

# GNSS复习

2025年10月22日 16:49

1. GNSS 的 SA 政策是指什么？A-S 政策是指什么？

(2) 实施选择可用性 (SA) 政策。在 GPS 计划试验阶段, 利用 C/A 码定位的精度远远高于设计精度, 甚至可达到 14 m, 于是美国政府采取了 SA 政策, 人为地将误差引入卫星时钟和卫星星历数据, 故意降低 SPS 的定位精度, 以防止未经特许的用户将 GPS 用于军事目的。美国政府已宣布, 自 2000 年 5 月 1 日子夜开始, 取消 SA 政策, 使民用 C/A 码的定位精度大大提高。

2. 实现 GNSS 定位需要几颗可见卫星? 故障检测至少需要几颗? 故障识别需要几颗?  
???

3. GNSS 定位中的卫星钟改正参数从载波、测距码还是导航电文中获取?

从导航电文里面获取

4. 不同测站同步观测相同卫星的观测单差可消除什么影响?

卫星钟差, 大气延时的影响明显减弱

由上式可见, 卫星钟差  $\Delta t^j(t)$  的影响已经消除, 这是站际单差的一个突出优点。同时, 对于大气折射的影响, 当两个 GNSS 接收机相距较近 ( $< 100$  km) 组成单差时, 卫星  $S^j$  的信号到这两个 GNSS 接收机的传播路径上的电离层折射、对流层折射的影响相近, 因此大气延迟的影响可以明显减弱。如果忽略这种残差的影响, 则站际单差方程可简化为

5. 不同测站同步观测同组卫星的双差可消除什么影响? (站际+星际)

式中,  $\nabla \Delta N^k = \Delta N^k - \Delta N^j$ 。由上式可以看出, GNSS 接收机钟差的影响已经消失, 大气层折射残差的二次差可以略去不计, 这是双差模型的突出优点。

6. 站际单/双差、星际单/双差、历元间单/双差, 主要消除哪些因素?

**单差:**

**站际**

由上式可见, 卫星钟差  $\Delta t^j(t)$  的影响已经消除, 这是站际单差的一个突出优点。同时, 对于大气折射的影响, 当两个 GNSS 接收机相距较近 ( $< 100$  km) 组成单差时, 卫星  $S^j$  的信号到这两个 GNSS 接收机的传播路径上的电离层折射、对流层折射的影响相近, 因此大气延迟的影响可以明显减弱。如果忽略这种残差的影响, 则站际单差方程可简化为

**星际**

由上式可见, GNSS 接收机钟差  $\Delta t_i(t)$  的影响已经消除, 这是星际单差的一个突出优点。 $\nabla t^j(t)$  为 2 个卫星星钟误差的单差, 因此并不能减弱星钟误差的影响, 若将星钟误差之差作为未知参数, 则不易准确求出  $\nabla t^j(t)$  而影响定位精度; 若忽略星钟误差项, 则会产生模型误差。另外, 由于 2 颗卫星的无线电信号传播路径大不相同, 大气折射影响也不能有效消除。因此, 这种星际单差的模式较少应用。

**历元**

由上式可见, 整周模糊度已经消除, 由于相邻历元的卫星至 GNSS 接收机的传播路径较为相近, 求差后的大气折射的影响的残差可以略去。至于卫星及 GNSS 接收机钟差的影响, 在两个相邻的历元间, 卫星钟差  $\Delta t^j(t_2) \approx \Delta t^j(t_1)$ , GNSS 接收机钟差  $\Delta t_i(t_2) \approx \Delta t_i(t_1)$ , 求差后钟差影响很小。因此, 历元间单差可看作在历元间隔内的积分多普勒观测值。

**双差:**

**站际、 星际双差**

式中,  $\nabla \Delta N^k = \Delta N^k - \Delta N^j$ 。由上式可以看出, GNSS 接收机钟差的影响已经消失, 大气层折射残差的二次差可以略去不计, 这是双差模型的突出优点。

**星际、 历元间**

上式的第一大项中仅含有 GNSS 接收机  $T_i$  的位置信息（卫星 1 和 2 的坐标由星历参数给出，是已知参数）；在第二大项中，各为同一颗卫星 1 或 2 在相邻历元的卫星钟差的求差，在相邻历元间卫星钟差的公共部分自然就消失了。至于对流层、电离层折射的影响，在相邻历元间求差，由于电磁波传播路径相似，其影响也就大大减弱了。另外，在星际、历元双差中不仅消除了 GNSS 接收机钟差，而且不再出现整周模糊度。

利用星际、历元间的双差观测法，可以对 GNSS 接收机进行精密绝对定位。

站际、历元间

上式右端也不包含整周模糊度。就同一对 GNSS 接收机观测同一颗卫星而言，相邻历元间的电离层及对流层折射的影响几乎相似，单差后再求差，其影响可以看作被抵消；由相邻历元的 GNSS 接收机钟差再求差，也会减小钟差的影响，但这一钟差的双差与站际一次钟差并无太大区别。

7. L1 信号属于载波、伪随机还是捕或码？

L1是载波信号

8. 轨道六要素的含义、作用；

参数	含义
$\Omega$	升交点赤经，为天球赤道面上升交点 $N$ 与春分点 $T$ 的地心夹角
$i$	轨道面倾角，为轨道平面与地球赤道面之间的夹角
$a$	卫星轨道椭圆的长半轴
$e$	卫星轨道椭圆的偏心率
$\omega$	近地点角距，为卫星轨道椭圆的近地点 $P$ 相对于升交点 $N$ 的地心夹角
$f$	真近点角，为运行于椭圆轨道上的卫星 $S$ 相对于近地点 $P$ 的地心角距

