ODREĐIVANJE POLOŽAJA NA ZEMLJI
GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SUSTAVI

Dr. sc. Aleksandar Toskić, izv. prof.
Geografski odsjek PMF-a
Sveučilišta u Zagrebu

KOORDINATNI SUSTAVI

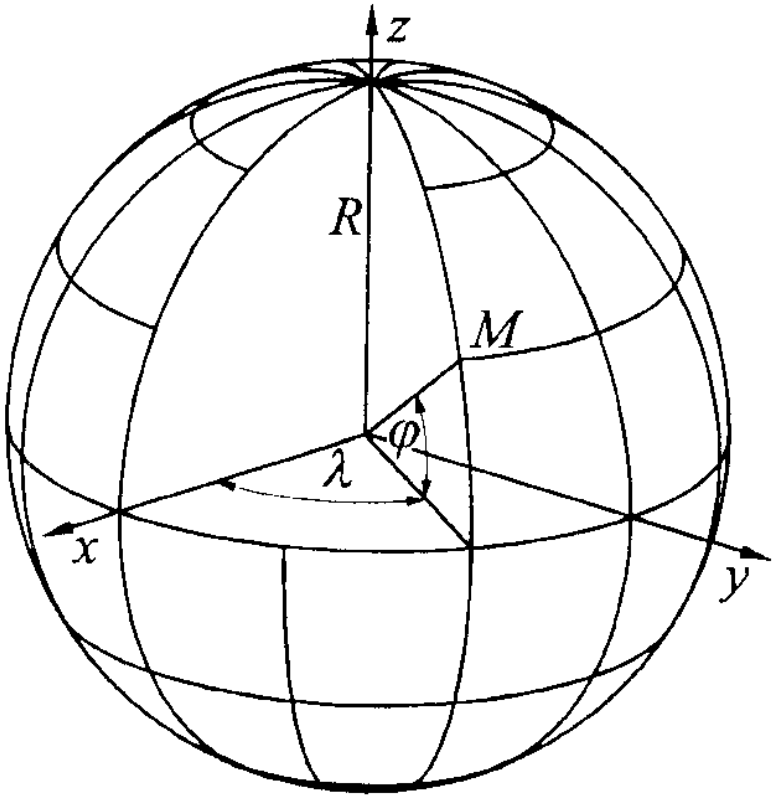
- Matematički instrument koji omogućuje određivanje položaja u prostoru temelji se na pojmu koordinatnog sustava
- Koordinate (lat. *co*- zajedno i *ordinatus* – uređeni, definirani) su brojevi čijim se zadavanjem definira položaj točke na pravcu, u ravnini, na plohi ili u prostoru

- Astronomske i geografske koordinate (širina i dužina) prve su ušle u sustavnu upotrebu
- Njima se određuje položaj točke na nebeskoj sferi i na plohi Zemljine kugle

Geografski koordinatni sustav

- Geografski koordinatni sustav na sferi
- Geografski koordinatni sustav na rotacijskom elipsoidu

Geografske koordinate na sferi



Sl. 1. Geografske koordinate na Zemljinoj sferi

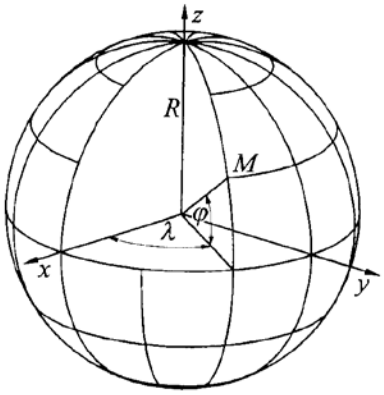
Izvor : Lapaine, M. 2000.Zbornik II. Hrv. Geografskog kongresa

- Kružnica na sferi koja je jednako udaljena od polova naziva se **ekvator ili polutnik** (dijeli sferu na dvije polutke)
- **Polovi** su točke s koordinatama: (0,0,R) – Sjeverni pol ; (0,0,-R) – Južni pol

  Mogu se odrediti po zvijezdama "polarnicama" koje su im stalno u zenitu (sjev. nebeski pol se nalazi u blizini zvijezde Polaris (1^0 02')
- **Os Zemljine sfere** – pravac koji prolazi polovima
- **Ekvatorska ravnina** – ravnina u kojoj se nalazi ekvator

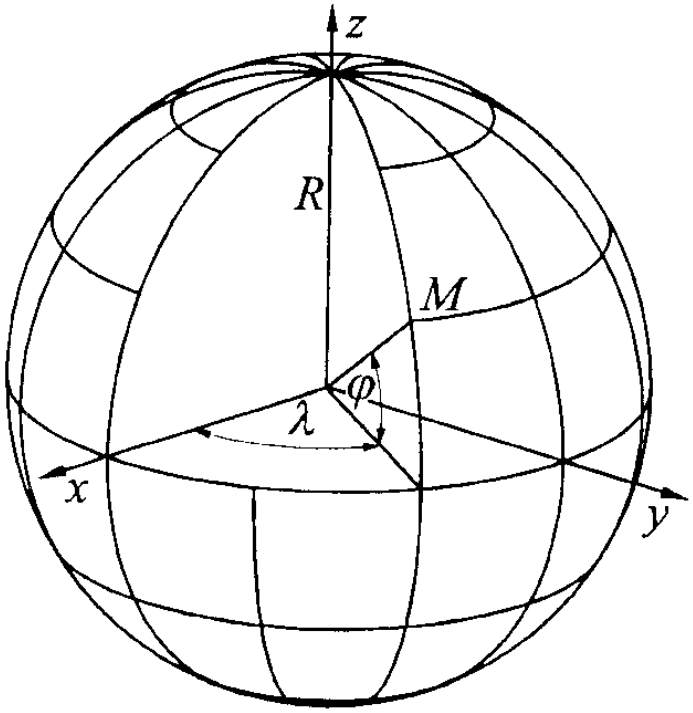
Geografska širina

- **Kut koji zatvara normala (ujedno i radius vektor) točke M na Zemljinoj sferi s ekvatorskom ravninom**
- Geografska širina se označava grčkim slovom **ϕ**
- **Paralela ili usporednica** je kružnica na kojoj sve točke imaju istu geografsku širinu
- Paralela ima **beskonačno mnogo**
- Geografska se širina mjeri u intervalu **$-90^0 \leq \phi \leq 90^0$**
- Tako je pohranjena u računalu, dok je mi navodimo npr.:
  30^0 45’ 23’’ N ili 45^0 36’ 08’’ S
- U GIS računalnim programima geografska širina (a i dužina) često su izražene decimalnim brojevima
  npr. $-30{,}4567^0$ ili $30{,}4567^0$ N (točnost 11,12 m)
  $-30{,}457^0$ ili $30{,}457^0$ N (točnost 111,2 m)



Sl. 1. Geografske koordinate na Zemljinoj sferi

Geografska dužina



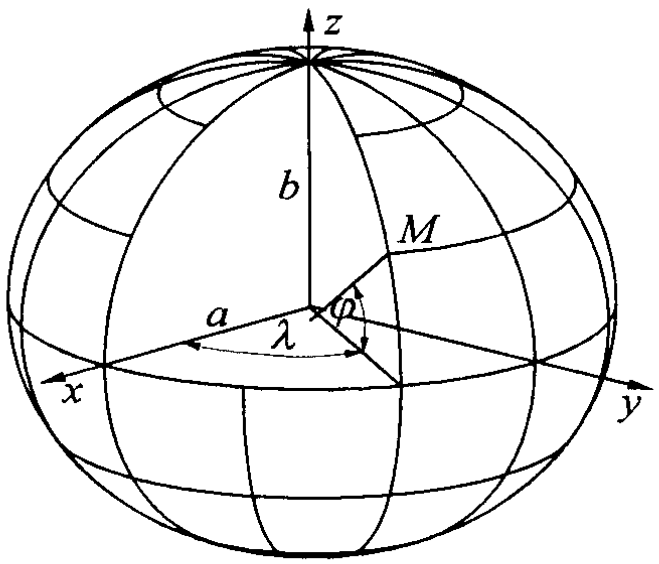
Sl. 1. Geografske koordinate na Zemljinoj sferi

- Polukružnice koje na Zemljinoj sferi spajaju S i J pol nazivaju se **meridijanima ili podnevnicima**
- Jedan od njih jest **početni ili nulti meridijan**
- Geografska dužina se označava slovom **λ**
- **Geog. dužina točke M na Zemljinoj sferi je kut između meridijana koji prolazi točkom M i početnog meridijana**
- Sve točke koje leže na istom meridijanu imaju istu GD
- GD se mjeri u intervalu

  $-180^0 \leq \lambda \leq 180^0$


PRIME MERIDIAN
OF THE WORLD
EAST
LONGITUDE
WEST
LONGITUDE
Centre of Transit Circle
Latitude 51° 28' 38"·2 north
Longitude 0° 00' 00"

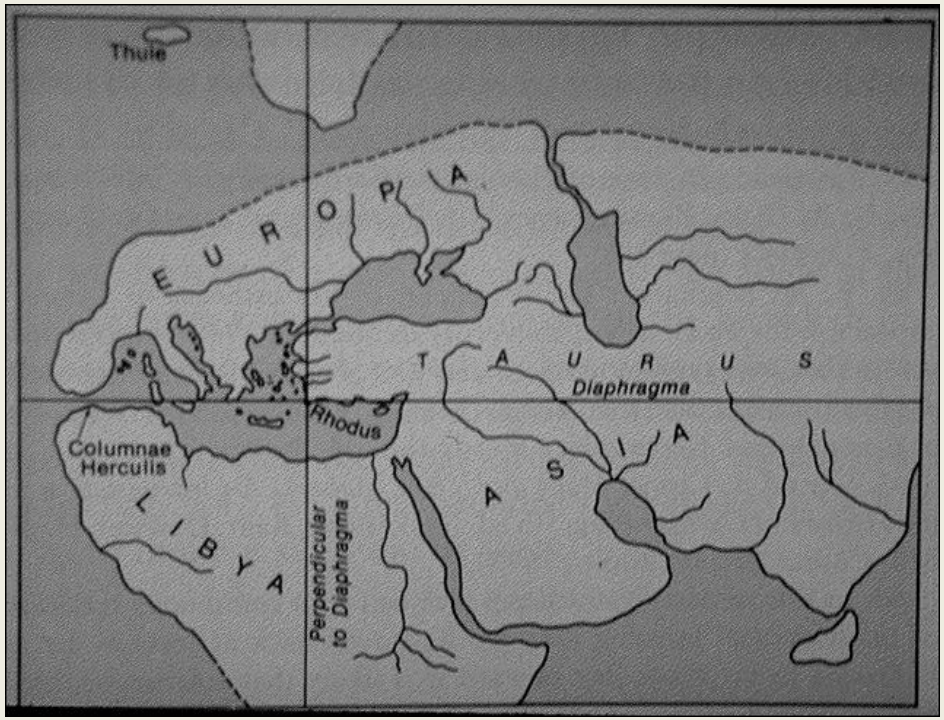
Geografske koordinate na rotacijskom elipsoidu



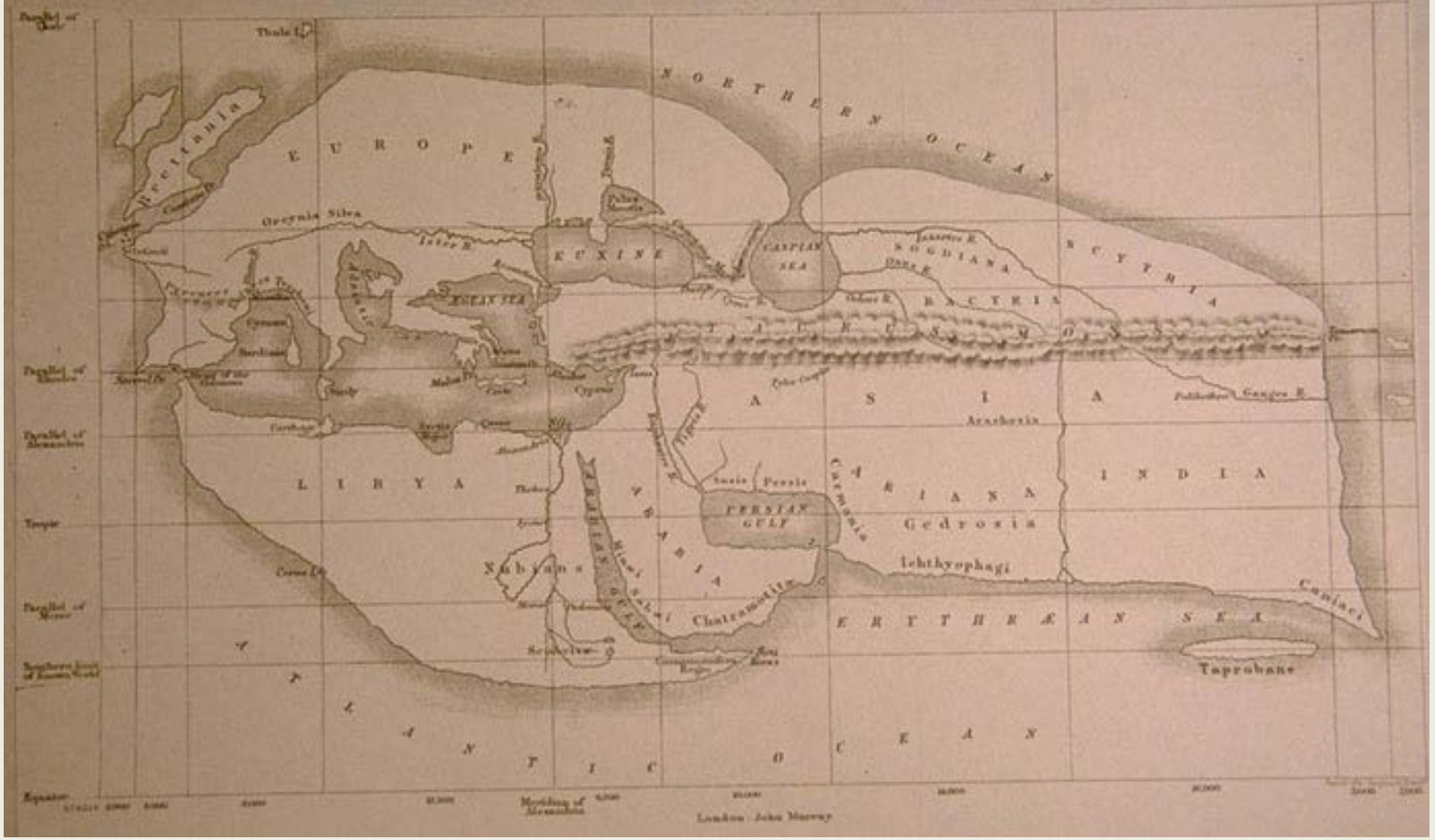
Izvor : Lapaine, M. 2000.Zbornik II. Hrv. Geografskog kongresa

- Pravac koji prolazi polovima naziva se **os rotacijskog elipsoida**, a ravnina u kojoj se nalazi ekvator – **ekvatorskom ravninom**
- **Kut koji zatvara normala (ali ne i radijus vektor) točke M na elipsoidu s ekvatorskom ravninom naziva se geografskom širinom**
- Poluelipse na elipsoidu koje spajaju S i J pol nazivaju se **meridijanima**
- Geografske koordinate na rotacijskom elipsoidu nazivaju se još geodetskim koordinatama

Problem početnog meridijana

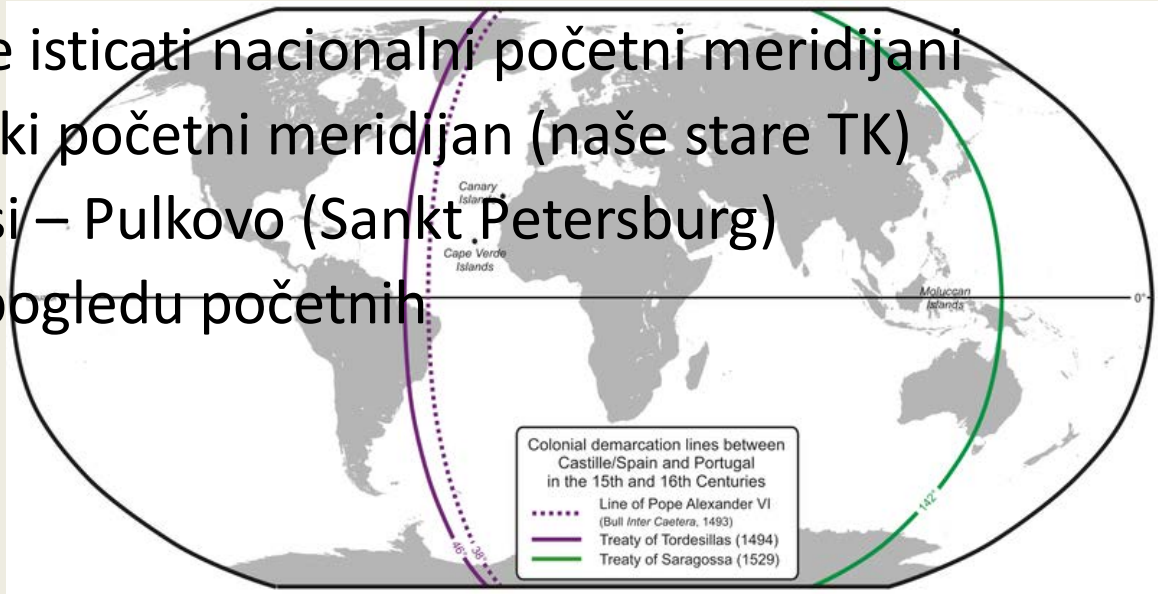


- Problem početnog meridijana – bio prisutan više od 2 tisućljeća
- Istovremeno više meridijana bilo u upotrebi
- Od 1884.g. uvodi se Greenwich kao početni meridijan
- Prvi meridijan uopće ucrtao je na svoju kartu Dikearh iz Messine (-4.st.) – kroz otok Rodos (paralela- dijafragma) začetak GKM



