

南京理工大学

硕士学位论文

基于公网的差分GPS技术

姓名：吴钦

申请学位级别：硕士

专业：控制理论与控制工程

指导教师：杜国平

20070707

摘 要

随着 GPS 技术的发展和完善,应用领域的进一步开拓,产生了一系列与 GPS 定位技术相关的研究热点,其中之一便是车载监控系统。在 GPS 定位技术中由于定位精度不能满足要求,从而应运而生差分 GPS 技术,这项技术的运用使得定位精度大大提高。

本文在已经开发出的车载监控系统的基础上,研究差分 GPS 技术,并以公网和移动通信网为数据传输链路,提高车载监控系统的定位精度,以满足用户对定位精度要求。本文对差分 GPS 技术的理论作了研究,包括测量误差、定位原理以及差分选型。在对差分系统的全面分析把握的基础上提出了系统的设计方案。根据设计的要求,完成了一系列的前期准备工作,包括对基准站坐标的测定、PC 机与 GPS 的串口通信以及思考并解决了公网数据传输中遇到的部分问题等。最后根据差分算法按照差分系统的模型、功能,设计了差分系统的实现软件,并且得到了相应的差分数据和监控对象的修正位置坐标。很好的实现了预定的目标。

关键词: 差分 GPS, 公网, 移动通信网, 基准站坐标, 串口通信, 数据通信链路

Abstract

With development and improvement of GPS technology as well as the further exploration of application domains, it come into being a series of research hotspots which is related to the GPS positioning technology as the vehicle monitoring system being one of them. Due to the fact the accuracy of GPS positioning technology can not meet the requirements, differential GPS positioning technology came into being. The adoption of this technology makes the positioning accuracy greatly improved.

Based on the vehicle monitoring system which has been developed, this paper has studied the differential GPS positioning technology with Internet and mobile communications network as data transmission links in order to improve accuracy of positioning and meet user's requirements for positioning accuracy. In this paper, we have studied the differential GPS technology theories, including measurement error, positioning theory and differential GPS positioning selection, and proposed the systematic design program on the basis of the comprehensive grasp of differential GPS positioning system. According to the design requirements, we have completed a series of preparatory work, including the test of coordinates of the base station, serial communication between PC and GPS, and some problems in the Internet data transmission that has been solved. Finally, in light of differential algorithm and model and functions of differential system, we have designed the software to realize differential system, get the differential data, and amendment coordinates of monitoring target with the result of achieving preset goal.

Keywords: Differential GPS, Internet, Mobile Communications network, Coordinates of the base station, Serial communication, Data transmission links

声 明

本学位论文是我在导师的指导下取得的研究成果，尽我所知，在本学位论文中，除了加以标注和致谢的部分外，不包含其他人已经发表或公布过的研究成果，也不包含我为获得任何教育机构的学位或学历而使用过的材料。与我一同工作的同事对本学位论文做出的贡献均已在论文中作了明确的说明。

研究生签名：_____ 年 月 日

学位论文使用授权声明

南京理工大学有权保存本学位论文的电子和纸质文档，可以借阅或上网公布本学位论文的部分或全部内容，可以向有关部门或机构送交并授权其保存、借阅或上网公布本学位论文的部分或全部内容。对于保密论文，按保密的有关规定和程序处理。

研究生签名：_____ 年 月 日

1 绪论

1.1 论文选题背景及目的

全球定位系统(Global Positioning System-GPS)是随着现代科学技术的迅速发展而建立起来的卫星导航定位系统^{[1][2]}。它是由美国政府提出并实施的一项全球性、全天候、实时导航定位和授时系统。其最初的目的是为美国军方实现对海上、陆地和空中设施进行高精度导航和定位,但随着GPS仪器设备的更新、成本的下降和定位算法的完善。GPS技术在各个民用领域迅速被推广^[3]。

GPS定位就是通过快速测定卫星与测站间的距离来实现的。但是由于受到多种因素的影响,像其它类型的观测值一样,GPS观测值也包含有系统误差和随机误差。SA关闭前,GPS单点定位的精度大约为20米。SA关闭后,单点定位在三个坐标分量上定位精度大约为10米。对大多数用户来说,这种测量精度很难在测量领域中推广应用。为了提高GPS实时定位精度,目前广泛采用相对定位技术即差分GPS技术(Differential GPS-DGPS)^[2]。

随着GPS技术的发展和完善,应用领域的进一步开拓,GPS定位技术越来越受到重视。但由于美国政府实施SA政策,导致定位精度严重下降,这就极大地限制了对精度有较高要求的实时定位的应用。虽然从2000年5月起美国政府已经停止使用SA政策,但是单点定位精度也难于高过 $\pm(15-30)\text{m}$ 。对许多需要实时定位的应用,比如:海上和空中导航测量,这种定位精度是远远不够的。这样,在未取消SA政策之前的定位精度的严重不准确和取消SA政策之后仍然对精度有更高的要求的情况下,提高实时定位精度的任务就落在厂商和用户的身上^[5]。于是差分GPS定位技术便应运而生,并得到了飞速发展。它使用一台GPS基准接收机和一台用户接收机,利用实时或事后处理技术,就可使用户测量时消去公共的误差源——电离层和对流层效应等。大量的实例证明,差分GPS已将卫星钟误差和星历误差消除,并将电离层延迟和对流层延迟误差部分消除,定位精度大大提高。所以,差分GPS定位技术在最近几年中得到了迅速发展和广泛应用^[1]。

差分定位是确定同步跟踪相同的GPS卫星信号的若干台接收机之间的相对位置。使用同步观测资料进行相对定位时,由于许多测量误差是相同的或大体相同的(如卫星钟的误差),使用同步观测卫星星历的误差,因此在相对定位的过程中,这些误差可得到大幅度减弱,故可以获得很高精度的相对位置。有时为了实时获得某点(高精度)的位置,也就是通常所说的动态定位,经常采用RTK(Real-Time Kinematic)技术。

差分定位技术分为局域差分GPS定位技术和广域差分GPS定位技术^[1]。局域差分GPS技术由基准站、数据通信链路和用户站组成。它提高用户站的定位精度

是建立在基准站和用户站对GPS卫星的同步观测的基础上。基准站和用户站间隔在一定距离内(一般不超过150公里),则这两种站上相应于同一卫星同一历元的观测值包含相同的误差。因此将基准站所观测的每一个颗GPS卫星的伪距误差的改正信息通过数据通信链路传输至用户站,用户利用这一信息改正其相应卫星的伪距观测值。由于基准站和用户站的误差都与同一时空相关,所以它们之间的距离间隔的要求与对用户站的定位精度的改善有较大的限制。广域差分GPS技术是对GPS的卫星轨道误差、卫星钟差及电离层延迟等主要误差源加以区分,并对每一个误差源分别加以“模型化”,计算其误差修正值,通过数据通信链传输给用户,对用户的GPS接收机的观测值加以修正,以达到削弱这些误差源的影响,改善用户的定位精度的目的。因此在广域差分GPS系统中,只要数据链路有足够能力,基准站和用户站的距离原则上没有限制的^[1]。

本论文的研究对象是基于GPS/GPRS的车辆监控管理系统,其中笔者所要钻研的方向为基于公网的差分GPS技术。差分技术很早就被人们所应用,它实际上是在一个测站对两个目标的观测量、两个测站对一个目标的观测量或一个测站对一个目标的两次观测量之间进行求差,其目的在于消除公共项,包括公共误差和公共参数。在以前的差分系统中无线电作为系统的数据传输链路被广泛使用,但是当今随着因特网和移动通信技术的迅猛发展,无线互联能力快速提高,无线互联技术的日益成熟使得人类应用互联网和移动通信网络正在开创互联网的产业的一个新时代。在这种背景下利用因特网、移动通信网络作为系统的数据传输交换链路就可以随时随意登录并且连接互联网,这样就为通过Internet公网,有效、快捷、方便的访问Internet网络上基准站GPS的数据,实现差分技术和准实时的网络差分提供了可能。

1.2 车辆监控系统

在本文对差分GPS技术的研究中,首先要从整体上了解车辆监控系统,这样才能够在整体把握的基础上对差分技术深入研究。所以下面我们简单介绍车辆监控系统。

系统分为四部分:车载终端模块、转发中心、数据库及业务展示模块(如图1.2.1所示)。本车辆监控系统的工作方式是如下所述:车载台的GPS接收机接收卫星定位信号,解算出自身经纬度坐标等位置信息,然后将这些信息经因特网发送给转发中心。转发中心将接收的位置信息集中处理,然后发送给用户同时转发中心可向各车载台发送诸如熄火、启动等控制命令。系统的处理之后,由GPRS无线通信模块发送到GPRS无线通信网上。GPRS网络根据相应的协议在车载系统和接入因特网的监控中心之间建立一条支持TCP/IP的数据通道。

转发中心把通过这条数据通道传送来的车辆位置数据通过数据库 GIS 技术显示在电子地图上。监控中心还可以通过该通道向下发送控制命令和服务信息。因此，除了车辆定位之外，系统还可以提供诸如熄火、启动、防盗防抢等多种服务。

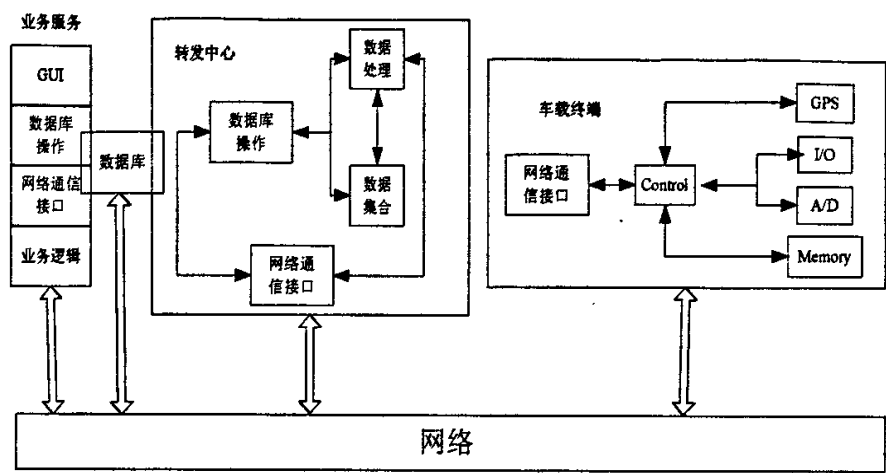


图 1.2.1 车辆监控系统结构图

1、车载终端模块

GPS 车载终端系统能够实时的获取车辆的 GPS 信息、各种开关量信息和模拟量信息，对信息进行存储，并将这些信息发送到转发中心，还能够响应转发中心发送的控制命令和配置命令，对车辆实施控制或对车载终端系统进行配置，并能够在车辆或者车载终端系统出现异常时报警，GPS 车载终端系统由下面几个模块组成:GPS 接收模块，I/O 输入输出模块，A/D 转换输入模块，中心控制模块，存储模块，GPRS 通信模块。

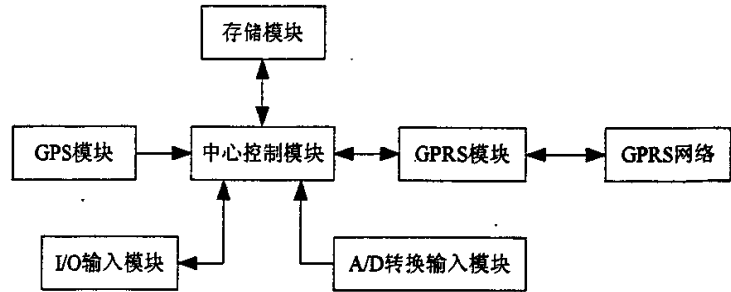


图 1.2.2 车载终端结构图

2、转发中心

转发中心是整个系统运作的枢纽，正是由转发中心将整个系统中的各个子系统联系在了一起。转发中心从因特网上接收由车载终端子系统发送来的各种信息，这里面包括车辆定时上传的实时信息、车载终端系统每隔一段时间计算出来的统计信息，还有车载终端系统在发现数据异常时上报的报警信息。转发中心接收到这些信息之后，根据事先拟定好的传输协议的格式，将各种信息从接收到的信息中解析出来，存入数据库中。另一方面，转发中心要定时检查数据库中是否有新的控制命令，当发现有新的控制命令后，转发中心根据数据库中提供的信息，构造出适当的控制命令帧，发送到相应的 GPS 车载终端子系统中，或者当要求重新配置 GPS 车载终端系统的参数时，从数据库中读取相应的参数信息，构造成参数配置帧，发送到车载终端上去。总的来说，转发中心子系统的任务就是对信息进行构造和解析，并控制信息的流向，使信息传送到正确的位置上去。转发中心子系统包括下面几个模块:SOCKET 服务模块,数据库服务模块,数据处理模块,核心数据集,界面展示模块。

3、数据库

数据中心即是整个系统的中心数据库。使用这个系统的用户不会一直在线观察每个车辆的状态，通常的情况是，每隔一个较长的时间段才观察一次这段时间内车辆的运行状况，这就要求系统要将上传上来的数据保存起来，当用户需要查看的时候再调用这些数据展现给用户。中心数据库最重要的功能就是保存已发生的数据。在从车载终端取得数据展示给用户看这个方向上，中心数据库接受转发中心的请求，将转发中心解析出来的数据按一定规则存储在数据库中，同时数据中心要响应业务展示系统的数据请求，将业务展示系统所需要的数据传送给它用于数据展示。另一方面，在用户控制车载终端这个数据流动的方向上，数据中心接受业务展示系统上传的控制请求，存储在数据库的相应列表中，供转发中心读取，转发中心发现数据库中有新的控制请求后，将未处理的控制请求读取走，经过编码，发送到相应的 GPS 车载终端系统上去。

在车辆监控系统中，数据中心不仅仅是一个历史数据保存的仓库，同时也是数据传递转移的中转站。

4、业务展示模块

业务展示模块子系统主要指用户界面程序和管理界面程序。以 GIS 地图及其他数据展现形式向用户提供被监控目标的各项信息数据，并允许用户通过界面操作实现用户控制命令下达至终端监控器。这个子系统的主要任务就是按照

客户的请求,从数据中心取得必须的数据,按照用户需要的方式展现给用户。

这部分的架构分成 C/S 和 B/S 两种方式。CS 结构的展示方式就是传统的 Client/Server(客户端服务器)结构,通过将任务合理分配到 Client 端和 Server 端,降低了系统的通讯开销,可以充分利用两端硬件环境的优势。B/S (Browser/Server)结构即浏览器和服务器结构。它是随着因特网技术的兴起,对 C/S 结构的一种变化或者改进的结构。在这种结构下,用户工作界面是通过浏览器来实现,极少部分事务逻辑在前端实现,主要事务逻辑在服务器端实现,形成所谓三层 3-tier 结构,即表现层、商业逻辑层和数据访问层。这样就大大简化了客户端电脑载荷,减轻了系统维护与升级的成本和工作量,降低了用户的总体成本。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 差分协议研究现状

实时差分定位系统中,基准站的关键问题是差分改正数的形成,如何将改正信息高效准确的发送给流动站,亦是需要重点考虑的技术问题。而数据传输中的一个重要环节便是选择恰当的数据格式。从实时差分GPS的出现至今,国内外的学者进行了不断的研究。

随着DGPS技术的发展,国际不同的组织制定了多种标准差分协议,常用的——差分协议主要包括以下几种^{[9][34][40][45]}:

1、RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services)差分协议国际海运事业无线电技术委员会(RTCM)于1983年11月,为全球应用差分GPS业务,成立了SC-104专门委员会,以便论证用于差分GPS业务的各种方法,并制定了RTCM-104差分电文标准协议。

2、RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautic Services)差分协议为了满足局域差分系统(Local Area DGPS-LADGPS)和广域增强系统(Wide Area Augmentation System-WAAS)的技术要求,航空无线电技术委员(RTCA)的159专门委员会(SC-159)制定了RTCAS C-159差分电文标准协议。RTCA针对LADGPS的第一类专用(SCAT)电文协议于1993年4月公布,针对WAAS的规范草案于1994年公布。

3、CMR (Compact Measurement Record)差分协议这是专门用于实时动态定位的。由于近几年来,实时动态定位RTK (Real Time Kinematics)技术的出现,为了适应低带宽的通讯链,Trimble制定了专门用于RTK的CMR差分协议。现在使用的是2001年7月公布的2.0版本。

以上几种差分协议中,目前使用最广泛的是RTCM标准协议。但是由于现代定位技术的不断发展,原有的差分协议并不能完全满足它们的需求。因此,出现了扩展差分协议。如:德国的GEO++组织为了提高定位精度和减少数据发送量提出了RTCM++协议,该协议中将原来的RTCM电文20和21进行了压缩,并通过电文59中发送给用户。另外,为了传输区域改正数FKP。GEO++组织在RTCM++的基础上,制定了RTCM-Adv差分协议,该协议中重新定义了RTCM的一些私有电文。

1.3.2 差分算法研究现状

从80年代,就开始研究实时差分GPS中的改正数的算法问题,经过将近二十多年的发展,目前已提出了多种不同的计算方法。根据使用的观测值类型区分,主要包括以下三种^{[30] [33] [44]}。

1、伪距观测值计算差分改正数

用原始伪距观测值直接计算差分改正信息,最早在1989年,Loomis.P和Kremer.G在Correction Algorithm for Differential GPSR References Stations中介绍了这种算法,另外RTCM SC-104 DGPS Standard Version 2.1中也提到了这种算法。

2.载波平滑伪距观测值计算差分改正数:

由于载波相位观测值的噪声要比伪距观测值的小得多,基于这个原因,利用载波相位观测值平滑伪距,再利用平滑后的伪距求解差分改正数,可以有效的提高改正数的精度。平滑方法根据是否考虑电离层发散的影响,可分为两种方法:

- 未消除电离层发散影响的载波平滑伪距,这种方法对单频和双频接收机均适用,由Hatch在1982年提出。
- 消除电离层发散影响的载波平滑伪距,这种方法也是单频和双频接收机都适用,适用于单频的是Goad于1990年提出,适用于双频的是在1991年由Euler和Goad提出。

