



一种基于 MODBUS 协议的工业控制系统设计*

程 杨 刘学平 占 涛

(清华大学 深圳研究生院 深圳 518055)

Design of an industrial control system based on MODBUS protocol

CHENG Yang LIU Xue-ping ZHAN Tao

(Graduate School at Shenzhen ,Tsinghua University Shenzhen 518055 ,China)

【摘 要】设计了基于 MODBUS 协议的主从控制系统,采用触摸屏与单片机通过 RS232 串口通信。扩展了单片机系统外围电路,由数字输入、数字输出、温度测量等模块组成,编写了上下位机测试程序,实现了电机控制、温度测量等功能。该系统可广泛应用于小型工业设备控制,具有很好的可移植性和经济性。

关键词 单片机 触摸屏 MODBUS 协议 工业控制

【Abstract】 Design a master-slave control system based on MODBUS protocol which is used for the RS232 serial communication between HMI and MCU. Expand the outer circuit for the MCU which contains digital input, digital output, temperature measurement modules. Write test program for HMI and MCU to realize the system function such as motor control and temperature measurement. This system can be widely used in the small industrial control equipments and it is good at portability and economy.

Key words MCU HMI MODBUS Industrial control

中图分类号:TH16 文献标识码:A

1 引言

现代工业控制中 PLC 与触摸屏的控制系统被广泛应用,但是 PLC 成本比较高,与之相比单片机在经济性上优势十分明显。加之目前大部分的触摸屏在支持 PLC 的同时也支持 MODBUS 协议,这就使触摸屏与单片机的控制系统成为可能,这种系统结构简单,性能稳定,成本低廉,适合于一些信息量不大的工业控制系统。

2 ModBus 协议简介

2.1 概述

MODBUS 协议描述了一个控制器请求访问其它设备的过程,如何回应来自其它设备的请求,以及怎样侦测错误并记录,制定了消息域格式和内容的公共格式。当在一个 MODBUS 网络上通信时,此协议决定了每个控制器必须知道自己的设备地址,根据地址识别消息的归属,决定执行何种功能。如果需要回应,控制器将生成报文并以 MODBUS 协议帧方式发送报文。

MODBUS 协议可以在串行链路、TCP/IP、网关中进行传输,标准的 MODBUS 控制器使用 RS-232 实现串行通讯,具有两种通讯方式,分别为 ASCII 模式和 RTU 模式。ASCII 模式将一个字节中的两个 16 进制数以其 ASCII 码字符值发送,RTU 模式则直接采用 16 进制发送。MODBUS 协议需要对数据进行校验,串行协议中除有奇偶校验外,ASCII 模式主要采用 LRC 校验,RTU 模式主要采用 16 位 CRC 校验。

2.2 数据单元

MODBUS 协议定义了一个与基础通信层无关的简单协议数据单元(Protocol Data Unit, PDU),特定总线或网络上的 MODBUS

协议映射能够在应用数据单元(Additional Data Unit ADU)上引入一些附加域,通用 MODBUS 命令帧,如图 1 所示。

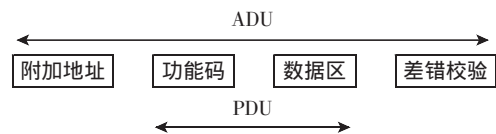


图 1 通用 MODBUS 帧
Fig.1 General MODBUS frame

2.3 通信过程

MODBUS 的实质是一种主从应答的通讯协议,其通讯遵循以下过程:主机准备请求并向从机发送请求;从机接收主机请求后进行校验,然后处理,并向主机发送回复,如果出现差错,从机将返回一个异常的功能码。

2.4 MODBUS 协议与单片机通信特点

MODBUS 协议最初为 PLC 通信而设计,它通过 24 种总线命令实现 PLC 与外界的信息交换。这些总线命令对应的通信功能主要包括 AI/AO、DI/DO 的数据传送。应用于单片机系统的时候,其实只需要几条指令就能完成对单片机的 IO 口、寄存器的读写,实现数据的传输。单片机中数据都以 16 进制进行处理,显然直接以 16 进制数据传输的 RTU 模式更适用于单片机控制系统。

3 系统总体设计

系统设计采用单片机加触摸屏的控制方式,触摸屏为主机,单片机为从机,利用 MODBUS 协议,通过 RS-232 进行点对点通讯,通讯模式选择 RTU,附加 CRC 校验。主机发送读线圈(功能码 01),

