

河北工业大学

硕士学位论文

基于CANopen协议的分布式气象参数采集处理系统的研制

姓名：李擎

申请学位级别：硕士

专业：控制科学与工程

指导教师：孙鹤旭

20091201

# 基于CANOPEN协议的分布式气象参数采集处理系统的研制

## 摘 要

目前，由于CAN总线具有的一些优点，比如实时性好，可靠性高，开发简单，造价低廉等，使其能够满足系统的高性能的要求，因此被广泛的应用在各种工业现场中。CANopen是一种公开、通用的CAN应用层协议。CANopen可以在系统总线的所有硬件设备不变的情况下实现CAN总线所有的潜在功能，并可以在此基础上得到进一步扩展和完善，使系统的通信效率、可靠性、灵活性得到进一步提高。

本文研制了一种基于CANopen协议的新型分布式多路智能气象分采集器，成功地将CANopen通信协议应用于第二代自动气象站采集系统中，本文主要实现了多路气候温度，多路红外辐射，多路风速雨量频率等信号的精确稳定采集，并作为CANopen从站节点将这些数据以TPDO报文的形式发送到主站，实现诸气象要素的实时采集存储，此外本文设计的从站还支持SDO报文对其进行参数配置。

本文首先分析了CAN总线的通讯原理及CANopen协议，提出了一种基于内置CAN控制器的微控制器的实现监控系统中的智能CANopen从节点的软硬件解决方案。论文完成了PT100测量温度信号，辐射毫伏信号，频率信号以及CAN总线通讯功能的智能从节点模块的硬件设计，用C语言进行软件模块化设计，对CAN报文的收发，CANopen各通信对象以及应用程序等主要模块进行了接口函数的标准化封装，论文中给出了软硬件设计的详细电路图和程序流程图。

实验和现场安装使用证明，本文针对气象参数分采集站设计的CANopen自动气象采集从站，具有很强的实用性和通用性，不仅提高了信号的传输精度、速度、可靠性和抗干扰性，而且降低了系统成本，方便安装、维护、调试及扩展，因此，满足国家气象局第二代自动气象站的考核标准，得到了推广和应用。

**关键词：**现场总线，CANopen协议，气象参数采集

# **DEVELOPMENT OF DISTRIBUTED METEOROLOGICAL PARAMETER ACQUISITION SYSTEM BASED ON CANOPEN**

## **ABSTRACT**

Currently, CAN bus has been widely used in the industrial field, as it has high reliability and good real-time character and with low cost, so that it can meet the performance requirements of multiple systems. CANopen is the application layer of CAN protocol which is an open, universal agreement. CANopen is able to achieve all of the potential function of CAN bus system when all hardware devices are in the same circumstances, and can be further expanded on this basis, so that the reliability of the system and the flexibility to further improvement can be better.

This paper develops a new protocol based on CANopen Intelligent Distributed Multi-meteorological sub-collector, CANopen communication protocol is applied to the second generation of the automatic weather station acquisition system successfully. In this paper, a multi-way climate temperature, multi-channel infrared radiation, multi-frequency signals of rainfall and wind speed can be reached accurately and serve as a CANopen slave node, these datas can be sent to the main station in the TPDO form of packets. In addition, this design also supports the SDO from the main station for setting the parameters.

This paper first analyzes the CAN bus communication theory and CANopen protocol which is proposed based on built-in CAN controller, using the micro-controller to get the intelligent monitoring system and CANopen slave nodes solutions. Dissertation finishes temperature signal measured by pt100, radiation signal and frequency signal. Use C language to design modulars including CAN message transceiver, CANopen communication objects and application of all major modules of the standard package. The paper gives a detailed circuit diagram of the hardware and flow chart of the software design.

Experiments show that in this paper, CANopen temperature measurement and control nodes designed for the distributed measurement and control system have a strong practical and versatile meaning. It not only improves the signal transmission accuracy, speed, reliability and anti-jamming, but also reduces system cost and it is easy for installation, commissioning, maintenance and extensions.

**KEY WORDS:** fieldbus, CANopen protocol, meteorological parameter acquisition

## 原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本学位论文不包含任何他人或集体已经发表的作品内容，也不包含本人为获得其他学位而使用过的材料。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人或集体，均已在文中以明确方式标明。本学位论文原创性声明的法律責任由本人承担。

学位论文作者签名：李敬

日期：2009.12.6

## 关于学位论文版权使用授权的说明

本人完全了解河北工业大学关于收集、保存、使用学位论文的以下规定：学校有权采用影印、缩印、扫描、数字化或其它手段保存论文；学校有权提供本学位论文全文或者部分内容的阅览服务；学校有权将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索、交流；学校有权向国家有关部门或者机构送交论文的复印件和电子版。

（保密的学位论文在解密后适用本授权说明）

学位论文作者签名：李敬

日期：2009.12.6

导师签名：孙建旭

日期：2009.12.6

# 第一章 绪论

## § 1-1 论文研究背景及论文的提出

提高防灾减灾能力,做好气候预警,是气象部门的根本要求。要做好这些工作,根本是增强防御能力和减轻气象灾害造成的危害,核心是提高预报预测准确率,而综合气象观测系统提供的准确、可靠的观测数据,是提高预测准确率和服务能力的重要保证<sup>[1]</sup>。

为了满足天气需要的基本气象资料,形成气候要素长期、连续和稳定可靠观测能力,必须进一步提高我国地面气象观测的自动化水平。中国气象局针对我国目前已经布点及使用的自动气象站还仍然是我国气象仪器生产厂家 90 年代初自行研制出来基于分离元件技术而设计的气象站,不便于观测要素和传感器扩充及设备的更新换代。随着自动气象站技术的发展,基于总线制结构的新型多要素自动气象站已在国内多家气象仪器生产厂家研制成功,中国气象局基于这种情况提出研制国家第二代自动气象站<sup>[2]</sup>。

气候观测和环境监测是气候系统模式中的重要分支,随着科学技术和电子信息技术的发展,为了减少观测人员的地面观测工作量,提高观测时效和质量,气象和环境参数监测应当加速技术更新,设备换代,朝着监测仪器电子化、测试方法自动化、数据传送网络化的方向发展,实现气象站的现代化,用自动气象站逐步替代人工观测<sup>[3]</sup>。

自动气象站是由电子设备或计算机控制的自动进行气象观测和资料收集传输的气象站,是一种能自动进行定时观测、发报或记录的地面综合观测装置。测量到的资料数据通过电话线、无线电通讯或卫星通信等方式集中发给中心站进行数据资料的储存和处理。自动气象站的使用不仅可以大量地减少观测人员,而且使资料的采集次数大幅度提高,用较少的人力完成较多的工作量,提高了工作效率。由于自动气象站是完全自动化观测,收集数据,不但加快了速度,还减少了由人工观测所产生的误差,而且自动气象站对各种气象要素值是自动进行处理、储存<sup>[4]</sup>。

建立自动气象参数采集站可以对气象参数进行长期、连续的采集,便于对气象资源变化规律进行研究,从而对气象采集设备的运行、改造、调度环节具有重要的指导意义。国家二代自动气象站的研制将对建立起全国气象资源数据库和气象工程数据库,这样将为推进我国气象参数采集事业的发展和进步起到技术支持的作用。国家第二代自动气象站基于现场总线技术和嵌入式系统技术构建,采用了国际标准并遵循标准、开放的技术路线。其核心是基于 CAN (Controller Area Network, 控制器局域网) 总线技术和国际标准 CANopen 协议进行设计,涉及物理层、数据链路层和应用层的标准定义。主采集器和分采集器是 CAN 总线上的节点,它们之间的通信遵循 CAN 数据链路层协议和 CANopen 应用层协议。

气象参数是多种多样的,例如:温度,湿度,风量,风向,风速,雨量,辐射,紫外线等等。采集器需要实现对这些参数的采集存储运算等功能,要求采集精度,分辨力和测量范围均符合《第二代自动气象站考核试验实施方案》的要求<sup>[5]</sup>。

本论文基于自动气象站的开发,主要侧重分采集器的研制,论文完成了分采集器 CANopen 协议的

设计, 包括硬件软件的设计, 并保证了采集的各项气象参数的质量, 经过测试和评定。

## § 1-2 论文研究的意义及方法

风速、温度、辐射和雨量等是气象站需要采集的核心气象参数。为了实现诸多气象参数自动采集、传输、分析及管理, 有必要开发一套专用测试和通信系统。这套系统是构建气象参数自动采集站的基本设备。在此基础上, 还可以建立气象资源数据信息库。经过对大量数据信息进行分析, 可以得到预测需要的可靠保障, 可为防灾减灾提供科学依据, 以及通过气象数据和运行数据的采集记录, 分析预测气象灾害的发生。如今, 欧美和亚洲少数发达国家纷纷建立自动气象观测站并建立了气象业务自动观测网, 控制的手段趋向于遥控、遥测。我国的气象观测站及气象传感器, 从上世纪末, 经历了从技术引进和对国外的同类型号的仿制, 到改进提高和创新开发的过程, 目前国内自动气象站研究得到了飞速的发展, 如今能依靠自己技术生产自动气象站, 已经广泛应用在各个领域。自动气象站也广泛分布在全国各地<sup>[6]</sup>。

气象站大多数分布在交通不便、环境条件恶劣的边远地区。这样给气象参数的采集带来极度的不便。自动气象站就可以解决采集传送困难的问题, 本文设计的气象参数分采集及通信系统, 具有自动采集、传输的功能, 从而解决了气象参数采集的问题, 同时将采集数据通过现场总线的传输方式发送到主采集器。主采集器进一步将数据存储可在可移动存储设备中, 可以被长期存储查询, 同时显示在上位机界面上, 利用 CAN 总线网络将分采集器的气象信息传输到主采集, 为整体气候情况的分析提供数据信息。在欧洲, CANopen 被认为是在基于 CAN 的工业系统中占领导地位的标准。CANopen 协议在国内的应用才刚刚起步, 研究 CANopen 协议对于其在国内的应用和普及, 具有重要的意义。此外, 设计 CANopen 从站有利于我国自主研发具有 CANopen 通信功能的智能从站设备, 对推动国内现场总线在气象领域的发展应用, 加快与国际接轨, 增强竞争力具有积极的作用<sup>[7]</sup>。

本论文以嵌入式系统为研究开发目标, CAN 总线技术为现场总线基础, CANopen 为总线应用层协议, 最终实现现场参数的数据采集。本文研究的主要内容包括以下几点:

1. 研制目标的定位: 成本低、功能先进、简易型、设备级的气象参数分采集器。综合以上几点要求的分析, 反映了系统核心技术的要求、系统构成的方法、前端设备的设计等具体技术。
2. 系统通信组网技术: 作为一种技术先进、可靠性高、功能完善、成本合理的远程网络化控制方式, CAN 总线具有结构简单、实时性好、灵活性好、成本低等特点。因此本文拟研制一种基于 CAN 总线的现场数据采集系统。
3. 进行硬件设计: 包括 CPU 选型和外围电路设计、AD 转换电路、CAN 总线接口电路以及电源电路的设计, 绘制 PCB 电路原理图并测试分析。
4. 选取 CANopen 作为 CAN 总线的应用层协议, 完成其数据字典, 协议栈, 数据发送和接收程序的编写。编写软件, 包括操作系统的配置, 应用程序的编写。

## 第二章 CAN总线技术规范及高层协议概述

现场总线技术是实现现场级控制设备数字化通信的一种工业现场层网络通信技术。CAN 总线可采用多主方式,网络上任意节点均可主动向其他节点发送信息。CANopen 是一个开放性协议,其协议的特点就是可以在 CAN 总线的基础上,根据实际用户的需求定义相关行业的子协议,这不但可以充分利用 CANopen 协议的优势,更能根据实际行业对协议进行优化设计,设计出来的控制网络可以跟其它符合 CANopen 协议的设备进行通讯。根据 CANopen 协议的原理,设计出各种嵌入式网络控制系统,能够大大的提高设备的控制精度和生产效率。因此,对 CANopen 协议的研究无论是在理论上还是在实践上都有重要的意义和价值。

### § 2-1 现场总线技术概述

所谓“现场”是指制造或生产区域,或是安装了传感器、变送器和执行器等设备的区域。根据现场总线基金会和国际电工委员会定义,现场总线是一种用于自动化系统和智能现场设备的开放式、数字化、多节点的通讯技术。现场总线具有以下特点:数字信号完全取代 4-20mA 模拟信号,实现现场设备控制和统一管理,可使设备增加非控制信息,现场设备之间是开放的,能够实现互操作。现场总线不仅仅是一种通讯技术,它融合了智能化仪表、开放系统结构(OSI)、现代控制理论和计算机网络等多方面技术的精华。现场总线信号以全数字化方式传输,通信网络一直延伸到生产现场,仅仅通过一对传输电缆实现各种现场设备互连<sup>[8]</sup>。

现场总线系统的结构是全分散的,由现场设备取代了传统分散控制系统所必须的输入输出模块和控制站,即把分散控制系统控制站功能分散给现场设备,从而构成虚拟控制站,实现彻底的分散控制。数据就地处理,减少传输和转换环节,控制在现场完成,显著提高了控制的精度的实时性<sup>[9]</sup>。

现在世界上较为流行的几种总线列举如下:

现场基金会总线: FF(基金会现场总线)是在过程自动化领域得到广泛支持和具有良好发展前景的技术,它于 1994 年由 ISP, 及以美国 Fisher-Rosemount 公司为首联合西门子等 80 家公司和 WorldFIP 及以 Honeywell 公司为首,联合欧洲等地的 150 家公司联合制定协议并合并而成<sup>[10]</sup>。

LonWorks 总线: LonWorks 是由美国 Echelon 公司推出并由它与东芝、摩托罗拉公司倡导,于 1990 年正式公布而形成的。它采用 ISO/OSI 模型的全部 7 层协议,采用面向对象的设计方法,通过网络变量把网络通信简化为参数设置,支持同轴光缆、双绞线、光线、红外线、射频、电力线等多种通信介质,并开发了相应的本质安全防爆产品<sup>[11]</sup>。

Profibus: Profibus 是德国 DIN9254 国家标准和欧洲的现场总线标准,由 Profibus-DP(主从)、Profibus-FMS(多主)、Profibus-PA(本质安全防爆)组成系列。DP 型表示分散性外设,应用在加工自动化领域;FMS 含意为现场信息规范,适用于纺织、可编程控制器、楼宇自动化、低压开关等;PA 是用于过程自动化的总线类型,可实现总线供电与本质安全防爆。

CAN 总线: CAN 总线是一种有效支持分布式控制的多主串行现场总线,以其检错能力强、通讯硬

接口简单、通讯介质选择灵活、可靠性高、实时性强、价格低等特点而各受现场设备互连的青睐，广泛应用于汽车自动化、楼宇自控、工业控制等领域<sup>[12]</sup>。

## § 2-2 CAN总线简介及工作原理

### 2-2-1 CAN总线简介

CAN-bus(Controller Area Network)即控制器局域网，是国际上应用最广泛的现场总线之一。CAN 最初出现在 80 年代末的汽车工业中，由德国 Bosch 公司最先提出。当时，由于消费者对于汽车功能的要求越来越多，提出 CAN 总线的最初动机就是为了解决现代汽车中庞大的电子控制装置之间的通讯，减少不断增加的信号线。通过设计了一个单一的网络总线，所有的外围器件可以被挂接在该总线上<sup>[13]</sup>。

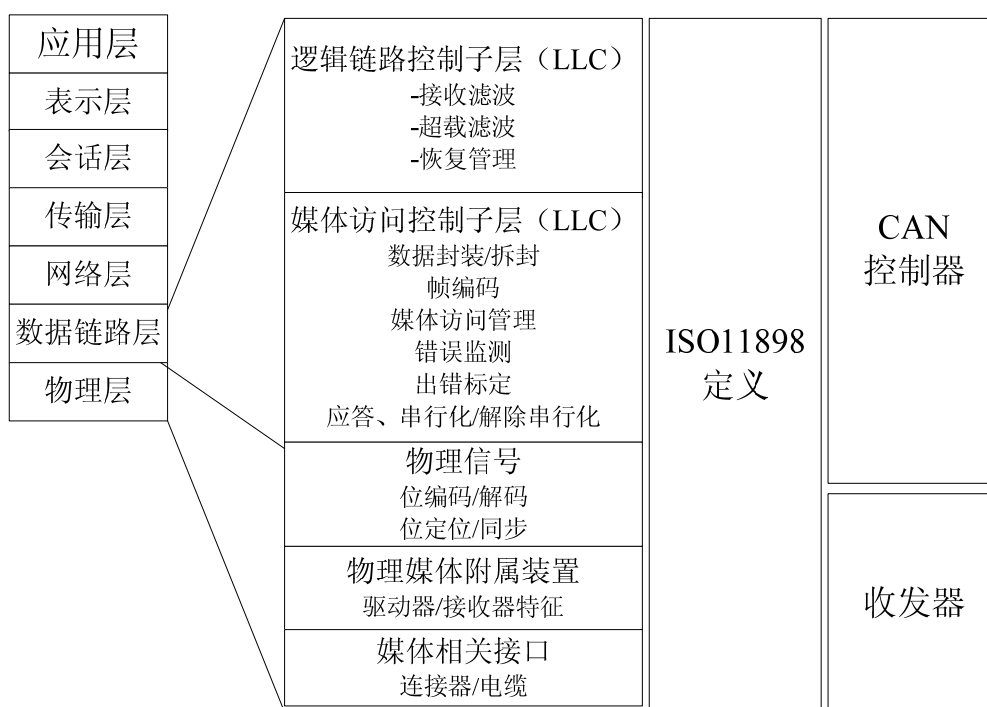


图 2.1 CAN 的分层结构和功能图

Fig 2.1 CAN hierarchical structure and functional diagram

CAN 总线协议遵循 ISO/OSI 标准模型，定义了 OSI 模型中的数据链路层和部分物理层<sup>[14]</sup>。它可由 CAN 控制器芯片及其接口芯片来实现，从而大大降低系统开发难度，缩短了开发周期。CAN 总线协议对物理层没有严格定义，对使用者来说更加灵活，但同时对设计者来说更困难。

CAN 总线定义的数据链路层又包括逻辑链路控制子层 LLC 和媒体访问子层 MAC。CAN 的分层结构和功能如图 2.1 所示。与其它现场总线比较，CAN 总线具有通信速率高、容易实现、且性价比高等诸多特点，已形成国际标准的现场总线。通常，用来实现 CAN 网络的物理媒介是一对带回路的差分驱动的双绞线。CAN 总线是一种多主方式的串行通讯总线，基本设计规范要求有较高的位速率，高抗电磁干扰性，而目能够检测出产生的错误。总之，由于 CAN 总线具有这些特性，作为一种可靠性高、技术先进、功能完善、成本合理的远程网络通讯控制方式，这些也是目前 CAN 总线应用于众多领域，具有强劲的市场竞争力的主要原因<sup>[15]</sup>。



在本文中,自动气象分采集器的设计,我们要求总线的节点比较多,每个总线上有三个节点,速率要求不是很快,但是必须满足应用广泛,因此选择 CAN 总线作为本文中使用的总线满足要求。

## 2-2-2 CAN总线工作原理

CAN 控制器只能在空闲状态期间发送数据,总线上的所有控制器同步,这个过程是由硬同步来完成的。若有两个或者多个 CAN 控制器同时发送数据,总线访问冲突通过仲裁场的位仲裁进行处理;仲裁处理的过程是:在仲裁期间,每个进行发送的控制器都将发送的位电平与监控总线电平进行比较,任何发送一个隐性位而监视到一个显性位电平的 CAN 控制器立即变成总线上优先权较高的报文接收器,而不破坏总线上的其他信息。

### 1.报文格式

在总线中传送的报文,每帧由 7 部分组成。CAN 协议支持两种报文格式,其唯一的不同是标识符(ID)长度不同,标准格式为 11 位,扩展格式为 29 位。

在标准格式中,报文的起始位称为帧起始(SOF),然后是由 11 位标识符和远程发送请求位 (RTR)组成的仲裁场。RTR 位标明是数据帧还是请求帧,在请求帧中没有数据字节。控制场包括标识符扩展位(IDE),指出是标准格式还是扩展格式。它还包括一个保留位,为将来扩展使用。它的最后四个字节用来指明数据场中数据的长度(DLC)。数据场范围为 0~8 个字节,其后有一个检测数据错误的循环冗余检查(CRC)。应答场(ACK)包括应答位和应答分隔符。发送站发送的这两位均为隐性电平(逻辑 1),这时正确接收报文的接收站发送主控电平(逻辑 0)覆盖它。用这种方法,发送站可以保证网络中至少有一个站能正确接收到报文。报文的尾部由帧结束标出。在相邻的两条报文间有一很短的间隔位,如果这时没有进行总线存取,总线将处于空闲状态。

每段报文包括一个唯一的标识符和在报文中描述数据类型的 RTR 位标识符和 RTR 位最先发送。标识符和 RTR 位对应二进制数值最低的报文有最高的优先权。由于数据帧的 RTR 位为显性电平,因此数据帧比远程帧具有更高的优先权<sup>[16]</sup>。

构成一个帧的帧起始、仲裁场、控制场、数据场和 CRC 序列均编码规则均借助位填充方式进行。当检测到 5 位连续的相同数值发送器在发送的位流中时,将自动地在实际发送的位流中插入一个补码位。报文中的位流按照不归零码方法编码,这意味着一个完整的位电平要么是显性,要么是隐性。报文的传输由 4 种不同类型的帧表示和控制:数据帧携带数据由发送器到接收器;远程帧通过总线单元发送,以请求发送具有相同标识符的数据帧;出错帧由检测出总线错误的任何单元发送;超载帧用于提供当前和后续数据帧的附加延迟<sup>[17]</sup>。数据帧、远程帧的组成结构分别如图 2.2, 2.3 所示。



图 2.2 数据帧的组成结构

Fig 2.2 Structure of the data frame



图 2.3 远程帧的组成结构

Fig 2.3 Structure of the remote frame

CAN 总线在发送和接收数据时都需要按照一定的过程进行操作，CAN 总线发送数据时必须获得总线访问权，CAN 总线接收数据时必须经过数据校验，CAN 总线的数据发送流程图和数据接收流程图如图 2.4 所示。

