

摘要

温度是生产过程和科学试验中普遍且重要的物理参数。在工农业生产中,为了提高生产效率,必须对生产过程中的主要参数,如温度、湿度、流量、速度等进行有效监测。其中温度监控在生产过程中占有相当大的比例,准确地测量和有效地控制温度是优质、高产、低耗和安全生产的重要条件。尽管随着科技的进步和社会的发展,温度测量方法在不断改进,测量精度在不断提高,但目前的温度监控系统仍然存在很多不足,越来越难以满足工业生产与科学研究的需要。

在分析研究了当前国内、外温度监控研究现状的基础上,结合现在最为热门的嵌入式系统、ARM处理器、常用温度传感器、Zigbee无线组网技术,我们开发了基于ARM9的环境监测系统。采用以ARM9为内核的三星公司16/32位ARM处理器S3C2410作为微控制单元,无线采集选用基于TI公司CC2430芯片的无线数传模块,8路有线采集通道,可任意配置各类型温度传感器。该系统实现了温度(或湿度)采集,并通过有线或无线的方式将采集到的温度(或湿度)数据传送到监控主机,监控主机上具有存储、处理、显示设备,将接收到的数据以用户的设定要求显示出来。该系统具有体积小、灵活度高、实时性强的特点,可投放于恶劣的工业环境中,完成重要温度数据的采集。此外,本系统的开发也为其它环境参数的监测提供了借鉴。

数据采集模块作为整个系统信息获取、采集及传输的源头,占有极其重要的地位。本论文从系统方案的论证入手,重点介绍了数据采集模块的软硬件设计与实现。数据采集模块可支持8路模拟信号输入,传感器类型包括了热电阻、热电偶、PN结、电压型传感器、电流型传感器。该模块主要完成数据的采集、信号处理、A/D转换、线性化处理、数据传送等任务。软件设计上采用查表法和线性插值相结合的数值处理方法,辅以数字滤波和自校正处理,以期达到理想的测量结果。最后,通过与其它系统模块进行联调,完成了整个系统的功能要求。

关键词: ARM9, 温度监测, 数据采集, PT100, 热电偶

ABSTRACT

Temperature is a general and important parameter in production process and scientific experiment. In the course of industrial and agricultural production, in order to improve production efficiency, the main parameters, such as temperature, humidity, flow, speed, etc., must be monitored and controlled. Especially, temperature monitoring occupies a fairly large proportion. Accurately measure and effectively control temperature is the important condition of high quality, high yield, low consumption and production safety. With the advancement of technology and social development, the methods of temperature measurement are improved and the measurement accuracy is also advanced, there are still many inadequacies in current temperature monitoring system. It is increasingly difficult to meet the need of industrial production and scientific research.

We analysed the status quo of the current domestic and external temperature monitoring study, with the most popular embedded system, ARM processor, commonly used temperature sensor, Zigbee wireless network technology, We developed ARM9-based environmental parameters Monitoring System. The 16/32-bit ARM processor S3C2410 of Samsung company as micro-control unit, wireless collection select CC2430 chip wireless data transmission module of TI company, 8 Cable acquisition Channel, various types of temperature sensors can be configured. The system realizes the temperature (or humidity) acquisition, and the temperature (or humidity) data will be transmitted to monitor console through wired or wireless channel, Monitor console has storage, processing and display equipments, these equipments will display the received data in the mode that the user required. The system is small in size, flexibility, real-time, can be worked in harsh industrial environment to finish important temperature data acquisition. In addition, the research of this system can provide some reference for other environmental parameter monitoring system.

Data acquisition module as the acquisition and transmission source of the whole system, occupies an extremely important position. This paper begins with the demonstration of system, focused on data acquisition module design and implementation of hardware and software. Data acquisition module can support 8-channel analog signal input, sensor type includes thermal resistance, thermocouple, the PN junction, the voltage sensor, current sensor. The module can finish data acquisition, signal processing, A/D converter, linear processing, data transmission, and other tasks. With a view to achieve the desired results, use the look-up table and linear interpolation method to process data in software design. In addition, digital filtering and self-correction are also used. Finally, by debugging data acquisition module with other modules, the function of the system are basically completed.

KEY WORDS: ARM9, Temperature measurement, Data Acquisition, PT100, Thermocouple

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，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 天津大学 或其他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。

学位论文作者签名：马男 签字日期：2008年6月2日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 天津大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 天津大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

(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：马男

导师签名：



签字日期：2008年6月2日

签字日期：2008年6月2日

第一章 绪论

1.1 前言

温度、湿度等环境参数都是基本的物理量，几乎所有的科研和生产过程都和环境质量密切相关。环境参数的测量是现代测量技术中应用频率最高的技术之一。因此，准确地测量和控制环境参数，对于获得正确的科研数据和保证产品质量都是十分重要的。例如，对于超低温物理和超高温物理现象、等离子加热技术及快速凝固技术的研究，都需要准确地测量和控制温度；又如，在金属冶炼过程中，若温度得到准确控制，则能源消耗可降低 17%，劳动生产率可提高 18%且金属产量可增加 15%。可见，对温度等环境参数进行准确地测量和控制对于新材料的研究和生产、促进科技发展及生产水平的提高都具有重要的意义^[1]。

时至今日，科技竞争不断升级，节能减排的呼声高涨，人们对环境质量越来越重视，尤其在某些特殊的领域，如何对生产、科研局部环境参数进行精确实时监测，成为日趋严峻的课题和任务。本课题就是针对以上实际中出现的问题，提出的相应可行的解决方案。

环境参数包含很多，如温度、湿度、压强、含氧量、SO₂含量、CO₂含量等。本课题力求通过对温度这种最基本的物理量的测量和控制来开发出一种通用的环境参数监测系统平台，只要前端配置相应的测量传感器，再辅以配套的软件方案，便可实现不同环境参数的灵活监测。省去了二次开发的麻烦。

1.2 温度监测系统的发展现状

温度测量技术做为环境监测系统的代表，从最初简单的敏感元件测温到今天智能监测系统的异军突起，它的发展一直是人们关注的焦点。特别是近些年来，温度监测设备被广泛应用于工农业生产、科学研究和人们生活等领域。几百年来，温度监测系统的发展大致经历了以下三个阶段：第一，传统的分立式温度传感器（含敏感元件）；第二，模拟集成温度传感器/控制器；第三，智能温度监测系统。近年来，国内外在温度监测系统研发领域都取得了长足进步，国际上的新型温度监测系统正从模拟式到数字式、由集成化到智能化、网络化的方向发展。将环境监测技术提高到了一个新的水平。

1.2.1 温度监测系统的分类

目前，国内外主流的集成温度监测系统产品主要有^[2]：

第一，模拟集成温度传感器

集成温度传感器是采用硅半导体集成工艺而制成的，因此亦称硅传感器或单片集成温度传感器。模拟集成温度传感器是在 20 世纪 80 年代问世的，它是将温度传感器集成到一个芯片上，可完成温度测量及模拟信号输出功能的专用 IC。模拟集成温度传感器的主要特点是功能单一（仅测量温度）、测量误差小、价格低、响应速度快等。适用于小规模测温、控温，它是目前国内外应用最为普遍的一种集成传感器。

第二，模拟集成温度控制器

模拟集成温度控制器主要包括温控开关、可编程温度控制器，典型产品有 LM56、AD22105 和 MAX6509。某些增强型集成温度控制器中还包含了 A/D 转换器以及固化好的程序，这与智能温度传感器有某些相似之处。但它自成系统，工作时并不受微处理器的控制，这也是两者的主要区别。

第三，智能温度传感器

智能温度传感器也被称为数字温度传感器，是在 20 世纪 90 年代中期问世的。它是微电子技术、计算机技术和自动测试技术的结晶。目前国际上已开发出多种智能温度传感器系列产品。智能温度传感器内部都包含温度传感器、A/D 转换器、信号处理器、存储器（或寄存器）和外围接口电路。有的产品还带有多路选择器和中央处理器、随机存储器和只读存储器。智能温度传感器的特点是能输出温度数据和温度控制量，适配各种微控制器，并且它是在硬件基础上通过软件来实现测试功能的，其智能水平也取决于软件的开发水平。

1.2.2 温度监测系统存在的问题

由于科技的不断发展，传统意义上的温度监测系统已越来越难以满足人们的需求。多功能、高精度、高可靠性、人性化的温度监测系统成为人们的宠儿。尽管几十年来，测量方法不断提高，测量精度不断改善，但目前的温度监测系统仍然存在这样或那样的不足和缺陷，具体表现在^[3]：

第一，产品核心—CPU

目前，国内外市场上的同类产品其 CPU 大多采用单片机技术，受寻址空间、工作速率限制，储存数据量一般最多不超过一、两万条。难以支持高端外设扩展如大屏高显示分辨率的 LCD、以太网接口等，并难以支持较为复杂的数据处理

运算。这势必限制了高端监测系统的发展。而且使用单片机控制各个模块，只能是单任务单线程的工作模式，这样系统不能同时多任务工作，当有一个外部中断发生时，单片机就会中断原有的任务操作，转而执行外部中断请求，这样会造成系统的工作效率低下，不能实现实时监测。

第二， 数据输出

现有的监测系统，因为不能将采集的数据实时地传输给主机进行相应的处理，大都采用技术简单的 RS-232/RS-485 串行通讯接口，前者仅支持点对点通讯且速度慢、通讯距离短。后者虽支持多点通讯、速度快、通讯距离远，但普通 PC 机不支持该接口且受地域限制。偶有鲜见的采用 USB 接口的测控设备也大多采用技术较为简单的 USB 设备方式，并不是完全意义上的实时测控系统，这也是现有监控系统的最大不足之处。

第三， 数据采集

目前，很少有能同时支持有线和无线采集方式的温度监测系统。这样使得系统的现场安装受使用环境所限，灵活度不高。此外，用于数据采集的传感器类型也比较单一，通用性不强。

第四， 人机交互界面

人们越来越追求一种人性化，界面友好的人机交互环境。但目前监测系统采用的人机交互界面大多是液晶、LED 七段码式简单显示。这样，使操作无法进行现场复杂实用的数据分析、读取、按需数据图形打印。做为监测系统的现场实时性，分析处理效率大打折扣。

最后，在测量环境比较恶劣，测量精度要求比较苛刻的条件下，目前的温度监测系统也显得力不从心。

1.2.3 温度监测系统的发展趋势

进入 21 世纪以来，温度监测系统正朝着高精度、多功能、总线标准化、高可靠性和安全性、开发虚拟传感器和网络传感器、研制单片测温系统等高科技方面迅猛发展^[2]。

第一， 提高测量精度和分辨力

在 20 世纪 90 年代中期推出的最早的智能温度监测系统中，采用的是 8 位 A/D 转换器，其测量精度较低，分辨力只能达到 1℃。目前，国内外已相继推出了多种高精度，高分辨力的智能温度监测系统，所用的是 9~12 位 A/D 转换器，分辨力一般可达到 0.5℃~0.0625℃。由天津市星望科学仪器有限公司研制生产的 THP2000 系列温湿度记录仪，能输出 12 位二进制数据，测温分辨力可达到

0.1℃。未来随着需求的不断提升和技术水平的不断进步，温度监测系统的测量精度和分辨力要求将会越来越高。

第二，增加测试功能

为满足人类对环境质量水平日益增长的需求，未来的环境参数监测系统应该是一个集采集、控制、存储、传输于一体的智能化系统，具有强大的测试功能，能对各种环境参数进行实时、准确的监测。目前，国内外的一些相关企业已经着手进行这方面的研究。例如，美国 DALLAS 半导体公司研制的 DS1624 智能温度传感器便增加了存储功能，但存储只是依赖芯片内部有限的 E²PROM，存储容量明显不足。而且，能将用户的多种需求集于一身的监测系统还并不多见。

第三，规范化、通用性、可靠性和安全性设计也必将成为未来环境参数监测系统追逐的目标。

综上所述，做为信息技术的基础领域，以温度测量为代表的环境参数的采集、控制、存储、传输技术已经深入到人类生产、生活、科研的方方面面，并反过来推动着科学和生产技术的进步。近些年来，在人类的不懈努力下，测控技术已经取得了长足的进步，但现有的监测系统还存在着诸多不尽人意的地方，远远不能满足人类日益增长的对环境质量要求的需要。在这样的背景下，开发出一种符合人类发展需要的环境参数监测系统便具有极其重要的意义。正是在综合分析了环境参数监测系统的不足和未来发展趋势的基础上，本课题提出了一种较为完美的解决方案，课题所采用的技术手段和实现的系统功能均处于国内先进水平。详细的课题研究内容将在后文中介绍。

1.3 论文的主要工作和创新点

论文的主要工作有：

1. 在对温度等环境参数的测量技术进行深入研究的基础上，按照系统设计要求，参与完成了整个系统方案的设计。包括硬件平台的构建，操作系统的选择，底层驱动程序的开发等。

2. 独立完成了有线数据采集模块的设计。包括电路原理图设计、元器件的选择，PCB 电路板的制作和焊接。

3. 完成了有线数据采集模块的调试工作，实现了数据采集模块的既定功能。

4. 完成了有线数据采集模块与嵌入式主机的系统联调工作。确保整个系统的正常运行，各方面性能都达到了设计要求。

论文的主要创新点有：

1. 采用基于 ARM920T 处理器的嵌入式系统与 Linux 操作系统相结合的方案来完成温度等环境参量的监测, 在国内外市场上尚属罕见。嵌入式系统强大的处理能力和丰富的外围接口, 使得该系统具有传统产品无法比拟的优越性, 能够提供功能更多、精度更高的环境参量监测。

2. 系统具有有线和无线两种采集模式, 用户可灵活选择。有线采集模块设计为八路, 若有需要还可以扩展为更多路数。有线采集模块为多种类型的温度传感器提供了接口, 包括热电偶 (K 型)、热电阻 (PT100)、PN 结温度传感器、电压型传感器 (0~5V), 电流型传感器 (4~20mA), 用户可根据实际情况灵活进行配置。

3. 在有线采集模块部分, 为提高测量精度, 从硬件到软件设计都采取了多种措施。如在硬件电路设计中, 选用高精度的元器件、PCB 电路板设计中的抗干扰措施等; 在软件设计方面则采取了数字滤波、自校正、查表法和线性插值进行数据处理等方法。实践证明, 这些措施达到了理想的效果。

1.4 论文的组织结构

第一章绪论部分主要介绍课题的选题背景和意义, 并简单介绍了以温度监测系统的现状、存在的问题和未来发展趋势。

第二章对系统整体实现方案进行了介绍。包括系统的性能指标、硬件平台、软件方案等。

第三章是对温度测量的一个概述, 重点阐述了数据采集模块设计过程中用到的各种传感器的原理和注意问题。

第四章详细介绍了系统数据采集模块的硬件设计和实现。

第五章对数据采集模块的软件方案进行了介绍, 包括各软件功能模块算法和具体实现。

第六章对全文进行了总结, 提出了将来工作改进的方向。

1.5 本章小结

本章主要介绍了课题提出的背景和意义, 概括了温度监测系统的现状、存在的问题以及发展趋势。基于本章的介绍, 可以看出本课题的研究符合了温度监测系统的发展潮流, 无论是采用的技术手段还是具备的系统功能都处于国内先进水平, 具有巨大的科研价值和经济意义。

第二章 系统设计方案概述

从第一章对环境监测系统的现状和发展趋势的讨论可以看出，研制出一种适合于工农业生产发展需要的环境参数监测系统具有重大的经济价值和社会价值。从现实需求角度出发，该系统应该具有以下功能和性能指标：

2.1 系统设计要求与性能指标

2.1.1 系统设计目标

该系统应能够完成以下功能：

1 实现对温度、湿度等环境参数的实时采集、存储，并对采集的信号进行软件降噪、格式转换、友好显示等处理。将来如果条件成熟的话，该系统的硬件平台应当能够成为测量压力、含氧量等其它环境参数的通用平台。

2 实现主机和传感器之间无线和有线（仅限于模拟传感器）两种模式采集数据，无线方式采用目前最新的 Zigbee 无线组网技术。

3 上位机完成分类、分客户信息存储、分析、显示（包括数据、曲线两种形式）。

4 测量数据采用 USB 接口输出或采用以太网直接回传到服务器，通过网络可实现实时监测。

5 自带微型打印机进行数据和图形打印。

6 自带真彩液晶触摸屏可显示操作菜单，以及显示查询的数据和图形。

2.1.2 系统主要技术参数和性能指标

1 主机部分预留出 USB 接口、以太网口、RS-232 串行接口、RS-485 串行接口、SD 卡接口，8 路有线数据和无线数据均采用串口进行传输。

2 USB 采用主机模式，提供的串行总线为 USB2.0 标准。以太网传输速率为 10M。

3 存储容量不低于 1GB。

2.2 嵌入式系统概述

以上系统所需实现的功能中传感器控制、菜单显示、触摸屏操作、图形显示、实时数据曲线显示和以太网回传数据等都是并行的多线程任务，因此，高效地完成所有任务就需要操作系统的管理和维护。反映在硬件上则是需要能够装载操作系统的微处理器。

本课题所研究的环境参数监测系统采用了嵌入式技术将硬件设备微型化，控制器核心的 CPU 使用体积小、功耗低、功能强大的嵌入式微处理器——ARM，它集成了许多外接设备的功能，使 CPU 的外围电路和设备接口更加简单。在整个硬件平台上使用了嵌入式操作系统 Linux，这样更便于系统各项功能的实现。同时，在使用操作系统后，系统的兼容性更强，对于不同硬件平台的移植也更加方便。

2.2.1 嵌入式技术的发展史

嵌入式系统的出现至今已有 30 多年的历史了，嵌入式技术也经历了几个发展阶段。进入 20 世纪 90 年代后，以计算机和软件技术为核心的数字化技术得到了迅猛发展，不仅广泛渗透到社会经济、军事、交通、通信等相关行业，而且深入到家电、娱乐、艺术、社会文化等各个领域，掀起了一场数字化技术革命。多媒体技术和 Internet 的应用迅速普及，消费电子（Consumptive electron），计算机（Computer），通信（Communication），3C 一体化趋势日趋明显，嵌入式技术成为研究热点。纵观嵌入式技术的发展，大致经历了以下 4 个阶段。

第一阶段是以单芯片为核心的可编程控制器形成的系统，同时具有与监测、伺服、指示设备相配合的功能。这种系统大部分应用于一些专业性极强的工业控制系统中，一般没有操作系统的支持，通过汇编语言编程对系统进行直接控制，运行结束后消除内存。这一阶段系统的主要特点是：系统结构和功能都相对单一，处理效率较低，存储容量较小，几乎没有用户接口。由于这种嵌入式系统使用简便、价格较低，以前在国内工业领域应用较为普遍，但是已经远远不能适应高效的、需要大容量存储介质的现代化工业控制和新兴的信息家电等领域的需求。

第二阶段是以嵌入式 CPU 为基础、以简单操作系统为核心的嵌入式系统。这一阶段系统的主要特点是：CPU 种类繁多，通用性比较弱；系统开销小，效率高；操作系统具有一定的兼容性和扩展性；应用软件较专业，用户界面不够友好；系统主要用来控制系统负载以及监控应用程序运行。

第三阶段是以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统。这一阶段的主要特点是：嵌入式操作系统能运行于各种不同类型的微处理器上，兼容性好；操作系统内核精小、效率高，并且具有高度的模块化和扩展性；具备文件和目录管理、设备支持、多任务、网络支持、图形窗口以及用户界面等功能；具有大量的应用程序接口（API），开发应用程序简单；嵌入式应用软件丰富。

第四阶段是基于 Internet 为标志的嵌入式系统，这是一个正在迅速发展的阶段。目前大多数嵌入式系统还孤立于 Internet 之外，但随着 Internet 的发展以及 Internet 技术与信息家电、工业控制技术等结合日益密切，嵌入式设备与 Internet 的结合将代表着嵌入式技术的真正未来^{[4][5]}。

2.2.2 嵌入式系统的特点

目前国内一个普遍认同的关于嵌入式系统的定义是：以应用为中心，以计算机技术为基础，软、硬件可裁减，适用于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统。“嵌入性”、“专用性”与“计算机系统”是嵌入式系统的三个基本要素。

