



# MREŽE GNSS PERMANENTNIH STANICA - KONCEPTI

Prof. dr Vladimir Bulatović  
Faklutet tehničkih nauka, Novi Sad  
GeoSolutions Beograd



# Sadržaj

- Metode preciznog pozicioniranja
- Globalne i regionalne mreže GNSS permanentnih stanica - definisanje koordinatnog sistema mreže
- Standardi
- Servisi
- Koncepti
- Oblasti primene



# Metode pozicioniranja

- Funkcionalni model kodnih pseudodužina

$$P_{r,i}^s = \rho_r^s + c\delta_{t_r} - c\delta_{t_s} + I_{r,i}^s + T_r + \varepsilon_P$$

- Funkcionalni model faznih pseudodužina

$$L_{r,i}^s = \rho_r^s + c\delta_{t_r} - c\delta_{t_s} + I_{r,i}^s + T_r + \lambda(\phi_{0,r,i}^s - \phi_{0,i}^s + N_{r,i}^s) + \varepsilon_L$$



# Apsolutno pozicioniranje

- Vektor merenih veličina

$$l = [P_r^{s,1}, P_r^{s,2}, \dots, P_r^{s,n}]^T$$

- Vektor nepoznatih parametara

$$x = [\vec{r}_r, -c\delta_{t_r}]^T$$

- Jednačine popravaka

$$l + v = L(\vec{r}_r, c\delta_{t_r}) = \rho_r^s + c\delta_{t_r} - c\delta_{t_s} + I_{r,i}^s + T_r + \varepsilon_P$$

- Geometrijsko rastojanje

$$\rho_r^s = \sqrt{(x^s - x_r)^2 + (y^s - y_r)^2 + (z^s - z_r)^2} + \frac{\omega_e}{c}(x^s y_r - y^s x_r)$$



# Relativno pozicioniranje

- Model dvostruke razlike

$$P_{rb,i}^{jk} = \rho_{rb}^{jk} + I_{rb,i}^{jk} + T_{rb} + \varepsilon_{P_{rb}^{jk}}$$

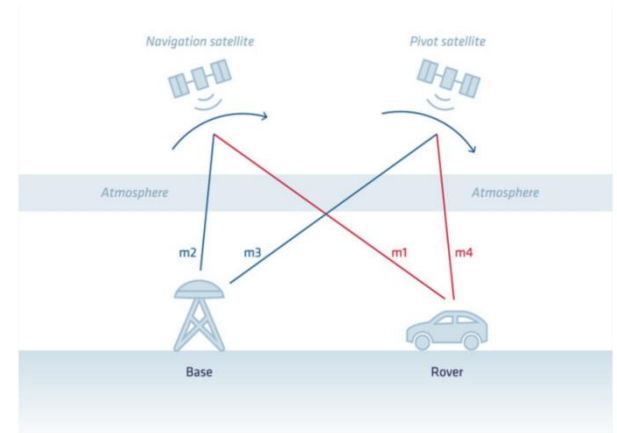
$$L_{rb,i}^{jk} = \rho_{rb}^{jk} - I_{rb,i}^{jk} + T_{rb} + N_{rb,i}^{jk} + \varepsilon_{L_{rb}^{jk}}$$

