

# 基于 TMS320C6416 的色域扩展方法

A color range expansion method based on TMS320C6416

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所;2.北京中国科学院研究生院)韩秋蕾<sup>1,2</sup> 刘伟奇<sup>1</sup> 朱明<sup>1</sup>

HAN QIULEI LIU WEIQI ZHU MING

**摘要:** 由于激光电视覆盖的颜色区域是传统电视的颜色区域 1.98 倍,所以在激光电视等领域中需要一种转换系统快速完成荧光色域到激光色域的颜色扩展。本文给出了三组不同波长激光的色域扩展矩阵,在基于 TMS320C6416 的图像处理平台上实现了色域的转换,并且利用多种加速算法,加快了处理速度。实验结果表明,本文的方法有效地扩展了激光电视的颜色区域,降低了图像的饱和度。

**关键词:** 激光电视;色域扩展;TMS320C6416

**中图分类号:** TP139.4 **文献标识码:** B

**Abstract:** The color range of laser TV is 1.98 times larger than the range of traditional TV, so in the domain of laser TV and some others, the expansion from phosphor color range to laser color range is urgently to be established. This paper presents three transformation matrixes of different wavelength lasers, and accomplishes the conversion between the phosphor tricolors to the laser tricolors on the image processing hardware platform of TMS320C6416. By using some acceleration algorithms, the transformation is speeded up. The experiments results show the method is effective to expand the color range of the laser TV. The saturation of the images is reduced. The method has its practical feasibility.

**Keywords:** laser TV, color range expansion, TMS320C6416

激光电视与传统电视的主要区别是产生视频图像三基色的方式不同。传统电视是通过调制电子束轰击荧光粉三基色发光形成图像,而激光电视是通过调制三基色激光束强度形成图像。因此,两个系统的色域不同,视频调制信号也应有所不同。

因此在激光电视等领域中迫切需要一种完成荧光色域到激光色域快速转换的系统。

本文利用 TI 公司推出的最高性能的 C6000 定点数字信号处理器(DSP)TMS320C6416 在 DAM6416P 处理平台上实现了从荧光色域到激光色域的转换。

## 1 激光电视的原理及其特点

激光电视是利用半导体泵浦全固态激光器产生红、绿、蓝三种波长的连续激光作为彩色激光电视的光源,通过电视信号控制三基色激光扫描图像。

激光电视具有如下特点:

(1)激光的色饱和度为 100%,其色彩效果是其它显示无法比拟的。它的色度三角形是 CRT 的 1.98 倍。可以显示最为饱和的色彩。

(2)激光电视较等离子体电视工艺简单,亮度比大屏幕液晶电视高。

(3)激光可以投射到各种材料表面,甚至是弯曲表面。激光电视可以发展成为超大屏幕电视、电影和投影一体化多功能产品。

(4)激光电视适应目前使用的所有电视标准,即 PAL 制、NC 制、SECAM 制 VGA 或高清晰度电视。

## 2 激光电视的色域转换

不同波长的激光,从荧光色域到激光色域的色域转换矩阵如下:

(1)三基色波长为 473nm, 532nm, 660nm 激光的转换矩阵:

$$\begin{pmatrix} R_L \\ G_L \\ B_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.6280 & 0.2929 & 0.0774 \\ 0.1021 & 0.9483 & -0.05 \\ 0.0164 & 0.0975 & 0.8869 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_e \\ G_e \\ B_e \end{pmatrix}$$

(2)三基色波长为 460nm, 532nm, 660nm 激光的转换矩阵:

$$\begin{pmatrix} R_L \\ G_L \\ B_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.6772 & 0.3086 & 0.0124 \\ 0.0932 & 0.8601 & 0.0472 \\ 0.0164 & 0.0975 & 0.8869 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_e \\ G_e \\ B_e \end{pmatrix}$$

(3)三基色波长为 473nm, 532nm, 671nm 激光的转换矩阵:

$$\begin{pmatrix} R_L \\ G_L \\ B_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.6280 & 0.2929 & 0.0774 \\ 0.1044 & 0.9454 & -0.0495 \\ 0.0163 & 0.0974 & 0.8870 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_e \\ G_e \\ B_e \end{pmatrix}$$