嵌入式系统都包括硬件和软件两个方面。硬件主要包括微处理器、存储器、I/O 接口和图形控制器等。软件主要包括嵌入式操作系统和应用软件，应用软件决定着嵌入式系统的功能和运行，操作系统是连接系统硬件和应用程序的系统程序。它有两个基本功能：使系统便于使用；高效组织和正确使用系统资源。操作系统有 4 个主要任务：进程管理、进程间通信与同步、内存管理和 I/O 资源管理。

嵌入式系统是面向应用、面向客户的，所以不可能开发出诸如 PC 机那样通用的嵌入式系统。在嵌入式系统中，具体的应用将决定对软硬件的需求，如处理器、I/O 扩展和操作系统、应用程序的编写等。和通用计算机不同，嵌入式系统必须对软硬件进行高效的设计，量体裁衣，以最精简的系统、最低的成本去实现目标功能，这样的产品才最具竞争力。一般来说，嵌入式系统都具有低功耗、体积小、集成度高等特点，能够把通用 CPU 中许多由板卡完成的任务集成在芯片内部，从而有利于嵌入式系统设计趋于小型化，移动能力大大加强，跟网路的耦合也越来越紧密。

嵌入式系统有如下软硬件特性：

1. 硬件特性

嵌入式系统是面向特定应用的，与通用 PC 机的硬件相比，它的硬件系统具有以下特性：

- 体积小，集成效率高。嵌入式系统去除冗余，力争用最小的系统完成目标功能，特别是在一些手持设备中更是如此。
- 面向特定的应用。具体嵌入式系统只能适用某一特定应用，针对另一应用就需要重新设计硬件系统。
- 低功耗，电磁兼容性好，能在恶劣的环境中工作，即使死机也能很快重新启动。

总之，嵌入式系统的硬件在功能、体积、重量、能耗等多方面都有严格的限制。

2. 软件特性

软件是一个应用系统的灵魂，对于嵌入式系统的软件，它具有以下特点：

- 嵌入式软件的开发与硬件紧密相关。由于嵌入式软件的开发是针对具体硬件平台进行的，它往往涉及到硬件驱动方面，这就要求软件开发人员必须具备相关的硬件知识。
- 软件代码要求高效率和高可靠性。由于嵌入式系统中软件运行空间有限，内存空间非常宝贵，在编写过程中必须考虑到软件的运行效率，同时要选用高质量的编译工具。在实时系统中，处理器必须能够处理异步发生的各种任务，这对程序的算法设计提出了更高的要求。
- 软件一般都固化在 FLASH 和 ROM 中。为了提高执行速度和系统的可靠性，同时缩短系统复位时间，一般在嵌入式软件调试成功后，会将程序下载到目标板的 FLASH 和 ROM 中。目标板启动后，再运行其中的代码，而不是像 PC 机那样从硬盘存储器中读取程序。

总体来看，嵌入式系统具有便利灵活、性能价格比高、嵌入性强等特点，可以嵌入到现有任何信息家电和工业控制系统中。从软件角度来看，嵌入式系统具有不可修改性、系统所需配置要求低、系统专业性和实时性较强等特点。

后 PC 时代是一个真实的阶段，而且是一个可以预测的时代。嵌入式系统就是与这一时代紧密相关的产物，它将拉近人与计算机的距离，形成一个人机和谐的工作和生活环境。从某个角度来看，嵌入式系统可应用于人类工作与生活的各个领域，具有极其广阔的应用前景。嵌入式系统在传统的工业控制和商业管理领域已经具有广泛的应用空间。因此，该课题采用嵌入式系统来实现对环境参数的监测具有较高的科技含量和巨大的实际意义。

2.3 系统硬件平台的构建

综合考虑系统功能的实现和当今嵌入式系统的发展趋势，在硬件平台的构建上，我们选用的是 ARM 嵌入式实现方案。ARM 芯片选用的是韩国三星半导体公司生产的基于 ARM920T 内核的 16/32 位 RSIC 嵌入式微处理器。此外，系统的硬件平台还包括有线、无线数据采集模块，以及其它外围扩展电路。

2.3.1 ARM 微处理器概述

嵌入式系统的核心部件是嵌入式处理器，据不完全统计，全世界嵌入式处理器的品种总量已经超过了 1000 种，流行的体系结构有 30 多个系列。从应用的角度来划分，嵌入式处理器包含了以下几种类型：嵌入式微处理器（Embedded Microprocessor Unit, EMPU）；嵌入式微控制器（Microcontroller Unit, MCU）；嵌入式 DSP(Embedded Digital Signal Processor, EDSP)和嵌入式片上系统(System On Chip, SOC)。

ARM 既可以认为是一个公司的名字，也可以认为是对一类微处理器的通称，还可以认为是一种技术的名字。1991 年 ARM 公司成立于英国剑桥，主要出售芯片设计技术的授权。目前，采用 ARM 技术知识产权（IP）核的微处理器，即通常所说的 ARM 微处理器，已广泛应用于工业控制、消费类电子产品、通信系统、网络系统、无线系统等各个领域。ARM 体系结构目前被公认为是业界领先的 32 位嵌入式 RSIC 微处理器结构，基于 ARM 技术的微处理器约占据了 32 位 RSIC 微处理器 75% 以上的市场份额^[4]。

1. ARM 微处理器的应用领域

到目前为止，ARM 微处理器及技术的应用几乎已经深入到各个领域。

- 工业控制领域：作为 32 位的 RSIC 架构，基于 ARM 核的微控制器芯片不但占据了高端微控制器市场的大部分市场份额，同时也逐渐向低端微控制器应用领域扩展，ARM 微控制器的低功耗、高性价比，向传统的 8 位/16 位微控制器提出了挑战。
- 无线通讯领域：目前也有超过 85% 的无线通讯设备采用了 ARM 技术，ARM 以其高性能和低成本，在该领域的地位日益巩固。
- 网络应用：随着宽带技术的推广，采用 ARM 技术的 ADSL 芯片正逐步获得竞争优势。此外，ARM 在语音及视频处理上进行了优化，并获得广泛支持，也对 DSP 的应用领域提出了挑战。

- 消费类电子产品：ARM 技术在目前流行的数字音频播放器、数字机顶盒和游戏机中得到了广泛应用。

- 成像和安全产品：现在流行的数码相机和打印机中绝大部分采用 ARM 技术。手机中的 32 位 SIM 智能卡也采用了 ARM 技术。

除此之外，ARM 微处理器及技术还应用到许多不同的领域，并会在将来取得更加广泛的应用。

2. ARM 微处理器的特点

采用 RISC 架构的 ARM 微处理器一般具有以下特点：

- 体积小、低功耗、低成本、高性能；
- 支持 Thumb1（16 位）/ARM（32 位）双指令集，能更好地兼容 8 位/16 位器件；
- 大量使用寄存器，指令执行速度更快；
- 大多数数据操作都在寄存器中完成；
- 寻址方式灵活简单，执行效率高；
- 指令长度固定。

ARM 微处理器有 ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10E、SecurCore、Intel 的 StongARM 和 Intel 的 Xscale 等多个系列。除了具有 ARM 体系结构的共同特点以外，每个系列的 ARM 微处理器都有各自的特点和应用领域。如 ARM7 系列适用于工业控制、网络设备、移动电话等应用；ARM9、ARM9E 和 ARM10E 系列则更适用于无线设备、消费类电子产品的设计；SecurCore 系列专门为安全要求较高的应用而设计，例如，电子商务、电子政务、电子银行业务等领域；Intel 的 StongARM 处理器是便携通信产品和消费类电子产品的理想选择，已成功应用于多家公司的掌上电脑系列产品。因此，对 ARM 微处理器的选择要综合考虑系统的应用领域以及 ARM 微处理器本身的特点是否适用于系统需要。例如，如果用户希望使用 WindowsCE 或 Linux 等操作系统以减少软件开发时间，那么就需要选择 ARM720T 以上带有 MMU（Memory Management Unit）功能的 ARM 芯片。此外，还要考虑系统的工作频率、芯片内存储器的容量、片内外围电路的配置等问题。

2.3.2 系统硬件平台概述

在综合考虑系统功能、开发成本、开发周期等因素的基础上，我们选用了北京恒颐高科技术有限公司设计生产的 H2410C 开发板作为硬件平台。该开发板采

用韩国三星半导体公司的 S3C2410 处理器。S3C2410 是一款基于 ARM920T 内核的 16/32 位 RSIC 嵌入式微处理器，主要面向高性价比、低功耗的应用。

如图 2-1 所示是 H2410C 开发板的系统框图。

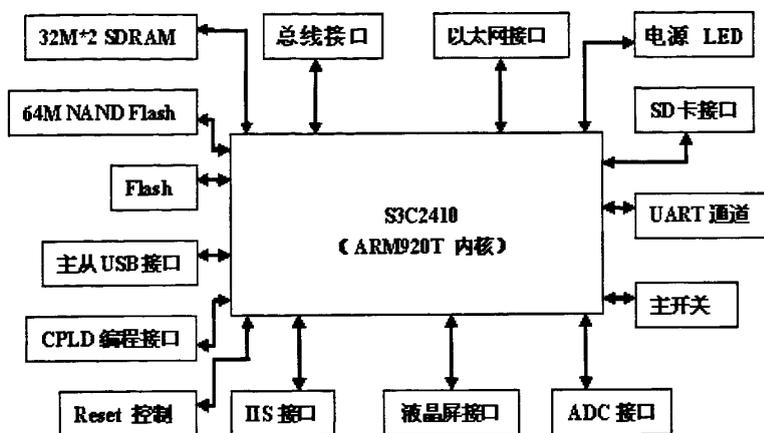


图 2-1 开发平台系统框图

该平台在尽可能小的电路板面积上集成了 64M SDRAM、64M Nand Flash、2M Flash（可扩展为 4M）、以太网、音频输入与输出、USB Slave、USB Host、标准串口、SD 卡插座等设备接口，并且引出了 CPU 的大部分信号引脚。通过这个平台可以针对 S3C2410 进行系统级的硬件和软件设计，并且能够很方便地在该平台上进行相关的功能扩展以及进行所需产品的设计。

1. ARM920T 简介

ARM920T 是 ARM920TDMI 系列中的一款通用性的微处理器，由内核、高速缓存和内存管理单元（MMU）组成。采用 5 级流水线工作，即取指、译码、执行、缓存/数据、回写。具有分开的指令和数据存储器，这样可以把指令访问和数据访问单独安排 1 级流水线。

ARM920T 内核编程模型：

- ARM920T 支持字节（8 位）、半字（16 位）、字（32 位）3 种数据类型，其中，字需要 4 字节对齐，半字需要 2 字节对齐。
- ARM920T 微处理器一般由 ARM 状态和 Thumb 状态两种工作状态。在程序的执行过程中，微处理器可以随时在两种工作状态之间切换，并且，处理器工作状态的切换不影响处理器的工作模式和相应寄存器的内容。

- ARM920T 支持 7 种运行模式,分别为用户模式(usr)、快速中断模式(fiq)、外部中断模式(irq)、管理模式(svc)、数据访问终止模式(abt)、系统模式(sys)、和未定义指令中止模式(und)。ARM 微处理器的运行模式可以通过软件改变,也可以通过外部中断或异常处理改变。
- 寄存器组织: ARM920T 共有 37 个 32 位寄存器,其中 31 个为通用寄存器,6 个为状态寄存器。但是这些寄存器不能同时被访问,具体哪些寄存器是可编程访问的,取决于微处理器的工作状态及具体的运行模式。
- ARM920T 体系结构中包含一个当前程序状态寄存器(CPSR)和 5 个备份的程序状态寄存器(SPSR)。备份的程序状态寄存器用来进行异常处理,其功能包括保存 ALU 中的当前操作信息、控制允许和禁止中断以及设置处理器的运行模式。

2. S3C2410 及片内外围简介^[6]

S3C2410 微处理器是一款由韩国三星半导体公司为手持设备设计的低功耗、高度集成的微处理器,采用 272 脚 FPGA 封装。S3C2410 在包含 ARM920T 核的同时,增加了丰富的外围资源,如图 2-2 所示。S3C2410 的主要片内外围模块包括:

- 16KB 一体化的 Cache/MMU;
- 1 个 LCD 控制器,支持 STN 和 TFT 液晶显示屏;
- 4 个通道的 DMA,支持存储器和 I/O 口之间的传输,以猝发模式提高传输率;
- 3 个通道 UART;
- 一路 IIC 和一路 IIS 总线接口;
- 2 路 USB 主机接口,1 个 USB 设备接口;
- 4 个具有 PMW 功能的 16 位定时/计数器和 1 个 16 位内部定时器,支持外部时钟源;
- 16 位看门狗定时器;
- 117 位通用 I/O 口和 24 路外部中断源;
- 8 通道 10 位 ADC;
- 触摸屏接口;
- SD 卡接口和 MMC 接口;
- 具有日历功能的 RTC;
- 片内锁相环,内部时钟可达 200M;
- 电源管理;

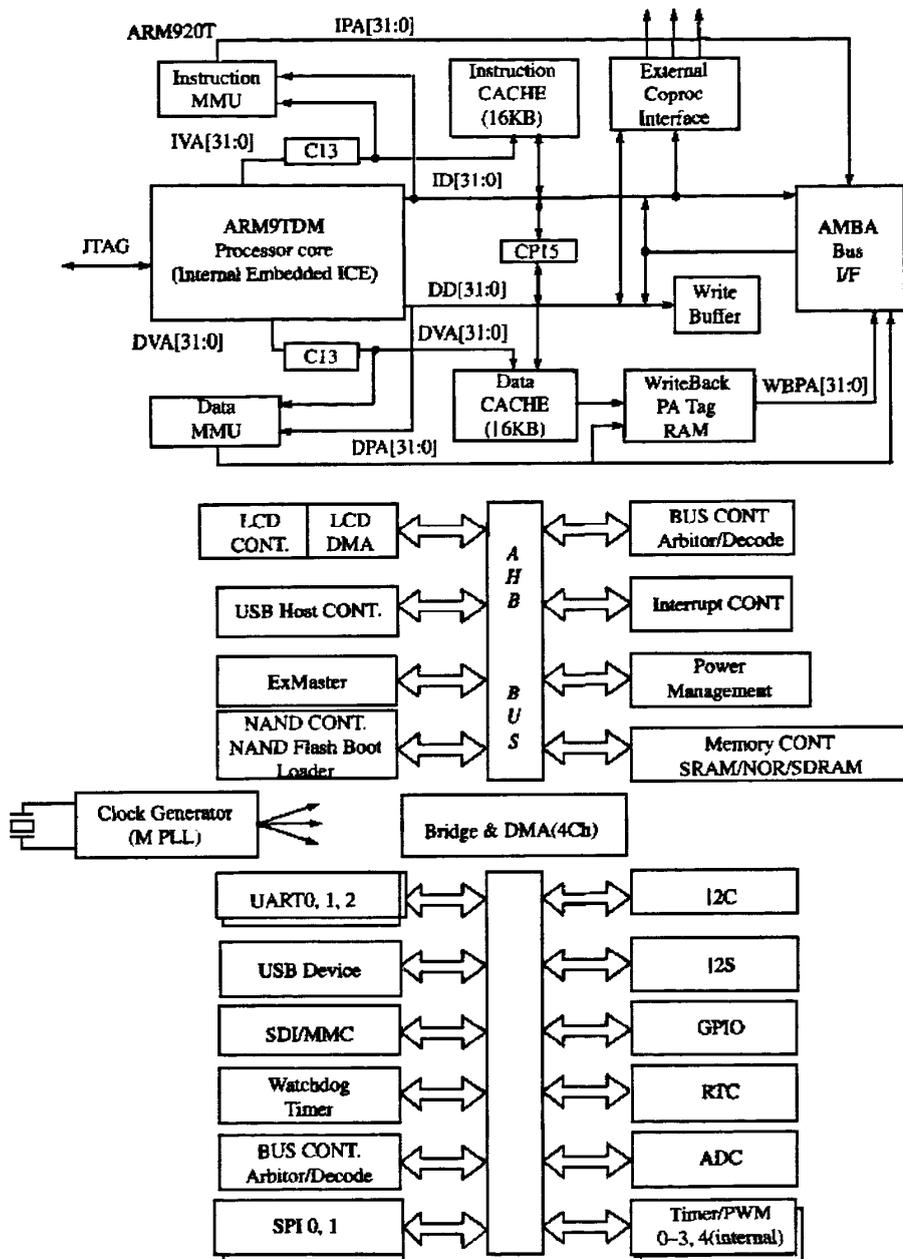


图 2-2 S3C2410 结构框图

3. 无线传输方案的设计

无线部分要组建基于 ZigBee 网络技术的无线传感器网络，来完成对环境参数的采集和无线传输。ZigBee 采用的是 IEEE802.15.4 标准，利用全球共用的公

共频率 2.4GHz，应用于监视、控制网络时，其具有非常显著的低成本、低功耗、网络节点多、传输距离远等优势，目前被视为最具发展前景的技术之一。

射频发射接收芯片我们选用的是 TI 公司的 CC2430。该芯片是符合 ZigBee 技术的 2.4GHz 射频系统单芯片。适用于各种 ZigBee 或类似 ZigBee 的无线网络节点，包括调谐器、路由器和终端设备。CC2430 芯片以强大的集成开发环境作为支持，内部线路的交互式调试以遵从 IDE 的 IAR 工业标准为支持，得到了嵌入式结构很高的认可。此外，该芯片可以还能进行功能升级，如实现无线局域网，与以太网的接口等。它的主要特点是：

- 高性能和低功耗的 8051 微控制器核；
- 集成符合 IEEE802.15.4 标准的 2.4GHz 的 RF 无线收发机；
- 优良的无线接收灵敏度和强大的抗干扰性；
- 在休眠模式时仅 0.9 μ A 的流耗，外部的中断或 RTC 能唤醒系统；在待机模式时，低于 0.6 μ A 的流耗，外部中断能唤醒系统。特别适合那些要求电池寿命非常长的应用。
- 硬件支持 CSMA/CA 功能；
- 较宽的电压范围（2.0~3.6V）；
- 数字化的 RSSI/LQI 支持和强大的 DMA 功能；
- 具有电池监测和温度感测能力；
- 集成了 14 位模数转化的 ADC；
- 集成 AES 安全协处理器；
- 带有 2 个强大的支持几组协议的 USART，以及 1 个符合 IEEE802.15.4 规范的 MAC 计时器，1 个常规的 16 位计时器和 2 个 8 位计时器；
- 强大和灵活的开发工具。

4. 有线采集模块设计

此外，系统的硬件结构还包括有线采集模块的设计，这部分内容将在后面的章节中详细介绍。

系统整体硬件框图如图 2-3 所示：

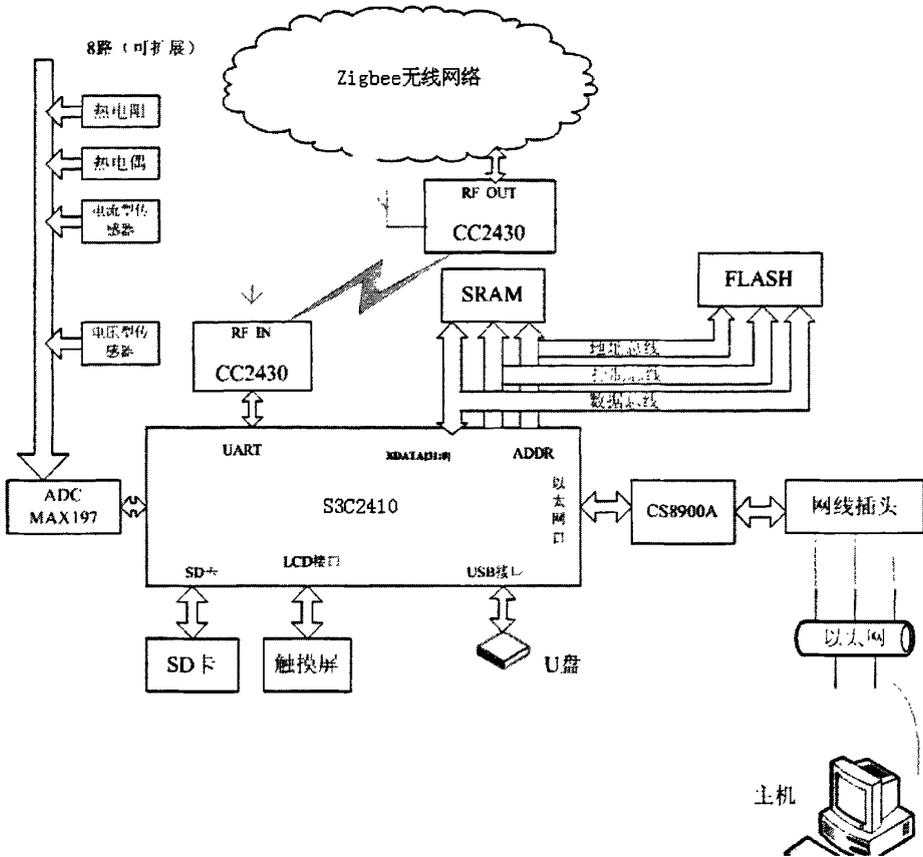


图 2-3 系统整体硬件框图

2.4 系统的软件方案

2.4.1 嵌入式操作系统的选择

嵌入式操作系统（Embedded Operating System, EOS）负责嵌入式系统的全部软硬件资源的分配、调度、控制、协调；它必须体现其所在系统的特征，能够通过加载/卸载某些模块来达到系统所需要的功能。

