

ODREĐIVANJE GPS KOORDINATA SREDIŠTA MERIDIJANSKOG STUPA NA TERASI ZAGREBAČKE ZVJEZDARNICE

Priredio: dr.sc. Drago Špoljarić

Fiksne točke prema kojima su određivane zvjezdarničke koordinate su:
GF01 - točka postavljena na krovu Geodetskog fakulteta u Zagrebu i
GSS - točka u dvorištu Geodetske srednje škole u Zagrebu



1. GPS INSTRUMENTI I SOFTVER

GPS instrumenti

Pri mjerenju su upotrebljavani sljedeći GPS instrumenti:

* *Dvofrekvencijski GPS prijammnici Trimble 4000ssi*

- prijammnik 17561, antena Compact L1/L2 w/Ground plane, ser. broj 77552
- prijammnik 15549, antena Compact L1/L2 w/Ground plane, ser. broj 77553

* *Dvofrekvencijski GPS prijammnik Trimble 57000*

- prijammnik 272899, antena Zephyr, ser. broj 11909137.

Softver za obradu podataka

Obrada podataka obavljena je u programskom paketu *GPSurvey verzija 2.35* tvrtke Trimble.



Program je sastavljen od nekoliko modula. Moduli koji su korišteni u ovom radu su *WAVE modul*, koji služi za računanje prostornih vektora (od stalnih točaka ka nepoznatj) i *Network Adjustment Module* koji služi za izjednačenje GPS opažanja.

2. METODE MJERENJA

Određivanje točke zagrebačke zvjezdarnice obavljeno je uporabom GPS tehnologije i to statičkom metodom.

Na točki GF01 (Geodetski fakultet) bio je postavljen dvofrekvencijski GPS instrument Trimble 4000ssi.

- mjerena visina antene iznosila je: **0.000 m**
(koordinate te točke odnose na vrh štapa na kojem je postavljena GPS antena)

Na točke GSS (Geodetska srednja škola) postavljen je dvofrekvencijski GPS instrument Trimble 5700 Total station.

- mjerena visina antene je bila: **0.112 m**

Na nepoznatoj točki zagrebačke zvjezdarnice postavljen je dvofrekvencijski GPS instrument 4000ssi.

- mjerena visina antene: **0.96 m**.

Vrijeme opažanja po pojedinim vektorima:

GF01 – ZG ZVJEZDARNICA: **1 h 42 min**

GSS – ZG ZVJEZDARNICA: **0 h 42 min**.

Pri izvođenju zadatka korišten je sljedeći postav u instrumentima:

elevacijska maska: **10°**
interval skupljanja podatka: **5 sec**

To znači da su se u instrumentima primali signali satelita koji su bili iznad navedenih 10° od zamišljenog horizonta, te signal sa satelita svakih 5 sekundi.

Mjerenja su obavljena 21. ožujka 2003. godine od 10:40 do 13:40 sati.

Neposredno u izvođenju terenskih mjerenja sudjelovali su *Doris Dodig* i *Dubravka Marinović* iz XV Gimnazije

te *mr. sc. Danko Markovinović* i *dr. sc. Drago Špoljarić* s Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

3. OPTIMIRANJE BAZNIH LINIJA

Prije samog računanja vektora moramo učitati podatke u kreirani projekt. Pod tim se podrazumjeva mogućnost eventualnih korekcija podataka mjerenja koji su bili unešeni na terenu (npr. visina antene), zatim određivanje fiksnih točaka i nepoznatih točaka. Kod određivanja fiksnih točaka odabiremo opciju "*fixed control*" i upisujemo fiksne koordinate za geodetsku dužinu, širinu i visinu točke. Za nepoznate točke (točke čiji položaj određujemo) odabire se opcija "*baseline solution*". Također se pri učitavanju podataka unose podaci o visini antene, tipu prijemnika i načinu mjerenja visine antene (koso ili vertikalno).

Sada možemo prijeći na računanje prostornih vektora između poznatih i nepoznatih točaka. Dakle, pozivamo WAVE potprogram (slika dolje) u kojem najprije u sklopu izbornika *Edit* i opcije *Setup* postavljamo parametre za računanje.



Parametri koji se podešavaju su :

- kut elevacijske maske
- vrsta efemerida (precizne ili "broadcast")
- "ratio cutoff"
- test varijance
- model eliminacije utjecaja troposfere
- vremenski prozor.

Elevacijska maska se postavlja na 10° , a za efemeride se koriste "broadcast", "Ratio cutoff" podešen je na veličinu od 1.5, test varijance na 95%. Hopfieldov model odabran je kao model za eliminaciju utjecaja troposfere. Vremenski prozor se ne mijenja.

Nakon što je računalo izvršilo računanje svih zadanih vektora, dobivamo kompletan pregled rezultata tog računanja (tzv. Solution Summary).

U tom pregledu se nalaze :

- dužine vektora između točaka
- određeni kriteriji za ocjenu pouzdanosti mjerenja
- crteži odstupanja (tzv. reziduali)

Kriteriji za ocjenu pouzdanosti mjerenja su *ratio* i *referentna varijanca*.

