

第1-2章 GNSS复习版本

全球导航卫星系统

Global Navigation Satellite System

教师： 曾 庆 化

email: zengqh@nuaa.edu.cn



南航自动化学院 导航研究中心



1.1 绪论

1.1.2 20世纪以后导航技术的快速发展

- 1957年10月4日，前苏联第一颗人造卫星(Sputnik 1)的发射宣布人类进入太空时代。
- 【美国的约翰·霍普金斯大学】
- 随后，空间技术以及各种人造卫星进一步发展，促使人们思考利用卫星发射无线电信号实现导航定位的功能，出现了建设卫星导航定位系统的构想。由于卫星导航具有比地基无线电导航系统所无法比拟的优点和精度，因此得到了迅速的发展。
- 美国全球定位导航系统（GPS）的投入使用和应用范围的不断扩大，逐渐使传统的天文导航和地面/近地无线电导航定位系统结束了长期的垄断地位。



1.1 绪论

1.1.3 全球导航卫星系统（GNSS）

全球导航卫星系统又称天基PNT系统，它有如下作用：

- 提供时间/空间基准和所有与位置相关的实时动态信息
- 成为国家重大的空间和信息化基础设施
- 成为体现现代化大国地位和国家综合国力的重要标志
- 经济安全、国防安全、国土安全和公共安全的重大技术支撑系统和战略威慑基础资源
- 建设和谐社会、服务人民大众、提升生活质量的重要工具



1.1 绪论

1.1.3 全球导航卫星系统 (GNSS)

预计在2020年前，全世界将有四大全球性的导航卫星系统：

- ✓ 美国的GPS
- ✓ 俄罗斯的GLONASS
- ✓ 欧盟的“GALILEO (伽利略)”系统
- ✓ 我国的北斗卫星导航系统



第1-2章 GNSS复习版本 http://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_navigation

系统	GPS	GLONASS	COMPASS	Galileo
政治实体	United States	Russia	China	European Union
编码	CDMA	FDMA/CDMA	CDMA	CDMA
轨道高度	20,180 km (12,540 mi)	19,130 km (11,890 mi)	21,150 km (13,140 mi)	23,220 km (14,430 mi)
周期	11.97 hours (11 h 58 m)	11.26 hours (11 h 16 m)	12.63 hours (12 h 38 m)	14.08 hours (14 h 5 m)
回归周/天	2/1	17/8	(36/19)	17/10
卫星数量	At least 24	31 , including 24 operational 1 in preparation 2 on maintenance 3 reserve 1 on tests ^[8]	5 geostationary orbit (GEO) satellites, 30 medium Earth orbit (MEO) satellites	2 test bed satellites in orbit, 22 operational satellites budgeted
频率	1.57542 GHz (L1 signal) 1.2276 GHz (L2 signal)	Around 1.602 GHz (SP) Around 1.246 GHz (SP)	1.561098 GHz (B1) 1.589742 GHz (B1-2) 1.20714 GHz (B2) 1.26852 GHz (B3)	1.164–1.215 GHz (E5a and E5b) 1.215–1.300 GHz (E6) 1.559–1.592 GHz (E2-L1-E11)
状态	Operational	Operational, CDMA in preparation	10 satellites operational, 25 additional satellites planned	In preparation



1.1 绪论

1.1.3 全球导航卫星系统（GNSS）

GNSS中各个系统的基本组成结构大致相似，有三大部分：

- ▶ **空间星座部分**由轨道与卫星组成，是整个导航系统的基础，卫星在绕地轨道上运行，向地面发送特定的信号；
- ▶ **地面监控部分**负责收集卫星数据，处理星历与导航电文，修正大气层参数等工作；
- ▶ **用户设备部分**主要是捕获卫星信号，进行信息处理，解算出用户的应用需求参数。

三部分相互配合运作，实现用户载体导航定位功能。



1.2 美国GPS系统概况

美国GPS的全称是导航星测时和测距全球定位系统（**Navigation Satellite Timing and Ranging Global Position System**），简称全球定位系统（**GPS**），

- 它可以实现全球范围的全天候三维位置定位，具有实时性好、精确度高的特点，是现今世界发展最完善、应用最广泛的全球导航卫星系统。
- 其发展经历了漫长的“发现——验证——改进——提高”的过程。
- 从GPS计划的提出到GPS系统的建成使用，历经20余年，耗资数百亿美元。



1.2 美国GPS系统概况

1.2.2 GPS的组成结构

GPS的组成结构分为三部分：空间星座部分、地面监控部分和用户设备部分。

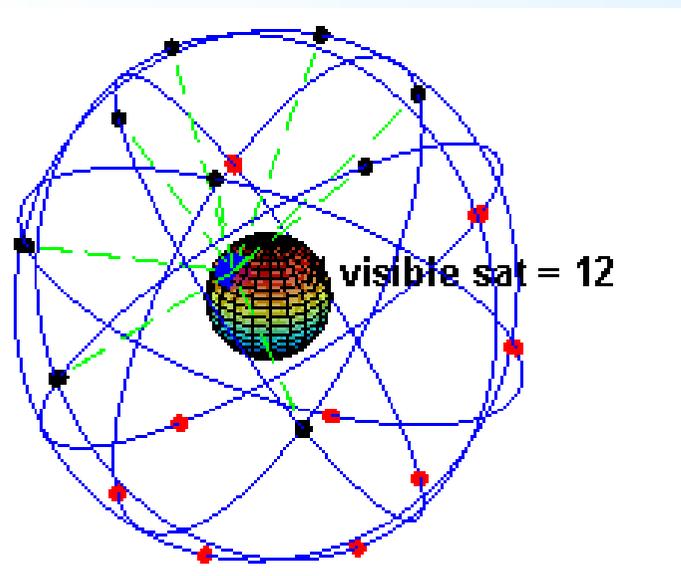
(1) 空间星座部分

前期的卫星导航定位系统使用(18+3)星座，由于(18+3)星座存在着覆盖不良的情况，90年代中期，美国将(18+3)星座扩展为24星，其中包括3颗备用卫星。
高度：20200km (2万公里)
周期：11h58min



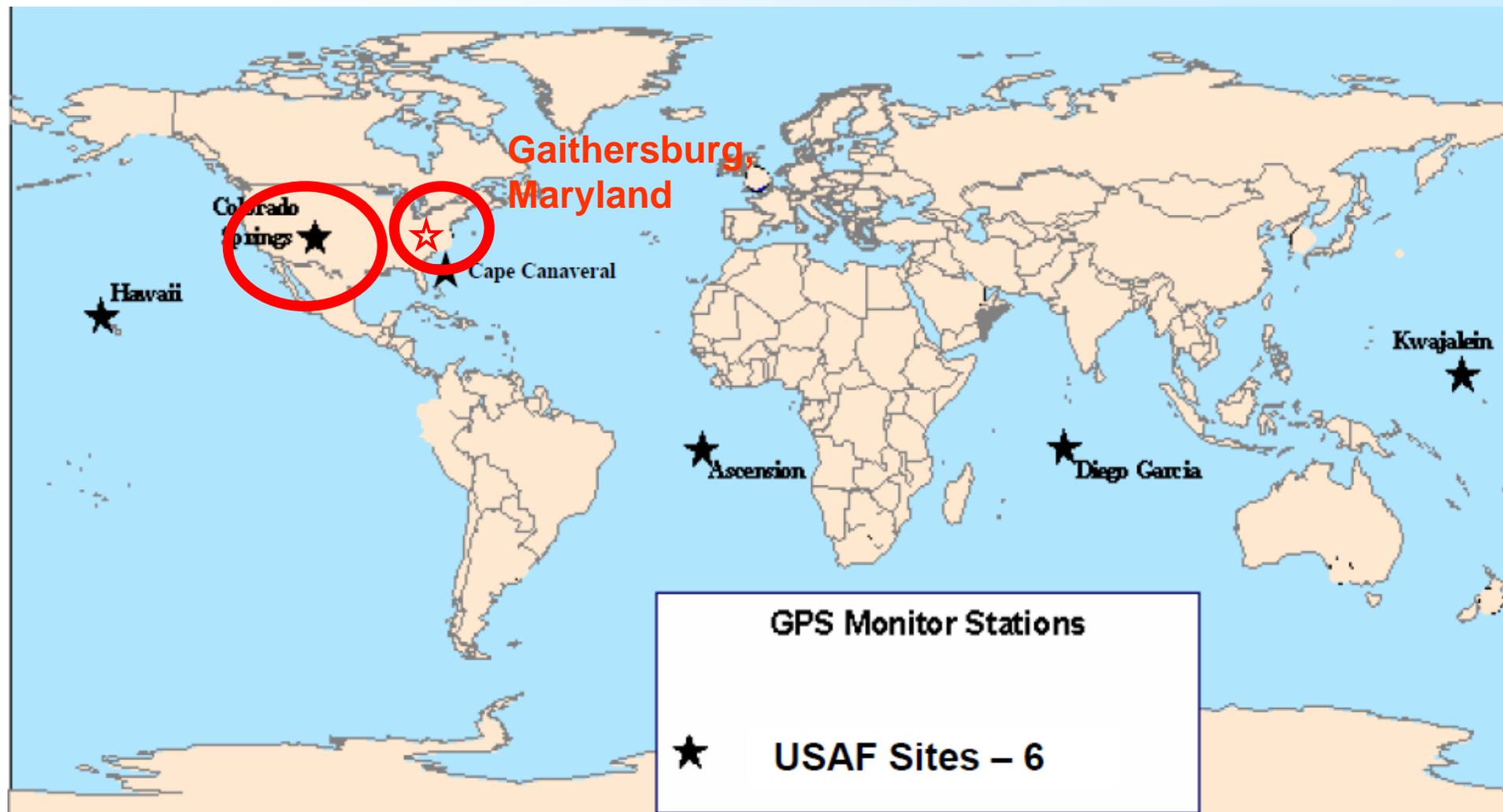
1.2 美国GPS系统概况

1.2.2 GPS的组成结构



1.2 美国GPS系统概况

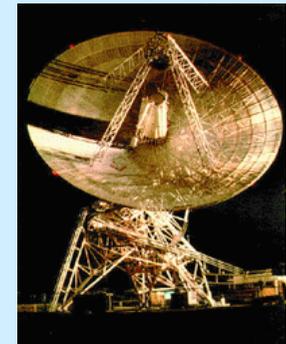
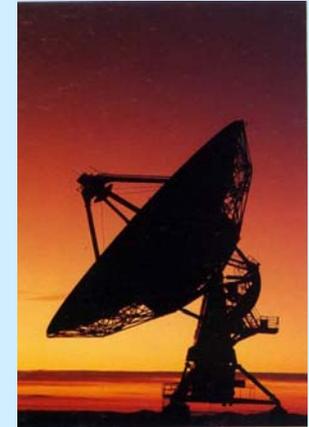
1.2.2 GPS的组成结构 (2) 地面监控部分



1.2 美国GPS系统概况

1.2.2 GPS的组成结构

- 主控站——美国的科罗拉多
 - 推算编制各卫星的星历、卫星钟差和大气层的修正参数等，并把这些数据传送给注入站。
 - 提供全球卫星定位系统的时间基准。
 - 调整偏离轨道的卫星，使之沿预定的轨道运行。
 - 启用GPS备用卫星工作以代替失效的GPS卫星。
- 监测站——跟踪监测，存储传输到主控站
- 注入站——发射信号，注入信息



1.2 美国GPS系统概况

1.2.2 GPS的组成结构

- GPS接收机（用途分类）

导航型接收机：

车载型--用于车辆导航定位；
航海型--用于船舶导航定位；
航空型--用于飞机导航定位。
星载型--用于卫星的导航定位。

测地型接收机

测地型接收机主要用于精密大地测量和精密工程测量。这类仪器主要采用载波相位观测值进行相对定位，定位精度高。仪器结构复杂，价格较贵。

授时型接收机

这类接收机主要利用GPS卫星提供的高精度时间标准进行授时，常用于天文台及无线电通讯中时间同步。



1.2 美国GPS系统概况

1.2.3 GPS的现代化

● GPS缺点

1、自然受阻碍

2、GPS干扰器

压制式干扰

欺骗式干扰

1994年9月，美国的航空会议上。展示了烟盒大小的自制干扰机，采用12伏电池，产生100毫瓦的输出功率，通过一根全向天线发射信号。该装置足以干扰半径16公里范围内的任何采用C/A编码的GPS接收机。

3、攻击GPS卫星 （瘫痪整个军事控制系统）



1.2 美国GPS系统概况

1.2.3 GPS的现代化

美国于1997年起启动了“GPS现代化计划”

GPS现代化的三大内涵：

- 一是保护，即GPS现代化是为了更好地保护美方和友好方的使用，发展军码、强化军码的保密性能，加强抗干扰能力；
- 二是阻止，即阻扰敌对方的使用，施加干扰，施加SA，AS等；
- 三是保持，即是保持在有威胁地区以外的民用用户有更精确更安全的使用。



1.2 美国GPS系统概况

1.2.3 GPS的现代化

(2)GPS现代化以及发展的主要举措举措

- 关闭SA：消除由SA所产生的大约24米的伪距误差
- 更新GPS信号结构：增加新的军用M码信号
- 增发第三民用信号L5：增加带宽、提高码元速率、增加发射功率、改进数据奇偶检查
- 启动GPSIII卫星计划：研究新型轨道、卫星发射、设计和控制技术
- 更新GPS地面设施：提高监测卫星信号的能力



1.2 美国GPS系统概况

1.2.3 GPS的现代化

GPS系统的发展趋势

- 1) 长寿命——目前正在研制的GPS 2F，至15年
- 2) 抗干扰——改进并启用新M军码，抗干扰增至10倍。
- 3) 自主性——GPS2R自动编码，可自主运行6个月。

采取什么方式完成该功能？



1.3 GLONASS系统概况

GLONASS与GPS的对比:

相同的是:

- 控制部分对卫星工作状态进行监测并于必要时通过指令调整其工作状态;
- 对各卫星进行测量以确定其轨道和卫星钟差;
- 以导航电文的形式通过卫星存储、转发给用户。



1.3 GLONASS系统概况

GLONASS与GPS的对比:

不同的是:

●卫星发射频率不同。

GPS的卫星信号采用码分多址体制，而GLONASS采用频分多址体制，卫星靠频率不同来区分，每组频率的伪随机码相同，GLONASS具有更强的抗干扰能力。

●坐标系不同。

GPS使用世界大地坐标系（WGS-84），而GLONASS使用前苏联地心坐标系（PE-90）。

●时间标准不同。

GPS系统时与世界协调时相关联，而GLONASS则与莫斯科标准时相关联。

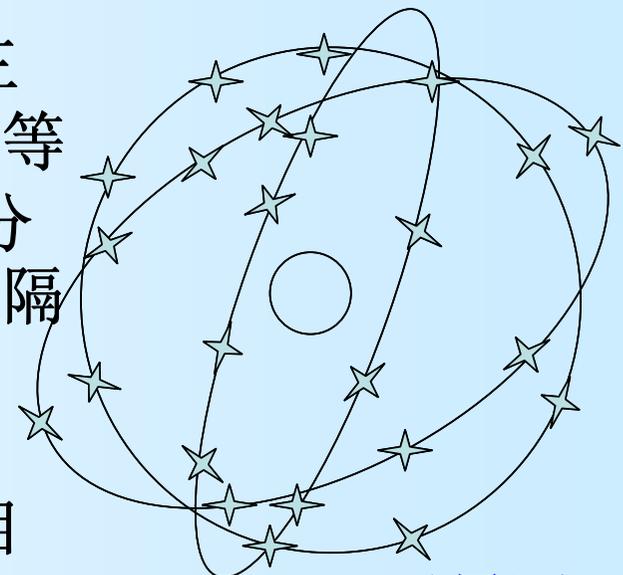


1.3 GLONASS系统概况

1.3.2 GLONASS系统组成

1、空间星座部分

- GLONASS星座是由**21**颗工作卫星和**3**颗备用卫星组成，所有卫星分布在**3**个等间隔的椭圆轨道面内，每个轨道面上分布有**8**颗卫星，同一轨道面上的卫星间隔 **45°** 。
- 卫星轨道面相对地球赤道面的倾角为 **64.8°** ，每个轨道平面的升交点赤经相差 **120°** 。
- 卫星平均高度为**19100km**，运行周期为**11小时15分**，地迹重复周期为**8天**，轨道同步周期为**7圈**。



GLONASS卫星网
和卫星分布



1.3 GLONASS系统概况

1.3.2 GLONASS系统组成

参数	GLONASS	GPS
轨道高度	19100km	20200km
长半径a	25510km	26560km
周期T	11小时15分44秒	11小时58分
轨道倾角i	64.8度	55度
偏心率	<0.01	<0.01
卫星分布轨道面数	3	6
轨道面卫星数	8	4
相邻轨道面卫星相位差	15度	40度

