

全球导航定位技术及其应用

QUANQIU DAOHANG DINGWEI JISHU JIQI YINGYONG

田建波 陈刚 陈永祥 编著



中国地质大学出版社有限责任公司

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

全球导航定位技术及其应用

田建波 陈刚 陈永祥 编著



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

内容简介

本书以全球定位系统(GPS)为主体,作者结合教学、科研和生产实践经验,系统介绍了GPS定位技术及其应用。全书共分九章,内容包括:全球卫星导航定位系统的组成,空间大地测量基准,国家基础网,工程控制网等。重点讲述了GPS控制网的方案设计、外业观测及数据处理方法和技术。

本书可作为高等学校测绘工程专业本科生和研究生的参考教材,也可供测绘、地震、水利、交通等部门的相关科研工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

全球导航定位技术及其应用/田建波,陈刚,陈永祥编著. —武汉:中国地质大学出版社有限责任公司,2013.2

ISBN 978-7-5625-3042-8

I. ①全…

II. ①田…②陈…③陈…

III. ①全球定位系统-教材

IV. ①P228.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第006169号

全球导航定位技术及其应用

田建波 陈 刚 陈永祥 编著

责任编辑:马新兵 刘桂涛

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社有限责任公司(武汉市洪山区鲁磨路388号) 邮编:430074

电 话:(027) 67883511 传真:(027) 67883580

E-mail: cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

Http://www.cugp.cug.edu.cn

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:343千字 印张:13.5

版次:2013年2月第1版

印次:2013年2月第1次印刷

印刷:荆州市鸿盛印务有限公司

印数:1—500册

ISBN 978-7-5625-3042-8

定价:28.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

序

当前全球定位系统 (GPS) 在测绘行业得到了广泛应用, 从国家基础控制测量、工程测量到航空摄影测量, 几乎无处不用 GPS。格罗纳斯系统 (GLO-NASS) 的应用也日益广泛。卫星定位技术已经给大地测量带来了巨大变化。随着北斗系统 (BeiDou) 和伽利略系统 (GALILEO) 的开通运行, 相信测绘行业一定会产生更多、更大的变化。

本书作者田建波高级工程师长期从事外业生产, 陈刚教授从事教学科研, 陈永祥高级工程师从事数据处理。作者在生产、作业和教研工作中积累了丰富的经验, 本书是他们工作经验的总结。全书面向卫星定位应用, 理论结合实际, 侧重作业实践, 叙述通俗易懂。本书对卫星定位作业人员和相关专业学生有重要参考价值。

魏子卿

2013 年 1 月

前 言

全球卫星导航系统，被称作“人类在太空里的眼睛”，GPS 凭借其高精度、全天候、无需通视等优点，在大地测量、工程测量、地质灾害监测和预报等领域已被广泛应用。因而 GPS 导航定位技术已成为测绘相关专业人员的必备工具。

本书结合 GPS 测量的教学、科研和生产实践从定位原理、测量作业、数据处理等方面对 GPS 定位技术及其应用作了较详细的介绍。作者在编写过程中参考了多本科学著作和教材，严格执行国家现行测量规范，并吸收最新的科学技术成果，力争在学习基础理论知识的同时，加强实践能力的培养。

本书以 GPS 导航定位技术的应用为着眼点，重点阐述了 GPS 控制网的方案设计、外业观测及数据处理方法和技术。全书共分九章。第一、二章介绍了全球卫星导航系统的基本概念、系统组成和设备检验方法，第三、四、五章介绍了国家空间大地测量基准和国家控制网的体系、内容及大地控制网的 GPS 数据处理，第六、七章介绍了工程控制网的设计和应用实例，第八、九章介绍了 GPS 基准站（CORS 站）的相关知识和利用 GPS 求取正常高的方法。

其中第一、四、六、七、八章由田建波编写，第二、三、九章由陈刚编写，第五章和附录部分由陈永祥编写，最后由陈刚负责统稿。

书后列出的参考文献并非包含本书引用文献的全部，对那些书中提及但是参考文献目录中未能列入的作者表示深深的歉意。

在本书编写期间，魏子卿院士给予了热情鼓励和支持，作者单位的领导也给予了大量支持和帮助，还有一些同事、同行及学生提出了一些建议。在本书完稿之际，作者向他们一并表示最真诚的感谢。

