

无线激光通信在高速视频传输中的应用

刘杰^{1,2}, 陈涛¹, 王建立¹, 董磊¹

- (1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要:利用无线激光通信传输速率高的优势,设计并实现了一套 622 Mbps 视频传输系统。将视频转换、数据处理、激光收发等功能集中在单块电路板上,提高了灵活性。使用片内异步先进先出队列(FIFO)组成乒乓操作,对连续视频数据流进行有效切换控制。采用曼彻斯特编码较好地接收信号中恢复出数据和时钟,有利于接收串行数据流的边界检测和同步。实验表明,本系统可以稳定地传输视频,满足地面距离应用的需要,为进一步研究激光通信各项技术提供了平台。

关键词:激光通信;视频传输;乒乓操作;曼彻斯特编码;FPGA

中图分类号: TN929.12 **文献标识码:** A

Application of wireless laser communication to high speed video transmission

LIU Jie^{1,2}, CHEN Tao¹, WANG Jian-li¹, DONG Lei¹

- (1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

Abstract: A video system with a transmission speed of 622 Mbps is designed and realized by taking the high speed characteristic of wireless laser communication. Functions of the system such as video converting, data processing and buffering, laser transmitting/receiving are implemented on a single circuit board to achieve a better flexibility. The ping-pong operation which is made up of internal asynchronous FIFO(First in First out) is utilized to effectively switch the continuous video data flow. Manchester code is employed to obtain better recoveries of data and clocks from the received signals. Moreover, it is also easier to detect the byte boundary from serialized data flow and to synchronize the communication. Experimental results show that the system can transmit video signals stably and meet the application need in the under ground distance, and the system pro-

vides a platform for further research on laser communication technologies.

Key words: laser communication; video transmission; ping-pong operation; Manchester code; FPGA

1 引言

激光通信又称自由空间光通信(Free Space Optical Communication, FSO)、大气激光通信、无线激光通信等,是最近20多年发展的一种新型通信手段,具有传输速率高、功耗小等优点,尤其适用于星间通信和深空探测等领域。

随着信息时代对海量数据传输需求的增加,如高分辨率照片、高清视频、实时数据等,传统微波通信的低传输速率逐渐成为通信的瓶颈。无线激光通信作为解决该问题的手段之一,已经被各国研究机构重视和研究。目前,国外的研究主要集中在美国、欧洲和日本^[1,2],我国在这方面的研究起步较晚,但发展较快^[2,3]。

本文在学习和借鉴国内外研究的基础上,独立设计了一套无线激光通信系统并用于视频传输。该系统将视频转换、数据处理和存储、激光收发等功能在单块电路板上实现,具有高度的灵活性,方便使用。本文方法结合现场可编程门阵列(FPGA)丰富资源和强大的数据处理功能,为以后进一步在应用中研究通信协议、纠错码等激光通信技术奠定了一定的基础。

2 硬件平台

通信系统分别由发射部分和接收部分组成,如图1所示。

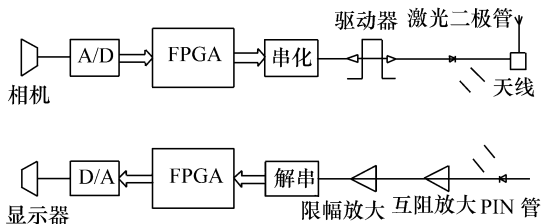


图1 系统框图

Fig. 1 Overview of the system

在发射部分,标准模拟视频信号经过A/D转换后以27 MB/s的速率送至FPGA,经FPGA处理后转换成77.76 MB/s的并行信号,并串转换芯片,将该信号串化为622 Mbps的差分信号后,经由驱动芯片驱动激光二极管发光,最后通过光学天线准直后发射到自由空间。

