

基于 ARM 的远程电子表决网络基站的设计与实现^①

唐 韬, 肖昌炎, 张程皓

(湖南大学 电气与信息工程学院, 长沙 410082)

摘 要: 设计并实现了一种应用于远程电子表决系统的网络基站。该基站硬件上以嵌入式 ARM 为基础, 扩展了具有以太网和 CAN 总线功能的外设; 软件上移植了嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 和 TCP/IP 协议栈 LwIP, 实现了以太网和 CAN 总线驱动, 以及应用程序, 成功完成其通信枢纽的作用。

关键词: 远程电子表决; 网络基站; $\mu\text{C}/\text{OS-II}$; LwIP; CAN 总线

Design and Realization of Network Base Station for Remote Electronic Voting Based on ARM

TANG Tao, XIAO Chang-Yan, ZHANG Cheng-Hao

(Institute of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: This paper designs and implements a network base station used in the remote electronic voting system. The base station is based on embedded ARM, and expands Ethernet and CAN Bus peripherals in hardware; in software, it ports the embedded operating system $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ and the TCP/IP protocol stack LwIP, programs Ethernet and CAN Bus driver and application code. The network base station successfully completes its pivotal role in communication.

Key words: remote electronic voting; network base station; $\mu\text{C}/\text{OS-II}$; LwIP; CAN Bus

1 引言

随着计算机控制技术和电子技术的发展, 以举手等方式进行表决的传统会议模式逐步被电子表决所取代。电子表决从根本上改变了各类会议系统发、填、收、计票的表决方式, 实现了表决结果及时、准确显示, 提高了会议表决的透明度, 保证了表决结果的公开性。

以太网通信具有资源共享能力强, 传输距离长, 传输速率高等特点, 且易与 Internet 连接, 将以太网作为数据通信手段, 使得远程电子表决成为了可能, 这样不同地域的与会者可以一起参与表决, 既方便快捷, 又实时高效, 节约了大量的交通、场地和时间成本, 同时表决结果也可以通过 Internet 进行共享。本文以嵌入式 ARM 作为硬件平台, 设计了一种具有以太网通信功能的网络基站, 实现了远程电子表决功能^[1]。

2 网络基站

远程电子表决系统由表决器、网络基站、主站和

投影设备组成, 整个系统结构如下图 1 所示。

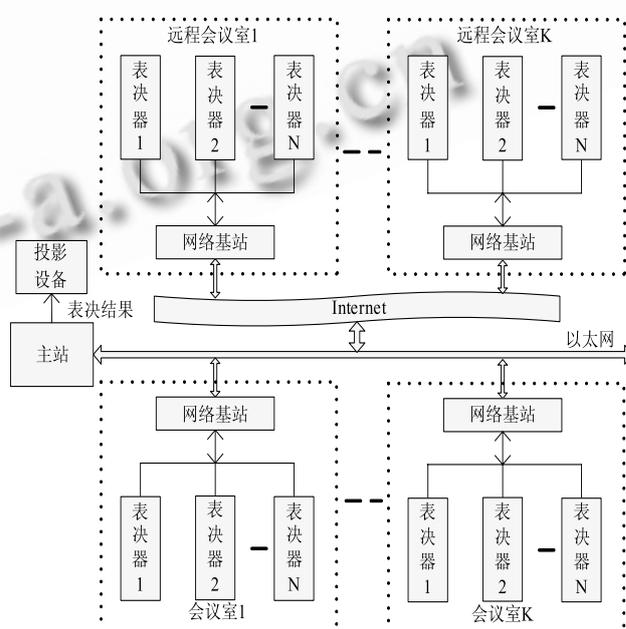


图 1 远程表决系统结构图

① 收稿时间:2011-03-03;收到修改稿时间:2011-04-03

网络基站作为表决器与主站之间的通信枢纽，既要主站发送的指令和数据传达到表决器，又要将表决器的状态和表决结果传送到主站，从而显示到投影设备。

网络基站与表决器之间的通信方式有无线和有线两种，通常无线采用频段为 433MHz 或 2.4GHz 的射频通信，有线采用 RS485 或 CAN 总线。CAN 总线的数据通信具有突出的可靠性、实时性和灵活性，因此在本设计中，以 CAN 总线方式为例^[2]。那么网络基站就需要实现 CAN 总线数据与以太网数据的互相转换，同时根据表决协议，对数据进行解析、打包等操作。

