

基于以太网和 LabVIEW 的生理信号采集系统

梁军 马春排

西安交通大学生物医学信息工程教育部重点实验室, 陕西西安 710049

摘要: 以太网可实现快速、可靠的数据传输, 且可满足远程测量的需要。虚拟仪器可方便地设计基于 PC 的数据采集及处理软件平台。本文介绍了一种基于以太网和虚拟仪器的生理信号采集系统, 包括硬件及软件方面的实现。

关键词: 生理信号; 信号采集; 以太网; 虚拟仪器

1 引言

人体的许多生理信号, 诸如心电、血压、呼吸、血氧饱和度和体温等, 对于临床医学诊断和实验室研究都有着重要作用, 实现这些信号的准确测量、采集和处理有着重要意义。

生理信号采集系统是一种专为生命科学的研究、教学和临床应用而设计的数据采集仪器, 可完成对人体各种重要生理信号的测量和处理, 由传感器、A/D、控制模块、接口电路和 PC 软件组成。

相比于现有的生理信号采集系统, 本文将以太网和 LabVIEW 分别应用到了系统接口电路和 PC 软件的设计与实现中, 取得了良好的效果。

现有的生理信号采集系统与 PC 进行数据传输的方式有 3 种: 1. 通过 PCI 总线进行通信; 2. 通过串口进行通信; 3. 通过 USB 接口进行通信。以上 3 种方式虽然各有优点, 但却均不能满足远距离测量和设备共享等需求。随着网络的发展, 以太网技术已经相当成熟, 无论速度还是可靠性, 都可满足生理信号采集系统进行数据传输的要求。将其到生理信号采集系统中, 可使数据采集板卡和后端 PC 分离, 实现远距离测量; 并可实现数据采集板卡和多台 PC 进行通信, 提高设备利用率。

另一方面, 本文所述系统采用了 LabVIEW 进行 PC 软件的编写。LabVIEW 是一种图形编程开发环境, 用于数据采集、控制、分析和表示, 可方便地进行虚拟仪器的设计。本系统中利用 LabVIEW 完成的虚拟仪器实现了数据接收、显示、处理及存储等功能, 目的在于设计一个通用的生理数据采集与处理平台, 并可根据具体需要灵活地进行相应模块的裁减。

2 系统总体设计

本文所述系统的总体设计框图如图 1 所示, 完成对生理信号的采集、传输和处理等功能。系统主要由以下模块构成:

前端传感器: 完成将人体生理信号转化为电信号或直接的数字量 (如体温);

数据采集卡: 以 DSP 为控制核心, 包括 A/D、网络芯片及其他外围电路, 其中 A/D 负责将传感器的模拟信号转化为数字信号, 网络芯片则负责与 PC 软件进行数据通信, 其他外围电路包括外部存储扩展和外围电路控制;

PC 软件: 完成与数据采集卡建立网络连接, 接收、显示、处理和存储数据等功能。

3 以太网应用及实现

以太网 (Ethernet) 是应用最为广泛的一种局域网 (LAN)。目前 10M 和 100M 以太网已经得到普遍应用, 更高速度的则有 1000M 以太网。据 NI 对远程数据采集的测试, 在 10M 以太网上数据采集可以连续以 340kbps 的速度进行, 在点到点的以太网中, 这个速度可以达到 550kbps^[1]。在 100M 以太网上速度则可达 3400kbps 以上。速度和可靠性均可满足生理信号采集系统的需要。

在以太网上实现数据通信, 需要通过编程实现 TCP/IP 的相关协议。TCP/IP 是计算机网络通信的主导协议, 分为四层 (应用层、运输层、网络层和链路层), 每层负责实现不同的功能。

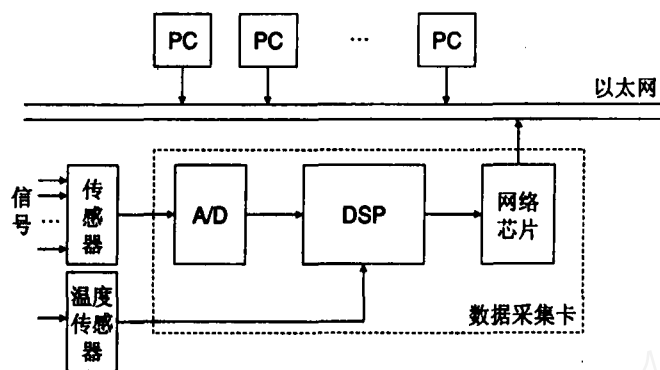


图 1 系统总体框图

本文所述系统中采用的网络芯片为 RTL8019AS，该芯片网络传输速率为 10Mbps。在此硬件基础上，用 C 语言编程实现了以太网驱动程序、ARP、ICMP、IP 和 TCP 等协议，完成了与相应 PC 软件的数据通信。下面详细介绍完成与 PC 之间网络数据通信的程序设计：

