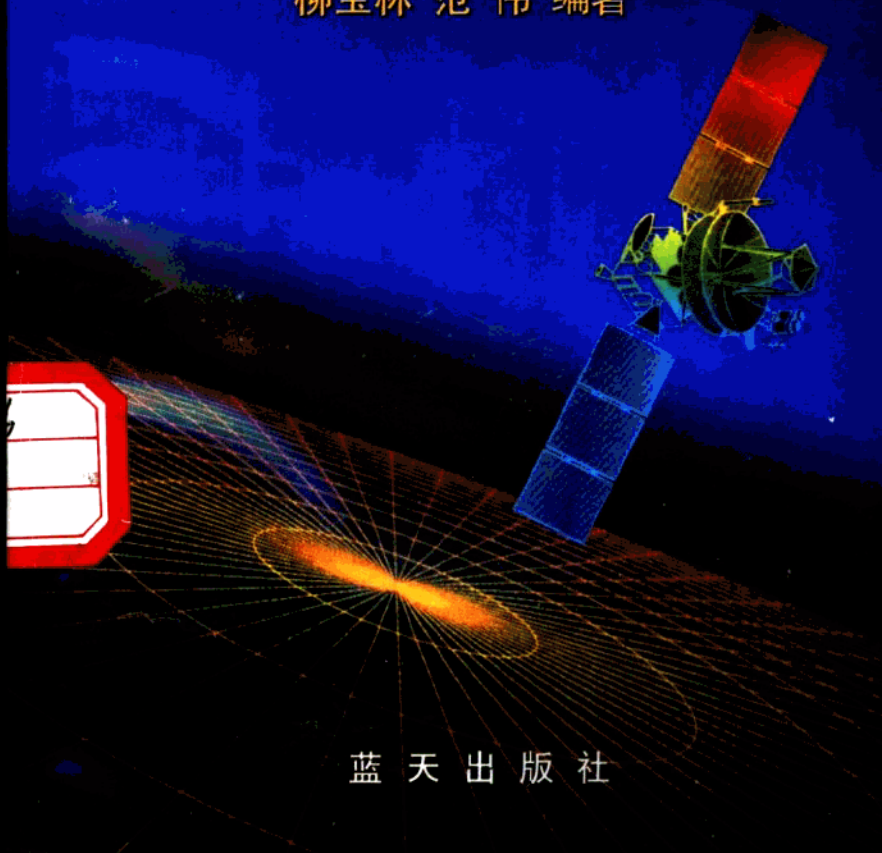


战场定位的天神 —GPS 的军事应用

柳宝林 范 伟 编著



蓝 天 出 版 社

前 言

精确导航定位是军事斗争的需要,世界各国军队都为此进行了多年的研究,并出现过几代导航定位系统,精确度也越来越高。但随着武器装备的不断发展,特别是导弹在军事斗争中的广泛应用,对导航定位的精确度提出了更高的要求,原来的导航定位系统已不能满足需要,于是一种高精度的导航系统——导航星全球定位系统(GPS)问世了,它一经应用,就显示出强大的优势,特别是它在海湾战争中显示的威力,震惊了世界各国军队。有人将GPS的出现称之为导航定位的一次革命,因为它把导航定位精度提高了许多倍。有理由相信,GPS在军事上的应用,就如同指挥自动化在军事上的应用一样,将成为一种强大的趋势,不可阻挡。

本书主要是为军事指挥员了解GPS而编写的,全书共分为六章,第一章,概论;第二章,GPS系统组成和工作原理;第三章,GPS用户设备与军事应用;第四章,差分GPS与军事应用;第五章,GPS与其他导航系统的结合使用;第六章,GPS对未来作战的影响。阅读本书可以了解GPS的概况及其应用情况,开拓视野,引发思考,由于编者水平有限,疏漏,不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1997年12月8日

