

基于 $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ 的以太网开关量监控终端设计^①

刘 宇, 张 军

(中电科航空电子有限公司, 成都 611731)

摘 要: 在现代工业控制系统中, 由于系统分布化、智能化的需要, 工业以太网得以广泛的应用, 并且大量的控制信息传递、控制和变换都是以开关量信号的形式进行. 本文提出一种以太网远程开关量监控终端的设计. 监控终端软件基于嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ 以及嵌入式 TCP/IP 协议栈 μIP , 软件加入了可配置存储的网络地址及端口的功能. 监控终端硬件基于 ARM 核心微处理器 LPC2106, 开关量信号的输入输出部分采用光电耦合隔离. 该终端可以灵活地接入以太网络, 并进行远程配置和开关量监控, 具有较高的通用性、可靠性和可扩展性, 可以适应工业控制以及智能家居等不同的应用场合.

关键词: LPC2106; $\mu\text{C}/\text{OS-III}$; μIP ; 以太网; 开关量; 监控终端

Design of Ethernet Switching Signal Monitoring Terminal Based on $\mu\text{C}/\text{OS-III}$

LIU Yu, ZHANG Jun

(China Electronic Technology Avionics Company Limited, Chengdu 611731, China)

Abstract: In the modern industrial control systems, due to the needs of distribution and intelligent of system, industrial Ethernet is widely used. Transmission, control and transform of information are usually based on the form of switching signals. This paper presents a design of Ethernet switching signal monitoring terminal. The terminal software is based on embedded operating system $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ and embedded TCP/IP protocol stack μIP , the function of network address and port configuration is embedded in the software. The terminal hardware is based on ARM core MCU LPC2106, with a photo-coupling method used for the isolation of the switch signal. This developed terminal with the advantages of universal, reliable and expandable characteristics can be connected to Ethernet for configuration and switching signal monitoring flexibly, and it has the significant potential for use in the various applications such as industrial control and smart home.

Key words: LPC2106; $\mu\text{C}/\text{OS-III}$; μIP ; ethernet; switching signal; monitoring terminal

在现代工业生产过程中, 开关量控制技术具有广泛的应用. 在矿业加工控制、机械加工控制和化工产品生产控制等工业控制过程中经常需要对大量的开关量信号进行监控. 开关量的控制主要采用集中的控制方式, 控制指令由控制室主控计算机发出, 通过远端开关量监控终端对信号进行直接监视、控制和信息上报. 传统的监控系统主要采用 RS485 总线进行通信, 灵活性较低, 不便于系统的升级和扩展.

本文提出了一种基于以太网的开关量监控终端, 该终端通过以太网进行数据通信, 具有可配置的网络

接口以及可扩展的开关量输入输出通道. 由于以太网具有高灵活度的特点, 所以该系统不仅便于升级和扩展, 同时避免了对通信网络的独占.

1 系统概述

开关量监控系统采用主从式的结构, 系统结构如图 1 所示. 通过一台主控计算机实现对所有开关量监控终端输出开关量的控制和输入开关量的监视. 主控计算机和监控终端之间通过工业以太网进行连接. 通过工业以太网交换机对网络进行扩展, 组织成为树形

^① 收稿时间:2013-08-14;收到修改稿时间:2013-09-22

的控制网络拓扑结构。

主控计算机和开关量监控终端之间采用面向连接的、可靠的 TCP 协议层进行数据传输, 以保证数据传输的可靠性。主控计算机通过周期的发送开关量输出信息数据包, 实现对监控终端输出开关量的控制, 同时监控终端将开关量输入信息数据包作为应答回传给主控计算机进行计算、分析和显示。

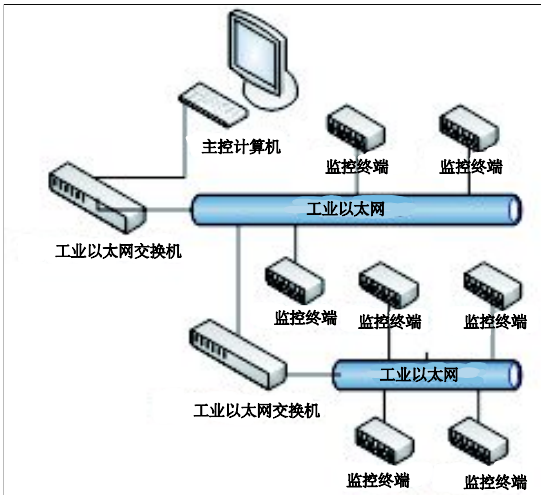


图 1 开关量监控系统结构

2 硬件设计

开关量监控终端主要是以 ARM7TDMI-S 内核的 LPC2106 微处理器模块为主控模块, 外围模块包括电源模块、以太网接口模块、开关量输出模块、开关量输入模块、I2C 配置数据存储模块和 LED 状态显示模块。如图 2 所示。

