

武汉大学测绘学院
2025–2026 学年第一学期
《卫星导航原理》课程 Quiz 参考答案

一、填空题

1. GPS 卫星信号是由哪三部分组成的？

答案：载波、测距码、导航电文。

2. GPS 定位中包含的各种误差从误差源来讲大体可以分为哪三大类？

答案：与卫星有关的误差、与信号传播路径有关的误差、与接收机有关的误差。

3. 将测站天顶方向上的对流层延迟 ZTD 转换到信号传播路径上的对流层延迟 STD 需要用到什么？

答案：投影函数。

4. GPS 系统采用什么时间系统，利用广播星历进行定位时，确定的点位坐标属于什么坐标系统？

答案：GPS 时间系统；WGS-84 坐标系统。

5. GPS 定位的几何原理是什么？

答案：空间距离后方交会。

6. 用两台单频 GPS 接收机进行静态相对定位作业，同步连续观测 10 颗 GPS 卫星 20 分钟，采样间隔为 10 秒，根据所学习的 GPS 原理，通常可列出多少个非差相位观测方程，多少个站间单差相位观测方程，多少个双差相位观测方程；利用这段时间的观测数据进行相对定位，最少需要求解多少个模糊度参数？

答：观测历元数为

$$n_t = \frac{20 \times 60}{10} = 120.$$

因此有：

$$N_{ND} = 10 \times 2 \times 120 = 2400,$$

$$N_{SD} = 10 \times 120 = 1200,$$

$$N_{DD} = (10 - 1) \times 120 = 9 \times 120 = 1080.$$

最少需要求解的双差模糊度参数个数为

$$n_N = 10 - 1 = 9.$$

7. 载波相位测量值在站间求差后可消去哪项误差？

答案：卫星钟差。

8. 在一般的 GPS 相对定位中，应尽量采用哪种解？

答案：双差固定解。其精度最高，通常可达到厘米级；双差浮点解精度次之，单差解和三差解一般较少作为最终定位结果。

9. 在 GPS 伪距单点定位中，什么误差不会影响定位精度？

答案：接收机钟差。单点定位模型中通常将接收机钟差作为未知参数与坐标一同求解，因此其影响可被参数估计吸收。

10. 在 GPS 伪距差分定位中，什么误差与流动站和基站间的距离无关？

答案：卫星钟差。伪距差分通过站间单差可消除卫星钟差，该项与基线长度无关。

二、判断题

1. 在 GPS 相对定位中，通过求双差可消除多路径误差对定位的影响。

答案：错。多路径误差属于局部环境误差，双差主要消除或削弱公共误差，如卫星钟差、接收机钟差以及部分轨道误差、大气延迟误差。

2. 在进行 GPS 定位时，PDOP 值越大越好。

答案：错。PDOP 值越小，卫星几何分布越好，定位精度越高；PDOP 越大，说明卫星空间几何结构较差，观测误差放大更明显。

3. 站间单差观测值之间是数学或误差相关的。

答：错。按常用等精度独立观测假设，不同卫星的站间单差观测值之间数学上不相关，其协方差阵可写为

$$\text{cov}(\text{SD}) = 2\sigma^2 I.$$

4. 宽巷观测值的波长较长，因而有助于整周模糊度的确定。

答：对。宽巷组合波长为

$$\lambda_{\text{WL}} = \frac{c}{f_1 - f_2} \approx 0.86 \text{ m},$$

明显长于原始 L_1 、 L_2 载波波长，有利于缩小整周模糊度搜索空间。

5. 所有 GPS 卫星发送的 C/A 码信号结构是完全一样的。

答案：错。C/A 码的构造形式相同，但不同卫星分配不同的 PRN 码序列，用于区分不同卫星。

6. 如果每颗 GPS 卫星的钟差都一样，在单点定位中不需要考虑卫星钟差的影响。

答案：对。如果所有卫星钟差完全相同，其影响可并入接收机钟差项，与接收机钟差一并估计；但实际各卫星钟差并不相同，仍需利用广播钟差或精密钟差进行改正。

7. 伪距差分定位 DGPS 和相位差分 RTK 的定位原理是一样的。

答案：错。DGPS 主要基于伪距差分改正，RTK 主要基于载波相位差分并进行整周模糊度固定。

三、简答题

1. GPS 定位过程中主要会受到哪些误差源的影响？我们可以分别采用什么措施处理这些误差，以达到提高定位精度的目的？

答：GPS 定位误差源可按来源分为三类：卫星端误差、信号传播路径误差和接收机端误差。

(1) 卫星端误差

- 卫星钟差：可采用广播钟差参数改正，高精度定位中可采用精密钟差；相对定位中可通过站间差分消除或削弱。
- 卫星轨道误差：可采用精密星历改正；短基线相对定位中可通过差分削弱。

(2) 信号传播路径误差

- 电离层延迟：双频观测可构成无电离层组合，消除一阶电离层延迟；单频定位可采用 Klobuchar 模型或差分改正。
- 对流层延迟：可采用 Saastamoinen、Hopfield 等对流层模型，并结合投影函数将天顶延迟映射到信号传播路径方向。
- 多路径误差：可通过选择开阔观测环境、提高截止高度角、采用抗多路径天线和数据质量控制等方法削弱。

(3) 接收机端误差

- 接收机钟差：在单点定位中作为未知参数求解；在相对定位中可通过站间差分消除。

- 接收机噪声和天线相位中心误差：可通过使用高质量接收机与天线、天线相位中心改正和观测质量控制等方法处理。

2. GPS 系统设计之初选用 L_1 和 L_2 两个载波频率的主要目的是什么？在长距离相对定位中，如何利用 L_1 和 L_2 观测值提高定位精度？

答：GPS 系统设计 L_1 和 L_2 两个载波频率的主要目的，是利用电离层延迟与信号频率平方成反比的色散特性，构造双频组合以削弱或消除电离层误差。

在长距离相对定位中，可采用以下双频组合提高定位精度。

(1) 无电离层组合

$$L_{\text{IF}} = \frac{f_1^2 L_1 - f_2^2 L_2}{f_1^2 - f_2^2}.$$

该组合可消除一阶电离层延迟，适用于长基线相对定位和 PPP 等高精度定位模型，但会放大观测噪声。

(2) 宽巷组合

$$\Phi_{\text{WL}} = \Phi_1 - \Phi_2, \quad N_{\text{WL}} = N_1 - N_2, \quad \lambda_{\text{WL}} = \frac{c}{f_1 - f_2} \approx 0.86 \text{ m}.$$

宽巷波长较长，有利于整周模糊度搜索与固定。

(3) 窄巷组合

$$\Phi_{\text{NL}} = \Phi_1 + \Phi_2, \quad N_{\text{NL}} = N_1 + N_2.$$

窄巷组合常与宽巷组合配合使用，在宽巷模糊度固定后进一步提高定位精度。

(4) Melbourne–Wübbena 组合

$$L_{\text{MW}} = \frac{f_1 L_1 - f_2 L_2}{f_1 - f_2} - \frac{f_1 P_1 + f_2 P_2}{f_1 + f_2} = \lambda_{\text{WL}}(N_1 - N_2).$$

MW 组合能削弱几何距离、钟差和大气延迟等公共项影响，常用于宽巷模糊度固定和周跳探测。

3. 某观测历元， L_1 载波相位观测值上发生了 N_1 周的周跳， L_2 载波相位观测值上发生了 N_2 周的周跳，请分别推导：(1) 宽巷载波相位观测值上的周跳大小；(2) 窄巷载波相位观测值上的周跳大小；(3) 无几何距离相位组合观测值上的周跳大小。

答：设 L_1 与 L_2 载波相位观测值分别发生 N_1 周和 N_2 周的周跳。

(1) 宽巷组合周跳大小

$$\Delta N_{\text{WL}} = N_1 - N_2.$$

(2) 窄巷组合周跳大小

$$\Delta N_{\text{NL}} = N_1 + N_2.$$

(3) 无几何距离相位组合周跳大小若相位观测值以长度为单位表示, 则无几何距离组合为

$$L_{GF} = L_1 - L_2.$$

因而其周跳大小为

$$\Delta L_{GF} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2.$$

若以周为单位表示, 则可对应写为

$$\Delta \Phi_{GF} = N_1 - N_2$$

但需要注意两个频率的相位观测量对应的波长不同, 因此在长度单位下应采用 $\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$ 。

4. 两台单频 GPS 接收机进行短距离的静态相对定位, 同步观测 8 颗卫星, 连续观测 360 个历元, 期间没有发生周跳现象。请结合所学的相对定位和模糊度域内的模糊度解算等知识, 简要阐述该静态相对定位得到固定解基线的基本处理步骤, 并分析相对定位模型中双差观测值 (含伪距与载波相位) 的数量、需要估计的参数种类和数目。

答: (1) 基本处理步骤

- 数据预处理与同步: 检查观测数据质量, 进行粗差和周跳检查。题设无周跳, 因此同一卫星的整周模糊度在全弧段内保持常数。
- 选择基准星: 一般选择高度角较高、连续性较好、信号质量较好的卫星作为参考卫星。
- 构造双差观测方程: 先构造站间单差, 再构造星间双差, 以消除卫星钟差和接收机钟差, 并削弱轨道误差、电离层误差和对流层误差。
- 建立线性化双差观测模型:

$$\Delta \nabla P = \Delta \nabla \rho(\mathbf{b}) + \varepsilon_P,$$

$$\Delta \nabla L = \Delta \nabla \rho(\mathbf{b}) + \lambda \Delta \nabla N + \varepsilon_L,$$

其中 $\mathbf{b}$ 为基线向量, $\Delta \nabla N$ 为双差整周模糊度。

- 浮点解估计: 采用最小二乘等方法求得基线浮点解、双差模糊度浮点解及其协方差阵。
- 整周模糊度固定: 在模糊度域内采用 LAMBDA、FARA 等方法搜索最优整数模糊度组合, 并通过 Ratio 检验等方法进行可靠性判断。
- 固定解基线重估: 将模糊度固定为整数后, 重新估计基线向量, 得到固定解基线。

(2) 双差观测值数量同步观测 8 颗卫星，选 1 颗为基准星，则单历元独立双差数为

$$n_{DD} = 8 - 1 = 7.$$

连续观测 360 个历元，因此双差伪距观测值数量为

$$N_P = 7 \times 360 = 2520,$$

双差载波相位观测值数量为

$$N_L = 7 \times 360 = 2520,$$

合计双差观测值数量为

$$N_{\text{total}} = 2520 + 2520 = 5040.$$

(3) 需要估计的参数种类与数目短距离静态相对定位中，主要未知参数包括 3 个基线分量和 7 个双差整周模糊度参数：

$$n_{\text{param}} = 3 + (8 - 1) = 10.$$

其中卫星钟差和接收机钟差由双差消除；短基线下电离层、对流层和轨道残差通常被削弱或近似忽略。