

高精度模拟量采集卡的设计与实现

刘墩东, 柳小鹏, 余齐齐

(厦门大学自动化系, 福建 厦门 361005)

摘要: 介绍了基于 Modbus 通讯协议的高精度模拟量采集卡的软硬件设计与制作; 由于采用了高精度 A/D 转换芯片 CS5532, 该采集卡可以通过软件分时的方法采集 8 路 24 位模拟量信号, 特别适用于高精度工业现场数据采集; 同时, 采集卡使用基于 Modbus 协议的 RS-485 总线通信方式, 实现了数据的远程通信; 系统软件采用 MCS-51 汇编语言和 C 语言混合编写, 既可提高开发效率又保证了 A/D 转换的精确性。

关键词: 单片机; 模拟量采集; Modbus; 抗干扰

Design and Realization of High Precision Analog-Data-Acquisition Card

Liu Tundong, Liu Xiaopeng, Yu Qiqi

(Automation Dept., Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Design and manufacture of a high precision analog-data-acquisition card is introduced. This card provides 8 analog input channels using 24bit high precision AD converter CS5532, so it can be smoothly applied to high precision industrial field. At the same time, Modbus protocol based RS-485 bus were used to achieve long-distance communication. The software development in this system uses both MCS-51 assembly and C language which can not only shorten the development cycle but also ensure high quality A/D conversion.

Key words: MCU; analog-data-acquisition; Modbus; anti-jamming

0 引言

数据采集技术是控制科学的重要分支, 是传感器、信号获取、存储与处理等相关技术结合的产物。随着我国工业水平的提高, 工业现场的数据采集显得越来越重要, 许多被测参数, 如温度、流量、压力、液位、速度等都是连续变化的模拟量, 对其测量精度、数据稳定性和远程通信质量的要求也越来越高。一个好的数据采集卡能够在复杂环境下, 为数据采集带来很多便利。

本采集卡采用美国 CirrusLogic 公司生产的 24 位高分辨率 A/D 转换芯片 CS5532^[1], 可以满足一些对采集精度要求较高的场合。在通讯方面, 本采集卡使用基于 Modbus 协议的 RS-485 总线方式。RS-485 总线具有良好的抗干扰能力, 能够满足工业现场的需求, 而且应用成本较低。Modbus 协议应用广泛, 简单方便, 能很好地实现系统的集散控制。本文分别从硬件和软件两方面对系统设计进行详细的介绍。硬件方面给出系统原理图, 并对主要芯片和抗干扰措施作简要介绍; 软件方面则重点说明 Modbus 协议通讯编程和 CS5532 的编程。完整的硬件原理图和详细软件代码在网上提供下载。

1 系统硬件设计和抗干扰措施

本模拟量采集卡为 8 路 24 位模拟量采集系统, 使用基于 Modbus 协议的 RS485 总线通信方式, 可以通过拨码开关来选择本卡地址以及串行通讯波特率, 采集通道的选择通过软件控制, 在设计时还综合考虑了各种抗干扰措施^[2-3]。

1.1 硬件设计

收稿日期: 2006-02-27; 修回日期: 2006-04-04。

基金项目: 福建省科技计划资助项目(2004J020)。

作者简介: 刘墩东(1970-), 男, 讲师, 博士, 主要从事智能信息处理与控制方向的研究。

本采集卡由单片机系统基本模块、A/D 转换模块^[4]和通讯模块等组成。其系统结构如图 1 所示。

硬件设计首先根据需求, 选定合适的芯片, 这里主要从价格、参数等方面来考虑。系统核心芯片选用高性能的静态 80C51 处理器 AT89C51。按照本模拟量采集卡的设计要求, 模数(A/D)转换芯片的选择既要有适当的精度, 还要有尽可能高的集成度和转换速度, 同时也要考虑到芯片的性价比, 经过综合考虑, 选用 CirrusLogic 公司的低噪声 24 位 $\Delta-\Sigma$ 型 A/D 转换器 CS5532 接口芯片^[5]。为了实现 RS-485 通讯, 则选用美信公司的 MAX483 芯片。看门狗电路选用 CAT1161。

