

تعیین موقعیت مسطحاتی

مرداد ماه ۱۴۰۲
دوره آموزشی استانها

عناوین

- ژئودزی ماهواره ای و سیر تکوینی آن
- برخی سامانه های ژئودزی ماهواره ای
- دستگاه های مرجع مختصات و زمان
- مدارات، سیگنال ها و مشاهدات ماهواره ای
- منابع خطاها و روش های مقابله با آنها
- مدل های ریاضی تعیین موقعیت ماهواره ای
- کاربردهای سامانه های تعیین موقعیت ماهواره ای

ژئودزی فضایی

- ژئودزی عبارتست از علم اندازه گیری و تعیین شکل و ابعاد زمین، میدان ثقل زمین و بررسی تغییرات زمانی آنها [1]. بنا به این تعریف یکی از وظایف اصلی ژئودزین ها و مهندسین نقشه بردار تعیین مختصات نقاط واقع بر سطح زمین و تغییرات زمانی آنهاست.
- امروزه ژئودزی ماهواره ای، فناوری های مشاهداتی و محاسباتی مربوط به حل مسائل تعیین موقعیت را با استفاده از مشاهدات دقیق ماهواره های مصنوعی دگرگون ساخته است. ژئودزی فضایی صورت کلی تری از ژئودزی ماهواره ای است که در آن علاوه بر ماهواره های مصنوعی از ماه، سیارات، امواج رادیویی ستاره ها و کوازرها نیز استفاده می شود.

مفاهیم اساسی در ژئودزی ماهواره ای

ماهواره ها ی مصنوعی در ژئودزی ماهواره ای به دو صورت ممکن است مورد استفاده قرار گیرند:

- (۱) نشانه های هندسی قرار گرفته در ارتفاع مداری بالا و قابل رویت در فواصل بلند
- (۲) حسگرهای میدان ثقل زمین
- ارتباط بین ایستگاههای مشاهداتی و ماهواره ها نیز در سه روش دسته بندی شده اند که عبارتند از:
- (۱) روشهای زمین به فضا (مانند SLR, TRANSIT, GNSS)
- (۲) روشهای فضا به زمین (مانند Radar Altimetry, InSAR)
- (۳) روشهای فضا به فضا (مانند ردیابی ماهواره به ماهواره)

تاریخچه توسعه ژئودزی ماهواره ای

- ۱۹۵۸ الی ۱۹۷۰: توسعه روشهای اساسی در مشاهدات و محاسبات ماهواره ای
- ۱۹۷۰ الی ۱۹۸۰: پروژه های علمی و فناوری های جدید
مشاهداتی نظیر SLR, TRANSIT Satellite Altimetry
- ۱۹۸۰ الی ۱۹۹۳: استفاده عملی از فناوری های ماهواره ای در ژئودزی، ژئودینامیک و نقشه برداری و جایگزینی روشهای نجومی با GPS
- ۱۹۹۳ تا کنون: توسعه کاربری های GNSS، ارتفاع سنج ها، SAR، TOPEX، ERS-I، ERS-II، ENVISAT، طراحی و راه اندازی سامانه گالیله و ...

اولین شبکه ژئودزی ماهواره ای ایران

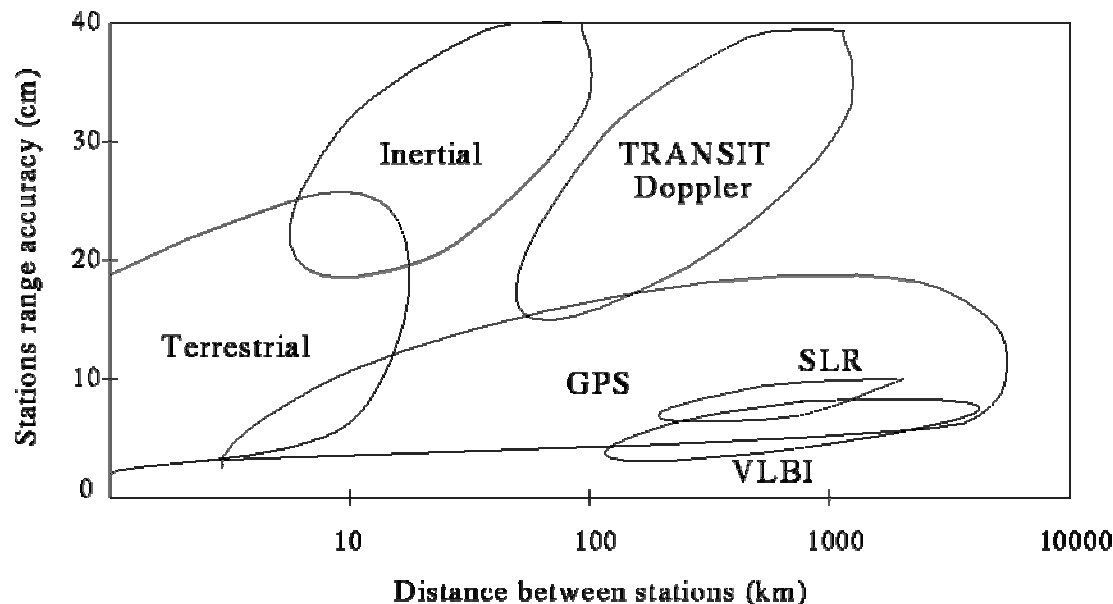


۲۴۲ ایستگاه که طی سالهای ۱۳۶۷ تا ۱۳۶۹ اندازه گیری شده اند.

کاربردهای ژئودزی ماهواره ای

امروزه ژئودزی ماهواره ای در موارد زیادی بسته به فواصل بین ایستگاه ها و دقت مورد نیاز از کارهای عمومی و عادی گرفته تا موضوعات تحقیقی و دقیق مطرح و مورد استفاده قرار می گیرد. بخشی از این کاربردها به شرح زیر به آنها اشاره می شود [5].

- ایجاد شبکه های مرجع مختصات جهانی، منطقه ای و ملی
- بررسی رفتار پوسته زمین و مسایل ژئودینامیکی
- کنترل پایداری سازه ها و بناهای مهم
- مشارکت در اندازه گیری و پایش های جوی
- امور ناوبری و تهیه نقشه



برخی سامانه های تعیین موقعیت ماهواره ای

- سامانه فاصله یابی لیزری ماهواره ای (SLR)
- سامانه فاصله یابی لیزری با ماه (LLR)
- سامانه تداخل سنجی فاصله خیلی بلند (VLBI)
- سامانه ترانزیت (TRANSIT)
- سامانه DORIS
- سامانه تجهیزات فاصله و نرخ فاصله دقیق (PRARE)

دستگاه های مرجع مختصات و زمان

دستگاه های مرجع مختصات:

- دستگاه ها و چارچوب های مرجع سماوی قراردادی
- دستگاه ها و چارچوب های مرجع زمینی قراردادی
- چارچوب مرجع زمینی بین المللی ITRF و بیضوی های مرجع

دستگاه های مرجع زمان:

- زمان نجومی و خورشیدی
- زمان اتمی
- زمان دینامیکی
- تقویم و تاریخ در ژئودزی ماهواره ای

پدیده های موثر در تعریف و تبدیلات دستگاه های مرجع سماوی و زمینی

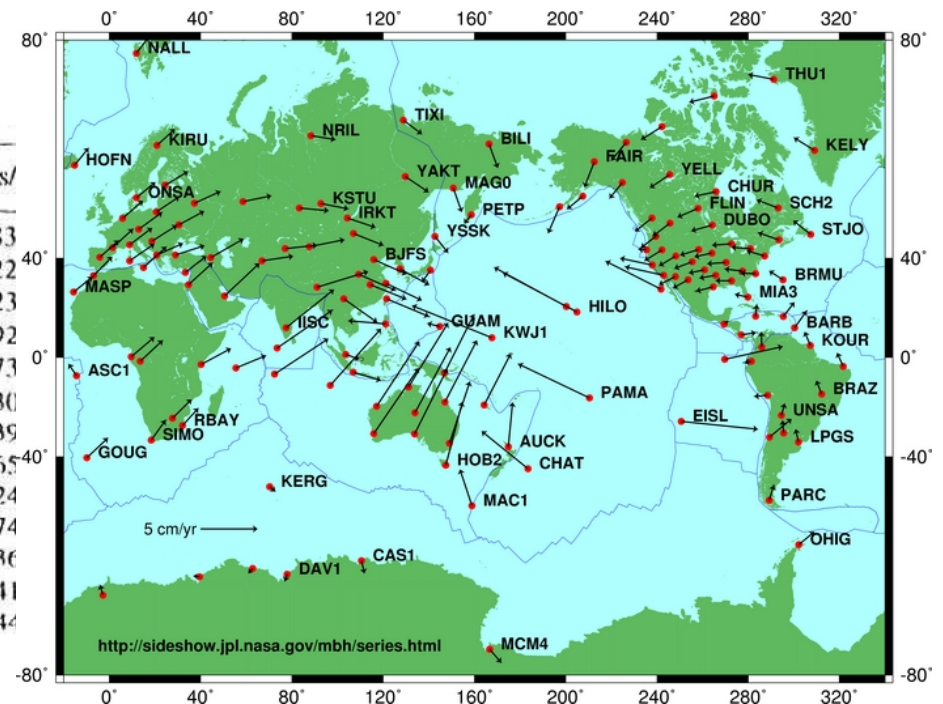
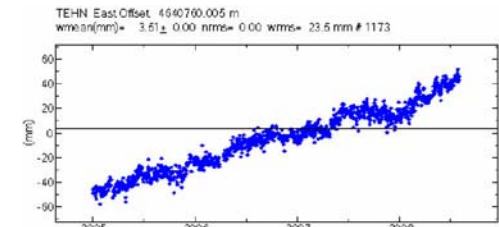
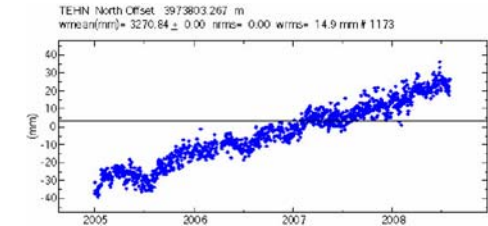
- حرکات رقص محوری پرسیشن و نوتیشن زمین
- پارامترهای دوران زمین
- حرکت تکتونیک ورقه های سنگ کره
- جزر و مد زمین جامد
- بار ناشی از جزر و مد اقیانوسی

حرکت تکتونیک ورقه های سنگ کره

$$X(t) = \left[I + 4.84813681 * 10^{-9} R(\Omega)(t - t_0) \right] X(t_0)$$

$$R(\Omega) = \begin{bmatrix} 0 & -\Omega_z & \Omega_y \\ \Omega_z & 0 & -\Omega_x \\ -\Omega_y & \Omega_x & 0 \end{bmatrix}$$

نام ورقه	Ω_x (mas/y)	Ω_y (mas/y)	Ω_z (mas/y)	$\ \Omega\ $ (mas/y)
Africa	0.1837	-0.5392	0.8090	1.047283
Antarctica	-0.1693	-0.3508	0.7644	0.857922
Arabia	1.3789	-0.1075	1.3943	1.963923
Australia	1.6169	1.0569	1.2957	2.325992
Caribbean	-0.0367	-0.6982	0.3261	0.771473
Cocos	-2.1503	-4.4563	2.2534	5.436930
Eurasia	-0.2023	-0.4940	0.6503	0.841339
India	1.3758	0.0082	1.4005	1.407265
Nazca	-0.3160	-1.7691	1.9820	2.675424
North America	0.0532	-0.7423	-0.0316	0.744874
Pacific	-0.3115	0.9983	-2.0564	2.307036
South America	-0.2141	-0.3125	-0.1794	0.419141
Philippines	2.0812	-1.4768	-1.9946	3.238944



دستگاه ها و چارچوب های مرجع زمینی

قراردادی (CTRF و CTRS)

- مبدأ یک سیستم مرجع زمینی قراردادی ایده آل متصل بر مرکز جرم زمین (به علاوه جرم اقیانوس ها و اتمسفر)
- محور Z سیستم منطبق بر محور دورانی زمین است. به علت عدم دستیابی به مرکز جرم زمین و محور دورانی آن، تقریبی از آنها در نظر گرفته می شود [1].
- دستگاه مرجع زمینی قراردادی در طی زمان هیچگونه باقیمانده ای ناشی از چرخش کره نسبت به پوسته زمین ندارد.

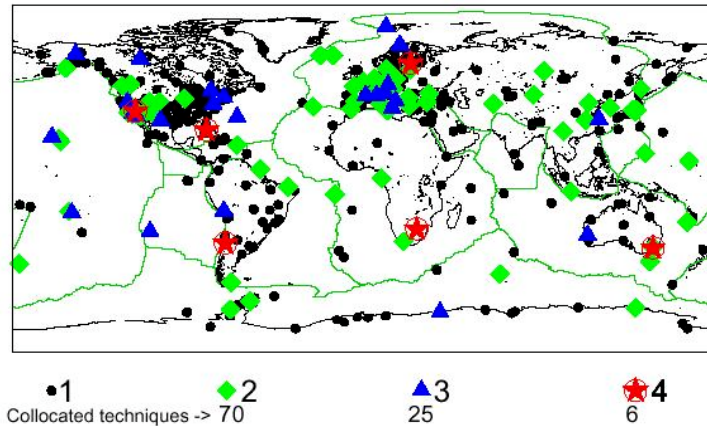
تبدیل بین دستگاه های CIS و CTS

- با داشتن سه ماتریس دوران مربوط به پرسشن (P)،
نویشن (N) و پارامترهای توجیه زمین (S):

$$\vec{r}_{CTS} = S N P \vec{r}_{CIS}$$

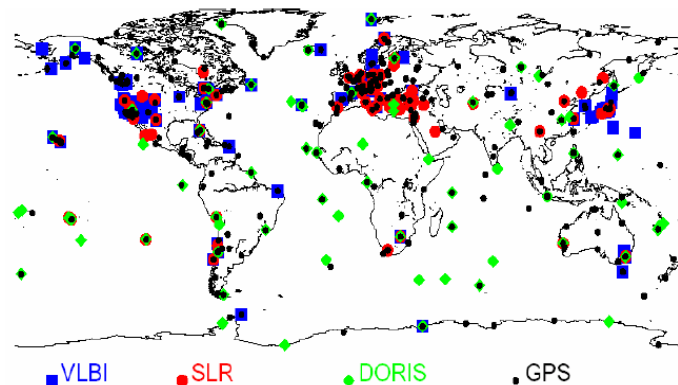
چارچوب های مرجع زمینی بین المللی (ITRF)

- چارچوب مرجع زمینی بین المللی ITRF2000



- چارچوب مرجع زمینی بین المللی ITRF2005

ITRF2005: Co-locations



تبدیل بین چارچوب های مرجع ITRF2000 و ITRF2005

$$X_2 = X_1 + T + DX_1 + RX_1$$

$$T = \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{pmatrix}$$

$$R = \begin{pmatrix} 0 & -R_3 & R_2 \\ R_3 & 0 & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & 0 \end{pmatrix}$$

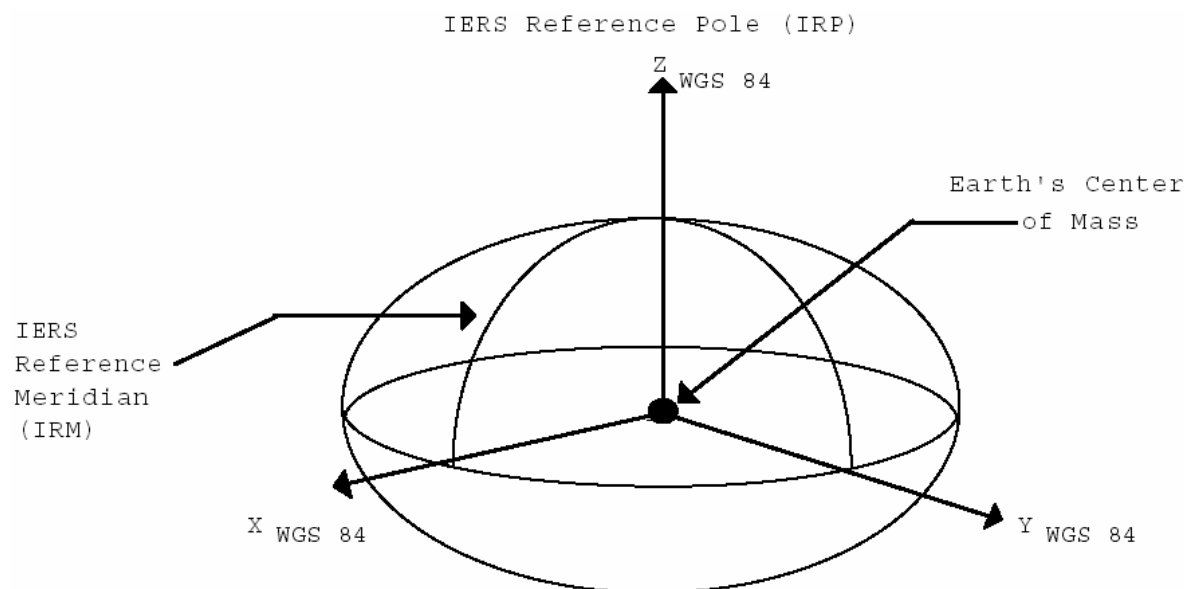
پارامترهای تبدیل بین ITRF2000 و ITRF2005

	T1	T2	T3	D	R1	R2	R3
	mm	mm	mm	10-9	mas	mas	mas
	0.1	-0.8	-5.8	0.40	0.000	0.000	0.000
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012
Rates	-0.2	0.1	-1.8	0.08	0.000	0.000	0.000
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012

$$\dot{X}_2 = \dot{X}_1 + \dot{T} + \dot{D}X_1 + D\dot{X}_1 + \dot{R}X_1 + R\dot{X}_1$$

$$\dot{X}_2 = \dot{X}_1 + \dot{T} + \dot{D}X_1 + \dot{R}X_1$$

سطح مبنای ژئودتیک در GPS [بیضوی مرجع]



Parameter	Notation	Value
Semi-major Axis	a	6378137.0 meters
Reciprocal of Flattening	$1/f$	298.257223563
Angular Velocity of the Earth	ω	$7292115.0 \times 10^{-11}$ rad/s
Earth's Gravitational Constant (Mass of Earth's Atmosphere Included)	GM	3986004.418×10^8 m ³ /s ²

تبدیل بین WGS-84 و ITRF2000 در ایران

- بر اساس مدل تبدیل استاندارد ۷ پارامتری (Bursa-Wolf (Bursa, 1962; Wolf, 1963) و استفاده از ۲۶ ایستگاه مشترک در دو دستگاه مختصات با توزیع سراسری در ایران:

☐	Shift dX	0.551	0.0028	m
☐	Shift dY	-0.373	0.0028	m
☐	Shift dZ	-0.817	0.0028	m
☐	Rotation about X	-0.001063	0.0013	["]
☐	Rotation about Y	0.009047	0.0016	["]
☐	Rotation about Z	-0.011414	0.0014	["]
☐	Scale	0.004874	0.0050	[ppm]

حرکت مداری ماهواره ها

• حرکت واقعی ماهواره ها ناشی از نیروهای زیر است:

نیروهای جاذبی: جاذبه کروی و غیرکروی زمین، جاذبه ماه، خورشید و سایر
سیارات منظومه شمسی، جاذبه جزرومد پوسته ای و اقیانوسی

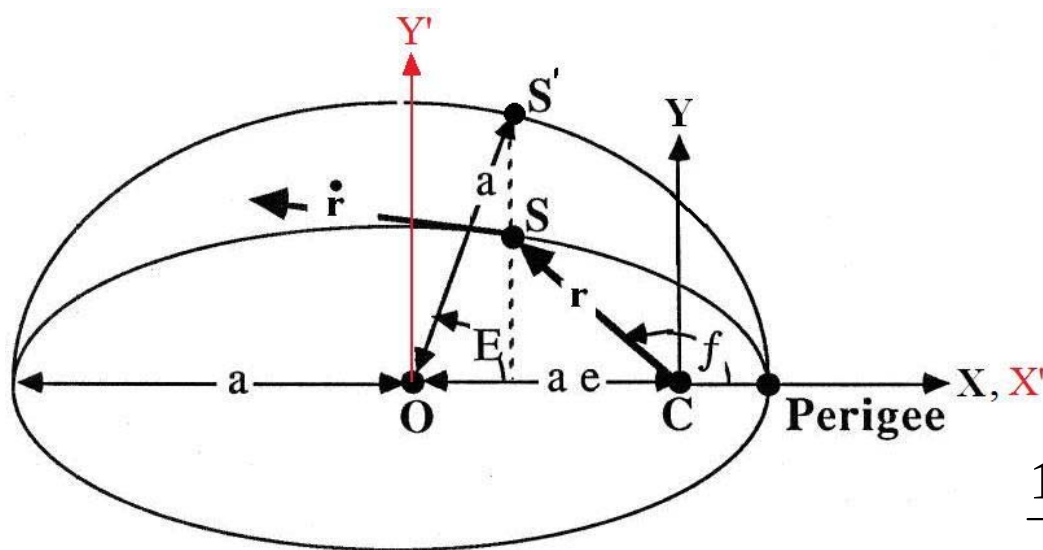
نیروهای غیرجاذبی: اصطکاک اتمسفر، تشعشعات خورشیدی و اثر غیرمستقیم
تشعشعات خورشیدی

حرکت کیلری

- زمین یک نقطه مادی یا بعبارت دیگر یک کره با توزیع چگالی ثابت است. میدان جاذبه چنین جسمی بصورت شعاعی متقارن می باشد و تمام خطوط شاقولی بصورت مستقیم به مرکز کره منتهی می شوند.
- از جرم ماهواره ها در مقایسه با جرم زمین چشم پوشی می شود.
- حرکت ماهواره ها در خلاء کامل انجام می شود. در چنین فضایی هیچ اصطکاک اتمسفری و فشار تشعشع خورشیدی وجود ندارد که بر ماهواره ها عمل کند.
- هیچ نیروی جاذبه ای از طرف خورشید، ماه و دیگر اجرام سماوی بر ماهواره ها وارد نمی شود.