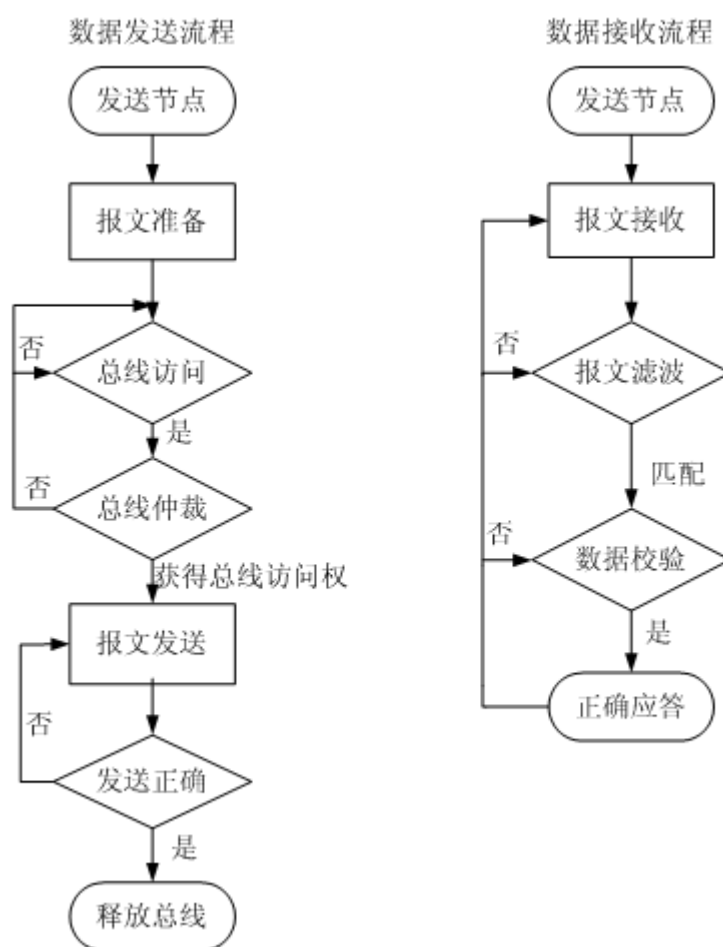


图 2.4 CAN 总线的数据发送和数据接收流程图

Fig 2.4 The flow diagram of the CAN bus data transmission and reception

## 2.连接方式

CAN 用以传输数据的双向数据线通常为双绞线包括 CAN-H 和 CAN-L，信号使用差分电压传送，即两条线上的电位相反，两条线的电压和等于常量。这可以使 CAN 总线得到保护而免受外界电磁场干扰。CAN 总线的两个终端必须各连接一个终端电阻，电阻的阻值是  $120\ \Omega$ 。第二代自动气象站的总线物理接口采用 CAN 总线接口，ISO 11892-2 对此进行了详细规定，网络结构如图 2.5。

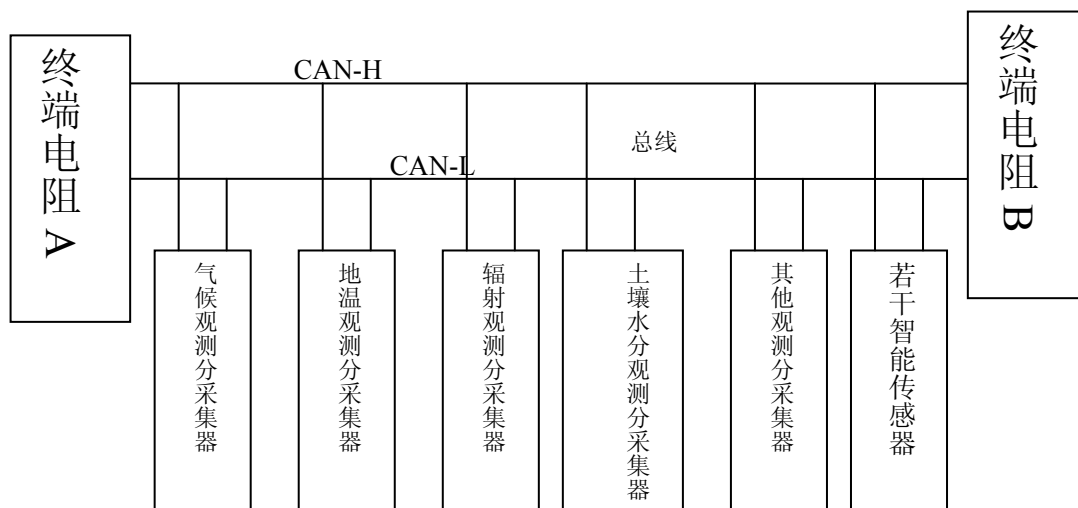


图 2.5 第二代自动气象站总线网络结构图

Fig 2.5 Network structure diagram of the Second-generation automatic weather station

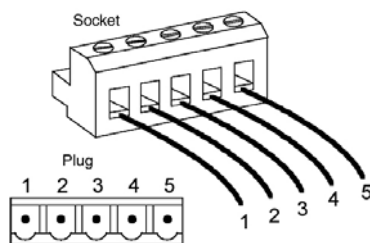


图 2.6 CAN 总线连接器

Fig 2.6 CAN bus connector

连接器采用 CiA DR-303-1 的工业级连接器中的开放形式连接器针脚标准，其结构如图 2.6 所示，针脚接线描述见表 2.1。

表 2.1 连接器接线描述

Table2.1 Connector Wiring Description

针脚	信号	描述
1	CAN_GND	GND 或 0V 或 V-
2	CAN_L CAN_L 线	显性为低电平
3	CAN_SHLD	CAN 屏蔽（可选）
4	CAN_H CAN_H 线	显性为高电平
5	CAN_V+CAN	收发器或光隔的电源（可选）

## § 2-3 CANopen高层协议概述

CAN 总线在实际使用的过程中，即使在执行一些非常简单的基于 CAN 总线分布式采集系统时，除了基本的第二层服务之外还希望有其他的功能，如发送长于 8 字节的数据块响应，确定数据传送标识符，分配网络启动和监控节点。由于这些附加的功能直接支持应用过程，所以它们可以被认作应用层。如果正确执行应用层以及相应的应用层接口的子协议，需要把它们区分开来，因此需要在通讯和应用过程之

间提供一个清晰定义的分界。

表 2.2 CAN 总线主要高层协议

Table 2.2 The main high-level of CAN bus protocol

制定组织	主要高层协议
Cia	CANopen 协议
ODVA	DeviceNet 协议
Cia	SDS 协议
ODVA	CANKingdom 协议

因为 CAN 协议提供许多非常独特的功能，因此大部分较高层协议通过对数据链路层的服务，提供直接访问，将这些不同的功能保留给应用层的用户，基本功能不需要额外的上层协议，特别是在自动化应用领域中越来越需要一个开放标准化的较高层协议，这个协议可以支持不同生产厂家设备的互用性和可交换性。因此要求有标准设备模型的规范，也就是说以基本功能性的标准设备和标准应用的规范作为对标准化应用层的补充<sup>[18]</sup>。CAN 总线主要高层协议如表 2.2。

从 OSI 网络模型的角度来看同，CAN 总线网络只实现了物理层、数据链路层、应用层。因为现场总线通常只包括一个网段，因此不需要传输层和网络层，也不需要会话层，描述层的作用。

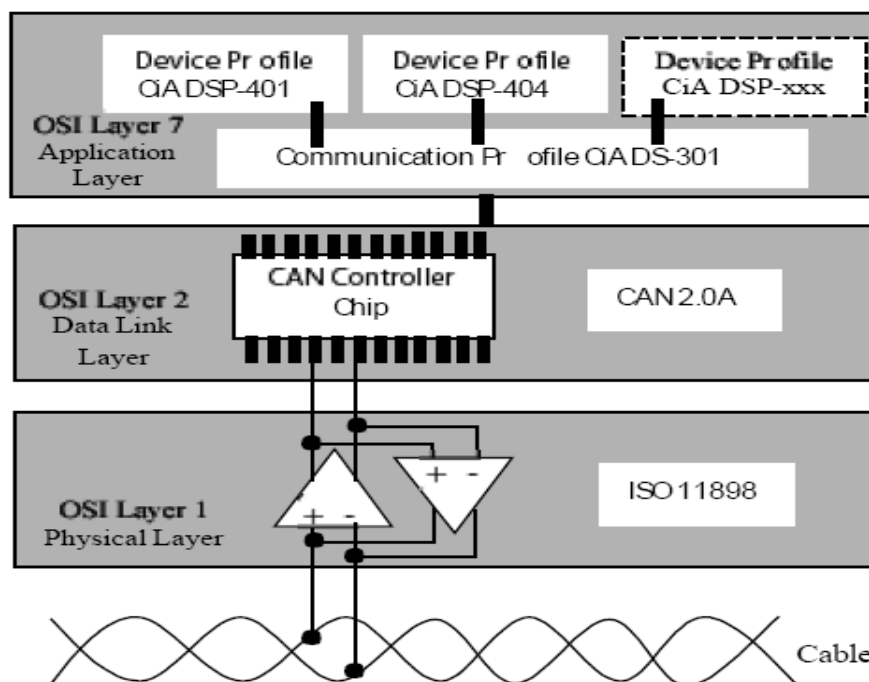


图 2.7 CAN 标准、CANopen 协议关系图

Fig 2.7 CAN standard, CANopen protocol diagram

CAN 现场总线仅仅定义了第 1 层、第 2 层（见 ISO11898 标准）。实际设计中，这两层完全由硬件实现，其他的相关软件设计无需再开发。同时，CAN 本身并不完整因为其只定义物理层和数据链路层，没有规定应用层，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 总线的自动化应用中，越来越需要一个开放的、标准化的高层协议，这个协议支持各种 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。应用层可以为网络中每一个有效设备都能够提供一组有用的服务与协议。通过通讯描述可以配置设备、通讯数据的含义, 定义数据通讯方式。设备描述即为设备增加符合规范的行为<sup>[19]</sup>。

下面将介绍一种基于 CAN 的高层协议: CANopen 协议。CANopen 协议是 CAN-in-Automation(CiA)定义的标准之一, 并且在发布后不久就获得了广泛的承认。尤其是在欧洲, CANopen 协议被认为是在基于 CAN 的工业系统中占领导地位的标准。大多数重要的设备类型, 例如数字和模拟的输入输出模块、操作设备、驱动设备、控制器、可编程控制器或编码器, 都在称为“设备描述”的协议中进行描述<sup>[20]</sup>。

在 OSI 模型中, CAN 标准、CANopen 协议之间的关系如图 2.7 所示:

### 1 对象字典 OD

对象字典 (OD: Object Dictionary) 是一个有序的对象组。CANopen 网络中每个节点都有一个对象字典。对象字典包含了描述这个设备和它的网络行为的所有参数。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, 还另外定义了一个 8 位的子索引, 对象字典的结构参照表 2.3。CANopen 由一系列称为子协议的文档组成。如表 2.3 所示。

表 2.3 CANopen 子协议的文档组成

Table 2.3 The document composition of CANopen sub-agreement

索引	对象
0000	Not used
0001-001F	静态数据类型
0020-003F	复杂数据类型
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
2000-5FFF	制造商特定子协议区域
6000-9FFF	标准的设备子协议区域
A000-FFF	Reserved

通讯子协议 (communication profile), 描述对象字典的主要形式和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。还有各种设备子协议 (device profile), 为各种不同类型设备定义对象字典中的对象。设备子协议为对象字典中的每个对象描述了它的名字、功能、数据类型、索引和子索引, 以及这个对象是必需的还是可选的, 是只读、只写或者可读写的等等。

### 2. CANopen 通讯

说明 CANopen 中对象字典的概念之后, 现在我们来介绍在 CANopen 网络中的通讯消息, 它们的内容和功能。CANopen 通讯模型定义了 4 种报文:

一、管理报文: 负责层管理, 网络管理和 ID 分配服务。如初始化, 配置和网络管理 (包括: 节点保护); 这些服务都是基于主从通讯模式, 也就是说在 CAN 网络中, 只能有一个主节点以及一个或多

个从节点。

二、服务数据对象 SDO(Service Data Object)，通过使用索引和子索引（在 CAN 报文的前几个字节），SDO 使客户机能够访问设备对象字典中的项。SDO 允许传送任何长度的数据，当数据超过 4 个字节时分拆成几个报文。协议是确认服务类型，为每个消息生成一个应答。SDO 请求和应答报文总是包含 8 个字节。SDO 通讯有较多的协议规定<sup>[21]</sup>。

三、过程数据对象 PDO (Process Data Object)，用来传输实时数据，数据从一个生产者传到一个或多个消费者。数据传送限制在 1 到 8 个字节，例如，一个 PDO 可以传输最多 64 个数字 I/O 值，或者 4 个 16 位的 AD 值。PDO 通讯没有协议规定，PDO 数据内容只由它的 CAN ID 定义。

每个 PDO 在对象字典中用 2 个对象描述。PDO 通讯参数：包含哪个 COB-ID 将被 PDO 使用，传输类型，禁止时间和定时器周期。PDO 映射参数：包含一个对象字典中对象的列表，这些对象把包括它们的数据长度等信息映射到 PDO 里。PDO 消息的内容是预定义的，或者在网络启动时配置的，映射应用对象到 PDO 中是在设备对象字典中描述的。PDO 可以有多种传送方式，包括非周期方式由远程帧预触发传送，或者由设备子协议中规定的对象特定事件预触发传送，周期方式传送在每 1 到 240 个 SYNC 消息后触发，或者由设备子协议中规定的对象特定事件触发传送<sup>[22]</sup>。

#### 四、预定义报文或者特殊功能对象

同步，在网络范围内同步，尤其在驱动应用中。在整个网络范围内当前输入值准确同时保存，随后传送，根据前一个 SYNC 后接收到的报文更新输出值。在 SYNC 报文传送后，在给定的时间窗口内传送一个同步 PDO。CANopen 建议用一个最高优先级的 COB-ID 以保证同步信号正常传送。SYNC 报文可以不传送数据以使报文尽可能短。

时间标记对象，用 CAL 中存储事件类型的 CMS 对象实现，为应用设备提供公共的时间帧参考。紧急事件，用 CAL 中存储事件类型的 CMS 对象实现设备内部错误触发。Boot-UP，NMT 从节点通过发送这个报文，向 NMT 主节点说明该节点已经由初始化状态进入预操作状态。它们采用两种不同的数据传输机制实现：SDO 用来在设备之间传输大的低优先级数据，典型的是用来配置 CANopen 网络上的设备。PDO 用来传输 8 字节或更少数据，没有其它协议预设。一个 CANopen 设备必须支持一定数量的网络管理服务，需要至少一个 SDO。每个生产或消费过程数据的设备需要至少一个 PDO。所有其它的通讯对象是可选的。一个 CANopen 设备中 CAN 通讯接口、对象字典和应用程序之间的联系如图 2.8 所示。

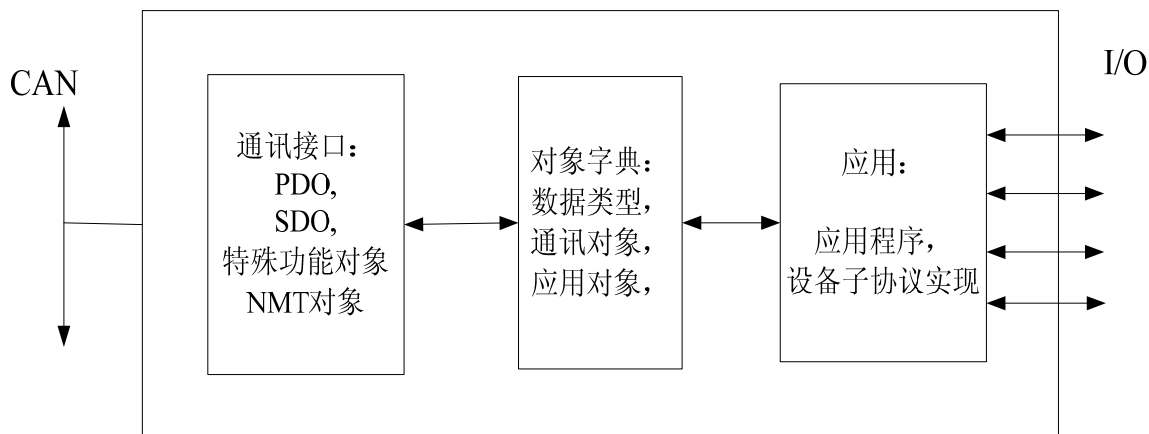


图 2.8 CANopen 设备之间的联系

Fig 2.8 The relationship of CANopen devices

### 3. CANopen ID 描述

在 CANopen 中, CAN 报文 ID 的配置存在形式有三种<sup>[23]</sup>:

(1) 上电后当节点处于预设置状态时, 可以通过使用 SDO 报文将数据填入对象词典相应位置来改变 PDO 报文 ID。

(2) 在这种使用预定义的主/从连接模式情况下, ID 的配置是默认情况, 不需要重新配置, 如果节点支持 PDO 报文, 也可以对 PDO 内容进行相应的设置。

(3) 使用 CAL DBT 服务时, 连接到 CANopen 网络的节点或者从站最初被配置好的 Node-ID 标识可以通过设置设备上的 DIP 开关或者使用 CAL 层管理服务来设置 Node-ID。当网络初始化完毕启动后, 主节点首先通过"Connect Remote\_Node"报文和每个连接的从设备建立一个对话。一旦这个对话建立, CAN 通讯 ID (SDO 和 PDO)用 CAL DBT 服务分配好, 这种情况需要节点支持扩展的 boot-up。

### 4. CANopen boot-up 过程

在网络初始化过程中, CANopen 支持两种 boot-up 过程, 即扩展的 boot-up 和最小化 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。在同一个网络中可以同时存在着两类节点。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。用节点状态转换图表示这两种初始化过程如图 2.9 表 2.4 所示。通过图可以说明, 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。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。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, 第二个字节是节点 ID, 或者 0 (此时寻址所有节点)。仅支持最小化 boot-up 的设备叫最小能力设备。最小能力设备在设备初始化结束后自动进入预操作状态。在这个状态, 可以通过 SDO 进行参数配置和进行 COB-ID 分配。设备进入准备状态后, 除了 NMT 服务和节点保护服务外, 将停止通讯<sup>[24]</sup>。

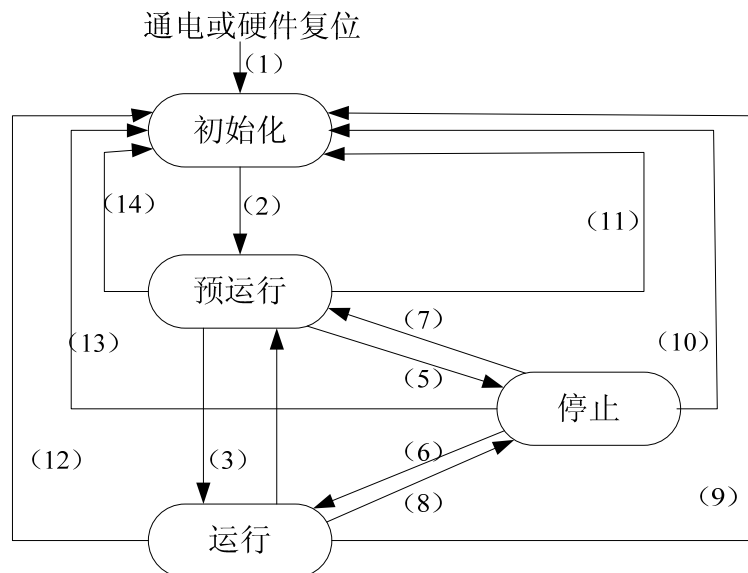


图 2.9 节点状态转换图

Fig 2.9 Node state transition diagram

表 2.4 节点状态转换图

Table 2.4 Node state transition table

状态转换	说明																								
(1)	通电后自动初始化																								
(2)	完成初始化自动进入预操作状态																								
(3) (6)	启动远程节点																								
(4) (7)	进入预操作状态																								
(5) (8)	停止远程节点																								
(9) (10) (11)	复位节点																								
(12) (13) (14)	复位通讯																								
根据节点的状态提供以下服务：																									
	<table><tr><th>初始化</th><th>预运行</th><th>运行</th><th>停止</th></tr><tr><td>PDO</td><td></td><td>√</td><td></td></tr><tr><td>SDO</td><td>√</td><td>√</td><td></td></tr><tr><td>启动引导</td><td>√</td><td>√</td><td></td></tr><tr><td>网络管理</td><td>√</td><td>√</td><td>√</td></tr><tr><td>错误控制</td><td>√</td><td>√</td><td></td></tr></table>	初始化	预运行	运行	停止	PDO		√		SDO	√	√		启动引导	√	√		网络管理	√	√	√	错误控制	√	√	
初始化	预运行	运行	停止																						
PDO		√																							
SDO	√	√																							
启动引导	√	√																							
网络管理	√	√	√																						
错误控制	√	√																							

## § 2-4 本章小结

本章根据 CAN 总线的特点，分别对数据链路层和物理层进行介绍。对 CAN 的分层结构、CAN 总线通讯协议、错误检测等进行了全面分析，此外，本章还根据 CAN 总线通讯模块设计的需要，自定义了 CAN 应用层。应用层选用 CANopen 协议，本章针对对象字典，CANopen 通讯进行介绍，为以后的软硬件设计作准备。



### 第三章 气象分采集器的硬件系统设计

微处理芯片的集成度越来越高,随着电子技术的不断发展,现在已经可以在一块单片机芯片上同时集成 CPU、存储器、定时器、计数器、并行接口、甚至 A/D 转换器。单片机和 DSP 等微处理器的出现,引起了仪器仪表结构的根本性变革,以单片机为主体取代传统仪器仪表的常规电子线路,可以容易的将计算机技术和测量控制技术结合在一起,组成新一代的所谓“智能化测量仪表”。目前在研制高性能,高精度,多功能的测量控制仪表时,几乎都考虑采用单片机使之成为智能仪表。在测量控制仪表中采用单片机技术使之成为智能仪表后能够解决许多传统仪表不能或不易解决的问题;同时还能简化仪表电路。提高仪表的可靠性,提高仪表的技术指标,降低仪表的成本以及加快新产品的开发速度。这类仪表的设计重点已经从模拟和逻辑电路的设计转向专用的单片机或功能部件,接口电路以及 I/O 通道的设计,通用或专用软件程序的开发。目前这类智能化检测控制仪表已经能够实现四则运算,命令识别,逻辑判断,自诊断自校正甚至自适应和自学习的功能。随着科学技术的进一步发展,这类仪表的智能程度必将会越来越高<sup>[25]</sup>。