EOS 是相对于一般操作系统而言的，它除具备了一般操作系统最基本的功能，如任务调度、同步机制、中断处理、文件处理等外，还有自己的特点：

- 强稳定性，弱交互性：嵌入式系统一旦开始运行就不需要用户过多的干预，这就要求负责系统管理的 EOS 具有很强的稳定性；

- 较强的实时性：EOS 实时性一般较强，可用于各种设备的控制当中；
- 可伸缩性：开放、可伸缩性的体系结构；
- 外设接口的统一性：提供各种设备驱动接口。

嵌入式系统的操作系统核心通常要求体积要很小，因为硬件 ROM 的容量有限，除了应用程序外，不希望操作系统占用太大的空间。目前，较为常用的嵌入式操作系统有 WinCE、VxWorks、Palm OS、EPOC、Linux 等。

Linux 是具有目前最为流行的一款开放源代码的操作系统，从 1991 年间世到现在，不仅在 PC 平台，还在嵌入式应用中大放异彩，逐渐形成了与其它商业 EOS 抗衡的局面，目前正在开发的嵌入式系统中，70% 以上的项目选择 Linux 作为嵌入式操作系统^[4]。

经过改造后的嵌入式 Linux 具有适合于嵌入式系统的特点：

1. 开放性

开放性是指系统遵循世界标准规范，特别是遵循开放系统互联（OSI）国际标准。凡遵循国际标准所开发的硬件和软件，都能彼此兼容，可方便地实现互联。Linux 的源代码是开放的，任何人都可以自由使用、修改、散布，Linux 核心本身也采用模块化设计，让人很容易增减功能。也就是说，利用 Linux 制作自己的平台的时候，有需要的模块就加入，不需要则可以删除，也正由于 Linux 具有这样高的可伸缩性，所以可以调出最适合硬件平台的核心来。

2. 多用户

多用户是指系统资源可以被不同用户各自拥有和使用，即每个用户对自己的资源有特定的权限，互不影响。

3. 多任务

多任务是现代计算机最主要的一个特点。它是指计算机同时执行多个程序，而且各个程序的运行互相独立。Linux 系统调度每一个进程平等地访问微处理器。由于 CPU 的处理速度非常快，其结果是，启动的应用程序看起来好像在并行运行。

4. 稳定性强

Linux 不属于任何一家公司，但它却拥有全世界愿意投入自由软件的开发人员。在全球各处都有无数的人参与 Linux 核心的改进、调试与测试，也正因此造就了稳定度高的 Linux。

5. 设备独立性

设备独立性是指操作系统把所有外部设备统一当作文件来看待，只要安装它们的驱动程序，任何用户都可以像使用文件一样，操纵、使用这些设备，而不必知道它们的具体存在形式。Linux 是具有设备独立性的操作系统，它的内核具有

高度适应能力。随着程序员不断加入 Linux 编程,会有更多硬件设备加入到各种 Linux 内核和发行版本中。另外,由于用户可以免费得到 Linux 的内核源代码,因此,用户可以修改内核源代码,以便使用新增加的外部设备。

6. 提供丰富的网络功能

完善的内置网络是 Linux 的一大特点。Linux 在通信和网络功能方面优于其它操作系统。常见的几种操作系统都不包含如此紧密地和内核结合在一起的连接网络的能力,也没有内置这些联网特性的灵活性。而 Linux 为用户提供了完善的、强大的网络功能,包括支持 Internet、文件传输和远程访问。

7. 可靠的系统安全

在 Linux 操作系统中采取了许多安全技术措施,包括对读、写进行权限控制、带保护的子系统、审计跟踪、核心授权等,这些措施为网络多用户环境中的用户提供了必要的安全保障。

8. 良好的可移植性

可移植性是指将操作系统从一个平台转移到另一个平台,并使它仍然能按其自身的方式运行的能力。Linux 一开始是基于 Intel 386 机器设计的,但随着网络的散布,加上有许多工程师致力于各式平台的移植,使得 Linux 可以在 x86、MIPS、ARM/Strong ARM、PowerPC 等平台上运行。这些平台几乎覆盖了所有嵌入式系统的 CPU 种类,这样,在硬件平台设计时,使得可以考虑的 CPU 种类增加了不少。

正是基于 Linux 操作系统如此优秀的特点,特别是它的开放性、内核可定制、灵活的移植性、强大的网络功能,使得 Linux 成为我们选择嵌入式操作系统的首选,它可以很完美的实现系统功能,并且可以大大缩短开发周期,节约成本。

2.4.2 其它软件方案的实现

系统软件方面的设计还包括上位机管理软件、对采集数据的集中管理以及用户图形界面的设计。各部分软件设计都采用了目前最先进、最实用的开发语言和工具,以期使系统具有最可靠、最高效的软件支持。

1. 用户图形界面的设计

为了给用户提供一个友好、人性化的人机交互环境,我们采用 MiniGUI 进行用户图形界面的设计。MiniGUI 是在 Linux 控制台上运行的多窗口图形用户界面支持系统,可以在以 Linux 为基础的应用平台上提供一个简单可行的 GUI 支持方案。它是基于 SVGALib 和 LinuxThread 库的,采用了类 Win32 的 API 接口,是一款专为基于 Linux 的实时嵌入式系统设计的用户界面支持系统。“小”是

MiniGUI 的特色，它可以很方便地应用于电视机顶盒、实时控制系统、掌上电脑等诸多场合。

2. 采集数据的管理

由有线通道和无线网络采集而来的庞大数据送到嵌入式主机，主机要对其进行管理，并且要完成数据在用户界面的显示。为此，我们选用 SQLite 数据库结构来完成该任务。SQLite 是一款轻型的数据库，它的设计目标是嵌入式的，而且目前已经在许多嵌入式产品中使用了它，它占用资源非常低，在嵌入式设备中，可能只要几百 K 的内存就够了。它能够支持 Windows/Linux/Unix 等主流的操作系统，同时能够和许多程序语言相结合。SQLite 虽然小巧，但是支持的 SQL 语言丝毫不逊于其它开源数据库，同时它支持事务处理功能、支持跨平台、操作简单，能够使用很多语言直接创建数据库，特别适用于像我们这样小型嵌入式开发系统的应用。

3. 上位机管理

上位机管理软件的编写采用的是 Delphi 语言和 Access 数据库相结合的方案。

2.5 系统的主要创新点

较之国内同类产品，本项目具有以下创新点：

1. 在环境监测设备中采用嵌入式 ARM920T 微处理器技术作为系统主机基础平台，为海量存储、复杂得外围接口扩展、10M 以太网连接提供了充足的保障；

2. 应用 Linux 嵌入式操作系统，各个模块同时多任务工作，多个线程可以在操作系统的维护和管理下，按照既定的协议有条不紊的进行，而不相互干扰，充分利用了硬件资源，提高了资源利用率。而且，Linux 操作系统还使得多位数据处理计算更加简便，使设备对各种环境参量表述更为丰富和精确。突破了以往应用单片机技术所用汇编语言的束缚；

3. 采用 IEEE802.15.4 标准的 ZigBee 网络技术组建无线传感器网络，用于环境参量采集；

4. 本系统除支持作为 HOST 方式的 USB 接口外，还采用以太网口将采集的数据实时地传输给主机，有利于对环境参数的实时监测；

5. 本系统同时具有有线和无线采集模式，用户可根据环境情况自由选择。而且，有线采集部分设有 8 个通道（可扩展），支持目前几乎所有的传感器类型。

6. 设备使用触摸屏，极大地改善了人机界面接口，丰富了用户视觉感受，也用户使用更加方便和直观。

总之，本系统设计在各个方面都对现有环境参数监测系统有了很大空间地提升，从技术含量和产品价值方面都处于国内领先水平，具有极高地研究价值和经济价值。

2.6 本章小结

本章是对整个环境监测系统设计方案的一个综述，也是我们这个项目组最初进行方案论证的一个缩影。首先从系统设计的任务和要求出发，随后介绍了嵌入式系统的特点和发展史，在此基础上介绍了系统硬件平台的构建和软件方案设计，包括各个模块的划分、芯片的选型、操作系统的确定以及其它软件设计工具的选择等。最后，对本系统设计的主要特点进行了总结。

第三章 温度测量概述

温度是一个重要的物理量。它是国际单位制中 7 个基本物理量之一，也是工业生产中主要的工艺参数。但是，要准确地测量温度是很困难的，无论采用准确度多高的温度计，如果温度计选择不当，或者测量方法不适宜，均不能得到满意结果。由此可以看出测温技术的重要性与复杂性。

做为一个温度监测系统，在设计过程中难免要涉及到温度测量的一些基本知识，而且本系统的数据采集模块集合了目前比较流行的多种温度采集手段，因此，本章将对这些问题做一概述。

3.1 温度测量的相关概念

3.1.1 温度与温标

温度是表征物体冷热程度的物理量。从能量角度来看，温度是描述系统冷热不同自由度间能量分布状况的物理量；从热平衡的观点来看，温度是描述热平衡系统冷热程度的物理量。它标志着系统内部分子无规则运动的剧烈程度，温度高的物体，分子平均动能大；温度低的物体，分子平均动能小。对于非平衡系统，目前对温度尚缺乏准确的定义。

为了保证温度量值的统一和准确，应该建立一个用来测量温度的标准尺度，简称温标。温度的高低必须用数字来说明，温标就是温度的数值表示方法。目前国际上用的较多的温标有：

1. 经验温标

借助于某一种物质的物理量与温度变化的关系，用实验方法或经验公式所确定的温标，称为经验温标。

● 华氏温标

在标准大气压下，冰的熔点为 32 度，水的沸点为 212 度，中间划分 180 等分，每等分为华氏一度，记做⁰F。

● 摄氏温标

在标准大气压下，冰的熔点为 0 度，水的沸点为 100 度，中间划分 100 等分，每等分为摄氏 1 度，记做⁰C。

2. 热力学温标

由于经验温标具有局限性和随意性两个缺点，不能适用于任意地区或任何场合。只有“放之四海而皆准”、用普遍规律所确定的温标，才是最科学的。热力学温标不依赖任何测温物质的任何物理特性，它是根据卡诺循环定出来的，以卡诺循环的热量作为测定温度的工具。

3. 国际温标

国际温标是一个国际协议性温标，它与热力学温标相接近，而且复现精度高，使用方便。国际计量委员会在第 18 届国际计量大会第七号决议通过了 1990 年国际温标 ITS-90。我国自 1994 年 1 月 1 日起全面实行 ITS-90 国际温标。

3.1.2 温度测量方法的类型

温度的高低，可以由人的器官感觉出来，但这很不可靠，也不准确。因为每个人的感觉是不同的，因此，用人的感觉来判断测量温度是不科学的。但是温度计量又不像长度计量那样可以叠加。所以为了判断温度的高低，只能借助于某种特性（例如电阻值、体积等）随温度变化的一定规律来测量，这样自然形成了形形色色的温度传感器。

温度测量方法的分类很多，从测量时传感器中有无电信号可以划分为非电测量和电测量两大类；从测量时传感器与被测对象的接触方式不同可以划分为接触式和非接触式。通常来说接触式测温比较简单、可靠、测量精度较高，但因测温元件与被测介质需要进行充分的热交换，需要一段时间才能达到热平衡，所以在测温的延迟现象，同时受耐高温材料的限制，不能应用于很高的温度测量；非接触式温度测量是通过热辐射原理来测量温度的，测温元件不需与被测介质接触，测温范围广，不受测温上限的限制，也不会破坏被测物体的温度场，反应速度一般也比较快，但受到物体发射率、测量距离、烟尘和水气等外界因素的影响，其测量误差较大。

每一种测量方法中，温度测量仪器又有许多种类，如膨胀式温度计、金属热电偶温度计、热电阻温度计、热敏电阻温度计、光学温度计、红外温度计等。本系统涉及到的几种温度传感器将在本章其余小节中介绍。

3.2 热电偶测温

热电偶是工业上普遍使用的温度检测元件之一，广泛用来测量-200~1300℃范围内的温度。在特殊情况下，可测至 2800℃的高温或 4K 的低温。

3.2.1 热电偶的特点

1. 优点

- 热电偶可将温度量转化成电量进行检测，所以对于温度的测量、控制以及对温度信号的放大、变换等都能很方便实现。
- 结构简单，制造容易，价格便宜。
- 惰性小，准确度高，测温范围广。
- 能适应各种测量对象的要求，如点温和面温的测量。
- 适于远距离测量与自动控制。

2. 缺点

- 测量准确度难以超过 0.2°C 。
- 必须有参考端。
- 在高温或长期使用时，因受被测介质影响或气氛腐蚀作用而发生劣化。

3.2.2 热电偶的测温原理

热电偶是热电温度计的敏感元件。它的测温原理是基于 1821 年塞贝克发现的热电效应。

两种不同的导体 A 和 B 连接在一起，构成一个闭合回路，当两个接点 1 与 2 的温度不同时（见图 3-1），如 $T > T_0$ ，在回路中就会产生热电动势。此种现象称为热电效应。该电动势就是著名的“塞贝克温差电动势”，简称“热电动势”，记为 E_{AB} 。导体 A、B 称为热电极^[7]。

热电偶就是通过测量热电动势来实现测温的。如果进一步分析，则可发现热电偶是一种能量转换器，它是将热能转化为电能，用所产生的热电动势测量温度。该电动势实际上是由接触电势与温差电势两部分组成的。

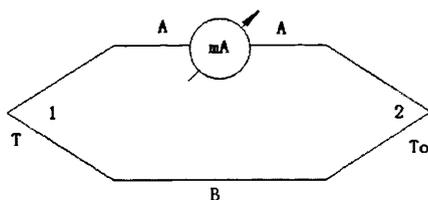


图 3-1 塞贝克效应示意图 ($T > T_0$)

1. 接触电动势

导体内部的电子密度是不同的，当两种电子密度不同的导体 A 与 B 相互接触时，就会发生自由电子的扩散现象，自由电子从密度高的导体流向电子密度低

的导体。电子扩散的速率与自由电子的密度及所处的温度成正比。电子的扩散使得在 A 和 B 之间形成了电位差。一旦电位差建立起来以后，将阻止电子继续扩散。在某一温度下，经过一定的时间，电子扩散能力和上述电场阻力平衡，即在 A 和 B 接触处的自由电子扩散达到了动平衡，那么，在其接触处形成的电动势，称为接触电动势 $E_{AB}(T)$ 。

$$E_{AB}(T) = \frac{kT}{e} \ln \frac{N_A}{N_B} \quad (3-1)$$

式中， k 为玻耳兹曼常数； e 为电子电荷量； N_A ， N_B 分别是材料 A 和 B 的自由电子密度。

同样，在温度为 T_0 的一端也有接触电动势 $E_{AB}(T_0)$ ，

$$E_{AB}(T_0) = \frac{kT_0}{e} \ln \frac{N_A}{N_B} \quad (3-2)$$

在回路中的接触电动势 $E_{AB}(T, T_0)$ 为

$$E_{AB}(T, T_0) = E_{AB}(T) - E_{AB}(T_0) = \frac{k}{e}(T - T_0) \ln \frac{N_A}{N_B} \quad (3-3)$$

2. 温差电动势

由于导体两端温度不同而产生的电势称为温差电动势。由于温度梯度的存在，改变了电子的能量分布，高温端 (T) 电子将向低温端 (T_0) 扩散，致使高温端因失电子带正电，低温端恰好相反，因获电子带负电。因而，在同一导体两端也产生了电位差，并阻止电子从高温端向低温端扩散，最后使电子扩散建立一个动平衡，此时所建立的电位差称为温差电动势。

两导体 A, B 的温差电动势分别为：

$$E_A(T, T_0) = \int_{T_0}^T \sigma_A \cdot dT \quad (3-4)$$

$$E_B(T, T_0) = \int_{T_0}^T \sigma_B \cdot dT \quad (3-5)$$

$$E_{AB}(T, T_0) = \int_{T_0}^T \sigma_A \cdot dT - \int_{T_0}^T \sigma_B \cdot dT = \int_{T_0}^T (\sigma_A - \sigma_B) \cdot dT \quad (3-6)$$

式中, σ_A , σ_B 分别为导体 A, 导体 B 的汤姆逊系数。

3. 热电动势

综合上述两种热电效应所构成的电动势, 就是不同导体构成回路时因两个接点温度不同 ($T \neq T_0$) 所产生的热电动势, 即:

$$E_{AB}(T, T_0) = \frac{k}{e}(T - T_0) \ln \frac{N_A}{N_B} + \int_{T_0}^T (\sigma_A - \sigma_B) \cdot dT \quad (3-7)$$

上式也可写成 (推导略) 以下形式:

$$E_{AB}(T, T_0) = \int_{T_0}^T \frac{k}{e} \ln \frac{N_A}{N_B} dT = \int_{T_0}^T S_{AB} \cdot dT \quad (3-8)$$

式中, S_{AB} 称为热电偶的塞贝克系数或热电率, 它是热电偶最重要的特征量。

由公式 (3-7) 知, 热电动势决定于构成回路的材料类别和两个接点的温度。当材料一定时, 热电动势只与两个接点温度有关。根据公式 (3-8) 热电动势可表示为:

$$E_{AB}(T, T_0) = E(T) - E(T_0) \quad (3-9)$$

当温度 T_0 为 0°C 或为常数时

$$E_{AB}(T, T_0) = E(T) \quad (3-10)$$

通常将保持在 0°C 或某一常数值 T_0 的一端称为冷端或自由端, 用以感测温度 T 的一端称为热端或工作端。从上述分析可见, 热电偶所产生的热电动势决定于温度 T 、 T_0 , 热电动势的大小与热电偶材料的断面大小无关; 其次保持冷端为 0°C 或某一常数值也是热电偶使用的前提条件。

3.2.3 热电偶的分类及其特性

构成热电偶的两种材料称为热电极。热电极主要是由金属材料制成的, 有时也用非金属材料及半导体材料。对热电极的要求是: 化学稳定性高、物理性能稳定、热电动势大及灵敏度高、线性度较好、材料复制性能优良、价格便宜、电阻

温度系数低、机械性能好、便于拉丝与焊接等。当然，要找到一种绝对符合要求的理想热电极材料是不现实的，但是可以根据所测的温度高低、介质特性等实际情况，找到一些适合具体测温条件的材料。

自热电效应被发现以来，已有 300 多种热电极材料用于构成不同的热电偶，其中广泛使用的大约有 50 来种。它的分类方法很多，有的将其分为贵金属热电偶与廉金属热电偶。由金、铂等贵金属及其合金构成的热电偶称为贵金属热电偶，除此之外的统称为廉金属热电偶。其中应用最广泛的是标准化热电偶。标准化热电偶是指生产工艺成熟、能批量生产、性能优良、具有统一分度表、并已列入国际专业标准中的热电偶。目前，国际标准化热电偶共有 8 种，分别以 8 个不同的字母表示。例如 K 型热电偶，它是由镍铬和镍硅（铝）两种成分构成的。K 型热电偶测温范围宽、线性度好、灵敏度高、抗氧化能力强，是一种最通用的热电偶，适于 1300℃ 以下的温度测量，本系统也选用了该类型的热电偶。

