

基于 CCD 场输出模式下成像系统设计

Design of imaging system based on CCD in field readout mode

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所;2.中科院研究生院) 周 辉^{1,2} 任建岳¹ 张星祥¹ 陶宏江¹
ZHOU Hui REN Jian-yue ZHANG Xing-xiang TAO Hong-jiang

摘要: 采用 SONY 行间转移型面阵 CCD ICX415AL 作为传感器件,设计了一种新型的 CCD 成像系统,成像系统采用 CCD 信号专用芯片 CXA1310AQ 进行信号处理。使输出信号满足模拟信号 PAL/CCIR 标准,可以采用电视机或者配有视频卡的计算机作为显示终端。在介绍 CCD ICX415AL 的结构和特点的基础上,完成了时序电路和驱动电路的设计,CCD 工作模式为场输出模式,可以理解为垂直方向的 binning 技术,并采用相关双采样(CDS)技术滤除了视频信号中的相关噪声,提高了系统的信噪比,整个系统采用现场可编程门阵列作为核心器件,通过自上而下的模块设计。完成了 CCD 驱动时序,数据采集时序控制和视频信号简单处理。

关键词: 行间转移 CCD; 驱动时序; 相关双采样; FPGA

中图分类号: TN386.5

文献标识码: A

Abstract: A new imaging system is design by using an interline transfer CCD ICX415AL as sensor which is produced by SNOY corporation .and greatly improve the SNR of system . CCD imaging system uses special signal processing chip-CXA1310AQ making output signal to meet the standard of PAL/CCIR . so It can be used with TV and computer which has video card as a display terminal On the basis of introducing the structure and characteristics of CCD ICX415AL , The circuits of timing sequence and driver for sensor are design , CCD work in field readout mode which can be realize as binning-technology in vertical direction and the noises of video signal are filtered by Correlated Double Sampling (CDS) , the signal-to-noise ratio of system is enhanced . The system is take Field Programmable Gate Array (FPGA) as the key device . the CCD driving clock , Clock control of data Acquisition and Video signal process are accomplished by the module design method of from top to bottom .

Key words: interline transfer CCD; driving clock Correlate Double Sample (CDS); Field Programmable Gate Array (FPGA)

1 引言

CCD(Charge Coupled Devices)技术经过三十年的发展已成为一种成熟的光电成像技术,由于 CCD 具有信号输出噪声低,动态范围大,量子效率高以及电荷转移效率高等优点,采用硅衬底的 ICCD,光谱响应范围为 0.3um~1.1um,超过可见光范围可以延伸到紫外 x 射线。越来越广泛的应用到科学研究,生成检测,医疗生化,国防军工等相关产业。

CCD 图像传感器对相机性能起到非常关键的作用,因此实现 CCD 驱动电路和数据采集电路是相机系统设计的关键。CCD 驱动电路主要由驱动时序产生电路,偏置电压产生电路和驱动器电路组成。后续数据采集电路主要由 CCD 专用集成芯片完成。

本文采用 FPGA 进行驱动时钟设计,实现了 CCD 器件的驱动电路,数据采集时序控制等模块的时钟脉冲设计,FPGA 以其高集成度,灵活,方便的特点,在电路设计中应用越来越广泛,Spartan3 系列中存在 DCM(数字时钟管理模块),主要可以实现消除时钟脉冲相位差,频率合成,相位转换 3 大功能,方便实现时钟倍频,分频。十分有助于系统时钟设计。

2 行间转移 CCD 内部结构及时序分析

ICX415AL 是对角线为 8mm 的行间转移高分辨率,高敏感度,低噪声 CCD 图像传感器,水平读出频率最大为 29.5Mhz,像

素尺寸(8.3um*8.3um)非常适合输出信号 PAL/CCIR 信号的黑白摄像机 H1、H2 位水平像素转移寄存器时钟信号,V1、V2、V3 位垂直行驱动时钟信号,RG 为读出寄存器复位时钟,SUB 信号决定 CCD 快门调节时间,一帧中 SUB 信号越多,CCD 光敏区的曝光时间越短,该芯片最大的特点是除了逐行扫描、中心读出工作模式还存在场读出模式。这种模式下可以搭配专用芯片处理后直接用电视机作为接受设备接受图像。就免去了 A/D,数字采集卡的设计,简化电路设计使电路小型化。

