

卫星定位基础

马卫华
西北工业大学



提 纲

- 1.1 导航的概念、方法和要求
- 1.2 常用导航定位系统简介
- 1.3 GPS系统的组成和特点
- 1.4 其他的卫星导航系统
- 1.5 卫星导航系统工作原理
- 1.6 卫星导航系统的应用



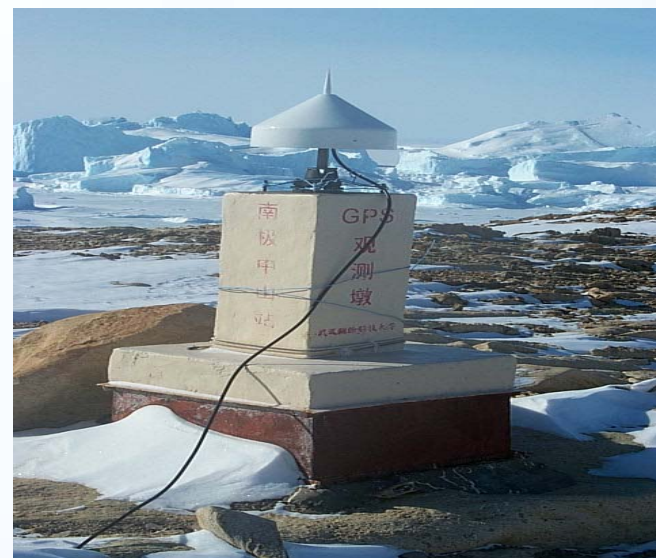
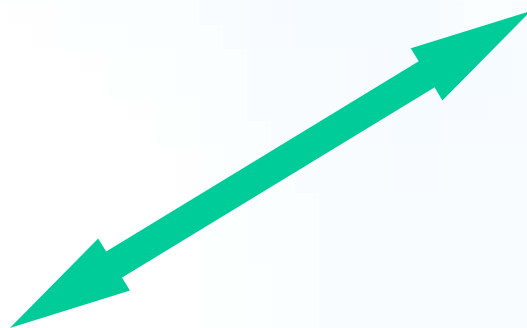
1.1 导航的概念、方法和要求

1.1.1 导航的概念

导航：

将航行体从起始点导引到目的地的技术或方法。为航行体提供实时的位置信息是导航系统的基本任务，因此，导航是一种广义的**动态定位**。

测量：静态定位





西北工业大学

NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



1.1 导航的概念、方法和要求

1.1.1 导航的概念

导航系统：

能够向航行体操纵者或控制系统提供航行体位置、速度、航向等即时运动状态的系统。

狭义导航：提供位置、速度信息

广义导航：提供位置、速度、姿态信息



1.1.2 常用导航方法

目前广泛使用的导航方法有以下几种：航标方法、航位推算法、天文导航、惯性导航、无线电导航、卫星定位导航等。

往往单独一种导航方式无法完成导航要求，现今越来越趋向于使用组合导航，比如GPS/INS就是一种应用非常广泛的组合导航。



航标方法

习惯称之为目视方法，这是一种借助于信标或参照物把运动物体从一个地点引导到另外的一个地点的方法。目前，在飞机进场着陆时，这种方法仍在使用。

方法简单，不需要过多的相关设备；
经验性强，受人为因素影响较大。



西北工业大学

NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



航位推算法

通过推算一系列测量的速度增量来确定位置。航位推算导航技术克服了航标方法的缺点，不受天气、地理条件的限制，是一种自主式导航方法，保密性强。

常说的航位推算大都采用方位仪（如磁罗盘）和速度表，利用方位仪将速度表所测的载体速度分解成东向和北向，然后分别积分，计算出各个方向上所经过的距离。

目前，航位推算法仍广泛使用在航海、航空和车辆自动定位系统中。

克服了航标方法依靠经验的缺点，不受天气、地理条件的限制，是一种自主式导航方法，抗干扰性强。随着时间的推移，其位置累积误差会越来越大。

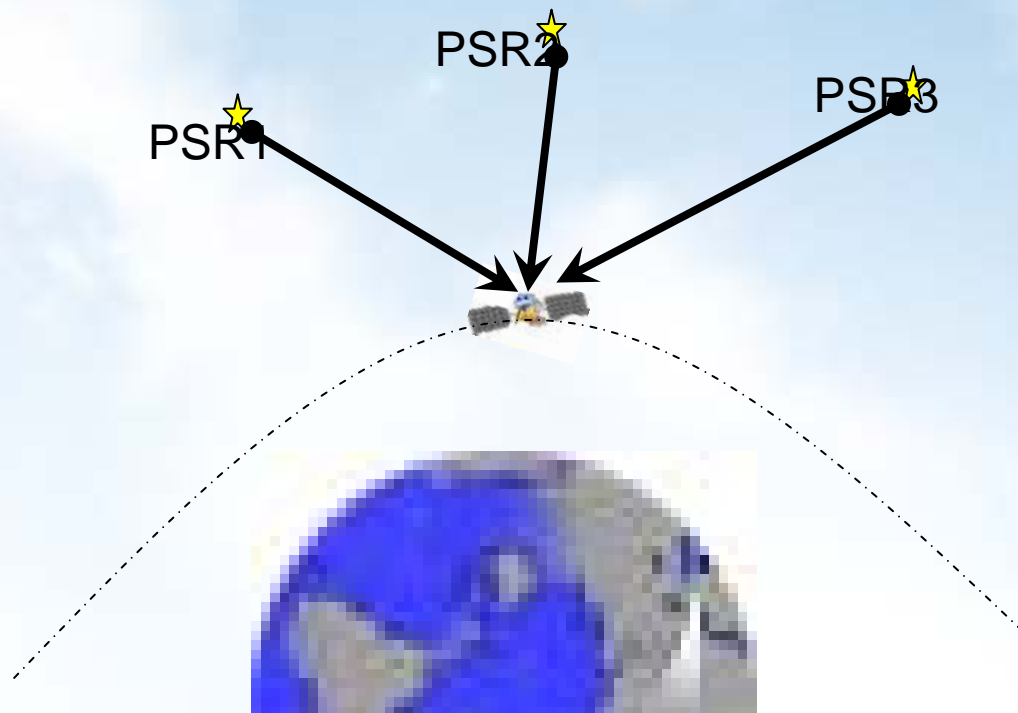
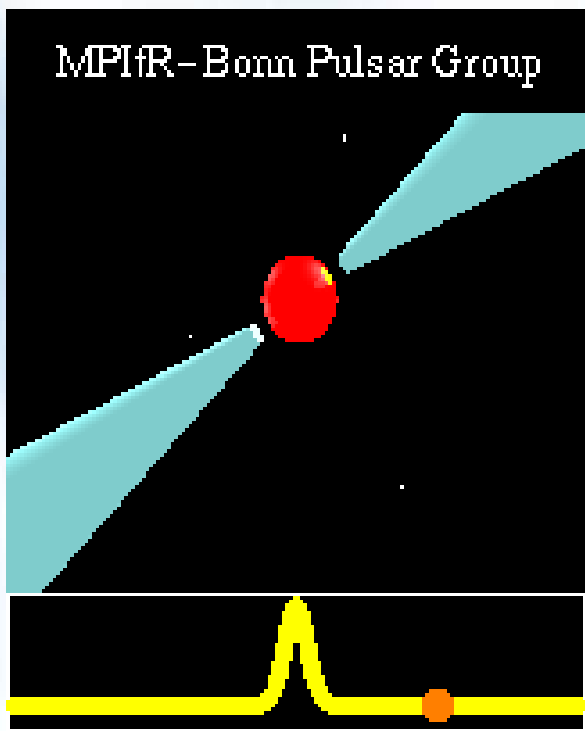


