



卫星导航系列丛书

广义RDSS全球定位报告系统

The Comprehensive RDSS
Global Position and Report System

谭述森 著

卫星导航系列丛书

广义 RDSS 全球定位报告系统

The Comprehensive RDSS Global Position and Report System

谭述森 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

广义 RDSS 全球定位报告系统/谭述森著. —北京:
国防工业出版社, 2011. 1

(卫星导航系列丛书)

ISBN 978-7-118-06869-6

I. ①广... II. ①谭... III. ①全球定位系统 IV. ①P228.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 220570 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 700×1000 1/16 印张 8 $\frac{1}{4}$ 字数 122 千字

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

进入 21 世纪以来,全球卫星导航定位系统 GNSS 迅速发展,GPS、GLO-NASS、Calileo 和中国的北斗(Compass)四大全球系统的兼容、共用正在形成,是 GNSS 的主要成员。上述系统大多数都是基于卫星无线电导航业务(Radio Navigation Satellite Service,RNSS)原理而工作的。CRDSS 是根据卫星无线电定位业务(Radio Determination Satellite Service,RDSS)基本含义,对世界上现存的双星无线电定位、卫星无线电导航业务的统称。由于信息化进展之需要,社会对个人位置服务共享业务需求迫切,通过 GPS 定位和通信手段,进行位置报告的组合式服务已不能全面满足社会需要,急需寻求一种新的模式,将测量、定位与位置报告融为一体,将不同层次用户需求和复杂的数学处理简化成十分简单的操作,摆脱日趋面临的 用户操作复杂、用户终端设备复杂度高、基础设施愈来愈庞大的局面,使卫星导航以低成本、高效率进入国家的经济活动和人们的生活出行之中,基于上述思想撰写了本书。

本书共 6 章。第 1 章,从信息化社会呼唤卫星导航技术创新角度出发,定义了 CRDSS 概念,介绍了全球四大卫星导航系统,提出了多层次个性化服务的迫切需求,导航理论创新与服务方式创新是迫在眉睫的任务。第 2 章,追述了无线电定位与卫星无线电定位发展的历史,对 RDSS 的最初定义和发展作了简略介绍,并从国际电信联盟对卫星导航系统的认识和规则的形成出发,定义了 RNSS 业务。在此基础上介绍了无线电定位原理、CRDSS 定位报告原理、RNSS 定位原理、RDSS 与 RNSS 业务比较、CRDSS 业务能力及全球覆盖性分析、CRDSS 个性化服务、CRDSS 的技术特色及效果。第 3 章,介绍了应用对象及设计原则、星座选择及覆盖区设计,分别对不同任务下的星座选

择进行了讨论。阐述了 CRDSS 覆盖区设计方法,提出了针对中国服务的星座设想和典型电平计算。进行了定位精度分析和指标分配,介绍了基本参数计算方法、终端设备信号处理方案。第 4 章,提出了卫星基本指标,阐述了 CRDSS 卫星功能及全球服务设计方案,对重点指标进行了分配。第 5 章,介绍了地面系统的功能与组成,重点介绍了 MCC 的设计,阐述了双星定位、三星定位、四星伪距定位原理及距离测量系统方案、介绍了 GNSS 参考站定位方案、多系统卫星钟差测定方案、多系统卫星精密轨道测量与应用方案、电离层校正参数形成与应用方案、高精度实时动态定位及准实时定位方案。第 6 章,分别介绍了高精度伪距双差定位应用方案及其用户终端设计方案、导航星管理应用方案、提出了以 GEO 为基础的广义星间链路设计、时间同步方案设计、MEO 卫星位置解算方法,介绍了 CRDSS 全球技术应用、航天用户测控管理应用。

本书在编写过程中得到了陈向东、窦长江、刘峰、张炳琪、田斌、王哨军、肖勇、郭思远、赵海星、焦诚、朱伟刚、王磊、邵佳妮、赵博、唐艳、朱克家、陈杨、闫建华、罗可可、侯莉、刘昌杰、刘慧月、赵轲、田原、毛潇等同志大力支持,他们在文稿录入、插图绘制、打印、校对方面付出了辛勤劳动,在此一并表示衷心感谢。

