

摘要

随着高速铁路和城市轨道交通的蓬勃发展，对铁路运输的安全运行控制提出了更高的要求，即铁路的信息化、智能化，如今计算机、通信技术的高速发展，使得利用无线网络双向传递车、地间信息成为可能，基于通信的列车控制系统(CBTC)成为列车控制系统的方展方向，而关于列车定位则是基于通信的列车控制系统中的关键技术之一。为适应我国CBTC的发展需要，论文对CBTC中关于列车的定位问题进行了研究。

论文阐述了现有的各种列车定位方式，对比分析了卫星定位与里程计定位的特点，提了基于GPS的列车定位系统'该系统主要由车载定位子系统、车站定位子系统及信息传输系统组成。其中车载子系统主要实现定位信息的采集和显示，车站定位子系统主要实现列车位背信息的接收及处理，而信息传输系统做为二者的连接桥梁，为定位信息提供无线传输通道，

论文主要研究了列车卫星定位信息的处理和车、地间定位信息的传递。在车载定位子系统的设计中，提出了一种基于嵌入式Linux的设计方案，设计了处理GPS和里程计信息的程序GPSSERVER,并且还设计了一个基于QTE图形库的人机界面TRAINMM1。在车站定位了-系统的设计中，为了使列车可以更好地在电子地图上显示，提出了一种电子地图匹配算法，并对定位信息的接收和处理进行了软件设计。对于铁路运输系统来讲'列车实时位置信息通过无线网络在车与车、车与车站控制中心之间传递，这将为铁路运营的监控、调度及行车安全提供有力保障。

最后，论文对系统的实时性和优越性进行了分析，并对所做工作进行了总结，指出了进一步研究的方向。

关键词:CBTC,列车定位，GPS,嵌入式Linux, GSM-R,无线通信

北京交通大嘯硕士研究生学位论文

Abstract

As the flourishing advancement of High-speed railway and Urban rail transportation, security-run control of train transportation including railway intelligentization and information should be paid more attention. Now computer technology and communication technology

have fast progress which made it possible that we realize the transmit information between train and train station by applying wireless communication. So CBTC which is based on communication of train control system inevitably become the trend and the technology of train orientation will be the key technology for CBTC. In order to accommodate the development of CBTC in our country, the dissertation studies the key

technologies about train orientation in CBTC

The dissertation expatiates all kinds of modes of train orientation which put forward train orientation system based on GPS comparing with the features

of satellite orientation and Meter Device. The new orientation system is

mainly composed of On-board orientation subsystem, station orientation subsystem

and information transformation system. On-board orientation subsystem realizes

the collection of orientation information and display and station orientation subsystem realizes the receiving and procession of information about train position. At the same time information transformation system as the link bridge presents the wireless transformation path for both of them we have mentioned.

The dissertation studies the processing of train satellite orientation and pass of orientation information between train and station. In the On-board orientation subsystem design, design scheme of embedded Linux is advanced and design the programme GPSSERVER based on GPS and Meter Device information. The paper also designs the man-computer interface TRAINMMI based on QTE figure library. In the design of station orientation subsystem, the new electronic map match arithmetic is put forward in order to display the position of train on electronic map. For railway transportation system, the position data transmission of wireless network between train and train or between train and

station center will enhance the security of railway transformation and facilitate watch and attemperation.

北京交通大嘜硕士研究生学位论文

At last, the dissertation analyze the real-time performance and of the system advantage and not only summarize what I have done for this new idea but also point out the derection of more studies.

Key words: CBTC,train position, GPS, embedded Linux, GSM-R, wirless comunaicaion

北京交通大嘜硕士研究生学位论文

第一章绪论

1. 1基于通信的列车运行控制技术

1. 1. 1列车运行控制技术现状

自铁路信号出现后，很长时间以来人们一直用轨道电路作为媒体來传输列车信息。我国现有的列车控制系统主要是基于轨道电路的列车控制系统 (TBTC-Track Circuit Based Train Control)。该系统为保障行车安全，提高行车效率发挥了巨大作用。轨道电路可以传输地面信息至车上及检测固定闭塞

^[1.21]分区的占用情况，但它还存一些问题:

(1) 轨道电路传输的信息量有限，当列车控制系统要求有超速防护系统ATP,列车自动控制系统ATC应用时这个制约尤为明显。而且在列车提速后，地面向车上传送的信息不能仅限于停止、减速、通过，还应包含前车位置、前车速度、前车工况、最大允许速度等大量信息。

(2) 利用轨道电路很难实现车上至地面的信息传输，无法实现真正的闭 环控制。

(3) 轨道电路构成的自动闭塞系统，列车通过轨道电路只能判断闭塞分区是否有车占用，无法判断列车在闭塞匿间的具体位置，造成了线路通过能力的损失。

(4) 轨道电路工作稳定性易受到环境影响，例如在我国的青藏线建设中，这个问题就很突出。

TBTC是一个非常可靠的列车控制系统，但是鉴于TBTC有如上所述的缺点，自20世纪60年代起，世界各国相继涌现出了大批新型列车运行控制系统及相关理论。为满足经济增长的需求，许多国家都在大力发展高速铁路，我国也不例外。目前，我国还是客货车混跑，运输效率很有限，尤其在东南部经济较发达地区和大的节假日期间，铁路运力不足凸现，而且也不能很好的满足现在快节奏的工作、生活方式。在此背景下，国家制定了客货分运，发展高速列车的政策，这将对列车运行控制技术提出新的要求。

国内著名铁路信号专家汪希时教授在60年代提出了“无线自动闭塞系统”(即移动自动闭塞系统)的理论，指出利用无线传递车、地间双向大容

北京交通大学硕士研究生学位论文

量信息的可能。随着通信技术(特别是移动通信技术)、计算机技术、控制技术、可靠性理论、微电子技术的发展，以及信号工程技术人员对信息技术的认可，使得利用无线通信网络传输车、地间双向信息成为可能，为实现“无线自动闭塞系统”奠定了基础。这种以无线通信作为车、地间双向信息通道的列车控制系统，人们称之为基于通信的列车控制系统CBTC (Communication Based Train Control)。

CBTC受到了北美、欧洲、日本等一些经济发达国家的重视，具有代表性的有北美的先进列车控制系统(ATCS)、欧洲的欧洲列车控制系统(ETCS)、日本的计算机无线通信辅助列车控制系统(CARAT)和先进列车管理和通信系统(ATACS)等。

国外CBTC的发展，也为我国发展CBTC系统提供宝贵的经验。为了提高铁路运输效率，保障运输安全，我国一直对新的列车控制系统进行探索和研究。目前，我国在借鉴欧洲ETCS的成功经验的基础上，研究适合我国国情的中国列车控制系统(CTCS),并制定了CTCS的技术规范。

1.1.2 CBTC系统介绍

1999年9月，IEEE为CBTC制定了第一个标准，IEEE Std 1474.1-1999, “IEEE Standard for Communications-Based Train Control(CBTC) Performance and

【3QFunctional Requirements” ,将CBTC定义为】 :利用高精度的列车定位(不依赖于轨道电路),双向连续、大容量的车—地数据通信,车载、地面的安全功能处理器实现的一种连续自动列车控制系统。

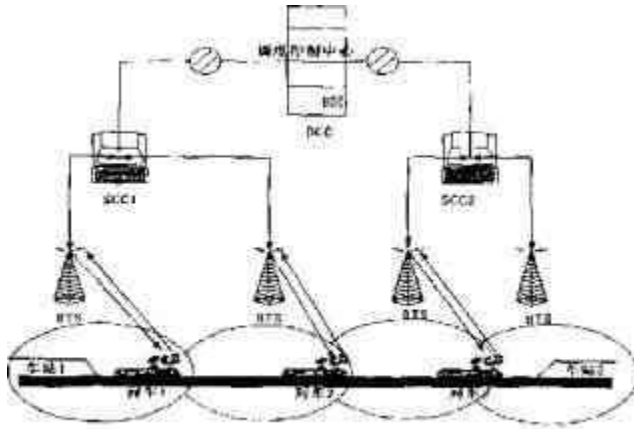


图 1-1 CBTC 工作原理图

CBTC工作原理如图1 — 1所示,调度控制中心DCC(Dispatch Control Center)控制多个车站控制中心SCC (Station Control Center),实现相邻SCC 之间的控

2

北京交通大学硕士研究生学位论文 制交接。SCC通过管辖范围内多基站BTS (Base Train Station)与覆盖范围内的车载设备OBE(On Board Equipment)实时双向联系。各列车在区

段内运行时,通过全球定位系统(GPS)、查询应答器或里程计装置实现列车位置和速度的测定。现以图中列车1和列车2为例,列车1的OBE利用无线通过基站BTS将列车位置、速度信息发送给SCC1。SCC1通过BTS周期地将目标位置、速度及线路参数等信息发送后行列车即列车2。列车2收到信息后,根据列车1运行状态(位置、速度、工况)、线路参数(弯道、坡度等)、本车运行状态、列车参数(列车长度、牵引重量、制动性能等),采用车上计算、地面(SCC)计算或是车上、地面同时计算,并根据铁路信号故障—安全原则,以比较、选择的方式,预期列车在一个信息周期末的状态 能否满

〔21〕足列车追踪间隔的要求,从而确定合理的驾驶策略。〔21〕CBTC具有如下特点:

- 1) 不依赖于轨道电路实现高精度的列车定位。
- 2) 通过连续覆盖的车、地双向数据通信网络,实现列车的控制、状态信息的传递,其信息量与传统列控系统相比显著增加。

3) 通过道旁、车载安全处理器处理列车的状态和列车控制数据,可根据具体应用提供自动列车防护(ATP -Automatic Train Protection)>自动列车驾驶(ATO -Automatic Train Operation)、自动列车监督(ATS-Automatic Train Supervision)、自动列车控制(ATC-Automatic Train Control)。

^[2]CBTC的优点是显而易见的,主要有以下几点:

- 1) 有利于实现移动闭塞(CBTC-MAS),提高E间通过能力,真正构成列车运行闭环控制系统。
- 2) 通过车、地间双向信息的传输,实现对列车的闭环控制,从而大大降低人为错误的影响,系统的可靠性更高。
- 3) 减少沿线设备,设备主要集中于车站和机车上,减轻设备维护和管理的工作强度,受环境影响小。
- 4) 区段内所有运行列车的各种参数(如:列车号、机车号、位置、速度、工况、始发站、终到站、车辆数、载重量等)自动地发送给各种管理系统,实现铁路信息化。
- 5) SCC依据列车状态及前车状态,结合智能技术调整列车运行,获得

3

北京交通大学硕士研究生学位论文

最佳的区间通过能力,减少列车在区段内运行时不必要的加速、制动,节省燃料,增加旅客乘坐舒适度。

6) CBTC的无线信道也可以用于铁路公务、机务、安全、卫生等多种信息的传输,不需要再投资建立新的信息通道。

1.2 CBTC系统关键技术

在实现CBTC系统时需要应用大量新技术和传感器,因为现在已经抛弃轨道电路,而是使用无线通信,所以有必要了解被控制对象的现状和行为,然

^[11]后再加以控制。实现CBTC系统的关键技术很多,其中主要有:

(1) 列车定位技术—确定被控列车在什么地方,以便形成移动闭塞区间^

(2) 列车、地面之间的双向通信技术—此通信不同于一般的通信，因为它要传输的是高可靠性的重要数据，其内容涉及到生命财产安全，而且不能拖延时间，因为列车一直处于动态运行之中。

(3) 列车完整性检测—因为不使用轨道电路，所以一定要用一种新的技术方法来测量列车是否中间分离，因为当后半截列车分开而失去控制能力时，就有可能发生重大事故。

1.3 列车定位技术

列车的实时位置信息对于智能化的高速列车自动控制系统、货车信息动态追踪系统、运输管理信息系统、行车安全保障体系和安全综合检测车都非常重要。利用现代通讯技术在车与车、车与车站中心之间传递列车实时位置信息，可以大范围地缩短行车间隔，可以为实现移动区间自动闭塞提供有力保障，从而大大提高铁路网的通过能力和行车安全。因此，实现列车实时定位具有重要的现实意义。

因为铁路运输系统必须是高可靠和安全的，所以对信号有特殊的要求，目前已有的一些传统定位传感器主要有：里程计、应答器、雷达探测器、惯性系统、轨道电路和电子计轴器等，它们有着各自的优缺点。w

(1) 查询—应答器

作为定位应用的查询—应答器一般是无源的，即在铁路道路床中央，或在路轨的某一侧的地面上装有应答器，它是无电源的，与此相应的在机车上一侧或者中央安装一个查询器。应答器与查询器之间有相应的耦合电磁感应场。查询器在列车通过应答器时发射一个电脉冲，根据感应原理，该脉冲在线路侧的接收器上触发一个编码脉冲，向列车发送位置信息。它的特点是：定位精度比较高，可达5m；但是要实现更多的定位信息，需要大量的安装应答器，造成较大的成本，而且在无人烟区不利于设备的维护 和保4

北京交通大学硕士研究生学位论文 养。

(2) 里程计

里程计是一种测定车轮在一定的时间内角差增量的传感器，车轮每转动一周，就产生一定数量的数字脉冲，里程计记录这些数字脉冲来确定列车

行驶的速度和距离。它的主要缺点是:定位误差随时间积累,难以较长时间的独立工作;当车轮磨损时,通过车轮直径获得里程数时误差较大。

(3) 惯性系统

惯性定位系统通过惯性元件(陀螺仪和加速度计等)感应列车在运行过程中的加速度,由计算机对输入的加速度进行两次积分,便可以得出该载体在空间的位置变化。从而可以测定列车的位置、速度、加速度、行驶线路的坡度和曲率等。它的缺点是造价比较高。

(4) 无线测距定位系统

无线测距定位系统在车上和沿线分别安装扩频无线电设备,通过测量车上设备同道旁设备间无线电传播时间实现列车定位。定位精度与扩频信号的频率有关,信号频率越高则定位精度越高。它的抗干扰能力较强,当无线设备开始与车站进行通信时就可以知道列车的位置。它安装简单,只需在车上安装天线和车载计算机,通过优化无线通信网络结构可实现很短间隔的列车查询。

(5) 轨道电路法

轨道电路法将钢轨分割成不同的区间实现对列车定位。在每个区间的始端和终端加上发射与接收器件,构成一个信息传输回路。区段空闲时,信息由发射端通过回路传输到接收端,接收端继电器吸起;当列车介入区段时,轮对将两根钢轨短路,信息不能到达接收端,接收端继电器落下,达到列车检测、定位的目的。它的缺点是_以轨道电路长度作为最下定位单元,无法构成信息的连续传递,无法实现列车间的追踪和移动闭塞。

(6) 卫星定位系统

对于铁路的实时定位而言,卫星定位技术是一种新的手段。这方面使用较为成熟的是美国的GPS系统,尤其是2000年5月,美国政府宣布SA政策取消后,利用民用码可以达到30m的精度范围,如果采用差分DGPS则可以达到3m~5m的定位精度。当然使用GPS也有着诸多的缺陷,例如GPS

北京交通大学硕士研究生学位论文

机可能出现信号丢失的情况^导致定位信息的不连续,而且受到美国政府的控制。

1.4 列车追踪技术

现有的列车追踪技术主要就是指移动闭塞技术，此技术是建立在可以对列车精确实时定位得基础上的。移动闭塞是一种新型的闭塞制式，而上面介绍的基于通信的列车控制系统(CBTC)则是实现这种闭塞制式的技术手段 => 国际上已有不少城市开始采用这种新的技术对现有的城市轨道交通列车控制系统进行更新。移动闭塞可以根据列车实际的速度和相对的速度来调整闭塞分区的长度，尽可能缩小列车运行的间隔，提高行车密度。

移动闭塞系统是一种区间不分割、根据连续检测先行列车位置和速度进行列车运行间隔控制的列车运行系统。这里指的连续检测并不是意味着一定没有间隔点。在移动闭塞系统中，后续列车的速度曲线随着目标点的移动而实时计算，后续列车到先行列车的保护段后部之间距离等于列车制动

¹⁵¹距离加上列车制动反应时间内行驶过的距离》

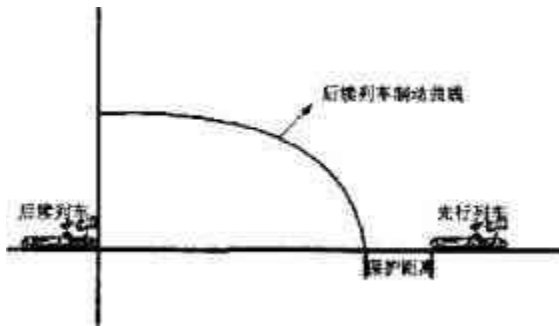


图1—2移动闭塞工作原理

要实现移动闭塞这种先进的列车追踪技术需要有无线数据通信网、车载设备、车站控制中心等。其中，无线数据通信是移动闭塞实现的基础。通过可靠的无线数据通信网，列车将位置、车次、列车长度、时间速度、制动潜能和运行状况等信息以无线的方式发送给车站控制中心，车站控制中心再以输入的方式向列车发送移动授权。由此可见，移动闭塞和CBTC是紧密相连的。

¹⁵¹移动闭塞系统具有如下一些特点:

> 线路没有固定的划分闭塞区间，列车间隔是动态的，并随前一列车

的移动而移动;

> 列车间隔是按后续列车在当前速度下所需的制动距离，加上安全裕量计算得出，并据此对列车加以控制的，确保不追尾;

> 制动的起点和终点是动态的，轨旁设备的数量与列车运行间隔关系不大;

> 可实现较小的列车运行间隔;

5 本文研究内容

论文主要对列车定位这一 CBTC 系统中的关键技术进行了研究，主要包括利用卫星定位对列车精确定位和定位信息在车一地之间得传输。本文研究的定位系统主要包括地面子系统、车载子系统及信息传输通道。重点讨论了列车的定位技术和信息传输方法，对相关的软件部分做了设计。关于列车位置信息的采集主要是使用了卫星定位、里程计及查询一应答器等装置，采集到的位置信息除了在车载显示设备上做出显示外，还将此信息利用无线网络发送到地面控制中心，车站则利用相关的电子地图匹配算法实时显示列车的位置，并且将经过处理的信息传到后续列车中去。关于车载子系统的设计提出一种基于嵌入式 Linux 操作系统的设计方案，并针对此系统设计了相关的应用程序。定位信息还需要在车一地间实时传递，所以本文也对其相应的软件做了设计。

