

文章编号: 1006-4710(2014)04-0443-05

一种 10 Mbit/s~1 Gbit/s 速率自适应无线光通信机的研制

吴鹏飞, 柯熙政, 袁泉

(西安理工大学 自动化与信息工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 无线激光通信是接入网“最后一公里”问题最有效地解决方案之一。设计了基于 FPGA 的积木式结构的无线光通信机, 发送端采用 OOK 直接调制方式, 将调制光信号耦合到光纤中, 通过光学发射天线压缩光束发散角; 接收端采用乒乓操作以降低数据处理速度, 8 倍过采样恢复时钟信号。系统传输容量可扩展、功能可重构。对样机进行了测试, 结果表明: 该系统可以满足同时进行视频、数据、语音的传输和双工通讯, 网卡满足 10 Mbit/s、100 Mbit/s、1000 Mbit/s 自适应。

关键词: 无线激光通信; 调制电路; 乒乓操作

中图分类号: TN929.1 文献标志码: A

Research and development of a 10 Mbit/s~1 Gbit/s rate adaptive optical wireless communication machine

WU Pengfei, KE Xizheng, YUAN Quan

(Faculty of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Wireless laser communication is one candidate method to solve the problems of the “last mile” methods access network for its easy access. The wireless optical communication machine modular structure is designed based on FPGA. OOK direct modulation is used for the sending end and the modulated optical signal is coupled into an optical fiber through compression, and optical transmitting antenna beam divergence angle; the receiving end of ping-pong operation is adopted to reduce the data processing speed and 8 times over the sample recovered clock signal. The transmission system capacity can be expanded, with the function of the reconfiguration. The prototype is tested; the results indicate that the entire experimental system can meet the simultaneous transmission and duplex telephone communications video data, and that the network cards can satisfy 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1000 Mbit/s adaptive.

Key words: wireless laser communication; modulation circuit; ping-pong operation

无线激光通信(Wireless Laser Communication; WLC)是以激光作为信息的载体进行数据、声音、图像传输的通信技术。目前, 美国 Terabeam 及 Airfiber 等公司已将 WLC 系统应用于商业服务网络。美国的战略导弹防御组织(BMDO)研制出激光通信终端设备, 并进行了作用距离 42 km、速率 1 Gbit/s 的全天候跟踪扫瞄试验^[1]。本文设计了一种新型无线光通信机, 该系统具有传输速率高、耗能小、人眼安全、使用灵活等特点, 适用于多种场合进

行数据传输。

1 系统硬件构成

1.1 系统描述

无线激光通信系统, 由同时含有接收和发送功能的两套激光通信机组成, 它们彼此向对方发射已调制的光信号(数据、图像、声音), 并接收和解调接收到对方的光信号, 实现双工通信^[2]。无线光通信机的系统框图如图 1 所示。

收稿日期: 2014-09-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61377080); 陕西省工业攻关科技计划资助项目(2013K06—08); 西安市碑林区科技计划资助项目(GX1408); 西安理工大学科技创新计划资助项目(2013CX013)。

作者简介: 吴鹏飞, 男, 讲师, 博士生, 研究方向为现代通信技术和信号处理。E-mail: wupengf@xaut.edu.cn。柯熙政, 男, 教授, 博导, 博士, 研究方向为现代信号处理、现代通信技术、导航技术等。E-mail: xzke@xaut.edu.cn。

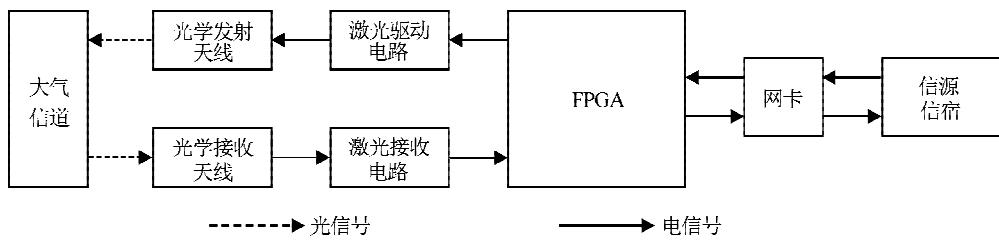


Fig. 1 Integrated business communications system block diagram wireless laser machine

