



# Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS)



GNSS

# Satelitsko pozicioniranje

Koncept satelitskog pozicioniranja započeo je lansiranjem prvog umjetnog Zemljina satelita (SSSR Sputnik) 1957. godine. Slijedio je razvoj sustava za satelitsku navigaciju mornarice SAD (Navy Navigation Satellite System – NNSS). Sustav poznatiji pod imenom Transit trebao je osigurati globalnu navigaciju za podmornice. Upotreba ovog sustava dopuštena je od 1967. godine i za civilne svrhe. 1973. godine Ministarstvo obrane SAD pokrenulo je razvoj novog sustava pod nazivom NAVSTAR GPS (Navigation System (Satellite) with Time and Ranging Global Positioning System). Prvi eksperimentalni GPS-sateliti lansirani su 1978. godine, a punu operabilnost sustav je postigao 1995. godine.



Sputnik, 1957.



NNSS-Transit, 1967.



GPS, 1978.



GPS, 1995.

*"Satelitska geodezija obuhvaća sva nastojanja koja imaju za cilj, na temelju što točnijeg opažanja umjetnih satelita (i to pretežito bližih satelita), izvesti kako oblik tako i parametre polja sile teže Zemlje." (Sigl, 1984)*



# Satelitsko geodezija

Primjena prirodnih i umjetnih Zemljinih satelita kod rješavanja različitih zadataka u geodeziji dovela je do razvoja novog dijela geodezije : **Satelitske geodezije.**

Satelitska geodezija obuhvaća snimanje i mjerenje na i sa satelita, pri čemu je snimanje Zemljine površine glavna aktivnost područja "Daljinska istraživanja", dok su mjerenja pomoću satelita predmet zanimanja satelitske geodezije u užem smislu.

Na početku se satelitska geodezija bavila, pretežno globalnim pitanjima, kao što su srednji Zemljin elipsoid, globalni geoid, a danas rješavanjem lokalnih zadataka, tako da su u međuvremenu razvijeni rutinski postupci i u području praktične geodezije (snimanja terena, iskolčenja, praćenja pomaka...)

## Razlikujemo dvije osnovne metode satelitske geodezije.

Primjena satelita kao dalekih "vidljivih" visokih ciljeva za premošćenje prostora u kojima ne postoje geodetske točke (povezivanje kontinenata, prevladavanje refrakcijskih problema), što odgovara čisto geometrijskom načinu opažanja i vodi do tzv. geometrijske metode satelitske geodezije. Njen osnovni cilj je uspostavljanje svjetskog, trodimenzionalnog homogenog polja točaka

Primjena satelita kao "senzora" u Zemljinom polju sile teže, pri čemu se promatra putanja i promjene putanje satelita, te uspostavlja veza sa strukturom toga polja.

Cilj je da se iz "dinamičkog" ponašanja satelita izvode zaključci o Zemljinom polju sile teže, što je osnovna zadaća dinamičke metode satelitske geodezije. Ove dvije metode se danas kombiniraju u cilju postizanja što točnijih i potpunijih podataka.

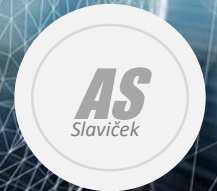




# GNSS sustav

## Prednosti GPS-a

Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS), standardni generički termin za satelitske navigacijske sustave (Sat Nav) koji pružaju autonomno geoprostorno pozicioniranje s globalnom pokrivenošću. GNSS omogućuje malim elektroničkim prijamnicima determinaciju njihove lokacije (longitude, latitude i altitude) s odmakom od samo nekoliko metara koristeći vremenske signale koje duž linije vida transmitira radio sa satelitâ. Prijemnici računaju precizno vrijeme i poziciju koji se mogu koristiti u znanstvenim eksperimentima.



## GNSS

Napredak tehnologija za istraživanje Zemlje iz satelita omogućio je razvoj satelitskih sustava za pozicioniranje i navigaciju.

Globalni Navigacijski Satelitski Sustav (Global Navigation Satellite System) – GNSS – zajednički naziv za sve takve sustave.