本文共分为六章，各章内容安排大致如下所述。

第-•章:本章介绍了列控技术和列车定位技术的相关内容，包括工作原理和系统组成等。

第二章本章是介绍关于卫星定位原理及其在列车上的应用，重点论述了 GPS 的原理和应用。

第三章本章对地面、车载子系统及信息传输系统做了必要的阐述。

第四章本章主要对车载子系统的定位信息的接收和显示做了软件设计，还介绍了和车站控制信息通信的相关内容。

第五章:本章主要论述了车站控制中心对列车信息的处理以及和列车之间的通信,重点论述了电子地图的匹配算法以及和列车通信的软件设计。

第六章:本章对本文定位系统的实时性和优越性做了一些分析,最后对论文进行了总结,指出了下一步的研究方向。

第二章卫星定位在列车定位中的应用

随着卫星定位技术的不断成熟,定位精度也越来越高,这将为列车的定

7

北京交通大学硕士研究生学位论文

位提供一种新的位置测量手段。本章将介绍GPS的定位原理、地图的投影方法以及GPS在铁路的应用。

2.1 卫星定位系统概述

卫星定位在军事领域里使用较多,例如用来给导弹、飞机等导航等,很多国家都花了大量的人力、物力搞自己的卫星定位系统。其中有前苏联的GLONASS (Global Navigation Satellite System)、美国的GPS(Global Positioning

System)、欧洲的伽利略卫星定位系统、以及我国的北斗星双星定位和开始筹建的北斗二代等。这么多的国家热衷于此,可见卫星定位的重要性。近来,卫星定位技术使用越来越广泛,随着该技术的不断成熟和发展,卫星定位的应用领域已经迅速扩大,列车定位当然也包括在这其中。本论文所讨论的卫星定位系统主要是用GPS定位技术,因为GPS是目前最完善和应用最广泛的卫星定位技术。

2.2 GPS卫星定位系统

GPS 即全球定位系统是英文 Navigation Satellite Timing and

Ranging/Global Positioning System 的字头缩写词 NAVSTAR/GPS 的简称。它是美国从本世纪70年代开始研制,历时20年,耗资200亿美元,于1994年全面建成,此系统具有在海、陆、空进行全方位实时三维导航与定位能力。

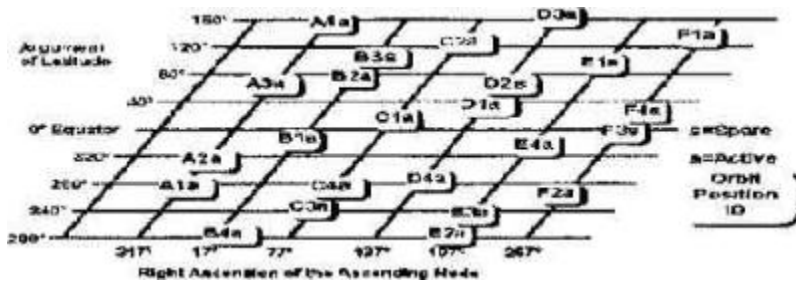
GPS定位系统由三大部分组成，即由GPS卫星组成的空间部分、由若干地面站组成的控制部分和以接收机为主体的广大用户部分，三者有各自独立的16)功能和作用，但又是有机地配合和缺一不可的整体系统。

(1)空间部分

空间部分由GPS卫星组成，覆盖全球上空的GPS卫星星座，必须保证在各处能实时观测到高度15°以上的4颗卫星。目前，GPS工作卫星星座共有24颗卫星，均匀分布在倾角55°的6个轨道上，即各轨道升交点(与赤道交点)之间的角距为60°，每个轨道上均匀分布4颗卫星，相邻轨道之间的卫星还要彼此叉并40°，以保证全球覆盖的要求。

8

北京交通大学硕士研究生学位论文



Simplified Representation of Nominal GPS

Constellation 图24 GPS星座示意图

GPS工作卫星重达3000kg，设计寿命7.5年，卫星上装备了无线收发两用机、原子钟、计算机等装备。每颗卫星以两个L波段频率发射载波无线电信号，其中L1为1575.42MHz，L2为1227.60MHz，波长约为24cm。在L1载波上测距用P码(精码)和C/A码(粗搜索码)。C/A码是供民用的标准定位服务，P码只供美国军方和授权用户使用。此外，在载波上还调制了50bit/s的数据导航电文，内容包括：卫星星历、电离层模型系数、状态信息、时间信息和星钟偏差以及漂移信息等。

GPS卫星采取多种编号识别系统，通常采用的编号是PRN数(伪随机噪声数)，由各卫星的导航电文获知。GPS工作卫星离地高度是20200km，运行周期为12个恒星时，因此，完整的工作卫星星座保证在全球各处可以

随时观测到4~8颗高度在15°以上的卫星，若要求高度仅在10°和5°以上时，分别可观测到4~12颗卫星。

(2)控制部分

控制部分负责监控全球定位系统的工作,包括主控站、监控站和注入站。

主控站卫星控制中心，位于科罗拉多普林斯附近的Fakcm空军基地，其任务：

是收集各个监控站送来的跟踪数据，计算卫星轨道和钟差参数并发送至各注入站，转发至各个卫星。主控站本身还是监控站，可以诊断卫星的工作状态，进行调整。

监控站:共有5个，除了主控站外，同时还在太平洋、印度洋、大西洋的三个岛屿上装备了P码接收机和精密原子钟，随所接收到的卫星进行连续的P码伪距跟踪测量，并将每隔1.5s的结果数据传到主控站。

9

----- 北京交通大学硕士研究生学位论文 -----

注入站共有3个。主要功能是将主站发送来的卫星星历和钟差信息，每天一次地注入到卫星上的存储器钟。如果注入站因故障无法注入星的数据，存储器也能具备长达14天的预报功能。当然此时的定位精度也随之降低不少。

(3)用户部分

用户部分就是用户的GPS接收终端机。GPS信号接收机的任务是:能够捕获按一定卫星高度截止角所选择的待测卫星的信号，跟踪这些卫星的运行，对接收到的GPS信号进行变换、放大和处理，以便测量出GPS信号从卫星到接收机天线的传播时间，解译出GPS卫星所发送的导航电文，实时地计算出测量点三维位置，甚至是三维速度和时间。

GPS卫星发送的导航定位信号，是一种可供无数用户共享的信息资源。对于陆地，海洋和空间的广大用户，只要拥有能够接收、跟踪、变换和测量GPS信号的接收设备，就可以在任何时候用GPS信号导航定位测量。

GPS主要为美国军方服务，军方用户导航型接收机可为飞机、舰艇和战车以及野外人员的定位。十多年来，导航型接收机已广泛应用于交通等领

域，更为突出的是相位接收机的问世’这种接收机用于精密相对定位。GPS接收机的种类虽然多，但它的结构基本一致。

3 GPS定位的基本观测量及定位原理

2.3.1 GPS定位的基本观测量

GPS卫星信号含有多种定位信息^根据不同的要求可以从中获得不同的观测量。对于测地型接收机，一般可得到一下两类观测量:伪距和载波相 位。

[71][31]有的接收机还可以给出载波相位变化率。

(1)码相位伪距观测量

码相位伪距观测量是指通过测量得到的卫星信号从发射时刻到接收机接收时刻之间的时延，然后再乘以光速得到的距离观测量。传播时间由接收机内部码跟踪环路通过比较卫星时钟产生的测距码和接收机复制的结构完全一致的测距码之间的相关数据，直至达到最大的相关系数得到。由于测距码分别根据发送卫星的时钟和接收机的时钟产生，而两个始终都不可避免存在时钟误差(简称钟差)，另外，由于电离层和对流层延迟的影响，因而伪距观测量并不完全等于卫星与接收机之间的集合距离。观测量方程的一般形式为：

北京交通大学硕士研究生学位论文

$$P = P + \rho \sim d) \wedge d + d + d + e (3-1) \quad \text{Tpiontropp}$$

式中, p -伪距观测值(m)

ρ —站、星间的几何距离(m)

C —光速:m/s)

分别为卫星和接收机钟差(s) d_T, d_r -

$d_{im},$ -分别为电离层和对流层的延迟量(m)

卫星轨道误差(m)

s_p —伪距观测量噪声(m)

(2) 载波相位观测量

载波相位观测量是接收机测量得到的卫星信号的载波相位与同一测量时刻接收机产生的载波相位的差值。由于测量相位差的精度高于测量时间差的精度，故相位测量精度高于伪距测量精度，即相位测量具有低噪声的特点。但相位观测量只能测出不足一周的小数部分，整数部分通过积分多普勒得到，历元1的整数部分未知。因而相位观测量只相当于卫星与接收机之间的部分距离观测量。观测量方程如下：

观测量方程如下：

$$\phi = f(d) - N \lambda + d + d_s, \quad (3-2) \quad \tau + \tau_{ion} + \tau_{opp} + C$$

式中， ϕ —载波相位观测值(周)

f —载波频率(周/秒)

N —载波相位的整周模糊度(周)

σ_ϕ —载波相位观测量噪声

相位观测量的主要优点是：具有低噪声，大小约为信号波长的1%，同时，对多路径误差不敏感，故高精度定位中都采用相位观测量。但要利用相位观测量得到高精度的动态定位结果，必须正确求得初始相位模糊度 N 的值。 N 是一个未知的整数，且接收机至每一颗卫星之间的相位观测量中