Optimalna veličina ratio trebala bi biti što veća, a optimalna referentna varijanca što bliža jedinici. Iz crteža odstupanja (reziduali) vidimo kvalitetu mjerenja za svaki pojedini satelit.

Vrlo važno je još napomenuti da vektori moraju biti "fiksirani", što znači da vektor mora biti označen kao "Iono Free Fixed" ili "Fixed L1" nakon računanja a ne kao "float" vektor – nepouzdana rješenja.

Koordinate fiksnih točaka su dane u tablici 1.

Tablica 1. Koordinate referentnih točaka u datumu ITRF'96 i epohi = 2003.20

Broj i ime točke	Geodetska širina ° ' "	Geodetska dužina ° ' "	Elipsoidna visina (m)
GEODETSKI FAKULTET	45 48 28.64965	15 57 47.92384	193.124
GEODETSKA SREDNJA ŠKOLA	45 46 21.30086	15 58 52.70939	159.775

Nakon učitavanja podataka mjerenja u softver pristupilo se obradi vektora između poznatih i nepoznate točke. Pri obradi su se izbacivali sateliti čiji signali nisu kvalitetno obrađeni odnosno oni koji su imali isprekidani prijem zbog mogućih fizičkih prepreka koje su se nalazile na samom putu signala.

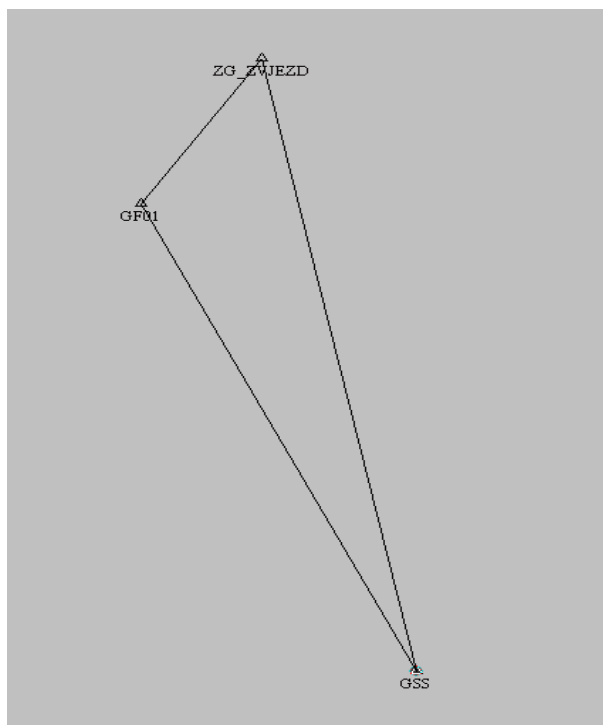
Nakon što smo pregledali rezultate računanja, trebalo je pristupiti optimiranju onih vektora sa čijim rezultatima nismo zadovoljni.

Optimiranje vektora znači poboljšavanje dobivenih rezultata. Optimiranje vektora se provodi tako što se prvo mijenjaju određeni parametri u svrhu poboljšanja rezultata, a zatim se ponovo računaju vektori s tim promjenjenim parametrima.

Ti parametri su :

- duljina opažanja (vremenski prozor)
- elevacijska maska
- izbacivanje nepouzdanih satelita

Na donjoj slici prikazan je raspored točaka i mjerenih vektora.

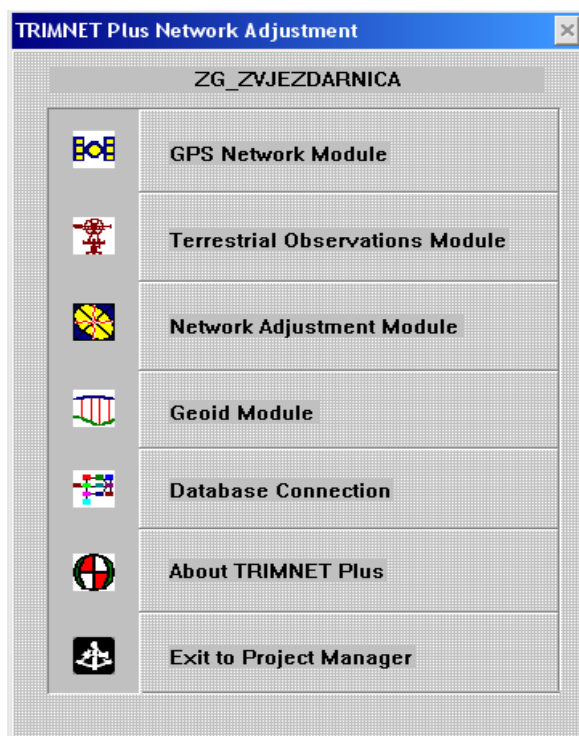


Raspored točaka i mjerenih vektora

4. IZJEDNAČENJE MREŽE

Izjednačenje mreže se provodi u *Network Adjustment Modulu*. Polazna mjerenja za izjednačenje mreže su prethodno izračunati vektori. Rezultat izjednačenja mreže su: popravke za pojedine koordinate, definitivne koordinate i pripadna ocjena točnosti.

