

单片机扩展 CH395 以太网控制器的通信速率测试*

张洁 朱磊 郭林源

(西安工程大学电子信息学院 西安 710000)

摘要:CH395 是一款集成 TCP/IP 协议栈的国产以太网控制器芯片,为给普通单片机扩展基于 CH395 的以太网通信功能,提供实测数据传输速率参考。以单片机 C8051F340 外扩 CH395 为例,给出了一种简单易行的 CH395 网络通信速率测试方案。该方案在硬件上选用 C8051F340 片上外设中占用硬件资源较少且速率较快的 SPI 接口与 CH395 互连实现网络数据交互。在软件上单片机 C8051F340 直接通过命令调用 CH395 自带的库函数并采用 CH395 内置的 TCP/IP 协议栈把单片机配置成服务器,用 LabVIEW 上位机做的客户端与其进行数据通信。通过一种测试方案两种测试方法并经过多次数据通信实验,在 SPI 单收和单发模式下不丢失数据的情况下网络通信平均速率可以稳定达到 200 KB/s。

关键词:网络速率测试;CH395;C8051F340;SPI;TCP/IP 协议栈

中图分类号: TN919.71 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5030

MCU extended CH395 Ethernet controller communication rate test

Zhang Jie Zhu Lei Guo Linyuan

(Electronics and Information College, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710000, China)

Abstract: CH395 is an integrated TCP/IP protocol stack of domestic Ethernet controller chip, for the ordinary single-chip expansion based on CH395 Ethernet communication function to provide the measured communication rate reference. In this paper, the C8051F340 single-chip expansion CH395, for example, gives a simple CH395 network communication rate test program. The program on the hardware selection C8051F340 on-chip peripherals in the hardware resources less and faster SPI interface and CH395 interconnection to achieve network data interaction. In the software on the microcontroller C8051F340 directly through the command to call CH395 comes with the library function and the use of CH395 built-in TCP/IP protocol stack to configure the microcontroller as a server, with the LabVIEW host computer to do with its data communication. In the test program in the two test methods and a number of experimental data show that the data in the SPI mode, single-shot and single-shot without losing data in the case of the average speed can be stable to 200 KB/s.

Keywords: network rate test; CH395; C8051F340; SPI; TCP/IP protocol stack

1 引言

随着以太网在工业和农业中的应用越来越广泛,以普通单片机应用系统为基础扩展以太网功能实现网络数据传输成为一个非常普遍的现象^[1-5]。普通单片机应用系统实现以太网通信的方式有两种:1)单片机内置以太网控制器但也需要外扩 PHY 芯片^[6-10];2)单片机外扩集成的以太网控制器^[11-15]。因为内置以太网控制器的单片机应用系统价格相对较高,并且不是每一款普通单片机

都内置以太网协议栈芯片,从而大大降低了可选择性。而普通单片机外扩以太网控制器不用改变普通单片机结构只需要通过 I/O 口直接进行外部扩展即可,所以本系统采用应用最为广泛的普通单片机外扩以太网控制器的形式。

CH395 是一款国内应用较多的以太网控制芯片,内置 TCP/IP 协议栈并且提供 3 种通信接口:8 位被动并行接口、SPI 接口、异步串行接口,但兼顾到传输速率要快以及接口数目要少的问题,所以选择通过 SPI 直连的方式,

收稿日期:2017-04

* 基金项目:国家自然科学基金(61401347)、陕西省科技厅工业科技攻关项目(2016GY-101)、陕西省教育厅自然科学基金(17JK1105)、西安工程大学博士科研启动基金(BS1410)项目资助

实现以太网数据传输。有些单片机不含有 SPI 硬件接口,需要通过引脚映射的方式来实现 SPI 功能,但映射方式下的 SPI 速率大大减小。以自带 SPI 接口的但没有携带以太网控制器的单片机应用系统 C8051F340 对外扩 CH395 以太网芯片为例,通过调用 CH395 官方提供的库函数,实现普通单片机应用系统扩展网络数据传输功能,降低了开发难度和开发成本。