表 2-3 中的 6 个轨道参数，前 5 个是常量，不随时间变化而改变，它们的大小是由卫星的发射条件决定的（与卫星入轨初始条件有关）。其中， $\Omega$  和  $i$  唯一地确定了卫星轨道平面与 ECI 坐标系  $OXYZ$  之间的相对定向； $a$  和  $e$  唯一地确定了轨道椭圆的形状与大小； $\omega$  定义了近地点在轨道上的位置； $f$  是时间的函数，可以唯一地确定卫星在轨道上的瞬时位置。

9. 双频接收机可以同时接收 L1 和 L2 信号，

利用双频技术可以消除或减弱什么对观测量 的影响？

消除电离层的影响

（5）电离层延迟改正参数（ $T_{\text{GD}}$ ）：L1、L2 载波的电离层时延差改正，为单频接收机用户提供粗略的电离层折射修正（双频接收机无须此项改正），占用第 7 字的第 17~24 bit。

调。L2C 信号还可以使日益增长的双频用户利用两个频点的民用信号消除电离层误差和进行快速的相位模糊度解算。

10. 消除电离层影响的措施是什么？

????? 站际单差和双频接受

11. VDOP、HDOP、GDOP、TDOP 名称及含义？

课本167面

根据精度因子的概念，GNSS 定位解的精度  $m$  可以定义为

$$m = \sigma_0 \cdot \text{DOP} \quad (7.18)$$

式中， $\sigma_0$  为伪距测量中的误差因子，即用户等效距离误差的标准偏差，它来自星历误差、卫星钟差、大气层传播误差以及本身测量误差；DOP 为精度因子，根据不同的几何精度评价模型，包括如下精度因子的定义。

(1) 平面位置精度因子 (HDOP)，其定义及相应的平面位置精度  $m_H$  分别为

$$\text{HDOP} = (g_{11} + g_{22})^{1/2}, m_H = \sigma_0 \cdot \text{HDOP} \quad (7.19)$$

(2) 高度精度因子 (VDOP)，其定义及相应的高度精度  $m_V$  分别为

$$\text{VDOP} = (g_{33})^{1/2}, m_V = \sigma_0 \cdot \text{VDOP} \quad (7.20)$$

(3) 空间 (三维) 位置精度因子 (PDOP)，其定义及相应的空间位置精度  $m_P$  分别为

$$\text{PDOP} = (q_{11} + q_{22} + q_{33})^{1/2}, m_P = \sigma_0 \cdot \text{PDOP} \quad (7.21)$$

(4) GNSS 接收机钟差精度因子 (TDOP)，其定义及相应的钟差精度  $m_T$  为

$$\text{TDOP} = (q_{44})^{1/2}, m_T = \sigma_0 \cdot \text{TDOP} \quad (7.22)$$

(5) 几何精度因子 (GDOP)，其定义及相应的几何精度  $m_G$  为

$$\text{GDOP} = (q_{11} + q_{22} + q_{33} + q_{44})^{1/2} = [(\text{PDOP})^2 + (\text{TDOP})^2]^{1/2}, \\ m_G = \sigma_0 \cdot \text{GDOP} \quad (7.23)$$

12. 假设测站与观测卫星所构成的空间立体体积为  $V$ ，几何精度因子 GDOP 与  $V$  的关系？

课本169面GDOP与被观测卫星所构成的四面体的体积成反比

13. 载波、C/A 码、P 码、数据码含义，星历数据位于哪里？ 课本P60

GNSS 卫星信号通常由以下三部分组成。

(1) **载波**信号。载波是未受调制的周期性振荡信号，它可以是正弦波，也可以是非正弦波（如周期性脉冲信号）。载波调制就是用调制信号去控制载波参数的过程，载波调制后的信号称为已调信号。如 GPS 含有两个载波信号 L1 和 L2，频率分别为 1 572.42 MHz 和 1 227.60 MHz。

C/A 码用于分址、搜捕卫星信号和粗测距，它是具有一定抗干扰能力的明码，主要用于民用。C/A 码由两个 10 级反馈移位寄存器相结合而产生，其原理如图 3-12 所示。

P码也是测距码

## 2. P(Y) 码

P 码是一种精密码，主要用于军用，当 A-S 启动后 P 码便被加密以构成所谓的 Y 码。P 码与 Y 码具有相同的码片速率，通常将该精密码简记为 P(Y) 码。P(Y) 码是由两组反馈移

导航电文是指包含导航信息的数据码 [D(t) 码]。**导航信息包括卫星星历**、卫星工作状态、卫星历书、时间系统、星钟改正参数、轨道摄动改正参数、大气折射改正参数、遥测码以及由 C/A 码确定 P(Y) 码的交换码等，是用户利用 GPS 进行导航定位的数据基础。

导航电文就是数据码 P62

卫星星历位于导航电文上面

14. UTC 表示什么？

UTC是协调世界时

见课本38面、

15. 白天的电离层误差影响比晚上的影响大还是小？

**白天的电离层误差影响比晚上大得多。**

电离层是由太阳发出的强烈紫外线和X射线，撞击地球高层大气中的分子并将其电离（形成自由电子和离子）而形成的。因此，电离层的状态与太阳活动密切相关。

16. 精密定位服务、标准定位服务、选择可用性、反电子欺骗含义 1.2.4

(1) 两种服务。在 GPS 设计中计划提供两种服务，一种为标准定位服务 (SPS)；一种为精密定位服务 (PPS)。前者利用粗测距码 (C/A 码) 定位，其精度约为 100 m，其服务对象为民间普通用户。后者利用精测距码 (P 码) 定位，其精度可达到 10 m，其服务对象为美国军方或美国盟国及得到特许的民间用户。

