

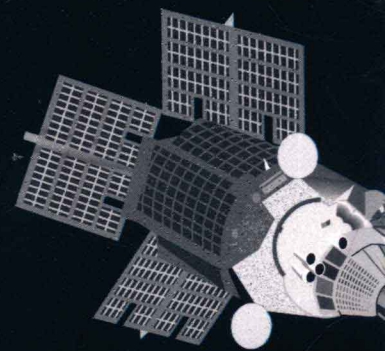
Research and Implementation of
Pseudolites Technology for CAPS

CAPS中伪卫星技术 研究与实现

耿建平 唐先红 栾慎杰 著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



CAPS 中伪卫星技术研究与实现

耿建平 唐先红 栾慎杰 著



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书借鉴 GPS 伪卫星理论和技术,从伪卫星理论开始对 CAPS 中的伪卫星技术进行了探讨和研究。本书共 7 章,主要内容包括伪卫星概述、伪卫星设计的关键技术、伪卫星设计、伪卫星应用中的技术问题、伪卫星应用、其他待研究的相关课题及主要成果等。

本书可供导航工程、测控技术与仪器等相关领域的工程技术人员参考,也可作为高等院校相关专业研究生或高年级本科生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

CAPS 中伪卫星技术研究/耿建平,唐先红,栾慎杰著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2012.10

ISBN 978-7-5606-2940-7

I. ① C… II. ① 耿… ② 唐… ③ 栾… III. ① 全球定位系统—研究 IV. ① P228.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 241599 号

策 划 邵汉平

责任编辑 王 瑛 邵汉平

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2012 年 10 月第 1 版 2012 年 10 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×960 毫米 1/16 印 张 7

字 数 112 千字

印 数 1~1000 册

定 价 18.00 元

ISBN 978-7-5606-2940-7/P

XDUP 3232001-1

如有印装问题可调换

前 言

卫星导航系统就是通过导航卫星为用户提供导航、定位和授时服务的应用系统。卫星导航定位可用于国家经济建设,为交通运输、气象、石油、海洋、森林防火、灾害预报、通信以及其他特殊行业提供高效的导航定位服务。卫星导航系统分为区域性的和全球性的。美国的 GPS 和俄罗斯的 GLONASS 卫星导航系统是全球性的,而中国的 COMPASS-1 则是区域性的,目前中国正在研制的 COMPASS-2 也是全球性的。

中国区域定位系统(CAPS)是利用地球同步轨道卫星实现中国区域内卫星导航定位的系统。CAPS 一期的星座结构本身有一定的局限,系统星座分布形成的几何精度衰减因子(GDOP)比较大,影响导航定位精度,而伪卫星可以用来增强卫星导航系统,改善系统性能。

本书作者在对 CAPS 中的伪卫星技术进行了比较系统的研究的基础上,设计研制了第一套直接测距的车载移动式伪卫星。本书对伪卫星中的关键技术做了较深入的探讨,主要有以下几项:

(1) 远-近问题是伪卫星设计 and 应用中需要首先解决的致命问题,为减轻和消除远-近问题,本书作者借鉴国外 GPS 伪卫星技术,采用时分形式的“时间分割调制(TDM)”来发射伪卫星信号,现已成功实现。

(2) 综合基带是直接测距伪卫星中的重要组成部分,是伪卫星中频调制信号生成的硬件平台。本书作者在对 CAPS 伪卫星信号体制进行电路仿真的基础上,研制了综合基带。

(3) 直接测距伪卫星需要与 CAPS 导航主控站的 CAPST(CAPS 时间)同步,因此需要精确地测量出直接测距伪卫星系统本身的时延。

(4) 对使用伪卫星辅助的 CAPS 的 DOP 和飞行器定位精度进行了仿真计算和分析,从理论上验证了伪卫星的作用。

(5) 针对伪卫星应用中存在的其他问题,如非线性问题、多径效应、对流层时延、伪卫星接收机研制等,也进行了介绍和探讨。

(6) 对伪卫星的种类和应用进行了论述,提出了可能的应用途径和方向。

本书所述研究工作是作者在中国科学院国家天文台攻读博士期间进行的,在此,谨向施浒立研究员以及参与 CAPS 项目的其他老师和朋友致以最诚挚的谢意!