目 录

第一章	概论	(1)
第一节	卫星导航的由来	(1)
第二节	GPS 的产生过程	(3)
第二章	GPS 系统组成和工作原理	(8)
第一节	系统组成	(8)
第二节	工作原理	(11)
第三节	卫星发送的信息	(14)
第四节	伪码扩频与相关接收	(16)
第五节	采用伪码扩频技术的优点	(21)
第三章	GPS 用户设备与军事应用	(22)
第一节	用户设备的组成及其特点	(22)
第二节	用户设备的工作过程	(24)
第三节	GPS 导航仪	(29)
第四节	GPS 用户设备应用介绍	(35)
第五节	GPS 信号的数据传输	(43)
第四章	差分 GPS 与军事应用	(57)
第一节	单个基准站的差分 GPS	(57)
第二节	广域差分 GPS	(61)
第三节	差分单基站 GPS 用于飞机着陆	(64)
第四节	差分 GPS 在舰船进出港中的应用	

		(66)
第五节	差分 GPS 在水下测绘中的应用	(68)
第六节	差分 GPS 在航空摄影中的应用	(70)
第七节	差分 GPS 在车、船、机定位和指挥 调度中的应用	(71)
第五章	GPS 与其他导航系统的结合使用	(75)
第一节	GPS 的可用性限制	(75)
第二节	INS/GPS 组合导航系统.....	(77)
第三节	GPS/多卜勒、奥米加、罗兰 C 组合 导航系统	(81)
第四节	GPS/GLONASS 组合导航系统	(94)
第六章	GPS 对未来作战的影响	(95)
第一节	进一步提高精确制导武器的打击 精度	(95)
第二节	进一步增强了进攻的突然性	(98)
第三节	进一步提高了军队指挥的速度	(100)
第四节	进一步提高部队作战的协同能力	(101)

第一章 概 论

导航星全球定位系统(Navigation Satellite Timing And Ranging—Global Positioning System)简称 GPS,是 70 年代初随着人造卫星、微电子和计算机技术的发展而兴起的新一代卫星无线电导航系统。使用 GPS 接收机,可以在任何时刻、任何地方、任何气象条件下,得到高精度的位置坐标信息,因此被广泛认为是最有发展前景的导航定位系统。

第一节 卫星导航的由来

数千年前,当人类离开所处的环境有目的地进行探险时,某些定位的方法就已使用。所谓定位,就是指确定运动体相对于地球表面的地理位置。虽然,要确切地说明人类是何时开始使用定位手段将自己引导到目的地的,还有待于考证,但是,我们可以确知,那时的人们是通过观察太阳和北极星来确定自己的位置和方向的。这种方法简便易行,但必需在天气晴朗时才可行,如果是阴雨天,位置的确定就很困难了。

后来,我们中国人发明了磁罗盘,解决了阴雨天导航定位的问题,这是中华民族对世界文明发展的伟大贡献。

本世纪 30 年代初,无线电技术开始用于导航定位,使得定位不再受时间(季节,昼夜)及气象条件的限制,具有较高的准确度和较短的测量时间,而且设备比较简单、可靠、操作方

便。

但是,随着飞机、舰船速度和航程的进一步增大,火箭、宇宙飞船、航天飞机等新的飞行体的不断出现,人类的活动范围大大扩展了。如果说,过去一个具有几千公里导航定位能力的远程导航系统,就能满足人们的要求,那么,现在则不仅要求具有全球、全天候的海上和空中的导航定位覆盖,而且要求具有外层空间的导航定位能力。为此,必须设法寻找新的更完善的导航定位系统和方法。

人造地球卫星的发射成功和空间技术的发展,给这种新的导航定位系统——卫星导航定位系统的诞生提供了条件。

由于人造卫星能严格地沿着已知轨道有规律地运动,并且人们能以极高的精度计算出任何瞬间卫星在其轨道上的位置,因而,如果将导航发射台放到卫星上,那么传统的以地面为基地的固定台站的无线电导航定位系统,就变成了以卫星为基地的活动台站的空间导航定位系统,这就是卫星导航定位系统。

可见,卫星导航系统,就是现代空间技术与传统的无线电导航定位技术相结合而产生的崭新的导航定位系统。这样的导航定位系统,既具有天体导航能全球覆盖的优点,又具有传统的无线电导航全天候、高精度的长处,从而满足了现代人类的需求。