#### (一) 智能化仪表的优势

智能化仪表首先具有自测功能,能检测到模拟信号量数字信号量,其次,具有操作自动化能力,这也是智能化仪表的智能表现之处,它可以自动检测,运算,传输信号,并且具有数据处理功能,由于微处理器的发展壮大,数据处理能力进一步提高,运算精度速度都大于最初的仪表装置,最后它还具有可编程操作能力和良好的人机对话能力。

#### (二) 智能仪器发展趋势

智能化仪表正向着微型化,嵌入式的发展方向发展,计算机技术,嵌入式技术和控制技术的大大的加速了智能化仪表的发展;另外,仪表操作更加人工智能化,人机界面更加简易友好,功能更加多样化,不仅能完成信号的检测还有存储报警等功能,现代智能化仪表有的还融合 ISP 和 WEB 技术,实现总线的传输,甚至实现仪器仪表系统的 Internet 接入。

### § 3-1 数据采集模块硬件设计

数据采集涉及到温度,辐射,雨量,风速等多种物理量,其中,温度和辐射是模拟信号,风速,雨量是数字信号,由于信号类型不同,造成采集电路的不同。从整体分析,采集器都是以处理器为核心,主要负责 CANopen 协议转换和 CAN 通讯功能,同时为以后信号采集系统的实现打下基础。外围电路包括看门狗电路,电源,信号采集电路,外部扩展 RAM,对参数进行采集存储处理,外部扩展 RS232,RS485,CAN 总线,将处理好的数据发送到主采集器。系统图如 3.1 所示。

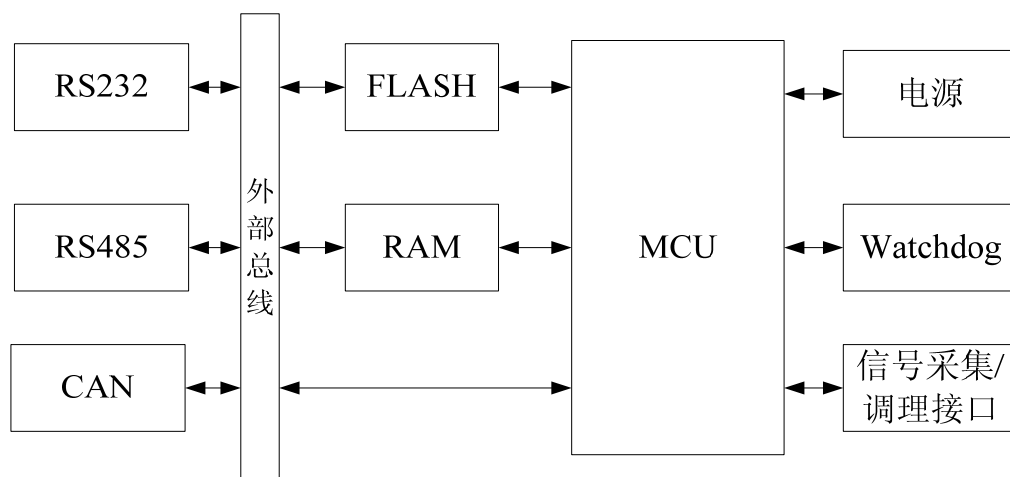


图 3.1 数据采集系统图

Fig3.1 Data Acquisition System Diagram

### 3-1-1 各气象参数传感器简介

#### 一、铂电阻 PT100

温度是科学技术中最基本的物理量之一，物理、化学、生物等学科都离不开温度，在气象监测和实际生活中，温度是表征对象和过程状态跟人们生活息息相关的最重要的参数之一。

常用的温度传感器为热电阻传感器，其可分为金属热电阻式和半导体热电阻式两大类，前者简称热电阻，后者简称热敏电阻。作为热电阻常用的材料有铂、铁、铜、镍等，它必须具有高电阻率、高温度系数、化学、物理性能稳定、良好的线性输出特性以及良好的工艺性等。常用的热电阻如 PT100, PT1000 等，当然所有的热电阻都在一定的测温范围内才能保证线性的输出特性。由于以上原因本文选取 PT100 作为温度传感器<sup>[26]</sup>。

铂热电阻是一种精确度高，灵敏度高的传感器，其线性温度阻值优于其他电阻式热传感器，性能稳定，可靠性高。正因为铂热电阻温度传感器精度高、可靠性强、稳定性好、寿命长，所以广泛应用于气象、汽车、家用电器、工业自动化测量和各种实验仪器仪表等领域。本系统是利用 PT100 铂电阻来检测各检测点的温度，PT100 的特性是很重要的。PT100 的稳定性很好，在 200℃ 时恒温状态下，工作 300 小时后，0℃ 时的误差为 0.008 欧姆(0.02℃)之内。将 PT 100 传感器放在冰水混合物中，同时使 PT100 通过 1 mA 电流，此时阻值增量:1 mA 时为 0.02 欧姆(0.05 ℃)。常用的电阻转换成温度的方法有三种：

查表法：由实验所得一数据表，将表中数据存放在单片机的 ROM 中用于查询；

一次线性方程法： $T = (R - R_0) * a$  ( $a = 2.5974$  ;  $R_0 = 100$ )；

三次方程法：T 为正时： $R = R_0 * (1 + a * T + b * T^2)$ ；T 为负时： $R = R_0 * (1 + a * T + b * T^2 + c * (T - 100) * T^3)$ ；  
( $a = 3.96847 \text{ e-}3$  ;  $b = -5.847 \text{ e-}7$  ;  $c = -4.22 \text{ e-}12$ )

三种方法中，第一种方法是实践经验所得的数据，所以第一种方法最为精确。第二种方法实现起来比较方便，但由于只有一次方的计算，所以在一定范围内误差较大，第三种方法是电阻与温度二次方的关系，比一次线性更精确同时实现起来也复杂些。最后温度采集系统中的程序考虑了编程难易和试验精度，选用了第二种方法----一次方程法<sup>[27]</sup>。同时最后本设计将这三种方法的精度做了比较，详见测试结果。

PT100 在实际使用时,有以下应用要点:

- 1) 选型应根据实际使用温度,决定铂电阻的测量范围、精度、尺寸及安装固定方式;
- 2) 允许流过的电流应小于 3mA。在进行电流源激励 PT100(特别是采用电桥的电路形式)时,应注意满足该条件,否则会造成 PT100 自热而影响测量准确度。一般激励电流采用 1mA,甚至更小;
- 3) 电路接入方式一般有两线制、三线制和四线制,针对不同的精度使用不同的接线方法,引出线示意图如图 3.2 所示。

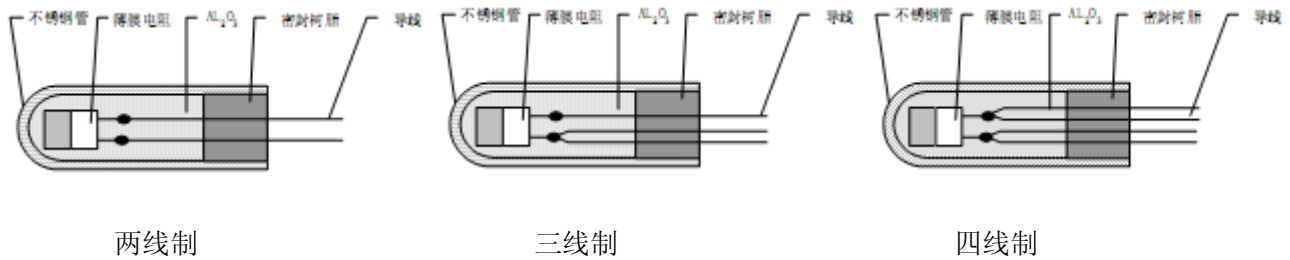


图 3.2 PT100 电路接入方式

Fig 3.2 PT100 Circuit access method

二线制时传感器电阻值与连接导线电阻值共同构成总的电阻值,所以导线电阻带来的附加误差会使实际测量值偏高,一般适用于低测量精度且引线较短的场合;三线制要求三根引线截面积和长度均相同,引线(正负线)电阻产生的影响才能相互抵消,工业中一般都采用三线制;四线制用在测量精度高且变化很小的场合,因为在这些场合下引线电阻可能引入明显误差,这时可利用其中的两条引线提供恒定电流,另两条引线提供未知电阻的电压降,四线制也是常用方式<sup>[28]</sup>。

## 二、三杯式风速传感器

包括信号线:输入信号类型:12V 直流电源,12V、GND 两根信号线。输出信号类型:1 路脉冲信号。输出形式:如果与风向共用电缆则选择 12 芯 RVVP 屏蔽电缆;如果风速传感器单独使用则使用 3 芯 RVVP 屏蔽电缆。电缆长度根据安装高度配备:10 米风杆配备 12.5 米以上电缆;1.5 米风杆配备 3 米以上电缆。其接线方式为:见下表 3.1:

表 3.1 风速传感器接线方式

Table 3.1 the wiring method of Wind speed sensor

序号	电缆引线功能	引线标示	采集器端子标示	采集器端子
1	风速 12V 电源	Vs	+12V	采集器 12V 电源输出
2	风速信号线	Cn	Cn	频率计数通道
3	传感器地	GND	GND	采集器地

接入采集器通道实际上为接入频率计数通道,风速传感器把风速信号转换为频率信号。

### 3-1-2 模拟信号采集硬件设计

本系统采用四线制热电阻测量方式进行测量,在此前的设计上使用单恒流源供电,使用放大器对信号进行放大,但是要制作高精度的、高稳定性的恒流源,成本较高。因为要保证测量的精度故必须对测量信号增加放大环节,而采集的数据对单片机的通信也需要隔离。考虑到这些问题,本系统采用 AD 公司生产的 AD7792 作为数据采集芯片。他有两个高精度的可编程恒流激励源,内置有可编程的仪表放大器,可以对不同的输入信号选择相对应的放大倍数,实现信号的匹配。他内置 16 位  $\Sigma \Delta$  型 ADC,采用 SPI 串行接口,容易实现光耦隔离,简化了电路。此芯片具有低电源、低噪声的特点,有三路差分模拟输入,可

以满足设计要求。信号接口电路设计如图 3.3。

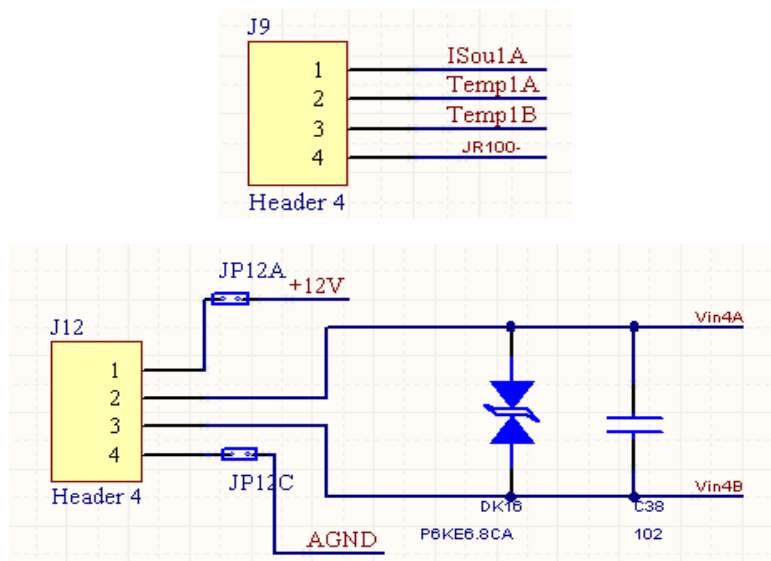


图 3.3 模拟量采集电路设计

Fig 3.3 Design of analog Circuits

由于本温度监控系统对温度的精确度要求比较高,所以没有采用 10 位精度的 AT90CAN128 里的内部模数转换器,而是采用了 AD7792 转换芯片,它是 3 通道、低功耗、16 位  $\Sigma$ - $\Delta$  型的逐次逼近式,内置片内仪表放大器和基准电压源模数转换器。该芯片包含一个精密低噪音,低漂移,内部带基准的绝对测量。如果比例测量重新获得则可以用外部参考。片上可编程励磁电流源可用来提供恒定电流。对照测量原理图,多路开关经过切换测量 AIN1(+)和 AIN1(-)之间的信号,测量值经过 ADC 得到数字信号,再通过 SPI 接口传送到单片机。

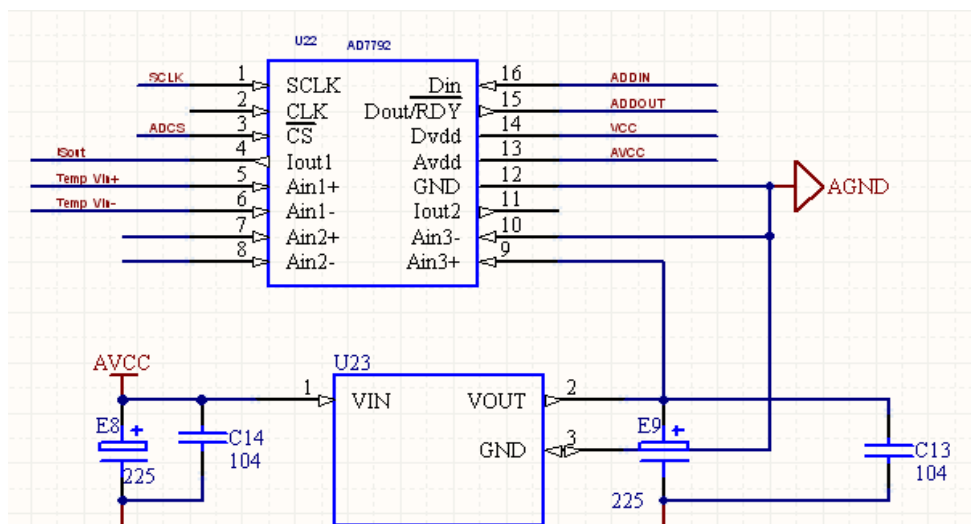


图 3.4 系统温度测量原理图

Fig 3.4 System schematic diagram of temperature measurement

系统温度测量原理如图 3.4 所示,其中 AIN1(+),AIN1(-)为热电阻差分测量的两端,激励源 ISout 给 AIN1(+),AIN1(-)路提供电源,电流流经热电阻 RTD,本设计 ISout=1mA,AIN1(+)和 AIN1(-)之间的差值即为热电阻的测量值。这样理论上就消除了导线电阻对测量的影响。AIN1(+),AIN1(-)为 ADC 外部参考电压的两个差分输入端。通过芯片 ADR381 提供外部参考电压 2.5V, A/D 转换的计算公式可以表示为

$ADresult = V / 2.5 * 65536$ 。其中  $V$  是被测电压值。

要满足 10 路温度测量、需加入一个分选系统，本系统采用了 6 个八选一的多路开关器件 MAX4617 和一个 74LS04 组成了开关阵列，实现对 10 个通道控制的功能，即选择 10 个铂电阻中任意一个进行测试，如图 3.5 所示。测量电路所测得的 PT 电阻传感器两端的电压输入 AD7792 进行 A/D 转换，而后输出至单片机进行运算。

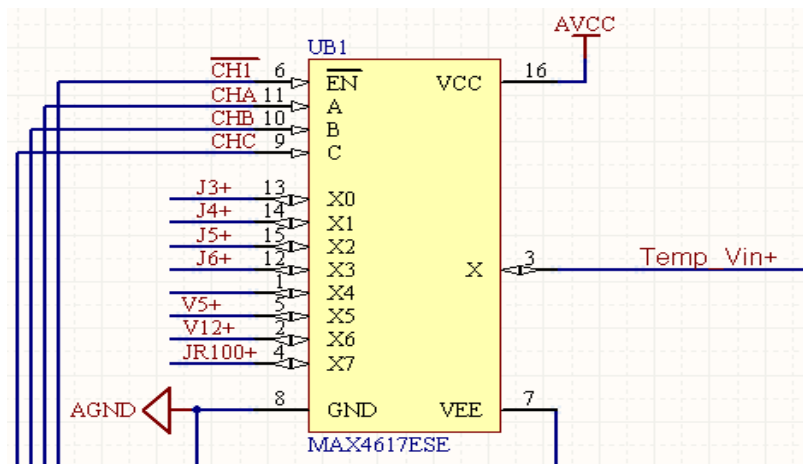


图 3.5 多路逻辑模拟开关电路图

Fig 3.5 Multi-channel analog switch logic circuit diagram

该 MAX461x 系列芯片是高速，低电压，CMOS 模拟集成电路配置为 8 通道复用器（MAX4617），两个 4 通道多路复用器（MAX4618），以及三个单刀（单刀双掷）开关（MAX4619）。这些 CMOS 器件需要不间断的 2V 至 5.5V 单电源供电才可以正常工作。漏电流在 25℃ 时只有 1 nA，在 85℃ 时只有 10 nA。如果使用 +5V 单电源供电，所有数字输入都将是 0.8V 至 2.4V 的逻辑阈值电压，以确保的 TTL/CMOS 的正确逻辑相容。由于其良好的低功耗性能，MAX461x 系列芯片被广泛的应用在由电池供电的设备，低电压数据采集系统，通讯线路等需要多路逻辑模拟开关的电气设备。多路模拟开关电路设计如图 3.5。

### 3-1-3 频率信号采集硬件设计

对于风速，雨量的信号采集，由于其传感器得到的信号是一个频率信号，对于采集电路就有了更高的要求，频率信号由于其敏感性，容易受到噪声，电磁等干扰影响，在设计采集电路时，我们充分考虑了频率信号的有效性，设计了光耦隔离，二极管保护，斯密特滤波等环节，也确保数据的有效性，电路图，如图 3.6。

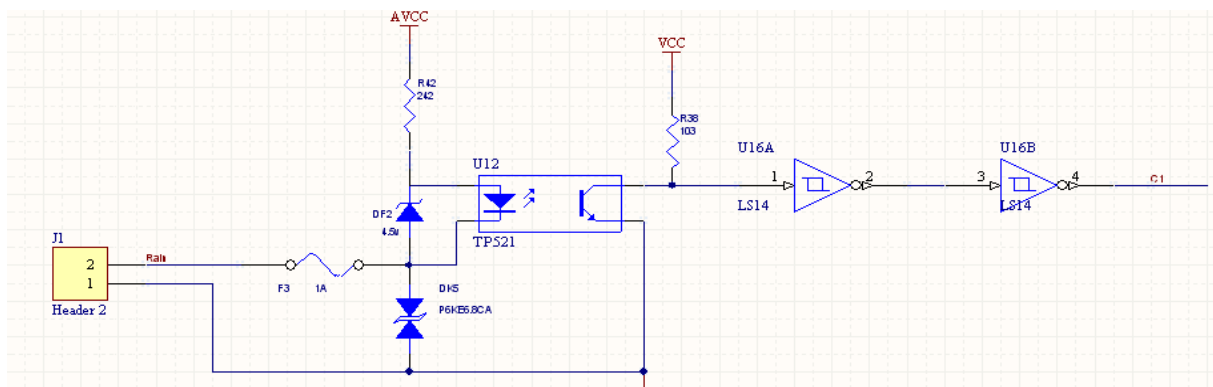


图 3.6 数字量采集电路图

Fig 3.6 Digital aquisition circuit

另外,频率信号的处理对单片机的设计提出了更高的要求。频率测量的准确性关系到系统设计的正确性。以单片机为核心的测频系统,测频速度较慢,无法满足高速、高精度的测频要求。采用 CPLD (复杂可编程逻辑电路)通过编程,在芯片内部实现高速、宽范围测频。结合单片机与 CPLD 器件的优点,用 AVR 单片机加 CPLD 体系设计信号测频。

测频原理如图 3.7。通过预置待测频率信号脉冲数目  $N_x$ ,测出记数在  $N_x$  脉冲数目下标准频率 ( $f_s$ ) 的脉冲数目  $N_s$ ,则有如下公式成立:  $N_x/f_x = N_s/f_s$ 。所以,待测频信号频率为:  $f_x = f_s \times N_x/N_s$ 。

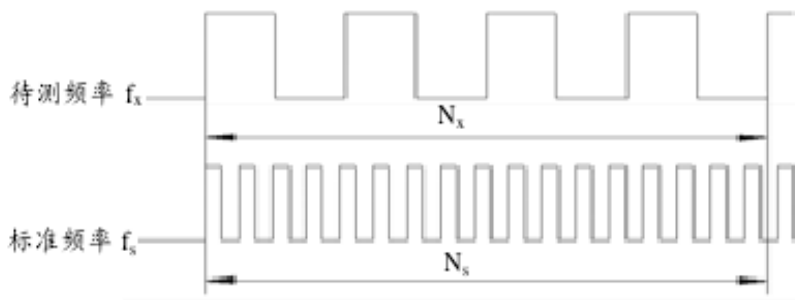


图 3.7 测频原理

Fig 3.7 Frequency measurement principle

对于 CPLD 器件的开发是在 EDA 工具的支持下完成的,各种 EDA 工具一般都提供多种设计输入方法,主要有:原理图输入方法,硬件描述语言(主要有 VHDL 和 Verilog)输入方法,有限状态机设计输入方法,简称 FSM 输入方法<sup>[29]</sup>。

硬件描述语言输入方法有三种主要的建模描述风格:算法描述(Algorithmic):即用顺序语句来描述输入输出对应关系的算法,这种描述方式往往与实现硬件无关。数据流描述(Dataflow):即用一组并行语句来描述数据在寄存器之间流动的建模方式。这种方式与实际硬件存在部分对应关系。结构描述风格(Structural):这是一种与硬件结构最近的描述方式,其本质应归于采用硬件原理图的输入方法。

原理图输入方法是设计者在设计底层直接利用 EDA 工具提供的标准库元件进行设计,设计者可以充分利用自己的硬件设计经验,采用巧妙的方法,最大限度的考虑 CPLD 器件资源的利用率进行设计。因此要获得最高的 CPLD 器件资源利用,最好采用原理图的设计输入方法,本设计在这方面做了一些实践尝试<sup>[30]</sup>。

