

基于矢量图形的激光演示系统设计与实现

曾立三, 吴伶俐, 刘述钢, 刘丹, 陈蒋佳旻
(湖南科技大学物理与电子科学学院, 湖南湘潭 411201)

摘要:激光演示技术是通过改变激光束在空间行进的轨迹, 投射出各种光束、图案、文字等丰富的矢量图形, 从而形成独特的艺术效果。本文通过嵌入式系统设计实现了一种基于矢量式图形的全彩智能激光演示系统, 该系统运用三基色叠加理论实现全彩色激光表演, 具有声控、DMX控制等多种控制方式。系统控制器能快速提取、分析处理节点颜色信息和路径坐标, 并准确控制RGB激光器及高速X/Y振镜。

关键词:STM32; 激光演示; 振镜扫描; 声控

中图分类号:TP273.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2016.10.020

Design and realization of laser demonstration system based on vector graphics

ZENG Li-san, WU Ling-xi, LIU Shu-gang, LIU Dan, CHEN Jiang-jiamin

(College of Physics and Electronic Science, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Laser demonstration technology can project a variety of vector graphics including light beams, patterns and characters by changing the trajectory of laser beam in space, thus forming a unique artistic effect. A full-color intelligent laser demonstration system based on vector graphics was designed and realized on an embedded system platform. The system has multiple control methods including voice control and DMX control, and it can realize the full-color laser show through the superposition principle of three primary colors. The system controller can quickly extract and analyze node color information and route coordinates, and thus can accurately control the RGB laser and high-speed X/Y galvanometer.

Key words: STM32; laser show; galvanometer scanning; voice control

1 引言

激光演示技术是通过改变激光束在空间行进的轨迹, 投射出各种光束、图案、文字等丰富的矢量图形, 从而形成独特的艺术效果^[1]。智能激光演示设备是集激光技术、电子信息、通信技术于一体的高技术产品。激光演示具有激光水幕表演、激光音乐喷泉、激光舞台艺术、激光主题公园、激光广告等多种表现形式, 被广泛应用于商业、文化、娱乐等领域, 具有非常大的社会效益和经济效益^[2]。本文所研究

的智能激光演示系统是将红、绿、蓝三基色激光按不同比例混合形成全彩色激光束, 其行进轨迹通过设计开发出的矢量式全彩色激光演示控制软件进行高速控制, 形成激光矢量图, 最终研制出全彩色激光演示系统。

2 系统工作原理

2.1 全彩色合成原理

激光器输出的激光颜色是单色的, 但可以根据色度学中三基色混色法原理, 实现彩色激光演示。

作者简介:曾立三(1988-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为自动化控制工程, 仪器科学。E-mail:55353605@qq.com

通信作者:吴伶俐(1964-), 男, 教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向为仪器科学。E-mail:lxwu@hnust.edu.cn

收稿日期:2015-12-23

本系统全彩色的实现采用空间混色法,控制三个激光器发出不同比例的三种颜色的激光束,三色激光束经滤光和反射后投射到显示屏幕上相邻的三点,因为人眼对颜色分辨能力有限,只要这三个点足够近,便不能分辨出这三种基色,因此感觉到的是它们的混合色。下面用数学方法来准确地描述全彩色的实现。

根据国际照明委员会 1931 年制定的一个色度图^[3](如图 1 所示),用三基色的比例来描述某一颜色,可表示为:

$$C = R(R) + G(G) + B(B) \quad (1)$$

式中, C 表示某种颜色; R 、 G 、 B 表示红、绿、蓝三基色的比例系数; (R) 、 (G) 、 (B) 是三基色的单位,其中 $R + G + B = 1$ 。由色度图可以看出,每一颜色都在色度图中占有固定位置,即任何颜色都可以用三基色按不同的比例加以规定。如蓝绿色可以表示为:

$$C = 0.06(R) + 0.31(G) + 0.63(B) \quad (2)$$

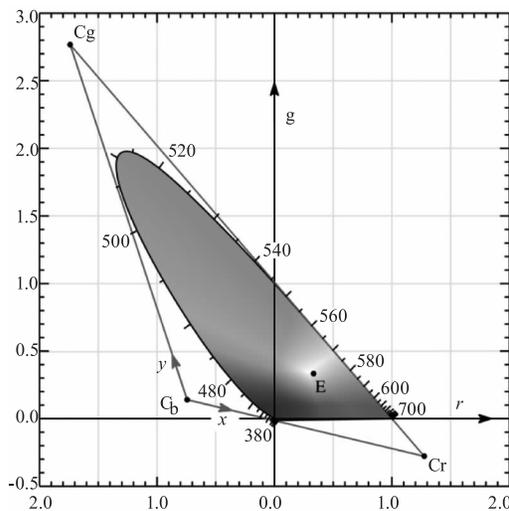


图 1 色度图

Fig. 1 Chromaticity diagram

2.2 矢量扫描原理

在激光演示系统中,对图像的扫描也就相当于对图像像点的扫描,这些像点的坐标值经过 CPU 处理和 D/A 转换后变成模拟信号来控制扫描器件的转动,而扫描器件的转动角度与图像坐标值呈一一对应关系,因此也注定激光扫描显示方式是矢量式扫描。其扫描原理如下:首先用图像处理软件得到待显示图形的轮廓线以及轮廓上的坐标点,然后利用图像转换技术将这些坐标点转换成 X 轴和 Y 轴上关于时间的电信号(扫描信号),用这些扫描信号分别驱动 X 轴和 Y 轴两个方向的扫描镜,激光束通过扫描镜的反射后,最终投向在屏幕上,即扫描信号

与外界屏幕上的图形呈一一对应关系。工作原理如图 2 所示。

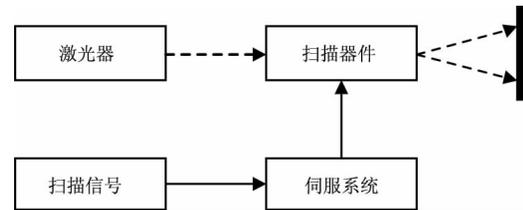


图 2 矢量式扫描原理

Fig. 2 Vector scanning principle

2.3 激光图像压缩算法

矢量图像演示是通过扫描器件来实现的,扫描速度受硬件的限制,不可能很快。而每条线路都要保证足够的扫描停留时间才能在人眼中留下较稳定的视觉效应,如果演示图像的刷新频率降低,人眼看到的图像就会有闪烁的感觉。因此,在激光图像数据生成过程中要提高刷新频率,提高刷新频率的较好办法就是压缩矢量图像的数据点。

DP 压缩算法在矢量图压缩中应用得较为广泛。DP 压缩算法表述如下:将每间隔 n 个点虚连成一条直线,求中间 n 个点到直线的距离,并找到最大距离值 d_{\max} 与阈值 ε 进行对比:如果 $d_{\max} < \varepsilon$,则把这条曲线上中间的 n 个点全部去掉;若 $d_{\max} \geq \varepsilon$,则保留 d_{\max} 对应的坐标点,再以此点为边界点,将曲线分为两部分,对这两部分重复使用上述方法,直到结束。算法实现过程如图 3 所示。

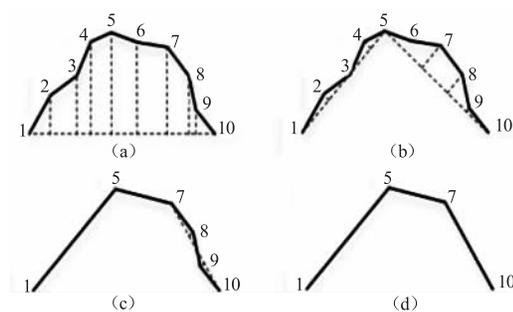


图 3 DP 算法示意图

Fig. 3 Schematic diagram of DP algorithm

图 3(a) 中首末点分别为 1、10 两点,此处假设间隔点数为 8,在 8 个间隔点中,点 5 到由 1、10 组成的直线的距离最大,并且大于给定的阈值 ε ,因此 8 个间隔点都要保留。

图 3(b) 中以点 5 为界点将原点集继续分为 (1, 2, 3, 4, 5) 和 (5, 6, 7, 8, 9, 10) 两部分继续进行 DP 压缩。点集 (1, 2, 3, 4, 5) 中,点 4 由 1、5 段组成的直线距离最大,并且小于阈值 ε ,因此 1、5 中间的所有点全部删除。点集 (5, 6, 7, 8, 9, 10) 中进行相似的操作。

