



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
DEPARTMAN ZA GRAĐEVINARSTVO I GEODEZIJU
GEODEZIJA I GEOINFORMATIKA



UVOD U GEODEZIJU

Globalni navigacioni satelitski sistemi

Vanr. prof. Marko Marković, master inž. geodez.

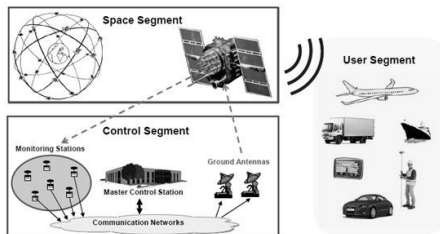
Novi Sad, 2024/2025

1

Globalni navigacioni satelitski sistemi

➤ Arhitektura GNSS sistema:

- kosmički segment;
- kontrolni segment;
- korisnički segment.



3

Globalni navigacioni satelitski sistemi

- Globalni navigacioni satelitski sistemi (*Global Navigation Satellite System – GNSS*) – navigacioni sistemi koji kao referentne tačke koriste veštačke Zemljine satelite.
- GNSS sistemi omogućavaju određivanje pozicije na površi Zemlje i iznad nje na osnovu prijema signala sa navigacionih satelita.



2

Globalni navigacioni satelitski sistemi

- *Navigation Satellite with Time and Ranging Global Positioning System (NAVSTAR GPS)*, razvijen u Sjedinjenim Američkim Državama.
- *ГЛОБАЛЬНАЯ НАвигационная Спутниковая Система – ГЛОНАСС (GLONASS)*, razvijen u Rusiji.
- GALILEO sistem – razvijen od strane Evropske unije, još uvek nije potpuno operativan.
- COMPASS (BeiDou-2) je GNSS koji razvija Narodna Republika Kina.

4

NAVSTAR GPS

- NAVSTAR GPS, skraćeno GPS, razvijen je u periodu od 1973. do 1995. godine.
- Kosmički segment sistema čine sateliti raspoređeni u šest orbitalnih ravni na visini od oko 20200 km.
- Sateliti obiju Zemlju za oko 12 časova.
- Orbitalne ravni sa ekvatorijalnom ravni grade ugao od 55°.
- U svakoj orbitalnoj ravni postavljena su po četiri satelita.
- Broj aktivnih satelita danas je uvek veći od 24.

5

GPS sateliti

- Postoji više generacija satelita: Blok I, Blok II, Blok IIA, Blok IIR, Blok IIR-M, Blok IIF i Blok III.



7

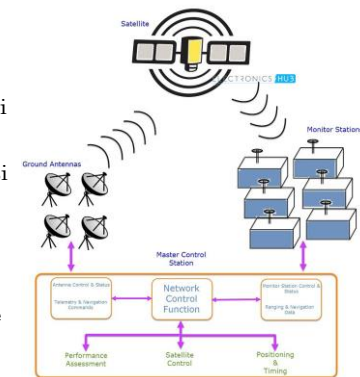
Konstelacija GPS satelita



6

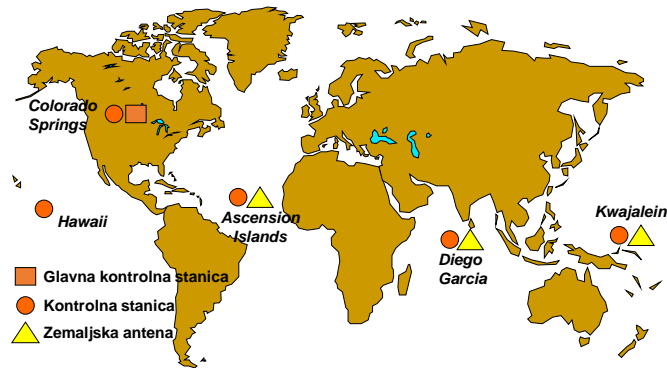
Kontrolni segment GPS sistema

- Kontrolni segment sastoji se od glavne kontrolne stanice, stanica za monitoring i zemaljskih antena.
- Kontrolni segment vrši praćenje i korekcije putanja satelita, praćenje stanja podsistema na satelitima i ažuriranje navigacione poruke.



8

Kontrolni segment GPS sistema



9

GLONASS

- GLONASS sistem je razvijen u periodu od 1979. do 1995. godine.
- Kosmički segment – 24 satelita na visini od oko 19.100km, raspoređena u tri orbitalne ravne.
- Orbitalne ravne sa ekvatorijalnom ravni zaklapaju ugao od $64,8^\circ$.
- Kontrolni segment čini jedan kontrolni centar i pet stanica za praćenje.