3.2.4 热电偶的冷端补偿

前已述及，保持冷端为 0℃ 或某一常数值，是使用热电偶的前提条件。要求冷端温度必须恒定，是因为热电偶所产生的热电动势不仅与被测温度有关，而且还和冷端的温度有关，只有在冷端温度固定后，热电偶才和被测温度有确定的单一函数关系。保持冷端温度为 0℃，是因为经常使用的热电偶的分度表都是以热电偶的冷端温度为 0℃ 作为先决条件的，为了直接应用分度表，就必须保持冷端温度为 0℃。实际测量中，冷端的温度往往是波动的，从而造成测量误差。为了尽量减小这种误差，就需要设法使冷端的温度保持 0℃，或先保持恒定，然后进行修正，以消除因冷端温度不是 0℃ 而带来的误差。

保持冷端温度为 0℃（如将冷端置于冰水槽中），这一般只能在试验研究室条件下才可行，现实情况下并不适用。另外还可以用补偿导线将冷端引到温度恒定的地方，但值得注意的是，这样做并没不能消除因冷端温度不是 0℃ 而带来的与分度表的差别，在实际的工程应用中通常都是采用修正的方法来解决这一问题。常用的修正方法有：

1. 热电动势修正法

当冷端温度变化后（ t_0 变化到 t'_0 ），热电偶产生的热电动势分别为：

$$E(t, t_0) = E(t) - E(t_0) \quad (3-11)$$

$$E(t, t'_0) = E(t) - E(t'_0) \quad (3-12)$$

公式 (3-11) 与公式 (3-12) 相减, 得

$$E(t, t_0) - E(t, t'_0) = E(t'_0) - E(t_0) = E(t'_0, t_0) \quad (3-13)$$

即

$$E(t, t_0) = E(t, t'_0) + E(t'_0, t_0) \quad (3-14)$$

其中, $E(t, t'_0)$ 为热电偶实际测量的热电动势, 而 $E(t'_0, t_0)$ 为热电偶冷端温度由 t_0 变化到 t'_0 相应的热电动势, 由热电偶分度表可查出它对应的温度值^[8]。

2. 温度补正法

热电动势补正法计算比较麻烦, 简单的方法是将实际测量热电偶冷端温度或直接以环境中平均温度为补正值, 误差并不大, 对一般工业要求是允许的。但此法对于热电特性线性度较差的热电偶不适用。为此, 工业上采用温度补正系数 K 修正, 具体 K 值可参见相关表格。

当然, 冷端温度的补正还有其它方法, 如调仪表起点法、电桥补正法等。综合权衡各种补正方法的优缺点, 最后系统选用的是热电动势补正法对热电偶的冷端进行补偿。

3.3 热电阻测温

3.3.1 热电阻及其特性

随着温度的升高, 导体或半导体材料的电阻值会发生变化, 温度和电阻间具有单一的函数关系, 利用这一函数关系来测量温度的方法, 即为热电阻测温法, 而用于测温的导体或半导体称为热电阻。它们广泛用来测量 $-200 \sim 850^\circ\text{C}$ 范围内的温度。测温用的热电阻主要有金属电阻和半导体两大类。

与其它热电温度计相比, 电阻温度计具有以下特性: 准确度高、输出信号大、灵敏度高、测温范围广、稳定性好、无需参考点, 但是采用细铂丝的热电阻元件抗机械冲击与振动性能差。元件的结构复杂、尺寸大, 因此, 热响应时间长, 不适宜测量体积狭小和温度瞬变环境。目前, 能满足上述要求, 并且应用最广的是铂丝、铜丝电阻, 此外还有镍丝电阻、铑电阻、铂铑电阻等。半导体电阻主要有锗电阻、热敏电阻等类型。

3.3.2 铂热电阻

由以铂作为感温材料的感温元件、内引线和保护管构成的温度传感器，称为铂热电阻。铂热电阻具有示值稳定、测温准确度高等优点，还具有一定程度的抗振动冲击的性能，更重要的是互换性好，即每支合格的热电阻，其分度性能均在允差范围内与相应的分度表一致。

铂热电阻的使用温度范围是 $-200\sim 850^{\circ}\text{C}$ 。在如此宽广的温域内，很难用一个数字公式准确的描述其电阻与温度的关系，通常是分成两个温度范围分别描述。

对于 $-200\sim 0^{\circ}\text{C}$ 的温度范围：

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + Ct^3(t - 100)] \quad (3-15)$$

对于 $0\sim 850^{\circ}\text{C}$ 的温度范围：

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2] \quad (3-16)$$

式中 R_0 是温度为 0°C 时铂热电阻的电阻值； R_t 是温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时铂热电阻的电阻值。上式中 R_0 的阻值对两线制铂热电阻来说不包括引线的阻值。A、B、C为常数^[9]。

国家标准中，按照 0°C 时的电阻值 R 的大小，将铂热电阻分为Pt10和Pt100两种，实际中使用的还有Pt200、Pt1000等。10 Ω 铂热电阻的感温原件是用较粗的铂丝绕制而成，耐温性能明显优于100 Ω 的铂热电阻，主要用于 650°C 以上的温区；100 Ω 铂热电阻主要用于 650°C 以下的温区，虽也可用于 650°C 以上温区，但在 650°C 以上温区不允许有A级误差。100 Ω 铂热电阻的分辨率比10 Ω 铂热电阻的分辨率大10倍，因此在 650°C 以下温区测温应尽量选用100 Ω 铂热电阻。该系统热电阻测温部分采用的就是Pt100铂热电阻。

3.3.3 热电阻的线制

由于热电阻的测温原理是依据材料阻值与温度的函数关系，而热电阻引线也必然有一定阻值，由此所带来的测量误差必将影响到最终的测量结果。为了减小引线电阻的影响，其直径往往比电阻丝的直径大的多。热电阻的引线有两线制、三线制、及四线制三种。

1. 两线制

在热电阻感温元件的两端各连一根导线的引线形式为两线制。这种两线制热电阻配线简单，费用低廉，但要带进引线电阻的附加误差。因此，不适用于 A 级。并且在使用时引线不宜过长。

2. 三线制

在热电阻感温元件的一端连接两根引线，另一端连接一根引线，此种引线形式称为三线制。它可以消除内引线电阻的影响，测量精度高于两线制。做为过程检测元件，其应用最广。本系统热电阻采用的也是三线制接法。

3. 四线制

在热电阻感温元件的两端各连两根引线。在高精度测量时，要采用四线制。此种引线方式不仅可以消除内引线电阻的影响，而且在连接导线阻值相同时，还可以消除该电阻的影响。

3.4 PN 结测温

半导体器件的输出电压（或电阻）随温度变化的规律，可以用来测量温度，进行非电量的电测技术工作。由此性质制成的半导体测温传感器灵敏度高、线性好，现已被人们广泛应用在温度测量、温度控制、温度补偿等各个方面。PN 结具有单向导电性，多用于检波、整流，还具有对温度敏感的特性。PN 结的正向压降具有负的温度系数，并且在一定范围内随温度近似呈线性变化，可作温度传感器使用。本系统利用 PN 结温度传感器来测量热电偶冷端温度，对其进行冷端补偿。

前已述及，利用热电偶测温需要保证热电偶的冷端保持 0°C ，实际工程中的通常做法是先使冷端温度保持恒定然后再进行补偿。由热电动势补偿法部分公式 (3-14) 可知，其中 t 为热电偶热端温度，即为待测温度值。假定 t_0 为 0°C ， t_0' 为冷端温度，这样， $E(t_0', t_0)$ 就可看作是热电偶热端温度为 t_0' ，冷端温度为 t_0 （即 0°C ）时的热电势值，只要设法测得 t_0' ，便可以通过查热电偶分度表（E-T 表）得到 $E(t_0', t_0)$ 的值。另外， $E(t, t_0')$ 为热端温度为 t ，冷端温度为 t_0' 时的热电势值，为热电偶实际测量值。这样由 $E(t, t_0) = E(t, t_0') + E(t_0', t_0)$ 便可以得到 $E(t, t_0)$ ，再通过查热电偶分度表（T-E 表）得到待测温度 t 。

由上面的分析可以看出，热电偶准确测温的关键在于能够得到的准确的冷端温度值。该系统在综合考虑 PN 结测温的优缺点的基础上，最终确定利用该方法来完成热电偶冷端补偿的任务。因此，本节将对 PN 结的测温原理及要注意的事项作一简介。

● PN 结的测温原理^[7]

PN 结是利用结电压对温度的依赖性，实现对温度检测的。实验证明在一定的电流通过的情况下，PN 结的正向电压与温度之间有良好的线性关系。通常将硅三极管 b、c 极短路，用 b、e 极之间的 PN 结作为温度传感器测量温度。硅三极管基极和发射极间正向导通电压 V_{be} 与温度成反比，线性度良好，测温精度高，适用于室温测量。缺点是一致性差，互换性差。

通常 PN 结的电流 I 和电压 U 满足公式 (3-17)：

$$I = I_s (e^{\frac{qU}{kT}} - 1) \quad (3-17)$$

在常温条件下，且 $e^{\frac{qU}{kT}}$ 远大于 1 时，式 (3-17) 可近似为

$$I = I_s e^{\frac{qU}{kT}} \quad (3-18)$$

其中 $q = 1.602 \times 10^{-19} C$ 为电子电量， $k = 1.381 \times 10^{-23} J/K$ 为玻尔兹曼常数， T 为热力学温度， I_s 为反向饱和电流。

正向电流保持恒定的条件下，PN 结的正向电压 U 和温度 t 近似满足下列线性关系：

$$U = Kt + U_g \quad (3-19)$$

式 (3-19) 中 U_g 为半导体材料参数， K 为 PN 结的结电压温度系数。

此外，由于利用 PN 结测温互换性差，即使是同型号的二极管、三极管都具有不同的特性，要对每一个进行重新测定。还有就是通过 PN 结温度传感器的工作电流不能过大，以免自身的温升影响测量精度。采用恒流源作为传感器的工作电流较为复杂，一般采用恒压源供电，但必须有较好的稳压精度。所有这些都是 PN 结测温中要注意的问题。

3.5 集成温度传感器

除了上述几种温度测量方法外，集成温度传感器也是一种常用的测温手段。通常分为电压型和电流型两种。集成温度传感器也称为温度变送器，它不需要外围电路，诸如信号的放大、整形、线性化处理等模块已集成在内部，其输出的电压或电流大小和温度成正比关系。

由 Honeywell 公司设计生产的 CHT 系列温湿度变送器,有 0~5V 输出或 4~20mA 输出两种,温度测量范围为-10~+60℃或-20~+85℃,湿度测量范围 0~100%RH。CHT 系列温湿度变送器准确度高,线性性能好,使用方便,是一种应用广泛的集成温湿度传感器。当然,集成温度传感器尽管具有很多优点,但是也存在诸如测温范围不宽、价格昂贵等不足,要根据实际情况权衡使用。

3.6 本章小结

本章是整个测控系统数据采集模块设计的预备知识。只有对温度测量的基础知识有了深刻理解以后,才能进行可靠、优越的软硬件系统设计。首先本章从温度测量的基本概念入手,介绍了温度测量的重要意义以及常用的测量方法,然后针对数据采集模块中要用到的几种传感器类型,从测温原理、设计时要注意的问题等方面进行了详细的阐述。

第四章 数据采集模块的硬件设计

数据采集模块是从模拟信号源中采集信号，并将之转换为数字信号送入数字处理器的过程。它作为整个系统信息获取、采集及传输的源头，占有极其重要的地位。系统功能的实现与否与该模块密切相关。而且，系统稳定性和精度水平主要决定于此。完成数据采集应具备下列基本部件：传感器、信号处理电路、A/D转换电路以及通信接口电路等。因此，数据采集电路的设计不仅仅限于是单纯A/D转换芯片的接口设计，还必须综合考虑传感器到CPU的全过程。

数据采集模块框图如图4-1所示，数据采集模块就是要完成各路模拟信号的采集、处理、AD转换、数值运算、线性化处理以及数字信息的传送等任务。

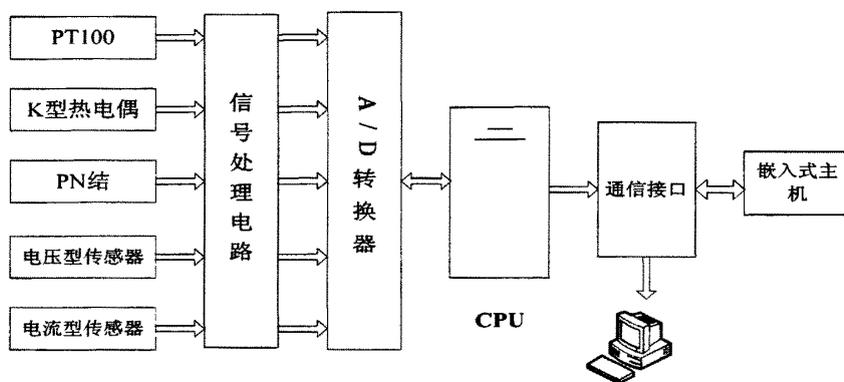


图 4-1 数据采集模块框图

4.1 前置信号处理电路设计

前向通道中，被测的温度物理量经传感器和前端信号处理电路的处理转换成电信号，而每一种传感器都有与之配套的信号处理接口电路，接口电路再将这一电信号转换成电压信号。信号处理电路的作用就是依据传感器输入信号的具体特征和后端系统的要求，对传感器输出信号进行各种形式的处理，如放大、滤波、电平转换等，同时还要考虑在传输过程中可能遇到的干扰影响，如噪声、温度、湿度等，采取一定的措施，传感器信号处理电路的内容要依据被测对象的特点和环境条件来决定。

前已述及，为满足各种应用场合的需要，系统设计要求能囊括目前常用的各种传感器类型，包括热电阻 PT100、K 型热电偶、PN 结温度传感器、标准电压型传感器（0~5V）和标准电流型传感器（4~20mA）。由于每一种传感器的测温原理不同，所以与之配套的信号处理电路也就各不相同。在下一小节中会提到，本模块 A/D 转换芯片选用的是 MAX197，该芯片有 8 个独立的模拟输入通道，支持 $\pm 10V$ 、 $\pm 5V$ 、 $0\sim+5V$ 以及 $0\sim+10V$ 多量程模拟信号输入。8 个通道设置分别为：CH0：PT100 一线端；CH1：PT100 二线端；CH2：K 型热电偶；CH3：PN 结；CH4：电压型湿度；CH5：电压型温度；CH6：电流型湿度；CH7：电流型温度。模块设计选用的是 $0\sim+5V$ 量程模拟信号输入，因此，信号处理电路的任务就是将各个传感器采集的模拟信号转换为 $0\sim+5V$ 的电压信号，送入 A/D 转换芯片中。

由于传感器送出的信号大都比较微弱，因此大多需要经过放大电路处理，而且其中还包含静电、电磁耦合等共模干扰，因此，对这种信号的放大就需要放大电路具有很高的共模抑制比以及高增益、低噪声和高输入阻抗。习惯上将具有这种特点的放大器称为测量放大器或仪表放大器。我们选用的是集成运算放大器 OP07。OP07 是高精度低失调电压的精密运放集成电路。具有极低的输入失调电压、极低的失调电压温漂、非常低的输入噪声电压幅度及长期稳定性等特点。电源电压范围为 $\pm 3\sim\pm 18V$ ，特别适合做前级放大，精确放大微弱信号^{[10][11]}。OP07 的引脚图如图 4-2 所示：

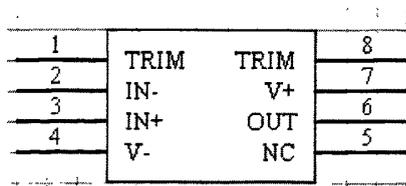


图 4-2 OP07 引脚图

说明如下：IN+为同相输入端；IN-为反向输入端；V+、V-为正负电源输入端；TRIM 为调零端；NC 为空脚；OUT 为输出端。

4.1.1 PT100 信号处理电路设计

在第三章中已经提到，热电阻的测温原理是根据材料的电阻值与温度的函数关系。因此，PT100 传感器信号处理电路的首要任务就是要将 PT100 的电阻值转化为 $0\sim 5V$ 的电压值。常用的热电阻测量电路有很多，如电桥法、电位法、恒

电流法等。随着电子技术的发展,恒流源的制作工艺不断提高,使得这种方法的应用前景越来越广,而且该方法可以很方便的将电阻值转换为电压值,在消除热电阻引线电阻误差方面,该方法也易于实现。因此,模块设计选用恒流源法来测量 PT100。

选用三端可调电流源 LM234 作为恒流源发生器,LM234 输入电压范围为 1~40V,输出电流可调范围为 $1\mu\text{A}\sim 10\text{mA}$; 具有较低的输出噪声和较快的动态响应,其输出精度为 $\pm 3\%$ 。LM234 的外形封装如图 4-3 所示:

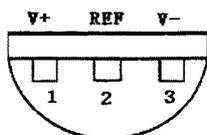


图 4-3 LM234 的外形封装

说明如下: REF 为输出电压调节反馈输入端,也就是输出电压端; V+ 为基准源的电源电压输入正端; V- 是基准源的公共接地端或输入电源负端。

图 4-4 所示的电路为零温度补偿的电流源应用电路,其输出电流可近似由下式给出^[12]:

$$I_{SET} \approx \frac{0.134}{R1} \quad (4-1)$$

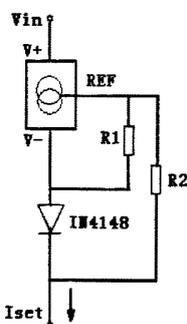


图 4-4 由 LM234 构成的零温度补偿的电流源电路

图中 $R2=10R1$ 。在实际电路中, $R1$ 选用的是 120Ω 精密电阻, $R2=1.2\text{K}$, 由公式 (4-1) 计算得, $I_{SET} \approx 1.117\text{mA}$ 。由 PT100 铂热电阻分度表可知, PT100 的测温范围可达 $-200\sim 850^\circ\text{C}$ 。在 850°C 时,此时 PT100 的阻值达到最大,为 390.48Ω , 以 400Ω 计,当通过约 1.117mA 的电流时, PT100 两端电压值大约为 0.45V , 要

想达到满足 A/D 转换芯片 0~5V 电压输入的要求，该电压信号还要经过放大电路。

具体电路连接如图 4-5 所示：

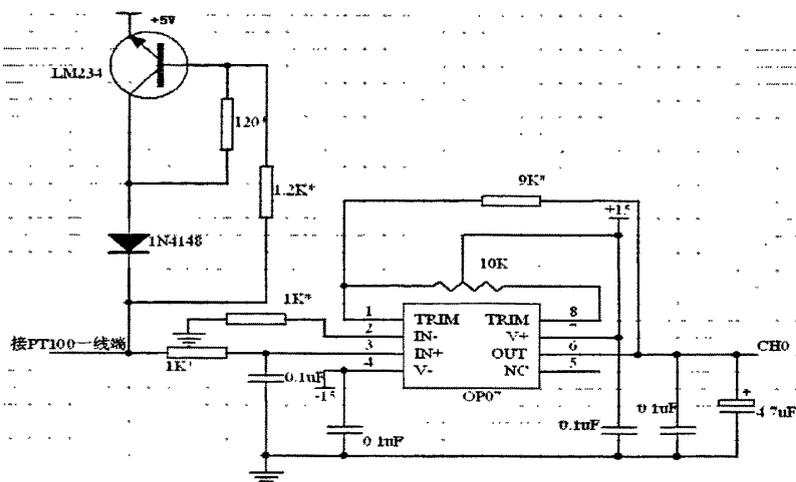


图 4-5 PT100 信号处理电路

运算放大器 OP07 构成正比例放大电路，放大倍数 $A=1+\frac{R_f}{R}=1+\frac{9K}{1K}=10$ ，为保证精度，电阻选用的是 0.5% 的精密电阻，在放大器的输入输出端都有滤波电容接入。跨接在 OP07 第 1、8 引脚两端的电位器用来调零。在正负电源端都加入了 $0.1\mu F$ 的去耦电容，以去除电源纹波的影响。电路的工作流程大致为：恒流源电路产生的恒定电流经过 PT100，将 PT100 对地电压取出，送入放大电路，然后将放大后的电压信号送入 A/D 转化器的 CH0 通道。

