



Fakultet elektrotehnike i računarstva

Zavod za radiokomunikacije



# **RADIONAVIGACIJA**

**Upute za laboratorijske vježbe**

Zagreb, 2017.

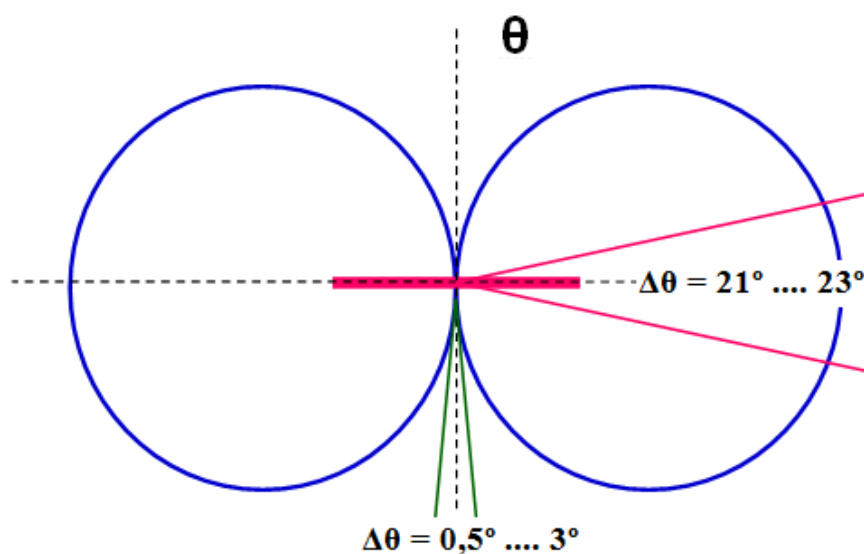
# Sadržaj

Vježba 1:	Radiogoniometar i antenski efekt	3
Vježba 2:	Raspoloživost GPS signala u urbanom okruženju	6
Vježba 3:	Geometrijske pogreške kod satelitske navigacije	14
Vježba 4:	NMEA 0183 norma	17
Vježba 5:	Brzina određivanja pozicije prijamnika	22

## Vježba 1.

### Radiogoniometar

Radiogoniometri su prijamni radiouređaji koji služe za određivanje radiosmjera (smjera prema odašiljaču kao izvoru radiovalova). Goniometar se sastoji od okretljivog ili fiksnog antenskog sustava, radioprijamnika i indikatora smjera (zvučnik, kazaljka instrumenta ili prikaz na ekranu katodne cijevi). Radiogoniometar korišten na vježbi ima okretljivu okvirnu antenu, koja je oklopljena i na taj način zaštićena od atmosferskih utjecaja. Preko uskog procjepa na oklopu elektromagnetski val inducira struju u unutrašnjim namotajima antene. Dijagram usmjerenosti okvirne antene u polarnom koordinatnom sustavu je u obliku osmice. Prikazan je na slici 1.



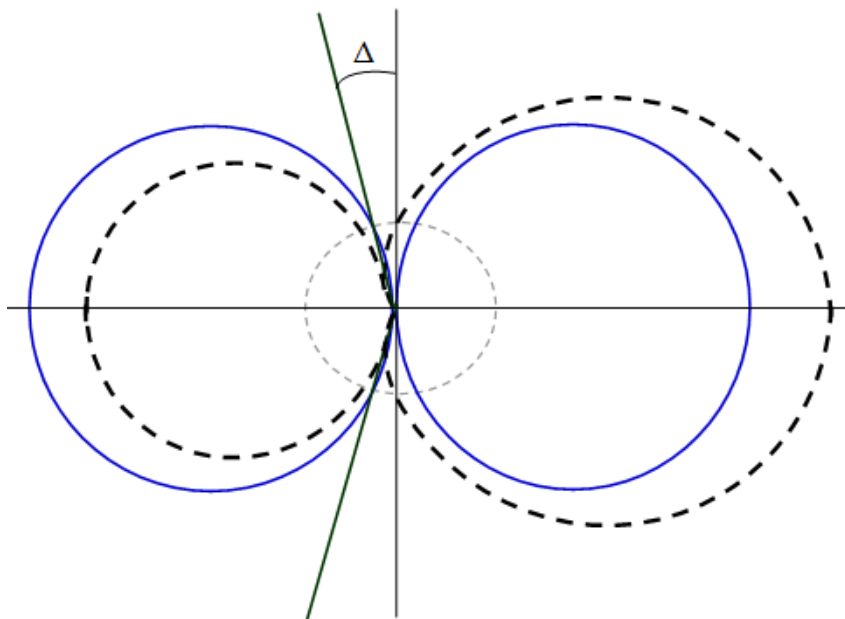
Slika 1. Usmjerna karakteristika okvirne antene i oštirine lociranja po minimumu i maksimumu

Kad se prijamnik radiogoniometra ugodu na frekvenciju odašiljača, može se mjeriti amplituda primljenog signala, a radiosmjer se može odrediti po minimumu ili maksimumu signala zakretanjem antene. Kako je oštirina lociranja po minimumu mnogo veća od oštirine maksimuma amplitude prijamnog signala, lociranje po minimumu mnogo češće se koristi za preciznije određivanje radiosmjera. Pogreška kuta pri lociranju po minimumu je između 1 i 3 stupnja, dok bi kod lociranja po maksimumu pogreška bila dvadesetak stupnjeva, što se vidi na slici 1. To bi odgovaralo promjeni glasnoće demoduliranog signala od 7 - 8 %.

### Antenski efekt

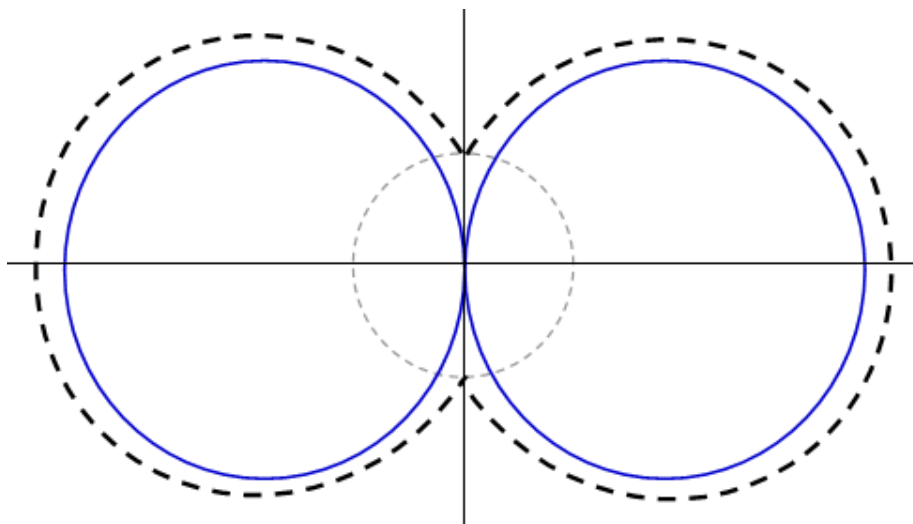
U praksi se rijetko dobiva idealna usmjerna karakteristika okvirne antene. Najčešće se zbog utjecaja bliske okoline pojavljuje izobličenje usmjerne karakteristike, što nazivamo antenski efekt. Utjecaj okoline može se protumačiti kao pojava neusmjerenosti u osmičastoj karakteristici, jer se manifestira kao da uz idealnu okvirnu antenu postoji i "parazitna" neusmjerena štap antena s kružnom karakteristikom. Antenski efekt može biti kofazni ako su signali usmjerene i neusmjerene "parazitne" antene u fazi ili nefazni ako signali nisu u fazi. U ovim slučajevima imamo potpuno drugačiju resultantnu karakteristiku usmjerenosti.

Za slučaj kofaznog antenskog efekta okolina antene je rezonantna na radnoj frekvenciji prijama, signali usmjerene i neusmjerene parazitne antene se zbrajaju s istim fazama. Dolazi do nesimetrije osmičaste karakteristike i loma osi minimuma, tako da se pojavljuje pogreška smjera minimuma  $\Delta$  prikazana na slici 2.