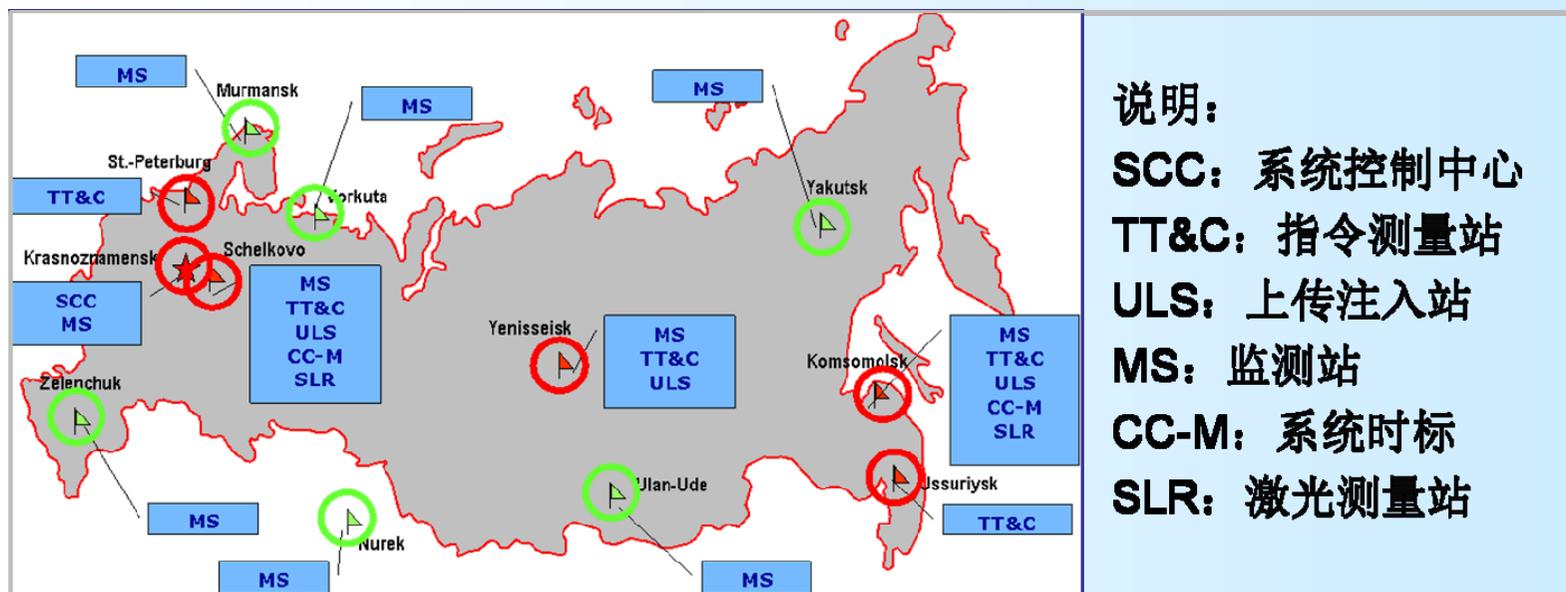


1.3 GLONASS系统概况

1.3.2 GLONASS系统组成

2、地基控制部分

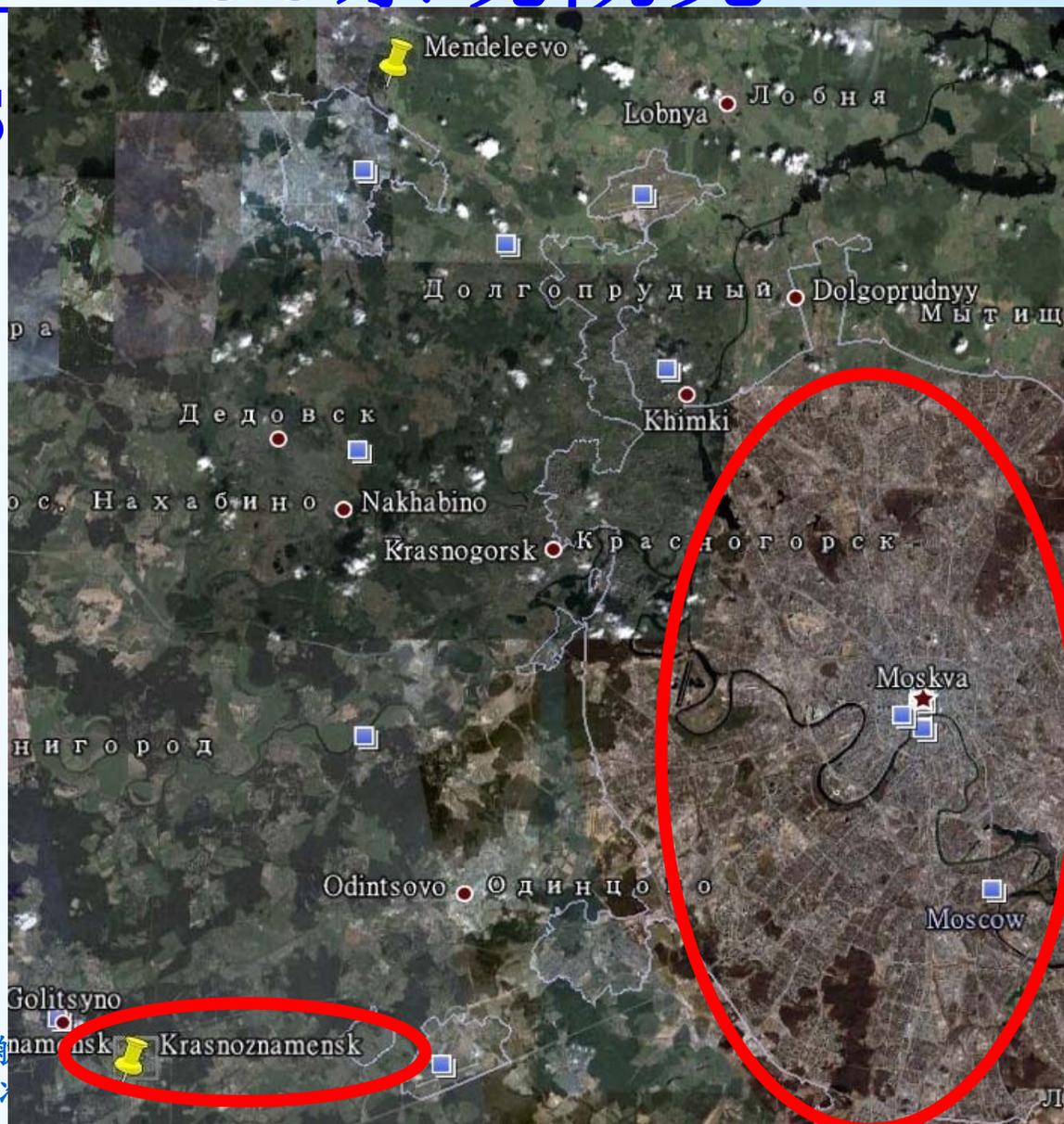
- 目前GLONASS系统的地面站网都由军方管理。
- GLONASS系统的地面部分由地面控制中心、指令测量站、激光测量站和对应监测网组成：



1.3 GLONASS系统概况

1.3.2 GLONASS

- 地面控制中心在莫斯科附近的克拉斯诺兹拉明斯克，包括
- 一个轨道计算中心、
- 一个计划管理中心、
- 一个坐标时间保障中心；



1.3 GLONASS系统概况

1.3.2 GLONASS系统组成

- 指令测量站均布设在俄罗斯境内，每站设有C波段无线电测量设备，跟踪测量视野内的GLONASS卫星，接收卫星遥测数据；
- 四个激光测量站中有两个与指令测量站并址，另两个分别设在乌兹别克斯坦和乌克兰境内，主要用于校正轨道计算模型和提供坐标时间保障；
- 系统还建有GPS/GLONASS监测网，该监测网独立工作，主要用于监测GPS/GLONASS系统的工作状态和完好性。

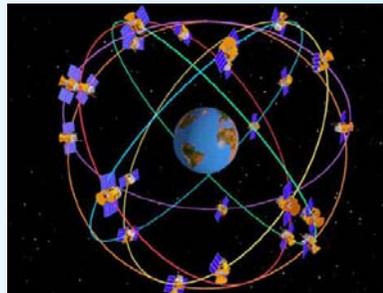


1.4 GALILEO系统概况

1.4.1 GALILEO计划背景

伽利略系统与GPS相比，有较大的不同和优越性。例如：

- 伽利略系统的卫星数量多、轨道位置高、轨道面少；
- 伽利略系统更多用于民用，可为地面用户提供**3种信号**：免费使用的信号、加密且需交费使用的信号、加密且需满足更高要求的信号，最高精度比GPS高**10倍**，即使是免费使用的信号精度也达到**6m**。



1.4 GALILEO系统概况

1.4.2 GALILEO系统架构

GALILEO系统由如下3个主要部分组成：

①全球设施部分：（空间+地面）

②区域设施部分；

③局域设施部分。

1、全球设施部分

全球设施部分是GALILEO系统基础设施的核心，又可分为**空间段**和**地面段**两大部分。

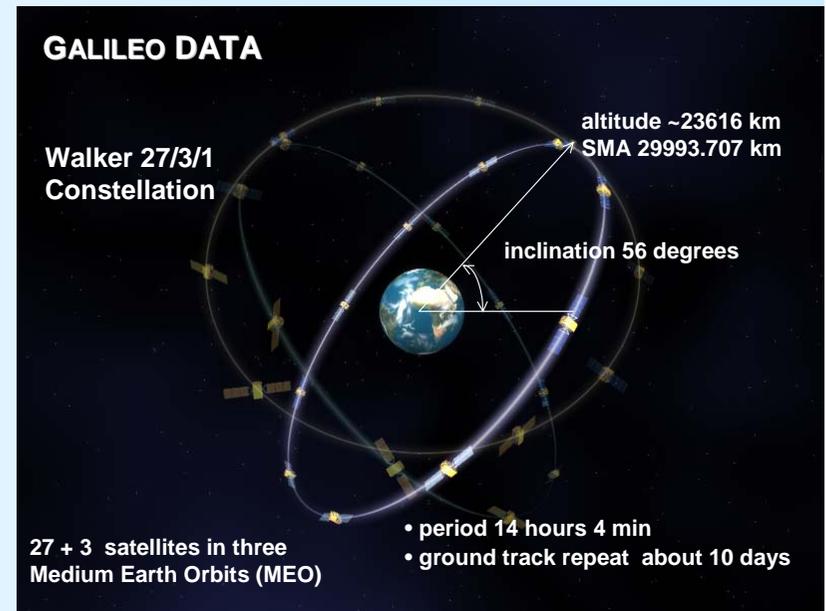


1.4 GALILEO系统概况

1.4.2 GALILEO系统架构

① 空间段星座

1) 空间段由**30颗中轨道地球轨道卫星 (MEO)** 组成, 分布在**3个倾角为56**、高度为**23000多公里**的等间距轨道上。**卫星寿命大于12年**。每条轨道上均匀分布**10颗卫星**, 其中包括**1颗备份星**, **卫星约14小时22分钟绕地球1周**, 可以满足全球无缝隙导航定位。



1.4 GALILEO系统概况

1.4.3 GALILEO系统服务

相对于GPS而言，伽利略系统在系统的**完备性**和**系统服务**方面显得更有特色。

1、伽利略系统的完备性

- 完备性是用户对系统提供信息的**可信程度**的一种度量，包括系统给用户及时有效的警告信息的能力。
- 完备性是一个保证用户安全性的重要参数，当系统误差超过限值时，**用于警告用户**。



1.4 GALILEO系统概况

1.4.3 GALILEO系统服务

1、伽利略系统的完备性

- 与完备性相关的另一个参数是**完备性风险**，即系统发送信号的误差超过限值但是却并没有给用户警告信息的概率。
- 完备性通常由三个参数组成：**警告限值、警告时间和完备性风险**。
- **理论上**，用户根据卫星信号确定自己的位置，与其真实位置的差值即为定位误差**PE**，**定位误差应小于警告限值**。
- **实际上**，若用户的真实位置不能获得，**定位误差也就是未知数**，因此必须寻找另外的参数来表征完备性。



1.4 GALILEO系统概况

1.4.3 GALILEO系统服务

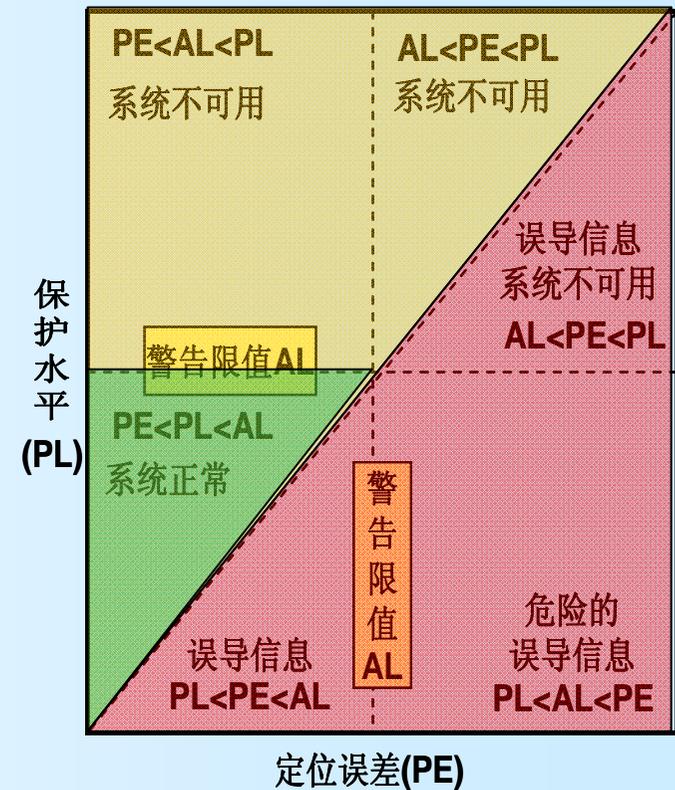
1、伽利略系统的完备性

完备性评价基于**保护水平**和**警告限值**。

●接收机依据各种误差源的误差连续为每一个位置解预估定位误差，即保护水平（PL）。

●警告限值(AL)

若 $PL > AL$ ，则发警告信息。



1.4 GALILEO系统概况

1.4.3 GALILEO系统服务

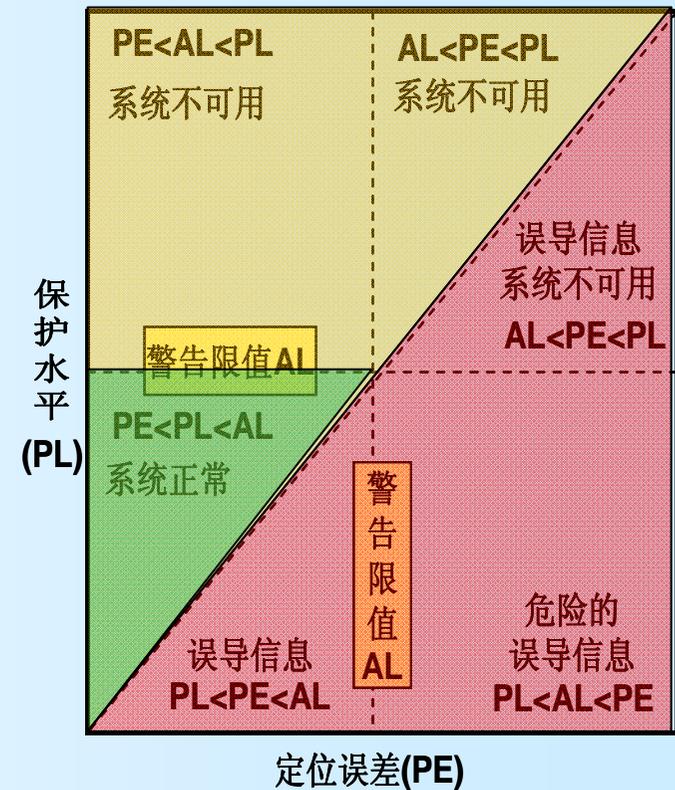
1、伽利略系统的完备性

主对角线左边的区域，**PL**（保护水平）**>PE**（定位误差），是安全的。

◆**PE<PL<AL**时，系统能正常使用（绿色）；

◆**PL>AL**，则系统给出警告信息，此时系统不可用（黄色）。

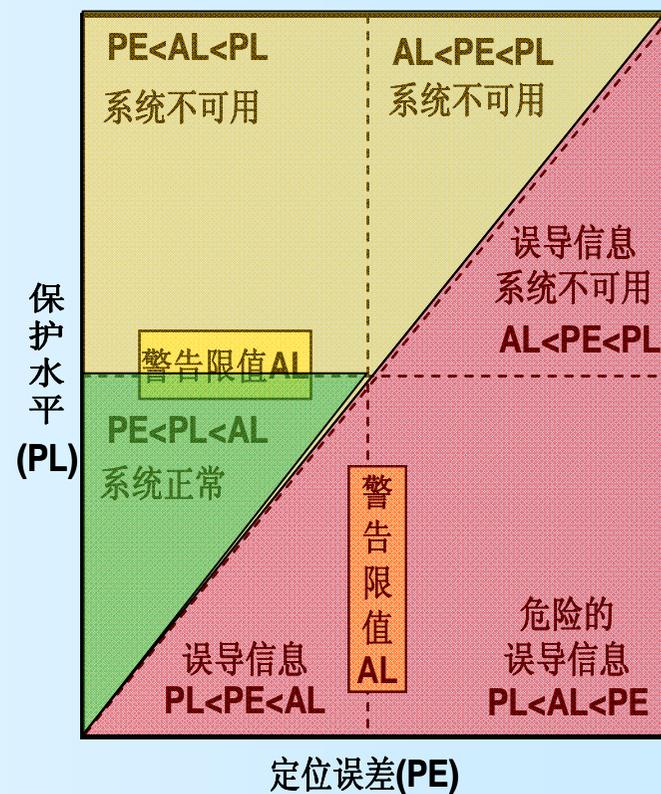
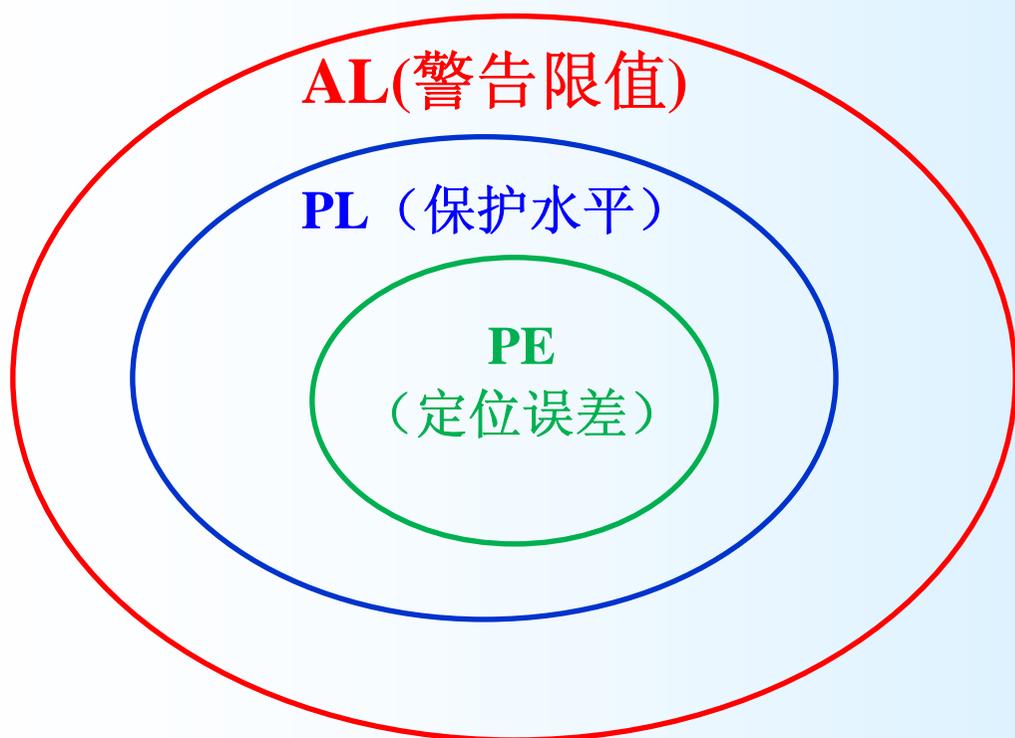
主对角线右边的区域，**PL**（保护水平）**<PE**（定位误差），完备性提供了误导信息，是不安全的（红色）。



1.4 GALILEO系统概况

1.4.3 GALILEO系统服务

1、伽利略系统的完备性



1.4 GALILEO系统概况

1.4.3 GALILEO系统服务

2、伽利略系统的服务

伽利略系统提供**两类**核心服务：

- ◆“**定位、测速和定时**”服务
- ◆“**支持搜寻与救援**”服务。



1.5 北斗卫星导航系统概况

1.5.1 北斗一代系统介绍

(4) 主要技术指标:

- **用户容量:** 每小时可提供**54**万次服务, 其中: 一类用户: **1万~2万个**, 适合于单兵携带, **5~10分钟**服务一次; 二类用户: **5500个**, 适合于车辆、舰船和直升机等中速用户, **10~60秒**服务一次; 三类用户: **10~20个**, 飞机和特殊用户, **1~5秒**服务一次。
- **授时精度:** 单向: **100ns**, 双向: **20ns**。
- **一次定位成功率:** **95%**。
- 具有简单报文**通信能力**, 可最多传递**120个**汉字。



1.5 北斗卫星导航系统概况

1.5.2 北斗二代系统背景与发展



车载型用户机



通讯型用户机



便携型用户机



船载型用户机



指挥型用户机

遵循四项原则：

开放性 自主性

兼容性 渐进性



1.6 其它重要的区域导航卫星系统

1.6.1 印度卫星导航系统

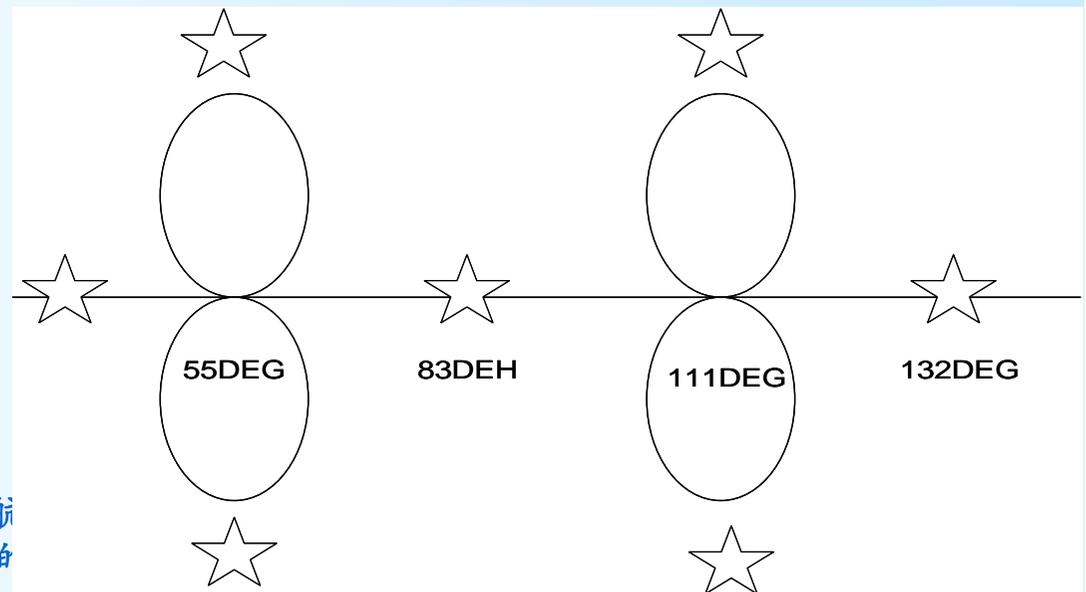
- ◆ 印度空间局在GAGAN的基础上，加紧研制印度**独立自主的区域卫星导航系统（IRNSS）-7颗卫星**。
- ◆ **计划2014年实现组网**。
- ◆ 该系统可以**不依靠GPS**，能够为印度领土用户提供独立的导航定位服务，包括：**标准定位服务（SPS）、精密定位服务（PPS）和政府特许用户（RS）服务**。



