

文章编号:1007-2780(2011)03-0358-06

显示器到投影仪颜色再现硬件系统设计

云利军¹,石俊生²,王 坤¹,余鸿飞²,张 超²

(1. 云南师范大学 信息学院,云南 昆明 650500,E-mail:yunlj@163.com;

2. 云南师范大学 颜色与图像视觉实验室,云南 昆明 650500)

摘 要: 针对投影仪与显示器显示颜色不一致的问题,提出了一种利用查找表的方式实现显示器到投影仪颜色再现的方案,并基于 FPGA 技术开发了相应的硬件系统。利用人眼视觉特性对显示器和投影仪上分别显示的几个不同色块颜色进行匹配,根据颜色再现原理计算出每帧图像所有可能像素点的对应转换值,将该值通过 USB 接口传输给颜色再现装置并存入到 FPGA 内部的 3 张查找表中。使用时,将 PC 机输出的视频信号作为地址读取查找表信息输出给投影仪显示,从而实现了从显示器到投影仪的颜色再现。经实测,验证了该方案的有效性。

关 键 词: 显示器;投影仪;颜色再现;FPGA;查找表

中图分类号: TP37 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20112603.0358

Design of Color Reproduction Hardware System from Display to Projector

YUN Li-jun¹, SHI Jun-sheng², WANG Kun¹, YU Hong-fei², ZHANG Chao²

(1. School of Information, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China, E-mail: yunlj@163.com;

2. Color & Image Vision Laboratory, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)

Abstract: For the color inconsistencies between the projector and the monitor, this paper, advanced a method of Look-up table, proposed a color reproduction conversion from the display to the projector design, and exploited the hardware system which based on the FPGA technology. Making use of the characters of human visual, we matched several different colors displayed between projector and display, each frame is calculated the corresponding conversion of all the possible of the pixel based on the color reproduction theory, then transmitted the value through the USB interface to the color reproduction device and deposited it into the three Look-up tables within the FPGA. When it used, the output video signal from the PC is as the address to read the information of the Look-up table, then weighted sum of the final output and displayed it on the projector, which enabling the color reproduction from the display to the projector. The effectiveness of the program has been verified by the test.

Key words: display; projector; color reproduction; FPGA; look-up table

1 引 言

在使用投影仪投影时,投影仪投影在屏幕上

的颜色往往和显示器显示的颜色相差很大,结果不仅造成美术上和视觉上的不舒服,更主要的是使内容不清晰,对教学或会议的效果产生了不利

收稿日期:2010-12-30; 修订日期:2011-01-31

基金项目:国家自然科学基金(No. 60963020);云南省学术带头人人才培养项目(No. 2010CI038)

作者简介:云利军(1973-),男,内蒙古呼和浩特人,博士,副教授,研究方向为嵌入式系统、视频图像处理和网络控制。

的影响。特别是在做数字图像处理时,在显示器上调好的颜色到投影仪上往往达不到应有的效果。

本文根据文献[1]提出的理论,基于 FPGA 技术利用查找表的方式设计实现了一个显示器到投影仪的颜色再现转换装置,达到了投影仪上投影的颜色和显示器上显示的颜色基本一致的目的。

2 显示器到投影仪颜色再现原理

对一些要求投影仪与显示器显示颜色一致的应用,需要实现从显示器到投影仪的颜色再现,即需要建立彩色管理系统^[2]。这时,可把显示器看作图像输入设备,把投影仪看作输出设备,这就产生了跨媒体颜色复制问题。文献[1]提出了一种利用人眼实现从显示器到投影仪颜色再现的方法,改变了传统色彩管理系统需要仪器测量的技术方法,直接采用人眼视觉匹配显示器和投影仪 6~9 块颜色的方法,通过已知和获得的显示器与投影仪特性化参数矩阵,使显示器显示颜色变换到投影仪的投影颜色,从而实现了从显示器到投影仪的颜色再现。