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2012 年 7 月

目 录

第 1 章 引言	1
1.1 背景	2
1.1.1 CAPS 的组成	2
1.1.2 CAPS 导航定位原理	3
1.2 GPS 伪卫星技术发展概述	5
第 2 章 伪卫星概述	9
2.1 伪卫星的由来	9
2.2 伪卫星的作用	10
2.3 CAPS 伪卫星	11
2.4 伪卫星的分类	12
2.5 直接测距伪卫星	13
2.6 移动伪卫星	14
2.7 数据链路伪卫星	15
2.8 同步伪卫星	16
第 3 章 伪卫星设计的关键技术	18
3.1 远-近问题	18
3.2 远-近问题的解决方案	20
3.3 伪卫星天线	24
3.4 建议	25
第 4 章 伪卫星设计	26
4.1 伪卫星信号体制设计	26
4.1.1 伪卫星信号体制选择	27
4.1.2 时间分割调制伪卫星信号体制	28
4.2 脉冲伪卫星信号实现方案及仿真分析	29
4.2.1 脉冲伪卫星信号实现方案	29
4.2.2 仿真结果及可行性分析	31
4.3 伪卫星系统概述	34
4.3.1 伪卫星系统的组成	35

4.3.2	伪卫星系统的工作模式	36
4.3.3	伪卫星系统的功能	37
4.4	射频子系统	38
4.5	综合基带子系统	39
4.5.1	综合基带子系统与其他子系统的接口定义	39
4.5.2	综合基带子系统的实现方案	41
4.5.3	综合基带子系统的工作流程	43
4.5.4	综合基带子系统硬件平台设计及实现	44
4.6	时统子系统	54
4.6.1	共视	55
4.6.2	卫星双向时间频率比对(TWSTFT)	57
4.6.3	系统组成	59
4.6.4	硬件配置	59
4.7	数据处理和监控子系统	61
4.7.1	伪卫星导航电文	63
4.7.2	电文信息类别	63
4.7.3	伪卫星导航电文格式	64
4.8	伪卫星系统时延测量	64
4.8.1	综合基带时延测量	66
4.8.2	射频时延测量	68
4.9	方舱机柜布局	71
4.10	伪卫星对 CAPS 的 GDOP 影响的仿真分析	72
4.11	伪卫星对飞行器的导航定位精度的仿真分析	73
第 5 章	伪卫星应用中的技术问题	75
5.1	伪卫星布局	75
5.2	多径效应	76
5.3	伪卫星同步	77
5.4	对流层时延	78
5.5	位置误差	79
5.6	非线性影响	81
5.7	伪卫星接收机	83
第 6 章	伪卫星应用	84
6.1	组合导航	84

6.2 室内导航	85
6.3 地下导航	85
6.4 基于位置的服务	86
6.5 飞机应用	86
6.6 采矿	87
6.7 火星探险	88
6.8 伪卫星反干扰	90
6.9 同温层伪卫星导航	92
6.10 确定同步轨道的卫星位置	92
6.11 使用伪卫星求解模糊度	92
6.12 其他用途	93
第 7 章 其他待研究的相关课题及主要成果	94
7.1 其他待研究的相关课题	94
7.2 主要成果	95
参考文献	96

第1章

引 言

导航就是将航行体从起始点引导到目的地的技术或方法。为航行体提供实时的位置信息是导航系统的基本任务。因此,导航是一种广义的动态定位。

人类最早的导航可以追溯到我国古代的四大发明之一——指南针。因为地球本身是一个大的磁体,而指南针是根据磁体“同极性相斥、异性性相吸”的特性制成的,所以指南针成为了人类的导航工具。后来出现了根据指南针原理制作的磁罗盘。

此外,人们还借助天空的恒星来进行导航,如我们熟悉的北极星(最靠近正北的方位),这是天文导航。

20 世纪初,无线电技术的兴起,给导航技术带来了根本性的变革。人们开始使用无线电导航仪来代替磁罗盘。虽然无线电波导航定位的精度比磁罗盘的高,但其精度还不是很理想。