此外，前已述及，为避免引线电阻引起的测量误差，PT100 采用三线制接法。三线制接法原理示意图如图 4-6 所示。

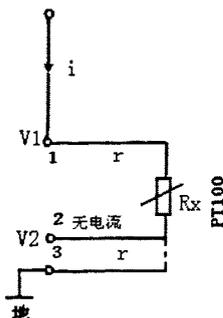


图 4-6 三线制接法原理示意图

实际中，2 和 3 均接于 PT100 的一端，1 接于 PT100 的另一端，且两端引线要保证直径、长度、材质一样， r 为单根引线电阻阻值， R_x 为 PT100 的阻值。其中， $V_1 = (R_x + 2r) \times i$ ， $V_2 = r \times i$ ，则 $V = V_1 - 2V_2$ 就是 PT100 去除引线电阻后所得的电压值。当然，运算要在软件中完成。这样， V_2 信号也要放大相同的倍数后送入 A/D 转换器 CH1 通道。

图 4-7 所示为 PT100 引线电阻处理电路的具体连接图。

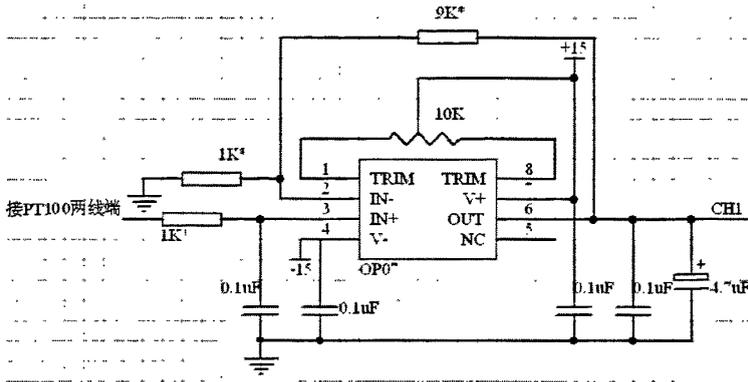


图 4-7 PT100 引线电阻处理电路图

4.1.2 K 型热电偶信号处理电路设计

由热电偶的测温原理可知，热电偶本身输出的就是电势信号，因此信号处理电路只要将此信号放大即可。但是通常热电偶产生的电势很小，只有几毫伏。K 型热电偶温度每变化 1°C 时电压变化只有大约 $40\mu\text{V}$ ，这样就对测量系统的测量精度提出了较高要求。测量热电偶电压要求的增益一般为 100 到 300，从 K 型热电偶的分度表可以查得，当温度为 967°C 时，热电偶输出电压大约为 40mV ，以此电压值作为上限，放大电路放大倍数设计为 125 倍，恰好能满足 A/D 转换器对输入电压的要求。

具体电路连接如图 4-8 所示。由 OP07 构成两级反相放大电路，第一级放大倍数为 5 倍，第二级放大倍数为 25 倍。为了确保测量精度，电路选用了高精度器件，在可能混入噪声的地方加入了滤波电容。当然，误差是在所难免的，在软件编写过程中也进行了适当的补偿，以期系统能达到满意的性能要求。处理后的信号送入 A/D 转换器的 CH2 通道。

此外，在热电偶的信号处理部分还存在一个冷端补偿的问题。这一部分的电路设计将在下一小节中详细介绍。

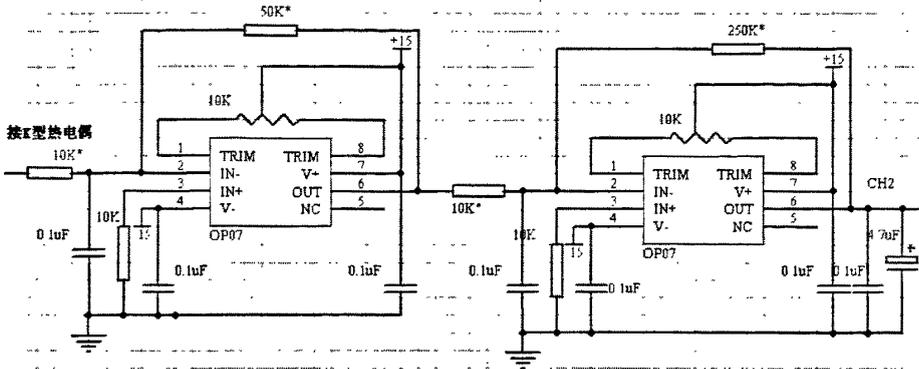


图 4-8 K 型热电偶信号处理电路

4.1.3 PN 结信号处理电路设计

在前面的章节中已经提到，系统用 PN 结来测量热电偶冷端温度，对其进行冷端补偿。实际电路中，采用硅三极管 9013（将集电极和基极短接）的发射结来做 PN 结温度传感器。图 4-9 是 PN 结的温度特性曲线。

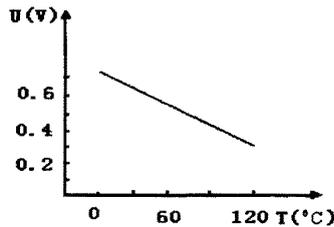


图 4-9 PN 结的温度特性

这种传感器有较好的线性，尺寸小，灵敏度高，测温范围从 0~120℃，正温度系数约为 -2.1mV/℃，0℃时的正向压降大约为 0.7V，所以，PN 结温度特性可以用公式 (4-2) 表示，单位为毫伏^[13]。

$$U = -2.1T + 700 \quad (4-2)$$

当然，由于 PN 结用做温度传感器的一致性比较差，因此对于每一个 PN 结都要进行软件校正，校正方法后文中有详细介绍。硬件连接如图 4-10 所示：

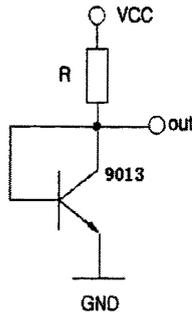


图 4-10 9013 测温电路图

图中电阻 R 用于限流，由于 PN 结有电导调制效应，故电阻 R 的阻值范围可以很大，在几千欧到几十千欧都可以，当然过大的电流，会使得 PN 结因温度过高而引起测量误差。9013 测得的电压信号经放大电路放大后，送入 A/D 转换器的 CH3 通道。因为一般情况下，PN 结的导通电压在 0.7V 左右，所以，放大倍数设计为 5 倍。具体硬件连接电路如图 4-11 所示。

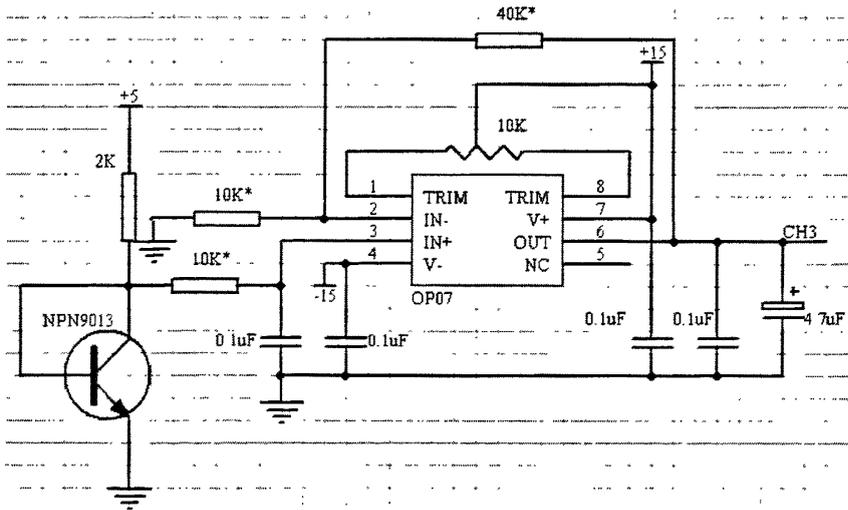


图 4-11 PN 结信号处理电路

4.1.4 集成温度传感器处理电路设计

集成温度传感器内部已经对模拟信号进行了放大、滤波、线性化等处理，它直接输出标准的电压信号（0~5V）或电流信号（4~20mA），因此，集成温度传感器的外围电路不再需要进行复杂的信号处理。

电压型线性传感器选用的是霍尼韦尔公司生产的 CHT3W2TLD 型温湿度变

送器, 0~5 伏输出, 可测量温度范围为-10~60℃, 湿度为 0~100%, 12 伏电源, 四线输出。对于电压型线性传感器而言, 直接将传感器的输出端接入 A/D 转换器的模拟通道即可, 只是在信号输入端加上滤波电容;

电流型线性传感器选用的是霍尼韦尔公司生产的 CHT3W1TLD 型温湿度变送器, 4~20mA 输出, 可测量温度范围为-10~60℃, 湿度为 0~100%, 24 伏电源, 三线输出。硬件电路通过串接 250 Ω 电阻, 将 4~20mA 电流信号变转为 1~5V 电压信号送入 A/D 转换器。实际中, 由于 A/D 转换器输入阻抗的影响, 串接的电阻会被拉低, 因此串接电阻值要结合软件校正确定。

4.2 AD 转换电路设计

A/D 转换接口电路是数据采集系统前向通道中的一个重要环节。数据采集是从模拟信号源中采集信号, 并将之转换为数字信号送入数字处理器的过程。温度信号作为一种典型的模拟信号, 要完成对采集的温度信号的数字化处理, 必然需要一个稳定、精确的 A/D 转换接口来完成前端传感器到嵌入式系统的信号传递。

完成 A/D 转换的芯片种类很多, 根据转换原理可以分为逐次逼近式、双积分式、计数器式等。衡量 A/D 转换性能的主要参数有分辨率、转换速率、转换精度、量化误差等。

4.2.1 A/D 转换芯片 MAX197

A/D 转换芯片的选择关系到整个系统测量精度水平, 因此, 要根据系统的精度要求、信号对象变化率、转换精度要求、环境条件、CPU 接口特征等因素合理选用。本模块选用的 A/D 转换芯片是 MAX197。

MAX197 是美国美信公司生产的多量程、12 位数据采集芯片, 芯片工作电压仅为 5V; 既可接收高于电源电压的模拟信号, 又可接收低于地电位的模拟信号; 芯片有 8 个独立的模拟输入通道; 提供 4 个可编程输入量程: $\pm 10V$, $\pm 5V$, $0\sim+5V$, $0\sim+10V$, 4 个量程将有效的动态范围增加到了 14 位, 为 4~20mA 信号和由 $\pm 12V$ 或 $\pm 15V$ 供电的传感器到单 5V 系统提供了灵活的接口; 转换器的耐压容限达到 $\pm 16.5V$ 。该模/数转换器具有 5MHz 的带宽, 6 μ s 转换时间, 100kSPS 吞吐率, 由软件控制选择内/外部时钟, 由软件控制内/外部启动采集, 8+4 并行数据接口, 内部 4.096V 或外供参考电压。硬件的 $\overline{\text{SHDN}}$ 脚和两个软件可编程位 (STBYPD, FULLPD) 用来提供转换过程中的低电流关断模式。

MAX197 具有标准的微处理器接口, 8 位数据总线构成了三态数据 I/O 口, 数据存取与总线释放时序特征与常规微处理器兼容, 其逻辑输入输出皆与 TTL 或 CMOS 逻辑电平兼容。因此, 能用于较为复杂的系统开发, 非常适用于工业控制、仪器仪表、远程通讯等领域。MAX197 的引脚分布如图 4-12 所示^[14]。

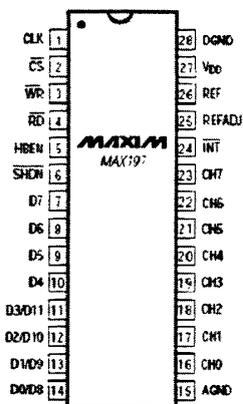


图 4-12 MAX197 引脚图

说明如下: (1) CLK: 时钟输入。外部时钟模式时, 由此脚输入电平与 TTL 或 CMOS 兼容的时钟。内部时钟模式时, 该脚与地间接一电容, 以确定内部时钟频率, 当 $f_{CLK} = 1.56\text{MHz}$ 时, 外接电容的典型值为 $C_{CLK} = 100\text{pF}$ 。

(2) \overline{WR} : 当片选端 \overline{CS} 有效时, 在内部采集模式下, \overline{WR} 的上升沿将锁存数据, 并启动一次采集和一次转换周期; 在外部采集模式下, \overline{WR} 的第一个上升沿启动采集, 第二个上升沿结束采集并启动转换周期。

(3) \overline{RD} : 当片选端 \overline{CS} 有效时, \overline{RD} 的下降沿将允许读取数据总线上的数据。

(4) HBEN: 用于切换 12 位转换结果。此脚为高时, 数据总线上的数据为高 4 位; 此脚为低时, 数据总线上的数据为低 8 位。

(5) \overline{SHDN} : 关断控制位。此脚接低电平时, 器件进入掉电模式。

(6) REFADJ: 参考电压输出/外部调节引脚。使用内部参考时, 对地接 $0.01\ \mu\text{F}$ 的旁路电容; 使用外部参考时, 此脚接 VDD。

(7) REF: 参考电压缓冲输出或 ADC 参考电压输入。在内部参考模式下, 由此脚提供一个 4.096V 的标准输出, 可由 REFADJ 脚进行外部调节; 在外部参考模式下, REFADJ 接至 VDD, 内部缓冲器处于截止状态。

(8) CH0~CH7 为模拟输入通道; D0~D11 为三态数字 I/O 口; \overline{INT} 为中断输出管脚, 当转换完成, 且数据准备就绪时, \overline{INT} 有效; AGND 为模拟地; DGND 为数字地; VDD 为 $+5\text{V}$ 电源, 对地接 $0.1\ \mu\text{F}$ 去耦电容。

MAX197 为处理器提供了非常简单的接口，转换从写入控制字开始，转换完成由 $\overline{\text{INT}}$ 给出标准的中断信号。其控制字及各位定义如表 4-1 所示：

表 4-1 MAX197 的控制字

D7(MSB)	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
PD1	PD0	ACQMOD	RNG	BIP	A2	A1	A0

控制字中的 D5 位决定采集控制模式：置 0 时，为内部采集控制模式；置 1 时是外部采集模式。控制字中的 D7、D6 位控制芯片的时钟模式，一旦选定了芯片的时钟模式，再进入待机或掉电模式时，时钟模式不会改变。当 D7=0，D6=0 时，芯片选择外部时钟模式，外供时钟频率应介于 100kHz 至 2.0MHz 之间，当 D7=0，D6=1 时，芯片选择内部时钟模式；D7、D6 也决定了芯片的低功耗模式。当 D7=1，D6=0 时，芯片进入待机模式；当 D7=1，D6=1 时，芯片进入掉电模式。D3 和 D4 用来选择芯片的模拟输入电压范围和极性，D3=0，选择单极性输入；D3=1，选择双极性输入；D4=0，选择 5V 量程；D4=1，选择 10V 量程。控制字的低三位用来选通 8 路模拟输入通道。

4.2.2 A/D 转换电路的实现

A/D 转换电路的具体硬件连接如图 4-13 所示：

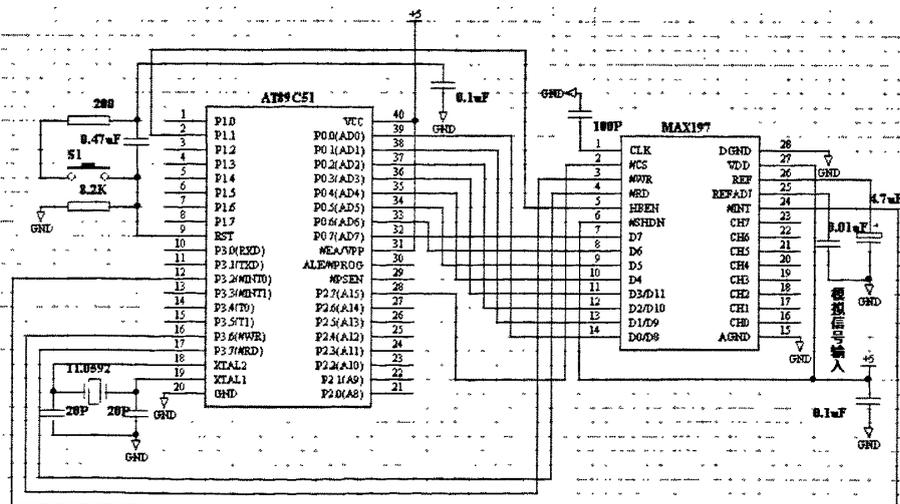


图 4-13 A/D 转换电路

选用 AT89C51 单片机作为主处理器。通过 P0.0~P0.7 与 MAX197 的 D0~D7 相连,既用于输入 MAX197 的初始化控制字,也可用于读取转换结果数据。用 AT89C51 单片机的 P2.7 作为片选信号,则 MAX197 的高位地址为 7FH。选择 MAX197 为软件设置低功耗工作方式,所以置 $\overline{\text{SHDN}}$ 脚为高电平。采用内部参考电压,这时在 REF 与地之间跨接一个 $4.7\mu\text{F}$ 电容,在 REFADJ 与地之间接入一个 $0.01\mu\text{F}$ 电容。采用内部时钟工作模式,CLK 脚接 100PF 电容,此时的内部时钟频率为 1.56MHz 。AT89C51 单片机的 P1.1 脚用作判读高、低位数据的选择线,与 HBEN 脚相连。MAX197 的 $\overline{\text{RD}}$ 和 $\overline{\text{WR}}$ 管脚直接与 AT89C51 的相应管脚相连即可,用于两者之间的数据传送。MAX197 的 $\overline{\text{INT}}$ 脚与 AT89C51 的 $\overline{\text{INT0}}$ 脚相连,作为转换识别信号,以便实现中断,读取转换结果。在电路中,模拟地和数字地应相互独立,各种电源与模拟地之间要用 $0.1\mu\text{F}$ 电容去耦,以消除电源纹波的影响。

4.3 通信接口的电路设计

通信接口是模块与外界进行交互的通道和桥梁。因此,通信接口的设计是模块不可或缺的重要部分。考虑到目前主流的几种通信方式,本模块设计了 RS-232、RS-485 串行通讯接口以及 USB 接口,以保证各种情况的需要。

4.3.1 串行通讯接口设计

“串行通信”是指通信双方使用一根数据线,数据在数据信号线上按位进行传输,每一位数据都占据一定固定的时间长度。这种通信方式使用的数据线少,节约通信成本,在低速率通讯领域一直占有一席之地。它不仅未被时代的发展所淘汰,反而在性能方面越来越优越。最被人们熟悉的串行通信技术标准是 RS-232、RS-422 和 RS-485。RS-232 是电子工业协会(EIA)制订并发布的最早的串行通信技术标准,RS-422 是由 RS-232 发展而来,它是为弥补 RS-232 之不足而提出的。在通信距离、传输速率方面都有了很大的改进。为扩展应用范围,EIA 又于 1983 年在 RS-422 基础上制定了 RS-485 标准,增加了多点、双向通信能力。为了便于扩展应用,本系统在数据采集模块部分设计了 RS-232 和 RS-485 两种串行通讯接口。

4.3.1.1 RS-232 与 RS-485 串行接口标准^[15]

1. RS-232 串行接口标准

目前, RS-232 是 PC 机与通信工业中应用最广泛的一种串行接口。RS-232 被定义为一种在低速率串行通讯中增加通讯距离的单端标准。RS-232 采取不平衡传输方式, 即所谓单端通讯。

典型的 RS-232 信号在正负电平间摆动, 在发送数据时, 发送端驱动器输出正电平在+5V~+15V, 负电平在-15V~-5V。当无数据传输时, 线上为 TTL 电平, 从开始传送数据到结束, 线上电平从 TTL 电平到 RS-232 电平再返回 TTL 电平。接收器典型工作电平在+3V~+12V 与-12V~-3V。由于发送电平与接收电平的差仅为 2V~3V 左右, 所以其共模抑制能力差, 再加上双绞线的分布电容, 其传送距离大约为 15 米, 最高速率 20Kb/s。RS-232 是为点对点通讯而设计的, 所以 RS-232 适合本地设备之间的通信。其相关电气参数参见表 4-2。