Svrha tih satelitskih sustava – omogućiti pozicioniranje i navigaciju u realnom vremenu bilo gdje i bilo kada na i blizu zemljine površine.

## GNSS

### GPS – GLONASS – GALILEO - BEIDOU

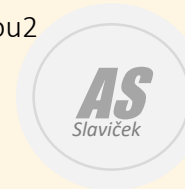
Jedini potpuno operativni GNSS do 2009. godine bio je američki NAVSTAR Global Positioning System (**GPS**, hrv. Globalni pozicijski sustav). Ruski **GLONASS** jest GNSS u procesu pripreme za punu operativnost. Pozicijski sustav **Galileo** Europske unije nalazi se u inicijalnoj fazi implementacije s planiranom operativnošću do 2014. godine. Narodna Republika Kina naznačila je kako će proširiti svoj regionalni navigacijski sustav **Beidou** u globalni navigacijski sustav Compass do 2015. godine.

Globalna pokrivenost postignuta je konstelacijom od oko 30 satelita u srednjoj Zemljinoj orbiti (MEO, engl. Medium Earth Orbit) u različitim orbitalnim ravninama. Aktualni sustavi koriste orbitalne inklinacije od 55° te orbitalne periode od 11 sati 58 minuta (visina 20.200 km / 12.500 milja).

## Povijest razvoja GNSS-a

### GPS – GLONASS – GALILEO – BEIDOU

- 1957. lansiran prvi satelit Sputnik (SSSR)
- 1965. prva globalna mreža (SAD)
- 1967. civilna uporaba prvog operabilnog sustava - sustav NNSS (Navy Navigation satellite System), TRANSIT (SAD)
- 1973. sustav NAVSTAR GPS (Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System) konceptualna faza GPS-a (SAD)
- **1978.** lansirani prvi GPS -sateliti
- 1984. početak civilne uporabe GPS-a
- 1987. početak civilne uporabe GLONASS sustava (Rusija)
- 2005. lansiran prvi Galileo satelit
- 2007. lansirani prvi Beidou2 (Kompas) sateliti (Kina)



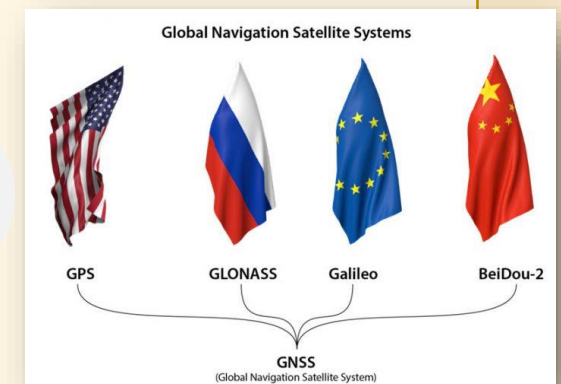
## Porast točnosti

- 1955. ± 100 m (triangulacija Finska)
- 1965. ± 10 m - prva globalna mreža (SAD)
- 1975. ± 1 m - poboljšanjem laserskih mjerenja
- 1985. ± 0.1 m - iz moderniziranog TRANSIT sustava (SAD)
- 1995. ± 0.01 m - IGS mreža (Intelligence Gathering Satellite) iz GPS mjerenja
- 2020. ?

As of 2017, the main GNSSs are:

- **GPS.** America's Global Position System.
- **GLONASS.** Russia's Global Orbiting Navigation Satellite System.
- **BeiDou-2.** A system being developed by China—not currently fully operational.
- **Galileo.** A system being developed by the EU—not currently fully operational.

