

## 基于 PCI 总线的 1:1 方式图像采集卡硬件设计

郭红健, 苏光大

(清华大学 电子工程系, 北京 100084)

**摘要:** 摄像头与图像采集卡结合的图像采集在各种图像处理系统特别是涉及到动态视频的应用中是获取图像数据的一种主要方式。提出了一种基于 PCI 总线的 1:1 方式图像采集卡的设计方案, 选择合适的采样时钟频率, 使得采集的图像在水平、垂直方向像素点间距之比为 1:1, 有效地解决了常规图像采集卡采集图像的几何形变问题。1:1 方式图像采集卡采集的图像数据, 无需经过软件几何校正, 可广泛应用于实时图像处理系统, 提高了系统性能。

**关键词:** 图像采集; 几何形变; 1:1 方式

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)02-0200-04

## Hardware design of 1:1 mode image acquisition card based on PCI bus

GUO Hong-jian, SU Guang-da

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Image acquisition by image acquisition card combined with camera is a primary method to acquire image data in various image-processing systems, especially in applications related to dynamic video. A design of 1:1 mode image acquisition card based on PCI bus is proposed, selecting the proper sampling frequency so that the ratio of horizontal pixel interval to vertical one is 1:1. It resolved the geometric distortion of images acquired by general image acquisition card. Image data acquired by 1:1 mode image acquisition card can be widely used in real-time image processing systems to improve the performance without geometric rectification by software.

**Key words:** Image acquisition; Geometric distortion; 1:1 mode

### 0 引言

数码相机、扫描仪、摄像头等是获取图像数据的几种主要方式。数码相机能够直接从现实世界中获取数字图像, 拍摄过程与传统摄影一样, 只是不经过暗房冲印; 扫描仪可以把传统照片、杂志或其他印刷品

上的信息转换成数字格式; 而摄像头结合图像采集卡的方式则可用于采集动态视频, 并且具有应用灵活的特点, 在许多监控、识别系统中有着广泛应用。扫描仪扫描得到的数字图像数据, 其水平与垂直方向相邻像素点之间间距之比为 1:1。数码相机采用液晶点阵进行图像采集, 所得的图像其相邻像素点的水平间距也

收稿日期: 2004-02-10; 修订日期: 2004-04-10

作者简介: 郭红健(1979-), 男, 江苏启东人, 硕士生, 研究方向为高速图像处理系统。

与垂直间距相等。这两种方式得到的图像与实物相比没有几何形变。摄像头结合图像采集卡拍摄的图像,与前两种方式相比,由于采样点时钟频率的不同,其相邻像素的水平与垂直间距之比并不固定。常规的图像采集卡常用的采样频率有 13.5 MHz 和 10 MHz 等,这些采样频率不能满足 1:1 采样,获得的图像数据往往存在不同程度的几何形变问题<sup>[1]</sup>。

在一些图像处理系统中,例如人脸识别系统,在对各种不同输入设备得到的图像数据进行对比识别时,图像的几何形变将会给识别带来负面影响,使得摄像头采集的图像与其他 1:1 方式采集的图像之间的相似度有所下降。为解决几何形变问题,以往的方法是通过软件对采集到计算机内存的图像数据进行几何校正,得到 1:1 点阵的图像。本文提出的基于 PCI 总线的 1:1 方式图像采集卡,选取合适的采样点时钟,实现了水平、垂直方向 1:1 的采集点阵。1:1 方式图像采集卡得到的图像无需经过软件几何校正,减少了软件校正的额外开销,在一定程度上提高了图像处理系统的性能。