قوانین کیلر

• قانون اول: مسیر حرکت هر ماهواره به دور زمین یک بیضی است که زمین در یکی از کانون های آن قرار دارد.



$$\frac{x'^2}{a^2} + \frac{y'^2}{b^2} = 1$$

$$x' = ae + r \cos f$$

$$y' = r \sin f$$

$$b^2 = a^2(1 - e^2)$$

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{a(1 - e^2)} + \frac{e}{a(1 - e^2)} \cos f$$

$$c = \frac{e}{a(1 - e^2)} \quad h = \sqrt{GM \cdot a \cdot (1 - e^2)} \quad \longrightarrow$$

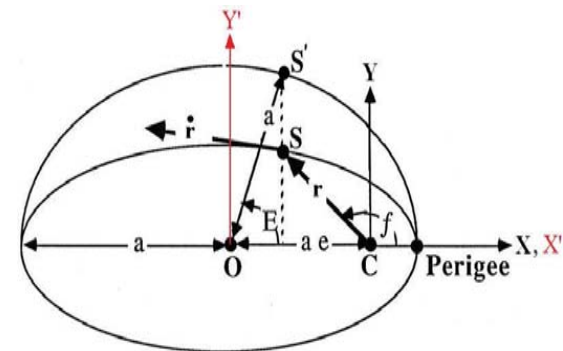
$$\boxed{\frac{1}{r} = c \cdot \cos f + \frac{GM}{h^2}}$$

مختصات و سرعت ماهواره در دستگاه مداری

$$r = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' - ae \\ y' \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \cos E - ae \\ a\sqrt{1-e^2} \sin E \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cos f \\ r \sin f \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{a(1-e^2)}{(1+e \cos f)} \begin{bmatrix} \cos f \\ \sin f \\ 0 \end{bmatrix}$$

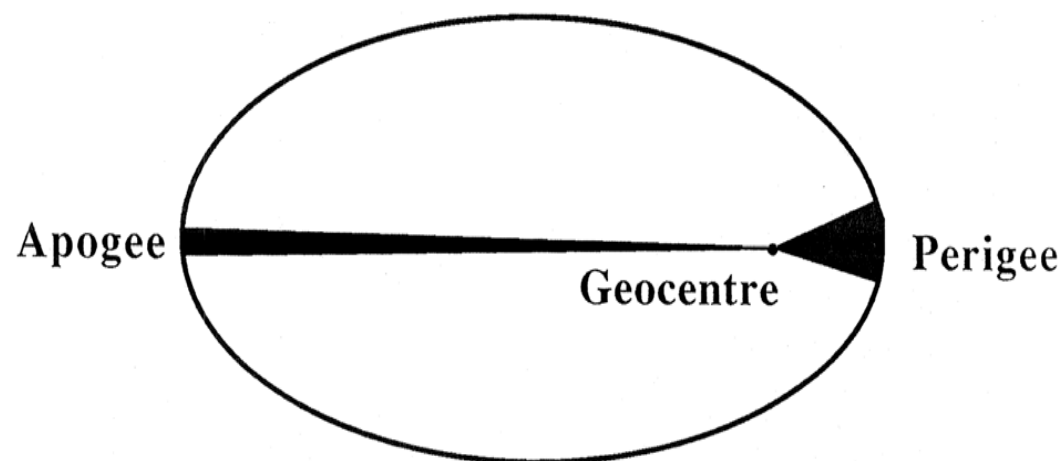
$$\dot{r} = \frac{na}{(1-e \cos E)} \begin{bmatrix} -\sin E \\ \sqrt{1-e^2} \cos E \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{na}{\sqrt{1-e^2}} \begin{bmatrix} -\sin f \\ e + \cos f \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$n = \frac{2\pi}{T}$$



قوانین کپلر

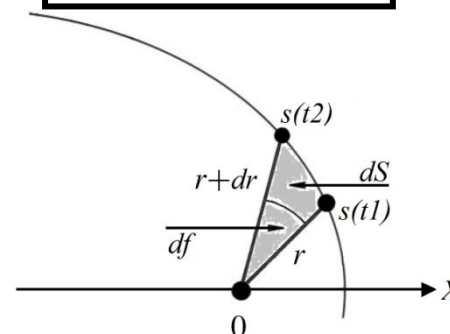
- قانون دوم: در طی حرکت ماهواره به دور زمین، بردار موقعیت ماهواره در زمان های مساوی، مساحت های مساوی جاروب می کند.



$$dS \approx \frac{1}{2} r^2 df$$

$$r^2 df \approx c \cdot dt$$

$$r^2 \frac{df}{dt} = c$$



قوانین کپلر

- قانون سوم: مکعب نیم قطر بزرگ مدار بیضی ماهواره متناسب با مربع دوره تناوب حرکت ماهواره به دور زمین است.

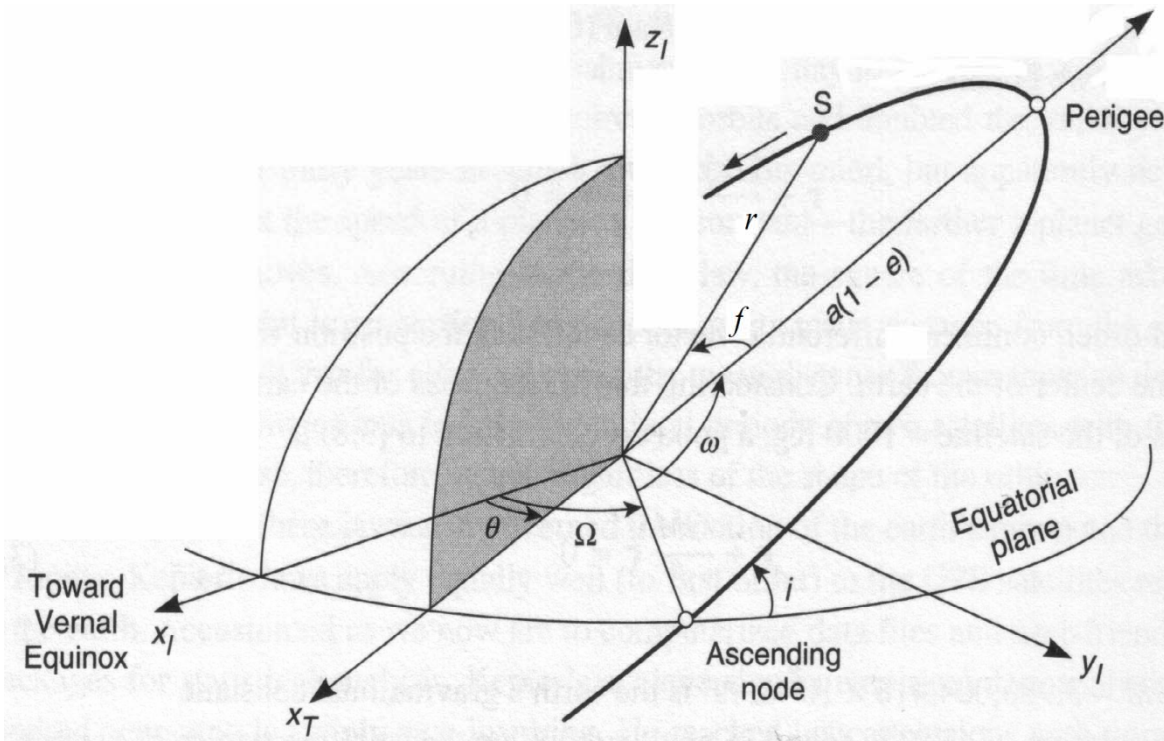
$$a^3 \propto T^2$$

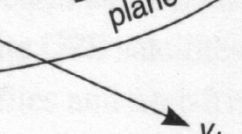
$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$$



$$n = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{GM}{a^3}}$$

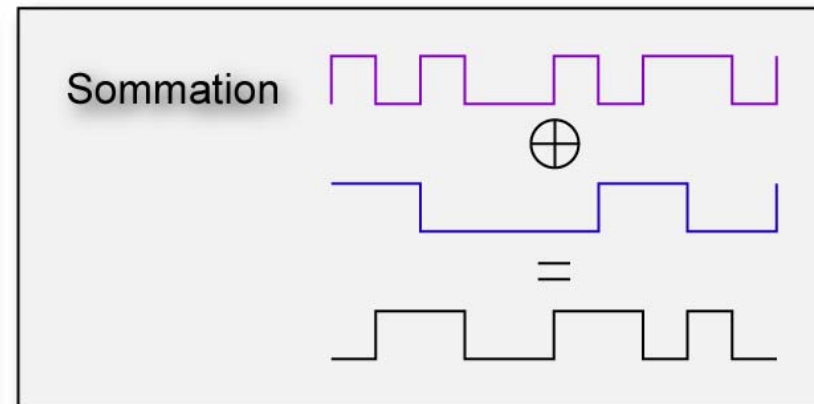
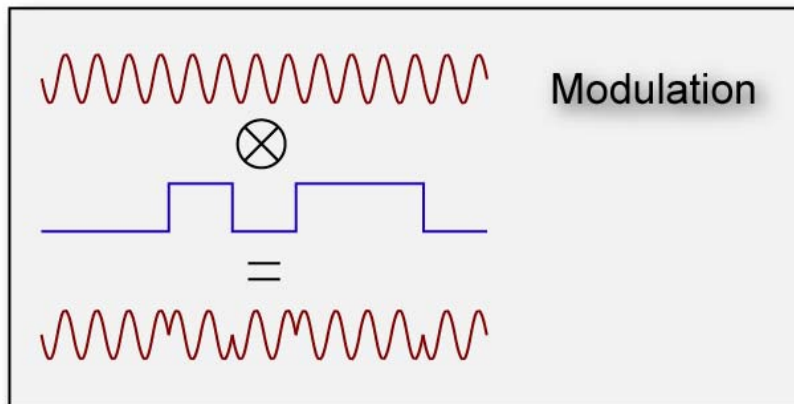
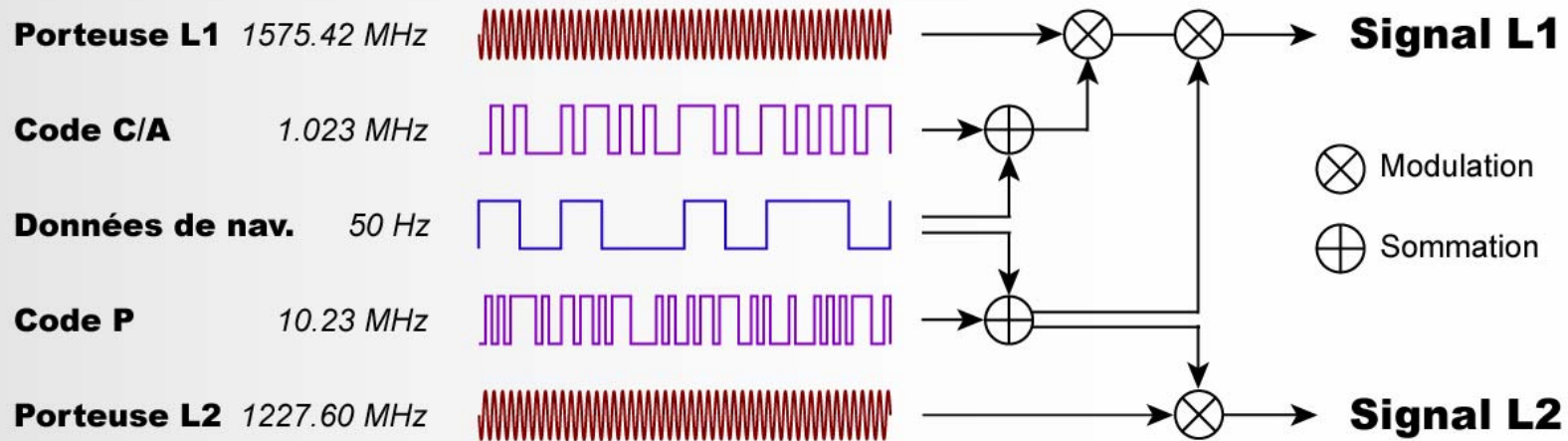
پارامترهای مداری کیلری



- 
- بعد نقطه گرهی صعودی
 - زاویه میل
 - آرگومان پریجی
 - نیم قطر بزرگ بیضی مدار ماهواره
 - خروج از مرکزی اول بیضی مدار ماهواره
 - آنومالی حرکت ماهواره

GPS SIGNAL STRUCTURE

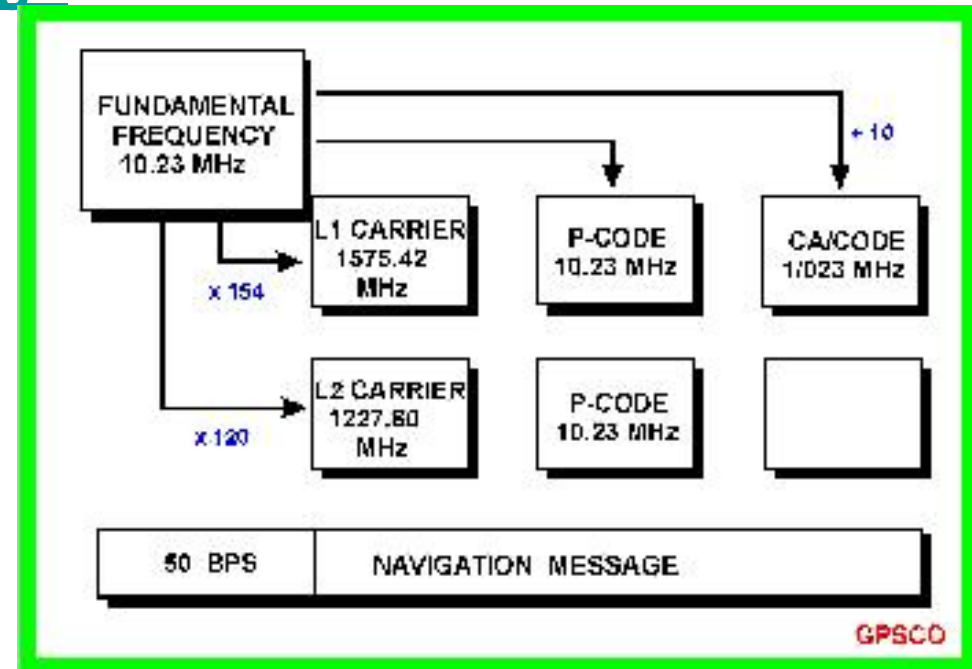
Structure du signal émis par les satellites GPS



GPS satellite signal components

The satellite signals basically consists of (see Figure 1 below):

- The **two L-band carrier waves**.
- The **ranging codes** modulated on the carrier waves.
- The **Navigation Message**.

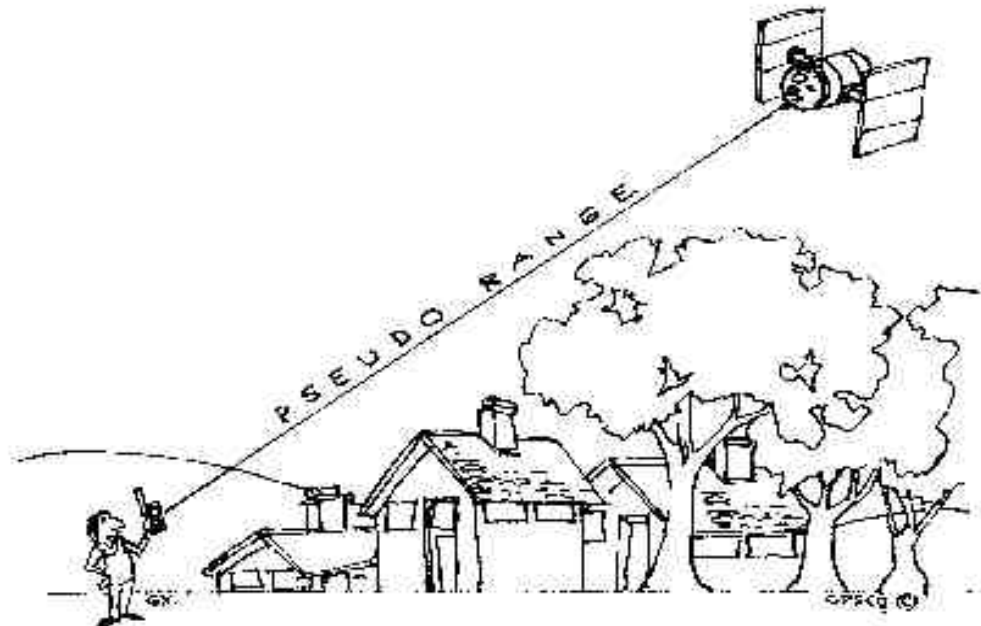


GPS Signals

Components	Frequency (MHz)	Wavelength (m)
Fundamental frequency	$f_0 = 10.23$	29.31
Phase L1	$154 f_0 = 1575.42$ ($\lambda \sim 19.05$ cm)	0.1905
Phase L2	$120 f_0 = 1227.60$ ($\lambda \sim 24.45$ cm)	0.2445
Code P	$f_0 = 10.23$	29.31
Code C/A	$f_0 / 10 = 1.023$	293.1
Navigation message	50 Hz	5995849160

The GPS Measurements

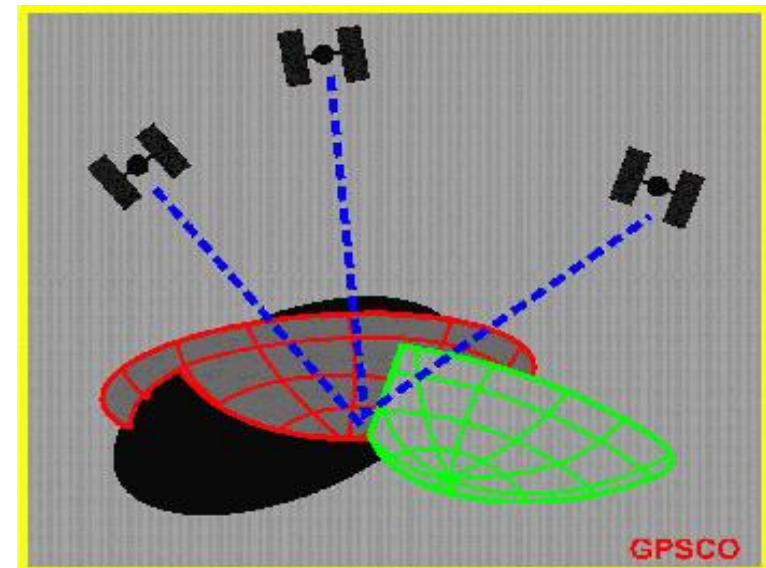
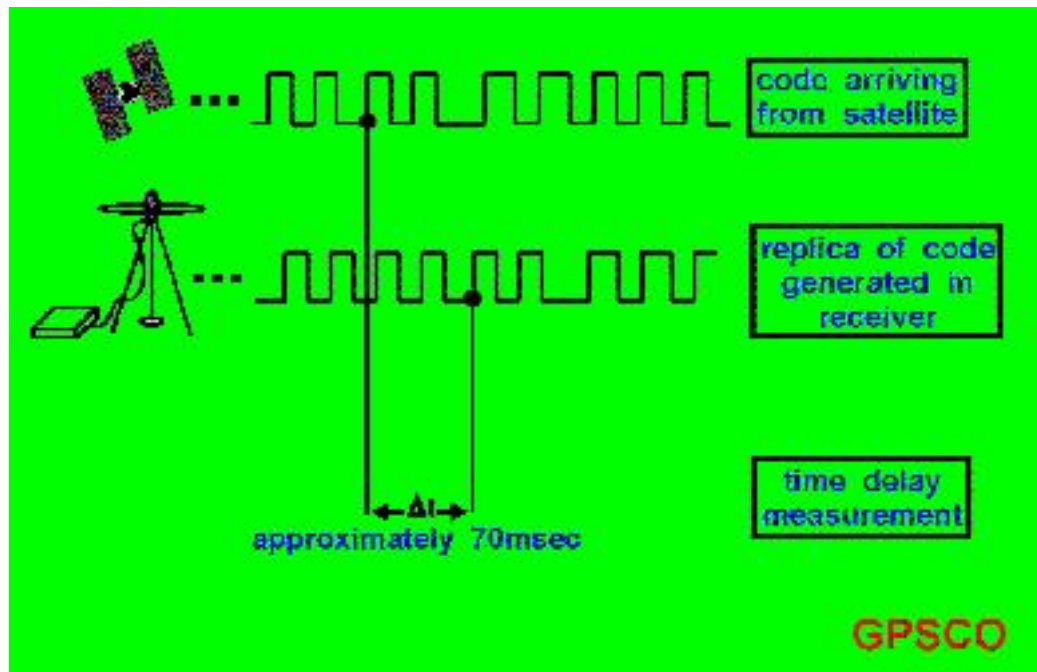
- There are two range-type measurements that can be made on the GPS signals:
- Pseudo-ranges, and
- Carrier phase observations.



