

测绘科技(增刊六)

GPS卫星定位技术

(译文专辑)



中国人民
解放军

总参谋部测绘研究所

一九八八年一月

P228
1
测绘科技 (增刊六)

GPS 卫星定位技术

(译文专辑)

中国人民解放军 总参谋部测绘研究所

一九八八年一月

41 580

前 言

全球定位系统(GPS), 是导航卫星测时和测距全球定位系统的简称。它是美国国防部研制的第二代军用卫星导航系统, 计划于九十年代初期建成使用。它能向各类军事用户提供全天候、连续、实时、高精度、全球性的三维位置、三维速度和时间信息, 从而大大提高各类武器装备的作战效能, 将对未来战争的战略战术产生深远的影响。

除了巨大的军用潜力外, 更重要的是GPS还具有广阔的民用前景。

GPS的出现已引起世界各国军事和民用部门的普遍重视。为了使我国军事部门以及航海、航空、航天、石油、地质、测绘、天文和地球物理等部门的有关人员学习和研究GPS卫星定位技术, 我们根据近几年国外发表的有关文献, 编译出版这本专辑。为了使读者对GPS及其军事应用潜力有个初步的、系统的了解, 我们编写了一篇综述文章, 以供参考。

本专辑的选题和组织工作由何瑞栋、段五杏高级工程师和李军同志负责。在翻译、校对和编辑过程中, 得到了魏子卿研究员、胡国理研究员、段五杏高级工程师等的热情支持; 全部插图由商正奇和张够中同志精心绘制, 在此表示感谢。

由于译者和编者的水平有限, 欢迎广大读者提出宝贵意见。

编 者

一九八七年十二月

7123.46

目 录

GPS及其在军事上的应用与发展潜力·····	胡国理 1
GPS卫星力模型的分析·····	李 军 [译] 20
海军水面武器中心的 GPS 轨道/时钟 测定系统 ·····	唐颖哲 [译] 31
GPS轨道改进和精密定位 ·····	郝晓宁 [译] 39
利用地区网的双差载波相位观测值 确定GPS轨道·····	廖家源 [译] 48
全球定位系统载波相位: 描述和使用 ·····	段五杏 [译] 61
不同GPS相对定位方式的数学模型 及其结果比较 ·····	张荣芝 [译] 72
国家大地测量局GPS相位观测值的处理程序 ·····	李 军 [译] 82
同步GPS载波相位差观测值的协方差矩阵逆 的有效计算 ·····	李 军 [译] 88
不同精度等级GPS 接收机的信号处理 和结构配置 ·····	谭述森 [译] 98
低成本GPS接收机的射频硬件 ·····	刘定堂 [编译] 110
GPS 海上接收机的性能分析 ·····	谭述森 [译] 118
初始数据误差对GPS 信号捕获的敏感性 ·····	何瑞栋 [译] 144
差分GPS 导航 ·····	沈 浪 [译] 154
国家空域管制系统的GPS 支援保障系统 ·····	谭述森 [编译] 164
用GPS 载波相位测量法进行动态定位 ·····	夏之渝 [译] 173

用GPS进行动态定位: 道路试验分析	李伟倩 [译]	181
用GPS干涉测量法建立三维大地控制	吴延忠 [译]	193
用重力场资料和最小二乘配置法由GPS		
基线矢量估算正高	李 军 [译]	212
GPS卫星的自主导航: 对未来的挑战	邓延红 [译]	226
GPS/PLRS辅助的地面惯性		
导航系统的性能	李 军 蔡剑青 [译]	236

GPS及其在军事上的应用与发展潜力

胡国理

〔摘要〕 本文内容大致分三部分：第一部分主要对GPS作一般的系统的介绍，涉及GPS计划的执行状况、系统构成、观测原理和方法，以及GPS的特点和优点；第二部分作为本文的重点，分别就GPS在陆、海、空各军兵种中的应用与发展潜力作了阐述，同时也涉及民用；第三部分主要讨论GPS应用的可能性及将来的发展前途。

一、GPS计划的由来与发展

自1957年人造地球卫星发射成功以来，人类便很快有了卫星导航定位的新手段，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。

继六十年代初兴起的美国子午仪卫星导航系统之后，七十年代初，美国国防部又开始研制第二代军用卫星导航定位系统——“导航卫星授时和测距全球定位系统”，简称GPS。苏联亦开始研制一种类似的系统——GLONASS（全球导航卫星系统），欧洲空间局目前正在酝酿研制NAVSAT（导航卫星系统）。此外，美国和西德也还有一系列其它的主要着眼于民用的卫星导航定位系统，如Geostar，GRANAS IC（全球无线电导航与综合通讯系统）等等，都正在研究实验之中。

在以上系统中，现阶段功能最全、精度最高的首推GPS。

原来，美国六十年代推出的子午仪卫星导航系统，经过十多年各国的广泛使用，显示了卫星定位巨大的优越性，在海、空军导航和大地测量、工程测量等民用方面，发挥了重大作用。单就大地测量而言，目前全世界拥有的大地接收机不下2000台，军用和民用导航接收机则不下万套，但因子午仪（TRANSIT）系统星数少，轨道低，无法实现全球范围内的连续导航与定位，且精度有限，不能满足新的条件下军事上的要求，故七十年代初，美国三军又开始搞各自的系统，海军研究一种TIMATION系统，空军研究一种621B卫星系统。为满足全球战略的需要并集中人力、物力和节省开支，美国国防部经过较长时间的研究，才最后于1973年批准建立一种三军统一使用的全球定位系统GPS。

