

doi:10.13756/j.gtxyj.2015.02.020

无线通信技术

基于 PSK 调制的激光通信系统研究

王 珊¹, 肖沙里¹, 彭光辉², 徐山河¹

(1. 重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400030; 2. 华中光电技术研究所 武汉光电国家实验室, 武汉 430223)

摘要:设计了一种基于 PSK(相移键控)外调制的激光通信系统。该系统选用 637 nm 的全固态激光器作为光源, 利用 FPGA(现场可编程门阵列)开发板作为调制解调硬件控制声光调制器将调制信号加载于激光, 通过大气信道传输, 采用光电倍增管作为激光接收器。对传统 PSK 解调进行了改进, 消除了相位模糊现象, 搭建了完整的激光通信系统实验平台。实现了通信速率为 115.2 kbit/s、误码率低于 10^{-8} 的激光通信系统。

关键词:相移键控; 相位模糊; 激光通信; 现场可编程门阵列

中图分类号: TN929.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8788(2015)02-0064-03

Research on PSK modulation-based laser communication systems

Wang Shan¹, Xiao Shali¹, Peng Guanghui², Xu Shanhe¹

(1. Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Systems of the Education Ministry of China, Chongqing University, Chongqing 400030, China; 2. Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong Institute of Optoelectronic Technology, Wuhan 430223, China)

Abstract: This paper proposes a PSK external modulation-based laser communication system. Using a 637 nm all-solid-state laser as a light source and FPGA demoboard as the modem hardware to control the acousto-optic modulator, this system applies the modulated signals to the laser and, using a photomultiplier tube as a laser receiver via atmospheric channel transmission, improves the traditional PSK demodulation, eliminates phase ambiguity and sets up a complete experiment platform for laser communication systems, realizing a laser communication system with the serial communication rate of 115.2 kbit/s and bit error rate of lower than 10^{-8} .

Key words: PSK; phase ambiguity; laser communication; FPGA

0 引 言

FSO(自由空间光通信)是将语音、数据和图像信息编码后加载在光上, 经过大气信道传输, 最后将光电探测器接收到的信号进行解码还原的通信技术。FSO 系统与微波通信和光纤通信相比具有保密性好、通信容量大、频带宽和安装简单等优点, 近年来引起人们越来越多的重视^[1-2]。国内外的研究公司都已推出相关大气激光通信实验样机^[3]。

数字调制是指用数字基带信号控制载波的过程, 利用数字信号的离散取值特点通过开关键控载波, PSK(相移键控)调制就是其中一种。与其他数字调制方式相比, PSK 调制在带宽和功率占用方面均具有优势, 但 PSK 信号在解调过程中容易出现相位模糊^[4]。本文选用 AOM(声光调制器)配以改进的 PSK 调制解调方式, 实现了低成本、部署灵活方便的 FSO 系统。

1 系统概述

本文设计的 FSO 系统由光发射端、大气信道和

光接收端组成, 系统流程图如图 1 所示。

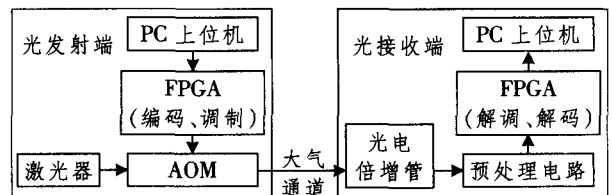


图 1 FSO 系统流程图

在光发射端, PC(个人计算机)产生的二进制信号被发送到 FPGA(现场可编程门阵列)开发板进行编码、调制, 控制 AOM 调制光信号, 调制后的光信号通过大气信道传输, 到达光接收端。光电倍增管将接收到的光信号转化为电信号, 再经过预处理电路进行整形、滤波, 输出至 FPGA 开发板进行解调和解码, 最后由 PC 输出原始信息。

2 调制解调

2.1 调制器原理

AOM 主要由声光介质、电声换能器、吸声材料和驱动电源组成。AOM 利用声光效应, 通过调制声强来调制衍射光强, 从而实现对入射光束进行调

收稿日期: 2014-10-22

作者简介: 王珊(1990—), 女, 福建福州人。硕士研究生, 主要研究方向为激光通信技术。

制。本文采用了中国电子科技集团第 26 所开发的 TSGMN-1 型 AOM 进行外调制。AOM 的相关参数如表 1 所示。

表 1 AOM 的相关参数

物理量	最小值	典型值	最大值
波长 λ / nm	450	633	850
光通过率(单向传输) α	0.93	-	-
衍射效率 η_s	0.75	-	-
通光口尺寸 L / mm	-	1.2	-
消光比 ER	1 000 : 1	-	-
射频功率 P / W	-	-	1.5

