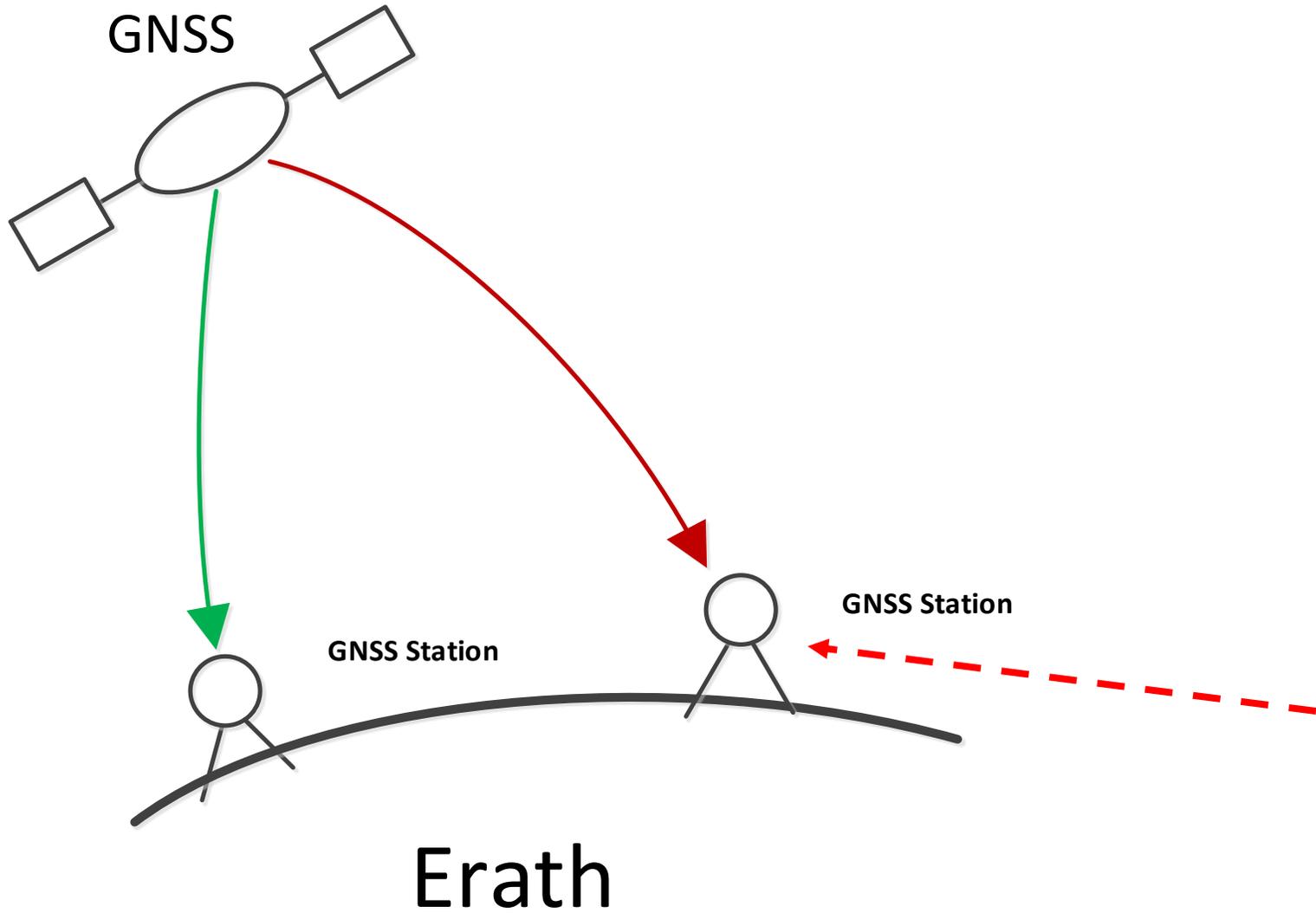


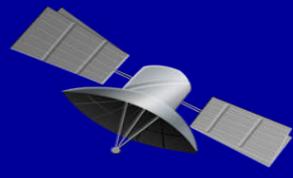
第三章第二节 GPS静态定位原理

长安大学地质工程与测绘学院

主讲教师：张双成



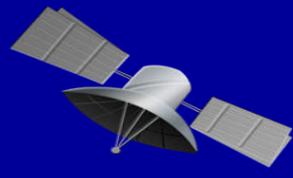
1. GNSS星座
2. 时空基准
3. 卫星位置
4. GNSS信号
5. GNSS接收机
6. GNSS误差源
7. GNSS静态定位
8.



主要讲解内容

1. **GPS定位方法分类**
2. 静态绝对定位原理
3. 静态相对定位原理
4. 整周未知数的确定方法
5. 周跳的探测与修复

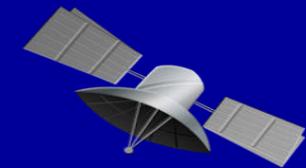
1、GPS定位方法分类



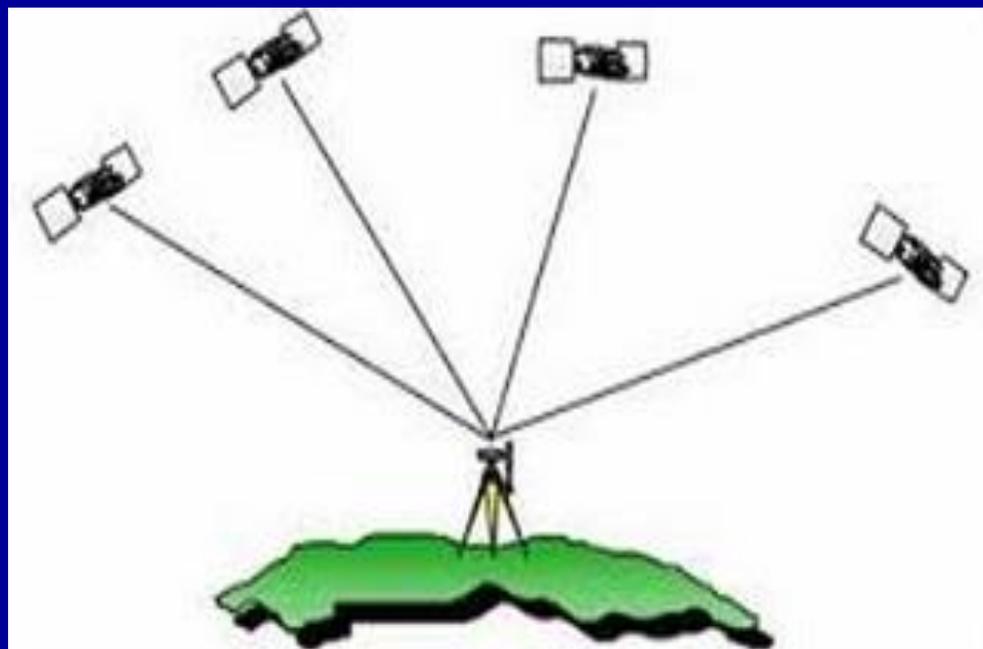
依据定位模式进行分类：

- **单点定位（绝对定位）**：单点定位是以地球质心为参考点，测定接收机天线在协议地球坐标系中的绝对位置（伪距单点定位、精密单点定位）。
- **相对定位**：确定测站与某一地面参考点之间的相对位置。
- **差分定位**：用两台GPS接收机，将一台接收机安设在基准站上固定不动，另一台接收机安置在运动的载体上，两台接收机同步观测相同的卫星，通过在观测值之间求差，以消除具有相关性的误差，提高定位精度。而运动点位置是通过确定该点相对基准站的相对位置实现的。

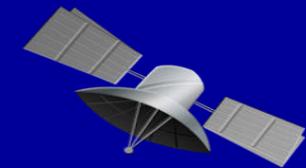
1、GPS定位方法分类



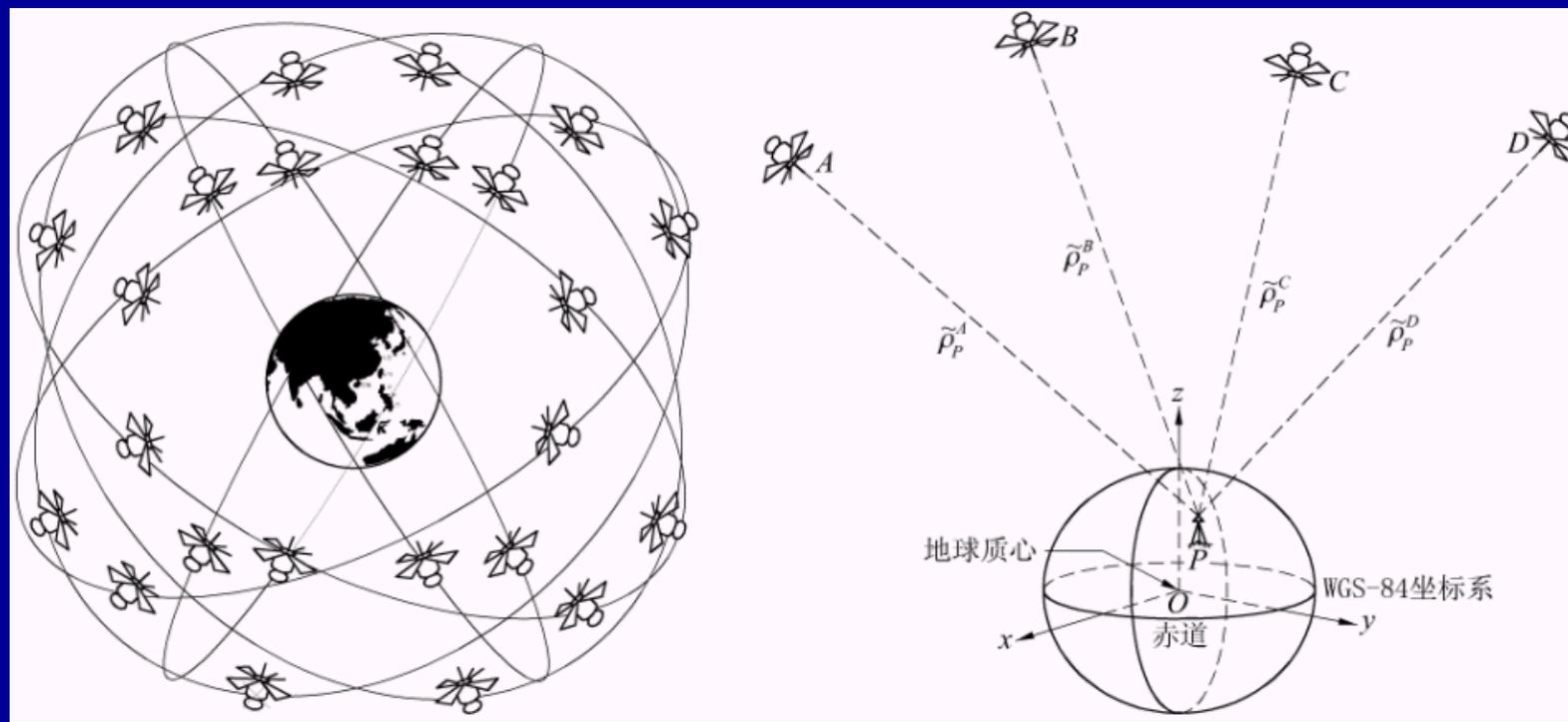
伪距单点定位模式（单频接收机）：



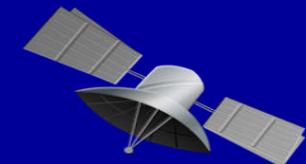
1、GPS定位方法分类



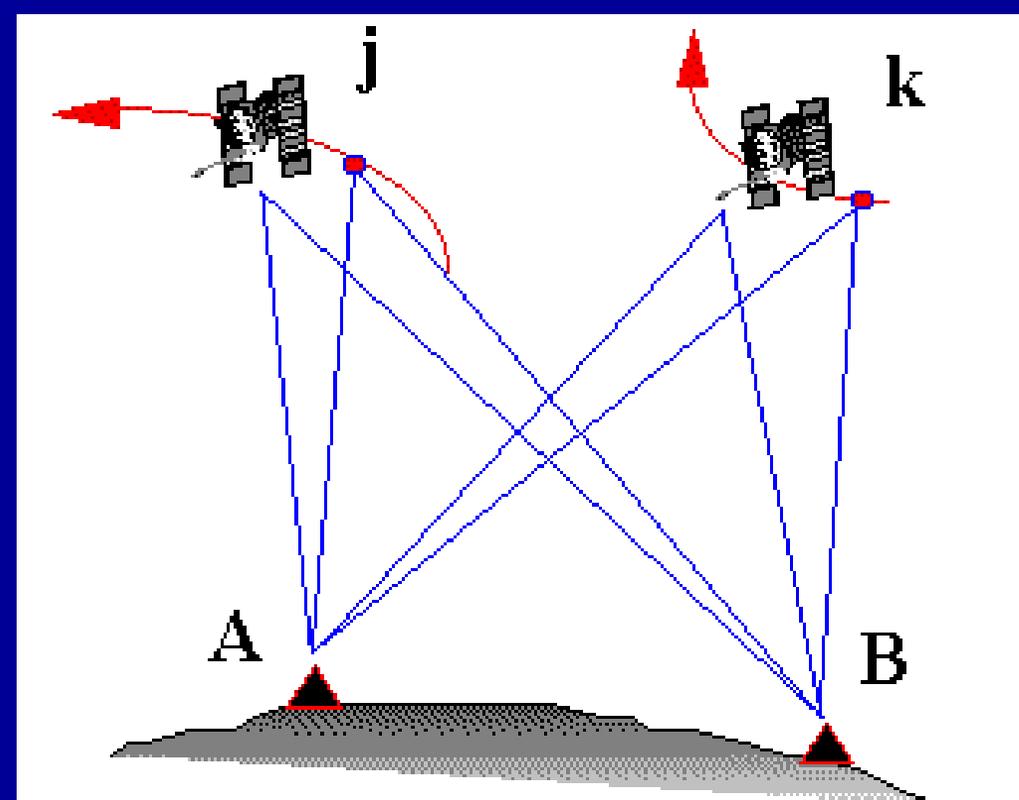
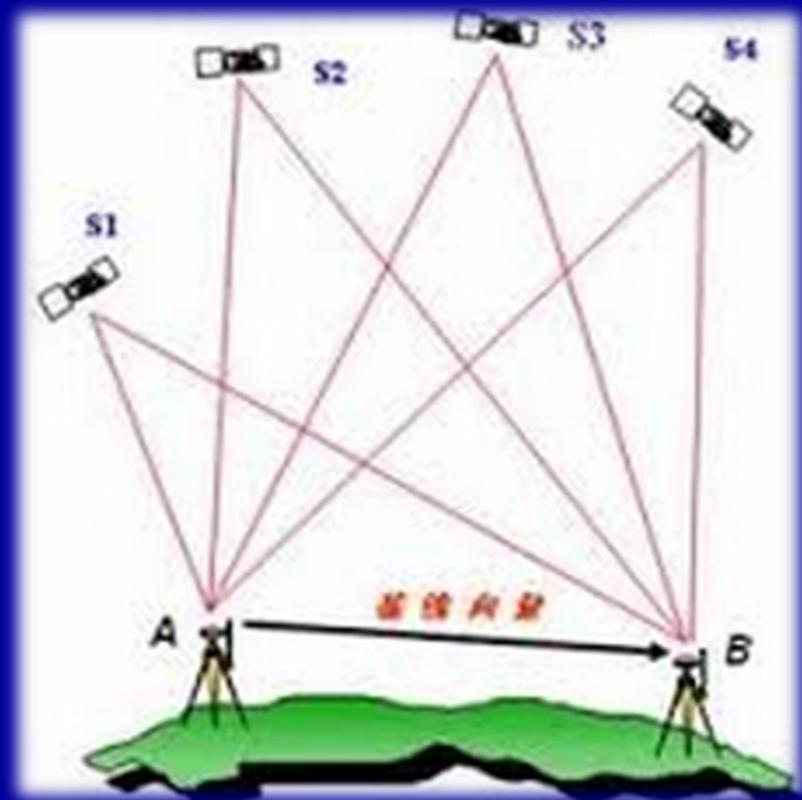
精密单点定位PPP模式（双频接收机）：