作得到图 3(c),最后得到图 3(d)。

3 系统设计

系统总体设计围绕激光演示系统的功能实现和各部分的技术要求展开,并对激光演示系统的关键电路进行设计。系统总体上可以划分成硬件和软件两部分,硬件系统由高性能 ARM 处理器和外围的接口电路组成,以 ARM 为架构的嵌入式核心电路模块实现对 DMX512 控台信号和对声音信号的检测以及采集并处理 SD 卡内的图像信息后传送给 D/A 转换器,从而精确控制模拟激光器以及 X/Y 振镜。总体结构如图 4 所示。

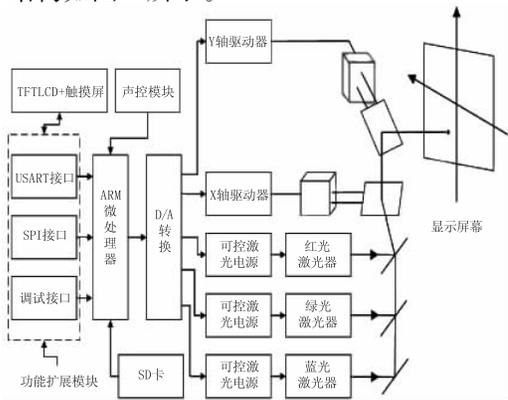


图 4 系统设计框图

Fig. 4 System design block diagram

3.1 振镜驱动电路设计

控制器只能识别二进制逻辑,其输入输出均为数字信号,而振镜的驱动信号为模拟信号,因此需要进行数模转换,将控制输出信号转换为驱动振镜的模拟信号^[4]。因此,振镜驱动模块的主要电路就是一个 D/A 转换电路,如图 5 所示,这里采用 AD7528B 芯片进行数模转换。此电路的作用就是把存储器中存储的扫描图形的规划数据,转换成一系列电压脉冲信号,经运算放大器对其进行放大处理,进而控制振镜进行相应的扫描运动。

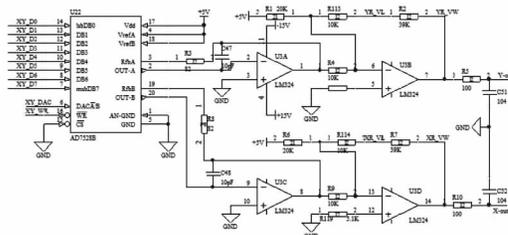


图 5 振镜驱动电路

Fig. 5 Galvanometer driver circuit

3.2 激光器驱动电路设计

本系统采用 3 个模拟激光器,根据功率的不同分别发出不同强度的红、绿、蓝三种颜色的激光,根据 3 个激光器发出的激光束的不同组合可以混合形

成任意颜色的一束激光^[5]。如图 6 所示,该图为红色激光器的驱动电路,另处两个激光器的驱动电路类似。激光器的驱动信号为模拟信号,这里将控制输出信号通过 AD7528B 芯片进行数模转换,经运算放大器对其进行放大处理,进而控制激光器发出不同功率的激光束。

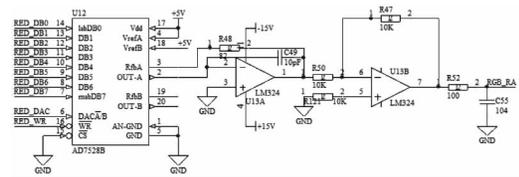


图 6 激光器驱动电路

Fig. 6 Laser driver circuit

3.3 DMX512 信号及声音信号检测电路设计

本文所设计的激光演示系统具有触摸屏控制、DMX512 控台控制模式和声控模式。DMX512 控台的控制信号检测电路如图 7 所示,DMX512 协议采用 RS485 电气标准,控制信号与 ARM 处理器通信时需要进行电平转换,图 7 中 SN75176 芯片负责这一任务,处理器对接收到 DMX512 控台的信号并对进行处理,可以使激光演示图像呈现出不同的演示效果,如旋转、放大、缩小等。图 8 为声音信号检测电路,该电路主要由一个声音检测传感器和一个放大器组成,外界的声音大小超过声音检测传感器的临界值时,声音检测传感器会输出高电平,否则输出低电平,声音信号经放大后传至处理器。