PSEUDO-RANGES MEASUREMENT

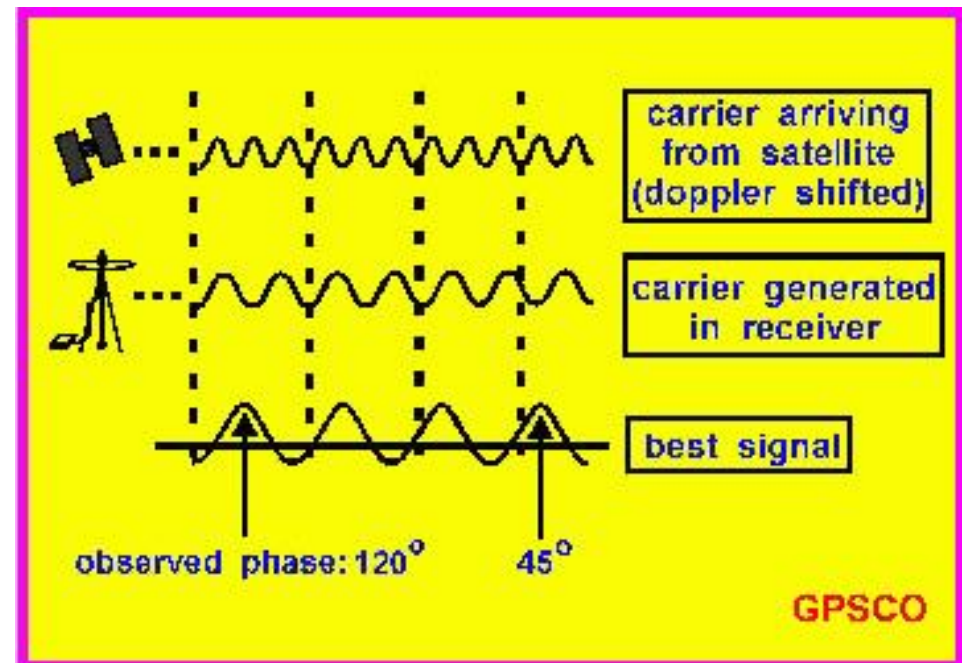
(Ranging with the PRN Codes)

- One-way ranging using PRN codes and geometric problem of 3-D positioning from ranges

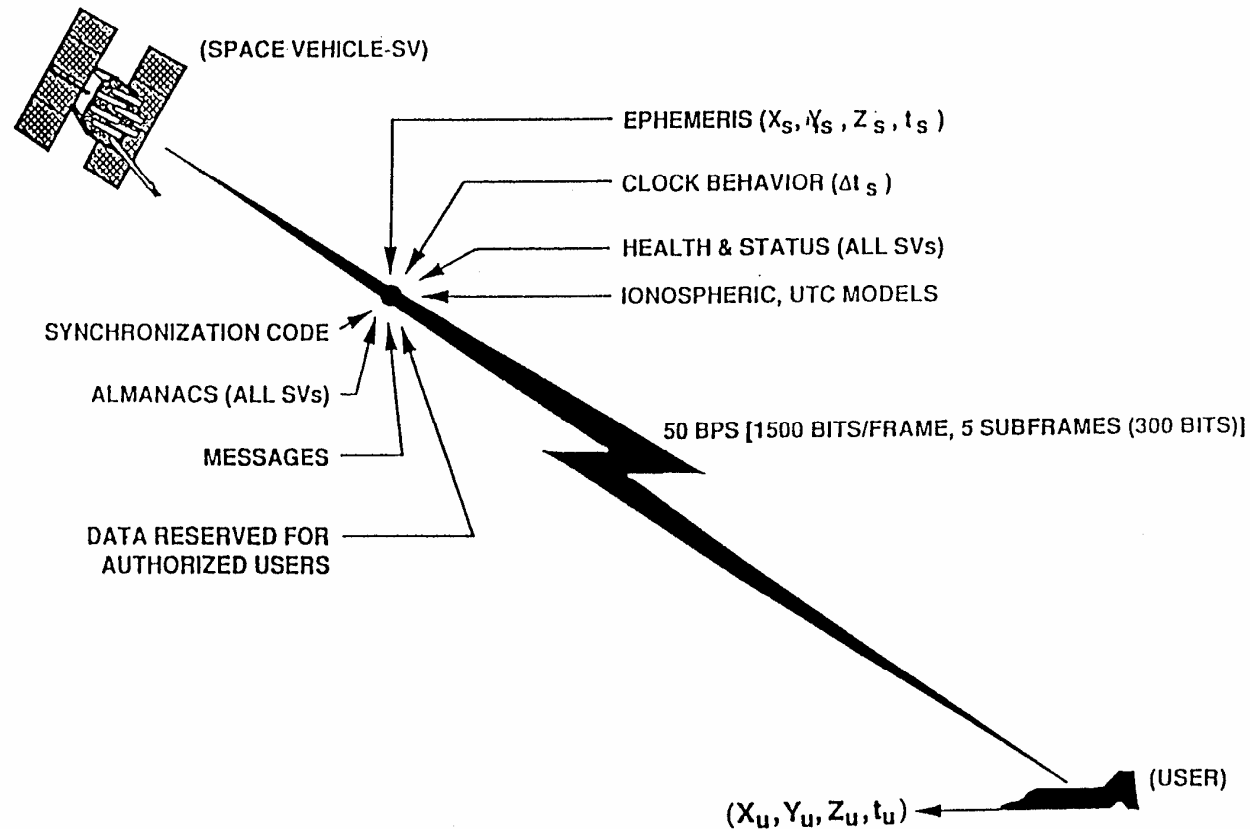


CARRIER PHASE MEASUREMENTS

- There are essentially two means by which the carrier wave can be recovered from the incoming modulated signal:
- [Reconstruct the carrier wave](#) by removing the ranging code and broadcast message modulations.
- [Squaring](#), or otherwise processing the received signal without using a knowledge of the ranging codes.



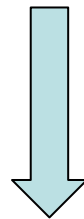
GPS Navigation Message



کمیت های مشاهده (سنجه های) ماهواره ای

• شبه فاصله یا کد

$$\begin{aligned}\Delta t &= t_r - t^s = (t^{GNSS}(r) - \delta t_r) - (t^{GNSS}(s) - \delta t^s) \\ &= \Delta t^{GNSS} + \Delta t_r^s\end{aligned}$$



$$\rho = \sqrt{(X^s - X_r)^2 + (Y^s - Y_r)^2 + (Z^s - Z_r)^2}$$

$$\begin{aligned}P &= c\Delta t + d\rho + d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon(P_{mult}) + \varepsilon(P_{rx}) \\ &= c\Delta t^{GNSS} + d\rho + c\Delta t_r^s + d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon(P_{mult}) + \varepsilon(P_{rx}) \\ &= \rho + d\rho + c(\delta t_r - \delta t^s) + d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon(P_{mult}) + \varepsilon(P_{rx})\end{aligned}$$

کمیت های مشاهده (سنجه های) ماهواره ای

$$\varphi^s(t) = f^s t - f^s \frac{\rho}{c} + f^s \delta t^s$$

• فاز موج حامل

$$\varphi_r(t) = f_r t + f_r \delta t_r$$

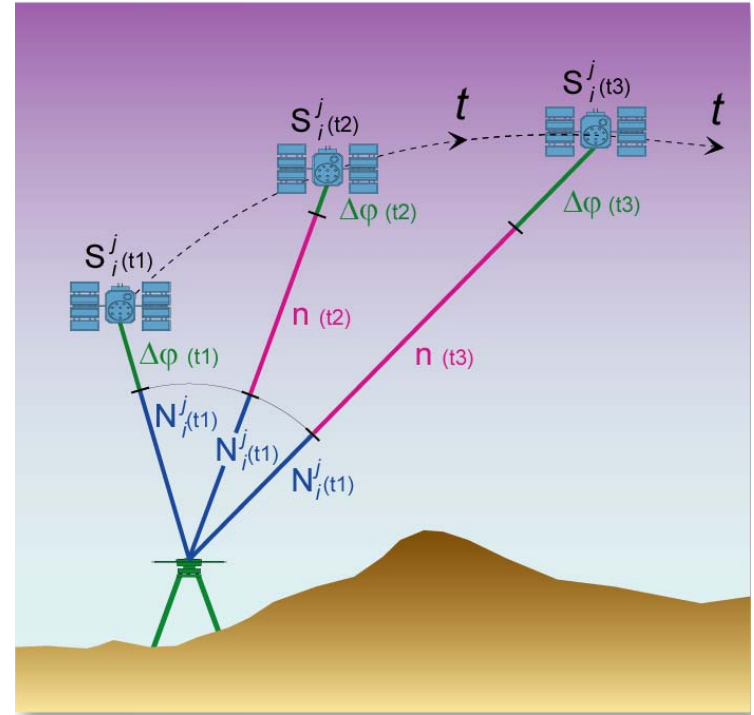
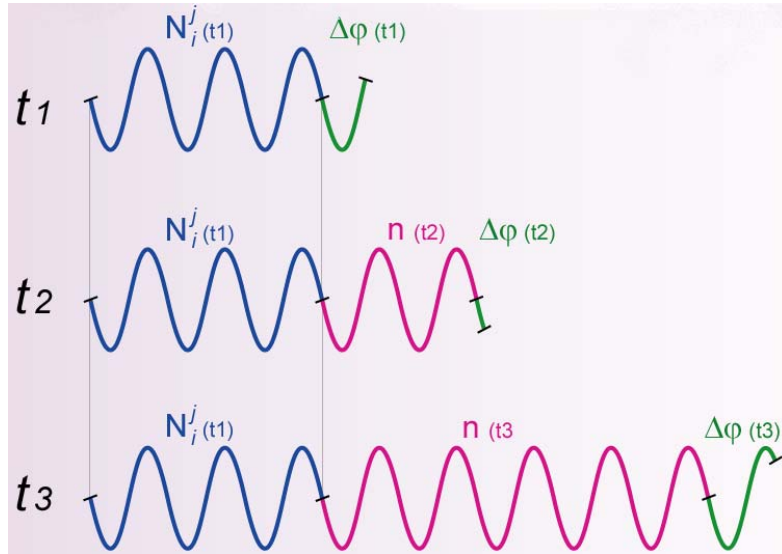
$$\varphi_r^s(t) = \varphi_r(t) - \varphi^s(t)$$

$$= f_r t + f_r \delta t_r - f^s t + f^s \frac{\rho}{c} - f^s \delta t^s$$

$$= f^s \frac{\rho}{c} + (f_r - f^s) t + f_r \delta t_r - f^s \delta t^s$$

$$\varphi_r^s(t) = f \frac{\rho}{c} + f (\delta t_r - \delta t^s) = f \frac{\rho}{c} + f \delta t_r^s$$

فاز موج حامل و ابهام فاز اوليه



$$\varphi_r^s(t) = \Delta\varphi_r^s + N$$

$$\Phi = \rho + d\rho + c(\delta t_r - \delta t^s) + \lambda N - d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon(\Phi_{mult}) + \varepsilon(\Phi_{rx})$$

کمیت های مشاهده (سنجه های) ماهواره ای

• داپلر

$$\dot{\Phi} = \dot{\rho} + d\dot{\rho} + c(\dot{\delta t}_r - \dot{\delta t}^s) + \dot{d}_{ion} + \dot{d}_{trop} + \varepsilon(\dot{\Phi}_{mult}) + \varepsilon(\dot{\Phi}_{rx})$$

سنجه های ترکیبی - ترکیب های غیر تفاضلی سنجه های مختلف

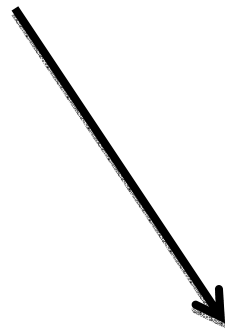
• ترکیب خطی شبه فاصله فازی

$$\Phi = n_1 \Phi_1 + n_2 \Phi_2 = n_1 f_1 t + n_2 f_2 t = ft$$

$$f = n_1 f_1 + n_2 f_2$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$Noise = \sqrt{n_1^2 \varepsilon_1^2 + n_2^2 \varepsilon_2^2}$$



$$\Phi_N = \Phi_1 + \Phi_2 = (f_1 + f_2)t$$

$$\Phi_W = \Phi_1 - \Phi_2 = (f_1 - f_2)t$$

$$\Phi_G = \Phi_1 - \frac{f_2}{f_1} \Phi_2 = \left(f_1 - \frac{f_2^2}{f_1} \right) t$$

$$\Phi_I = \Phi_1 - \frac{f_1}{f_2} \Phi_2 = (f_1 - f_1)t$$

سنجه های ترکیبی - ترکیب های غیر تفاضلی سنجه های مختلف

• هموار سازی شبه فاصله کدی

$$P_i = \frac{P_i}{\lambda_i} = P_i \frac{f_i}{c}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P(t_1) = \frac{f_1 P_1(t_1) - f_2 P_2(t_1)}{f_1 + f_2} \\ \Phi_w(t_1) = \Phi_1(t_1) - \Phi_2(t_1) \\ P(t_i)_{ex} = P(t_1) + (\Phi_w(t_i) - \Phi_w(t_1)) \\ P(t_i)_{sm} = \frac{1}{2} (P(t_i) + P(t_i)_{ex}) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P(t_i) = \frac{f_1 P_1(t_i) - f_2 P_2(t_i)}{f_1 + f_2} \\ \Phi_w(t_i) = \Phi_1(t_i) - \Phi_2(t_i) \\ P(t_i)_{ex} = P(t_{i-1})_{sm} + (\Phi_w(t_i) - \Phi_w(t_{i-1})) \\ P(t_i)_{sm} = \frac{1}{2} (P(t_i) + P(t_i)_{ex}) \end{array} \right.$$

سنجه های ترکیبی - ترکیب های غیر تفاضلی سنجه های مختلف

• هموار سازی شبه فاصله کدی

$$P(t_i)_{sm} = wP(t_i) + (1-w)P(t_i)_{ex}$$

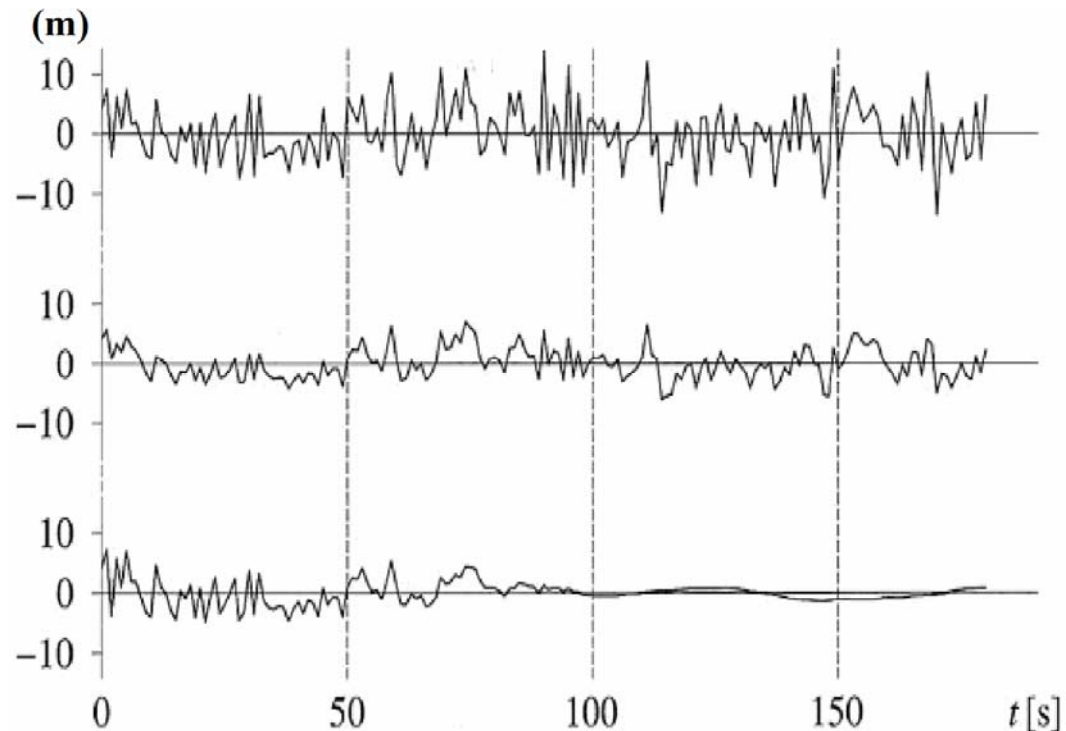
$$= wP(t_i) + (1-w)(P(t_{i-1})_{sm} + \Phi_W(t_i) - \Phi_W(t_{i-1}))$$

Other way:

$$P(t_1)_i = P(t_i) + \Delta\Phi(t_i, t_1)$$

$$P(t_1)_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P(t_1)_i$$

$$P(t_1)_{sm} = P(t_1)_m + \Delta\Phi(t_i, t_1)$$



ترکیب های تفاضلی سنجه های مشابه

• ترکیب تفاضلی یگانه

$$\Delta P = \Delta \rho + \Delta d\rho - c\delta t_r + \Delta d_{ion} + \Delta d_{trop} + \varepsilon(\Delta P_{mult}) + \varepsilon(\Delta P_{rx})$$

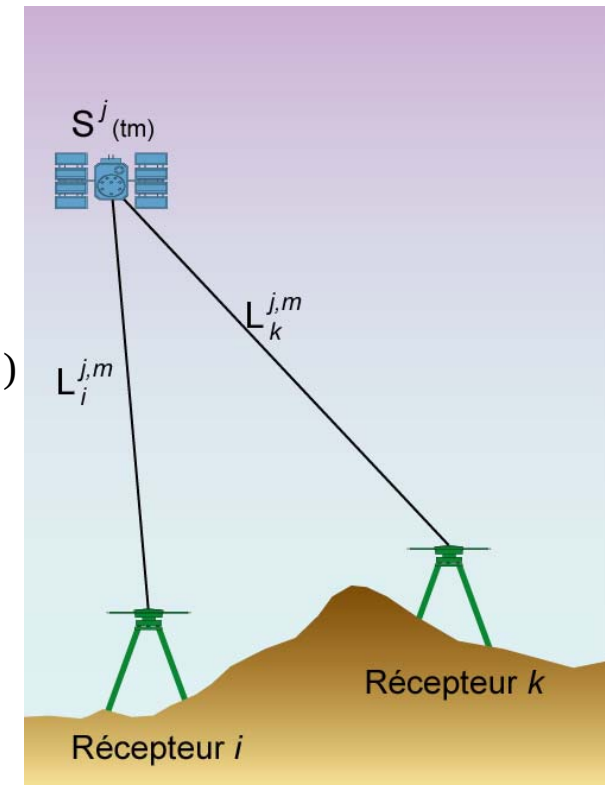
$$\Delta \Phi = \Delta \rho + \Delta d\rho - c\delta t_r + \lambda \Delta N - \Delta d_{ion} + \Delta d_{trop} + \varepsilon(\Delta \Phi_{mult}) + \varepsilon(\Delta \Phi_{rx})$$

$$\nabla P = \nabla \rho + \nabla d\rho + c\nabla \delta t^s + \nabla d_{ion} + \nabla d_{trop} + \varepsilon(\nabla P_{mult}) + \varepsilon(\nabla P_{rx})$$

$$\nabla \Phi = \nabla \rho + \nabla d\rho + c\nabla \delta t^s + \lambda \nabla N - \nabla d_{ion} + \nabla d_{trop} + \varepsilon(\nabla \Phi_{mult}) + \varepsilon(\nabla \Phi_{rx})$$

$$\delta P = \delta \rho + \delta d\rho + c\delta(\delta t^s - \delta t_r) + \delta d_{ion} + \delta d_{trop} + \varepsilon(\delta P_{mult}) + \varepsilon(\delta P_{rx})$$

$$\delta \Phi = \delta \rho + \delta d\rho + c\delta(\delta t^s - \delta t_r) - \delta d_{ion} + \delta d_{trop} + \varepsilon(\delta \Phi_{mult}) + \varepsilon(\delta \Phi_{rx})$$



ترکیب های تفاضلی سنجه های مشابه

• ترکیب تفاضلی دوگانه

$$\nabla \Delta P = \nabla \Delta \rho + \nabla \Delta d \rho + \nabla \Delta d_{ion} + \nabla \Delta d_{trop} + \varepsilon(\nabla \Delta P_{mult}) + \varepsilon(\nabla \Delta P_{rx})$$

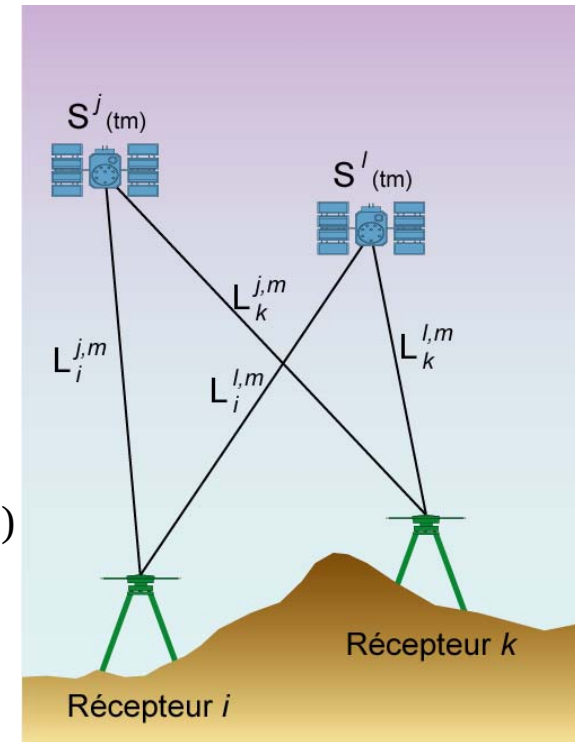
$$\nabla \Delta \Phi = \nabla \Delta \rho + \nabla \Delta d \rho + \lambda \nabla \Delta N - \nabla \Delta d_{ion} + \nabla \Delta d_{trop} + \varepsilon(\nabla \Delta \Phi_{mult}) + \varepsilon(\nabla \Delta \Phi_{rx})$$

$$\delta \Delta P = \delta \Delta \rho + \delta \Delta d \rho - c \delta \Delta \delta t_r + \delta \Delta d_{ion} + \delta \Delta d_{trop} + \varepsilon(\delta \Delta P_{mult}) + \varepsilon(\delta \Delta P_{rx})$$

$$\delta \Delta \Phi = \delta \Delta \rho + \delta \Delta d \rho - c \delta \Delta \delta t_r - \delta \Delta d_{ion} + \delta \Delta d_{trop} + \varepsilon(\delta \Delta \Phi_{mult}) + \varepsilon(\delta \Delta \Phi_{rx})$$

$$\delta \nabla P = \delta \nabla \rho + \delta \nabla d \rho + c \delta \nabla \delta t^s + \delta \nabla d_{ion} + \delta \nabla d_{trop} + \varepsilon(\delta \nabla P_{mult}) + \varepsilon(\delta \nabla P_{rx})$$

$$\delta \nabla \Phi = \delta \nabla \rho + \delta \nabla d \rho + c \delta \nabla \delta t^s - \delta \nabla d_{ion} + \delta \nabla d_{trop} + \varepsilon(\delta \nabla \Phi_{mult}) + \varepsilon(\delta \nabla \Phi_{rx})$$