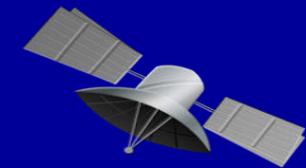
1、GPS定位方法分类



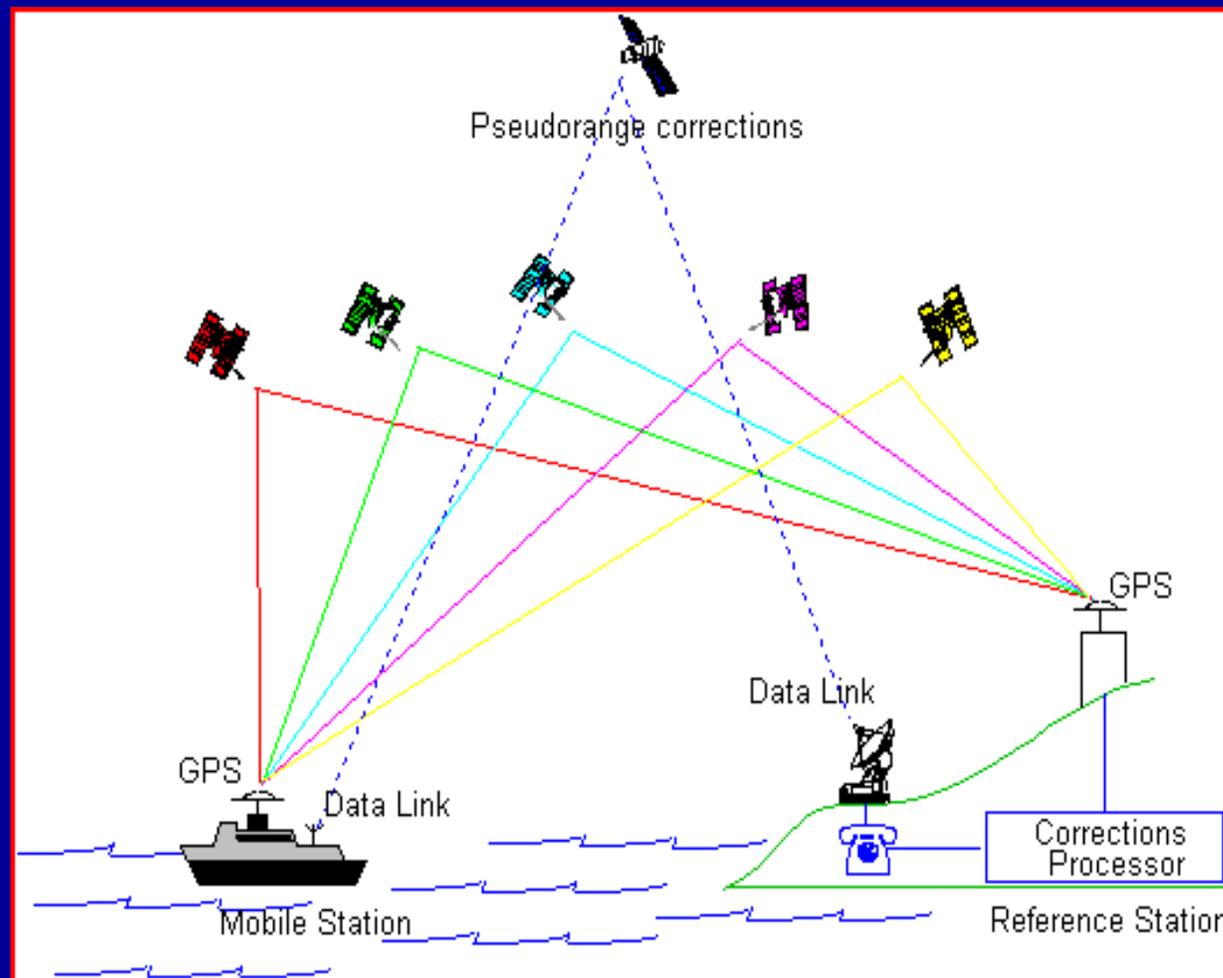
相对定位：



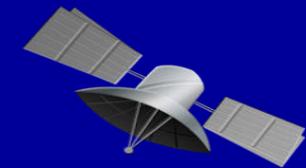
1、GPS定位方法分类



差分定位：



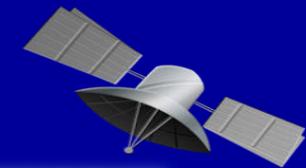
1、GPS定位方法分类



依据天线运动状态进行分类：

- **静态定位：**如果在定位过程中，用户接收机天线处于静止状态，或者更明确地说，待定点在协议地球坐标系中的位置，被认为是固定不动的，那么确定这些待定点位置的定位测量就称为静态定位。
- **动态定位：**如果在定位过程中，用户接收机天线处在运动状态，这时待定点位置将随时间变化。确定这些运动着的待定点的位置，称为动态定位。

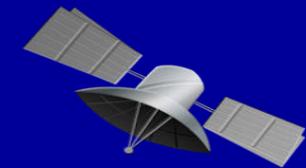
1、GPS定位方法分类



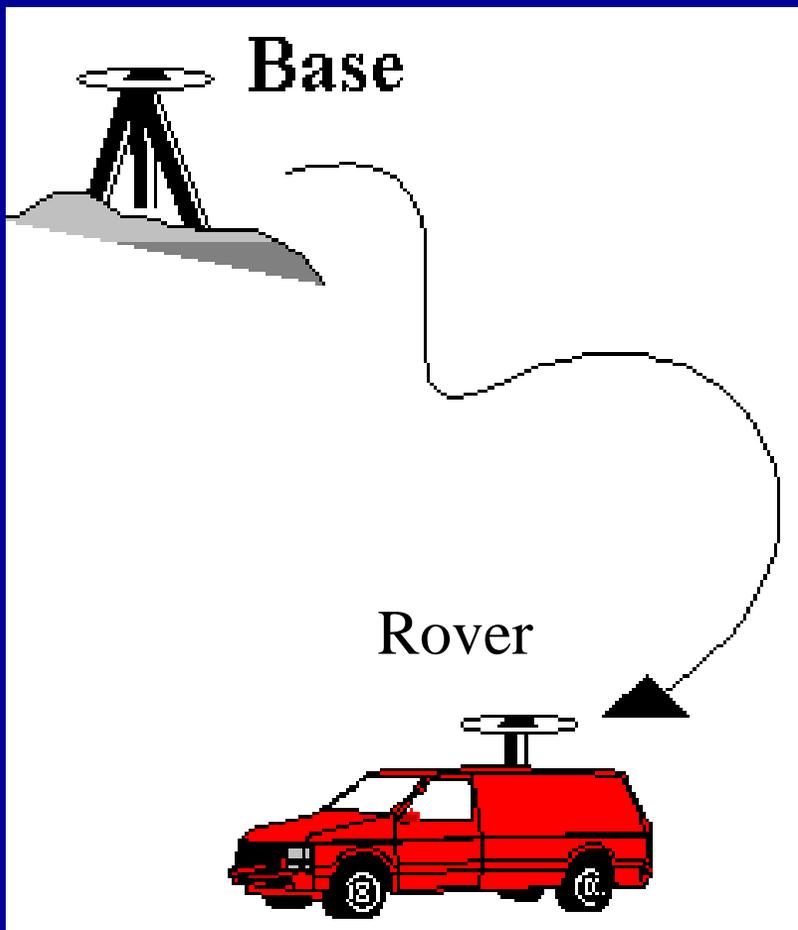
静态定位：



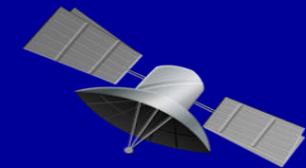
1、GPS定位方法分类



动态定位：



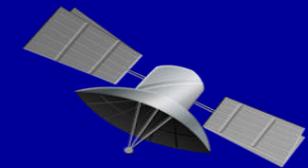
1、GPS定位方法分类



依据定位时效进行分类：

- **实时定位：**在用户站接收到GPS卫星信号的同时计算出定位结果。
- **事后定位：**在测后进行有关的数据处理，求得用户站的定位结果。

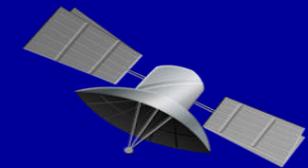
1、GPS定位方法分类



依据天线运动状态进行分类：

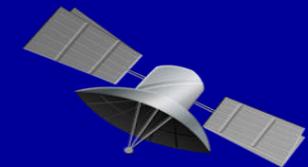
- **测码伪距测量：**利用**C/A码伪距**或**P码伪距**作为观测量进行定位测量。
- **载波相位测量：**利用**L1载波**或**L2载波**测得的载波相位伪距作为观测量进行定位测量。

1、GPS定位方法分类



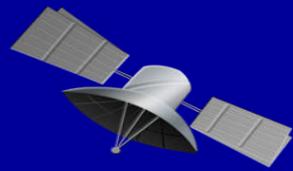
- **天线状态**
 - 动态定位
 - 静态定位
- **定位模式**
 - 绝对定位（单点定位）
 - 相对定位
 - 差分定位
- **定位采用的观测值**
 - 伪距测量
 - 载波相位测量
- **依时效**
 - 实时定位
 - 事后定位
- **确定整周模糊度方法**
 - 常规静态定位
 - 快速静态定位

主要讲解内容



1. GPS定位方法分类
2. 静态绝对定位原理
3. 静态相对定位原理
4. 整周未知数的确定方法
5. 周跳的探测与修复

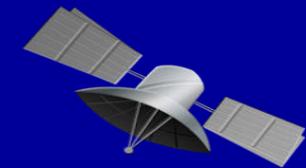
2、GPS静态绝对定位原理



GNSS观测文件类型：

- 观测数据文件：GPS观测值
- 导航电文文件：GPS卫星导航电文
- 气象数据文件：在测站处所测定的气象数据
- GLONASS导航电文文件：GLONASS卫星导航电文
- GEO导航电文文件：地球同步卫星GEO的导航电文
- 卫星和接收机钟文件：卫星和接收机时钟信息的





2、GPS静态绝对定位原理

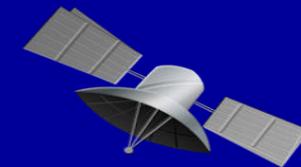
GNSS观测数据文件：

```

2.10 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
GPSNet 2.74 3725 NEIS 31-Jul-15 07:59:54 PGM / RUN BY / DATE
BJFS MARKER NAME
JZ02 MARKER NUMBER
CMONOC NEIS OBSERVER / AGENCY
Unknown TRIMBLE NETR8 Nav 4.17 Boot 3. REC # / TYPE / VERS
0 RCV CLOCK OFFS APPL
TRM59800.00 SCIS ANT # / TYPE
-2148743.9813 4426639.7697 4044653.3275 APPROX POSITION XYZ
0.0460 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 0 WAVELENGTH FACT L1/2
7 C1 P1 P2 L1 L2 D1 D2 # / TYPES OF OBSERV
30.000 INTERVAL
2015 7 31 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER
15 7 31 0 0 0.0000000 0 18G09R23G23G21R02R04G32R11R03G16R12G26
G29R22G31R21R13G27
23837856.297 23837865.164 125268741.20305 97612079.42846
3068.199 2390.805
21815348.945 21815349.094 21815356.871 116697428.78607 90764709.01947
3961.348 3086.764
21424720.266 21424724.586 112587643.03707 87730680.12447
1571.320 1224.405
25413086.969 25413095.309 133546604.05502 104062371.96145
1408.129 1097.243
22619480.445 22619480.004 22619485.141 120701857.46906 93879211.26847
-3952.516 -3079.882
23186562.492 23186560.598 23186565.074 124163152.18406 96571209.25947
2276.129 1773.607

```

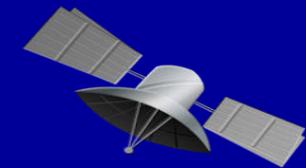
2、GPS静态绝对定位原理



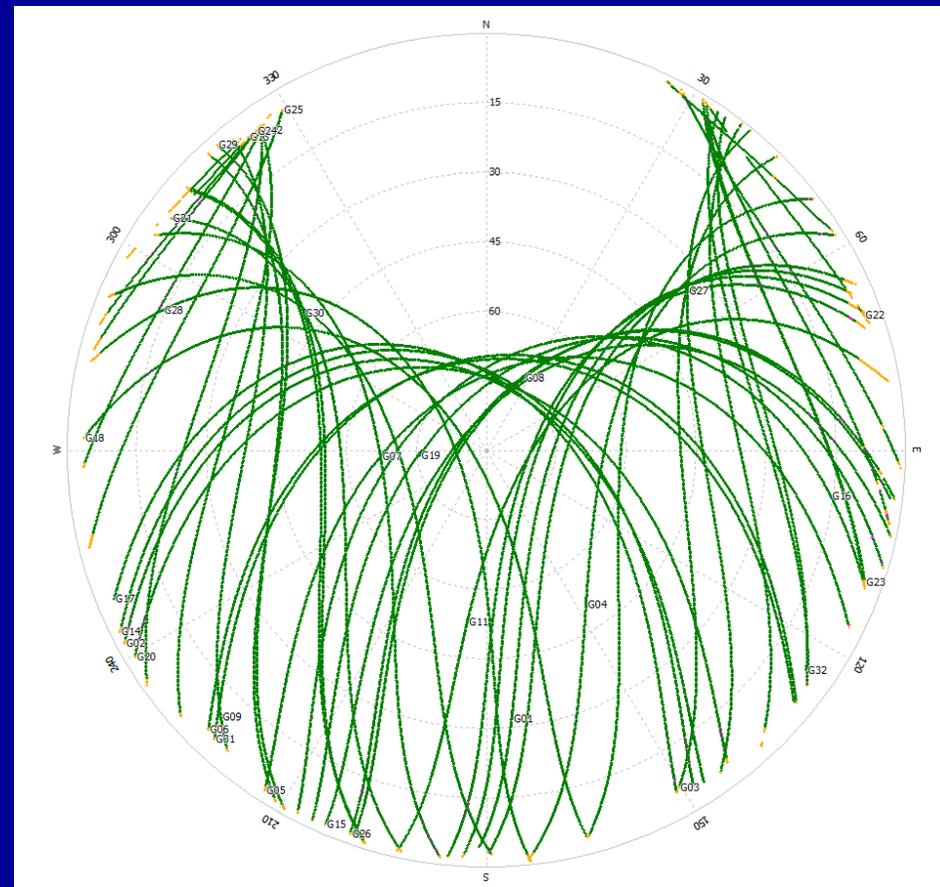
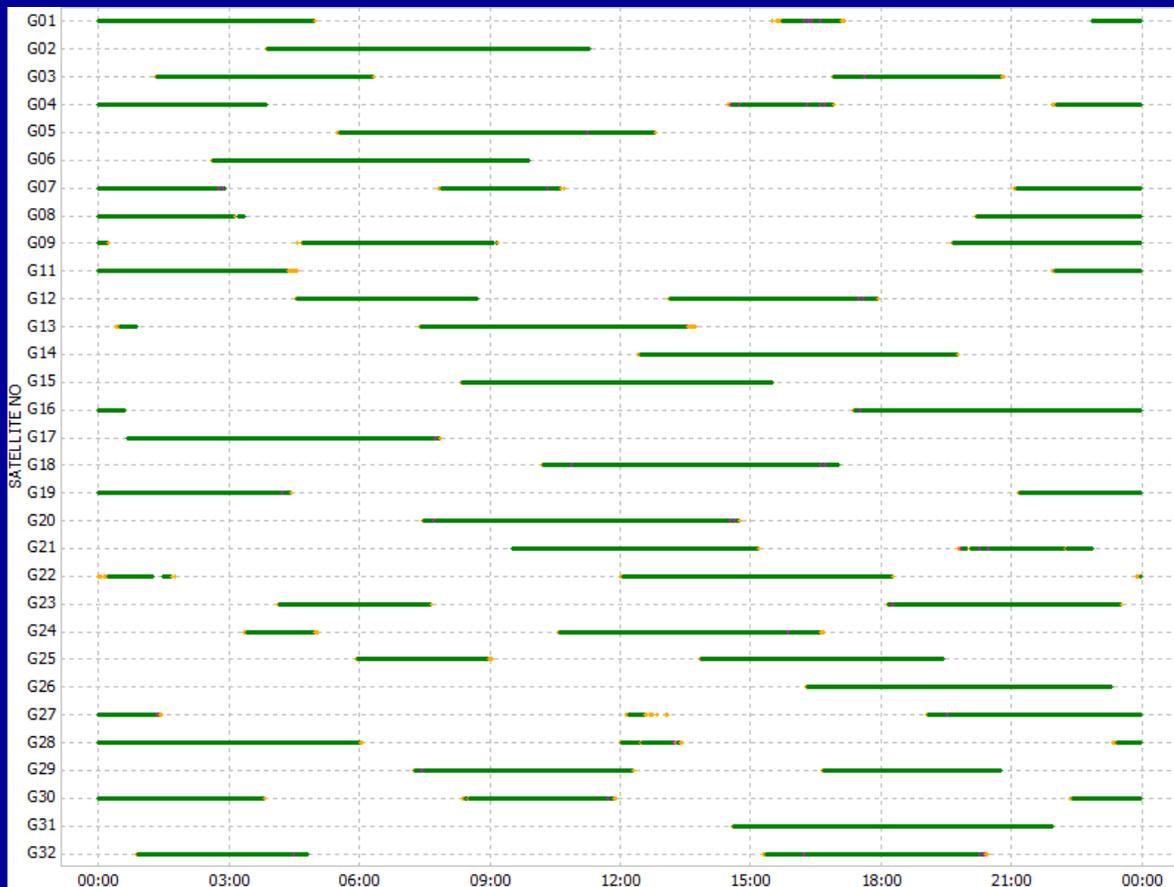
GNSS广播星历文件：

```
2 NAVIGATION DATA RINEX VERSION / TYPE
comb_nav.pl SOPAC Fri Sep 25 07:40:02 UTC 2015 PGM / RUN BY / DATE
BROADCAST EPHEMERIS FILE COMMENT
SOPAC - Scripps Orbit and Permanent Array Center COMMENT
IGPP - Institute of Geophysics and Planetary Physics COMMENT
SIO - Scripps Institution of Oceanography COMMENT
UCSD - University of California, San Diego COMMENT
email: devel@gpsmail.ucsd.edu COMMENT
ftp://garner.ucsd.edu COMMENT
http://sopac.ucsd.edu COMMENT
END OF HEADER
1 15 9 24 0 0 0.0 1.053325831890D-06 6.821210263297D-13 0.000000000000D+00
2.200000000000D+01-6.787500000000D+01 4.347680881978D-09-5.651538599210D-01
-3.447756171227D-06 4.701918340288D-03 1.034326851368D-05 5.153665584564D+03
3.456000000000D+05 8.381903171539D-08 2.225637447305D+00 2.048909664154D-08
9.628858859821D-01 1.820312500000D+02 4.771830615956D-01-8.009976681933D-09
6.428839405270D-11 1.000000000000D+00 1.863000000000D+03 0.000000000000D+00
2.000000000000D+00 0.000000000000D+00 5.122274160385D-09 2.200000000000D+01
3.456000000000D+05
1 15 9 24 2 0 0.0 1.058448106050D-06 6.821210263297D-13 0.000000000000D+00
2.700000000000D+01-7.696875000000D+01 4.309108181388D-09 4.851122970229D-01
-3.987923264503D-06 4.700987832621D-03 1.041963696480D-05 5.153663858414D+03
3.528000000000D+05 3.911554813385D-08 2.225580169673D+00 1.117587089539D-07
9.628864740752D-01 1.825937500000D+02 4.771012552166D-01-7.949616964709D-09
2.392956839625D-11 1.000000000000D+00 1.863000000000D+03 0.000000000000D+00
2.000000000000D+00 0.000000000000D+00 5.122274160385D-09 2.700000000000D+01
3.456000000000D+05
```