(2) 实施选择可用性 (SA) 政策。在 GPS 计划试验阶段，利用 C/A 码定位的精度远远高于设计精度，甚至可达到 14 m，于是美国政府采取了 SA 政策，人为地将误差引入卫星时钟和卫星星历数据，故意降低 SPS 的定位精度，以防止未经特许的用户将 GPS 用于军事目的。美国政府已宣布，自 2000 年 5 月 1 日子夜开始，取消 SA 政策，使民用 C/A 码的定位精度大大提高。

### 反电子欺骗

(3) P 码加密措施。P 码加密措施，也称为“反电子欺骗” (A-S) 措施。在某些特殊情况下，比如战时或泄密的情况下，如果有人知道了特许用户 GPS 接收机所接受卫星的频率和相位，从而发射适当频率的干扰信号，这一欺骗电子信号可诱使特许用户 GPS 接收机错锁信号，产生错误的定位导航信息。美国政府为了防止这种电子欺骗采取了 A-S 措施，这是一种必要时对 P 码进一步加密的措施。

### 17. 原子时、UTC、GPST、世界时含义及关系

课本36面，时间参考系统

世界时是以地球上零经度子午圈 (格林尼治子午圈) 所对应的平太阳时，且以平子午夜为零时算起的时间系统

原子时

以物质内部原子运动的特征为基础建立

UTC

UTC 的秒长严格等于原子时的秒长，采用闰秒 (或称跳秒) 的办法使协调时与世界时的时刻接近，当协调时与世界时的时刻相差超过  $\pm 0.9$  s 时，便在协调时中引入 1 闰秒 (或正或负)，闰秒一般在 12 月 31 日或 6 月 30 日的最后一秒加入，具体日期由国际时间局安排并通告。

### GPS时间

#### 2. GPS 时 (GPST)

为了精密定位与导航的需要，GPS 建立了专用的时间参考系统，该时间参考系统简称为 GPST，由 GPS 主控站的高精度原子钟守时与授时。

GPST 属于原子时系统，采用 IAT 秒长作为时间基准，但时间起算的原点定义在 1980 年 1 月 6 日 00:00:00 时刻。

18. P 码属于载波信号、伪随机噪声码、随机噪声码还是捕获码？

P码是伪随机噪声码，C/A码是捕获码

7. 码相位观测的误差比载波相位观测误差大小？

由于载波频率高且波长短，所以载波相位测量精度高

18. 单差、双差、三差含义

取符号  $\Delta\varphi^j(t)$ ， $\nabla\varphi_i^j(t)$ ， $\delta\varphi_i^j(t)$  分别表示不同 GNSS 接收机之间、不同卫星之间、不同历元之间的相位观测量的一次差，简称单差 (图 7-4)，则有如下公式。

对站际单差、关于不同卫星再求二次差，称为站际星际双差。

表示对星际单差、关于不同历元再求二次差，称为星际历元双差。

对站际单差、关于不同历元再求二次差，称为站际历元双差。

三次差只有一个表达式，以符号  $\delta\nabla\Delta\varphi^k(t)$  表示。于不同的历元  $(t_1, t_2)$ 、同步观测同一

组卫星  $(j, k)$ ，所得的双差的差值简称三次差。其表达式为

1. 计量原子时的时钟称为原子钟，常用的有铯原子钟、铷原子钟和氢原子钟等，国际上采用哪种

铯原子钟

2. C/A 码、粗码、捕获码关系

我们可以这样理解它们的关系：

- 正式名称：C/A码
- 从精度上称呼：粗码
- 从功能上称呼：捕获码

### 3. 捕获码 - 强调其系统功能

- 功能：它的主要设计目的之一，是帮助接收机快速找到并锁定GPS卫星信号。

#### 1. C/A 码 - 标准名称

- 全称：粗捕获码 或 精捕获码。
- 含义：这个名称本身就包含了它的两个核心特性：“粗”和“捕获”。它是GPS信号中向普通民用用户开放的标准码。

#### 2. 粗码 - 强调其精度特性

- “粗”是相对于“精”而言的：这里的“粗”指的是测距精度较低。

### 3. 测码伪距测量所使用的测距信号是什么

测码伪距测量指的是，测量 GNSS 卫星发射的测距码信号（如 C/A 码或 P 码）到达 GNSS 接收机的电波传播时间，与电波传播速度相乘得到卫星与用户的几何距离。因此，测

### 4. 岁差、章动运动特点

### 5. 随机码、伪随机码特点

P51面

假设一组码序列  $u(t)$ ，对于任一时刻  $t$ ，码元取值为 1 或 0 完全是随机的，两种状态的概率都为 1/2，这种码元取值完全无规律的码序列称为随机码，如图 3-1 所示。二进制随机码具有如下特点。

- (1) 随机码为非周期性码，不存在任何编码规则，因此不能被复制。
- (2) 随机码中“0”和“1”出现的概率均为 1/2。
- (3) 随机码  $u(t)$  的自相关函数  $R(\tau)$  具有如下性质（图 3-2）：

$$\begin{cases} R(\tau) = 1, & \tau = 0 \\ R(\tau) = 0, & |\tau| > t_0 \\ R(\tau) = 1 - \tau/t_0, & -t_0 < \tau < t_0 \end{cases}$$