3、伪距和载波历元单差计算差分改正数。

这种方法的主要特征是对载波相位观测值在历元间作差,并作为观测值,此观测值和伪距观测值一起利用卡尔曼滤波模型求出差分改正数。最早是由Loomis在1986年提出,另外1996年Delft大学的XinXiangJin在他的博士论文中提出了载波相位平差差分改正(carrier adjusted differential correction)的方法求解差分改正信息。当前为了提高改正数的精度和可靠性,现在广泛采用卡尔曼滤波模型,对改正数进行滤波处理。

1.4 论文主要内容

本文的主要内容安排如下：

第一章绪论主要介绍了论文的选题背景及目的，差分 GPS 的国内外研究现状，还对差分 GPS 的研究对象车辆监控系统作了介绍。最后关于本文主要内容做作了介绍。

第二章以理论为基础立足差分 GPS 原理按照公式的介绍形式，阐述了 GPS 测量误差来源及改正方法，GPS 的定位原理和测量原理，最后按照要求选择了相应的差分 GPS 模型。

第三章从系统入手，宏观把握差分 GPS 系统提出总体框图的设计，然后描述了实现方案的一些工作，包括：基准站坐标测定、GPS 与 PC 串口通信、以及 GPS 信息的接收与提取。

第四章先描述了 GPRS 如何接入公网，然后描述并解决其中数据传输遇到的问题。紧接着，介绍了差分系统的组成、流程图及功能模块后，用软件实现了差分 GPS 定位得到预定结果。

第五章首先总结了全文的内容，对个人的工作也作了说明。然后关于差分系统中基准站的数据实时进行更新、分模型向多机差分模型的过渡、差分系统的使用范围等几个问题作了展望。

1.5 本章小结

本章首先提出了课题的研究背景及目的，然后全面而又扼要的介绍了差分 GPS 技术的应用对象车辆监控系统。其次，介绍了差分协议和差分算法的研究现状，并就本文的主要内容作了介绍。

2 差分 GPS 原理

2.1 GPS 测量误差来源及改正方法

GPS 测量是利用接收机接收卫星播发的信息来确定点的三维坐标。影响测量结果的误差来源于 GPS 卫星信号的传播过程和地面接收设备。概括起来影响测量的主要误差来自三个方面^{[1][2][5]}:

- 空间飞行器部分: 包括卫星星历误差、卫星钟误差等。
- 信号传播部分: 包括电离层传播延迟、对流层传播延迟和多径效应等。
- 用户系统部分: 包括用户接收机测量误差、用户计算误差等。

下面逐一对这些误差来源作简要介绍, 并指出在单点定位方式中消除这些误差的方法, 但是在这之前应该说明误差是无法完全消除的。

1、卫星星历误差

由卫星星历给出的卫星在空间的位置与卫星的实际位置之差我们称为卫星星历误差。为了便于理解, 通常均把各种误差的影响投影到观测站至卫星的距离上, 以相应的距离误差表示, 称为等效距离误差。卫星星历误差的等效距离误差就是卫星位置误差矢量在卫星到接收机方向上的投影分量。在无 SA 情况下, 一般估计导航电文给出的卫星星历误差的等效距离误差为十米, 而在有 SA 的情况下则达到几十米甚至 100 米(这时的卫星星历误差是 GPS 定位的主要误差来源)。

对于这种误差, 单点定位方式中几乎无法消除它(最好的办法是使用差分定位方法, 在下面的内容中详细讨论)。

2、卫星钟误差

由于 1 ms 的卫星钟差的等效距离为 300 km, 因此 GPS 卫星上配备了具有高精度的原子钟。尽管如此, 这些原子钟仍会因本身的漂移特性和相对论效应引起的时钟频率漂移而产生不可忽视的误差。

可以利用导航电文中的卫星钟差校正参数对卫星钟误差进行改正, 改正之后的残余卫星钟差的等效距离误差约为 3 米左右。

3、电离层传播延迟

当 GPS 信号经过电离层时, 由于与其中的带电粒子发生相互作用, 电波信号的幅度、相位、传播速度和方向都将受到影响。因此, 与不存在电离层时的情况比较, 用户接收到的电波信号的平均到达时间、幅度和相位都会发生变化。虽然为了减弱电离层对卫星信号的影响, GPS 信号采用了较高频率的载波, 但电离层对 GPS 信号造成的延迟在恶劣情况下仍然很大。在 GPS 定位中通常采用以下两种改正电离层延迟的方法:

- 双频改正法(只有双频接收机才可以采用这种方法)
- 模型改正法。

4、对流层传播延迟

对流层传播延迟是电磁波信号通过对流层时其传播速度不同于真空中的光速所引起的延迟。与电离层传播延迟相比,对流层传播延迟比较容易预测估计,估计方法也比较成熟。目前许多文献上给出了对流层传播延迟的改正公式,都具有较高的精度。

5、多径效应

卫星信号在经过其它物体反射之后才到达接收机的称为多径信号。多径效应是指多径信号对接收机性能、接收数据等造成的各种影响。相对于其它误差因素而言,多径效应对定位精度的影响比较小,但它受测量环境的影响,难以预测,所以难以消除,用差分技术也消除不了。目前,减弱多径效应的主要办法是:

- 选择造适宜且屏蔽良好的天线,例如可以在天线底板上涂上射频吸收材料
- 安置接收机天线的环境应避免较强的反射面

6、用户接收机测量误差

用户接收机测量误差主要是由相关接收机对测距码的分辨率和接收机噪声引起的。一般认为测距分辨率可以到达码元宽度的 $1/64$, 由此而产生的测距误差对于 P 码和 C/A 码分别约为 0.3 米和 3 米。

2.2 GPS 绝对定位原理

2.2.1 GPS 绝对定位

绝对定位也称单点定位,是指在协议地球坐标系中,直接确定观测站相对于坐标原点(地球质心)绝对坐标的一种方法。“绝对”一词主要是为了区别相对定位,绝对定位和相对定位在观测方式、数据处理、定位精度以及应用范围等方面均有原则区别。

绝对定位的基本原理:以 GPS 卫星和用户接收机天线之间的距离(或距离差)观测量为基础,根据已知的卫星瞬时坐标,来确定接收机天线所对应的点位,即观测站的位置。原则上观测站位于以 3 颗卫星为球心,相应距离为半径的球与观测站所在平面交线的交点上^{[1][2][5][7]}。

由于 GPS 采用单程测距原理,实际观测卫星站的距离均含有卫星钟和接收机钟同步差的影响(伪距),卫星钟差可根据导航电文中给出的有关钟差参数加以修正,而接收机的钟差一般难以预料。通常将其作为一个未知参数,在数据处理中与观测站坐标一并求解。一个观测站实时求解 4 个未知数,至少需要 4

个同步伪距观测值，即 4 颗卫星。

绝对定位可根据天线所处的状态分为动态绝对定位和静态绝对定位。无论动态还是静态，所依据的观测量都是所测站卫星伪距。根据观测量的性质，伪距有测码伪距和测相伪距，绝对定位应分为测码伪距绝对定位和测相伪距绝对定位。

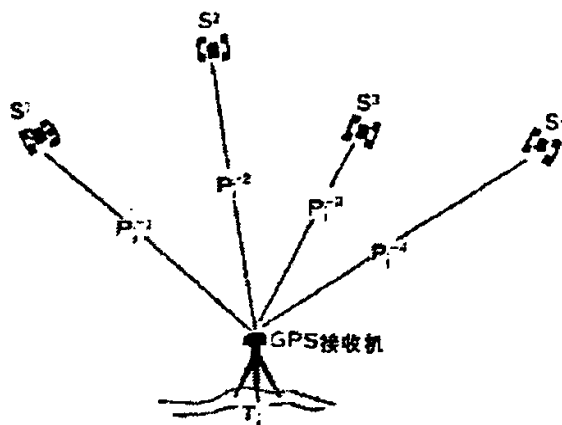


图 2.2.1.1 GPS 绝对定位

2.2.2 动态绝对定位原理

1. 测码伪距动态绝对定位法

如果在历元 t 观测站至所测卫星之间的伪距已经经过卫星钟差改正：—

$$\tilde{\rho}_i^j = \rho_i^j + c\delta t_i(t) + \Delta_i^j I_s(t) + \Delta_i^j T(t) \quad (2.2.2.1)$$

$$\text{取 } \tilde{r}_i^j(t) = \tilde{\rho}_i^j(t) - \Delta_i^j I_s(t) - \Delta_i^j T(t) \quad (2.2.2.2)$$

则测码伪距观测方程可写为

$$\tilde{r}_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c\delta t_i(t) \quad (2.2.2.3)$$

$$\text{或 } \tilde{r}_i^j(t) = \rho_i^j(t) - \rho_i | + c\delta t_i(t) \quad (2.2.2.4)$$

$\rho_j(t) = [X_j(t) \ Y_j(t) \ Z_j(t)]^T$ 为卫星 s_j 在协议地球坐标系中的瞬时空问直角坐标向量， $\rho_i = [X_i \ Y_i \ Z_i]^T$ 为观测站 T_i 在协议地球坐标系中的空间直角坐标向量。为了确定观测站坐标和接收机钟差，至少需要 4 个伪距观测量。假设任一历元 t 由观测站 T_i 同步观测 4 颗卫星分别为 $j=1,2,3,4$ ，则有 4 个伪距观测方程：

$$\begin{aligned} \tilde{r}_i^1(t) &= \rho^1(t) - \rho_i | + c\delta t_i(t) \\ \tilde{r}_i^2(t) &= \rho^2(t) - \rho_i | + c\delta t_i(t) \\ \tilde{r}_i^3(t) &= \rho^3(t) - \rho_i | + c\delta t_i(t) \\ \tilde{r}_i^4(t) &= \rho^4(t) - \rho_i | + c\delta t_i(t) \end{aligned} \quad (2.2.2.5)$$

若取观测站坐标的初始（近似）向量为 $X_{i0}=(X_0 \ Y_0 \ Z_0)^T$ ，改正数向量为 $\delta X_i=(\delta X \ \delta Y \ \delta Z)^T$ ，则线性化取至一次微小项后得

$$\begin{bmatrix} \tilde{r}_i^1(t) \\ \tilde{r}_i^2(t) \\ \tilde{r}_i^3(t) \\ \tilde{r}_i^4(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_{i0}^1(t) \\ \rho_{i0}^2(t) \\ \rho_{i0}^3(t) \\ \rho_{i0}^4(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} l_i^1(t) & m_i^1(t) & n_i^1(t) & -1 \\ l_i^2(t) & m_i^2(t) & n_i^2(t) & -1 \\ l_i^3(t) & m_i^3(t) & n_i^3(t) & -1 \\ l_i^4(t) & m_i^4(t) & n_i^4(t) & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta X_i \\ \delta Y_i \\ \delta Z_i \\ \delta \rho_i \end{bmatrix} \quad (2.2.2.6)$$

或写为 $a_i(t)\delta Z_i + l_i(t) = 0$

式中： $\delta \rho_i = c\delta t_i(t)$

$$l_i(t) = [L_i^1(t) \ L_i^2(t) \ L_i^3(t) \ L_i^4(t)]^T$$

$$L_i^j(t) = \tilde{r}_i^j(t) - \rho_{i0}^j(t)$$

$$\text{其中 } \rho_{i0}^j(t) = \{[X^j(t) - X_{i0}]^2 + [Y^j(t) - Y_{i0}]^2 + [Z^j(t) - Z_{i0}]^2\}^{1/2} \quad (2.2.2.7)$$

$$\text{由此可得 } \delta Z_i = -a_i(t)^{-1}l_i(t) \quad (2.2.2.8)$$

式(2.2.2.8)的求解一般采用迭代法，根据所取观测站坐标的初始值，在一次求解后，利用所求坐标的改正数，更新观测站坐标初始值，重新迭代，通常迭代 2-3 次即可获得满意结果。当仅观测 4 颗卫星时，无多余观测量，解是唯一的。如果同步观测的卫星数大于 4 颗时，则需利用最小二乘法平差求解。误差方程组的形式为：

$$v_i(t) = a_i(t)\delta Z_i + l_i(t) \quad (2.2.2.9)$$

$$\text{其中 } v_i(t) = [v_1(t) \ v_2(t) \ \dots \ v_n(t)]^T$$

根据最小二乘法平差求解

$$\delta Z_i = -[a_i^T(t)a_i(t)]^{-1}[a_i^T(t)l_i(t)] \quad (2.2.2.10)$$

解的精度为：

$$m_z = \sigma_0 \sqrt{q_{zz}} \quad Q_z = [a_i^T(t)a_i(t)]^{-1}$$

m_z 为解的中误差， σ_0 为伪距测量中误差， q_{zz} 为权系数阵 Q_z 主对角线的相应元素。

在 GPS 中，同时出现在地平线以上的可见卫星数不会多于 12 个。测码伪距绝对定位模型广泛用于船只、飞机、车辆等运动目标的导航、监督和管理。

2. 测相伪距动态绝对定位法

在协议地球坐标系中，考虑卫星钟差可利用导航电文中给出的参数加以修正，则观测方程为：

$$\tilde{R}_i^j(t) = \rho_{i0}^j(t) - [l_i^j(t) \quad m_i^j(t) \quad n_i^j(t)] \delta \mathbf{X}_i + \delta \rho_i(t) - N_i^j \quad (2.2.2.11)$$

其中:

$$\tilde{R}_i^j(t) = \lambda \phi_i^j(t) - \Delta_i^j I_p(t) - \Delta_i^j T(t)$$

$$\delta \rho_i(t) = c \delta \alpha_i(t)$$

$$N_i^j = \lambda N_i^j(t_0)$$

任一历元 t , 由观测站 T_i 至卫星 S_j 的距离误差方程可写为:

$$v_i^j(t) = [l_i^j(t) \quad m_i^j(t) \quad n_i^j(t) \quad -1] \begin{bmatrix} \delta X_i \\ \delta Y_i \\ \delta Z_i \\ \delta \rho_i(t) \end{bmatrix} + N_i^j + L_i^j(t) \quad (2.2.2.12)$$

其中: $L_i^j(t) = \tilde{R}_i^j(t) - \rho_{i0}^j(t)$

与测码伪距的误差方程相比, 测相伪距误差方程仅增加了一个新的未知数 N_i^j , 其余的待定参数和系数均相同。如果在起始历元 t_0 卫星 S_j 被锁定 (跟踪) 后, 观测期间没有发生失锁现象, 则整周待定参数 N_i^j 只是与该起始历元 t_0 有关的常数。

若在历元 t 同步观测 n_j 颗卫星, 则可列出 n_j 个误差方程:

$$\begin{bmatrix} v_i^1(t) \\ v_i^2(t) \\ \dots \\ v_i^{n_j}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_i^1(t) & m_i^1(t) & n_i^1(t) & -1 \\ l_i^2(t) & m_i^2(t) & n_i^2(t) & -1 \\ \dots & \dots & \dots & -1 \\ l_i^{n_j}(t) & m_i^{n_j}(t) & n_i^{n_j}(t) & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta X_i \\ \delta Y_i \\ \delta Z_i \\ \delta \rho_i(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_i^1 \\ N_i^2 \\ \dots \\ N_i^{n_j} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_i^1(t) \\ L_i^2(t) \\ \dots \\ L_i^{n_j}(t) \end{bmatrix} \quad (2.2.2.13)$$

观测量总数与所观测的卫星数 n_j 相等, 而待定未知数为 $4+n_j$, 因此利用测相伪距进行动态定位一般无法实时求解。获得动态实时解的关键在于能否预先或在运动中可靠地确定载波相位观测值的整周未知数。

如果初始整周未知数 $N_i^j(t_0)$ 为已知, 且在观测过程中接收机保持对所测卫星的连续跟踪, 则上式可简化为:

$$\begin{bmatrix} v_i^1(t) \\ v_i^2(t) \\ \dots \\ v_i^{n_j}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_i^1(t) & m_i^1(t) & n_i^1(t) & -1 \\ l_i^2(t) & m_i^2(t) & n_i^2(t) & -1 \\ \dots & \dots & \dots & -1 \\ l_i^{n_j}(t) & m_i^{n_j}(t) & n_i^{n_j}(t) & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta X_i \\ \delta Y_i \\ \delta Z_i \\ \delta \rho_i(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_i^1(t) \\ L_i^2(t) \\ \dots \\ L_i^{n_j}(t) \end{bmatrix} \quad (2.2.2.14)$$

其中 $L_i^j(t) = \tilde{R}_i^j(t) - \rho_{i0}^j(t) + \lambda N_i^j(t_0)$

此时, 若同步观测卫星数大于等于 4 时, 也可获得唯一实时解。但载体在

运动过程中,要始终保持对所测卫星的连续跟踪,目前在技术上尚有一定困难,同时目前动态解算整周未知数的方法,在应用上也有局限性。因此实时动态定位中目前主要采用测码伪距为观测量的方法。

2.2.3 静态绝对定位原理

静态绝对定位时观测站是固定的,可以于不同历元同步观测不同卫星,取得充分多的伪距观测量,通过最小二乘平差,提高定位精度。

1. 测码伪距静态绝对定位

若 n_i 为观测历元数,在忽略接收机钟差随时间变化的情况下,可得相应的误差方程:

$$V_i = A_i \delta Z_i + L_i \quad (2.2.3.1)$$

$$\text{其中} \quad V_i = [v_i(t_1) \quad v_i(t_2) \quad \dots \quad v_i(t_{n_i})]^T$$

$$\delta Z_i = [\delta X_i \quad \delta Y_i \quad \delta Z_i \quad \delta \rho_i]^T$$

$$A_i = \begin{bmatrix} a_i(t_1) \\ a_i(t_2) \\ \dots \\ a_i(t_{n_i}) \end{bmatrix} \quad L_i = \begin{bmatrix} l_i(t_1) \\ l_i(t_2) \\ \dots \\ l_i(t_{n_i}) \end{bmatrix}$$

按最小二乘法求解:

$$\delta Z_i = -(A_i^T A_i)^{-1} (A_i^T L_i) \quad (2.2.3.2)$$

在不同历元观测的卫星数一般不同,在组成上列系数阵时应注意。如果观测的时间较长,接收机钟差的变化往往不能忽略。根据不同情况,或者将钟差表示为多项式形式,把多项式系数作为未知数在平差计算中求解(待求未知参数总量为 $3+n_c$, n_c 为钟差模型系数个数);或简单地对不同观测历元引入相异的独立钟差参数(待求未知参数总量为 $3+n_i$, n_i 为观测的历元数)

