



ODREĐIVANJE KOORDINATA TAČAKA U GNSS MREŽAMA PERMANENTNIH STANICA

DETERMINATION OF POINT COORDINATES IN GNSS NETWORKS OF PERMANENT STATIONS

Nikola Josić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GEODEZIJA I GEOMATIKA

Kratak sadržaj – U savremeno doba dolazi do svakodnevnog razvoja novih tehnologija i softvera, što stručnjacima iz različitih oblasti, pa tako i geodezije omogućava da adekvatno odgovore na postavljene zadatke. U okviru ovog rada, izvršena je analiza obrade GNSS podataka opažanja u dva različita programa (RTKLib i Bernese AUSPOS). Opisan je način procesiranja podataka i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata, odnosno koordinata tačaka.

Ključne reči: Bernese, RTKLib, GNSS vektori, izravnjanje, permanentne stanice

Abstract – In modern times, there is a daily development of new technologies and software, which enables experts from various fields, including Geodesy, to adequately respond to the set tasks. Within this paper, an analysis of the processing of GNSS observation data in two different programs (RTKLib and Bernese AUSPOS) was performed. The method of data processing is described and the obtained results are compared, respectively the coordinates of the points.

Keywords: Bernese, RTK Lib, GNSS vectors, leveling, permanent stations

1. UVOD

U savremeno doba dolazi do svakodnevnog razvoja tehnologija i softvera što stručnjacima omogućava da odgovore adekvatno na postavljene zadatke. Naravno, veliki napredak ostvaren je kroz integraciju podataka i razvoj baza podataka. Ovo omogućava zajedničko korišćenje podataka prikupljenih različitim metodama i prikupljanje potrebnih podataka znatno boljeg kvaliteta.

Danas, efikasnost savremenih metoda je dostigla takav stepen da se za jako kratko vreme može prikupiti ogromna količina podataka, što je ranije bilo nezamislivo. Takođe, sama obrada podataka, analiza i interpretacija je postala digitalizovana i samim tim, krajnje pojednostavljena.

U skladu sa navedenim, jedna od metoda koja danas prednjači i ima izuzetno veliku primenu i mogućnosti jeste GPS (*Global Positioning System*) metoda za prikupljanje podataka.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Bulatović, vanr.prof.

2. MREŽE PERMANENTNIH STANICA

Pod mrežom GNSS (*Global Navigation Satellite System*) permanentnih stanica podrazumeva se skup stanica opremljenih stalno operativnim GNSS prijemnicima i GNSS antenama, koje zajedno sa kontrolnim centrom, neophodnim hardverom, softverom i komunikacionom infrastrukturom omogućuju prikupljanje, arhiviranje, obradu, modeliranje i distribuciju GNSS podataka. Mrežu GNSS permanentnih stanica, koja se uspostavlja na delu ili celoj teritoriji neke države, čini najmanje šest permanentnih stanica, koje su približno ravnomerno površinski raspoređene i koje generišu mrežne GNSS korekcije na području koje pokrivaju. Koncept permanentnih stanica daje nove pogodnosti u odnosu na ostale postojeće načine pozicioniranja u geodetskom premeru, kao što su [1]:

- Pozicioniranje visoke tačnosti u realnom vremenu;
- Pozicioniranje visoke tačnosti sa naknadnom obradom;
- Homogena tačnost pozicioniranja za celu državu;
- Pouzdanost pozicioniranja za celu državu;
- Jedinstvena mreža permanentnih stanica za celu državu;
- Korekcije atmosferskih sistematskih grešaka u realnom vremenu;
- Mreža permanentnih stanica obezbeđuje virtuelnu baznu stanicu za sve lokacije u realnom vremenu;
- Kontrola integriteta mreže permanentnih stanica od strane kontrolnog centra.