本测试系统通过一种集软硬两种测试方式于一体的网络通信速率测试方案^[16-17]并通过大量数据传输实验表明:本文所提到的两种速率测试方案均可有效的进行速率测试,且实际测得单片机外扩 CH395 以太网控制器的网络通信速率在单收单发不丢失数据的情况下平均速度可稳定达到 200 KB/s,对使用者而言具有很大的参考价值。

2 测试系统设计方案

单片机扩展 CH395 以太网控制器的网络通信速率测试系统主要由 CH395 以太网控制器、单片机 C8051F340 应用系统、PC 机及示波器组成。单片机 C8051F340 应用系统与以太网控制器 CH395 作为服务器,PC 机作为上位机并完成 LabVIEW 客户端界面的设计。单片机 C8051F340 应用系统通过 SPI 直连方式与 CH395 相连。使用自身集成网络变压器的 RJ45 接口模块,通过 RJ45 接口用网线与 PC 机直连。测试数据在单收和单发情况下的传输速率,并给出了一种集软硬两种测试方式于一体的网络通信速率测试方案。1) 软件测试方法:LabVIEW 客户端通过统计数据读取的起止时间实现以太网速率的软件测试并且可以观测数据传输的准确性;2) 硬件测试方法:通过示波器测试单片机的 I/O 输出高低电平持续时间获得网络通信速率的硬件测试。测试系统设计如图 1 所示。

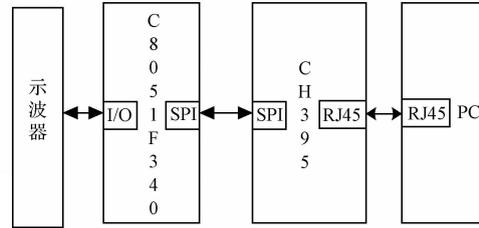


图 1 测试系统设计框图

3 测试系统硬件设计

单片机扩展 CH395 以太网控制器的网络通信速率测试系统的硬件主要由单片机 C8051F340 应用系统、CH395 (以太网协议栈芯片)组成。图 2 所示为速率测试系统的硬件连接。

由于单片机 C8051F340 内部集成了高精度的时钟源以及电压调节器、以及硬件实现增强型 SPI 串行接口,因此针对底层数据传输部分的硬件设计时,无需扩展电路直接使用,硬件结构简单,集成精度高,可靠性好。C8051F340 通过 P00~P03 引脚分别与 CH395 的 SCS、SCK、SDI、SD0 相连,从而实现 SPI 模式通信。P05 引脚作为标志位,通过观测 P05 引脚的高低电平来判断数据缓冲区是否空闲。单片机 C8051F340 其片上的 P04 是在程序中定义的一个在数据收发后其引脚的高低电平发生变化,从而通过示波器观察单片机 I/O 引脚在数据收发前后高低电平的变化计算出数据真实的传输速率。

CH395 是一款内部自带以太网介质传输层(MAC)和物理层(PHY);支持 10/100 M,全双工/半双工自适应,兼容 802.3 协议;支持 MDI/MDIX 线路自动转换。这样可以在连接时不需要通过路由器转换、直接通过网线直连,降低了项目开发难度、方便使用者使用。

