

炮号显示模块在 EAST 超导 TOKAMAK 中的应用

晏晓东¹, 罗家融^{1,2}, 王华忠², 吴一纯²

(1. 东华大学 理学院, 上海 201620; 2. 中国科学院 等离子体物理研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要: EAST 超导托克马克装置是一种利用磁场来约束等离子体的受控热核聚变物理实验装置; 炮号显示模块是 EAST 装置总控系统的组成部分之一, 用来为给子系统提供当前的炮号及放电长度等信息, 是以 AVR 系列单片机 atmega128 为核心, 基于 NUT/OS 嵌入式实时操作系统完成了该显示模块的基本设计, 给出了该模块的硬件和嵌入式软件的设计方案与实现方法; 该模块已成功投入到 2006 年 12 月 EAST 超导托卡马克核聚变装置的放电试验中, 实验结果表明, 该模块运行稳定可靠, 符合预定的设计目标。

关键词: TOKAMAK; 以太网; 嵌入式; 实时操作系统

Application of ShotNo Display Module Based on NUT/OS in EAST Superconductive Tokamak

Yan Xiaodong¹, Luo Jiarong^{1,2}, Wang Huazhong², Wu Yichun²

1. College of Sciences, Donghua University, Shanghai 201620, China;

2. Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: EAST Superconductive Tokamak is one kind of physical experiment installation which restrains the plasma using the magnetic field to control thermonuclear fusion. The ShotNo display module is a part of the central control system in the EAST Superconductive Tokamak. It is used to provide the ShotNo, discharge length and other information to subsystems. This job is centering on atmega128, based on the embedded RTOS NUT/OS to complete the basic design of the display module. This paper gives designable scheme and method. This module has been successfully used in the experiment of the EAST Superconductive Tokamak fusion equipment on December 2006. The application shows that this module runs stably and accords with the scheduled design goal.

Key words: TOKAMAK; Ethernet; embedded; RTOS

0 引言

EAST (The Experimental Advanced Superconductive Tokamak) 是由我国中科院等离子体物理研究所自行研制的世界上首座全超导托克马克核聚变实验装置, 在装置的每一次放电实验中当前的炮号是这次放电的唯一标示, 是所有子系统联系的纽带, 炮号显示模块用于让各子系统方便地查看当前的炮号、放电前倒数计时的长度以及放电的时间。而各子系统分布在不同的实验现场, 与总控系统相距较远, 为了保证数据能够实时的显示, 对控制信号稳定性和数据传输的实时性就有一定的要求。本设计以 AVR 单片机为主体, 构建该显示模块的硬件平台, 并嵌入 NUT/OS 实时操作系统, 有良好的数据传输的稳定性和实时响应能力, 也增强了该模块的可扩展性和可移植性。

1 硬件设计方案

由于各个显示模块是提供给各子系统使用的, 所以各显示模块与总控系统之间呈分布式结构, 总控参数平台与各模块均接入 EAST 控制网中, 各模块受总控的管理。炮号显示模块的硬件结构如图 1 所示, 它主要由以太网接口电路和显示驱动电

路组成。

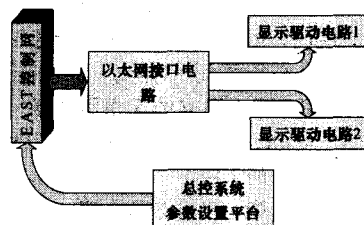


图 1 炮号显示模块的硬件结构图

1.1 以太网接口电路

以太网接口电路以 Ethertnl. 3g^[1] 开源软硬件的设计方案为基础, 并对其进行了增删和重新设计。以太网接口电路的硬件结构框图如图 2 所示, 它主要由现场总线控制部分和以太网控制部分组成, 本电路提供了 RJ-45 接口连接到 Ethernet, 并且提供一个 RS232 接口供用户使用。

AVR 系列单片机 atmega128 为主要控制部分, 实现对以太网控制器 RTL8019AS 的控制, 把实时操作系统 NUT/OS 移植到该处理器中, atmega128 内部的 128KB 系统可编程 Flash ROM 用于保存程序代码和数据常量。4KB 的片内可编程 EEPROM 用于保存系统配置信息, 如网关 IP 地址、MAC 地址、套接口 (Socket) 端口号以及串口波特率等参数, 当系统启动时, 这些配置信息自动调入系统以完成系统初始化参数的配置。内部的 4KB 的 RAM 以及外扩的 32KB 的 RAM 用来缓存数据包以及保存堆栈和变量^[2]。

收稿日期: 2007-05-22; 修回日期: 2007-07-02。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (10475079)。

作者简介: 晏晓东 (1983-), 男, 安徽省黄山人, 硕士, 主要从事电子技术和计算机控制的研究。

罗家融 (1948-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事计算机控制和数据采集系统的研究。

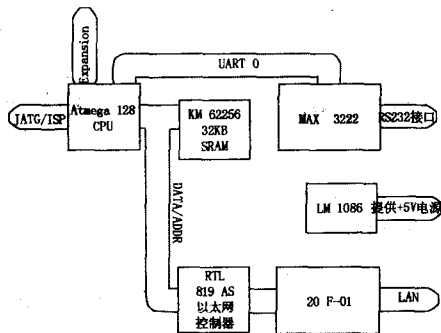


图2 以太网接口电路的硬件结构框图

此接口电路在TCP/IP协议下，采用Socket方式与总控系统进行通信。因为，EAST控制网中不会有大量的数据传输，而且各显示参数都是在装置非放电期间设置的，所以，10Mbps传输速率的以太网控制器RTL8019AS已经能够满足系统的要求。RTL8019AS是一种高集成度的全双工10Mb以太网控制芯片，实现基于Ethernet协议MAC层的全部功能，内置16KB的SRAM、双DMA通道和FIFO，完成数据包的接收和发送功能。

