

三线阵 CCD 视频信号处理系统研究

张 达, 刘栋斌

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 本文简要分析了三线阵 CCD 的原理结构, 根据其输出视频信号特征及系统要求, 需要实现相关双采样、可编程增益控制、行校准等综合处理的方法。TDA8783 是 CCD 专用视频信号处理器, 包含上述功能, 且性能优异, 本文详细阐述了其实现方法, 并成功应用于研制的线阵 CCD 相机, 得到了行频 360 Hz 的理想视频图像, 信噪比达到 55 dB。

关键词: 三线阵 CCD; 相关双采样; 可编程增益控制; TDA8783

中图分类号: TN386.5; TP391

文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI 20102712.0167

Video Signal Processing System for Trilinear CCD

ZHANG Da, LIU Dong-bin

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: The principle structure of a trilinear CCD is briefly introduced in this paper. According to the signal characteristic of its output videos and system requirement, the synthesized processing methods are needed to be implemented, including correlation double sample, programmable gain control, and line calibration, etc. TDA8783 is a special purpose video signal processor for CCD including above-mentioned functions, and the performance is excellent. The implementation method is explained in detail and is succeeded in applying to a developing linear CCD, the ideal video images with 360 Hz line frequency have been gotten, with SNR up to 55 dB.

Keywords: trilinear CCD; correlated double sample; programmable gain control; TDA8783

CCD (Charge coupled device) 电荷耦合器件是 20 世纪 70 年代发展起来的一种半导体大规模集成光电器件^[1]。近 40 年来, CCD 器件及其应用技术的研究取得了惊人的进展。由于它在图像信息的摄取、记录方面独具特色, 因此在科学、天文、工业等领域有着广泛的应用。现在, CCD 是成像领域里重要的探测器件, 它具有动态范围大、低噪声输出、量子效率高、电荷转移效率高、光谱响应范围宽、可靠性高、体积小、功耗低、寿命长等许多优点。

2 三线阵 CCD 探测器

[illegible]

图 1 KLI-8023 单通道结构原理框图

其一个工作周期分为两个阶段：光积分阶段和电荷转移阶段。光积分阶段实现光电荷的积累，与此同时将上一帧转移到移位寄存器中的电荷向输出放大器移位输出并清空像元势阱中的无效电荷；电荷转移阶段实现光电荷向移位寄存器的转移。

CCD 的输出存在各种噪声, 直接影响输出的信噪比。对于输出极为浮置扩散放大器的结构而言, 在电荷检测过程中产生的主要是复位噪声、低频 $1/f$ 噪声和宽带白噪声^[4], 其中复位噪声是最主要的噪声。为了降低读出噪声, 本文采用适合 CCD 信号去噪的相关双采样 (Correlation double sample) 技术, 此方法不仅可以很好地滤除复位噪声, 而且对宽带白噪声和 $1/f$ 噪声等成分也有一定的滤除作用^[5]。同时, 像元串行读出的速度一般可以做到很高, 关键取决于系统的需求, 这皆对后续 CCD 视频信号处理电路的能力有一定的要求。

3 相关双采样法 (CDS)

CCD 输出减小噪声的方法有很多, 其中相关双采样方法是 CCD 应用的首选方法^[6]。相关双采样工作原理和采样时序如图 2 和图 3 所示, 图 2 中虚线的左半部分为 CCD 输出级结构, 右半部分为相关双采样电路。相关双采样基本原理是利用复位管的输出级的等效电容 C_0 上噪声电压涨落缓慢这一特点, 在输出参考电平和信号电平时, 在同一像素周期内进行两次采样。如果使得两次采样时间间隔远小于时间常数 $ROFF \cdot C_0$, 实际应用中满足此条件。这样, 由于两次采样的噪声电压相差甚小, 所以, 两次取样点

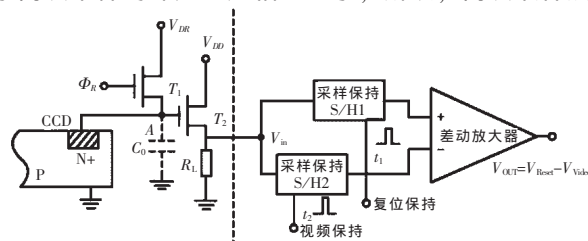


图2 CDS基本原理图

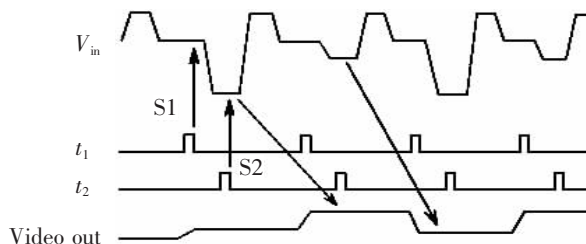


图3 CDS采样时序图

的噪声在时间上是相关的。若将两次采样值相减,即可从输入信号中抑制复位噪声,两次采样信号之差得到的就是真实的视频信号电平。

CDS 技术的关键在于采样保持的位置选取,要求 2 个采样保持的脉冲和 CCD 读出信号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。