设显示器上显示的像素点信息为 RGB,校正后投影仪投在屏幕上的像素点信息为 R'G'B',在投影仪与显示器设置相同参考白和相同 γ 值情况下,通过显示器和投影仪的颜色特性化方程,以及 CIEXYZ 色空间色貌匹配得到 RGB 与 R'G'B'的关系如下:

$$\begin{bmatrix} (R'/255)^\gamma \\ (G'/255)^\gamma \\ (B'/255)^\gamma \end{bmatrix}_{\text{Projector}} = \mathbf{C} \times \begin{bmatrix} (R/255)^\gamma \\ (G/255)^\gamma \\ (B/255)^\gamma \end{bmatrix}_{\text{Display}} \quad (1)$$

式(1)可进一步简化为:

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix}_{\text{Projector}} = \mathbf{C} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}_{\text{Display}} \quad (2)$$

式中,C 为从显示器到投影仪颜色再现的变换矩阵,也是投影仪的颜色校正矩阵。由文献[1]提出的显示器到投影仪颜色再现方法,在显示器特性化矩阵采用默认值的条件下,通过人眼视觉匹配几块颜色可以得到 3×3 变换矩阵 C:

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} \quad (3)$$

因此,在已知显示器特性化矩阵前提下,采取人眼视觉匹配两种设备显示的几块颜色的方法,由式(2)可得到投影仪和显示器之间的变换矩阵 C。同时,通过式(2)也能由显示器的 RGB 经变换得到投影仪的校正值 R'G'B',从而达到投影仪再现显示器颜色的目的。

3 系统总体架构与设计方案

根据文献[1]提出的颜色再现原理,校正后的投影仪颜色驱动值不同于显示器颜色驱动值,而一般计算机中使用的显卡显存内容同时输出到显示器和投影仪,具有相同的颜色驱动值,因此无法通过软件直接修改显存的方式实现显示器到投影仪的颜色再现。经过多种方案的对比并优化设计,最终确定采用先进的 FPGA 技术,利用查找表的方式设计实现一个显示器到投影仪的颜色再现装置(以下简称为“颜色再现装置”),并给出了具体实施方案。

3.1 系统总体架构

图 1 给出了“颜色再现装置”的硬件连接示意图,使用时一端接 PC 机的 VGA 接口,另一端接投影仪的 VGA 视频输入口。

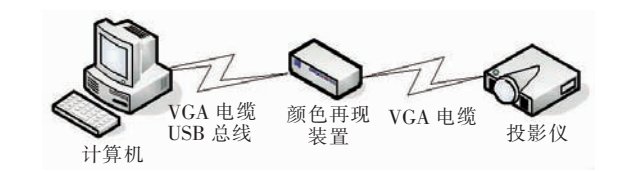


图 1 颜色再现装置连接示意图
Fig. 1 Connection diagram of color reproduction device

图 2 为“颜色再现装置”硬件系统实现的原理框图,主要包括 FPGA 主控模块、USB 通信接口模块、VGA 视频解码模块、VGA 视频编码模块几个部分。其中 FPGA 主控模块是整个系统的核心,负责各个模块的协调管理及内部数据处理;USB 通信接口模块实现“颜色再现装置”与 PC 机之间的数据通信,主要用来接收 PC 机输出的查找表信息并将其传给 FPGA 主控模块;VGA 视频解码模块用来将 PC 机输出的 VGA 模拟视频信号解码成对应的数字视频信号,并将其输入 FPGA 主控模块进行处理;VGA 视频编码模块用来将 FPGA 主控模块输出的数字 VGA 视频信号编码为对应的模拟视频信号,并将其输出给投影仪显示。

