

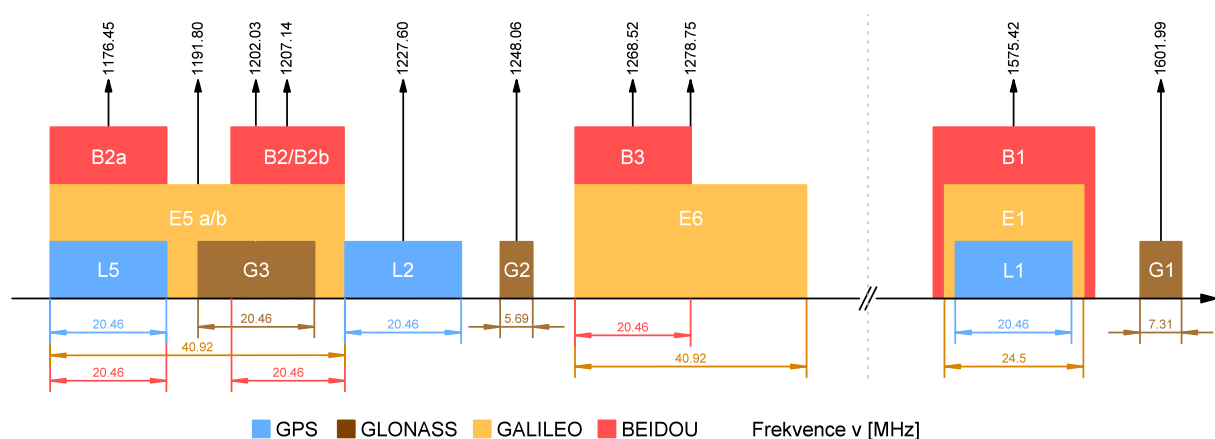
## Potvarjanje GNSS signalov

### Simulacija GNSS signalov

Preizkušanje delovanja kakršne koli vrste sprejemnika je ključen inženirski korak pri izdelavi robustne naprave. Če je pri preizkušanju pri-zemeljskih zvez to sorazmerno enostavno poustvariti v laboratoriju, je pri komunikaciji s satelitskimi sistemi potrebno upoštevati vrsto merilnih pogreškov, od Dopplerjevega pomika nosilne frekvence do vpliva ionosfere, ki po vrhu vsega še ni konstantna. Ravno zmožnost predvajanja znanih in ponovljivih signalov omogoča testiranje naprednih sprejemnikov, ki zagotavljajo brezhibno delovanje v različnih pogojih.

Najtežje od vseh je simulacija navigacijskih signalov, saj se sprejemnik zanaša ravno na zakasnitev prostorsko razmaknjenih oddajnikov in silno stabilni uri, ki se nahaja na krovu takšnih plovil. Če silno stabilna ura pri potvarjanju GNSS signalov ne igra ključnega pomena, je veliko težje ustvariti in dinamično spreminjati zakasnitve signalov pri navidezni poti iz vesolja skozi ionosfero do površja zemlje.

Čeprav prvo simulacijsko okolje izvira iz leta 1987, je šele digitalna sinteza analognih signalov omogočila razcvet različnih umetno ustvarjenih GNSS signalov. Danes je na voljo več simulacijskih sistemov, ki se razlikujejo po zmožnosti potvarjanja v različnih frekvenčnih pasovih in moči programskega okolja. Največja omejitev strojne opreme je dosegljiva pasovna širina modulacije, ki je neposredno povezana s hitrostjo digitalno-analognih pretvornikov znotraj I-Q modulatorja. Če že osnovni visokofrekvenčni izvori omogočajo modulacijsko širino nekaj 10 MHz, le redki presežejo vrednosti nad 500 MHz. To pomenim, da je za dvo- ali tro-frekvenčno simulacijo potrebno imeti dva ali celo tri visokofrekvenčne izvore z I/Q modulacijo. Večina simulatorjev omogoča potvarjanje signalov v pasu L1 (1575.42 MHz), ter v območju L2 (1227.60 MHz), vendar je danes bolj uporabno območje L1+L5 (1176.45 MHz), saj signali na L5 predvidevajo tudi civilno uporabo. Slika 1 prikazuje frekvenčni načrt GNSS sistemov, kjer posamezna barva predstavlja posamezno konstelacijo ter načrtovano pasovno širino, ki jo zavzemajo njeni signali.



