

基于 CDS 技术的 CCD 噪声信号处理

张 林¹, 宋 寅², 胡学友¹

(1. 合肥学院 电子系, 安徽 合肥 230022; 2. 北京师范大学 信息科学与技术学院, 北京 100875)

摘 要: 在 CCD 信号采集系统中, 当 CCD 像元读出频率较高时, 其复位噪声已成为 CCD 噪声源中不可忽视的重要部分。针对 CCD 输出噪声特点, 建立噪声传输函数及其分析模型, 利用相关双采样(CDS)技术对 CCD 输出信号中的复位噪声进行了理论分析和相关测试。结果表明, 只要选择合适的采样时间, 可以最大限度地抑制复位噪声。

关键词: CCD 噪声; CDS; 噪声抑制; 信号处理

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5868(2007)02-0265-03

CCD Noise Signal Processing Based on CDS

ZHANG Lin¹, SONG Yin², HU Xueyou¹

(1. Department of Electrical Engineering, Hefei University, Hefei 230022, CHN;

2. College of Information Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, CHN)

Abstract: In CCD signal acquisition system, reset noise becomes much more important compared with other noise sources at high pixel readout frequencies. According to CCD output noise characteristics, the noise transmission function and analysis model are established, and the reset noises is tested by using the most suitable correlated double sampling (CDS) technology. Experimental result shows that reset noises can be farthest restrained by selecting suitable sampling time.

Key words: CCD noise; correlated double sampling (CDS); noise suppression; signal processing

1 引言

CCD 作为一种自扫描式光电接收器件, 在现代靶场立靶测试中已受到越来越广泛的重视。CCD 图像传感器输出的信号是一组空间采样离散的模拟信号, 其中夹杂着各种噪声和干扰, 以 CCD 输出结构产生的复位噪声(即 KTC 噪声)为主要因素, 如不消除, 将严重影响视频信号的信噪比。CCD 输出电压通常很小, 一般只有几百毫伏, 因而常常被淹没在噪声中^[1]。对 CCD 输出信号噪声抑制或削弱的程度往往预示着所提取信号质量的优劣或信号处理的效果, 也是 CCD 应用的关键技术之一。对 CCD

噪声处理的主要方法有: CDS 技术、双斜积分法、开关指数滤波法等^[2]。这几种方法在使用时各有侧重, 但它们在本质上是相同的, 都包括 RC 电路, 即都是通过将视频信号在一个像素周期内进行前后两次采样(或积分), 然后分别送至差动放大器的两个输入端, 在进行视频信号放大的同时可消除复位脉冲所造成的干扰。由于 CDS 电路简单、易实现, 其采样保持电路在足够短的时间内能达到新的电平, 并且不必清除前一个像素的电荷, 从而成为 CCD 噪声处理的首选方法。

2 CDS 电路分析

2.1 CDS 电路组成

CDS 电路是噪声信号处理的关键, 它对复位噪

收稿日期: 2006-09-28.

基金项目: 安徽省教育厅科学研究项目(2005kj090), 安徽省高校青年教师科研资助计划项目(2006jql230).

声和参考电平的变化可用相关特性加以抑制^[3,4]。在 CDS 拓扑电路中,一般采用了两级高速采样保持器(S/H),如图 1 所示。一级用来采集复位电平,即在复位脉冲过去之后至信号电荷到来之前某一时刻的电平;另一级用来采集像元信号电平,即在水平时钟串扰后到信号电荷到来前的某一时刻电平;然后将两次采集的电平进行差分比较,就得到了实际的信号电平,使任何与采样信号相关的复位噪声得到较好的抑制,这项技术至少可以将噪声降低一个数量级,典型的 CDS 系统组成如图 2 所示。