均含有这样一个未知的互不相关的整数值。如果观测过程中不存在周跳，则 N 是不变的常数，而在动态定位中，由于信号的遮蔽，载体的加速以

及大的电离层活动的影响，周跳往往不可避免。因此，除非已妥善解决了周跳的探测与修复问题，否则，在定位过程中，必须要求对卫星信号保持连续的跟踪。

2.3.2 GPS定位原理

导航星系统是无源测距系统。在无源测距系统中，用户通过比较接收到的卫星发射的信号和本地参考信号，测量传播延时。若卫星时钟和用户时钟同步，那么卫星时钟和用户时钟同步，否则说明存在时钟延时，而且延时的时间和卫星到用户间的距离成正比。

其实，卫星系统的定位原理比较简单，下面的公式说明了怎样得到用户的位置的。

$$\sqrt{(Z - x_i)^2 + (r - y_i)^2 + (Z - z_i)^2} = (R_t - C_b)(i = 1, 2, 3, 4) \quad (3-3)$$
 其中， x_i, y_i, z_i 分别是第 i 颗卫星的三维坐标，由 GPS 卫星以 50HZ 的速度向全球不间断广播， r, y, Z 是接收机的位置， r 是传播距离 A 为校准时钟偏差， c 是光速， r 是用户到卫星的伪距。于是得到了四个方程，这四个方程对于四个未知数 r, x, y, z ，一般说都有唯一的解，由此可以得到接收机精确的位置参数信息。从上面的方程也可以看出，为什么说接收机一定要接收到四个以上的卫星信号才能对用户准确的定位。

定位系统除了为用户提供三个位置坐标及精确时间外，还可以提供三个速度分量，这是通过测量电波载频的多普勒频移而获得的伪距变换率 \dot{r} 通过如下方程得到：

$$(3-4) \quad \dot{r} = -\dot{x}_i \frac{x - x_i}{r} - \dot{y}_i \frac{y - y_i}{r} - \dot{z}_i \frac{z - z_i}{r}$$

这里， $\dot{x}_i, \dot{y}_i, \dot{z}_i$ 和 (x_i, y_i, z_i) 分别是第 i 颗卫星的速度和位置， r 是伪距变化量， c 是光速， x, y, z 和 r 分别是待求量，当接收到四颗卫

北京交通大嘴硕士研究生学位论文

星信号的时候，就可以建立一个方程组，分别求得四个未知量， $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ 就是我们所需要的三维速度信息。

2.4 GPS中的坐标转换问题

2.4.1 各种坐标系 (1) 地心直角坐标

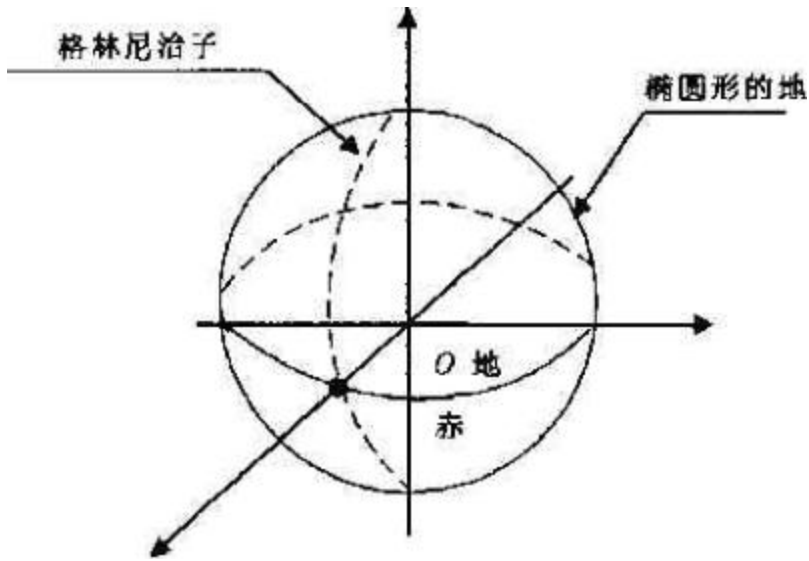


图2_2地心直角坐标系

卫星在空间运行的轨迹称为轨道，利用卫星进行定位必须把卫星轨道和地球联系起来，使卫星和用户处在同一坐标系中。

地心直角坐标系又称空间直角坐标系。如图2—3所示，它是以前地球的地心O为原点，XOY平面在赤道面上，OX正指向格林尼治子午线与赤道的交点，OZ轴指向地球北极，与地球极轴重合。该坐标系与地球紧密结合在一起，随地球旋转而转动。

(2)大地坐标系

从微观上来说地球并非圆球体，而是近似椭球体，其极半径约为6357Km,赤道半径约为6378Km，相差约21 Km，地球表面凹凸不平。

为了得到较高的精确度，在定位时必须用与地球最吻合的椭球体来代替地球，并取椭球面和大地基准面之间高度差的平方和最小。这个椭球称为参考椭球或基准椭球。大地水准面是指假想的无潮汐、无温差、无风、无盐的海面。在地球上任一点P的大地水准面高度是指该点大地水准面与基准椭球面之间的距离。P点的海拔高度是指该点实际地形与大地水准面之间的距离。

地球上某一点用大地坐标或地理坐标来表示，即用经度、纬度与高度表示。大地坐标的基准圈是赤道。通过格林尼治天文台的地球子午线称为0°。

经度线，它与赤道的交点是大地坐标的起算点。地球任意一点的经度，就是以格林尼治子午线与该点子午线之间所截的赤道短弧所对的球心角，常以 $0^\circ \sim 180^\circ$ 用E表示。经度的计算是以格林尼治子午线算起，向东与向西都是 $0^\circ \sim 180^\circ$ ，向东称为东经，用E来表示；向西称为西经，用W表示。

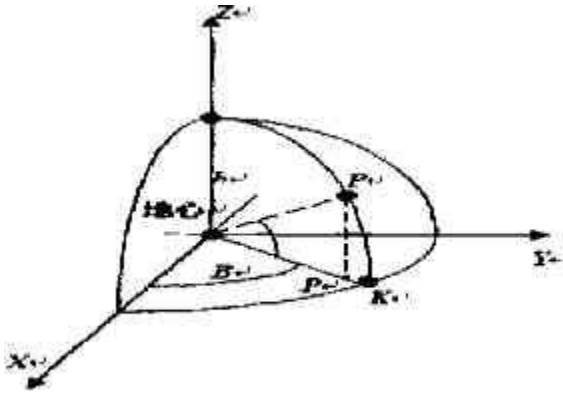


图 2-3 大地坐标示意图

地球上任意一点的纬度是以赤道为基准，子午线在该点的法线与赤道面的交角为该点的纬度，用L表示。在图2—4中，P点的纬度是指PO与OK的夹角。纬度从赤道算起，向北与向南都是 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。向赤道以北称为北纬，用N表示；向赤道以南称为南纬，用S表示。

地面上任意一点的高度H指该点的实际地形与基准椭球面之间的距离，即

$$H = N + h \quad (3-5)$$

式中，N为大地水准面高度，h为海拔高度。

2.4.2 坐标转换

地球上任意一点可用空间直角坐标(X, Y, Z)和地理坐标 (λ, φ) 来表示，它们之间可进行相互计算。由地理坐标转换为空间直角坐标遵循如下

‘规则’

$$X = (R + h) \cos \varphi \cos \lambda$$

$$Y = (R + h) \cos \varphi \sin \lambda$$

$$Z = (R + h) \sin \varphi$$

$$2E(1-e)\sin^2$$

式中： $\rho = \frac{a^2}{r}$ ， a 为长半轴、 b 为短半轴； $(1 - e \sin f)$

由空间直角坐标变换为地理坐标遵循以下规则：

$$\frac{P}{E}$$

$\cos(j)$

$$X_3 \perp \wedge_w Z \wedge (efbsine, t_g (P_eWT) \wedge$$

式中：

$$22P = (x + y) \wedge$$

2.4.3 地图的投影

在数学中，投影(Project)的含义是指建立两个点集间一一对应的映射关系。同样，在地图学中，地图投影就是指建立地球表面上的点与投影平面上点之间的一一对应关系。地图投影的基本问题就是利用一定的数学法则把地球表面上的经纬线网表示到平面上。凡是地理信息系统就必然要考虑到地图投影，地图投影的使用保证了空间信息在地域上的联系和完整性，在各类地理信息系统的建立过程中，选择适当的地图投影系统是首先要考

北京交通火学硕十研究生学位论文

虑的问题。由于地球椭球体表面是曲面，而地图通常是要绘制在平面图纸上，因此制图时首先要把曲面展为平面，然而球面是个不可展的曲面，即把它直接展为平面时，不可能不发生破裂或褶皱。若用这种具有破裂或褶皱的平面绘制地图，显然是不实际的，所以必须采用特殊的方法将曲面

161 开，使其成为没有破裂或褶皱的平面。展

地图投影的变形

地图投影的方法很多，用不同的投影方法得到的经纬线网形式不同。用地图投影的方法将球面展为平面，虽然可以保持图形的完整和连续，但它们与球面上的经纬线网形状并不完全相似。这表明投影之后，地图上的经纬线网发生了变形，因而根据地理坐标展绘在地图上的各种地面事物，也

必然随之发生变形。这种变形使地面事物的几何特性(长度、方向、面积)受到破坏。主要由如下几种类型:

长度变形

地图上的经纬线长度与地球仪上的经纬线长度特点并不完全相同,地图上的经纬线长度并非都是按照同一比例缩小的,这表明地图上具有长度变形。

面积变形

由于地图上经纬线网格面积与地球仪经纬线网格面积的特点不同,在地图上经纬线网格面积不是按照同一比例缩小的,这表明地图上具有面积变形。

角度变形

是指地图上两条所夹的角度不等于球面上相应的角度,只有中央经线和各纬线相交成直角,其余的经线和纬线均不成直角相交,而在地球仪上经线和纬线处处都成直角相交,这表明地图上有了角度变形。

地图投影的分类

地图投影的种类很多,由于分类的标志不同,分类方法就不同。从使用地图的角度出发,需要了解下述几种分类。

按变形性质地图投影可以分为三类:等角投影、等积投影和任意投影。

等角投影

等角投影在一点上任意方向的长度比都相等,但在不同地点长度比是不同的,即不同地点上的变形椭圆大小不同。

等积投影

定义为某一微分面积投影前后保持相等,亦即其面积比为 h 即在投影平

北京交通大嘜硕士研究生学位论文

面上任意一块面积与椭球面上相应的面积相等,即面积变形等于零。

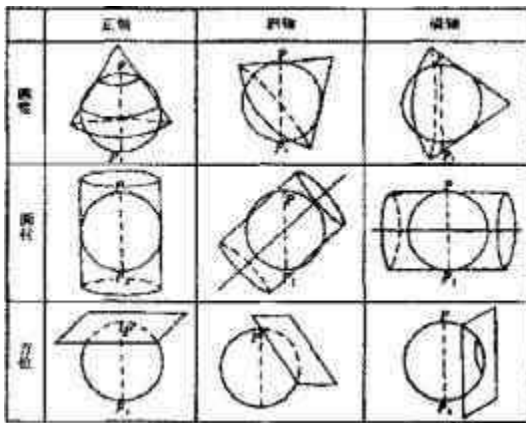
3)等距投影

在任意投影上，长度、面积和角度都有变形，它既不等角又不等积。但是在任意投影中，有一种比较常见的等距投影，定义为沿某一特定方向的距离，投影前后保持不变，即沿着该特定方向长度比为1。

它们之间的关系是：在等积投影上不能保持等角特性，在等角投影上不能保持等积特性；在任意投影上不能保持等角和等积的特性；等积投影的形状变形比较大，等角投影的面积变形比较大。

按照构成方法，可以把地图投影分为两大类几何投影和非几何投影。其

中几何投影主要有方位投影、圆柱投影、圆锥投影，投影原理细下图所。



161图2—4各种几何投影

非几何投影是指不借助几何面，根据某些条件用数学解析法确定球面与平面之间点与点的函数关系在这类投影中，一般按经纬线形状又分伪方位投影、伪圆柱投影、伪圆锥投影、多圆锥投影。

(3) 地图投影的选择

地图投影选择得是否恰当，直接影响地图的精度和使用价值。这里所讲的地图投影选择，主要指中、小比例尺地图，编制小区域大比例尺地图，无论采用什么投影，变形都是很小的，

选择制图投影时，主要要考虑以下因素制图区域的范围、形状和地理：

北京交通大学硕士研究生学位论文

位置，地图的用途、出版方式及其他特殊要求等，其中制图区域的范围、形状和地理位置是主要因素。

在本文论述的系统中，关于电子地图的制作，最好是使等变形线与制图区域的轮廓形状基本一致，以便减少图上变形。在绘制铁路中使用的电子地图时，也要根据地图的比例，所覆盖的范围等实际情况选择合适的地图投图影方法，使其获得更高的精度和使用价值。

5 GPS定位技术在列控系统中的应用

5.1 GPS在CBTC中的应用分析

在前面所叙述的基于通信的列控系统中，列车的位置信息对整个列控系统起着至关重要的作用。这里主要讨论GPS的定位方法。

GPS提供的定位信息可以传递给车站控制中心，进而提供给列车调度中心(如第一章图1-1所示)，有了这个信息，调度中心就可以在精确的电子地图上显示出各个列车的实时位置，供列车调度工作人员参考。

>有了列车的GPS信息，分别传给车站控制中心，车站计算机计算完后将两车间隔距离、速度等信息传给它的后车，为列车的驾驶员制定驾驶策略提供准确的参考。

在车站的时候，利用差分法GPS定位可以达到很高的精度，所以利用此定位信息，可以使车站工作人员了解到列车的占用股道情况和列车出、进站情况。

>在列车的车头和车尾同时装上GPS卫星定位系统，这样可以为列车的完整性检测提供一种新的测量手段。

5.2我国GPS在铁路应用现状

八十年代初，我国一些院校和科研单位开始研究GPS技术。从八十年代中期，我国引进GPS接收机，并应用与各个领域。同时着手研究建立我国自己的卫星导航系统。九十年代并始全球定位系统技术发展十分迅速，特别式进入九十年代末期以来，其应用技术取得了前所未有的重大进展。

在铁路运输方面，近年来，卫星导航、数据传输等先进技术也逐步应用

15)与铁路运输。当前，以GPS为基础的列车监控导航系统正在世界上的一些国家推广应用，我国部分列车也应用了此类系统。在列车监控导航系统中，列车上的GPS接收机通过安装在车厢外的天线接收GPS卫星信号，实时测定列车的位置和运行速度，同时列车上的状态监控和检测装置测得油、水温度、燃料数量、曲轴箱质力、机车适应性等数据。这些数据经过列车的计算机处理后，通过信息传输系统送到铁路列车控制中心，控制中心根据运行情况和各列列车位置、运行速度和列车其他状况，向列车以及有关车

北京交通大嘴硕士研究生学位论文

站发布控制或执行命令。

随着我国铁路运输管理信息系统的日趋完善，整个系统通过计算机网络，GPS定位系统，可实时收集全路客车、机车、车辆集装箱的动态信息，实现追踪管理。只要输入某一车辆的车种、车型、车号，瞬时可从数万公里铁路线上运行的列车中把它找到，得知该车在什么地方运行或停在什么站。

近年来，我国已经建成了北京、武汉、上海、西安、拉萨等永久性的GPS

GPS定位测量提供观测数据和精密星历服务，致力与跟踪站，为高精度的

我国自主的广域差分GPS方案的建立，参与全球导航卫星系统(GNSS)和GPS增强系统(WAAS)的筹建。同时，我国以着手在双星定位系统一北斗一代的基础上，提出了发展北斗二代的发展规划。随着我国自己的卫星导航系统的健全，能够自主研发高性能的包括GPS在内的卫星接收装置，可以预见卫

181星定位导航技术应用将正向更广、更深的方向发展。

第三章列车定位系统构成

目前铁路正在向高速化迈进，基于通信的列车控制系统也从理论研究走到了逐步实施，对于列车的准确定位及完整性检测将显得尤为重要。经过上章关于GPS的介绍，本章将重点介绍一个由车载、车站、通信网络组成的列车定位系统的结构，并对各子系统做了必要的阐述和设计。

1 系统概述

本文讨论的列车定位系统是以CBTC为基础的，虽然只是关于列车定位的，但是定位也是为列车的控制服务的，所以定位系统是属于列控系统的一部分。本文讨论的定位系统则CBTC众多功能的一些子功能实现。

1. 1列车定位要求

在CBTC系统中，以基于无线通信实施连续速度监督的列车控制系统，以移动闭塞的方式运营。以无线通信链路(如GSM-R)作为地面和列车间的通信手段，而查询应答器作为点式传输设备，主要提供地点参考信息。车站

1.9控制中心向列车提供信息，并通过唯一的识别手段了解列车运行状况。其中列车的位置信息处理是列控的核心问题之一。定位系统与列车运行控制系统的其它子系统相互独立，并能检测和报告本身发生的失效和故障。对

[41]列车的定位信息有如下要求:

连续性。为了可以对列车实时控制，要求定位系统的信息可以有不间断的能力。

北京交通大学硕士研究生学位论文

通用性。定位信息除了要不间断地发给列车控制系统，还要有良好的通用性，就是要良好的空间覆盖能力，无论列车运行在什么样地理环境里，定位信息都不能中断。

精确性。精确性是不言而喻的，它也是列车实现可靠性和安全性控制的前提基础。列车定位的精确性主要是两个方面，一是在同一轨道上的纵向位置精确性，二是在不同轨道之间要实现轨道间的横向定位精确性。

CBTC是一个庞大的系统，而本文设计的系统则是该系统中与定位功能相关的部分，主要功能包括

>可以提供每列车的唯一标识，了解每列列车运行情况，包括列车的位置和速度，还可以将此信息传到车站中心去，经过处理后传到后车;

21

北京交通大学硕士研究生学位论文

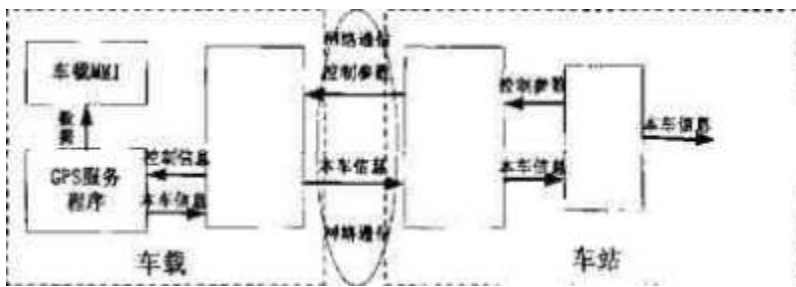
>可以为调度中心提供列车位置信息;