伪随机码

#### 2. 伪随机码 (PRN)

由于随机码没有周期性，所以这种码无法复制，实际上无法采用。能否找到一种既有良好的自相关特性，又具有周期性，从而能复制的码呢？回答是肯定的，伪随机码即具有该特性。

#### 3. $m$ 序列的特性

- (1)  $r$  级移位寄存器产生的  $m$  序列的伪随机码，其码元宽度等于钟脉冲周期  $t_0$ ， $m$  序列的周期为

$$T = Nt_0 = (2^r - 1)t_0 \quad (3.4)$$

- (2)  $m$  序列的一个周期中，码元“1”的个数比码元“0”的个数多 1 个。
- (3) 两个平移  $m$  序列模 2 相加，得到结构不变的另一个等价平移  $m$  序列。
- (4)  $m$  序列的自相关函数具有周期性，自相关函数具有如下性质（图 3-4）：

$$\begin{cases} R(\tau) = 1, & \tau = nNt_0 \ (n=0, 1, 2, \dots; N=2^r-1) \\ R(\tau) = -1/N, & \tau = nt_0 \ (n \neq 0 \text{ 且 } n \neq N \text{ 的整数倍}) \\ -1/N < R(\tau) < 1, & -t_0 + nNt_0 < \tau < t_0 + nNt_0 \ (n=0, 1, 2, \dots) \end{cases} \quad (3.5)$$

- (5) 在  $r$  级移位寄存器产生的  $m$  序列中，截取其中的一部分组成一个新的周期性序列，称为  $m$  序列的截短序列。与此相反，有时还需要将多个周期较短的  $m$  序列，按预定的规则构成一个周期较长的序列，称为复合序列或复合码。

### 5. GDOP 含义，其大小与定位精度关系

GDOP 越小，定位精度越好

### 核心含义:

GDOP 是一个用来衡量定位卫星在空间中的几何分布结构对最终定位精度影响程度的无量纲数值。它描述的是用户与卫星之间的几何关系如何将测量中的微小误差“放大”成最终定位误差。

??????

6. 定位精度、GDOP、卫星数目关系

?????

7. 测相伪距观测误差方程、测码伪距观测误差方程特点

8. C/A 码的码长、码元特点, 是否易于捕获, 测距精度特点

C/A码的码长很短, 只有1023bit,因此易于捕获

码元的宽度较大,对齐精度为码元长度的1/100-1/10, 因此C/A

码测距, 误差在2.93-29.3m,精度较低, 称之为粗码

9. 码相位测量的测距精度、载波相位测量的测距精度比较

P140

利用载波相位观测量进行定位, 精度要比测码伪距定位

高几个量级

10. 卫星瞬时位置、真近点角、平近点角、卫星运行平均角速度关系

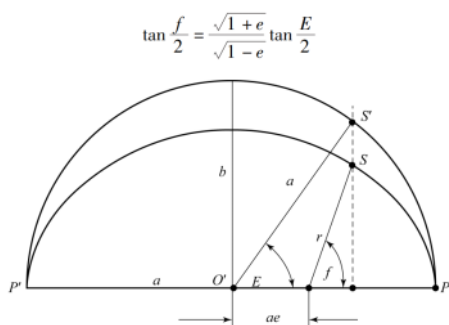


图 2-12 偏近点角与真近点角的关系

平近点角  $M$  与偏近点角  $E$  之间有着重要关系, 即

$$E = M + e \sin E$$

平近点角  $M$  的定义: 若以  $t_0$  作为起算时刻, 于观测时刻  $t$ , 卫星以平均角速度绕地心在轨道平面上转过的角度即

$$M = n(t - t_0) \quad (2.34)$$

11. WGS-84 坐标系、协议地球坐标系关系

固联于地球上, 随地球而转动的 ECEF 坐标系,

固联于地球上的是地球坐标系 ECEF

与瞬时地极对应的地球坐标系, 称为瞬时地球坐标系。

协议地球坐标系 (CTS) 的定义为:  $Z_{\text{CTS}}$  轴由原点  $O$  指向 CTP,  $X_{\text{CTS}}$  轴指向协议赤道面与格林尼治子午线的交点,  $Y_{\text{CTS}}$  轴在协议赤道平面上, 与  $X_{\text{CTS}}$   $OZ_{\text{CTS}}$  构成右手系统。瞬时地球坐标系与协议地球坐标系 ( $Ox_1y_1z_1$ ) 的关系如图 2-6 所示。为方便起见, 本书中“CTS”也可缩写为“T”。

WGS-84是世界大地坐标系

WGS-84 的全称是世界大地坐标系-84，它是协议地球坐标系的一个实现，属于 ECEF 坐标系。早在 20 世纪 60 年代，为了建立全球统一的大地坐标系，美国国防部制图局建立了 WGS-60，随后又提出了改进的 WGS-66 和 WGS-72。在 GPS 试验阶段，卫星瞬时位置的计算采用的是 WGS-72，目前 GPS 发布的星历参数是基于 WGS-84。