### 1 图像采集卡总体结构

图像采集卡硬件结构框图包括预处理、锁相同步及采样点时钟产生、行场同步时序产生、A/D 转换、PCI 接口等几个主要部分,如图 1 所示。

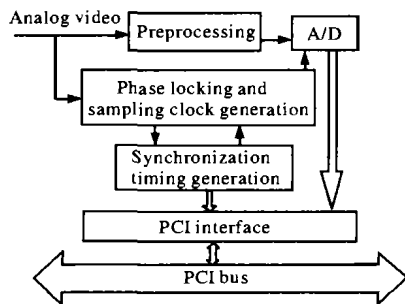


图 1 采集卡硬件结构框图

Fig.1 Diagram of the hardware structure

### 2 硬件设计方案

#### 2.1 预处理

预处理部分包括箝位和放大。在图像视频通道中,由于放大电路造成直流分量的丢失,使得视频信

号的黑色消隐电平不在同一电平上<sup>[2]</sup>,因此有必要在 A/D 变换前利用箝位电路将黑色消隐电平重新箝定在同一个电平上。为实现箝位,必须正确选择箝位脉冲在视频信号中的位置。本设计采用视频同步分离器 LM1881 分离出的复合同步信号行消隐后肩的脉冲作为箝位脉冲,如图 2 所示。

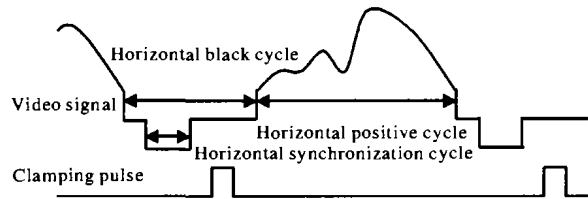


图 2 箝位脉冲与视频信号波形

Fig.2 Waves of the clamp pulse and video signals

#### 2.2 采样点时钟的确定

采样点时钟的计算仅针对 PAL-D 扫描制式(NTSC 制式可按类似方法进行计算),行频为 15625 Hz,场频为 50 Hz,隔行扫描。

常规图像采集卡在进行图像数字化的时候,采样时钟的选取通常不满足采样点阵水平和垂直方向等间距的要求。像素点不等距的数字化图像将产生几何失真,这种几何失真将给图像的显示质量以及图像处理带来一定影响。

电视技术中,摄像头扫描视场的宽高比为 4:3。PAL-D 扫描制式规定,每帧行数 625 行,场消隐宽度  $25H+\alpha$ ,其中  $H$  为行周期时间, $\alpha$  为行消隐宽度时间。因此,每帧图像的奇偶场消隐时间总共为 50 行,除去消隐后实际显示图像行数也即垂直方向采样点数为  $625-50=575$ 。

为保证水平、垂直方向点阵的等间距,每一行应采集的点数为  $575 \times 4/3 = 766$ 。

PAL-D 制标准规定的标称行周期  $64 \mu s$ ,行消隐  $11.8 \mu s$ ,行正程  $T_{HS} = 64 - 11.8 = 52.2 \mu s$ ,则水平方向相邻采集点时间间隔为  $T_0 = 52.2/766 \approx 68 \text{ ns}$ 。由此得到采样频率  $f_s = 1/T_0 \approx 14.67 \text{ MHz}$ 。

另外,在确定采样频率时,为保证该频率分频后能形成行频(原因是采样点时钟是由行频信号锁相同步产生的  $N$  倍频,具体请见第 2.3 节),本设计选择  $14.625 \text{ MHz}$  作为采样频率。 $14.625 \text{ MHz}$  的 936 分频恰好是行频  $15625 \text{ Hz}$ ,是满足整数分频得到的行频并

且最接近 14.67 MHz 的频率。采用  $f_0=14.625$  MHz 的采样频率,水平方向采集点数为  $N_0=52.2 \mu s \times f_0=763$ 。

图像采集点阵水平、垂直方向点阵间距之比为:

$$(4/763):(3/575)=1.004:1$$

可见,采用 14.625 MHz 的采样点时钟,水平、垂直方向的像素点阵间距非常接近 1:1。

### 2.3 锁相同步及采样点时钟产生

为保证采样点时钟与视频的场信号保持同步,本设计采用锁相同步方式。所谓锁相同步,是指系统中用于产生扫描同步时序的输入时钟(点时钟)由锁相环的 VCO(或 VCO 输出经分频)产生。