由于个人水平和工程经验有限,错误在所难免,敬请广大读者指正。

作者
2009.5

目 录

第 1 章 信息化社会呼唤卫星导航技术创新	1
1.1 CRDSS 概念	1
1.2 四大全球系统抢占卫星导航传统市场	2
1.3 多层次个性化服务需求日趋旺盛	6
1.4 导航理论创新与服务创新迫在眉睫	10
第 2 章 CRDSS 理论	12
2.1 无线电定位与卫星无线电定位历史	12
2.2 无线电定位基本原理	13
2.3 CRDSS 定位报告原理	15
2.4 RNSS 系统定位原理	18
2.5 CRDSS 与 RNSS 业务的任务比较	19
2.6 CRDSS 系统定位报告能力分析	20
2.7 CRDSS 全球覆盖分析	22
2.8 CRDSS 实现个性化服务	24
2.9 无线电定位体系结构和前景预测	25
2.10 CRDSS 的技术特色及效果	27
第 3 章 CRDSS 系统设计	30
3.1 应用对象及设计原则	30
3.1.1 应用对象	30

3.1.2	设计原则	31
3.2	星座选择及覆盖区设计	31
3.2.1	星座选择	31
3.2.2	CAT— I 完好性广播星座设计	32
3.2.3	中国区域空中交通管制覆盖区设计	33
3.2.4	CRDSS 覆盖区设计	34
3.3	精度分析与指标分配	36
3.3.1	总精度要求	36
3.3.2	观测设备误差分析	37
3.3.3	单点定位与单基准站差分定位误差分析	37
3.3.4	基准网伪距差分定位精度分析	38
3.3.5	单基准站载波相位差分定位误差分析	41
3.3.6	窄相关伪距差分定位精度分析	44
3.4	精密定位方案选择	45
3.5	向导业务	45
3.6	S/L 频段双向数据传输链路设计	46
3.6.1	设计条件及设计项目参数	46
3.6.2	出站链路电平及容量估计	47
3.6.3	入站链路电平及容量估计	47
第 4 章	CRDSS 导航定位卫星	51
4.1	任务及功能指标	51
4.2	RNSS 卫星	52
4.3	CRDSS 卫星	52
4.3.1	区域 CRDSS 卫星	53
4.3.2	全球 CRDSS 卫星	56
4.3.3	CRDSS 卫星时间同步载荷	59
第 5 章	CRDSS 地面系统	60
5.1	地面系统的功能和组成	60

5.2	MCC	61
5.2.1	CRDSS 业务用户距离测量及定位方程	61
5.2.2	距离测量系统方案	66
5.3	GNSS 参考站系统	68
5.3.1	局域 I 类精密进近参考站系统	68
5.3.2	1.0m 级参考站系统	69
5.4	多系统卫星钟差测定	69
5.5	多系统卫星精密轨道测定与应用	71
5.6	电离层校正参数形成与应用	73
5.7	GNSS 高精度实时动态定位	74
5.8	CRDSS 高精度准实时定位	75
第 6 章	典型应用方案	77
6.1	高精度伪距双差定位应用方案	77
6.1.1	伪距双差 RDSS 定位原理	77
6.1.2	伪距双差 RDSS 定位距离和观测参数校正及 精度分析	79
6.1.3	L 频段双差距离校正	82
6.1.4	伪距双差 RDSS 定位精度估计	82
6.1.5	MCC 距离和测量方案	84
6.1.6	用户终端设计方案	85
6.2	导航星管理应用	89
6.2.1	导航星管理的技术进展	89
6.2.2	导航星 CRDSS 星间管理方案	91
6.2.3	频率及链路结构设计	93
6.2.4	星地链路参数设计	96
6.2.5	基于 UHF 频段的星间链路参数设计	99
6.2.6	卫星钟星间同步方法	101
6.2.7	基于高轨道星间链路下的定轨观测数据	102
6.2.8	星间注入及卫星管理	103

