

北京工业大学

硕士学位论文

应用于印刷机无轴传动系统的CANopen I/O从站的开发

姓名：赵建光

申请学位级别：硕士

专业：机械电子工程

指导教师：杨建武

20070410

摘要

当前,无轴传动是印刷装备领域中最新,发展最快的技术之一。印刷机械采用这项技术可以简化传动机构,提高传动精度和灵活性。可以说,无轴传动将会给印刷机装备带来一场革命性的变化,将成为印刷行业技术创新,实现更高的生产与经济效益的有效手段之一。

作为无轴传动技术基础的现场总线技术,是工业现场控制领域中一门新兴的通讯技术,曾被誉为控制技术新时代的开端。CAN 总线是一种串行总线通讯协议,具有成本低、速度快、实时性和可靠性高的特点,成为在世界范围内得到广泛使用的现场总线国际标准之一。CANopen 是 CAN 总线的一种很有影响力的应用层协议,近年来在工厂自动化系统中得到了广泛应用。研究 CANopen 协议并开发出各类 CANopen 设备对于我国 CAN 总线技术的应用具有重要的意义。

本论文介绍了应用于印刷机无轴传动系统的 CANopen I/O 从站模块的开发。主要内容包括从站模块的硬件设计、CANopen 通讯协议的研究与分析,CANopen 协议开发系统与开发环境建立、从站模块的软件设计、系统总体调试五部分。本课题的难点是 CANopen 协议在从站系统软件设计中的实现。

最终,我们应用 CANopen I/O 从站模块构建了基于 CoDeSys 软件的分布式 I/O 控制系统,实现了基于 CANopen 协议的网络数据通讯。希望本文介绍的研究方法,能够为其他 CANopen 设备的开发起到一定的借鉴作用,从而进一步促进 CANopen 协议在我国自动控制领域中的应用。

关键词 现场总线; 无轴传动; CAN 总线; CANopen 协议

Abstract

Currently, shaftless drive is one of the newest and growing fastest technologies in printing machine field. Its application in printing machine can reduce transmission mechanisms, and enhance the veracity and agility of system transmission to a higher level. It is said that shaftless drive technology will bring the manufacture of printing equipment a revolutionary change, and is considered to be one of the effective ways which can make the printing industry creative, productive and profitable.

Fieldbus, as a basic of shaftless driving technology, is a new technique of communication in industry control field. It has been called as a beginning of the era of modern control technology. CAN is a serial communication protocol. It has the characteristic of low cost, fast speed, high real-time and reliability. Hereby, CAN becomes one of the international fieldbus standards which are widely applied all over the world. CANopen is a well-known application protocol of CAN bus. In recent years, it has been widely applied in various automation systems. The further research of CANopen protocol and the development of various CANopen devices are significant for the application of CAN bus technology in our country.

This paper introduces the development of CANopen compliant I/O slave module applied in shaftless driving system of printing machine. The main content can be divided into five parts: (1) hardware design of slave module; (2) research and analysis of CANopen communication protocol; (3) CANopen developing system and the establishment of developing environment; (4) software design of slave module; (5) system debugging. The difficult point of this research is the implementation of CANopen protocol stack in software design of slave module.

At last, we apply slave module to build a distributed I/O control system based on CoDeSys software, and implement the network data communication based on CANopen protocol. We hope that the research method adopted in this paper can be helpful for other development of CANopen device, and furthermore improve the application of CANopen protocol in automation control field of our country.

Keywords Fieldbus; Shaftless Drive; CAN bus; CANopen protocol

独 创 性 声 明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京工业大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签名： 赵建光 日期： 2007.4.10

关于论文使用授权的说明

本人完全了解北京工业大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

（保密的论文在解密后应遵守此规定）

签名： 赵建光 导师签名： 赵建光 日期： 2007.4.10

第1章 绪论

1.1 引言

目前,全球印刷企业、用户和生产商都将目光聚集在无轴(电子轴)传动技术的发展上,欧洲印机制造商近几年制造的高档印刷机 95%已采用无轴传动技术,在日本也有 30%的凹印机产品采用无轴传动技术。无轴传动技术的应用,可以说是全球印刷业的一场技术革命,它不仅给印刷业带来了巨大的商机,而且也满足了当前小印量、高质量、承印材料种类广泛、最低浪费量的短版印刷市场的需求。

无轴传动技术又称为伺服传动技术,它是以相互独立的伺服电机驱动系统代替了原有的机械长轴传动。通过网络,程序软件形成了内部虚拟的电子轴,各电子轴通过现场总线进行高速的数据交换传输,各个版辊随虚拟的电子轴运转,保证版辊相位严格同步。由于拖动路程缩短,降低了功率的损耗,减少了磨损环节及齿轮结构在间隙、配合方面的优势,使机器精度得以提高。由于各机构之间的构件保持相对独立,可以避免机组因磨损或其它方面因素造成的印刷故障对相邻机组的波及,具有相邻机组互不影响的优点。此外,以现场总线技术为基础的无轴传动技术具有系统抗干扰能力强、数字化、高速化、双向传输,自诊断,节省布线及空间等优点^[1,3]。

可以说,无轴传动技术的发展是机械类传动与电子技术广泛应用相结合的产物,最早将这一技术推向市场的基本上都是传动控制公司,如德国的力士乐、伦兹、日本的住友、奥地利的贝加莱等^[1]。过去十年间,无轴传动技术已逐渐成为国际认同的新概念。成为印刷行业创新及现代化,实现更高的生产与经济效益的基本手段之一。自 1992 年博世-力士乐公司研制出世界第一套无轴传动系统 SYNAX 后,全球至今已经有 3.5 万个电子轴在世界各地运行。应用无轴传动技术的印刷机与传统机械式印刷机最大的不同在于它能提高印刷精度,增加操作的方便性,大幅度减少废页,从而降低印刷成本,提高印刷速度。由于无轴传动明显的优势,现在报社对报纸印刷机的采购中已经把无轴控制作为基本指标。

近年来,国内印刷装备生产厂家,为了赶超国际先进水平,保障产品在国际市场上的地位,投入了巨大的经费和人力、物力,从事传统印刷设备的无轴化改造。但是由于国内基础零部件研发基础薄弱,科研单位对无轴传动技术给与的关注不够,所以到目前为止,国内开发的无轴传动印刷设备都是采用国外的系统和零部件,甚至连应用技术也完全依赖国外开发。由于国外配套产品的高昂价格,使国产采用无轴传动技术的印刷设备的成本大幅增加,损害了国产设备的廉价优势,产品大部分的利润落入国外厂商手中,一方面对保持国产装备在国际市场上

的地位非常不利, 另一方面限制了我们创新水平的提高。

无轴传动是实现印刷机数字化的基础技术, 将来会应用到各种各样的印刷设备, 成为一项通用性极强的技术。当前, 无轴传动在国外仍然是发展中的技术, 我们应该抓住时机, 与国外同步发展, 利用我们的人力优势, 赶超国外先进水平。因此, 开发具有国内自主知识产权, 高质量、低价格的新型无轴传动系统是非常紧迫的任务。

1.2 工业现场总线技术概述

现场总线(Fieldbus)是80年代末、90年代初国际上发展形成的, 用于过程自动化、制造自动化、楼宇自动化等领域的现场智能设备互连通讯网络。它作为工厂数字通信网络的基础, 沟通了生产过程现场及控制设备之间及其与更高控制管理层次之间的联系。它不仅是一个基层网络, 而且还是一种开放式、新型全分布控制系统。这项以智能传感、控制、计算机、数字通讯等技术为主要内容的综合技术, 已经受到世界范围的关注, 成为自动化技术发展的热点, 并将导致自动化系统结构与设备的深刻变革。国际上许多有实力、有影响的公司都先后在不同程度上进行了现场总线技术与产品的开发。现场总线设备的工作环境处于过程设备的底层, 作为工厂设备级基础通讯网络, 要求具有协议简单、容错能力强、安全性好、成本低的特点, 具有一定的时间确定性和较高的实时性要求, 还具有网络负载稳定, 多数为短帧传送、信息交换频繁等特点^[8,9]。

一般把现场总线系统称为第五代控制系统, 也称作FCS——现场总线控制系统。现场总线技术在历经了群雄并起, 分散割据的初始阶段后, 尽管已有一定范围的磋商合并, 但至今尚未形成完整统一的国际标准。其中有较强实力和影响的有: FoundationFieldbus (FF)、LonWorks、Profibus、HART、CAN、Dupline等。它们具有各自的特色, 在不同应用领域形成了自己的优势。

现场总线的应用决定了现场总线所应具备的主要特点:

(1) 系统的开放性。这里的开放是指对相关标准的一致、公开性, 强调对标准的共识与遵从。一个开放系统, 它可以与任何遵守相同标准的其它设备或系统相连。一个具有总线功能的现场总线网络系统必须是开放的, 用户可按自己的需要和对象把来自不同供应商的产品组成大小随意的系统。

(2) 现场总线满足网络数据传输实时性的要求。这样的要求, 在现场总线中一般通过两种方法来实现: 一是现场总线的协议本身就可以支持一定范围的实时性; 二是通过总线协议规定的数据传送方式来实现。

(3) 系统结构的高度分散性。由于现场设备本身已可完成自动控制的基本功能, 使得现场总线已构成一种新的全分布式控制系统的体系结构, 简化了系统结构, 提高了可靠性。

(4) 对现场环境的适应性。工作在现场设备前端,作为工厂网络底层的现场总线,是专为在现场环境工作而设计的,可支持双绞线、同轴电缆、光缆等多种介质,具有较强的抗干扰能力,能采用两线制实现送电与通信,并可满足本质安全防爆要求等。

1.3 CAN 总线及其高层协议发展简介

1.3.1 CAN 总线简介

CAN 总线(Controllor Area Network 控制器局域网)是现场总线中唯一被批准为国际标准的现场总线,并被誉为几种最具前途的现场总线之一。最初由德国 Bosch 公司为汽车检测和控制系统开发的一种串行数据总线,用来实现汽车内部控制系统与各检测和执行机构之间的数据通信。CAN 总线一种多主总线,通信介质可以是双绞线、同轴电缆或光导纤维,速率可达 1Mbps,通讯距离可达 10km。CAN 协议的一个最大特点是废除了传统的站地址编码,而代之以对通信数据块进行编码,使网络内的节点个数在理论上不受限制。CAN 协议采用 CRC 校验并提供相应的错误处理能力,保证了数据通信的可靠性,适用于实时性要求很高的小型网络,且开发工具廉价。除了汽车行业,CAN 总线技术应用正在向过程控制、机械工业、纺织机械、机器人、交通运输和传感器等领域迅速发展。Motorola、Intel、Philips 等硬件生产商均生产独立的 CAN 控制芯片和带有 CAN 接口的微处理器芯片,对 CAN 总线技术的广泛应用起到了很好的推动作用^[13,28]。

1.3.2 CAN 总线高层协议简介

从 OSI 网络模型的角度来看,CAN 总线仅仅定义了第 1 层、第 2 层;实际设计中,这两层完全由硬件实现,设计人员无需再为此开发相关软件(Software)或固件(Firmware)。由于 CAN 协议本身并不完整,需要一个高层协议来定义 CAN 报文中的 11/29 位标识符、8 字节数据的使用。而且,基于 CAN 总线的工业自动化应用中,越来越需要一个开放的、标准化的高层协议。

表 1-1 CAN 总线高层协议

Table 1-1 High layer protocols for CAN bus

制定组织	主要高层协议
CiA	CAL 协议
CiA	CANopen 协议
ODVA	DeviceNet 协议
Honeywell	SDS 协议
Kvaser	CANKingdom 协议

这个协议能够支持各种CAN厂商设备的互用性、互换性,能够实现在CAN网络中提供标准的、统一的系统通讯模式;提供设备功能描述方式,执行网络管

理功能。如同现场总线种类的多样性一样,面向具体的应用,CAN总线应用层协议的发展也呈现出多样性。表1-1列出了常用比较影响力的CAN总线应用层协议。

1.3.3 CANopen 协议简介

1993年,由Bosch领导的欧洲CAN-bus协会,开始研究基于CAN总线通讯系统管理方面的原型,由此发展成为CANopen协议。这是一个基于CAL的子协议,用于产品部件的内部网络控制。其后,CANopen协议被移交给CiA协会,由CiA协会管理维护与发展。1995年,CiA协会发布了完整的CANopen协议。至2000年,CANopen协议已成为全欧洲最重要的嵌入式网络标准,而且现在已经成为国际标准CENELEC EN50325-4^[4]。

CANopen采用面向对象的思想设计,具有很好的模块化特性和很高的适应性,通过扩展可以适用于大量的应用领域。CANopen不仅定义了应用层和通信子协议,而且为可编程系统、不同器件、接口、应用子协议定义了大量的行规,遵循这些行规开发出的CANopen设备将能够实现不同公司产品间的互操作。另外,CANopen协议对于任何组织和个人都是是免许可证的,这也是CANopen得到迅猛发展的重要原因之一^[8,11]。

CANopen 应用层协议在国外已有很多方面的应用,受到了足够的重视。目前,已在汽车工业控制系统,公共交通运输系统,医疗设备,海运电子设备和建筑自动化系统中取得了广泛的应用。在欧洲,CANopen 协议已被广泛的应用于医疗装置中,并进一步扩展应用到保安控制系统中;在美国,CANopen 协议已经成为装载机械和公共运输设备的协议标准,同时也应用于嵌入式系统的控制。CAN 总线技术在我国处于发展阶段,但它在自动化领域的强大实际应用价值已经显现出来。近年来,开发和应用 CAN 系统的人员正在逐渐增多,对 CANopen 协议的研究正在不断深入。在很多领域中,如研制电动汽车和混合动力汽车的 863 重大课题,已经将 CAN 作为标准的车内通信协议确定下来。电力,航天等部门也在 CAN 方面取得了很大的应用成果。但是,我们应当清醒地看到,CAN 协议在欧美已经发展了 20 多年,应用层协议的应用已经处于普及阶段。目前,国内大多数应用系统仍然是基于 CAN2.0B 规范,研究和开发 CANopen 协议的组织和人员还不多,查阅的论文中多以介绍协议本身内容为主,真正的应用实例还不多,业界更没有形成相应的产业化规模,这对于提高 CAN 总线技术在我国的应用水平是十分不利的。

1.4 课题的来源、目的及要求

本课题是北京市科学技术委员会 2005 年度科技计划重大项目(数字化印刷技术及设备)的子课题之一“印刷设备的无轴传动系统研究”的部分研究内容之一。

“印刷设备的无轴传动系统研究”课题旨在促进北京地区的印刷行业向数字化方向发展，提升北京地区印刷设备制造行业的科技水平，使北京印刷机械制造行业具备数字化印刷设备的研发、制造能力并逐步形成数字化印刷设备的产业规模。

如图 1-1 所示，本方案拟采用北京凯奇数控公司开发的 CSD 系列交流伺服电机和驱动单元作为基本部件；改造驱动器的位置环控制算法；为伺服电机安装德国 HEIDENHAIN 公司生产的高分辨率传感器；自行开发驱动器的 SERCOS 总线从机通信接口单元；采用国际上流行的开放式控制系统软件 CoDeSys 作为开发平台，自行开发无轴传动系统专用的运动控制和逻辑控制的软件及相应的 SERCOS 总线和 CANopen 总线的接口驱动程序；采用国产的工控机和通信模块构成硬件系统；在合作单位北京北人富士印刷机械有限公司提供的 BF4000 系列商用表格印刷机上集成整个系统；与合作单位印刷专业技术人员共同攻关，解决无轴传动应用层面上的技术关键问题。

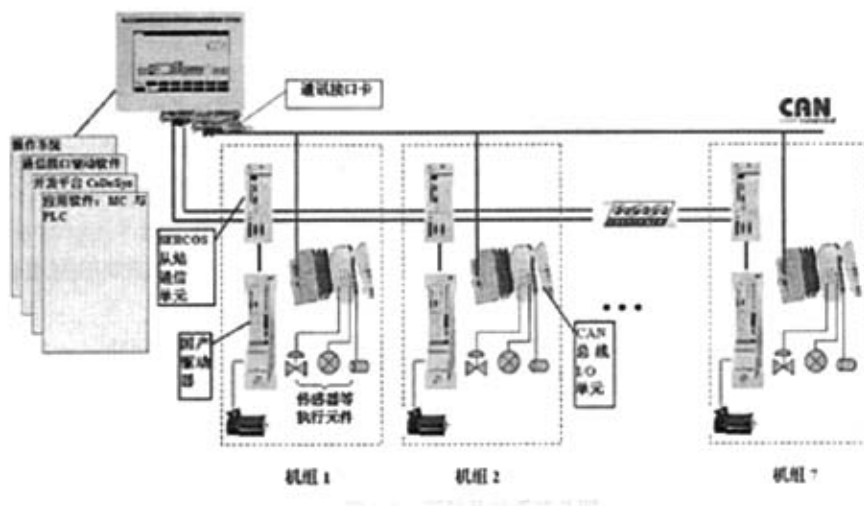


图 1-1 无轴传动系统总图

Figure 1-1 The overview of shaftless driving system

通信平台采用两种不同的总线来实现。即实现无轴传动主要功能的满足同步要求的伺服驱动器与数控主机之间的通信采用 SERCOS 总线来实现，实现各机组间逻辑控制的功能的部分采用 CANopen 总线来实现。SERCOS 总线特别适用于运动控制总线系统，但将其用于设备的逻辑控制却存在一些缺陷。最主要的问题是在机器上任意一台伺服驱动器产生故障时，SERCOS 总线都会自动做出复位处理。这对于保证运动控制系统的安全是十分必要的，但是却不利于保证设备的逻辑控制系统的安全性。本方案采用 CANopen 总线实现印刷机的逻辑控制通信功能，市场上已经有许多种符合 CANopen 总线标准的产品出现。本方案中 CAN 总线 I/O 单元必须采用内部封装 CANopen 标准协议的产品。国外生产的这种产品种类很多，性能都很相近，可以互换使用。国内此类产品技术上还不成熟。为

了尽可能实现零部件国产化，本方案计划自行开发这种 CANopen I/O 从站模块，本课题的研究工作正是源于这样的应用背景。

1.5 论文主要完成的工作

为了满足印刷机无轴传动控制系统的要求，CANopen I/O 从站本身在实现国产化的基础上，应具有成本低，结构紧凑，易扩展的特点，本文应用 P87C591 单片机开发了基于 CANopen DS301、DSP401 协议的 I/O 从站，并且通过上位机 CAN 卡构建了基于德国 3S 公司的 CoDeSys 软 PLC 的分布式 I/O 控制系统，最终实现了基于 CANopen 协议的网络数据通讯。

基于课题的基本要求，本文的主要工作内容如下：

- (1) 介绍课题研究背景及意义，简要介绍 CAN 总线技术及其高层协议和 CANopen 协议在国内外的发展与应用状况，说明了课题的来源、目的和要求。
- (2) 设计 CANopen I/O 从站的硬件系统，完成了系统主板的原理图设计和 PCB 的制作，并且对系统各部分电路进行了调试。
- (3) 在文中重点分析了 CANopen I/O 从站的相关通讯协议。
- (4) 介绍了本课题 CANopen 协议设备开发系统以及开发环境的建立。
- (5) 完成 CANopen I/O 从站软件系统设计，重点分析相关软件模块的功能。
- (6) 完成 CANopen I/O 从站的系统调试，成功地构建了基于德国 3S 公司的 CoDeSys 软 PLC 的分布式 I/O 控制系统，并实现了基于 CANopen 协议的网络数据通讯。
- (7) 最后，对全文进行了总结，指出了课题存在的问题并对 CANopen 的进一步应用提出了自己的看法。

1.6 本章小结

在第一章绪论里，本文首先介绍了课题的产生背景即印刷机无轴传动技术的产生、特点、意义及其在国内的发展现状，然后介绍了印刷机无轴传动技术的基础——工业现场总线技术，进而又对本课题中采用的 CAN 总线及其高层协议 CANopen 进行了简介。最后详细说明了本课题的来源、目的要求和本论文主要完成的工作。

第2章 CANopen I/O 从站的硬件系统设计

2.1 硬件系统总体设计

如图 2-1 所示, 为 CANopen I/O 从站硬件系统结构框图。本文采用 P87C591 单片机作为 I/O 从站的主芯片, 它是一个单片 8 位高性能微控制器, 从 80C51 微控制器家族派生而来, 采用了强大的 80C51 指令集并成功地包括了 Philips 半导体 SJA1000^[19] CAN 控制器的 PeliCAN 功能。CAN 收发器我们采用 Philips PC A82C250 芯片, 它具有高速稳定的差分发送和接收能力; 为了提高抗干扰能力, 系统中采用双路电源模块供电, 在控制器和传输介质之间加接光电隔离器件 AD uM1201 高速数字隔离器替代传统的光电耦合器 (如 6N137), 简化了电路, 极大的降低了功耗。此外, 从站 I/O 端口电路还采用了光耦 TLP521 隔离器进行光电隔离。为了使本系统具有更好的适应性, 我们采用 P87C591 单片机内部集成的 IIC 总线, 在系统中扩展了 E2PROM 24C04 芯片, 还留出了扩展 I/O 模块的 IIC 总线接口, 满足了系统的扩展性; 此外, 为了便于调试和与主控制器的通讯, 系统中还扩展了 RS232 接口。使用中系统板上电后, 电源信号、通讯状态、I/O 端口、故障信号都能通过相应的 LED 指示灯分别进行显示。如图 2-2 所示, 为本文开发的 CANopen I/O 从站模块实物图。