3. IZRAVNANJE GPS VEKTORA

Neophodan uslov za izravnjanje geodetske mreže je da se u procesu merenja obezbede suvišno merene veličine u mreži. U cilju izravnjanja geodetske GPS mreže, obezbeđuju se dve vrste suvišno merenih veličina:

- Rezultati faznih merenja,
- Rezultati merenja baznih vektora.

Ako dva (ili više) prijemnika, centrisana na geodetskim tačkama, primaju istovremeno signale sa satelita u određenom vremenskom periodu, onda se obezbeđuje suvišan broj rezultata faznih merenja u cilju dobijanja najverovatnije vrednosti baznog vektora odnosno, njegovih komponenti između dve ili više tačaka (ΔX , ΔY , ΔZ). Najverovatnije vrednosti prostornog vektora se određuju po metodi najmanjih kvadrata.

U geodetskoj mreži se redovno određuje veći broj baznih vektora nego što je neophodno. Ako se veći broj merenih vektora sustiče u nepoznatim tačkama onda se u

izravanju mreže po metodi najmanjih kvadrata postiže veća tačnost i pouzdanost određivanja izravnatih vrednosti koordinata traženih tačaka.

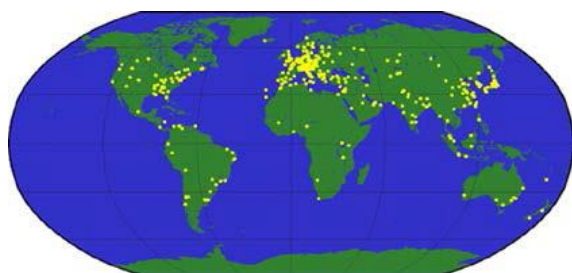
Kod izravanja geodetske GPS mreže, kada se koriste izračunate komponente baznih vektora, određuju se koordinata tačaka (X, Y, Z) po metodi najmanjih kvadrata.

Obrada GPS podataka obavlja se računarskim sistemima. Nakon transfera svih fajlova u kojima se nalaze podaci opažanja na tačkama geodetske mreže neophodno je izvršiti njihov pregled i kontrolu. Kontrola podataka opažanja obuhvata: kvalitet dizajna, pozicije tačaka u mreži i vektore koji povezuju tačke mreže.

4. BERNESE SOFTVER

Bernese predstavlja programski paket za naknadnu obradu podataka, koji je korišćen u okviru ovog rada. Razvijen je u Švajcarskoj, na univerzitetu u Bernu. Napravljen je tako da je instalacija jednostavna na različitim računarskim platformama i sastoji se od mnogobrojnih programa koji su razvijeni u FORTRAN okruženju. Svi ovi programi se automatski izvršavaju jedan po jedan, tako da je korisniku omogućeno da pravi okruženja i operacije koje mu odgovaraju. Važno je napomenuti da ovaj program pripada grupi akademskih odn. univerzitetskih softvera koji se koriste u naučno-obrazovne svrhe.

Trenutno ima više od 700 institucija širom sveta koji su registrovani korisnici Bernese softvera. [2]



SLM7 2000 Jan 22 20:48:20 Geographical Distribution of Institutions using the Bernese GNSS Software

Slika 1. Korisnici Bernese GNSS softvera širom sveta

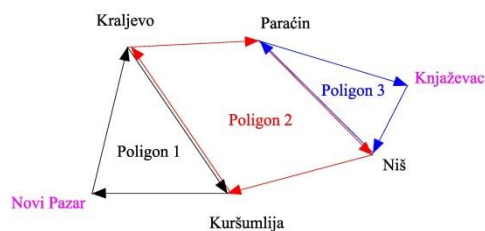
Ovaj softver poseduje visoke performanse, preciznost i fleksibilnost prilikom obrade podataka. Upotreba softvera omogućava:

- Obradu podataka iz velikog broja prijemnika,
- Kombinovanje različitih tipova prijemnika i antena, uzimajući u obzir varijacije faznog centra antene,
- Kombinovanje obrada GPS i GLONAS opažanja,
- Praćenje stanja jonosfere i troposfere,
- Distribuciju tačnog vremena,
- Određivanje orbita i ocenu Zemljinih orijentacionih parametara,
- Automatsko procesiranje permanentnih mreža,
- Generisanje minimalnog fiksnog rešenja mreže.