无线光通信机主要由 FPGA 主控单元、用户发送单元和用户接收单元三部分组成。用户发送部分包括 DM9000 驱动程序和 FPGA 处理单元, DM9000 驱动程序将用户数据从网口接收进来, 存储在 FPGA 的 FIFO 内, FPGA 处理单元将 FIFO 里的用户数据进行编码, 然后发送至激光驱动电路, 驱动激光器进行传送数据; 用户接收部分包括时钟恢复单元, FPGA 处理单元和 DM9000 驱动程序, 时钟恢复单元将激光接收电路的数字信号进行过采样, 然后恢复出原始的数据, 存储于 FPGA 的 FIFO 内, FPGA 处理单元将 FIFO 里的用户数据进行解码, 再通过 DM9000 驱动程序将用户数据从网口发送至用户设备。

1.2 驱动电路

本文所采用的调制方法为 OOK 直接调制^[2]。将数字编码过的视频信号和语音信号作为调制信号, 通过主控芯片 FPGA 送入半导体激光器驱动电路, 产生调制的光信号。调制光信号耦合进光纤中^[3], 光学发射天线压缩光束发散角, 使其达到系统要求的指标, 然后将光束发射出去。调制电路分为控制偏置电流和调制电流两部分。

控制偏置电流电路设计主要采用 LM358 两路通用运算放大器。运算放大器是通过负反馈提高调制电流的稳定性。电路中三极管使用的是 SS8050, 该三极管是一种低电压、大电流、小信号的 PNP 型硅二极管。它构成了共射极放大电路, 为驱动激光器提供足够大的偏置电流。通过可调精密电位器可以调节偏置电流的大小。

恒流源电路如图 2 所示, 主要提供调制电流。Q4 为恒流源, 加入到晶体管 Q1、Q2 发射极的负载是晶体管 Q4 的恒流源。因此在负载变重的情况下, 即使由输出端吸进大量电流(在电源的设定值以下), 也不会出现输出波形负侧被切去的情况。用电流源代替发射极电阻, 即使输出振幅变化, 发射极电阻也能保持一定, 所以就能够吸进大到电流源设定值的电流。

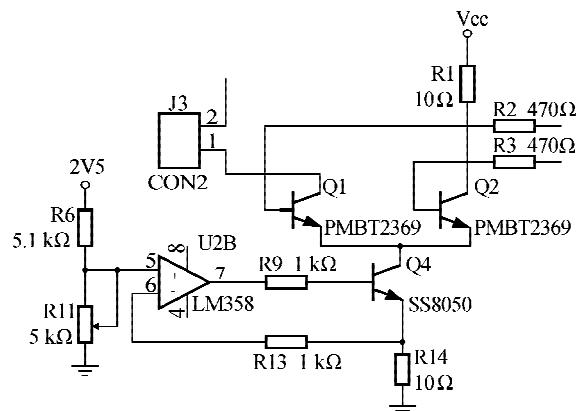


图 2 控制调制电流的电路

Fig. 2 Modulation current control circuit schematics

在图 2 的电路中, 组成恒流电路的三极管 Q4 的基极电位是由 R9 进行限流来获得的。所以, 基极电位与输入信号无关, 而通过 R6 固定在一定的电压上。因此, 加在 Q4 发射极电阻 R14 的电压也为一恒定值, 发射极电流被固定在一恒定值。如认为发射极电流等于集电极电流, 则 Q4 的集电极电流与输入信号没有关系。所以, 由集电极一侧看, 则可以认为 Q4 为恒流源。Q1 用作开关激光调制电流, Q2 在调制电流关断时作为假负载。假负载是为了加快恒流调制过程, 减少开启瞬间的过冲。R1 作为假负载阻值要和激光管的阻抗匹配, 激光管的自身电容值也会影响波形。

1.3 网卡电路

网卡采用 DM9000, 该网卡是一款完全集成和符合成本效益的单芯片快速以太网 MAC 控制器, 内部有一个 10/100M 自适应的 PHY 和 4K DWORD 值的 SRAM。它是低功耗和高性能的一款芯片, 支持 3.3V 或 5V 电压^[4-6], 支持 8 位, 13 位和 32 位接口访问内部存储器, 以便支持不同的处理器。

1) DM9000 工作方式

DM9000 提供兼容 ISA 总线的 LOCALBUS 模式的主机接口, 该主机接口有两个端口地址, 分别是 INDEX 端口和 DATA 端口。引脚 CMD 输入“0”

