

科学级 TDI-CCD 相机噪声抑制及实现

Noise Suppression and Design of Scientific Grade TDI-CCD Camera

(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) 郝贤鹏^{1,2} 任建岳¹
HAO Xian-peng REN Jian-yue

摘要: 为提高科学级 TDI-CCD 相机的工作性能,简要分析 TDI-CCD 视频信号的噪声和解决方法;给出 TDI-CCD 相机视频处理电路各个组成部分的设计,利用 FPGA 设计科学级 TDI-CCD 相机并进行动态实验及辐射定标实验。实验结果表明,该视频处理电路在本身引入噪声较小的同时,有效地抑制了 TDI-CCD 的噪声,获得较好的图像;数据输出速率在 55MHz 时,整机信噪比(S/N)在 51dB 以上。

关键词: TDI-CCD 相机; 噪声抑制; 相关双采样; FPGA

中图分类号: TP37; TP316

文献标识码: A

Abstract: This paper develops analysis of TDI-CCD video signal noise and suppression noise technique for excellent performance of scientific TDI-CCD camera. Every part of the video processing circuit is analyzed and the design methods were presented. The scientific TDI-CCD camera is designed according to them based on FPGA. Results show that the designed circuit can effectively suppress noise and high-quality image is got. The output S/N (signal to noise ratio) of the camera is more than 51 dB through the radiometric calibration experiment when the data rate is 55MHz.

Key words: TDI-CCD camera; noise suppression; correlated double sampling(CDS); FPGA

1 引言

科学级 TDI-CCD 相机 (Scientific grade TDI-CCD camera) 是一种具有低噪声、高灵敏度、大动态范围和高质量效率等优良性能的相机,与同样的线阵 CCD 相机比,当 TDI-CCD 器件 M 级积分时得到的光能量利用率可提高 M 倍,故相机的信噪比可提高 \sqrt{M} 倍。这样就降低了对相机相对孔径的要求,从而减小了相机系统的重量和体积,大大降低了成本。因此,科学级 TDI-CCD 相机在空间遥感、天文观测、武器装备等领域得到了广泛应用。

TDI-CCD 器件的输出信号是空间采样的离散的微小模拟信号,即有模拟和数字信号的双重特性,其中夹杂着各种噪声和干扰,因此低噪声视频处理技术是影响科学级 TDI-CCD 相机高分辨率成像能力的关键之一。为了保证在 TDI-CCD 的动态范围内得到高信噪比的视频信号,获得高质量的图像,必须对噪声予以抑制。本文首先分析 TDI-CCD 相机的噪声特征及其处理方法,利用 FPGA 作为控制器完成 TDI-CCD 相机的低噪声视频处理电路的设计,构建测试平台,给出实验测试结果。

2 TDI-CCD 相机噪声分析与抑制

TDI-CCD 相机系统中噪声主要包括 TDI-CCD 图像传感器的噪声以及片外视频系统的噪声两部分组成。TDI-CCD 的自身噪声包括光子散粒噪声、暗电流噪声、复位噪声、低频噪声和白噪声等。光子散粒噪声为 CCD 固有噪声,不能被抑制;对于暗电流噪声,当 CCD 的工作温度降低到 -15°C 时,可以使暗电流噪声得到很大程度的抑制。另外,通过暗电平校正技术也可抑制暗电流噪声。所谓暗电平校正技术是利用 TDI-CCD 一般在像素阵列的起始或末尾有暗像元,对暗像元的输出信号进行采样存储,

郝贤鹏: 博士研究生

将有效像素的输出信号值与暗像元输出信号值相减,就可滤除暗电流噪声。这样方法降低了热控系统的要求,简化了电子学、机械系统的设计。

复位噪声的产生与 CCD 的输出结构有密切联系,TDI-CCD 最常用的是浮置扩散放大器结构。根据 TDI-CCD 的输出特点目前最广泛采用的是相关双采样技术(CDS)。相关双采样技术是利用 TDI-CCD 输出的视频信号上的噪声电压涨落缓慢这一特点,在同一像素周期内分别对输出参考电平和信号电平进行采样,由于两次采样的噪声电压相差甚小,且两次取样的时间是相关的,所以复位噪声基本能够消除。CDS 技术的关键在于采样保持,要求 2 个采样保持脉冲和 CCD 数据时钟之间要有严格的相位关系,而且要求采样保持器要有严格的对称性。

片外视频系统的噪声主要有视频信号预处理噪声和量化噪声。视频预处理噪声通过采用低噪声器件和相关的低噪声设计与布线技术将大大降低,可忽略不计;为减小量化误差对系统误差的影响,应尽量增大系统的增益。