本书的研究工作和出版得到了国家自然科学基金（项目号：41274036）的经费资助。

由于作者水平和编写时间所限，书中难免存在错误及不足之处，敬请读者指正。

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 GPS 系统	(1)
第二节 GLONASS 系统	(2)
第三节 伽利略系统	(4)
第四节 北斗导航定位系统	(8)
第二章 GPS 接收机	(11)
第一节 GPS 接收机介绍	(11)
第二节 GPS 接收机检验	(11)
第三节 数据质量检查(TEQC)	(21)
第三章 空间大地测量基准	(29)
第一节 基本概念	(29)
第二节 WGS84 坐标系	(29)
第三节 ITRF 框架	(31)
第四节 WGS84 与 ITRF 间的转换	(34)
第五节 中国国家 2000 坐标系	(35)
第四章 国家基础网布设	(37)
第一节 全国 GPS 一、二级网	(37)
第二节 国家 A、B 级网	(38)
第三节 中国大陆环境构造监测网络	(38)
第四节 国家基础网技术设计	(40)
第五节 外业实施方法	(43)
第六节 GPS 测量误差分析及模型改正	(48)
第七节 野外工作对精度的影响	(58)
第五章 数据处理	(63)
第一节 常用专业软件介绍	(63)
第二节 GAMIT/GLOBK 软件	(64)
第三节 GAMIT 数据处理	(68)
第四节 某 GPS 大地控制网 GPS 测量数据处理方案	(79)
第五节 2000 中国大地坐标系下点位坐标的历元归算	(81)
第六节 CGCS2000 与其他大地坐标系之间的坐标变换	(88)
第六章 GPS 工程控制网布设	(94)
第一节 技术设计	(94)

第二节	实施方案	(95)
第三节	外业技术总结编写	(98)
第四节	数据处理	(99)
第五节	坐标系统转换	(106)
第六节	内业技术总结编写	(108)
第七节	技术方案的制定	(108)
第七章	工程控制网布设示例	(112)
第一节	带状测区示例	(112)
第二节	中蒙边界第二次联合检查大地控制网联测实施方案	(116)
第三节	面状测区示例	(126)
第四节	有方位联测的 GPS 控制网	(130)
第五节	线状 GPS 工程控制网布设方法	(134)
第六节	高速铁路测量	(136)
第七节	利用 GPS 测定垂线偏差	(147)
第八节	在其他测量方面的应用	(149)
第八章	基准站(CORS 站)与 RTK 测量	(152)
第一节	传统 RTK 测量	(152)
第二节	参考站网(CORS)	(154)
第三节	单参考站	(165)
第四节	基准站的建设	(172)
第五节	移动 GNSS 基准站	(177)
第九章	利用 GPS 求取正常高	(185)
第一节	GPS 正常高测量原理	(185)
第二节	采用多项式进行拟合	(186)
第三节	移动曲面拟合	(188)
第四节	多曲面插值法	(191)
第五节	结论	(193)
附录一	精密星历及相关表文件的获取	(194)
附录二	GPS 测量的有关术语	(195)
附录三	名词解释(缩写词)	(199)
附录四	我国常用大地参考系的定义和有关常数	(200)
参考文献		(204)

第一章 绪 论

GPS 技术的出现,给传统大地测量带来了巨大的冲击和深刻的变革。GPS 以毫米级的精度测量中短基线(几千米至几百千米)和厘米级的精度测量长基线(几千千米)技术,在测量中得到极大应用。GPS 技术提供高精度、高效率的大地测量能力,无论是国家基础网布设还是局部控制网布设,均得到充分体现。

1992 年国际大地测量协会 (IAG) 建立了国际 GPS 地球动力学服务 (IGS),这个机构依靠全球布设的 IGS 的 GPS 跟踪网,通过所属的 7 个分析中心各自处理,最后汇集到设在加拿大的 IGS 协调中心,对分中心的结果进行综合处理,通过加权平均最终得到 IGS 的综合精密星历及其他信息,向全球提供使用。到目前为止,IGS 跟踪站已达 300 多个,其中包括我国的上海、武汉、昆明、拉萨、西安、乌鲁木齐和北京房山。

IGS 现有 3 个全球数据中心:法国巴黎国家地理院 (IGN);美国马里兰州 NASA 哥达德宇航中心 (GSFC);美国加州的圣迭戈的海洋研究所 (SIO)。7 个 GPS 分析中心:瑞士伯尔尼大学天文研究所 (AIUB);加拿大渥太华加拿大自然资源中心 (EMR);德国达姆施塔特的欧洲空间中心 (ESOC);德国波茨坦的地学研究中心 (GFZ);美国加州的 NASA 喷气推进实验室 (JPL);美国马里兰州的国家天气海洋管理局 (NOAA);美国加州圣迭戈的海洋研究所 (SIO)。

目前 IGS 向用户提供两类数据:一是 IGS 全球跟踪站的观测数据,这种数据已转换为 RINEX 的标准格式;二是 IGS 的产品。其中,IGS 的产品包括以下方面。