第 1 章 信息化社会呼唤卫星导航技术创新

1.1 CRDSS 概念

CRDSS 是 Comprehensive Radio Determination Satellite Service 的缩写, 中文含义为广义卫星无线电定位业务。其基本概念是通过一颗有双向往返测距功能的转发式 RDSS 卫星, 完成测量控制中心(MCC)至用户往返距离和的测量, 用户完成该卫星与其他任意两颗导航卫星的伪距差测定, 通过 MCC 计算处理, 即可同时完成用户的位置确定与向 MCC 的位置报告。在地球静止轨道(GEO)上适当布设两颗 RDSS 转发式卫星, 就能完成全球陆上、海上 70%覆盖区的个人位置服务, 近地卫星 85%覆盖区域的位置服务。与采用 GPS 定位和通信手段进行位置报告相比, 其费效比显著提高, 将传统卫星无线电导航(RNSS)业务至少需 4 颗卫星才能定位变为 3 星定位。在同样星座卫星数下, 有机会选择更低的 DOP 值, 从而提高定位精度, 更大的优点是降低了用户机的造价, 减轻了用户负担。所以 CRDSS 不是卫星导航和通信的简单结合, 而是实现更高精度、更灵活服务、用户信息共享、导航系统资源共享的一种应用模式, 是突出用户应用需求, 努力降低用户负担, 避免应用系统重复建设, 扩大应用规模, 实现卫星导航产业化的新思路、新方案。将卫星导航自发式传统服务提升至按需服务的高级阶段, 是避免传统式低水平恶性竞争, 创立以服务质量高低为良性竞争的重大技术举措, 也是支持自主创新、发展民族导航产业的重大技术举措。CRDSS 不是抛弃全球卫星导航系统 GNSS 的现存状况而不顾, 去建设一个新系统, 而是在现成

的几个全球卫星导航系统基础上,以中国北斗为主体,开拓新的服务模式,创造增值服务价值。

1.2 四大全球系统抢占卫星导航传统市场

20 世纪 60 年代以来,美、苏两大国为维持全球霸主地位,各自开始了全球卫星导航系统的建设。美国国防部于 1973 年批准了 GPS 计划,经过近 20 年建设,于 1994 年宣布系统建成。定位精度:PPS 服务为 8m(SEP),SPS 服务为 100m。苏联于 1995 年宣布建设的 GLONASS 系统布满星座,获得了全球导航能力,但目前星座缺损,难以提供连续服务能力。

上述两个卫星导航系统各自冠以全球导航定位的名称,GPS 是 Global Positioning System 的缩写,GLONASS 是 Global Navigation Satellite System 的缩写。两个系统的命名含义直白,一语道破主题,表达了西方人直率的性格和简洁的文化内涵。两大系统作为美、苏两大国的战略武器,发挥了威慑作用。在 20 世纪末的几场现代化战争中,GPS 发挥了显著威力,为赢得战争的胜利贡献了力量。与此同时,GPS 也以经济为目标,大力推广民用,成为当今 IT 行业的重要产业,每年创造近千亿美元的价值,占领全球卫星导航市场 99% 的份额。欧洲人从军事、经济的现实竞争中,看到了两大全球导航系统的地位和作用,激活了反叛传统道德的传统思维,毅然以欧洲文艺复兴时期的科学巨匠 Galileo 为榜样,统一了欧盟的卫星导航定位方案,并命名为 Galileo 计划,并于 2000 年正式启动,2005 年发射了第一颗试验卫星。计划 2011 年建成全球卫星导航系统。从系统的命名可见欧洲人的动机和决心。

作为具有指南针发明史的中华民族,从来没有忘记对世界导航文明的贡献与责任,于 20 世纪末以“北斗”命名了中国第一代卫星导航系统,希望成为永不熄灭的指路明灯。它的英文注册名称 Compass 寓意发明指南针的中华民族将继续延伸民族文化精神,为世界文明的发展作出贡献。2000 年成功发射了两颗北斗导航试验卫星,2003 年 12 月 15 日系统正式开通运行,成为世界上第三个拥有自主卫星导航系统的国家,并首次将定位与通信集成于系统和用户终端,创造了卫星导航应用的新体制。2007 年 4 月 14 日,发射了第一颗北斗全球导航卫星,启动了 5 颗 GEO 卫星加 30 颗 N GEO 卫星的全球系统