- Vektor merenih veličina

$$l = [P_1^T, P_2^T, P_5^T, L_1^T, L_2^T, L_5^T]^T$$

- Vektor nepoznatih parametara

$$x = [r_r^{sT}, N_1^{sT}, N_2^{sT}, N_5^{sT}]^T$$





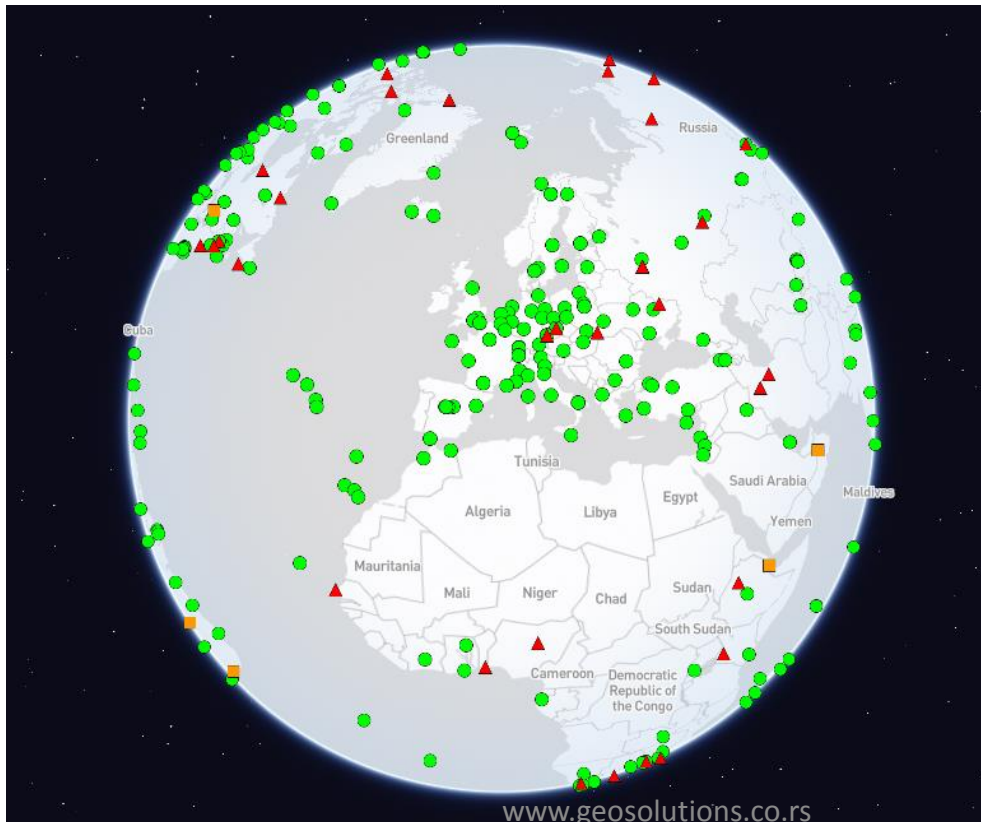
# Precise Point Positioning

- Bez baznog prijemnika
- Popravke za dominantne sistematske greške
- Koordinate u sistemu ITRS tekuće epohe
- <20cm u realnom vremenu
- <2cm u naknadnoj obradi
- Inicijalizacija ~20min