Slika 1: Frekvenčni načrt GNSS sistemov

Kot je razvidno iz frekvenčnega načrta se vsi sistemi v pasu L1 (z izjemo Ruskega GLONASS-a) nahajajo okoli iste osrednje frekvence ter se med seboj ločijo s kodnim multipleksom,

spektrum modulacije (BOC) ter načinom zapisa navigacijskih podatkov. To pomeni, da je z enako strojno opremo mogoče poustvariti različne sisteme (tudi hkrati) zgolj z ustrezno programsko nadgradnjo. Nekoliko več težav je v spodnji polovici spektra kjer je modulacijska širina in osrednja frekvenca posameznih sistemov različna.

Cena simulacijskega sistema raste s številom želenih konstelacij na dvo- ali tro- frekvenčnem poustvarjanju, medtem ko je nabor programskih možnosti (vplivi atmosfere, motilni signali, razširjanje po večpotju) večinoma konstanten.

Za simulacijo navadno potrebujemo almanaha vseh satelitskih sistemov, ki jih želimo vključiti v generiranje GNSS signala. Te v bolj ali manj agregirani obliki dobimo na spletu in se dnevno posodablja. Če želimo resnično poustvariti signal moramo pridobiti tudi podatke o trenutnih odpovedih posameznih satelitov, kar lahko pridobimo le iz plačljivih storitev zunanjih ponudnikov. Nenazadnje moramo pri simulaciji upoštevati tudi trenutne razmere ionosfere.

Če uporabljamo najnovejše podatke, lahko s simulatorjem ustvarimo dejansko stanje satelitov vidnih nad želeno lokacijo in spreminjamo njihove parametre. Potvarjanje (angl. Spoofing) z vidika ustvarjanja signalov ločimo v dve kategoriji. Popolno ustvarjanje konstelacije, ki povsem nadomesti dejanske signale iz vesolja ali delno poustvarjanje ki doda zgolj posamezen sistem ali celo en sam satelit. Prvega uporabljamo z namenom popolne spremembe lokacije ali časa, drugega pa za njegovo degradacijo. Seveda kakršno koli oddajanje na frekvencah GNSS (Slika 1) v prizemeljskih sistemih ni dovoljeno.

### Seznam potrebnih pripomočkov

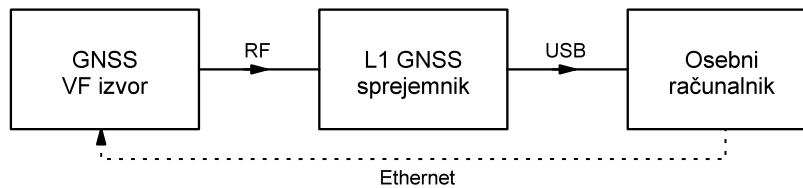
Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Univerzalni RF signalni generator z možnostjo poustvarjanja GNSS signalov
- L1 GNSS sprejemnik z USB povezavo na osebni računalnik
- Priključne kable za vse povezave
- Namensko programsko kodo za obdelavo in poustvarjanje signalov

Vezavo merilnih pripomočkov prikazuje Slika 3, razporeditev pa Slika 2s.



Slika 2: Slika vezave merilnih pripomočkov



Slika 3: Skica merilne postavitve

### Opis poteka vaje

V vaji izmerimo hitrost določitve 3D položaja L1 GNSS sprejemnika. V ta namen za GNSS izvor pripravimo štiri scenarije, ki se vsi začno na isti dan ob isti uri, torej je vidna konstelacija satelitov ob začetku meritve vedno enaka. Simulator omogoča nastavljanje številnih parametrov, pri čimer za simulacijo ionosfere uporabimo NATO model, oddajna moč satelitov pa se dinamično spreminja glede na oddaljenost (simulacija smernega diagrama antene).

