; 2020. Preuzeto s: <https://element.hr/wp-content/uploads/2020/06/unutra-13604.pdf> [Pristupljeno: 22. kolovoza 2023.]
- [3] Pascacio P, Casteleyn S, Torres-Sospedra J, Lohan ES, Nurmi J. Collaborative Indoor Positioning Systems: A Systematic Review. *Sensors*. 2021;21(3):1002. Preuzeto s: <http://dx.doi.org/10.3390/s21031002> [Pristupljeno: 09. rujna 2023.]
- [4] Marzec P, Kos A. Indoor Precise Infrared Navigation. *2020 27th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and System (MIXDES)*, Lodz, Poland; 2020. pp. 249-254
- [5] Lai ZH, Ho CC. Real-time indoor positioning system based on RFID Heron-bilateration location estimation and IMU angular-driven navigation reckoning. *2015 IEEE 7th International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)*, Siem Reap, Cambodia; 2015. pp. 276-281
- [6] Han B, Zhao L. An indoor positioning algorithm based on Wi-Fi fingerprint and inertial navigation system. *2017 36th Chinese Control Conference (CCC)*, Dalian, China; 2017. pp. 6067-6072,
- [7] Satan A. Bluetooth-based indoor navigation mobile system. *2018 19th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, Szilvasvarad, Hungary; 2018. pp. 332-337
- [8] Xu H. *Intelligent shadow matching based on improved multi-classifier for urban positioning. Disertacija*. The Hong Kong Polytechnic University; 2019. Preuzeto s: [https://www.researchgate.net/publication/338005598\\_Intelligent\\_shadow\\_matching\\_based\\_on\\_improved\\_multi-classifier\\_for\\_urban\\_positioning](https://www.researchgate.net/publication/338005598_Intelligent_shadow_matching_based_on_improved_multi-classifier_for_urban_positioning) [Pristupljeno: 09 rujna 2023.]
- [9] Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics Preuzeto s: [https://www.gps.gov/systems/gnss/#:~:text=Global%20navigation%20satellite%20system%20\(GNSS,a%20global%20or%20regional%20basis.](https://www.gps.gov/systems/gnss/#:~:text=Global%20navigation%20satellite%20system%20(GNSS,a%20global%20or%20regional%20basis.) [Pristupljeno: 22. kolovoza 2023.]
- [10] Dukovac Ž. Globalni pozicijski sustav (GPS). Završni rad. Veleučilište Nikola Tesla u Gospiću; 2015 Preuzeto s: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:107:797274> [Pristupljeno: 22. kolovoza 2023.]
- [11] U.S. Department of Transportation, United States Coast Guard, Specification of the Transmitted Loran-C Signal; 1994. Preuzeto s: <https://www.yumpu.com/s/8qqh3oWr2OyKag45> [Pristupljeno 23. kolovoza 2023.]
- [12] Bilajbegović A. Status i perspektive postojećih i planiranih satelitskih i navigacijskih sustava. Ekscentar [Internet]; 2010. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/50669> [Pristupljeno: 23. kolovoza 2023.]
- [13] Kos T, Grgić M, Krile S. HIPERBOLNI I SATELITSKI SUSTAVI ZA NAVIGACIJU. NAŠE MORE [Internet]. 2004;51(5-6):189-199. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/8438> [Pristupljeno: 23. kolovoza 2023.]
- [14] Weber T, Trautenberg HL, Schafer C. Galileo system Arhitecture -Status and Concepts. U: *Satellite Navigation Systems*. Salt Lake City; 2003. pp. 53-61 Preuzeto s:

[https://www.researchgate.net/publication/299731225\\_Galileo\\_System\\_Architecture\\_-\\_Status\\_and\\_Concepts](https://www.researchgate.net/publication/299731225_Galileo_System_Architecture_-_Status_and_Concepts) [Pristupljeno: 24. kolovoza 2023.]

[15] Lawrence A. Modern Inertial Technology, drugo izdanje. New York: SpringerVerlag; 1998.

[16] Kučić A. Osnovne cjeline i djelovanje sustava inercijalne navigacije. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2010 Preuzeto s: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:776304> [Pristupljeno: 24. kolovoza 2023.]

[17] Titterton D, Weston J. Strapdown Inertial Navigation. Drugo izdanje. The institution of Electrical Engineers, London; 2004.

[18] Dorji L, Horanont T. Comparative Assessment of Indoor Positioning Technologies, Techniques, and Algorithms. *2018 International Joint Symposium on Artificial Intelligence and Natural Language Processing (iSAI-NLP)*, Pattaya, Thailand; 2018. pp. 1-6

[19] Bérubé M, Bouchard K, Gaboury S. Scalable indoor navigation system based on proximity Bluetooth beacons using tools of AI. *2017 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computed, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation*, San Francisco, CA, USA; 2017. pp. 1-4

[20] Brajković M. Procjena položaja satelitskim sustavom primjenom metode najmanjih kvadrata s težinskim koeficijentima koji minimiziraju ionosferske učinke na točnost procjene položaja. Diplomski rad. Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet; 2023. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:190:186951> [Pristupljeno: 27. kolovoza 2023]

[21] Jandrijević I. Integracija navigacijskih i komunikacijskih sustava za poboljšanje navigacijskih sposobnosti. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2018 Preuzeto s: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:601254> [Pristupljeno: 27. kolovoza 2023.]

## POPIS SLIKA

Slika 1. Segmentacija telekomunikacijske mreže.....	3
Slika 2. Arhitektura mreže za isporuku usluge navigacije u zatvorenom.....	5
Slika 3. Razlika emisiviteata podloga .....	7
Slika 4. Temperaturni dijagram L1 .....	7
Slika 5. lijevo – objekt visokog koeficijenta refleksije; desno – refleksija topline ljudskog tijela od objekt .....	8
Slika 6. Slijeпа osoba na kratkoj udaljenosti od zida .....	9
Slika 7. Slijeпа osoba na većoj udaljenosti od zida .....	9
Slika 8. Ovisnost udaljenosti slijepe osobe o veličini slike .....	10
Slika 9. Sustav pozicioniranja .....	12
Slika 10. Proces određivanja najbliže sobe .....	13
Slika 11. baza podataka .....	14
Slika 12. Arhitektura mreže za ispostavu usluge navigacije na otvorenom .....	16
Slika 13. GPS .....	18
Slika 14. Komponente GPS-a .....	19
Slika 15. Pregled signala i servisa sustava Galileo .....	22
Slika 16. Shema inercijskog navigacijskog sustava.....	23
Slika 17. Ovisnost RSSI o udaljenosti .....	25
Slika 18. Idealni i stvarni scenarij trilateracije .....	26
Slika 19. princip triangulacije.....	27
Slika 20. Metoda figerprinting .....	27
Slika 21. Metoda lokalizacije blizine .....	29
Slika 22. Domet i presjek četiri satelita.....	30
Slika 23. TDOA metoda.....	31



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_ Završni rad \_\_\_\_\_  
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da 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/diplomskog rada pod naslovom Analiza elemenata arhitekture telekomunikacijske mreže za isporuku usluge navigacije korisnika, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 06.09.2023.

Božo Crnković

(ime i prezime, potpis)