- > 地面接收到列车位置、速度信息后，可以进一步计算形成列车控制命令’与列车进行双向信息传递;
- > 车载设备上可以显示相关信息。

虽然本文所设计的系统并没有实现速度曲线的自动控制，但是这个定位系统传来的位置和速度信息将为列车的自动控制做好了准备。

1. 2列车定位系统的组成

本文将CBTC中具有定位功能的车载、地面及传输定位信息的网络传输部分抽象出来，将其定义为列车定位系统，它实际为基于通信的列车控制系统的一个部分。列车定位系统的组成如下图所示。



块模信通块模信通块模算计 块模信块模信块模算 地块模块模块模 面 块块块 DMI

图3— 1列车定位系统的组成

车载定位子系统利用定位装置采集位置信息，一方面车载MMI将显示此信息，另一方面将此信息通过通信模块打包发送到车站控制中心。车站定位子系统接收到信息后，通过计算模块对此信息进行处理，一方面送到地面MMI显示，另一方面形成控制命令利用通信模块发到后续列车。后续列车收到此信息在车载MMI进行显示，为驾驶员提供参考。

关于车载和地面的软件相关的设计是本文的重点。关于地面部分软件设计主要涉及到通信模块和定位相关的电子地图匹配算法设计。如图3 — 1所示地面的通讯进程和本机的显示进程用共享内存的方式通信，而车载和车站中心之间使用无线网络通信。由于地面使用Windows操作系统，而车载部分使用嵌入式Linux操作系统，所以应用层面的程序都可以使用socket API网络编程。车载部分则主要涉及到通信模块，还有一个可以读取GPS数据的程序(在后面的章节中称之为GPSSERVER),当然车载LCD屏上还应该将与列车行驶相关的信息显示出来(在后面的章节中称之为

3. 2车载定位子系统

3. 2. 1车载设备组成

本节主要介绍具有如上所说功能的车载模块的组成=如果按前面功能分析一个完整的车载设备应该具有下图所示的功能模块。

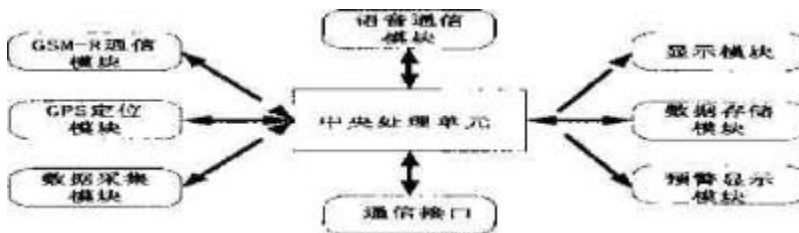


图3_2完整车载模块设备结构

上面是一个完整的车载设备应该具有的功能模块，但是作者的时间有限，并不能把它完全实现，提出这个框图只是为了有个整体的概念。本论文主要是完成GPS定位模块、通信模块和显示模块这些与定位相关的设计。

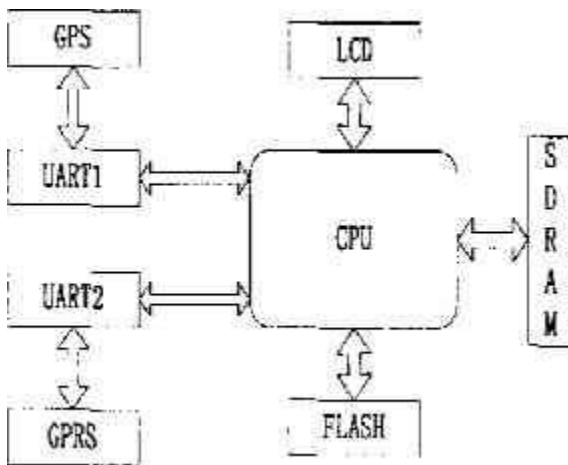


图3-3 GPS、GPRS、LCD模块连接图

本文设计的车载定位子系统主要是利用GPS、里程计传感器和应答器作为定位数据的采集装置，采集来的数据经过处理后(处理过程将在第四章介绍)，利用GPRS无线模块在无线网络中将数据传递给车站控制中心，车站控制中心将此信息数据计算后传给后面的列车和总的列车调度中心。该

车载设备具有利用GPS定位的功能，而且当数据处理后还具有无线发送和接收该信息的功能。

22

北京交通大学硕士研究生学位论文

如3—3图所示，本文中央处理器选择三星的S3C2410,这是一款具有ARM9内核的嵌入式芯片。GPS和GPRS通过串口用标准的RS232通信标准和中央处

S3C2410集成了LCD控制器，直接可以接理器S3C2410的数据的传递，因为

LCD, FLASH是用来装操作系和应用程序以及一些函数库

如本次设计用的QTE嵌入式GUI图形库。采集的一些数据也要保存在FLASH的文件系统中。系统中还将有供查询数据的服务器，随时准备接收来自不同的客户端连接。车载设备将采用基于嵌入式Linux系统来开发，具体设计过程将在后面的章节详细介绍，嵌入式操作系统选择ARM-Linuxo下面是本文设计所需的硬件介绍：

S3C2410

S3C2410是韩国三星公司生产的基于ARM920T内核的16/32位RISC嵌入式微处理器。它主要是面向手持式设备以及高性价比、低功耗的应用^ ARM920T

核由ARM9TDM1、存储管理单元(MMU)和高速缓存三部分组成。其中，MMU可以管理虚拟内存，高速缓存由独立的16KB地址和16KB数据高速Cache组成。ARM920T有两个内部协处理器:CP14和用于调试控制，CP15用于存储系统控制以及测试控制。

S3C2410的资源包括：

- > 1个LCD控制器(支持STN和TFT带有触摸屏的液晶显示屏)
- > SDRAM控制器
- > 3个通道的UART
- > 4个通道的DMA

- > 4个具有PWM功能的计时器和1个内部时钟
- > 8通道的10位ADC
- > 触摸屏接口
- 2> /S总线接口
- > 2个USB主机接口，1个USB设备接口
- > 2个SM接口
- > SD接口和MMC卡接口
- > 看门狗计数器
- > 117位通过I/O 口和24位外部中断电源。
- > 8通道10位AD控制器

在时钟方面S3C2410也有突出的特点，该芯片集成了一个具有日历功能的RTC和具有PLL (MPLL和UPLL)的芯片发生器。MPLL产生的主时钟，能够使

23

北京交通大学硕士研究生学位论文

处理器工作频率最高达到203MHZ。这个工作频率能够使处理器轻松运行于Windows CE、Linux等操作系统以及较为复杂的信息处理、UPLL产生实现主从USB功能的时钟。

(2)基于S3C2410的开发板

板上除了应具有电源等电路外，还有如下资源：

中央处理器：

S3C2410ARM9DMI 外部存

储器：

1M Bytes Nor Flash (AM29LV800)

64M Bytes SDRAM (HY57V561620CT)

64M Bytes Nand Flash (K9F1208UOA)

LCD接口:可以支持STN和TFT带有触摸屏的液晶显示屏

扩展网口: 10M网口, CS8900A芯片

USB Device 接口: PDIUSB12, USB1.1 规范,

USB Host 接口: SL811HST, USB1.1 规范 串口:

三个标准九线RS232接口 时钟源:内部实时时

钟(备有掉电电池)

JUPITER GPS 接收板 Jupiter是美国Rockwell公司在Zodiac chipset

基础上研制开发出的高性能

GPS接收板。12个并行通道和高灵敏度RF部分,使Jupiter具备快速捕捉和重捕卫星的能力。性能参数如下所示:

> 并行12通道,可以快速捕获卫星 > 无静态

漂移

TTFF重捕获时间2. Os、TTFF温启动15s、初始化启动45s、TTFF 冷启动

120s

> 提供载波相位输出 主串口 :传送定

位数据 辅助串口:接收RTCM104差分

数据

二进制及标准NMEA—0183协议

> 提供1PPS标准时钟、10KHZ频率输出 > 温度范

围:—40?C ~ + 85?C

GPRS通信模块

GPRS模块一般是指带有GPRS功能的GSM模块，可以利用GPRS网进行数据通信。其中比较流行的有法国WAVECOM公司的WISMO系列和 西门子公

24

司的S系列等。这里选择WAVECOM的GPRS MODEM,通过串口连接到板子上，当然还需要在GPRS模块中插入可供无线网络运营商识别的用户识别卡。GPRS模块与微控制器间通过串行口进行通信，其通信协议兼容标准的Hayes制式的AT指令。

3. 2. 2 组合定位系统

单独使用GPS作为列车定位的手段，还不是很可靠的，因为GPS要完成定位，必须要接收到4颗以上的卫星信号，显然这一点列车在这个运行过程中并不能完全保证，这个时候需要其他的定位手段作为补充。而且对GPS产生的误差，还需要利用动态滤波、电子地图匹配等多种手段，才能使GPS更好的为列车控制服务。关于电子地图的匹配算法将在后面的地面设计部分做详细介绍。

在动态定位过程中，组合定位系统的原理也已经从简单的相互切换发展到多种定位传感器的数据融合。多传感器组合动态定位系统数据融合的优势主要体现在动态定位信息的互补性和冗余性两个方面:信息的互补性表现在采用多个定位系统可以获得对环境和对某一定位子系统出现粗差或失效时，由多种传感器定位组合系统提供的冗余信息可以检测粗差，排除故障，提高系统的可靠性。当列车行驶在站间的时候就属于动态定位。