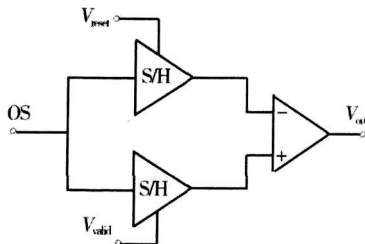


图 1 CDS 采样保持电路

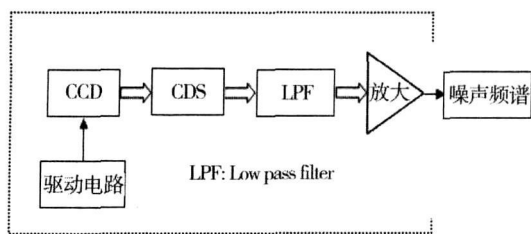


图 2 CDS 测量系统的硬件框图

2.2 CDS 工作原理

由 CCD 的工作原理可知,在光积分完成后,各个像元的电荷包作为 CCD 的信号,在垂直和水平转移脉冲的控制下,按顺序转移到输出放大器。但由于存在着各种噪声干扰,CCD 输出信号与理想的波形相比有较大的失真。通过 CDS 实时准确地采集各个像元的复位电平和信号电平来消除各种噪声干扰,完成信号的提取。所以,只要正确选择两次采样点 S_1 和 S_2 ,并把两次采集的脉冲开关时间控制在适当的范围,就能有效地抑制各种噪声的干扰。由于两次采样的 KTC 噪声相差十分微小,将两次采样值相减,KTC 噪声就被从输出信号中抑制了,而且两次采样的间隔越短,复位噪声的抑制能力越强。其工作过程如下: CCD 输出驱动两个采样保持器,在 CCD 输出像元 N 的信号周期内,由 CCD 驱动电路产生的参考脉冲使采样保持器(S/H₁)对像元 N 的参考电平进行采样并保持,当像元 N 的电荷注入输出级时,复位噪声就迭加到输出上了。当驱动电路产生的视频脉冲到来时,用采样保持器(S/H₂)对

像元的视频电平进行采样并保持。两个采样保持器的输出经差动放大器就得到了视频信号 V_{out} ,这一过程把与参考电平和视频电平都相关的复位噪声滤除了^[5]。 V_{out} 就是经过相关双采样电路处理后 CCD 像元的视频信号。相关双采样输出信号及采样时序如图 3 所示。

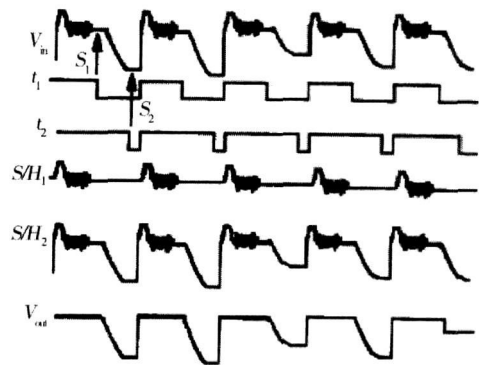


图 3 相关双采样时序图

2.3 CDS 电路频率特性分析

推导相关双采样系统的传输函数,可采用最基本的方法。即首先得出相关双采样电路的阶跃响应,由于是点采样,然后对阶跃响应进行求导,并得到冲激响应 δ ,最后对冲激响应进行傅里叶变换,傅里叶变换后的模的平方即为相关双采样系统的传输函数^[6]。设 $\Delta\tau$ 为 CDS 两次采样的时间间隔, ω_c 为 CDS 中积分电路的截止频率,则其传输函数为

$$|H(\omega)|^2 = K \frac{4\omega_c^2}{\omega^2 + \omega_c^2} \times \sin^2\left[\frac{\omega\Delta\tau}{2}\right] \quad (1)$$

式中, ω 为差分放大器的带宽,该式的频谱曲线将表现为带通滤波器,可以有效地抑制低频和低频噪声, 2δ 形式 CDS 传输函数增益最大点均在

$$\frac{\omega\Delta\tau}{2} = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \omega = \frac{\pi}{\Delta\tau}$$

根据奈奎斯特采样定律可以确定线列 CCD 输出视频信号的最高频率。设一次行扫描的有效像元数为 N ,理论上 CCD 能分辨的最小空间距离应为 $N/2$,若把黑白相间的条纹图像转换为电信号,最多只能得到 $N/2$ 个信号脉冲。当光积分周期为 T 时,信号的最高频率为 $f = N/(2T)$,若设像素周期为 T_p ,则大致可以得到 $f = 1/2T_p$ 。因此可以看出,若要使 CCD 信号的增益尽可能大,两次采样的时间间隔 $\Delta\tau$ 应该小于 $T_p/2$,这样滤波器通带范围窄,可以改善高频噪声滤波效果^[3]。同时,相关双采样还能有效消除 $1/f$ 噪声。

3 CCD 噪声分析

3.1 复位噪声传输函数

相关双采样电路(CDS)对复位噪声来说,其也是随时间变化的信号,在时间间隔内的传递函数是

$$G(j\omega) = G_0 \frac{1 - \exp[-j\omega\tau]}{1 + j\omega/\omega_0} \quad (2)$$

