

南京航空航天大学

研究生硕士学位论文

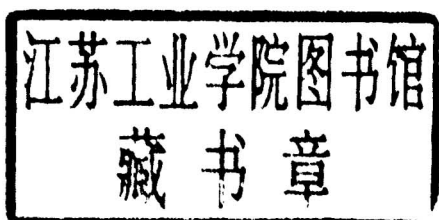
研究生 姓名: 陈 树 军
专 业: 通信与电子系统
研 究 方 向: 数 字 通 信
指 导 教 师: 王 永 澄

一九九五年三月

南京航空航天大学

研究生硕士学位论文

研究生 姓名: 陈 树 军
专 业: 通信与电子系统
研 究 方 向: 数 字 通 信
指 导 教 师: 王 永 澄



一九九五年三月

论文题目：

伪距差分全球定位系统研究

学科专业：通信与电子系统

入学时间：1992年9月

研究生姓名：陈 树 军

答辩时间：1995年3月

指导老师：王永澄(副教授)

授予学位：工学硕士

A Dissertation for the Application of Master's degree

**RESEARCH OF PSEUDORANGE
DIFFERENTIAL GLOBAL POSITIONING SYSTEM**

Prepared by

CHEN SHUN

*Under the Supervision of
Associate-Prof. Wang yongcheng*

**DEPARTMENT OF ELECTRONIC ENGINEERING
NJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS
March, 1995**

摘 要

差分GPS技术有效地提高了GPS系统的定位精度,拓宽了GPS系统的应用范围。国内外对其进行了广泛的研究。目前,国内研究多以位置差分方法为主,而对深层次的伪距差分方法由于种种原因而很少见到报导。由此,我们着手进行这方面的研究。

依据差分GPS技术的基本原理,本文提出一种使普通GPS接收机(带数据I/O端口)具有伪距差分功能的算法。其原理为从接收机中读取数据,应用计算机生成卫星伪距校正和伪距率校正。这些校正值然后包含在RTCM SC-104格式的差分GPS电文中被传送给用户群。其中,为此建立了一个4状态线性KALMAN滤波器数学模型。论文详细论述算法并逐一介绍了数据获取,卫星轨道计算,基准站伪距误差,电离层延迟估算,KALMAN滤波处理和差分GPS电文的生成等模块的设计并编写了相关程序。

经初步计算表明,该系统算法简洁、可行,具有一定的实用价值。同时,它对广域DGPS的研究和我国独立研制DGPS接收机不无借鉴意义。

关键词: 差分GPS, 伪距, 伪距率, 校正

RESEARCH OF PSEUDORANGE
DIFFERENTIAL GLOBAL POSITIONING SYSTEM

ABSTRACT

Differential Global Positioning System(DGPS) which is extensively researched at home and abroad is an effective method of improving the accuracy of GPS. However, the research in our country mainly focuses on the position DGPS. And, the intensive research of pseudorange DGPS has rarely been reported up to now for various reasons. That is the motive of our research presented in this paper.

Based on the principle of DGPS, an algorithm that equips common GPS receiver(with data I/O interface) with pseudorange differential capability is provided. The ground computer calculates the differential corrections to satellites' range and range-rate measurements according to the data from GPS receiver. These corrections are then uplinked with the format of RTCM SC-104 to users. A 4-state linear KALMAN filter is developed for these purposes. The algorithm and function model of acquisition of data, satellite orbit calculation, reference station pseudorange correction, estimation of ionospheric delay, KALMAN filtering and DGPS message generation are detailed in this paper. And, the equivalent software is programmed.

The algorithm has proved to be succinct and realizable. The future research of Wide Area DGPS (WADGPS) and the independently manufacturing of DGPS receiver of China will benefit from our work.

Key Words: *DGPS, Pseudorange, Pseudorange-rate, Correction*

研究生学位论文稿纸

目 录

前言	1
第一章 GPS 系统相关知识简介	5
§ 1.1 系统组成	5
§ 1.2 工作原理	9
§ 1.3 GPS 误差分析	10
§ 1.4 坐标系统和时间系统	13
第二章 卡尔曼滤波	17
§ 2.1 离散系统的数学描述	17
§ 2.2 离散卡尔曼滤波方程	20
§ 2.3 滤波过程与计算机编程	21
第三章 伪距差分 GPS 系统设计	26
§ 3.1 差分 GPS 方法	26
§ 3.2 问题提出与设计思路	32
§ 3.3 伪距差分 GPS 系统组成	34
§ 3.4 伪距差分 GPS 系统算法	36
第四章 伪距差分 GPS 系统实现	43
§ 4.1 数据获取	43
§ 4.2 卫星轨道计算	48
§ 4.3 伪距和伪距率误差	59
§ 4.4 卡尔曼滤波处理	60
§ 4.5 差分 GPS 电文的生成	63
§ 4.6 数据链路	64
§ 4.7 用户站	66
第五章 系统评价与展望	67
参考文献	70
致谢	74
附录 A-L(见另册)	

