

文章编号:1007-2780(2010)02-0245-05

# 基于 DSP 的 LCoS 嵌入式图像投影接口设计

何 进<sup>1,2</sup>,程亚奇<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 微电子研究所,北京 100029,E-mail:hejin@ime.ac.cn; 2. 中国科学院 研究生院,北京 100190)

**摘 要:**采用 ADSP-BF561 实现嵌入式系统 LCoS 投影显示系统接口,该设计方案不需要电平转换和串并转换,重点分析了使用该 DSP 对图像的输出控制,对图像数据进行了色彩空间转换和梯形校正。在色彩空间转换中,采用色彩空间转换公式将 YUV 空间图像数据转换为 RGB 空间图像数据;在梯形校正中,将所得到的 RGB 图像数据进行插值运算后再进行梯形转换,并将得到的梯形图形与原图形进行了对比。本设计实现简单,可以得到在时间资源和空间资源上均达到要求、分辨率为 QVGA 的投影图像,具有可编程图像处理、可扩展和低功耗的特点。

**关 键 词:** LCoS;ADSP-BF561;色彩空间转换;梯形校正

**中图分类号:** TN27      **文献标识码:** A

## Embedded LCoS Image Projection Display Interface Based on DSP

HE Jin<sup>1,2</sup>, CHENG Chip<sup>1</sup>

(1. Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China, E-mail: hejin@ime.ac.cn;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** ADSP-BF561 was used to implement the embedded LCoS(Liquid Crystal on Silicon) image projection display interface. The framework of the interface was proposed, and level switch and serial-to-parallel were avoided. This paper emphasized on the controlling of the image outputs, and the processing of color conversions and trapezoid correction of image data by DSP. In color conversions, image data in YUV color space was converted to image data in RGB color space by color conversion equations. In trapezoid correction, the obtained RGB data was calculated by trapezoid transforming after image interpolation, and made the contrast of the trapezoid image with the source image. The design was programmable, extensible, and low-powered. It was implemented in a simply way. A QVGA projecting image was obtained, and the time and space resources met the requirements.

**Key words:** LCoS; ADSP-BF561; color conversions; trapezoid correction

## 1 引 言

硅基液晶显示器(Liquid Crystal on Silicon, LCoS)是一类新型反射式显示器,它基于常规 CMOS 硅加工工艺的液晶平板反射式显示技术,将 CMOS 技术和液晶显示技术结合起来,具有投

资低、制作成本低、分辨能力高及开口率高等优点<sup>[1,2]</sup>。对 LCoS 显示控制一般可以采用 FPGA、ASIC<sup>[3-5]</sup>、单片机<sup>[6]</sup>和 DSP 等方式。较前几种方式而言,DSP 同时具有可编程性和强大的信号处理能力,能让 LCoS 的显示在不同场合适应不同的要求。

收稿日期:2009-08-23; 修订日期:2009-09-04

基金项目:中国科学院广东省合作重点项目(No. 00617911220825071)

作者简介:何进(1985—),男,湖北荆州人,硕士研究生,研究方向为数字信号处理器、集成电路设计。

Blackfin 系列 DSP 采用微信号结构,既具有 DSP 信号处理能力强的特点,又具有嵌入式微处理器易于控制的优点。ADSP-BF561 是其中较为高档的一款,具有 2 个对称的 600 MHz 高性能 Blackfin 内核,328 kB 片内存储器。2 个 16 通道 DMA 控制器和 1 个内部存储器 DMA 控制器,并提供两个并行接口(PPI),该接口非常适合运算量大的嵌入式视频和图像系统。本文采用 ADSP-BF561 实现 LCoS 对图像的显示接口,不必采用 FPGA 或 ASIC 设计<sup>[3-5]</sup>,可以控制显示时序、实现色彩空间转换和梯形校正的可编程性。

## 2 系统硬件设计

ADSP-BF561 专门针对高速数据吞吐集成了两个并行外围接口(PPI),不需要额外的数据输入/输出缓冲,可直接连接高速 AD/DA 输入输出数据,最高输出数据频率可达 60 MHz。PPI 接口能输入或输出 ITU-R601/656 格式和带行、场同步时钟的 RGB 格式的数字视频。因此使用 PPI 接口输出数据到 LCoS 显示屏是一个很好的选择,其中一个 PPI 接口作为图像输入,另外一个 PPI 接口作为图像输出。因此,ADSP-BF561 通过 PPI 接口将从嵌入式图形处理器输出的图像信号通过 DMA 传送到 ADSP-BF561 的 L1 memory 区进行运算后,再通过 DMA 传送给另一 PPI 接口,该接口又将行同步(H\_syn)、场同步(V\_syn)、R、G、B 等信号输出到 LCoS 中。系统接口设计的总体框图如图 1 所示。