其中, G_0 是信号增益, τ 是前后两次采样的时间间隔, ω 是前置放大器的带宽。下面分析零点情况: 当 $|G(j\omega)|^2 = 0$ 时, 有 $2(1 - \cos \omega\tau) = 0$, 则 $\omega\tau = \omega T/2 = 2N\pi (N = 0, 1, 2, 3, \dots)$, 于是 $\omega = 4N\pi/T (N = 0, 1, 2, 3, \dots)$ 。当 $N = 0$ 时, $\omega = 0$ 。即坐标原点处的 $|G(j\omega)|^2$ 为零, 当 $N = 0, 1, 2, 3, \dots$ 时, 即在时钟角频率 $\omega = 2\pi/T$ 的偶次谐波处 $|G(j\omega)|^2$ 为零。也即是如果 τ 等于时钟周期 T 的一半, 传递函数在 $f = 0$ 和时钟频率 f 的所有偶数谐波处均为零, 表明系统可以抑制 $1/f$ 噪声和由来自电源的低频干扰及脉冲跳动等影响。由此可以看出, CDS 电路完成双采样消除 KTC 噪声形成有用信号的同时, 若达到良好的高频和 $1/f$ 噪声滤波效果, 需要在两次采样时间点上充分考虑, 使得对于两者的滤波效果尽可能协调, 从而使系统能实现良好的信噪比。

3.2 复位噪声分析

复位噪声是 CCD 输出电路复位过程中产生的热噪声即 KTC 噪声, 它是由电路结构和电路工作方式引入的, 分析模型如图 4 所示。当 CCD 的像元输出速率较高时, 电容将没有足够的时间放电, 这就造成电容上每次都有剩余电荷, 从而使 CCD 输出信号发生畸变, 称这种噪音为复位噪声^[7]。在读出电路中, 积分电容和采保电容都要通过 MOS 管周期地复位或接通, 复位噪声就是由 MOS 管导通时沟道电阻引入的。复位噪声在复位结束后电压方均涨落相对于像素周期十分缓慢, 可以认为复位噪声在一个像素周期内为常数^[8]。但是因为电阻热噪声是随机变化的, 所以不同的像素周期的复位噪声是随机的。KTC 噪声电压的均方值为^[9]

$$\overline{V_N^2} = \int_0^\infty \overline{V_N^2} \left| \frac{1/j\omega}{R + 1/j\omega} \right|^2 df = kT/C \quad (3)$$

由于 $V_N = Q/C = nq/C$, 所以 KTC 噪声产生的等效电子数为: $n = \sqrt{kTC}/q$, 其中 k 为波尔兹曼常数, T 为绝对温度, C 为存储电容。由此可见 C 越大, 产生的 KTC 噪声越大^[10]。可以证明, KTC 噪声的相关系数为

$$P_R(\tau) = e^{-\Delta V R_{off} C_{in}} \quad (4)$$

经过相关双采样后的 KTC 噪声的相关系数为

$$V_n = \frac{kT}{C} \left(1 - e^{-\Delta V R_{off} C_{in}} \right) \quad (5)$$

在式(4)和(5)中, R_{off} 是 CCD 内部 MOS 管的截止电阻, C_{in} 是 CCD 内部与浮置扩散式有关的总电容, $\Delta\tau$ 是两次采样的时间间隔, C 是采样保持电容。由式(4)和(5)可知, $\Delta\tau$ 越小, 则两次采样间 KTC 噪声的相关性越大, 采用相关双采样抑制 KTC 噪声的效果就越明显。

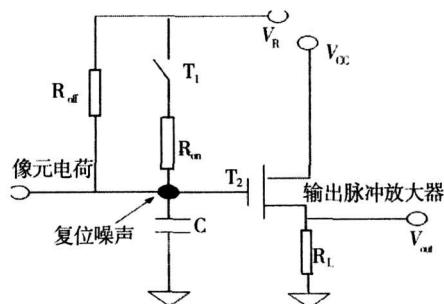


图 4 CCD 输出电路结构

4 实验与结论

为评价噪声抑制效果, 用图 2 所示的 CDS 测量系统对 CCD 输出噪声信号进行了去噪处理, 并用频谱分析仪进行了相关测试, 经 CDS 电路处理前后的复位噪声能量频谱曲线如图 5 所示。从图中可以看出, 在不同像元周期时, CCD 复位噪声是随机的, 采用相关双采样后的复位噪声能量比没有采用 CDS 时 CCD 输出噪声能量下降一个数量级以上, 即相关双采样对 CCD 中的 KTC 噪声具有很好的抑制作用, 说明了该方法的有效性。

