

## Free Space Transmission of Audio Signals and Spectrum Display System Based on FPGA

YANG Dan, MAO Yufeng, YU Hong\*

(School of Electronic Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** With the decline in the cost of equipment of free space optical communication technology, related applications are also expanding. We built an audio signal transmission system based on free-space optical communications technology. One laser beam is modulated by a voice signal, and then transmitted in the air. It is demodulated on a receiver consisting of a phototransistor, a feedback circuit and a control model. The original audio signal is finally obtained by a control circuit composed of FPGA for demodulation. The system achieves FIR filtering, FFT transform and VGA timing. We have completed the system and the experimental results show that a high recognition rate, low-cost free-space audio signal transmission and spectrum display system is realized.

**Key words:** atmospheric optical communication; audio signal transmission; dynamic spectrum display; FPGA  
EEACC: 6450; 6430      doi: 10.3969/j.issn.1005-9490.2015.04.020

## 基于 FPGA 的自由空间音频信号传输及频谱显示系统

杨 丹, 毛昱枫, 于 虹\*

(东南大学电子科学与工程学院, 南京 210096)

**摘 要:** 自由空间光通信技术随着设备成本的下降, 相关应用也在不断扩展。基于自由空间光通信技术, 我们搭建了一个音频信号传输系统。以声音信号调制的激光作为信号源, 采用光电晶体管及其反馈电路对信号进行接收, 并使用 FPGA 组成的控制电路实现信号解调, 还原初始信号。同时实现了 FIR 滤波, FFT 变换和 VGA 时序。我们完成了系统搭建和测试, 实现了高识别率、低成本的自由空间音频信号传输及频谱显示。

**关键词:** 大气光通信; 音频信号传输; 动态频谱显示; FPGA

中图分类号: TN929.12

文献标识码: A

文章编号: 1005-9490(2015)04-0817-04

自由空间光通信 FSO (Free Space Optical communication)<sup>[1-6]</sup> 是一种以自由空间作为传输介质, 激光作为载波的通信技术。近年来, 随着人们对高宽带、低成本接入技术的迫切需求, FSO 在视距传输<sup>[7]</sup>、宽带接入<sup>[8]</sup>中有了新的发展机遇。同时由于光通信器件制造技术的飞速发展<sup>[9]</sup>, 自由空间光通信设备的制造成本大幅下降, FSO 得到越来越多的应用。

目前, 自由空间光通信已经成为发达国家宽带通信<sup>[10]</sup>的关键技术, 而卫星光通信<sup>[11]</sup>和室内光通信<sup>[12]</sup>是研究的热点。自由空间光通信所使用的激光频率高, 方向性好, 可使用的频谱宽, 无需申请频率使用许可。因此, 我们提出了一种基于自由空间

光通信的音频信号传输系统, 采用 FPGA 作为接收端控制核心, 实现了音频信号的高质量接收与频谱显示。

### 1 总体方案

本系统采用波长为 650 nm 激光作为载波。自由空间中某一位置的声音信号对载波激光调制<sup>[13]</sup>后按照一定的光路到达接收端, 被 BPX43 三极管及相应电路解调并进行初步的放大滤波, 通过 AD 转换被送入 FPGA 内部进行高速运算和处理。当接收端的控制模块得到平滑低噪的信号后, 对该信号分别作 FFT 变换和 DA 转换, 进而将目标信号的数字特征和模拟特征全部展示出来, 从而实现自由空间

音频信号的传输及频谱显示。在实验中,我们采用输出电阻  $8\ \Omega$ ,功率为  $0.5\ \text{W}$  的小喇叭作为声音源,并且使信号源距离接收端约  $10\ \text{m}$  的距离。系统原理图如图 1 所示。