计划。2007年7月,联合国宣布北斗(Compass)、GPS、GLONASS、Galileo的操作者为全球导航定位供应商。2007年11月,国际GNSS委员会(ICG)在印度召开的国际协调会议商讨了全球GNSS系统兼容共用技术问题,正式提出了四大全球系统资源共享国际标准应解决的技术问题,包括兼容与互操作概念、频率兼容内容、干扰与兼容、编码与互相关性、理想互操作标准、共同的中心频率(L5、E5a)相同的天线极化方式,共同的信号频谱,相同的捕获积分时间等。表1-1列出了四大卫星导航系统的兼容性,从此拉开了卫星导航抢占传统市场的序幕。图1-1~图1-4分别为四大全球系统的星座结构。

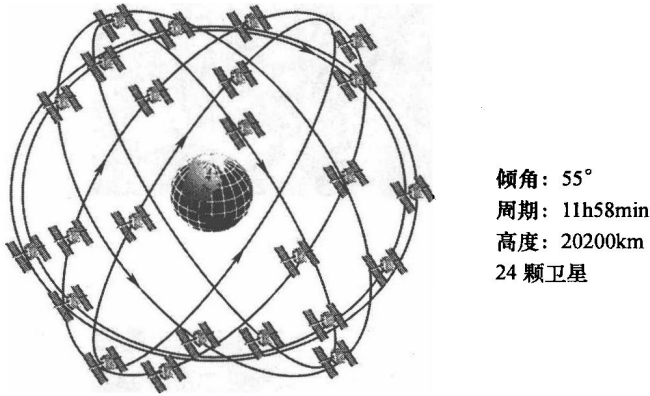


图1-1 GPS全球系统星座图(6个轨道面)

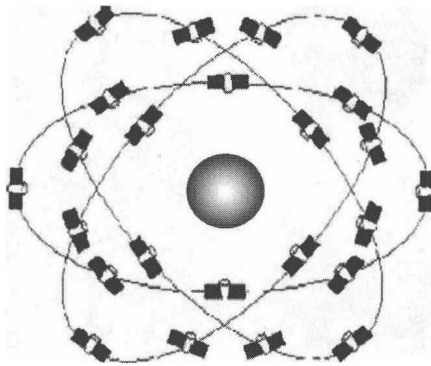
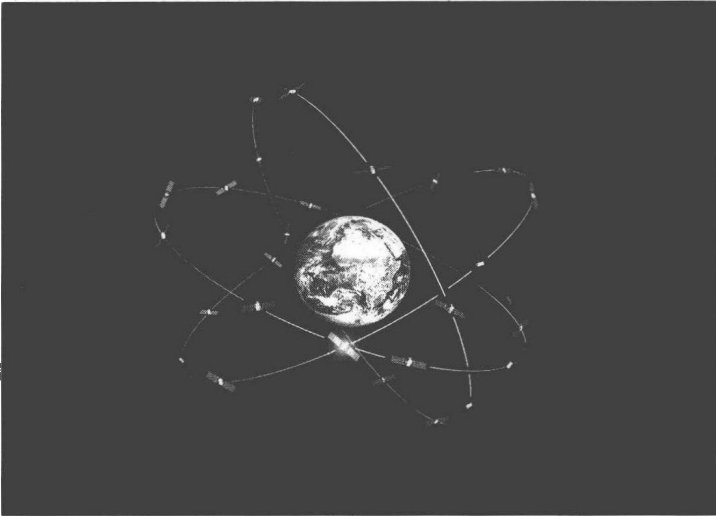