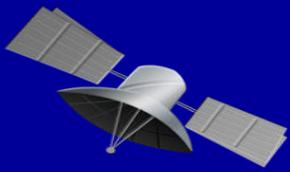
2、GPS静态绝对定位原理



GNSS测站跟踪卫星分布图：



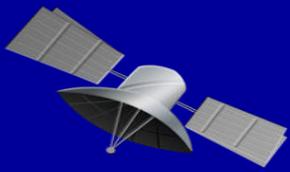
2、GPS静态绝对定位原理



静态测码伪距绝对定位：

- **静态绝对定位**是在单独一台GPS接收机天线处于静止状态下，确定测站在地固坐标系中的的三维地心坐标。
- **定位所依据的观测量**，是根据**码相关测距原理**测定的卫星至测站间的伪距。

2、GPS静态绝对定位原理



为了建立伪距绝对定位观测方程，引入如下符号：

t^j (GPS) : 表示第 j 颗卫星发出信号瞬间的GPS标准时间 (真值)

t^j : 表示第 j 颗卫星发出信号瞬间的卫星钟钟面时刻 (实测值)

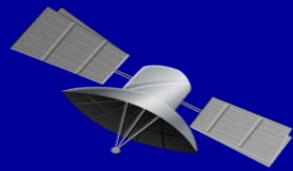
t_i (GPS) : 表示接收机在第 i 个测站上收到卫星信号瞬间的GPS标准时间 (真值)

t_i : 表示接收机在第 i 个测站上收到卫星信号瞬间的接收机钟钟面时刻 (实测值)

δt^j : 代表卫星钟钟面时相对GPS标准时间的钟差 (卫星钟差)

δt_i : 代表接收机钟钟面时相对GPS标准时间的钟差 (接收机钟差)

2、GPS静态绝对定位原理



卫星钟和接收机钟钟面时与GPS标准时关系：

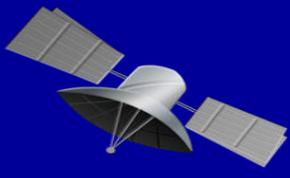
$$t^j = t^j(GPS) + \delta t^j$$

$$t_i = t_i(GPS) + \delta t_i$$

由此，卫星信号由卫星到达测站的钟面传播时间为：

$$\Delta t_i^j = t_i - t^j = t_i(GPS) - t^j(GPS) + \delta t_i - \delta t^j$$

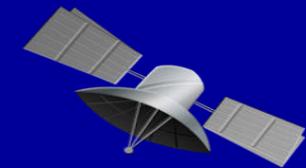
2、GPS静态绝对定位原理



忽略大气折射影响，则卫星 S^j 至测站 T_i 间伪距 \tilde{D}_i^j 为：

$$\begin{aligned}\tilde{D}_i^j &= c \cdot \Delta t_i^j = c \cdot (t_i - t^j) \\ &= c \cdot [t_i(GPS) - t^j(GPS)] + c \cdot (\delta t_i - \delta t^j)\end{aligned}$$

2、GPS静态绝对定位原理



若用 D_i^j 表示卫星j至测站i的几何距离，则有：

$$D_i^j = c \cdot [t_i(GPS) - t^j(GPS)]$$

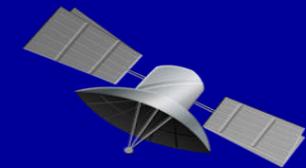
$$\delta t_i^j = \delta t_i - \delta t^j$$

综合上式，伪距简化形式为：

$$\tilde{D}_i^j = D_i^j + c \cdot \delta t_i^j$$

δt_i^j 表示接收机钟与卫星钟之相对钟差的等效距离误差。

2、GPS静态绝对定位原理



伪距观测方程:

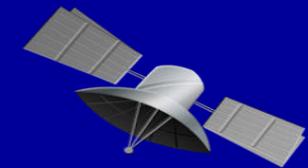
现顾及大气折射影响, 则卫星 S^j 至测站 T_i 间伪距 \tilde{D}_i^j 观测方程为:

$$\tilde{D}_i^j(t) = D_i^j(t) + c \cdot \delta t_i^j + \delta I_i^j(t) + \delta T_i^j(t)$$

电离层折射等效距离误差

对流层折射等效距离误差

2、GPS静态绝对定位原理



几何距离的线性化:

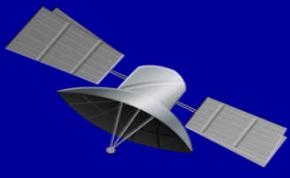
$$\tilde{D}_i^j(t) = D_i^j(t) + c \cdot \delta t_i^j + \delta I_i^j(t) + \delta T_i^j(t)$$

D_i^j 表示卫星j至测站i的几何距离，是非线性项，需要线性化:

$$\begin{aligned} D_i^j(t) &= \sqrt{(X^j - X_i)^2 + (Y^j - Y_i)^2 + (Z^j - Z_i)^2} \\ &= D_{i0}^j - \frac{(X^j - X_{i0})}{D_{i0}^j} \delta X_i - \frac{(Y^j - Y_{i0})}{D_{i0}^j} \delta Y_i - \frac{(Z^j - Z_{i0})}{D_{i0}^j} \delta Z_i \\ &= D_{i0}^j - l_i^j \delta X_i - m_i^j \delta Y_i - n_i^j \delta Z_i \end{aligned}$$

泰勒级数展开!

2、GPS静态绝对定位原理



几何距离的线性化:

$$D_i^j(t) = (D_i^j(t))_0 + \left(\frac{\partial D_i^j(t)}{\partial X_i}\right)_0 \delta X_i + \left(\frac{\partial D_i^j(t)}{\partial Y_i}\right)_0 \delta Y_i + \left(\frac{\partial D_i^j(t)}{\partial Z_i}\right)_0 \delta Z_i$$

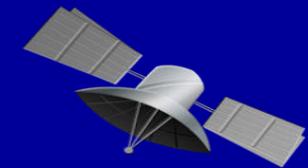
$$\left(\frac{\partial D_i^j(t)}{\partial X_i}\right)_0 = -\frac{1}{(D_i^j(t))_0} (X^j(t) - X_i^0) = -k_i^j(t)$$

$$\left(\frac{\partial D_i^j(t)}{\partial Y_i}\right)_0 = -\frac{1}{(D_i^j(t))_0} (Y^j(t) - Y_i^0) = -l_i^j(t)$$

$$\left(\frac{\partial D_i^j(t)}{\partial Z_i}\right)_0 = -\frac{1}{(D_i^j(t))_0} (Z^j(t) - Z_i^0) = -m_i^j(t)$$

$$\tilde{D}_i^j(t) = (D_i^j(t))_0 - k_i^j(t)\delta X_i - l_i^j(t)\delta Y_i - m_i^j(t)\delta Z_i + c\delta t_i^j + \delta I_i^j(t) + \delta T_i^j(t)$$

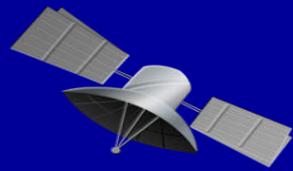
2、GPS静态绝对定位原理



线性化的伪距观测方程：

$$\tilde{D}_i^j(t) = (D_i^j(t))_0 - k_i^j(t)\delta X_i - l_i^j(t)\delta Y_i - m_i^j(t)\delta Z_i + c\delta t_i^j + \delta I_i^j(t) + \delta T_i^j(t)$$

静态单点定位伪距观测方程中含有**3个测站未知数**和一个**钟差未知数**，因此接收机至少要跟踪4颗GPS卫星，才能组成4个伪距观测方程求解测站的三维地心坐标。



2、GPS静态绝对定位原理

误差观测方程：

$$V_i^j = -l_i^j \delta X_i - m_i^j \delta Y_i - n_i^j \delta Z_i + C * \delta t_i + L_i^j, \quad L_i^j = D_0 - \tilde{D}_i^j(t)$$

$$V_i^j = -l_i^j \delta X_i - m_i^j \delta Y_i - n_i^j \delta Z_i + \delta D_i + L_i^j, \quad \delta D_i = C * \delta t_i$$

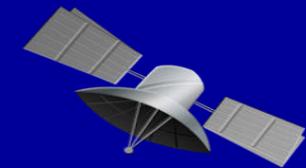
$$\begin{bmatrix} V_i^1 \\ V_i^2 \\ \dots \\ V_i^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -l_i^1 & -m_i^1 & -n_i^1 & 1 \\ -l_i^2 & -m_i^2 & -n_i^2 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -l_i^n & -m_i^n & -n_i^n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta X_i \\ \delta Y_i \\ \delta Z_i \\ \delta D_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_i^1 \\ L_i^2 \\ \dots \\ L_i^n \end{bmatrix}$$

$$V = A\hat{X} + L, \quad A^T A\hat{X} + A^T L = 0, \quad \hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T L$$

$$\hat{X} = [\delta X_i, \delta Y_i, \delta Z_i, \delta t_i]^T$$

思考：如果连续观测1小时，采样间隔30秒，每个历元跟踪10颗卫星，共计多少伪距观测方程？共计多少未知参数？是否可以实时定位？

2、GPS静态绝对定位原理

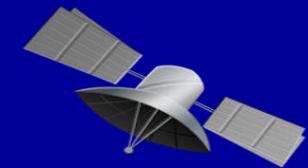


GPS接收机钟差处理方法:

当观测时间较长时，接收机钟差随时间变化不容忽视，需采用一定的方法对钟差进行处理。

- 单参数估计
- 多项式表达钟差
- 不同历元不同钟差

2、GPS静态绝对定位原理



GPS绝对定位精度评定:

➤ 未知参数的协因数矩阵

- 由卫星空间几何分布决定

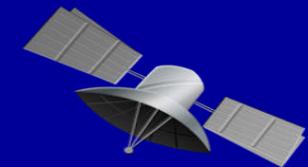
➤ 单位权中误差

- 码相关伪距测量精度
- 卫星星历精度
- 大气折射影响等

$$Q_{T_i} = (A_i^T A_i)^{-1}$$

$$(m_{T_i})_k = \sigma_0 \sqrt{(Q_{T_i})_{kk}}$$

2、GPS静态绝对定位原理



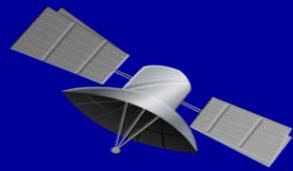
卫星几何分布精度因子:

在GPS导航和定位中，定义几何精度因子DOP (Dilution of precision)，作为衡量卫星空间分布对定位精度影响的标准。

伪距观测方程中未知参数的协因数矩阵中各个元素反映出在特定的卫星空间几何分布下，不同参数的定位精度及其相关信息。

$$Q = \begin{bmatrix} q_{XX} & q_{XY} & q_{XZ} & q_{Xt} \\ q_{YX} & q_{YY} & q_{YZ} & q_{Yt} \\ q_{ZX} & q_{ZY} & q_{ZZ} & q_{Zt} \\ q_{tX} & q_{tY} & q_{tZ} & q_{tt} \end{bmatrix}$$

2、GPS静态绝对定位原理



卫星几何分布精度因子：

- DOP值 – Dilution Of Precision (几何精度因子)
 - PDOP (三维位置精度因子)
 - HDOP (水平分量精度因子)
 - VDOP (垂直分量精度因子)
 - GDOP (反映卫星空间几何分布对接收机钟差和位置综合影响的精度因子)
 - TDOP (钟差精度因子)

$$Q = \begin{bmatrix} q_{XX} & q_{XY} & q_{XZ} & q_{Xt} \\ q_{YX} & q_{YY} & q_{YZ} & q_{Yt} \\ q_{ZX} & q_{ZY} & q_{ZZ} & q_{Zt} \\ q_{tX} & q_{tY} & q_{tZ} & q_{tt} \end{bmatrix}$$

$$GDOP = \sqrt{q_{XX} + q_{YY} + q_{ZZ} + q_{tt}}$$

$$PDOP = \sqrt{q_{XX} + q_{YY} + q_{ZZ}}$$

$$TDOP = \sqrt{q_{tt}}$$

$$HDOP = \sqrt{q_{NN} + q_{EE}}$$

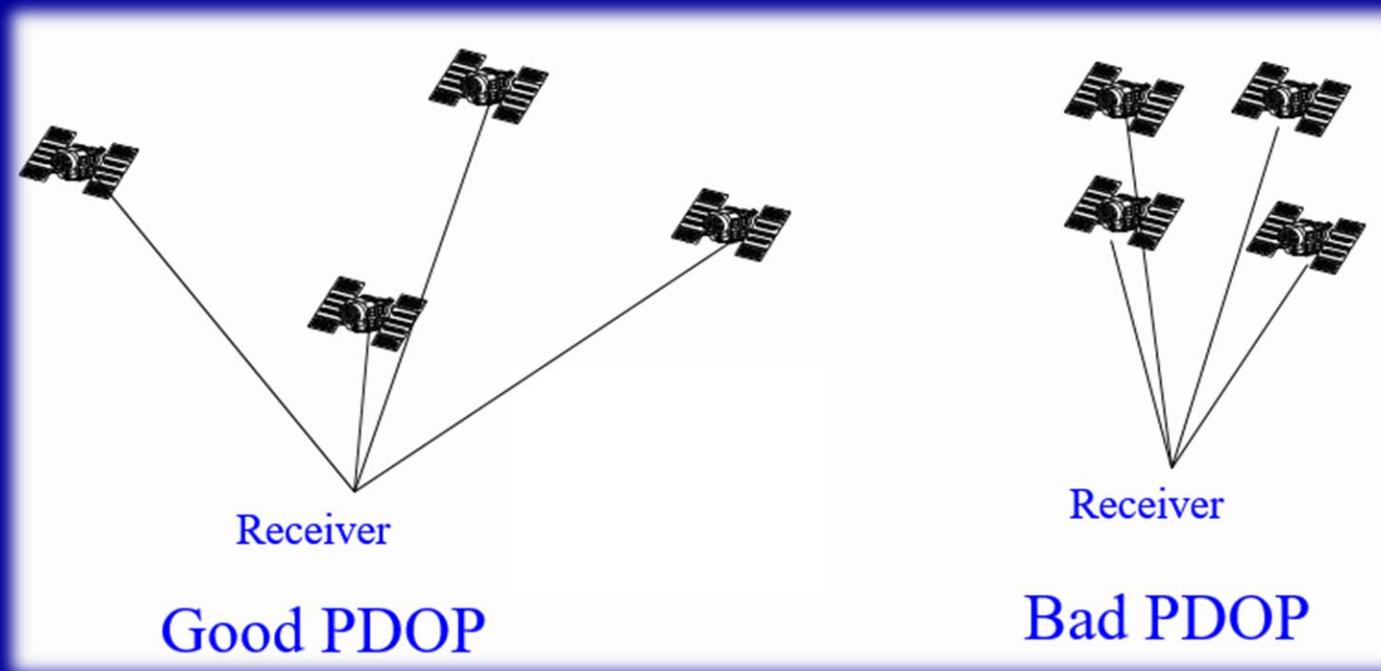
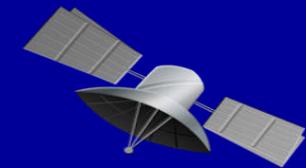
$$VDOP = \sqrt{q_{UU}}$$

其中：

N, E, U 为站心地平坐标系下的坐标分量。

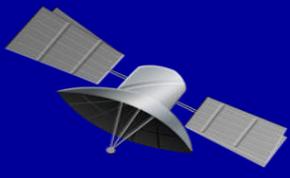
DOP值的定义

2、GPS静态绝对定位原理



GPS绝对定位的误差与精度因子DOP值成正比，应尽量采用精度因子小的一组卫星进行观测。当接收机跟踪的卫星多余四颗时，便可选择其中GDOP最小的一组卫星进行观测，这项工作称为选星。卫星几何分布较好时，PDOP值通常小于10。

2、GPS静态绝对定位原理



伪距单点定位的特点：

- 定位结果

- 采用广播星历（**WGS-84参考框架**）

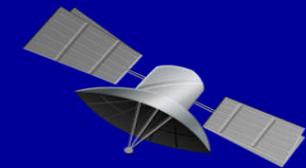
- 优缺点

- 优点：一台接收机单独定位，速度快，数据处理简单。
- 缺点：精度主要受**系统性偏差**的影响，**定位精度低**

- 应用领域

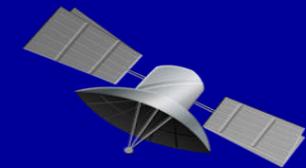
- 低精度海陆空导航、手机、资源普查、军事...