测量频率的方法通常有两种:直接测频法和间接测频法。本设计采用直接测频法来设计数字频率计,对频率在 100Hz-100MHz 范围的脉冲信号进行直接测量,根据测频原理,最大误差发生在低频段,其误差小于等于 1%。本设计的数字频率的实现选用的是 ALTERA 公司的 CPLD 器件 EPM7064,EDA 开发工具采用的是 MAXPLUSII 开发平台。

## § 3-2 数据处理模块硬件设计

### 3-2-1 单片机AT90CAN128简介

AT90CAN128 是一种基于 AVR 增强型 RISC 结构的低功耗 CMOS 8 位单片机。通过执行以一个单时钟周期的高效指令,AT90CAN128 每 MHz 能达 1MIPS,这就可使系统设计人员将功率损耗与处理速度优化。

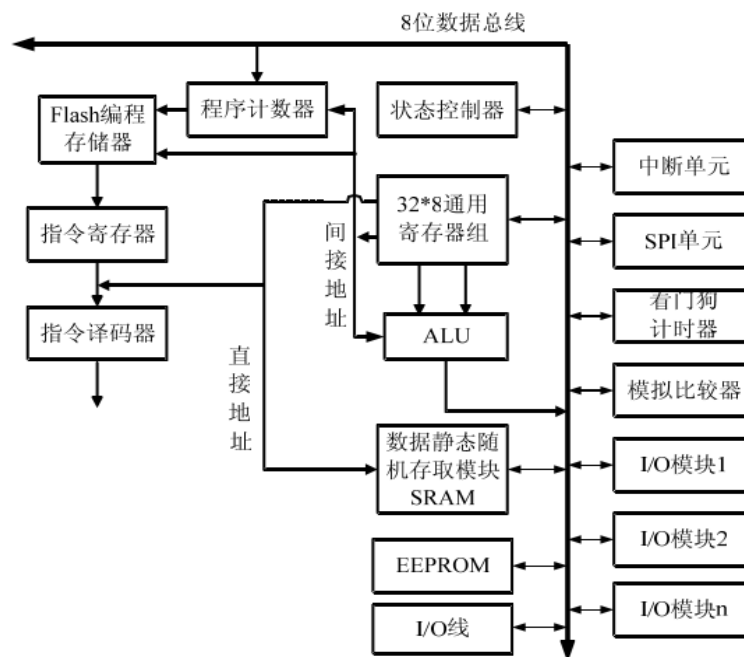


图 3.8 AT90CAN128 系统图

Fig 3.8 AT90CAN128 system diagram

该器件是采用 ATMEL 高密度非易失存储器技术制造的，其在片上 ISP Flash 允许程序存储器通过一个常规的非易失存储器编程器或一个运行在 AVR 核上的引导程序，经一个 SPI 串口在系统重新编程。引导程序能够采用任何接口将应用程序下载到 Flash 存储器中。在应用 Flash 区更新时，在引导 Flash 区中的软件将继续运行，提供真正的读写操作。通过将 8 位 RISC CPU 与在系统自编程 Flash 融合在单一芯片上，AT90CAN128 便成为一个高效的单片机，可以为很多嵌入式控制应用提供一种极为灵活且成本有效的解决方案。AT90CAN128 系统图如图 3.8。

AVR 内核具有丰富的指令集并带有 32 个通用目的工作寄存器。32 个寄存器全都直接连到运算逻辑单元(ALU)，允许两个独立的寄存器以在一个时钟周期执行单个指令的方式访问。其结果就是，采用这种结构在速度上比常规的 RISC 单片机快 10 倍的同时代码效率更高<sup>[31]</sup>。

AT90CAN128 AVR 可由成套的程序和系统开发工具支持，包括：仿真调试器(JTAG ICE mkII + AVR Studio)、C 编译器(GCC Win AVR 或 IAR EWA AVR)、开发板(DVK90CAN1)等。

AT90CAN128 芯片特性：

高性能、低功耗 8 位单片机

先进的 RISC 结构：133 高效指令，大部分单时钟周期执行，32 x 8 通用目的工作寄存器，外设控制寄存器，完全动态操作，在 16 MHz 时达 16 MIPS 通过量，片上循环乘法器。

非易失程序和数据存储器：128K 字节在系统可重复编程 Flash，耐久性，可选引导代码区，拥有独立的锁定位，能够选择的引导大小，1K Bytes, 2K Bytes, 4K Bytes or 8K Bytes，通过片上引导程序进行在系统编程(CAN, UART)，真正的边读边写操作；4K 字节 EEPROM，4K 字节内部 SRAM，多达 64K 字节的可选外部存储器空间，由程序锁定软件安全。

JTAG (IEEE 1149.1 标准兼容) 接口：依据 JTAG 标准，边界扫描能力；编程 Flash (硬件 ISP)，EEPROM，锁定&保险位，扩展的片上调试支持。

CAN 控制器 2.0A & 2.0B：15 个分别带有标识符标签和掩码的全报文对象；传输、接收、自动回

复和帧缓冲接收模式；在 8 MHz 时，每秒 1Mbits 最大转换率；时间戳, TTC & Listening 模式(Spying or Autobaud)。

### 3-2-2 AT90CAN128外围电路系统设计

#### 1、电源电路设计

电源系统是整个系统正常工作的基础，它的设计主要考虑的因素有：输入电压、电流；输出电压、电流、转换效率、成本等。

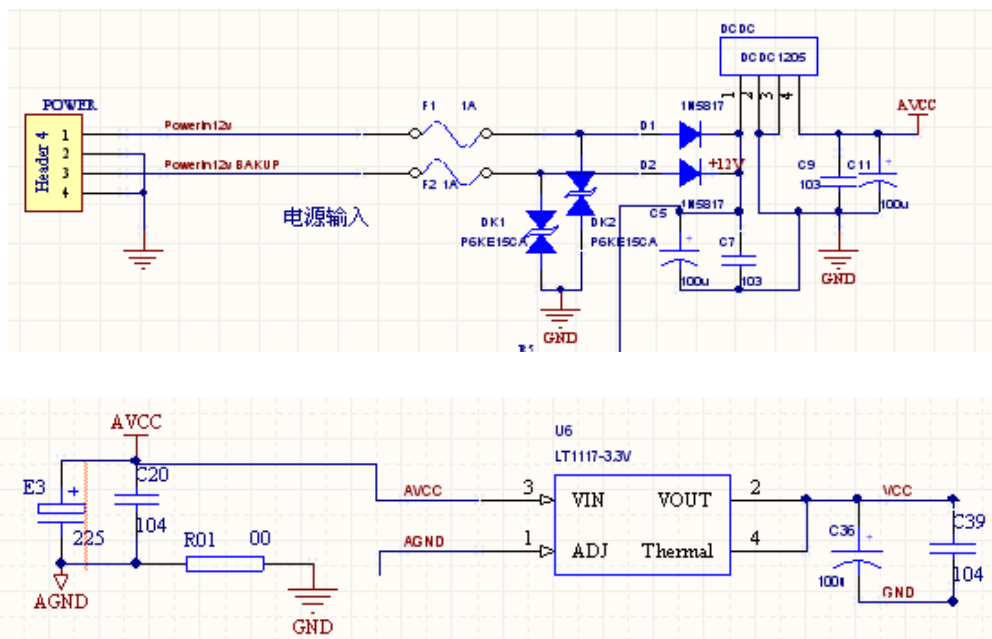


图 3.9 电源部分电路设计图

Fig 3.9 Circuit design of the power part

本系统中主要应用到四种电源：系统供电电源(12V)，外围电路电源(5V)，CAN 总线隔离电源(5V)，单片机核心供电电源(3.3V)，ADC 电源(2.5V)。其中 12V 电源作为整个系统供电电源，需要将它转换为各种等级的电压，本系统中应用 B1205S 将 12V 转换为 5V，如图 3.9 所示，B1205S 是金升阳科技有限公司生产的电源，为定电压输入隔离单输出电源，特别适用于小电流隔离和 DC 电压变换，输入输出隔离达到了 1000V DC。其输出电压的精度在 1%以内。

然后本系统应用 LT1117-3.3 将 5V 转换为 3.3V。ADR381 将 5V 转换成 2.5V。B0505 将外围电路电源和 CAN 总线 5V 电源隔离。所有电源部分都连接了电解电容，有效地达到了保护电源的作用。

#### 2、时钟与复位电路设计

系统时钟设计方面：AT90CAN128 芯片可以接外部晶振或时钟源，本系统中采用 12MHz 外部晶振。同时，为了消除干扰信号对时钟的影响，外围设计了滤波电路，各加一个 15pF 的电容，消除高频干扰。具体的系统时钟电路如图 3.10 所示。



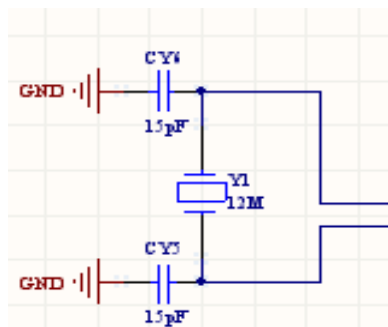


图 3.10 晶振设计

Fig 3.10 Crystal design

此外分采集器还要求有实时钟的功能，因为所有气象参数的采集都是要和时间对应起来的，这也为数据的存储保存。时间设置使用的是 SD2068 芯片，SD2068 是一种具有标准 IIC 接口的实时时钟芯片，SCL，SDA 为时钟信号和数据线，通过这两个连接，使得实时钟和单片机成功连接。电路图如图 3.11。

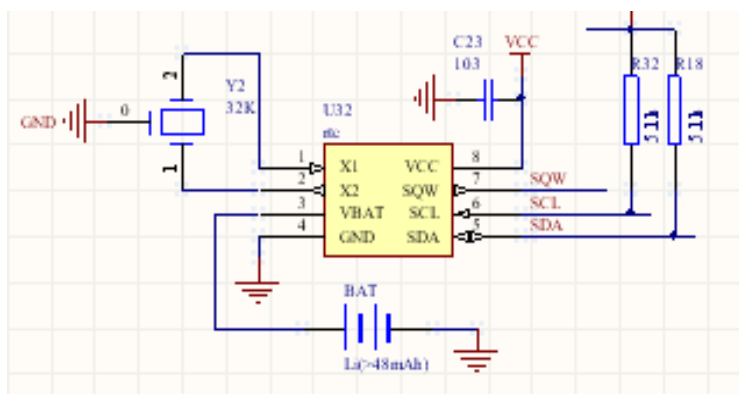


图 3.11 实时钟设计

Fig 3.11 RTC design

单片机工作时可能会由于各种外界或者内部原因发生错误，为了避免一些意外情况对电路造成损坏，在单片机工作在某些不正常状态时，需要对它进行复位。AT90CAN128 有 5 个复位源。上电复位：当电源电压低于上电复位门限时，MCU 复位；看门狗复位：当看门狗使能并且看门狗定时器超时时复位发生；JTAG AVR 复位：当复位寄存器为 1 时 MCU 复位；外部复位：当引脚 RESET 上的低电平持续时间大于最小脉冲宽度时 MCU 复位；掉电检测复位：当掉电检测复位功能使能，电源电压低于掉电检测复位门限时 MCU 复位。

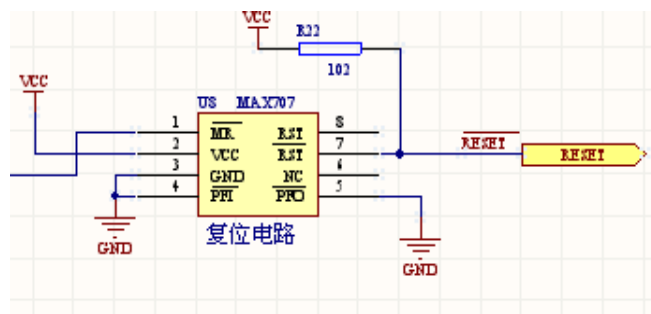


图 3.12 复位电路

Fig 3.12 Reset circuit

当单片机复位引脚使能时，如果检测到此引脚接收到一个有效低电平时，单片机就会进行复位，本

设计采用 SPR706 这个电源监视芯片，他可以监视电压超过 3.3V 时产生低电平，即为单片机的复位信号。本设计复位电路如图 3.12 所示。

### 3、JTAG 接口设计

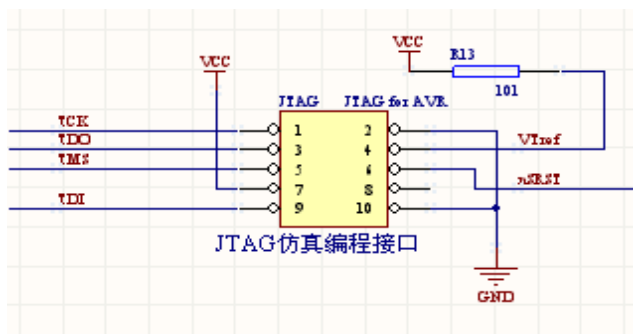


图 3.13 JTAG 仿真

Fig 3.13 JTAG simulation

JTAG 调试接口电路不是系统运行必需的，但在系统设计阶段，需要不断的改进和调试，所以调试和测试接口的设计也必不可少。通过 JTAG 接口进行编程需要控制 4 个 JTAG 专用引脚：TCK、TMS、TDI 及 TDO。RESET 及时钟引脚不用控制。如图 3.13 所示。

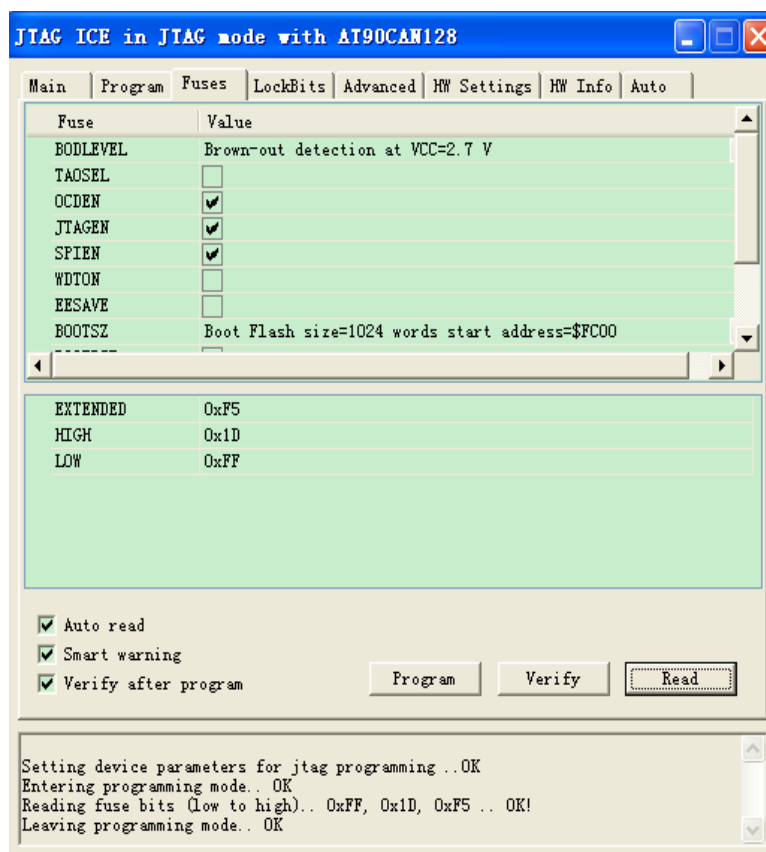


图 3.14 熔丝位的设定

Fig 3.14 Design of the Fuse Bit

使用 JTAG 接口之前首先要编程 JTAGEN 熔丝位。芯片出厂时这个熔丝位缺省为编程状态。此外，MCUCSR 寄存器的 JTD 位必须清零。如果 JTD 已被置 1，则可以将外部 RESET 强制拉低。经过两个时钟周期之后 JTD 位就清零了。JTAG 引脚即可用于编程功能。因此，JTAG 引脚除了可以用作通用 I/O

之外还可以用于 ISP 功能。但要注意，当 JTAG 用于边界扫描或片内调试时，不可以使用这个技术。在这种情况下，JTAG 引脚只能用作上述用途。熔丝位的设定如图 3.14 所示。

### § 3-3 数据发送模块硬件设计

#### 3-3-1 RS232串口发送电路设计

AT90CAN128 具有符合工业标准的异步串行口 UART0 和 UART1 来提供两个独立的异步串行 I/O 端口。UART0 和 UART1 的发送器和接收器包含 16 个字节的 FIFO 数据缓冲区和移位寄存器，内置波特率发生器。

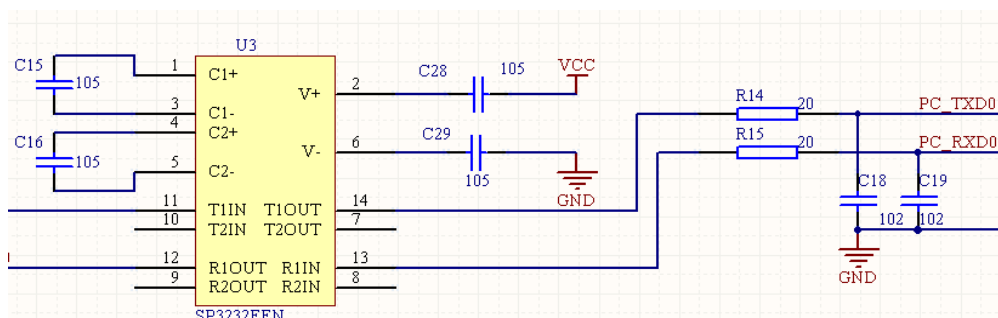


图 3.15 串口发送电路图

Fig 3.15 Circuit diagram of sending Serial port

要发送的数据，首先被写入数据缓冲区 FIFO，拷贝到发送移位寄存器，然后它从数据输出端口 TXD0 依次被移位输出。被接收的数据也同样从数据接收端口 RXD0 移位输入到移位寄存器。电路设计如图 3.15 所示。RS-232 标准采用的接口是 9 芯或 25 芯的 D 型插头，要完成最基本的串行通信功能，实际上本系统中只需要 TXD、RXD 和 GND 即可。

#### 3-3-2 CAN总线发送电路设计

本设计一个很重要的特点就是 CAN 总线的设计，系统采集到的数据必须能够接入 CAN 总线局域网，因此关键点就是 CAN 总线设计。通常，一个完整的 CAN 节点应该包括以下三个部分：微控制器 (MCU)、CAN 控制器、CAN 收发器。CAN 节点的各个组成部分中，微控制器负责完成 CAN 控制器和相关寄存器的初始化，进行与 CAN 控制器的数据传递，并编写预定的程序进行采集，计算，存储，发送，处理；CAN 控制器主要负责将数据以 CAN 报文的形式传递，并进行系统的诊断、测试以及处理 CAN 总线上的错误等，完成总线在数据链路层上的配置；CAN 收发器是 CAN 控制器和 CAN 总线之间的接口，完成物理电平的转换，也就是完成物理层的配置。

目前基于 CAN 总线的设计方法主要有两种方式：一种是用单片机来控制 CAN 控制器，另一种就是单片机内置 CAN 总线控制器。内置 CAN 控制器的单片机也非常丰富，比如 ATMEL 系列中的 AT90CAN128 单片机等，内部都包含了 CAN 控制的功能。

本文中设计的采集功能比较多，进行软件设计时采用了嵌入式操作系统，而 8 位嵌入式微处理器是最适合进行操作系统移植的，因此本设计的单片机锁定在 8 位的 AT90CAN128 处理器。性价比高是我们设计本数据采集系统的出发点，因此在这里采用广泛应用的 ATMEL 公司生产的内部含有 CAN 控制器的嵌入式微处理器 AT90CAN128，作为本次设计的核心部件，AT90CAN128 不仅担负起主控制器作

用，同时与网络中的其它节点实现数据传输与交换。

AT90CAN128 内部集成的高速 CAN 控制器支持具有很多新特性的 CAN 2.0B 协议，其特性如下：

- (1) 15 个独立的具有优先级的消息对象
- (2) 位速率可达 1Mbits/s
- (3) 具有监听模式
- (4) 时间触发计数器（用于同步模式）

CAN 总线接口由高性能总线收发器 PCA82C250,高速光电耦合器 HCPL0601 组成。

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 总线的差动发送和接收功能。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<sup>[32]</sup>。

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) 防护电池与地之间发生短路；
- (3) 具有抗瞬间干扰，保护总线的能力；
- (4) 低功耗待机；
- (5) 斜率控制，抗射频干扰；
- (6) 网络中的某一个节点掉电不会影响整个网络的工作；
- (7) 差分发送与差分接收，抗电磁干扰(EMI)能力强。

由于 CAN 总线大多应用于工业现场，环境比较恶劣，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，因此为了保护 CAN 接口电路，需要对 CAN 总线通讯节点实施电气保护。在本系统中采用 HCPL-0601 来实现这一功能。HCPL-0601 是一种高速逻辑门光耦合器，为 SO-8 封装，在电气特性上等同于标准直插器件 6N137，传输速率可达 10Mb,输入电流仅需要 5mA。如图 3.16 所示。

最后在电路设计时还进行了以下几点布置：

1、在与物理总线进行连接之前，由于在信号源端阻抗低于传输线特征阻抗的条件下，输出信号会在负载端发生反射，为了避免信号波形因此发生变化需要在 CAN 接口最外端差分线路中间加一个 120 欧的终端匹配电阻。