<http://www.oxts.com/what-is-gnss/>





GNSS  
sustav

## GNSS Ograničenja i prednosti

### Ograničenja GNSS-a

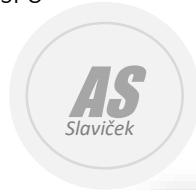
GPS – GLONASS – GALILEO - BEIDOU

- Nisu najtočniji mjerni sustav
- Nisu uvijek i svugdje dostupni
- Podložni nekontroliranim smetnjama
- Razina ostvarive točnosti ovisi o njihovom vlasniku

### Prednosti GNSS-a

GPS – GLONASS – GALILEO - BEIDOU

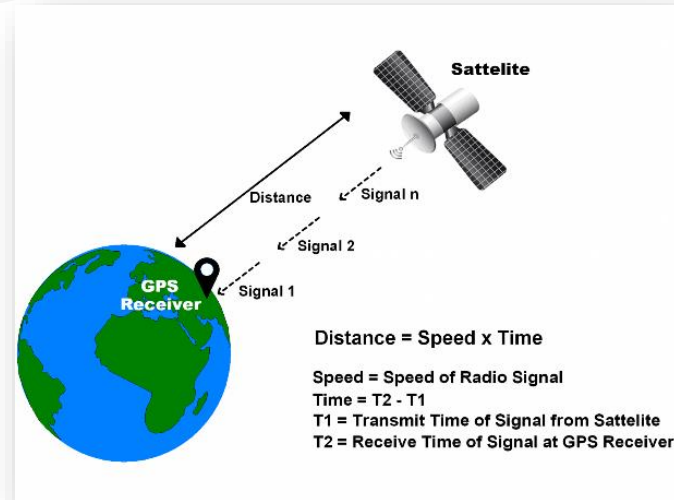
- Globalnog karaktera
- U cijelosti digitalni
- Kompatibilni modernim komunikacijama
- Integrirani s drugim sensorima i sustavima
- Dostupni milijun korisnika
- Autonomnost države
- Kontrola nad vojnom snagom



### Točnost određivanja položaja

Točnost određivanja položaja korištenjem jednog prijavnika u osnovi ovisi o:

- Točnosti pozicije svakog satelita
- Točnosti mjerenja pseudoudaljenosti
- Geometriji satelita
- **“Pseudoudaljenost”** = jednaka pravoj udaljenosti plus mala (pozitivna ili negativna) korekcija udaljenosti uzrokovana pogreškom sata prijavnika



### Prednosti GPS-a u odnosu na klasične metode pozicioniranja

- položaj točke je apsolutno određen u trodimenzionalnom Kartezijevom koordinatnom sustavu
- Optičko dogleđanje između točaka nije više nužno
- Nema prijenosa pogrešaka jer je svaka točka određena zasebno
- Raspored točaka ne podliježe nikakvim geometrijskim uvjetima
- upotreba GPS-a je jednostavan za korištenje
- Položaj točke se može odrediti na kopnu, moru i u zraku
- Nema nikakvih uvjeta ili poteškoća pri mjerenju s obzirom na doba dana, meteorološke uvjete, državu,...



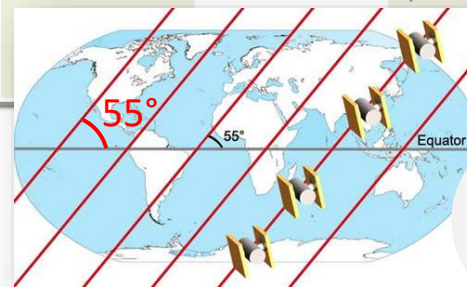
# Koncept GPS-a

## Svemirski segment

### Sateliti

- Osnovni zadatak je odašiljanje radio signala pomoću kojih se mjere udaljenosti
- operativno - 31 satelit (XII. 2017.)
- na visini od 20200 km
- u 6 orbitalnih ravnina (4 satelita u svakoj ravnini) nagnutih za 55° (inklinacija orbita) prema ekvatoru
- vrijeme obilaska je 11 sati i 57 minuta
- Svaki satelit ima osnovnu frekvenciju od 10.23 MHz na temelju koje odašilje dva radio signala:
  - L1 na frekvenciji 1575.42 MHz
  - L2 na frekvenciji od 1227.60 MHz
- Na te signale modulirani su kodovi tzv. PRN (Psuedo Random Noise) kodovi (C/A – standardni S-kod i precizni P-kod) sa svrhom mjerenja udaljenosti iz mjerenja vremena puta signala
- Kodovi su očitavanja vremena s ultrapreciznih atomskih satova ( $10^{-14}$ ) kojima su opremljeni sateliti
- Najnovija generacija atomskih satova ima najveću grešku od 1 sekunde u 30 milijuna godina.
- Kodovi osim vremena, sadrže formatirane poruke s identifikacijom satelita, položajem satelita (efemeridama), podacima o hodu sata, ionosferskim podacima itd.