在第一颗人造地球卫星发射之后,人们发现可以通过人造地球卫星来进行导航定位。卫星导航定位是指由观测者通过无线电信号得到自己与卫星之间的距离,再根据卫星的位置,计算出自己所处的地理位置,进而确定自己航向的技术。

目前世界上已有的卫星导航定位系统有美国的 GPS(Global Positioning System)和俄罗斯的 GLONASS(GLObal Navigation Satellite System)。

卫星导航定位需要有两个基准:空间基准和时间基准。空间基准是指导航卫星的位置,而时间基准是指导航系统要有一个统一的时间基准。导航卫星的位置是根据卫星的星历(描述卫星运动及其轨道的参数)计算得到的。星历由地面的监控系统测量提供。导航卫星上都配备有原子钟,这些原子钟的精度可以达到每一百万年误差不超过一秒。地面监控系统负责计算各颗导航卫星之间的钟差,使各颗导航卫星处于同一个时间标准,如 GPS 的时间标准为 GPST(GPS 时间)。

目前,欧洲已经开始建设自己的卫星导航定位系统——GALILEO,并于

2005 年 12 月 28 日发射了首颗实验卫星“GIOVE-A”^[1]。日本也已经开始发展自主的区域性卫星导航系统。

中国已建成的北斗一号(COMPASS-1)是一个区域性的导航定位系统,但其工作方式与 GPS 和 GLONASS 不同,只需两颗卫星便可定位,而且是主动定位模式。中国目前正在准备建设新一代的全球卫星导航定位系统。

1.1 背 景

由上述内容可知,美国的 GPS 和俄罗斯的 GLONASS,包括欧洲正在建设的 GALILEO,这些卫星导航系统都需要发射专门的携带原子钟的导航卫星。导航定位所需的测距码和导航电文都是在导航卫星上产生的。导航卫星上原子钟之间的同步由地面的监控系统来完成。

2002 年 11 月初,中国科学院国家天文台台长艾国祥等人提出了建设中国区域定位系统(China Area Positioning System, CAPS)的基本设想。CAPS 是一种转发式卫星导航定位系统,其创新点就是利用地球同步轨道(GEO)卫星转发测距码和导航电文的方式来实现导航定位^[2, 3]。通过一段时间的努力, CAPS 研制成功,并于 2005 年 5 月通过全国六城市联测后,由中国人民解放军总装备部、中华人民共和国科学技术部和中国科学院验收。下面对 CAPS 作简单介绍。

1.1.1 CAPS 的组成

在 CAPS 中,作为导航频率基准和时间基准的原子钟是安置在地面的导航主控站的,因此不用发射专门的导航卫星,可以利用空间现有的卫星资源,大大减少了空间投资。导航定位所需的测距码和导航电文在地面导航主控站生成,然后上行发送给地球同步轨道卫星,信号经卫星转发器向用户播发,所以具有很大的灵活性。如信号链路体制设计中编码变换容易、方便,使用的频率也可以变换,即可实现转星、变频、换码,甚至可以采用信号寄生在其他卫星和其他使用频段上的做法,这些对军事应用都特别重要。

