

基于 XRD4460 的 CCD 视频信号处理电路的设计

Design of CCD Signal Processing Circuit Based on XRD4460

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所;2.中国科学院研究生院)张贵祥^{1,2} 魏仲慧¹ 何昕¹

ZHANG GUIXIANG WEI ZHONGHUI HE XIN

摘要:本文介绍了专用 CCD 视频信号处理芯片 XRD4460 的功能与特点,并利用该芯片设计一种 CCD 视频信号处理电路,给出了其详细的硬件和软件设计。该电路适用于 CCD 相机中的信号处理,其结构简单、可靠性高、性能稳定,具有广阔的应用前景。

关键词:CCD;相关双采样;增益控;制信号处理

中图分类号:TP274

文献标识码:A

Abstract:The functions and characteristics of the CCD signal processor XRD4460 are introduced, and the hardware and software design of CCD signal processing circuit based on XRD4460 is presented in detail. The circuit is adapted to the signal processing of CCD camera, because of its simple structure, high reliability and stable performance, this circuit has a widely applied foreground.

Key words:CCD, correlated double sample, gain control, signal processing

1 引言

CCD(Charge Coupled Device)电荷耦合器件是 20 世纪 70 年代发展起来的一种新型半导体大规模集成光电器件。由于它在图像信息的摄取、记录方面独具特色,同时又具有体积小、功耗小、分辨率高、灵敏度高、可靠性好等诸多优点,因此在科学、天文、工业等领域有广泛的应用。

CCD 输出的视频信号中除了有用的图像信号外,还包括很高的直流分量和噪声。若不进行处理,将严重影响传感器的图像质量,因此 CCD 视频信号的噪声处理十分重要。CCD 视频信号处理的目的是尽可能地消除各种噪声和干扰,但又不能损失图像细节;并且保证在 CCD 的动态范围内图像信号随着目标亮度成线性变化,同时为了便于计算机处理和大容量存储,还必须对 CCD 输出信号进行数字化处理。这些功能若由分立电路实现,则电路复杂、调试不方便、价格昂贵、功耗大等缺点是显而易见的,这与 CCD 相机向着功能更强大、性能更完善、价格更便宜、功耗更低的发展趋势是相悖的。随着微电子技术的发展,为了解决 CCD 视频信号噪声处理问题,许多公司(Exar, Kodak, Burr-Brown, TI 等)相继开发了功能齐备的专用 CCD 视频信号处理芯片,将各种功能电路集成在一块芯片上,这样不仅大大简化了信号处理电路,降低了 CCD 相机设计复杂度,而且使 CCD 相机的功能更强大,性能更优越。

本文主要分析了专用 CCD 视频信号处理芯片 XRD4460 的功能及特点,并在此基础上设计了基于 XRD4460 的 CCD 视频信号处理电路。

张贵祥:硕士

2 XRD4460 的特点及功能

XRD4460 是 Exar 公司推出的专用 CCD 视频信号处理芯片。它带有一个 10 位 AD 转换器,最高采样速率高达 16MHz,内置高带宽的差分相关双采样器(CDS)和 8 位的数字可编程增益放大器(PGA)。模拟偏移量可控制,差分信号输入,差分外部时钟,片内带有输入缓存和采样保持器,10 位并行数据输出。由于其功能强大、性能优越、功耗低、体积小等优点,因而广泛用于数字摄像机、数字静态相机和 PC 录像会议相机等数字成像系统中。XRD4460 的功能框图如图 1 所示,其功能主要包括。