时进入 INDEX 端口,输入“1”时进入 DATA 端口。DATA 端口的 DM9000 内部寄存器的地址由 INDEX 写入。要对 DM9000 寄存器进行读写,则必须先把寄存器的地址存入 INDEX 端口。

DM9000 包含 index I 和 index II 两个发送包,这两个包可以同时存储在 DM9000 内部的发送缓存里面。CRC 的插入和打包由发送控制寄存器 (TX Control Register) 控制,发送状态寄存器 TX Status Register I 和 TX Status Register II 分别存储着两个发送包的状态^[7]。

2) DM9000 初始化

设计中通过两个步骤来完成对 DM9000 的初始化以及对其发送和接收数据的控制。

对 DM9000 器件里的寄存器写入初始值即为初始化,目的是用来设定 DM9000 的工作模式。DM9000 初始化程序是固定不变的,且在正常工作之前必须进行初始化^[8]。对 DM9000 的初始化步骤,如图 3 所示。

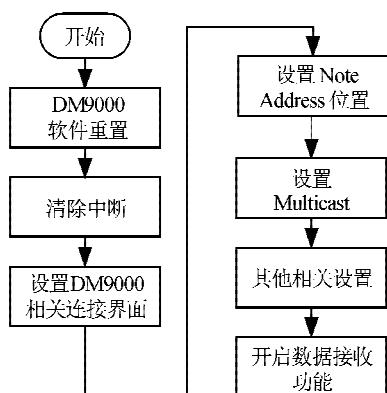


图 3 DM9000 初始化流程图
Fig. 3 DM9000 initialization flow

3) DM9000 发送数据

将 FPGA 从光路接收来的音视频数据通过

DM9000 传送到 PC 端,即为发送数据,发送过程如下。

将硬件或软件复位之后即可开始发送,发送的起始地址为 00h、起始发送包为 index I。先通过 DMA 端口将发送的数据写入 TX SRAM,再将数据包 index I 长度字节数写入字节数寄存器。DM9000 对发送控制寄存器的第零位置“1”开始发送数据包 index I。在发送结束之前,下一个数据即可移入 TX SRAM,发送结束后,再写入数据包 index II 的长度字节数。发送过程以此规则依次进行。

对 DM9000 控制的程序流程如图 4 所示。

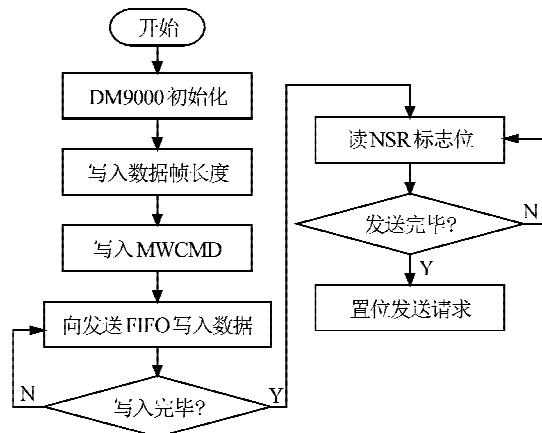


图 4 数据发送流程图
Fig. 4 Data sending flow chart

4) 接收数据包

在每一个封包中,会有 4 个 Bytes 存放一些封包的相关资料。第 1 个 Byte 是查看封包是否已正确存放在接收内存之中,如果值为“01h”表明封包已经正确存放在接收内存之中。如果为“00h”则表明接收内存尚未有正确封包存放。DM9000 接收内存数据格式如图 5 所示。

