

中国科学技术大学研究生院（合肥）硕士学位论文

**基于 GPS 技术的车辆监控系统
移动通信网的设计和实现**

朱 民

1998.5.8

University of Science and Technology of China

**The Design and Realization of
Mobile Communication Network of
GPS-based Vehicular Monitoring System**

Zhu Min

May 8th, 1998

致 谢

本论文自始至终是在导师鲍远律教授的关心和指导下完成的。在三年的学习中，鲍老师渊博的知识、严谨的科研态度、开明的工作作风、丰富的实践经验给我留下了深刻的印象，这一切将使我终生受益。在此，衷心感谢鲍老师对我的培养与教育。

感谢邹谊、郭杰华、王蔚然、李寅、胡春雨等同学在课题前期所做的基础性工作，在与他们的合作中，受益匪浅。

感谢同门师兄弟费峻涛和朱磊同学。在三年的学习与科研中，我们进行了无数次有益的学术探讨，令人难忘！

另外，还要感谢班主任奚宏生老师以及徐明松、郑渝诚、张淑梅等老师在三年中为我们付出的辛勤劳动。

感谢朝夕相处的室友田栋、李海鹰、徐云飞同学，以及应爱国、范少华、康小刚、何建民、刘兵、黄健、刘禾、秦秀娟、郑洋同学。三年来我们互相帮助、共同学习、共同进步。

感谢所有关心和帮助过我的朋友和师长！

谨以此文献给让我求学八年的中国科学技术大学！

摘 要

GPS 全球定位系统是由美国提出并实施的一项庞大的宇宙及航天工程。其最初的目的是为美国军方服务，随着 GPS 系统的发展，民用领域的 GPS 应用显示出强大的生命力。全天候、全球表面、高精度的定位技术，使得 GPS 在航海、航天、测量、运动载体监控调度等诸多领域得到了广泛的应用。据美国 GPS 产业协会的市场调查，车辆导航应用将成为未来 20 年内全球卫星定位系统的最大潜在应用之一。

本文从多方面探讨了 GPS 车辆监控系统 (GPSVMS) 中的移动通信子系统和 GPS 定位技术。GPSVMS 具有监控、报警以及调度等基本功能，其组成包括监控中心 (BS)、若干车载移动台 (MS) 以及连接 MS's 和 BS 的无线移动通信链路。为了保证监控系统的实时跟踪性、快速报警反应能力等诸多性能指标，借鉴 OSI 开放系统层次模型，设计了 GPSVMS 的移动通信协议。最后，在文中还讨论了小区制式的 GPSVMS 的移动通信网络的结构和特点以及对扩频通信引入的设想。

关键词：

全球定位系统，车辆监控系统，移动通信，通信协议，时分多址，实时性，可靠性，快速报警反应，调制解调

ABSTRACT

GPS(Global Positioning System) was initiated and has been carried out in the United States of America. It was designed originally for the purpose of military service. Later with its development, GPS had also showed great potential in civil applications . In fact, due to its excellent positioning strategies—round the clock and over the earth service as well as its high accuracy, GPS has already been successfully and widely applied in such fields as navigation, aerospace, survey, monitoring and dispatchment of mobile vehicles. According to the market investigation of USGIC, the vehicular navigation will become the biggest application among GPS services in the coming twenty years.

This thesis discusses the mobile communication network and the GPS technology of GPS-based Vehicular Monitoring System(GPSVMS) from several aspects. The GPSVMS can be widely used in many fields, and especially efficient in the bank vehicles, in car theft-proof system, in police force dispatching and in safe guard of senior officials. It is composed of the moving parts in individual cars, and the fixed part in the monitor and control center. And the two parts are linked with a special radio channel. To satisfy the specification requirements of the mobile communication network, especially its real-time character and alarming response ability, it's quite necessary to come up with a set of reasonable, standard communication protocol. Borrowing the idea of level module in OSI open system, we set up the time-based synchronized protocol and have successfully realized it in the digital communication of GPSVMS. In this thesis, a wireless digital cellular communication network structure of GPSVMS and its characters are also presented. We still foresee the possible application of direct sequence spread spectrum communication in GPSVMS.

KEYWORDS:

Global Positioning System(GPS), vehicular monitoring system(VMS), mobile communication, communication protocol, time division multiple access(TDMA), real time, reliability, modem

目 录

致 谢	I
摘 要	II
目 录	IV
第一章 引言	6
§ 1.1 背景意义.....	6
§ 1.2 国内外同类系统的研究水平.....	8
§ 1.3 GPSVMS 系统构成及系统要求.....	10
§ 1.4 论文内容安排.....	13
第二章 GPS 全球卫星定位系统.....	13
§ 2.1 GPS 系统简介	13
§ 2.1.1 背景.....	13
§ 2.1.2 系统构成.....	14
§ 2.1.3 GPS 应用及发展前景	16
§ 2.2 GPS 系统定位原理	17
§ 2.2.1 用于卫星导航定位的坐标系.....	17
§ 2.2.2 GPS 卫星的星历	19
§ 2.2.3 导航定位方法.....	23
§ 2.2.4 GPS 主要误差原因	28
§ 2.2.5 差分定位.....	29
第三章 GPSVMS 的移动通信制式以及移动通信协议	31
§ 3.1 移动通信制式.....	31
§ 3.1.1 链路结构.....	31
§ 3.1.2 信令方式.....	34
§ 3.1.3 组网方式.....	35
§ 3.1.4 GPSVMS 的移动通信系统工程设计.....	36
§ 3.2 移动通信中的数据传输.....	37
§ 3.2.1 数字信号的格式.....	37
§ 3.2.2 误码原因.....	41
§ 3.2.3 差错控制.....	43
§ 3.3 GPSVMS 的移动通信协议.....	47
§ 3.3.1 网络协议层次模型.....	47
§ 3.3.2 物理层.....	49

§ 3.3.3 数据链路层.....	50
§ 3.3.4 网络层.....	51
§ 3.3.5 高级应用层.....	54
§ 3.3.6 通讯协议设计小结.....	55
第四章 GPSVMS 无线移动通信网的具体实现.....	56
§ 4.1 硬件设计和实现.....	56
§ 4.1.1 电源模块.....	57
§ 4.1.2 GPS 信息接收模块.....	59
§ 4.1.3 调制解调模块.....	61
§ 4.1.4 外围扩展模块.....	66
§ 4.1.5 看门狗模块.....	70
§ 4.2 软件实现.....	73
§ 4.3 实现中的几个关键技术.....	75
§ 4.3.1 延时的处理.....	75
§ 4.3.2 系统同步的实现.....	77
§ 4.3.3 特殊车辆的优先巡检.....	79
§ 4.3.4 系统可靠性.....	81
第五章 GPSVMS 无线通信网络的扩展.....	86
§ 5.1 小区制的引入.....	86
§ 5.1.1 小区制式的 GPSVMS 系统通信链路.....	86
§ 5.1.2 两个特殊问题.....	88
§ 5.2 扩频通讯技术的引入.....	89
§ 5.2.1 直接序列调制系统.....	89
§ 5.2.2 扩频通信在 GPSVMS 中的应用设想.....	91
结束语	92
附录 A 英文缩略语	93
附录 B 研究生期间发表论文.....	94
参考文献	95

第一章 引言

§ 1.1 背景意义

GPS 车辆监控系统(GPS-based Vehicle Monitor System, GPSVMS)是基于全球定位系统 GPS(Global Positioning System)的一种民用应用(在本文中, GPS 车辆监控系统均缩写为 GPSVMS)。GPS 系统^{[3][16][32][48][58][70][71]}是美国政府在继阿波罗登月计划、航天飞机计划之后的第三项重点空间计划。从 1973 年至 1994 年的 20 年间, 美国国防部 (DoD) 耗巨资 120 亿美元 (有资料记载为 300 亿美元) 发射几十颗卫星才建立起来的一个高精度、全天候和全球性的无线电导航、定位和定时的多功能系统。GPS 技术已发展成为多领域 (如陆地、海洋、航空航天)、多模式 (GPS、DGPS、RGPS、LADGPS、WADGPS、WWDGPS)、多用途 (如在途导航、精密定位、精确定时、卫星定轨、资源调查、海洋开发、交通管制等)、多机型 (如测地型、定时型、全站型、手持型、车载式、星载式、船载式、弹载式) 的高新技术的国际性产业。

美国国防部研制 GPS 的首要目的是为美国称霸世界的全球战略服务。1991 年 GPS 在海湾战争中的首次使用就创造了人类战争史上的奇迹, 美国官兵的一致结论是“GPS 赢得了战争”。海湾战争可以说是 GPS 发展史上的一个里程碑, 因为它在一夜之间, 使 GPS 由一个军事领域中的可选系统变成了必备系统。此后, GPS 突破了军事应用的界限, 渗透到更为广阔的民用领域, 其应用的深度和广度与日俱增。

由于汽车是现代文明社会中与每个人关系最密切的一种交通工具。因此, 车辆导航也成为未来 20 年中全球卫星定位系统的几个最大的潜在应用之一, 格外吸引商界的关注。据《中国汽车工业年鉴》的资料统计, 1993 年仅美、日、德、意、英、法 6 个主要发达国家的汽车保有量已达 3.867 亿辆, 平均年增长率为 1.7%。而全世界用于车辆导航的投资 1994 年比 1993 年增长 80%, 达到 1.8 亿美元, 占当年 GPS 九项应用总投资额 (8.67 亿美元) 的 20.8%, 跃居九大应用之首。据美国 GPS 产业协会 (USGIC) 的市场调查, 预计 1995 年到 2000 年间, 车辆导航的投资平均年增长 60.8%, 到 2000 年将达到 30 亿美元, 占当年 GPS 九项应用总投资额的 35.4% (详见表 1.1.1)。

从 1994 年以来, 各发达国家的主要生产商都加快了汽车导航系统研制开发的速度。以欧洲为例, 德国的奔驰和宝马公司、法国的雷诺公司都宣布将在高档轿车上安装导航系统。除了车辆自定位之外, 各国都推出了车辆跟踪调度管理系统, 它采用现代信息技术、通信技术、定位技术、控制技术, 大大地提高了公路

交通的效率和安全性，改善了环境，为现代信息社会提供了准确、迅捷的出行服务。

表 1.1.1 GPS 市场现状和展望^[16] 单位：亿美元

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
车辆导航	1.00	1.80	3.10	6.00	11.00	20.00	25.00	30.00
个人用户	0.45	1.00	1.80	3.24	5.80	10.00	15.00	22.50
跟踪站	0.30	0.75	1.12	1.70	2.50	3.75	5.60	8.50
OEM	0.60	1.10	1.40	1.80	2.20	2.75	3.40	4.25
测绘	1.00	1.45	2.01	2.80	3.64	4.55	5.46	6.30
GIS	0.25	0.35	0.50	0.90	1.60	2.70	4.10	6.50
航空	0.40	0.62	0.93	1.30	1.80	2.40	3.00	3.75
海事	0.80	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60
军事	0.30	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.30
总计	5.10	8.67	12.66	19.74	30.74	48.55	64.16	84.70
年增长率		70%	46%	56%	56%	58%	32%	32%

从 1986 年总参测绘局和国家测绘局分别开始引进测绘专用 GPS 接收机以来，我国 GPS 应用已有 12 年的历史了。但直到近四五年，以军事应用为先导，测绘应用为基础，各行业应用为主体，才掀起了我国 GPS 应用史上第一个小小的高潮。归纳起来，GPS 技术在我国个民用领域的应用特点如下^[16]：

- 航空导航是用户最少而技术要求最高的一个领域。目前投入资金相对最多，已经涌现出一些达到世界先进水平的科研成果。如 1996 年 3 月 17、18 日，20 所组织各大部门参加的“西安咸阳国际机场 CNS/ATM 系统演示”。
- 航运导航是用户较多而且目前使用较普遍的一个领域。无论是航海型接收机还是国产监控系统，均有少量产品可供用户选择。如长城计算机通用集成技术公司研制的“长城海防 GPS 指挥系统”经过电子部鉴定、用户实践考验认可，已在海南、浙江、福建的海岸警备部队使用^[62]。
- 汽车导航是市场最大、起点最低、基础研究工作最薄弱的一个领域。目前急需适合国情的车载自导航设备、集中式信息发布和调度指挥系统，其市场突破口应该在占保有量 3.4% 的 32 万辆特殊车辆方面。但目前没有一批可供用户选择的经过实践考验的成果。

《中国汽车工业年鉴》的资料表明，1995 年我国民用汽车保有量为 1100 万辆，比 1994 年的 942 万辆增长了 17%。据统计，1994 年中普通货车占 42.6%，

客车占 37%，特种车辆占 3.4%（约 32 万辆）。目前使用车载 GPS 接收机进行自定位的车辆很少，估计只能数以百计，大量公司开发的热点集中在对特种车辆的监控调度系统上。特种车辆是我国车载 GPS 应用系统的突破点。有关部门强烈要求首先对运钞车、急救车、救火车、巡逻车、迎宾车等专门用途的车辆实现全程监控、引导和指挥，因此这方面最大的用户行业是银行和公安。国内许多公安局（如海南、武汉、沈阳、长春、大连、珠海、北京等）、保险公司（如中国人民保险公司、太平洋保险公司）和银行（如人行、工行、农行、建行、中行）都在动手列项目、做方案，研制 GPS 监控报警系统。由此可见，GPS 车辆导航是潜力最大、需求最迫切的已成熟市场。其需求分为两个层次，一是自主导航用的车载设备，二是中心式调度监控系统。

鉴于 GPS 民用应用的国际大趋势、国内车辆导航系统的市场热点和薄弱点，科大 GPS 实验室投入了相当大的人力、物力进行符合国情的 GPS 车辆监控系统的研制和开发，得到了一些研究成果，达到目前国内先进水平^{[23][73][76]}。本文旨在分析吸收现有国内外 GPS 车辆监控系统优点的基础上，采用一种新的设计思路，在 GPS 定位技术上充分融合先进的无线通讯技术和 GIS 技术，以无线通讯技术为研究课题，以求设计出具有一定先进性和实用性的 GPS 车辆监控系统。

§ 1.2 国内外同类系统的研究水平

Navsys 是最早从事这方面开发工作的国外公司之一，它于 1994 年把 GPS 和蜂窝通信联系起来，设计了 TIDGET 系统，该系统中的车辆在街区上行驶时可以把它们的位置发向中心站从而请求援助。Trimble 和 Motorola 公司也加入开发者的行列，将 GPS 与通信单元结合起来应用于多种领域，成为先驱者之一。Trimble 在 1995 年开发的 Messenger 系统将公司的六通道 GPS 接收头与公用蜂窝网连接起来，并在船只管理市场中居领导地位。Motorola 公司则将其八通道 OnCore 接收头和 Motorola 的一种无线电收发两用机联系起来，开发了 Motorola 蜂窝定位系统。国外的这类系统还有 Ford 的 RESCU 系统、Rockwell 的 ADT，ATX (San Antonio, Texas) 的 OnGard 系统等等。他们设计的 GPS 车辆监控系统一般都和蜂窝通信联系起来，通讯方面具有比较高的实用性。现在，愈来愈多的这类系统通过测试，走入市场，而且功能走向多元化。如最近在美国华盛顿州安装测试的一套名为 Mayday 的 GPS 报警处理系统，就以其强大和实用获得了华盛顿交通部门的高度评价。

国内这方面的开发工作开始的也很早，大约从 1994 年开始。一些从事 GPS 研究开发的公司、单位结合国情进行了这类移动信息系统的设计和开发工作。与国外相比，国内的这类系统的通信部分采用的技术比较落后，还没有与公共蜂窝通信技术结合起来。

目前,在 GPS 车辆监控系统领域,国内外已有一些初步的成果,在此介绍几个具有代表性的系统如下:

1) 南京市“110”报警巡逻车 GPS 监控系统^[32]

车载部分采用 GPS 差分 6~12 通道并行接收机,内含 GPS 接收板、调制解调器、处理板、电台等;控制中心由固定电台、GPS 接收板、调制解调器、微机工作站、GIS 矢量数据处理、模拟显示板图等组成。

控制中心与各巡逻车采用主从单频通信,依次巡检,中心站点名巡逻车应答方式。整个通信网络的操作均由控制中心控制,控制中心首先给网内所有巡逻车进行“注册登记”,按前后顺序与每辆巡逻车依次进行信号连接及数据交换。数据交换的接口是串行数据接口(RS-232、RS-422 或 AN-S1.X3.16)。该套系统在数据无线传输方面反应较慢,如果巡逻车增至 100 辆时,控制中心更新一遍数据的时间要用 8 分钟多。

2) 海口市公安局 GPS 移动无线报警终端^[46]

这套系统最大的特点是移动单元一体化的设计,即 GPS 接收机、超短波收发信机、单片计算机管理控制器以及调制解调器是做在一个整体机内。移动终端具有两个用户自行定义的遥控口,可以实现遥控熄火等功能。中心站可以通过无线的方式对移动终端进行点名检验。

海口的这套系统属于比较初级的车辆监控系统,大部分是现有设备的一种集成的设计。通讯方式在系统规模较大的情况下性能明显下降。中心计算机虽然具有图形功能,但没有达到矢量化电子地图的高度,功能比较简单。

3) KXJ—II 型卫星定位调度管理监控报警系统^[5]

该系统试用在我国首次召开的世界妇女大会上。它采用单频单工,移动站 MS(Mobile Station)与调度中心(或中继站)工作于 220~235MHz(带宽为 25kHz)的某一频点上,调度中心与中继站之间可用 450MHz 或 230MHz 附近的另一个 25kHz 带宽的频点。

调度中心由无线收发信机及天线、GPS 差分接收控制台、计算机及电子地图软件、计算机与收发信机之间接口和报警设备等组成。移动用户站 MS 由 GPS 接收机模块、无线收发信机及接口和报警装置组成,是调度中心的监控对象。操作人员或司机把自己的车辆编号和目前车辆的各种状态(如正常、故障、事故等)信号连同车辆的实时定位信号一起送到 MS 的发信机,然后发送给调度中心。在遇到劫持等紧急情况下,还可用暗藏紧急开关向中心紧急报警;如果遇盗或受破坏,还能自动报警。调度中心利用 GPS 差分控制站对 MS 的位置信号进行校正,使定位精度达到约 10~15 米,并能在电子地图上显示该车辆位置、车号、司机姓名、车辆特征等。在报警情况下,中心站还有声光指示,便于采取必要的救援

措施，保证车辆行车和入库保管时的安全。

4) Mayday System (美国华盛顿州试用)^[76]

美国华盛顿州于 96 年试用的 Mayday 系统是一套使用 GPS 技术来定位紧急报警车辆位置的监控系统。该系统主要是为大范围(如高速公路上)中出现紧急情况的车提供救援服务而设置的。

Mayday 系统的移动单元可以按需要采用两种不同的方式。一种是使用 L1 波段 C/A 码六通道的 GPS 接收机和蜂窝电话，称为 GPS/cellular；另一种也是使用同样的 GPS 接收机，不过通讯设备是双向数据通讯装置，使用的是 CDPD (compressed digital packet data, 压缩数据包) 协议的网络，称为 GPS/CDPD。GPS/cellular 系统利用蜂窝电话网可以让用户和中心操作员进行通话。GPS/CDPD 系统传递数据但不传递话音，是通过显示器和一个专供回答“是”还是“否”的小键盘和中心操作员联系。

在监控中心，移动单元送来的没有校准的 GPS 数据被进行差分校准，精度可以提高到 10 米以内。然后信息被送到以地图为基础的 GIS 系统中去，这样就可以在地图上找到报警移动单元的位置。

以上述几个典型系统为例，就现有的 GPS 车辆监控系统技术发展来说，GPS 定位技术是走在其他相关技术的前列的，基本上已经达到稳定高性能的程度，而且国内外各套系统在这个方面没有明显差异。另一方面，国内 GPS 车辆监控系统中使用的无线通讯技术相对比较落后；车辆监控系统的 GIS 技术却在国内外普遍呈现出起步不久，发展不很完善的现象。在我们实验室调研的过程中，接触了很多不同单位设计的车辆监控系统，一般都明显地存在以下几个不足：一是车辆监控巡检周期长(一百辆车巡检周期通常要达到数分钟的数量级)；二是车辆报警响应不够及时(一般是等到巡检到该车的时候才能发出报警信息，或单独占用一个频点来报警，而且信道冲突解决得不理想)；三是监控平台技术落后(几乎全部采用扫描地图或低程度数字化的地图，GIS 软件做得比较粗糙等)。

不难看出，要解决上述不足之处，主要着眼点应该在构造高性能的 GPS 车辆监控无线通信网和发展专用高水平 GIS 技术上。本文提出的解决方案就是针对无线通信网这方面进行的。

§ 1.3 GPSVMS 系统构成及系统要求

GPSVMS 系统由全球定位系统、移动车辆单元和监控中心站三大部分组成，融合了三大关键技术：GPS 定位技术、无线通信网组网技术和地理信息系统(GIS) (包括电子地图自动生成平台和智能化车辆监控软件平台)。它具有监控、报警以及调度等基本功能。监控功能就是对移动车辆的实时状态(包括地理坐标、速

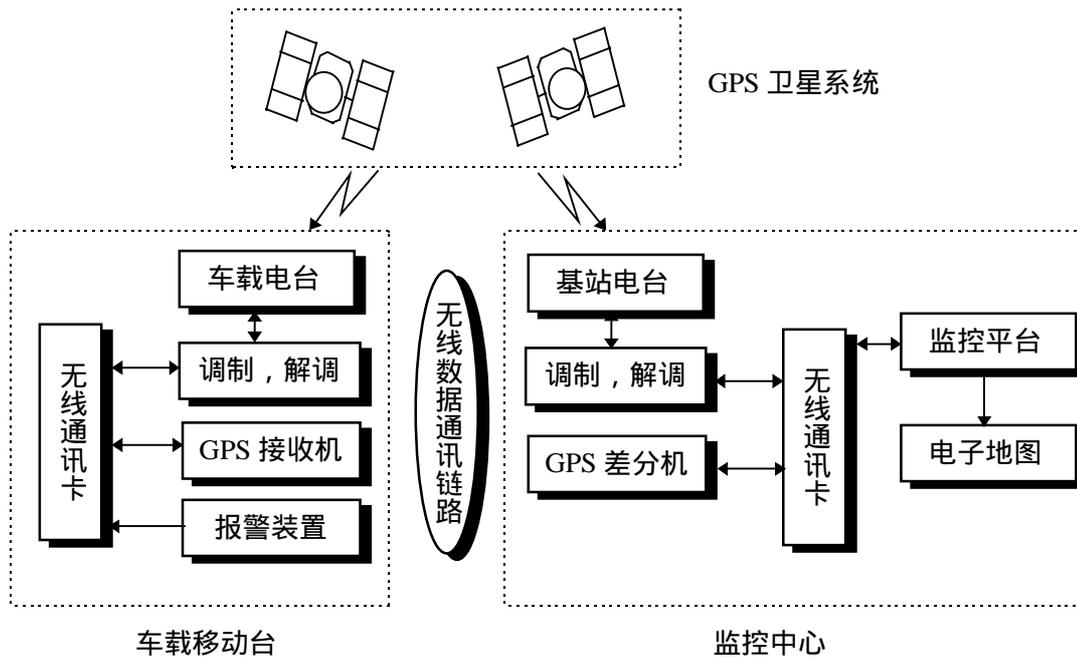


图 1.3.1 监控系统工作原理图

度、方向等)进行跟踪,并能有效地控制车辆的一些具体状态,如熄火、开关车门、开关空调等。报警功能是为移动车辆发生意外时而设置的。被控车辆发生意外情况,如遭劫、车祸、车坏、迷路等,可以向处理中心发出求助信息。处理中心由于知道求助车辆的精确位置,可凭此给予及时的帮助。调度功能是指监控处理中心可以根据实际需要通知驾驶员调整车辆的运行目的和路线等。例如,出租车调度中心可根据乘客的租车要求调度最近的空出租车前往接客;当出现警情时,可调度警车在各相应路段或路口围追堵截。调度功能亦可看作是一种指挥功能。

GPS 车辆监控系统的组成包括监控中心、若干车载移动设备(Mobile Station, MS)以及连接 MS 和监控中心的通信链路。如图 1.3.1 所示。监控中心面向监控操作人员,包括监控平台(PC 机)、无线通讯卡、电台三部分。车载移动设备 MS 由车载电台、无线通讯卡、GPS 接收机、报警装置等组成。其工作原理是:MS 通过 GPS 确定自身的位置信息(经度、纬度、高度、速度等),然后将位置信息数据打包,由数传卡调制后通过电台发送。监控中心接收到 MS 的信息后,由数传卡解调,分析处理后传至监控平台,显示在矢量化的电子地图上。监控操作人员亦可通过监控平台向 MS 发出监控命令。监控平台是以电子地图为基础的监视和控制操作平台,具有很方便的信息数据库和强大的电子地图操作功能。另外,当 MS 的报警装置被触发后,MS 立刻向监控中心发送报警信息。

对于 GPSVMS 系统而言,实际可应用于许多相关场合,包括城市出租车的调度、管理;公安系统警力调配;银行押钞车的行驶安全;船只调度与救援;铁路运营的调度、安全和军事指挥、演习等等。

衡量一个 GPSVMS 系统的优劣与否,除了考察系统可靠性、系统成本造价、系统使用的方便性等因素外,还必须根据此系统的具体运行环境和特点重点考虑下面这些因素:

1) 监控实时性

所有被控车辆的实时定位信息都要能及时送至中心基站并不断更新,以实现对车辆的实时跟踪和监控。我们定义位置信息刷新频率 f_p 来表示中心基站每秒钟能接收(或监测)的车辆位置信息的车辆数,单位为辆/秒。且定义系统平均巡检周期 T (秒) = 系统容量(辆) \div 位置信息刷新频率 f_p (辆/秒),表示中心基站遍历系统中所有车辆所需时间,单位为秒(S)。很显然,位置信息刷新频率和系统平均巡检周期可以用来度量系统的实时性,并且有:位置信息刷新频率越快,则系统平均巡检周期 T 越短,系统的实时性也就越好。

2) 报警快速反应能力

当车辆发生意外情况(如遭劫、车坏、迷路等)时,按下报警按钮后,中心站应该能够迅速接收警情以便采取必要措施。我们定义从车载台触发报警开关到中心基站收到警情这段时间为报警反应时间(Emergency Alarm Period)。报警反应时间越短则系统性能越好,越有利于车辆的安全行驶。

3) 在较严重的电磁污染环境中保持较低的通讯误码率

4) 较高的系统容量

这其实是要求系统下层通讯网的实时性要好,上层监控平台的显示和处理速度要快,要能及时反映移动站 MS 的变化。

5) 电子地图的准确性

这主要指城市道路在电子地图上显示的准确性。被控车辆在监控平台上显示时,其轨迹只能在道路上,而不能偏离道路行驶在房屋、河流上,并且只能在实际的道路上显示。这同时也涉及到了系统的可靠性。

车辆实际行驶的轨迹不能在监控平台上正确地显示出来,主要有两方面的原因:一个原因是GPS系统的定位误差。当未采用差分定位,且SA(选择性政策)有效时,定位误差可达100米左右;采用差分技术后,定位误差可低于10米。另一个原因就是电子地图的准确性。由于原始地图的误差、扫描仪扫描时的误差、矢量化的误差等,使得最终生成的电子地图与实际情况产生较大的偏差。因此在实际应用前,必须对电子地图进行校正,即用车辆在实际道路上行驶得到的定位数据来修正电子地图的误差。

此外,在矢量化地图的基础上,我们独创了智能化的道路偏差自适应修正功

能软件模块，可以有效地修正美国政府人为设置的GPS随机定位偏差的影响，使移动单元的位置与电子地图道路之间达到很好的吻合效果。从而使得用户能方便准确地知道各移动目标的真实位置。

6) 信息的丰富性

从监控平台角度来看，系统中应包含一个庞大的、丰富的、准确的数据库。这便于系统监控人员能够及时查看和了解被控车辆的属性（如车牌号、车型、颜色、驾驶员姓名、性别等）以及城市里的环境因素（如车站、码头、桥梁、渡口、学校、医院、党政机关、企事业单位、河流、公园等）。从而为监控人员提供辅助决策信息，更好地实现监控、调度功能。

§ 1.4 论文内容安排

本文的内容安排是这样的：

第一章指出了 GPSVMS 系统是 GPS 的一种民用应用。介绍了车辆监控系统的背景意义，系统构成，以及对国内外相关系统的优缺点比较，并提出衡量 GPSVMS 系统优劣的几个重要指标。

第二章介绍了 GPS 全球定位系统。阐述了 GPS 的系统构成、导航定位原理和应用前景。

第三章介绍了 GPSVMS 移动通信网采用的链路结构、信令方式、组网方式以及移动数据传输特点，并详细论述了自行设计的移动通信协议。

第四章是 GPSVMS 系统无线通信网的具体实现，主要包括调制解调数传卡的硬件设计和软件编制，并对实现中的几个关键问题进行了讨论。

第五章是对单基站、大区制的 GPSVMS 无线移动通信网的扩展研究。介绍了对小区制的 GPSVMS 移动通信网的一些初步研究成果，以及对引入扩频通信的设想。

附录 A 中罗列了文中所出现的英文缩略语的中文翻译，附录 B 是作者在研究生期间所发表的期刊和会议论文。

第二章 GPS 全球卫星定位系统

§ 2.1 GPS 系统简介

§ 2.1.1 背景

海空导航、车辆引行、大地测量等都需要精密定位。为此，人们建立了不少类型的传统无线电导航和惯性导航定位系统，如罗兰 - C (Loran - C)、欧米伽

(Omega)、塔康(Tacan)以及后来美国建立的为海军舰艇导航服务的“海军导航卫星系统”(Navy Navigation Satellite System, NNSS)。这些系统的主要缺点是:(1)作用距离短。例如塔康无线电导航系统,它的作用距离仅是一个半径为70Km的圆;(2)用户有限。例如采用机载询问器和地面应答器工作的塔康系统,仅可供不足15,500个左右的用户使用;(3)定位精度低。定位误差一般为几米到几十米,甚至几公里。传统的导航技术需要一场深刻的革命。

1973年12月,美国国防部批准海陆空三军联合研制新型军用卫星导航系统 - NAVSTAR GPS (Navigation by Satellite Timing and Ranging Global Positioning System, 用卫星定时测距全球导航定位系统),通常简称为“GPS 全球卫星定位系统”。GPS被美国列为重点空间计划之一,成为继阿波罗登月计划、航天飞机计划之后的第三项庞大空间计划。经过方案论证、工程研制、生产作业等三个研制阶段,到1993年底,整个GPS工作卫星星座已全部建成。但实际上,GPS信号接收机产品早就面世,并在1991年春的海湾战争中,作为作战武器倍增器,发挥了巨大的作用。

GPS全球卫星定位系统同其它导航与定位系统相比,其主要特点如下:

- 1) 全球地面连续覆盖。由于GPS卫星的数目较多且分布合理,所以地球上任何地点均可连续同步观察到四颗卫星以上,从而保证了全球、全天候连续的实时导航和定位。
- 2) 功能多,精度高。GPS可为各类用户连续地提供动态目标三维位置、三维速度和时间等信息。一般说来,其单点实时定位精度可达到5~10米(不施加SA技术),静态相对定位精度可达0.1~1ppm,测速精度为0.1m/s,而测时精度约为数十纳秒。
- 3) 实时定位速度快。利用GPS一次定位和测速任务可在一秒至数秒内完成。
- 4) 抗干扰性能好,保密性强。GPS采用了数字通讯中的特殊编码技术,即伪随机码技术。

§ 2.1.2 系统构成

GPS全球卫星定位系统主要包括三大组成部分，即空间星座部分、地面监控部分和用户设备部分。系统组成如图2.1.1。

§ 2.1.2.1 GPS 空间星座部分

GPS系统星座由24颗卫星组成，其中包括三颗备用卫星。工作卫星分布在6个轨道面内，每个轨道面内分布有4颗卫星。卫星轨道面相对地球赤道面的倾角为 55° ，轨道平均高度为20,183Km，卫星运行周期为11小时58分。同时位于地平线以上的卫星数目随时间和地点而异，最少为4颗，最多为11颗。GPS卫星的空间配置，保证了在地球上任何地方、任何时刻均至少可以同时观测到4颗卫星。空间部分的三颗备用卫星，将在必要时根据指令代替发生故障的卫星，从而保证GPS空间部分正常而高效地工作。每颗卫星装有2台铷钟和2台铯钟（一台工作三台备用），为GPS卫星提供高精度的时间标准。GPS卫星的基本功能有：