Slika 2. Usmjerna karakteristika za slučaj kofaznog antenskog efekta

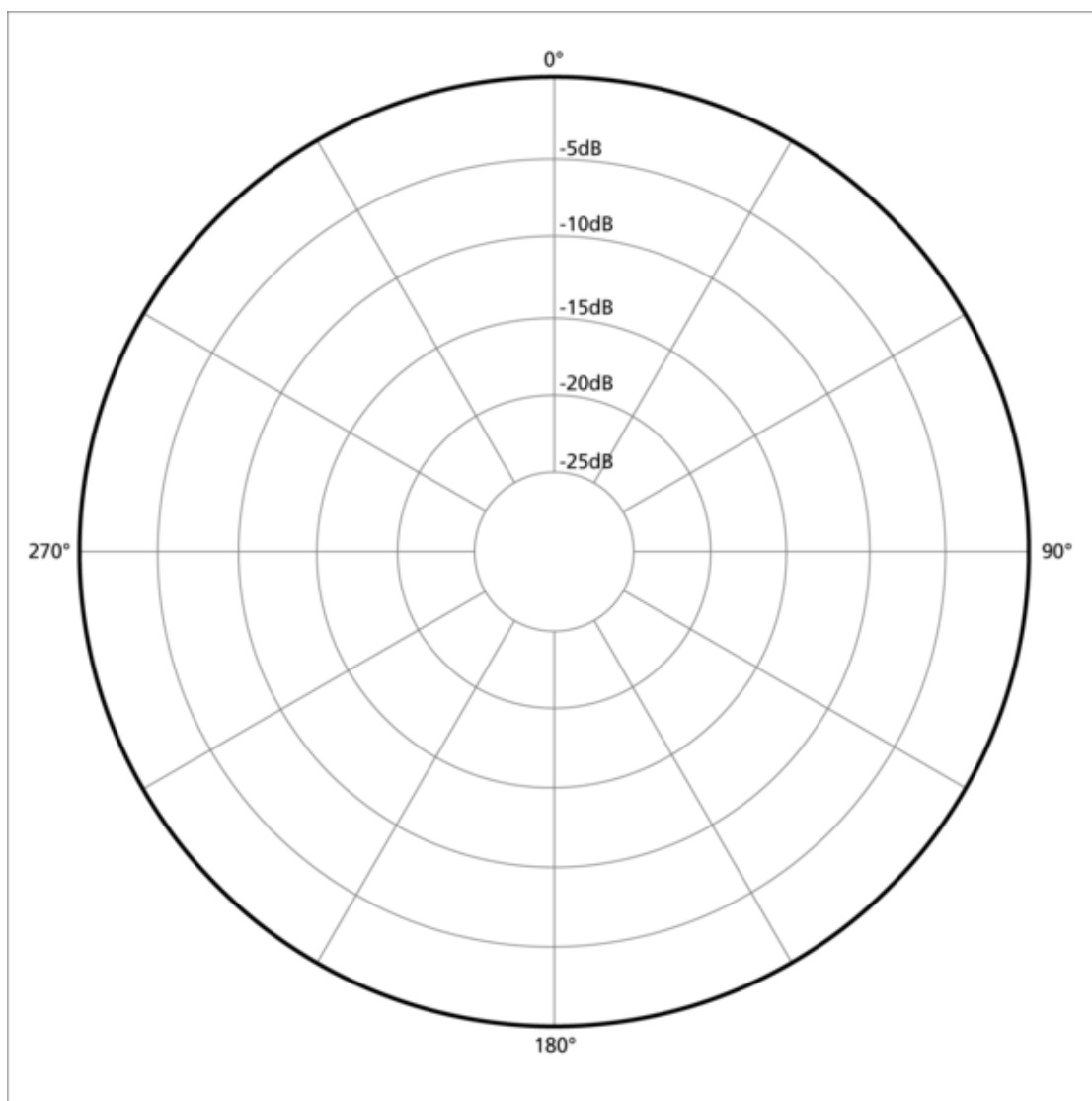
Kod nefaznog antenskog efekta nema nesimetrije, ali nema nultog smjera, pojavljuje se proširenje minimuma dijagrama usmjerenosti (smanjivanje oštrote minimuma), što otežava lociranje. Ovakav dijagram dobijemo vektorskim zbrajanjem osmičastog dijagrama idealne okvirne antene i kružne karakteristike parazitne neusmjerene antene (utjecaj okoline). Vektori se zbrajaju pod kutom koji odgovara faznom pomaku dvaju signala (signala usmjerene i neusmjerene antene). Rezultantna usmjerna karakteristika prikazana je na slici 3.



Slika 3. Usmjerna karakteristika za slučaj nefaznog antenskog efekta

### Zadaci za vježbu:

1. Ugoditi prijamnu frekvenciju radiogoniometra na komercijalnu radiodifuznu stanicu na srednjevalnom području ili na frekvenciju odašiljača za daljinsko upravljanje igračkom u području 27 MHz.
2. Utvrditi nulti smjer prijama i komentirati orijentaciju okvirne antene u odnosu na odašiljač.
3. Snimiti usmjernu karakteristiku okvirne antene mjerenjem jačine prijamnog signala u ovisnosti o položaju antene.
4. Dijagram usmjerenosti ucrtati u polarni dijagram tako da maksimalna vrijednost izmjerenog signala bude na vanjskom rubu dijagrama.
5. Provjeriti je li dijagram simetričan te da li je pri mjerenju došlo do antenskog efekta.
6. Unutar frekventijskog pojasa označenog brojkom 7 nađite dvije frekvencije na kojima se čuje zvuk radio-stanice te im probajte odrediti smjer.



## Vježba 2:

### Satelitska navigacija

Satelitski navigacijski sustavi omogućuju određivanje položaja, brzine i drugih parametara objekata na temelju primljenih radiovalova sa satelita. Uobičajeno je da se navigacijski sateliti postavljaju u orbite na visinama od 800 - 36000 km, kako bi se pokrila što veća površina na Zemlji. Satelit na visini od 1000 km pokriva 1 - 2 % površine Zemlje, dok satelit na visini od 36000 km pokriva oko 45 % površine.

#### PREDNOSTI:

- s relativno malim brojem odašiljača (satelita) moguće je pokriti cijelu Zemaljsku kuglu

#### NEDOSTACI:

- relativno velika udaljenost između odašiljača i korisnika
- ograničena maksimalno ostvariva snaga odašiljača na satelitu

### GPS (*Global Positioning System*) - sustav globalnog pozicioniranja

GPS sustav koristi 30 satelita koji kruže oko Zemlje na visini od 20180 km u rasporedu koji osigurava kontinuiranu vidljivost dovoljnog broja satelita na bilo kojem dijelu Zemlje, pretpostavljajući optimalnu vidljivost nebeskog svoda. Sustav omogućava precizno određivanje položaja korisnika na kopnu, na moru, u zraku ili u svemirskom prostoru blizu Zemlje u svako doba i u svim vremenskim uvjetima. Osim položaja korisnika, sustav omogućuje i određivanje brzine, a koristi se i kao iznimno precizna vremenska referenca.

GPS sustav kontrolira Ministarstvo obrane Sjedinjenih Američkih država, a primarna namjena sustava bila je u vojne svrhe. Međutim, američki kongres dozvolio je i njegovu civilnu uporabu.

GPS sustav može koristiti neograničen broj korisnika.

GPS sustav sastoji se od tri cjeline:

- 1) svemirski segment – sateliti koji odašilju signale
- 2) kontrolni segment – upravlja cijelim sustavom
- 3) korisnički segment – GPS prijmnici

#### Usluge GPS pozicioniranja:

- Pozicioniranje višom razinom točnosti: PPS (*Precise Positioning Service*)

Usluga je namijenjena samo autoriziranim korisnicima, a koristi dvije prijenosne frekvencije. Korisnici imaju posebne dvofrekvencijske GPS prijmnike i kodove za dekriptiranje. Točnost PPS pozicioniranja za 95% vremena je bolja od 22 m horizontalno i 28 m vertikalno.

- Pozicioniranje standardnom razinom točnosti: SPS (*Standard Positioning Service*)

Usluga je namijenjena civilnim korisnicima, bez ikakve naplate i ograničenja, a koristi samo jednu prijenosnu frekvenciju. Većina GPS prijmnika prima samo SPS signal. Ministarstvo obrane SAD-a može namjerno degradirati točnost usluge korištenjem SA (*Selective Availability*) – selektivne dostupnosti. Točnost SPS pozicioniranja uz korištenje SA je 100 m horizontalno i 156 m vertikalno. Od svibnja 2000. godine namjerna

degradacija točnosti SA se više ne koristi, a točnost SPS pozicioniranja je u 95% vremena bolja od 36 m u horizontalnom smjeru, a 77 m u vertikalnom smjeru.