前言

Gps系统是美国研制的第二代卫星导航系统,目的是用来提供24小时全天候的三维定位。系统具有定位精度高、实时性能好、全球覆盖、用户数无限等特点。提供二个等级的定位服务。标准定位服务(SPS)的定位精度约为30米(2drms),精密定位服务(PPS)的定位精度为10~20米(2drms)。其精度之高是以往的导航系统所无法提供的,随着该系统提供使用及逐步完善,有望取代旧导航系统。Gps系统应用范围极广,从空中、陆地、海上,从军用到民用,无所不及。我国幅员广阔,应用前景极佳。

但是,美出于自身的考虑,对Gps系统的精度采取了一系列的措施来限制高精度的获得。PPS用户必须得到专用的密钥盒才能获得PPS服务。美国防部尚保留在任何时候不加警告的情况下对P码进行加密的权利。并且有意降低SPS服务的精度,采用一种称作选择可用性(SA)的技术,SPS的精度下降至100米(2drms),最差时达500米(2drms)。国防部于1990年重申,SA政策将在所有时间起作用。这都限制了系统的使用范围,对于我国在内的非授权用户来说,开发消除人为误差和自然误差有效提高系统定位精度的技术显得非常迫切。

研究生学位论文稿纸

目前采用的方法有差分技术、载波处理技术、积分多普勒码相位测量与 $2C^2$ 技术、伪距技术等。而差分技术因其技术成熟、实现方便等优点,获得广泛的应用,也符合我国的国情,值得去进行深入的研究。

差分GPS具体实现方法有四种:

- 上行伪距校正法
- 上行位置校正法
- 下行伪距法
- 下行位置法

二种下行方法因为缺乏实时性,只能用于事后处理。上行法中,以上行伪距校正法为最好。上行位置校正法因为计算简单,用户接收机不需要配备专门的注入校正数据的设备,费用较低,在国内获得了广泛的研究。但它的缺点超过其优点,它要求用户接收机与基准站所选的星座组合相同,且缺乏统一的标准。但对上行伪距校正,由于其算法相对较复杂,实现不易为种原因,国内尚未见到这方面的研究报告。

本人由此着手进行伪距差分的研究。

我们了解到有一类GPS接收机可以输出观测伪距、卫星星历等信息,如Trimble 4000A接收机。由此受到启发,提出一套算法使得该类GPS接收机具备伪距差分功能。

研究生学位论文稿纸

整个算法包括数据获取、卫星轨道计算、基准站伪距误差、电离层延迟估计、KALMAN滤波处理、差分GPS电文格式产生等模块。

从已有的资料可知，目前已有的伪距差分可以消除用户接收机与基准站之间的共同误差，如SA误差、星历误差、时钟误差等。但对于基准站自身引入的附加误差，却没有采取方法予以消除。这是已有的伪距差分方法精度进一步提高的主要原因。针对这一问题，本人提出采用KALMAN滤波来解决，由此推导了数学模型，编制了相关程序（见附录I）

全部模块均采用 Borland C 语言、宏汇编语言和单片机 MCS-51 汇编语言编制。程序见附录，附录中还给出了部分数据。

论文第一章、第二章分别介绍 GPS 系统的相关知识和 KALMAN 滤波技术，第三章中，在了解基本的差分 GPS 方法的基础上，分别给出本算法实现的系统组成与算法实现。具体的详细的分析设计工作见第四章，该章依次介绍各模块的设计，推导了公式，给出了实现框图。并进一步对数据链和用户站定位算法以及综合导航提出一些设想与建议。第五章在综合前几章的基础上，对系统进行了中肯的评价并对系统中值得改进和深入发展的

研究生学位论文稿纸

地方作组分析与展望。

论文的附录也有其独有的特色。附录A、B、E整理的资料具有通用性，为以后开展工作作了铺垫。电路层延迟的仿真输入采用的是最小二乘曲线拟合法，详细的程序与数据见附录丁。卫星轨道计算软件是以历书数据为输入的卫星位置计算，全部简略计算均由本人推导，该软件在开发其他系统中仍可以发挥作用。附录中还给出由本人参与指导的本科生毕业设计“卫星位置计算的单片机实现”论文中的子软件，以供参考。

第一章 GPS 系统相关知识简介

GPS (Navstar Global positioning system) 系统, 亦称导航星全球定位系统, 是美国研制的一种空基定位系统。它可以在任何时刻、任何气象条件下, 给地球上任何地点的用户提供高精度的位置、速度、时间等信息。系统提供标准定位服务 (SPS) 和精密定位服务 (PPS)。广泛应用于导航、测绘、勘探等领域。