在场读出模式下如图 1 所示,所有的成像像素点都被读出,在水平消隐期间,垂直行驱动时钟信号需要完成 2 行的转移,垂直方向的两个像素中的图像信号在水平读出寄存器中迭加起来。实现垂直方向的 Binning 技术。

系统信噪比分析:

电路系统总的随机噪声包括霰粒噪声,暗电流噪声,复位噪声,白噪声和输出放大器噪声。如公式(1)所示

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma_{shot}^2 + \sigma_{dark}^2 + \sigma_{reset}^2 + \sigma_{aw}^2 + \sigma_{af}^2} \quad (1)$$

其中 $\sigma_{shot}^2 = S$,S 为 CCD 信号,复位噪声,白噪声和输出放大器噪声可以统称为读出噪声。如公式(2)所示

$$SNR_{sys} = S / \sqrt{S + \sigma_{dark}^2 + \sigma_{read}^2} \quad (2)$$

从公式 2 可以看出,当光信号变大时,信噪比也就越大,可以忽略暗电流噪声和读出噪声,

所以采用 CCD 场输出模式下,可以提高系统的信噪比。

需要注意的是在奇数帧和偶数帧中的行相加方式不同。如图 2 所示:

周 辉: 硕士研究生

基金项目: 国家 863 高技术计划资助项目(NO.863-2-5-1-13B)



图 1 场输出模式

图2 奇偶场输出原理

Fig1 field readout mode Fig 2 Principle of odd/even field readout

从图中可以看出,连续的两帧图像在成像位置上正好符合隔行扫描的方式。通过对时序上进行控制,再经过后续电路处理,就可以产生 PAL 信号。证明 CCD 可以产生模拟电视信号。

3 CCD 信号采集处理模块

如图 3 所示,包括 CCD 驱动信号、电压偏置电路、FPGA 时序信号发生电路和 CCD 信号处理模块。图 3 为 CCD 成像系统框图。CCD 在驱动脉冲的作用下,输出 CCD 信号,经过放大处理,模拟放大后的信号进入专用集成电路处理后输出为模拟的视频 PAL 信号。CCD 的时序产生部分用于生成产生 CCD 及模拟前端所需的时序。CCD 工作在场输出模式下。

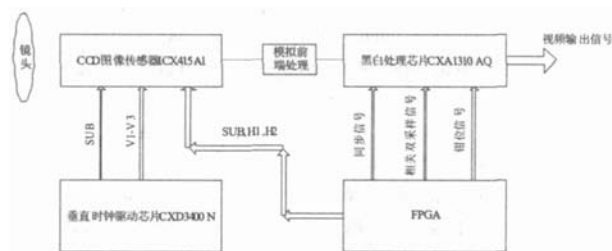


图 3 成像系统框图

Fig 3 Structure of imaging system

3.1 CCD 驱动模块

FPGA 产生的 LVTTTL 信号需要经过电压变换才能加载到 CCD 芯片输入端。CCD 驱动信号的好坏直接影响到 CCD 输出信号,进而影响到整体成像效果。FPGA 产生的 CCD 水平时钟驱动信号经过时钟驱动芯片经过时钟驱动芯片 EL7212 转换得到时序和偏置都符合 CCD 芯片要求的信号。FPGA 产生的 CCD 垂直时钟驱动信号经 SNOY 公司的 CXD3400N 产生 ICX415AL 芯片需要的垂直驱动阶梯脉冲波。

3.2 CCD 信号处理模块

从 CCD 输出信号中提取出有用的视频信号而去掉干扰及噪声信号, 目前广泛应用的就是相关双采样及暗电平校正技术。相关双采样的电路拓展结构有很多种 相关双采样就是用复位电平减去视频信号 暗电平校正技术是把前面得到的结果再减去暗电平信号。最终得到的就是实际的视频信号。