2. 测相伪距静态绝对定位

假设在测站 T_i 于历元 t 同步观测的卫星数为 n_j , 根据动态绝对定位可写出误差方程组:

$$v_i(t) = a_i(t) \delta X_i + b_i(t) \delta \rho_i(t) + e_i(t) N_i + l_i(t) \quad (2.2.3.3)$$

其中

$$\begin{aligned}
 v_i(t) &= [v_i^1(t) \quad v_i^2(t) \quad \dots \quad v_i^{n'}(t)]^T \\
 b_i(t) &= [-1 \quad -1 \quad \dots \quad -1]^T \\
 \delta X_i &= [\delta X_i \quad \delta Y_i \quad \delta Z_i]^T \\
 l_i(t) &= [L_i^1(t) \quad L_i^2(t) \quad \dots \quad L_i^{n'}(t)]^T \\
 N_i &= [N_i^1 \quad N_i^2 \quad \dots \quad N_i^{n'}]^T \\
 a_i(t) &= \begin{bmatrix} l_i^1(t) & m_i^1(t) & n_i^1(t) \\ l_i^2(t) & m_i^2(t) & n_i^2(t) \\ \dots & \dots & \dots \\ l_i^{n'}(t) & m_i^{n'}(t) & n_i^{n'}(t) \end{bmatrix} \quad e_i(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

如果在观测站 T_i 于不同历元 $t=t_1, t_2, \dots$, 对相同的卫星进行观测, 则相应的误差方程组为

$$V_i(t) = A_i \delta X_i + B_i \delta \rho_i + E_i N_i + L_i \quad (2.2.3.4)$$

或

$$V_i = [A_i \quad B_i \quad E_i] \begin{bmatrix} \delta X_i \\ \delta \rho_i \\ N_i \end{bmatrix} + L_i \quad (2.2.3.5)$$

其中

$$\begin{aligned}
 V_i &= [v_i(t_1) \quad v_i(t_2) \quad \dots \quad v_i(t_m)]^T \\
 E_i &= [e_i(t_1) \quad e_i(t_2) \quad \dots \quad e_i(t_m)]^T \\
 L_i &= [l_i(t_1) \quad l_i(t_2) \quad \dots \quad l_i(t_m)]^T \\
 \delta \rho_i &= [\delta \rho_i(t_1) \quad \delta \rho_i(t_2) \quad \dots \quad \delta \rho_i(t_m)]^T
 \end{aligned}$$

$$A_i = \begin{bmatrix} a_i(t_1) \\ a_i(t_2) \\ \dots \\ a_i(t_m) \end{bmatrix} \quad B_i = \begin{bmatrix} b_i(t_1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & b_i(t_2) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & b_i(t_m) \end{bmatrix}$$

取负号 $\delta Y_i = -(\phi_i^T \phi_i)^{-1} (\phi_i^T L_i)$ (2.2.3.6)

按最小二乘法求得:

$$\phi_i = (A_i \quad B_i \quad E_i) \quad (2.2.3.7)$$

$$\delta Y_i = (\delta X_i \quad \delta \rho_i \quad N_i)^T \quad (2.2.3.8)$$

注意事项:

(1) 由于未知数 N_i' 与所观测的卫星有关, 在不同历元观测不同卫星时, 将

会增加新的未知数,这不仅会使数据处理变得复杂,而且有可能降低解的精度,因此在一个测站的观测中,尽可能观测同一组卫星是适宜的。

(2) 当观测卫星数为 n_j , 观测历元数为 n_t 时, 在任一观测站 T_i 可得观测量的总数为 $n_j \times n_t$, 同时待解的未知数包括: 观测站的 3 个坐标分量, n_t 个接收机钟差参数和与所测卫星相应的 n_j 个整周未知数。为了求解, 观测量总数必须满足:

$$n^j n_t \geq 3 + n^j + n_t \text{ 即 } n_t \geq \frac{3 + n^j}{n^j - 1} \quad (2.2.3.9)$$

从上式可见, 当所测卫星数为 4, 则观测历元数应大于 3。说明应用测相伪距法进行静态绝对定位时, 由于存在整周不确定性, 在同样观测 4 颗卫星的情况下, 至少于 3 个不同历元对 4 颗相同卫星进行同步观测。当观测时间较短, 定位精度要求不高时, 可把接收机钟差视为常数, 则有:

$$n^j n_t \geq 4 + n^j \text{ 即 } n_t \geq \frac{4 + n^j}{n^j} \quad (2.2.3.10)$$

即在观测 4 颗卫星的情况下, 理论上至少必须对相同卫星同步观测 2 个历元。测相伪距观测量精度高, 有可能获得精度较高的定位结果。但定位精度仍受卫星轨道误差和大气折射误差等影响, 只有当卫星轨道精度较高, 并以必要的精度对观测量加入电离层和对流层等项修正, 才能发挥测相法绝对定位潜能; 同时如何防止和修复整周变跳, 对保障定位精度十分重要。

另外, 整周未知数 $N_i^j/t(0)$, 理论上是整数, 但由于观测误差和各修正量误差的影响, 平差求解后不再是整数。如果把非整数的整周未知数调整为相近的整数, 作为固定值代入重新求解其它未知参数, 所得的解称为固定解, 而相应整周未知数为非整数的解成为浮动解。

2.3 GPS 相对定位原理

2.3.1 GPS 相对定位

GPS 相对定位也叫差分 GPS 定位, 是目前 GPS 定位中精度最高的一种, 广泛用于大地测量、精密工程测量、地球动力学研究和精密导航。GPS 相对定位分为静态相对定位和动态相对定位。

相对定位是利用两台 GPS 接收机, 分别安置在基线的两端, 同步观测相同的 GPS 卫星, 以确定基线端点在协议地球坐标系中的相对位置或基线向量。相对定位方法一般可推广到多台接收机安置在若干条基线的端点, 通过同步观测 GPS 卫星, 以确定多条基线向量^{[1] [2] [5] [7]}。

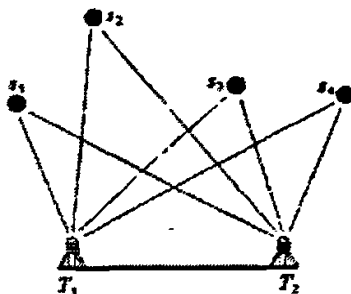


图 2.2.3.1 相对定位模型

2.3.2 动态相对定位原理

动态相对定位原理就是用一台接收机安置在基准站上固定不动，另一台接收机安置在运动载体上，两台接收机同步观测相同卫星，以确定运动点相对基准站的实时位置。

动态相对定位根据采用的观测量不同，分为以测码伪距为观测量的动态相对定位和以测相伪距为观测量的动态相对定位。测码伪距动态相对定位，目前实时定位精度为米级。以相对定位原理为基础的实时差分 GPS 可有效减弱卫星轨道误差、钟差、大气折射误差以及 SA 政策影响，定位精度远远高于测码伪距动态绝对定位。测相伪距动态相对定位是以预先初始化或动态解算载波相位整周未知数为基础的一种高精度动态相对定位法，目前在较小范围内（小于 20km），定位精度达 1-2 厘米。

下面我们来介绍一下测码伪距动态相对定位法。

测码伪距观测方程的一般形式为：

$$\tilde{\rho}_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c\delta_i(t) - c\delta^j(t) + \Delta_i^j I_s(t) + \Delta_i^j T(t) \quad (2.3.2.1)$$

如果将运动点 $T_i(t)$ 与固定点 T_1 的同步测码伪距观测量求差，可得单差模型：

$$\begin{aligned} \Delta\tilde{\rho}^j(t) &= \rho_i^j(t) - \rho_1^j(t) + c[\delta_i(t) - \delta_1(t)] \\ &\quad + [\Delta_i^j I_s(t) - \Delta_1^j I_s(t)] + [\Delta_i^j T(t) - \Delta_1^j T(t)] \end{aligned} \quad (2.3.2.2)$$

若略去大气折射残差的影响，则简化为

$$\Delta\tilde{\rho}^j(t) = \rho_i^j(t) - \rho_1^j(t) + c\delta(t) \quad (2.3.2.3)$$

若仍以 n_i 和 n_j 表示包括基准站在内的观测站总数和同步观测卫星数，则单差方程数为 $(n_i - 1)n_j$ ，未知参数总量为 $4(n_i - 1)$ ，求解条件为：

$$(n_i - 1)n_j \geq 4(n_i - 1), \quad (2.3.2.4)$$

即 $n_j \geq 4$ 。

对于观测量的双差，可得观测方程：

$$\nabla \Delta \tilde{\rho}^k(t) = [\rho_1^k(t) - \rho_1^j(t) - \rho_i^j(t) + \rho_i^k(t)] \quad (2.3.2.5)$$

类似分析表明, 求解条件仍为 $n_j \geq 4$ 。利用测码伪距的不同线性组合 (单差或双差) 进行动态相对定位, 与动态绝对定位一样, 每一历元必须至少同步观测 4 颗卫星。

2.3.3 静态相对定位原理

静态相对定位一般均采用载波相位观测值 (或测相伪距) 为基本观测量, 对中等长度的基线, 相对定位精度可更好效果。

静态相对定位的主要缺点: 接收机在移动过程中必须保持对观测卫星的连续跟踪。在高精度静态相对定位中, 当仅有两台接收机时, 一般应考虑将单独测定的基线向量联结成向量网 (三角网或导线网), 以增强几何强度, 改善定位精度。当有多台接收机时, 应采用网定位方式, 可检核和控制多种误差对观测量的影响, 明显提高定位精度。

假设安置在基线端点的接收机 T_i ($i=1,2$), 对 GPS 卫星 s_j 和 s_k , 于历元 t_1 和 t_2 进行了同步观测, 可以得到如下的载波相位观测量: $\varphi_1^j(t_1)$ 、 $\varphi_1^j(t_2)$ 、 $\varphi_1^k(t_1)$ 、 $\varphi_1^k(t_2)$ 、 $\varphi_2^j(t_1)$ 、 $\varphi_2^j(t_2)$ 、 $\varphi_2^k(t_1)$ 、 $\varphi_2^k(t_2)$ 。若取符号 $\varphi \Delta j(t)$ 、 $\varphi \Delta i(t)$ 和 $\varphi \delta_i^j(t)$ 分别表示不同接收机之间、不同卫星之间和不同观测历元之间的观测量之差, 则有

$$\begin{aligned} \Delta \varphi^j(t) &= \varphi_2^j(t) - \varphi_1^j(t) \\ \nabla \varphi_i(t) &= \varphi_i^k(t) - \varphi_i^j(t) \\ \delta \varphi_i^j(t) &= \varphi_i^j(t_2) - \varphi_i^j(t_1) \end{aligned} \quad (2.3.3.1)$$

在上式中, 观测量的一般形式为:

$$\varphi_i^j(t) = \frac{f}{c} \rho_i^j(t) + f[\tilde{\alpha}_i(t) - \tilde{\alpha}^j(t)] - N_i^j(t_0) + \frac{f}{c} [\Delta_i^j I_p(t) + \Delta_i^j T(t)] \quad (2.3.3.2)$$

目前普遍采用的差分组合形式有三种:

- 单差 (Single-Difference——SD): 在不同观测站, 同步观测相同卫星所得观测量之差。表示为

$$\Delta \varphi^j(t) = \varphi_2^j(t) - \varphi_1^j(t) \quad (2.3.3.3)$$

- 双差 (Double-Difference——DD): 在不同观测站, 同步观测同一组卫星, 所得单差之差。表示为

$$\nabla \Delta \phi^k(t) = \Delta \phi^k(t) - \Delta \phi^j(t) = [\phi_2^k(t) - \phi_1^k(t) - \phi_2^j(t) + \phi_1^j(t)] \quad (2.3.3.4)$$

• 三差 (Triple-Difference——TD): 于不同历元, 同步观测同一组卫星, 所得观测量的双差之差。表达式为:

$$\begin{aligned} \delta \nabla \Delta \phi^k(t) &= \nabla \Delta \phi^k(t_2) - \nabla \Delta \phi^k(t_1) \\ &= [\phi_2^k(t_2) - \phi_1^k(t_2) - \phi_2^j(t_2) + \phi_1^j(t_2)] \\ &\quad - [\phi_2^k(t_1) - \phi_1^k(t_1) - \phi_2^j(t_1) + \phi_1^j(t_1)] \end{aligned} \quad (2.3.3.5)$$

2.4 差分 GPS 测量原理

2.4.1 位置差分原理

位置差分是一种最简单的差分方法, 任何一种GPS接收机均可改装成这种差分系统。安装在基准站的GPS接收机观测4颗卫星后便可进行三维定位, 解算出基准站的坐标。由于存在着轨道误差、时钟误差、SA影响、多径效应与大气影响等误差, 解算出的坐标与基准站的已知精确坐标是不一样的, 存在误差, 构成位置改正数, 即:

$$\begin{cases} \Delta X = X - X' \\ \Delta Y = Y - Y' \\ \Delta Z = Z - Z' \end{cases} \quad (2.4.1.1)$$

式中, (X', Y', Z') 为基准站坐标, (X, Y, Z) 为已知坐标, ΔX , ΔY , ΔZ 为坐标改正数, 基准站利用数据链将改正数发送给用户站, 用户站用接收到的坐标改正数对其坐标进行改正

$$\begin{cases} X_K = X'_K + \Delta X \\ Y_K = Y'_K + \Delta Y \\ Z_K = Z'_K + \Delta Z \end{cases} \quad (2.4.1.2)$$

如果考虑数据传送时间引起的用户站位置的瞬间变化, 则可写

$$\begin{cases} X_K = X'_K + \frac{d+(X'_K + \Delta X)}{dt}(t - t_0) \\ Y_K = Y'_K + \frac{d+(Y'_K + \Delta Y)}{dt}(t - t_0) \\ Z_K = Z'_K + \frac{d+(Z'_K + \Delta Z)}{dt}(t - t_0) \end{cases} \quad (2.4.1.3)$$

式中: t 为用户站时刻; t_0 为基准站校正时刻。

经过坐标改正后的用户坐标已经消除了基准站和用户站的共同误差, 如轨道误差、时钟误差、SA影响、多径效应与大气影响等误差, 提高了定位的精度。

坐标差分的优点是需要传送的差分改正数少, 计算方法简单, 但是其缺点也是存在的。如, 其要求基准站和用户站必须保持观测同一组卫星, 由于基准站和用户站的接受设备不完全相同, 而且两个站的观测环境也不完全相同, 因此难以保证这些条件的一致。当然坐标差分定位效果是不如伪距差分定位效果好的。

2.4.2 伪距差分原理

伪距差分是指是将一台基准GPS接收机放在位置已知的点上, 利用已知的基准站精密坐标计算基准站到卫星的伪距改正数, 并将这一伪距改正数实时发送出去。用户接收机在进行GPS观测的同时, 也接收基准站的伪距改正数, 对其伪距观测量进行修正, 然后利用修正过的伪距观测量进行定位计算, 求解出比较精确的用户接收机位置。

测站*i*和卫星*j*之间在*t*时刻的伪距为

$$\tilde{\rho}_i^j = \rho_i^j + c(\delta t_i - \delta t^j) + \delta I_i^j + \delta T_i^j + d\rho_i^j \quad (2.4.2.1)$$

式中, δI_i^j 为*t*时刻电离层折射延迟的等效距离误差; δT_i^j 为*t*时刻对流层折射延迟的等效距离误差, $d\rho_i^j$ 为GPS卫星星历误差引起的距离偏差。

根据基准站的三围已知坐标和GPS卫星星历, 可以算出该时刻两者之间的几何距离

$$\rho_i^j = \sqrt{(X^j - X_i)^2 - (Y^j - Y_i)^2 - (Z^j - Z_i)^2} \quad (2.4.2.2)$$

故由基准站接受机测得的包含各种误差的伪距与几何距离之间存在的差值

$$\delta\rho_i^j = \tilde{\rho}_i^j - \rho_i^j \quad (2.4.2.3)$$

式(2.4.2.3)中的 $\delta\rho_i^j$ 即为伪距的改正值, 并将此值发送给用户接收机。用户接收机将测量的伪距加上此项距离改正, 便求的经过改正的伪距:

$$\tilde{\rho}_k^j = \tilde{\rho}_k^j - \delta\rho_i^j \quad (2.4.2.4)$$

如果考虑信号传送的伪距改正数的时间变化率, 则有:

$$\tilde{\rho}_k^j = \tilde{\rho}_k^j - \delta\rho_i^j - \frac{d\delta\rho_i^j}{dt}(t - t_0) \quad (2.4.2.5)$$

当用户站与基准站之间的距离小于100km, 则有:

$$d\rho_k^j = d\rho_i^j \quad ; \quad \delta I_k^j = \delta I_i^j \quad ; \quad \delta T_k^j = \delta T_i^j$$

且有 $\delta t_i = \delta t^j$

因此改正后的伪距 $\tilde{\rho}_i^j$ 为

$$\tilde{\rho}_i^j = \sqrt{(X^j - X_k)^2 - (Y^j - Y_k)^2 - (Z^j - Z_k)^2} + C\delta V_i \quad (2.4.2.6)$$

式中, δV_i 为两测站接收机种差之差。

当基准站同用户站同时观测4颗或4颗以上的卫星时, 即可实现用户站的定

位。由于伪距差分可以提供单颗卫星的距离改正数 $\delta\rho_i$ ，用户站可选择其中任意四颗相同卫星伪距改正数进行改正。

伪距差分是目前用途最广的一种技术。几乎所有的商用差分GPS接收机均采用这种技术。国际海事无线电委员会推荐的RTCM SC-104也采用了这种技术。

它的优点有：

- 精度高，其伪距改正数是直接在WGS-84坐标系上计算的不需要转换为当地的坐标；

- 提供了伪距变化率，使得在没有得到改正数的时间间隙内，继续进行精密定位；

- 在用户采用具有差分定位的简易接收机的情况下，由于基准站提供所有的卫星改正数，用户可以使用任意4颗卫星进行改正，两者不必完全相同。

2.4.3 载波相位差分原理

载波相位差分技术又称为RTK技术，是建立在实时处理两个测站的载波相位基础上的。它能实时提供观测点的三维坐标，并达到厘米级的高精度。

载波相位差分GPS定位与伪距差分GPS定位原理相类似，其基本原理是：在基准站上安置一台GPS接收机，对卫星进行连续观测，并通过数据链实时地将观测数据及测站坐标信息传送给用户站，用户站一方面通过GPS接收机接收卫星信号，同时通过无线电接收设备接收基准站传送信息，根据相对定位原理进行数据处理，实时地以厘米级的精度给出用户站三维坐标。