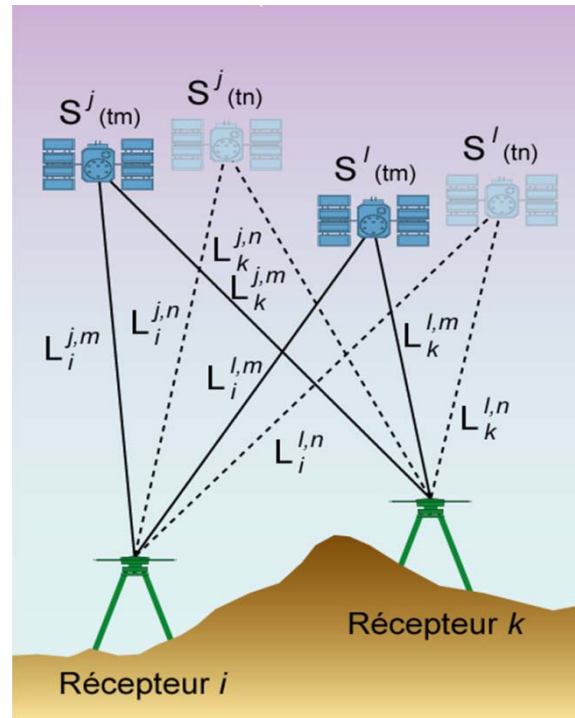


ترکیب های تفاضلی سنجه های مشابه

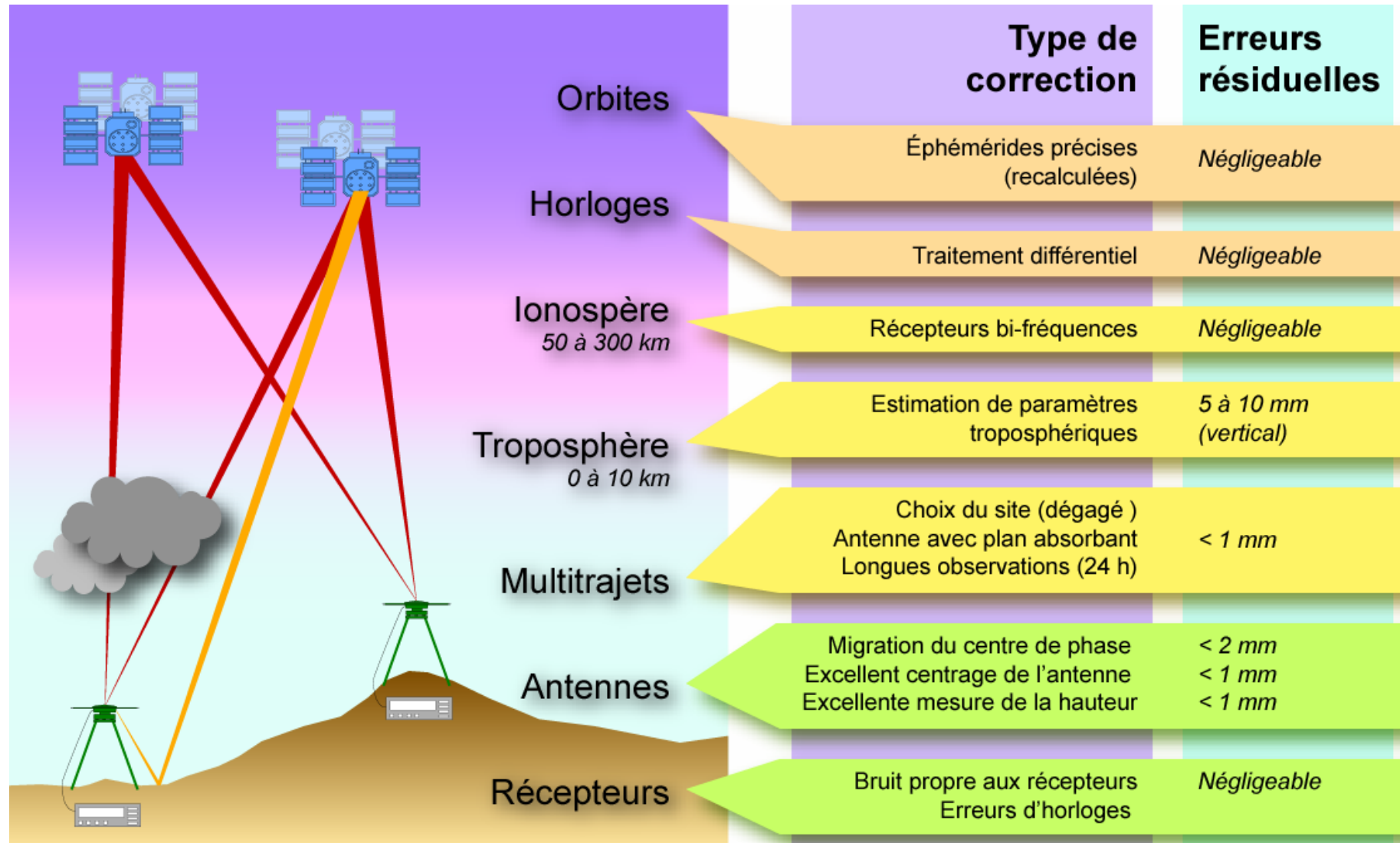
• ترکیب تفاضلی سه گانه

$$\delta\nabla\Delta P = \delta\nabla\Delta\rho + \delta\nabla\Delta d\rho + \delta\nabla\Delta d_{ion} + \delta\nabla\Delta d_{trop} + \varepsilon(\delta\nabla\Delta P_{mult}) + \varepsilon(\delta\nabla\Delta P_{rx})$$

$$\delta\nabla\Delta\Phi = \delta\nabla\Delta\rho + \delta\nabla\Delta d\rho - \delta\nabla\Delta d_{ion} + \delta\nabla\Delta d_{trop} + \varepsilon(\delta\nabla\Delta\Phi_{mult}) + \varepsilon(\delta\nabla\Delta\Phi_{rx})$$

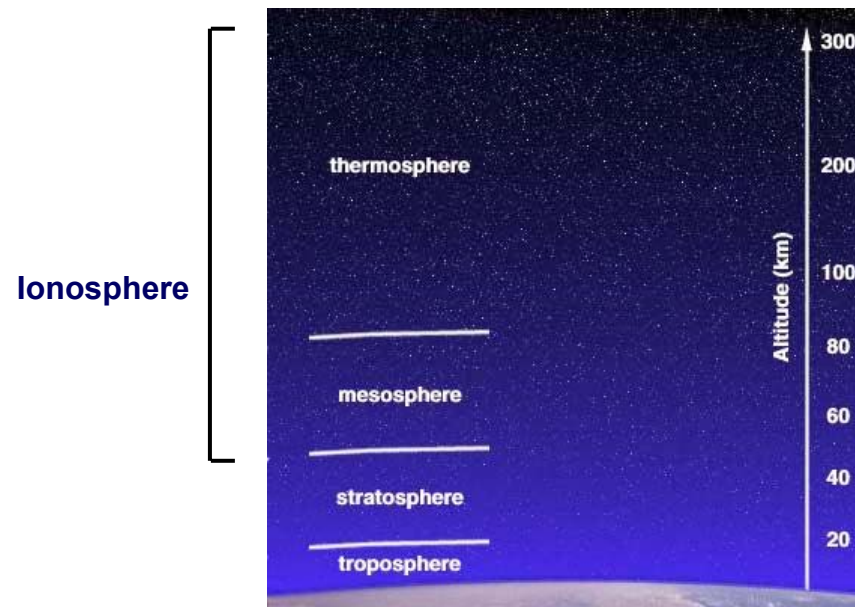


DIFFERENTE SOURCES OF ERRORS AFFECTING THE GPS MEASUREMENTS



منابع خطا در GNSS

اثرهای جوی



منابع خطا در GNSS

- اثرهای جوی - سرعتهای فاز و گروه

$$v_{ph} = \lambda f$$

$$v_{gr} = -\frac{df}{d\lambda} \lambda^2$$

$$dv_{ph} = f d\lambda + \lambda df$$

$$\frac{df}{d\lambda} = \frac{1}{\lambda} \frac{dv_{ph}}{d\lambda} - \frac{f}{\lambda}$$

$$v_{gr} = -\lambda \frac{dv_{ph}}{d\lambda} + f\lambda$$

$$v_{gr} = v_{ph} - \lambda \frac{dv_{ph}}{d\lambda}$$

منابع خطا در GNSS

• سرعت‌های فاز و گروه

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{ph} = \frac{c}{n_{ph}} \\ v_{gr} = \frac{c}{n_{gr}} \end{array} \right.$$

$$\frac{dv_{ph}}{d\lambda} = -\frac{c}{n_{ph}^2} \frac{dn_{ph}}{d\lambda}$$

$$\frac{c}{n_{gr}} = \frac{c}{n_{ph}} + \lambda \frac{c}{n_{ph}^2} \frac{dn_{ph}}{d\lambda}$$

$$\frac{1}{n_{gr}} = \frac{1}{n_{ph}} \left(1 + \lambda \frac{1}{n_{ph}} \frac{dn_{ph}}{d\lambda} \right) \xrightarrow{(1+\varepsilon)^{-1} \cong 1-\varepsilon} n_{gr} = n_{ph} \left(1 - \lambda \frac{1}{n_{ph}} \frac{dn_{ph}}{d\lambda} \right)$$

$$n_{gr} = n_{ph} - \lambda \frac{dn_{ph}}{d\lambda} \xrightarrow{\frac{d\lambda}{\lambda} = -\frac{df}{f}} n_{gr} = n_{ph} + f \frac{dn_{ph}}{df}$$

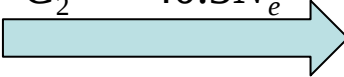
منابع خطا در GNSS

• انکسار یونسفری

$$n_{ph} = 1 + \frac{C_2}{f^2} + \frac{C_3}{f^3} + \frac{C_4}{f^4} + \dots \cong 1 + \frac{C_2}{f^2}$$

$$dn_{ph} = -\frac{2C_2}{f^3} df$$

$$n_{gr} = 1 - \frac{C_2}{f^2}$$

$$C_2 = -40.3N_e$$


$$d_{ph}^{Ion} = s_{ph} - s_0$$

$$= \int n_{ph} ds - \int ds_0$$

$$= \int \left(1 + \frac{C_2}{f^2} \right) ds - \int ds_0$$

$$\cong \int \frac{C_2}{f^2} ds_0$$

$$= -\frac{40.3}{f^2} \int N_e ds_0$$

$$d_{gr}^{Ion} = s_{gr} - s_0$$

$$= \int n_{gr} ds - \int ds_0$$

$$= \int \left(1 - \frac{C_2}{f^2} \right) ds - \int ds_0$$

$$\cong -\int \frac{C_2}{f^2} ds_0$$

$$= \frac{40.3}{f^2} \int N_e ds_0$$

منابع خطا در GNSS

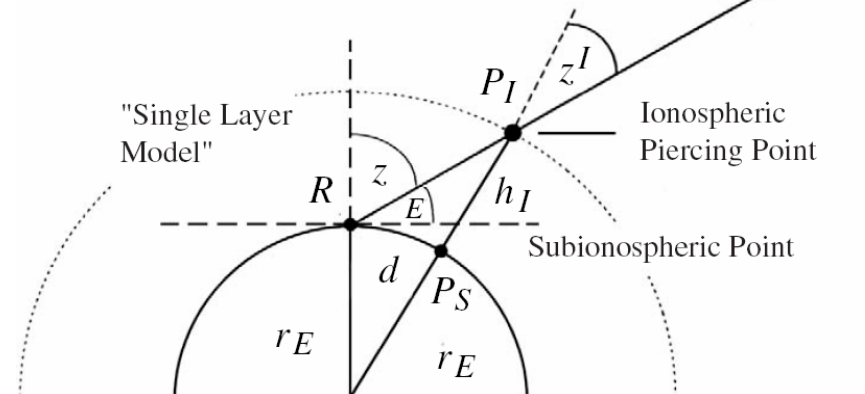
$$TEC = \int N_e ds_0$$

$$d_{ph}^{Ion} = -\frac{40.3}{f^2} TEC$$

$$d_{gr}^{Ion} = \frac{40.3}{f^2} TEC$$

$$\sin z' = \frac{R_E}{R_E + h_m} \sin z \quad \longrightarrow$$

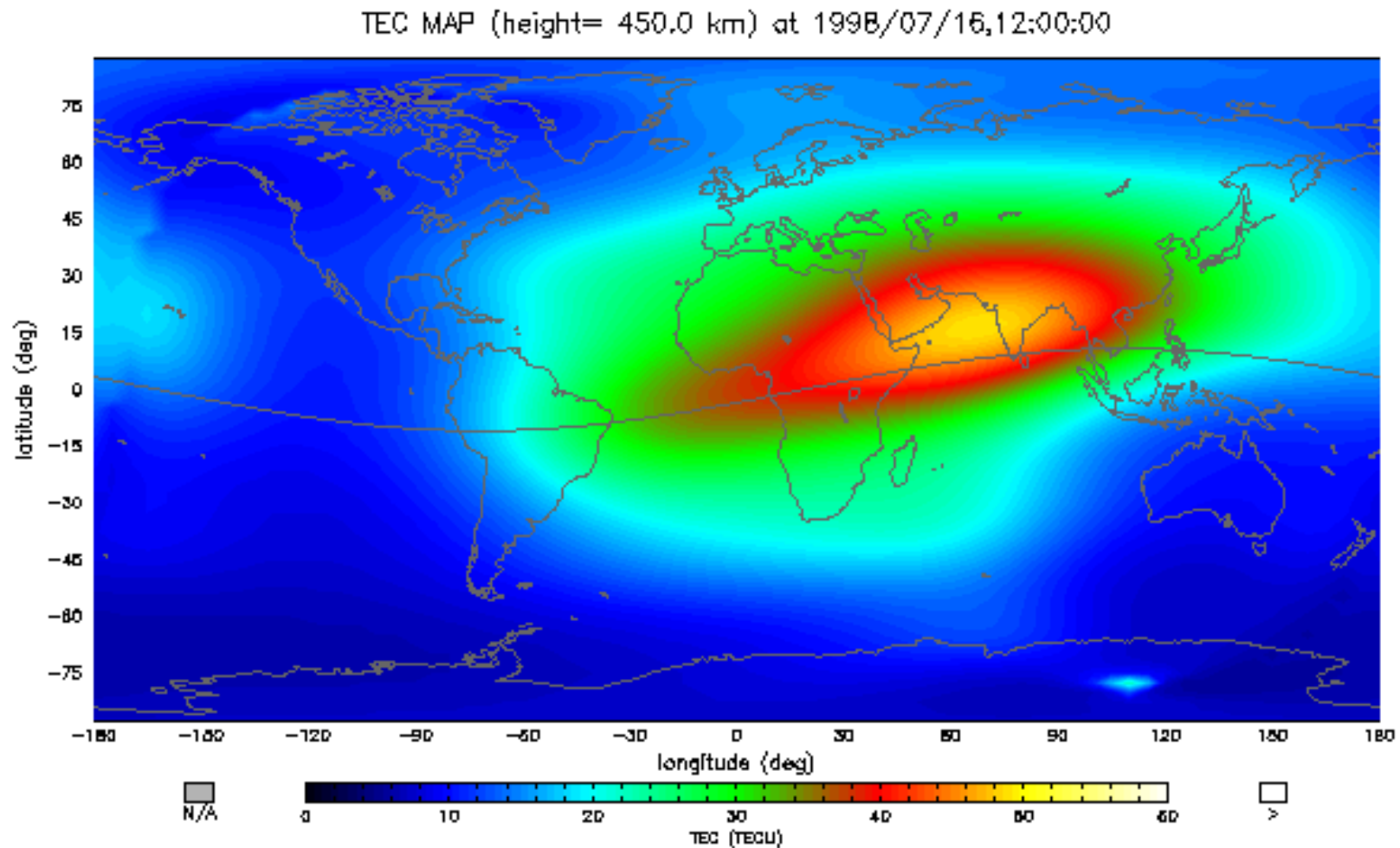
• انکسار یونسفری



$$d_{ph}^{Ion} = -\frac{1}{\cos z'} \frac{40.3}{f^2} VTEC$$

$$d_{gr}^{Ion} = \frac{1}{\cos z'} \frac{40.3}{f^2} VTEC$$

AN EXAMPLE OF TEC MAP



منابع خطا در GNSS

• حذف اثر TEC

$$P_1 = \rho + d\rho + c\delta t_r^s + d_{ion}(f_1)$$

$$P_2 = \rho + d\rho + c\delta t_r^s + d_{ion}(f_2)$$

$$P_{12} = n_1 P_1 + n_2 P_2$$

$$n_1 d_{ion}(f_1) + n_2 d_{ion}(f_2) = 0 \xrightarrow{n_1 = 1} n_2 = -\frac{d_{ion}(f_1)}{d_{ion}(f_2)}$$

$$n_2 = -\frac{f_2^2}{f_1^2} \longrightarrow P_{12} = P_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2} P_2$$

منابع خطا در GNSS

• حذف اثر TEC

$$\Phi_1 = \frac{1}{\lambda_1} \rho + f_1 \delta t_r^s + N_1 - \frac{1}{\lambda_1} d_{ion}(f_1)$$

$$\Phi_2 = \frac{1}{\lambda_2} \rho + f_2 \delta t_r^s + N_2 - \frac{1}{\lambda_2} d_{ion}(f_2)$$

$$\Phi_{12} = \rho \left(\frac{n_1}{\lambda_1} + \frac{n_2}{\lambda_2} \right) + \delta t_r^s (n_1 f_1 + n_2 f_2) + n_1 N_1 + n_2 N_2$$

$$\Phi_{12} = n_1 \Phi_1 + n_2 \Phi_2 \longrightarrow$$

$$+ \frac{n_1}{\lambda_1} d_{ion}(f_1) + \frac{n_2}{\lambda_2} d_{ion}(f_2)$$

$$\frac{n_1}{\lambda_1} d_{ion}(f_1) + \frac{n_2}{\lambda_2} d_{ion}(f_2) = 0 \longrightarrow n_2 = - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{d_{ion}(f_1)}{d_{ion}(f_2)}$$

$$n_2 = - \frac{f_2}{f_1} \longrightarrow \Phi_{12} = \Phi_1 - \frac{f_2}{f_1} \Phi_2$$

منابع خطا در GNSS

• انکسار تروپوسفری

$$d^{Trop} = \int (n - 1) ds$$

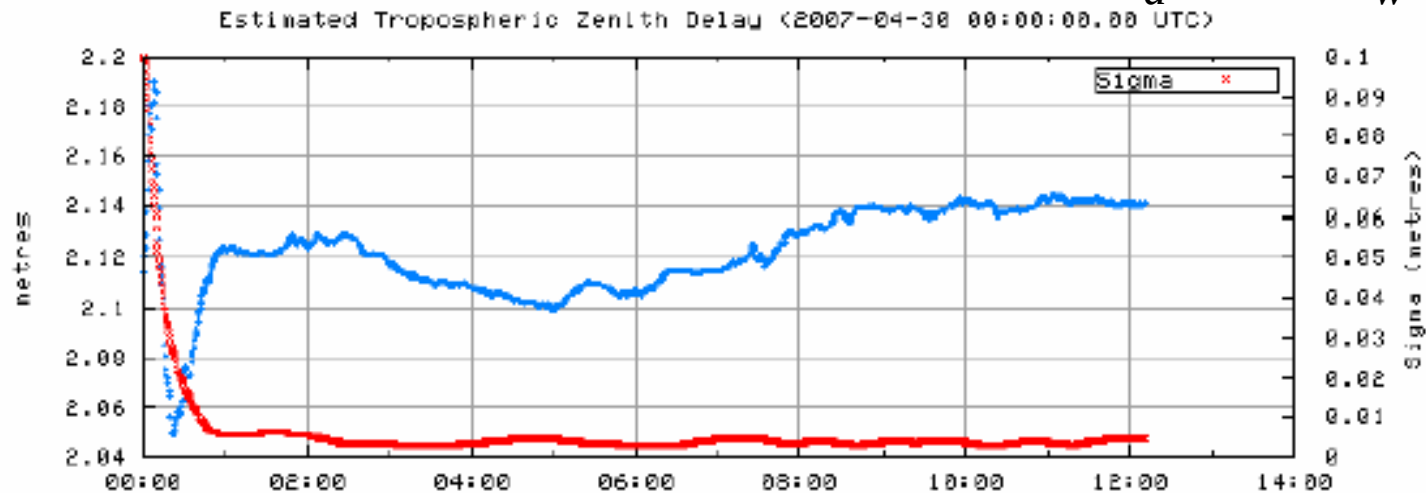
$$d^{Trop} = 10^{-6} \int N^{Trop} ds$$

$$N^{Trop} = N_d^{Trop} + N_w^{Trop}$$

$$d_d^{Trop} = 10^{-6} \int N_d^{Trop} ds$$

$$d_w^{Trop} = 10^{-6} \int N_w^{Trop} ds$$

$$d^{Trop} = d_d^{Trop} + d_w^{Trop}$$



منابع خطا در GNSS

- Numerical example:

$$\Delta L^{trop} = \Delta L_D^{trop} + \Delta L_W^{trop}$$

	Elévation	90°	20°	15°	10°	5°
	(m)	2.31	6.71	8.81	12.90	23.61
ΔL_d^{trop}	(m)	0.20	0.58	0.77	1.14	2.21
ΔL_w^{trop}	(m)	2.51	7.29	9.58	14.04	25.82