增益调整是为了在不同光照下使 CCD 信号仍能较好地处于模数转换的量程范围内,从而使视频信号不至于太弱或者太过于饱和。增益调整部分放大器的噪声应相当小。

视频处理芯片为 CXA1310AQ。输出信号最先经过相关双采样(CDS)处理,之后经过可改变的 AGC (Automatic Gain Control ,自动增益控制)电路进行 r 校正(对输出阴极射线管的输入信号进行发光强度的非线性校正),使灰度自然呈现的处理。最后加入同步信号完成图像信号的输出。

系统采用 Xilinx 公司 Spartan3 系列 XC3S200 作为主要时序发生模块, 主要分为 2 个部分: 1) CCD 驱动时序发生器 2) CCD 专用集成芯片同步信号发生器;

3.3 CCD 驱动时序驱动设计：

CCD 工作在场模式下, FPGA 产生的 CCD 垂直转移和 SUB 时钟信号(XV3、VSG3、XV2、VSG2、XV1、XSUB)送入 CXD3400N 芯片输出 V1、V2、V3。产生的 CCD 水平转移时钟信号,复位时钟信号送入 EL7212 芯片产生 H1、H2、RG 时钟信号。

水平方向转移时钟 H1、H2 为 14.75MHz，为了让像元存储信息更好的得到传递，水平转移时钟高电平应有一部分区域相互有叠加，设计中采取在 H1 上升沿和 H2 下降沿之间有大约 8ns 的叠加。复位时钟脉 RG 冲大约为 8ns，RG 上升沿与 H2 上升沿对齐。

垂直方向采用 Binning 技术,实现奇偶场输出,在 CCD 信号在偶数帧时进行第 $2n-1$ 、 $2n$ 行叠加,需要注意的是在奇数帧时,是把第 1、582 行单独输出,把剩下的第 $2n$ 、 $2n+1$ 行叠加 (n 取值为 1 到 312)。在奇数帧和偶数帧有效行输出前,大约 3 到 3 个垂直时钟周期,需要加载阶梯波。程序设计中奇数帧为提前 3 个周期,偶数帧为 4 个周期。其他时钟没有什么值得注意可以参考芯片手册进行时钟设计。

3.4 CXA1310AO 驱动时序设计：

为 CCD 预处理部分提供相关双采样信号(SHD1,SHD2),同步信号 SYNC,BLK,CLP1,CLP 送入 CXA1310AQ。

PAL/CCIR 信号行周期为 $64\mu\text{s}$, 水平读出时钟为 14.75MHz 那可以得到水平方向总像素为 $(64*14.75)944$ 个 , 一场为 20ms CCD 一帧中两行一起输出 , 可以计算得到垂直方向行为 $(2*20\text{ms}/64\mu\text{s})625$ 行 , 水平方向有效像元为 782 个 , 计算出消隐像素为 162 个 , 垂直方向有效行为 592 场消隐为 $((625-592)/2)17$ 行 , 通过这些数据就不难编写行同步信号时钟 SYNC (设计为在奇偶场行有效像素(782)输出时为 1 , 其他(162 个)为 0) 和场消隐信号时钟 BLK (设计为奇偶场有效像素末端到下一场有效像素开始前 17 个时钟周期电平为 0 , 其他为 1)。

本系统设计中相关双采样脉冲信号 SHD1 上升沿与 H2 上升沿间隔 $1/4$ 个像素周期, SHD1 与 SHD2 上升沿间隔 $1/2$ 个像素周期。

4 功能验证

整体程序通过硬件描述语言来 VHDL 编写,在 Xilinx 公司的集成开发环境 ISE 下完成逻辑设计、编译、进行功能仿真、布线后仿真,通过 JTAG 口下载到 FPGA 的配置芯片 XCFO2S 中,最终电路正常工作,效果良好。以下是系统中输入和输出信号 Modelsim 仿真图。如图 4.5 所示,时序符合要求。