载波相位差分GPS的方法分为两类：改正法和求差法。前者与伪距差分类似，基准站将载波相位修正量发送给用户站，以改正其载波相位，然后求解坐标。后者将基准站采集的载波相位发送给用户站进行求差解算坐标。前者为准RTK技术，后者为真正的RTK技术。

由于改正法与伪距差分有类似之处，所以这里将改正法的算法暂时不做介绍，我们就先略过，来介绍一下求差法的基本概念。

所谓求差法就是基准站观测的载波相位观测值实时地发送给用户观测站，在用户站对载波相位观测值求差，获得单差，双差，三差求解模型，并采用与静态相对定位类似的求解方法进行求解。其定位程序如下：

- 1、用户站在保持不动的情况下，静态观测若干历元，并将基准站上的观测数据通过数据链传送给用户站，按静态相对定位法求出整周未知数，这一过程即为初始化过程。

- 2、将求出的整周未知数代入双差模型，此时双差只包括 ΔX ， ΔY ， ΔZ 三个位置分量，只要四颗以上卫星的一个历元的观测值，就可以实时的求解出三个

位置分量。

3、将求出的 ΔX , ΔY , ΔZ 坐标增量加上已输入的基准站的 WGS-84 地心坐标 X_i, Y_i, Z_i 就可以求得此时用户站的地心坐标, 即:

$$\begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{bmatrix}_{\text{WGS-84}} = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix}_{\text{WGS-84}} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (2.4.3.1)$$

利用已经获得的坐标转换参数, 将用户站的坐标转换到当地的空间直角坐标系。

4、换算成实用的定位坐标成果。需要注意的是: 用载波相位测量进行的动态相对定位, 固然可以将其定位精度提高到厘米级, 有些仪器公司还推出了实时处理载波相位的 GPS 动态系统, 然而, 不仅在流动接收机开始运动之前, 而且在运动过程中, 若所跟踪的卫星少于 4 颗, 均需要再进行初始化来求解整周模糊度。GPS 使是在运动的状态下, 直接求解整周模糊度的 AROF 技术也许在积累 200-300s 观测数据之后, 才能得出整周模糊度, 此期间的流动点的点位坐标需要逆向回代, 并不能实时给出。若当地的障碍物较多, 难以保证卫星信号接收, 利用载波相位进行动态定位较难实施, 而利用测距码进行动态定位比较方便。

2.5 差分 GPS 的数学模型

采用某种差分定位模式或者说是建立一个差分定位系统, 我们首先要做的就是建立一个相应的数学模型, 从而才可以在此数学模型上进行相应实际系统的建立。本文中选用的数学模型为伪距差分定位数学模型, 下面就简单介绍一般伪距差分数学模型^[25]。

设基准站 R 测得至第 j 颗 GPS 卫星的伪距为:

$$\rho_r^j = \rho_r^j + c(d\tau_r - d\tau_s^j) + d\rho_r^j + \delta\rho_{1r}^j + \delta\rho_{2r}^j \quad (2.5.1)$$

式中 ρ_r^j 为基准站 R 至第 j 颗 GPS 卫星之间的真实距离; $d\tau_r$ 为接收机时钟相对于 GPS 时间系统的偏差; $d\rho_r^j$ 为 GPS 卫星星历误差所引起的距离偏差; $d\tau_s^j$ 为第 j 颗卫星时钟相对于 GPS 时间系统的偏差; $\delta\rho_{1r}^j$ 为电离层时延在基准站引起的距离偏差; $\delta\rho_{2r}^j$ 为对流层时延在基准站引起的距离偏差; C 为电磁波传播速度。

根据基准站的已知坐标和 GPS 卫星星历, 可以精确算得真实距离 ρ_r^j ,

$$\rho_r^j = \sqrt{(X_r - X_j)^2 + (Y_r - Y_j)^2 + (Z_r - Z_j)^2} \quad (2.5.2)$$

式中 (X_r, Y_r, Z_r) 是基准站 R 的三维已知坐标, (X_j, Y_j, Z_j) 是第 j 颗卫星发射信号时刻的三维坐标。而伪距 ρ_r^j 是基准站接收机测得的, 则伪距改正值为:

$$\Delta\rho_r^j = \rho_r^j - \rho_r^j = -c(d\tau_r - d\tau_s^j) - d\rho_r^j - \delta\rho_{1r}^j - \delta\rho_{2r}^j \quad (2.5.3)$$

在基准接收机进行伪距测量的同时,流动站接收机 K 也对第 j 颗卫星进行了伪距测量,流动站接收机所测得的伪距为:

$$\rho_k^j = \rho_k^j + c(d\tau_k - d\tau_r^j) + d\rho_k^j + \delta\rho_{1k}^j + \delta\rho_{2k}^j \quad (2.5.4)$$

将基准站所测得的伪距改正值带入(2.5.4)式即(2.5.2),(2.5.3)两式相加得

$$\rho_k^j + \Delta\rho_r^j = \rho_k^j + c(d\tau_k - d\tau_r) + (d\rho_k^j - d\rho_r^j) + (\delta\rho_{1k}^j - \delta\rho_{1r}^j) + (\delta\rho_{2k}^j - \delta\rho_{2r}^j) \quad (2.5.5)$$

当流动站与基准站相距在一定距离范围之内,可近似认为:

$$d\rho_k^j \approx d\rho_r^j, \delta\rho_{1k}^j \approx \delta\rho_{1r}^j, \delta\rho_{2k}^j \approx \delta\rho_{2r}^j$$

设 $\Delta\rho_r = c(d\tau_k - d\tau_r)$, 则式(2.5.5)可变为:

$$\rho_k^j + \Delta\rho_r^j = \rho_k^j + \Delta\rho_r = \sqrt{(X_r - X_j)^2 + (Y_r - Y_j)^2 + (Z_r - Z_j)^2} + \Delta\rho_r \quad (2.5.6)$$

式(2.5.6)中共有四个未知数,它们分别是流动站 K 的三维坐标 (X_k, Y_k, Z_k) 和 GPS 接收机钟差引起的改正项 $\Delta\rho_r$ 。如果基准站和流动站某历元共有 4 颗以上卫星,就可根据(2.5.6)式建立误差方程式:

$$V_j = \frac{(X_k^0 - X_j)}{D_0} \delta X_k + \frac{(Y_k^0 - Y_j)}{D_0} \delta Y_k + \frac{(Z_k^0 - Z_j)}{D_0} \delta Z_k + \Delta\rho_r + (D_0 - \rho_k^j - \Delta\rho_r^j) \quad (2.5.7)$$

式中: (X_k^0, Y_k^0, Z_k^0) 是流动站 K 的三维近似坐标,可从流动站观测数据文件获取; (X_j, Y_j, Z_j) 是第 j 颗 GPS 卫星发射信号时刻的三维坐标,可根据 GPS 卫星星历计算

$$D_0 = \sqrt{(X_k^0 - X_j)^2 + (Y_k^0 - Y_j)^2 + (Z_k^0 - Z_j)^2} \quad j=1,2,\dots,n, \quad n \geq 4 \quad (2.5.8)$$

然后按最小二乘法求解流动站该历元的三维坐标

$X_k = X_k^0 + \delta X_k, Y_k = Y_k^0 + \delta Y_k, Z_k = Z_k^0 + \delta Z_k$ 和三维坐标中误差 M_{xk}, M_{yk}, M_{zk} 。

若流动站在某一测点 P 共观测了 N 个历元,则可以得到 P 点 N 个三维坐标结果 (X_i, Y_i, Z_i) , $i=1,2,\dots,N$, 那么我们取它们的算术平均值作为 P 点定位结果:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i, \bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i, \bar{Z} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_i \quad (2.5.9)$$

若令: $V_{xi} = \bar{X} - X_i, V_{yi} = \bar{Y} - Y_i, V_{zi} = \bar{Z} - Z_i$, 则可根据下式计算一个历元的 P 点三维坐标中误差:

$$M_x = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{V_{xi}^2}{N-1}}, M_y = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{V_{yi}^2}{N-1}}, M_z = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{V_{zi}^2}{N-1}} \quad (2.5.10)$$

N 个历元的 P 点三维坐标算术平均值的中误差可由下式计算:

$$M_{\bar{x}} = \frac{M_x}{\sqrt{N}}, M_{\bar{y}} = \frac{M_y}{\sqrt{N}}, M_{\bar{z}} = \frac{M_z}{\sqrt{N}} \quad (2.5.11)$$

若已知流动站 P 点的三维坐标真值为 $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})$

并令:

$$\Delta X_i = X_i - \bar{X}, \Delta Y_i = Y_i - \bar{Y}, \Delta Z_i = Z_i - \bar{Z}$$

则可根据式(2.5.11)计算 P 点三维坐标中的误差:

$$M_x = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{\Delta X^2}{N}}, M_y = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{\Delta Y^2}{N}}, M_z = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{\Delta Z^2}{N}} \quad (2.5.12)$$

2.6 本章小结

本章是从理论的角度出发, 分析了 GPS 测量的误差来源及改正方法, 紧接着研究了 GPS 的定位原理并做了详细的公式阐述, 最后立足于理论的分析提出了差分 GPS 的数学模型。

3 差分 GPS 的总体实现方案

3.1 系统总体框图及流程图的设计

3.1.1 总体框图的设计

系统引入差分 GPS 技术以后整体框架如图图 3.1.1.1 所示：

由该系统总体构架图可见，以前监控中心没有设置 GPS 接收机，监控中心只是把被监控车辆所发来的 GPS 电文信息解算出来，然后存储等待客户查询，使得客户知道车辆的位置。改进后在监控中心需配置 GPS 接收机构成基准站，从而和车辆的 GPS 接收机构成一个差分系统。监控中心的 PC 机上的安装的 GPS 接收机，经过串口通信的设置，可以接收 GPS 定位信息。现在监控中心不是只把被监控车辆的 GPS 信息提取出来然后将被监控车辆位置坐标解算出来保存供客户查询，而是将监控中心的 GPS 作为参考坐标，和基准坐标一起得到差分值。这时被监控车辆的实时坐标只要找到相对于这个时刻的差分值，就可以计算出差分坐标，从而获得精确的定位效果。

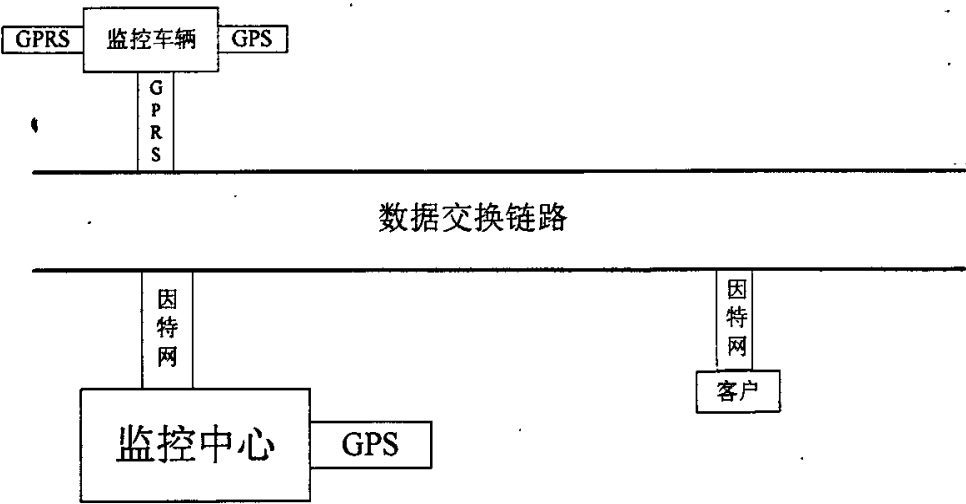


图 3.1.1.1 差分系统总体构架图

3.1.2 总体流程图的设计

在本差分系统中，关于差分技术应用基本思想如下：首先，我们可以测得监控中心基准站的坐标，同时在基准站我们有一台通过串口的连接与 PC 机通信的 GPS 接收机 A，GPS 接收机 A 可以源源不断的接收到 GPS 的信息。从 GPS 接收机 A 接收到的 GPS 信息中提取出来的基准站的实时坐标，由于误差的存在

一定与我们所准确的基准站坐标有差值,我们将此差值计算出来,并且按照时间存储。此时,车载终端也通过 GPRS 移动通信网将车载终端的 GPS 接收机 B 接收到的信息发送到转发中心基准站,在提取了车辆的实时位置坐标以后,我们知道该坐标一定是有误差的,从而我们根据车载终端发来的 GPS 信息的时间,找到相应得基准站坐标的差分值,两者作差分运算就可以得到了经过差分运算以后的准确位置坐标以供监控中心或者用户实时查询。

系统引入差分 GPS 技术以后整体流程如图 3.1.2.1 所示:

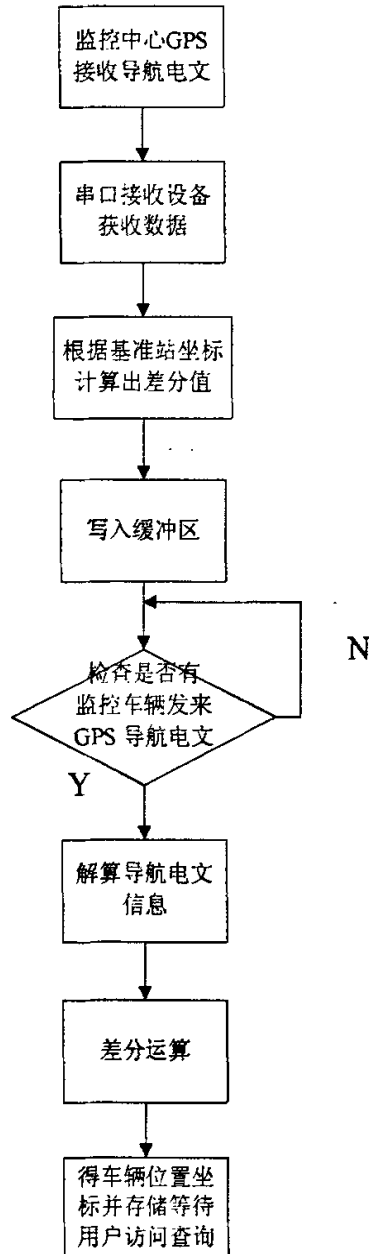


图 3.1.2.1 系统总体流程图

3.2 转发中心的基准站坐标

差分GPS车辆监控系统中的差分就是实时坐标与基准站坐标的差值,而实时的坐标可以由GPS卫星接收机来获得,那么求取基准站的坐标就是必要而关键,目前,基准站的测定方法主要有:直接测量法,联测法,软件解算法。下面我们就来研究一下基准站坐标的相关问题^{[15][21]}。

3.2.1 直接测量法

目前商用GPS接收机,不论是测地型还是导航型,都具有观测卫星的C/A码伪距进行单点定位的功能。在2000年5月美国政府取消SA政策干扰之前,SA政策是单机定位的最大误差,SA政策取消后,虽然定位精度有了很大提高,但还是远远不能满足差分GPS基准站定位要求。在前面已指出GPS定位还存在以下几种主要误差因素(1)卫星时钟误差;(2)星历误差;(3)电离层的附加延时误差;(4)多路径误差;(5)接收机噪声等。上述的这些误差大都属于随机误差。因此,为了获得基准站高精度的地心坐标,最常用的方法是对GPS观测值进行简单平均(直接测量):

$$\overline{(X,Y,Z)}_n = \frac{n-1}{n} \overline{(X,Y,Z)}_{n-1} + \frac{1}{n} \overline{(X,Y,Z)}_n \quad (3.2.1.1)$$

式(3.2.1.1)中: (X,Y,Z) 为GPS接收机输出的WGS-84三维坐标值; $\overline{(X,Y,Z)}$ 为简单平均的结果; n 为观测次数。

这种直接测量法获得基准站的地心坐标精度虽然不高,但方法简单,任何单位和任何地方均可进行,且花费很少,实用可行。

3.2.2 联测法

在我国,已经在北京、上海、武汉、长春等地建立了人工激光测距观测SLR,并与世界各国的激光站联网,进行着全球性联合观测。这些观测站的地心坐标精度达到厘米级,完全可以满足差分基准站的需要。如果我们以这些SLR激光站为基准,采用GPS静态测量进行联测。由目前测地型双频接收机能够达到的相对精度,可知经联测求得的差分基准站的坐标精度仍能保持到厘米级。这是目前获得基准站位置坐标最高精度的唯一方法。但是较之直接测量法来说,这种方法代价较高。

3.2.3 软件解算法

如果用户拥有精密定位软件，可以在基准站进行观测，提取相位观测量，进行单点定位，可以获得米级精度地心坐标。下面介绍单点定位软件，其流程图如下

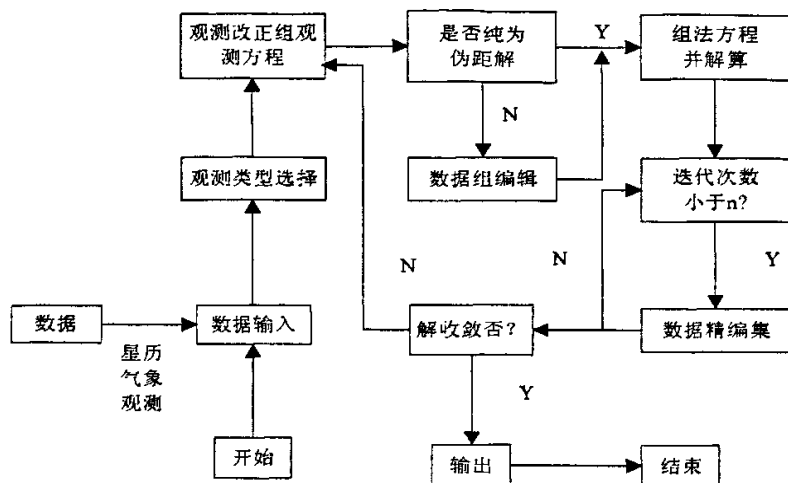


图 3.2.3.1 GPS 单点定位流程图

程序启动后，读取星历数据文件，气象数据文件和原始观测文件，并转换为 RINEX 统一格式。对原始观测量进行卫星钟差改正，相对论改正，地球旋转改正，卫星天线相位中心偏离卫星质心改正，对流层和电离层改正。然后，组成观测方程，并由此组成法方程，最后求解位置坐标。之后，依据观测差进行数据编辑，重复上述迭代过程。当解稳定收敛或达到规定迭代次数后，输出位置坐标及其精度统计值。此法测量的位置精度要优于直接测量法，但比联测法要低。