2.2 调制方式

常见的数字调制方式有 ASK(幅移键控)、FSK(频移键控)、PSK 和 DPSK(差分相移键控)调制等。ASK 设备简单、频带利用率较高,但抗噪声性能差,易产生随机错误,不宜采用^[5];FSK 抗干扰能力较强,但频带利用率低,主要用于中、低速数据传输;而 PSK 是一种高传输效率的调制方式,其抗噪声性能优于 ASK 和 FSK,且不易受信道特性变化的影响,在高、中速数据传输中得到了广泛的应用;DPSK 是在 PSK 基础上的改进,但是它的抗噪声性能要比 PSK 差,另外由于需要增加码反变换器,导致 DPSK 调制方式的结构比 PSK 复杂。因此在本文提出解决相位模糊现象的前提下,优先考虑 PSK 调制方式。

BPSK(二进制相移键控)是利用载波的相位变化来传递数字信息,即根据计算机串口输出的信号输出相应的初始相位不同的载波。利用 FPGA 实现 PSK 调制的程序的原理表达式如下:

$$E_{\text{FPGA}} = \begin{cases} g(\varphi_1), & \text{发送 1} \\ g(\varphi_2), & \text{发送 0} \end{cases},$$

式中,

$$g(\varphi_1) = \begin{cases} V, & kT < t \leq (k+1-Q)T \\ 0, & (k+1-Q)T < t \leq (k+1)T \end{cases},$$

此时 $\varphi_1 = \pi$;

$$g(\varphi_2) = \begin{cases} 0, & kT < t \leq (k+1-Q)T \\ V, & (k+1-Q)T < t \leq (k+1)T \end{cases},$$

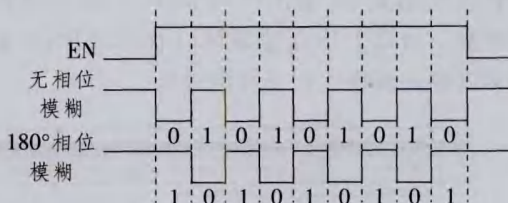
此时 $\varphi_2 = 0$;

E_{FPGA} 表示在调制过程中的载波选择原理函数; $g(\varphi_1)$ 、 $g(\varphi_2)$ 分别表示初始相位为 φ_1 、 φ_2 的方波信号; V 为方波信号的幅度; k 为自然数; T 为方波信号的周期; Q 为方波的占空比。

2.3 解调方式以及相位模糊现象

PSK 相干解调过程中需要恢复与接收到的 BPSK 信号同频同相的相干载波,还原的相干载波

可能与所需的载波同相,也可能反相,这种相位关系的不确定性会造成 180° 的相位模糊,也称为倒 π 现象^[6]。针对该现象,本文进行了调制解调编码的改进。根据串行异步通信的传输格式^[7],利用已经确定为低电平的起始位作为检验位,在解调完成之后进行相位检测,检测原理如图 2 所示。图中,EN 为数据判断位,EN 电平为 1 时表示为数据位,为 0 时表示为截止位。以串口发送数字“55”为例,串口发送的数据转化为二进制后为“010101010”,若存在相位模糊现象,则数据变成“101010101”,解调结果中第一位信息位的电平为高电平,判断存在相位模糊,将全部信息位翻转,即可消除相位模糊现象。在其他情况下,也可利用相同原理,在信息位前添加一位相同频率的检验位用于检测是否产生相位模糊从而进行纠正。

图 2 倒 π 现象检测原理

3 仿真与系统平台搭建

3.1 Quartus II 仿真结果

采用 Verilog HDL 语言编写程序实现调制解调过程。在调制过程中,构造两个同频反相的载波 carry1 与 carry2,根据串口传输的信息,选择相应的载波,当码元为 1 时,输出 carry1 的波形;当码元为 0 时,输出 carry2 的波形,从而实现 PSK。仿真结果如图 3 所示。其中 datain 为串口输出信号(即输入信号),dataout 为整个调制模块的输出信号。

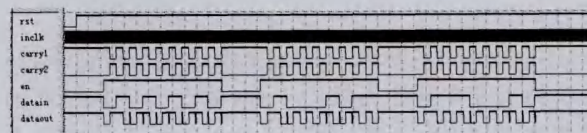


图 3 PSK 调制模块仿真结果

PSK 解调模块仿真结果如图 4 所示。在 PSK 解调过程中,首先恢复原始载波 carry_2 ,与调制后的信号进行相干解调。输出波形为图 4 中的 demod_dataout 。由于信号在 FPGA 电路板中内部走线和通过逻辑单元时造成的延迟,在多路信号变化的瞬间,组合逻辑的输出常常会产生一些小的尖峰,即毛刺信号。在 PSK 解调模块后加入去毛刺模块,仿真