§ 1.1 系统组成

GPS 系统由三部分组成:

空中部分——GPS 卫星星座

地控部分——地面监控系统

用户设备部分——GPS 信号接收处理设备

一. GPS 卫星星座

GPS 卫星系统由 21 颗工作星, 3 颗备用星共 24 颗星组成, 均匀分布在 6 个近似圆形的轨道上, 轨道高度约 20183 km, 倾角 55° , 每个轨道有 4 颗星。各个轨道平面相距 60° , 因此, 它们的升交点赤经各相差 60° 。在每个轨道平面内各颗卫星之间的升交距角相差 90° ; 任一个轨道平面上的卫星比西边相邻轨

研究生学位论文稿纸

道平面上的相应卫星超前 30° 。其空间分布见图1-1。对于地球上任一地点来说,在一天的不同时间最少可见到4颗GPS卫星,最多可见到11颗GPS卫星。卫星的运行周期 T 为11小时57分58.3秒。卫星配置见图1-2。

系统在98%的时间至少可以提供21颗工作卫星。

卫星上载有精密的原子钟,用于提供精确的定时。星载接收机接收地面注入站发来的信

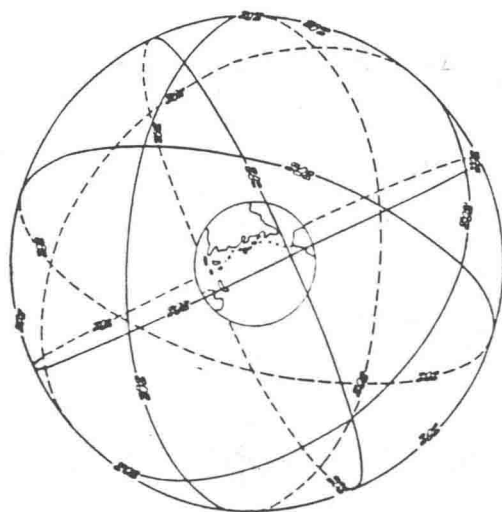


图 1-1 GPS星座

息,继而,通过遥测发射机的 $L_1(1575.42MHz)$ 、 $L_2(1227.6MHz)$ 载频发送出去。

编 号	1	2	3	4	5	6	7	8
发射日期	890214	890610	890818	891021	891212	900124	900326	900802
编 号	9	10	11	12	13	14	15	16
发射日期	901001	901127	910703	920224	920409	920707	920707	920909
编 号	17	18	19	20	21	22	23	24
发射日期	921122	921218	930202	930320	930512			
说 明	No 1- 9: BLOCK II 型, 工作寿命7.5年, 840公斤, 运载工具DELTA6925型 No 10-21: BLOCK IIA型, 工作寿命7.5年, 930公斤, 运载工具DELTA7925型							

表 1-1 GPS 卫星发射记录

研究生学位论文稿纸

至 1993 年 6 月 26 日第 21 颗卫星发射上天。美国 DoD 于 1993 年 12 月宣布 GPS 系统达到 3 初始工作能力, 完成了对全球的三维导航覆盖, 具体发射情况见表 1-1。

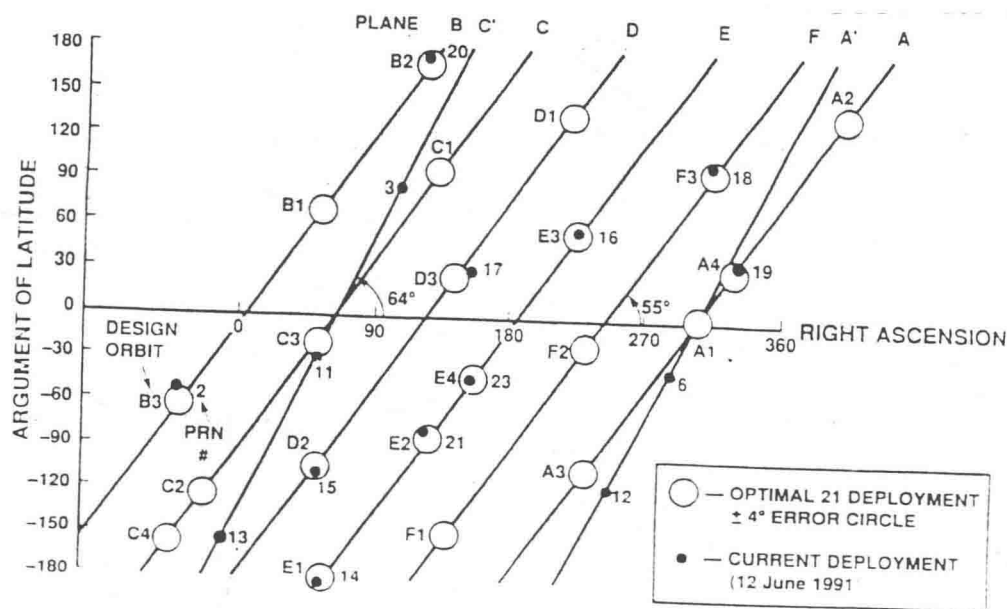


图 1-2 GPS 卫星配置

二. 地面监控系统

地面部分包括 1 个主控站、5 个监测站和 3 个注入站。主控站依据监测站信息, 计算 GPS 卫星星历与参数, 然后编制成规定格式的导航电文。注入站每 12 小时向各卫星注入一次新的导航数据。