主要讲解内容

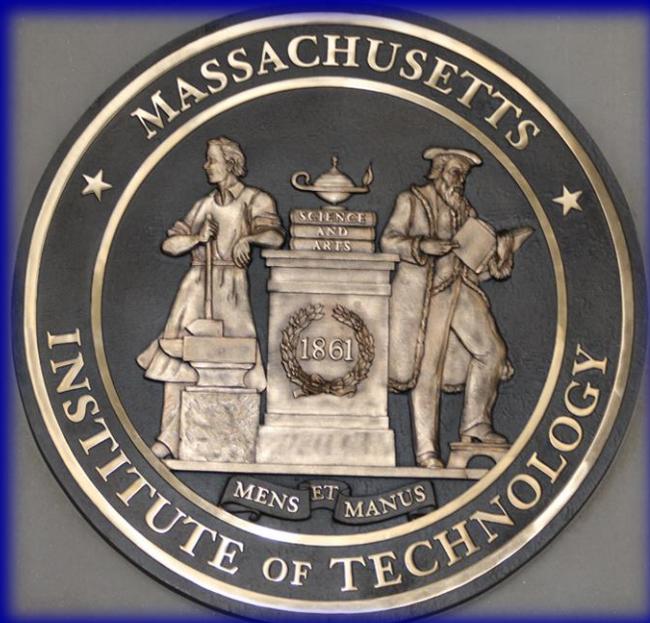


1. GPS定位方法分类
2. 静态绝对定位原理
- 3. 静态相对定位原理**
4. 整周未知数的确定方法
5. 周跳的探测与修复

3、GPS静态相对定位原理



GPS载波相位引起大地测量变革：



顶级私立研究大学，85位诺贝尔奖



上世纪70年代，MIT教授 Counselman提出用GPS载波拍频相位定位的革命性想法



从此GPS的应用进入了各行各业，并且进入了相关的科学研究



1980年，他们在 Haystack天文台停车场上用Macrometer V1000接收机实现了载波相位定位，精度达到厘米级



GAMIT-GLOBK



Home

Documentation

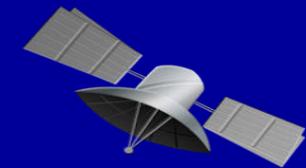
Downloads

Links

FAQ

MIT研发的开源高精度GNSS数据处理软件Gamt/globk在全球广泛应用。

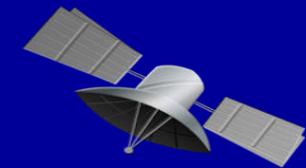
3、GPS静态相对定位原理



GPS载波相位用于大地测量：

静态伪距绝对定位，由于受到**卫星轨道误差、接收机钟差，以及信号传播误差等多种因素**的干扰，其定位精度较低，远不能满足大地测量精密定位的要求。而静态相对定位，由于采用**载波相位观测量以及相位观测量的线性组合技术**，极大地削弱了上述各类定位误差的影响，其定位相对精度高达 $10^{-8} \sim 10^{-9}$ ，是目前GPS定位测量中精度最高的一种方法，广泛应用于大地测量、精密工程测量以及地球动力学研究。

3、GPS静态相对定位原理

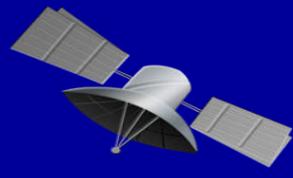


静态相对定位的概念：

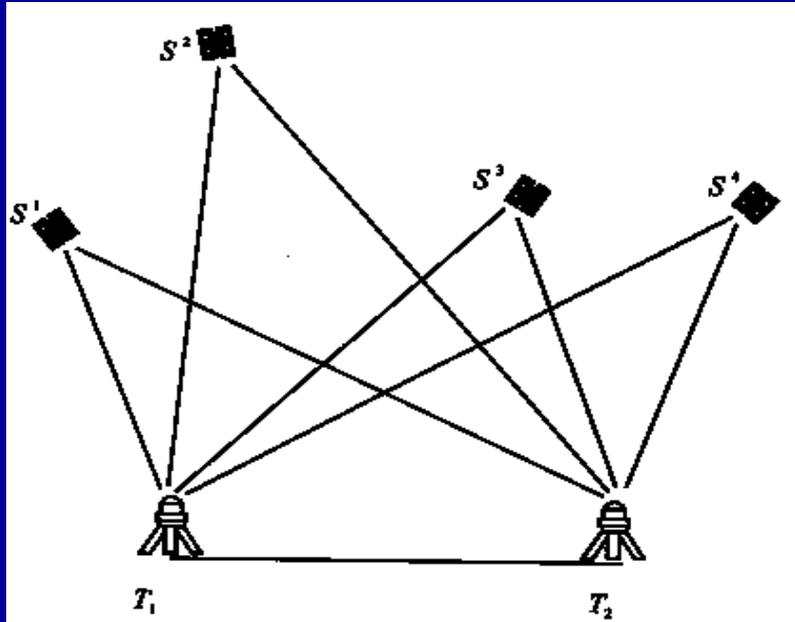
概念：用两台或多台接收机分别安置在**基线**的两端，其位置静止不动，**同步观测**相同的4颗以上GPS卫星，确定基线两端的相对位置，该定位模式称为**静态相对定位**。

在实际工作中，通常将接收机数目扩展到3台以上，同时测定若干条基线。这样做不仅提高了工作效率，而且增加了观测量，提高了观测成果的可靠性。

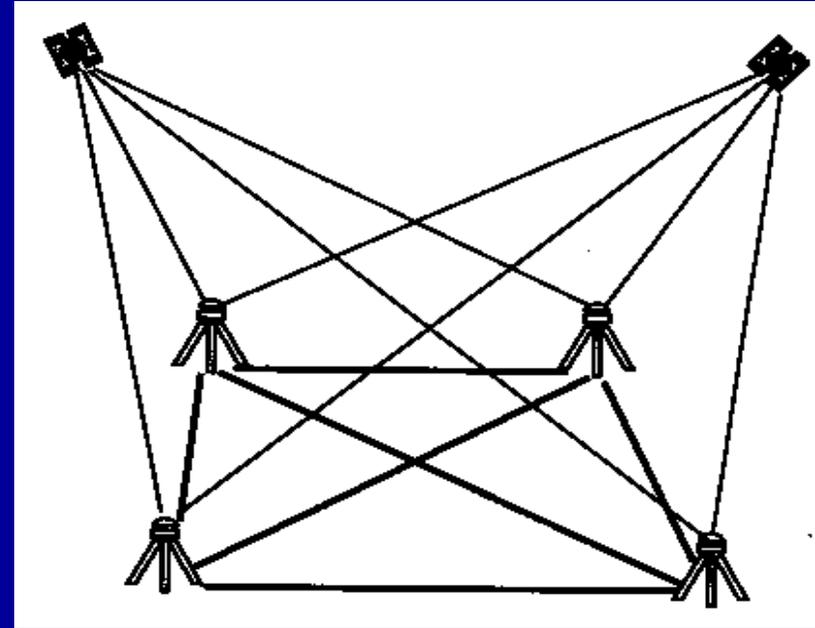
3、GPS静态相对定位原理



相对定位作业图：

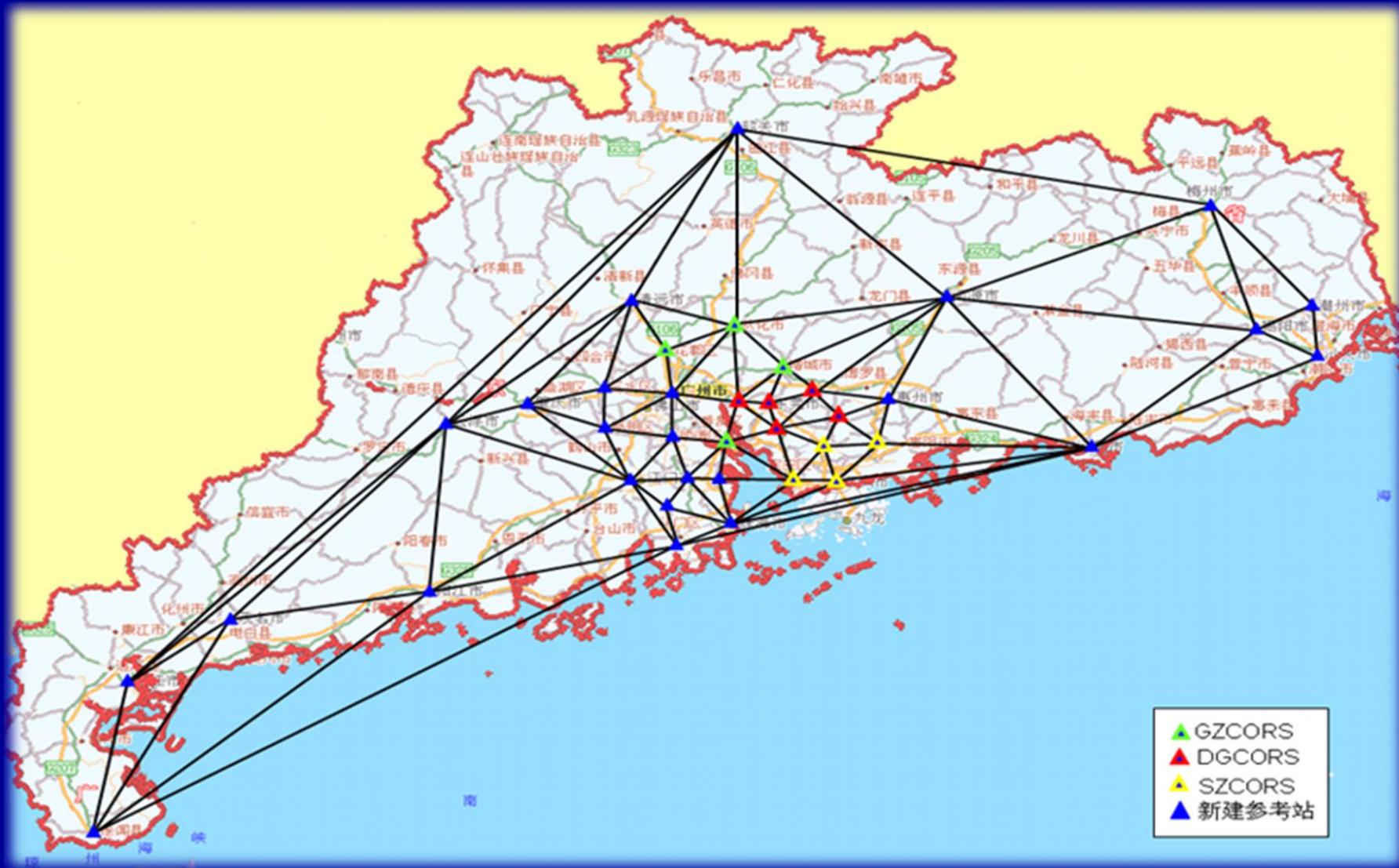
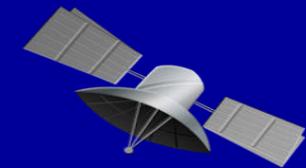


静态相对定位 (2台)



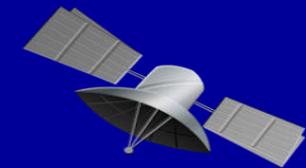
静态相对定位 (4台)

3、GPS静态相对定位原理



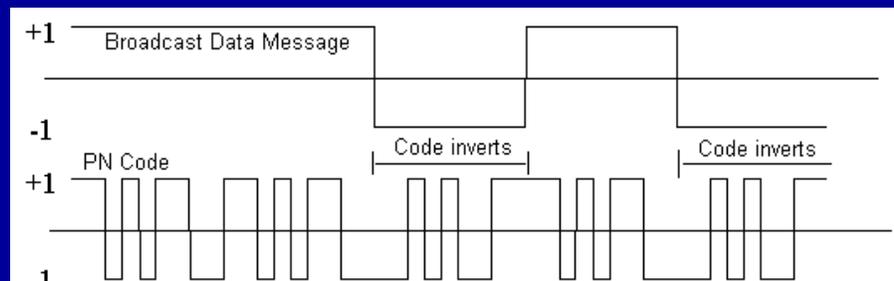
广东省CORS网：连续运行GPS卫星定位服务综合系统（Continuous Operational Reference System）。

3、GPS静态相对定位原理

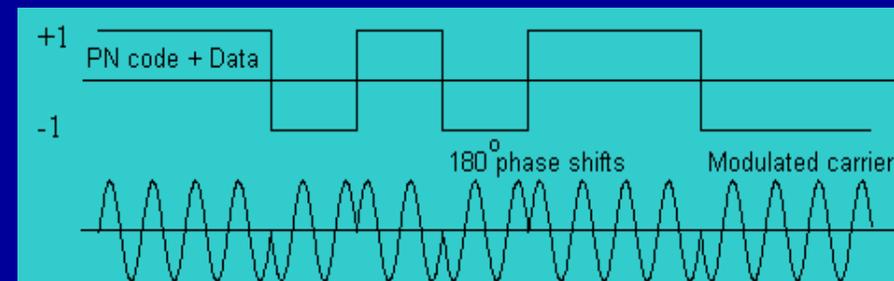


载波相位测量：

- 伪距 – 观测值的精度低 (2.9m-0.29m)
- 载波相位 (Carrier Phase) – L1、L2
- L1波长19.03cm (观测精度约1.9mm)
- L2波长24.42cm (观测精度约2.5mm)

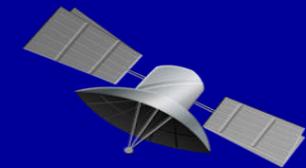


模二和



双相调制

3、GPS静态相对定位原理



载波相位测量观测值：

首次观测：

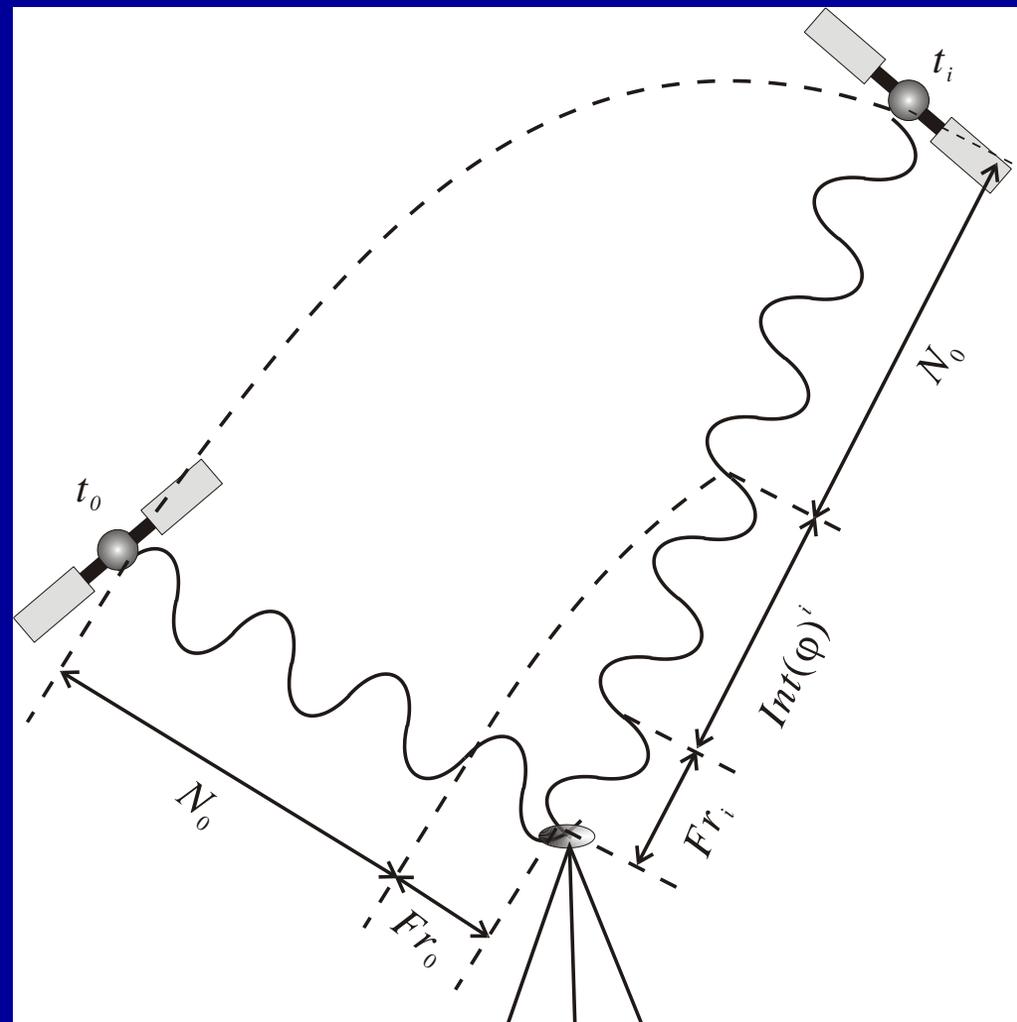
$$\varphi_0 = Fr(\varphi)_0$$

以后的观测：

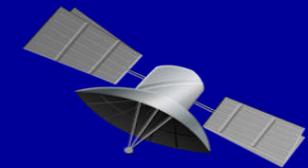
$$\varphi_i = Int(\varphi)_i + Fr(\varphi)_i$$

通常表示为：

$$\tilde{\varphi} = N_0 + Int(\varphi) + Fr(\varphi)$$



3、GPS静态相对定位原理



载波相位测量观测值：

■ 相位伪距：

$$\tilde{D} = \lambda(\tilde{\phi} + N_0)$$

其中：

\tilde{D} ：相位伪距； $\tilde{\phi}$ ：相位观测值

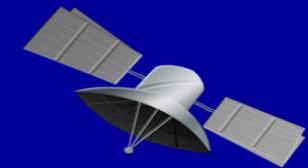
N_0 ：整周模糊度（整周未知数）。

■ 整周模糊度（整周未知数） - Ambiguity

■ 整数

■ 若信号不失锁或不发生周跳，则保持不变

3、GPS静态相对定位原理

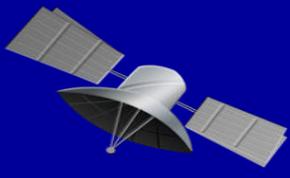


测相伪距观测值：

$$\tilde{\varphi}_i^j(t) = \varphi_i(t_i) - \varphi^j(t^j) - N_i^j(t_0)$$

历元 t 的相位观测值 $\tilde{\varphi}_i^j(t)$ ，应当等于接收机基准信号相位与卫星发射信号相位之差减去相应于初始历元 t_0 的相位差整周数 $N_i^j(t_0)$ ，也即相位观测量 $\tilde{\varphi}_i^j(t)$ 为锁定卫星后多普勒技术的整周数和不足一周的相位值。

3、GPS静态相对定位原理



测相伪距观测方程：

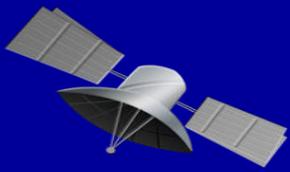
$$\tilde{\varphi}_i^j(t) = \varphi_i(t_i) - \varphi^j(t^j) - N_i^j(t_0)$$

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

$$\tilde{\varphi}_i^j(t) = f \cdot \Delta t - N_i^j(t_0)$$

$$\tilde{D}_i^j(t) = \lambda \cdot \tilde{\varphi}_i^j(t) = \frac{c}{f} \cdot f \cdot \Delta t - \lambda \cdot N_i^j(t_0)$$

3、GPS静态相对定位原理



载波相位观测方程：

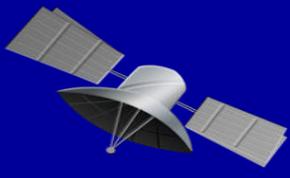
$$\begin{aligned}\varphi_i^j(t) &= \frac{f}{c} [D_i^j(t) + \delta I_i^j(t) + \delta T_i^j(t)] + f \cdot \delta t_i - f \cdot \delta t^j - N_i^j(t_0) \\ &= \frac{f}{c} [D_i^j(t) + \delta I_i^j(t) + \delta T_i^j(t)] + f \cdot \delta t_i^j - N_i^j(t_0)\end{aligned}$$