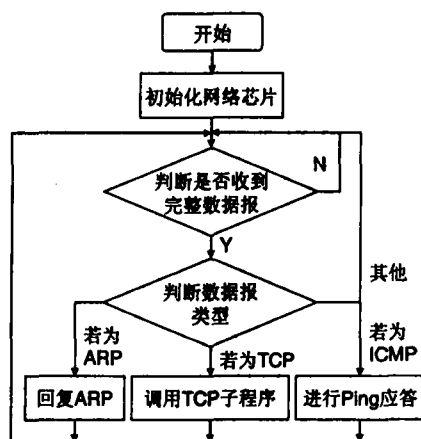


图 2 程序流程

本系统中将数据采卡作为服务器端。系统启动后，初始化网络芯片，使其处于监听状态。当 RTL8019AS 接收到数据报时，首先判断数据报是否完整及其类型。对于本系统而言，只接收 ARP、ICMP 和 TCP 三种类型的数据报，对于其他数据报则忽略。而且，本系统在某一时间只与一台 PC 进行通信，也就是说，在已建立 TCP 连接的情况下若收到其他 PC 建立连接的请求报文，则忽略该报文。收到 ARP 报文后，进行 ARP 应答，回复板卡的硬件地址；收到 ICMP 报文后，判断该报文是否为 Ping 请求，如果是则进行应答，否则忽略；收到 TCP 报文后，调用 TCP 子程序。处理完毕后，系统回到监听状态。通信模块的主程序流程如图 2 所示。

其中，TCP 的实现是程序的核心，所有连接的建立和数据的传输都要依靠 TCP 来完成。系统中 TCP 的设计主要是通过状态转移图（如图 3 所示）来完成的。

图 3 中，实线部分为客户端 TCP 的状态转移，虚线部分为服务器端 TCP 的状态转移。本系统中数据采卡按服务器端运行，其工作流程如下：

采集卡启动完成初始化后，数据采卡 TCP 处于 CLOSED 状态。当通讯程序判断收到 TCP 数据报时，调用 TCP 子程序，进入 LISTEN 状态。在 LISTEN 状态，采集卡若接收到来自客户端请求建立连接的 SYN 报文，回复 SYN+ACK 报文后，进入 SYN_RCVD 状态。此状态上，收到客户端的 ACK 报文后，进入 ESTABLISHED 状态。ESTABLISHED 状态为数据传送状态，表示 TCP 连接已经建立，只要数据传输继续进行，则一直停留在该状态上，若收到客户端的 FIN 报文，表示客户端

请求终止连接，发送 ACK 报文，并进入 CLOSE_WAIT 状态。在此状态上需要等待服务器程序的关闭请求，收到请求后，发送向客户端 FIN 报文。本系统实现中，因为数据采集卡并不涉及到应用层的程序，所以在此状态则不需要等待应用程序的关闭请求，直接发送 FIN 报文，进入 LAST_ACK 状态，收到最后的 ACK 报文后，回到 CLOSED 状态。

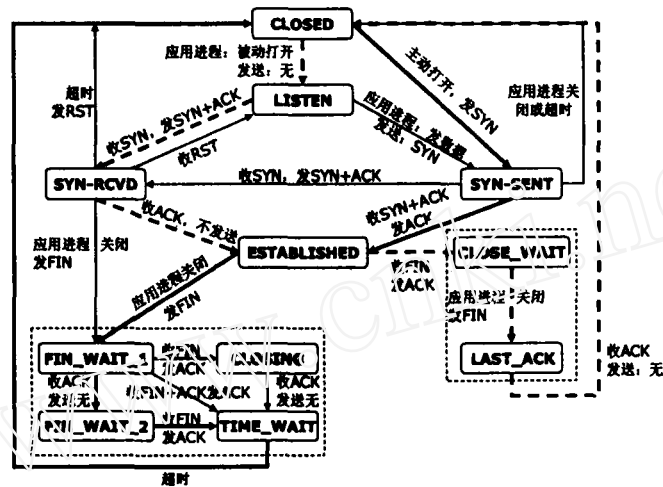


图 3 状态转移图

4 虚拟仪器应用及实现

虚拟仪器，就是在以 PC 为核心的硬件平台上，由用户设计定义、具有虚拟前面板、测试功能由测试软件实现的一种计算机仪器系统，其基本思想就是在测试系统或仪器设计中尽可能地用软件代替硬件，即“软件就是仪器”。应用虚拟仪器技术，可以用较少的资金和时间完成同样的任务。

LabVIEW 是 NI 公司开发的图形化软件开发集成环境，在数据采集、仪器控制、过程监控和自动测试等领域应用广泛。LabVIEW 有强大的网络通信功能，支持 TCP、UDP 等协议，可以较为方便地实现具有远程通讯功能的虚拟仪器。

本系统中采用 LabVIEW 实现了基于 PC 的虚拟仪器，完成了与数据采集卡的数据通信、信号实时显示、处理及存储等功能。

数据通信：通过 IP 地址与数据采集卡进行网络连接。用户填入 IP 地址后，PC 软件向相应的地址发出建立 TCP 连接请求的数据报，如果数据采集卡正常工作且处于空闲状态，则通过四向握手与其建立 TCP 连接，进行数据传输，否则显示出错信息。