GPS的整个计划分三阶段实施。第一阶段（1973—1979年）为原理可行性验证阶段。第二阶段（1979—1984年）为系统的研制与实验阶段。第三阶段（1984—1988）为最后工程发展与完成阶段。现在执行的结果是，第一阶段计划已如期完成；第二阶段比原计划略有调整。到目前为止，研制和实验仍在继续深入开展。估计再过一年左右，才进入第三阶段，到九十年代初（1992年左右，不迟于1994年）最后完成。届时子午仪系统将关闭，或在本世纪内与GPS平行使用。

GPS计划是美国国防部的一项规模宏大的战略性计划，其目的是要以比迄今为止高得多的精度，满足美国陆、海、空、天各军兵种的全天候导航定位以及定时之用。自美国总统里

根提出空间防御的星球大战计划以来，它的作用和地位更得到了加强，美国已为这项计划拨款40多亿美元，据估计，整个计划将耗资80亿至100亿美元之巨。

GPS计划的执行机构为设在空军系统部航天处的“联合计划办公室”。办公室的官员来自美国陆军、海军、空军、海军陆战队、国防测绘局、交通部，以及澳大利亚和北约九国（英、法、西德、意、挪、荷、丹、比、加）的代表。办公室的职责主要是负责GPS计划的管理和协调，并提出有关政策和实施的建议，向负责C³I和军事测绘的助理国防部长提供。此外，北约九国还成立了一个“北约组织工作队”，其任务是：

- ① 把欧洲/加拿大的应用要求引入该计划；
- ② 进行信息获取和相互间的技术转让；
- ③ 在GPS接收机方面实现标准化。

二、系统构成与发展概况

GPS系统主要由三个部分组成，即空间部分、地面控制部分和用户部分。

空间部分 原计划布署24颗卫星，均匀分布在三个轨道面上，但经1979年方案论证完成之后，调整为18颗（外加三颗备用星，共21颗），配置在6个轨道面上〔参见附注1〕，每个轨道面均匀分布3颗，高度约20000公里，倾角55°，周期12小时（图1）。因此，全球任一地点的用户都能在任意时刻至少看到4

颗GPS卫星。卫星上的设备主要有具有长期稳定度的、产生精密时号和导航信息的原子钟（铯钟，其误差为1秒/300万年），以及连续发射无线电载波的发射机。无线电载波有L波段两个频率： $L_1=1575.42\text{MHz}$ ， $L_2=1227.6\text{MHz}$ （波长分别约19厘米和24厘米），采用三种伪随机噪声码（PRN）调制，这三种码即P码、C/A码和Y码。P码（Precision）每七天重复一次（位率为10.23MHz），且各颗卫星不同，码的变化复杂，不易捕获，可用于精密定位和时间测量，故又称“精码”；C/A码（Clear and Acquisition）每1ms重复一次（位率为1.023MHz），用来快速捕获导航信号，仅用于实时粗略定位，故称之为“粗码”或S码（Standard Positioning Service）。Y码与P码类似

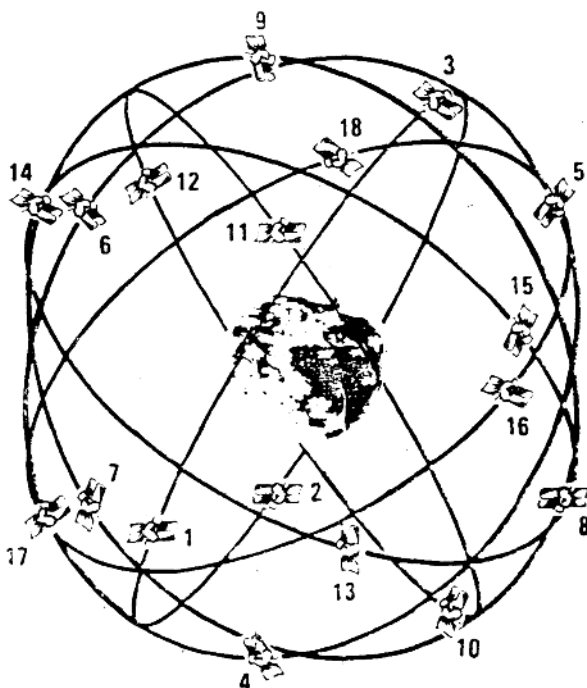


图 1.GPS卫星星座

但因为编制P码的方程已为许多人熟知而编制Y码的方程一开始就严格保密,所以将来可能用Y码代替P码。通常, L_1 上调制P码(或Y码)和C/A码两种信号,它在相位上是正交的; L_2 上只调制P码(或Y码)信号,但对于特殊应用,可以把 L_2 上调制的P码转换到C/A码上。P码或Y码只限于美国及盟国的军事部门或授权使用的民用部门应用。