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

测相伪距观测方程：

$$\tilde{D}_i^j(t) = D_i^j(t) + \delta I_i^j(t) + \delta T_i^j(t) + c \cdot \delta t_i - c \cdot \delta t^j - \lambda N_i^j(t_0)$$

3、GPS静态相对定位原理



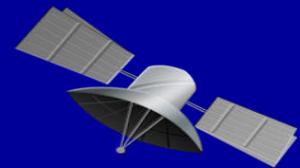
测相伪距观测方程:

$$\tilde{D}_i^j(t) = D_i^j(t) + \delta I_i^j(t) + \delta T_i^j(t) + c \cdot \delta t_i - c \cdot \delta t^j - \lambda N_i^j(t_0)$$

测相伪距观测方程的线性化:

$$\begin{aligned} \tilde{D}_i^j(t) = & \left(D_i^j(t) \right)_0 - \left[k_i^j(t) \delta X_i + l_i^j(t) \delta Y_i + m_i^j(t) \delta Z_i \right] \\ & + \delta I_i^j(t) + \delta T_i^j(t) + c \cdot \delta t_i - c \cdot \delta t^j - \lambda N_i^j(t_0) \end{aligned}$$

3、GPS静态相对定位原理



载波相位观测方程的求解

$$\begin{aligned} D_i^j(t) &= \sqrt{(X^j - X_i)^2 + (Y^j - Y_i)^2 + (Z^j - Z_i)^2} \\ &= D_{i0}^j - \frac{(X^j - X_{i0})}{D_{i0}^j} \delta X_i - \frac{(Y^j - Y_{i0})}{D_{i0}^j} \delta Y_i - \frac{(Z^j - Z_{i0})}{D_{i0}^j} \delta Z_i \\ &= D_{i0}^j - l_i^j \delta X_i - m_i^j \delta Y_i - n_i^j \delta Z_i \end{aligned}$$

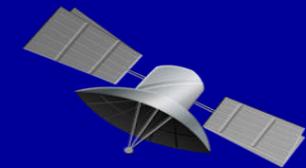
将 $D_i^j(t)$ 代入载波相位观测方程中，则得：

$$\begin{aligned} \Delta \varphi_i^j(t) &= \frac{f}{c} [D_i^j(t)]_0 - \frac{f}{c} l_i^j(t) \delta X_i - \frac{f}{c} m_i^j(t) \delta Y_i - \frac{f}{c} n_i^j(t) \delta Z_i \\ &+ \frac{f}{c} [\delta I_i^j(t) + \delta T_i^j(t)] + f * [\delta t_i(t) - \delta t^j(t)] - N_{i0}^j(t) \end{aligned}$$

此方程共有六个未知数，如忽略卫星钟差未知数（或已加入改正），则此方程仅

有五个未知数： $\delta X_i, \delta Y_i, \delta Z_i, \delta t_i(t), N_{i0}^j(t)$ 增加了一个整周模糊度！

3、GPS静态相对定位原理

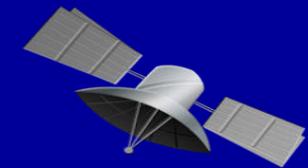


测相伪距单点定位观测方程组（四颗卫星）：

$$\begin{aligned}\tilde{D}_i^1(t) &= \left(D_i^1(t)\right)_0 - \left[k_i^1(t)\delta X_i + l_i^1(t)\delta Y_i + m_i^1(t)\delta Z_i\right] + c \cdot \delta t_i - \lambda N_i^1(t_0) \\ \tilde{D}_i^2(t) &= \left(D_i^2(t)\right)_0 - \left[k_i^2(t)\delta X_i + l_i^2(t)\delta Y_i + m_i^2(t)\delta Z_i\right] + c \cdot \delta t_i - \lambda N_i^2(t_0) \\ \tilde{D}_i^3(t) &= \left(D_i^3(t)\right)_0 - \left[k_i^3(t)\delta X_i + l_i^3(t)\delta Y_i + m_i^3(t)\delta Z_i\right] + c \cdot \delta t_i - \lambda N_i^3(t_0) \\ \tilde{D}_i^4(t) &= \left(D_i^4(t)\right)_0 - \left[k_i^4(t)\delta X_i + l_i^4(t)\delta Y_i + m_i^4(t)\delta Z_i\right] + c \cdot \delta t_i - \lambda N_i^4(t_0)\end{aligned}$$

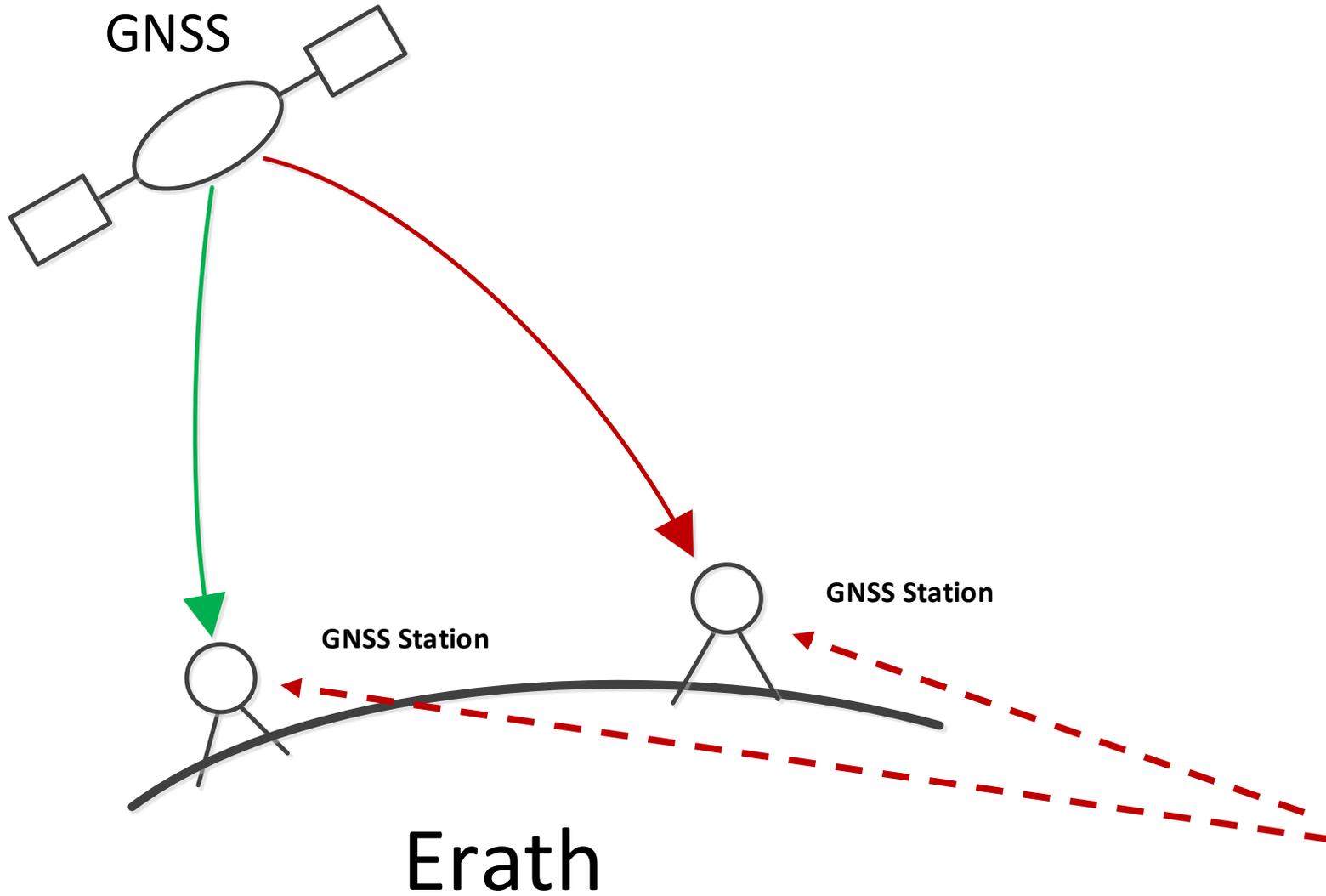
思考：如果连续观测3分钟，采样间隔30秒，每个历元跟踪10颗卫星，共计多少测相伪距观测方程？共计多少未知参数？是否可以进行实时定位？

3、GPS静态相对定位原理



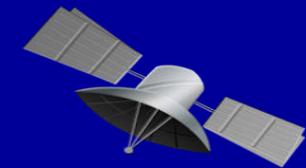
测相伪距单点定位存在的问题：

- 周跳探测与修复
- 模糊度难以快速精确确定
- 无法得到实时解



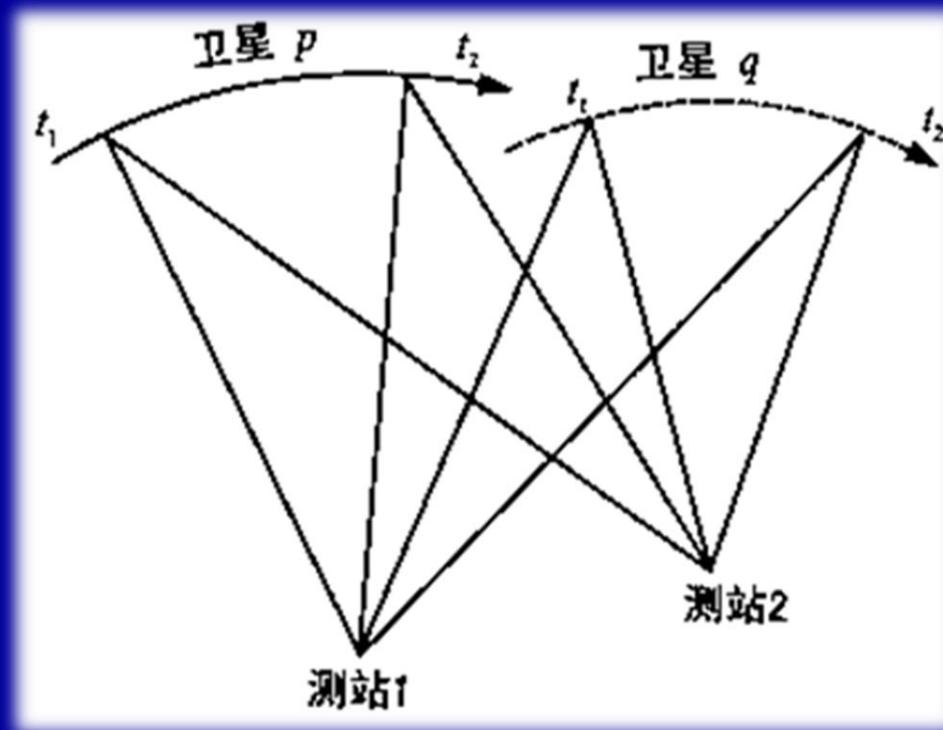
1. GNSS星座
2. 时空基准
3. 卫星位置
4. GNSS信号
5. GNSS接收机
6. GNSS误差源
7. GNSS绝对定位
8. GNSS相对定位
9.

3、GPS静态相对定位原理

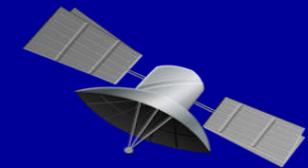


载波相位观测量的组合：

- 非差
- 单差
- 双差
- 三差
- 其它线性组合



3、GPS静态相对定位原理



在某一时刻 t ，测站 i 对卫星 j 的载波相位观测值如下：

$$\tilde{\varphi}_i^j(t) = \frac{f}{c} [D_i^j(t) + \delta I_i^j(t) + \delta T_i^j(t)] + f \cdot \delta t_i - f \cdot \delta t^j - N_i^j(t_0)$$

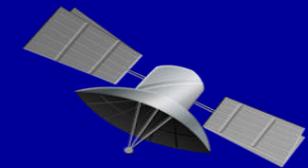
其中：

$D_i^j(t)$ 为站星间的几何距离； f 为信号频率；

$\delta I_i^j(t)$ 为电离层延迟改正； $\delta T_i^j(t)$ 为对流层延迟改正；

$N_i^j(t_0)$ 为整周未知数； δt_i 为接收机钟差； δt^j 为卫星钟差。

3、GPS静态相对定位原理



差分观测值类型

- 站间差分 - 同步观测值在接收机间求差，可消除卫星钟差。

$$\varphi_i^p(t_l) - \varphi_j^p(t_l)$$

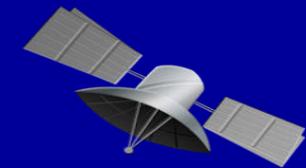
- 星间差分 - 同步观测值在卫星间求差，可消除接收机钟差。

$$\varphi_i^p(t_l) - \varphi_i^q(t_l)$$

- 历元间差分 - 同步观测值在历元间求差，可消去整周未知数。

$$\varphi_i^p(t_{l+1}) - \varphi_i^p(t_l)$$

3、GPS静态相对定位原理

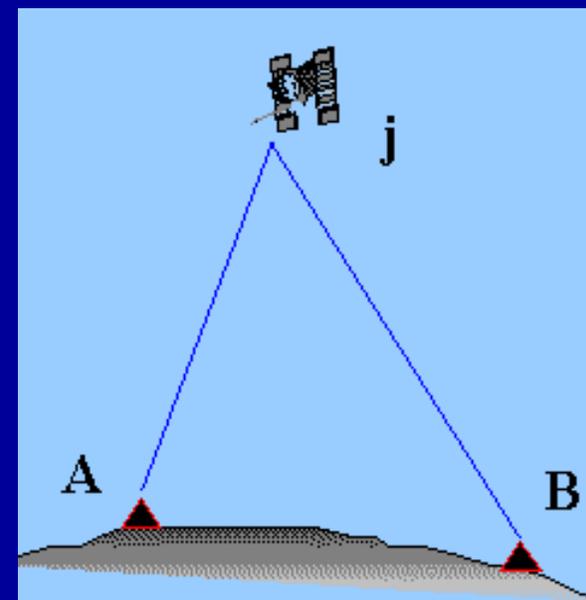


- 站间差分 - 同步观测值在接收机间求差，可消除卫星钟差。

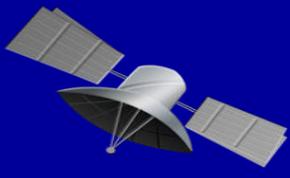
$$\tilde{\Phi}_1^p(t) = \frac{f}{c} [D_1^p(t) + \delta I_1^p(t) + \delta T_1^p(t)] + f \cdot \delta t_1 - f \cdot \delta t^p - N_1^p(t_0)$$

$$\tilde{\Phi}_2^p(t) = \frac{f}{c} [D_2^p(t) + \delta I_2^p(t) + \delta T_2^p(t)] + f \cdot \delta t_2 - f \cdot \delta t^p - N_2^p(t_0)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\Phi}_2^p(t) - \tilde{\Phi}_1^p(t) &= \frac{f}{c} [D_2^p(t) - D_1^p(t) + \delta I_2^p(t) - \delta I_1^p(t) + \delta T_2^p(t) - \delta T_1^p(t)] \\ &\quad + f \cdot (\delta t_2 - \delta t_1) - f \cdot (\delta t^p - \delta t^p) - [N_2^p(t_0) - N_1^p(t_0)] \end{aligned}$$



3、GPS静态相对定位原理

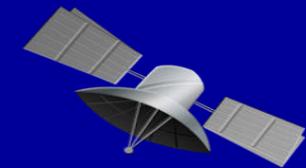


站间求差后，即有如下的**单差虚拟观测方程**：

$$\Delta\tilde{\varphi}_{12}^p(t) = \frac{f}{c} \left[D_2^p(t) - D_1^p(t) + \delta I_2^p(t) - \delta I_1^p(t) + \delta T_2^p(t) - \delta T_1^p(t) \right] \\ + f \cdot (\delta t_2 - \delta t_1) - [N_2^p(t_0) - N_1^p(t_0)]$$

$$\Delta\tilde{\varphi}_{12}^p(t) = \frac{f}{c} \cdot D_{12}^p(t) + f \cdot \delta t_{12} - N_{12}^p(t_0) + \frac{f}{c} \cdot \delta I_{12}^p(t) + \frac{f}{c} \cdot \delta T_{12}^p(t)$$

3、GPS静态相对定位原理



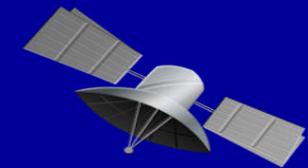
- 星间差分 - 同步观测值在卫星间求差，可消除接收机钟差。

$$\tilde{\Phi}_1^p(t) = \frac{f}{c} [D_1^p(t) + \delta I_1^p(t) + \delta T_1^p(t)] + f \cdot \delta t_1 - f \cdot \delta t^p - N_1^p(t_0)$$

$$\tilde{\Phi}_1^q(t) = \frac{f}{c} [D_1^q(t) + \delta I_1^q(t) + \delta T_1^q(t)] + f \cdot \delta t_1 - f \cdot \delta t^q - N_1^q(t_0)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\Phi}_1^q(t) - \tilde{\Phi}_1^p(t) &= \frac{f}{c} [D_2^q(t) - D_1^p(t) + \delta I_2^q(t) - \delta I_1^p(t) + \delta T_2^q(t) - \delta T_1^p(t)] \\ &\quad + f \cdot (\delta t_1 - \delta t_1) - f \cdot (\delta t^q - \delta t^p) - [N_2^q(t_0) - N_1^p(t_0)] \end{aligned}$$