- Eratostenova karta Ekumene (-3.st.) – 7 meridijana (Rim, Kartaga, Aleksandrija...) i 7 paralela (Asuan, Babilon...)
- Središnje značenje imao je aleksandrijski meridijan
- Hiparh (-2.st.) – kritizira E. mrežu, u pravilnoj koordinatnoj mreži prednost daje aleksandrijskom meridijanu
- Marin iz Tira (-1.st.) – kao početni uzima meridijan koji prolazi preko Kanarskih otoka

- Klaudije Ptolemej (2.st.) meridijan najzapadnijeg otočića Hierro (Ferro)
- Srednji vijek – Jeruzalem, Rim – rijetko drugi poč. meridijani
- Španjolski kartografi uzimaju meridijan koji je arbitražom pape postao demarkacijska linija između španjolskih i portugalskih interesnih sfera (15.st.)
- Mercator u 16.st. – kao početni uzima meridijan koji prolazi otokom Fuerteventura u Kanarskom otočju, te meridijan koji prolazi otočićem Korve (Azori)
- Francuski kralj Luj XIII oživljava tradiciju Ptolomeja – Hierro (Ferro)
- Tijekom 18. st. počinju se isticati nacionalni početni meridijani
- Francuzi prelaze na pariški početni meridijan (naše stare TK)
- Englezi – Greenwich, Rusi – Pulkovo (Sankt Petersburg)
- 19.st. – heterogenost u pogledu početnih meridijana

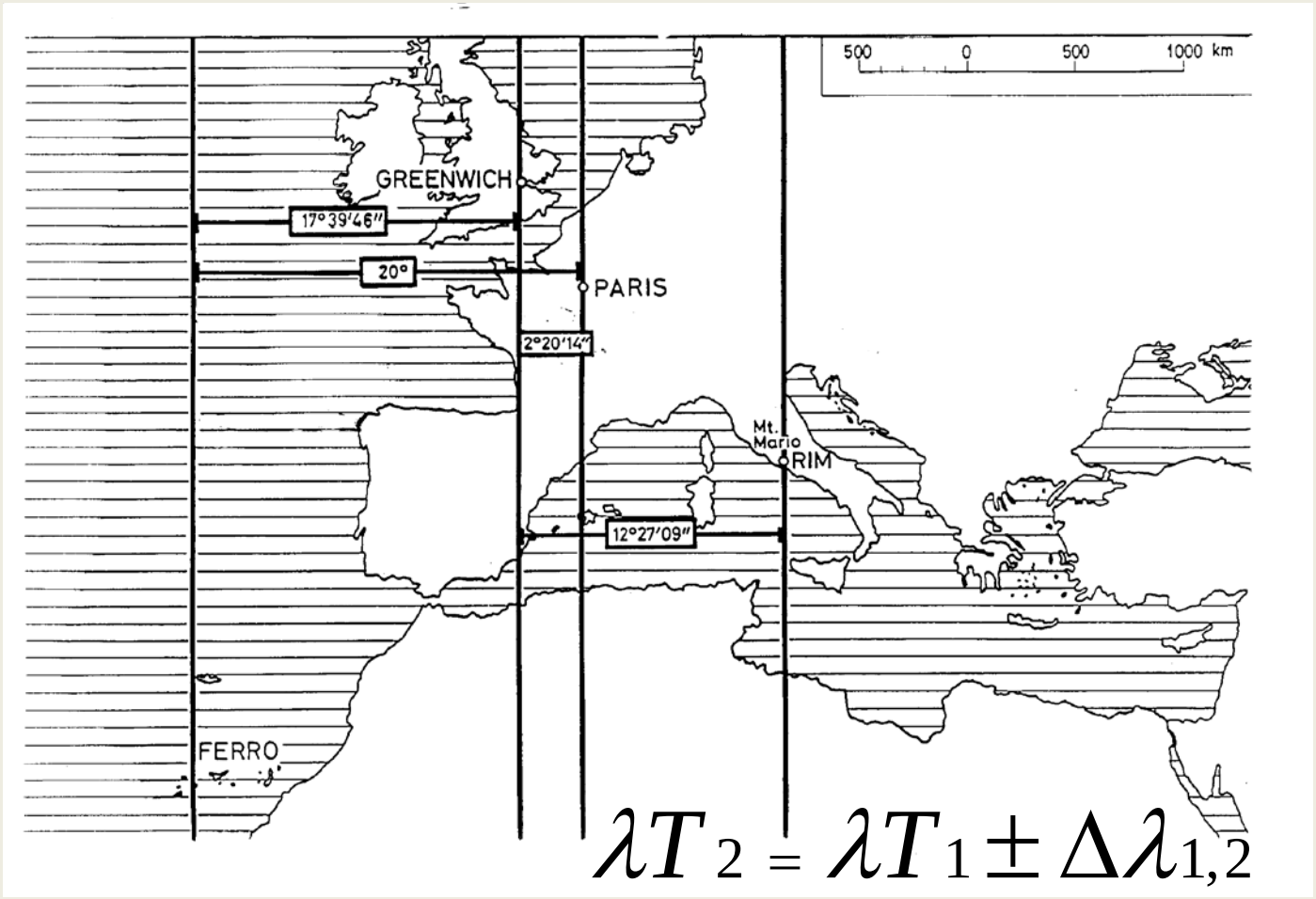


Početni meridijan	Geografska dužina
Greenwich	15^0 E
København	2^0 25’ 20’’E
Quito	85^0 30’ 10’’E
Tirana	4^0 46’ W
Atena	8^0 42’ 59’’W
Madrid	$11^0$18’45’’E

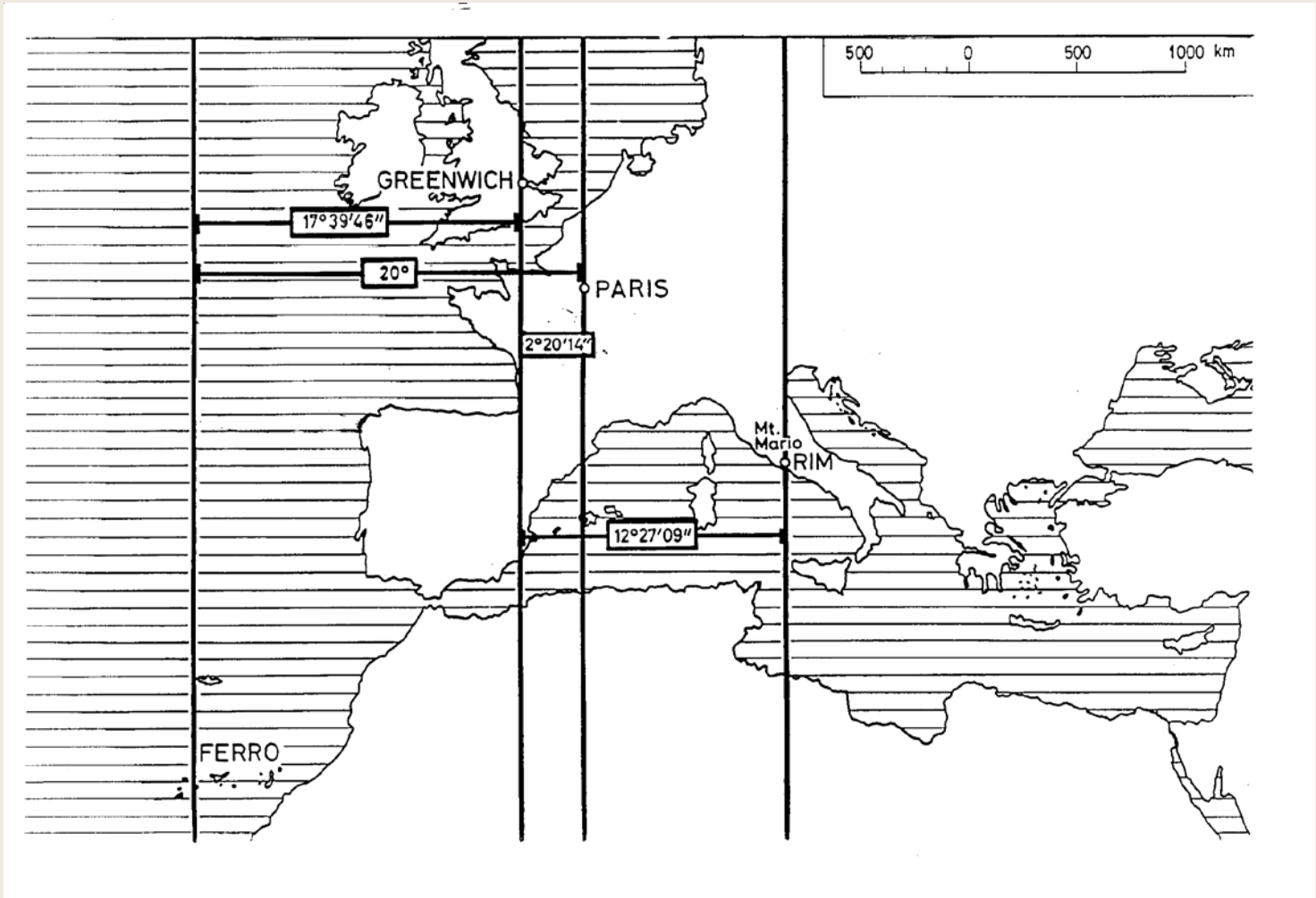
Ruski astronom Struve predlaže:

- Neutralni meridijan (30^0 zapadno od Greenwicha)
- Greenwich
- Antipod Greenwichu (180^0)

Sustavi početnih meridijana na našim kartama



- Pretvaranje vrijednosti početnih meridijana



- 7^0 32’ W po Greenwichu
- Pariz - 7^0 32’ + 2^0 20’ 14’’ = 9^0 52’ 14’’ W
- Hierro (Ferro) - 17^0 39’ 46’’ - 7^0 32’ = 10^0 07’ 46’’ E
- Monte Mario - 12^0 27’ 09’’ + 7^0 32’ = 19^0 59’ 09’’ W

Harrisonov kronometar

- 1707. – velika pomorska tragedija (potonula 4 od 5 brodova kraljevske mornarice – 2000 poginulih – otočje Scilly)
- 1714. raspisana nagrada od 20 000 funti za dovoljno točan način određivanja λ (točnost od 1° povećati na točnost od 30’)
- 1764. testiranje na brodu na relaciji Portsmouth-Jamaica
- Kronometar br. 4 je za 150 dana plovidbe napravio grešku od samo 54 sekunde

GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SUSTAVI
(Sustavi za globalno pozicioniranje)

Dr. sc. Aleksandar Toskić, izv. prof.
Geografski odsjek
Prirodoslovno-matematički fakultet
Sveučilišta u Zagrebu

Global Navigation Satellite Systems (GNSS)

Globalni navigacijski satelitski sustavi

- **GPS**

Global Positioning System

20 180 km

5 m

– Vojno-civilni

Operabilan globalno

GPS CONSTELLATION STATUS, 13.11.18	
Total satellites in constellation	32 SC
Operational	31 SC
In commissioning phase	-
In maintenance	1 SC
In decommissioning phase	-

- **GLONASS**

19 130 km

2.8–7.38 m

– Vojno-civilni

Oprerabilan globalno

GLONASS CONSTELLATION STATUS, 13.11.2018	
Total satellites in constellation	26 SC
Operational	24 SC
In commissioning phase	1 SC
In maintenance	-
Under check by the Satellite Prime Contractor	-
Spares	-
In flight tests phase	1 SC

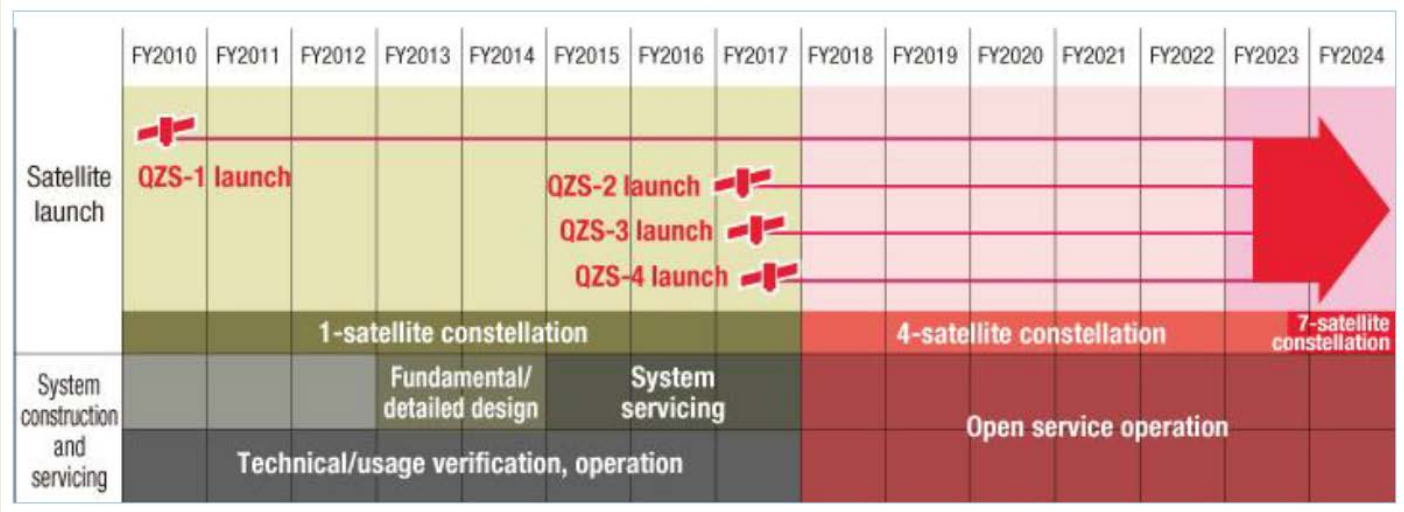
Global Navigation Satellite Systems (GNSS)
Globalni navigacijski satelitski sustavi

- **BeiDou/Compass**
  - 10 m
  - 10 cm (posebno)
  - – Vojno-komercijalni
  - Operabilan regionalno

BEIDOU CONSTELLATION STATUS 13.11.18	
Total satellites in constellation	36
SV is included in operational orbital constellation	17
SV is not included in operational orbital constellation	19

Global Navigation Satellite Systems (GNSS)
Globalni navigacijski satelitski sustavi

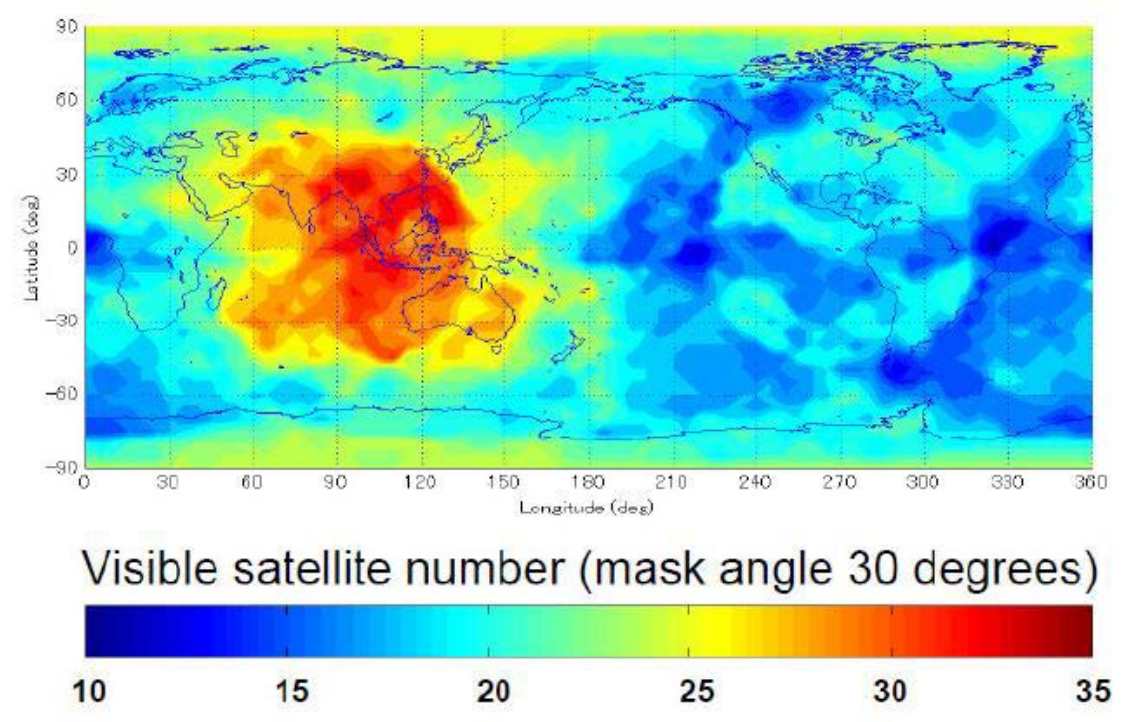
- Regionalni razmještaj
  - **QZSS** (Quasi-Zenith Satellite System), Japan, 4 satelita (1. 11. 2019.)