本设计采用  $N$  倍频模拟锁相环,原理框图如图 3 所示。

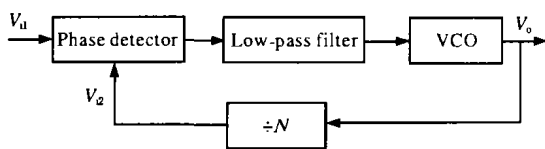


图 3  $N$  倍频锁相环原理图

Fig.3 Diagram of  $N$ -multiple-frequency PLL

锁相环路中,鉴相器输入信号之一  $V_{11}$  为视频信号经同步分离器分离得到的行频信号,VCO 输出本振信号经  $N$  分频后形成的行频  $V_{12}$  作为鉴相器另一输入。分频比  $N=F_H/F_s$ ,  $F_s$  为 VCO 输出点时钟  $V_o$  的频率,  $F_H$  为 PAL-D 制行频 15625 Hz。本系统为 1:1 方式采集,点时钟频率采用 14.625 MHz,其 936 分频即为行频 15625 Hz,所以锁相环的分频比设为 936。在相位锁定的情况下,VCO 输出本振信号即点时钟为行频  $F_H$  的  $N$  倍频 14.625 MHz。

### 2.4 行场同步时序的形成

锁相环的 VCO 输出与视频信号同步的点时钟,可以通过 EPLD 编程产生一系列扫描时序,包括行同步、场同步等,如图 4 所示。其中产生的行同步信号作为锁相环鉴相器的一个输入信号,与视频信号分离得到的行同步信号进行鉴相,在相位锁定的情况下,两者同步,同时点时钟作为行同步的  $N$  倍频,也与摄像头的视频信号同步。因此锁相环的锁定保证了点时钟产生的一系列时序与视频信号的同步。

EPLD 选用美国 Lattice 公司生产的 ispLSI1048E

(In-System Programmable Large Scale Integration),具有 8000 个 PLD 门、96 个 I/O 引脚和 288 个寄存器。可利用计算机并口,通过下载电缆对 ispLSI1048E 进行在线编程<sup>[3]</sup>。

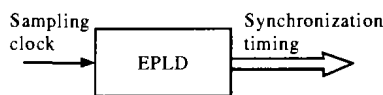


图 4 同步时序的产生

Fig.4 Generation of synchronous timings

### 2.5 图像数字化

一般的图像处理系统均采用 8 bit 黑白数字图像数据作为处理的对象。本设计采用 A/D 芯片来完成模拟图像的采样、量化和编码,形成 8 bit 数字图像。A/D 芯片的选择,必须满足转换时间和转换精度的要求。转换时间是指完成一次模数转换所需要的时间。该时间必须要小于采样脉冲的周期,即转换频率必须高于采样脉冲频率,满足此要求的 8 位 A/D 芯片均可被采用。本设计采用的 8 位 A/D 芯片 CA3318,其转换频率达 15 MHz,高于采样脉冲频率 14.625 MHz,满足设计要求。将经过预处理的视频信号作为待采样的模拟信号输入,锁相环输出的 14.625 MHz 点时钟作为采样时钟,即可方便地实现图像的数字化。

### 2.6 PCI 接口设计

图像采集的特点之一是数据吞吐量大,512×512×8 bit 的一帧图像,其数据量为 256 KB。因此要做到实时的显示与处理,必须进行高速的数据传输。PCI 总线的出现使图像实时采集与处理成为可能,基于 PCI 总线的图像采集由于其高速性与灵活性,已成为实时图像采集的最理想方案。采集得到的实时视频图像数据经 PCI 总线控制器,通过高性能的 PCI 总线送入计算机内存,完成显示或处理。32 位 PCI 总线,在 33 MHz 的最高运行频率下,其数据传输率可达 132 MB/s,完全可以满足实时图像传输的需要。

本设计选用荷兰 Philips 公司生产的 SAA7146A 芯片作为 PCI 总线控制器。SAA7146A 是针对桌面视频应用系统的高集成度芯片,功能强大,具有以下一些主要特征<sup>[4,5]</sup>:

### (1) 视频处理特性

从帧存或虚拟系统内存中输入/输出完整尺寸的全速视频,使多种外围 PCI 器件处理成为可能;全带宽 PCI 总线主控读写(最高达 132 MB/s);亮度、对比度、饱和度控制;内存管理单元(MMU)支持虚拟页内存管理;具有上溢检测和恢复的 3 组 128 双字长视频 FIFO。

### (2) 音频处理特性

与视频同步的音频采集;应用于多种主、从工作方式的可编程点时钟发生器。

### (3) 尺寸转换特性

将视频图像按比例缩减到任意尺寸的窗口中(垂直方向可达 1:1024,水平方向可达 1:256);高性能尺寸转换器为尺寸转换后的图像数据提供二维相位校正数据处理,用于提高图像质量,尤其是压缩应用。

### (4) 接口特性

双 D1(8 bit,CCIR656 格式)视频输入/输出接口;与 DMSD2 兼容的(16 位 YUV)视频输入接口;支持多种打包和二维视频输出格式;用于连接如 MPEG 或 JPEG 解码器的数据扩展总线接口(DEBI),能够以立即方式或块方式(DMA)进行最高可达 23 Mbit/s 的数据传输;4 个独立的、用户可配置的通用 I/O 口(GPIO),可用于中断和状态处理;PCI 接口(协议 2.1 版);I<sup>2</sup>C 总线接口(总线主控)。

SAA7146A 的实时视频接口包括两个双向的 8 bit 端口,用于传输色差信号与亮度信号。两个端口(A 和 B)均有各自的时钟引脚以及像素、水平、垂直同步信号引脚。两个 8 bit 端口也能组合成与 DMSD2 输出格式兼容的单个 16 bit YUV 端口。因此,SAA7146A 的视频接口可以作为两个独立的 D1(8 bit)端口或一个 DSMD2(16 bit)端口使用。两种使用方式可由用户通过对 SAA7146A 内部相应的视频端口控制寄存器和 HPS 控制寄存器编程来进行选择。本系统通过设置 SAA7146A 内部控制寄存器,将视频端口当作两个独立的 D1 端口。数字化图像数据宽度为 8 bit,因此只需将 8 bit 表示图像亮度的数据接至其中一个 D1 端口即可,至于采用哪一个 D1 端口或两个 D1 端口同时作为输入可通过控制寄存器来进行设置。

设计中,将前端 A/D 输出的 8 bit 亮度信号接至 SAA7146A 的 D1\_A 端口,点时钟通过 EPLD 编程产生的同步信号,如像素有效信号 PXQ、时钟信号 LLC、行同步信号 HS、场同步信号 VS 等依次接至 D1\_A 端口的控制信号引脚 PXQ\_A、LLC\_A、HS\_A、VS\_A,作为处理视频的控制信号。

SAA7146A 有两个内部视频处理器。一个是二维高性能尺寸转换器(HPS),利用插值实现的相位精确重采样支持独立的水平方向放缩变换。水平方向的放缩以及垂直方向的缩减变换均由窗平均和线性插值两个功能块完成。HPS 同时集成了亮度、对比度、饱和度和色键生成等功能,并且可输出各种 RGB 与 YUV 格式数据。另一个是二进制比率尺寸转换器(BRS,变换比例为 1,2,4,8,1/2,1/4,1/8 等),它是双向通道,允许实时视频信号经 FIFO 和 DMA 与 PCI 接口直接相连,可实现完整尺寸的视频与 CIF、QCIF、QQCIF 格式之间的相互转换。

使用 BRS 通道,通过软件驱动程序对 BRS 控制寄存器进行编程,实现视频图像的放缩与格式转换。

SAA7146A 的 PCI 接口具有主方式读写功能。视频信号与 PCI 总线之间的数据传输由 3 个视频 DMA 通道控制,每个通道带有 128 双字大小的 FIFO。PCI 接口还支持虚拟内存寻址,集成的内存管理单元(MMU)利用软件驱动程序提供的系统内存中的页表可将线性地址转换成物理地址,对于每个 DMA 通道,MMU 支持最大 4 MB 的虚拟地址空间。