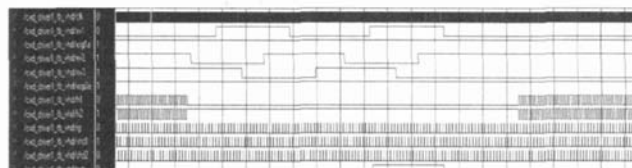


图 4 CCD 垂直驱动时序仿真

Fig 4 The simulation of Vertical driving time sequence

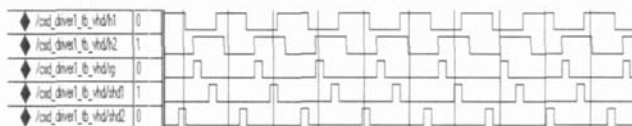


图 5 水平驱动时序与相关双采样时序仿真

Fig 5 the simulation of horizon and Correlate Double

Sample driving time sequence (下转第 155 页)

5 温度补偿

影响电容式传感器测量精度的外界环境影响主要来自于温度变化。首先是温度对结构尺寸的影响,由于环境温度的改变将引起电容式传感器各部件几何尺寸和相互间几何位置的变化,从而导致电容器产生附加误差,这种误差尤其在变极距型电容式传感器中更为严重。另一方面是温度对介质介电常数的影响,根据电容或传感器的工作原理,电容量的变化与介质介电常数成正比,因此,若介质的介电常数有不为零的温度系数存在,就会引起电容量产生变化,这又造成了输出附加误差。

对电容式传感器进行的温度补偿一般采用软硬件结合的办法进行补偿,使用线性温度传感器作为测温元件对仪器进行温度补偿,同时使用查表的方法进行软件补偿。温度补偿在软件方面采用查表的方式,即将 A/D 转换后的测量数据做适当的变换后与灵敏度温度系数与零点偏置温度系数矢量表的地址建立一一对应的关系,因此关键是建立灵敏度温度系数及零点偏置温度系数的矢量表,需要利用小角度标定位通过标定测试求出灵敏度温度系数及零点偏置温度系数。在某一特定温度下,设定小角度标定位的倾斜角为 0,从而确定零点偏置温度系数,分别测量倾角最大、最小时的电路的输出值,计算出灵敏度温度系数。如果特殊点选得过多,虽然准确度得以提高,但会延长计算时间。特殊点选得过少,又影响补偿准确度,因此特殊点的个数及位置要选择得适当,可根据实际情况进行调节。

6 结束语

传统的电容检测电路有电桥法、谐振法等,这些方法电路复杂且成本较高,并受环境的影响较大而难以实现高精度测量。AD7745 测量可变变动电容时,其输入范围为 $-4.096\text{pF}\sim+4.096\text{pF}$ 。经实际测试,本系统选用的电容式倾角传感器输出电容值范围为 $-2.953\text{pF}\sim+2.982\text{pF}$,可见该电路可行。本文介绍的方法电路简单,大大缩小了检测电路的复杂程度,且精度高,响应快,应用方便。

参考文献

- [1]孙克辉. 射频电容式传感器的原理与设计[J]. 仪表技术与传感器, 1998, 9: 7-9.
 - [2]王艳菊、王喜年、王玉田. 基于电容式传感器的储液智能化测量系统[J]. 微计算机信息, 2007, 7: 178-180.
 - [3]何希才. 传感器及其应用电路. 电子工业出版社, 2001.
- 作者简介: 陈超,男,1983年8月,汉族,长春光学精密机械与物理研究所机械电子工程专业硕士研究生,研究方向:电子技术应用;续志军,男,长春光学精密机械与物理研究所,研究员,硕士生导师,研究方向:电子技术应用。

Biography: CHEN Chao, male, 1983, Changchun institute of optics, fine mechanics and physics. Chinese academy of science. Majored in the application of electronic technology, master degree.

