

文章编号:1673-5005(2009)02-0053-05

声波换能器高温测试系统的数据通讯

王旭升, 鞠晓东

(中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249)

摘要:针对声波换能器高温测试的控制过程庞杂、控制对象分散的特点,设计了一台高性能笔记本电脑作为上位机、多个嵌入式系统为前端机的分布式控制系统。基于以太网技术,阐述系统在客户端/服务器(C/S)工作模式下,以网络通讯方式进行异种平台的数据传输方法,实现了系统的上位机和前端机之间可靠的数据通讯,解决了传统测试仪器多项功能集成困难的问题。声波换能器高温测试系统运行中的数据传输测试结果表明,此数据通讯系统数据传输延迟时间短、稳定,差错校验码校验正确,能够满足系统网络通讯的实时性要求。

关键词:声波换能器;数据通讯;以太网;分布式控制系统;客户端/服务器

中图分类号:TE 19

文献标识码:A

Data communication for high temperature test system of acoustic wave transducer

WANG Xu-sheng, JU Xiao-dong

(State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting in China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Aimed at the characterizations of high temperature test of acoustic wave transducer for many controlled objects and numerous jumbled control process, a distributed control system was designed. In the system, a high performance notebook PC is used as the upper computer and four embedded systems are used as the front ends. Based on Ethernet, network communication was used to the data transfer among different computer platforms with the mode of Client/Server. In this way, the problem of traditional test instrument to integrate many functions was solved. The test results show that the data transfer is characterized by short delay time, steady transmission and right cyclic redundancy check, and can satisfy the real time requirement of the high temperature test system of acoustic wave transducer.

Key words: acoustic wave transducer; data communication; Ethernet; distributed control system; Client/Server

换能器高温测试是声波测井仪器开发的重要环节。由于测试要求系统的控制对象多样性,采用传统的单机架构难以实现这样多项功能的集成,不能满足测试需要,而且布线繁琐,不易安装。针对这些特点,笔者开发基于以太网技术的分布式控制系统。在设计中运用完成端口、线程池等技术实现网络通讯方式的数据传输,以便适应测井仪器的网络化发展趋势^[1]。

1 声波换能器高温测试系统结构简介

1.1 系统结构

系统采用分布式结构。上位机与各子系统之间

组成多节点虚拟对等网络,通过交换机形成星形连接。整套设备采用3级集散控制系统形式(图1)。系统第一级包括传感器、执行机构和被控对象。第二级为前端机,前端机采用32位的ARM7构架,运行μcLinux嵌入式操作系统,在过程控制中进行数据采集和对执行机构的驱动控制等。作为第三级的上位机为基于IntelX86处理器架构的高性能笔记本电脑,运行Windows操作系统,与前端机之间采用基于连接的C/S(客户端/服务器)工作模式通讯来管理各前端机工作^[2-3]。

系统充分利用了分布式系统的优势,合理进行任务分配。在控制过程中利用上位机强大的运算能

收稿日期:2008-10-14

基金项目:国家自然科学基金项目(40874097)

作者简介:王旭升(1964-),男(蒙古族),内蒙古宁城人,工程师,博士研究生,从事测井仪器开发。

力,根据前端机传来的数据进行处理、显示及人机交互等工作,而将实时性控制任务分配给前端机,并且在前端机传回的数据结构中包含每个数据的时间数据段。这样就可以解决 Windows 操作系统非实时性问题。为提高服务器响应性能,数据通讯算法采用了完成端口 I/O 模型及线程池编程方法。完成端口是一种经过系统优化的内核对象,当一个网络事件完成,完成端口将得到一则通知,等待在完成端口下的一个工作者线程就能够立即为之提供服务,极大地提高了服务器性能。