三. 用户设备

用户设备指利用 C/A 码或 P 码进行测量, 接收 GPS 星历并实时解算的 GPS 接收机。

研究生学位论文稿纸

本文研究的伪距差分GPS系统，要求从GPS接收机中获取卫星星历数据、观测伪距等信息，因此，对接收机作一下了解是很有必要的。

一般GPS接收机的性能体现在如下几个方面：

1. 物理特性

指接收机尺寸、重量等参数。

2. 工作环境

规定接收机工作温度和存储温度范围。

3. 电特性

指接收机工作电压、电流、功率、接收灵敏度等信息。

4. 综合功能

给出接收机通道数、数据更新速率、捕获时间、定位精度、启动时

分 类 标 准	类 型
载波类型	单频(L1)接收机 双频(L1,L2)接收机
码型	C/A 码接收机 C/A-P 码接收机
信道数	单通道接收机 双通道接收机 多通道接收机
动态特性	静态接收机 低动态接收机 高动态接收机
工作方式	多通道连续接收机 时序接收机 多路复用接收机
工作原理	伪距测量型接收机 DOPPLER 型接收机 载波相位测量型接收机 干涉测量型接收机
定位数据采集方式	码接收型接收机 无码接收型接收机
用途	导航型接收机 测量型接收机 时间传递型接收机
使用方式	手持型接收机 背负型接收机 固定型接收机 移动型接收机 袖珍型(便携式)接收机

间(冷启动和热启动)、动表 1-2 GPS接收机分类标准与类型一览

态范围、秒脉冲精度为参数。

5. 接口

开发基于 GPS 接收整机或者 GPS OEM 板的系统，首先要了解其接口性能。

a. 硬件接口标准。是 RS-232 还是 RS-422，一般 GPS 接收机多为 RS-422，但也有内部转换，对外接口标准为 RS-232 的。

b. 数据输出速率。可以提供几档速率，如 GARMIN 公司的 GPS 10 OEM 板可以提供 1200bps、2400bps、4800bps、9600bps。

c. 数据格式。不同的接收机都有各自不同的输出数据格式，但 NEMA 0183 标准是比较成熟的，它使世界上各海事电子设备生产厂家生产的设备相互连接实现数据格式标准化。

6. 辅助软件。

1.2 工作原理

GPS 测位的方法有：伪距法、载波相位测量法和干涉测量法。

伪距法中接收机通过比较接收到的卫星发射的信号和本地参考信号，测得 GPS 信号时延 τ ，伪距 $P = c \cdot \tau$ ， c 为光速。接收机还通过测量电波载频的多普勒频移而获得伪距变化率 $\dot{P}$ 。通过解四个伪距方程和三个速度方程，就可以获得接收机的位置、速度、钟差等信息。具体工作过程如下：

1. 卫星轨道计算 依据接收到的 GPS 卫星广播计算卫星

在WGS-84坐标系中的位置和速度。

2. 选择卫星 从可见卫星(4-11颗)中选择4颗可使定位误差GDOP参数最小的星。

3. 定位计算 根据选定卫星的信号观测量的伪距 P 和伪距变化率, 计算用户位置、速度等。

§ 1.3 GPS误差分析

对于所有GPS接收机, 如果其中误差是共同的, 则可以利用差分技术予以消除。本系统的目的就是消除共同的系统误差和尽量消除环境误差, 以提高精度。

伪距观测方程如下:

$$P_r = P_s + t_{rcvr} - t_{sv} + d_{tropo} + d_{iono} + URE + d_{mp} + d_{hrw} + d_{meas} + noise + SA \quad (1-1)$$

式中: P_r = 接收机测量伪距 P_s = 接收机到卫星的真距

t_{rcvr} : 接收机相对GPS时间的钟差

t_{sv} : 卫星钟对GPS时钟的误差

d_{tropo} : 对流层引起的传输延迟 d_{iono} : 电离层引起的传输延迟

URE : 用户距离误差 d_{mp} : 多路径误差

d_{hrw} : 接收机硬件延迟

d_{meas} : 接收机测量偏差误差

$noise$: 接收机测量噪声

SA : 选择可用性