

激光无线音频传输系统设计

兰建军¹, 李宇²

(1. 东北电力大学 自动化工程学院, 吉林 长春 132012; 2. 吉林供电公司, 吉林 长春 132000)

摘要:为了简化短距离激光无线通信的系统结构和音频信号处理的编解码问题,分析了三角积分调制器(Σ - Δ)和开关键控(OOK)调制原理,给出了太阳能电池频率响应曲线和激光无线传输系统的硬件设计。在系统中进行了音频信号的无线传输测试,给出了测试数据,实验数据表明,具有400 kHz的带宽范围,通信距离至少200 m。

关键词:无线激光通信; Σ - Δ 调制; 开关键控; 太阳能电池; 频率响应

中图分类号: TN929

文献标识码: A

Design of Wireless Laser Audio Transmission System

LAN Jianjun¹, LI Yu²

(1. School of Automation Engineering Northeast Dianli University, Changchun 132012, China;

2. Jilin Electric Power Company, Changchun 132000, China)

Abstract: In order to simplify the structure of short distance wireless laser communication system and audio signal processing of the encoding/decoding problem, the principle of the Σ - Δ modulation technology and on-off-keying (OOK) modulation is analyzed, and the frequency response curves and the hardware design of optical transmitter and receiver are presented. We investigate the system's performance through the audio signal wireless transmission, and the test data is given. The experimental results show that the data bandwidth of 400 kHz can be achieved, and communication distance can reach above 200 meters at least.

Key words: wireless laser communication; Σ - Δ modulation; on-off-keying modulation; solar cell; frequency response

0 引言

与其他通信方式相比,光通信具有传输频带宽、抗电磁干扰能力强和通信速度高等优点,因此在各个领域得到广泛的应用^[1]。无线激光通信技术是以激光为载波,在空间中进行信息传送的一种技术,也称为“自由空间激光通信”。目前,在光通信的关键技术主要集中在调制方式、编码技术和信道响应等方面的研究^[2-3]。与二进制移相键控(BPSK)、差分相移键控(DPSK)、正交幅度调制(QAM)、正交频分复用(OFDM)等新型调制方式相比,开关键控(OOK)调制编码技术,尽管在抑制干扰上效果一般,但其调制时配套的硬件和软件资源相对简单,因此也是光通信调制编码中较常用的方案^[4]。

现有短距离音频传输装置多采用无线射频方式,且需进行较复杂的音频信号编解码工作^[5]。采

用无线光通信进行音频信号传输的文献较少。文献[6]提出的音频传输技术侧重于室内通信,同时需要复杂的编码技术,且通信距离短,文献[7]提出的无接收天线音频传输方案,需对语音信号进行压缩编码,且通信速率慢。因此,在保证通信质量基础上,低成本,结构简单的音频信号的短距离光通信技术具有一定研究价值。

本文所选用的短距离激光无线音频传输方案,利用太阳能电池板有效增加接收机的接收面积,无需复杂的光线发射和接收天线;同时采用三角积分调制器(Σ - Δ)调制技术对音频信号进行处理,避免了复杂的音频编/解码过程,简化系统结构,同时降低系统成本。在分析信号调制原理和太阳能电池光谱响应特性后,进行了激光通信系统的光发射和接收系统的硬件设计,最后在无线光通信系统上进行

收稿日期:2014-08-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61304013)

作者简介:兰建军(1977-),男(畲族),福建邵武市人,讲师,硕士,现主要从事光电检测技术、智能测控技术及装置方向的研究。

了语音信号传输实验,给出了相关测试数据。

1 系统结构与原理

1.1 系统结构

图 1 为激光无线音频传输装置的基本原理框图。光发射机利用 Σ - Δ 调制技术后,将音频信号转换成高速比特流信号,信号再经调制、放大电路后送入发射电路,通过激光二极管(LD)将电信号转换成光信号向外传输。光接收机利用太阳能电池完成光信号的检测和提取,实现光信号到电信号的转换,经放大、滤波和解调后完成音频信号的还原输出。

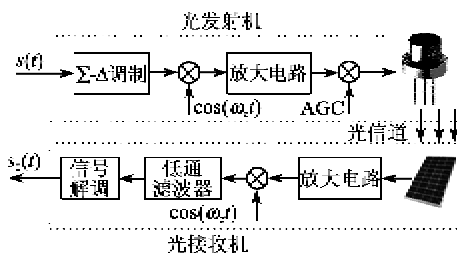


图 1 系统结构框图

1.2 系统原理

Σ - Δ 调制器的工作原理是采用远大于尼奎斯特采样频率对输入的模拟信号进行采样,实现用低位量化达到高分辨率的目的^[8]。采样的模拟信号与上一时刻的采样信号(反馈信号)进行差动比较,同时将产生的差动信号($\pm\Delta$)进行积分后送入比较器中进行量化输出,有效地改善了噪声信号比(SNR)^[9]。二阶 Σ - Δ 调制器结构框图如图 2 所示,内部包含积分器、量化器和 D/A 转换器。