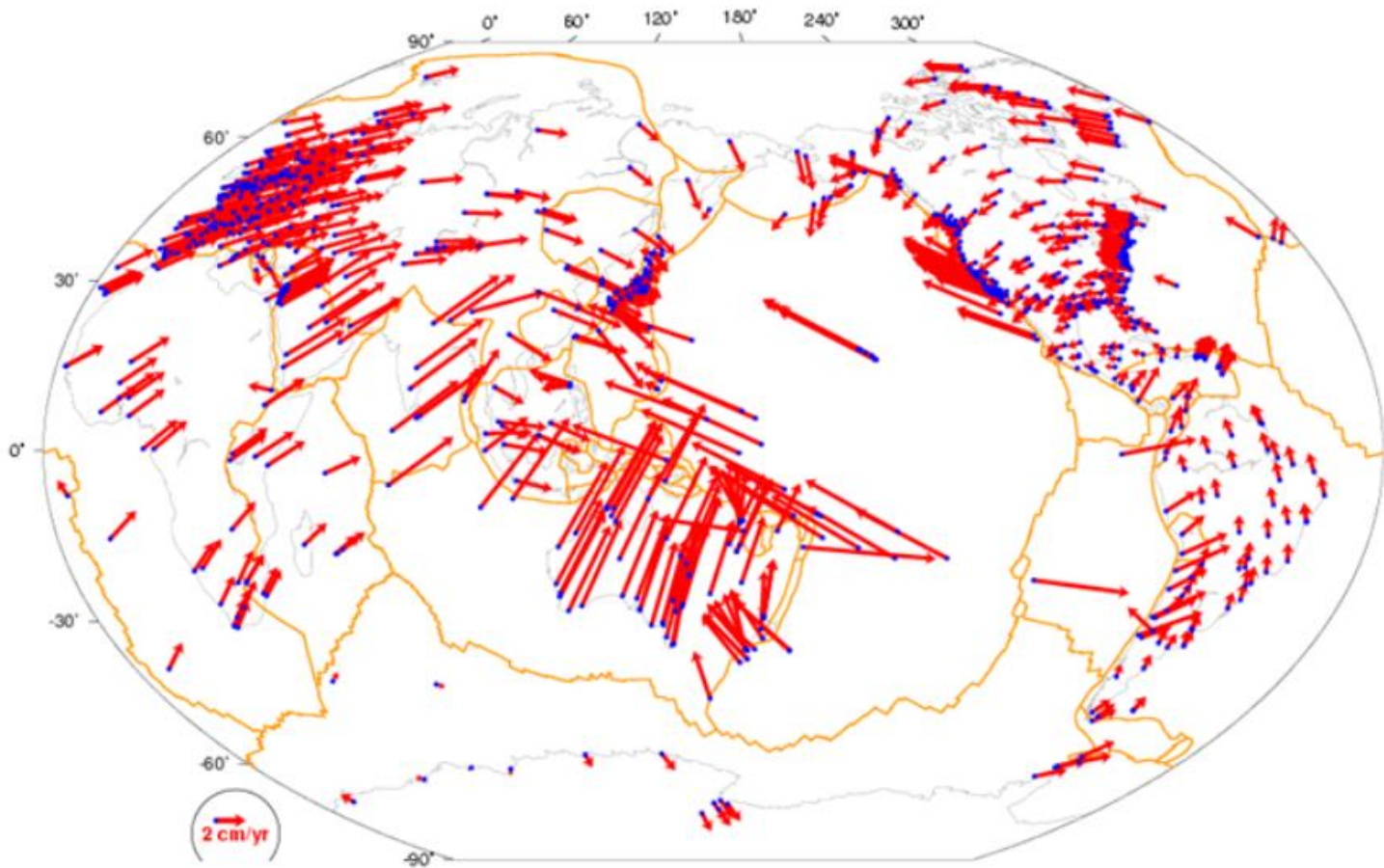


# IAG-> IGS, ITRS & ITRF

- VLBI, DORIS, SLR, GNSS
- 515 stanica



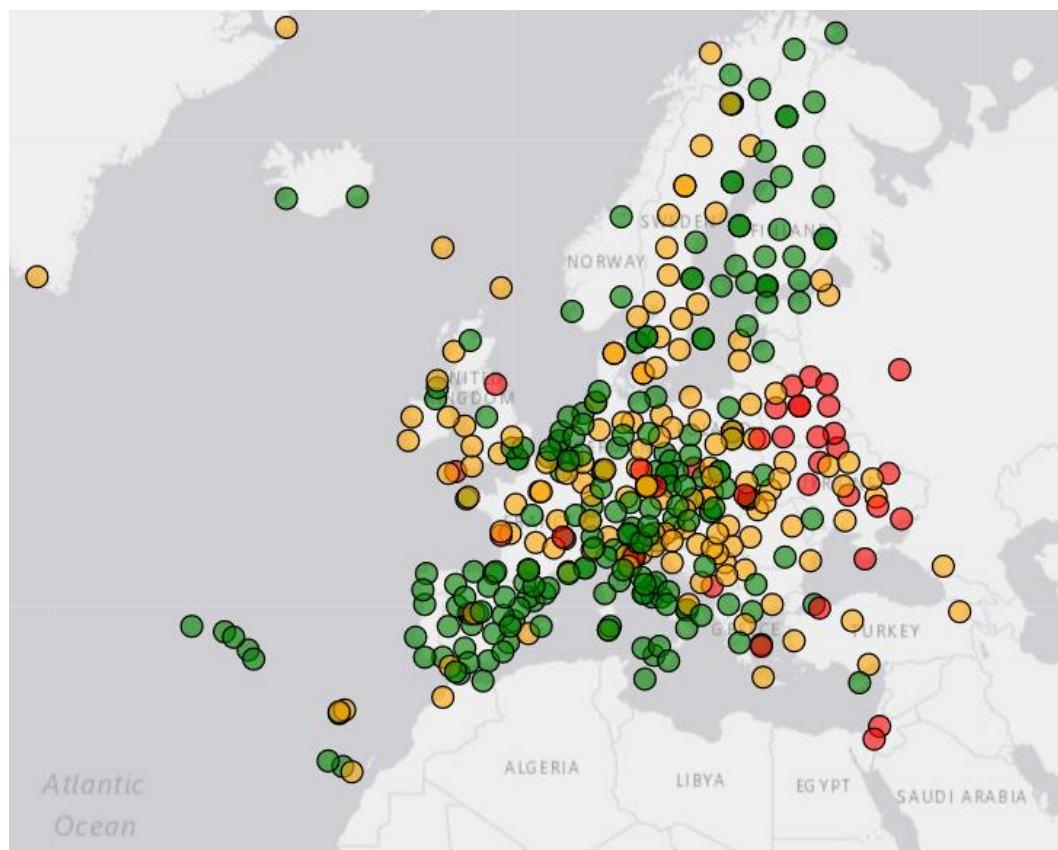
# ITRF – brzine pomerenja



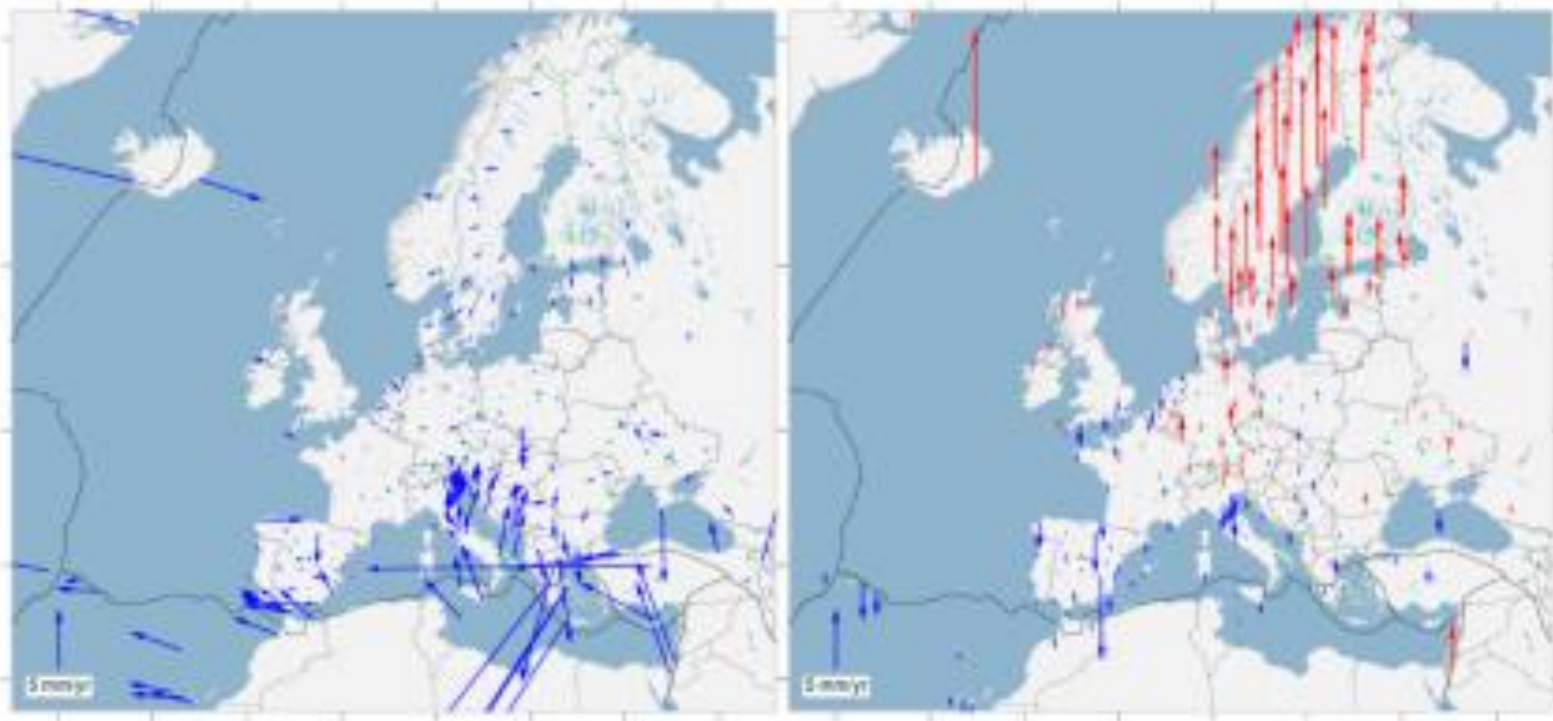


# EPN, ETRS & ETRF

- ETRS = ITRS, u epohi 1989.0



# ETRF brzine pomeranja

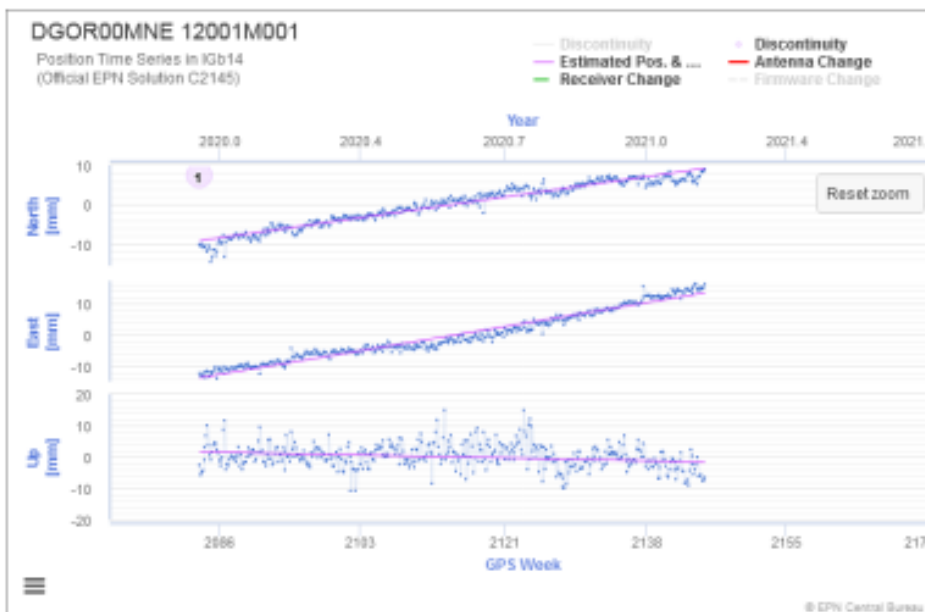


Slika 4: Horizontalne (levo) i vertikalne (desno) brzine pomeranja u ETRF okviru

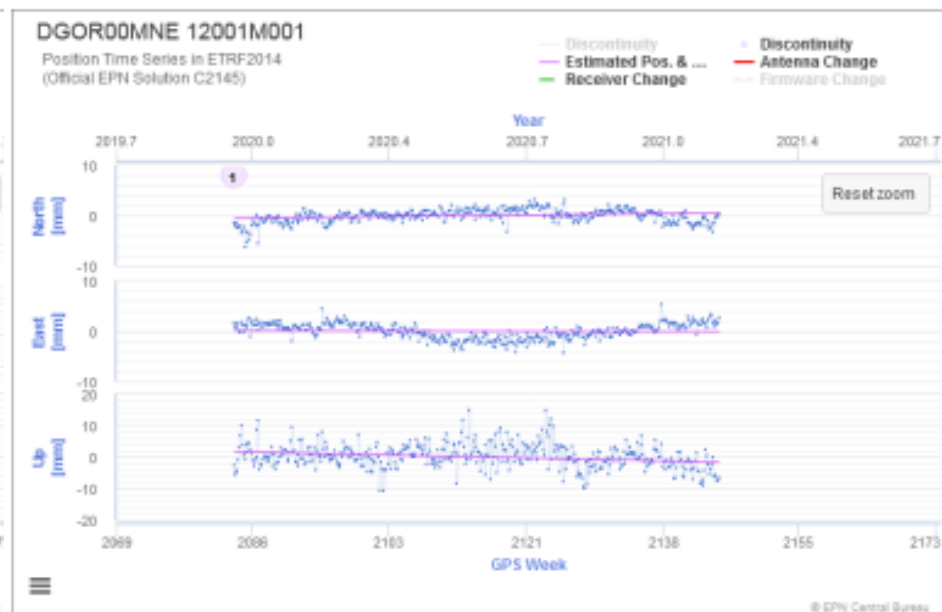