Dva scenarija s konstantno lokacijo in dva z dinamičnim premikanjem sta bila predhodno izdelana in naložena v signalni generator. Med njimi izbiramo s preprostim terminalskim programom (Python skripto). Nastavitvev pri tej vaji ne spreminjamo, zato so vse nepomembne informacije umaknjene v ozadje izvajanja.

Kakovost sprejema opazujemo na računalniškem programu proizvajalca GNSS modula. Poleg številnih surovih vrednosti merilnih parametrov, nam sprejemnik vrača 2D in 3D lokacijo (narisano tudi na zemljevidu), prikaz vidne konstelacije s podatki o uporabi posameznih satelitov za določanje lokacije, ter dobitok  $C/N_0$  (koda/šum), parameter, ki nakazuje kakovost ter moč signala po kodni de-modulaciji.

Sprejemnik se lahko pri začetnem sprejemu signalov nahaja v različnih stanjih, zato poznamo tri kategorije zagona: hladni, topli ali vroči zagon. V hladnem načinu se sprejemnik nahaja po daljšem obdobju brez baterijskega napajanja ali uporabe. Ne pozna svoje lokacije, hitrosti premikanja, časa, ter ne ve, kje in kateri sateliti so trenutno vidni v orbiti, zato mora iskanje začeti na slepo. Ko sprejme signal vsaj dveh satelitov lahko določi svojo uro, po treh svoj grobi 2D položaj ter po štirih grobi 3D položaj. Po 12.5 minutah lahko sprejme popoln almanah (informacijo o orbitah), ki je veljaven 180 dni in omogoča hitrejši zagon. Čas do prve določitve položaja pri sodobnih sprejemnikih traja do 60 s.

Topel zagon pomeni, da ima sprejemnik veljaven almanah, svoj čas pozna na  $\pm 6$  s natančno, svoj položaj v radiju 100 km, ter svojo hitrost v območju  $\pm 25$  m/s. Mora pridobiti natančne podatke o orbiti satelitov, ki se prenašajo vsakih 30 s. Čas do določanja položaja je navadno krajši kot v primeru hladnega zagona.

Vroči zagon je posledica kratkotrajne izgube signala (vožnja pod podvozom, skozi tunel). Sprejemnik ima vse potrebne podatke in mora zgolj izvesti ponoven preračun položaja. Vroči zagon navadno potrebuje med 1-2 s.

Čas pridobitve položaja lahko precej skrajšamo, če do podatkov o orbitah dostopamo preko spleta (Assisted GP) kar danes omogočajo skoraj vsi sprejemniki s povezljivostjo v splet (mobilni telefoni, sprejemniki v vozilu, geodetski sprejemniki).

Pri vaji izmerimo čas, ki je potreben do pridobitve 3D položaja iz različnih začetnih stanj za različne scenarije. Najprej izberemo prvi statičen scenarij in počakamo na določitev položaja. Določimo statično lokacijo, nato pa ponastavimo modul (resetiramo) za hladen, topel in vroči



zagon, ter s štoparico izmerimo potrebni čas za uspešno določitev položaja (3D fix). Postopek ponovimo še za drugi statični in oba dinamična položaja.

Nato izmerimo čas do določitve položaja, ko sprejemniku v trenutku zamenjamo scenarij, brez da bi ga predhodno ponastavili (hipno GNSS potvarjanje). Izmerimo čas za menjavo iz statičnega #1 v statično #2, iz dinamičnega #1 v dinamično #2 ter iz statičnega #1 v dinamično #2. Rezultate vpišemo na zbirni list.

### Naloga

1. Izmerite čas potreben za določitev 3D položaja za 4. različne scenarije, vsakič po tri različne tipe zagona (hladno, toplo vroče).
2. Določite lokaciji statičnih scenarijev.
3. Določite potreben čas za določitev 3D položaja pri hipni menjavi scenarija, brez ponastavitve sprejemnika. Izmerite primer statično #1 → statično #2, dinamično #1 → dinamično #2, statično #1 → dinamično #1.