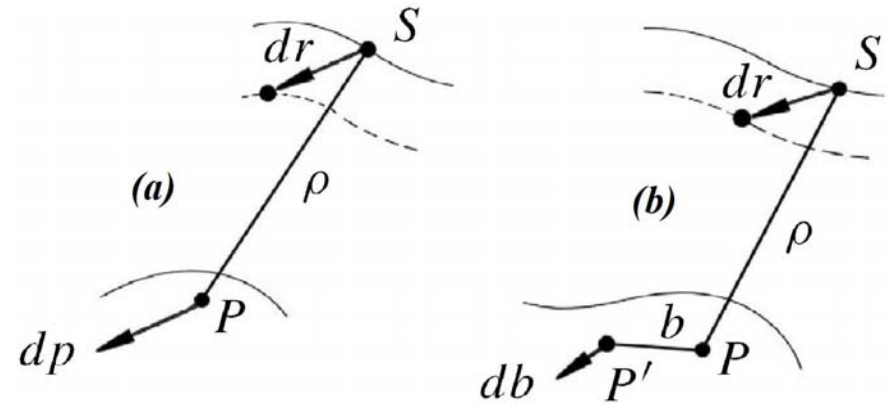
$$\Delta L^{trop}(EL) = \Delta L Z_D^{trop} \cdot F_D^{trop}(EL) + \Delta L Z_W^{trop} \cdot F_W^{trop}(EL)$$

منابع خطا در GNSS

• خطاي مداري

$$\frac{db}{b} = \frac{dr}{\rho}$$

Baseline length	Admissible orbit error
0.1 km	2500 m
1.0 km	250 m
10 km	25 m
100 km	2.5 m
1000 km	0.25 m



Orbits	Accuracy	Latency	Updates	Sample Interval
Broadcast	~ 260 cm/ ~ 7 ns	real time	–	daily
Ultra-Rapid	~ 25 cm/ ~ 5 ns	real time	twice daily	15 min/15 min
Rapid	5 cm/0.2 ns	17 hours	daily	15 min/5 min
Final	< 5 cm/0.1 ns	~ 13 days	weekly	15 min/5 min

منابع خطا در GNSS

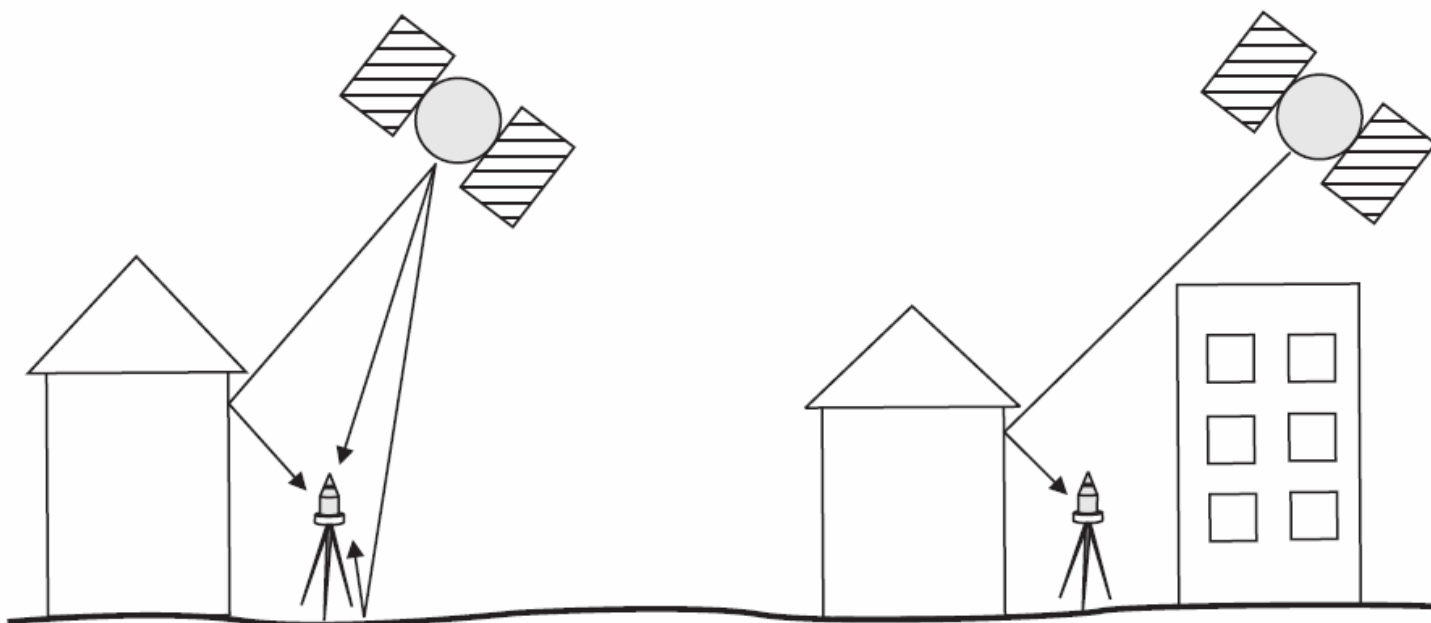
- خطاي ساعت ماهواره

$$\Delta t_{sv} = a_0 + a_1(t - t_0) + a_2(t - t_0)^2$$

- خطاي ساعت گیرنده

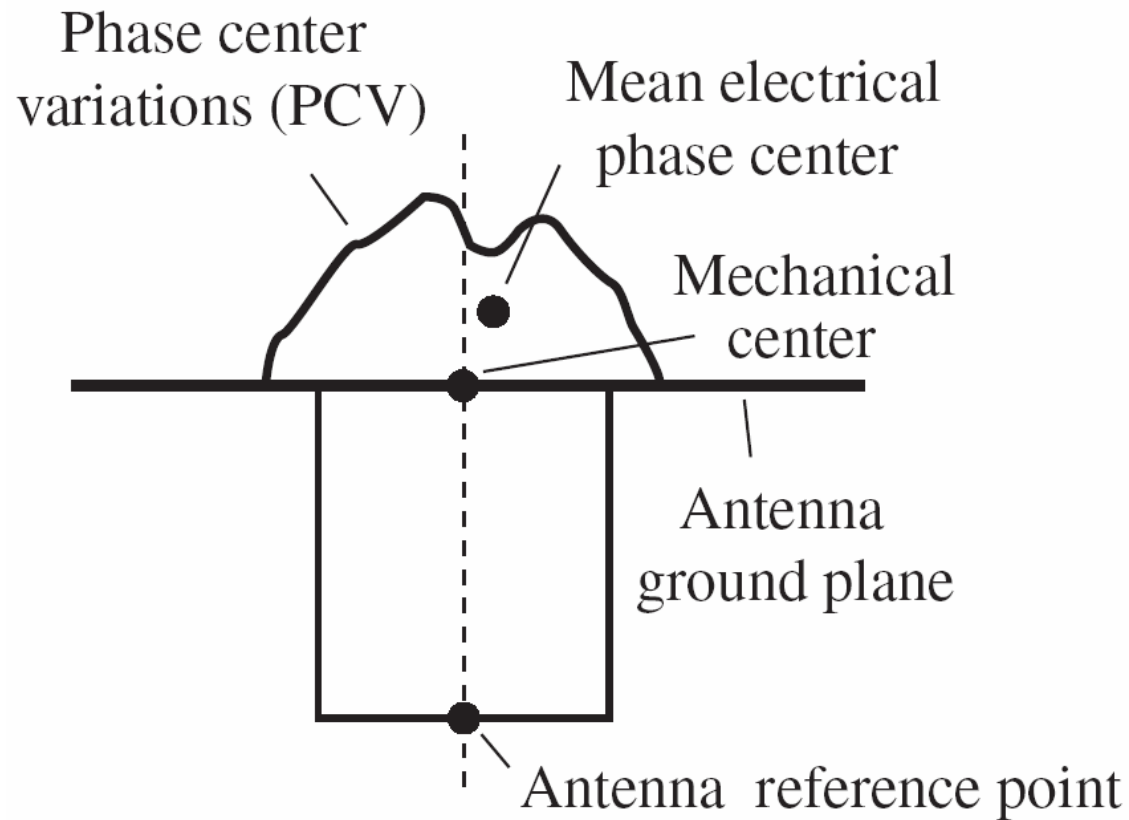
منابع خطا در GNSS

• خطای چند مسیری



منابع خطا در GNSS

• خطای صفر و تغییرات مرکز فاز آنتن

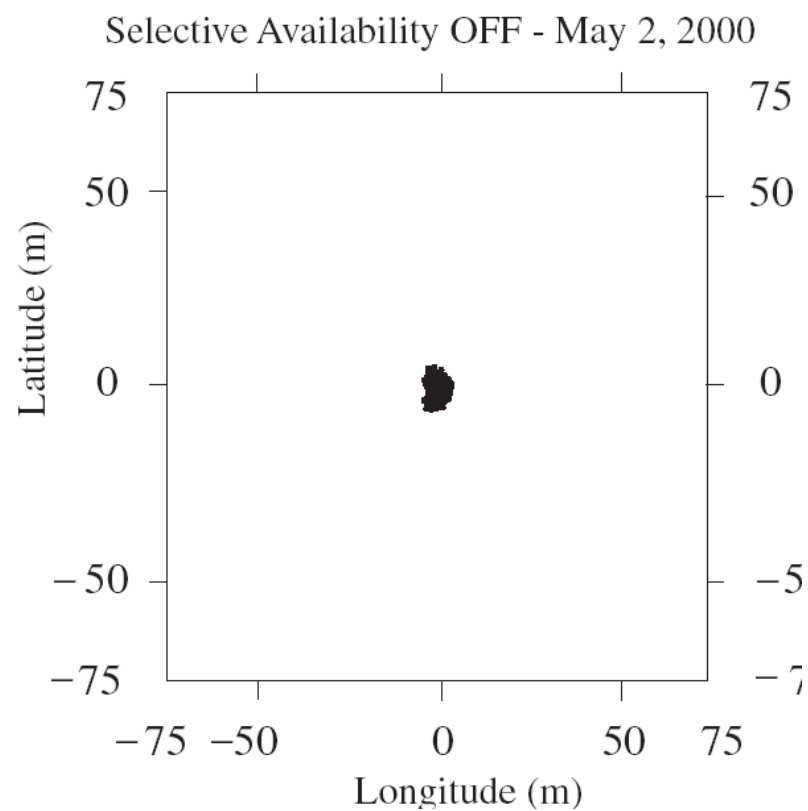
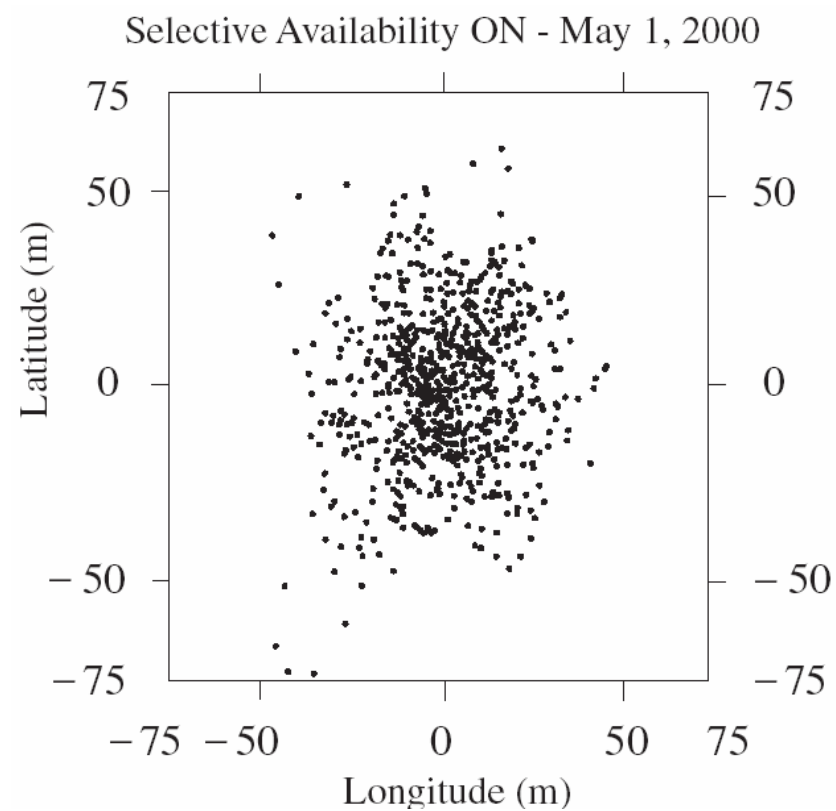


منابع خطا در GNSS

- اثرات نسبیتی

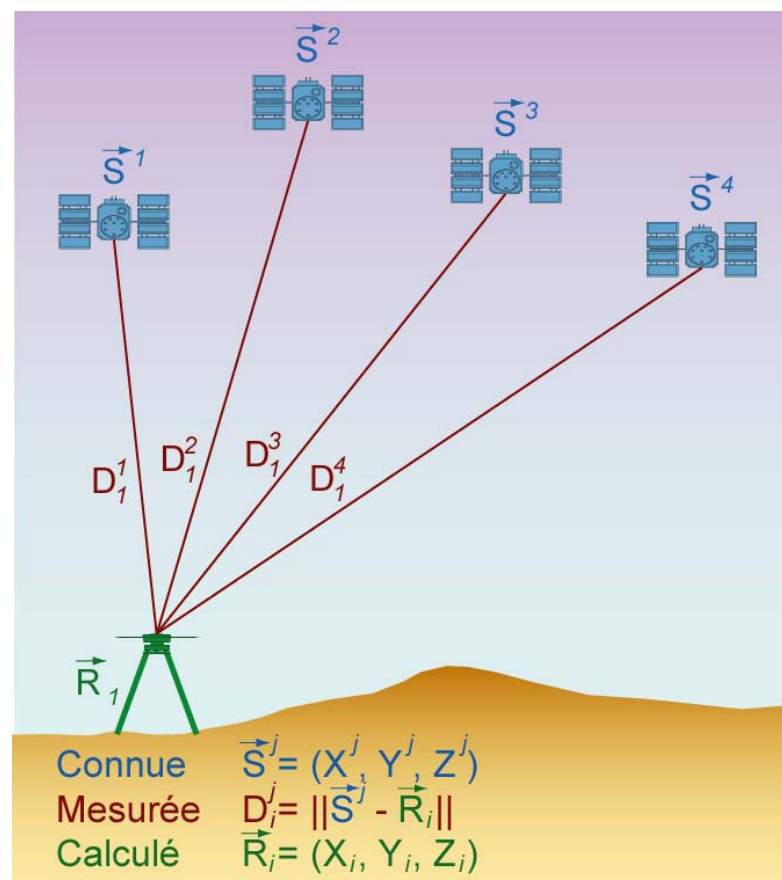
- نویز گیرنده

قابلیت انتخابی SA در GPS



روشهای تعیین موقعیت در GNSS

- تعیین موقعیت نقطه ای (SPP)



روشهای تعیین موقعیت در GNSS

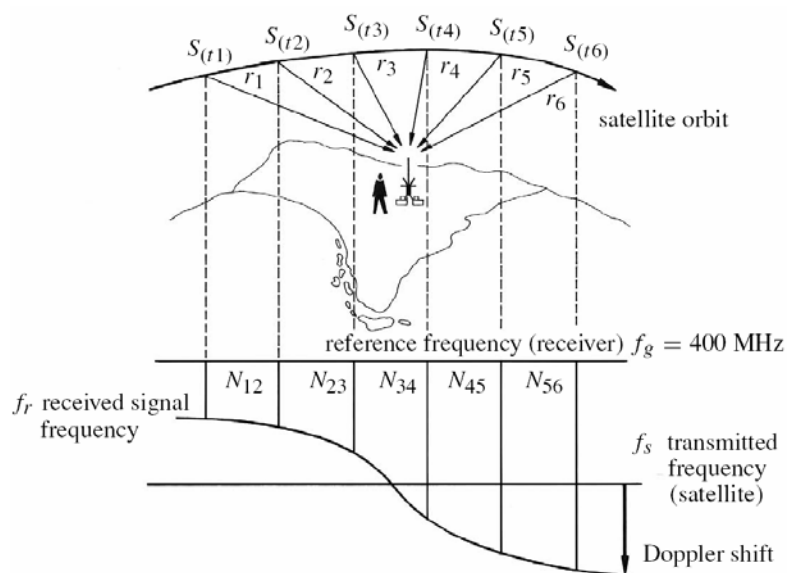
• تعیین موقعیت نقطه ای با روش دایر

$$N_{12} = \int_{t_1 + \frac{r_1}{c}}^{t_2 + \frac{r_2}{c}} (f_g - f_r) dt = \int_{t_1 + \frac{r_1}{c}}^{t_2 + \frac{r_2}{c}} f_g dt - \int_{t_1 + \frac{r_1}{c}}^{t_2 + \frac{r_2}{c}} f_r dt$$

$$\int_{t_1 + \frac{r_1}{c}}^{t_2 + \frac{r_2}{c}} f_r dt = \int_{t_1}^{t_2} f_s dt$$

$$N_{n-1,n} = \frac{\Delta \rho_{n-1,n}}{c} f_g + (f_g - f_s) \Delta t_{n-1,n}$$

$$N_{n-1,n} = \frac{f_g}{c} \left[\left[(X_n - X_r)^2 + (Y_n - Y_r)^2 + (Z_n - Z_r)^2 \right]^{0.5} - \left[(X_{n-1} - X_r)^2 + (Y_{n-1} - Y_r)^2 + (Z_{n-1} - Z_r)^2 \right]^{0.5} \right] + (f_g - f_s) \Delta t_{n-1,n}$$



روشهاي تعيين موقعيت در GNSS

- تعيين موقعيت نقطه‌اي با شبه فاصله کد

$$P_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c\delta t_i(t)$$

$$n_j \cdot n_t \geq 3 + n_t$$

روشهاي تعيين موقعيت در GNSS

- تعيين موقعيت نقطه اي با فاز موج حامل

$$\Phi_i^j(t) = \rho_i^j(t) + \lambda N_i^j + c \delta t_i(t)$$

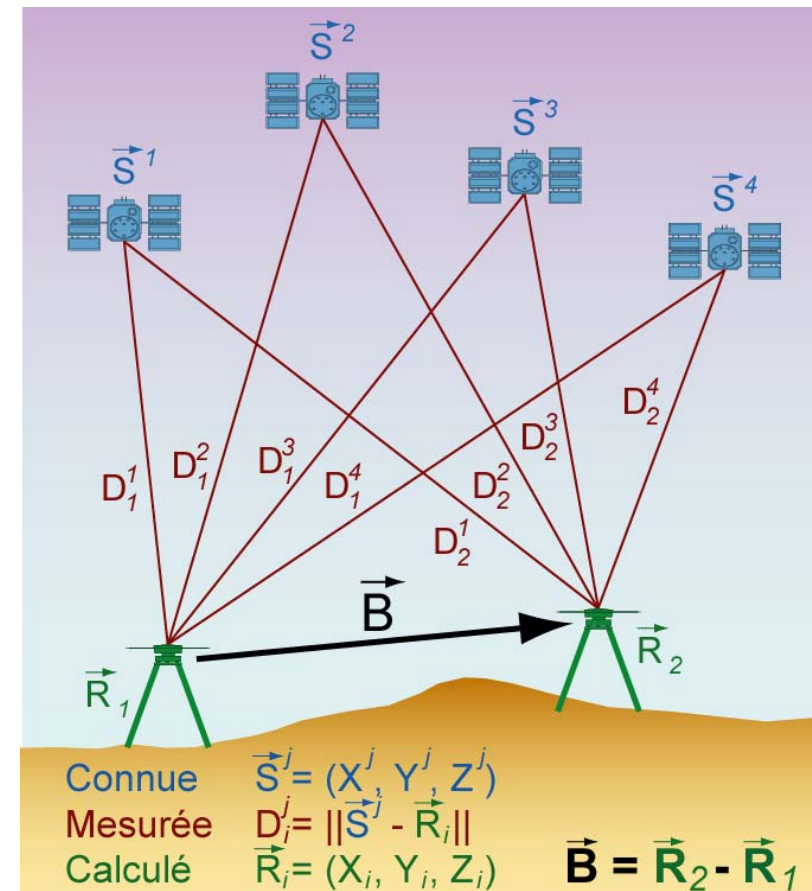
$$n_j \cdot n_t \geq 3 + n_j + n_t$$

روشهای تعیین موقعیت در GNSS

• تعیین موقعیت تفاضلی یا نسبی (DGNSS)

$$R_B = R_A + \Delta R_{AB}$$

$$\Delta R_{AB} = \begin{bmatrix} X_B & - & X_A \\ Y_B & - & Y_A \\ Z_B & - & Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix}$$