3 硬件设计

网络基站的硬件系统框图如下图 2 所示，基站硬件以 ATMEL 公司的 AT91SAM7X256 处理器为核心。该处理器基于 ARM7TDMI 内核，集成了 256KB Flash 和 64KB SRAM，还包括 USART、SPI、CAN 控制器、以太网 MAC 等外设，性能上满足了本设计的要求。

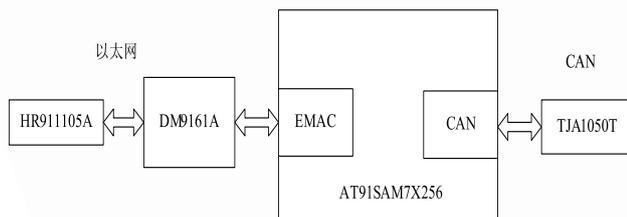


图 2 硬件系统框图

网络部分只需扩展一片标准的 PHY 芯片就可以实现以太网接口，PHY 芯片选择常见的 DM9161A，RJ45 接口选择内置网络变压器的 HR911105A，而 CAN 总线部分只需外接高速收发器 TJA1050T 即可。

4 软件设计

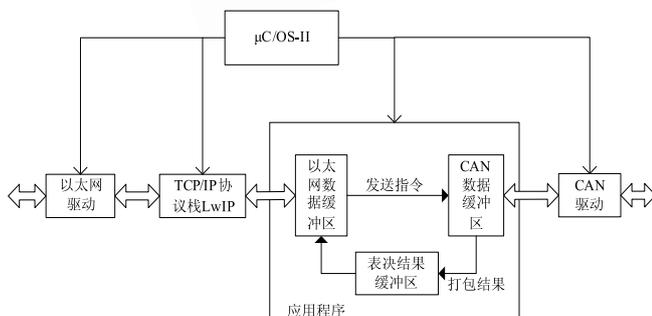


图 3 软件系统框图

为了保证整个系统的实时性和稳定性，软件部分采用嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ ，在其基础上进行 TCP/IP 协议栈 LwIP 的移植，实现以太网驱动和 CAN 总线驱动，以及应用程序。软件系统框图如图 3 所示。

4.1 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 移植

$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 属于可剥夺型内核，可移植，可裁剪，它占用很小的存储空间和内存，同时拥有强大的任务调度功能、通信及同步机制，并且其稳定性和安全性足以用于航天器这样要求极为苛刻的复杂系统^[3]。对于网络基站苛刻的硬件资源， $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 是比较好的选择，在其基础上进行 TCP/IP 移植和应用程序开发，既能减少开发难度，又能保证系统的稳定可靠。

移植 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 到硬件平台上，需要实现 3 个文件：OS_CPU.H、OS_CPU_C.C、OS_CPU_A.S。

① OS_CPU.H 中需要定义与处理器相关的数据类型；② OS_CPU_C.C 中必须实现任务堆栈的初始化函数 OSTaskStkInit()；③ OS_CPU_A.S 是移植的核心部分，它需要使用汇编代码实现临界处理函数 OS_ENTER_CRITICAL() 和 OS_EXIT_CRITICAL()，开启多任务处理函数 OSStartHighRdy()，任务级的任务切换函数 OSCtxSw() 和中断级的任务切换函数 OSIntCtxSw()^[4]。

移植成功的 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 作为整个软件系统的基础，首先为 LwIP 和应用程序提供了多任务机制，根据任务的优先级别来执行任务的调度，提高了 CPU 的利用率，并使应用程序模块化；其次为软件系统的其他环节提供了信号量、邮箱等通讯及同步机制，这样保证了表决数据在各任务之间、协议层之间准确实时的传输。

4.2 LwIP 移植

LwIP 是瑞士计算机科学院开发的开放源代码的 TCP/IP 协议栈，它在包含完整的 TCP 等协议基础上实现了小型资源的占用，适用于资源紧张的嵌入式系统。LwIP 以分层的协议为参照来设计实现 TCP/IP，其 TCP/IP 协议的组成模块有 IP、ICMP、UDP 和 TCP。LwIP 的操作系统模拟层 (sys_arch) 使用统一的接口提供定时器、进程同步及消息传递机制等系统服务供内部协议调用，而 LwIP 的移植工作就是针对目标操作系统来修改模拟层。在模拟层中需要修改的函数有初始化 sys_arch 层函数 sys_init()；信号量的建立、释放、发送和等待函数；邮箱的创建、释放、投递和接

收函数；创建新线程函数；以及 sys_arch_timeouts() 函数，用以返回指向当前线程的 sys_timeouts 结构的指针。此外，移植过程还需实现 cc.h，即与硬件平台及编译器相关的环境变量和数据类型的声明^[5]。