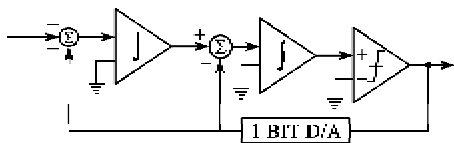


图 2 二阶 Σ - Δ 调制器结构框图

信号发射时,需把经过 OOK 调制的信号叠加在直流偏置信号(U_0)上, U_0 可通过增益调节信号自动增益控制(AGC)进行控制。可将经过 OOK 调制后的信号 $u_s(t)$ 描述为

$$u_s(t) = U_0 [p \times s(t) \times \cos(2\pi f_c t) + 1] \quad (1)$$

式中: p 为调制系数; $s(t)$ 为频率 f_b 的基带信号; $\cos(2\pi f_c t)$ 为频率 f_c 的载波信号,为了保证信号不失真,通常 $f_c \geq 10f_b$ 。

电光转换效率(η_d)定义为加在激光器上的电功率转换为输出光功率的效率^[10],则

$$\eta_d = \frac{P_{em} h \lambda}{IVe} \quad (2)$$

式中: P_{em} 为激光二极管发射的光功率; h 为普朗克常数; I 为工作电流; V 为工作电压; λ 为输出光波长; e 为电子电量。当激光二极管波长(频率)固定时,在一定波长 λ 下,激光二极管的发光强度为

$$\Phi_0(\lambda, t) = \eta_p(\lambda) U_0 [p \times s(t) \times \cos(2\pi f_c t) + 1] \quad (3)$$

考虑到调制信号的生成方便性,通常直接采用方波信号代替余弦信号进行调制。

实际的硅太阳能电池,考虑到存在入射光的反射损失、载流子寿命有限和非本征损失等因素,因此实际的太阳能电池转换效率^[11-12]为

$$\eta_r = \frac{\sigma(V - \xi)(J_p - J_r)}{N_p h \omega} \quad (4)$$

式中: σ 为硅光电电池的相对响应度; V 为太阳能电池的输出电压; ξ 为电池内阻引起的压降; J_p 为电池吸收入射激光光子产生的光生载流子等效电流密度; J_r 理想电池在激光照射下的净复合电流密度; N_p 为单位时间内入射到光电电池单位表面积的光子数; h 为普朗克常数; ω 为入射激光光子频率。因此太阳能电池输出的光电流可推导为

$$i(t) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} \eta_r R(\lambda) \Phi_0(\lambda, t) d\lambda \quad (5)$$

2 系统设计

2.1 光发射系统设计

光发射系统电路主要由信号的采集滤波、调制、发射等模块组成。信号的采集主要采用 Σ - Δ 调制技术将音频信号转换成高速比特流信号,并进行滤波,在保证数据采样精度和带宽的前提下,有效降低系统的信号采样成本。信号调制将产生的 OOK 调制信号和直流偏置电压耦合后加载至 LD,实现电信号到光信号的转换。因此本次选用的是松下陶瓷激光二极管,最大输出功率 350 mW,波长 780 nm,工作电压 2.5~3.0 V,工作电流小于 300 mA。信号调制模块采用 MAXIM 公司专用的半导体激光器调制电路集成芯片 MAX3669,其采用 3.3~5 V 单电源供电,支持调制电流和偏置电流设置。

2.2 光接收系统设计

光接收系统主要由太阳能电池板、跨阻前置放大电路、滤波器电路和限幅放大电路 4 部分构成。光信号的接收利用硅太阳能电池实现,硅太阳能电池

的PN结可用一恒流源光生电流(ISC)及一理想二极管的并联来表示。实际上,PN结太阳能电池存在着内阻 R_i 和漏电阻 R_{sh} 的影响。当 $R_{sh} < 100 \Omega$ 时,对太阳能电池的影响可忽略^[13]。图3为硅太阳能电池光谱响应曲线。根据图3可知^[14],当入照光波长在900 nm时,太阳能电池响应最好。