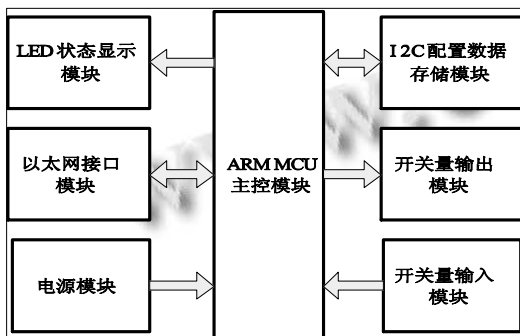


图 2 开关量监控终端硬件结构图

电源模块负责为主控模块以及各外围模块提供稳定的直流电源; 以太网接口模块连接到工业以太网, 负责接收主控计算机发送过来的控制数据包以及回传开关量的监控数据; 开关量输入输出模块则负责将接

收到的开关量信息输出到外部以及将监测到的输入开关量信息输入到主控模块; I2C 配置数据存储模块则实现对接收到的网络配置参数进行存储; LED 状态显示模块实现对终端连接状态进行显示。

1.1 LPC2106 主控部分

LPC2106 是基于 ARM7TDMI-S 内核的 32 位微处理器, 该处理器具有低功耗和高性能的特点。LPC2106 集成了可用于代码和数据存储的 128K FLASH 存储空间以及 64K RAM 存储空间, 它的工作频率可以达到 60MHz, 并且具有内嵌的 SPI 接口, 可用于与以太网接口芯片连接。基于以上所描述的特点, 这里采用 LPC2106 作为开关量监控终端的主控芯片。

主控部分电路采用了常用的 LPC2106 系统电路构成, 电路中采用一个 11.0592MHz 晶振和两片 30pF 瓷片电容组成时钟电路, 采用一个 10kΩ 电阻和 1μF 电容组成复位电路, 并且采用稳定的 3.3V 和 1.8V 直流电源保证 LPC2106 能够稳定的工作。通过 GPIO 连接 LED 指示灯用于指示与主控计算机的连接状态。

1.2 开关量输入输出部分

为了满足工业现场复杂控制情况的要求, 开关量输入部分接口电路设计成可选择输入交/直流的结构, 输入接口支持 4 路的开关量输入。图 3 为其中一路开关量输入部分的电路图。直流开关量通过 CON 接口的 1、2 口输入, 通过电阻分压后连接到光电耦合; 交流开关量通过 CON 接口的 1、3 口输入, 采用了电容和电阻串联结构起到分压、限流和滤波的作用。采用双向导通型光电耦合管 PC844, 在对信号进行隔离的同时保证了对交/直流两种外接电源的支持^[1]。

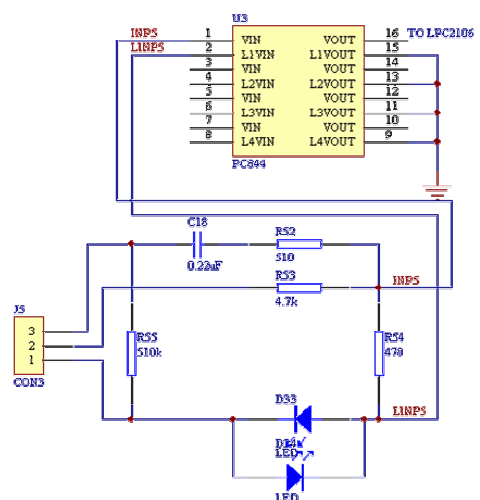


图 3 开关量输入部分电路图

开关量输出部分采用了继电器输出接口模块。主控电路的输出控制信号经输出模块内部电路输出放大来驱动内部继电器，使其常开触点闭合来接通外部设备及电源并达到控制目的^[2]。这种方式使得外部开关量信号既可以采用直流电源也可以采用交流电源。开关量输出部分支持 4 路的开关量控制输出。图 4 为其中一路开关量输出部分的电路图。为了增强工业现场控制的抗干扰性能，采用了 TLP521-4 光耦来实现信号的隔离，并对电源进行了隔离。