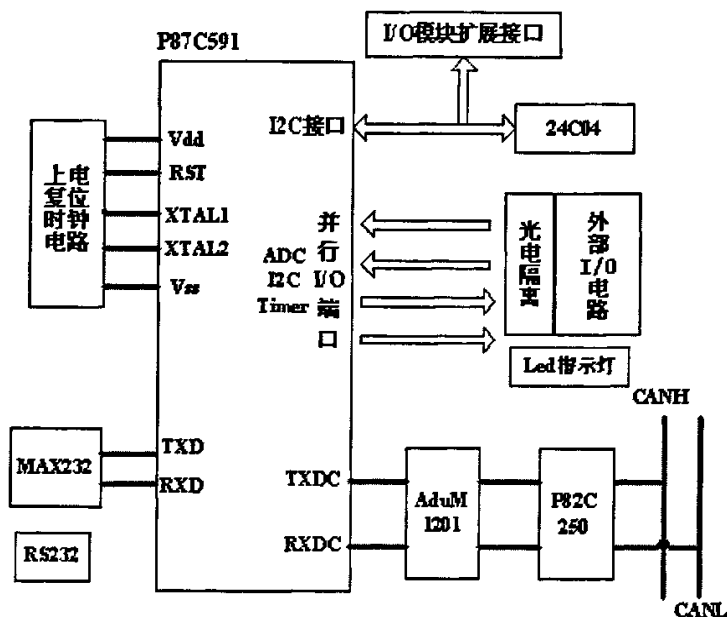


图 2-1 CANopen I/O 从站硬件系统结构

Figure 2-1 The hardware overview of CANopen I/O slave

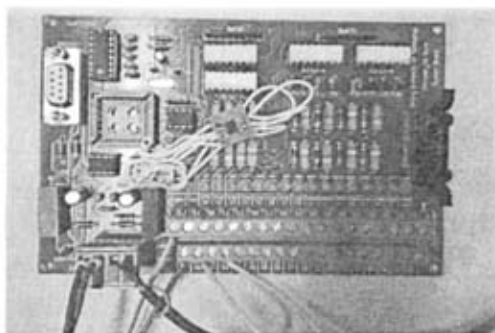


图 2-2 CANopen I/O 从站模块实物图

Figure 2-2 CANopen I/O slave

2.2 单片机系统设计

2.2.1 P87C591 的结构和主要特点

从 CANopen I/O 从站的实际应用角度来考虑, 为了简化设计和降低成本, 提高可靠性, 通常可以采用内部集成 CAN 总线控制器的微处理器。自带 CAN 总线控制器的微处理器, 不占用处理器的端口资源, 可以大大简化接口电路的设计, 减少程序的复杂程度, 提高系统的稳定性。本文采用 PHILIPS 公司推出的集成片内 CAN 总线控制器的高性能 8 位单片机 87C591。微处理器 P87C591 片内集成并增强了 SJA1000(独立的 CAN 控制器)的功能, 完全兼容 CAN2.0A/B 协议, 可完成 CAN 总线数据的收发等通信任务。

P87C591是一个高性能的CAN 微控制器可用于汽车和通用的工业应用。除了具有Philips Rx+内核的增强特性之外, 器件还为这些应用提供许多专用的硬件功能; 完全履行CAN2.0B规范, 并提供一个直接从SJA1000独立CAN控制器的软件移植路径; 具有CAN的扩充特性, 其中包括增强型验收滤波器、支持系统维护诊断系统优化以及接收FIFO特性。因此, P87C591具有非常广泛的应用领域^[6]。

如图2-3所示, P87C591除了包含标准的外围功能以外还包含了一个强大的CAN控制器模块, 即PeliCAN。该嵌入式CAN控制器包括了下列功能模块:

CAN内核模块, 根据CAN2.0B规范控制CAN帧的发送和接收。CAN2.0B控制器支持11位标准和29位扩展识别码使用8MHz时钟可实现1Mbit/sCAN总线速率。还具有一个片内64字节接收FIFO和一个13字节发送缓冲区。除了普通的CAN特性以外P8xC591还提供增强型PeliCAN系统的维护诊断和优化特性。

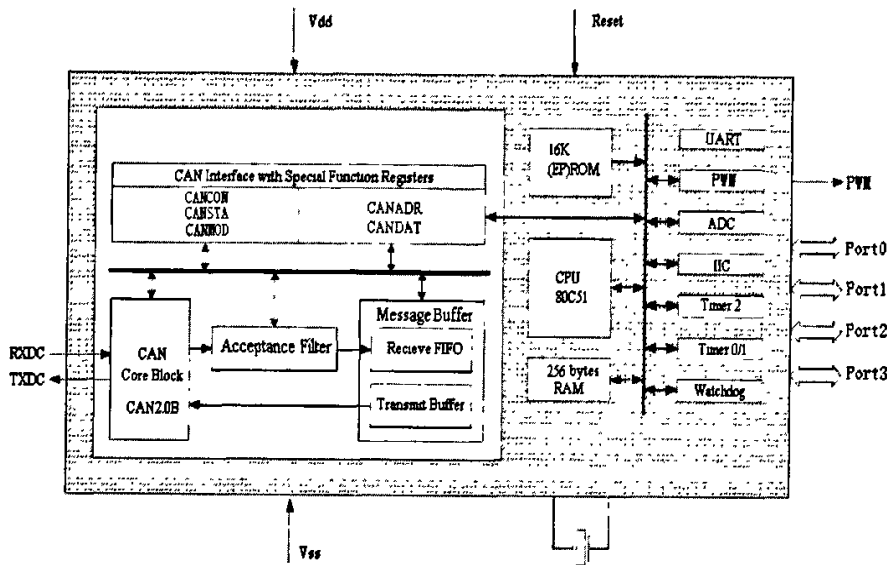
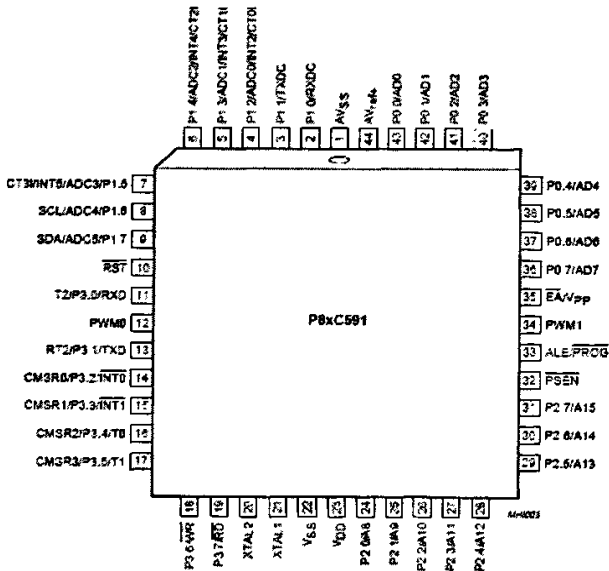


图 2-3 P8xC591 方框图

Figure 2-3 Block diagram P8xC591

CAN接口包含5个实现CPU与CAN控制器连接的特殊功能寄存器，对重要CAN寄存器的访问,通过快速自动增加的寻址特性和对特殊功能寄存器的位寻址来实现。

所有由验收滤波器验收的接收数据都保存在接收FIFO中。取决于操作模式和数据长度的不同，最多可保存21个CAN信息。这使用户在指定系统的中断服务和中断优先级时有更多的灵活性，因为数据溢出的可能性大大降低了。



式), 只要通过CPU启动, 发送信息字节就从发送缓冲区传输到CAN内核模块。

当接收一个信息时, CAN内核模块将串行位流转换成并行数据输入到验收滤波器, 通过该可编程滤波器, P87C591确定实际接收到的信息。

如图 2-4 所示, 为 P87C591 44 针 LCC 封装引脚图。

2.2.2 IIC 存储器电路设计

IIC 总线, 是 Inter Integrated Circuit BUS 的缩写, 即内部集成电路总线, 是 Philips 公司开发的一种简单双向二线制同步串行总线。它只需要两根信号线, 一根是串行同步时钟 SCL, 一根是串行通信数据线 SDA, 即可在连接于总线上的器件之间传送数据, 数据传送速率可达 400KBS^[5]。IIC 总线器件内部集成总线接口, 极大地简化了硬件接口电路, 每个连接到总线上的器件地址由芯片内部硬件电路和外部地址引脚共同决定, 主器件既可以作为发送器, 又可以作为接收器。本系统中采用内含 IIC 总线接口的 P87C591 单片机微处理器作为主器件。

IIC 总线的使用方法见图 2-5。从图中可以看出 IIC 总线用两根线连接多个具有 IIC 总线接口的器件, 在器件之间进行数据传送。主器件通过寻址来对不同的器件操作。

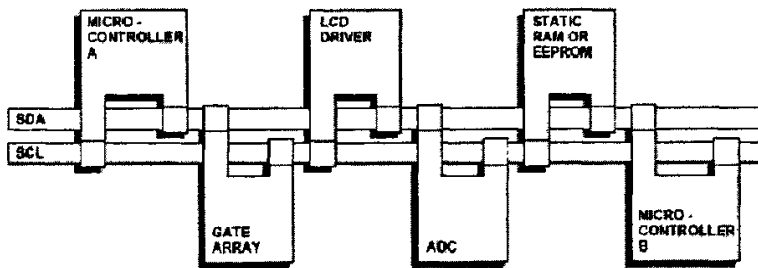


图 2-5 IIC 总线使用方法

Figure 2-5 Usage of IIC bus

使用这种总线可以很容易构成一个复杂应用系统。需要注意的是, SCL 和 SDA 信号需要 1~10 千欧姆的上拉电阻, 而且 IIC 总线传输速度较慢, 不适合快速通讯的场合。

IIC 总线上的主器件在时钟线 SCL 上产生时钟脉冲, 在数据线 SDA 上产生寻址信号, 开始条件, 停止条件和建立数据传输的器件。任何被寻址选中的器件都被看成是从器件。IIC 总线的接口时序格式如图 2-6 所示, 出现开始条件 (SCL 位高时, SDA 出现下降沿) 后, 主机先发出从机地址, 该地址长七位, 第八位是从机的数据方向为 (R/W), 其中“0”为写, 表明数据发送到从器件; “1”表示读, 表明从从器件读数据。ACK 为应答信号, 主器件在 SCL 线上产生一个应答脉冲, 当被选中的从器件接收到数据后, 从器件把 SDA 线拉低, 这时主器件可以继续发送数据。数据传输过程总是以主机产生停止条件 (SCL 为高时 SDA 出现上升沿) 而终止^[5]。

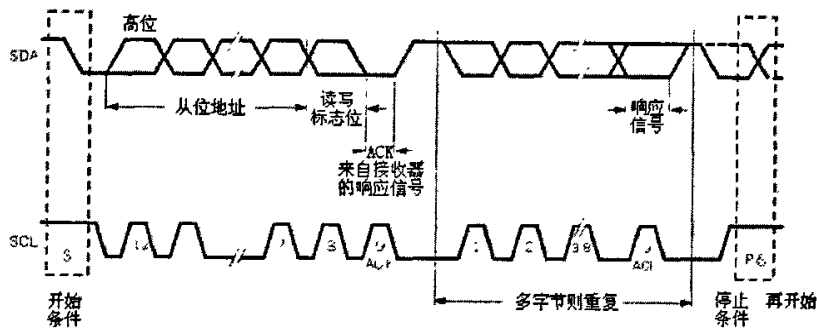


图 2-6 IIC 总线的数据传输

Figure 2-6 Data transmission of IIC bus

如图 2-7 所示，本系统中，由于断电情况下 P87C591 无法保持断电前一刻的设置，为了保证系统运行的可靠性，通过 IIC 总线把系统相关的硬件设置保存到片外的 EEPROM 芯片 24C04 上，24C04 是一种具有 IIC 接口的 EEPEOM 器件，工作于从器件方式，这样系统启动后首先从 IIC 存储器中读取系统的相关设置信息，完成微处理器的初始化设置。此外，为了满足 I/O 从站系统的扩展性，在硬件系统设计时特别提供了用于扩展 I/O 模块的 IIC 总线接口 J2，这样从站的 I/O 点数就会增多，进而可以更好地满足实际应用的要求。

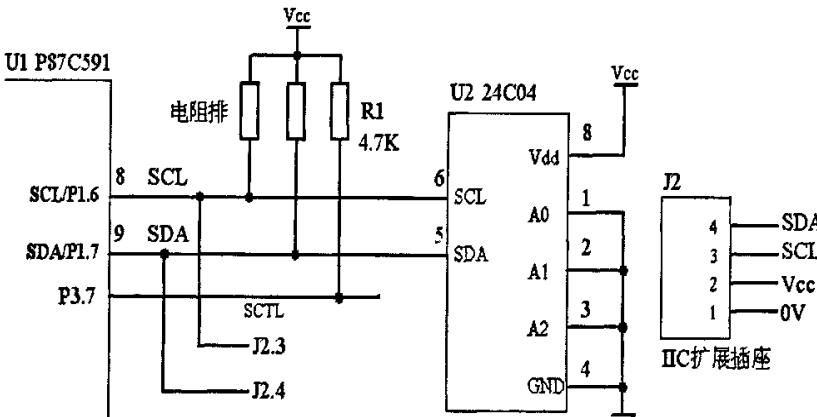


图 2-7 IIC 电路图

Figure 2-7 IIC circuit

电路中 24C04 的 A0、A1 引脚都接地，决定其操作地址为 0。SCL、SDA 信号经电阻上拉后接入 P87C591 的 IIC 控制器引脚。

2.2.3 串行通信接口电路设计

串行通信接口是一种使用简单应用广泛的通信接口。在嵌入式系统中串行口不仅可以作为一种双机通信的接口，在很多时候又作为一种调试手段。在嵌入式系统开发过程中，通常用串口连接开发主机，使用主机上的终端软件观察下位机系统的启动信息和应用程序的执行情况。因此几乎所有的嵌入式处理器都带有异

步串行通信接口。

本系统中，串行通信口使用RS-232-C标准，采用的接口是9芯或25芯的D型插头，本系统使用9芯插头，引脚定义如表2-1。要完成最基本的串行通信功能，实际上只需要RXD、TXD和GND即可。RS-232-C标准采用负逻辑方式，标准逻辑“1”对应-5V~-15V电平，标准逻辑“0”对应+5V~+15V电平，所以，两者间要进行通信必须经过信号电平转换，目前常使用的电平转换芯片为MAX232。本系统串口通讯的硬件电路如图2-8所示。

表 2-1 9 芯串行通信接口信号描述

Table 2-2 UART signal descriptions

引脚	名称	功能描述
1	DCD	数据载波检测
2	RXD	数据接收
3	TXD	数据发送
4	DTR	数据终端准备好
5	GND	接地
6	DSR	数据设备准备好
7	RTS	请求发送
8	CTS	清除发送
9	RI	振铃指示

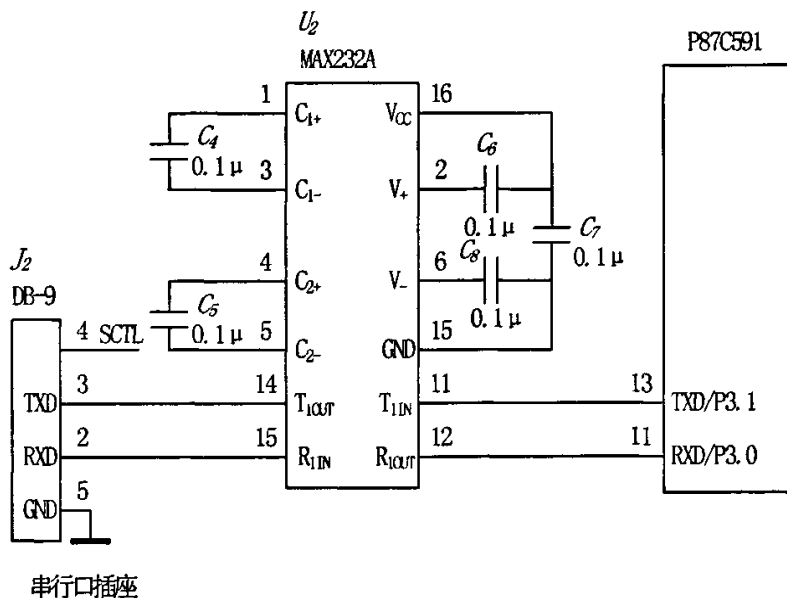


图 2-8 RS232 串口电路图

Figure 2-8 RS232 circuit

2.3 CAN 总线接口电路设计

2.3.1 P87C591 内含 CAN 控制器

使用CAN总线，必然要使用CAN总线控制器。市场上已经有相当多的支持CAN2.0A/B^[42,43]的独立CAN控制器，有的提供自带CAN总线控制器功能的MCU或DSP。PHILIPS公司的独立CAN控制器SJA1000是一种比较理想的选择，它是市场上比较受欢迎的一款芯片。SJA1000不仅与传统的CAN控制器PCA82C250硬件兼容，同时也实现了新的运行方式—增强型CAN方式，支持具有新功能的CAN2.0B协议。另外，SJA1000扩展出了64个字节的FIFO接收缓冲器，可以接收两个以上的报文。SJA1000还为增强错误处理功能增强了一些新的特殊功能寄存器，包括：可读/写访问的错误计数器，可编程的错误告警极限，前次错误码寄存器，每次CAN总线错误均引起错误中断以及借助于位置细分的仲裁丢失中断。所有这些优点使得SJA1000成为了当前CAN总线应用中的主流器件^[6]。

PHILIPS公司许多微处理器芯片都集成了这种CAN控制器，本文采用的P87C591便是其中的一种，除了普通的CAN特性以外P87C591还提供了增强型PeliCAN、系统的维护诊断和优化的特性。

如图2-9所示，CPU通过5个特殊功能寄存器CANADR, CANDAT, CANMOD, CANSTA和CANCON对PeliCAN模块进行访问。需要注意的是，CANCON和CANSTA根据访问方向的不同而具有不同的寄存器结构。

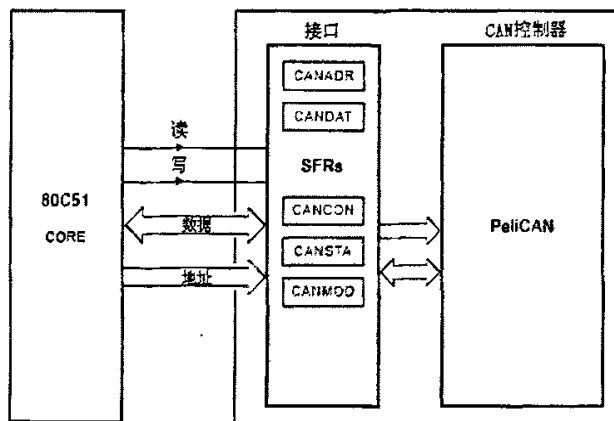


图 2-9 CPU 与 CAN 的接口

Figure 2-9 CPU to CAN Interfacing

PeliCAN 寄存器可以通过两种不同的方式访问。支持软件轮询或控制主要的CAN功能的最重要的寄存器象单独的SFRs一样直接访问。CAN模块的其它部分通过一个间接的指针机制进行访问。为了达到高数据吞吐量，在使用间接寻址时也包含了地址自动增加的特性。表2-2中，介绍了CAN的5个特殊功能寄存器的相关信息。

表 2-2 CAN特殊功能寄存器
Table 2-2 CAN SFRs description

SFR	访问	PELICAN REG.	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0	SFR 地址
CANADR	读/写	—	CANA7	CANA6	CANA5	CANA4	CANA3	CANA2	CANA1	CANA0	C1
CANDAT	读/写	—	CAND7	CAND6	CAND5	CAND4	CAND3	CAND2	CAND1	CAND0	C2
CANMOD	读/写	模式	TM	RPM	RPM	SM	—	STM	LOM	RM	C4
CANSTA	读	状态	BS	ES	TS	RS	TCS	TBS	DOS	RBS	C0
	写	中断使能	BEIE	ALIE	EPIE	WUIE	DOIE	EIE	TIE	RIE	
CANCON	读	中断	BEI	ALI	EPI	WUI	DOI	EI	TI	RI	C3
	写	命令	—	—	—	SRR	CDO	RRB	AT	TR	

CANADR读/写寄存器定义了通过CANDAT访问的PeliCAN内部寄存器的地址。可将其解释为对PeliCAN的一个指针。对PeliCAN块寄存器的读/写访问通过CANDAT寄存器执行。

通过地址自动增加模式，为CAN控制器内部寄存器提供了快速的类栈读和写。如果CANADR内当前定义的地址大于或等于32（十进制），CANADR的内容在任意对CANDAT读或写操作后自动增加。例如，将一个信息装入发送缓冲区可通过将发送缓冲区的首地址（112）写入CANADR，然后将信息字节一个接一个写入CANDAT。CANADR超过FFH后复位为00H。

如果CANADR小于32，不会执行自动地址增加。即使CANDAT执行读或写，CANADR的值仍保持不变。这允许在PeliCAN控制器的低地址空间进行寄存器轮询。

CANDAT作为一个读/写寄存器。特殊功能寄存器CANDAT看上去是对CANADR所选的CAN控制器内部寄存器的一个端口。对CANDAT寄存器的读写等效于对该内部寄存器的访问。需要注意的是，如果CANADR中当前的地址大于等于32，那么任何对CANDAT的访问将使CANADR自动增加。

对PeliCAN模式寄存器CANMOD是直接进行读写访问的。模式寄存器位于PeliCAN模块中的地址00H。

根据访问方向的不同，CANSTA提供对PeliCAN的状态寄存器和中断使能寄存器的直接访问。对CANSTA的读操作是对PeliCAN的状态寄存器（地址2）进行访问。对CANSTA的写操作是对中断使能寄存器（地址4）进行访问。

根据访问方向的不同，CANCON提供对PeliCAN的中断寄存器和命令寄存器的直接访问。对CANCON的读操作是对PeliCAN的中断寄存器（地址3）进行访问。对CANCON的写操作是对命令寄存器（地址1）进行访问。

2.3.2 CAN 总线收发器 PCA82C250

P87C591 输出的信号不能与物理总线直接相连,必须使用 CAN 总线收发器,本文选择了经典的控制电路,外接了基于 CAN 总线协议的总线收发器 PCA82C250。其引脚功能描述如表 2-3,封装形式如图 2-10。

表 2-3 PCA82C250 引脚功能描述

Table 2-3 PCA82C250 Pin configuration

名称	引脚	功能描述
TXD	1	发送数据输入
GND	2	电源地
VCC	3	工作电压
RXD	4	接收数据输出
Vref	5	参考电源输出
CANL	6	CANL
CANH	7	CANH
Rs	8	斜率电阻输入