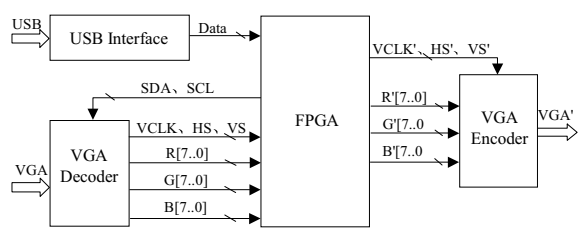


图 2 颜色再现装置硬件系统原理框图

Fig. 2 Hardware system block diagram of color reproduction device

3.2 系统设计思路及实现方式

计算机显存中图像颜色的 RGB 同时在显示器和投影仪上显示, 一般情况下两者显示颜色的视觉感觉是不同的。而要实现投影仪再现显示器颜色, 则显存 RGB 不能直接驱动投影仪, 而要变换成 $R'G'B'$ 。

基于此, 本文设计的“颜色再现装置”的基本思想是将计算量比较大的运算(矩阵变换、最小二乘法等)放在 PC 机中, 在人眼视觉匹配显示器与投影仪颜色的基础上通过计算获得所有显示器像素点 RGB 的对应转换值并形成三张查找表, 再通过 USB 通信的方式传给“颜色再现装置”。使用时, 将 PC 机输出的 VGA 视频信号经解码后变换为数字信号, 并将该数字信号作为地址去访问查找表, 取出相应的 $R'G'B'$ 值, 再经适当的变换经编码后最终输出给投影仪显示。

该“颜色再现装置”在实现时分为“校正”和“使用”两种状态, 其具体实现过程如下:

(1) 在“校正”状态下, 颜色再现装置将预先设定的 9 个色块显示在投影仪上, 同时通过 PC 机上的软件在显示器上也显示同样参数的 9 个色块, 由于此时投影仪上和显示器上显示的内容分别来源于“颜色再现装置”和 PC 机, 因此显示器上调整颜色并不会改变投影仪的显示效果。

(2) 根据人眼视觉特性, 利用软件调整显示器上的 9 个色块, 直到人眼感觉投影仪投在屏幕上的色块与显示器上显示的对应色块基本一致为止。这时, 系统会调用后台中嵌入的相关颜色再现匹配程序算出显示器到投影仪的颜色匹配变换矩阵 C 。

(3) 依据文献[1]提出的颜色再现理论, 得到颜色变换矩阵 C 后, 要进一步算出所有 VGA 视频信号像素点 RGB 的对应转换值 $R'G'B'$, 计算方法如下:

依据式(2), 可由变换矩阵 C 算出 $R'G'B'$, 这里由于在整个系统实现过程中还需要有一个求和的过程, 即并不是直接将变换后的 $R'G'B'$ 值输出给投影仪显示, 因此为了不至于混淆, 设变换后的中间值为 $R''G''B''$, 而将 $R'G'B'$ 作为最终输出给投影仪的值, 这样式(2)可表示为:

$$\begin{bmatrix} R'' \\ G'' \\ B'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

由式(4)运算后可得到 3 张相应的查找表, 其运算规则为:

第一个查找表计算时通道 G 和通道 B 都为 0, 通道 R 从 0 依次变化到 255, 这样运算得到 256 个数据为第一个查找表。计算第二个查找表时通道 R 和通道 B 为 0, 通道 G 从 0 依次变化到 255, 依次类推, 可得到对应于 3 个颜色通道的查找表, 每个查找表有 256 个单元, 每个单元分别存储着变换后的 3 个通道的数据。

(4) PC 机通过 USB 通信接口将 3 张查找表发给“颜色再现装置”并存入 FPGA 内部存储器中(无外部存储器)。

(5) “颜色再现装置”在接收到 PC 机传来的查找表信息后, 其通道选择模块将系统切换到“使用”状态, 同时 PC 机输出的 VGA 模拟视频信号经解码模块解码后变为相应的 VGA 数字视频信号, 将该数字视频信号作为地址信号读取 FPGA 内部的查找表, 将读取出的数据经求和模块运算后再传输给编码模块变为相应的模拟 VGA 视频信号, 并最终输出给投影仪显示在屏幕上。