天文导航

1. 通过对天体精确地定时观测来定位的一种方法。
2. 它用（光学）六分仪、星跟踪器等光学传感器测量出视野中天体的方位，再根据当时的时间，确定载体处于空间的某一个圆环上，同时观测两颗或更多天体并进行处理，便可以确定出载体在空间的位置。
3. 目前，天文导航仍广泛用在航海和航天，特别是星际航行中。
4. 缺点：误差累积，受时间和气象条件的限制，定位时间要求长，操作计算比较复杂。适合空间应用。



脉冲星导航原理



星载探测器接收到X射线光子，通过脉冲到达时间测量，到达时间转换修正，与预报时间对比等处理，给出探测器相对于惯性参考点的距离。以**卫星轨道动力学方程**作为系统的状态方程。然后根据X射线脉冲星的测量，建立**TOA量测方程**。利用**卡尔曼滤波器**将探测器状态动力学方程和脉冲距离测量值结合在一起，通过滤波估计方法对系统的状态量进行实时在线估计，从而获得高精度的状态估值。



惯性导航

1. 通过积分安装在稳定平台（物理的或数学的）上的加速度计输出来确定载体的位置和速度。
2. 它完全依靠载体上的导航设备自主地完成导航任务，和外界不发生任何光、电联系，是一种自主式导航方法，隐蔽性好，工作不受气象条件的限制。这一独特的优点，使其成为航空、航海和航天领域中一种广泛使用的主要导航方法。
3. 缺点是导航误差随时间累积。
4. 目前，惯性导航系统常常和其他导航系统组合使用。



惯性导航系统组成和分类

- ✓ 加速度计：用来测量载体运动的加速度；
 - ✓ 陀螺与惯导平台（物理的或数学的）：陀螺与平台模拟一个导航坐标系，给加速度计提供测量坐标基准，并给出载体的姿态和方位信息；
 - ✓ 导航计算机与导航算法和误差补偿算法：导航计算机及导航算法，完成导航参数和指令值的计算；
 - ✓ 控制显示器：给定初始参数及系统需要的其他参数，显示各种导航信息。
- 从惯性器件的安装和结构分：平台式惯导和捷联式惯导。
 - 按采用的陀螺仪的种类分：挠性、激光、光纤、微机械
 - 按采用的导航坐标系分：当地水平惯导系统(指北方位惯导系统；游动方位惯导系统；自由方位惯导系统)；空间稳定惯导系统；采用ECEF作为导航坐标系的惯导系统。



西北工业大学

NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



无线电导航

- 测量信息:

发射台（导航台）到接收机的电波传输时间
无线电信号的相位或相角

- 分类：按照发射机或转发器所在位置

地面（陆）基无线电导航

空间（星）基无线电导航



卫星定位导航

- 支撑技术

上世纪50年代之后，人造卫星技术

- 第一代系统

20世纪60年代美国Transit（子午仪）系统
70年代前苏联建立的Cicada系统。

- 特点

星基无线电导航系统：人造卫星为导航台

军、民领域广泛应用：陆、海、空、天

全天候

提供位/速/姿/时信息



组合导航方法

● 定义

使用两种或两种以上的不同导航系统（或设备）对同一信息源作测量，利用不同导航设备性能上的互补特性，从这些测量值的比较值中提取各系统的误差并校正之，提高整个导航系统性能的方法。

● 要求

导航设备可对同一信息源作测量

导航设备性能互补特性



1.1.3 航行体对导航系统的要求

1. **精度**：导航系统的精度指系统为运载体所提供的位置与运载体当时的真实位置之间的重合度。
2. **可用性与可靠性**：导航系统的可用性是指它为运载体提供可用的导航服务的时间的百分比。导航系统的可靠性是系统在给定的使用条件下在规定的时间内以规定的性能完成其功能的概率。
3. **覆盖范围**：覆盖范围指的是一个面积或立体空间，在这一范围内，导航信号足以使导航设备或操纵人员以规定的精度定出载体的位置。
4. **导航信息更新率**：导航信息更新率是指导航系统在单位时间内提供定位或其他导航数据的次数。



5. **导航信息多值性**：有些导航系统为运载体给出的位置信息可能有多种解释或位置指示发生了重复，这便产生了多值性问题。
6. **系统容量**：系统容量是导航系统提供导航服务的用户数量的多少。
7. **系统完善性**：所谓完善性指的是当导航系统发生任何故障或误差变得超出了允许的范围时，系统发出及时报警的能力。
8. **导航信息的维数**：导航信息维数指的是导航系统为用户所提供的是一维、二维还是三维的运动状态信息。



西北工业大学

NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



1.2 常用导航定位系统简介

二战及战后

陆基无线电导航系统为主的混合体。

60年代以后

自主式导航系统（特别是惯性导航系统和多普勒导航系统）在军事上对陆基无线电导航作了重要的补充。

70年代末：

卫星导航系统为核心，把导航覆盖范围、精度和其他性能提高到一个新的高度。



1.2.1 陆基无线电导航系统

陆基无线电导航系统是以无线电技术为基础的导航台建在地球上的导航系统。

常用的典型陆基无线电导航系统有：

- 塔康-TACAN-TACTical Air Navigation
- 测距器 (DME-Distance Measurement Equipment)
- 伏尔 (VOR – Very-High-Frequency Omnidirectional Ranging)
- 罗兰 (Loran-Long Range Navigation)
- 奥米伽 (Omega)
- 多普勒导航系统



1.2.1 陆基无线电导航系统

• 塔康-TACAN-TACTical Air Navigation

通常由军队使用，作用距离为400~500公里，提供目的地(航母、空军基地等)方位和斜距，测向原理与伏尔导航系统相似，测距原理与测距器相同，是民航用途DME/VOR的军用进阶版