3、GPS静态相对定位原理

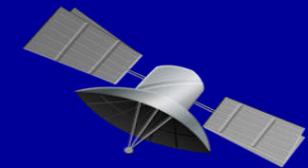


星间求差后，即有如下的单差虚拟观测方程：

$$\Delta\tilde{\varphi}_1^{pq}(t) = \frac{f}{c} \left[D_2^q(t) - D_1^p(t) + \delta I_2^q(t) - \delta I_1^p(t) + \delta T_2^q(t) - \delta T_1^p(t) \right] - f \cdot (\delta t^q - \delta t^p) - [N_2^q(t_0) - N_1^p(t_0)]$$

$$\Delta\tilde{\varphi}_1^{pq}(t) = \frac{f}{c} \cdot D_1^{pq}(t) + f \cdot \delta t^{pq} - N_1^{pq}(t_0) + \frac{f}{c} \cdot \delta I_1^{pq}(t) + \frac{f}{c} \cdot \delta T_1^{pq}(t)$$

3、GPS静态相对定位原理

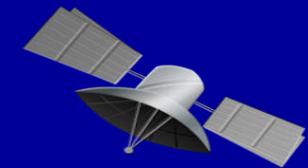


- 历元间差分 - 同步观测值在历元间求差，可消去整周未知数。

$$\begin{aligned}\tilde{\varphi}_i^p(t_1) &= \frac{f}{c} \left[D_i^p(t_1) + \delta I_i^p(t_1) + \delta T_i^p(t_1) \right] + f \cdot \delta t_i(t_1) - f \cdot \delta t^p(t_1) - N_i^p(t_0) \\ \tilde{\varphi}_i^p(t_2) &= \frac{f}{c} \left[D_i^p(t_2) + \delta I_i^p(t_2) + \delta T_i^p(t_2) \right] + f \cdot \delta t_i(t_2) - f \cdot \delta t^p(t_2) - N_i^p(t_0)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tilde{\varphi}_i^p(t_2) - \tilde{\varphi}_i^p(t_1) &= \frac{f}{c} \left[D_i^p(t_2) - D_i^p(t_1) + \delta I_i^p(t_2) - \delta I_i^p(t_1) + \delta T_i^p(t_2) - \delta T_i^p(t_1) \right] \\ &\quad + f \cdot [\delta t_i(t_2) - \delta t_i(t_1)] - f \cdot [\delta t^p(t_2) - \delta t^p(t_1)] - [N_i^p(t_0) - N_i^p(t_0)]\end{aligned}$$

3、GPS静态相对定位原理

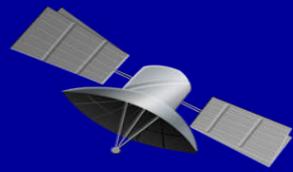


历元间求差后，即有如下的单差虚拟观测方程：

$$\Delta\tilde{\varphi}_i^p(t_1, t_2) = \frac{f}{c} \left[D_i^p(t_2) - D_i^p(t_1) + \delta I_i^p(t_2) - \delta I_i^p(t_1) + \delta T_i^p(t_2) - \delta T_i^p(t_1) \right] \\ + f \cdot [\delta t_i(t_2) - \delta t_i(t_1)] - f \cdot [\delta t^p(t_2) - \delta t^p(t_1)]$$

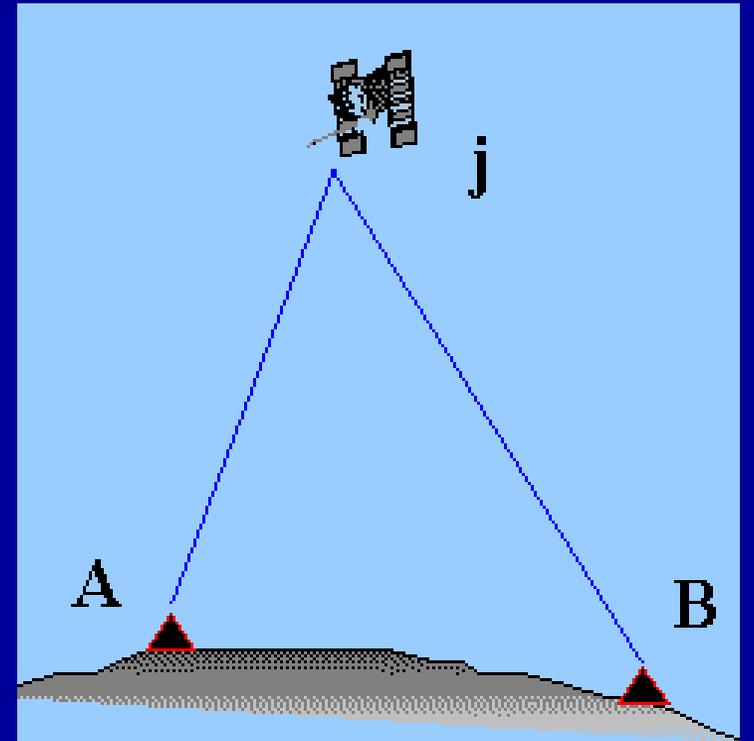
$$\Delta\tilde{\varphi}_i^p(t_1, t_2) = \frac{f}{c} \cdot D_i^p(t_1, t_2) + f \cdot \delta t_i(t_1, t_2) - f \cdot \delta t^p(t_1, t_2) \\ + \frac{f}{c} \cdot \delta I_i^p(t_1, t_2) + \frac{f}{c} \cdot \delta T_i^p(t_1, t_2)$$

3、GPS静态相对定位原理

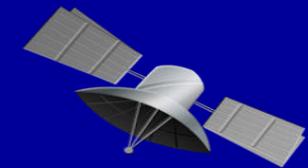


测站间求单差的优点：

- (1) 消除了卫星钟误差的影响。
- (2) 大大削弱了**卫星星历误差**的影响。
- (3) 大大削弱了小区域内大气折射的影响。



3、GPS静态相对定位原理

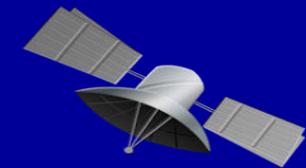


测站间求差减弱星历误差影响：

利用在两个或多个观测站上，对同一卫星的同步观测值求差，以减弱卫星轨道误差的影响。由于同一卫星的位置误差，对不同观测站同步观测量的影响具有系统性质，所以通过上述求差的方法，可以明显地减弱卫星轨道误差的影响，尤其当基线较短时，其有效性甚为明显。这种方法，对精密相对定位具有极其重要的意义。

结果表明：**在测站间求差后星历误差对测距的影响只有原来的1/1000。**

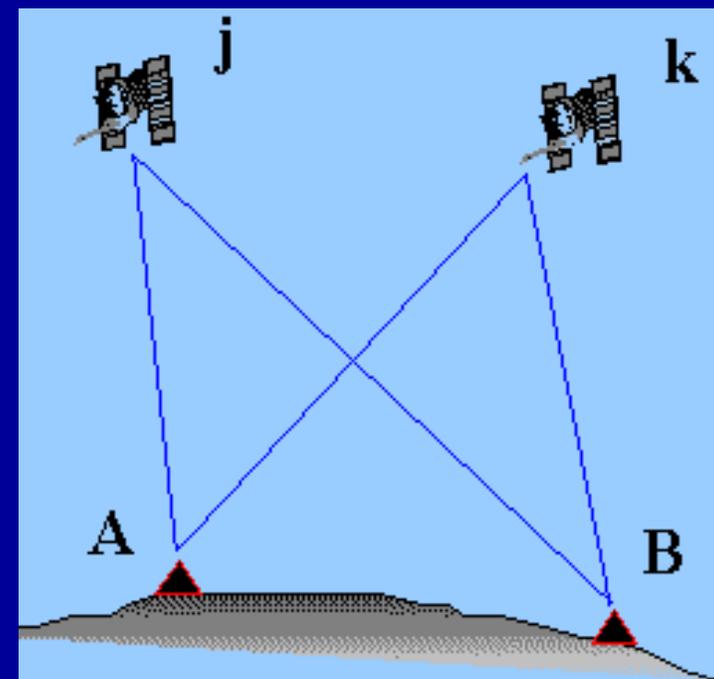
3、GPS静态相对定位原理



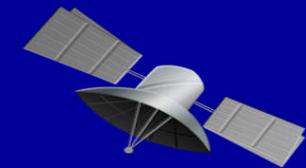
双差观测值：

对测站间或卫星间或历元间求过一次差后的虚拟观测方程，仍可再次求差，获得**双差模型**。由于求差与先后顺序无关，因此，GPS观测量之间的双差模型仍可有如下3种构成方法：

- (1) 在测站间求单差，卫星间求双差。
- (2) 在卫星间求单差，历元间求双差。
- (3) 在历元间求单差，测站间求双差。



3、GPS静态相对定位原理



双差观测模型：

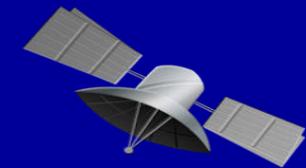
以下按测站间求单差卫星间求双差为例，给出双差模型：

设在1、2测站时刻同时观测了p、q两个卫星，那么对p、q两颗卫星分别有单差虚拟观测方程：

$$\Delta\varphi_{1,2}^p(t_1) = \frac{f}{c} D_{1,2}^p(t_1) + f\delta t_{1,2} - N_{1,2}^p(t_0) + \frac{t}{c} \delta I_{1,2}^p + \frac{f}{c} \delta T_{1,2}^p$$

$$\Delta\varphi_{1,2}^q(t_1) = \frac{f}{c} D_{1,2}^q(t_1) + f\delta t_{1,2} - N_{1,2}^q(t_0) + \frac{t}{c} \delta I_{1,2}^q + \frac{f}{c} \delta T_{1,2}^q$$

3、GPS静态相对定位原理

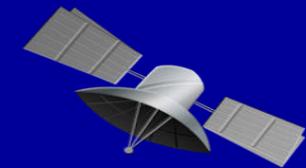


双差观测模型：

如果忽略大气折射残差，可得在卫星间求双差的虚拟观测方程：

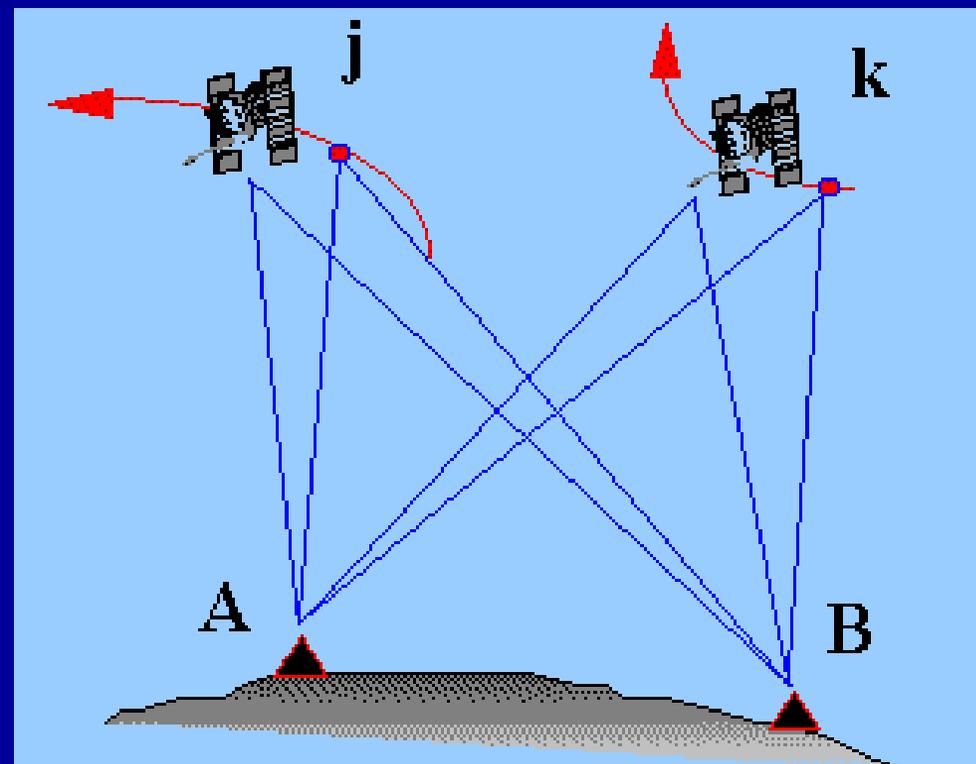
$$\begin{aligned}\Delta\varphi_{1,2}^{p,q}(t_1) &= \Delta\varphi_{1,2}^q(t_1) - \Delta\varphi_{1,2}^p(t_1) \\ &= \frac{f}{c}(D_{1,2}^q(t_1) - D_{1,2}^p(t_1)) + f(\delta t_{1,2} - \delta t_{1,2}) + (N_{1,2}^q(t_0) - N_{1,2}^p(t_0)) \\ &= \frac{f}{c}D_{1,2}^{p,q}(t_1) + N_{1,2}^{p,q}(t_0)\end{aligned}$$

3、GPS静态相对定位原理

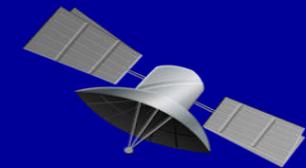


三差观测模型：

在建立GPS载波相位观测量之间的双差模型后，还可进一步建立观测量之间的三差模型。由于求差与求差（相减）次序无关，所以建立三差模型只有一种方法，即在测站、卫星和观测历元之间求三次差。



3、GPS静态相对定位原理

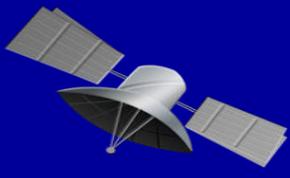


三差观测模型：

设在测站1、2分别在 t_1 、 t_2 历元同时观测了 p 、 q 卫星，则有双差观测方程：

$$\Delta\varphi_{1,2}^{p,q}(t_1) = \frac{f}{c} D_{1,2}^{p,q}(t_1) + N_{1,2}^{p,q}(t_0)$$
$$\Delta\varphi_{1,2}^{p,q}(t_2) = \frac{f}{c} D_{1,2}^{p,q}(t_2) + N_{1,2}^{p,q}(t_0)$$

3、GPS静态相对定位原理

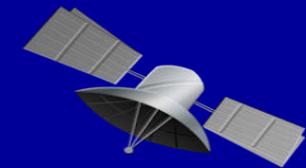


三差观测模型：

$$\begin{aligned}\Delta\varphi_{1,2}^{p,q}(t_1,t_2) &= \frac{f}{c}(D_{1,2}^{p,q}(t_2) - D_{1,2}^{p,q}(t_1) + N_{1,2}^{p,q}(t_0) - N_{1,2}^{p,q}(t_0)) \\ &= \frac{f}{c}D_{1,2}^{p,q}(t_1,t_2)\end{aligned}$$

由于整周未知数与观测历元无关，因而在求差时被消去，所以三差观测方程中已不存在整周未知数，此时未知参数中仅包含待定点的坐标。

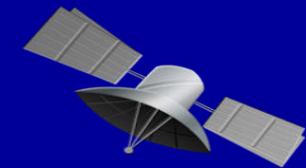
3、GPS静态相对定位原理



三差观测模型：

三差法相对定位的优点在于它可以在方程中消掉整周未知数，因此对于相对定位来说是很有用的。由于三差法对**不同观测历元**的观测量求差，当卫星位置变化很小时，导致方程对卫星误差过于敏感，又造成此方法不能在几个历元内解出精度合格的结果。如卫星运行20秒（约78公里），即使卫星误差只有10cm，对解算的影响也达到几厘米，因此三差法主要用于获取初值。

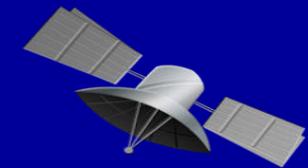
3、GPS静态相对定位原理



载波相位观测量线性组合的目的：

- GPS测量多种误差源导致测量精度降低
- 模型改正及参数估计难以彻底消除系统性误差
- GPS多个测站同步观测相同卫星具有很强的相关性

3、GPS静态相对定位原理

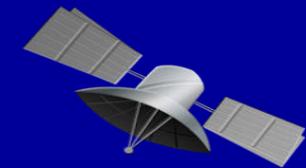


相位观测量线性组合的相关性：

通过对相位观测量求差获得的线性组合方程，可以消除或削弱GPS卫星定位中的多项误差，极大地提高定位精度。同时还具有消去多余未知参数，使求解简单易行的优点。

但求差法也带来一些缺点：一是由于求差使观测方程数大大减少，使许多有效地观测数据不能得以利用，导致观测数据**利用率低**；二是由求差差生的虚拟观测值之间产生相关性，随着求差次数的增加，其相关性也显著增强，从而导致解得精度和可靠性降低。

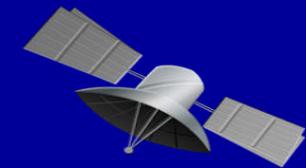
3、GPS静态相对定位原理



相对定位的优势：

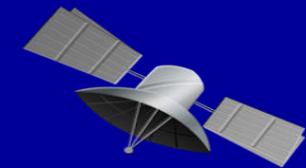
- GPS观测量本身不包含参考系原点的信息，若固定卫星与任一测站，基准的原点便被唯一定义，从而保证稳定的数值解；
- 通过站间差分，使得许多共同的或强相关误差源得以消除或减弱，使得精度优于绝对定位精度；
- 在大地测量等领域人们更关心的一点相对另一点的精度；
- 相对定位不仅用于确定一点相对另一点的坐标与精度，而且已成为精密确定地心坐标的重要手段。

