

全球卫星定位系统的 物理基础及应用前景

郑民伟 梅 滨

全球卫星定位系统 (GLOBAL POSITIONING SYSTEM), 简称 GPS, 它是利用多颗低轨道卫星实现全球导航定位的系统, 是目前世界上定位精度最高的一种系统, 属高新科技。它可以

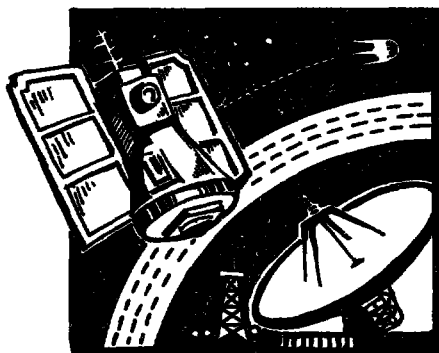
直接测定地球表面上任一点的三维坐标 (经度、纬度、高度)、能高精度、高速度、全天候地为陆上、海上、空中、空间的

一、GPS系统的组成

GPS 系统是由 3 个独立的部分组成的, 即空间部分、地面监控部分和用户接收部分, 见图 1。

1. 空间部分

由运行在低轨道上的 24 颗卫星 (其中 21



颗为工作卫星、3 颗为备用卫星) 组成, 卫星分布在 6 个等间隔的轨道平面上, 每个轨道平面上分布 4 颗卫星, 轨道平面相对于地球赤道面的倾角为 55° , 轨道半径约为 26560km, 轨道平均高度为 20200km, 卫星运行周期约 11h 58min, 每颗卫星绕地球运行 2 圈时, 地球正好自转一

周, 并且卫星可见范围即地心角 θ 为 152° , 这样在地球上任何地方, 至少同时可观测 4 颗卫星。

卫星可见的范围是指卫星从地平面升起至没入地平面为止, 如图 2, R 为地球半径, h 为卫星距地面的高度, 若用该区域地心角 θ 表示可以计算出 $\theta = 152^\circ$, 公式如下:

$$\theta/2 = \arccos(R/R+h)$$

另外为了保证轨道卫星正常高效工作, 地面上预备有卫星, 一旦轨道卫星出现故障且难以修复, 地面上的卫星便被发射升空, 来取代这颗有故障的卫星。

卫星上装备有接收机、发射机、原子钟、导航电文存储器、伪码发生器等。卫星的基本功能是接收和储存地面站发来的导航信息、执行地面站发来的控制指令并进行部分

必要的数据处理、向用户发送导航与定位信息、受地面站遥控使卫星保持在预定轨道稳定运

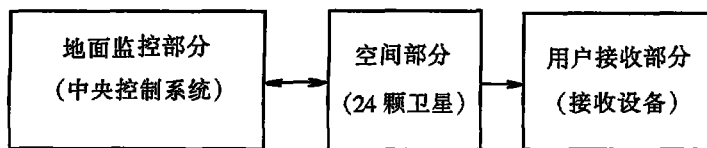


图 1

郑民伟 广州航海高等专科学校 510725

梅 滨 山西教育学院物理系 太原 030031

行.为了校正电离层产生的延迟误差,卫星发射两种频率信号即 $f_{L1} = 1575.42\text{MHz}$ 和 $f_{L2} = 1227.60\text{MHz}$.

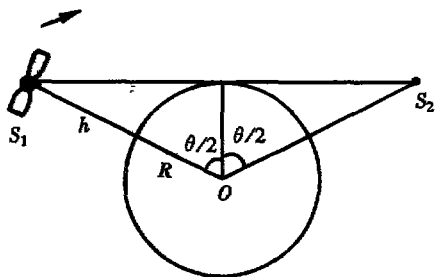


图 2

2. 地面监控部分

包括主控站、监测站和注入站.