### Koncepcija mjerenja udaljenosti

Satelitsko određivanje položaja temelji se na preciznom mjerenju vremena rasprostiranja radiosignala od satelita do korisničkog prijamnika. Sateliti emitiraju radiosignale pomoću kojih se može mjeriti vrijeme rasprostiranja signala (*ranging* signali). Vrijeme rasprostiranja pomnoženo s brzinom širenja radiovala (za radiovalove  $\Rightarrow$  brzina svjetlosti) daje prijeđeni put, odnosno udaljenost između satelita i prijamnika. Položaj satelita mora biti u svakom trenutku točno poznat, pa osim signala za određivanje udaljenosti sateliti šalju i navigacijsku poruku, koja sadrži osnovne podatke za izračun položaja satelita (satelitske efemeride, parametre za korekciju pogrešaka i dr.). Mjerenjem vremena propagacije signala od više satelita na točno poznatim pozicijama, prijamnik može metodom trilateracije utvrditi svoju poziciju.

Za određivanje pozicije u 3 dimenzije potrebna su 4 satelita. Da bi se osigurala što preciznija mjerenja pozicije, koja se svode na precizno utvrđivanje trenutka prijama, potrebno je osigurati što precizniju usklađenost satova. Mjerenja bi se trebala provesti s točnošću reda veličine nanosekundi ( $10^{-9}$  s), a 1 ns pri brzini svjetlosti odgovara prijeđenom putu od 0,3 m. Referentno vrijeme na satelitima koristi rubidijeve i cezijeve atomske satove s točnošću  $10^{-13}$ , a točnost sata GPS prijamnika je reda veličine  $10^{-5}$  sekunde.

### Raspored satelita u orbitama

GPS sateliti gibaju se u gotovo kružnim orbitama oko Zemlje. Osnovna konstelacija predviđa 24 satelita raspoređena u 6 orbitalnih ravnina, po 4 satelita u svakoj orbitalnoj ravnini. Nagib (inklinacija) orbitalne ravnine je  $55^\circ$  prema ekvatoru, a visina orbite je 20183 km. Vrijeme ophoda satelita 11h 58min. S konstelacijom od 24 satelita omogućeno je da se bilo gdje na Zemlji u svakom trenutku "vidi" barem 4 do 8 satelita pri elevaciji većoj od  $15^\circ$  iznad horizonta, a uz elevacije još bliže horizontu može se istovremeno opažati i do 12 satelita. Današnjih 32 aktivnih satelita osigurava još bolju raspoloživost GPS signala.

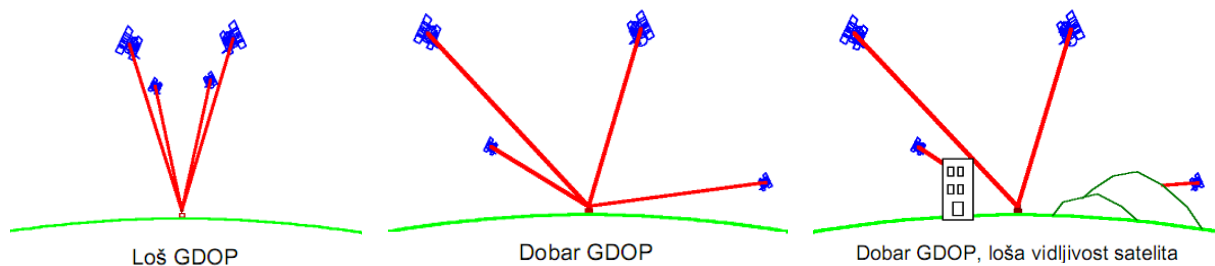
### Pogreške određivanja pozicije

Izmjerene udaljenosti do satelita nazivamo pseudoudaljenosti, jer sadrže sistemske i slučajne pogreške. Uzroci pogrešaka mogu biti i geometrijske pogreške.

### Geometrijske pogreške

Nastaju zbog prostorne raspodjele satelita i korisnika, a prikazane su na slici 1.

**GDOP** (*Geometric Dilution of Precision*) - faktor geometrijske pogreške. GDOP je bezdimenzionalni faktor. Veličina faktora ukupne geometrijske pogreške određena je volumenom prostora kojeg omeđuju prijamnik i sateliti koji se koriste za određivanje položaja. Što je volumen veći, manji je GDOP faktor i pogreška pozicije je manja. Općenito je prihvaćeno da je geometrijski raspored satelita povoljan ako je GDOP manji od 5. Najveća točnost može se postići kad je kut među satelitima gledano s pozicije prijamnika blizu  $90^\circ$  stupnjeva.

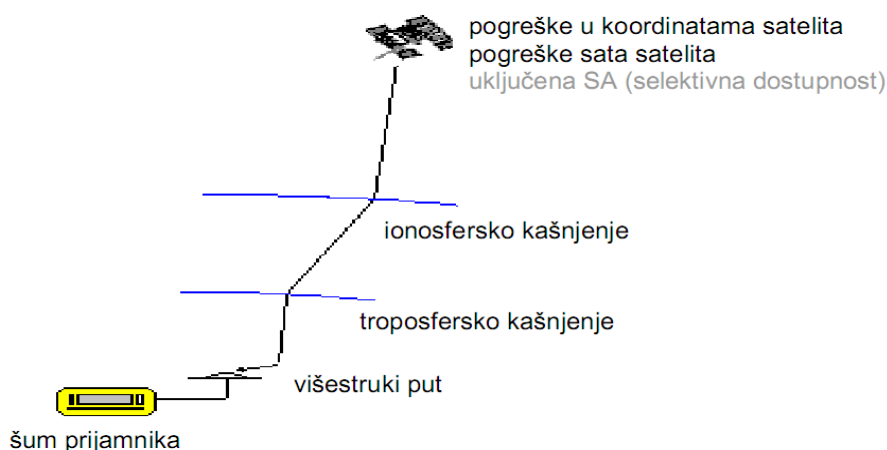


**Slika 1.** Primjer različitih geometrijskih rasporeda satelita, koji rezultiraju različitim veličinama pogrešaka u određivanju položaja

### Sistemske pogreške

Obuhvaćaju sve pogreške nastale pri određivanju udaljenosti između korisnika i satelita, a prikazane su na slici 2. Sistemske pogreške se mogu podijeliti na:

- 1) pogreške satelitske i kontrolne komponente
- 2) pogreške korisničke komponente
- 3) pogreške zbog utjecaja prijenosnog medija



**Slika 2.** Sistemske pogreške kod određivanja pozicije

#### 1) Pogreške satelitske i kontrolne komponente

Nastaju uslijed pogrešaka predviđanja položaja satelita, pogreške satelitskog sata, grupnog kašnjenja signala pri prolasku kroz elektroničke sklopove sustava i zbog selektivne dostupnosti (SA).

Na gibanje satelita djeluju Zemljin geoidni oblik, gravitacijski utjecaj Sunca i Mjeseca, koji unose dodatnu pogrešku u određivanju udaljenosti satelita i korisnika.

Iako sateliti imaju precizne atomske satove, odstupanje od npr. 1  $\mu$ s izazvalo bi pogrešku pseudoudaljenosti od 300 m. Korekcije se obavljaju korištenjem matematičkih modela s koeficijentima koji se šalju u navigacijskoj poruci. Selektivna dostupnost (SA) smanjivala je točnost za komercijalne korisnike pomoću namjerno izazvanih pogrešaka sata i netočnog određivanja putanje satelita (do 70 m).



## **2) Pogreške korisničke komponente**

Uslijed obrade signala u prijamniku pogreške su  $< 1\text{m}$ . Zbog relativnog gibanja prijamnika u odnosu na koordinatni sustav i zbog pogreške višestrukih putova (*multipath error*) pogreške mogu biti nekoliko metara.

## **3) Pogreške zbog utjecaja prijenosnog medija**

Utjecaj atmosfere na prolaz GPS signala podrazumijeva ionosfersko i troposfersko kašnjenje radiovalova, uslijed čega se pojavljuju razlike između izmjerene i geometrijske udaljenosti satelita i prijamnika.