(1) GPS 卫星的精密星历。一种是各个分析中心建立的精密星历,其精度为 10~40cm;另一种是 IGS 综合的精密星历,精度为 5~10cm。

(2) GPS 卫星钟和站钟的信息。所给出的钟差的精度为 0.5~5ns。

(3) 地球自转参数。极位置的精度为 0.2~0.7ms (角秒),日长精度为每天 50ms。

(4) IGS 跟踪站坐标及其位移速度。IGS 提供的跟踪站坐标属于 ITES 建立的国际地球参考框架 ITRF。IGS 站坐标一年解的精度为 3mm~1cm;跟踪站位移速度的测定精度可达 1~2mm/a。

IGS 为 GPS 用户提供的高质量、高效率的服务是 GPS 技术广泛应用于高精度大地测量的保证。

第一节 GPS 系统

GPS 系统空间部分由 21+3 颗卫星组成,分布在 6 个接近圆形的轨道面上,轨道倾角为 55°。轨道离地面的高度约为 20 200km,相应的轨道椭圆长半轴为 26 600km。轨道运行周期为 12 恒星时,相对于协调世界时每天提前约 4min。

地面控制部分包括主控站 (MCS)、一些分布于全球的监测站 (MS) 及给卫星发送更

新数据的地面天线（GA）。GPS 的操作控制部分（OCS）由科罗拉多·斯普林斯（Colorado Springs, 美国）附近的主控站，在夸贾林岛（Kwajalein）、阿森松岛（Ascension）与迪戈·加西亚（Diego Garcia）的 3 个监测站和地面天线（GA）以及 2 个设在科罗拉多·斯普林斯和夏威夷（Hawaii）的监测站组成。其作用是：连续监测和控制卫星系统；确定 GPS 系统时间；预报卫星星历与卫星钟状态；周期性更新每颗卫星上的导航电文。

监测站接收所有卫星信号，从中计算出所有可见卫星的伪距，并连同当地气象资料，通过数据传输器发送给主控站，主控站利用这些资料预先计算出卫星星历与卫星状态参数并生成导航电文，然后再把导航电文数据发送给注入站（地面天线），注入站通过 S 波段把它们发送给能看到的卫星。由于注入站分布于全球，使得每颗卫星每天与地面控制部分至少能实现 3 次联系。

GPS 观测中，使用 3 种不同类型的 GPS 卫星信号，即载波、码和数据信号，其主要特性如表 1-1 所示。

表 1-1 三种不同类型的 GPS 卫星信号主要特性

原子钟（Cs, Rb）基本频率	10.23MHz
L ₁ 载波信号	154×10.23MHz
L ₁ 频率	1 575.42MHz
L ₁ 波长	19.05cm
L ₂ 载波信号	120×10.23MHz
L ₂ 频率	1 227.60MHz
L ₂ 波长	24.45cm
P 码频率（码元速率）	10.23MHz
P 码波长	29.31m
P 码周期	266 天/卫星
C/A 码频率（码元速率）	1.023MHz
C/A 码波长	29.31m
C/A 码周期	1ms
数据信号频率	50bps
数据信号周期持续时间	30s

第二节 GLONASS 系统

GLONASS 是 Global Navigation Satellite System（全球导航卫星系统）的字头缩写，是前苏联从 20 世纪 80 年代初开始建设的与美国 GPS 系统相类似的卫星定位系统，由卫星

星座、地面监测控制站和用户设备三部分组成。现在由俄罗斯空间局管理。

GLONASS 系统的卫星星座由 24 颗卫星组成, 均匀分布在 3 个近圆形的轨道平面上, 每个轨道面 8 颗卫星, 轨道高度 19 100km, 运行周期 11 小时 15 分, 轨道倾角 64.8° 。

与美国的 GPS 系统不同的是 GLONASS 系统采用频分多址 (FDMA) 方式, 根据载波频率来区分不同卫星 [GPS 是码分多址 (CDMA), 根据调制码来区分卫星]。每颗 GLONASS 卫星发播的两种载波频率分别为 $L_1 = 1\,602 + 0.562\,5k$ (MHz) 和 $L_2 = 1\,246 + 0.437\,5k$ (MHz), 其中, k (1~24) 为每颗卫星的频率编号。所有 GPS 卫星的载波的频率是相同的, 均为 $L_1 = 1\,575.42\text{MHz}$ 和 $L_2 = 1\,227.6\text{MHz}$ 。

GLONASS 卫星的载波上也调制了两种伪随机噪声码: S 码和 P 码。俄罗斯对 GLONASS 系统采用了军民合用、不加密的开放政策。GLONASS 系统单点定位精度水平方向为 16m, 垂直方向为 25m。