接收部分信号流恰好与发射部分相反。激光信号由光学天线接收并聚焦于探测器靶面,响应光电流经互阻放大器和带有时钟恢复功能的限幅放大器,得到622 MHz时钟和相应的串行数据,经过串并转换芯片解串后得到77.76 MHz时钟和8位并行数据送至FPGA并进行相应处理。最后,视频数据由D/A转换芯片转换为原始模拟视频信号。

根据通信需求及实际情况,本文所设计的系统各项基本参数如表1所示。由表1可以看出,信道带宽完全满足视频传输需要,发射端平均出射光功率和接收端灵敏度均较理想。

表1 系统参数

Tab. 1 System parameters

名称	参数值
数据速率	27 MB/s
传输速率	622 Mbps
平均功率	36.7 mW
发散角	1.5 mrad
探测器灵敏度	-29 mdB
接收透镜口径	75 mm

3 软件控制

对数据流的时序控制和处理等工作主要是在FPGA内部进行,包括视频转换芯片配置、乒乓操作、曼彻斯特编解码以及同步控制等。

3.1 视频转换芯片配置

本系统采用的视频转换芯片为SAA7113和SAA7121,均为可编程控制,配置工作主要是对

I²C总线的读写^[4]。根据 I²C 总线数据操作格式的特点,在配置程序中设计了一个六状态的有限状态机,如图 2 所示。根据写寄存器过程中地址自增的特点,采用了写完首个寄存器地址后连续写寄存器控制字的方法,减少了配置时间和程序复杂性。

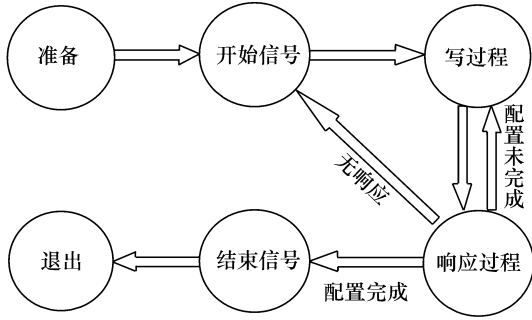


图 2 配置状态机

Fig. 2 FSM of configuration

本配置程序具有良好的通用性和稳定性,稍

加改动即可应用于其它 I²C 总线芯片的读写控制。

3.2 乒乓操作

由于本文所设计的信道速率大于实际数据速率,即视频数据以 27 MHz 速率收发而激光通信模块中的并行信号以 77.76 MHz 收发,因此产生了读写时钟不同、速率不匹配的问题。乒乓操作是解决这种数据流控制问题的常用方法之一^[5]。

以发射端为例,输入数据流选择单元将视频数据等时地分配到两个大小相同的数据缓冲区,这里的数据缓冲区是在 FPGA 内部开辟的 FIFO。读 FIFO 过程则由满指示信号来启动,由于读过程比写过程快得多,只要深度足够大,如 8 个以上字节,则不用担心会出现同时读写同一个 FIFO 而产生冲突问题。接收端的工作过程与此正好相反,将收到的有效数据经处理后写入不同的 FIFO,再连续不断地读出。稍有不同的是,由于写过程快而读过程慢,为了防止可能的同时读写冲突,采用了 3 个 FIFO 以增加时间间隔。原理框图如图 3 所示。