4 颜色再现转换硬件系统实现

在硬件系统设计方面, 主要涉及到主控芯片 FPGA 的设计、VGA 视频解码器的设计、VGA 视频编码器的设计、USB 通信接口的设计以及供电模块、时钟模块、JTAG 调试与配置模块的设计等。其中, 主控芯片选择的是 144 引脚 TQFP 封装的 Cyclone 系列芯片 EP1C6T144, 其内部资源即可实现查找表的存储, 而无需外扩存储器; VGA 解码器选择的是 AD 公司的 AD9883 专用视频解码芯片; VGA 视频编码器选择的是 AD 公司的专用视频编码芯片 AD7125; USB 通信接口芯片选择的是目前比较流行的 Cypress 公司的 EZ-USB FX2 系列芯片中的 CY7C68013。

4.1 FPGA 主控芯片设计

根据前面的设计方案和思路,为了实现本系统所提出的功能,在 FPGA 主控模块的内部根据功能的不同又进一步划分为几个部分,分别为 USB 接口模块、查找表模块、求和模块、颜色块产生模块和通道选择模块,各模块之间相互配合共同完成整个系统的功能,其内部模块结构框图如图 3 所示。

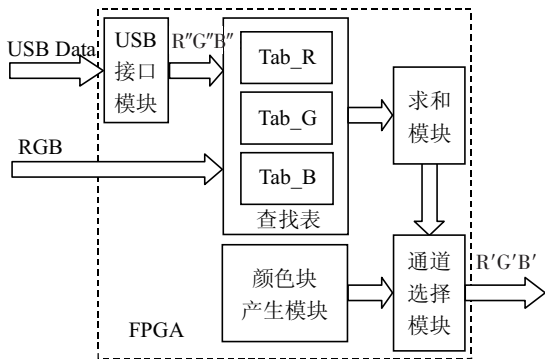


图 3 FPGA 内部模块结构框图

Fig. 3 Structure diagram of FPGA module

其中,USB 接口模块主要是接收 PC 机传来的相关数据并将其存入查找表模块中;查找表模块用来存储 VGA 视频信号所有像素点经转换后的 $R'G'B'$ 值;求和模块用来对查找表中读取出的数据做求和运算;颜色块产生模块用来产生与显示器上相对应的 9 个色块;通道选择模块用来选择是将内部产生的 9 个色块送投影仪显示,还是将查找表中读取出的数据经求和模块运算后的数据送投影仪显示。

4.2 VGA 视频输入接口设计

由于 PC 机 VGA 接口提供的是模拟视频信号,故必须通过一个 A/D 转换器将其转换成对应的数字信号才能送入 FPGA 内部进行相应的处理。本系统中 A/D 转换器采用的是 AD 公司专用的 VGA 视频解码芯片 AD9883A。AD9883A 是 AD 公司平板显示器接口系列中的一款 A/D 转换芯片,能对 PC 机显卡输出的模拟 RGB 信号进行高速 8 位 A/D 转换,作为视频接口广泛应用于 PDP、LCD、LED 等多种平板显示场合。AD9883A 采用高速 CMOS 工艺,3.3 V 电压供电,80 脚 LQFP 表面贴装,最高支持对 1280×1024 分辨率的视频图像转换,是智能型视频信号专用接口芯片,其主要特性如下^[3]：

- 110 MSPS 最大转换速率;
- 300 MHz 模拟带宽;
- 同步信号检测支持热插拔;
- 功耗低,额定功耗 500 mW;
- 支持多种同步信号输入方式;
- 通过 I²C 总线完全可编程;
- 支持 RGB 三路同时转换。

4.3 VGA 视频输出接口设计

经过 FPGA 处理后输出的 RGB 信号为 24 bit 三通道数字视频信号,必须经过 D/A 转换变为标准的 RGB 模拟信号才能由 VGA 接口提供给显示器或投影仪使用,本设计中采用的 D/A 转换器是由 AD 公司生产的专用 VGA 视频编码芯片 ADV7125。ADV7125 是一款单芯片、三通道、高速数模转换器,内置 3 个高速、8 位、带互补输出的视频 DAC、一个标准 TTL 输入接口,输入阻抗高,模拟视频输出,主要针对高速色彩图形和视频系统领域。ADV7125 的主要特性如下^[4-5]：