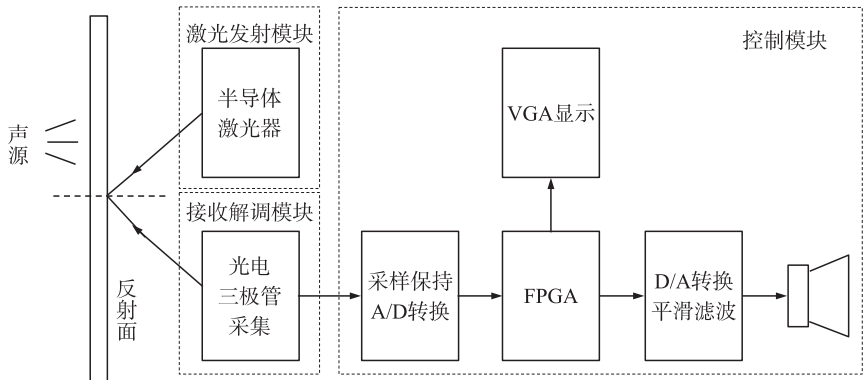


图 1 系统原理框图

2 硬件组成

2.1 激光发射供电电路

由于光电晶体管还会受到激光信号以外的背景光的影响,为了提高精度我们采用了可调光强的分压

电路作为载波信号发射电路。供电电路中 LM2940 芯片从  $9\ \text{V}$  处得到直流  $5\ \text{V}$  电压源,REF3225 芯片为 AD 及 DA 芯片提供高精度的  $2.5\ \text{V}$  参考电压,稳压芯片电路原理如图 2 所示。

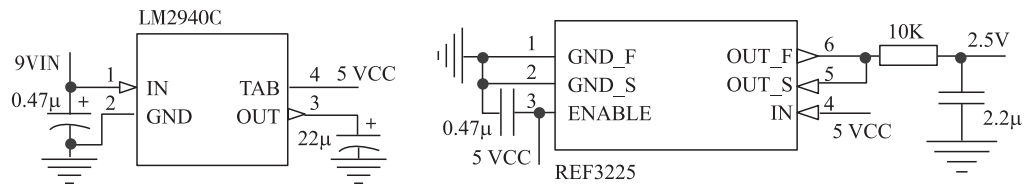


图 2 稳压芯片 LM2940 和 REF3225 电路

2.2 光电管接收解调模块

接收解调模块即系统原理图中光电三极管采集部分,包括光电三极管接收反馈电路以及有源放大滤波电路。<sup>[14]</sup>不同于光电二极管和光伏电池<sup>[15]</sup>,光电三极管的基极单独引出来可以接入解调电路,以

控制器件工作的偏置点。前置滤波放大电路对音频信号进行第 1 级放大滤波,采用 TL072 芯片,双路低噪声 JFET 输入通用运算放大器,输入阻抗高,因而输入信号不易失真。接收端的主要电路如图 3 所示。

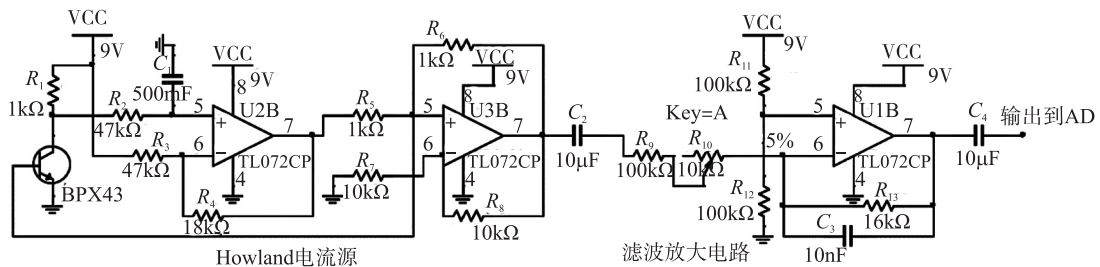


图 3 光电三极管接收电路

2.3 控制模块

采用 XILINX 公司开发的拥有 10 万门逻辑单元、8 位 VGA 端口的 Spartan 3E-100 系统板作为 FPGA 控制平台,可以满足本系统对数据处理速度以及内部资源占用量的需求。

Driver)、FIR 数字滤波器(FIR\_core)、D/A 数模转换驱动(DA\_driver)、快速傅里叶变换(FFT\_core)、VGA 显示控制(VGA\_ctrl)。电路设计如图 4 所示。