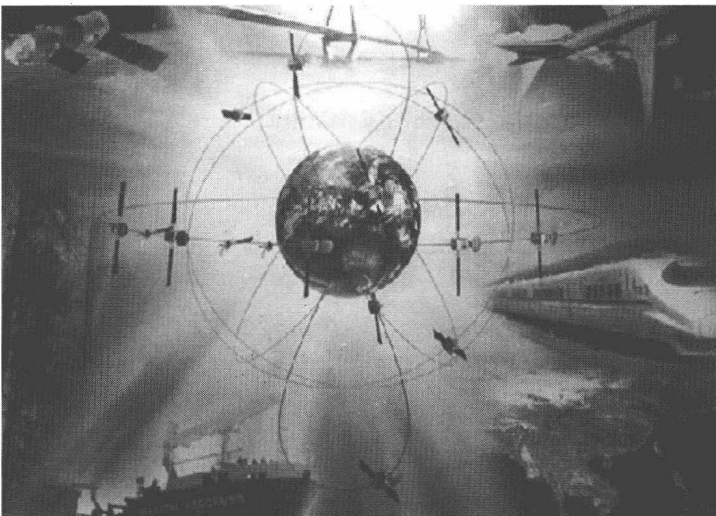
图1-2 GLONASS(3个轨道面)卫星导航系统

4 广义 RDSS 全球定位报告系统



倾角: 54°
周期: 14h07min
高度: 23222km
地迹重复周期 7 天
Walker 27/3/1

图 1-3 Galileo 卫星导航系统



倾角: 55°
周期: 12h55min
三个轨道面 30 颗卫星

图 1-4 北斗(Compass)卫星导航系统

表 1-1 北斗(Compass)、GPS、Galileo、GLONASS 系统兼容性比较

	Compass	GPS	Galileo	GLONASS
组网卫星数	5GEO+(20~30)NGEO	(20~30) MEO	30 MEO	24 MEO
卫星轨道/km	GEO IGSO MEO 21500	MEO 20230	MEO 23222	MEO 19100
轨道平面数	3(MEO)	6(3)	3	3
轨道倾角/(°)	55	55	54	64.8
运行周期	12h55min	11h58min	14h07min	11h15min
星历数据 表达方式	卫星轨道的 开普勒根数	卫星轨道的 开普勒根数	开普勒根数	直角坐标系中 位置速度时间
测地坐标系	CGCS 2000	WGS-84	WGS-84	PZ-90
时间系统	BDT	GPST	GPST	GLONASST
使用频率/MHz	B1:1575.42 BOC(14,2) B1c:1575.42 BOC(6,1,1/11) B2:1191.795 ALE BOC(15,10) B3:1268.52 QPSK(10) B3a:1268.52 BOC(15,2.5)	L1:1575.42 BPSK(1) L1c:1575.42 BOC(6,1,1/11) L2:1227.6 BPSK(10) L5:1176.45 BPSK(10)	E1:1575.42 BOC(1,1) E5b:1207.140 E5a:1176.45 E6:1278.75 BPSK(5) COS BOC(10,5)	L1:1602.5625~ 1615.5 L2:1240~1260
卫星识别	CDMA	CDMA	CDMA	FDMA
码钟频/(Mb/s)	1.023×n	1.023×n	1.023×n	0.0511
电波极化	右旋圆极化	右旋圆极化	右旋圆极化	右旋圆极化
调制方式	QPSK+BOC	QPSK+BOC	BPSK+BOC	BPSK
数据频率/(b/s)	50,500	50	50,1000	50

上述特征表明:

(1) 四个系统有相同的中心频率甚至相重合的带宽,相同的右旋圆极化

方式,可以用相同的天线、预选器、低噪声前放。

(2) 四个系统均为伪随机码扩频测距信号,可以设计兼容基带处理芯片,实现对信号的捕获跟踪,伪距测量。

(3) 均有相同的伪距定位原理和相同的定位算法。

(4) 卫星轨道高度、倾角、运行周期基本一致,有相同的卫星位置算法,多普勒频率相同,载波和码跟踪算法一致。

(5) 只有 GLONASS 采用 FDMA 卫星识别方式,有较复杂的频率综合器。

(6) 北斗与 Galileo 有更多的兼容与互操作性。在 B1c 和 B2 上均有相同中心频率,兼容性更强,在接收机制造上更具兼容性,还能与 GPS 兼容。所以,北斗在中国的竞争力并非比 GPS 弱,当北斗提供 GPS、Galileo 差分改正数和完好性信息后,完全可以占领中国及周边地区的高精度、生命安全服务市场,成为国际 GNSS 主力军。

1.3 多层次个性化服务需求日趋旺盛

虽然全球将建立四个具有兼容共享的全球卫星导航系统,以满足不同用户、不同层次的服务。但由于需求的多层次、个性化特性突出,在降低服务成本,提高服务质量方面仍存在着巨大差距,是当前及今后相当长时期内导航服务业经常性的突出矛盾。

在航天航空领域,高动态下的精密导航定位服务需建立 GNSS 广域增强服务系统。这种系统一般以本国(或是盟友)导航卫星为主用卫星,以其他三大系统导航卫星为增强卫星,在地面完成上述全部卫星的监测,并提供上述卫星的双频观测资料,通过精密定轨、卫星钟差测定、电离层校正处理、向用户提供精密轨道校正、卫星钟差校正及电离层校正参数,从而提高用户的定位精度,其构成如图 1-5 所示。