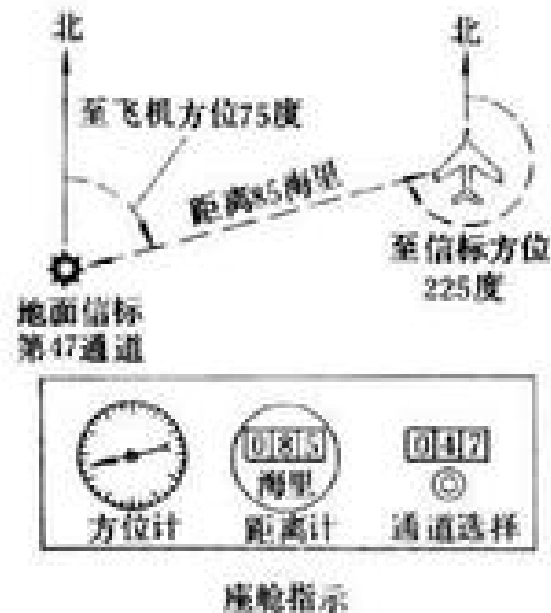
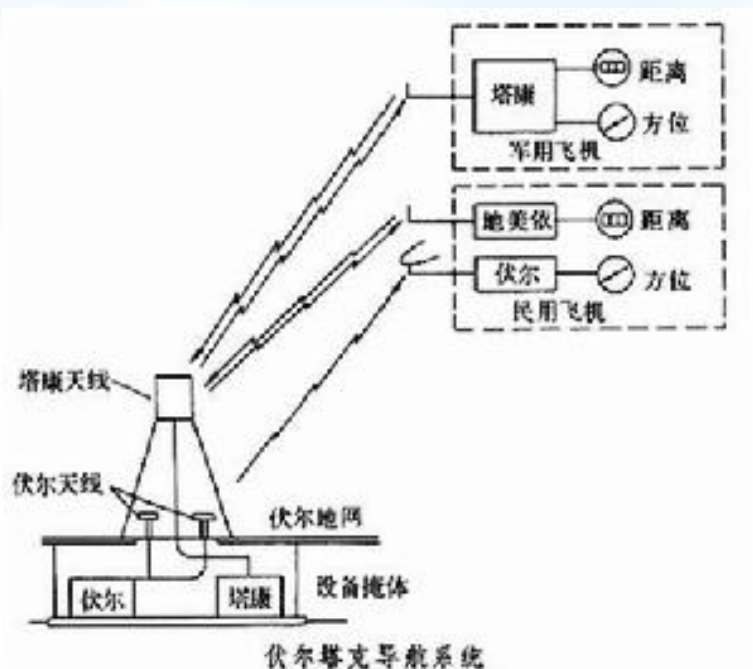
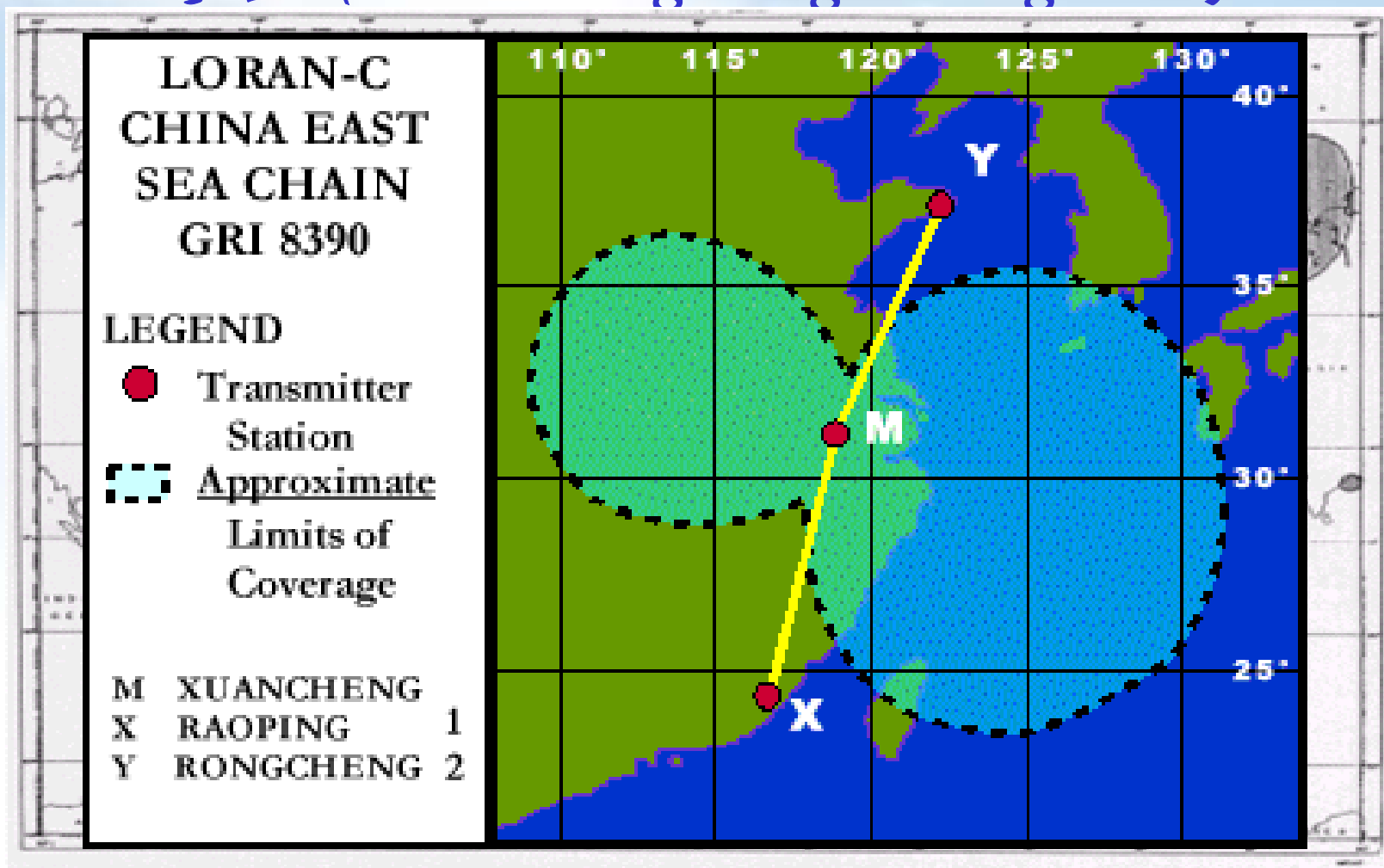