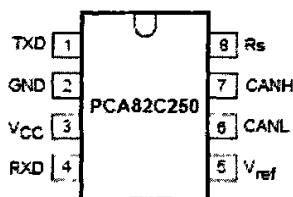


图 2-10 PCA82C250 引脚图

Figure 2-10 PCA82C250 Pin diagram

PCA82C250 是 CAN 控制器与总线之间的物理接口,由 PHILIPS 公司设计生产,最初为汽车高速通信(最高达成 1Mbps, 40m)应用而设计。其通信介质为阻抗为 120 欧双绞线,器件可以提供对 CAN 总线提供对总线的差分发送和接收功能。针对 CANL 和 CANH 的两种输出状态,总线具有两种不同的电平,这两种电平可以差分输入,接收端呈现显性或隐性两种状态。在 CANH 端,它的两个状态是高电平和悬浮状态;而在 CANL 端,它的两个状态则分别为低电平和悬浮状态。由于 PCA82C250 采用了上述措施,由它构成的分布式控制系统,即使多个节点同时向网络发送数据,也不会发生短路现象;同时,使用 PCA82C250 还可以增长通信距离,提高系统的瞬间抗干扰能力。

PCA82C250 CAN 总线收发器主要具有如下特性:

- (1) 与 ISO11898 标准完全兼容;最少可连接 110 个节点;最高速率达 1M bps;
- (2) 具有抗汽车环境下的瞬间干扰,保护总线的能力;
- (3) 防护电池与地之间发生短路;
- (4) 网络中的某一个节点掉电不会影响整个网络的工作;
- (5) 斜率控制,抗射频干扰;
- (6) 低功耗待机;
- (7) 差分发送与差分接收,抗电磁干扰(EMI)能力强。

2.3.3 CAN 总线电气隔离芯片的选择

由于现场情况十分复杂,各节点之间存在很高的共模电压,虽然 CAN 接口采用的是差分传输方式,具有一定的抗共模干扰的能力,但当共模电压超过 CAN 驱动器的极限接收电压时,CAN 驱动器就无法正常工作了,严重时甚至会烧毁芯片和仪器设备,因此,为了适应强干扰环境或是高的性能要求,必须对 CAN 总线各通信节点实行电气隔离。

传统的 CAN 总线隔离方法是光耦合器技术,使用光束来隔离和保护检测电路,以及在高压和低压电气环境之间提供一个安全接口。目前一般使用 6N137 光电隔离器件。以 Toshiba 公司的 6N137 为例,其工作电压为 5V,最高速率 10Mbps,工作温度一般为 0—70℃,隔离电压为 2500V (有效值),并且以 DIP8 型封装,每个芯片仅提供一个隔离通道,这些性能已经限制了 6N137 在更高要求的环境中应用,因此本系统采用了 ADI 公司推出的新型双通道数字隔离器 ADuM1201。ADuM1201 有诸多优于光电隔离器件性能的地方,可满足 CAN 总线的要求。

表 2-4 ADuM1201 引脚功能描述

Table 2-4 ADuM1201 Pin Function Descriptions

引脚序号	引脚名称	功能描述
1	VDD1	隔离器1侧工作电压
2	VOA	逻辑输出A
3	VIB	逻辑输入B
4	GND1	隔离器1侧电源参考地
5	GND2	隔离器2侧电源参考地
6	VOB	逻辑输出B
7	VIA	逻辑输入A
8	VDD2	隔离器2侧工作电压

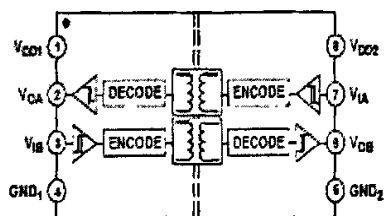


图 2-11 ADuM1201 功能图

Figure 2-11 ADuM1201 Function Diagram

本设计中采用的变压器隔离芯片 ADuM1201 是 ADI 公司推出的新产品, 其引脚功能描述如表 2-4, 功能图如图 2-11。它采用的 iCoupler 技术是基于芯片尺寸的变压器, 而不是基于光电耦合器所采用的 LED 与光电二极管的组合。这种技术由于取消了光电耦合器中的光电转换过程, 并且采用了 iCoupler 变压器专利技术集成变压器驱动和接收电路, 从而实现了光电隔离器无法比拟的性能优势, 由于使用晶片级制造工艺直接在芯片上制造 iCouple 变压器, 所以 iCouple 通道比光电耦合器有效地实现通道之间的集成, 比较容易地实现其他半导体功能。

由于没有光电耦合器中影响效率的光电转换环节, 所以 iCoupler 数字隔离器无需驱动 LED 的外部电路, 功耗仅为光电耦合器的 $1/10 \sim 1/50$ 。这种新的基于电磁的隔离方法, 在抗高温影响方面远优于光耦合器, iCoupler 数字隔离器在 125°C 高温环境下性能和可靠性并不下降, 因此可以采用低成本、小体积的 SOIC 封装, 这样不但降低了成本还减小了芯片的体积。另外, iCoupler 数字隔离器的隔离通道具有比光耦合器更高的数据传输速率, 时序精度和瞬态共模抑制能力, 其额定隔离电压是高隔离度光电耦合器的 2 倍, 并且数据传输速率和时序精度是其 10 倍。此外, 与光电耦合器不同的是, 多通道 iCoupler 数字隔离器能在同一芯片内提供正像和反向通信通道, 这样就可以使得信号的传输方向更加灵活, 简化了芯片间的硬件连接线路。

2.3.4 CAN 总线接口电路设计

如图 2-12 所示, ADuM1201 所隔离的两端有各自的电源和参考地, 电源电压为 $2.7 \sim 5.5\text{V}$, 这样可以实现低电压供电, 从而进一步降低系统功耗, 系统中使用的电源是 5V 。电源和参考地之间接入了 $0.1\mu\text{F}$ 电容, 以消除高频干扰, 电容和电源之间的距离应在 20mm 以内, 这样可以达到更好的滤波效果。由于两个隔离通道高度匹配, 通道间串扰很小, 并且采用两通道输入/输出反向设计, 非常适合 CAN 总线双向收发的特性, 大大简化可隔离器与所隔离两端的硬件连接。需要注意的是: GND1 与 GND2 是两个不同的参考地, 否则将达不到隔离的效果; ADuM1201 正常工作时, 两端的供电源需要同时上电才能保证 ADuM1201 两通道都能正常工作, 如果有一个没有上电就能导致整个芯片无法正常工作。

隔离芯片 ADuM1201 处于系统的中间, 用来隔离各传感器节点, 比传统的光电隔离器件具有更好的性能。ADuM1201 消除了传统光电隔离器不确定的传输速率、非线性的传输函数以及温度和寿命对器件的影响, 无需其他驱动和分立元件, 提供了更加稳定的转化性能, 而且在相同的信号传输速率下功耗只有光电隔离器的 $1/10 \sim 1/6$ 。另外, ADuM1201 以单一芯片实现了 CAN 总线节点之间的电气隔离, 并采用双转化通道, 两通道方向相反的特殊结构, 非常适合于 CAN 总线信号的传输, 大大简化了系统的硬件结构, 同时, 由 1 个隔离芯片代替以往的

2 个, 大大增加了通道间的匹配程度, 使系统获得更好的隔离性能。

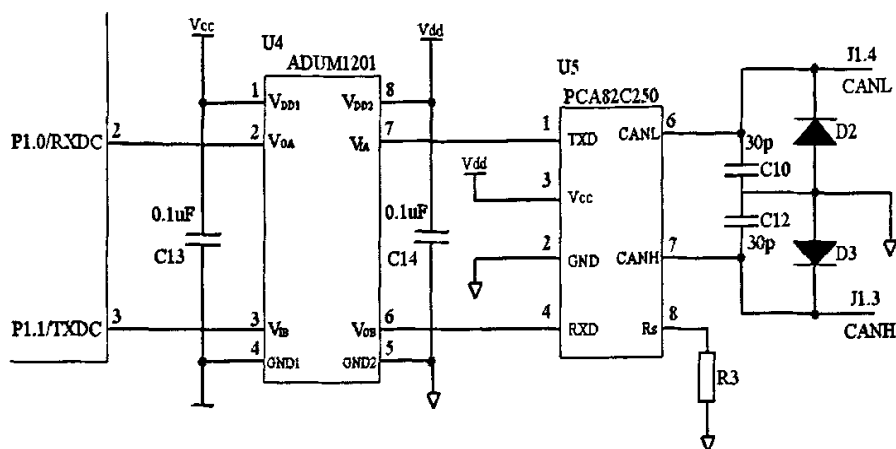


图 2-12 CAN 总线接口电路图

Figure 2-12 CAN bus interface circuit

2.4 外部 I/O 接口电路设计

考虑到 CANopen I/O 从站出于实验性阶段, 本次在从站模块上利用 P87C591 单片机的 P0 口和 P2 口作为并行 I/O 端口, 只设计了 8 路数字信号输入和 8 路数字信号输出, 分别由发光 LED 进行指示, 然后经模块 PCB 板上端子引出, 单片机的 P0 口和 P2 口由 Vcc 供电, 驱动关断信号。模块外部电源输入电压为 24 伏, 但实际上, 为了更好的适应现场设备的要求, 我们在设计时采用了更大功率和阻值的限流电阻, 使得电路外部电源输入在 24 伏至 48 伏的范围之间都是允许的, 由于 LED 的工作电流一般可以小至约 10mA, 即便是在 24V 输入的情况下, 也能正常发光指示。

在外部 I/O 接口电路设计中, 受到工厂现场环境的影响, 需要注意对外部干扰信号进行光电隔离的问题。本文采用的光电隔离芯片是比较常见的 521TLP-4, 所以从站模块的 8 路数字信号输入和 8 路数字信号输出只需要 4 块 521TLP-4 即可。

如图 2-13 所示, 在数字量输入电路设计中, 对于 P87C591 单片机 P0 各端口, 当外部输入断开, 即信号为“1”时, 在外部电源+24V 作用下, 外部电路电流不足 10mA, 所以光耦内部发光二极管无法导通。由于光耦晶体管无电流, 内部电路无法导通, CPU 输入电压在 Vcc 作用下为 5V, 即此时输入为“1”。

当外部电路导通时, 即输入“0”时, 外部电流可以驱动光耦工作, 光耦内部发光二极管导通。在光耦的另一端, 内部晶体管导通, 使得内部电路导通。内部电源提供的 5V 电压均降在了内部终端阻抗上。此时, CPU 输入端的电压很小, 可以认为输入为“0”。

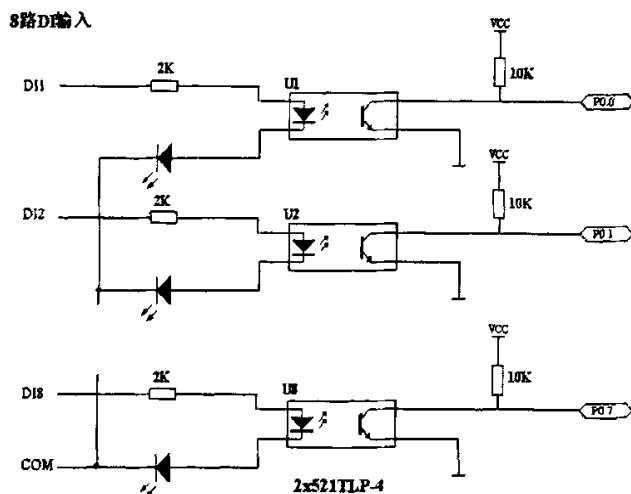


图 2-13 数字量输入模块电路图

Figure 2-13 Digital input module circuit

如图 2-14 所示,在数字量输入电路设计中, P87C591 单片机 P2 各端口, 将“0”(0-0.3V)和“1”(5V 左右)经光耦以电子开关形式输出为开关量。外部的发光二极管用以指示信号的开通或关断。

以其中一路为例:

当 P87C591 单片机输出为“0”时,由于 V_{CC} 的作用,光耦一端发光二极管发光,另一端晶体管导通,从而外部的晶体管导通,由外部+24V 电源供电经终端阻抗限流,使外部电路电流工作于 10mA 左右,外接的 LED 发光,相当于输出为“0”,指示闭合信号。当 P87C591 输出为“1”时,光耦无法导通。外接晶体管也无法导通,在外部电源作用下 LED 不会发光,即输出为“1”,即产生关断信号。

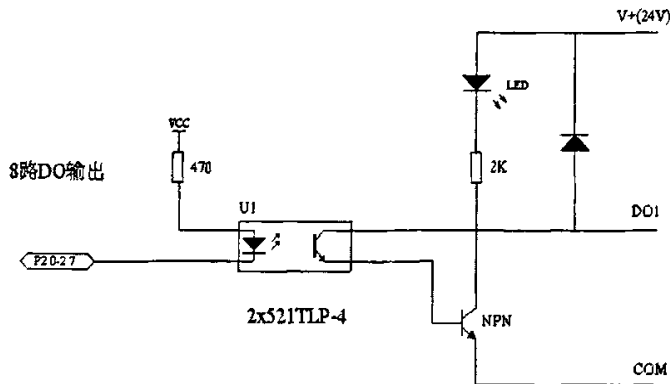


图 2-14 数字量输出模块电路图

Figure 2-14 Digital output module circuit

2.5 电源系统电路设计

如图2-15所示,在本课题CANopen I/O从站的电源系统设计中,出于从站体

积紧凑的特点的要求,我们采用了小体积封装的MORNSUN DC/DC电源转换模块,将24V CAN总线电源和CANH、CANL连根信号线经由板上插座引入板内电路,24V直流电源经过双路电源转换分别得到5V的 V_{CC} 和 V_{DD} 。为了适应工业现场的特殊环境,本文在DC/DC 输出端和输入端外加了滤波电容,以减少纹波值。根据设计前的功耗估算, V_{CC} 电压为单片机系统和外部I/O电路进行供电,这一路的电源转换模块选用2W即可满足电路供电要求。 V_{DD} 电压为ADuM1201一侧和PCA82C250 芯片供电,由于系统中使用变压器隔离芯片 ADuM1201 代替了传统的 6N137,该部分电路的功耗得到极大的降低,因此 V_{DD} 这一路选择了 1W 的低功耗的电源转换模块即可满足要求。

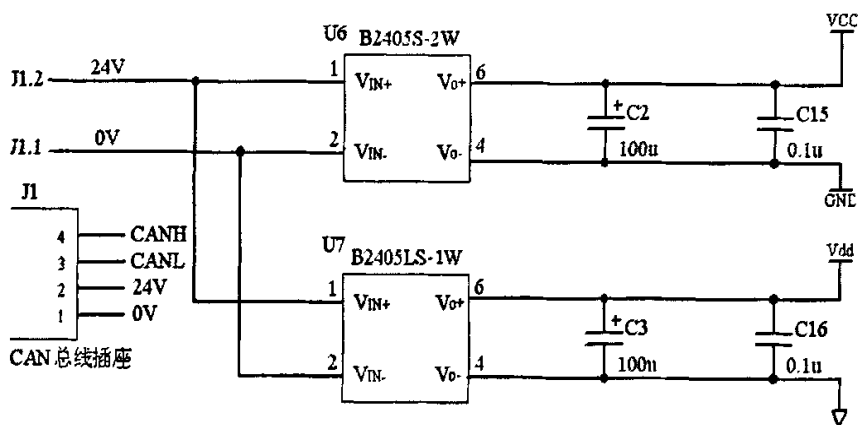


图 2-15 电源系统电路

Figure 2-15 Power supply system circuit

如图2-16所示,本文采用的B_S(D)-xW 系列产品是专门针对线路上分布式电源系统中需要产生一组与输入电源隔离的电源的应用场合而设计的。主要用于大功率开关电源作为稳定输入源の場合,即当作二次电源使用,还适用数字信号处理电路以及对电压稳定度要求不高的模拟电路,特别适用于分布式电源供电系统,及使用小功率电源供电的电路。该产品的特点:效率高,可靠性高,体积特别小,耐冲击,隔离特性好,温度范围宽。国际标准引脚方式,阻燃封装(UL94-V0),自然冷却,无需外加散热片,无需外加元件可直接使用,可直接焊在PCB板上。无过流/短路保护,输出电压稳定度不够高,输出纹波比稳压产品大,容性负载能力差。

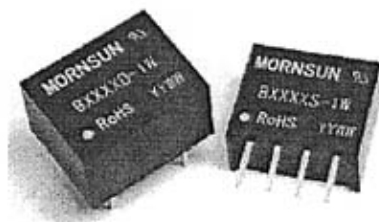


图 2-16 DC/DC 电源转换模块

Figure 2-16 DC/DC Converter

2.6 本章小结

在这一章里，论文介绍了本课题中 CANopen I/O 从站的硬件系统设计。首先介绍了从站的硬件系统总体设计，接下来对单片机系统设计、CAN 总线接口电路设计、外部 I/O 接口电路设计以及电源系统电路设计等内容逐一进行了介绍。其中涉及电路芯片的选型、技术特点和各部分电路原理的说明。

第3章 CANopen 通讯协议分析

在OSI模型中，CAN标准、CANopen协议之间的关系如图3-1所示，在CAN协议固化芯片基础之上，CANopen作为CAN应用层协议，规定了应用层和通讯子集（CiA DS-301），即工业上应用的基本 CANopen通讯协议、可编程控制器的设备子集（CiA DSP-302）等等。此外，如表3-1所示，CANopen协议中还规定了额外的专用设备描述协议，这些都在相应的设备子集里规定着（CiA DS-4xx），大多数重要的设备类型，例如数字和模拟的输入输出模块、驱动设备、操作设备、控制器、可编程控制器或编码器，都在称为“设备描述”的协议中（CiA DS-4xx）进行描述；“设备描述”定义了不同类型的标准设备及其相应的功能。依靠CANopen协议的支持，可以对不同厂商的设备通过总线进行配置。

表 3-1 CANopen 设备协议模块

Table 3-1 CANopen device profile category

DS-401	数字输入 / 输出设备
DS-402	伺服驱动设备
DS-403	操作和显示设备
DS-404	传感器和调节器
DS-405	可编程控制器
DS-406	位置编码器
——	保留

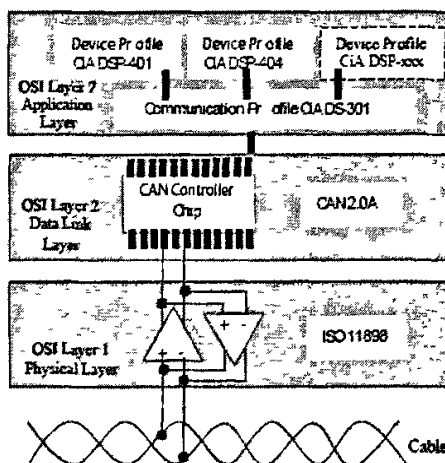


图 3-1 CAN、CANopen 标准在 OSI 网络模型中的位置

Figure 3-1 CAN、CANopen standards in OSI network model

通讯子协议（communication profile），即DS301文件，描述了对象字典的主要形式和对对象字典中的通讯子协议区域中的对象，通讯参数。同时描述CANopen

通讯对象。这个子协议适用于所有的CANopen设备。

DSP401 子协议文件(I/O 设备描述文件)是最常用, 最重要的设备描述文件, 它描述了模拟量、开关量输入/输出接口以及可参数化能力。DSP401 对象字典, 表达开关量 I/O 可以达到 2040 个, 模拟量 I/O 可以达到 255 个, 特殊的对象字典提供了输入/输出特性的参数化。设备描述文件也包含附加的错误代码、编译的数据类型、设备状态机等。

本文设计的CANopen I/O从站主要基于CANopen DS301和DS401协议, 下面将对涉及到的相关内容加以介绍和分析。

3.1 CANopen 协议的设备模型

如图 3-2 所示, 不同设备通过 CAN 总线进行连接组网, CANopen 通信协议接口用于提供在总线上收发通信对象的服务; 不同 CANopen 设备间的通信都是通过交换通信对象来完成的。CANopen 协议中定义了四种通信对象, 用于对不同作用的信息进行处理: NMT 对象用来传递主节点对整个网络系统的管理信息; SDO 用来传递网络系统中的配置信息; PDO 用来实时传送过程数据信息; 特殊功能对象则包括同步对象(Sync)、紧急对象(Emergency)和时间戳对象(Time Stamp)等。设备对象字典是 CANopen 协议的核心概念, 位于 CANopen 设备模型中通信层和用户应用层之间, 为用户应用层提供接口。对象字典在系统软件设计中得以实现, 然后使用标准化的电子数据文档(即 EDS 文件: Electronic Data Sheet)对其进行描述^[4, 38]。

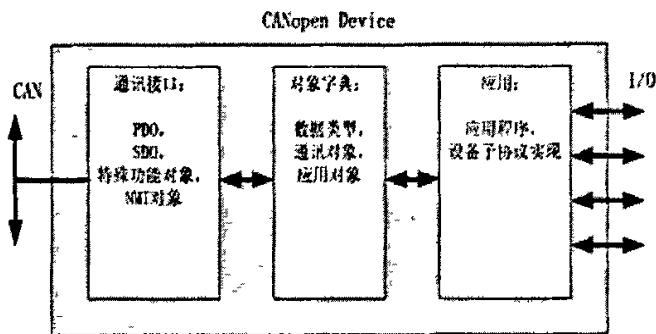


图 3-2 CANopen 设备模型

Figure 3-2 CANopen device model

3.2 CANopen 协议中的对象字典

CANopen 网络中每个节点都有一个对象字典, 在 EDS 文件进行描述。对象字典是一个有序的对象组; 每个对象采用一个 16 位的索引值来寻址, 为了允许访问数据结构中的单个元素, 同时定义了一个 8 位的子索引, 对象字典的结构参照表 3-2。一个节点的对象字典的有关范围在 0x1000 到 0x9FFF 之间。

表 3-2 CANopen 对象字典
Table 3-2 CANopen Object Dictionary

索引	对象
0000	Not used
0001-001F	静态数据类型（标准数据类型，如 Boolean, Integer16）
0020-003F	复杂数据类型 （预定义由简单类型组合成的结构如 PDOCommPar, SDOParameter）
0040-005F	制造商规定的复杂数据类型
0060-007F	设备子协议规定的静态数据类型
0080-009F	设备子协议规定的复杂数据类型
00A0-0FFF	Reserved
1000-1FFF	通讯子协议区域 （如设备类型，错误寄存器，支持的 PDO 数量）
2000-5FFF	制造商特定子协议区域
6000-9FFF	标准的设备子协议区域 （例如“DSP401 I/O 模块设备子协议”：Read State 8 Input Lines 等
A000-FFFF	Reserved