3.2.4 基准站坐标测定实验与结果

要获得基准站精确位置坐标，可以用联测法或软件解算法，但是这样实施起来代价较高，所以采用 GPS 接收机直接测量的方法比较实用，而且不需要作额外的投资，所以得到广泛的使用。

本次实验所使用的 GPS 接收机是丽台 LR9805，采用直接测量法来测量基准站坐标。LR9805 有 2 个 RSR232 串口数据通信接口，输入数据格式为 NMEA-0183 二进制，输出分别提供 ASCII 码导航电文输出和二进制的原始测量数据，可进行单机定位和差分定位，采用 WGS-84 坐标系统。

实验在南京理工大学自动化学学院大楼，静态观测 5 小时，采用公式

$$\overline{(X,Y,Z)}_n = \frac{n-1}{n} \overline{(X,Y,Z)}_{n-1} + \frac{1}{n} \overline{(X,Y,Z)}_n$$

进行计算，经计算得：

$$\overline{B}=32^{\circ}03.1411'$$

$$\overline{L}=118^{\circ}74.3798'$$

通过采用直接测量法测定基准站的坐标，可以有效地减少误差，提高定位精度，但这种方法只是满足一些对精度要求不是太高的用户，若是想要获得更高精度的基准站坐标，必须通过联测法或是软件解算法。

3.3 GPS 卫星信号接收机与计算机通信

因为在监控中心基准站需要一台 GPS 接收机来源源不断地接收 GPS 信息，从而和基准坐标比较得到差分数，然后将车载终端发来的 GPS 电文信息通过差分运算得出准确的车辆位置坐标。在这其中我们就必须对 GPS 接收机有所了解，然后通过串口使之与计算机通信，来接收和提取 GPS 信息。

3.3.1 GPS 卫星信号接收机

GPS用户设备的核心是GPS接收机，它由主机、天线、电源三个单元组成。天线单元的主要功能是将GPS卫星信号非常微弱的电磁波转化成电流，并对这种信号电流进行放大处理和变频处理。接收机单元的主要功能是对经过放大和变频处理的信号电源进行跟踪，处理和测量^[1]。GPS信号接收机的基本构成如图

3.3.1.1:

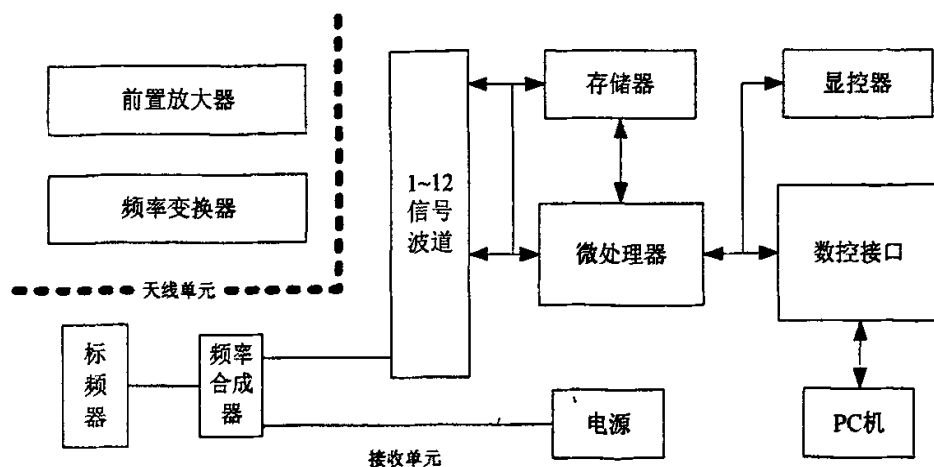


图3.3.1.1 GPS信号接收机的基本构成图

GPS卫星信号接收机可以按照原理、用途、功能等来分类。如按接收机的用途来分类,可分为^[1]:

- 导航型接收机。此类型接收机主要用于运动载体的导航,它可以实时给出载体的位置和速度。单点实时定位精度较低、价格便宜,应用广泛。根据应用领域的不同,此类接收机还可以进一步分为:车载型、航海型、航空型、星载型等。
- 测地型接收机。测地型接收机主要用于精密大地测量和精密工程测量。这类仪器主要采用载波相位观测值进行相对定位,定位精度高。仪器结构复杂,价格较贵。
- 授时型接收机。这类接收机主要利用GPS卫星提供的高精度时间标准进行授时,常用于天文台及无线电通讯中时间同步。

GPS信号接收机的工作方式如下:捕获到按一定卫星高度截止角所选择的待测卫星的信号,并跟踪这些卫星的运行,对所接收到的GPS信号进行变换、放大和处理,以便测量出GPS信号从卫星到接收机天线的传播时间,解译出GPS卫星所发送的导航电文,实时地计算出测站的三维位置,位置,甚至三维速度和时间。

3.3.2 计算机串口通信

目前较为常用的串口有 9 针串口 (DB9) 和 25 针串口 (DB25), 通信距离较近时(通常认为是小于 12 米)可以用电缆线直接连接标准 RS-232 端口 (RS-422, RS-485 用于较远距离), 若距离很远, 需附加调制解调器。

1. DB9 和 DB25 的常用信号脚说明, 如表 3.3.2.1 所示。

9 针串口 (DB9)			25 针串口 (DB25)		
针号	功能说明	缩写	针号	功能说明	缩写
1	数据载波检测	DCD	8	数据载波检测	DCD
2	接收数据	DCD	3	接收数据	DCD
3	发送数据	TXD	2	发送数据	TXD
4	数据终端准备	DTR	20	数据终端准备	DTR
5	信号地	GND	7	信号地	GND
6	数据设备准备好	DSR	6	数据设备准备好	DSR
7	请求发送	RTS	4	请求发送	RTS
8	消除发送	CTS	5	消除发送	CTS
9	振铃指示	DELL	22	振铃指示	DELL

表 3.3.2.1 DB9 和 DB25 的常用信号脚说明

在本文中，使用的是 9 针串口，其针口结构分布如图 3.3.2.2 所示。

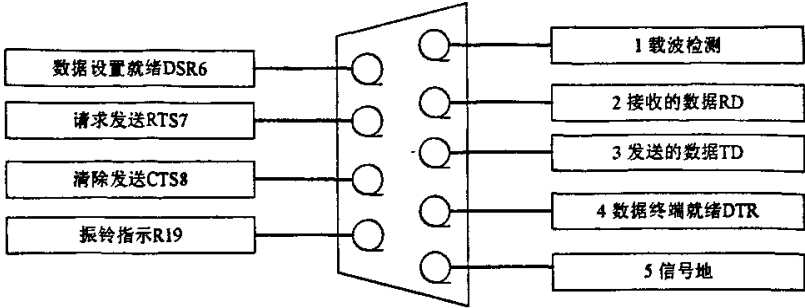


图 3.3.2.2 9 针串口结构分布

2. RS-232 串口通信接线方法

串口传输数据只要有接收数据针脚和发送数据针脚就能实现。具体分为两种。

- 同一个串口的接收脚和发送脚直接用线相连，对 9 针串口和 25 针串口，均是 2 与 3 直接相连。
- 两个不同串口(不论是同一台计算机的两个串口或分别是不同计算机的串口)。连接方法如表 3.3.2.3 所示：

	9 针-9 针		25 针-25 针		9 针-25 针	
接收	2	3	3	2	2	2
发送	3	2	2	3	3	3
信号地	5	5	7	7	5	7

表 3.3.2.3 不同串口连接方法

同时只要记住一个原则:接收数据针脚(或线)与发送数据针脚(或线)相连,彼此交叉，信号地对应相接，就能应对于各种情况。

3.3.3 接口电路的设计

由于 GPS 的 OEM 板采用的是 CMOS（TTL）电平，而计算机的 DB9 串行口采用的是 RS232 电平，所以必须进行电平转换才能进行两者的通信。经过资料的查阅与试验，我们选用了 MAXIM 公司的 MAX232CPE 即可实现电平转换。接口电路原理图如下图所示：

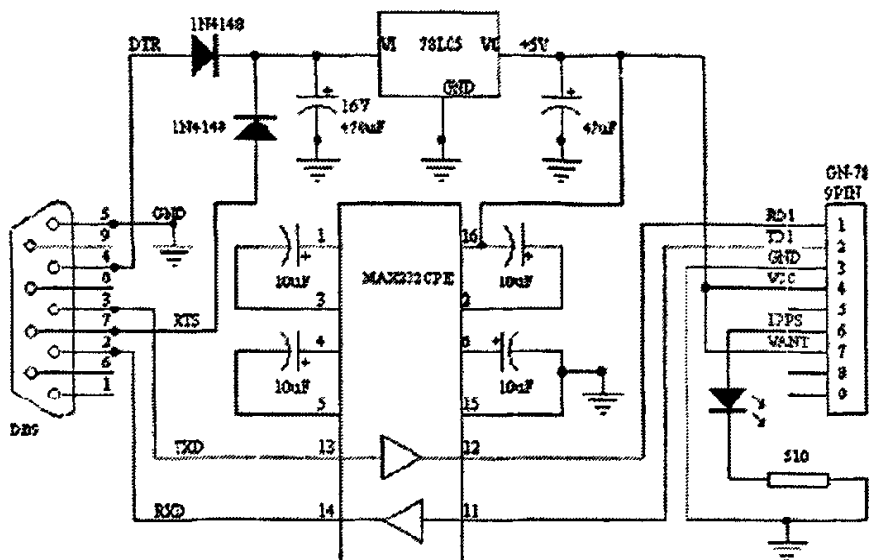


图 3.3.3.1 接口电路原理图

MAX232CPE 集成电路实现了 RS232 电平和 TTL 电平间的转换，其中第 13 脚接收串口第 3 针送来的 TXD（数据发送）信号，转换后从第 12 脚输出到 GPS 模块的第 1 脚 RD1（数据接收）上；第 11 脚接收从 GPS 模块第 2 脚 TD1（数据发送）信号，从第 14 脚输出到串口的第 2 针 RXD（数据接收），从而实现 GPS 接收机和计算机的通信。MAX232CPE 的工作电压为 DC+5V，从串口 4、7 针输出的 12V 左右的电压由两个 1N4148 二极管整流后，经过 78L05 稳压管稳压输出 DC+5V 电压到 MAX232CPE 的第 16 脚供集成块工作，同时也给 GPS 接收机提供稳定的工作电源（第 4 脚）和天线电源（第 7 脚）。MAX232CPE 的 4 个参数电容对数据线的传输速度有影响，这里采用 10uF 的电容。470uF 和 47uF 的电容为滤波电容。

经过测试，该电平转换电路能够很好的实现 RS232 电平和 TTL 电平间的转换从而为计算机和 GPS 接收机的通信提供的桥梁。完成了以上的准备工作，使得 PC 机和 GPS 接收机能够很好的通信，下一步我们就要研究提取 GPS 的信息。

3.4 GPS 信息的接收与提取

3.4.1 串口数据接收格式

GPS 的数据信息一般是通过 GPS 接收机通过串口传输到控制终端(如计算机、手机、PDA 等)上的，再通过控制终端的应用程序实现定位数据以及其他信息的显示、读取等功能。但是他们之间的数据交换格式用户是很难知道的，这

就需要一个统一格式的数据标准。美国国家海洋电子协会制定的一系列数据标准解决了这个问题。

美国国家海洋电子学会(NMEA)成立于 20 世纪 50 年代,是一家专门从事海洋电子设备工业方面教育及研究的民间机构。NMEA 系列标准是其制定的关于海洋电子设备之间通信接口和协议的标准。先后制定了 NMEA-0180 和 NMEA-0182 标准。1983 年制定了 NMEA-0183 标准。这一标准在兼容 NMEA-0180 和 NMEA-0182 标准的基础上,增加了 GPS、测探仪、罗经方位系统等多种设备的接口和通信协议定义。由于 NMEA-0183 标准的通用性和灵活性,因而在全世界得到广泛应用。在我们的车辆监控系统中一系列涉及 GPS 传送的数据也是使用 NMEA-0183 标准的^[41]。

NEMA0183 通信标准格式,语句达数十种之多,我们不需要了解NEMA0183 通信协议的全部信息,仅需要从中挑选出所需的那部分定位数据。通常的情况下,我们所关心的定位数据如经纬度、速度、时间等均可以从数据帧中获取得到。各种数据句型均以“\$”开头,各帧均以回车符和换行符<CR> <LF>作为帧尾标识一帧的结束,帧内数据之间以逗号隔开,输出的句型可以根据用户需要进行选择。数据主要由帧头、帧尾和帧内数据组成。根据数据帧的不同,帧头也不相同,主要有:\$GPGGA, \$GPGLL, \$GPGSA, \$GPGSV, \$GPRMC, \$GPVTG等。我们选择其中几种来做简单介绍,了解一下通信标准格式的基本情况。

• \$GPGGA

Global Positioning System Fix Data, Time, Position and fix related data for a GPS receiver.

\$GPGGA, <1>, <2>, <3>, <4>, <5>, <6>, <7>, <8>, <9>, <10>, <11>, <12>*hh<CR><LF>

<1>UTC时间, hh mm ss格式; <2>纬度dd mm mmmm 格式(非0);

<3>纬度方向N或S; <4>经度ddd mm mmmm 格式(非0);

<5>经度方向E或W;

<6>GPS状态批示0—未定位、1—无差分定位信息、2—带差分定位信息

<7>使用卫星号(00~08); <8>精度百分比;

<9>海平面高度; <10>大地椭圆面相对海平面的高度;

<11>差分GPS信息; <12>差分站ID号:0000-123。

• \$GPGSA

GPS DOP and active satellites.

\$GPGSA,<1>, <2>, <3>, <3>, <3>, <3>, <3>, <3>, <3>, <3>, <3>, <3>, <3>, <3>, <4>, <5>, <6>, *hh<CR><LF>

<1>模式M—手动, A—自动; <2>当前状态1—无定位信息, 2-2D, 3-3D;

<3>PRN号01~32;

<4>位置精度;

<5>垂直精度;

<6>水平精度。

• \$GPRMC

Recommended Minimum Navigation Information

\$GPRMC,<1>, <2>, <3>, <4>, <5>, <6>, <7>, <8>, <9>, <10>, <11>, *hh<CR><LF>

<1>定位时UTC时间hhmmss格式; <2>状态A=定位V=导航;

<3>纬度ddmm.mmm格式;

<4>纬度方向N或S;

<5>经度dddmm.mmmm;

<6>经度方向E或W;

<7>速率;

<8>力一位(二维方向指向, 相当于二维罗盘);

<9>当前UTC日期ddmmyy格式; <10>太阳方位;

<11>太阳方向。

• \$GPVTG

Track Made Good and Ground Speed

\$GPVTG,<1>, T, <2>, M, <3>, N, <4>, *hh <CR><LF>

<1>真实方向; <2>相对方向; <3>步长; <4>速率。

3.4.2 串口通信开发方法的介绍与选择

在差分系统中转发中心的基准站PC机需要读取GPS接收机的信息, 从而可以进行差分运算, 这样我们就需要PC机与GPS接收机进行通信来获得我们需要的数据。首先我们确定选择串口通信的方式, 目前在Windows下进行串口通信的开发主要有如下三种模式:

- 1、利用Windows API通信函数;
- 2、使用串口通信组件, 如ActiveX 控件MSComm;
- 3、利用第三方提供或自己编写的通信类。

其中, 第一种方法使用面较广, 但由于函数较多, 所带参数复杂, 使用很不方便, 程序的调试也比较复杂; 第二种方法较简单, 只需对串口进行简单配置, 但由于控件的源码是不公开的, 所有的修改必须在它的外面, 以至于代码的重用性比较差; 第三种方法使用面向对象技术封装Win32 API函数, 提供一个用于串行通信的类,

通过其提供的接口能够直接对串口进行访问,且调试应用程序时更加方便和容易,同时可以提高代码的可重用性,减轻编程的复杂度。

然而在本次系统的设计和论文的研究当中,主要是研究了Windows API通信函数和ActiveX控件MSComm两种模式,最终选择了MSComm控件作为本差分系统设计基准站内GPS接收机与PC机的通信方式。下面作出必要介绍。

3.4.3 MSComm 控件的简介

MSComm是Microsoft Communications Control的简称,它是微软公司为了方便用户的串口通信编程而开发的一种Active X 控件。与其他许多Active X 控件一样,MSComm控件也是使用一系列的属性与用户进行交互的,通过用Get函数得到它的当前属性值,用Set函数对其进行设置。与程序设计相关的主要属性有如下一些:

CommPort: 设置或返回通信端口号。最多可取16个端口号,但是如果打开一个不存在的端口,就会产生错误。

Settings: 对串口进行设置,由四个部分组成,依次为波特率(可选值为110, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800), 奇偶校验(N 表示不校验, E 表示偶校验, O 表示奇校验, M 表示符号校验), 数据位位数(可选值为4, 5, 6, 7, 8) 以及停止位位数(可选值为1, 1.5, 2)。