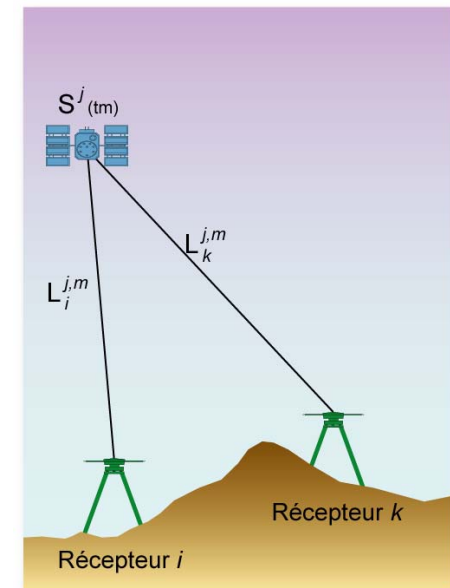


روشهای تعیین موقعیت در GNSS

• تعیین موقعیت تفاضلی یگانه

$$\Delta P = \Delta \rho + \Delta d\rho + c\delta t_r + \Delta d_{ion} + \Delta d_{trop} + \varepsilon(\Delta P_{mult}) + \varepsilon(\Delta P_{rx})$$

$$\Delta \Phi = \Delta \rho + \Delta d\rho + c\delta t_r + \lambda \Delta N - \Delta d_{ion} + \Delta d_{trop} + \varepsilon(\Delta \Phi_{mult}) + \varepsilon(\Delta \Phi_{rx})$$

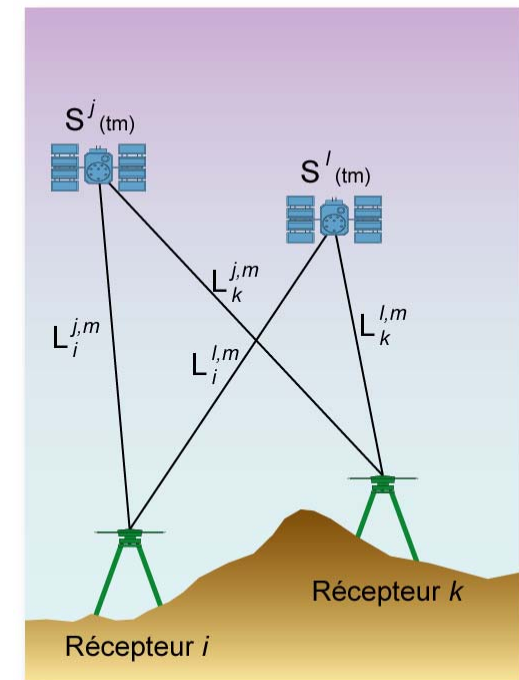


روشهای تعیین موقعیت در GNSS

- تعیین موقعیت تفاضلی دوگانه

$$\nabla \Delta P = \nabla \Delta \rho + \nabla \Delta d\rho + \nabla \Delta d_{ion} + \nabla \Delta d_{trop} + \varepsilon(\nabla \Delta P_{mult}) + \varepsilon(\nabla \Delta P_{rx})$$

$$\nabla \Delta \Phi = \nabla \Delta \rho + \nabla \Delta d\rho + \lambda \nabla \Delta N - \nabla \Delta d_{ion} + \nabla \Delta d_{trop} + \varepsilon(\nabla \Delta \Phi_{mult}) + \varepsilon(\nabla \Delta \Phi_{rx})$$

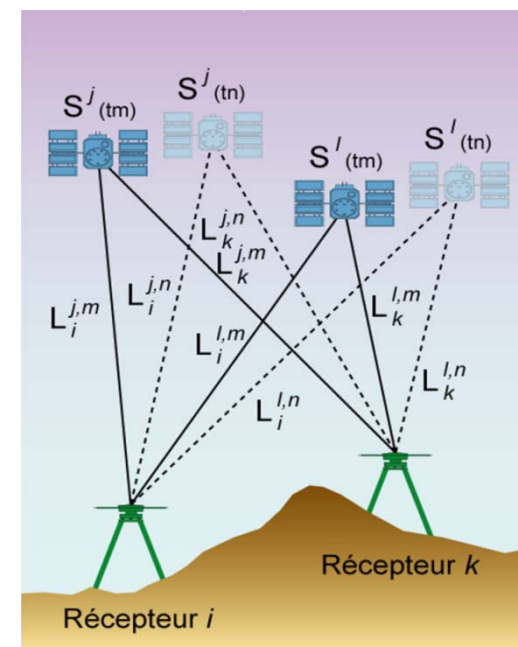


روشهای تعیین موقعیت در GNSS

• تعیین موقعیت تفاضلی سه گانه

$$\delta\nabla\Delta P = \delta\nabla\Delta\rho + \delta\nabla\Delta d\rho + \delta\nabla\Delta d_{ion} + \delta\nabla\Delta d_{trop} + \varepsilon(\delta\nabla\Delta P_{mult}) + \varepsilon(\delta\nabla\Delta P_{rx})$$

$$\delta\nabla\Delta\Phi = \delta\nabla\Delta\rho + \delta\nabla\Delta d\rho - \delta\nabla\Delta d_{ion} + \delta\nabla\Delta d_{trop} + \varepsilon(\delta\nabla\Delta\Phi_{mult}) + \varepsilon(\delta\nabla\Delta\Phi_{rx})$$



روشهاي تعيين موقعيت در GNSS

• تعيين موقعيت تفاضلي در حالت استاتيک

$$\Delta\Phi_{AB}^k(t) = \Delta\rho_{AB}^k(t) + \lambda\Delta N_{AB}^k + c\delta t_{AB}(t) \implies n_s n_t \geq 3 + n_s + n_t \implies n_t \geq \frac{n_s + 3}{n_s - 1}$$

$$\Delta\nabla\Phi_{AB}^{kl}(t) = \Delta\nabla\rho_{AB}^{kl}(t) + \Delta\nabla N_{AB}^{kl} \implies (n_s - 1)n_t \geq 3 + (n_s - 1) \implies n_t \geq \frac{n_s + 2}{n_s - 1}$$

$$\delta\Delta\nabla\Phi_{AB}^{kl}(t_{12}) = \delta\Delta\nabla\rho_{AB}^{kl}(t_{12}) \implies (n_t - 1)(n_s - 1) \geq 3 \implies n_t \geq \frac{n_s + 2}{n_s - 1}$$

روشهاي تعيين موقعيت در GNSS

• تعيين موقعيت تفاضلي در حالت كينماتيك

$$\Delta\Phi_{AB}^k(t) = \Delta\rho_{AB}^k(t) + \lambda\Delta N_{AB}^k + c\delta t_{AB}(t) \implies n_s n_t \geq 3n_t + n_s + n_t$$

$$\Delta\nabla\Phi_{AB}^{kl}(t) = \Delta\nabla\rho_{AB}^{kl}(t) + \Delta\nabla N_{AB}^{kl} \implies (n_s - 1)n_t \geq 3n_t + (n_s - 1)$$

$$\delta\Delta\nabla\Phi_{AB}^{kl}(t_{12}) = \delta\Delta\nabla\rho_{AB}^{kl}(t_{12}) \implies (n_s - 1)(n_t - 1) \geq 3n_t$$

مدل های ریاضی تعیین موقعیت

• مدل ریاضی تعیین موقعیت نقطه ای با سنجه کد

$$P_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c\delta t_i(t)$$

$$\rho_i^j(t) = f(X_i, Y_i, Z_i) = \sqrt{(X^j - X_i)^2 + (Y^j - Y_i)^2 + (Z^j - Z_i)^2}$$

$$X_i = X_o + \Delta X_i$$

$$Y_i = Y_o + \Delta Y_i$$

$$Z_i = Z_o + \Delta Z_i$$

$$\rho_i^j(t) = f(X_i, Y_i, Z_i) = f(X_o + \Delta X_i, Y_o + \Delta Y_i, Z_o + \Delta Z_i)$$

مدل های ریاضی تعیین موقعیت

• مدل ریاضی تعیین موقعیت نقطه ای با سنجه کد

$$\begin{aligned} f(X_i, Y_i, Z_i) &= f(X_o, Y_o, Z_o) \\ &+ \frac{\partial f(X_o, Y_o, Z_o)}{\partial X_o} \Delta X_i + \frac{\partial f(X_o, Y_o, Z_o)}{\partial Y_o} \Delta Y_i + \frac{\partial f(X_o, Y_o, Z_o)}{\partial Z_o} \Delta Z_i \\ &+ \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \dots \end{aligned}$$

$$\rho_0^j(t) = f(X_0, Y_0, Z_0) = \sqrt{(X^j - X_0)^2 + (Y^j - Y_0)^2 + (Z^j - Z_0)^2}$$

$$\frac{\partial f(X_0, Y_0, Z_0)}{\partial X_0} = -\frac{X^j(t) - X_0}{\rho_0^j(t)}$$

$$\frac{\partial f(X_0, Y_0, Z_0)}{\partial Y_0} = -\frac{Y^j(t) - Y_0}{\rho_0^j(t)}$$

$$\frac{\partial f(X_0, Y_0, Z_0)}{\partial Z_0} = -\frac{Z^j(t) - Z_0}{\rho_0^j(t)}$$

مدل های ریاضی تعیین موقعیت

• مدل ریاضی تعیین موقعیت نقطه ای با سنجه کد

$$P_i^j(t) = \rho_0^j(t) - \frac{X^j(t) - X_0}{\rho_0^j(t)} \Delta X_i - \frac{Y^j(t) - Y_0}{\rho_0^j(t)} \Delta Y_i - \frac{Z^j(t) - Z_0}{\rho_0^j(t)} \Delta Z_i + c \delta t_i(t)$$

$$l_i^j(t) = a_{Xi}^J \Delta X_i + a_{Yi}^J \Delta Y_i + a_{Zi}^J \Delta Z_i + c \delta t_i(t)$$

$$l_i^j(t) = P_i^j(t) - \rho_0^j(t)$$

$$a_{Xi}^j = - \frac{X^j(t) - X_0}{\rho_0^j(t)}$$

$$a_{Yi}^j = - \frac{Y^j(t) - Y_0}{\rho_0^j(t)}$$

$$a_{Zi}^j = - \frac{Z^j(t) - Z_0}{\rho_0^j(t)}$$

مدل های ریاضی تعیین موقعیت

• مدل ریاضی تعیین موقعیت نقطه ای با سنجه کد

$$l_i^1(t) = a_{Xi}^1 \Delta X_i + a_{Yi}^1 \Delta Y_i + a_{Zi}^1 \Delta Z_i + c \delta t_i(t)$$

$$l_i^2(t) = a_{Xi}^2 \Delta X_i + a_{Yi}^2 \Delta Y_i + a_{Zi}^2 \Delta Z_i + c \delta t_i(t)$$

$$l_i^3(t) = a_{Xi}^3 \Delta X_i + a_{Yi}^3 \Delta Y_i + a_{Zi}^3 \Delta Z_i + c \delta t_i(t)$$

$$l_i^4(t) = a_{Xi}^4 \Delta X_i + a_{Yi}^4 \Delta Y_i + a_{Zi}^4 \Delta Z_i + c \delta t_i(t)$$

$$\underline{L} = \underline{A} \underline{X}$$

$$\underline{L} = \begin{bmatrix} l_i^1 \\ l_i^2 \\ l_i^3 \\ l_i^4 \end{bmatrix}$$

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} a_{Xi}^1 & a_{Yi}^1 & a_{Zi}^1 & c \\ a_{Xi}^2 & a_{Yi}^2 & a_{Zi}^2 & c \\ a_{Xi}^3 & a_{Yi}^3 & a_{Zi}^3 & c \\ a_{Xi}^4 & a_{Yi}^4 & a_{Zi}^4 & c \end{bmatrix}$$

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \\ \delta t_i(t) \end{bmatrix}$$

مدل های ریاضی تعیین موقعیت

- مدل ریاضی تعیین موقعیت نقطه ای با سنجه کد

$$\underline{L} + \underline{r} = \underline{A} \underline{X}$$

$$\underline{C}_L = \sigma_0^2 \underline{I}$$

$$\underline{P} = \frac{1}{\sigma_0^2} \underline{C}_L^{-1}$$

$$\underline{\hat{X}} = \left(\underline{A}^T \underline{A} \right)^{-1} \underline{A}^T \underline{L}$$

$$\underline{\hat{X}} = \left(\underline{A}^T \underline{P} \underline{A} \right)^{-1} \underline{A}^T \underline{P} \underline{L}$$

$$\underline{C}_{\hat{X}} = \left(\underline{A}^T \underline{A} \right)^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma_{X_r}^2 & \sigma_{X_r Y_r} & \sigma_{X_r Z_r} & \sigma_{X_r t_r} \\ \sigma_{X_r Y_r} & \sigma_{Y_r}^2 & \sigma_{Y_r Z_r} & \sigma_{Y_r t_r} \\ \sigma_{X_r Z_r} & \sigma_{Y_r Z_r} & \sigma_{Z_r}^2 & \sigma_{Z_r t_r} \\ \sigma_{X_r t_r} & \sigma_{Y_r t_r} & \sigma_{Z_r t_r} & \sigma_{t_r}^2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{C}_{\hat{X}} = \left(\underline{A}^T \underline{P} \underline{A} \right)^{-1}$$

مدل های ریاضی تعیین موقعیت

$$\underline{C}_{\hat{T}} = \underline{R} \underline{C}_{\hat{X}} \underline{R}^T = \begin{bmatrix} \sigma_{n_r}^2 & \sigma_{n_r e_r} & \sigma_{n_r h_r} \\ \sigma_{n_r e_r} & \sigma_{e_r}^2 & \sigma_{e_r h_r} \\ \sigma_{n_r h_r} & \sigma_{e_r h_r} & \sigma_{h_r}^2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix}$$

ضرب تعديل دقت (DOP)

$$DOP = \frac{\sigma}{\sigma_0}$$

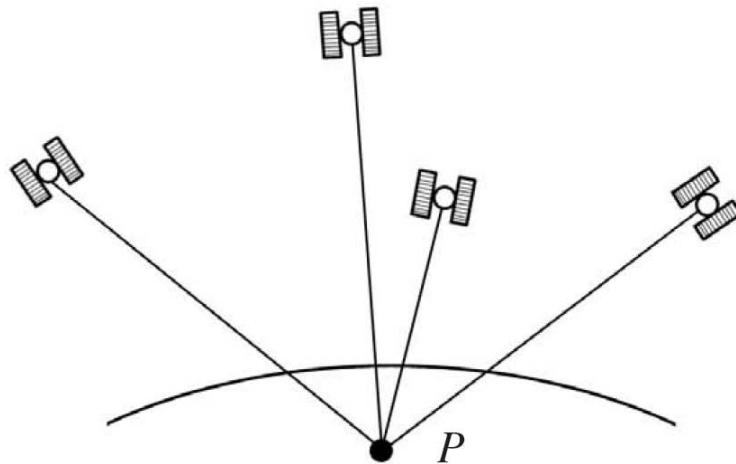
$$VDOP = \sigma_u$$

$$HDOP = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_e^2}$$

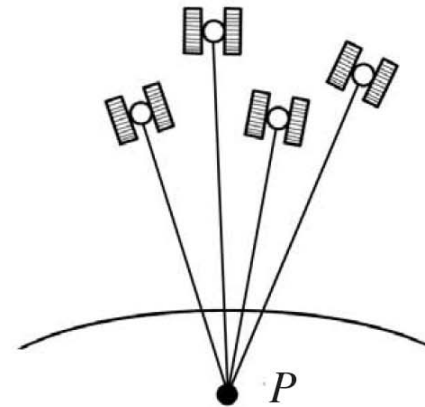
$$PDOP = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_e^2 + \sigma_u^2} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2}$$

$$TDOP = \sigma_t$$

$$GDOP = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_e^2 + \sigma_u^2 + \sigma_t^2}$$



good PDOP



bad PDOP

مدل های ریاضی تعیین موقعیت

• مدل ریاضی تعیین موقعیت نقطه ای با سنجه فاز

$$\Phi_i^j(t) = \rho_i^j(t) + \lambda N_i^j + c \delta t_i(t)$$

$$\begin{aligned} \Phi_i^j(t) - \rho_0^j(t) = & -\frac{X^j(t) - X_0}{\rho_0^j(t)} \Delta X_i - \frac{Y^j(t) - Y_0}{\rho_0^j(t)} \Delta Y_i - \frac{Z^j(t) - Z_0}{\rho_0^j(t)} \Delta Z_i \\ & + \lambda N_i^j + c \delta t_i(t) \end{aligned}$$

$$l_i^j(t) = a_{Xi}^j \Delta X_i + a_{Yi}^j \Delta Y_i + a_{Zi}^j \Delta Z_i + \lambda N_i^j + c \delta t_i(t)$$

مدل های ریاضی تعیین موقعیت

• مدل ریاضی تعیین موقعیت نقطه ای با سنجه فاز (۱ اپک)

$$l_i^1(t) = a_{Xi}^1 \Delta X_i + a_{Yi}^1 \Delta Y_i + a_{Zi}^1 \Delta Z_i + \lambda N_i^1 + c \delta t_i(t)$$

$$l_i^2(t) = a_{Xi}^2 \Delta X_i + a_{Yi}^2 \Delta Y_i + a_{Zi}^2 \Delta Z_i + \lambda N_i^2 + c \delta t_i(t)$$

$$l_i^3(t) = a_{Xi}^3 \Delta X_i + a_{Yi}^3 \Delta Y_i + a_{Zi}^3 \Delta Z_i + \lambda N_i^3 + c \delta t_i(t)$$

$$l_i^4(t) = a_{Xi}^4 \Delta X_i + a_{Yi}^4 \Delta Y_i + a_{Zi}^4 \Delta Z_i + \lambda N_i^4 + c \delta t_i(t)$$

$$\underline{L} = \underline{A} \underline{X}$$

$$\underline{L} = \begin{bmatrix} \Phi_i^1(t) - \rho_0^1(t) \\ \Phi_i^2(t) - \rho_0^2(t) \\ \Phi_i^3(t) - \rho_0^3(t) \\ \Phi_i^4(t) - \rho_0^4(t) \end{bmatrix}$$

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} -\frac{X^1(t) - X_0}{\rho_0^1(t)} & -\frac{Y^1(t) - Y_0}{\rho_0^1(t)} & -\frac{Z^1(t) - Z_0}{\rho_0^1(t)} & \lambda & 0 & 0 & 0 & c \\ -\frac{X^2(t) - X_0}{\rho_0^2(t)} & -\frac{Y^2(t) - Y_0}{\rho_0^2(t)} & -\frac{Z^2(t) - Z_0}{\rho_0^2(t)} & 0 & \lambda & 0 & 0 & c \\ -\frac{X^3(t) - X_0}{\rho_0^3(t)} & -\frac{Y^3(t) - Y_0}{\rho_0^3(t)} & -\frac{Z^3(t) - Z_0}{\rho_0^3(t)} & 0 & 0 & \lambda & 0 & c \\ -\frac{X^4(t) - X_0}{\rho_0^4(t)} & -\frac{Y^4(t) - Y_0}{\rho_0^4(t)} & -\frac{Z^4(t) - Z_0}{\rho_0^4(t)} & 0 & 0 & 0 & \lambda & c \end{bmatrix}$$

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \\ N_i^1 \\ N_i^2 \\ N_i^3 \\ N_i^4 \\ \delta t_i(t) \end{bmatrix}$$

مدل های ریاضی تعیین موقعیت

• مدل ریاضی تعیین موقعیت نقطه ای با سنجه فاز (۳ اپک)

$$\underline{L} + \underline{r} = \underline{A}\underline{X} \quad \hat{\underline{X}} = \left(\underline{A}^T \underline{P}\underline{A} \right)^{-1} \underline{A}^T \underline{P}\underline{L}$$

$$\underline{L} = \begin{bmatrix} \Phi_i^1(t_1) - \rho_0^1(t_1) \\ \Phi_i^2(t_1) - \rho_0^2(t_1) \\ \Phi_i^3(t_1) - \rho_0^3(t_1) \\ \Phi_i^4(t_1) - \rho_0^4(t_1) \\ \Phi_i^1(t_2) - \rho_0^1(t_2) \\ \Phi_i^2(t_2) - \rho_0^2(t_2) \\ \Phi_i^3(t_2) - \rho_0^3(t_2) \\ \Phi_i^4(t_2) - \rho_0^4(t_2) \\ \Phi_i^1(t_3) - \rho_0^1(t_3) \\ \Phi_i^2(t_3) - \rho_0^2(t_3) \\ \Phi_i^3(t_3) - \rho_0^3(t_3) \\ \Phi_i^4(t_3) - \rho_0^4(t_3) \end{bmatrix} \quad \underline{A} = \begin{bmatrix} a_{Xi}^1(t_1) & a_{Yi}^1(t_1) & a_{Zi}^1(t_1) & \lambda & 0 & 0 & 0 & c & 0 & 0 \\ a_{Xi}^1(t_1) & a_{Yi}^1(t_1) & a_{Zi}^1(t_1) & 0 & \lambda & 0 & 0 & c & 0 & 0 \\ a_{Xi}^1(t_1) & a_{Yi}^1(t_1) & a_{Zi}^1(t_1) & 0 & 0 & \lambda & 0 & c & 0 & 0 \\ a_{Xi}^1(t_1) & a_{Yi}^1(t_1) & a_{Zi}^1(t_1) & 0 & 0 & 0 & \lambda & c & 0 & 0 \\ a_{Xi}^1(t_2) & a_{Yi}^1(t_2) & a_{Zi}^1(t_2) & \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & c & 0 \\ a_{Xi}^1(t_2) & a_{Yi}^1(t_2) & a_{Zi}^1(t_2) & 0 & \lambda & 0 & 0 & 0 & c & 0 \\ a_{Xi}^1(t_2) & a_{Yi}^1(t_2) & a_{Zi}^1(t_2) & 0 & 0 & \lambda & 0 & 0 & c & 0 \\ a_{Xi}^1(t_2) & a_{Yi}^1(t_2) & a_{Zi}^1(t_2) & 0 & 0 & 0 & \lambda & 0 & c & 0 \\ a_{Xi}^1(t_3) & a_{Yi}^1(t_3) & a_{Zi}^1(t_3) & \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c \\ a_{Xi}^1(t_3) & a_{Yi}^1(t_3) & a_{Zi}^1(t_3) & 0 & \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & c \\ a_{Xi}^1(t_3) & a_{Yi}^1(t_3) & a_{Zi}^1(t_3) & 0 & 0 & \lambda & 0 & 0 & 0 & c \\ a_{Xi}^1(t_3) & a_{Yi}^1(t_3) & a_{Zi}^1(t_3) & 0 & 0 & 0 & \lambda & 0 & 0 & c \end{bmatrix} \quad \underline{X} = \begin{bmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \\ N_i^1 \\ N_i^2 \\ N_i^3 \\ N_i^4 \\ \delta t_i(t_1) \\ \delta t_i(t_1) \\ \delta t_i(t_1) \end{bmatrix}$$