基本的数据类型（Static Data Types）在 0001h 到 001Fh 的索引区域里，包括标准的数据类型定义，像布尔变量、整型、浮点数、字符串等等。这些对象只是做参考用，不能读写。

复杂的数据类型（Complex Data Types）在 0020h 到 003Fh 的索引区域里，都是预先定义好的结构，其中包括标准的数据类型，这些定义对于所有的设备都是相同的。

和生产商相关的数据类型（Manufacturer Specific Data）在 0040h 到 005Fh 的索引区域里，也都是包括标准数据类型的结构，但是，是针对某一个特定设备的。

设备描述（Device Profiles）可以包括一些额外的针对某一类设备的数据类型。设备描述的基本的数据类型在 0060h 到 007Fh 区域里，复杂数据类型在 0080h 到 009F 区域里。

一个设备可以选择性的提供它所支持的复杂数据类型（索引 0020h 到 005Fh 和 0080h 到 0090Fh 之间），然后子索引 0 提供一个某个索引所包括的对象数目，接下来的子索引都是无符号 16 位寻址的数据类型。

通信描述区域在索引 1000h 到 1FFFh 之间，包括 CAN 网络的特定通讯参数。这些对象对于所有设备是相同的。

标准的设备描述区域在索引 6000h 到 9FFFh 之间，包括所有可以通过网络读写的数据对象，而这些对象对于一类设备都是相同的。每一类设备的对象字典都有一些的强制的对象。这些对象保证某一类设备在某一个规定的方式下运作。

对象字典还规定了一些可选的设备特性，供厂商对自身产品规范和特点进行

额外的定义。对象字典中描述通讯参数部分,对所有 CANopen 设备都是一样的,而设备相关部分对于不同类的设备是不同的^[4]。

3.3 CANopen 协议的三种通讯模式

3.3.1 基于生产者与消费者的模式

如图 3-3 所示,生产者/消费者模型很好的描述了 CAN 的广播通讯能力。网上的每一个站都可以侦听发送站的报文。收到后,由每个节点决定是否接收这个报文,所以在一个 CAN 节点里接收滤波是必需的。生产者/消费者模型需要的服务有:直接发送一个报文(Push 型)或者请求一个报文(pull 型)^[26]。

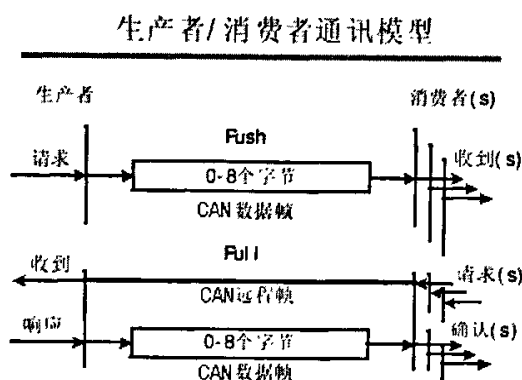


图 3-3 CANopen 生产者/消费者通讯模式

Figure 3-3 CANopen producer/consumer model

3.3.2 基于客户/服务器的模式

如图 3-4 所示,客户/服务器型是基于一对一、点对点的通讯模式。发出请求的节点身份是客户,被请求节点为服务器。服务器在链路活动调度的安排下,响应客户的通讯请求,完成两台设备的通讯任务。CANopen 协议中的 SDO 服务就是基于这种通讯模式。

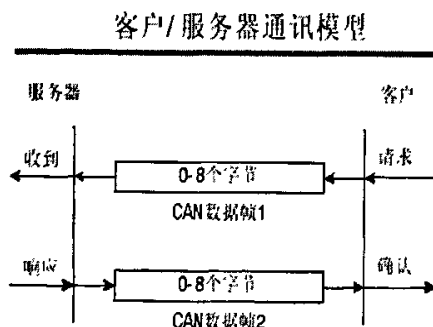


图 3-4 CANopen 客户/服务器通讯模式图

Figure 3-4 CANopen C/S (client/server) model

客户/服务器模型用来传输大于 8 个字节的数据。所以,原始的数据需要分段,然后带着相同的标识符分段发出去。每一段或者几段,或者全部报文一起被接受者确认。客户/服务器的通讯模型中的服务包括上传、下载、放弃传输^[4]。

3.3.3 基于主/从的模式

如图 3-5 所示, CANopen 网络管理 NMT 是面向节点的,并且实施的是主从通讯方式。在 CANopen 主/从系统中,系统中包含一个发起所有通讯的 CANopen 主站,主站带若干个从站(现场设备),从机只能跟主机通讯并且只能以“应答”的方式(Speak Only When Spoken To)。在基于 CAN 的网络通讯中,主从通讯可以用特定的标识符分配来实现。此外,非确认方式的主从通讯也允许广播^[6]。

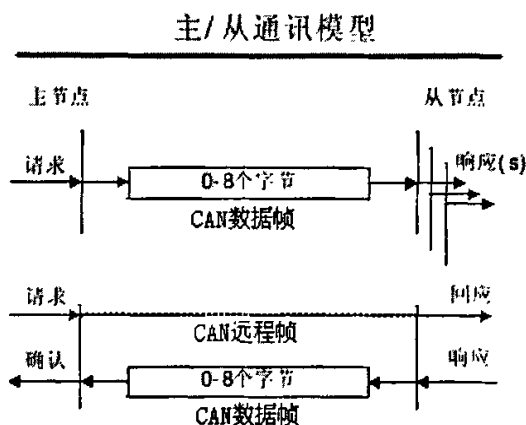


图 3-5 CANopen 主/从通讯模式图

Figure 3-5 CANopen Master/slave model

3.4 CANopen 协议的四种通讯对象

CANopen 网络的通信和管理都是通过不同的通信对象来完成的,为了能够实现通信,网络管理,紧急情况处理等功能, CANopen 规范定义了四类标准的通信对象:过程数据对象(PDO)、服务数据对象(SDO)、网络管理对象(NMT)、特殊功能对象。要理解 CANopen 规范,核心是要理解 CANopen 的设备模型和各类型的通信对象。掌握了这两者后,通过利用各类标准的设备描述就可以开发出符合国际标准的 CANopen 设备了。下面本文将结合 CANopen DS301 规定的预定义连接集,对这四种通讯对象进行逐一介绍。

3.4.1 过程数据对象(PDO)

第一类通信对象为过程数据对象(Process Data Object),用于实时数据传输,优先级较高。PDO 被映射到单一的 CAN 帧中,使用所有的 8 个字节的数据域来传输应用对象。每个 PDO 有一个独立的标识符,采用生产者 / 消费者通信模式。

PDO 有多种触发模式，内部事件，外部时钟，远程帧请求以及从特定节点接收到同步报文都可以启动 PDO 发送^[4]。

下面对 PDO 的语法细节进行简要说明。作为一个例子，假定 CANopen 预定义连接集中规定的第二个 TPDO 映射如表 3-3 所示（在 CANopen 中用对象字典索引 0x1A01 描述）：

表 3-3 第二个 TPDO 映射
Table 3-3 2th TPDO mapping

对象0x1A01：第二个Transmit-PDO		
子索引	值	意义
0	2	2个对象映射到PDO中
1	0x60000208	对象0x6000，子索引0x02，由8位组成
2	0x64010110	对象0x6401，子索引0x01，由16位组成

在CANopen I/O模块的设备子协议（CiA DSP-401）定义中，对象0x6000子索引2是节点的第2组8位数字量输入，对象0x6401子索引0x01是节点的第1组16位模拟量输入。

这个PDO报文如果被发送(可能由输入改变，定时器中断或者远程请求帧等方式触发，和PDO的传输类型相一致，可以在对象0x1801子索引2中查找)，则由3字节数据组成，格式如图3-6所示：

PDO-producer → PDO-consumer(s)

COB-ID	Byte 0	Byte 1	Byte 2
0x180-Node_ID	8位数据量输入	16位模拟量输入 (低8位)	16位模拟量输入 (高8位)

图 3-6 TPDO 报文格式

Figure 3-6 TPDO message format

通过改变对象0x1A01的内容，PDO的内容可被改变（如果节点支持（可变PDO映射））。注意在CANopen中多字节参数总是先发送LSB（little endian），并且不允许超过8个字节的数据映射到某一个PDO中。

3.4.2 服务数据对象(SDO)

第二类通信对象为服务数据对象 SDO(Service Data Object)，允许传送任意长度的数据对象。SDO 采用客户机/服务器模式进行通讯，用于对对象字典的读写访问，以实现节点参数的设置，下载程序，定义 PDO 通讯的类型和数据的格式等，优先级较低。SDO 有两种传送机制：加速传送（Expedited transfer）：最多传输 4 字节数据；分段传送（Segmented transfer）：传输数据长度大于 4 字节^[38]。

SDO 的基本结构如图 3-7 所示：

Client → Server/Server → Client

Byte 0	Byte 1-2	Byte 3	Byte 4-7
SDO Command Specifier	对象索引	对象子索引	**

图 3-7 SDO 报文格式

Figure 3-7 SDO message format

SDO中实现了5个请求/应答协议: 启动域下载 (Initiate Domain Download), 域分段下载(Download Domain Segment), 启动域上传(Initiate Domain Upload), 域分段上传 (Upload Domain Segment) 和域传送中止 (Abort Domain Transfer)。

3.4.3 网络管理对象(NMT)

第三类通信对象是网络管理对象, 用于管理和监控网络中的各个节点。网络中确定一个节点为 NMT 主站, 该节点作为主站时不和其它节点一起参与仲裁, 只具有管理功能, 不执行管理功能时, 主站也可以运行应用程序参与 SDO 和 PDO 通讯。NMT 可以完成的网络管理功能包括状态管理、节点保护、分配特定标识符(DBT 服务)、禁止时间服务。

在任何时候NMT服务都可使所有或者部分节点进入不同的工作状态。如图 3-8所示, NMT服务的CAN报文由CAN头(COB-ID=0)和两字节数据组成: 第一个字节表示请求的服务类型('NMT command specifier')如表所示, 第二个字节是节点ID, 或者0 (此时寻址所有节点)。

NMT-Master → NMT-Slave(s)

COB-ID	Byte 0	Byte 1
0x000	CS	Node-ID

图 3-8 NMT 报文格式

Figure 3-8 NMT message format

表 3-3 NMT 命令标识符

Table 3-3 NMT command specifier

命令字	NMT 服务
1	Start Remote Node
2	Stop Remote Node
128	Enter Pre-operational State
129	Reset Node
130	Reset Communication

下面再介绍一下 NMT 从站的启动报文和心跳报文功能。心跳报文用于从站设备向 NMT 主站表明当前状态, NMT 主站为每个 Heartbeat 节点设定一个超时

值，当超时发生时采取相应动作。图 3-9 为心跳报文格式：

Heartbeat Producer → Consumer(s)

COB-ID	Byte 0
0x700 - Node_ID	状态

图 3-9 心跳报文格式

Figure 3-9 Heartbeat message format

NMT从站的启动报文用于通知NMT-Master节点它已经从initialising状态进入pre-operational状态，图3-10为启动报文格式。

NMT-Master ← NMT-Slave

COB-ID	Byte 0
0x700 - Node_ID	0

图 3-10 启动报文格式

Figure 3-10 Boot_up message format

3.4.4 特殊功能对象

CANopen 还定义了三个特定的对象，即时间标记对象、同步对象、紧急对象，用于配合各种数据通讯和网络管理。时间标记对象为应用设备提供一个微妙级的网络时钟，使对时间苛刻的大型网络能够精确同步。同步对象由同步发生器向网络进行周期性广播，用于 PDO 的同步通讯，优先级较高。紧急对象由设备内部出现的致命错误触发，由相关应用设备以最高优先级发送其它节点，适用于中断型的错误报警^[39]。

以紧急对象为例，一个紧急报文由 8 字节组成，报文格式如图 3-11 所示：

sender → receiver(s)

COB-ID	Byte 0-1	Byte 2	Byte 3-7
0x080 - Node_ID	应急错误代码	错误寄存器 (对象0x1001)	制造商特定错误区域

图 3-11 紧急报文格式

Figure 3-11 Emergency message format

3.5 CANopen NMT 状态机分析

在网络初始化过程中，CANopen 支持扩展的 boot-up，也支持最小化 boot-up 过程。扩展 boot-up 是可选的，最小 boot-up 则必须被每个节点支持。两类节点可以在同一个网络中同时存在。如果使用 CAL 的 DBT 服务进行 ID 分配，则节点必须支持扩展 boot-up 过程。扩展 boot-up 的状态图在预操作和操作状态之间比最小化 boot-up 多了一些状态。

如图 3-12 所示，每个 CANopen 的 NMT 的从节点上电和内部初始化之后自

动进入预操作状态(Pre-operational state)。在这个状态里,从节点可以通过 SDO 被配置和设置参数。不允许 PDO 通讯。NMT 主节点可以使所有的其他节点进入操作状态(Operational state),当然也可以退出。在操作状态里,允许 PDO 通讯。主节点还可以使从节点进入停止状态(Stopped State),从而停止 PDO 和 SDO 通讯。在操作状态里,所有的通讯对象都是可通讯的,用 SDO 读写对象字典也是可以的^[38]。

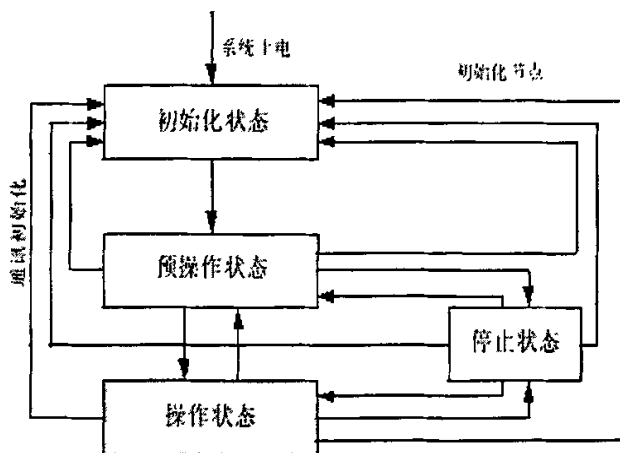


图 3-12 NMT 状态机

Figure 3-12 NMT transition machine

3.6 CANopen 协议预定义主 / 从模式连接集

对于面向网络的通信对象,标识符的地址分配是系统设计中的一个主要方面。为了减少组态工作量,CANopen 网络定义了强制性的缺省标识符地址分配表。地址分配是将 CAN 总线提供的 11 位标识符分为一个功能部分和一个模块 ID 部分,如图 3-13 所示。这些标识符在预操作状态中是可用的,通过动态的分配还可以修改它们^[4]。

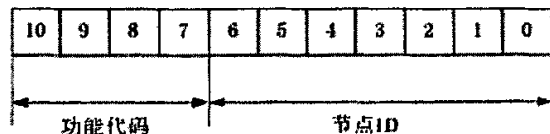


图 3-13 通讯对象标识符

Figure 3-13 COB_ID

默认 ID 分配方案允许一个主节点最多和 127 个从节点之间点到点的通讯。参照表 3-3,本文采用的 CANopen 协议预定义连接集中定义了 4 个接收 PDO (RPDO), 4 个发送 PDO (TPDO), 1 个 SDO (占用 2 个 CAN-ID), 1 个紧急对象和 1 个节点错误控制(Node-Error-Control)ID。也支持不需确认的 NMT 服务, SYNC 和 Time Stamp 对象的广播^[38]。

表 3-3 CANopen 预定义连接集
Table 3-3 CANopen pre-defined connection set

CANopen 主/从连接集中 主对象			
对象	功能码 (ID-bits 10-7)	COB-ID	通讯参数在 OD 中的索引
NMT Module Control	0000	000H	-
SYNC	0001	080H	1065H, 1006H, 1007H
TIME SSTAMP	0010	100H	1012H, 1013H
CANopen 主/从连接集中的对等对象			
对象	功能码 (ID-bits 10-7)	COB-ID	通讯参数在 OD 中的索引
紧急	0001	081H-0FFH	1024H, 1015H
PDO1(发送)	0011	181H-1FFH	1800H
PDO1(接收)	0100	201H-27FH	1400H
PDO2(发送)	0101	281H-2FFH	1801H
PDO2(接收)	0110	301H-37FH	1401H
PDO3(发送)	0111	381H-3FFH	1802H
PDO3(接收)	1000	401H-47FH	1402H
PDO4(发送)	1001	481H-4FFH	1803H
PDO4(接收)	1010	501H-57FH	1403H
SDO(发送/服务器)	1011	581H-5FFH	1200H
SDO(接收/客户)	1100	601H-67FH	1200H
NMT Error Control	1110	701H-77FH	1016H-1017H

3.7 本章小结

在这一章里,首先对 CANopen 协议的构成进行了说明,然后重点对 CANopen 协议的设备模型、通讯模式、对象字典、通信对象、NMT 状态机、CANopen 协议预定义主 / 从模式连接集等内容进行了分析。深入理解这一章的内容对于应用和开发其他类别的 CANopen 设备而言,具有重要的指导和借鉴意义。

第4章 CANopen 协议开发系统应用

4.1 CANopen 协议开发系统的选择

对于 CANopen 设备的开发人员而言,一套合适的开发系统是十分必要的。开发系统往往由硬件和软件组成,进而搭建一个 CANopen 网络调试环境,提供网络配置分析和监控的一系列功能,可以帮助开发人员尽快熟悉理解 CANopen 协议的内涵和开发方法,并将对整个产品的开发难度和周期起到重要的影响。

为了选择适合于本系统的 CANopen 开发系统,在课题初期,我们通过大量调研,了解了许多关于 CANopen 开发方面的市场产品信息。当前, CANopen 协议在国外的应用已经相当普及,国外已有许多大公司开发了 CANopen 软件和硬件产品,在 CIA 官方网站上提供的 CANopen 制造商和产品目录上,生产商众多,其中德国公司占大多数,推出的 CANopen 协议接口设备产品种类繁多,性能大体相近。国外的许多生产商都提供了不同层次的开发系统,用户选用时应根据自身开发或应用的具体场合来选够合适的 CANopen 协议开发系统。比如: Northampton 公司的 CANopen 开发工具, DownersGrove 公司的 CANopen 控制模块, Elkhart 公司的 CANopen 的开发工具和软件代码;还有一些公司开发了 CANopen 协议的组态软件和配套的硬件下载工具,比如: MicroControl 公司的 uCAN.Opener 和 Philips 公司的 CANopenIA Developer's Kit。在国内设有销售代理商的国外 CANopen 接口相关设备生产商主要有 Beckhoff Automation 公司、PEAK 公司、Ixxat Automation 公司等,提供了各种 CANopen 开发解决方案。

作为 CANopen 协议的开发,随着深度和应用场合的不同,开发方案也就相应不同。对于企业完全自主开发基于 CANopen 的产品而言,如果单从协议进行开发,虽然不用一开始就投入大量资金,但人力和时间成本巨大,开发的难度和风险也相应增加。为了抢占市场商机,也可以采用购买国外厂商提供的 CANopen 主从设备源代码的授权方式,这样可以更快地开发出自己的产品,占领市场。可是购买 CANopen 主从设备源代码要投入大量资金,这样一来利润大多流入外国厂商手中,从而降低了产品的市场竞争力。

在本课题的 CANopen I/O 从站设备的实际开发中,综合考虑了资金和实际应用需求,最终,我们选择了德国 PEAK 公司提供的 CANopen 开发解决方案。下面本文就对这一开发系统包括的软件和硬件资源进行介绍。

4.2 CANopen 协议开发软件 PCANopen Magic Pro3.0

PCANopen Magic Pro是由德国PEAK公司出品的一款基于PC的专业版CAN-open协议开发工具,对于CANopen网络或单个节点设备的开发和调试而言,都

是是必不可少的。总体而言，使用PCANopen Magic Pro软件，配合支持的CAN硬件接口卡，用户就可以便捷地访问CANopen网络并对其进行监控、配置和分析。在开发过程中，用户还可以通过它实现对CANopen网络的信息发送进行时间监测，从而与协议标准规定进行比较；还可以快捷便利地实现对网络节点的配置和对网络生成信息的检测跟踪。

如图4-1所示，PCANopen Magic Pro软件应用系统结构。在一个CANopen网络中，各种CANopen设备通过CAN总线连接，在工控机或PC机与总线之间插接CAN通讯适配卡并安装相应的驱动程序被上位机的操作系统所识别，这样就构成上位机和底层总线设备之间的物理连接。最后在上位机中安装PCANopen Magic Pro软件，进行相关配置，用户就可以构成一个基于PCANopen Magic Pro软件的CANopen网络开发系统。在开发过程中，特定的CANopen网络参数设置和配置信息可以在PCANopen Magic Pro软件中通过项目文件的方式保存起来，类似应用时以便重复使用，给开发人员带来了很大的方便。

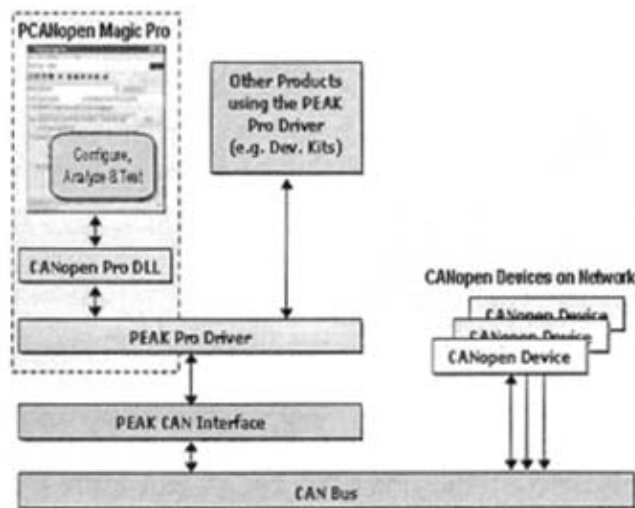


图 4-1 PCANopen Magic Pro 软件应用系统结构

Figure 4-1 PCANopen Magic Pro software application system frame

PCANopen Magic Pro软件作为CANopen协议的开发工具，主要提供如下一些功能特点：

基本功能包括节点选择、便捷视窗访问、网络数据通讯跟踪和记录、SDO报文访问、网络管理、CAN 接口复位初始化、改变网络通讯波特率。

高级功能包括：网络总揽视窗、PDO 配置、网络报文发送、节点配置信息的生成与存储、过程数据显示、层设置功能。

4.3 开发系统的硬件资源

在 CANopen I/O 从站的研究和开发中,我们选用的德国 peak 公司 CANopen 协议开发系统中,硬件资源包括 PCAN-PCI 卡, PCAN-USB、PCAN MicroMod 实验板。下面本文将分别加以介绍。