卫星导航,毫无疑问,出现在1957年10月4日前苏联将第一颗人造卫星射入地球卫星轨道之后。但是卫星导航的发明权却属于美国。

60年代初,美国海军首先开发了导航卫星系统(即“子午仪”)。随后,前苏联开发了与“子午仪”相似的系统,名为“Ci-

cada”。

60年代中期,美国又开发了两个卫星导航系统,一个是美国海军的测时导航卫星(Timation Time Navigation),另一个是美国空军的621B计划,加上“子午仪”,这三者后来成为GPS的配置和取得成功的主要参考项目。

1973年,由美国武装部队的几个军官和文职人员组成一个小组,被隔离在五角大楼内对GPS进行构思。他们主要根据已有的一些导航系统的工作原理,特别是受“子午仪”的启示,利用人造卫星进行导航,但不再是利用对星体进行测角以达到定位的目的,而是通过测量星体到定位点的距离来进行定位,这样,可以大大提高定位精度。

紧接而来的是俄国类似的系统,称为GLONASS,它与GPS有很多相似之处,但俄国的系统采用一种很不相同的信号结构,每个卫星用不同的频率。

第二节 GPS的产生过程

70年代初,美军为提高效率并减少军种间的争吵,制定了一些联合计划,要求各军种一起工作,GPS是最早的一批计划中的一个。该联合计划办公室设在空军,由空军牵头,参加的有陆军、海军、海军陆战队、国防制图局、海岸警卫队、空军后勤司令部以及北约组织。

最初对GPS的命名作过很多的考虑,认为“导航”二字不足以表达这个方案的含意,而“全球定位系统”的命名比较好。

联合办公室有十余人,新的设计采用了所有卫星导航系统中最佳的方案和技术。各军种不再像过去那样争吵,因为现

在各方都是实施方案的组成部分。联合办公室起着多军种事业单位的作用,各军种的人员都参与审查和参加各种会议,而以前只有空军说了算。

1973年8月,期望该系统获立项的首次申请没有得到批准,但经多方努力终于在同年12月获得批准。该计划第一阶段包括4个卫星、发射设备,两种不同类型的用户设备,一个卫星控制站,以及一系列测控设施。1974年6月选定了卫星承包商——马克纳伏克斯公司。用户设备最初的类型有串列式(Y)型和并列式(X型)军用跟踪接收机,以及民用型(Z型)设备(军民通用)。

该计划进展很快。从投标开始44个月后,即1978年2月就发射了第一个卫星。经开发的用户设备有5种型号,都进行了初步试验,其中有5通道接收机和高抗干扰接收机。

美国国防部最初只批准4个卫星,其中还包括一个整修合格的卫星。这显然不符合要求,必须增加卫星。因为三维导航至少需要4个卫星。但如果只准备4个卫星,那么,一旦其中一颗卫星发射失误或者运行不正常,就会影响整个系统第一阶段试验的正常进行。为此,后来国防部又核准增加了备用的GPS卫星。

现在使用的GPS系统实际上与1973年提出的方案相同。卫星虽已扩展功能,可用于其他的军事用途,轨道也稍有改进,但是现在所设计的设备仍可以与最初4个卫星一起工作。

GPS第一阶段的目的是验证整个系统的方案,其中有一个开发用户设备的问题。为解决这个问题,将计划中的卫星发射机配置在沙漠试验场,用太阳能作电源,发射机发射专用的

正交 GPS 编码,它们互相同步,这种发射机称为“伪星”。它们的几何位置近似卫星的位置,只是信号来自负仰角,这样,用户设备便可在发射卫星之前进行试验。当用于实验阶段的 4 个导航卫星开始入轨工作时,用户设备的研究工作已经完成,并能及时进行系统的实验工作了。后来,这种“伪星”技术得到了演绎,利用它位置数据准确稳定的优势,对 GPS 用户的定位信息进行修正,是后来提高飞机着陆精度的关键性技术之一。

开始时检验了 7 种用户设备,安装于 11 种陆地、海上和空中的运输工具中,其中包括 A-6、B-52 和 F-16 等飞机,从盲目轰炸的效果看,命中率超过了原来的要求。