表 4-2 常用串口电气参数

规定		RS232	RS422	RS485
工作方式		单端	差分	差分
节点数		1 收、1 发	1 发 10 收	1 发 32 收
最大传输电缆长度		50 英尺	400 英尺	400 英尺
最大传输速率		20Kb/S	10Mb/s	10Mb/s
最大驱动输出电压		+/-25V	-0.25V~+6V	-7V~+12V
驱动器输出信号电平 (负载最小值)	负载	+/-5V~+/-15V	+/-2.0V	+/-1.5V
驱动器输出信号电平 (空载最大值)	空载	+/-25V	+/-6V	+/-6V
驱动器负载阻抗(Ω)		3K~7K	100	54
摆率(最大值)		30V/ μ s	N/A	N/A
接收器输入电压范围		+/-15V	-10V~+10V	-7V~+12V
接收器输入门限		+/-3V	+/-200mV	+/-200mV
接收器输入电阻(Ω)		3K~7K	4K(最小)	\geq 12K
驱动器共模电压			-3V~+3V	-1V~+3V
接收器共模电压			-7V~+7V	-7V~+12V

2. RS-485 串行接口标准

提到 RS-485 标准，就不得不提到 RS-422，因为 RS-485 是在 RS-422 基础上发展起来的，不仅在传输距离和传输速率上有了很大改进，而且增加了多点、双向通信能力，即允许多个发送器连接到同一条总线上，同时增加了发送器的驱动能力和冲突保护特性，扩展了总线共模范围。和 RS-232 不同，RS-485 和 RS-422 都采用差分传输方式，它使用一对双绞线，将其中一线定义为 A，另一线定义为 B。如图 4-14 所示：

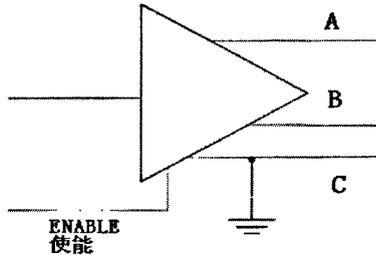


图 4-14 RS-485 结构示意图

通常情况下，发送驱动器 A、B 之间的正电平在 +2~+6V，是一个逻辑状态，负电平在 -6~-2V，是另一个逻辑状态。另有一个信号地 C 和一个“使能”端。“使能”端是用于控制发送驱动器与传输线的切断与连接。当“使能”端起作用时，发送驱动器处于高阻状态，称为“第三态”，即它是有别于逻辑“1”与“0”的第三态。

接收器也作与发送端相对的规定，收、发端通过平衡双绞线将 AA 与 BB 对应相连，当在收端 AB 之间有大于 +200mV 的电平时，输出正逻辑电平，小于 -200mV 时，输出负逻辑电平。见图 4-15：

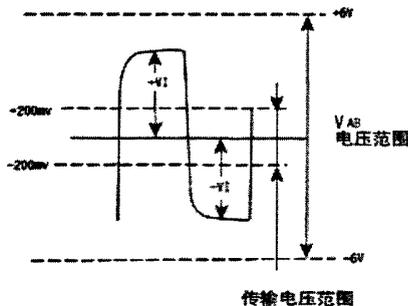


图 4-15 RS-485 输入电平门限

RS-485 可以采用二线与四线方式，二线制可实现真正的多点双向通信，而采用四线连接时，与 RS-422 一样只能实现点对多的通信，即只能有一个主 (Master)

设备，其余为从设备，但它比 RS-422 有改进，无论四线还是二线连接方式总线上可多接到 32 个设备。

RS-485 需要 2 个终接电阻，其阻值要求等于传输电缆的特性阻抗。在短距离传输时可不需终接电阻，即一般在 300 米以下不需终接电阻。终接电阻接在传输总线的两端。

RS-485 最大传输距离约为 1219 米，最大传输速率为 10Mb/s。平衡双绞线的长度与传输速率成反比，在 100Kb/s 速率以下，才可能使用规定最长的电缆长度。只有在很短的距离下才能获得最高速率传输。一般 100 米长双绞线最大传输速率为 1Mb/s。有关 RS-485 的电气参数参见表 4-2。

4.3.1.2 串行连接器

串口标准只是一种电气接口规范，它只规定了发送器和接收器的电特性，而未定义接插件的物理特性。常用的串行连接器有 DB-25、DB-15 和 DB-9 等，其各管脚定义也不尽相同。

1. RS-232 连接器

● DB-25:

完整的 RS-232 总线由 25 根信号线组成，一般分为 4 组，分别为地线数据信号线、定时信号线、控制线和备用线。实际上 RS-232 的 25 条引线中有许多是很少使用的，在计算机与终端通讯中一般只使用 3~9 条引线。RS-232 最常用的 9 条引线的信号内容见表 4-3。DB-25 是 RS-232 总线的标准连接器，其上有 25 根插针。DB-25 各引脚定义参见图 4-16。

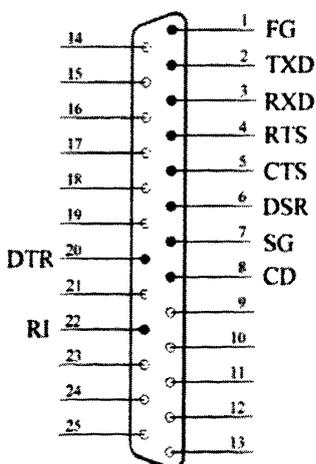


图 4-16 RS-232 的 DB-25 连接器管脚定义

表 4-3 RS-232 的 DB-25、DB-9 连接器管脚说明

旧制名称	新制名称	全称	说明
FG	SG	Frame Ground	机器接地线
TXD	SD	Transmitted Data	数据输出线
RXD	RD	Received Data	数据输入线
RTS	RS	Request to Send	要求发送线
CTS	CS	Clear to Send	回应对方发送的 RTS 的发送许可, 告知对方可以发送
DSR	DR	Data Set Read	告知本机在待命状态
DTR	ER	Data Terminal Ready	告知数据终端处于待命状态
CD	CD	Carrier Detect	载波检出, 用以确认是否收到 Modem 的载波
SG	SG	Signal Ground	信号线的接地线
RI	RI	Ringing Instruction	振铃指示

● DB-9:

PC 机上通常都提供有 DB-9 连接器, 它只提供异步通信的 9 个信号。DB-9 各引脚定义参见图 4-17, 各引脚说明见表 4-3。

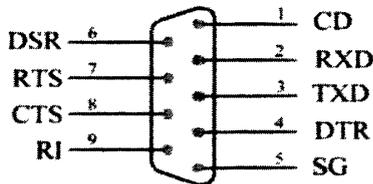


图 4-17 RS-232 的 DB-9 连接器管脚定义

2. RS-485 的 DB-9 连接器

根据 RS-485 定义的接口电路特性, RS-485 采用四线接口, 在加上一根信号地线。RS-485 的 DB-9 连接器引脚定义如图 4-18 所示。

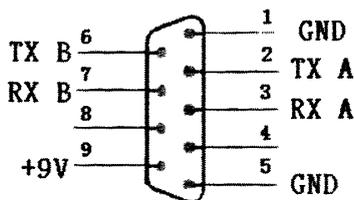


图 4-18 RS-485 的 DB-9 连接器管脚定义

本模块设计的 RS-232 和 RS-485 串口均采用 DB-9 连接器。

4.3.1.3 RS-232 串口的电路实现

前已述及，RS-232 是用正负电压来表示逻辑电平，这与 TTL 逻辑电平差异很大。这样，为了能够同 PC 机或其它带有 TTL 电平接口的设备相接，就存在 RS-232 电平和 TTL 电平转换的问题。实现电平转化既可以采用分立元件也可以使用集成电路芯片。实现电平转换的芯片种类很多，一般多采用专用芯片 MC1488 和 MC1499。MC1488 是长线传输驱动器，能完成 TTL 电平到 RS-232 电平的转换，MC1489 是长线传输接收器，能完成 RS-232 电平到 TTL 电平的转换。更常用的一种方案是采用专用芯片 MAX232，MAX232 为单一正 5V 供电，内置自升压电平转换电路，一个芯片可以同时完成发送转换和接收转换的双重功能。其引脚及连接如图 4-19 所示，说明如下：

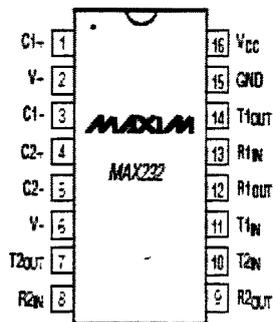


图 4-19 MAX232 引脚图

- (1) C1+、C1-、C2+、C2-：外接电容端，用于内部电压变换；
- (2) R1IN, R2IN：两路 RS-232 电平信号输入端；
- (3) R1OUT, R2OUT：两路转换后的 TTL 电平输入端；
- (4) T1IN, T2IN：两路 TTL 电平输入端；
- (5) T1OUT, T2OUT：两路转换后的 RS-232 电平信号输出端；

(6) V+, V-: 分别经电容接电源和地。

系统选用的是 MAX232CPE 芯片, 其外接的四个电容选用 $1\mu\text{F}/25\text{V}$, 为避免电源噪声的影响, 在芯片电源端设置 $0.1\mu\text{F}$ 去耦电容。芯片的第 12、11 脚分别接单片机的 RXD 和 TXD 脚; 第 14、13 脚接 DB-9 连接器的第 2、3 脚。具体硬件电路如图 4-20 所示:

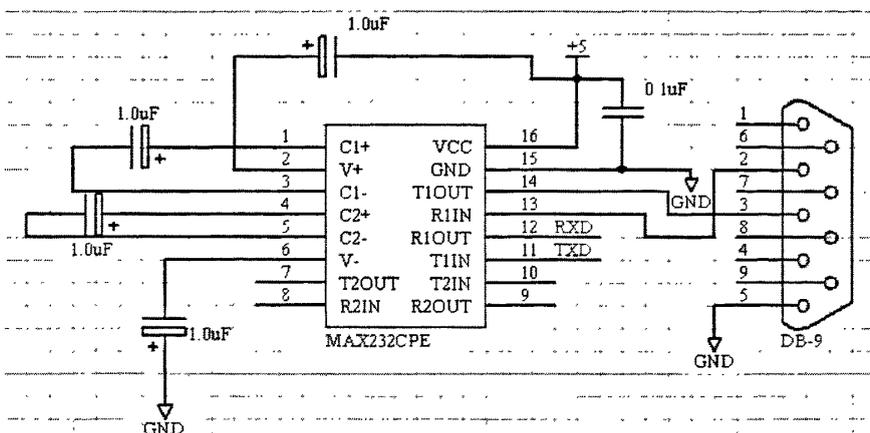


图 4-20 RS-232 串口电路

4.3.1.4 RS-485 串口的电路实现

和 RS-232 串口一样, RS-485 串口同样存在电平转换问题。目前实现 RS-485 电平与 TTL 电平转换的芯片很多, 如 SN75176、MAX1482 等。在综合考虑性能价格等各种因素后, 系统选用了 MAX485 作为 RS-485 串口的驱动芯片。MAX485 是 Maxim 公司生产的一种 RS-485 芯片。采用单一 +5V 工作, 额定电流为 $300\mu\text{A}$, 采用半双工通讯方式。它完成将 TTL 电平转换为 RS-485 电平的功能。其引脚结构图如图 4-21 所示。

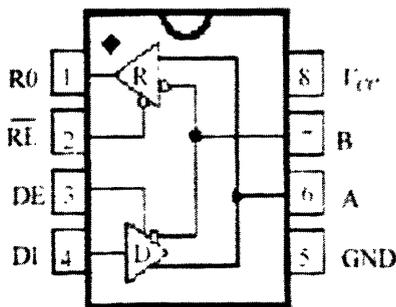


图 4-21 MAX485 引脚结构图

从图 4-21 中可以看出, MAX485 芯片的结构和引脚非常简单, 内部含有一个驱动器和接收器。RO 和 DI 端分别为接收器的输出和驱动器的输入端, 与单片机相连时只需分别与单片机的 RXD 和 TXD 相连即可; \overline{RE} 和 DE 分别为接收和发送的使能端, 当 \overline{RE} 为逻辑“0”时, 器件处于接收状态; 当 DE 为逻辑“1”时, 器件处于发送状态, 因为 MAX485 工作在半双工状态, 所以只需用单片机的一个管脚来控制这两个引脚即可; A 端和 B 端分别为接收和发送的差分信号端, 当 A 引脚的电平高于 B 时, 代表发送的数据为“1”; 当 A 引脚的电平低于 B 时, 代表发送的数据为“0”; 同时要在 A 和 B 端之间加 100 Ω 左右的终接电阻。具体硬件电路如图 4-22

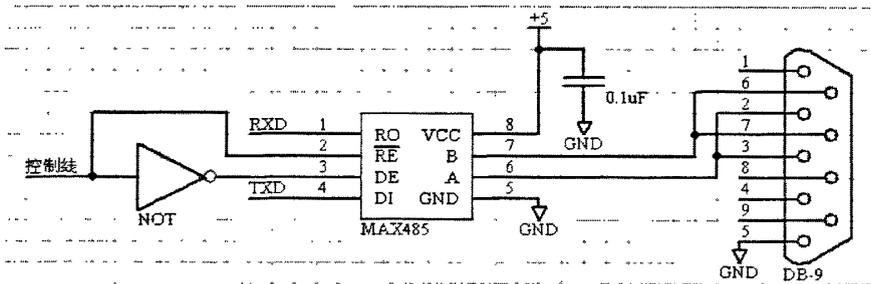


图 4-22 RS-485 串口电路

4.3.2 USB 接口设计

4.3.2.1 USB 简介

几十年来一成不变的串行通信技术在近些年来被打破了。打破坚冰的技术就是 USB。如今在计算机外联设备中, 越来越多的设备开始使用 USB 接口。目前在 IT 领域, USB 接口可谓春风得意。人们在市场上可以看到, 每一款计算机主板都带有不少于 2 个 USB 接口, USB 打印机、USB 调制解调器、USB 鼠标、USB 音箱、USB 存储器等产品越来越多。与其它接口(串口、并口等)相比, USB 接口具有传输速度快、功耗低、支持即插即用、维护方便的优点。发展至今, USB 共有三种标准: 1996 年发布的 USB1.0, 1998 年发布的 USB1.1 以及进入本世纪才提出的最新标准 USB2.0。此三种标准最大的差别就在于数据传输速率方面, 当然, 在其它方面也有不同程度的改进。就 USB2.0 标准而言, 其传输速率可以达到 480Mbps, 最多可以支持 127 个设备。

在本系统设计初期,为了求证采集的模拟信号经 A/D 转换后的正确与否,以及为上位机管理软件的开发提供待处理数据,加快上位机管理软件的开发进度。我们又开发设计了一块独立的 USB 总线接口电路。

4.3.2.2 USB 接口的电路实现

从性能、开发周期、成本等方面考虑,我们选用了南京沁恒电子有限公司研制的一种 USB 总线通用接口芯片 CH375。它外围电路设计简单,内嵌了大部分复杂的 USB 协议,这样就对主控制器的工作减轻了压力。主控制芯片选用的是单片机 AT89C55,选用单片机作为主控制器也是考虑到将来可以和 A/D 转换的控制器共用,以提高资源利用率,节约成本。同时,为了满足大容量数据存储的需要,电路还外扩了一片外部数据存储器件。

1. CH375 芯片简介^[16]

CH375 是一个 USB 总线的通用接口芯片,支持 USB-HOST 主机方式和 USB-DEVICE/SLAVE 设备方式。USB 主机方式下,CH375 支持串口和并口两种方式与控制器进行通信;在 USB 设备方式下,仅支持并口方式。在本地端,CH375 具有 8 位数据总线和读、写、片选控制线以及中断输出,可以和方便地挂接到单片机等控制器的系统总线上。

CH375 内置了丰富的 USB 存储设备类命令、通讯协议和函数,具有省事的内置固件模式和灵活的外置固件模式。在内置固件模式下,CH375 自动处理默认端点 0 的所有事务,本地端单片机只要负责数据交换,不需要编写固件程序就可以直接通讯,所以单片机程序非常简洁,大大简化了软件开发过程。在外置固件下,由外部单片机根据需要自行处理各种 USB 请求,从而可以实现符合各种 USB 类规范的设备。

此外,CH375 还具有以下功能特点:

- CH375 芯片在本地端提供了通用的被动并行接口和点对点的串行接口;
- CH375 芯片内置了电源上电复位电路,一般情况下,不需要外部提供复位;
- CH375 正常工作时需要外部为其提供 12MHz 时钟信号;
- CH375 芯片支持 5V 电源电压或者 3.3V 电源电压;
- CH375 为 USB 数据传输提供字节传输模式和页(扇区)传输模式。

图 4-23 是 CH375 的引脚图:

说明如下:

1	$\overline{\text{INT}}$	VCC	28
2	RSTI	$\overline{\text{CS}}$	27
3	$\overline{\text{WR}}$	RST	26
4	$\overline{\text{RD}}$	RST	25
5	TXD	ACT	24
6	RXD	GND	23
7	NC	D7	22
8	A0	D6	21
9	V3	D5	20
10	VD+	D4	19
11	VD-	D3	18
12	GND	D2	17
13	XI	D1	16
14	XO	D0	15

图 4-23 CH375 引脚图

(1) V3 为电源输入端，当 3.3V 电源电压时，连接 VCC 输入外部电源，在 5V 电源电压时外接容量 $0.01\mu\text{F}$ 退耦电容。

(2) XI、XO 分别为晶体振荡的输入端和方向输出端，需要外接晶体及振荡电容。

(3) UD+、UD-分别为 USB 总线的 D+数据线和 D-数据线。UD+内置可控的上拉电阻。

(4) A0 为地址线输入，区分命令口与数据口，内置上拉电阻，当 A0=1 时可以写命令，当 A0=0 时可以读写数据。

(5) ACT：在内置固件的 USB 设备方式下时 USB 设备配置完成状态输出；在 USB 主机方式下是 USB 设备连接状态输出，低电平有效。

(6) TXD 仅用于 USB 主机方式，设备方式只支持并口，在复位期间为输入引脚，内置上拉电阻；如果在复位期间输入低电平那么使能并口，否则使能串口，复位完成后为串行数据输出。RXD 为串行数据输入，内置上拉电阻。

(7) RSTI 为外部复位输入，高电平有效，内置下拉电阻；RST 为电源上电复位和外部复位输出，高电平有效； $\overline{\text{RST}}$ 为电源上电复位和外部复位输出，低电平有效。

(8) D0~D7 为 8 位双向数据总线，内置上拉电阻； $\overline{\text{RD}}$ 为读选通信号； $\overline{\text{WR}}$ 为写选通信号； $\overline{\text{CS}}$ 为片选控制端；VCC 为正电源输入端，需要外接 $0.1\mu\text{F}$ 电源退耦电容，GND 为公共接地端。

2. 具体硬件电路^[17]