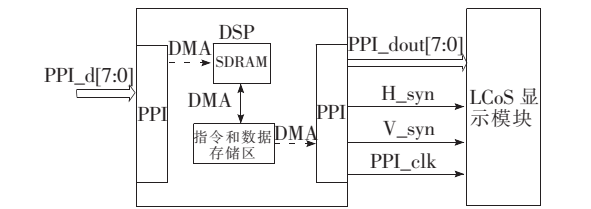


图 1 基于 DSP 的 LCoS 图像投影显示结构图  
Fig. 1 Framework of a LCoS image projection

LCoS 显示屏显示面积利用率高<sup>[7]</sup>,本系统中采用 Displaytech 公司生产的 LightView™ 201k(LV 201k)数字显示模块,该显示模块能显示 18 位色深,分辨率为 300×224(QVGA),以场时序彩色方式工作,兼容 IUT-601/656 模式和 8- $\text{RGB}$  串行输入模式,非常适合用在嵌入式系统

中。ADSP-BF561 I/O 电压兼容 2.5/3.3 V,而 201k 数字显示模块 I/O 电压为 2.5/3.3 V,因此 DSP 能与 LV 201k 数字显示模块直接相连,不需要电平转化电路。由于 LV 201k 采用时序彩色方式工作,PPI 输出的数据以 8- $\text{RGB}$  串行输入 LV 201k,这样避免了在输入过程中的串并转换,每个时钟周期 PPI 以 8 位数据输出正好与 LV 201k 的场时序工作方式相匹配。本系统中 LV 201k 画面刷新率取为 50 Hz,ADSP-BF561 与 LCoS 显示接口硬件电路原理图如图 2 所示。

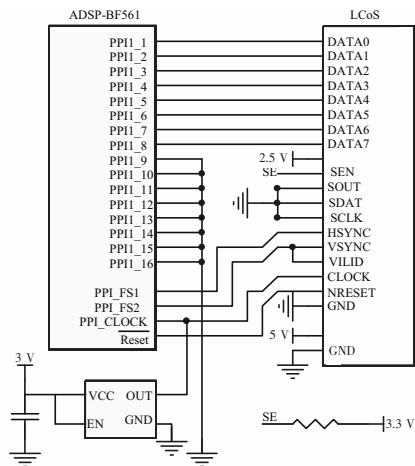


图 2 ADSP-BF561 与 LCoS 显示接口硬件电路原理图  
Fig. 2 Interface of LCoS module to ADSP-BF561

## 3 DSP 对图像数据的控制与运算

嵌入式图形控制器为本显示系统提供两类信号:图像数据信号和图像控制信号。图像控制信号主要包括水平同步信号和垂直同步信号。本设

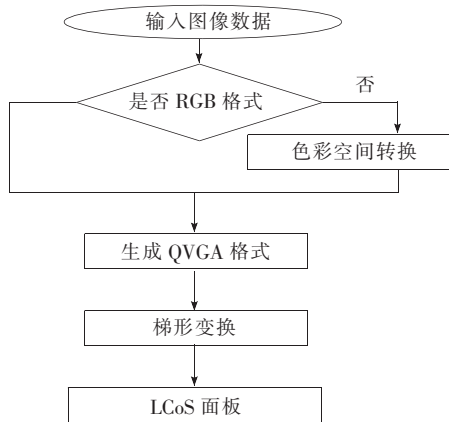


图 3 DSP 显示图像处理流程图  
Fig. 3 Flow chart of DSP image display processing

计中,ADSP-BF561 是系统的核心,主要用于图像数据的控制与运算。在 ADSP-BF561 控制使能有效时,还可对图像数据信号进行图像色彩空间转换和梯形校正的运算。图 3 是 ADSP-BF561 对图像的处理流程图。