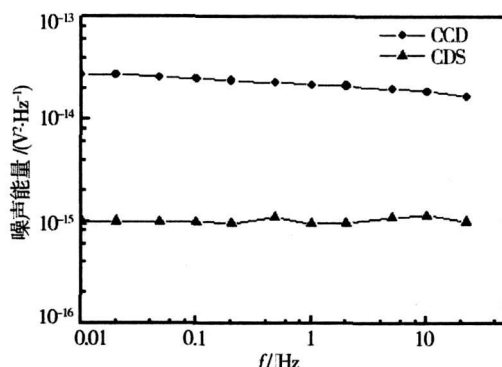


图 5 采用 CDS 前后输出复位噪声能量谱

(下转第 272 页)

用 ReadFile(), WriteFile() 函数实现。驱动程序与应用程序的通信由 DeviceControl 异步完成、Win32 事件通知两种方式。本文采用的是 Win32 事件通知的方式, 具体的方法是在应用程序中创建事件, 然后通过 IOCTL 事件的句柄传给驱动程序, 在驱动程序中接受保存事件句柄, 在产生中断时, 设置该事件, 在取消中断时, 拆除该事件。

图 4 是用该采集卡结合自己编写的驱动程序和应用程序采集到的 CCD 相机实际图像。



图 4 设计的 PCI 采集卡采集到的 CCD 相机图像

5 结论

利用 PCI 总线突出的高速传输性能以及 DDR 存储器的高速率和大容量的特点, 并结合光纤传输技术开发了远程高速 CCD 相机的图像采集卡。实验表明该采集卡采集 1024×1024 的 CCD 图像能

达到实时的采集效果, 并且可以通过 PC 机对 CCD 相机进行采集控制。此采集卡现在是第一次开发, 以后还可以进一步优化采集卡的布版, 同时优化软件设计, 采集卡的采集速度还可以进一步地提高。为了进一步发挥 DDR SDRAM 高速率大容量的作用, 下一步将考虑在该采集卡上添加图像处理功能模块, 另外还可以根据具体需要把采集卡设计成多通道的图像采集, 这也是以后 CCD 相机图像采集的一大发展方向。

参考文献:

- [1] 王庆友. CCD 应用技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 2000.
- [2] 李贵山, 戚德虎. PCI 局部总线开发者指南[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1997.
- [3] Cyclone Device Handbook[K]. Volume 1, Altera.
- [4] PCI 9054 Data Book[M]. Version 2.1, 2000.
- [5] 武安河. Windows 2000/XP WDM 设备驱动程序开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [6] 郑阿奇, 丁有和. Visual C++ 教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

作者简介:

刘昌举(1981-), 男, 硕士研究生, 研究方向为嵌入式系统技术和图像信号采集、传输与处理。

E-mail: liuchangju66@126.com

(上接第 267 页)

参考文献:

- [1] 李艺琳, 冯勇, 安澄全. 用相关双采样技术提高 CCD 输出信号的信噪比[J]. 电测与仪表, 1999, 36(5): 31-32.
- [2] 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.
- [3] Wey H M, Guggenbuhl W. An improved correlated double sampling circuit for low noise charge coupled devices[J]. IEEE Trans. on Circuits and Systems, 1990, 37(12): 1559-1565.
- [4] 万文, 王学良, 汪骏发, 等. 基于 XRD98L61 的线列 CCD 图像采集系统的设计[J]. 电子技术, 2002, (6): 58-62.
- [5] 佟首峰, 刘金国, 阮锦, 等. CCD 视频信号处理电路应用分析[J]. 激光与红外, 2002, 30(6): 373-375.
- [6] 黄巧林, 金伟其, 朱敏. 航天 TDF 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.

- [7] 刘国媛, 李露瑶, 张伯珩, 等. CDS 器件在 TDF CCD 视频信号处理中的应用[J]. 光子学报, 2000, 29(1): 82-86.
- [8] Ohbo M, Akiyama I, Tanaka T. A new noise suppression method for high definition CCD cameras[J]. IEEE Trans. on Consumer Electronics, 1989, 35(3): 368-374.
- [9] 尤荣明. CCD 探测器噪声检测与处理[D]. 南京: 南京理工大学, 1992.
- [10] 张文普, 袁祥辉, 贺国权. 基于相关双采样的接触式图像传感器的噪声抑制[J]. 重庆大学学报, 2004, 27(1): 21-24.

作者简介:

张林(19-), 男, 副教授, 博士生, 研究方向为传感与测试技术。

E-mail: njlgdzt@126.com