试验期间,GPS 超过了原来的设计目标,但作战部队对它的效能还没有完全了解,直到海湾战争才认识到它作为一种部队战斗力倍增器的价值。原来设想生产一种廉价的 GPS 用户导航设备,要求按 1973 年的价格低于 1 万美元,后来由于民用急需,采用了集成芯片,使 GPS 用户导航设备按 1973 年的价格低于 300 美元,这又超过了最初的目标。

美国军方开发 GPS 的主要目的,一是用于精确地投放兵器,二是要求提供一种满足军用导航系统需求猛增状况的手段。军事用途包括扫雷、飞机着陆、步兵作战行动。“沙漠风暴”行动几乎是一场无所不包的战争,验证了 GPS 的效能。战术指挥官终于可以精确地知道部队的活动位置。

GPS 从 1974 年首次发射至今已进入实用阶段。1974—1985 年期间发射的卫星为研制与试用型—BLOCK I。1987 年研制出实用型卫星 BLOCK II。1989—1994 年期间发射了 24 颗 BLOCK III 卫星,形成了比较完善的卫星星座,GPS 从此进

入了实用阶段。此外,1995—2001 年期还将发射 BLOCK I R 型卫星以取代 BLOCK I,并进一步研制 BLOCK I F 型。

表 1—1. 三种型号卫星参数比较

型 号	重量(公斤)	价 格(万美元)
BLOCK I	524.8	价格不一
BLOCK I	843.6	4500
BLOCK II	2036	3500—4000

表 1—2. 24 颗实用卫星的发射时间

第 1 颗	1989 年 2 月
第 2 颗	1989 年 6 月
第 3 颗	1989 年 8 月
第 4 颗	1989 年 10 月
第 5 颗	1989 年 12 月
第 6 颗	1990 年 1 月
第 7 颗	1990 年 3 月
第 8 颗	1990 年 8 月
第 9 颗	1990 年 10 月
第 10 颗	1990 年 11 月
第 11 颗	1991 年 7 月
第 12 颗	1992 年 1 月
第 13 颗	1992 年 4 月

第 14 颗	1992 年 7 月
第 15 颗	1992 年 9 月
第 16 颗	1992 年 11 月
第 17 颗	1992 年 12 月
第 18 颗	1993 年 2 月
第 19 颗	1993 年 3 月
第 20 颗	1993 年 5 月
第 21 颗	1993 年 6 月
第 22 颗	1993 年 8 月
第 23 颗	1993 年 10 月
第 24 颗	1994 年 3 月

第二章 GPS 系统组成和工作原理

GPS 提供两种服务,即精密定位服务(PPS)和标准定位服务(SPS)。精密定位服务的定位精度约为 10 米,供美国军方及其盟军使用。标准定位服务精度不大于 100 米,供民用。

第一节 GPS 系统组成

GPS 系统由空间部分、地面测控部分和用户设备三部分组成。

一、空间部分

(一)卫星的配置

GPS 系统有 24 颗工作卫星(其中 3 颗备份),分布在 6 个圆形轨道上,轨道倾角 55° ,轨道面之间在经度上相隔 60° ,每个轨道上有 4 颗工作卫星。卫星轨道高度约 20200 公里,运行周期约 12 小时,每颗卫星绕地球运行两圈时,地球恰好绕其轴自转一周。这样每颗卫星每天有 1—2 次通过地球上同一地点的上空,使每颗卫星每天至少能通过一个地面控制站的上空,因此,地面控制站可全部设在美国。工作卫星设计寿命为 7 年半。