1.6 其它重要的区域导航卫星系统

1.6.1 印度卫星导航系统

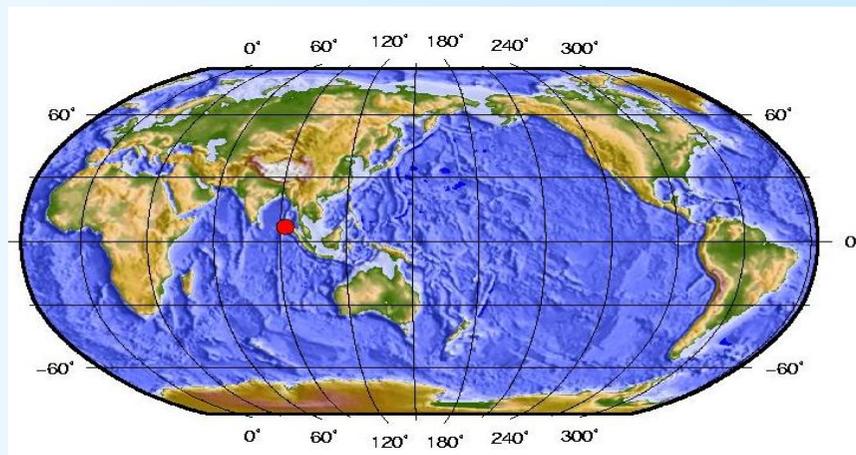
- ◆ IRNSS空间星座有分别位于东经 34° 、 83° 和 132° 的**3颗GEO卫星**和东经 55° 和 111° 之间的**4颗倾角为 29° 的IGSO卫星**组成。
- ◆ 设计星座覆盖范围为东经 $40^\circ \sim 140^\circ$ 和纬度 $\pm 40^\circ$ 之间，可以为用户发播单频和双频信号，**标准服务定位精度优于20m。**



1.6 其它重要的区域导航卫星系统

1.6.1 印度卫星导航系统

由于印度距离赤道比较近，受地磁环境影响比较严重，精确实时电离层模型和对流层模型的建立是比较困难的关键技术之一。



1.6 其它重要的区域导航卫星系统

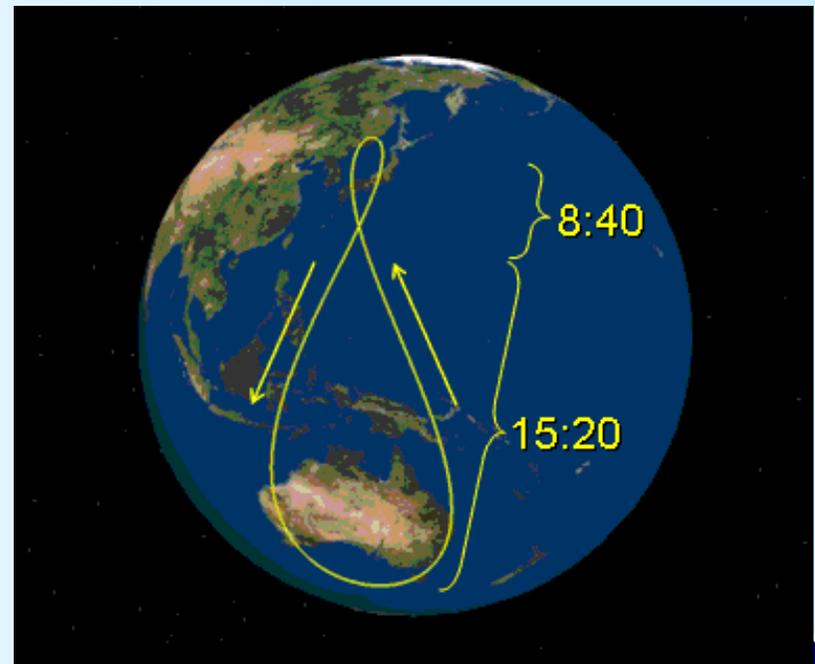
1.6.2 日本准天顶系统

准天顶卫星系统的非静止卫星在环绕地球的圆形轨道上以**每天1周的速度运行**，并且**这3条轨道都与地球赤道所在平面成45度的夹角**。

加入三颗地球同步卫星便可建成一个**独立的导航系统**。

每颗卫星在地面的投影都是一个**8字形**，**每颗卫星的工作周期为8小时**。

日本本土**天顶始终有1颗卫星停留**。



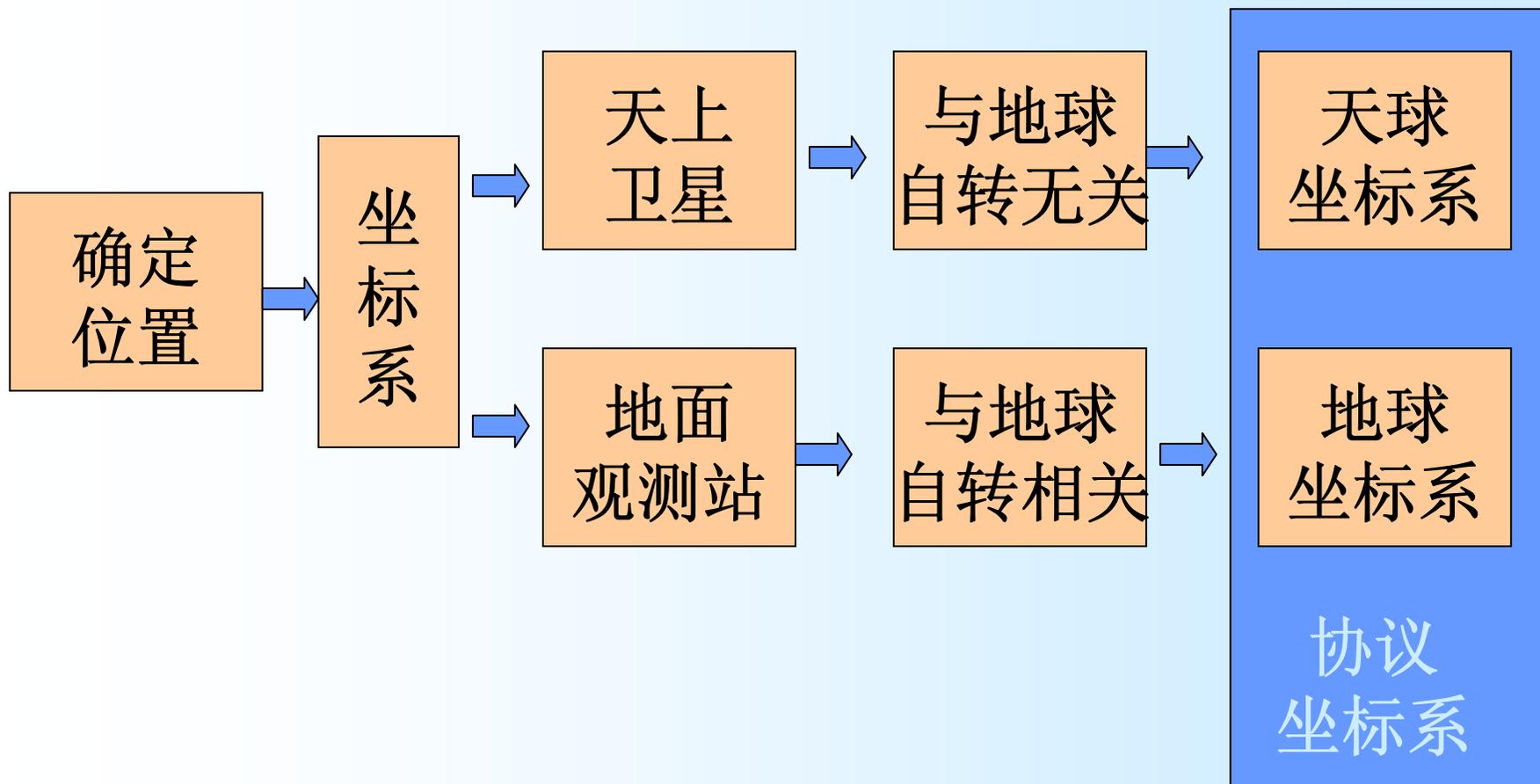
1.6 其它重要的区域导航卫星系统

1.6.2 日本准天顶系统

- ◆ 准天顶卫星系统**发射类GPS信号**，频率与**GPS**相同。在仅能收到三颗**GPS**卫星信号的地方，再加上准天顶卫星信号就能定位，从而极大改善了**GPS**的可用性。
- ◆ 准天顶卫星的加入，将**极大提高GPS的定位性能**。
- ◆ 准天顶卫星系统还能**提供GNSS卫星的异常预警**信息，给出各种**GNSS**系统的补正信息，如：**GPS**及准天顶卫星的精确位置预报、卫星钟精密时间改正、电离层的准确数据等重要信息。



2.1 卫星运行的空间坐标系



2.1 卫星运行的空间坐标系

- 坐标系（coordinate system）：
- 从数量上确定物体相对与参考系的位置，需要在参考系上选用一个固定的坐标系。【一般是参考基于牛顿力学的惯性坐标系】
- 坐标系是由坐标原点，基本平面和基本平面中的主方向(在直角坐标系中通常是X轴的方向)三个要素定义的。



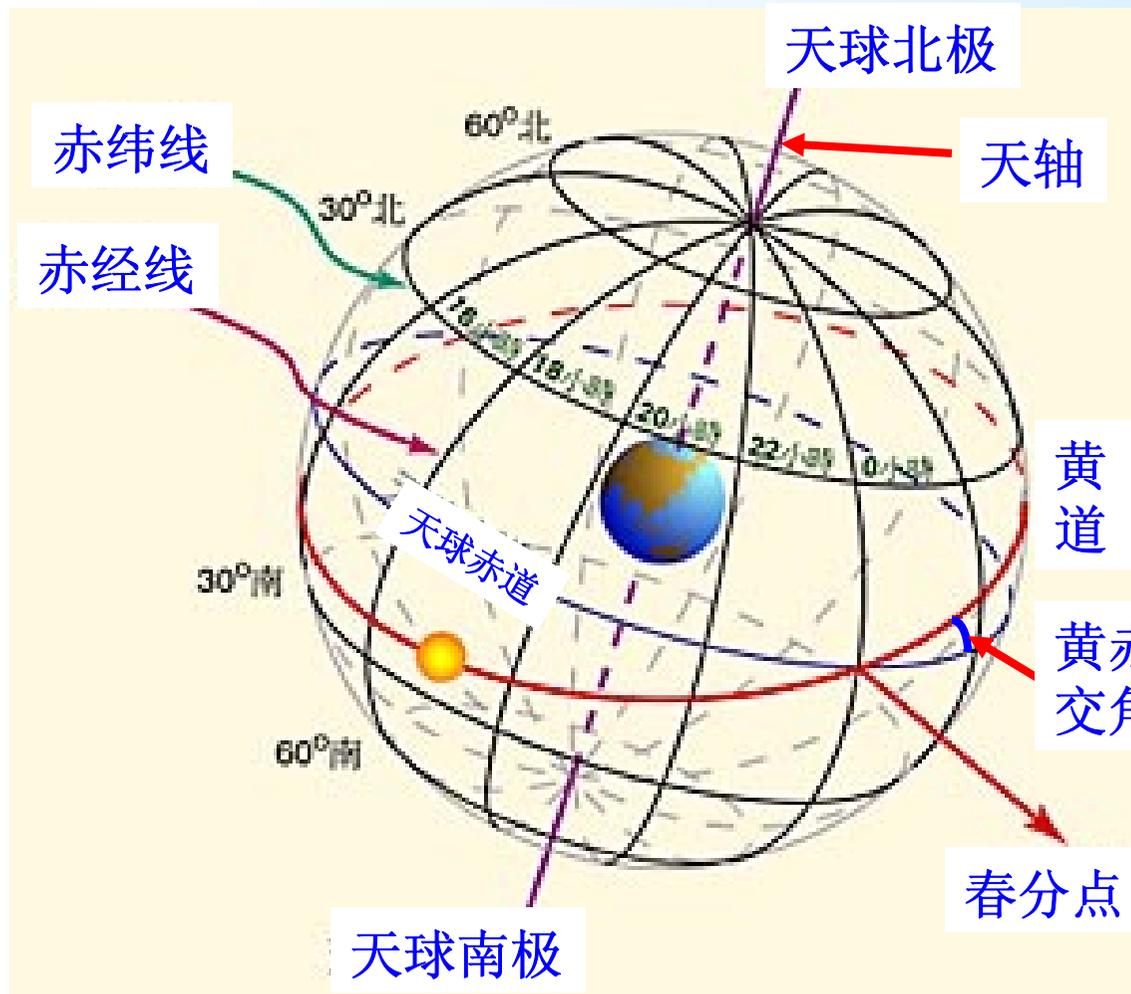
2.1 卫星运行的空间坐标系

天球、天球坐标系

- **天球**：天文学中**假设**以地球的质心为球心，半径为无穷大的存在于宇宙空间的**球**。
- 地球质心 = **天球原点**
- 地轴与**天轴**重合
- 地球赤道面与**天球赤道面**重合



2.1 卫星运行的空间坐标系



天轴与天极
天球赤道面与赤道
黄赤交角
春分点

当地球绕太阳公转时，地球上的观测者看到的太阳在天球上运动的轨迹就是**黄道**。



2.1 卫星运行的空间坐标系

2.1.1 基本概念

- GNSS卫星主要受地球引力作用**围绕地心旋转**，与地球自转**无关**，为此需要采用**不随地球自转的地心坐标系**。
- **GNSS用户/观测站**大多在地球空间表面，随地球自转而运动，为便于表述其位置，需采用**与地球固联的地心坐标系**。
- 根据**坐标系的作用**不同，可大致划分**天球坐标系**和**地球坐标系**两大类。
- 从**几何学/数学上**可知，坐标系统是由**原点**、**3个坐标轴**的**指向和尺度**所定义的。通过**坐标平移**、**旋转**和**尺度转换**，可以将一个坐标系（的点）变换到另一个坐标系（的点）。



2.1 卫星运行的空间坐标系

2.1.2 协议天球坐标系

- **参考椭球面**：地球本身为非匀质的近似椭球体，一般可将地球看为参考椭球体。
- **地平面**：以参考椭球面上的一点为切点，椭球面的**切平面**称为该点的地平面。
- **天轴和天极**：地球自转轴的**延伸直线**为天轴，天轴与天球的交点为北天极和南天极。
- **子午面**：**大地子午面和天文子午面**的统称。通过参考椭球面上的一点及自转轴的平面称为大地子午面。通过天顶和两个天极的平面称为天文子午面。



2.1 卫星运行的空间坐标系

2.1.2 协议天球坐标系

- **天球赤道面与天球赤道**：通过地心与天轴垂直的平面，称为天体赤道面。该赤道面与天球相交的大圆，称为天球赤道。
- **黄道**：地球公转的轨道面与天球相交的大圆，称为黄道。
- **黄赤交角**：黄道面与赤道面的夹角称为黄赤交角，约为23.5度。
- **春分点**：当太阳在黄道上从南半天球向北半天球运行时，黄道与天球赤道的交点，叫做春分点。



2.1 卫星运行的空间坐标系

2.1.2 协议天球坐标系

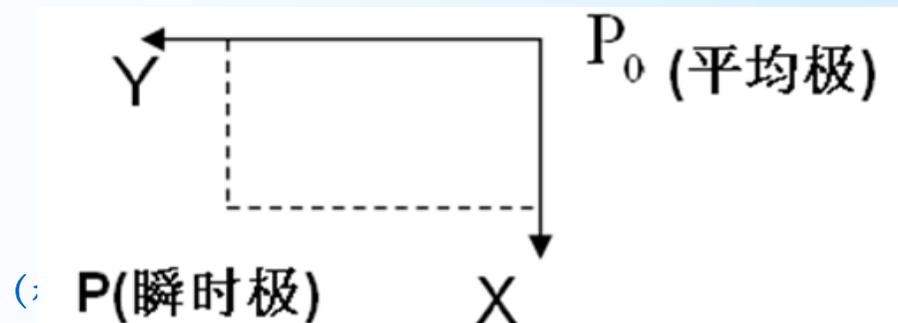
- **岁差**：春分点在恒星间的位置是移动的，它沿着黄道缓慢向西移动。这就使得太阳通过春分点的时刻总比太阳回到恒星间的同一位置的时刻要早一些，也就是说回归年的长度比恒星年的长度短，该现象称为岁差。（周期25800年，每年50.371”）
- **章动**：月球和太阳的轨道面与赤道面不重合的，且月-地、日-地距离也在不断变化，上述因素都使地球自转轴的进动力矩不断变化，地球自转轴进动轨迹可以看成是在平均位置附近做短周期的微小摆动，称为章动。（周期约为18.6年，其长半径约为9.2”）



2.1 卫星运行的空间坐标系

2.1.2 协议天球坐标系

- **极移**：由于地球自转轴与地球短轴不重合，地球自转轴（地极）会在地球内部绕行运动，称为极移。
- **极移的影响**：极移造成南北极在地球表面上的位置的改变，从而引起地球表面上各地纬度与经度的变化。
- **极移坐标系**：以平均极为切点，取与地球表面相切的平面为X-Y平面，格林尼治子午线的方向为X轴的正向，X轴以西的子午线为Y轴的正向。



极移与岁差章动之间的区别

极移与岁差章动是完全不相同的地球物理现象。

- **岁差章动**是地球自转轴的方向在恒星空间中的变化，却**不会引起地球表面经度和纬度的改变**。
- **极移**表现为地球自转轴在恒星空间中**没有变化**，而在**地球内部的相对位置却在改变**，会造成经度与纬度的变化。



2.1 卫星运行的空间坐标系

坐标系的旋转矩阵



绕Z轴旋转

$$R(\varepsilon_z) = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_z & \sin \varepsilon_z & 0 \\ -\sin \varepsilon_z & \cos \varepsilon_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

绕Y轴旋转

$$R(\varepsilon_y) = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_y & 0 & -\sin \varepsilon_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varepsilon_y & 0 & \cos \varepsilon_y \end{bmatrix}$$

绕X轴旋转

$$R(\varepsilon_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon_x & \sin \varepsilon_x \\ 0 & -\sin \varepsilon_x & \cos \varepsilon_x \end{bmatrix}$$



基准（参考）椭球

与大地体吻合最好的旋转椭球，称为基准椭球或者参考椭球。其应该满足以下几个条件：

- 1) 椭球质量等于地球质量，两者的旋转角速度相等；
- 2) 椭球体积与大地体体积相等，它的表面与大地水准面之间的距离差的平方和最小。
- 3) 椭球中心与地球质心重合，椭球短轴与地球自转轴重合。

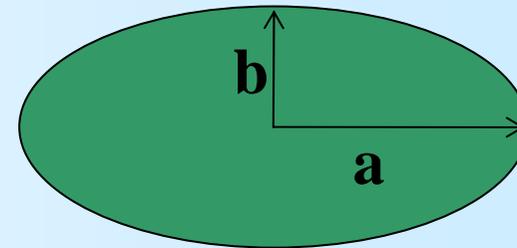


第1-2章 GNSS复习版本



旋转椭球的形状和大小是由五个基本几何参数决定：

- ✓ 椭圆的长半轴 a
- ✓ 椭圆的短半轴 b
- ✓ 椭圆的扁率 (oblateness)



$$\alpha = (a - b) / a$$

扁率值介于0和1之间（反映椭球体的扁平程度）

- ✓ 椭圆的第一偏心率 (eccentricity)

$$e = (a^2 - b^2)^{0.5} / a$$

- ✓ 椭圆的第二偏心率

$$e' = (a^2 - b^2)^{0.5} / b$$



2.1 卫星运行的空间坐标系

WGS-84世界大地坐标系

- 该坐标系是一个协议地球参考系**CTS**,
 - 其原点是地球的质心,
 - **Z轴**指向BIH1984.0定义的协议地球极**CTP** (Conventional Terrestrial Pole) 方向,
 - **X轴**指向BIH1984.0零度子午面和**CTP**赤道的交点,
 - **Y轴**和**Z、X轴**构成右手坐标系。
- 自1987年1月10日之后, **GPS**卫星星历均采用**WGS-84**坐标系, 因此**GPS**网的测站坐标及测站之间的坐标差均属于**WGS-84**系统。
- 为了求得**GPS**测站点在其他坐标系的坐标, 就必须进行坐标系转换。