美国迄今已发射了11颗GPS导航卫星。这11颗星都是由美国空军用宇宙神F火箭从加利福尼亚州范登堡空军基地发射的。其中第七颗由于火箭故障未能进入预定轨道,另三颗(第1, 2, 5颗)由于原子钟损坏及电源不足等原因不能正常工作。目前能完全正常工作的只有七颗。这些星都是试验性的(属Block I型)美国打算从1986年起把剩下的试验型(Block I原型)和实用型(Block II型)卫星(后者由Rockwell国际公司制造,每颗星重845公斤,星上增设探测核爆炸的敏感器和应急通信的单通道卫星通讯转发器)用航天飞机发射入轨,但因当年“挑战者”号航天飞机失事,此计划不得不中断,预计到1988年才能恢复发射。其具体安排是:1988年10月、1989年1月、6月、7月采用DELTA运载火箭各发射一颗,1989年6月和9月用航天飞机发射四颗(每次可同时发射二颗)。因此,从1989年12月起,可能有9颗实用卫星和4至5颗现存的试验卫星在天上工作。也就是说,到1990年,两种星加在一起,至少有12颗以上,足够全球二维定位之用,在部分地区,可同时至少看到四颗星,能满足三维定位、三维测速和计时的全部需求[附注2]。

Block II型卫星共建造28颗,将来实际发射只21颗。除Block I、II型外,目前还正在设计Block III型,据估计可能要改进和增加新的星上设备,以便从本世纪末开始代替Block II。

地面控制部分 由一个主控站、三个注入站和五个监控站组成。这些站都设在美国本土,所以即使在战时也不容易受到破坏而能保障连续工作。目前主控站已由范登堡空军基地移至科罗拉多州的统一空间操纵中心(CSOC),三个注入站设在迪戈加西亚、关岛和阿森松岛,五个监控站分别设在关岛、夸贾林岛、夏威夷、阿拉斯加州埃尔门多夫空军基地和范登堡空军基地。这些地面站的位置已由国防测绘局精确测定。其作用是对卫星进行连续监控(对卫星的跟踪率可达90.6%至100%),取得各项观测资料,算出每颗卫星的15分钟平滑数据,传送到主控站进行处理和分析。由主控站完成轨道和时钟改正参数的计算,发给注入站以向每颗卫星(每隔8小时)注入导航信息和其它控制参数。为克服监控站分布不广的缺陷,近几年美国国防测绘局还在英国、南美、澳大利亚等地增设了观测站,以进一步提高轨道预报精度和计算精密星历。由于卫星上不断储备有新的导航信息,所以即使有朝一日万一整个地面控制部分失灵,则预先存储在星内的导航信息仍可支持14天预报。不过那时用户的测距误差可能增大16~200米。为支持地面控制系统,海军天文台和国防测绘局还将提供与GPS时间协调的世界时,并为计算星历提供精确的地球定向数据。整个地面控制部分将在九十年代正式移交给空军航天司令部操作和维护。

用户部分 由天线、接收机、数据处理机和控制/显示装置组成,它们统一划分为200多种类型,军用设备多由美国喷气推进实验室研制。根据用户的任务不同,要求不同的设备。例如,地面部队和观察所多采用较简单的便携式接收机;用于高动态环境的用户(如导弹、飞机)则采用较复杂的接收/处理机。而所谓“简单”和“复杂”之分,一般指的是通道的多少(有单、双、多通道接收机等几种)和测量的功能如何(有连续、时序、多路复用接收机等几种)。实际上这种分类亦可根据其跟踪的通道(码相关、平方律型、码相位)及

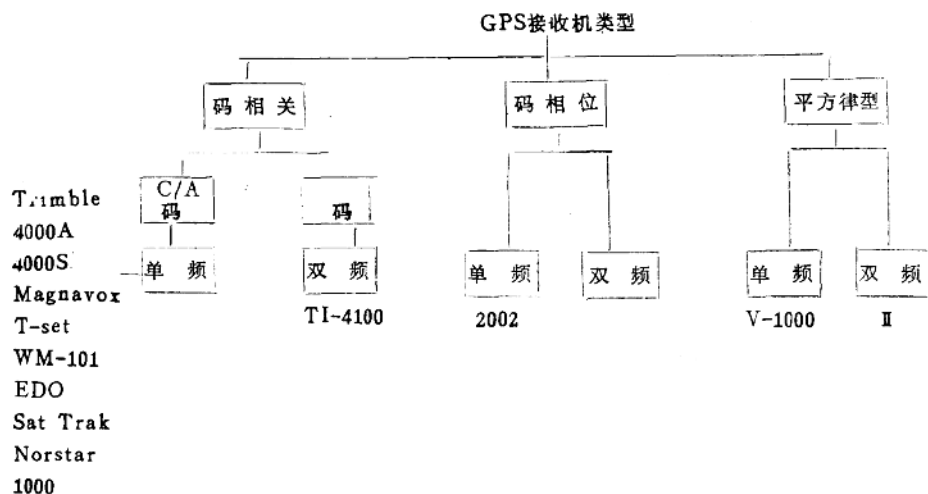


图 2. GPS接收机的类型

是否采用单频或双频等情况而定 (如图2)。

截至目前为止, GPS接收机已进行了便携式设备试验 (如海军陆战队履带式登陆车及海军舰艇定位等)、空中降落试验、飞行安全会合试验 (会合精度5~10米)、F4 鬼怪式飞机投弹试验 (从1000、5000和2000英尺高度投弹均获成功)、差分导航试验、海岸警卫队鉴定试验以及大地测量静态定位试验 (主要采用 V-1000和TI-4100 进行各种方法的试验,精度为1毫米~15米) 和 Landsat-5 的自定位试验 (精度已达15米)。