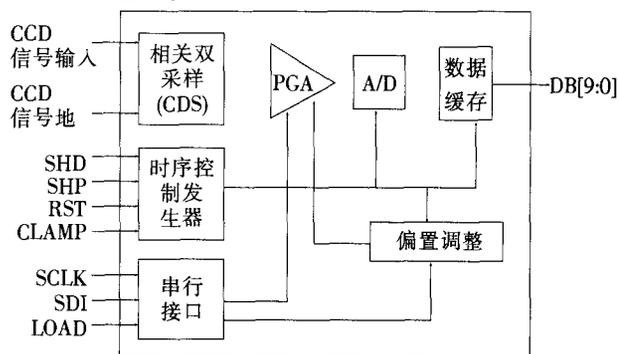


图 1 XRD4460 的功能框图

(1)相关双采样(CDS, correlated double sampling): CCD 输出信号中的主要有光子噪声、陷阱噪声、暗电流噪声、复位噪声。其中光子噪声、陷阱噪声是由器件和工艺造成的,不易处理,而暗电流噪声与器件的环境温度有关,所以信号处理电路主要对复位噪声(亦称 KTC 噪声)进行抑制。为了降低复位噪声, XRD4460 采用了相关双采样技术。相关双采样的原理是由于复位噪声表现在同一像素周期内近似常数(即具有相关

性),但是对于不同的像素周期是随机变化的。所以,只要在同一像素周期内的暗电平参考区间和信号电平区间进行两次采样,那么这两次采样的复位噪声是相关的,将两个采样电平经差动放大器输出,得到的信号就是真实的视频信号。这一过程把与参考电平和信号电平都相关的复位噪声滤除了,而且对低频噪声也有一定的滤除效果。

(2)可编程增益控制 PGA (programmable gain amplifier): 输入到 ADC 的视频信号的电压是由 CCD 输出信号的电压和信号处理的系统增益、偏置决定的。因为 CCD 输出信号的大小随着入射照度的强弱而改变,只有通过信号处理系统进行增益、偏置地调节,才能使输出的数字图像的亮度和对比度满足要求。XRD4460 的增益控制由可编程增益放大器 PGA 完成,增益范围为 6dB~38dB,由 8 位增益寄存器控制,通过串口来设定。当输入增益码 Code=00H 时,系统存在固有 6dB 增益,增益控制码每增加一个码字,系统增益增加 0.125dB,从而实现可编程增益控制。

(3)暗电平自动校正:由于光强、温度、供电电压的缓慢变化都会使视频输出信号的暗参考电平出现波动,在实际应用中,需要暗参考电平维持一个固定电平,暗参考电平校正过程亦即直流电平恢复过程。通过情况下,CCD 输出视频信号的开始部分或结束部分会分布若干个暗电平参考像元。XRD4460 通过 CLAMP 信号的高电平与输出信号的暗参考像元对应,选择合适的外部耦合电容参数,将使整行的暗参考电平保持在一个固定电平上。

(4)数字偏置控制:若 CCD 工作于弱光条件下,即使信号的增益很大,经过视频信号处理后的电压仍可能低于 ADC 的下参考电压,这样使输出视频图像产生失真。为了提高弱光条件下的灰度分辨率,需要使输出视频信号的暗参考电平高于 ADC 的下参考电压,那么仅仅调整增益是不够的,还需要对视频输出信号的偏置进行调整。XRD4460 的偏置调整同样是通过串口编程控制片内 8 位偏置寄存器。电源上电后默认的偏置设置值位 08H,偏置调整范围为 02H~08H。

(5) A/D 模数转换:XRD4460 内部集成了 10 位分辨率、逐次比较式 A/D 转换器,由于利用对分搜索的原理,转换速率高达 16MHz,这样的转换速度和转换精度适合于大多数应用场合。

(6) 串行接口:XRD4460 的串行接口包括了一个 10bit 的移位寄存器和多个并行寄存器,通过 LOAD、SDI、SCLK 三个信号来控制内部寄存器的写入,实现对 XRD4460 工作参数的编程控制。

3 CCD 视频信号处理电路的硬件设计

CCD 视频信号处理电路以专用 CCD 视频信号处

理芯片 XRD4460 为核心部件,完成 CCD 视频信号的放大、噪声处理以及数字化,并使用 CPLD(可编程逻辑器件)技术完成整个电路的逻辑控制,配以先进先出(FIFO)存储器作为数据高速缓冲器,用于存储 AD 转换后的数据,并采用具有微控制器的 USB 接口芯片,从而通过 USB 接口将 CCD 数据输入计算机。CCD 视频信号处理电路设计如图 2 所示。大致可分为三个部分。