LEGACY SATELLITES		MODERNIZED SATELLITES		
BLOCK IIA	BLOCK IIR	BLOCK IIR-M	BLOCK IIF	GPS III/IIIF
0 operational	12 operational	7 operational	12 operational	In production
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Coarse Acquisition (C/A) code on L1 frequency for civil users</li> <li>▪ Precise P(Y) code on L1 &amp; L2 frequencies for military users</li> <li>▪ 7.5-year design lifespan</li> <li>▪ Launched in 1990-1997</li> <li>▪ Last one decommissioned in 2016</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ C/A code on L1</li> <li>▪ P(Y) code on L1 &amp; L2</li> <li>▪ On-board clock monitoring</li> <li>▪ 7.5-year design lifespan</li> <li>▪ Launched in 1997-2004</li> </ul> <p><a href="#">LEARN MORE ABOUT GPS IIR AT AF.MIL</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ All legacy signals</li> <li>▪ 2nd civil signal on L2 (L2C) <a href="#">LEARN MORE</a></li> <li>▪ New military M code signals for enhanced jam resistance</li> <li>▪ Flexible power levels for military signals</li> <li>▪ 7.5-year design lifespan</li> <li>▪ Launched in 2005-2009</li> </ul> <p><a href="#">LEARN MORE ABOUT GPS IIR-M AT AF.MIL</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ All Block IIR-M signals</li> <li>▪ 3rd civil signal on L5 frequency (L5) <a href="#">LEARN MORE</a></li> <li>▪ Advanced atomic clocks</li> <li>▪ Improved accuracy, signal strength, and quality</li> <li>▪ 12-year design lifespan</li> <li>▪ Launched in 2010-2016</li> </ul> <p><a href="#">LEARN MORE ABOUT GPS IIF AT AF.MIL</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ All Block IIF signals</li> <li>▪ 4th civil signal on L1 (L1C) <a href="#">LEARN MORE</a></li> <li>▪ Enhanced signal reliability, accuracy, and integrity</li> <li>▪ No Selective Availability <a href="#">LEARN MORE</a></li> <li>▪ 15-year design lifespan</li> <li>▪ IIIF: laser reflectors; search &amp; rescue payload</li> <li>▪ First launch in 2018</li> </ul> <p><a href="#">LEARN MORE ABOUT GPS III AT AF.MIL</a></p>



### Kategorije satelita

- 1978-85: Blok I
- 1989-90: Blok II
- 1990-97: Blok IIA
- 1997-05: Blok IIR
- 2005: Blok IIR-M
- 2008: Blok IIF
- 2013/14: Blok III

### Current and Future Satellite Generations

The GPS constellation is a mix of old and new satellites. The following table summarizes the features of the current and future generations of GPS satellites, including Block IIA (2nd generation, "Advanced"), Block IIR ("Replenishment"), /

Block IIR-M ("Modernized"), Block IIF ("Follow-on"), GPS III, and GPS IIIF ("Follow-on"). As of December 29, 2017, there were a total of **31 operational satellites** in the GPS constellation, not including the decommissioned, on-orbit spares. Izvor: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>