* 来稿日期 2010-03-27 * 基金项目 国家科技支撑计划资助项目(2006BAF02A07)

写线圈(功能码 05) 读保持寄存器(功能码 03) 写寄存器(功能码 06)四个命令完成对单片机 IO 口、寄存器的读写功能^[4]。从机中的下位机程序负责对主机的命令进行响应,并将对应的数据发回主机。

根据工业控制的实际情况,系统在单片机处理器的基础上,扩展了数字输入模块、数字输出模块、热电偶测温模块、串行通讯模块等硬件电路。

4 系统的硬件构成

4.1 上位机硬件构成

上位机选择威纶的 MT8070 触摸屏,该触摸屏支持 RS-232, RS-485 协议,是专门面向 PLC 应用的,可以直接与多种 PLC 通讯。使用 MODBUS 协议也可与单片机、PC、DXP 通讯,构成控制系统^[4]。

4.2 下位机硬件构成

下位机控制平台由处理器、电源、数字输出电路、数字输入电路、热电偶测温电路、串口通讯等电路组成。总体结构,如图 2 所示。

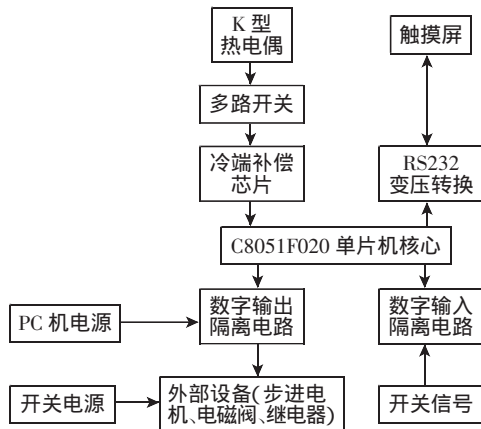


图 2 下位机硬件结构图

Fig.2 Lower level computer hardware structure

工业现场往往需要控制大量的外部设备,如电机、继电器、固态继电器、电磁阀等等,而在控制过程中往往又有大量的信号反馈给控制系统,因此要求单片机有较多的 IO 口,同时在如步进电机控制、液位控制、温度控制等一些特定场合中定时器、方波输出器、PWM 脉宽调制也被广泛应用,因此要求单片机有较多的内部资源;综合以上两点系统选取 C8051F020 处理器作为下位机控制模块的核心,它是 C8051F 系列中功能较全的一款,此处理器具备 64KBytes 的可编程 Flash,4Kbytes 的 SRAM,支持大容量的程序代码,支持 JTAG 在线调试功能,5 通道 16 位定时器/计数器,支持脉冲采样,8 通道 12 位 ADC,充分支持多路温度采集,具有多达 64 个的数字 IO 引脚,足以控制系统所需的模拟和数字外设。处理器还包括看门狗、DAC、电压比较器、电压基准输出、PWM、定时器捕捉和方波输出等,并具备多种总线接口,包括 UART、SPI、SMBus 总线以及 CAN 总线^[4],足以满足工业控制的需求。

数字信号输出模块负责为外部设备提供控制信号,设计外部设备采用 24V 供电,而单片机数字输出信号电压为 3.3V,因此控制端与外部设备之间需要通过光耦隔离。从速度上来分,数字输出接口分为高速输出接口和低速输出接口,前者主要控制步进电机等需要高速信号的设备,采用高速光耦进行隔离。后者控制继电器

等设备,采用普通光耦进行隔离。从功率上分,数字输出接口分为大功率输出接口和小功率输出接口,前者提供给大功率外设,采用达林顿光耦进行隔离,提高带负载的能力。将控制电路和供电电路隔离可以保证控制系统的稳定可靠,是十分必要的。

数字信号输入模块负责接收工业控制中的开关信号,如行程控制中的限位开关,设备操作中的启动、急停按钮,以及超温、超压报警信号等。设计开关信号均为 24V 供电,通过普通光耦与 3.3V 单片机数字输入信号隔离,并在光耦的后端接入施密特触发器,使输入信号的上升沿与下降沿更加标准。

温度测量在工业控制中应用很广,因此系统也扩展了热电偶测温模块,选择 K 型热电偶作为温度传感器,K 型热电偶是在工业上最常用的热电偶,其测量范围(0~1300)℃^[6,7]。