Ionosfersko kašnjenje je najznačajniji pojedinačni uzrok pogrešaka satelitskog određivanja položaja. Nastanak ionosferskog kašnjenja prouzročen je postojanjem slobodnih elektrona u ionosferi, uslijed čega se radiovalovi ne rasprostiru brzinom svjetlosti kao u vakuumu, već manjom brzinom. Kašnjenje signala je ovisno o frekvenciji, pa je u PPS usluzi s dvije prijenosne frekvencije moguća korekcija kašnjenja i eliminacija pogreške. Pogreška mjerenja udaljenosti, ako se ne korigira, može se kretati do sedamdesetak metara, ovisno o kutu elevacije pod kojim signal dolazi sa satelita. Za satelite u zenitu (kut elevacije  $90^\circ$ ) je putanja signala kroz ionosferu najkraća, a za satelite s niskim elevacijama najdulja.

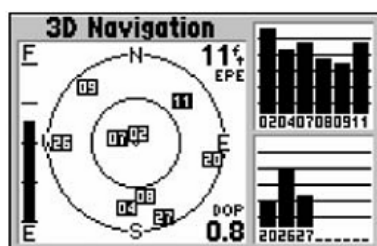
Troposferski sloj je neutralni (neionizirani) dio atmosfere i brzina širenja radiovalova je neovisna o frekvenciji. Promjena brzine širenja elektromagnetskih valova kroz troposferu izazvane su promjenama temperature, tlaka i relativne vlažnosti zračnih masa u troposferi. Pogreška mjerenja ako se ne korigira, kreće se u rasponu od približno 2 m do dvadesetak metara, ovisno o kutu elevacije satelita.

## **Raspoloživost GPS signala u urbanom okruženju**

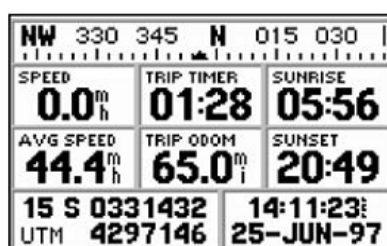
Primjena satelitske navigacije u urbanom okruženju često rezultira nemogućnošću da prijamnik odredi položaj zbog nedostatka dovoljnog broja "vidljivih" satelita, naročito ako se korisnik nalazi okružen visokim zgradama u tzv. "urbanom kanjonu". Okruženje s mnogo fizičkih prepreka rezultira slabom raspoloživošću GPS signala, a izaziva i povećanje pogreške u izračunavanju položaja. Zgrade, neboderi i vegetacija u parkovima i drvodredima mogu, ovisno o trenutnom rasporedu satelita na nebu, znatno smanjiti broj vidljivih satelita, a time i raspoloživost GPS signala.

## Prvi dio zadataka za vježbu:

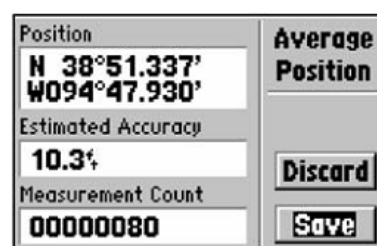
- Postaviti na GPS prijamniku stranicu "Satellite Status", kao na slici 3.  
Skicirati trenutni raspored satelita i jačinu satelitskih signala.  
Zapisati veličinu DOP faktora (*Dilution of Precision* - faktor kvalitete geometrijskog rasporeda satelita) i EPE (*Estimated Position Error* - procijenjena pogreška određivanja pozicije) za trenutni raspored satelita.



Slika 3. "Satellite Status"



Slika 4. "Position"



Slika 5. "Average Position"

raspored satelita:

jačine signala:

DOP:

EPE:

- Postaviti stranicu "Position Page" (slika 4.). Pritiskom na tipku "Menu" ući u podizbornik "Average Position" (slika 5.).  
Zabilježiti podatke za poziciju i procijenjenu pogrešku (*Estimated Accuracy*) određivanja pozicije uz korištenje postupka usrednjavanja:

pozicija:

procijenjena pogreška:

3. Premjestiti GPS antenu bliže zgradi i ponoviti zadatke iz točke 1 i 2:

raspored satelita:

jačine signala:

DOP:

EPE:

pozicija:

procijenjena pogreška:

4. Komentirati rezultate s obzirom na utvrđeni faktor kvalitete geometrijskog rasporeda satelita (DOP) za oba položaja antene.

## Trimble softver za planiranje

Za procjenu raspoloživosti GPS signala u urbanom okruženju treba za određenu lokaciju odrediti visine i udaljenosti prepreka od korisnika za svaki smjer (od 0 do 360°), čime se određuju najveći kutovi elevacije iznad kojeg su sateliti vidljivi (elevacijska maska).

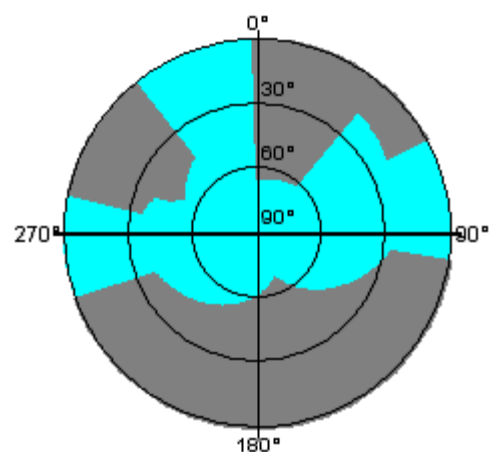
Parametar vidljivosti neba (*sky plot*) može omogućiti adekvatno predviđanje broja vidljivih satelita za određenu lokaciju u određenom vremenskom trenutku.

## Drugi dio zadataka za vježbu:

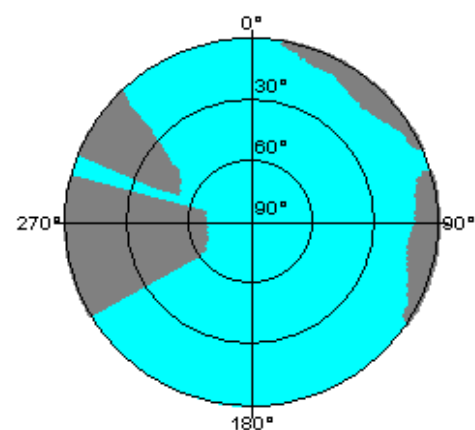
1. Odabrati jednu od lokacija u urbanoj sredini iz primjera na kraju vježbe. Namjestiti geografsku širinu i dužinu Zagreba iz primjera. Podesiti elevacijsku masku za odabranu lokaciju. Namjestiti dan i vrijeme.
2. Za vremensko razdoblje 24 sata i interval po 10 minuta analizirati vidljivost nebeskog svoda (*sky plot*), vidljivost satelita (*visibility*), broj vidljivih satelita (*number of satellites*) te DOP faktore za GPS satelite. Zabilježiti minimalne i maksimalne vrijednosti na grafovima te vremenske intervale kad se pojavljuju:
3. Unutar 24 sata pronaći vremenske intervale s najvećim i najmanjim DOP faktorima i najvećim i najmanjim brojem vidljivih satelita te ih detaljnije analizirati. Postaviti vremensko razdoblje 1 sat i interval 1 minuta. Skicirati grafičke prikaze rezultata:

Izračunati točnost određivanja pozicije u odabranim intervalima uz pretpostavku da bi točnost bez zaklanjanja nebeskog svoda bila 10 metara te komentirati razlike:

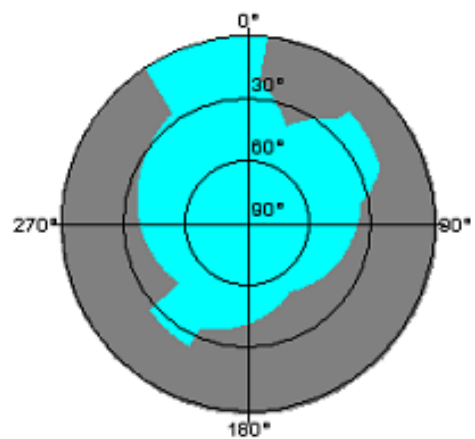
Lokacija 1 **45°49'** **16°00'**



Lokacija 2



Lokacija 3

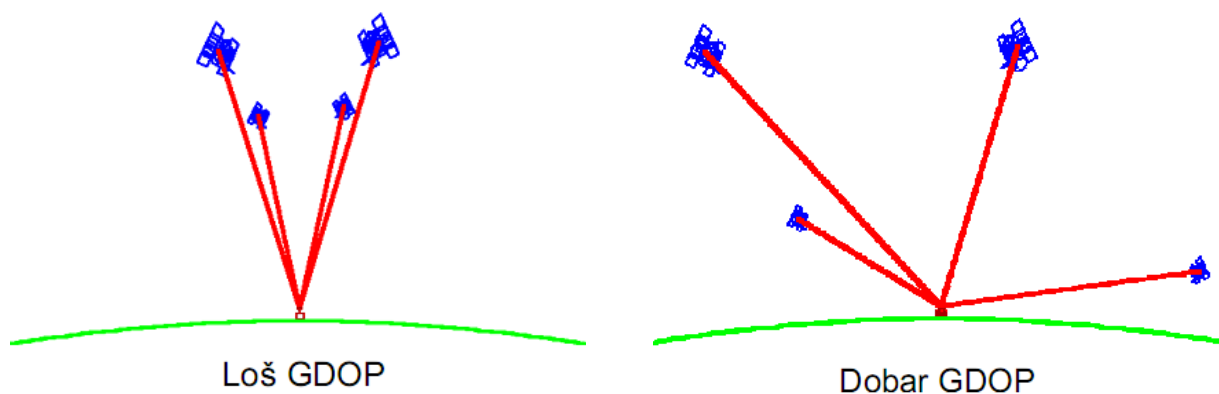


## Vježba 3.

### Geometrijske pogreške kod satelitske navigacije

Primjena satelitske navigacije podrazumijeva da prijamnik "vidi" dovoljan broj satelita, kako bi mogao odrediti poziciju. Okruženje s mnogo fizičkih prepreka između satelita i prijamnika rezultira slabom raspoloživošću satelitskih signala, a izazva i povećanje pogreške u izračunavanju položaja.

Parametri koji utječu na točnost određivanja položaja ovise, osim o sistemskim pogreškama opisanim u vježbi 2 i o geometrijskom rasporedu satelita u odnosu na prijamnik. Nazivaju se faktori degradacije točnosti DOP (*Dilution of Precision*). DOP faktori su bezdimenzionalne, vremenski promjenjive veličine. Veličina faktora ukupne geometrijske pogreške GDOP (*Geometric Dilution of Precision*) određena je volumenom prostora kojeg omeđuju prijamnik i sateliti koji se koriste za određivanje položaja. Što je volumen veći, manji je GDOP faktor i pogreška pozicije je manja. Kod nepovoljnog geometrijskog rasporeda satelita volumen opisanog prostora je mali, a GDOP faktor i pogreška su veliki. Slika 1 prikazuje ova dva slučaja.



Slika 1. Geometrijski položaj satelita i faktori pogreške

Geometrijska degradacija točnosti definira se nizom komponenata, koje prikazuju degradaciju točnosti u pojedinim prostornim i vremenskim koordinatama.

HDOP (*Horizontal Dilution Of Precision*) ... horizontalna geometrijska degradacija točnosti,

VDOP (*Vertical Dilution Of Precision*) ... vertikalna geometrijska degradacija točnosti,

TDOP (*Timing Dilution Of Precision*) ... geometrijska degradacija točnosti određivanja vremena,

GDOP (*Geometric Dilution Of Precision*) ... ukupna geometrijska degradacija točnosti,

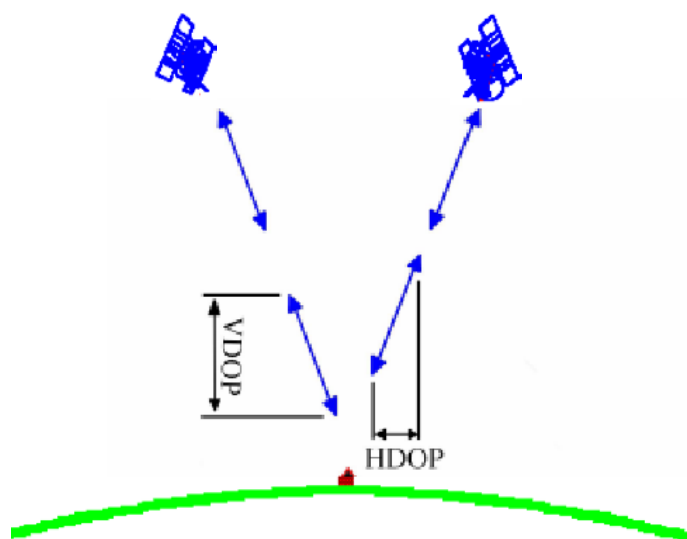
PDOP (*Positioning Dilution Of Precision*) ... geometrijska degradacija točnosti određivanja položaja,

$$PDOP = \sqrt{(HDOP^2 + VDOP^2)}$$

$$GDOP = \sqrt{(PDOP^2 + TDOP^2)}$$

Dobar DOP preduvjet je kvalitetnog određivanja položaja. Vrijednost DOP faktora veća od 6 je loša i takvo mjerenje nije povoljno. Da bi određivanje položaja bilo što točnije, poželjno je da vrijednost DOP faktora bude manja od 5. Najveća točnost može se postići kad je kut među satelitima gledano s pozicije prijamnika blizu 90 stupnjeva.

Određivanje visine manje je precizno od određivanja koordinata u horizontalnom smjeru. Faktor VDOP je u prosjeku 1,6 puta veći od faktora HDOP, što se vidi na slici 2.



Slika 2. Odnos veličina faktora HDOP i VDOP

## Trimble softver za planiranje

Za procjenu veličine geometrijske pogreške za određenu lokaciju treba analizirati vidljivost satelita na nebeskom svodu. Parametar vidljivosti neba (*sky plot*) može omogućiti adekvatno predviđanje broja vidljivih satelita za određenu lokaciju u određenom vremenskom trenutku.

## Zadaci za vježbu:

1. Namjestiti geografsku širinu i dužinu Zagreba ( $45^{\circ}49' \text{ N}$ ;  $16^{\circ}\text{E}$ ). Namjestiti dan i vrijeme.
2. Za vremensko razdoblje 24 sata i interval po 10 minuta analizirati vidljivost nebeskog svoda (*sky plot*), vidljivost satelita (*visibility*), broj vidljivih satelita (*number of satellites*) te DOP faktore za GPS satelite.
3. Odabrati jednosatno vremensko razdoblje s najvećim brojem satelita i podesiti interval po 1 minuti. Pojedinačno u programu isključivati satelite s niskim elevacijama te promatrati što se događa s HDOP faktorom. Komentirati zašto se mijenja HDOP. Pronaći kombinaciju rasporeda 4 satelita kod koje je HDOP najveći.

4. Vratiti sve satelite te pojedinačno isključivati satelite s visokim elevacijama. Promatrati što se događa s VDOP faktorom. Komentirati zašto se mijenja VDOP. Pronaći kombinaciju rasporeda 4 satelita kod koje je VDOP najveći.



## Vježba 4.

### NMEA norma (standard)

Američko udruženje NMEA (*National Marine Electronics Association*) razvilo je 1983. godine specifikaciju koja definira komunikacijsko sučelje između brodskih elektroničkih uređaja. Standard također omogućuje interakciju GPS prijamnika i računala u razmjeni i obradi informacija. NMEA standard prošao je kroz nekoliko revizija i promjena. Većina današnjih uređaja koristi format zapisa "0183 verzija 2" koji je objavljen 2001. godine. Njime je određena brzina prijenosa podataka od 4800 bauda i više. Starije verzije, kao što su 0180 za kojom je slijedila verzija 0182, koristile su brzinu prijenosa od 1200 bauda.

### NMEA 0183 rečenice

NMEA standard zasniva se na dvosmjernoj razmjeni podataka u linijama, koje se još nazivaju rečenice. Rečenice tvore cjelinu i međusobno su neovisne, osim u specifičnim slučajevima duljih nizova podataka, kada je povezano nekoliko rečenica u nizu.

Svaka rečenica počinje znakom '\$', sadrži najviše 80 znakova zapisanih u standardnom ASCII kodu i završava znakom za prelazak u novi redak.

Prva dva znaka koja slijede za znakom "\$" identificiraju uređaj s kojeg se rečenica šalje (*Talker identifier*). Za njima slijede tri znaka koja identificiraju vrstu rečenice (*Sentence identifier*), iza kojih se nalaze podaci međusobno odvojeni zarezom. Kraj je ostavljen za dva heksadecimalna broja kojima prethodi znak '\*' i signalizira polje za otkrivanje pogreške. Heksadecimalni brojevi predstavljaju "isključivo ILI" (XOR) funkciju svih ASCII znakova između '\$' i '\*'. U slučaju pogreške generira se upitna NMEA rečenica i njome se zahtjeva ponovno slanje krivo obrađene informacije.