与 GPS 类似, CAPS 也由星座段、地面控制段和用户段三部分组成,如图 1.1 所示。

星座段包含三种类型的定位测距源:地球同步轨道(GEO)卫星(卫星的载波频率在 C 波段,这是因为 C 波段的信号受天气影响小,可用的卫星及转发器

数目比较多)、倾斜同步轨道卫星、伪卫星。

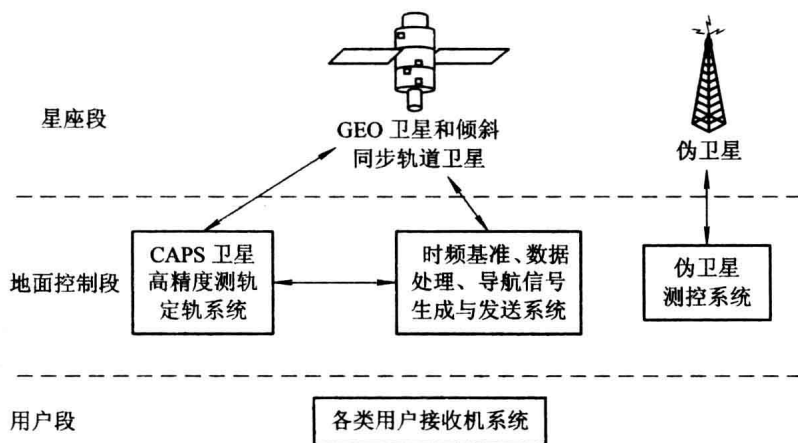


图 1.1 CAPS 的组成

地面控制段主要包括伪卫星测控系统，CAPS 卫星高精度测轨定轨系统，时频基准、数据处理、导航信号生成与发送系统。

用户段为各类用户接收机系统。通过伪码扩频技术，可以实现接收机系统的小型化^[3]。

1.1.2 CAPS 导航定位原理

CAPS 的工作原理与 GPS 的基本类似，都是采用码分多址(CDMA)的信号体制和时间差(时延)测量方法。CAPS 的工作方式与 GPS 的一样，都为被动式。

卫星导航以空间卫星的位置和统一的时间标准作为测量基准，通过测量电磁波从卫星至用户的时间差来实现距离测量，进而得出用户的位置。用户使用三边汇交原理来确定其所在位置，即若有三颗卫星同时作为空间位置基准，同时测得三颗卫星至用户的距离，则以这三段距离为半径，以三颗卫星瞬时的位置为圆心，所作的三个球面的几何交点便是用户所处的位置。由于用户接收机不可能也不允许配备高精度的原子钟，只能采用高稳定度的晶振，也就是说，用户段的时钟与卫星上的高精度原子钟存在一个时钟偏差 t_u ，因此若把时钟偏差 t_u 作为一个未知数求解，则可以实现时间差的精确度量，但前提是要增加一颗观测卫星。因此，用户接收机通过观测四颗卫星得到四个测量方程便可确定用户的位置 (x_u, y_u, z_u) 及用户接收机的时钟偏差 t_u ^[4]。

实际上，由于各种误差的影响，如大气延迟、电离层延迟和接收机内部时间的变化，使测量的从卫星至用户之间的时延并不与几何距离精确地成正比，

因此称为伪距测量。

在 CAPS 中,地面主控站将测距信号和导航电文上行发送给地球同步轨道卫星,信号经卫星转发器向用户播发,用户通过测量各颗卫星的导航信号从转发器下行到达用户接收机接收天线的伪距,求得用户坐标和接收机时钟偏差 t_u 。

通过观测四颗卫星,可得到如下伪距方程组:

$$\begin{cases} \rho_1 = \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2} + ct_u \\ \rho_2 = \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2} + ct_u \\ \rho_3 = \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2} + ct_u \\ \rho_4 = \sqrt{(x_4 - x_u)^2 + (y_4 - y_u)^2 + (z_4 - z_u)^2} + ct_u \end{cases}$$

其中: (x_i, y_i, z_i) 为第 i 颗卫星的坐标 ($i = 1, 2, 3, 4$); (x_u, y_u, z_u) 为用户的坐标; t_u 为用户时钟与标准时钟的钟差; c 为光速; ρ_i 为第 i 颗卫星的伪距测量值 ($i = 1, 2, 3, 4$)。

解此方程组便可得到用户的位置 (x_u, y_u, z_u) 和接收机的时钟偏差 t_u 。

在解此方程组时,先要进行线性化处理,然后进行迭代求解。如果四颗卫星都是位于赤道面上的同步卫星,则方程组接近奇异,不能得到正确的解。因此,进行三维定位时不能全部采用地球同步轨道卫星,还要加上其他条件才可以。

在 CAPS 中,卫星上不携带原子钟。根据伪距法来定位时,所需要的卫星发射信号的钟面时(某历元下行信号从卫星转发器发出时刻的读数)由地面导航主控站对监测数据作技术处理后间接给出(这就是所谓的虚拟原子钟技术),并不影响卫星作为测距源。

即使对于 GPS 这样相当成功的卫星导航定位系统来说,在没有任何辅助的情况下也很难达到很高的精度。如果使用差分,则对于广域差分 GPS 卫星的星座结构配置方案,一旦有一颗卫星发生故障,或者由于某种原因接收不到 GPS 信号,星座结构配置不当的局限将会更加突出^[5]。对可用性要求更高的航空用户,为了保证 GPS 在一些特定地区作为特殊用途时的精确性和可靠性,也不是仅仅依靠 GPS 才能完成的。这些问题都可以通过在适当的位置放置伪卫星来解决。