其中, $R_e, G_e, B_e$  分别是色域转换之前的彩色 RGB 分量,而  $R_L, G_L, B_L$  分别是色域转换之后的彩色 RGB 分量。

## 3 DAM6416P 处理平台

3.1 TMS320C64x 介绍

TMS320C64x 是 TI 公司推出的最高性能 C6000 定点数字信号处理器(DSP),它的时钟频率将达到 1GHz 或更高,能够以 8800MIPS (每秒百万条指令)或将近每秒 90 亿条指令速度处理信息。

3.2 DAM6416P 平台

DAM6416P 是闻亭公司推出的基于 TI 公司的 TMS320C64x 系列 DSP 芯片的实时视频和音频处理平台。DAM6416 的 DSPs 芯片为 TMS6416。

韩秋蕾:博士研究生

在本系统中,DSP 的工作时钟为 600MHz, 由于视频 FIFO 的限制, 外部寄存器接口的时钟是 100MHz。板上 DSP 的计算能力可达到 4 Gips, 可以做实时的视频和音频的采集、压缩和播放, 或其它高速的 DSP 应用。此板卡支持复合视频(PAL 和 NTSC 制式)和 S 端子的输入和输出。可单独在计算机显示器上输出 SVGA 格式的图像。支持 JPEG, JPEG2000 图像压缩和 MPEG2, MPEG4, H263 等视频流压缩。工作方式可以是 PCI 方式也可以是独立工作方式。对外通信接口有两个高速同步口, 一个 UTOPIA 接口, 一个 RS232 接口和一个 RS422 接口。

在本设计中, 视频数据流有两个方向, 一个是视频输入、一个是视频输出。视频信号经过解码芯片 BT835 后, 由模拟信号变成 16bit 的数字信号, 此信号经由 FPGA 送给 16K×16bit 的 FIFO 缓存, 最后被 TMS320C6416 从 EMIFB 的 CE2 空间读入。在 TMS320C6416 内部完成色域转换处理后, 数据再经由另一路 16K×16bit 的 FIFO 输出给 FPGA, 再由 FPGA 将此数据送给视频编码芯片 BT864, 最终将处理后的数字信号再次转化为标准模拟信号输出显示。

## 4 实验结果

### 4.1 仿真实验结果

根据 2 节中列举的不同波长的激光的色域转换矩阵, 利用 Matlab7.0 做了以下算法仿真实验, 实验结果如图 1。图 1(1)是原始图像, 1(2)是利用一组激光色域转换矩阵处理后的图像。

为了验证实验的效果, 我们将原始图像从 RGB 空间转换到 HSV 空间, 利用 HSV 空间良好的色度、饱和度和亮度的分离性来验证色域转换对图像色度、饱和度和亮度的影响。

图 2(1)是图 1(1)的 H 分量图, 图 2(2)是图 1(2)的 H 分量图。从图中可以看出, 色域转换过程对图像的 H 分量即色度分量进行了一定程度的扩展。

图 3(1)是图 1(1)的 S 分量图, 图 3(2)是图 1(2)的 S 分量图。从图中可以看出, 色域转换对图像的 S 分量即饱和度分量进行了较大的改变, 减小了原图的饱和度。由于激光的饱和度较高, 这一处理有助于激光电视更为自然清晰地显示图像。



(a)原始图像 (b)色域转换后图像

图 1 色域转换的实验结果



(a)原始图像的 H 分量图 (b)色域转换后图像的 H 分量图

图 2 H 分量图



(a)原始图像的 S 分量图 (b)色域转换后图像的 S 分量图

图 3 S 分量图

### 4.2 基于 DAM6416 图像处理硬件平台的实验

视频信号的处理步骤如下:

(1) PAL 制视频信号输入。

(2) 视频信号经过 DAM6416 板卡的解码芯片 BT835 由模拟信号变成 16 位的  $Y_CbCr$  的数字信号。BT835 输出的是 4:2:2 的  $Y_CbCr$  格式图像数据, 如表 1 所示。