# Vremenska serija određivanja



<https://epncb.oma.be/networkdata/siteinfo4onestation.php?station=DGOR00MNE>



(a) Pomeranje CORS stanice unutar ITRF2014 okvira

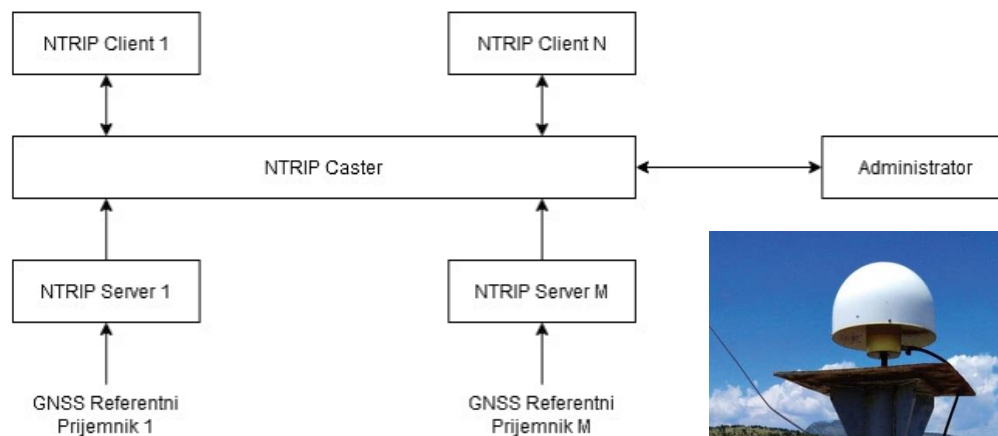


(b) Pomeranje CORS stanice unutar ETRF2000 okvira



# Regionalne mreže

- Hardverska i softverska infrastruktura
- Određivanje koordinata primenom specijalizovanih softvera
- Transformacija u nacionalni koordinatni sistem





# Standardi

- RTK
  - RTCM3.0
  - RTCM3.2
  - NMEA
  - NTRIP
- Naknadna obrada
  - RINEX2.11