对用户设备的操作已在30多种主运载器上进行, 它们包括: M60坦克、UH60直升飞机、Abe攻击机、F16战斗机、B52D 轰炸机、P3C 反潜巡逻机, SSN-701 攻击潜艇、CV64航空母舰等等, 高、中、低动态都有。

除喷气推进实验室外, 美国Magnavox公司也研制若干种军用GPS接收机。至于民用或军民两用接收机, 在美国则有 Magnavox 公司、Rockwell-collins 公司、Teledyne 公司、Trimble公司、IEC公司、ISTAC公司、Litton Aero Products公司、Motorola 公司、Rockwell国际公司、STI (斯坦福通讯设备公司) 等公司生产。除美国外, 英国、西德、日本、加拿大的一些厂家也都在研制 (参见表1)。

用户设备一般最便宜的都是采用 L_1 频率的 C/A 码工作, 而较贵的是采用 P 码, 其优点是: ①能转换到 L_2 频率, 以消除电离层改正; ②能更好地防止干扰 (这在军事上特别重要); ③测距精度高 (提高2.2倍)。目前一些厂商都计划采用平方律型通道, 使其在C/A 码接收机上增加另一种频率的观测能力, 从而能进行双频测量。因为根据美国“反欺骗”和“有选择的使用”政策, 低成本单频民用接收机将在商业市场上有很大潜力, 可能达到几百万台, 而军用接收机在美军中的需要量虽然很多, 也只不过两万台。为了开拓市场, Magnavox 公司近几年将开始提供“降格的GPS”, 即把GPS 部件与现有的 MX-1100 子午仪接收机设备组合起来 (用GPS天线和两个GPS模块插入 MX-1100 机壳内), 从而可以建立“GPS+子午仪系统+推算导航”的工作模式, 并可能很快包括奥米伽导航。这种导航系统可在GPS系

表 1

部分 GPS 接收机的主要技术参数

型 号	观测量	利用的载波和调制码	精 度	重量和体积	备 注
Macrometer V-1000	载波相位	L ₁ , 无码	1~2ppm(观测2~5小时) 10ppm(观测30分钟)	接收机 45kg 天 线 16kg	6 通道 \$11万/台 \$25万/系统
Macrometer II	载波相位	L ₁ , L ₂ , 无码	1ppm	接收机 27kg	6 通道
Magnavox T-set	伪 距 离	L ₁ , S码	20m(实时)	接收机 16kg 天 线 4.5kg	5通道, \$25/台
Texas Inst. TI-4100	伪 距 离 载波相位	L ₁ , L ₂ , S码和P码	15m(实 时) 1m(后处理) ppm(测3小时)	接收机 16kg 天 线 2kg	
Land Surveyor 1991	P 码伪距离 载波相位	L ₁ , 无码	10cm+2ppm (测30分钟)	主 机 23kg 天 线 5kg 钟、电池 14kg	SERIES 技术 \$12.5/台
Land Surveyor 2002	伪 距 离 载波相位	L ₁ , 无码		主 机 7kg 钟和电池 18kg	计划扩展为双频 \$6万/台
MPS-1	载波相位	L ₁ , 无码	2m(实时)		海岸定位, 离岸台 < 500km
WM-101	伪 距 离 载波相位	L ₁ , 无码	5m(测1小时) 10mm+2ppm	接收机 14.4kg 天 线 1.5kg	已在研制双频式 \$ 10万/台
Sercel TR 5S	伪 距 离 载波相位	L ₁ , 无码	1~10m(动 态) 1~10cm(相对定位)	接收机 27kg 天线等 11kg	5 通 道
Trimble 4000A	伪 距 离 积分多普勒	L ₁ , 无码	15m(绝 对) 4m(相 对)	接收机 20kg 天 线 1.4kg	4通 道 \$24.5万/台
Trimble 4000S	伪 距 离 载波相位	L ₁ , 无码	3cm(纬 度) 5cm(经 度) 2cm(高 程)	接收机23公斤 22×45×48	\$4万/台
Trimble 400A	伪 距 离 载波相位	L ₁ , 无码	水 平 25m 垂 直 35m	接收机 2.7kg 天 线 1.1kg	2通道 \$2万/台
Litton LGSS	伪 距 离 载波相位	L ₁ , S码	30cm (100公里 相对定位)	接收机 5kg	\$4万/台
JLR 4000	伪 距 离 载波相位	L ₁ , S码		主机 5kg 271×318 ×142mm	
5026			5m(2小时) 测时15毫秒(单次)		授时接收机亦可定位 \$6万/台
FTS 8400			测时15毫秒	主机 27kg	\$3万/台
XRI	伪距离	L ₁ , S码	30m	主机12.5 kg 435×480 ×135mm	\$4万/台
NaCvare ITM	伪距离	L ₁ , S码			单 通 道 \$1.75万/台
超小型 GPS 接收机	伪距离			相当烟盒大小	美国柯林斯公司生产, 单通道, 军用