- 1) 接收和储存由地面监控站注入的导航信息，接收并执行监控站的控制指令；
- 2) 卫星上的微处理机，进行必要的数据处理；

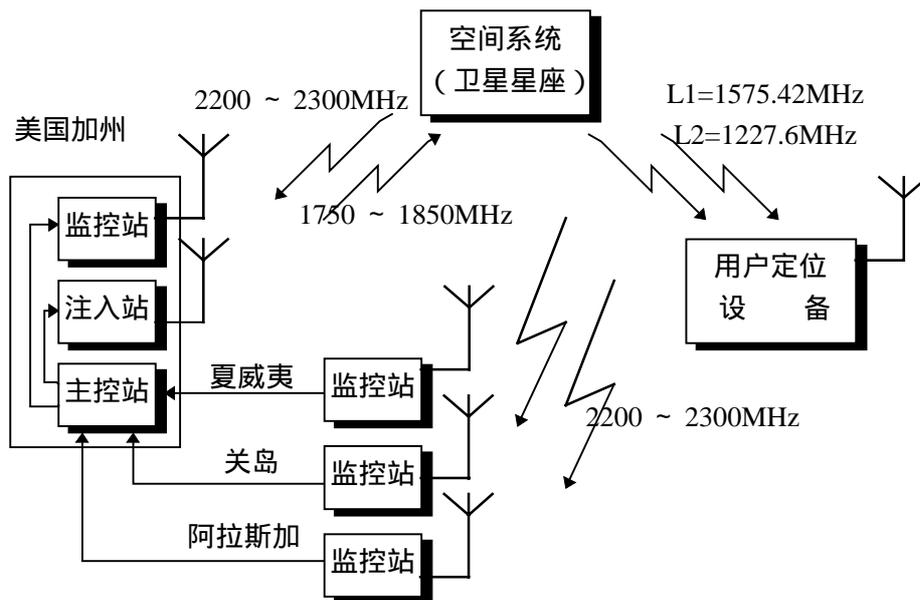


图 2.1.1 GPS 系统组成

- 3) 通过星载高精度原子钟提供精密的时间标准；
- 4) 向用户发送导航和定位信息；
- 5) 在地面监控站的指令下，通过推进器调整卫星姿态和启用备用卫星。

§ 2.1.2.2 地面监控系统（地面控制部分）

GPS卫星的地面监控系统包括一个主控站、三个注入站和五个监测站。出于战略考虑，它们全部位于美国本土。监测站的作用在于对GPS卫星进行连续的观

测,采集数据和监测卫星的工作状况,并收集当地的气象资料,然后把所有观测资料传送到主控站以确定卫星的精密轨道。主控站设在科罗拉多·斯平士(Colorado Springs),主控站除协调和管理整个地面监控系统工作外,其主要任务包括:推算和编制各卫星的星历、卫星钟差和大气层修正参数,并把这些数据传送到注入站;提供GPS卫星系统时间标准;调整偏移轨道的卫星;启用备用卫星以代替失效的工作卫星。注入站有三个,分别设在印度洋的迭哥加西亚(Diego Garcia)、南太平洋的卡瓦加兰(Kwajalein)、南大西洋的阿松森岛(Ascencion)。其主要任务是在主控站的控制下,将主控站推算和编制的卫星星历、钟差、导航电文和其他控制指令注入到相应卫星的存储系统。整个GPS地面监控部分,除主控站外均无人值守,各站之间用现代化的通讯系统联系,各项工作高度自动化。

§ 2.1.2.3 用户设备部分(GPS 信号接收机)

这是直接面向用户的部分。其主要任务是接收GPS卫星发射的信号,以获得必要的定位信息和观测量,并对数据处理、解算以完成定位工作。接收机因应用领域各异而品种繁多,包括军用品和民用品,有航空型、测量型、航海型、手持型、车载型、船载型、机载型、星载型、弹载型等。我们实验室研制的GPS车辆监控系统中所用的导航定位仪就是其中一种。

§ 2.1.3 GPS 应用及发展前景

GPS对人类活动的影响极大,应用价值极高。它可以从根本上解决人类在地球上的导航和定位问题,可以满足各种不同用户的需要。虽然最初GPS卫星定位系统是为军事用途而设计,但其精密的全球定位、简便的观测、优异的实时性、丰富的功能、良好的抗干扰性能、极强的保密性等等特点,使其获得了广泛的应用。近年来,对GPS卫星的应用开发表明,用GPS信号可以进行海陆空导航、导弹制导、精密定位、工程测量、设备安装、大地测量、速度测量等等。GPS的应用主要分为两种类型,一种为单机应用,即采用独立的接收机做单点静态或动态定位或单点高精度定位测量,另一种则以GPS接收机配合中心控制站,辅以无线数据通讯设备,实时进行数据交换,构成GPS应用系统。对舰船而言,它能在海上协同作战、海洋交通管制、石油勘探、海洋捕鱼、管道铺设、暗礁定位、海港领航等方面作出贡献;对飞机而言,它可在飞机起飞、中途导航、着陆、空中会合、空中加油和武器投掷、空中交通管制等方面进行服务;在陆地上可以用于各种车辆、坦克、陆军部队等的定位,还可用于大地测量、野外考察、勘探定位,甚至深入到每个人的生活之中;在空间技术方面,可以用于弹道导弹制导、空间飞行器的导航定位等。对GPS技术的研究和对GPS信息资源的开发也给地学研究和应用提供了一种崭新的观测手段,并能进行快速的大地定位和布设大地网。有

些学者指出，随着GPS系统的问世，将导致测绘行业、导航领域一场深刻的技术革命。

目前，国外稳定的GPS市场已经形成，据美国GPS产业协会（USGIC）的市场调查，估计到2000年全球销售额将达84.7亿美元。国内GPS的应用方兴未艾，GPS技术及产品为迫切需要实时导航定位、高精度定位测量的各行业提供了一种最佳解决方案。由于GPS技术的民用化在国内也仅是从1993年底才正式开始，加上国内技术的滞后，目前国内应用的普遍是美、日等国产品。因此，加强GPS原理以及应用方面的研究，迅速推出适合国情的GPS产品，具有潜在的巨大社会效

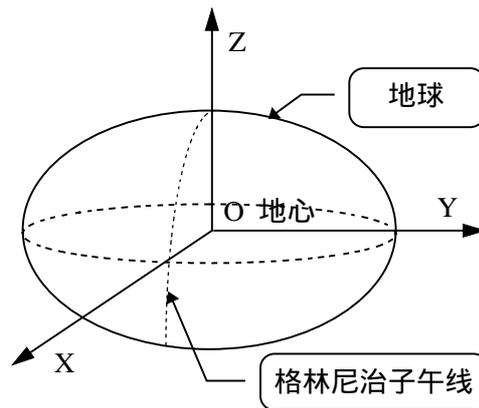


图 2.2.1 宇宙直角坐标系

益和经济效益。

§ 2.2 GPS 系统定位原理

§ 2.2.1 用于卫星导航定位的坐标系

宇宙直角坐标系是与地球牢固联结，即随地球旋转的直角坐标系（如图 2.2.1）。坐标系的原点 O 位于地心， XOY 平面与地球赤道面重合， OX 轴穿过格林尼治子午线和赤道的交点， OZ 轴与地球极轴重合。这个坐标系易于将地理坐标、地球自转、卫星轨道参量、导航定位参量联系在一起，同时便于计算机应用线性代数知识进行定位解算。

由于GPS卫星运行于宇宙空间，为了确定卫星在宇宙空间的位置，还得在宇宙空间找一个可视为固定不变的参考坐标系。地球绕极轴转动，依据陀螺原理，地球的极轴在宇宙空间的指向是稳定不变的，把地球赤道面无限扩展和天球相交，交线称为天球赤道。同时，考虑到地球绕太阳公转的轨道面也是一个稳定平面，此轨道面称为黄道平面。它通过地心，与赤道平面约有 23.44° 的夹角。空间两个互不平行的稳定平面可用来建立一个固定的坐标系，即地心天球坐标系。黄道平面无限扩展和天球相交，交线称天球黄道。天球赤道和天球黄道相交两点，

即春分点和秋分点。这样一来,取地心和春分点连线构成的春分点轴为一参考轴,加上天球极轴以及与这两轴垂直并位于天球赤道平面内的第三条轴,以地心为坐标原点,构成地心天球坐标系。如图2.2.2所示。建立了地心天球坐标系,就可用来确定卫星的运行轨道参量,从而确定卫星在宇宙空间的位置。

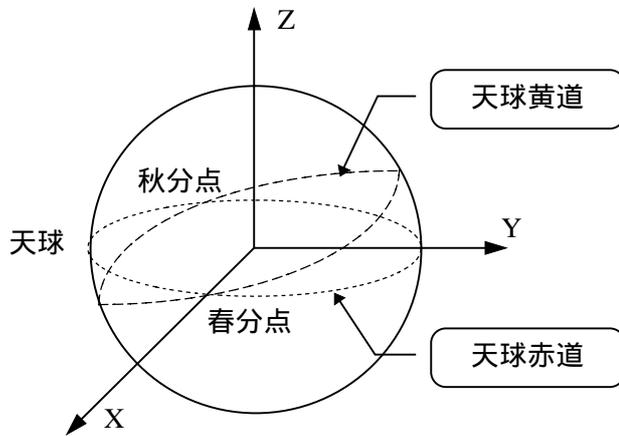


图2.2.2 地心天球坐标系

为了确定用户空间位置,最常用的是用地面上的地理坐标,即经度、纬度、高度 (λ, φ, H) 来表征。因为地球并非一个标准球体,为了高精度定位,可以设想一个理想的地球重力场的等位面,称为大地水准球面。这是一个不很规则的球面,但可以通过测量地球的重力场来确定。以大地水准球面为基础,选取一个几何椭球体,使之与大地水准球体最吻合,这个几何椭球体便称为基准椭球体,用它来代表地球。最吻合的标准不同,就有不同的基准椭球体。对GPS系统来说,选用了与整个地球的大地水准面最吻合的WGS-84椭球。利用基准椭球,可以定义地球上任一点的地理坐标——经度 λ 、纬度 φ 、高度 H 。

首先考虑宇宙直角坐标系 X, Y, Z 与地心天球坐标系 X^*, Y^*, Z^* 的关系:

Ω_G 为格林尼治子午线赤经,即 OX 轴与 OX^* 轴的夹角,有 $\Omega_G = \Omega_{G0} + W_e(t - t_0)$,其中 W_e 为地球自转角速度, t_0 为参考时间, Ω_{G0} 为参考时刻 t_0 时格林尼治子午线赤经。

$$\text{显然有: } \begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Omega_G & \sin \Omega_G & 0 \\ \sin \Omega_G & \cos \Omega_G & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2.2.1)$$

再考虑基准椭球上任一点 P 的地理坐标 λ, φ, H 与宇宙直角坐标 X, Y, Z 之间的关系:

(1) 已知 λ, φ, H 求 X, Y, Z , 变换式为:

$$\begin{aligned} X &= (O'P + H) \cos \varphi \cos \lambda \\ Y &= (O'P + H) \cos \varphi \sin \lambda \end{aligned} \quad (2.2.2)$$

$$Z = [O'P(1-f)^2 + H] \sin \varphi$$

$$\text{其中: } O'P = \frac{a}{\sqrt{\cos^2 \varphi + (1-f)^2 \sin^2 \varphi}}, f = \frac{a-b}{a}$$

a 为基准椭球赤道面半短轴, b 为半长轴, f 称为扁平系数。

(2) 已知 X, Y, Z 求 λ, φ, H , 公式为:

$$\lambda = \operatorname{arctg} \frac{Y}{X}$$

$$H = \sqrt{(X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2 + (Z - Z_0)^2}$$

$$\varphi_0 = \operatorname{arctg} \frac{(a+H)^2}{(b+H)^2} \cdot \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \quad (2.2.3)$$

$$\varphi_{n+1} = \operatorname{arctg} \frac{O'P + H}{O'P(1-f)^2 + H} \cdot \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}}$$

$$O'P = \frac{a}{\sqrt{\cos^2 \varphi_n + (1-f)^2 \sin^2 \varphi_n}}$$

§ 2.2.2 GPS 卫星的星历

§ 2.2.2.1 卫星运行一般规律

GPS 是系统设置在空间的导航台。用户利用 GPS 卫星实施定位, 必须准确知道任一时刻卫星的位置, 不同时刻的一组组卫星时空数据称为卫星星历。

假设地球是质量均匀分布的圆球, 除了地球引力外没有其他力作用于卫星。这种情况下卫星的运行规律完全符合开普勒定律, 称为无扰动的卫星运动轨道。卫星将在通过地心的平面上运行, 轨道是以地心为一焦点的圆锥曲线。其极坐标

方程为: $r = \frac{p}{1 + e \cos v}$; 方程中 r 为轨道半径, e 为离心率。

GPS卫星导航系统所用的卫星的基本运行轨道是以地心为一焦点的椭圆轨道或以地心为中心的圆轨道。精确的圆轨道是难以实现的，所以圆轨道实际上常是近圆的椭圆轨道。为了刻画GPS卫星在宇宙空间中位置，引入了六个基本轨道参量，即：描述卫星轨道平面在空间位置的参量——升交点赤径 Ω 和轨道面倾角 i ；描述轨道形状的参量——半长轴 a ，椭圆轨道离心率 e ，近地点角 ω ；描述卫星在轨道面上的位置参量——真近点角 v 。各参量定义如图2.2.3。 $\Omega, i, \omega, a, e, v$ 又称为卫星轨道六要素。由这些基本参量，可以计算出卫星在宇宙直角坐标系中的坐标。计算公式如下：

$$\begin{aligned} X_S &= r \cos(v + \omega) \cos(\Omega - \Omega_G) - r \sin(v + \omega) \sin(\Omega - \Omega_G) \cos i \\ Y_S &= r \cos(v + \omega) \sin(\Omega - \Omega_G) + r \sin(v + \omega) \cos(\Omega - \Omega_G) \cos i \\ Z_S &= r \sin(v + \omega) \sin i \end{aligned} \quad (2.2.4)$$

由于 $r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos v}$, $\Omega_G = \Omega_{G0} + \omega_e(t-t_0)$ ，以及无扰动的情况下， $\Omega_{G0}, \omega_e, \Omega, \omega, t$ 都是常量，只有 v 是时间的函数，只要知道各时刻的 v 值，由式(2.2.4)可得各时刻的 X_S, Y_S, Z_S 值。要实现定位，必须时刻知道卫星的位置即

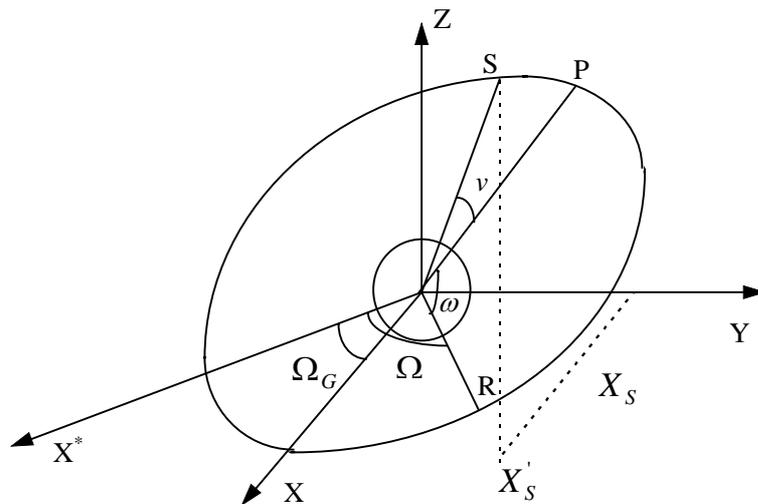


图 2.2.3

该时刻的 X_S, Y_S, Z_S 值，这些值随时间而变。GPS卫星并不直接发送这些不断随时间变化的量，而引入平近点角 M 和偏近点角 E 的概念：

$$\begin{aligned} M &= n \cdot (t - t_0) \\ M &= E - e \sin E \quad (\text{用迭代法由 } M \text{ 求 } E) \end{aligned} \quad (2.2.5)$$

$$\operatorname{tg} \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \cdot \operatorname{tg} \frac{E}{2}, \quad n \text{ 为卫星在轨道上运行的平均角速度，为常量。}$$

利用式(2.2.5),用 n 代替 v ,卫星只须向用户发播时间变量 t ,其余均为常量。这样,用户只要知道卫星发布导航电文的时间,就可以计算出该时刻卫星在空间中的坐标 X_S, Y_S, Z_S 。

§ 2.2.2.2 有扰动的卫星轨道

前面讨论卫星的基本运行规律和基本轨道参量时,是假设地球是质量均匀分布的圆球,同时卫星除受地球引力作用外,不受其他外力作用。实际上,卫星还受到其他各种引力的作用。这些力将使卫星运行偏离开普勒轨道,并使基本轨道参量发生变化,这些力统称为扰动力。在扰动力的作用下,卫星所受力的合成并不指向地心,因此,卫星的基本轨道参量将发生缓慢的、非周期性和周期性的变化以及不规则的变化。卫星运行轨道将成为带有进动、形状渐变、非平滑的椭圆轨道。扰动力的来源很多,主要有地球形状的影响、日月引力扰动、太阳辐射光压、大气阻力等因素。对于卫星轨道的基本参量 $\Omega, i, \omega, a, e, v$ 而言,扰动可分为两种性质,一种是长期的漂移或进动,这会有一定规律的轨道参量变化;另一种是各种扰动力引起的不规则的漂移。考虑到扰动力的作用,实际卫星轨道的表示必须修正,并且式(2.2.4)和(2.2.5)也要重新表示。一般有:

$$\Omega = \Omega_0 + \dot{\Omega}(t - t_0)$$

$$\omega = \omega_0 + \dot{\omega}(t - t_0)$$

$$M = M_0 + \left(\dot{M} + n \right) (t - t_0), \quad t_0 \text{ 为基准时间, } \Omega_0, \omega_0, M_0 \text{ 为 } t = t_0 \text{ 时的值。}$$

$$X_S = r \cos(v + \omega) \cos(\Omega - \Omega_G) - r \sin(v + \omega) \sin(\Omega - \Omega_G) \cos i$$

$$Y_S = r \cos(v + \omega) \sin(\Omega - \Omega_G) + r \sin(v + \omega) \cos(\Omega - \Omega_G) \cos i$$

$$Z_S = r \sin(v + \omega) \sin i \quad (2.2.6)$$

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos v}$$

$$M = E - e \sin E$$

$$\operatorname{tg} \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \cdot \operatorname{tg} \frac{E}{2}$$

§ 2.2.2.3 实际卫星定轨方法

如前所述, GPS卫星定位系统实际上是星基定位系统。为了确定用户的位置(宇宙直角坐标系),必须先知道卫星在该坐标中不同时刻的位置。卫星定位和

用户定位的方法相同,也要找一些位置基准点。这些位置基准点的宇宙直角坐标是准确已知的,它们可以是地面站、空间站或天然星体。GPS系统中的卫星定轨采用地面站作基准点,其坐标是已知的,且为常值。通过测量卫星相对基准点的距离、角度、速度等参量,求解由这些参量确定的定位方程,算出卫星的坐标 X_S, Y_S, Z_S 。但对地面站而言,只有当卫星运动到其视界以内时才能进行定位参量的测量,根据定位参量解算出卫星在该区域的坐标。因此,为了得到任何时刻卫星的位置坐标,可以在全球布站,但这种方法费用昂贵,且维护困难。所以,实际上只能在有限的地点布置卫星监测站。GPS卫星定位系统的监测站从战略上考虑,全部分布在美国本土。这样的布站方案,会给卫星定轨精度带来一定的影响。在有限布站的前提下,为了随时得到卫星的空间位置,一般是利用检测站测得的定位参量直接解算出卫星轨道的轨道参量 $P_m, m=1, 2 \cdots l, l \geq 6$ ($l=6$ 时,即为卫星轨道基本参量)。有了卫星轨道参量,并测得 t_0 时刻卫星的坐标 X_0, Y_0, Z_0 ,就不难计算出任意时刻 t_i 卫星的坐标 X_i, Y_i, Z_i 。此方法实际上是对卫星通过地面站可视范围内的一段轨道进行测量,利用测量信息估算整个卫星运行轨道的轨道参量,推算出其它时刻卫星运行的轨道。一颗相对地面运动的卫星的位置坐标虽然不断变化,但其轨道参量的变化却是缓慢的,有的参量在很长的时间间隔内可看作不变。由测得卫星定位参量解算出卫星轨道参量的过程称为星历制备过程。制备出的星历由注入站注入GPS卫星,再由GPS卫星通过发射含有轨道信息的导航电文的形式传递给用户,用户接收机接收到信号后,经过解码可获得所需要的卫星星历。这种星历一般称为预报星历或广播星历。

GPS卫星星历的精度,实际上决定了GPS定位的精度上限。因此,为了保持卫星预报星历的必要精度,一般采用限制预报星历外推时间间隔的方法。为此,GPS跟踪站每天都利用其观测资料更新用以确定卫星参考星历的数据,计算每天卫星轨道状态的更新值,并且每天按时将其注入相应的卫星加以存储,用以更新卫星的参考轨道。GPS卫星发射的广播星历,每小时更新一次。预报星历的精度,目前一般估计约为20~50米。对于某些进行精密定位工作的用户来说,预报星历的精度难以满足要求。因此,一些国家的某些部门,根据各自建立的跟踪站所获得的精密观测资料,应用与确定预报星历相似的方法,向用户提供在用户观测时间内的卫星星历,降低了预报星历外推的误差,这种星历称后处理星历或精密星历。其精度目前可达米级,进一步的发展可望达到分米级。后处理星历不通过卫星的无线电信号向用户传递,而是利用磁带或通过电传通讯等方式有偿地为所需要的用户服务。

GPS用户通过卫星广播星历,可以获得的有关卫星星历参数共有16个,其中包括一个参考时刻,六个对应参考时刻的轨道参数和九个反映摄动力影响的参数。如下表2.2.1所示:

表2.2.1 轨道参数

表示符号	参量的意义
t_{0e}	星历的基准时刻
M_0	t_{0e} 时刻的卫星平近点角
Ω_0	t_{0e} 时刻的升交点赤径
i_0	t_{0e} 时刻的轨道倾角
e	轨道离心率
a	椭圆轨道半长轴
ω	近地点角
$\dot{\Omega}$	升交点赤径漂移率
Δn	卫星平均角速度的偏移
C_{u1}, C_{u2}	升交距角 $u = \omega + \nu$ 的调和改正项振幅
C_{r1}, C_{r2}	椭圆半径的调和改正项振幅
C_{i1}, C_{i2}	轨道倾角的调和改正项振幅
$AODE$	星历参量的老化度

其中 $AODE$ 表示从最后一次注入电文起外推星历的外推时间间隔，反映出外推星历的可靠程度。

GPS接收机接收到导航电文数据后，依据上述的16个星历参数可以方便地计算出卫星任一时刻 t 在宇宙直角坐标系中的位置 X_S, Y_S, Z_S 。GPS卫星定位系统中确定卫星位置时采用了被动接收广播星历解算的方式，因此理论上无用户数目的限制。

§ 2.2.3 导航定位方法

§ 2.2.3.1 定位方式

用户为了确定自己在指定坐标系中的位置（即完成定位功能），通常有两种方法，称推航定位和导航定位。推航定位又称自主式定位，其特征是：已知用户在指定坐标系中的初始点坐标以及测得用户在坐标系中的运动速度，由积分计算得到用户当前的位置或在指定坐标系中的坐标。以宇宙直角坐标系为例，若用户初始点坐标为 (X_0, Y_0, Z_0) ，用户在坐标系中的速度为 $\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}$ ，则用户任意时刻 t 在坐标系中的位置为：

$$\begin{aligned} X(t) &= X_0 + \int_0^t \dot{X} dt \\ Y(t) &= Y_0 + \int_0^t \dot{Y} dt \\ Z(t) &= Z_0 + \int_0^t \dot{Z} dt \end{aligned} \quad (2.2.7)$$

显然,用户位置定位误差取决于初始点位置误差和坐标系中的速度误差,并且由于积分的作用,误差随着时间的推移而逐渐增大,从而在推航运算相当长时间之后,位置定位误差将超过可容忍的限度。因此,推航定位在一段时间之后,要通过导航台定位更正位置定位结果。导航台定位又称他备式定位,其特征是:通过测量用户相对于坐标已知的导航台的位置,计算用户在指定坐标系中的位置。这里的导航台可设在地面或空中。事实上,GPS定位系统就是一种导航台定位系统,导航台就是GPS卫星,另外,它又是一种星基定位系统。导航台或GPS卫星是不断变动的,其实时坐标由前述卫星定轨方法可以得到。所谓用户相对于导航台的位置可以由多种途径得到反映,例如可以用用户与导航台之间的角度、距离、相对速度等。这些角度、距离、相对速度等又叫做导航定位参量,其共同特征是参量直接与用户坐标以及导航台坐标相关并且易于测量,从而能够通过参量的测量建立起反映用户相对于导航台位置的一组方程,进而解算出用户相对于导航台的坐标。利用导航台坐标已知的条件,不难得出用户在指定坐标系中任一时刻的坐标。

§ 2.2.3.2 测距定位

GPS卫星定位系统采用了测距定位方法,即选择用户与GPS卫星之间的距离作为导航定位参量。如图2.2.4所示。 O_1 、 O_2 、 O_3 为已知位置的三颗GPS卫星,若测得用户和这三颗卫星的距离 r_1 、 r_2 、 r_3 ,则用户就是位于三个球面A、B、C的两个交点之一。由于用户与卫星距离较大,故很容易排除非用户点。理论上,只须测量用户与三颗卫星的距离就能确定用户的真实位置。但若知道用户处于某个曲面上(如用户在地球上),则只须测量与两颗卫星的距离即可。当然,如能测得用户与四颗或四颗以上的卫星的距离,则能更精确地确定用户的位置。

距离的测量是利用电波在空间传播速度为常值，传播路径是直线的特性，通过测量电波在空间传播的时间（即传播延时）来实现的。所以，精密测距问题就转化为精密测时问题。为了精密测时，系统必须有精确的时间基准，即精密的时钟或振荡器。由时钟产生的周期性信号称为时钟信号，可以是正弦信号、周期性脉冲或周期性序列。系统借助时钟信号进行传播延时的测量。

传播延时的测量有两种方式：有源方式和无源方式。有源方式采用由用户发射信号，卫星接收后转发，再由用户接收并测量传播延时；无源方式则由卫星在确定时刻发送信号，用户接收后，利用用户接收机内与卫星星载时钟同步的时钟测量信号传播延时。无源方式与有源方式相比，设备能够作到小型化，且有利于无线电的隐蔽，通常也不会有用户数量的限制。GPS卫星定位系统采用了无源方式测量传播延时。

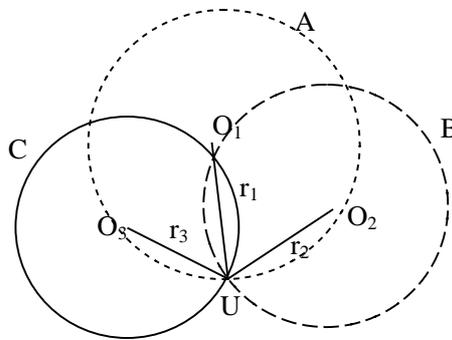


图 2.2.4 定位图示

设卫星信号到达用户接收机的传播延时为 τ ，则卫星与用户之间的距离 $r = c \cdot \tau$ ， c 为电波传播速度即光速。考虑用户时钟与卫星时钟不完全同步，两者有钟差 ξ ，则 $r = c \cdot \tau = c \cdot (\tau' - \xi)$ ， τ' 为用户测量的传播延时。对该式取微分并以增量代替微分量，得 $\Delta r = c \cdot \Delta \tau' - c \cdot \Delta \xi$ 。可见，测距误差主要由测时误差与钟差的变化量产生。若测距时间间隔较短，在该时间间隔内可假设钟差为常数，从而有 $\Delta r = c \cdot \Delta \tau'$ ，测距误差主要取决于测时误差。考虑到用户测量得到的传播延时 τ' 包含了钟差等误差成分，对应的卫星与用户距离 $r^* = c \cdot \tau'$ ，称为伪距。

为了测量卫星发射信号至用户接收信号的传播延时，时钟信号可取正弦信号、周期性脉冲、周期序列。

§ 2.2.3.3 伪随机码

GPS定位系统中采用了一种周期序列时钟信号——伪随机序列。它具有类似于二进制序列的‘0’、‘1’分布特性、宽的频谱、优良的相关特性，且又具有确定性和周期性，实际应用中易于产生、复制，易于实现对其相关接收。其特性如图2.2.5所示，随着 t_0 的减小，相关特性接近于 δ 函数，信号频谱也越宽。在

GPS时刻 t , 卫星发射伪随机码信号 $a(t)$, 同时, 用户接收机内部产生一个与卫星发射的伪随机码相同的码序列 $a(t + \Delta t)$, Δt 为接收机时钟与GPS卫星时钟之间的钟差(可按导航电文校正)。信号经传播延时 τ 后被接收机接收, 接收的码序列与本地产生的码序列送到相关器(乘法器或异或装置)做相关处理, 最后由积分器得到两个序列之间的相关函数(就是码序列 $a(t)$ 的某个自相关函数值), 移动本地码相位 τ' , 直到积分器输出值最大, 即相当于 $t - \tau = t + \Delta t - \tau'$, 从而可测得传播延时关系式 $\tau' = \tau + \Delta t$, 两边同乘以光速 C , 就得到伪距表达式 $r^* = r + c \cdot \Delta t$, r 为卫星与接收机的真实距离。测距的精度取决于码序列 $a(t)$ 的自相关函数的性质, 自相关函数的尖峰特性有利于测距精度的提高, 码元宽度越小, 测距精度越高。

每颗GPS卫星发射两个频率的信号: $L1 = 1575.42\text{MHz}$, $L2 = 1227.6\text{MHz}$ 。发射两个信号的目的是测定和校准电离层延迟效应。导航数据为 50bit/s 的二进制信号, 被伪随机序列将频带展宽。每颗卫星均有自己的伪随机序列以便识别。各卫星的伪码接近正交, 这可保证所有卫星使用同一载频而不相互干扰。伪随机码共有两种: 一种是C/A码(粗码, Coarse Acquisition Code), 一种是P码(精码, Precise Code)。

C/A码是短码, 它的码速率是 1.023 兆比特/秒, 周期为 1 毫秒或 1023 位。C/A码用戈尔德码, 它是由两个 m 序列(周期为 1023 位)模 2 加构成:

$$CA(t) = G_1(t) \cdot G_2(t + n_i T) \quad (2.2.8)$$

式中 $0 \leq n_i \leq 1023$, T 为每位的持续时间。 G 码所用的生成多项式分别是:

$$G_{12}: \quad x^{10} + x^3 + 1 \quad (2.2.9)$$

$$G_{22}: \quad x^{10} + x^9 + x^8 + x^6 + x^3 + x^2 + 1$$

C/A码的码长较短, 在对C/A码捕获的过程中, 若以每秒 50 码元的速度搜索, 只须约 20.5 秒即可, 所以C/A码可以很方便地捕获。但是C/A码的码元较宽, 假设接收机产生的本地序列与接收到的序列的对齐误差为码元宽度的 $1/10 \sim 1/100$, 则相

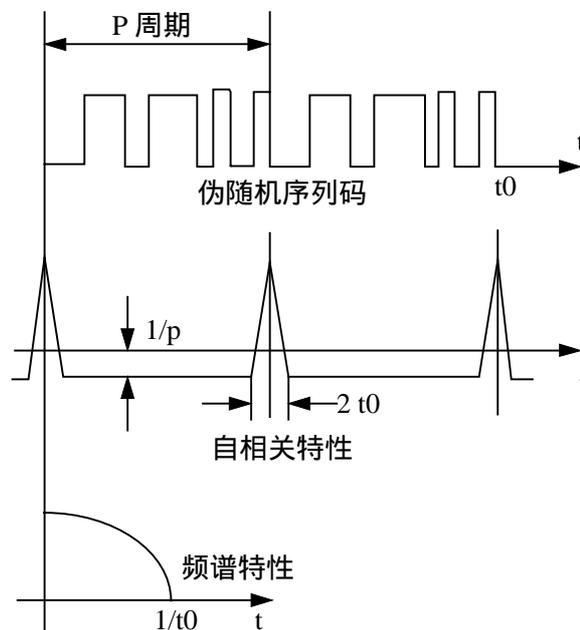


图 2.2.5 伪随机序列特性

应的测距误差可达29.3 ~ 2.9米。这也是C/A码称为粗码的原因。

P码产生的原理更为复杂。它是由两个码长互质的 m 序列模2加构成：

$$P_i(t) = x_{1i}(t) \cdot x_{2i}(t + n_i T) \quad (2.2.10)$$

其中 $0 \leq n_i \leq 36$ ，共有37种延迟， T 为码元间隔时间。 $x_1(t)$ 的速率为10.23兆比特/秒，周期为1.5秒或 $1.5 \times 10.23 \times 10^6 = 15,345,000$ 位。 $x_2(t)$ 与 $x_1(t)$ 的速率相同，但周期为15,345,037位，两者互质。因此乘积的周期为 $15,345,037 \times 1.5$ 秒，约等于266天。实际应用时，每颗卫星分别从中选取不相重叠的一段，周期为7天且起始时间选在每个星期日零时（或星期六午夜十二点）。对周期如此之长的P码不可能按周期积分进行相关检测，只能在比其周期小很多的时间进行局部的自相关检测。因此，在捕获P码的过程中，采用逐个码元进行搜索的方式在实际应用中是无法接受的。考虑到这一点，GPS系统规定，在每个星期日的零时将C/A码产生器和P码产生器进行同步启动。先利用C/A码捕获、同步解调出导航电文，得到与P码状态改变同步的时钟标志及时钟计数，从而计算出当前P码所处的状态，再略提前几个码元开始对P码进行搜索，很快就能捕获到P码。另外，由于P码的码元周期为C/A码的1/10，在码元对齐误差仍为码元宽度的1/10 ~ 1/100的情况下，由此引起的距离误差约为2.93 ~ 0.29米，仅为C/A码的1/10。这也是P码称为精码的原因。

P码产生器的结构目前是保密的，从P码的特征可以看出对于周期如此之长的伪随机码，想破译出其中的结构几乎是不可能的。此外，美国军方为了加强精密定位服务的保密性，研制出了另一种更为保密的称为Y码的伪随机码（P码与机密W码模2），即AS技术——反电子欺骗技术。

§ 2.2.3.4 导航电文

GPS系统的导航电文数据有卫星工作状态、从C/A码转换到P码所需的同步信息、时钟校正参数、卫星星历、校正传播延时的参数、确定其它卫星星历和工作状态的历书信息以及备用的专用电文。导航数据信息为不归零制，速率为50比特/秒，格式是由5个长为6秒的子帧构成，它组成一个总长为30秒共1500位的数据帧。