而对于 CAPS 本身,其自身特点决定了星座结构上有较大的局限。在 CAPS 一期尚不能发射倾斜同步轨道卫星的情况下,可以使用放置在地面上的伪卫星,以改进地球同步轨道卫星在星座上的不足,改善几何精度衰减因子(GDOP)

值。为此,本书对 CAPS 中的伪卫星技术进行探讨。

1.2 GPS 伪卫星技术发展概述

伪卫星的概念在1976年就已经被提出来了。伪卫星最初设计用于试验 GPS 的用户设备^[6]。但是在过去的二三十年中,提出了各种伪卫星概念,并研制出了用于各种定位和导航应用的新的伪卫星硬件。伪卫星能够改善系统性能,提高了定位解的可用性和精度,可以用做卫星定位系统的增强工具。此外,单独使用伪卫星的定位系统也是可能的。当 GPS 卫星信号不可用时,如在地下、矿坑和室内等情况下,可以用伪卫星取代 GPS 卫星星座。GPS 的广泛应用促进了伪卫星技术的飞速发展。国外对 GPS 中伪卫星的运用研究得比较多。关于伪卫星的概念和理论等方面的详细情况,将在第2章中讲述,这里只简要回顾卫星导航中一些伪卫星方面的工作。

伪卫星(即 GPS 信号地基发射机)最初是用来模拟 GPS 卫星星座来对整个 GPS 系统进行测试的。当时在第一颗 GPS 卫星发射之前,曾在美国的尤马测试场的沙漠中使用放置在地面上的伪卫星来对 GPS 概念进行试验^[6]。

美国的 Beser、Parking 和 Klein 最早提出伪卫星可以用于 GPS,并对伪卫星用于定位和导航进行了讨论^[7]。他们指出伪卫星可以提高 GPS 的可用性,并可以应用在一些如航空导航等重要场合,用来改善导航的可用性和如航空等关键应用系统布局的几何特性,通过提高精度、完善性和可用性来增强 GPS 系统的功能。伪卫星通过提供一个额外的测距源,可以增大卫星的覆盖面积,改善导航的星座配置,即使当某颗卫星工作不健康或由于其他原因造成几何配置不良时,仍能够获得优良的导航性能。此外,即使没有卫星失效,伪卫星提供的额外测距信号也可以对 GPS 进行增强。从那以后,人们提出了许多伪卫星辅助增强系统,进而提出了远-近问题和解决远-近问题的短脉冲方法。

美国斯坦福大学的博士生 H.Steward Cobb 等人对使用伪卫星进行初始化的具有厘米级精度的 CDGPS 导航系统进行了研究。使用伪卫星可使星座分布的几何图形快速地改变,可以使 CDGPS 在很短的时间内解算出整周模糊度。此外,他们还提出了简单伪卫星、移动伪卫星、同步伪卫星和机场伪卫星的概念,并对 GPS 伪卫星的理论、设计和应用进行了详细的阐述^[8]。

伪卫星不仅仅是用来辅助和增强卫星导航的,而且可以单独使用来进行局部的导航,如室内导航、矿井导航等。因此,出现了许多基于伪卫星的定位应用,以及 GPS 与伪卫星的组合导航定位应用。

最初的伪卫星的信号发射类似 GPS 卫星发射的信号,而后来发射的信号则是与具体应用相关的信号。

脉冲可以增加远-近比,因此可以增大伪卫星的工作区域。常规方法是使用固定的低占空比的高频率脉冲。更复杂的脉冲方案是使用 Spilker 提出的频谱分裂的脉冲技术,该技术可以极大地减少与卫星信号的互相关,同时还可以改善对军事频谱的保护^[9]。

将伪卫星的中心频率放在卫星信号频谱的零点可以减少与卫星信号的互相关;使用脉冲可以减轻远-近问题;提高数据速率可以允许传输差分校正量,消除了额外的数据链路。

Le Master 等人对使用伪卫星收发器(发射和接收 GPS 信号)来定位进行了研究^[10]。他们设计了一个可以自校准的伪卫星阵(SCPA)^[11],这个伪卫星阵可以自主确定出每个收发器的位置,并进而确定出该伪卫星阵中载体的位置。