续表

型 号	观测量	利用的载波和调制码	精 度	重量和体积	备 注
Sat Trak	伪距离	L ₁ , S码	5~12m	10kg 410×300 ×170mm	4通道便携式 加拿大EDO 公司生产
GEOTRAIG	伪距离	L ₁ , S码			双 通 道 加拿大EDO 公 司 生 产
CMA-786 (C-set)		L ₁ , S码		主 机 8kg	双通道, 陆、海、 空低动态导航 加 Marcon1 公 司 生 产
Astrolab II		L ₁ , S码		主 机 18kg 48×14×44cm	单 通 道, IEC公司生产
LTN-700		L ₁ , S码		主 机 9kg 32×19×19cm	可与Decca, ARGO, Mini-Ranger 接口 单通道, 美 Litton 公 司 生 产
MX-1100		L ₁ , S码			\$5万/台 双通道, Magnavox 公 司 生 产
MX-4400		L ₁ , S码	5.1m	7.2 kg 35×33×11cm	GPS/Transit组合式 \$4.5万/台
MINI- RANGER		L ₁ , S码		主 机 4.5 kg 30×18×6cm	同 上 \$2.5万/台
NORSTAR 1000		L ₁ , S码		15 kg 18×45×55cm	4通道, 美 Motorola 公 司 生 产
PS-8400		S码	2~3cm(静态 相对定位)	接 收 机 26kg 25×15×18cm	\$1.9万/台 5, 7通道 \$5.5万/台
GTT-2000		L ₁ , S码		主 机 7kg 16×21×30cm	西德 Prakla- Seismos公司生产 单通道
SEL GPS		L ₁ , S码		接 收 机 8kg 16×14×40cm	4通道, 日本 Sony公司生产
GPS 监控站 接收机	距 伪 离 载波相位	S码, P码 L ₁ , L ₂	L ₁ 测伪距 7.5m(S码) 1.10m(P码)		4通道, 西德 SEL 公司生产 < \$0.5万/台
PAHRS-1		L ₁ , S码	定 位 30m 测 向 0.03, 测 速 0.1m/s	22.5 kg	美 STI 公司
LORAN-GPS 10X		L ₁ , S码		接 收 机 / 处 理 机 7kg 11×25×30cm	5通道, Starnav公司 2.5万加元/台
MX-1102		L ₁ , S码			双 通 道, Loran/GPS 组合式 Trimble公司生产
GPS-PAC		L ₁ , S码			\$1.6~2.5万/台 双 通 道, Mganavox 公司生产 GGS/Transit组合式, \$3.5万/台
					美国防测绘局 与 NASA 合研, 供 Landsat 卫星 定位用

统建成之后,作为GPS接收机使用;当GPS信号不能提供时,仍可继续进行子午仪和(或)奥米伽导航。每种系统可根据某另一系统进行检核,因而可在GPS地面控制部分出现问题时排除故障。

三、定位原理与测量方法

GPS卫星信号的载波和调制码都可以用来测量,因此观测量一般为“伪距离和/或载波相位”,测量方法基本上只有两种:即伪距法和载波相位法。不过稍细一点划分,可以概括为四种,即伪距法、多普勒法、载波相位法和干涉测量法。现将它们的原理和实质分别概述如下:

1. 伪距法

这种方法的原理首先可以用经典的三角测量来解释。我们知道,GPS接收机可以接收所选定的卫星发来的导航信息和星钟校正参数。根据这些信息到达接收机的时间,即能算出接收到卫星的“距离”。如果我们测量到三颗卫星的“距离”,则分别以三颗卫星发射时刻的卫星位置(按发射的星历参数确定)为中心,根据测得的“距离”画出三个球,其交点便是用户的三维位置。

但是由于接收机的本机钟对星载原子钟存在偏差,上面所测的“距离”并不能得代表接收机至卫星的真实距离。人们把这种距离叫做“伪距离”(简称“伪距”),伪距法由此得名。对第*i*颗星来说,伪距 $\overline{R}_i$ 的表达式为:

$$\overline{R}_i = R_i + c\Delta t_{A,i} + c(\Delta t_{u,i} - \Delta t_{s,i})$$

式中: R_i ——真距, c ——光速, $\Delta t_{A,i}$ ——信号传播延迟,

$\Delta t_{u,i}$ ——用户钟相对于GPS时间的偏差, $\Delta t_{s,i}$ ——卫星钟相对于GPS时间的偏差。

正因为用户钟与GPS时间不能精确同步,故每次测量总会有一个固定的距离偏差,这种偏差使定位产生不定性。如果我们再测量一个到第四颗卫星的伪距离,则这时由用户钟偏差造成的定位不定性就产生一个由四个相交球面所围成的误差体积。我们从每个伪距测量中加上或减去这个固定值就消去了该误差体积,结果得到四个球面相交于一点,这就是用户的三维位置。实际上,这只要观测至四颗星的伪距并接收卫星的导航信息,解算四个方程就可以得到。这种方法主要用于实时导航。

2. 多普勒法

多普勒法与子午仪卫星的观测和处理方法基本相同,但它可以在比子午仪卫星较短的观测时间内取得较高的精度。

这种方法的实质过去已有不少文献作过详细介绍,它是先用接收机接收和相关处理伪码,接着把码拆去,将得到的连续载波和接收机的振荡器进行比较并测量出差额而得出多普勒计数,由多普勒计数算出接收到卫星的距离。观测四颗卫星即可交会出用户接收机的位置。