如图 4-2,为 PCAN-PCI 卡的实物图。PCAN-PCI 卡广泛应用于 CAN 网络分布式通讯系统,通过 PCI 总线系统实现了 PC 机与 CAN 总线的连接。用户只需将 PCAN-PCI 卡插入工控机主板上的 PCI 总线插槽,然后在工控机上(分别支持 Windows 和 linux 操作系统)安装由 peak 公司提供的相应的 PCAN-PCI 卡驱动程序,这样工控机就可以识别了。此外,peak 公司还提供了相关的程序开发例程和应用程序接口(包括 VB、Delphi、VC 编程语言),方便系统设计者进行具体应用开发。PCAN-PCI 卡选用 PHILIPSSJA1000 作为独立 CAN 控制器,采用 16MHz 时钟频率,支持 CAN2.0A 和 2.0B 协议;选用 82C251 作为 CAN 总线收发器,CAN 总线信号通过 9 针 Sub-D 型串口连接器引出。9 针 Sub-D 型串口连接器的针脚信号定义符合 CiA DS 102-1 标准。

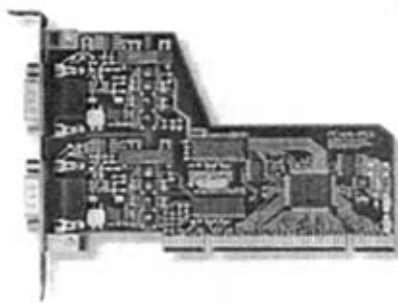


图 4-2 PCAN-PCI 接口卡

Figure 4-2 PCAN-PCI interface



图 4-3 PCAN-USB 接口卡

Figure 4-3 PCAN-USB interface

如图 4-3,为 PCAN-USB 卡的实物图。PCAN-USB 主要用于设备 CANopen 协议的开发和调试的场合,与 PCAN-PCI 卡相比较而言,区别在于 PCAN-USB 是通过 USB 接口与上位机(工控机或 PC 机)连接,然后接入到 CAN 网络中。它具有结构紧凑、体积小、使用便捷的特点,同样支持 CAN 总线通信 1 Mbit/s 的波特率。在设备的 CANopen 协议开发和调试过程中,设计人员可以使用笔记本加 PCAN-USB 的连接方式便捷地与现场的 CANopen 设备进行连接调试,更可以支持非现场的编程调试。peak 公司同样提供提供了相关的开发代码和不同操作系统下的驱动程序。

如图 4-4 和 4-5 所示,为 PCAN MicroMod 的实物图。PCAN MicroMod 评估板是一款基于 CANopen 协议的应用于分布式 I/O 控制系统的实验产品,为 CANopen 协议的开发和教学提供了非常便利的平台。PCAN MicroMod 评估板由母板和节

点模块组成。硬件微处理器采用的是日本富士通公司MB90-F497控制器，内部集成了CAN控制器以及模拟数字输入输出，非常适宜应用在低成本的CANopen智能从站节点的设计中。该产品内部以固件的形式实现了CANopen DS301、DSp401协议，用户可以通过母板上提供的RS232串口刷新固件或进行相应的实验，有助于使用者对CANopen协议的深入理解，以便对CANopen设备进行开发。

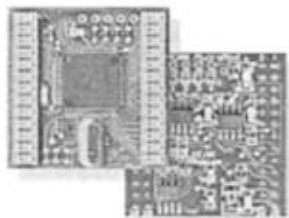


图 4-4 节点模块

Figure 4-4 PCAN MicroMod

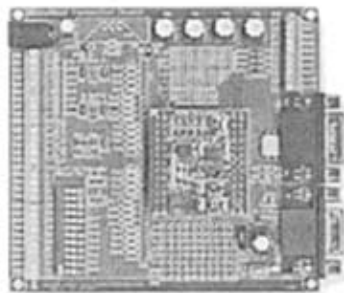


图 4-5 PCAN MicroMod 评估板

Figure 4-5 PCAN MicroMod Evaluation Board

4.4 CANopen 开发环境的建立

在这里，开发环境的建立主要是指搭建一个 CANopen 协议设备的调试监测系统。应用 PEAK 公司的软硬件产品搭建的 CANopen 开发平台，可以使得 CANopen 协议设备的开发变得更加便捷，通过监控界面的各种信息显示记录和网络配置功能，用户可以直观的看到 CANopen 网络设备之间的通信细节，而且能加深对 CANopen 相关协议内容概念的理解，诸如网络构成、节点配置、对象字典、通讯对象、EDS 文件等，这样比起只关注协议的开发方式，能起到事半功倍的效果，有一种豁然开朗的感觉。此外，选用 CANopen 专用开发系统的另一个重要作用就是形成监控节点，我们知道，任何一种总线系统，往往最为关键的环节是其系统初始化的过程，这一过程因总线类别、协议的不同而各异，有诸如点名，轮询等方式。一旦我们成功跨越了网络通讯的初始化过程，建立起正常通讯，那么可以说对于相应协议设备的开发将起到拨云见日的作用。利用这样在一种监控节点，挂接在别的待研究的 CANopen 设备网络中，就可以完成对该网络初始化和正常通讯等各种状态的监控，从而为设计人员开发相应的设备提供了很好的借鉴。

下面我们就结合本系统中选用的 PEAK 公司的 CANopen 开发系统，首先对 CANopen 开发环境的配置和建立过程进行更为详尽的说明。

如图 4-6 所示，首先，我们要在上位机中按照说明手册安装好 PCANopen Magic Pro3.0 软件，然后将 PCAN-USB 与上位机的 USB 端口连接，并安装驱动程序，被上位机识别。这样通过 PCAN-USB 的 CAN 总线标准接口就可以接入到 CAN 网络中了。由此我们就实现了上位机与 CAN 总线网络设备的互联，这里的上位

机在 CANopen 网络作为主站,其他 CANopen 设备作为从站,进行网络数据通讯。

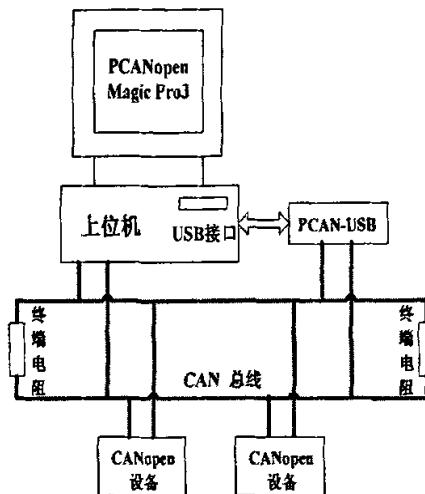


图 4-6 CANopen 开发系统应用框图

Figure 4-6 CANopen developing system application frame

如图 4-7 所示,在每次运行 PCANopen Magic Pro3.0 软件时,都会出现硬件配置窗口。

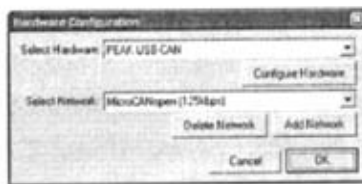


图 4-7 硬件配置窗口

Figure 4-7 Hardware Configuration Window

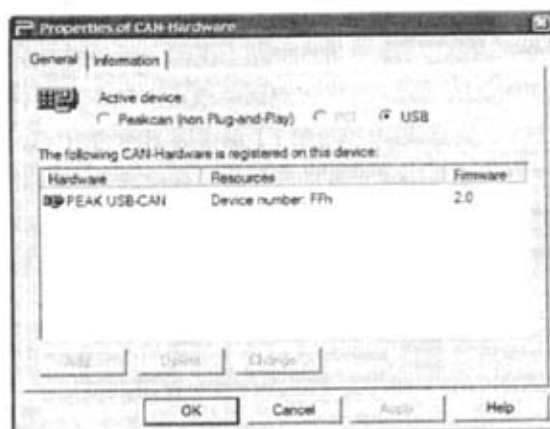


图 4-8 CAN接口属性窗口

Figure 4-8 CAN Interface Properties Window

点击"Configure Hardware",就会显示一个CAN接口属性窗口,如图4-8所示

这个界面可以完成本系统使用的CAN总线接口卡的配置,并提供了该硬件的相关信息。接下来用户要选择系统的接口类别,如PCI或USB方式。确保CAN接口硬件高亮显示后,点击确认按钮。硬件配置窗口就会显示出当前选中的CAN接口。

一旦某种CAN硬件接口被选中后,硬件配置窗口中的下拉框中就会包含当前可用的网络。硬件配置窗口中还有一栏是关于CAN网络波特率的设置,我们知道,CANopen网络设备要建立正常通讯,通讯波特率一致一个必要前提。如果要改变当前网络通讯的波特率,则可以点击"Add Network"按钮,出现如图4-9所示界面,在这个界面中用户可以自定义应用网络的名称,并选择相应的波特率,然后点击"Add"按钮,那么新的网络就会出现在硬件配置窗口中。

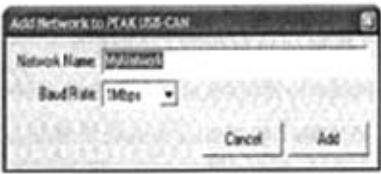


图 4-9 添加网络窗口

Figure 4-9 Add Network Window

PCANopen Magic Pro将会自动记录用户添加的网络,用户也可以选择不需要的网络名称,然后,点击"Delete Network"按钮将其删除。在完成网络硬件配置后,点击"OK"按钮后,就可以使用PCANopen Magic Pro软件了。

进入到PCANopen Magic Pro软件之后,用户需要设置CANopen设备的ID标识,并在上位机软件中加载网络中CANopen设备的EDS文件,这样才能被CANopen主站识别。这对于上位机PCANopen Magic Pro软件对CANopen设备对象字典的访问是一个必不可少的前提。



图 4-10 网络配置窗口-节点部分

Figure 4-10 Network Configuration Dialog Window – Nodes Section

如图4-10所示,进入到网络配置窗口,选择节点部分,在这一部分节点信息

通过EDS进行描述。要添加网络节点，用户可以点击"Add Node"按钮，设置该节点的ID、名称、EDS文件路径，这样被CANopen主站识别了。要编辑已有的节点，点击该节点对应的"Edit"按钮，然后如同添加添加节点的操作即可。要删除已有单个节点，直接点击该节点的"Delete"按钮，要删除当前所有节点，点击界面下方的"Delete All"按钮即可。

经过以上步骤，我们就完成了CANopen开发系统的安装和开发环境的建立过程。接下来，我们就可以对接入CANopen 网络的设备节点进行通讯访问和协议调试了。PCANopen Magic Pro软件友好的用户界面和专业的功能支持，为开发人员更好地专注于设备CANopen协议的开发，发挥了很好的辅助作用。

4.5 PCANopen Magic Pro 软件的使用

接下来，我们结合PEAK公司的CANopen开发系统，对PCANopen Magic Pro软件在CANopen设备开发中经常使用的功能进行介绍。

进入到PCANopen Magic Pro的主窗口时，其所有功能特性只对当前被选节点设备有效。如图4-11所示，可以通过主窗口中的下拉选框选择某一特定节点。一旦选择了特定节点，那么上位机主站的SDO上传或下载服务以及NMT管理报文都将对这一节点进行操作。

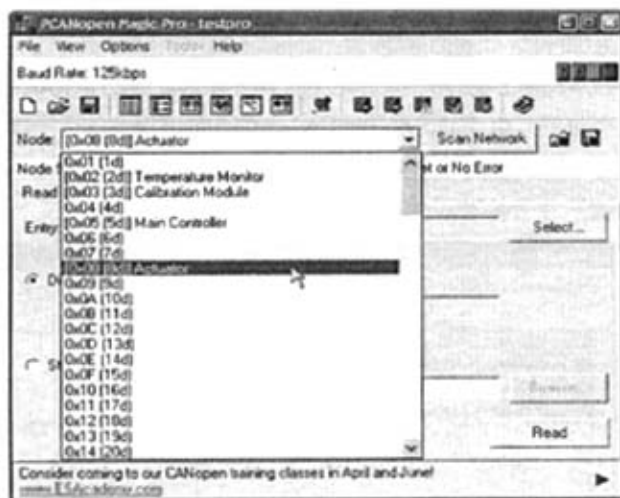


图 4-11 节点设备选择

Figure 4-11 Node Selection

主窗口中的下拉选框中包含了可能的127个节点可供选择。然而，通常连接的CANopen网络设备的ID号会有未知的情况，那么我们可以使用"Scan Network"功能，对当前CANopen网络中可通讯设备进行扫描，即上位机主站通过SDO报文服务方式进行查询，并等待CANopen网络设备应答，以便识别该设备的类型和ID，结束这一过程后下拉选框中就会只显示出当前网络可用设备的ID号及其名称，如

果没有网络设备产生应答，则表明没有设备存在，下拉选框中显示为空。为了 CANopen 网络设备能够被检测到，该设备必须实现 CANopen 协议规定的强制性对象字典内容，即关于设备类型的 1000H 目录。在该窗口中，可以显示当前节点的基本信息。例如该节点发出了心跳报文、节点保护报文或紧急报文，以表明该节点的当前状态，那么就会在此加以显示。

下面我们再来介绍一下对于 CANopen 节点设备进行跟踪记录的功能，这项功能对于 CANopen 设备的调试和开发很有帮助。如图 4-12 所示，跟踪窗口主要是用于对当前所选网络数据传输进行实时跟踪和记录。PCANopen Magic Pro 最多可以支持 13000 条报文的存储浏览和导出。通过该界面中的工具栏按钮，可以对跟踪的开始和停止进行选择，在选择停止后，可以通过滚动条对历史报文进行回顾浏览，还可以通过 CSV 格式文件将其导出。用户也可以选择工具栏中的“Clear Trace”按钮，对无用信息进行清除。当我们只需要对某个节点的通讯报文进行跟踪时，跟踪窗口中的信息过滤功能就很有用了，前提该节点要在主窗口中被选中，这样我们就能过滤掉网络上庞杂的无用信息，专注于特定设备的通讯跟踪。



图 4-12 跟踪窗口
Figure 4-12 Trace Window

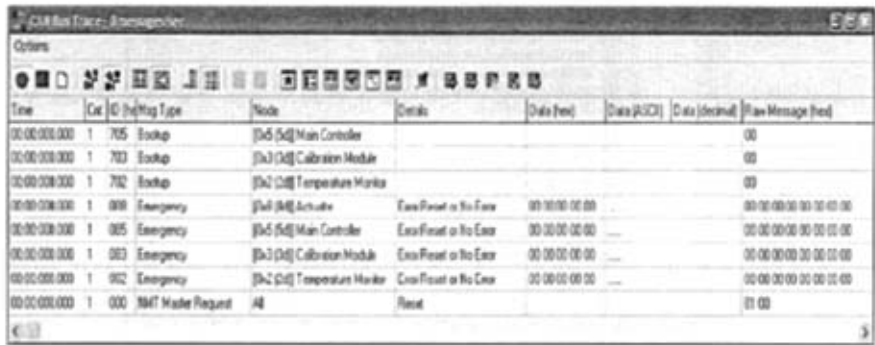


图 4-13 静态跟踪记录
Figure 4-13 Static Trace Recording

此外，该软件还提供了静态和动态跟踪方式。在动态跟踪方式下，跟踪窗口

按照时间顺序将被检测的网络报文依次以由下而上的滚屏方式显示出来。这种方式对于分析网络报文发送时序和报文间隔时间是很直观有效的。在静态跟踪方式下,如图4-13所示,以报文ID为分类标准,每类报文单行显示,新报文会覆盖掉前次报文。这种方式对于分析周期性或同步性报文发送以及报文发送时间间隔时很有帮助的。

接下来,我们介绍一下 SDO 访问服务功能。每个 SDO 上传或下载服务都是在 PCANopen Magic Pro 软件主窗口进行的。如图 4-14 所示,选择 SDO 上传读取服务功能,界面中就会显示出要进行读取访问的 CANopen 设备的对象字典的地址和内容,并提供记录和文件导出功能。

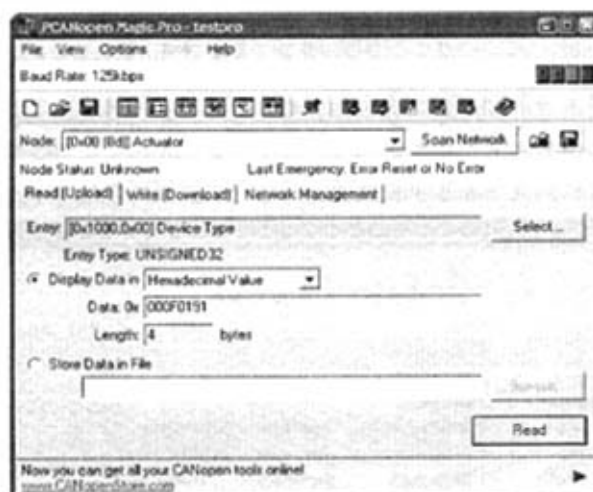


图 4-14 主窗口-SDO上传功能

Figure 4-14 Main Window – SDO Upload Section

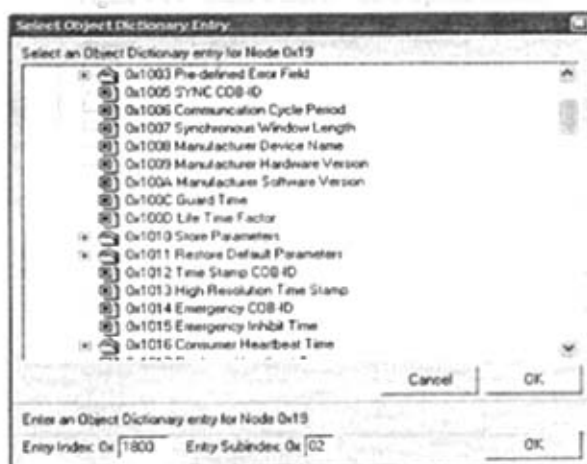


图 4-15 地址选择窗口

Figure 4-15 Entry Selection Window

点击"Select..."按钮,就会进入对象字典地址选择窗口,如图4-15所示,对象字典的内容来自于CANopen设备的EDS文件或网络描述文件,用户只需要选择对象字典的目标地址即可。然后在主窗口SDO上传功能下点击"read"按钮,主站就会通过SDO报文服务与被选中的CANopen设备进行通讯,读取出相关的信息,并显示在主窗口中。这个过程中,网络上的SDO报文发送情况可以通过跟踪窗口进行记录。

如图4-16所示,选择SDO下载写入服务功能,界面中就会显示出要进行写入访问的CANopen设备的对象字典的地址和内容,并提供记录导出功能。同样的,点击"Select..."按钮,就会进入对象字典地址选择窗口。用户只需要选择对象字典的目标地址即可,然后在主窗口SDO上传功能下写入相关的数据信息,点击"write"按钮,主站就会通过SDO报文下载写入服务与被选中的CANopen设备进



图 4-16 主窗口-SDO下载写入功能部分

Figure 4-16 Main Window – SDO Download Section

行通讯,完成对设备对象字典特定地址的写入操作。同样的,这个过程中网络上的SDO报文发送情况也可以通过跟踪窗口进行记录。

PCANopen Magic Pro软件主窗口中,点击"Network Management"就可以进入到CANopen网络管理的功能,这部分功能选择对单个节点或整个网络节点进行操作。可以完成CANopen设备的状态转化,包括操作、预操作、复位、通讯复位、停止这五种操作状态。如图4-17所示,网络管理的操作可以通过点击相应的按钮完成,如果跟踪网络报文的情况下,我们可以看出,实际上每点击一次相应操作,主站都会通过NMT报文发送出相应的状态转移命令,从站设备接收后再作出相应的操作,从而实现了所谓的CANopen设备的通讯状态转换机制。



图 4-17 主窗口-网络管理功能部分

Figure 4-17 Main Window – Network Management Section

如图 4-18 所示, PCANopen Magic Pro 软件在网络概览窗口中可以对网络上的节点设备进行信息总揽显示,即主站通过网络扫描功能来识别所有接入网络中的 CANopen 设备,并在界面中显示出各类设备的相关信息。此外,通过在这个窗

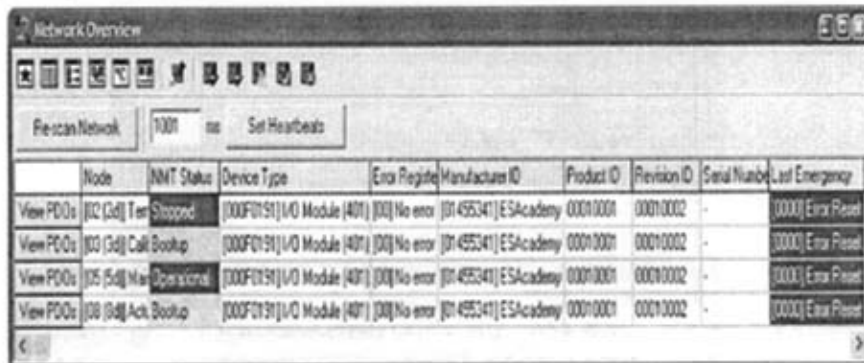


图 4-18 网络概览窗口

Figure 4-18 Network Overview Window

口中“Set Heartbeats”功能按钮,输入以毫秒为单位的设定值,可以一次性完成 CANopen 网络中所有接入设备的心跳报文发送周期的设置。

网络概览窗口中显示关于节点设备的信息可以分为两类,即静态数据类型和实时数据类型。静态数据是指 CANopen 主站进行网络扫描时,设备应答产生的那些只读类型的数据信息,如节点 ID、设备类型、生产商 ID、产品 ID、版本 ID 等。实时数据类型是指 CANopen 主站进行网络扫描时,网络上处于不断刷新的数据。具体而言,功能界面中显示的实时数据信息,首先包括节点的 NMT 状态信息。这种信息在从站设备启动、发送心跳报文或者节点保护报文时被不断刷新。其次