Hung Kyu Lee 和 Jinling Wang 等人对 GPS 和伪卫星以及惯性导航的组合应用的概念进行了探讨并做了一些初步测试^[12]。

1986 年,海事服务无线电技术委员会(RTCM)对伪卫星进行了定义^[13]。伪卫星可以接收 GPS 卫星信号,计算伪距和伪距变化率的校正量,并将这些校正量以 50 b/s 的速率在 L 波段上发射。此外,伪卫星发射的信号应当是类 GPS 信号,并且不干扰 GPS 和其他设备。RTCM 委员会 SC-104(差分导航星 GPS 服务的建议标准(Recommended Standards for Differential NAVSTAR GPS Service))为伪卫星历书指定了第 8 类型的导航电文,包括位置、码型和伪卫星的健康信息。根据实验和应用情况,伪卫星随后得到了进一步的完善。伪卫星被视为 GPS 信号发射机和差分 GPS 距离改正的数据链路。然而,在那时研制由 RTCM 定义的伪卫星样机是比较昂贵的,价格大约为十万至二十万美元。

在过去的二三十年中,随着伪卫星技术和 GPS 用户设备不断被研制出来,伪卫星可以在许多应用中用来增强可用性、可靠性、完好性和精度,如飞机着陆(1997 年 Holden 和 Morely^[14])、变形监测(2000 年和 2001 年 Dail 等人^[15])、火星探险(Le Master 和 Rock^[16])、精密进场和其他应用(1996 年 Barltrop 等人^[17], 1998 年 Weiser^[18], 2000 年 Wang 等人^[19], 1999 年 Stone 和 Powell^[20], 1999 年 Keefe 等人^[21])。最著名的伪卫星应用是航空中的精密进场和着陆。在这些应用中,伪卫星提供的测距信号可对导航解的完好性进行额外检查。此外,伪卫星和用户之间几何形状的快速变化可以加速载波相位整周模糊度的解算,这是精密导航中的一个重要先决条件。Cohen 等人已经研制了一种基于运动的模糊度解算方法,并对其进行了实验^[22]。

在 GPS 研制阶段开发的伪卫星概念在当今 GPS 的现代化中又被重新使用。

20 世纪 90 年代早期, 美国斯坦福大学的研究人员研制出了一种费用低廉的用于飞机 III 类自动着陆系统的 GPS L1 C/A 码伪卫星。在过去的十几年中, 市场上已有商用伪卫星硬件产品。90 年代中期, 美国 IntergrilNautics 公司(现在叫做 Novariant 公司, 是由 H.Steward Cobb 与其他几个人在硅谷创办的一家专门制作伪卫星产品的公司)制造了第一个商用伪卫星硬件产品。2004 年, Novariant 公司开发出了一个多频率的伪卫星 Terralite™。Terralite™ 使用了三个频率 L1、L2 和 XPS(第三个专用信号)。Novariant 公司主要专注于特殊的重工业, 如采矿行业。虽然 Novariant 公司已经宣布要申请许可证, 但是却还没有关于 XPS 信号的频率和结构信息。2001 年, 另一个制造商 Navicom 公司推出了新的伪卫星产品 NGS1T。芬兰正在研制另外一种用于室内跟踪和导航服务的伪卫星产品。这些伪卫星可以通过编程或事先调整在 1575.42 MHz 频率(GPS L1 频率)上广播任何一种 GPS Gold 码(如 PRN1~PRN37)。某种类型的 GPS 信号发生器(如 Stanford 电信的 7201 宽带信号发生器)和 GPS 模拟器可配置为在 L1 频率上发射类 GPS C/A 码信号。因此, 这些 GPS 信号发生器或模拟器实质上可以用做伪卫星。

理论上, 伪卫星可以在与 GPS 频率不同的频率上发射测距信号, 就像 GLONASS 那样。澳大利亚的 CSIRO 电信和工业物理公司(Industrial Physics)目前正在研制一种使用 ISM 波段的高精度定位系统(PLS)。Zimmerman 等人提出了一种使用 5 个频率(2 个在 900 MHz 的 ISM 波段, 2 个在 2.4 GHz 的 ISM 波段, 1 个为 GPS L1 频率)的伪卫星设计。这种多频率伪卫星的优点是可以瞬时解算出载波整周模糊度, 这是因为从这些频率中可以得到冗余测量和额外的宽巷观测测量^[23]。