主要讲解内容



1. GPS定位方法分类
2. 静态绝对定位原理
3. 静态相对定位原理
4. 整周未知数的确定方法
5. 周跳的探测与修复

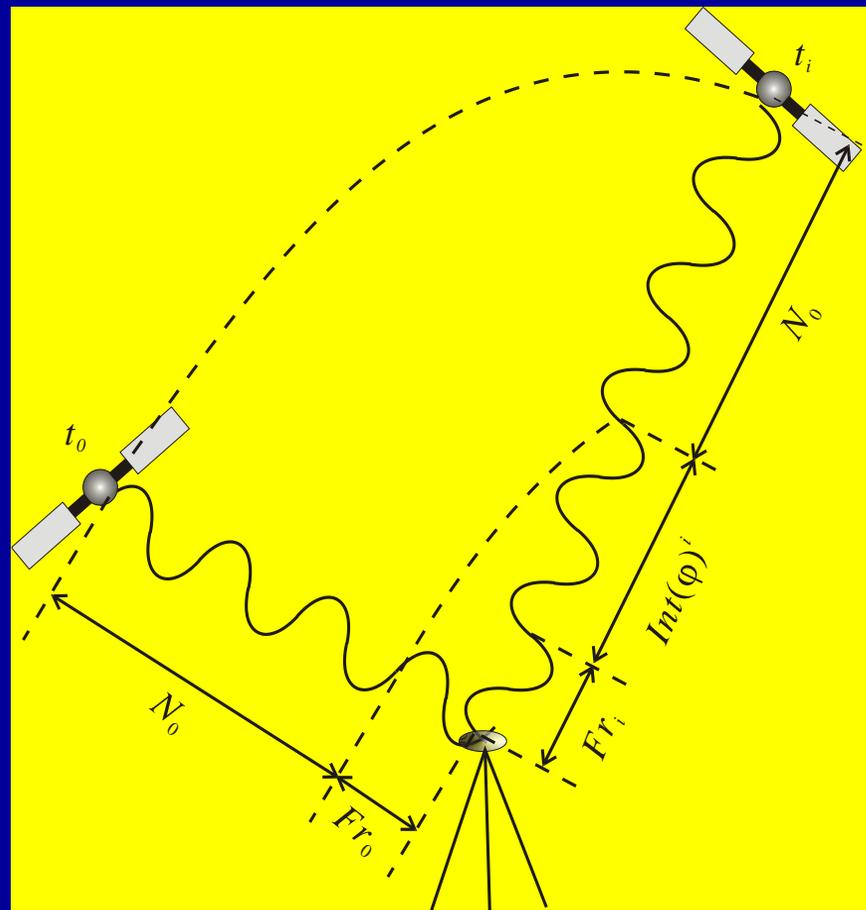
4、整周未知数的确定方法

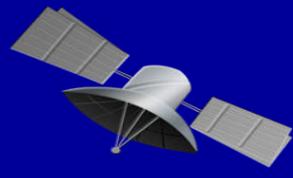


GPS相对定位的关键问题：

基于载波观测量的GPS相对定位是目前精度最高的GPS定位方法，但这种高精度是以**正确求定整周未知数和彻底消除周跳**为前提的。

一个整周数值的错误，即将产生约**20cm**的误差（L1波长19.03cm，L2波长24.42cm）。

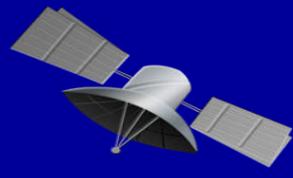




4、整周未知数的确定方法

整周未知数的确定方法：

- 平差待定参数法
- 三差法
- 伪距双频法
- 交换天线法
-

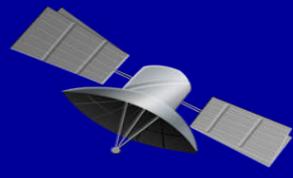


4、整周未知数的确定方法

平差待定参数法：

把整周未知数作为基线向量平差计算中的**待定参数**，在平差过程中与其它参数一起求解确定。静态相对定位中常采用这种方法，即可采用如下的数学模型，根据最小二乘原理，通过平差求解相应的整周未知数，而整周未知数的取值有两种取值方法。

$$V_{1,2}^{p,q}(t_1) = -\frac{f}{c} [\Delta k_{1,2}^{p,q}(t_1) \quad \Delta l_{1,2}^{p,q}(t_1) \quad \Delta m_{1,2}^{p,q}(t_1)] \cdot \begin{bmatrix} \delta X_2 \\ \delta Y_2 \\ \delta Z_2 \end{bmatrix} - N_{1,2}^{p,q}(t_0) + \Delta L_{1,2}^{p,q}(t_1)$$



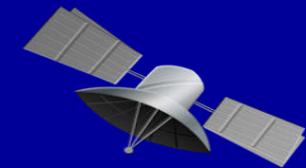
4、整周未知数的确定方法

整周模糊度的固定解：

整周未知数从理论上讲应该是一个**整数**，但是，由于各种误差的影响，平差求得的整周未知数往往不是一个整数，而是一个**实数**。

对于**短基线**，相对定位可以使这些误差大大消弱；同时也由于在较长的观测时间，观测卫星的几何分布会产生较大的变化，因此能以较高的精度来求定**整周未知数**。此时，平差求出的整周未知数一般为较接近于邻近整数的实数，且如果整周未知数估值的中误差甚小，则可直接取相邻近的整数为整周未知数；或者从统计检验的角度，取整周未知数估值加上3倍的中误差(即)为整周未知数的整数取值范围，然后通过组合确定取舍，这种解通常称为**整数解或固定解**，主要应用于**基线较短的相对定位**（迭代求解）。

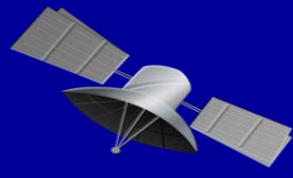
4、整周未知数的确定方法



整周模糊度的浮动解：

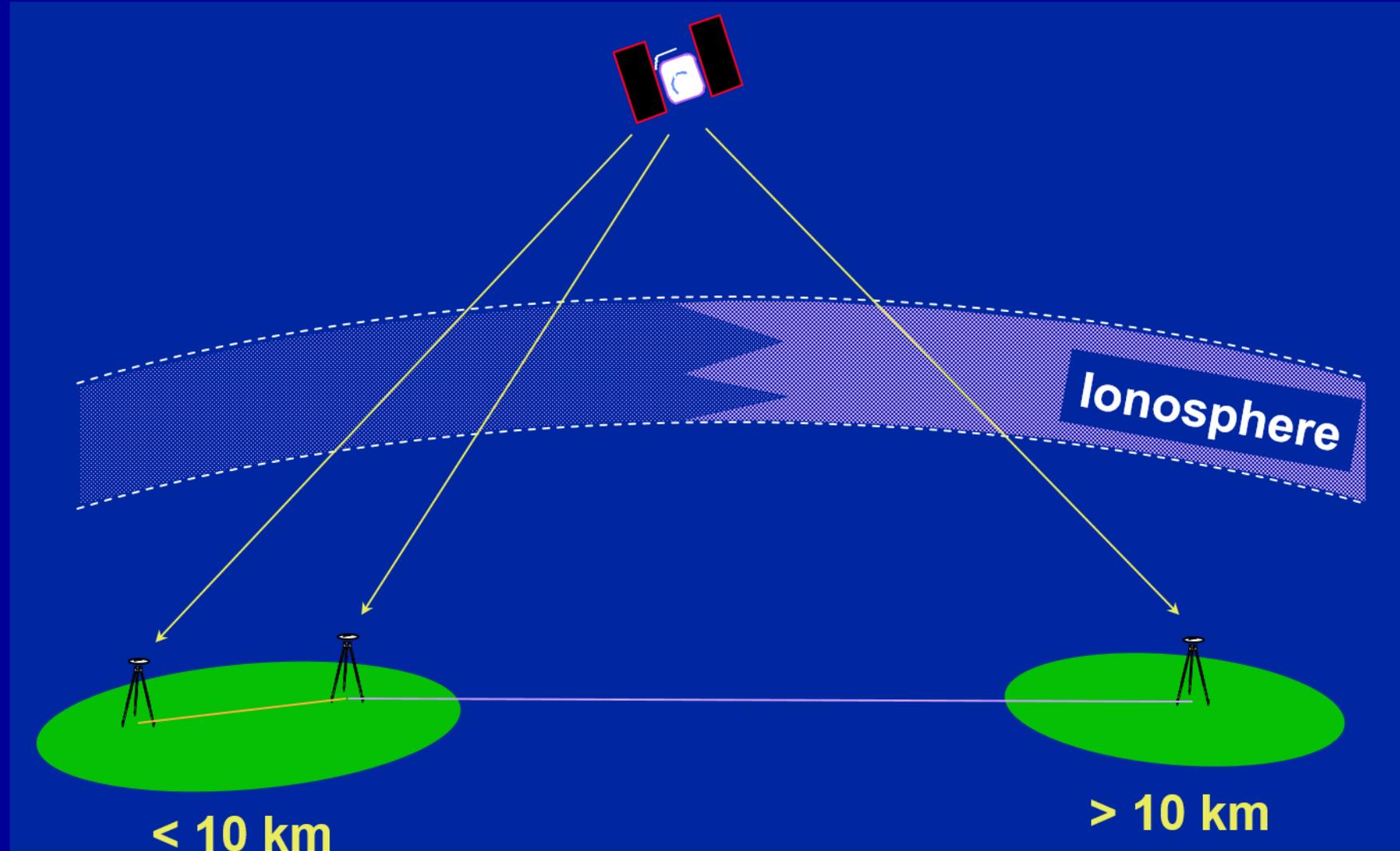
对于**长基线**，误差的相关性降低，因此卫星星历、大气折射等误差的影响难以有效消除，求解的整周未知数精度较低。事实上，整周未知数的实数解中往往包含了一些**系统误差**，此时，再将其取为某一整数，实际上对于相对定位精度只会有损而无益。所以通常对于**20km以上的长基线通常不再考虑整周未知数的整数性质**，直接将实数作为整周未知数的解，由实数整周未知数获得的基线解也称为**浮动解**，主要应用于**基线较长的相对定位**。

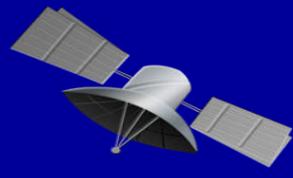
4、整周未知数的确定方法



待定参数法：

- 固定解（整数解）
- 浮动解（实数解）





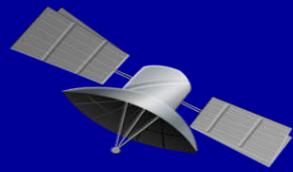
4、整周未知数的确定方法

三差法：

由载波相位观测值的线性组合可知，当连续跟踪载波相位观测值在历元之间求差时，由于其含有相同的整周未知数，求差后方程中不再含有整周未知参数，因此可直接解出坐标参数。但是，在两个历元之间，由于几何图形结构相近，观测方程相关性强，所以求差后的方程性态不好，导致求出的坐标参数精度不高。实际应用时，**一般采用在测站、卫星、历元间求三差后的方程求解坐标未知数并将其作为未知参数的初始值，代入双差模型再求解整周未知数。**由于利用三差法求出的坐标估值是具有较好近似度的初始值，因此有益于提高双差求解整周未知数的精度。

由于三差法利用了连续跟踪卫星的两个历元间的相位差等于多普勒积分值这一性质，所以也称该方法为多普勒法。

4、整周未知数的确定方法



整周模糊度的搜索算法：

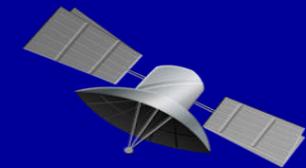


<http://gnss.curtin.edu.au/research/lambda.cfm>



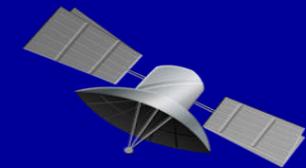
Peter Teunissen

主要讲解内容



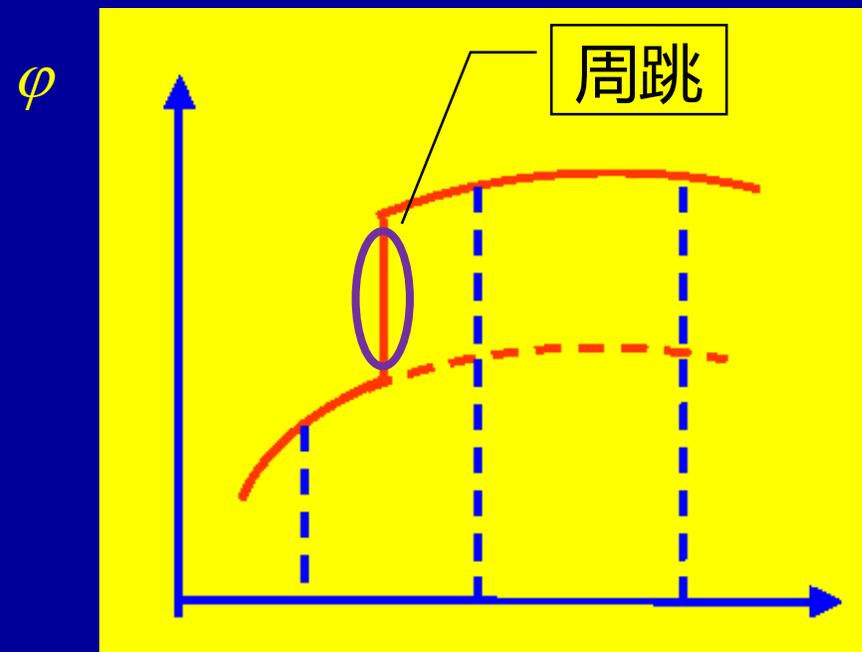
1. GPS定位方法分类
2. 静态绝对定位原理
3. 静态相对定位原理
4. 整周未知数的确定方法
5. 周跳的探测与修复

5、周跳的探测与修复



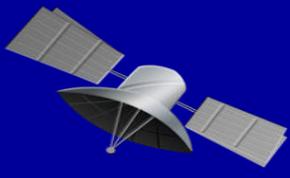
整周跳变：

如果在观测过程接收机保持对GPS卫星信号的**连续跟踪**，则整周模糊度将保持不变，由积分多普勒计数可连续不断地记录跟踪期间载波相位的整周数的变化。但是由于仪器线路的**瞬间故障**、卫星信号被障碍物**暂时阻断**等因素的影响，引起计数器在某一个**短暂时间内无法连续计数**，此即整周跳变现象（简称周跳）。周跳一旦发生，此后的所有观测均会含有这一错误。



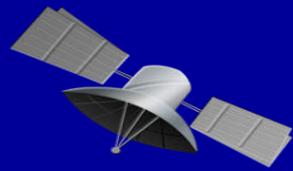
T

5、周跳的探测与修复



整周跳变产生的原因：

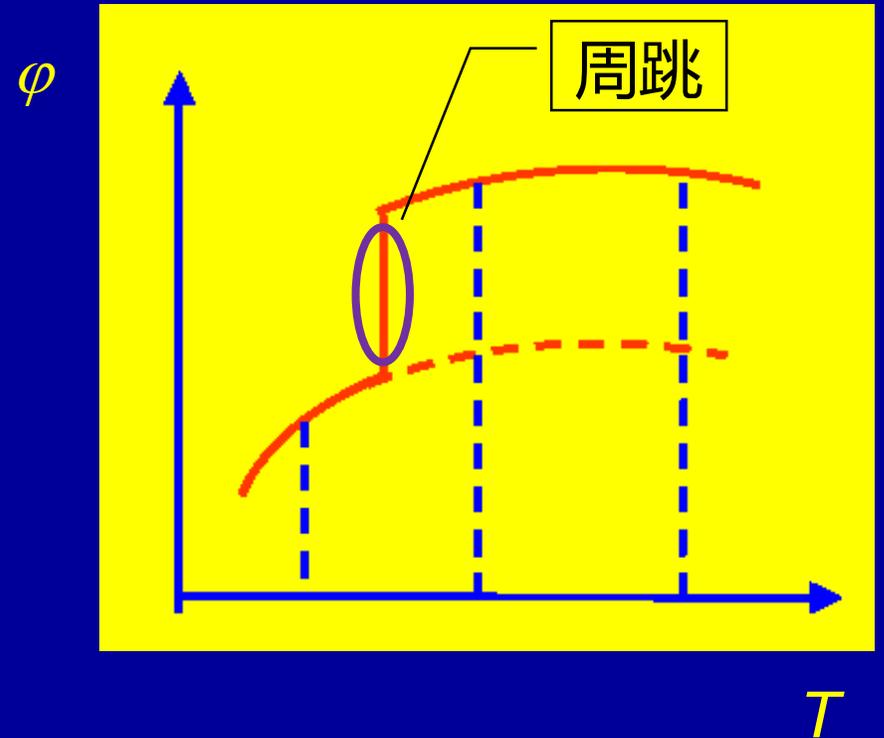
- 信号被遮挡，导致卫星信号无法被跟踪。
- 仪器故障，导致差频信号无法产生。
- 卫星信号信噪比过低，导致整周计数错误。
- 接收机在高速动态的环境下进行观测，导致接收机无法正确跟踪卫星信号。
- 卫星瞬时故障，无法产生信号。
-

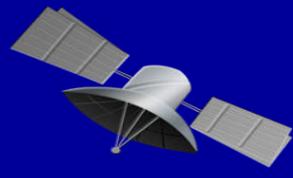


5、周跳的探测与修复

整周跳变的特点：

- 只影响整周计数，周跳为波长的整数倍。
- 将影响从周跳发生时刻（历元）之后的所有观测值。
- 周跳发生后的所有观测值包含相同的整周计数错误。
- 周跳只发生在短时间内。