Neki GPS parametri kao što je UTC vrijeme te geografska širina i dužina ponavljaju se u različitim rečenicama.

Unutar NMEA standarda koristi se mnogo rečenica, za različite namjene i za različite uređaje.

Neke od njih korištene su za GPS primjenu (sve poruke počinju znakom '\$' i slovima GP) :

- AAM - Signalizacija dolaska na odredište
- ALM - Satelitski almanah
- APA - Auto Pilot A rečenica
- APB - Auto Pilot B rečenica
- BOD - Smjer kretanja od ishodišta do destinacije
- BWC - Smjer kretanja korištenjem "Great Circle" rute
- DTM - Korištenje referentnih podataka
- GGA** - Informacija o poziciji
- GLL - Geografska širina/dužina
- GSA** - Opći satelitski podaci
- GSV** - Detaljni satelitski podaci
- MSK - Kontrolna informacija za navigacijski prijamnik
- MSS - Statusna informacija navigacijskog prijamnika
- RMA - PVT (*Position, Velocity, Time*) podaci za rutu korištenjem LORAN sustava
- RMB - PVT podaci za rutu korištenjem GPS sustava
- RMC** - Osnovni PVT podaci za GPS sustav
- RTE - Informacije o ruti
- VTG - Smjer i brzina kretanja
- WCV - Brzina kretanja prema odredištu
- WPL - PVT informacija o odredištu
- XTC - Odstupanje od zadane rute
- XTE - Procjena odstupanja od zadane rute
- ZTG - UTC vrijeme i vrijeme dolaska na destinaciju
- ZDA - Datum i vrijeme

## Opis važnijih NMEA rečenica

**GGA** - osnovni podaci o lokaciji koji omogućuju 3D pozicioniranje te podaci o točnosti pozicioniranja. Jedina je rečenica koja daje podatak o nadmorskoj visini.

Primjer GGA rečenice :

- \$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,\*47

gdje je :

\$	početak NMEA rečenice
GP	primjena na GPS uređaju
GGA	podaci o lokaciji
123519	podaci o lokaciji uzeti 12:35:19 po UTC vremenu
4807.038,N	geografska širina 48° 07.038' sjeverno
01131.000,E	geografska dužina 11° 31.000' istočno
1	metoda pozicioniranja : 0 = neuspjelo pozicioniranje 1 = GPS pozicioniranje 2 = DGPS pozicioniranje 3 = usluga PPS pozicioniranja 4 = RTK pozicioniranje ( <i>Real Time Kinematic</i> ) 5 = <i>Float</i> RTK 6 = procjena pozicije (proračun) 7 = ručni unos parametara 8 = Simulacija
08	broj praćenih satelita
0.9	horizontalni geometrijski faktor pogreške (HDOP)
545.4, M	nadmorska visina u metrima
46.9, M	nadmorska visina u metrima (u WGS84 koordinatnom sustavu) (prazno
polje)	protoklo vrijeme (u sekundama) od posljednje DGPS informacije
(prazno polje)	identifikacijski broj DGPS postaje
*47	polje za identifikaciju pogreške prijenosa

**GSA** - Rečenica sadrži podatke o vrsti i pogreški pozicioniranja. Oni uključuju broj satelita korištenih u proračunu kao i geometrijski faktor pogreške GDOP (*Geometry Dilution Of Precision*). GDOP je bezdimenzionalni faktor čije su visoke vrijednosti najčešće povezane uz smanjen broj vidljivih satelita. Općenito je prihvaćeno da je geometrijski raspored satelita povoljan ako je GDOP manji od 5. Za 3D pozicioniranje korištenjem 4 satelita GDOP vrijednost 1.0 bila bi optimalna.

Primjer GSA rečenice :

- \$GPGSA,A,3,04,05,,09,12,,,24,,,,,2.5,1.3,2.1\*39

gdje je:

\$	početak NMEA rečenice
GP	primjena na GPS uređaju
GSA	podaci o vrsti i pogreški pozicioniranja i geometrijskom rasporedu satelita
A	automatski odabir 2D ili 3D pozicioniranja ( <i>M = manual</i> , ručno)
3	vrijednosti 1, 2 ili 3 označavaju: 1 = neuspjelo pozicioniranje 2 = 2D pozicioniranje 3 = 3D pozicioniranje
04,05...	PRN oznake satelita korištenih u pozicioniranju
2.5	geometrijski faktor pogreške (GDOP)
1.3	horizontalni geometrijski faktor pogreške (HDOP)
2.1	vertikalni geometrijski faktor pogreške (VDOP)
*39	polje za identifikaciju pogreške prijenosa

U ovom primjeru prijamnik za proračun pozicije koristi pet satelita, dok prazna polja raspoređena unutar rečenice pokazuju da na obzoru postoje i sateliti koji nisu korišteni u proračunu (postoji još šest satelita). Kod nekih prijamnika prazna polja nalazit će se na kraju rečenice nakon PRN kodova korištenih satelita, što znači da se neće prikazati podaci o ostalim vidljivim satelitima.

**GSV** - Rečenica prikazuje podatke o satelitima koje prijamnik može pronaći na osnovu podataka iz almanaha i raspoloživosti satelitskih signala. Unutar GSV rečenice moguće je spremati podatke o najviše četiri satelita, što znači da će za potpunu informaciju ponekad biti potrebne tri rečenice. Dakle GSV uključuje i satelite koji se ne koriste u PVT proračunu.

Primjer GSV rečenice :

- \$GPGSV,2,1,08,01,40,083,46,02,17,308,41,12,07,344,39,14,22,228,45\*75

gdje je :

\$	početak NMEA rečenice
GP	primjena na GPS uređaju
GSV	raspoloživost signala i vidljivost satelita u konstelaciji
2	broj rečenica potrebnih za potpunu informaciju
1	prva rečenica
08	broj teoretski vidljivih satelita
01	PRN oznaka satelita
40	elevacija u stupnjevima
083	azimut u stupnjevima
46	SNR ( <i>engl. Signal to Noise Ratio</i> ) odnos signal šum u decibelima
:	
:	

Slijede gore navedeni podaci za ostala tri vidljiva satelita koji se koriste u proračunu

\*75 polje za identifikaciju pogreške

Polje SNR u NMEA standardu odnosi se na jakost signala na ulazu u prijamnik. Može imati vrijednosti od 0 do 99 decibela (dB). Različiti prijamnici koriste različiti raspon i referentne vrijednosti. Vrijednost od 0 dB ponekad samo označava satelit koji se ne koristi u proračunu.

**RMC** - Unutar NMEA standarda uključena je rečenica koja pruža osnovne informacije o položaju, brzini i vremenu PVT (*Position, Velocity, Time*).

Primjer RMC rečenice :