系统设计最多可循环采集 8 路热电偶的输出,采用多路开关对采集通道进行选择。MAX4638 是美信公司生产的一款高精度低泄漏的 8 选 1 多路开关,工作电压为(1.8~5.5)V,通过板内的 3.3V 为其供电。MAX4638 的切换时间为 17ns,满足系统对实时性的要求。

利用热电偶进行温度测量必须进行冷端补偿,系统设计测温范围为(-100~600)℃,查阅 K 型热电偶分度表可知 600℃对应的电动势为 24.9055mV,远小于单片机 AD 的电压基准 2.43V,因此在 AD 的前端还需要对信号进行放大。系统采用带冷端补偿的 K 型热电偶放大器 AD595 处理温度信号,结构简单且误差较小。AD595 具有冷端补偿功能,低阻抗电压,输出电压与输入电压(K 型热电偶电动势)之间有着很好的线性关系,可进行零点标定。K 型热电偶电动势与温度之间并非严格的线性关系,因此在软件中可以根据 K 型热电偶分度表,对测量结果进行插值校正,与标准热源相比较,校准误差不大于(±1)℃,满足工业测量的需求。系统采用(±12)V 对其供电,可以测量 0℃以下温度,满足特殊工作场合的需求。

系统中单片机与触摸屏通过 RS232 串口进行通信。C8051F020 芯片中包含的串行通讯模块带有与 RS-232 标准一致的异步串口(UART),使得 C8051F020 可以很方便的与触摸屏通信。由于单片机产生的是非 TTL 电平信号,因此在与标准 RS-232 串行通讯口连接前需要进行电平转换,系统中采用标准的电平转换芯片 SP3223,该驱动芯片功耗低、集成度高、(+3.3~+5)V 供电,具有两个接收和发送通道。

5 系统的软件设计

5.1 上位机软件设计

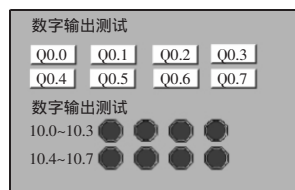


图 3 数字 IO 读写测试界面
Fig.3 Digital IO literacy testing interface

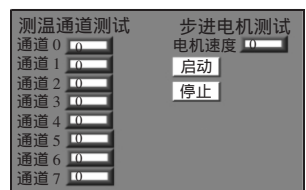


图 4 寄存器读写测试界面
Fig.4 Registers literacy testing interface

编写上位机软件作为上下位机控制实验的人机界面,实现输入输出测试、步进电机控制、温度采集等功能。软件编程环境

为威纶公司触摸屏的集成开发环境 EasyBuilder8000, 软件界面如图 3、4 所示。由于触摸屏支持 MODBUS 协议, 只需要在对应控件下设置读写位或寄存器的地址即可与单片机通讯。

5.2 下位机软件设计

下位机软件通过串口中断接收上位机指令, 根据不同的指令执行单片机程序, 如数字信号的输出, 电机的控制, 开关信号的输入, 温度的测量等。

在主程序中还需要对单片机的管脚, 串口(UART), ADC 等设备进行初始化。以下对串口接收中断函数和 MODBUS 命令帧处理函数进行介绍。

5.2.1 串口接收中断

串口接收中断发生后, 将接收的数据放入接收缓冲区, 系统设计的读位、写位、读字、写字命令帧的长度都为 8 个字节, 通过接受字节数判断命令帧是否接收完毕。如果完毕, 则进入命令帧处理, 否则结束此次接收。流程如图 5 所示。