实际的相关双采样电路前面还需加一级前置预放,将 CCD 输出调理成满足后续电路输入要求的信号,主要起到幅值调整、阻抗匹配、宽带白噪声抑制等作用,同时为了减小信号的传输损耗和外界干扰,前置放大电路尽可能靠近 CCD 输出端。针对所用 CCD 输出信号特征,本文采用的是 AD 公司生产的 AD811 运算放大器。

4 专用视频信号处理电路

CCD 输出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目标亮度成线性关系;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。为实现上述功能,要具有相关双采样、可编程增益放大、暗电平校正、模数转换等功能。以前通常都采用独立的集成电路完成各部分功能,必然带来电路复杂、功耗加大、调试困难等弊端。随着微电子技术的进步,目前已有集成上述诸多功能的专用视频处理芯片。其中 Philips 公司开发的 TDA8783 专用视频处理器功能强大、性能优越、价格便宜,成为本 CCD 信号处理电路的首选器件。

TDA8783 最高采样速率 40 MHz,内置高带宽(4~120 MHz)的差分相关双采样器(CDS)、10 位数字可编程增益放大器(4.5~34.5 dB)、低功耗 10 位 A/D 转换器,具有暗电平校准功能^[7]。其性能优越、性价比高,下面对其功能模块进行分析,并对采用该芯片完成三线阵 CCD 信号处理应用中一些实际工程问题加以简要阐述。

4.1 相关双采样(CDS)和 A/D 转换

CCD 输出信号通过前置放大电路调整输出电平、匹配输出阻抗、抑制系统噪声,缓冲后的差分形式 CCD 信号作为 TDA8783 的 CDS 输入信号。CDS 的这种差分输入方式可以有效地抑制开关干扰。正确的时序控制是成像质量的关键。为分析该视频处理器 CDS 的工作过程,以下将结合 TDA8783 的 CDS 时序图(如图 4 所示)进行分析。

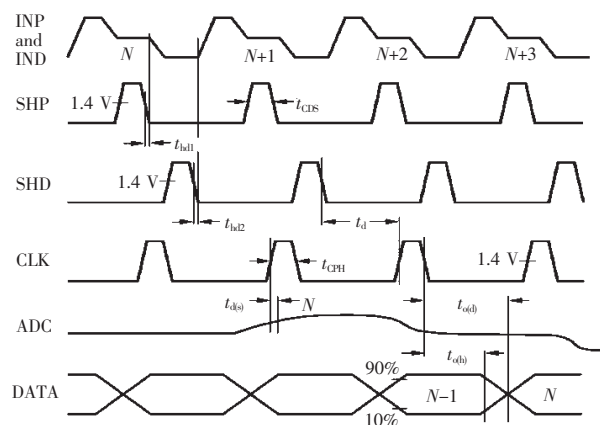


图4 TDA8783的CDS时序图

CCD 的视频信号的输入如图中 INP and IND 所示,下面伴随的是外部 CDS 采样控制脉冲 SHP、SHD、AD 转换时钟 CLK 以及数据输出 DATA 的相对时序关系,CDS 采样点的位置需要精确控制,以获得最佳的去噪效果。

TDA8783 内部集成了 10 位分辨率、40 MSPS 的 ADC,ADC 采样时刻由外部产生的 CLK 信号决定。在此需要注意的是从视频信号输入到对应的数字信号输出,共需要 3 个像素周期的流水线延迟,因此后续存储数据时要考虑到这个流水线延迟因素,否则不仅引起像素整体平移,还会导致每行前后各有几个像素数据发生错误。

4.2 可编程增益控制

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。CCD 输出信号的大小随着入射照度的强弱而改变,因此,只有通过信号处理系统进行增益、偏置动态地

调节,才能使输出的数字图像的亮度和对比度满足要求。可编程增益控制既可以对视频信号进行动态调节,而且由输入和输出信号的对应关系可知,适合于科研中需要使输出信号的数值与被探测信号的光强存在一定对应关系的应用。TDA8783的PGA可进行步长为0.094 dB的线性可调精细控制。根据串口9位增益寄存器控制码(范围0~511)使得系统总增益在4.5~34.5 dB之间可调,计算公式为:

$$\text{Gain[dB]} = \begin{cases} 0.094 \times \text{AGCcode} + 4.5 & (\text{code} \leq 319) \\ 34.5 & (\text{code} > 319) \end{cases}$$