2.1 卫星运行的空间坐标系

2.1.4 大地坐标系介绍

2.1.4.4 我国大地坐标系统

- 20世纪50年代，我国采用了**1954年北京坐标系**；
- 后来，我国于80年代初又建立了**1980西安坐标系**；
- 多年来，我国测绘、地震部门和科学院有关单位为建立我国新一代大地坐标系作了大量基础性工作，近年又先后建成**全国GPS一、二级网，国家GPSA、B级网**；
- 现已在全国正式实施**2000中国大地坐标系**（China Geodetic Coordinate System 2000，CGCS2000），是我国**新一代大地坐标系**。



2.2 卫星运行的时间系统

- 在GNSS技术中需要研究分析人造天体GPS卫星、GPS接收机的**运动规律和位置**，不仅需要空间参照系(坐标系)，而且需要时间参照系(时间基准)。
- 前述各种坐标系均与对应的**瞬时时间**(即力学中的时刻、天文学中的历元)相关。

时间系统需要包括**时间原点(起始历元)**和**时间单位(尺度)**，其中时间的尺度是时间系统的关键。

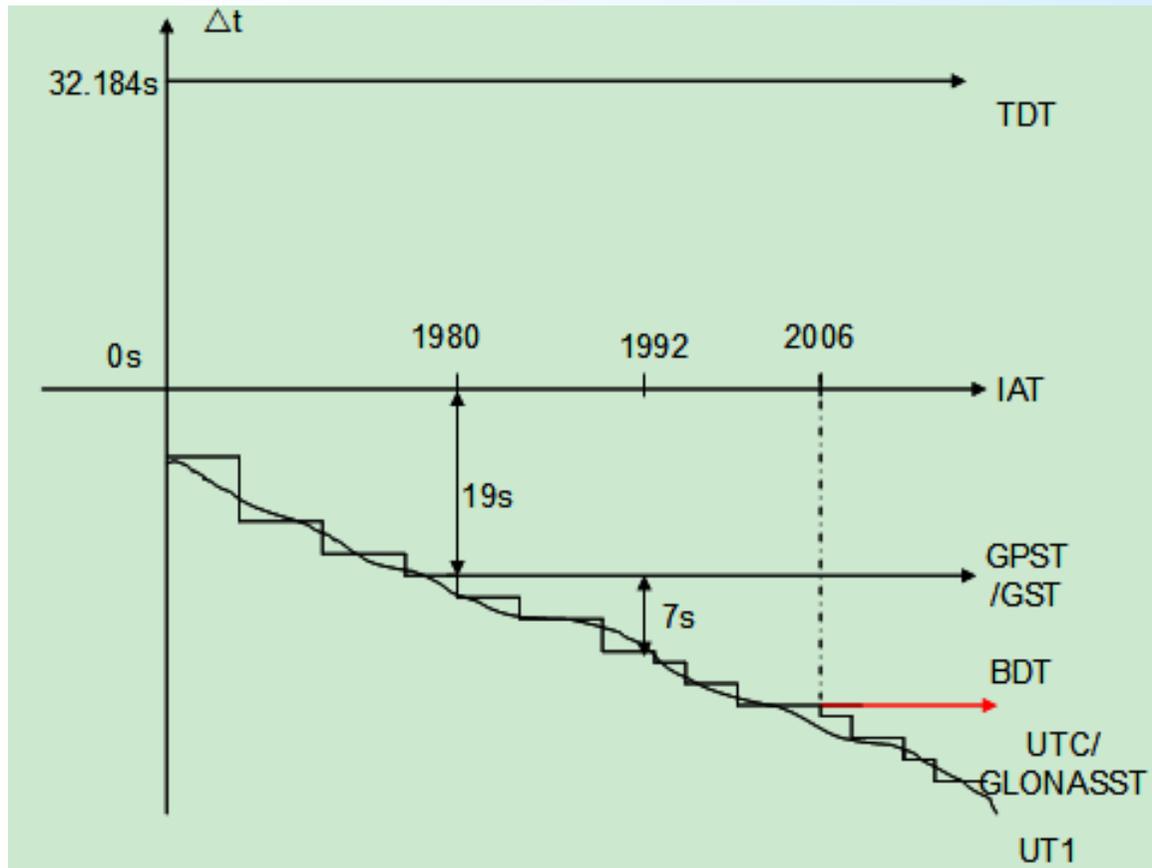
根据不同需要，可以选择产生不同的时间系统，主要有：**平太阳时、世界时、恒星时、原子时、协调世界时**等。



2.2 卫星运行的时间系统

时间系统概况总结5

主要时间系统差别示意图

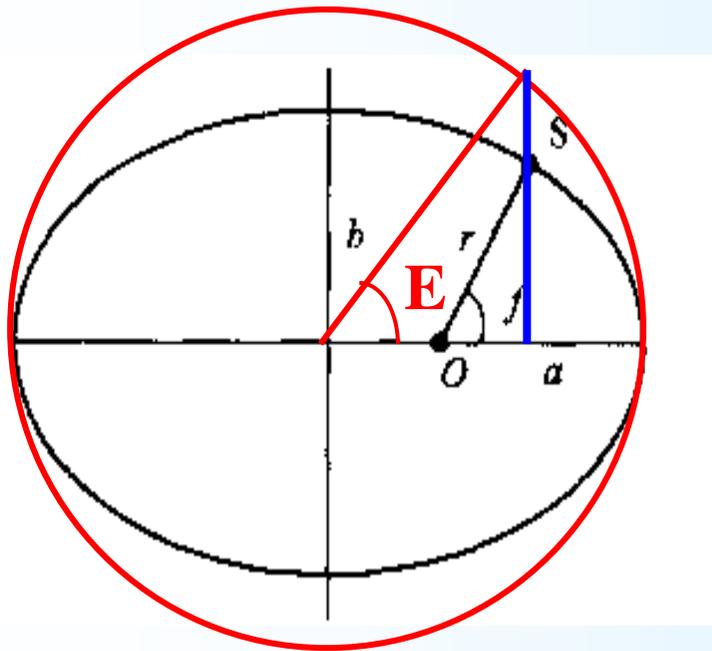


2.3 GNSS的物理理论基础

2.3.1 开普勒定律

1、开普勒第一定律

卫星运行的轨道是以地球中心为一焦点的椭圆。



- 椭圆为卫星S运行轨道
- 地球中心在焦点O上
- a 为长半径
- b 为短半径
- r 为向径
- f 为卫星真近点角
- E 为偏近点角

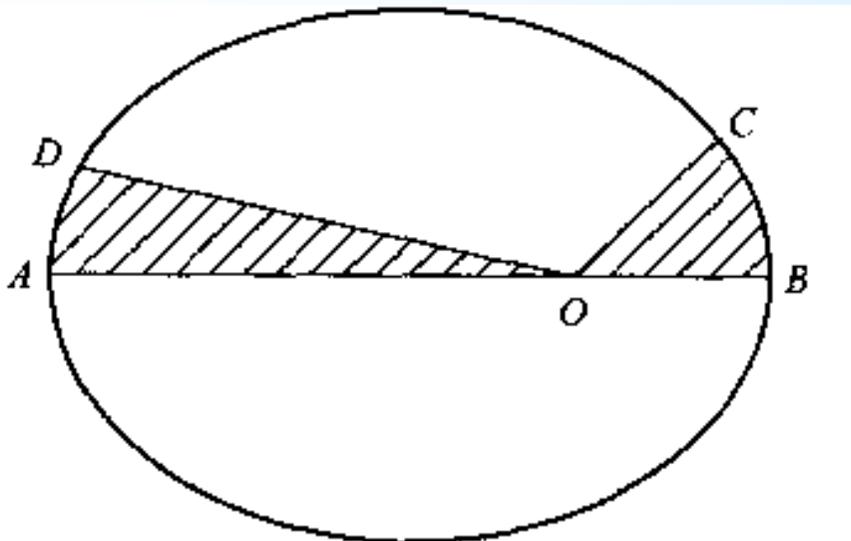


2.3 GNSS的物理理论基础

2.3.1 开普勒定律

2、开普勒第二定律

卫星运行时，其向径在单位时间内扫过的面积相等。



- B为近地点，A为远地点，向径在相等的时间内扫过的面积相等。
- 由于向径的长度是变化的，因此可知卫星在椭圆轨道上运行的速度也必然是变化的，亦即真近点角的变化是不均匀的。



2.3 GNSS的物理理论基础

2.3.1 开普勒定律

3、开普勒第三定律

卫星绕地球运行周期 T 的平方与卫星轨道长半径的立方成正比（ μ 为开普勒常数）

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

由此可见，卫星周期仅取决于长半径，而与短半径无关。所以无论卫星轨道形状如何，只要椭圆轨道的长半径相等，它们的周期就相等。



2.3 GNSS的物理理论基础

2.3.2 牛顿三大运动定律

1、牛顿第一定律（惯性定律）

任何一个物体在不受外力或受平衡力的作用时，总是保持静止状态或匀速直线运动状态，直到有作用在它上面的外力迫使它改变这种状态为止。

若某坐标系中，满足当物体不受力时保持匀速直线运动或静止状态，则该坐标系叫惯性参照系，**牛顿定律只在惯性参照系中才成立。**



2.3 GNSS的物理理论基础

2.3.2 牛顿三大运动定律

2、牛顿第二运动定律

物体的加速度跟物体所受的合外力成正比，跟物体的质量成反比，加速度的方向与合外力的方向相同。

即：

$$F = ma$$

(**F**为合外力，**m**为物体质量，**a**为物体加速度。)

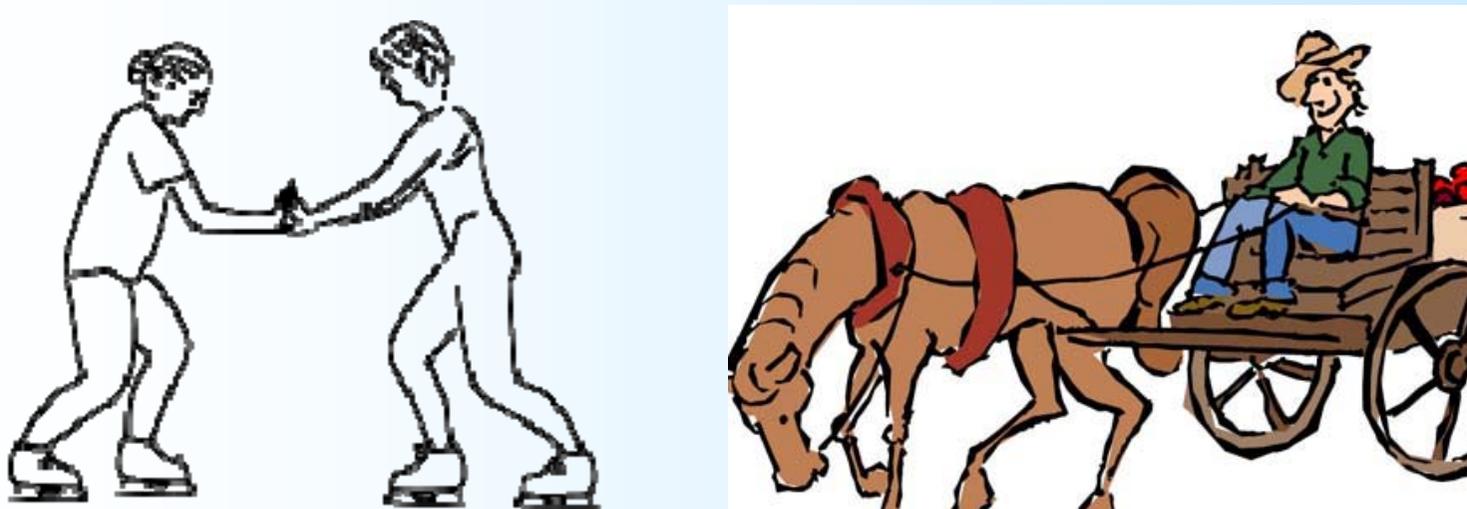


2.3 GNSS的物理理论基础

2.3.2 牛顿三大运动定律

3、牛顿第三运动定律

两个物体之间的作用力和反作用力，在同一直线上，大小相等，方向相反。



2.3 GNSS的物理理论基础

2.3.3 多普勒效应

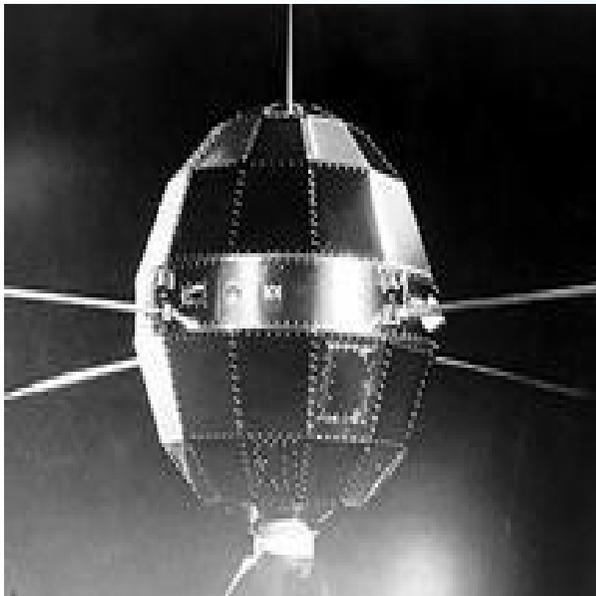


奥地利物理学家及数学家克里斯琴·约翰·多普勒（**Christian Johann Doppler**）于**1843年**首先提出了**多普勒效应**，其主要内容为：**物体辐射的波长因为波源和观测者的相对运动而产生变化**。在运动的波源前面，波被压缩，波长变得较短，频率变得较高；当运动在波源后面时，会产生相反的效应。波长变得较长，频率变得较低。波源的速度越高，所产生的效应越大。**根据频率的变化程度，可以计算出波源循着观测方向运动的速度。**



2.3 GNSS的物理理论基础

2.3.3 多普勒效应



所有波动现象（包括电磁波）都存在多普勒效应。因此，1957年美国霍普金斯(Hopkins)大学学者观测前苏联发射的世界上第一颗人造地球卫星Sputnik1时，正是通过多普勒效应测定了前苏联卫星的轨道。



2.3 GNSS的物理理论基础

2.3.4 爱因斯坦相对论



- 阿尔伯特.爱因斯坦(1879-1955)是著名的物理学家，其研究领域包括了统一场论、量子学、哲学等
- 1905年提出狭义相对论，1915年提出广义相对论
- 发现质能转换方程与光电效应等，被誉为20世纪最伟大的物理学家之一。



2.3 GNSS的物理理论基础

2.3.4 爱因斯坦相对论

2、狭义论效应

在同一个惯性系中，存在统一的时间，称为同时性，而相对论证明，在不同的惯性系中，却没有统一的**同时性**。

•相对论导出了不同惯性系之间时间进度的关系，发现运动的惯性系时间进度慢，这就是所谓的**钟慢效应**。

•尺子的长度就是在一惯性系中“同时”得到的两个端点的坐标值的差。由于“同时”的相对性，不同惯性系中测量的长度也不同，这就是所谓的**尺缩效应**。



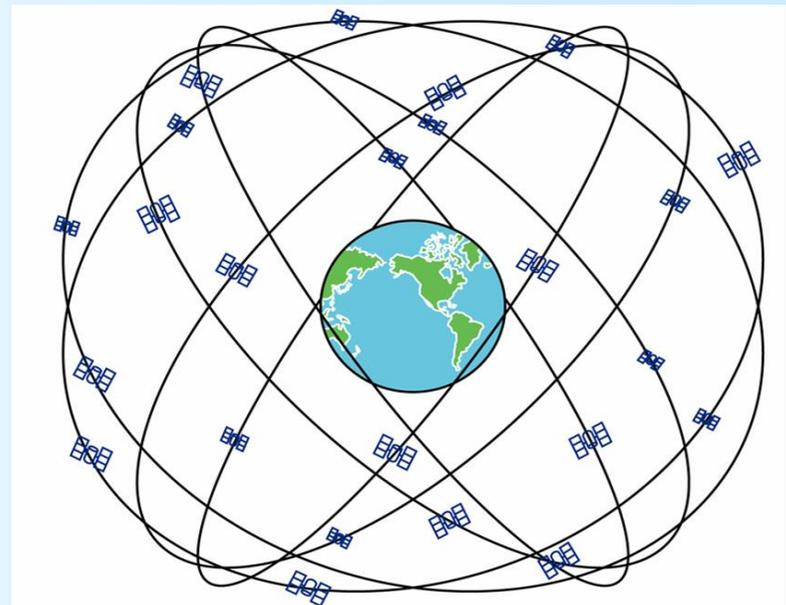
2.4 GNSS卫星的无摄运动

简化分析；

➤将卫星看做是**质量集中于卫星质心的质点**；

➤将地球视为全部质量集中于地球质心的匀质球体，地球质心引力称为**中心力**。

➤卫星在地球质心的中心引力作用下的运动称为**无摄运动**，卫星轨道称为**无摄轨道**，卫星轨道参数**不随时间变化**。



2.4 GNSS卫星的无摄运动

2.4.2 卫星运动的轨道参数

沿着卫星椭圆轨道上有四个重要的点，它们是：

- 1) 升交点 N——当卫星从南半球进入北半球时，轨道平面和赤道平面的交点。
- 2) 近地点 P——卫星轨道离地球最近的一个点。
- 3) 参考位置——卫星在参考时刻 t_0 的位置（给出的 M_0, i_0, Ω_0 都是 t_0 时的值）。
- 4) 卫星位置——它离开近地点的角度为真近点角 f ，距离升交点的角距为升交角距 $u = f + \omega$ 。

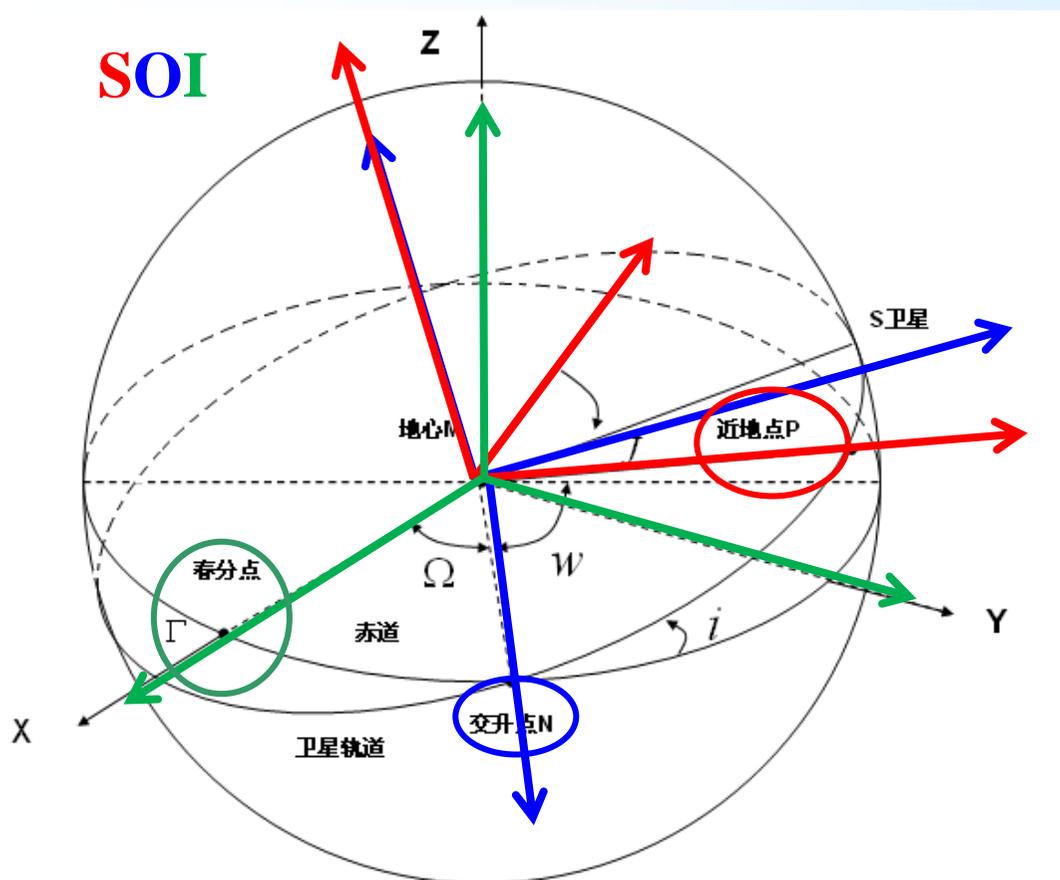


2.4 GNSS卫星的无摄运动

2.4.3 卫星的瞬时位置

2、天球坐标系下卫星的位置

转动过程用旋转矩阵表示为



$$\mathbf{R}_3(-\omega) = \begin{bmatrix} \cos \omega & -\sin \omega & 0 \\ \sin \omega & \cos \omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
$$\mathbf{R}_1(-i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos i & -\sin i \\ 0 & \sin i & \cos i \end{bmatrix}$$
$$\mathbf{R}_3(-\Omega) = \begin{bmatrix} \cos \Omega & -\sin \Omega & 0 \\ \sin \Omega & \cos \Omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2.5 卫星的受摄运动