11

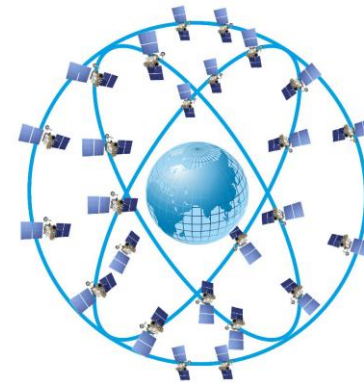
Korisnički segment GPS sistema

- GNSS prijemnik na Zemlji, koji na osnovu prijema signala sa najmanje 4 satelita određuje svoju poziciju.



10




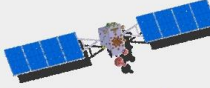
Konstelacija GLONASS satelita



12

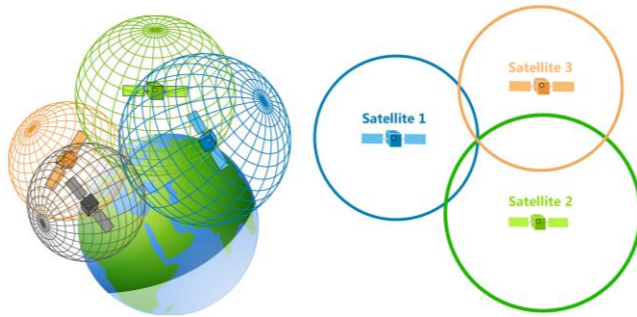
GLONASS sateliti

➤ Postoji više generacija GLONASS satelita.

| 1982 | 2003 | 2011 | 2014 |
|---|--|--|--|
|  <p>“Glonass”</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3 year design life • Clock stability - $5 \cdot 10^{-13}$ • Signals: L1SF, L2SF, L1OF, (FDMA) • Totally launched 81 satellites • Real operational life time 4,5 years |  <p>“Glonass-M”</p> <ul style="list-style-type: none"> • 7 year design life • Clock stability $1 \cdot 10^{-13}$ • Signals: Glonass + L2OF (FDMA) • Totally launched 36 satellites and going to launch 3 satellite by the end 2012 |  <p>“Glonass-K1”</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 year design life • Unpressurized • Expected clock stability $\sim 10 \dots 5 \cdot 10^{-14}$ • Signals: Glonass-M + L3OC (CDMA) – test • SAR |  <p>“Glonass-K2”</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 year design life • Unpressurized • Expected clock stability $\sim 5 \dots 1 \cdot 10^{-14}$ • Signals: Glonass-M + L1OC, L3OC, L1SC, L2SC (CDMA) • SAR |

13

Trilateracija



15

Princip funkcionisanja GNSS-a

➤ Osnovna ideja određivanja položaja tačke na Zemlji na osnovu merenja rastojanja do satelita zasniva se na trilateracionoj metodi.

➤ Pozicija GNSS prijemnika određuje se na osnovu merenja dužina do tri ili više satelita.

➤ Sateliti emituju kodirane navigacione poruke koje sadrže:

- tačnu poziciju satelita u vreme emitovanja poruke;
- tačno vreme emitovanja poruke.

➤ Dužina od satelita do prijemnika računa se na osnovu vremena potrebnog da navigaciona poruka stigne od satelita do prijemnika.

14

Određivanje pozicije prijemnika

➤ Rastojanje od prijemnika od i -tog satelita:

$$R_i = \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2 + (z_i - Z)^2},$$

$$R_i^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 + x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 - 2x_iX - 2y_iY - 2z_iZ,$$

gde su x_i, y_i, z_i koordinate satelita (poznate), a X, Y i Z koordinate prijemnika (nepoznate).

➤ Na osnovu prethodnog izraza formira se sistem jednačina:

$$R_1^2 - (x_1^2 + y_1^2 + z_1^2) - r^2 = -2x_1X - 2y_1Y - 2z_1Z,$$

$$R_2^2 - (x_2^2 + y_2^2 + z_2^2) - r^2 = -2x_2X - 2y_2Y - 2z_2Z,$$

$$R_3^2 - (x_3^2 + y_3^2 + z_3^2) - r^2 = -2x_3X - 2y_3Y - 2z_3Z,$$

gde je r poluprečnik Zemlje.

16

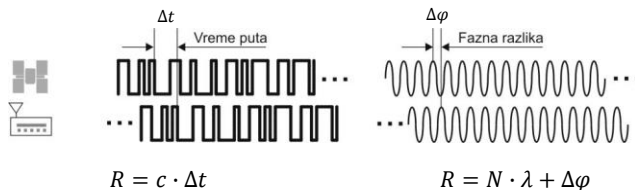
Određivanje pozicije prijemnika

- Navedeni princip podrazumeva da su časovnici u svim satelitima i GNSS prijemnicima u potpunosti sinhronizovani.
- Sateliti su opremljeni veoma preciznim atomskim časovnicima, dok su GNSS prijemnici opremljeni časovnicima na bazi kristalnih oscilatora znatno manje preciznosti.
- Iz tog razloga svi vremenski intervali u trenutku merenja su opterećeni sistematskom greškom.
- Budući da časovnik u prijemniku ima istu vremensku grešku prilikom merenja rastojanja do svih vidljivih satelita, uvodi se još jedno dodatno merenje do četvrtog satelita.
- Vremenska greška časovnika prijemnika predstavlja nepoznatu veličinu.

17

Princip merenja rastojanja od prijemnika do satelita

- GNSS prijemnik generiše kopiju signala i vremenski je pomera u odnosu na originalni signal koji prima sa satelita.
- Metode merenja rastojanja od satelita do prijemnika:
 - kodna merenja;
 - fazna merenja.



19

Određivanje pozicije prijemnika

- Ukoliko se uzme u obzir odstupanje časovnika Δt , dobija se sledeći sistem jednačina:

$$R_1^2 - (x_1^2 + y_1^2 + z_1^2) - r^2 = c \cdot \Delta t - 2x_1X - 2y_1Y - 2z_1Z,$$

$$R_2^2 - (x_2^2 + y_2^2 + z_2^2) - r^2 = c \cdot \Delta t - 2x_2X - 2y_2Y - 2z_2Z,$$

$$R_3^2 - (x_3^2 + y_3^2 + z_3^2) - r^2 = c \cdot \Delta t - 2x_3X - 2y_3Y - 2z_3Z,$$

$$R_4^2 - (x_4^2 + y_4^2 + z_4^2) - r^2 = c \cdot \Delta t - 2x_4X - 2y_4Y - 2z_4Z,$$

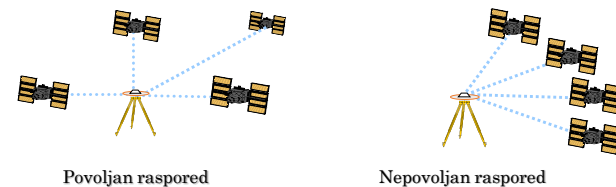
gde je c brzina prostiranja talasa.

- Navedeni model koristi određen broj aproksimacija pa se iz tog razloga ne koristi u praksi.
- Prijem signala sa većeg broja satelita smanjuje grešku određivanja pozicije.

18

Položajni raspored satelita

- Za veću tačnost određivanja pozicije GNSS prijemnika potrebno je da raspored satelita bude ravnomeran.
- Položajni raspored satelita se prati preko PDOP (*Position Dillution of Precision*), koji treba da bude što manji.



20

Metode pozicioniranja

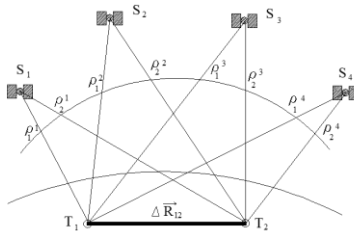
- Pod pozicioniranje se podrazumeva određivanje prostornih položaja stacionarnih ili mobilnih objekata.
- Principijelno postoje dve vrste pozicioniranja:
 - apsolutno pozicioniranje ili pozicioniranje tačke;
 - relativno (diferencijalno) pozicioniranje.
- U slučaju apsolutnog pozicioniranja položaj se određuje u globalnom elipsoidnom koordinatnom sistemu koji je vezan za Zemlju, dok se kod relativnog pozicioniranja položaj određuje u odnosu na neku tačku, koja je usvojena za početak lokalnog koordinatnog sistema.