图1 塔康导航系统



1.2.1 陆基无线电导航系统

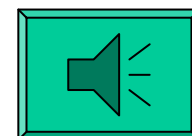
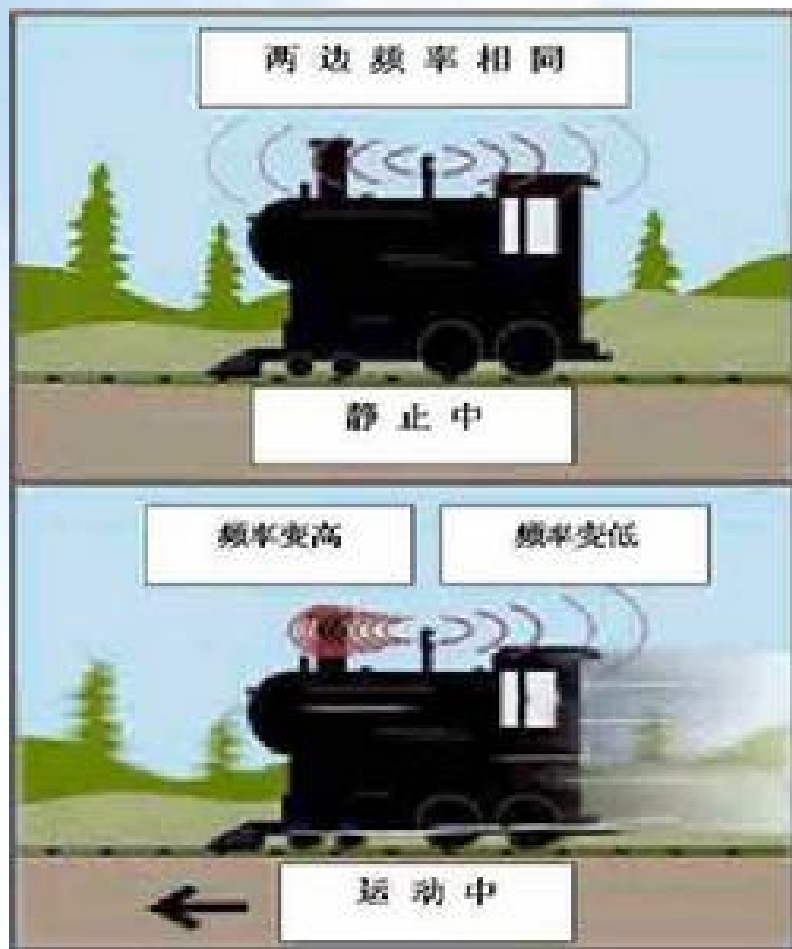
• 罗兰 (Loran-Long Range Navigation)

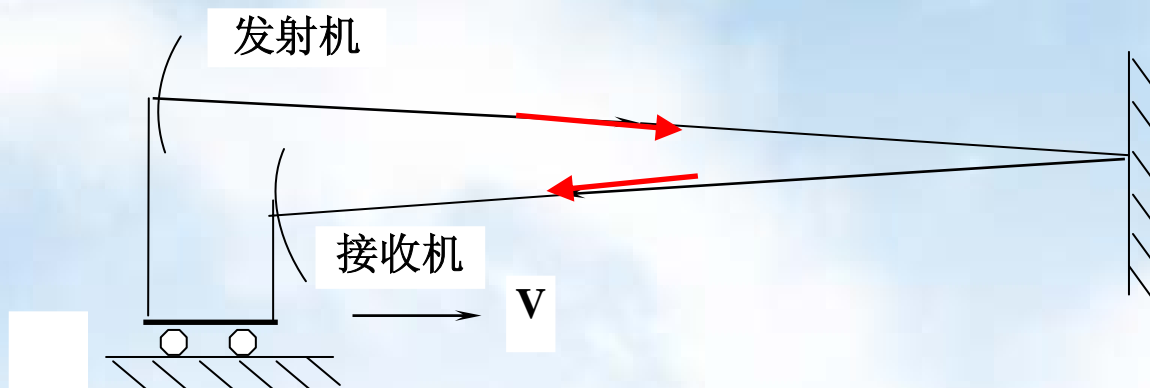




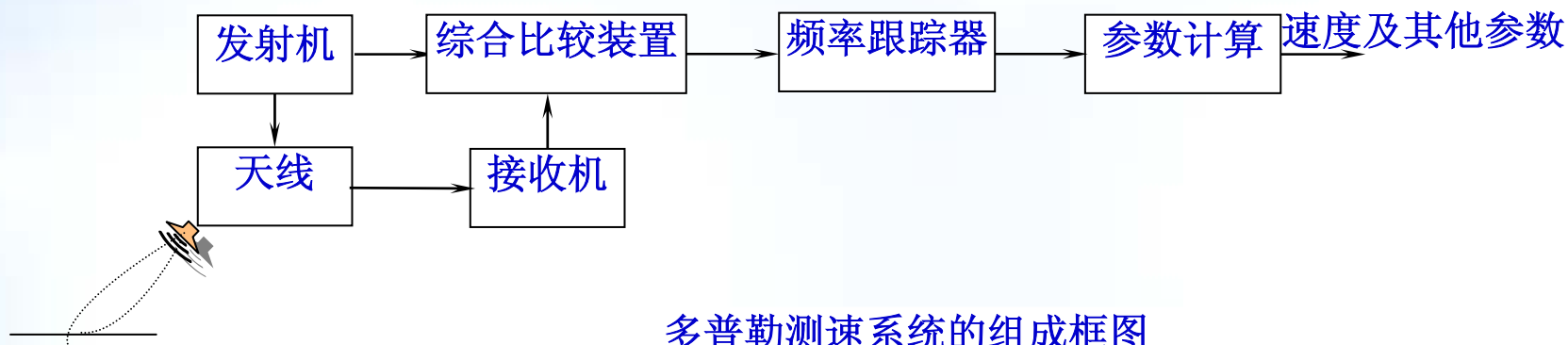
1.2.1 陆基无线电导航系统

• 多普勒导航系统





多普勒频移现象



多普勒测速系统的组成框图



1.2.3 其他典型的导航定位系统

随着科学技术的不断进步，军事战略和战术的变化，导航系统技术也在发生日新月异的变化。还有其它一些导航定位系统也在发挥重要作用。

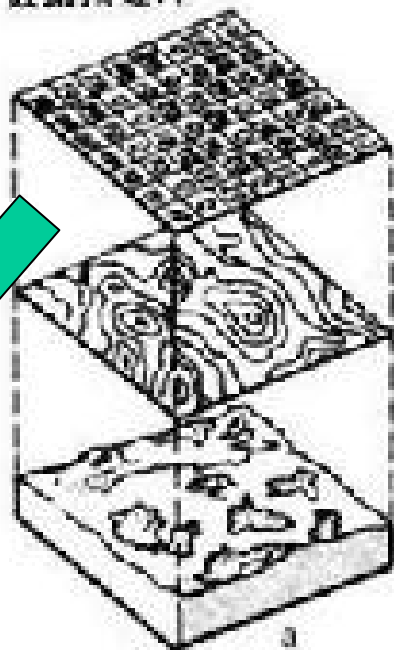
如：

- 惯性导航系统(Inertial Navigation System)
- 组合导航系统(Integrated Navigation System)
- 地形辅助导航系统(Terrain Aided Navigation System)
- 联合战术信息分发系统
- 定位报告系统。