表 1  $Y_CbCr$  格式

16 位地址	D15-8 (高 8 位)	D7-0 (低 8 位)
0	Y0	Cb0
1	Y1	Cr0
2	Y2	Cb2
3	Y3	Cr2

(3) 将 16bit 的  $Y_CbCr$  数字信号按照下式转换成 RGB 信号。

$$[1.1644 \ 0.0000 \ 1.5960] \times [Y \ -16] = [R']$$

$$[1.1644 \ -0.3918 \ -0.8130] \times [Cb-128] = [G']$$

$$[1.1644 \ 2.0172 \ 0.0000] \times [Cr-128] = [B']$$

(4) 根据 2 节中的荧光色域到激光色域的转换矩阵完成从  $R_G B_G$  到  $R_L G_L B_L$  的转换。

(5) 将  $R_L G_L B_L$  转换成 16bit 的  $Y_CbCr$  数字信号。

(6) 视频编码芯片 BT864 将处理后的  $Y_CbCr$  数字信号再次转化为标准模拟信号输出显示。

本文主要采用以下几种算法对 720×576 和 352×288 大小的标准模拟视频进行实验, 测得的实验结果如表 2 所示。同时使用 Q13 和 O3 编译方法加速可以达到 37.7ms/帧, 满足每秒 25 帧的实时显示的要求。

表 2 色域转换速度实验

加速算法	352×288	720×576
单纯使用 Q13 格式加速	54.3 (ms)	88.5 (ms)
同时使用 Q13 和 O3 编译方法加速	23.0 (ms)	37.7 (ms)

表 2 中的 Q13 格式是一种表示小数的方法。设以  $q$  代表所定义的 Q 格式值, 则定点数  $X_q$  与实际小数  $x$  之间的转换关系为:

$$X_q = \text{int}(x \cdot 2^q)$$

$$x = X_q \cdot 2^{-q}$$

表 2 中的 O3 是用于性能优化的编译器选项。O3 表示程序到最高程度的优化, 编译器将执行各种优化循环的方法, 如软件流水, 循环展开和单数据多数据流等。

## 5 结论

本文给出了三组不同波长激光的色域转换矩阵, 在基于 TMS320C6416 的图像处理平台上实现了色域的转换, 并且利用多种加速算法, 加快了处理速度。实验结果表明, 本文的方法有效地扩展了激光电视的颜色区域, 降低了图像的饱和度, 可以有效地解决激光电视中的色域转换问题。

创新点: 本文作者创新点为在基于 TMS320C6416 的处理平台上快速完成了荧光色域到激光色域的颜色转换, 并且利用多种加速算法, 加快了处理速度。

参考文献:

- [1] 葛真如, 电视原理, 北京: 中国广播电视出版社, 1995.
- [2] Texas Instruments, TMS320C6414, TMS320C6415, and TMS320C6416 FIXED-POINT DIGITAL (下转第 225 页)



断。中断程序通过修改 USB 中断标志记录中断类型,并对复位和数据请求进行处理,从而在最短时间内获取主机发送的数据。标准请求的处理需要较长时间,并且会被反复多次执行。然而标准请求大多发生在主机启动或者连接刚刚建立时,此时对通信的实时性要求较低,故将其放在程序的主循环中执行。

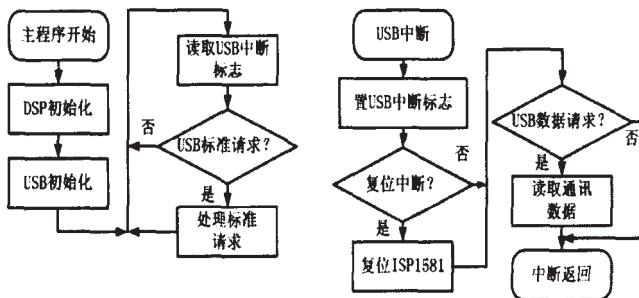


图4 USB通信协议的实现

#### 4.2 控制程序整体流程

作为实时系统的控制程序,需要对多个不同时间尺度,不同实时性要求的进程进行调度和处理。一个合理的调度结构和优先级顺序对于系统的稳定性和实时性是至关重要的。针对本例中的应用,控制程序采用基于优先级的中断调度结构,中断的优先级顺序如表1所示,序号越小表明中断优先级越高。

表1 控制程序中中断优先级

序号	进程/中断源	功能描述
1	功率保护中断	封锁所有控制输出,关闭功率器件
2	PWM载波中断	读取码盘反馈数据,执行控制算法
3	T2定时器中断	数据采集、主机通讯、人机界面等
4	捕获中断	实现正交编码的16位软件计数器
5	USB中断	处理USB主机的各类请求
6	主循环	程序、硬件初始化,处理USB请求