GLONASS 卫星由质子号运载火箭一箭三星发射入轨, 卫星采用三轴稳定体制, 整体质量 1 400kg, 设计轨道寿命 5 年。所有 GLONASS 卫星均使用精密铯钟作为其频率基准。第一颗 GLONASS 卫星于 1982 年 10 月 12 日发射升空。1995 年建成 24+1 颗卫星的 GLONASS 星座, 经数据加载、调整和检验, 1996 年 1 月 18 日俄罗斯宣布 GLONASS 系统组星完毕, 打破了美国 GPS 垄断卫星导航定位领域的局面, 形成了多系统共存共用的新格局。后由于各种原因, 工作卫星达到使用年限后, 没再发新星, 造成后来仅存十几颗, 使用受到限制。最近几年由于俄罗斯经济复苏, 增加了发射卫星次数。

GLONASS 导航电文为用户提供有关卫星的星历、卫星工作状态、时间系统、卫星历书等信息, 是卫星导航的数据基础。

GLONASS 导航电文分为实时数据和非实时数据两类。实时数据是与发射该导航电文的 GLONASS 卫星相关的数据。包括卫星钟面时、卫星钟差、卫星信号载波实际值与设计值的相对偏差、星历参数。非实时数据为整个卫星导航系统的历书数据, 包括卫星状态数据 (状态历书)、卫星钟面时相对于 GLONASS 系统时的近似改正数 (相位历书)、卫星的轨道参数 (轨道历书)、GLONASS 系统时间相对于 UTC 的改正数等。

为进一步提高 GLONASS 系统的定位能力, 开拓广大的民用市场, 俄政府计划用 4 年时间将其更新为 GLONASS-M 系统。更新的内容有: 改进一些地面测控站设施; 延长卫星的在轨寿命到 8 年; 实现系统高的定位精度, 位置精度提高到 10~15m, 定时精度提高到 20~30ns, 速度精度达到 0.01m/s。另外, 俄计划将系统发播频率改为 GPS 的频率, 并得到了美国罗克威尔公司的技术支援。

尽管 GLONASS 与 GPS 同为全球卫星导航系统, 但彼此有许多不同之处。GLONASS 定位的精准度和 GPS 相比有一定差距, 但其具有更强的抗干扰能力。由于坐标和时间上的使用标准不同, GLONASS 虽在国际通用上有其局限性, 但在事关战略存亡的安全重要性上, 此设计避免了战时自己卫星信号被敌干扰。

GLONASS 系统的主要用途是导航定位, 当然与 GPS 系统一样, 也可以广泛应用于各种等级和种类的测量应用、GIS 应用和时频应用等。

第三节 伽利略系统

欧盟（EC）在 1999 年提出了欧洲的伽利略卫星导航系统的计划。该计划利用来自个人与公共部门的基金，包括 4 个发展阶段。Galileo 系统设计为同时满足民用和政府使用，其控制与运行采取民间管理方式。Galileo 包括：30 颗卫星组成的星座；分布于全球的大量地面站和一个地面监控系统——非常类似于 GPS 的架构、格式与设计。系统的研发从 2001 年开始。