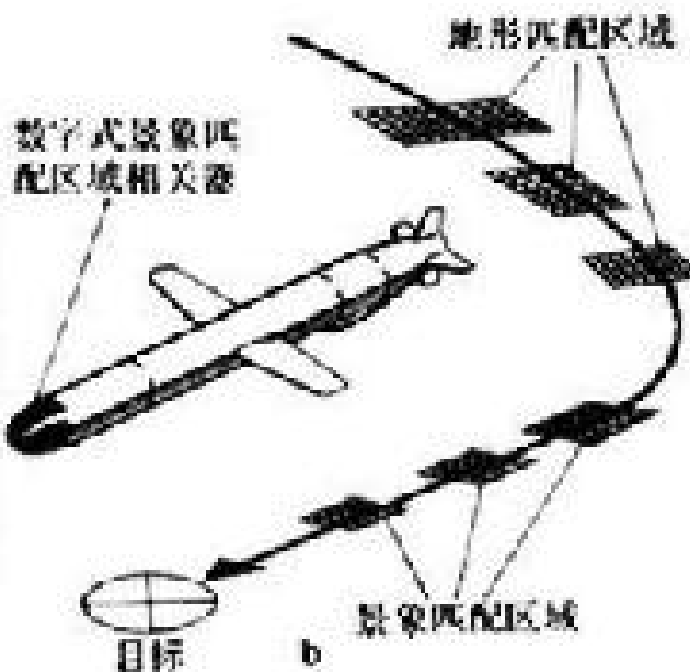


地形辅助导航系统

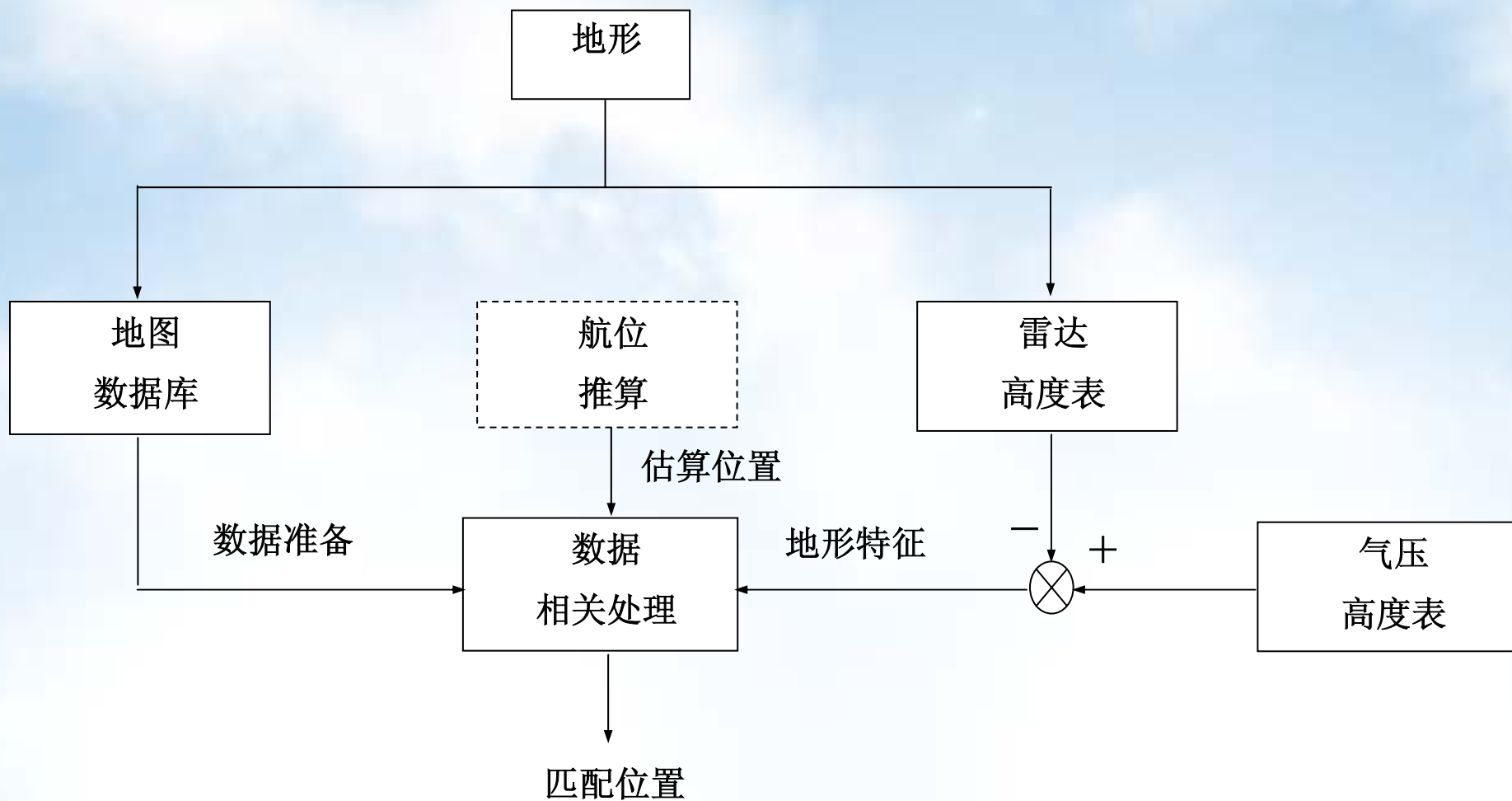
数据预处理



170	238	85	255	221	0
68	136	17	170	119	68
221	0	238	136	0	255
119	255	85	170	136	238
238	17	221	68	119	255
85	170	119	221	17	136



图像匹配制导原理示意图





1.2.2 卫星定位导航系统

随着卫星导航应用的普及，整个世界都在规划和关注未来导航卫星系统的发展。一个美俄联合体，一个包括欧洲、日本及发展中国家参与的世界卫星导航网络将会出现。

以下是几种常用的卫星定位导航系统：

- GPS (Global Positioning System)
- GLONASS (GLObal NAvigation Satellite System)
- 欧洲静止导航覆盖系统 (EGNOS)
- “北斗”双星定位导航通信系统
- Galileo Navigation Satellite System)
- INMARSAT系统