还包括节点最新的紧急情况信息。这种信息在节点发送紧急情况报文时进行刷新，通过该界面显示给用户。

如图4-19所示，对于支持PDO动态映射配置的节点而言，PCANopen Magic Pro软件提供了PDO配置窗口完成这一功能，这一过程需要经过多次步骤操作。使用这一功能时，对PDO重新进行配置之前，必须先使其失效，然后进行配置，完成后再使其生效。如果对PDO映射数据进行变更，那么有效映射地址的数量同样要预先设置为零，待变更后在设置成相应值。在这里，每个步骤都需要访问从站设备的对象字典地址，进行或读或写的操作。所以操作中必须严格按照上面的顺序进行。

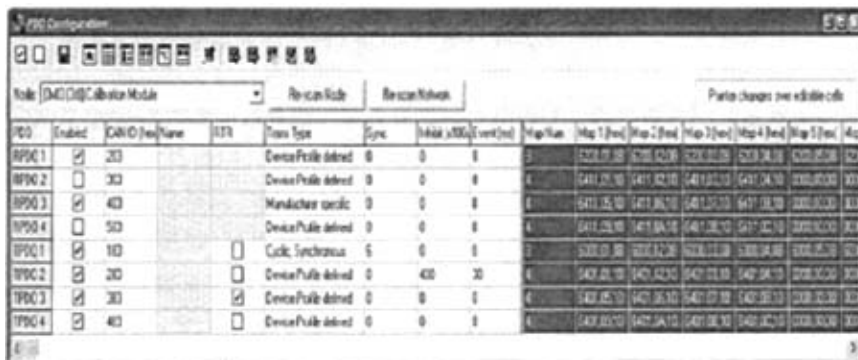


图 4-19 PDO配置窗口

Figure 4-19 PDO Configuration Window

PDO映射配置窗口简化了节点设备PDO配置的过程，用户只需点击鼠标就可以轻松完成。在打开这一功能窗口时，主站就同时对CANopen网络进行了扫描操作。在网络发生变动时，用户可以随时通过点击"Re-scan Network"按钮，对网络进行重复扫描，刷新数据信息。所有接入网络的节点都会在下拉选框中显示。当用户选择其中的某个节点后，就会对其进行扫描，然后显示出该节点当前的PDO配置情况。同样的，用户可以通过点击"Re-scan Node"按钮，对该节点进行重复扫描，刷新该节点数据信息，然后在界面中以配置表格的形式显示出来，以便用户对其进行操作。在这里，PDO配置一经改变，主站就会自动通过多重SDO访问，完成对该节点的PDO配置进行相应的变更操作。

以上，本文介绍了在本课题CANopen I/O从站模块开发和调试过程中，有关PCANopen Magic Pro软件的一些常用功能。可以看到，PEAK公司出品的这一款CANopen协议设备开发系统，很好的满足了本课题的要求，对于课题的帮助是显而易见的。由此，使用好开发工具，发挥出其特有功能，对于CANopen协议的开发而言具有很大的帮助。在开发过程中，经过不断尝试和反复，一方面可以使开发人员尽快直观深入的理解CANopen协议，进行协议软件的开发；另一方面，在对后续的基于CANopen协议的应用网络进行调试时，也将发挥重要的作用。

4.6 本章小结

在这一章里,我们首先说明了 CANopen 开发系统对于 CANopen 协议的研究和 CANopen 设备的开发具有的重要意义。然后分析了当前市场上可供选择的一些 CANopen 开发系统的相关产品信息,进而介绍了本课题选购的 PEAK 公司出品的 CANopen 开发系统,并对其硬件、软件资源分别进行了介绍。最后详细说明了本系统 CANopen 协议开发环境的配置和建立过程,并对开发工具的使用进行了相关介绍。

第5章 CANopen I/O 从站的软件系统设计

5.1 从站软件系统设计概述

本文从站软件系统的设计内容主要是在基于P87C591单片机的I/O从站模块上实现CANopen通讯协议。从功能上可分为三个组成部分：基本功能部分，其包括节点的通讯初始化和硬件设备初始化；定义和访问对象字典；PDO通讯；SDO通讯；节点保护等功能；错误检测处理和节点管理功能部分，当系统软件发生错误或系统状态需要发生改变时，调用这部分软件。

本文使用伟福仿真器作为P87C591单片机的硬件开发工具，使用C51 Windows编程语言进行软件编程。CANopen协议的软件实现遵循CANopen协议预定义主/从连接集，系统软件设计采用模块化设计，程序模块分为主程序模块、CANopen协议栈模块、对象字典与节点配置模块、系统I/O模块、单片机与CAN控制器硬件驱动模块。在从站软件设计中，结合通讯协议的特点，采用了结构体的方式来定义诸如CAN报文、发送和接收PDO配置对象、CANopen协议配置对象等，通过定义结构体指针变量完成对对象中相关数据的读写，给程序的编制带来了方便。此外，利用定义数组的方法实现了对对象字典和过程数据映像的操作。在SDO报文处理子函数中，通过被访问对象的主索引和子索引，以数组查询的方式实现了对对象字典的读写访问。CANopenI/O从站的状态机转换通过判断接收NMT报文命令字，对心跳报文标志字节代码进行读写，产生程序散转的方式得以实现。对于PDO、SDO通讯对象的处理则根据心跳报文标志字节代码指明的当前状态分别进行处理。

下面，本文首先介绍一下CAN总线的通讯原理，然后就对软件设计中较为重要的主程序模块、单片机与CAN控制器硬件驱动模块、CANopen协议栈模块的设计逐一进行介绍。

5.2 CAN总线的通讯原理

本设计中采用的P87C591内含的PeliCAN控制器，相当于与外部数据/程序存储器一样的单片机外围设备。对于单片机来讲，CAN数据帧的发送与接收就是对CAN控制器的发送/接收缓冲器读/写访问；而单片机对CAN控制器的监控通过对CAN控制器的控制寄存器的某一位的读/写来完成；反之，当CAN控制器接收到数据或检测到错误时，以中断的形式通过单片机的外部中断引脚告之单片机。

CAN协议中物理层和数据链路层的功能，如数据封装/拆装、帧编码（填充/解除填充）、总线竞争、无损仲裁、接收滤波、超载通知、错误检测、出错标

定、应答、串行化/解除串行化等信息发送和接收的主要任务都由 CAN 控制器硬件来完成，无需软件干预。

(1) 数据的发送：

发送数据帧时，单片机 P87C591 按照 CAN 协议将要发送的数据封装成标准的 CAN 信息帧，即定义 CAN 信息帧的标识符、选择要发送的 8 个字节的数据并存储在单片机内部的发送数据存储区内；需要发送时，将 CAN 信息帧按规定格式写入 CAN 控制器的发送缓冲器，然后将 CAN 控制寄存器中的发送命令位 CMR.0 置 1。其剩余的工作如竞争总线，发送及竞争失败重新发送的过程由 CAN 控制器完成

(2) 数据的验收滤波：

在接收数据的过程中，数据的验收滤波很关键，所谓验收滤波是指 CAN 总线上的某一节点对接收到的数据进行识别，接收发给该节点的数据，丢弃与该节点无关的无效数据，减轻了 CAN 控制器的信息处理任务。这一过程由 CAN 控制器中的验收屏蔽寄存器（AMR）和验收代码寄存器（ACR）联合起来完成。

滤波器由验收代码和屏蔽寄存器根据规定算法来控制。接收到的数据自动和验收代码寄存器中的值进行逐位比较。接收屏蔽寄存器定义接收到数据的相应位是否需要经过验收滤波：0=相关（表示需要进行验收滤波），1=不相关（表示不需要进行验收滤波），只有收到信息中与接收屏蔽寄存器的相关位的值与验收代码寄存器位相同，这条信息才会被接收。

BasicCAN 模式里滤波器是由两个 8 位寄存器控制-验收代码寄存器（ACR）和验收屏蔽寄存器（AMR），CAN 信息标识符的 8 个最高位和这些寄存器里值相比较。

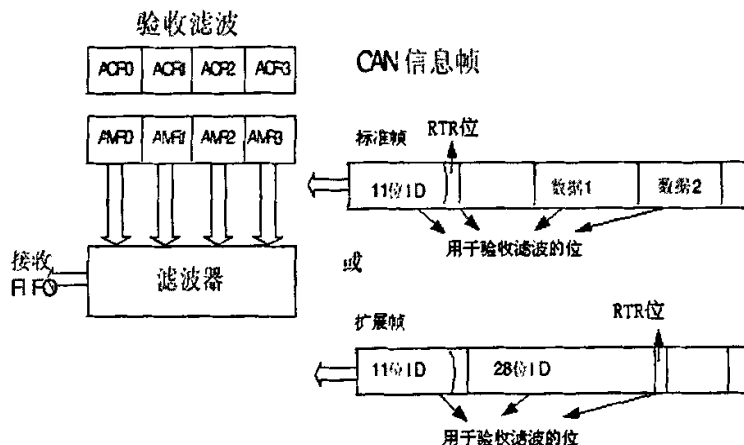


图 5-1 单滤波的验收滤波

Figure 5-1 Single filter model

对于 Pelican 模式验收滤波被扩展 4 个 8 位验收代码寄存器 (ACR0, ACR1,

ACR2 和 ACR3)和4个8位的验收屏蔽寄存器(AMR0, AMR1, AMR2 和 AMR3)。这些寄存器可组成单滤波器和双滤波器两种模式。

本文中采用的是单滤波器,其示意图如图 5-1 所示。单滤波器是指将 ACRn 和 AMRn 配置成一个 4 字节的长滤波器,滤波器字节和信息字节之间位的对应关系取决于当前接收帧格式。双滤波器是指将 ACRn 和 AMRn 配置成两个滤波器,第一个滤波器用到 ACR0/AMR0、ACR1/AMR1 和 ACR3/AMR3 的低四位,第二个滤波器用到 ACR0/AMR0 和 ACR3/AMR3 的高四位,两个滤波器是“或”的关系。一条接收的信息要和两个滤波器比较来决定是否放入接收缓冲器中,至少有一个滤波器发出接受信号,接收的信息才有效。

在单滤波器中,标准帧的验收滤波可以包括 RTR 位和两个数据字节。不需要经过验收滤波信息位必须在验收屏蔽寄存器的相应位置“1”;扩展帧的验收滤波只包括 29 位的标识符,不包括数据字节在内。如果一条信息不包括数据字节(例如在一个远程帧或如果数据长度代码为零)但是验收滤波器中有数据字节,如果 ID 到 RTR 位有效,则信息会被接收。

在具体的应用中,只需选择合适的滤波模式,把在接收数据时需要验收的位在 AMRn 中相应的位置“0”,不需经过验收的位置“1”;而在与 AMRn 值为“0”对应的 ACRn 位上设置特定的值。当接收到数据时,前面四个字节的数值依次与 AMRn 值为“0”对应的 ACRn 位相比较,相同则接收,不同则丢弃。设定 AMRn 值的任务由单片机的软件完成,比较验收的任务由 SJA1000 硬件自动完成。

数据的接收过程主要就是验收滤波过程,验收滤波通过,数据就会被暂存在接收缓冲器(FIFO)中,并设置一个中断,通过单片机的外部中断引脚通知单片机进行处理。

在 SJA1000 的 Pelican 模式中, RXFIFO 共有 64 个信息字节的空间,若单片机没有及时将接收到的数据转移,下一帧信息可以接着存储在 RXFIFO 中。一次可以存储多少条信息取决于数据的长度。如果 RXFIFO 中没有足够的空间来存储新的信息, CAN 控制器会产生数据溢出条件,此时这条信息有效且接受检测为肯定,已写入 RXFIFO 的信息将被删除。这种情况可以通过状态寄存器和数据超限中断(中断允许)反应到 CPU,由单片机进行处理。

5.3 主程序模块设计

在 CANopen I/O 从站的软件系统主程序设计中,从节点实现的功能如下:

- (1) 初始化部分:包括初始化 CANopen 协议中的通讯相关参数,其中包括对象字典、PDO 通讯参数、SDO 通讯参数等;初始化 CAN 控制器硬件,包括单片机的内部寄存器、定时器、串行口, IIC 总线等;
- (2) 对象字典组建和访问:以数组方式定义本系统中对象字典的内容,通

过 SDO 服务以数组查询的方式实现对对象字典的访问；

(3) PDO 对象的发送与接收：将需要发送的数据封装成 PDO 的形式等待发送，需要时间触发方式的数据立即可以发送。当 CAN 控制器产生接收中断时，单片机接收并断定为 PDO 对象并进行分析存储；刷新过程映像 I/O 数据数组；

(4) SDO 通讯：响应主站 SDO 报文服务，接收或发送主节点要求的数据帧；

(5) 心跳报文：可实现用户自定义的周期性心跳报文的发送，向其它节表明本节点的当前状态信息。

如图 5-2 所示，从主程序流程上看，在从站节点模块上电后，节点在完成单片机系统初始化、IIC 和 RS232 总线初始化之后，进入到通讯复位服务程序，自动初始化 CAN 通讯接口、节点 ID、波特率等参数，以及接收和发送 PDO 服务，即通讯初始化。完成后，操作系统中断使能，进入 While 循环。在 While 循环里，执行三部分程序功能，即 IIC 和 RS232 总线处理子程序、I/O 模块实时过程数据的刷新、CANopen 协议栈操作程序。当系统程序在循环中产生各种通讯错误时，会由错误处理函数生成错误代码，通过从站上的 LED 错误指示灯显示。在排除故障后，通过系统程序复位，重新进行系统的初始化环节，进行下次循环。

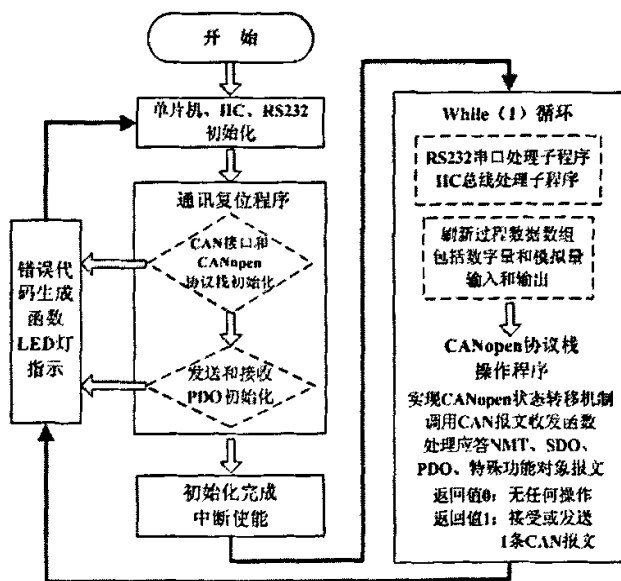


图 5-2 主程序流程图

Figure 5-2 Main flow of software system

5.4 单片机与 CAN 控制器接口硬件驱动模块

在这个模块文件中，主要包括以下内容：IIC 总线程序、RS232 串口程序、CAN 控制器初始化函数、CAN 控制器滤波器初始化函数、CAN 控制器接受滤波器设置函数、CAN 报文接收服务子程序、CAN 报文发送服务子程序等。下面就对这些软件设计内容逐一进行介绍。

IIC 总线程序:

通过 IIC 总线, 完成单片机对 EEPROM24C04 的读写功能, 程序流程图如图 5-3 所示。

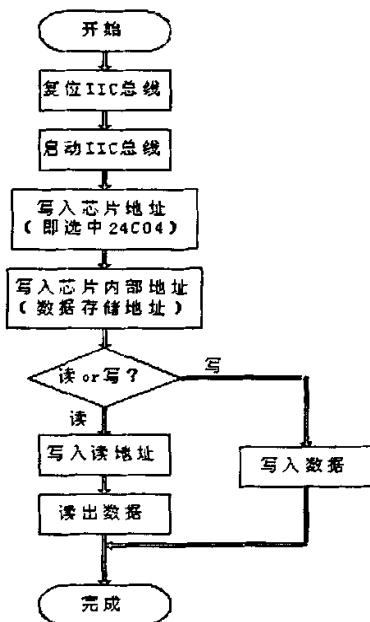


图 5-3 IIC 程序流程图

Figure 5-3 IIC program flow

RS232 串口程序:

完成串行口初始化, 实现主机和从站的串口通信, 程序流程图如图 5-4 所示。

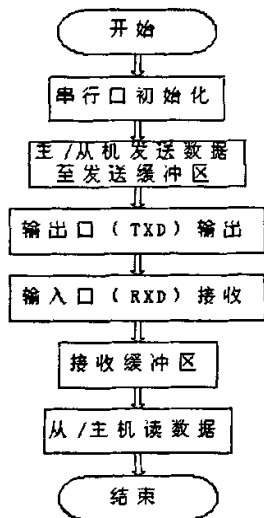


图 5-4 串口程序流程图

Figure 5-4 RS232 serial communication flow

CAN 控制器初始化函数：

功能：初始化 CAN 控制器，包括波特率设置、单滤波器设置、定时器中断服务初始化等。返回值为“0”，表示初始化失败；返回值为“1”，表示初始化成功。

CAN 控制器在上电或硬件复位后将处于复位模式。在该模式中，模式寄存器的 RM 位总是为 1。如果 CAN 控制器不处于复位模式，RM 位的置位(通过硬件或软件)将强制其进入复位模式，内部状态机被冻结。

典型地，在上电或硬件复位后一旦引导和初始化程序结束，CPU 将通过软件(清零 RM 位)使 CAN 控制器进入操作模式。在操作模式中，硬件复位、通过软件将 RM MOD.0 置位、总线脱离状态这三个动作将使 RM 位置位，从而强制 CAN 控制器进入复位模式。

CAN 控制器在上电或硬件复位后必须进行设定以实现 CAN 通信初始化的处理包括操作模式、验收滤波器、总线定时、TXDC 输出管脚配置、中断几项内容。

如图 5-5 所示，为 CAN 控制器初始化流程图。

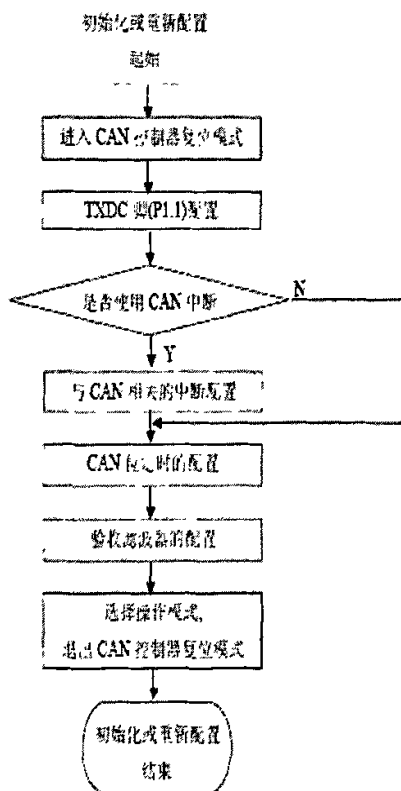


图 5-5 CAN 控制器初始化流程图

Figure 5-5 CAN controller initialization flow

CAN 控制器滤波器初始化函数:

根据所要接收报文的不同 CAN-ID, 调用接受滤波器设置函数完成滤波器初始化。初始化成功返回值为“1”; 否则为“0”。

CAN 控制器验收滤波器设置函数:

本函数无返回值, 功能是完成滤波器的屏蔽代码和验收代码的设置, 在滤波器初始化函数中被调用。

CAN 报文接收服务子程序:

对于CAN报文的接收, 本文采用的查询控制接收的流程如图5-6所示。CPU以一定周期读取CAN控制器的状态寄存器以检查是否接收缓冲区状态标志RBS指示至少接收到一个信息。接收缓冲区状态标志指示“空”, 即没有接收到信息; CPU继续当前的任务直到产生一个新的检查接收缓冲区状态的请求。接收缓冲区状态标志指示“满”, 即已接收一个或多个信息; CPU从CAN控制器取出第一个信息并置位命令寄存器中的释放接收缓冲区标志。CPU可在下一次检查之前处理每一个接收到的信息。本函数的返回值为“1”, 表示接收到1条报文并拷贝至数据缓冲区。返回值为“0”, 表示为接收到报文信息。

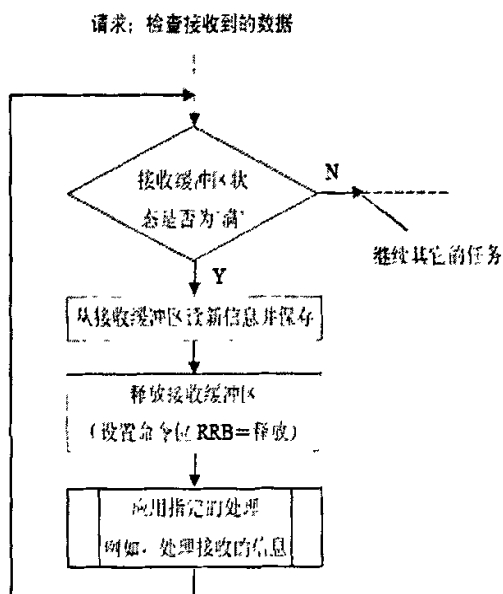


图 5-6 CAN 报文接收服务子程序流程图

Figure 5-6 CAN message receive service flow

CAN报文发送服务子程序:

CAN报文信息的发送, 由CAN控制器根据CAN协议规范自动完成。首先, CPU必须将发送信息传送到发送缓冲区中, 并置位命令寄存器中的“发送请求”标

志，发送处理可通过中断请求或查询状态标志进行控制。

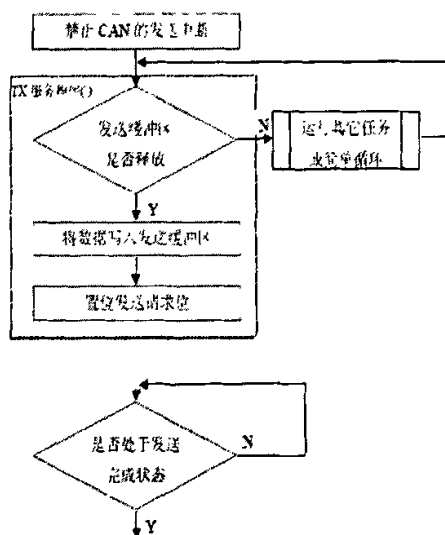


图 5-7 CAN 报文发送服务子程序流程图

Figure 5-7 CAN message transmission service flow

本文采用查询控制方式，如图5-7所示，CAN控制器的发送中断被禁止用于该类型发送的控制。当P87C591发送数据时发送缓冲区对写操作锁定。这样CPU必须检查状态寄存器的“发送缓冲区状态”标志(TBS)，以确定是否可以将一个新信息放入发送缓冲区。在发送缓冲区被锁定的情况下，周期性查询状态寄存器，CPU一直等待发送缓冲区被释放。在发送缓冲区被释放的情况下，CPU将新信息写入发送缓冲区并置位命令寄存器的“发送请求”标志(TR)，该标志导致发送的启动，当发送完成状态位置位时，标志CAN信息已经成功发送。本函数返回值为“1”，表示成功发送1条报文；返回值为“0”，表示未能发送。