  - RINEX3.05
  - RINEX4.00
  - IONEX, ANTEX, SINEX, SP3, BINEX,



# Servisi

- Real Time Stream
- RTK korekcije
- RINEX za naknadnu obradu



# Koncept

- Single Base
  - Jednostavan
  - Pouzdan
  - Zahteva dovoljan broj stanica
- Mrežni
  - Skraćuje vreme inicijalizacije na većim rastojanjima
  - Dostupnost redundantnih rešenja
  - Cena, rešenje zasnovano na interpolaciji, složenost u masovnom korišćenju, interpretacija zavisi od rovera (osim za VRS rešenja)

# Ocena grešaka zavisnih od dužine bazne linije



Za par stanica može se formirati model  
dvostruke razlike

$$\lambda(N_{rb}^{mn} + \phi_{rb}^{mn}) = \rho_{rm}^{mn} - I_{rb}^{mn} + T_{rb}^{mn}$$

$$\begin{aligned} V &= V^{disp} + V^{nondisp} \\ &= -I_{rb}^{mn} + T_{rb}^{mn} \\ &= \lambda(N_{rb}^{mn} + \phi_{rb}^{mn}) - \rho_{rm}^{mn} \end{aligned}$$

$$I_{rb}^{mn} = \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} [(\phi_{rb,1}^{mn} \lambda_1 - \phi_{rb,2}^{mn} \lambda_2) + (N_{rb,1}^{mn} \lambda_1 - N_{rb,2}^{mn} \lambda_2)]$$