  - **NAVIC** (Indian Regional Navigation Satellite System), Indija
    - **NAV**igation **I**ndian **C**onstellation; nāvik ‘mornar' ili 'navigator' na Sanskrtu, Hindi.
    - 7 satelita, 2020. civilna uporaba

Više GNSS signala – u korist korisnika

GPS+GLONASS+Galileo+COMPASS+IRNSS+QZSS



- J, JI Azija, Australija s oceanijom – maksimalni broj satelita

Global Navigation Satellite Systems (GNSS)

Globalni navigacijski satelitski sustavi

- **Galileo (trenutno 18 satelita u funkciji - FOC)**
  - 23 222 km, 1m, 1 cm (posebno)
  - EU, civilni sustav, u punoj funkciji 2020.??
  - 3 orbitalne ravnine (8 satelita – inklinacija u odnosu na ekvator 56 stupnjeva
  - Trenutno - 22 satelita (listopad 2018.) 4 – In Orbit Validation (IOV), 18 – Full Operatinal Capability (FOC)

GALILEO

European Global Navigation Satellite Systems Agency

Total satellites: 30

Satellites in orbit: 18 operational, 2 testing only, 2 unavailable, 2 retired, and 4 commissioning (10/2018)

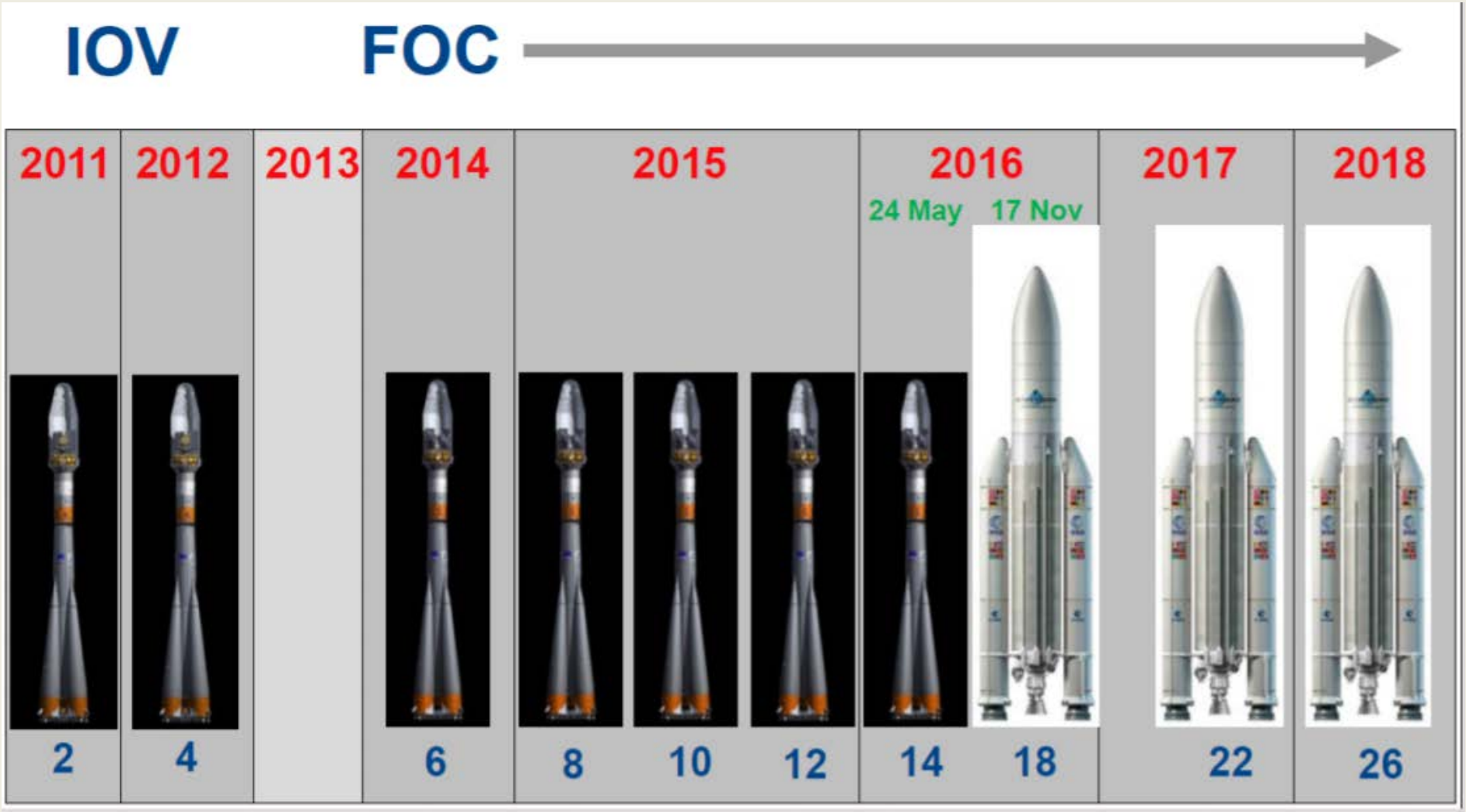
Status: Operational

Cost: €10bn

Operator(s): GSA, ESA

Coverage: Global

Orbital height: 23,222 km (14,429 mi)



- In Orbit Validation (IOV), Full Operatinal Capability (FOC)

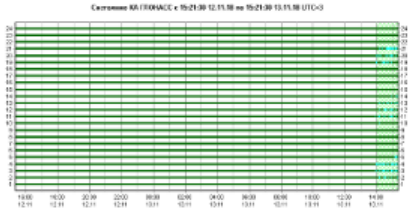
Galileo


Galileo is implemented in a step-wise approach
By 2020 Galileo will be:
★ fully deployed and recognised
★ adopted by the widest user communities
★ a civilian infrastructure delivering robust positioning and timing services with high degree of performances
Full Operational Capability
Full services, 30 satellites
2020
Initial Services Provision
Initial services for OS, SAR, PRS, and demonstrator for CS
2016
In-Orbit Validation
4 operational satellites and ground segment
2013
GIOVE A/B
2 test satellites
2005/2008
Galileo System Testbed v1
Validation of critical algorithms
2003
GALILEO
GIOVE
GALILEO
GSTB-V1

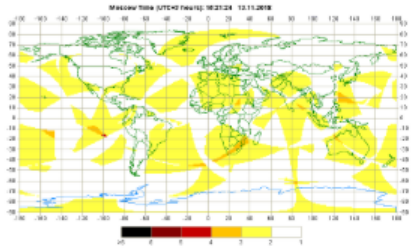
Galileo

https://youtu.be/1bjbwokRvws

SC OPERABILITY



INSTANT AVAILABILITY



EVALUATION OF GNSS CHARACTERISTICS

GLONASS NEWS

06.11.2018 According to GLONASS System Control Centre stopped all works with SC GLonass-M #734 (orbital slot № 5). The SC was removed from GLONASS constellation

21.09.2018 According to GLONASS System Control Centre, maintenance with SC Glonass-M #754 (orbital slot 18) successfully completed at 09:49(MT) 21.09.18, the SC is used for the intended purpose

19.09.2018 According to GLONASS System Control Centre, the SC Glonass-M #754 (orbital slot 18) set unusable from 08:28 (MT) 19.0918, planned commissioning 00:00 (MT) 21.09.18

SC GLONASS CURRENT POSITION, 15:21 (UTC+3) 13.11.2018

☑ orbital plane #1 ☑ orbital plane #2 ☑ orbital plane #3

GLONASS CONSTELLATION STATUS, 13.11.2018

Total satellites in constellation	26 SC
Operational	24 SC
In commissioning phase	1 SC
In maintenance	-
Under check by the Satellite Prime Contractor	-
Spares	-
In flight tests phase	1 SC

OFFICIAL INFORMATION OF THE GLONASS SCC

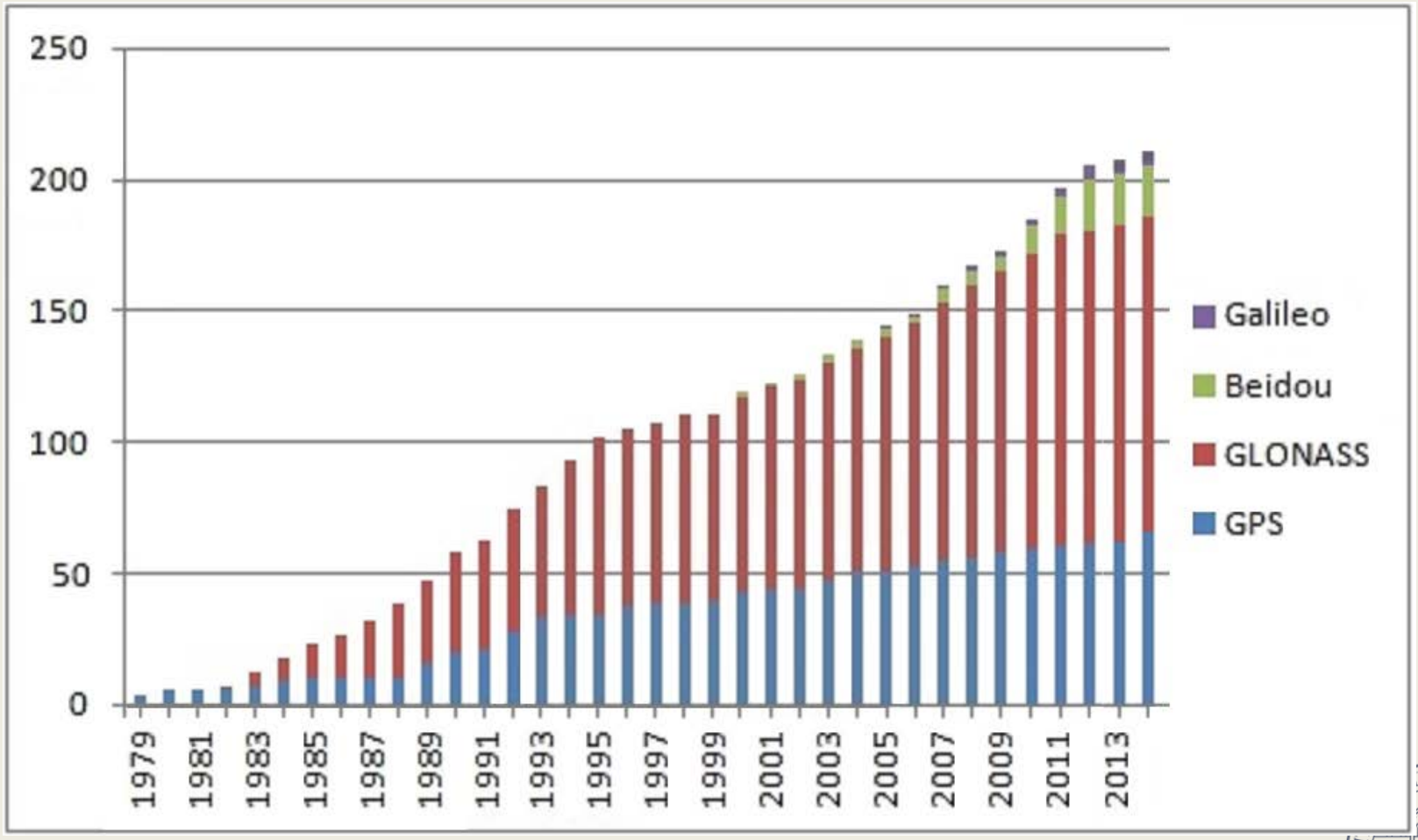
PRECISE EPHEMERIS GLONASS AND GPS

GLONASS AND GPS ALMANACS

GLONASS AND GPS BULLETINS

GNSS USER INFORMATION CENTERS

Broj lansiranih GNSS satelita 1978. – 2014.

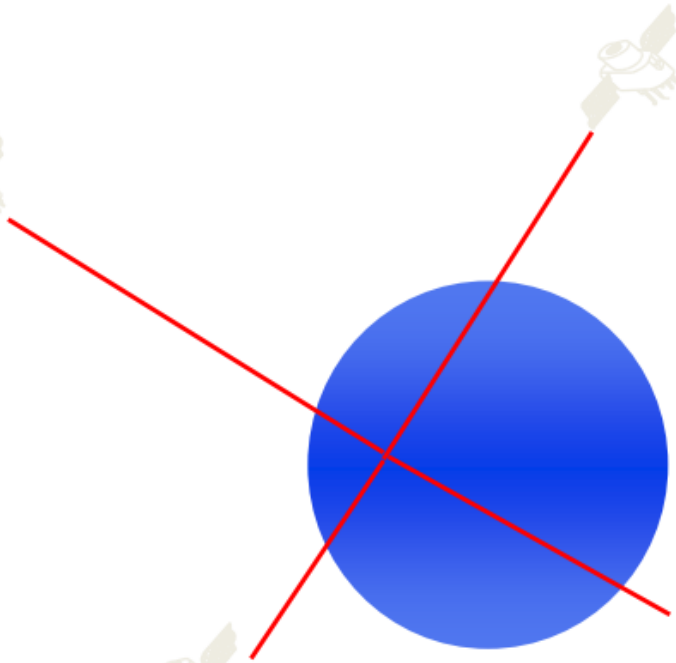


PDOP (Position Dilution Of Precision)

PDOP is the combination of both the Horizontal and Vertical components of position error caused by satellite geometry.