5.5 CANopen 协议栈模块

在 CANopen 协议栈模块中主要包括 OD 查询函数、SDO 错误响应函数、SDO 报文处理函数、TPDO 准备函数、发送 PDO 函数、CANopen 协议栈初始化函数、RPDO 初始化函数、TPDO 初始化函数、CANopen 协议栈处理函数。由于这一模块中函数很多，而且它们之间存在紧密的调用关系，为了能更清楚的说明问题，下面本文主要介绍一下 CANopen 协议栈初始化函数、SDO 报文处理函数和 CANopen 协议栈处理函数这三部分内容的软件设计。

CANopen 协议栈初始化函数：

该函数的功能是完成 CANopen 协议栈的初始化。在进行通讯复位操作中被调用，无返回值。根据函数输入值(包括 CAN 波特率、CANopen 节点 ID、心跳报文发送周期设定值三项)，赋值给 CANopen 协议栈配置信息结构体中的对应变

量,形成配置信息的初始化;然后对 RPDO、TPDO 和 SDO 结构体型变量 CAN-ID 进行初始化,调用 CAN 控制器初始化函数完成 CAN 接口初始化,调用滤波器设置函数完成对 NMT、SDO 报文的滤波器配置。最后,置位 CANopen 协议栈初始化成功标志位,提示从站刚刚成功完成初始化。

SDO 报文处理函数:

如图 5-8 所示,该函数用于应答主站 SDO 报文,完成对对象字典相关地址的读写访问。返回值为“1”,表示 SDO 访问成功;返回值为“0”,表示 SDO 访问出错。

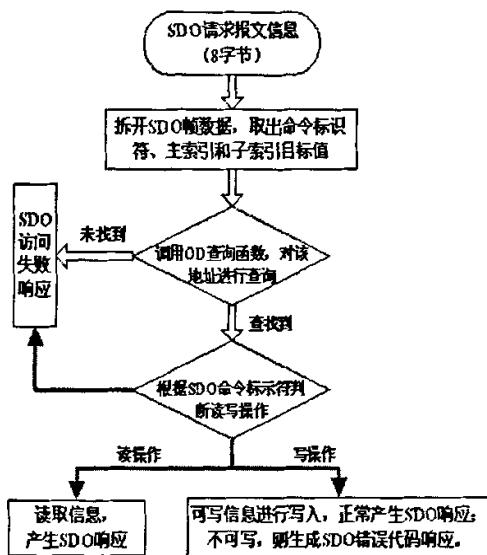


图 5-8 SDO 报文响应流程图

Figure 5-8 SDO message response flow

CANopen 协议栈处理函数:

在 CANopen 协议栈操作程序中,将实现 CANopen 协议中规定的状态转移机制,调用 CAN 报文收发服务程序,根据从站的当前状态,处理应答 NMT、SDO、PDO 以及特殊功能对象报文,每次处理一条 CAN 报文,返回值为 1,从而保证在主程序 While 语句中进行往复的循环。该函数被频繁调用,以确保通讯栈的恰当操作。

如图 5-9 所示,系统上电或通讯复情况下,从站首先初始化成功后,会发送一个启动报文,然后可选择自动进入预操作状态,并通过周期性的心跳报文向 CANopen 主站表明自己的状态,之后等待主站的 NMT 命令操作。在主站 NMT 报文到来之前从站一直持续在预操作状态,在这个状态里,从节点可以通过 SDO 进行配置和参数设置,但是不允许发送 PDO。在相应的 NMT 报文到来后,即收到启动远程节点命令后,进入操作状态,在这个状态就可以进行正常的通讯了,

收到报文的情况下,可以完成 SDO、RPDO 报文的通讯。如果没有收到信的 CAN 报文,那么,程序就会执行 TPDO 报文的处理。在收到 NMT 报文停止远程节点命令之后,从节点将进入停止状态,从而停止 PDO 和 SDO 通讯。通过 NMT 报文对心跳报文内容的刷新,使得 CANopen 协议中的 NMT 状态机得以实现。

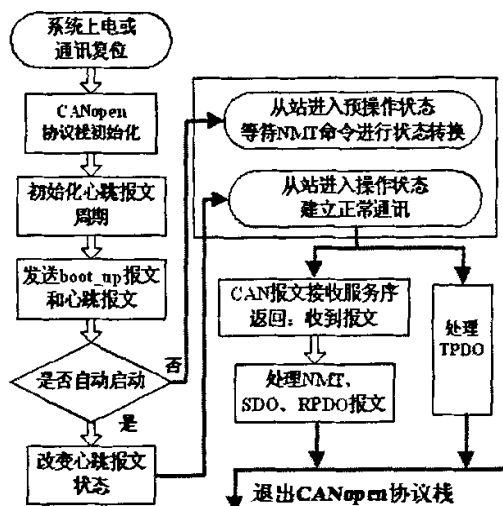


图 5-9 CANopen 协议栈流程图

Figure 5-9 CANopen protocol stack flow

如图 5-10 所示,在收到新的 CAN 报文之后,如果从站当前状态为非停止状态,经过 COB_ID 判断,为 SDO 报文后,就会调用 SDO 报文处理函数进行处理,完成后返回值为 1,继而退出 CANopen 协议栈的一次循环,响应了主站的一次 SDO 报文服务。

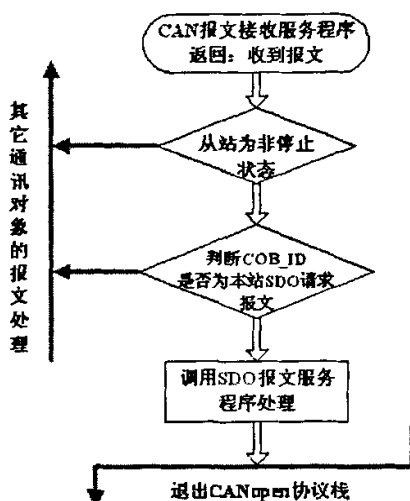


图 5-10 SDO 服务流程图

Figure 5-10 SDO service flow

如图 5-11 所示,在本站为操作状态的情况下,收到 RPDO 报文,首先要根据其标示符,判断它是哪个 RPDO 报文,然后过程数据内容复制到过程影响数

组的对应字节，以供应用程序进行外部数据刷新。

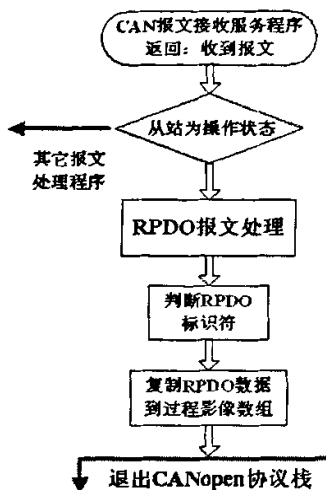


图 5-11 RPDO 服务流程图

Figure 5-11 RPDO service flow

如图 5-12 所示，在从站进入操作状态后，进行 TPDO 报文处理时，首先要检查待发送的 TPDO 报文，在事件触发模式下，延时结束后，复制过程影响数组对应字节信息（已在前次循环刷新），完成 TPDO 报文发送，然后退出 CANopen 协议栈，完成一次循环操作；在为了防止信号干扰应用禁止时间的情况下，待禁止时间结束后，随即同样地发送 TPDO 报文，然后退出本次协议栈循环。

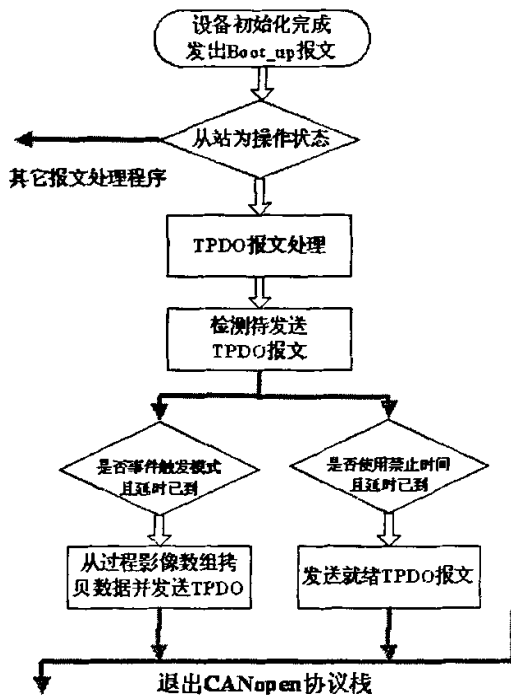


图 5-12 TPDO 服务流程图

Figure 5-12 TRPDO service flow

如图 5-13 所示, 在设备完成初始化成功启动之后, 进行心跳报文处理时, 首先检查周期延时是否结束, 然后发送本次心跳报文, 之后要完成对下次心跳报文发送周期的刷新, 最后退出 CANopen 协议栈, 完成本次循环。

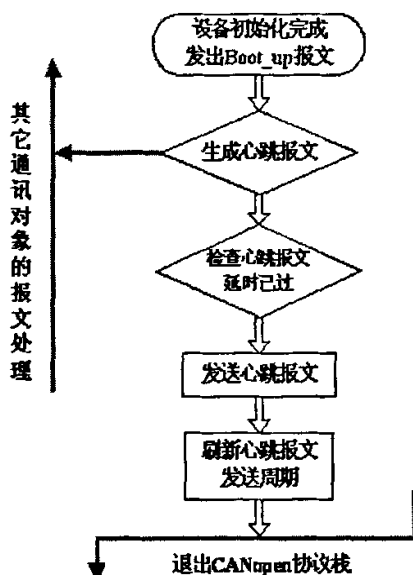


图 5-13 心跳报文服务流程图

Figure 5-13 Heartbeat message service flow

5.6 本章小结

在这一章里, 本文主要介绍了 CANopen I/O 从站的软件系统设计。首先对从站的软件系统构成进行了概述, 然后介绍了 CAN 总线的通讯原理, 接下来对软件系统的主要功能模块的程序设计进行了介绍和分析。软件系统设计这部分内容中涉及到的一些为实现 CANopen 协议而体现编程思想和方法, 对于 CANopen 其他设备的开发具有一定的借鉴意义。

第6章 系统总体调试

6.1 调试目的和内容

在完成 CANopen I/O 从站的初步开发之后, 我们还需要对其性能进行相应的测试, 以此判断其实现 CANopen 协议的程度, 以及今后如何改进以期更好满足无轴传动系统的实际应用要求。此时, 就会涉及到产品的协议一致性测试问题, 即所开发产品是否完全符合 CANopen 协议。

目前, CANopen 设备的测试和认证由 CiA 协会完成, 测试价格昂贵, 技术交流不方便。由于本次开发的 CANopen I/O 从站还处于研究试验阶段, 有别于真正的产品开发, 目前尚不需要进行严格的 CANopen 协议一致性测试, 而是利用现有开发系统进行初步测试, 由此, 本文系统初步测试的内容主要如下:

(1) 依据设备的 EDS 文件, 通过发送和接收 SDO 通讯对象, 测试设备是否符合它所提供的 EDS 文件;

(2) 通过发送 NMT 通讯对象对设备状态进行管理, 测试设备是否响应 NMT 管理;

(3) 通过发送和接收 PDO 通讯对象, 测试从站是否响应 PDO 通讯, 控制 I/O 端口状态变化。

最终, 本文应用自行开发的从站和选购的德国 WAGO 公司生产的标准 CANopen I/O-SYSTEM 从站模块, 与无轴传动系统上位机控制软件德国 3S 公司的 CoDeSys 软 PLC 进行组网通讯, 以期进一步验证 CANopen I/O 从站协议的实现程度。

6.2 调试方案

对于从站模块 CANopen 协议的开发与调试, 我们应用德国 PEAK 公司的 CANopen 开发系统, 硬件包括 PCI 和 USB 接口 CAN 卡, 上位机软件为 PCANopen Magic Pro3.0 专业开发版, 和从站单独进行组网后, 很好的实现了对 CANopen 网络节点的配置、分析和实时监控。

接下来, 如图 6-1 所示, 在进行组网通讯调试时, 上位机采用 CoDeSys 软 PLC 软件, 利用工控机的 PCI 总线, 插装 PCAN-PCI 卡作为上位机的 CAN 接口, 从而形成 CANopen 主站, 接入 CANopen 网络; 同时在 PC 机中安装 PCAN-USB CAN 卡和 PCANopen Magic Pro3.0 软件构成监控调试节点, 接入 CANopen 网络; 网络设备由我们自行开发的 CANopen I/O 从站和德国 WAGO 公司生产的标准 CANopen I/O-SYSTEM 750-337 从站模块构成, 然后为从站模块分别外接了 I/O 控制电路, 模拟现场设备的 I/O 控制系统。我们通过在网络中挂接调试监控节点, PCANopen Magic Pro3.0 软件可以对网络上传输的 CANopen 通讯对象报文进行

实时跟踪，组网通讯时可以方便地实现对网络的监控，有效地实现了对网络报文的记录和分析，给系统的调试和开发带来了极大的帮助。图 6-2 为实际测试系统。

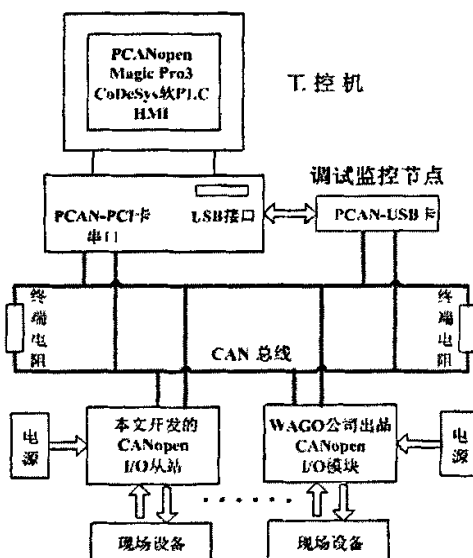


图 6-1 测试系统构成

Figure 6-1 testing system formation

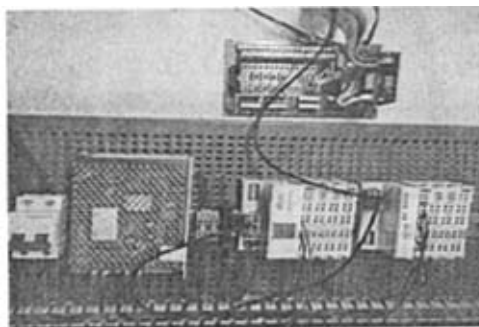


图 6-2 测试系统

Figure 6-2 testing system

6.3 WAGO CANopen I/O-SYSTEM 750-337 从站模块简介

如图6-3和6-4所示，带有CANopen总线适配器的WAGO-I/O-SYSTEM 750-337是WAGO公司出品的一款模块化、带独立总线的I/O控制系统，在CANopen现场总线系统上作为从站使用，利用PDOs和SDOs传输模块数据。

这款总线适配器能支持所有I/O模块并自动配置、生成包括数字量模块、模拟量模块及特殊功能模块的本地过程映象。模拟量模块及特殊功能模块以字或字节的形式传输数据，而数字量模块以位的形式传输数据。



图 6-3 WAGO 750-337 模块

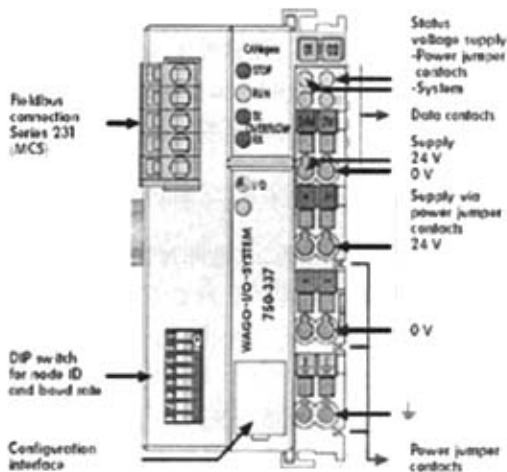


图 6-4 WAGO 750-337 功能描述

Figure 6-3 WAGO 750-347 module

Figure 6-4 WAGO 750-337 function description

CANopen允许过程映象存储在相应的主控单元(PLC, PC或NC)中。本地过程映象分为数据接收和数据发送两个数据区域。过程数据通过CANopen现场总线发送到PLC, PC或NC做进一步处理, 并通过CANopen从现场接收数据。

表 6-1 WAGO 750-337 技术参数
Table 6-1 WAGO 750-337 specification

技术参数	
最大I/O模块数	64个
现场总线	
-输入过程映象	最大512字节
-输出过程映象	最大512字节
PDOs数量	32 Tx/32 Rx
SDOs数量	2 Server SDO
通讯标准	DS-301 V4.0
设备标准	DS-401 V2.0
	临界检测
	边沿触发PDOs
	可编程错误响应
COB ID分配	SDO, 标准
节点ID分配	DIP开关
其它CANopen特性	NMT从站
	最小启动
	可变的PDO映射
	紧急信息
	安全防护
配置	通过PC或PLC
供电电压	DC 24V (-25% .. +30%)
最大输入电流	500mA/24V
电源供电效率	87%
内部电流消耗	350mA/5V
供I/O模块用电流	1650mA/5V
隔离	500V 系统/电源
电源跨接触点电压	DC 24V (-25% .. +30%)
电源跨接触点最大电流	DC 10A

模拟量模块的数据被存储在按照模块排列顺序而建立的PDO中。数字量模块的位也以字节的形式映射在PDOs中。如果数字量总数超过8位, 则总线适配器会

自动从下一个新的字节开始识别。

根据用户需要,对象词典(object dictionary)中的所有项都能够映射到 32RxPDOs和32TxPDOs中。全部的输入及输出过程映象能够使用SDOs进行传输。这种情况下需要使用该设备的EDS文件。WAGO 750-337技术参数参照表6-1。

6.4 CoDeSys 软 PLC 简介

软 PLC (SoftPLC, 也称为软逻辑 SoftLogic) 是一种基于基于 PC 机开发结构的控制系统,它具有硬 PLC 在功能、可靠性、速度、故障查找等方面的特点,利用软件技术可以将标准的工业 PC 转换成全功能的 PLC 过程控制器。软 PLC 综合了计算机和 PLC 的开关量控制、模拟量控制、数学运算、数值处理、网络通信、PID 调节等功能,通过一个多任务控制内核,提供强大的指令集、快速而准确的扫描周期、可靠的操作和可连接各种 I/O 系统的及网络的开放式结构。所以,软 PLC 提供了与硬 PLC 同样的功能,同时又提供了 PC 环境的各种优点。

使用软件 PLC 代替硬件 PLC 有如下的优势:用户可以获得 PC 领域技术/价格优势,而不受某个硬 PLC 制造商本身专利技术的限制;可以用熟悉的编程语言编制程序;对于超过几百点 I/O 的 PLC 系统来说,用户可以节省投资费用。

目前,在欧美等西方国家都把软 PLC 作为一个重点对象进行研究开发,已投入市场的软 PLC 产品较多。据了解,在美国底特律汽车城,大多数汽车装配自动生产线、热处理工艺生产线等都已由传统 PLC 控制改为软 PLC 控制。而国内能见到的软 PLC 产品的演示版或正式发行版有 SIEMENSE 公司的 SIMATIC WinAC、SOFTPLC 公司的 SoftPLC、德国 3S 公司的 CoDeSys、法国 Schneider Automation 公司的 Concept V2.1 以及 Wonderware 公司的 InControl 7.0 等。目前,国内已有一些著名的自动化软件公司(如北京亚控自动化软件科技有限公司)正在研究开发具有自主知识产权的中文软 PLC 产品。另外,也有一些自动化工程公司开始代理销售和推广这些商用化的软 PLC 产品。

数控系统的开发平台软件采用德国 3S 公司的 CoDeSys。3S 公司是一家德国的经营控制系统软件的专业公司。其主要产品 CoDeSys 是基于软 PLC 技术的工业自动化系统专用的开发平台。目前世界上有 100 多家工业自动化系统供应商采用 CoDeSys 开发它们自己的应用软件。与其它软 PLC 产品如 SIEMENSE 公司的 SIMATIC WinAC、SOFTPLC 公司的 SoftPLC 等相比,CoDeSys 的最大优点在于它集成了逻辑控制、运动控制和可视化于一体。CoDeSys 是符合 IEC61131-3 标准的编程工具。只要在计算机上安装了 CoDeSys SP RTE 软件,就可以成为一台先进的高性能可编程控制器,用 CoDeSys 不需要其它的组态软件就可以轻松实现可视化。另外,用 CoDeSys SoftMotion 可以实现运动控制编程,包括单轴运动到复杂的多轴插补运动^[46]。

6.5 基于 CoDeSys 软 PLC 的通讯调试

6.5.1 CoDeSys 软 PLC 编程与配置

如图 6-5 所示，在系统测试中，我们在上位机 CoDeSys 软 PLC 中以 ST 方式编写了一个 8 路 DO 指示灯延时交替闪烁和 8 路 DI 循环开关输入的 I/O 控制程序，应用两个从站的 I/O 资源，进行系统测试实验。在这之前，要在 CoDeSys 软 PLC 系统库管理中加入标准的 CANopen 协议库文件（由 3S 提供），这样上位机才能支持 CANopen 通讯协议；其次，要注意将程序中定义的变量和设备端口地址进行关联，否则系统进行程序编译时会报错。编好程序后，在系统运行前，不要忘记先开启 CoDeSys SP RTE 实时程序，否则系统会报出通讯错误。