1.3 GPS系统的组成和特点

1.3.1 GPS系统的组成

GPS系统由三大部分组成：空间部分—GPS卫星星座；地面监控部分—运行控制系统；用户部分—GPS信号接收机。下面分别进行介绍。

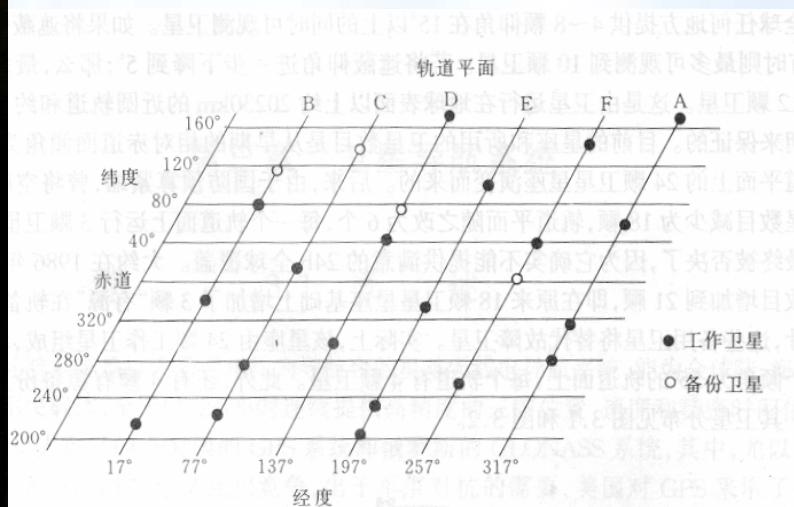


GPS系统的组成



1) 空间部分

空间部分由高度为20230km的21颗工作卫星和3颗在轨热备份卫星组成卫星星座。卫星分布在6个等间隔的、倾角为 55° 的近圆轨道上，运行周期为11h58min。其卫星分布见图。



GPS卫星星座的分布



2) 地面监控部分

地面控制部分由一个主控站、三个注入站和五个监测站组成。主要任务是：跟踪所有的卫星以进行轨道和时钟测定、预测修正模型参数、卫星时间同步和为卫星加载导航电文等。

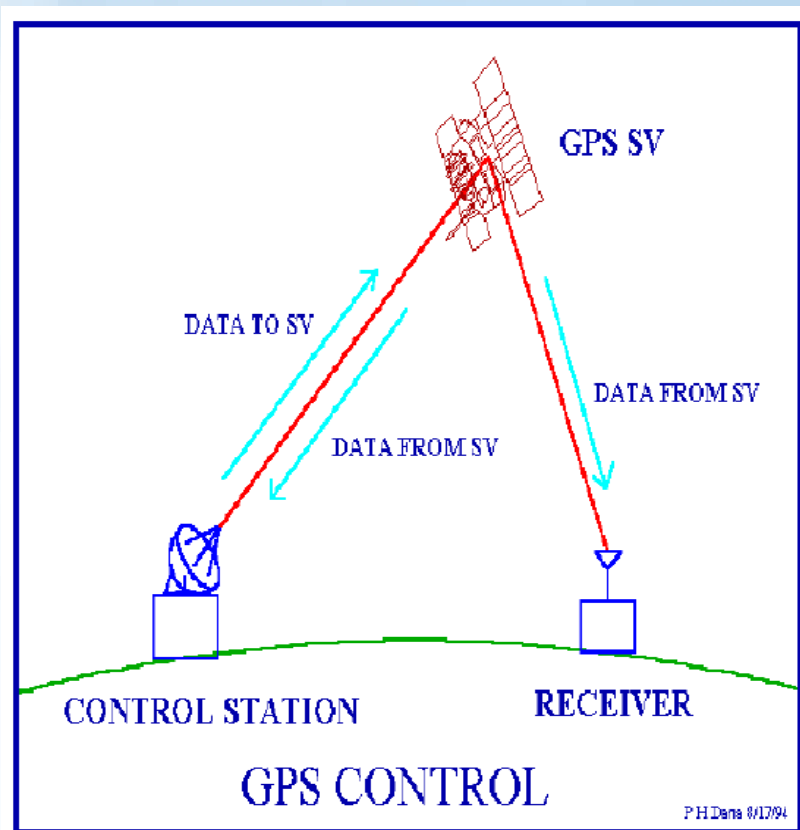


Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

部分地面站点



在导航定位中，首先必须知道卫星的位置。而位置是由卫星星历计算出来的。地面监控系统测量和计算每颗卫星的星历，编辑成电文发送给卫星，然后由卫星实时地播送给用户。这就是卫星提供的广播星历。

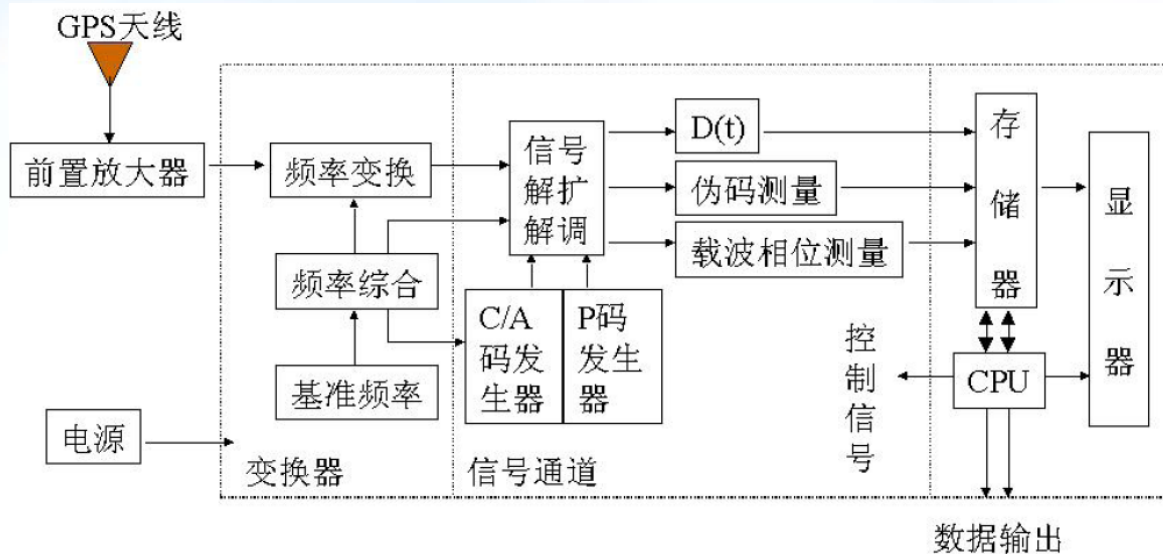


地面监控系统工作流程



3) 用户部分

用户部分主要是各种类型的GPS接收机。接收机的主要功能是：接收卫星发播的信号并利用本机产生的伪随机码取得距离观测值和导航电文；根据导航电文提供的卫星位置和钟差改正信息；计算接收机的位置。其主要结构框架（单频接收机）如图所示。