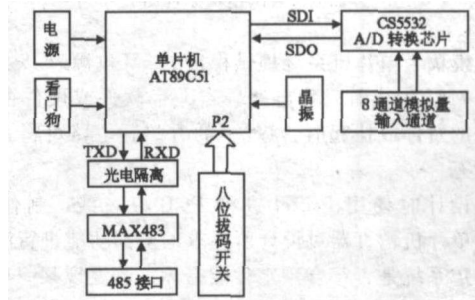


图 1 系统结构图

由系统结构图可知, 采集卡的工作原理如下:

八位拨码开关配合上拉电阻网络形成数字量信号, 通过单片机 P2 口将所需的控制信息送到单片机, 用于设定采集卡的波特率和在 Modbus 网络中的地址。

在 8 路模拟量输入选择通道中, 8 路模拟量首先经有源低通滤波器, 以消除高次谐波和大部分高频噪声信号。然后由两片 MAX4581 选择其中一路送入 CS5532 进行模数转换。

CS5532 进行模数转换, 并将结果送给单片机, 如图 2 所示。CS5532 外接 4.9152MHz 的晶振, 参考电压 V_{ref+} , 模拟

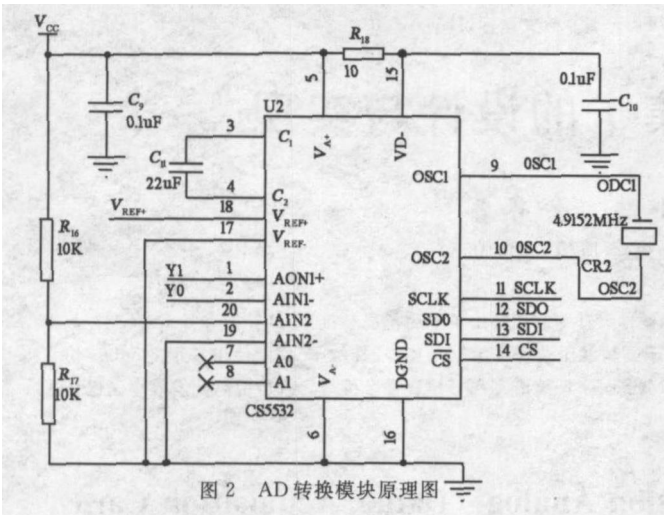


图 2 AD 转换模块原理图

量输入来自两片 MAX4581 的 Y0, Y1。单片机通过 P1.3、P1.4、P1.5、P1.6 分别控制 CS5532 的 CS、SDI、SCLK、SDO。通讯模块主要进行 RS-232/RS-485 的转换。单片机串口信号 TXD 和 RXD 以及控制信号 SELECT (P1.7) 经光电耦合器, 与 MAX483 连接, 如图 3 所示。

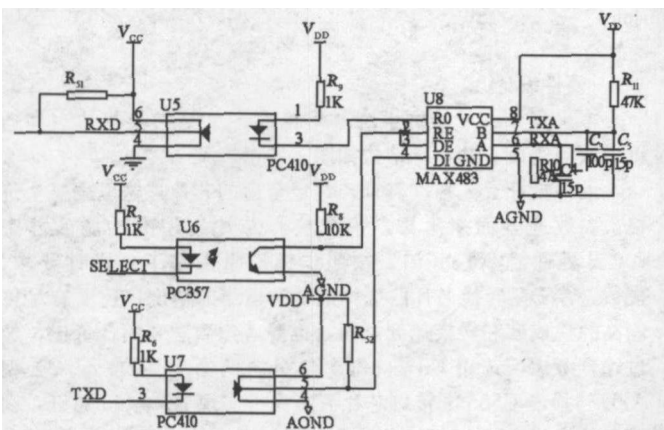


图 3 通讯模块原理图

电源模块为单片机系统提供稳定的 5V 电源。

CA T1161 构成看门狗电路, 当一个软件或硬件的误操作引起系统的暂停或挂起时, 1.6 s 的看门狗电路可将系统恢复到默认状态。

具体设计时使用 Protel 进行 PCB 板布线, 制作出 PCB 板, 通过单片机仿真器对设计所要求的全部功能进行测试和评价, 以确定系统是否符合预定性能指标。若发现某一项功能或指标达不到要求时, 则应相应变动硬件或修改软件, 重新调试, 直到满足要求为止。