## 3 实际应用

基于 PCI 总线的 1:1 方式图像采集卡,接入 CCD 摄像头,将图像数据通过 PCI 总线写入计算机内存,可实时显示图像,配合软件算法,可对图像进行实时处理。1:1 方式图像采集卡可广泛应用于实时监控系统,同时在动态人脸检测与识别系统中有很好的应用,如银行、海关、机场、车站、码头等公共场所的监控系统,在预防犯罪和刑事侦察中起重要作用。此外,设计的图像采集卡可用于采集单帧静止图像,成为扫描仪、数码相机之外一种更灵活的图像输入方式。总之,

(下转第 247 页)

表 1 修正前后的均方差

Tab.1 Standard deviation before and after correction

	Uncorrection	Monomial error method	Spherical function method
Azimuth/s	3.9026	1.5966	1.2540
Pitching/s	9.4462	2.4107	1.5275

表 2 两种模型 RMSE 的比较

Tab.2 Comparison of RMSE in two models

	Monomial error method	Spherical function method
Azimuth/s	1.1894	0.6266
Pitching/s	3.2920	0.7073

表 3 两种模型 RRMSE 的比较

Tab.3 Comparison of RRMSE in two models

	Monomial error method	Spherical function method
Azimuth/s	2.051E-3	5.11E-4
Pitching/s	4.312E-3	6.92E-4

的修正参数对同一颗星进行 50 组以上的测量,统计指标为均方根误差(RMSE)和相对均方根误差(RRMSE),如表 2、表 3 所示。

### 3 结论

通过分析两种修正方法的仿真结果可以看出,球谐函数的模型更能准确地反映望远镜系统误差的变化规律。用此修正方法,使得测量数据的系统误差修正精度在方位和俯仰方向上分别提高了 30% 和 50%,在抑制测量数据的随机误差方面,球谐函数法较之单项差法更加有效。该方法已被实际应用到新研制的望远镜系统中。

### 参考文献:

- [1] 伏维礼,罗刚.数据处理和误差分析[M].北京:知识出版社,1986.
- [2] 刘利生.外测数据事后处理[M].北京:国防工业出版社,2000.
- [3] 王锋,张云成.经纬仪光电定位系统数据处理[J].云南天文台台刊,1998,2:62-65.
- [4] 蒙以正,罗刚.MATLAB 应用与技巧[M].北京:科学出版社,1999.

(上接第 203 页)

在各种需要获取静态图像或动态视频数据的领域,图像采集卡发挥着极大的作用,已成为许多图像处理系统的关键部分。

### 4 结论

针对常规图像采集中由采样点时钟造成的图像几何形变问题,提出了一种基于 PCI 总线的 1:1 方式图像采集卡硬件设计方案。采集卡选择 14.625 MHz 作为采样点时钟频率,保证了水平、垂直方向相邻像素点 1:1 的间距比,避免了采集图像的几何形变,提高了图像处理系统的整体性能。

### 参考文献:

- [1] 苏光大.微机图像处理系统[M].北京:清华大学出版社,2000.

- [2] 俞斯乐,郭福云,李桂岑,等.电视原理.第四版[M].北京:国防工业出版社,1995.
- [3] Lattice Semiconductor.Specifications:ispLSI1048E-In-System Programmable High Density PLD[M].USA:Lattice Semiconductor,1998.
- [4] Philips Semiconductor.Product Specification for SAA7146A-Multimedia Bridge, High Performance Scaler and PCI Circuit(SPCI)[M].The Netherlands:Philips Semiconductors,1998.
- [5] 李晓霞,李健.SAA7146 芯片在视频处理中的应用[J].河北工业大学学报,2002,31(3):23-27.
- [6] 陈立法,崔春明,葛军,等.基于 PCI 总线的实时红外图像采集处理系统[J].红外技术,2001,23(5):4-8.
- [7] 肖亮,沈建军,李魁,等.基于 CPLD 的黑白全电视信号采集系统[J].微处理机,1999,(4):21-25.