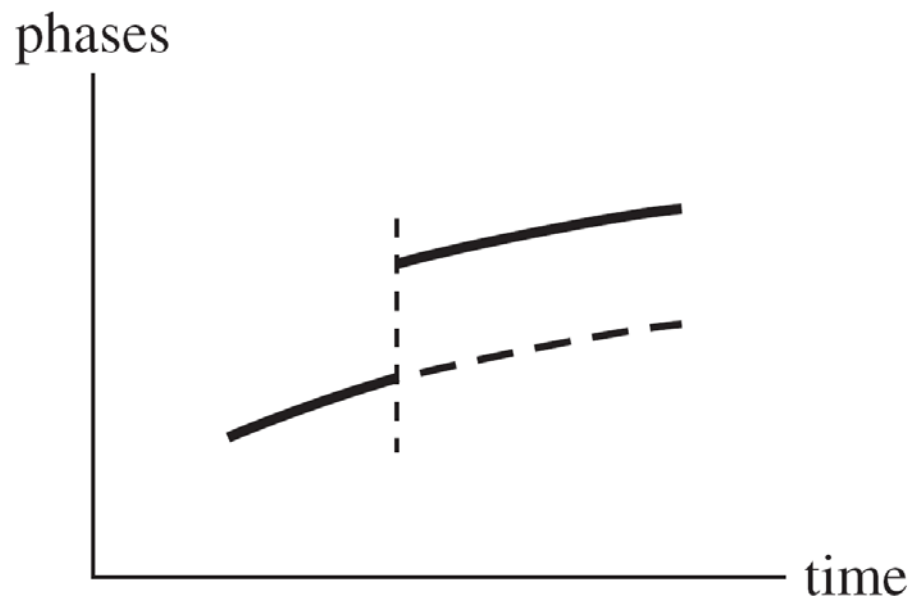
پردازش داده های سامانه های تعیین موقعیت ماهواره ای

- بازیابی و ویرایش داده ها
- تبدیل فرمت داده ها در صورت نیاز

پردازش داده های سامانه های تعیین موقعیت ماهواره ای

• تشخیص و ترمیم جهش فاز

- وجود موانع بین گیرنده و ماهواره مانند درختان، ساختمان ها، پل ها و کوه ها
- پایین بودن سیگنال به نویز، چند مسیری زیاد، حرکت گیرنده و پایین بودن ارتفاع ماهواره
- اشکال در نرم افزار های تعبیه شده در گیرنده و کارکرد بد نوسان ساز های ماهواره



پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

- کمیت های آزمایشی
- کمیت آزمایشی فاز خام
- کمیت آزمایشی ترکیب دو فاز حامل
- کمیت آزمایشی ترکیب فاز و کد
- کمیت آزمایشی ترکیب فاز و کد

پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

• کمیت آزمایشی فاز خام

$$\Phi_r^s(t) = \rho_r^s(t) + d\rho_r^s(t) + c(\delta t_r(t) - \delta t^s(t)) + \lambda N_r^s - d_{ion}(t) + d_{trop}(t) + \varepsilon(t)$$

پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

• کمیت آزمایشی ترکیب دو فاز حامل

$$\Phi_1 = \frac{1}{\lambda_1} \rho + f_1 \delta t_r^s + N_1 - \frac{1}{\lambda_1} d_{ion}(f_1)$$

$$\Phi_2 = \frac{1}{\lambda_2} \rho + f_2 \delta t_r^s + N_2 - \frac{1}{\lambda_2} d_{ion}(f_2)$$

$$\Phi_I = \Phi_1 - \frac{f_1}{f_2} \Phi_2 = N_1 - \frac{f_1}{f_2} N_2 - \frac{1}{c} \frac{40.3}{\cos z'} VTEC \left(\frac{1}{f_1} - \frac{f_1}{f_2^2} \right)$$

پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

• کمیت آزمایشی ترکیب فاز و کد

$$\Phi_r^s(t) = \rho_r^s(t) + d\rho_r^s(t) + c(\delta t_r(t) - \delta t^s(t)) + \lambda N_r^s - d_{ion}(t) + d_{trop}(t) + \varepsilon(t)$$

$$P_r^s(t) = \rho_r^s(t) + d\rho_r^s(t) + c(\delta t_r(t) - \delta t^s(t)) + d_{ion}(t) + d_{trop}(t) + \varepsilon(t)$$

$$\Phi_r^s(t) - P_r^s(t) = \lambda N_r^s - 2d_{ion}(t)$$

پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

• تشخیص و ترمیم

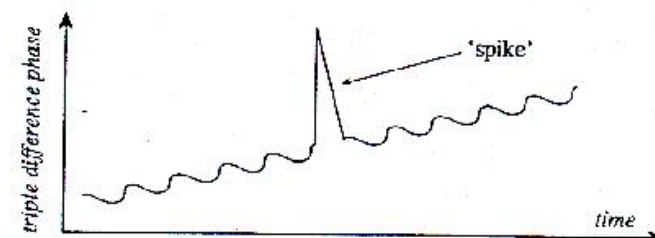
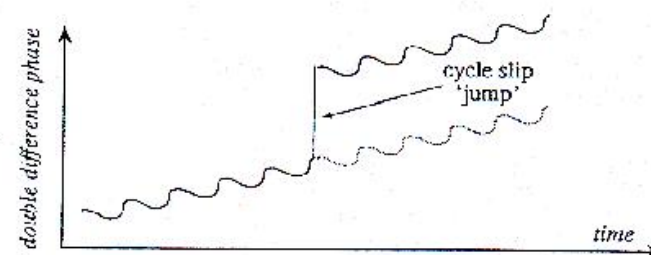
t_i	$y(t_i)$	y^1	y^2	y^3	y^4
t_1	0				
		0			
t_2	0		0		
		0		ε	
t_3	0		ε		-3ε
		ε		-2ε	
t_4	ε		$-\varepsilon$		3ε
		0		ε	
t_5	ε		0		$-\varepsilon$
		0		0	
t_6	ε		0		
		0			
t_7	ε				

$$y(t_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, 7$$

پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

• تشخیص و ترمیم با ترکیب تفاضلی سه گانه

Carrier Phases			
$\Phi_i^p(t-2)$	$\Phi_j^p(t-2)$	$\Phi_i^q(t-2)$	$\Phi_j^q(t-2)$
$\Phi_i^p(t-1)$	$\Phi_j^p(t-1)$	$\Phi_i^q(t-1)$	$\Phi_j^q(t-1)$
$\Phi_i^p(t)$	$\Phi_j^p(t) + \varepsilon$	$\Phi_i^q(t)$	$\Phi_j^q(t)$
$\Phi_i^p(t+1)$	$\Phi_j^p(t+1) + \varepsilon$	$\Phi_i^q(t+1)$	$\Phi_j^q(t+1)$
$\Phi_i^p(t+2)$	$\Phi_j^p(t+2) + \varepsilon$	$\Phi_i^q(t+2)$	$\Phi_j^q(t+2)$
Single Differences			
$\Delta\Phi_{ij}^p(t-2)$		$\Delta\Phi_{ij}^q(t-2)$	
$\Delta\Phi_{ij}^p(t-1)$		$\Delta\Phi_{ij}^q(t-1)$	
$\Delta\Phi_{ij}^p(t) + \varepsilon$		$\Delta\Phi_{ij}^q(t)$	
$\Delta\Phi_{ij}^p(t+1) + \varepsilon$		$\Delta\Phi_{ij}^q(t+1)$	
$\Delta\Phi_{ij}^p(t+2) + \varepsilon$		$\Delta\Phi_{ij}^q(t+2)$	
Double Differences		Triple Differences	
$\nabla\Delta\Phi_{ij}^{pq}(t-2)$		$\delta\nabla\Phi_{ij}^{pq}(t-1, t-2)$	
$\nabla\Delta\Phi_{ij}^{pq}(t-1)$		$\delta\nabla\Phi_{ij}^{pq}(t, t-1) - \varepsilon$	
$\nabla\Delta\Phi_{ij}^{pq}(t) - \varepsilon$		$\delta\nabla\Phi_{ij}^{pq}(t+1, t)$	
$\nabla\Delta\Phi_{ij}^{pq}(t+1) - \varepsilon$		$\delta\nabla\Phi_{ij}^{pq}(t+2, t+1)$	
$\nabla\Delta\Phi_{ij}^{pq}(t+2) - \varepsilon$			



پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

• تشخیص و ترمیم با ترکیب دو فاز

$$\Delta N_I = \Delta N_1 - \frac{f_1}{f_2} \Delta N_2$$

$$\Delta N_1 = \frac{f_1}{f_2} \Delta N_2 = \frac{77}{60} \Delta N_2$$

$$\sigma_\varphi = \pm 0.01 \text{ cycles}$$

$$\Delta N = \Phi_1(t + \Delta t) - \frac{f_1}{f_2} \Phi_2(t + \Delta t) - \left[\Phi_1(t) - \frac{f_1}{f_2} \Phi_2(t) \right]$$

$$\sigma_{\Delta N} = \pm 2.3 \sigma_\varphi = \pm 0.023 \text{ cycles}$$

پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

• تشخیص و ترمیم با ترکیب دو فاز

ΔN	Diff.	ΔN_1	ΔN_2
-11.42	1.00	-5	5
-10.42	0.29	-4	5
-10.13	0.71	-5	4
-9.42	0.29	-3	5
-9.13	0.28	-4	4
-8.85	0.43	-5	3
-8.42	0.29	-2	5
-8.13	0.28	-3	4
-7.85	0.29	-4	3
-7.56	0.14	-5	2
-7.42	0.29	-1	5
-7.13	0.28	-2	4
-6.85	0.29	-3	3
-6.56	0.14	-4	2
-6.42	0.14	0	5
-6.28	0.15	-5	1
-6.13	0.28	-1	4
-5.85	0.29	-2	-3
-5.56	0.14	-3	2
-5.42	0.14	1	5
-5.28	0.15	-4	1
-5.13	0.13	0	4
-5.00	0.15	-5	0
-4.85	0.29	-1	3
-4.56	0.14	-2	2
-4.42	0.14	2	5
-4.28	0.15	-3	1
-4.13	0.13	1	4
-4.00	0.15	-4	0
-3.85	0.13	0	3
-3.72	0.13	-5	-1

ΔN	Diff.	ΔN_1	ΔN_2
-3.72	0.16	-5	-1
-3.56	0.14	-1	2
-3.42	0.14	3	5
-3.28	0.15	-2	1
-3.13	0.13	2	4
-3.00	0.15	-3	0
-2.85	0.13	1	3
-2.72	0.16	-4	-1
-2.56	0.12	0	2
-2.44	0.02 *	-5	-2
-2.42	0.14	4	5
-2.28	0.15	-1	1
-2.13	0.13	3	4
-2.00	0.15	-2	0
-1.85	0.13	2	3
-1.52	0.16	-3	-1
-1.56	0.12	1	2
-1.44	0.02 *	-4	-2
-1.42	0.14	5	5
-1.28	0.13	0	1
-1.15	0.02 *	-5	-3
-1.13	0.13	4	4
-1.00	0.15	-1	0
-0.85	0.13	3	3
-0.72	0.16	-2	-1
-0.56	0.12	2	2
-0.44	0.16	-3	-2
-0.28	0.13	1	1
-0.15	0.02 *	-4	-3
-0.13	0.13	5	4
0.00	0.13	0	0

پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

- ابهام فاز و روش های حل آن
- روش های هندسی یا جستجو در فضای مختصات
- ترکیب مشاهدات کد و فاز یا جستجو در فضای مشاهدات
- روش های جستجوی ابهام فاز
- روش های ترکیبی

پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

• ساختار مشاهدات فاز

$$\varphi^s(t - t_r^s) = \varphi^s(t_0) + f[(t - t_r^s) + \delta t^s - (t_0 + \delta t_0^s)]$$

$$\varphi_r(t) = \varphi_r(t_0) + f[(t + \delta t_r) - (t_0 + \delta t_{0r})]$$

$$\varphi_r^s(t) = \varphi_r(t) - \varphi^s(t - t_r^s) + N_r^s + \varepsilon(\varphi_r^s(t))$$

$$\varphi_r^s(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_r^s(t) + f(\delta t_r - \delta t^s) + A_r^s + \varepsilon(\varphi_r^s(t))$$

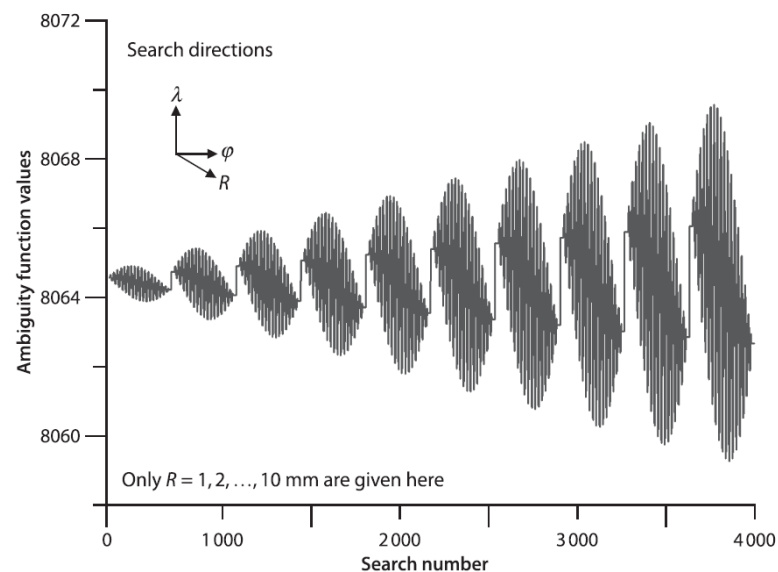
$$A_r^s = [N_r^s + \varphi_r(t_0) - f\delta t_r(t_0) - \varphi^s(t_0) + f\delta t^s(t_0)]$$

$$A_{r_1 r_2}^{s_1 s_2} = (A_{r_2}^{s_2} - A_{r_1}^{s_2}) - (A_{r_2}^{s_1} - A_{r_1}^{s_1}) = N_{r_2}^{s_2} - N_{r_1}^{s_2} - N_{r_2}^{s_1} + N_{r_1}^{s_1} = N_{r_1 r_2}^{s_1 s_2}$$

پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

- روش های هندسی
- روش تابع ابهام فاز

$$\sum_{k=1}^{n_k} \left| \sum_{j=1}^{n_j} \exp \left[2\pi i \left(\varphi_j(t_k) - \rho_j(t_k) / \lambda \right) \right] \right| \Rightarrow \text{Maximum}$$



پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

• ترکیب مشاهدات کد و فاز

$$\Phi_r^s - P_r^s = \lambda N_r^s + dr + \varepsilon$$

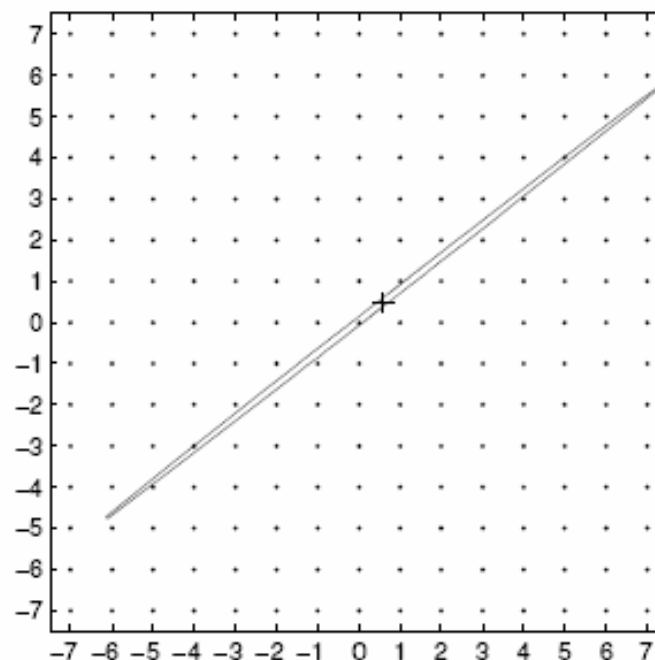
پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

- روش های جستجوی ابهام فاز
- روش LAMBDA

$$\underline{y} = \underline{A}\underline{x} + \underline{A}_N \underline{N}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{\hat{x}} \\ \underline{\hat{N}} \end{bmatrix}, \quad \underline{C} = \begin{bmatrix} \underline{C}_{\hat{x}} & \underline{C}_{\hat{x}\hat{N}} \\ \underline{C}_{\hat{N}\hat{x}} & \underline{C}_{\hat{N}} \end{bmatrix}$$

$$\left(\underline{\hat{N}} - \underline{N} \right)^T \underline{C}_{\hat{N}}^{-1} \left(\underline{\hat{N}} - \underline{N} \right) = \min$$



پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

• کاهش همبستگی ماتریس وریانس ک

- درآیه های ماتریس تبدیل باید اعداد صحیح باشند.
- تبدیل باید حجم (فضای جستجو) را حفظ نماید. برای مثال در حالت دو بعدی سطح جستجو یک بیضی خواهد بود که باید سطح آن پس از تبدیل ثابت باقی بماند.
- تبدیل باید حاصل ضرب تمام وریانس های ابهام فازها را کاهش دهد.

$$\underline{N'} = \underline{Z} \underline{N}$$

$$\underline{\hat{N}'} = \underline{Z} \underline{\hat{N}}$$

$$\underline{C_{\hat{N}'}} = \underline{Z} \underline{C_{\hat{N}}} \underline{Z}^T$$

پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

- تبدیل گوس در حالت دو بعدی

$$\underline{Z}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \alpha_1 & 1 \end{bmatrix}, \quad \alpha_1 = -INT(\sigma_{\hat{N}_1\hat{N}_2} / \sigma_{\hat{N}_1}^2)$$

$$\underline{Z}_2 = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \alpha_2 = -INT(\sigma_{\hat{N}_1\hat{N}_2} / \sigma_{\hat{N}_2}^2)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{N}'_1 \\ \hat{N}'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -INT(\sigma_{\hat{N}_1\hat{N}_2} / \sigma_{\hat{N}_2}^2) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{N}_1 \\ \hat{N}_2 \end{bmatrix}$$

پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

• مثال دو بعدی

$$\underline{\hat{N}} = \begin{bmatrix} \hat{N}_1 \\ \hat{N}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.05 \\ 1.30 \end{bmatrix}$$

$$\underline{C}_{\hat{N}} = \begin{bmatrix} \sigma_{\hat{N}_1}^2 & \sigma_{\hat{N}_1\hat{N}_2} \\ \sigma_{\hat{N}_1\hat{N}_2} & \sigma_{\hat{N}_2}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 53.4 & 38.4 \\ 38.4 & 28.0 \end{bmatrix}$$

$$\alpha_2 = -INT(\sigma_{\hat{N}_1\hat{N}_2} / \sigma_{\hat{N}_2}^2) = -INT(38.4/28.0) = -1$$

$$\underline{Z}_2 = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

• مثال دو بعدی

$$\underline{C}_{\hat{N}'} = \underline{Z}_2 \underline{C}_{\hat{N}} \underline{Z}_2^T = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 53.4 & 38.4 \\ 38.4 & 28.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\underline{C}_{\hat{N}'} = \begin{bmatrix} 4.6 & 10.4 \\ 10.4 & 28.0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{N}'_1 \\ \hat{N}'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -INT(\sigma_{\hat{N}_1 \hat{N}_2} / \sigma_{\hat{N}_2}^2) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{N}_1 \\ \hat{N}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.05 \\ 1.30 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{N}'_1 \\ \hat{N}'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.25 \\ 1.30 \end{bmatrix}$$

$$\underline{C}_{\hat{N}} : \quad a = 9.0, \quad b = 0.5, \quad \theta = 35^\circ$$

$$\underline{C}_{\hat{N}'} : \quad a' = 5.7, \quad b' = 0.8, \quad \theta' = 69^\circ$$

پردازش داده های سامانه های ناوبری

ماهواره ای

• مثال دو بعدی

$$\alpha_1 = -INT(\sigma_{\hat{N}_1\hat{N}_2} / \sigma_{\hat{N}_1}^2) = -INT(10.4/4.6) = -2$$

$$\underline{Z}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2 & 1 \end{bmatrix}$$