PDOP Values

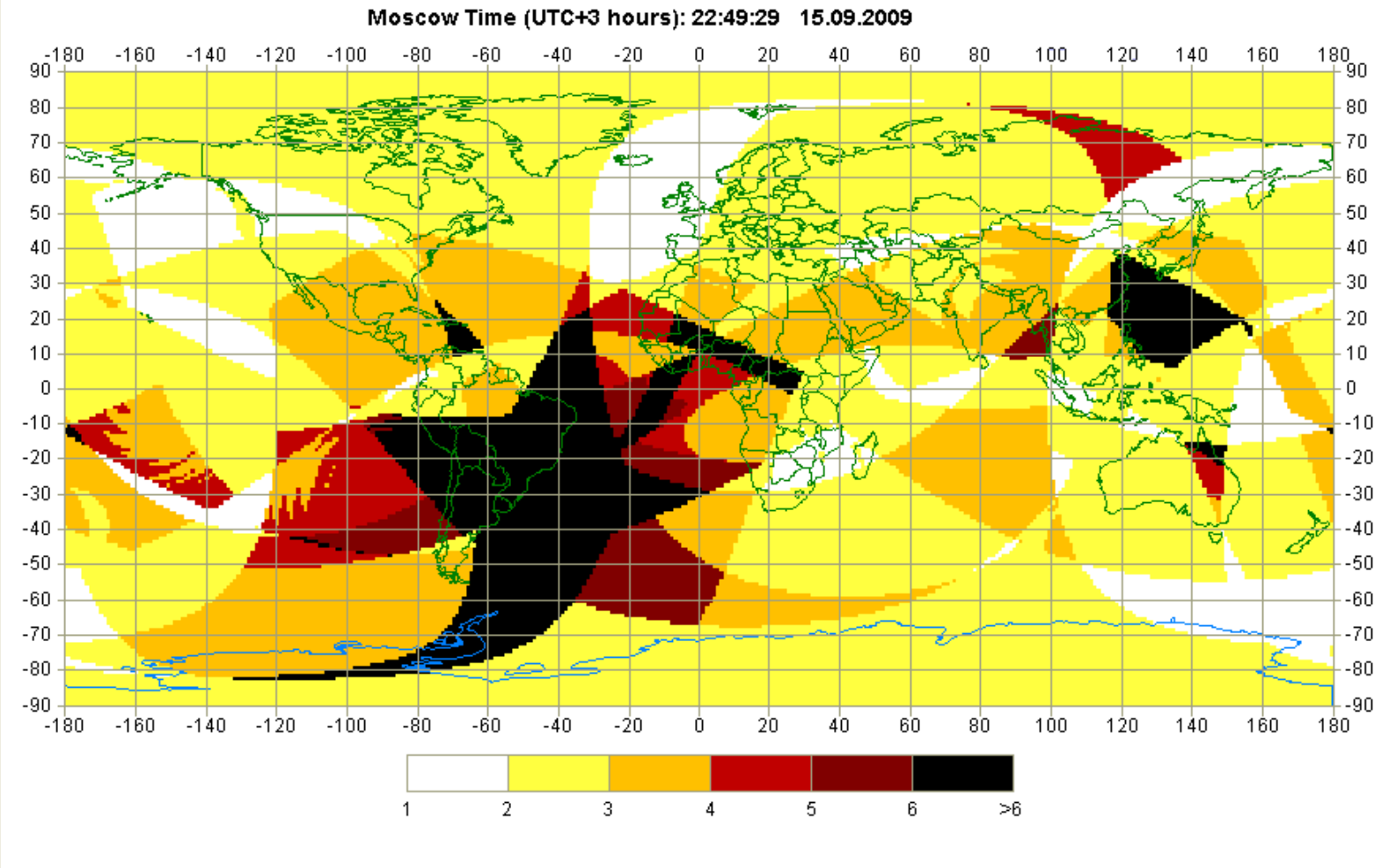
2-4 = Excellent
4-6 = Good
6-8 = Fair
8-10 = Poor
10-12 = Marginal
above 12 PDOP is too High Do Not Use



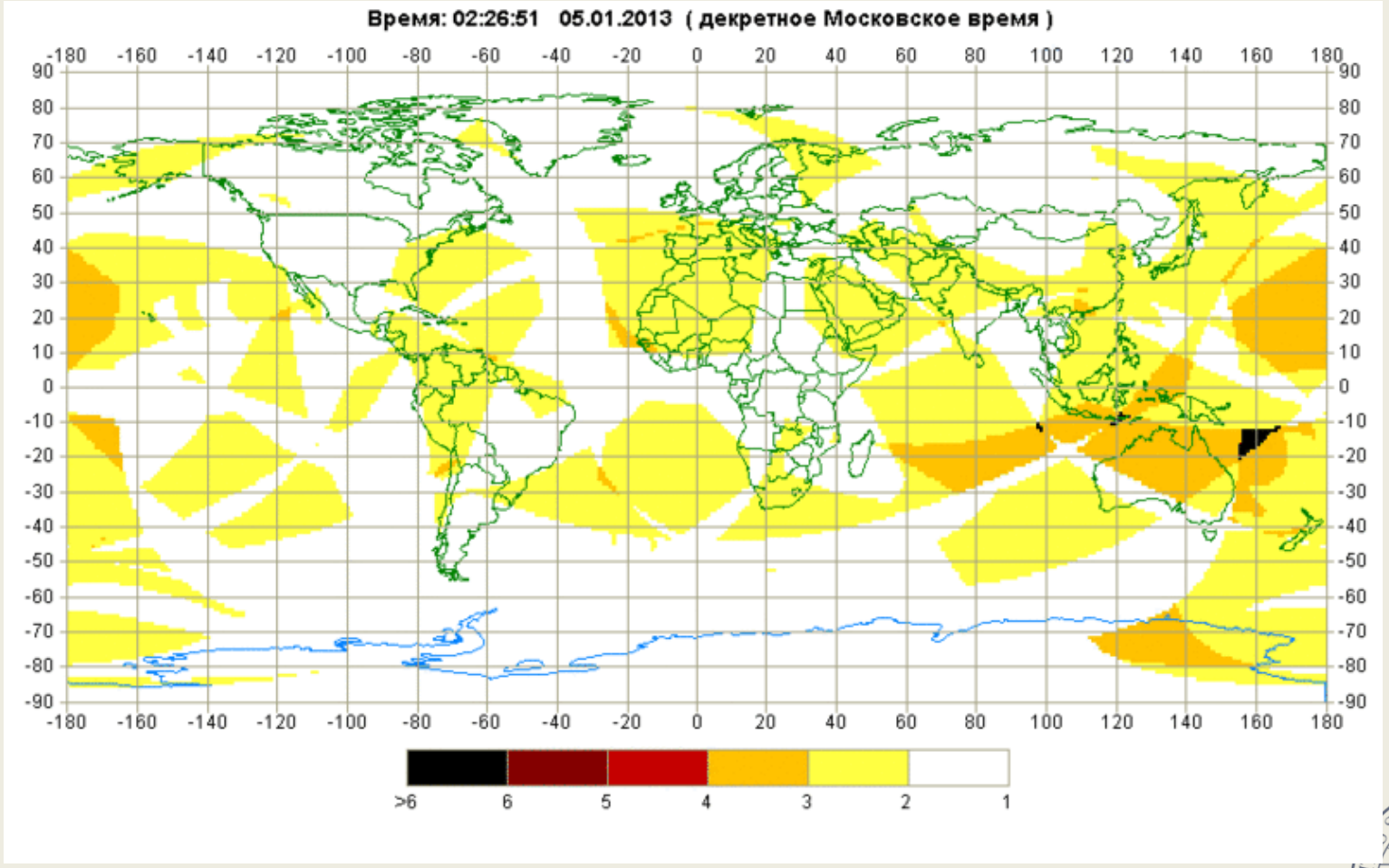

N
W
E
S


N
W
E
S

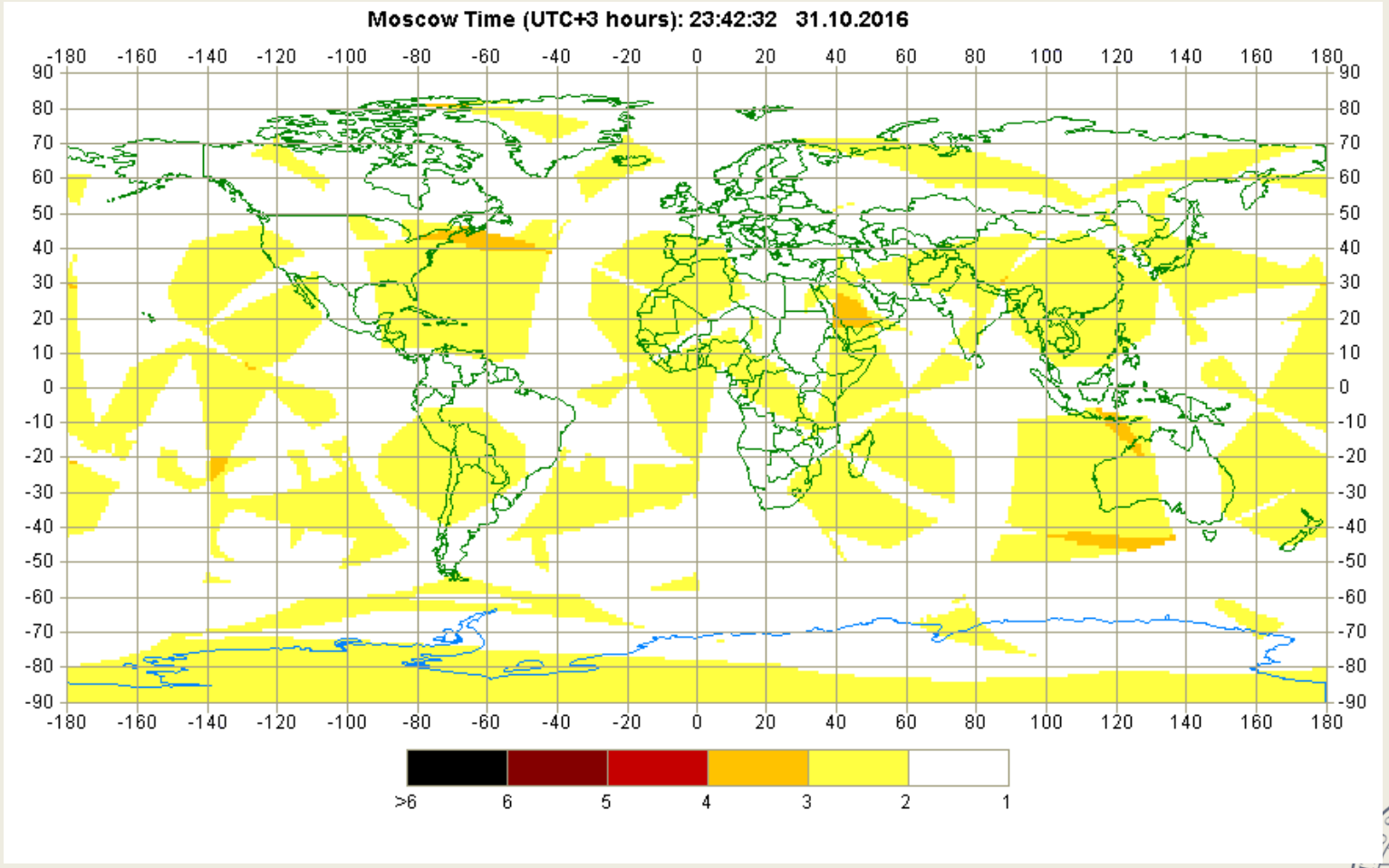
2009.


Moscow Time (UTC+3 hours): 22:49:29 15.09.2009
-180 -160 -140 -120 -100 -80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80 100 120 140 160 180
90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 -10 -20 -30 -40 -50 -60 -70 -80 -90
1 2 3 4 5 6 >6

2013.


Время: 02:26:51 05.01.2013 (декретное Московское время)
-180 -160 -140 -120 -100 -80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80 100 120 140 160 180
90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 -10 -20 -30 -40 -50 -60 -70 -80 -90
>6 6 5 4 3 2 1

Trenutne vrijednosti faktora pozicijske geometrije (PDOP – Position Dillution Of Precision) (kut ≥ 5°)



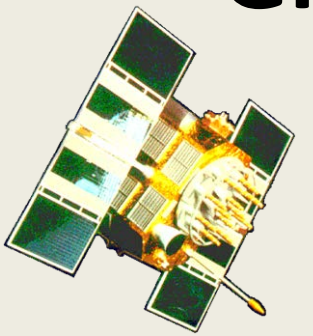
EGNOS

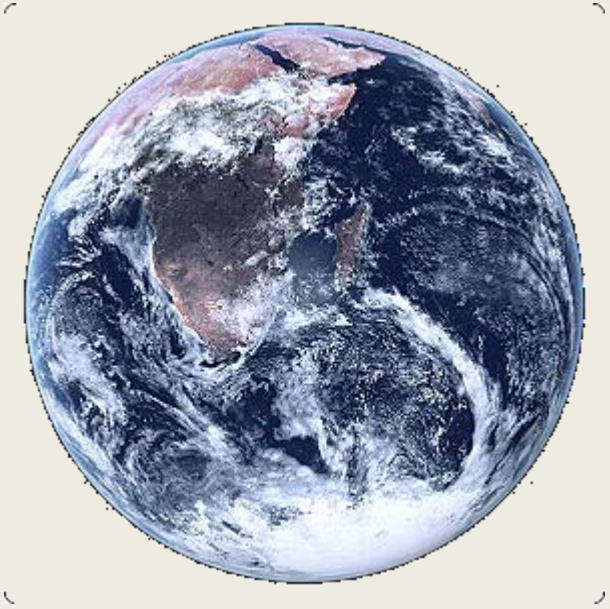
- https://youtu.be/WpQ6er_VjQY

GPS (potpuno u funkciji)

Global Positioning System

Globalni pozicijski sustav





GPS - osnove

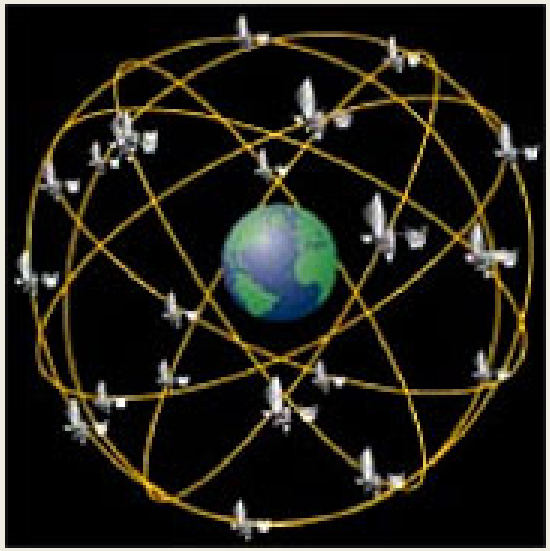
- Što je GPS?
- Kako funkcionira?

Što je GPS?

- **NAVSTAR GPS** (**NAV**igation **S**atellite **T**iming **A**nd **R**anging system)
- 24 satelita u orbiti oko Zemlje (Danas – 28 aktivnih satelita – 4 rezervna aktivna satelita)
- Pozicioniranje, navigacija i vrijeme
- Radi neprekidno 24 h/dnevno, u svim vremenskim uvjetima
- Može se primijeniti svugdje gdje je potrebna informacija o lokaciji
- GPS signal putuje do Zemlje – 0,067 sekundi
- Signali male snage (20 do 50 W)

Segmenti GPS-a

Svemirski



Korisnički

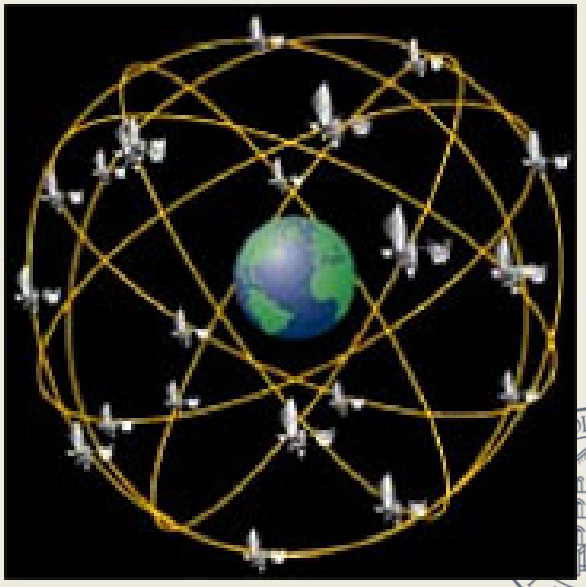
Kontrolni

Svemirski segment: GPS Sateliti

- Napajanje
  - Solarna energija
  - Nicad baterije
- Vrijeme
  - 4 atomska sata

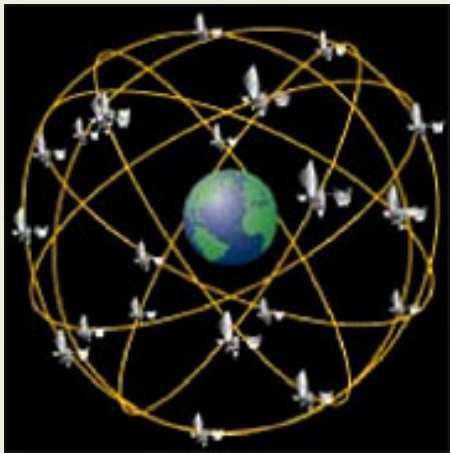
Sateliti

- 24 satelita u 6 orbitalnih ravnina s inklinacijom u odnosu na ekvator od 55° (4 satelita u svakoj ravnini).
- Sateliti kruže na visini oko 20,200 km. Satelit obiđe Zemlju u 12 sati.



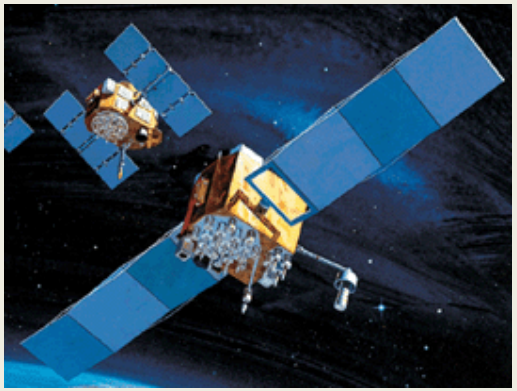
Sateliti

- Puna konstelacija satelita omogućava globalnu prekrivenost s 4 do 8 satelita, koji se mogu simultano opažati pri elevaciji iznad horizonta većoj od 15°
- Ukoliko se elevacijska maska reducira na 10° ili čak 5° moguće je povremeno opažati i do 10 odnosno 12 satelita.