PortOpen: 设置或返回通信端口状态, TRUE 表示打开, FALSE 表示关闭。

Input: 返回并删除接收缓冲区中的数据。

InputLen: 设置或返回从接收缓冲区中读取的字节数, 0 表示全部读取。

InputMode: 设置或返回GetInput() 函数读取的数据类型。0 表示文本类型, 1 表示二进制类型。

Output: 向发送缓冲区写数据。

RThreshold: 设置或返回能触发OnComm事件所需的输入缓冲区中接收字符的最小数。当设置为0时, 则不引发OnComm 事件。

SThreshold: 设置或返回在触发OnComm事件前, 发送缓冲区内所允许的最少字符数。

InBufferSize/OutBufferSize: 设置或返回接收/发送缓冲区大小。

Comm Event: 返回最近的通信事件或错误的数字代码。当为常数2时, 收到SetRThreshold() 函数设置的字符数时, 就会触发OnComm 事件。

MSComm 控件有两种工作方式: 查询方式和事件驱动方式。查询方式主要用在比较简单的场合, 它通过检查GetInBufferCount() 函数的返回值来判断输入缓冲区中是否已经接收到指定的字符数, 若接到, 则调用GetInput() 函数将其读

入,否则继续查询等待,直到接收了相应的字符数为止。对于比较复杂的场合,一般采用事件驱动的方式进行通信。MSComm 控件产生的唯一事件就是 OnComm事件,它的工作原理与中断方式类似,一旦有通信事件发生,不论是数据传输还是发生错误,都将引发该事件。

3.4.4 MSComm 控件串口编程

在 VC++ 6.0 中使用 Microsoft 公司提供的 ActiveX 控件 MSComm 进行串口通信编程,实现起来非常简单:

1、在当前的 Workspace (命名为 GPScom)中插入 MSComm 控件: VC 菜单Project 下-> Add to Project-> Components and Controls-> Registered ActiveX Controls-> Microsoft Communications Control,version 6.0 插入到当前项目中。

2、定义全局变量: public: CMSComm m_MSComm;

3、打开串口,并进行串口设置

```
m_MSComm.SetCommPort(1); //设置串口 1
if(!m_MSComm.GetPortOpen()); //如果串口关闭,则打开
m_MSComm.SetPortOpen(TRUE);
m_MSComm.SetSettings("4800,N,8,1"); //设置串口通信参数
m_MSComm.SetInputMode(1); //收发二进制型数据
m_MSComm.SetInputLen(0); //设置初始长度
m_MSComm.SetRThreshold(140); //140 个字符引发一个事件
```

4、编写事件驱动函数 OnComm(), 读取 GPS 数据:

```
VARIANT m_varInput;
COleSafeArray m_oleInput;
BYTE data[1024];
CString str;
if(m_MSComm.GetCommEvent()==2) //是接收到字符事件,则读取缓冲区数据
{
    m_varInput=m_MSComm.GetInput(); //读取数据
    m_oleInput=m_varInput; //类型转换
    length=m_oleInput.GetOneDimSize(); //得到字符串长度
    for(i=0; i<length; i++)
        m_oleInput.GetElement(&i,data+i); //数据转换为 BYTE 型
    for(i=0; i<length;i++); //数据转换为CString 型并赋给编辑框变量进行其他处理
    {
        char a=(char*)(data+i);
        str.Format("%c",a++);
    }
}
```

```

        m_strCommData+=str;
    }
}

```

5、关闭串口：

```

if(m_MSComm.GetPortOpen())//如果串口打开，则关闭
m_MSComm.SetPortOpen(FALSE);

```

3.4.5 串口通信的实现

GPS 系统主要应用于目标定位，通常提取位置和速度信息，本系统中使用丽台GPS接收机，并且提取GPS的RMC格式数据，而且RMC是GPS 接收机发送出的最简特性数据格式，可以提供目标的位置、时间和速度等信息，其数据格式前面已经介绍过。

GPS 接收机只要处于工作状态就会源源不断地接收、计算出 GPS 导航定位信息并通过串口传送到计算机中，这些信息必须通过程序将各个字段的信息提取出来，将其转化成有实际意义的信息，才能提供高层决策使用的定位信息数据。GPS 定位数据的提取可以采取多种方法，最常用的是控制接收字节的个数每次只接收一个字节，每次只对这个字节处理；第二种常用方法是利用强大的CString类，首先将MSComm控件接收到的VARIANT类型的数据转化成CString类数据，再利用CString类的成员函数提取各项信息，VARIANT类型数据可以通过以下方法转换成CSting类数据：

```

VARIANT variant_inp;
CString tmpBuff;
tmpBuff = CString(unsigned char*)variant_inp.parray->pvData);

```

前面两种方法一个明显的缺点就是通用性不强，对其他类型格式的 GPS数据如 GGA 数据不能处理或处理时要对程序有较大的改动。下面介绍的第三种方法就可以很好地解决这个问题，此方法主要是利用 NMEA-0138 格式数据结构简单，不同的信息部分由“，”区分，可以利用其来判断各部分的信息，具体方法可参考如下（以 GPRMC 格式为例）：

1、接收数据：

```

void CGPSOnNetDlg::OnComm()
{
    VARIANT variant_inp;
    COleSafeArray safearray_inp;
    int k;

```



```

if(m_hComm.GetCommEvent() == 2)
{
    k = m_hComm.GetInBufferCount(); //得到缓冲中的数据个数
    if(k>0)
    {
        m_hComm.SetInputLen(k);
        variant_inp = m_hComm.GetInput(); //GPS 数据接收
        SaveGPSData(k,(unsigned char*)
        variant_inp.parray->pvData); //GPS 数据处理
    }
}
}

```

2、处理数据:

```

void CGpsOnNetDlg::SaveGPSData(int Count, unsigned char *pbVal)
{ for(int i=0; i<Count; i++)
{
    if(pbVal[i] == '$')//标示数据帧头开始
        nSectionID = 0;
    if(pbVal[i] == '\n')//标示数据帧结尾;
    { //信息提取后的处理
        SendGPSDataOnNet(); //向网络发送数据
    }
    if(pbVal[i] == ',')//记录“, ”号的位置
        nSectionID ++;
    else
    {
        switch(nSectionID)
        {
            case 0://标示数据格式标示如: “GPRMC”
                m_sDataType += pbVal[i];
                break;
            case 1://标示时间
                m_sTime += pbVal[i];
                break;
            case 3://标示纬度
                m_sLat += pbVal[i];
                break;
            case 8://标示速度
                m_sSpeed += pbVal[i];
                break;
        }
    }
}
}

```

```
}  
}  
}
```

此段程序是以 RMC 格式为例，对于其他格式的数据只需根据其格式结构判断相应位置改变各部分的含义即可，改变十分方便。现在已经从 GPS 信息中提取了相应得数据，并且保存到相应的变量中，接下来就可以根据需要对这些数据进行处理了。

3.5 本章小结

本章从实践的角度出发，首先提出了系统的总体设计框架和流程图，然后针对差分系统实现的目标，测定了基准站的坐标，研究了串口通信技术，并顺利的实现 GPS 信息的接收和提取，完成了一系列前期准备工作。

4 基于公网的差分 GPS 技术的实现

4.1 公网的相关问题

本文中提到的公网就是指的因特网。随着因特网逐渐进入无线领域，移动信息设备在未来将扮演越来越重要的角色。与此同时，网络的提供者也会开展更多的新服务，并提供更高的数据传输速率。在 GPS/GPRS 车辆监控系统中，我们选择了 GPRS 作为我们的无线通信平台,从而使得所有数据传输都可以借助因特网和移动通信网。

4.1.1 公网接入的描述

在整个数据传输过程中,我们首先需要关注的为 GPRS 如何接入因特网。

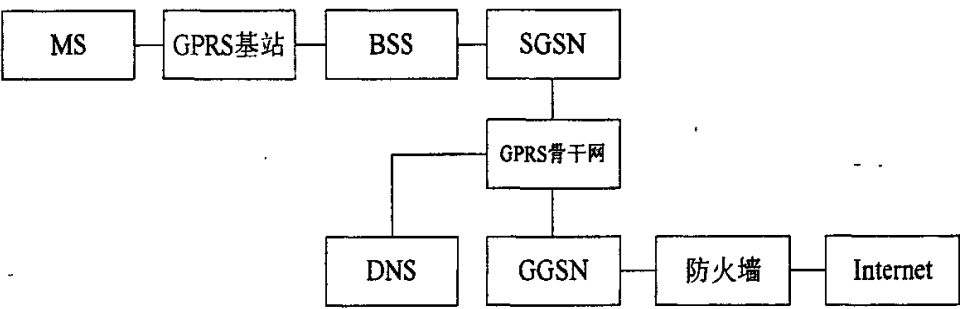


图 4.1.1.1 GPRS 的公网接入

图 4.1.1.1 就是 GPRS 接入因特网的方式^[28]。图中：

BBS: Base Station System，基站系统。

SGSN: Serving GPRS Support Node，服务 GPRS 节点。

GGSN: Gateway GPRS Support Node，网关 GPRS 节点。

数据由手机模块到因特网要经过四个设备:MS (Mobile Station, 手机)、BBS、SGSN、GGSN。其中，SGSN 和 GGSN 是在原有的 GSM 网上新增的设备，而 MS 和 BSS 需要进行设备的软硬件升级。

它们的主要功能介绍如下。MS:一方面，处理空中接口的上下行传输；另一方面，将数据信息发给与之连接的计算机。BSS:通常包括一系列设备，负责分配空中的信道资源，并在手机和 SGSN 之间转发信息。SGSN:是无线部分和数据网部分的分界线，负责管理手机的移动，并与 GGSN 协作完成用户数据在 Gn 网络上的传输。其中，Gn 是 SGSN 和 GGSN 之间的接口。所有的 SGSN 和 GGSN 构成了 GPRS 的骨干网，这个网络是运营商的私有网络，与外网之间没

有路由。GGSN 将外网的信息封装后在 Gn 网络上传输。GGSN 是 GPRS 网络与外网的分界线,对内负责 Gn 网络的传输,对外是一台因特网路由器。GGSN 接入因特网有透明和非透明两种方式。如果移动运营商作为 GPRS 运营商的同时,直接作为 ISP 提供因特网接入服务,建议采用透明方式,用户接入因特网无须进行认证,可由移动用户鉴权替代,这样可加快用户接入速度,减少 RADIUS 服务器的投资。也可以采用非透明方式接入因特网,通过 RADIUS 进行用户认证。。其中的 BGGSN (Border GGSN)负责连接不同运营商之间的 Gn 网络,实现网间漫游。上述四个设备将用户的计算机和因特网连接起来,完成了无线上网的数据传输工作。

上面这种因特网接入业务的地址可以分配公有地址或私有地址,从节约公有地址角度出发,建议采用私有地址。实现方式为:手机模块接入经过服务器 RADIUS 授权后,由 GGSN 分配私有地址,该私有地址通过 NAT 转换后接入 CMNet。

4.1.2 GPRS 接入因特网的方式

GPRS 接入因特网的方式有两种:一种是传统的信息交互模式,另一种是 GPRS 网络下的数据传输模式。

图 4.1.2.1 即是传统的信息交互模式,在这种模式下,转发中心在需要查询数据时,向车载终端发送数据查询命令,车载终端接收命令后,返回转发中心查询的数据,若转发中心一段时间内未收到回应信息,则认为信息传输超时,进入超时处理。这种模式的好处是转发中心可以在任何需要的时候得到被监控者的信息,查询频率更改容易,调试及测试方便。但是,在使用 GPRS 这种无线通信网络时,传统的信息交互模式将不能适用。为什么这么说呢?我们接下来看。

在确定使用 GPRS 作为无线通信平台后,我们在通信测试中发现,虽然 GPRS 宣称是永远在线,但是在实际的使用中,GPRS 的连接只能维持一个较短的时间。具体的连接过程及表现结果如下:GPS 车载终端通过连接 GPRS 网络获得一个临时的 IP 地址和端口号,也即车载终端在本次连接通信中都使用这个 IP 地址和端口号。转发中心服务器的地址和端口号是固定的,车载终端向这个固定 IP 和端口上发送数据,这时候,转发中心可以获得当前车载终端的 IP 和端口号。但是,实验表明,这个临时的 IP 地址和端口号是某个电信网关的 IP 地址及在该地址上随机分配的端口,为了实现资源的充分利用,这个 IP 地址和端口通常只能维持 2-3 分钟,之后,这个 IP 地址和端口号将不再对应那个车载终端,直到下一次车载终端主动上传信息后,转发中心才可再次得到车载终端

的可靠 IP 和端口。基于 GPRS 连接因特网的这个特点，传统的监控系统使用的数据传送方式将不再能够适用，必须使用新的数据通信方式才能适应新的无线通信网络的特点。因此，由转发中心查询信息这种传统的模式将无法使用。

为了解决这一问题，如图 4.1.2.2 所示，设计了新的数据传输模式，即由车载终端模块按照已设定的时间间隔主动向转发中心发送信息，转发中心接收到数据后便可得到该车载模块的通讯地址(IP 及端口号)，并发送确认信息，车载模块接收到确认信息后，认为数据发送成功，否则认为发送超时，重新发送信息。同时，转发中心在接收到数据的 2-3 分钟内，可以向车载模块发送控制命令。这样便充分的利用了 GPRS 网络的传输特点。但是这种模式也有缺点它在于无法在任意时刻实现于车载模块的通信，但是只要选择好适当的数据上传时间间隔，便可以达到较理想的效果。

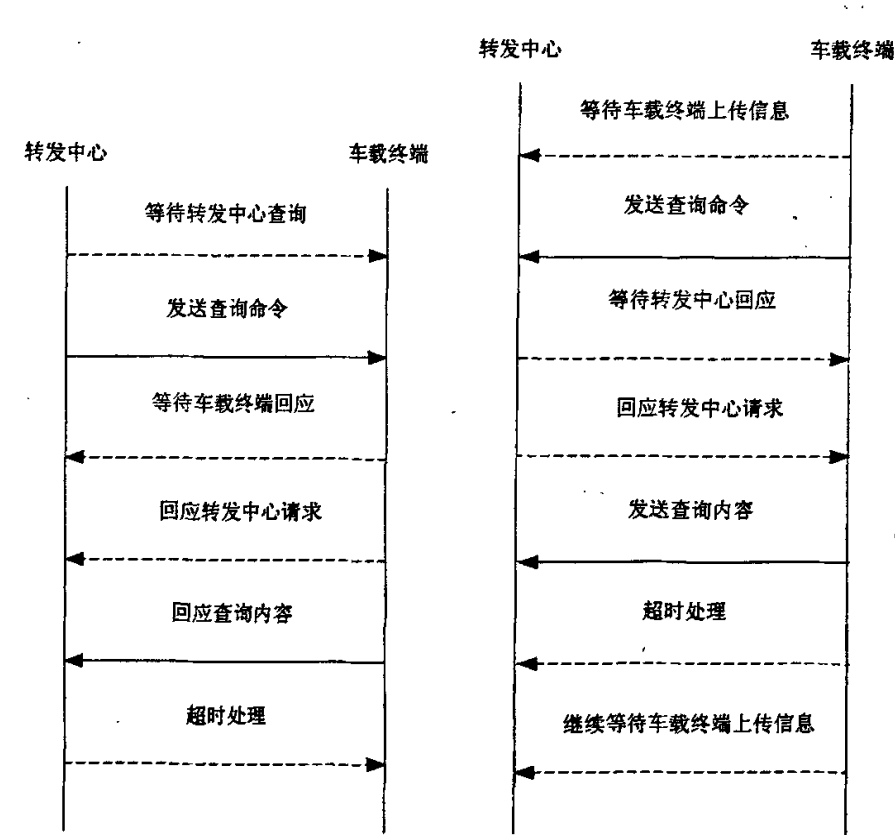


图 4.1.2.1 传统监控系统信息交互模式

图 4.1.2.2 GPR 网络下的数据传输模式

4.1.3 网络通信与数据实时性

GPRS 网络和普通的以太网不同，有它自己独特的特点。它具有“永远在

线、快速接入、高速传输和流量计费”的特点。同时,该系统直接支持 TCP/IP,在 GPRS 通信方面不需要特殊的通信协议。网络连接简单,组网方便。完全基于 IP 网络,信息在 GPRS 网和因特网之间传输。但是 GPRS 对一个 IP 地址和端口的维持时间很短,实验证明,GPRS 对一个 IP 地址和端口的状态保持时间在 2-3 分钟。换句话说,当一个通过 GPRS 的 SOCKET 连接建立后,我们只能确定 GPRS 端的 IP 地址和端口号在 2-3 分钟内有效,超出这个时间,GPRS 将自动更换 IP 地址和端口号。GPS 车辆监控系统的数据交换的特点是数据长度不大,数据传输是阵发性的。考虑到这一特点,车辆 GPS 信息和实时状态信息是采用用户数据包协议(UDP)在因特网上进行传输的。UDP 数据传输是一种无连接、无状态和不可靠的数据传递。由于 UDP 自身的特点,其稳定性一直是人们研究的重点和难点。

设计的车辆监控系统一个很重要的目的是为了能够随时随地的知道被监控车辆在该时刻的位置信息和车辆状态信息,同时这也是差分 GPS 技术的要求。从实时性的角度上来讲,车载终端模块应该不停的向转发中心发送车辆的位置信息和状态信息。但是从实际使用的角度看,一方面没有必要,没有客户会一直关心某个车辆的状态,通常的情况是,客户会间歇性的关心车辆的状态,并且在大多数情况下,车辆的状态都属于正常范围,因此连续的发送 GPS 信息和车辆状态信息是没有必要的。另一方面,高频率的数据传输在费用上也会造成成本过高,客户无法承担这一服务费用。

因此,从实际应用的角度上看,GPS 车载终端系统以一个合适的频率向转发中心发送 GPS 信息和状态信息是一种合适的可行的解决方法。但是,当车辆或车载系统出现异常情况时,我们应该相当的关心车辆的位置和状态信息。基于上面各种情况的考虑,在 GPS 车辆监控系统中,采取了如下方案:在车辆运行正常的状态下,车载终端系统以一个较低的频率向转发中心发送数据,系统中定制的标准是 20 分钟一次,但是当车载终端发现采集到的数据有异常情况时,自动将数据发送的频率提高到 1 分钟一次,而这个异常的标准是由转发中心发送给车载终端的配置信息中定义的。按照这样的解决方案,我们可以很好的实现差分 GPS 的数据传输,同时另一个解决的问题便是可以准确的知道车辆是否处在正常运行的状态使得出现异常时可以得到实时性较好的数据作为判断和采取措施的依据。