一、卫星部分

卫星设计的主要数据如下。

外形尺寸：27m×12m×11m；

发射质量：625kg；

功率：15kW；

设计寿命：15 年；

有效载荷：2 对铷钟和氢脉冲钟，搜索救援载荷；

每颗卫星都将搭载导航载荷和 1 台搜救转发器。

二、伽利略系统体系结构

伽利略系统由全球设施、区域设施、局域设施和用户及服务中心 5 部分组成（图 1-1）。

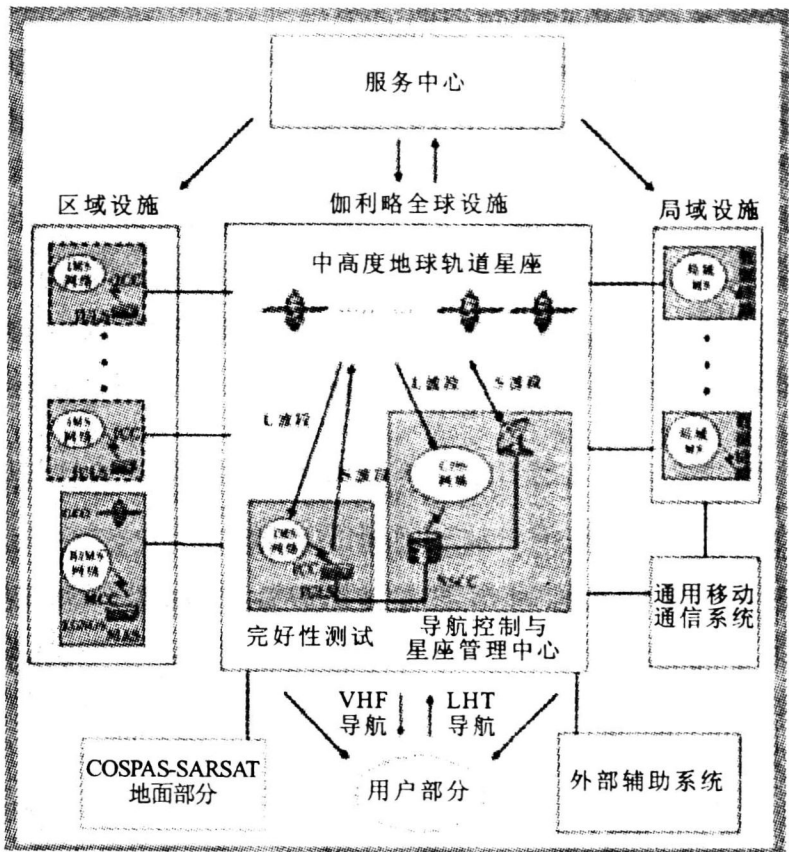


图 1-1 伽利略系统体系结构

1. 全球设施

全球设施部分由空间段和地面段组成。空间段的 30 颗卫星均匀分布在 3 个中高度圆形地球轨道上, 轨道高度为 23 616km, 轨道倾角 56° , 轨道升交点在赤道上相隔 120° , 卫星运行周期为 14h, 每个轨道面上有 1 颗备用卫星。某颗工作星失效后, 备份星将迅速进入工作位置, 替代其工作, 而失效星将被转移到高于正常轨道 300km 的轨道上。这样的星座可为全球提供足够的覆盖范围。

地面段由完好性监控系统、轨道测控系统、时间同步系统和系统管理中心组成。伽利略系统的地面段主要由 2 个位于欧洲的伽利略控制中心 (GCC) 和 29 个分布于全球的伽利略传感器站 (GSS) 组成, 另外还有分布于全球的 5 个 S 波段上行站和 10 个 C 波段上行站, 用于控制中心与卫星之间的数据交换。控制中心与传感器站之间通过冗余通信网络相连。全球地面部分还提供与服务中心的接口、增值商业服务以及与“科斯帕斯-萨尔萨特”(COSPAS-SARSAT) 的地面部分一起提供搜救服务。

2. 区域设施

伽利略系统是全球导航系统, 完好性监测遍布全球。但系统设计允许引入区域性地面设施。区域设施由监测台提供区域完好性数据, 由完好性上行数据链直接或经全球设施地面部分, 连同搜救服务商提供的数据, 上行传送到卫星。全球最多可设 8 个区域性地面设施。

3. 局域设施

有些用户对局部地区的定位精度、完好性报警时间、信号捕获/重捕等性能有更高的要求, 如机场、港口、铁路、公路及市区等。局域设施采用增强措施可以满足这些要求。除了提供差分校正量与完好性报警外 ($\leq 1s$), 局域设施还能提供其他几项服务: ①商业数据 (差分校正量、地图和数据库); ②附加导航信息 (伪卫星); ③在接收 GSM 和 UMTS 基站计算位置信号不良的地区 (如地下停车场和车库), 增强定位数据信号; ④移动通信信道。

4. 用户

接收机是伽利略系统中一个重要环节。根据市场的需求, 有各种不同类型的接收机利用伽利略系统的各种信号实现不同的服务。伽利略接收机还应有外部辅助系统 (GPS、GLO-NASS 和罗兰等) 接口, 可组成综合服务。

5. 服务中心

服务中心提供伽利略系统用户与增值服务供应商 (包括局域增值服务商) 之间的接口。根据各种导航、定位和授时服务的需要, 服务中心能提供: ①性能保证信息或数据登录; ②保险、债务、法律和诉讼业务管理; ③合格证和许可证信息管理; ④商贸中介; ⑤支持开发应用与介绍研发方法。

三、频率与信号设计

伽利略系统的频率与信号基本确定有 10 种右旋圆极化导航信号, 占用 4 个频段, 分别为 1 164~1 214MHz (E5a 和 E5b), 1 260~1 300MHz (E6) 和 1 559~1 591MHz (E2 - L1 - E1)。伽利略的载波频率与频谱有一部分与 GPS 或 GLONASS 重合。