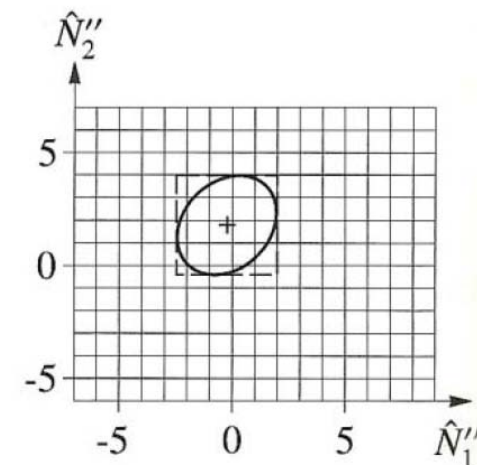
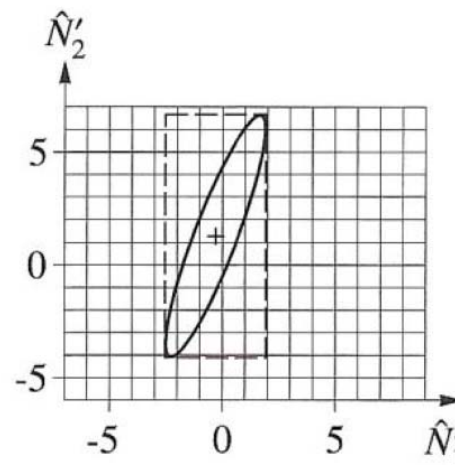
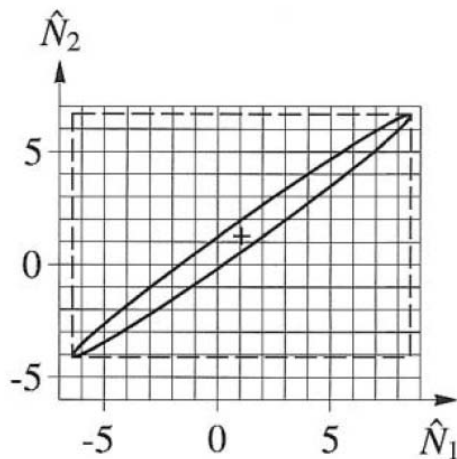
$$\underline{C}_{\hat{N}''} = \underline{Z}_1 \underline{C}_{\hat{N}'} \underline{Z}_1^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4.6 & 10.4 \\ 10.4 & 28.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\underline{C}_{\hat{N}''} = \begin{bmatrix} 4.6 & 1.2 \\ 1.2 & 4.8 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{N}_1'' \\ \hat{N}_2'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -INT(\sigma_{\hat{N}_1\hat{N}_2} / \sigma_{\hat{N}_1}^2) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{N}_1 \\ \hat{N}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.25 \\ 1.30 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{N}_1'' \\ \hat{N}_2'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.25 \\ 1.80 \end{bmatrix}$$

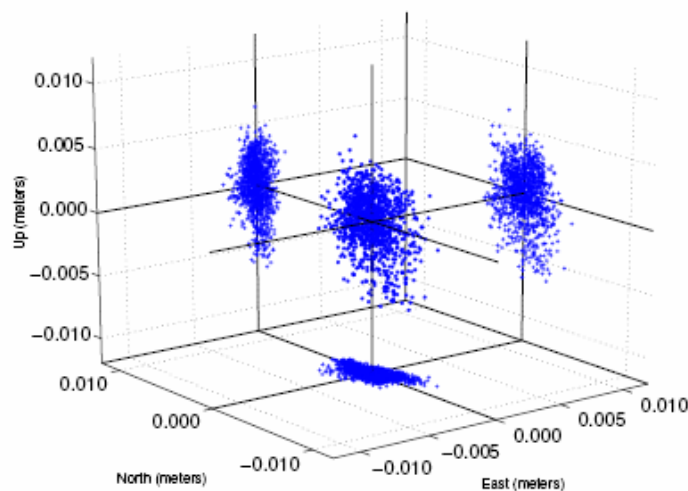
$$\underline{C}_{\hat{N}''} : a'' = 2.4, b'' = 1.9, \theta'' = 47^\circ$$



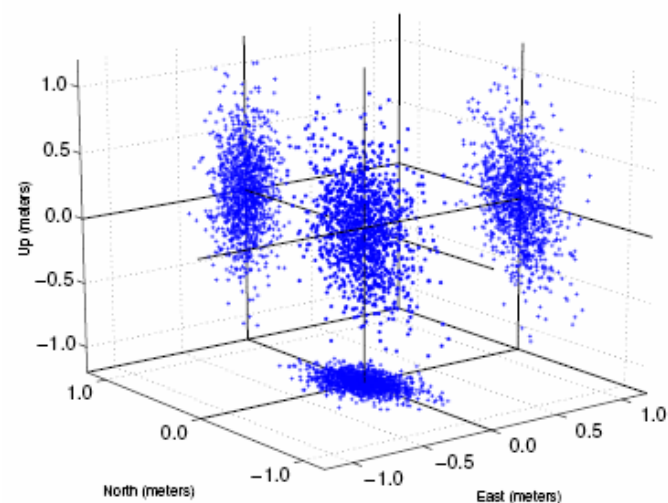
پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

- اثر ابهام فازهای شناور و صحیح بر روی برآورد مولفه های اختلاف مختصات ها

Ambiguities fixed



Ambiguities not fixed



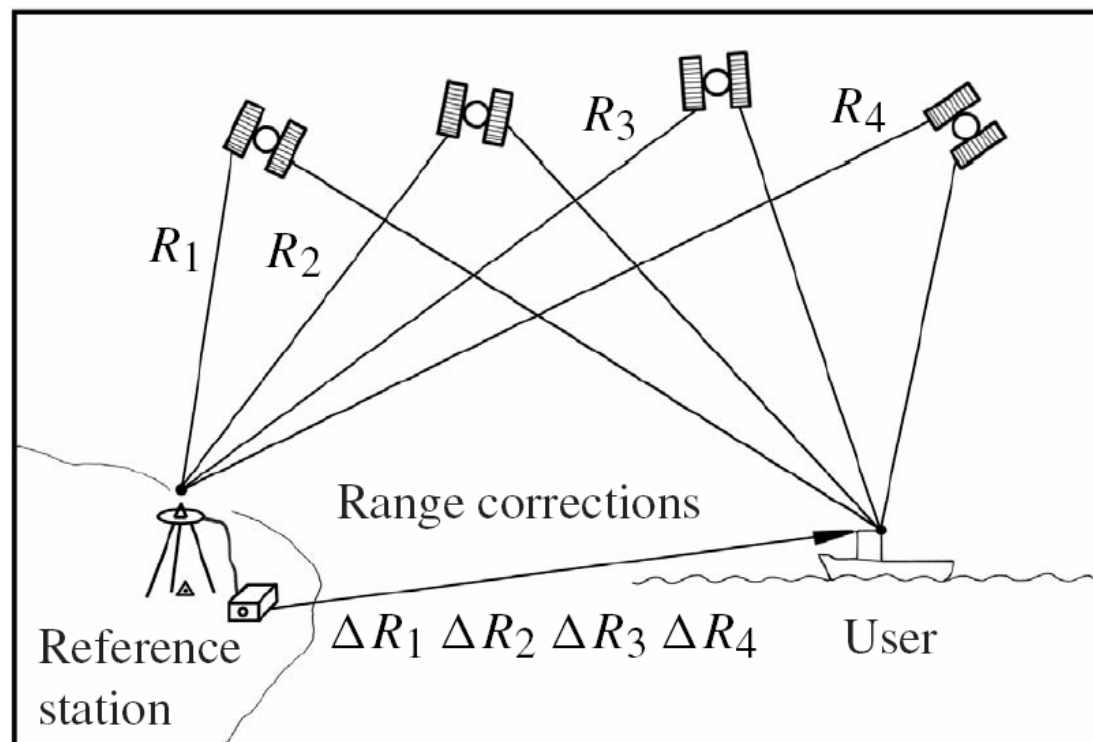
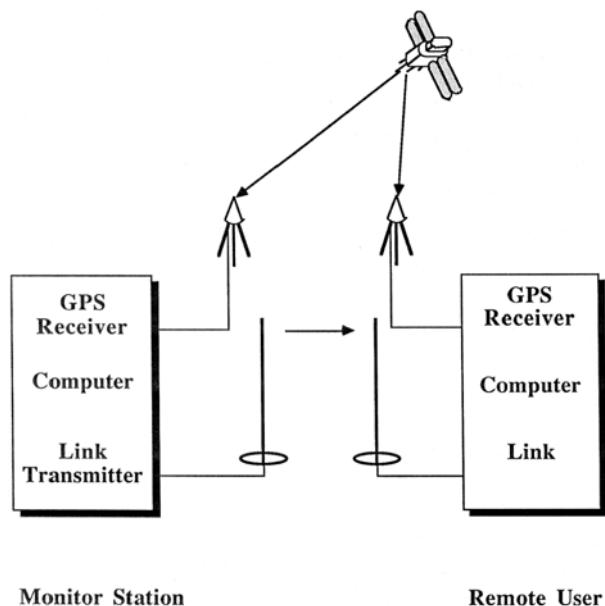
پردازش داده های سامانه های ناوبری ماهواره ای

• خلاصه روش LAMBDA:

- سرشکنی کمترین مربعات معمولی به منظور تعیین ابهام فازهای شناور و مولفه های اختلاف مختصات.
- همبستگی زدایی ابهام فازهای شناور با استفاده از تبدیل به منظور محدود سازی فضای جستجو.
- سرشکنی کمترین مربعات شرطی دنباله ای به منظور تثبیت ابهام فازهای صحیح یکی پس از دیگری.
- سرشکنی کمترین مربعات معمولی با ثابت نگه داشتن ابهام فازهای تثبیت شده در مرحله سوم به منظور برآورد نهایی مولفه های اختلاف مختصات.

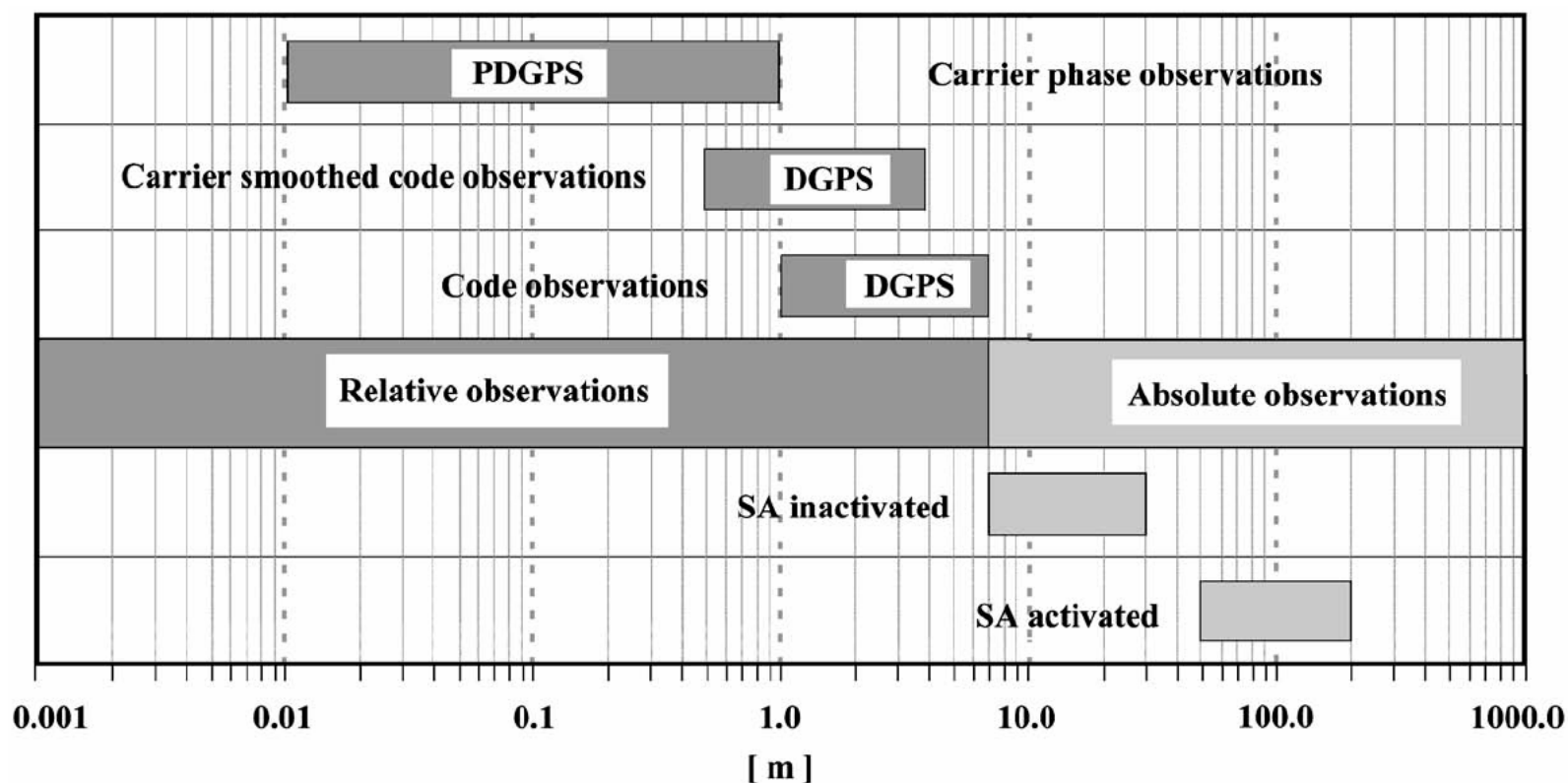
سامانه های تعیین موقعیت آنی DGNSS

• اساس کار و اجزاء مختلف RT-DGNSS



سامانه های تعیین موقعیت آنی DGNSS

• انواع RT-DGNSS



سامانه های تعیین موقعیت آنی DGNSS

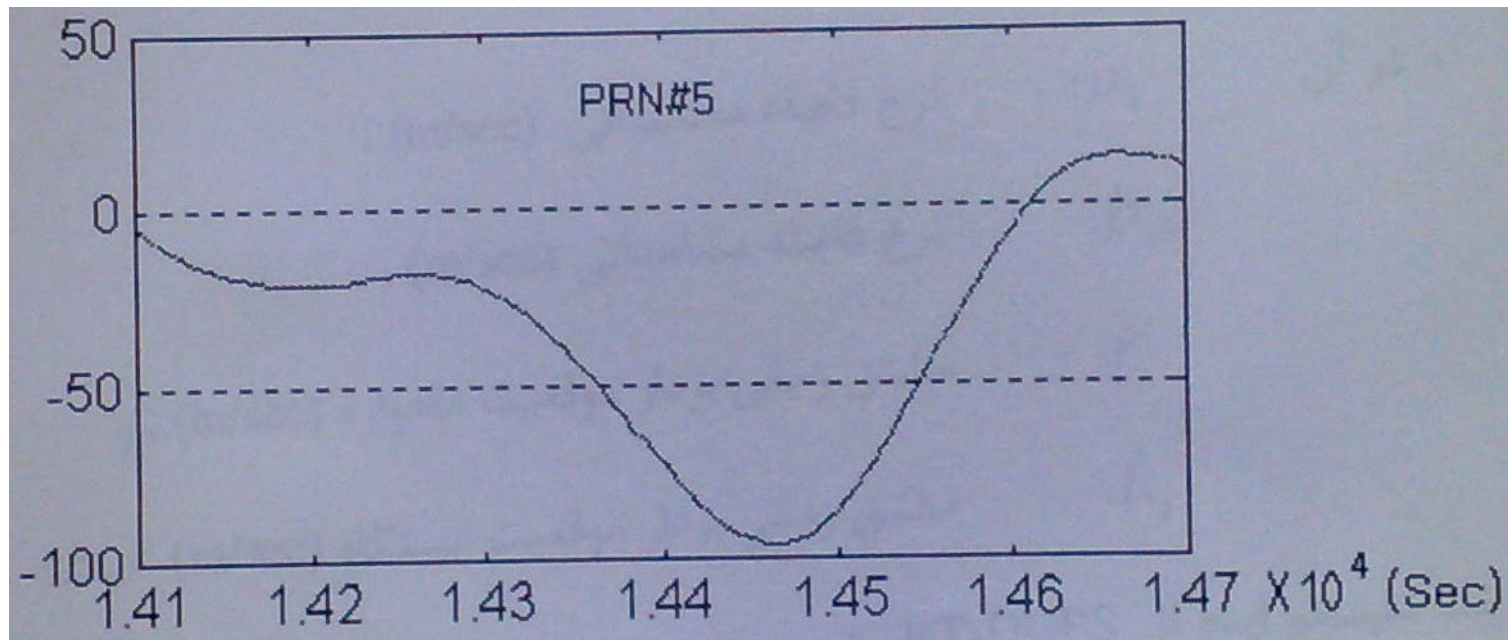
- معیارهای ارزیابی :

- تاخیر زمانی در اعمال تصحیحات DGNSS تولید شده
- تعداد ماهواره های مشترک مورد ردیابی در ایستگاههای مرجع و متحرک
- فاصله مکانی بین ایستگاه مرجع و متحرک
- خطای موجود در مختصات ایستگاه مرجع

سامانه های تعیین موقعیت آنی DGNSS

- تولید و اعمال تصحیحات DGNSS

$$PRC = \rho_c - \rho_{obs} = \|r^s - R_j\| - \rho_{obs}$$



سامانه های تعیین موقعیت آنی DGNSS

• تولید و اعمال تصحیحات DGNSS

$$\dot{PRC} = \frac{PRC(i) - PRC(i-1)}{t_i - t_{i-1}}$$

$$\dot{PRC} = \dot{\rho}_c - \dot{\rho}_{obs} = \left\| \dot{r}^s - \dot{R}_j \right\| - \dot{\rho}_{obs}$$

$$PRC(t_{i+1}) = PRC(t_i) + \dot{PRC} \cdot (t_{i+1} - t_i)$$

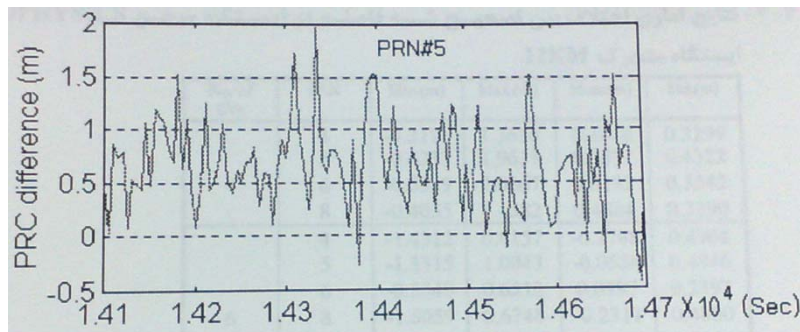
$$PR(t_{i+1}) = PRM(t_{i+1}) + PRC(t_{i+1})$$

سامانه های تعیین موقعیت آنی DGNSS

- اثر تاخیر زمانی (طول پایه ۴۵ کیلومتری و ۶ ماهواره)

Model	Latency (sec)	Min (m)	Max (m)	Mean (m)	Std (m)
Linear	5	-0.2559	0.2667	-0.0090	0.1347
	10	-0.7528	0.7855	-0.0251	0.4007
	15	-1.4388	1.5671	-0.0460	0.7978
	20	-2.3331	2.6022	-0.0689	1.3232
Degree 2	5	-0.1110	0.1327	-0.0004	0.0424
	10	-0.3250	0.4110	-0.0015	0.1283
	15	-0.7650	0.8275	-0.0068	0.2737
	20	-1.4075	1.3515	-0.0152	0.4863

سامانه های تعیین موقعیت آنی DGNSS

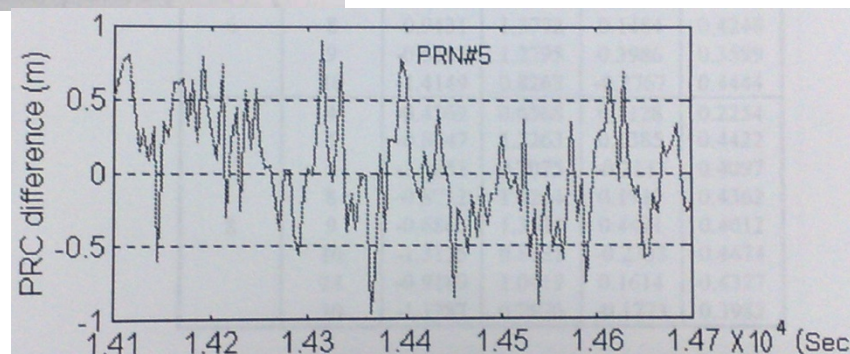
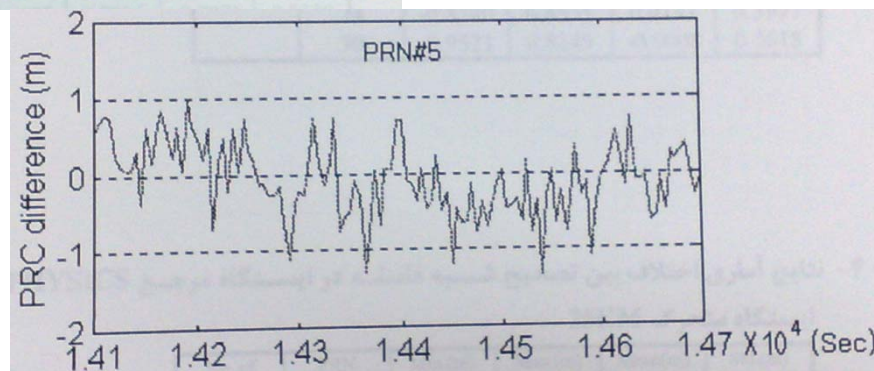


- اثر تعداد ماهواره های مشترک

- ۴ ماهواره

- ۶ ماهواره

- ۸ ماهواره



سامانه های تعیین موقعیت آنی DGNSS

- اثر فاصله مکانی بین ایستگاه مرجع و متحرک

Baseline	PRN#	Min (m)	Max (m)	Mean (m)	Std (m)
12 KM	6	-0.5540	0.6213	0.0997	0.2397
25 KM	6	-1.1473	0.6179	-0.2568	0.3972
45 KM	6	-2.2085	-0.3990	-1.3545	0.3998
100 KM	14	0.9065	3.0088	1.9025	0.3520

سامانه های تعیین موقعیت آنی DGNSS

- فرمت RTCM
- مخابره تصحیحات
- LADGPS
- WADGPS