主控站的主要任务是控制整个地面站组的工作,提供 GPS 系统精密时钟基准,使监测站和卫星的原子钟都与主控站的原子钟同步或把测得钟差编入导航电文送到注入站;搜集各监测站对 GPS 卫星的全部观测数据,推算编制每颗 GPS 卫星的轨道和卫星钟差以及大气层的修正参数,并按一定格式转化为导航电文,然后送到注入站,调整偏离轨道的卫星使之按设定轨道运作,另外启用备用卫星,取代失效的卫星.

监测站的主要任务是收集卫星播发的导航信息,并对卫星连续观测以及收集当地的气象数据,然后送往主控站.它设有双频 GPS 接收机、高精度原子钟、计算机和气象数据的传感器等设备.

注入站的主要任务是在主控站的控制下,将主控站编制的导航信息和时钟差等注入给卫星,并监测注入卫星的信息是否正确.它由天线、发射机和计算机等设备组成.

3. 用户接收部分

主要任务是接收 GPS 卫星发射的信号,并将信号进行数据处理,来完成导航和定位工作.它主要由 GPS 接收机(包括天线、主机和电源)、微处理机、数据处理软件以及终端设备等组成.

与此同时俄罗斯研制的 GLONASS(全球

卫星导航系统)已于 1996 年投入运行,与 GPS 系统有所不同的是它的 24 颗卫星(其中 3 颗为备用)使用 3 个轨道平面,每个轨道平面分布 8 颗卫星,轨道倾角 64.8° ,高度 19100km ,运行周期为 $11\text{h } 15\text{min}$,轨道半径 255110km ,并且各卫星发射频率不同,其第 i 颗卫星发射的两个频率为 $f_{L1}^i = (1602.0000 + 0.5625i) \text{MHz}$, $f_{L2}^i = (1246.0000 + 0.4375i) \text{MHz}$, ($1 < i < 24$).若把两种系统的卫星组合进行定位,那么精度将比单一系统要高.

二、GPS 系统的定位原理

GPS 用户设备接收卫星发送的信号,如果用户接收机时钟与卫星同步,那么用户到卫星的距离为真实距离用 R_i 表示,实际中两时钟很难同步,这样就采用 GPS 系统标准时间,所测得的距离用伪距离 \bar{R}_i 表示,可以计算

$$\bar{R}_i = R_i + C\Delta t_A + C(\Delta t_u - \Delta t_s)$$

式中 C 为电波传播速度; Δt_A 为第 i 颗卫星传播中产生的延迟误差; Δt_u 为用户接收机时钟与 GPS 系统的时间偏差; Δt_s 为第 i 颗卫星钟与 GPS 系统的时间偏差.

如图 3,选取地心 O 为原点建立坐标系,卫星的坐标 $S_i(X_s, Y_s, Z_s)$, GPS 接收机位于 $P(X, Y, Z)$ 处,那么上式可写为:

$$\bar{R}_i = \sqrt{(X_s - X)^2 + (Y_s - Y)^2 + (Z_s - Z)^2} + C\Delta t_A + C(\Delta t_u - \Delta t_s). \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

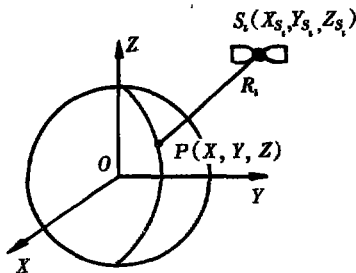


图 3

对 4 颗卫星观测,就有 4 个方程,式中卫星位置坐标 (X_s, Y_s, Z_s) 和卫星钟偏差 Δt_s 可由卫星导航电文计算获得,传播延迟偏差 Δt_A 可由导航电文提供的校正参数,根据延迟模型估算得到;伪距 \bar{R}_i 可由接收机测伪随机码得到.