伽利略系统的所有卫星工作在同样的载频上, 各颗卫星利用与 GPS 兼容的码分多址接入。10 种导航信号中有 6 种供广大伽利略用户使用, 它们是 E5a、E5b 和 L1 载频上的开放服务 (OS) 及生命安全服务 (SOL), 其中 3 个正交频道是无数据频道 (测距码未经数据调制), 称为辅助频道。E6 载频上的两个信号是加密测距码, 其中一个是无数据信道, 通过商业服务供应商供专门用户使用。最后两个信号是 E6 和 E2 - L1 - E1 载频上的加密测距码和数据, 只供公共管理服务的特许用户使用。

1. 调制方式

对各种伽利略载波频率采用不同的调制方式。

(1) E5a 和 E5b 载频调制

E5a 载频由 50sps 导航数据流来调制, 经测距码 C1 (E5a) 和 CQ (E5b) 扩频。E5b 载频的调制方式相似, 只是数据率为 250sps。E5a 和 E5b 载频的两个正交信道 I 信道和 Q 信道上的测距扩频码的码元速率均为 10.23MHz。

(2) E6 载频调制

E6 载频信号包含 3 个信道, 目前考虑采用修正 6 相调制, 以时分多址接入方式在同一载频上发射。

(3) E2 - L1 - E1 载频调制

L1 载频信号也包含 3 个信道, 调制方式与 E6 相同, 也考虑用时分多址方式接入。

2. 伽利略系统扩频码

伽利略系统的一个重要特性是在导航信号中采用伪随机噪声码序列作为测距码。基本的测距码是多层码, 由长周期副码调制短周期主码构成。合成码的等效周期等于长周期副码的周期。主码采用传统的 gold 码, 寄存器最长达 25 级。副码预定序列长度可达 100 级。

四、伽利略系统的服务内容

伽利略系统的各种数据载波上指配提供下列各项服务。

1. 开放服务

信号利用 E5a、E5b 和 E2 - L1 - E1 载频上不加密的测距码和导航数据电文, 单频接收机可接收 E2 - L1 - E1B 和 E2 - L1 - E1C 的信号以及 GPS L1 频段 C/A 码信号。双频接收机还可以接收 E5aI、E5aQ 以及未来的 GPS 和 L5 信号, 采用附加信号 E5bI 和 E5bQ 还可以进一步提高精度。开放服务是免费的。

2. 生命安全服务

信号利用所有 E5 和 E2 - L1 - E1 载频上的开放服务测距码及导航电文数据，主要是完好性和空间信号精度数据。完好性数据的使用是有偿服务。

3. 商业服务

信号利用 E2 - L1 - E1B 和 E2 - L1 - E1C 信号上的开放服务测距码和导航电文数据及 E6B 和 E6C 载频上的附加保密商业数据电文和测距码，提供增值服务。商业服务供应商与伽利略地面控制中心有接口，由商业服务供应商直接向用户提供收费商业服务数据。

4. 公共管理服务

信号利用 E6 和 E2 - L1 - E1（或 L1）载频上加密 PRS 测距码和导航数据电文，用 E6A 和 E2 - L1 - E1A 表示。

5. 搜救服务

伽利略卫星装有搜救转发器，可增强“科斯帕斯-萨尔萨特”的搜救功能，缩短遇险信标位置检测时间和提高信标定位精度，并向用户发送接收遇险电文的确认信息。遇险用户从“科斯帕斯-萨尔萨特”信标发出的遇险电文，由星上搜救转发器接收，下行传送给“科斯帕斯-萨尔萨特”地面站，再经地面站转发至救助中心，对电文进行进一步处理。“科斯帕斯-萨尔萨特”地面站随即向伽利略地面站发出确认电文。接收报警电文的确认信息通过上行链路发送到用户视界内的卫星，再由卫星转发器发回到发出报警的信标。电文包含在伽利略导航信号中，装有伽利略接收机的用户才能接收该信号。目前正在研究进一步加强搜救服务性能的问题，使用户与搜救中心之间具有交换简短信息的功能。伽利略搜救服务应与现有“科斯帕斯-萨尔萨特”服务协调，并和全球海上遇险和安全系统（GMDSS）及泛欧运输网络兼容。

“科斯帕斯-萨尔萨特”根据伽利略搜救服务提供的信号与数据，确定遇险信标的位置。现有信标的定位精度约 5km，装备伽利略接收机的先进信标的定位精度优于 10m。

6. 导航通信服务

综合利用伽利略系统和现有无线电、地面和卫星通信网络，将导航数据与通信系统进行综合开发是一项重要的商机。

7. 星基增强服务

EGNOS 可向单频 GPS 和 GLONASS 接收机提供完好性与差分校正量数据。数据通过地球静止卫星向欧洲地区播发。EGNOS 能完成 GPS 和 GLONASS 方域差分校正量及完好性数据的测定与发布，并与其他星基增强系统，如北美的广域增强系统（WAAS）和日本的星基增强系统（MSAS）交互作用。