LwIP 提供的应用程序接口有 LwIP API 和 BSD Socket API 两种，其中 Socket 接口易于理解且兼容性好，因此应用程序调用 Socket API 来实现网络通信。

TCP/IP 传输层定义了两种传输协议：UDP 和 TCP。TCP 相对于 UDP，提供了可靠的数据通信，并在相互进行通信的设备或服务之间提供一个虚拟连接^[6]。对于电子表决来说，保证表决结果的准确无误和完全收齐是至关重要的，因而使用 TCP 作为传输层协议。这样在主站与网络基站之间建立了一对多的虚拟连接，主站可以轮流与网络基站进行通信，也可以通过多进程的方式同时与多个网络基站交互。

4.3 以太网驱动

移植到 μC/OS-II 的 LwIP 已经具有了 OSI 模型中的网络层和传输层，而要让 LwIP 实现其功能，还需实现物理层与网络层之间的数据交换，即实现数据链路层，也就是以太网驱动的工作^[7]。下图 4 给出数据链路层的实现框图：

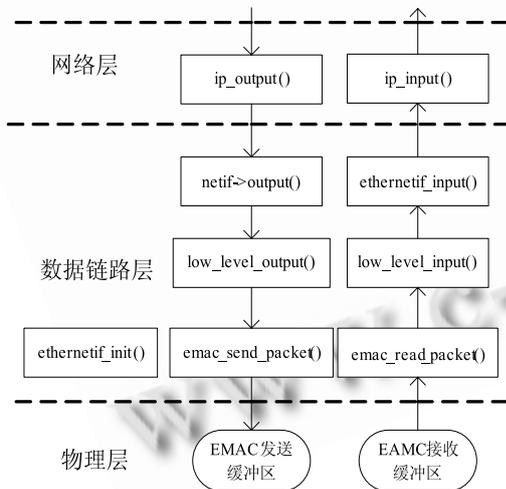


图 4 数据链路层实现框图

ethernetif_init() 初始化底层网络接口，包括底层硬件描述结构 netif 的初始化以及 EMAC 和 PHY 的初始化。

数据链路层接收函数 low_level_input() 通过调用 emac_read_packet() 从 EAMC 缓冲区读取一帧数据发送到网络层（即 IP 层）进行解析。而这一过程依靠一

个单独的进程 ethernetif_input()，它会一直堵塞，直到接收了包含 EMAC 接收缓冲区地址的邮箱（由中断服务程序响应接收中断而投递）为止，然后立即搬运缓冲区内数据到上层协议^[8]。

而网络层数据的输出是通过链路层发送函数 low_level_output() 调用 emac_send_packet() 发送一整帧到 EMAC 缓冲区实现的。

4.4 CAN 驱动

AT91SAM7X256 具有完全兼容 CAN2.0A 和 2.0B 协议的 CAN 控制器，位传输速度达 1Mbit/s。CAN 控制器有 8 个独立可编程的邮箱，可以通过配置寄存器来设置任何一个邮箱处于发送或接收模式，同时 CAN 控制器内部具有 16 位的定时器来标记发送和接收的报文。

CAN 驱动主要实现 CAN 控制器的初始化，中断处理函数以及报文的发送和接收。具体思路如下：

CAN 控制器初始化包括使能 IO 口和时钟，初始化和使能中断，配置波特率，以及收发邮箱的初始化和使能。

当 CAN 中断发生时，中断处理函数读取中断状态寄存器，如果是发送邮箱中断就置位发送完成标志，如果是接收邮箱中断则调用报文接收函数并发送信号量到应用程序，这样应用程序就能立即处理 CAN 报文，保证了表决结果的实时处理^[9]。

报文接收函数从接收邮箱中读取报文 ID、报文数据和报文长度并存储到接收缓冲区。报文发送函数则是当发送完成标志为真时，写入报文 ID、报文数据和报文长度到发送邮箱，而后使能发送和发送中断。

4.5 应用程序

应用程序需要完成的工作有：1) 建立网络服务器，接受主站的访问，接收并执行主站的各类指令。2) 接收来自表决器的 CAN 报文形式的表决结果，并对其解析和打包。程序流程图如图 5 所示。

程序建立了两个任务，任务一是网络服务器的实现，该任务使用 Socket 接口完成了 TCP 连接的建立、绑定和监听等，然后堵塞直到主站发出连接请求。成功与主站建立虚拟连接后，任务会循环读取来自主站的数据，根据解析出的指令类型来进行相应处理，直到与主站之间的连接关闭为止。任务二则是堵塞等待 CAN 中断服务程序发送的信号量，接收到信号量后，对刚到达的 CAN 报文进行解析，随后保存表决结果到