1.2 抗干扰措施

本卡在硬件电路设计时采取了多种抗干扰措施, 具体如下:

(1) 通讯通道采用光电隔离, 有效地抑制尖峰脉冲及各种噪声的干扰, 从而使过程通道的信噪比大大提高。

(2) 模拟量输入通道采用低通滤波, 以消除高次谐波和大部分高频噪声信号, 减轻在进行谐波分析时出现的频谱混叠现象。

(3) 供电系统抗干扰, 使用 7805 构成电源模块, 为系统提供稳定的 V_{CC} 和 AD 转换器的参考电压 V_{REF} 电源。

(4) 可靠接地技术, 在实用中对数字地、模拟地等都采用浮地形式, 相互不共地, 数字地与模拟地在适当的位置处短接, 这样可以有效地防止地线干扰, 保证控制系统正常工作。

(5) 合理布置印刷电路板上的器件和配线, 包括采用隔绝噪声的覆铜和使焊盘更牢固的补泪滴。

2 软件设计

2.1 Modbus 协议通讯流程

对于 Modbus 协议的具体内容, 请参照参考文献 [6], 这里介绍 Modbus 通讯机制流程, 有了这些知识, 可以更容易理解软件的总体设计。

根据 Modbus 协议, 按照主从式的查询响应方式来设计系统的通讯模块, 数据传输选择 RTU 模式。这里以模拟量采集卡作为从机, 其工作流程如图 4 所示; 计算机作为主机, 其工作流程如图 5 所示。

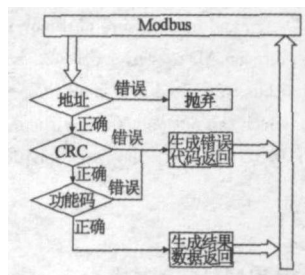


图 4 从机 (SLAVER) 工作流程图

从机不断检测总线上主机发送的信息, 该信息是根据 Modbus 协议帧的格式来组织, 包含了从机地址、功能码、相关参数及 16 位的 CRC 校验码。当从机收到消息时, 首先判断该消息中的从机地址是否与本站相符, 如果相符则继续下面的处理, 否则抛弃该消息继续进入检测状态。从机在地址校验正确后开始进行 CRC 校验, 如果 CRC 校验错则生成错误代码 (80H) 返回, 请求主机重发消息; 如果 CRC 校验正确, 则继续判断消息中的功能码是否可以被执行, 是则执行这个功能, 返回处理结果, 否则返回错误代码 (81H), 告诉主机功能码无效。当然, 执行一个功能时也有可能因为某种原因产生错误, 这时从机也会产生一个特定的出错代码并返回。如, 本采集卡的模数转换可能会产生转换溢出, 这个时候, 我们规定了溢出的错误代码为 (82H)。从机返回的消息同样按照 Modbus 协议来组织。

主机发送完查询消息后就处于等待状态, 即不断检测 Modbus 中的消息, 当主机收到消息帧时, 首先进行 CRC 校验, 如果 CRC 校验错, 则向从机发送重发请求; 如果 CRC 校验正确, 则对功能码进行判断并做相应处理, 这里包含两种处理, 即出错处理和正常处理。

其中, 出错处理是指从机发送过来的消息中功能码为规定的错误代码, 如本系统中采用的 80H、81H、82H 等, 在这个过程中, 主机识别不同的错误代码并做出相应的处理。正常处理是收到从机返回的正常处理结果, 这时主机可对收到的数据作进一步处理, 如本系统中要对收到的数据进行统计处理和换算以得到精确的结果。