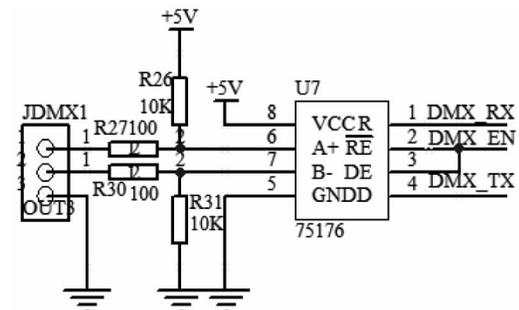


图 7 DMX512 信号检测电路

Fig. 7 DMX512 signal detection circuit

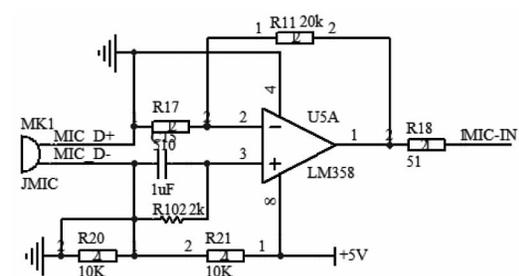


图 8 声音信号检测电路

Fig. 8 Voice signal detection circuit

4 系统软件设计

4.1 系统工作主流程

智能激光演示系统的主程序流程图如图 9 所示。

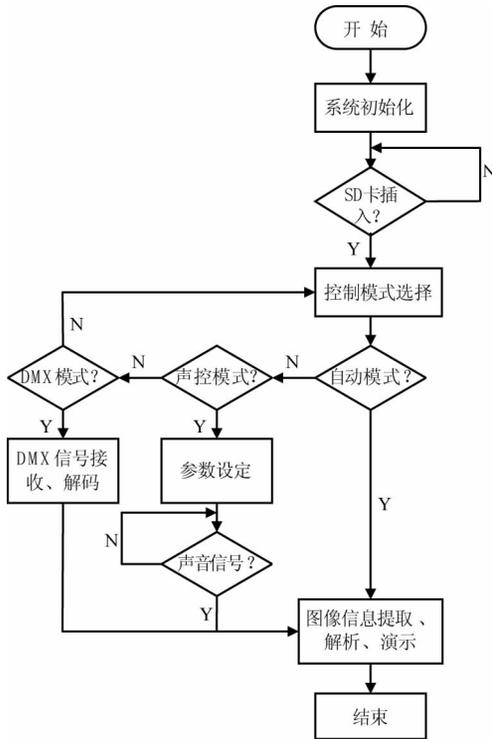


图 9 系统工作流程图

Fig. 9 System flow chart

系统的主要工作流程包括以下几个部分：

(1) 系统的各个模块初始化, 包括 SD 卡、LCD 触摸屏、DAC、IIC、SPI、USART 等。

(2) 控制模式的选择, 本系统有自动模式、声控模式和 DMX512 控台控制模式, 在系统初始化和检测已插入 SD 卡后, 系统根据不同的配置参数选择进入不同的工作模式。

(3) 对存于 SD 卡的矢量图像信息进行提取、分析, 完成矢量图形的演示。

4.2 TFT_LCD 配置端

本系统 TFT_LCD 配置端与控制芯片自带的 FSMC 接口相连接, TFT_LCD 具有如下特点: 320 × 240 的分辨率、16 位真彩显示、自带触摸屏。液晶控制器的型号为 ILI9320, 该液晶控制器自带显存大小为 240 × 320 × 18/8, 即 18 位模式下的显存量^[5]。本系统的 TFT_LCD 配置端结构如图 10 所示。其功能包括: 演示图像选取、编辑、系统设置等。

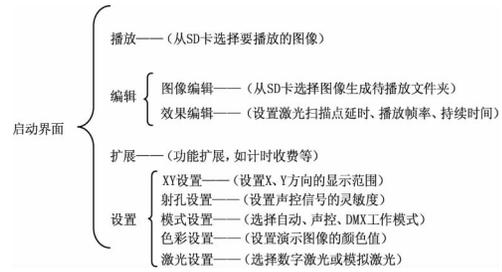


图 10 TFT_LCD 配置端结构

Fig. 10 The structure of TFT_LCD configuration terminal

5 系统测试

5.1 激光器光强与色彩测试

根据公式(1) $C = R(R) + G(G) + B(B)$ 和 $R + G + B = 1$ 可知, 如果采用的是数字激光器, 由于它只能发两种功率的激光束 (最大和零), 那么我们就可以得到 2^3 即 8 种颜色。依此类推, 如果采用模拟激光器, 将模拟激光器的功率分成 n 种, 那么我们就可以获得 n^3 种颜色。本系统采用的是模拟激光器, 由图 6 可知对激光器的控制采用的是电压控制方式, 然而激光器的输出功率与控制电压并不是线性的, 且我们设定的控制范围内这一关系也不是单调变化的。图 11、图 12、图 13 是红、绿、蓝激光器的功率随外控电压变化的曲线图^[6]。