### 3.1 DSP 对图像数据的控制

在 ADSP-BF561 对图像数据的控制方面,数据使能有效时,行同步信号和场同步信号都采用低电平同步方式。根据嵌入式显示系统分辨率要求的不同,行同步信号和场同步信号的频率也不同,主要表现在水平向和垂直向的前廊时间(即行同步宽度和场同步宽度)、后廊时间、脉动宽度等的不同。此外,在行消隐期间和场消隐期间不输出图像信号。如图 4 所示。因此,在显示屏幕的某个位置显示某一种颜色的点,ADSP-BF561 只需控制该点处所对应的图像信号的输出即可。

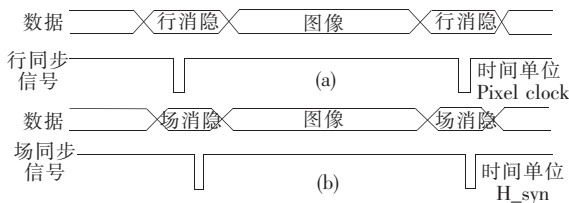


图 4 (a) 行同步信号与图像数据;(b) 场同步信号与图像数据。

Fig. 4 (a) Horizontal synchronous signal and image data; (b) Vertical synchronous signal and image data.

ADSP-BF561 的 PPI 接口可以直接控制图像输出信号,因此只需要配置 PPI 接口和 DMA 即可,在 PPI\_CONTROL 寄存器中,PPI 输出数据为 8 位,PPI\_CONTROL[13:11]=0x0,LCoS 是逐行显示,PPI\_CONTROL[9]=0x0,传输方向是从 PPI 输出,PPI\_CONTROL[1]=0x1。PPI 的初始化 C 代码如下:

```
void Init_PPI1 (void)
{
    * pPPI1_DELAY = 0x0;
    * pPPI1_COUNT = 0xDF; //GP 模式;
    * pPPI1_CONTROL = 0x011F; ssync();
}
```

在 DMA 中,RGB 像素点的起始地址是 Input [0],采用二维 DMA 方式输出的 C 代码如下:

```
static void Init_PPIDMA(void)
{
```

```
* pDMA1_0_START_ADDR = Input[0];
    * pDMA1_0_X_COUNT = 900;
    * pDMA1_0_X_MODIFY = 1;
    * pDMA1_0_Y_COUNT = 224;
    * pDMA1_0_Y_MODIFY = 1;
}
```

### 3.2 RGB 与 YUV 色彩空间的转换

YUV 色彩空间最初是为了解决黑白电视与彩色电视的兼容性而建立的,采用 1 个亮度信号 Y 和 2 个颜色信号 U、V (I、Q 或 Cb、Cr) 来表示色彩。由于 YUV 色彩空间易于实现压缩,节省带宽,方便传输和处理,因此它广泛应用于视频和图像处理之中。

RGB 是显示器最常见的色彩空间,采用 RGB 色彩空间能简化系统的设计和结构,但 RGB 色彩空间需要 3 路相同的带宽,而且对这 3 路信息的读取需要大量的存储空间,增加了操作的复杂度。因此,在视频和图像处理时一般采用 YUV 色彩空间进行运算,再将 YUV 色彩空间转换为 RGB 色彩空间,最后在显示器上显示出来。

本系统中将 YUV 色彩空间中的 YCbCr 与 RGB 进行了转换,转换公式如下:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1.402 & 0 \\ 1 & -0.34414 & -0.71414 \\ 1 & 0 & 1.772 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y-16 \\ Cr-128 \\ Cb-128 \end{bmatrix} \quad (1)$$

该算法的 C 语言代码如下:

```
Void YCbCr2RGB(unsigned char * pRGB, unsigned char * pYCbCr)
{
    unsigned char y, u, v;
    y = * pYCbCr; pYCbCr++; u = * pYCbCr; pYCbCr++; v = * pYCbCr; pYCbCr++;
    * pRGB = (unsigned char)(1.0 * y + 8 + 1.402 * (v - 128)); pRGB++; // r
    * pRGB = (unsigned char)(1.0 * y - 0.34413 * (u - 128) - 0.71414 * (v - 128)); pRGB++; // g
    * pRGB = (unsigned char)(1.0 * y + 1.772 * (u - 128)); pRGB++; // b
}
```

对上述 C 语言算法和进行汇编优化后的算法,均在 VisualDSP++ 上进行了运行,YCbCr 图像文件中数据为 3 600 000 bytes 的文件转换成