3 软件设计

3.1 软件模块组成

软件控制单元包括 A/D 模数转换驱动(AD\_

A/D 模数转换驱动(AD\_Driver)中 clk、rst、result 分别代表时钟、复位、16 bit 模数转换结果,ad\_clk、ad\_cs、ad\_data 分别连接 A/D 芯片的时钟、片选、输出。在时钟的驱动下,result 左移并接收 ad\_data,同时 4 bit 计数器记录左移次数,当计数器计满时读取 result,获得 16 bit 模数转换结果。

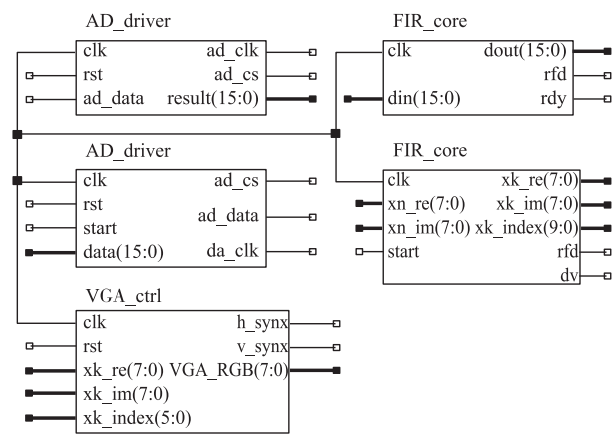


图 4 软件模块结构图

FIR 数字滤波器 (FIR\_core) 中 clk、din、dout、rfd、rdy 分别代表时钟、16 bit 输入、16 bit 输出、可以接收新数据标志和数据可以读取标志。这个模块是由 IP 核实现的, FIR 滤波器的系数文件通过 MATLAB 的 FDATOOL 工具箱生成, 通带范围为 90 Hz~1100 Hz。当 rfd 为 1 将 AD\_Driver 的 result 送至 din, 当 rdy 为 1 读取 dout 获得滤波后的数据。

D/A 数模转换驱动 (DA\_driver) 中 clk、rst、start、data 分别代表时钟、复位、模块启动、16 bit 待数模转换数据, da\_cs、da\_clk、da\_data 分别连接 D/A 芯片的片选、时钟、输入。在 start 上升沿模块开始工作, 在时钟的驱动下 data 左移依次输出最高位到 da\_data。

快速傅里叶变换 (FFT\_core) 中 clk、start、xn\_re、xn\_im、xk\_re、xk\_im、xk\_index、rfd、dv 分别代表时钟、启动、8 bit 输入数据实部、虚部、8 bit 输出数据实部、虚部、序号、可以接收新数据标志、数据可以读取标志。这个模块是由 IP 核实现的 1024 点 FFT, 当 rfd 为 1 将 FIR\_core 的 dout 高 8 位送入 xn\_re, xn\_im 始终置 0, 当 dv 为 1 读取 xk\_re, xk\_im, xk\_index。

VGA 显示控制 (VGA\_ctrl) 中 clk、rst、xk\_re、xk\_im、xk\_index、h\_sync、v\_sync、VGA\_RGB 分别代表时钟、复位、快速傅里叶变换结果实部、虚部、序号、VGA 行同步信号、场同步信号、像素 RGB 值。根据频谱显示需要的频率对应的快速傅里叶变换结果的序号, 筛选出实部、虚部经过 CORDIC 核<sup>[16]</sup>的运算得到选择频率的幅值。在时钟的驱动下, 送出显示 640×480 分辨率频谱的数据。

3.2 MATLAB 联合仿真<sup>[17]</sup>

二进制波形激励文件使用 MATLAB 生成, 为 60 Hz、800 Hz 和 1 200 Hz 的正弦合成信号。仿真输出结果写入文本文件中用以 MATLAB 处理分析。由仿真结果可知, 频域波形中 800 Hz 频率分量没有衰

减, 60 Hz 及 1 200 Hz 频率分量均有 -30 dB 以上的衰减; 时域波形中输出信号没有明显失真, 滤波器具有较好的性能。仿真效果如图 5 和图 6 所示。