- 3 个 8 位 D/A 转换通道;
- 330 MSPS 最大转换速率;
- RS-343A/RS-170 兼容输出;
- 低功耗,最低至 30 mW;
- 48 引脚 LQFP 封装。

4.4 USB 通信接口设计

USB 接口是一种通用的高速串行接口,由于其具有传输速度快、支持热插拔、扩展性强等诸多优点,从而使得 USB 接口得到了广泛的应用,目前已成为各种 PC 机标准外设和手持终端等需要进行图像、视频信号采集等大批量数据传输设备的必备接口。

在本系统中,PC 机和“颜色再现装置”之间的数据通信采用的就是 USB 通信方式,主要实现将 PC 机传来的串行数字信号转换成并行数据提供给主控芯片 FPGA 进行处理。其中,USB 接口芯片选择的是 CY7C68013,该芯片是 Cypress 公司推出的 USB2.0 集成微处理芯片,片上集成了 USB2.0 收发器、SIE(串行接口引擎)、增强的 8051 微控制器和可编程的外围接口(包括片上 RAM、FIFO 存储器及通用可编程接口 GPIF),从而为用户提供了一个高效的 USB2.0 解决方案,可提供高达 480 Mbit/s 的传输率。另外,该芯片内部还集成了 PLL,最高可使 51 内核工作在 48 MHz;片内拥有 8 kB 的 RAM,可完全满足系统每次传输

数据的需要,无需再外接 RAM。其系统框图如图 4 所示。CY7C68013 具有如下特点^[6]:

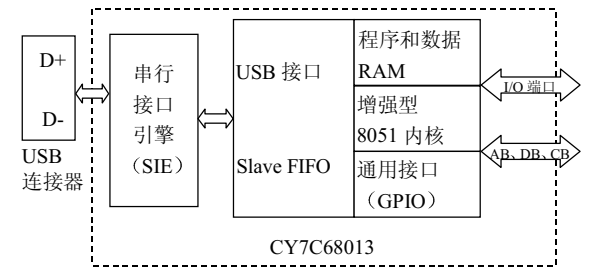


图 4 CY7C68013 接口芯片内部结构
Fig. 4 Internal structure of CY7C68013

- 在单芯片中集成了 USB2.0 收发器、SIE 和增强的 8051 微处理器;
- 软件:8051 程序从内部 RAM 运行,程序可以通过 USB 总线下载,或者从 EEPROM 中装载,也可以使用外部存储设备;
- 通用可编程接口 (GPIF),可以同大多数 8 位或 16 位并行接口直接连接;
- 8051 可工作在 48,24,12 MHz 的 3 种时钟频率;
- 4 个集成 FIFO,可以同 16 位总线进行自动转换,可工作在主/从模式,FIFO 可使用外部提供的时钟或异步选通信号;
- 可编程缓冲区 (Buffer) 深度,采用不同的配置方式,实现特定带宽、速率要求的数据传输。

4.5 供电模块的设计

在全面分析系统各模块供电电压及功耗的基础上,考虑到系统中设计有 USB 通信接口,为了降低芯片功耗和节约成本,在本设计中,采用 USB 直接供电的方式,可由 PC 机的 USB 接口提供 5 V、500 mA 的直流电源进行供电;同时也设计了耳机式电源接口,可用外部 5 V 的 AC/DC 电源适配器进行供电;另外还设置了插针式电源接口,可直接通过外部 5 V 引线向系统供电,非常灵活。

本系统中,FPGA 主控芯片 EP1C6T144 的工作电压为 3.3 V 和 1.5 V。其中,1.5 V 是该器件的内核供电电压,包括 CPU 和所有的外设逻辑。外部 I/O 仍然采用常规的 3.3 V 电压,这样可以直接与外部低压器件接口。系统中编码器、解码器及 USB 通信接口等器件的供电电压都为 3.3 V。因此系统中供电模块的设计只需要考虑这两种电压。考