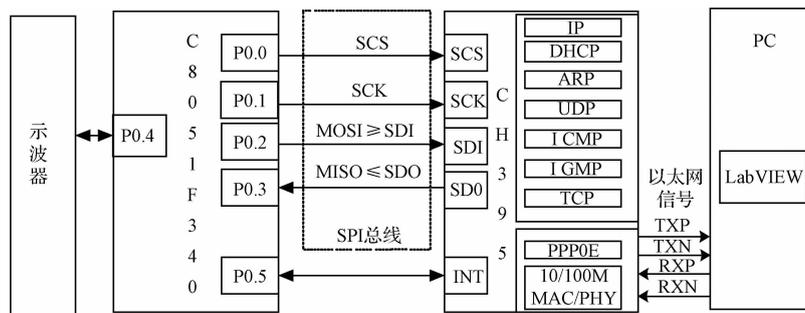


图 2 速率测试系统的硬件连接

4 软件设计

系统的软件设计主要包括上位机 LabVIEW 作为客户端程序设计和单片机 C8051F340 与 CH395 作为服务器程序设计。

4.1 单片机 C8051F340 与 CH395 作为服务器程序设计

单片机 C8051F340 与 CH395 作为服务器的初始化程

序包括先对主控芯片 C8051F340 单片机进行初始化,再初始化 CH395,并初始化 Socket 为服务器模式。

单片机初始化的过程为关闭看门狗、晶振初始化、串口初始化、SPI 初始化。

CH395 的初始化过程为设置 CH395 的物理层地址,设置 CH395 的网关 IP,设置 CH395 的 IP 地址,设置 CH395 子网掩码,发送命令 CMD_INIT_CH395 对

CH395 初始化,CH395 接收到 CMD_INIT_CH395 命令后,初始化内部 TCP/IP 协议栈,同时物理层地址和物理层被初始化为自动协商模式。如果未初始化成功则再次初始化。

CH395 初始化成功后再初始化 Socket 为 TCP 服务器模式步骤为设置 Socket 工作在 TCP 服务器模式,设置源端口,打开 Socket,延时 2 ms 以上发送 CMD_GET_CMD_STATUS 获取 Socket 打开状态,如果返回 CH395_ERR_SUCCESS 表示命令执行成功,其他值表示打开 Socket 失败。

在 TCP 服务器模式下,Socket 的整个通讯过程可以描述如下:服务器一直监听是否有端口连接请求,不会产生超时中断,如果 TCP 连接成功,CH395 会产生 SINT_STAT_CONNECT 中断,此时单片机可以发送命令 CMD_GET_REMOT_IPP_SN 来获取客户端的 IP 地址和端口号。当连接建立起来后,客户端和服务器可以进行各自的收发并进行通信。CH395 产生 SINT_STAT_CONNECT 表明 TCP 连接建立,可以进行数据收发。在连接未建立前不得进行数据发送操作。

当网络连接成功后收发数据流程为单片机 C8051F340 通过底层应用 SPI 进行数据传输,在数据传输前我们先要对数据传输模式进行选择(接收/发送),如果是发送模式给 CH395 写入若干字节数据后,CH395 将数据封装在 TCP 的数据部分准备进行发送。TCP 在发送数据时会将接收到的数据流进行打包,每包的最大长度为 TCPMSS 字节,最大长度的大小影响着数据传输快慢,在 TCP 打包数据传输的过程中每正确传输一包数据就会产生相应的 I/O 状态告诉主控芯片数据传输成功。在下次传输数据时 CH395 必须接收到 I/O 口置高后再写入下一次数据。当 CH395 接收到数据时,将数据粘贴到 Socket 的接收缓冲区,并产生相应的 I/O 变化,C8051F340 查询到相应的 I/O 变化后,可发送指令来获取缓冲区数据的大小。单片机可以一次性读取所有数据也可以读取一部分数据并告知服务器当前窗口的大小。系统主程序流程图如图 3 所示。

CH395 提供 8 个独 Socket 对,并且可以对 8 个通道同时进行收发数据,大大提高了数据传输速率;最高可以提供高达 30 Hz 的 SPI 速度,并且预留了硬件 SPI 接口方便使用者与单片机进行直连;内置 RAM 大小为 24 可用于以太网收发数据,并且每个 Socket 收发缓冲区可以根据数据量的大小进行配置从而提高传输速率。