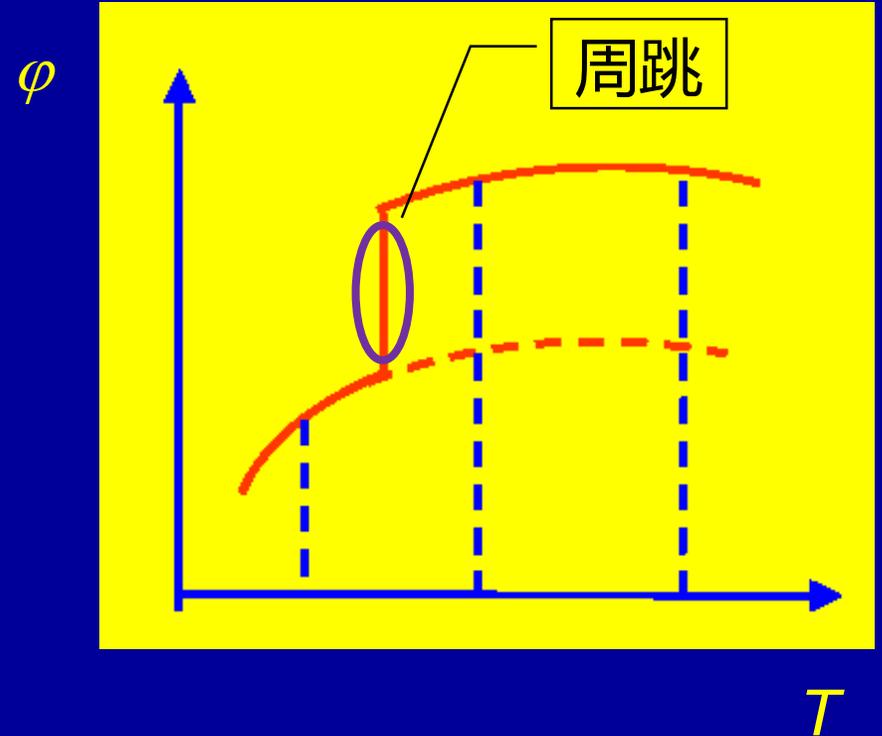


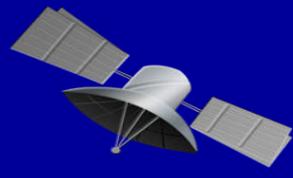


5、周跳的探测与修复

解决周跳的方法：

- 探测与修复
 - 设法找出周跳发生的时间和大小，并进行修复。
- 参数估计法
 - 将周跳标记出来，引入周跳参数，进行解算。

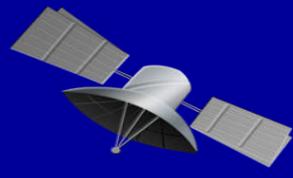




5、周跳的探测与修复

探测周跳的方法：

- 屏幕扫描法
- 高次求差法
- 多项式拟合法
- MW观测值法
- 三差法
-

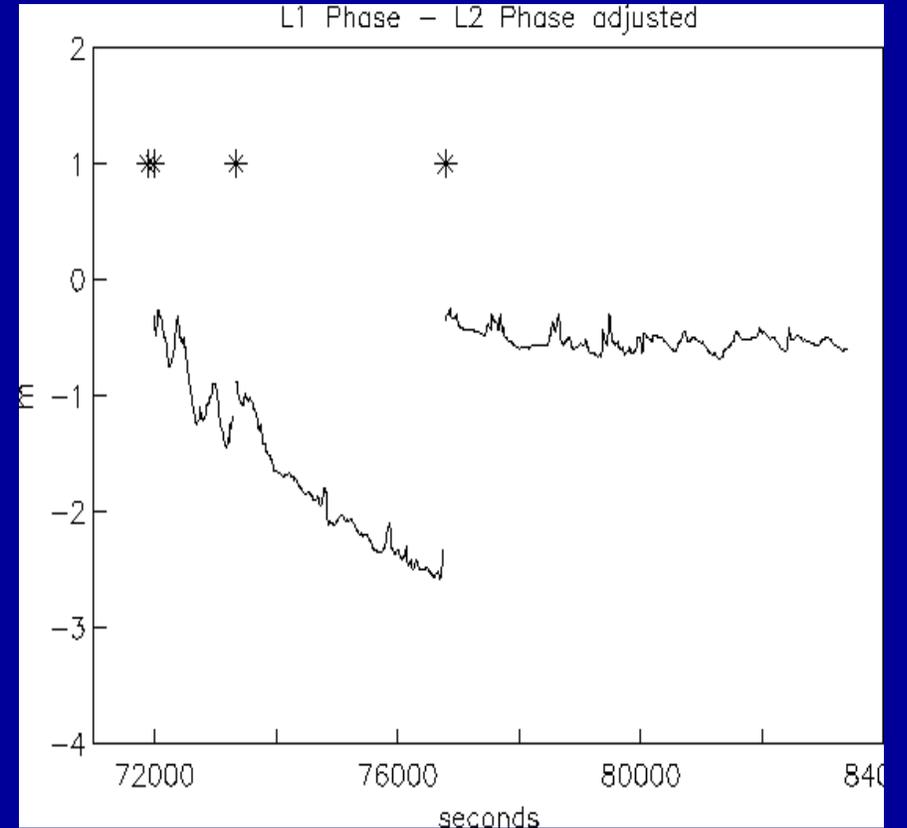


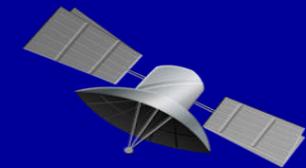
5、周跳的探测与修复

屏幕扫描法：

- **方法：**在屏幕上观察观测值曲线的变化是否连续。
- **特点**
 - 费时、只能发现大周跳。
 - 由于原始的载波观测值变化很快，通常观察的是某种观测值的组合，如：

$$\lambda_{L1} \cdot \varphi_{L1} - \lambda_{L2} \cdot \varphi_{L2}$$





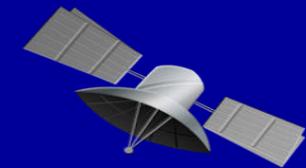
5、周跳的探测与修复

高次求差法：

- 由于卫星和接收机间的距离在不断变化，因而载波相位测量的观测值 $N_0 + \text{Int}(\phi) + \text{Fr}(\phi)$ 也随时间在不断变化。
- 但这种变化应是有规律的，**平滑的**。如果发生**周跳**将破坏这种规律性。
- 对于GPS卫星而言，当求至**三至四次差**时，其值已趋向于零。残留的四次差主要是由**接收机的钟误差**等因素引起的。
- 探测大的周跳。

序号	Int+Fr	一次差	二次差	二次差	四次差	五次差
30	464 623. 1581	11 210. 0672				
31	475 833. 2251	11 608. 7531	398. 6859	1. 1281		
32	487 441. 9784	12 008. 5671	399. 8140	2. 5072	1. 3791	
33	499 450. 5455	12 410. 8883	402. 3212	-98. 0723*	-100. 5795*	-101. 9586*
34	511 861. 4338	12 715. 1372	304. 2489*	202. 8916	300. 9639*	401. 5435*
35	524 576. 5710	13 222. 2777	507. 1405 +	-97. 3805*	-300. 2721	-601. 236*
36	537 798. 8487*	13 632. 0377	409. 7600		99. 5781	399. 8502
37	551 430. 8864	14 043. 9951	411. 9576	2. 1976		(-100)
38	565 474. 8817					

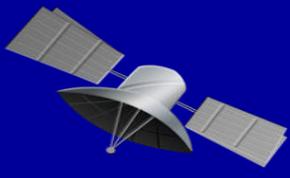
5、周跳的探测与修复



多项式拟合法：

- 为了便于用计算机计算，常采用**多项式拟合**的方法，即根据 n 个相位测量观测值拟合一个 n 阶多项式，据此多项式来**预估**下一个观测值并与实测值比较，从而来发现周跳并修正整周计数。
- 多项式拟合法和**高次求差法**类似，且便于计算。
- 由于四次差或五次差一般已呈偶然误差特性，无法再用函数来加以拟合，所以用多项式拟合时通常也只需取至**4-5阶**即可。
- 观测值可以是**非差相位观测值**，也可以是经线性组合后的**虚拟观测值**（单差观测值和双差观测值）。

5、周跳的探测与修复



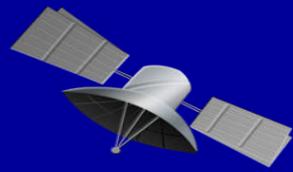
双频P码-MW观测值法:

$$\varphi_{\Delta} \lambda_{\Delta} - \frac{f_1 P_1 + f_2 P_2}{f_1 + f_2} + \lambda_{\Delta} N_{\Delta} = 0$$

$\varphi_{\Delta} = \varphi_1 - \varphi_2$, 为宽巷观测值

$$N_{\Delta} = \frac{1}{\lambda_{\Delta}} \frac{f_1 P_1 + f_2 P_2}{f_1 + f_2} - \varphi_{\Delta}$$

5、周跳的探测与修复



GUI Main

Cycle-slip detection for stand-alone GPS

Zhen Dai, German Aerospace Center (DLR)

RINEX input

Please choose a RINEX observation file

General Settings

Sampling interval (s) of RINEX obs file

Number of epochs to be processed

Raw data selection

GPS L1 GPS L2

Satellite selection

Default: all available satellites are to be checked

Methods

Standard deviation of carrier phase noise [cycles]

Standard deviation of pseudorange noise [mm]

Polynomial fitting

Number of epochs for differencing

Orders of differencing

Doppler

Expected deviation [cycles]

Phase/code

Phase combination with ionosphere ignored

Phase combination with the check of ionosphere residuals

Length of sequence of ionospheric delay

Orders of differencing

Summary

GPS 3
GPS 15
GPS 16
GPS 18
GPS 19
GPS 21
GPS 22
GPS 27
GPS 29

	SV PRN	Cycle-slips	Undetected Epochs	Interrupted Epochs
1	3	0	6	0
2	15	0	6	0
3	16	0	6	0
4	18	0	6	0
5	19	0	6	0
6	21	0	6	0

Detected cycle-slips

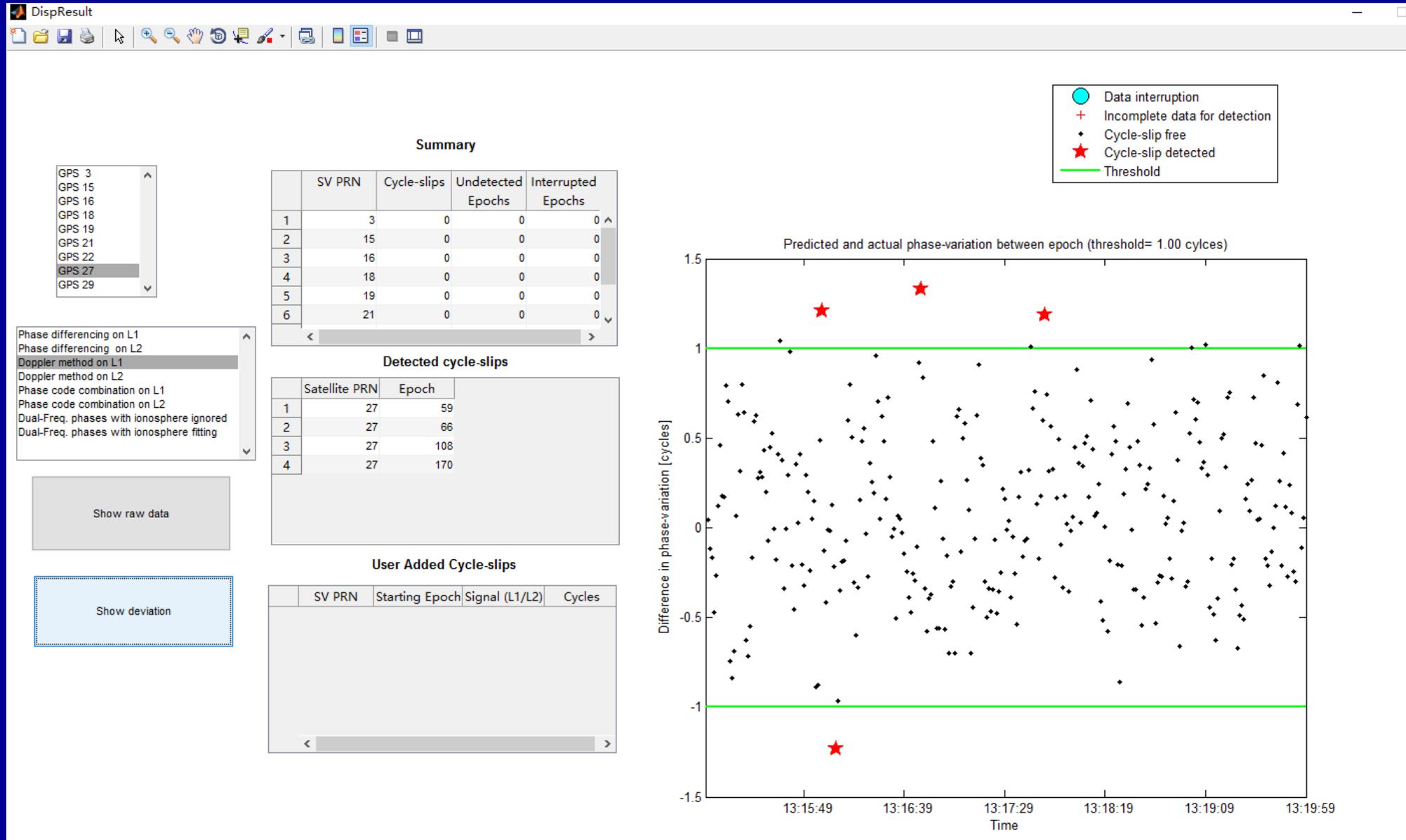
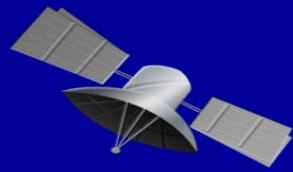
Satellite PRN	Epoch
---------------	-------

User Added Cycle-slips

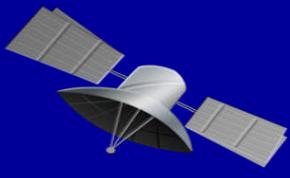
SV PRN	Starting Epoch	Signal (L1/L2)	Cycles
--------	----------------	----------------	--------

Phase differencing on L1
Phase differencing on L2
Doppler method on L1
Doppler method on L2
Phase code combination on L1
Phase code combination on L2
Dual-Freq. phases with ionosphere ignored
Dual-Freq. phases with ionosphere fitting

5、周跳的探测与修复



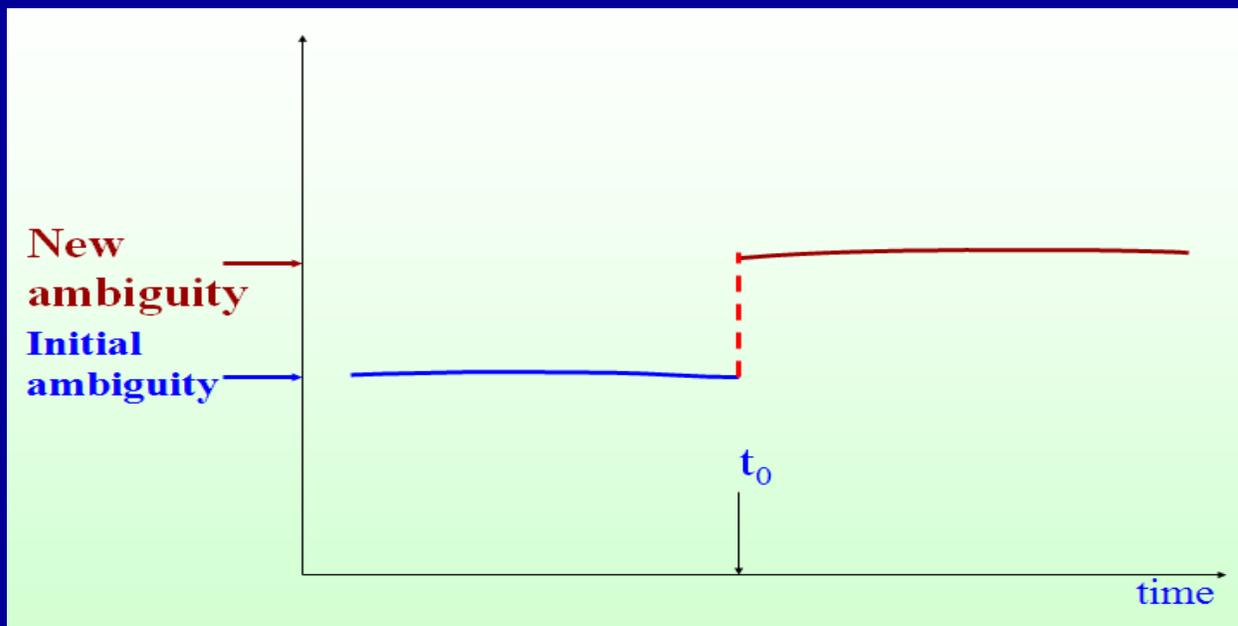
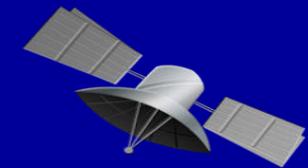
5、周跳的探测与修复



模糊度与周跳的关系:

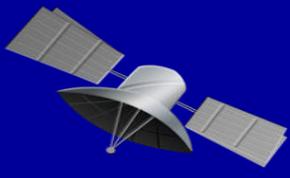
- 只要锁定卫星，相位观测值保持连续，则在一个观测段中只有一个模糊度，即**初始模糊度**。
- 由于某种原因致卫星信号失锁，相位观测值的整周数将发生**跳变**。
- 在参数估计前，必须进行**周跳探测与修复**，以恢复相位的连续性。
- 如果**周跳不能修复**，在参数估计中应重新增加模糊度参数个数。

5、周跳的探测与修复



在GNSS相对定位中，由于整周模糊度和周跳与卫星图形的构形变化、卫星数目密切相关，因此往往需要1-2h甚至更长的观测时间，其目的就是正确确定整周未知数。因此，如何准确并尽量快速地确定整周未知数，是载波相位测量的重要问题。

讲解小结



1、GPS定位方法分类

(静态、动态、实时、事后)

2、静态绝对定位原理

(伪距单点定位观测方程、单点定位原理及精度评定)

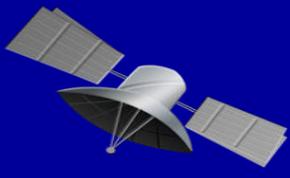
3、静态相对定位原理

(载波相位观测方程、测相伪距观测方程、双差观测值、载波相位线性组合等)

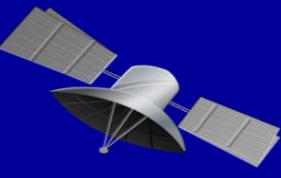
4、整周未知数与周跳

(整周未知数及其确定方法、周跳的探测方法)

思考题



1. 绝对单点定位的计算流程是什么？
2. 绝对单点定位精度受哪些因素影响？其应用领域有哪些？
3. 写出伪距观测量的表达式（顾及大气折射影响），并说明各项含义。
4. 简述单差、双差和三差各自有哪些特点。
5. 简述载波相位线性组合的目的。
6. 整周模糊度的定义及其确定方法。
7. 周跳的定义及其确定方法。



第三章第二讲内容讲解结束，谢谢！