S obzirom da je ovaj programski paket namenjen isključivo za naučna istraživanja, te ga nije moguće koristiti u komercijalne svrhe, Bernese je razvio servis Bernese AUSPOS pomoću kojega je moguće izvršiti procesiranje podataka. Procedura se odvija tako što korisnik prilaže RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) datoteke, a servis obrađuje priložene podatke na osnovu 15 najbližih referentnih stanica koje pripadaju EPN-u (*EUREF Permanent GNSS Network*). [3]

5. PRAKTIČAN PRIMER PRIMENE BERNESE SOFTVERA

U okviru praktičnog dela zadatka, ideja je da se isprocesiraju podaci pomoću RTK Liba, a zatim isti ti podaci isprocesiraju pomoću Bernese AUSPOSA. Za ulazne podatke korišćeni su RINEX fajlovi za Novi Pazar i Knjaževac koji su preuzeti sa zvaničnog sajta EUREF-a (<http://www.epncb.oma.be>), kao i RINEX fajlovi za Kraljevo, Paraćin, Niš i Kuršumlju preuzeti sa sajta <http://www.geosolutions.co.rs/>. Ovih 6 tačaka čine jednu mrežu (Slika 2), gde Novi Pazar i Knjaževac predstavljaju date tačke. Ideja je da se isprocesiraju vektori koristeći program RTKPost u okviru RTKLiba sa strategijom srednjih baznih linija, a zatim iste podatke isprocesirati uz pomoć Bernese online servisa AUSPOS (<https://gnss.ga.gov.au/>).



Slika 2. Mreža zatvorenih poligona

U tabeli 1 prikazani su rezultati procesiranja u RTK Libu koji predstavljaju približne koordinate tačaka:

Tabela 1- Približne koordinate tačaka

Približne koordinate tačaka određene procesiranjem u RTK Lib-u			
	X	Y	Z
Novi Pazar	4365991.2578	1634053.0454	4339210.5008
Kraljevo	4318357.8300	1632701.7582	4386379.2308
Niš	4309821.3854	1746133.3314	4351277.1780
Knjaževac	4284174.9368	1753166.2810	4373521.7226
Paraćin	4295485.1118	1686469.6612	4388379.8914
Kuršumlja	4344335.6497	1690282.2045	4339229.3151

U tabeli 2 prikazane su uslovno tačne koordinate iz zaglavlja RINEXA:

Tabela 2- Koordinate iz zaglavlja RINEXA

Koordinate iz zaglavlja RINEXA			
	X	Y	Z
Novi Pazar	4365991.2580	1634053.0450	4339210.5010
Kraljevo	4318357.8870	1632701.7810	4386379.2640
Niš	4309821.4280	1746133.3430	4351277.2140
Knjaževac	4284174.9368	1753166.2811	4373521.7226
Paraćin	4295485.1480	1686469.6890	4388379.9200
Kuršumlja	4344335.6270	1690282.1660	4339229.3130

Ova 2 seta podataka su korišćena kao ulazni podaci u procesu izravnjanja. Nakon što je procesiranje završeno, potrebno je izravnati rezultate merenja baznih vektora u GNSS mreži po funkcionalnom i stohastičkom modelu posrednog izravnjanja. Rezultati izravnjanja prikazani su u tabeli 3:

Tabela 3: Rezultati izravnjanja

RTK Lib			
	X	Y	Z
Kuršumlja	4344335.583	1690282.158	4339229.277
Kraljevo	4318357.854	1632701.776	4386379.237
Niš	4309821.413	1746133.339	4351277.200
Paraćin	4295485.126	1686469.683	4388379.901

Kada smo odredili konačne rezultate, potrebno je da iste podatke obradimo pomoću Bernese AUSPOSA.