2、为了防止过大电流损坏总线收发器，在 PCA82C250 和 HCPL-0601 之间加一个限流电阻。

3、CANH,CANL 与地之间加瞬变二极管和自恢复保险丝，可以消除总线与地之间出现的瞬变干扰。

综上所述，CAN 接口电路设计如图 3.16。

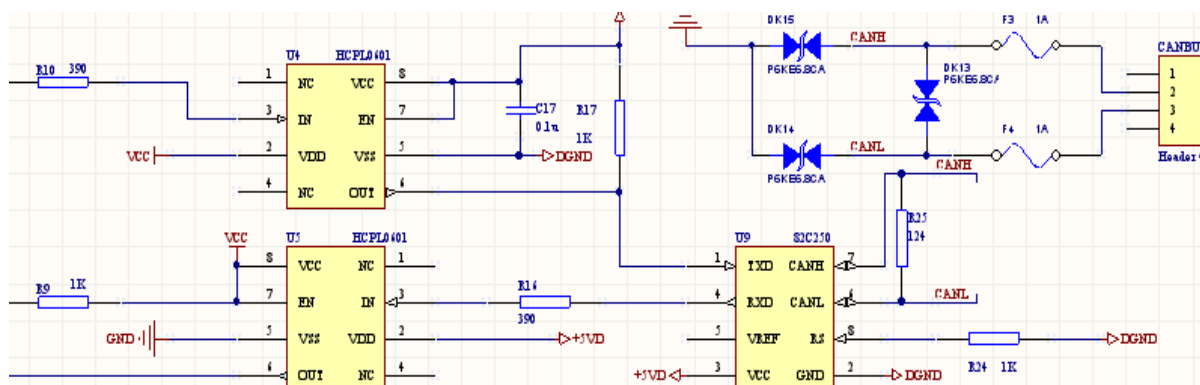


图 3.16 CAN 总线电路图

Fig 3.16 Main circuit structure of CAN bus

### § 3-4 系统硬件抗干扰措施

硬件抗干扰可靠性设计应将重点放在供电系统和信号传输通道。硬件抗干扰设计的好可将绝大部分干扰拒之门外，使系统的稳定性大幅度提高。电源抗干扰措施：电源在向系统供电时，电源耦合的干扰对电路的影响非常大，给系统提供优质稳定的电源是保证系统可靠性能的关键之一。本设计中在每个集成电路的电源与地之间加一个去耦电容，可滤除电源在电路板上耦合的噪音。信道传输抗干扰措施：信号传输通道包括系统的前向通道和后向通道，对信号传输通道的可靠性设计本文从利用隔离器及滤波器方面着手。前向通道是模拟信号，在本设计中在输入通道加上滤波器可有效减小干扰。后向通道是数字信号，本文采用的是 B0505S 电源隔离模块，它可以将微处理器与 CAN 总线收发器从电源上隔离开来。另外，在电源部分和 CAN 总线发送部分，还增加了瞬变二极管和 1A 自恢复保险丝的设置，有效的防止了电压，电流过大对内部电路的破坏。本设计中采取了如下几种印刷电路板抗干扰措施：

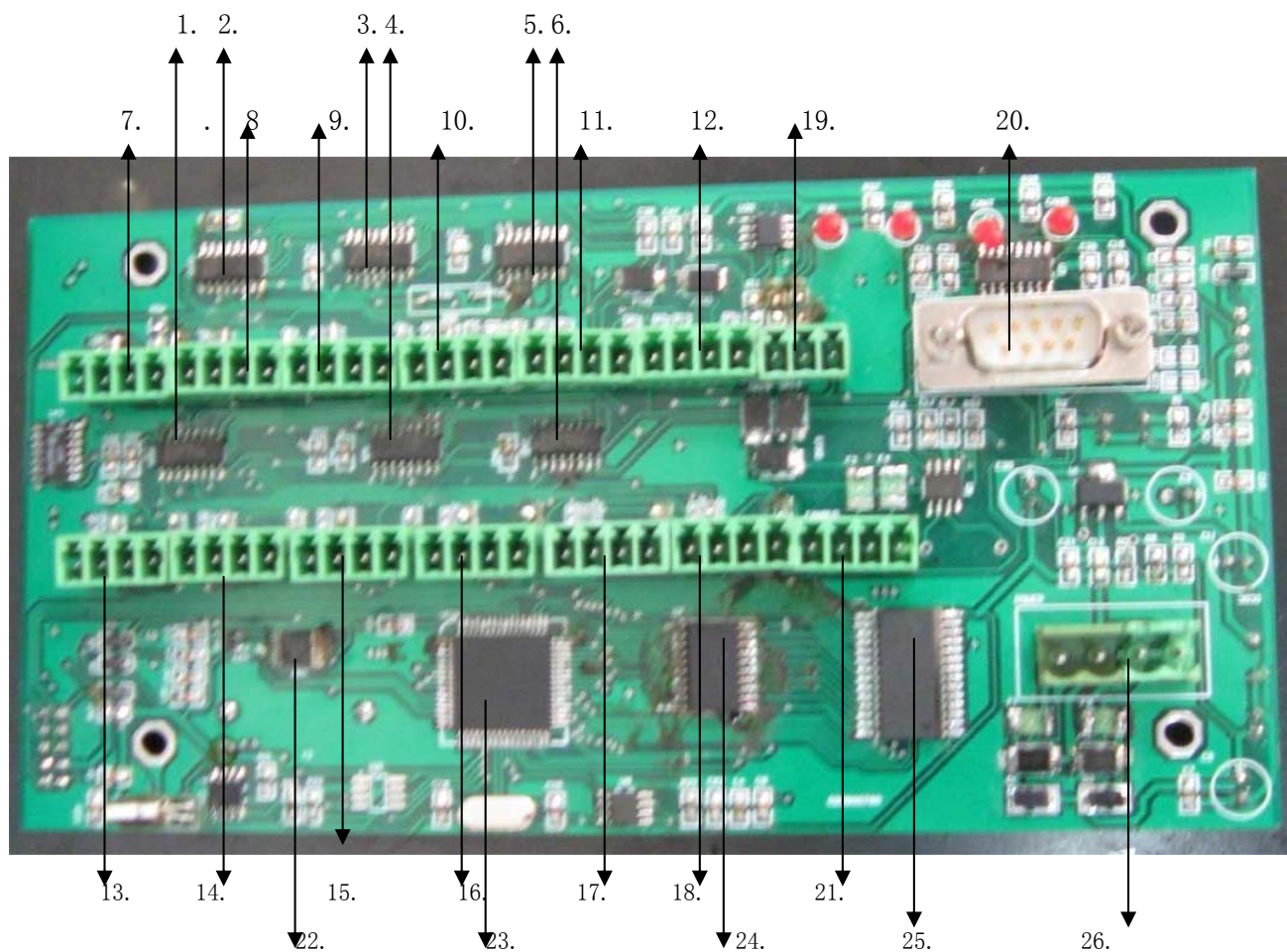
1. 电源及地线布线：在本设计的印制电路板中，电源线根据电流的大小进行了适当的加宽，并使电源线和地线在走向上与数据线一致。在印刷电路板上通常应该将数字地和模拟地分开布线，并在电路板的接线处汇于一点。

2. 注意保护部分的设计，电源和地都接上电解电容，耐压值和电容值选取得当，有效的保护电源，CAN 总线部分是敏感环节，发送和接受数据线路中均加上瞬变二极管和保险丝，有效的保护 CAN 总线的安全。

3. 时钟布线：将时钟电路布置在一个接地良好的位置，使时钟尽量靠近微处理器，并保持引线尽可能短，同时将石英晶体振荡器外壳接地。为进一步增强时钟电路的可靠性，本设计中用地线把时钟区圈起隔离起来，并在晶体振荡器下面加大接地的面积，避免布其它信号线<sup>[33]</sup>。

4. 印刷电路板综合布局：元件布局的原则是将模拟电路部分与数字电路部分分开、将高速电路与低速电路分开、将大功率电路与小信号电路分开、将噪声元件与非噪声元件分开，同时尽量缩短元件之间的引线，使相互间的干扰耦合达到最小。采集器电路板示意图如图 3.17 所示。





1. 2. 3. 4. 5. 6. ——6 个 MAX4617 芯片  
 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. ——12 个 A/D 转换通道  
 19. ——485 总线接口  
 20. ——串口接口  
 21. ——CAN 总线接口  
 22. ——AD7792 芯片  
 23. ——单片机  
 24. ——锁存器  
 25. ——RAM 外部芯片  
 26. ——电源接口

图 3.17 采集器电路板示意图

Fig 3.17 PCB of data acquisition unit

### § 3-5 本章小结

本章主要介绍以 AT90CAN128 处理器为核心的数据采集处理系统的硬件原理设计,还包括 CAN 节点硬件电路组成,数据采集模块的设计以及系统其他模块的设计,最后是硬件的抗干扰措施。

## 第四章 气象分采集器的软件驱动设计

气象分采集器的软件系统包括嵌入式操作系统的选择和配置,以及其在硬件上的移植,作为操作系统,他的合理选择直接关系到系统的性能,他也是应用软件编写的基础。而分采集器要完成的任务,包括信号检测和处理,AD 转换,滤波程序,CAN 总线发送程序,CANopen 协议的实现这些都是通过应用软件实现的。本论文介绍了相关操作系统的实现和算法,有关程序流程图也一并给出。

### § 4-1 选择Nut/OS的理由及其内核分析

#### 4-1-1 嵌入式操作系统的概念

嵌入式操作系统是嵌入式应用软件的基础和开发平台,它是一段嵌入在目标代码中的软件。用户的其它应用程序都建立在操作系统之上。其中实时操作系统将 CPU 时间、中断、I/O 定时器等硬件资源包装起来,为用户提供标准的应用编程接口(API),并根据各个任务的优先级,在不同任务之间合理分配系统资源。实时操作系统的特点是,如果逻辑和时序出现偏差将会引起严重后果的系统。有两种类型的实时操作系统:软实时操作系统和硬实时操作系统。

实时操作系统也称为实时内核或 RTOS。通过将应用程序分割成若干独立的线程,RTOS 的应用使得应用程序的设计过程大为简化,设计和扩展变得容易,不需要大的改动就可以增加新的功能。如果应用项目对额外的需求可以承受,应该考虑使用实时内核。这些额外的需求是:内核的价格,额外的 ROM/RAM 开销,2-4 个百分点的 CPU 额外负担。

著名的嵌入式、实时操作操作系统有 Wing River System 公司的 VxWorks, Psos, Mentor Graphics 公司的 VRTX, Microsoft 公司的 Window CE, Microware 公司的 OS-9,3COM 公司的 PalmOS。Nut/OS 是 Ether nut 项目组针对 Ethernet 开发板设计、开发的一套实时、多任务的嵌入式操作系统,其原代码是完全公开、免费的。

#### 4-1-2 Nut/OS实时操作系统简介

Nut/OS 是一个比较小的嵌入式实时系统,经过调查研究,将 Nut/OS 移植到 AVR 系列单片机中的使用已有一定的理论基础,本设计在此基础上进一步设计,完成其他应用程序的编写和调试。

##### 一、内核结构

内核负责对各个任务进行管理,或者说为每个任务分配 CPU 时间,并且负责任务之间的通讯和调度。内核提供的基本服务是任务切换。实时内核可以使应用系统的设计大大简化,他允许将应用分成若干个任务,由实时内核来管理它们。但是,内核本身也增加了应用程序的额外负荷,每个任务要有自己的栈空间,这样造成内存的耗费。内核通过提供必不可少的系统服务,诸如信号量管理,邮箱、消息队列、延时等,使得 CPU 获得更为有效的利用。

大多数实时操作系统均提供一个内核,工作量很大,因为具体的 I/O 函数需要用户自行编写。Nut/OS 是一个非常有特色的开源实时操作系统,提供了 I/O 管理功能,包含了大多数应用所需的 I/O 接口 API 函数,如文件管理系统,网络驱动,串行通信驱动,声音驱动和显示驱动,已经或即将提供 CAN,USB,

无线网卡, 蓝牙以及利用 CF 卡或 IDE 接口外扩大容量的存储器等应用的源代码, 并把这些应用作为 I/O 扩展的一部分。这使得用户可以节省在 I/O 接口的开发时间, 有利于保证编程的速度和质量<sup>[34]</sup>。

## 二、任务和任务的管理

任务通常是一个无限的循环, 如程序清单 1 所示。返回参数必须定义成 void。任务的管理包括在用户的应用程序中建立任务、删除任务、改变任务的优先级、挂起和在程序中恢复任务, 以及获得有关任务的信息。

程序清单 1 无限循环任务的示意代码

```
THREAD (threadfin,arg)          (1)
{
  NutThreadSetPriority(Priority);  (2)
  For(;;){/*用户代码*/}
}
```

THREAD 是个宏定义:

```
#define THREAD (threadfin,arg)\
void threadfin(void *arg)_attribute__((noreturn));\
void threadfin(void *arg)
```

相当于运行 void threadfin(void \*arg)函数

当任务完成以后, 任务可以自我删除, 如程序清单 2 所示。注意任务代码并没有真的删除了, Nut/OS 只是简单地不再执行这个任务, 这个任务的代码当然也不会再运行, 如果任务调用了 NutThreadExit(), 这个任务是不会返回什么内容的。

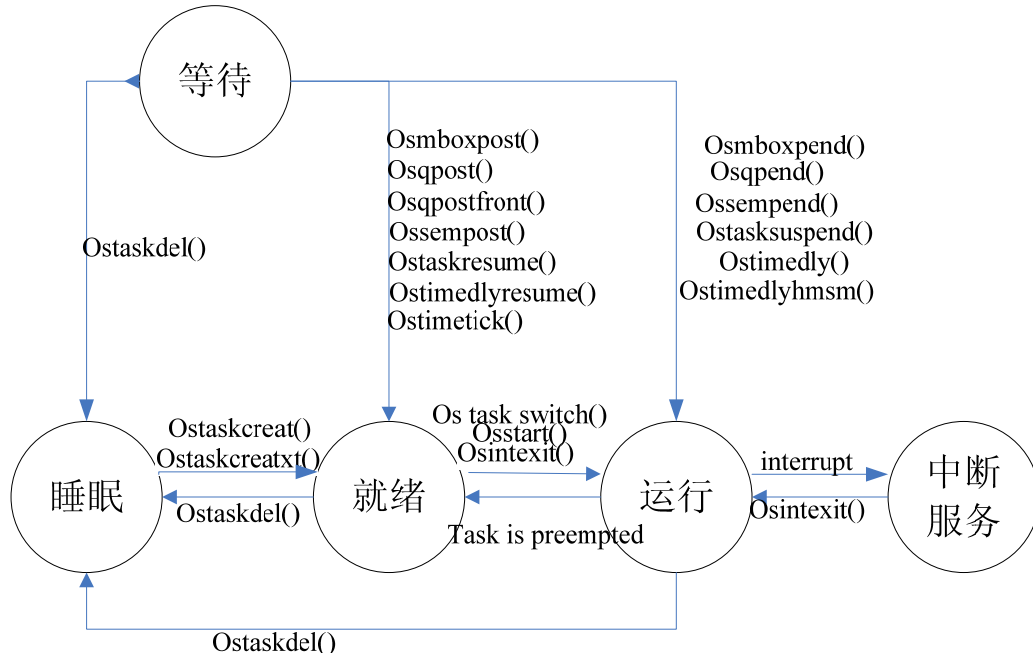


图 4.1 任务状态转换图

Fig 4.1 Task state transition diagram

程序清单 2 会自我删除任务的示意代码:

```
THREAD (threadfin,arg)
{
  NutThreadSetPriority(Priority);
  NutThreadExit();
}
```



```
/*用户代码*/
NutThreadExit();
}
```

函数 `NutThreadSetPriority()` 设置任务的优先级，必须给每个任务赋以优先级，优先级可以从 0 到 254。优先级号越低，任务的优先级越高。Nut/OS 总是再优先级最高的任务中等待进入就绪状态并运行。任务的状态一共包括有五种，分别是：等待、睡眠、就绪、运行和中断服务。任务也一定处于这五种状态中的某一种状态。图 4.1 就是任务的状态转换图。

任务的管理是通过任务控制块来进行的。任务控制块是一个数据结构，当任务的 CPU 使用权被剥夺时该任务的状态将通过 Nut/OS 来保存。当任务重新得到 CPU 使用权时，任务控制块能确保任务从当时被中断的那一处丝毫不差地继续执行。在系统初始化过程中，第一个创建的任务是空闲任务，它反过来又创建主任务 `main()`，根据 Nut/OS 各个组件被应用的情况，系统将会创建其它一些任务，应用程序可以调用：

```
HANDLE NutThreadCreate(u_char *name,void (*fn)(void*),void*arg,size_t stackSize);
```

当 `NutThreadCreate()` 成功返回时，将返回一个句柄，指向一个新任务控制块数据结构。

Nut/OS 总是运行就绪任务中优先级最高的那一个，当系统在运行时，有更高优先级的任务插入就绪任务队列中，系统就调用函数 `NutThreadSwitch()` 来进行任务切换。

中断服务子程序就像普通的 C 函数编写，ICCAVR 中使用预处理命令 `#pragma interrupt_handle` 来定义一个函数为中断处理函数，来定义一个函数为中断处理函数，Nut/OS 已经做了很多方便用户使用的工作。

操作对应中断服务寄存器，`NutRegisterIrqHandler(irq,handler,arg)`；操作对应中断服务寄存器，允许该类型中断服务。函数 `NutRegisterIrqHandler()` 是登记中断向量。`irq` 是需要服务的类型，如 `Time()` 中断、`Uart()` 接收等等，`handler` 是中断服务子程序入口地址，`arg` 是传递给中断服务子程序的参数<sup>[35]</sup>。

### 三、时钟管理

Nut/OS 要求用户提供定时中断来实现延时与超时控制等功能。这个定时中断叫做时钟节拍，它应该每秒发生 10 至 1000 次。时钟节拍的频率是由用户的应用程序决定的。与时钟节拍有关的系统服务有：精确延时函数 `NutDelay()`、任务延时函数 `NutSleep()`，创建异步定时器 `NutTimerStart()`，停止指定的定时器 `NutTimerStop()`，异步停止指定定时器 `NutTimerStopAsync()` 等。

## § 4-2 Nut/OS在AT90CAN128微处理器上的移植

有以下三种方式可以配置 Nut/OS<sup>[36]</sup>：

使用 `nutconf` 配置文件，这是一个在 Win32 和 Linux 平台上的 GUI 工具，推荐使用这个工具，这个软件的源代码保存在 `C:\ethernut\nut\tools\nutconf` 文件夹中。使用 `configure` 配置文件，这是在 Linux 环境下的配置工具。使用 `configure.exe` 配置文件，这是在 DOS 环境下的工具，现在该配置方法已经不被推荐使用，因为配置的功能比较少。配置软件的主要目的是生成用户定义的 `UserConf.mk` 文件和复制并生成包含编译器所需全部信息的 `Makerules` 和 `Makedefs` 两类文件，这些文件用文本的形式保存用户和编译器所需的信息，用户也可以手工编译这些文件。在文件设置完成后，配置软件执行相应的配置命令

(“make clean” 和 “make install”)。

AVR 单片机最初设计时的目的之一是更适合采用高级语言开发。目前 AVR 单片机高级语言开发工具主要有 IAR C、WINAVR、ICCAVR、CodeVision、BASCOM-AVR (BASIC 语言)。首先, IAR 是与 AVR 内核协同开发的, 很多对 AVR 更适合 C 语言开发方面的改进是伴随 IAR 开发过程的, 它也是 ATMEL 公司推荐的 C 语言编译器, 但它的价格让人难以接受, 达到上万元人民币。ICCAVR 是国内 AVR 主要推广单位代理的 C 编译器, 它价格低廉, 界面友好, 把很多烦琐的项目管理和编译设置隐藏了起来, 为此它受部分开发人员的欢迎。CodeVision 也是个很不错的 C 编译器, 目前在国内也有一定数量的用户。WinAVR 是个免费的 AVR 开发程序集, 它以著名的自由软件 GCC 为 C/C++编译器。本设计之所以选用 WinAVR, 是因为它是一组开放源代码的程序集, 也是目前最好的自由软件之一。WinAVR/GCC 使用一个叫 Makefile 的文件, 存放这些参数。在 WinAVR 上也有一个叫 mfile 的应用程序去处理这个 Makefile 文件。编译 WinAVR 的 Nut/OS 函数库, 选择 avr-gcc 平台, 然后只需要给定编译目录, 安装目录即可, 如图 4.2 所示。

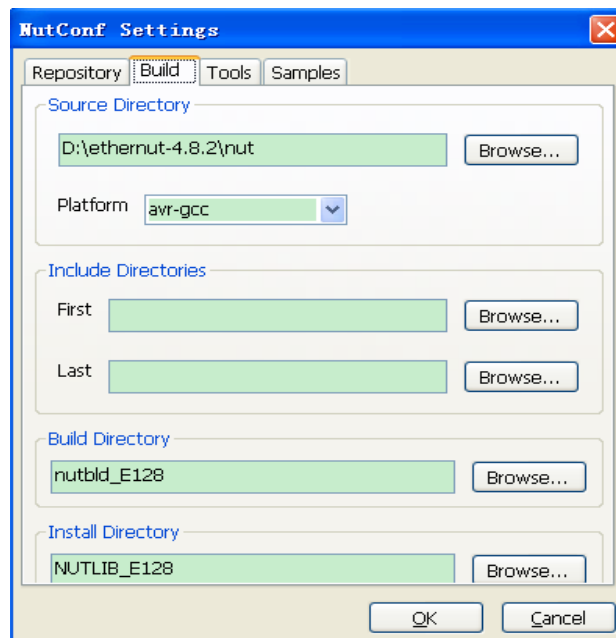


图 4.2 编译 WinAVR 的 Nut/OS 函数库

Fig 4.2 Nut/OS function library compiled by WinAVR

### § 4-3 基于Nut/OS的数据采集软件设计

根据硬件电路, 系统可以划分为 4 大模块: 模拟信号检测及处理模块, 频率信号检测及处理模块, 串口输出模块, 以及 CAN 通信模块。由于 Nut/OS 多线程操作系统的特点, 软件部分建立了

```
NutThreadCreate("AD_CHANGE", AD_CHANGE, 0, 256);
```

```
NutThreadCreate("UART", UART, 0, 256);
```

```
NutThreadCreate("RUN_WATCHDOG", RUN_WATCHDOG, 0, 256);
```

三个线程, 分别负责 AD 转换, 串口发送, 喂狗程序, CAN 通信模块直接放在主函数中<sup>[37,38]</sup>

AD 转换测量程序的主要功能是通过输入点的数据结构进行操作,完成信号采样和温度值的计算。具体步骤如下:

第一步,判断该输入端是什么信号。如果输入端接受温度元件 (TYPE=1),输入端接受毫伏元件 (TYPE=2),输入端接受频率信号 (TYPE=3)。

第二步,信号采样。将数据结构中的控制码转换成对应的温度采集模块上和精密电阻上,即可完成输入端选择、恒流源开关的控制、放大倍数设置等工作,然后启动 A/D 转换器进行转换,并读取 A/D 转换结果。