CH395 的 TCPMSS 可以被修改,一般而言 TCPMSS 越大通讯的速度和效率就越高,所以本测试系统中采用的是 TCPMSS 最大值 1 460,这样更有利的实现数据的快速传输。

TCP 为网络数据传输提供了可靠的通讯协议,在每次数据传输之前先需要进行握手,保证了数据传输的可靠性,在数据传输过程中把数据打包成合适的数据小块传输

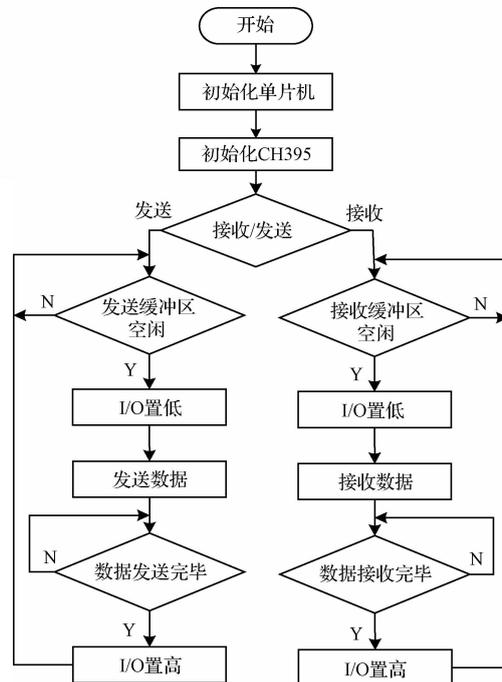


图 3 主程序流程

给下面的网络层,并且可以确保收到数据的正确性。因为它所提供的数据传输是端对端的通信,所以应用层可以忽略所有细节。UDP 在传输过程中传输速率大于 TCP,但不确保数据传输的正确性。而要求数据传输过程中不允许丢失数据,所以选择 TCP 可靠的通讯协议。

4.2 LabVIEW 客户端的设计

LabVIEW 客户端的设计是基于 LabVIEW 自带的 TCP/IP 协议栈的设计,LabVIEW 作为客户端与单片机 C8051F340 和 CH395 以太网模块组成的服务器进行网络通信。

LabVIEW 客户端前面板程序的设计如图 4 所示,功能包括数据传输启动、数据传输停止、端口设置、IP 地址设置、接收开始时间显示、接收后时间显示、时间差显示、传输速率显示、数据传输波形显示、以及传输数据显示。



图 4 LabVIEW 客户端前面板

LabVIEW 客户端后面板程序设计包括端口设置、IP 地址的设置、客户端数据的读取数。因为 LabVIEW 作为客户端,服务器程序一直处于监听状态,当客户端有连接请求时,开始建立连接传输数据。程序中数据传输速率计算过程为:从数据传输开始记录电脑时间,在数据传输完

毕后再记录电脑时间,前后两次时间差即为数据传输时间,然后用传输数据大小/传输时间就可以算出数据传输速率并且显示在前面板。图5所示为用LabVIEW设计的客户端只接收数据的后面板程序界面,其中1460为每次读取数据包的大小,1000为超时设置如果超过1000ms没有接收到数据则报错。图6所示为用LabVIEW设计的客户端只发送数据的后面板程序界面,其中2000为循环2000发送数据的次数,9为要发送的数据,1460为这个数组的维数,25000为超时设置,292000为总共传输数据的多少。