了 RGB 图像数据。

### 3.3 梯形校正

LCoS 显示系统很多时候都用在投影中,而大部分投影都需要梯形校正。一般情况下,投影机的位置尽可能与投影屏幕成直角才能保证投影效果。如果无法保证二者的垂直,画面就会产生梯形。为了使画面成标准的矩形,投影仪显示中都需要梯形校正。梯形校正是指根据投影仪产生的梯形失真对原图像进行几何变换,产生一个反向的补偿梯形图像,抵消投影仪本身产生的图像梯形失真,从而使投影后的图像呈现规则矩形形状,它可分为垂直梯形校正和水平梯形校正。梯形校正通常有两种实现方法<sup>[8]</sup>:光学梯形校正和数码梯形校正。光学梯形校正通过调整镜头的物

理位置来实现梯形校正,而数码梯形校正则通过软件进行运算的方法实现梯形校正。目前一般采用数码梯形校正技术实现梯形校正。本系统也采用该技术,下面以线形插值方法对投影仪进行垂直梯形校正。

若原图像的尺寸为  $w_0 \times h_0$ ,插值后得到  $w_1 \times h_1$  的图像。原图像中一像素点  $(i, j)$  经坐标变换得到基于原像素点的浮点坐标为  $(i + \alpha, j + \beta)$ ,其中  $i$  和  $j$  均为非负整数,  $\alpha$  和  $\beta$  为  $0 \sim 1$  之间的浮点小数,则  $(i + \alpha, j + \beta)$  处的像素值  $f(i + \alpha, j + \beta)$  可由原图像中坐标为  $(i, j)$ 、 $(i + 1, j)$ 、 $(i, j + 1)$  和  $(i + 1, j + 1)$  处所对应的像素值  $f(i, j)$ 、 $f(i + 1, j)$ 、 $f(i, j + 1)$  和  $f(i + 1, j + 1)$  得到:

$$f(i + \alpha, j + \beta) = (1 - \alpha) \cdot (1 - \beta) \cdot f(i, j) + (1 - \alpha) \cdot \beta \cdot f(i, j + 1) + \alpha \cdot (1 - \beta) \cdot f(i + 1, j) + \alpha \cdot \beta \cdot f(i + 1, j + 1) \quad (2)$$

为了减少浮点运算,需要对运算进行整数优化,优化后的结果如下:

$$f(i + \alpha, j + \beta) = \{k_x \cdot k_y \cdot [f(i, j) - f(i, j + 1) - f(i + 1, j) + f(i + 1, j + 1)] + w_1 \cdot k_y \cdot f(i, j + 1) + h_1 \cdot k_x \cdot f(i + 1, j) + (w_1 \cdot h_1 - h_1 \cdot k_x - w_1 \cdot k_y) \cdot f(i + 1, j + 1) + w_1 \cdot h_1 / 2\} / w_1 \cdot h_1 \quad (3)$$

其中  $k_x$  为双线性插值函数  $x$  轴相关系数,  $k_y$  为双线性插值函数  $y$  轴相关系数。

插值运算完成后,再进行垂直梯形变换。过程如下:如梯形变换后得到的梯形上边长为  $w_2$ ,下边长为  $w_1$ ,高为  $h_1$ ,而  $w_1 \times h_1$  图像中坐标为  $(x, y)$  像素点经梯形变换后对应于原图像的像素点为  $(u, v)$ 。变换公式为:

$$u = [(w_1 - w_2) + 2x] \cdot y / (2h_1) \\ v = y, 0 \leq x \leq w_1, 0 \leq y \leq h_1 \quad (4)$$

式(4)中  $0 \leq u \leq w_1$  为整数,对于  $u \leq (w_1 - w_2) \times y / (2h_1)$  或  $u \geq w_1 - (w_1 - w_2) \times y / (2h_1)$  处像素值为 0xff,即填充白色。该算法部分 C 语言代码如下:

```
for(i=0;i<h1;i++) //目标图像行扫描
{
    y=i * h/h1; // y 轴值舍小数取整
    ky=h1-i * h%h1;
    for(j=0;j<w1;j++) //目标图像列扫描
    {
        x=j * w/w1; // x 轴值舍小数取整
        kx=w1-j * w%w1;
        u=(int(((w1-w2)+2 * x) * y/(2h1)));
```

```
pa=image[y][x].b; //邻近像素
pb=image[y][x+1].b;
pc=image[y+1][x].b;
pd=image[y+1][x+1].b;
image1[i][j].b=(kx * ky * (pa-pb-pc+
pd)+w1 * ky * pb+h1 * kx * pc+(w1 * h1-h1 *
kx-w1 * ky) * pd+w1 * h1/2)/(w1 * h1);
//整数优化后的双线性插值公式
image2[i][u].b= image1[i][j].b;
//image2 为所得梯形图像所得像素结构体
数组
}
```