每帧导航电文各子帧的内容见图2.2.6所示。

§ 2.2.3.5 定位算法

GPS接收机通过接收GPS卫星发布的广播星历和进行卫星定轨计算，可以确知任意一颗GPS卫星在任一时刻的坐标（均指宇宙直角坐标系）。另外，接收机

子帧 1	TLM	HOW	数据块——I 时钟修正参数
子帧 2	TLM	HOW	数据块——II 星历表
子帧 3	TLM	HOW	数据块——II 星历表继续
子帧 4	TLM	HOW	数据块——III 星历书等
子帧 5	TLM	HOW	数据块——III 星历书等

图 2.2.6 导航电文

通过测量GPS卫星发布的伪随机序列构成的时钟信号的传播延时，得到对应卫星与接收机的伪距。因此可以通过解算得到用户任一时刻在坐标系中的位置、速度、标准时间信息。具体的解算方法即定位方法从总体上看有动态、静态之分；从方法上有经典算法和先进算法之分。对于多通道接收机而言，动态和静态的经典算法区别并不明显，静态定位的作用仅在于通过冗余量的观测，进行测后数据处理，而先进算法比较经典算法而言，在动态定位精度上有14%的提高。经典算法主要指最小二乘法，先进算法的代表是卡尔曼（Kalman）滤波技术。

§ 2.2.4 GPS 主要误差原因

§ 2.2.4.1 电离层和对流层误差

对卫星发射的载波在大气中的传播而言，可以将大气层分为两层：电离层和对流层。无论是电离层还是对流层，对GPS卫星发射的载波信号的传播延时的影响在高精度定位的情况下均无法忽略。电离层对电波而言，呈弥散介质性质，即电波在该层中的群速度与电波的频率相关。对电离层的修正通常采用差分法或双频法。由于对流层对电波传播的影响与频率无关，较有效的方法是采用差分定位技术。

§ 2.2.4.2 时钟误差及相对论效应

GPS定位系统的精度是建立在精确定时的基础上的，因此卫星钟和接收时钟必须保持高度的同步。两者之间的不同步反映为测距中的测距误差。用户接收机由于体积以及成本的原因，无法配置高精度的原子钟（稳定度为 10^{-13} ），只能配置石英钟（稳定度为 10^{-10} ）。但是在用户解算位置的过程中，能够将用户钟差作为未知数一起解算，从而消除这种误差，使同步精度达到微秒或微秒以下。相对于地心惯性坐标系而言，卫星钟被安置于高速运动的卫星中，接收机时钟则因随地球自转以及自身运动而与地心惯性坐标系有相对运动。从狭义相对论的观点来看，高速运动的时钟相对地心惯性坐标系而言有时间膨胀现象，即有时钟变慢效应。消除这种误差，除依靠地面控制站的监测不断更新卫星钟差数据外，依靠差分定位技术也是一种有效手段。

§ 2.2.4.3 其它误差

影响GPS定位系统定位精度的误差因素除上述讨论的外，还有：用于定位的卫星在空间的几何分布好坏而造成的几何误差；因卫星星历是一种外推星历而造成的卫星星历误差；接收机除直接接收到卫星的信号外，还接收到周围物体反射的卫星信号，这就存在多径效应误差；美国政府为了限制他国对GPS系统军事上的应用，而对系统加上的人为干扰，形成人为误差（即SA技术——选择可用性）；以及观测误差、设备误差等。

§ 2.2.5 差分定位

前面简单地讨论了定位解算的主要误差因素，这些误差因素可以分为两大类：一类是随时间、空间快速变化，相关性极弱的随机误差，如卫星钟随机误差、用户钟噪声、多路径效应、电离层和对流层附加延时的随机变化部分。对于这类误差，经典算法中的最小二乘平差法和卡尔曼滤波技术能做到有效的消除；另一类是随时间、空间缓慢变化，相关性很强的误差，如卫星星历误差、电离层和对流层附加延时、卫星钟差，甚至包括美国按其GPS政策而施加的人为误差。对这类相关性很强的偏移误差，可以设想，在地球表面某一区域、某段时间内有相当的稳定性。因此，如果该区域内有两台接收机同时工作并选取同样的卫星做定位解算，偏移误差对两台接收机的定位结果应产生相同的影响。若将两台接收机的定位结果求差，可以预计，求差后的相对定位结果能有较好的精度。对于动态定位要求而言，若将一台接收机固定在一个精确位置已知的地点，并实时地将定位结果与已知结果求差而得到的定位误差数据转发至另一台动态接收机进行定位

结果修正,动态接收机的位置解算精度将得到改善。这就是差分定位(DGPS)。固定点接收机称差分主站(基准站),移动接收机称移动站。

根据DGPS,定位数据处理方法可分为这几种^[15]:

1) 位置差分

这是一种最简单的方法。即将基准站接收卫星信号的定位结果和已知精确坐标比较,将坐标误差送到移动站,并对移动站定位的结果进行修正。其缺点是要求基准站和移动站要同步观测相同的卫星,若有一颗卫星不同将会产生几十米的误差。

2) 伪距差分

这是目前较为广泛采用的技术。它是用基准站精确的坐标与卫星广播星历求出卫星到基准站的距离,然后将此值与基准站GPS接收机收到的C/A码伪距观测值求差,称为伪距修正值。然后将每颗卫星的伪距修正值和伪距修正值的变化率传到移动站。移动站接收到此信号后,对其观测值进行修正。最后利用改正后的伪距解算出移动站的位置,就可以消除公共误差,提高定位精度。其定位精度可达3~10米。

3) 相对平滑伪距

GPS接收机除了提供C/A码伪距观测值之外,还可以提供多普勒计算或载波相位。由于载波相位观测值精度比伪距值精度高两个数量级,利用多普勒计算或载波相位辅助伪距测量可以提高伪距测量精度,相位平滑伪距可使定位精度提高到分米级。

4) 载波相位差分

载波相位差分又称RTK(Real Time Kinematic)技术,是将基准站载波相位观测值和坐标信息一起传送到移动站,然后,移动站将自己接收到的卫星信号载波相位观测值与基准站送来的载波相位观测值一起处理。其实时定位精度可达到厘米级。RTK是目前发展十分迅速的技术,有广阔的应用前景,但是由于受高波特率数据链路限制及电台干扰和周围环境对卫星信号的遮挡等影响会造成信号失误,在应用中还有一定的难度。

5) 广域差分(WADGPS)^[3]

目前各国政府都对广域差分发生兴趣。广域差分是在全球建立若干个基准站,这些站之间连网,实时接收卫星信号,经过处理后,再通过无线电台实时向用户发播改正信息。这种连网的广域差分较之单个GPS差分有以下优点:

- 广域差分可以对全球多用户服务,减少设站,避免重复,节省资金。
- 可提高差分定位的可靠性。因为一站有故障,可以使用其它站。
- 覆盖面广,可使长途飞行、航空飞行和轮船得到可靠的连续导航。

第三章 GPSVMS 的移动通信制式以及移动通信协

GPSVMS 车辆监控系统的发展依赖于应用软件的开发和用于传输数据的通信网。没有通信网的长足发展,车辆就不能持续定位和相互通信联络,特别是 GPSVMS 的覆盖范围、车辆组网容量以及建设与管理费用等制约着 VMS 推广应用的因素与其数据通信网息息相关。无线移动通信网是 GPSVMS 的基础。

§ 3.1 移动通信制式

我们知道,所谓移动通信,系指通信双方或至少一方在运动中进行信息交换。而 GPSVMS 中被控车辆就是一个个独立的移动单元,因此该系统的无线通信归属于移动通信的范畴。它的设计和实现必须以移动通信工程的一般设计原理和方程为依据。

§ 3.1.1 链路结构

从无线链路的构成制式来看,移动通信是多种多样的。有单向和双向链路;单工和双工链路;中继接口链路和多频道共用链路以及这些链路相组合的混合链路。所有这些链路都各有各的用处。下面详细介绍这些链路的特点,并由此选择和确定 GPSVMS 系统中采用的无线链路结构。

§ 3.1.1.1 单频道单工链路

单频道是指通话双方合用一个频道,如图 3.1.1 所示:A 方发话时 B 方受话,B 方发话时 A 方受话。无论哪一方发话,所用载波频率都是相同的。所谓单工是指收、发设备不能同时工作。因此,通常都在送、受话器手柄上装有按键——讲话开关(PTT),需要发话时,按下此键,开启发信机将话音信号发出;而松开按键,关闭发信机,设备处于受话状态。

单频道单工链路所需的设备比较简单,所有用户都使用同一频道,可直接通话,而不需要中转台。当需要通话的两个台之间因距离太远而无法沟通时,在它们之间的另一个移动台还可以方便地充当中继站,自动地或人工转接信息。另外,这种制式的发信设备,除发话时间外,大部分时间是关闭的,所以功耗较小。总之,单频道单工方式具有成本低、设备简单、联络方便等优点,对于交通指挥等警察系统是很适用的。但是,当区域内有几个单工频道同时工作时,相距较近的移动台之间可能会产生相互干扰。当同一基站需要设置几个频道时,它们之间的间距必须在 4MHz 以上,否则,由于相互干扰,不可能使几个频道同时正常地工

作。单频道单工制式不能组成较复杂的可同时有几个频道工作的移动通信网，这也就限制了它的应用。

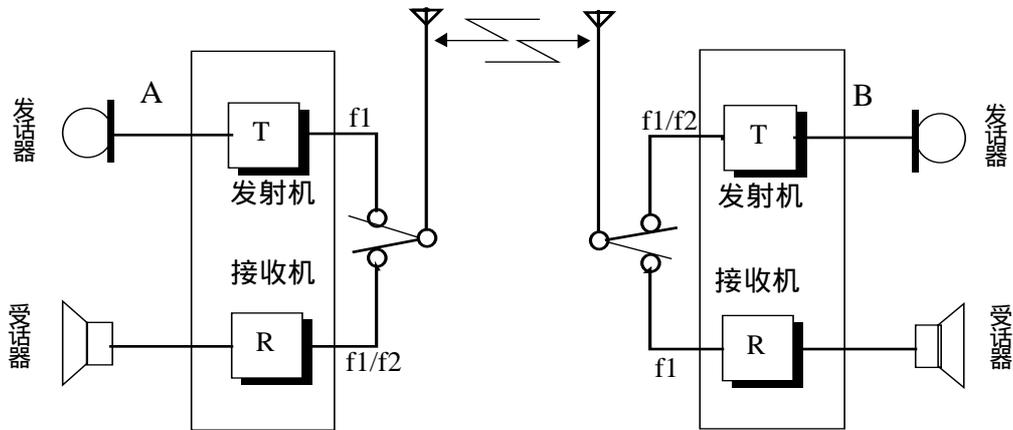


图 3.1.1 单/双频单工通信方式

§ 3.1.1.2 双频道单工链路

双频道链路是指通话双方使用一对频道,如图 3.1.1 所示。A 方的发射频率为 f_1 ，接收频率为 f_2 ；反之，B 方的发射频率为 f_2 ，接收频率为 f_1 。 f_1 与 f_2 之间有一个规定的间隔。从链路的构成来看，只要配以滤波器和双工器等附加设备，就可以使收、发同时工作。但是为了节省功率，在发话方式上仍然采用单工方式，或者仅在移动端采用单工而基站则收发同时工作。双频道单工链路，也叫做异频单工或准双工链路。

§ 3.1.1.3 双频道双工链路

这种无线链路在频率使用上与双频单工链路完全一样，只是其工作方式不需要按键发话，使用时和普通电话一样。

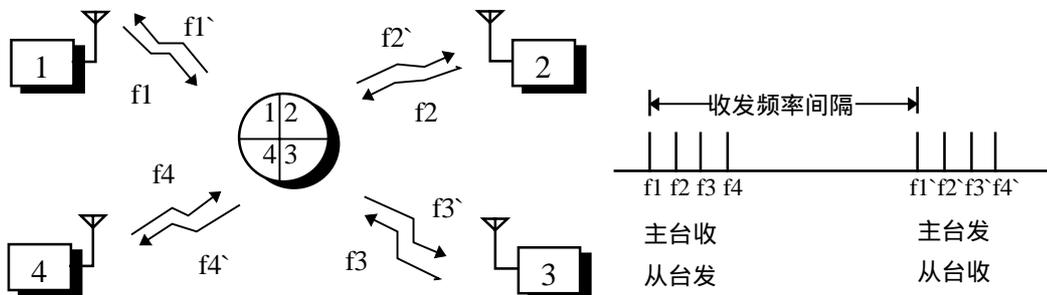


图 3.1.2 双频双工链路

双频链路的收发间隔在不同频段有不同规定。我国无线电管理委员会规定的收发频率间隔：150MHz 频段为 5.7MHz，450MHz 频段为 10MHz，900MHz 频

段为 45MHz。由于收、发频率之间有一定的间隔，因此当基站设置若干对频道同时工作时，相互之间不会出现干扰。

双频双工链路的缺点之一是，由于通话过程中发射机始终开着，消耗功率较大，这对移动中工作的发信机是不利的。此外，由于各移动台之间的收、发频率不能配合，相互之间无法直接通信，必须通过基站转接。这对于需要以移动台相互通信为主的系统，带来不便，但对于 GPSVMS 而言，不存在这个问题。

§ 3.1.1.4 单频道单向链路

上述三类无线链路，无论单工还是双工，电波传播都是双向的，也就是说，通信双方的设备须同时有接收机和发射机。而对于无线电寻呼系统（Paging）而言，就是一种单频道单向链路的应用。它是一种由基站呼出的单向选择呼叫系统，在寻呼发信机的有效覆盖范围内，只要用户随身携带寻呼接收机，就能方便地收到信息。

§ 3.1.1.5 移动中继链路

当通信双方的距离超过无线链路的设计距离时，就应加中继站，此时的通信链路称为移动中继链路。通常，VHF/UHF 移动通信的距离为 50 公里左右，因此，一次中继可使无线链路延长到 100 公里。中继链路可以是一个频道，也可以是几个频道。

移动中继可分为单工和双工两种方式。单工方式在中继站只须一套收发信机，配备必要的接口，一般采用全向天线。双工方式需要两套收发信机，才能中继一路信号，往往采用两副定向天线，对准所需中继的方向。如果一端是移动的，则应采用一副定向天线和一副全向天线。

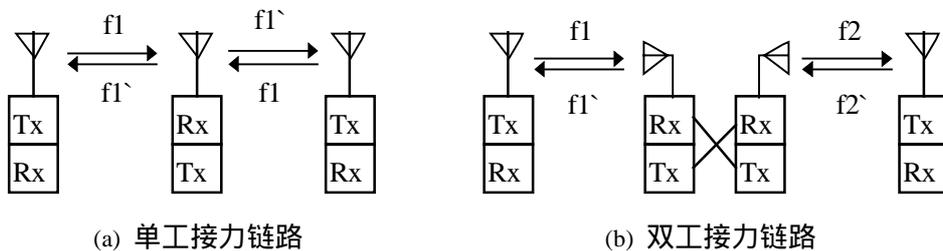


图 3.1.3 移动中继链路

转接方式可分为音频转接和中频转接。前者仅利用现有的通信设备加上接口，就可组成；后者应使收信中频与发信激励调制频率相匹配，不能原封不动地利用现有的移动通信设备。

GPSVMS 有其自身的特点。它是一种专用的移动通信网，被控车辆必须将自身的位置信息发往基站主机（上行信道），同时为了更好地实现监控功能，基站主机必须能够向被控车辆传送监控指令（下行信道）。因此，综合上述讨论的几种链路结构可知，单频道单工双向链路就能满足系统的要求，但因为单频道单工制式不能组成较复杂的可同时有几个频道工作的移动通信网，同时考虑到今后监控无线网络的扩展余地，我们在现阶段选择了双频单工双向链路的制式。

§ 3.1.2 信令方式

信令也称为信号方式，它是用来保证各个用户能够实现正确的接续的。对于多频道共用系统，信令更是必不可少的操作指令。按照信令功能的不同，有下述四种信号：（1）状态标志信号，包括对频道示闲或示忙的频道标志；（2）操作指令信号，用于启动某种特定的操作；（3）选择性呼叫信号，用于识别用户；（4）拨号信号，指主叫用户发送的被叫用户的地址码。信令系统所用的各种信号，按其产生方法，可分为模拟信号和数字信号两大类。

目前，世界各国采用模拟信令的系统，最常用的是与十进制计数习惯相一致的以十个音频代表十进制数 0~9。不同的系统，0~9 所对应的单音频率是不相同的。采用音频信号方式时，不管发信端的编码方式如何，凡是用音叉滤波器接收，就必定要求信号时长大于 200ms，这样就带来了接续速度慢的缺点，降低了信道效率。音频模拟信令固有的另一个缺点是容易模仿，也容易造成误动。克服这两个缺点的有效方法是采用数字信令方式。

数字信号与模拟信号相比具有如下优点：（1）在高噪声和强干扰条件下，数字信号比较稳定可靠；（2）数字信号使信道容量大大增加，因而提高了频谱利用率；（3）数字信号便于使用集成化设备、计算机、微处理器控制，因而可使设备的体积缩小、重量减轻和成本降低；（4）数字信号便于存储和加密，有利于开放数据传输、电传等非电话业务。

其实，在 GPSVMS 系统中，移动车辆与基站主机的信息交换不是语音信息交换，而是数字信息的交换。GPSVMS 的无线网络是数据传输网络。在该系统中，使用数字信令理所当然。而且，由于集成电路技术的迅速发展，在电子、通讯行业，数字信号正逐渐取代模拟信号。1982 年 2 月，CCIR（国际无线电咨询委员会）正式通过了英国 POCSAG（邮政总局编码标准咨询组）所制定的无线电寻呼码，并命名为 CCIR No.1 无线电寻呼码。这种代码采用 FSK（频移键控）NRZ（非归零）信号，传输速率为 512b/s。我国公众模拟移动通信网采用的是 TACS 制式，工作于 900MHz 频段，其信令编码采用曼彻斯特码型（0°和 180°相位变化代表逻辑‘1’和‘0’）和截短的（63, 51, 5）BCH 纠错编码，无线信道传输速率为 8Kbits/s 的 FSK 调制信号。

仙农 (Shannon) 的信道容量公式指出：一个已知的信道，当只有白噪声存在时，理论上的最大容量是：

$$C = B \log_2(1 + S/N) \quad (3.1.1)$$

式中 C 为信道容量 (kb/s)； B 为信道带宽 (kHz)； S 为接收机信号功率； N 为噪声功率。

在移动无线信道中，由于接收信号功率是距离的函数，故应当考虑服务区边缘的信号功率与噪声功率之比。例如，当系统设计要求 $S/N = 15\text{dB}$ 时，25kHz 的窄带调角系统的信道容量理论极限值是 $C = 25 * \log_2(1 + 15) = 100\text{kb/s}$ 。实际上，由于防护频带的要求（因为传输信道的中频特性不可能是理想的矩形），以及传输信道中快、慢衰落的存在和干扰等原因，一个经济上可行的系统不可能达到理论上的最大容量。25kHz 间隔的 NBFM 系统，信道带宽通常只有 16kHz，再考虑到为了克服衰落而使码长增加和重复发送等原因，将使信道容量降低到 20 ~ 30kb/s。

为了在移动信道中更好地传输数字信号，很多国家都在努力探索在移动无线信道中传输数字信号时造成误码的机理及其克服方法，并作了大量的试验，得出一些重要的结论以及总结出一些应付措施。具体的内容将在本章第二节（§ 3.2）讨论。

§ 3.1.3 组网方式

在移动通信中，服务区形状一般分为两种：带状服务区和面状服务区。常见的带状服务区有高速公路、铁路、沿海航道和内河航道等；GPSVMS 监控范围一般是一个城市或一个地区，属于一个宽广的面状服务区。对面状服务区而言，根据用户数的不同可分为：

- 大区制

大区制基站的覆盖区半径为 25Km ~ 40Km。这种方式的组成单一，设备经济，网路也简单，可以复用两个基站相距较远的频道，频率利用率低。

- 中区制

基站覆盖范围半径约为 15Km ~ 20Km。整个服务区有一个或几个发信基站以及几个收信基站构成，重复使用频道的两个基站，其间的距离要比大区制的近，提高了频道利用率，但网路构成上比较复杂。

- 小区制

它由若干个半径约 2 ~ 10Km 的小覆盖区组成一个小区群，再由几个这样的小区群构成所需大服务区。通过适当的安排，各个小区群中对应的小覆盖区所用的频道可以重复使用。这样，在频道数不增加的情况下，用户容量

可大大增加，从而提高了频谱利用率。小区构成的图形有多种，主要有正三角形、正方形、正六角形三类。

§ 3.1.4 GPSVMS 的移动通信系统工程设计

移动通信系统工程的实施主要包括方案可行性研究、移动通信制式及无线电路设计、施工设计、安装调试和开通验收等四个阶段。系统设计时，首先应根据建设发展规划，考虑用户的基本要求，然后按照一定的程序进行设计。

用户的基本要求主要是：（1）用途。公用或专用两种；（2）业务种类。指移动电话、数据传输等；（3）工作方式。单工、异频单工或双工；（4）系统容量；（5）覆盖范围；（6）服务质量。信号质量，通信概率等；（7）传播环境。城市或农村的地形地貌特征及环境噪声等；（8）设备要求。功能、体积、重量和式样。

设计的主要步骤包括：

- 1) 经济估价。根据用户要求的规模作出投资预算，将需要与可能结合起来，使资金得到合理的安排；
- 2) 勘察传播环境和选择无线基站的站址。在城市，无线基站应尽可能设置在高大建筑物上，并离开高噪声区；
- 3) 确定系统容量与业务量。系统容量和业务量是系统设计的基本参数，对此应做广泛深入的调查，以便使系统规模尽可能与实际需求相符合；
- 4) 合理地选择工作频段。为了申请所需频率，应向无线电频率主管部门提交规划设计书；
- 5) 系统制式考虑；
- 6) 无线电路设计。在满足覆盖范围、通信质量和通信概率等用户要求的基础上，根据传播环境选择相应的传播模式来进行传播预测，以确定系统的工作参数，如基站天线高度和增益、发信机输出功率、接收机灵敏度、移动台天线高度和增益、发信机输出功率、接收机灵敏度等；
- 7) 现场测试。必要时，通过在移动环境中测试场强来验证上述有关步骤的正确性；
- 8) 设备选型；
- 9) 施工设计；
- 10) 系统安装调试、核对并交付使用。

系统设计方程如下： $SM = SG - SL$

$$SG = P_t + G_t + G_r - P_{\min} \quad (3.1.2)$$

$$SL = L_M + K + L_t + L_r$$

式中, SM 为系统余量 (dB); SG 为系统增益 (dBW); SL 为系统损耗 (dB); P_t 为发信机输出功率 (dBW); G_t 为发信机天线增益 (dBd, 相对于半波偶极天线增益); G_r 为接收机天线增益 (dBd); P_{\min} 为接收机所要求的输入最低保护电平 (dBW); L_M 为中值路径损耗 (dB); K 为地形、植被或建筑物等各种校正因子的总称 (dB); L_t 为发信端附加损耗 (dB) (包括馈线, 共用器和匹配损耗); L_r 为收信端附加损耗 (dB) (包括馈线, 共用器和匹配损耗)。需要指出的是, 所谓系统余量是指对于一定的通信距离而言, 系统增益或系统能力减去系统损耗的剩余量。或者说, 是接收机可能接收到的输入信号电平减去为保证一定的信号质量而要求输入的最低保护电平的剩余量。若系统余量为 0, 则表示通信概率 (业务区边缘) 为 50%; 若系统余量 >0 , 则表示通信概率 $>50\%$; 反之, 则表示通信概率 $<50\%$ 。

根据用户的基本要求和系统特性, 我们把 GPSVMS 移动通信网络定义为一个容量的 (500 用户以下), 主要用于数据传输的车辆监控专用网络。其覆盖范围目前以城市为主, 采用单基站大区制、异频单工的工作方式。

§ 3.2 移动通信中的数据传传输

§ 3.2.1 数字信号的格式

在传送数字信号时, 为了便于收端解码, 要求数字信号按一定的格式编排。常用的数字信令构成如下图所示。

位同步 (码)	帧同步 (码)	信息 (码)	纠、检错 (码)
---------	---------	--------	----------

图 3.2.1 数字信号格式

1) 同步

数字信号的接收要求数字时钟与被接收的数据流同步。如果时钟输出信号受时间上的跳动或者频率偏移, 则比特误码率及单字错误率 (误字率) 都将升高。这类问题采用比特同步 (位同步) 和帧同步 (字同步) 技术就可以解决。

● 位同步

设输入信号脉冲为 $y(t)$, 而接收端时钟脉冲为 $x(t)$, 则它们的相关系数可表示为:

$$R_{xy}(\tau) = \int_0^{KT} x(t-\tau)y(t)dt \quad (3.2.1)$$

当 $R_{xy}(\tau)$ 达到最大时, 表示 $x(t)$ 和 $y(t)$ 趋近一致。

若用估指表示:

$$\delta = |R_{xy}(\tau) - \langle x^2(t) \rangle| \quad (3.2.2)$$

当 $x(t)$ 和 $y(t)$ 趋近一致时，则 δ 应该达到最小。由图 3.2.2 可见，当 $\tau = \tau_m$ 时，互相关性系数达到最大值，而估值 δ 最小。 τ_m 为时间差，接收时钟应当按此调整。

$R_{xy}(\tau_m)$ 总是随着比特流中误码数的增加而减小，而在移动无线信道中误码率

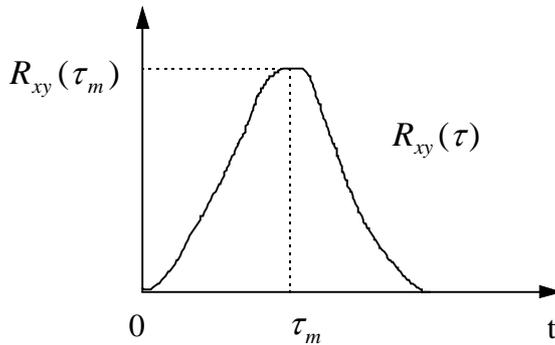


图 3.2.2 输入信号脉冲与时钟脉冲间时差的互相关性

趋向于作为瑞利衰落的函数而升高。通常所用位同步的型式是一串‘0’码与‘1’码交替的符号，其码长 k 取决于衰落的严重程度。

● 帧同步

任何数据比特流都是由一串码字编排的数据（帧幅）组成的。每个帧幅总有一个或几个比特插在其开始（或结尾）来作为帧同步码，常用的帧同步码是巴格码（BarKer）。在该码的比特序列中，任意相隔 k 比特的两个码元间的相关函数可由下式表示：

$$R(k) = \sum_{i=1}^{N-k} x_i x_{i+k} \quad (3.2.3)$$

式中， N 为帧同步码的比特数； X_i 是 $i = 1, 2, 3, \dots, N$ 码元组成。 $N < 12100$ 的所有巴格码列于下表 3.2.1 中。巴格码具有良好的自相关性，作为帧同步使用是很理想的。

表 3.2.1 巴格码

N	编码
2	+ + ; + -
3	+ + -
4	+ + + - ; + + - +
5	+ + + - +
7	+ + + - - + -
11	+ + + - - + - - + -
13	+ + + + - - + + - + - +

2) 码长

对于移动无线信道,数据帧幅的结构设计首先应注意降低误码率。当移动车速为 V (m/s), 射频工作波长为 λ (m) 时, 衰落的时间间隔 t 可近似表示为 $t = \frac{(0.5 \sim 0.8)\lambda}{V}$ 。若数据速率为 V_d (kb/s), 则数据帧幅占有的比特数应为 $V_d * t$ 比特。例如, 在 900MHz 波段, 波长为 333.3mm, 当车速 $V=80\text{km/h}=22.2\text{m/s}$ 时, 衰落时间间隔 t 约为 7.5~12ms。当数据速率为 8kb/s 时, 则在 7.5ms 内可以发送 60 比特的信息。此时, 第 1 比特和第 61 比特不在同一衰落周期内, 所以它们是不相关的。或者说, 由于它们在时间上相隔足够远, 因而不具有同样的衰落特性。因此, 为了降低误码率, 可以利用如图 3.2.3 所示的数据帧幅。

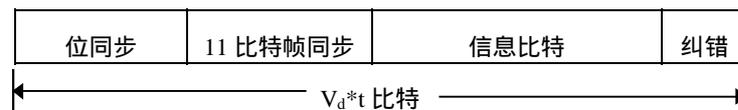


图 3.2.3 数据帧幅格式

3) 帧同步的重发次数

虽然我们所选择的每帧比特数少于两次衰落之间的比特容限 ($V_d * t$), 使相邻帧的相应比特彼此不相关。但是, 在衰落持续时间内必定要损失一些比特数。损失的比特数取决于衰落持续时间和数据传输速率。平均衰落持续时间可根据公式求出。若每次在衰落持续时间内丢失的比特数为 N_l , 同步码比特数为 N , 则为了保证接收信号的同步, 同步码应需重发的最少次数 T 为:

$$T = \frac{N + N_l}{N} \quad (3.2.4)$$

4) 差错控制

在移动通信中, 数据传输系统引起的误码率比固定信道高。为了降低误码率。一个有效的措施就是在编码形式上采用检错和纠错, 使传输中的差错得到控制。差错控制的方法是, 使构成数据信息的编码或编码组具有一定的逻辑性, 接收端根据所受到的编码与该逻辑核对, 发现错误则予以纠正, 这样可使误码率降低 1~2 个量级。

采用差错控制编码来提高通信的可靠性, 是以降低通信的有效性为代价的。关于差错控制和误码原因将在下两小节中进行讨论。

5) 码元的形成

移动通信的数字信号通常采用二进制码，以不同的编码表示不同的信号指令。二进制的‘0’和‘1’码的形成方法可以是各种各样的，有的只用直流信号表示二进制编码，也有如图 3.2.4 所示的各种方式。对于数据传输，低速多用双流方式，高速多用双极方式。

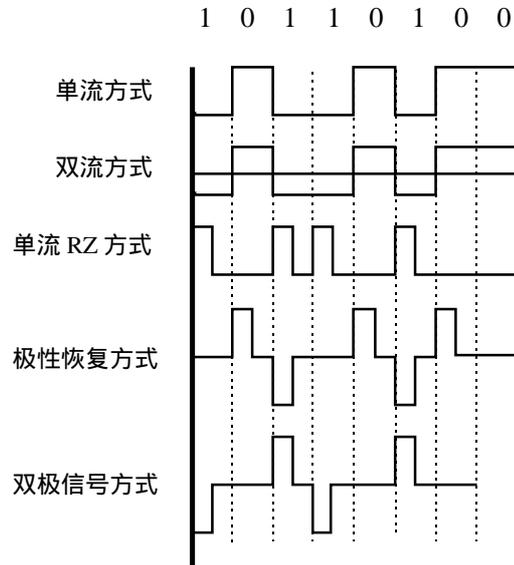


图 3.2.4 二进制编码的直流信号方式

在无线传输中，为了适应无线传输的特点，就必须将直流信号变换成交流信号，这就是数据的调制过程。数据传输有四种基本调制方式，即调幅方式、调频方式、调相方式和脉冲编码调制方式。为了抗干扰等原因，移动无线信道常用调频及调相两种方式。

- 调频方式 (FM—FSK)。

由于调频方式抗干扰和抗电平变动的能力强、稳定性好、电路简单，而且接收解调电路可以和话音解调器相兼容，所以在移动通信中得到广泛的应用。

当信道仅存在随机调频（白噪声调频）时，FM—FSK 方式的误码率可以表示为：

$$\langle P_e \rangle_{(FSK)} = \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{2} \frac{\Delta f_m}{f_n} \left(1 + \frac{\Delta f_m^2}{f_n^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \right] \quad (3.2.5)$$

式中， Δf_m 为调频系统的峰值频偏； f_n 为多普勒频移，等于 V/λ ； V 为车速； λ 为波长。当 $\Delta f_m \gg f_n$ 时，式 (3.2.5) 可简化成：

$$\langle P_e \rangle_{(FSK)} \approx \frac{1}{8} \left(\frac{f_n}{\Delta f_m} \right)^2 \quad (3.2.6)$$

- 调相方式

调相方式适合于更高速的数据传输。根据载波相位数的取值可分为二相、四

相和八相等。多相调制能提高单位时间内传输的比特信息量。在移动信道中，考虑到多径衰落，通常采用二相 PSK (BPSK) 方式。当信道内仅存在随机调频干扰时，BPSK 的误码率由下式给出：

$$\langle P_e \rangle_{(BPSK)} \approx \frac{1}{2} (\pi f_n \cdot T)^2 \quad (3.2.7)$$

式中， $\frac{1}{T}$ 为 BPSK 的数据速率。

多相制的优点是：能够传输较大的信息量，其缺点是，解调一方如果出现相位误检，就会出现较多的差错。为此，必须合理地分配各相位向量的编码，使其在发生误检时，作为相邻相位向量的编码所发生误比特数较少。如格雷码的编码方式，无论是双比特（四相）还是三比特（八相）的相邻向量的编码只允许改变一个比特，因此，即使发生误检，也仅仅发生一个比特的差错。

§ 3.2.2 误码原因

在移动环境中，除了设备静态性能之外，影响信道误码性能的主要原因有：
(1) 多径衰落和阴影效应使接收到的信号电平下降到接收机的前端噪声电平；
(2) 多径传播的各个分量波的延迟时间与传输信号的脉冲宽度相比不能忽略，因为它会引起波形失真；
(3) 天电干扰、宇宙干扰及城市人为噪声（主要是汽车火花噪声）的干扰；
(4) 电磁干扰等等。