3. 载波相位法

其更确切的叫法为“载波差拍相位法”。它是测定卫星多普勒频移载波相位 $\phi_{\text{卫}}(t_s)$ 与接收机振荡器额定频率(参考信号)的相位 $\phi_{\text{接}}(t_r)$ 之差。因为这种测量是把编码从收到的信号中去掉以后,用与码相关的方法或平方律信号的方式(Squaring,有的译为“调正”)重建载波相位,所以它又叫“重建载波相位法”。载波相位通常是在用户钟确定的历元取样的,与卫星和接收机参考振荡器之间的补偿值有一个偏差。载波相位测量就类似于只有载波整周

数的精密伪距测量(舍去所谓整周模糊度)。

4. 干涉测量法

此法不需要知道编码或信号的结构,而是把GPS信号作为射电噪声利用甚长基线干涉测量(VLBI)一样的原理进行测量,所以叫干涉测量法。VLBI的原理过去国内也有不少文献介绍,读者可能都已熟知。在某种意义上说,重建载波相位法也是一种干涉法,但它在测量重建载波的相位时要知道产生这些信号的原调制码,而纯粹的干涉测量方法不需要知道码。因为此法和上面两种方法一样,需要两站同步观测而不与卫星轨道发生关系,所以用它得出的结果是站间的相对位置,而不是直接得出每个点的地心坐标。从本质上讲,这四种方法中后三种方法是一样的,其差别很小。

四、GPS的特点与优点

我们也许可以这样说,现在世界上还没有哪一种导航定位系统能像GPS这样受到全世界导航与定位用户的注意和重视。GPS之所以受到如此广泛的重视,主要是因为它具有以下的特点和优点:

1. 功能齐全,一系统能提供七维信息

我们以前都知道,子午仪系统曾经是一种很先进的卫星导航系统。同传统的地面无线电定位系统相比,子午仪导航卫星集中了远程无线电导航台全球覆盖和近程无线电导航台定位精度高两方面的优点,使全球各地用户统一于地心坐标系进行高精度定位。但这种定位只限于二维(经纬度),而GPS能提供三维定位、三维速度和一维时间共计七维信息,而且如前所述,到将来实用阶段,可直接从卫星上探测敌方的核试验(IONDS)和进行通讯,其功能之齐备是前所未有的。

2. 全球覆盖,可连续定位、导航和计时

子午仪卫星不能解决定位、导航和计时的连续性问题,而只能作周期性的观测(一般周期为二小时)这在许多情况下就失去了定位和导航的机会。GPS由于其星数多、轨道高、星座安排恰当,可使全球各地拥有GPS接收机的用户,一天24小时内都能至少观测到4颗卫星,这种连续导航定位与计时能力尤其在军事上特别重要。

3. 全天候观测,测量方法多样

GPS能用于全天候观测,测量方法至少有前述四种,用户可根据本身的条件,结合需要和可能,灵活使用某种方法,因而可大大提高其经济与技、战术效能。

4. 精度高,速度快

GPS一般经短时间观测定位精度优于16米,测速精度优于0.1米/秒,计时精度优于100毫微秒。观测时间(也就是反应时间)最短的可在8秒以内,特别适合于导弹等尖端武器高动态定位与导航的需要。一般静态定位(如大地测量)所需时间也只在20分钟左右。相比之下,子午仪系统静态定位需1小时以上,而动态定位误差很大,不能满足高动态武器系统导航定位的要求。

5. 用户多,价格较低,操作简便

GPS的P码虽主要只能提供给美国及盟国军队使用,但C/A码(S码)从开始起就免费

提供民用，可以接纳无数用户，从徒步旅行、水陆交通到航空、航天，高、中、低动态和静态各种用户都可以使用。本文后面还将提到，GPS用户之广泛将大大超过子午仪卫星系统。此外，其价格低廉，GPS接收机及软件价格现在与子午仪接收机刚出世时相当，但将来会大幅度降低*。且操作比子午仪系统简便，未来的GPS无手动选择和调节。只要接通电源，几分钟内即能连续得出精确结果。

6. 可与其它传感器接口，产生各种更为理想的综合性系统

GPS除了可单独使用外，还有一个最突出的优点，就是可以与其它传感器接口(组合)，扩展其性能、产生各种更为理想的综合性系统，发挥最大的甚至是过去意想不到的效益，保障军用和民用。

例如，GPS和惯性导航系统(INS)组合，产生GPS/INS组合系统，在飞机上以1~2米的精度保证飞行定位，完成准确投弹、航摄、进场等作业；在导弹上可进行精确制导，使命中误差比现在仅采用惯导系统减少一个数量级(由几百米减至30米以内)；在舰艇上可提高其导航与定位的速度和精度，缩短潜艇浮出水面的时间，减少受敌攻击的机会。这种综合系统除了提高精度外，还可以大大提高系统的可靠性，进行适应式跟踪，提高性能价格比。