图 6-5 CoDeSys 编程

Figure 6-5 CoDeSys programming

系统通过总线连接后，还需要对 CoDeSys 软 PLC 进行配置。配置工作包括安装系统支持的 PCAN-PCI 卡的驱动（由 3S 提供），加载各个从站设备的 EDS 文件，设置 CAN 相关通讯参数（如波特率，本系统设置为 125kbps），这里尤其要注意的是，CANopen 网络中主从设备的 CAN 波特率要保持一致，否则不能建立正常通讯。接下来，就是要设置 CANopen 协议的相关参数（如从站设备 ID 号、启动方式、心跳报文时间等）。

这样，如图 6-6 所示，系统 PLC 配置界面会把挂接在网络上的主从设备显示出来，CANopen I/O 从站设备的各个端口状态一目了然。

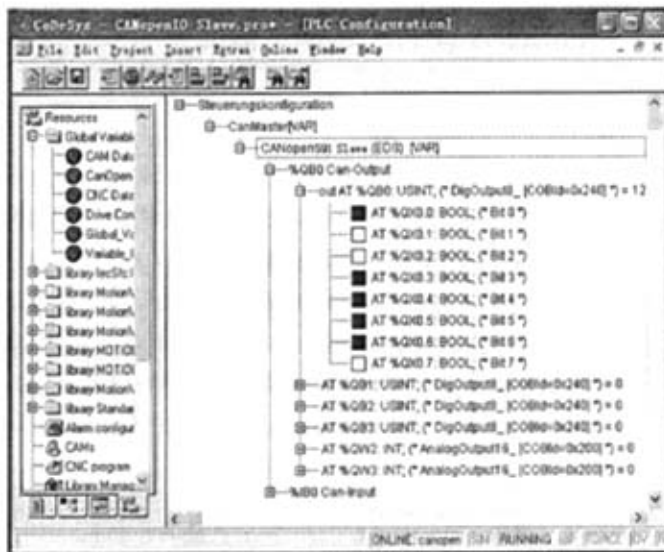


图 6-6 CoDeSys 配置

Figure 6-6 CoDeSys configuration

6.5.2 测试结果分析

如图 6-7 所示, CANopen I/O 类型设备网络建立正常通讯需要经过通讯初始化阶段。通过应用网络监控软件的跟踪记录功能, 我们可以清楚地观察到网络报文的各种信息 (包括生成时间、次数、ID、信息类别、节点号、报文含义、报文数据等), 由于 CANopen 通讯协议是标准协议, 所以同类 CANopen 设备的初始化环节都基本相同 (如本文中组网的 WAGO-I/O-SYSTEM 750-337 模块类型设备)。现已本文开发的 CANopen I/O 从站为例, 在这一阶段, 在启动后自动进入预操作状态, 发送心跳报文表明当前状态, 等待主站的询问; 主站首先发送 Boot up 启动报文, 然后通过 SDO 服务至少要向从站询问设备类型信息, 更多的还可能厂商 ID、产品代码、版本号等; 得到应答确认之后, 主站发送 NMT 报文, 命令从站进入操作状态, 系统随即建立了正常通讯状态, 开始了实时 PDO (RPDO 和 TPDO) 数据的通讯。外围继电器逻辑电路的 I/O 端口根据指示灯的亮灭, 进行断开和闭合操作, 如图 6-6 所示。

由此,本课题中开发的 CANopen I/O 从站实现了基本的 CANopen 通讯协议,并且在实验室条件下,经过一段时间的连续测试,网络数据通讯准确、正常,相信再经过一定的改进和完善之后,能够很好地满足无轴传动系统的要求。在本系统测试过程中,利用挂接监控节点对 CoDeSys 与 CANopen I/O 从站通讯进行实时跟踪,网络中所有交互通讯报文可以按时间顺序清晰记录,这种方法对于 CANopen 协议的类似开发具有很好的借鉴意义。

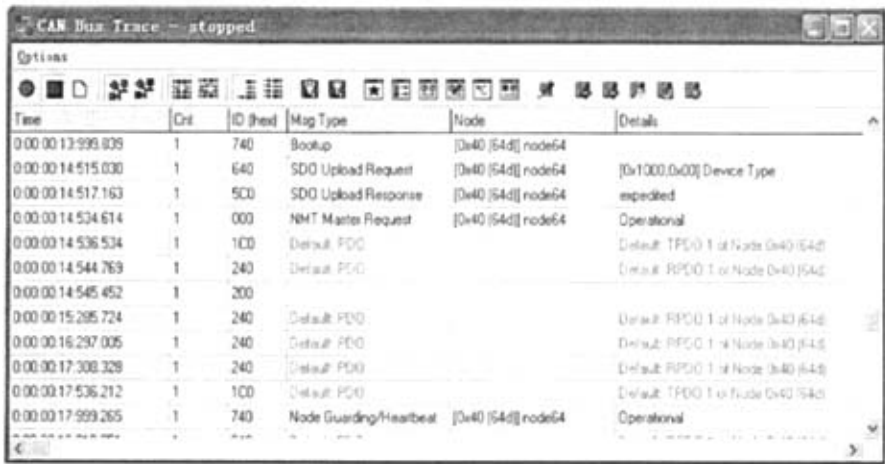


图 6-7 网络初始化过程
Figure 6-7 Network initialization process

6.6 本章小结

本章首先说明了调试的目的和内容，进而介绍了采用的调试方案，其思路和方法对于 CANopen 其他设备的调试具有一定的借鉴意义。之后，文中对本课题采用的上位机软件 CoDeSys 软 PLC 的特点，测试程序的编写和 CANopen 通讯配置等内容进行了介绍。最终，在测试环节中，通过把德国 WAGO 公司的 CANopen I/O 模块产品和本文自行开发的 CANopen I/O 从站与 CoDeSys 进行组网通讯，实现了这种基于 CANopen 协议的分布式 I/O 控制系统网络数据通讯，为进一步完善，以致满足印刷机无轴传动控制系统的实际应用打下了基础。

结论

近年来,无轴传动技术成为印刷机械技术革新的热点。作为其核心技术之一的现场总线技术,是工业现场控制领域中快速发展的重要技术。CAN 总线是一种串行总线通讯协议,凭借其独特的优势,在各种工业自动控制系统中得到了普遍应用。CANopen 作为 CAN 的一种很有应用前景的高层协议,在国外已经处于普及阶段,近些年也越来越受到国内业界的关注。研究 CANopen 协议并开发出各类 CANopen 设备,对于我国 CAN 总线技术的开展具有重要的意义。

本课题在北京市科委无轴传动系统研究项目的支持下,结合该项目的实际需求,开发出了基于 CANopen 协议的 I/O 从站,完成的主要工作内容如下:

(1) 结合无轴传动系统的应用特点,设计 CANopen I/O 从站的硬件系统,完成了系统主板的原理图设计和 PCB 的制作,并且对系统硬件电路进行了调试。

(2) 完成 CANopen I/O 从站软件系统设计,实现了 PDO、SDO、NMT 以及 heartbeat 对象的通讯,完成了基本的通讯和网络管理功能。

(3) 完成了 CANopen I/O 从站的系统调试,成功地构建了基于德国 3S 公司的 CoDeSys 软 PLC 的分布式 I/O 控制系统,实现了基于 CANopen 协议的网络数据通讯。

在上述主要工作内容的基础上,今后仍然需要在以下几个方面有待完善:

(1) 进一步完善 CANopen I/O 从站的软硬件设计,提高模块的集成度,增加 I/O 控制量的种类和点数,更好的满足印刷机无轴传动系统实际应用的需求。

(2) 加强对 CANopen 协议实时性的研究及改进,研究一些特定算法,实现 PDO 的标识符的动态配置,从而进一步改善网络的性能。

(3) 在工业现场环境下,对 CANopen I/O 从站进行可靠性测试,不断改进设计,以期达到实际应用的目的。

(4) 以 CANopen I/O 从站为基础,逐步深入研究 CANopen 协议,完善从站的协议功能,并着手开发其它 CANopen 设备类型。

参考文献

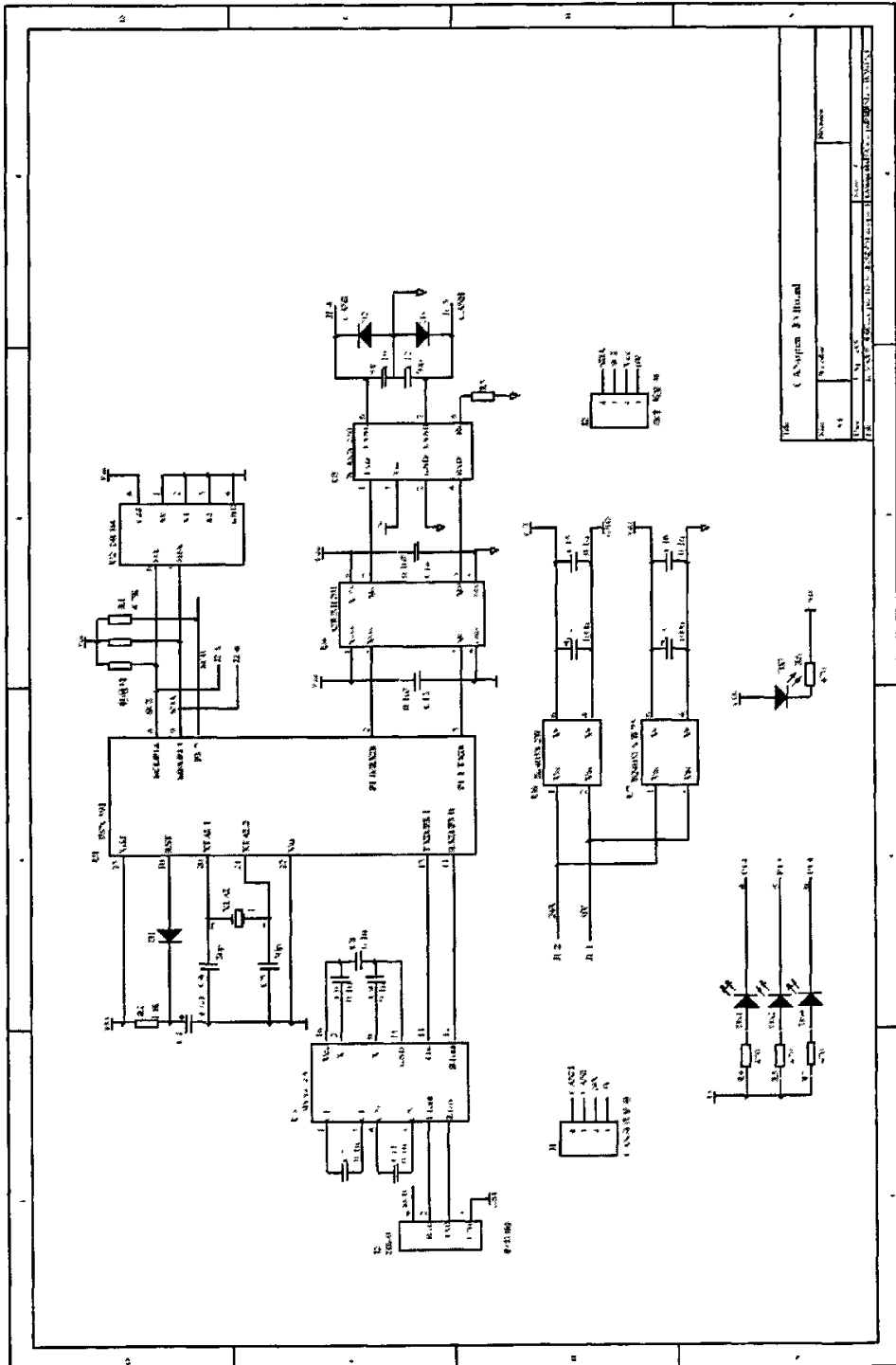
- 1 唐苏亚. 无轴传动技术在凹板印刷机中的应用. 微电机. 2006 年第 39 卷第 5 期(总第 152 期):1~2
- 2 周永仁. 无轴传动在印刷机中的应用. 包装工程. 2006, (10):1~2
- 3 谭学伦.“无轴”胜“有轴”[J]. 印刷杂志, 2006, (3):72~74
- 4 CANopen 协议介绍——流行欧洲的 CAN-bus 高层协议. 广州周立功单片机发展有限公司. 1~15
- 5 IIC 规范. 广州周立功单片机发展有限公司. 1~5
- 6 P8xC591 微控制器在 CAN 中的应用. 广州周立功单片机发展有限公司. 1~10
- 7 宋晓强. CANbus 高层协议 CANopen 的研究以及在模块化 CAN 控制器上的实现. 天津大学硕士研究生学位论文. 5~15
- 8 Armin von Collrepp, 田新柏. CANopen 概述. 研究与开发. 2006 年第二期: 1~3
- 9 阳宪惠. 现场总线技术及其应用. 清华大学出版社, 1999:12~15.
- 10 朱守云. 现场总线的比较与发展. 电气工程应用. 2002, (1):12~15, 32.
- 11 郁极, 杨斌, 魏继光. 一种开放式的现场总线协议 CANopen. 制造业自动化. 第 24 卷第十期. 1~3
- 12 程珂飞, 王渝, 王向周. 基于 CANopen 协议的车载平台数据通讯系统. 微计算机信息 2005 年第 21 卷第 7 期. 1~2
- 13 王桂荣, 钱剑敏. CAN 总线和基于 CAN 总线的高层协议. 计算机测量与控制. 2003, (11):1~2
- 14 吴爱国, 刘莉. CAN 总线控制系统的应用层协议 CANopen 剖析. 微计算机信息 2003, (3):1~2
- 15 何光宇, 胡正. 秦霆镐, 王健. 针对工业控制的 CANopen 系统. 微计算机信息 2003 年第 19 卷第 12 期:1~3
- 16 吕京建, 张宏韬. 中国单片机公共实验室. CAN 总线的浅析 CANopen 协议. 嵌入式系统. 1~3
- 17 余兴智, 朱昌明, 毕晓亮. 分布式系统中 CAN 总线应用设计. 机械与电子 2003 年第 1 期:1~3
- 18 徐爱钧, 彭秀华. 单片机高级语言 C51Windows 环境编程与应用 电子工业出版社 2001, (7):1~60
- 19 刘微. 独立 CAN 器件 SJA1000 的应用. 南京工程学院学报. 2002, (2): 32~35

- 20 马秋霞, 郇极. CANopen 现场总线从设备协议一致性测试系统研究. 制造业自动化. 2005 年 1 月第 27 卷第 1 期:1~2
- 21 李茂涛. 数字式称重仪及 CANopen 协议的研究与实现. 东北大学硕士研究生学位论文. 2006, (2):1~30
- 22 苏健. 基于 CAN 总线监控系统的研究和开发. 北京工业大学硕士研究生学位论文. 2003:19~38
- 23 蔺京敏. 基于 P87C591 单片机的 CAN 总线应用层协议的研究. 河北工业大学硕士研究生学位论文. 2004:10~20.
- 24 郭宽明. 现场总线技术应用选编(上). 北京航空航天大学出版社, 2003: 292~311
- 25 马艳歌, 贾凯, 徐方. 基于 DSP 的 CANopen 通讯协议的实现. 《微计算机信息》(嵌入式与 SOC)2006 年第 22 卷第 2-2 期:1~3
- 26 常弘, 樊波, 薛均义. 现场总线中三种基本通讯模式的分析[J]. 电工技术, 2001, (6):19~211
- 27 基于 CAN 的较高层协议和子协议. 广州周立功单片机发展有限公司. 1~3
- 28 Manuel B.M.Parbosa, Adriano da Silva Carvalho, Mohammed Farsi, A CANopen IO Module: Simple and Efficient System Integration, 1998 IEEE, 155~159
- 29 Mohammad Farsi, Karl Ratcliff, An introduction to CANopen and CANopen Communication Issues, 1997, 1~5
- 30 FARSI M.and BARBOSA M., CANopen implementation application to industrial networks, Research Studies Press Ltd. ISBN 0-86380-247-8 2000, 1~5
- 31 Karl Ratcliff, CANopen Implementation Issues, 1997, 1~12
- 32 The Institution of Electrical Engineers, Print and published by The IEE, Savoy Place, London WC2R 0BL, UK. 1~5
- 33 Customizing CANopen for Use in an Automated Laboratory Instrument. by M. B. Simmonds, Quantum Design Inc. and Olaf Pfeiffer, Embedded Systems Academy. 1~10
- 34 Café au CANopen. CAN in Automation GmbH. Specimen of CAN Newsletter 4/2001: 1~5
- 35 Holger Zeltwanger. Designing Devices Using CAN and CANopen Buses for Networking. Medical Electronics Manufacturing Fall 1999:1~10
- 36 Prof. Dr.-Ing. K. Etschberger. CAN-based Higher Layer Protocols and Profiles. <http://www.ixxat.de>:1~24
- 37 PCANopen Magic Pro User Manual Revision 1.21 PEAK-System Technik GmbH. 1~20

- 38 CANopen high-level protocol for CAN-bus H.Boterenbrood NIKHEF, March 20, 2000. 1~20
- 39 CANopen, Communication Profile for Industrial Systems based on CAN. CiA Draft Standard 301, Version 3.0. 1996:5~17
- 40 CANopen, Device Profile for Generic I/O Modules. CiA Draft Standard 401, Version 2.1. 2000:5~17
- 41 Electronic Data Sheet specification for CANopen. CiA Draft Standard 306, Version 1.3. 2005:1~1
- 42 Philips Semiconductors. CAN Specification 2.0, Part A. 1991. 9: 10~20
- 43 Philips Semiconductors. CAN Specification 2.0, Part B. 1991, (9): 42~55
- 44 K. M. Zuberi, K. G. Shin. Non-Preemptive Scheduling of Messages on Controller Area Network for Real-Time Control Applications. Real-Time Technology and Applications Symposium. 1995, (5):240~249
- 45 G. Rongsheng, Z. Abu, G. Xiaofang. Distributed Measurement and Control System Based on CAN Bus. Control and Automation. 2002, (6):208~218
- 46 User Manual for PLC Programming with CoDeSys2.3. 3S-Smart Software Solutions GmbH. 2005: 1~50
- 47 M Karsi, K Ratecliff, CANopen: Configure and Device Testing, 373~380
- 48 D.Heffeman and A.Bohannon, Real-Time design in a distributed control network application layer environment, IEE Proc.Softw., Vol.148.No5.October 2001:150~155
- 49 Ian Broster and Alan Burns, Timely use of the CAN Protocol in Hard Real-time Systems with Faults, 2001 IEEE, 95~102

附录

附录1 CANopen I/O 从站电路原理图一



The circuit diagram illustrates the internal structure of the 2x521TLP-4 LED driver IC, divided into two main functional blocks: the 8-bit Digital Input (DI) section and the 8-bit Digital Output (DO) section.

8路DI输入 (8-bit DI Input)

This section shows three parallel input channels labeled DI0, DI1, and DI2. Each channel consists of:

- An input pin connected through a 10K resistor to a pull-up voltage source V_D.
- A buffer stage represented by a square box containing a triangle symbol.
- A series combination of a 3K resistor and a diode connected to ground.

The outputs of these buffers are connected to pins labeled I.1, I.2, and I.4 respectively.

8路DO输出 (8-bit DO Output)

This section shows the output drivers for pins DO0, DO1, and COM1. It includes:

- A common emitter NPN transistor configuration where the base is driven by the input signal (I.1).
- A 10V supply connected to the collector through a 10K resistor.
- A 3K resistor in series with the emitter, which is also connected to a diode pointing towards the output pin.

The output pins shown are DO0, DO1, and COM1.

图例	
符号	名称
66	521TLP-4
1. 2x521TLP-4 2. 2x521TLP-4 3. 2x521TLP-4 4. 2x521TLP-4	

攻读硕士学位期间所发表的学术论文

- 1 赵建光, 杨建武, 孙树文. 基于 CANopen 协议的 I/O 从站的开发与应用. 微计算机信息. 2007, (10). 已录用, 待发表.

致谢

光阴似箭，日月如梭。转眼间，三年硕士研究生的求学生活行将结束，回首自己走过的这三个春秋，心中真是百感交集，难以平复。

在攻读硕士研究生的三年时光里，可以说，我的导师杨建武教授始终在做人和做学问的方方面面给与我孜孜不倦的教诲，使我终生受益匪浅。杨老师学术造诣深厚，治学态度严谨，使我在科研工作中得到了极大的锻炼，在课题遇到困难时，更是能够给与我很大的支持和帮助。课题研究之外，杨老师高尚的品德言行和处处为学生着想的师德风范，使我终生难忘。此外，在求学期间，我同样得到了实验室张慧慧教授在生活 and 科研中的悉心帮助和教导。在此特向杨建武和张慧慧两位德高望重的教授致以崇高的敬意和由衷的感谢！

对于康存峰老师、马春敏老师在课题研究期间给与我的很多有益的帮助，在此一并致以衷心的感谢！

学科部的孙树文老师、郑刚老师、涂承媛老师、谢健老师、裴巍老师、李屹老师、肖日东老师在这三年求学期间给予我热情的帮助，在此向各位老师致以衷心的感谢！

感谢实验室的同学们——杨健博士、谭延磊硕士、田克君硕士、王水迎硕士、李孝辉硕士、王凯硕士、焦亮硕士、在课题研究和论文撰写期间给予我的热情帮助！

感谢北京市先进制造技术重点实验室开放基金（kp0100200201）和北京市科委 2005 年度科技重大项目印刷设备的无轴传动与系统研究项目（DO305001040621）对本课题的大力资助。

在此，要特别感谢我的父母和家人在多年求学期间里给我的物质上的支持和精神上的鼓励！

最后，我衷心地向所有曾经给与关心、理解、支持和帮助的人们致以诚挚的谢意！

作者: [赵建光](#)
学位授予单位: [北京工业大学](#)

本文读者也读过(7条)

1. [张卓](#) [基于CANOPEN的过程控制系统的设计](#)[学位论文]2008
2. [田山](#) [基于CANopen协议的网络主控制器的设计](#)[学位论文]2008
3. [赵斌](#) [基于CANopen的模拟量测量模块](#)[学位论文]2007
4. [王瑞鹏](#) [基于CANopen+uC/OS_II平台的主从节点通信](#)[学位论文]2007
5. [闫士珍](#) [CANopen主栈及混合动力电动汽车CANopen行规设计](#)[学位论文]2008
6. [张云廷](#) [基于CANopen协议的从站的设计与应用](#)[学位论文]2009
7. [孟诏](#) [基于CANopen协议的CAN总线控制系统研究](#)[学位论文]2008

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1163279.aspx