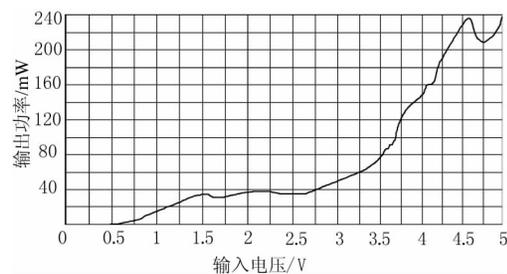


图 11 红光功率 - 电压曲线

Fig. 11 Red light power - voltage curve

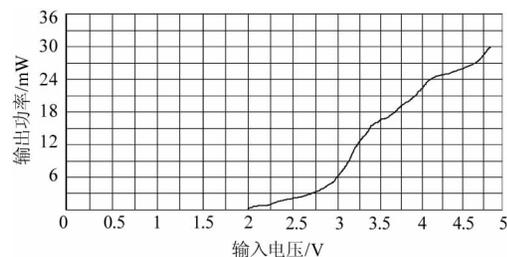


图 12 绿光功率 - 电压曲线

Fig. 12 Green light power - voltage curve

根据上述实验曲线结果以及人眼分辨的能力, 在本系统中我们把每一种基色分成 6 种不同的功率, 计算可得到 6^3 种颜色。在 5 V 的控制电压范围

内,颜色分配表如表 1 所示。

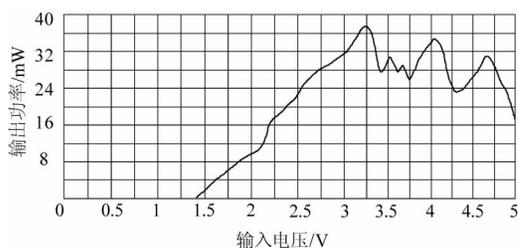


图 13 蓝光功率 - 电压曲线

Fig. 13 Blue light power-voltage curve

表 1 颜色分配表

Tab. 1 Color allocation table

颜色种类	1	2	3	4	5	6
红光功率 /mW	0 (0V)	42 (2.8V)	80 (3.5V)	130 (3.8V)	160 (4.1V)	236 (4.6V)
绿光功率 /mW	0 (0V)	5.1 (2.9V)	6.5 (3.1V)	15.4 (3.4V)	22.9 (4.0V)	30 (4.8V)
蓝光功率 /mW	0 (0V)	9.1 (1.9V)	17.6 (2.3V)	24 (2.5V)	32 (3V)	38 (3.3V)

5.2 白光合成实验

为了合成白光,需要按不同的比例叠加红光、绿光和蓝光。图 14 为白光合成光路图,图 15 为白光合成的实际效果图。参考 2.1 节的公式(1)以及实验效果,对应颜色分配表(表 1),取红光、绿光、蓝光功率分别为 236 mW、30 mW 和 38 mW 时,此时合成的白光效果比较好,如图 15 所示^[7]。

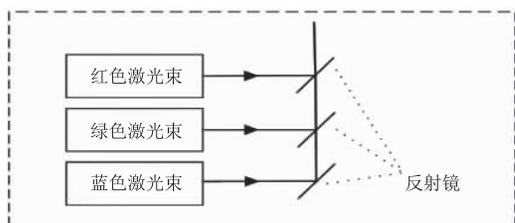


图 14 白光合成光路图

Fig. 14 White synthetic optical path diagram



图 15 白光效果图

Fig. 15 Effect picture of white light

从理论上讲,由于红光波长 650 nm 大于蓝光波长 450 nm 大于绿光波长 532 nm,因此,在相同的条件下,红光的发散角大于蓝光的发散角大于绿光的发散角,但在激光演示时,由于图形是振镜快速扫描形成,因而白光的实际效果并不受影响。