4.1.4 数据非正常传送的解决

但是由前叙述可知 GPRS 对一个 IP 地址和端口的状态保持时间在 2-3 分钟,从而如果监控者希望转发中心能够立即将命令发送到车载终端。通常情况下,

车辆会 20 分钟上传一次信息,转发中心只能在车辆上传信息后 2 分钟内发送下行信息,超过 2 分钟后,需要等待车载终端重新发送数据到转发中心才能再次发送命令。那怎么解决呢?还有一种情况就是,如果车载系统上的服务器 IP 地址设置错误,这时车载终端的数据会发送到错误的地址上,转发中心也无法和车载终端通过 GPRS 网络建立通信。通常情况下,只能回收车载终端重新写程序。但是怎么回收呢?这样我们就考虑到了短信模块,它在正常的系统运作中是非必须的,但是出现了以上两种情况它会显得非常有用。下面便是短信模块工作方式。

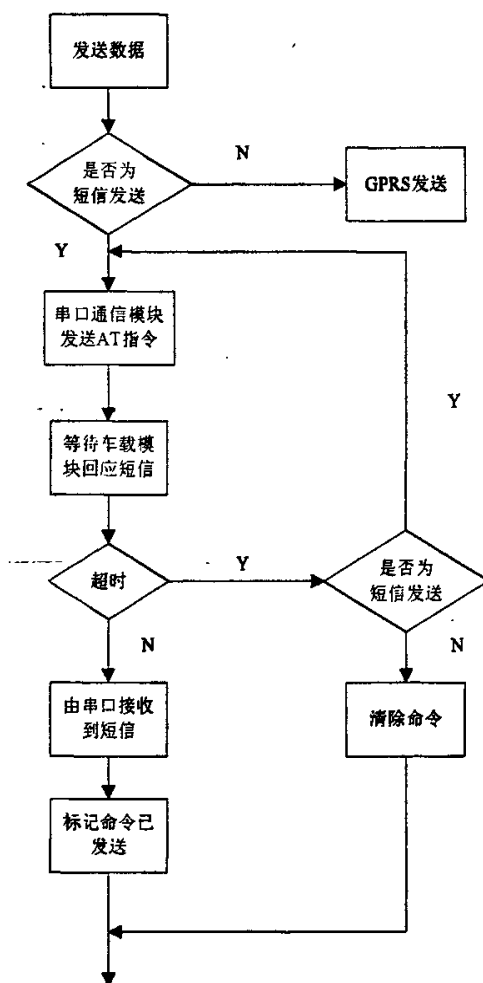


图 4.1.4.1 短信模块工作流程图

通过了以上对因特网和移动通信网接入的了解以及实际运行中的问题的研究和解决,我们基本上可以保证差分数据在公网中的正常传输。

4.2 差分 GPS 系统

差分 GPS 技术的最终实现除了依靠公网这条数据链以外,还需要通过选择的差分模型组建一个差分系统,最后通过软件编程,以一个界面的形式展示给用户。接下来,我们就以差分系统为着手点研究差分技术的实现。

4.2.1 差分系统组成

基于公网的差分GPS系统包括基准站、主控站、用户和数据传输链路,随着差分定位技术和计算机网络技术的发展和运用,基于公网的差分GPS系统逐渐发展为一个功能强大的综合性的服务系统。

(1) 基准站 基准站包括GPS接收机、服务器、数据库以及能产生RTCM格式修正信息的设备。各地区的基准站通过计算机网络技术连在一起,并将处理后的数据发送给主控站服务器。这些基准站可以随时扩充,从而覆盖广大的区域。

(2) 主控站 主控站每秒为用户提供修正信息。当用户向主控站根据自身的需要发出建立连接请求时,主控站对用户的身份进行确认;当用户的身份确认后,主控站允许用户对其服务器进行连接,用户通过浏览器接收主控站为用户所提供的包括DGPS和RTK的大量修正信息,这些信息都是按照RTCM-104的格式传输的。

(3) 用户 用户通过网络终端获得相应的差分定位信息。目前基于公网的差分GPS服务主要应用于车辆导航,而车辆上配备有GPRS,采用移动通信网这条链路连接到因特网。当用户需要精确的差分修正信息时,他向基准站提出获得修正信息的请求,当身份被确认后,用户可以根据获得的信息进行差分定位。

(4) 数据传输链路 因特网是为用户提供RTCM格式修正信息的媒介。基准站的数据通过因特网传输到主控站。主控站把提供给用户的修正信息转换成数据包,这些数据包经过路由器到达目的地。

当然并不是所有的差分系统都是这个固定的模式,有的差分系统就只有基准站、用户和数据传输链路组成,其中基准站就直接完成了主控站的任务,具体的应用以及系统的选择设计要根据具体的环境来选择。

4.2.2 差分数据格式

差分GPS基准站发送的差分改正数可以有多种数据格式,目前常用的是二进制格式和RTCM SC-104标准格式^{[33] [40]}。

1、普通二进制格式

这种格式的差分GPS改正数是专用数据格式,只适合同一类型的GPS接收机

之间相互校正。例如:如果差分GPS基准站的GPS接收机是MOTOROLA的接收机,那么它发送的二进制差分改正数只能被MOTOROLA接收机识别和利用,其它类型的GPS接收机将不能对其解码和解算。例如TOROLA的VP型GPS-OEM板输出的差分改正数的数据格式为:

```
@@CettippprrdipprrdipprrdipprrdipprrdipprrdipprrdipprrdC
<CR><LF>
```

其中: @@为字头, Ce为信息类型字符

C: 校验和

<CR><LF> :回车换行结束符

二进制数据流:包括GPS时间、各个卫星的卫星ID号、伪距改正数、伪距改正数的变化率、数据发布日期等信息

2、RTCM SC-104 格式

国际海事无线电技术委员会于1983年11月为全球推广应用差分GPS业务设立了SC-104专委会,其主要任务是对给GPS用户广播的差分修正数据标准研究出一些推荐意见,同时规定基准站与用户之间的数据格式标准。于1985年11月和1990年1月分别公布了Ver1.0和Ver2.0版本的建议文件。为了适应载波相位差分GPS的需要,1994年1月又公布了Ver2.0版本,这一版本保留了基本电文,增加了几个支撑实时动态定位(RTK)的新电文。由于伪距差分具有精度高等诸多优点,RTCMSC-104式标准也采用了伪距差分技术。目前各GPS厂家生产的GPS接收机,除了编制自己的专用格式外,基本上都具有接收符合RTCM SC-104标准格式的差分数据接口,且GPS接收机价格并没有增加。下面我们来看一看RTCMSC-104电文内容与格式。

开发GPS技术的用户都已熟悉GPS电文,在RTCMSC-104电文格式中保留了GPS电文的字长、字格式、奇偶校验规则和一些其它特性。两种格式的主要差别在于GPS电文格式中个子帧的长度是固定的,而差分GPS电文格式采用可变长度的格式。

(1) 通用电文格式

图4.2.2.1给出了通用电文格式,详细地给出了每一帧电文中前两个30bit的字码。

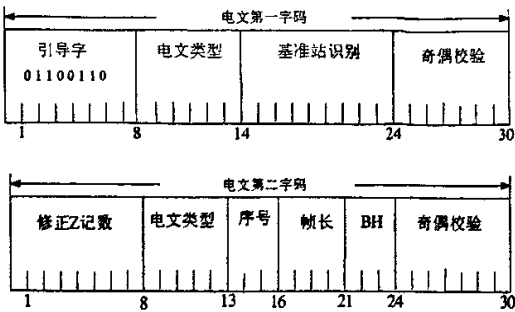


图 4.2.2.1 通用电文格式

其中:BH指的是基准站健康状况。

每一帧的前两个字码适用于所有类型的电文，它们的主要内容是:基准站信息和用户主帧同步用的参考时间和信息。表4.2.2.2列出了其具体内容。

字码	内容	Bit 位数	比例因子	范围
第一字码	引导字	8	——	——
	帧识别	6	1	1~64
	基准站识别	10	1	0~1023
	奇偶校验	6	——	——
第二字码	修正 Z 记数	13	0. 6 秒	0~3599.4
	序号	3	——	0~7
	帧长	5	——	2~33 字码
	基准站健康状况	3	1 字码	8 状态
	奇偶校验	6	——	——

表4.2.2.2 通用电文列表

第一个字码的开始是8位的“引导字”，与GPS导航电文相似，作为用户搜索用；“基准站识别”是用来识别差分基准站；“序号”随下一帧第二个字码逐一递增，它可以帮助无伪卫星发射时的帧同步。

修正Z计数代表电文参数的参考时间，与GPS的Z计数不同，它将原来GPS卫星电文中的分辨率从6s改进到0.6s，以便对可变长度帧计数。为此，所有的差分GPS用户已经通过GPS系统初始化，确定了时间常数。

(2) 其它电文内容与格式

目前整个RTCM SC-104电文共有21类63种电文类型，典型应用情况是只发射其中的一个或几个电文，其中电文1是一帧最主要的电文，它能给出任何时刻的所有可视卫星的伪距改正数和伪距变化率的改正数，图5-5给出了电文1的格式和内容，括号中的数字是位数。

这里给出的伪距数改正数是一推测值，它是有上一个数值推测出来的，距离

变化率改正值是用以对伪距改正数推测值变化的补偿。电文中数据发布日期是使
用户与GPS导航数据发布日期相互比较，如果两者不同，则不能将这组数据用于
差分改正，以免对伪距观测作不正确的改正，因此发布日期是确保差分定位的关
键。

由于电文1中包含基准站观测到的所有卫星的数值，而每一颗卫星的信息要
求40位,所以不一定会使所要求的字码是严格的整数，这样就要求采用“1” “0”
交替进行填充这一帧，从表4.2.2.3中可以看出，电文1有5种格式，每一字码都是
其中一种(电文中最后一个字码除外，最后一个字码是最后两种格式之一)。

比例因子, UDRE, 卫星号(8)	伪距改正数(8)	伪距改正数(8)	奇偶校验(6)
伪距变化率改正数(8)	数据发布日期(8)	比例因子, UDRE, 卫星号(8)	奇偶校验(6)
伪距改正数(8)	伪距改正数(8)	伪距变化率改正数(8)	奇偶校验(6)
数据发布日期(8)	伪距改正数(8)	伪距改正数(8)	奇偶校验(6)
伪距改正数(8)	比例因子, UDRE, 卫星号(8)	数据发布日期(8))	奇偶校验(6)
.....			
伪距变化率改正数(8)	数据发布日期(8)	0x5555555555555555	奇偶校验(6)
数据发布日期(8)	0x5555555555555555	0x5555555555555555	奇偶校验(6)

表 4.2.2.3 电文 1 内容和格式

4.2.3 差分 GPS 系统的程序流程图

1、转发中心监控基准站流程图

我们知道在本系统中基准站的设计是在车载定位监控系统设计中的关键的
部分，因此对它的设计优化，决定了整个系统定位功能升级。基准站负责差分
数据的传输、处理以及存储等。可以说基准站担负着一个中心的使命。在本次
研究中对于车辆作为数据计算中心和数据传输中心的功能，做了较大的研究，
而且基于论文的研究目的也需要使用和强化这两大功能。

现在，我们在原有开发的车辆监控系统的基础上，引入差分技术，从而使得
系统定位功能技术指标的获得提高，并且用户也可以得到更加满意的使用效
果，即我们所提供的车辆监控系统中的定位功能的改善。由于引入了差分技术
后，最大的设计改进之处是在基准站，所以对基准站的设计以及其中数据传输
等等的设计也显得尤为重要，图 4.2.3.1 便是基准站处理数据的基本流程图。

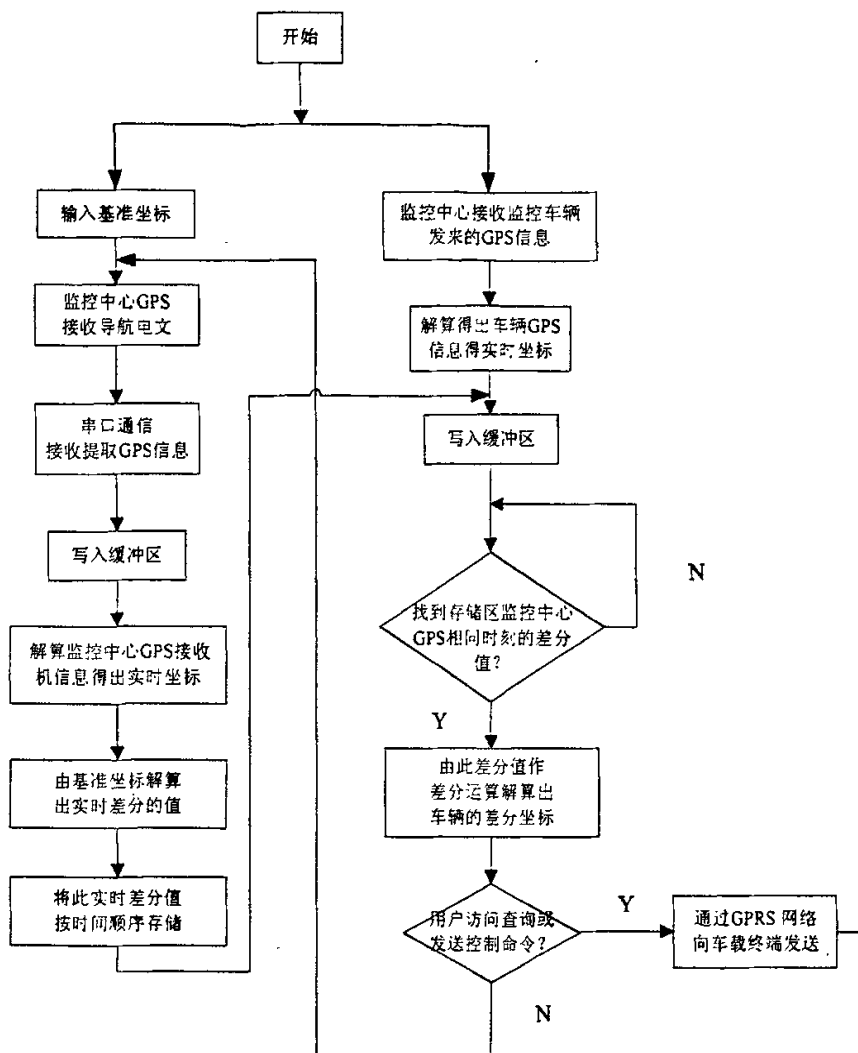


图 4.2.3.1 基准站处理数据基本流程图

2、移动站流程图

在这里移动站指的便是被监控的车辆，我们现在要考察的只是车辆的差分定位中所涉及的一些因素与功能。因为我们将所有的数据处理的过程都设在了基准站内进行，所以车辆没有计算任务，只需要将数据完整安全的传送到基准站就可以了，图 4.2.3.2 就是车辆的数据传输流程图。

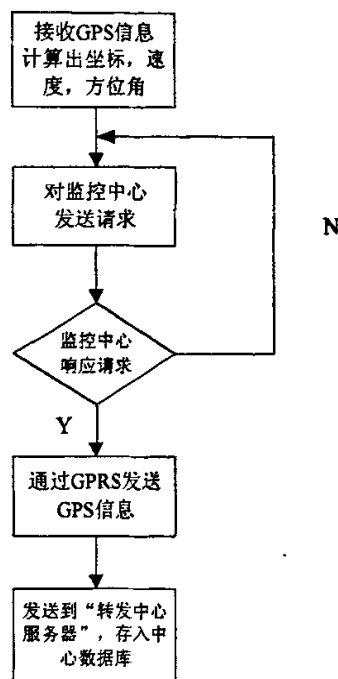


图 4.2.3.2 车辆数据传送流程图

3、 客户端流程图

在本系统中客户端可以访问转发中心基准站, 从而获得车辆的相关信息, 同时客户端运用 GIS 工具的操作与管理, 数据的收发与管理执行一系列的命令, 可以先提交给服务器, 服务器将收到的请求按一定格式存入数据库, 转发中心定时读取数据库中的信息, 此时信息从数据库流出, 进入转发中心即基准站, 转发中心根据指令要求将命令发送到特定的车载模块上去, 从而实现对车辆的控制。其中本论文所涉及的只是数据的传送功能, 具体的说客户端就是可以获得经过差分运算以后的车辆的坐标, 从而得到较以前更加精确的车辆的位置。

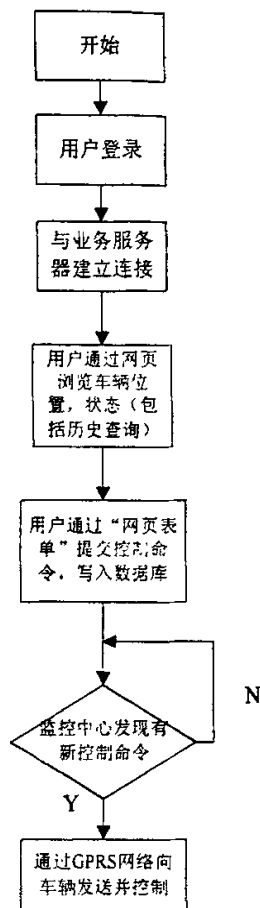


图 4.2.3.3 客户端流程图

4.2.4 差分 GPS 系统的功能模块

根据前面的差分GPS系统的总体设计和基于对差分系统数学模型的研究。对差分系统的功能模块进行了详细研究并且设计出对应于系统需求的功能模块。针对已经开发的实际车载系统, 根据该系统的研究过程与实现目标, 开发了相应的差分实现软件。具体功能模块如下介绍如下:

1、项目管理

对应用程序实现工程化管理, 提供了新建项目、打开项目、删除项目、关闭项目等功能。

2、基准站设置

提供了基准站的基准站坐标输入、数据采样率的设置、GPS 接收机串口的配置、定位模式等功能。

3、数据处理

提供了GPS观测数据的文件整理、差分计算的管理等功能。主要是对原始Rinex数据文件(包括观测文件、星历文件)进行整理,再生成同步观测文件.再根据差分模型,进行定位计算,解算出流动站的实际差分坐标,保存相应的计算结果,并等待用户的访问查询。