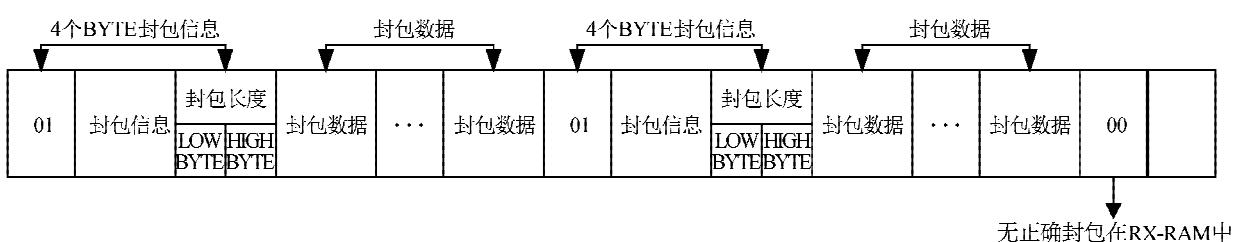


图 5 DM9000 接收内存数据格式
Fig. 5 DM9000 receives memory data format

要接收一个封包必须先检查 MRCMDX 寄存器值是否为 01,若是则有封包进入内存,可以进行读取。然后读取 MRCMD,将前 4 个 Byte 封包信息读入。

最后,由前 4 个 Byte 封包信息取得封包长度(以 Byte 为单位),连续读取 MRCMD,将封包数据移到 FPGA 中。若读取位置超过 3FFFh 时,DM9000 会自动移到 0C00h。

2 系统软件

2.1 双 FIFO 缓冲

从网口传来的视频或音频数据一般速率较高,在实时视频监控或语音系统中,为了能够很好地保

证数据的稳定和连续性,通常采用的方法是对两个 FIFO 进行乒乓操作^[9]。乒乓操作是有效处理高速数据流的方式之一,其基本思想就是以面积换取速度。典型的乒乓操作方法如图 6 所示。数据缓冲模块可以为任何存储模块,在本文中使用的是 FIFO。

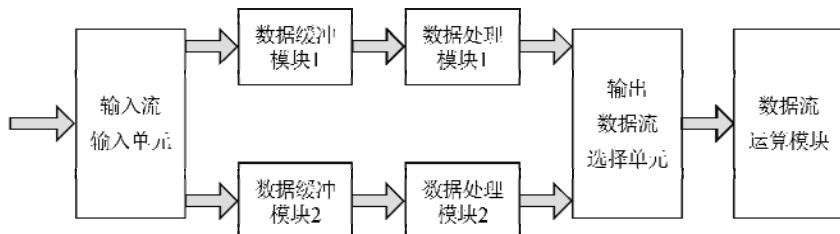


图 6 乒乓 FIFO 典型操作框图

Fig. 6 Ping-pong FIFO block diagram of a typical operation

采用图 6 所示进行乒乓操作,数据流会等时地进入两个数据缓冲模块中。等时处理带来的是每一路数据处理的频率相当于输入频率的一半,不仅降低了数据处理的速度,而且可以完整地进行数据采样。

2.2 时钟恢复

接收端提取出正确的数据信息需要进行时钟恢复。时钟恢复使用过采样法,该方法具有较大的频率捕捉范围和较快的捕捉速度。本系统中,通过采用本地晶振倍频得到 80M 的高速时钟,对信号作 8 倍过采样,通过对采样数据的分析判断出数据跳变沿的位置,实时寻找并切换到最佳采样时钟,从而恢复出数据。

最佳采样相位判断是通过检测采样数据中跳变沿的位置,判决当前数据最佳采样相位。在 $T-1$ 到 $T+1$ 采样周期所采样的所有比特,在滑动窗口中通过数据匹配,寻找采样周期 T 内发生的边沿跳变位置,然后生成跳变沿图样。在两个跳变沿的中间时刻,即是所要寻找的最佳采样相位,通过在最佳采样相位采样,就可判断出数据的高低电平,恢复出正确数据。8 倍过采样的数据因为使用了滑动窗口进行滤波,所以就避免了数据毛刺对判决的干扰,而且窗口宽度越大,抑制毛刺的性能越好。但是对于一个 8 倍过采样系统而言,时钟周期与采样时钟要能够满足每个接收数据的周期最少应有 7 个采样点,所以最大窗口宽度只能为 14。

3 系统实验

系统所用实验仪器有示波器(Tektronix TDS2024 及 Agilent ADS7062CA)、逻辑分析仪(Tektronix TLA5201)、激光功率计、万用表(VICTOR VC8900)和 PC 机等。

3.1 PC 机实验

为了验证该系统能否工作正常,先去掉无线激光传输部分,把两块 FPGA 板直接相连。如果能实现两台计算机之间通信,就说明系统以太网模块工作正常。实验中用两台 PC 机分别作为信源和信宿,一台负责发送数据,通过两块以太网模块将信息传输到另一台上,对比检验数据的正确性。实验框图如图 7 所示。