6 结语

本文采用 STM32F103 作为该系统的主控芯片,通过电源管理电路、ARM 相关电路以及重点的振镜和激光器驱动电路的设计,完成了设备的硬件平台搭建,并设计编写了图像数据的提取、处理程序和人机交互应用程序,制作出一款多功能的新型全彩色激光演示系统样机^[8]。能体现出激光具有单色性好、方向性强、亮度高、图形显示效果色彩丰富、绚丽的优点。能广泛应用于大型游乐场、舞台、户外激光表演、户外楼体激光广告、水幕激光表演等场所,具有广阔的应用前景^[9]。图 16 和图 17 分别为智能激光演示系统样机和演示效果图。

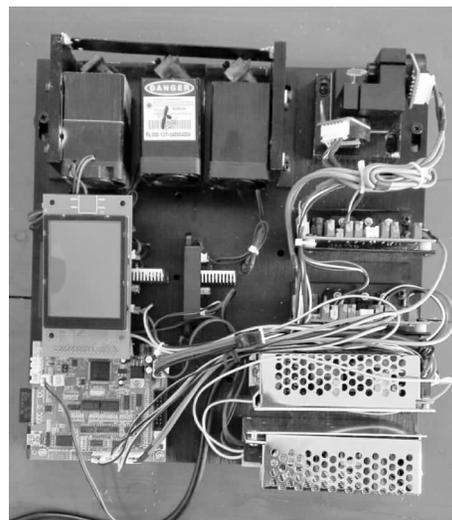


图 16 样机

Fig. 16 Prototype

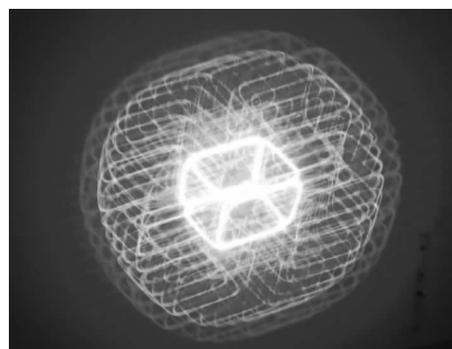


图 17 演示效果

Fig. 17 Demonstration effect

参考文献:

- [1] WU Yi. The design and realization for the software of laser displayer system [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2009. (in Chinese)
吴毅. 激光演示系统软件部分的设计与实现 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2009.
- [2] Huang Jiaoyan. Research on imagine animation display system using laser [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2010. (in Chinese)
黄娇燕. 图像激光动画显示系统研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2010.
- [3] LIN Yihong. Colorimetry ABC (continued) [J]. Electronic Publishing, 1995, (2): 53 - 55. (in Chinese)
林诒洪. 色度学 ABC (续一) [J]. 电子出版, 1995, (2): 53 - 55.
- [4] JING Feng. Research on digital galvanometer control system [D]. Xi'an: Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, 2012. (in Chinese)
井峰. 数字式振镜控制系统的研究 [D]. 西安: 西安光学精密机械研究所, 2012.
- [5] ZHANG Dongyan, WANG Rongrui. Progress on mid-infrared lasers [J]. Laser & Infrared, 2011, 41 (5): 487 - 491. (in Chinese)
张冬燕, 王戎瑞. 高功率中红外激光器的进展 [J]. 激光与红外, 2011, 41 (5): 487 - 491.
- [6] CHEN Meng. Research on all solid color laser display system [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2009. (in Chinese)
陈檬. 全固态彩色激光表演系统研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2009.
- [7] LIANG Xiaofen, QIAO Weidong, YANG Jianfeng, et al. Iterative interpolation algorithm of bayer images based on color difference space [J]. Infrared and Laser Engineering, 2014, 43 (9): 3128 - 3133. (in Chinese)
梁晓芬, 乔卫东, 杨建峰, 等. 基于色差空间的 Bayer 图像的迭代插值算法 [J]. 红外与激光工程, 2014, 43 (9): 3128 - 3133.
- [8] MAO Wei, SUI Xiubao, CHEN Qian, et al. Method of infrared image real-time display and collection based on FPGA and ARM [J]. Laser & Infrared, 2013, 43 (11): 1222 - 1228. (in Chinese)
毛伟, 隋修宝, 陈钱, 等. 基于 FPGA 和 ARM 的红外图像实时显示和采集方法 [J]. 激光与红外, 2013, 43 (11): 1222 - 1228.
- [9] CHEN Liai. Research on control section of full color laser music demo system [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2008. (in Chinese)
陈立爱. 全彩色激光音乐演示系统控制部分研究与开发 [D]. 北京: 北京工业大学, 2008.