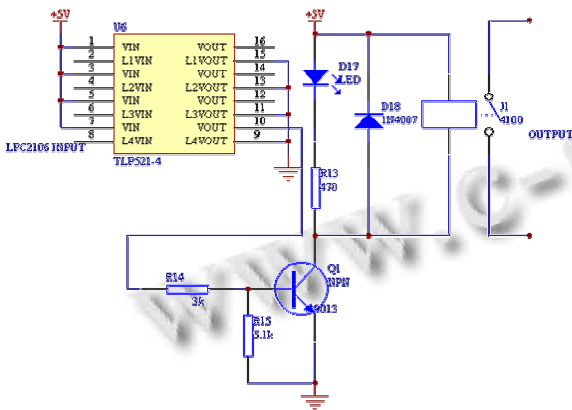


图 4 开关量输出部分电路图

3 软件设计

开关量监控终端嵌入式软件主要分成 4 个部分：嵌入式操作系统 $\mu C/OS-III$ 、嵌入式 TCP/IP 协议栈 μIP 、以太网设备驱动、以及应用层软件。如图 5 所示。

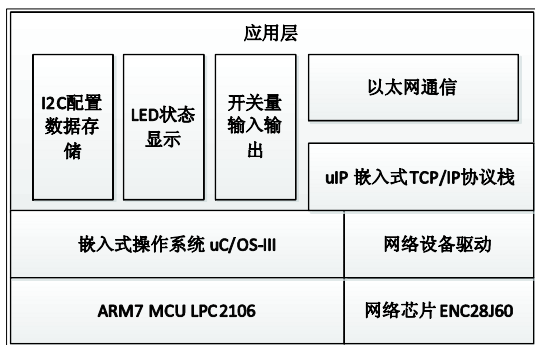


图 5 开关量监控终端软件结构图

$\mu C/OS-III$ 是具有抢占式实时内核、可以扩展的、高安全性的实时操作系统^[3]。 $\mu C/OS-III$ 在 $\mu C/OS-II$ 基础之上作出了较大的改进，移除了部分不常用的功能，增加了一些更为高效的服务和特性。并且提供了对 MISRA-C:2004 的支持^[4]，这使得 $\mu C/OS-III$ 安全性得

到了提升。所以基于对可靠性以及安全性方面的考虑，开关量监控终端采用了 $\mu C/OS-III$ 操作系统。

嵌入式操作系统 $\mu C/OS-III$ 是软件的核心，它实现了监控终端的系统任务管理和 μIP 协议栈的管理。以太网设备驱动部分则对以太网芯片 ENC28J60 进行控制以实现以太网数据的收发。应用层软件则主要通过各个独立的系统任务来实现 I2C 配置参数存储、LED 状态显示、以太网通信以及开关量信号的输入输出。

3.1 以太网通信程序

开关量监控终端的以太网通信程序主要实现接收主控计算机发送的开关量输出信息数据包，然后将开关量值传递给开关量输出程序，同时将从开关量输入程序得到的开关量值组成数据包回传到主控计算机。除此之外，以太网通信程序还需要实现接收主控计算机发送的网络配置数据修改命令并网络配置数据存储到 I2C 存储芯片。具体的程序流程如图 6 所示。

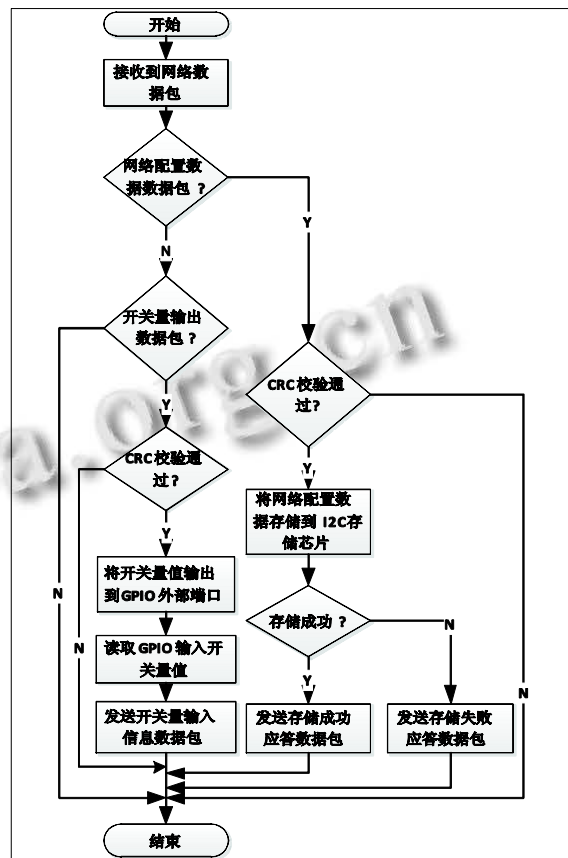


图 6 以太网通信程序流程图

μIP 协议栈中用户需要自定义应用层接口宏 UIP_APPCALL(), 协议栈接收到数据包后, 会自动调

用 UIP_APPCALL, 用户需要在该函数宏中调用相关函数宏进行非零判断来实现对连接的终止、超时、关闭、连接、应答、新数据包和需要重发等状态的识别, 并进行相应的操作。同时为了保证数据收发的可靠性, 对接收到的以太网数据包中的数据部分增加了 CRC 校验。