地面接收机结构框图



1.4 其他的卫星导航系统

GLONASS 系统

- 国籍

苏联研制/俄罗斯完善

- 组网

满星座24颗卫星

13年，1982年10月12日-1996年1月18日

- 导航信息

全球/全天候/实时/三维位置/速度和时间信息



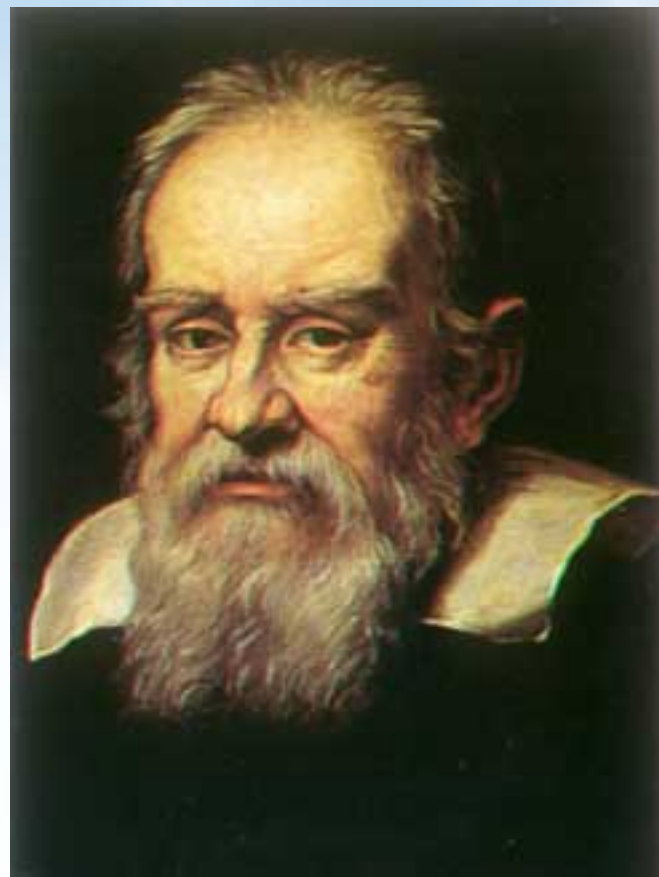
GPS、GLONASS参数比较

参 数	GLONASS	GPS
卫星数 (颗)	24+3	24+3
轨道平面数 (个)	3	6
轨道倾角 (度)	64.8	55
轨道高度 (km)	19100	20230
轨道周期	11h15m	11h58m
星历数据表示方法	卫星在地心坐标系运动的 9 个参数	卫星轨道的开普勒根数
大地坐标系	PE-90	WGS-84
卫星信号分隔法	频分	码分
L1 波段频率 (MHz)	1602.5625~1615.5	1575.42
L2 波段频率 (MHz)	1246.4375~1256.5	1227.6
码元数 (位)	511	1023
码元率 (MHz)	0.511	1.023



Galileo 系统

- 启动 2002年3月26日
- 星座初步设计参数
 - 30颗、高度地面23000km
 - 倾角为 $55^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 、3轨道面
- 系统建成后提供多种服务模式
 - 一般目的服务（免费）
 - 商业服务（付费增值服务）
 - 公共事业服务（安全、完好）
- 实施阶段
 - 2001~2005年为研究开发与在轨验证阶段
 - 2006~2007年为星座部署阶段
 - 2008年后投入使用





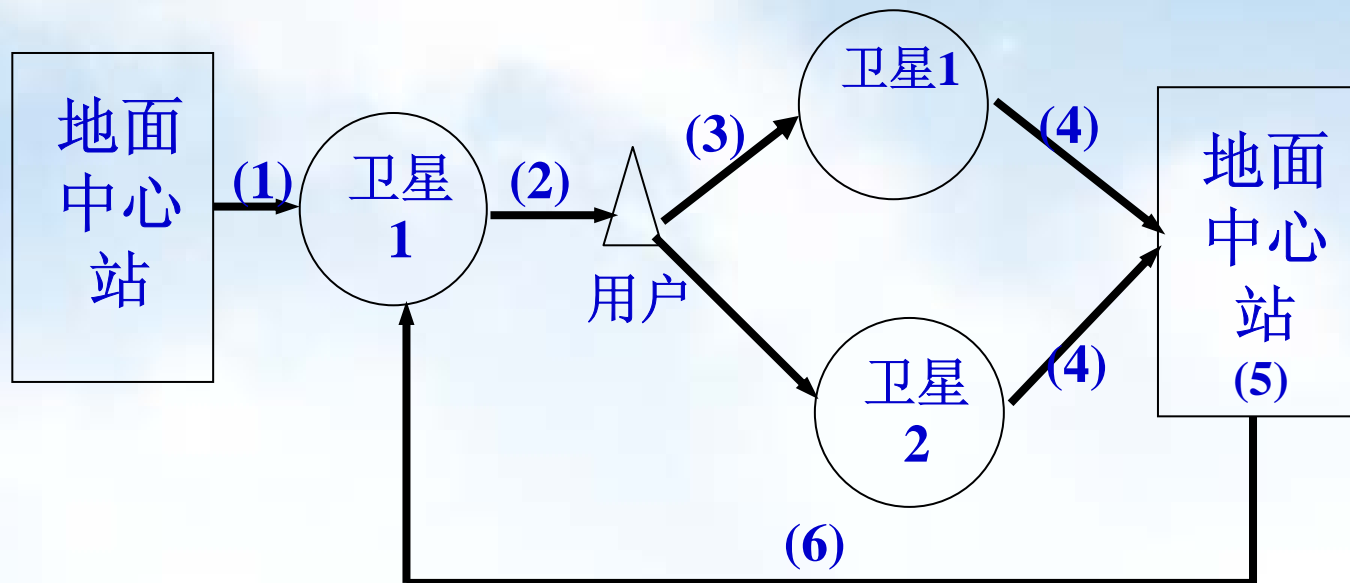
印度IRNSS

日本区域导航计划





双静止卫星定位系统



典型系统： 美国GEOSTAR、欧洲LOCSTAR
中国“北斗”