# Koncept GPS-a

## GPS Control Segment

- ★ Master Control Station
- ▲ Ground Antenna
- Air Force Monitor Station

### Kontrolni segment

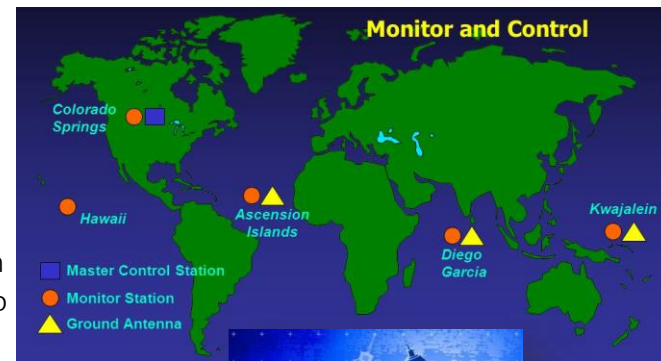
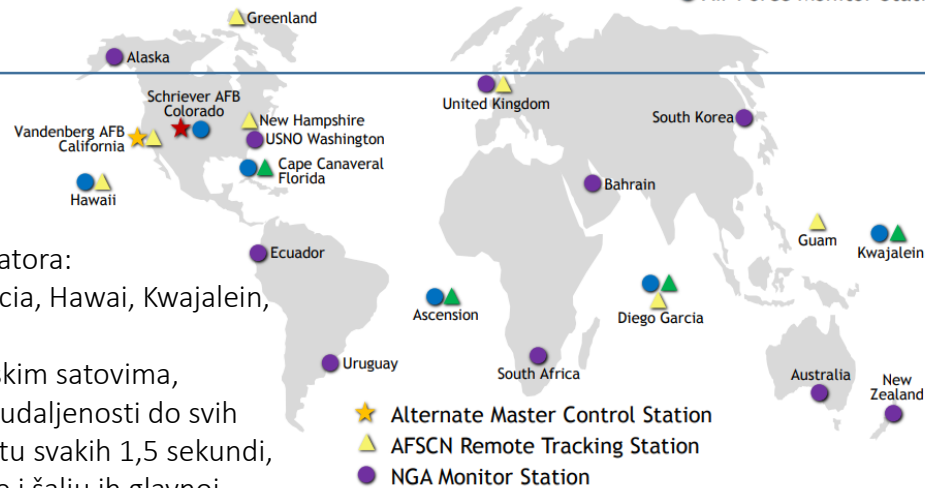
Glavna zadaća: praćenje satelita u svrhu određivanja orbita i vremena, sinhronizacija vremena satelita, odašiljanje poruka satelitima

Obuhvaća:

- Glavna kontrolna stanica
- Opažačke stanice
- Zemaljske kontrolne stanice
  
- Glavna kontrolna stanica: Colorado Springs Falcon, Colorado (Združeni centar zračnih operacija)
- Sakuplja podatke s opažačkih stanica o praćenju satelita
- Računa putanje (orbite) satelita i parametre satova
- Prosljeđuje podatke zemaljskim stanicama radi slanja prema satelitima
- Kontrola satelita i kompletna operacionalizacija sustava



- Opažačke stanice: 5 stanica u blizini ekvatora: Ascension, Diego Garcia, Hawaii, Kwajalein, Colorado Springs
- Opremljene atomskim satovima, neprekidno mjere udaljenosti do svih satelita na horizontu svakih 1,5 sekundi, te filtriraju podatke i šalju ih glavnoj kontrolnoj stanici
  
- Zemaljske kontrolne stanice:
- 3 stanice: Ascension, Diego Garcia, Kwajalein
- Osnovna zadaća je komunikacija i odašiljanje poruka satelitima,
- popuna satelita informacijama jednom dnevno (informacije o efemeridama i o satovima satelita sračunatim u glavnoj kontrolnoj stanici)
- Opremljene velikim antenama za odašiljanje poruka satelitima
- **Efemeride (Ephemeris)** = Popis točnih pozicija satelita, prikazan kao funkcija vremena