WGS-84 的几何定义是：原点位于地球质心；Z 轴指向 BIH 于 1984 年定义的 CTP；X 轴指向 WGS-84 参考子午面与 CTP 赤道面的交点，WGS-84 参考子午面平行于 BIH 定义零子午面；Y 轴与 Z、X 轴构成右手坐标系。WGS-84 还定义了一个平均地球椭球、地球重力模型以及与其他大地参考系统之间的变换参数。WGS-84 椭球及有关常数采用国际大地测量学会和地球物理联合会（IUGG）第 17 届大会大地测量常数的推荐值。

12. 随机码、伪随机码的可复制性

随机码不可复制

伪随机码不可复制

13. 测码伪、载波关系

## 2. 测码伪距与载波相位的关系

它们之间的关系非常密切，可以概括为“互补”和“结合”。

### (1) 互补关系

特性	测码伪距	载波相位
观测值类型	伪距（距离）	相位（距离变化）
精度	低（米级）	高（毫米级）
模糊度	无	有（整周模糊度）
主要用途	单点定位、作为载波相位解算的初始值	高精度相对定位（差分、RTK）
关系	提供绝对距离基准	提供精确的相对变化

在实际的高精度定位中，两者是紧密结合的：

1. 初始化与模糊度解算：

- 接收机首先利用测码伪距获得一个米级精度的、粗略的初始位置和初始距离。这个初始值为解算载波相位的整周模糊度提供了一个有效的搜索范围。
- 通过复杂的算法（如 LAMBDA 算法），结合多个卫星、多个频率的观测数据，将模糊度确定为一个正确的整数值。这个过程就是“固定模糊度”。

2. 载波平滑伪距：

- 载波相位观测值非常平滑，但含有模糊度；伪距观测值没有模糊度，但噪声很大。
- 可以利用连续的、高精度的载波相位变化量（多普勒积分或相位差分）来平滑和修正测码伪距，从而获得一个比原始伪距精度高得多的“平滑伪距”。这在不追求厘米级固定解，但希望得到亚米级精度的应用中非常有用。

3. 周跳探测与修复：

- 在卫星信号被暂时遮挡时，接收机对载波的连续计数会中断，产生“周跳”。这相当于引入了新的整周模糊度。
- 此时，平滑的测码伪距可以作为参考，帮助探测和修复周跳，恢复载波相位的连续性。

1. 码相关系数的公式是，

$$R(\tau) = \frac{A - D}{A + D}$$

请用此公式来简要说明利用 C/A 码来测量

GNSS 卫星到 GNSS 接收机的距离的基本原理，用简图加以说明？

2. 简述测码伪距观测量。

3. 简述 GNSS 信号的主要捕获方法、跟踪环路？画出 GNSS 跟踪总体架构？

GNSS 信号捕获方法 P100

连续捕获的方法

连续捕获方法是在码相位和载波多普勒频率所构成的二维空间上进行的，先进行码相位搜索，再对多普勒频带进行搜索。采用串行顺序搜索的方式，以小于一个码片为步进量，从零多普勒开始逐步搜索全部码相位，如不能捕获则跳到下一个多普勒频带继续码相位搜索，二维连续搜索示意如图 4-15 所示。

### 3. 并行捕获方法

连续捕获方法是采用串行的方式，对所有可能的码相位和频率进行二维搜索，因此比较耗时。如果在搜索过程中消除一个参数，采用并行的方式则可以节省捕获时间。基于该思路，可以得到并行频率捕获方法和并行码相位捕获方法。

## 跟踪环路P103

### 2. GNSS 信号跟踪环路的基本构成

GNSS 信号跟踪环路通常包含鉴别器、环路滤波器以及压控振荡器三个主要部分，基本模型如图 4-19 所示，它给出了环路误差控制量的反馈关系。鉴别器将比较  $k$  时刻的输入信号  $s_i(k)$  与压控振荡器 (VCO) 的输出信号  $s_o(k)$ ，然后输出一个随误差  $e(k)$  变化的误差电压  $u_d$ ，再经过环路滤波器平滑后送到压控振荡器中使误差减小，最后使  $s_o(k)$  与  $s_i(k)$  之间的误差控制量越来越小。

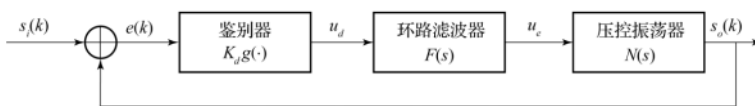


图 4-19 GNSS 信号跟踪环路基本模型

## GNSS跟踪总体框架

### 5. GNSS 信号跟踪环路总体结构

前面分析了载波跟踪环路和码相位跟踪环路，实际上它们是一个整体，相互作用，不可分割。载波跟踪环产生的本地载波不仅用于与输入信号载波鉴相，也用于码相位跟踪环中去除输入信号的载波；码相位跟踪环产生的本地码不仅用于与输入信号的相关，也用于载波跟踪环中去除输入信号的扩频码。综合载波跟踪环路和码相应跟踪环路，可得到一种完整的 GNSS 信号跟踪环路，如图 4-22 所示。