具体控制码与增益的对应关系如图5所示。

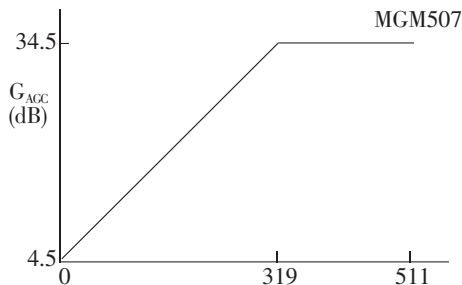


图5 增益控制码与增益关系图

4.3 行校准模式

行校准的过程实质上就是对CCD每行输出的光敏暗像元OB(Optical black pixel)进行暗参考电平标定的过程。TDA8783的输入端通常需要加隔直电容,仅将交流的视频信号输入到CDS中。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电平出现波动,在实际应用中,需要暗电平维持一个固定电平,暗电平标定过程亦即直流电平恢复过程,图6表示了一种行标定时序。通常情况下,CCD输出视频信号的开始部分或结束部分会分布若干个哑像元以及暗电平参考像元,不同CCD的哑像元位置和数目都是不同的,在进入标定时,需要用CLPOB和CLPDM信号来定义用于标定的哑像元数目和位置,同时对于每行图像确定行头和行尾。CLPOB和CLPDM是两个行时钟控制信号,有两种不同的工作模式。

通常情况下,CLPDM(CLPADC需要跟随)定

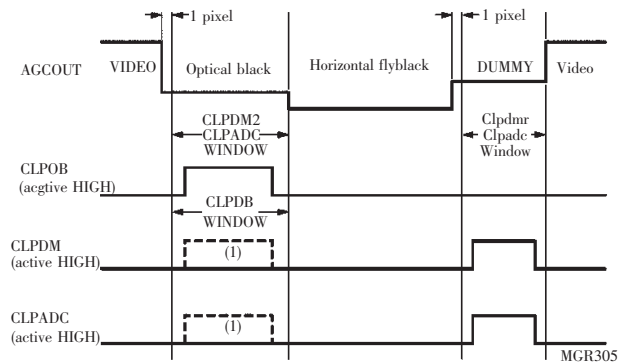


图6 CLPOB&CLPDM行校准模式时序图

义行头的哑像元或暗像元,使得CDS的输入端进行直流箝位恢复;CLPOB定义行尾暗像元,用于暗电平标定。如果所用CCD输出行头没有哑像元可用时,需要将CLPDM和CLPADC信号置于和CLPOB相同的行尾位置,同时用来激活直流箝位恢复和定义暗像元进行暗电平标定。

4.4 串行控制

TDA8783采用三线串行接口来进行编程控制,读写控制信号为LOAD、SDI和SCLK。接口采用13位移位寄存器,高3位为地址码,低10位为数据位。内部总共有5个7~10位控制寄存器。恰当地设定控制寄存器,TDA8783可以提供不同的省电模式、内部电路功能单元隔离等多种丰富的功能。

5 电路原理

本系统控制核心采用Xilinx公司的Virtex II系

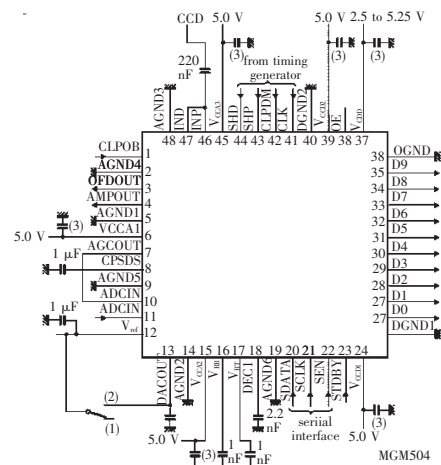


图7 TDA8783视频信号处理电路

列 FPGA 加以实现, 通用灵活, 用以完成 CCD 驱动时序产生、通讯控制、数据打包传输等任务。TDA8783 视频信号处理的电路原理如图 7 所示。

6 结 论

本文结合专用视频信号处理器 TDA8783 对三线阵 CCD 输出视频信号处理各个环节进行了较详细的阐述, 通过对各功能单元电路、工作方式的详细分析和深入研究, 已成功地将 TDA8783 用于 KLI-8023

输出视频信号的处理, 行频和积分时间可调以适应信号的强弱。通过实验获得的行频 360 Hz 的三线阵 CCD 单通道全色图像如图 8 所示。



图 8 三线阵 CCD 全色图像

通过对图像数据分析, 图像质量好, 近饱和状态下输出信噪比为 55 dB, 满足系统设计指标。

参考文献

- [1] G.S.霍布森.电荷转移器件[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1983.
- [2] Groom D E. Recent progress on CCDs for astronomical imaging[J]. *SPIE*, 2000, 4008: 634-637.
- [3] Kodak Corporation. *Kodak KLI-8023 image sensor datasheet*[G]. Kodak Corporation, 2008.
- [4] 李永远, 谢小平. CCD 输出信号处理[J]. *应用光学*, 1997, 18(1): 20-23.
- [5] 黄巧林, 金伟其, 朱敏. 航天 TDICCD 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): 17-22.
- [6] Bucher H R. Low-noise instrumentation CCD cameras and high resolution mammogram System[J]. *SPIE*, 1996, 2654: 335-343.
- [7] Philips Semiconductors Inc. *TDA 8783 datasheet*[G]. Philips Semiconductors Inc, 1999.

作者简介: 张达(1981-), 男, 汉族, 辽宁昌图人, 博士, 助理研究员, 2008年于中科院长春光机所获得博士学位, 主要从事语音和图像信号的高速处理、空间光学成像技术等研究。E-mail: mrzhangda@126.com