GPS与其它传感器组合，可以有很多组合模式，下表所列仅是其中的一部分。

表 2 GPS 与其它传感器的组合

组 合 模 式	结 果 或 用 途	备 注
GPS + 重力梯度仪 = 航空与航天重力测量		两种仪器均安在飞行器上而直接完成重力测量
GPS + 航摄仪 = “无控制”测图		以GPS提供摄影站坐标
GPS + 空间站 = 对地观测系统		解决空间站自定位完成对地观测
GPS + CCD = “无相机”摄影测量		不用“相机”和胶片而获得图象
GPS + 计算机 = “电子海图”		显示数字化地图和舰船所在位置
GPS + 光盘 = “光盘海图”		同 上
GPS + ETMS = 自动准确攻击系统		把地形显示，飞行控制和武器投射合为一体
GPS + 惯导系统 = 组合式精密定位和制导		保证飞机航摄、导弹制导和舰艇精确导航
GPS + 声纳 = 海底/潜艇定位		用卫星和声纳确保水下定位的连续性
GPS + 惯测系统 = 陆、海大地布网和定位		适于动态条件下精密定位
GPS + 导弹测绘数据库 = 自动匹配制导		代替雷达地形匹配，进行导弹与无人驾驶飞机导航

7. 抗干扰性强，保密性能好

GPS采用扩频技术和伪随机噪声码技术，其接收机以被动方式跟踪卫星，导航定位速度快，使其在战时不易受到电子战的影响。特别是采用伪随机噪声码技术，将导航信息按特定

*以Magnavox的MX系列子午仪卫星接收机为例，从1976至1982年每年的降价幅度为22%，GPS只会比这更多。

规律编码,埋设在一片强噪声之内,军事用户和授权的民用用户只有得到专用输入片才能使用保密的P码或Y码,其它用户对P码或Y码则无法问津。因此,其抗干扰性能和保密性能优异,为一般无线电定位系统所不及。

五、GPS在军事上的应用与发展潜力

卫星快速定位与导航技术是现代军事科学技术中的一项关键性的基本保障技术。自动化指挥系统、先进武器系统及新的战役理论的出现,使未来陆、海、空、天各军兵种对卫星导航与定位的要求越来越高。GPS在军事上具有极大的应用与发展潜力。

美国前国防部研究与工程署长柯里曾指出:“导航星全球定位系统是国防部内影响最深远的计划之一,也是最有远见的计划之一,它可能对战略战术具有革新的影响。”为了具体说明GPS究竟在军事上有多大的意义以及应用与发展潜力,以下我们谨就其在各军兵种的应用分别给予介绍。当然,在提到GPS在许多军事部门应用的例子时,也决不应忘记它在很多情况下也同样适合于民用部门。

1. 自动化指挥系统

现代化战争中的自动化指挥系统(C³I)是由情报、预警、通讯和测绘等子系统组合而成的。其整个体系的运转,需要有一个统一的时间坐标和空间坐标,各子系统本身也都离不开高级的定位导航系统的支持,而GPS就是这样的系统。因为:①GPS能为所有各级自动化指挥系统提供统一的时间基准,以便解决快速的通信同步,迅速获取信息,进行有效的电子战和反干扰;②测绘、侦察和情报搜集系统借助GPS可进行高精度的实时定位,建立和更新准确的测绘数据库与情报数据库,给指挥系统报告各种目标和事件发生的时间和地点。

未来的战争是在全球范围内广阔的空间进行的,必须有全球性的定位系统去确定、传递和跟踪一系列目标和事件,记录其位置与时间信息,而使指挥机关迅速作出反应。自动化指挥系统不仅在军事部门,而且在政府与国民经济部门都要依靠GPS的支持。因为GPS对C³I具有重大作用,美国指定负责C³I的助理国防部长(ASD/C³I)担任国防部定位/导航执行委员会主席,负责对GPS的民用政策作出规定,并对精码提供民用的问题全权负责审批。

目前,美国国防部高级研究计划局根据其综合通信导航和鉴别电子设备计划,已经研制了100厘米³小型GPS接收机。根据试验,美国空军航天处负责管理GPS计划的主任盖洛德·格林已经得出结论,GPS这种系统不仅可以为C³I计划提供时间和空间坐标基准与同步,而且还可以增加联合战术情报分配系统的通信线路。未来的指挥系统若没有GPS的支持,将无法达到自动化的基本目标。

2. 战略武器与空间防御

GPS在战略武器的测绘保障中将得到广泛的应用,从发射基地的大地控制到首区重力场的测量都可以有效地采用GPS。从大地测量方法的发展趋势上看,未来的大地测量如果采用GPS甚至可以不必布设有标石的大地控制网。因为GPS可以独立测定点位,在流动发射点或发射基地的地下井内,可不必由网或参考点来过渡就能直接测定其精确的三维位置,使战略武器的发射准备时间大大缩短,为战略武器实施高度机动、提高射前生存能力创造前提条件。同时,首区重力场的测量,要求点位很密,用传统的方法时间很长,也很不经济。美国国防测

绘局新近采用GPS和航空重力仪组合技术进行航空重力测量，精度已可达1~5毫伽，完全满足战略武器对首区重力模型的要求。

未来GPS的应用将必然扩展到战略武器的制导和空间防御上。据国外专家分析，将来洲际导弹要摧毁诸如发射井之类的硬目标，除非有弹载GPS微型接收机（精度10米左右）才能办到。目前美国正在研究这类接收机，如计划配置在民兵式导弹中心的MBRS接收机和AMR导弹接收机（由得克萨斯仪器公司研制）九十年代将装备部队。实际上，美国空军从七十年代中期起，就开始不断投资和进行技术论证工作，以便确定为中、远程武器提供中制导的卫星信号接收机的性能和造价。其中GPS用于战略巡航导弹被认为很容易实现。前已提到，这种系统一旦完成，将可以不依赖于地形匹配(Tercon)系统，而仅用GPS测出的三维导航数据与弹内计算机存储的地形图加以比较，将导弹导向目标。目前这种系统所面临的问题是，GPS在其它航天器的干扰下生存能力如何以及怎样提高生存能力。这一问题仍有待于解决。一些人认为，虽然GPS和L波段射频系统可以对导弹整个飞行过程的99%进行制导，但其信号是可以被干扰的，这就要求导弹能输入惯性导航数据。目前进行的MBRS和AMR高级导弹接收机试验，将可能在这方面取得进展。