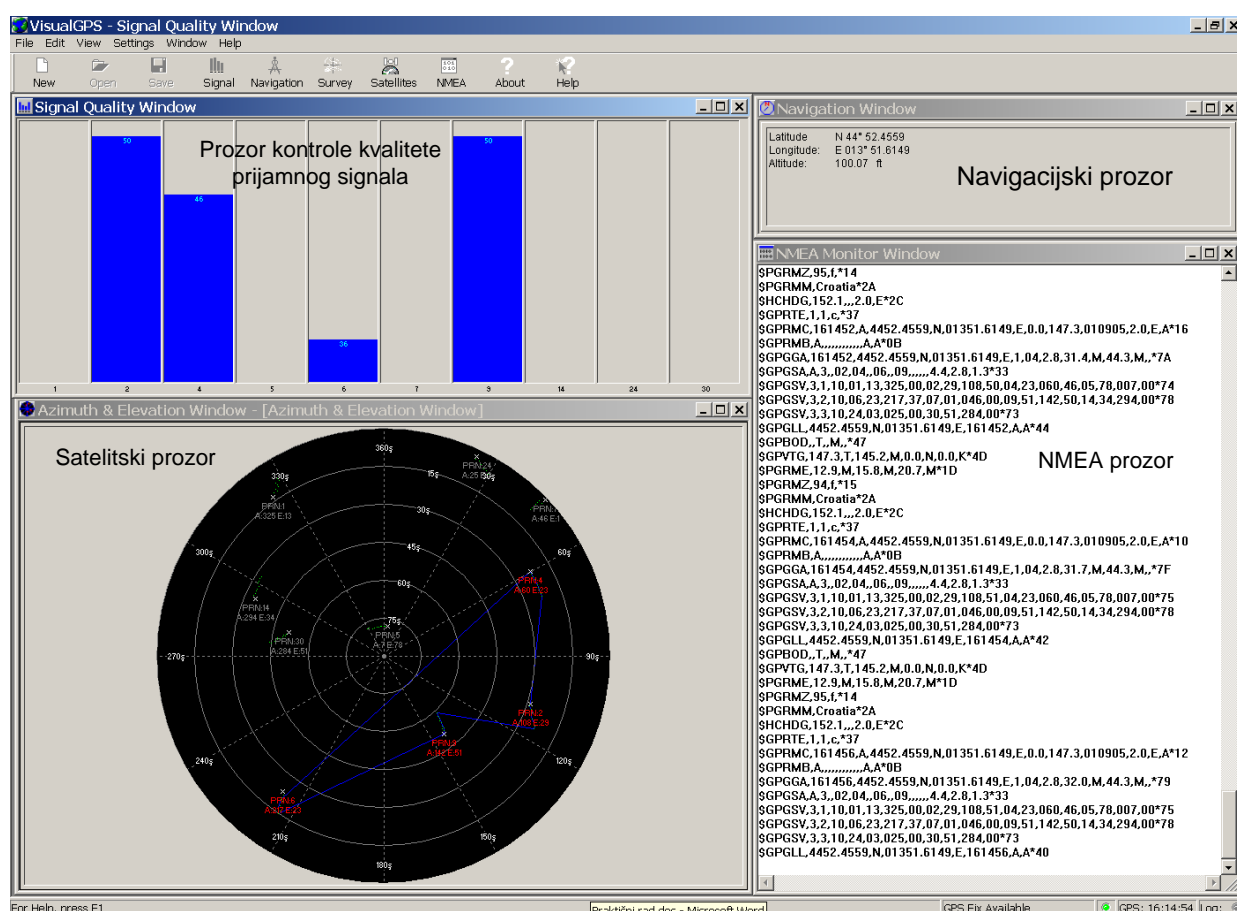
- \$GPRMC,123519,A,4807.038,N,01131.000,E,022.4,084.4,230394,003.1,W\*6A

gdje je :

\$	početak NMEA rečenice
GP	primjena na GPS uređaju
RMC	<i>Recommended Minimum sentence C</i> , osnovna PVT informacija
A	status, A = Active
123519	podaci o lokaciji uzeti 12:35:19 po UTC vremenu
4807.038,N	zemljopisna širina 48° 07.038' sjeverno
01131.000,E	zemljopisna dužina 11° 31.000' istočno
022.4	brzina kretanja u čvorovima
084.4	Azimut u odnosu na smjer kretanja
230394	datum 23. Ožujak 1994
003.1,W	magnetsko odstupanje
*6A	polje za identifikaciju pogreške

**Visual GPS** programski je alat za pohranjivanje i obradu NMEA podataka primljenih od GPS prijamnika. Njegovo se pregledno i jednostavno sučelje sastoji od nekoliko prozora:

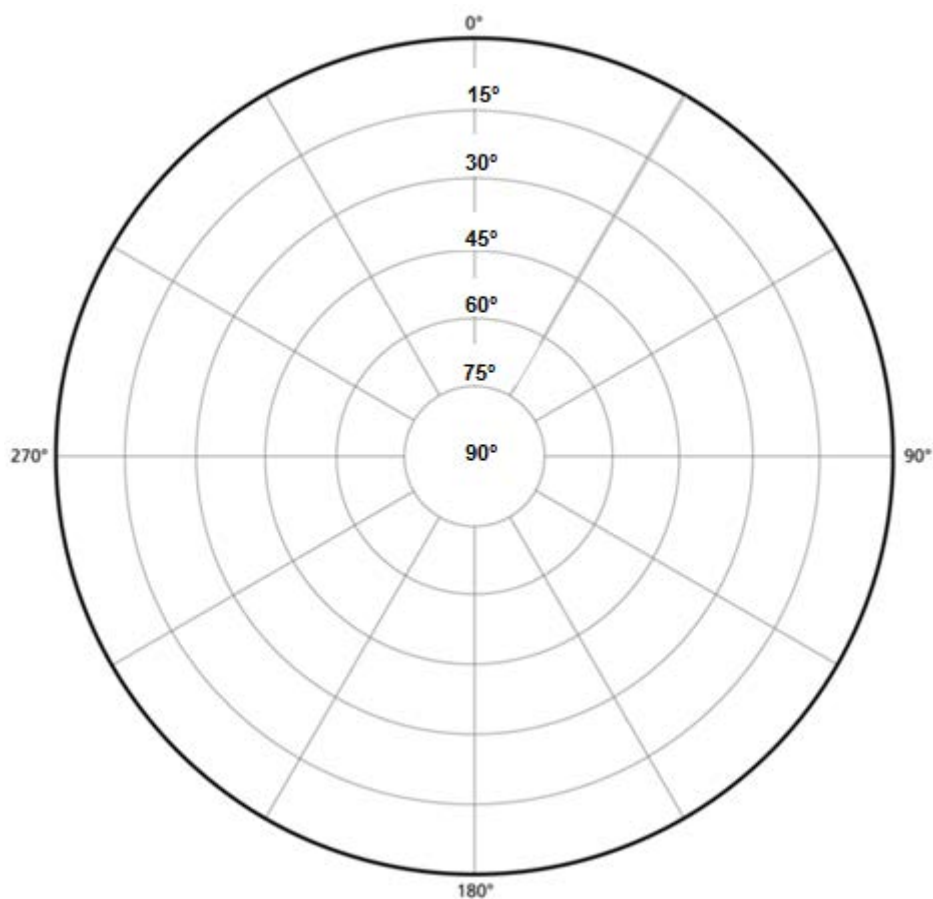
- **Prozor za kontrolu kvalitete primljenog signala** - prikazuje u stupcima odnos signal-šum (SNR) vidljivih satelita u konstelaciji.
- **Navigacijski prozor** - daje podatak o geografskoj širini, dužini te nadmorskoj visini korisnika.
- **Pregled podataka** - uz navigacijske parametre daje informaciju o pogreški pozicioniranja te veličine geometrijskih faktora pogreške. U koordinatnom sustavu ucrtava položaj i smjer kretanja korisnika.
- **Satelitski prozor** - grafički prikazuje položaje satelita u konstelaciji, uz označene PRN oznake satelita, njihove elevacije i azimute.
- **Prozor za praćenje NMEA podataka** - prikazuje NMEA rečenice s GPS prijamnika.



Slika 1. Sučelje programa Visual GPS

## Zadaci za vježbu:

1. Odabrati NMEA sekvencu iz arhive.
2. Pronaći rečenice u kojima se navodi datum i vremenski trenutak aktualnih podataka te ih zabilježiti:
3. Očitati i zabilježiti geografsku širinu, dužinu i nadmorsku visinu lokacije prijmnika u trenutku pohranjivanja podataka:
4. Analizirati razliku između ukupnog broja satelita i broja vidljivih satelita za vrijeme mjerenja i očitati i zabilježiti veličine faktora geometrijskih pogrešaka:
5. Očitati podatke o azimutu i elevaciji svakog od vidljivih satelita te ih ucrtati u grafički prikaz:



6. Za arhivirane NMEA sekvence iz kojih ste u prijašnjim koracima izdvajali podatke, provjerite u Visual GPS grafičkom sučelju podudaraju li se podaci.

## Vježba 5.

### Brzina određivanja pozicije prijamnika

GNSS prijemnik prima podatke koje emitiraju sateliti. Podaci o približnom položaju svih satelita nazivaju se podacima almanaha. Kada se prijemnik pali prvi put ili kada nije bio duže vrijeme uključen, tada su podaci almanaha stari te će prijemniku trebati više vremena za određivanje pozicije. Takvo paljenje prijamnika naziva se **hladnim** (eng. cold start) te prijamnik ne zna niti približno svoj položaj ili položaj satelita, pa tako ne zna ni koji su sateliti trenutno vidljivi na nebu.