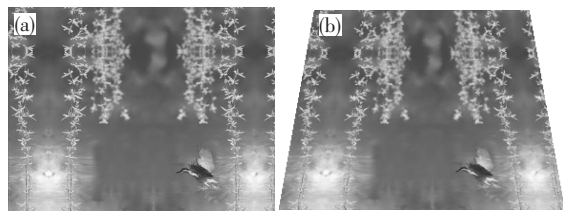


图 5 梯形校正前后图像对比。(a)原始图像;(b)梯形校正后图像。

Fig. 5 Image comparison. (a) Source image; (b) Image after trapezoid correction.

根据 C 语言算法和进行汇编优化后的算法,均在 VisualDSP++上进行了运行,得到了如图 5 所示的图像,原始图像是一幅  $400\times 300$  的图片,如图 5(a),经过运算后,得到如图 5(b)的梯形图像。图 5(b)经过投影仪后会得到一幅分辨率为  $300\times 224$ (QVGA)的矩形图像。

#### 4 系统运行

以上基于 ADSP-BF561 的 LCoS 图像投影显示系统,将分辨率为  $400\times 300$  的 YUV 图像信号,进行运算后得到投影所需的  $300\times 224$  RGB 彩色图像。运算中所需算法在 VisuIDSP++运行后所需的时间如表 1 所示。由表 1 可知,通过汇编优化后,色彩空间转换和梯形校正算法运行速度可以大幅提高。ADSP-BF561 具有对称多处理结构,可对两帧图像同时进行运算,Core A 对前一帧图像进行运算,CorB 同时对后一帧图像进行运算,这样可以使原本只能运行一帧图像的时间内在 ADSP-BF561 上可以运行两帧,系统设计满足时间资源和空间的要求。

#### 参 考 文 献:

[ 1 ] Lee Jaejun, Chung Yunmo, Oh Chae-Gon. ASIC design of color control driver for LCoS micro display [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2001,47(3):278-282.

[ 2 ] Janssen Peter, Shimizu Jeffrey A, Dean John, *et al.* Design aspects of a scrolling color LCoS display [J]. *Display*, 2002,(23):99-108.

[ 3 ] 黄茜,耿卫东,代永平,等. 头盔式 LCoS 视频数据处理系统的研究与设计 [J]. 液晶与显示,2008, 3(23):286-290

[ 4 ] 代永平,耿卫东,孙钟林. 彩色 LCOS 微型显示器设计 [J]. 半导体技术, 2001, 26(10):37-39.

[ 5 ] 刘艳艳,耿卫东,代永平,等. 时序彩色 LCoS 数据接口的优化设计 [J]. 液晶与显示,2006, 1(21):53-57.

[ 6 ] 张 斌,龚光磊,葛晨阳,等. 基于 LCoS 微显示屏的眼镜电视 [J]. 液晶与显示,2008, 23(6):696-699

[ 7 ] 代永平,孙钟林,王隆望. 彩色硅基液晶显示芯片的研制 [J]. 液晶与显示,2001,16(4):300-305.

[ 8 ] Li B X, Ibrahim S. Automatic keystone correction for smart projectors with embedded camera [C]//2004 *International Conference on Image Processing*, Singapore:IEEE, 2004:2829-2832.

表 1 两种算法的 C 运算和汇编运算在 DSP 上运行所需周期数

Table 1 Cycles of two algorithms running in C and assembly language

|        | C 运算所需周期数   | 汇编运算所需周期数  |
|--------|-------------|------------|
| 色彩空间转换 | 189 594 850 | 3 720 048  |
| 梯形校正   | 154 374 828 | 17 146 370 |

#### 5 结 论

提出了基于 ADSP-BF561 的 LCoS 图像投影显示系统,该系统将不论大于  $300\times 224$  还是小于  $300\times 224$  的数字图像信号,进行运算后都可以得到投影所需要的  $300\times 224$  RGB 图像。该设计方案不需要电平转换和串并转换,DSP 既可对图像的输出进行控制,又可对图像数据进行色彩空间转换和梯形校正。本系统实现简单,对图像的处理具有可编程和可扩展功能,功耗低,对嵌入式投影显示系统的设计有很好的参考意义。