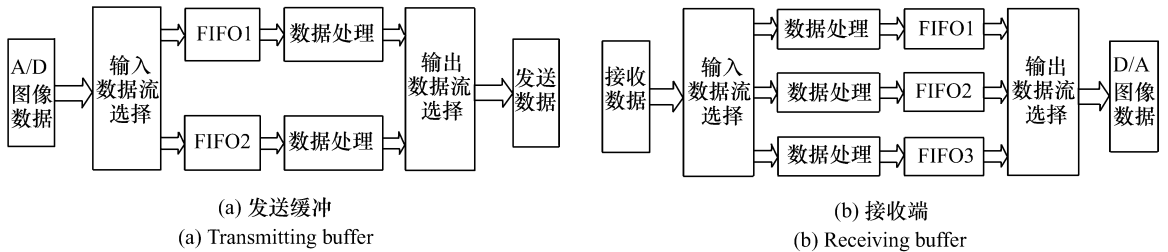


图 3 乒乓操作

Fig. 3 Ping-pong operation

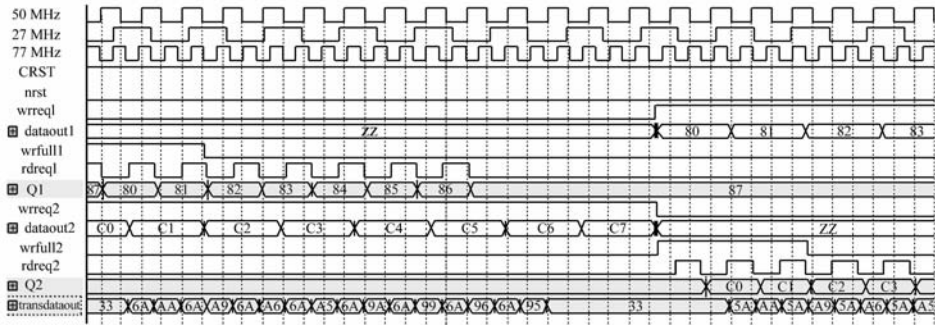
3.3 曼彻斯特编码

曼彻斯特编码是一种常用的基带信号编码方式。它使每个比特编码为两个比特,0 编码为 10,即为从高电平到低电平的跳变,1 编码为 01,即为从低电平到高电平的跳变。采用曼彻斯特编码主要有以下几个目的:消除直流分量,有利于接收端时钟恢复,有利于从串行数据流检测字节边界以及同步控制^[6]。

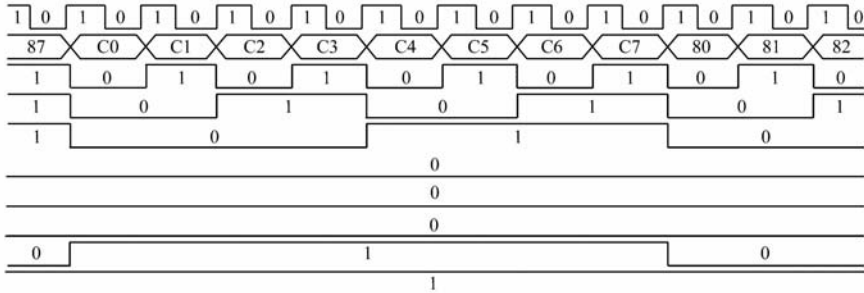
曼彻斯特编码的一个主要问题是降低了带宽的利用率,根据其定义,实际带宽利用率只有原来

的二分之一。不过由表 1 的参数可知,经过曼彻斯特编码以后,系统的有效传输速率为 311 Mbps,仍然大于视频数据速率,因此采用该编码是有效并且可行的。

在 VHDL 语言中实现曼彻斯特编码的方法是调用一个编/解码函数,发送端将每个字节映射为相应的两个编码字节,接收端将每两个编码字节还原为一个有效字节。发送测试码的仿真波形图如图 4(a)所示,接收端接收并解码后的波形如图 4(b)所示。



(a) 发送端仿真时序图
(a) Simulation waveform in transmitter



(b) 接收端解码后波形图
(b) Decoded waveform in receiver

图4 曼彻斯特编解码

Fig.4 Manchester coding and decoding

3.4 边界检测及同步控制

由于实验是在楼宇内进行,空气稳定洁净,故近似认为激光传输基本不受大气的影响,忽略误码率,即认为接收端准确无误地收到发送端的激光信号。之后的工作即是从串行数据流中检测出字节边界,然后将有效视频数据提取出来。