Satelitski signali

- GPS sateliti emitiraju poruke putem radio signala na dvije frekvencije
  - L1: 1575.42 Mhz (C/A i P/Y kod)
  - L2: 1227.60 Mhz (P/Y kod)
- Na noseće valove modulirani su različiti kodovi, tzv. PRN kodovi (C/A, P) sa svrhom mjerenja udaljenosti iz mjerenja vremena puta signala
- Dvije razine usluge
  - Standard Positioning Service (SPS)
  - Precise Positioning Service (PPS)



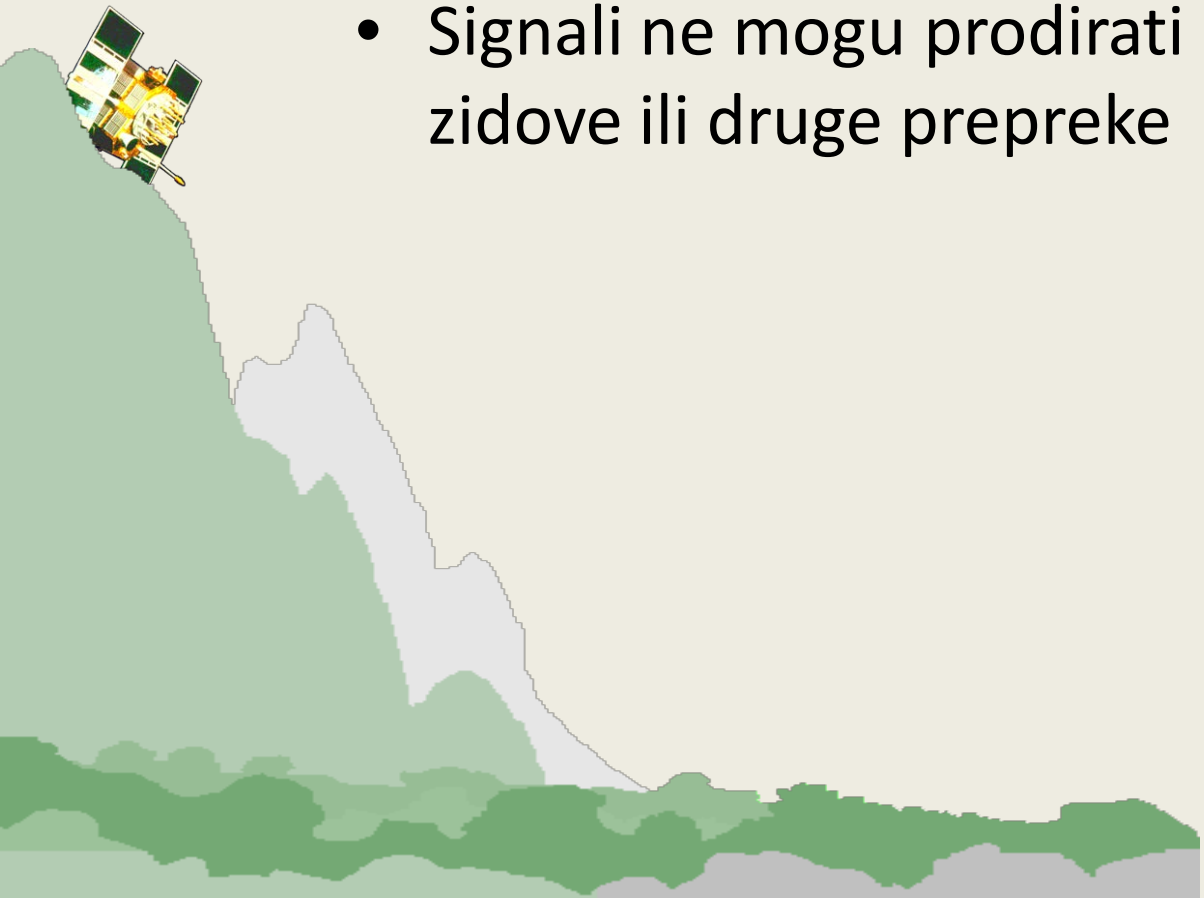
C/A – Coarse/Acqusition code (grubo stjecanje) SPS

P/Y – Precision code (Precizni kod) PPS

- Selective availability (selektivna dostupnost – do 1. lipnja 2000.)

Satelitski signali

- Satelitski signali zahtijevaju direktnu vezu s GPS prijemnicima
- Signali ne mogu prodirati kroz vodu, tlo, zidove ili druge prepreke



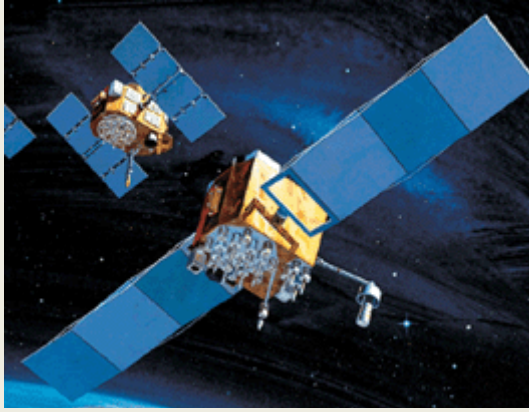
Pogreške

- Pogreška sata na satelitima (vrlo mala)
- Pogreška sata u GPS prijamniku (4 satelita)
- Pogreška satelitskih orbita
- Efekt ionosfere (ako se ne uzme u obzir – pogreške veće od 10 m) – dvije frekvencije
- Utjecaj troposfere (vodena para)
- Višestruka putanja
- Selektivna dostupnost
- Diferencijalni mod – dva uređaja na bližoj udaljenosti, za jedan znamo točnu lokaciju

Kontrolni segment: kontrolne stanice – glavna u Colorado Springsu

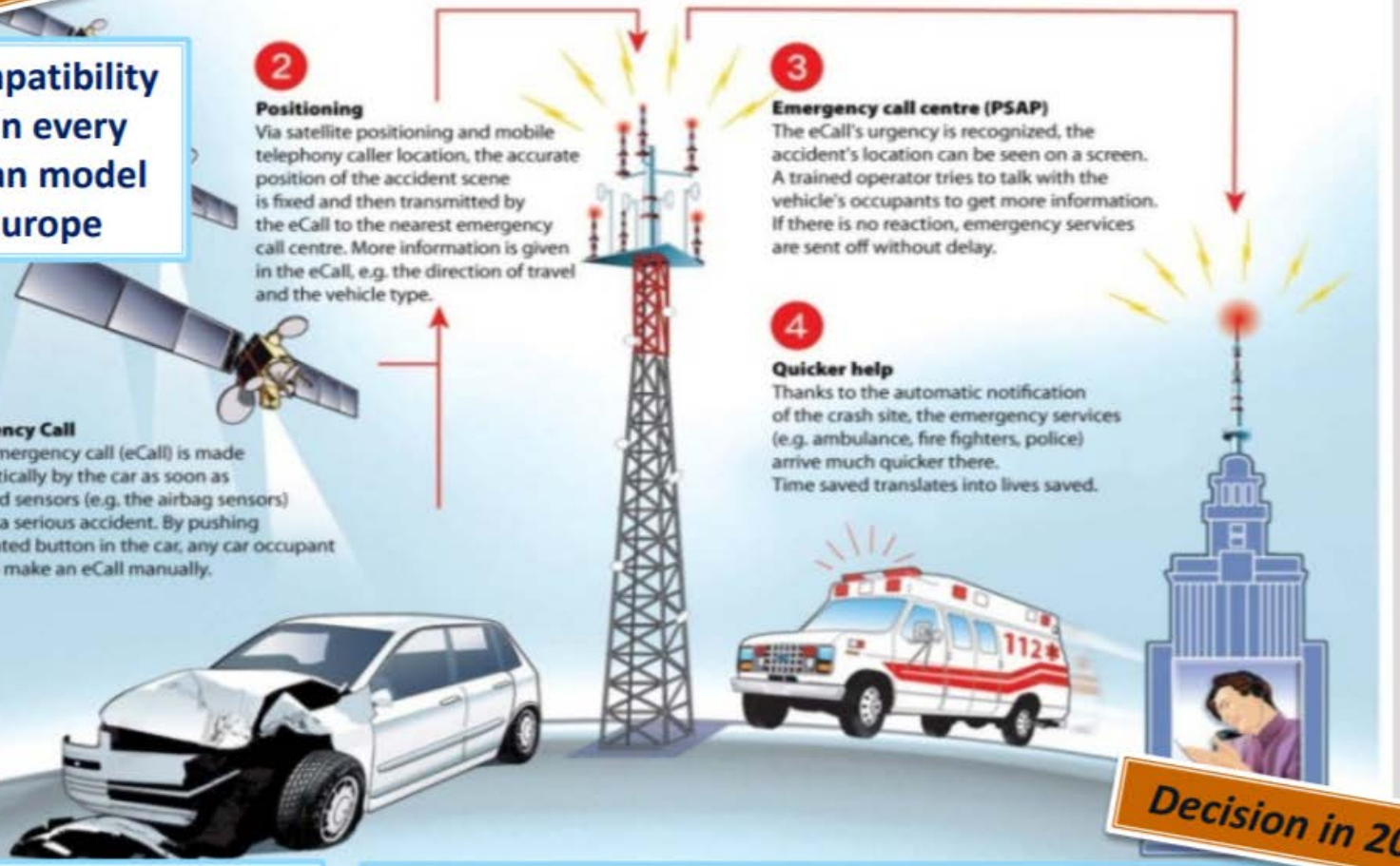
→ GALILEO GROUND SEGMENT OVERVIEW

Korisnički segment



From April 2018

Galileo compatibility required in every new car/van model sold in Europe



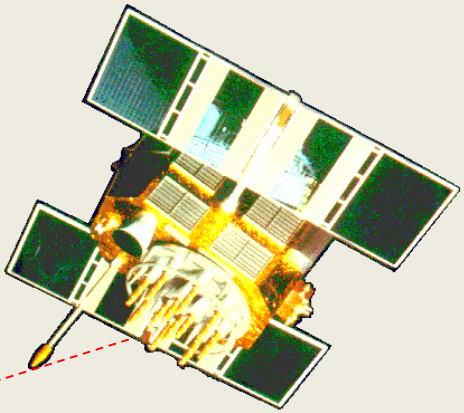
Today

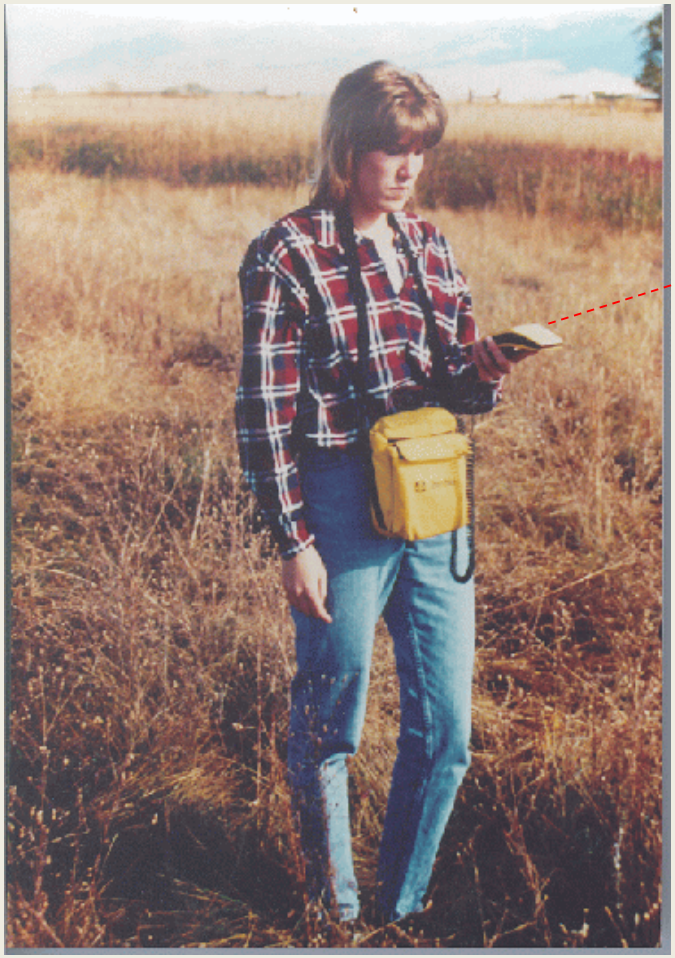
13 Millions of light vehicles sold every year in EU

Decision in 2017

United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) working in a eCall harmonised regulation

Kako radi GPS?
Izračunava poziciju



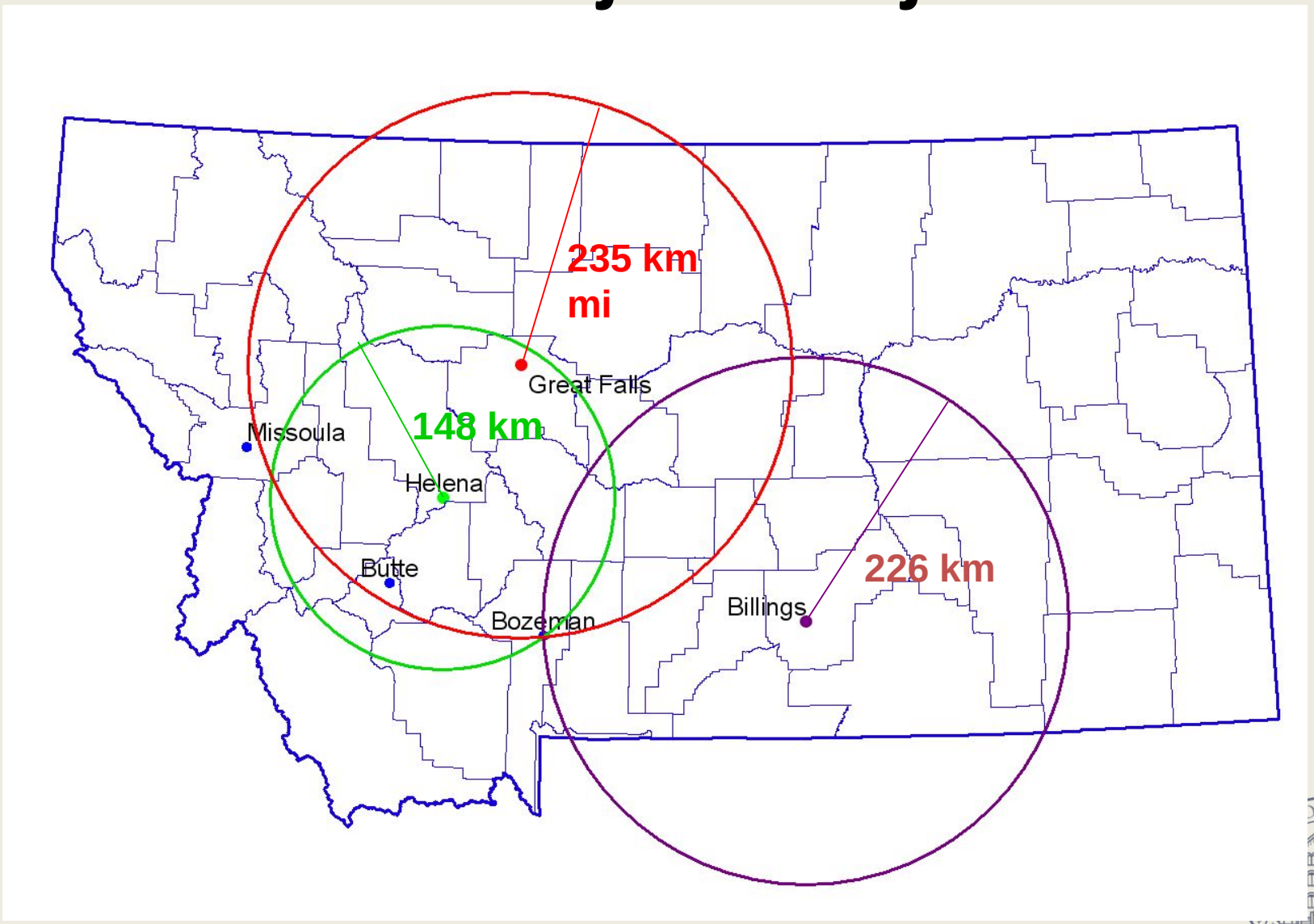


- GPS prijemnik izračunava svoju poziciju mjereći udaljenost do satelita
- Kako?
- Signal sa satelita sadrži podatke o orbiti i vremenu
- GPS prijemnik na temelju vremena putovanja signala izračunava udaljenost GPS prijemnik-satelit