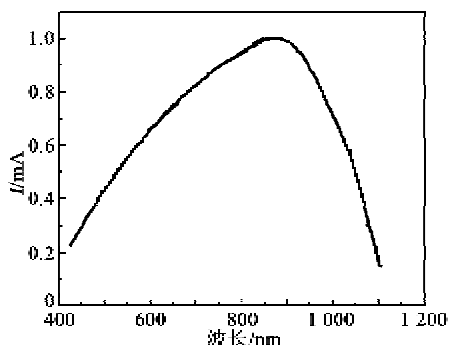


图3 硅太阳能电池光谱响应曲线

为了验证太阳能电池作为光电信号接收器的可行性,利用半导体激光二极管对太阳能电池的频率响应特性进行了测试,利用函数信号发生器产生500 Hz~1 MHz的方波信号控制三极管驱动激光二极管发光频率,测试的太阳能电池频率响应曲线如图4所示。由图可知,当频率从400~800 kHz时性能较好,具有400 kHz的带宽范围,从而说明太阳能电池可实现数百千赫兹频率的光通信,实验数据表明以500 kHz为中心点频率效果最佳。

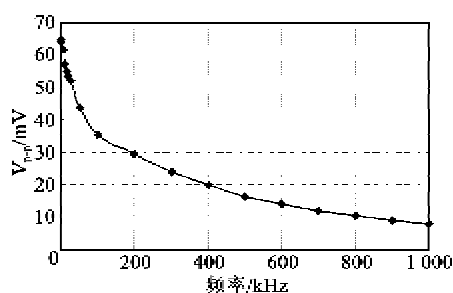


图4 太阳能电池频率响应曲线

当发射机的发射频率大于500 kHz后,太阳能电池接收的信号出现大幅衰减,发射频率超过10 MHz后,光信号开路电压衰减约为20 mV,因此太阳电池检测电路中的跨阻前置放大电路在实现I/V转换的同时,通过消直流技术来扩大输入信号的动态范围,可实现2~300 μA 的光电流检测,满足了光接收机的高带宽,高增益要求,跨阻前置放大电路原理图如图5所示。

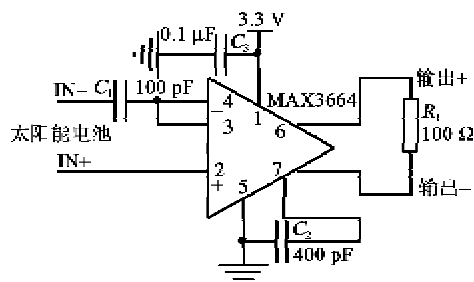


图5 跨阻前置放大电路原理图

音频信号的复现是通过单刀双掷模拟开关实现,其相当于一个1 bit 数字模拟转换器(DAC)。由于模拟音频信号经 Σ - Δ 调制后产生了高频干扰,为了保证音频信号的质量,利用轨至轨运算放大器设计了四阶切比雪夫滤波器,有效抑制了高频噪声。该运算放大器支持单电源工作,具有良好的低噪声性能,1 bit DAC及滤波电路原理图如图6所示。

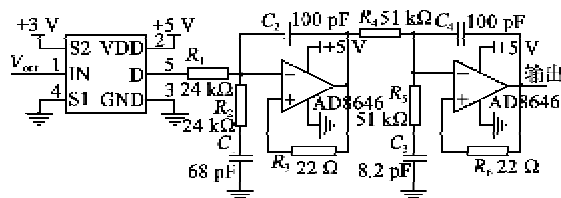
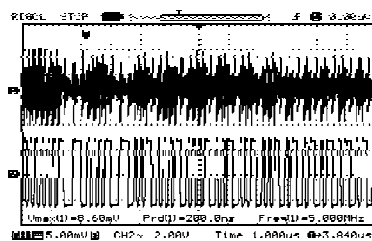


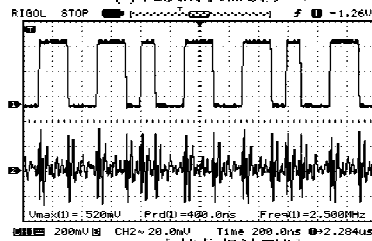
图6 1 bit DAC及滤波电路原理图

3 系统测试与实验数据

为了验证方案的实际效果,对装置进行了实验调试,图7(a)为DS1052E示波器采集的发射装置波形图。通道1(CH1)为原始音频信号,通道2(CH2)为 Δ - Σ 调制器采集后得到的高速比特流信号。图7(b)为DS1052E示波器采集的接收装置波形图。通道1(CH1)为太阳能电池输出的高速比特流信号,