第三步,计算热电阻或电势的数值。通过判别数据结构中的型号 (TYPE) 值,确定测温元件的型号,如果是热电阻,则根据两个恒流源  $I_0=I_1=1\text{mA}$ ,计算出电阻值。如果是毫伏信号,采集信号及是电压值。

第四步,根据热电阻或热电势的数值,根据电阻和温度之间的公式得到温度的测量值。

#### 4-3-1 主界面程序的设计

串口线程设计了一个主界面,他不但可以将每一路的 AD 转换结果和运算结果显示出来,还可以进行时间的设置和读取。主程序流程图如图 4.3。

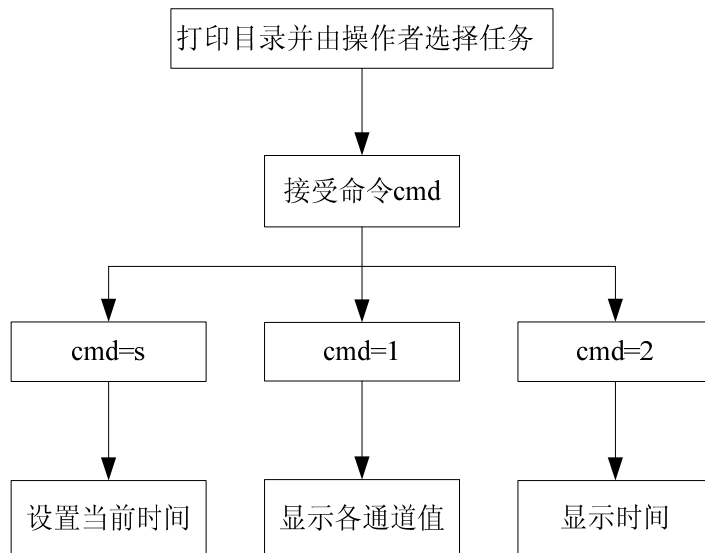


图 4.3 主程序流程图

Fig 4.3 Main structure of program

为了方便对系统进行调试,本系统设计了串口电路,串口的通讯程序流程图如图 4.4 所示。

首先对串口进行初始化,然后发送数据到发送缓冲区,经由 TXD 口发送到总线上,接收数据则先将数据储存到接收缓冲区,然后主机读取数据。

时间设置使用的是 SD2068 芯片,SD2068 是一种具有标准 IIC 接口的实时时钟芯片,CPU 可使用该接口通过 5 位地址寻址来读写片内 32 字节寄存器的数据(包括时间寄存器、报警寄存器、控制寄存器、通用 SRAM 寄存器)。通过两个函数 SetLocalTime(); DisplayLocalTime();分别进行时间的设置和读取。

#### 4-3-2 模拟信号检测及处理软件实现

本文中 AD7792 的 A/D 转换器是 16 位逐次逼近式的。A/D 转换器由软件来启动,在需要的时候才会启动 AD 转换器,这样可以节省功率。初始化程序 ad\_ini()部分代码如下:

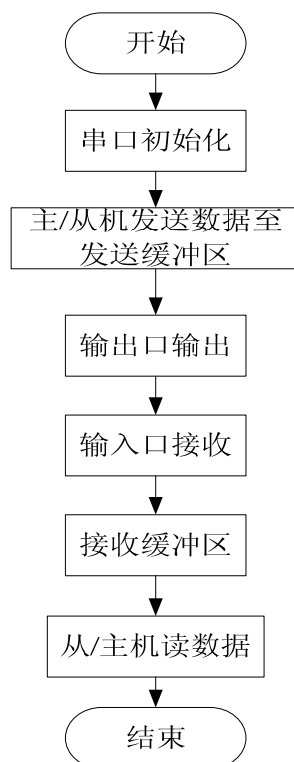


图 4.4 串口程序流程图

Fig 4.4 Serial port program diagram

```

ad7792_write_config(0x13,0x10); //无偏置电压，无燃烧电流，无极性，增益为 1，外部参考电压 BUF
ad7792_write_IO(0x03);          // 恒流源打开 1mA
ad7792_write_mode(0x80, 0x07); // 零点自校准 内部 64K 时钟 更新速率 33.3Hz
while(!PINB3);                  // 等待转换结束
ad7792_write_mode(0xA0, 0x07); // 量程自校准 内部 64K 时钟 更新速率为 33.3HZ
while(!PINB3);                  // 等待转换结束
ad7792_write_config(0x33,0x10); // 无偏置电压，有燃烧电流，无极性，增益为 8，外部参考电压 BUF
ad7792_write_mode(0x00, 0x07); // 连续转换模式 内部 64K 时钟 更新速率为 33.3hz
    
```

A/D 数据采集任务首先调用底层函数 `ad_change(unsigned char ch)` 对系统第 `ch` 路 A/D 采样通道进行 A/D 转换，取连续 5 次转换结果，去掉最大最小值后取均值，然后将所得到的数据发送到存储器中，等待进一步处理，最后再延时一段时间<sup>[39]</sup>。

所得到的 A/D 转换值，有两种处理方法：

第一种，如果检测的是热电阻上的电压，那么下一步的任务是将它转换成温度信号。首先我们知道，AD7792 这个芯片提供电流源，通过设置有关寄存器的参数，使它输出一个 1mA 的恒定电流，电路设计中还串接了一个 100 欧姆精密电阻，在每次循环中也采集精密电阻上的电压，在恒流的电路里，

$$\frac{U_{100}}{U_{ch}} = \frac{R_{100}}{R_{ch}}$$

( $U_{100}$ :100 欧姆精密电阻两端电压； $U_{ch}$ ：各路热电阻两端电压； $R_{100}=100\Omega \pm 0.01\%$ ； $R_{ch}$ ：各路热电阻值)

应用的电阻温度转换公式为一次公式： $T = (R - 100) * 2.5974$ ；我们知道在程序设计过程中，应

该避免浮点运算，并且国家气象局有关规定对于温度的要求是保留两位有效数字，CAN 总线输出为扩大 100 倍后的整数值，所以将上面公式进行变换得到：

$$T_{\text{out}} = \frac{(R_{\text{ch}} - 100) * 25974}{100} = \left(\frac{R_{\text{ch}}}{R_{100}} - 1\right) * 25974 = \left(\frac{U_{\text{ch}}}{U_{100}} - 1\right) * 25974 = \frac{(U_{\text{ch}} - U_{100}) * 25974}{U_{100}}$$

对应程序中 TYPE=1,流程图为图 4.5。

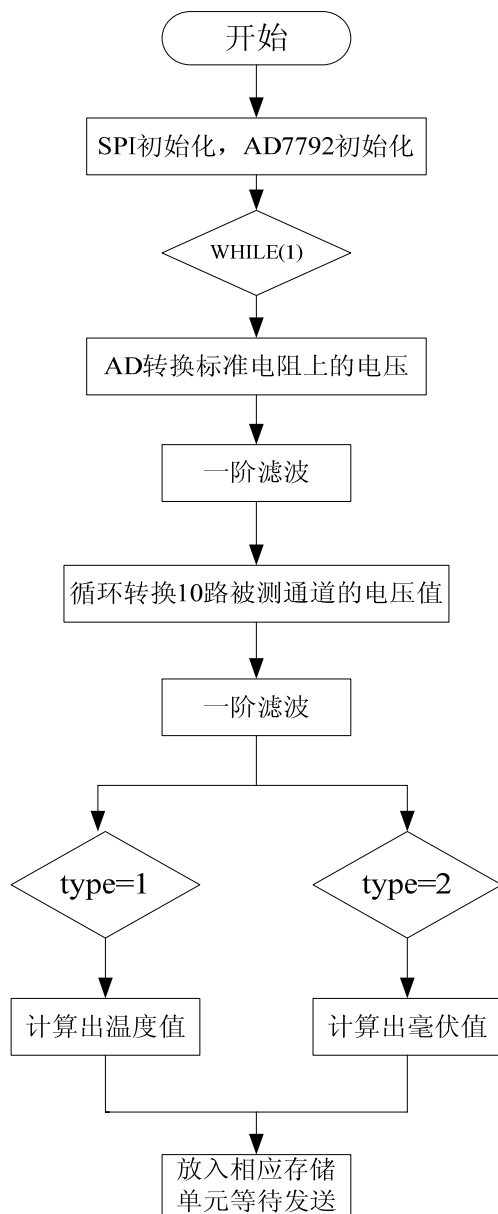


图 4.5 AD 转换部分流程图

Fig 4.5 Flow chart of AD conversion

第二种，如果检测的是毫伏信号值，那么下一步，只要将 A/D 转换结果计算成电压信号即可。

ad7792\_write\_config(0x6a,0x10);// 有偏置电压，有燃烧电流，无极性，增益为 4，外部参考电压 BUF  
ad7792\_write\_mode(0x00,0x07);// 连续转换模式 内部 64K 时钟 更新速率为 33.3Hz

由于，AD7792 是 16 为芯片，外加参考电压是 2500mV，故电压值计算公式为： $U = \text{ADresult} * 2500 / 65535$ 。对应程序中 TYPE=2。AD 转换部分流程图如图 4.5。

模拟量输入信号经 A/D 转换后，它常常因为控制现场的瞬时干扰而产生较大的波动。滤波器是一

种能使有用频率信号通过而同时抑制（或大为衰减）无用频率信号电子装置，可分为模拟滤波器和数字滤波器。而数字滤波则是采用软件算法实现滤波的。常采用的滤波方法有：平均值滤波、一阶惯性滤波、中间值滤波等方法。一阶滤波，又叫一阶惯性滤波，或一阶滤波，是使用软件编程实现普通硬件 RC 低通滤波器的功能。一阶滤波的算法公式为： $Y(n)=\alpha X(n)+(1-\alpha)Y(n-1)$ 式中： $\alpha$ =滤波系数； $X(n)$ =本次采样值； $Y(n-1)$ =上次滤波输出值； $Y(n)$ =本次滤波输出值。一阶滤波法采用本次采样值与上次滤波输出值进行加权，得到有效滤波值，使得输出对输入有反馈作用。

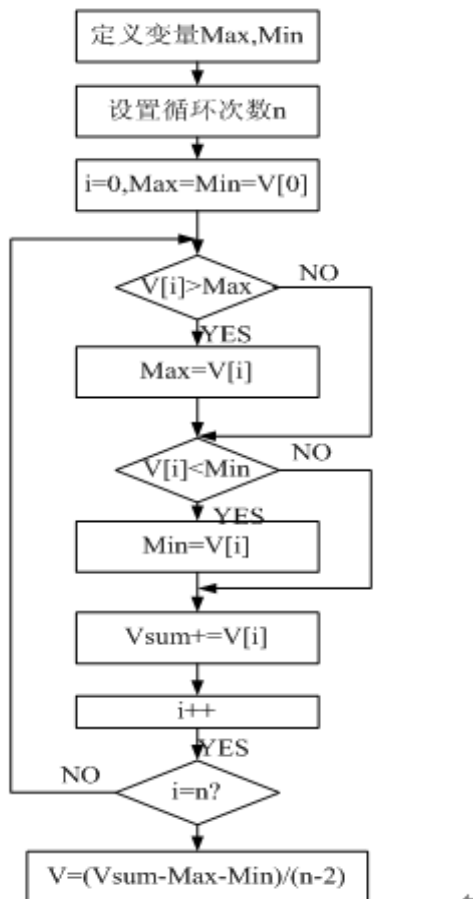


图 4.6 去极值平均滤波流程图

Fig 4.6 Flow chart of the average filter

在本系统中采用的是去极值均值滤波和一阶滤波两种方法。去极值均值滤波，可将因明显干扰或粗大误差使采样值远离其实际值的干扰容易地剔除，不参与平均值计算，从而使平均滤波的输出值更接近真实值。以去极值平均滤波为例，程序流程图如图 4.6 所示。算法原理如下：对于温度信号对应的电压采样值，连续采样  $n$  次，将其累加求和，同时找出其中最大值和最小值，再从累加和中减去最大值和最小值，按  $n-2$  个采样值求平均，即有效采样值<sup>[40]</sup>。

#### 4-3-3 频率信号检测及处理软件实现

对于风速雨量等数字量信号的采集，在硬件设计部分运用 CPLD 实现检测，单片机扩展接口连接 CPLD，下面的语言实现了，单片机对 CPLD 对应地址的读取，将地址中的数据作为每路数据的高低八位进行存储，例如：

```

#define ext_CNT0L (*(volatile unsigned char *)0x8000) //雨量低八位对应地址 0x8000
#define ext_CNT0H (*(volatile unsigned char *)0x8001) //雨量高八位对应地址 0x8000
  
```

同理，用这种方法对其他几路数字量采集数据进行读取。

```
#define ext_CNTSTATUS (*(volatile unsigned char *)0x8010)
#define ext_NODEID (*(volatile unsigned char *)0x8100)
#define ext_WRCH00 (*(volatile unsigned char *)0x8200)
#define ext_WRCH01 (*(volatile unsigned char *)0x8201)
#define ext_PORT3 (*(volatile unsigned char *)0x8300)
#define ext_CNTOVS (*(volatile unsigned char *)0x8010)
#define ext_CNTCLR (*(volatile unsigned char *)0x8012)
```

定义好接口地址后，单片机就能直接读取相应地址 CPLD 的数据了，实现对频率信号的应用和处理，减小了单片机的开支。

## § 4-4 CANopen驱动程序设计

所谓的驱动程序是指提供外部调用的一系列接口函数，用户可以使用这些接口函数实现底层硬件的各种功能。对微处理器来说，CAN 控制器完全是基于事件触发的，即 CAN 总线控制器会在本身状态发生改变时，会将状态变化的结果告诉处理器，因此微处理器处理 CAN 总线时，可以采用中断的方式。对我们用户来说，不需要关心驱动代码是如何对 CAN 模块进行操作的，我们只需要调用驱动程序的接口，来实现数据的接收和发送即可<sup>[41,42]</sup>。

### 1、节点初始化

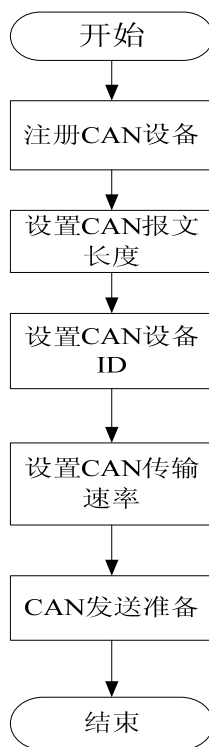


图 4.7 初始化流程图

Fig 4.7 Initial diagram

节点初始化主要包括初始化 CAN 控制器硬件，包括单片机的内部寄存器、CAN 控制器寄存器的设置等；以及对 CANopen 协议中的通讯相关参数，包括对象字典、设备 ID、报文长度、PDO 通讯参数、SDO 通讯参数等的设置。初始化流程如图 4.7 所示。

## 2、CAN 报文基本通讯的实现

CAN 报文的基本通讯包括发送数据和接收数据两部分<sup>[43,44]</sup>。发送函数：将待发送的数据打包成符合 CAN 协议的帧格式后，写入发送缓冲区，并自动发送。图 4.8 为发送子程序流程图。在写发送缓冲区之前必须检查 CAN 设备的 ID 是否跟设定值符合，只有当符合相应 ID 时候才能发送数据。启动发送成功后，调用 CAN\_TxFrame(&DEV\_CAN, &canFrame)函数，将数据缓冲区里的数据发送出去。

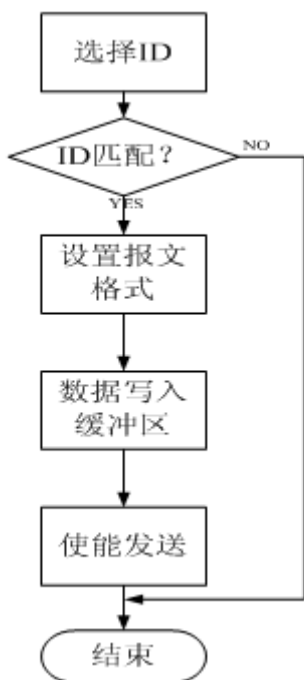


图 4.8 发送子程序流程图

Fig 4.8 Subprogram of sending

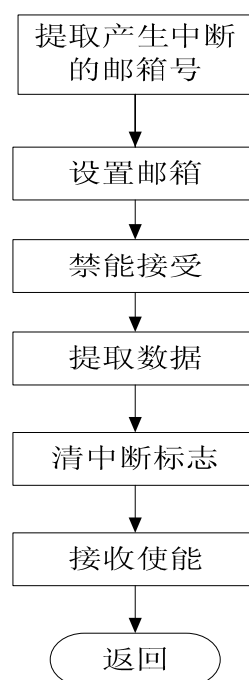


图 4.9 接受子程序流程图

Fig 4.9 Subprogram of receiving

接收函数：接收数据可采用查询方式或中断方式。如图 4.9。在初始化之后，CAN 总线上一直在发 ID=0X80 的远程帧，作为心跳报文，每一个分采集器在 CAN 总线上为一个子设备，在它收到 8 个心跳报文后，才可以相应发出一条数据报文。CAN\_TryRxFrame(&DEV\_CAN, &canFrame)是接受数据的函数，当这个函数的返回值为 0 时，表示分采集器接受数据成功，计数单位 i，当计数到 8 时，准备发送数据。

## 3 .canopen 协议栈的实现

本系统设计在应用层遵循 CANopen 协议，以便与其他带有 CANopen 接口的设备兼容，但是考虑到 CANopen 协议内容丰富，针对本系统的功能，并不需要完全实现协议，因此本系统只应用到 CANopen 协议的部分内容，总的来说有以下部分组成：通讯参数的初始化，PDO,SDO,NMT 报文的组建与解析，心跳报文的接受，数据报文的发送。从节点上电，完成初始化之后，进入循环发送。

分采集器实现 CANopen 的从站协议。每个分采集器均参照 CiA DS-401 通用 IO 模块子协议，作为 CANopen 中的一个 IO 模块。分采集器在同步信号和时间戳的控制下运行，把采样瞬时值通过 PDO 发送给主采集器，并提供 SDO 服务，主采集器可以通过 SDO 查询到分采集器的监控数据。分



采集器实现实时时钟，且由主采集器通过时间戳服务每分钟进行对时。分采集器在规定的时间点产生时间事件，这些事件可触发相应的 PDO 的发送。

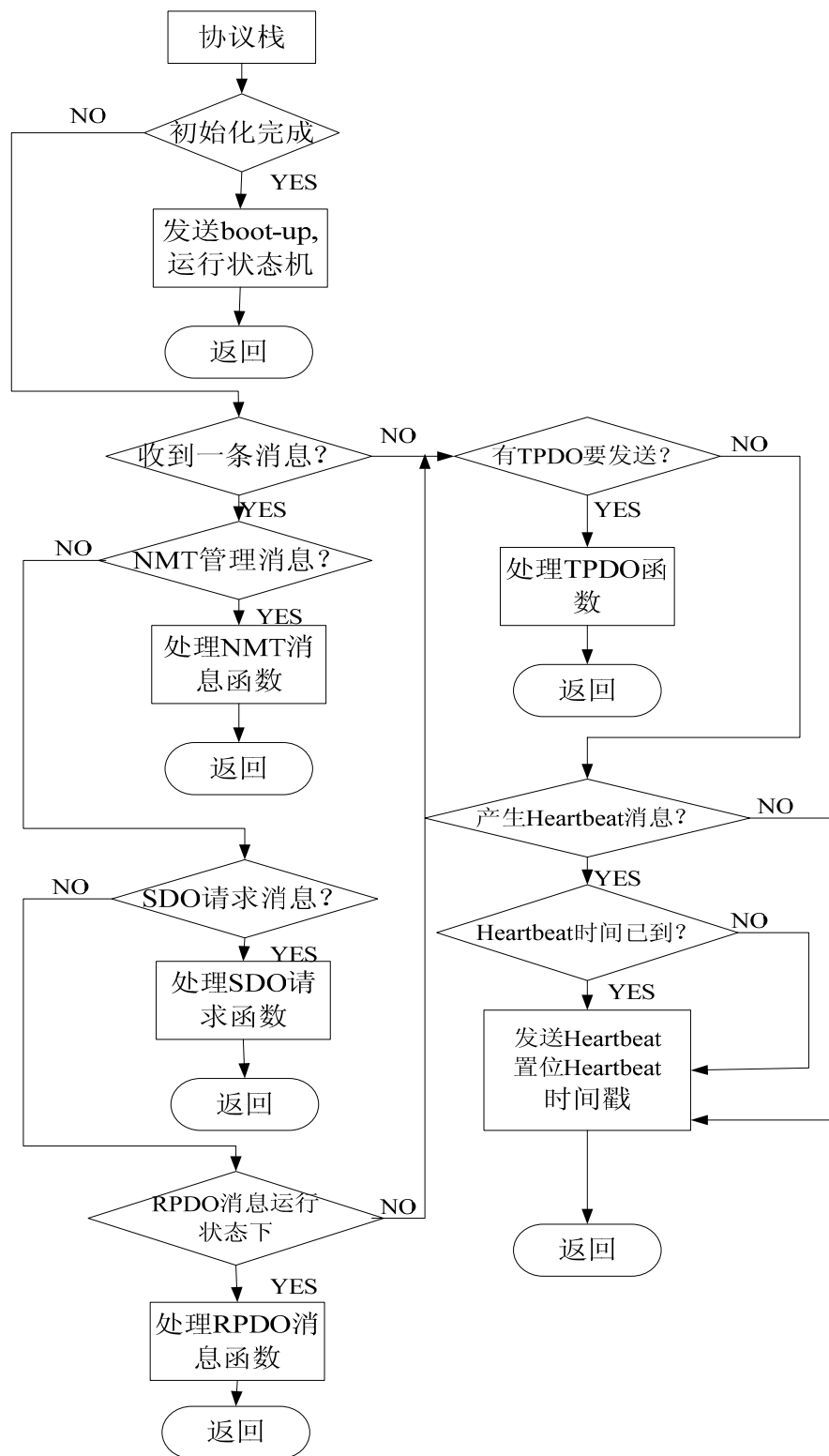


图 4.10 CANopen 协议栈流程图

Fig 4.10 CANopen stack diagram

分采集器定义以下时间事件：

250ms 事件。当时间的毫秒值为 250 的倍数时，产生 250ms 事件。

2s 事件。当时间为整秒且秒值为 2 的倍数时，产生 2s 事件。

10s 事件。当时间为整秒且秒值为 10 的倍数时，产生 10s 事件。

15s 事件。当时间为整秒且秒值为 15 的倍数时，产生 15s 事件。

1min 事件。当整分时，产生 1min 事件。

1hr 事件。当整点时，产生 1hr 事件。

不要求分采集器实现所有的时间事件，可以根据需要实现相应的时间事件。等待中断信号的到来，中断发生后，进行中断的分析处理，当中断源为 CAN 收发时，进入 CANopen 协议栈的处理。CANopen 协议栈流程图如图 4.10。