Ovaj servis funkcioniše tako što učitamo naše RINEX fajlove, odaberemo željeni tip antene (ukoliko sam servis nije u mogućnosti da automatski prepozna) koji se odnosi na svaki RINEX pojedinačno i nakon obrade, procesirani podaci stižu na email adresu.

Veoma je bitno da zaglavljiva RINEXA budu u propisanoj formi, inače AUSPOS neće prepoznati naš fajl kao validan, i neće biti u mogućnosti da nam vrati isprocesirane podatke.

U okviru izveštaja, mi dobijamo informaciju pomoću kojih se baznih stanica vršilo procesiranje, koja su moguća odstupanja dobijenih rezultata, na koji način se vršilo procesiranje i još mnogo toga.

Jedini problem koji se javlja je taj da procesirane rezultate dobijamo u referentnom okviru ITRF2014 epoha 2020.48 (Tabela 4):

Tabela 4. Koordinate u ITRF2014

Koordinate u ITRF2014			
	X	Y	Z
Novi Pazar	4365990.6940	1634053.5870	4339210.9150
Kraljevo	4318357.3040	1632702.3090	4386379.6460
Niš	4309820.8340	1746133.8730	4351277.5840
Knjaževac	4284174.3740	1753166.8130	4373522.1230
Paraćin	4295484.5600	1686470.2140	4388380.2970
Kuršumlja	4344335.0310	1690282.7160	4339229.6770
Šabac	4271111.3050	1529000.8550	4468514.8010

Epoha se određuje na osnovu datuma preuzetih RINEXA. Najpre je potrebno izvršiti transformaciju iz ITRF2014 epoha 2020.48 u ETRF2000 epoha 2020.48, što se vrši pomoću sajta <https://www.epncb.oma.be/> (Tabela 5).

Nakon toga, potrebno je koordinate u ETRF2000 epoha 2020.48 svesti na ETRF2000 epoha 2010.63.

Ovo je neophodno izvršiti kako bi bilo moguće porediti koordinate tačaka utvrđene AUSPOS servisom i koordinate dobijene pomoću RTK Lib-a.

Tabela 5: Koordinate u ETRF2000 epoha 2020.48

Koordinate u ETRF2000			
	X	Y	Z
Novi Pazar	4365991.2578	1634053.0454	4339210.5008
Kraljevo	4318357.8993	1632701.7914	4386379.2636
Niš	4309821.4403	1746133.3572	4351277.2035
Knjaževac	4284174.9368	1753166.2810	4373521.7226
Paraćin	4295485.1618	1686469.6993	4388379.9170
Kuršumlja	4344335.6298	1690282.1960	4339229.2932
Šabac	4271111.9045	1529000.3223	4468514.4320

Može se primetiti da smo u čitav proces ubacili i tačku Šabac kao jednu od 3 stanice u okviru EPN-a. Ona nam je bitna da bismo mogli da odredimo parametre transformacije i svedemo koordinate tačaka na ETRF2000 epoha 2010.63.

Stoga je potrebno da na osnovu 2 seta koordinata ocenimo 6 parametara transformacije koje ćemo primeniti na preostale stanice kako bi se prešlo iz ETRF2000 epoha 2020.48 u epohu 2010.63. Prvi set poznatih tačaka su AGROS koordinate tačaka Novi Pazar, Šabac, Knjaževac (ETRF2000 epoha 2010.63) i iste te tačke sa koordinatama ETRF2000 epoha 2020.48 koje su navedene u Tabeli 5.