本设计 CH375 工作在主机方式下，通过并口和单片机进行通信。具体硬件连接电路见图 4-24：

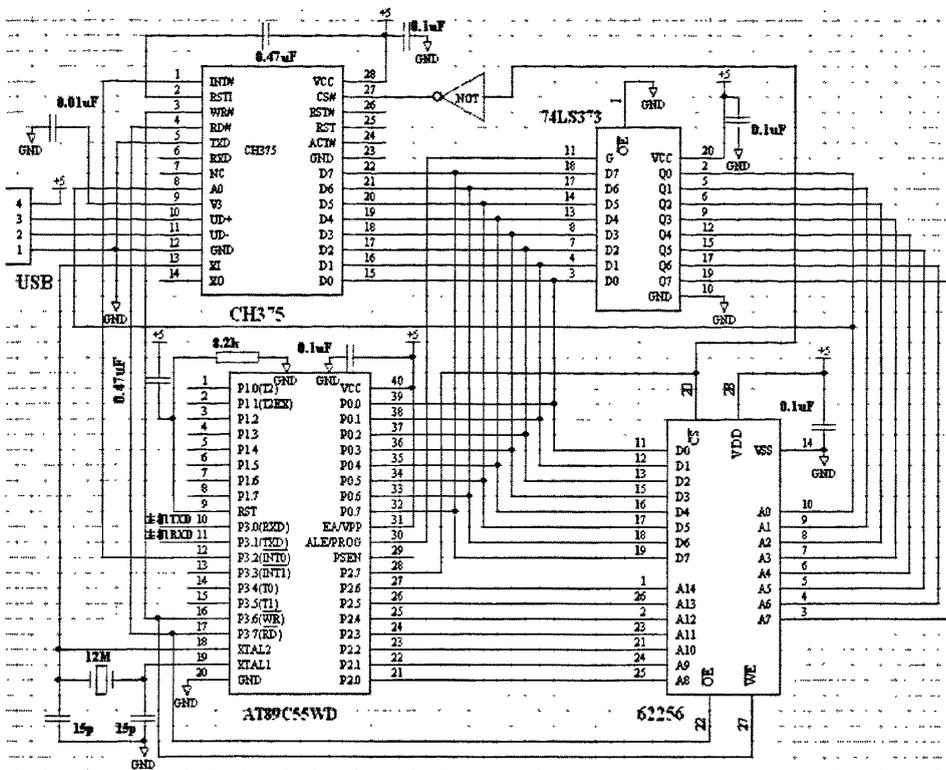


图 4-24 USB 接口电路

电路的工作流程大致为：本地单片机通过串口接收上位主机传送来的数据，并转存到外部数据存储器中，再通过 CH375 芯片将存储器中的数据传送到 USB 总线上，做成文件存储到外接 USB 设备中。

51 系列单片机 AT89C55WD 作为 USB 接口电路的主控制芯片，负责与上位主机通信、接收数据、存储数据等一系列动作的统筹和管理。通过锁存器 74LS373 的锁存功能，其 P0 口复用为数据总线和低 8 位地址总线。数据存储器 62256 为 32K 字节容量，需要 15 根地址线进行寻址，AT89C55WD 的 P2.0~P2.6 提供高 7 位地址线。P2.7 作为 62256 的片选信号，直接连到 62256 的片选端。P2.7 还通过一反向器连到 CH375 的片选端，这样就使得两者能够独立工作，避免冲突。此外，本地单片机的 \overline{WR} 、 \overline{RD} 端分别与 62256 和 CH375 的相应引脚直接相连即可。

CH375 的 TXD 引脚通过 1K 左右的下拉电阻接地或直接接地，从而使 CH375 工作于并口方式。并口信号线包括：8 位双向数据总线 D7~D0、读选通输入引脚

\overline{RD} 、写选通信号引脚 \overline{WR} 、片选输入引脚 \overline{CS} 、中断输出引脚 \overline{INT} 以及地址输入引脚 A0。通过被动并行接口，CH375 可以很方便的挂接到 8 位单片机上。芯片使用+5V 电源，因此 V3 引脚接 0.01 μ F 去耦电容入地；CH375 的地址线 A0 信号由地址总线的 A0 提供；CH375 和单片机共用外部晶体振荡电路，振荡频率为 12M，由 XI 引脚引入；为了保证芯片可靠复位，在 RSTI 引脚与 VCC 之间跨接一个容量为 0.47 μ F 的电容，同时可以减少干扰；中断输出 \overline{INT} 引脚与单片机 $\overline{INT0}$ 端相连，CH375 能自行检测 USB 总线的状态，当检测到 USB 总线状态变化时，便产生中断信号告知单片机。

4.4 本章小结

作为论文的重点章节，本章详细介绍了环境监测系统的数据采集模块的设计与硬件实现。包括模块的整体架构、信号处理电路、A/D 转换电路、通信接口电路等。作为整个系统的探测前端，数据采集模块是保证整个系统可靠、精确工作的前提，占有十分重要的地位。

第五章 数据采集模块的软件设计

数据采集模块软件的编写使用的是 C51 语言和 μ Vision2 集成开发环境。C51 与标准 C 相比，只是对单片机定义了一个头文件，使程序与单片机的 IO 口和内部寄存器关联起来。C51 的出现为单片机编程使用 C 语言提供了便利条件，C 语言的模块化程序结构特点，使得单片机的程序开发在开发速度、软件质量、结构严谨性的国内方面都有了显著得提高^[18]。

软件设计要完成的任务包括，控制完成对数据的采集、数值运算、线性化处理以及数据通信。软件编写遵循自上而下，模块化的设计原则，程序流程图如图 5-1 所示。具体程序参见附录。

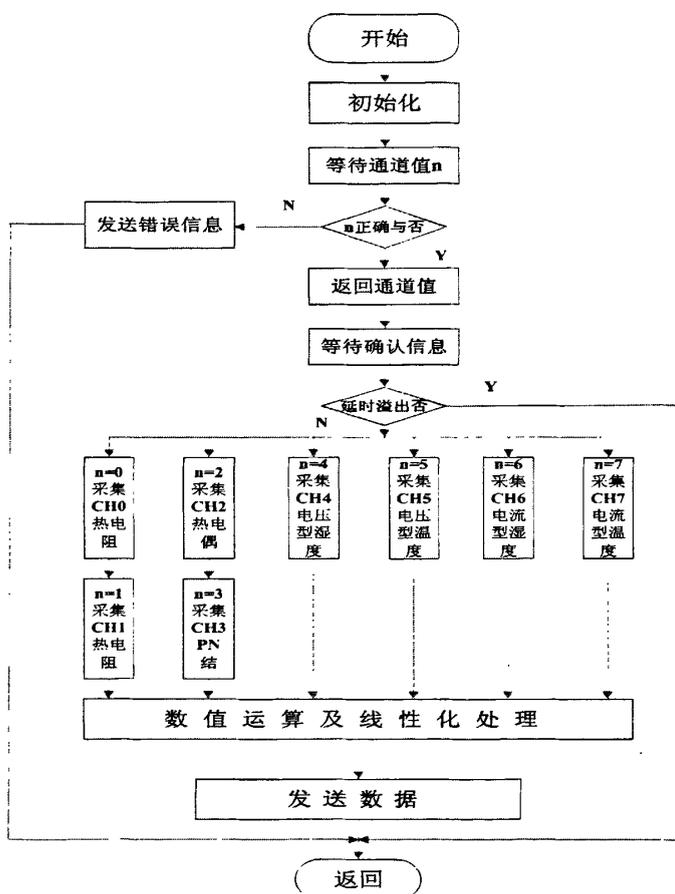


图 5-1 数据采集模块程序流程图

5.1 采样与数值处理

对模拟信号的采样是通过单片机控制 A/D 转换芯片 MAX197 实现的, 从软件上来讲, 采样过程是这样的: 首先对 MAX197 写入控制字, 控制字决定了 A/D 转换芯片的工作模式和采集的通道号。采集过程由芯片内部完成, 无需人为操作, 待数据采集完毕后, MAX197 产生中断通知单片机, 单片机通过两个字节读取模拟信号的 12 位数字量。

数字化的模拟信号还要经过数值处理, 以还原成传感器起初采集到的模拟量, 并最终转换为温度值(或湿度值)。不同的传感器, 数值处理的方法也是不一样的, 这主要是决定于前端信号处理电路的硬件配置。

5.1.1 数字滤波

由于外界干扰或某些不可预知的因素, 模拟量在受到干扰后, 经 A/D 转换后的结果偏离了真实值, 可能会出现一些随机的误差, 如果只采样一次, 无法确定结果是否可信。必须通过多次采样得到一个 A/D 转换的数据序列, 通过软件算法处理后才能得到一个可信度较高的结果。这种方法就是数字滤波。

数字滤波的前提是对同一数据进行多次采样, 在单片机系统中一般有: 中值滤波、算术平均滤波、去极值平均滤波、加权平均滤波等。算术平均滤波对抑制随机干扰效果比较好, 而对脉冲干扰的抑制能力较弱, 明显的脉冲干扰会使平均值远离实际值。但中值滤波对脉冲干扰的抑制非常有效, 因而可以将两者结合起来形成去极值平均滤波。本软件中采用的就是去极值平均滤波, 程序流程图如图 5-2 所示。算法原理如下: 对于温度(或湿度)信号对应的电压采样值, 连续采样 n 次, n 值越大, 滤波效果越好, 但采样次数 n 太大则会影响系统的处理速度。将其累加求和, 同时找到最大值和最小值, 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, 即为有效采样值^[19]。

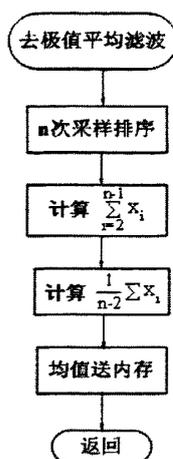


图 5-2 去极值平均滤波程序流程图

5.1.2 自校准模块

由于温度测量的敏感性，从传感器模拟信号输出到显示装置对测量结果进行显示为止，在信号经过的这一条通道内，无论硬件电路设计的多么合理、调试手段多么先进，误差仍然是在所难免的。而且，测控系统在使用一段时间后，同样需要对检测的准确性进行校准。校准的方法：一般是先将输入电路硬件可调元件校准好，再通过软件来调整一些相应的参数以达到校准的目的，也就是以软件来校正硬件。这样，既避免了调整硬件的麻烦，简化了校准过程，也保证了测量精度。

软件方法进行自校准时，用信号发生器送出标准信号，例如当校准 K 型热电偶的输入电路时，送出 K 型热电偶在 66℃ 时的热电势为 2.685mV。将此标准信号接至输入电路，通过软件校准程序，观察显示的温度值与标准值的差别，通过对参数值的修正，使之显示出准确的温度值。该参数值可认为是，各种可能引起误差的因素综合作用于电路对信号产生的总影响，可将其放到内存单元中，方便技术人员对其修改，也加强了系统的通用性。其它部分的校准也同理可得。

5.1.3 数值处理

数据采集模块采用了多种传感器，包括热电阻 PT100、K 型热电偶、PN 结、电流型传感器、电压型传感器。由于每一种传感器的测温原理和函数关系各不相同，所以每一路传感器的前端信号处理电路也完全不同，这样，在软件设计中对各部分的数值运算就要根据具体硬件电路进行不同的处理。

1. 热电阻 PT100 部分

前以述及，在硬件电路中，PT100 采用的是三线制接法（以消除引线电阻），采用 LM234 构成的恒流源电路（电流约为 $(0.134/120)$ A）将电阻转化为电压信号，然后将该信号放大 10 倍送入 A/D 转换器的 CH0 通道。PT100 的另一端放大同样的倍数后送入 CH1 通道。所以在 PT100 部分的软件处理需要对两路信号（CH0, CH1）进行数值运算。

参见图 4-6 可知， $V_1 = (R_x + 2r) \times i$ ， $V_2 = r \times i$ ，CH0 和 CH1 采集的电压值分别是 V_1 和 V_2 放大 10 倍以后的值，所以软件的数值运算为：首先计算 $V = V_1 - 2V_2$ ，注意此时的 V 值是数字量；然后将数字化的电压信号还原成模拟形式，A/D 转换芯片设置的模拟信号输入范围为 $0 \sim 5V$ ，所以模拟形式为， $v = V \times 5000/4095$ ，单位是毫伏；再将该模拟电压值还原成最初的采集到的电阻值， $R = v \times 120/10/0.134/1000$ ，单位是欧姆；最后根据 PT100 的分度表，采用查表法和线性插值运算得出相应的温度值，还要注意的是在进行查表之前，还要对 R 进行校正，以消除硬件误差，让 R 乘以校正参数 k ， k 值是根据软件自校正方法得来的。此外，为避免出现浮点数，表格中的数据扩大了 100 倍成为正整数，因此， R 在查表之前也要扩大 100 倍。即进行查表的值应为 $(R \times k \times 100)$ 至此，PT100 部分的数值运算便完成了。具体程序实现可参见附录。

2. K 型热电偶

K 型热电偶要完成测温任务，也需要对两路信号进行运算，一路是本身测试的电压信号，另一路是由 PN 结提供的冷端补偿信号。参见 3.4 小节分析和公式 (3-14) $E(t, t_0) = E(t, t_0') + E(t_0', t_0)$ 可知，式中 $E(t, t_0')$ 为热电偶实际测量的热电动势，而 $E(t_0', t_0)$ 为热电偶冷端温度由 t_0 （即 0°C ）变化到 t_0' （室温）相应的热电动势，由 PN 结测温电路提供，最后计算得到 $E(t, t_0)$ ，再通过查询热电偶分度表得出它对应的温度值。

硅三级管 9013 的发射结作为 PN 结温度传感器，将发射结电压取出放大 5 倍后送入 A/D 转换器的 CH3 通道。在程序处理中，首先将 AD 采集的电压值还原成最初的发射结电压值，即 $v = V \times 5000/4095/5$ 。然后根据 PN 结电压与温度的线性关系，得到此时的冷端温度值 T ，再根据 K 型热电偶的分度表查得 T 温度对应的电势值，这样 $E(t_0', t_0)$ 就得到了。

K 型热电偶测得的电势值放大 125 倍之后送入 A/D 转换器的 CH2 通道。程序中先将此电压值还原为最初的采集值 $V \times 5000/4095/125$ ，这个值就是我们前面提到的 $E(t, t_0')$ ，然后根据式 (3-14) 便可以得到 $E(t, t_0)$ ，最后查热电偶分度表得到此时环境温度值。当然，还要注意的是在查表之前，对 $E(t, t_0)$ 还要乘以一

个校正系数 k ，以去除硬件电路带来的误差，由于程序中存储的热电偶分度表数据为避免浮点数都扩大了 1000 倍，所以此电压值也要扩大 1000 倍，即 $1000 \times k \times E(t, t_0)$ 。具体程序实现可参见附录。

3. 集成温度传感器部分

集成温度传感器部分由于输出的都是标准信号，未经过复杂的信号处理，因此只要根据选用的传感器的输出曲线进行直接线性变换即可。例如对于霍尼韦尔公司生产的 CHT3W2TLD 型温湿度变送器来说，0~5 伏输出，可测量温度范围为 -10~60℃，湿度为 0~100%，因此对于温度部分，软件的数值处理为：

$$T = \left(\frac{V \times 5000}{4095} \times \frac{70}{5000} - 10 \right) \times 100$$

最后乘以 100 的目的是为了精度要求，对于温度

测量，系统要求结果精确到小数点后两位。湿度部分，软件的数值运算为：

$$RH = \frac{V \times 5000}{4095} \times \frac{100}{5000} \times 10$$

湿度测量要求精确到小数点后 1 位，所以在最后乘以

10。同理，对于电流型的线性传感器只要根据线性关系计算即可，这里不再赘述。具体程序实现可参见附录。

5.2 线性化处理

在机电一体化测控系统中，特别是需要对被测参量进行显示时，总是希望传感器及检测电路的输出和输入特性呈线性关系，使测量对象在整个测量范围内灵敏度一致，以便于读数及对系统进行分析处理。但是，很多检测元件如热电阻、热电偶等都具有不同程度的非线性特性，这使较大范围的动态检测存在着很大的误差。在测量精度要求不高、测温范围比较小时，可以忽略此误差，认为它们是一个线性的传感器，但是当测量精度有具体要求时，这种非线性误差必须排除掉。以往为了进行非线性补偿，通常用硬件电路组成各种补偿回路，如常用的对数放大器、反对数放大器、桥式补偿电路等，这不但增加了电路的复杂性，而且也难达到理想的补偿效果。这种非线性补偿完全可以用软件来完成，其补偿过程简单，精确度也很高，又减少了硬件电路的复杂性。

用软件进行“线性化”处理方法很多，有查表法、直线拟和法、压缩表格的查表法，还有表格法和线性插值相结合的方法等。单纯的查表法占用内存较大，对内存量不大的处理器来说很不合算；直线拟和法是用直线方程拟和传感器的函数关系，用计算方法求得结果。虽然这种方法占用内存量很小，但是对于不是严格线性关系的函数，补偿精度受到限制。查表法和线性插值相结合的方法是综合了两者各自特点进行软件设计的。固化的表格分为若干个区间，工作时，将模拟

信号转化而来的数字量作为输入，用二分法找到其所在区间，再用线性插值确定其结果。

5.2.1 查表法原理

在机电一体化测控系统中，有些参数的计算是非常复杂的，他们不是用一般算术运算就可以算出来的，而需要涉及到指数、对数、三角函数、以及积分、微分等运算，这些运算用编程语言实现比较复杂，有些甚至无法建立相应的数学模型。例如，热电阻的阻值和温度关系、热电偶的电势与温度关系，都不是简单的线性函数。为了解决这些问题，就可以采用查表法。

所谓查表法，就是把事先计算或测得的数据按一定顺序编制成表格，查表程序的任务就是根据被测参数的值或者中间结果，查出最终所需要的结果。查表是一种非数值计算方法，利用这种方法可以完成数据补偿、计算、转换等各种工作。它具有程序简单、执行速度快等优点。查表的方法有多，对于无序排列的表格，通常采用顺序查表法，因为无序表格中的所有各项的排列均无一定的规律，所以只能按照顺序从第一项开始逐项寻找，直到找到所需的关键字为止。顺序查表法的程序流程图如图 5-3 所示^[20]：

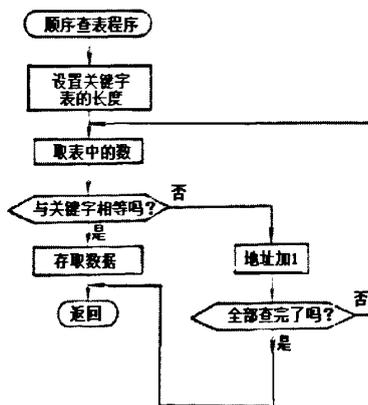


图 5-3 顺序查表法程序流程图

5.2.2 线性插值法原理

设某传感器的输出特性曲线（例如电阻-温度特性曲线），如图 5-4 所示。

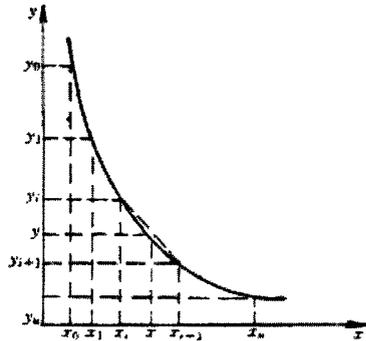


图 5-4 分段插值原理

由图 5-4 可以看出, 当已知某一输入值 x_i 以后, 要想求出值 y_i 并非易事, 因为其函数关系 $y=f(t)$ 并不是简单的线性方程。为使问题简化, 可以把该曲线按一定要求分成若干段, 然后把相邻两个分段点用直线连起来 (如图中虚线所示), 用此直线代替相应的各段曲线, 即可求出输入值 x 所对应的输出值 y 。例如, 设 x 在 (x_i, x_{i+1}) 之间, 则其对应的逼近值为:

$$y = y_i + \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} (x - x_i) \quad (5-1)$$

将上式进行化简, 可得

$$y = y_i + k_i (x - x_i) \quad (5-2)$$

和

$$y = y_{i0} + k_i x \quad (5-3)$$

其中, $y_{i0} = y_i - k_i x_i$ 为第 i 段直线的斜率。公式 (5-2) 是点斜式直线方程, 而式 (5-3) 为截矩式直线方程。两式中, 只要 n 取得足够大, 即可获得良好得精度^[21]。线性插值法实现程序流程图如图 5-5 所示。

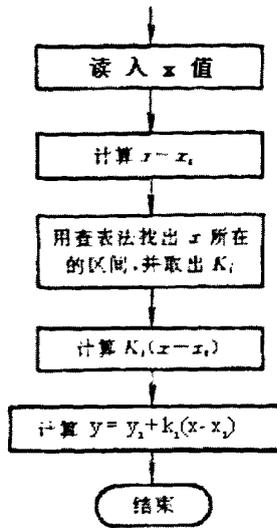


图 5-5 线性插值法程序流程图

5.2.3 具体软件设计

在本模块设计使用的传感器中，热电阻 PT100 和 K 型热电偶都不是线性传感器，都需要采用查表法和线性插值相结合的方法进行线性化处理，以达到提高精度的要求。以热电阻 PT100 为例，具体软件实现是：