3 TDI-CCD 相机低噪声视频处理系统设计

TDI-CCD 相机低噪声视频处理电路原理设计主要有两部分组成:前级预处理电路和后处理电路,如图(1)所示。前级预处理电路主要是对 TDI-CCD 输出的视频信号进行滤波、放大等处理,以降低噪声对信号的影响,使信号符合 CDS 电路的要求;后处理电路主要是去除信号的复位噪声,将模拟信号转换为数字信号。

3.1 TDI-CCD 相机前级预处理电路

TDI-CCD 器件的输出阻抗在 $100\sim 500\Omega$, 而电路板特征阻抗的典型设计为 50Ω 或者 75Ω ; 同时 TDI-CCD 输出的视频信号幅值较小,为了进行长距离传输和减少传输过程中引入的干

扰,需要进行阻抗转换及放大输出。前级预处理电路主要包括射极跟随器和信号放大电路两部分。射极跟随电路起阻抗变换的作用,同时具有隔离保护 TDI-CCD 输出放大器和增强输出信号的驱动能力。信号放大电路完成 TDI- CCD 视频信号的电平转换,以符合相关双采样电路的输入要求。

本系统中前置预处理电路与 CCD 输出端之间采用交流耦合方式,有利于消除温度等因素对传输信号的影响。采用交流耦合会造成信号中直流成份的丢失,但可由后续的箝位电路来恢复其直流量。另外,在保证信号满足要求的条件下,应尽量减少前置预处理电路的带宽,降低噪声的影响,提高系统的信噪比。

一款科学级 TDI-CCD 相机,原理框图如图(4)所示。

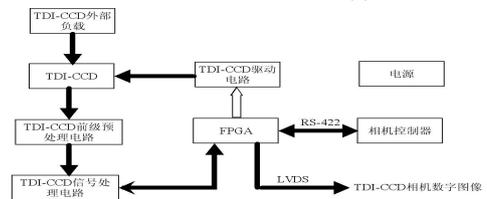


图 4 TDI-CCD 相机原理框图

Fig.4 Principle of scientific TDI-CCD camera

采用 Xilinx 公司生产的 VCV300 系列 FPGA 作为时序发生与控制器,协调 CCD 驱动电路、相关双采样控制电路以及数字图像数据处理之间的工作,完成数据采集、存储、通信等功能。相机控制器通过 RS-422 总线发送摄像命令、行频和增益等参数设置命令,FPGA 根据接收到的参数命令完成相机上电、产生 TDI-CCD 驱动时序,完成对 VSP2270 进行参数设置。TDI-CCD 产生的图像信号经过前级预处理电路、TDI- CCD 信号处理电路将模拟视频信号转换为数字图像,进入 FPGA 后将对数据进行整合,加入辅助信息经过 LVDS 发送到计算机图像采集卡,就可在计算机上实时显示图像。

利用卤钨灯、积分球、计算机图像采集系统等构建 TDI-CCD 相机测试平台;在太阳高角 $\theta=60^\circ$ 、地面反射率 $\rho=0.6$ 时,数据输出速率在 55MHz 时,图像的信噪比可达到 51.2dB。利用动态目标发生器,TDI- CCD 相机行频在 1.3kHz 时,成像画面清楚,图像如图(5)所示。



图 5 TDI-CCD 相机实时图像

Fig.5 Real-time Imaging of TDI-CCD Camera

5 结论

本文研究 TDI-CCD 相机的噪声源,分析主要输出噪声及抑制方法,给出 TDI-CCD 相机视频处理电路的设计;利用 FPGA 设计科学级 TDI- CCD 相机。实验表明,该视频处理电路在本身引入噪声较小的同时,有效地抑制了暗电流、复位噪声、1/f 等噪声,改善相机成像质量;数据输出速率在 55MHz 时,整机信噪比(S/N)在 51dB 以上,完全满足系统设计要。另外,由于 TDI-CCD 输出信号的幅值较小,模数转换量化位数又高,而相机系统中的高速数字电路极易对模拟部分造成干扰,因此合理设计系统带宽,分析电源、接地系统以及信号的电流路径,合理设计 PCB 布局布线,降低信号干扰及噪声也是非常重要的。

本文作者创新点:分析 CCD 图像传感器噪声的特点,详细阐述低噪声视频处理电路的设计;利用 FPGA 作为时序发生与相机控制器,利用集成芯片代替分离元器件完成相关双采样、增益控制和 10bit 量化等功能,这就简化了系统电路的设计,提高了相机的性能与抗干扰能力,减小了相机的体积,增强了系统的可靠性与稳定性。

(下转第 20 页)