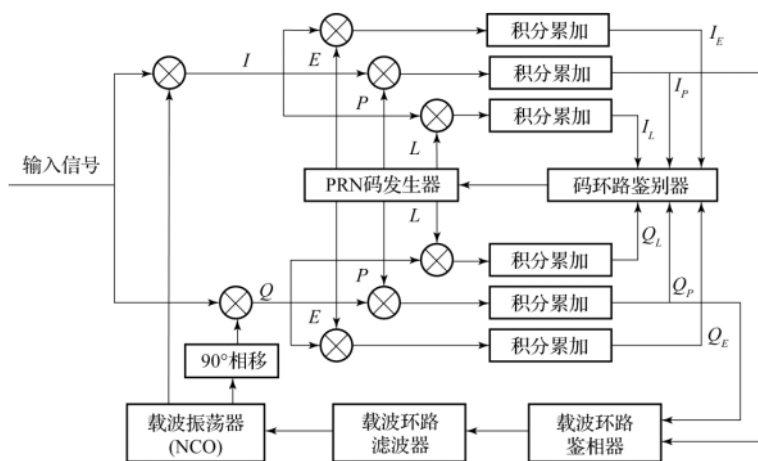


图 4-22 完整的 GNSS 信号跟踪环路

### 4. 简述 GNSS 导航定位的观测量？测码伪距观测方程、测相伪距观测方程？

GNSS 卫星到用户的观测距离，由于受到各种误差源的影响，与卫星到用户的真实几何距离并非完全一致，而是含有误差，这种带有误差的 GNSS 观测距离称为伪距。由于 GNSS 卫星信号含有多种定位信息，根据导航定位的不同要求和方法，可以获得不同的观测量：

- (1) 测码伪距观测量；
- (2) 测相伪距观测量；
- (3) 多普勒频移观测量；
- (4) 干涉法测量时间延迟。

### 课本142面，测码伪距观测方程

$$\rho_i^j(t) = R_i^j(t) + c\delta t_i(t) + \Delta_{i,1}^j(t) + \Delta_{i,T}^j(t) \quad (6.11)$$

式中， $\delta t_i(t)$  为于观测历元  $t$  时刻，GNSS 接收机站钟的钟差； $\Delta_{i,1}^j(t)$  和  $\Delta_{i,T}^j(t)$  分别为于观测历元  $t$  时，电离层折射和大气对流层折射对测码伪距的影响。

rho是伪距，R是几何距离

测相伪距观测方程 P143面

进一步根据关系  $\lambda = c/f$ ，由式 (6.22) 可得到测相伪距观测方程为

$$\lambda \Phi_i^j(t) = R_i^j(t) \left[ 1 - \frac{1}{c} \dot{R}_i^j(t) \right] + c \left[ 1 - \frac{1}{c} \dot{R}_i^j(t) \right] \delta t_i(t) - c \delta t^j(t) - \lambda N_i^j(t_0) + \Delta_{i,1}^j(t) + \Delta_{i,T}^j(t) \quad (6.23)$$

上式中含有  $\dot{R}_i^j(t)/c$  的项对伪距的影响为米级。在相对定位中如果基线较短（如两个 GNSS 接收机的基线距离  $< 20$  km），则卫星到 GNSS 接收机的几何距离变化率项可以忽略，则式 (6.22) 和式 (6.23) 可简化为

$$\Phi_i^j(t) = \frac{f}{c} R_i^j(t) + f [\delta t_i(t) - \delta t^j(t)] - N_i^j(t_0) + \frac{f}{c} [\Delta_{i,1}^j(t) + \Delta_{i,T}^j(t)] \quad (6.24)$$

$$\lambda \Phi_i^j(t) = R_i^j(t) + c [\delta t_i(t) - \delta t^j(t)] - \lambda N_i^j(t_0) + \Delta_{i,1}^j(t) + \Delta_{i,T}^j(t) \quad (6.25)$$

在不影响理解 GNSS 导航定位原理的情况下，常采用上述载波相位观测方程 [式 (6.24)] 或测相伪距观测方程 [式 (6.25)]。在相对定位中，当基线较长时，由后述章节

5. 简述测相伪距观测量含义，并用简图加以说明？

课本139面

### 6.1.3 测相伪距观测量

测相伪距观测量指的是，卫星星钟在  $t^j$  时刻发射的载波信号，与 GNSS 接收机站钟在  $t_i$  时刻复制的载波信号的相位差，与载波信号的波长相乘得到的伪距。因此，测相伪距观测量也称为载波相位观测量。

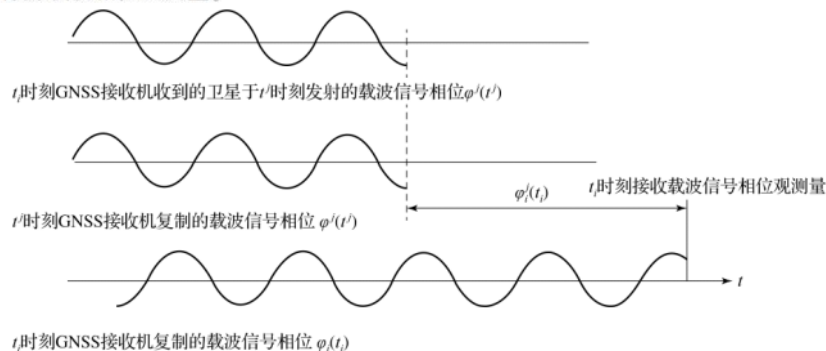


图 6-2 载波相位测量过程示意

图 6-2 所示为载波相位测量过程示意，其中  $\varphi^j(t^j)$  为卫星  $S^j$  在  $t^j$  时刻的载波信号相位； $\varphi_i(t_i)$  为 GNSS 接收机  $T_i$  在  $t_i$  时刻的复制信号相位，则载波信号的相位差为

$$\varphi_i^j = \varphi_i(t_i) - \varphi^j(t^j) \quad (6.2)$$

假设 GNSS 接收机内振荡器频率初相与卫星发射载波初相完全相同，两者振荡频率也完全一致并稳定不变，并假设星钟和站钟也完全同步。记载波信号的波长为  $\lambda$ ，则由卫星到 GNSS 接收机的几何距离为

$$R_i^j = \lambda \varphi_i^j = [\varphi_i(t_i) - \varphi^j(t^j)] \lambda \quad (6.3)$$