(110011 长春 中国科学院光学精密机械与物理研究所机械电子工程专业) 陈超 续志军

通讯地址: (110011 长春 中国科学院光学精密机械与物理研究所机械电子工程专业) 陈超

(收稿日期:2009.04.23)(修稿日期:2009.05.25)

(上接第 152 页)

5 结论

本文提出了一种应用仪器拼接和目标瞄准的面阵成像系统,采用专用 CCD 模拟处理芯片,在模拟电路中进行处理,避

免了 A/D 转化中量化误差的存在。在图像显示方面,避免了图像采集卡的使用,可以节约大量的成本,可以通过视频卡以 VGA 图像信号显示,也可以直接接到电视机上视频端口接受视频信号。文中详细的介绍了图像传感器中场输出模式的特点,并重点阐述了时序驱动电路和视频信号处理电路的设计。

本文创新观点:提出基于 CCD 场输出模式,一种提高 CCD 信噪比的新方法并简化的接受设备,减少系统体积,减少功耗和成本。

项目经济效益 100 万元

参考文献

- [1]雷伏容 VHDL 电路设计[M]. 北京 清华大学出版社.
- [2]王庆有 图像传感器应用技术[M]. 北京 电子工业出版社.
- [3]张大海 姚大志 刘伟等. 高速科学 CCD CAMERA 系统设计[J]. 光学 光电工程 2005, 32(11): 87-92.
- [4]佟首峰 阮锦 郝志航. 几种相关双采样拓扑电路分析[J]. 半导体光电, 2000, 10: 358-362.
- [5]薛旭成 李云飞 郭永飞. CCD 成像系统中模拟前端设计[J]. 光学 精密工程 2007, 15(8): 1191-1195.
- [6]米本和也 CCD/CMOS 图像传感器基础与应用[M]. 北京 科学出版社.
- [7]白喆 张伯珩 边川平 TDA8783 在 CCD 相机视频信号处理中的应用[J]. 微计算机信息 2007, 8-1: 160-162.

作者简介: 周辉(1983-),男,汉族,陕西咸阳人,硕士研究生,主要从事 CCD 图像采集系统与图像处理方面技术的研究。

Biography: ZHOU Hui (1983-), male, Han, nationality, born in Xianyang Shanxi province, master, Specialized in CCD image collect system and image process technology.

(130033 吉林长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 周辉 任建岳 张星祥 陶宏江

(100039 北京 中科院研究生院) 周辉

通讯地址: (130033 吉林长春 长春市经济技术开发区营口路 20 号 D 座 504 室) 周辉

(收稿日期:2009.04.23)(修稿日期:2009.05.25)

《PLC 技术应用 200 例》

PLC (可编程控制器) 广泛地应用在冶金、机械、机器人、石油化工、电力传动、纺织机械、注塑机、包装机械、印刷机械、造纸机械、机床、自来水厂、污水处理、煤矿机械、焊接机械、榨糖机械、制烟机械、工程机械、水泥机械、玻璃机械、食品机械、灌装机械、橡胶机械、船舶、铁路、窑炉、车辆、智能建筑、电梯控制、中央空调控制、大型医疗机械、起重卷扬机械、大坝闸门、大型泵站……。

各行各业机械工程师, 电气设备工程师, 高级技工都需要具备 PLC 的知识, 才能做好本职工作。本书汇集 200 多个硬 PLC 和软 PLC 在各行业的应用实例, PLC 故障诊断实例, PLC 抗干扰措施, PLC 使用经验、PLC 技术发展, 均在本书之中论述。

本书适合大专院校机械类、电气类、电力类、自动控制和自动化类专业的本科、研究生做毕业设计参考, 同时适合老师进行教学、搞科研项目参考。本书是上述各行业的工程技术人员、技术工人的必备参考书, 同时也是工厂和科研单位的技术领导、设备采购负责人的参考书。凡具备高中以上文化水平的人均可成为读者。

200 多个西门子、三菱、美国通用电气、施耐德、欧姆龙、罗克韦尔、松下电器、和泉……等 PLC 应用实例, 任您选读。一技之长, 改变人生。

大 16 开, 每册定价 110 元(含邮费)。预购者请将书款及邮寄费通过邮局汇款至

地址: 北京市海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室

微计算机信息 邮编: 100081

电话: 010-62132436 010-62192616 (T/F)

http://www.autocontrol.com.cn http://www.autocontrol.cn

E-mail: editor@autocontrol.com.cn; E-mail: control-2@163.com