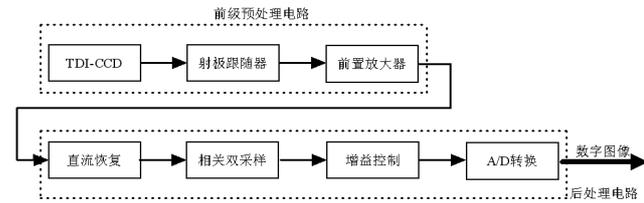


图 1 TDI-CCD 相机视频处理电路原理框图

Fig.1 Principle of Video Processing Circuit of TDI-CCD Camera

3.2 TDI-CCD 相机后处理电路

TDI-CCD 相机后处理电路主要包括直流恢复、相关双采样电路、增益控制模块以及 A/D 转换模块等。由于集成电路技术的快速发展,在实际应用中可选择集成 IC 完成上述功能。与利用分立元件设计的 CDS 电路相比具有体积小、可靠性高、噪音低、功耗低、使用方便等优点。本设计采用 TI 公司生产的专用集成芯片 VSP2270,主要包括:相关双采样(CDS)电路、可编程增益控制(PGA)电路、暗电平校正、箝位电路、高速 10Bit 模数转换 A/D 等,结构框图如图(2)所示。

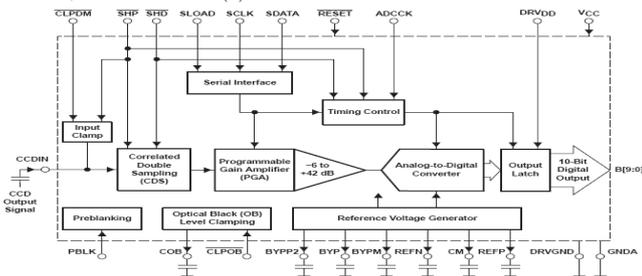


图 2 VSP2270 结构框图

Fig.2 Diagram of VSP2270 Configuration

该器件采用 3.3V 供电,最高采样频率达到 28MHz,可编程增益调节从 -6dB 到 42dB。可通过 3 线串口对片内寄存器进行参数写入,改变增益、带宽等参数。电路原理图如图(3)所示。

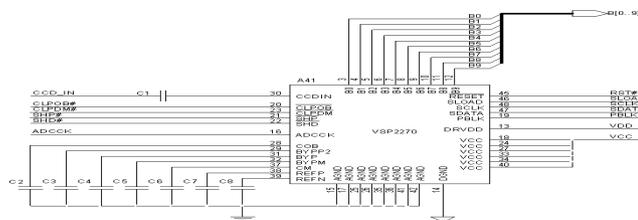


图 3 视频信号处理电路原理图

Fig.3 Schematic of video signal processing Circuit

4 实验设计与结果

采用 DALSA 公司生产的一款 4096x96 的 TDI-CCD 设计

技术创新

敏感数据“盗不取”、“拷不走”、“暴不露”。

(3)在硬件平台方面,主要是探索抗跌落、防电磁泄露与抗电磁干扰、异常环境适应性等方面的安全加固技术。

移动存储器安全技术的发展模式将是:将基于生物特征(如指纹)的身份识别技术、USB安全锁技术、移动网络安全技术、物理安全和可靠性加固技术,形成具有可靠性、完整性、私密性三个维度安全特征的可信赖安全移动平台,真正满足移动用户安全需求。

因此,通过选用对移动存储器进行加密,无疑是一种既能提供高安全性,又能方便用户使用的实用技术,其中的典型代表就是全盘加密技术(FDE)。内置全盘硬件加密技术,可以对整个移动存储器进行加密,只有通过密码才能进入加密区,充分保证了数据在加密区的安全性。可以让保存在移动存储器里的资料、数据安枕无忧。全盘加密技术是在硬盘上采用集成的硬件加密芯片,自动对写入硬盘的所有用户数据进行加密,并在读取时解密,加密和解密的速度与接口的传输速度完全相同,不会导致硬盘性能下降。支持该功能的固件还允许开启和关闭加密功能,改变主密码和用户密码,或将密钥存储到另一个位置。加密芯片独立于操作系统,对操作系统透明。利用支持管理功能,可以恢复丢失的密码。全盘加密技术是硬件加密技术,它的安全性比普通的BIOS密码和系统密码高得多,在使用时也很方便,不用频繁地输入密码。采用这种技术的移动盘即使遗失,由于明文密钥不在盘上,也不必担心里面的数据被人利用,即便非法用户导出数据,他能得到的也只是一堆乱码。采用硬件加密技术,无需安装软件,直接将加密功能固化到固件里,就算被格式化,加密功能仍然存在,安全性高。除了可以对整个盘进行加密之外,也允许用户调整加密分区和非加密分区的大小,操作非常简单、安全、可靠。这种硬件加密技术基于硬件层控制,完全不影响读写速度,这是软件加密所没法比拟的。