在过去的几年中, 人们已经提出了新的伪卫星硬件设计。一些例子如下:

(1) 为了在单点定位中使用伪卫星信号, 必须将伪卫星的测距信号同步到 GPS 信号。这种伪卫星叫做同步伪卫星。

(2) Le Master 和 Rock 于 1999 年提出了一种伪卫星用于火星探测的方法^[11]。设计的火星伪卫星阵可以为探测车提供厘米级精度的位置和高度信息。这种高精度的导航能力也是未来宇航员或机器人探测火星的一个关键技术需求。为了实现如 Le Master 和 Rock 提出的火星伪卫星阵导航系统, 设计了可以在 GPS L1/L2 或其他频率上能够接收和发射测距信号的伪卫星。这种类型的伪卫星能够互相“交换”信号, 自主确定伪卫星阵的几何形状。这些伪卫星叫做收发器。Stone 等人对收发器的应用进行了评论。

(3) 伪卫星可以安装在同温层平台上来广播测距信号和 GPS、GLONASS 和 GALILEO 系统的差分校正量。这种伪卫星叫做同温层伪卫星(Stratolite)^[24]。

目前,大多数伪卫星在 GPS L1 或 L2 频率(1227.6 MHz)上发射类 GPS 信号。使用这种配置,标准的 GPS 接收机对软件修改后就可以用来跟踪伪卫星信号。目前,Novtel 公司的 Millennium GPS 接收机和加拿大马可尼(Marconi)公司的 Allstar GPS 接收机可以跟踪伪卫星信号。此外,某些 GPS 接收机开发工具含有软件的源代码,可以针对具体的伪卫星应用进行修改,如 Mitel 公司(现在为 Zarlink 公司)设计的 12 通道 GPS 接收机的开发工具^[23]。

第2章

伪卫星概述

伪卫星(PseudoLite, PL)可理解为“假的卫星”，因为它不是真的卫星(真的卫星一般是位于太空中的)。

伪卫星的使用比 GPS 还要早，并且可以用来对卫星导航系统起增强辅助作用。本章将对伪卫星的由来、作用和分类进行详细阐述。

2.1 伪卫星的由来

伪卫星的出现可追溯到美国的全球定位系统——GPS 卫星上天之前。1976 年，在美国的尤马测试场的沙漠中，使用了一些用太阳能供电的地基发射机来模拟 GPS 卫星组成 GPS 星座，对 GPS 用户设备(GPS 接收机)进行实验。这些地基发射机就是所谓的伪卫星。对 GPS 接收机来说，这些伪卫星所提供的几何关系与实际的 GPS 卫星相近，只是信号来自负仰角方向。这样，在发射 GPS 卫星之前，就能验证用户设备能否与卫星发射机协同工作，从而加快 GPS 的实验进度。之所以把这些地基发射机叫做伪卫星，是因为它们在这里用来替代 GPS 卫星，发射的信号与 GPS 卫星的信号(GPS L1 信号)一样(导航电文与 GPS 卫星的导航电文不同。事实上，伪卫星只发射伪卫星位置的固定坐标，卫星导航电文的其他部分不适用于伪卫星)，且相互之间保持同步，但却位于地面上。需要说明的是，这里伪卫星发射的信号与 GPS 卫星的信号一样，但是后来在伪卫星的一些应用中，由于一些原因，伪卫星的信号并不是与 GPS 卫星的信号完全一样，即发射的是类 GPS 信号。从那时起，提出了许多关于伪卫星其他用途的概念。我们一般把发射 GPS 信号或类 GPS 信号的伪卫星简称为伪卫星。

实质上，GPS 伪卫星就是发射类 GPS 信号的信号发生器。如果伪卫星发射的导航电文与 GPS 卫星发射的导航电文不同，那么通常要对 GPS 接收机进行修改，以保证 GPS 接收机能够正确地接收伪卫星发射的导航电文。伪卫星