Izračunavanje udaljenosti do satelita

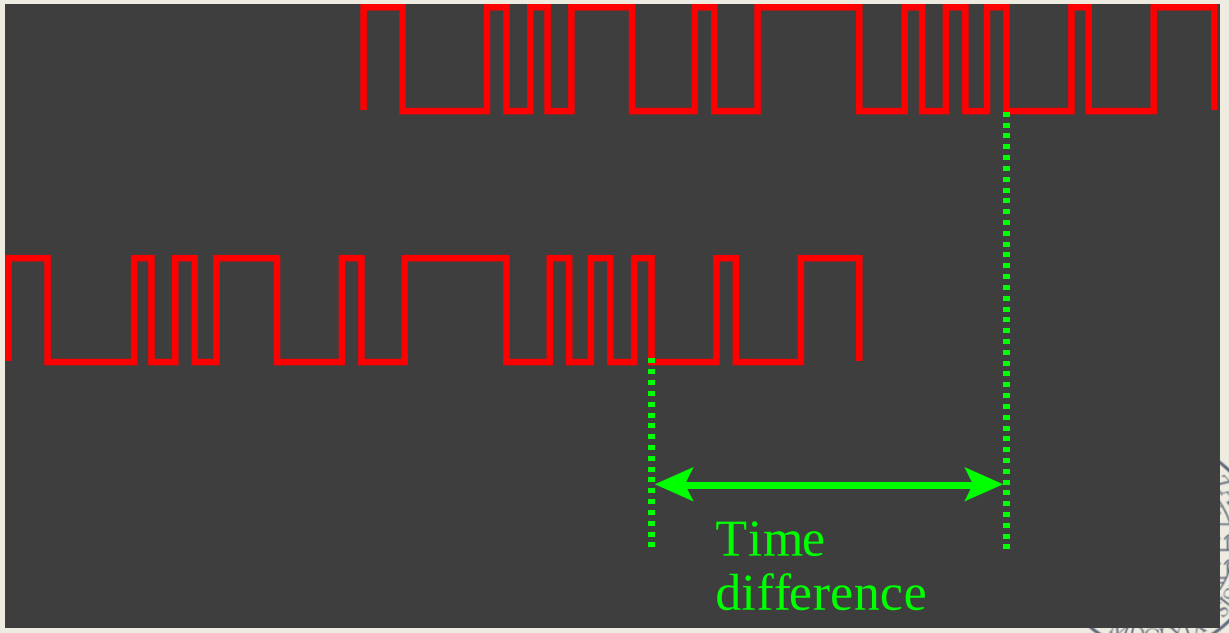
- 1. Mjerenje vremena koje je potrebno da signal prijeđe put od satelita do prijemnika
- 2. Brzina svjetlosti (300 000 km/h) x vrijeme putovanja = udaljenost
- Potrebno je izmjeriti udaljenost do 4 satelita kako bi se dobila 3-D pozicija (geog. širina, dužina i visina)

Izračunavanje 3 udaljenosti

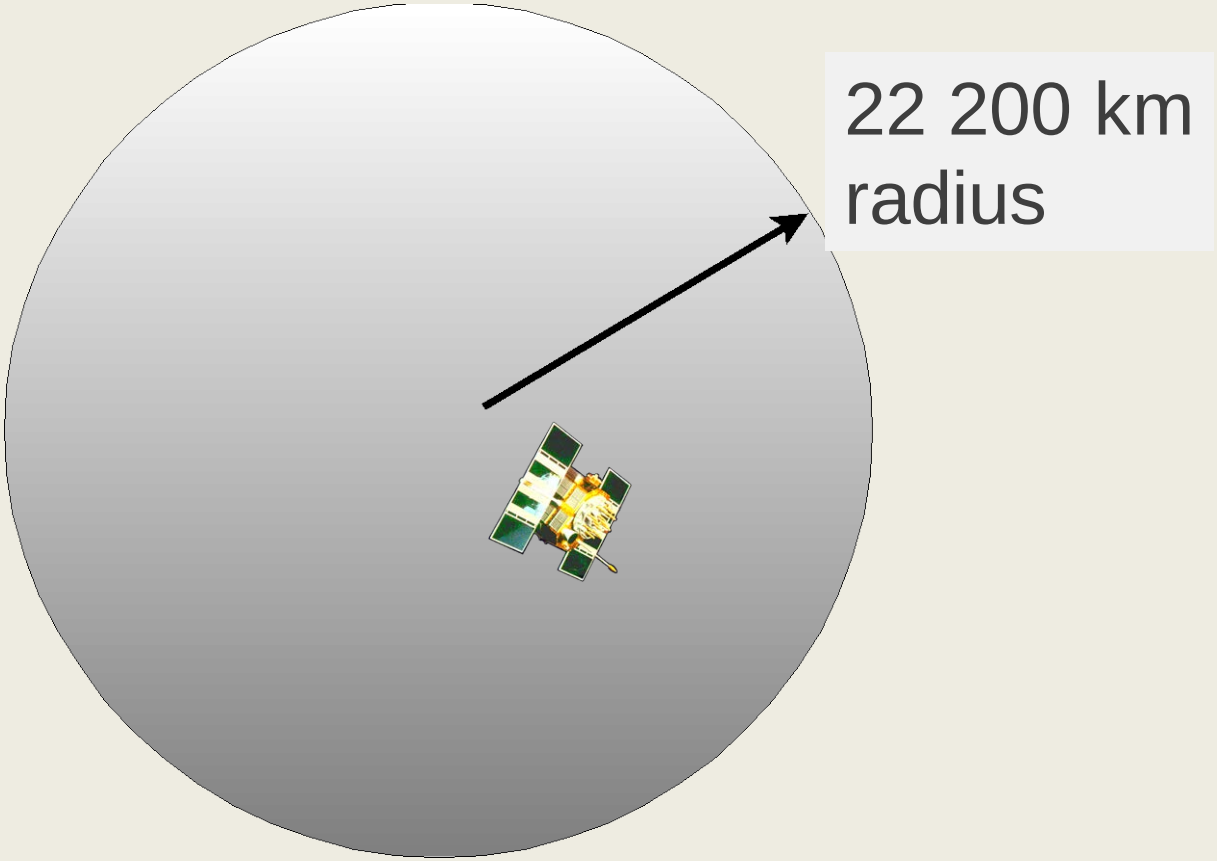


Mjerenje vremena putovanja satelitskih signala

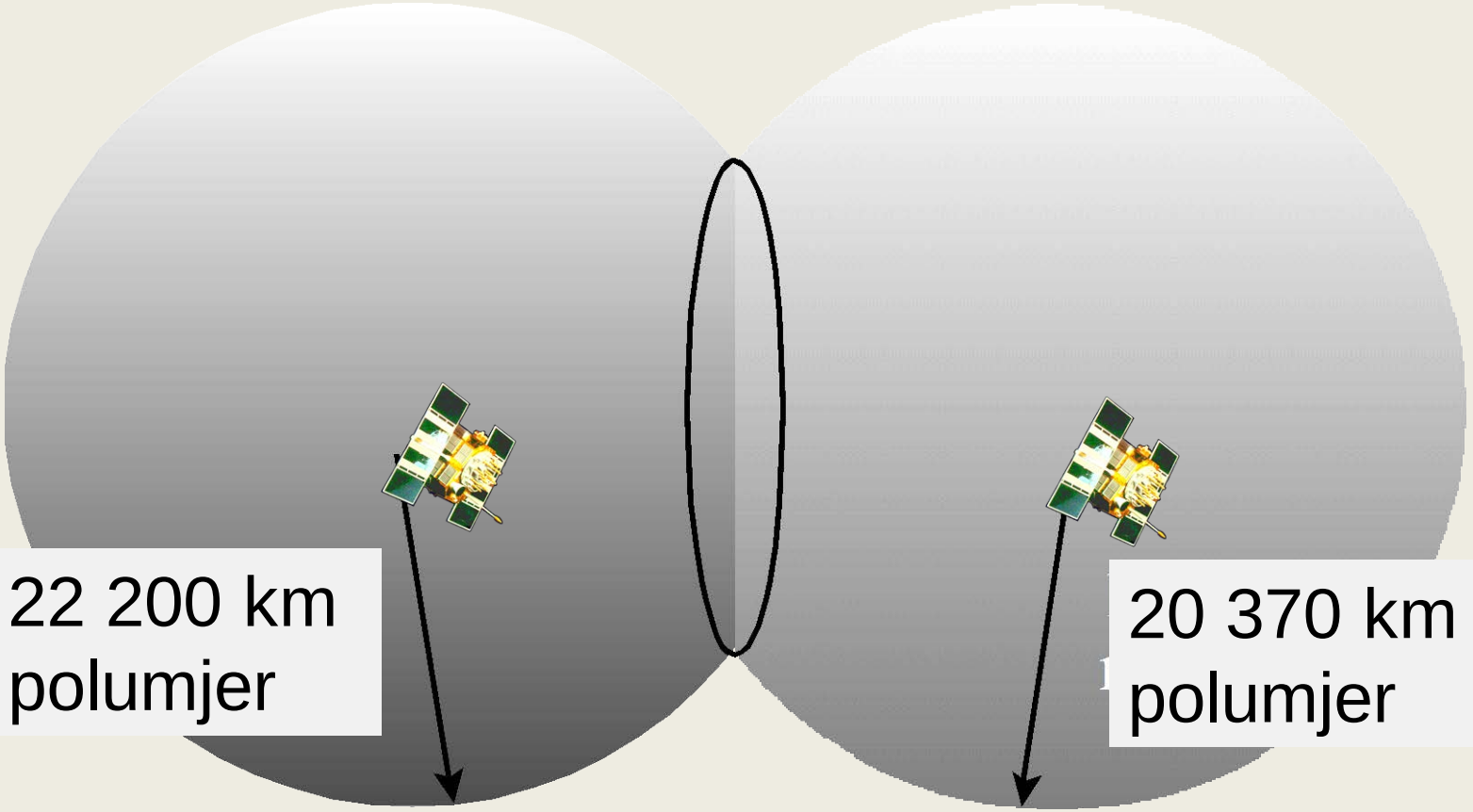
- *Zna li se točno vrijeme kada je signal napustio satelit?*
- *Sinkronizirani kodovi*



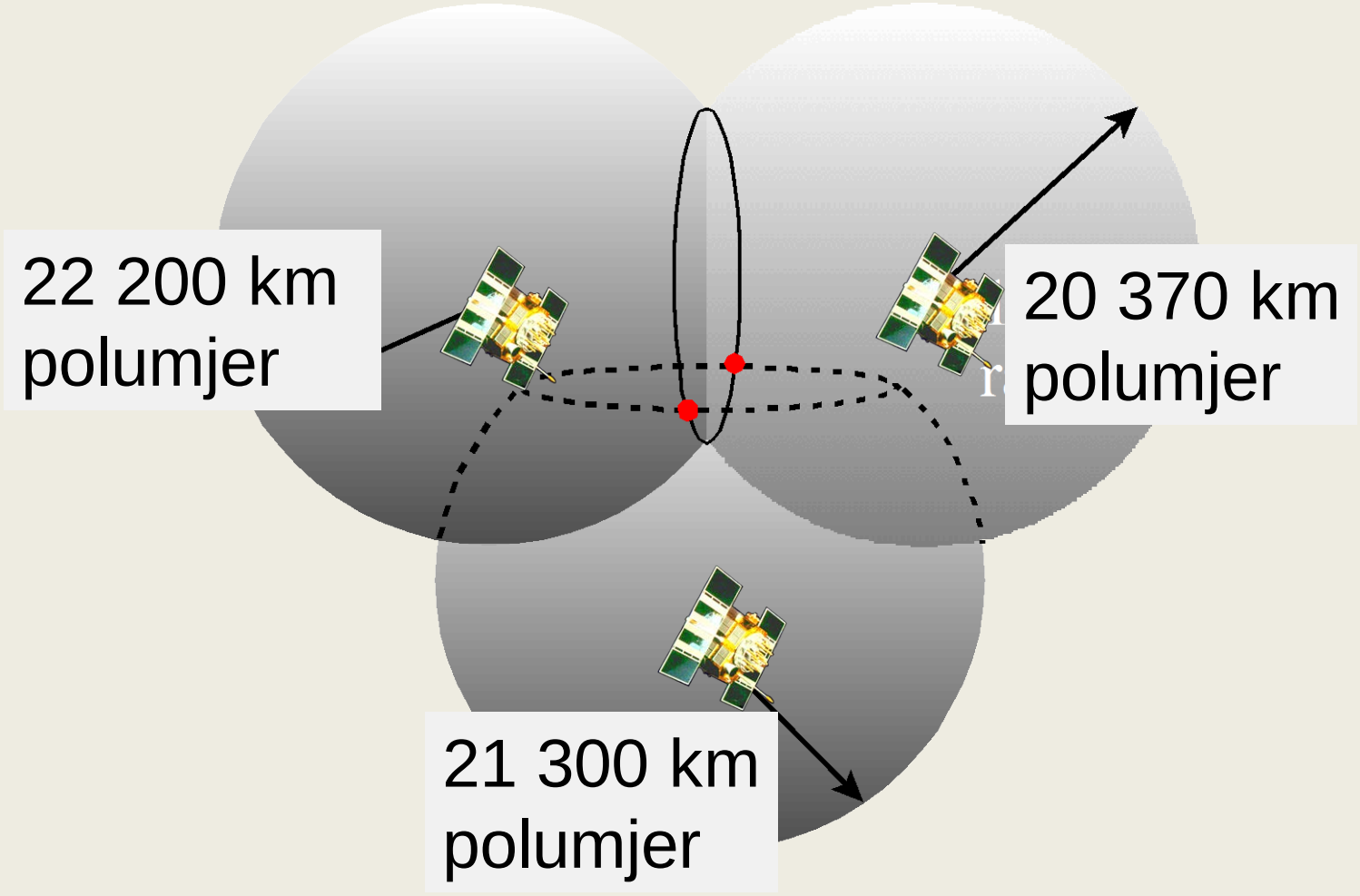
Jedna udaljenost – naš položaj može biti bilo gdje na površini sfere
r = 22 200 km