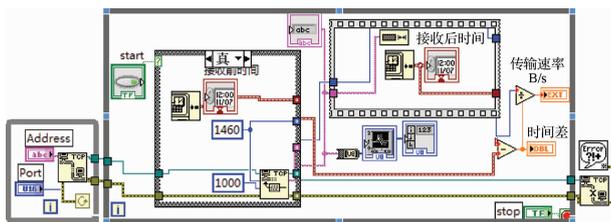


图5 LabVIEW 客户端接收数据的后面板

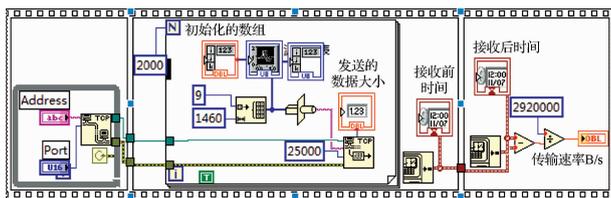


图6 LabVIEW 客户端发送数据的后面板

5 系统测试与分析

在整个系统的硬件连接和系统的软件设计完成后,开始将服务器和客户端部分进行联机通信调试实验。将客户端的IP地址与服务器IP地址均设置为192.168.1.10,端口号统一为5000。图7所示为服务器向客户端不间断连续发送0~255连续的数据 LabVIEW 上位机部分数据传输的波形。图8所示为通过示波器观察数据传输过程中的高低电平估算数据传输的速率。如图9为客户端向服务器连续的发送数字9,LabVIEW 上位机部分数据传输的波形。图10所示为通过示波器观察数据传输过程中I/O口的高低电平计算数据传输速率。

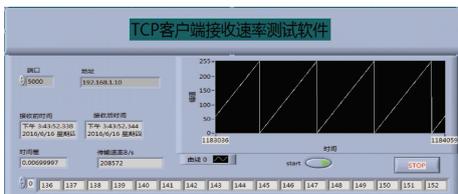


图7 服务器向客户端发送数据 LabVIEW 客户端界面

其传输速率 $(781\text{Hz}/93.75\%) \times 256 = 213\ 265\ \text{B/s}$ 与 LabVIEW 测得的传输速率基本接近。



图8 服务器向客户端发送数据示波器波形

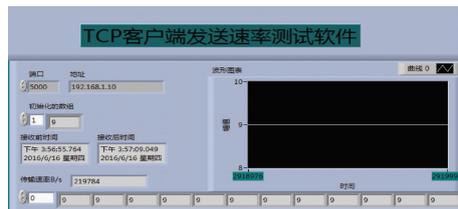


图9 客户端向服务器发送数据 LabVIEW 客户端界面



图10 客户端向服务器发送数据示波器波形

以此类推也可以算出客户端在发送数据模式下的传输速率。

试验测得的传输速率可以稳定为200KB/S,与理论值相差一些,分析原因如下:

- 1)本测试方案为给使用者提供一个简单方便的测试方案直接调用官方提供的库函数,降低了使用者的使用难度,但库函数版本数据传输过程中的冗余增加,从而降低了实际传输速率。
- 2)普通单片机C8051F340数据手册中提到当单片机工作在全双工模式下SPI从器件接收数据时的最大数据传输率(bit/s)是系统时钟频率的1/2,所以在将C8051F340系统时钟配置为最大48MHz时,SPI的速率仅为24MHz,所以SPI的速度对于本次速率测试来说是一个瓶颈。
- 3)普通单片机自身的数据存储转换速率相对于ARM和DSP较低,也是造成实际传输速率较低的一个主要原因。
- 4)协议本身:本设计中采用的是TCP协议,则数据传输速率受到TCP协议TCP MSS大小的影响以及数据传输过程中数据实际吞吐量大小的影响。

6 结论

本文提供了单片机扩展CH395以太网控制器的网络通信速率测试,给出了一种简单易行的CH395网络通信速率测试方案,并且通过直接调用CH395自带的库函数,在单发单发准确无误的网络数据传输情况下,平均传输速