五、伽利略系统的管理和实施

开发阶段和在轨验证阶段主要由欧空局和欧盟提供资金，空间段和地面段的开发和验证由欧空局来实现。

伽利略计划采用公私合营体制运行操作，在计划的各个阶段，私营企业都可以参与，这是伽利略计划的特点。公私伙伴关系（PPP）的运作方式在项目有效管理、经费合理运用、业务质量保证、风险共同分担和解决资金短缺问题等方面有着不可替代的作用。

第四节 北斗导航定位系统

全球卫星导航系统，被称作“人类在太空里的眼睛”，哪个国家拥有这双“眼睛”，就好比掌握了太空战制胜的“王牌”。军事需要和不可小觑的商业利益，使世界各国在这一领域的竞争日趋激烈。

目前，世界上仅有 4 套卫星导航系统处于工作或研制状态，即美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧洲的“伽利略”以及我国的“北斗”。

2003 年 5 月 25 日零时 34 分，我国在西昌卫星发射中心用“长征三号甲”运载火箭，成功地将第三颗“北斗一号”导航定位卫星送入太空。前两颗“北斗一号”卫星分别于 2000 年 10 月 31 日和 2000 年 12 月 21 日发射升空，运行至今导航定位系统工作稳定，状态良好。这次发射的卫星是导航定位系统的备份星。它与前两颗“北斗一号”工作星组成了完整的卫星导航定位系统，确保全天候、全天时提供卫星导航信息。我国的“北斗一号”卫星导航系统是 20 世纪 80 年代提出的“双星快速定位系统”的发展计划。北斗导航系统的方案于 1983 年提出，突出特点是构成系统的空间卫星数目少、用户终端设备简单、一切复杂性均集中于地面中心处理站。“北斗一号”卫星定位系统是利用地球同步卫星为用户提供快速定位、简短数字报文通信和授时服务的一种全天候、区域性的卫星定位系统。系统的主要功能是：①定时：快速确定用户所在地的地理位置，向用户及主管部门提供导航信息；②通讯：用户与用户、用户与中心控制系统间均可实现双向简短数字报文通信；③授时：中心控制系统定时播发授时信息，为定时用户提供时延修正值。

“北斗一号”卫星定位系统由两颗地球静止卫星（ 80°E 和 140°E ）、一颗在轨备份卫星（ 110.5°E ）、中心控制系统、标校系统和各类用户机等部分组成。系统的工作过程是：首先由中心控制系统向卫星 I 和卫星 II 同时发送询问信号，经卫星转发器向服务区内的用户广播。用户响应其中一颗卫星的询问信号，并同时向两颗卫星发送响应信号，经卫星转发到中心控制系统。中心控制系统接收并解调用户发来的信号，然后根据用户的申请服务内容进行相应的数据处理。对定位申请，中心控制系统测出两个时间延迟：即从中心控制系统发出询问信号，经某一颗卫星转发到达用户，用户发出定位响应信号，经同一颗卫星转发回中心控制系统的延迟；从中心控制发出询问信号，经上述同一卫星到达用户，用户发出响应信号，经另一颗卫星转发回中心控制系统的延迟。由于中心控制系统和两颗卫星的位置均是已知的，因此由上面两个延迟量可以算出用户到第一颗卫星的距离以及用户到两颗卫星距离之和，从而知道用户处于一个以第一颗卫星为球心的一个球面和以两颗卫星为焦点的椭球面之

间的交线上。另外，中心控制系统从存储在计算机内的数字化地形图查寻到用户高程值，又可知道用户处于某一与地球基准椭球面平行的椭球面上。从而中心控制系统可最终计算出用户所在点的三维坐标，这个坐标经加密由出站信号发送给用户。

“北斗一号”的覆盖范围是 $5^{\circ}\text{N} \sim 55^{\circ}\text{N}$ ， $70^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$ 之间的地区，上大下小，最宽处在 35°N 左右。其定位精度为水平精度 100m (1σ)，设立标校站之后为 20m （类似差分状态）。工作频率为 $2\,491.75\text{MHz}$ 。系统能容纳的用户数为每小时 $540\,000$ 户。

“北斗一号”卫星导航系统与 GPS 系统比较如下。

1. 覆盖范围

北斗导航系统是覆盖我国本土的区域导航系统。覆盖范围为 $70^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$ ， $5^{\circ}\text{N} \sim 55^{\circ}\text{N}$ 。GPS 是覆盖全球的全天候导航系统，能够确保地球上任何地点、任何时间能同时观测到 $6 \sim 9$ 颗卫星（实际上最多能观测到 11 颗）。