实时显示：接收到来自数据采集卡的信号后，用户可以通过显示窗口观察到信号在时域和频域的实时显示。

信号处理：目前，实现了信号的 IIR 和 FIR 滤波、FFT 变换等，后续工作还包括根据生理信号的特点，进行相应的数字信号处理，比如使用小波对心电信号进行识别和处理。

存储：可将信号保存为 LVM 格式的文件，此文件可用 Word 或记事本打开，便于数据共享。

如图 4 所示为接收信号的实时显示结果。实验所用信号为 50Hz 正弦波叠加 100Hz 以上最大幅值为 10 的高频白噪声。图 4 左上角和左下角分别为接收到的未经滤波的信号在时域和频域中的显示，右上角和右下角则分别为滤波后的信号在时域和频域的显示。可以看出，PC 软件与数据采集卡之间的数据通信和滤波处理都取得了良好的效果。

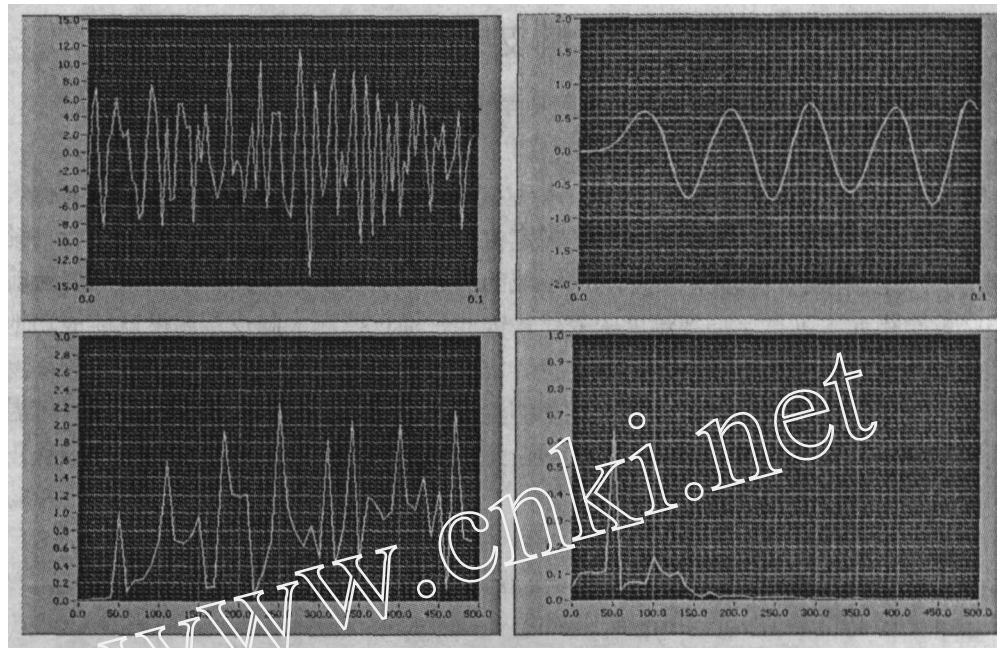


图 4 实验结果

5 总结

本文所述系统将以太网通讯技术和 LabVIEW 应用到了生理数据采集, 取得了良好的效果:

以太网技术作为 LAN 的主导协议, 速度与稳定性均可满足生理数据采集的需要, 且以太网应用广泛, 便于以其为接口技术的系统的开发。本系统中应用以太网技术, 实现了数据采集卡和 PC 物理连接上的分离, 有利于远距离数据采集的进行。而且只需在相应 PC 中安装上位机软件, 即可与数据采集卡之间建立连接、进行数据采集, 有利于提高数据采集卡使用的灵活性和共享率。

系统中, 利用 LabVIEW 开发了基于 PC 的数据采集及处理虚拟仪器, 在保证功能的前提下, 提高了开发速度。通过设计与传统仪器类似的操作面板, 可以方便使用者的使用。而且, 还可根据用户需求方便地添加或者删除相应的模块。

参考资料

- [1] 项晓峰. 基于以太网的工业 I/O 和数据采集. 国外电子测量技术[J], 2001, 6: 22~24
- [2] 邱丽, 赵新会, 孙培强. 基于数据采集的虚拟仪器系统设计. 电子质量[J], 2005, 4: 5~6
- [3] Michael A. Gallo, William M. Hancock. 计算机通信和网络技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003
- [4] Ramadas Shanmugam, R. Padmini, S. Nivedita. TCP/IP 详解[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003
- [5] Robert H. Bishop. LabVIEW 7 实用教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005

作者简介

梁军 男, 现为西安交通大学生物医学工程硕士研究生。研究方向为生理信号采集及处理。Email: jl.xjtu@gmail.com

马春排 女, 现为西安交通大学生物医学工程系主任、教授。研究方向为微机算计应用技术、智能化生物医学仪器的信号检测。Email: bmemacp@mail.xjtu.edu.cn