在陆地上，移动体（如汽车）往来于建筑群或障碍物之中，其接收信号的强度，是由直射波和各反射波叠加而成的。这些电波虽然都是从一个天线辐射出来的，但由于传播的路径不同，到达接收点时的幅度和相位都不一样，而汽车又在行进途中。因此，汽车在不同位置时，其接收信号合成的强度是不同的。这将造成汽车在行进中接收信号的电平起伏不定，最大的可相差 30dB 以上。这种现象通常称为衰落，它严重地影响通信质量。在多径传播条件下，陆地移动无线设备所收到的射频信号，其包络随时间（或位置）的快速变化遵循瑞利分布律，故通常又称瑞利衰落或快衰落。这一数学模式与在市区、山区、丘陵及森林地带的实测统计结果基本吻合。在移动通信系统中，欲保证一定等级的通信质量，要求在进行系统设计时，必须具有抗衰落能力和储备。

在陆地移动通信中，所接收的信号场强会出现两种变化。第一种变化是多径衰落或称快衰落，性质上属于微观变化；第二种变化是随着车辆的运动，信号场强中值也在缓慢地起伏，它起因于建筑物和起伏地形的阴影效应，故称之为地形衰落或慢衰落，性质上属于宏观变化。宏观变化的速度与所发射信号的频率无关，而仅取决于移动体的速度，但衰落的深度则随发射的频率而变化，较高频率的信号比较低频率的信号容易穿透建筑物，而较低频率的信号，其绕射能力要比较高频率的信号强。大量的测试表明，地形衰落服从对数正态分布。还有一种随时间

变化的慢衰落，即由于大气折射状况的平缓变化，使得同一地点所收到的中值场强随时间而缓慢地变化。这种慢变化也被证明服从对数状态分布。

在衰落条件下，比特率和误码性能的关系由一些测试结果可知(见图 3.2.5)：在移动数字信号的传输中，存在一个临界比特率。若比特率低于某一临界值(约为 150b/s)，则 BER (比特误码率)急剧下降；若比特率高于某一临界值，则 BER 很高，并且接近于一个常数。应该指出的是，当用 DFM (直接调频) 收发信机直接传输数据时，为避免码间干扰，其脉冲周期必须长于去加重电路时间常数的 5 倍。典型的 DMF 去加重时间常数 $\tau = 750\mu s$ ，因而脉冲周期不应短于 3.75ms，或比特率不得大于 266b/s。若比特率大于 266b/s，则必须去掉加重和去加重电路。

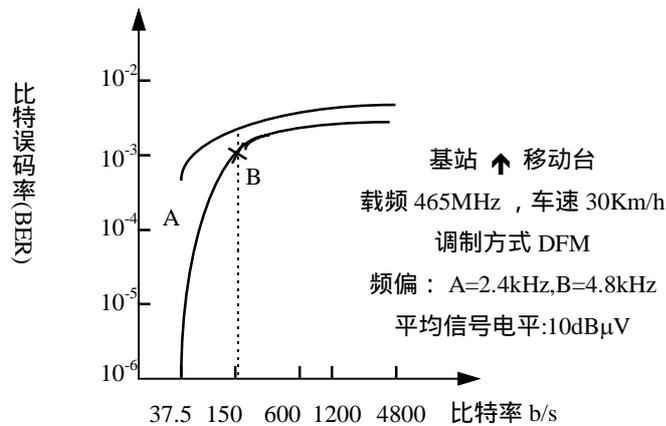


图 3.2.5 仅有衰落时，实测的误码率与比特率之间的关系

环境噪声分为自然噪声和人为噪声两种。自然噪声主要指大气噪声、宇宙噪声和太阳噪声。人为噪声主要指电器设备的噪声，如电力线的噪声、工业电器噪声、汽车或其他发动机的点火噪声等。这些噪声来源不同，频谱范围和强度也不同。在移动通信使用的频段内，由于自然噪声一般比接收机的固有噪声低得多，所以通常予以忽略，主要考虑的是人为噪声。人为噪声是由汽车点火系统、电机电器、电晕放电等电磁辐射造成的。随着汽车数量的日益增多，汽车点火噪声已成为城市噪声的主要来源。人为噪声多属冲击性噪声。大量的噪声混在一起，还可能形成连续性噪声，或连续性噪声中叠加有冲击性噪声。频谱分析表明，这种噪声的频谱较宽，而且噪声强度随频率的升高而下降。实际测试结果表明(见图 3.2.6)：在同一信号电平上，对于不同的比特率，汽车火花引起的误码率相差达 2~3 个数量级。现场测试指出，衰落和火花干扰引起的误码分布是不一样的。由衰落引起的误码是猝发误码，猝发误码长度等于衰落持续时间。而火花干扰产生的误码是离散的、独立的单个误码，其误码分布和随机误码分布是很相似的。但火花干扰引起的误码不是随机误码，它们随汽车发动机的点火动作而周期性地出现。

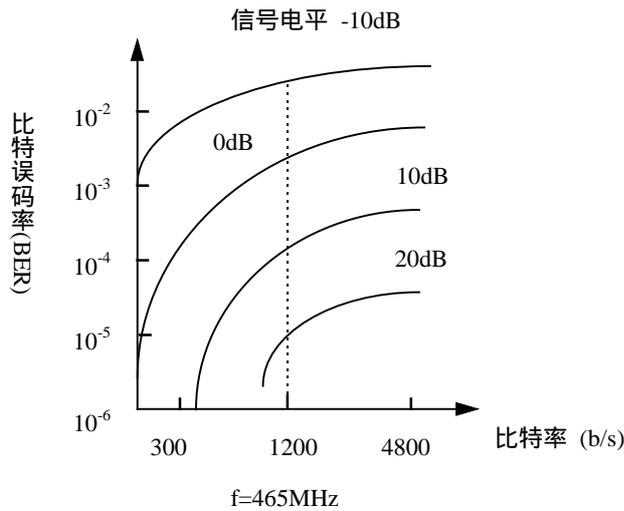


图 3.2.6 火花干扰引起的误码与比特率的关系

移动通信中的电磁干扰有同频道干扰、相邻频道干扰、发信机边带干扰、发信机杂散辐射及接收机杂散响应、接收机灵敏度抑制、互调干扰等等。其中，同频干扰、邻道干扰和互调干扰是最主要的干扰。互调干扰主要是由设备中器件的非线性引起的。如接收机的混频，当输入回路的选择性不好时，就会有不少干扰信号随有用信号一起进入混频级，最终形成对有用信号的干扰。因此，要求移动通信设备必须具有良好的选择性。邻道干扰是指相邻的或邻近的信道之间的干扰。由于信道间隔有限，有可能出现 $(K \pm 1)$ 信道接收的强信号干扰 K 信道弱信号的现象。一般说来，产生干扰的移动台距基站越近，路径传播衰耗越小，则邻道干扰也越严重。同频干扰是指相同载频电台之间的干扰。它是蜂窝式移动通信所特有的。

§ 3.2.3 差错控制

数字信号或信令在传输过程中，由于受到噪声或干扰的影响，信号码元波形变坏，传输到接收端后可能发生错误判决，即把‘0’误判为‘1’，或把‘1’误判为‘0’。有时由于受到突发的脉冲干扰，错码会成串出现。所以，在传送数字信号时，往往要进行各种编码。通常把在信息元序列中，加入监督码元的方法称为差错控制编码，也称为纠错编码。不同的编码方法有不同的检错或纠错能力，有的编码只能检错，不能纠错。一般说来，监督位码元所占比例越大，检(纠)错能力就越强。监督码元多少，通常用多余度来衡量。例如，若码元序列中，平均每两个信息码元就有一个监督码元，则这种编码的多余度为 $1/3$ 。换一种说法，这种编码的编码效率为 $2/3$ 。可见，纠错编码是以降低信息传输速率为代价，来提高传输可靠性的。

一般分组码用符号 (n, k) 表示。其中, k 是每组二进制信息码元的数目, n 是编码组的总位数, 又称为码组的长度(码长)。 $n - k = r$ 为每个码组中的监督码元数, 或称监督位数。通常分组码结构如图 3.2.7 所示。

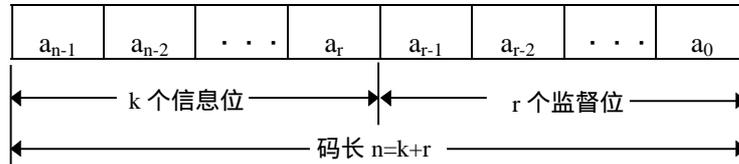


图 3.2.7 分组码 (n, k) 结构

分组码中, 把 ‘1’ 的数目称为码组的重量, 而把两个码组对应位上的数字 (‘0’, ‘1’) 不同的位数称为码组的距离, 简称码距或称为汉明距离。我们把某种编码中各个码组间距离的最小值称为最小码距。最小码距 d_0 的大小, 直接关系到这种编码的检错和纠错能力。一般情况下, 编码的检、纠错能力与最小码距 d_0 之间的关系为:

$$d_0 \geq e + t + 1, \quad e > 1 \quad (3.2.8)$$

能纠正 t 个错误, 同时检测 e 个错码。

在实际系统中, 差错控制编码有不同的应用方式。常用的三种差错控制方式是:

1) 检错重发 (ARQ)

在这种方式中, 由发送端向接收端发送具有检错能力的码。接收端在接收到的码组中如果检测出差错, 就通知发送端重发该码组, 直到正确接收为止。采用检错重发方式时, 通信系统需要具备双向信道。

2) 前向纠错 (FEC)

又称自动纠错方式。在这种方式中, 发送端发送的是具有一定纠错能力的纠错码。接收端对接收码组中不超过纠错能力范围的差错自动进行纠正。采用前向纠错方式的通信系统不需要反向信道, 但纠错设备复杂。

3) 混合纠错

这种方式是前向纠错和检错重发的结合。当差错不超过纠错能力范围时, 按前向纠错方式工作。而当差错较多超出纠错能力范围时, 则按检错重发方式工作。

下面介绍几种常用的检、纠错编码。

1) 奇偶校验码

奇偶校验码就是在信息码之后, 附加一个比特, 使信息码中 ‘1’ 码的个数为偶数 (或奇数)。检错时, 通过检验 ‘1’ 码的个数是否是偶数 (或奇数) 来

判断其正确性。增加的一个比特码位，就是监督位。在数据传输中可以采用奇数检验方式，也可以采用偶数检验方式。这种编码方式，无论信息位有多少，监督位只有一个，因此编码速率较高，但该方式只能发现一种错误，即只能检测出一个或奇数个错码，若出现两个或偶数个错码就无能为力了。

2) 重复核对

最容易想到的能纠正错误的方法，就是将信息重复发送几次，只要正确传输的次数多于传错的次数，就可用少数服从多数的原则排除差错。这就是简单的重复码原理。

3) XMODEM 校验和

Ward Christen 的 XMODEM 协议是指将信息报文中的所有字符的二进制值加在一起后除以 256，得到一个字节的余数，作为监督码元发送给接收机。统计结果表明，对于 128 字节长的 XMODEM 信息报文而言，XMODEM 的方法可检测出所有可能出错的 95% 左右，所以它的数据传输一般是成功的。

假设一个信息报文中的相邻两个字节在传输过程中位置颠倒，因为这些字符的二进制值之和是一样的，故这种错误不能被检测，可能引起奇怪的不可预测的后果。

4) 循环码 CRC

在线性分组码中，有一种重要的码称为循环冗余校验码 (CRC)。循环码是在严格的代数学理论上建立起来的，而且编码和解码设备都不太复杂，检纠错能力较强，所以这种码得到了越来越多的应用。循环码最主要的特性是循环性，即循环码中任一码组循环一位（将最右端的码元移至左端，或相反）以后，仍为该码中的一个码组。

在代数编码理论中，为了便于计算，把码组中各码元当作是一个多项式的系数，即把一长为 n 的码组表示为：

$$T(x) = a_{n-1}x^{n-1} + a_{n-2}x^{n-2} + \cdots + a_1x + a_0 \quad (3.2.9)$$

式中， x 仅是码元位置的标记。这种多项式有时称为码多项式。

在计算 CRC 的过程中，会用到模二运算。从表 3.2.2 中可以看出，对于模二运算： $A + B \equiv A - B \equiv A \oplus B$ 。

A	B	$A+B$	$A-B$	$A \oplus B$
0	0	0	0	0
0	1	1	1	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0

表 3.2.2 模二运算和异或运算

循环码 $T(x)$ 是这样编制的：

$$T(x) = x^r \cdot m(x) + r(x) \quad (3.2.10)$$

式中运算均为模二运算，

r ——监督码的位数；

$m(x)$ ——信息码多项式；

$g(x)$ ——生成多项式（除数多项式）；

$r(x)$ ——余式，即 $x^r \cdot m(x) / g(x)$ 的余式多项式。

循环码是利用除法器来检、纠错的。由于任一个码组多项式 $T(x)$ 都能被生成多项式 $g(x)$ 整除，所以在接收端可以将接收码组 $R(x)$ 用 $g(x)$ 去除。当传输中未发生错误时，接收码与发送码相同，即 $R(x)=T(x)$ 。故接收码组 $R(x)$ 必定能被 $g(x)$ 整除。若码组在传输中发生错误，则 $R(x) \neq T(x)$ ， $R(x)$ 被 $g(x)$ 除时，可能除不尽而有余项。因此可根据余项来判别码组中是否有错码。

CRC 计算和校验过程^[55]

1) CRC 预处理

在信息码多项式 $m(x)$ 的前面添加若干相同的二进制数字（全‘0’或‘1’）生成 $m'(x)$ 。添加位的个数等于生成多项式 $g(x)$ 的次数。这就为 CRC 除法引入了初始的中间余式多项式。

2) 二进制零填充

将若干二进制‘0’补添到 $m'(x)$ 的后面（相当于乘以多项式 x^r ）生成多项式 $m''(x)$ ，添补的二进制‘0’的个数等于 $g(x)$ 的次数。这就允许除式对原信息多项式的每一位作除法。

3) 模二运算

用 $m''(x)$ 除以一个选定的 CRC 生成多项式 $g(x)$ 。除法遵循模二运算的除法规则。

4) CRC 后续处理

得到的商不要，余式根据生成 CRC 过程的规则进一步处理。通常此值单独放着或逐位取反。

5) CRC 传输

计算出的 CRC 值立即附在原信息码 $m(x)$ 的后面发送。无论 CRC 是否超过八位，它都被当作一个单元，高位最先发送。所有的 CRC 位都要发送，即使高位为‘0’。

6) CRC 接收

接收机根据到达的数据计算 CRC。如果将到达的 CRC 信息码当作原信息的一部分进行处理，则接收过程省略了 CRC 的后续处理过程。以这种方式处理原信息位和 CRC 位，产生称为余式的值。因为接收机不进行 CRC 后续处理，所以最终的值只是余式而非 CRC。每种 CRC 的实现都要求成功的报文接收到一个特定的

余式。如果计算出的余式和所要求的不一致，则认为发送出错。

几种常用的 CRC 多项式，以及它们相应的预处理值、后续处理过程和特定接收的最终余式都列于表 3.2.3。

CRC 多项式	多项式名称	预处理值	后续处理	最终余式
$x^{16}+x^{15}+x^2+1$	CRC-16	0x0000	无	0x0000
$x^{16}+x^{12}+x^5+1$	CRC-CCITT SDLC/HDLC	0xFFFF	位取反	0xF0B8
$x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}$ $+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7$ $+x^5+x^4+x^2+x+1$	CRC-32	0xFFFF,FFFF	位取反	0xDEBB,20E3

表 3.2.3 常用的 CRC 值

因为 16 次除式的余式次数小于等于 15，所以用前面两种多项式（CRC-16，CRC-CCITT）产生的结果余式为 16 位。这能够检测出所有小于等于 16 位的错误，和其余大约为 99.995%的错误。

§ 3.3 GPSVMS 的移动通信协议

§ 3.3.1 网络协议层次模型

计算机网络是一个庞大的系统，其功能与结构都十分复杂。通常从三个方面来描述计算机网络：（1）计算机网络的逻辑结构，即从功能上描述计算机网络的逻辑结构，称为计算机网络的体系结构；（2）计算机网络的组织，即采用一定的方法实现计算机网络的逻辑功能；（3）计算机网络的配置，即从应用的角度确定网络的拓扑结构及应当配置的软硬件，以完成指定的任务，如数据采集、企业管理、军事指挥、生产控制、情报检索、办公自动化等。

在构造计算机网络时，最基础最关键的是确定计算机网络的体系结构，从逻辑功能上把计算机网络定义下来。由于计算机网络十分庞大，功能十分复杂，对于这样的系统，如果采用整体式的构造思想，用整体方式描述其逻辑功能，用整体方式实现这些功能，将会使其复杂性按指数规律上升，甚至无法实现。对于大型复杂系统，应当采用“分级构造思想”，这样将会使复杂性大大降低。分级构造思想具体到计算机网络体系结构上就是采用分层的方法来描述计算机网络的逻辑功能。

世界上第一个计算机网络体系结构 SNA 是由 IBM 公司于 1974 年提出的。几年内网络产品取得了长足的发展，如 DEC 公司的 DNA、HONEYWELL 公司的 DSA、富士通公司的 FNA 等等。这些产品尽管都采用了分层技术，但由于它

们的体系结构把软硬件都包括在内，且各厂家分层不同，对等层通讯协议的规定也不同，因而网络产品的互连难度极大。

在这样的背景下，国际标准化组织（ISO）1977 年开始研究网络的标准化问题，并于 1978 年提出了 OSI 七层参考模型。OSI（Open System Interconnection）是“开放系统互联”的缩写。所谓“开放”，就是指按照 OSI 标准建立的系统，无论是哪一个公司的产品，也不论位于哪个地方，都是相互开放的，可以相互通讯。

从理论上说，两个系统无论多大，只要遵守下列三点，就具有了构成开放系统互联的结构。

- 两个系统完成同样的功能集合。
- 两个系统的通讯功能集合被划分成相同的层次，对等层提供了相同的功能子集，而实现这些功能子集的方法可以互不相同。
- 对等层必须采用相同的体系结构。

用这样的体系结构模型作为标准化的基础是合理的。它只是从功能全集、功能子集和体系协议上作了要求，而对端点、结点是何种计算机及它们为实现功能所采用的方法不作限制，因而很快被许多国家和公司所接受。

OSI 的七层参考模型见图 3.3.1。该模型自上而下分为七层，分别是：应用层（Application Layer）、表示层（Presentation Layer）、会话层（Session Layer）、传输层（Transport Layer）、网络层（Network Layer）、数据链路层（Data Link Layer）和物理层（Physical Layer）。层与层之间通过接口相联系，其中大部分为软件接口，低层有硬件接口或软硬件相结合的接口。在对等层间建立该层的通讯协议，双方必须共同遵守。图中虚线表示了数据流的流动路线，在层间流动是一个打包和拆包的过程，这一打一拆就是在实现通讯功能，实现通讯过程。

值得一提的是，网络产品符合 OSI 参考模型并不能保证开放系统互联。因为

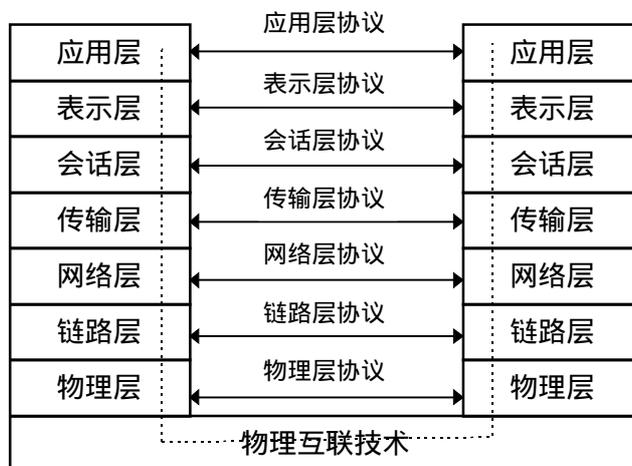


图 3.3.1 OSI 参考层次模型

OSI 七层参考模型只是描述了一些概念，提出了异种机互联的框架结构。它本身并不是一种协议标准，仅是用来协调进程间通讯标准的制度。在 OSI 范围内，只有各种制度才是可实现的，因而各种网络产品只有和 OSI 协议相一致方能互联。近年来，OSI 七层参考模型及有关协议标准都在不断地深入研究、扩展和完善之中。

在本系统中，采用主从式的网络结构，一个基站主机（BS）和若干移动站（MS）组成系统无线网络。从分层处理的角度出发，可以实现物理层、数据链路层、网络层和高级应用层四层（如图 3.3.2 所示），然后把数据送到监控平台去进一步处理。

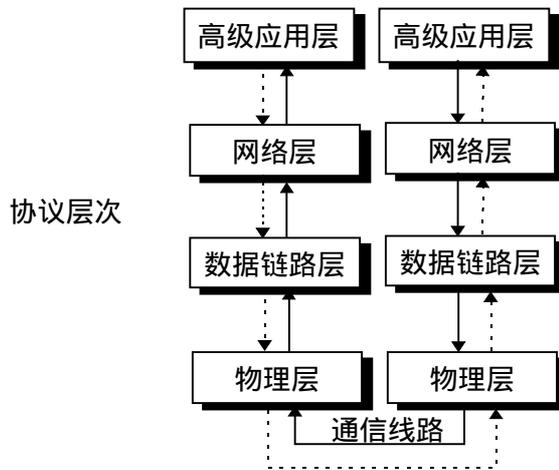


图 3.3.2 GPSVMS 中的层次模型

§ 3.3.2 物理层

物理层是通信网中监控中心站和各车载台之间的物理接口，为数据通信提供了传输媒体及互连设备，具体包括：中心站和车载台的无线通信设备，各自的无线数传控制卡和无线信道。物理层协议规定了系统的机械特性、电气特性、功能特性和过程特性等。

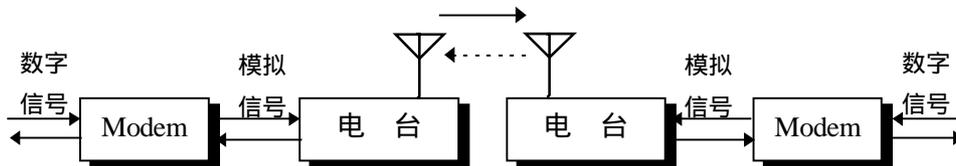


图 3.3.3 基站和车载台的联系通道

对于半双工电台来说，本系统用到的接口一般有信号输出、信号输入、PTT（Push To Talk）和地等。其中 PTT 是控制电台发射和接收状态的。当 PTT 与地之间是高阻时，电台为发射状态；当 PTT 与地之间是低阻时，则电台为接收状

态。因为电台的型号不同,信号输出和信号输入的阻抗和电平幅度必须具体调整。

无论信号输入端口还是信号输出端口都是采用音频信号为接口,而且在 GPSVMS 系统中都是与调制解调器相连。调制解调器的功能就是把数字信号和音频信号相互转化。对于常用的 FSK 调制方式来说,是采用不同频率的正弦波表示数字信号中的‘0’和‘1’的。如调制解调芯片 FX469 在 1200 波特率下是用 1200/1800Hz 的正弦波表示‘1/0’,而在 2400 波特率下是用 1200/2400Hz 的正弦波表示‘1/0’。

§ 3.3.3 数据链路层

数据链路层 (DLL) 保证物理链路的可靠,提供建立和释放链路的方法,将被传送的数据按帧格式化,并进行差错控制和介质访问控制。为了达到高速可靠的传输目的,我们设计了同步通讯协议。就协议类型来说,是在国际标准化协议 HDLC (High Level Data Link Control, 高级数据链路控制规程) 上变化而成的。

1974 年,美国 IBM 公司将它的面向比特的传输控制规程 (SDLC) 用于计算机网络体系 SNA。1975 年国际标准化组织 (ISO) 采纳了这一规程并作了部分修改,以国际化的名义公布,改名为 HDLC。HDLC 是面向位的协议,支持同步通信方式,具有循环冗余校验 (CRC),适用于点到点、多点式和环形网,采用连续发送方式,并且可以在半双工或全双工方式工作。我们在数据链路层借鉴了 HDLC 的帧结构,但做了相应的修改。

我们设计的协议与 HDLC 一样,也是以帧作为基本的传送信息的单位,格式如下图所示:

帧中各段结构含义如下:

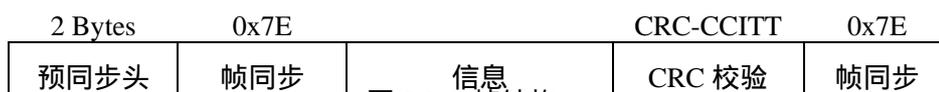


图 3.3.4 帧结构

1) 帧同步头

因为我们采用的是同步协议,所以在串行链路上传输同步数据时,必须要使接收端在接收数据时时钟与发送端是同步的(即“同拍”)。在调制解调器中,这是通过检测载波、锁相实现的。因此,在传送正式数据之前,要加入帧同步头以促使解调方尽快地从帧同步头中获得时钟信号。一般说来,帧同步头采用如‘10101...01’模式的‘1’、‘0’不断交替变化的一串位码,所以一般用字节‘0x55’或‘0xAA’。这是因为在‘1’、‘0’不断交替的过程中获得时钟信号的可能性最大。仍以 FX469 为例,在输入电平匹配、信噪比为 12dB 的情况下,载波被正常检测到的概率在 8 Bits 的帧同步头下为 98%,在 16 Bits 的帧同步头下为 99.5%。因此,我们推荐使用两个字节(16 Bits)或更多字节的帧同步头。

2) 帧同步

帧同步是在串行同步位串中表明一帧的开始和结束的标志。帧同步由 8 位二进制序列 0111,1110b 组成 (即 0x7E), 也就是说, 检测到连续的六个 (只能是六个) ‘1’ 就表示是同步标志了。一个同步标志表示位串的开始, 下一个同步标志表示该位串的结束。为了避免在位串中的正常数据中也出现连续六个 ‘1’ 的情况, 对两个同步字串 ‘0x7E’ 中间的位串 (包括任何数据, 含 CRC 校验码) 采用了发送端 “零位插入” 和接收端 “零位删除” 技术。“零位插入” 就是在发送端, 通信控制器或程序对发送的每一组信息进行检查, 发现有连续 5 个 ‘1’ 的数据流出现时 (不论其最后一位是 ‘1’ 还是 ‘0’), 在 5 个 ‘1’ 之后插入一个 ‘0’; 在接收端, 通信控制器或程序检查输入位流, 若发现有连续的 5 个 ‘1’ 之后是一个 ‘0’, 则把这个 ‘0’ 抹去, 即 “零位删除”。通过 “零位插入” 和 “零位删除” 的处理, 就可以使发送端比特流的数据不受任何限制, 故称此种传输为透明传输。特别的是, 若从接收端位串中检测到连续 7 个 ‘1’, 即 0x7F, 则表示这串信息出错。因此, ‘0x7F’ 也叫做 “无效标志”。

3) 信息

信息字段是这一帧要传送的实际内容, 其中包含了这帧的类型和含义。帧的长度随类型不同而不同, 含义的解释也因帧类型而异。我们所要传输的数据就以某种编码格式包含在其中。

信息按帧的功用分为如下几类 (从中心基站发向车载台方向的称为下行信道, 反之称为上行信道) :

- 同步帧 (下行) —— 发送同步码元, 提供系统同步基准时间; 同时可附含 GPS 接收卡初始化信息。 (Synchronizer, S)
- 命令帧 (下行) —— 中心站的控制信令。 (Commander, C)
- 数据帧 (上行) —— 车载台的位置信息。 (Data, D)
- 报警帧 (上行) —— 车载台的报警信息。 (Alarm, A)
- 查询帧 (上行) —— 用作系统功能扩展使用。 (Query, Q)

4) CRC 校验

CRC 校验是为了检查信息字段是否传送正确而设置的, 它是信息数据段的函数。我们采用了 CCITT 推荐的 16 位循环冗余校验码 (CRC - CCITT), 其生成多项式为:

$$g(x)=X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$$

§ 3.3.4 网络层

这层的功能是通过网络传送报文分组并负责路径和拥塞控制。报文分组可以是独立的数据包, 或是预先建立的一条虚电路。为此我们设计采用了同步时基协

议。

§ 3.3.4.1 时分多址 (TDMA)

为充分利用信道资源,并保证信道畅通,将系统所用的单信道也即物理信道在时基统一的基础上划分为多个在时间域上正交的逻辑信道。如图 3.3.5 所示:



图 3.3.5 逻辑信道的划分

每个逻辑信道称为一个时间片或时隙 (Time Slot)。每一片的长度可以一样,也可以不一样。N 个时间片组成一个时间行,每个时间片携带其各自的信息。在时间片的开始把发送端的 PTT 打开,在结束处把 PTT 关闭。在各个时间片包含的信息中,有的是从中心站发往移动单元的控制命令,有的是从移动单元发往中心站的数据信息。时间帧和时间行的宽度直接影响系统的巡检周期和报警反应能力。

时间帧的长度和三方面因素有关:数据包(有用信息和编码信息等冗余信息)的大小、波特率、时延时间。下面我们来分析一下定位数据帧的长度。我们的实验结果表明,在一个城市大小的范围之内,定位信息、车辆状态信息和标识信息加起来经过压缩之后,可以压缩到 9 Bytes 以下,加上 2 Bytes CRC 校验码,不超过 11 Bytes。由于采用了“零位插入”技术,则在极端情况下位流长度增加 1/5,即最多增加到 105 bits。再加上首尾两个同步标志和开始的预同步头,一共有 137 bits。如果我们以 1200 的波特率传输,则信息字段所用时间为 $137/1200=115\text{ms}$ 。而在物理层中,电台的延时时间也有一百多毫秒,由此可见,时间片的长度基本上是由电台的时延和信息包的长度平分决定的。在实验中,根据具体电台做了细致的时延调整,这样我们在 220 毫秒的一个时间片中可以传送 9 Bytes 的有效信息。

§ 3.3.4.2 时间片的功能划分及使用

物理信道划分为逻辑信道后,按功能分别装载几类信息帧:同步帧、命令帧、报警帧、数据帧和查询帧。其中同步帧和命令帧是中心基站发往移动单元的,报警帧和数据帧是移动单元发往中心站的。这几种类型的时间片的功能具体描述如下:

同步帧 (Synchronize Frame): 由中心基站发往移动单元的时基控制信令,简称为 S 帧。各个移动单元根据收到的同步帧来校准自己的内部时钟,从而使整

个系统保持一致的同步状态。同步帧是每隔一段时间发一次，一般说来，是在每个时间行的第一个时间片发送。同时，同步帧中含有在这一个时间行内需要回应的移动单元的标识号，各个移动单元可以根据这些标识号来决定自己是否有权在这一时间行内发送数据和应该在这一行的哪一个时间片来发送数据。这样就可以灵活控制某个移动单元信息的回送周期，这在需要对某些移动单元加强监控的场合有很大的作用，我们把这个功能成为弹性编码。同步帧是整个系统最重要的时间片，若某个移动单元丢失了一个同步帧，则在对应的的时间行内只能处于失步状态，在搜索到下一个同步帧之前是无法加入到通讯网络中来的。

命令帧 (Command Frame)：由中心基站发往某个或某几个或全部移动单元的控制信令，简称为 C 帧。在命令帧中可以对移动单元发出操作命令，如控制移动单元中设备中某个输出口的状态，以达到控制移动单元运行状态的目的。命令报警的移动单元停止报警、遥控车辆熄火点火等动作就可以由这个功能实现。另外，中心站可能需要单独向某个移动单元询问，询问信息也可以在命令片中发出。

报警帧 (Alarm Frame)：移动单元向中心基站发出的报警信息，简称 A 帧。当某个移动单元发生报警时，可以抢占最近一个报警片发出报警信息，而不须等到巡检到自己的时候再发出，这样可以大大加快报警的速度。因而，在时间域上，应该每隔一段时间就有一个报警片。这样，单个移动单元的报警反应时间就是两个报警片的间隔时间，通常能控制在几秒之内。

数据帧 (Data Frame)：移动单元向中心站发出的定位信息，简称 D 帧。每个数据帧都在同步帧中被标识为某个移动单元私有，其它移动单元是不能占用的。移动单元的定位信息在数据片中发到中心站，若为报警状态，则一并发出报警信息，以达到不丢失报警的目的。

一个典型的时间行中各时间片的安排如下图所示：

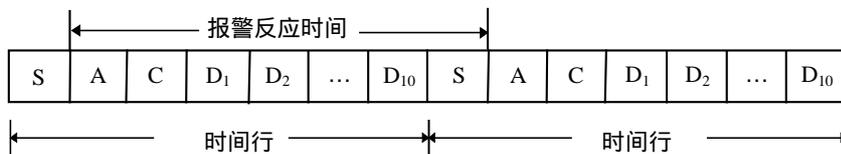


图 3.3.6 逻辑信道的划分

由于整个系统要严格同步，每个移动单元才能找准自己的时间片，保证各个时间片的正交性，否则很有可能干扰其他移动单元的正常工作的。而各个移动单元的时钟在一次校准后，过一段时间就会有偏差。因此，必须每隔一段时间中心站就必须发出一个同步帧来校准整个系统的时钟。

从可靠性出发，我们要求各移动单元的时钟能稳定在几毫秒之内。考虑到定时用的晶振的频率稳定性为 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 和程序运行带来的微小误差，因此，一般

应该在数秒左右就应该发出一个同步帧。经过大量的实验,从数据结果来看,同步帧的间隔在十秒以内都能达到很稳定的效果。一般说来,在如图 3.3.6 所示的典型信道分布中,一个时间行可容纳十个数据片、一个报警片、一个命令片、一个同步片,共十三个时间片。为方便计,除同步片外,其他各片的长度可以一致(假设为 220 毫秒),于是整个时间行的长度可以控制在 2.9~3 秒左右,完全符合同步的要求。这也是单个单元报警的响应时间。