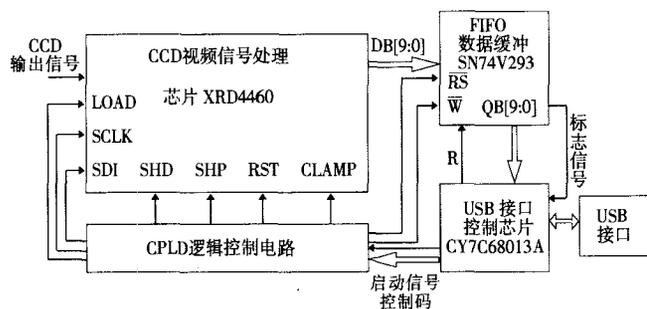


图 2 CCD 视频信号处理电路设计框图

3.1 XRD4460 视频信号处理电路

XRD4460 专用 CCD 视频信号处理芯片的工作时序需要根据具体的 CCD 芯片来确定。图 2 中,SHD、SHP、RST、CLAMP 信号必须依据 CCD 输出信号的时序来设计。其时序关系如图 3 所示。CCD 输出信号经过 CCD 信号处理器 XRD4460 处理,即进行双相关采样(CDS)去噪处理后,再经增益放大以及偏置调整,然后经过 A/D 转换得到 10 位数字数据。这些数据在 CPLD 逻辑控制电路的控制下存入异步 FIFO 存储器 SN74V293 中。而 SDI、SCLK、LOAD 是 XRD4460 的串口控制信号。通过串行接口,可以方便进行编程控制 XRD4460 的增益与偏置的调整,从而改善输出图像的质量。

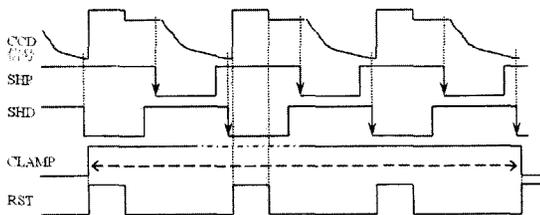


图 3 XRD4460 工作时序图

3.2 FIFO 与 USB 接口电路

高速 A/D 变换的数据不能直接通过 USB 送入主机,需要通过 FIFO 来缓冲数据。电路采用 TI 公司 SN74V293 芯片。它的容量为 65536×18 或 131072×9,最快读写周期为 6ns,可以满足 100MHz 采样数据的存储。设置 SN74V293 的输入、输出宽度为 18 位时,则其可存储 64K×10 位的数据。FIFO 写时钟 W 和复位信号/RS 的时序关系如图 4 所示。USB 接口电路采用 Cypress 公司推出的 EZ-USB 芯片 CY7C68013A,该芯片把 USB2.0 收发器、串行接收引擎 SIE(Serial Interface Engine)、带 16K 的增强 8051 内核、4KB FIFO 存储器以及通用可编程接口 GPIF(General Programmable

Interface)集成一体,将其作为 USB 外部设备的主控芯片,而无需外加微控制器(MCU)便可实现 USB 芯片通信初始化以及与主机的通信连接。当 FIFO 中存入数据时,USB 接口电路根据其标志信号(满信号/半满信号)读取数据并发送给主机。

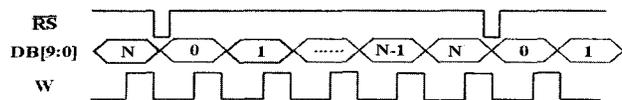


图4 FIFO写控制时序

3.3 CPLD 逻辑控制电路

逻辑控制电路由 CPLD 采用 VHDL 硬件描述语言编程实现,完成整个电路的逻辑控制,主要包括三部分的功能。第一部分的功能是为 XRD4460 提供工作时序(如图3)。第二部分功能是向 FIFO 提供写时钟 W 和复位信号/RS,控制数据的顺利写入。第三部分功能负责 XRD4460 的串口设置。在 CPLD 中设计一个串行口和一个寄存器,其中串行口用来将寄存器中的数据发送给 XRD4460 进行功能设置;而寄存器用来存储主机发送过来数据。主机通过 CY7C68013A 中的 EP2 端点发送数据。