引起卫星轨道的摄动的摄动力，主要有以下几种：

- (1) 地球几何形状并非真球体以及其质量非均匀分布而引起的非中心引力 F_{nc} ；
- (2) 月球引力 F_m 和太阳引力 F_s ；
- (3) 太阳的辐射压力 F_r ；
- (4) 大气阻力 F_r ；
- (5) 地球潮汐的作用力 F_d 。

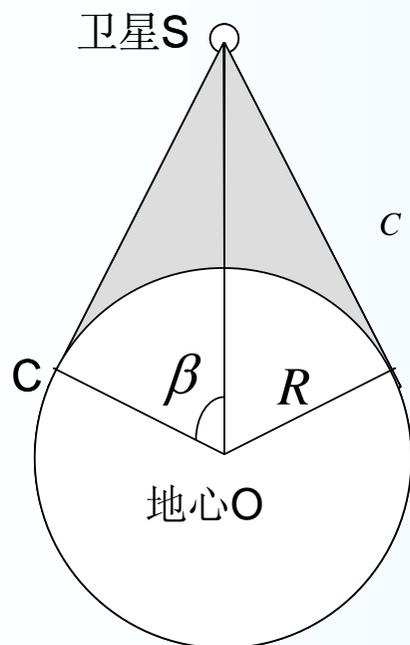
根据轨道力学的分析，GPS卫星受**前三种因素**的影响较大，需要进行介绍。



2.6 卫星轨道与星座知识

1、卫星相对地面不动时的工作区域

假设卫星相对于地面不动，高度为H，其工作区域如下图所示，是顶角为 2θ 的圆锥所笼罩的空域，称为**卫星地面覆盖区**，卫星的工作区域及地面覆盖区的大小，常用对应的地球中心角 β 表示。



从而有：

$$\beta = \arccos \frac{R}{R+H}, \theta = 90^\circ - \beta$$

通常，卫星高度越高，工作区域越大。

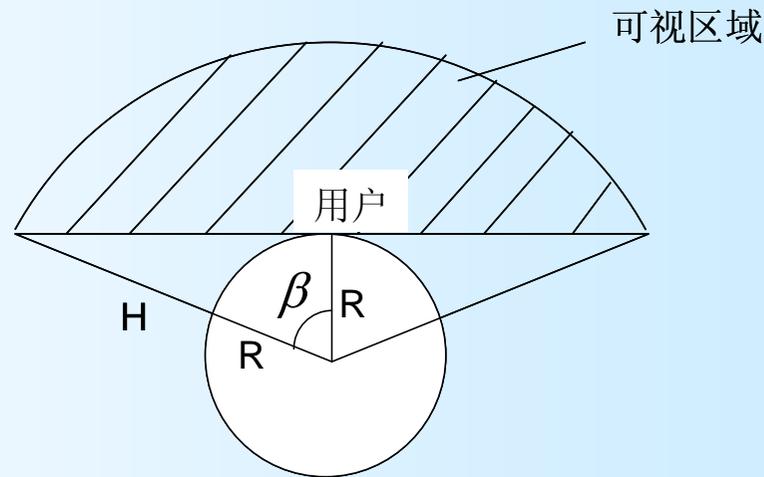


2.6 卫星轨道与星座知识

卫星高度与中心角的关系

地面上用户能观测到卫星的空域称为**卫星可视区域**，可视区域的大小同样也可用相应的**地球中心角 β** 表示。卫星高度为 H 的中心角 β 为：

$$\beta = \arccos \frac{R}{R + H}$$



卫星的可视区域

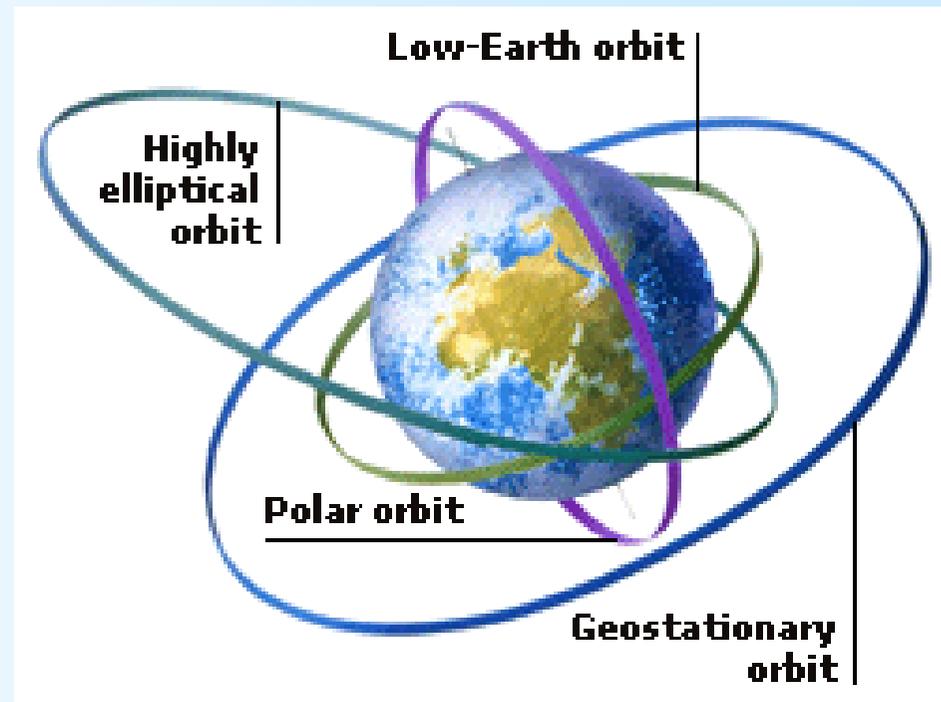


2.6 卫星轨道与星座知识

2.6.2 卫星轨道划分及其特点

卫星轨道可分为：

- 低轨道 (LEO)
- 中轨道 (MEO)
- 高轨道 (HEO)
- 同步轨道 (又分三种)



同步轨道对应的卫星为：

静止卫星、倾斜轨道同步卫星和极地轨道同步卫星



2.6 卫星轨道与星座知识

2.6.2 卫星轨道划分及其特点

2.3.2.3 同步轨道

1)、地球同步卫星轨迹

地球同步卫星

距地高度：**36000km**，

运行周期：**23小时56分4秒**（地球在惯性空间中的自转周期）

运行方向：与地球自转方向一致



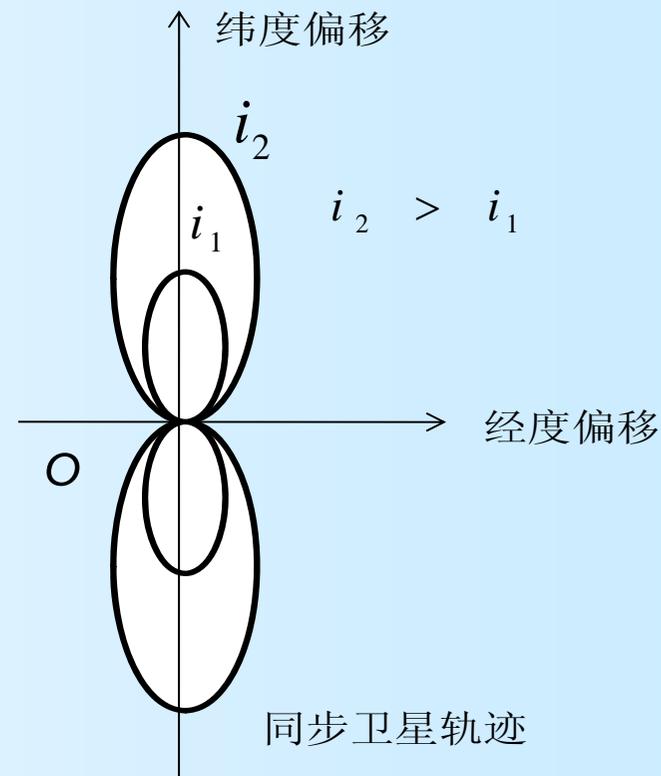
2.6 卫星轨道与星座知识

2.6.2 卫星轨道划分及其特点

地球同步卫星分类:

- 同步轨道静止卫星
- 倾斜轨道同步卫星
- 极地轨道同步卫星

同步轨道的分类是根据卫星轨道的**倾角*i***来划分的，同步静止轨道的倾角为**0**，在地球上的星下轨迹为一点，极地轨道倾角为**90°**，星下轨迹为**8**字形，**轨道倾角*i*越大，8字形越大**



地球同步卫星轨迹



2.6 卫星轨道与星座知识

2.6.2 卫星轨道划分及其特点

静止轨道技术最成熟，但也存在很大不足，主要表现在：

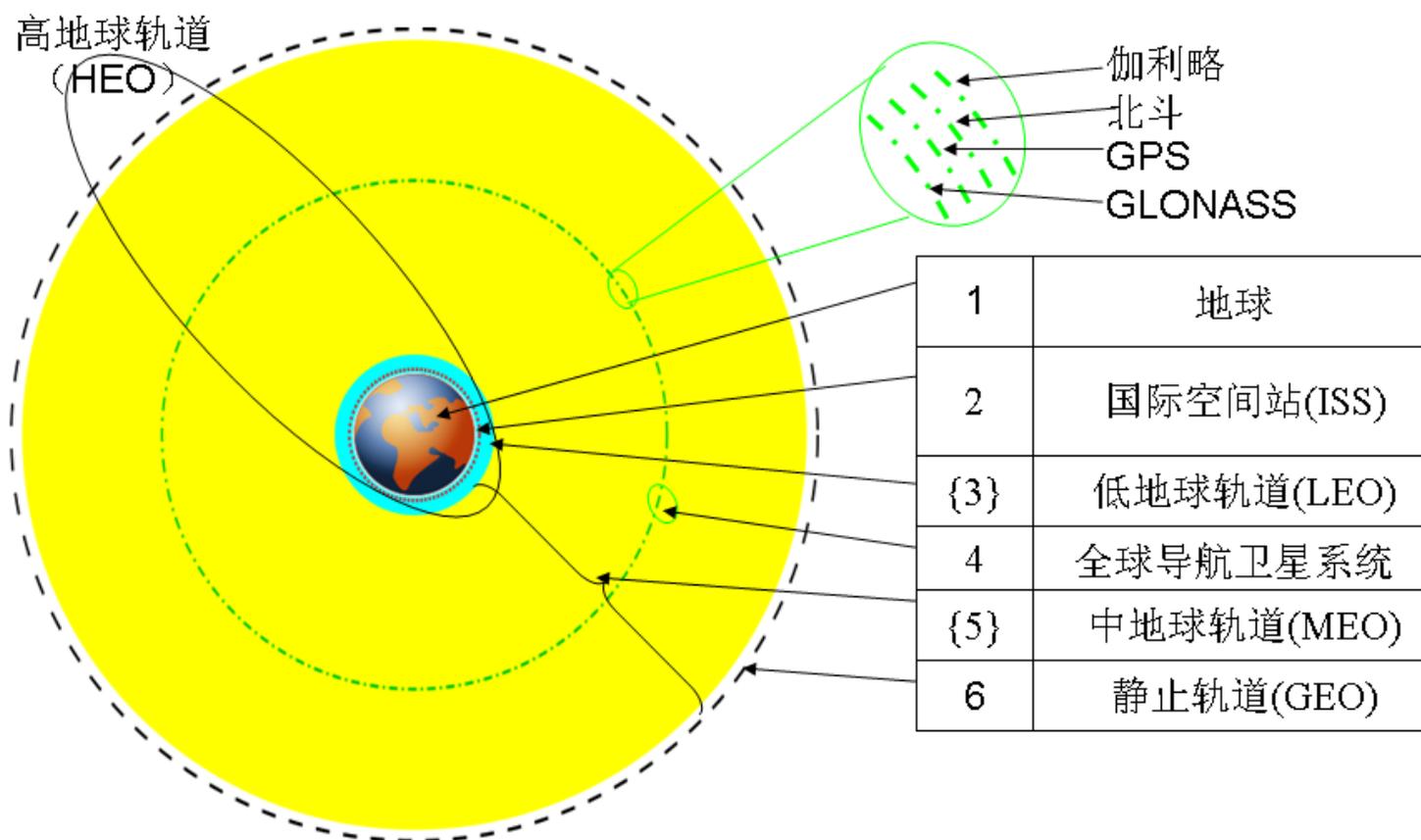
- 静止卫星**轨道高**，**链路损耗大**，对用户终端的有效全向辐射功率（**EIRP**）和接收机品质因数（**G/T**值）要求高；
- 由于**通信链路距离长**，**传播延时大**，单跳延时达到**250~270**毫秒，加上系统处理时间，延时会更大，严重影响了某些实时性要求高的通信业务的应用；
- 由于静止轨道固定在赤道上空，因此静止轨道卫星通信系统实质上**只能覆盖中、低纬度地区**，无法很好地覆盖高纬度地区，特别是两极地区；
- 由于**静止轨道的唯一性**，**资源极其有限**，导致其轨道位置非常紧张，这也成为了发展静止卫星系统的一个不利因素。



2.6 卫星轨道与星座知识

2.6.2 卫星轨道划分及其特点

各轨道高度划分以及典型航天器代表之间的位置图：



2.6 卫星轨道与星座知识

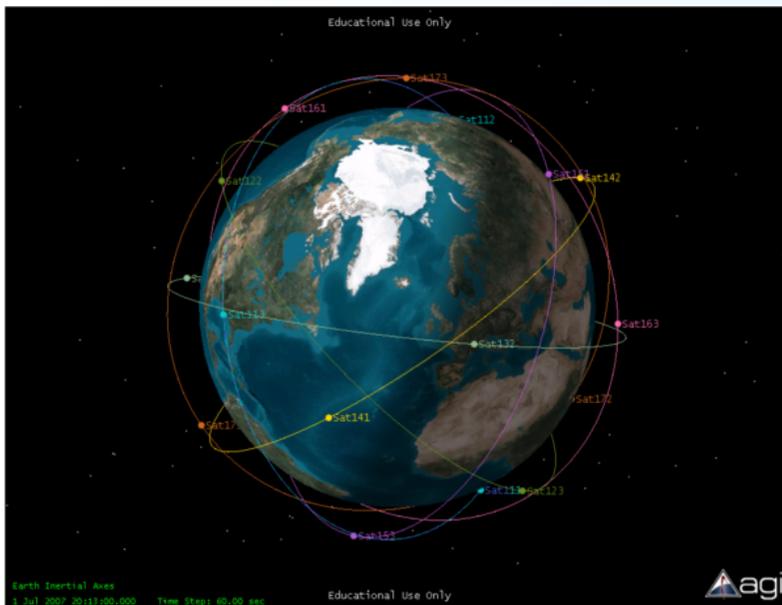
2.6.2 卫星轨道划分及其特点

项目	名称	颜色	距离地面(km)	距离地心(km)
1	地球	蓝/棕色区域	0	6370
2	国际空间站(ISS) International Space Station	红色点线	500	6,870
3	低地球轨道(LEO) Low Earth Orbit	青色区域	160 to 2,000	6,530 to 8,370
4	全球导航卫星系统(GNSS)	绿色点划线	20,230-23,620	26,600-2,9990
5	中地球轨道(MEO) Medium Earth Orbit	黄色区域	2,000 to 34,780	8,370 to 41,150
6	静止轨道(GEO) Geostationary Orbit	黑色虚线	35,794	42,164 
7	高地球轨道 (HEO) High Earth Orbit	黑色实线	远地点可达40,000	

2.6 卫星轨道与星座知识

2.6.4 常见星座构形模型

1、Walker星座构形模型



Walker星座

- 英国John. G. Walker在1984年提出的Walker星座构形是设计南北纬度带均匀覆盖最有效的星座；
- Walker星座是由轨道高度和倾角都相同的圆轨道卫星构成的均匀对称星座，主要摄动源对Walker星座中所有卫星的长期影响的主要部分都相同；
- 星座的相对几何结构保持不变，便于相对保持星座构形。



2.6 卫星轨道与星座知识

回归周期特点:

- ✓ 小的回归周期轨道也具有**性能重复时间短的优势**。GPS星座就选择了**1天2圈**的回归轨道。
- ✓ 大回归**周期轨道避免了共振影响**，对地保持较好性能重复性。GALILEO星座在设计时就选择**10天17圈**的回归轨道。

轨道共振:

两个天体公转周期成简单整数比时候，**天体之间受到周期性引力的影响效应。**



(机遇只偏爱那些有准备的头脑——路易·巴斯德 (法))

3.1 信息编码基本原理

3.1.1 信息编码及其特点

1、信息编码

- 码是由二进制数“0”或“1”排列组合获得的二进制组合序列，结构不同的序列能够表达不同的信息，码是现代数字通信的基本要素。
- 码的基本度量单位是一位二进制数，称为一个码或一比特（**binary digit-bit**）。
- 编码就是将某种信息（比如声音、图像、文字等）通过量化，并按某种规定的标准，表示成二进制数的组合序列的过程，它是信息数字化处理中的重要一步，有利于计算机处理。



3.1 伪随机码基本原理

3.1.1 信息编码及其特点

二进制随机码序列主要有如下特点：

- 随机码为**非周期性码序列**，不存在任何编码规则，因此**不能被复制**；
- 随机码序列中“**0**”和“**1**”出现的**概率**均为 $1/2$ ；
- 随机码序列的具有**良好的自相关性**。



3.1 伪随机码基本原理

3.1.1 信息编码及其特点

3、伪随机码、产生方法及其特性

- 具有随机序列良好的相关特性的有周期性的序列称为**伪随机序列**。
- 由二进制码元“0”和“1”组成的伪随机序列亦称为**二进制伪随机码**，简称**伪码**（**pseudo random noise, PRN**）。
- 伪随机码由“**多级反馈移动寄存器**”的装置产生。



3.1 伪随机码基本原理

3.1.2 GPS的导航电文格式

- 导航电文中包含的导航信息有：
 - 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确定P码的交换码等。



3.1 伪随机码基本原理

3.1.2 GPS的导航电文格式

- 导航电文由：
- **5个子帧组成一个帧**，每个子帧包含**10**个字，每个字为**30bit**；
- 每一子帧一共含**300bit**，一个帧一共为**1500bit**；
- 导航电文按**50bit/s**的速度播发，每帧需要播发**30s**。



3.1 伪随机码基本原理

3.1.3 GPS信号中的伪随机码及其特点

1、C/A码结构

C/A码 (coarse/acquisition) 是GPS卫星信号中一种重要的测距码。主要用于卫星信号的分址、卫星信号的捕获，以及测距使用，它是一种具有一定抗干扰能力的明码，民用。

$$\text{码长: } N = 2^{10} - 1 = 1023\text{bit}$$

$$\text{码元宽度: } t_0 = \frac{1}{f} = 0.97752\mu\text{s} (\text{相当于距离为} 293.1\text{m})$$

$$\text{周期: } T = Nt_0 = 1\text{ms}$$

$$\text{数码率为: } 1.023\text{Mbit/s}$$



3.1 伪随机码基本原理

3.1.3 GPS信号中的伪随机码及其特点

C/A码优缺点

优点：捕获

- 码长很短——1023bit，便于捕获
- 逐个搜索——只需要20.5秒（如果每秒检测50bit的话）
- 捕获码——获得电文，便于P码的捕获

缺点：粗码

- ✓ 码元宽度大，利用C/A码测距精度较低。
- ✓ 若误差为0.01~0.1码元，则测距误差为2.93到29.3米。

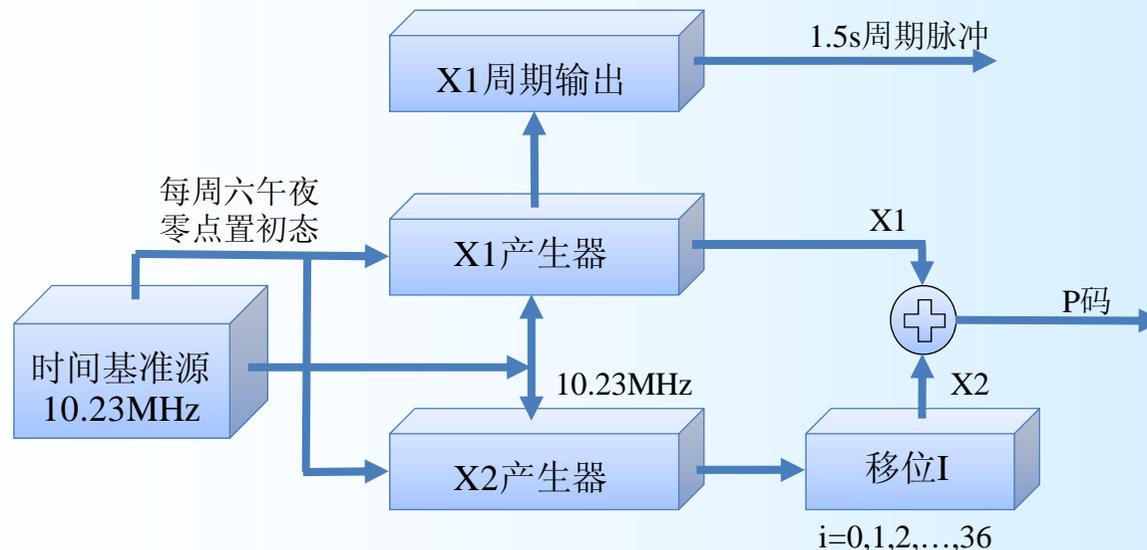


3.1 伪随机码基本原理

2、P码结构

P码是由两组各有两个12级反馈位移寄存器结合产生，其电路结构复杂，**细节保密**，故只能进行一般性了解。

产生P码的原理方块图下图所示：



X1码元数 $N1=15,345,000$ ； X2码元数 $N2=15,345,000+37$ 。



3.1 伪随机码基本原理

2、P码结构

P码特点

- 由于P码序列长，所以对每个码元依次搜索不实际，因此，**一般都是利用捕获的C/A码，捕获P码。**
- P码码元宽度仅为C/A码的1/10，若码元对齐精度仍然是0.01~0.1的话，那么引起的测距误差为0.29~2.93米，比C/A码精度提高10倍。**因此，P码是精码。**
- **专门为军用。**

因此，**充分挖掘现有GPS信息资源**就成了一项具有重大实际价值的工作。



3.1 伪随机码基本原理

3.1.3 GPS信号中的伪随机码及其特点

3、M码结构

现代化的军用信号(M码)是专为军用而设计的，并用来最终取代P(Y)码，是GPS现代化的重要一环。

军用M码所提供的好处：

- 安全性提高，民用信号的频谱分离
- 支持抗干扰的高功率M码模式
- 信号跟踪和数据解调等性能普遍增强
- 与C/A码和P(Y)码的兼容



3.2 GPS的信号编码及调制

3.2.1 卫星信号的BPSK调制方式

GPS卫星发射的信号包含有三种成分：

- 导航电文/数据码D(t)、
- 测距码（C/A码和P码）、
- 载波(L1和L2等)；

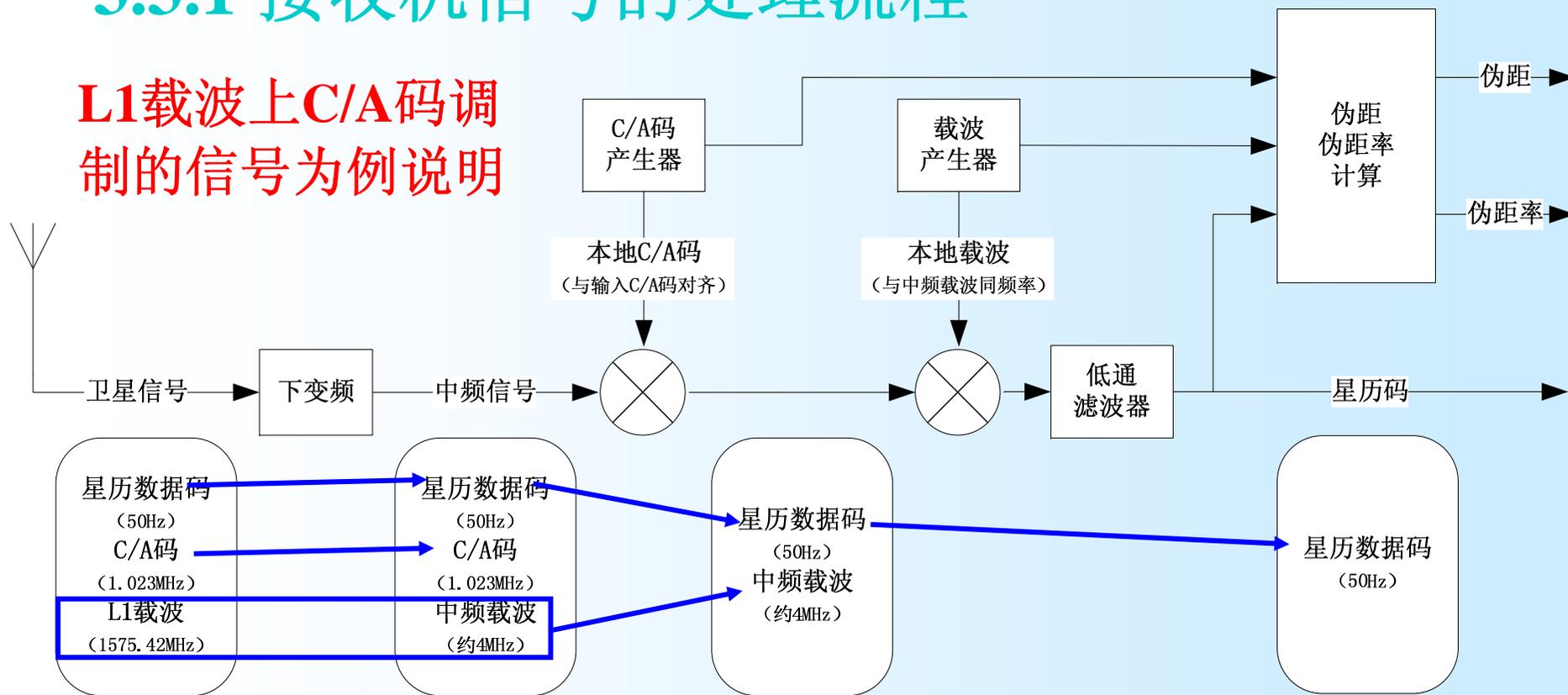
- 这些信号分量都由一个**基本频率控制产生**，从而便于信号的生成和产生，对于发射信号和接收信号的同步是十分有利。
- GPS信号中的D码、C/A码、P码、L2载波、L1载波分别是基本频率的**1/204600倍、1/10倍、1倍、120倍和154倍**。



3.3 GPS信号接收机对卫星信号的处理

3.3.1 接收机信号的处理流程

L1载波上C/A码调制的信号为例说明



GPS L1载波C/A码信号处理原理



3.3 GPS信号接收机对卫星信号的处理

3.3.2 接收机对GPS信号的捕获

- 在捕获阶段，要在载波频移范围和C/A码的相位移动范围内进行二维的搜索，以获得最接近的**载波频率和C/A码相位**。
- 信号捕获是**对卫星信号做初步处理**，其最重要的工作就是确定可见卫星，并**初步求出本地载波所需频率和本地C/A码初始相位的大略值**。

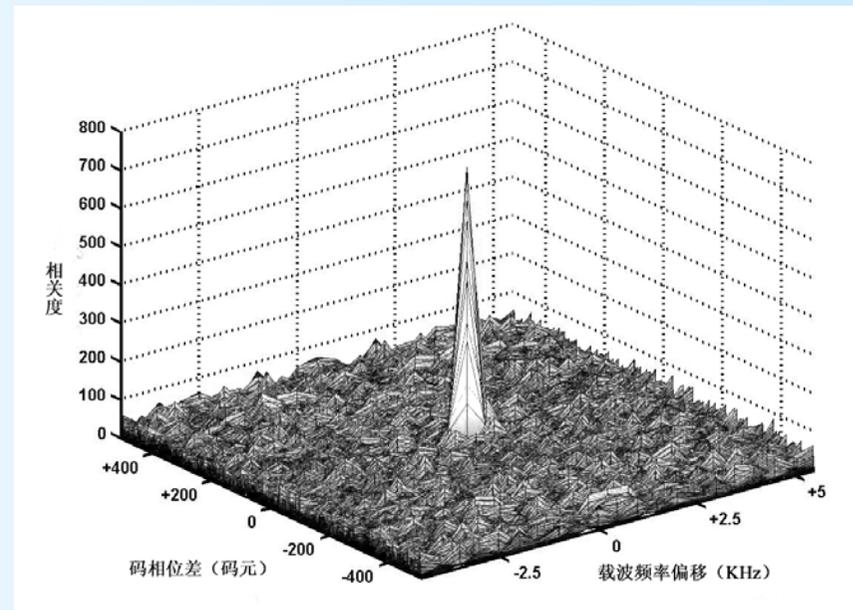


3.3 GPS信号接收机对卫星信号的处理

3.3.2 接收机对GPS信号的捕获

接收机在捕获时对载波频率和码相位两个参数在一定范围内进行二维的扫描，当且仅当载波频率和码相位都基本接近输入信号时得到的积分值出现一个较大的尖峰，据此可以得到载波频率和码相位的初始估计值。

这就是卫星信号捕获的基本原理。



卫星信号捕获二维搜索结果示例



3.3 GPS信号接收机对卫星信号的处理

3.3.3 接收机对GPS信号的跟踪

- **锁相环**可是一个**相位误差控制系统**，它通过**鉴相器**比较输入信号和**压控振荡器**输出信号之间的相位差，从而产生误差控制电压调整压控振荡器的输出频率，最终使两者同频同相。
- **GPS跟踪环路**的主要功能就是**精确确定这载波频率和C/A码相位**，并跟踪它们的变化。
- 由于需要跟踪**C/A码**和**中频载波**两部分，因此**GPS接收机**内部跟踪环路每个通道都有**两个锁相环**，分别为：
 - **跟踪载波的载波环**
 - **跟踪C/A码的码环**



3.3 GPS信号接收机对卫星信号的处理

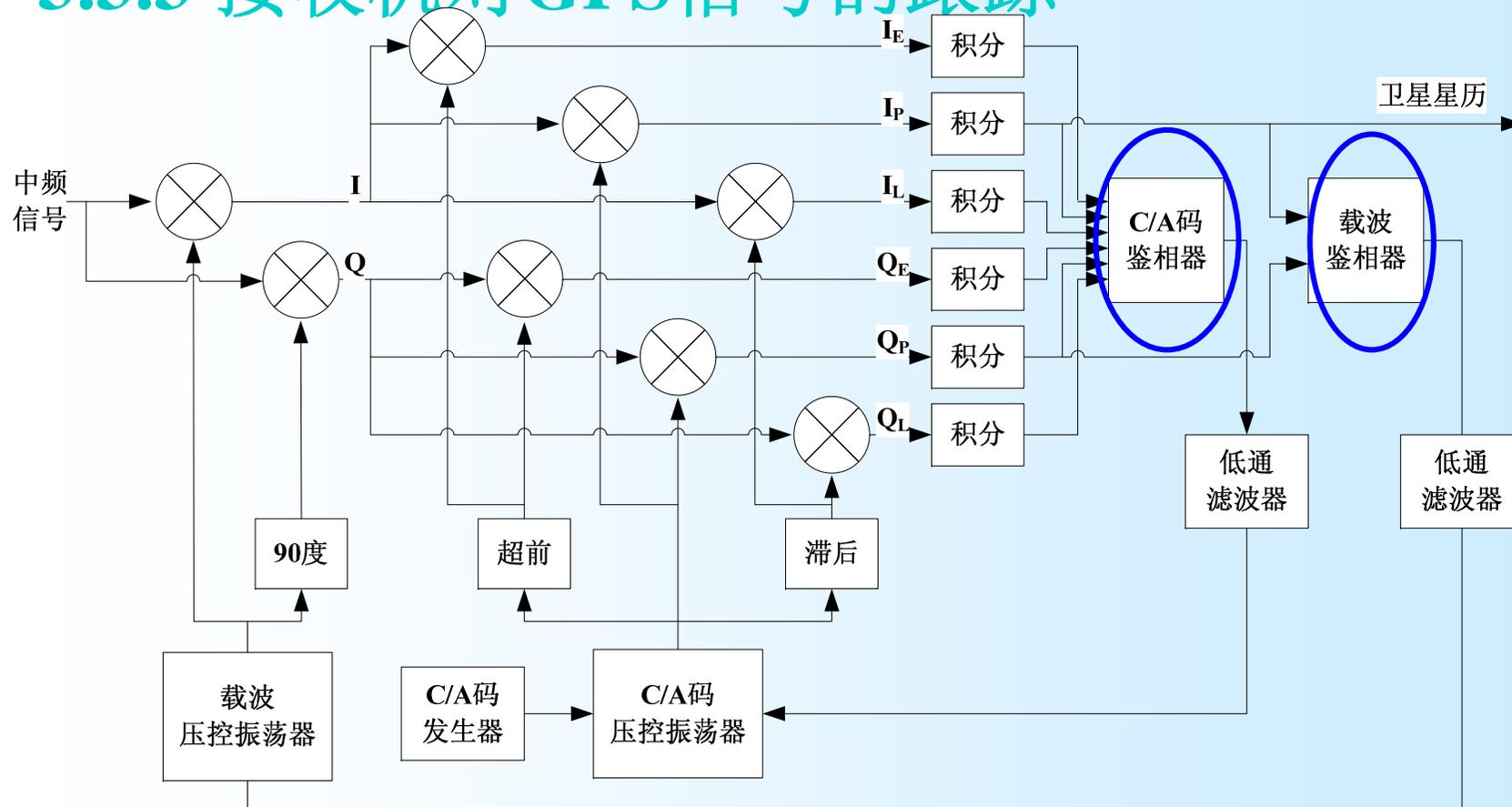
码跟踪环

- ◆ **码跟踪环**的主要目的是进一步精确估计由捕获得到的接收码相位。码跟踪环通常使用的是延迟锁定环(DLL)
- ◆ 接收机同时生成三个本地码，分别为**早码、即时码、晚码**，三者之间分别相差 $1/2d$ 、 $-1/2d$ 码相位。
 - Early
 - Prompt
 - Late
- ◆ 本地码与接收信号相乘累加
- ◆ 根据相关值计算本地**即时码**与接收码的码相位差，从而调整本地码



3.3 GPS信号接收机对卫星信号的处理

3.3.3 接收机对GPS信号的跟踪



GPS跟踪环路总体结构

GNSS 2013版 南航导航研究中心 www.nuaanrc.com
(机遇只偏爱那些有准备的头脑——路易·巴斯德 (法))



3.3 GPS信号接收机对卫星信号的处理

3.3.3 接收机对GPS信号的跟踪

可知信号跟踪过程为：

- GPS中频信号与本地载波相乘，得到**I路信号**，再与本地C/A码（当前、超前、滞后）相乘，得到三路信号（IE、IP、IL）。
- 同时，中频信号还与经过90度移相的本地载波相乘，得到**Q路信号**，再同样与本地C/A码相乘得到QE、QP和QL。
- 六路信号再分别进入**C/A码鉴相器和载波鉴相器**，计算得到输入信号和本地信号的相位差，控制压控振荡器，直至本地载波和C/A码与输入信号完全相同，跟踪达到稳定。



3.3 GPS信号接收机对卫星信号的处理

3.3.4 GPS卫星星历的用户算法

对于精密大地测量或勘测的地面用户来讲，通过预报星历来推求用户位置，其精度尚难以保障精密定位的要求。为了满足大地测量学和地球动力学对高精度定位的要求，出现了**所谓后处理星历（精密星历）**来精确地刻画某特定时刻的卫星轨道参数。

精密星历是一些国家的有关部门，根据各自建立的卫星跟踪站所获得的卫星精密观测资料，采用确定预报星历相似方法，可以计算出以前任一观测时刻的卫星星历。



3.3 GPS信号接收机对卫星信号的处理

3.3.4 GPS卫星星历的用户算法

IGS组织定期在其网站的FTP服务器上，向用户提供的IGS产品，其中星历产品包括：

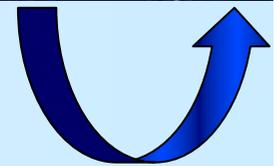
- 1) 精密星历：延迟11天左右，每周更新，精度小于5cm；
- 2) 快捷星历：提供周期和精度介于精密星历和预报星历之间的产品，延迟17小时，每天更新，精度小于5cm；
- 3) 预报星历：实时更新，每12小时更新一次，精度25cm左右。



3.3 GPS信号接收机对卫星信号的处理

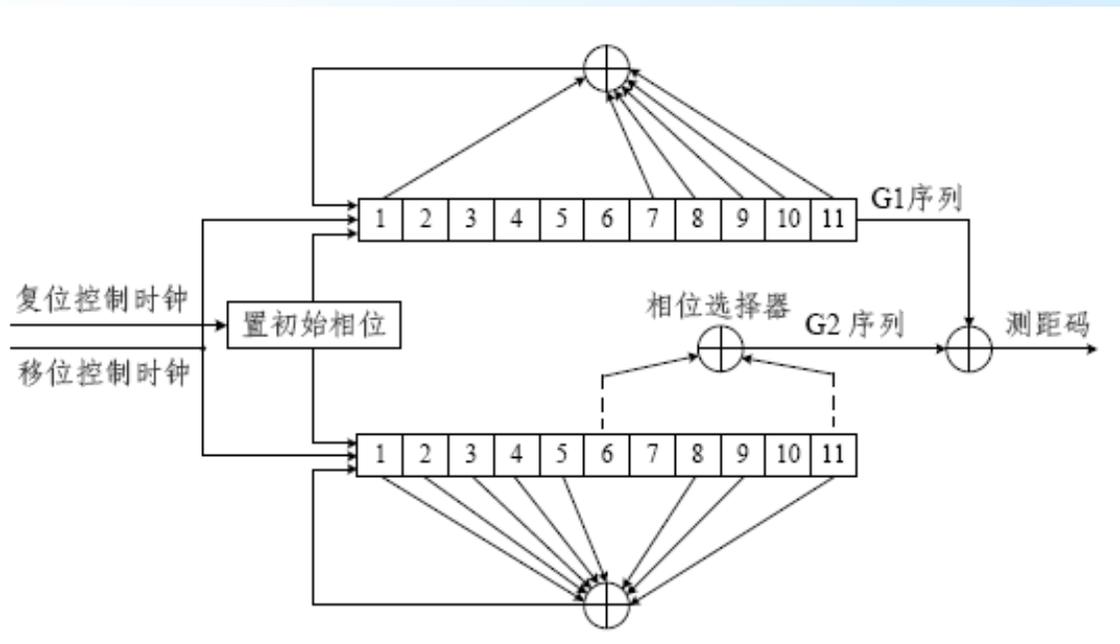
3.3.4 GPS卫星星历的用户算法

- GNSS卫星导航电文中**描述卫星运行轨道**的一组数据称为**星历**。
- GNSS卫星提供的星历称为**预报星历**，或者**广播星历**。
- GPS跟踪站每天都利用其观测资料，更新用以确定卫星参考星历的数据，注入站每天按时将其注入到相应的GPS卫星中加以储存，**每小时更新一次**。