21

Relativno pozicioniranje

- U relativnom pozicioniranju neophodna su najmanje dva GNSS prijemnika, a pozicioniranje jedne tačke se vrši u odnosu na drugu tačku:

$$\Delta \mathbf{R}_{12} = \mathbf{R}_2 - \mathbf{R}_1 = (\mathbf{r}^j - \boldsymbol{\rho}_2^j) - (\mathbf{r}^j - \boldsymbol{\rho}_1^j) = \boldsymbol{\rho}_1^j - \boldsymbol{\rho}_2^j.$$



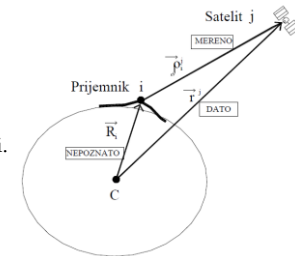
23

Apsolutno pozicioniranje

- Osnovni princip pozicioniranja baziran je na jednostavnom geometrijskom principu određivanja nepoznatog vektora položaja tačke i (\mathbf{R}_i), na osnovu poznatog vektora položaja satelita j (\mathbf{r}^j) i merenog vektora položaja satelita u odnosu na tačku i ($\boldsymbol{\rho}_i^j$):

$$\mathbf{R}_i = \mathbf{r}^j - \boldsymbol{\rho}_i^j.$$

- Zbog veoma niske tačnosti apsolutno pozicioniranja ne nalazi primenu u geodeziji.



22

Relativno pozicioniranje

- Zavisno od načina na koji su mereni vektori $\boldsymbol{\rho}_1^j$ i $\boldsymbol{\rho}_2^j$ primenjuju se:

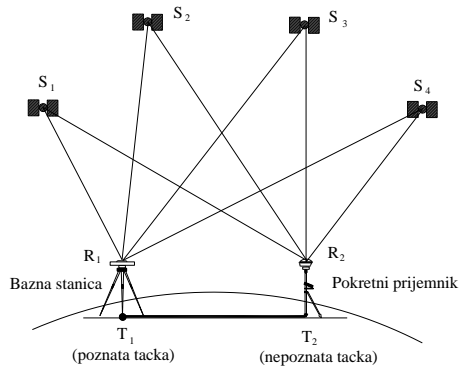
- statičke metode pozicioniranja – primenjuju se kada je objekat koji se pozicionira statičan;
- kinematičke metode pozicioniranja – primenjuju se kada je prijemnik montiran na neko vozilo ili se premešta sa tačke na tačku.

- Metoda relativnog statičkog pozicioniranja je bazirana na određivanju prostornog vektora između dva prijemnika koji su postavljeni na dve stanice.

- Metode relativnog kinematičkog pozicioniranja zasnivaju se na određivanju prostornog vektora između stacionarnog i pokretnog prijemnika.

24

Relativno kinematičko pozicioniranje



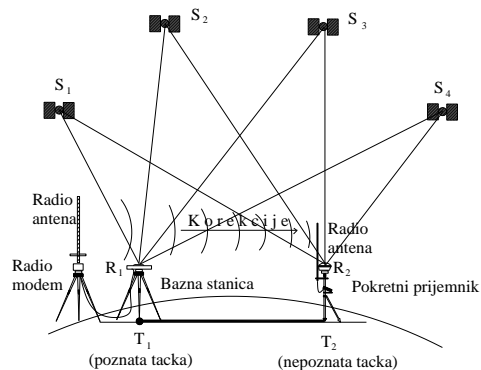
25

Relativno kinematičko pozicioniranje

- Pokretni prijemnik se postavlja na tačke čije je koordinate potrebno odrediti.
- Stacionarni prijemnik se proglašava baznim prijemnikom dok pokretni prijemnik ima ulogu rovera.
- Bazni prijemnik ostaje nepomičan tokom merenja, dok se rover pomera od tačke do tačke.
- Vreme zadržavanja na svakoj tački se kreće od nekoliko sekundi do nekoliko minuta.
- Postoje dve metode relativnog kinematičkog pozicioniranja:
 - relativno kinematičko pozicioniranje sa naknadnom obradom (*Post Processed Kinematic – PPK*);
 - relativno kinematičko pozicioniranje u realnom vremenu (*Real Time Kinematic – RTK*).

26

Relativno kinematičko pozicioniranje u realnom vremenu



27

Relativno kinematičko pozicioniranje u realnom vremenu

- Da bi se omogućilo pozicioniranje u realnom vremenu neophodan je radio modem ili radio stanica sa antenom na baznoj stanici i radio antena na pokretnom prijemniku.
- Prijemnik na baznoj stanici prima signale sa satelita i na osnovu registrovanih podataka računa koordinate tačke, uporedi sračunate koordinate sa datim koordinatama, sračuna razlike koordinata i računa korekcije za otklanjanje greške.
- Pokretni prijemnici pored prijema signala sa satelita, povezani su baznom stanicom koja im putem radio veze distribuira korekcije.
- Koordinate tačaka dobijaju se neposredno na terenu, u realnom vremenu.

28

PITANJA?