6. 简述测相伪距描述的卫星到接收机的距离？

同上

7. 关于 GNSS 观测量的误差有哪几类？并分类简要说明之。

对于测码伪距观测量

实际上，卫星星钟和 GNSS 接收机站钟不可能完全同步，同时无线电信号经过电离层和对流层时由于折射的影响存在附加延迟，所以实际测量得到的距离不是真实的距离，而是含有误差的伪距，以符号  $\rho_i^j$  表示。从卫星到 GNSS 接收机之间的几何距离  $R_i^j$  是一个客观存在

对于测相伪距观测量

实际上，卫星的星钟与本地 GNSS 接收机的站钟并不严格同步，同时卫星发射的载波信号受到电离层和对流层的折射影响，均会产生延迟。因此，通过载波相位观测量所确定的卫星至 GNSS 接收机的距离，与通过码相位观测量确定的卫星至 GNSS 接收机的距离一样，同样会不可避免地含有误差，也用伪距  $\rho_i^j$  来表示。由码相位观测量所确定的伪距，简称测码

8. 简述 GNSS 系统的性能评价指标，以及主要的 GNSS 完好性监测方法。

## 11.1.1 GNSS 的性能评价简介

GNSS 在当今经济和军事领域起着不可或缺的重要作用，如第 1 章所述，世界各强国已相继建设或正在发展自己的 GNSS。GNSS 的性能可以从它的精度、完好性、可用性和连续性等 4 个方面来评价。

(1) 精度：指的是 GNSS 为载体所提供的位置和载体当时真实位置的重合度。除了定位精度外，GNSS 的导航定位精度还包括速度测量、姿态测量以及时间测量等的精度。GNSS 的导航定位精度取决于各种因素错综复杂的相互作用，在第 6 章中已对 GNSS 的误差进行了分析，并将各种误差归属于 UERE。

由第 7 章的分析可知，GNSS 的导航定位截算的精度  $m$  可以最终表示为伪距测量中的误差因子  $\sigma_0$  与精度因子 DOP 的乘积

$$m = \sigma_0 \cdot \text{DOP} \quad (11.1)$$

其中，DOP 根据实际的需要，可采用 HDOP、VDOP、PDOP、TDOP 等。式 (11.1) 的精度定义包含了各种测量误差以及卫星几何分布等的影响。

(2) 完好性：指的是 GNSS 在使用过程中，发生故障或性能变坏所导致的误差超过可能接受的限定值（告警限值）时，为用户提供及时、有效告警信息的能力。它包括两个方面的含义：一是对于超过告警限值的故障都要在给定的告警时间内发出报警；二是对于导航位置信息超过了告警限值，而该事件被漏检的概率要尽可能低。GNSS 的完好性可用 3 个量化参数来描述：告警限值、告警时间和完好性风险。

(3) 可用性：指的是 GNSS 能为载体提供可用的导航服务的时间所占的百分比。可用性是 GNSS 在某一指定覆盖区域内提供可以使用的导航服务的能力和标志。可以使用的导航服务，是满足一定导航定位的精度门限，同时满足系统完好性要求。某一特定位置、特定时间的 GNSS 可用性通常与卫星的可见星数、几何分布等有关。例如对于 GPS，通常可以将 PDOP < 6 的性能标准作为可用性门限来使用。

(4) 连续性：指的是 GNSS 在给定的使用条件下及规定的时间内，维持规定性能的概率。GNSS 提供的连续性级别，随着对给定应用所规定的性能要求的不同而不同。例如，对低精度的时间测量来说，连续性级别要比飞机精密近进的连续性级别低得多，前者只需要 1 颗可见星，而后者至少需要 5 颗几何分布良好的可见星才能支持完好性监测。

## 课本267面，完好性监测

(1) 内部完好性监测：指的是依靠载体使用的 GNSS 接收机来实现完好性监测。内部完好性监测还可以分为两类。其一是不利用辅助信息，仅使用 GNSS 卫星信号的测量信息进行完好性监测，称为接收机自主完好性监测（RAIM）。当然，这里的卫星信号可以是单一 GNSS 的卫星信号，也可以是多个 GNSS 兼容的卫星信号。其二是基于辅助信息的完好性监测，利用载体导航的其他传感器信息作为辅助，如惯性信息、大气高度计信息等。单独基于卫星信号的 RAIM 方法虽然在一定程度上满足了系统对完好性监测的需求，但由于卫星信号容易受干扰，其可用性受到一定限制；充分应用 INS 等辅助信息，在提高精度的同时还可以进一步增强完好性、可用性及连续性。

(2) 外部完好性监测：指的是在 GNSS 之外，利用外部的地基或空基监测系统进行完好性监测。外部完好性监测也可以分为两类：其一是星基增强完好性监测；其二是地基增强完好性监测，有关增强系统的概念参见第 1 章。通过地基或空基增强系统，监测 GNSS 导航卫星的状况，将故障播发给用户，地面监测站不仅给出误差修正数，同时给出误差修正数的完善性信息。外部完好性监测通常属于系统级的，需要在 GNSS 之外另建监测站或增加新的监测设备，通常投资较大，技术复杂。内部完好性监测无须外部设备的辅助，费用较低，容易实现，比较适合 GNSS 的终端用户。