$$T_{rb}^{mn} = V + I_{rb}^{mn}$$

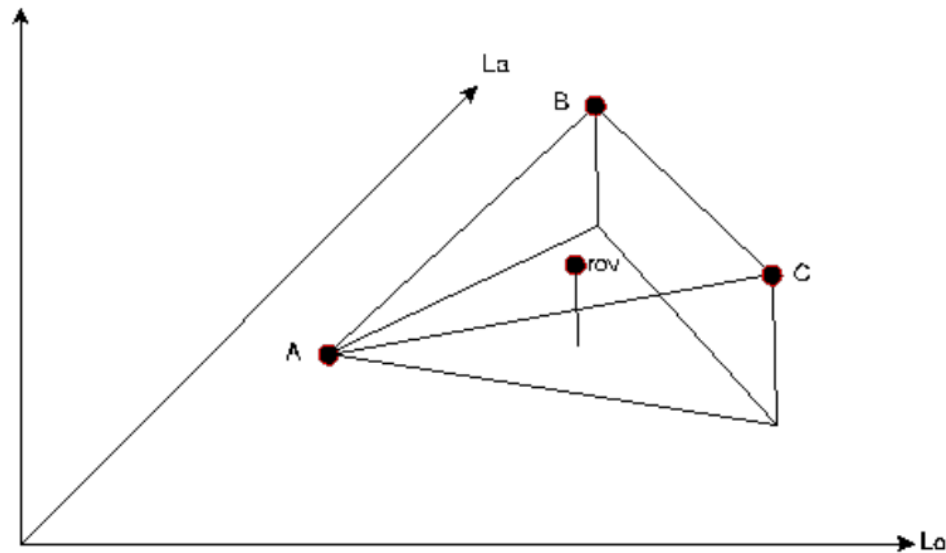
# Ocena grešaka zavisnih od dužine bazne linije



Alternativno:

$$x = [Z_r, Z_b, I^T N_1^T, N_2^T N_5^T]^T$$

# Kreiranje mrežnog rešenja - FKP



$$\delta_{nondisp} = 6.37 [N_{nondisp}(La_r - La_b) + E_{nondisp}(Lo_r - Lo_b)] \cos La_{ref}$$

$$\delta_{disp} = 6.37 * H [N_{disp}(La_r - La_b) + E_{disp}(Lo_r - Lo_b)] \cos La_{ref}$$

Slanje koeficijenata polinoma za računanje korekcija pseudoduzina  
Za interpretaciju odgovoran rover

# Kreiranje mrežnog rešenja -VRS



- Geometrijsko izmeštanje u odnosu na referentnu stanicu

$$\Delta\rho_{r,vrs}^s = \rho_{vrs}^s - \rho_r^s$$

- Jednostruka razlika za referentnu stanicu

$$\Delta\phi_r^{mn} = \frac{1}{\lambda}(\Delta\rho_r^{mn} + \Delta T_r^{mn} - \Delta I_r^{mn}) - \Delta N_r^{mn}$$

- Jednostruka razlika za virtuelnu stanicu

$$\begin{aligned}\Delta\phi_{vrs}^{mn} &= \frac{1}{\lambda}(\Delta\rho_{vrs}^{mn} + \Delta T_{vrs}^{mn} - \Delta I_{vrs}^{mn}) - \Delta N_{vrs}^{mn} \\ &= \frac{1}{\lambda}(\Delta\rho_r^{mn} + \nabla\Delta\rho_{r,vrs}^{mn} + \Delta T_{vrs}^{mn} - \Delta I_{vrs}^{mn}) - \Delta N_{vrs}^{mn}\end{aligned}$$

# Kreiranje mrežnog rešenja -VRS



## Dvostruka razlika

$$\begin{aligned}\nabla\Delta\phi_{r,vrs}^{mn} &= \Delta\phi_{vrs}^{mn} - \Delta\phi_r^{mn} \\ &= \frac{1}{\lambda}(\nabla\Delta\rho_{r,vrs}^{mn} + \nabla\Delta T_{r,vrs}^{mn} - \nabla\Delta I_{r,vrs}^{mn}) - \nabla\Delta N_{r,vrs}^{mn}\end{aligned}$$



# Oblasti primene

- Geodezija (RTK, LIDAR, UAV)
- Precizna poljoprivreda
- Kontrola mašina
- Autonomna vožnja
- Sistemi za kontrolu naplate parkinga
- Robotika, složeni integrisani sistemi

# GeoSolutions skorašnji projekti



- GS Station – GeoSolutions CORS station
- GS Caster – softver za administraciju CORS mreža
- GentooARS - Mreža GNSS permanentnih stanica u Republici Srbiji
- MontePN - Mreža GNSS permanentnih stanica u Republici Crnoj Gori
- Drina – GeoSolutions GNSS rover
- GeoNetSEE - *An AI/IoT-based system of GEOsensor NETWORKS*
- AGRIS – GIS server
- MZZS – GIS server
- MonSys - Praćenje kritičnih objekata kroz ceo životni ciklus - mostovi, brane, zgrade, vetrogeneratori



Zapratite naš telegram kanal: <https://t.me/GentooARS>