虑到供电电压的稳定性和输出功率,本系统中选择 DC-DC 模块 LD1085D2T15R 为 EP1C6T144 内核供电,DC-DC 模块 LD1085D2T-33R 为 EP1C6-T144 的 I/O 及外围芯片供电^[7]。

5 系统测试与分析

图 5 为设计的显示器到投影仪颜色再现装置及颜色匹配界面,其中左图为 PC 机上软件产生的 9 个色块,右图为“颜色再现装置”独立产生的具有相同参数的 9 个色块(这里为了实验和显示方便使用显示器来代替投影仪)。依据人眼视觉特性,通过屏幕左侧的滑动块调整显示器上每个色块的参数,直到认为该色块的颜色和投影仪投在屏幕上的对应色块的颜色一致为止。匹配完毕即可进入使用状态,图 6 给出了经校正后实际输出的显示效果图,其中左图为在显示器上显示的图像,右图为经过“颜色再现装置”实施颜色再现后输出给投影仪的图像。从简单的视觉评价来看,“再现”后的图像比“直接显示”效果有明显的改进。

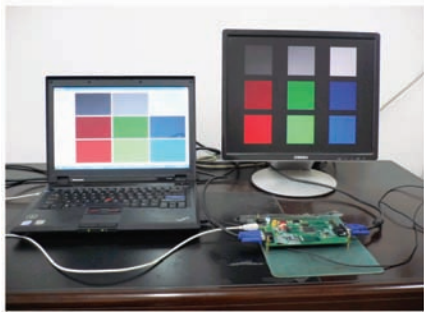


图 5 显示器到投影仪颜色匹配界面
Fig. 5 Match color interface from display to projector

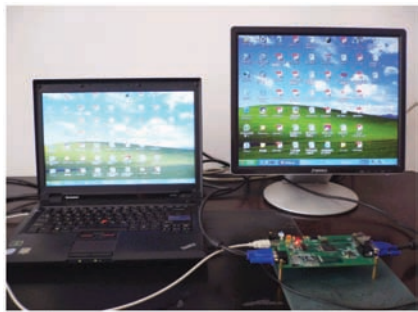


图 6 校正后实际输出的显示界面
Fig. 6 Display interface after color correction

6 结 论

在人眼视觉匹配显示器与投影仪几块颜色的

基础上,基于先进的 FPGA 技术,利用查找表的方式设计开发了一个显示器到投影仪的颜色再现转换装置并给出了详细的设计方案,从而实现了投影仪投影在屏幕上的图像颜色与显示器上显示

的图像颜色基本一致的目的。该装置具有无需外扩存储器、成本低、操作简单、计算量小、实时性高等优点,具有非常高的实用价值,特别适合于对显示效果要求较高的场合。

参 考 文 献:

[1] Han WeiJun, Shi Junsheng, He Ping,*et al.* Color reproduction from desktop display to projector based on visual matching[J]. *Chinese Optics Letters*, 2009, 7(8):748-752.

[2] Tastl I, Bhachech M, Moroney N,*et al.* ICC Color Management and CIECAM02[R]. Palo Alto, CA/USA:Hewlett-Packard Laboratories, 2005.

[3] Analog Devices Inc. AD9883 datasheet[R]. Massachusetts, USA:Analog Dences Inc. ,2001.

[4] Analog Devices Inc. ADV7125 datasheet[R]. Massachusetts, USA:Analog Dences Inc. ,2002.

[5] 邓春健,王琦,徐秀知,等. 基于 FPGA 和 ADV7123 的 VGA 显示接口的设计和应用[J]. 电子器件, 2006, 29(4):1325-1328.

[6] Cypress Semiconductor Corp. EZ-USB FX2 technical reference manual[R]. California,USA:Cypress Semiconductor Corp. ,2001.

[7] STMicroelectronics. LD1085 datasheet[R]. Italy:STMicroelectronics,2005.