(3) SAIM：指的是将完好性监测和告警系统集成于卫星本身，以达到快速发现故障并及时向用户告警的目的。因为无论内部完好性监测还是外部完好性监测，要监测对所有用户有影响的卫星故障都存在一定困难，如果将完好性监测功能设置在卫星星座中，一旦有告警信息就会立即传送给用户。SAIM 的概念由斯坦福大学的研究人员提出，他们推导了相应的理论模型，并且给出了使用现在尚在开发中的 SAIM 软件原型的试验结果。

9. 简述差分方式的分类，并分析某一种差分 GNSS 定位可提高测量精度的道理。

????? 略见书上的差分定位

10. 结合简图分析平近点角  $M$  与偏近点角  $E$  的关系式？如何求真近点角  $f$  ？

## 同题目选择填空题目10

11. 试画出接收GNSS卫星L1信号的射频前端结构图，并分析如何由中心频率为1575.42MHz 的 GNSS 信号，得到 47.74MHz 的中频信号？

课本P93射频前端

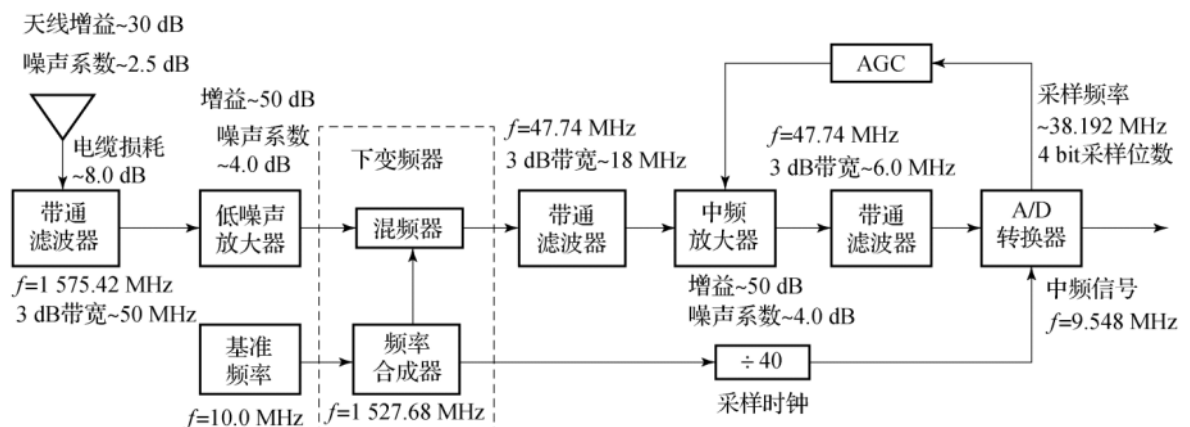


图 4-8 一个接收 GNSS 卫星 L1 信号的射频前端结构

### 3. 下变频器

下变频器的作用是将射频信号（如 1575.42 MHz）转换到更低的频率范围内，同时不改变调制信号的结构，以便于进一步的信号处理。下变频器有多种实现方式，也可以使用多级转换将射频率信号转换为中频信号，其选择主要根据可用器件的性能指标。在图 4-8 中，给出了采用频率合成器和混频器实现下变频的方式。

频率合成器的作用是产生所需的 GNSS L1 信号的本振频率，由于大部分产生基准频率的晶体振荡器都不能产生如此高的本振频率，所以采用基准频率和锁相环（PLL）进行频率合成，生成更高的本振频率。同时，频率合成器经过分频后，还可以为 A/D 转换器提供采样时钟（图 4-8），甚至为后续的基带信号处理单元提供参考频率（图 4-1）。

图 4-8 中下变频的设计可以看作混频过程的实例。记 GNSS L1 信号中心频率（1575.42 MHz）为  $\omega_1$ ，所需的中频信号频率为 47.74 MHz，则可以选取频率合成器产生的本振频率为  $\omega_2 = (1575.42 - 47.74) \text{ MHz} = 1527.68 \text{ MHz}$ 。混频器的基本功能为

$$\cos(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t) = \frac{1}{2} \cos[(\omega_1 - \omega_2)t] + \frac{1}{2} [(\omega_1 + \omega_2)t] \quad (4.6)$$

经过式 (4.6) 后，混频器的输出是和频与差频信号，所需要的中频信号（47.74 MHz）即差频信号，而和频信号为不需要的副产物，可以在混频器后的第二个带通滤波器中滤除。式

12. 写出测码伪距观测方程，阐述其中各项的物理意义？叙述测码伪距观测方程线性化的思路？阐述如何用测码伪距线性化观测方程去求解测站  $T_i$  的位置？

课本145面自己看

13. 给出利用 GNSS 载波相位信号确定载体姿态的思路，以及 LAMBDA 法求解整周模糊度思路。

GNSS测定载体的姿态

基本的思想

$\varphi$ 。GNSS 姿态测量是基于几何学中“不共线的三点决定一个平面”的原理，当空间不共线的 3 个点相对于某参照坐标系（比如  $g$  系）的坐标值确定后，则唯一地确定了该 3 点所在的平面（即载体）相对于该参照系（ $g$  系）的姿态角。因此，载体姿态角的确定问题又归结到精密确定载体上 3 点相对于参照坐标系的位置坐标值的问题，通过不共线 3 点的坐标，可以计算出载体的姿态角。

??????

LAMBDA法求整周模糊度