4 CCD 视频信号处理电路的软件设计

USB 应用系统软件设计分为三部分:USB 外设端的固件(Firmware)、主机操作系统上的客户驱动程序以及主机应用软件。主机应用软件通过客户驱动程序与系统 USBI(USB Device Interface)进行通信,由系统产生 USB 数据的传送动作;固件则响应各种来自系统的 USB 标准请求,完成各种数据的交换工作和事件处理。

4.1 USB 接口编程

固件程序是 USB 芯片内微处理器的控制程序,可采用汇编语言或单片机 C 语言设计。当系统上电时,固件程序通过 USB 电缆下载到 CY7C68013A 的内部 RAM 中。

固件程序主要是实现 USB 通信。当主机与芯片进行 USB 通信时,会产生外部中断 0,通过中断矢量寄存器来判断。Setup_packed_Int、Input_endpoint0_Int、Output_endpoint0_Int 这三个中断主要用于与主机建立连接、进行控制传输或中断传输;Input_endpoint1_Int、Output_endpoint1_Int 这两个中断主要在批量传输时使用。在固件中分别执行不同的中断程序来实现 USB 的数据传输。所有的中断处理程序采用 C 语言进行编写。

4.2 主机软件设计

首先开发 CY7C68013A 在主机中的驱动程序。用 WinDK3.0 开发了 Win2000 下的驱动程序,实现了控制传输、中断传输和批传输的标准接口函数。

在应用程序开发中,采用 VC++ 编制应用程序。把 USB 设备当成文件来操作,利用 CreateFile 得到 USB 句柄,用 DeviceIoControl 来进行控制传输,用 Read-File、WriteFile 进行批量传输。主要实现两个功能:一是完成采集的图像的显示;二是设置 CCD 视频信号处理芯片,包括 PGA 增益、ADC 偏置等工作参数的设置。

5 结束语

本文介绍了一种采用专用 CCD 视频信号处理芯片和 CPLD 技术来设计的 CCD 视频信号处理电路,并采用 USB 接口技术实现数据传输。电路不仅结构简单,而且调试方便,易于实现。通过 USB 和 CPLD 技术对专用 CCD 视频信号处理芯片的控制,实现了图象亮度与对比度的可编程调节,改善了图象质量,提高了电路的整体性能,同时 USB 接口传输速率快,且易于计算机连接。因此,该电路可广泛应用于 CCD 相机系统的设计。

论文创新点:该电路实现了图像亮度与对比度的硬件可编程调节。

参考文献:

- [1]王庆有.图像传感器应用技术[M].电子工业出版社 2003
- [2]刘国媛,李露瑶,张伯珩,边川平. CDS 器件在 TDI-CCD 视频信号处理中的应用[J].光子学报 2000 Vol.29(1) 82-85
- [3]冯国飞,宋蕴兴.基于 USB 数据采集卡的设计与实现[J].微计算机信息,2005,21-1:75-76
- [4]EXAR Corporation,Datasheet of XRD4460,2004
- [5]Cypress Semiconductor Corporation, CY7C68013A/CY768015A, EZ-USB FX2 USB Microcontroller, 2004.

作者简介:张贵祥(1982-),男(汉族),四川成都人,硕士,主要从事数字图像存储、高速数字成像方面的研究工作;魏仲慧(1961-),女(汉族),吉林长春人,研究员,硕士生导师,主要从事数字图像存储技术和数字图像处理方面的研究。

Biography:Zhang Gui-xiang (1982-),male (han), Sichuan Chengdu,graduate student,engaging in photoelectric technology and technique of high-speed imaging.

(130033 长春 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所)张贵祥 魏仲慧 何昕

(100039 北京 中国科学院研究生院)张贵祥

(Chinese Academy of Sciences,Chang Chun Institute of Optics,Fine Mechanics and Physics,Chang Chun,130033,China) Zhang Gui-xiang Wei Zhong-hui He Xin

(Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China)Zhang Gui-xiang

通讯地址:(130033 长春市经济开发区营口路 20 号 长春光机所研究生部 A 座)张贵祥

(收稿日期:2006.2.14)(修稿日期:2006.3.15)