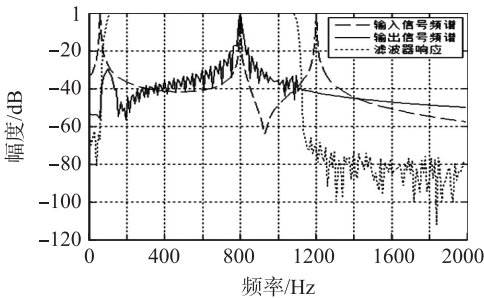


图 5 仿真前后的频域波形

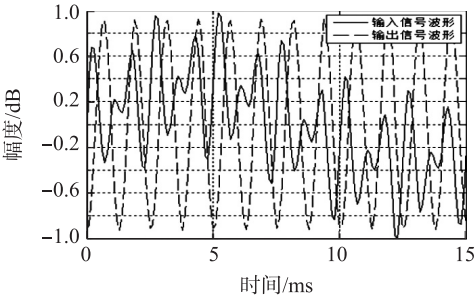


图 6 仿真前后的时域波形

3.3 系统测试数据

软硬件平台搭建并仿真完成后, 用函数发生器产生一个信号源来模拟声源, 其频率范围为 90 Hz~1.1 kHz, 峰峰值在 100 mV 左右。将该信号从三极管接收电路的下一级电路接入, 并调节至合适的放大倍数, 对电路作进一步的测评与改进。实际测试得到的数据如表 1 所示。

表 1 模拟信号源测试数据

输入数据 (100 mV)	输出数据			
	频率	峰峰值	最大值	最小值
1.2 kHz	1.2 kHz	200 mV	100 mV	-120 mV
1 kHz	1 kHz	1.72 V	900 mV	-820 mV
500 Hz	500 Hz	2.14 V	1.10 V	-1.04 V
200 Hz	200 Hz	2.36 V	1.20 V	-1.16 V
120 Hz	120 Hz	200 mV	100 mV	-120 mV
60 Hz	60 Hz	160 mV	80 mV	-100 mV

4 实验结果

以 650 nm 波长的激光作为载波光信号, 利用 XILINX 开发平台实现了自由空间音频信号传输及动态频谱显示, 实验系统如图 7 所示。图 8 为一定距离内的一个音频信号通过自由空间光通信传播后到达接收端, 在接收端进行多级模拟滤波和数字滤波后其频率分量的实时显示动态频谱图。从图中可以看到, 音频信号的频率在 90 Hz~1 100 Hz 之间。

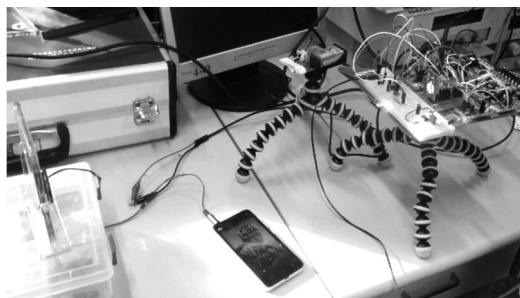


图 7 实验系统展示

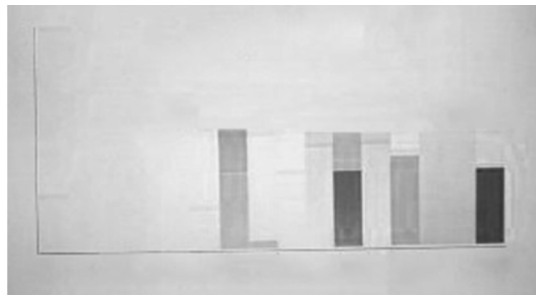


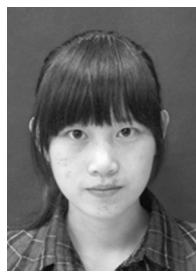
图 8 动态频谱图

由于光信号采集难度比较大,为了提高可靠度,采用光电三极管反馈电路对原采集方法进行改进,降低了环境对信号采集的影响。采用 Basys2 自带的核去设计算法,有效地节省了资源,提高了运算效率。

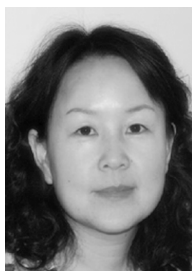
## 参考文献:

- [1] Biryuchinskiy S, Melnikov K. Extra Low Weight FSO System Aiming Laser[C]//Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops(ICUMT), 2010 International Congress on. IEEE, 2010: 803-807.
- [2] Leitgeb E, Muhammad S S, Chlestil C, et al. Reliability of FSO Links in Next Generation Optical Networks[C]//Transparent Optical Networks, 2005, Proceedings of 2005 7th International Conference. IEEE, 2005, 1: 394-401.