另一方面,由于报警帧是公用信道,若只有一个移动单元发生报警,那么正常情况下报警信息最长可以在一个时间行内被中心站收到(平均报警时间是这个时间的二分之一)。若同时多个移动单元报警,则必须要有一个争夺报警片的策略问题。一个简单易行的策略如下(包括“时间优先”、“点到为止”、“不漏发报警”三个原则):在同步片中标识某个报警片是否被占用,不抢夺已被占用的报警片,以免干扰正在报警的单元(时间优先);中心站一收到报警后就发命令关闭报警单元的报警或让它停止占用报警片,以空出报警时间片给其他单元,因为中心站收到一个报警就已经足够了(点到为止);若一有自己的巡检时间片(数据片),就在其中发出报警(不漏发报警)。

其实考虑一下冲突问题,就可以发现,只有当在两辆或两辆车以上的报警是在某次相邻两个报警片之间发生的情况下才可能造成报警被阻塞。而此时的报警信息可能要在巡检中获得(实际上出现这种情况的机会是很小的)。否则,先产生报警的车辆可以抢占紧接着来到的报警片,其可靠的报警信息可被中心站收到,根据“点到为止”的原则,它将放弃继续占用报警片。此时第二个移动单元的报警信息就可以正常发出了。正常处理速度下,第二个报警单元的报警信息可以不被延误或最多被延误一个时间行。

为了进一步降低报警被延误(阻塞)的情况,一个有效的方法是在一个时间行内多包含几个报警片。以两个报警片为例,则可以把报警片分成 0 号和 1 号报警片,移动单元分成奇偶两个部分。奇号单元只有在 1 号报警片被占用的情况下才抢占 0 号报警片;偶号单元只有在 0 号报警片被占用的情况下才抢占 1 号报警片。这样若有两个移动单元同时报警,只要是分属在奇偶号两类中就不会产生冲突。两个单元报警冲突的概率减少了一半。

若多个移动单元同时报警,根据“不漏发报警”的原则。每个单元的报警信息或早或迟都会在报警片或数据片中被发送的。根据“点到为止”的原则,只要有一个单元的报警被收到,它就将退出报警片的占用。这样余下的报警单元的报警机会就会越来越多,直至全部收到。

§ 3.3.5 高级应用层

高级应用层综合了 OSI 七层模型的会话层、表示层和应用层的功能,负责

各帧数据的发送、接收。这一层中还定义了中心站和车载台具体的通信内容、含义以及工作模式。

作为第四层，高级应用层和第三层网络层之间的接口规定了帧内信息段内容的装载与接收。接收的处理较为简单。第三层按规定格式接收了完整的一帧数据后，经数据格式转换，放入中介缓冲区，置上标志位。第四层检测标志位，发现标志位置位（接收到新数据）后就取走数据，再按一定格式解释。数据的更新或装载较为复杂，不仅要考虑定位信息或报警信息的实时更新问题，而且在缓冲区的存取上也可能发生冲突。为此，我们设计采用了双缓冲技术，用双缓冲结构很好地解决了这个问题。

中心站可发送同步帧、命令帧和查询帧三种信令。同步帧带有特殊码元标志，通知系统内所有工作着的车载台标识一个时间行的开始。同时，同步帧还可以附含实际时间信息。这个时间信息来自于中心站的监控平台，精确至秒。车载台接收到后，如果自身的 GPS 接收卡尚未进入导航状态，则传给 GPS 接收卡，供其内部初始化以尽快进入导航状态。

此外，高级应用层还要负责合理组织各个模块的调度使用，协调整个系统的有序工作。

§ 3.3.6 通讯协议设计小结

上述关于无线通讯协议的设计是通过大量实验验证的。在实验室测试时，采用的是两个 150MHz 波段的 Kenwood 电台、调制解调器芯片 FX469、80C32 单片机做处理器，在大量数据传送的连续测试下数据出错率小于 1×10^{-4} 。在城市现场环境中，引入了差转等其它一些影响传送的环节后，出错率在 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ 左右。由以上设计可以看出，这个同步时基协议充分利用了时间域的各个环节，基本上达到了最大限度的利用，解决了单信道的多单元工作的使用问题。按照典型设计的例子，每百个移动单元的巡检时间仅为 30 秒左右，比现有的一般车辆监控系统的相应性能高出一个数量级。而且在不另外占用频点的情况下，单个单元的报警亦可在 3 秒内被收到，在现有同类车辆监控系统中也是非常好的。

第四章 GPSVMS 无线移动通信网的具体实现

GPSVMS 系统的研制和开发可分为三部分：(1)无线移动通信链路的建立，即通信协议和调制解调数传卡的设计和实现。(2)电子地图的自动生成系统。(3)系统监控管理平台的软件设计和实现。由系统的组成特点（一个基站 BS 和若干移动站 MS）可知，调制解调数传卡是 GPSVMS 系统的“神经枢纽”，在数传卡上要实现系统的时分多址通讯、信息的调制和解调、数据暂存、电平转换、状态参数设置等功能，此卡的工作可靠与否直接关系到系统性能的好坏。

§ 4.1 硬件设计和实现

调制解调数传卡的基本任务就是将数字信号调制成音频信号（模拟信号），然后通过电台二次调制（调制到规定的载频上）和功率放大后发射出去；同时还能够把从电台接收到的音频信号解调成数字信号以备 MPU 进一步处理。无论是移动台还是基站，其数传卡的调制解调部分都是一样的，两者之间的差异仅仅在于：(1)MS 中集成有 GPS 接收模块。GPS 接收板作为一位置、速度传感器而提供准确的实时位置信息；(2)BS 中的数传卡必须和基站监控平台通信，把接收到的各个 MS 的位置信息及时传递给监控平台，并能接收监控平台的监控指令而“遥控”各个 MS。

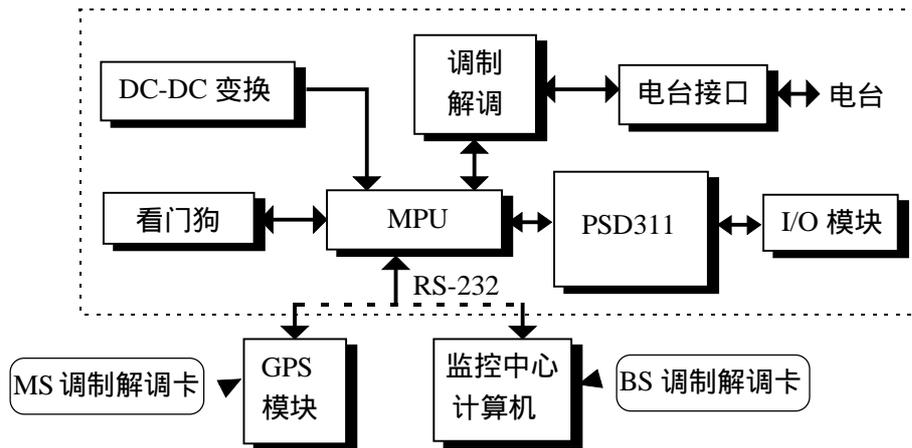


图 4.1.1 硬件原理组成示意图

我们知道，单片机体积小、集成度高、功能全且易于扩展。这些特点非常适合 GPSVMS 的应用需要，因此，本卡就采用单片机作为控制 MPU，由其协调各模块之间的工作。数传卡的硬件组成原理图如图 4.1.1 所示，主要包含有电源模块、GPS 信息接收模块、调制解调模块、“看门狗”模块、外围扩展模块等。由

于 MS 的电源来自车辆自身的蓄电池，这种电池储存的能量有限，对功耗要求较严，因此，本系统采用低功耗设计技术，全部采用低功耗的 CMOS 器件。

§ 4.1.1 电源模块

随着集成电路工艺的发展，单片式开关电源控制集成块日趋成熟，片上集成了压控振荡器、大功率 MOS 管等多种电路成分，从而使典型的脉冲调宽型 (PWM) 开关电源的设计大大简化。在本系统的调制解调数传卡中，采用了 MAXIM 公司的 MAX738A。它为 5V 输出、CMOS、降压开关稳压器，允许输入电压 6V ~ 16V，输送 750mA 电流。典型的效率为 85% ~ 96%，静态电流为 1.7mA，而停工 (Shutdown) 时仅为 6μA。

MAX738A 开关型稳压器使用一个电流型脉冲宽度调制 (PWM) 控制系统结合一个简单的降压稳压器。电流型 PWM 结构提供逐个周期电流限制、改善的负载瞬变响应特性和更简单的外部回路设计。控制器有两个反馈回路组成：一个内部 (电流) 回路，经过电流检测电阻和放大器监视开关电流；另一个外部 (电压) 回路，通过误差放大器监视输出电压 (图 4.1.2)。内部回路完成逐个周期电流限制，当开关电流达到预定的门限时，准时切断功率晶体管，这个门限值由外部回路来决定。例如，输出电压下降，产生一个误差信号使门限上升，允许电

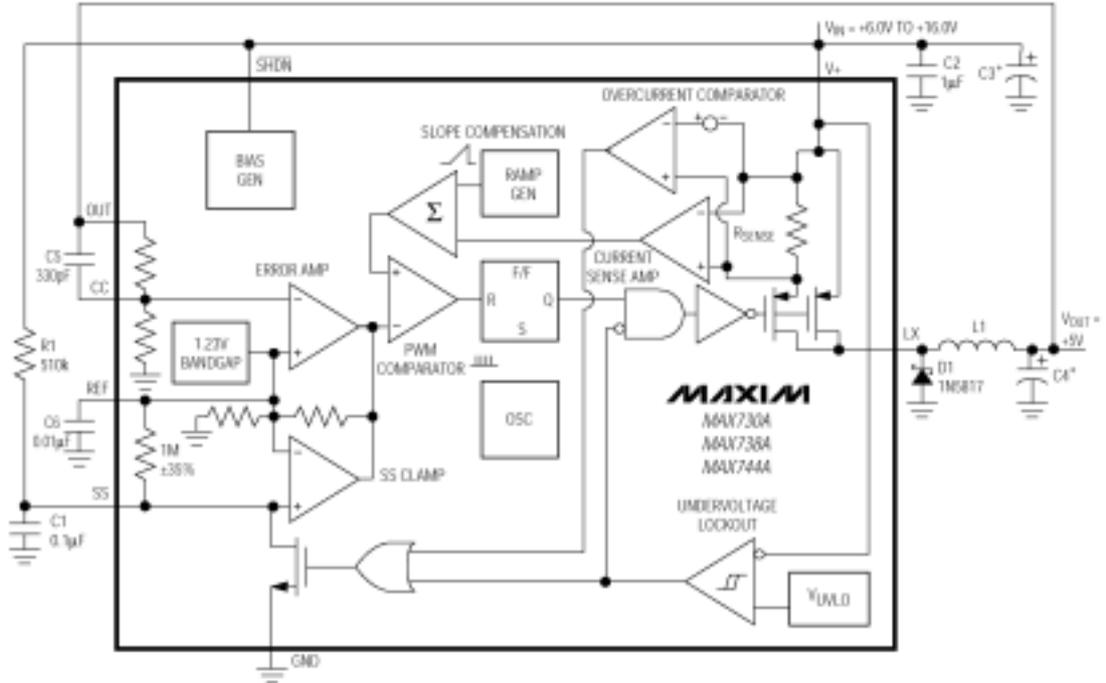


图 4.1.2 带外部元件的详细方框图

路在每一个周期期间存储和传递更多的能量。

脉冲宽度调制电流型控制提供精确的稳定输出和优良的瞬变响应。在线路、

负载、温度变化范围内输出电压精度保证为 $\pm 5\%$ ，固定频率开关使得能够容易地滤去输出脉动和噪声，以及芯片只需使用小型外部元件。在实际应用中，仅需要单个电感值 ($33\mu\text{H} \sim 100\mu\text{H}$ ，直流电阻应小于 0.8Ω) 就可工作，不需设计电感器。

MAX738A 内部振荡器典型地工作在 160KHz 。如果在输出端附加一个简单的低通 π 滤波器 (图 4.1.3 所示)，则可把输出脉动降低到大约 $5\text{mV}_{\text{p-p}}$ ，图中示出的截止频率为 21KHz 。因为滤波电感同电路输出串联，所以它的电阻应该减到最小，使它的电压降不会过大。

OPTIONAL LOWPASS OUTPUT FILTER

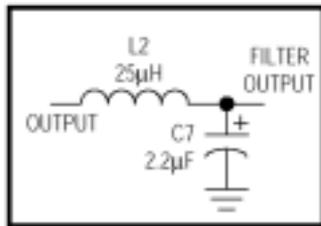


图 4.1.3 低通滤波器

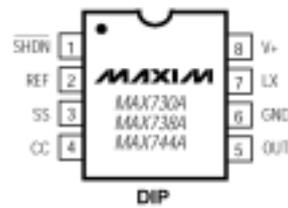


图 4.1.4 管脚图

MAX738A 的芯片引脚排列以及部分工作特性曲线如图 4.1.4 ~ 4.1.6 所示 ($V_+ = 12\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 0\text{mA}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$)。其典型工作电路亦可参见图 4.1.2。

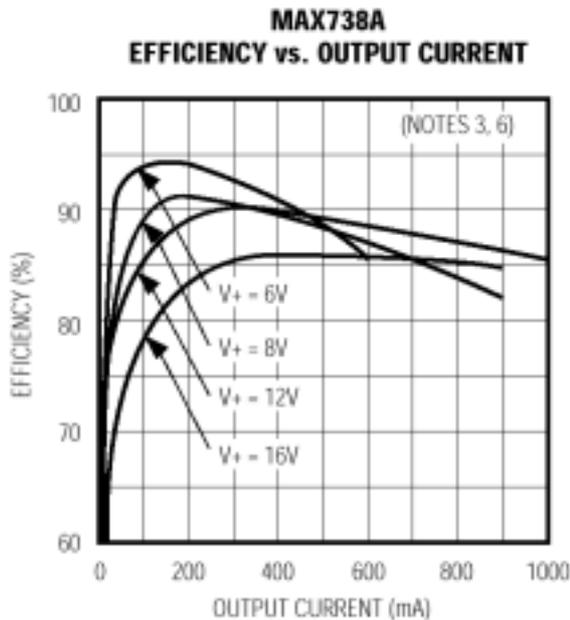


图 4.1.5 效率与输出电流的关系

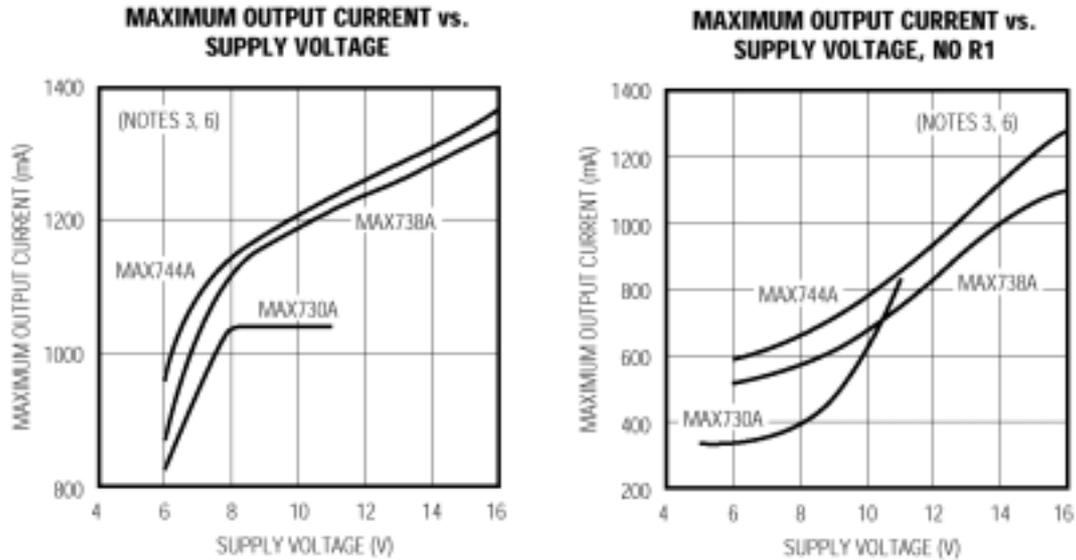


图 4.1.6 最大输出电流与输入电源电压的关系（有 R1、无 R1）

§ 4.1.2 GPS 信息接收模块

在卫星信号处理硬件上，采用了美国 Rockwell 公司的 OEM 产品：NavCore V 以及 Microtracker。美国 Rockwell 公司作为 GPS 系统的总承包商，它的空间运输系统部（STS）负责了 GPS 卫星的研制、发射。因此，在 GPS 卫星信号的接收和处理上，Rockwell 公司一直处于世界领先的地位。NavCore V 及 Microtracker 也一直作为美国军方的 GPS 产品 OEM 源，在海湾战争中美方装备多国部队的 GPS 产品中大量采用了该公司的产品。特别是 Microtracker 板，由于采用八层 PCB 板、砷化镓工艺以及超大规模数字信号处理集成电路技术，使供电要求变为单一 +5V，功耗降至 1.5 瓦，加上输出信号波形的多样化（粗略的初步定位结果到伪随机码相位、伪距、伪距变化率、载波相位和卫星星历），使得后续开发灵活，同时，利用伪距及伪距变化率的测量结果，配合卫星星历数据，可以进行差分主站的开发。

NavCore V 及 Microtracker OEM 板的主要性能指标如下：

- 1) 并行五通道，L1 波段 ($f = 1575.42\text{MHz}$)，C/A 码接收，可同时跟踪全部可见卫星。
- 2) 自动卫星选择，不需初始预置时间和位置信息。
- 3) 数据更新率为 1 次/秒，实时提供经度、纬度、高度、速度和标准时间等信息。
- 4) 使用范围为全天候、全球表面，高度 -300 ~ +1200 米，速度小于 1000m/s。
- 5) 定位精度：水平位置小于 26 米（SA OFF），差分定位 5 ~ 8 米，测速精度为 0.1 米/秒，时间精度为 $1\mu\text{s}$ 。

GPS OEM 板提供了两个接口：GPS 天线的射频输入接口和 26 针插脚的串行数据、I/O、电源接口。其 26 针的管脚说明如下表 4.1.1 所示：

管脚号	名称	描述
1,3,6,8,16,18, 20,22,24	GND	地
2,4,5,10,11,1 2,13,25	RESERVED	保留管脚
7	TMARK	定时脉冲，宽度 20 μ s，上升沿有效
9	PWR UP/DN	电源控制逻辑输入
14	BAUD RATE	波特率选择
15	VDD	电源，“KEEP ALIVE”，+5V
17	SD IN	串行数据输入
19	SD OUT	串行数据输出
21	VCC	电源脚，“PRIME”，+5V
23	PREAMP	天线电源，12V@100mA
26	P5V	+5V,RF 电源

表 4.1.1

对于电源控制逻辑输入管脚 Pin9，有其自身的时序要求。开机时，必须在 V_{CC} 、 V_{DD} 达到稳定值+5V 过后 15ms 才能有无效状态‘0’激活为有效状态‘1’，完成对 OEM 板的初始化。而在关机时，该管脚必须在 V_{CC} 掉电前 60ms 切换到无效状态‘0’，以便提供足够长的时间将正在处理的数据有 SRAM 转存到 EEPROM 中。

电源 V_{DD} 是 OEM 板的“Keep-alive”输入脚。当主电源（Pin21）切断后，此电源维持存储在 SRAM 中的星历数据和 GPS 时钟的继续走时。在正常工作时，此电源也必须保证有效。

Pin14 为波特率选择管脚。当上拉至高电平时，接收和发送波特率相同，都是 9600Baud；当下拉至低电平时，接收为 19,200Baud，发送为 76,800Baud。在实际应用中，我们选择了 9600Baud，将 SD IN（Pin17）、SD OUT（Pin19）直接和 80C32 的 TXD/P3.1、RXD/P3.0 相连，就能实现单片机和 GPS OEM 板的通讯。其串行数据的格式为：1 位起始位，8 位数据位（低位在前），1 位偶校验

位，1 位停止位。

最后介绍一下 OEM 板的电源要求和功耗参数，如下表所示：

		电压(V)	容差(V)	纹波 (mV_{p-p})	最大功率 (mW)	典型功率 (mW)
VCC(Pin21)		+5.0	± 0.25	50	385	276
P5V(Pin26)		+5.0	± 0.25	50	810	574
VDD (Pin15)	工作模式	+5.0	± 0.25	50	465	316
	待机模式	+5.0	+0.25/-0.5	50	2.8	2.5

表 4.1.2 电源和功率参数

§ 4.1.3 调制解调模块

调制解调模块主要包括调制解调芯片和与电台信号电平相匹配的模块，是实现无线移动数字传输的关键模块，因为调制解调效果的好坏直接关系到信号误码率的高低以及系统的通讯可靠性。

设计调制解调时，必然涉及到调制后信号发射（解调前的信号接收）采用的电台的性能。本系统中，没有采用专用的数传电台，仅仅是一般的普通通话电台。在实验室测试时，采用过日本建伍（KENWOOD）电台；而应用于厦门公安局的 GPSVMS 系统采用的是美国 MOTOROLA 的 GM300 车载电台（型号：AZM33GMC20C8AA）。

GM300 电台采用合成宽带调制，具有多种编码抑制能力和现场可编程能力

Model Sense	AZM33GMC		
Frequency Range	330—370MHz		
RF Output	25W		
Channel Capacity	16		
Frequency Separation	14MHz	12MHz	14MHz
Primary Input Voltage	13.8V \pm 10%		
Typical Current Drain	1.5A		
Rated Audio(7.5W)			
Transmit	10A		
Standby	550mA		
Squelch Capability	Tone Coded, Digital Coded and /or Carrier Squelch		
Dimension	50.8*178*198 mm		
Weight	1.7Kg		

表 4.1.3 基本描述

(频率、功率、工作方式等), 用 PTT 超时定时器来控制电台的关闭, 其小型的 UHF 天线接口安装非常方便。其基本性能参数如下表所示:

Channel Spacing	20/25kHz
Sensitivity EIA:12dB SINAD	0.35 μ V
Squelch	10 dB SINAD
Selectivity EIA	-65 dB
Intermodulation EIA	-65 dB
Frequency Stability (-30 — +60)	\pm .00025%
Spur Rejection EIA	-70 dB
Image Rejection EIA	-70 dB
Audio Output External Speaker(8 Ω)	7.5 W
EIA Usable Bandwidth	\pm 2.0 KHz
Input Impedance	50 Ω

表 4.1.4 接收机性能

Frequency Stability (-30 — +60)	\pm .00025%
Spurs/Harmonics	-31dBm
Audio Response:(From a 6 dB/Oct.Pre-Emphasis 300-3000Hz,2550Hz@12.5KHz)	+1/-3 dB
Audio Distortion: (@1000Hz,60% of Rated Max.Deviation)	<3% EIA
FCC Modulation @20/25/30 kHz	16KOF1D,16KOF2D,16KOF3E
Output Impedance	50 ohms
Modulation Sensitivity	80 mV for 60% max. deviation at 1000Hz
Channel Spacing	20/25kHz
FM Noise EIA	40 dB

表 4.1.5 发射机性能

调制解调芯片采用英国 CML 公司的 Fx469。它是一种单片式的双工 FFSK

(快速频移键控)调制解调芯片,内含 A/D、D/A 转换电路,可实现调制、解调、滤波等功能,具有 1200,2400,4800 三种波特率可选。其芯片管脚(如图 4.1.7)说明如下:

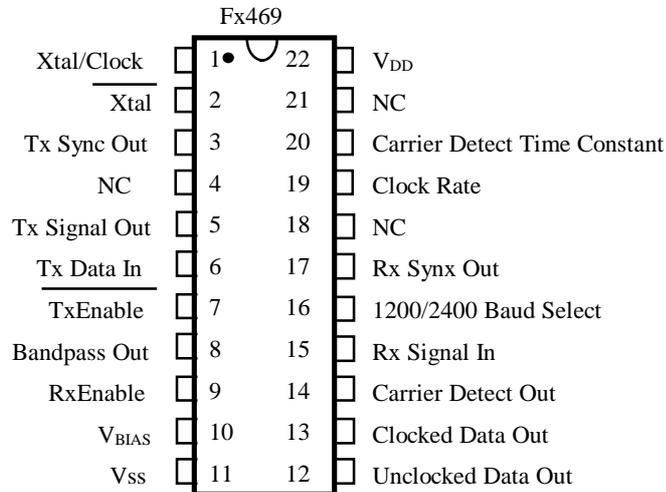


图 4.1.7 FX469 芯片管脚图(22pin)

Tx Sync Out:片内产生的方波信号输出脚,用来同步要调制的发送数据和输出的音频模拟信号。

Tx Signal Out:当发送(调制)允许时,此管脚输出 140—step 的伪正弦波 FFSK 信号。当发送禁止时,呈高阻状态。

Tx Data In:将被发送(调制)的数据根据 Tx Sync Out 周期地串行输入此脚。

T_xEnable:发送(调制)允许端,低电平有效。此管脚被内部上拉电阻拉至 V_{DD}。当被输入高电平时,发送机处于节电方式。此时,Tx Sync Out 输出为高电平,Tx Signal Out 呈高阻。

RxEnable:接收(解调)允许端,高电平有效。当输入低电平时,接收机处于低功耗方式,Clocked Data Out 输出为‘0’,Carrier Detect 输出为 0,Rx Sync Out 输出为‘0’或‘1’。

Unlocked Data Out:解调出来的异步串行数据。

Clocked Data Out:解调出来的异步串行数据,此数据被恢复时钟锁存,在 Rx Sync Out 信号的下降沿有效。

Carrier Detect Out:当接收到 FFSK 信号时,输出高电平。

Rx Signal In:FFSK 信号输入管脚。FFSK 信号必须通过一个 0.1μf 的电容器耦合至此管脚。

Rx Sync Out:时钟方波输出端。与 FFSK 输入信号同步。

Baud Select:高电平选择 1200Baud,低电平选择 2400Baud。当工作于 1200Baud 时:一个周期的 1200Hz 音频信号代表‘1’, $1\frac{1}{2}$ 周期的 1800Hz 音频

信号代表 ‘ 0 ’ ; 当工作于 2400Baud 时 : $\frac{1}{2}$ 周期的 1200Hz 音频信号代表 ‘ 1 ’ , 一个周期的 2400Hz 的音频信号代表 ‘ 0 ’ 。

Fx469 的典型应用如图 4.1.8 所示。

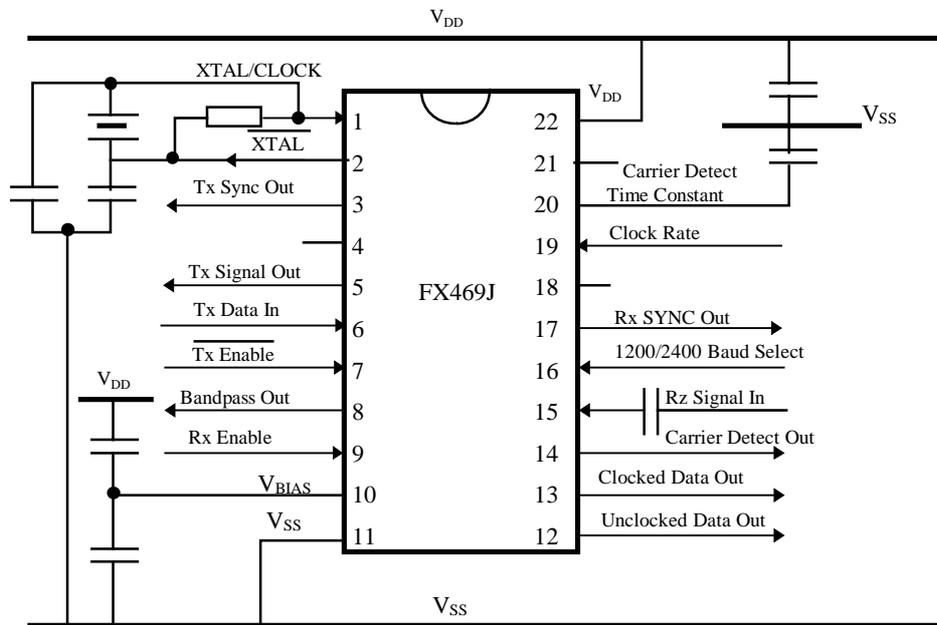


图 4.1.8 FX469 典型应用图示

FX469 调制和解调时序如图 4.1.9、4.1.10 所示。从图中可以看出，芯片进行调制和解调时都要有一些延迟。调制过程中的延迟 t_{TXD} 相对较小，典型值为 $1.2\mu s$ ；而解调时延迟 t_{ID} 较长，典型值达 $1.5ms$ 。这些在实际应用中都必须注意。另外，在 Tx SYNC 的上升沿，被发送（调制）的数据要保持稳定；在 Rx SYNC 的下降沿读取解调后的数据。

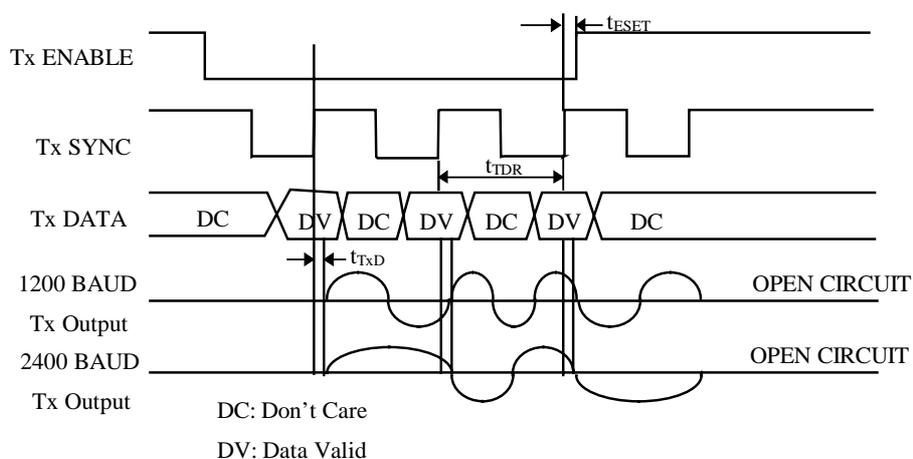


图 4.1.9 Fx469 调制时序图

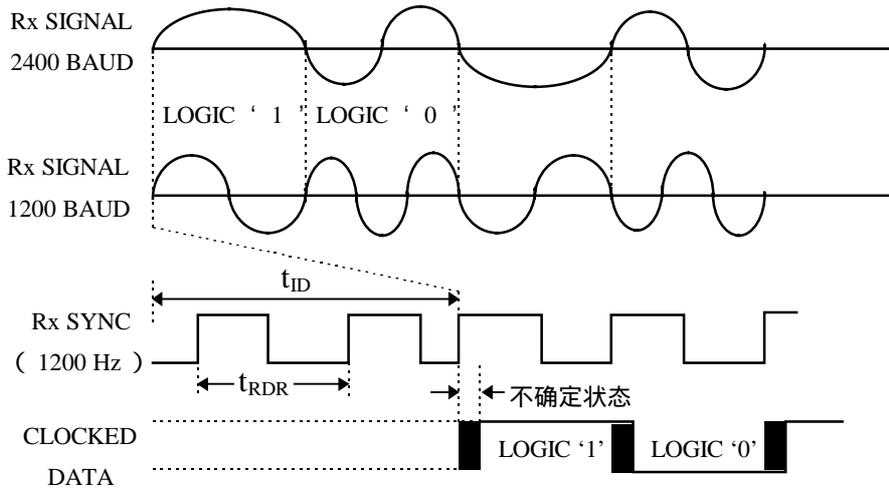


图 4.1.10 Fx469 解调时序图

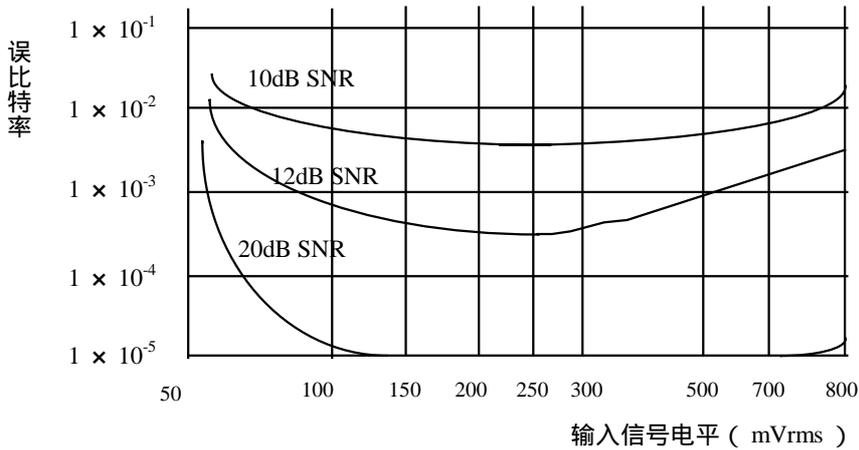


图 4.1.11 误比特率与输入电平之间的典型曲线

FX469 芯片的误码率曲线如图 4.1.11 所示。由曲线可知，当输入信号电平保持在 230mV 时，该芯片的误码率最低，应用越可靠。另外，在 FX469 的音频信号引脚（调制输出和解调输入）与电台进行接口设计时，必须保证 FX469 的电平与电台的电平相匹配，才能获取最佳的调制解调效果（误码率低）。FX469 的电平参数列于表 4.1.6。

	最小	典型	最大	单位
接收信号电平	100	230	1000	mVrms
发送信号电平	—	775	—	mVrms

表 4.1.6 FX469 的电平参数

§ 4.1.4 外围扩展模块

在单片机应用中,进行功能扩展时,一般采用诸如锁存器,译码器,SRAM,GAL,PAL,EPROM等芯片。随着集成工艺的发展和单片机应用的小型化趋势,为了降低外围电路的设计难度,出现了两种类型的通用外围扩展芯片:一种是串行总线型外围扩展芯片,如I²C总线系列产品;另一种就是并行总线型外围扩展芯片,如PSD3XX,PSD4XX,PSD5XX系列产品。在本系统中,为了减小产品尺寸和提供系统可靠性,选用了可编程并行外围扩展芯片PSD311。