Druga udaljenost – smješta našu lokaciju na presjecište dvaju sfera - kružnicu

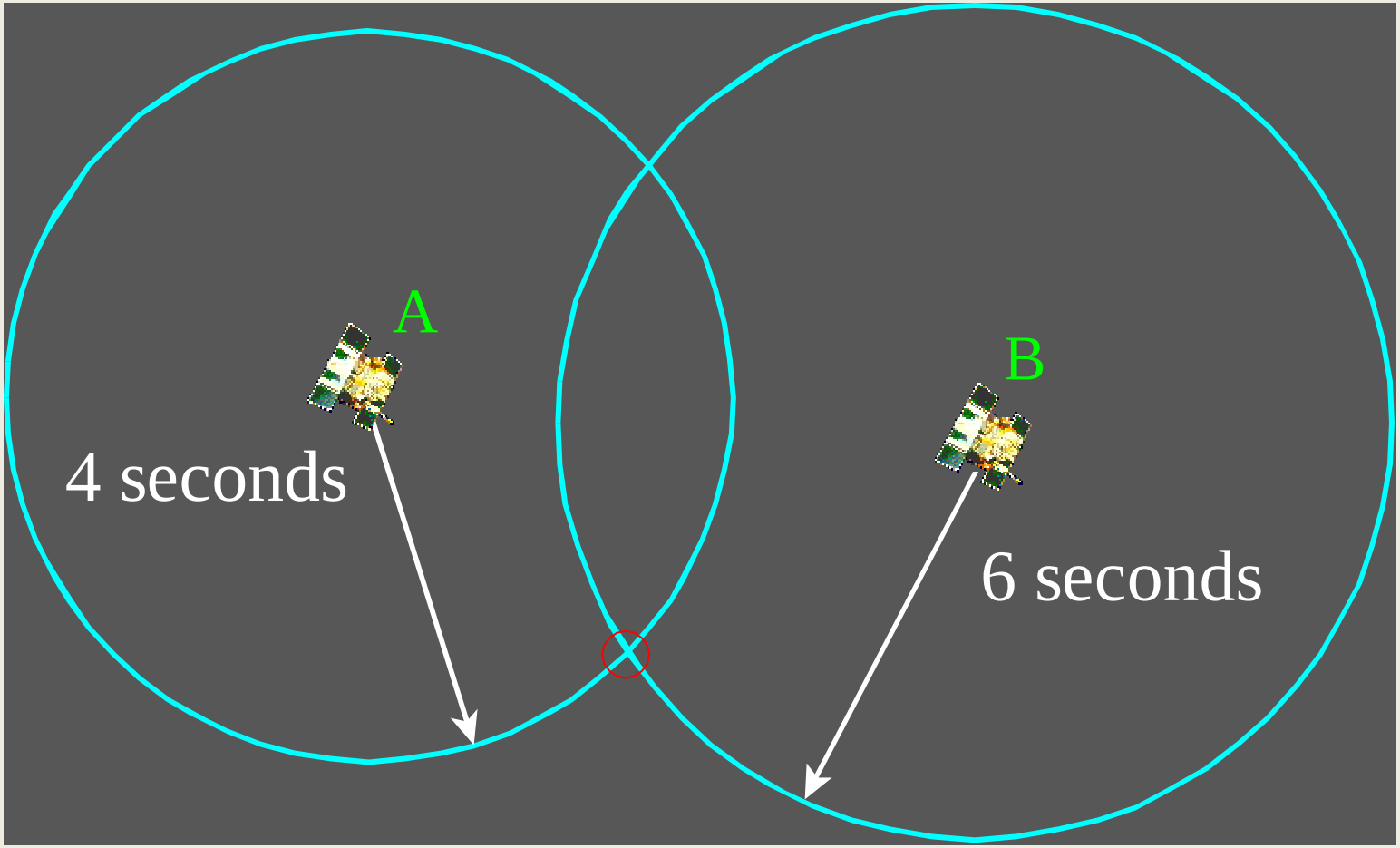


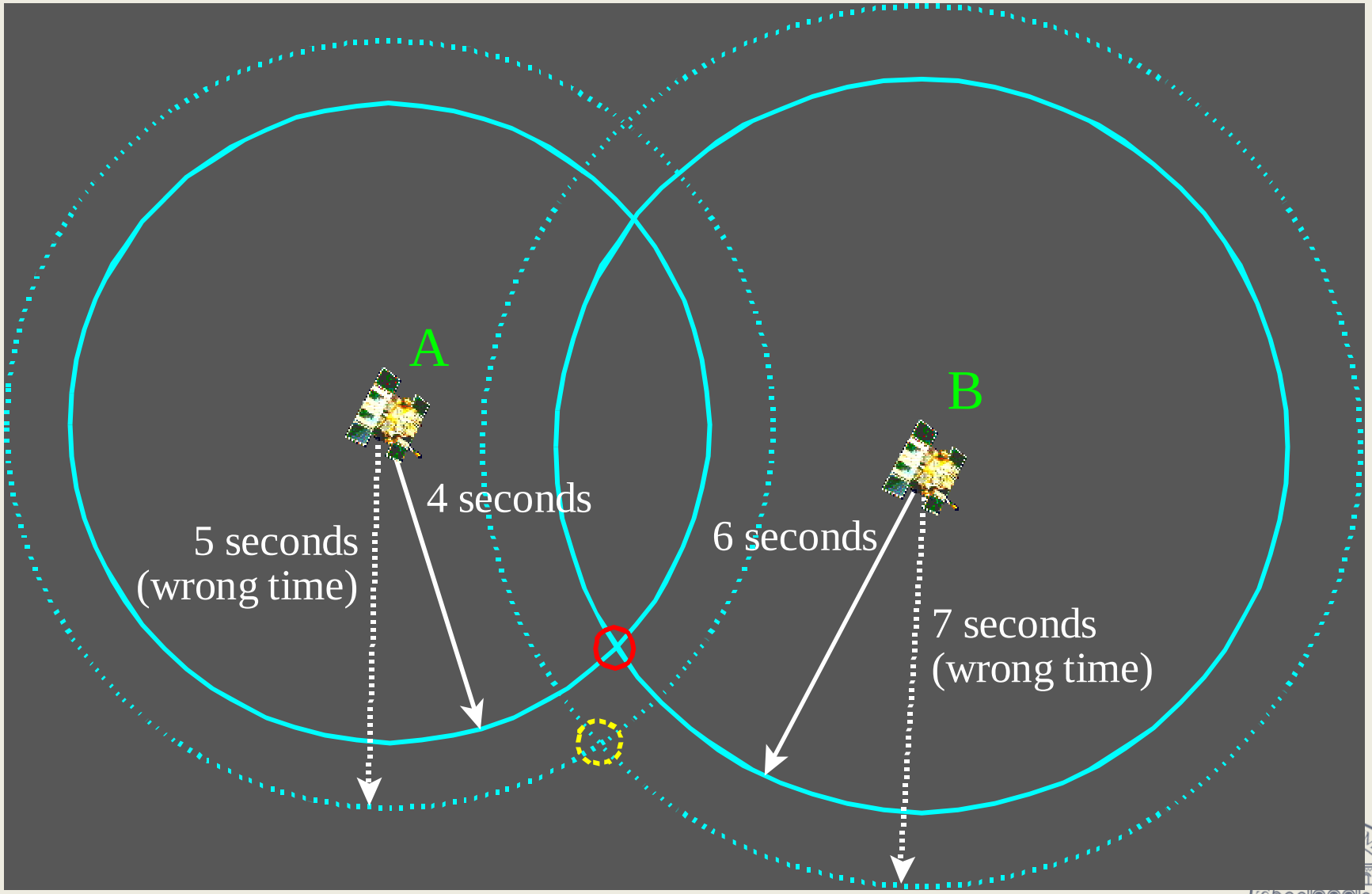
Treća udaljenost – naš položaj sužava na dvije točke

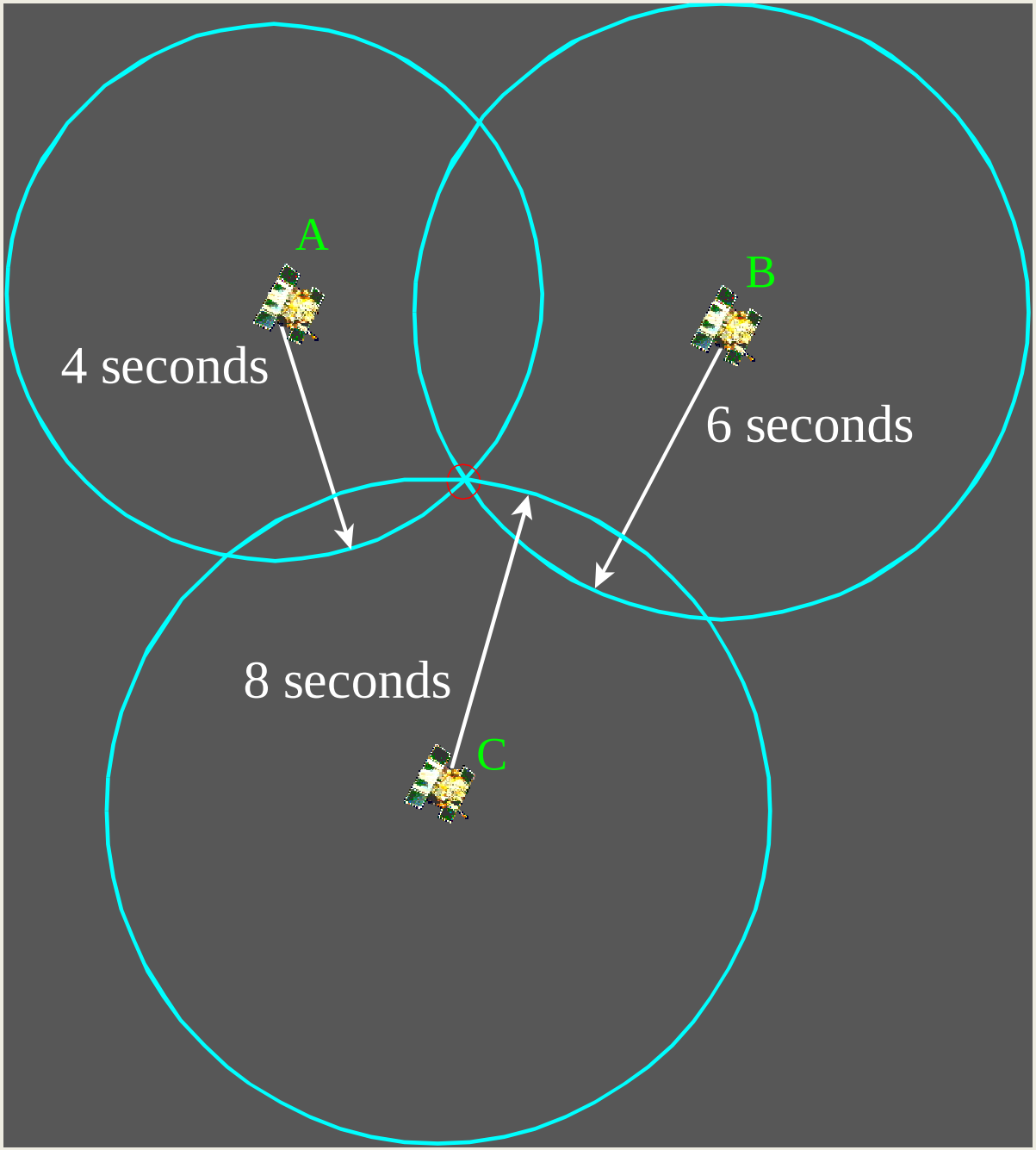


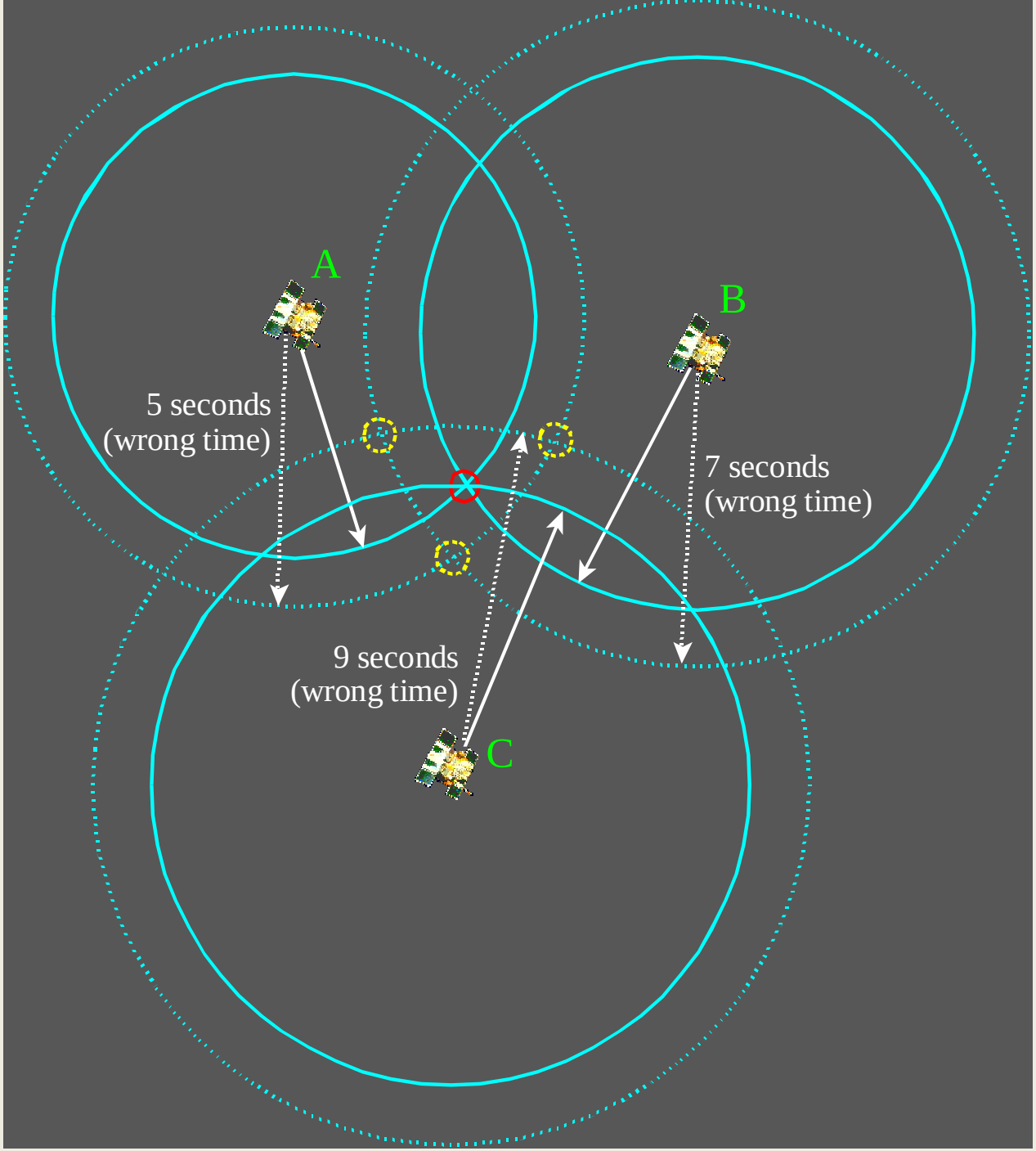
Korekcija vremena

- Signali s tri satelita – omogućuju određivanje našeg položaja
- Četvrto mjerenje je potrebno zbog korekcije (razlika između satelitskih satova i sata u GPS prijamniku)
  - Sateliti – vrlo točni atomski satovi
  - GPS prijamnici – kvarcni satovi


A
B
4 seconds
6 seconds


A
B
4 seconds
5 seconds
(wrong time)
6 seconds
7 seconds
(wrong time)


A
B
4 seconds
6 seconds
C
8 seconds
C


A
B
C
5 seconds
(wrong time)
7 seconds
(wrong time)
9 seconds
(wrong time)

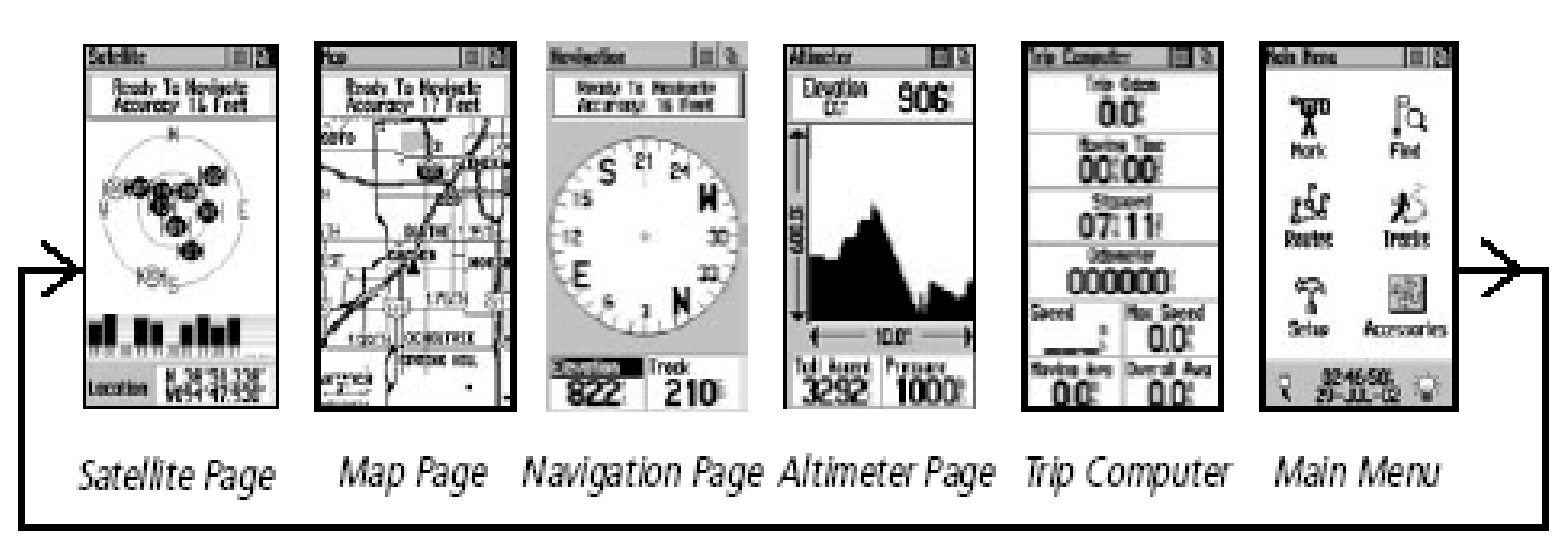
Što nije u redu na ovoj slici?

Što nije u redu na ovoj slici?