4 结束语

本文为适应办公的移动化和安全性需求,提出了一种基于Linux内核的移动智能操作系统,以硬件加密特性好且价格低廉的移动存储器作为操作系统载体,可以随身携带、即插即用到计算机上,同时兼容Windows和Linux环境下的应用软件。因此本文开发的系统可以应用于对系统的移动性和安全性要求较高的行业,如电子政务、公检法、国防、银行、证券、电力、电网、商业保密企业及学校等。

本文作者创新点:提出了一种新的基于Linux内核进行二次开发的桌面操作系统,结合移动设备特有的移动性和硬件加密特性装载该系统,它能即插即用到计算机上,同时支持Windows和Linux应用软件。该文开发的移动智能桌面操作系统“Prayaya V3 口袋虚拟操作系统”已通过广州市经略电子有限公司在市场上销售,零售价定价:298元/套,目前已销售了2万多套,市场前景可观。

参考文献

- [1]胡建.操作系统起源、分类及应用现状[J].保山师专学报,2007,26(2):22-26.
- [2]陈肖.Linux:自由的操作系统[J].微电脑世界,2004,(Z1):184-185.
- [3]潘柏英.基于嵌入式Linux操作系统的GUI平台设计与实现[J].微计算机信息,2007,23(4-2):73-75
- [4]悠然.千脑在线:互联网上的“操作系统”[J].互联网天地,2007,(12):69.

[5]杜祝平等.多操作系统网络计算机的启动研究.微计算机信息,2005,21(12-3):131-133

[6]黄亭宇.系统虚拟机实现技术综述[J].农业网络信息,2007,(10):201-204.

[7]华旗资讯.生物识别技术打造移动存储数据安全——爱国者推出全球首款指纹加密型闪存盘[J].计算机安全,2003,10(30):59.

作者简介:郑力明(1971-),男,广东人,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为计算机网络;朱梅丽(1978-),女,安徽人,硕士研究生,主要研究方向为计算机网络;胡元志(1969-),男,湖南人,高级工程师,主要研究方向为操作系统架构和实现。

Biography:ZHENG Li-ming(1971-),male, Guangdong, associate professor, Ph.D. Department of Electronic Engineering, College of Information Science and Technology, Jinan University. His research interests are in the area of computer networks.

(510632 广州暨南大学) 郑力明 朱梅丽

(510000 广州广州市经略电子有限公司) 胡元志

(Jinan University, Guangzhou 510632, China)

ZHENG Li-ming ZHU Mei-li

(Guangzhou Prayaya Electronic Co.Ltd, Guangzhou 510000, China) HU Yuan-zhi

通讯地址:(510632 广州市黄埔大道西601号暨南大学信息科学技术学院电子工程系) 郑力明

(收稿日期:2009.03.10)(修稿日期:2009.06.10)

(上接第17页)

参考文献

- [1]Gerald C.Hoist.CCD Arrays Cameras and Displays [M]. SPIE optical engineering press.1998.
 - [2]李文煜,程湘爱,赵伊君.TDI-CCD的特性及改进方法分析[J].半导体光电,2005,26(3):409-411.
 - [3]佟首峰,阮锦,郝志航.CCD图像传感器降噪技术的研究[J].光学精密工程,2000,8(2):140-145.
 - [4]黄巧林,金伟其,朱敏.航天TDI-CCD相机视频信号处理中相关双采样技术的研究[J].航天返回与遥感.2002,23(4):17-25.
 - [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]Texas Instruments Inc. VSP2270 Datasheet, 2007, http://www.ti.com
 - [7]李爱玲,张伯珩,达选福,边川平.基于CPLD的CCD相机图像信号模拟器的设计[J].微计算机信息,2006,1-2:151-152,162
- 作者简介:郝贤鹏(1979-),男,中国科学院长春光机所博士研究生,主要研究方向空间遥感器成像系统设计。
- Biography:**HAO Xian-peng (1979-),male,the doctoral student of the Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics of CAS,working at the imaging system design of space remote sensor.
- (130033 长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 郝贤鹏 任建岳
- (100039 北京 中国科学院研究生院) 郝贤鹏
- (Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Sciences,Changchun 130033, China) HAO Xian-peng REN Jian-yue
- (Graduate School of the Chinese Academy of Sciences,Beijing, 100039, China) HAO Xian-peng
- 通讯地址:(130033 吉林省长春市长春光学精密机械与物理研究所) 郝贤鹏

(收稿日期:2008.10.13)(修稿日期:2009.01.13)