PSD311是美国WSI公司推出的大规模可编程通用外围芯片,适用于基于微控制器的应用。其应用特点是:电路设计简单、体积小、功耗低。在组成系统时,任意的微控制器(68HC11,8031等)都可与PSD311一起工作而组成一个高功效的芯片组合,且不需要另外的分立“连接”逻辑。

PSD311的主要特点:

- 1) 适用于基于微控制器应用的单片可编程外围设备
- 2) 19根可单独配置的I/O引脚,可以用作:
 - 微控制器I/O端口扩展
 - 可编程地址译码器(PAD)I/O
 - 锁存器地址输出
 - 漏极开路或CMOS输出
- 3) 两个可编程阵列(PAD A、PAD B)
 - 共有40个乘积项和多达16个输入及24个输出
 - 直接地址译码达1兆地址空间
 - 逻辑替换
- 4) 适应多种不同配置的微控制器芯片
 - 对多路复用地址/数据总线内部有地址锁存器
 - 非多路复用地址/数据总线方式
 - 八位数据总线宽度
 - ALE和RESET极性可编程
 - 读和写控制总线可选择为 $\overline{RD}/\overline{WR}$ 或 $R/\overline{W}/E$
 - 有供MCS-51使用的 \overline{PSEN} 管脚
- 5) 256Kb的UV EPROM
 - 结构为32K*8
 - 为优化地址译码,划分为8个相等的可映射存储块
 - 存储块结构为4K*8
 - 120 ns的EPROM访问时间,包括输入锁存和PAD地址译码

6) 16Kb 的静态 RAM

- 结构为 2K*8

- 120 ns 的 SRAM 访问时间，包括输入锁存和 PAD 地址译码

7) 地址/数据跟踪方式

使其易于接口到与其它微控制器或主处理器共享资源上

8) 片内加密

对 PSD311 配置和 PAD 译码加密

9) 各种各样的封装形式

- 44 脚 PLDCC 和 CLDCC

- 52 脚 PQFP

- 44 脚 CPGA

10) 简单的菜单驱动软件

通过在 IBM PC 机上运行的 WSI 软件来配置 PSD311。

因此，一片 PSD311 芯片就可实现一片 32KB 的 EPROM，一片 2KB 的 SRAM，一片 GAL，一片 8255，两片 8 位地址锁存器等构成电路所完成的功能。由于 PSD311 的使用，极大地简化了系统设计和元件数目，系统输入/输出端口也集成到该芯片上，如报警按钮、输出脉冲等。

图 4.12 显示了 44 脚 PLCC 封装的 PSD311 管脚位置排列图，相应管脚说明如下：

\overline{PSEN} ：EPROM 读脉冲，低电平有效。

$\overline{WR}/V_{pp} \text{ or } R/\overline{W}$ ：当编程为 \overline{WR} 时，有效的低电平脉冲表示写操作发生。

\overline{RD}/E ：当编程为 \overline{RD} 时，有效的低电平脉冲表示读操作发生。当编程为 E 时，和 R/\overline{W} 一起决定读写操作的执行。

$\overline{CSI}/A19$ ：当编程为 \overline{CSI} 时，若此引脚输入为高电平，则芯片选择电源调电方式，输入为低电平时为正常操作方式。当编程为 $A19$ 时，此引脚用作地址锁存输入或逻辑输入。

$RESET$ ：芯片的复位输入脚，可由用户编程为低电平有效或高电平有效，要求输入信号有效电平的持续时间不小于 100ns。

ALE or AS :在地址/数据复用总线方式中,可编程为地址锁存允许(ALE)或地址选通(AS),在 *ALE* 或 *AS* 的边沿锁存 *AD7/A7 ~ AD0/A0*、*A16/A19*。*ALE* 或 *AS* 信号可编程为高电平或低电平有效。

PA7 ~ PA0 :八位输入/输出口, *A* 口的每一位可编程为一般的输入/输出,或编程为低八位地址锁存输出。当芯片工作于非地址/数据复用总线方式时,此口

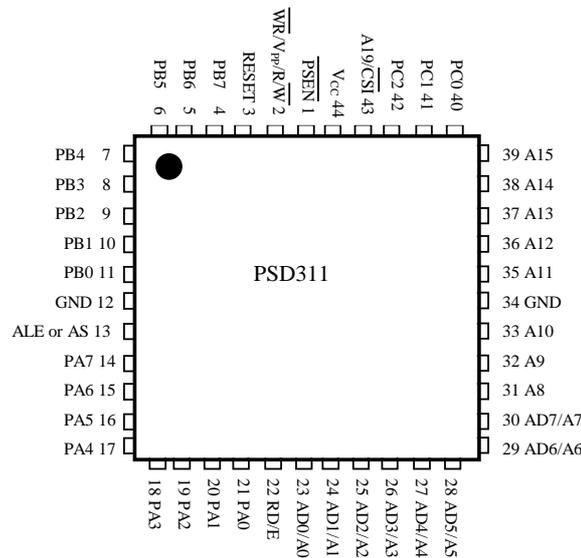


图 4.1.12 44 脚 PLCC 封装的 PSD311 管脚位置排列图

变成数据总线 *D0 ~ D7*。

PB7 ~ PB0 :八位输入/输出口, *B* 口的每一位可编程为一般的输入/输出,或编程为片选输出。口的每一位均可编程为 CMOS 输出或开路输出。

PC2 ~ PC0 :可编程为 PAD 输入或片选输出。当编程为 PAD 输入时,每一位均可编程为一般的逻辑输入或由 *ALE* 锁存输入,对应的地址为 *A16 ~ A18*。

AD7/A7 ~ AD0/A0 :在地址/数据复用总线方式中为八位地址和数据的输入/输出,由 *ALE* 的边沿锁存地址。当工作于非地址/数据复用总线方式时,为低八位的地址输出。

A8 ~ A15 :高八位地址输入。

GND :电源地。

V_{cc} :电源输入, +5V。

PSD311 总线和端口的组成形式如下表所示 :

8 位总线	复用地址/数据	非复用地址/数据
端口 A	I/O 或 A7 ~ A0 或 AD7 ~ AD0	D0 ~ D7
端口 B	I/O	I/O

	或 $\overline{cs0} \sim \overline{cs7}$	或 $\overline{cs0} \sim \overline{cs7}$
$AD0/A0 \sim AD7/A7$	I/O 或 $A7 \sim A0$ 或 $AD7 \sim AD0$	$A0 \sim A7$
$A8 \sim A15$	高八位地址总线	高八位地址总线

表 4.1.7

PSD311 的组成结构如图 4.1.13 所示：

需要特别指出的是，当 PSD311 与 80C32 CPU 组合时，其 RESET 端的设计

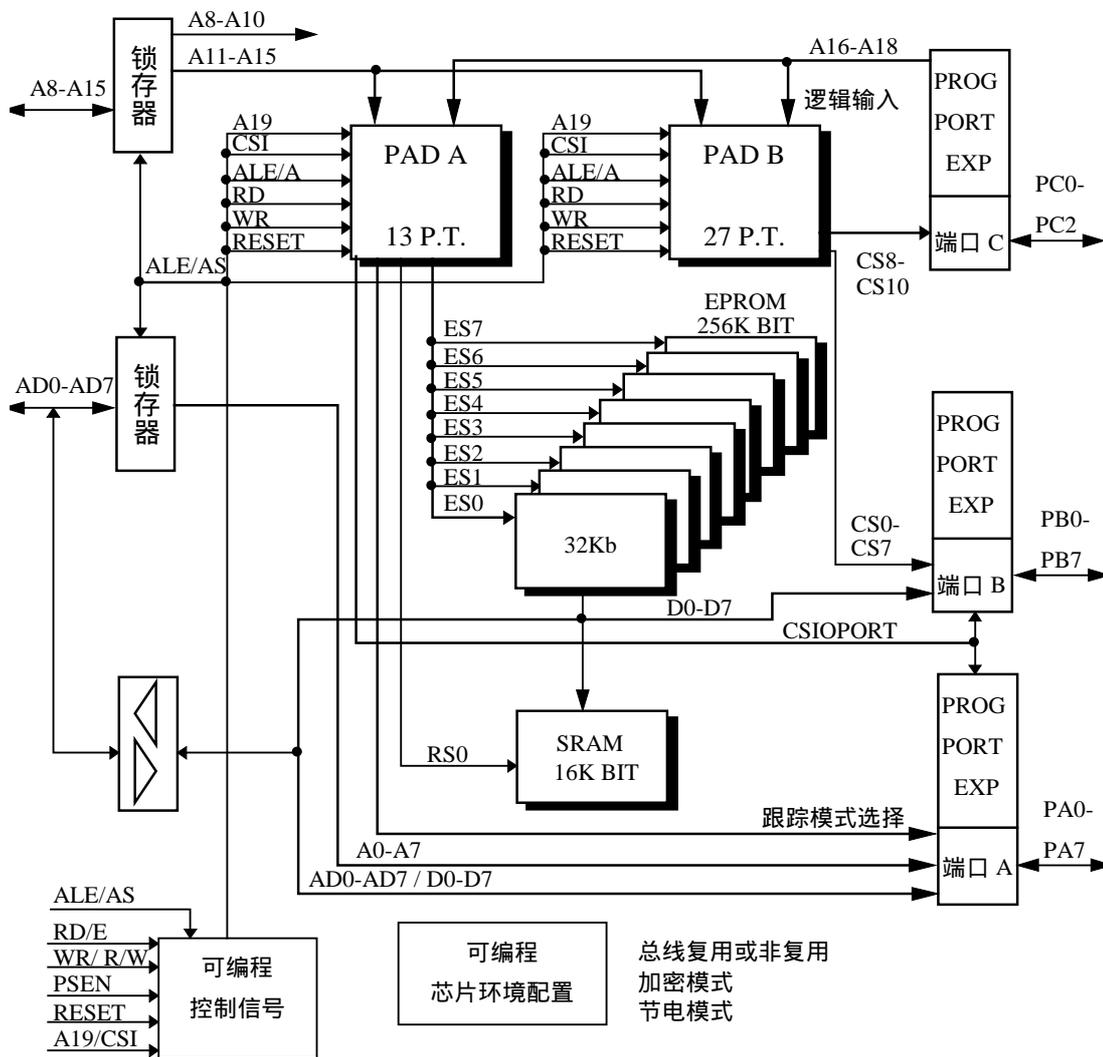


图 4.1.13 PSD311 的组成结构

和连接需要一定的技巧。因为 80C32 的复位是高电平有效，而 PSD311 的 RESET 管脚可编程为高或低电平有效，当 PSD311 的复位管脚编程为高有效时，不能简单地直接将这两个芯片的 RESET 连接，否则，PSD311 工作可能不正常。解决

这个问题有两个方法。(1) 将 PSD311 和 80C32 的复位脚直接相连, 但要使用专用的复位芯片 (如 DS1232, MAX707/708 等) 产生复位信号, 且 PSD311 编程为复位高有效。(2) 将 PSD311 和 80C32 的复位脚分开, 用不同的两个复位信号来复位这两个芯片。例如用 RC 电路来产生复位信号时, 要求 PSD311 复位的 RC 时间常数要远远低于 80C32 的, 也就是说 PSD311 必须在 80C32 之前完成复位, 且最好将 PSD311 编程为低电平复位有效。

§ 4.1.5 看门狗模块

可靠性是系统实现的关键所在, 一个不可靠的系统, 即使用户界面再友好、配置再先进, 也不能经受实践的检验。运行于干扰源较多的现场环境的数传卡, 必须解决对恶劣环境的适应性, 并利用各种措施来提高其可靠性。上电复位、电源电压检测、按键复位以及监控定时器 (Watchdog timer) 是工业控制中提高可靠性的行之有效的几种设计技术。由于 VLSI 技术的迅猛发展, 上述集中功能电路可以集成在一个 DIP8 的芯片中, 例如 Dallas 半导体公司的 DS1232。

DS1232 的具体管脚如图所示:

\overline{PBRST} : 按键复位输入

TD: 延时时间设置

TOL: 电源电压检测 5%或 10%选择

RST: 复位信号输出 (高电平有效)

\overline{RST} : 复位信号输出 (低电平, 集电极开路)

\overline{ST} : 选通脉冲输入

V_{CC} : +5V 电源

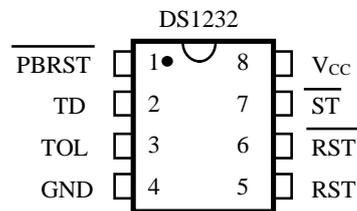


图 4.1.14 DS1232 管脚图

DS1232 的主要功能:

1) 产生上电复位信号

在系统上电时, 应产生一定宽度的复位信号 RESET 使 CPU 等一些芯片得到复位, 从而开始正常运行。DS1232 在系统上电时, 能在电源电压达到正常值后产生宽度不小于 250ms 的复位脉冲, 这一宽度的复位脉冲能确保系统彻底复位。

2) 电源电压监视

DS1232 利用内部高精度温度补偿参考电压和比较器电路监视电源电压 V_{CC} 的状态。当电源电压受外界干扰或瞬时下降低于某一预置值时, DS1232 便输出一个复位脉冲信号, 以保证系统准确运行。这个预置值由 TOL (Pin3) 决定, 当 TOL 接地时, 这个预置值为 4.75V; 当 TOL 接 V_{CC} 时, 预置值为 4.5V。

3) 按键复位

实际控制中有时需要人工强制系统重新启动,特别是在系统调试阶段。因此,必须在按下复位按钮后产生一个复位脉冲。DS1232 提供了一个输入端子 (\overline{PBRST}),直接连到复位按键上,只要复位按键按下接低电平,且时间不小于 20ms,那么 DS1232 输出便产生一个宽度不小于 250ms 的复位脉冲。

4) 监控定时器 (Watchdog timer)

监控定时器即 watchdog, 俗称“看门狗”, 是实际系统中普遍采用的抗干扰和可靠性措施之一。它实际上是一个可由 CPU 复位的定时器, 或者采用通过 CPU 的访问维持其定时时间间隔的可重复触发的单稳态定时器, 或者通过软件的方法来实现, 其目的在于使受到干扰而偏离预定路径运行的应用程序回到正确的路径上来, 保证计算机的可靠运行。

Watchdog 的工作原理如图 4.1.15 所示。两个定时周期不同的定时器 T1 和 T2, 它们的时钟源相同, 且假设 $T1=1s$, $T2=1.01s$ 。用 T1 定时器的溢出脉冲同时对 T1 和 T2 定时器清零, 那么只要 T1 定时器工作正常, 则定时器 T2 永远不可能计数溢出。如果定时器 T1 不再计时, 定时器 T2 则会计时溢出, 并产生溢出脉冲, 这就表明 T1 出了故障。这里的 T2 就是 Watchdog, 利用输出脉冲并进行巧妙的程序设计, 可以检测出系统的出错, 然后使“跑飞”的程序重新恢复运行。

实际系统中, T1 并不是定时器, 而是应用程序的运行周期。Watchdog 的构

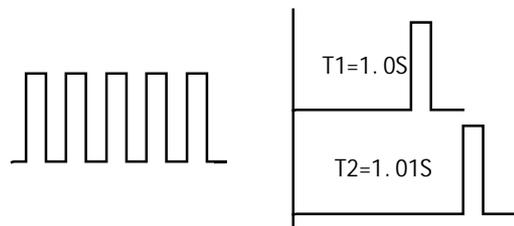


图 4.1.15 WATCHDOG 的工作原理示意图

成如图 4.1.16 所示。它实际上是一个和 CPU 构成闭合回路的定时器。

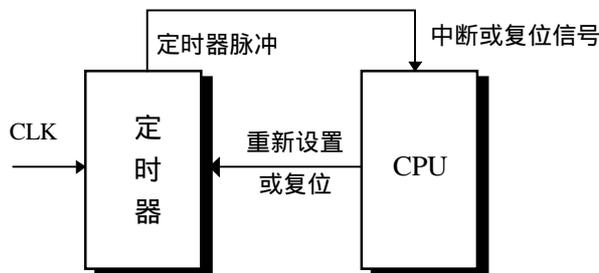


图 4.1.16 watchdog 的构成

DS1232 是利用 \overline{ST} 脚来实现 watchdog 功能的。如果脚 \overline{ST} (Pin7) 在预定时间内没有受到下降沿的触发, 那么 DS1232 将输出一个复位脉冲信号, 否则

Watchdog 定时器将被复位，重新开始计数。 \overline{ST} 脚的输入触发通常来自 CPU。因此，应用程序执行一段时间后必须产生一个脉冲信号，使 Watchdog 定时器清零，以保证程序正常运行，否则系统将被复位，从头开始运行。时序如图 4.1.17 所示。

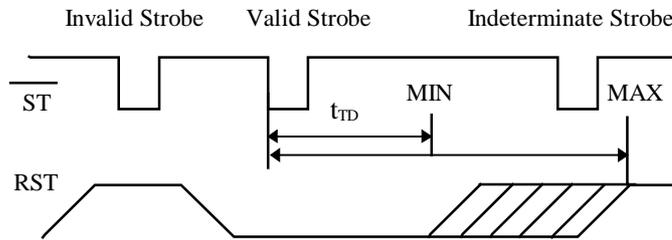


图 4.1.17 DS1232 触发时序图

DS1232 的 Watchdog 功能的预定时间是由 TD(Pin2)确定的，具体见表 4.1.8 所示。

TD 脚	定 时 时 间 (ms)		
	最小值	典型值	最大值
地	62.5	150	250
悬空	250	600	1,000
V _{CC}	500	1,200	2,000

表 4.1.8

DS1232 的内部结构原理图如下所示：

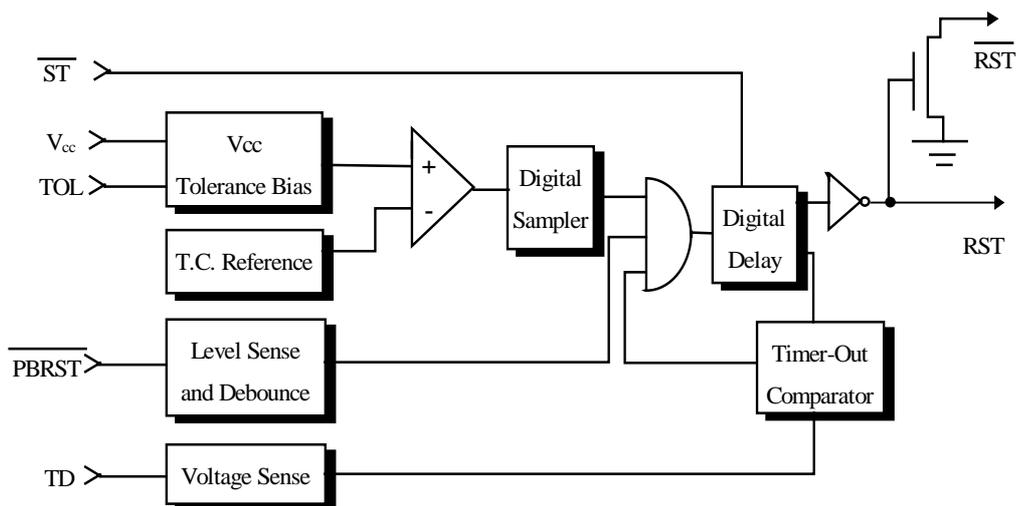


图 4.1.18 DS1232 内部结构原理图

§ 4.2 软件实现

软件是系统的灵魂。第三章所提出的通讯协议最终都必须通过软件编制来实现。软件的编制采用 ASM51 汇编语言,其程序结构按协议的层次结构自然划分,运用了软件工程的思想来设计、编制和调试。程序模块清晰、精练,并充分面向用户,对系统的设置进行了柔性配置,易于根据系统的实际情况作优化配置。

中心站 BS 和车载台 MS 的软件在数据链路层、网络层等部分是一样的,具体包括以下这些模块:

- 无线通讯数据链路层模块(实现 HDLC 协议)
- 无线通讯网络层模块(实现 TDMA 技术)
- 无线通讯高级应用层模块
- “看门狗”程序设计模块
- 工具模块,包括数学运算和数据在不同寻址方式存储单元之间的搬移模块等。

由于功能的不同,中心站 BS 的软件还包括:

- 主程序结构模块
- 系统初始化模块
- 中断处理模块(定时器、串口、外部中断)
- 同步帧、命令帧装载模块
- MS 信息接收、处理模块
- MS 信息解压缩模块

- 与监控平台信息交互模块（接收监控命令和发送 MS 车辆信息）

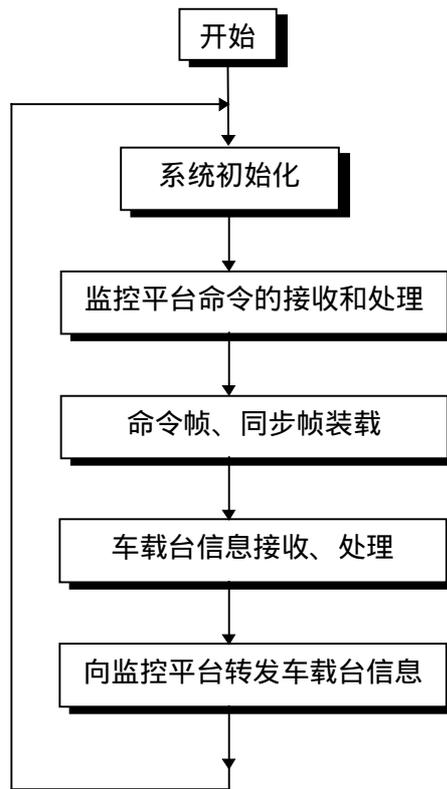


图 4.2.1 中心站 BS 的主程序结构框图

车载台 MS 软件除公用模块外，还包括：

- 主程序结构模块
- 系统初始化模块
- 中断处理模块
- 中心站信息接收处理模块（同步帧、命令帧接收和处理）
- 数据帧、报警帧装载模块
- 报警情况处理模块
- 通话服务模块
- GPS 接收卡信息接收模块
- GPS 信息压缩模块

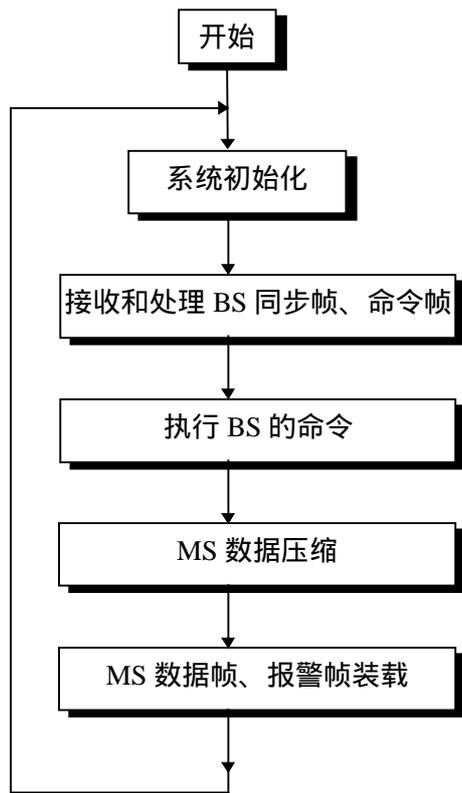


图 4.2.2 车载台 MS 的主程序结构

§ 4.3 实现中的几个关键技术

§ 4.3.1 延时的处理

对于要发送的数据，和电台接口的信号在时间域上应有如下图所示的关系：

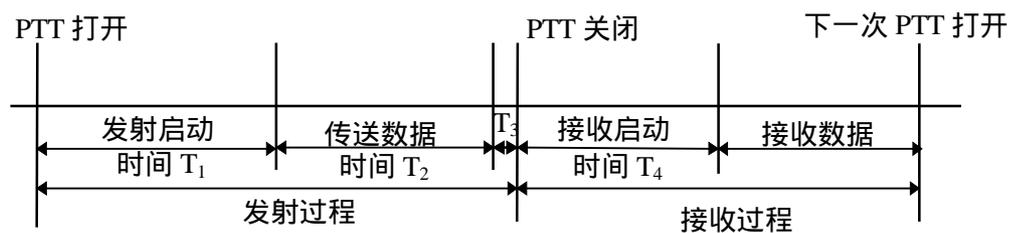


图 4.3.1 电台传送一次数据在时间域上的结构

对于车载电台来说，PTT 有效之后，电台要有一段调整时间方能准确无误地发送音频信号。这就是发信启动时间，指发信机控制开关正常工作后产生载波功率输出所需的时间。因此在实际操作当中，在把 PTT 置成有效到把信号送出电台必须要有一段延时 T_1 ，这段延时因电台型号不同而有差异，一般说来，载波电平提高到其最大值的 50% 所需时间约为 100ms。若留得太短，则信号丢失的可能性增大；若太长，则无谓的增加发射一次信号所需的时间。实测几种常用车载

话音电台，发现这段时间一般在几十毫秒到一百数十毫秒之间。若是采用专门的数传电台，则此参数有希望降到十毫秒左右。

T_2 是指传送有效信号的时间，即从调制解调器送来的有效音频信号持续时间，也就是我们要传送的数据信号。

T_3 是指信号传送结束后到我们把 PTT 信号置成无效的延时。为避免信号被延时而没有发出和保证无线信号的稳定，一般情况下，在确认所有信号都送到电台之后，我们可以稍微延时后再把 PTT 信号关闭（转为接收状态）。这之间的延时一般为二到五毫秒就可以了。

所以，在实现中要注意的是车载电台在从发射状态转到接收状态、从接收状态转到发射状态不是立即实现的，这中间有一定的时间间隔，即接收启动时间和发射启动时间。因此关闭发射（PTT 关闭，也就是转到接收状态）到下一次发射（PTT 打开）不能相隔太近。对于不同的电台，此项参数差异较大。

另外必须注意的是，从一方送出数据到接收方接收到，其中间存在一个时间差，即调制解调时间（= 调制解调芯片的第一次调制延时 + 电台发信机的第二次调制延时 + 电波的空间传播延时 + 电台接收机的第一次解调延时 + 调制解调芯片的第二次解调延时 + 程序的执行延时等）。因此，应该在每个时间片中加上一些保护时间（保护时间 \geq 调制解调时间），或者让发送方和接收方的时钟故意错开一段。具体情况可以清楚地从图 4.3.2 和图 4.3.3 中看出。

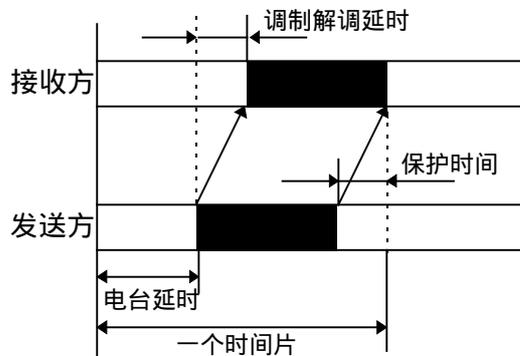


图 4.3.2 加入保护时间

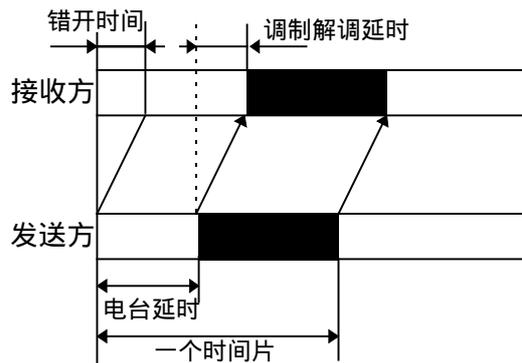


图 4.3.3 接收方和发送方错开时间

如果被监控的地形比较复杂（如有高山阻挡）或监控中心位置偏在一隅等，就需要引入差转台来改善无线信号的传播覆盖范围和质量。差转的工作原理就是把某频率的无线电波上的信息用另外一个频率的电波大功率转发出去，即把 f_1 频率的无线电波转化成 f_2 频率的电波，同时把 f_2 频率的电波转化成 f_1 频率。如下图 4.3.4 所示（可参见 § 3.1.1 中继链路的介绍）：

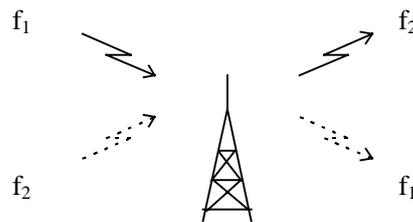


图 4.3.4 差转台的工作原理

但是差转台本身检测载波和把信息加载到差转后的电波中发射出去，这中间有一段延时。对发射和接收双方来说，电波在天空中好象“停顿”了一下。这段延时一般在十几到几十毫秒左右（差转设备不同，时延也不同）。对于我们的通讯协议来说，针对差转带来的时延，有两种解决的办法：一是把每个时间片都加长，加长时间等于差转延时（参见图 4.3.2）；二是在等待接收的时候加入一个差转延时片，人为地把接收时钟拖后一点，拖后的时间亦等于差转延时（参见图 4.3.3）。第一种方法简单易行，但带来的后果是性能指标下降较多（每个时间片都要加长）。第二种方法仅仅使性能指标下降一点，但实现起来复杂，发送方和接收方对差转延时片的处理各不相同，而且要根据时间片的具体位置划分来确定差转延时片的加入位置。

§ 4.3.2 系统同步的实现

由第三章的通信协议规程可知，在网络层协议中，GPSVMS 采用了同步时

基通讯协议，即所谓的时分多址技术。实现 TDMA 技术的关键，就是保证系统同步，使得各个时间片在时间域上保证正交性。在系统应用中，没有采用常用的硬件同步技术，仅仅依靠软件，通过对同步帧的分析和推算实现同步，精度可达毫秒级。

撇开由于调制解调延时以及电台延时等的影响，理想情况下，发射方发送 1 位数据，则接收方立即得到它（延时无）。那么，当 MS 接收到完整的同步信息后，根据接收到的信息比特数目和传输波特率，就能确定 BS 开始发送同步信息的时刻，也就是说，MS 可以根据 BS 的同步信息确定系统时间同步的基准点，从而实现系统同步。

系统中的同步定时是由单片机的定时器来控制的。假设系统传输波特率为 1200，即 5 ms 发送 6 bits；定时器以 5ms 为一个中断周期；系统同步帧总长为 Totalbits（包括预同步头，CRC，“零位插入”技术插入的零）。则 MS 中定时器参数的设置是这样确定的。

$$\text{Totalbits} \div 6 = A \dots B \quad B \in [0, 1, 2, 3, 4, 5] \quad (4.3.1)$$

此式表明，从 BS 角度看，当 MS 收到完整同步帧时，BS 的定时器已经走过的时间为： $5 \times A \text{ ms} + B \times 5/6 \text{ ms}$ 。这样，再过 $(6 - B) \times 5/6 \text{ ms}$ ，BS 的定时器将再次发生中断。为了保证 MS 和 BS 时钟同步，此时必须把 MS 的定时器定在 $(6 - B) \times 5/6 \text{ ms}$ ，且网络层软件确知自同步帧起点已过去 $5A \text{ ms}$ 。

对于单片机 80C32，其定时器参数（TH，TL）的计算公式为：

$$\frac{12}{f_{osc}} * [65536 - (TH, TL)] = (6 - B) * \frac{5}{6} * 10^{-3} \quad (\text{s}) \quad (4.3.2)$$

当晶振为 11.0592MHz 时，式（4.3.2）变为：

$$65536 - 256 * TH - TL = 768 * (6 - B)$$

令 $TL = 0$ ，则有 $256 - TH = 3 * (6 - B)$

$$\text{即 } TH = 256 - 3 * (6 - B) \quad TH \in [238, 253] \quad (4.3.3)$$

这样，定时器的参数设置为： $TH = 256 - 3 * (6 - B)$ ， $TL = 0$ 。

当晶振为 6.000MHz 时，式（4.3.2）变为：

$$65536 - (TH, TL) = \frac{1250}{3} * (6 - B)$$

此式不能通过整数运算简单地进行定时器预置值的计算。但可以采用查表的方法，先计算出 $B = 0(1, 2, 3, 4, 5)$ 时定时器的预置值，制成一表格（如表 4.3.1 所示）。程序运行时根据实际情况读取即可。

<i>B(bit)</i>	<i>MS 定时器时长(ms)</i>	<i>MS 定时器预置值</i>
0	5	63036(0xF63C)
1	5*5/6	63453(0xF7DD)
2	5*4/6	63869(0xF97D)
3	2.5	64286(0xFB1E)
4	5*2/6	64703(0xFCBF)
5	5/6	65119(0xFE5F)

表 4.3.1 6.0MHz 时的定时器参数设置

§ 4.3.3 特殊车辆的优先巡检

作为一个车辆监控管理系统，当车辆出现异常时，应当得到处理中心的“重点照顾”；当确知某辆车不再受监控时，应将其剔除出巡检车辆名单中。只有这样，系统才具有实用性。例如，有一个位置刷新频率为 1Hz，容量为 100 辆的监控系统。当所有车辆都一视同仁时，系统平均巡检周期为 100s，即处理中心收到 A 车信息后，要再等 100s 才能再次收到 A 车的信息。显然，当 A 车出现异常时（如遭劫），处理中心仍以这种频率获取信息的话，用户将会对这套系统的实用性产生怀疑。因此，系统中必须能对车辆巡检的次序进行调整，使得异常车辆、重点车辆、贵宾车辆等在处理中心的信息更新频率快于普通或正常车辆。