由第一章绪论介绍，列车的定位方法有很多种，但是每一种都有着自己的优缺点和使用的范围。如果单一地使用任何一种定位方法都不能起到很好的效果。所以必须要使用两种或两种以上的定位方法才能达到优势互补，误差的相互补偿，在这里作者主要是针对GPS的组合定位方案做出分析。

(1)定位系统工作原理

列车在车站间的定位属于动态定位技术，如果可以获取较为准确的列车位置信息，不仅可以计算出列车的间隔距离和速度，对提高列车的运行效

率和移动闭塞的实现都有积极的作用，而且对整个的列车调度运行也有积极的作用。

对于定位系统的组合主要是考虑了定位信息的精确度和经济效益。在这里将使用GPS、里程计、应答器组成的动态定位系统。选择GPS主要是考

25

北京交通大嘜硕士研究生学位论文

虑到:一是因为它的成本较低，在开阔的地段可以代替应答器等地面设备，减少维护工作量和投入成本;二是因为在美国政府取消S/A干扰后,GPS可以得到较好的定位精度;三是随着我国的北斗二代开始建设，在它向民用市场开放前作一些卫星定位的技术准备。

当列车行驶在车站之间的时候，对于列车驾驶员来说，他所关心的是前车和本车的间隔距离。如果使用GPS、里程计、应答器组成的动态定位系统是将可获得较为精确的列车间隔距离数据。



列车A 列车B

图3-4组合定位系统工作模型

当列车行驶在车站之间的时候，列车将GPS、里程计等信息通过无线网络发给车站控制中心，车站控制中心根据列车GPS的坐标信息计算出一个间隔距离 s_1 ，根据列车的里程计数据计算出间隔距离 s_2 ，再根据故障—安全原则利用一定数据融合算法得出一个可以信任的间隔距离。在一定距离间隔上安放应答器起到一定的误差修正作用，也可以将里程计数据作为GPS数据的补充，当GPS没有完成定位的时候，车站中心的计算模块会主动切换到里程计相关的算法中去，而当GPS可以成功完成定位的时候，车站只是处理GPS数据，对里程计数据不做处理。

[13](2)计算列车间隔距离时的误差分析

1)里程计的工作原理前面已有介绍，可以知道它是通过数车轮的转动周数来达到定位目的的，所以它的误差主要都是车轮引起的。主要有:车轮的空转、车轮的磨损、列车的制动。车轮空转主要是在列车启动和列车加速时产生的。车轮的磨损则是在运行过程中不可避免的，而且它产生的误差也是较大的。例如，轮子的直径时280mm，当轮子磨损0.5mm时，当列车前进250m的时候就会有1m的误差。100km的时候就会有近400m的误差，可见是不能忽略它的。列车制动的时候也会有一个误差。

GPS的工作原理在前面也介绍过了，它产生的系统误差在这里暂且不谈，先说一下它在计算列车间隔时产生的误差。因为计算距离的时候

是用两列车的位置坐标来计算的，所以算的是两点间的最小距离。(假设此时已利电子地图匹配算法将列车的坐标规约道轨道上)

下面的图说明了一些可能的情况。

B

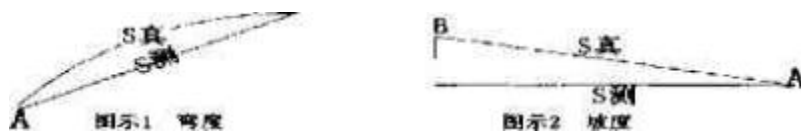


图3_5列车运行时可能出现情况

由于GPS是卫星定位，它是可以进行全球定位，它使用的是以地球为椭圆参考坐标系的，给出的数据是地理坐标系，所以将设计到地理坐标到平面坐标的一个转换问题，关于坐标转换前面第二章已有介绍。这里认为GPS测得的地理坐标已经经过投影转换为平面坐标，而且平面坐标的原点定在了列车的起始车站。设定A的坐标为(x1,y1),B的坐标是(x2,y2)。同时设定B列车在A的前方。根据图3—4所示，A、B列车GPS测得的坐标通过无线的通信方式传递车站，车站根据这些数据计算出A与B之间的 距离S测。

$$m = ((\wedge 2) + (y1 - y2)) (3-1)$$

从图3—5可以看到当列车拐弯的时候，A、B之间的真实值S真4测。在利用GPS定位信息的时候，只是利用了平面的经度和纬度信息，并没有用海拔高度信息，因为列车间坡度很小(这里是指相邻列车间相对高度不会很高，但是列车的绝对高度会很高的，例如在高原上的铁路就有很高的

海拔高度), 所以只需考虑平面就可以了。但是当列车有小的坡度的时候, 利用其平面坐标, 得出的是真实距离的投影, 所以 $S_{真} > S_{测}$ 。

上面分析可以看出无论列车行驶在坡度的道路上, 还是弯度的道路上, $S_{真}$ 总是大于 $S_{测}$, 如果使用这个测量值的时候也是符合列车安全一保障原则的。所以车站控制中心在读取列车定位信息的时候, 优先考虑GPS的定位信息, 当接收不到卫星信号的时候, 要切换到利用里程计定位的另一套与其匹配的电子地图, 此地图是利用距离测量的地图。车一地信息处理和信息帧定义的时候要考虑到这种情况, 后面章节将有介绍。

28

北京交通大学硕士研究生学位论文

3.3 车站定位子系统

车站控制中心担负着对列车信息处理、列车间隔距离的计算、列车最大允许速度的计算、列车的调度等任务。但是这些功能的实现要依靠准确接收到列车位置、速度等信息。本文就是主要从精确定位和位置信息的车、地实时传递的角度出发的设计的, 对于车站的其他功能, 不属于本文的研究范围。

车站控制中心主要是有无线通信终端、工业计算机、联锁装置、显示设备等组成的。这里只是对其框架做个简单的介绍, 本文关于地面部分的设计主要集中在定位相关的电子地图匹配和与车载的信息传输问题上, 具体内容将在后面的章节中详细介绍。



图3—6 车站控制中心定位子系统组成

图3—6 车站控制中心定位子系统组成

假设列车A在列车B的前方行驶, 列车A、B将其定位信息、列车速度、列车识别号等信息, 通过无线通信网络传给车站控制中心。地面计算机将列车A、B的数据报解析出来, 将相关数据送到显示程序中去, 同时将A、B的数据按照一定的算法进行处理, 生成列车B所需要的数据信息和控制命令数据后发送到列车B中去。

3. 4信息传输系统

在CBTC这样的控制系统中，为了减少车载设备的计算量，同时也由于列车视是被控对象，所以大量的计算都要交到车站控制中心来。地面中心计算完毕后，形成控制命令或者机车信号通过无线通信的方式，送到被控列车的车载计算机上，为驾驶人员制定驾驶策略提供权威的参考信息。所有这些控制方法的实现必须依靠一个可靠的通信网络。

3. 4. 1系统结构

车载定位子系统和车站定位子系统之间信息传输的物理通道是GSM-R无线网络。车载子系统使用Linux操作系统，在Linux下的PPP包是

29

北京交通大学硕士研究生学位论文

专门为解决Modem拨号上网的问题编写的，且公开源代码，PPP拨号脚本程序主要是通过调用PPPD,并通过AT指令实现对Modem的操作。车载处理器通过GPRS模块用PPPD拨号到GSM-R通信网，拨通后可以随时和车站控制中心进行数据传输了》



图3—7信息传输系统组成

上图所表示的是信息传输系统的组成结构。列车位置等数据就是在这样一个网络结构里进行传递的，为了将数据成功地传到接收一方，数据还要经过协议栈和硬件处理，使之成为具有一定长度地数据包在网络上传递》数据经采集后经过TCP/IP协议栈处理后，通过串口到CPRS，GPRS将此数据做相应处理后发送到无线网络链路上对应的基站，再由固网网关对基站接收的数据进行处理，此数据通过有线网络链路传到车站控制中心和调度中心，这些地面终端利用TCP/IP协议将数据包解封，得到具有实际意义的用户数据，然后再对这些数据进行相应的应用层的处理。

4. 2 GSM-R 系统

GSM-R 简介

基于通信的列控系统中无线通信网络有多种选择，其中GSM-R是较为成熟的一种无线通信网络系统它基于GSM技术，除拥有GSM的功能外，还：

对特殊的铁路应用提供了专门的高级语音和数据传输业务：

eMLPP增强型多优先级和预清除支持优先呼叫的资源占用。

VBS语音广播业务，支持各用户组接收公共信息。

VGCS语音组呼业务^支持组用户在组内或组间通话，

而且GSM-R具有快速建立呼叫、快速网络切换、支持近500km/h的高速通信、支持GPRS等。由于本文篇幅有限，更多的GSM-R细节就不再赘述。

(2) GPRS通信协议

GPRS (General Packet Radio Service,通用分组无线业务)是在现有的GSM数字移动通信系统基础上发展起来的一种移动分组业务，是GSM在 Phase2

30

北京交通大学硕士研究生学位论文

+阶段引入的内容之一。GPRS通过在GSM网络中引入分组交换的功能实体，以完成用分组方式进行的数据传输，将传输速率提高到了100kbit/s以上，同时支持IP和X.25两种分组数据网的协议。GPRS可快速介入数据网络，它在移动终端和网络之间实现了“永远在线”的连接。