在空间防御上美国一空军高级专家认为：美国的星球大战计划“显然可以从GPS系统中得到好处。GPS能为战略防御计划的战场管理、C³I以及共用时分多址提供准确坐标”。同时，GPS可以装备在各种航天器上，为各种航天器提供高精度的自定位和校时。在试验空间防御所需的拦截武器时，需要有精度很高的跟踪测量系统。而这种系统不宜使用雷达，因为雷达作用距离有限且其误差随距离的增加而增大，GPS的误差则与距离无关。故美国国防部靶场目前正使用GPS确定拦截武器的“时空位置信息”(TSPI)。这一系统包括四部分(图3)：①作为拦截武器发射平台的卫星——拦截卫星A，其上装有GPS接收机和数据传送装置；

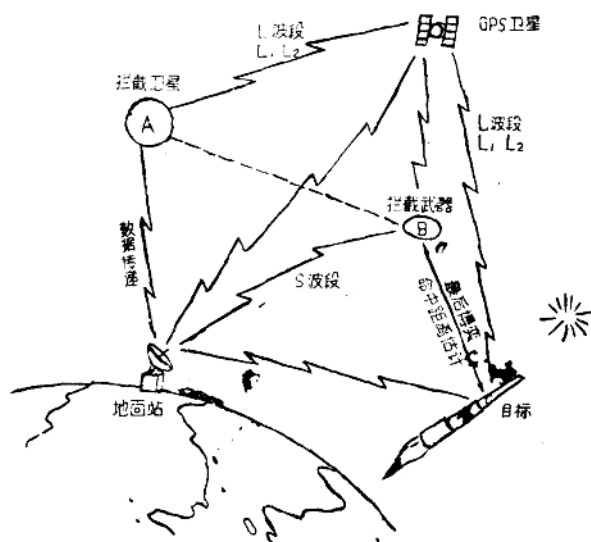


图3 跟踪测量系统的配置方案

②拦截武器B，其上装有卫星信号转发器；③目标——被拦截的导弹C，其上也装有转发器；④地面站，配备有参考接收机、目标接收机和数据传送接收机，用于接收A、B、C上的数据并进行处理。通过试验、获得的精度如下表所示：

表3

	实 时	事 后
拦 截 卫 星	5m	1m
导 弹		
· 助 推 段	10—20m	5—8m
· 中 途	8—20m	3—8m
· 再 入 段	待 定	待 定
高 动 态 拦 截 器	待 定	待 定

1984年以来，美国还在Landsat-5卫星上对一种星载GPS接收机(国防测绘局与国家航宇局共同研制)进行过试验，证明该机能自主地将航天器的三维位置进行实时测量，精度可以达到15米以内。这一成果起码有两大意义：①这样可以大大降低对地面站跟踪测轨和星上计算能力的要求，显著提高精度和效益；②依据这种定位精度，可以不必布设任何地面控制网就能利用航天像片进行1：5万大比例尺地形测图。在这一实验的基础上，美国打算在航天飞机上再进行多次实验，以便将来在永久性空间站上正式使用GPS定位并实施对地观测，为星球大战天基武器和探测器本身的定位铺平道路。

3. 陆 军

可以毫不夸张地说，在军队的用户中，陆军是GPS的最大用户，尤其在“合成”、“快速”作战的今天和明天，GPS大有用武之地。

GPS可以广泛地用于步兵、炮兵、装甲兵、防化兵、工程兵、战术导弹部队以及战术空军等众多兵种(图4)。

例如，GPS可以有效地测定陆军指挥所和观察所的精确位置，为通讯、情报、气象等指挥系统提供定位和时间基准。

步兵分队装备背负式或袖珍式GPS接收机可以在任何地理环境下，如边远地区、茂密森林地区、沙漠、草原地带提供三维定位信息，快速标出自己在图上的位置。美国陆军和海军陆战队已分别于1985年进行了单兵背负式/车载式GPS接收机试验，其三维定位精度可达8米以内。

电子战作战部队有了GPS，可便于进行无源电子侦察，随时求出自己的所在位置，交出侦听目标同时不会暴露自己。

炮兵历来被誉为“战争之神”，借助GPS联测炮兵阵地，求定射击诸元，则如虎添翼，使火炮的快速反应和命中精度达到前所未有的高度。美军目前已有PADS(帕兹)系统，苏联已有了大地——地形联测车，但仍不能满足未来炮兵测地的要求。目前的帕兹/炮载定位定向系统将要逐步发展成为GPS/炮载定位定向系统。而利用GPS和定位报告系统(PLRS)结合起来，则可以在“边运动、边射击”作战思想的指导下，对地面炮兵部队实施全新的指挥，大大缩短反应时间和己方的暴露时间。预计到九十年代，GPS将成为美军野