第1-2章 GNSS复习版本

结合北斗官网的“空间信号接口控制文件”中测距码产生原理，仿真对应的伪随机序列。【注意其特征多项式】



3.4 北斗系统的信号规范和导航电文

3.4.2 北斗系统的导航电文

根据速率和结构不同，导航电文分为**D1**导航电文和**D2**导航电文。

- **D1**导航电文速率为**50 bps**，并调制有速率为**1 kbps**的二次编码，内容包含基本导航信息（本卫星基本导航信息、全部卫星历书信息、与其它系统时间同步信息）；
- **D2**导航电文速率为**500 bps**，内容包含基本导航信息和增强服务信息（北斗系统的差分及完好性信息和格网点电离层信息）。
- **MEO/IGSO**卫星的**B1I**信号播发**D1**导航电文，**GEO**卫星的**B1I**信号播发**D2**导航电文。



3.4 北斗系统的信号规范和导航电文

3.4.2 北斗系统的导航电文

D1导航电文包含有基本导航信息，包括：

- 本卫星基本导航信息（包括周内秒计数、整周计数、用户距离精度指数、卫星自主健康标识、电离层延迟模型改正参数、卫星星历参数及数据龄期、卫星钟差参数及数据龄期、星上设备时延差）
- 全部卫星历书及与其它系统时间同步信息（UTC、其它卫星导航系统）
- 整个**D1**导航电文传送完毕需要**12**分钟。



3.4 北斗系统的信号规范和导航电文

3.4.2 北斗系统的导航电文

2、北斗系统的D2 电文

D2导航电文包含**基本导航信息**和**增强服务信息**。

D2导航电文由超帧、主帧和子帧组成。

- 每个超帧为**180000**比特，历时**6**分钟；
- 每个超帧由**120**个主帧组成，每个主帧为**1500**比特，历时**3**秒；
- 每个主帧由**5**个子帧组成，每个子帧为**300**比特，历时**0.6**秒；
- 每个子帧由**10**个字组成，每个字为**30**比特，历时**0.06**秒。



3.5 其它GNSS信号以及导航电文

3.5.1 GLONASS信号以及导航电文

- ◆ 每颗**GPS**卫星都在同一频率上用**码分多址(CDMA)**格式发射独特的伪随机噪声(**PRN**)码对(**C/A**和**P(Y)**);
- ◆ 与**GPS**不同的是每颗**GLONASS**卫星都发射同样的**PRN**码对, 但每颗**GLONASS**卫星用不同的频率发射, 这种区分卫星的分址形式叫做**频分多址(FDMA)**。
- ◆ 现代化后的**GLONASS**可能采用**CDMA**格式。



3.5 其它GNSS信号以及导航电文

3.5.1 GLONASS信号以及导航电文

FDMA的特点:

优

- FDMA具有**较好的抗干扰特性**。只能干扰一个FDMA信号的窄带干扰源会同时干扰所有的CDMA信号。
- FDMA**无需考虑多个信号码之间的干扰效应**(互相关)。
- GLONASS基于频率的抗干扰可选方案要比GPS多, 而且**它还更具有简单的选码判据**。

点

- 然而, **FDMA**因为处理多频**需要更多的前端部件量**, 因此接收机的体积一般**较大且造价昂贵**。

缺点



3.5 其它GNSS信号以及导航电文

3.5.1 GLONASS信号以及导航电文

1、GLONASS信号频率

GLONASS解决了**12个频率**识别**24颗卫星**问题（？）

因为在地球上任何一个地方，不可能同时看见同一个轨道平面上位置相差**180°**的**2颗卫星**。所以**这2颗卫星**可以采用同一频率，而不至于产生相互干扰。

当前俄罗斯的载波频率的修改计划**已经完成**，从原先的**0~24通道**，改为**-7~6通道**。

NS	Date	nl
01	15.02.12	1
02	15.02.12	-4
03	15.02.12	5
04	15.02.12	6
05	15.02.12	1
06	15.02.12	-4
07	15.02.12	5
08	15.02.12	6
09	15.02.12	-2
10	15.02.12	-7
11	15.02.12	0
12	15.02.12	-1
13	15.02.12	-2
14	15.02.12	-7
15	15.02.12	0
16	15.02.12	-1
17	13.02.12	4
18	13.02.12	-3
19	13.02.12	3
20	13.02.12	2
21	13.02.12	4
22	13.02.12	-3
23	13.02.12	3
24	13.02.12	2



GLONASS与GPS导航电文比较

- GLONASS采用的**FDMA**增加了用户设备的复杂性。
- GLONASS与GPS相比较，GLONASS的C/A码频率为GPS的1/2，**多路径影响加倍**。
- GPS伪距码长比GLONASS将近大一倍，理论上，码长小则测距分辨率低，所以**GLONASS单点定位精度应低于GPS**。

表 3- 39 GPS 与 GLONASS 导航电文的比较

导航电文	GPS	GLONASS
超帧时间长度	12.5min	2.5min
超帧字节数	37500 位	7500 位
超帧保留位	约 2700 位	约 620 位
帧时间长度	30s	2s
字时间长度	0.6s	2s
字长度	30 位	100 位
每帧字数	50	15
星历格式	开普勒轨道根数	地心坐标值
坐标系统	WGS-84	PZ-90
时间系统	GPS 时间	GLONASS 时间
系统时间参考系	UTC(USNO)	UTC(SU)
时钟参数形式	偏差值、漂移值、龄期	偏差值、漂移值
电离层参数	8 个球谐参数	无



3.5 其它GNSS信号以及导航电文

3.5.2 GALILEO系统的信号特征

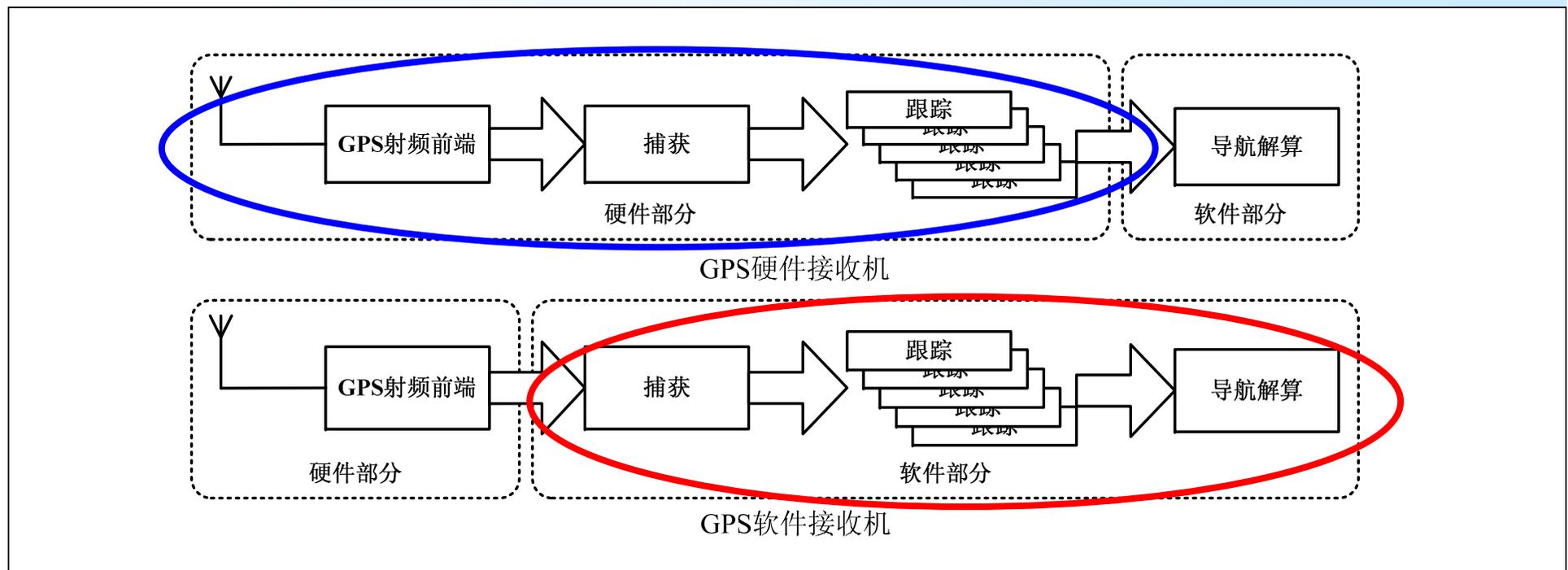
- 伽利略系统提供的**十个信号**分别为：
- 4个导航信号在E5频段，
 - 3个导航信号在E6频段，
 - 3个导航信号在L1频段
 - 1个搜救信号在频段 1544 MHz~1545 MHz（L6）。



3.6 GNSS信号处理技术的相关发展

3.6.1 GNSS信号接收机的软件化

近些年来，由于DSP和FPGA性能的增强，接收机环路中的相关积分过程**已经可以脱离硬件相关器**，将GNSS数字信号处理全过程用**可编程的数字器件**进行处理。**这样的GNSS接收机称为软件接收机。**



3.6 GNSS信号处理技术的相关发展

3.6.1 GNSS信号接收机的软件化

- 最早的软件接收机概念从软件无线电的概念演化而来，其**理论和算法在很多方面和数字硬件接收机完全相通**，整个接收机同样需要分为射频前端、捕获、跟踪和定位解算等模块。
- 软件接收机和硬件接收机的区别在于，**硬件接收机**在捕获和跟踪模块多**使用专用芯片**，而**软件接收机**的捕获和跟踪都是**用可编程器件（DSP、FPGA甚至PC）**设计而成。



3.6 GNSS信号处理技术的相关发展

3.6.1 GNSS信号接收机的软件化

软件接收机相比于硬件接收机有以下**优势**：

1. 调试**方便**
2. 可方便地应用**新的算法**
3. 方便进行多制式系统的**统一**
4. 方便后期**维护和升级**



3.6 GNSS信号处理技术的相关发展

3.6.3 GNSS的通信定位一体化趋势

- GPS和GLONASS系统中，**基站与卫星之间可以互相通信**，并且，**各卫星之间**也逐步发展**互相测距功能**。
- 伽利略系统系统具有民用性，兼备救援等功能，为此，其**含有通信信道**。
- 北斗系统**具有发送短消息的功能**，同时，也可以利用该发短消息的功能进行进行语音编码的发送，从而提高**通信功能**。
- QZSS和CAPS等系统，均具有信号差分的功能，为此**能够进行数据的通信**，提高系统的精度。



4.1 GNSS的时间概念

有关时间的基本概念

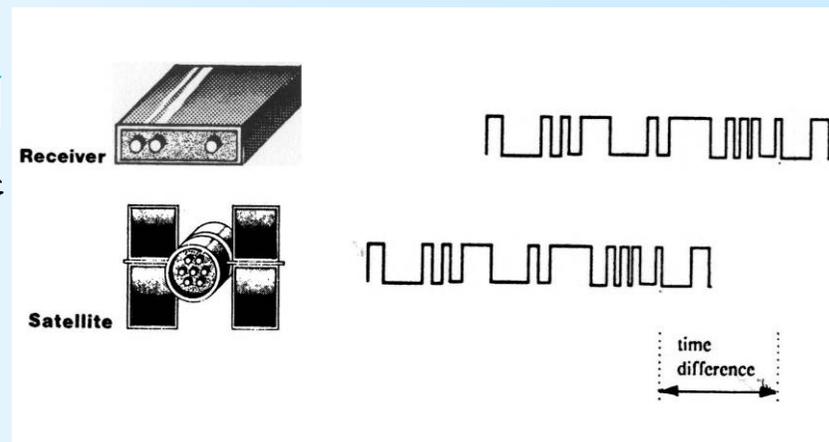
- $t^j(GNSS)$: GNSS卫星发射信号的**理想GNSS**时刻。
- $t_i(GNSS)$: 接收站收到卫星发射信号时的**理想GNSS**时刻。
- t^j : 卫星发射信号时的**星钟钟面**时刻。
- t_i : 观测站收到卫星发射信号时的**站钟钟面**时刻。
- Δt_i^j : 忽略大气折射的影响, 时刻卫星的发射信号在站钟时刻到达观测站的**传播时间**。
- δt^j : 卫星的星钟相对于理想GNSS时刻的时间误差, 简称**星钟误差**。
- δt_i : 观测站的站钟相对于理想GNSS时刻的时间误差, 简称**站钟误差**。



4.2 测码伪距观测量

4.2.1 测码伪距观测量

接收机复制的测距码和接收到的卫星的测距码，在时间延迟器的作用下，进行相关对齐时候，也存在对齐精度的误差；



对齐精度
为
码元宽度
1%

C/A码元宽度293m

C/A码精度2.9m

粗码

P码元宽度29.3m

P码精度0.29m

精码



4.2 测码伪距观测量

4.2.2 测码伪距观测方程

可以忽略星钟同步差，考虑大气对流层影响和考虑电离层影响测码伪距观测方程常用形式如下：

$$\rho_i^j(t) = R_i^j(t) - c[\delta t_i(t) - \delta t^j(t)] + \Delta_{i,I}^j(f) + \delta_{trop} + \delta_{tide} + \delta_{rel} + \varepsilon_c$$

其中：

GNSS接收机站钟于观测历元t的钟差；

观测历元t，电离层折射对测码伪距的影响；

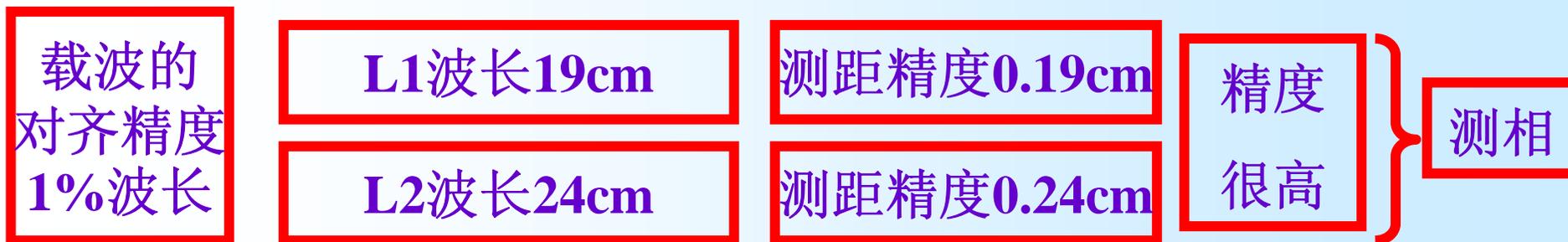
观测历元t，大气对流层折射对测码伪距的影响。



4.3 测相伪距观测量

● 测相伪距观测量

由于载波频率高，波长短，所以载波相位测量精度高。



测相伪距一般用于：

精密定位

和

载体姿态测量



相比之下，测码伪距精度是测相伪距精度的1/100。



4.3 测相伪距观测量

4.3.1 载波相位观测量与测相伪距观测方程

考虑到: $\Phi_i^j(t) = N_i^j(t_0) + \varphi_i^j(t)$

将此式代入**载波相位差**的表达式整理可得**载波相位的观测方程**（或简称**测相位观测方程**）：

$$\varphi_i^j(t_i) = \rho_i^j = \frac{f}{c} [R_i^j(t) + \lambda N_i^j(t_i) - c[\delta t_i(t) - \delta t^j(t)] - \Delta_{i,I}^j(f) + \delta_{trop} + \delta_{tide} + \delta_{rel} + \varepsilon_p]$$

考虑到关系式: $\lambda = c / f$

则可由上式得**测相伪距观测方程**：

$$\lambda \varphi_i^j(t_i) = \rho_i^j = R_i^j(t) + \lambda N_i^j(t_i) - c[\delta t_i(t) - \delta t^j(t)] - \Delta_{i,I}^j(f) + \delta_{trop} + \delta_{tide} + \delta_{rel} + \varepsilon_p$$



4.3 测相伪距观测量

4.3.1 载波相位观测量与测相伪距观测方程

由于在实际应用中，需要采用的一些观测量都是上述观测量的各种线性组合构成的。

本节是载波相位测量的基本理论。以后的一些应用，比如：相对定位、高精度定位和定轨、载体测姿等都会用到该部分内容。

载波相位测量定位技术可以使定位的精度达到毫米级，主要应用于大地测量等需要高精度的系统中。



4.3 测相伪距观测量

4.3.3 整周模糊度及周跳

整周未知数是与接收机位置、卫星位置和起始观测历元有关的未知数，具有整数性质。在进行精密定位中，处理载波相位观测量时，**确定整周未知数/模糊度是一个极其关键问题。**

载波相位的变化如下：

$$\Phi_i^j(t) = N_i^j(t_0) + N_i^j(t - t_0) + \delta\varphi_i^j(t)$$

第一项：为整周未知数，对它的确定是一个关键问题。

第二项：观测后续变化的相位整周数——可确定

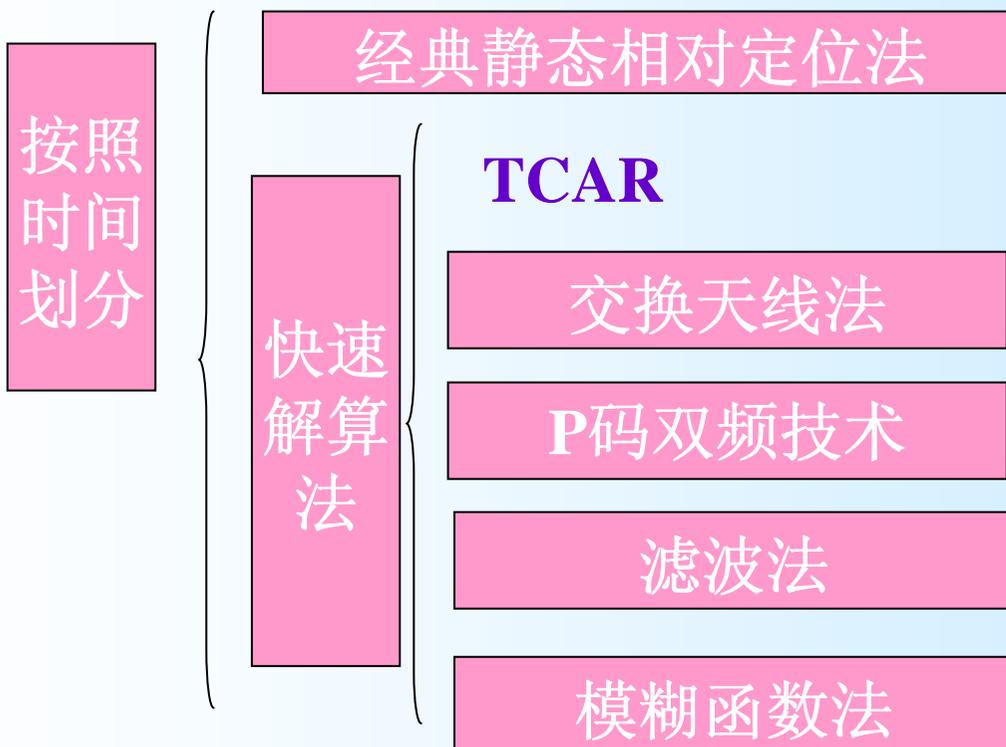
第三项：非整周的相位小数部分——可测量



4.3 测相伪距观测量

4.3.3 整周模糊度及周跳

解算整周模糊度的方法



Three Carrier Ambiguity Resolution (or TCAR in short)