本系统中，采用大区制式的主从结构的网络体系，车辆的巡检次序是通过中心基站主机来控制的。要实现特殊车辆的特殊巡检监控周期，可以采用下述两种方法：

- 第一种方法

由监控人员在监控平台上根据实际需要现场编制一份特殊的巡检车辆次序表，通过串行口发送给基站主机，主机再根据它来控制 and 接收各个 MS 的信息。这种方法的优点是，监控人员可以随心所欲地编制出具有特殊监控次序的表格，给予不同的车辆不同的巡检间隔。缺点是当车辆较多时，编制次序表的难度较大也较繁琐，且每当有一辆车出现异常，监控人员都要人为地重新设计监控次序表；而且每次传递给基站主机的信息代码（巡检次序表）太长。

- 第二种方法

鉴于监控人员手工编制车辆巡检次序表的繁琐和难度，我们将系统中所有车辆根据实际需要分配一个优先级别，根据优先级别来设置最佳巡检次序。

当车辆需要“特殊照顾”时，提高它的优先级别；当车辆不再特殊时，恢复优先级原状。另外，由监控平台传递给基站主机的不再是完整的车辆巡检次序表，而是巡检次序表的一个最小特征巡检周期和车辆优先级设置参数。基站主机根据

特征巡检周期和车辆优先级属性自动实时地编制出具体的巡检次序表。先由最小特征巡检周期读取车辆优先级，再根据优先级确定车辆识别号，写入车辆巡检次序表，周而复始就可生成最终巡检次序表。举例如下：

例1．某监控系统的位置刷新频率为 1Hz，容量为 5 辆车，两个优先级。表 4.3.2 表示了其车辆优先级的设置和最小特征巡检周期和最终生成的车辆巡检周期。

车号	优先级
1	++
2	+
3	+
4	+
5	+

优先级设置

++	+
----	---

最小特征巡检周期

1	2	1	3	1	4	1	5
---	---	---	---	---	---	---	---

最终车辆巡检次序表

表 4.3.2

系统的平均巡检周期为 5 s，采用表 4.3.2 所示的车辆巡检次序表之后，1 号车的巡检周期变为 2 s，2—5 号车的巡检周期变为 8 s。

这种方法将巡检次序表的具体编制留给基站主机处理，从而减小了监控人员的工作强度和监控平台与主机的通讯量，同时也实现了特殊车辆的特殊巡检周期。但是需要指出的是优先级的设置是相对的，优先级的高低还不足以表征车辆巡检周期的快慢，必须和最小特征巡检周期结合起来考虑。

例2．系统基本性能同例 1。仅仅优先级的设置不同，如表 4.3.3 所示：

车号	优先级
1	++
2	++
3	++
4	++
5	+

优先级设置

++	+
----	---

最小特征巡检周期

1	5	2	5	3	5	4	5
---	---	---	---	---	---	---	---

最终车辆巡检次序表

表 4.3.3

在此例中，1—4 号车设置为高优先级，最小特征巡检周期同例 1。1—4 号车的巡检周期为 8 s，5 号车的巡检周期为 2 s。高优先级车的巡检周期反而长于低优先级的车辆。

为了表征巡检周期的长短，我们定义最小特征巡检周期中优先级出现的次数为优先级巡检频率。上述两例中，“++”级和“+”级的巡检频率都是 1。再

定义优先级巡检周期常数 = 相应优先级的车辆数目 ÷ 优先级巡检频率。则周期常数越小,其相应的巡检周期也就越短。例 1 中,“++”的周期常数为 1,“+”的周期常数为 4;例 2 中,“++”的周期常数为 4,“+”的周期常数为 1。周期常数乘以最小特征巡检周期时间就得到相应车辆的最终巡检周期,所以用优先级巡检周期常数基本上能反应车辆的巡检周期。

这种方法的缺点:当监控人员在确定车辆优先级级别和最小特征巡检周期时,并不清晰地知道具体的巡检周期。必须在监控平台嵌入相应的计算软件实时计算出来。

§ 4.3.4 系统可靠性

§ 4.3.4.1 程序跑飞的防护和恢复

GPSVMS 系统中的 MS 部分安装在移动车辆上,其工作现场的环境条件比较恶劣,存在着各种电磁干扰,严重时会使正常工作程序遭到破坏,发生人们习惯称为的“程序跑飞”现象。这时,MS 部分便失去控制,需迅速采取有效措施恢复程序的正常运行;否则可能造成严重后果,甚至使整个无线网络瘫痪。

采用屏蔽、隔离、去耦、滤波等措施,虽然可以提高系统的抗干扰能力,但这不仅需要增加系统的成本、增大仪器的体积和复杂性,而且不可能从根本上杜绝受干扰后程序跑飞问题。

一般说来,当智能仪器受到某种强的干扰时,可能会影响和破坏程序的正常运行。通常表现为:

- 1) CPU 突然离开程序规定的正常顺序杂乱无章地执行一些莫名其妙的指令,显示和输出出错,仪器和系统完全失控。这种情况是因为干扰使程序计数器(PC)值突然出错所致。实践和经验证明,相对 RAM 和其它寄存器而言,程序计数器最容易受干扰的影响。
- 2) RAM 区和寄存器某些参数和标志全部或局部被破坏。造成这种情况的最主要可能是 PC 值被破坏后,跑飞的程序访问了 RAM 区和使用了有关寄存器,也可能因干扰非常严重直接破坏了寄存器和 RAM 区中数据。通常后一种可能较少发生,而一旦出现直接破坏 RAM 数据的强干扰,PC 值通常已先遭破坏。
- 3) 部分或某些中断不响应。这种现象通常是 CPU 在执行中断服务程序时,程序受干扰后使 PC 值发生突变,越过了开放中断指令和中断返回指令所致。

在本章第一节中介绍了“看门狗”硬件模块,其核心是一个可重触发单稳态

电路。要使“看门狗”电路可靠地起到监督 CPU 程序运行功能（一旦发生程序跑飞，“看门狗”电路能翻转，使程序恢复正常运行），除了“看门狗”电路本身没有错误及与 CPU 接口正确外，还必须满足以下几点：

- 1) CPU 正常执行程序期间，每隔一定时间给“看门狗”电路发一个重触发脉冲使“看门狗”电路复位。
- 2) 一旦因干扰使 CPU 程序跑飞，“看门狗”电路不应再接收到定时触发脉冲。
- 3) “看门狗”电路在暂态过程结束后发生翻转，输出一个宽度足以引起 CPU 重新复位或产生不可屏蔽中断的脉冲信号。
- 4) 有一个设计合理的程序跑飞诊断、处理和恢复正常运行的跑飞处理程序模块。

对于上述前两点，如果实施不当，即“复位”指令的插入（通常是两条语句），会引发两类“看门狗”电路应用故障：（1）CPU 执行正常的程序时，被“看门狗”电路有规律地错误复位所打断，使 CPU 只能执行部分功能。这主要是在软件设计时，由于插入“复位”指令时对程序各程序段的执行时间计算不准（偏小），致使 CPU 执行正常程序期间，出现“复位”超时而导致“看门狗”电路动作及 CPU 错误复位的。这类错误还是比较容易检查和排除的。（2）正常“看门狗”电路发生非正常失效故障。即系统不受干扰时，CPU 能正常执行程序；但在干扰严重的场合，却频频发生实际上程序已跑飞，但“看门狗”电路仍毫无反应，导致系统“死机”的现象。此类错误无法用各类单片机开发仿真器进行仿真调试，其查错工作通常非常困难。因而，“看门狗”电路配套程序设计、“复位”指令的插入技巧和水平高低往往就成为系统最后成败的关键。

正常“看门狗”电路发生非正常失效的根本原因在于：CPU 受严重干扰发生程序跑飞后，“看门狗”电路仍不断接收到不应再有的定时“复位”脉冲。因此要避免“看门狗”电路非正常失效，就要使系统的程序最后能设计成不论程序运行到什么地方发生跑飞，也不论跑飞到什么地方以及不论在程序跑飞前后对内存和寄存器产生什么样的破坏，都能使跑飞后的程序停止发送定时“复位”脉冲。这是正常“看门狗”电路不发生非正常失效的唯一和根本性条件。而要设计出这样的程序，下述三条措施经实践验证非常有效：

- 1) 避免在中断服务子程序中加“复位”指令

当 CPU 受干扰发生程序跑飞，只要 CPU 片内中断允许寄存器不受破坏，则不论程序飞到什么地方，CPU 仍能象正常运行时一样响应和执行中断服务子程序。鉴于此，在各中断子程序中都不应该加“复位”指令。

- 2) 避免在局部循环中加“复位”指令

这样即使程序跑飞后，非正常进入该循环圈，且使循环条件或标志没有

置成规定状态而导致跑飞后的程序在该循环圈内“死循环”。也会由于“看门狗”电路收不到“复位”脉冲，发生翻转进而使系统恢复正常运行。

3) 消除“看门狗”电路非正常“复位”隐患

CPU 受干扰发生程序跑飞，是因为这时的程序计数器值被破坏变成了一个新的随机值。这个随机值不一定正好是程序中的某一条指令的第一个字节地址。在这种情况下，程序跑飞后，CPU 执行的可能是和原监控程序完全错位、面目全非的异化程序。在这种随机构成的异化程序中，如果构成“死循环”圈，而在该循环圈内恰恰有因机器码错位构成新的“复位”指令，这就会使“看门狗”电路发生意想不到的失效。而发现和消除这种隐患的最主要的窍门就是紧紧抓住关键的“复位”代码（二进制）。利用通用编辑软件的查找功能，搜索系统程序的.LST 文件中的二进制“复位”代码，只要该处不是程序中必须的“复位”指令，就应设法修改。

对程序跑飞诊断的设计，主要采用了这样一些方法：

1) 软件陷阱

当跑飞的程序落到非程序 ROM 区（如 ROM 中未被使用的空间或程序中的数据表格区）时，常采用软件陷阱的方法使程序纳入正轨。所谓软件陷阱，就是一条引导指令，利用这条指令强行将捕获到的程序引向一个专门的出错处理程序入口。如果把错误处理程序入口标号称为 ERR 的话，常用的软件陷阱由下面三条指令构成：

```
NOP
NOP
LJMP ERR
```

该软件陷阱除了安置在未使用的用户 ROM 区外，还常常安置在未使用的中断向量区、表格区的最后和程序的断裂点后（指 LJMP、SJMP、RET、RETI 等指令）。

2) 设立标志判断

判断是否曾跑飞进入中断子程序或从中断子程序中跑飞进入主程序。假设用片内 RAM30H 单元作为判断标志。如图 4.3.5(a)，在主程序的开始把 30H 单元的值设为 0x55，然后在主程序循环体的末尾判断 30H 单元的值是否仍为 0x55。若不是，则说明有错误，转至错误处理程序。从 30H 单元的值可以判断从哪一个子程序跑飞。图 4.3.5(b)在中断子程序的开始将 30H 单元置为 0x33，在中断子程序的末尾判断 30H 单元是否仍为 0x33，若不是则说明是非正常进入中断子程序，转至错误处理程序。

<pre> MAIN : MOV 30H , #55H . . MOV A , 30H XRL A , #55H JNZ ERR LJMP MAIN </pre>	<pre> INT : MOV 30H , #33H . . MOV A , 30H XRL A , #33H JNZ ERR MOV 30H , #55H RETI </pre>
(a)	(b)

图 4.3.5 标志判断程序示例

§ 4.3.4.2 电台超时定时器

本系统采用的是基于时分多址 TDMA 的同步时基协议，所有的 MS 采用同一频点向 BS 发送信息，仅仅在时间域上错开。当某一台 MS 因某种原因发生故障而导致电台一直处于发射状态时，该 MS 将独占整个通信信道，使得整个无线网络链路崩溃，继而整个监控系统无法接收 MS 的信息而导致瘫痪。

为防止这种情况的发生，我们对电台的参数进行了重新设置。对于 GM300 电台而言，其可编程部分有一项参数为 Time Out Timer，用来表示电台可持续发射的时间。具体将它设置为 5 秒，这样即使 MS 发生故障导致电台一直发射的话，也只能干扰系统 5 秒，提高了系统的可靠性。

§ 4.3.4.3 报警可靠性

从第三章通讯协议中的时间片的划分可知，当仅有一台 MS 报警时系统可在一个时间行内收到，当多台 MS 同时报警时系统最长可在一个巡检周期内收到。报警是整个系统的一个重要组成部分，体现了 GPSVMS 系统的特殊意义。

对 MS 而言，当报警按钮被按下后，应能及时捕捉到这个变化，装载报警帧向 BS 通报，即不能发生漏报警（该报警时不报警）错误。另外，在系统正常运行期间，报警按钮未按时，不应该发生误报警（不该报警时乱报警）错误。在一些具有报警功能的产品设计中，为了杜绝系统漏报警现象，往往一味提高系统的灵敏度，这样的话，一有风吹草动就警报响起。本系统设计之初也采用了这种策略，后来发现在实际应用中，由于工作环境恶劣、干扰严重，使得误报警频频发生，给监控人员造成很大的精神压力和责任负担，也不利于系统的正常运行。

鉴于误报警的频频发生，重新设计了报警电路（示意图 4.3.6）。正常工作

时，报警按钮常闭，A 点保持高电平；当报警按钮按下时（断开电路），A 点变成低电平，通过 74HC148 向 CPU 产生中断信号。因 RC 电路的加入，可有效地滤除部分干扰信号，减少了误报警的发生。但这还远远不够，必须同时修改报警按钮确认的软件模块部分。当报警输入中断发生后，软件立即对报警输入端进行连续采样，若该输入端在一段时间（数百毫秒）内，仍然保持低电平，则说明是一次有效的报警，否则认为是干扰信号。系统改进后经实践证明，基本上消除了误报警的现象，达到了设计要求。

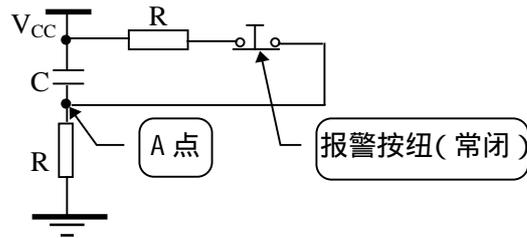


图 4.3.6 报警部分

另外，系统中采用常闭按钮作为报警按钮，也是考虑到系统的可靠性。当报警按钮被意外掐掉时，报警电路就会动作，向 BS 发出报警信息。

第五章 GPSVMS 无线通信网络的扩展

综合多种 VMS 产品的研制和介绍,可以发现目前国内 VMS 主要采用的是组网简单的单信道的大区制式专用移动通信系统来实现数据传输。具体实现方法有两种:第一种方法是监控中心顺序查询各被控车辆的位置信息,即所谓的“一问一答式”查询。其主要优点是可用于数据或话音通信,缺点是系统容量小、实时性差、无法及时处理紧急报警。第二种方法是建立基于时分多址(TDMA)的大区制式的 GPSVMS 专用网。其主要优点是能实时监控 MS,缺点是功能单一,只能用于数据传输,车辆组网容量亦受到限制,目前其容量在 200 辆/分钟左右。这两种方法都有共同的缺点:覆盖范围小、实时组网容量有限、建网时须申请新的频点等等。

对于 GPSVMS 而言,能不能实用,系统的实时性指标是非常重要的。例如,对一个位置刷新频率为 1Hz 的 VMS,当系统容量为 200 辆时,整个系统的平均巡检周期为 200s(超过 3 分钟);当扩大系统容量到 1000 辆时,系统的平均巡检周期延长至 1000s(约 17 分钟),实时性效果就变得很差,也就失去了实时监控的意义。在系统容量不变或增大的前提下,为提高位置刷新频率,缩短平均巡检周期可以采取以下措施:(1)提高传输波特率,加快数据传输速度。(2)压缩位置信息数据,减小数据传输量。(3)增加通信信道,分担系统负荷。

至于系统覆盖范围小的问题,当然可以通过建立中继站,采用分散接收的方法扩大监控覆盖范围。但是,随着我国信息产业的飞速发展,GPSVMS 系统必将提出网络化的要求,而要实现全省联网以至全国联网,这种方法就不行了,必须对系统无线通讯网络部分重新进行规划设计。

§ 5.1 小区制的引入

借鉴 GSM 蜂窝移动电话的体系结构,科大 GPS 实验室正积极从事小区制式的 GPS 车辆监控系统的研制和开发,建立应用时分多址(TDMA)和频分多址(FDMA)相结合的通信链路,充分利用小区制的优点,实现频率复用、扩大系统实时监控容量和监控覆盖范围并最综实现网络化。

§ 5.1.1 小区制式的 GPSVMS 系统通信链路

小区制式的 GPSVMS 的框架结构如图 5.1.1 所示,主要由车载移动台(MS),基地监控台(Base Monitor Station, BMS),监控服务中心(Monitor Service Center,

MSC)等组成。MS 由最近的 BMS 监控并向它发送位置和报警信息 ,BMS 实时显示和监控本小区的 MS。当 MS 越区时,由 BMS 和 MSC 交换信息以实现对越区 MS 的实时监控。同时, MSC 也可请求 BMS 将某些特殊车辆信息传回 MSC 实时显示。

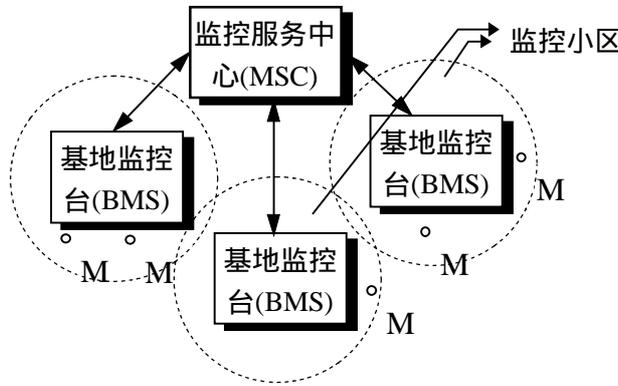


图 5.1.1 小区制结构

在本系统中,使用 N=4 的单位无线区群(Cluster),如图 5.1.2 所示。不同的无线区群采用相同的通信信道来实现频率复用。MS 的无线通讯设备 GM300 电台具有 16 个预置信道,将其划分为 A、B、C、D 四组,每组四个信道。每个小区拥有一组信道,其中一个用作控制信道(Control Channel, CC),另外三个用作数据信道(Data Channel, DC)。这三个 DC 有着不同的优先级,优先级高的信道分担的系统负荷轻,这就意味着使用该信道的 MS 的巡检周期短,实时性优于其它信道的 MS。因为在一个系统中,不同的车辆对实时性的要求可能并不相同,DC 优先级的划分,有利于监控人员根据具体情况调整系统性能。

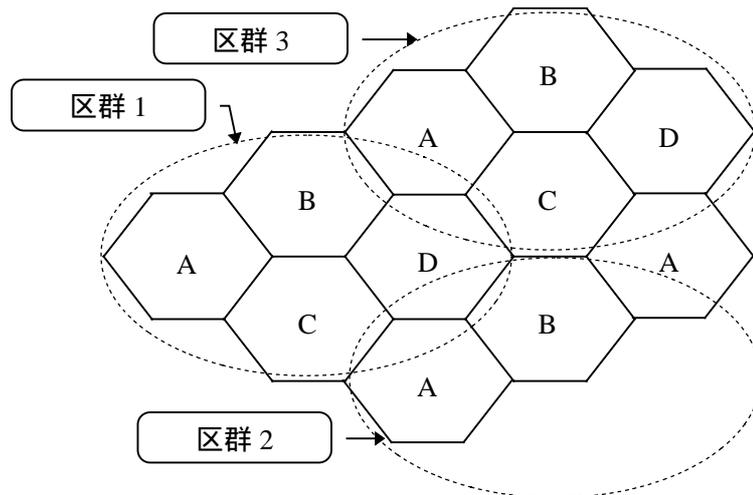
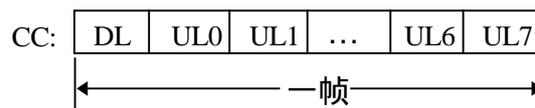


图 5.1.2 N=4 的无线区群结构图

在每个信道中采用 TDMA 的多址技术。对于控制信道 CC 其帧结构如图 5.1.3 所示,共分为九个时隙。DL 是下行时间隙, BMS↔MS,用于传送 TDMA 的时

基信号和命令信号。UL 是上行时间隙，MS \leftrightarrow BMS，用于传送位置登记等信号。平时 MS 开机后，总是先对四个 CC 进行频率扫描，最后锁定在信号最强的控制信道 CC 上，即停靠在最近的 BMS 的 CC 上。锁定 CC 后，MS 根据自身识别号的后三位(二进制表示)，确定在具体的 UL_x 时隙上发出登记申请信息。当 BMS 接收到后，查询数据库确认是否是本小区注册 MS(若不是，则要上报 MSC 备案)，然后根据车辆性质和系统负荷情况通过 DL 时隙分配给 MS 一个数据信道 DC 和逻辑识别号，MS 由此调谐到指定的 DC 上并在指定时隙上传送车辆位置信息。当多台 MS 同时占用一个 UL_x 时隙发出登记申请信息时，也就发生了数据碰撞，信道就会阻塞，导致 BMS 不能正确接收登记申请信息。对 MS 而言就是发出申请却没有回应，则 MS 将采取等待随机帧后再次申请的策略来避免数据碰撞。对于数据信道 DC，其帧结构与 CC 类似，如图 5.1.4 所示，共有 12 个时隙。DL 时隙用于传送 TDMA 的时基信号并兼作命令信号。UL₀—UL₉ 这 10 个时隙由守候在该信道上的 MS 占用来发送车辆位置信息，具体依据 DL 中的信息来确定。UL₁₀ 是公共报警时隙，当 MS 报警时占用它。



DL: Down Link, BMS \uparrow MS

UL: Up Link, MS \uparrow BMS

图 5.1.3 控制信道 CC 帧结构



DL: Down Link, BMS \uparrow MS

UL: Up Link, MS \uparrow BMS

图 5.1.4 数据信道 DC 帧结构

§ 5.1.2 两个特殊问题

第一个问题是越区漫游 (Hand off and Roaming) 问题。只有实现了越区漫游功能，才能扩大监控覆盖范围，实现监控网路化，而且越区切换的时间越短，系统的实时性也就越佳。解决越区切换的基本策略是这样的：BMS 时时监测 MS 传来的信号强度(Signal Strength, SS)，当检测到 SS 低于某个阈值时，BMS 立即命令 MS 重新扫描 CC，重新申请登记，犹如刚开机。BMS 将欲越区的 MS 的识别号上报 MSC，并修改自身的数据库。MSC 向所有的 BMS 查询该 MS 的下落。

当某 BMS 接收到该 MS 的申请后, 迅速告知 MSC, MSC 再通知该 MS 所属原小区的 BMS, 三方修改各自的数据库, 这就完成了一次越区切换。若该 MS 未能正确接收 BMS 的重新扫描 CC 命令, 则 MS 仍守候在信道效果越来越差的 DC 上, 就会捕捉不到 TDMA 的同步时基信号(DL 时隙), 持续若干时间后 MS 自动重新扫描 CC 以完成越区切换。

第二个问题是紧急报警问题。当发生紧急情况触发报警装置后, MS 如何及时将警情告知监控台以便采取应急措施, 这也是 GPSVMS 能否实用的一项重要指标。在我们的系统中采用的方法是这样的: (1) 当 MS 守候在 DC 上时, 立即占用 UL.10 时隙报警, 同时该 MS 也在私人时隙 (UL.x) 中报警, 这样可以保证系统最快在一个时间行(12 个时隙)内接收到警情(当该信道只有一辆车报警时), 最慢在一个巡检周期内接收到警情(当该信道多于两辆车报警, 造成 UL.10 阻塞时)。BMS 接收到警情后, 立即通过 DL 时隙分配给该 MS 最高优先级数据信道 DC 和新的逻辑识别号, 同时修改数据库。这样不仅保证了警情被及时收理, 同时保证了处于报警状态的 MS 得到最好的服务, 即最好的实时性。(2) 当 MS 守候在 CC 上时, 立即占用 UL.x 时隙报警, 经过类似的处理后, 该 MS 将在最高优先级数据信道 DC 上发送信息。

§ 5.2 扩频通讯技术的引入

如果把先进的扩频通讯技术引入到我们的监控系统中来, 可以带来巡检时间的进一步缩短、抗干扰能力增强、发射功率降低等诸多好处。根据仙农(Shannon)的信道容量公式(3.1.1), 展宽信号带宽就可以大大提高抗干扰性能, 或者说, 可以在低信噪比条件下保证系统的传输质量。最基本的展宽频谱的方法有两种: (1) 直接序列调制, 简称直接扩频(DS)。这是用比特速率非常高的数字编码的随机序列去调制载波, 使信号带宽远远大于原始信号带宽。(2) 频率跳变调制, 简称跳频(FH)。这是用较低速率的编码序列的指令去控制载波的中心频率, 离散地在一个给定频带内跳变, 形成一个宽带的离散频率谱。这些基本调制类型还可以进行组合, 形成各种混合系统, 如跳频/直扩系统等。

扩频系统采用高速率的伪随机码, 扩展频谱带宽可达 1~100MHz, 系统具有较强的抗干扰能力, 而且有多址功能及任意选址功能。在移动通信中采用扩频码分多址的技术已趋近实用化。

§ 5.2.1 直接序列调制系统

直接序列调制系统亦称直接扩频系统，或称伪噪声系统，记作 DS 系统。

图 5.2.1 显示了直接扩频系统的原理框图。基带信号的信码是欲传输的信号，用速率很高的编码序列（通常是伪随机序列）进行调制将其频谱展宽，这个过程

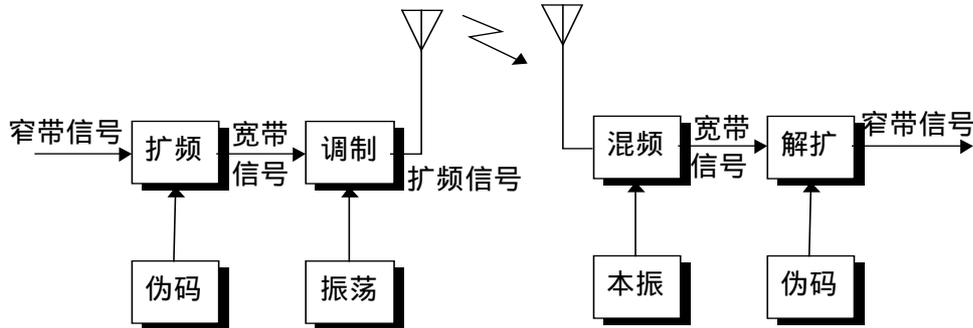


图 5.2.1 直接扩频系统的原理框图

称作扩频。频谱展开后的序列被进行射频调制（通常采用 PSK 调制），其输出则是扩展频谱的射频信号，经天线辐射出去。

在接收端，射频信号经混频后变为中频信号，用与发送端相同的编码序列进行反扩展，将宽带信号恢复成窄带信号，这个过程称为解扩。解扩后的中频窄带信号经普通信息解调器进行解调，恢复成原始传输的信码。

如果将扩频和解扩这两部分去掉，该系统就变成普通的数字调制系统。因此，扩频和解扩是扩展频谱调制的关键过程。

扩展频谱的特性取决于所采用的编码序列的码型和速率。为了获得具有近似噪声的频谱，均采用伪随机序列作为扩频系统的编码序列。在扩展频谱调制中，伪随机序列常用 PN 表示，称为伪码。伪码的码型将影响码序列的相关性，序列的码元长度将决定扩展频谱的宽度。所以，伪码的设计直接影响直扩系统的性能。在直接扩展频谱任意选址的通信系统中，对伪码有如下三个要素：（1）伪码的比特率应能满足扩展带宽的需要；（2）伪码的自相关要大，且互相关性要小；（3）伪码应具有近似噪声的频谱性质，即近似连续谱，且为均匀分布。一般采用 m 序列、M 序列、GOLD 序列等作为扩频的伪随机码序列。

在 GPS 系统中，GPS 导航卫星与 GPS 接收机之间的通讯就是采用扩频通讯（参见 § 2.2）。

直扩系统的优点在于它可以在很低的甚至是在负载噪比环境中使系统正常工作。例如，信码带宽为 10 kHz，扩频信号带宽为 10 MHz，则扩频增益为 $G_P = 30\text{dB}$ 。若信息解调器要求输入端载噪比为 15 dB，则收信机输入端载噪比为 $15 - 30 = -15\text{dB}$ 。

直接扩频码分多址（DS-CDMA）系统存在远近效应和多址干扰的影响，寻找并在技术上实现一组完全正交的地址序列是解决问题的关键。多址干扰取决于扩频码之间的互相关性和接收功率。

§ 5.2.2 扩频通信在 GPSVMS 中的应用设想

由于扩频技术在同一时间可以允许多个正交的信息在一个信道内传送而互不干扰,因此为更快的车辆监控系统的设计提供了一条可能的途径。在安排弹性编码上,可以把一个时间片分配给几个移动单元同时使用。报警片冲突的可能性也因为扩频的引入而大大降低。

移动站 MS 采用固定接收频率的 FSK 通信方式,用来接受监控中心基站 BS 广播差分 GPS 修正信息及监控命令;发射采用 DS-CDMA 扩频技术,每个 MS 对应一个伪随机序列码,通过相关数字信号处理(PN 码相关解调),输出相对应 MS 的信息,将各 MS 分开。中心基站 BS 采用固定发射频率的 FSK 调制方式,向 MS 广播差分 GPS 修正信息及基站命令,接收采用同步直扩码分多址技术。

MS 向 BS 传输数据采用同步 DS-CDMA。可以将车辆分组,每组车辆(例如 8 辆)根据某一参考时间标准完全同步地发射信号,MS 只有自己的扩频码,而 BS 知道所有 MS 的扩频码,并分组变化扩频码来解扩和识别对应 MS 发送的信号。这种方法可相应地成倍提高系统的实时跟踪速度。

所以,把扩频通讯技术应用到小区制蜂窝式的监控系统中去,更能构造出一个高性能和高容量的车辆监控系统。

结束语

GPS 车辆监控系统 (GPSVMS) 集成了 GPS 定位技术、无线移动通信组网技术和地理信息系统 GIS 技术。它的出现,为车辆的出行安全提供了良好的保障,具有很大的市场应用潜力和广阔的发展前景。

作者从本科阶段就开始在鲍远律教授的指导下从事 GPS 民用产品的应用和开发,在 GPSVMS 系统中主要负责 GPS 定位和无线移动组网这两部分的设计、编码和调试。

作者参与研制和开发的科大 GPSVMS 系统已于 1997 年在厦门市公安局 110 报警中心安装、运行。其具体性能指标在国内领先,达到了:100 辆车的平均巡检周期为 33.6 秒;两辆车同时报警时,基站可在 3.36 秒内收到警情。

附录 A 英文缩略语

AM	调幅	GPSVMS	全球定位车辆监控系统
ARQ	自动检错重发	GSM	移动通信特别小组
AS	反电子欺骗	HDLC	高级数据链路控制规程
b/s	每秒比特	ISO	国际标准化组织
BCH	以三人姓氏命名的码	ITU	(联合国) 国际电信联盟
BER	比特误码率	MOSFET	金属氧化物半导体场效应管
BPSK	二相相移键控	MPU	微处理单元
BS	基站(主站, 中心站)	MS	移动站
BMS	基地监控台	MSC	监控服务中心
C/A Code	粗码	NNSS	海军导航卫星系统
CC	控制信道	NRZ	非归零码
CCIR	国际无线电咨询委员会	OEM	原始设备制造
CCITT	国际电报、电话咨询委员会	OSI	开放系统互连
CDMA	码分多址	PAD	可编程地址译码器
CMOS	互补型金属氧化物半导体晶体管	PC	个人计算机/程序计数器
CRC	循环冗余校验码	P Code	精码
DC	数据信道	PN	伪码
DL	下行链路	POCSAG	邮政总局编码标准咨询组
DFM	直接调频	PSK	相移键控
DGPS	GPS 差分定位	PTT	按讲键
DLL	数据链路层	PWM	脉冲宽度调制
DoD	美国国防部	RTK	载波相位差分 GPS 技术
DS	直接序列调制	SA	选择可用性
DS - CDMA	直接扩频码分多址	SS	信号强度
EMC	电磁兼容性	TACS	(英国) 动态全地区通信系统
EMI	电磁干扰	TDMA	时分多址
FDMA	频分多址	UHF	特高频
FFSK	快速频移键控	UL	上行链路
FH	频率跳变调制	USGIC	美国 GPS 产业协会
FSK	频移键控	WADGPS	广域差分 GPS 定位
GIS	地理信息系统		
GPS	全球定位系统		

附录 B 研究生期间发表论文

- “Neural Network Adaptive Control for DARMA System”, in Proc. of Asia-Pacific Symposium of Instrumentation, Huangshan City, China, pp428-429, August 25-31, 1997
- “USTC GPS Vehicular Monitoring System”, in Proc. of 1997 China-Japan Joint Symposium on Advanced Energy and Transportation Engineering, Yellow Mountain City, P.R.China, pp339-347, October 21-26, 1997
- “Design of a New Type of High Reliability Elementary Network”, in Proc. of 1997 China-Japan Joint Symposium on Advanced Energy and Transportation Engineering, Yellow Mountain City, P.R.China, pp375-381, October 21-26, 1997
- “GPS 车辆监控系统移动通讯协议”, 微机发展, 1997(6), pp50-53
- “突破 64KB 限制的 8051 程序设计”, 电子技术应用, Vol.23, 1997(12), pp68 (来稿摘登)
- “神经网络控制的应用和发展”, 自动化与仪表, Vol.13, 1998(2), pp1-2
- “小区制式的 GPS 车辆监控系统无线通讯网”, 微机发展, 1998(6) (待发表)
- “GPS 军用车载卫星地球站天线自动定位系统”, 自动化与仪表, (待发表)