在主从机通讯过程中, 可能由于线路干扰等原因导致数据

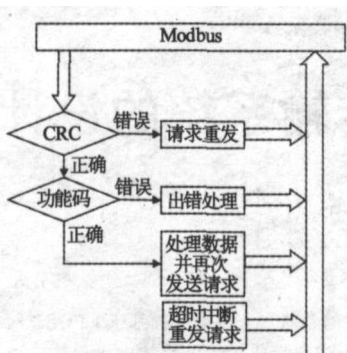


图 5 主机 (MASTER) 工作流程图

丢失, 这时主机可能长时间得不到从机的回应, 所以应该在主机程序中加入超时检测功能, 当主机在规定的时间内没有收到从机的响应消息, 则重发查询或跳过这个设备。

2.2 采集卡软件流程

采集卡主程序流程图如图 6 所示, 下面介绍流程图中的几个主要的软件模块。

2.2.1 初始化

上电复位后, 系统立即执行初始化程序, 其中包括 CS5532 的初始化和单片机串口波特率设置两个部分。

CS5532 芯片没有上电自动复位功能, 必须编写初始化程序, 使芯片处于接收命令状态。串口初始化程序要求: 先传送至少 15 个 SYNC1 命令 (OFFH), 再传送一个 SYNC0 命令 (OFFH)。该程序可以在任何时候使串口重新初始化。A/D 串口初始化后, 还要通过将结构寄存器 (Configuration register) 中的 RS 位置“1”来使 A/D 内部逻辑复位, 当一个系统复位周期结束后, 要向 RS 位写“0”, 表示复位完成。最后对结构

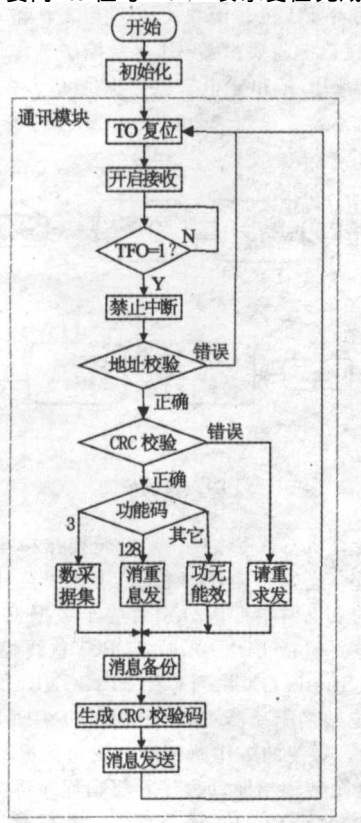


图 6 采集卡主程序流程图

寄存器作一次读操作来使 RV 位清零。串口波特率设置就是读取并判断拨码开关的特定位置 (本卡采用最高两位 D7D6), 对单片机串口通讯的波特率进行设置。

2.2.2 通讯模块

该模块用于实现 Modbus 通讯, 主要解决 3 个问题: Modbus 消息帧的获取、处理和构造。

(1) Modbus 消息帧的获取: 由于采用的是 RTU 模式, 协议中规定了, RTU 帧的起始和结束标志为大于 3.5 个字符时间间隔, 所以我们采用超时检测的方法来判断一个帧是否结束, 用单片机内部定时器 T0 来做超时控制。具体流程如下:

① 在没有消息的情况下, T0 停止工作 (TR0=0), T0 溢出标志为 TF=0, 接收字节计数器 receive_num 置为初值 0, 进入等待串口中断状态。

② 当单片机串口收到一个字符时, 产生中断停止 T0, 将该字符存入接收数组 Modbus_3 [receive_num], 然后使 receive_num 自增 1, 同时复位 T0 并重新启动 T0, 最后返回继续等待。

③ 在等待串口中断状态下, 查询 TF, 若 TF=1 则认为一帧消息结束, 此时一个完整的 MODBUS 消息帧就保存在数组 Modbus_3 [] 中, 而收到的消息字节数存于变量 receive_num 中。

(2) Modbus 消息处理: 在收到一个完整的 Modbus 消息帧之后就可以开始对这个消息进行了。消息的处理实际上就是对上一步中得到的数组 Modbus_3 [] 的各个元素进行判断并做相应跳转的过程。按照 Modbus 协议我们可以清除的知道数组 Modbus_3 [] 的结构, 即:

- Modbus_3 [0] 为从机地址
- Modbus_3 [1] 为功能码
- Modbus_3 [2] ~ Modbus_3 [receive_num - 2] 为数据段
- Modbus_3 [receive_num - 1] 是 CRC 校验码的低位
- Modbus_3 [receive_num] 是 CRC 校验码的高位。

① 消息处理前禁止中断, 紧接着获得八位波码开关的低 6 位 (即 D5D4D3D2D1D0) 作为本机的地址。

② 地址判断, 即判断 Modbus_3 [0] 是否等于 D5D4D3D2D1D0, 是则进行下一步操作。否则返回继续等待串口中断, 这就相当于抛弃了这一帧数据 (注: 本采集卡对广播信息, 也就是地址为 0 的信息不作任何响应)。

③ CRC 校验, 用 CRC16 算法计算出 Modbus_3 [0] ~ Modbus_3 [receive_num - 2] 的 CRC 码并与 Modbus_3 [receive_num - 1] 和 Modbus_3 [receive_num] 比较, 相同则表示 CRC 校验正确, 进行下一步操作。否则得到错误代码 80 并生成 Modbus_1 [] 并跳到第⑤步执行。

④ 功能码校验, 本采集卡规定了自身可以识别的功能码为 03H 和 80H, 03H 用于进行模拟量采集并返回给主机, 80H 用于重发上一次操作。

在这个环节中, 程序判断 Modbus_3 [1]:

当 Modbus_3 [1] = 03H 时调用 Func_03 子程序, 进行 AD 转换, 并生成 Modbus_1 [] 用于组织 Modbus 帧。

当 Modbus_3 [1] = 80H 将存于数组 Modbus_2 [] 中的备份信息还原给数组 Modbus_1 [] 并返回。

(下转第 1588 页)

应性强、体积小、重量轻、便携、价格低,可广泛应用于各种无源测试的场合。

通过到部队试用证明,该测试仪能够满足部队对武器装备配套电缆的日常维护测试需求,是一种小型、快捷、方便、实用的电缆测试设备。能够对各种型号设备和电缆的导通电阻、绝缘电阻等电气性能参数进行自动测量,能及时快速地检测设备电缆存在的故障隐患,提高测试速度,缩短设备使用前的检测时间,提高设备的检测效率。

在军工产品研制、生产、检验、使用、维护过程中都需要对电缆进行检测,因此电缆测试仪是武器装备测试保障系统的必备设备。

参考文献:

[1] 沙占友. 新编实用数字化测量技术 [M]. 北京: 国防工业出版社,

1998.

[2] 王士元. C 语言高级实用程序设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
[3] 罗大成, 王士成, 刘刚鹏. 某导弹绝缘电阻测试仪采样电路的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2005, 13 (12): 1382-1384.
[4] 高玉水, 李正优, 徐振辉. 某导弹电缆网绝缘电阻测试仪 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (6): 816-817.
[5] 苏建军. A RINC-429 串行总线在试飞测试系统中的应用 [J]. 测控技术, 2000, 19 (12): 26-28.
[6] 苏建军. 一种新颖实用的飞参控制器 [J]. 测控技术, 2001, 20 (8): 34-36.
[7] 苏建军. 一种实用的手持式速率转台控制器 [J]. 测控技术, 2002, 21 (11): 5-8.
[8] 苏建军. 飞行参数记录系统同步器信号的采集 [J]. 电子设计应用, 2003, 3: 42-44.