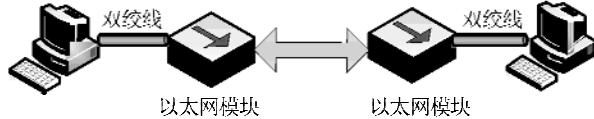


图 7 PC 机实验

Fig. 7 PC test

使用 TCP/UDP Socket 调试工具检验以太网接入系统功能的完整性和正确性。创建 TCP 服务器端和 TCP 客户端。TCP 服务器端用来发送数据,TCP 客户端用来接收数据。开始调试阶段发现接收到的数据包有严重的丢包现象,而且发送次数越多丢包越明显、一次发送数据量越大丢包率越高。经分析是由于接收缓冲区空间不够、接收数据的速率过慢或者主机处理数据过慢引起的。解决办法:①DM9000 支持 DMA 模式,可以和 I/O 模式自动转换,DMA 模式可使 DM9000 减少丢包;②适当地调整数据存取速率,使下一个数据包到来之前数据缓冲区空间充足。

3.2 激光链路实验

激光链路组建以后,用视频编码器代替 PC 机进行数据的发送,用另一台 PC 机进行数据接收并验证数据的正确性,如图 8 所示。图 9 为无线激光通信机外观。

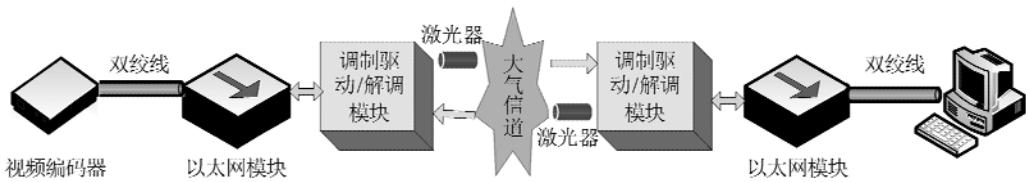


图 8 激光链路实验框图
Fig. 8 Laser link experiment diagram



图 9 无线激光综合业务通信机样机
Fig. 9 Wireless laser integrated business communications machine prototype

4 结 论

本系统可以实现双工通信,可在 10 Mb/s 速率下传输 2 路标清视频信号和 150 路语音信号,协议数据透明传输,具有较好的稳定性和实时性,具备了基本的实用性。

参考文献:

- [1] 易成林. 自由空间光通信技术的发展现状与未来趋势[J]. 现代商贸工业, 2007, 19(9): 263-264.
Yi Chenlin. The current situation of the development and future trends of free space optical communication technology[J]. Modern Business Trade Industry, 2007, 19(9): 263-264.
- [2] 柯熙政, 殷致云. 无线激光通信系统中的编码理论[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [3] 陈锦妮, 柯熙政. 弱湍流状态下空间光—多模光纤耦合效率分析[J]. 西安理工大学学报, 2014, 30(3): 327-330.
Chen Jinni, Ke Xizheng. Analysis of space optical-multi-mode fiber coupling efficiency in weak turbulence[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2014, 30(3): 327-330.
- [4] 柳正仙. 基于 FPGA 的设备状态信号采集传输系统研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
Liu Yuxian. Study on data acquisition and transmission system of equipment status based on FPGA [D]. Chongqing: Chongqing University, 2008.
- [5] 郝云峰. 基于 FPGA 的网络化数据采集系统[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
Hao Yunfeng. Networked data acquisition system based on FPGA [D]. Chongqing: Chongqing University, 2008.
- [6] 胡应鹏. 基于 FPGA 的振动信号采集和网络化传输关键技术的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
Hu Yingpeng. Key technical study on FPGA-based mechanical vibration signals collection and network transmission[D]. Chongqing: Chongqing University, 2006.
- [7] Yang C K K, Tu S H L. A pipelined serial data receiver with over sampling techniques for high-speed data communications[C]//Hong Kong: IEEE Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits, 2003: 167-170.
- [8] 褚振勇, 翁木云. FPGA 设计及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [9] 吴自信, 张嗣忠. 异步 FIFO 结构及 FPGA 设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2003, 8: 25-26.
Wu Zixin, Zhang Sizhong. Asynchronous FIFO structure and FPGA design[J]. Microcontrollers and Embedded System, 2003, 8: 25-26.

(责任编辑 杨小丽)