由上一小节可知,采用曼彻斯特编码以后,每个传输的编码字节只有 $2^4 = 16$ 种可能性,加上两个用于同步控制的字节 0xCC 和 0x33,实际上只占所有可能的状态 ($2^8 = 256$ 个) 中 9/128。因此,只要从串行数据流中连续提取的字节一直在这个集合内,即可判断已经正确地检测到字节的边界,否则就进行相应的移位操作。

同步控制是数字通信中关键内容之一,是正确获取有效数据的前提。本文根据并行信号的宽度以及采用曼彻斯特编码等实际情况,采用了简单实用的同步方法^[7]。

在发送端空闲时,比如对 A/D 转换芯片的配置还未完成,发送空闲码 0xCC。当空闲状态结束后,开始不间断地循环写两个 FIFO。由于对 FIFO 的读过程比写过程快,可在读空一个 FIFO

并发送完编码但另一个 FIFO 满信号来之前发送插入码 0x33 作为同步字符,同时保持串行数据流连续。接收端接收到空闲码后也处于空闲状态;当收到插入码后立即进入准备状态,准备接收有效数据,一旦检测到插入码结束,即开始接收一组有效视频数据,并写入一个 FIFO,之后再次进入准备状态,准备接收下一组数据并写入下一个 FIFO。读取过程则相对简单,只需以 27 MHz 的速率连续读取 3 个 FIFO 即可,每次读取 FIFO 内的两个字节后进行一次解码并且送往 D/A。

实验证明,采用该同步方法简单易实现,在短距离内工作稳定。缺点是健壮性不够好,一旦信道条件变差,将引起误码率升高,直接破坏同步性能。

4 实验结果

在认为光束为高斯圆分布的情况下,根据 z 处振幅的高斯分布公式:

$$E(x, y, z) = \frac{A_0}{\omega(z)} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{\omega^2(z)}\right], \quad (1)$$

其中 $\frac{A_0}{\omega(z)}$ 为振幅, $\omega(z)$ 为接收点光束腰粗^[8]。根据系统的各项参数可以粗略地计算出理论最大通信距离为 6.3 km。本文受到简易跟瞄装置的限制,进行了短距离的实验,实验环境为楼内长廊,发射机和接收机相距约 110 m,时间为夜晚。

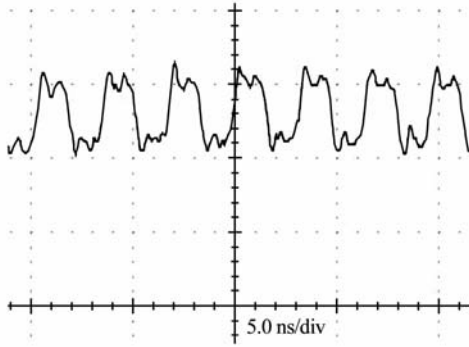


图5 接收信号波形

Fig. 5 Waveform of receiving signal

接收端恢复后的 622 Mbps 串行测试信号如图 5 所示,其中横坐标为时间,纵坐标为信号幅度。由于高速信号测量仪器不完备、测量方法不完善等原因,可以看到波形存在一定的过冲,但信号整体上恢复较理想,能够满足通信需求。

实验证明,本文所设计的系统可以稳定地传输视频,画面清晰稳定,达到了设计的预期目标。

5 结 论

本文设计的激光通信实验系统成功地进行了视频传输,完成了数据存储、时序控制、编解码及同步等工作,验证了激光作为载波的新型大容量通信手段的可行性和有效性。

本文的工作为设计完善的远距离通信样机,进一步深入开展整体链路预算及分解、纠错编码、大气影响及背景噪声研究等工作奠定了基础。

参考文献:

- [1] 马惠军,朱小磊.自由空间激光通信最新进展[J].激光与光电子学进展,2005,42(3):6-9.
MA H J,ZHU X L. The latest progress of free space laser communications[J]. *Laser Optoelectronics Progress*,2005,42(3):6-9. (in Chinese)
- [2] 张诚,胡薇薇,徐安士.星地光通信发展状况与趋势[J].中兴通讯技术,2006,12(2):52-56.
ZHANG CH,HU W W,XU A SH. Status and trends of satellite-to-earth optical communications[J]. *ZTE Communications*,2006,12(2):52-56. (in Chinese)
- [3] 李喜来,徐军,曹付允,等.自由空间激光通信关键技术研究[J].光通信技术,2006,9:58-61.
LI X L,XU J,CAO F Y,et al. Key techniques of free space laser communication[J]. *Opt. Communication Technol.*,2006,9:58-61. (in Chinese)
- [4] 孙志成,解梅,傅海东.基于FPGA的图像采集模块设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2008,11:51-56.
SUN ZH CH,XIE M,FU H D. Design of image data acquisition module based on FPGA[J],2008,11:51-56. (in Chinese)
- [5] 王智,罗新民.基于乒乓操作的异步FIFO设计及VHDL实现[J].电子工程师,2005,31(6):13-16.
WANG ZH,LUO X M. Design and implementation of asynchronous FIFO based on ping-pong operation[J]. *Electronic Eng.*,2005,31(6):13-16. (in Chinese)
- [6] 史敬灼,徐美玉,徐殿国.基于CPLD的Manchester编码器与解码器[J].电气应用,2006,25(5):62-68.
SHI J ZH,XU M Y,XU D G. Manchester encoder and decoder based on CPLD[J]. *Electrotechnical Appl.*,2006,25(5):62-68. (in Chinese)
- [7] SKLAR B. 数字通信-基础与应用[M].2版.北京:电子工业出版社,2002.
SKLAR B. *Digital Communications-Fundamentals and Applications*[M]. 2nd ed. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2002. (in Chinese)
- [8] 北京大学物理系,广东省七〇一研究所三室合编.激光原理[M].1976.
Beijing University,701 Institute of Guangdong Province. *Principles of Lasers*[M]. 1976. (in Chinese)

作者简介:刘杰(1985—),男,江苏连云港人,硕士研究生,主要从事自由空间激光通信技术方面的研究。

E-mail:jjjliu@mail.ustc.edu.cn

《发光学报》(双月刊)

中文核心期刊(物理学类;无线电电子学、电信技术类)

《发光学报》是中国物理学会发光分会与中国科学院长春光学精密机械与物理研究所共同主办的中国物理学会发光分会的学术会刊。该刊是以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于1980年创刊,曾于1992年,1996年,2000年和2004年连续四次被《中文核心期刊要目总览》评为“物理学类核心期刊”,并于2000年同时被评为“无线电电子学、电信技术类核心期刊”。2000年获中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA)自1999年;美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ)自2000年;美国《剑桥科学文摘社网站》自2002年;日本《科技文献速报》(CBST, JICST)自2003年已定期收录检索该刊论文;2008年被荷兰“Elsevier Bibliographic Databases”确定为源期刊。2001年在国家科技部组织的“中国期刊方阵”的评定中,《发光学报》被评为“双效期刊”。2002年获中国科学院2001~2002年度科学出版基金“择重”资助。2004年被选入《中国知识资源总库·中国科技精品库》。

本刊内容丰富、信息量大,主要反映本学科专业领域的科研和技术成就,及时报道国内外的学术动态,开展学术讨论和交流,为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》为双月刊,A4开本,144页,国内外公开发行。国内定价:40元,全年240元,全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用,踊跃投稿。

主管单位:中国科学院

主办单位:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国物理学会发光分会

地址:长春市东南湖大路3888号《发光学报》编辑部

邮编:130033

电话:(0431)86176862, 84613407

E-mail:fgxbt@126.com

国内统一刊号:CN 22-1116/04

国际标准刊号:ISSN 1000-7032

国内邮发代号:12-312

国外发行代号:4863BM

http://www.fgxb.org