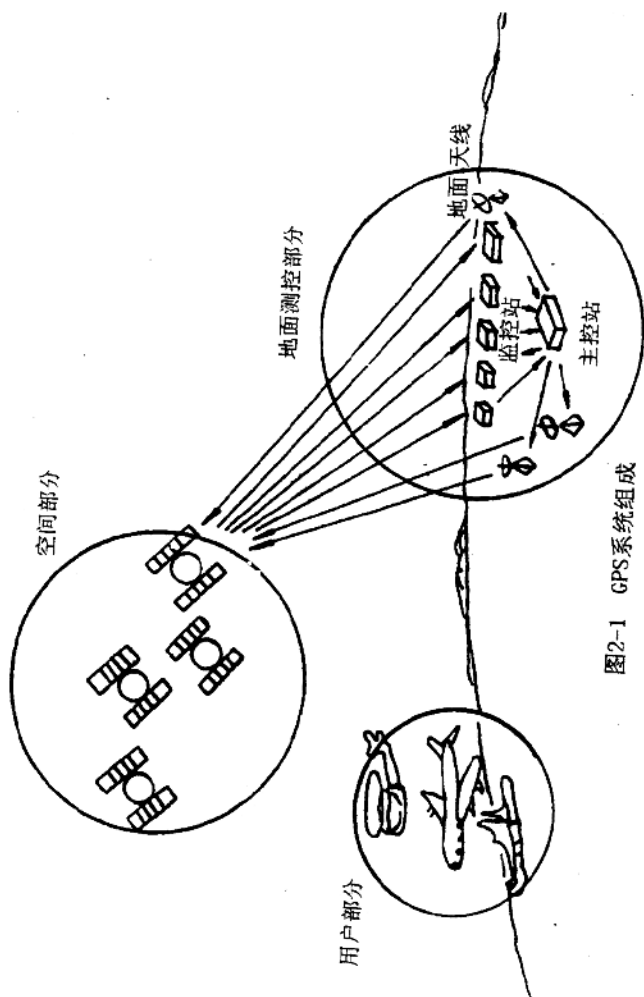


图2-1 GPS系统组成

(二)卫星基本功能

卫星上装备有原子钟、导航电文存贮器、伪码发生器、接收机和发射机等。卫星的基本功能有：

1. 接收和存贮地面站发来的信息。卫星的接收机接收地面站发来的导航信息，它包括卫星星历、卫星历书、卫星时钟校正参数等，并存在导航电文存贮器中，卫星接收机还接收地面站发来的控制指令。

2. 由原子钟(铯钟)保持精密时间。铯钟的误差为30万年只差1秒。

3. 卫星上的发动机及喷管组成的推动系统，由地面站遥控，使卫星轨道保持在要求的位置，并控制卫星的姿态。

4. 向用户发送导航电文。为了提高抗干扰保密性能，卫星上采用了伪码扩频调制方式发送信号。先把导航电文变成编码脉冲，形成导航数据码。导航数据码和伪随机码(P码、C/A码)模2相加后，再对载波(L_1 、 L_2)进行相位调制，经发射机由天线发射出去。 L_1 (1575.42MHz)信号用P码和C/A码按正交调制， L_2 (1227.60MHz)信号仅用P码调制。

GPS用双频P码信号提供精密定位服务，用C/A码单频信号提供标准定位服务。

二、地面控制部分

地面控制部分包括监测站、主控站和注入站。

(一)监测站。有5个监测站，分别位于阿拉斯加州埃尔门多夫空军基地、加利福尼亚范登堡空军基地、太平洋上马绍尔群岛的夸贾林岛、关岛和夏威夷。各监测站对视野里的卫星进行跟踪，将测得的伪距离、卫星发送的导航信息连同环境数据一道发送给主控站。

(二)主控站。主控站设在科罗拉多州斯普林斯的综合航天控制中心。主控站的主要任务是提供 GPS 系统的时间基准,并控制整个地面站组的工作;将监测站送来的数据进行处理,编制各卫星的星历,计算各卫星钟的钟差和电离层校正参数等,然后把这些导航信息送到注入站;当卫星偏离预定位置太远时,控制其轨道把它拉回预定的位置;在某卫星失效时,调用备份卫星,取代失效的卫星。

(三)注入站。有三个注入站,分别位于太平洋的关岛,大西洋的阿森松岛和印度洋的迪戈加西亚岛。它们的任务是在卫星通过其上空时,把上述导航信息注入卫星存储器,上述数据每天刷新一次,以保持系统处于最佳状态。

三、用户设备(见第三章)

第二节 工作原理

一、定位原理

GPS 用户设备接收卫星发布的信号,获取星历表信息,可以求得每颗卫星发射信号时的位置,并测量卫星信号的传播时间,求出用户到卫星的距离。如果用户装备有与 GPS 系统时间同步的精密钟,用三颗卫星就能实现三维导航定位;以三颗卫星为中心,以所求得的到三颗卫星的距离为半径,作三个球面,用户设备就位于球面的交点上。