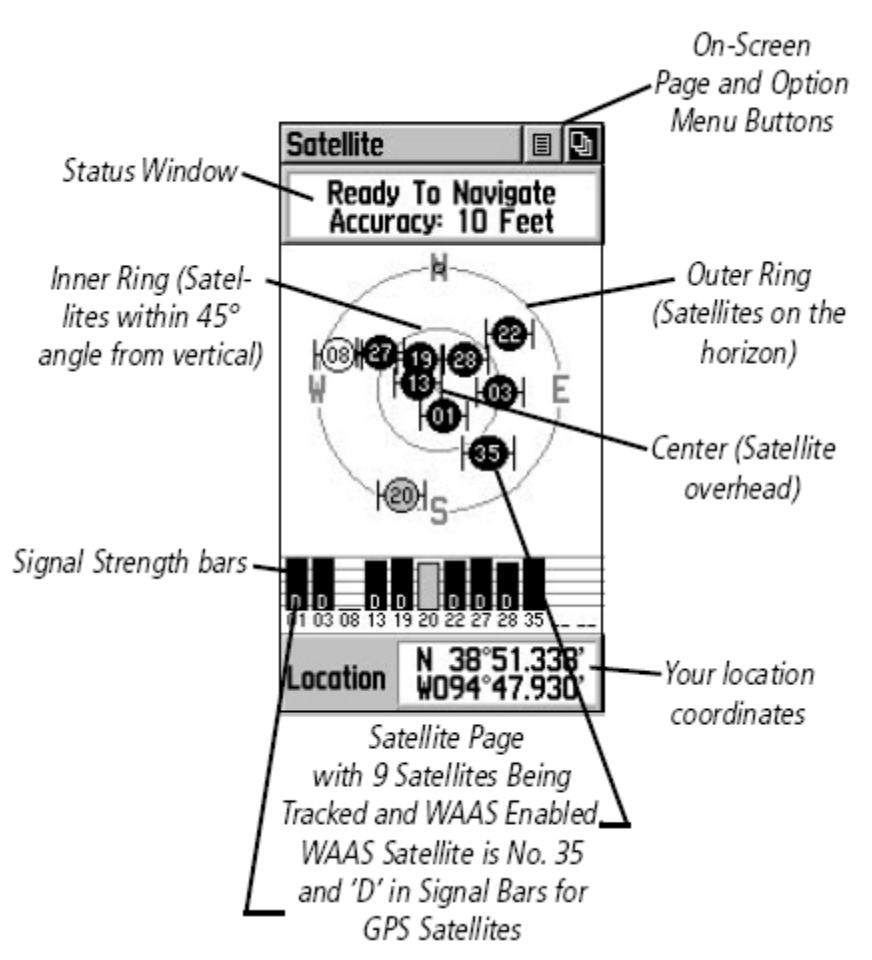
Ručni GPS uređaj (Garmin)

- Model eTrex-Vista

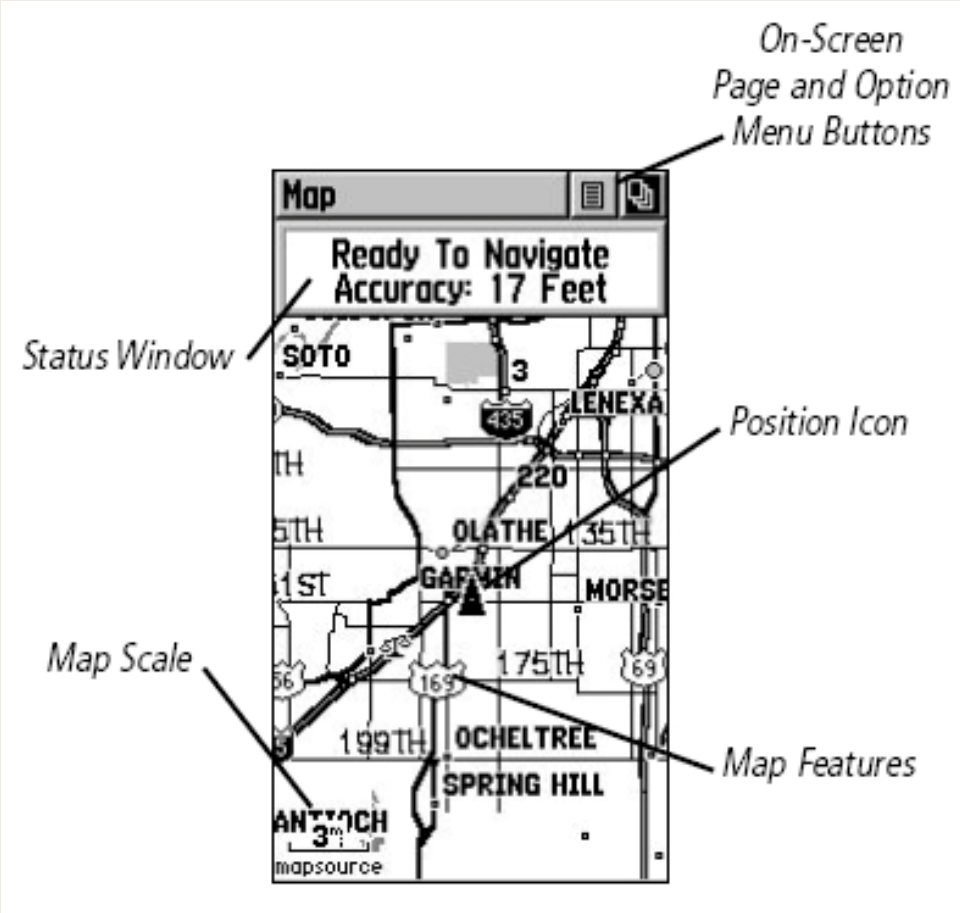
Osnovni izbornici



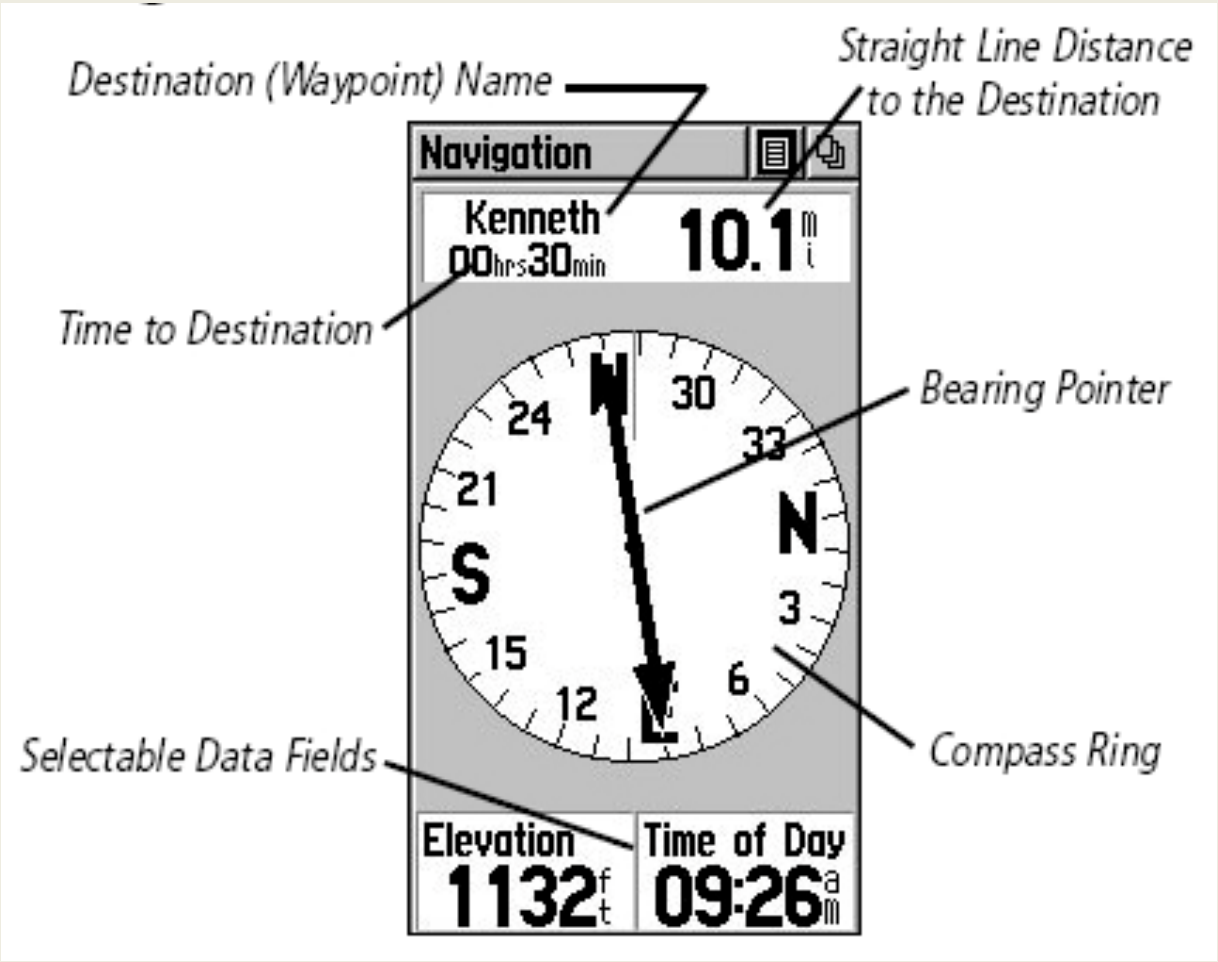
Izbornik - Sateliti



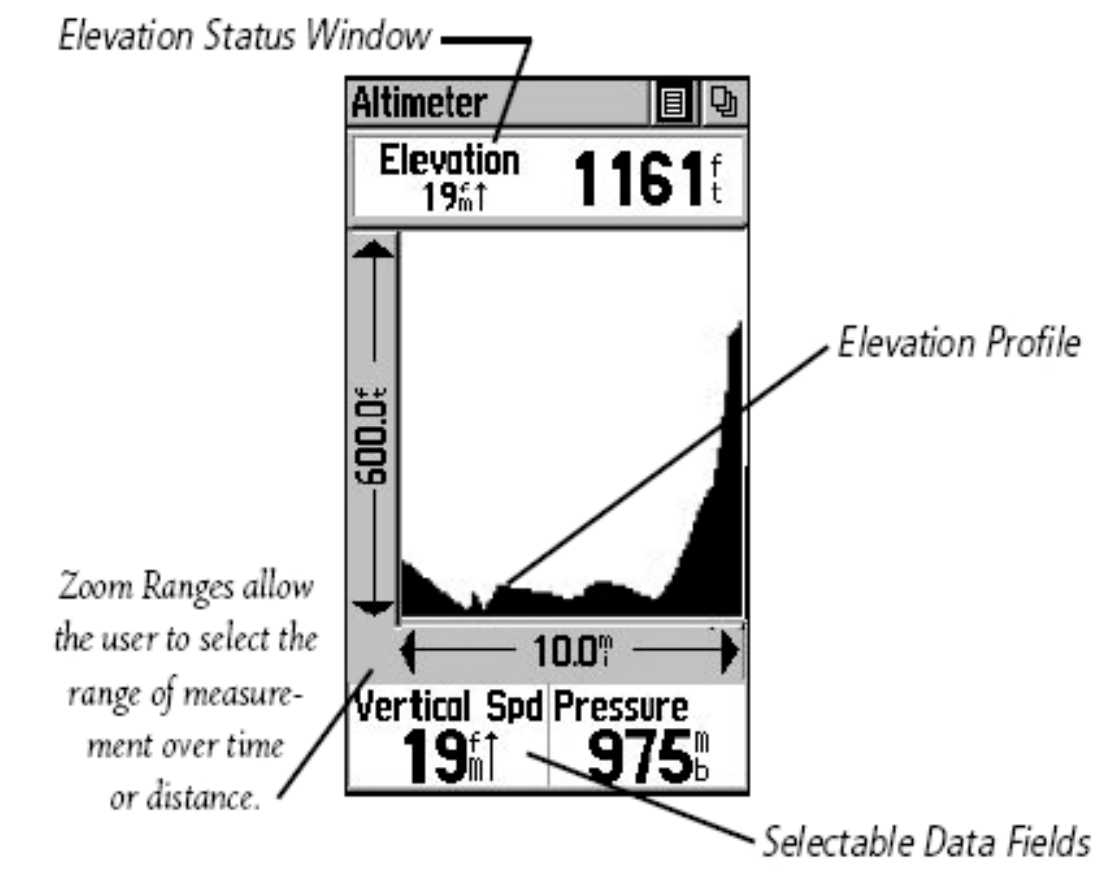
Izbornik - Karta



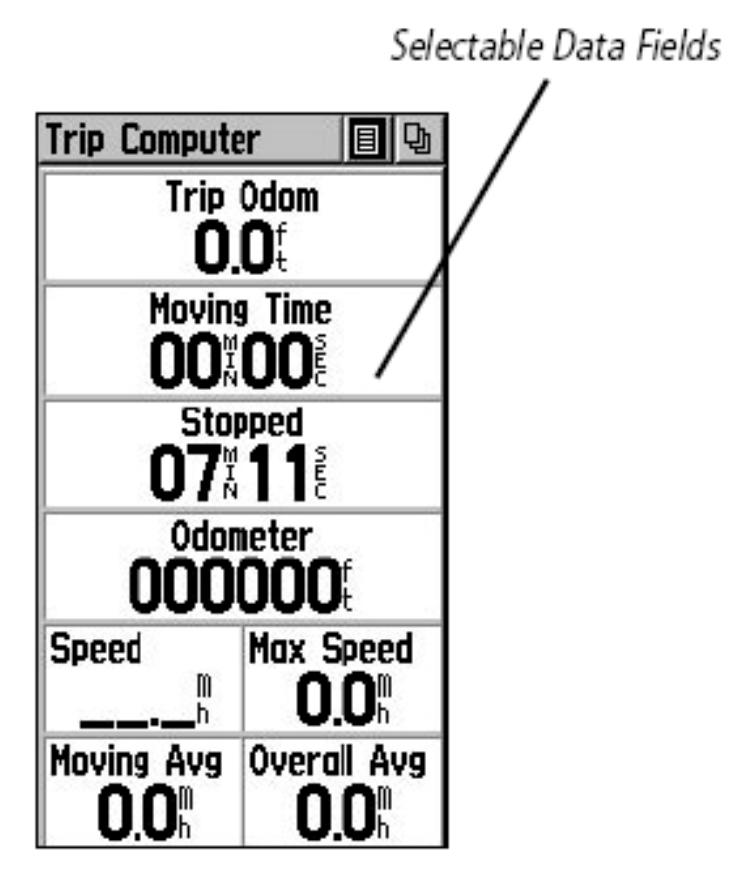
Izbornik - Kompas



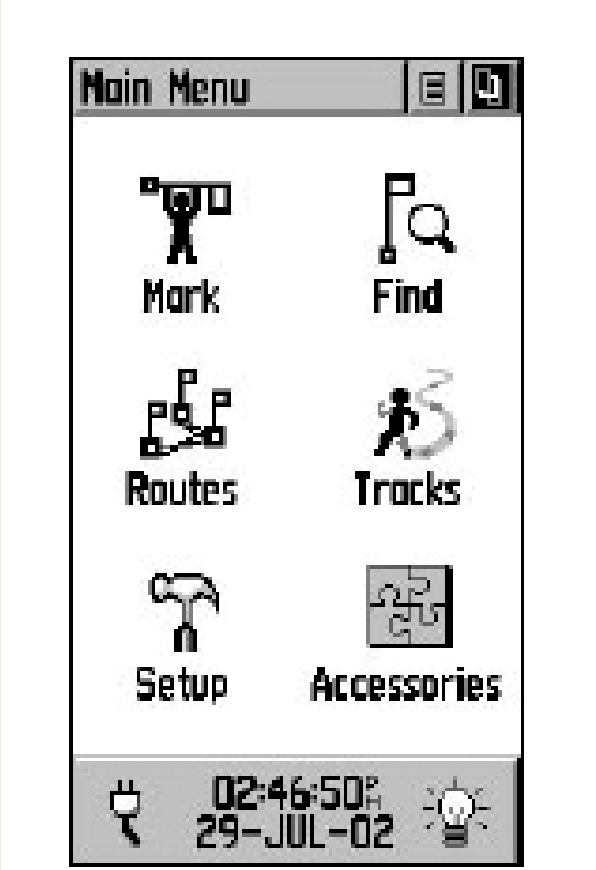
Izbornik - Altimetar



Izbornik – putno računalo



Glavni izbornik



Country of origin	European Union
Operator(s)	GSA, ESA
Type	Civilian, commercial
Status	In development
Coverage	Global
Precision	1 metre (public) 1 cm (encrypted)
Constellation size	
Total satellites	30
Satellites in orbit	10 operational + 2 in Early Orbit Phase (December 2015)
First launch	2011
Orbital characteristics	
Regime(s)	3x MEO planes
Orbital height	23,222 km (14,429 mi)
Other details	
Cost	€5 billion

Total satellites: 30

Satellites in orbit: 18 operational, 2 testing only, 2 unavailable, 2 retired, and 4 commissioning (10/2018)

Status: Operational

Cost: €10bn

Operator(s): GSA, ESA

Coverage: Global

Orbital height: 23,222 km (14,429 mi)