广域增强系统服务精度可以达到 2.0m(2RMS)或更高水平。完好性告警时间优于 6s,可满足航空用户 I 类精密进近(CAT-I)服务,是未来高动

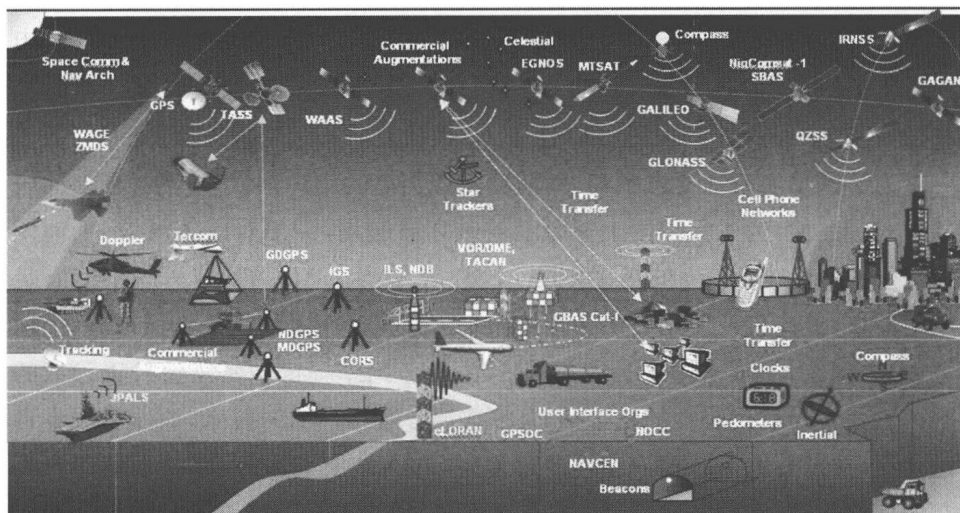


图 1-5 2015 年国际 PNT 服务示意图

态、高精度实时导航(制导)的基本服务模式。已经建立或正在建立的这一类服务系统,有中国的卫星导航增强系统,美国联邦航空局(FAA)建立的覆盖美国、加拿大以及太平洋、大西洋地区的广域增强系统(WAAS),欧盟、欧洲空间局建立的欧洲地球静止卫星导航重叠系统(EGNOS),日本建立的天顶卫星系统(QZSS),印度建立的覆盖印度及印度洋的区域卫星导航系统(IRNSS)。上述系统也能为海上和陆上导航、公路和铁路运输车辆实施高精度的实时导航。这些系统除了应用 GNSS 导航卫星外,一般都具有多个 GEO 卫星转发器,几十个地面监测站和多个地面控制中心。不但系统建设费用高昂,系统维护经费也相当惊人。

为了满足更高定位精度的服务,相应建立了本地增强服务系统。它基于局部地区误差的强相关性原理,利用局域差分 GPS(LADGPS)技术,得到比广域差分更高的精度。在不大于 150km 的作用距离内,伪距差分可以得到 3m~5m 的定位精度,采用相位平滑技术,可达 1m 定位精度。在作用距离小于 30km 范围内,利用载波差分可以得到厘米级精度。因此,在航空 II 类、III 类精密进近(CAT-II、CAT-III)场合,使用基于 LADGPS 技术进行增强。

当可选用 GNSS 任何系统卫星时,可获得更好的卫星几何,DOP 值可以很低,从而可以取消在地面增强的伪卫星,减少了布设伪卫星的麻烦和伪卫星对用户产生的远近效应,改善 CAT-Ⅱ、CAT-Ⅲ 系统复杂度和精度。美国在 2002 年曾有 46 个 I 类机场、114 个 II/Ⅲ 类机场进行精密进近服务。