- [3] 王俊生,田波,崔一平. 大气激光通信技术[J]. 电子器件, 2005, 28(3): 28(1).
- [4] 陈特,刘璐,胡薇薇. 可见光通信的研究[J]. 中兴通讯技术, 2013(1): 49-52.
- [5] Perez J, Zvanovec S, Ghassemloooy Z, et al. Experimental Characterization and Mitigation of Turbulence Induced Signal Fades within an Ad Hoc FSO Network[J]. Optics Express, 2014, 22(3): 3208-3218.
- [6] Sharma V. High Speed CO-OFDM-FSO Transmission System[J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2013.
- [7] Fu W, Ma J. Implementing Dynamic Power Control in Indoor Line-of-Sight Radio Transmission at 2.45 GHz[C]//2009 International Conference on Signal Processing Systems. IEEE, 2009: 112-115.
- [8] Svedek V, Jurin G, Weber M. Increasing Availability of Broadband Access over Copper Network Infrastructure[C]//MIPRO, 2011 Proceedings of the 34th International Convention. IEEE, 2011: 407-412.
- [9] 刘扬. 中国光通信器件行业发展趋势与前景[J]. 烽火科技, 2013(1): 35-39.
- [10] Becher R, Dillinger M, Haardt M, et al. Broadband Wireless Access and Future Communication Networks[J]. Proceedings of the IEEE, 2001, 89(1): 58-75.
- [11] 赵尚弘,吴继礼,李勇军,等. 卫星激光通信现状与发展趋势[J]. 激光与光电子学进展, 2011, 48(9): 25-39.
- [12] 丁举鹏. 可见光通信室内信道建模及性能优化[D]. 北京: 北京邮电大学, 2013.
- [13] 贾方秀,丁振良,袁峰. 半导体激光器高频调制技术[J]. 激光与红外, 2008, 37(11): 1174-1177.
- [14] Ferrer J C, Garrigós A. 改进光电晶体管线性运行的反馈电路[J]. 电子设计技术, 2007(1): 114-115.
- [15] D'Amato F X, Berak J M, Shuskus A J. Fabrication and Test of an Efficient Photovoltaic Cell for Laser Optical Power Transmission[J]. Photonics Technology Letters, IEEE, 1992, 4(3): 258-260.
- [16] 杨宏,李国辉,刘立新. 基于FPGA的CORDIC算法的实现[J]. 西安邮电学院学报, 2008(1): 75-77.
- [17] 杜勇,路建功,李元洲. 数字滤波器的MATLAB与FPGA实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012: 103-153.



杨 丹(1993-),女,汉族,陕西省宝鸡市人,东南大学电子科学与工程学院本科生,213113023@seu.edu.cn;



于 虹(1966-),女,汉族,江苏省南京市人,东南大学 MEMS 教育部重点实验室教授,研究方向为微纳机电系统、光电子, h\_yu@seu.edu.cn。

基于FPGA的自由空间音频信号传输及频谱显示系统

作者：[杨丹](#)，[毛昱枫](#)，[于虹](#)，[YANG Dan](#)，[MAO Yufeng](#)，[YU Hong?](#)  
作者单位：[东南大学电子科学与工程学院, 南京, 210096](#)  
刊名：[电子器件](#)[ISTIC](#)  
英文刊名：[Chinese Journal of Electron Devices](#)  
年，卷(期)：2015 (4)

引用本文格式：[杨丹](#).[毛昱枫](#).[于虹](#).[YANG Dan](#).[MAO Yufeng](#).[YU Hong?](#) [基于FPGA的自由空间音频信号传输及频谱显示系统](#)[期刊论文]-[电子器件](#) 2015 (4)