查阅 PT100 的分度表可以得到一张 R-T 对应表，在检测值的范围内均匀选择若干个标定点，标定的点数越多则表格越大，对系统的描述也越精确。考虑到处理器容量和精度要求，在 0~100℃ 温度范围内，以度为单位，制作一张 PT100 的整数分度表，表格存储在微处理器的代码存储区中。为了不出现浮点数，将所有的阻值扩大，成为正整数，在计算结束后返回温度值，该值也被扩大为整数，放大倍数的大小与精度有关。因为，系统设计要求测温值达到小数点后两位，所以，将计算返回的温度值扩大 100 倍^[22]。

为了计算某一个特定的温度值，需要首先确认最接近的两个电阻值（一个低于测量值，一个高于测量值），然后用插值法确定测量温度值。例如：如果测试的电阻值等于 119.56，查寻表格精度为 1℃，那么两个最接近的值是 119.40(50℃) 和 119.78 (51℃)。综合考虑三个数据利用下式进行计算：

$$[(\text{测量值}-\text{最接近的低阻值})/(\text{最接近的高阻值}-\text{最接近的低阻值})] \times (\text{分辨率}) + \text{最接近的低温度值} = [(119.56-119.40)/(119.78-119.40)] \times 1^\circ\text{C} + 50^\circ\text{C} = 50.42^\circ\text{C}$$
。具体程序实现参考附录。

同理，K 型热电偶的线性化处理也遵循同样的方法，只不过需要在程序存储区中存储一张 K 型热电偶的 E-T 表，表格中的数据为避免出现浮点数，均扩大了 1000 倍^[23]。

5.3 通讯协议的约定

数据采集模块与嵌入式主机进行数据通信，为了方便通信以及保证通信的可靠性，系统应该约定一个通用的通讯协议。具体通信协议约定如下：

握手信号与数据都采用字符即 ASCII 码进行表示，通过串口进行通讯，波特率为 9600bps（可变），本地单片机和嵌入式主机发送和接收数据都严格按照以下帧格式操作：校验位 数据位 停止位

NULL 8 1

系统上电后，数据采集模块查询等待嵌入式端发送的通道号 n ， n 为一个 0~7 之间的正整数，若 n 值正确，则将 n 值回传给嵌入式端；嵌入式端收到返回的 n 值后，便发送一个确认信号（字符‘T’），本地单片机延时等待确认信号，延时时间内未得到确认信号则退出，若确认信号不正确，则发送错误信息（字符‘W’）；当确认信号在规定时间内准确接收到以后，便根据 n 值转入相应的处理程序，处理结束后，将最终结果发送给嵌入式端。结果为六位，其中第一位为符号位（‘+’或‘-’），后四位为数据位，最后一位为结束符‘\$’。

若起初嵌入式端发送的 n 值不是 0~7 之间的正整数，则发送错误信息（字符‘F’）告知嵌入式端。

5.4 USB 接口软件设计

USB 接口软件设计的任务主要有两点，一是控制完成本地单片机和上位主机的通讯；二是完成数据在 USB 设备中的存储。前已述及，USB 接口硬件设计选用的 USB 总线的通用接口芯片 CH375，CH375 内置了丰富的 USB 存储设备类命令、通讯协议和函数，直接提供了数据块读写接口，以 512b 物理扇区为基本单位，从而将 USB 设备转化为一种外部存储器，单片机可以自由读写。因此本地端单片机只要负责数据交换，不需要编写固件程序就可以直接通讯，这样单片机程序变得非常简洁。USB 接口程序流程图如图 5-6 所示。

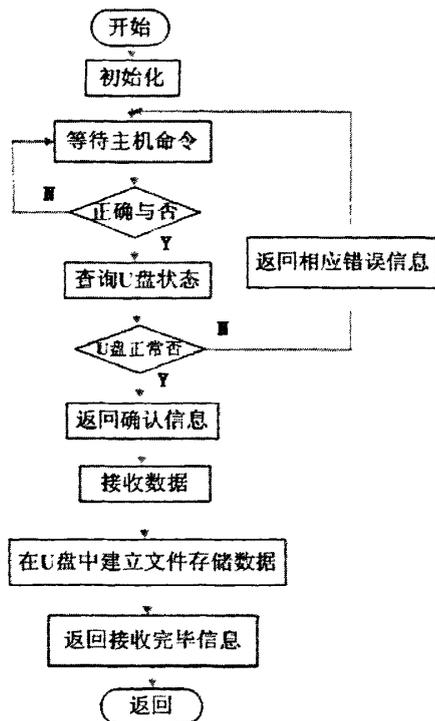


图 5-6 USB 接口程序流程图

CH375 具有自动检测 U 盘状态的功能，可以检测出无 U 盘、U 盘断开、U 盘满、U 盘无效等错误，程序只需将这些错误通过中断告知单片机即可，不需要编程自行检测。当 U 盘连接好并可以正常使用后，本地单片机接收主机发送来的数据，若 2 秒内不发送数据，本地单片机返回待机状态，清除缓存数据区。本地单片机采用计数方式接收数据，

5.5 本章小结

本章对数据模块的软件设计进行了介绍，软件设计作为一个系统设计的灵魂，是硬件系统得以正常运转的关键。本章首先介绍了整个模块的软件设计架构，然后分别对各部分程序和使用的编程算法进行了说明。最后，还对 USB 接口电路的软件设计思路和流程图进行了介绍。

第六章 结束语

数据采集模块从最初的收集资料、软硬件设计实现、调试，到现在和嵌入式主机完成联调。无论从模块功能还是性能指标都达到了设计要求。传感器采集的温度信号，经过放大、滤波、数字化、线性处理后，传送到嵌入式主机，嵌入式主机经过相应处理后在液晶屏上进行显示。整个系统的基本功能样机已完成。

6.1 总结

本论文主要完成了以下几方面的工作：

- 1.对温度等环境参数的测量技术进行了深入的研究。
- 2.参与完成了基于 ARM9 的环境监测系统整体方案的设计与论证，包括硬件平台的构建和软件实施方案的选择。
- 3.完成了系统数据采集模块的软件和硬件设计，实现了模块的既定功能。
- 4.完成了与其它模块的联机调试，整个系统的功能得以基本实现。

本文设计的数据采集模块，可以根据用户需要，灵活的进行各种传感器的组合，只要在嵌入式主机的软件部分进行相应修改即可。

6.2 展望

有线采集模块部分，今后的工作还可以从硬件和软件两个方面继续改进：

1. 随着电子技术的不断发展，芯片的制作工艺和集成度越来越高，专用性越来越强。以单片机为例，目前的单片机在内部已集成了越来越多的部件，这些部件不仅包括一般常用的电路，例如：定时器，比较器，A/D 转换器，D/A 转换器，串行通信接口，Watchdog 电路，LCD 控制器等，而且有的甚至集成了局部网路控制模块、脉宽调制控制电路等。因此，选用一款适用于温度测量的处理芯片，可以大大简化外围电路的设计，而且在精度方面也会有很大的提升。此外，一些用于温度测量信号处理的集成电路也层出不穷，例如，美国 AD 公司生产的芯片 AD594/AD595 就具有对热电偶信号进行放大和补偿的双重功能。当然，对高级芯片的使用也会带来成本增加的问题，要权衡使用。

2. 若采用了较先进的微处理器，在软件方面，对数据的处理还可以采用更加先进的算法来换取更高的测量精度。如曲线分段拟和法。

在课题开展过程中，遇到了许多困难，不过在刘开华老师，赵岩老师以及项目组其它同学的帮助下，所有的问题都得到了解决。整个模块的功能也得以实现，我的科研能力也得到了很好的锻炼和提高。当然，由于水平有限，在设计过程中肯定还存在许多不足之处，这些也是我今后努力改正的地方。

最后，希望我的研究成果能对整个项目的开发有所贡献。

参考文献

- [1]姜忠良, 陈秀云, 温度的测量与控制, 北京: 清华大学出版社, 2005.60~62, 89~92
- [2]沙占友, 智能温度传感器的发展趋势, 电子技术应用, 2002, 28(5), 6~7
- [3]天津科学技术信息研究所, 科技查新报告, 编号: 20061201000683, 2006.
- [4]于明, 范书瑞, 曹祥焯, ARM9 嵌入式系统设计与开发教程, 北京: 电子工业出版社, 2006.1~20, 80~90
- [5]徐玉伟, 黄宣钧, 李庆伟等, 嵌入式系统发展概况与应用, [2004 年广西计算机学术年会论文], 2004
- [6] Samsung Electronics Co., Ltd, S3C2410 32-BIT RISC Microprocessor Use's Manual, Revision 1.2, 2003
- [7]王魁汉, 温度测量实用技术, 北京: 机械工业出版社, 2006.1~4, 84~94
- [8]郝丽宏, 林凌, 易志明等, 热电偶测温的若干问题, 电子产品世界, 2003(1), 83~85
- [9]王晓宁, 史俊富, 查表法校正铂电阻的非线性误差, 医疗卫生设备, 2004(11), 59~60
- [10]梁廷贵, 集成运算放大器—电压比较器分册, 北京: 科技技术文献出版社, 2002, 133~139
- [11](日)冈村迪夫著, 王玲等译, OP 放大电路设计, 北京: 科学出版社, 2004, 123~159
- [12]王水平, 线性稳压器集成电路及应用—基准电压源, 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006, 324~333
- [13]张迎春, 张宪文, 赫秀芬, PN 结测温技术, 中国仪器仪表, 1994(5), 37~38
- [14]梅丽凤, 单片机原理及接口技术, 北京: 清华大学出版社, 2004.255~260
- [15]张友德, 赵志英, 涂时亮等, 单片微型机原理、应用与实验, 上海: 复旦大学出版社, 2003, 130~141
- [16]南京沁恒电子有限公司, USB 总线接口芯片 CH375 中文手册, 2005
- [17]孙卫兵, 基于 MCS-51 的智能温度寻检仪的设计, 徐州: 中国矿业大学, 2007
- [18]马忠梅, 单片机的 C 语言应用程序设计, 北京: 航空航天大学出版社, 2003
- [19]辛友顺, 胡永生, 薛小玲, 单片机应用系统设计与实现, 福州: 福建科学技术出版社, 2005

- [20]郑建国, 利用查表法进行非线性校正的温度表的设计, 仪表技术, 1997(1), 13~14
- [21]BRANDTS, Stational and Computational Methods in Data Analysis, north-holl and Publishing Company, 1993
- [22]国家技术监督局计量司, 90 国际温标通用热电偶分度表手册, 北京: 中国计量出版社, 1994
- [23]国家技术监督局计量司, 90 国际温标通用热电阻分度表手册, 北京: 中国计量出版社, 1994
- [24]蒲正刚, 张禾, 无线温度采集系统, 西南石油学院学报, 2006, 28(1), 88~90
- [25]叶湘滨, 熊飞丽, 张文娜等, 传感器与测试技术, 北京: 国防工业出版社, 2007
- [26]王俊杰, 检测技术与仪表, 武汉: 武汉理工大学出版社, 2002, 44~59
- [27]彭庶修, 吴汉水, 占俐琳, 半导体 PN 结测温实验的设计, 实验技术与管理, 2007(2), 29~31
- [28] Ultrafast response and high sensitivity semiconductor thermocouple, Dashevsky, Z., Rabinovich, D., Fish, G., etc. Thermoelectrics, 1996., Fifteenth International Conference on 26-29 March 1996 Page(s):321 - 325
- [29]何立民, 单片机应用技术选编, 北京: 航空航天大学出版社, 1999, 688~689
- [30] (德) Matthias.Nau 著, 张方谦, 李晨译, 温度的电测, 北京: 中国计量出版社, 2006

发表论文和参加科研情况说明

参与的科研项目：

[1]天津大学与天津市星望科技有限公司合作开发的 THP-2000D 系列多通道温湿度记录仪。

[2] 天津大学与天津市星望科技有限公司合作开发的采用嵌入式系统的无线多通道环境参量实时测控仪。

附录

数据采集模块软件程序清单:

```
#include <AT89X52.H>
#include <absacc.h>
#define AD_ADDR XBYTE[0x7F00]          AD 芯片地址
sbit AD_INT=P3^2;
sbit AD_HBEN=P1^1;
unsigned int counter0;
bit flag;
k 型热电偶分度表: 1°C对应 0.039mV, 扩大了 100 倍
unsigned int code TableV[101]={
0,39,79,119,158,198,238,277,317,357,397,437,477,517,557,597,637,677,718,758,798
,838,879,919,960,1000,1041,1081,1122,1163,1203,1244,1285,1326,1366,1407,1448,
1489,1530,1571,1612,1653,1694,1735,1776,1817,1858,1899,1941,1982,2023,2064,2
106,2147,2188,2230,2271,2312,2354,2395,2436,2478,2519,2561,2602,2644,2685,27
27,2768,2810,2851,2893,2934,2976,3017,3059,3100,3142,3184,3225,3267,3308,335
0,3391,3433,3474,3516,3557,3599,3640,3682,3723,3765,3806,3848,3889,3931,3972,
4013,4055,4096};
热电阻 PT100 分度表: 1°C对应 100.39 欧姆, 扩大了 1000 倍
unsigned int code TableR[101]={
10000,10039,10078,10117,10156,10195,10234,10273,10312,10351,10390,10429,104
68,10507,10546,10585,10624,10663,10702,10740,10779,10818,10857,10896,10935,
10973,11012,11051,11090,11129,11167,11206,11245,11283,11322,11361,11400,1143
8,11477,11515,11554,11593,11631,11670,11708,11747,11786,11824,11863,11901,11
940,11978,12017,12055,12094,12132,12171,12209,12247,12286,12324,12363,12401
,12439,12478,12516,12554,12593,12631,12669,12708,12746,12784,12822,12861,12
899,12937,12975,13013,13052,13090,13128,13166,13204,13242,13280,13318,13357
,13395,13433,13471,13509,13547,13585,13623,13661,13699,13737,13775,13813,13
851};
查表和插值运算
unsigned int TableFind(const unsigned int sample,const unsigned int Tables[101])
{
    unsigned char i;
    unsigned long value=Tables[0];
    for(i=0;i<100;i++)
    {
        if((sample>Tables[i]&&(sample<Tables[i+1]))
        {
            value=(sample-Tables[i])*100;
            value=value/(Tables[i+1]-Tables[i])+i*100;
            break;
        }
        else if(sample==Tables[i+1])
        {
            value=(i+1)*100;
            break;
        }
    }
    return(value);
}
```

```

signed int MAX197(const unsigned char ch)          采集函数
{
    unsigned char i;
    unsigned int result,result1,result2;
    unsigned long temp;
    signed long temp2;
    AD_HBEN=0;
    AD_ADDR=0x40|ch;//确定第几路
    while(AD_INT==1);
    result=AD_ADDR;//低 8 位
    AD_HBEN=1;
    result1=(AD_ADDR)&0x0F;//高 4 位
    result+=result1<<8;
    temp=result;
    temp=temp*5000/4095;//转换为 AD 前电压 mV
    switch(ch)                                     数值运算
    {
        case 0:      AD_HBEN=0;                    PT100
                     AD_ADDR=0x41;
                     while(AD_INT==1);
                     result2=AD_ADDR;             低 8 位
                     AD_HBEN=1;
                     result1=(AD_ADDR)&0x0F;       高 4 位
                     result2+=result1<<8;
                     temp2=result-result2*2;
                     temp2=temp2*5000/4095/10*100;
                     temp2=TableFind(temp2,TableR);
                     break;

        case 2:      AD_HBEN=0;                    热电偶
                     AD_ADDR=0x43;
                     while(AD_INT==1);
                     result2=AD_ADDR;
                     AD_HBEN=1;
                     result1=(AD_ADDR)&0x0F;
                     result2+=result1<<8;
                     temp2=result2;
                     temp2=temp2*5000/4095/5;
                     temp2=(700-temp2)*100/2.1;
                     i=temp2/100;
                     temp2=(TableV[i+1]-TableV[i])*(temp2-i*100)/100+TableV[i];
                     temp2+=temp*1000/125;
                     temp2=TableFind(temp2,TableV);
                     break;

        case 4:      temp2=temp/5;                  线性电压型湿度
                     break;

        case 5:      temp2=temp*70/50-1000;        线性电压型温度
                     break;

        case 6:      temp2=temp;
                     temp2=(temp2-1000)/4;        线性电流型湿度
                     break;

        case 7:      temp2=temp;
                     temp2=(temp2-1000)*70/40-1000;  线性电流型湿度
                     break;
    }
    return temp2;
}

```

```

void time0(void) interrupt 1          定时器 0 中断函数，用于延时
{
    TH0=0xfc;
    TL0=0x18;
    counter0++;
    if(counter0==1000)
    {
        counter0=0;
        flag=0;
    }
}

void main()                          主函数
{
    unsigned char number[5];
    unsigned char i,n,r;
    signed int sum,min,max;
    signed int input[5];
    TMOD=0x20;                        定时器 1 工作在模式 2（8 位自装载）
    TH1=0xfd;                          波特率 9600
    TL1=0xfd;
    SCON=0x50;
    PCON=0x00;
    TR1=1;
    EA=1;
    while(1)
    {
        flag=1;
        while(RI==0);
        RI=0;
        n=SBUF;
        n=n-0x30;
        if(n>=0&& n<8)
        {
            SBUF=n+0x30;
            while(TI==0);
            TI=0;
            ET0=1;
            TR0=1;
            while(RI==0);
            if(flag==0)
            {
                TR0=0;
                ET0=0;
                continue;
            }
            RI=0;
            r=SBUF;
            if(r=='T')
            {
                sum=0;
                for(i=0;i<5;i++)
                {
                    input[i]=MAX197(n);
                    sum+=input[i];
                }
                min=input[0];
                max=input[0];
            }
        }
    }
}

```

```

for(i=0;i<5;i++)
{
    if(min>=input[i])
        min=input[i];
    if(max<=input[i])
        max=input[i];
}
sum=(sum-min-max)/3;
if(sum<0)
{
    sum=-sum;
    number[4]='-';
    SBUF=number[4];
    while(TI==0);
    TI=0;
}
else
{
    number[4]='+';
    SBUF=number[4];
    while(TI==0);
    TI=0;
}
sum=sum%10000;
number[3]=sum/1000;
sum=sum%1000;
number[2]=sum/100;
sum=sum%100;
number[1]=sum/10;
sum=sum%10;
number[0]=sum;
for(i=4;i>0;i--)
{
    SBUF=number[i-1]+0x30;
    while(TI==0);
    TI=0;
}
SBUF='$';
while(TI==0);
TI=0;
}
else
    发送错误信息（返回的确认命令错误）
    {
        SBUF='W';
        while(TI==0);
        TI=0;
    }
}
else
    发送错误信息(收到的通道号错误)
    {
        SBUF='F';
        while(TI==0);
        TI=0;
    }
}

```

致 谢

本论文的工作是在我的导师赵宇副教授悉心指导下完成的。感谢赵宇老师两年来对我的学习和生活给予的关心和帮助，从赵老师那不仅学到了丰富的专业知识和学习方法，更使我领悟到了许多做人的道理，在此向赵老师表示衷心的感谢。

刘开华教授悉心指导我完成了实验室的科研工作，可以说，没有刘老师的帮助，我的科研工作和论文就不可能顺利完成。在硕士研究生期间，刘老师对我的学习和科研给予了精心指导和严格要求。刘老师严谨的治学态度以及谦和的待人态度，始终感染着我，教育着我。在此衷心感谢刘老师对我的关心和指导。

感谢赵岩老师对我的科研工作给予的指导和帮助。赵老师渊博的专业知识和平易近人的待人态度给我留下了深刻的印象。

感谢陈尧、范卿师兄在我科研工作的初期对我的指导和帮助。他们教会了我许多，使我很快适应了研究生的工作和学习方法。

同时，在本人研究生学习期间，得到了马永涛老师、李燕青老师、等多位老师的指导和帮助，对我的科研工作和论文都提出了许多的宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

吕西午、齐亮亮、李娜、孟维红、周若、陈宇昕、何艳平同学是项目组其他成员，平时在进行项目组会议时，对我负责的项目部分提供了很大的帮助。此外，在本项目的研究过程中，胡泊、权浩军师弟提供了不少帮助。在此一并表示感谢。

同实验室的安豆娃、吴鹏、徐庆智等同学在实验室工作及撰写论文期间，给予了热情帮助，在此向他们表达我的感激之情。

另外也感谢我的父母和家人，他们的理解和支持使我能够在学校专心完成我的学业。

谢谢！谢谢所有曾经帮助过我的人们。