(a) 光发射器波形图



(b) 光接收机波形图

图7 信号波形图

通道 2(CH2)为经模拟开关输出后得到的还原音频信号,实验数据表明该方案可以实现音频信号的无线传输。

4 结束语

为了简化激光无线音频传输装置结构、降低系统成本,在研究 $\Delta\Sigma$ 和开关键控调制技术基础上,将两种调制技术应用于本次设计中,同时利用太阳能电池板代替传统光接收机种的光电二极管进行光信息的检测和提取,分别进行了光发射机和接收机的硬件设计,并在装置上进行了语音信号传输验证。实验结果表明,当数据传输率为 1 Mbps 时,数据带宽可达 400 kHz;通信距离 200 m 以上,可实现语音信号的可靠传输,信号失真小,方案可值得推广和借鉴。

参考文献:

- [1] 郭旭静,王祖林,涂歆滢. 卫星数传通信仿真系统设计与实现[J]. 光学精密工程, 2009, 17(10): 2594-2598.
GUO Xujing, WANG Zhulin, TU Yinying. Design and implementation of satellite data traffic communication simulate on system[J]. Optics and Precision Engineering, 2009, 17(10): 2594-2598.
- [2] 黄健,张鹏,邓科. 星地相干激光通信中的自适应光学系统边界参数设计[J]. 光学精密工程, 2014, 22(5): 1204-1211.
HUANG Jian, ZHANG Peng, DENG Ke. Boundary parameters of adaptive optical system in satellite to ground coherent laser communication system[J]. Optics and Precision Engineering, 2014, 22(5): 1204-1211.
- [3] LANGER K D, VUCIC J, KOTTKE C. Advances and prospects in high-speed information broadcast using phosphorescent white-light LEDs[C]//Azores, Portugal: IEEE, Proceedings of 11th International Conference on Transparent Optical Networks, 2009: 1-6.
- [4] KWON J K. Inverse source coding for dimming in visible light communications using NRZ-OOK on reliable links[J]. IEEE Photon Technol Lett, 2010, 22(19): 1455-1457.
- [5] 夏书峰,巢明,王开宇. 一种室内全数字无线音频广播系统设计[J]. 电声技术, 2014, 38(1): 36-41.
XIA Shufeng, CHAO Ming, WANG Kaiyu. Design of an indoor full digital wireless audio broadcast system [J]. Audio Engineering, 2014, 38(1): 36-41.
- [6] 王巍,梁绣滢,王宁. 离散多音频技术在可见光通信中的应用[J]. 电工技术学报, 2014, 29(4): 160-165.
WANG Wei, LIANG Xiuyan, WANG Ning. Discrete multitone technique application on visible light communication [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(4): 160-165.
- [7] 毕博瑞,陈胜石,侯凤乾. 一种数话同传的激光通信系统的实现[J]. 应用光学, 2011, 32(6): 1291-1294.
BI Borui, CHEN Shengshi, HOU Fengqian. Laser simultaneous communication system for data and audio [J]. Journal of Applied Optics, 2011, 32(6): 1291-1294.
- [8] DENDOUGA A, HAFIANE M L, BOUGUECHAL N. Analog design-for-testability technique for first-order delta sigma ADC[J]. Measurement, 2013, 46(9): 3342-3346.
- [9] 张静,罗丁利. $\Sigma\Delta$ ADC 原理及应用[J]. 火控雷达技术, 2006, 35(3): 10-13.
ZHANG Jing, LUO Dingli. Principle and application of $\Sigma\Delta$ ADC [J]. Fire Control Radar Technology, 2006, 35(3): 10-13.
- [10] 江剑平. 半导体激光器[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [11] 杨鹏,杨雁南. 激光辐照单晶硅电池转换效率的研究[J]. 激光技术, 2012, 36(5): 696-699.
YANG Peng, YANG Yannan. Research of conversion efficiency of monocrystalline silicon solar cells under laser irradiation[J]. Chinese Journal of Laser Technology, 2012, 36(5): 696-699.
- [12] 高亚丽. 激光功率对镁合金组织和性能的影响[J]. 东北电力大学学报, 2013, 33(3): 31-33.
GAO Yanli. Influence of the laser power on macro-structure and property of the Mg alloy[J]. Journal of Northeast Dianli University, 2013, 33(3): 31-33.
- [13] 周健,卞洁玉,李红飞,等. 晶体硅光伏电池的标准测试[J]. 光学精密工程, 2014, 22(6): 1517-1523.
ZHOU Jian, BIAN Jieyu, LI Hongfei, et al. Standard measurement of crystal silicon solar cells[J]. Optics and Precision Engineering, 2014, 22(6): 1517-1523.
- [14] 王殿元,王庆凯,彭丹. 硅太阳能电池光谱响应曲线测定研究性实验[J]. 物理实验, 2007, 27(9): 8-10.
WANG Dianyuan, WANG Qingkai, PENG Dan. Research experiment of measuring spectral response of Si solar cells[J]. Physics Experiment Ation, 2007, 27(9): 8-10.