Svemirski  
Kontrolni  
Korisnički

GNSS  
sustav

# Koncept GPS-a



**Svemirski  
Kontrolni  
Korisnički**

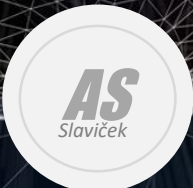
GNSS  
sustav

## Korisnički segment

- Korisnički segment se sastoji od svih korisnika koji upotrebljavaju GPS i prijemnika koji oni koriste
- Korisnički segment se sastoji od vojnika, pilota, pomoraca, lovaca, vozača, planinara,... , svih onih koji žele znati gdje su bili, gdje se nalaze ili gdje trebaju ići, a koriste GPS prijemnike.
- GPS prijamnici, GPS mreže, GPS servisi
- Kategorije korisnika (prijamnika):
  - Vojni korisnici (autorizirani)
  - Civilni korisnici (neautorizirani)

Vrste prijamnika:

- Koji registriraju C/A kod
- Koji registriraju C/A kod i L1 noseći val
- Koji registriraju P kod i oba noseća vala



# Princip rada GPS-a



GNSS  
sustav

## Princip rada GPS-a

Kako bi mogao obavljati svoju zadaću GPS prijemnik treba poznavati **položaj satelita** i **udaljenost** do satelita.

GPS prijemnik od satelita dobiva dvije vrste kodiranih informacija.

Jedan tip informacija su podaci iz almanaha koji sadrže približni položaj satelita. Ti podaci se neprestano prenose i spremaju u memoriju GPS-prijemnika. Na temelju tih podataka GPS prijemnik zna orbite satelita i gdje bi se koji satelit trebao nalaziti. Podaci iz almanaha se periodički ažuriraju kako sateliti mijenjaju svoj položaj.

Ukoliko satelit promijeni svoju putanju izvan zadane orbite, zemaljska stanica za praćenje će zabilježiti njihov položaj, visinu i brzinu. Te orbitalne informacije zemaljska stanica će poslati kontrolnoj stanici, koja će satelitima poslati ispravljene podatke. Ispravljene i točni (egzaktni) podaci o položajima nazivaju se „efemeride“, vrijede do šest sati i šalju se GPS prijemnicima u obliku kodiranih informacija.

Kad GPS-prijemnik zna precizan položaj satelita u prostoru, još treba znati koliko su oni daleko kako bi mogao odrediti svoj položaj na Zemlji. Postoji jednostavna formula koja kaže prijamniku koliko je pojedini satelit daleko: Udaljenost od satelita jednaka je brzini emitiranog signala pomnoženoj s vremenom koje treba da signal dođe do prijamnika (**brzina x vrijeme putovanja = udaljenost**).

Koristeći osnovnu formulu za određivanje udaljenosti, prijamnik već zna brzinu. To je brzina radio valova - oko 300 000 kilometara u sekundi (brzina svjetlosti), s malim kašnjenjem zbog prolaska signala kroz Zemljinu atmosferu.

Sada GPS-prijemnik treba odrediti vremenski dio formule. Odgovor leži u kodiranom signalu koji satelit odašilje. Emitirani kod naziva se "pseudoslučajni kod" jer sliči signalu šuma. Satelit generira pseudoslučajni kod, a GPS-prijemnik generira isti kod i nastoji ga prilagoditi kodu satelita. Prijemnik tada uspoređuje dva koda da bi odredio koliko treba zakasnuti (ili pomaknuti) svoj kod kako bi odgovarao kodu satelita. To vrijeme kašnjenja (pomaka) množi se s brzinom svjetlosti da bi se dobila udaljenost.

Sat vašeg GPS-prijemnika ne mjeri vrijeme tako precizno kao satovi satelita. Stavljanje atomskog sata u vaš prijamnik učinilo bi ga mnogo većim i skupljim! Zato svako određivanje udaljenosti treba još ispraviti za iznos pogreške sata GPS-prijemnika. To je razlog što se određivanjem udaljenosti zapravo dobije "pseudoudaljenost". Da bi se odredio položaj na temelju pseudoudaljenosti, treba pratiti najmanje četiri satelita i uz pomoć računanja ukloniti pogrešku sata GPS-prijemnika.





*Zahvaljujem na pažnji.*

*A. Slavicek.*