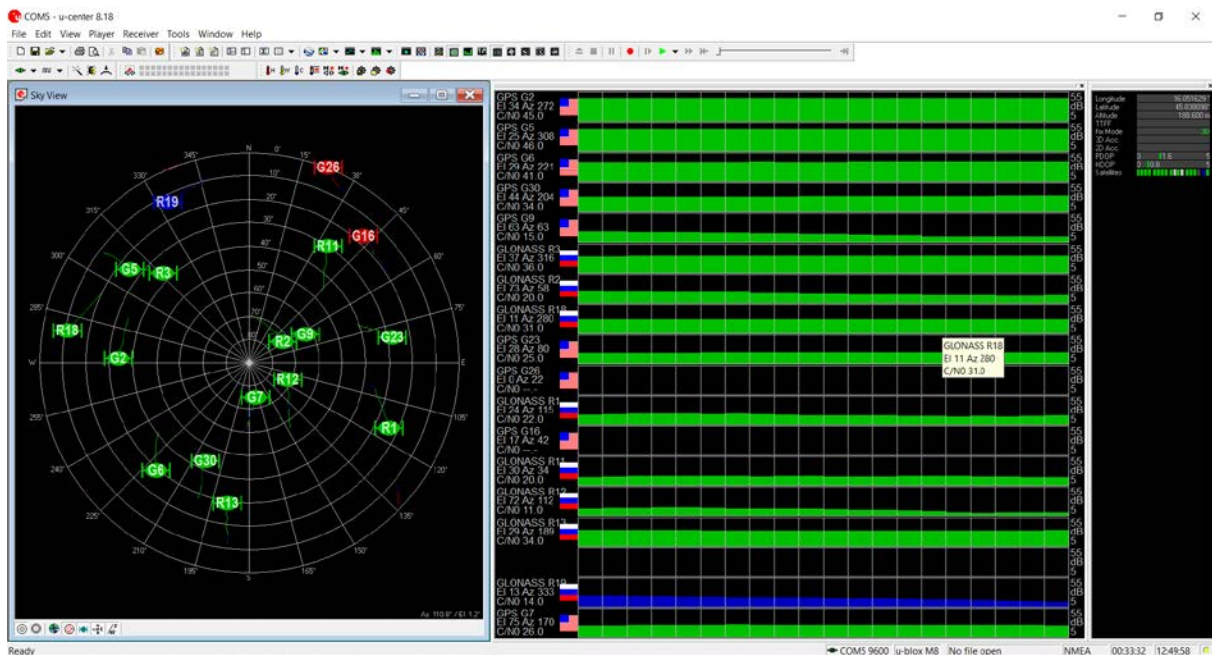
Ako prijemnik nije bio korišten neko kraće vrijeme, tada ima valjane podatke almanaha i svoju zadnju zabilježenu poziciju, zbog čega nešto brže može odrediti aktualnu poziciju. Takvo paljenje prijamnika naziva se **toplim** (eng. warm start) i nešto je brže od hladnoga.

Treći slučaj je kada je prijemnik vrlo nedavno bio upaljen te ima precizne podatke o putanjama vidljivih satelita te je vremenski sinkroniziran. Nakon paljenja odmah se pokušava spojiti na iste satelite na koje je već bio spojen. Ovakvo se paljenje naziva **vrućim** (eng. hot start). U ovom slučaju pozicija se određuje najbrže i to unutar nekoliko sekundi.

### Rad na vježbi:

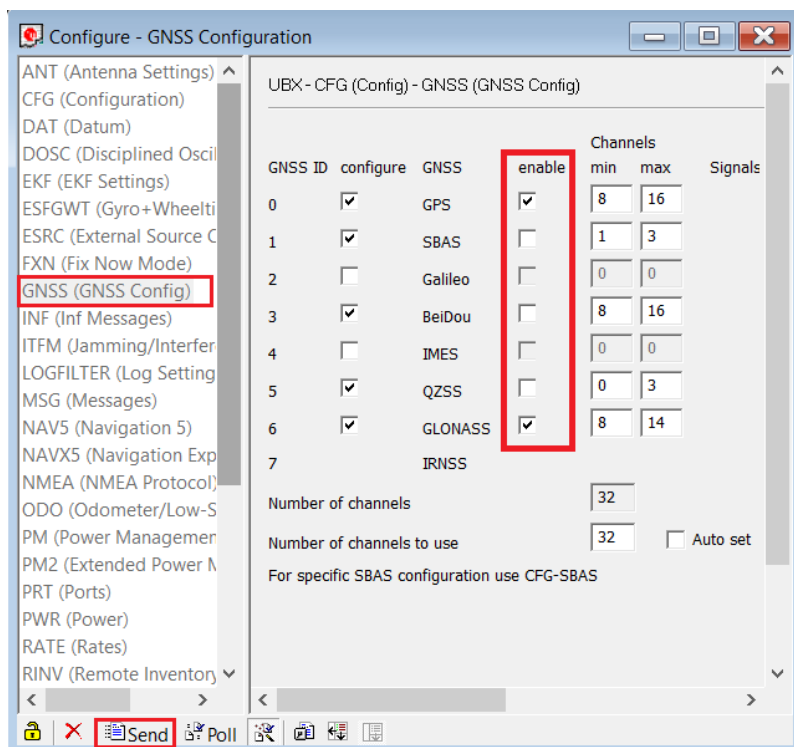
Antenu u-blox GNSS prijemnika potrebno je postaviti uz prozor a prijemnik spojiti na računalo. U programu „u-center“ mjerit će se TTFF (eng. time to first fix). TTFF je vrijeme potrebno da prijemnik odredi poziciju. Pritom ćemo na prijemniku izvoditi vrući, topli i hladni start te mijenjati navigacijske sustave na koje će se prijemnik spajati. To biti sustavi GPS i GLONASS.

Na slici 1. nalazi se prikaz korisničkog sučelja programa u kojem su vidljiva 3 prozora. Prozor na lijevoj strani prikazuje sve satelite koji su vidljivi anteni. Crvenom bojom su prikazani sateliti koji se ne koriste za određivanje pozicije jer su nedostupni. Plavom bojom su prikazani sateliti koji su dostupni, ali se također ne koriste za određivanje pozicije. Zeleno su označeni sateliti koji su dostupni i koriste se za određivanje pozicije. Oznakom Gxx označeni su GPS sateliti a oznakom Rxx GLONASS sateliti. U sredini se nalaze detaljnije informacije o navedenim satelitima kao što su ime satelita, država kojoj pripadaju, razina signala u dB. Sa desne strane se nalazi podatkovni prozor u kojem su prikazane informacije kao što su geografska dužina, širina i visina, TTFF vrijeme, Fix mode (2D ili 3D), PDOP i HDOP. Za izračunavanje 3D pozicije potrebna su nam minimalno 4 satelite. Po jedan za svaku koordinatu (x,y i z) te jedan za vremensku pogrešku.



Slika 1. Korisničko sučelje programa

Potrebno je odabrati navigacijski sustav koji se koristi za mjerenje tj. na čije satelite će se prijemnik spajati. To se odabire klikom miša na View → Configuration View i zatim se otvara prozor u kojemu sa lijeve strane treba odabrati na GNSS (GNSS Config). Zatim pored navigacijskog sustava treba koji želimo koristimo treba označiti „enabled“ te pritisnuti na tipku „Send“ u donjem lijevom kutu. Ako se, kao u slučaju na slici 2., odabere GPS + GLONASS, prijemnik će se spajati na satelite od oba navigacijska sustava. U ovoj vježbi koristit će se jedan po jedan sustav. Najprije će se provesti mjerenje za uz označen sustav GPS, a potom uz označen sustav GLONASS.



### Slika 2. Configuration View

Potrebno je izmjeriti vrijeme proteklo od pritiska mišem na Hot, Warm ili Cold start u Action Toolbar-u do trenutka kada se u polju „Fix“ (u podatkovnom prozoru) ne pojavi vrijednost „3D“. U tom trenutku prijemnik je uspješno odredio poziciju. Uz vrijeme TTFF zapišite vrijednosti PDOP, HDOP, te broj satelita pomoću kojih je uspješno određena 3D pozicija.

Sustav	Način paljenja	TTFF	PDOP	HDOP	Broj satelita
GPS	Hladno				
	Toplo				
	Vruće				
GLONASS	Hladno				
	Toplo				
	Vruće				

Uključite oba GNSS sustava te nakon 5 minuta usporedite broj vidljivih satelita u svakom od sustava te relativnu snagu signala.