“北斗”系统： 兼有报文通信和授时定时功能
有源全天候高精度区域性卫星导航定位系统



西北工业大学
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



北斗二代系统





西北工业大学
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY





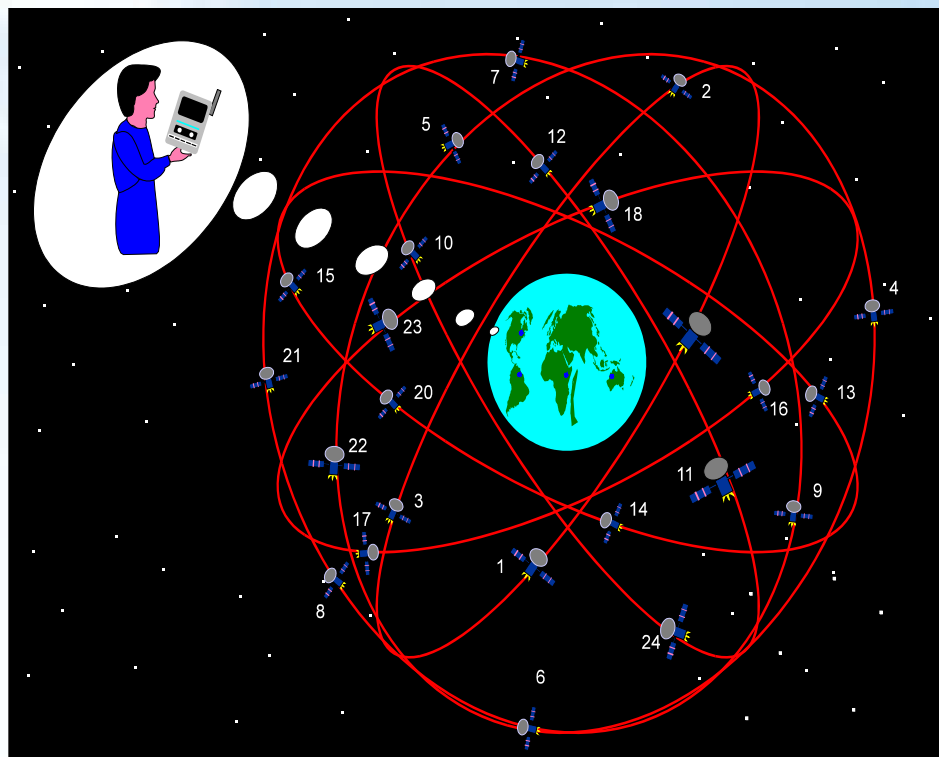
西北工业大学

NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



卫星导航系统的特点

1. 全球覆盖
2. 全天候
3. 高精度
4. 多用途





卫星导航的弱点——易受干扰

1. 采用无线电定位，其致命弱点就是容易遭受电磁波干扰。
2. 卫星的信号发射功率电平较低，到达地面以后信号强度非常弱，小功率的电磁波干扰即可对卫星导航接收机构成足够的威胁。



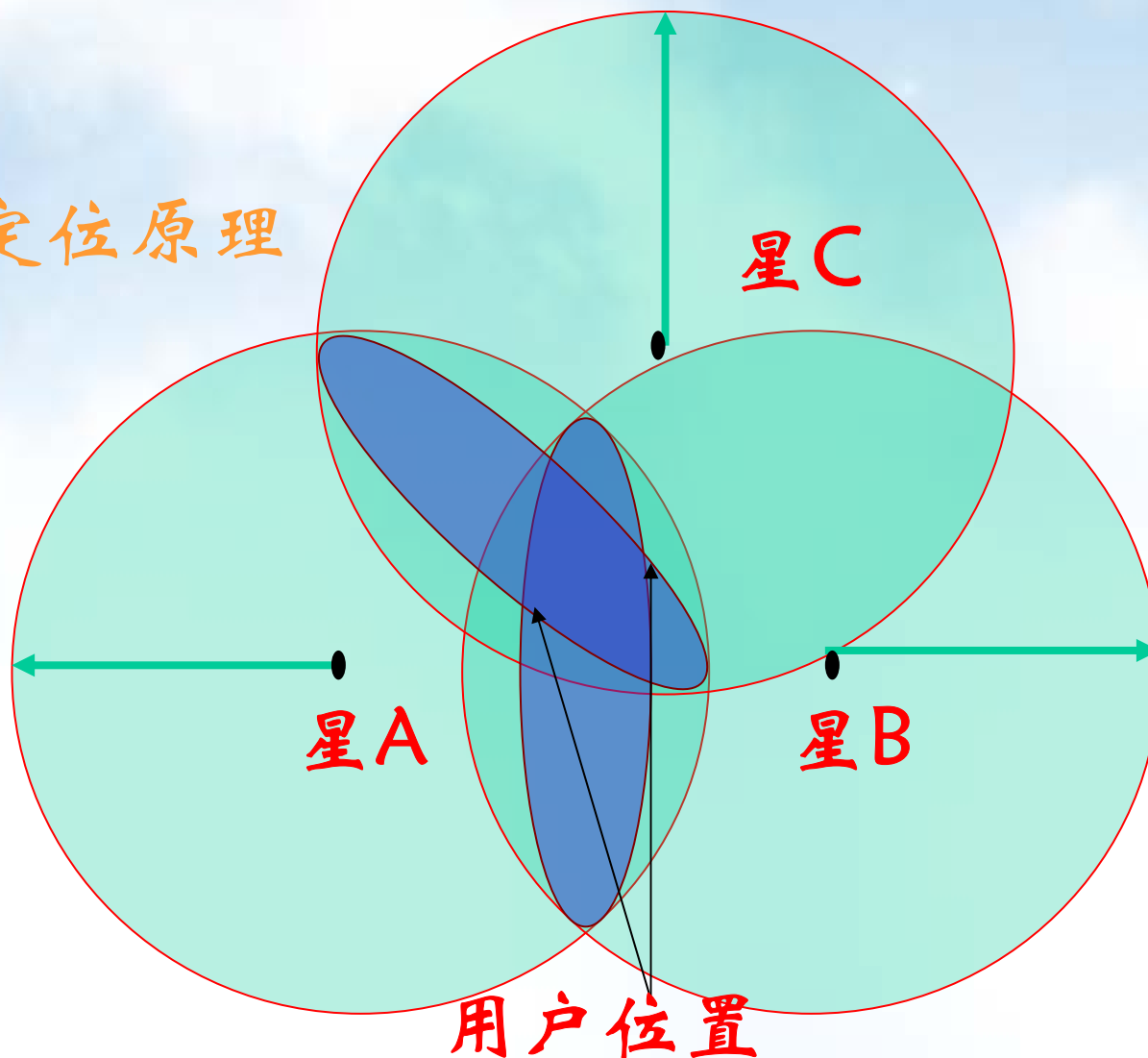
西北工业大学

NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



1.5 GPS系统的定位原理

三球定位原理





1.5 GPS系统的定位原理

GPS系统定位的代数原理是：用户接收机与卫星之间的距离为

$$R = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} \quad (1-1)$$

式中，R为卫星与接收机之间的距离； x_1, y_1, z_1 表示卫星位置的三维坐标值； x, y, z 表示用户（接收机）位置的三维坐标值；其中R, x_1, y_1, z_1 是已知量， x, y, z 是未知量。

如果接收机能测出距三颗卫星的距离，便有三个这样的方程式，把这三个方程式联立起来，便能解出接收机的 x, y 和 z 这三个未知数，从而定出用户（接收机）的位置。



实际上，用户接收机一般不可能有十分准确的时钟，它们也不与卫星钟准确同步，计算得到的距离也不是用户接收机和卫星之间的真实距离，这种距离叫做伪距。

假设用户接收机在接收卫星信号的瞬间，接收机的时钟与卫星导航系统所用时钟的时间差为，则公式 (1-1) 将改写成

$$R = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} + c \cdot \Delta t \quad (1-2)$$

式中， c 是电波传播速度（光速）；

只要接收机能测出距四颗卫星的伪距，便有四个这样的方程，把它们联立起来，便可以解出四个未知量 x 、 y 、 z 和，即能求出接收机的位置和时间。



1.6 GPS应用综述

民用航空

飞机进场着陆

航天

绝对飞行：定位、测速、授时

交汇对接：相对定位

伴随绕飞：相对姿态

航海和海洋工程

舰艇导航、舰载机导引

船只定位、海洋测量、海港领航等



西北工业大学
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY