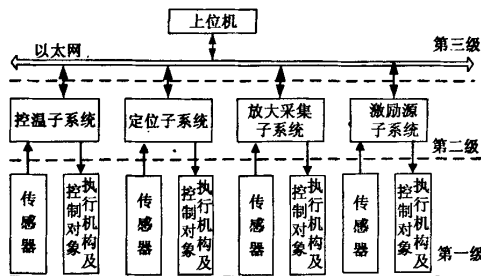


图1 系统架构图

Fig.1 System structure

1.2 基于 ARM7 的嵌入式应用系统

前端机的核心 CPU 采用三星公司的 S3C44B0X,这是一款高性价比的 16/32 位 RISC 微控制器,内含一个由 ARM 公司设计的 16/32 位 ARM7TDMI RISC 处理器核,ARM7TDMI 为低功耗、高性能的 16/32 核,最适合用于对价格及功耗敏感的应用场合,它通过提供全面的、通用的片上外设,大大减少了系统电路除处理器以外的元器件配置,降低了系统成本^[4]。网络接口芯片采用 Realtek 公司生产的 RTL8019AS,它是一款高度集成的全双工以太网控制器,集成了 MAC(介质访问控制层)和物理层的性能,软件可移植性强^[5]。 μ cLinux 是由 Linux2.0/2.4 内核发展来的,专门针对没有 MMU(存储器管理单元)的 CPU,支持多任务,具备 TCP/IP 协议栈并支持多种网络协议,保留了 Linux 操作系统的主要优点,如稳定性、强大的网络能力以及优秀的文件系统支持,并且为嵌入式系统做了很多小型化工作,它内核小,但功能强大,系统健壮,而且具有广泛的硬件支持,是一款优秀的嵌入式操作系统。基于 ARM 核的嵌入式网络控制器的硬件结构设计方案如图 2 所示。

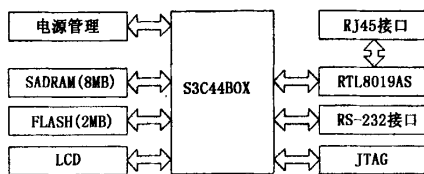


图2 基于 ARM 核的嵌入式网络控制器的硬件结构

Fig.2 Network controller hardware configuration based on ARM kernel

2 网络通讯软件设计

2.1 上位机软件系统框架

声波换能器高温测试系统上位机软件系统开发采用面向对象的设计思想,可分为 3 个层次(图 3),由于不需要实际的硬件驱动,所有的应用代码均工作在 x86 的 Ring3 层。上位机软件系统的底层为基于 TCP/IP 协议的数据通讯模块,采用 Winsock 套接字编程,完成应用系统命令、状态和测试数据的收发。中间层为系统内核层,利用 WindowsXP 抢占式多任务运行机制形成以消息驱动的高效、友好的多任务运行环境,对于关键性任务采用多线程(并发服务)模式,如高优先级的后台网络数据传输线程、最低优先级的硬拷贝输出线程等。内核层的特点是具有一定的独立性,可保证应用系统所有任务平滑、有序、高效地运行。顶层是应用层,包括了一系列可装载任务模块,完成人机交互、数据处理和成果显示绘图、文件系统和联机帮助等实用功能。

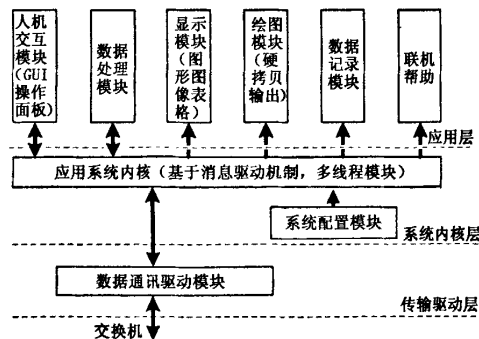


图3 上位机软件系统架构示意图

Fig.3 Software architecture of upper computer

声波换能器高温测试系统上位机网络通讯程序模块采用流式套接字进行程序设计。套接字是基于 TCP/IP 的应用程序接口(API),也是网络通讯的基

本操作单元。由于 TCP/IP 协议的开放性、稳定性和可靠性,因此不仅容易实现测控网络的体系结构,还可形成异机种、异种操作系统应用程序间的相互连接和通讯^[6]。目前,采用 C/S 网络模式在网络中进行数据传输成为测控领域的典型模式。套接字提供了不同主机间进程双向通讯的端点,这些进程在通讯前应各自建立一个 socket,并通过对 socket 的读/写操作实现网络通讯功能。常用的套接字有两种:流式套接字(stream socket)和数据包套接字(datagram socket)。其中,流式套接字是可靠的面向连接的通讯数据流,是无错误的传输,而数据包套接字则使用 UDP 来传送数据包,数据包的顺序是没有保障的^[7]。

2.2 服务器端网络通讯程序模块设计

2.2.1 Winsock 完成端口 I/O 模型原理

在 Windows 下进行网络服务器程序开发,Winsock 完成端口模型是最高效的。完成端口是一种经过系统优化的 Windows 内核对象,Winsock 的完成端口模型借助 Windows 的重叠 I/O 机制和完成端口来实现。此方法的核心是 OVERLAPPED 结构。OVERLAPPED 结构包含特定于每个 I/O 请求的上下文信息^[8]。完成端口模式设计原理是:首先创建一个 win32 完成端口对象,并为这个对象创建一定数量的工作者线程,这些线程要在套接字 I/O 请求被投递到完成端口对象时,为完成端口服务。然后就可以随时把套接字句柄与完成端口相关联。在套接字句柄与完成端口相关联后,让完成端口对象管理重叠 I/O 请求。以后在该句柄上完成的所有 I/O 请求的通知都将排列到完成端口队列中。一旦某项 I/O 操作完成,一个可以对该操作结果进行处理的工作者线程就会收到一则通知,来执行工作者线程函数。图 4 为服务器主程序流程图,图 5 为工作者线程函数流程图。

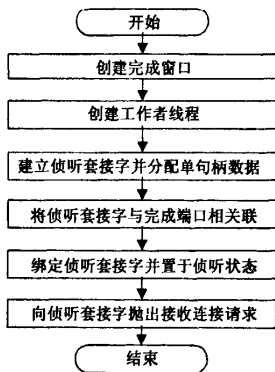


图 4 服务器主程序流程

Fig. 4 Main program flow chart of server

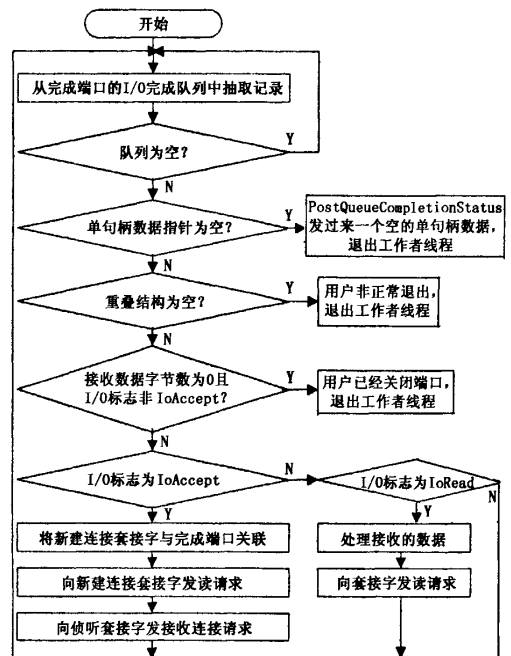


图 5 服务器工作者线程函数流程

Fig. 5 Worker thread program flow chart of server

2.2.2 Winsock 完成端口模型服务器端程序设计

完成端口模型程序设计主要包括 5 个部分。

(1) 首先创建一个完成端口对象,并为完成端口创建一定数目的工作者线程。在这一步中需要检测 CPU 数目,根据 CPU 数目指定并发线程数量。需要注意的是工作者线程数量不同于并发线程数量。并发线程是指在一个完成端口上,同时允许执行的工作者线程数量。理想情况下,希望每个处理器各自负责一个线程的运行,为完成端口提供服务,避免过于频繁的线程“场景”切换。

(2) 建立一个侦听套接字,为侦听套接字分配一个“单句柄数据”,将套接字与完成端口相关联,并将侦听套接字与本地 IP 地址绑定,设为侦听状态。

(3) 向侦听套接字发接收请求。由于设计中使用 AcceptEX() 函数,需要事先创建一个用于建立连接的套接字,并为套接字分配一个单 I/O 数据。单 I/O 数据是完成端口模型的关键数据,其结构如下:

```
typedef struct
{
```

```
OVERLAPPED    Overlapped;
WSABUF        Buf;
CHAR          Buffer[ BUF_SIZE ];
SOCKET        ClientSocket;
```

```
IO_OPERATION IoOperation;
|PER_IO_OPERATION_DATA;
```

向侦听套接字带重叠结构发接收连接请求,当接收到一个连接时,由一个工作者线程提供服务。

(4)工作者线程函数用于处理与完成端口相关联的套接字上完成的网络事件。线程通过 `GetQueuedCompletionStatus()` 函数检测完成端口状态。当有网络事件完成,就返回一个重叠结构指针,通过将这个指针进行类型转换也就得到了单 I/O 数据。根据单 I/O 数据的事件标志,调用不同事件的处理函数。

(5)由工作者线程函数调用的事件处理函数。

①接收连接事件完成处理函数:向新建立连接的套接字发读数据请求;再向侦听套接字发接收连接请求;退出线程。

②接收数据事件完成处理函数:处理接收的数据;向套接字发读数据请求;退出线程。

③写数据事件完成处理函数:退出线程。

2.3 前端机软件设计

声波换能器高温测试系统前端机的软件采用3层结构:底层的板板支持包 BSP 是与硬件系统密切相关的部分;中间层是实时操作系统内核,负责任务调度、内存管理、进程通讯和为用户应用程序提供系统函数调用;顶层为应用程序(任务)层,借助于操作系统完成各种具体的前端测试服务。

网络通讯模块是基于嵌入式操作系统 μcLinux 而设计的。 μcLinux 是一个高度优化、代码紧凑的 Linux 的嵌入式子集。虽然体积很小,但仍然保留了 Linux 的大多数优点,如:稳定、良好的移植性;优秀的网络功能;对各种文件系统的完备支持,以及丰富的 API 等。 μcLinux 带有一个完整的 TCP/IP 协议,同时也支持其他许多网络协议(图6)。经裁剪的 μcLinux 保留了 Linux 中的大部分 socket 库函数。对于嵌入式系统来说,它是一个网络完备的操作系统^[9]。

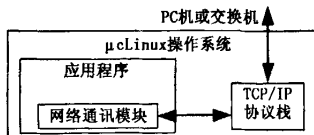


图6 前端机 socket 通讯程序模块设计架构图

Fig.6 Socket communication program module architecture of front computer

本文中设计的 socket 通讯采用 C/S 模式,即服务器端的应用程序用于接收客户端的连接请求、接

收客户端的信息、处理客户端的计算请求、向客户端发送计算结果以及应答信息等。客户端的应用程序用于申请与服务器的连接、向服务器发送计算请求、处理服务器发回的计算结果和其他信息^[10]。客户端代码相对来说要简单一些,首先通过服务器域名获得其 IP 地址,然后创建一个 socket,接着调用 `connect` 函数来与服务器建立连接,连接成功之后再接收从服务器发送过来的数据,通讯结束后关闭 socket。图7为前端机客户端程序流程图。

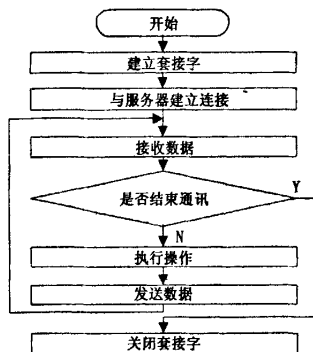


图7 前端机客户端程序流程

Fig.7 Client software flow chart of front computer

3 数据通讯性能测试及实时控制性能分析

在工业自动化控制中,网络通讯性能主要关注数据传输的实时性,实时可定义为系统对某事件响应时间的可预测性。普通以太网基于对物理介质的 CSMA/CD 访问机制是产生这种通讯时间不确定性的原因,而 CSMA/CD 是以太网标准 IEEE802.3 的核心,要在工控领域中充分利用以太网,就必须找到一种方法保证以太网中数据传输时间的确定性,使其实现实时通讯。目前,解决以太网数据传输时间不确定性的方法主要有限制网络负载、在冲突域利用网络交换器分段以及应用 IEEE 1588 对时机制对网络进行对时同步等。其特点都是都不改变现有以太网通讯机制,协议也是直接使用 TCP/IP^[11]。但是,这些方法各有其局限性,可在实际应用中选用合适的方法。

本文中的客户端应用程序已经在基于 ARM7TDMI 核的 S3C44BOX 处理器的嵌入式开发平台上成功运行,并成功地和 PC 机的服务器端应用程序实现了 socket 通讯。根据实际需要进行了数据通讯性能测试。图8为测试方法示意图。

因为在控制过程中关心的是数据传输的误码率

和实时性。在测试中对传输的数据进行了 CRC16 验证,并测试了传输一定字节数据的传输时间。测试方法是在局域网中由服务器端向客户端发送一定字节数据,客户端接收到数据立即将数据发回服务器端,记录服务器开始发送数据到接收完数据的时间。假设数据的上行与下行网络对称,网络延迟就等于记录时间的 1/2。表 1 为传输 1K 字节数据的传输时间和速率。

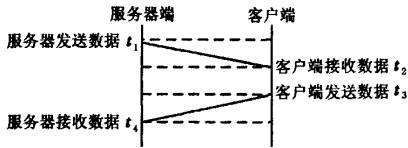


图 8 数据通讯性能测试示意图

Fig. 8 Schematic drawing of data transfer test

表 1 测试数据

Table 1 Test data

测试序号	传输时间 $t/\mu\text{s}$	传输速率 $v/(\text{Mb}\cdot\text{s}^{-1})$	误码率/%
1	3845	4.06	0
2	3845	4.06	0
3	3852	4.05	0
4	3865	4.04	0
5	3858	4.05	0
平均值	3853	4.05	0

4 结束语

声波换能器高温测试系统运行中的数据传输测试结果表明,本文中设计的通讯系统数据传输延迟时间短、稳定,差错校验码校验正确,能够满足系统网络通讯的实时性要求。上位机与前端机基于 TCP/IP 协议的跨平台网络通讯的实现,为声波换能器高温测试系统的网络过程控制奠定了基础。

参考文献:

[1] 肖立志,谢然红,柴细元,等. 新世纪的测井技术——网络测井及其技术体系初探[J]. 测井技术, 2003, 27(1):6-10.

XIAO Li-zhi, XIE Ran-hong, CAI Xi-yuan, et al. Well logging technology for the new century network-based logging technology[J]. Well Logging Technology, 2003, 27 (1):6-10.

[2] 郭麦成,黄兆祥,沈利香. 测井地面仪中存储式虚拟示波器的设计[J]. 石油仪器, 2004, 18(4):4-6. GUO Mai-cheng, HUANG Zhao-xiang, SHEN Li-xiang. Design of the stored virtual oscilloscope in logging surface system[J]. Petroleum Instruments, 2004, 18(4):4-6.

[3] 刘东红,牛军涛,李国徽. 一种分布式控制系统的设计与应用[J]. 微计算机信息, 2007, 25:8-9. LIU Dong-hong, NIU Jun-tao, LI Guo-hui. Design and application of distributed control system based on experion TM PKS[J]. Microcomputer Information, 2007, 25:8-9.

[4] 郭雪莲,冷建筑,何相志. 基于 S3C44B0X 和 μclinux 的串口设备以太网接入设计[J]. 四川理工学院学报:自然科学版, 2008, 21(5):29-32. GUO Xue-lian, LENG Jian-zhu, HE Xiang-zhi. Design of ethernet access for serial devices based on S3C44B0X and μclinux [J]. Journal of Sichuan University of Science & Engineering(Natural Science Edition), 2008, 21(5):29-32.

[5] 邹连英. 嵌入式 TCP/IP 以太网控制器芯片研究与设计[D]. 武汉:华中科技大学电子科学与技术系, 2006.

[6] 任远林. μclinux 嵌入式远程控制系统综合设计[D]. 成都:西华大学电气信息学院, 2008.

[7] 牛晓蕾. 基于 TCP/IP 协议的安全即时通信系统设计与实现[D]. 西安:西安电子科技大学通信工程学院, 2007.

[8] ANTHONY Jones. Windows 网络编程技术[M]. 京京工作室,译. 北京:机械工业出版社, 2000:172-206.

[9] 王学龙. 嵌入式 Linux 系统设计与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2001:263-358.

[10] COMER Douglas E. 用 TCP/IP 进行网际互联, 第三卷:客户-服务器编程与应用[M]. 赵刚,译. 北京:电子工业出版社, 2001:7-16.

[11] 胡晓娅. 基于交换式以太网的网络控制系统研究[D]. 武汉:华中科技大学控制科学与工程系, 2006.

(编辑 修荣荣)