2. 卫星数量和轨道特性

北斗导航系统是在地球赤道平面上设置 2 颗地球同步卫星，每颗卫星的赤道角距约 60° 。GPS 是在 6 个轨道平面上设置 24 颗卫星，轨道赤道倾角 55° ，轨道面赤道角距 60° ，绕地球一周时间为 11 小时 58 分。

3. 定位原理

北斗导航系统是主动式双向测距二维导航。地面中心控制系统解算，提供用户三维定位数据。GPS 是被动式伪码单向测距三维导航。由用户设备独立解算自己的三维定位数据。“北斗一号”的这种工作原理带来两个方面的问题，一是用户定位的同时失去了无线电隐蔽性，这在军事上相当不利；另一方面，由于设备必须包含发射机，因此在体积、重量、价格和功耗方面处于不利的地位。

4. 定位精度

北斗卫星导航系统致力于向全球用户提供高质量的定位、导航和授时服务，包括开放服务和授权服务两种方式。开放服务是向全球免费提供定位、测速和授时服务，定位精度 10m ，测速精度 0.2m/s ，授时精度 10ns 。授权服务是为有高精度、高可靠卫星导航需求的用户提供定位、测速、授时和通信服务以及系统完好性信息。

5. 用户容量

北斗导航系统由于是主动双向测距的询问-应答系统，用户设备与地球同步卫星之间不仅要接收地面中心控制系统的询问信号，还要求用户设备向同步卫星发射应答信号，这样，系统的用户容量取决于用户允许的信道阻塞率、询问信号速率和用户的响应频率。因此，北斗导航系统的用户设备容量是有限的。GPS 是单向测距系统，用户设备只要接收导航卫星发出的导航电文即可进行测距定位，因此，GPS 的用户设备容量是无限的。

6. 生存能力

和所有导航定位卫星系统一样,“北斗一号”基于中心控制系统和北斗卫星的工作,但是“北斗一号”对中心控制系统的依赖性明显要大很多,因为定位解算在中心控制系统而不是由用户设备完成的。为了弥补这种系统易损性, GPS 正在发展星际横向数据链技术,使得万一主控站被毁后 GPS 卫星可以独立运行。而“北斗一号”系统从原理上排除了这种可能性,一旦中心控制系统受损,系统就不能继续工作了。

“北斗一号”定位具有实时性。“北斗一号”用户的定位申请要送回中心控制系统,中心控制系统解算出用户的三维位置数据之后再发回用户,其间要经过地球静止卫星走一个来回,再加上卫星转发,中心控制系统的处理,时间延迟就更长了,因此,对于高速运动体,就加大了定位的误差。此外,“北斗一号”卫星导航系统也有一些自身的特点,其具备的短信通讯功能就是 GPS 所不具备的。

“北斗一号”系统已连续稳定运行了 7 年多,在部队巡逻、作战指挥、训练演习、抢险救灾等军事活动中发挥了重要作用。特别是 2008 年汶川抗震救灾,“北斗一号”系统发挥了其独特的技术优势。随着“北斗二号”卫星不断发射,导航系统进入了加速组网阶段。

“北斗二号”组网卫星:2010 年 11 月 1 日 0 时 26 分成功发射第 6 颗北斗组网卫星,这是我国 2010 年连续发射的第 4 颗北斗卫星,北斗卫星导航系统将于 2012 年前具备亚太地区区域服务能力,2020 年左右覆盖全球。

已投入使用的美国 GPS 系统和俄罗斯 GLONASS 系统日趋完善,能力不断增强。GPS 系统正在实施现代化改造,旨在提高系统的稳定性、定位与授时精度、可靠性以及抗干扰、抗毁伤与系统快速修复能力和导航战能力,计划 2020 年完成,届时导航定位精度达 1m,授时精度达 1ns。俄罗斯 GLONASS 系统进入快速增长期,在轨卫星 22 颗,导航定位精度优于 5m。欧洲正在实施 GALILEO 计划,“伽利略”接收机不仅可以接受本系统信号,而且可以接受 GPS、GLONASS 这两大系统的信号,并且具有导航功能与移动电话功能相结合、与其他导航系统相结合的优越性能。日本和印度也正在分别发展本国的“准天顶”卫星导航系统(QZSS)和区域卫星导航系统(IRNSS)。X 射线脉冲星导航尚处于研究阶段,美国国防部 2004 年提出并启动了 X 射线脉冲星导航计划(XNAV),航天器自主定轨和定时精度将分别达 10m (3σ) 和 1ns (1σ)。卫星导航定位装备建设将向增强导航定位、抗干扰、自主运行和导航战等能力方向发展。