Parametre transformacije određujemo po sledećoj formuli:

$$\begin{bmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \end{bmatrix}_2 = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + (1 + dm) * \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \end{bmatrix}_1$$

Iz prethodne formule dobijamo da su nam parametri transformacije:

$$\begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.6891 \\ -0.9448 \\ 0.9944 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 3.02 * 10^{-8} & 2.75 * 10^{-7} \\ -3.02 * 10^{-8} & 1 & 1.24 * 10^{-7} \\ -2.8 * 10^{-7} & -1.24 * 10^{-7} & 1 \end{bmatrix}$$

Konačni rezultati procesiranja prikazani su u Tabeli 6:

Tabela 6. Konačni rezultati procesiranja ETRF 2000 epoha 2010.63

Koordinate u referentnom okviru ETRF2000 epoha 2010.63			
	X	Y	Z
Novi Pazar	4365991.249	1634053.048	4339210.505
Kraljevo	4318357.872	1632701.778	4386379.249
Niš	4309821.396	1746133.338	4351277.175
Knjaževac	4284174.942	1753166.281	4373521.720
Paraćin	4295485.130	1686469.684	4388379.900
Kuršumlja	4344335.588	1690282.178	4339229.266
Šabac	4271111.892	1529000.335	4468514.430

6. UPOREĐIVANJE REZULTATA IZRAVNANJA

Pošto smo isprocesirali podatke preko Bernese AUSPOS-a i RTK Liba, potrebno je da uporedimo dobijene rezultate tačaka Kraljevo, Niš, Paraćin i Kuršumlija. Razlike su prikazane u tabeli 7:

Tabela 7. *Upoređivanje koordinata*

Upoređivanje koordinata			
	D_x	D_y	D_z
Kuršumlija	0.005	0.020	-0.011
Kraljevo	0.018	0.002	0.012
Niš	-0.017	-0.001	-0.025
Paraćin	0.004	0.001	-0.001

Na osnovu dobijenih rezultata možemo zaključiti da su nam razlike u koordinatama iz procesiranja u 2 različita programa minimalne, i to reda cm. Najveću razliku dobili smo kod stanice Niš, dok je najmanje odstupanje kod stanice Paraćin.

7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je da se na neki način pojasne sve prednosti i svi benefiti koji nam donosi GNSS tehnologija, ali da se isto tako ukaže na sve moguće probleme i poteškoće na koje može da se naiđe. Upravo nam samo poznavanje i razumevanje ovih problema pomaže u tome da ih otklonimo, ili u krajnjem slučaju maksimalno smanjimo.

Razvojem tehnologije, došlo je do značajnih pomaka u okviru geodezije, pa se tako iz dana u dan povećava broj korisnika ovih tehnologija, koji u svakom segmentu zahtevaju tačne, precizne i blagovremene podatke. Da bi se ovi zahtevi ostvarili, potrebna je čvrsta kolaboracija između ljudi, razmena iskustava i što je najvažnije, kombinovanje različitih tehnologija radi dobijanja što boljih rezultata.

U ovom radu, pokušao sam da opišem baš ovakav jedan vid kolaboracije između mreža permanentnih stanica i programskog paketa Bernese, da u kratkim crtama opišem njegov način funkcionisanja, kao i da ukažem na sve pogodnosti primene ovog softverskog paketa.

Na samom kraju, treba istaći da se jedino razvijanjem novih tehnologija i unapređivanjem već postojećih može doći do krajnjeg cilja, a krajnji cilj bi glasio: „Apsolutna tačnost, preciznost i ako je moguće, u što kraćem vremenskom roku“.

8. LITERATURA

- [1] Praktična geodezija- Aleksić Ivan, Kosta Vračarić
- [2] Zvanični sajt Bernese GNSS Software- <http://www.bernese.unibe.ch/course>, datum pristupa 02.02.2020.
- [3] Sajt AUSPOS- <https://gnss.ga.gov.au>, datum pristupa 04.07.2020.

Kratka biografija:



Nikola Josić rođen je u Vršcu 1992. godine. Završava Gimnaziju "Borislav Petrov Braca" 2011. godine u Vršcu matematički smer. Fakultet tehničkih nauka upisuje 2011. godine, smer Geodezija i geomatika. U Julu 2017. godine završava osnovne akademske studije, sa završnim radom iz oblasti Aktivne geodetske referentne mreže.