率可稳定达到 200 KB/s,降低了项目的开发难度,缩短了开发周期,给使用者提供了实际应用参考。

参 考 文 献

- [1] 张芳良. 基于 CH395 的跨平台远程文件管理系统[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2014, 14(11): 11-14.
- [2] 乔立岩, 梁宇, 赵浩然, 等. 基于 W5300 的以太网接口设计[J]. 电子测量技术, 2012, 35(7): 129-132.
- [3] 张庆辉, 马延立. STM32F103VET6 和 ENC28J60 的嵌入式以太网接口设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2012, 12(9): 23-25.
- [4] 施勇, 温阳东. 基于 DM9000A 的嵌入式以太网接口设计与实现[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2011, 34(4): 519-524.
- [5] 张勇, 甄国涌, 王丽莉, 等. 基于 W5300 的以太网数据传输硬件设计及优化[J]. 化工自动化及仪表, 2011, 38(8): 989-991.
- [6] 窦文超. 网络攻击模拟器及其关键技术研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2011.
- [7] 黄国兵, 金勇, 贾荣兴, 等. 某电能远方终端双平面网络接口设计[J]. 西安工程大学学报, 2016, 30(1): 102-106.
- [8] 刘俊阳. 基于 AIS 的无线数据接入网关及通信协议的研究[D]. 大连: 大连交通大学, 2011.
- [9] 张朗. 基于 WiFi 的机器人无线应急救援系统[D].

西安: 西安邮电大学, 2014.

- [10] 曹文静. 基于车联网智能车载终端的拥塞控制模块设计[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2014.
- [11] 钱国明. 基于 LPC1768 智能电力监控终端的设计与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.
- [12] 孙学君. 数字扫频仪 USB2.0 主从控制器设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.
- [13] 朱磊, 张高强, 智文霞. 一种可在线配置的以太网 UDP 广播通信模块设计[J]. 微计算机应用, 2011, 32(7): 49-54.
- [14] 余广明. 基于片上多核系统高速数据交换接口的关键技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [15] 张朗. 基于 WiFi 的机器人无线应急救援系统[D]. 西安: 西安邮电大学, 2014.
- [16] 刘龙启, 李银. 基于 LabVIEW 的以太网数据监听与通信[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(7): 62-65.
- [17] 王鹤芝, 屈蓄, 赵阳. 基于 LabVIEW 的库房监测系统的设计[J]. 电子测量技术, 2015, 38(9): 78-81.

作 者 简 介

张洁, 1993 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式系统、信号与信息处理等。

E-mail: 750533437@qq.com

(上接第 76 页)

- [8] WANG W, YAN J, XU N, et al. Real-time high-quality stereo vision system in FPGA[C]. International Conference on Field-Programmable Technology, 2013: 358-361.
- [9] ZHANG X, CHEN Z W. A FPGA stereo matching algorithm modeled by DSP builder[J]. Journal of Computers, 2014, 9(10): 2359-2364.
- [10] 王鑫, 王向军, 冯登超, 等. 特征一致红外弱小目标匹配与定位研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(9): 1405-1410.
- [11] 吴渊凯, 卞新高. 计算机视觉中摄像机标定的实验分析[J]. 电子测量技术, 2016, 39(11): 95-99.
- [12] SHAN Y, HAO Y, WANG W, et al. Hardware acceleration for an accurate stereo vision system using mini-census adaptive support region[J]. Acm Transactions on Embedded Computing Systems, 2014, 13(4s): 1-24.
- [13] ZHANG L, ZHANG K, CHANG T S, et al. Real-

time high-definition stereo matching on FPGA[C]. Proceedings of 19th ACM/SIGDA International Symposium Program Gate Arrays, 2011: 55-64.

- [14] 马宏锋. 基于机器视觉的铁路异物侵限分布式智能监控技术研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2014.
- [15] 陈鑫元, 李筠, 杨海马, 等. 自适应阈值图像二值化及形态学处理的 FPGA 实现[J]. 电子测量技术, 2016, 39(7): 67-71.
- [16] MOU X, LUO W, ZHENG X, et al. A real time power line detect system based on stereo vision[C]. International Conference on Measurement, Instrumentation and Automation, 2016: 417-423.

作 者 简 介

郑晓亮, 1990 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式图像处理。

E-mail: 17895099@qq.com