这样式中就有接收机位置(X, Y, Z)和接收机时钟偏差 Δt_r 共4个未知量. 利用4个方程就可解出接收机三维位置(经度、纬度和高度)和用户接收机的时钟偏差. 对于陆上和海上二维位置(经度和纬度)来说, 只要观测3颗卫星就可以.

三、GPS系统的应用前景

GPS系统能在全世界范围内连续提供高精度的位置、速度和时间信息, 对导航定位、海上和空中交通管制、精密授时以及军事活动等都具有重要意义. GPS系统单点实时定位精度可达10米, 测速精度为0.1m/s, 测时精度约为0.1 μ s. 从陆上、海上到空中, 从军用到民用, GPS系统都能广泛应用, 并能带来显著的经济效益. 以远洋运输业为例. 据美国航空航天局的估算, 船只用上GPS系统能选择最佳最短的航线, 可节省1%的燃料消耗, 加之导航系统取代天文导航, 又可节省1%的时间, 仅此两项, 便可使远洋运输每年多盈利1.5亿美元, 而且还可保证船只的安全航行. 当前GPS接收机销售很可观, 据统计1997年全球GPS接收机销售已达10亿台, 这仅仅是在航空、航海和陆地的某些方面.

在陆地上GPS系统与其他系统联网可用于进行交通管理、救护车急救、银行送钞车监测、出租车的导航和监控以及紧急状态的处理等等. 铺设管道电缆、修筑公路、铁路, 利用GPS技术可达到质量高、费用低. 目前有些火

车上已安装了GPS接收机, 火车司机随时可得到高精度的位置、速度和前方的信息; 铁路控制中心的及时指挥, 使火车实现低耗、高速、安全、正点. 另外也可用于发展旅游、探险、狩猎等方面.

在海上船舶利用GPS测得的信息绘制在电子海图上, 可使驾驶员知道船只行驶的方位、速度和航迹, 一目了然, 并且可防止碰撞事故的发生. 在海洋资源勘探方面GPS技术与探测仪结合, 把海底深处的面貌直接精确地显示在液晶屏上, 为进一步认识海底, 开发海洋资源提供依据.

GPS系统在空中作为导航系统, 可为空中交通管制、飞机稳定飞行和安全起降, 为空中领域能容纳更多的安全飞行, 带来可靠的保障. 目前国际民航组织(IAO)已考虑全球导航卫星系统以GPS卫星技术为基础. 在空间方面, 运用GPS系统可使各种航天器精确导航与定位, 可引导弹道导弹准确击中目标. 比如以美国为首的北约, 为了推行强权政治, 1999年对南斯拉夫联盟共和国的空袭就采用了GPS技术, 致使大量人员伤亡, 受到爱好和平人们的严厉谴责.

总之GPS系统的应用领域越来越广, 在国民经济建设中起的作用也越来越大, 随着科技的发展, GPS技术在不断完善, 现已成为各国研究和关注的热点.

《现代物理知识》2000年增刊即将出版

为了普及科学技术知识, 同时为了配合全国高等和专科院校理工科物理教学的现代化建设, 本刊曾于1994年和1996年出版了以“教学现代化”为中心内容的两期增刊并获得了读者的好评. 值此世纪之交, 不少人寄来书信和稿件, 恳切希望本刊继续出版这样的增刊. 因此, 根据京新出报刊增字第029号, 本刊即将在2000年5月出版以“现代物理知识与教学现代化”为主题的增刊.

这次增刊收纳的文稿, 除了正刊几个固定

栏目涉及的内容外, 主要增加理工科物理教学内容和教学手段现代化等方面的篇幅. 此外还特设“科学随笔”栏目, 为科技和教育工作者及物理学爱好者提供一块难得的园地, 以抒发科学情怀、畅谈研习科学、欣赏科学的感受, 以及介绍能展现科学风采的趣闻轶事.

2000年增刊为16开本, 彩色四封, 每册10元(含邮资). 欢迎广大读者向本刊编辑部订购.