GPRS包括的协议层次结构主要是:Um空中接口、MAC媒质接入层、LLC

¹¹⁵¹逻辑链路控制层、SNDC子层依赖结合层、网络层。

Um接口的物理层为射频接口部分，是物理传输介质的接口标准。

LLC逻辑链路控制层负责提供空中接口的各种逻辑信道，GSM空中接口的载频带宽为200KHZ，一个载频分为8个物理信道。

MAC为媒质接入控制层，主要作用是定义和分配空中接口的GPRS逻辑信道，使得这些信道能被不同的移动台共享。GPRS的逻辑信道共有3类，分别是公共控制信道、分组业务信道和GPRS广播信道。公共控制信道

用来传送数据通信的控制信令，具体又分为寻呼和应答等信道。分组业务信道用来传送分组数据。广播信道则是用来给移动台发送网络信息。

LLC层为逻辑链路控制层。它是一种基于高速数据链路规程HDLC的无线链路协议。LLC层负责在高层SNDC层的SNDC数据单元上形成LLC地址、帧字段，从而生成完整的LLC帧。另外，LLC可以实现一点对多点的寻址和数据帧的重发控制。BSS中的LLR层是逻辑链路传递层。这一层负责转送MS和SGSN之间的LLC帧。LLR层对于SNDC数据单元来说是透明的，即不负责处理SNDC数据。

5) SNDC被称为子网依赖结合层。它的主要作用是完成传送数据的分组、打包,确定TCP/IP地址和加密方式。在SNDC层,移动台和SGSN之间传送的数据被分割为一个或多个SNDC数据包单元。SNDC数据包单元生成后被放置到LLC帧内。

6) 网络层的协议目前主要是Phase 1阶段提供的TCP / IP和X.25协议。

TCP / IP和X.25协议对于传统的GSM网络设备(如BSS和NSS)是透明的。

[15] GPRS网络中不同功能的设备之间的接口协议可分为7个部分:

MS与SGSN之间。MS与SGSN之间通过BSS相连,其中MS与BSS之间通过Um接口相连,BSS与SGSN之间通过Gb接口相连。该协议在MS端由6

31

北京交通大学硕士研究生学位论文

层组成仅相当于OSI七层协议中的低三层。在SGSN端由5层组成,而BSS仅涉及低4层。它们的通信协议模型如图3—8所示。

1.1 网络协议 网络协议

1 SNDC 1 SNDC 1 1 LLC 1 LLC 1 LLR 1 I 1 LAPD | MAC LAPD | -1t 数据链路 物理物理— 链路
链路 1 i RF接口 RF按物理链1 i 口 路

MS Um BBS Gb SGSN [15] 图3—8 MS与SGSN之间的通信协议模型

SGSN与GGSN之间。SGSN与GGSN之间通过Gn接口相连。该接口采用GTP(GPRS Tunnel Protocol)协议,协议分为信令平面和传输平面两部分。信令平面包括通路管理、隧道管理、位置管理和移动性管理。信令平

面协议用UDP承载。传输平面的主要功能是提供GSN之间的传输隧道。当承载面向连接的高可靠性要求的用户协议时，用TCP承载;当承载非连接的用户协议时，用UDP承载。

SGSN与SGSN之间。在一个GPRS系统中可以有多台SGSN设备，它们之间的接口无论是信令平面还是传输平面都存在GTP协议。如果发生SGSN越区切换，老SGSN中存在的未曾发给MS的下行数据需通过GTP传输平面传给新SGSN，再由新SGSN发给MS?

GGSN之间及GGSN与外网之间。GGSN之间采用Gi接口，GGSN与外网之间也采用Gi接口。此接口根据外网的不同而采用不同的协议。如果外网是PSPDN则采用X. 25协议，如果外网是Internet则采用IP协议。

SGSN与MSC/VLR之间=SGSN与MSC/VLR之间采用Gs接口，用于SGSN向MSC/VLR传送MS的地址信息并从MSC/VLR接收MS的寻呼请求。此接口采用BSSAP+协议。

SGSN与HLR之间。SGSN与HLR之间采用Gr接口，此接口采用MAP协议，用于在SGSN与HLR之间传送GPRS信令以便SGSN能够访问和更新HLR之中的GPRS用户的数据。

GGSN与HLR之间。GGSN与HLR之间采用Gc接口，其功能是支持GGSN从HLR中查询MS当前位置信息及其它信息。

北京交通大学硕士研究生学位论文

RLC BBSGP 1 IP/X. 25 应用 1 SNCP GTP U IP/X.

MAC 马络服25 LLC UDP/TCP UDP/TCP 务 GSM RF Libis BBSGP IP IP SNDC

L2 L2 网络服LLC 务 Libis LI 1 LI RLC 1 Gn GGSN GSM RF [15]Gb Um 图3 —9 GPRS网络通讯协议结构

由上面的介绍可以看出，由于GSM-R网络可以提供GPRS业务，而GPRS的通信协议又支持TCP/IP,这就为系统的软件设计提供了诸多方便。设计人员只需编写应用层面的程序即可，而对通信的具体细节可以不用太多的考虑。

TCP/IP协议

为了减少协议设计的复杂性，大多数网络都按层(layer)或级(level)的方式来组织，不同的网络其层的名字、内容和功能都不尽相同。然而，在所有的网络中，每一层的目的都是向它的上一层提供一定的服务，而把如何实现这一服务的细节对上一层加以屏蔽。协议实现的细节和接口的描述都隐藏在机器的内部，对外部来说是不可见的。只要机器能正确的使用全部协议，网络上所有机器的接口不必完全相同。

这里介绍两个重要的网络体系，即OSI参考模型和TCP/IP参考模型。OSI参考模型属于层次型参考模型，是层次型参考模型的代表。它用严格的层次关系来表述网络功能的划分及其之间的关系;它所包含的各个协议具有很明确的层次依赖关系。OSI参考模型分为7层，分别为物理

[14]层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层及应用层。

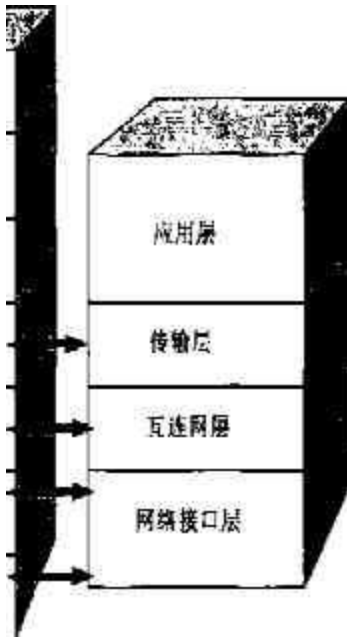
TCP/IP参考模型属于功能型参考模型，是功能型参考模型的代表。它以网络所需的各项功能为主线来刻划各项功能之间的关系，无严格的层次界限，它所包含的各个协议具有明确的功能依赖关系。

TCP/IP协议栈与OSI参考模型在下面几层是密切对应的，支持所有标准的物理层和数据链路层协议《它们之间的对应关系如图3—10所示。

33

北京交通大学硕七研究生学位论文 表示层 应用程序的标准数据表示

会话层 管理应用程序间的会话



传输层 提供端到端的差错检测和校正

网络层

为跨网络的通信 物理链路层 通过物理链路提供数据传送

物理层 定义物理介质的特性

图3-10 OSI与TCP/IP对应关系^[4]

本文在后面章节的软件设计中，那些同网络通信相关的软件部分都是基于TCP/IP协议的。

34

北京交通大学硕士研究生学位论文

第四章 车载定位子系统软件设计

上章介绍了定位系统中的各个子系统，本章将根据本章车载定位系统的功能介绍做相应的软件设计。由于本文提到的车载子系统是基于ARM-Linux的嵌入式系统，所以本章设计的软件也都是基于Linux操作系统平台的。

1 嵌入式系统概述

4. 1. 1 嵌入式系统介绍

嵌入式系统(Embedded System)是当今世界最热门的概念之一，在一些网络和书籍中是这样介绍的:嵌入式系统是以应用为中心，以计算机为中心为基础，并且软硬件可裁剪，适合与应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。电子工程师协会对嵌入式系统的定义为:嵌入式系统是用来控制或者监视机器、装置、工厂等大规模系统的设备。嵌入式系统由处理器、存储器、输入、输出设备和软件组成。下

116]面通过两个表，来对嵌入式和PC的硬件，软件方面做个比较。

表4_1硬件平台比较 设备名称 嵌入式系统 PC

CPU 嵌入式处理器 Intel 的 Pentium、AMD 的

(ARM, MIPS 等) Athlon等 内存 SDRAM芯片 SDRAM 3c DDR 内存条

存储设备 Flash芯片 硬盘

输入设备 按键、触摸屏 鼠标、键盘、麦克等

输出设备 LCD 显卡

声音设备 音频4L、片 声卡

接口 MAX232等芯片 主板集成

其他设备 主板集成或者外接卡 USB芯片、网卡芯 片

等

表4—2软件及开发平台的比较 表4—2软件及开发平台的比较 嵌入式系统 PC

引导代码 Bootloader引导，针对 主板的BOIS引导，无需改动

35

北京交通大学硕士研究生学位论文 不同电路进行移植

操作系统 Windows、Linux 等 WinCE, VxWorks ,

Linux, QNX 等 驱动程序 每个设备驱动都必须 操作系统含有人多数驱动程序，或

针对电路板进行重新 从网上下载可以直接使用

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。
如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/618034046104006067>