结果缓冲区。

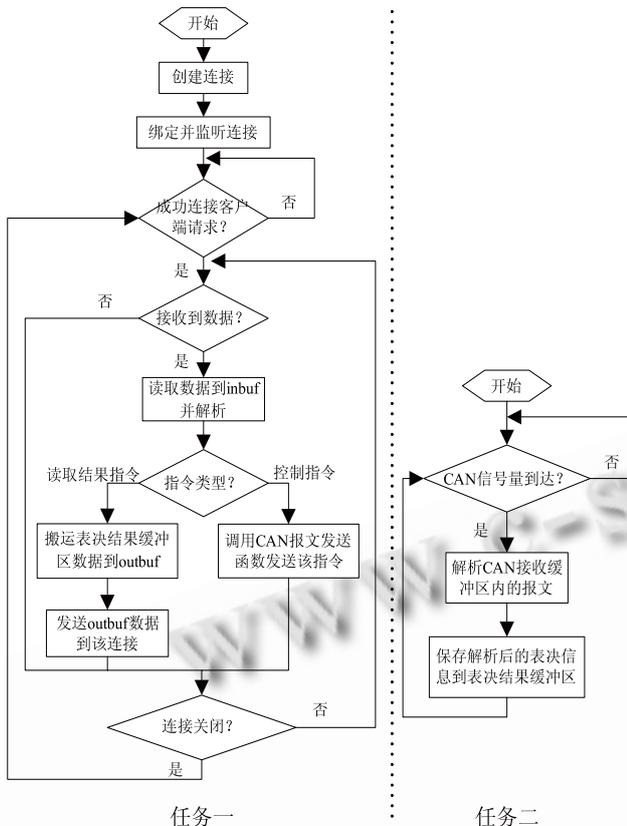


图5 应用程序流程图

在应用程序中，表决结果缓冲区作为任务一和任务二之间数据交换的纽带，是一个临界区，因此需要建立一个互斥型信号量对该临界区进行保护，保证数据传递的准确。

4.6 网络通信效果测试

为了证实网络基站是否稳定以及通信速度是否满足要求，笔者搭建了如下测试环境：使用两个网络基站与主站组成一个局域网，每个基站连接 100 个表决器。表决器依次编号，其发出的表决结果与编号值对应，用来判断表决结果是否准确上传。当表决器接收

到主站发送的表决指令时，立即返回带有编号的表决结果。

经测试，200 个表决器的表决结果在 3 秒内收齐，最快达到 85 个/秒，并且表决结果准确无误。

5 结论

本文针对远程电子表决系统，设计和实现了该系统中的核心部件——网络基站。基站采用 32 位 ARM7 处理器和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统，硬件和软件设计简洁高效；通过移植嵌入式 TCP/IP 协议栈 LwIP，满足 TCP 通信要求的同时，减少硬件资源的占用；采用 CAN 总线实时高效的实现了表决器与基站间通信；以服务器的形式接受主站的访问。经实际应用验证，网络基站能稳定的搭建和实现远程电子表决系统，同时实时性也很好。

参考文献

- 1 赵浩,李声晋,芦刚.基于 CAN 总线和以太网的远程监控系统设计.测控技术,2006,25(10):53-56.
- 2 张文亚,李恩,蔡丽,梁自泽.一种基于 LwIP CAN/Ethernet 嵌入式网关设计.计算机应用,2007,27(2):278-281.
- 3 Labrosse JJ.嵌入式实习操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$.邵贝贝,等译.第 2 版.北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- 4 李鸿强,苗长云.LwIP 移植到 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 中的实现.天津工业大学学报,2006,25(4):38-40.
- 5 焦海波,刘健康.嵌入式网络系统设计—基于 Atmel ARM7 系列.北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- 6 Richard SW. TCP/IP 详解.(卷 1):协议.范建华,译.北京:机械工业出版社,2001.
- 7 徐皓冬,王宏,杨志家.基于以太网的工业控制网络.信息与控制,2009,29(2):182-186.
- 8 李国宏,李玉宝.基于 MCF52231 的 CAN-Ethernet 设计与实现.计算机工程与科学,2009,31(6):24-26.
- 9 杜尚丰,曹晓钟,徐津,等.CAN 总线测控技术及其应用.北京:电子工业出版社,2007.