导航型用户设备,装备非精密钟,所测得的距离有误差,称为伪距离,这时,需要用四颗卫星才能实现三维定位。

伪距离($\bar{R}$)由下式确定

$$\bar{R}=R_i+C \cdot \Delta t_{Ai}+C(\Delta t_u-\Delta t_{si}) \quad (1)$$

$$i=1,2,3,4$$

式中:

R_i ——用户到第 i 颗卫星的真实距离

C ——光速

Δt_{Ai} ——电离层、对流层传播延迟差和其它误差

Δt_u ——用户钟相对于 GPS 系统时间的偏差

Δt_{si} ——第 i 颗卫星时钟与 GPS 系统时间的偏差

Δt_{Ai} 和 Δt_{si} 从卫星发送的导航信号中获得。

计算时,使用地球直角坐标,它以地球心为原点, X 轴指向格林威治子午线, Z 轴指向北极, Y 轴与 X 、 Z 轴组成右手直角坐标。设卫星 S_i 的坐标位置为 X_{si} 、 Y_{si} 、 Z_{si} ,用户坐标位置为 X 、 Y 、 Z 。则

$$R_i = \sqrt{(X_{si} - X)^2 + (Y_{si} - Y)^2 + (Z_{si} - Z)^2} \quad (2)$$

代入式(1),可改写为:

$$\begin{aligned} \bar{R} = & \sqrt{(X_{si} - X)^2 + (Y_{si} - Y)^2 + (Z_{si} - Z)^2} + C \cdot \Delta t_{Ai} \\ & + C(\Delta t_u - \Delta t_{si}) \end{aligned} \quad (3)$$

$$i=1,2,3,4$$

上式中用户位置(X 、 Y 、 Z)和用户钟偏差(Δt_u)4个量为未知数。只要测得四颗卫星的伪距,建立方程组,就能解得用户的三维位置和用户钟偏差。

二、测速原理

(一)测量多普勒频率

卫星以固定频率连续发射信号,由于卫星与用户之间有相对运动,要产生多普勒效应,因此用户接收到的信号频率是变化的。接收到的频率和卫星发射的频率之差称为多普勒频

移,或称多普勒频率。多普勒频移是接收频率和卫星发射频率每秒相差的相位周,它和距离变化率有关。把某段时间间隔内一共差多少个相位周,用计数的办法累计,称为多普勒计数,或称多普勒积分值。根据多普勒积分值,可求得该段时间的卫星和用户之间的距离差。

假设在 t_1 到 t_2 之间进行多普勒计数,可求得 t_1 和 t_2 两时刻间卫星与用户之间的距离差

$$\Delta R = N \frac{C}{F_G} - (F_G - F_T)(t_1 - t_2) \frac{C}{F_G} \quad (4)$$

式中 F_T ——发射频率

F_G ——本机基准频率

N ——多普勒计数值

C ——电波速度

(二)距离变化率方程

通过四颗卫星的距离变化率方程,按照类似于解用户位置和用户钟差的方式,可解出用户速度和用户钟差的变化率。

将(3)式变换为下面距离变化方程:

$$\begin{aligned} \bar{R}_i = & \frac{(X_{si} - X)(\dot{X}_{si} - \dot{X}) + (Y_{si} - Y)(\dot{Y}_{si} - \dot{Y}) + (Z_{si} - Z)(\dot{Z}_{si} - \dot{Z})}{\sqrt{(X_{si} - X)^2 + (Y_{si} - Y)^2 + (Z_{si} - Z)^2}} \\ & + C \cdot \Delta t_{Ai} + C(\Delta t_s - \Delta t_{si}) \end{aligned} \quad (5)$$

$i=1, 2, 3, 4$

式中: $\bar{R}_i$ ——伪距离变化率,由多普勒测量获得

X_{si}, Y_{si}, Z_{si} ——卫星位置,已知

$\dot{X}_{si}, \dot{Y}_{si}, \dot{Z}_{si}$ ——卫星速度,已知

X, Y, Z ——用户位置,由(3)式解得