协议栈包含 5 大模块：NMT 消息处理，SDO 请求消息处理，RPDO 消息处理，TPDO 消息处理，产生 Heartbeat 消息。NMT 消息的处理：NMT 消息由主节点发出，迫使从节点进行状态转换，从节点收到 NMT 消息并做如图 4.11 所示工作。

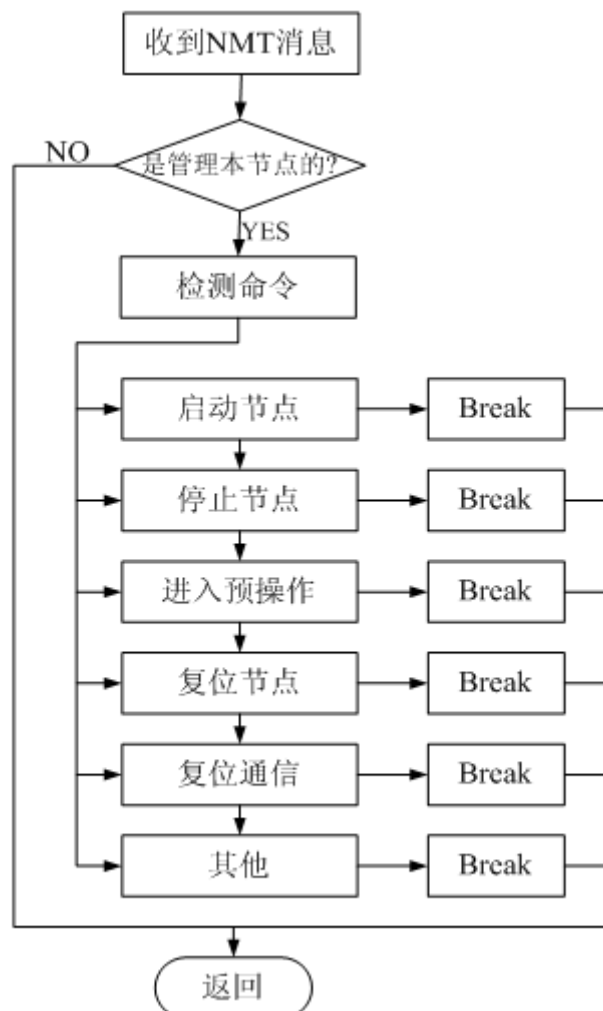


图 4.11 NMT 消息的处理流程图

Fig 4.11 NMT message processing diagram

地温分采集器设备信息通信参数定义如表 4.1<sup>[45]</sup>。

表 4.1 地温分采集器设备信息通信参数定义

Table 4.1 the definition of geothermal sub-collection device parameters of information and communication

| 对象索引 | 子索引 | 对象名称        | R/W | 值                         | 说明                      |
|------|-----|-------------|-----|---------------------------|-------------------------|
| 1000 | 0   | 设备类型        | R   | 0x00040191                | CiA DS-401, 模拟输入模块      |
| 1001 | 0   | 错误寄存器       | R   |                           | 按 CANopen 规范            |
| 1002 | 0   |             |     |                           |                         |
| 1003 | 0   |             |     |                           |                         |
| 1005 | 0   | 同步信号 COB-ID | R   | 0x00000080L               | 同步信号, COB-ID 为 0x80。    |
| 1006 | 0   | 同步信号周期      | R   | 250000L                   | 同步信号周期为 250ms           |
| 1007 | 0   | 同步窗口长度      | R   | 0                         | 0 表示不使用                 |
| 1008 | 0   | 设备名称        | C   | “AWS SOIL<br>TEMPERATURE” | 地温分采集器名称                |
| 1009 | 0   | 硬件版本        | C   | “V1.0.0”                  | 主采集器硬件版本                |
| 100A | 0   | 软件版本        | C   | “V1.0.0”                  | 主采集器软件版本                |
| 1012 | 0   | 时间戳 COB-ID  | R   | 0x80000100L               | 可接收时间戳, COB-ID 为 0x100。 |
| 1016 |     | 心跳节点监视对象    |     |                           |                         |
| 1016 | 0   | 监视的节点数      | R   | 1                         | 要监视的分采集器数量              |
| 1016 | 1   | 不需要监视       | R   | 0x00000000L               | 不需要监视。                  |
| 1017 | 0   | 心跳周期        | R   | 5000                      | 心跳帧发送周期 5s              |
| 1018 |     | 设备标识对象      |     |                           | 设备标识对象                  |
| 1018 | 0   | 标识的条目数量     | C   | 4                         | 标识的条目数量                 |
| 1018 | 1   | 厂商标识符       | C   |                           | 32 位二进制数。               |
| 1018 | 2   | 产品代号        | C   |                           | 32 位二进制数。               |
| 1018 | 3   | 修订号         | C   |                           | 32 位二进制数。               |
| 1018 | 4   | 序列号         | C   |                           | 32 位二进制数。               |
| 1F80 | 0   | 启动配置        | C   | 0x00000004L               | 启动后进入预操作状态              |

处理 SDO 请求消息：在预操作和运行状态之下，均可对 SDO 请求进行处理，SDO 请求用来访问从节点的对象字典，包括读写 SDO。处理 SDO 请求的流程图如图 4.12 所示。

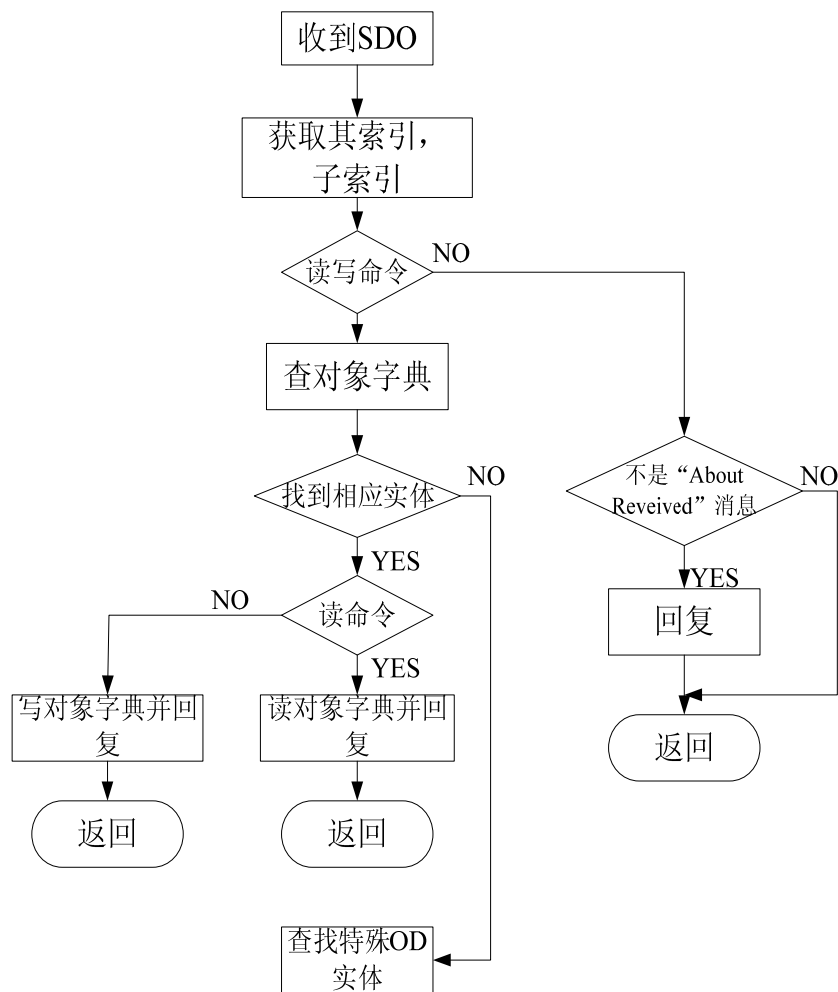


图 4.12 处理 SDO 请求的流程图  
Fig 4.12 SDO request processing diagram

服务端 SDO 通信参数，  
地温分采集器作为 SDO 的服务户端，为主采集器提供 SDO 服务，接收主采集器对分采集器的参数设置，发送分采集器的参数、监控数据等。地温分采集器服务端 SDO 通信参数定义如表 4.2<sup>[45]</sup>。

表 4.2 地温分采集器服务端 SDO 通信参数定义  
Table 4.2 the definition of geothermal sub-collector server-side SDO communication parameters

| 对象   |     |                 |     |             |                 |
|------|-----|-----------------|-----|-------------|-----------------|
| 索引   | 子索引 | 对象名称            | R/W | 值           | 说明              |
| 1200 |     | 第 1 个服务端 SDO 参数 |     |             | 与主采集器的 SDO 通信参数 |
|      | 0   | 条目数             | R   | 3           |                 |
|      | 1   | 客户端到服务端的 COB-ID | R   | 0x00000606L |                 |
|      | 2   | 服务端到客户端的 COB-ID | R   | 0x00000586L |                 |
|      | 3   | SDO 客户端的节点号     | R   | 0           |                 |

PDO 消息处理：在节点运行状态之下，可以对 PDO 报文进行处理，PDO 报文用来传输实时数据，节点内包含 RPDO 和 TPDO 两种 PDO 消息。流程图如图 4.13,4.14 所示。心跳消息：节点周期性的

发送心跳消息以指示节点当前状态，若其他节点在设定的时间内收不到该节点的心跳消息，则判断该节点故障。

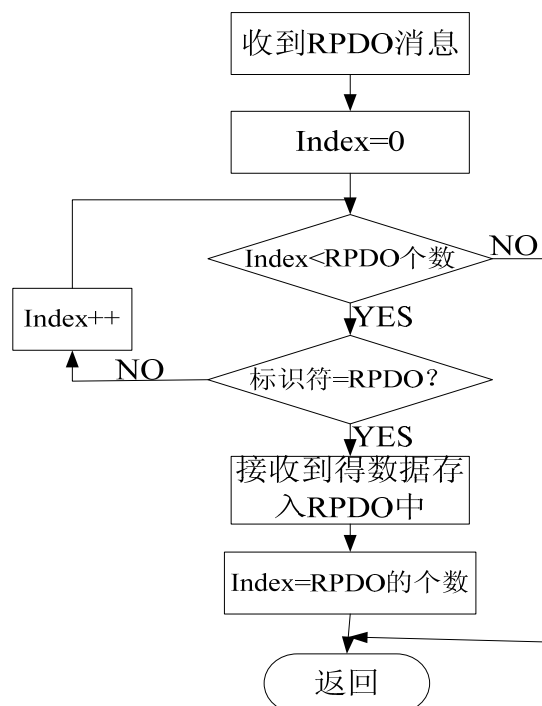


图 4.13 处理 RPDO 请求的流程图

Fig 4.13 RPDO request processing diagram

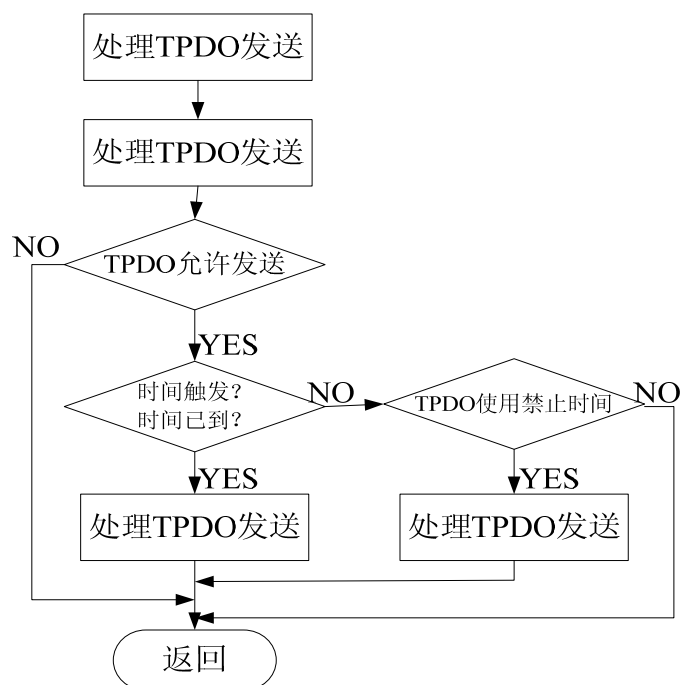


图 4.14 处理 TPDO 请求的流程图

Fig 4.14 TPDO request processing diagram

地温分采集器的 TPDO 映射参数定义如表 4.3。

表 4.3 地温分采集器的 TPDO 映射参数定义

Table 4.3 the definition of the geothermal sub-collector of TPDO mapping parameter

| 对象   |                |          |     |            |                                |
|------|----------------|----------|-----|------------|--------------------------------|
| 索引   | 子索引            | 对象名称     | R/W | 值          | 说明                             |
| 1A00 | 第 1 个 TPDO 的映射 |          |     |            | 第 1 个 PDO(0x186)               |
|      | 0              | 映射的对象数量  | R   | 4          | 包含 4 个对象。                      |
|      | 1              | 草面温度     | R   | 0x64010110 | 第 1 路模拟信号，<br>PDO 中占 16 个二进制位。 |
|      | 2              | 地表温      | R   | 0x64010210 | 第 2 路模拟信号，PDO 中<br>占 16 个二进制位。 |
|      | 3              | 占位符      |     | 0x00020110 |                                |
|      | 4              | 占位符      |     | 0x00020110 |                                |
| 1A01 | 第 2 个 TPDO 的映射 |          |     |            | 第 2 个 TPDO(0x286)              |
|      | 0              | 映射的对象数量  | R   | 4          | 包含 4 个对象。                      |
|      | 1              | 5cm 地温   | R   | 0x64010310 | 第 3 路模拟信号<br>PDO 中占 16 个二进制位。  |
|      | 2              | 10cm 地温  | R   | 0x64010410 |                                |
|      | 3              | 15cm 地温  |     | 0x64010510 |                                |
|      | 4              | 20cm 地温  |     | 0x64010610 |                                |
| 1A02 | 第 3 个 TPDO 的映射 |          |     |            | 第 3 个 PDO(0x386)               |
|      | 0              | 映射的对象数量  | R   | 4          | 包含 4 个对象。                      |
|      | 1              | 40cm 地温  | R   | 0x64010710 | 第 7 路模拟信号<br>PDO 中占 16 个二进制位。  |
|      | 2              | 80cm 地温  | R   | 0x64010810 |                                |
|      | 3              | 160cm 地温 | R   | 0x64010910 |                                |
|      | 4              | 320cm 地温 | R   | 0x64010A10 |                                |

## § 4-5 本章小结

本章详细介绍了 Nut/OS 在 AT90CAN128 上的移植，并完成了 CAN 的驱动程序和单节点的通信模块的设计，最后分析了数据采集系统的任务和发送模块软件部分的实现，CANopen 协议的软件实现。

## 第五章 分采集器数据测试及误差分析

系统的测试要从两个方面考虑，第一是 CAN 总线的实现，包括 CAN 总线发送和接收，CANopen 协议的实现；第二是采集数据灵敏度和精度的检测，这个检测需要有大量的实验数据，通过 MATLAB 或者 EXCEL 等专业软件对大量数据进行分析得出结论。进而进行系统的误差的分析，为以后的系统完善工作作好准备。

### § 5-1 分采集器系统测试

Kvaser USBCAN Professional 是一个 USB 接口双通道的 CAN 总线分析仪，如图 5.1 所示。Kvaser USBCAN Professional 支持 Kvaser's MagiSync 技术，它能够很方便地把多个 CAN 总线分析仪连接到同一台 PC 机上，并通过 Kvaser MagiSync 技术同步各个 CAN 总线分析仪的时间戳，而不需要额外的导线，其灵活性特别适合多通道的应用项目。同时，Kvaser USBCAN Professional 反应快速、吞吐量大，特别适合于高速 ECU 重闪存、高级的总线分析及高效的开发工作<sup>[46]</sup>。

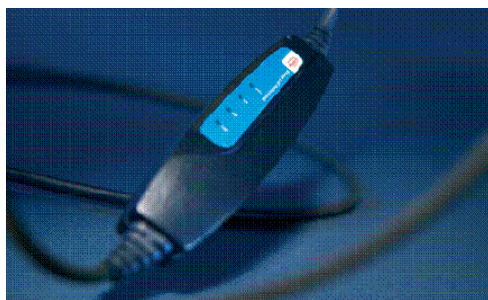


图 5.1 Kvaser USBCAN Professional 分析仪

Fig 5.1 Kvaser USBCAN Professional analyzer

上位机软件采用的是 CANopenOPC 软件，如图 5.2，所发数据各列表示为，时间戳，ID 号，数据长度，根据 CANopen 定义的各位数据代表的意义。

在验证网络中，用一台 PC 机作为网络的主节点，本文的分采集器模块作为从节点。经过验证节点控制模块可以自动完成通讯初始化和节点初始化，发送 boot-up 消息，告知网络自己已进入预操作状态，并根据需要可以周期性的发送 heartbeat 消息，报告自己当前状态，等待收到主节点 NMT 启动远程节点报文后，可以进入操作状态，在操作状态里，首先用事件触发模式进行异步 PDO 传送，即当输入模块的值发生变化时，触发异步 PDO 传送，经过验证，状态变化 500 次，通信正确。然后通过由主节点发送远程对象请求，从节点回复当前值，主节点接收的数据正确。所以，经过验证 CANopen 从节点的协议可以正确通讯。

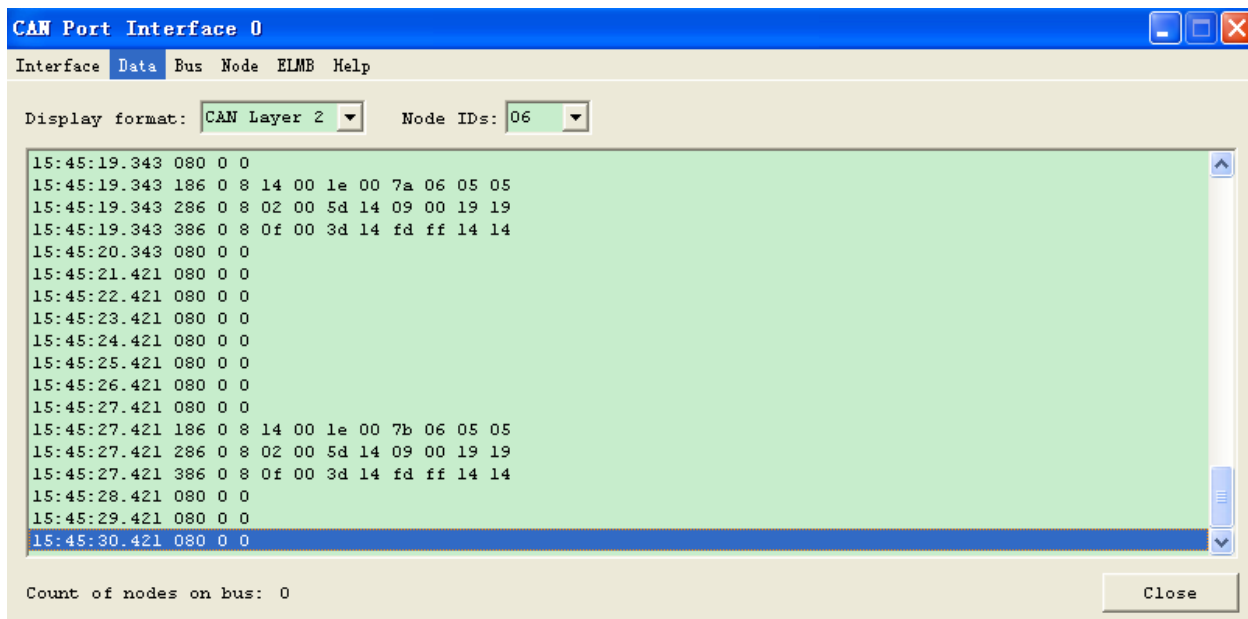


图 5.2 上位机软件采集数据示意图

Fig 5.2 Host computer of data acquisition software

分采集器的采集精度，灵敏度等也可以通过这个软件查看，如图 5.2，每一列分别代表了时间，ID，校验，数据长度，具体数据（数据为 16 位高 8 位在前，低 8 位在后，缩小 100 倍后是温度值）。以下为实际测量时通过 CANopenOPC 软件记录下来的两组数据，从数据中我们可以看到，分采集器能够完成按照要求接收主采集器发送的 8 个远程帧（ID 为 080）之后，按照各种分采集器规定格式发送地温（IDX86），辐射（IDX85），气候（IDX83）的 PDO 数据，数据长度为 8 个字节，每两个字节代表一路数据，高 8 位在前，低 8 位在后，结果根据要求进行相应倍数的扩大进行输出。

```

11:27:29.890 186 0 8 47 0a a3 d0 87 00 00 00
11:27:29.890 286 0 8 33 0a 31 0a 38 0a d0 d0
11:27:29.890 386 0 8 a3 d0 a3 d0 a3 d0 d0 d0
11:27:29.890 185 0 8 44 e8 64 6e 44 e8 e8 e8
11:27:29.890 285 0 8 44 e8 44 e8 44 e8 e8 e8
11:27:29.890 385 0 8 d3 9c 44 e8 44 e8 e8 e8
11:27:29.890 183 0 8 00 00 00 00 00 00 00 00
11:27:29.890 383 0 8 00 00 00 00 00 00 00 00
11:27:29.890 483 0 8 01 00 01 00 01 00 00 00
11:27:30.140 080 0 8 00 00 00 00 00 00 00 00
11:27:30.390 080 0 8 00 00 00 00 00 00 00 00
11:27:30.656 080 0 8 00 00 00 00 00 00 00 00
11:27:30.921 080 0 8 00 00 00 00 00 00 00 00
11:27:31.171 080 0 8 00 00 00 00 00 00 00 00
11:27:31.437 080 0 8 00 00 00 00 00 00 00 00
11:27:31.703 080 0 8 00 00 00 00 00 00 00 00
11:27:31.953 080 0 8 00 00 00 00 00 00 00 00
    
```



```

11:27:31.968 186 0 8 47 0a a3 d0 87 00 00 00
11:27:31.968 286 0 8 33 0a 31 0a 38 0a d0 d0
11:27:31.968 386 0 8 a3 d0 a3 d0 a3 d0 d0 d0
11:27:31.968 185 0 8 44 e8 ce 6e 44 e8 e8 e8
11:27:31.968 285 0 8 44 e8 44 e8 44 e8 e8 e8
11:27:31.968 385 0 8 d6 9c 44 e8 44 e8 e8 e8
11:27:31.968 183 0 8 00 00 00 00 00 00 00 00
11:27:31.968 383 0 8 00 00 00 00 00 00 00 00
11:27:31.968 483 0 8 01 00 01 00 01 00 00 00