实际测试中,USB接口可方便地与主机建立可靠连接。实验使用了批量传输模式对USB接口的传输速率进行测试,下行(主机到控制板)速率最高达到13.9Mbps,上行(控制板到主机)速率最高达到10.4Mbps,完全可以满足系统与主机之间数据交互的需要,保证了通信的实时性。整个运动及控制系统工作稳定可靠,运转灵活,可以实现平面上三个自由度的任意控制。机器人可以完成平面上任意方向的平移和旋转而无需预先调整角度,直线运行的最高速度可达3m/s。本运动控制系统作为移动机器人的一个重要组成部分,计划于今年6月参加在德国举办的“机器人世界杯”的中型组比赛。

## 5 结语

将广泛用于办公、娱乐设备的USB2.0接口应用于运动伺服控制系统,很好的解决了传统工业伺服板体积大、功耗高的缺点。其在RoboCup中型组轮式移动机器人上的应用,说明系统结构稳定可靠,具有很强的适用性和通讯能力,符合实时控制系统的要求。同时,本系统以通用、灵活的接口电路和高速的通讯端口,又可用于一般的工业伺服控制,具有广阔的应用前景。

本文作者创新点:将广泛用于办公、娱乐设备的通用串行总线(USB),应用于移动机器人的控制系统,在保证响应速度

和控制精度的同时,很好地解决了传统工业伺服板体积大、功耗高的缺点。此外,使用CPLD实现了四组正交编码的并行解码,使单个DSP即可对4台电机进行反馈控制,并极大简化了周边电路。

#### 参考文献:

- [1]Universal Serial Bus Specification Revision 2.0[S], <http://www.usb.org/>.
  - [2]刘和平,TMS320LF240x DSP结构、原理及应用[M],北京航空航天大学出版社,2002.4.
  - [3]张建鹏,基于ISP1581型接口电路的USB2.0接口设计[J],国外电子元器件,2005.9.
  - [4]王志强,孙书鹰.USB设备驱动程序开发技术研究[J].微计算机信息,2006.2.
  - [5]张翮,熊蓉,一种全方位移动机器人的运动分析与控制实现[J],浙江大学学报,2004.12.
- 作者简介:杨文利,1982年生,男,汉;清华大学控制科学与工程专业硕士研究生;研究方向:移动机器人运动控制系统,Email: yangwenli00@mails.tsinghua.edu.cn;杨耕,1957年生,男,汉;清华大学自动化系教授,IEEE高级会员;主要研究方向:运动控制系统,电力电子系统,Email: yanggeng@tsinghua.edu.cn. Biography: Yang Wenli (1982-), Male, Master student of Control Science and Engineering at Tsinghua University. Research Area: Motion control system for mobile robots. (100084 北京清华大学自动化系)杨文利 杨耕 赵明国 (Department of Automation, Tsinghua University, Beijing, 100084, China) Yang Wenli Yang Geng Zhao Mingguo 通讯地址: (100084 北京市清华大学中央主楼716)杨文利 (收稿日期:2006.12.17)(修稿日期:2007.1.15)

(上接第170页)

- SIGNAL PROCESSOR[M]. 2003.3(SPRS146G).
- [3]李方慧,王飞等.20C6000系列DSPs原理与应用(第2版)[M].北京:电子工业出版社,2003.1.
  - [4]闻亭科技发展有限公司.DAM6416P图像处理平台软件开发指南,2003.9.
  - [5]于帅珍,沈建国.基于小波域的自适应彩色图像双重水印算法[J].微计算机信息,2006.1-1.
- 作者简介:韩秋蕾(1978.9-),女,吉林长春人,博士研究生,主要研究方向为数字图像处理、模式识别等。 (130033 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所)韩秋蕾 刘伟奇 朱明 (100039 北京中国科学院研究生院)韩秋蕾 (Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China) Han Qiulei Liu Weiqi Zhu Ming (Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China) Han Qiulei 通讯地址: (130033 吉林省长春市东南湖大路16号长春光学精密机械与物理研究所图像处理室)韩秋蕾 (收稿日期:2006.12.17)(修稿日期:2007.1.15)