Izjednačenje započinjemo iz izbornika *Adjust* odabirom opcije *Network*. Time ulazimo u GPSurvey modul TRIMNET Plus Network Adjustment. Zatim se pojavi prozor s izbornicima kao na slici dolje, i izaberemo opciju *GPS Network Module*.



U izborniku *Network Adjustment* nalaze se, za izjednačenje, slijedeći važniji izbornici:

Displays - omogućuje uvid u pregled trenutnih koordinata točke, opažanja, rezultata izjednačenja, skice mreže i omogućuje ispis rezultata na pisaču,

Adjustment Menu - je izbornik u kojem se podešavaju parametri za izjednačenje. U njemu, u sklopu podizbornika *Coordinate fix status*, fiksiramo koordinate točaka koje smo prije odredili kao fiksne. *Observation Disable/Enable* omogućuje odstranjivanje bilo koje kombinacije opažanja koje smo prethodno utvrdili kao nepovoljne. *Weighting Strategy* je podizbornik u kojem postavljamo težinski sustav koji će se koristiti pri izjednačenju. Postoje dva načina, upotreba skalarne ili sumacijske vrijednosti. Pri upotrebi skalarne, matrica pogrešaka se množi brojem, dok se upotrebom sumacijske vrijednosti, matrica pogrešaka modificira dodavanjem varijanci dijagonalnim elementima. Ovdje se također postavljaju pogreške centriranja i horizontiranja. U podizborniku *Special Controls* možemo namjestiti razne parametre koji se koriste pri izjednačenju.

Princip ovog izjednačenja je iterativni. To znači da se koordinate dobivene jednim izjednačenjem koriste kao približne koordinate u slijedećem izjednačenju. Taj se postupak ponavlja za deset iteracija. Nakon svakog izjednačenja, osim koordinata točaka dobiju se i *elipse pogrešaka*, *histogram standardnog odstupanja* i *Chi-kvadrat test normalne razdiobe*. Chi-kvadrat test se bazira na sumi kvadrata odstupanja, broju stupnjeva slobode gibanja i postotku vjerojatnosti od 95%.

Načelno, izjednačenje se provodi više puta, i to sve dok se za ukupni referentni faktor ne dobije neka vrijednost koja je sasvim blizu jedinice. Takvu vrijednost referentnog faktora, odnosno srednje pogreške mreže, dobivamo mijenjanjem težinske strategije ili odstranjivanjem pojedinih komponenti vektora koje su nepovoljne.

Tau (τ) kriterij je osnova za eliminaciju komponenti pojedinog vektora iz izjednačenja, a predstavlja statistički test teorije najmanjih kvadrata. Zasniva se na istim elementima (kriterijima) teorije izjednačenja kao i Chi-kvadrat test. Za svako se opažanje računa empirijska vrijednost dijeljenjem izračunatih odstupanja s propagiranim standardnim odstupanjem. Stoga, faktor koji nam daje kriterij za izbacivanje komponenti vektora je kvocijent te empirijske vrijednosti i Tau (τ) vrijednosti.

Ukoliko je za neku komponentu taj kvocijent veći od jedinice, tada se ta komponenta isključuje iz izjednačenja.

Nakon obavljenog izjednačenja dobivene su tražene koordinate točke na zagrebačkoj zvjezdarnici.

COORDINATE ADJUSTMENT SUMMARY
NETWORK = ZG_ZVJEZDAR

Datum = WGS-84
Coordinate System = Geographic
Zone = Global

Network Adjustment Constraints:
2 fixed coordinates in y
2 fixed coordinates in x
2 fixed coordinates in H

POINT NAME OLD COORDS ADJUST NEW COORDS 1.96σ
1 GF01
LAT= 45° 48' 28.649654" +0.000000" 45° 48' 28.649654" FIXED
LON= 15° 57' 47.923843" +0.000000" 15° 57' 47.923843" FIXED
ELL HT= 193.1240m +0.0000m 193.1240m FIXED
2 GSS
LAT= 45° 46' 21.300861" +0.000000" 45° 46' 21.300861" FIXED
LON= 15° 58' 52.709399" +0.000000" 15° 58' 52.709399" FIXED
ELL HT= 159.7750m +0.0000m 159.7750m FIXED
3 ZG_ZVJEZD
LAT= 45° 49' 08.234299" +0.000000" 45° 49' 08.234299" 0.038223m
LON= 15° 58' 29.746615" +0.000000" 15° 58' 29.746615" 0.027577m
ELL HT= 226.7281m +0.0000m 226.7281m 0.071450m

5. REZULTAT

GPS koordinate sredine meridijanskog stupa na terasi zagrebačke zvjezdarnice u ITRF96 i epohi e=2003,2 su:

Broj i ime točke	Geodetska širina ° ' "	Geodetska dužina ° ' "	Elipsoidna visina (m)
ZG ZVJEZDARNICA	45 49 08.234	15 58 29.746	226.73