```

此外，串口是另一个调试的通道，图 5.3 是一个上电后串口打印的主菜单，根据提示，可以完成采集数据显示，时间查看和调整等功能。

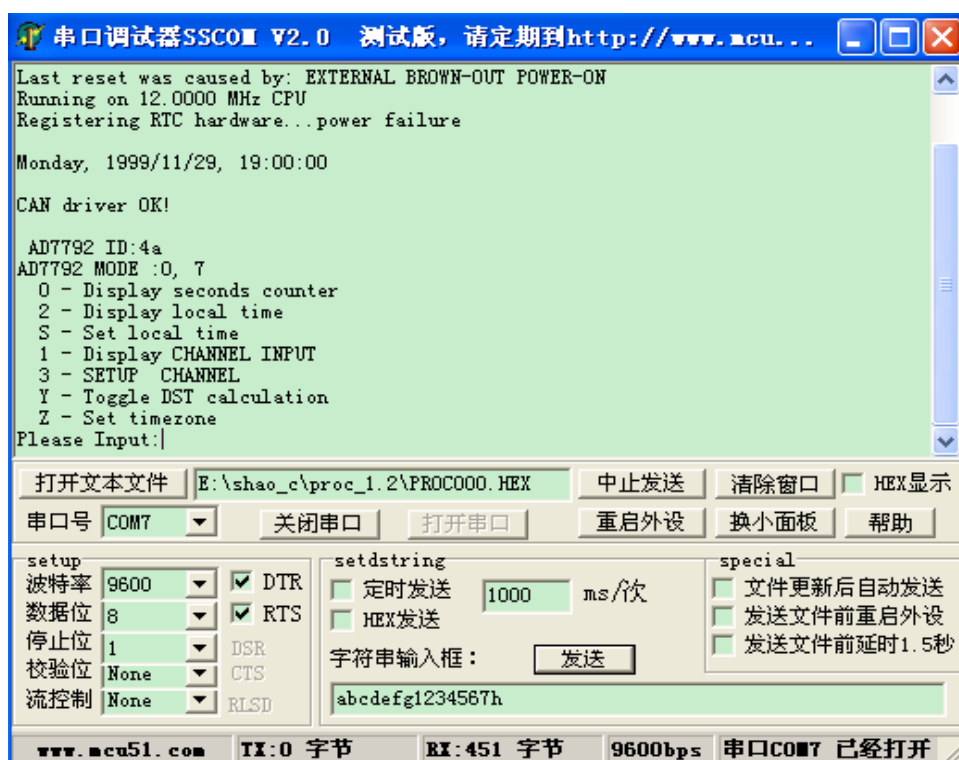


图 5.3 串口发送示意图

Fig5.3 Diagram of serial port

下面是一组串口数据的内容，这组数据告诉我们了一些信息：包括正在运行的采集器的类型，这是关于采集器的基本信息；造成复位的原因，这是检查系统故障的一个因素；晶振信息；实时钟信息，这个设置可以通过串口读取，调整实时钟；各种驱动设备的检测，这也可以帮助我们对系统的故障及时检测并排除；之后是循环发送的各路数据信号的检测结果，每一路后面的两个数据，分别代表 AD 转换结果和扩大 100 倍后的温度值。下面这组数据来自地温分采集器，它是在零摄氏度时得到的。CH 1-4 ,CH 7-12 为 10 路温度的采集结果，CH 13 是基准零度，CH 14 是基准电压。

DIWEN program 1.0 running on OS

Last reset was caused by: EXTERNAL BROWN-OUT POWER-ON

Running on 12.0000 MHz CPU

```

Registering RTC hardware...OK
Thursday, 2009/05/14, 05:08:09 DST
CAN driver OK!
AD7792 init OK!
AD7792 ID:4a
AD7792 MODE :0, 7
Thursday, 2009/05/14, 05:08:13 DSTV12:376
CH 1 :2650,9
CH 2 :2651,19
CH 3 :2650,9
CH 4 :2646,-29
CH 5 :1226,46
CH 6 :2827,107
CH 7 :2650,9
CH 8 :2649,0
CH 9 :2648,-9
CH 10 :2650,9
CH 11 :2646,-19
CH 12 :2651,19
CH 13 :2648,0
CH 14 :23148,883
    
```

## § 5-2 数据误差分析

温度传感器在测量过程中主要误差来源有传感器对分度表的误差，绝缘不良引起的误差，线路电阻引起的误差，测量仪表的误差以及传热误差、动态响应误差、干扰误差等。其中有些误差只有在一定条件下才出现，并且可通过一定措施来减小或消除<sup>[47]</sup>。本文采用四线制的接入方式来减小引线电阻带来的误差。

PT100 能通过感应外界环境中的温度变化，并在特定的电路中显示为电压的变化。这样就有效的将温度信号变成了电信号。

测试结果通过两种方法进行分析，第一种方法使用 MATLAB 软件分析 CAN 总线得到的大量数据，经过处理画出曲线图，第二种方法使用 EXCEL 将-40 度到+60 度的温度，根据一次方程，三次方程算得的电阻值，和本实验的实际电阻值在同一坐标曲线中进行比较。

1、本毕设的实验室模拟检测方法是某—低温漂移系数在万分之一的 100 欧姆高精密电阻，代替 PT100 铂热电阻接入电路板测量。根据电阻跟温度的关系，100 欧姆对应的温度是 0 摄氏度。下图就是利用 MATLAB 作出的连续采 140 个点的温度曲线。同时在气象站的应用中，检测方法是将 PT100 铂热电阻放入水中和酒精中进行测量。每隔 10 度进行一次采样记录 50 个数据。现场恒温水槽和酒精槽的设

置使得测试点数比实验室的更加丰富，所得数据由气象仪表厂工程师记录，本毕设中并未考虑。实验结果，分采集器的精度和分辨力都符合规定。

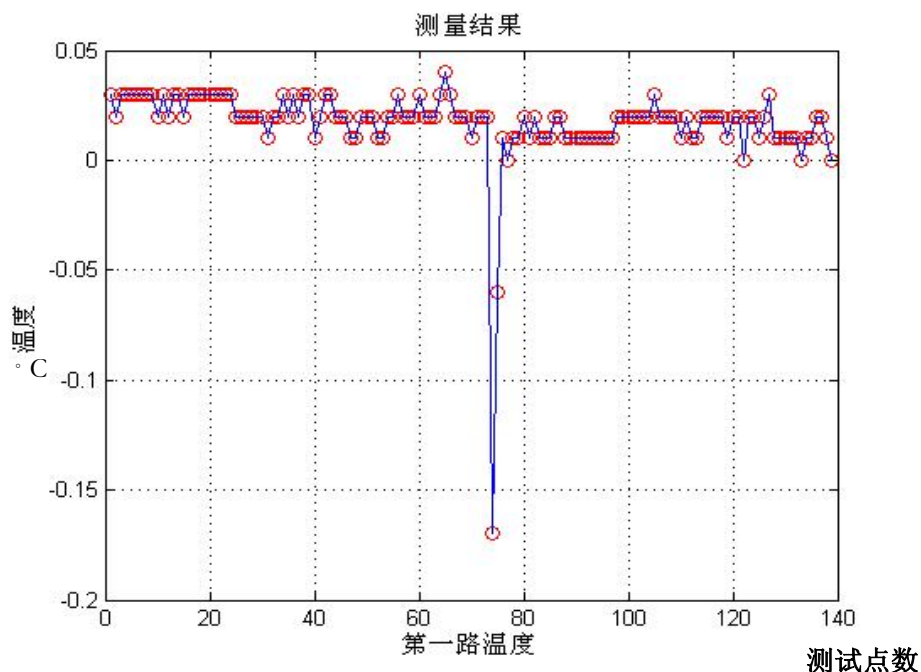


图 5.4 测量结果分析图

Fig 5.4 Diagram of measurement analysis

如图 5.4 所示，温度大概在 0.025 左右波动，由于干扰或其他，出现-0.175 一个点，但总体这 140 个点全部满足 0 摄氏度上下波动 0.2 的要求。这种方法可以通过 MATLAB 检测大量数据进行分析，因为采用 MATLAB 的文本文件记录功能减少了工作量，是一种很好的分析方法。

2、在 EXCEL 的测试中，我们将 R→T 转换的三种方法作图进行了比较。由于在实际生活中，人们所在环境的温度大致在-40℃~60℃之间，所以只绘制其间温度：

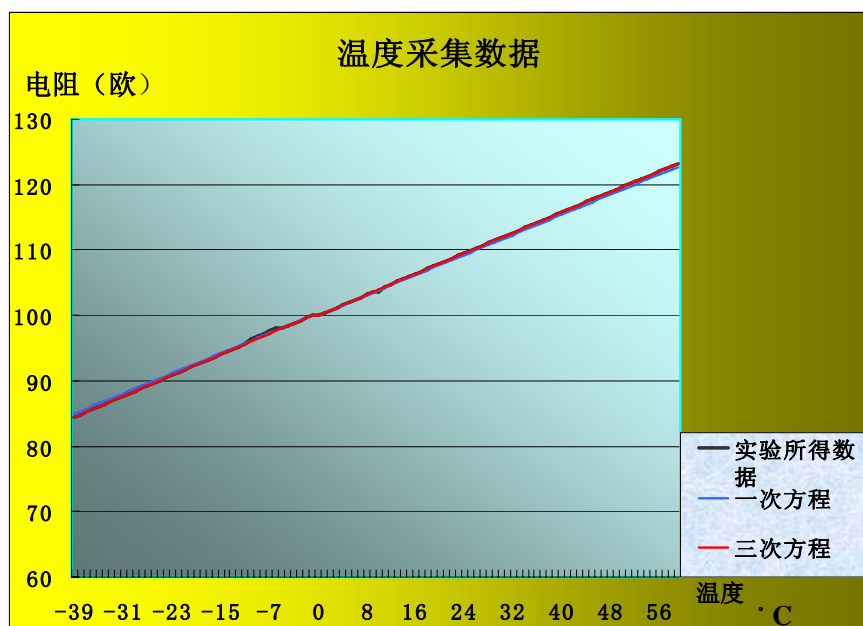


图 5.5 测量结构比较图

Fig 5.5 Comparison structure of measurement

在 EXCEL 中列出查表的电阻数据和分别根据两种公式算的的数据，并画出图 5.5:

整体上三种方法所得数据偏差都不太大;

在-10℃以下，三次方程和经验所得数据基本吻合，而一次线性方程略比经验数据大一些;

在-9℃~10℃之间，三种方法所得数据基本吻合;

在 11℃~60℃之间，三次方程和经验所得数据依然基本吻合，而一次线性方程却略小一些。

由于一次方程和三次方程也是经验公式，在高温或低温阶段会有误差，可以考虑进行系统校正。这种方法的使用可以将实验数据和理论数据进行比较，通过 EXCEL 软件画出三条线，直观的将数据的差别展示出来，为以后进行系统校正提供依据。

### § 5-3 本章小结

通过利用分析工具进行测试，首先，初步验证了 CANopen 智能分采集器的设计，证明了其基本实现了 CANopen 协议栈要求，CAN 总线通讯良好，其次，通过相关数据处理软件的应用，对采集到的大量气象参数进行分析，保证了数据传输的有效性和可靠性，最后，对系统进行误差分析，这一点对今后的校正工作有很大帮助。

## 第六章 结论

### 1. 全文总结

论文根据气象参数检测系统的特点,以国家第二代自动气象站的开发为背景,设计了一个基于 8 位微控制器的 CANopen 智能从节点模块,使得实时数据、配置数据、特殊功能数据以及网络管理数据等各种控制信息都能够以 CANopen 通讯对象形式在 CAN 总线上传输。本文的主要研究成果包括:

- (1) 根据气象参数检测系统的特点,设计了一种基于 CANopen 的报文传输格式及网络结构;
- (2) 仔细分析了 AT90CAN128 内置 CAN 控制器的特性、寄存器设置和机制,设计了带有光隔的单片机直接驱动 CAN 收发器 PCA82C250 的硬件设计,并完成了 CAN 收发驱动程序的编写;
- (3) 深入研究 CANopen 基本通讯协议,结合实际应用,在 CAN 收发驱动的基础上,实现了 CANopen 协议栈和状态机转换,通过其预定义连接集基本通信对象的软件模块化设计,实现了 PDO, SDO, NMT 以及心跳报文对象,完成了基于 CANopen 的分布式数据采集系统;
- (4) 充分利用对象字典和 SDO 通信对象,实现了网络在线实时配置功能,大大拓展了应用范围并提高了使用的灵活性;
- (5) 完成了 AT90CAN128 过程通道的硬件电路设计,并实现了温度模拟量及风速雨量等脉冲信号的采集监测,并通过嵌入式多任务操作系统实现了应用软件和各驱动程序的高效紧密结合,并通过 RS232、RS485 和 CAN 总线等提供强大的接口能力;
- (6) 通过标准的 CANopen 分析工具对所设计的 CANopen 智能从节点进行通信功能测试,分别测试了 heartbeat 消息,对 NMT 消息的响应,对上传/下载 SDO 通讯对象的响应以及 PDO 通讯对象的发送,报文发送回复实时,准确,和网络中其他节点通讯良好。数据传输稳定可靠,通讯速率 250kbit;
- (7) 温度风速雨量等信号进行测试采集,各项指标符合国家制定的考核标准。

### 2. 存在的问题和改进

目前论文设计的是一个 CANopen 的从节点,但是要实现完整的 CANopen 通讯,还应进一步加入 NMT 主功能,这样协议才完整。

硬件电路设计时对电源干扰和信号通道的干扰进行了充分的考虑,但是 PCB 布板布线时,没有充分考虑高频信号通过印制导线时产生的电磁辐射,以后在电磁兼容性设计方面还要进一步考虑。

### 3. 展望和体会

气象采集器应用环境相对于要更恶劣,通常采用冗余通信机制,而目前设计的系统结构不适用于大的应用网络。CANopen 协议体系给我们的设计提供了很好的依据。而且根据国家气象站的规定,在这种冗余的通讯系统中三个 CANopen 设备总是连接到一个 CAN 总线上。为了促进安全地交互操作性提供一个基于 CANopen 协议的防止冲突的机制,而软件设计上为符合冗余通信要求,在现有的基础上改进和完善软件设计没有太大的技术瓶颈,只是需要时间和实验。

## 参考文献

- [1] 史久根,张培仁,陈真勇.CAN 现场总线系统设计技术.北京:国防工业出版社,2004:250~264
- [2] 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,2003,19(3):27~29
- [3] 孙铁兵,鞠宁 CAN.总线及其高层协议,微处理机.2006, 2 (1)
- [4] 自动气象(气候)站试验考核实施方案
- [5] 附件 5\_\_自动气象(气候)站动态数据评估办法
- [6] 附件 4\_\_自动气象(气候)站静态测试及复测测试办法
- [7] 邱凉.风能资源评估系统开发与应用[J].能源环境保护,2004,18(2):1~3.
- [8] 基于 CANopen 协议的 CAN 总线控制系统研究:[硕士学位论文]北京:北京工业大学,2008.
- [9] 李正军.现场总线及其应用技术 [M].北京:机械工业出版社,2005,1:21~30.
- [10] 刘泽祥.现场总线技术.北京:机械工业出版社,2005
- [11] 基于 CAN 总线的分布式测控网络系统研究:[硕士学位论文]山东:青岛大学,2008.
- [12] 白焰.分散控制系统与现场总线控制系统[M],北京:中国电力出版社,2005:85~87.
- [13] 蒋建文,林勇,韩江洪.CAN 总线及其应用技术[J].微计算机信息,2002,18(9):3~5
- [14] 郭宽明.CAN 总线系统设计中的几个问题.电子技术应用,1998,9:18~20
- [15] 基于 CANopen 的智能监控下位系统研究:[硕士学位论文]天津:河北工业大学,2007.
- [16] 孙树文,杨建武,张慧慧,朱海志.基于 CAN 总线的分布式监控系统智能节点设计.嵌入式网络技术与应用,2006,22(8):55~57
- [17] 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. 1~15
- [18] CANopen 协议介绍.广州周立功单片机发展有限公司:1~15
- [19] 叶浩峰.CANopen 总线的原理以及实现:[硕士学位论文]广东:华南理工大学,2005.
- [20] CANopen Application Layer and Communication Profile.CiA Draft Standard 301 V4.02, 2002.
- [21] CANopen Framework for CANopen Managers and Programmable CANopen Devices.CiA Draft Standard Proposal 302 V3.2.1,2003.
- [22] 王俊波,胥布工.CANopen 协议分析与实现.嵌入式网络技术与应用,2006,22(6):104~106
- [23] CANopen high-level protocol for CAN-bus.NIKHEF internal documentation,2000.
- [24] K.Etschberger,R.Hofmann,A.Neuner,U.Weissenrieder,B.Wiulsroed.A Failure-Tolerant CANopen System for Marine Automation Systems.IXXAT,2001.
- [25] 郭素敏,向凤红.基于 CAN 总线的智能数据采集系统设计[J].昆明理工大学学报,2003,28(8):77~81
- [26] 刘笃仁,韩保君.传感器原理及应用技术[M].西安电子科技大学出版社,2003: 3~11
- [27] 王红萍.铂电阻温度传感器测温研究.抚顺石油学院学报,2003,23(2):58~61
- [28] 附录 6--第二代自动气象站传感器接入规格
- [29] 任晓东.CPLD/FPGA 高级应用开发指南 [M].北京:电子工业出版社,2003
- [30] 汤琳宝,陈恒,顾敏.可编程逻辑器件与数字系统设计[M].上海大学出版社, 2000
- [31] 张克彦.AVR 单片机实用程序设计[M].北京:北京航空航天大学出版社, 2004.

- [32] 马虎平.提高热电阻测量在保护系统中的可靠性.工业技术,2006.10
- [33] 高恩忠.热电阻测温与抗干扰问题的处理.水泥,2001.2
- [34] [www.ethernut.de](http://www.ethernut.de)
- [35] LabrosseJan J. 邵贝贝等译.嵌入式实时操作系统 $\mu$ C/OSII 第2版.北京:北京航空航天大学出版社,2003
- [36] 李永波,李洁. 嵌入式操作系统 Nut/OS 及其应用.福建电脑,2005.11
- [37] 沈文,黄力岱,吴宗锋.AVR 单片机 C 语言开发应用实例--TCP/IP 篇. 清华大学出版社
- [38] 巴尼特.嵌入式 C 编程与 Ateml AVR[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [39] 沈文,詹卫前.AVR 单片机 C 语言开发入门指导[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [40] 采用 AT90CAN128 的 CAN 系统解决方案.中国单片机公共实验室,2006:1~3
- [41] 魏敬宣,刘立.基于 AT90CAN128 的车用 CAN 网络节点的研究与实现.测控技术,2007,26(2):57~59
- [42] SUP.CANopen 8 channel Multifunction Digital Input Node.2006.
- [43] SUP.CANopen 8 channel Current/Voltage Input Node.2006.
- [44] 耿德根,宋建国.AVR 高速嵌入式单片机原理与应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2001.
- [45] 附录 1--第二代自动气象站主、分采集器通信协议
- [46] CAN 总线分析软件——智维 Kvaser CanKing 实验步骤
- [47] 黎飞鸿,刘锦高.RTD Pt100 的一种单电源信号调理电路

## 致 谢

值此论文定稿之际，首先，向我尊敬的导师，孙鹤旭教授致以最诚挚的谢意！感谢他在我攻读硕士学位的两年多时间里，在学习上和生活上给予我的莫大关怀和帮助，使我不仅在科研上得到了很大的提高，更让我学会了做人的道理。孙老师渊博的学识、严谨的治学态度、一丝不苟的敬业精神、果敢练达的处事作风、开拓创新的思维方式和求实进取的态度给我留下了深刻的印象。相信在以后的人生旅途中，这些品质都将使我受益匪浅。

再者，感谢课题组的梁涛老师，他在学业上时常对我进行指导，让我认识到了团队精神、创新意识和积极上进的意义。同时还要感谢课题组的范书瑞老师，林涛老师，王睿老师，杜璟，张蓓蓓，他们在项目开展期间和我的论文完成期间，都给予了我大力支持和帮助，陪我度过了美好的研究生时光。此外，气象厂的卢会国主任也在项目的研究过程中给予了大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

最后，感谢我的父母，是你们的一贯支持和鼓励，使我能够不断前进，并得以顺利地完成学业。

感谢所有关心、支持和帮助过我的人们！

谢谢大家！

李擎

2009年11月于天津



## 攻读硕士学位期间所取得的相关科研成果

### 1. 发表的学术论文

Tao Liang, Qing Li, Jiwei Hua. The modeling analysis of manufacturing execution system based upon colored petri nets. EI 已收录

Tao Liang, Qing Li, Hexu Sun, Zhaoming Lei. Research of System Stability with Network Existing in Feedback and Forward Channel. ICINIS2009 已录用

### 2. 参加的主要科研工作

[1]河北省科学技术研究与发展计划项目, 高新技术领域高新技术产品开发 1200mm<sup>2</sup> 薄钢板剪切—闪光对焊机的研究与开发(06212174D)

[2] 第二代气象自动站主、分采集器开发项目 天津天仪集团仪表有限公司

# 基于CANopen协议的分布式气象参数采集处理系统的研制

作者:

李擎

学位授予单位:

河北工业大学

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis\\_D112864.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_D112864.aspx)