(上接第 1577 页)

当 Modbus_3 [1] 为其它值时调用 FuncErr 子程序, 得到错误代码 81, 生成 Modbus_1 [] 并返回。

⑤复制 Modbus_1 [] 到 Modbus_2 [] 中作为备份 (以备消息重发)。

(3) 构造 Modbus 消息帧并发送: 以上提到的各个子程序在生成数组 Modbus_1 [] 时, 也是遵循 Modbus 协议的, 其格式和 Modbus_3 [] 类似, 这里就不再赘述。各子程序在生成数组 Modbus_1 [] 的同时也会得到数组 Modbus_1 [] 中包含的字节个数 n。只是要注意, 这里的 Modbus 数组 Modbus_1 [] 并没有包含 CRC 校验码。所以还要加入 CRC 码: 用 CRC16 算法计算出 Modbus_1 [0] ~ Modbus_1 [n-1] 的 CRC 码并存入 Modbus_1 [n] 和 Modbus_1 [n+1], 注意在低字节在前, 高字节在后。最后按照 RTU 模式发送数据 Modbus_1 [] 到 Modbus 总线, 然后返回到等待串口中断状态。

2.2.3 数据采集模块

数据采集模块实际上是用来实现 Modbus 功能码规定的功能。本系统中规定了 Modbus 功能码 03 用于采集从机数据, 因此这个模块对应于功能码 03。考虑到 AD 转换的精确性要求, 该部分代码采用汇编语言编写, 并生成 C 语言函数名供 C 语言程序模块调用。CS5532 提供一次转换 (Single Conversion) 和连续转换 (Continuous Conversion) 两种不同的 AD 转换模式, 下面介绍一下本系统所采用的一次转换模式。

基于 AD 芯片通道设置寄存器 CSRs 的设置, 当传输 AD 转换命令给 CS5532 后, 就开始进行一次完整的 AD 转换。AD 转换命令为 80H (1000000B), 写入转换命令后, CS5532 开始进行 AD 转换, 当转换完成时 SDO 口变为低电平。接下来需要 40 个 SCLK 信号来读取转换结果, 在这 40 个 SCLK 周期内 SDO 始终保持低电平。其中前 8 个 SCLK 周期用于等待 SDO 标志被清除, 在这个过程中 SDI 应该保持逻辑“0”。后 32 个 SCLK 周期用于移位读取 32 位转换结果。读取结束后, 串口回到命令模式。

3 结论

由于采用 CS5532 芯片及 Modbus 协议, 本文设计的模拟

量采集卡兼具高精度的 A/D 转换性能和可靠的远程通讯能力。经测试, 本卡采集的数据准确, 精度高, 性能稳定, 抗干扰能力强, 而开发、制作费用相对低廉, 在实际应用中取得了很好的效果, 达到了预期的设计目的。

参考文献:

[1] Cirrus Logic. CS5531/32/33/34 Reference [Z].
[2] 王幸之. 单片机应用系统抗干扰技术 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000.
[3] 简少强. 微型计算机测控系统抗干扰技术综合策略 [J]. 计算机测量与控制, 2004, 12 (1): 6-9.
[4] 张和生. 一种高精度数据采集系统的电路设计 [J]. 计算机测量与控制, 2004, 12 (6): 576-577.
[5] 高明. 24 位模/数转换器 CS5532 及其应用 [J]. 仪表技术与传感器, 2002, 7: 40-46.
[6] Modicon Inc. Modicon Modbus Protocol Reference Guide [Z]. 1996.

开发的良朋 应用的益友
《电脑开发与应用》月刊
欢迎订阅
本刊集信息、知识、趣味、可读性于一体, 以计算机实用技术见长, 博采、精选国内外电脑研究、开发与应用的精华。具有军事、兵器控制色彩, 军用计算机的开发, 将用相当的篇幅刊登企业信息化、信息化建设、信息传输处理与管理方面的信息及文章, 关注 IT 产业。尤其是刊登 Internet、WWW、网友、网络技术、软硬件二次开发、电脑测控、CORBA、开放式与微内核技术、柔性敏捷制造等方面的内容, 跟踪报道世界最新技术。
本刊为大 16 开 (A4)、64 页、定价 6 元/册, 全年 72 元之电脑月刊。
全国各地邮局均可订, 邮发代号: 22-96; 国外代号: M4257
省优部优 华北优秀
联系地址: 太原市 193 信箱 电脑开发与应用编辑部 (030006)
电话: 0351-8725025 传真: 0351-8725207
E-mail: DNKF@chinajournal.net.cn