参考文献

1. 艾青, “GSM 系统的几种频率复用方式比较”, 电信技术, 1996(4), pp12-15
2. B·布里扎德, 数据通信手册, 人民邮电出版社, 1987
3. 曹冲, “谈中国广域 GPS 增强网系统及其服务体系”, 中国计算机报, 1995.3.14, pp111
4. 陈季琪, 工业控制微型计算机——总线·模板·系统, 南京大学出版社, 1993
5. 陈剑青, “GPS 的原理和应用”, 电信技术, 1996(1), pp11-14
6. 陈鸣, Netware386 技术大全, 人民邮电出版社, 1995
7. 陈章龙, 实用单片机大全, 黑龙江科学出版社, 1989
8. 陈晓东, “PC 机采用 RS—422A 接口标准的一种通讯电路”, 计算机应用研究, 1993(1)
9. 程道喜, 张联军等, 传感器的信号处理及接口, 科学出版社, 1989
10. 樊明伟, 彭炳忠, 微型机网络技术与应用, 四川大学出版社, 1992
11. 冯玉琳, 赵保华, 软件工程—方法、工具和实践, 中国科学技术大学出版社, 1992
12. 甘登岱, 李广东, 徐建平, 单片机实用开发指南, 科学出版社, 1994
13. 顾宝良, “介绍一种通用数传 MODEM”, 电子技术应用, 1991(9), pp17-20
14. G.C.古德温, 孙贵生, 自适应滤波、预测与控制, 科学出版社, 1992
15. 过静君, “利用调频副载波传送 GPS 差分信号”, 计算机世界, 1996.10.14, pp115-117
16. 海晴, “千帆竞发 百舸争流—国内外 GPS 技术应用形势及发展前景”, 中国计算机报, 1995.3.14, pp99-103
17. 海文学, 杨谷良, 数据通信网基础, 人民邮电出版社, 1985
18. 黄李庚, “单片机在无线通讯系统应用中的抗干扰措施”, 电子技术应用, 1995(12), pp30-32
19. 黄胜华, 徐佩霞, 现代通信原理, 中国科学技术大学出版社, 1989
20. 何诚, 局部网络软件、硬件及协议, 四川科学技术出版社, 1992
21. 何立民, “单片机技术与发展”, 计算机世界, 1992(7)
22. 何立民, 单片机应用系统设计, 北京航空航天大学出版社, 1990
23. 何立民, 低功耗单片微机系统设计, 北京航空航天大学出版社, 1994
24. 胡春雨, 朱民, 王蔚然, 李寅, “GPS 车辆监控系统移动通信协议”, 微机发展, 1997(6), pp50-53
25. 胡道元, 计算机局域网, 清华大学出版社, 1995
26. 吉艾, “小球推着大球转—多元化空间资源环境的确立与国际使用政策的改善”, 中国计算机报, 1995.3.14, pp107-109
27. 李琦, 申军, “电源电压监视用集成电路 TL7705CP 芯片的应用”, 电子技术应用, 1996(7), pp45-46
28. 李性存, 李伟琴, 计算机局部网络, 航空工业出版社, 1992
29. 李小民, 李先亮, “单片机在基于 GPS 技术车辆监控系统中的应用”, 电子技术应用,

- 1997(4), pp36-38
30. 李华, MCS-51 系列单片机实用接口技术, 北京航空航天大学出版社, 1988
 31. 林克明, 周佩玲, 单片微机及其应用, 中国科学技术大学出版社, 1989
 32. 刘传宁, 陈和迈, “警用 GPS 系统”, 电子世界, 1997(4)
 33. 刘基余, 李征航, 王跃虎, 桑吉章, 全球定位系统原理及其应用, 测绘出版社, 1993
 34. 刘承洲, 康怡, “实用无线数传调制解调器”, 电子技术, 1994(4), pp6-9,14
 35. 卢尔瑞, 孙孺石, 丁怀元, 移动通信工程, 人民邮电出版社, 1988
 36. 鲁士文, 计算机网络原理与网络技术, 机械工业出版社, 1996
 37. 潘新民, 微型计算机控制技术, 人民邮电出版社, 1989
 38. P.Ould, 谢世富译, “全数字的 GPS 接收机原理”, 导航与雷达, 1982(2)
 39. 祁玉生, 移动通信系统, 人民邮电出版社, 1995
 40. 慕希林, 陈嘉庆, 魏世明, 唐铭新, ASM51 单片机程序设计语言, 《微计算机信息》编辑部, 1992
 41. 沈兰荪, 数据采集技术, 中国科学技术大学出版社, 1990
 42. 沈美明, 温冬蝉, IBM—PC 汇编语言程序设计, 清华大学出版社, 1993
 43. 舒标, 徐守铭, 数字蜂房移动通信设备及其技术标准, 电子工业出版社, 1994
 44. 宋成骅, 汪鸿生, 谢世杰, 卫星多普勒定位测量, 测绘出版社, 1987
 45. 孙涵芳, 徐爱卿, MCS-51,96 系列单片机原理及应用, 北京航空航天大学出版社, 1988
 46. 孙金宝, “GPS 多功能系统简介”, 中国社会公共安全产品行业综合信息, 总第 12 期
 47. 孙广富等, “一种新的 GPS 车辆管理系统结构和交互管理手段”, 电子技术应用, 1996(3), pp23-25
 48. 汤毅坚, 计算机局部网——网络原理与性能评价, 人民邮电出版社, 1991
 49. 王广运, 陈增强, 陈武, 许国昌, GPS 精密测地系统原理, 测绘出版社, 1991
 50. 王仰昭, “GPS 车辆监控系统中的扩频通信”, 电子技术应用, 1997(11), pp44-46
 51. 王兴仁, 杨新民, “单片机的无线数据通信”, 微型机与应用, 1994(8), pp29-30
 52. 武汉力源单片机技术研究所, PSD3XX 可编程单片机通用外围接口芯片原理、编程及应用, 1994
 53. 武汉力源单片机技术研究所, 特殊集成电路应用手册(上、下), 1993
 54. 武汉力源单片机技术研究所, MAXIM“热门”集成电路使用手册(1, 2, 3, 4), 1994
 55. W. David Schwaderer 著, 徐光贤译, NetBIOS, IPX, SPX C 程序员指南, 学苑出版社, 1994
 56. 吴少淳, “自动车辆定位系统”, 现代通信, 1996(11), pp7-8
 57. 肖国镇, 梁传甲, 王育民, 伪随机序列及其应用, 国防工业出版社, 1985
 58. 徐国华, 李贻斌, 孔惠, 杨明, “微机应用系统程序失控的若干防护措施”, 电子技术应用, 1997(6), pp9-11
 59. 许其凤, GPS 卫星导航与精密定位, 解放军出版社, 1989

60. 严蔚敏, 吴伟民, 数据结构, 清华大学出版社, 1990
61. 张公忠, 王珏, Novell 网组网原理与网络技术, 清华大学出版社, 1996
62. 张明达, 微型计算机接口电路及应用, 清华大学出版社, 1991
63. 张彦明, “长城警用 GPS 指挥系统”, 中国计算机报, 1995.3.14, pp119
64. 张自芳, 何诚, “Ethernet 局部网络的接口分析”, 小型微型计算机系统, 1986(2)
65. 章立生, 孙义, 计算机局部网络互联技术, 学苑出版社, 1993
66. 钟义信, 伪噪声编码通信, 人民邮电出版社, 1979
67. 周杏鹏, “智能仪器程序跑飞诊断和恢复技术”, 化工自动化及仪表, 1991(4), pp30-34
68. 周杏鹏, “MAX 系统监控电路与 51 单片机的两种实用接口方式”, 电子技术应用, 1995(7), pp49
69. 周杏鹏, “‘看门狗’电路配套程序设计原理与技巧”, 电子技术应用, 1996(8), pp17-19
70. 周明天, 汪文勇, TCP/IP 网络原理与技术, 清华大学出版社, 1996
71. 周忠谟, 易杰军, GPS 卫星测量原理与应用, 测绘出版社, 1992
72. 邹谊, “全球卫星定位系统 (GPS) 及产品开发”, 科大硕士论文, 1995
73. 朱近康, 扩展频谱通信及其应用, 中国科学技术大学出版社, 1993
74. 朱民, 鲍远律, “小区制式的 GPS 车辆监控系统无线通讯网”, 微机发展, 1998(6)
75. Alfred Leick, GPS Satellite Surveying, John Wiley & Sons, 1990
76. Amy J.O'Brien and Morgan Balogh, “Mayday! Evaluating GPS-Enabled Emergency Dispatch”, GPS World, pp34-39, October 1996
77. Bao Y.L., Zhang W.S., Zhu M., Wang W.R., Duan L.Y., “USTC GPS Vehicular Monitoring System”, in Proc. of 1997 China-Japan Joint Symposium on Advanced Energy and Transportation Engineering, Yellow Mountain City, P.R.China, pp339-347, October 21-26, 1997
78. Edward J. Krakiwsky, “Heading This Way: Affordable Security on the road”, GPS World, pp55-59, April 1996
79. Essam Sourour, “Time Slot Assignment Techniques for TDMA Digital Cellular Systems”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 43, No.1, February 1994, pp121-127
80. Fayu Li and Lazaros F. Merakos, “Voice/Data Channel Access Integration in TDMA Digital Cellular Networks”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 43, No.4, November 1994, pp986-996
81. GPS Engine Applications Programming Interface Technical Manual, Rockwell International Proprietary Information, October 15, 1993
82. Jack H. Winters, Jack Salz and Richard D. Gitlin, “The Impact of Antenna Diversity on the Capacity of Wireless Communication Systems”, IEEE Transactions on Communications, Vol. 42, No.2/3/4, February /March/April 1994
83. Jonas Ekblad and N.E.Eriksson, “Hailing GPS: A Swedish Security System”, GPS World,

pp32-36, May 1996

84. Motorola Inc. , Linear Interface Integrated Circuits , 1986
85. Motorola Inc. , GM300 Mobile Radios 350MHz User Manual
86. Motorola Inc. , GM300 Mobile Radios 350MHz Service Manual
87. Navcore Designer's Guide , Rockwell International Proprietary Information , November 16,1993
88. Ning Zhang and Jack M. Holtzman , " Analysis of Handoff Algorithms Using Both Absolute and Relative Measurements " ,IEEE Transactions on Vehicular Technology ,Vol. 45 ,No.1 , February 1996 , pp174-179
89. Programmable Peripherals Design and Application Handbook, WSI Corp.,1994
90. R.B.Longley , G.Beutler , Studies in the Application of GPS to Differential Positioning , Technical Report , No.108 , 1984
91. <http://www.maxim-ic.com>
92. <http://www.zdnet.com.cn>

1 · 论文选题合理，适应高科技发展应用趋势

作为 GPS 的重要应用，目前城市移动目标（运款车、巡逻车、特种车）监控已成为加强城市治安，提高 110 快速反应的划时代的高科技手段。国内尚处于起步阶段。该系统由 GPS 监控系统专用移动通讯网联系全部移动目标与中心监控台。系统的快速性、稳定性、可靠性主要决定于这一移动通讯网的质量。国内至今尚无成熟的专用通讯网。论文选题本身决定了其重要意义和艰巨任务。

2 · 论文解决了中国 GPS 车辆监控系统移动通讯网设计中的关键技术及一系列技术难关。从理论上解决了速度、稳定、可靠三大关键技术。

数字无线通讯网成功的基础是切实有效的通讯协议（信令），使中心监控台与所有移动台都遵守整体约定。该协议应能充分利用有限的频道资源和普通民用电台，又要保证传输可靠性（误码纠错、干扰抑制）。论文提出带有特殊分组及时间同步的时分多址方式通讯协议。实际效果达到了目前国内外最先进水平，具体表现为位置刷新速度比南京公安局（美，环球公司设计）提高了十多倍，警报时间更提高了 100 多倍。已引起日本东京、美国 CTC 及北方交通协会的关注和询问。

3 · 实际硬件的实现已使用于包括厦门公安局 110 中心等四个城市的工程中。

所有技术最终烧结在“定位控制数据调制解调器”中的 PSD 芯片中。论文已完成烧结的近二百片芯片，正运行于多个城市（包括近期的合肥）的被监控车辆中。

基于 GPS 技术的车辆监控系统移动通信网的设计和实现

The Design and Realization of Mobile Communication Network of GPS-based Vehicular Monitoring System

研究生：朱 民

指导教师：鲍远律

主要内容：

- 1) 背景介绍
- 2) 系统概述
- 3) 系统实现
- 4) 系统扩展

一. 系统背景

GPS 车辆监控系统(GPS-based Vehicle Monitor System, GPSVMS)是基于全球定位系统 GPS(Global Positioning System)的一种民用应用。

GPS 市场现状和展望 单位：亿美元

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
车辆导航	1.00	1.80	3.10	6.00	11.00	20.00	25.00	30.00
个人用户	0.45	1.00	1.80	3.24	5.80	10.00	15.00	22.50
跟踪站	0.30	0.75	1.12	1.70	2.50	3.75	5.60	8.50
OEM	0.60	1.10	1.40	1.80	2.20	2.75	3.40	4.25
测绘	1.00	1.45	2.01	2.80	3.64	4.55	5.46	6.30
GIS	0.25	0.35	0.50	0.90	1.60	2.70	4.10	6.50
航空	0.40	0.62	0.93	1.30	1.80	2.40	3.00	3.75
海事	0.80	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60
军事	0.30	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.30
总计	5.10	8.67	12.66	19.74	30.74	48.55	64.16	84.70
年增长率		70%	46%	56%	56%	58%	32%	32%
车辆导航	20%	21%	24%	30%	36%	41%	39%	35%

GPS 技术在我国个民用领域的应用特点如下：

- 航空导航
- 航运导航
- 汽车导航

GPS 车辆导航是潜力最大、需求最迫切的已成熟市场。其需求分为两个层次，一是自主导航用的车载设备，二是中心式调度监控系统。

二. 国内外的研究水平

1) 南京市“110”报警巡逻车 GPS 监控系统

巡逻车增至 100 辆时，控制中心更新一遍数据的时间超过 8 分钟。

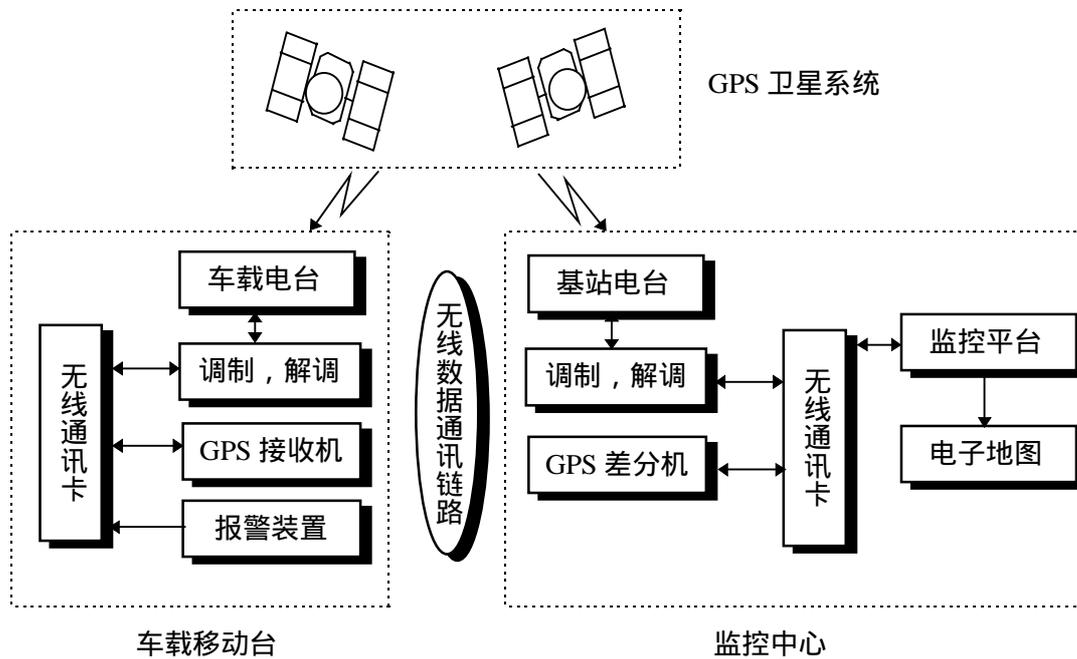
2) 海口市公安局 GPS 移动无线报警终端

3) KXJ—II 型卫星定位调度管理监控报警系统

4) Mayday System (美国华盛顿州试用)

三. GPSVMS 系统构成及系统要求

三项关键技术 监控、报警、调度功能



衡量一个 GPSVMS 系统的各种因素：

1) 监控实时性

位置信息刷新频率 f_p ：中心基站每秒钟能接收（或监测）的车辆位置信息的车辆数，单位为辆/秒。

系统平均巡检周期 T （秒）= 系统容量（辆）÷ 位置信息刷新频率 f_p （辆/秒），表示中心基站遍历系统中所有车辆所需时间，单位为秒（S）。

2) 报警快速反应能力

报警反应时间

3) 在较严重的电磁污染环境中保持较低的通讯误码率

4) 较高的系统容量

5) 电子地图的准确性

6) 信息的丰富性

7) 系统的可靠性

四. GPS 系统简介

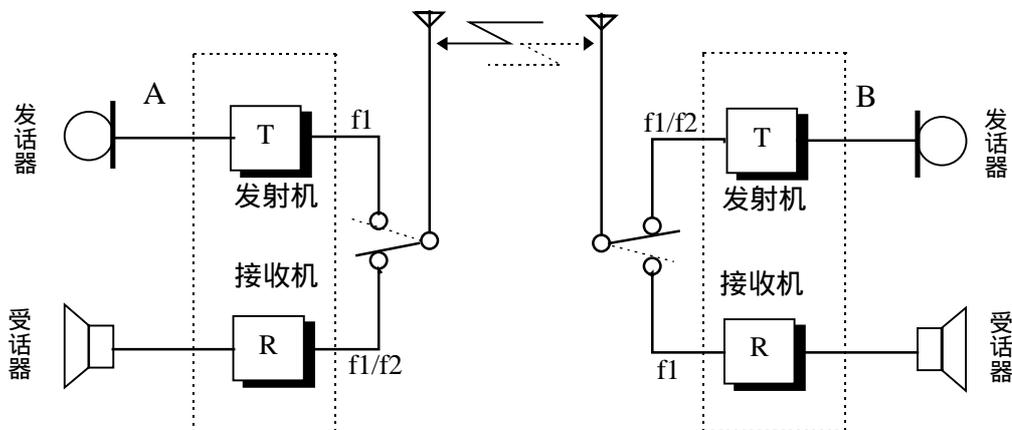
1) GPS 系统定位原理

- a) 坐标系
- b) 卫星星历
- c) 定位方法

2) 差分定位

五. GPSVMS 的移动通信制式以及移动通信协议

1) 双频道单工链路



2) 组网方式

- 大区制
- 中区制
- 小区制

3) 数字信令

一般格式：

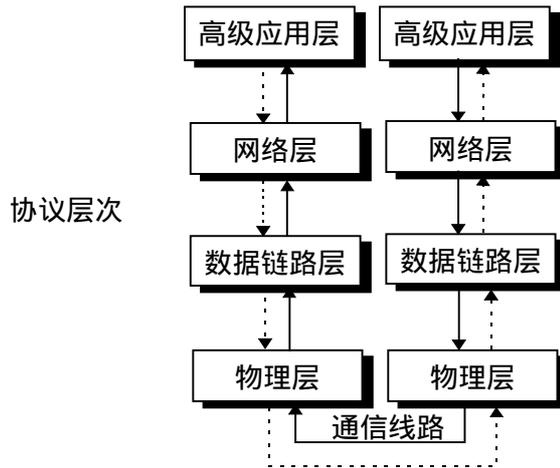
位同步	帧同步	信息	检、纠错
-----	-----	----	------

误码原因：

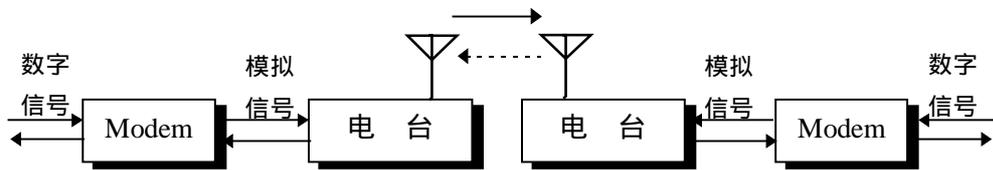
多径衰落、多普勒频移、环境噪声、电磁干扰等

4) GPSVMS 的移动通信协议

在本系统中，采用主从式的网络结构，一个基站主机（BS）和若干移动站（MS）组成系统无线网络。从分层处理的角度出发，可以实现物理层、数据链路层、网络层和高级应用层四层。



a) 物理层



基站和车载台的联系通道

b) 数据链路层

在国际标准化协议 HDLC (High Level Data Link Control , 高级数据链路控制规程) 上变化而成的。

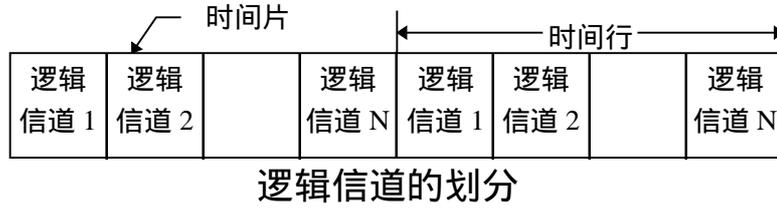


信息按帧的功用分为如下几类(从中心基站发向车载台方向的称为下行信道，反之称为上行信道)：

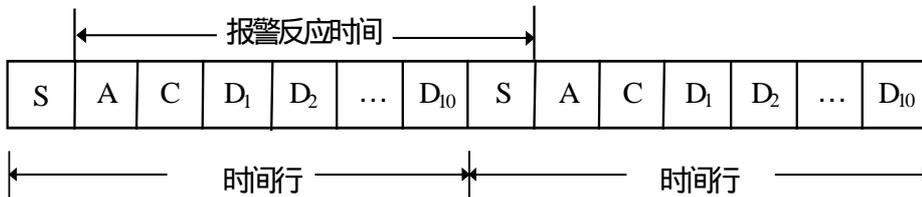
- 同步帧 (下行) —— 发送同步码元，提供系统同步基准时间；同时可富含 GPS 接收卡初始化信息。(Synchronizer , S)
- 命令帧 (下行) —— 中心站的控制信令。(Commander , C)
- 数据帧 (上行) —— 车载台的位置信息。(Data , D)
- 报警帧 (上行) —— 车载台的报警信息。(Alarm , A)
- 查询帧 (上行) —— 用作系统功能扩展使用。(Query , Q)

c) 网络层

设计采用了同步时基协议，时分多址（TDMA）。为充分利用信道资源，并保证信道畅通，将系统所用的单信道也即物理信道在时基统一的基础上划分为多个在时间域上正交的逻辑信道。

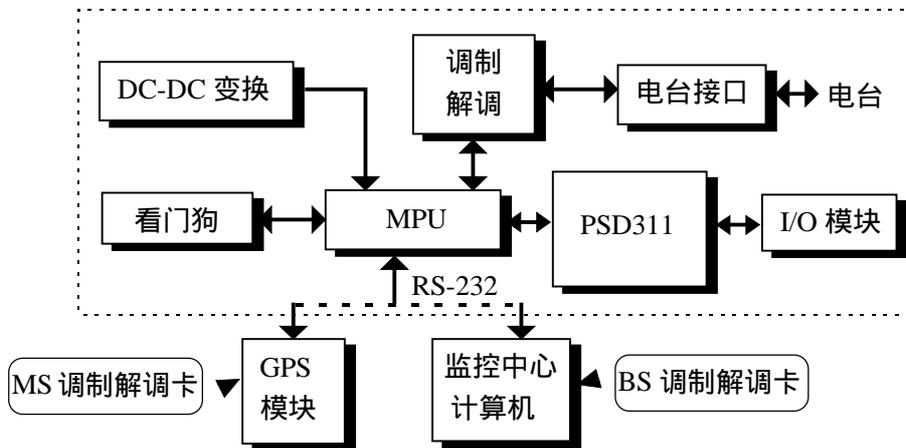


一个典型的时间行中各时间片的安排如下图所示：



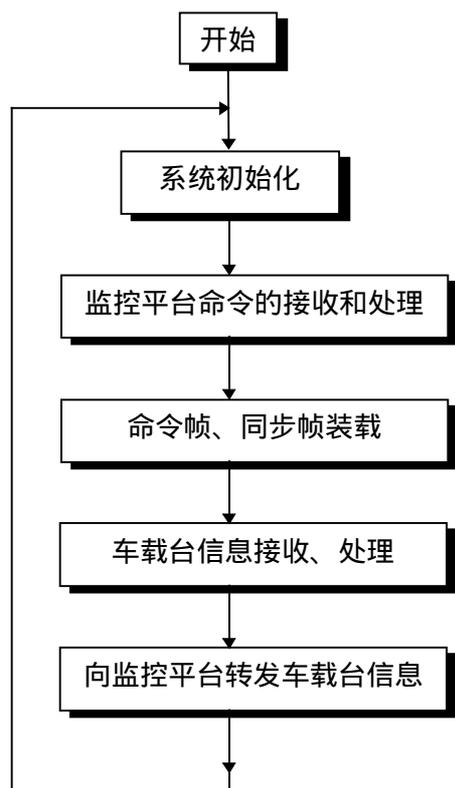
六. 设计和实现

1) 硬件

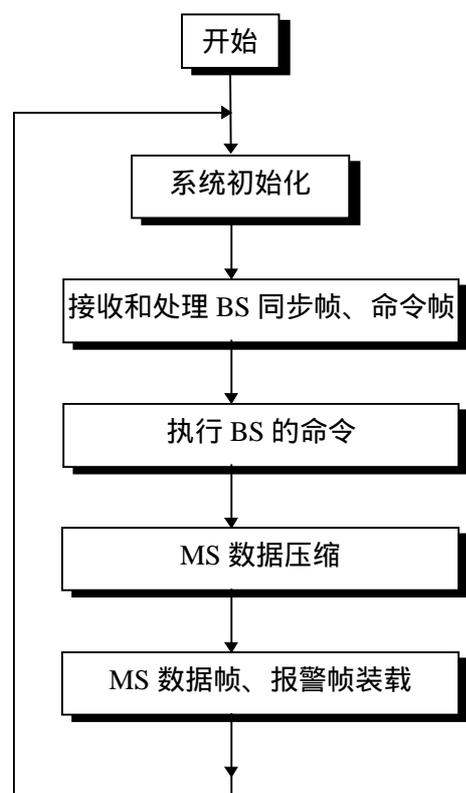


- 1) GM300 车载电台
- 2) 接收头 OEM 产品 NavCore V 和 Microtracker
- 3) 调制解调芯片 Fx469
- 4) 外围扩展芯片 PSD311
- 5) 看门狗 DS1232

2) 软件实现



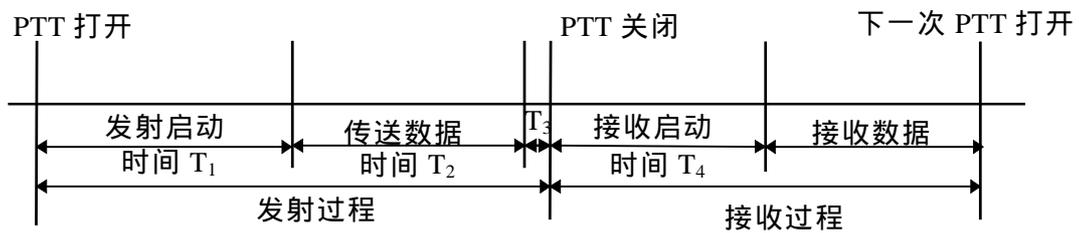
中心站 BS 的主程序结构框图



车载台 MS 的主程序结构

3) 实现中的几个关键技术

a) 延时的处理

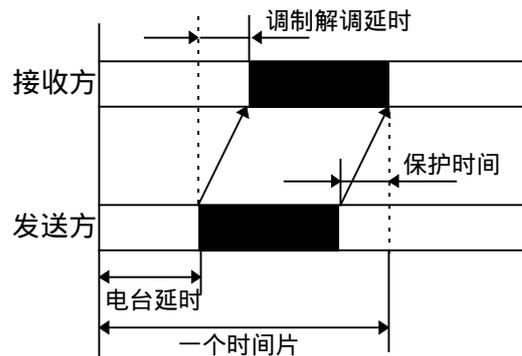


从一方送出数据到接收方接收到，其中间存在一个时间差，即调制解调时间。

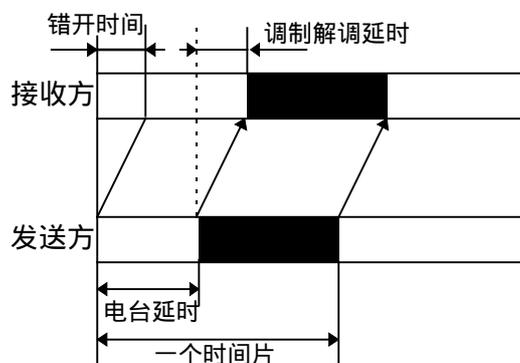
调制解调芯片的第一次调制延时 + 电台发信机的第二次调制延时 + 电波的空间传播延时 + 电台接收机的第一次解调延时 + 调制解调芯片的第二次解调延时 + 程序的执行延时等

调制解调时间的测量。

调制解调时间的处理。



加入保护时间



接收方和发送方错开时间

b) 系统同步的实现

实现 TDMA 技术的关键，就是保证系统同步，使得各个时间片在时间域上保证正交性。

MS 可以根据 BS 的同步信息确定系统时间同步的基准点，从而实现系统同步。

c) 特殊车辆的优先巡检

柔性编码（弹性编码）

例1. 某监控系统的位置刷新频率为 1Hz，容量为 5 辆车，两个优先级。下表表示了其车辆优先级的设置和最小特征巡检周期和最终生成的车辆巡检周期。

车号	优先级
1	++
2	+
3	+
4	+
5	+

优先级设置

++	+
----	---

最小特征巡检周期

1	2	1	3	1	4	1	5
---	---	---	---	---	---	---	---

最终车辆巡检次序表

系统的平均巡检周期为 5 s，采用所示的车辆巡检次序表之后，1 号车的巡检周期变为 2 s，2—5 号车的巡检周期变为 8 s。

例2. 系统基本性能同例 1。仅仅优先级的设置不同，如下表所示：

车号	优先级
1	++
2	++
3	++
4	++
5	+

优先级设置

++	+
----	---

最小特征巡检周期

1	5	2	5	3	5	4	5
---	---	---	---	---	---	---	---

最终车辆巡检次序表

在此例中，1—4 号车设置为高优先级，最小特征巡检周期同例 1。1—4 号车的巡检周期为 8 s，5 号车的巡检周期为 2 s。高优先级车的巡检周期反而长于低优先级的车辆。

为了表征巡检周期的长短，我们定义最小特征巡检周期中优先级出现的次数为优先级巡检频率。上述两例中，“++”级和“+”级

的巡检频率都是 1。

优先级巡检周期常数 = 相应优先级的车辆数目 ÷ 优先级巡检频率。则周期常数越小，其相应的巡检周期也就越短。

d) 系统可靠性

- 1) 程序跑飞的防护和恢复
- 2) 电台超时定时器
- 3) 报警可靠性

4) 平均巡检周期和报警反应时间

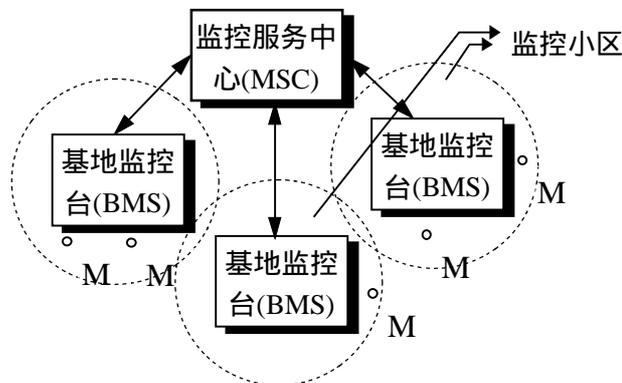
100 辆车的规模：

	巡检周期	报警反应时间
科大 GPS LAB	33 秒	3.3 秒
南京安全局	480 秒	480 秒

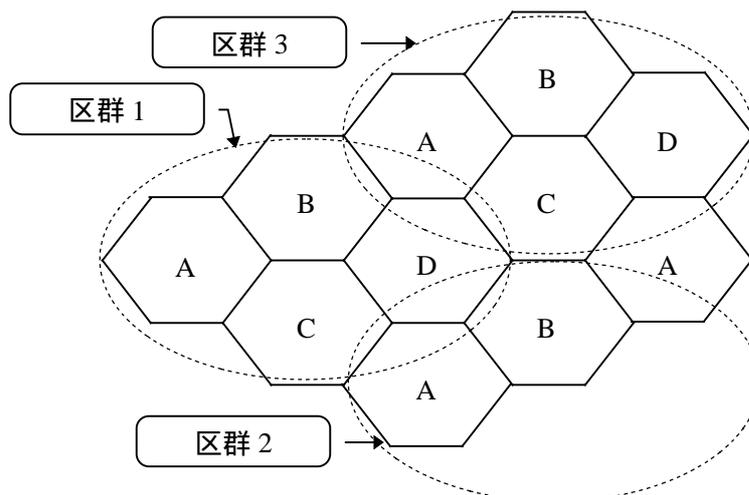
七. GPSVMS 无线通信网的扩展

GPSVMS 系统必将提出网络化的要求。

1) 小区制式的 GPSVMS 系统通信链路



小区制结构原理图





DL: Down Link, BMS \uparrow MS

UL: Up Link, MS \uparrow BMS

控制信道结构图



DL: Down Link, BMS \uparrow MS

UL: Up Link, MS \uparrow BMS

数据信道结构图

越区漫游(Hand off and Roaming)

紧急报警

2) 扩频通讯技术的应用