4、查询/打印

可对所输的数据及经过计算与分析所得的结果,进行方便地查询浏览或以报表格式打印出来。

5、帮助

此模块用于实现软件的帮助功能。

4.2.5 差分 GPS 系统的实现

根据对差分系统的研究和对流程图的分析,将差分系统引入到具体的项目中,图 4.2.5.1 是基准站内差分运算系统的主界面:

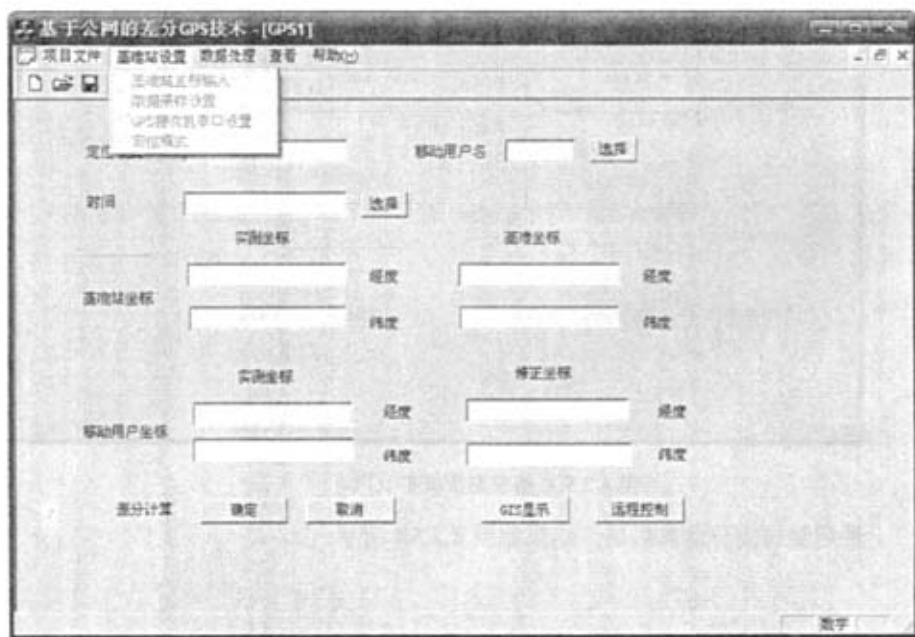


图 4.2.5.1 基准站的差分运算系统主界面

下面我们可以输入基准站坐标,会弹出以下对话框,我们可以输入基准站坐标:



图 4.2.5.2 基准站坐标输入图

经过一系列的选择初始化选择以后，如图 4.2.5.3：

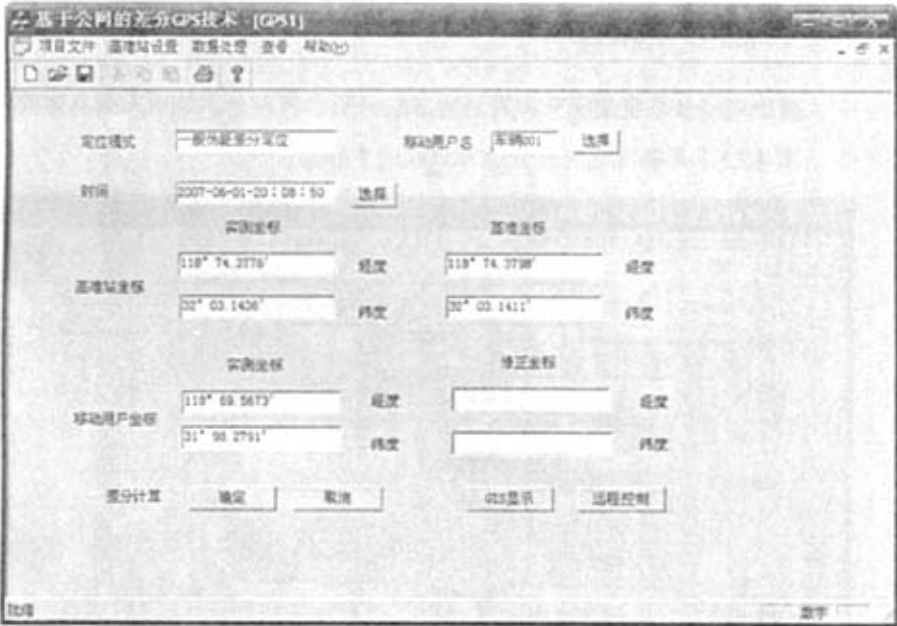


图 4.2.5.3 基准站数据初始化

最后经过差分运算以后，结果如图 4.2.5.4 所示：

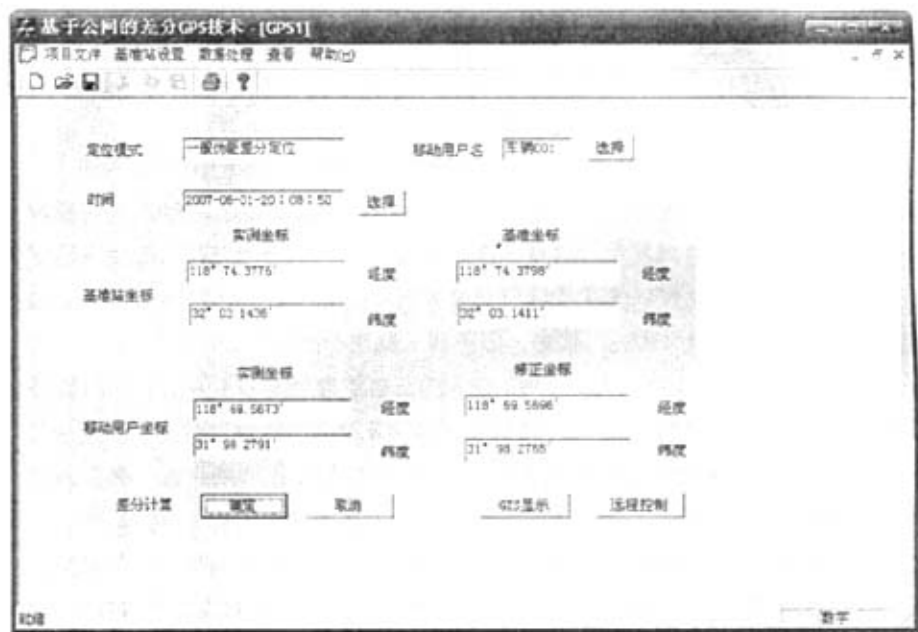


图 4.2.5.4 基准站运行情况图

4.3 本章小结

本章首先基于差分 GPS 技术的实现媒介公网和移动通信网，提出了其中了相关问题并思考解决，使得数据传输链路保持通畅。然后，以差分系统的实现为目标，在介绍了了差分系统的组成、流程图及功能模块后，用软件实现了差分 GPS 定位得到预定结果。

5 结论与展望

5.1 结论

随着计算机技术、网络技术、无线通信技术的飞速发展,利用因特网建立网络差分 GPS 系统成为该领域的一个热点课题。差分 GPS 系统历经 10 多年的发展和完善,其优越性已经越来越为人们所重视,尤其欧美等国十分重视差分 GPS 系统的研究与应用,美国海岸警备队已经在东海岸建立了以无线电信标台为基础的差分 GPS 系统服务网络,而英国,德国,法国,加拿大,荷兰和芬兰等都已经建立和正在酝酿建立自己的差分 GPS 系统。在中国,自从 1997 年开始,交通部支持了沿海指向标 RBN/DGPS 的布设,到 1999 年 20 个差分台陆续投入工作,为沿海和港口提供米级和亚米级的高精度定位服务。

本文的差分系统的实现较之以往不同的在于公网,利用因特网和移动通信网这条数据链路,完成了数据的传输,使得传统的常规通信网、集群通信网、GSM/SMS 网出现的覆盖范围小、系统实时性的不到保证等一系列问题在 GPRS 的移动通信网的采用下得以解决。

本文首先全面在全面理解了 GPS 系统和车辆监控系统的基础上。然后以理论的研究为立足点,在全面系统的学习与了解 GPS 差分的定位方法的基础上,就此选择了一般伪距差分作为基本定位方式。紧接着,从大局入手,着眼于整体,提出整体系统的设计流程图。整体的对差分系统把握的基础上,再对论文所提出的要求一步一步的设计完成,解决了监控中心设计的一系列问题,完成了基准站坐标的测定, GPS 与 PC 机串口通信等等,最后由提出的差分 GPS 数学模型结合流程图设计了系统运行的软件。对这次设计和研究我就是从整体到局部,然后再回归整体的通过一系列的资料查阅与研究,较好的完成了任务。

本论文围绕车载监控系统的差分定位技术主要做了软件方面的研究工作同时对硬件方面的工作也有所涉及,总的来说大致可以分为理论研究和工程设计两个方面。理论研究主要是在对车辆监控系统全面了解的基础上,通过对经典的定位方法与原理的学习和研究,然后选择一种合适的差分定位模型。工程设计是为了实现差分定位而做的一系列软硬件研究设计,其中包括了基准站的设计与实现,以及差分系统的建立和实现。

5.2 展望

虽然论文比较好的完成了所设定的预期目标,但是其中还存在着一些不足与需要改正的地方。关于基准站的数据实时进行更新,单机差分模型向多机差分模型的过渡,差分系统的使用范围等问题还有待研究。

1、基准站的数据实时进行更新

在基准站处,进行 GPS 观测时,接收机的测量数据要安全,可靠,长时间记录在服务器的电脑中。为了方便客户进行连接,需要编写一个服务器的管理程序,在一定的时间间隔内,将记录的观测数据进行文件更新。也就是说,在一天的观测时段里,如地方时间早上八点,对正在接收的基准站数据需要重新建立一个观测数据文件夹,以站名加天数作为观测文件名。另外将前一天供下载的观测数据文件从列表中删除,在服务器备份,把最新的观测数据文件添加到下载列表中。还有一个更新观测文件的控制,当有用户联入时就把最新的基准站观测数据放在指定的下载列表中和服务器提供 FPT 服务的根目录下。

2、分模型向多机差分模型的过渡

我们本次关于差分 GPS 的研究都是从单监控车辆系统单客户着手的,但是我们的实际车辆监控系统是由车辆群与用户群组成的,所以有了单机的车辆差分模型以后,我们还要将其推广至实用的车辆群与用户群系统。以同时刻的多点定位信号为基础,采用数据融合技术构建多机差分模型,进一步提高车辆监控系统的差分定位进度。

3、差分系统的使用范围

我们知道在差分 GPS 定位系统中,以基准站的基准坐标为基准,然后有每个时刻的相对于基准坐标的一个基准差分值,对应于这个基准差分值,我们就可以得到这一时刻某辆被监控的车辆准确位置。现在我们的提出的一个问题是,我们这些相应的计算都是基于同一个 GPS 星座中的,也就是说基准站和被监控车辆都是参照一个参考系即相同四颗卫星的,如果被监控车辆驶出相应的基准站的卫星星座,那应该如何考虑呢?我们可以隔一定的距离(100-150km)安置一个基准站,一旦被监控的车辆进入该 GPS 的卫星星座中,被监控车辆上的 GPRS 可以将相应的 GPS 信息发送到该基准站。其中基准站跨度的设计以及 GPRS 如何发回相对应的基准站,我们将在以后作更进一步的研究。

致 谢

首先我要对尊敬的导师杜国平高级工程师表示我最衷心的感谢。两年多来的言传身教,使我受益匪浅,他严谨的工作态度和对他工作的执着激励我不断的进取。在我的毕业设计期间,无论是在课题的研究还是在论文的撰写方面,杜老师都给予了我无私的关怀和指导。他忘我工作、不断创新的治学意识深深地感动着我、影响着我、激励着我。我所取得的成果与导师的辛勤劳动是分不开的,在此谨向杜国平老师表示深深的谢意!

感谢南京理工大学自动化学院薄煜明教授、朱岩副教授、朱建良老师等对我的关心和指导。感谢南京理工大学自动化学院所有的老师对我的热情帮助,在此表示最真诚的敬意。

感谢自动化学院 1006 教研室 2005 级所有的同学。在研究生两年中,和他们一起学习,一起讨论问题,一起进步。他们在我遇到困难时给予了我极大的帮助和鼓励。正是他们各方面的帮助,使我在紧张的学习和研究工作之余也充满了欢乐,感谢他们对我的帮助和鼓励。真诚的祝福 1006 教研室的所有同学在以后生活中一帆风顺、万事如意,也祝 1006 教研室以后越走越远。

最后,我要感谢我的家人。这么多年来,正是他们的关心和支持才让我顺利完成学业。

在学生生涯即将结束之际,我的心情无法平静,从开始进入学校到现在,有多少可敬的师长、同学、朋友给了我无言的帮助,在这里请接受我诚挚的谢意!

参考文献

- 1 李天文. GPS 原理及应用. 北京: 科学出版社, 2003
- 2 刘基余. GPS 卫星导航定位原理与方法. 北京: 科学出版社, 2003
- 3 熊志昂, 李瑞红. GPS 技术与工程应用. 北京: 国防工业出版社, 2005
- 4 刘大杰, 施一民, 过静裙. 全球定位系统(GPS)的原理与数据处理. 上海: 同济大学出版社, 1999
- 5 王惠南. GPS 导航原理与应用. 北京: 科学出版社, 2003
- 6 高成法, 万德钧. DGPS 车载导航系统中基准站坐标的测定. 中国惯性技术学报, 2003, 11(5)
- 7 钱天爵, 瞿学林. GPS 全球定位系统及其应用. 北京: 海潮出版社, 1993
- 8 李洪涛, 许国昌, 薛鸿印. GPS 应用程序设计. 北京: 科学出版社, 2000
- 9 王广运, 郭秉义, 李洪涛. 差分 GPS 定位技术与应用. 北京: 电子工业出版社, 1996.
- 10 夏熙梅. 差分 GPS 定位技术及应用. 现代情报, 2002 (3)
- 11 郝云芳. GPRS 的网络结构与接口信令研究. 西安邮电学院学报, 2002, 7(1)
- 12 冯华. Visual C++ 数据库开发技巧与实例. 北京: 机械工业出版社. 2000
- 13 袁安存. 美国国家差分 GPS 网. 中国电子协会导航分会导航杂志, 2002
- 14 张淑芳, 袁安存. 位置差分 GPS 定位系统. 大连海事大学学报, 2002
- 15 张守信. GPS 卫星测量定位理论与应用. 长沙: 国防科技大学出版社, 1996.
- 16 牛鱼龙. GPS 知识与应用. 广东: 海天出版社, 2005
- 17 丘致和, 王万义. GPS 原理与应用. 北京: 电子工业出版社, 2002
- 18 朱庄生, 万德钧, 王庆, 张小国. GPS 车辆监控系统存在问题的探讨及解决方案. 中国工程科学, 2003(9)
- 19 吴卫峰, 过静裙, 聂志锋, 卢建刚. 关于 GPS 监控系统通信网络“数据链”技术. 测绘通报. 2002(10)
- 20 魏子卿, 葛茂荣. GPS 相对定位的数学模型. 北京: 测绘出版社
- 21 李娟. GPS 差分基准站. 测控技术, 2005(12)
- 22 李宗标, Bakir Mohatmmmed, 蒋传纪. 计算机与 GPS 的通信技术. 测控技术, 2001(9)
- 23 宋茂忠. 提高 GPS 定位精度的数据处理技术. 数据采集与处理, 2001 年 6 月(2)
- 24 龚国辉, 李思昆. 实时 GPS 卫星信号采集系统的设计与实现. 计算机应用研究, 2000(1)

- 25 赵起文,杨庆岩,杜力. 伪距差分 GPS 系统应用研究. 导航,1995(4)
- 26 谭浩强. C 程序设计. 北京:清华大学出版社, 1999.
- 27 谭浩强. C 程序设计题解与上机指导. 北京:清华大学出版社, 1992
- 28 吕捷, 张力军. GPRS 技术.北京:北京邮电大学出版社, 2001
- 29 Ding Shengxi, Zhang Qishan. Research on the Methods Positioning Precision. Chinese Journal of Aeronautics of Improving DGPS. 2000, 13 (4).
- 30 Deng Qiang, Huang Shunji. Design and Evaluation of GPS Code Pseudorange Smoothing Algorithm Based on Carrier Observables. Journal of UEST of China. 1997,26 (1).
- 31 Keith C.Clarke. Cartography in Mobile Internet Age. International Cartography Conferenct 2001. 2001(12).
- 32 P. J. G. Teunissen. The least-square ambiguity decorrelation adjustment:a method for fast GPS integer ambiguity estimation. Journal of Geodesy. 1995
- 33 RTCM Special Comitee NO.104. RTCM Recommended Standards For Differential GNSS.Radio Technical Commission For Maritime Services.1998
- 34 Andreas Bagge. DGPS at a Formats 2 .0. <http://www.geopp.de>. 2002.11
- 35 Loomis P, Kremer G. Correction Algorithm for Differential GPS Reference Stations. Navigation: Journal of The Institue of Navigation. 1989
- 36 Gerhard Wubben. Andreas Bagge. RTCM Message Type 59-FKP for transmission of FKP. <http://www.geopp.de>
- 37 Weng Zheng , V.O.Shanholtz. Data Model for Spatial Information Systems. ASAE Summer Meeting. 1992
- 38 P.J.G. Teunissen, Precision, volume and Eigen spectra for GPS ambiguity estimation based on the time-average satellite geometry. Journal of Geodesy. 1996(171)
- 39 GPS Receiver Interface Language (GRIL) Javad Positioning Systems. Version 1.8. 1998
- 40 RtcM Special Committee.NO.104,RTCM Recommended Standards for Differential NAVSTAR GPS SERIVE. 1990(1)
- 41 Technical Characteristics of the NAVSTARG PS. 1991(6)
- 42 Navstar GPS Space Segment/Navigation User's Interface. Arinc research corporation.1997
- 43 James Bao-Yen . Fundamentals of Global Positioning System Receivers Software

- Approach. New York: Wiley Inter-Science. 2000(1)
- 44 Xin-xiang JIN. Theory of Carrier Adjusted DGPS Positioning Approach and Some Experimental Results. Delft University. 1996
- 45 Jay Farrell, Tony Givargis. Differential GPS Reference Station Algorithm-Design and Analysis