4.3 测相伪距观测量

● 确定整周模糊度的经典待定系数法

整周模糊度的结果形式：

整数解（固定解）

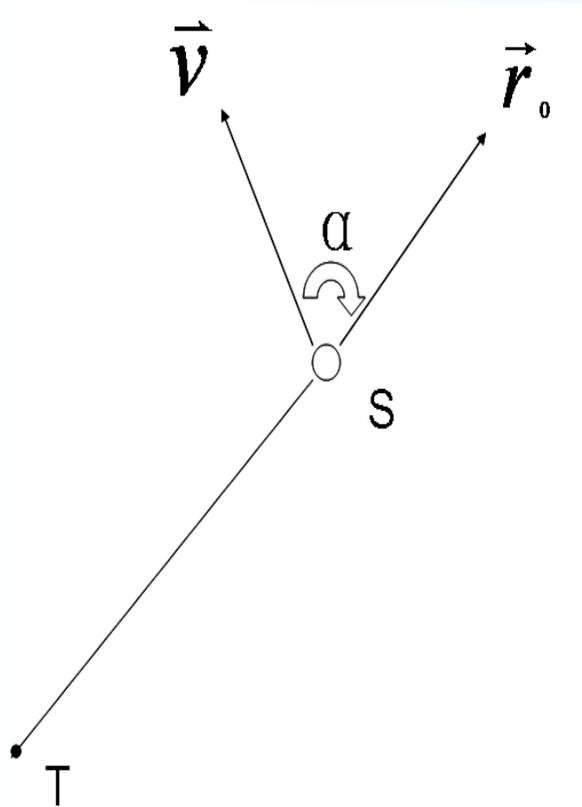
- 根据整周模糊度意义，它具有**整数性质**。当基线较短时，外界误差影响较小时，比较有效。（若基线未知，时间长）
（若基线已知，时间短）

非整数解（实数解或浮动解）

- 当基线较长或者外界误差影响较大时，不能简单把整周模糊度凑整，**此时则不必要凑整**。
- 一般情况下，确定整周模糊度的经典待定参数法，是在基线向量未知的情况下，通过**静态相对定位法**来解算整周模糊度。该方法的主要缺点是**所需观测时间较长**。



4.4 多普勒积分观测量



多普勒效应示意图

卫星S与观测站T连线方向的卫星径向相对速度为：

$$v_R = \vec{V} \cdot \vec{r}_0 = |\vec{V}| \cos \alpha$$

\vec{V} 为卫星运动速度向量

\vec{r}_0 为卫星S与观测站T连线的单位向量

α 为 \vec{V} 和 \vec{r}_0 的夹角



4.4 多普勒积分观测量

忽略低频特性的电离层误差、对流层误差、多路径、潮汐等误差的情况下，可以将多普勒频移的模型表示如下：

$$D = \frac{d\rho}{\lambda dt} - f \frac{d\beta}{dt} + \delta_f + \varepsilon$$

β 为与时钟误差项 $\delta t_i^j = \delta t_i - \delta t^j$
 δ_f 为相对论效应的频率修正量
 ε 为误差



4.4 多普勒积分观测量

● 多普勒频移观测量的特点

多普勒频移可以看作作为载波相位观测量的衍生观测量，但是多普勒频移也是一个独立的、能够直接反映伪距率的观测量。

- 利用多普勒积分计数法进行静态定位时，需要的观测时间一般要数小时。
- 在动态应用中，多普勒测量可用来计算监测站的运动速度。



4.5 对GNSS观测量的物理影响

- GNSS观测量在实际的应用中，受到多种因素的影响：

包括卫星相关因素、信号传播相关因素、信号接收相关因素，以及天体物理的相关因素，都导致GNSS观测量产生相应的误差。



4.5 对GNSS观测量的物理影响

4.5.1 与卫星有关的误差

1、卫星时钟误差

GPS卫星钟采用由主控站按照美国海军天文台(USNO)的协调世界时(UTC)进行调整的GPS时；

尽管GPS卫星均装备有高精度的原子钟(铷钟和铯钟)，但它们与理想的GPS时间仍存在着难以避免的偏差或漂移；

这些偏差总量在1ms以内，由此引起的等效距离误差可达300km。

为保证测量精度，由主控站测定出每颗GPS卫星的钟参数，编入GPS卫星电文发布给用户。

GNSS 2013版 南航导航研究中心 www.nuaanrc.com
(机遇只偏爱那些有准备的头脑——路易·巴斯德(法))



4.5 对GNSS观测量的物理影响

4.5.1 与卫星有关的误差

2、卫星星历误差

- GPS的**广播星历**是GPS卫星电文中所携带的主要信息，由于对卫星上的各种摄动因素的大小及变化规律**无法精确测算**，所以预报数据中存在着较大的误差。
- 从卫星电文中**直接解译出来**的星历参数所确定的卫星位置**精度约为20-40m**，有时可达**80m**。
- 启用全球均匀分布的GPS跟踪网进行测轨和预报后，由卫星星历参数计算的GPS卫星坐标可**精确到5~10 m**。

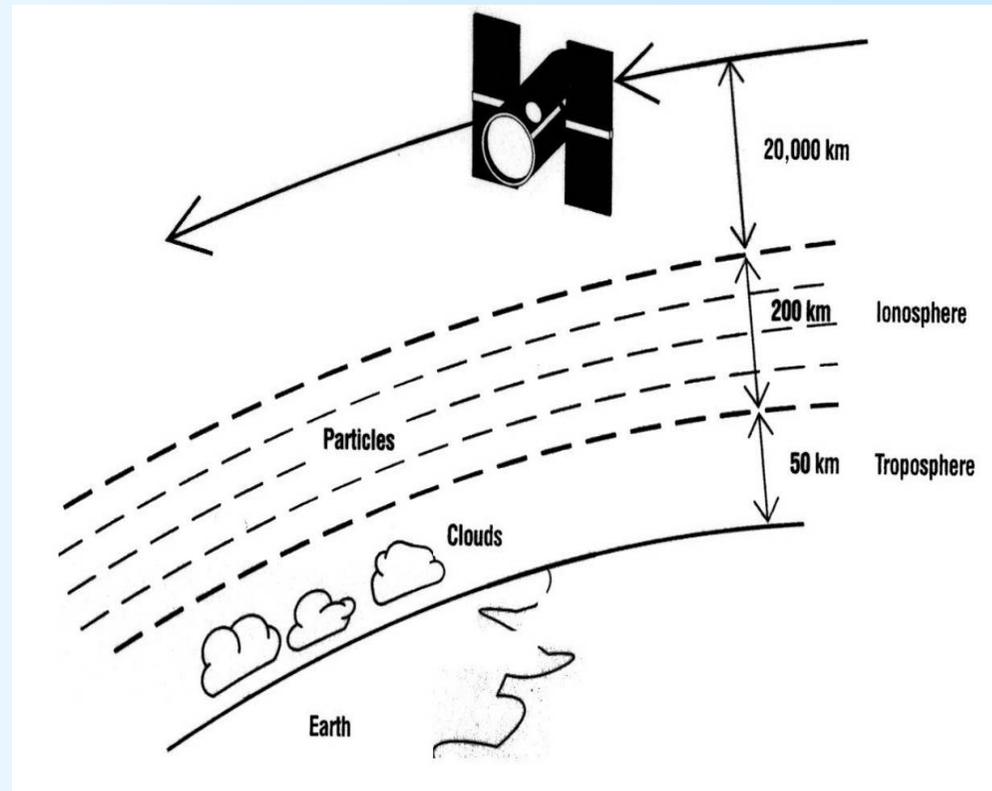


4.5 对GNSS观测量的物理影响

4.5.2 与卫星信号传播有关的误差

卫星信号必须穿过地球的电离层和对流层才能到达地表附近，地表形态也影响了入射到用户接收天线的卫星信号传播路径；

与GNSS信号传播有关的误差主要包括电离层附加延时误差、对流层附加延时误差和多路径误差。



4.5 对GNSS观测量的物理影响

4.5.2 与卫星信号传播有关的误差

1、电离层的附加延时误差

- 由于不同类型的电磁波（群波和纯波）在电离层的折射率不同；
- 不同频率的电磁波（L1和L2）在电离层中传播时的时间也延迟不同，并且与其频率紧密相关；
- 单频率的电磁波通过电离层时，所产生的传播路径延迟与电磁波频率 f 的平方成反比。
- 利用上述特点，把电离层附加延时误差利用双频校正法予以降低或者消除。



4.5 对GNSS观测量的物理影响

4.5.2 与卫星信号传播有关的误差

1、电离层的附加延时误差

考虑到现代化GPS、伽利略、北斗等GNSS都具有三个载波频率，为此可以采用**电离层折射误差高阶项的三频改正方法**。以GPS的L1、L2和L5载波信号为例：

频率或组合	一阶项改正	二阶项改正	三阶项改正
L1	73.8428	0.0818	0.0079
L2	121.61501	0.1729	0.0215
L5	132.4201	0.1964	0.0254
L1/L2组合	0	0.0590	0.0130
L1/L2/L5组合	0	0	0.0054



4.5 对GNSS观测量的物理影响

4.5.2 与卫星信号传播有关的误差

1、电离层的附加延时误差

与上述的纯电磁波性质不同，群波的电离层相位延时恰好相反，所以测码伪距的电离延迟的一阶项改正和二阶项可表示为：

$$I_{1+2}^i = K_1 Ne / f_i^2 + K_2 (H \cos \theta) Ne / f_i^3 = A_1 / f_i^2 + A_2 / f_i^3$$

载波相位测量

$$I_{1+2}^i = -K_1 Ne / f_i^2 - K_2 (H \cos \theta) Ne / f_i^3 = -(A_1 / f_i^2 + A_2 / f_i^3)$$



4.5 对GNSS观测量的物理影响

4.5.2 与卫星信号传播有关的误差

2、对流层的附加延时误差

- 导航定位中的**对流层**一般指**高度在50km以下的未被电离的中性大气层**。
- 由于**80%的延迟发生在对流层**，所以可将信号传播过程中发生在中性大气层的信号延迟统称为**对流层延迟**。
- **对流层延迟**是精密定位中**影响较大的误差源之一**。在天顶方向的延迟误差大约为**2.3m**，在高度角为**10度**时，时延迟误差可达**20m**。



4.5 对GNSS观测量的物理影响

4.5.2 与卫星信号传播有关的误差

2、对流层的附加延时误差

对流层的主要成分是空气和水汽，对流层折射系数不同于真空。**对流层的附加延时与电波频率无关**，因而不能采用双频校正法，**只能采用模型法予以修正**。

一个对流层传播延时的简单模型为：

$$d_{trope} = c\Delta t = \frac{2.4.224}{0.026 + \sin E} \exp(-0.13345H)$$

H为用户海拔高度（km）；**E**为卫星仰角（rad），
该模型可以修正掉对流层误差的**90%**

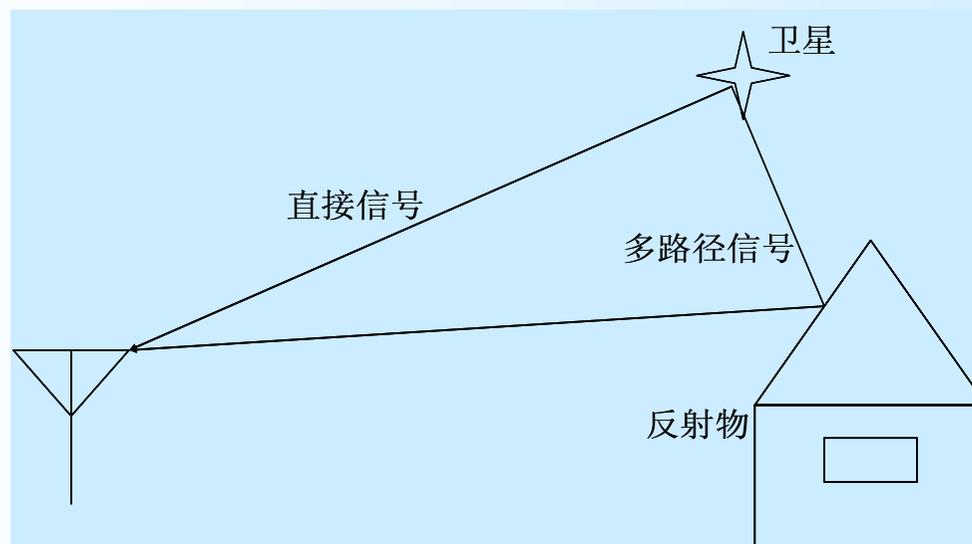
（机遇只偏爱那些有准备的头脑——路易·巴斯德（法））



4.5 对GNSS观测量的物理影响

4.5.3 多路径效应影响

对于GNSS接收机天线在直接收到卫星信号的同时，还可能收到经天线周围地物反射的卫星信号，两种信号叠加就会引起测量参考点(相位中心)的位置发生变化。这种由于多路径的信号传播所引起的干涉时延效应称为多路径效应。



(机遇只偏爱那些有准备的头脑——路易·巴斯德 (法))



4.5 对GNSS观测量的物理影响

4.5.3 多路径效应影响

1. 选择良好的天线场地环境。
2. 采用抗多径天线。
3. 采用较好的信号处理方法。
4. 事后处理观测数据抑制多径误差。

载波相位平滑伪距方法

用半参数模型消除多径误差

基于SNR（信噪比）对载波相位观测值上的多径误差进行消除或改正



4.5 对GNSS观测量的物理影响

4.5.4 与接收设备有关的误差

GNSS的观测量中存在与用户接收设备有关的误差，主要包括观测误差、接收机钟差、天线相位中心误差和载波相位观测的整周不定性影响。

1) 观测误差

- 这类误差，除观测的分辨误差之外，还包括接收机天线相对测站点的安置误差。
- 观测误差属偶然误差，适当地增加观测量将会明显地减弱其影响。



4.5 对GNSS观测量的物理影响

4.5.4 与接收设备有关的误差

2) 接收机误差

- GPS接收机**一般**设有高精度的**石英钟**，其日频率稳定度约为**10-11/日**。
- 当定位精度要求较高时，**可以采用外接高精度频标提高接收机时间标准的精度**，如外接铷、氢等原子钟。

3) 天线相位中心误差和载波相位观测的整周不定性影响

- 在GPS定位的伪距测量中，观测值都是**以接收机天线的相位中心位置为准**的。而天线的**相位中心**与其**几何中心**在实际上是不完全一致，存在**少许偏差**。



4.5 对GNSS观测量的物理影响

4.5.5 其他误差来源

GNSS的观测量除了受到上述的一些误差影响外，还受到一些与特定情况相关联的其他误差的影响。

1) 时钟的相对论效应

- 根据第二章的相对论介绍可知，由于卫星相对于地面在高速运动，因此会产生相应的“钟慢尺缩效应”。
- 为了消除这个影响，可以把卫星钟的标准振荡频率减小，这样加上相对论效应后就和地面原子钟保持的GPS时间大致相同。



4.5 对GNSS观测量的物理影响

4.5.5 其他误差来源

2) 地球自转的影响

- 在地球坐标系中，如果卫星**瞬时位置**是根据信号播发瞬时计算的，那么尚未考虑地球**自转**的改正。因为当卫星信号传播到观测站时候，**卫星和地球之间产生了相对转动**。
- 利用**星历中的卫星位置**就会在GNSS接收机中产生相应的**计算误差**。



4.5 对GNSS观测量的物理影响

4.5.5 其他误差来源

3) 人为或者自然干扰的影响

- 由于GNSS卫星导航系统的工作基础是无线电波，**极容易受到其它电磁波的干扰。**
- 故意人为干扰（如：敌方的干扰设备干扰以及美国军方的SA限制等）、无意的人为干扰（广播、电视等无线电波）、自然效应干扰（如：**太阳剧烈的太阳黑子等活动**）等各种干扰因素使得GNSS的正常信号安全和可靠性受到威胁，所以增强接收机的抗干扰性是提高GNSS性能的一个重要方面。



4.6 观测量的数据组合

4.6 观测量的数据组合

- GNSS观测量包含**测码伪距**、**测相伪距**和**多普勒观测量**。
- 将同一接收机在同一地点测量的GNSS观测量数据进行**融合处理**的方法称为**数据组合**。
- **合适的GNSS观测量数据组合**有利于理解和解决GNSS的相关问题。

下面以**GPS系统观测量为例**进行数据组合的相关分析。



4.6 观测量的数据组合

4.6 观测量的数据组合

GPS系统的观测量包括C/A码、L1波段P1码、测相伪距、多普勒量测值D1；L2波段P2码、测相伪距、多普勒量测值D2；L5波段P5码、测相伪距和多普勒量值D5。

为了简单起见，可以将测码伪距、测相伪距和多普勒观测量分别表示如下：

$$\rho_j(t_r, t_e) = R(t_r, t_e) - (\delta t_r - \delta t_s)c + \delta_{ion}(j) + \delta_{trop} + \delta_{tide} + \delta_{rel} + \varepsilon_c$$

$$\lambda_j \Phi_j(t_r, t_e) = R(t_r, t_e) - (\delta t_r - \delta t_s)c + \lambda_j N_j - \delta_{ion}(j) + \delta_{trop} + \delta_{tide} + \delta_{rel} + \varepsilon_p$$

$$D_j = \frac{dR(t_r, t_e)}{\lambda_j dt} - f_j \frac{d(\delta t_r - \delta t_s)}{dt} + \varepsilon_d$$

$$\rho_j(t_r, t_e) = R(t_r, t_e) - (\delta t_r - \delta t_s)c + \delta_{ion}(j) + \delta_{trop} + \delta_{tide} + \delta_{rel} + \varepsilon_c$$

$$\lambda_j \Phi_j(t_r, t_e) = R(t_r, t_e) - (\delta t_r - \delta t_s)c + \lambda_j N_j - \delta_{ion}(j) + \delta_{trop} + \delta_{tide} + \delta_{rel} + \varepsilon_p$$

$$D_j = \frac{dR(t_r, t_e)}{\lambda_j dt} - f_j \frac{d(\delta t_r - \delta t_s)}{dt} + \varepsilon_d$$

t_e 为卫星发射时间;

t_r 为接收机接收时间;

δt_r 为接收机钟差;

δt_s 为卫星钟差;

j 为频率标号;

ρ_j 为卫星到接收机第 j 个频率信号的测码伪距观测量;

R 为卫星到接收机的真实距离;

c 为光速;

$\delta_{ion}(j) = \frac{A_1}{f_j^2} + \frac{A_2}{f_j^3}$ 为第 j 个频率信号的电离层误差;

δ_{trop} 为对流层误差;

δ_{tide} 为潮汐误差;

δ_{rel} 为相对论效应;

ε_c 为测码伪距群波的残余误差;

λ_j 为第 j 个频率信号的的波长;

Φ_j 为第 j 个频率信号的的测相伪距观测量;

N_j 为第 j 个频率信号的的测相伪距整周模糊度;

ε_p 为测相伪距纯波的残余误差;

D_j 为第 j 个频率信号的的多普勒观测量;

f_j 为第 j 个频率信号的的频率;

ε_d 为多普勒残余误差。

4.6 观测量的数据组合

4.6.3 组合模式在TCAR整周模糊度求解中的应用

- TCAR方法理论上要求观测值含有很小的误差，对观测值的精度要求非常高。且TCAR方法固定整周模糊度的成功率随着观测值噪声的变大而逐渐的降低。
- 真实接收机接收到的伪距和载波相位观测数据不仅还有白噪声，还包括大气层延迟、钟差、多路径效应等多种误差，随着这些误差的加入，TCAR方法的成功率将大大的降低，影响了该方法的性能。LAMBDA法与TCAR法相结合的方案，可以提高TCAR法的解算成功率，但LAMBDA本身需要进行去协相关处理，过程复杂且运算时间较长。近些年，提高TCAR方法模糊度确定的成功率的研究工作称为研究发展的一大趋势。



4.6 观测量的数据组合

4.6.4 组合算法与未组合算法的等价性说明

- 未组合的观测量和组合观测量模式是两种标准的GPS数据处理方法，不同的数据处理方法以及数据组合模式有不同的特点，在不同处理形式下，有利于方便地处理和解决相应的应用问题。
- 对于任意组合，只要转换矩阵可逆，变换后的方程恒等于原方程。可以由代数线性变换理论证明组合观测量与未组合观测量相关算法之间的等价性，无论使用哪种算法其解向量和协方差矩阵都是对应相同的。



4.6 观测量的数据组合

4.6.4 组合算法与未组合算法的等价性说明

- 不同的组合可以**获得更有效、更方便与数据处理的方式**，为此消电离层、消几何距离组合公式能够获得比传统组合性能更好的特性。
- 无论采用何种组合模式，其**获得的解和解的精度都是相同的**，**不可能得到不同解和不同精度的解**，不同组合只能使相关问题更易处理和理解。
- 利用相-码组合模式的宽项整周模糊度确定技术只可能得到更有效的整周模糊度搜索和解算办法，而**不能得到更好或者更高精度的解**。