电路板上的LM1086给整个电路板提供+5V电源；外扩一片KM62256 32KB的SRAM；Atmega128共提供两个硬件UART接口，其中一个通过MAX3222引出到供RS-232使用的DB-9插座；20F-01为与RTL8019AS配套的隔离变压器。

1.2 显示驱动电路

炮号显示模块主要是让各子系统查看放电炮号、倒计时长度以及放电时间，由于显示的是数字，所以采用对数字显示效果好的，显示字形美观，符合人的视觉习惯的大型LED数码管作为显示器。大型LED数码管的每一段是由多个LED发光二极管串并联而成的，因此导通电流大、导通电压高，因此大型LED数码管驱动必须采用大电流、高电压驱动器，如ULN2003。ULN2003具有7个独立的反相驱动器，每个驱动器的输出灌电流可达500mA，导通时输出电压约1V，截止输出电压可达50V。ULN2003的1脚至7脚为信号输入端；依次对应的输出端为16脚至10脚，没有公共电源端。使用时按7个独立的开路输出反相器联接，即每个使用的反相器其输出端需经上拉电阻接驱动电源的正极。用ULN2003驱动大型LED时，可把上拉电阻作为LED数码管每段的限流电阻。由于不需要显示小数点可将LED该位经限流电阻接地，则一块ULN2003恰好驱动一个LED数码管的七段。显示驱动电路原理图如图3所示。

74LS164的作用是把串行输入的显示数据转换为并行输出，为防止由于显示数据在传输时发生变化而导致的数码管闪烁，所以在显示驱动前加入74LS374用来锁存显示数据。

2 软件系统设计

2.1 NUT/OS实时操作系统的简介

实时操作系统也称为实时内核或RTOS。通过将应用程序分割成若干独立的线程，RTOS的应用使得应用程序的设计过程大为简化，设计和扩展变得容易，不需要大的改动就可以增加新的功能。如今RTOS的种类有很多，如VxWorks、PalmOS、EEOS等，然而对于某些应用，选用开源的免费实时操作系统有利于降低研发和生产成本，在开源的实时操作系统中

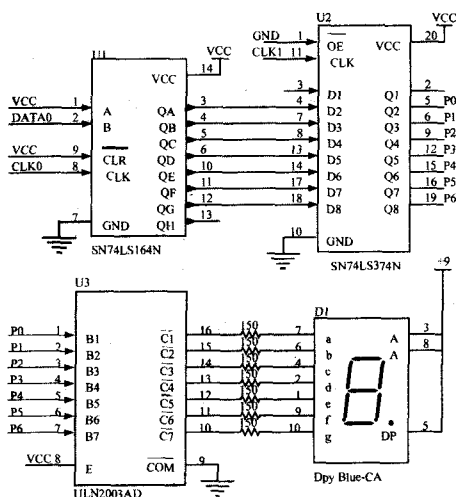


图3 显示驱动电路原理图

影响最大的当属 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ ，它的代码精简，最少可达2.7KB，具有较好的扩展性和一定的实时性，但是系统的功能性不够强，对复杂任务支持不够，缺乏配套的集成开发工具，增加了开发的难度。

NUT/OS是一个非常特色的开源实时操作系统^[1]，提供了I/O管理能力，包含了大多数应用所需的I/O接口API函数，如文件管理系统、串行通信驱动、网络驱动、声音驱动和显示驱动，并且已经或即将提供CAN、USB、无线网卡、蓝牙以及利用MMC卡、CF卡或IDE接口（硬盘）外扩大容量的存储器等应用的源代码，并把这些应用作为I/O扩展的一部分。这使得用户可以节省在I/O接口的开发时间，有利于保证编程的速度和质量。它所占用的程序空间大约是1.5KB，它是直接运行在设备驱动程序之上系统核心软件，主要完成线程管理、线程之间的同步与通信等功能。并且NUT/OS可以通过调用精简TCP/IP协议栈Nut/Net，实现嵌入式以太网设备开发。

2.2 应用软件的设计

Nut/Net API包含套接口(Socket) API和协议(Protocols)两个模块，在Socket API模块中又包含TCP Sockets和UDP Sockets两个模块，由于UDP尽最大努力但提供不可靠的服务，简单的UDP算法可以在本地网络条件好的环境中良好工作，但在环境较复杂的网络中就不能正常工作了，必须通过超时和重传来实现可靠性，而TCP则提供数据传输的完全可靠性，即使TCP相对于UDP会消耗更多的系统资源，但是为了保证数据信号的完全正确，这里采用面向连接的TCP Socket通讯方式。

在炮号显示模块中的CPU-Atmega128上运行的应用程序中包含了两个线程。其中一个为TCP服务器端线程，它始终实时地等待由总控系统引入的连接，并与之通过指定的TCP Socket交换信息，实现总控系统对各分布式模块的控制。通过该程序可配置以太网网络接口电路的IP、物理地址、子网掩码和网关。待建立TCP连接后，总控以字符串的形式向Atmega128发送指令，指令均由命令名结合控制参数组成。同时在该应用程序中还包含一个监听的线程，始终监听总控是否发出中止放电的信号，因为在放电前倒计时阶段如果发现此次放