结果输出为 noiseout_dataout。最后经过相位检测模块后输出信号为 dataout。

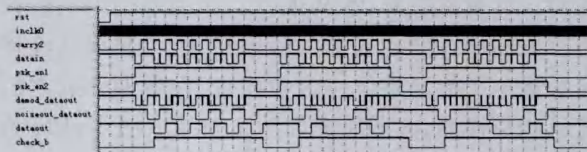


图4 PSK解调模块仿真结果

由于利用 Quartus II 仿真时,受仿真时间的限制,只模拟了三组数据的调制解调,而且仿真结果有时过于理想,因此在解调模块仿真结果中并非每次都会发现相位模糊现象,但是不代表这个现象不存在,因此在去毛刺模块后添加相位模糊检测纠正模块,该模块的仿真结果如图5所示。其中 datain 信号中的第一组与第三组数据存在 180° 的相位模糊,经过该模块的处理,输出信号 dataout 成功纠正了相位模糊。由以上仿真结果可以看出,FPGA 电路板的调制解调程序达到了预期效果。

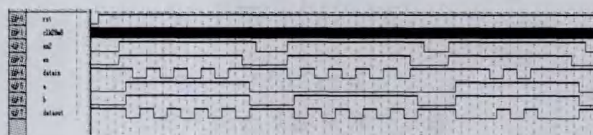


图5 相位模糊检测纠正模块仿真结果

3.2 激光通信系统实验平台搭建

基于以上调制解调算法及软件仿真,搭建了激光通信系统实验平台。发射光源选用波长为 637 nm 的全固态连续激光器,FPGA 开发板选用 Altera 公司的 EP2C35F672C6 作为调制解调硬件,接收端选择高灵敏度光电倍增管探测光信号,经过后续电路的放大、滤波和脉宽整形等预处理后再对这种光信号进行解调。调制解调原始数据由 PC 发送,最后由另一台 PC 输出经过整个通信过程后的信号。

利用该通信系统在实验室内进行了多次实验,由于白天存在其他光线的干扰,故在光电倍增器前放置滤光片削弱干扰,使得系统不论白天或夜晚都能达到预期效果。在实验过程中,AOM 需要手动调整旋转台找到布拉格角度,且由于 AOM 的通光孔径大小限制以及激光器光束随距离增大发散程度增大,因此 AOM 必须放置在距离激光器 50 cm 范围内,受该 AOM 性能影响,在光束经过并发生布拉格衍射后,光斑直径增大,光功率减小,而且光功率也会随着距离的增大而逐渐减小,由于以上因素以

及本系统采用的激光器输出功率的限制,仅实现了室内串口数据的准确通信,通信速率达 115.2 kbit/s。通信速率主要受计算机串口的限制,经过前期实验验证,AOM 系统可调制载波频率最高可达 5 MHz 左右,若采用其他方式发送数据,可以提高该通信系统的通信速率。经过多次实验结果的统计,该系统误码率低于 10^{-8} 。

4 结束语

本文利用串口传输的特性,针对相位模糊现象改进了 PSK 解调方法,并进行了仿真调试,搭建了整套激光通信系统平台,实现了通信速率为 115.2 kbit/s、误码率低于 10^{-8} 的数据传输。文中所提出的改进 PSK 解调方法也可应用于其他环境。实验表明,该系统能达到预期效果,通信质量良好,已经具备了在室内准确通信的能力。但是考虑到激光在大气信道中传播时容易受到干扰,接收端会产生误码,故后期将就信道编码进行完善,进一步提高通信质量。另外,可以再考虑应用多进制 PSK 调制方式来提高通信速率。

参考文献:

- [1] Yu Benshuang, Yao Y, Zhao Y F, et al. Simulation research of medium-short distance free-space optical communication with optical amplification based on polarization shift keying modulation [J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2014, 125 (13): 3319-3323.
- [2] Chan, Vincent WS. Free-space optical communications [J]. Lightwave Technology, 2006, 24 (12): 4750-4762.
- [3] 王佳,俞信.自由空间光通信技术的研究现状和发展方向综述 [J]. 光学技术, 2005, 31 (2): 259-262.
- [4] 樊昌信,曹丽娜.通信原理 [M]. 北京:国防工业出版社, 2006.
- [5] Donley E A, Heavner T P, Levi F, et al. Double-pass acousto-optic modulator system [J]. Review of Scientific Instruments, 2005, 76: 063112-1-063112-6.
- [6] Tang Y, Lv X. Research on the modulation and demodulation of BPSK and BDPSK simulator based on Matlab [C]// International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE 2011). Yichang, China: IEEE, 2011: 1239-1241.
- [7] 吕凤飞.基于紫外激光器光通信的关键技术研究 [D]. 重庆:重庆大学, 2013.