5.2.2 命令帧处理程序

命令帧处理程序包括命令帧解析、命令帧处理和发送回应帧三个部分。流程如图 6 所示。

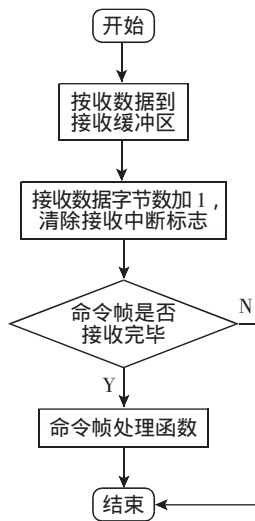


图 5 串口接收中断流程图
Fig.5 Serial receiving interrupt flowchart

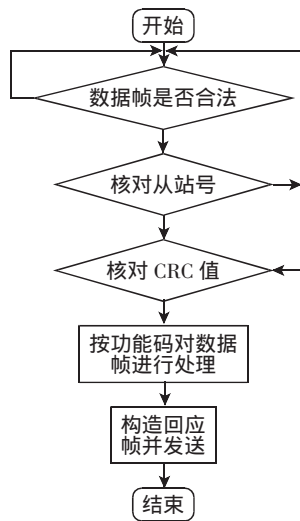


图 6 命令帧处理程序流程图
Fig.6 Command frame processing program flowchart

(1) 命令帧解析

程序在读到命令帧设备地址字节时, 需要对设备地址进行判断, 如果触摸屏发送 MODBUS 数据帧的从站地址与单片机不符, 则放弃本次解析, 如果从站地址与单片机相符, 则对整帧进行 CRC 16 计算并校验 MODBUS 数据帧最后两个 CRC 字节, 如果计算的 CRC 值与 MODBUS 数据帧中的 CRC 不一致, 则返回, 否则进入命令帧处理。

(2) 命令帧处理

程序根据收到的 MODBUS 数据帧的功能码, 进行相应的处理流程, 这里 MODBUS 的处理流程主要读位、写位、读字、写字四种处理方式。写命令时主要是将数据赋给位或寄存器, 读命令时主要是将数据写入 MODBUS 回复帧, 发送至上位机。

(3) 发送回应帧

MODBUS 回复消息帧建立完后, 将 MODBUS 回复消息帧放入发送缓冲寄存器, 以字节的形式发送给触摸屏。发送完毕后, 置准备发送标志为 0, 以结束本次发送, 然后等待新的发送命令。

6 上下位机通讯控制实验

6.1 开关信号输入实验

实验中 C8051F020 的 P2.0~P2.7 共 8 个 IO 作为数字输入, 软件中为 I0.0~I0.7。通过功能码 01(读位)查询单片机的输入口状态。实验中数字输入口外接限位开关, 当开关闭合时, 触摸屏界面中的对应红灯亮起, 反之熄灭。

6.2 外部设备控制实验

实验中将 C8051F020 的 P(1.0~1.7)共 8 个 IO 作为数字输出, 软件中为 Q(0.0~0.7)。通过功能码 05(写位)对数字输出口进行置位和复位, 成功控制了电磁阀、真空泵、继电器、风扇等 24V 外设的开闭。

6.3 温度采集实验

编写单片机程序, 通过 C8051F020 的 ADC0 采集 AD595 输出电压信号, 并转换成温度数值, 存于一个 16bit int 型变量, 通过功能码 03(读字)读取温度值并在触摸屏中显示。通过与标准热源比较, 测试得出系统测温误差为(±1)℃。

6.4 步进电机控制实验

编写单片机程序, 使 C8051F020 的定时器 0 产生方波信号, 其频率由一个 16bit int 型变量存储。通过功能码 06(写字)改变该寄存器的值, 实现步进电机速度改变并用数字示波器观察输出方波, 发现其频率与设定值相符。

通过上述实验, 说明这种基于 MODBUS 的控制系统能很好的满足各种工业设备的控制需求。

7 结论

设计了基于 MODBUS 协议的触摸屏加单片机的主从控制系统, 扩展了数字输入、数字输出、温度测量等模块, 使之更加适合于工业控制。

通过编写上下位机的测试程序, 完成了电机、继电器、电磁阀等外部设备的驱动, 温度数据, 开关信号的上传等功能。该系统性能稳定、成本低廉, 可移植性好, 可广泛应用于各类需要进行上下位通讯控制的电子装配设备中。

参考文献

- 1 Modicon Modbus Protocol Reference Guide, 2008
- 2 邓元生. 基于单片机的 MODBUS 总线协议实现技术研究[D]. 中国优秀硕士学位论文全文数据库, 2009
- 3 李芳芳. 基于 MODBUS 协议的人机接口通信研究[D]. 中国优秀硕士学位论文全文数据库, 2009(12)
- 4 EasyBuilder8000 使用手册, 2005
- 5 鲍可进. C8051F 单片机原理及应用. 北京: 中国电力出版社, 2006(1): 13~29
- 6 马静, 苏三买, 赵旭民. AD595 温度-电压变换器的原理及应用. 电测与仪表, 2000(1):5~8
- 7 祖一康. 基 K 型热电偶与 MAX6675 多路温度采集系统. 江西理工大学学报, 2007(4):25~27
- 8 何立民. 单片机应用技术选编. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995