3.2 开关量输入输出程序

开关量的输入输出监控采用被动的方式进行, 主控计算机周期发送开关量输出信息数据包到监控终端, 监控终端收到数据包后解析出开关量输出值, 然后立即通过 GPIO 输出到外围电路, 同时读取 GPIO 输入输出端的电平值, 将开关量值信息通过数据包返回给主控计算机, 完成整个监控过程。开关量值输入监视程序如下:

```

/* 开关量监视程序*/
struct tcp_test_appstate *s = (struct tcp_test_appstate *)&uip_conn->appstate;
/* 读取开关量输出端信号值 */
for(index = 0, ioOutVal = 0; index < IO_OUT_NUM; index++) {
    tmpVal = GetInIO(IO_OUT_PIN_START_NUM + index);
    ioOutVal += (tmpVal << index);}
/* 读取开关量输出端信号值 */
for(index = 0, ioInVal = 0; index < IO_IN_NUM; index++) {
    tmpVal = GetInIO(IO_IN_PIN_START_NUM + index);
    ioInVal += (tmpVal << index);}
/* 整合数据包 */
monData[0] = IO_OUT_PACKET_HEAD;
monData[1] = ioOutVal;
monData[2] = ioInVal;
monData[3] = xCal_crc((uint8_t *)monData, IO_OUT_PACKET_LEN - 1);
/* 发送数据包 */
s->textptr = (uint8_t *)monData;
s->textlen = IO_OUT_PACKET_LEN;
uip_send(s->textptr, s->textlen);

```

4 测试结果

图 7 展示了主控计算机软件界面的一个实例, 该软件界面采用 LabWindows/CVI 2010 开发, 通过开发

环境底层网络通信库实现和开关量监控终端的 TCP 协议的网络通信, 实例中实现了对监控终端的 4 路开关量输入监控和 4 路开关量输出控制。主控软件界面上可以实时的观察输入开关量值和控制输出开关量值, 测试中监控终端运行稳定, 没有出现控制失效和监视错误的情况。实际应用中可以根据现场情况定制主控计算机软件, 并可加入自动控制算法以取代人工控制。

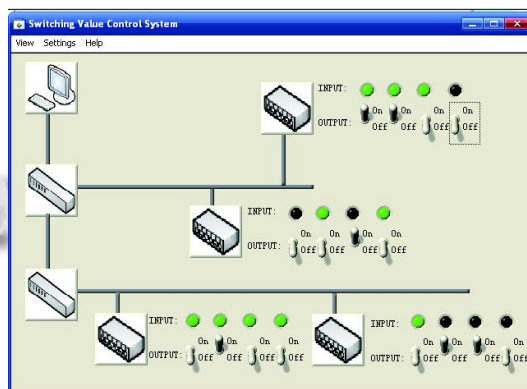


图 7 主控计算机控制软件界面图

5 结语

本文设计的以太网开关量监控终端方案, 从高安全性的角度出发采用了嵌入式实时操作系统 μ C/OS-III, 同时基于通用扩展性能的考虑, 采用了基于 ARM7TDMI-S 内核微处理器 LPC2106 的主控模块和基于 μ IP 协议栈的以太网网络接口, 可以实现对多路交直流开关量信号的监控。系统达到了工业控制高安全性、高可靠性以及可扩展性的要求。该监控终端经过测试运行稳定可靠, 可以应用于对现有矿业加工, 机械加工和化工等工业控制系统的改造、以及对现有工业以太网络的扩展。

参考文献

- 1 王幸之, 王雷, 钟爱琴, 王闪. 单片机应用系统电磁干扰与抗干扰技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- 2 陶安利, 王霞, 蔺增金, 郭菊松. 一种低成本高性能开关量控制器的设计. 工业控制计算机, 2002, 15(6): 64-65.
- 3 Labrosse JJ. μ C/OSIII: The RealTime Kernel for the STM32 ARM CortexM3. Weston: Micrium Press, 2011: 15-18.
- 4 宫辉, 龚光华, 黄土琛. 从 μ C/OSII 到 μ C/OSIII 的各种改进. 单片机与嵌入式系统应用, 2012, 12(10): 79-81.