为了满足实时性要求不高,而精度又相当高的用户,又不得不寻求新的服务方式。比如,为了保护国土资源不被破坏或滥用,需要对山体滑坡、土地使用进行精度优于 1.0m 的精确监测,上述 WAAS、LADGPS 技术既不能满足精度需求,其造价及使用费用又十分昂贵。于是产生了满足一个城市、一个地区、一个国家,甚至全球建立参考网站,由参考网站提供精密定位校正参数的服务方式。最有代表性的技术叫 GPS 虚拟参考站(VRS)技术,该技术摒弃自己建立差分网的方式,用户在作业过程中,向网站申请服务,网站根据用户所在的概略位置,在网站中选择三个以上参考站,由这些参考站的观测数据模拟一个虚拟参考站,向用户提供精密定位校正参数,其原理图如图 1-6 所示。

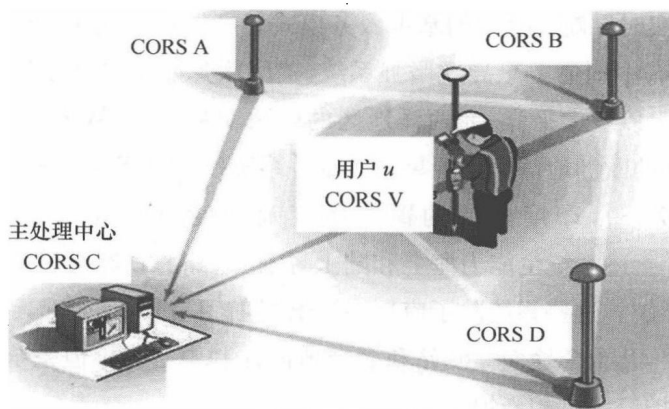


图 1-6 VRS 工作原理

假设虚拟参考站选中了由 A、B、C、D 中四个连续运行的参考站组网,由 A、B、C、D 连续模拟的虚拟参考站为 V。系统按照 V 模拟观测修正值,并发送给用户,用户 u 按照观测值和修正值获得高精度定位结果。修正值的产生、传输是获得理想结果的关键。这类 VRS 技术在美国、法国、日本、欧洲均建

有连续运行网络。美国连续运行参考站网(CORS)由美国国家大地测量局牵头,联邦防空局等单位共同承担,计划由 137 个 GPS 基准站组成系统,视情况扩展到 250 个基准站完成全国覆盖。通信手段采用因特网向全国和全球用户提供基准站坐标和基准站观测数据,用户可通过因特网下载 CORS 数据进行事后精密定位。其优点是可以提供高精度服务,显著缺点是不能进行实时定位,用户负担重,需要事后进行精密处理。需要有专门技术人员在复杂而昂贵的用户设备下才能获得满意的服务。

与美国相类似的系统还有加拿大的控制网(CACS),目前已建成十几个永久性的 GPS 卫星跟踪站,也是通过因特网提供数据,通过事后处理获得高精度差分定位结果。

法国卫星定位与导航计划(CAPOS)是建立一个由约 200 个 GPS 跟踪站组成的长期稳定运行、覆盖全国的多功能 GPS 差分定位服务体系,作为国家的空间基础建设,把导航和精密定位结合,克服了美国分别建立 WAAS 和 CORS 的多头重复建设的诟病,值得研究和借鉴。

日本根据自己是一个多地震灾害岛国的特点,建成了 GPS 连续应变监测系统(COSMOS),由约 1200 个格网式永久 GPS 跟踪阵列组成,形成了现代“电子大地测量网点”及超高精度地壳运动监测系统。

我国在九五期间由国家地震局、国家测绘局、总参谋部测绘局、中国科学院上海天文台等联合共建了 25 个 GPS 连续观测站。同时,北京、天津、重庆及武汉等一系列省市均在建自己的永久跟踪系统,与发达国家相比,重复建设更加严重,由于维护及通信手段困难,各个网站技术标准又有差异,难以形成资源共享的高精度服务。

上述系统的建立,说明一个共同问题:需求明显,增长显著。以我国国土资源监督为例,为了确保我国现有的 18 亿农田耕地不被乱用、滥用及流失,必须具备 1.0m 定位精度的无基站实时定位测量手段,才能在无序乱用土地的复杂情况实施监管测量,达到即时处理、即时制止的目的。初步统计,仅国家土地资源调查、监督一项,日常工作的用户机为 15 万台~20 万台。但这种用户使用频度起伏大、持续性欠佳、突击性强,给服务保障增加难度。